

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΨΥΞΗΣ, ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΗ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟΙΧΟ ΤΡΟΜΒΕ**

ΚΟΣΜΑΣ ΣΤΡΑΚΟΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ (ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ)

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

Copyright © ΚΟΣΜΑΣ ΣΤΡΑΚΟΣΙΑ 2019

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...

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το παρών θέμα της διπλωματικής εργασίας και μου πρόσφερε σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσής της.

Επίσης, ιδιαίτερη μνεία και θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον πρόεδρο του Διοικητικού Συμβουλίου του Ελληνικού Ινστιτούτου Παθητικών Κτιρίων κ. Στέφανο Παλλαντζά ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να μελετήσω το συγκεκριμένο Παθητικό Κτίριο και παράλληλα με βοήθησε με τις πολύτιμες πληροφορίες και συμβουλές του στην ομαλή περάτωση της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και συμφοιτητή μου Πέτρο Κωνσταντίνου για την αρμονική συνεργασία που είχαμε κατά τη μοντελοποίηση του Παθητικού Κτιρίου (βασικό σενάριο) της εργασίας και την ηθική συμπαράσταση κατά τα φοιτητικά μου χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με στηρίζουν ανελλιπώς καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου και την αδερφή μου οι οποίοι έδειξαν μεγάλη κατανόηση όλα αυτά τα χρόνια και στους οποίους οφείλω ό,τι έχω καταφέρει μέχρι σήμερα.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η υπολογιστική μελέτη των θερμοκρασιών των εσωτερικών χώρων ενός υφιστάμενου Παθητικού Κτιρίου, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι συσκευές θέρμανσης και ψύξης. Η μελέτη αφορά τη λειτουργία του κτιρίου κατά τη διάρκεια ενός τυπικού έτους στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή της Αθήνας. Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς τα παρακάτω προγράμματα:

1. **SketchUp**: το οποίο αποτελεί το βασικό εργαλείο για τον σχεδιασμό του κτιριακού κελύφους
2. **OpenStudio**: το οποίο αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του SketchUp και του EnergyPlus (μέσω του plug-in στο SketchUp)
3. **EnergyPlus**: το οποίο αποτελεί το βασικό πρόγραμμα ενεργειακής ανάλυσης διαφόρων παραμέτρων για το εξεταζόμενο κτίριο

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται ο λεπτομερής τρισδιάστατος σχεδιασμός του κτιρίου με βάση το αρχιτεκτονικό σχέδιο ενώ στη συνέχεια διαχωρίζονται οι εσωτερικοί χώροι σε δύο θερμικές ζώνες (υπόγειο – ισόγειο). Εν συνεχεία, μοντελοποιούνται τα δομικά στοιχεία των επιφανειών και υποεπιφανειών του κτιρίου, αλλά και τα θερμικά φορτία που προέρχονται από την ανθρώπινη παρουσία, τις ηλεκτρικές συσκευές, τις συσκευές φωτισμού κτλ. Παράλληλα, μέσω δεδομένων για το ακριβές πρόγραμμα χρήσης του κτιρίου, δημιουργούνται κατάλληλα χρονοδιαγράμματα που μοντελοποιούν τα θερμικά φορτία του κτιρίου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου. Συνεπώς, προκύπτει ένας πλήθος δεδομένων για τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Επιπλέον, για τη δημιουργία μιας πλήρους εικόνας και με σκοπό να εξετασθούν πιθανές μεταβολές που προκύπτουν στις θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων, αναλύονται περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται διαφορετικά συμβατικά υλικά για τις επιφάνειες και υποεπιφάνειες του κτιρίου. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση εξάγονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια ενός έτους και αναλύονται εκτενώς.

Τέλος, στην προσπάθεια να εξετασθούν πιθανές βελτιώσεις, γίνεται χρήση του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης “Trombe Wall” στους νότιους τοίχους του κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση αρχικά πραγματοποιείται σύγκριση με το υφιστάμενο κτίριο (χωρίς τοίχους Trombe), ενώ στη συνέχεια εξετάζονται σενάρια με εναλλακτικά υαλοστάσια της διάταξης αλλά και με εναλλακτικές μορφές του τοίχου θερμικής μάζας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, πέρα από τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια ενός έτους, αναλύονται και οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για τρεις τυπικές ημέρες του έτους.

Συμπερασματικά, από την ανάλυση των στοιχείων έγινε αντιληπτό πως το Παθητικό Κτίριο αποτελεί μια “συμπαγή” κατασκευή με ορθά διαμορφωμένο κτιριακό κέλυφος και ιδιαίτερα αποδοτικό σύστημα αερισμού. Στις παρεμβάσεις που έγιναν με σκοπό να εξετασθούν πιθανές βελτιώσεις δε λήφθηκαν υπόψη οικονομικοί παράμετροι και συνεπώς στην παρούσα εργασία δεν κρίνεται αν τελικά αποτελούν οικονομικά συμφέρουσες λύσεις.

Abstract

The aim of this diploma thesis is the computational study of the indoor temperatures of an existing Passive Building without taking into account the heating and cooling equipment. The study concerns the operation of the building during a typical year in Greece and specifically in the Athens area. The following programs were used extensively for the preparation of the work:

1. **SketchUp**: which is the key tool for the design of the building envelope
2. **OpenStudio**: which is the link between SketchUp and EnergyPlus (via the SketchUp plug-in)
3. **EnergyPlus**: which is the basic energy analysis program of various parameters for the building under consideration

More specifically, the detailed three-dimensional modeling of the building is carried out on the basis of the architectural design, followed by the separation of the interiors into two thermal zones (basement - ground floor). Subsequently, the structural elements of the surfaces and sub-surfaces of the building are modeled, as well as the thermal loads derived from human presence, electrical appliances, lighting equipment etc. Additionally, appropriate schedules are created to model the thermal loads of the building over a 24-hour period. Consequently, a set of data on the mean monthly temperatures of the thermal zones over a year is obtained.

In addition, in order to create an overview and to examine possible changes in indoor temperatures, cases are analyzed using different conventional materials for the surfaces and sub-surfaces of the building. As in the previous case, average monthly temperatures are extracted over a year and analyzed extensively.

Finally, in an attempt to consider possible improvements, the passive solar system "Trombe Wall" is built on the south walls of the building. Therefore, this is compared to the existing building which has no Trombe wall. Then scenarios with alternative glazing of the device and alternative thermal wall constructions are examined. In these cases, in addition to the average monthly temperatures over a year, average hourly temperatures over a 24 hour period for three specific days of the year are analyzed.

In conclusion, the analysis of the data revealed that the passive building is a "solid" structure with a well-designed shell and a highly efficient ventilation system. Interventions made to consider possible improvements did not take into account economic aspects and therefore are not considered in this thesis whether they are economically viable solutions.

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Περίληψη | v |
| Abstract..... | vii |
| 1. Ενεργειακή Κατάσταση Σήμερα | 1 |
| 1.1. Το Ενεργειακό πρόβλημα..... | 1 |
| 1.2. Παραγωγή και αποθέματα καυσίμων στην Ευρώπη..... | 3 |
| 1.3. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα..... | 5 |
| 1.4. Κλιματική Αλλαγή..... | 7 |
| 1.5. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας | 8 |
| 2. Κτιριακός Τομέας..... | 12 |
| 2.1. Ενεργειακό Ισοζύγιο Ελλάδας..... | 14 |
| 2.2. Ελληνικό Κτιριακό Απόθεμα | 15 |
| 3. Παθητικά Κτίρια – Βιοκλιματικός Σχεδιασμός | 19 |
| 3.1. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων | 19 |
| 3.2. Παθητικό Κτίριο | 20 |
| 3.2.1. Πρότυπο Παθητικού Κτιρίου..... | 21 |
| 3.2.2. Οι πέντε βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου..... | 22 |
| 3.3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης..... | 23 |
| 3.3.1. Συστήματα Άμεσου κέρδους..... | 24 |
| 3.3.2. Συστήματα Έμμεσου κέρδους | 25 |
| 3.3.3. Συστήματα Απομονωμένου κέρδους..... | 27 |
| 3.4. Συστήματα Φυσικού Δροσισμού | 28 |
| 3.4.1. Φυσικός Αερισμός..... | 28 |
| 3.4.2. Ψύξη μέσω εδάφους..... | 30 |
| 3.4.2.1. Υπόσκαφα – Ημιυπόσκαφα κτίρια | 30 |
| 3.4.2.2. Υπεδάφιο Σύστημα εναλλάκτη εδάφους-αέρα..... | 30 |
| 3.5. Σκίαση Ανοιγμάτων | 31 |
| 3.6. Μηχανικός Αερισμός με ανάκτηση ενέργειας..... | 33 |
| 3.6.1. Περιγραφή συστήματος αερισμού | 33 |
| 3.6.2. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων | 35 |
| 3.7. Φυσικός Φωτισμός | 35 |
| 4. Τοίχος Trombe – Michel | 37 |
| 4.1. Γενική Περιγραφή | 37 |
| 4.2. Βασικά Χαρακτηριστικά | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1. Τοίχος Θερμικής Μάζας | 39 |
| 4.2.2. Υαλοστάσιο..... | 40 |
| 4.2.3. Διάκενο Υαλοστασίου – Τοίχου Θερμικής Μάζας | 41 |
| 4.3. Θυρίδες Εξαερισμού | 41 |
| 4.3.1. Άνω Θυρίδα..... | 42 |
| 4.3.2. Κάτω Θυρίδα | 42 |
| 4.3.3. Θυρίδα Αποφόρτισης..... | 43 |
| 5. Προσομοίωση Κτιρίου | 44 |
| 5.1. Σύντομη Περιγραφή Λογισμικών Προσομοίωσης | 46 |
| 5.1.1. Energy Plus | 46 |
| 5.1.2. OpenStudio Plug-in..... | 47 |
| 5.1.3. SketchUp..... | 48 |
| 5.2. Σχεδιασμός Κτιριακού Κελύφους μέσω SketchUp | 48 |
| 5.2.1. Σχεδιασμός Θερμικής Ζώνης Υπογείου..... | 49 |
| 5.2.1.1. Σχεδιασμός Κελύφους Υπογείου | 50 |
| 5.2.1.2. Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Υπογείου | 51 |
| 5.2.1.3. Καθορισμός Χαρακτηριστικών Θερμικής Ζώνης Υπογείου | 52 |
| 5.2.1.4. Αποθήκευση Αρχείου Υπογείου μορφής .osm..... | 54 |
| 5.2.2. Σχεδιασμός Θερμικής Ζώνης Ισογείου..... | 55 |
| 5.2.2.1. Σχεδιασμός Κελύφους Ισογείου | 56 |
| 5.2.2.2. Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Ισογείου | 57 |
| 5.2.2.3. Καθορισμός Χαρακτηριστικών Θερμικής Ζώνης Ισογείου..... | 57 |
| 5.2.2.4. Αποθήκευση Αρχείου Ισογείου μορφής .osm..... | 58 |
| 5.2.3. Σχεδιασμός Σκιάστρων | 58 |
| 5.2.4. Τελική Μορφή Κτιρίου | 58 |
| 5.3. Επεξεργασία δεδομένων στο Energy Plus | 60 |
| 5.3.1. Εισαγωγή στο περιβάλλον του λογισμικού..... | 60 |
| 5.3.2. Κατηγορία Simulation Parameters..... | 62 |
| 5.3.2.1. Version..... | 62 |
| 5.3.2.2. Simulation Control..... | 62 |
| 5.3.2.3. Building..... | 64 |
| 5.3.2.4. Shadow Calculation | 65 |
| 5.3.2.5. Surface Convection Algorithm: Inside..... | 66 |
| 5.3.2.6. Surface Convection Algorithm: Outside..... | 68 |
| 5.3.2.7. Heat Balance Algorithm | 69 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.2.8. <i>Timestep</i> | 70 |
| 5.3.3. Κατηγορία Location and Climate..... | 70 |
| 5.3.3.1. <i>Site: Location</i> | 70 |
| 5.3.3.2. <i>Run Period</i> | 71 |
| 5.3.3.3. <i>Site: Ground Temperature: Building Surface</i> | 73 |
| 5.3.4. Κατηγορία Schedules..... | 73 |
| 5.3.4.1. <i>Schedule TypeLimits</i> | 74 |
| 5.3.4.2. <i>Schedule: Compact</i> | 74 |
| 5.3.5. Κατηγορία Surface Construction Elements | 85 |
| 5.3.5.1. <i>Materials</i> | 85 |
| 5.3.5.2. <i>Window Material: Simple Glazing System</i> | 88 |
| 5.3.5.3. <i>Construction</i> | 90 |
| 5.3.6. Κατηγορία Thermal Zones and Surfaces | 93 |
| 5.3.6.1. <i>Global Geometry Rules</i> | 93 |
| 5.3.6.2. <i>Zone</i> | 94 |
| 5.3.6.3. <i>Building Surface: Detailed</i> | 95 |
| 5.3.6.4. <i>Fenestration Surface: Detailed</i> | 100 |
| 5.3.6.5. <i>Shading: Building: Detailed</i> | 101 |
| 5.3.7. Κατηγορία Internal Gains | 102 |
| 5.3.7.1. <i>People</i> | 102 |
| 5.3.7.2. <i>Lights</i> | 105 |
| 5.3.7.3. <i>Electric Equipment</i> | 106 |
| 5.3.8. Κατηγορία Natural Ventilation and Duct Leakage | 107 |
| 5.3.8.1. <i>AirflowNetwork: Simulation Control</i> | 108 |
| 5.3.8.2. <i>AirflowNetwork: MultiZone: Zone</i> | 111 |
| 5.3.8.3. <i>AirflowNetwork: MultiZone: Surface</i> | 113 |
| 5.3.8.4. <i>AirflowNetwork: MultiZone: Component: SimpleOpening</i> | 116 |
| 5.3.9. Κατηγορία Zone HVAC Forced Air Units..... | 118 |
| 5.3.9.1. <i>ZoneHVAC: Energy Recovery Ventilator</i> | 118 |
| 5.3.9.2. <i>ZoneHVAC: Energy Recovery Ventilator: Controller</i> | 122 |
| 5.3.10. Κατηγορία Zone HVAC Equipment Connections | 124 |
| 5.3.10.1. <i>ZoneHVAC: EquipmentList</i> | 124 |
| 5.3.10.2. <i>ZoneHVAC: EquipmentConnections</i> | 125 |
| 5.3.11. Κατηγορία Fans | 127 |
| 5.3.11.1. <i>Fan:OnOff</i> | 127 |
| 5.3.12. Κατηγορία Heat Recovery | 130 |

| | |
|---|------------|
| 5.3.12.1. <i>HeatExchanger: AirToAir: SensibleAndLatent</i> | 130 |
| 5.3.13. Κατηγορία Node-Branch Management..... | 148 |
| 5.3.13.1. <i>NodeList</i> | 148 |
| 5.3.13.2. <i>OutdoorAir: NodeList</i> | 149 |
| 5.3.14. Κατηγορία Output Reporting | 150 |
| 5.3.14.1. <i>Output: VariableDictionary</i> | 150 |
| 5.3.14.2. <i>Output: Variable</i> | 150 |
| 5.3.14.3. <i>Output: SQLite</i> | 151 |
| 5.4. Εναλλακτικό Σενάρια | 152 |
| 5.4.1. Απενεργοποίηση συστήματος HRV..... | 152 |
| 5.4.2. Εναλλακτικά σενάρια Μονώσεων..... | 153 |
| 5.4.3. Εναλλακτικά σενάρια Παραθύρων | 155 |
| 5.5. Εναλλακτικό Σενάριο με τοίχους Trombe..... | 157 |
| 5.5.1. Σχεδιασμός τοίχων Trombe..... | 157 |
| 5.5.2. Τοίχος Trombe – Energy Plus | 165 |
| 5.5.2.1. <i>Περιπτώσεις εναλλακτικών διατάξεων υαλοστασίου</i> | 166 |
| 5.5.2.2. <i>Περιπτώσεις εναλλακτικών κατασκευών τοίχου θερμικής μάζας</i> | 167 |
| 5.5.2.3. <i>Σενάριο χωρίς τη χρήση συσκευής σκίασης στον τοίχο Trombe</i> | 168 |
| 6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κτιρίου | 169 |
| 6.1. Προσομοίωση υφιστάμενου κτιρίου | 170 |
| 6.2. Επίδραση Βασικών Παραμέτρων στην Ενεργειακή Απόδοση | 171 |
| 6.2.1. Επίδραση συστήματος HRV..... | 171 |
| 6.2.2. Επίδραση υλικών μόνωσης | 173 |
| 6.2.3. Επίδραση παραθύρων..... | 175 |
| 6.3. Διάταξη τοίχου Trombe | 178 |
| 6.3.1. Επίδραση τζαμίων Υαλοστασίου διάταξης Trombe..... | 180 |
| 6.3.2. Επίδραση τοίχου θερμικής μάζας στην διάταξη Trombe | 181 |
| 6.3.2.1. <i>Ωριαίες Θερμοκρασίες 1^η Μαρτίου</i> | 184 |
| 6.3.2.2. <i>Ωριαίες Θερμοκρασίες 1^η Ιουλίου</i> | 186 |
| 6.3.2.3. <i>Ωριαίες Θερμοκρασίες 1^η Νοεμβρίου</i> | 188 |
| 6.3.3. Επίδραση διάταξης σκίασης τοίχου Trombe | 190 |
| 7. Συμπεράσματα και Προτάσεις για μελλοντική μελέτη..... | 192 |
| Βιβλιογραφία | 195 |
| Περιεχόμενα Εικόνων | 199 |
| Περιεχόμενα Διαγραμμάτων | 202 |

| | |
|---------------------------|-----|
| Περιεχόμενα Πινάκων | 203 |
|---------------------------|-----|

Κεφάλαιο 1

1. Ενεργειακή Κατάσταση Σήμερα

Η παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση στη σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από τη συνεχιζόμενη αύξηση της ζήτησης ενέργειας και ειδικότερα της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία αυξάνει με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό σε σύγκριση με τη ζήτηση στον υπόλοιπο ενεργειακό τομέα. Παράλληλα λόγω της ανασφάλειας που προκύπτει από την αυξανόμενη ζήτηση, τα κράτη οδηγούνται στην αναζήτηση νέων ενεργειακών πηγών και νέων πιο αποδοτικών μεθόδων μετατροπής της ενέργειας. Το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν σήμερα οι περισσότερες χώρες έγκειται στην αύξηση των τιμών του πετρελαίου, αλλά και στη συνεχή μείωση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, λιγνίτης κ.λ.π.) οι οποίες καλύπτουν προς το παρών τις ενεργειακές μας ανάγκες. Την ίδια στιγμή, επικρατεί μεγάλη ανησυχία για τη ρύπανση του περιβάλλοντος κατά την παραγωγή ενέργειας. Η καύση των ορυκτών καυσίμων επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης του άνθρακα στην ατμόσφαιρα η οποία προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Αναμφίβολα το επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα καθώς επηρεάζεται από το επίπεδο οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης, από την αποδοτικότητα του ενεργειακού τομέα, από τον βαθμό ενεργειακής αυτοδυναμίας και σίγουρα από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Βασικός στόχος όλων των κρατών είναι η μείωση κατανάλωσης ενέργειας και κατά κύριο λόγο, αυτής του πετρελαίου. Βέβαια, εξίσου σημαντικός είναι ο έλεγχος και η διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού κατανάλωσης καθώς το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν σήμερα την κύρια πηγή πρωτογενούς ενέργειας.

1.1. Το Ενεργειακό πρόβλημα

Σήμερα, μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα τα οποία καταναλώνονται εκατό χιλιάδες φορές ταχύτερα από τον χρόνο που απαιτείται για να ξαναδημιουργηθούν. Επομένως, τα ενεργειακά αποθέματά τους, είναι περιορισμένα και άρα αναμένεται να εξαντληθούν κάποια στιγμή στο μέλλον. Η αλόγιστη χρήση συμβατικών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, οδήγησε στην αρχική διατύπωση του ενεργειακού προβλήματος στις αρχές

της δεκαετίας του 1950' και στη γενικότερη συνειδητοποίησή του, λίγα χρόνια αργότερα, με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης, το 1973.

Το ενεργειακό πρόβλημα συνίσταται κυρίως στην στροφή της κοινωνίας στον υλισμό και στην έλλειψη ενέργειας, ενώ, βασικές συνιστώσες του είναι οι εξής:

- Η ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας η οποία αυξάνει το κόστος στο σύνολο των προϊόντων και υπηρεσιών (ανάγκη για φθηνότερη ενέργεια).
- Η αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας.
- Η εξάντληση των ενεργειακών πόρων (του γαιάνθρακα, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και των πυρηνικών καυσίμων). Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις μάλιστα, το πετρέλαιο αναμένεται να διαρκέσει μόνο, για τα επόμενα 52 χρόνια και το φυσικό αέριο για τα επόμενα 54 χρόνια.
- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών καθώς και η συμβολή της ενέργειας στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου (ανάγκη για ενέργεια με το μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος).

Ειδικότερα, προς αυτή την κατεύθυνση, έχει γίνει αποδεκτή η ανάγκη υλοποίησης των δύο ακόλουθων στρατηγικών :

- Η στρατηγική ορθολογικής διαχείρισης, γνωστή και ως στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας η οποία περιλαμβάνει τόσο τον περιορισμό της σπατάλης όσο και την αποδοτική χρησιμοποίηση της ενέργειας, ώστε να επιτυγχάνεται το ίδιο (οικονομικό-κοινωνικό) αποτέλεσμα με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Σήμερα, υπάρχουν μεγάλα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας στους περισσότερους τομείς, καθώς οι συνήθειες της καθημερινής ζωής όπως και η τεχνολογία αναπτύχθηκαν σε περιόδους που το κόστος της ενέργειας αποτελούσε παράγοντα περιορισμένης σημασίας. Με τη συγκεκριμένη στρατηγική, εξυπηρετούνται οι στόχοι της διατήρησης των φυσικών πόρων και της προστασίας του περιβάλλοντος.
- Η στρατηγική υποκατάστασης των συμβατικών ενεργειακών πηγών με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Με τη χρήση των ΑΠΕ, μπορούμε να πετύχουμε μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος. Βέβαια, οι ήπιες μορφές ενέργειας που προέρχονται από τις ΑΠΕ, δεν μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τις συμβατικές πηγές και επομένως δεν αποτελούν λύση για τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν. Ωστόσο, με τη δυναμική που παρουσιάζουν, μπορούν να μειώσουν δραστικά τη σοβαρότητά τους και το κόστος παραγωγής τους.

1.2. Παραγωγή και αποθέματα καυσίμων στην Ευρώπη

Πολλά από τα κράτη της Ευρώπης ανέκαθεν είχαν εξάρτηση από εισαγόμενες πηγές ενέργειας με σκοπό να εξασφαλίσουν την κάλυψη των εσωτερικών ενεργειακών αναγκών τους. Σύμφωνα με στη στοιχεία της Eurostat η Ευρωπαϊκή Ένωση χρειάζεται να εισάγει περίπου το 55% της ενέργειας που καταναλώνει, δηλαδή κάτι παραπάνω από το μισό της συνολικής ενέργειας. Παρατηρείται ότι από το 1990 υπάρχει μια συνεχής αύξηση της ενεργειακής εξάρτησης, ενώ επίσης από το 2000 το ποσοστό αυτό βρίσκεται σταθερά πάνω από το 50%. Σύμφωνα με μελέτες της Ε.Ε. το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί αισθητά τα επόμενα χρόνια και να φτάσει στα επίπεδα του 80% σε βάθος εικοσαετίας. Η κατάσταση έχει διαμορφωθεί με αυτό τον τρόπο καθώς είναι μόνο δύο οι χώρες της Ευρώπης οι οποίες είναι μεγάλοι παραγωγοί ενέργειας, η Ρωσία και η Νορβηγία. Υπό αυτό το πρίσμα, οι χώρες της Ε.Ε. αναγκάζονται να εισάγουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο από αυτά τα κράτη, τα οποία δεν ανήκουν στην Ε.Ε. όσο και από κράτη της Ασίας και της Αφρικής.

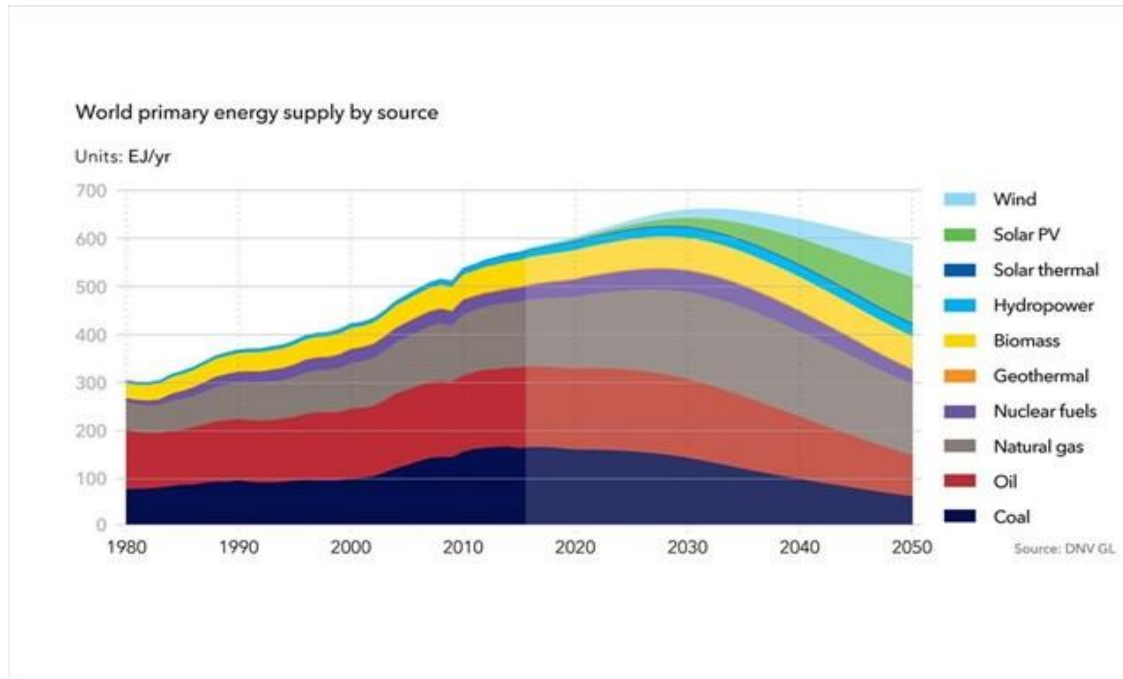
Μια πιο εποπτική δυνατότητα παρουσίασης του ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος είναι υιοθετώντας την κατηγοριοποίηση με βάση τους ενεργειακούς πόρους, εξετάζοντας τα αποθέματα, τη ζήτηση και την παραγωγή του. Σε αυτό το πλαίσιο λοιπόν έχουμε:

Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο είναι ευρέως γνωστό πως έχει το σημαντικότερο μερίδιο στην αγορά ενέργειας από κάθε άλλο καύσιμο, αν και τα τελευταία χρόνια η αναλογία αυτή μειώνεται. Έτσι ενώ το 1970 αποτελούσε το 60% της βασικής παροχής ενέργειας, το ποσοστό σήμερα βρίσκεται στο 38%, αφού και άλλα καύσιμα χρησιμοποιούνται σήμερα σε μεγάλη κλίμακα. Η Ευρώπη έχει ωφεληθεί από την εκμετάλλευση των εγχώριων αποθεμάτων πετρελαίου, αν και είναι λιγότερο ελκυστικά οικονομικά και περιορισμένα. Τα περισσότερα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου βρίσκονται κατά κύριο λόγο στην περιοχή της Μέσης Ανατολής όπου αντιστοιχούν στο 64% του συνόλου, αλλά και στην Αμερική και την πρώην Σοβιετική Ένωση.

Οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα είναι παραδοσιακά συντηρητικές, ιδιαίτερα στην περιοχή της Βόρειας Θάλασσας αν και συνεχώς νέα αποθέματα προστίθενται στα υπάρχοντα, καθώς νέες τεχνολογικές δυνατότητες δίνουν πλέον την ευκαιρία άντλησης σε δυσκολότερες περιοχές. Παράλληλα, το πετρέλαιο παραμένει το βασικό καύσιμο στον τομέα των μεταφορών και αν μερικά χρόνια νωρίτερα οι δυνατότητες να

αντικατασταθεί ήταν πολύ περιορισμένες, σήμερα βλέπουμε πως η άνοδος στην παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων δείχνει πως σε παγκόσμιο επίπεδο είναι δυνατόν σε βάθος μερικών ετών, να μην υπάρχει μεγάλη εξάρτηση του συγκεκριμένου τομέα από το πετρέλαιο.



Εικόνα 1.1: Πηγές Πρωτογενούς ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο

Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα ιδιαίτερης σημασίας καύσιμο καθώς αυξάνεται σημαντικά η χρήση του και κυρίως στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παίρνοντας ένα μεγάλο μερίδιο από το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Αυτό συμβαίνει καθώς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με φυσικό αέριο απαιτείται χαμηλότερο κόστος επένδυσης, ενώ την ίδια στιγμή λόγω της χημικής του σύστασης εκπέμπει μικρότερες ποσότητες των αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο και των άνθρακα σε πολλά είδη ενεργειακών εφαρμογών.

Τα παγκόσμια αποθέματα συγκρινόμενα με αυτά του πετρελαίου είναι καλά κατανομημένα, αφού η πρώην Σοβιετική Ένωση διαθέτει τα περισσότερα μαζί με την Μέση Ανατολή, ενώ σημαντικές ποσότητες υπάρχουν επίσης και σε Αμερική, Αφρική και Ευρώπη. Η παραγωγή φυσικού αερίου έχει αυξηθεί τα τελευταία 15 χρόνια, ώστε να ανταπεξέλθει στην αυξημένη ζήτηση, έστω κι αν αυτό συνέβη με ανομοιόμορφο ρυθμό. Μια από τις βασικότερες αιτίες για την άνοδο του φυσικού αερίου είναι η αύξηση του βαθμού απόδοσης των συνδυασμένων κύκλων στην παραγωγή ηλεκτρισμού.

Στερεά Καύσιμα

Στα στερεά καύσιμα περιλαμβάνονται ο λιθάνθρακας, ο ασφαλούχος άνθρακας και ο λιγνίτης που χρησιμοποιείται κατά κύριο στην Ελλάδα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα καύσιμα αυτά είναι ελκυστικά διότι παρέχουν ασφάλεια τροφοδοσίας στην Ευρώπη λόγω των μεγάλων εγχώριων αποθεμάτων και ιδιαίτερα του λιθάνθρακα. Ωστόσο, παρατηρείται μια πτώση παραγωγής τα τελευταία χρόνια και ως επακόλουθο αυτού αυξάνεται η εξάρτηση της Ευρώπης από εισαγωγές. Παράλληλα η προτίμηση στα στερεά καύσιμα έχει περιοριστεί λόγω των έντονων εκπομπών (CO₂) που παράγονται σε μεγάλη κλίμακα από τη χρήση τους. Αναμφίβολα, η ευρεία απομάκρυνση του άνθρακα από τον οικιακό τομέα, αλλά και η αλλαγή της δομής του τομέα του χάλυβα, έχουν συνεισφέρει και αυτά στην πτωτική αυτή τάση που παρατηρείται σήμερα.

1.3. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

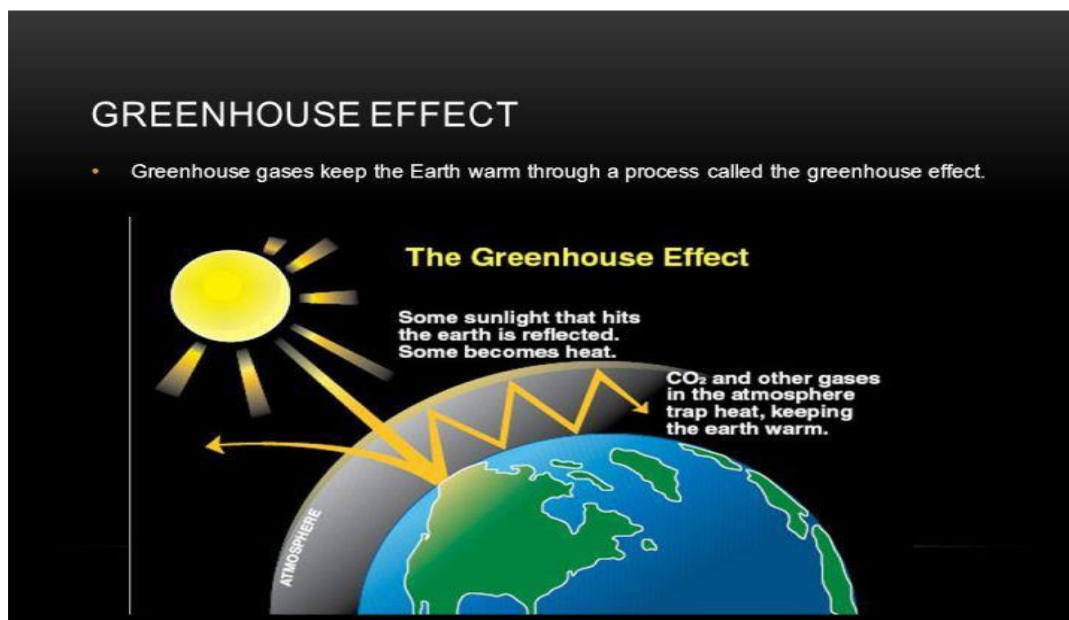
Ο παγκόσμιος ενεργειακός τομέας βιώνει σήμερα μια νέα ενεργειακή κρίση, η οποία έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις προηγούμενες. Τη σημερινή κρίση επιβάλλει η αλλαγή του κλίματος της γης, αφού χρειάζεται να εξευρεθούν οικονομικοί πόροι, έτσι, ώστε να γίνουν σοβαρές επενδύσεις για την προώθηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας και των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό κρίνεται αναγκαίο καθώς η περιβαλλοντική επιβάρυνση, λόγω των καυσαερίων που εκπέμπονται από την χρήση των ορυκτών καυσίμων, είναι πολύ μεγάλη και επιδεινώνει το πρόβλημα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου το οποίο σε λίγα χρόνια θα είναι μη αναστρέψιμο.

Σε ό,τι έχει να κάνει με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται ότι για το 2010 ο τομέας παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ευθύνεται για το 25% των παγκόσμιων εκπομπών, όπου χρησιμοποιούνται κυρίως γαιάνθρακες, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Αμέσως μετά ακολουθεί ο τομέας της γεωργίας στον οποίο καταλογίζεται το 24% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, ο βιομηχανικός τομέας (21%), ο τομέας των μεταφορών (14%), ο κτιριακός τομέας (6%) και άλλες καταναλώσεις ενέργειας (10%). Επιπλέον, υπολογίζεται ότι την ίδια χρονιά εισήλθαν στην ατμόσφαιρα περίπου 8 δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα, για το 80% των οποίων ευθύνονται τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε όλους τους παραπάνω τομείς που αναφέρθηκαν, ενώ για το 20% ευθύνεται η αποψίλωση δασικών εκτάσεων. Αναμενόμενα, από έρευνες προκύπτει πως οι χώρες με τις περισσότερες εκπομπές

διοξειδίου του άνθρακα είναι η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Ευρωπαϊκή Ένωση συνολικά, η Ινδία, η Ρωσία και η Ιαπωνία.

Παράλληλα, οι πολύ αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα συνεισφέρουν στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ένα στρώμα αερίων του θερμοκηπίου, πρωτίστως υδρατμοί, (και ποσότητες CO₂, μεθανίου και οξειδίου του αζώτου), ενεργεί ως θερμική κάλυψη για τη γη, απορροφώντας θερμότητα και ζεσταίνοντας την επιφάνεια σε ένα μέσο όρο ζωής 15 βαθμών Κελσίου.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά την ατμόσφαιρα και θερμαίνει την επιφάνεια της γης. Αυτή η θερμότητα εκπέμπεται ξανά πίσω προς το διάστημα, με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας μακρών κυμάτων. Η θερμότητα διατηρείται και απορροφάται από αέρια του θερμοκηπίου, ενώ εκπέμπεται εκ νέου θερμαίνοντας τη γη και την κατώτερη ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1.2: Πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ ατμόσφαιρας-γης

Στις αρχές του 18ου αιώνα, το επίπεδο συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂ ήταν 280 ppm², ενώ προς το παρόν είναι ήδη 402 ppm και αυξάνεται με ρυθμό άνω των 2 ppm / έτος. Ακόμη, χρόνο με το χρόνο παρατηρείται συνεχόμενη αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου (GHG), τα οποία προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως:

- Αποψίλωση και μεταβολές στη χρήση της γης

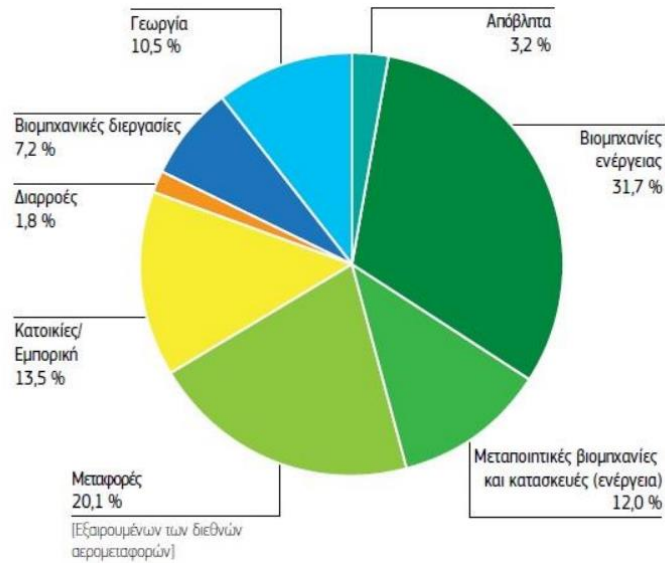
- Καύση ορυκτών καυσίμων
- Φυσικές καταστροφές

Σε αυτό το πλαίσιο τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν ως στρατηγικό στόχο τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, στον εφικτό βαθμό με βάση τα σημερινά δεδομένα, καθώς και τη θέσπιση αυστηρών μέτρων για την επίτευξη του σκοπού αυτού. Παράλληλα, δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στη διείσδυση των ΑΠΕ, λαμβάνοντας υπόψιν ότι το μερίδιο που έχουν αυξάνεται με αργούς ρυθμούς (αντιπροσωπεύοντας το 18% της πρωτογενούς παροχής ενέργειας το 2012). Σε αυτό το πλαίσιο υπάρχει ξεκάθαρος στόχος οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να φτάσουν στα επίπεδα του 20% μέχρι το 2020, γεγονός που σημαίνει ότι θα μειωθεί η εξάρτηση της ΕΕ από τα ορυκτά καύσιμα και σίγουρα σε κάποιο βαθμό θα περιοριστούν οι ανεπιθύμητες εκπομπές CO₂.

1.4. Κλιματική Αλλαγή

Είναι φανερό πως η ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα της γης είναι έντονη και ελάχιστοι επιστήμονες αγνοούν πλέον το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη (global warming). Στις τελευταίες δεκαετίες ο όρος αυτός συνδέθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου είναι το υποξείδιο του αζώτου, το μεθάνιο και οι χλωροφθοράνθρακες. Η συμμετοχή των διαφόρων ρύπων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και επομένως στην αλλαγή του κλίματος είναι η ακόλουθη. Διοξείδιο του άνθρακα (50%) ,υποξείδιο του αζώτου (5%), μεθάνιο (13%), όζον της τροπόσφαιρας (7%), χλωροφθοράνθρακες (22%).

Με βάση προβλέψεις για τα επόμενα τριακόσια χρόνια εκτιμάται πως η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,5-5°C μέχρι το 2050 με μεγαλύτερη αύξηση στους πόλους, ενώ παράλληλα θα πραγματοποιείται με έντονο ρυθμό λιώσιμο των πάγων με αποτέλεσμα την ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας κατά 0,1-0,5 m μέχρι το 2100. Επίσης, προβλέπεται πως θα μειωθεί δραματικά η ανακλασιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και θα ερημοποιηθούν ορισμένες περιοχές λόγω των εκτεταμένων πλημμυρών και των έντονων καιρικών φαινομένων.



Εικόνα 1.3: Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά κλάδο στις 28 χώρες της ΕΕ

Στην διάσκεψη που πραγματοποιήθηκε στην Βραζιλία με θέμα την κλιματική αλλαγή το 1992, προωθήθηκε η ιδέα της σταθεροποίηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990. Το 1995 στο Βερολίνο και το 1996 στη Γενεύη, υπήρξε αλλαγή στάση των ΗΠΑ από προαιρετικά σε υποχρεωτικά μέτρα. Το 1997 στο Κιότο υπογράφηκε το πρωτόκολλο του Κιότο για τον έλεγχο των εκπομπών CO₂ από τις αναπτυγμένες χώρες. Άλλες σημαντικοί σύνοδοι ήταν το 1998 στο Μπουένος Άιρες, το 2000 στην Χάγη, το 2005 στο Μόντρεαλ και το 2015 στο Παρίσι.

Με σκοπό την άμεση αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου κρίνεται αναγκαίο να μειωθούν σε σημαντικό βαθμό οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αέριων ρύπων κατά 30%, να προωθηθεί η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ανάπτυξη αποδοτικότερων συσκευών και αυτοκινήτων, φύτεμα και ανάπτυξη φυτικών ειδών. Πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η στάση των πολιτικών προσώπων ώστε να βρεθεί λύση στα προβλήματα τα οποία είναι μακροπρόθεσμα και θα επηρεάσουν και τις επόμενες γενιές.

1.5. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

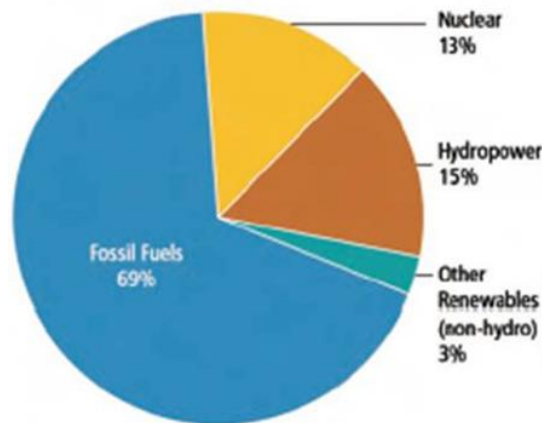
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρείται κάθε μορφής εναλλακτική πηγή ενέργειας όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η υδραυλική. Θεωρούνται ανανεώσιμες καθώς δεν εξαντλούνται και είναι εναλλακτικές ως προς την καύση ορυκτών καυσίμων. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι η αξιοποίησή τους δεν επιβαρύνει το φυσικό

περιβάλλον. Η εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελεί μια τάση που κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος σε ολόκληρο τον κόσμο, όπως και στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπου χαράζονται πολιτικές που ορίζουν την χρήση των ΑΠΕ.

Οι ΑΠΕ συνεισφέρουν σήμερα σε επίπεδο περίπου 18% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Το 18% αποτελείτε 15% από μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς και το 3% προέρχεται από τις νέες ΑΠΕ οι οποίες είναι η βιομάζα, η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, τα βιοκαύσιμα κτλ. Σε παγκόσμια κλίμακα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αντικαθιστούν τα συμβατικά καύσιμα κατά κύριο λόγο στους εξής τέσσερις τομείς:

1. Δυναμική παραγωγή
2. Θέρμανση του νερού
3. Θέρμανση του χώρου
4. Καύσιμα μεταφορών

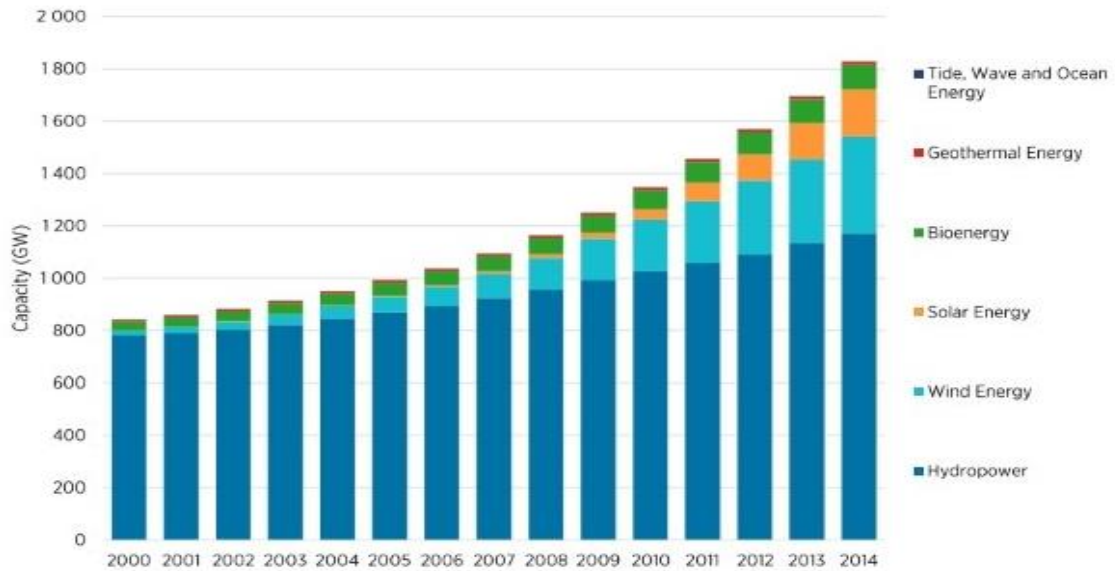
Στην δυναμική παραγωγή οι ΑΠΕ συνεισφέρουν περίπου το 5% παγκόσμια και προμηθεύουν περίπου 3.4% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού (εξαιρουμένου της μεγάλης υδροδύναμης).



Εικόνα 1.4: Παγκόσμια παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά πηγή

Η θέρμανση του νερού και των εσωτερικών χώρων για δέκα εκατομμύρια κτίρια παρέχεται από την ηλιακή ενέργεια την βιομάζα και την γεωθερμική ενέργεια, ενώ παράλληλα η χρήση γεωθερμικής ενέργειας παράγει παγκοσμίως 8000 (MWe) ηλεκτρικού ρεύματος και 4.000(MWt) θερμικής ενέργειας. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες υπολογίζεται ότι έχουν εγκατασταθεί σε πενήντα εκατομμύρια νοικοκυριά παγκοσμίως από τους οποίους οι περισσότεροι ανήκουν στην Κίνα. Επίσης η βιομάζα μαζί με τη

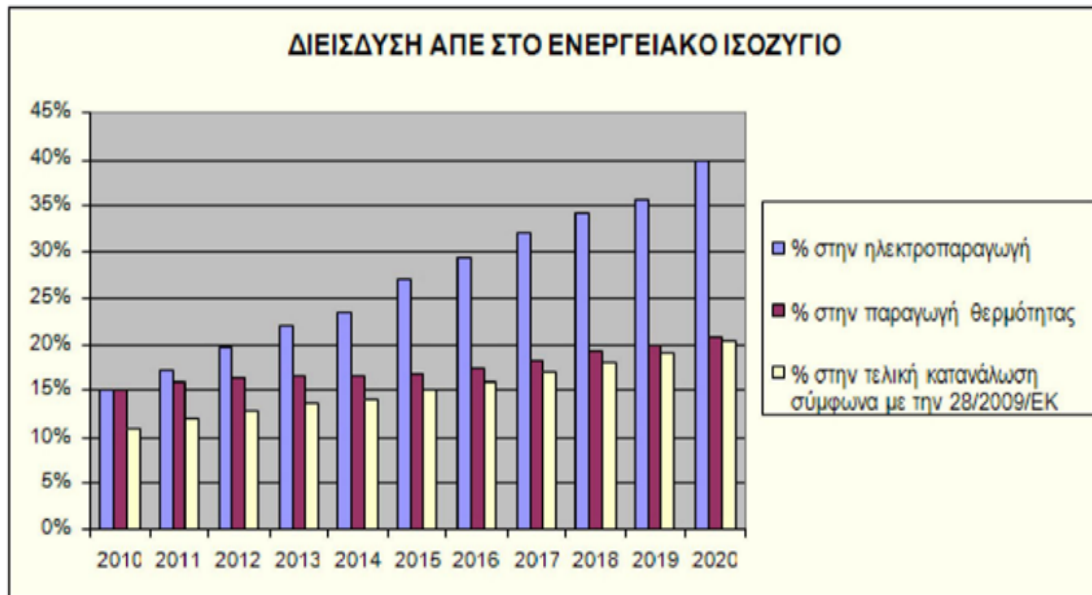
γεωθερμική ενέργεια παρέχουν θέρμανση σε βιομηχανίες, νοικοκυριά και στην γεωργία. Τα βιοκαύσιμα με την σειρά τους έχουν ένα μικρό ποσοστό συμμετοχής στο σύνολο αλλά σε κάποιες χώρες η συμμετοχή τους είναι μεγάλη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Βραζιλία όπου η αιθανόλη αντικαθιστά περισσότερο από 40% την κατανάλωση βενζίνης.



Εικόνα 1.5: Παγκόσμια εγκατεστημένη Ισχύς ανά έτος

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με στόχο το 2020 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ειδικότερα μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ.
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ.
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.



Εικόνα 1.6: Εκτίμηση διείσδυσης ΑΠΕ σύμφωνα με τους στόχους του Εθνικού Σχεδίου Δράσης 20-20-20

Ως εκ τούτου σε πολλές χώρες παγκοσμίως δίνονται κίνητρα για να ενισχύσουν τις ιδιωτικές επενδύσεις σε ΑΠΕ, αλλά και τα κράτη τα ίδια μέσω των κατάλληλων φορέων προχωρούν σε επενδύσεις τέτοιου τύπου. Για την επίτευξη των στόχων αναπτύχθηκε θεσμικό πλαίσιο με πληθώρα διατάξεων και φορέων. Επίσης, το χρηματοοικονομικό πλαίσιο υλοποίησης των έργων ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής όπως έχει διαμορφωθεί, καλύπτει σε ορισμένες περιπτώσεις μέσω αναπτυξιακών νόμων μεγάλο μέρος του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης και παρέχει την εγγυημένη πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας σε εγγυημένη τιμή (feed in tariff) και για εγγυημένη χρονική περίοδο. Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10% στις μεταφορές.

Κεφάλαιο 2

2. Κτιριακός Τομέας

Ο κτιριακός τομέας χωρίζεται σε δύο επιμέρους τομείς κτιρίων, στον οικιακό και τον τριτογενή. Στον οικιακό τομέα περιλαμβάνονται οι μονοκατοικίες και πολυκατοικίες, είτε αυτές χρησιμοποιούνται ως μόνιμες κατοικίες, είτε ως παραθεριστικές. Στον τριτογενή τομέα περιλαμβάνονται τα γραφεία, τα ξενοδοχεία, τα καταστήματα, τα σχολεία και τα νοσοκομεία, καθώς και οι εκκλησιαστικοί χώροι, τα αθλητικά κέντρα, οι εργαστηριακοί, βιομηχανικοί και αποθηκευτικοί χώροι, οι σταθμοί αυτοκινήτων και λοιποί συναφή χώροι.

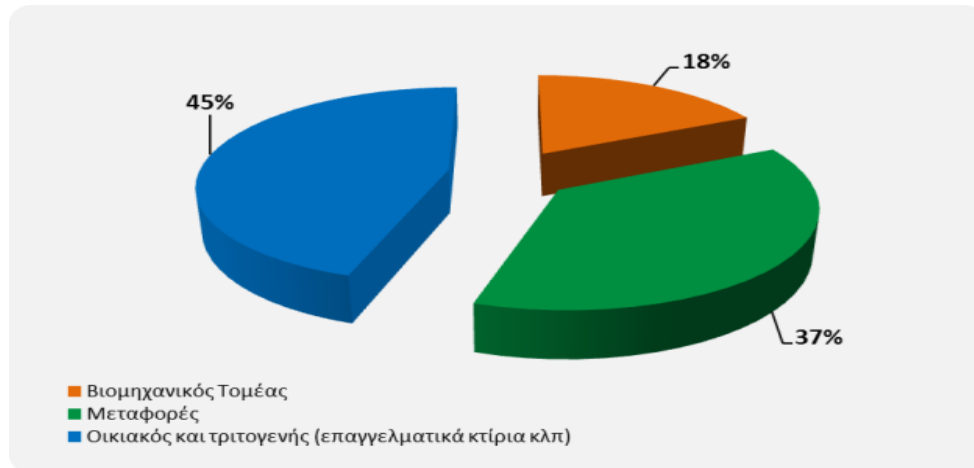
Σε ευρωπαϊκό όπως και σε εθνικό επίπεδο, εκτιμάται πως ο κτιριακός τομέας είναι ο μεγαλύτερος τομέας κατανάλωσης ενέργειας τελικής χρήσης καθώς απορροφά περίπου το 40-45% του συνόλου της καταναλισκόμενης ενέργειας, δηλαδή ποσοστό μεγαλύτερο και από τον τομέα των μεταφορών που βρίσκεται στο 37%. Τα υψηλά αυτά επίπεδα κατανάλωσης που προκύπτουν, παρατηρούνται σε μορφή θερμικής ενέργειας (κυρίως πετρέλαιο και φυσικό αέριο) αλλά και ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό ακριβώς το γεγονός καθιστά άμεσα απαραίτητο τον σχεδιασμό κτιρίων τα οποία θα είναι φιλικά προς το περιβάλλον, μέσω του περιορισμού των ενεργειακών απαιτήσεών τους με απώτερο σκοπό την ελαχιστοποίηση και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι επεμβάσεις με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- i. Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την εκμετάλλευση των δομικών του στοιχείων (ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός)
- ii. Το κτιριακό κέλυφος (θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων)
- iii. Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και ηλεκτρικές συσκευές.

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων έχει αυξηθεί από το 1990 κατά 1% ανά έτος και συγκεκριμένα για την ηλεκτρική ενέργεια κατά 2,4% ανά έτος. Η ετήσια μονάδα κατανάλωσης ανά τετραγωνικό μέτρο για τα κτίρια είναι περίπου 220 kWh/m² για το 2009, με μία διαφορά της τάξης των 100 kWh/m² μεταξύ των κατοικιών (200 kWh/m²) και των μη κατοικιών (περίπου 300 kWh/m²). Παρόλα αυτά, εκτιμήθηκε ότι τα 2/3 των ευρωπαϊκών χωρών έχουν μειώσει τη μέση ενεργειακή κατανάλωση ανά κατοικία. Η μείωση αυτή είναι σημαντική αν ληφθεί υπόψη ότι η κατηγορία των κατοικιών αντιπροσωπεύει το 76% του συνόλου

του κτιριακού τομέα. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έπαιξε η μείωση του ενεργειακού κλάσματος για τη θέρμανση χώρων, η οποία οφείλεται εν μέρει στη σχετική αύξηση της κατανάλωσης των, πλέον τεχνολογικά εξελιγμένων, ηλεκτρικών συσκευών.



Εικόνα 2.1: Ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα

Εξαιτίας της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης και των ευρωπαϊκών νομικών κανονισμών, προωθήθηκε έντονα η χρήση των ΑΠΕ σε όλους τους τομείς. Ιδιαίτερα θετική είναι η προώθηση και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στον τομέα των νοικοκυριών, αφού η τελική ενεργειακή κατανάλωση από ΑΠΕ έχει αυξηθεί κατά 19,2% στη διάρκεια των τελευταίων 17 ετών. Εντούτοις, το ποσοστό αυτό διαφοροποιείται ανά έτος εξαιτίας των διακυμάνσεων της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής.

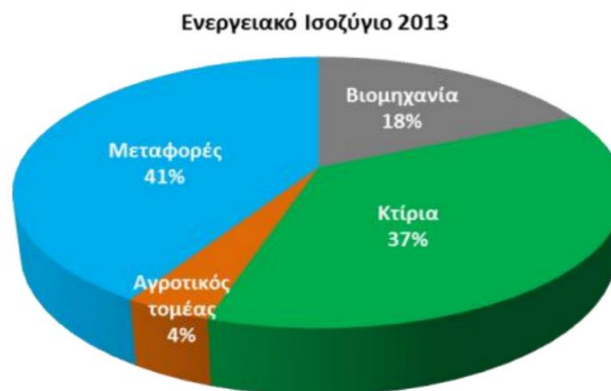
Το 2010, θεσπίστηκαν με τον «Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων» τα ελάχιστα επίπεδα για τη χρήση των ΑΠΕ στα κτίρια. Βάση του κανονισμού όλα τα νέα και τα ανακαινισμένα κτίρια σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές υποχρεούνται να καλύπτουν τουλάχιστον το 60% των αναγκών τους σε ζεστό νερό μέσω θερμικών ηλιακών συστημάτων. Ήδη το 2011 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των καινούργιων συστημάτων θέρμανσης έφτανε τις 161.000 kWth., που αντιστοιχεί σε μία «ανάπτυξη» της τάξης του 7,5% σε σύγκριση με το 2010. Παράλληλα σημειώθηκε μία εντυπωσιακή αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από τοποθετημένα στις στέγες συστήματα φωτοβολταϊκά.

2.1. Ενεργειακό Ισοζύγιο Ελλάδας

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια είναι ~5,6 εκατ. τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου (ΜΤΙΠ) ή 37% επί της συνολικής, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δημοσιευμένα στοιχεία για το 2013 (από 20% το 1980, 26% το 1990, 32% το 2000). Τα ελληνικά κτίρια καταναλώνουν ~65% της ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλλουν κατά ~52% στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 2.2: Κατανομή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα 1990 (ΕΛΣΤΑΤ 2013)



Εικόνα 2.3: Κατανομή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα 2013 (ΕΛΣΤΑΤ 2013)

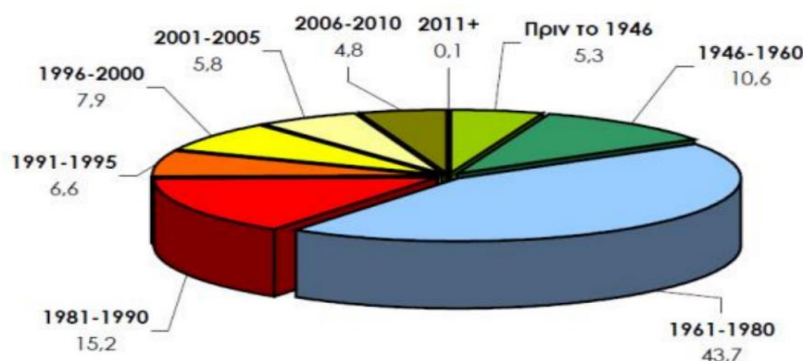
Το 2013, η τελική κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά κτίρια κατοικιών ήταν 3,8 ΜΤΙΠ (από 5,04 ΜΤΙΠ το 2012), δηλαδή ~25% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Αντίστοιχα, στα κτίρια του τριτογενή τομέα η κατανάλωση ήταν 1,8 ΜΤΙΠ ή 12% της συνολικής (από 2,23 ΜΤΙΠ το 2012). Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας τα τελευταία χρόνια είναι ενδεικτική της οικονομικής ύφεσης. Ιδιαίτερα στις κατοικίες, είναι

αποτέλεσμα της προσπάθειας μείωσης του ενεργειακού κόστους λειτουργίας τους, θυσιάζοντας ακόμη και τις εσωτερικές συνθήκες άνεσης.

Η ΕΟ 27/2012 (Ν.4342/2015, ΦΕΚ 143 Α/9.11.15) για την ενεργειακή απόδοση, προσδιορίζει ένα κοινό πλαίσιο μέτρων για την αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης στην ΕΕ προκειμένου να διασφαλιστεί η επίτευξη του πρωταρχικού στόχου 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση 20% στην τελική κατανάλωση και να προετοιμάσει το έδαφος για περαιτέρω βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης στο μέλλον. Για την επίτευξη των στόχων, τα κράτη μέλη της ΕΕ θα πρέπει να θεσπίσουν μακροπρόθεσμη στρατηγική για την κινητοποίηση επενδύσεων με στόχο την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος. Σύμφωνα με το εθνικό σχέδιο δράσης ενεργειακής απόδοσης (ΕΣΔΕΑ) για την υλοποίηση των στόχων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης για το 2020 που υπέβαλε το ΥΠΕΚΑ στην ΕΕ, επικαιροποιήθηκαν οι εθνικοί στόχοι. Συγκεκριμένα, σε σχέση με τα κτίρια, τα μέτρα πολιτικής στοχεύουν κυρίως στις κατοικίες, με σύνολο νέων ετήσιων εξοικονομήσεων ίσο με περίπου 523 κΤΙΠ (6,1 TWh) μέχρι το 2020.

2.2. Ελληνικό Κτιριακό Απόθεμα

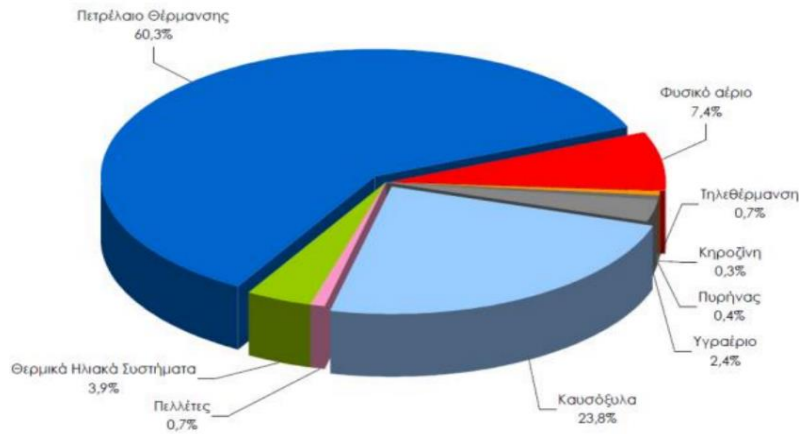
Σύμφωνα με τα πρόσφατα στοιχεία έρευνας της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής για την κατανάλωση ενέργειας στα ελληνικά νοικοκυριά, περίπου το 60% των ελληνικών κτιρίων κατασκευάστηκαν πριν από το 1980, δεν διαθέτουν θερμομόνωση και παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ παράλληλα στην πλειοψηφία τους διαθέτουν παλιές Η/Μ εγκαταστάσεις.



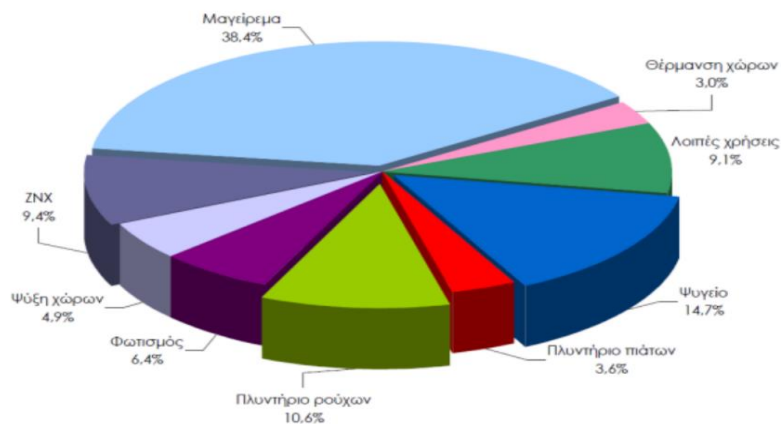
Εικόνα 2.4: Κατανομή κατοικιών κατά περίοδο κατασκευής (ΕΛΣΤΑΤ 2013)

Κατά μέσο όρο, κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει 13.994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του (73,2% θερμική και 26,8% ηλεκτρική

ενέργεια). Ανάλογα την τελική χρήση, 63,7% της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργεια χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, 17,3% για μαγείρεμα, 10,2% για ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, 5,7% για ζεστό νερό χρήσης (ZNX), 1,7% για φωτισμό, και 1,3% για ψύξη.



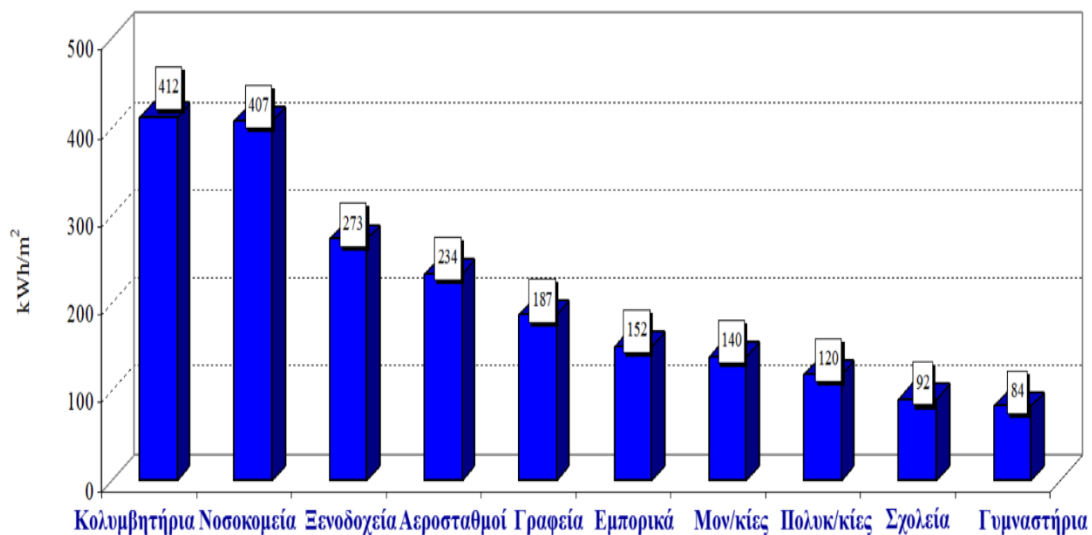
Εικόνα 2.5: Κατανομή κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά τύπο καυσίμου (ΕΛΣΤΑΤ 2013)



Εικόνα 2.6: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση (ΕΛΣΤΑΤ 2013)

Η πλειοψηφία του κτιριακού αποθέματος είναι κτίρια κατοικιών (περίπου 77%) και το 23% είναι κτίρια του τριτογενή τομέα. Για να συγκρίνουμε την κατανάλωση ενέργειας μεταξύ διαφορετικών κτιρίων η κατανάλωση ενέργειας ανάγεται ανά μονάδα επιφανείας του κτιρίου (kWh/m^2). Οι τιμές που παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα είναι ο μέσος όρος πραγματικών συνολικών καταναλώσεων ενέργειας σε Ελληνικά κτίρια, με διαφορετική τελική χρήση.

Η σύγκριση αναδεικνύει τα πλέον ενεργοβόρα κτίρια. Επειδή όμως πρόκειται για πραγματικές καταναλώσεις ενέργειας, χρειάζεται προσοχή στην ερμηνεία των στοιχείων. Για παράδειγμα, τα σχολεία δεν είναι απαραίτητο ότι αποτελούν τα καλύτερα ενεργειακά κτίρια, γιατί πρέπει να λάβουμε υπόψη τη περίοδο λειτουργίας και τις άλλες Η/Μ εγκαταστάσεις. Επίσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή οι εσωτερικές συνθήκες που επικρατούν στα κτίρια. Τα ιστορικά στοιχεία που παρουσιάζονται είναι ενδεικτικά, αφού προέρχονται από διαφορετικές περιόδους συλλογής των δεδομένων. Οι πραγματικές καταναλώσεις των κτιρίων τα τελευταία χρόνια έχουν μειωθεί σημαντικά εξαιτίας της προσπάθειας περιορισμού του λειτουργικού τους κόστους, εξαιτίας της οικονομικής κρίσης.



Εικόνα 2.7: Μέση ετήσια συνολική τελική (πραγματική) κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας κτιρίου (kWh/m²) για διάφορες τελικές χρήσεις Ελληνικών κτιρίων του οικιακού και τριτογενή τομέα.

Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση εξαρτάται από την περιοχή (κλιματολογικές συνθήκες), το μέγεθος και την κατασκευή του κτιρίου, τον τύπο και την κατάσταση του μηχανολογικού εξοπλισμού, και τις επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες. Ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) τέθηκε σε ισχύ μόλις το 1980. Σαν αποτέλεσμα, ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων δεν έχουν θερμομόνωση, παρά το γεγονός ότι οι βαθμομέρες θέρμανσης ξεπερνούν τις 2600 στο βόρειο τμήμα της χώρας. Επίσης, κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας της εφαρμογής του ΚΘΚ, η πλειοψηφία των κτιρίων δεν είχαν πλήρη θερμομόνωση στο φέροντα οργανισμό για την αποφυγή των θερμογεφυρών.

Τα υφιστάμενα κτίρια κατοικίας καταναλώνουν ~36% της ηλεκτρικής ενέργειας και συμβάλλουν κατά ~32% στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Από προγενέστερες μελέτες, η τυπική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση σε κτίρια κατοικιών πριν το 1980 είναι περίπου 140 kWh/m² σε μονοκατοικίες και 96 kWh/m² σε πολυκατοικίες, ενώ για τα νεότερα κτίρια εκτιμάται σε 92-123 kWh/m² και 75-94 kWh/m², αντίστοιχα. Τα κτίρια κατοικιών που αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία του κτιριακού αποθέματος προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ:

- 45,6% δεν διαθέτει κανένα είδος θερμομόνωσης
- 54,4% διαθέτει κάποιο είδος θερμομόνωσης, η οποία αναλύεται ως εξής:
 - 26,0% διπλά τζάμια
 - 14,4% διπλά τζάμια και θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας
 - 1,4% διπλά τζάμια, θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας και άλλο είδος θερμομόνωσης
 - 1,0% διπλά τζάμια και άλλο είδος θερμομόνωσης
 - 6,3% θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας
 - 0,3% θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας και άλλο είδος θερμομόνωσης
 - 5,0% άλλο είδος θερμομόνωσης.

Κεφάλαιο 3

3. Παθητικά Κτίρια – Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

3.1. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων, είτε εσωτερικών, είτε εξωτερικών, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψιν το τοπικό κλίμα της εκάστοτε περιοχής και με απώτερο σκοπό να εξασφαλισθούν συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης, μέσω της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας και άλλων περιβαλλοντικών πηγών αλλά και φυσικών φαινομένων του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στα εν λόγω κτίρια με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός θεωρείται από πολλούς ως μια νέα αρχιτεκτονική θεώρηση η οποία σχετίζεται με την οικολογία και την εξοικονόμηση ενέργειας και έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων παγκοσμίως. Παράλληλα στα περισσότερα κράτη πλέον αποτελεί βασικό κριτήριο σχεδιασμού είτε μικρών είτε μεγάλων οικοδομημάτων το οποίο λαμβάνεται υπόψιν από όλους τους μελετητές (αρχιτέκτονες και μηχανικούς) κυρίως λόγω των πολύ μικρών ενεργειακών απαιτήσεων.

Μια από τις βασικές αρχές στην οποία στηρίζεται αυτού του είδους ο σχεδιασμός είναι η θερμική προστασία των κτιρίων τόσο τους κρύους όσο και τους ζεστούς μήνες, χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος και σχετίζονται άμεσα με την θερμομόνωση και την αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του. Παράλληλα, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό γίνεται εφικτό μέσω του προσανατολισμού των χώρων και κυρίως των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) αλλά και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες.

Επιπρόσθετα με βάση τις αρχές του σχεδιασμού αυτού, τα κτίρια σκιάζονται με κατάλληλες διαμορφώσεις κελύφους ώστε να προστατεύονται τους καλοκαιρινούς μήνες από τον ήλιο ενώ επίσης μελετώνται μέθοδοι απομάκρυνσης της θερμότητας που συσσωρεύεται στο κτίριο τους μήνες αυτούς, μέσω συστημάτων και τεχνικών

παθητικού δροσισμού όπως είναι ο φυσικός αερισμός τις νυχτερινές ώρες. Σίγουρα ιδιαίτερη σημασία δίνεται και στην εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού και ελέγχου της φωτεινής ακτινοβολίας με σκοπό να υπάρχει ομαλή κατανομή και βέβαια επάρκεια φωτός μέσα τους χώρους του κτιρίου. Αναπόσπαστο κομμάτι του βιοκλιματικού σχεδιασμού αναμφίβολα είναι και το εξωτερικό περιβάλλον των κτιρίων στο οποίο δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα και στη βελτίωση του οποίου ακολουθούνται όλες οι παραπάνω αρχές.

Ανάμεσα σε όλα τα παραπάνω, είναι αναγκαίο να υπογραμμιστεί πως τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα είναι ένα από τα αναπόσπαστα κομμάτια και ουσιαστικά ορίζουν τον βιοκλιματικό σχεδιασμό. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν χωρίς να καταναλώνουν επιπρόσθετη ενέργεια και χωρίς μηχανολογικό εξοπλισμό, με τελικό σκοπό να θερμαίνουν, αλλά και να δροσίζουν όταν χρειάζεται τους χώρους του κτιρίου. Τα παθητικά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες με βάση τη χρησιμότητα που έχουν:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης
- Παθητικά συστήματα φυσικού δροσισμού
- Συστήματα φυσικού φωτισμού.

Επομένως, ο απώτερος στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού, είναι η ομαλή συνύπαρξη και εύρυθμη λειτουργία όλων των αναφερθέντων συστημάτων ώστε να προκύπτουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

3.2. Παθητικό Κτίριο

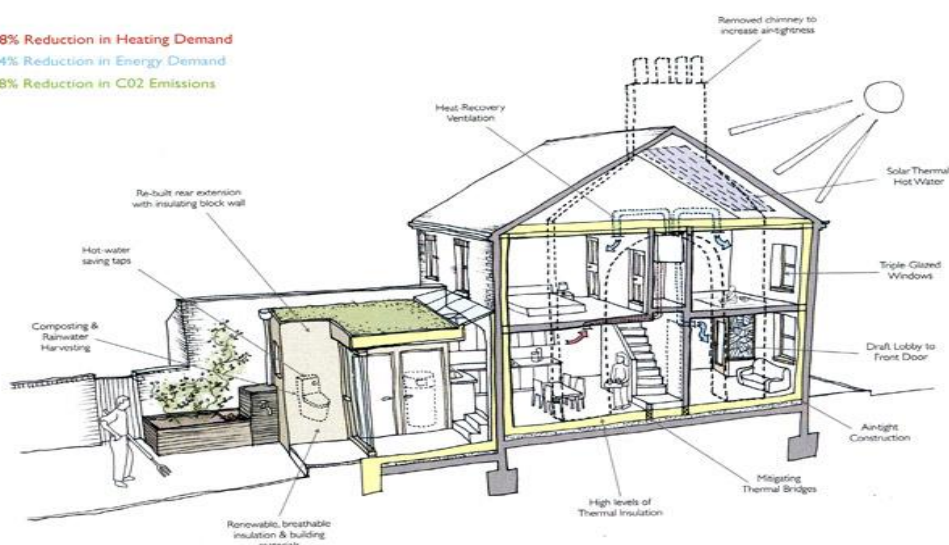
Το κτίριο το οποίο μελετάται στην παρούσα εργασία είναι κατασκευασμένο στο πρότυπο του Παθητικού Κτιρίου. Το πρότυπο αυτό είναι κατά πολλούς το βέλτιστο πρότυπο κατασκευής κτιρίων στον κόσμο, το οποίο συνεχώς εξελίσσεται. Περιλαμβάνει δομές και στοιχεία από το βιοκλιματικό σχεδιασμό, τη βιωσιμότητα των κτιρίων, την ενεργειακή αποδοτικότητα και άλλα. Κύριος στόχος, είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η ποιότητα ζωής των χρηστών.

3.2.1. Πρότυπο Παθητικού Κτιρίου

Ορισμός: "Το παθητικό κτίριο είναι ένα κτίριο στο οποίο η εσωτερική θερμική άνεση (ISO 7730) εξασφαλίζεται αποκλειστικά από προθέρμανση ή πρόψυξη της ποσότητας του νωπού αέρα, η οποία απαιτείται (DIN 1946) για την σωστή εσωτερική ατμόσφαιρα, χωρίς τη χρήση επιπλέον ανακυκλοφορίας του αέρα."

Το παθητικό κτίριο (Passive House) είναι ένα πρότυπο κτιρίου το οποίο προσφέρει ταυτόχρονα υψηλή ενεργειακή απόδοση, άνεση, οικονομία και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Το Παθητικό Κτίριο δεν είναι ένα εμπορικό σήμα, αλλά μια σχεδιαστική φιλοσοφία που είναι ανοικτή σε όλους και αυτό έχει αποδειχθεί στην πράξη. Ως εκ τούτου, το παθητικό κτίριο είναι κάτι περισσότερο από "απλώς" ένα ενεργειακά αποδοτικό κτίριο. Επομένως, πρόκειται για ένα καθαρά υπολογιστικό πρότυπο που βασίζεται αποκλειστικά στις αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, αρχών της φυσικής, την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου και ως εκ τούτου δεν έχει συγκεκριμένες μεθόδους κατασκευής. Λόγω αυτού, το κάθε κτίριο μπορεί και πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα, στο κλίμα της περιοχής.

Αυτού του είδους τα κτίρια σχεδιάζονται ώστε να διατηρούν όλο το χρόνο μια άνετη και ευχάριστη θερμοκρασία με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα κτίρια θερμαίνονται παθητικά, δηλαδή κάνουν αποτελεσματική χρήση του ήλιου, των εσωτερικών πηγών θερμότητας και της ανάκτησης θερμότητας, με αποτέλεσμα τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης να μην είναι απαραίτητα ακόμη και τις κρύες ημέρες του χειμώνα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί παθητικές τεχνικές ψύξης, όπως είναι ο σωστός σχεδιασμός σκίασης και νυχτερινού φυσικού αερισμού, προκειμένου να διατηρείται δροσερό.



Εικόνα 3.1: Πρότυπο Παθητικού Κτιρίου

Σύμφωνα με το Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου (ΕΙΠΑΚ) οι συγκεκριμένες κατασκευές χρησιμοποιούν έως και 90% λιγότερη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη από τα συμβατικά κτίρια της Κεντρικής Ευρώπης, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερο από 1,5 λίτρο πετρελαίου ή 1,5 κυβικό μέτρο φυσικού αερίου το χρόνο, για τη θέρμανση ενός τετραγωνικού μέτρου κατοικήσιμου χώρου. Εξαιρετικά μεγάλη οικονομία, όμως, επιτυγχάνεται και στις θερμότερες περιοχές, όπου τα κτίρια χρειάζονται ψύξη. Ο περιορισμός της χρήσης ενέργειας οδηγεί σε περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και έτσι το ΠΚ αποτελεί μια αειφόρο επιλογή σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές.

Παράλληλα, σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας των Παθητικών Κτιρίων προκύπτουν ιδιαίτερα μειωμένες απαιτήσεις εξόδων, ενώ παράλληλα το κόστος κατασκευής τους είναι αρκετά προσιτό. Η επένδυση στην ποιότητα των υλικών κατασκευής, βάσει των προδιαγραφών του Προτύπου Passive House, εξισορροπείται από την απουσία αναγκαιότητας αγοράς συμβατικών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το ΕΙΠΑΚ η επένδυση αυτή στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολλαπλά φθηνότερη και μακροπρόθεσμα αποδοτικότερη από την μονομερή επένδυση σε ΑΠΕ ή την εύκολη λύση της «αλλαγής καυσίμου».

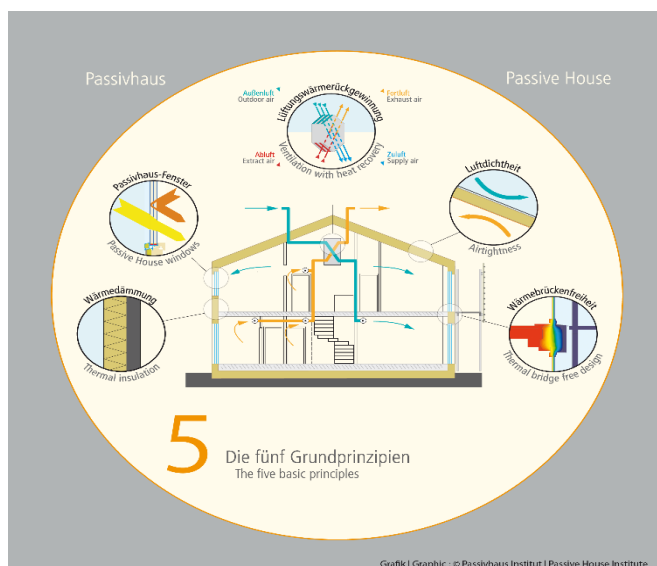
Επιπλέον, τα Παθητικά Κτίρια επιτυγχάνουν θερμική άνεση χώρου με πολύ χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Τα μηχανικά συστήματα αερισμού με ανάκτηση ενέργειας, παρέχουν συνέχεια τον απαιτούμενο καθαρό αέρα προσφέροντας την επιθυμητή ποιότητα ατμόσφαιρας, χωρίς να γίνονται αντιληπτά λόγω μειωμένης στάθμης θορύβου λειτουργίας. Ο συνδυασμός σταθερών θερμοκρασιών και σωστής εναλλαγής αέρα εμποδίζουν τις φθορές από υγρασία και την ανάπτυξη μούχλας.

3.2.2. Οι πέντε βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου

Για να διατηρηθούν οι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου στις επιθυμητές συνθήκες και να επιτευχθούν τα μέγιστα ενεργειακά κέρδη ακολουθούνται οι εξής θεμελιώδεις αρχές.

- **Μόνωση:** Ένα σωστά μονωμένο κτιριακό κέλυφος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διατηρεί τη ζέση μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει μέσα σε αυτό.
- **Παράθυρα:** Τα σωστά σχεδιασμένα, μονωμένα και τοποθετημένα κουφώματα συμμετέχουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών.

- **Αερισμός με Ανάκτηση Ενέργειας:** Τα συστήματα αερισμού των Παθητικών Κτιρίων παρέχουν καθαρό αέρα, απαλλαγμένο από γύρη και σκόνη, με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας και με έλεγχο της υγρασίας.
- **Αεροστεγανότητα:** Τα Παθητικά κτίρια είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.
- **Θερμογέφυρες:** Η ελαχιστοποίηση θερμογεφυρών και ασθενών σημείων στο κτιριακό κέλυφος, συνεισφέρει στη δημιουργία ευχάριστης και σταθερής θερμοκρασίας, ενώ εξαλείφει τις φθορές από την υγρασία, ενώ αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.



Εικόνα 3.2: Οι βασικές αρχές ενός Παθητικού Κτιρίου

3.3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Τα κτίρια τα οποία δομούνται στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού (όπως είναι τα Παθητικά Κτίρια) αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων του χειμώνα, μέσω της συλλογής ηλιακής ενέργειας και την αποθήκευσή της υπό μορφή θερμότητας και την διανομή της εν συνεχεία στο χώρο. Ο μηχανισμός συλλογής της ηλιακής ενέργειας είναι βασισμένος στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ακτινοβολίας του ηλίου μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει κατά κύριο λόγο

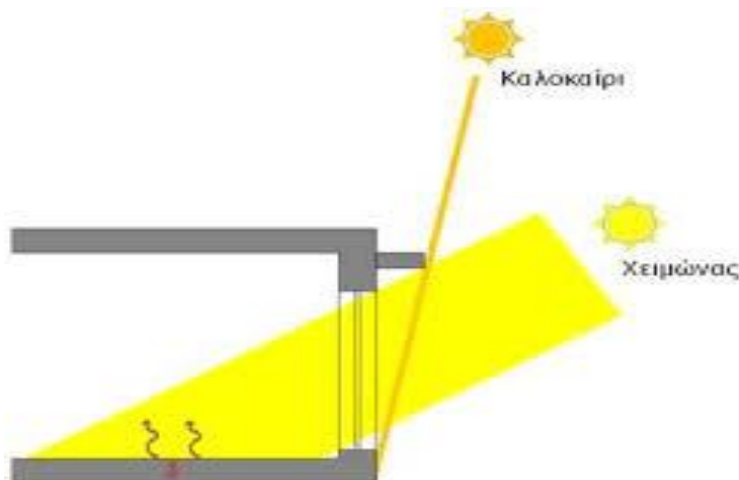
να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.

Βασική απαίτηση των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων είναι καλή θερμική προστασία του κτιρίου, όπως βέβαια και η σωστή ποσότητα και ποιότητα της θερμικής μάζας του κτιρίου. Χάρη σε αυτήν πραγματοποιείται αποθήκευση και απόδοση της θερμότητας στο χώρο με χρονική καθυστέρηση, γεγονός το οποίο είναι θετικό καθώς ομαλοποιείται η κατανομή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Πολύ σημαντικό είναι τα συστήματα αυτά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού να προστατεύονται από την ηλιακή ακτινοβολία και να υπάρχει η δυνατότητα αερισμού.

3.3.1. Συστήματα Άμεσου κέρδους

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα (αλλά και για αποφυγή της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι) είναι ο σωστός προσανατολισμός των ανοιγμάτων. Νότια ανοίγματα δέχονται την περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και, με το κατάλληλο οριζόντιο σκίαστρο, ελάχιστη το καλοκαίρι. Παράλληλα, τα ανοίγματα στο βορρά βοηθούν στην καλύτερη ποιότητα φωτισμού στο χώρο γιατί δέχονται μόνο διάχυτο και όχι άμεσο φως, συνιστώνται για το καλοκαίρι, αλλά πρέπει να είναι περιορισμένης επιφάνειας γιατί παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες και ελάχιστα κέρδη το χειμώνα. Ανατολικά και δυτικά ανοίγματα έχουν τη χειρότερη συμπεριφορά όλο το χρόνο, γι' αυτό συνιστώνται μόνο όπου είναι απαραίτητα για λόγους φωτισμού ή θέας. Ιδιαίτερα τα δυτικά ανοίγματα είναι πολύ δυσμενή το καλοκαίρι, καθώς δέχονται άμεσα ήλιο μετά το μεσημέρι. Γενικά στα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα πρέπει να προβλέπεται σκίαση κατά προτίμηση εξωτερική και κατακόρυφου τύπου.

Ο ηλιασμός των κτιρίων και μάλιστα από τη θέση του επιθυμητού προσανατολισμού, είναι συχνά δυσχερής έως αδύνατος, ιδιαίτερα σε πυκνοδομημένες περιοχές. Υπάρχουν όμως πολλές λύσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς κτιρίων σε δυσμενείς προσανατολισμούς και με ελάχιστη πρόσβαση στο άμεσο ηλιακό φως, απλά απαιτούν περισσότερη αρχιτεκτονική ευελιξία (π.χ. φεγγίτες ή κατάλληλα ανοίγματα στην οροφή). Στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού δεν είναι να καλύψει όλα τα ενεργειακά φορτία από τον ήλιο, αλλά να παρέχει τις βέλτιστες συνθήκες με τον οικονομικότερο τρόπο στα εκάστοτε τοπικά δεδομένα.



Εικόνα 3.3: Παθητικό ηλιακό σύστημα άμεσου κέρδους

Ορισμός: 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 εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τα αυξημένα νότια ανοίγματα εξαρτάται από την επιφάνεια των ανοιγμάτων, αλλά και από τη συνολική λειτουργία του κτιρίου (μόνωση, εσωτερικά κέρδη, κλίμα της περιοχής, κ.λπ.). Σε ψυχρές περιοχές, η αυξημένη γυάλινη επιφάνεια, λόγω θερμικών απωλειών τη νύχτα, μπορεί να αυξήσει το φορτίο θέρμανσης του κτιρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών αυτών απωλειών, συνιστάται νυκτερινή προστασία των ανοιγμάτων με κινητά θερμομονωτικά παντζούρια, ρολά ή κουρτίνες. Η απαιτούμενη ηλιοπροστασία για αποφυγή της θερινής υπερθέρμανσης εξασφαλίζεται από τη σκίαση των ανοιγμάτων από σταθερά ή κινητά σκίαστρα.

3.3.2. Συστήματα Έμμεσου κέρδους

Ιδιαίτερα σημαντικά είναι επίσης τα παθητικά συστήματα έμμεσου κέρδους, τα οποία όμως δεν συναντώνται τόσο συχνά όσο αυτά του άμεσου κέρδους. Συστήματα έμμεσου κέρδους είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και την αποδίδουν με έμμεσο τρόπο στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, μέσω είτε δομικών στοιχείων είτε ανοιγμάτων διαφόρων ειδών (θυρίδων, αγωγών,

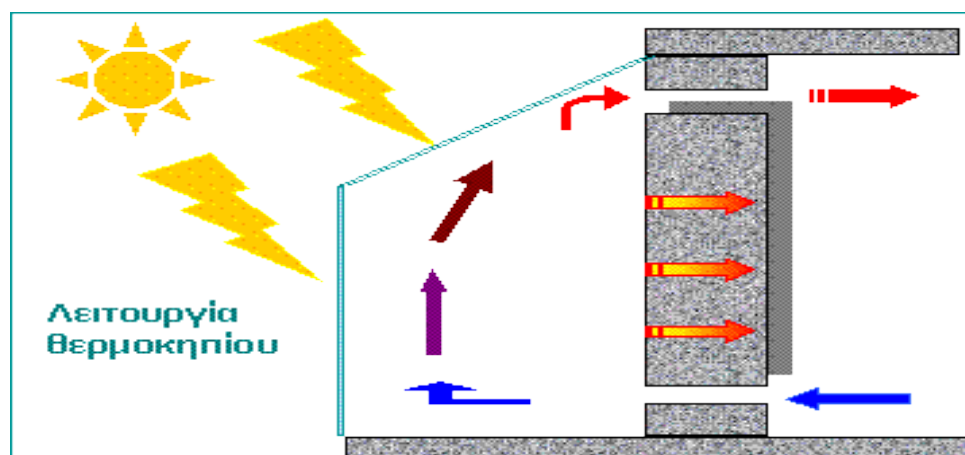
κ.ά.). Συνήθως προσαρτώνται σε νότιες όψεις κτιρίων (συνιστάται μέχρι 30° απόκλιση από το Νότο). και διακρίνονται εν γένει στις εξής κατηγορίες:

Ηλιακοί τοίχοι

Οι ηλιακοί τοίχοι αποτελούνται από τοιχοποιία συνδυαζόμενη με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5-15 cm. Η τοιχοποιία μπορεί να είναι είτε αμόνωντος τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας, είτε θερμομονωμένη κατασκευή. Παράλληλα 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. Από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις βιοκλιματικών κτιρίων σε διάφορες περιοχές της χώρας, προκύπτει ότι μπορούν να συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατοικιών σε ποσοστό 10-40% (μεγαλύτερη συνεισφορά εξοικονόμησης σε περιοχές με σχετικά ήπιο κλίμα).

Ηλιακοί χώροι (θερμοκήπια)

Πρόκειται για κλειστό χώρο, με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας, ο οποίος προσαρτάται ή ενσωματώνεται σε τμήμα του κτιριακού κελύφους. Για την αποτελεσματική του λειτουργία απαιτείται νότιος προσανατολισμός, θυρίδες ή και άλλα ανοίγματα (παράθυρα ή πόρτες) προς το εσωτερικό του κτιρίου και σύστημα σκιασμού και αερισμού. Η ηλιακή ακτινοβολία, διερχόμενη από τα νότια υαλοστάσια του θερμοκηπίου, μετατρέπεται σε θερμική και μέρος αυτής αποδίδεται άμεσα στο χώρο, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του, ενώ μέρος της αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του χώρου (θερμική μάζα) και αποδίδεται με χρονική υστέρηση.



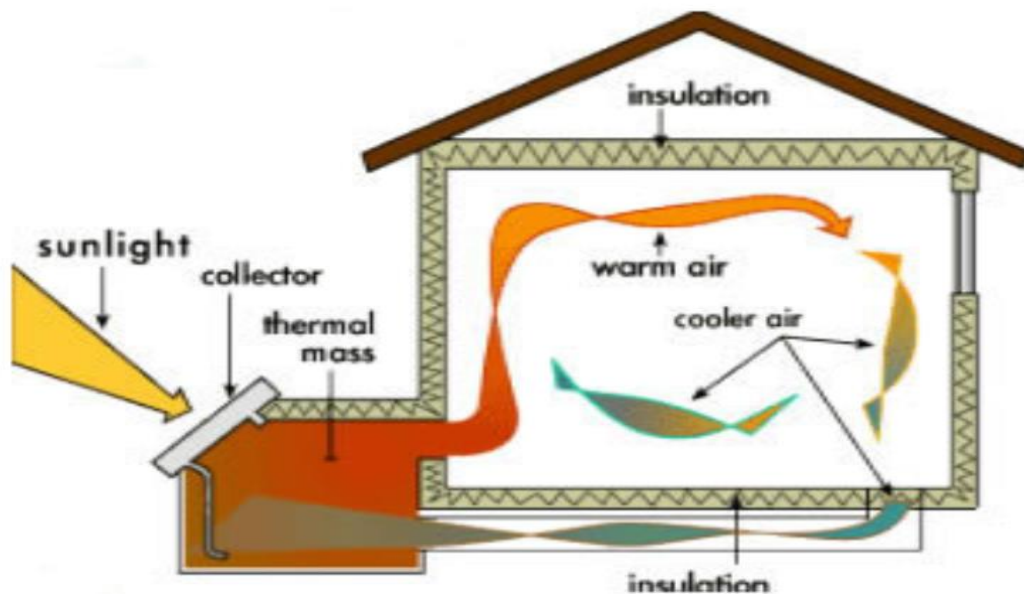
Εικόνα 3.4: Παθητικό ηλιακό σύστημα έμμεσου κέρδους (Ηλιακός χώρος)

Ηλιακά αίθρια

Ο αιθριακός χώρος ενός κτιρίου ο οποίος επικαλύπτεται με υαλοστάσια αποτελεί ένα άλλο σύστημα έμμεσου ηλιακού κέρδους. Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από το γυάλινο στοιχείο της οροφής, συσσωρεύεται στον εσωτερικό χώρο του αιθρίου και μέρος της μεταφέρεται στους περιβάλλοντες εσωτερικούς χώρους του κτιρίου ή των κτιρίων μέσω των ανοιγμάτων τους, ενώ μέρος αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία. Κατά τη χειμερινή περίοδο το ηλιακό αίθριο λειτουργεί και ως χώρος θερμικής ανάσχεσης. Κατά τη θερινή περίοδο όμως, για την αποφυγή υπερθέρμανσης, απαιτείται αερισμός του αιθρίου μέσω ανοιγμάτων στη γυάλινη οροφή καθώς και πλήρης σκιασμός.

3.3.3. Συστήματα Απομονωμένου κέρδους

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η επιφάνεια ηλιοσυλλογής δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που θερμαίνεται. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και των εσωτερικών χώρων του κτιρίου υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας. Στα συνήθη παθητικά ηλιακά συστήματα η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με μη μηχανικά μέσα και βασίζεται κυρίως στην άνωση, μεταγωγή και ακτινοβολία της θερμότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος απομονωμένου κέρδους αποτελεί το θερμοσιφωνικό πάνελ.



Εικόνα 3.5: Παθητικό ηλιακό σύστημα απομονωμένου κέρδους (Θερμοσιφωνικό πάνελ)

Το θερμοσιφωνικό πάνελ βρίσκεται εκτός του κτιριακού περιβλήματος. Αποτελείται από υαλοπίνακα, διάκενο αέρα και μεταλλική σκουρόχρωμη επιφάνεια, που φέρει μόνωση εξωτερικά. Τοποθετείται εν γένει χαμηλότερα από τους κύριους χώρους του κτιρίου με κλίση 40° περίπου. Η θερμότητα που συλλέγεται στο διάκενο αέρα, μεταφέρεται μέσω αγωγών με θερμοσιφωνική ροή είτε απ' ευθείας στους χώρους του κτιρίου, είτε σε αποθήκη θερμότητας (rock bed) απ' όπου αποδίδεται σταδιακά στους χώρους.

3.4. Συστήματα Φυσικού Δροσισμού

Ο φυσικός δροσισμός αποτελεί πρακτική για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στα κτίρια το καλοκαίρι, σε μια εποχή όπου η αύξηση της θερμοκρασίας της εγκατάστασης και χρήσης κλιματιστικών μονάδων και συστημάτων είναι ραγδαία και επιφέρει σημαντικά ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα. Τεχνικές φυσικού δροσισμού μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε κατοικίες, όσο και σε άλλα κτίρια. Για ορισμένες κατηγορίες κτιρίων (π.χ. κατοικίες και σχολεία) η εφαρμογή τους συνεπάγεται την κατάργηση της ανάγκης εγκατάστασης συστήματος κλιματισμού, για άλλες δε κατηγορίες τη σημαντική μείωση των ψυκτικών τους φορτίων και το χρόνο λειτουργίας των συστημάτων αυτών.

Βασικές βιοκλιματικές τεχνικές και συστήματα φυσικού και υβριδικού δροσισμού είναι η ηλιοπροστασία/σκιασμός του κτιρίου και ο κατάλληλος φυσικός. Από μετρήσεις σε βιοκλιματικά δροσιζόμενες κατοικίες στην Ελλάδα προκύπτει ότι η θερμοκρασία μέσα στα κτίρια είναι σημαντικά χαμηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία, ενώ παράλληλα παρατηρούνται συνθήκες άνεσης σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες, καθώς λόγω των δροσερών δομικών στοιχείων και των ρευμάτων αέρα μέσα στους χώρους η παραμονή των ενοίκων γίνεται ευχάριστη. Σε αντίθεση με τα κλιματιστικά, που λειτουργούν με χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες θερμοστάτη (π.χ. 26 °C) και επιβαρύνουν θερμικά τον περιβάλλοντα χώρο τους, τα συστήματα φυσικού δροσισμού, έχουν ήπιο τρόπο ανταλλαγής θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον

3.4.1. Φυσικός Αερισμός

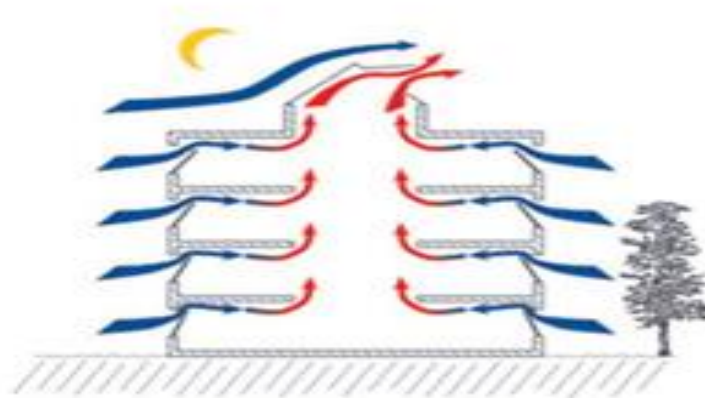
Φυσικός αερισμός κτιρίων πραγματοποιείται όταν εισέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, χωρίς τη χρήση φυσητήρων, με σκοπό τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων (π.χ. μείωση της

συγκέντρωσης αέριων ρύπων). Η είσοδος και έξοδος του αέρα από ένα κτίριο πραγματοποιείται επίσης και μέσω διαφόρων σχισμών. Ο φυσικός αερισμός 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 αερισμό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν. Παράλληλα, απομακρύνεται η αποθηκευμένη θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (όταν αυτά αποτελούνται από επαρκή θερμική μάζα), ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η θερμότητα που προσδίδεται από το ανθρώπινο σώμα στο εσωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου, ακόμα και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Ο φυσικός αερισμός, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις εξής μεθόδους:

- Διαμπερής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από Ηλιακή Καμινάδα.



Εικόνα 3.6: Φυσικός αερισμός κτιρίου

3.4.2. Ψύξη μέσω εδάφους

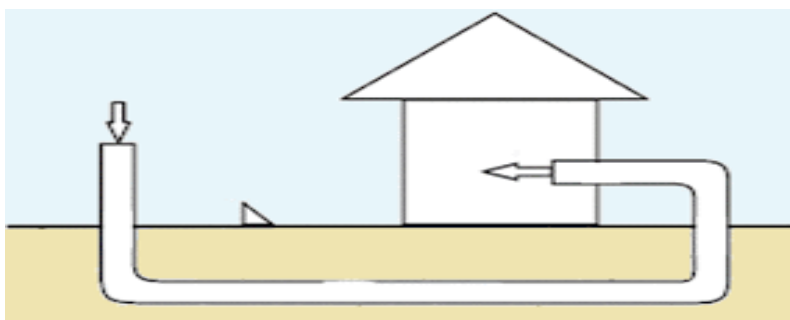
3.4.2.1. Υπόσκαφα – Ημιυπόσκαφα κτίρια

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

Σε περιοχές με πολύ ψυχρούς χειμώνες συνιστάται η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το έδαφος, ενώ σε περιοχές με θερμά καλοκαίρια συνιστάται να παραμένει αμόνωτο 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.

3.4.2.2. Υπεδάφιο Σύστημα εναλλάκτη εδάφους-αέρα

Πρόκειται για ένα σύστημα αγωγών που τοποθετείται σε βάθος 1-3 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Αυτό χρησιμοποιείται με σκοπό την μείωση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες, όπου αξιοποιεί το έδαφος (του οποίου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη κάτω από την επιφάνεια) ως απαγωγέα της θερμότητας. Ο αέρας εισάγεται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον είτε από το εσωτερικό του κτιρίου, κυκλοφορεί στο δίκτυο αγωγών με τη βοήθεια φυσητήρων και εισέρχεται στο κτίριο ψυχρότερος.



Εικόνα 3.7: Υπεδάφιο Σύστημα Αγωγών (Εναλλάκτης εδάφους – αέρα)

Παράλληλα, το σύστημα λειτουργεί και το χειμώνα, συμβάλλοντας στην προθέρμανση του ψυχρού εξωτερικού αέρα, καθώς το έδαφος είναι το χειμώνα θερμότερο από τον εξωτερικό αέρα. Το σύστημα αυτό μπορεί να συνδυαστεί με σύστημα κλιματισμού, συντελώντας στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου, καθώς μειώνει την θερμοκρασιακή διαφορά εισερχόμενου-εξερχόμενου αέρα από το σύστημα, και συνεπώς μειώνει την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος και την ενέργεια που αυτό καταναλώνει.

3.5. Σκίαση Ανοιγμάτων

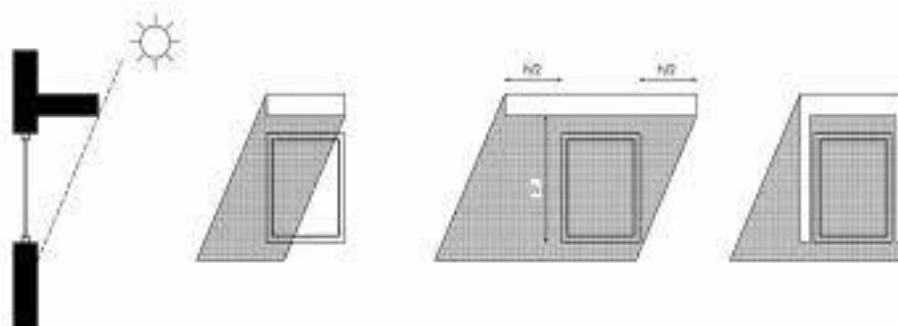
Η ηλιοπροστασία είναι η βασικότερη τεχνική για τη μείωση των θερμικών φορτίων εντός του κτιρίου τη θερινή οπερίοδο. Επιτυχής ηλιοπροστασία συνεισφέρει αφενός στη μείωση των ηλιακών κερδών στο κτίριο μέσω των διάφανων αλλά και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους, και αφετέρου στη ρύθμιση του φυσικού φωτισμού εντός των χώρων και την προστασία των ενοίκων από τη θάμπωση και την υπεριώδη ακτινοβολία.

Η προστασία από τον ήλιο για τα ανοίγματα του κτιρίου θα πρέπει να εξασφαλίζει την ελάχιστη εισερχόμενη ακτινοβολία το καλοκαίρι, συνδυάζοντας όμως τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού, αερισμού και θέας και φυσικά, να μην εμποδίζει τον απαραίτητο ηλιασμό κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης πρέπει να ελέγχεται και ο ηλιασμός των ανοιγμάτων κατά τις ενδιάμεσες περιόδους (άνοιξη-φθινόπωρο). Πολλά βέβαια εξαρτώνται και από τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων. Εν γένει ο νότιος προσανατολισμός ενδείκνυται στα κτίρια στο Βόρειο Ημισφαίριο, καθώς συνδυάζει τον απαιτούμενο ηλιασμό το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι (που ο ήλιος βρίσκεται πιο ψηλά στον ορίζοντα) δέχεται λιγότερη ακτινοβολία, η οποία ελαχιστοποιείται με ένα απλό οριζόντιο σκιάστρο

Τα σκιάστρα τα οποία είναι σταθερά μπορούν να είναι μόνο εξωτερικά του κτιρίου. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι 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 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, αποτρέπεται. 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 ενδεδειγμένες θέσεις τοποθέτησης θα αποκόπτουν μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο κατά το χειμώνα.

Παράλληλα, πολύ σημαντικός είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους του προβόλου (συσκευή σκίασης) το οποίο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου στον οποίο βρίσκεται το κτίριο. Σύμφωνα με μελέτες, για την Αθήνα ικανοποιητικές αναλογίες προβόλου είναι αυτές για τις οποίες η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της εξωτερικής πλευράς του σκιάστρου και του κατωφλιού του ανοίγματος είναι 55-60°. Οι πρόβολοι που εκτείνονται δεξιά και αριστερά των ανοιγμάτων είναι πιο αποτελεσματικοί από πρόβολους που καλύπτουν μόνο το πλάτος του παραθύρου. Για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του ήλιου για κάθε μήνα του χρόνου και για κάθε ώρα της ημέρας υπάρχουν τα ηλιακά διαγράμματα ανά γεωγραφικό πλάτος καθώς και υπολογιστικά προγράμματα.



Εικόνα 3.8: Διαφορετικοί τύποι προβόλων

Σε γενικότερο πλαίσιο και από την ενεργειακή σκοπιά είναι προτιμότερη η χρήση εξωτερικών σκιάστρων λόγω της αποτελεσματικότητάς τους στην εμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας πριν περάσει το κτιριακό κέλυφος. Αυτά μπορεί να είναι είτε ακίνητα (πρόβολος), είτε κινητά όπως παντζούρια, περσίδες, τέντες κτλ. Όσον αφορά τα εσωτερικά σκιάστρα, με σκοπό να μην παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους 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 απορριφθεί και θα μεταφερθεί υπό τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου. Για το λόγο αυτό όταν υπάρχουν εσωτερικά σκιάστρα δεν πρέπει να έχουν σκούρο χρώμα.

3.6. Μηχανικός Αερισμός με ανάκτηση ενέργειας

Ο μηχανικός αερισμός αποτελεί μια από τις πέντε βασικές αρχές στην κατασκευή του παθητικού κτιρίου. Η αναγκαιότητα για το μηχανικό εξαερισμό, δημιουργείται λόγω της τοποθέτησης παχύτερων στρωμάτων μόνωσης και στεγανών κουφωμάτων, με σκοπό να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία αεροστεγή κατασκευή όπου αποτρέπεται η φυσική «αναπνοή» του κτιρίου, γεγονός που «μεταφράζεται» σε «φτωχή» ποιότητα εσωτερικού αέρα, και δυνατότητα ανάπτυξης μούχλας. Ο αερισμός αυτού του είδους είναι απαραίτητος καθώς το κτίριο είναι αναγκαίο να αερίζεται, χωρίς όμως να χάνεται η ζέστη το χειμώνα και η δροσιά το καλοκαίρι, προσφέροντας παράλληλα την απαραίτητη ποιότητα εσωτερικού αέρα (IAQ).

3.6.1. Περιγραφή συστήματος αερισμού

Ο αερισμός των χώρων βασίζεται στις διαφορές πίεσης του αέρα. Το κτίριο, από την οπτική γωνία του αερισμού, αποτελείται από 3 ζώνες: Τις ζώνες απαγωγής αέρα, τις ζώνες εισερχόμενου φρέσκου αέρα και τις ενδιάμεσες ζώνες μεταφοράς αέρα. Ως ζώνες απαγωγής αέρα επιλέγονται δωμάτια με αυξημένα επίπεδα οσμών, υγρασίας και άλλων εκπομπών που δεν πρέπει να εξαπλώνονται σε άλλους χώρους. Τέτοια δωμάτια είναι συνήθως η κουζίνα, τα μπάνια ή βοηθητικά δωμάτια. Οι ζώνες εισερχόμενου αέρα είναι συνήθως δωμάτια με καθημερινή χρήση όπως το καθιστικό ή τα υπνοδωμάτια. Ενώ οι χώροι ανάμεσα στις παραπάνω ζώνες (διάδρομοι, προθάλαμοι) λειτουργούν ως ζώνες μεταφοράς αέρα λόγω της διαφοράς πίεσης. Η ανάκτηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με αυτό το σύστημα φτάνει μέχρι και 90% και δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη του 75%, ενώ η καταναλισκόμενη ισχύς των ανεμιστήρων περιορίζεται στα 0,45 Wh / m³.

Κεντρικό Σύστημα

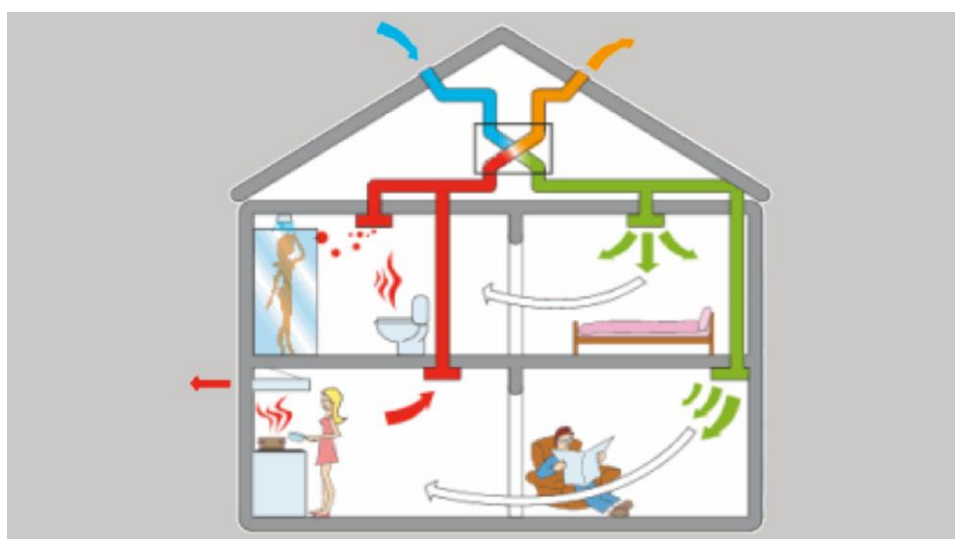
Η μονάδα μηχανικού αερισμού αποτελείται από τον ανεμιστήρα απαγωγής αέρα, τον ανεμιστήρα προσαγωγής φρέσκου αέρα, τον εναλλάκτη εναλλαγής θερμότητας, τα φίλτρα αέρος και το κέλυφος. Η μονάδα με τον ανεμιστήρα απαγωγής αποβάλλει τον αέρα από τις εξερχόμενες ζώνες (κουζίνα, μπάνια) μέσω του δικτύου αεραγωγών απαγωγής και ανακτά το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής του ενέργειας μέσω της διέλευσης του από τον εναλλάκτη εναλλαγής θερμότητας, προτού απορριφθεί στο εξωτερικό περιβάλλον. Παράλληλα, γίνεται η λήψη φρέσκου αέρα από το εξωτερικό

περιβάλλον και αφού φιλτραριστεί και διέλθει από τον εναλλάκτη, θα ανακτήσει το φορτίο που άφησε ο απορριπτόμενος αέρας και θα οδηγηθεί μέσω του δικτύου αεραγωγών στις ζώνες προσαγωγής αέρα. Από εκεί, μέσω των ανοιγμάτων (χαραμάδες εσωτερικών θυρών) ο αέρας διασχίζει διαδρόμους και προθαλάμους και καταλήγει στην κουζίνα και το μπάνιο απ' όπου και απάγεται στο σύστημα. Με αυτό τον τρόπο οι δυο τύποι αέρα (εισερχόμενος – εξερχόμενος) δεν αναμιγνύονται στο χώρο

Μη κεντρικό σύστημα

Η πιο πρόσφατη τεχνολογία, όσον αφορά το μηχανικό αερισμό με ανάκτηση ενέργειας. Πρόκειται για ένα σύστημα πολύ μικρού όγκου, το οποίο τοποθετείται απλά σε μια οπή της εξωτερική επιφάνειας του τοίχου και η εγκατάστασή του είναι πολύ πιο εύκολη από το κεντρικό σύστημα. Συνίσταται κυρίως σε ανακαινίσεις διαμερισμάτων. Σε αυτό το σύστημα ανά 70 δευτερόλεπτα γίνεται προσαγωγή και απαγωγή αέρα, ο οποίος διαπερνά έναν κεραμικό εναλλάκτη, μέσω του οποίου γίνεται ανάκτηση θερμότητας έως και 75%, που είναι το κατώτατο όριο για ένα Παθητικό Κτίριο.

Τέλος, συχνά για την προθέρμανση ή την πρόψυξη του αέρα που εισέρχεται στο σύστημα αερισμού μπορεί να τοποθετηθεί γεωθερμικός εναλλάκτης, ο οποίος είναι ένας φυσικός τρόπος μεταβολής της θερμοκρασίας κατά τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο. Σύμφωνα με μετρήσεις, ένα ιδανικό βάθος γεωθερμίας είναι τα τρία μέτρα κάτω από τη γη, καθώς από το βάθος αυτό και κάτω οι μεταβολές στη θερμοκρασία είναι μικρές.



Εικόνα 3.9: Σύστημα αερισμού με ανάκτηση ενέργειας

3.6.2. Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων

Η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον (IAQ – Indoor Air Quality) αποτελεί μια παράμετρο, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την υγεία των χρηστών του εκάστοτε κτιρίου. Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν το επίπεδο της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, όπως οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης/αερισμού, η συμπεριφορά και οι δραστηριότητες των χρηστών του κτιρίου κ.ο.κ.. Στα Παθητικά Κτίρια, την ευθύνη της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, έχει το σύστημα αερισμού, η λειτουργία του οποίου έχει ως κύριο μέλημα τη συνεχή ανανέωση του εσωτερικού αέρα, ο οποίος φιλτράρεται και συνεπώς συμβάλλει στη μείωση των ρύπων στο εσωτερικό του κτιρίου. Ο αερισμός των χώρων μπορεί να γίνει είτε μηχανικά, είτε με φυσικό τρόπο, στρατηγική κατά την οποία δεν καταναλώνεται ενέργεια αφενός, αφετέρου όμως δεν είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί σταθερή παροχή αέρα καθ' όλη την περίοδο λειτουργίας του κτιρίου. Συνολικά, το ζήτημα της ποιότητας του εσωτερικού αέρα στα κτίρια θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ιδιαιτερότητες που εμφανίζει το εκάστοτε κτίριο, τόσο στα υλικά με τα οποία έχει κατασκευαστεί, όσο και τις συνθήκες λειτουργίας και τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό περιβάλλον.

3.7. Φυσικός Φωτισμός

Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια και στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, δυνατότητα αερισμού και αξιοποίηση 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.

Με στόχο την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού προς όφελος του κτιρίου και κατ' επέκταση την επίτευξη οπτικής άνεσης είναι αναγκαίο, μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών, να εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης». 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).

Ως σύστημα φυσικού φωτισμού θεωρείται το σύνολο των:

- Υαλοπινάκων ή άλλων φωτοδιαπερατών στοιχείων
- Πλαισίων
- Διατάξεων σκιασμού

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- Ανοίγματα οροφής
- Αίθρια
- Φωταγωγοί

Κατά αντιστοιχία υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές που εφαρμόζονται στο σύστημα ή στους εσωτερικούς χώρους ώστε να βελτιωθεί η απόδοση αλλά και οι συνθήκες οπτικής άνεσης. Οι βασικότερες τεχνικές φυσικού φωτισμού είναι:

- Κατακόρυφα ανοίγματα (παράθυρα-φεγγίτες) κατάλληλων γεωμετρικών διαστάσεων
- Ανοίγματα οροφής
- Αίθρια
- Φωταγωγοί
- Ειδικό Υαλοπίνακες
- Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά
- Διαφανή μονωτικά υλικά
- Ράφια φωτισμού-ανακλαστήρες, περσίδες
- Σκίαστρα

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός τόσο των χώρων, όσο και των ανοιγμάτων θα πρέπει να εξασφαλίζει τις επιθυμητές στάθμες φωτισμού, την απαιτούμενη θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον και παράλληλα να καλύπτει τις υπόλοιπες απαιτήσεις του ενεργειακού σχεδιασμού για θερμική άνεση και ποιότητα αέρα.

Κεφάλαιο 4

4. Τοίχος Trombe – Michel

4.1. Γενική Περιγραφή

Ο τοίχος Trombe αποτελεί ένα από τα βασικότερα παθητικά ηλιακά σύστημα θέρμανσης. Όλα ξεκίνησαν από τον Edward S. Morse το 1881, ενώ η ιδέα αναπτύχθηκε πλήρως το 1960 από τον μηχανικό F.Trombe και τον αρχιτέκτονα J.Michel του ερευνητικού κέντρου C.N.R.S (Centre National de la Recherche Scientifique), οι οποίοι εφάρμοσαν την ιδέα στα πρώτα πειραματικά ηλιακά σπίτια στο Odeillo το 1967. Το σύστημα αποτελείται από έναν νότια προσανατολισμένο τοίχο μεγάλου πάχους, υψηλής θερμοχωρητικότητας, βαμμένο σε σκούρο χρώμα στην εξωτερική του πλευρά. Σε απόσταση 10cm περίπου υπάρχει υαλοστάσιο το οποίο διαχωρίζεται από τον τοίχο με ένα διάκενο αέρα. Στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου υπάρχουν θυρίδες εξαερισμού μέσω των οποίων πραγματοποιείται η διακίνηση του αέρα.

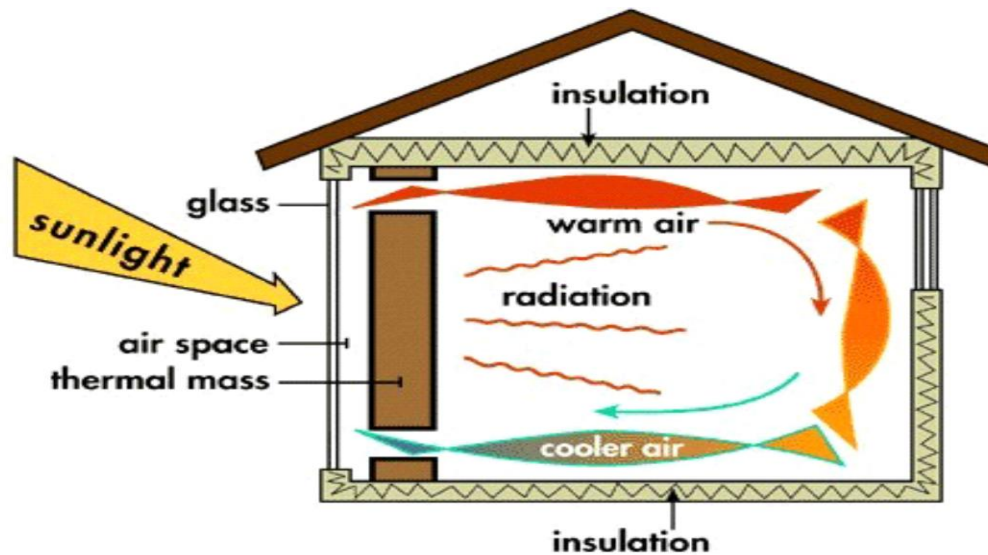
Ένα από τα βασικά φαινόμενα στα οποία βασίζεται η λειτουργία του συστήματος “Trombe Wall” είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η θερμότητα του ηλίου, υπό τη μορφή υπεριώδους ακτινοβολίας μικρού κύματος και υψηλής ενέργειας, διαπερνά την γυάλινη επιφάνεια και εγκλωβίζεται στο διάκενο. Αυτό συμβαίνει καθώς η ακτινοβολία απορροφάται από τη σκουρόχρωμη επιφάνεια και επανεκπέμπεται με τη μορφή μεγάλου μήκους κύματος υπέρυθρη ακτινοβολία. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται με αργό ρυθμό από τον τοίχο στην εσωτερική επιφάνεια. Ο χώρος πίσω από τον τοίχο (εσωτερικοί χώροι του κτιρίου – εξεταζόμενες θερμικές ζώνες) θερμαίνεται με χρονική υστέρηση που μπορεί να φτάνει τις 8 ώρες.

Παράλληλα, στο συγκεκριμένο παθητικό ηλιακό σύστημα παρατηρείται και το φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού, καθώς κατά τη διάρκεια της ημέρας η ηλιακή ακτινοβολία περνάει από το τζάμι του υαλοστασίου και θερμαίνει τον αέρα που βρίσκεται στο διάκενο. Τότε οι θυρίδες ανοίγουν και ο θερμός αέρας, λόγω υψηλότερης πυκνότητας, ανεβαίνει προς τα πάνω και περνάει στον εσωτερικό χώρο ενώ αντίστοιχα ο κρύος αέρας του δωματίου, αναπληρώνει το κενό που δημιουργείται μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου. Με σκοπό τη μείωση των θερμικών απωλειών οι θυρίδες παραμένουν κλειστές κατά τη διάρκεια της νύχτας και η θερμότητα μεταδίδεται μέσω ακτινοβολίας από τον τοίχο θερμικής μάζας στους εσωτερικούς χώρους. Το καλοκαίρι η λειτουργία του τοίχου Trombe αντιστρέφεται, αφού 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 συστήματα ηλιοπροστασίας, μιας και πρόκειται για νότιο προσανατολισμό, μπορεί να αποκλειστεί εντελώς η άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Παρακάτω παρατίθενται οι παράγοντες με βάση τους οποίους κρίνεται η αποτελεσματικότητα της απορρόφησης και της αποβολής της θερμότητας του τοίχου. Αυτοί είναι:

- Το επίπεδο του σκούρου χρώματος της επιφάνειας του τοίχου.
- Το επίπεδο της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του τοίχου.
- Η θερμοχωρητικότητα του τοίχου.
- Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας σχετικά με την επιφάνεια του τοίχου.
- Η θερμική αγωγιμότητα του τοίχου.



Εικόνα 4.1: Διάταξη τοίχου Trombe-Michel

Επομένως, όπως φαίνεται και παραπάνω ο τοίχος Trombe αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- ▶ Υαλοστάσιο
- ▶ Τοίχος θερμικής μάζας
- ▶ Διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου
- ▶ Άνω θυρίδα εξαερισμού
- ▶ Κάτω θυρίδα εξαερισμού
- ▶ Θυρίδα αποφόρτισης

4.2. Βασικά Χαρακτηριστικά

4.2.1. Τοίχος Θερμικής Μάζας

Το πιο κυριότερο μέρος του συγκεκριμένου παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης είναι ο τοίχος θερμικής μάζας, ο οποίος ευθύνεται για την συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας. Η διάταξη του τοίχου Trombe, είναι απαραίτητο να έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Το είδος της βαφής που θα χρησιμοποιηθεί για την επιφάνεια του τοίχου θερμικής μάζας ποικίλει ανάλογα με τα υλικά του τοίχου.

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

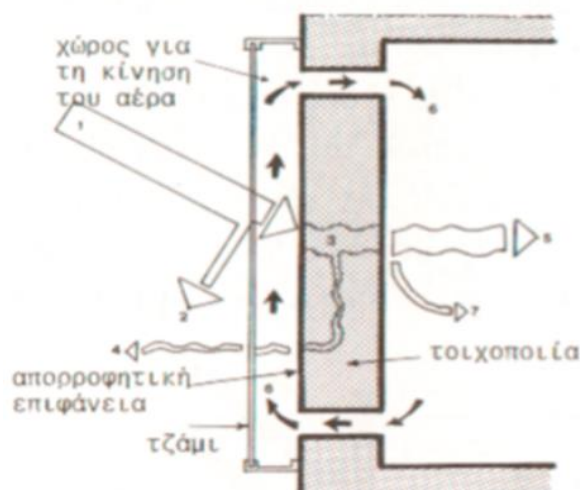
- **Πυκνότητα** η οποία υποδεικνύει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μια μονάδα όγκου. Είναι γνωστό πως όσο πιο πυκνό είναι ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας μπορεί να αποθηκεύσει.
- **Θερμική αγωγιμότητα** η οποία εκφράζει την ταχύτητα και την ευκολία με την οποία η θερμότητα να μεταφέρεται μέσω ενός υλικού. Η μεταφορά της θερμότητας οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας και γίνεται από το θερμό μέρος του υλικού στο πιο ψυχρό.
- **Ειδική θερμότητα** η οποία εκφράζει το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία συγκεκριμένης μάζας υλικού κατά 1°C.

Επομένως, ο τοίχος θερμικής μάζας κατασκευάζεται με σκοπό την αποθήκευση σημαντικών ποσών θερμότητας, αλλά και την πλήρη μετάδοση της θερμότητας αυτής στους εσωτερικούς χώρους σε ικανοποιητικά χρονικά διαστήματα. Το πάχος του τοίχου όπως και η θερμική αγωγιμότητα των υλικών από τα οποία αποτελείται ο τοίχος διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο για την άρτια λειτουργία του συστήματος. Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί πως όσο αυξάνεται το πάχος του τοίχου, τόσο μειώνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους του κτιριακού κελύφους.

4.2.2. Υαλοστάσιο

Το δεύτερο σημαντικότερο κομμάτι από το οποίο απαρτίζεται ο τοίχος Trombe είναι το υαλοστάσιο. Η βέλτιστη κατασκευή του έχει ως κύριο στόχο την παγίδευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ποσού θερμότητας από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Ένα γυαλί το οποίο αποτελείται από καλό υλικό, επιτρέπει την μετάδοση μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία και συγκρατεί την μεγάλη μήκους, προς θέρμανση της επιφάνειας συλλογής. Κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το ιδανικό υαλοστάσιο, είναι αντίσταση στην υπεριώδη ακτινοβολία, καλή θερμική ισορροπία, υψηλή αντίσταση σε διάβρωση, χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, αντίσταση σε θραύση και κρούση. Τα συνήθως χρησιμοποιούμενα υλικά υαλοστασίων είναι το γυαλί και το πλαστικό.

Αναφορικά με τον τύπο του υαλοστασίου, συνίσταται η χρήση διπλού τζαμιού, ενώ ταυτόχρονα είναι απαραίτητο το εσωτερικό να έχει μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς είναι συχνό το φαινόμενο υπερθέρμανσης. Ένας τοίχος χωρίς εξαερισμό μπορεί να φτάσει στην εξωτερική του πλευρά σε θερμοκρασίες της τάξης των 90°C, ενώ αντίστοιχα ένας με οπές αερισμού μπορεί να φτάσει τους 70°C. Το εξωτερικό κομμάτι του υαλοστασίου θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό αφού είναι αυτό που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου, ενώ μελέτες έχουν δείξει ότι το καταλληλότερο υλικό είναι το γυαλί. Παρ' όλα αυτά, πολυανθρακικά και πολυβινύλια φθοριούχα θεωρούνται επαρκή υλικά για το εσωτερικό μέρος του υαλοστασίου λόγω της αντοχής τους σε μεγάλες θερμοκρασίες.



Εικόνα 4.2: Λειτουργία τοίχου θερμικής μάζας

4.2.3. Διάκενο Υαλοστασίου – Τοίχου Θερμικής Μάζας

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 10-15 cm.

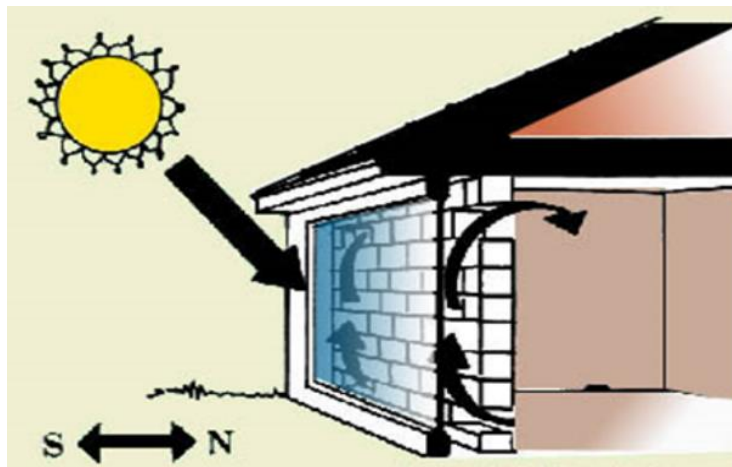
4.3. Θυρίδες Εξαερισμού

Σε ένα σύστημα τοίχου χωρίς θυρίδες εξαερισμού, ο αέρας στο διάκενο φτάνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες απ' ό,τι σε ένα σύστημα με θυρίδες. Έτσι οι απώλειες θερμότητας μέσω του υαλοστασίου είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Επομένως, είναι αναγκαίο να εξασφαλιστεί ότι θα υπάρχει αρκετή αποθήκευση θερμότητας στον τοίχο ώστε να μην υπάρχουν απώλειες από τη διείσδυση του αέρα. Ο σωστός προγραμματισμός των θυρίδων μπορεί να αποτρέψει προβλήματα υπερθέρμανσης ή έλλειψης θερμότητας. Επιπλέον είναι σημαντικό να τονιστεί πως το μέγεθος των θυρίδων επάνω στον τοίχο διαφοροποιείται σε σχέση με το μέγεθος των θυρίδων επάνω στο υαλοστάσιο.

Οι πρώτες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση, ενώ σε περίπτωση που ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης δεν έχει θυρίδες τότε κρίνεται απαραίτητο, το υαλοστάσιο να έχει και πάνω και κάτω θυρίδες. Στην περίπτωση όμως που ο τοίχος έχει θυρίδες τότε στο υαλοστάσιο χρειάζεται μόνο στο πάνω μέρος αφού οι εσωτερικές κατώτερες θυρίδες βοηθούν στην εισαγωγή κρύου αέρα στο διάκενο. Για την καλύτερη λειτουργία των θυρίδων, η απόσταση μεταξύ της πάνω και της κάτω πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Επίσης η πάνω θυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίδιου μεγέθους με την κάτω, ενώ κάποιες μελέτες έχουν υποδείξει ότι θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη για να μπορεί ο θερμός αέρας, ο οποίος είναι και πυκνότερος, να κινείται πιο εύκολα μέσω της θυρίδας. Το μέγεθος των θυρίδων είναι ένα ζήτημα το οποίο δεν έχει ξεκάθαρη απάντηση. Εάν οι θυρίδες είναι πολύ μεγάλες και καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο τότε δεν θα υπάρχει αρκετός χώρος στον τοίχο για αποθήκευση θερμότητας, ενώ αν οι θυρίδες είναι πολύ μικρές η κυκλοφορία του αέρα θα είναι αρκετά περιορισμένη. Επιπλέον, προτιμάται οι εξωτερικές θυρίδες να είναι διαφανείς έτσι ώστε να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να τις διαπερνάει.

4.3.1. Άνω Θυρίδα

Η θυρίδα εξαερισμού που βρίσκεται στο επάνω μέρος του τοίχου, όπως και αυτή που βρίσκεται χαμηλά, 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 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 ανύψωσή του και εφόσον η άνω θυρίδα εξαερισμού είναι ανοιχτή, την μεταφορά του στον εσωτερικό χώρο εάν αυτός είναι πιο ψυχρός. Επομένως, επέρχεται έτσι αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Παράλληλα, κατά τους χειμερινούς μήνες η άνω θυρίδα εξαερισμού επιλέγεται να παραμένει ανοιχτή τις ώρες όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι μέγιστη ενώ τις υπόλοιπες ώρες είναι κλειστή και η θέρμανση του εσωτερικού χώρου επιτυγχάνεται με την απόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας του τοίχου. Όσον αφορά την θερινή περίοδο, παραμένει διαρκώς κλειστή ώστε να αποφεύγεται η εισροή θερμών ρευμάτων στον χώρο.



Εικόνα 4.3: Λειτουργία Θυρίδων Εξαερισμού

4.3.2. Κάτω Θυρίδα

Η θυρίδα που βρίσκεται στο κάτω μέρος του τοίχου θερμικής μάζας, όπως και αυτή που βρίσκεται ψηλά, 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 ανοικτή 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.

4.3.3. Θυρίδα Αποφόρτισης

Η θυρίδα αποφόρτισης είναι αυτή η οποία τοποθετείται ακριβώς επάνω από το υαλοστάσιο. Η συγκεκριμένη θυρίδα είναι υπεύθυνη ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση της θερμικής ζώνης του τοίχου Trombe και κατά συνέπεια ευθύνεται για την αποβολή της συσσωρευμένης θερμότητας τόσο του της διάταξης όσο και του εσωτερικού του χώρου προς το περιβάλλον. Κατά τους χειμερινούς μήνες παραμένει κλειστή ενώ τους θερινούς μήνες ανοίγει κατά την διάρκεια της νύχτας μαζί με την κάτω θυρίδα ώστε να πραγματοποιηθεί θερμική αποφόρτιση του κτιρίου.

Κεφάλαιο 5

5. Προσομοίωση Κτιρίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το κτίριο το οποίο μελετάται έχει κατασκευαστεί στα πρότυπα του παθητικού κτιρίου με σκοπό την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση. Αυτή εν γένει προκύπτει όταν οι θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων κινούνται εντός του εύρους της θερμικής άνεσης και οι κάτοικοι δεν έχουν την ανάγκη να χρησιμοποιήσουν συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Για την επίτευξη των θερμοκρασιών αυτών, έχουν χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένα υλικά τα οποία μονώνουν κατάλληλα τους χώρους ενώ παράλληλα υπάρχει σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, το οποίο υποβοηθά τον φυσικό αερισμό των χώρων, ενώ παράλληλα μειώνει τις θερμικές απώλειες.

Το κτίριο το οποίο εξετάζεται αποτελείται από δύο ορόφους και κατασκευάστηκε στη δεκαετία του '60, ενώ αργότερα ανακαινίσθηκε στα πρότυπα του παθητικού κτιρίου (Passive House). Όπως φαίνεται και από τα σχέδια που παρατίθενται παρακάτω, βρίσκεται σε τοποθεσία με έδαφος υπό κλίση, με αποτέλεσμα το κάτω δώμα να θεωρείται υπόγειο καθώς ο ένας από τους τοίχους έχει εξ ολοκλήρου επαφή με την εδαφόπλακα. Το ισόγειο του κτιρίου το οποίο έχει επιφάνεια περί τα 100m² χρησιμοποιείται ως κατοικία δύο ατόμων, ενώ το υπόγειο το οποίο έχει εμβαδόν περί τα 45m² χρησιμοποιείται ως εργασιακός χώρος στον οποίο απασχολούνται κατά κύριο λόγο 2 εργαζόμενοι.

Πιο αναλυτικά, αρχικά πραγματοποιείται η προσομοίωση του υφιστάμενου Παθητικού Κτιρίου (Βασικό Σενάριο)¹ χωρίς να υπάρξει καμία παρέμβαση στα υλικά των επιφανειών και υποεπιφανειών του κτιρίου. Εν συνεχεία μελετώνται σενάρια που εξετάζουν τη βελτίωση των θερμοκρασιών μέσω εναλλακτικών παραθύρων, αλλά και μέσω ενίσχυσης της μόνωσης με διαφορετικά υλικά.

Επιπλέον, γίνεται μελέτη ενός επιπρόσθετου σεναρίου ώστε να εξεταστεί η δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσης των θερμοκρασιών των εσωτερικών χώρων. Έτσι σχεδιάζεται η κατασκευή μιας διάταξης τοίχου Trombe η οποία είναι ιδανική για τη

¹ Στην παρούσα εργασία Βασικό Σενάριο αποκαλείται το υφιστάμενο κτίριο χωρίς να έχει υπάρξει οποιαδήποτε παρέμβαση στα δομικά υλικά του. Στα σημεία όπου αναφέρονται εκφράσεις όπως «αρχικά παράθυρα» και «αρχικοί τοίχοι» σημαίνει πως πρόκειται για το υφιστάμενο κτίριο (βασικό σενάριο).

θέρμανση των κτιρίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπου επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα με τη συνεισφορά του τοίχου τους χειμερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού υπάρχει επιβάρυνση στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου καθώς έχουμε ανεπιθύμητη αύξηση της θερμοκρασίας. Για τον λόγο αυτό, τους «ζεστούς» μήνες τοποθετείται συσκευή σκίασης έτσι ώστε να αποτρέπεται η εισχώρηση της ακτινοβολίας στο υαλοστάσιο του τοίχου Trombe. Παράλληλα όμως η ύπαρξη της συσκευής προσφέρει και τις νυχτερινές ώρες του χειμώνα, καθώς μονώνει ουσιαστικά τον τοίχο και αποτρέπεται η εκπομπή θερμότητας από το υαλοστάσιο προς τον εξωτερικό χώρο.

Με απώτερο σκοπό να εξεταστεί σε ποιο βαθμό τα υλικά της διάταξης Trombe Wall επηρεάζουν τις θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, αναλύονται συγκεκριμένα σενάρια. Έτσι εξετάζονται τέσσερα σενάρια στα οποία πραγματοποιούνται αλλαγές στον τοίχο θερμικής μάζας και άλλα τέσσερα σενάρια που αφορούν εναλλακτικές περιπτώσεις του υαλοστασίου του τοίχου Trombe. Τέλος, με σκοπό να τονιστεί η αναγκαιότητα της συσκευής σκίασης στην διάταξη Trombe Wall, συγκρίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους με την χρήση της, αλλά και χωρίς αυτήν.

5.1. Σύντομη Περιγραφή Λογισμικών Προσομοίωσης

Για τη διεκπεραίωση της εργασίας και ειδικότερα της προσομοίωσης του κτιρίου χρησιμοποιήθηκαν κάποια ευρέως αναγνωρίσιμα στον χώρο των ενεργειακών μελετών προγράμματα. Αυτά είναι το EnergyPlus με τη βοήθεια του οποίου έγινε και το μεγαλύτερο κομμάτι της μοντελοποίησης, το OpenStudio Plug-in και το Google SketchUp 2017 μέσω του οποίου έγινε η γραφική απεικόνιση του κτιριακού κελύφους.



5.1.1. Energy Plus

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης ενέργειας κτιρίων το οποίο χρησιμοποιείται από μηχανικούς διαφόρων ειδικοτήτων, αρχιτέκτονες και ερευνητές για τη μοντελοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας (για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, εξαερισμό), την χρήση νερού σε κτίρια και την επεξεργασία φορτίων. Αυτό ουσιαστικά βασίστηκε τόσο στο πρόγραμμα BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) όσο και στο DOE-2 τα οποία αναπτύχθηκαν και βγήκαν στην αγορά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ως εργαλεία ενεργειακής προσομοίωσης και φορτίων και δημιουργήθηκαν για τον ίδιο σκοπό. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα πλήθος βοηθημάτων, όπως το IDF Editor, που χρησιμοποιείται στην δημιουργία αρχείων εισόδου χρησιμοποιώντας μια απλή διασύνδεση και το EP - Launch για τη διαχείριση αρχείων εισόδου και εξόδου και την εκτέλεση των προσομοιώσεων. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι:

- I. Καθοριζόμενα από τον χρήστη χρονικά βήματα, μικρότερα της μιας ώρας ώστε να αλληλεπιδρά η θερμική χώνη με το περιβάλλον καθώς επίσης και χρονικά βήματα τα οποία καθορίζονται για την αλληλεπίδραση μεταξύ των θερμικών ζωνών και των συστημάτων (θέρμανσης, αερισμού και ψύξης) HVAC.
- II. Τεχνική επίλυσης βασισμένη στην θερμική ισορροπία για την κατασκευή θερμικών φορτίων που επιτρέπει τον παράλληλο υπολογισμό των ακτινοβολιών και της συναγωγής στην εσωτερική όσο και στην εξωτερική επιφάνεια κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος.
- III. Μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας μέσω του εδάφους με χρήση μοντέλων που χρησιμοποιούν αναλυτικές τεχνικές.
- IV. Μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που υπολογίζει την απορρόφηση και την αποβολή υγρασίας με χρήση συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας και του μοντέλου EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model).

- V. Ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη επίλυση της συμπεριφοράς του κτιρίου αλλά και των διασυνδεδεμένων συστημάτων πραγματοποιώντας επαναλήψεις στα σημεία που κρίνεται απαραίτητο.
- VI. ASCII αρχεία σε μορφή κειμένου που περιλαμβάνουν ωριαίες πληροφορίες εισόδου και περιβαλλοντικών συνθηκών και αποτελέσματα σε μορφή που ορίζονται από το χρήστη.
- VII. Υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας με χρήση συναρτήσεων στις επιφάνειες του κτιρίου.
- VIII. Μοντέλα θερμικής άνεσης βασισμένα στη δραστηριότητα των κατοίκων, της υγρασίας κτλ.
- IX. Προηγμένους υπολογισμούς ανοιγμάτων.
- X. Συστήματα HVAC που βασίζονται σε βρόχους και επιτρέπουν στον χρήστη να διαμορφώνει τροποποιημένα συστήματα.
- XI. Υπολογισμούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως οι εκπεμπόμενες ποσότητες CO₂, SO_x, NO_x, CO και υδρογονανθράκων.



5.1.2. OpenStudio Plug-in

Το OpenStudio είναι ένα λογισμικό το οποίο διαθέτει εργαλεία για την υποστήριξη ολόκληρης της ενεργειακής μοντελοποίησης του κτιρίου, χρησιμοποιώντας το Energy Plus. Ανάμεσα στις γραφικές εφαρμογές που διαθέτει, υπάρχει το Plug-in OpenStudio για το SketchUp το οποίο είναι μια επέκταση στο δημοφιλές αυτό λογισμικό της Trimble που επιτρέπει στον εκάστοτε χρήστη να δημιουργεί εύκολα τη γεωμετρία την οποία θα εισάγει αργότερα στο EnergyPlus ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας. Οι βασικές λειτουργίες του OpenStudio Plug-in είναι:

- I. Να εισάγει δεδομένα στο Energy Plus.
- II. Να δημιουργεί και να επεξεργάζεται θερμικές ζώνες στο Energy Plus.
- III. Να κάνει προσθήκη ιδανικού συστήματος HVAC για τον υπολογισμό θερμικού φορτίου.
- IV. Να ενοποιεί επιφάνειες οι οποίες έχουν άμεση επαφή μεταξύ τους και βρίσκονται σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.
- V. Να ορίζει και να αλλάζει προεπιλεγμένες κατασκευές.
- VI. Να κάνει αναζήτηση επιφανειών με βάση το όνομα του αντικειμένου.

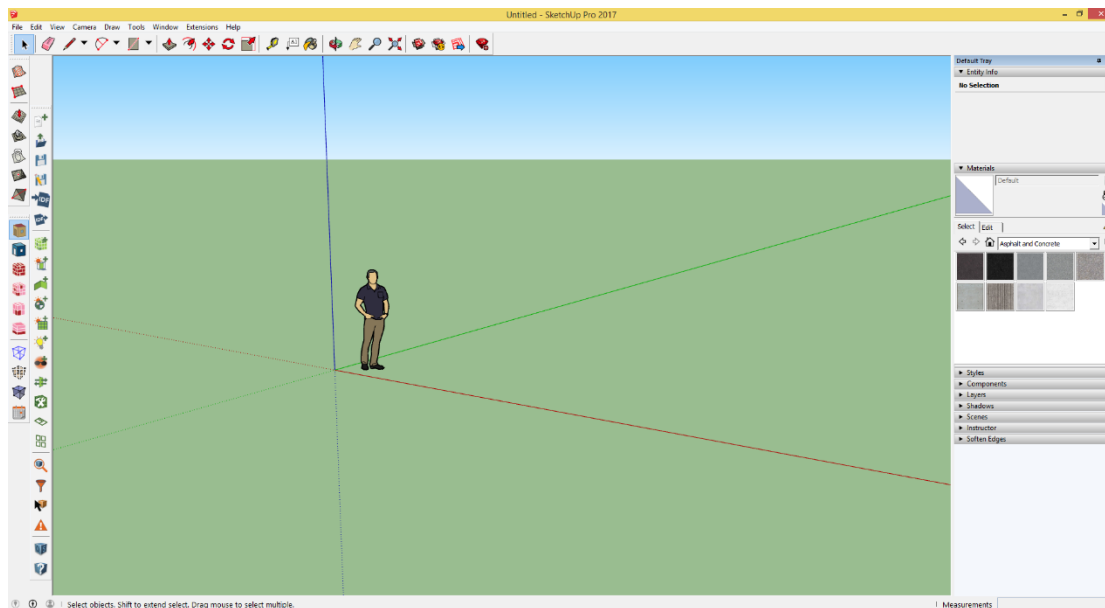


5.1.3. SketchUp

Το SketchUp είναι ένα πολύ φιλικό προς τον χρήστη σχεδιαστικό πρόγραμμα 3D μοντέλων για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σχεδίασης όπως αρχιτεκτονική, εσωτερική διακόσμηση, αρχιτεκτονική τοπίου, αστική και μηχανολογία, σχεδίαση ταινιών και βιντεοπαιχνιδιών το οποίο ανήκει στην Trimble. Επίσης υπάρχει ηλεκτρονική βιβλιοθήκη δωρεάν συγκροτημάτων μοντέλων (παράθυρα, πόρτες) στην οποία οι χρήστες μπορούν να συνεισφέρουν μοντέλα. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει λειτουργίες διάταξης σχεδίασης και βεβαίως υποστηρίζει προγράμματα "plug-in" άλλων κατασκευαστών που φιλοξενούνται σε μια τοποθεσία που ονομάζεται Extension Warehouse για την παροχή άλλων δυνατοτήτων.

5.2. Σχεδιασμός Κτιριακού Κελύφους μέσω SketchUp

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε το σχεδιαστικό περιβάλλον του SketchUp.



Εικόνα 5.1: Προγραμματιστικό Περιβάλλον SketchUp

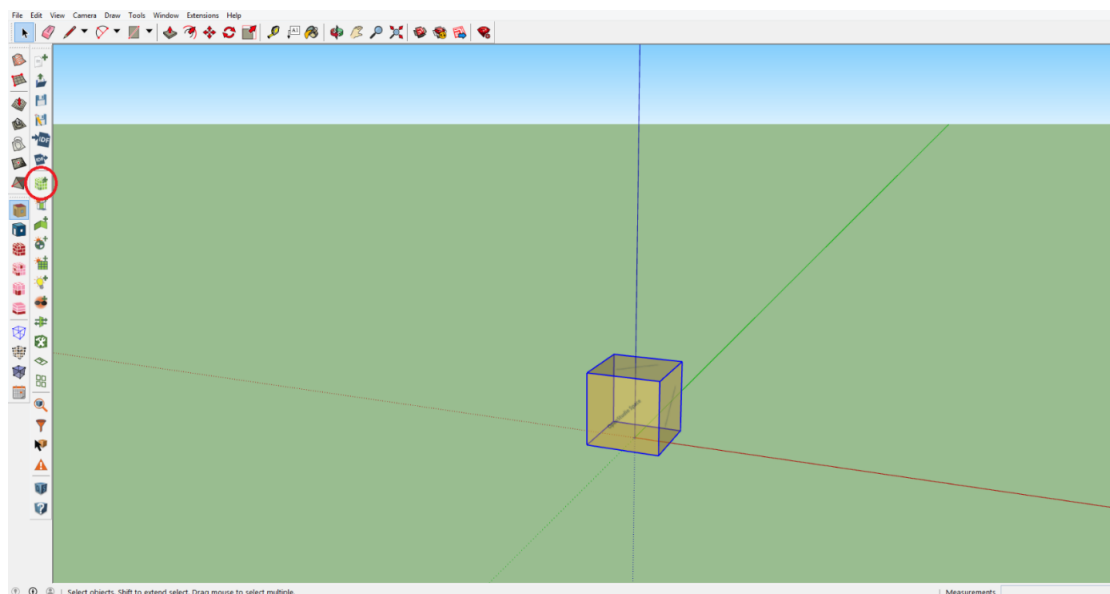
Το πρώτο πράγμα που διακρίνουμε είναι μια ανδρική φιγούρα με σκοπό να αντιληφθούμε την τάξη μεγέθους ενός κτιρίου ή οποιασδήποτε κατασκευής. Παράλληλα βλέπουμε και τους χαρακτηριστικούς άξονες, οι οποίοι είναι ένα βασικότατο βοηθητικό εργαλείο για τον σωστό σχεδιασμό του κτιριακού κελύφους

ώστε να μην παρεκκλίνει καμία επιφάνεια από τον επιθυμητό προσανατολισμό. Προφανώς οι άξονες αυτοί απιπροσωπεύουν ο καθένας κάποιον συγκεκριμένο προσανατολισμό, έτσι ο πράσινος τον βορρά (το αχνό πράσινο τον νότο), ο κόκκινος την ανατολή (το αχνό κόκκινο την δύση) και ο μπλε είναι ο κατακόρυφος άξονας.

Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως στο επάνω μέρος της οθόνης βρίσκεται η γραμμή των εργαλείων του SketchUp με τη βοήθεια των οποίων γίνεται ο σχεδιασμός των κτιρίων, ενώ στην αριστερή στήλη βρίσκονται τα εργαλεία του Open Studio Plugin τα οποία μας βοηθούν να ορίσουμε τις θερμικές ζώνες αλλά και να εισάγουμε δεδομένα προς επεξεργασία από το σχεδιαστικό περιβάλλον, σε αυτό του Open Studio. Στη συνέχεια όλα τα δεδομένα εισάγονται στο Energy Plus για την τελική επεξεργασία, κάτι που θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω.

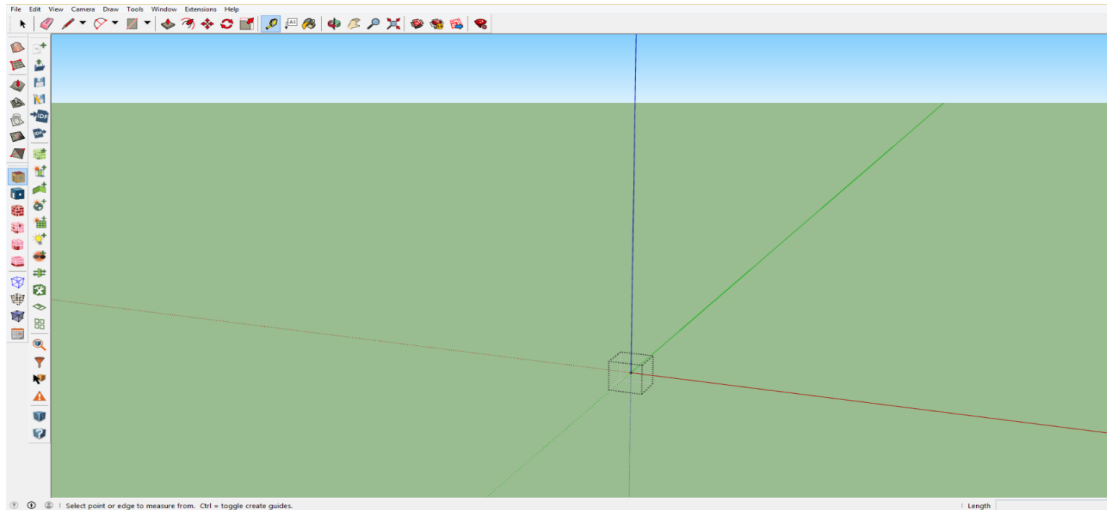
5.2.1. Σχεδιασμός Θερμικής Ζώνης Υπογείου

Προφανώς για τον σχεδιασμό του κτιρίου ήταν αναγκαία η λεπτομερής μελέτη των αρχιτεκτονικών σχεδίων τα οποία παρατίθενται και παρακάτω. Ο σχεδιασμός ξεκινάει με την επιλογή μιας θερμικής ζώνης μέσω της επιλογής (**New Space**).



Εικόνα 5.2: Εισαγωγή Θερμικής Ζώνης Υπογείου

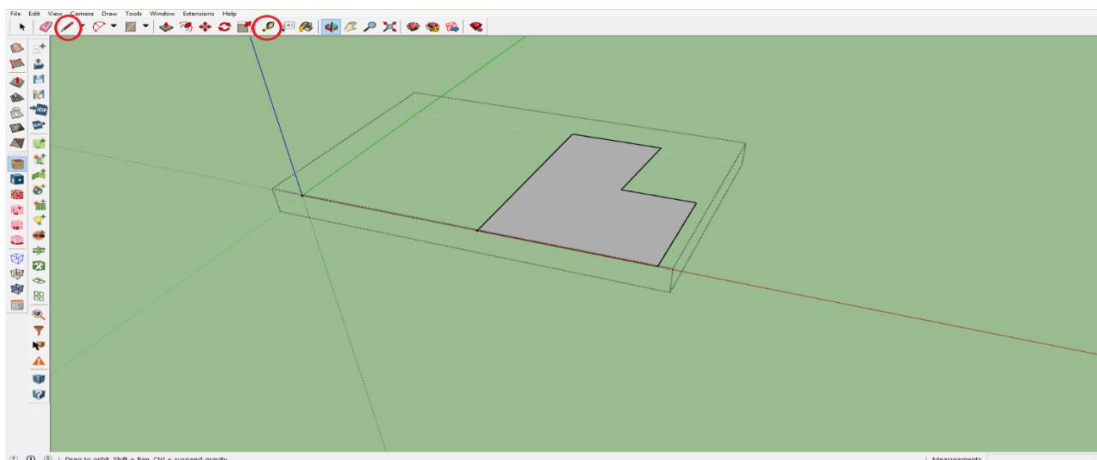
Κάνοντας διπλό κλικ στον κύβο, ενεργοποιείται η θερμική ζώνη εντός της οποίας ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει το κτίριο που επιθυμεί και του οποίου οι επιφάνειες θα αναγνωρίζονται ως κατασκευή αργότερα από το EnergyPlus.



Εικόνα 5.3: Ενεργοποίηση της Θερμικής Ζώνης Υπογείου

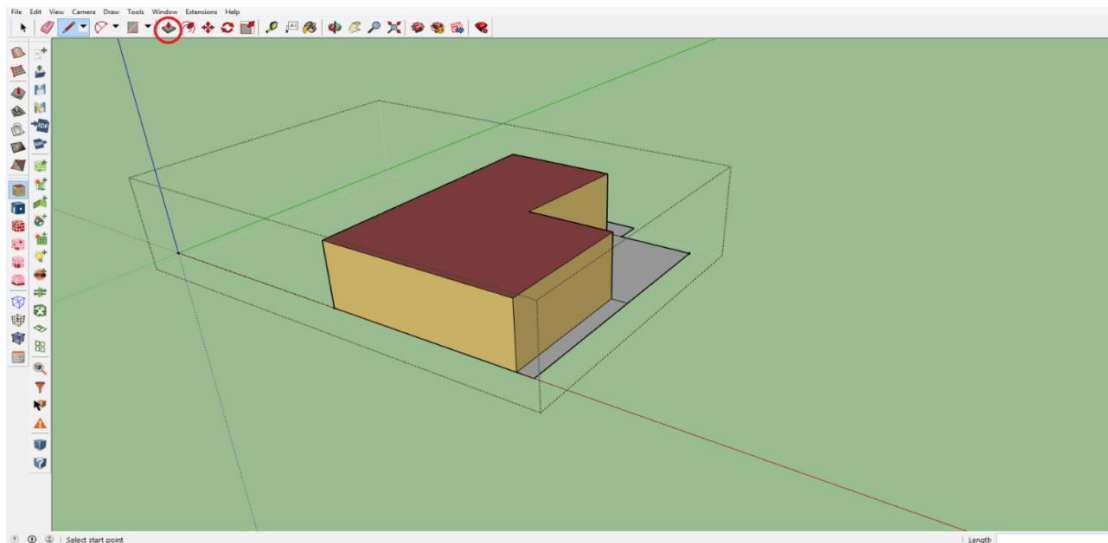
5.2.1.1. Σχεδιασμός Κελύφους Υπογείου

Στη συνέχεια χαράσσεται στο έδαφος το δισδιάστατο μοντέλο της κάτοψης του υπογείου, εντός των ορίων της ενεργειακής περιοχής που έχουμε ορίσει. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιούνται τα εργαλεία τα οποία φαίνονται κυκλωμένα στην παρακάτω εικόνα. Τα εργαλεία αυτά είναι το **(Paint)** το οποίο χρησιμοποιείται για να χαράξει ευθείες, δηλαδή τα όρια το δισδιάστατου μοντέλου που σχεδιάζουμε, και οποίες στην προκειμένη περίπτωση αντιστοιχούν στις επιφάνειες των τοίχων του υπογείου. Το δεύτερο εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι το **(Measuring Tool)** που αποτελεί ένα ιδιαίτερα βασικό βοήθημα ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα απόδοσης διαστάσεων στις παραπάνω γραμμές. Παράλληλα το συγκεκριμένο εργαλείο έχει τη δυνατότητα να χαράσσει διακεκομμένες γραμμές (αόρατες γραμμές) επάνω σε επιφάνειες, δημιουργώντας έτσι ένα πολύ βοηθητικό προσχέδιο.



Εικόνα 5.4: Σχεδιασμός Ορίων Υπογείου

Ιδιαίτερα σηνατικό είναι να αναφερθεί πως και στα δυο παραπάνω εργαλεία, κατά την χάραξη γραμμών (κανονικών είτε διακεκομμένων) το πρόγραμμα δίνει υποβοήθηση, αλλάζοντας το χρώμα της γραμμής και κάνοντάς το ίδιο με το χρώμα του άξονα με τον οποίο είναι εκείνη τη στιγμή παράλληλη. Αυτό είναι βασικό καθώς επιτυγχάνεται πολύ εύκολα η καθετότητα των γραμμών και κατ επέκταση των επιφανειών, που συνήθως χρειάζεται στη σχεδίαση των κτιρίων.



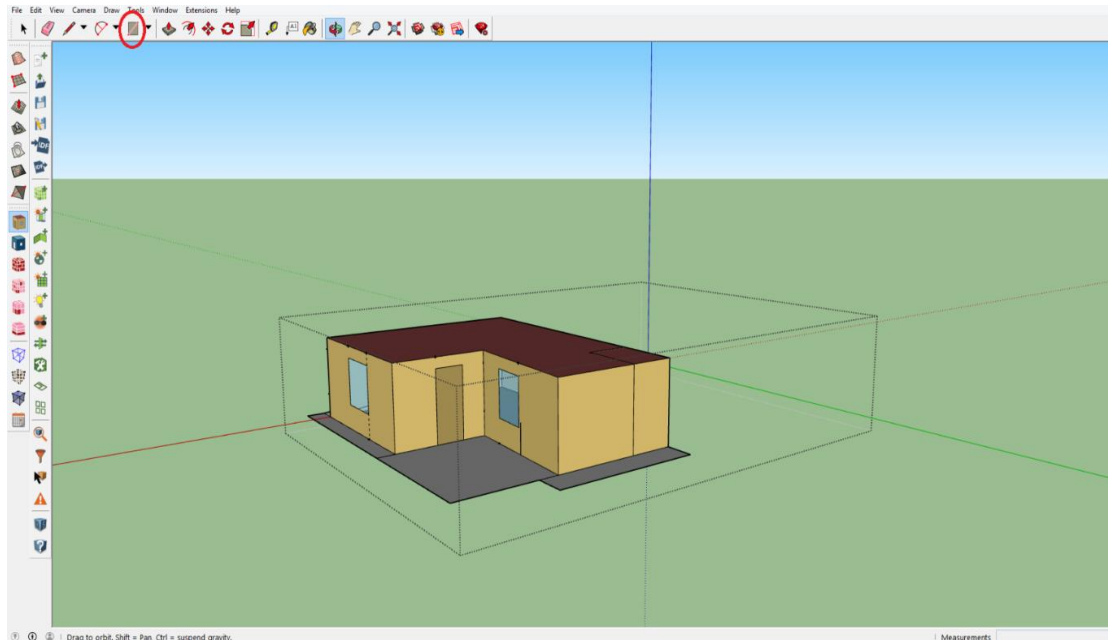
Εικόνα 5.5: Ολοκλήρωμένο Κτιριακού Κελύφους Υπογείου

Εν συνεχεία, με σκοπό να δώσουμε τρισδιάστατη μορφή στο σχέδιο το οποίο έχουμε κάνει στο δάπεδο, χρησιμοποιούμε την εντολή **(Pull/Push)** η οποία φαίνεται κυκλωμένη στην παραπάνω εικόνα και βοηθάει στο να υψώσουμε το κτίριο στο επιθυμητό ύψος. Είναι εμφανές πως οι τοίχοι, έχουν διαφορετικό χρώμα από την οροφή και το δάπεδο και αυτό συμβαίνει καθώς η σχεδίαση έχει πραγματοποιηθεί εντός της θερμικής ζώνης, όπου το Open Studio ομαδοποιεί αυτομάτως τις επιφάνειες (δάπεδο, τοίχος, οροφή) αποδίδοντάς τους διαφορετικά χαρακτηριστικά.

5.2.1.2. Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Υπογείου

Ιδιαίτερα βασικό σημείο στη μοντελοποίηση του κτιρίου είναι ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα). Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούμε το **(Measuring Tool)** όπως και προηγουμένως ώστε να ορίσουμε τα όρια του προς σχεδιασμού παραθύρου ή πόρτας. Αφού γίνει αυτό, επιλέγεται το εργαλείο **(Shapes → Rectangle)**,

το οποίο βοηθάει στο σχηματισμό ορθογώνιων γεωμετριών, και σχεδιάζονται τα παράθυρα και οι πόρτες με τις κατάλληλες διαστάσεις επάνω στις επιφάνειες στις οποίες θα εδράζονται, όπως φαίνεται και παρακάτω.

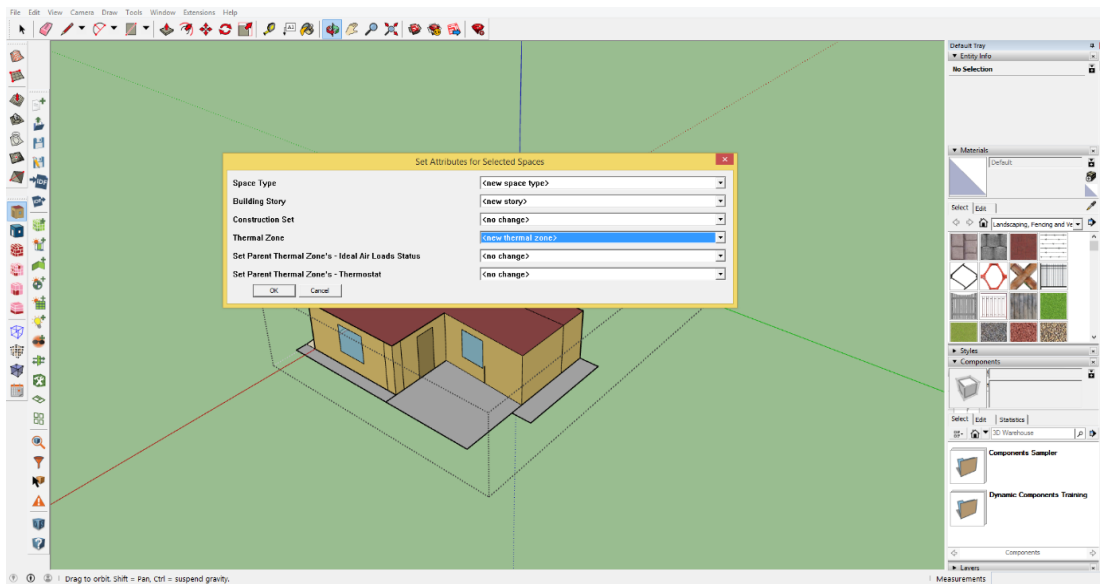


Εικόνα 5.6: Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Υπογείου

Σε αυτό το σημείο υπογραμμίζεται πως το πρόγραμμα, εφόσον έχουμε επιλέξει να σχεδιάσουμε εντός της θερμικής ζώνης, αναγνωρίζει χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, αν το σχήμα το οποίο σχεδιάζεται επάνω στην επιφάνεια είναι παράθυρο ή πόρτα. Το Open Studio ελέγχει αν το ορθογώνιο αυτό εφάπτεται στο εδάφος και αν ναι, τότε πρόκειται για πόρτα, διαφορετικά πρόκειται για παράθυρο.

5.2.1.3. Καθορισμός Χαρακτηριστικών Θερμικής Ζώνης Υπογείου

Για να μεταφέρουμε τα δεδομένα της θερμικής ζώνης, τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια της μοντελοποίησης, στο Open Studio επιλέγουμε την εντολή **(Set Attributes For Selected Spaces)** και καθορίζουμε τα χαρακτηριστικά της ζώνης όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 5.7: Καθορισμός Χαρακτηριστικών – Set Attributes

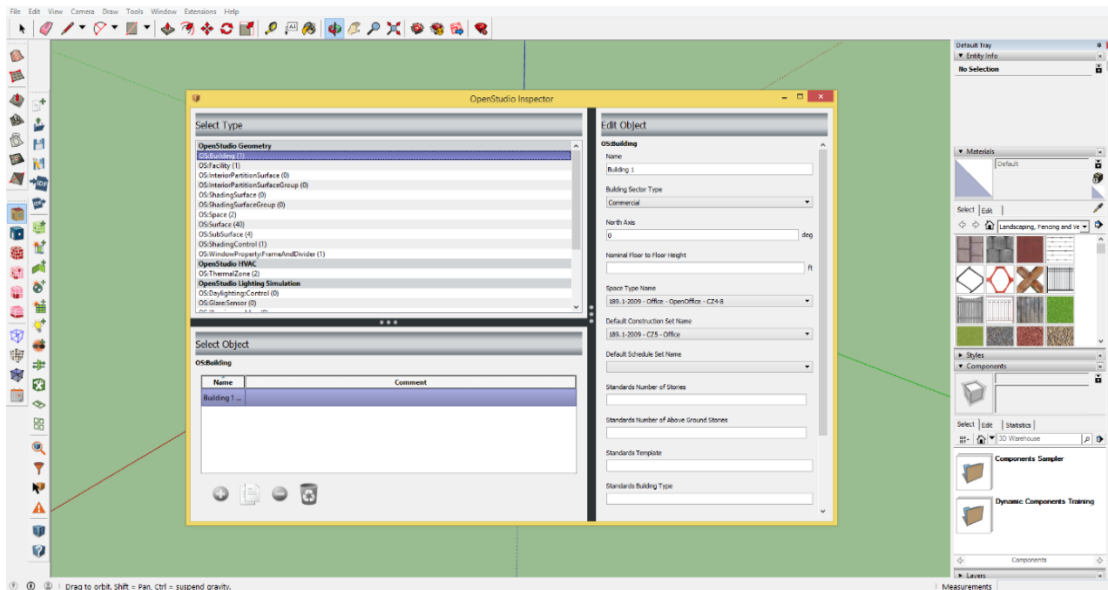
Εκεί μπορούμε να διακρίνουμε τις έξι κατηγορίες τις οποίες καλούμαστε να συμπληρώσουμε, και οι οποίες είναι:

- Τύπος χώρου: Στην κατηγορία (**Space Type**) ο χρήστης καθορίζει το είδος του χώρου. Αυτό συμβαίνει με τη βοήθεια του Open Studio το οποίο διαθέτει μια βιβλιοθήκη με διαφορετικά είδη χώρων όπως για παράδειγμα αίθουσα διδασκαλίας, γυμναστήριο και πολλά άλλα από τα οποία μπορούμε να επιλέξουμε. Κάθε ένα από τα διαφορετικά μοντέλα εμπεριέχει δεδομένα για τα φορτία των ανθρώπων με βάση την αναμενόμενη δραστηριότητα που έχουν στο χώρο (π.χ. χώρος εργασίας, χώρος διδασκαλίας, γυμναστήριο), φορτία φωτισμού και οποιαδήποτε άλλα φορτία τα οποία μπορούν να επηρεάσουν ενεργειακά τον χώρο.
- Σετ κατασκευής: Στην κατηγορία (**Construction Set**) ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει παραμέτρους για την κατασκευή των τοίχων και να κάνει εφαρμογή αυτού του μοντέλου σε όποιους τοίχους επιθυμεί. Αυτό βοηθάει ιδιαίτερα στην εξοικονόμηση χρόνου, καθώς ο σχεδιαστής δε χρειάζεται να ασχοληθεί ξεχωριστά με τον σχεδιασμό του κάθε τοίχου, εφόσον βέβαια όλοι οι τοίχοι έχουν την ίδια κατασκευή.
- Ιδανικά φορτία: Στην κατηγορία (**Ideal Loads**) αν ο χρήστης δώσει εντολή της ενεργοποίησης, έχει τη δυνατότητα για άμεση εύρεση φορτίων στους χώρους, χωρίς να έχει γίνει σχεδιασμός συστήματος κλιματισμού και θέρμανσης, αλλά υποθέτοντας ένα ιδανικό σύστημα κλιματισμού με

μηδενικές απώλειες. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει η ζήτηση των χώρων σε ενέργεια.

- **Θερμική ζώνη:** Στην κατηγορία (**Thermal Zone**) εισάγουμε τη θερμική ζώνη στην οποία αναφερόμαστε. Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες παίζει έναν από τους κυρίαρχους ρόλους για την ορθή ενεργειακή προσομοίωση. Αυτός ο διαχωρισμός ουσιαστικά είναι μια διάκριση των χώρων του κτιρίου με βάση τις ενεργειακές απαιτήσεις που υπάρχουν. Οι ενεργειακές αυτές απαιτήσεις, είναι μια άμεση συνάρτηση της χρήσης του κτιρίου, δηλαδή των ωραρίων λειτουργίας, του φωτισμού, του αερισμού κ.ο.κ. Κατά των διαχωρισμό των θερμικών ζωνών υπόψιν πρέπει να ληφθεί η διαφορετική έκθεση του κάθε τμήματος του κτιρίου στην ηλιακή ακτινοβολία, όπως βέβαια και η διαφορετική χρήση του κάθε χώρου του κτιρίου.

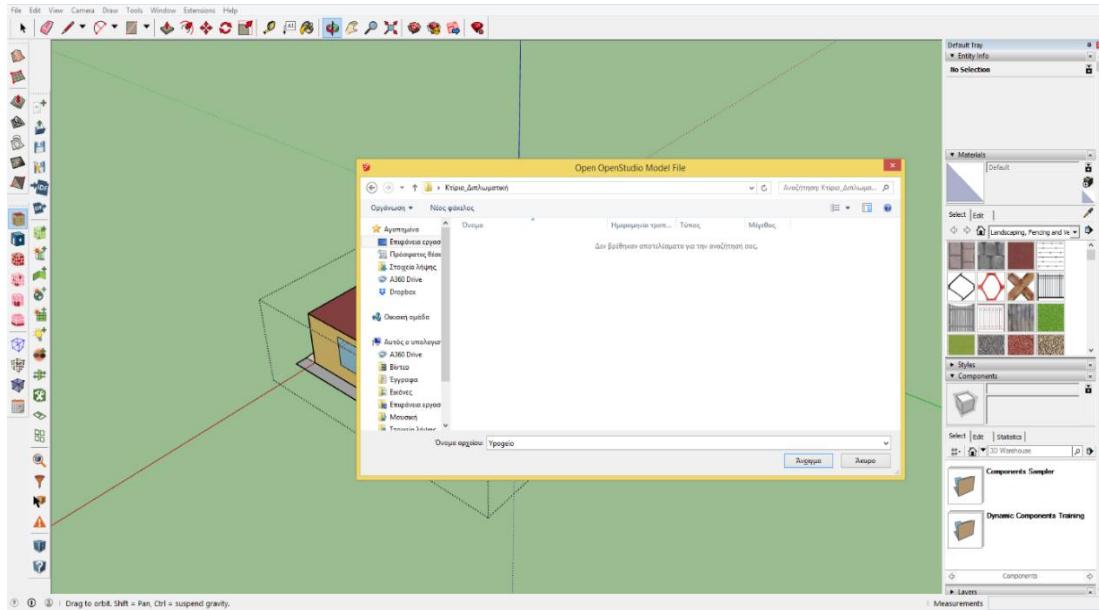
Στη συνέχεια με τη βοήθεια του εργαλείου (**Open Studio Inspector**) έχουμε τη δυνατότητα να ελέγξουμε όλες τις πληροφορίες που έχουν μεταφερθεί από το SketchUp στο Open Studio και να τις επαληθεύσουμε.



Εικόνα 5.8: Open Studio Inspector

5.2.1.4. Αποθήκευση Αρχείου Υπογείου μορφής .osm

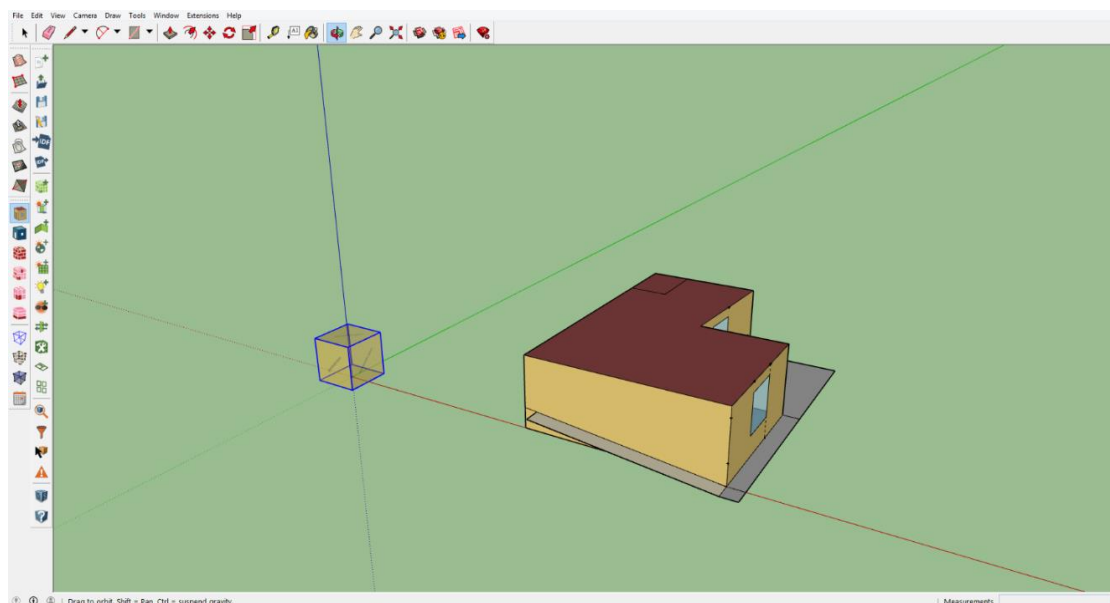
Το επόμενο και τελευταίο βήμα όσον αφορά την ενεργειακή ζώνη του υπογείου είναι η αποθήκευση σε αρχείο **.osm**, δηλαδή σε μορφή που αναγνωρίζει το Open Studio Plugin. Με τη χρήση της εντολής **Save Open Studio Model As** γίνεται αποθήκευση του τελικού αρχείου.



Εικόνα 5.9: Αποθήκευση αρχείου .osm

5.2.2. Σχεδιασμός Θερμικής Ζώνης Ισογείου

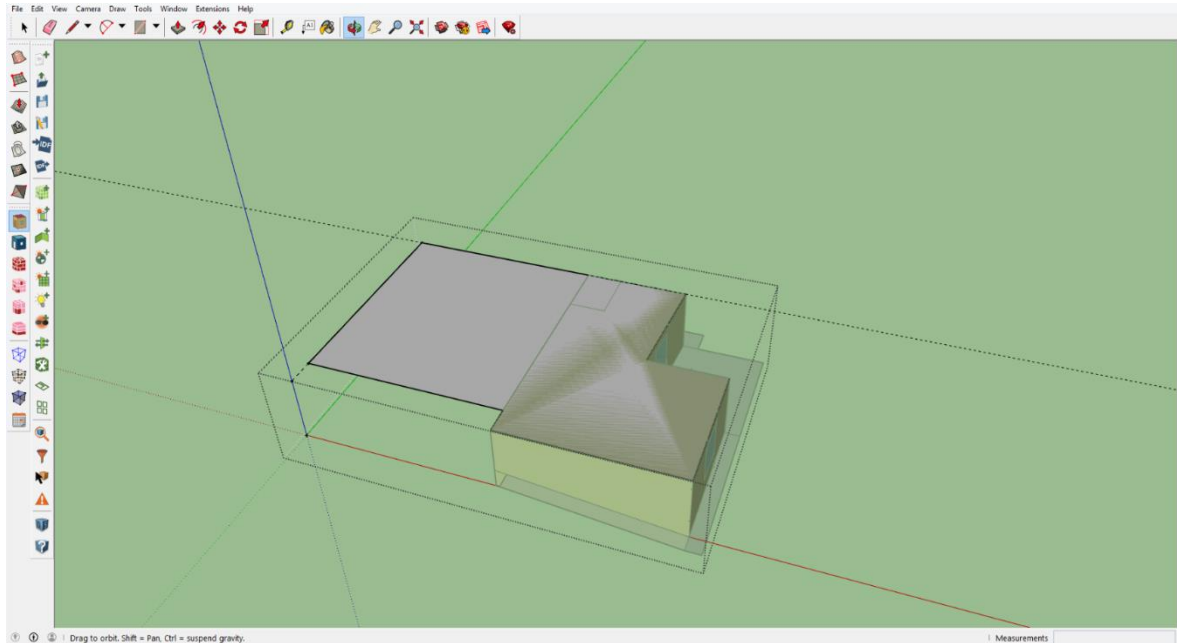
Για τη δημιουργία της θερμικής ζώνης του ισογείου επαναλαμβάνουμε την ίδια ακριβώς διαδικασία. Δηλαδή μέσω του εργαλείου (**New Space**) ορίζουμε τη θερμική ζώνη εντός της οποίας ξεκινάει ο σχεδιασμός του ισογείου.



Εικόνα 5.10: Εισαγωγή Θερμικής Ζώνης Ισογείου

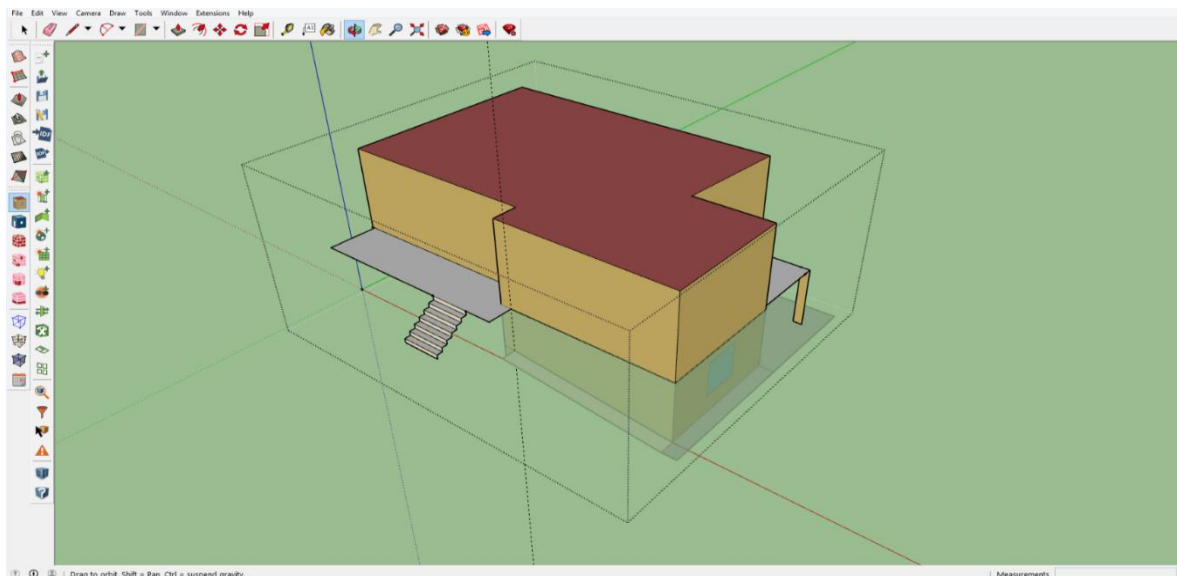
5.2.2.1. Σχεδιασμός Κελύφους Ισογείου

Για τον σχεδιασμό λοιπόν του ισογείου ξεκινάμε όπως και στην περίπτωση του υπογείου, με τη χάραξη των ορίων του δαπέδου του ισογείου όπως φαίνεται παρακάτω. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια και πάλι των εργαλείων (**Measuring Tool**) και (**Paint**) έτσι ώστε να μη γίνει κάποιο λάθος στις διαστάσεις.



Εικόνα 5.11: Σχεδιασμός Ορίων Ισογείου

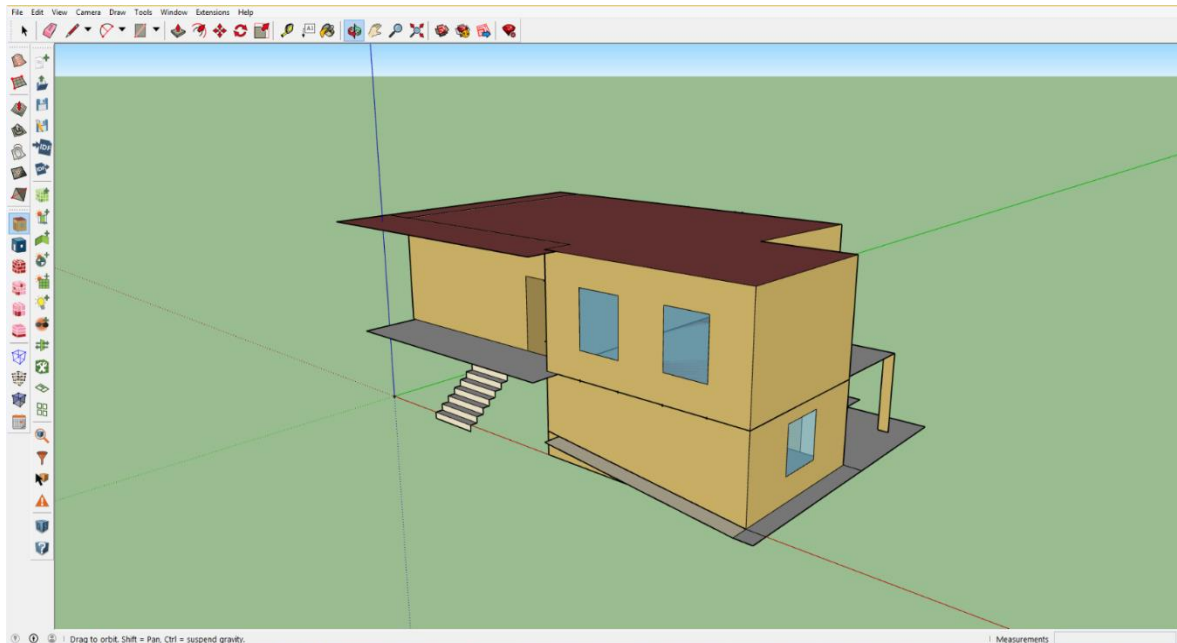
Στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε την εντολή (**Push/Pull**) με σκοπό να δώσουμε το κατάλληλο ύψος στον όροφο του ισογείου. Στο σχέδιο παρακάτω φαίνονται μάλιστα και οι διαμορφώσεις των μπαλκονιών του κτιρίου και οι σκάλες.



Εικόνα 5.12: Ολοκληρωμένο Κτιριακό Κέλυφος Ισογείου

5.2.2.2. Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Ισογείου

Με την ίδια ακριβώς μέθοδο όπως και παραπάνω πραγματοποιείται ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων για τον όροφο του ισόγειου. Με τη βοήθεια δηλαδή του εργαλείου (**Measuring Tool**) καθορίζουμε τα όρια των παραθύρων και των πορτών, ώστε να αποφύγουμε διαστασιολογικά λάθη, και στη συνέχεια μέσω του εργαλείου (**Shapes → Rectangle**) γίνεται ο σχεδιασμός πάνω στις επιφάνειες που θα εδράζονται, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5.13: Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Ισογείου

5.2.2.3. Καθορισμός Χαρακτηριστικών Θερμικής Ζώνης Ισογείου

Όπως και παραπάνω μέσω της εντολής (**Set Attributes For Selected Spaces**) καθορίζουμε τα χαρακτηριστικά της θερμικής ζώνης. Δηλαδή στην κατηγορία **Space Type** επιλέγουμε New Space Type καθώς το ισόγειο χρησιμοποιείται ως κατοικία, ενώ το υπόγειο ως χώρος εργασίας, επομένως δεν πρόκειται για ίδιο τύπο χώρου. Επίσης στην κατηγορία **Building Story** επιλέγουμε Building Story 1, δηλαδή ότι αναφερόμαστε στο ίδιο κτίριο όπως και για το υπόγειο, ενώ στην κατηγορία **Thermal Zone** επιλέγουμε New Thermal Zone καθώς πρόκειται για μια νέα ενεργειακή ζώνη (ισόγειο) με διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτήν του υπογείου.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του εργαλείου (**Open Studio Inspector**) έχουμε τη δυνατότητα να ελέγξουμε όλες τις πληροφορίες που έχουν μεταφερθεί από το SketchUp στο Open Studio και να τις επαληθεύσουμε.

5.2.2.4. Αποθήκευση Αρχείου Ισογείου μορφής .osm

Με τη γνωστή διαδικασία από πριν, κάνουμε το τελευταίο βήμα, δηλαδή την αποθήκευση του 3D σχεδίου μας, σε μορφή **.osm** η οποία αναγνωρίζεται από το Open Studio. Με τη χρήση της εντολής **Save Open Studio Model As** γίνεται η τελική αποθήκευση του αρχείου.

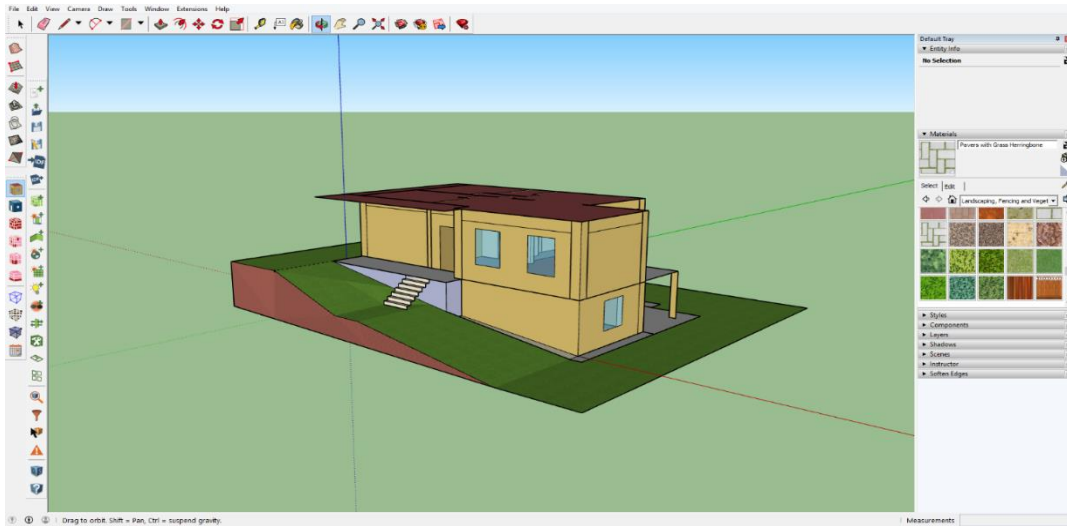
5.2.3. Σχεδιασμός Σκιάστρων

Το τελευταίο βήμα που πραγματοποιείται ώστε να ολοκληρωθεί πλήρως ο σχεδιασμός του κτιρίου είναι η εισαγωγή των επιφανειών σκίασης. Για τον συγκεκριμένο σκοπό ο χρήστης επιλέγει την εντολή **(New Shading Group)** από τη λίστα που βρίσκεται στα αριστερά της οθόνης. Έτσι, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση εισαγωγής νέας θερμικής ζώνης, παρουσιάζεται ένα “κουτί” το οποίο διπλοκλικάρεται, και στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να σχηματίσει με τη βοήθεια των εργαλείων, τις επιφάνειες σκίασης.

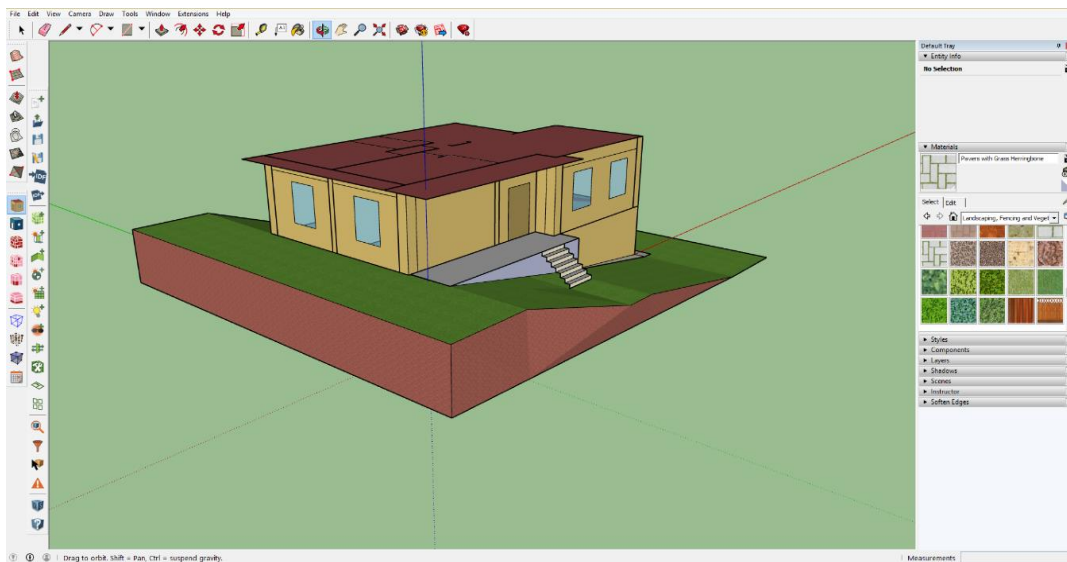
Πρέπει να αναφερθεί πως οι επιφάνειες αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις γειτονικές τους επιφάνειες. Έτσι, έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις τελικές θερμοκρασίες και κατ’ επέκταση στη θερμότητα που μεταφέρεται στους εσωτερικούς χώρους.

5.2.4. Τελική Μορφή Κτιρίου

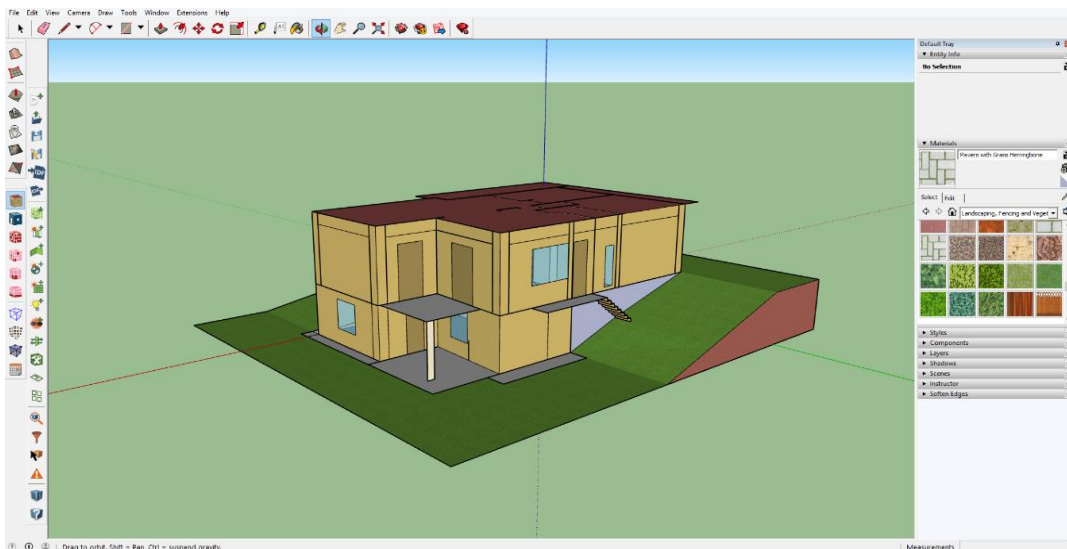
Επομένως, με βασικό σκοπό την ύπαρξη μιας συνολικότερης εικόνας, δημιουργήθηκε περιμετρικά του κτιρίου η μορφολογία του εδάφους η οποία στη συγκεκριμένη περιοχή είναι υπό κλίση και με αρκετές ιδιαιτερότητες. Παρακάτω φαίνεται η τελική μορφή του κτιρίου από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Πολύ σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να αναφερθεί πως ο σχεδιασμός της μορφολογίας του εδάφους στο SketchUp, με τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε, δεν επηρεάζει καθόλου ενεργειακά την κατασκευή μας, καθώς έγινε εκτός των θερμικών ζωνών και ξεκάθαρα με σκοπό την καλύτερη οπτική προσομοίωση.



Εικόνα 5.14: Τελική Μορφή Κτιρίου (1)



Εικόνα 5.15: Τελική Μορφή Κτιρίου (2)

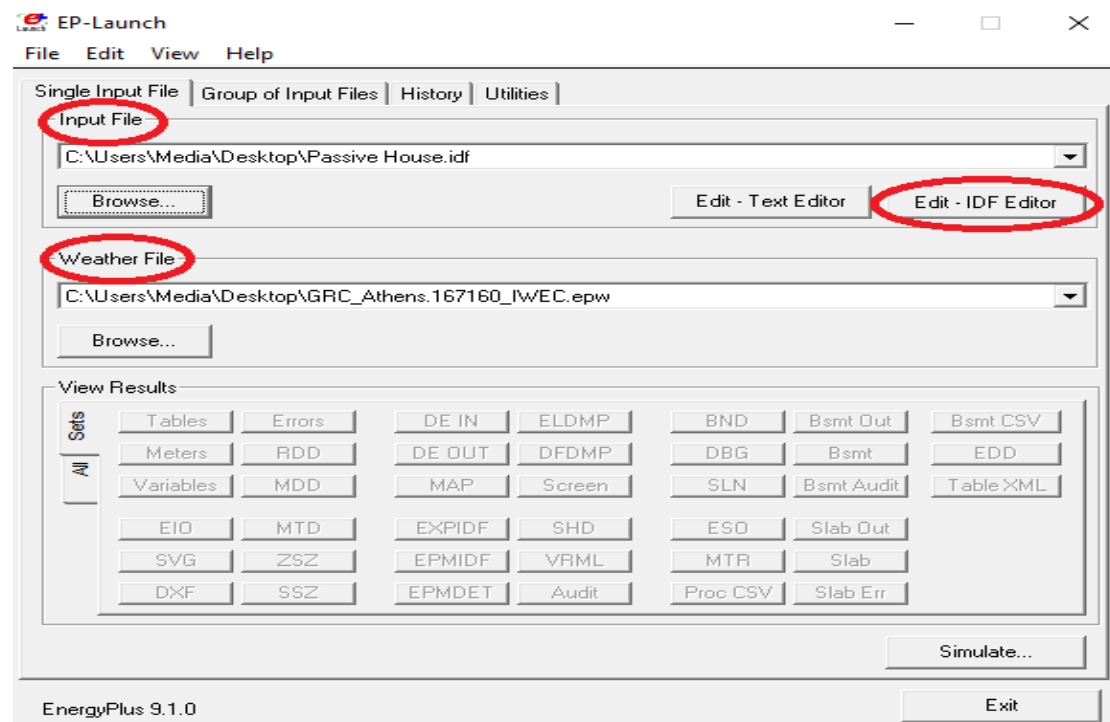


Εικόνα 5.16: Τελική Μορφή Κτιρίου (3)

5.3. Επεξεργασία δεδομένων στο Energy Plus

5.3.1. Εισαγωγή στο περιβάλλον του λογισμικού

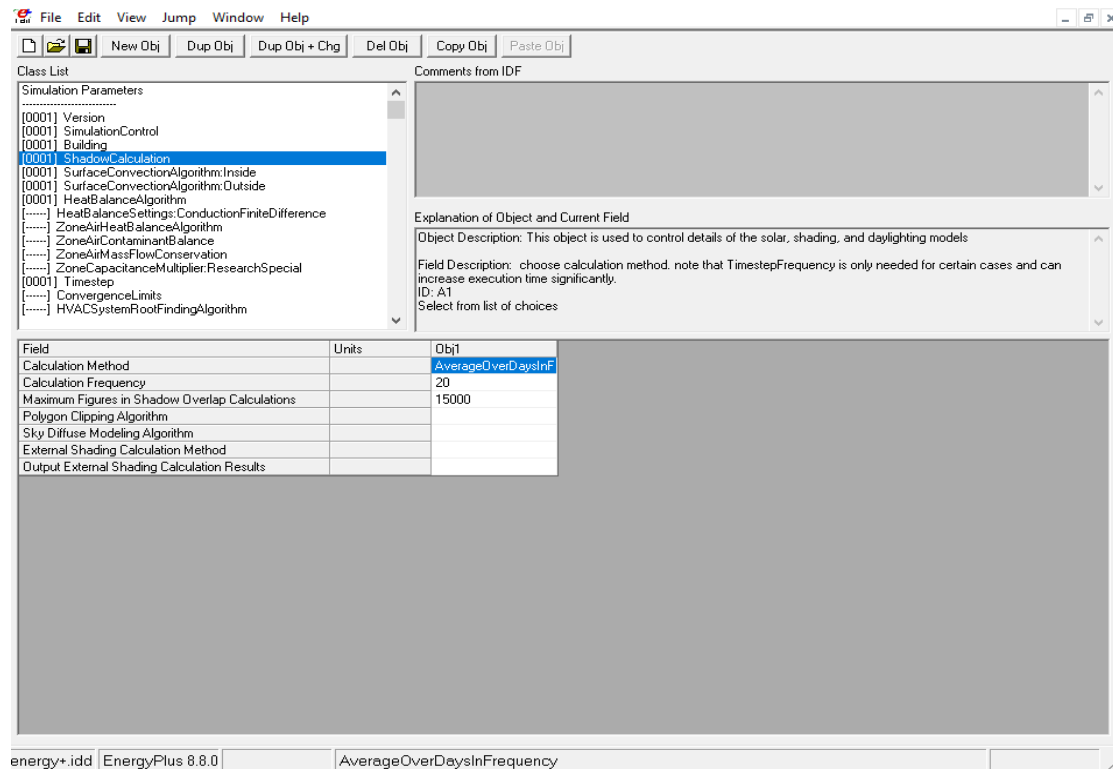
Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κτιριακού κελύφους στο SketchUp και την εξαγωγή του αρχείου από μορφή .osm σε μορφή .idf, ακολουθεί η διαδικασία της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου μέσω του κυρίως χρησιμοποιούμενου λογισμικού, στην παρούσα διπλωματική εργασία, Energy Plus. Το αρχικό βήμα της διαδικασίας είναι η ενεργοποίηση του υποπρογράμματος EP-Launch του λογισμικού, όπως φαίνεται παρακάτω, το οποίο απαιτεί την εισαγωγή του αρχείου .idf, αλλά και του αρχείου καιρικών δεδομένων της περιοχής στην οποία ανήκει το κτίριο στο οποίο αναφερόμαστε. Στην προκειμένη περίπτωση, μέσω της επίσημης ιστοσελίδας του λογισμικού Energy Plus εντοπίστηκε το ζητούμενο αρχείο το οποίο παρέχει δεδομένα για την Ελλάδα που αφορούν την Αθήνα, την Θεσσαλονίκη και την Ανδραβίδα. Στη συνέχεια, επιλέγεται η εντολή Edit ώστε να ενεργοποιηθεί το υποπρόγραμμα IDF Editor στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η κύρια επεξεργασία του αρχείου.



Εικόνα 5.17: Περιβάλλον EP-Launch

Αφού ενεργοποιήσουμε το υποπρόγραμμα IDF Editor όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα διακρίνουμε την ομαδοποίηση

ανά Κατηγορίες (Groups), στις οποίες ανήκουν οι κλάσεις (Classes) που έχουν άμεση συσχέτιση μεταξύ τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Κατηγορίας “Location and Climate”, η οποία εμπεριέχει κλάσεις οι οποίες ζητούν δεδομένα που σχετίζονται με το γεωγραφικό προσδιορισμό του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής.



Εικόνα 5.18: Περιβάλλον IDF Editor

Εν συνεχεία, βλέπουμε ότι οι κλάσεις αποτελούνται από τα Πεδία (Fields), τα οποία απαιτούν συγκεκριμένα δεδομένα από το χρήστη, που σχετίζονται με την κλάση, και βέβαια από τα Αντικείμενα (Objects) τα οποία ανάλογα την κλάση μπορεί να είναι και παραπάνω από ένα. Αριστερά από την κάθε κλάση αναγράφεται ο αριθμός των Αντικειμένων τα οποία εμπεριέχει εκείνη τη στιγμή. Αν για παράδειγμα αναγράφεται [0005] σημαίνει πως υπάρχουν 5 αντικείμενα εντός της κλάσης, ενώ αν αναγράφεται [----] σημαίνει ότι η συγκεκριμένη κλάση είναι κενή.

Επίσης, πάρα πολύ σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο επεξεργαστής IDF δεν ελέγχει τα δεδομένα εισόδου για την εγκυρότητά τους. Παρόλα αυτά, σε ορισμένα αριθμητικά πεδία επισημαίνεται εάν οι τιμές είναι εκτός εύρους, ενώ σε άλλα πεδία κειμένου επισημαίνεται εάν περιέχουν μη έγκυρα δεδομένα.

Η παρούσα εργασία έγινε με βάση ένα υπάρχον κτίριο για το οποίο ήταν γνωστή η πλειοψηφία των δεδομένων τα οποία είναι αναγκαία για την πιο πιστή προσομοίωση. Στη συνέχεια, δοκιμάστηκαν κάποιες εναλλακτικές προτάσεις με την εισαγωγή τοίχων Trombe στους νότιους τοίχους του κτιριακού κελύφους, με σκοπό να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο αυτοί μπορούν να συνεισφέρουν θερμικά στο κτίριο.

Ακολουθεί η λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας ανά κατηγορία και κλάση.

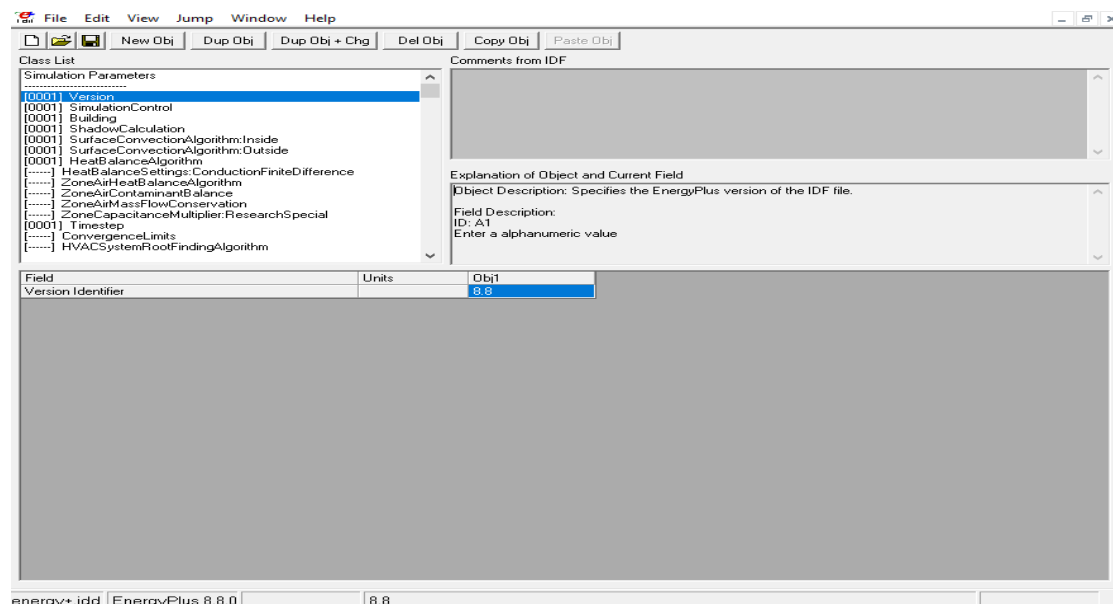
5.3.2. Κατηγορία Simulation Parameters

Στην κατηγορία Simulation Parameters γίνεται εισαγωγή διαφόρων δεδομένων που επηρεάζουν τον τρόπο προσομοίωσης του κτιρίου.

5.3.2.1. Version

Πρόκειται για την κλάση στην οποία αναφέρεται η έκδοση του Energy Plus που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία.

- Πεδίο – *Version Identifier*: 8.8



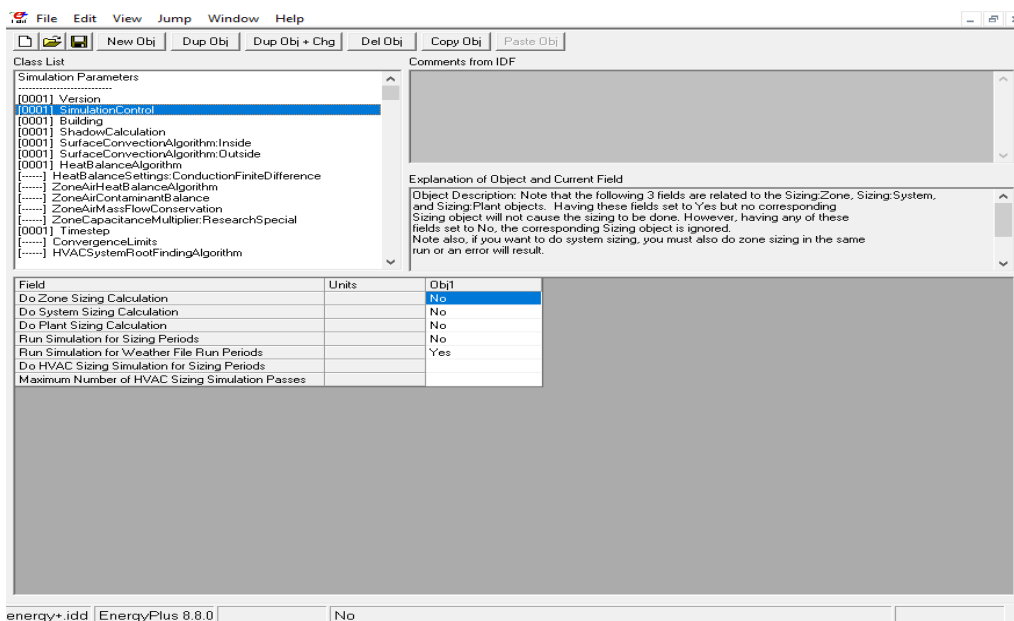
Εικόνα 5.19: Κλάση Version

5.3.2.2. Simulation Control

Στη συγκεκριμένη κλάση καθορίζεται το είδος των υπολογισμών που θα εκτελεστούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Μόνο ένα αντικείμενο (Object)

επιτρέπεται κατά την προσομοίωση ενός αρχείου .idf. Οι επιλογές που δίνονται είναι Yes/No. Όταν το No επιλέγεται το πρόγραμμα δε λαμβάνει υπόψιν το πεδίο.

- **Πεδίο – Do Zone Sizing Calculation:** No
Το λογισμικό εκτελεί έναν υπολογισμό χρησιμοποιώντας ένα θεωρητικό ιδανικό μοντέλο και καθορίζει τα επίπεδα ροής και φορτίων θέρμανσης και ψύξης.
- **Πεδίο – Do System Sizing Calculation:** No
Το λογισμικό εκτελεί έναν ειδικό υπολογισμό χρησιμοποιώντας ένα απλουστευμένο μοντέλο το οποίο λαμβάνει υπόψιν τα αποτελέσματα από το προηγούμενο πεδίο.
- **Πεδίο – Do Plant Sizing Calculation:** No
Σε αυτό το πεδίο το πρόγραμμα εκτελεί υπολογισμούς βασισμένο στις μεταβλητές που ορίζονται στο Plant: Sizing, οι οποίες στην περίπτωση μας δε λαμβάνονται υπόψιν, αφού στην προσομοίωση του κτιρίου δεν έχουν συμπεριληφθεί συστήματα θέρμανσης και ψύξης, παρά μόνο τα συστήματα αερισμού.



Εικόνα 5.20: Κλάση Simulation Control

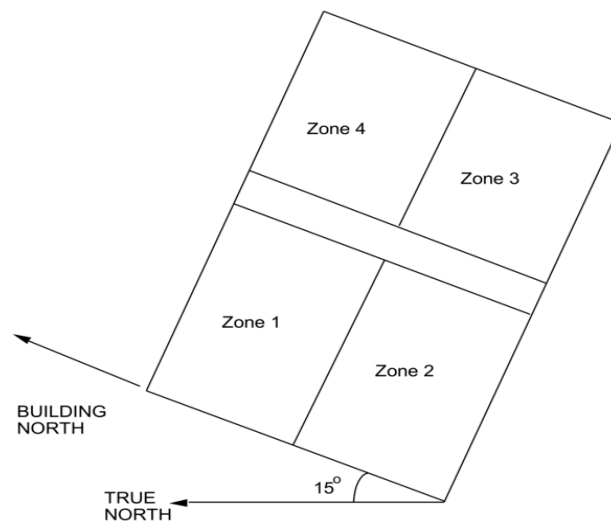
- **Πεδίο – Run Simulation for Sizing Periods:** No
Επιλογή του χρήστη για το αν οι υπολογισμοί θα εκτελεστούν με βάση πρότυπες ημέρες.
- **Πεδίο – Run Simulation for Weather File Run Periods:** Yes
Το λογισμικό εκτελεί την προσομοίωση με βάση τις χρονικές περιόδους που ορίζονται παρακάτω στην κλάση RunPeriod και με βάση τα καιρικά δεδομένα

αυτών των περιόδων που εμπεριέχονται στο αρχείο που *WeatherFile* το οποίο αναφέρθηκε παραπάνω.

5.3.2.3. Building

Η συγκεκριμένη κλάση εμπεριέχει βασικές παραμέτρους οι οποίες συσχετίζονται άμεσα και με άλλες κλάσεις, ενώ έχουν σημαντική επίδραση στην προσομοίωση του κτιρίου.

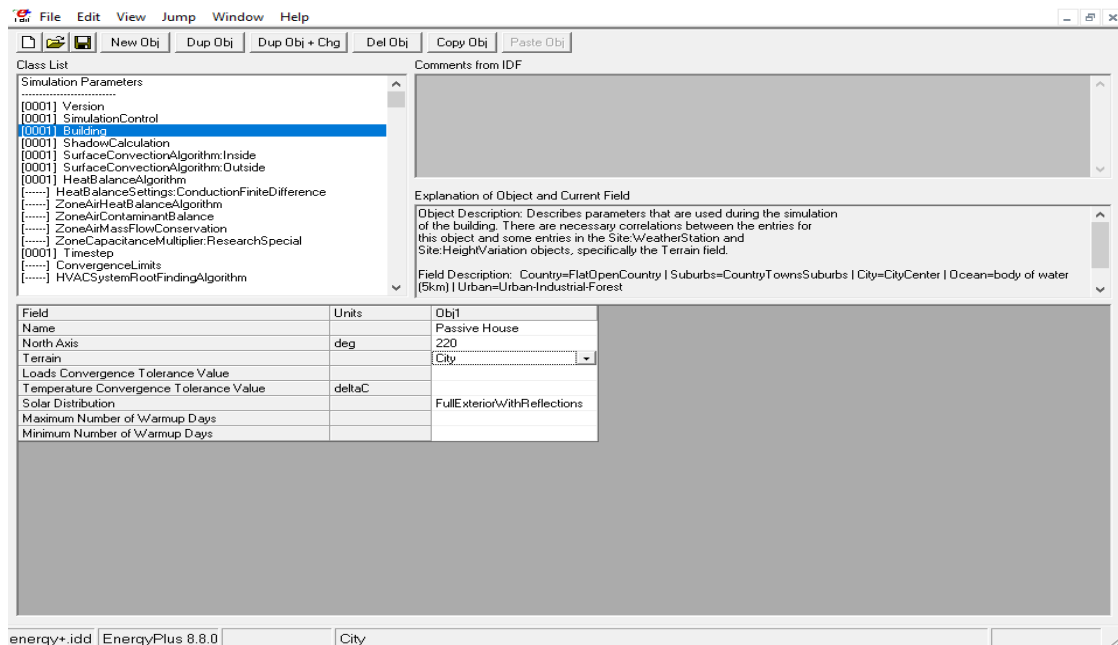
- **Πεδίο – *Building Name*: Passive House**
Καθορίζεται το όνομα του κτιρίου.
- **Πεδίο – *North Axis*: 220**
Εισάγονται οι μοίρες κατά τις οποίες είναι στραμμένο το κτίριο (ο βόρειος άξονας στο Sketch Up) σε σχέση με τον πραγματικό βόρειο άξονα.



Εικόνα 5.21: Προσανατολισμός του κτιρίου (Πραγματικός Βοράς – Βοράς στο SketchUp)

- **Πεδίο – *Terrain*: City**
Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το είδος της περιοχής στην οποία βρίσκεται το προς εξέταση κτίριο και είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς η επιλογή επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο ο άνεμος έρχεται σε επαφή με το κτίριο. Για παράδειγμα, ένα κτίριο που βρίσκεται στα προάστια και βρίσκεται σε «ανοιχτό» πεδίο αντιμετωπίζεται διαφορετικά από ένα κτίριο που βρίσκεται εντός πόλης ανάμεσα σε άλλα κτίρια διαφορετικού ύψους και μεγέθους.
- **Πεδίο – *Solar Distribution*: FullExteriorWithReflections**

Καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό εκλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία και τις ανακλάσεις από τις εξωτερικές επιφάνειες. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση FullExteriorWithReflections η οποία λαμβάνει υπόψιν τις σκιάσεις από τα εξωτερικά σκίαστρα, τα οποία στην περίπτωση του κτιρίου μας είναι πολλά, και παράλληλα η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στη ζώνη απορροφάται από το δάπεδο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του, ενώ αυτή που ανακλάται από το δάπεδο μεταδίδεται ομοιόμορφα στις εσωτερικές επιφάνειες.



Εικόνα 5.22: Κλάση Building

5.3.2.4. Shadow Calculation

Αυτή η κλάση χρησιμοποιείται για να καθορίσει κάποιες λεπτομέρειες που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία και τις σκιάσεις και για τον σκοπό αυτό υπάρχουν συγκεκριμένες μέθοδοι υπολογισμού.

- **Πεδίο – Calculation Method:** AverageOverDaysInFrequency

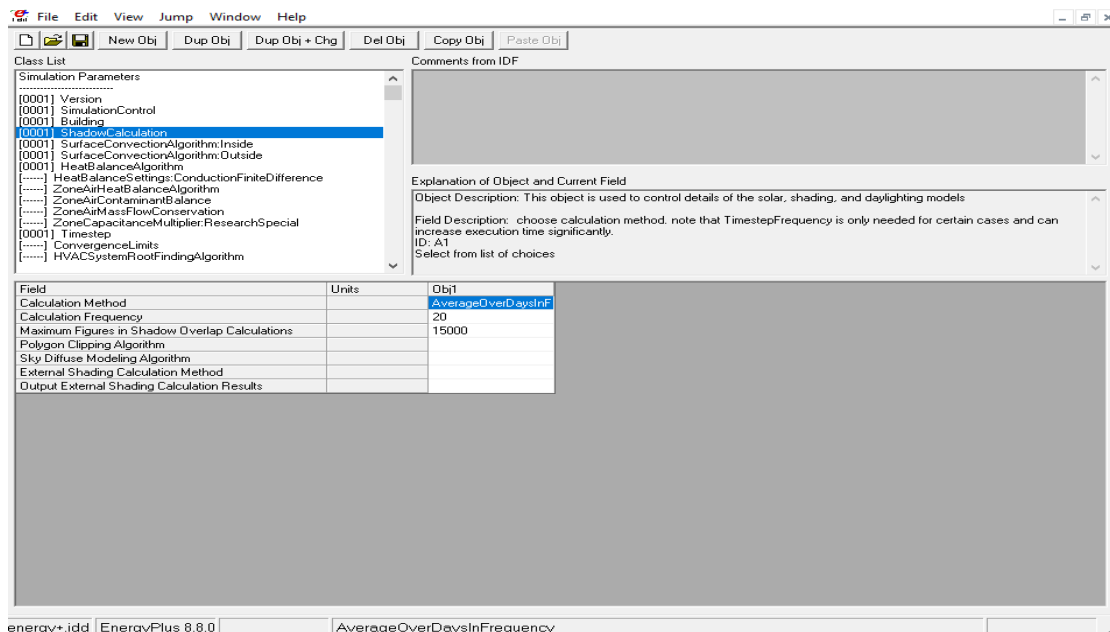
Το συγκεκριμένο πεδίο αναφέρεται στον καθορισμό του τρόπου υπολογισμού του ηλιακού μοντέλου και των μοντέλων σκίασης σε σχέση με τον χρόνο υπολογισμού κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

- **Πεδίο – Calculation Frequency: 20**

Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγουμε να γίνονται οι υπολογισμοί σκίασης περιοδικά και σε διάρκεια 20 ημερών ανά περίοδο που είναι ο μέσος αριθμός ημερών μεταξύ σημαντικών αλλαγών στις γωνίες θέσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

- **Πεδίο – Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations: 15000**

Σε αυτό το πεδίο επιλέγεται το μέγεθος του δείγματος το οποίο θα ληφθεί υπόψιν και αφορά τον επιτρεπτό αριθμό μορφών σε υπολογισμούς επικάλυψης σκίασης. Από το λογισμικό προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ο μέσος αριθμός 15000 οποίος δεν οδηγεί σε χρονική καθυστέρηση του προγράμματος, αλλά ούτε και σε αβεβαιότητα αποτελέσματος.



Εικόνα 5.23: Κλάση Shadow Calculation

5.3.2.5. Surface Convection Algorithm: Inside

Στη συγκεκριμένη κλάση επιλέγεται το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών.

- **Πεδίο – Algorithm: TARP**

Επιλέγεται ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ο οποίος συσχετίζει τον συντελεστή συναγωγής (h_c) με τη διαφορά θερμότητας για διάφορους προσανατολισμούς.

Η πυκνότητα παροχής θερμότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_{conv} = h_c(T_s - T_a) = h_c \cdot \Delta T \quad (5.1)$$

Όπου: T_s : Θερμοκρασία επιφάνειας

T_a : Θερμοκρασία αέρα

Στο λογισμικό υπάρχουν πάρα πολλά μοντέλα εύρεσης του συντελεστή h_c , με βάση τον αλγόριθμο που επιλέγεται από τον χρήστη. Ο αλγόριθμος TARP δημιουργήθηκε από τον Walton (1983) ο οποίος χρησιμοποίησε σημαντικά τη βιβλιογραφία της ASHRAE. Σε αυτό τον αλγόριθμο ο συντελεστής προκύπτει ως εξής:

→ Για $\Delta T=0$ Ή κάθετη επιφάνεια:

$$h = 1.31|\Delta T|^{\frac{1}{3}} \quad (5.2)$$

→ Για $\Delta T < 0$ ΚΑΙ δάπεδο Ή $\Delta T > 0$ ΚΑΙ οροφή:

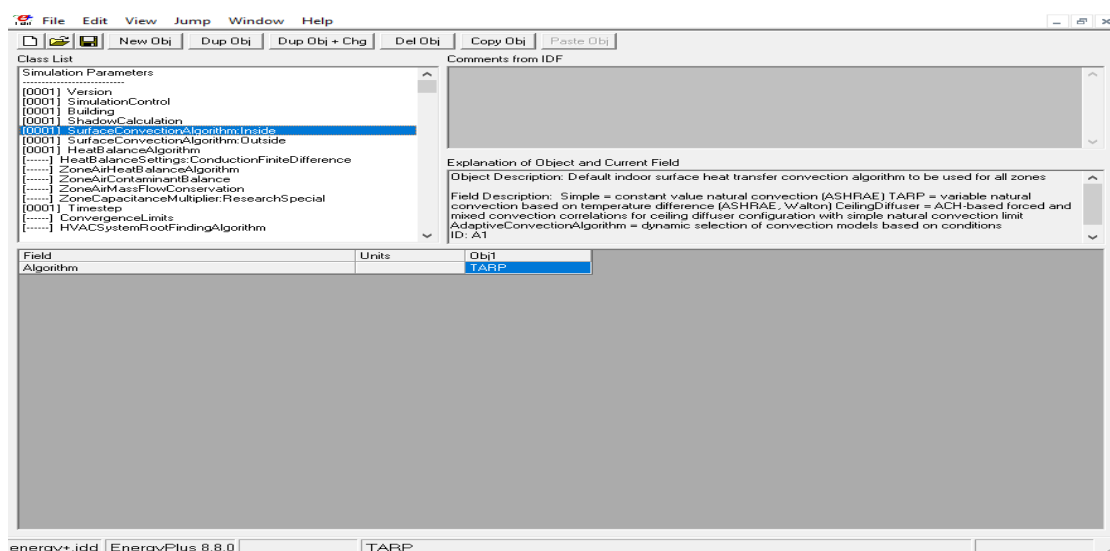
$$h = \frac{9.482|\Delta T|^{\frac{1}{3}}}{7.238 - |\cos\Sigma|} \quad (5.3)$$

όπου: Σ είναι η γωνία κλίσης της επιφάνειας

→ Για $\Delta T > 0$ ΚΑΙ δάπεδο Ή $\Delta T < 0$ ΚΑΙ οροφή:

$$h = \frac{1.810|\Delta T|^{\frac{1}{3}}}{1.382 + |\cos\Sigma|} \quad (5.4)$$

όπου: Σ είναι η γωνία κλίσης της επιφάνειας



Εικόνα 5.24: Κλάση Surface Convection Algorithm: Inside

5.3.2.6. Surface Convection Algorithm: Outside

Στη συγκεκριμένη κλάση επιλέγεται το μοντέλο που θα χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ εξωτερικών επιφανειών.

- *Πεδίο – Algorithm:* DOE-2

Επιλέγεται ο αλγόριθμος DOE-2 ο οποίος χρησιμοποιεί συσχετίσεις από μετρήσεις των ερευνητών Klems και Yazdaniah για τραχιές επιφάνειες.

Το ρεύμα θερμότητας δίνεται από τη σχέση:

$$Q_c = h_c A (T_s - T_a) \quad (5.5)$$

Όπου: A είναι η επιφάνεια (m²)

Στο λογισμικό υπάρχουν πάρα πολλά μοντέλα εύρεσης του συντελεστή h_c , με βάση τον αλγόριθμο που επιλέγεται από τον χρήστη. Από το 1930 έχουν υπάρξει πάρα πολλές μέθοδοι οι οποίες έχουν δημοσιευθεί με σκόπο την εύρεση αυτού του συντελεστή.

Επομένως, για τον συντελεστή συναγωγής για λείες επιφάνειες χρησιμοποιείται η σχέση:

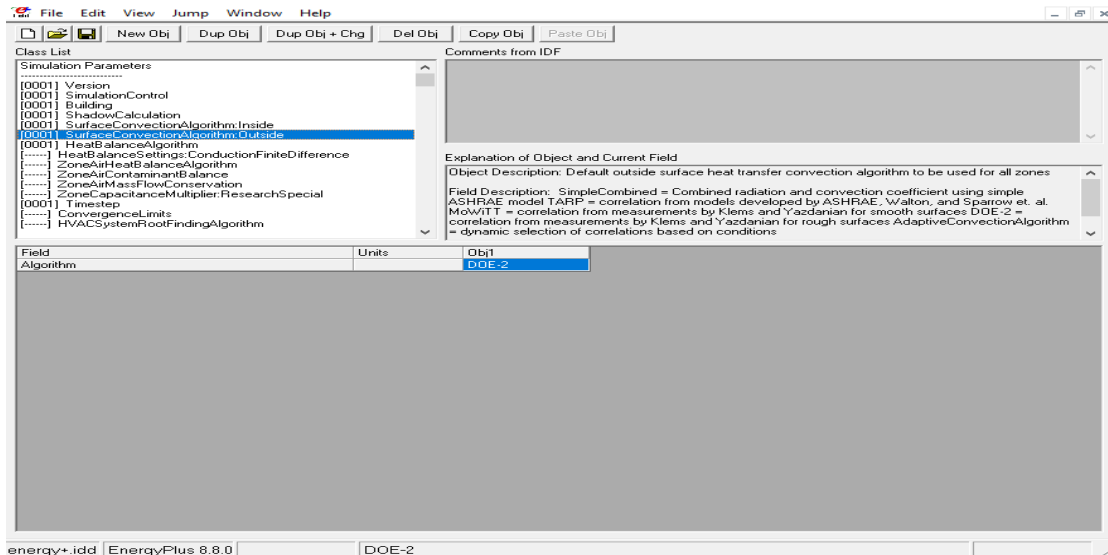
$$h_{c,smooth} = \sqrt{h_n^2 + [aV_z^b]^2} \quad (5.6)$$

Ενώ για πιο τραχιές επιφάνειες:

$$h_c = h_n + R_f (h_{c,smooth} - h_n) \quad (5.7)$$

Όπου:

| a, b | Σταθερές | W/(m ² K(m/s) ^b) |
|----------------|--|---|
| h_c | Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εξωτερικών επιφανειών | W/(m ² K) |
| $h_{c,smooth}$ | Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λείων εξωτερικών επιφανειών | W/(m ² K) |
| h_n | Φυσικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας | W/(m ² K) |
| R_f | Συντελεστής τραχύτητας επιφάνειας | - |



Εικόνα 5.25: Κλάση Surface Convection Algorithm: Outside

5.3.2.7. Heat Balance Algorithm

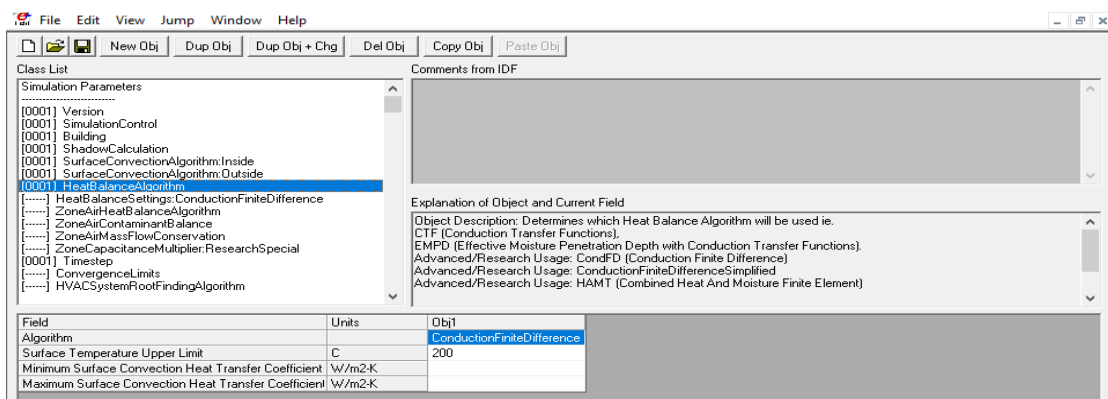
Σε αυτή την κλάση επιλέγεται ο τύπος του αλγορίθμου μεταφοράς θερμότητας και την υγρασίας που θα χρησιμοποιηθεί για τις επιφάνειες του κτιρίου.

- **Πεδίο – Algorithm:** ConductionFiniteDifference

Στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάται επιλέγεται αυτός ο αλγόριθμος ο οποίος δε λαμβάνει υπόψιν την αποθήκευση και διάχυση υγρασίας στις επιφάνειες, αφού χρησιμοποιεί μια μονοδιάστατη επίλυση πεπερασμένης διαφοράς στα στοιχεία κατασκευής.

- **Πεδίο – Surface Temperature Upper Limit:** 200

Το συγκεκριμένο πεδίο χρησιμοποιείται μόνο σε περίπτωση που το πρόγραμμα αποτύχει και ο χρήστης δεν μπορεί να ορίσει τον λόγο της αδυναμίας εκτέλεσης. Επομένως, το λογισμικό χρησιμοποιεί ένα άνω όριο θερμοκρασίας επιφάνειας (200) ώστε να εκτελέσει το πρόγραμμα.



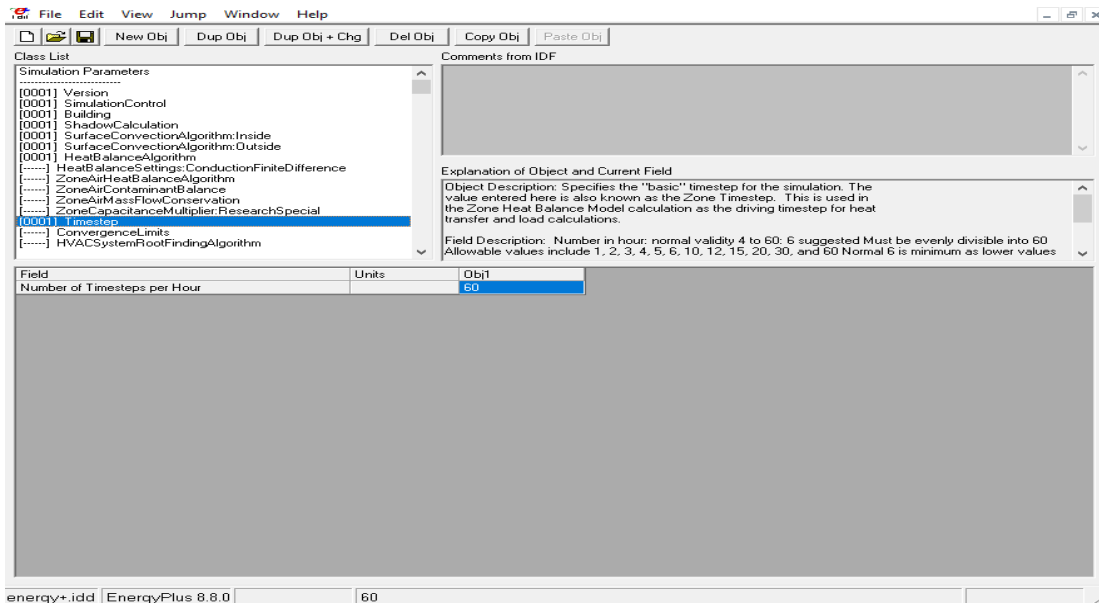
Εικόνα 5.26: Κλάση Heat Balance Algorithm

5.3.2.8. Timestep

Στη συγκεκριμένη κλάση καθορίζεται το βασικό χρονικό βήμα για την προσομοίωση.

- **Πεδίο – Number of Timesteps per hour:** 60

Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων μέσα σε μία ώρα. Για πιο λεπτομερή προσομοίωση επιλέγεται 60, που σημαίνει πως το πρόγραμμα εκτελείται ανά 1 λεπτό.



Εικόνα 5.27: Κλάση Timestep

5.3.3. Κατηγορία Location and Climate

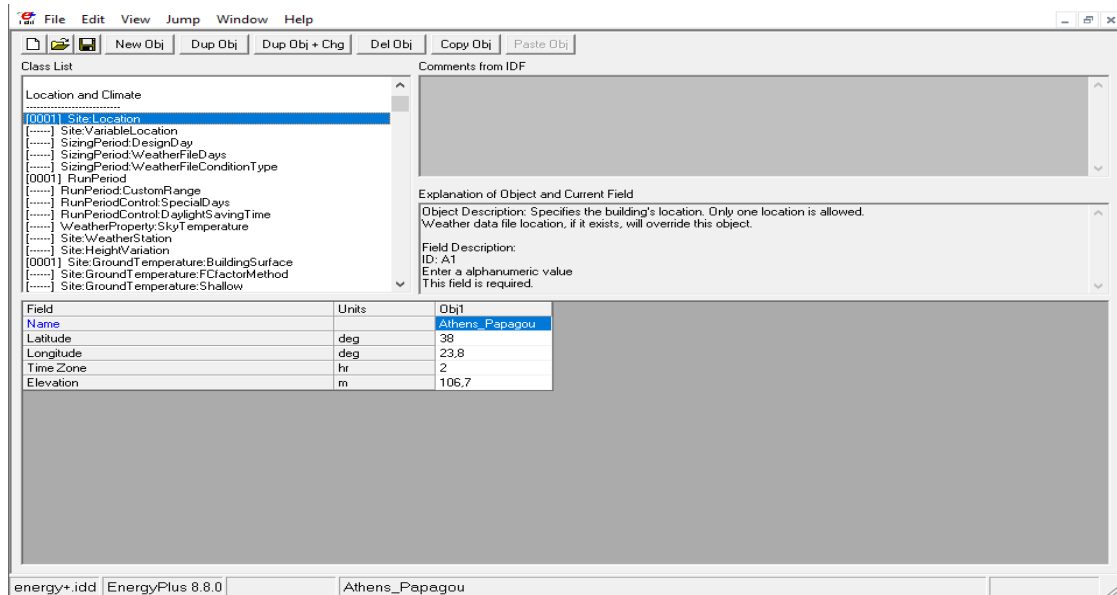
Η συγκεκριμένη κατηγορία δέχεται δεδομένα για την τοποθεσία του κτιρίου και για τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής όπου βρίσκεται.

5.3.3.1. Site: Location

Η συγκεκριμένη κλάση δέχεται δεδομένα που αφορούν τις παραμέτρους της τοποθεσίας του κτιρίου.

- **Πεδίο – Name:** Athens_Paragou
Ορίζεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται το προς μελέτη κτίσμα.
- **Πεδίο – Latitude:** 38
Εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση (σε μοίρες).

- **Πεδίο – Longitude:** 23,8
Εισάγεται το γεωγραφικό μήκος στο οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση (σε μοίρες).
- **Πεδίο – Time Zone:** 2
Ορίζεται η ζώνη της ώρας (σχετικά με την ώρα Greenwich).
- **Πεδίο – Elevation:** 106,7
Εισάγεται το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται η εγκατάσταση.



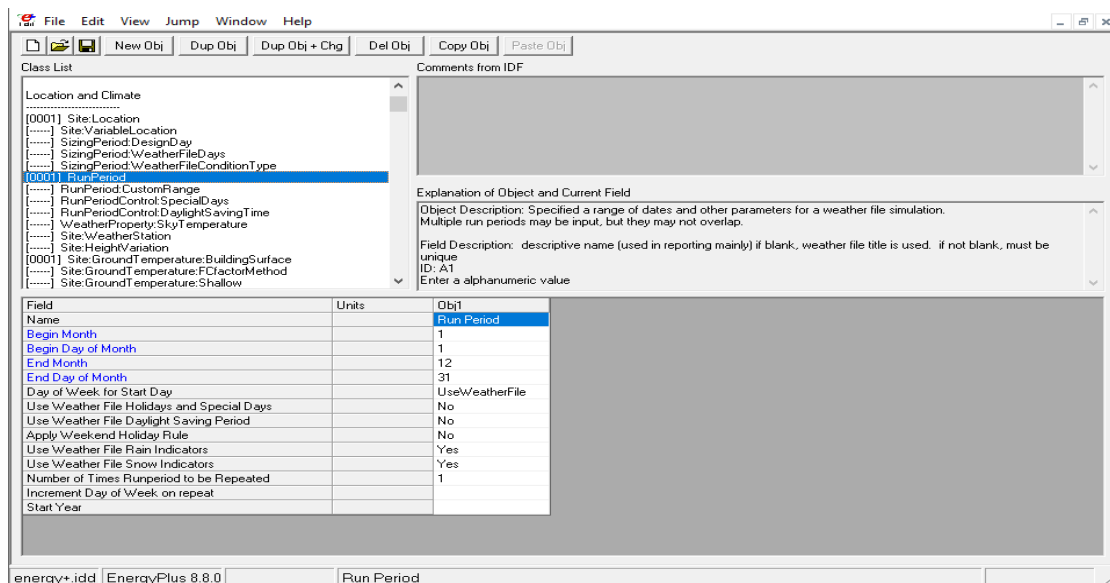
Εικόνα 5.28: Κλάση Site: Location

5.3.3.2. Run Period

Στην συγκεκριμένη κλάση εισάγονται τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την ορθή εκτέλεση του αρχείου καιρού, στο χρονικό διάστημα που επιθυμεί ο χρήστης.

- **Πεδίο – Name:** Run Period
Ορίζεται το όνομα του διαστήματος προσομοίωσης.
- **Πεδίο – Begin Month:** 1
Εισάγεται ο αριθμός του πρώτου μήνα εκτέλεσης της προσομοίωσης.
- **Πεδίο – Begin Day of Month:** 1
Εισάγεται η ημέρα έναρξης της προσομοίωσης του πρώτου μήνα εκτέλεσης.
- **Πεδίο – End Month:** 12
Εισάγεται ο αριθμός του τελευταίου μήνα εκτέλεσης της προσομοίωσης.
- **Πεδίο – End Day of Month:** 31
Εισάγεται η ημέρα λήξης της προσομοίωσης του τελευταίου μήνα εκτέλεσης.

- **Πεδίο – Day of Week for Start Day:** UseWeatherFile
Από το αρχείο καιρού που έχει εισαχθεί παραπάνω, το πρόγραμμα «διαβάζει» την ημέρα της εβδομάδας κατά την οποία ξεκινάει η εκτέλεση του προγράμματος.
- **Πεδίο – Use Weather File Holidays and Special Days:** No
Το αρχείο καιρού συμπεριλαμβάνει ημέρες αργίας και ειδικές ημέρες οι οποίες επιλέγεται να αγνοηθούν.
- **Πεδίο – Use Weather File Daylight Saving Period:** No
Το αρχείο καιρού ενδέχεται να περιέχει δείκτες για συγκεκριμένες ημέρες θερινής περιόδου, οι οποίοι επιλέγεται να αγνοηθούν προς απλούστευση της διαδικασίας.
- **Πεδίο – Apply Weekend Holiday Rule:** No
Σε ορισμένες χώρες όταν οι αργίες συμπίπτουν με το Σαββατοκύριακο, μεταφέρονται σε κοντινή ημερομηνία εντός της εβδομάδας. Εδώ επιλέγεται να αγνοηθούν οι αργίες.



Εικόνα 5.29: Κλάση Run Period

- **Πεδίο – Use Weather File Rain Indicator:** Yes
Τα αρχεία καιρού εμπεριέχουν δεδομένα που αφορούν της ημέρες που βρέχει κατά τη διάρκεια του έτους, οι οποίες δεν θα αγνοηθούν καθώς είναι αναγκαίες για την ορθή προσομοίωση του κτιρίου, αφού οι υγρές επιφάνειες επιδρούν άμεσα στον συντελεστή συναγωγής.

- **Πεδίο – Use Weather File Snow Indicators:** Yes

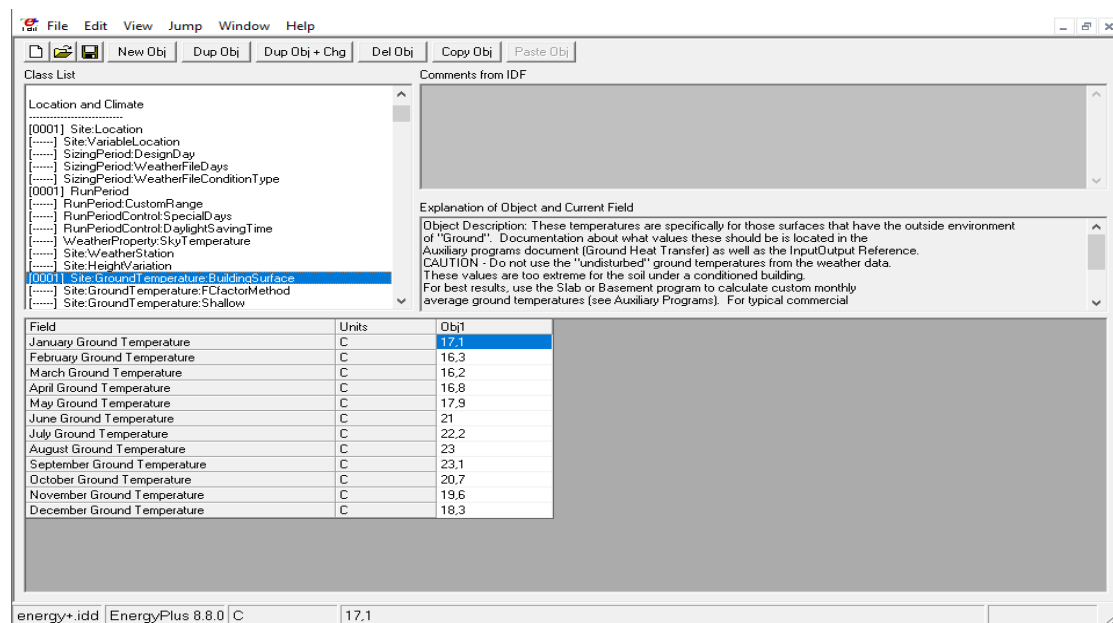
Τα αρχεία καιρού εμπεριέχουν δεδομένα που αφορούν της ημέρες που χιονίζει κατά τη διάρκεια του έτους, οι οποίες δεν θα αγνοηθούν καθώς είναι αναγκαίες για την ορθή προσομοίωση του κτιρίου, αφού το χιόνι επιδρά άμεσα στην ανακλαστικότητα του εδάφους.

- **Πεδίο – Number of Times Runperiod to be Repeated:** 1

Εισάγεται ο αριθμός των επαναλήψεων (ετών στη δική μας περίπτωση) που θα γίνει η εκτέλεση του προγράμματος για την προσομοίωση. Εδώ επιλέγεται να γίνει προσομοίωση μόνο για ένα έτος.

5.3.3.3. Site: Ground Temperature: Building Surface

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται οι μέσες θερμοκρασίες εδάφους ανά μήνα, στην περιοχή όπου βρίσκεται το κτίριο.



Εικόνα 5.30: Κλάση Site: Ground Temperature: Building Surface

5.3.4. Κατηγορία Schedules

Στη συγκεκριμένη κατηγορία ο χρήστης ορίζει χρονοδιαγράμματα και ρυθμίζει τον προγραμματισμό παραμέτρων όπως είναι η διάρκεια χρήσης ηλεκτρικών συσκευών, η διάρκεια ανθρώπινης δραστηριότητας εντός του κτιρίου και διάφορες επιπλέον παραμέτρους.

5.3.4.1. Schedule TypeLimits

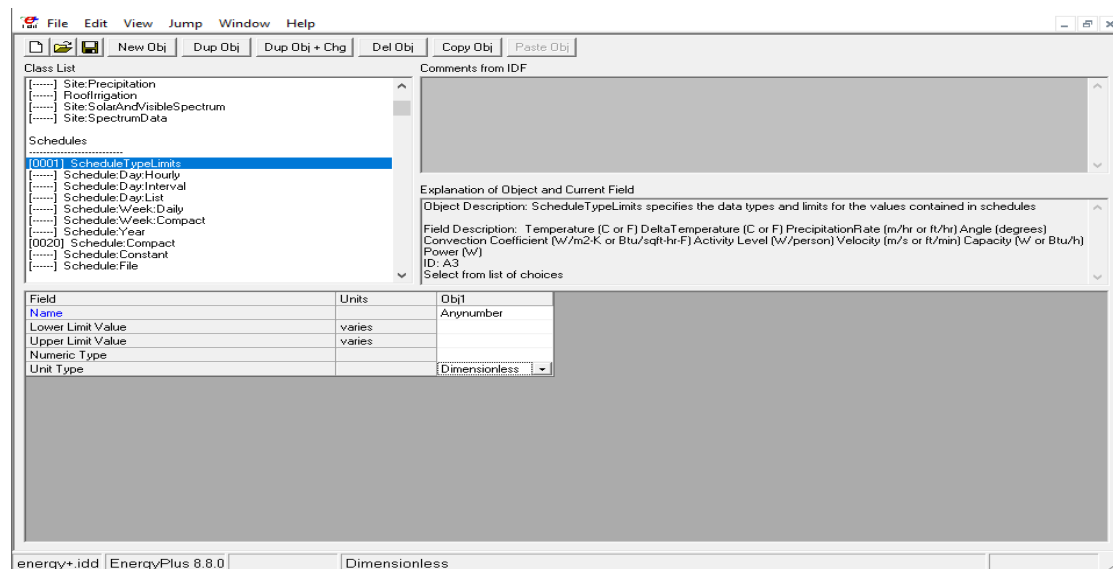
Στη συγκεκριμένη κλάση καθορίζονται οι τύποι των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν, όπως και τα όρια των τιμών που θα λάβουν.

- **Πεδίο – Name:** Anynumber

Εισάγεται το όνομα του τύπου των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στα χρονοδιαγράμματα.

- **Πεδίο – Unit Type:** Dimensionless

Επιλέγεται το είδος των μονάδων που θα χρησιμοποιηθούν. Στην περίπτωση μας η επιλογή είναι Dimensionless αφού μερικά από τα δεδομένα που εισάγονται είναι αδιάστατα.



Εικόνα 5.31: Κλάση Schedule TypeLimits

5.3.4.2. Schedule: Compact

Στη συγκεκριμένη κλάση χρειάζεται να εισαχθούν παραπάνω από ένα αντικείμενα καθώς κάθε χρονοδιάγραμμα μπορεί να οριστεί σε ένα μοναδικό (object). Επομένως σε αυτή την κλάση καθορίζονται διαφόρων τύπων χρονοδιαγράμματα τα οποία αναφέρονται σε όλες τις μέρες του έτους και σε ολόκληρο το εικοσιτετράωρο κάθε ημέρας.

- **Πεδίο – Name:** Καθορίζεται το όνομα κάθε τύπου χρονοδιαγράμματος το οποίο είναι μοναδικό και δεν μπορεί να οριστεί άλλο χρονοδιάγραμμα με ίδιο όνομα.
- **Πεδίο – Schedule Type Limits Name:** Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν ορίζεται κάποιο συγκεκριμένο όριο στις τιμές που θα εισαχθούν επομένως από την

κλάση `ScheduleTypeLimits` χρησιμοποιείται το όνομα του μοναδικού αντικειμένου που ορίστηκε.

- **Πεδίο – *Field #*:** Κάθε χρονοδιάγραμμα εμπεριέχει τις παρακάτω βασικές εντολές.
 - ▶ **For:** Με τη συγκεκριμένη εντολή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ποιες μέρες τις εβδομάδας θα εφαρμόζεται το πρόγραμμα. Εδώ υπάρχουν συγκεκριμένες επιλογές: `Alldays`, `Weekends`, `Weekdays`, `Holidays`, `Monday`, `Tuesday`, `Wednesday`, `Thursday`, `Friday`, `Saturday`, `Sunday`, `SummerDesignDay`, `WinterDesignDay`, `CustomDay1`, `CustomDay2`.
 - ▶ **Through:** Εισάγεται η ημερομηνία λήξης του χρονοδιαγράμματος που υπάρχει κάτω από αυτή την εντολή. Η περίοδος πάντα ξεκινάει από την 01/01 του έτους μέχρι την πρώτη εντολή *Through*, ενώ η επόμενη περίοδος του χρονοδιαγράμματος ξεκινάει από το προηγούμενο *Through* μέχρι το επόμενο. Οι ημερομηνίες εισάγονται στη μορφή (*MM/DD*).
 - ▶ **Until:** Εισάγεται η ώρα λήξης σε μορφή εικοσιτετράωρου. Ώρα εκκίνησης θεωρείται για το πρώτο *Until* πάντα η 00:00.
 - ▶ Ανάμεσα στις εντολές *Until* εισάγονται οι τιμές που θα ισχύουν για το εκάστοτε χρονοδιάγραμμα.

Επομένως, για το συγκεκριμένο κτίριο που μελετάται δημιουργούνται τα χρονοδιαγράμματα, αφού γνωρίζουμε γενικές πληροφορίες για τη δραστηριότητα των ατόμων, τα ωράρια λειτουργίας και αρκετά ακόμη που περιγράφονται παρακάτω.

Όπως έχει αναφερθεί, το κτίριο έχει χωριστεί σε 2 διαφορετικές θερμικές ζώνες, το υπόγειο και το ισόγειο. Αυτό έγινε καθώς αυτοί οι δύο χώροι δεν συνδέονται με κάποιο τρόπο εσωτερικά, ενώ επίσης οι δραστηριότητες των ατόμων είναι εντελώς διαφορετικές στους δυο χώρους, αφού το ισόγειο χρησιμοποιείται ως κατοικία, ενώ το υπόγειο ως εργασιακός χώρος (γραφεία). Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, για όλα τα είδη των χρονοδιαγραμμάτων, υπάρχει ένα το οποίο αναφέρεται στο ισόγειο και άλλο ένα για το υπόγειο.

1. Number Of People Schedule Υπογειο:

Σε αυτό το χρονοδιάγραμμα καθορίζεται το ποσοστό του συνόλου των ατόμων που βρίσκονται στον χώρο του υπογείου κάποιες συγκεκριμένες ώρες τις ημέρας. Όσον αφορά τον ακριβή αριθμό των ατόμων, αυτός κυμαίνεται από 1

έως 4 καθώς προκύπτουν πολλές εξωτερικές εργασίες. Επομένως, θεωρείται ότι ο χώρος του υπογείου στον οποίο εργάζονται κάποια άτομα, χρησιμοποιείται από όλους τους εργαζομένους από τις 8:00 π.μ. μέχρι τις 18:00 και μετά είναι ελεύθερος.

2. Number of People Schedule Isogeio:

Σε αυτό το χρονοδιάγραμμα καθορίζεται το ποσοστό του συνόλου των ατόμων που βρίσκονται στον χώρο του ισόγειο κάποιες συγκεκριμένες ώρες τις ημέρας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο χώρος του ισόγειου χρησιμοποιείται ως κατοικία από δύο άτομα τα οποία εργάζονται. Επομένως, θεωρείται ότι:

- ◆ 00:00 – 08:00 → 2 άτομα στο σπίτι
- ◆ 08:00 – 18:00 → κανένας
- ◆ 18:00 – 20:00 → 1 άτομο στο σπίτι
- ◆ 20:00 – 24:00 → 2 άτομα

3. Activity Level Schedule Υποgeio:

Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα καθορίζεται η ποσότητα του θερμικού κέρδους ανά άτομο στη θερμική ζώνη του υπογείου, δηλαδή (Watts / άτομο). Το θερμικό αυτό κέρδος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμική ζώνη και κατ'επέκταση τη θερμική άνεση σε αυτήν. Συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να οριστεί το ποσοστό της αισθητής και το ποσοστό της λανθάνουσας θερμότητας επί της συνολικής.

Επομένως θεωρείται ότι λόγω της φύσης του επαγγελματικού χώρου (γραφείο) οι εργαζόμενοι κατά τις ώρες 08:00 – 18:00 εργάζονται με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές τους, επομένως με βάση την παρακάτω εικόνα η τιμή είναι 117 W/άτομο.

4. Activity Level Schedule Isogeio:

Προφανώς τα ίδια ακριβώς όπως προηγουμένως ισχύουν και σε αυτό το χρονοδιάγραμμα που αναφέρεται στο ισόγειο. Επειδή το ισόγειο χρησιμοποιείται ως κατοικία οι δραστηριότητες ποικίλουν με βάση την ώρα της ημέρας, καθώς τα άτομα το βράδυ κοιμούνται, ενώ τις υπόλοιπες ώρες είτε λείπουν, είτε κάνουν δουλειές εντός του σπιτιού όπως είναι ο καθαρισμός των ρούχων, ο καθαρισμός του σπιτιού, το μαγείρεμα και άλλα. Επομένως, με βάση την παρακάτω εικόνα προκύπτουν οι τιμές:

- ◆ 00:00 – 07:00 → 72 W/άτομο

- ◆ 00:70 – 07:10 → 207 W/άτομο
- ◆ 07:10 – 07:30 → 171 W/άτομο
- ◆ 07:30 – 08:00 → 207 W/άτομο
- ◆ 08:00 – 18:00 → 0 W/άτομο
- ◆ 18:00 – 19:00 → 270 W/άτομο
- ◆ 19:00 – 20:00 → 198 W/άτομο
- ◆ 20:00 – 21:00 → 126 W/άτομο
- ◆ 21:00 – 24:00 → 108 W/άτομο

| 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 |

Εικόνα 5.32: Θερμικό κέρδος βασιζόμενο στη δραστηριότητα

5. Work Efficiency Schedule Υπογείου:

Σε αυτό το χρονοδιάγραμμα ορίζεται σε ποσοστιαία μονάδα η απόδοση της ενέργειας που καταναλώνουν τα άτομα που βρίσκονται στον εργασιακό χώρο του υπογείου. Από τη στιγμή που αναφερόμαστε σε ποσοστό, το εύρος των τιμών που είναι αποδεκτές είναι από 0 έως 1 και η μηδενική τιμή σημαίνει ότι όλη η ενέργεια του ανθρώπινου σώματος μετατρέπεται σε θερμότητα ενώ η μοναδιαία τιμή σημαίνει πως όλη η ενέργεια του σώματος μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Επομένως εισάγεται μια μέση και λογική τιμή 0.25.

6. Work Efficiency Schedule Isogeio:

Σε αυτό το χρονοδιάγραμμα ορίζεται σε ποσοστιαία μονάδα η απόδοση της ενέργειας που καταναλώνουν τα άτομα που βρίσκονται στην κατοικία του ισογείου. Όπως και παραπάνω, εισάγεται μια μέση τιμή 0.25.

| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Obj4 | Obj5 | Obj6 |
|---------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Schedule Type Limits Name | Anynumber | Number of People Schedule Ypogeio | Number of People Schedule Isogeio | Activity Level Schedule Ypogeio | Activity Level Schedule Isogeio | Work Efficiency Schedule Ypogeio | Work Efficiency Schedule Isogeio |
| Field 1 | varies | Through: 12/31 | Through: 12/31 | Through: 12/31 | Through: 12/31 | Through: 12/31 | Through: 12/31 |
| Field 2 | varies | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays |
| Field 3 | varies | Unit: 08:00 | Unit: 08:00 | Unit: 08:00 | Unit: 07:00 | Unit: 24:00 | Unit: 24:00 |
| Field 4 | varies | 0 | 1 | 0 | 72 | .25 | .25 |
| Field 5 | varies | Unit: 18:00 | Unit: 18:00 | Unit: 18:00 | Unit: 07:10 | | |
| Field 6 | varies | 1 | 0 | 117 | 207 | | |
| Field 7 | varies | Unit: 24:00 | Unit: 20:00 | Unit: 24:00 | Unit: 07:30 | | |
| Field 8 | varies | 0 | 5 | 0 | 171 | | |
| Field 9 | varies | | Unit: 24:00 | | Unit: 08:00 | | |
| Field 10 | varies | | 1 | | 207 | | |
| Field 11 | varies | | | | Unit: 18:00 | | |
| Field 12 | varies | | | | 0 | | |
| Field 13 | varies | | | | Unit: 19:00 | | |
| Field 14 | varies | | | | 270 | | |
| Field 15 | varies | | | | Unit: 20:00 | | |
| Field 16 | varies | | | | 198 | | |
| Field 17 | varies | | | | Unit: 21:00 | | |
| Field 18 | varies | | | | 126 | | |
| Field 19 | varies | | | | Unit: 24:00 | | |
| Field 20 | varies | | | | 108 | | |
| Field 21 | varies | | | | | | |
| Field 22 | varies | | | | | | |
| Field 23 | varies | | | | | | |
| Field 24 | varies | | | | | | |

Εικόνα 5.33: Κλάση Schedule: Compact (1)

7. Clothing Insulation Schedule Υπογειο:

Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα ορίζεται η ποσότητα των ρούχων που φοράει κάθε άτομο στις περιόδους που εξετάζονται. Η μοντελοποίηση της συγκεκριμένη κατηγορίας προγράμματος γίνεται με την βοήθεια του παρακάτω πίνακα στον οποίο αναγράφονται τυπικές τιμές με βάση την ένδυση των ατόμων. Η παράμετρος αυτή πρέπει να είναι θετικός αριθμός και έχει μονάδες (Clo).

Πιο συγκεκριμένα για μια απλουστευμένη προσέγγιση, για το υπόγειο το οποίο γνωρίζουμε ότι είναι εργασιακός χώρος θεωρείται ότι οι εργαζόμενοι κατά την χειμερινή περίοδο φορούν μακρύ παντελόνι και πουκάμισο, ενώ κατά την θερινή περίοδο φορούν κοντό παντελόνι και μπλουζάκι.

Επομένως το χρονοδιάγραμμα διαμορφώνεται ως εξής:

- ♦ Την χειμερινή περίοδο δηλαδή 01/01 – 15/04 και 15/10 – 31/12 και ώρες 08:00 – 18:00 εισάγεται η τιμή 0.61, ενώ τις υπόλοιπες ώρες η τιμή είναι μηδέν.

- ♦ Την θερινή περίοδο δηλαδή 15/04 – 15/10 και ώρες 08:00 – 18:00 εισάγεται η τιμή 0.36 , ενώ τις υπόλοιπες ώρες είναι μηδέν.

| 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 |

Εικόνα 5.34: Τυπικές τιμές μόνωσης ρούχων

8. Clothing Insulation Schedule Isogeio:

Προφανώς τα ίδια όπως και προηγουμένως ισχύουν και σε αυτό το χρονοδιάγραμμα που αναφέρεται στο ισόγειο. Η διαφορά εδώ είναι ότι λόγω της χρήσης του ισογείου οι τιμές που εισάγονται και οι ώρες είναι διαφορετικές (με βάση τον παραπάνω πίνακα). Επομένως προκύπτουν:

- ♦ Την χειμερινή περίοδο δηλαδή 01/01 – 15/04 και 15/10 – 31/12:
 - 00:00 – 07:00 → 0.96
 - 07:00 – 08:00 → 0.61
 - 08:00 – 18:00 → 0.00
 - 18:00 – 24:00 → 0.74
- ♦ Την θερινή περίοδο δηλαδή 15/04 – 15/10:
 - 00:00 – 07:00 → 0.42
 - 07:00 – 08:00 → 0.57
 - 08:00 – 18:00 → 0.00
 - 18:00 – 24:00 → 0.36

9. Air Velocity Schedule Υποgeio:

Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα ορίζεται προσεγγιστικά μια μέση ταχύτητα (m/s) του εισαγόμενου αέρα στον χώρο κατά την περίοδο που εξετάζεται. Για

ολόκληρη τη διάρκεια του έτους και για ολόκληρη την ημέρα θεωρείται για το υπόγειο η μέση τιμή 0.13 m/s.

10. Air Velocity Schedule Isogeio:

Αναφερόμενοι στο ισόγειο, ισχύουν ακριβώς τα ίδια με προηγουμένως. Σε αυτή την περίπτωση για ολόκληρη τη διάρκεια του έτους και για ολόκληρη την ημέρα επιλέγεται μια μέση τιμή 0.14 m/s.

11. Lights Schedule Υπογειο:

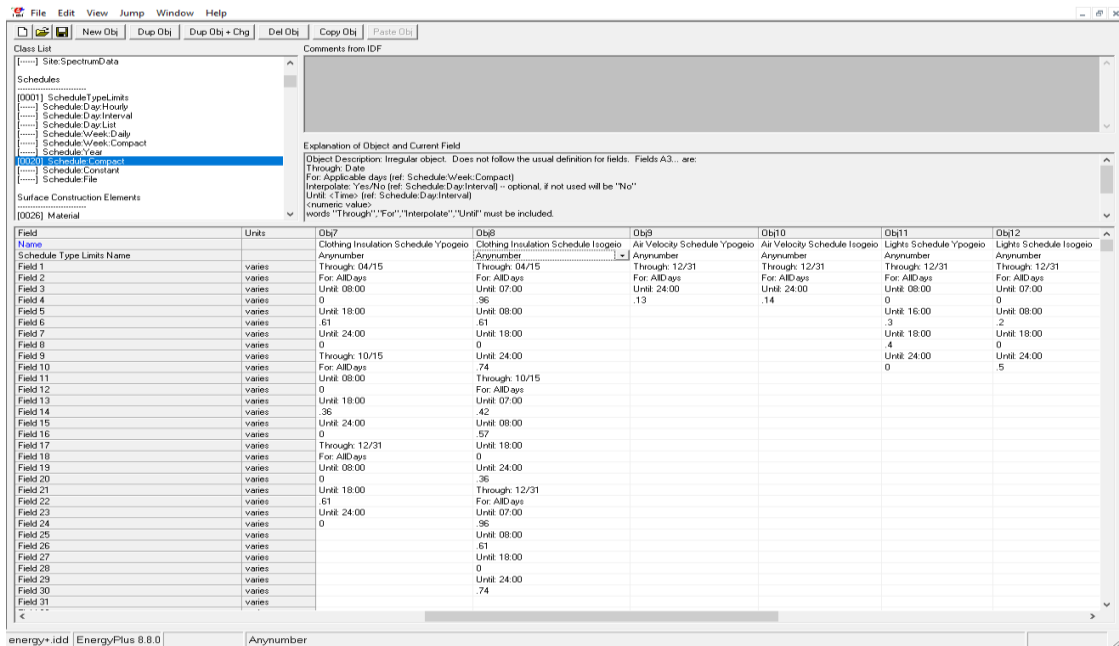
Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα καθορίζεται το ποσοστό των συνολικά χρησιμοποιούμενων συσκευών φωτισμού για συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Στη περίπτωση μας, γνωρίζουμε ότι το υπόγειο είναι εργασιακός χώρος και για αυτό τον λόγο ο φωτισμός λειτουργεί τις ώρες εργασίας. Επομένως, για ολόκληρη τη διάρκεια του έτους όσον αφορά το υπόγειο ισχύει:

- ◆ 00:00 – 08:00 → 0.0 (0%)
- ◆ 08:00 – 16:00 → 0.3 (30%)
- ◆ 16:00 – 18:00 → 0.4 (40%)
- ◆ 18:00 – 24:00 → 0.0 (0%)

12. Lights Schedule Isogeio:

Αναφερόμενοι στο ισόγειο, γνωρίζουμε ότι οι συσκευές φωτισμού λειτουργούν τις ώρες όπου οι κάτοικοι βρίσκονται στο σπίτι, δηλαδή πριν και μετά τη δουλειά τους. Επομένως, για ολόκληρη τη διάρκεια του έτους ισχύει:

- ◆ 00:00 – 07:00 → 0.0 (0%)
- ◆ 07:00 – 08:00 → 0.2 (20%)
- ◆ 08:00 – 18:00 → 0.0 (0%)
- ◆ 18:00 – 24:00 → 0.5 (50%)



Εικόνα 5.35: Κλάση Schedule: Compact (2)

13. Electric Equipment Schedule Υπογειο:

Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα καθορίζεται το ποσοστό του εξοπλισμού ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται κατά την περίοδο που εξετάζεται. Για την περίπτωση του υπογείου γνωρίζουμε ότι οι συσκευές λειτουργούν κατά τα ωράρια εργασίας, επομένως το πρόγραμμα έχει ως εξής:

- ◆ 00:00 – 08:00 → 0.0 (0%)
- ◆ 08:00 – 18:00 → 0.3 (30%)
- ◆ 18:00 – 24:00 → 0.0 (0%)

14. Electric Equipment Schedule Ισογειο:

Αναφερόμενοι στο ισόγειο, γνωρίζουμε ότι οι ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν τις ώρες όπου οι κάτοικοι βρίσκονται στο σπίτι, δηλαδή πριν και μετά τη δουλειά τους. Επομένως, για ολόκληρη τη διάρκεια του έτους ισχύει:

- ◆ 00:00 – 07:00 → 0.0 (0%)
- ◆ 07:00 – 08:00 → 0.3 (30%)
- ◆ 08:00 – 18:00 → 0.0 (0%)
- ◆ 18:00 – 24:00 → 0.5 (50%)

15. Venting Availability Schedule Υπογείο:

Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα ορίζεται πότε και πόσο θα είναι διαθέσιμος ο φυσικός αερισμός μέσω των ανοιγμάτων του κτιρίου, δηλαδή παράθυρα και πόρτες. Η μηδενική τιμή σημαίνει πως δεν υπάρχει φυσικός αερισμός, ενώ η μοναδιαία σημαίνει πως είναι ανοιχτά τα διαθέσιμα παράθυρα και πόρτες. Επομένως, το πρόγραμμα αερισμού για το υπόγειο διαμορφώνεται ως εξής:

- ◆ Τους χειμερινούς μήνες δηλαδή 01/01 – 15/04 και 15/10 – 31/12:
 - 00:00 – 08:00 → 0 (κλειστά)
 - 08:00 – 09:45 → 1 (ανοιχτά)
 - 09:45 – 15:00 → 0 (κλειστά)
 - 15:00 – 17:45 → 1 (ανοιχτά)
 - 17:45 – 24:00 → 0 (κλειστά)
- ◆ Τους θερινούς μήνες δηλαδή 15/04 – 15/10:
 - 00:00 – 08:00 → 0 (κλειστά)
 - 08:00 – 14:30 → 1 (ανοιχτά)
 - 14:30 – 24:00 → 0 (κλειστά)

16. Venting Availability Schedule Ισόγειο:

Αναφερόμενοι στο ισόγειο, γνωρίζουμε ότι ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται τις ώρες όπου οι κάτοικοι βρίσκονται στο σπίτι, δηλαδή πριν και μετά τη δουλειά τους. Επομένως, το πρόγραμμα αερισμού για το ισόγειο διαμορφώνεται ως εξής:

- ◆ Τους χειμερινούς μήνες δηλαδή 01/01 – 15/04 και 15/10 – 31/12:
 - 00:00 – 07:00 → 0 (κλειστά)
 - 07:00 – 07:45 → 1 (ανοιχτά)
 - 07:45 – 18:00 → 0 (κλειστά)
 - 18:00 – 19:15 → 1 (ανοιχτά)
 - 19:15 – 22:00 → 0 (κλειστά)
 - 22:00 – 23:15 → 1 (ανοιχτά)
 - 23:15 – 24:00 → 0 (κλειστά)
- ◆ Τους θερινούς μήνες δηλαδή 15/04 – 15/10:
 - 00:00 – 07:00 → 1 (ανοιχτά)
 - 07:00 – 18:00 → 0 (κλειστά)
 - 18:00 – 19:00 → 1 (ανοιχτά)
 - 19:00 – 21:30 → 0 (κλειστά)
 - 21:30 – 24:00 → 1 (ανοιχτά)

Όπως εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κάποιος σε συνολικό επίπεδο ο φυσικός αερισμός στο υπόγειο λειτουργεί περισσότερες ώρες απ' ότι στο ισόγειο. Αυτό συμβαίνει καθώς στο υπόγειο υπάρχουν εργαζόμενοι οι οποίοι προσδίδουν ένα μεγάλο θερμικό φορτίο στο χώρο λόγω του πλήθους τους και βέβαια λόγω της εργασίας τους. Προφανώς, κάτι αντίστοιχο δεν συμβαίνει και στο ισόγειο.

17. Availability Schedule Υπογειο:

Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα ορίζονται οι ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας στις οποίες θα είναι ενεργοποιημένο το σύστημα αερισμού HRV στο υπόγειο (το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενες κλάσεις). Η μηδενική τιμή σημαίνει πως δεν είναι ενεργοποιημένο το σύστημα αερισμού, ενώ η μοναδιαία σημαίνει πως το σύστημα λειτουργεί. Το πρόγραμμα τεχνητού αερισμού για το υπόγειο διαμορφώνεται ως εξής:

- ◆ Τους χειμερινούς μήνες δηλαδή 01/01 – 15/04 και 15/10 – 31/12:
 - 00:00 – 09:45 → 0 (κλειστό)
 - 09:45 – 15:00 → 1 (ανοιχτό)
 - 15:00 – 17:45 → 0 (κλειστό)
 - 17:45 – 18:00 → 1 (ανοιχτό)
 - 18:00 – 24:00 → 0 (κλειστό)
- ◆ Τους θερινούς μήνες δηλαδή 15/04 – 15/10:
 - 00:00 – 14:30 → 0 (κλειστό)
 - 14:30 – 18:00 → 1 (ανοιχτό)
 - 18:00 – 24:00 → 0 (κλειστό)

18. Availability Schedule Isoγειο:

Αναφερόμενοι στο ισόγειο, γνωρίζουμε ότι το σύστημα αερισμού λειτουργεί τις ώρες όπου οι κάτοικοι βρίσκονται στο σπίτι, δηλαδή πριν και μετά τη δουλειά τους. Επομένως, το πρόγραμμα τεχνητού αερισμού για το ισόγειο διαμορφώνεται ως εξής:

- ◆ Τους χειμερινούς μήνες δηλαδή 01/01 – 15/04 και 15/10 – 31/12:
 - 00:00 – 08:00 → 0 (κλειστό)
 - 08:00 – 18:00 → 1 (ανοιχτό)
 - 18:00 – 19:30 → 0 (κλειστό)
 - 19:30 – 22:00 → 1 (ανοιχτό)
 - 22:00 – 23:15 → 0 (κλειστό)
 - 23:15 – 24:00 → 1 (ανοιχτό)

- ◆ Τους θερινούς μήνες δηλαδή 15/04 – 15/10:
 - 00:00 – 07:00 → 0 (κλειστό)
 - 07:00 – 18:00 → 1 (ανοιχτό)
 - 18:00 – 19:00 → 0 (κλειστό)
 - 19:00 – 21:30 → 1 (ανοιχτό)
 - 21:30 – 24:00 → 0 (κλειστό)

The screenshot shows the EnergyPlus interface with the 'Schedule Type Limits' table. The table is divided into two sections: 'Venting Availability Schedule Isogeo' and 'Availability Schedule Υπογειο'. Each section has columns for Object ID, Object Name, and various schedule parameters like 'Through' and 'Unit'.

| Field | Units | Obj13 Electric Equipment Schedule Υπογειο Anynumber | Obj14 Electric Equipment Schedule Isogeo Anynumber | Obj15 Venting Availability Schedule Υπογειο Anynumber | Obj16 Venting Availability Schedule Isogeo Anynumber | Obj17 Availability Schedule Υπογειο Anynumber | Obj18 Availability Schedule Isogeo Anynumber |
|----------|--------|---|--|---|--|---|--|
| Field 1 | values | Through: 12/31 | Through: 12/31 | Through: 04/15 | Through: 04/15 | Through: 04/15 | Through: 04/15 |
| Field 2 | values | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays | For: AllDays |
| Field 3 | values | Unit: 0.00 | Unit: 07.00 | Unit: 08.00 | Unit: 07.00 | Unit: 09.45 | Unit: 08.00 |
| Field 4 | values | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Field 5 | values | Unit: 18.00 | Unit: 08.00 | Unit: 09.45 | Unit: 07.45 | Unit: 15.00 | Unit: 18.00 |
| Field 6 | values | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Field 7 | values | Unit: 24.00 | Unit: 18.00 | Unit: 15.00 | Unit: 18.00 | Unit: 17.45 | Unit: 19.30 |
| Field 8 | values | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Field 9 | values | Unit: 24.00 | Unit: 24.00 | Unit: 17.45 | Unit: 19.15 | Unit: 18.00 | Unit: 22.00 |
| Field 10 | values | | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Field 11 | values | | | Unit: 24.00 | Unit: 22.00 | Unit: 24.00 | Unit: 23.15 |
| Field 12 | values | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Field 13 | values | | | Through: 10/15 | Unit: 23.15 | Through: 10/15 | Unit: 24.00 |
| Field 14 | values | | | For: AllDays | 1 | For: AllDays | 1 |
| Field 15 | values | | | Unit: 08.00 | Unit: 24.00 | Unit: 14.30 | Through: 10/15 |
| Field 16 | values | | | 0 | 0 | 0 | For: AllDays |
| Field 17 | values | | | Unit: 14.30 | Unit: 10/15 | Unit: 18.00 | Unit: 07.00 |
| Field 18 | values | | | 1 | For: AllDays | 1 | 0 |
| Field 19 | values | | | Unit: 24.00 | Unit: 07.00 | Unit: 24.00 | Unit: 18.00 |
| Field 20 | values | | | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Field 21 | values | | | Through: 12/31 | Unit: 18.00 | Through: 12/31 | Unit: 19.00 |
| Field 22 | values | | | For: AllDays | 0 | For: AllDays | 0 |
| Field 23 | values | | | Unit: 08.00 | Unit: 19.00 | Unit: 09.45 | Unit: 21.30 |
| Field 24 | values | | | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Field 25 | values | | | Unit: 09.45 | Unit: 21.30 | Unit: 15.00 | Unit: 24.00 |
| Field 26 | values | | | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Field 27 | values | | | Unit: 15.00 | Unit: 24.00 | Unit: 17.45 | Through: 12/31 |
| Field 28 | values | | | 0 | 1 | 0 | For: AllDays |
| Field 29 | values | | | Unit: 17.45 | Through: 12/31 | Unit: 18.00 | Unit: 08.00 |
| Field 30 | values | | | 1 | For: AllDays | 1 | 0 |
| Field 31 | values | | | Unit: 24.00 | Unit: 07.00 | Unit: 24.00 | Unit: 18.00 |
| Field 32 | values | | | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Field 33 | values | | | Unit: 07.45 | 0 | 0 | Unit: 19.30 |
| Field 34 | values | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Field 35 | values | | | Unit: 18.00 | Unit: 22.00 | Unit: 22.00 | Unit: 22.00 |
| Field 36 | values | | | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Field 37 | values | | | Unit: 19.15 | Unit: 23.15 | Unit: 23.15 | Unit: 23.15 |

| Field | Units | Obj13 Electric Equipment Schedule Υπογειο Anynumber | Obj14 Electric Equipment Schedule Isogeo Anynumber | Obj15 Venting Availability Schedule Υπογειο Anynumber | Obj16 Venting Availability Schedule Isogeo Anynumber | Obj17 Availability Schedule Υπογειο Anynumber | Obj18 Availability Schedule Isogeo Anynumber |
|----------|--------|---|--|---|--|---|--|
| Field 38 | values | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Field 39 | values | | | Unit: 22.00 | Unit: 24.00 | Unit: 24.00 | Unit: 24.00 |
| Field 40 | values | | | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Field 41 | values | | | Unit: 23.15 | Unit: 23.15 | Unit: 23.15 | Unit: 23.15 |
| Field 42 | values | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Field 43 | values | | | Unit: 24.00 | Unit: 24.00 | Unit: 24.00 | Unit: 24.00 |
| Field 44 | values | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Field 45 | values | | | | | | |
| Field 46 | values | | | | | | |
| Field 47 | values | | | | | | |
| Field 48 | values | | | | | | |
| Field 49 | values | | | | | | |
| Field 50 | values | | | | | | |
| Field 51 | values | | | | | | |
| Field 52 | values | | | | | | |
| Field 53 | values | | | | | | |
| Field 54 | values | | | | | | |
| Field 55 | values | | | | | | |
| Field 56 | values | | | | | | |
| Field 57 | values | | | | | | |
| Field 58 | values | | | | | | |
| Field 59 | values | | | | | | |
| Field 60 | values | | | | | | |
| Field 61 | values | | | | | | |

Εικόνα 5.36: Κλάση Schedule: Compact (3)

5.3.5. Κατηγορία Surface Construction Elements

Η συγκεκριμένη κατηγορία αναφέρεται στα υλικά που χρησιμοποιούνται, στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και στη δομή που θα έχει κάθε κατασκευή του κτιρίου.

5.3.5.1. Materials

Στη συγκεκριμένη κλάση καθορίζονται τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των επιφανειών του κτιρίου και απαιτείται για κάθε υλικό η γνώση χαρακτηριστικών όπως η αγωγιμότητα, το πάχος, η ειδική θερμότητα και η πυκνότητα. Σε αυτό το σημείο δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα καθώς η κατασκευή κτιρίων με σκοπό τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση στηρίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στη δομή και τα υλικά των επιφανειών.

- **Πεδίο – Name:** Εδώ καθορίζεται το όνομα του υλικού που εισάγεται και προφανώς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλο υλικό.
- **Πεδίο – Roughness:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται η σχετική τραχύτητα ενός συγκεκριμένου στρώματος υλικού. Η συγκεκριμένη παράμετρος επηρεάζει κατά κύριο λόγο τους συντελεστές συναγωγής. Οι επιλογές στο συγκεκριμένο πεδίο είναι: “VeryRough”, “Rough”, “MediumRough”, “MediumSmooth”, “Smooth”, και “VerySmooth”
- **Πεδίο – Thickness:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το πάχος του στρώματος ενός υλικού (m), δηλαδή η διάσταση που είναι κάθετη στην κύρια διαδρομή της αγωγής θερμότητας.
- **Πεδίο – Conductivity:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται η θερμική αγωγιμότητα του στρώματος υλικού, με μονάδες (W/mK).
- **Πεδίο – Density:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται η πυκνότητα του στρώματος του υλικού (kg/m³).
- **Πεδίο – Specific Heat:** Στο συγκεκριμένο πεδίο ορίζεται η ειδική θερμότητα του υλικού σε μονάδες (J/kgK).

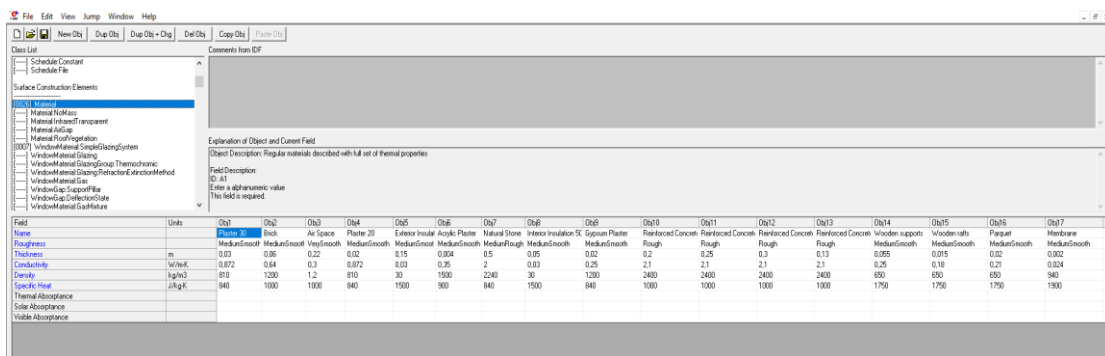
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των επιφανειών του κτιρίου συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1: Ιδιότητες Υλικών (Materials)

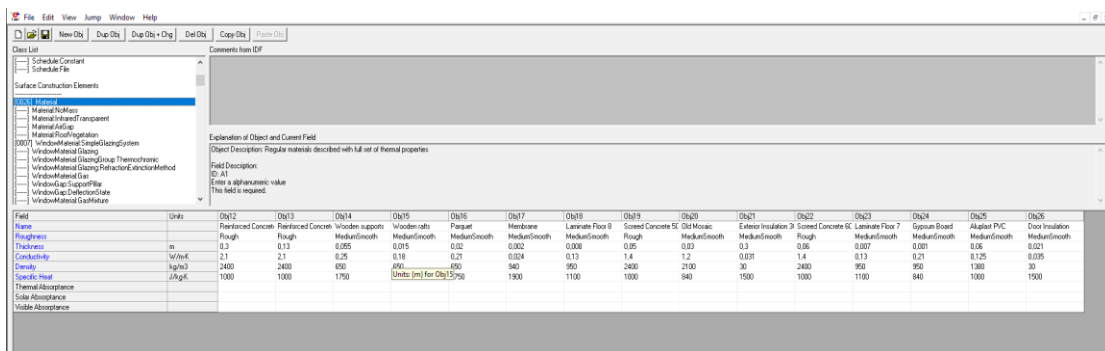
| Υλικό | Τραχύτητα | Πάχος (m) | Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK) | Πυκνότητα (kg/m ³) | Ειδική Θερμότητα (J/kgK) |
|--|---------------|-----------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Σοβάς 30 (Plaster 30) | Medium Smooth | 0.03 | 0.872 | 810 | 840 |
| Σοβάς 20 (Plaster 20) | Medium Smooth | 0.02 | 0.3 | 1.2 | 1000 |
| Τούβλο (Brick) | Medium Smooth | 0.06 | 0.64 | 1200 | 1000 |
| Κενό Στρώμα Αέρα (Air Space) | Very Smooth | 0.22 | 0.3 | 1.2 | 1000 |
| Εξωτερική Μόνωση Πολυστερίνης150 (Exterior Insulation150) | Medium Smooth | 0.15 | 0.03 | 30 | 1500 |
| Ακρυλικός Σοβάς (Acrylic Plaster) | Medium Smooth | 0.004 | 0.35 | 1500 | 900 |
| Πέτρα (Natural Stone) | Medium Rough | 0.5 | 2 | 2240 | 840 |
| Εσωτερική Μόνωση Πολυστερίνης 50 (Interior Insulation 50) | Medium Smooth | 0.05 | 0.03 | 30 | 1500 |
| Σοβάς γύψου (Gypsum Plaster) | Medium Smooth | 0.02 | 0.25 | 1200 | 840 |
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα 20 (Reinforced Concrete20) | Rough | 0.2 | 2.1 | 2400 | 1000 |
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα 25 (Reinforced Concrete25) | Rough | 0.25 | 2.1 | 2400 | 1000 |

| | | | | | |
|---|------------------|-------|-------|------|------|
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα 30 (Reinforced Concrete30) | Rough | 0.3 | 2.1 | 2400 | 1000 |
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα 13 (Reinforced Concrete13) | Rough | 0.13 | 2.1 | 2400 | 1000 |
| Ξύλινα Στηρίγματα (Wooden Supports) | Medium Smooth | 0.055 | 0.25 | 650 | 1750 |
| Ξύλινη Σανίδα (Wooden Rafts) | Medium Smooth | 0.015 | 0.18 | 650 | 1750 |
| Παρκέ (Parquet) | Medium Smooth | 0.02 | 0.21 | 650 | 1750 |
| Μεμβράνη Πατώματος (Floor Membrane) | Medium Smooth | 0.002 | 0.024 | 940 | 1900 |
| Ξύλινο πάτωμα - παρκέ (Laminate Floor 8) | Medium Smooth | 0.008 | 0.13 | 950 | 1100 |
| Τσιμεντοκονίαμα 50 (Screed Concrete 50) | Rough | 0.05 | 1.4 | 2400 | 1000 |
| Μωσαϊκό (Old Mosaic) | Medium Smooth | 0.03 | 1.2 | 2100 | 840 |
| Εξωτερική Μόνωση Πολυστερίνης (Exterior Insulation300) | Medium Smooth | 0.3 | 0.031 | 30 | 1500 |
| Τσιμεντοκονίαμα 60 (Screed Concrete 60) | Rough | 0.06 | 1.4 | 2400 | 1000 |
| Ξύλινο πάτωμα - παρκέ (Laminate Floor 7) | Medium Smooth | 0.007 | 0.13 | 950 | 1100 |
| Γυψοσανίδα (Gypsum Board) | Medium Smooth | 0.001 | 0.21 | 950 | 840 |

| | | | | | |
|---|------------------|-------|-------|------|------|
| Κουφώματα συνθετικά PVC (Aluplast PVC) | Medium Smooth | 0.06 | 0.125 | 1380 | 1000 |
| Μόνωση Πόρτας (Door Insulation) | Medium Smooth | 0.021 | 0.035 | 30 | 1500 |



Εικόνα 5.37: Κλάση Materials (1)



Εικόνα 5.38: Κλάση Materials (2)

5.3.5.2. Window Material: Simple Glazing System

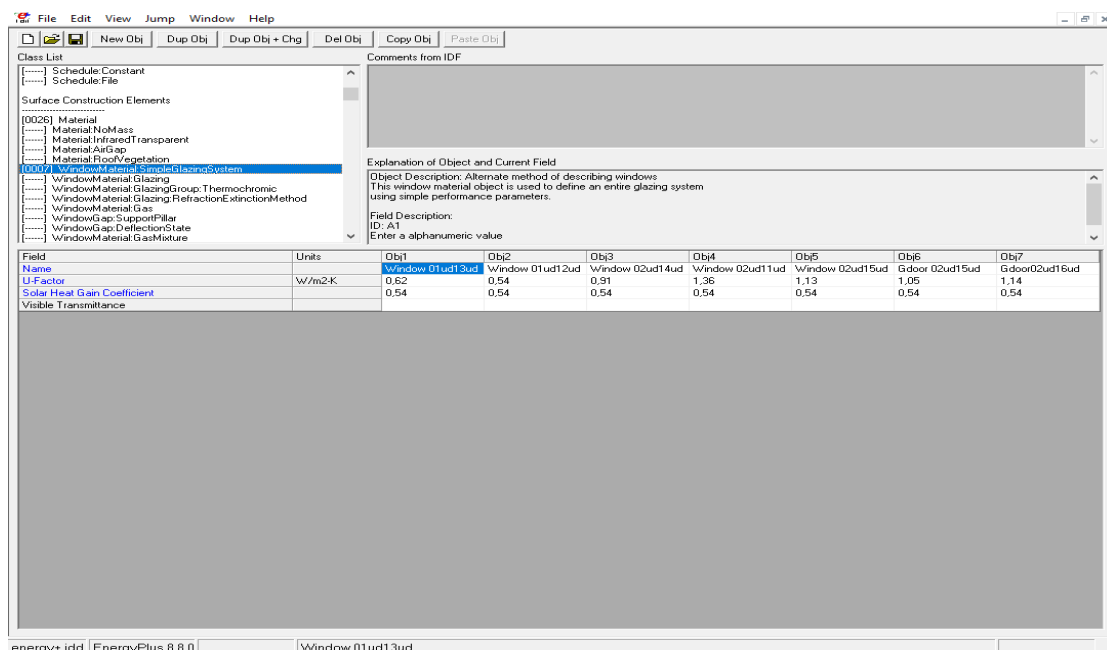
Σε αυτή την κλάση εισάγονται δεδομένα με βάση τα οποία μοντελοποιείται ολόκληρο το σύστημα των παραθύρων και όχι λεπτομερικά στρώση προς στρώση. Προφανώς, η χρήση της συγκεκριμένης κλάσης απαιτεί της γνώση κάποιων συνολικών χαρακτηριστικών του παραθύρου ως σύστημα, αφού δε συνθέτει τα επιμέρους χαρακτηριστικά των στρώσεων. Η λεπτομερής ανάλυση ανά στρώσεις αποτελεί αρκετά καλύτερη μέθοδο μοντελοποίησης, όταν βέβαια υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Εν ολίγοις, αυτό το αντικείμενο προσεγγίζει ένα μοντέλο που μετατρέπει κάποιους απλούς δείκτες απόδοσης σε ένα πληρέστερο μοντέλο συστήματος υαλοπινάκων.

- **Πεδίο – Name:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται το όνομα της κατασκευής του κάθε παραθύρου.
- **Πεδίο – U-Factor:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται η τιμή του U-factor ή αλλιώς του συνολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε μονάδες (W/m²K) και αναφέρεται σε συνθήκες χειμερινής θέρμανσης.
- **Πεδίο – Solar Heat Gain Coefficient:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται ο συντελεστής κέρδους ηλιακής θερμότητας ο οποίος αναφέρεται σε συνθήκες θερινής ψύξης και δεν υπάρχουν μονάδες μέτρησης.

Τα είδη παραθύρων που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα πήραν συγκεκριμένες κωδικές ονομασίες έτσι ώστε να υπάρξει σύγχυση.

Πίνακας 5.2: Ιδιότητες των παραθύρων

| Όνομα | U-factor | Solar Heat Gain Coefficient |
|----------------|----------|-----------------------------|
| Window01ud13ud | 0.62 | 0.54 |
| Window01ud12ud | 0.54 | 0.54 |
| Window02ud14ud | 0.91 | 0.54 |
| Window02ud11ud | 1.36 | 0.54 |
| Window02ud15ud | 1.13 | 0.54 |
| Gdoor02ud15ud | 1.05 | 0.54 |
| Gdoor02ud16ud | 1.14 | 0.54 |



Εικόνα 5.39: Κλάση WindowMaterials: SimpleGlazingSystem

5.3.5.3. Construction

Στην συγκεκριμένη κλάση καθορίζεται η δομή των κατασκευών του κτιρίου, δηλαδή των επιφανειών, των παραθύρων και των πορτών, με βάση τα υλικά που έχουν δηλωθεί στις παραπάνω κλάσεις. Κάθε στρώση της κατασκευής είναι ένα από τα ονόματα των υλικών που δηλώθηκαν παραπάνω και αυτά εισάγονται από την εξωτερική επιφάνεια προς την εσωτερική (εσωτερικός αέρας θερμικής ζώνης).

- **Πεδίο – Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το όνομα της κατασκευής, μέσω του οποίου δηλώνεται το είδος της.
- **Πεδίο – Outside Layer:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του υλικού το οποίο βρίσκεται στην εξωτερική στρώση της κατασκευής (αυτό που είναι πιο μακριά από τον εσωτερικό αέρα της θερμικής ζώνης). Προφανώς κάθε κατασκευή πρέπει να έχει τουλάχιστον μία στρώση υλικού, επομένως η συμπλήρωση αυτού του πεδίου είναι υποχρεωτική.
- **Πεδία – Layer #:** Από τη στιγμή που συμπληρώνεται το πεδίο της εξωτερικής στρώσης, στα επόμενα πεδία εισάγονται τα υλικά στην ίδια λογική, δηλαδή στο Layer 2 ακολουθεί το υλικό που βρίσκεται ακριβώς μετά το Outside Layer και ούτω καθ' εξής.

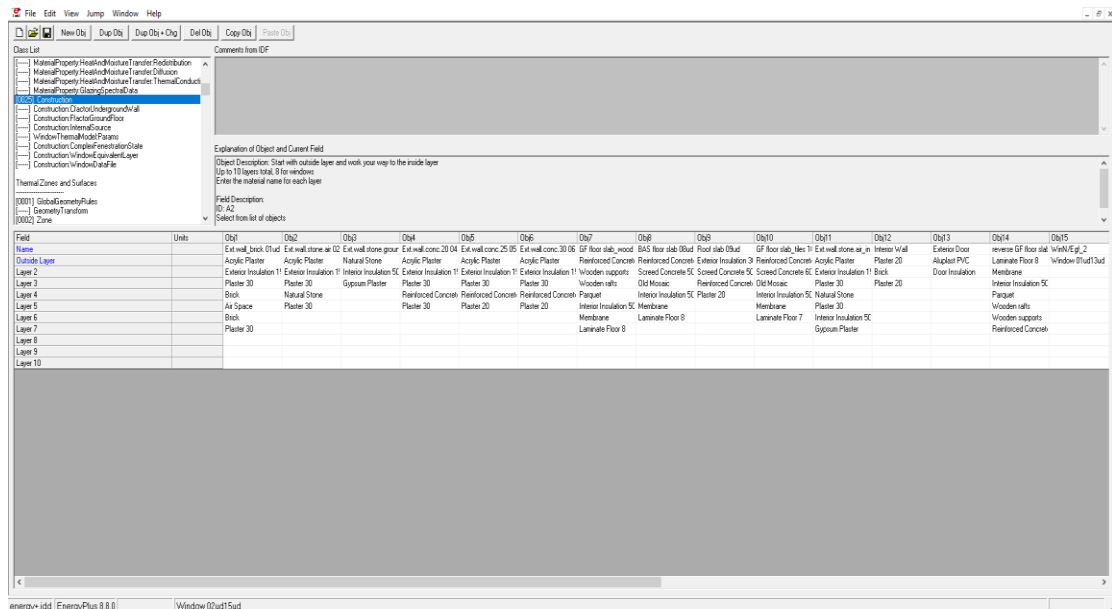
Οι κατασκευές που υπάρχουν στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάται φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.3: Κατασκευές

| Κατασκευή | Στρώση1 Εξωτερική | Στρώση2 | Στρώση3 | Στρώση4 | Στρώση5 | Στρώση6 | Στρώση7 |
|---|----------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------------|---------|-----------|
| Ext. wall_brick 01ud | Acrylic Plaster | Exterior Insulation 150 | Plaster30 | Brick | Air Space | Brick | Plaster30 |
| Ext.wall.st one.air 02ud | Acrylic Plaster | Exterior Insulation 150 | Plaster 30 | Natural Stone | Plaster 30 | - | - |
| Ext.wall.st one.groun d 03ud | Natural Stone | Interior Insulation 50 | Gypsum Plaster | - | - | - | - |

| | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Ext.wall.c nc.20 04ud | Acrylic Plaster | Exterior Insulation 150 | Plaster 30 | Reinforced Concrete 20 | Plaster 30 | - | - |
| Ext.wall.c nc.25 05ud | Acrylic Plaster | Exterior Insulation 150 | Plaster 30 | Reinforced Concrete 25 | Plaster 20 | - | - |
| Ext.wall.c nc.30 06ud | Acrylic Plaster | Exterior Insulation 150 | Plaster 30 | Reinforced Concrete 30 | Plaster 20 | - | - |
| GF floor slab_wood 07ud | Reinforced Concrete 13 | Wooden supports | Wooden rafts | Parquet | Interior Insulation 50 | Membrane | Laminate Floor 8 |
| BAS floor slab 08ud | Reinforced Concrete 13 | Screed Concrete 50 | Old Mosaic | Interior Insulation 50 | Membrane | Laminate Floor 8 | - |
| Roof slab 09ud | Exterior Insulation 300 | Screed Concrete 50 | Reinforced Concrete 13 | Plaster 20 | - | - | - |
| GF floor slab_tiles 10ud | Reinforced Concrete 13 | Screed Concrete 60 | Old Mosaic | Interior Insulation 50 | Membrane | Laminate Floor 7 | - |
| Ext.wall.st one.air_int. insul. 12ud | Acrylic Plaster | Exterior Insulation 150 | Plaster 30 | Natural Stone | Plaster 30 | Interior Insulation 50 | Gypsum Plaster |
| Interior Wall | Plaster 20 | Brick | Plaster 20 | - | - | - | - |
| Exterior Door | Aluplast PVC | Door Insulation | - | - | - | - | - |
| Reverse GF floor slab_wood 07ud | Laminate Floor 8 | Membrane | Interior Insulation 50 | Parquet | Wooden rafts | Wooden supports | Reinforced Concrete 13 |
| WinN/Egf_ 2 | Window 01ud13ud | - | - | - | - | - | - |
| WinN/Egf_ 3 | Window 01ud13ud | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| GdoorN/W gf_5 | Gdoor 02ud15ud | - | - | - | - | - | - |
| WinN/W_b 1 | Window 01ud12ud | - | - | - | - | - | - |
| WinN/W_b 2 | Window 01ud12ud | - | - | - | - | - | - |
| GdoorS/W gf_4 | Gdoor 02ud15ud | - | - | - | - | - | - |
| GdoorS/W gf_7 | Gdoor02ud1 6ud | - | - | - | - | - | - |
| WinS/Wgf_ 6 | Window 02ud14ud | - | - | - | - | - | - |
| WinS/Wgf_ 8 | Window 02ud11ud | - | - | - | - | - | - |
| WinS/Egf_ 9 | Window 02ud15ud | - | - | - | - | - | - |
| WinS/Egf_ 10 | Window 02ud15ud | - | - | - | - | - | - |



Εικόνα 5.40: Κλάση Construction (1)

- **Πεδίο – Starting Vertex Position:** UpperLeftCorner

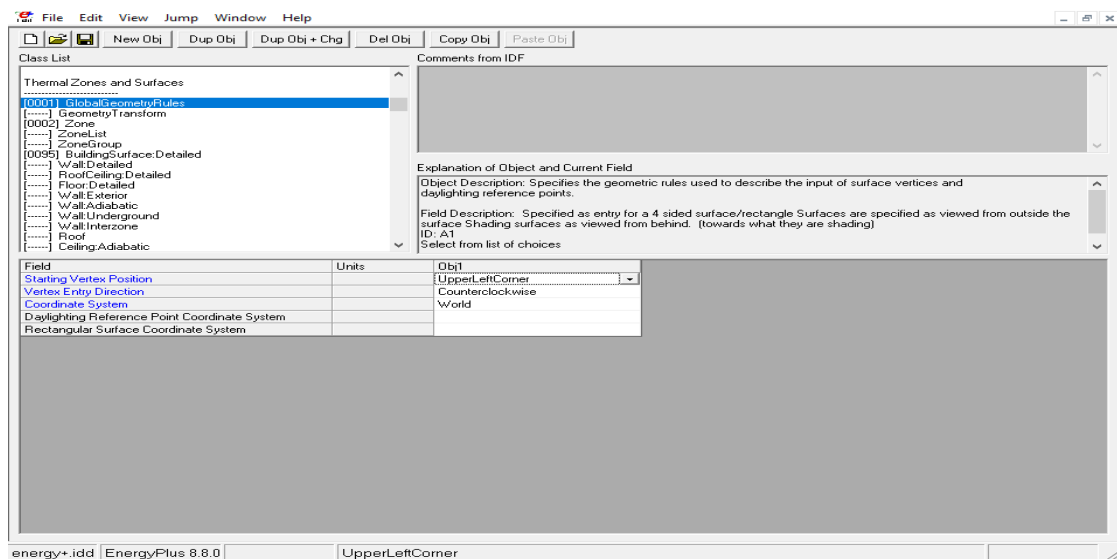
Στο συγκεκριμένο πεδίο ορίζεται το σημείο εκκίνησης για κάθε επιφάνεια που εισάγεται από τον χρήστη. Οι αλγόριθμοι σκίασης στο λογισμικό βασίζονται σε επιφάνειες που έχουν κορυφές σε συγκεκριμένες θέσεις. Οι επιλογές είναι *UpperLeftCorner*, *LowerLeftCorner*, *UpperRightCorner* και *LowerRightCorner*.

- **Πεδίο – Vertex Entry Direction:** Counterclockwise

Σε αυτό το πεδίο ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο επιθυμεί ο χρήστης να δηλώνονται οι επιφάνειες, δηλαδή δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα από την αρχική θέση των κορυφών.

- **Πεδίο – Coordinate System:** World

Στο συγκεκριμένο πεδίο καθορίζεται αν θα χρησιμοποιηθούν σχετικές “Relative” ή παγκόσμιες “World” συντεταγμένες. Οι “σχετικές” συντεταγμένες επιτρέπουν την ευελιξία της ταχείας μεταβολής για την παρακολούθηση των αλλαγών στα αποτελέσματα της κατασκευής λόγω του προσανατολισμού και της θέσης, ενώ οι “παγκόσμιες” συντεταγμένες είναι πιο εύχρηστες μέσα σε μια δομή συστήματος CADD.



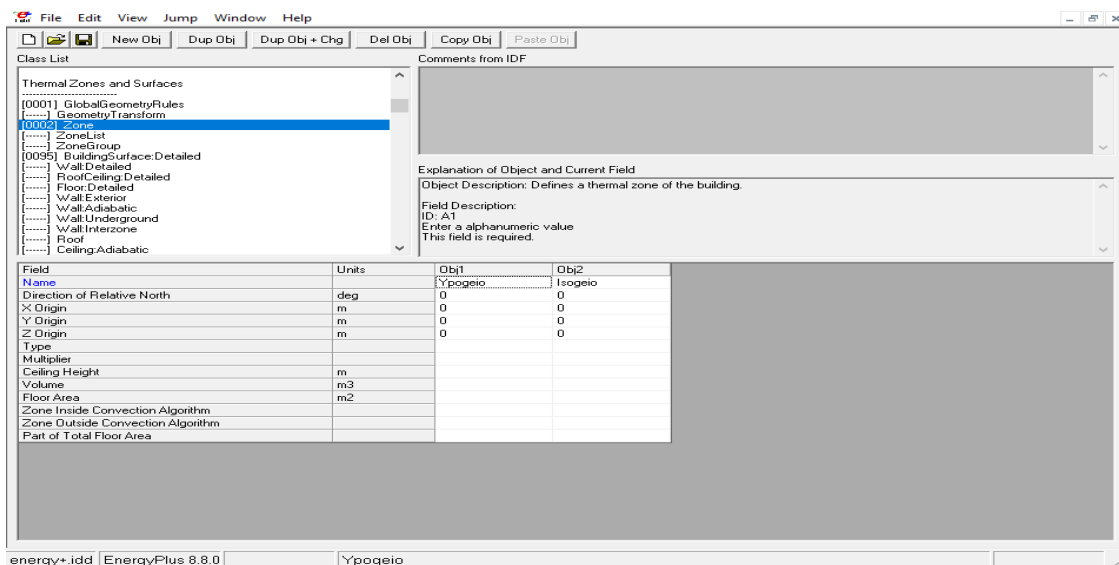
Εικόνα 5.42: Κλάση *Global Geometry Rules*

5.3.6.2. Zone

Σε αυτή την κλάση ορίζονται οι θερμικές ζώνες του κτιρίου, οι οποίες είναι και οι βασικές παράμετροι της προσομοίωσης. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως ο χρήστης δεν εισάγει δεδομένα, καθώς το λογισμικό παίρνει απευθείας τα δεδομένα από το σχεδιαστικό πρόγραμμα SketchUp και τα εισάγει στα κατάλληλα πεδία. Η μόνη αλλαγή που

πραγματοποιείται εδώ είναι ο ορισμός της ονομασίας της ζώνης καθώς αρχικά η κάθε θερμική ζώνη αναφέρεται ως “Thermal Zone 1”, “Thermal Zone 2” και ούτω καθ’ εξής.

- **Πεδίο – Name:** Σε αυτό το πεδίο ορίζεται το όνομα της κάθε θερμικής ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση υπάρχουν δύο θερμικές ζώνες και για αυτό τον λόγο το λογισμικό εισάγει δύο αντικείμενα “Objects” με αντίστοιχες ονομασίες “Thermal Zone 1” και “Thermal Zone 2”. Η παρέμβαση που έγινε στην προκειμένη περίπτωση είναι να αλλαχθούν τα ονόματα σε “Υπογειο” και “Ισογειο” αντίστοιχα ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε σύγχυση.
- **Πεδίο – Direction of Relative North:** 0
Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται ο βόρειος άξονας ζώνης σε σχέση με τον άξονα του κτιρίου North. Αυτή η τιμή καθορίζεται σε μοίρες (δεξιόστροφα είναι θετική).
- **Πεδίο – (X, Y, Z) Origin:** (0, 0, 0)
Στο συγκεκριμένο πεδίο βρίσκονται οι συντεταγμένες στις οποίες “ξεκινάει” η θερμική ζώνης.



Εικόνα 5.43: Κλάση Zone

5.3.6.3. Building Surface: Detailed

Στη συγκεκριμένη κλάση καταχωρούνται απ’ ευθείας στο Energy Plus από το σχεδιαστικό πρόγραμμα SketchUp οι επιφάνειες οι οποίες συνεισφέρουν στη μεταφορά θερμότητας του κτιρίου. Για την κάθε επιφάνεια εισάγονται από τον χρήστη συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ενώ άλλα θεωρούνται ως δεδομένα από το σχεδιαστικό

πρόγραμμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν περιλαμβάνονται παράθυρα και πόρτες καθώς αναλύονται σε επόμενη κλάση.

- **Πεδίο – Name:** Εδώ εισάγεται από το λογισμικό το όνομα της επιφάνειας, το οποίο είναι ίδιο με το όνομα που έχει λάβει η κάθε από το SketchUp. Τα ονόματα αυτά είναι στη μορφή “Surface 1”, “Surface 2”, “Surface 3”... και ούτω καθ’ εξής.
- **Πεδίο – Surface Type:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται ο τύπος της επιφάνειας αυτόματα μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος και δηλώνεται ο τύπος της επιφάνειας μέσω των επιλογών: *Wall, Floor, Ceiling, Roof*. Προφανώς, πάντοτε ο χρήστης μπορεί να παρέμβει αν εντοπίσει κάποιο λάθος σε συγκεκριμένη επιφάνεια ώστε να αλλάξει τον τύπο. Η κλίση των επιφανειών προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες των κορυφών τους. Έτσι, όταν μια επιφάνεια έχει κλίση 180° θεωρείται δάπεδο, όταν έχει κλίση 90° θεωρείται τοίχος και όταν έχει κλίση 0° θεωρείται οροφή.
- **Πεδίο – Construction Name:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η κατασκευή της κάθε επιφάνειας από τον χρήστη, εισάγοντας ένα όνομα από τη λίστα κατασκευών που δημιουργήθηκαν στην κλάση “Construction”. Προφανώς, για τις επιφάνειες χρησιμοποιείται η πλήρης κατασκευή, δηλαδή όλα τα στρώματα από τα οποία αποτελείται αυτή.
- **Πεδίο – Zone Name:** Σε αυτό το πεδίο προσδιορίζεται αυτόματα το όνομα της θερμικής ζώνης στην οποία ανήκει η επιφάνεια.
- **Πεδίο – Outside Boundary Condition:** Σε αυτό το πεδίο για την κάθε επιφάνεια του κτιρίου καθορίζεται, από μία λίστα επιλογών, ποιο θα είναι το περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή η εξωτερική πλευρά της. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου κτιρίου χρησιμοποιούνται οι επιλογές:
 - ◆ **Surface:** Η συγκεκριμένη επιλογή γίνεται όταν η εξωτερική πλευρά μιας επιφάνειας έρχεται σε επαφή με μία άλλη επιφάνεια, όπως είναι η περίπτωση του δαπέδου του ισογείου με την οροφή του υπογείου που έρχονται σε επαφή.
 - ◆ **Outdoors:** Η συγκεκριμένη επιλογή γίνεται όταν η εξωτερική πλευρά μιας επιφάνειας είναι εκτεθειμένη στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, δηλαδή στον αέρα και τον ήλιο.
 - ◆ **Ground:** Η συγκεκριμένη επιλογή γίνεται όταν η εξωτερική πλευρά μιας επιφάνειας έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Αυτή η επιφάνεια δεν είναι κατ’ ανάγκην δάπεδο, αλλά μπορεί να είναι και τοίχος στις

περιπτώσεις που αναφερόμαστε σε κτίρια που έχουν υπόγειους ορόφους.

- ◆ **Adiabatic:** Η συγκεκριμένη επιλογή γίνεται όταν πρόκειται για εσωτερική επιφάνεια μιας συγκεκριμένης θερμικής ζώνης. Αυτή η επιφάνεια δεν μεταφέρει τη θερμότητα από τη ζώνη, αλλά την αποθηκεύει ως θερμική μάζα.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί πως για τους εσωτερικούς τοίχους του κτιρίου χρειάστηκε παρέμβαση ώστε να δηλωθούν ως “Adiabatic” καθώς το λογισμικό δεν έχει πληροφορίες ότι πρόκειται για εσωτερικές επιφάνειες. Επίσης, παρέμβαση χρειάστηκε να γίνει και για συγκεκριμένους εξωτερικούς τοίχους του υπογείου οι οποίοι έχουν άμεση επαφή με το έδαφος καθώς είναι κατά ένα ποσοστό “θαμμένοι” επομένως για αυτούς στο παραπάνω πεδίο δηλώθηκε η επιλογή “Ground”.

- **Πεδίο – Outside Boundary Condition Object:** Αν δεν έχει επιλεγεί στο παραπάνω πεδίο κάποια από τις επιλογές *Surface*, *Zone*, *Foundation*, *OtherSideCoefficients*, *OtherSideConditionsModel*, το πεδίο πρέπει να παραμείνει κενό. Στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάται σε συγκεκριμένες επιφάνειες στο πεδίο “Outside Boundary Condition” έχει επιλεγεί “Surface”. Σε αυτή την περίπτωση το πεδίο συμπληρώνεται με το όνομα της επιφάνειας της οποίας η εσωτερική θερμοκρασία θα επιβληθεί στην εξωτερική όψη της επιφάνειας βάσης. Οι κατασκευές των επιφανειών αυτών θα πρέπει να ταιριάζουν υπό την λογική ότι η σειρά των στρώσεων της αντίθετης επιφάνειας θα πρέπει να είναι το αντίστροφο της επιφάνειας βάσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην προκειμένη περίπτωση είναι το δάπεδο του ισογείου, με την οροφή του υπογείου.
- **Πεδίο – Sun Exposure:** Σε αυτό το πεδίο προσδιορίζεται αν μια επιφάνεια είναι άμεσα εκτεθειμένη στον ήλιο. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι “SunExposed” και “NoSun”.
- **Πεδίο – Wind Exposure:** Σε αυτό το πεδίο προσδιορίζεται αν μια επιφάνεια είναι άμεσα εκτεθειμένη στον άνεμο. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι “WindExposed” και “NoWind”.

Υπογραμμίζεται πως επιφάνειες οι οποίες ανήκουν στο εσωτερικό του κτιρίου θεωρείται πως δεν δέχονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία καθώς παρεμβάλλονται τα παράθυρα ενώ παράλληλα λαμβάνεται υπόψιν πως δεν είναι εκτεθειμένες στον άνεμο. Οι ίδιες επιλογές (“NoSun” και “NoWind”) γίνονται και για τις επιφάνειες του υπογείου οι οποίες έχουν άμεση επαφή με το έδαφος (αυτές δηλαδή που είναι “θαμμένες”).

- **Πεδία – Vertex # (X, Y, Z)-coordinate:** Σε αυτά τα πεδία εισάγονται αυτόματα οι συντεταγμένες των κορυφών των επιφανειών του κτιρίου.

energy+.idd EnergyPlus 8.8.0 | Surface 29

Εικόνα 5.44: Κλάση Building Surface: Detailed (1)

energy+.idd EnergyPlus 8.8.0 | Surface 92

Εικόνα 5.45 Κλάση Building Surface: Detailed (2)

energy+.idd | EnergyPlus 8.8.0 | Surface 02

Εικόνα 5.46: Κλάση Building Surface: Detailed (3)

energy+.idd | EnergyPlus 8.8.0 | Surface 122

Εικόνα 5.47: Κλάση Building Surface: Detailed (4)

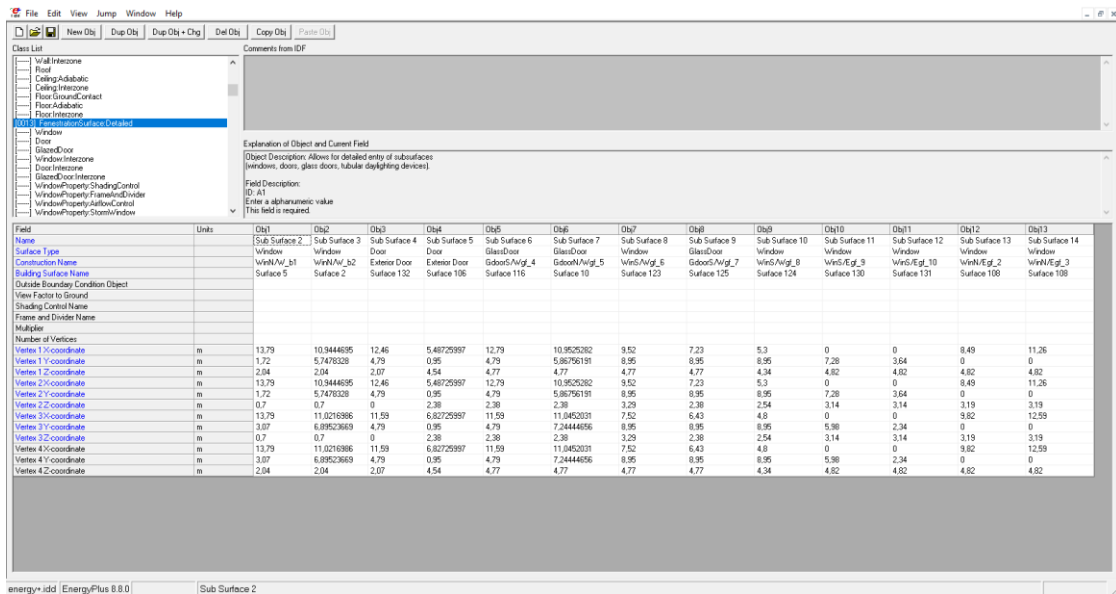
Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται εκτενώς όλες οι επιφάνειες που έχουν δημιουργηθεί κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου και βέβαια τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους, όπως περιγράφηκαν αναλυτικά στην επεξήγηση των πεδίων.

5.3.6.4. Fenestration Surface: Detailed

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται αυτόματα από το πρόγραμμα οι υποεπιφάνειες του κτιρίου, δηλαδή τα παράθυρα και οι πόρτες οι οποίες έχουν σχεδιαστεί στο SketchUp, και αποδίδονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

- **Πεδίο – Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται αυτόματα από το πρόγραμμα το όνομα της κάθε υποεπιφάνειας υπό τη μορφή “Sub Surface 1”, “Sub Surface 2”, “Sub Surface 3” και ούτω καθ’ εξής.
- **Πεδίο – Surface Type:** Το πρόγραμμα αυτόματα συμπληρώνει το συγκεκριμένο πεδίο το οποίο περιγράφει το είδος της υποεπιφάνειας στην οποία αναφερόμαστε. Οι επιλογές είναι: *Window*, *Door*, *GlassDoor*, *TubularDaylightDomes* και *TubularDaylightDiffusers*. Οι υποεπιφάνειες έχουν συγκεκριμένα ίδια χαρακτηριστικά με τις επιφάνειες στις οποίες εδράζονται, όπως είναι οι εξωτερικές οριακές συνθήκες, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κλπ. Οι πόρτες θεωρούνται ως αδιαφανείς επιφάνειες, ενώ οι γυάλινες πόρτες και τα παράθυρα μεταδίδουν κανονικά την ηλιακή ακτινοβολία και αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας και τα θερμικά κέρδη. Τα παράθυρα και οι γυάλινες πόρτες είναι δυνατόν να έχουν είτε εσωτερική, είτε εξωτερική, είτε ενδιάμεσα στα τζάμια συσκευή σκίασης.
- **Πεδίο – Construction Name:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η κατασκευή της κάθε υποεπιφάνειας από τον χρήστη, εισάγοντας ένα όνομα από τη λίστα κατασκευών που δημιουργήθηκαν στην κλάση “Construction”.
- **Πεδίο – Building Surface Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται αυτόματα από το πρόγραμμα το όνομα της επιφάνειας επί της οποίας εδράζεται η υποεπιφάνεια στην οποία αναφερόμαστε. Σημαντικό είναι πως ορισμένα είδη επιφανειών δεν έχουν τη δυνατότητα να έχουν υποεπιφάνειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι επιφάνειες των οποίων η εξωτερική πλευρά έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος (δηλαδή Outside Boundary Condition = Ground).
- **Πεδίο – Outside Boundary Condition:** Το συγκεκριμένο πεδίο συμπληρώνεται μόνο στην περίπτωση όπου η επιφάνεια στην οποία εδράζεται η υπό εξέταση υποεπιφάνεια έχει ως “Outside Boundary Condition” το “Surface” ή το “OtherSideCoefficients”. Στην περίπτωση που υπάρχει υποεπιφάνεια που εφάπτεται με αυτήν που είναι προς εξέταση, και αυτή έχει σχεδιαστεί σωστά, τότε το πρόγραμμα την εμφανίζει αυτόματα σε αυτό το πεδίο. Όπως και για τις κανονικές επιφάνειες, έτσι και για τις υποεπιφάνειες ισχύει ότι για τις κατασκευές πολλαπλών στρώσεων, η σειρά των στρώσεων της αντίθετης υποεπιφάνειας πρέπει να είναι αντίστροφη.

- **Πεδίο – Shading Control Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του στοιχείου ελέγχου σκίασης για παράθυρα ή γυάλινες πόρτες (καθορίζονται στην κλάση WindowProperty: ShadingControl).
- **Πεδίο – Vertex # (X, Y, Z)-coordinate:** Σε αυτά τα πεδία εισάγονται αυτόματα οι συντεταγμένες των κορυφών των υποεπιφανειών του κτιρίου

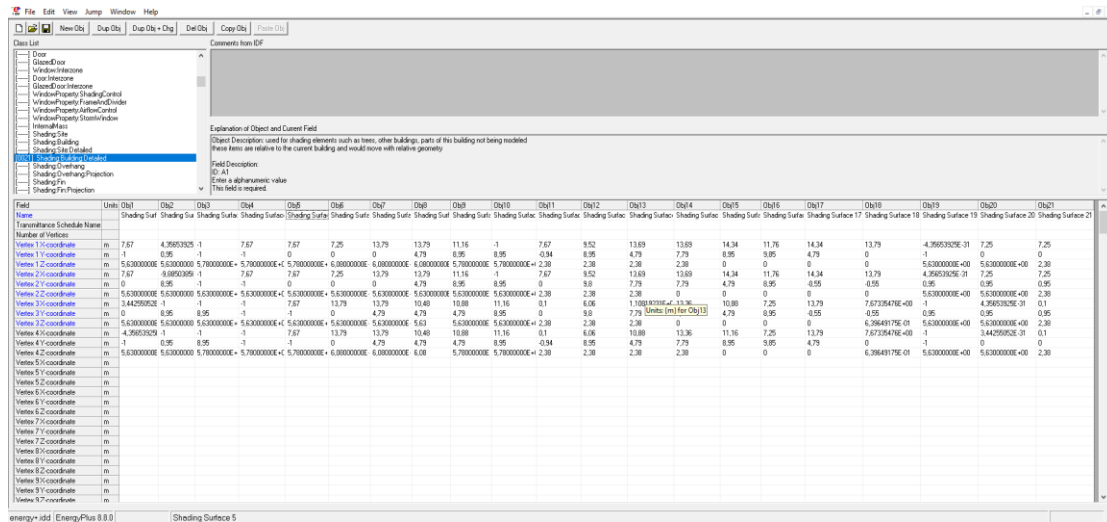


Εικόνα 5.48: Κλάση Fenestration Surface: Detailed

5.3.6.5. Shading: Building: Detailed

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται αυτόματα από το πρόγραμμα οι επιφάνειες που έχουν σχεδιαστεί στο SketchUp και είναι ουσιαστικά προεξοχές του κτιρίου οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο οριζόντιες και χρησιμοποιούνται με σκοπό τη σκίαση κατά βάση των παραθύρων.

- **Πεδίο – Name:** Σε αυτό το πεδίο έχουν καθοριστεί αυτόματα από το πρόγραμμα τα ονόματα των επιφανειών σκίασης στην μορφή “Shading Surface 1”, “Shading Surface 2”, “Shading Surface 3” και ούτω καθ’ εξής.
- **Πεδίο – Vertex # (X, Y, Z)-coordinate:** Σε αυτά τα πεδία εισάγονται αυτόματα οι συντεταγμένες των κορυφών των επιφανειών σκίασης του κτιρίου.



Εικόνα 5.49: Κλάση Shading: Building: Detailed

5.3.7. Κατηγορία Internal Gains

Τα στοιχεία που επιδρούν στη θερμοκρασία του κτιρίου και την ενεργειακή κατανάλωση δε σχετίζονται μονάχα με τον τρόπο κατασκευής και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Σε πολύ σημαντικό βαθμό αυτές οι παράμετροι επηρεάζονται από το θερμικό φορτίο των ανθρώπων, των ηλεκτρικών συσκευών και των συσκευών τεχνητού φωτισμού.

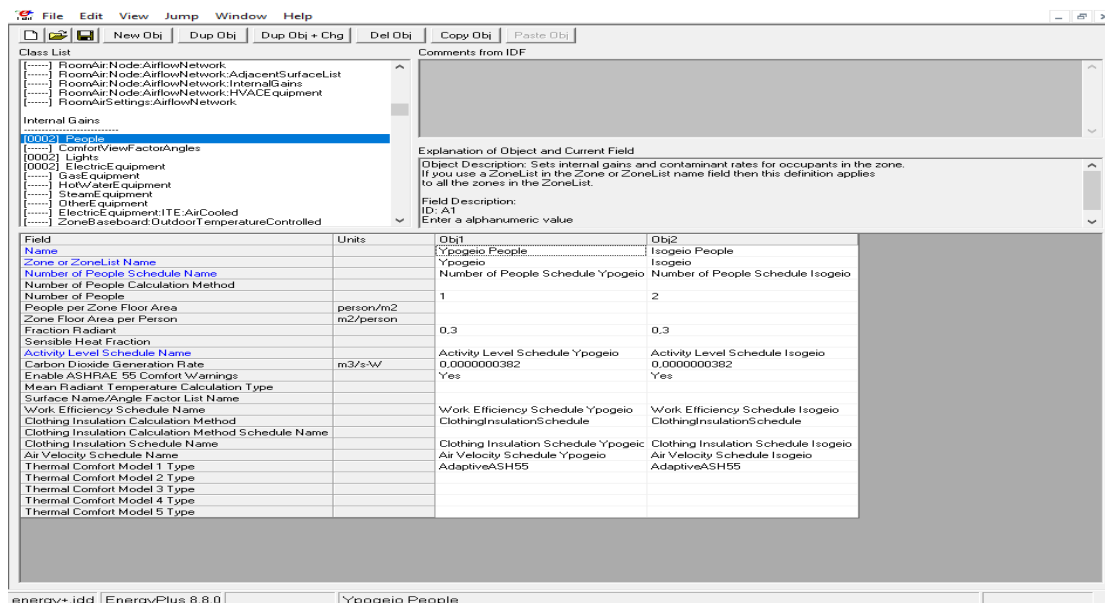
5.3.7.1. People

Σε αυτή την κλάση εισάγονται συγκεκριμένες παράμετροι από τον χρήστη οι οποίες προσεγγίζουν την επίδραση των ανθρώπων στις συνθήκες του χώρου. Επομένως, η μοντελοποίηση απαιτεί συγκεκριμένες πληροφορίες και καλύπτει τις βασικές επιδράσεις που έχει το ανθρώπινο στοιχείο στη θερμική άνεση ενός χώρου. Πρέπει να αναφερθεί πως σε αυτή την κλάση έγινε εισαγωγή δύο αντικειμένων που αντιστοιχούν στο υπόγειο και στο ισόγειο. Επομένως, οι επεξηγήσεις που ακολουθούν αναφέρονται αφορούν και τις δύο θερμικές ζώνες του κτιρίου.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του αντικειμένου το οποίο στην προκειμένη περίπτωση για αποφυγή σύγχυσης προσδιορίζει τη θερμική ζώνη στην οποία αναφέρεται ο χρήστης. Επομένως, για το Object 1 και το Object 2 χρησιμοποιήθηκαν οι ονομασίες “Υπογειο People” και “Ισόγειο People” αντίστοιχα.

- **Πεδίο – Zone or ZoneListName:** Σε αυτό το πεδίο επιλέγεται από το χρήστη το όνομα της θερμικής ζώνης για την οποία γίνεται η ανάλυση. Για το Object 1 και το Object 2 επιλέγεται αντίστοιχα “Υπογείο” και “Isoγείο”.
- **Πεδίο – Number of People Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος το οποίο τροποποιεί την παράμετρο του αριθμού των ατόμων, εισάγοντας σε ποσοστιαία κλίμακα την ύπαρξή τους εντός της θερμικής ζώνης. Επομένως, για το Object 1 και το Object 2 επιλέγονται αντίστοιχα “Number of People Schedule Υπογείο” και “Number of People Schedule Isoγείο”.
- **Πεδίο – Number of People:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται ο αριθμός των ανθρώπων που βρίσκονται εντός της θερμικής ζώνης κατά το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου. Επομένως, για τη θερμική ζώνη του υπογείου εισάγεται “1” καθώς κατά κύριο λόγο ένας από τους εργαζομένους βρίσκεται εκεί ενώ οι υπόλοιποι βρίσκονται σε εξωτερικές εργασίες. Για τη θερμική ζώνη του ισογείου εισάγεται “2” καθώς όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω πρόκειται για κατοικία δύο εργαζόμενων ατόμων.
- **Πεδίο – Fraction Radiant:** Σε αυτό το πεδίο εισάγονται δεκαδικές τιμές από 0.0 έως 1.0 που καθορίζουν το ποσοστό της ολικής αισθητής θερμότητας που εκπέμπεται από τους ανθρώπους και η οποία αποδίδεται υπό την μορφή ακτινοβολίας. Το υπόλοιπο του αισθητού φορτίου θεωρείται ότι είναι θερμικό κέρδος μέσω συναγωγής. Σημειώνεται ότι τα λανθάνοντα κέρδη από τους ανθρώπους δε λαμβάνονται υπόψιν ούτε στα κέρδη δια ακτινοβολίας ούτε στα κέρδη δια συναγωγής.
- **Πεδίο – Activity Level Schedule:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα που καθορίζει την ποσότητα κέρδους ανά άτομο “Activity Level Schedule Υπογείο” και “Activity Level Schedule Isoγείο” αντίστοιχα στα Object 1 και Object 2. Τα συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα έχουν περιγραφεί εκτενώς στην κλάση *Schedule: Compact*.
- **Πεδίο – Carbon Dioxide Generation Rate:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ο ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ανά άτομο σε μονάδες (m^3/sW). Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται μια μέση τιμή $0.000000382 m^3/sW$.
- **Πεδίο – Enable ASHRAE 55 Comfort Warning:** Στο συγκεκριμένο πεδίο ο χρήστης επιλέγει εάν θα εμφανίζονται προειδοποιήσεις κατά την προσομοίωση, που αφορούν το εύρος άνεσης κατά ASHRAE 55. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται να εμφανίζονται οι σχετικές προειδοποιήσεις.

- **Πεδίο – Work Efficiency Schedule Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Work Efficiency Schedule Υρογειο” για το Object 1 και “Work Efficiency Schedule Isogeio” για το Object 2, τα οποία έχουν περιγραφεί εκτενώς στην κλάση *Schedule: Compact*.
- **Πεδίο – Clothing Insulation Calculation Method:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού της “μόνωσης ενδυμάτων” που χρησιμοποιούν τα άτομα στη θερμική ζώνη. Στην προκειμένη περίπτωση ορίζεται ως επιλογή το “ClothingInsulationSchedule” (για το Object 1 και για το Object 2) το οποίο δέχεται απ’ ευθείας τα δεδομένα από χρονοδιάγραμμα. Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία η συμπλήρωση του πεδίου Clothing Insulation Schedule Name.
- **Πεδίο – Clothing Insulation Schedule Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Clothing Insulation Schedule Υρογειο” για το Object 1 και “Clothing Insulation Schedule Isogeio” για το Object 2. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά έχουν περιγραφεί εκτενώς στην κλάση *Schedule: Compact*.
- **Πεδίο – Air Velocity Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Air Velocity Schedule Υρογειο” για το Object 1 και “Air Velocity Schedule Isogeio” για το Object 2. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά έχουν περιγραφεί εκτενώς στην κλάση *Schedule: Compact*.
- **Πεδίο – Thermal Comfort Model Type:** AdaptiveASH55
Στο συγκεκριμένο πεδίο εφαρμόζεται το μοντέλο θερμικής άνεσης με βάση το οποίο γίνονται οι υπολογισμοί.

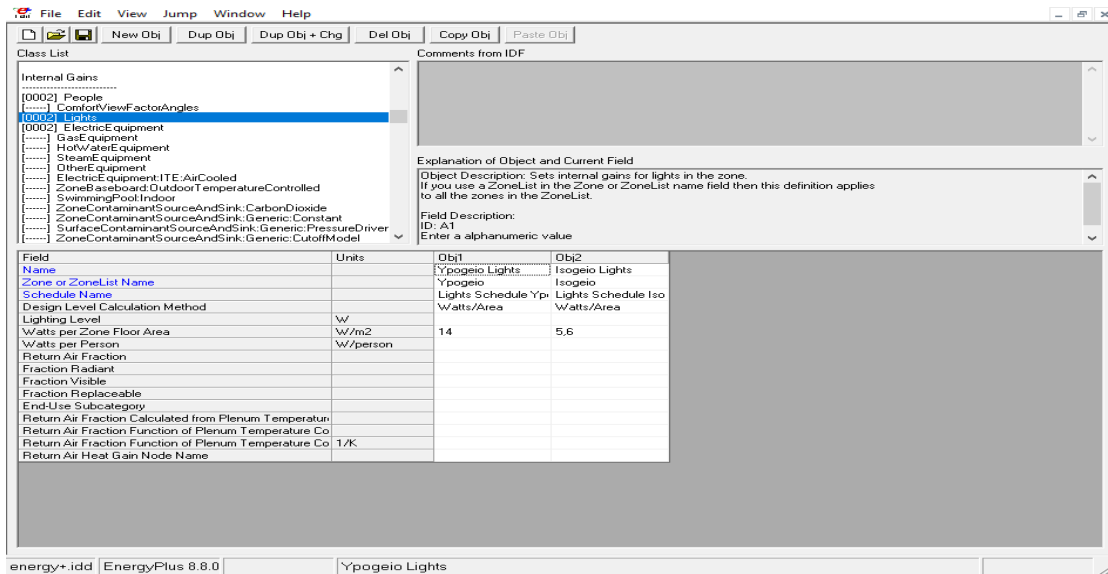


Εικόνα 5.50: Κλάση People

5.3.7.2. Lights

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με το ηλεκτρικό σύστημα φωτισμού μιας ζώνης, συμπεριλαμβανομένου και του επιπέδου ισχύος και του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας. Οι πληροφορίες αυτές επίσης σχετίζονται και με τον τρόπο με τον οποίο η θερμότητα από τα φώτα διανέμεται στη θερμική ζώνη. Σημειώνεται ότι στην παρακάτω κλάση έγινε εισαγωγή δύο αντικειμένων (Objects) ένα για την κάθε θερμική ζώνη.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του αντικειμένου το οποίο στην προκειμένη περίπτωση για αποφυγή σύγχυσης προσδιορίζει τη θερμική ζώνη στην οποία αναφέρεται ο χρήστης. Επομένως, για το Object 1 και το Object 2 χρησιμοποιήθηκαν οι ονομασίες “Υρογειο Lights” και “Isogeio Lights” αντίστοιχα.
- **Πεδίο – Zone or ZoneList Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το όνομα της θερμικής ζώνης στην οποία αναφερόμαστε. Επομένως, στο Object 1 καταχωρείται “Υρογειο” και στο Object 2 καταχωρείται “Isogeio”
- **Πεδίο – Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Lights Schedule Υρογειο” για το Object 1 και “Lights Schedule Isogeio” για το Object 2. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά έχουν περιγραφεί εκτενώς στην κλάση *Schedule: Compact*.
- **Πεδίο – Design Level Calculation Method:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης θα εισάγει την ηλεκτρική ισχύ των εγκατεστημένων φωτιστικών στο χώρο της θερμικής ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *Watts/Area* και στα δύο Objects δηλαδή και για τις δύο θερμικές ζώνες.
- **Πεδίο – Watts per Zone Floor Area:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η ισχύς του εγκατεστημένου ηλεκτρικού φωτισμού ανά μονάδα τετραγωνικού μέτρου της θερμικής ζώνης. Επομένως, για το Object 1 – “Υρογειο Lights” καθορίζεται η τιμή 14 Watts/m², ενώ για το Object 2 – “Isogeio Lights” καθορίζεται η τιμή 5.6 Watts/m².



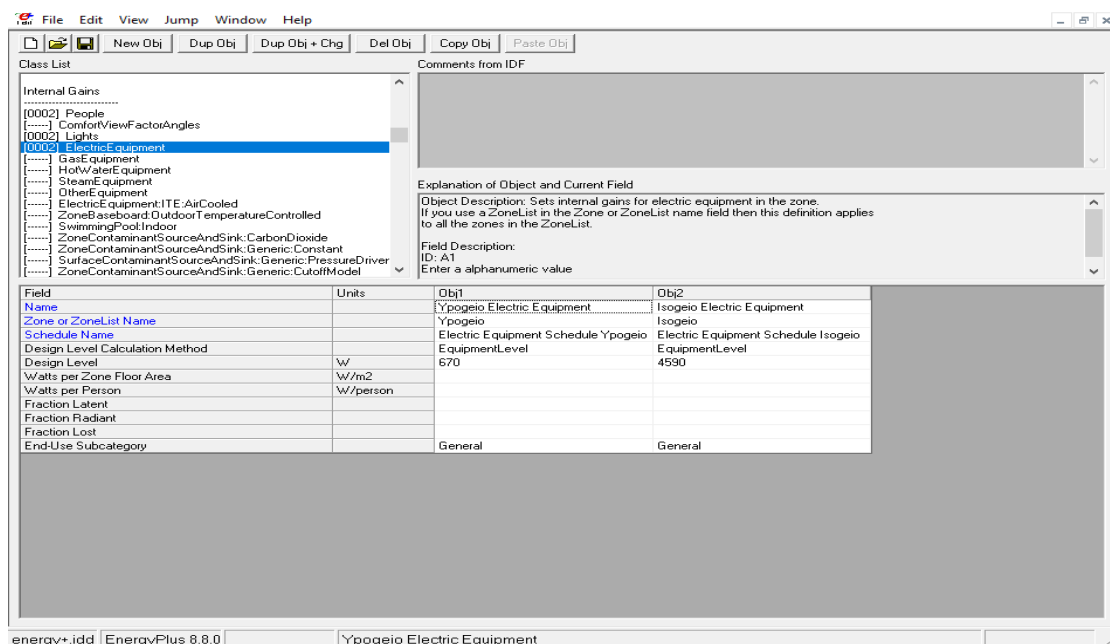
Εικόνα 5.51: Κλάση Lights

5.3.7.3. Electric Equipment

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται πληροφορίες για όλες τις συσκευές που καταναλώνουν ηλεκτρισμό και βρίσκονται εντός της θερμικής ζώνης. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι υπολογιστές, τηλεοράσεις, φούρνοι και οτιδήποτε άλλο βρίσκεται σε ένα σπίτι ή σε έναν εργασιακό χώρο και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Όλη αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμικό φορτίο εντός της ζώνης και αυτό είναι πολύ σημαντικό για την ανάλυση που γίνεται.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του αντικείμενου το οποίο στην προκειμένη περίπτωση για αποφυγή σύγχυσης προσδιορίζει τη θερμική ζώνη στην οποία αναφέρεται ο χρήστης. Επομένως, για το Object 1 και το Object 2 χρησιμοποιήθηκαν οι ονομασίες “Ypogeio Electric Equipment” και “Isogeio Electric Equipment” αντίστοιχα.
- **Πεδίο – Zone or ZoneList Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το όνομα της θερμικής ζώνης στην οποία αναφερόμαστε. Επομένως, στο Object 1 καταχωρείται “Ypogeio” και στο Object 2 καταχωρείται “Isogeio”
- **Πεδίο – Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Electric Equipment Schedule Ypogeio” για το Object 1 και “Electric Equipment Schedule Isogeio” για το Object 2. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά έχουν περιγραφεί εκτενώς στην κλάση *Schedule: Compact*.

- **Πεδίο – Design Level Calculation Method:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης θα εισάγει την ηλεκτρική ισχύ των ηλεκτρικών συσκευών στο χώρο της θερμικής ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *Watts* και στα δύο Objects δηλαδή και για τις δύο θερμικές ζώνες.
- **Πεδίο – Design Level:** Σε αυτό το πεδίο ορίζεται η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών που είναι εγκατεστημένες σε κάθε θερμική ζώνη σε μονάδες (*Watts*). Επομένως, για το Object 1 – “Υπογείο Electric Equipment” καθορίζεται η τιμή 670 *Watts*, ενώ για το Object 2 – “Ισόγειο Electric Equipment” καθορίζεται η τιμή 4590 *Watts*.



Εικόνα 5.52: Κλάση *Electric Equipment*

5.3.8. Κατηγορία *Natural Ventilation and Duct Leakage*

Σε αυτή την κατηγορία εισάγονται πληροφορίες από τον χρήστη που βοηθούν το λογισμικό να προσομοιώσει τη ροή του αέρα και την κατανομή στον χώρο, εντός μιας θερμικής ζώνης αλλά και από τη μία ζώνη στην άλλη. Αυτή η κατηγορία αφορά τη μέθοδο φυσικού αερισμού, αλλά και μεθόδους τεχνητού αερισμού μέσω συστημάτων προώθησης αέρα. Το μοντέλο αυτό έχει τη δυνατότητα επίσης να προσομοιώσει τα θερμικά κέρδη ή τις θερμικές απώλειες που προκύπτουν από το σύστημα προώθησης αέρα.

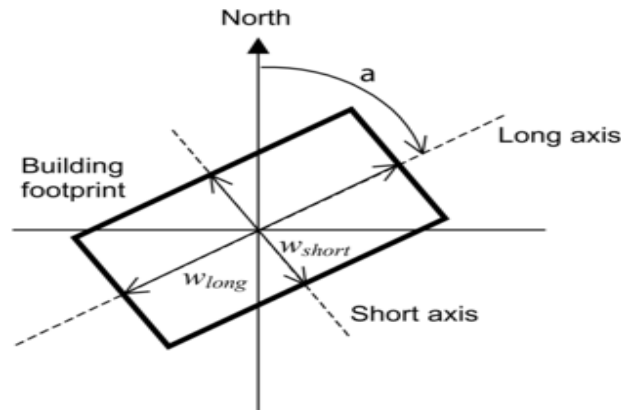
5.3.8.1. AirflowNetwork: Simulation Control

Στη συγκεκριμένη κλάση ορίζονται οι βασικές παράμετροι της μοντελοποίησης της ροής του αέρα στις θερμικές ζώνες που εξετάζονται.

- **Πεδίο – Name:** Building Airflow
Σε αυτό το πεδίο εισάγεται από τον χρήστη το όνομα του αντικειμένου που καθορίζει τις βασικές παραμέτρους προσομοίωσης της ροής του αέρα.
- **Πεδίο – AirflowNetwork Control:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται από λίστα η μέθοδος προσομοίωσης της ροής του αέρα. Στην προκειμένη περίπτωση εισάγεται η μέθοδος *MultiZoneWithoutDistribution*.
 - ◆ *NoMultiZoneOrDistribution:* Δεν εκτελούνται υπολογισμοί όσον αφορά τη ροή του αέρα στις θερμικές ζώνες.
 - ◆ *MultiZoneWithDistribution:* Εκτελούνται οι υπολογισμοί της ροής του αέρα κατά τη διάρκεια όλων των χρονικών βημάτων της προσομοίωσης λαμβάνοντας υπόψιν και τις επιπτώσεις του συστήματος διανομής αέρα (HVAC) όταν αυτό λειτουργεί.
 - ◆ *MultiZoneWithoutDistribution:* Εκτελούνται οι υπολογισμοί της ροής του αέρα κατά τη διάρκεια όλων των χρονικών βημάτων της προσομοίωσης, μη λαμβάνοντας όμως υπόψιν τις επιπτώσεις του συστήματος διανομής αέρα (HVAC), αφού αυτό δεν προσομοιώνεται ακόμα και σε περίπτωση που έχουν καθοριστεί τα χαρακτηριστικά του.
 - ◆ *MultiZoneWithDistributionOnlyDuringFanOperation:* Εκτελούνται οι υπολογισμοί της ροής του αέρα μόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος διανομής αέρα (HVAC).
- **Πεδίο – Wind Pressure Coefficient Type:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται εάν οι συντελεστές πίεσης ανέμου θα εισαχθούν από τον χρήστη ή θα υπολογιστούν από το λογισμικό. Οι επιλογές είναι *Input* και *SurfaceAverageCalculation*. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *SurfaceAverageCalculation* το οποίο υπάρχει ως προκαθορισμένο (default).
- **Πεδίο – Building Type:** Το συγκεκριμένο πεδίο είναι απαραίτητο να συμπληρωθεί μόνο στην περίπτωση όπου στο πεδίο *Wind Pressure Coefficient Type* έχει γίνει η επιλογή “*SurfaceAverageCalculation*”. Οι επιλογές που δίνονται είναι:
 - ◆ *LowRise:* Επιλέγεται όταν πρόκειται για κτίριο του οποίου το ύψος είναι μικρότερο από το τριπλάσιο του πλάτους (w_{print}) και μικρότερο από το τριπλάσιο του μήκους (w_{long}) του αποτυπώματος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

- ◆ *HighRise*: Επιλέγεται όταν πρόκειται για κτίριο του οποίου το ύψος είναι μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του πλάτους (w_{print}) και μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του μήκους (w_{long}) του αποτυπώματος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Στην περίπτωση του κτιρίου που εξετάζεται, επιλέγεται *LowRise*.



Εικόνα 5.53: Αποτύπωμα κτιρίου στο οποίο φαίνονται οι βασικές μεταβλητές που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τους υπολογισμούς με τη γωνία a να συμβολίζει το αζιμούθιο.

- **Πεδίο – *Maximum number of Iterations***: Στο συγκεκριμένο πεδίο καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που επιτρέπονται κατά τη διαδικασία επίλυσης του συστήματος ροής του αέρα. Αν ο αριθμός των επαναλήψεων σε κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης υπερβαίνει τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων που έχει καθοριστεί σε αυτό το πεδίο, τότε το πρόγραμμα δεν μπορεί να βρει λύση και διακόπτει την εκτέλεση αναφέροντας το πρόβλημα που προκύπτει. Επομένως, στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται η τιμή 500 η οποία υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα και θεωρείται μια λογική τιμή.
- **Πεδίο – *Initialization Type***: Στο συγκεκριμένο πεδίο ορίζεται η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση της επίλυσης του AirflowNetwork. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι *Linear Initialization Method* και *Zero Node Pressures*. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *Zero Node Pressures* η οποία υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα.
- **Πεδίο – *Relative Airflow Convergence Tolerance***: Η λύση θεωρείται ότι συγκλίνει όταν η τιμή $\frac{|\sum m_i|}{\sum |m_i|}$ είναι μικρότερη από την τιμή που έχει καθοριστεί στο συγκεκριμένο πεδίο. Αυτά τα κριτήρια σύγκλισης είναι ισοδύναμα με τον λόγο της απόλυτης τιμής του αθροίσματος όλων των ροών του δικτύου προς

το άθροισμα των απόλυτων τιμών όλων των ροών του δικτύου. Επιλέγεται η τιμή 0.0001 η οποία υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα.

- **Πεδίο – Absolute Airflow Convergence Tolerance:** Η λύση θεωρείται ότι έχει συγκλίνει όταν το άθροισμα των απόλυτων τιμών όλου του δικτύου διακίνησης αέρα $|\sum m_i|$ είναι μικρότερη από την τιμή που έχει καθοριστεί σε αυτό το πεδίο. Επιλέγεται η τιμή 0.000001 kg/s η οποία υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα.
- **Πεδίο – Convergence Acceleration Limit:** Εάν ο λόγος διαδοχικών διορθώσεων πίεσης είναι μικρότερος από την οριακή τιμή η οποία καθορίζεται εδώ, τότε χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος επιτάχυνσης Steffensen. Το εύρος τιμών για αυτό το πεδίο είναι -1 έως 1. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται -0.5 που υπάρχει ως προεπιλογή (default) από το πρόγραμμα.

Η εξίσωση επιτάχυνσης σύγκλισης που φαίνεται παρακάτω χρησιμοποιείται για τη διόρθωση των πιέσεων κόμβου ώστε να επιτευχθεί συντομότερα μια λύση. Υποθέτοντας μια σταθερή αναλογία διορθωτικών τιμών από τη μία επανάληψη στην επόμενη, εφαρμόζεται η ακόλουθη μέθοδος:

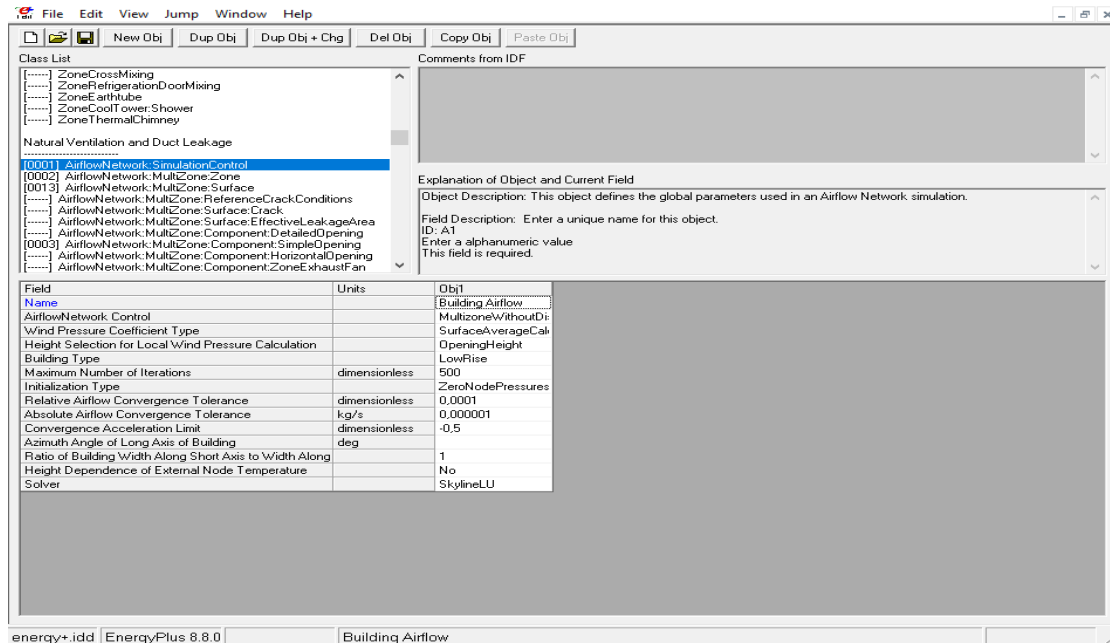
$$P_n^* = P_n - C_n / (1 - r) \quad (5.8)$$

Όπου:

- ♦ r = Ο λόγος του C_n της τρέχουσας επανάληψης προς την τιμή του C_n της προηγούμενης επανάληψης
 - ♦ C_n = Διορθωτική τιμή στον n-th κόμβο [Pa]
 - ♦ P_n = Εκτιμώμενη πίεση στον n-th κόμβο [Pa]
 - ♦ P_n^* = Διορθωμένη πίεση στον n-th κόμβο η οποία χρησιμοποιείται στην επόμενη επανάληψη
- **Πεδίο – Azimuth Angle of Long Axis of Building:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ο προσανατολισμός του κτιρίου για τον υπολογισμό των συντελεστών πίεσης ανέμου. Στην προκειμένη περίπτωση εισάγεται η τιμή 130°.
 - **Πεδίο – Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along:** Στο συγκεκριμένο πεδίο ορίζεται η αναλογία διαστάσεων ενός αποτυπώματος κτιρίου. Δίνεται από το πλάτος του αποτυπώματος (κατά μήκος του μικρού άξονα) διαιρούμενο με το πλάτος (κατά μήκος του μεγάλου άξονα). Αυτό το πεδίο συμπληρώνεται μόνο στην περίπτωση που στο πεδίο Wind Pressure

Coefficient Type έχει επιλεγεί *SurfaceAverageCalculation*. Το εύρος των τιμών είναι από 0 έως 1. Μετά από υπολογισμούς εισάγεται η τιμή 0.717.

- **Πεδίο – Solver:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το πρόγραμμα επίλυσης που θα χρησιμοποιηθεί. Οι επιλογές είναι *SkylineLU* και *ConjugateGradient*. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *SkylineLU*.



Εικόνα 5.54: Κλάση *Airflow Network: Simulation Control*

5.3.8.2. AirflowNetwork: MultiZone: Zone

Στη συγκεκριμένη κλάση γίνεται ο έλεγχος του φυσικού αερισμού μέσω των εσωτερικών και εξωτερικών ανοιγμάτων της θερμικής ζώνης, όπου όπως έχει αναφερθεί ως ανοίγματα ορίζονται τα παράθυρα και οι πόρτες του κτιρίου. Επίσης, η κλάση αυτή απαιτείται να συμπληρωθεί έτσι ώστε να εκτελεστούν οι κατάλληλοι υπολογισμοί του δικτύου διανομής αέρα. Επισημαίνεται πως ο έλεγχος για τον φυσικό αερισμό εφαρμόζεται με τον ίδιο τρόπο σε όλα τα ανοίγματα της θερμικής ζώνης. Βασικό είναι να αναφερθεί πως σε αυτή την κλάση εισάγονται δύο αντικείμενα (Objects) που το καθένα αφορά μία θερμική ζώνη.

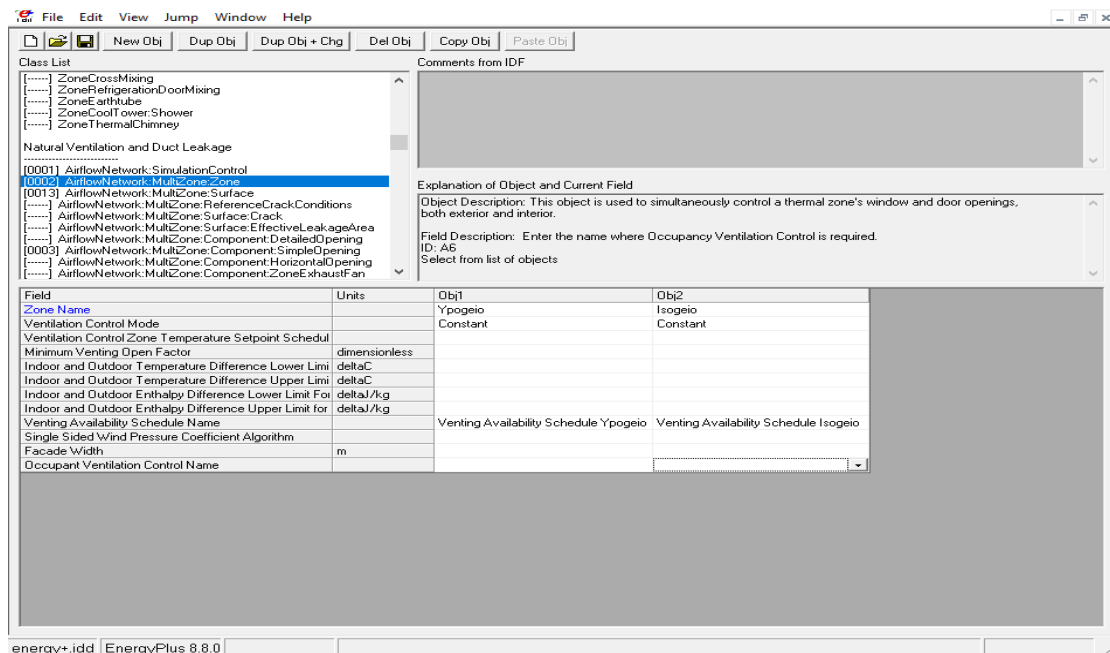
- **Πεδίο – Zone Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα της θερμικής ζώνης στην οποία αναφέρεται το κάθε αντικείμενο για τον έλεγχο αερισμού. Επομένως, στο Object 1 εισάγεται “Υρογειο” και στο Object 2 εισάγεται “Ισογειο”.
- **Πεδίο – Ventilation Control Mode:** Σε αυτό το πεδίο επιλέγεται από τον χρήστη ο τύπος ελέγχου του φυσικού αερισμού για την εξεταζόμενη θερμική

ζώνη. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *Constant* και για τις δύο θερμικές ζώνες. Οι επιλογές είναι:

- ◆ *NoVent*: Εισάγοντας αυτή την επιλογή όλα τα παράθυρα και οι πόρτες είναι μονίμως κλειστά ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Σε αυτή την περίπτωση το χρονοδιάγραμμα για τον φυσικό αερισμό αγνοείται και δε λαμβάνεται υπόψιν. Αυτό υπάρχει ως προκαθορισμένο (default) στο πρόγραμμα.
- ◆ *Temperature*: Εισάγοντας αυτή την επιλογή όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της θερμικής ζώνης είναι ανοιχτά όταν $T_{zone} > T_{out}$ **και** $T_{zone} > T_{set}$ **και** το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
- ◆ *Enthalpy*: Εισάγοντας αυτή την επιλογή όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της θερμικής ζώνης ανοίγουν εάν το $H_{zone} > H_{out}$ **και** $T_{zone} > T_{set}$ **και** το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
- ◆ *Constant*: Εισάγοντας αυτή την επιλογή όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της θερμικής ζώνης είναι ανοιχτά όταν το επιτρέπει το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης έτσι όπως έχει καθοριστεί στο Schedule: Compact, ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Τονίζεται πως το “Constant” εδώ σημαίνει πως το μέγεθος του κάθε ανοίγματος είναι σταθερό κατά τον εξαερισμό της ζώνης, ενώ η ροή του αέρα μέσα από κάθε άνοιγμα βεβαίως μπορεί να διαφέρει ανά χρονικό βήμα προσομοίωσης.
- ◆ *ASHRAE55Adaptive*: Εισάγοντας αυτή την επιλογή όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της θερμικής ζώνης είναι ανοιχτά όταν η θερμοκρασία στη θερμική ζώνη είναι μεγαλύτερη από την οριακή θερμοκρασία άνεσης που καθορίζεται από το μοντέλο άνεσης ASHRAE Standard 55-2010 **και** το χρονοδιάγραμμα εξαερισμού της θερμικής ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
- ◆ *CEN15251Adaptive*: Εισάγοντας αυτή την επιλογή όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της θερμικής ζώνης είναι ανοιχτά όταν η θερμοκρασία στη θερμική ζώνη είναι μεγαλύτερη από την οριακή θερμοκρασία άνεσης που καθορίζεται από το μοντέλο άνεσης

CEN15251 και το χρονοδιάγραμμα εξαερισμού της θερμικής ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.

- **Πεδίο – Venting Availability Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος εξαερισμού. Επομένως, στο Object-1 εισάγεται “Venting Availability Schedule Υπογειο” και στο Object-2 εισάγεται “Venting Availability Schedule Ισογειο”.



Εικόνα 5.55: Κλάση Airflow Network: MultiZone: Zone

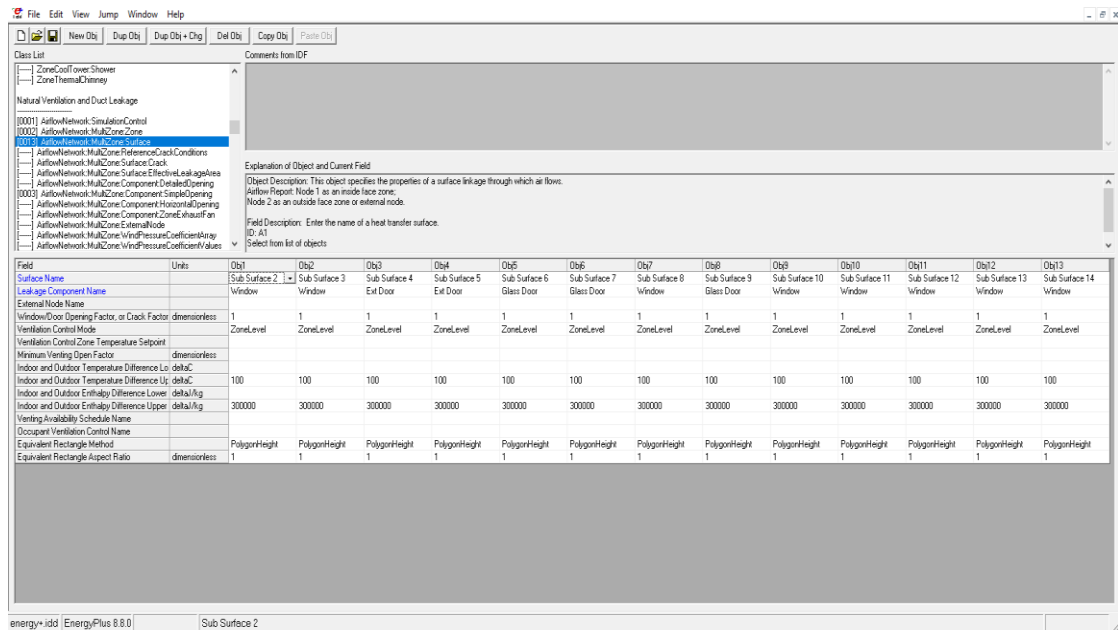
5.3.8.3. AirflowNetwork: MultiZone: Surface

Στη συγκεκριμένη κλάση προσδιορίζονται οι ιδιότητες των υποεπιφανειών (παράθυρα και πόρτες) μέσω των οποίων ρέει ο αέρας εντός των θερμικών ζωνών που εξετάζονται. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και οι επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας (τοιχοί, οροφές, δάπεδα) τα οποία είναι εκτεθειμένα στο εξωτερικό περιβάλλον και συνδέονται με τη μεταφορά αέρα από ζώνη σε ζώνη είτε από το περιβάλλον στη θερμική ζώνη.

- **Πεδίο – Surface Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγονται αυτόματα από το πρόγραμμα (αφού παίρνει δεδομένα από το σχεδιαστικό πρόγραμμα SketchUp) τα ονόματα των υποεπιφανειών που συμμετέχουν στον αερισμό του κτιρίου. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω τα ονόματα αυτά είναι της μορφής “Sub Surface 1”, “Sub Surface 2”, “Sub Surface 3” και ούτω καθ’ εξής.

- **Πεδίο – Leakage Component Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται από τον χρήστη το όνομα του είδους της υποεπιφάνειας που καθορίζεται στην παρακάτω κλάση (*AirflowNetwork: MultiZone: Component: SimpleOpening*). Οι επιλογές όπως διαμορφώνονται στην προαναφερθείσα κλάση είναι: *Window*, *ExtDoor* και *GlassDoor*.
- **Πεδίο – Window/Door Opening Factor, or Crack Factor:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή του συντελεστή ανοίγματος ο οποίος είναι σε άμεση συσχέτιση με το χρονοδιάγραμμα εξαερισμού του κτιρίου. Επιλέγεται η τιμή 1 η οποία υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα.
- **Πεδίο – Ventilation Control Mode:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται από τον χρήστη ο τύπος ελέγχου του αερισμού από τις υποεπιφάνειες. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται παντού *ZoneLevel*. Οι επιλογές που δίνονται είναι:
 - ◆ **NoVent:** Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια παραμένει μονίμως κλειστή ανεξάρτητα των συνθηκών που επικρατούν στο εξωτερικό και το εσωτερικό περιβάλλον υψ θερμικής ζώνης. Το χρονοδιάγραμμα αερισμού της θερμικής ζώνης σε αυτή την περίπτωση αγνοείται και λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς.
 - ◆ **Temperature:** Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια ανοίγει εάν $T_{zone} > T_{out}$ **και** $T_{zone} > T_{set}$ **και** το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
 - ◆ **Enthalpy:** Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια ανοίγει εάν το $H_{zone} > H_{out}$ **και** $T_{zone} > T_{set}$ **και** το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
 - ◆ **Constant:** Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια είναι ανοιχτή όταν το επιτρέπει το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης έτσι όπως έχει καθοριστεί στο Schedule: Compact, ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Τονίζεται πως το “Constant” εδώ σημαίνει πως το μέγεθος του κάθε ανοίγματος είναι σταθερό κατά τον εξαερισμό της ζώνης, ενώ η ροή του αέρα μέσα από κάθε άνοιγμα βεβαίως μπορεί να διαφέρει ανά χρονικό βήμα προσομοίωσης.

- ◆ ASHRAE55Adaptive: Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια είναι ανοιχτή όταν η θερμοκρασία στη θερμική ζώνη είναι μεγαλύτερη από την οριακή θερμοκρασία άνεσης που καθορίζεται από το μοντέλο άνεσης ASHRAE Standard 55-2010 **και** το χρονοδιάγραμμα εξαερισμού της θερμικής ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
- ◆ CEN15251Adaptive: Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια είναι ανοιχτή όταν η θερμοκρασία στη θερμική ζώνη είναι μεγαλύτερη από την οριακή θερμοκρασία άνεσης που καθορίζεται από το μοντέλο άνεσης CEN15251 **και** το χρονοδιάγραμμα εξαερισμού της θερμικής ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
- ◆ ZoneLevel: Εισάγοντας αυτή την επιλογή, η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια δεν ελέγχεται μεμονωμένα, αλλά ο αερισμός διαμέσου αυτής καθορίζεται από την κλάση AirflowNetwork: MultiZone: Zone και πιο συγκεκριμένα από το “Object” που αναφέρεται στη θερμική ζώνη που ανήκει. Αυτή η επιλογή υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα.
- ◆ AdjacentTemperature: Αυτή η επιλογή εισάγεται μόνο για υποεπιφάνειες οι οποίες εδράζονται σε εσωτερικές επιφάνειες. Η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια είναι ανοιχτή όταν $T_{zone} > T_{adjacent-zone}$ **και** $T_{zone} > T_{set}$ **και** το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.
- ◆ AdjacentEnthalpy: Αυτή η επιλογή εισάγεται μόνο για υποεπιφάνειες οι οποίες εδράζονται σε εσωτερικές επιφάνειες. Η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια είναι ανοιχτή όταν $H_{zone} > H_{adjacent-zone}$ **και** $T_{zone} > T_{set}$ **και** το χρονοδιάγραμμα αερισμού της ζώνης επιτρέπει τον εξαερισμό.



Εικόνα 5.56: Κλάση Airflow Network: MultiZone: Surface

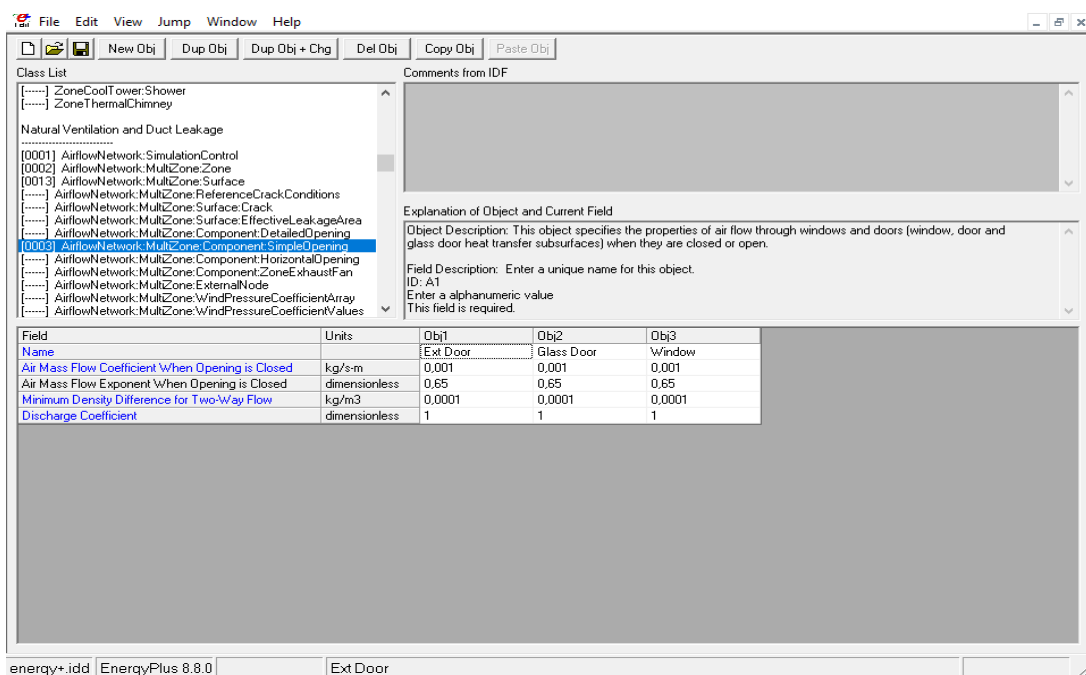
5.3.8.4. AirflowNetwork: MultiZone: Component: SimpleOpening

Στη συγκεκριμένη κλάση καθορίζονται οι ιδιότητες της ροής του αέρα διαμέσου των παραθύρων, των πορτών και των γυάλινων θυρών όταν αυτές είναι είτε ανοιχτές είτε κλειστές. Το μοντέλο AirflowNetwork υποθέτει για διευκόλυνση των υπολογισμών πως τα παράθυρα και οι πόρτες είναι κάθετα ή σχεδόν κάθετα. Σημειώνεται πως σε αυτή την κλάση εισήχθησαν τρία αντικείμενα “Objects” τα οποία αναπαριστούν τα τρία είδη των ανοιγμάτων που υπάρχουν στο κτίριο που εξετάζεται.

- Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ένα όνομα για το είδος του ανοίγματος στο οποίο αναφέρεται ο χρήστης. Στην προκειμένη περίπτωση διαμορφώθηκε ως εξής:
 - Object 1: Ext Door
 - Object 2: Glass Door
 - Object 3: Window
- Πεδίο – Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed:** Στο συγκεκριμένο πεδίο καθορίζεται ο συντελεστής της ροής μάζας αέρα όταν το άνοιγμα είναι κλειστό. Στην προκειμένη περίπτωση, και τα τρία είδη υποεπιφανειών, εισάγεται η τιμή 0.001 kg/(s·m).
- Πεδίο – Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η τιμή του εκθέτη, n, στην εξίσωση ροής αέρα. Το εύρος τιμών είναι 0.5 έως 1.0. Στην προκειμένη περίπτωση, και για τα τρία είδη

επιφανειών, επιλέγεται η τιμή 0.65 η οποία υπάρχει ως προκαθορισμένη (default) από το πρόγραμμα.

- **Πεδίο – *Minimum Density Difference for Two-Way Flow*.** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η ελάχιστη διαφορά πυκνότητας πάνω από την οποία δημιουργείται αμφίδρομη ροή αέρα όσο το παράθυρο είναι ανοιχτό. Οι τιμές που εισάγονται σε αυτό το πεδίο είναι πάντα μεγαλύτερες του 0. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται, και για τα τρία είδη υποεπιφανειών, η τιμή 0.0001 kg/m³. Διαφορές πυκνότητας μικρότερες από την τιμή αυτή προκαλούν ροές μονής κατευθύνσεων όταν το παράθυρο είναι κλειστό.
- **Πεδίο – *Discharge Coefficient*.** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ο συντελεστής απόρριψης, ο οποίος θα πρέπει να έχει τιμή μεγαλύτερη του μηδενός. Στην προκειμένη περίπτωση, και για τα τρία είδη υποεπιφανειών, επιλέγεται η τιμή 1.



Εικόνα 5.57: Κλάση *AirflowNetwork: MultiZone: Component: SimpleOpening*

5.3.9. Κατηγορία Zone HVAC Forced Air Units

Στη συγκεκριμένη κατηγορία εισάγεται η έννοια του συστήματος μηχανικού αερισμού των χώρων που χρησιμοποιείται (ξεχωριστά) στο ισόγειο και στο υπόγειο. Επομένως, εισάγονται πληροφορίες και καθορίζονται βασικές παράμετροι που αφορούν το σύστημα ανανέωσης αέρα.

5.3.9.1. ZoneHVAC: Energy Recovery Ventilator

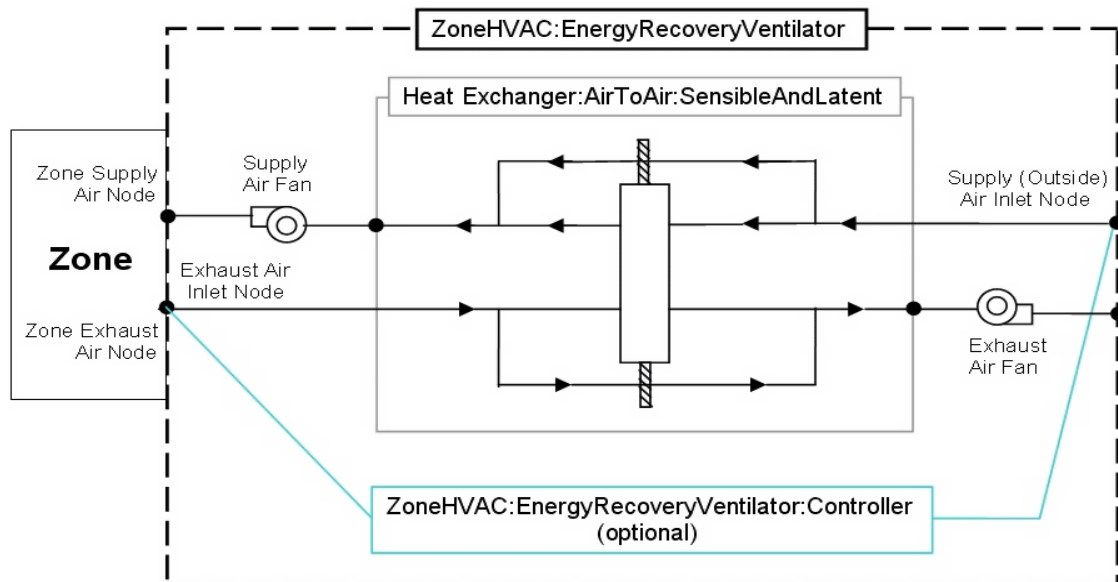
Το σύστημα ERV (Energy Recovery Ventilator) θεωρείται ως σύστημα HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) και χρησιμοποιείται σε μια θερμική ζώνη για την ανάκτηση ενέργειας από τον αέρα εξαγωγής. Πρόκειται δηλαδή για ένα σύστημα μηχανικού αερισμού ενός χώρου, το οποίο όμως πραγματοποιεί παράλληλα ανάκτηση ενέργειας. Αυτό σημαίνει πως ο αέρας ο οποίος εξάγεται από την θερμική ζώνη, διασταυρώνεται στον εναλλάκτη θερμότητας με τον αέρα τροφοδοσίας εξωτερικού περιβάλλοντος του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ εισαγόμενου-εξαγόμενου αέρα με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου στα επιθυμητά επίπεδα.

Στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάται υπάρχει προσαρμοσμένο ένα σύστημα HRV (Heat Recovery Ventilator) σε κάθε θερμική ζώνη. Το συγκεκριμένο σύστημα δεν μεταφέρει λανθάνουσα θερμότητα στον χώρο σε αντίθεση με το σύστημα ERV που το κάνει. Επομένως, χρησιμοποιώντας HRV δεν πραγματοποιείται μεταφορά υγρασίας. Για να μοντελοποιηθεί το σύστημα αυτό στο Energy Plus χρησιμοποιείται η κλάση *ZoneHVAC: Energy Recovery Ventilator* και άλλες κλάσεις σχετιζόμενες με το αυτό, στις οποίες μηδενίζονται οποιεσδήποτε τιμές αναφέρονται σε μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας.

Αυτό το σύστημα αποτελείται από τρία βασικά εξαρτήματα. Τον εναλλάκτη θερμότητας (του οποίου ο τύπος μπορεί να ποικίλει αναλόγως με τον τρόπο που συναλλάσσεται η θερμότητα), τον ανεμιστήρα που προωθεί τον αέρα εισαγωγής και τον ανεμιστήρα που προωθεί τον αέρα εξαγωγής. Σε αυτό το σύστημα μπορεί να προστεθεί προαιρετικά ένας ελεγκτής (Controller) οποίος χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει τον (economizer) δηλαδή το σύστημα το οποίο εισάγει από το περιβάλλον αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας, χωρίς να πραγματοποιείται συναλλαγή μεταξύ εισαγόμενου και εξαγόμενου αέρα, προφανώς όταν στον χώρο απαιτείται πτώση θερμοκρασίας (free cooling). Επιπλέον, αυτός ο ελεγκτής (Controller) έχει τη

δυνατότητα να μεταβάλλει των ρυθμό ροής αέρα που εισάγεται από το σύστημα, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια που θέτει ο χρήστης.

Επομένως, με αυτό το σύνθετο αντικείμενο μοντελοποιείται η βασική λειτουργία HRV. Το σύστημα αυτό λειτουργεί με αυτονομία, καθώς ενεργοποιείται με βάση το χρονοδιάγραμμα που εισάγεται από τον χρήστη. Η αυτόνομη λειτουργία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε συνδυασμό με τον (economizer) όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο και υπάρχει η δυνατότητα για (free cooling). Αυτό πραγματοποιείται απενεργοποιώντας τη συναλλαγή θερμότητας, δηλαδή παρακάμπτοντας τη διαδρομή που ακολουθεί μέσα από τον εναλλάκτη ο αέρας τροφοδοσίας, και πηγαίνοντας απ' ευθείας εντός της θερμικής ζώνης. Παρακάτω δίνεται μία συνοπτική εικόνα του συστήματος που περιγράφεται.



Εικόνα 5.58: Σχηματική απεικόνιση σύνθετου συστήματος *EnergyRecoveryVentilator*

Στην συγκεκριμένη κλάση εισάγονται πληροφορίες και καθορίζονται βασικές παράμετροι του συστήματος. Επομένως, εδώ εισάγονται δύο “Objects” καθώς υπάρχει ένα σύστημα αερισμού στο υπόγειο και άλλο ένα στο ισόγειο.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ένα μοναδικό όνομα για την κάθε μονάδα HRV, δηλαδή για το κάθε “Object”. Οποιαδήποτε αναφορά αυτού του αντικειμένου σε άλλη κλάση γίνεται με αυτό το όνομα. Επομένως, για το Object 1 εισάγεται “HRV Υπογειο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “HRV Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Availability Schedule Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος το οποίο καθορίζει εάν η μονάδα HRV

μπορεί να λειτουργήσει κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου. Επομένως, για το Object 1 εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Availability Schedule Υπογείο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται το “Availability Schedule Ισόγειο”.

- **Πεδίο – Heat Exchanger Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται στο σύστημα της συγκεκριμένης ζώνης και το οποίο έχει καθοριστεί στην κλάση *HeatExchanger: AirToAir: SensibleAndLatent* (η συγκεκριμένη κλάση φαίνεται συμπληρωμένη παρακάτω). Επομένως, για το Object 1 επιλέγεται “OA Heat Recovery Υπογείο”, ενώ για το Object 2 επιλέγεται “OA Heat Recovery Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Supply Air Flow Rate:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας σε “m³/sec” και σε κανονική θερμοκρασία και πίεση (ξηρός αέρας στους 20°C ξηρής σφαίρας). Το λογισμικό χρησιμοποιεί την τοπική βαρομετρική πίεση για να υπολογίσει το υψόμετρο χρησιμοποιώντας την εξίσωση (που φαίνεται παρακάτω) για την “τυπική ατμοσφαιρική” πίεση του ASHRAE 1997 HOF (SI έκδοση) ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.

$$p = 101325 \cdot (1 - 2,25577 \cdot 10^{-5} \cdot Z)^{5,2559}$$

όπου: p = πίεση σε Pa και Z = υψόμετρο σε m

Σημειώνεται πως ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας θα πρέπει να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων του εναλλάκτη και προφανώς η τιμή πρέπει να είναι θετική και μικρότερη ή ίση από τον ρυθμό ροής αέρα του ανεμιστήρα τροφοδοσίας. Επιπλέον, εάν ο ρυθμός του αέρα τροφοδοσίας είναι μικρότερος από τον ρυθμό ροής του αέρα εξαγωγής, τότε η διείσδυση της ζώνης θα πρέπει να προσδιοριστεί αναλόγως. Παράλληλα, είναι δυνατόν ο ρυθμός αυτός να καθορίζεται με αυτοματοποιημένη διαδικασία χρησιμοποιώντας δεδομένα για ρυθμό εξαερισμού ανά τετραγωνικό μέτρο ή ανά άνθρωπο που βρίσκεται εντός της ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση εισάγονται τιμές οι οποίες είναι γνωστές και προκαθορισμένες για το σύστημα του κτιρίου που μελετάται. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται η τιμή 0.011m³/s ενώ για το ισόγειο (Object 2) η τιμή 0.028m³/s.

- **Πεδίο – Exhaust Air Flow Rate:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής σε “m³/sec” και σε κανονική θερμοκρασία και πίεση (ξηρός αέρας στους 20°C ξηρής σφαίρας). Το

λογισμικό χρησιμοποιεί την τοπική βαρομετρική πίεση για να υπολογίσει το υψόμετρο χρησιμοποιώντας την εξίσωση (που φαίνεται παρακάτω) για την "τυπική ατμοσφαιρική" πίεση του ASHRAE 1997 HOF (SI έκδοση) ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση.

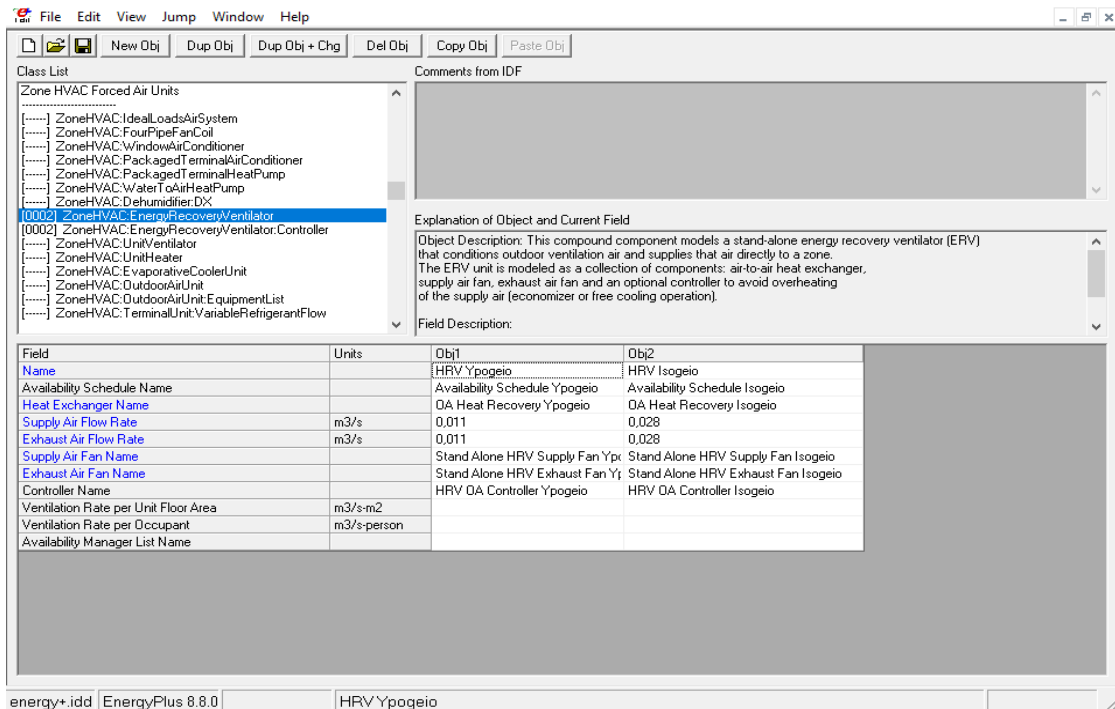
$$p = 101325 \cdot (1 - 2,25577 \cdot 10^{-5} \cdot Z)^{5,2559}$$

όπου: p = πίεση σε Pa και Z = υψόμετρο σε m

Σημειώνεται πως ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής θα πρέπει να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων του εναλλάκτη και προφανώς η τιμή πρέπει να είναι θετική και μικρότερη ή ίση από τον ρυθμό ροής αέρα του ανεμιστήρα εξαγωγής. Επιπλέον, εάν ο ρυθμός του αέρα εξαγωγής είναι μικρότερος από τον ρυθμό ροής του αέρα τροφοδοσίας, τότε η διείσδυση της ζώνης θα πρέπει να προσδιοριστεί αναλόγως. Παράλληλα, είναι δυνατόν ο ρυθμός αυτός να καθορίζεται με αυτοματοποιημένη διαδικασία χρησιμοποιώντας δεδομένα για ρυθμό εξαερισμού ανά τετραγωνικό μέτρο ή ανά άνθρωπο που βρίσκεται εντός της ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση εισάγονται τιμές οι οποίες είναι γνωστές και προκαθορισμένες για το σύστημα του κτιρίου που μελετάται. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται η τιμή 0.011m³/s ενώ για το ισόγειο (Object 2) η τιμή 0.028m³/s. Όπως εύκολα μπορεί κανείς να παρατηρήσει, ο ρυθμός ροής του αέρα εισαγωγής ισούται με τον ρυθμό ροής του αέρα εξαγωγής και στο υπόγειο και στο ισόγειο.

- **Πεδίο – Supply Air Fan Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του ανεμιστήρα αέρα τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται στο σύστημα. Ο κάθε τύπος ανεμιστήρα (όνομα και χαρακτηριστικά) έχει οριστεί στην κλάση Fan:OnOff που έχει συμπληρωθεί παρακάτω. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) επιλέγεται ο ανεμιστήρας "Stand Alone HRV Supply Fan Υπογειο" , ενώ για το ισόγειο (Object 2) επιλέγεται ο ανεμιστήρας "Stand Alone HRV Supply Fan Ισόγειο".
- **Πεδίο – Exhaust Air Fan Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του ανεμιστήρα αέρα εξαγωγής που χρησιμοποιείται στο σύστημα. Ο κάθε τύπος ανεμιστήρα (όνομα και χαρακτηριστικά) έχει οριστεί στην κλάση Fan:OnOff που έχει συμπληρωθεί παρακάτω. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) επιλέγεται ο ανεμιστήρας "Stand Alone HRV Exhaust Fan Υπογειο" , ενώ για το ισόγειο (Object 2) επιλέγεται ο ανεμιστήρας "Stand Alone HRV Exhaust Fan Ισόγειο".

- **Πεδίο – Controller Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του ελεγκτή (Controller) που χρησιμοποιείται από το σύστημα εξαερισμού. Ο κάθε τύπος “Controller” (όνομα και χαρακτηριστικά) έχει οριστεί στην κλάση *ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller* που έχει συμπληρωθεί παρακάτω. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται ο ελεγκτής “HRV OA Controller Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο (Object 2) εισάγεται ο ελεγκτής “HRV OA Controller Ισογειο”.



Εικόνα 5.59: Κλάση *ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator*

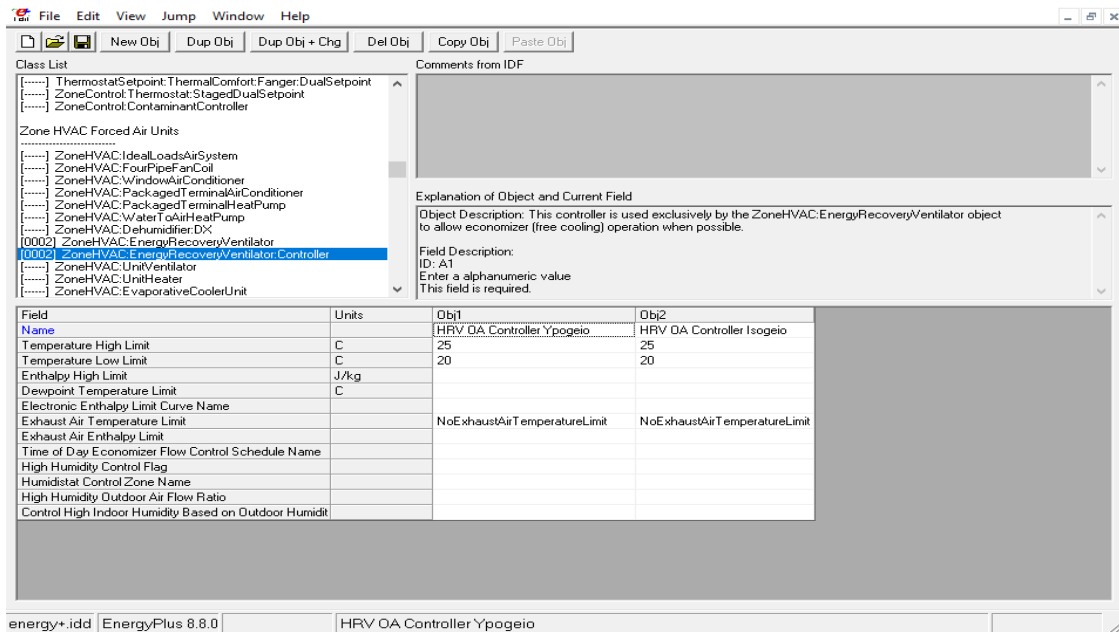
5.3.9.2. ZoneHVAC: Energy Recovery Ventilator: Controller

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται δεδομένα για τη λειτουργία του ελεγκτή (Controller) ο οποίος χρησιμοποιείται αποκλειστικά από το αυτόνομο σύστημα HRV. Ο σκοπός του “Controller” είναι να προσομοιώσει τη λειτουργία του “economizer” ο οποίος παρέχει ελεύθερη ψύξη (free cooling) στον χώρο χωρίς να πραγματοποιείται συναλλαγή θερμότητας του αέρα εξόδου με τον αέρα εισόδου.

Επομένως, η βασική λειτουργία του “Controller” είναι να ελέγχει αν η διαδικασία πραγματοποιείται στα επιτρεπόμενα όρια και τότε να ενεργοποιεί τον “economizer” ώστε το ρεύμα εισόδου να παρακάμπτει τη διαδρομή που πραγματοποιείται για συναλλαγή θερμότητας και να μπαίνει απ’ ευθείας από το εξωτερικό περιβάλλον στη θερμική ζώνη. Σε περίπτωση που κάποιο από τα επιτρεπόμενα όρια που έχουν οριστεί από τον χρήστη ξεπεραστεί, τότε ο “Controller” διακόπτει απ’ ευθείας την λειτουργία

του “economizer”. Επιπλέον, μέσω του “Controller” υπάρχει η δυνατότητα τροποποίησης του ρυθμού ροής του αέρα τροφοδοσίας. Σημειώνεται πως στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται δύο αντικείμενα (Objects) όπου το καθένα αναφέρεται σε μία από τις δύο θερμικές ζώνες.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ένα όνομα για τον “Controller” της θερμικής ζώνης το οποίο χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε περίπτωση χρειαστεί να αναφερθεί το συγκεκριμένο αντικείμενο “Object” σε κάποια άλλη κλάση. Επομένως, για το “Object 1” το οποίο αναφέρεται στο υπόγειο εισάγεται το όνομα “HRV OA Controller Υπογειο”, ενώ για το “Object 2” το οποίο αναφέρεται στο ισόγειο εισάγεται το όνομα “HRV OA Controller Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Temperature High Limit:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή του άνω ορίου θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (°C) για τη λειτουργία του “economizer”. Αυτό σημαίνει ότι αν η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος ξεπερνάει αυτό το όριο τότε η λειτουργία ελεύθερης ψύξης (free cooling) σταματάει. Αυτό συμβαίνει καθώς θέλουμε να διατηρήσουμε συγκεκριμένες θερμοκρασίες εντός της θερμικής ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται ως άνω όριο 25°C.
- **Πεδίο – Temperature Lower Limit:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή του κάτω ορίου θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (°C) για τη λειτουργία του “economizer”. Αυτό σημαίνει ότι αν η θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από αυτό το όριο τότε η λειτουργία ελεύθερης ψύξης (free cooling) σταματάει. Αυτό συμβαίνει καθώς θέλουμε να διατηρήσουμε συγκεκριμένες θερμοκρασίες εντός της θερμικής ζώνης. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται ως κάτω όριο 20°C.
- **Πεδίο – Exhaust Air Temperature Limit:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται αν θα υπάρχει περιοριστικός έλεγχος (limit control) για την θερμοκρασία του αέρα εξαγωγής. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι *NoExhaustTemperatureLimit* και *ExhaustTemperatureLimit*. Όταν επιλέγεται το δεύτερο ο “Controller” απενεργοποιεί τον “economizer” κάθε φορά που η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα εξαγωγής, ενώ όταν επιλέγεται το πρώτο δεν γίνεται κανένας έλεγχος του αέρα εξαγωγής από τον “Controller”. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται *NoExhaustTemperatureLimit*.



Εικόνα 5.60: Κλάση ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller

5.3.10. Κατηγορία Zone HVAC Equipment Connections

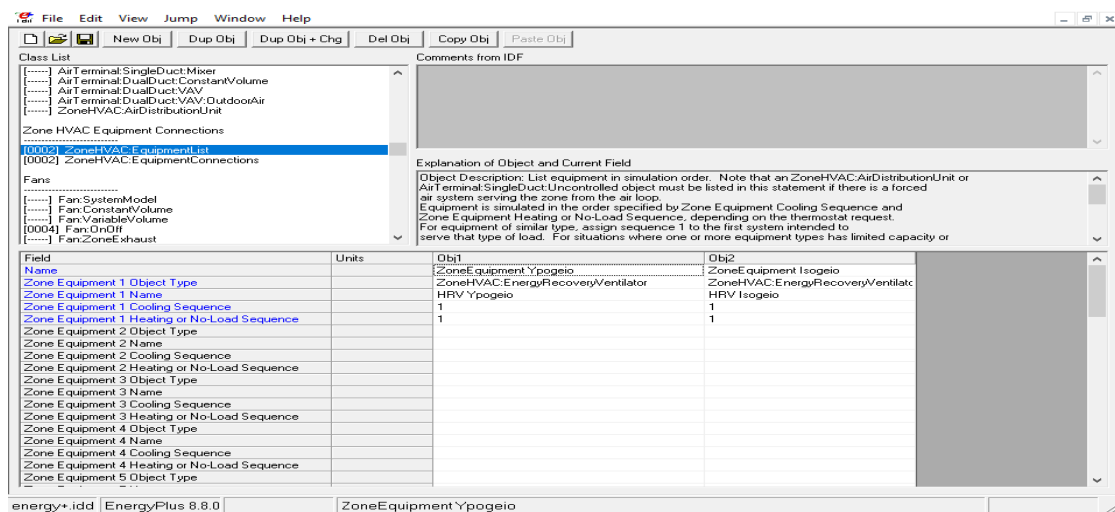
Στην συγκεκριμένη κατηγορία ορίζεται ο εξοπλισμός που είναι αναγκαίος για τον πλήρη καθορισμό του συστήματος ERV.

5.3.10.1. ZoneHVAC: EquipmentList

Στη συγκεκριμένη κλάση αναφέρεται όλος ο εξοπλισμός με τη βοήθεια του οποίου λειτουργεί το σύστημα αερισμού. Στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάται εισάγονται δύο αντικείμενα (Objects) τα οποία αναφέρονται στις δύο θερμικές ζώνες.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ένα μοναδικό όνομα το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πουθενά αλλού και αναφέρεται στον εξοπλισμό που αφορά την συγκεκριμένη ζώνη. Επομένως, για το Object 1 εισάγεται “Zone Equipment Υπογειο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “Zone Equipment Ισογειο”.
- **Πεδίο – Zone Equipment 1 Object Type:** Στο συγκεκριμένο πεδίο καθορίζεται από λίστα επιλογών ο τύπος του μηχανισμού στον οποίο αναφέρεται ο εξοπλισμός. Στην περίπτωση που εξετάζεται επιλέγεται και για τις δύο θερμικές ζώνες, δηλαδή για Object 1 και Object 2 ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator.

- **Πεδίο – Zone Equipment 1 Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα της συσκευής κάθε θερμικής ζώνης. Επομένως, για το υπόγειο επιλέγεται “HRV Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο “HRV Ισογειο”.
- **Πεδίο – Zone Equipment 1 Cooling Sequence:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η σειρά προσομοίωσης του εξοπλισμού όταν ο θερμοστάτης “ζητά” ψύξη.
- **Πεδίο – Zone Equipment 1 Heating or No-Load Sequence:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η σειρά προσομοίωσης του εξοπλισμού όταν ο θερμοστάτης “ζητά” θέρμανση ή την μη επιβολή φορτίου.



Εικόνα 5.61: Κλάση ZoneHVAC: EquipmentList

5.3.10.2. ZoneHVAC: EquipmentConnections

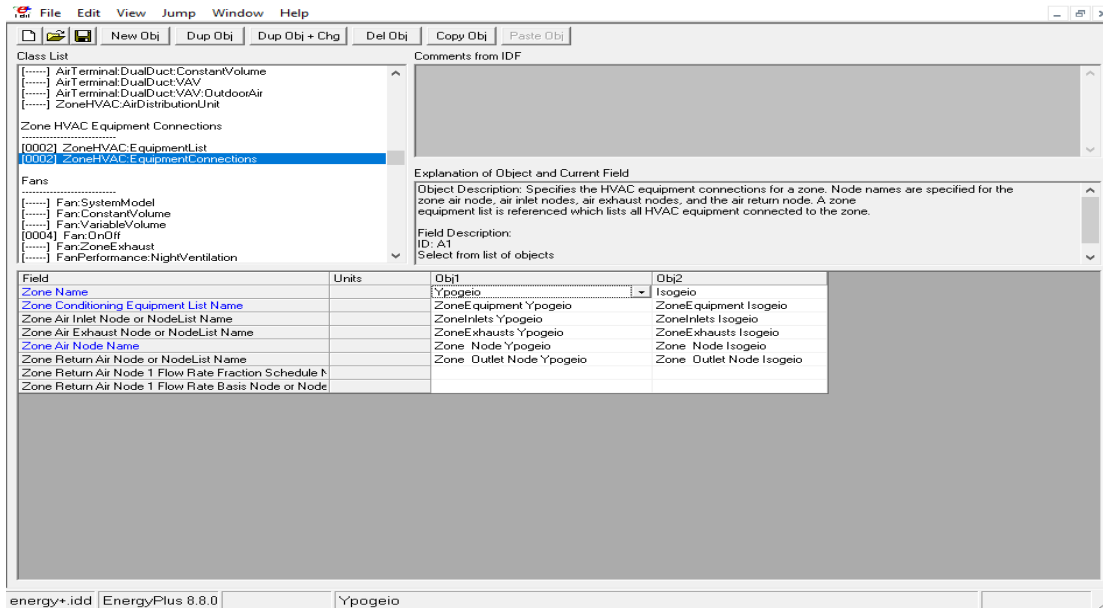
Σε αυτή την κλάση ορίζονται όλες οι λεπτομέρειες του (HVAC) ώστε να υπάρχει μια πλήρως καθορισμένη μορφή του συστήματος αερισμού HRV. Όπως και προηγουμένως, για το κτίριο που μελετάται εισάγονται δύο αντικείμενα (Objects) τα οποία αναφέρονται στις δύο θερμικές ζώνες.

- **Πεδίο – Zone Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα της θερμικής ζώνης στην οποία αναφέρεται το αντικείμενο (Object). Επομένως, για το Object 1 εισάγεται “Υπογειο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “Ισογειο”.
- **Πεδίο – Zone Conditioning Equipment List Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η λίστα εξοπλισμού η οποία δημιουργήθηκε στην παραπάνω κλάση ZoneHVAC: EquipmentList

και αφορά την εκάστοτε θερμική ζώνη. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται η λίστα “ZoneEquipment Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο (Object 2) εισάγεται “ZoneEquipment Ισόγειο”.

- **Πεδίο – Zone Air Inlet Node or NodeList Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του κόμβου εισαγωγής του εξαγόμενου αέρα το οποίο καθορίζεται στην κλάση “NodeList”. Μερικές φορές υπάρχουν περισσότεροι από ένας κόμβοι εισαγωγής του εξαγόμενου αέρα ανάλογα με τον αριθμό των τεμαχίων του εξοπλισμού. Γενικά υπάρχει ένας κόμβος εισαγωγής για κάθε τεμάχιο εξοπλισμού της θερμικής ζώνης. Στην περίπτωση του συστήματος που μελετάται υπάρχει ένας κόμβος για κάθε θερμική ζώνη. Επομένως, για το Object 1 επιλέγεται “ZoneInlets Υπογειο”, ενώ για το Object 2 επιλέγεται “ZoneInlets Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Zone Air Exhaust Node or NodeList Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του κόμβου εξαγωγής του εξαγόμενου αέρα το οποίο καθορίζεται στην κλάση “NodeList”. Επομένως, για το Object 1 επιλέγεται “ZoneExhausts Υπογειο”, ενώ για το Object 2 επιλέγεται “ZoneExhausts Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Zone Air Node Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο επιλέγεται το όνομα του κόμβου (από τη λίστα που έχει δημιουργηθεί στην κλάση NodeList) του οποίου οι συνθήκες αντιπροσωπεύουν τη μέση κατάσταση του αέρα της θερμικής ζώνης. Επομένως, στην περίπτωση του εξεταζόμενου συστήματος, για το Object 1 εισάγεται “Zone Node Υπογειο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “Zone Node Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Zone Return Air Node or NodeList Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου αέρα επιστροφής που συνδέει τη θερμική ζώνη με τη διαδρομή επιστροφής. Ακόμα και στην περίπτωση που δεν υπάρχει αέρας επιστροφής ή καμιά διαδρομή αέρα επιστροφής είναι αναγκαίο να εισαχθεί αυτό το όνομα στο πεδίο. Τις συνθήκες σε αυτό τον κόμβο αντιπροσωπεύει ο εξερχόμενος αέρας από τη θερμική ζώνη συμπεριλαμβανομένου οποιουδήποτε θερμικού κέρδους από τα φώτα, τον εξοπλισμό ψύξης ή τη ροή αέρα από τα παράθυρα. Επομένως, στην περίπτωση του εξεταζόμενου συστήματος, για το

Object 1 εισάγεται “Zone Outlet Node Υπογειο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “Zone Outlet Node Ισόγειο”.



Εικόνα 5.62: Κλάση ZoneHVAC: EquipmentConnections

5.3.11. Κατηγορία Fans

Στην συγκεκριμένη κατηγορία ορίζονται οι ανεμιστήρες προώθησης του αέρα που χρησιμοποιούνται στο σύστημα ERV (Energy Recovery Ventilator), τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και συγκεκριμένα δεδομένα τα οποία είναι αναγκαία για τη λειτουργία τους.

5.3.11.1. Fan:OnOff

Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται τόσα αντικείμενα όσοι είναι και οι ανεμιστήρες προώθησης αέρα. Για το κτίριο που μελετάται οι ανεμιστήρες είναι τέσσερις καθώς το κάθε σύστημα εμπεριέχει δύο. Επομένως υπάρχει ένας ανεμιστήρας προώθησης του αέρα εισόδου από το εξωτερικό περιβάλλον προς την θερμική ζώνη και ένας ανεμιστήρας προώθησης του αέρα εξόδου από την θερμική ζώνη προς το περιβάλλον. Προφανώς, αυτό ισχύει και για το ισόγειο και για το υπόγειο.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται από τον χρήστη το όνομα το οποίο θα χαρακτηρίζει τον ανεμιστήρα. Οποιαδήποτε αναφορά του ανεμιστήρα σε άλλη κλάση γίνεται μέσω αυτού του

ονόματος και για αυτό τον λόγο θα πρέπει να είναι μοναδικό. Επομένως, τα ονόματα διαμορφώνονται ως εξής:

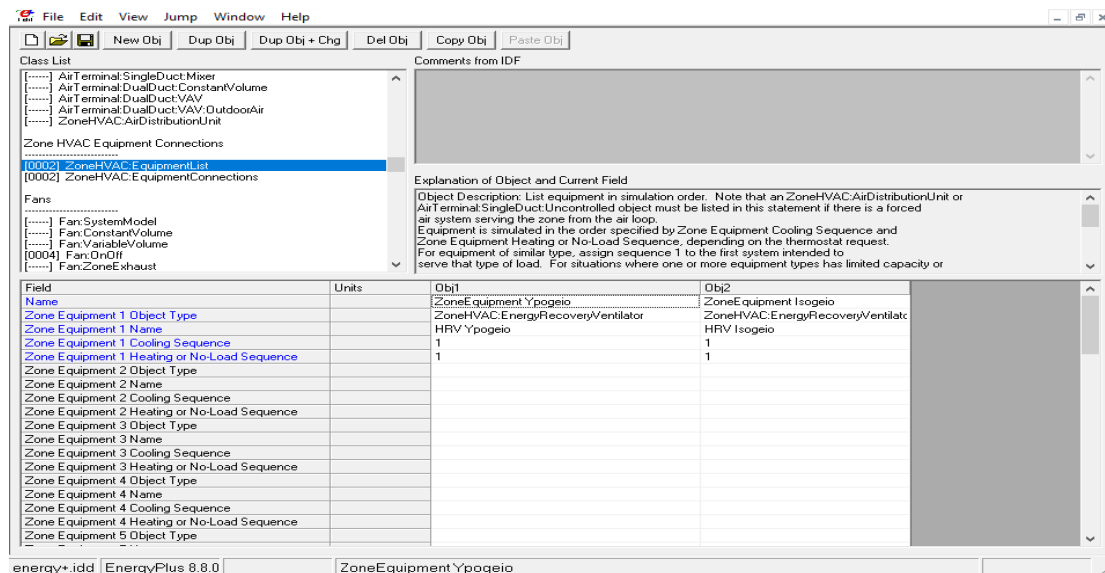
- ◆ Object 1: Stand Alone HRV Supply Fan Υπογειο
 - ◆ Object 2: Stand Alone HRV Exhaust Fan Υπογειο
 - ◆ Object 3: Stand Alone HRV Supply Fan Ισόγειο
 - ◆ Object 4: Stand Alone HRV Exhaust Fan Ισόγειο
- **Πεδίο – Availability Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος που έχει δημιουργηθεί στην κλάση “Schedule: Compact” και δηλώνει εάν ο ανεμιστήρας μπορεί να λειτουργήσει κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου. Στην προκειμένη περίπτωση, για τα Object 1 και Object 2 τα οποία αναφέρονται στο υπόγειο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Availability Schedule Υπογειο”, ενώ για τα Object 3 και Object 4 τα οποία αναφέρονται στο ισόγειο εισάγεται το χρονοδιάγραμμα “Availability Schedule Ισόγειο”.
 - **Πεδίο – Fan Total Efficiency:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της συνολικής απόδοσης του ανεμιστήρα, δηλαδή ο λόγος της ισχύος που μεταφέρεται στο ρευστό προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται από τον ανεμιστήρα. Είναι προϊόν δηλαδή της αποδοτικότητας του κινητήρα και της απόδοσης της πτερωτής. Ως αποδοτικότητα του κινητήρα θεωρείται η ισχύς που παραδίδεται στον άξονα, διαιρούμενη με την ηλεκτρική τροφοδοσία, ενώ ως απόδοση της πτερωτής θεωρείται η ισχύς που παρέχεται στο ρευστό διαιρούμενη με την ισχύ του άξονα. Η ισχύς που μεταφέρεται στο ρευστό είναι ο ρυθμός ροής μάζας του αέρα πολλαπλασιασμένος με την αύξηση της πίεσης και διαιρούμενος με την πυκνότητα του αέρα. Στην περίπτωση των συστημάτων που εξετάζονται είναι γνωστό πως η εν λόγω απόδοση είναι για όλους τους ανεμιστήρες 0.5.
 - **Πεδίο – Pressure Rise:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της ανόδου της πίεσης υπό κατάσταση πλήρους ροής και κανονικών συνθηκών (20°C και 101325 Pa). Στην περίπτωση των συστημάτων που εξετάζονται είναι γνωστό πως η εν λόγω τιμή της ανόδου πίεσης είναι για όλους τους ανεμιστήρες 75 Pa.
 - **Πεδίο – Maximum Flow Rate:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η ογκομετρική παροχή πλήρους φορτίου αέρα (m³/s) σε κανονική

θερμοκρασία και πίεση (20°C Dry bulb). Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την τοπική βαρομετρική πίεση για να υπολογίσει το υψόμετρο χρησιμοποιώντας εξίσωση για τυπική ατμοσφαιρική πίεση (ASHRAE 1997 HOF (έκδοση SI)) η οποία έχει παρουσιαστεί και παραπάνω. Επομένως, για τα Object 1 και Object 2 τα οποία αναφέρονται στους ανεμιστήρες διακίνησης αέρα του υπογείου η παροχή πλήρους φορτίου έχει καθοριστεί 0.011 m³/sec, ενώ για τα Object 3 και Object 4 τα οποία αναφέρονται στο ισόγειο η παροχή πλήρους φορτίου έχει καθοριστεί 0.028 m³/sec.

- **Πεδίο – *Motor Efficiency***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η απόδοση της μηχανής που κινεί την πτερωτή, η οποία υπολογίζεται από την ισχύ του άξονα διαιρούμενη με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση των συστημάτων που μελετώνται είναι γνωστό πως η τιμή αυτή για όλους τους ανεμιστήρες είναι 0.9.
- **Πεδίο – *Motor In Airstream Fraction***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή του κλάσματος της θερμότητας του κινητήρα που προστίθεται στο ρεύμα αέρα. Η τιμή 0 σημαίνει ότι ο κινητήρας είναι εντελώς έξω από το ρεύμα αέρα, ενώ η τιμή 1 σημαίνει ότι όλη η απώλεια θερμότητας από τον κινητήρα θα εισέλθει στον αέρα ροής και θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή πρέπει να κυμαίνεται από 0 έως 1. Στην περίπτωση των συστημάτων που μελετώνται η τιμή αυτή για όλους τους ανεμιστήρες είναι 1.
- **Πεδίο – *Air Inlet Node Name***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου του συστήματος HVAC, ο οποίος παρέχει τις συνθήκες αέρα εισόδου στον ανεμιστήρα. Πιο αναλυτικά οι κόμβοι που διαμορφώθηκαν στην κλάση “NodeList”, ορίστηκαν στα αντικείμενα (Objects) ως εξής:
 - ◆ Object 1: Heat Recovery Outlet Node Υπογειο
 - ◆ Object 2: Heat Recovery Secondary Outlet Node Υπογειο
 - ◆ Object 3: Heat Recovery Outlet Node Ισόγειο
 - ◆ Object 4: Heat Recovery Secondary Outlet node Ισόγειο
- **Πεδίο – *Air Outlet Node Name***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου του συστήματος HVAC, στον οποίο ο ανεμιστήρας στέλνει τον αέρα εξόδου. Πιο αναλυτικά οι κόμβοι που

διαμορφώθηκαν στην κλάση “NodeList”, ορίστηκαν στα αντικείμενα (Objects) ως εξής:

- ◆ Object 1: Stand Alone HRV Supply Fan Outlet Node Υπογειο
- ◆ Object 2: Stand Alone HRV Exhaust Fan Outlet Node Υπογειο
- ◆ Object 3: Stand Alone HRV Supply Fan Outlet Node Ισογειο
- ◆ Object 4: Stand Alone HRV Exhaust Fan Outlet Node Ισογειο



Εικόνα 5.63: Κλάση Fan: OnOff

5.3.12. Κατηγορία Heat Recovery

Στη συγκεκριμένη κατηγορία ορίζεται πλήρως τα χαρακτηριστικά του εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιείται στο σύστημα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας HRV.

5.3.12.1. HeatExchanger: AirToAir: SensibleAndLatent

Η συγκεκριμένη κλάση παρέχει ένα γενικευμένο μοντέλο εναλλάκτη αισθητής και λανθάνουσας θεσμότητας το οποίο είναι ένα στοιχείο ενός HVAC συστήματος που εμπριέχει και αποσβεστήρες παράκαμψης πρωτογενούς και δευτερογενούς ροής. Ο εναλλάκτης αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας (Heat Exchanger Sensible and Latent) (αέρος-αέρος) είναι ένα εξάρτημα HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) το οποίο χρησιμοποιείται για ανάκτηση θερμότητας αέρα. Αυτός μπορεί να οριστεί να μεταφέρει αισθητή θερμότητα, λανθάνουσα ή και τα δύο ταυτόχρονα,

επομένως η λειτουργία του ορίζεται προσδιορίζοντας την αποτελεσματικότητα της αισθητής και της λανθάνουσας σε ποσοστό 75% και 100% της ονομαστικής παροχής αέρα.

Για να επιτευχθεί η λειτουργικότητα του εναλλάκτη σε διαφορετικούς ρυθμούς ροής αέρα το μοντέλο υπολογίζει πρώτα τον μέσο ογκομετρικό ρυθμό ροής αέρα (μέσος όρος ροής αέρα τροφοδοσίας και αέρα εξαγωγής) για κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης. Υπάρχει η δυνατότητα ο εναλλάκτης να λειτουργεί σε ανισορροπία δηλαδή η παροχή του αέρα τροφοδοσίας να είναι μεγαλύτερη από την παροχή του αέρα εξαγωγής αλλά αυτό δεν θα πρέπει να φτάσει στα επίπεδα 2:1. Το μοντέλο καθορίζει την λειτουργική αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη με θερμότητας με γραμμική παρεμβολή στο 100% και 75% της παροχής αέρα. Επομένως έχουμε:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{operating,sensible} &= \varepsilon_{sensible,75\% flow} \\ &+ (\varepsilon_{sensible,100\% flow} - \varepsilon_{sensible,75\% flow}) \left(\frac{HX_{flowratio} - 0.75}{1 - 0.75} \right) \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{operating,latent} &= \varepsilon_{latent,75\% flow} \\ &+ (\varepsilon_{latent,100\% flow} - \varepsilon_{latent,75\% flow}) \left(\frac{HX_{flowratio} - 0.75}{1 - 0.75} \right) \end{aligned} \quad (5.10)$$

Όπου:

- $\varepsilon_{operating,sensible}$ = αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη για αισθητή θερμότητα
- $\varepsilon_{operating,latent}$ = αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη για λανθάνουσα θερμότητα
- $\varepsilon_{sensible,75\% flow}$ = αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη για αισθητή θερμότητα στο 75% της ονομαστικής παροχής
- $\varepsilon_{sensible,100\% flow}$ = αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη για αισθητή θερμότητα στο 100% της ονομαστικής παροχής

- $\varepsilon_{latent,75\% flow} =$ αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη για λανθάνουσα θερμότητα στο 75% της ονομαστικής παροχής
- $\varepsilon_{latent,100\% flow} =$ αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη για λανθάνουσα θερμότητα στο 100% της ονομαστικής παροχής
- $HX =$ η αναλογία της μέσης ογκομετρικής παροχής αέρα προς την ονομαστική παροχή αέρα

Εάν η θερμοκρασία εισόδου του αέρα τροφοδοσίας του εναλλάκτη θερμότητας είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα εξαγωγής τότε η αποτελεσματικότητα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις τιμές θέρμανσης στο 75% και στο 100%, διαφορετικά οι τιμές αποτελεσματικότητας ψύξης 75% και 100% χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις.

Οι συνθήκες του αέρα τροφοδοσίας που εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας την αποτελεσματικότητα λειτουργίας του εναλλάκτη, την αναλογία του ρεύματος αέρα με τη μικρότερη θερμική ισχύ προς τη θερμική ισχύ του αέρα τροφοδοσίας, και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αέρα τροφοδοσίας και εξαγωγής στο σημείο εισόδου.

$$\dot{m} cp, min = MIN(\dot{m} cp, sup, \dot{m} cp, exh) \quad (5.11)$$

$$T_{SupAirOut} = T_{SupAirIn} + \varepsilon_{operating,sensible} \left(\frac{\dot{m} cp, min}{\dot{m} cp, sup} \right) (T_{ExhAirIn} - T_{SupAirIn}) \quad (5.12)$$

$$\omega_{SupAirOut} = \omega_{SupAirIn} + \varepsilon_{operating,latent} \left(\frac{\dot{m} cp, min}{\dot{m} cp, sup} \right) (\omega_{ExhAirIn} - \omega_{SupAirIn}) \quad (5.13)$$

Όπου:

- $\dot{m} cp, min =$ ελάχιστη θερμοχωρητικότητα (W/K)
- $\dot{m} cp, sup =$ θερμοχωρητικότητα του ρεύματος αέρα τροφοδοσίας (W/K)
- $\dot{m} cp, exh =$ θερμοχωρητικότητα του ρεύματος αέρα εξαγωγής (W/K)
- $T_{SupAirOut} =$ θερμοκρασία αέρα τροφοδοσία μετά τον εναλλάκτη (°C)
- $T_{SupAirIn} =$ θερμοκρασία αέρα τροφοδοσίας πριν μπει στον εναλλάκτη (°C)

- $\omega_{SupAirOut}$ = αναλογία υγρασίας αέρα τροφοδοσίας μετά τον εναλλάκτη (kg/kg)
- $\omega_{SupAirIn}$ = αναλογία υγρασίας αέρα τροφοδοσίας πριν τον εναλλάκτη (kg/kg)
- $\omega_{ExhAirIn}$ = αναλογία υγρασίας αέρα εξαγωγής πριν τον εναλλάκτη (kg/kg)

Χρησιμοποιώντας την θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας μετά τον εναλλάκτη και την αναλογία υγρασίας, η ενθαλπία του αέρα τροφοδοσίας πριν εισέρθει στη θερμική ζώνη υποορίζεται:

$$h_{SupAirOut} = PsyHFnTdbW(T_{SupAirOut}, \omega_{SupAirOut}) \quad (5.14)$$

Όπου:

- $h_{SupAirOut}$ = ενθαλπία του αέρα τροφοδοσίας μετά τον εναλλάκτη (J/kg)
- $PsyHFnTdbW$ = ψυχομετρική ρουτίνα υπολογισμού της ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας

Εάν οι προβλεπόμενες συνθήκες του αέρα τροφοδοσίας που εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας υπερβαίνουν την καμπύλη κορεσμού, τότε η θερμοκρασία και η αναλογία υγρασίας του αέρα επαναφέρεται σε συνθήκες κορεσμού, στην ενθαλπία που υπολογίστηκε παραπάνω ($h_{SupAirOut}$).

Στη συνέχεια υπολογίζονται ο ρυθμός ανάκτησης αισθητής και συνολικής θερμότητας:

$$\dot{Q}_{sensible} = (\dot{m}_{cp, sup})(T_{SupAirIn} - T_{SupAirOut}) \quad (5.15)$$

$$\dot{Q}_{Total} = (\dot{m}_{SupAir})(h_{SupAirIn} - h_{SupAirOut}) \quad (5.16)$$

Όπου:

- $\dot{Q}_{sensible}$ = ρυθμός ανάκτησης αισθητής θερμότητας (W)
- \dot{Q}_{Total} = ρυθμός ανάκτησης λανθάνουσας θερμότητας (W)
- \dot{m}_{SupAir} = ρυθμός ροής μάζας αέρα τροφοδοσίας (kg/s)

Επομένως, η κατάσταση του αέρα (δευτερεύων) εξαγωγής μετά τον εναλλάκτη θερμότητας είναι η εξής:

$$T_{ExhAirOut} = T_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{sensible}}{\dot{m} c_{p, exh}} \quad (5.17)$$

$$h_{ExhAirOut} = h_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{Total}}{\dot{m}_{ExhAir}} \quad (5.18)$$

$$\omega_{SupAirOut} = PsyWFnTdbH(T_{ExhAirOut}, \omega_{ExhAirOut}) \quad (5.19)$$

Όπου:

- $T_{ExhAirOut}$ = θερμοκρασία αέρα εξαγωγής μετά τον εναλλάκτη (°C)
- $h_{ExhAirOut}$ = ενθαλπία αέρα εξαγωγής μετά τον εναλλάκτη (J/kg)
- \dot{m}_{ExhAir} = ρυθμός ροή μάζας αέρα εξαγωγής (kg/s)
- $\omega_{SupAirOut}$ = αναλογία υγρασίας αέρα εξαγωγής μετά τον εναλλάκτη (kg/kg)
- $PsyWFnTdbH$ = ψυχομετρική ρουτίνα υπολογισμού της ενθαλπίας αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας

Όπως έγινε και για τον αέρα τροφοδοσίας, οι υπολογισμένες συνθήκες του αέρα εξαγωγής που βρίσκονται πάνω από την καμπύλη κορεσμού επανφέρονται σε συνθήκες κορεσμού στην υπολογιζόμενη τιμή της ενθαλπίας.

Μετά τον υπολογισμό των συνθηκών των ρευμάτων αέρα που εξέρχονται από κάθε πλευρά του εναλλάκτη (αέρας τροφοδοσίας – αέρας εξαγωγής), το κάθε ρεύμα αναμειγνύεται με τον αέρα παράκαμψης που κινείται γύρω από τον εναλλάκτη και έτσι καθορίζεται η τελική κατάσταση του αέρα που εξέρχεται από τον εναλλάκτη (από την μία πλευρά το ρεύμα τροφοδοσίας εισέρχεται στη θερμική ζώνη, ενώ από την άλλη πλευρά το ρεύμα εξαγωγής βγαίνει στο εξωτερικό περιβάλλον). Αυτές οι συνθήκες του αέρα χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις για τον προσδιορισμό του ρυθμού ανάκτησης αισθητής θερμότητας και ολικής θερμότητας στον εναλλάκτη. Έτσι υπολογίζεται ο ρυθμός ανάκτησης λανθάνουσας θερμότητας από τη διαφορά της συνολικής με την αισθητή.

$$\dot{Q}_{latent} = \dot{Q}_{Total} - \dot{Q}_{sensible} \quad (5.20)$$

Στο τέλος κάθε χρονικού βήματος το πρόγραμμα αναφέρει την αισθητή, τη λανθάνουσα και το συνολικό ποσό ανάκτησης θερμότητας για ολόκληρο το σύστημα. Οι ρυθμοί ανάκτησης θερμότητας αναφέρονται ξεχωριστά για τις ώρες που θερμαίνεται

ο αέρας τροφοδοσίας και για τις ώρες που ψύχεται. Η κατανάλωση ενέργειας για την ανάκτηση θερμότητας επίσης αναφέρεται για κάθε χρονικό βήμα προσομοίωσης. Έτσι, υπολογίζονται η θερμική και ψυκτική ενέργεια που μεταφέρεται στον αέρα τροφοδοσίας αλλά και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όπως φαίνεται παρακάτω:

$$Q_{SensibleCooling} = \dot{Q}_{SensibleCooling} * TimeStepSys * 3600 \quad (5.21)$$

$$Q_{LatentCooling} = \dot{Q}_{LatentCooling} * TimeStepSys * 3600 \quad (5.22)$$

$$Q_{TotalCooling} = \dot{Q}_{TotalCooling} * TimeStepSys * 3600 \quad (5.23)$$

$$Q_{SensibleHeating} = \dot{Q}_{SensibleHeating} * TimeStepSys * 3600 \quad (5.24)$$

$$Q_{LatentHeating} = \dot{Q}_{LatentHeating} * TimeStepSys * 3600 \quad (5.25)$$

$$Q_{TotalHeating} = \dot{Q}_{TotalHeating} * TimeStepSys * 3600 \quad (5.26)$$

$$E_{HXUnit} = P_{HXUnit} * TimeStep * 3600 \quad (5.27)$$

Όπου:

- $Q_{SensibleCooling}$ = μεταβλητή εξόδου “αισθητή ψυκτική ενέργεια εναλλάκτη θερμότητας” (J)
- $\dot{Q}_{SensibleCooling}$ = μεταβλητή εξόδου “αισθητός ψυκτικός ρυθμός εναλλάκτη θερμότητας” (W) = $\dot{Q}_{Sensible}$ όταν ο αέρας τροφοδοσίας ψύχεται
- $TimeStepSys$ = χρονικό βήμα προσομοίωσης συστήματος HVAC (hr)
- $\dot{Q}_{LatentCooling}$ = μεταβλητή εξόδου “λανθάνων ψυκτικός ρυθμός εναλλάκτη θερμότητας” (W) = \dot{Q}_{Latent} όταν ο αέρας τροφοδοσίας δεν έχει υγρασία
- $Q_{TotalCooling}$ = μεταβλητή εξόδου “συνολική ψυκτική ενέργεια εναλλάκτη θερμότητας” (J)
- $\dot{Q}_{TotalCooling}$ = μεταβλητή εξόδου “συνολικός ρυθμός ψύξης εναλλάκτη θερμότητας” (W) = \dot{Q}_{Total} όταν η ενθαλπία του αέρα τροφοδοσίας μειώνεται
- $\dot{Q}_{SensibleHeating}$ = μεταβλητή εξόδου “αισθητός ρυθμός θέρμανσης εναλλάκτη θερμότητας” (W) = $\dot{Q}_{Sensible}$ όταν ο αέρας τροφοδοσίας θερμαίνεται

- $Q_{LatentHeating}$ = μεταβλητή εξόδου “λανθάνουσα ενέργεια θέρμανσης εναλλάκτη θερμότητας” (J)
- $\dot{Q}_{LatentHeating}$ = μεταβλητή εξόδου “λανθάνων ρυθμός κέρδους εναλλάκτη θερμότητας” (W) = \dot{Q}_{Latent} όταν ο αέρας τροφοδοσίας έχει υγρασία
- $Q_{TotalHeating}$ = μεταβλητή εξόδου “συνολική ενέργεια θέρμανσης εναλλάκτη θερμότητας” (J)
- $\dot{Q}_{TotalHeating}$ = μεταβλητή εξόδου “συνολικός ρυθμός θέρμανσης εναλλάκτη θερμότητας” (W) = \dot{Q}_{Total} όταν η ενθαλπία του αέρα τροφοδοσίας αυξάνεται
- E_{HXUnit} = μεταβλητή εξόδου “ηλεκτρική ενέργεια εναλλάκτη θερμότητας” (J)
- P_{HXUnit} = μεταβλητή εξόδου “ηλεκτρική ισχύς εναλλάκτη θερμότητας” (W)

Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο ψυχρός και υγρός αέρας που εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον στον εναλλάκτη θερμότητας, μπορεί να σχηματίσει παγετό στις ψυχρές επιφάνειές του, γεγονός το οποίο είναι ικανό να μειώσει τη ροή του αέρα και την ποσότητα ανάκτησης θερμότητας. Για τον έλεγχο ή την εξάλειψη του σχηματισμού παγετού υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένες μέθοδοι όπως είναι η προθέρμανση του αέρα τροφοδοσίας, ο ορισμός ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα εξαγωγής και η ανακυκλοφορία αέρα εξαγωγής.

Ιδιαίτερα αποτελεσματική είναι η μέθοδος “*Exhaust Only*” όπου ο ψυχρός αέρας που έρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον παρακάμπτει τον εναλλάκτη θερμότητας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι σκοπίμως μειώνεται ο ρυθμός αέρα τροφοδοσίας που περνάει μέσα από τον εναλλάκτη με σκοπό τον έλεγχο του φαινομένου του “παγετού”. Επομένως, ο χρήστης εισάγει στο σύστημα έλεγχου μια οριακή θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας. Όταν λοιπόν η θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας που εισέρχεται στον εναλλάκτη γίνει ίση ή μικρότερη από αυτήν που έχει οριστεί, τότε ο χρόνος για τον οποίο ο αέρας θα ακολουθεί την παρακαμπτήρια διαδρομή γύρω από τον εναλλάκτη ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$X_{DefrostTime} = X_{Initial} + X_{RateofIncrease} (T_{Threshold} - T_{SupAirIn}) \quad (5.28)$$

Όπου:

- $X_{DefrostTime}$ = κλασματική χρονική περίοδος για τον έλεγχο παγετού ($0 \leq X_{DefrostTime} \leq 1$)
- $X_{Initial}$ = αρχικό κλάσμα χρόνου απόψυξης
- $X_{RateofIncrease}$ = αύξηση του κλάσματος χρόνου απόψυξης (K^{-1})

- $T_{Threshold}$ = θερμοκρασία κατωφλιού (οριακή θερμοκρασία) (°C)
- $T_{SupAirIn}$ = θερμοκρασία αέρα τροφοδοσίας στην είσοδο (°C)

Κατά τη διάρκεια του χρόνου απόψυξης όλος ο αέρας τροφοδοσίας παρακάμπτει τον εναλλάκτη θερμότητας επομένως δεν υπάρχει σε κανένα ποσοστό συναλλαγή θερμότητας. Τον υπόλοιπο χρόνο πραγματοποιείται κανονικά συναλλαγή θερμότητας. Ο μέσος όρος της ροής αέρα τροφοδοσίας που παρακάμπτει τον εναλλάκτη θερμότητας υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{m}_{SupAirBypass} = (X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAir} \quad (5.29)$$

Για να προσδιοριστούν οι μέσοι όροι μεταφοράς θερμότητας για το χρονικό βήμα προσομοίωσης, υπολογίζονται πρώτα οι συνθήκες του αέρα τροφοδοσίας μετά τον εναλλάκτη όσο αυτός δεν βρίσκεται σε ρύθμιση απόψυξης “Defrost Mode”. Το ποσό της αισθητής και της λανθάνουσας μεταφοράς θερμότητας υπολογίζονται ως εξής:

$$\dot{Q}_{Sensible} = (1 - X_{DefrostTime})(\dot{m} cp, sup)(T_{SupAirIn} - T_{SupAirOut}) \quad (5.30)$$

$$\dot{Q}_{Total} = (1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAir}(h_{SupAirIn} - h_{SupAirOut}) \quad (5.31)$$

Όταν οι μέσοι όροι μεταφοράς θερμότητας έχουν καθοριστεί, οι μέσες συνθήκες του αέρα τροφοδοσίας που εξέρχεται από το συνολικό σύστημα του εναλλάκτη θερμότητας υπολογίζονται ως εξής:

$$T_{SupAirOut} = T_{SupAirIn} - \frac{\dot{Q}_{Sensible}}{\dot{m} cp, sup} \quad (5.32)$$

$$h_{SupAirOut} = h_{SupAirIn} + \frac{\dot{Q}_{Total}}{\dot{m}_{SupAir}} \quad (5.33)$$

$$\omega_{SupAirOut} = PsyWFnTdbH(T_{SupAirOut}, h_{SupAirOut}) \quad (5.34)$$

Όπως περιγράφηκε και προηγουμένως, εάν οι προβλεπόμενες συνθήκες του εξερχόμενου αέρα τροφοδοσίας από τον εναλλάκτη, βρίσκονται πάνω από την καμπύλη κορεσμού, τότε η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα επανακαθορίζονται σε συνθήκες κορεσμού στις συνθήκες της ενθαλπίας ($h_{SupAirOut}$). Εάν η θερμοκρασία

του αέρα τροφοδοσίας επανακαθοριστεί, τότε η μέση αισθητή μετάδοση θερμότητας υπολογίζονται εκ νέου πριν από την έξοδο του αέρα εξαγωγής.

$$T_{ExhAirOut} = T_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{sensible}}{\dot{m} c_{p, exh}} \quad (5.35)$$

$$h_{ExhAirOut} = h_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{Total}}{\dot{m} ExhAir} \quad (5.36)$$

$$\omega_{ExhAirOut} = PsyWFnTdbH(T_{ExhAirOut}, h_{ExhAirOut}) \quad (5.37)$$

Επίσης, για τον έλεγχο του παγετού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος “*Exhaust Air Recirculation*” η οποία μεταφέρει τον αέρα εξαγωγής και πάλι εντός του μηχανισμού από την πλευρά όμως του αέρα τροφοδοσίας με σκοπό τη θέρμανση του εναλλάκτη. Την ώρα που είναι ενεργοποιημένο αυτό το σύστημα δεν εισέρχεται νέος αέρας τροφοδοσίας από το εξωτερικό περιβάλλον. Επομένως, ο χρήστης εισάγει στο σύστημα έλεγχο μια οριακή θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας. Όταν λοιπόν η θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας που εισέρχεται στον εναλλάκτη γίνει ίση ή μικρότερη από αυτήν που έχει οριστεί, τότε ο χρόνος για τον οποίο αυτός ο μηχανισμός έλεγχο είναι ενεργοποιημένος καθορίζεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$X_{DefrostTime} = X_{Initial} + X_{RateofIncrease}(T_{Threshold} - T_{SupAirIn}) \quad (5.38)$$

Η μάζα του αέρα τροφοδοσίας που περνάει από τον εναλλάκτη θερμότητας καθορίζεται, χρησιμοποιώντας τον χρόνο απόψυξης του υπολογίστηκε προηγουμένως.

$$\dot{m}_{SupAirOut} = (1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAirIn} + X_{DefrostTime}\dot{m}_{ExhAirIn} \quad (5.39)$$

Το μοντέλο θεωρεί πως δεν πραγματοποιείται συναλλαγή θερμότητας όσο το σύστημα απόψυξης είναι ενεργοποιημένο και οι μέσες συνθήκες του αέρα τροφοδοσίας είναι μια μίξη των συνθηκών όταν η μονάδα λειτουργεί κανονικά και των συνθηκών του αέρα εξαγωγής που εισάγεται στον εναλλάκτη όσο το σύστημα απόψυξης λειτουργεί.

$$T_{SupAirOut} = \frac{(1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAirIn}T_{SupAirOut,NoDefrost} + X_{DefrostTime}\dot{m}_{ExhAirIn}T_{ExhAirIn}}{\dot{m}_{SupAirOut}} \quad (5.40)$$

$$\omega_{SupAirOut} = \frac{(1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAirIn}\omega_{SupAirOut,NoDefrost} + X_{DefrostTime}\dot{m}_{ExhAirIn}\omega_{ExhAirIn}}{\dot{m}_{SupAirOut}} \quad (5.41)$$

$$h_{SupAirOut} = PsyHFnTdbW(T_{SupAirOut}, \omega_{SupAirOut}) \quad (5.42)$$

Οι εξισώσεις αποτελεσματικότητας του εναλλάκτη θερμότητας που υπολογίστηκαν παραπάνω δεν λαμβάνουν υπόψιν το σύστημα απόψυξης. Επομένως οι εξισώσεις διαμορφώνονται ως εξής:

$$\varepsilon_{operating,sensible} = (1 - X_{DefrostTime})\varepsilon_{operating,sensible} \quad (5.43)$$

$$\varepsilon_{operating,latent} = (1 - X_{DefrostTime})\varepsilon_{operating,latent} \quad (5.44)$$

Επειδή ο αέρας εξαγωγής ανακυκλώνεται μέσω της πλευράς τροφοδοσίας του εναλλάκτη θερμότητας, ο εισερχόμενος αέρας τροφοδοσίας και οι εξερχόμενες ροές αέρα εξαγωγής σταματούν για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όταν το σύστημα απόψυξης του εναλλάκτη είναι ενεργοποιημένο. Επομένως, οι μέσες τιμές της ροής μάζας αέρα στην είσοδο της πλευράς τροφοδοσίας και στην έξοδο στην πλευρά εξαγωγής μειώνονται ανάλογα.

$$\dot{m}_{SupAirIn} = (1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAirIn} \quad (5.45)$$

$$\dot{m}_{ExhAirOut} = (1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{ExhAirOut} \quad (5.46)$$

Επιπλέον, μια μέθοδος που χρησιμοποιείται πάρα πολύ συχνά σε τέτοιου είδους περιπτώσεις είναι η “Minimum Exhaust Temperature”. Με αυτή τη μέθοδο ελέγχου αποφεύγεται ο σχηματισμός παγετού μέσω της συνεχούς διατήρησης της θερμοκρασίας του εξερχόμενου αέρα εξαγωγής από τον εναλλάκτη, σε ένα προκαθορισμένο όριο. Το όριο της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα εξαγωγής διατηρείται με την παράκαμψη που πραγματοποιείται από τον αέρα τροφοδοσίας

γύρω από τον εναλλάκτη θερμότητας. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης πρέπει να εισάγει την ελάχιστο όριο θερμοκρασίας. Επομένως, στην περίπτωση που προκύπτει ότι η θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη του αέρα εξαγωγής είναι μικρότερη από το προκαθορισμένο όριο τότε η αποτελεσματικότητα λειτουργίας μειώνεται ως εξής:

$$X_{DefrostTime} = \frac{(T_{Threshold} - T_{ExhAirOut})}{(T_{ExhAirIn} - T_{ExhAirOut})} \quad (5.47)$$

$$\varepsilon_{operating,sensible} = (1 - X_{DefrostTime})\varepsilon_{operating,sensible} \quad (5.48)$$

$$\varepsilon_{operating,latent} = (1 - X_{DefrostTime})\varepsilon_{operating,latent} \quad (5.49)$$

Οι συνθήκες του εξερχόμενου αέρα τροφοδοσίας και του εξερχόμενου αέρα εξαγωγής υπολογίζονται εκ νέου χρησιμοποιώντας τις νέες μειωμένες τιμές της αποτελεσματικότητας. Επομένως, ο ρυθμός ανάκτησης αισθητής, λανθάνουσας και συνολικής θερμότητας υπολογίζεται σε σχέση με την ηλεκτρική ισχύ της μονάδας.

Από τη στιγμή που η ογκομετρική παροχή αέρα που περνά μέσα από τον εναλλάκτη μειώνεται όταν το σύστημα ελέγχου παγετού είναι ενεργοποιημένο, χρησιμοποιείται μια επαναληπτική διαδικασία για να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη. Προφανώς αρχικά υπολογίζονται η αποτελεσματικότητα και οι συνθήκες αέρα στην έξοδο στην περίπτωση που ο έλεγχος παγετού δεν είναι ενεργός. Εάν η προκύπτουσα θερμοκρασία εξόδου του αέρα εξαγωγής είναι μικρότερη από την προκαθορισμένη (threshold temperature) τότε ο κλασματικός χρόνος απόψυξης υπολογίζεται ως εξής:

$$X_{DefrostTime} = \frac{(T_{Threshold} - T_{ExhAirOut})}{(T_{ExhAirIn} - T_{ExhAirOut})} \quad (5.50)$$

Στη συνέχεια, η διαδικασία επανάληψης αρχίζει να προσδιορίζει την αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη θερμότητας και την θερμοκρασίας εξόδου του αέρα εξαγωγής θεωρώντας ότι ο έλεγχος παγετού είναι ενεργός. Ο ρυθμός ροής μάζας αέρα από την πλευρά της τροφοδοσίας του εναλλάκτη θερμότητας υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{m}_{SupAirCore} = (1 - X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAirIn} \quad (5.51)$$

$$\dot{m}_{SupAirBypass} = (X_{DefrostTime})\dot{m}_{SupAirIn} \quad (5.52)$$

Ο λόγος του ογκομετρικού ρυθμού ροής αέρα στον εναλλάκτη προς την ονομαστική παροχή που περνά από τον εναλλάκτη χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητάς του. Δεδομένου ότι ο ρυθμός ροής του αέρα μέσα στον εναλλάκτη μειώνεται σκοπίμως για τον έλεγχο παγετού, η μέση παροχή πέφτει κάτω από το 50% της ονομαστικής χωρίς να εκδίδεται κάποιο προειδοποιητικό μήνυμα. Έτσι προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις που χρησιμοποιούν την αναθεωρημένη αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη θερμότητας.

$$T_{SupAirOut} = T_{SupAirIn} + \varepsilon_{operating,sensible} \left(\frac{\dot{m} cp, min}{\dot{m} cp, sup} \right) (T_{ExhAirIn} - T_{SupAirIn}) \quad (5.53)$$

$$\dot{Q}_{Sensible} = (1 - X_{DefrostTime})(\dot{m} cp, sup)(T_{SupAirInlet} - T_{SupAirOutlet}) \quad (5.54)$$

$$T_{ExhAirOut} = T_{ExhAirIn} + \frac{\dot{Q}_{sensible}}{\dot{m} cp, exh} \quad (5.55)$$

Το σφάλμα (error) μεταξύ της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα εξαγωγής και της οριακής θερμοκρασίας (threshold temperature) για τον έλεγχο παγετού, αλλά και ένα νέο χρονικό διάστημα απόψυξης υπολογίζονται παρακάτω:

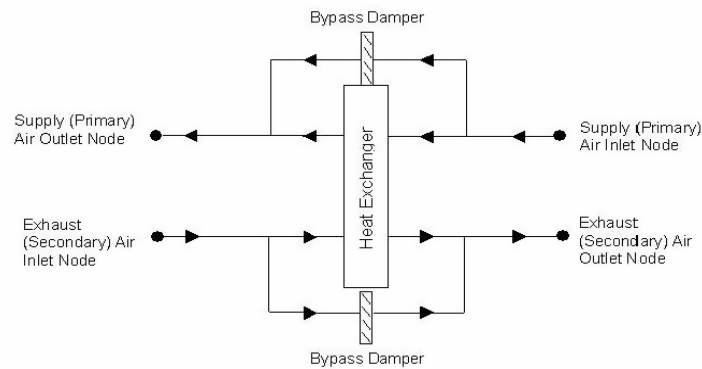
$$Error = T_{ExhAirOut} - T_{Threshold} \quad (5.56)$$

$$X_{DefrostTime} = X_{DefrostTime} \frac{(T_{ExhAirIn} - T_{ExhAirOut})}{(T_{ExhAirIn} - T_{Threshold})} \quad (5.57)$$

Η επαναληπτική διαδικασία τερματίζεται όταν το υπολογιζόμενο σφάλμα είναι της ανοχής σφάλματος 0.001. Τα αέρια ρεύματα που περνούν μέσα από των εναλλάκτη και αυτά που τον παρακάμπτουν περνώντας γύρω από αυτόν, τελικά αναμειγνύονται μεταξύ τους και παρέχουν τις συνθήκες αέρα στην έξοδο του εναλλάκτη. Τέλος, ο ρυθμός ανάκτησης αισθητής, λανθάνουσας και συνολικής θερμότητας υπολογίζεται σε σχέση με την ηλεκτρική ισχύ της μονάδας.

Επομένως, σε αυτή την κλάση διαμορφώνεται η βασική λειτουργία ενός εναλλάκτη θερμότητας (αέρος-αέρος) και εισάγεται το χρονοδιάγραμμα με βάση το οποίο

ενεργοποιείται το σύστημα και πραγματοποιείται η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ των αέριων ρευμάτων. Ο εναλλάκτης του συστήματος που μελετάται είναι τύπου (plate) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με έναν συμβατικό οικονομοποιητή αέρα (economizer). Σε αυτή την περίπτωση η συναλλαγή θερμότητας αναστέλλεται κάθε φορά που ο “economizer” είναι ενεργός. Έτσι ο αέρας παρακάμπτει τον εναλλάκτη, πηγαίνοντας γύρω από αυτόν όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις όπου υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί ελεύθερη ψύξη (free cooling) απ’ ευθείας με τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Εικόνα Error! No text of specified style in document..1: Σχηματική απεικόνιση παράκαμψης εναλλάκτη θερμότητας

Παράλληλα, ο εναλλάκτης θερμότητας ελέγχεται για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας του αέρα τροφοδοσίας ακριβώς πριν την εισαγωγή του στον χώρο. Αυτό συμβαίνει καθώς παρατηρούνται περιπτώσεις υπερθέρμανσης του αέρα εισαγωγής από τον εναλλάκτη, οι οποίες προφανώς είναι ανεπιθύμητες. Για να μοντελοποιηθεί αυτός ο έλεγχος χρησιμοποιείται ένα αντικείμενο διαχείρισης (set point manager object) το οποίο καθορίζει μια ανώτατη θερμοκρασία του αέρα τροφοδοσίας ακριβώς μετά τον εναλλάκτη.

Στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάται αναλύονται δύο συστήματα HRV τα οποία βρίσκονται στο ισόγειο και στο υπόγειο αντίστοιχα. Επομένως σε αυτή την κλάση εισάγονται δύο αντικείμενα Objects, ένα δηλαδή για κάθε θερμική ζώνη.

- **Πεδίο – Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του εναλλάκτη θερμότητας το οποίο αναφέρεται σε συγκεκριμένη θερμική ζώνη. Το όνομα αυτό χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε σημείο αναφερθεί το αντικείμενο σε κάποια άλλη κλάση. Επομένως, για το Object 1 εισάγεται “OA Heat Recovery Υπογειο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “OA Heat Recovery Ισόγειο”.

- **Πεδίο – Availability Schedule Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του χρονοδιαγράμματος που έχει δημιουργηθεί στην κλάση “Schedule: Compact” και δηλώνει εάν το σύστημα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας μπορεί να λειτουργήσει κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου. Επομένως, για το Object 1 εισάγεται “Availability Schedule Υπογείο”, ενώ για το Object 2 εισάγεται “Availability Schedule Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Nominal Supply Air Flow Rate:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η ονομαστική πρωτογενής παροχή αέρα σε (m^3/sec). Η πραγματική παροχή θα πρέπει να κυμαίνεται από το 50% αυτής της τιμής έως το 130% της τιμής. Στην περίπτωση των συστημάτων που μελετώνται, όπως συμπληρώθηκε και σε παραπάνω κλάσεις, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται η τιμή $0.011 m^3/s$, ενώ για το ισόγειο (Object 2) εισάγεται η τιμή $0.028 m^3/s$.
- **Πεδίο – Sensible Effectiveness at 100% Heating Air Flow:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της αισθητής συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση θέρμανσης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 100% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό ότι: για το υπόγειο (Object 1) ισχύει η τιμή 0.9, ενώ για το ισόγειο (Object 2) ισχύει η τιμή 0.93.
- **Πεδίο – Latent Effectiveness at 100% Heating Air Flow:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της λανθάνουσας συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση θέρμανσης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 100% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Η τιμή αυτή ορίζεται μηδέν σε περίπτωση που ο εναλλάκτης δεν μεταφέρει λανθάνουσα ενέργεια. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό πως δεν μεταφέρεται λανθάνουσα ενέργεια, και έτσι εισάγεται και για τα δύο συστήματα (υπόγειο-ισόγειο) η τιμή 0.
- **Πεδίο – Sensible Effectiveness at 75% Heating Air Flow:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της

αισθητής συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση θέρμανσης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 75% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό ότι: για το υπόγειο (Object 1) ισχύει η τιμή 0.9, ενώ για το ισόγειο (Object 2) ισχύει η τιμή 0.93.

- **Πεδίο – Latent Effectiveness at 75% Heating Air Flow.** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της λανθάνουσας συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση θέρμανσης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 75% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Η τιμή αυτή ορίζεται μηδέν σε περίπτωση που ο εναλλάκτης δεν μεταφέρει λανθάνουσα ενέργεια. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό πως δεν μεταφέρεται λανθάνουσα ενέργεια, και έτσι εισάγεται και για τα δύο συστήματα (υπόγειο-ισόγειο) η τιμή 0.
- **Πεδίο – Sensible Effectiveness at 100% Cooling Air Flow.** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της αισθητής συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση ψύξης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 100% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό ότι: για το υπόγειο (Object 1) ισχύει η τιμή 0.9, ενώ για το ισόγειο (Object 2) ισχύει η τιμή 0.93.
- **Πεδίο – Latent Effectiveness at 100% Cooling Air Flow.** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της λανθάνουσας συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση ψύξης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 100% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Η τιμή αυτή ορίζεται μηδέν σε περίπτωση που ο εναλλάκτης δεν μεταφέρει λανθάνουσα ενέργεια. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό πως δεν μεταφέρεται

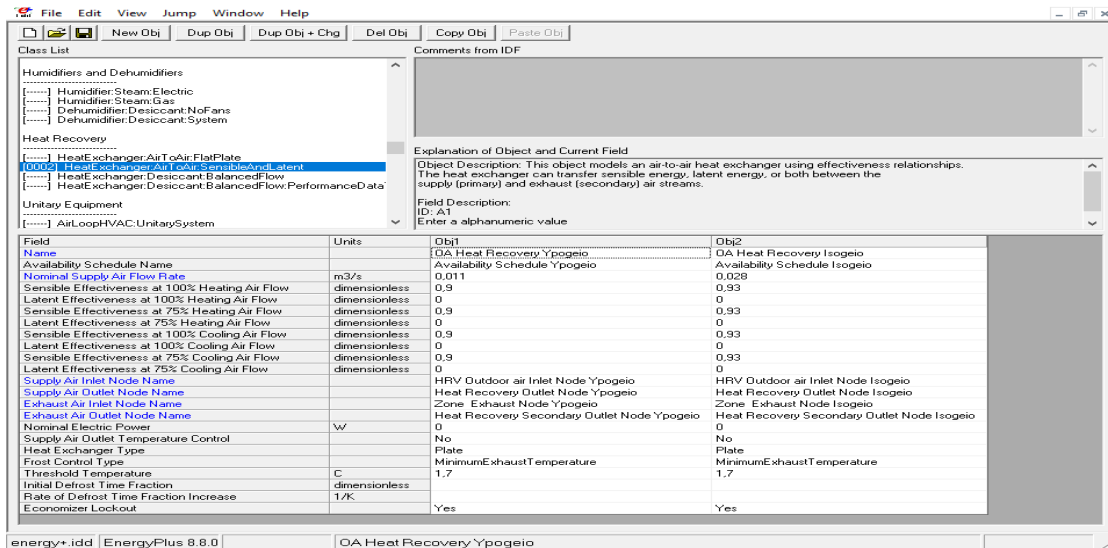
λανθάνουσα ενέργεια, και έτσι εισάγεται και για τα δύο συστήματα (υπόγειο-ισόγειο) η τιμή 0.

- **Πεδίο – *Sensible Effectiveness at 75% Cooling Air Flow***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της αισθητής συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση ψύξης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 75% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό ότι: για το υπόγειο (Object 1) ισχύει η τιμή 0.9, ενώ για το ισόγειο (Object 2) ισχύει η τιμή 0.93.
- **Πεδίο – *Latent Effectiveness at 75% Cooling Air Flow***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται η τιμή της αποτελεσματικότητας της λανθάνουσας συναλλαγής θερμότητας στην κατάσταση ψύξης. Εδώ ο ρυθμός ροής του αέρα τροφοδοσίας και ο ρυθμός ροής του αέρα εξαγωγής είναι ίσοι με το 75% της ονομαστικής παροχής που ορίστηκε στο πεδίο “Nominal Supply Air Flow Rate”. Η τιμή αυτή ορίζεται μηδέν σε περίπτωση που ο εναλλάκτης δεν μεταφέρει λανθάνουσα ενέργεια. Επομένως, στην περίπτωση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι γνωστό πως δεν μεταφέρεται λανθάνουσα ενέργεια, και έτσι εισάγεται και για τα δύο συστήματα (υπόγειο-ισόγειο) η τιμή 0.
- **Πεδίο – *Supply Air Inlet Node Name***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου του συστήματος HVAC (το οποίο έχει δηλωθεί στην κλάση “NodeList”) από το οποίο η μονάδα αντλεί τον εισερχόμενο αέρα τροφοδοσίας. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται “HRV Outdoor air Inlet Node Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο εισάγεται “HRV Outdoor air Inlet Node Ισόγειο”.
- **Πεδίο – *Supply Air Outlet Node Name***: Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου του συστήματος HVAC (το οποίο έχει δηλωθεί στην κλάση “NodeList”) στον οποίο η μονάδα στέλνει τον αέρα τροφοδοσίας μετά τον εναλλάκτη θερμότητας. Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται “Heat Recovery Outlet Node Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο εισάγεται “Heat Recovery Outlet Node Ισόγειο”.

- **Πεδίο – Exhaust Air Inlet Node Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου του συστήματος HVAC (το οποίο έχει δηλωθεί στην κλάση “NodeList”) από το οποίο η μονάδα αντλεί τον αέρα εξαγωγής (αέρας θερμικής ζώνης). Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται “Zone Exhaust Node Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο εισάγεται “Zone Exhaust Node Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Exhaust Air Outlet Node Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου του συστήματος HVAC (το οποίο έχει δηλωθεί στην κλάση “NodeList”) στον οποίο η μονάδα στέλνει τον αέρα εξαγωγής μετά τον εναλλάκτη θερμότητας. . Επομένως, για το υπόγειο (Object 1) εισάγεται “Heat Recovery Secondary Outlet Node Υπογειο”, ενώ για το ισόγειο εισάγεται “Heat Recovery Secondary Outlet Node Ισόγειο”.
- **Πεδίο – Nominal Electric Power:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται ο ρυθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας σε (Watt). Αυτή η τιμή χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τον μηχανισμό του εναλλάκτη (αν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος π.χ. κινητήρας περιστροφικού εναλλάκτη θερμότητας). Στην περίπτωση των μονάδων που μελετώνται δεν υπάρχει τέτοιου είδους μηχανισμός, και επομένως δεν υπάρχει κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Πεδίο – Supply Air Outlet Temperature Control:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται εάν η έξοδος του αέρα τροφοδοσίας του εναλλάκτη θερμότητας ελέγχεται σε καθορισμένη θερμοκρασία όταν ο εναλλάκτης ρυθμίζει ενεργά την κατάσταση του αέρα τροφοδοσίας. Στην περίπτωση των μονάδων που μελετώνται δεν υπάρχει τέτοιου είδους μηχανισμός, και επομένως η επιλογή είναι “No”.
- **Πεδίο – Heat Exchanger Type:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται από λίστα επιλογών ο τύπος του εναλλάκτη θερμότητας που μοντελοποιείται. Οι δύο επιλογές που υπάρχουν είναι “Σταθερή Πλάκα” και “Περιστροφική”. Ο τύπος του εναλλάκτη επηρεάζει τη μοντελοποίηση των επιλογών που αφορούν τον έλεγχο παγετού αλλά και τον έλεγχο θερμοκρασίας εξόδου του αέρα τροφοδοσίας. Στην περίπτωση του εναλλάκτη που μελετάται έχουμε “Σταθερή Πλάκα” όπου πραγματοποιείται παράκαμψη γύρω από τον

εναλλάκτη θερμότητα για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Επομένως, η τελική επιλογή είναι “Plate”.

- **Πεδίο – Frost Control Type:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται από λίστα επιλογών ο τύπος της μεθόδου ελέγχου που χρησιμοποιείται ώστε η θερμοκρασία του αέρα εξαγωγής μετά τον εναλλάκτη να διατηρηθεί σε συγκεκριμένα επίπεδα ώστε να μη δημιουργηθούν φαινόμενα πάγου. Στην περίπτωση των μονάδων που μελετώνται εισάγεται η επιλογή “*MinimumExhaustTemperature*”. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο παρακολουθείται η θερμοκρασία του αέρα εξαγωγής που εξέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας και μειώνεται η αποδοτικότητά του (κάνοντας παράκαμψη (bypass) γύρω από την πλάκα συναλλαγής θερμότητας) για να διατηρηθεί η θερμοκρασία εξόδου σε επίπεδα υψηλότερα από την κατώτατη θερμοκρασία η οποία ορίζεται παρακάτω.
- **Πεδίο – Threshold Temperature:** Στο συγκεκριμένο πεδίο καθορίζεται η οριακή θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του αέρα με βάση την οποία ενεργοποιείται το σύστημα ελέγχου όπως περιγράφηκε παραπάνω. Στην συγκεκριμένη περίπτωση με κριτήρια τη μέθοδο που ελέγχει το φαινόμενο πάγου, τον τύπο του εναλλάκτη θερμότητας και το είδος της ενέργειας που συναλλάσσεται (αισθητή-λανθάνουσα), από βιβλιογραφία επιλέγεται η τιμή 1.7°C.
- **Πεδίο – Economizer Lockout:** Στο συγκεκριμένο πεδίο καθορίζεται εάν η μονάδα εναλλάκτη είναι “κλειδωμένη”, δηλαδή εάν ο αέρας παρακάμπτει τον εναλλάκτη θερμότητας τύπου πλάκας όταν ο “economizer” είναι πλήρως λειτουργικός και πραγματοποιεί ελεύθερη ψύξη (free cooling). Οι επιλογές είναι Yes (είναι κλειδωμένος) και No. Στην προκειμένη περίπτωση εισάγεται η εντολή Yes.



Εικόνα 5.65: Κλάση HeatExchanger: AirToAir: SensibleAndLatent

5.3.13. Κατηγορία Node-Branch Management

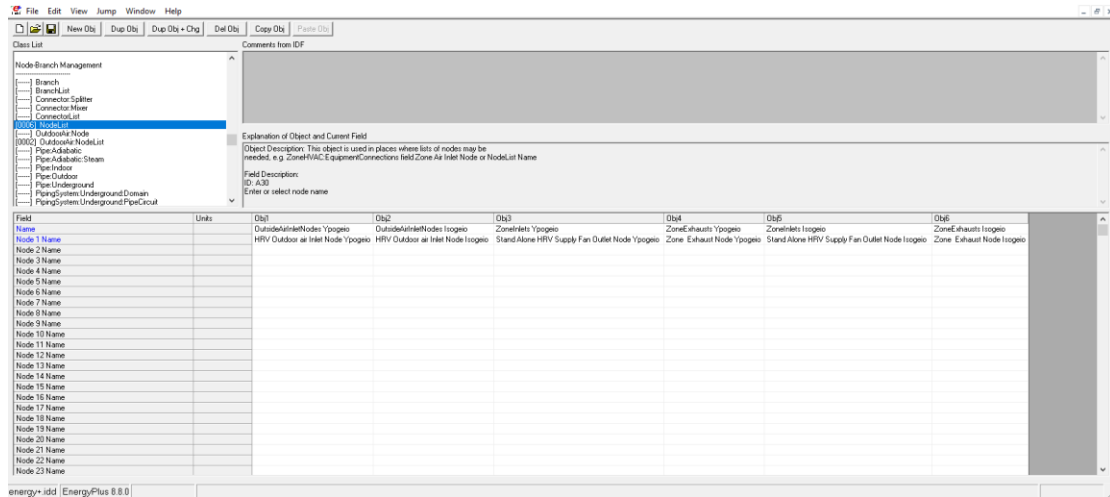
Στην συγκεκριμένη κατηγορία δηλώνονται όλοι οι κόμβοι και οι κλάδοι οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τον πλήρη καθορισμό του συστήματος HVAC.

5.3.13.1. NodeList

Σε αυτή την κλάση γίνεται ο καθορισμός όλων των κόμβων που υπάρχουν για μια συγκεκριμένη χρήση. Η λίστα κόμβων δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει, αλλά η καταγραφή των κόμβων με αυτό τον τρόπο πλεονεκτεί στο γεγονός ότι σε περίπτωση που ένα πεδίο άλλης κλάσης ζητά την εισαγωγή κόμβου, τότε μπορεί να αναφερθεί το όνομα της λίστας ή το όνομα του μεμονωμένου κόμβου που έχει καθοριστεί εδώ.

- **Πεδίο – Name:** Σε αυτό το πεδίο εισάγεται το όνομα της λίστας κόμβων. Η ονομασία πρέπει να είναι μοναδική μεταξύ των υπολοίπων ονομάτων.
- **Πεδίο – Node # Name:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα του κόμβου το οποίο ανήκει στη “NodeList” η οποία ορίστηκε προηγουμένως. Κάθε “NodeList” περιορίζεται στους 25 κόμβους, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθούν επιπλέον λίστες κόμβων.

Επομένως, οι λίστες διαμορφώνονται όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

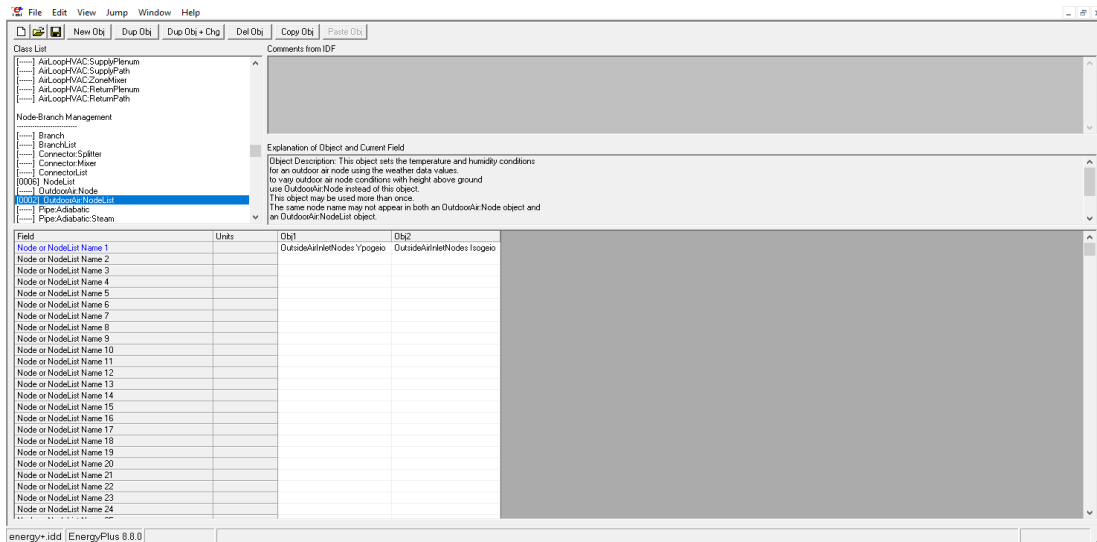


Εικόνα 5.66: Κλάση NodeList

5.3.13.2. OutdoorAir: NodeList

- **Πεδίο – Node or NodeList Name 1:** Στο συγκεκριμένο πεδίο εισάγεται το όνομα της του κόμβου ή της λίστας κόμβων που αναφέρεται στον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Επομένως, η κλάση διαμορφώνεται όπως φαίνεται παρακάτω:



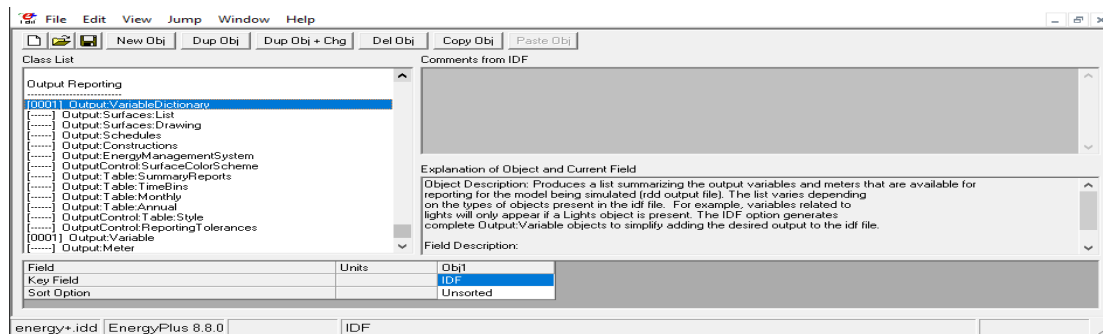
Εικόνα 5.67: Κλάση OutdoorAir: NodeList

5.3.14. Κατηγορία Output Reporting

Σε αυτή την κατηγορία καθορίζονται διάφορες παράμετροι που αφορούν τα αποτελέσματα (outputs) τα οποία θα λάβει ο χρήστης μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης.

5.3.14.1. Output: VariableDictionary

- **Πεδίο – Key Field:** Σε αυτό το πεδίο υπάρχουν δύο επιλογές που σχετίζονται με την μορφή καταχώρησης των αποτελεσμάτων *IDF* και *Regular*. Επιλέγεται *IDF*.
- **Πεδίο – Sort Option:** Σε αυτό το πεδίο υπάρχουν δύο επιλογές *Name* και *Unsorted*. Στην περίπτωση μας επιλέγεται η λίστα της τελικής αναφοράς να μην έχει διαβαθμισμένες μεταβλητές. Επομένως, επιλέγεται *Unsorted*.

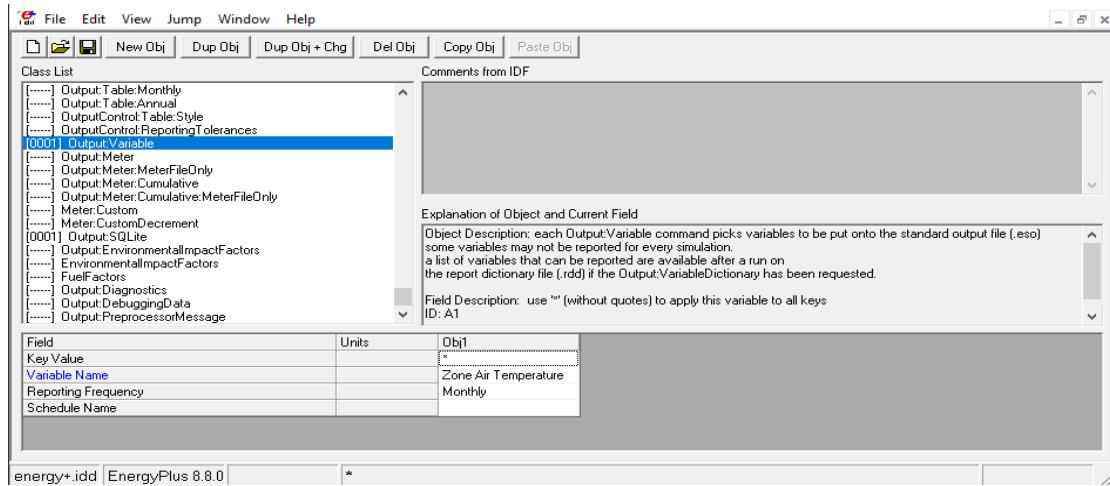


Εικόνα 5.68: Κλάση Output: VariableDictionary

5.3.14.2. Output: Variable

Η συγκεκριμένη κλάση χρησιμοποιείται από τον χρήστη για να υποβάλει αίτημα για αναφορά αποτελεσμάτων. Στο EnergyPlus υπάρχουν αρκετές μεταβλητές εξόδου οι οποίες είναι διαθέσιμες για την αναφορά αποτελεσμάτων. Η χρήση της κλάσης είναι κυρίως η αναφορά δεδομένων σε διαφορετικές συχνότητες και για διαφορετικές χρονικές στιγμές.

- **Πεδίο – Variable Name:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται το όνομα της μεταβλητής που αναφέρονται οι τελικές τιμές και εμφανίζεται στην τελική αναφορά.
- **Πεδίο – Reporting Frequency:** Σε αυτό το πεδίο καθορίζεται η συχνότητα με τη οποία θα εμφανίζονται οι τελικές τιμές της μεταβλητής στο τελικό αρχείο. Οι επιλογές που υπάρχουν σε αυτό το πεδίο είναι: *Detailed*, *Timestep*, *Hourly*, *Daily*, *Monthly*, *RunPeriod*.

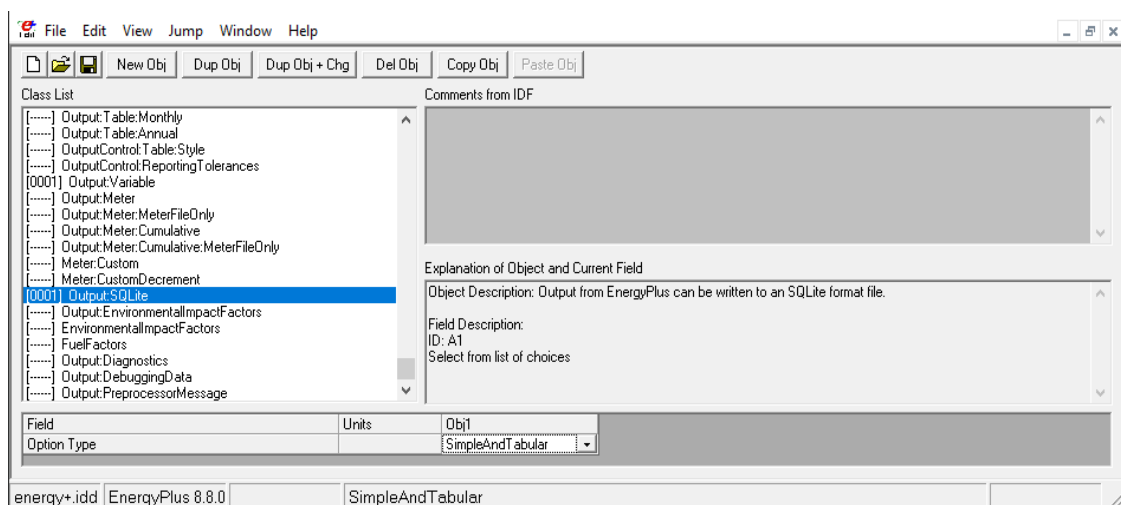


Εικόνα 5.69: Κλάση Output: Variable

5.3.14.3. Output: SQLite

Τα αποτελέσματα από το Energy Plus μπορεί να γραφτούν σε αρχεία SQLite για να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά εργαλεία εκτός από τα συμβατικά.

- **Πεδίο – Option Type:** Σε αυτό το πεδίο υπάρχουν δύο επιλογές”
 - ◆ **Simple:** Περιλαμβάνει τους προκαθορισμένους πίνακες βάσης δεδομένων καθώς και δεδομένα σχετικά με τις χρονολογικές σειρές.
 - ◆ **SimpleAndTabular:** Προσθέτει πίνακες βάσης δεδομένων που συνδέονται με αναφορές που προκύπτουν από το EnergyPlus σε άλλες μορφές.



Εικόνα 5.70: Κλάση Output: SQLite

5.4. Εναλλακτικό Σενάρια

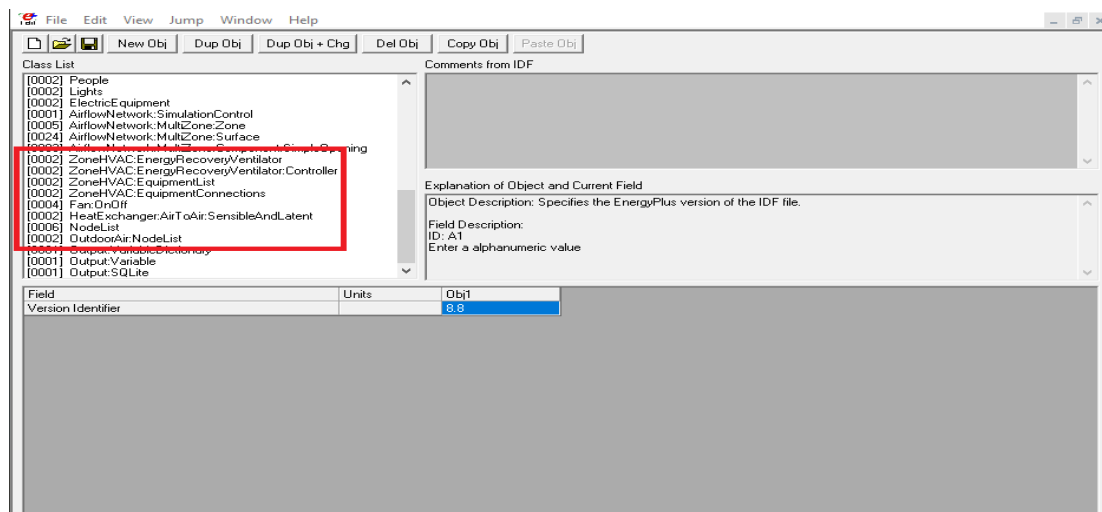
Με σκοπό να εξεταστεί εάν το υπάρχων κτίριο επιδέχεται περαιτέρω βελτιώσεις εξετάστηκαν συγκεκριμένα εναλλακτικά σενάρια τα οποία τροποποιούν παραμέτρους οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

5.4.1. Απενεργοποίηση συστήματος HRV

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω το σύστημα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι του παθητικού κτιρίου. Για αυτό τον λόγο πραγματοποιείται η απενεργοποίησή του ώστε να εξεταστεί εάν και κατά πόσο επιδρά στο συνολικό σύστημα του κτιρίου.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό στο Energy Plus θα πρέπει να διαγραφούν κατά σειρά όλες οι κλάσεις οι οποίες αναφέρονται στο μηχανικό σύστημα αερισμού και υποστηρίζουν τη λειτουργία του. Αυτές είναι:

- *ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator*
- *ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller*
- *ZoneHVAC: EquipmentList*
- *ZoneHVAC: EquipmentConnections*
- *Fan: OnOff*
- *HeatExchanger: AirToAir: SensibleAndLatent*
- *NodeList*
- *OutdoorAir: NodeList*



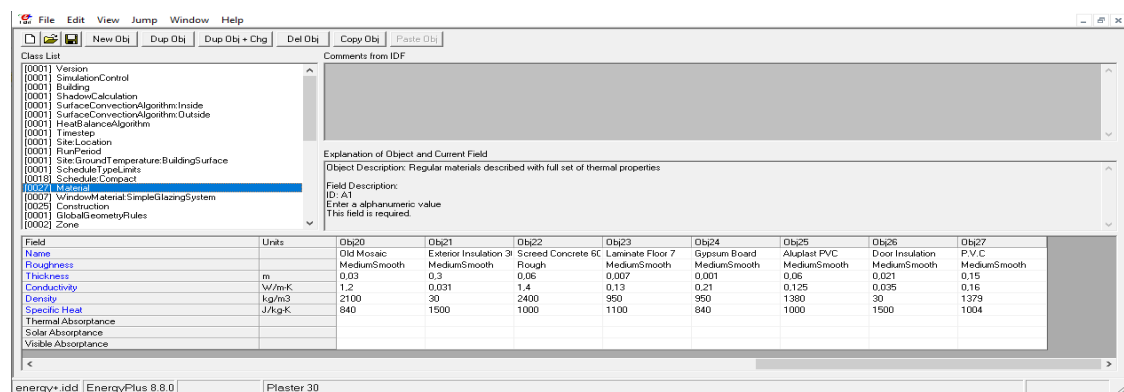
Εικόνα 5.71: Διαγραφή σχετιζόμενων κλάσεων με το HRV

5.4.2. Εναλλακτικά σενάρια Μονώσεων

Σε αυτό το σημείο εξετάζεται αν είναι δυνατό να υπάρξουν βελτιώσεις ως προς την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου πραγματοποιώντας μικρές παρεμβάσεις στις μονώσεις των τοίχων. Για αυτό τον λόγο εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια στα οποία γίνεται εισαγωγή μίας μόνο επιπλέον στρώσης μονώσεως (διαφορετικό υλικό για το κάθε σενάριο) και συγκρίνονται με τους αρχικούς τοίχους του κτιρίου.

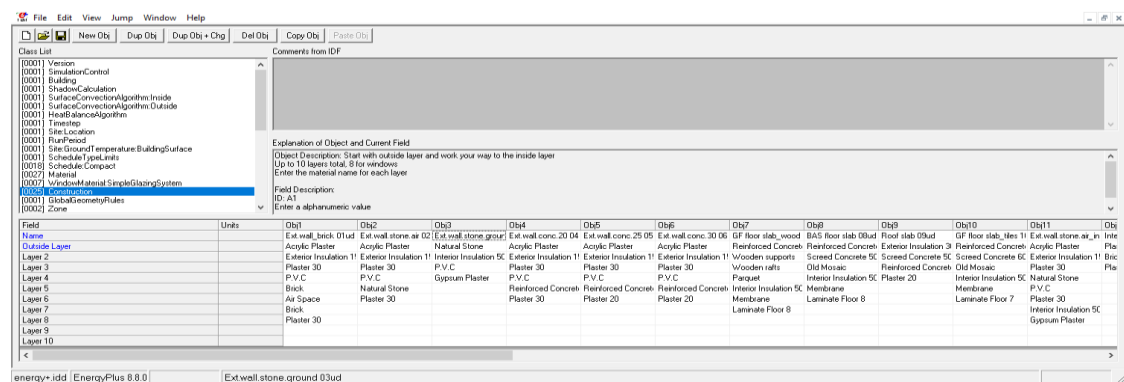
1. Το πρώτο σενάριο που αφορά τις μονώσεις είναι η εισαγωγή μιας επιπλέον στρώσης (πέρα από τις υπάρχουσες) μόνωσης από υλικό PVC (Polyvinyl Chloride). Το συγκεκριμένο υλικό θεωρείται ότι έχει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες. Για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή αυτού του υλικού στο λογισμικό έγιναν αλλαγές στις εξής κλάσεις:

- **Material:** Όπου έγινε η εισαγωγή του ονόματος του υλικού και των ιδιοτήτων του



Εικόνα 5.72: Εισαγωγή υλικού μόνωσης PVC στην κλάση Materials

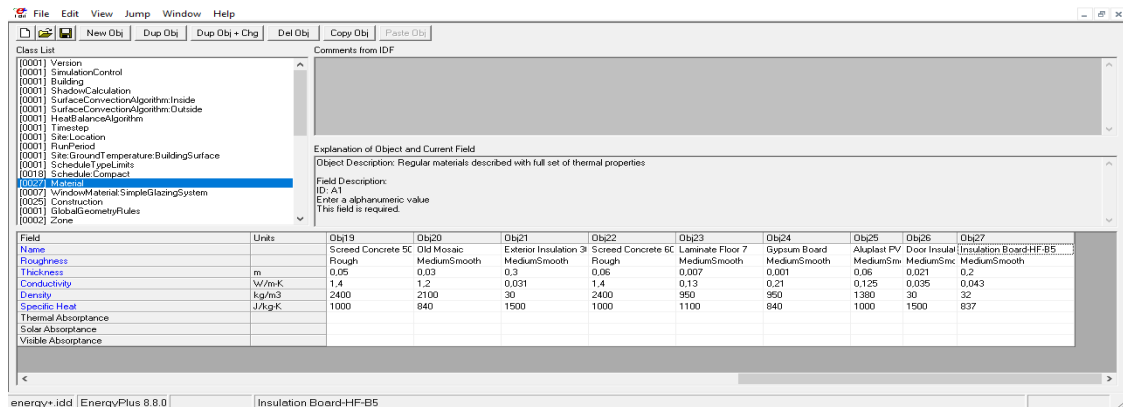
- **Construction:** Όπου έγινε η τοποθέτηση του υλικού στους κατάλληλους κατασκευές και στην κατάλληλη στρώση



Εικόνα 5.73: Εισαγωγή στρώσης μόνωσης PVC στις κατασκευές των τοίχων - κλάση Materials

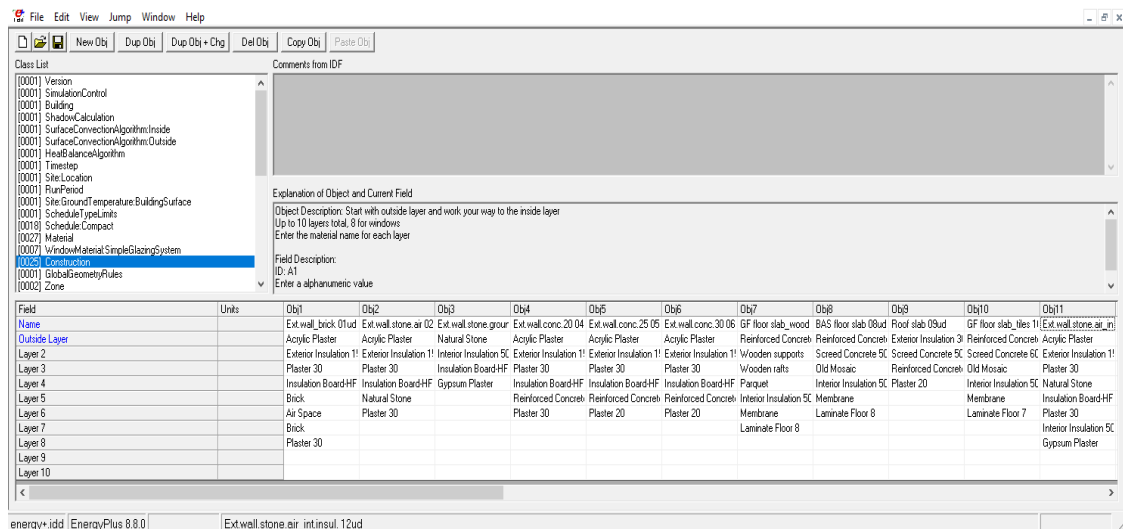
2. Το δεύτερο σενάριο που αφορά τις μονώσεις είναι η εισαγωγή μιας επιπλέον στρώσης που αποτελείται από σανίδα μόνωσης HF-B5. Το υλικό αυτό θεωρείται ιδιαίτερα αποδοτικό λόγω των μονωτικών του ιδιοτήτων. Για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή αυτού του υλικό στο λογισμικό έγιναν αλλαγές στις κλάσεις:

- **Material:** Όπου έγινε η εισαγωγή του ονόματος του υλικού και των ιδιοτήτων ΤΟΥ



Εικόνα 5.74: Εισαγωγή σανίδας μόνωσης HF-B5 στην κλάση Materials

- **Construction:** Όπου έγινε η τοποθέτηση του υλικού στους κατάλληλες κατασκευές και στην κατάλληλη στρώση



Εικόνα 5.75: Εισαγωγή σανίδας μόνωσης HF-B5 στις κατασκευές των τοίχων - κλάση Materials

Για την σύνοψη των ιδιοτήτων αυτών των υλικών παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας.

Πίνακας 5.4: Ιδιότητες μονωτικών υλικών

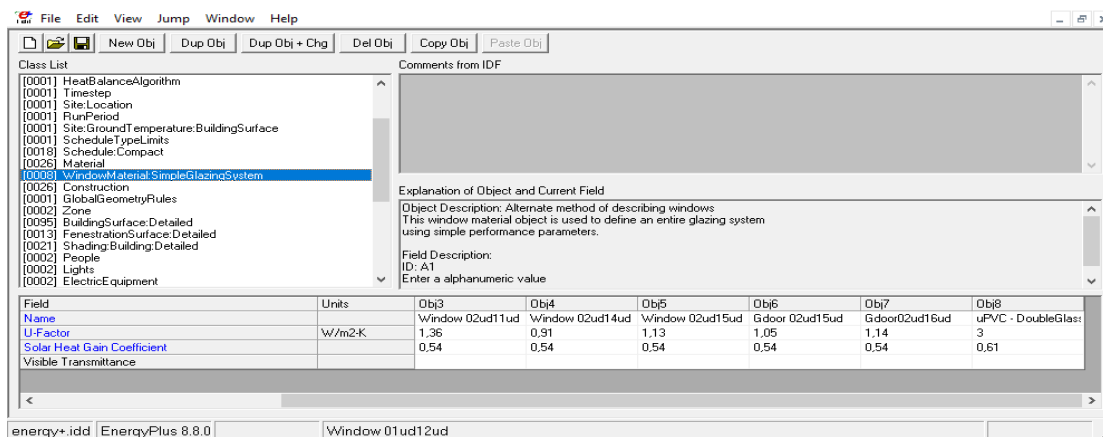
| Υλικά | Αγωγιμότητα (W/mK) | Ειδική Θερμότητα (J/kgK) | Πυκνότητα (kg/m ³) |
|----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|
| PVC | 0.160 | 1004 | 1379 |
| Σανίδα Μόνωσης HF-B5 | 0.043 | 837 | 32 |

Στο επόμενο κεφάλαιο φαίνονται τα αποτελέσματα μετά την εισαγωγή των μονωτικών υλικών στους τοίχους και γίνονται οι συγκρίσεις με τους υπάρχοντες τοίχους οι οποίοι έχουν αναλυθεί εκτενέστερα σε προηγούμενες παραγράφους.

5.4.3. Εναλλακτικά σενάρια Παραθύρων

Σε αυτό το σημείο εξετάζεται αν είναι δυνατό να υπάρξουν βελτιώσεις ως προς την ενεργειακή απόδοση πραγματοποιώντας αλλαγές στα χρησιμοποιούμενα παράθυρα του κτιρίου. Για αυτό τον λόγο εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια παραθύρων.

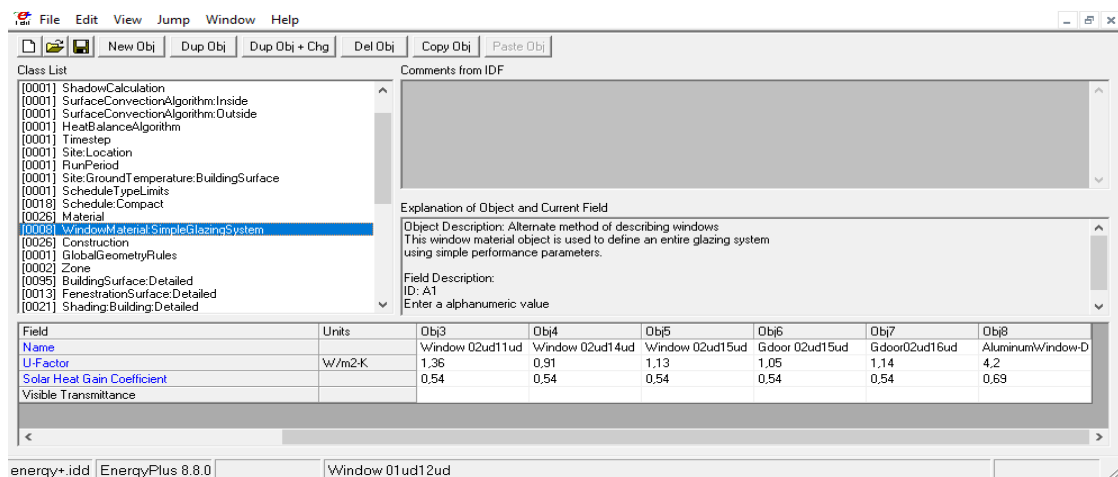
1. Στο πρώτο σενάριο εξετάζεται διάταξη διπλού τζαμιού 3mm με διάκενο αέρα 6mm ανάμεσα και κουφώματα υλικού PVC. Για την προσομοίωση αυτής της διάταξης στο Energy Plus πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στις κλάσεις:
 - **WindowMaterial: SimpleGlazingSystem:** Όπου έγινε η εισαγωγή των χαρακτηριστικών του παραθύρου
 - **Construction:** Όπου έγινε η εισαγωγή του παραθύρου που διαμορφώθηκε στην προηγούμενη κλασή, στις κατάλληλες κατασκευές



Εικόνα 5.76: Εισαγωγή χαρακτηριστικών παραθύρου με κουφώματα PVC στην κλάση WindowMaterial: SimpleGlazingSystem

2. Στο δεύτερο σενάριο εξετάζεται διάταξη διπλού τζαμιού 3mm με διάκενο αέρα 6mm ανάμεσα και κουφώματα υλικού Αλουμινίου. Για την προσομοίωση αυτής της διάταξης στο Energy Plus πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στις κλάσεις:

- **WindowMaterial: SimpleGlazingSystem:** Όπου έγινε η εισαγωγή των χαρακτηριστικών του παραθύρου
- **Construction:** Όπου έγινε η εισαγωγή του παραθύρου που διαμορφώθηκε στην προηγούμενη κλασή, στις κατάλληλες κατασκευές



Εικόνα 5.77: Εισαγωγή χαρακτηριστικών παραθύρου με κουφώματα Αλουμινίου στην κλάση *WindowMaterial: SimpleGlazingSystem*

Οι δύο παραπάνω εναλλακτικές περιπτώσεις παραθύρων αναλύονται εκτενέστερα στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων και συγκρίνονται με τα υπάρχοντα παράθυρα του κτιρίου (τα οποία αναφέρονται ως αρχικά παράθυρα).

5.5. Εναλλακτικό Σενάριο με τοίχους Trombe

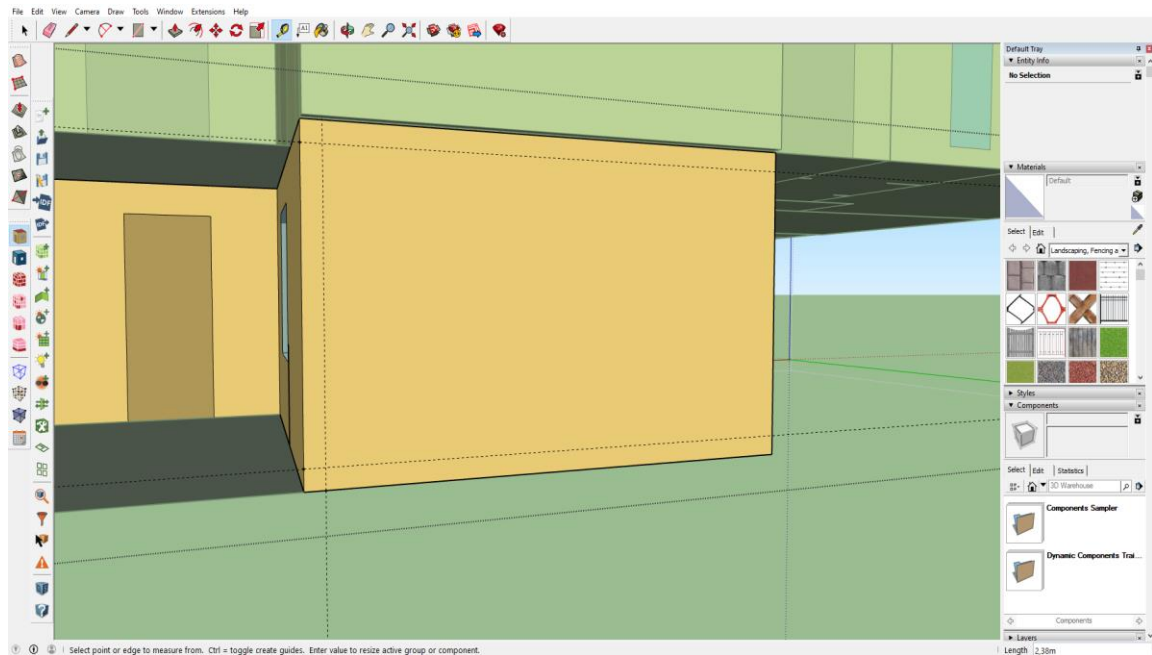
Όπως είχε αναφερθεί και παραπάνω, στην παρούσα εργασία μελετάται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του συγκεκριμένου κτιρίου με την εισαγωγή τοίχων Trombe σε υπόγειο και ισόγειο. Βασικός σκοπός αυτού του εναλλακτικού σεναρίου είναι να εξεταστεί εάν είναι δυνατό το παθητικό κτίριο που μελετάται να δεχθεί περαιτέρω βελτιώσεις μέσω ενός παθητικού ηλιακού συστήματος που κατά κύριο λόγο στοχεύει στη θέρμανση των χώρων. Οποιαδήποτε βελτίωση προκαλείται από ένα σύστημα, πρέπει να κρίνεται από την περιβαλλοντική και βεβαίως από την οικονομική σκοπιά. Επομένως, είναι σημαντικό να τονιστεί πως στην παρούσα εργασία δεν πραγματοποιείται οικονομική ανάλυση του συγκεκριμένου σεναρίου ώστε να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.

Στην ανάλυση που πραγματοποιείται παρακάτω, γίνεται αρχικά ο σχεδιασμός των τοίχων Trombe στους νότιους τοίχους και στη συνέχεια μελετώνται κάποια εναλλακτικά σενάρια ώστε να προκύψει η βέλτιστη λύση από αυτές που εξετάζονται. Αυτά τα σενάρια σχετίζονται με αλλαγές που αφορούν τις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία του τοίχου Trombe. Τέτοιου είδους παράμετροι θεωρούνται τα είδη των υαλοστασίων που υπάρχουν στο σύστημα του τοίχου όπως βέβαια και τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένος. Πολύ σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να αναφερθεί πως τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τα εναλλακτικά σενάρια στη συγκεκριμένη μελέτη είναι αυτά που είθισται να χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους διατάξεις.

5.5.1. Σχεδιασμός τοίχων Trombe

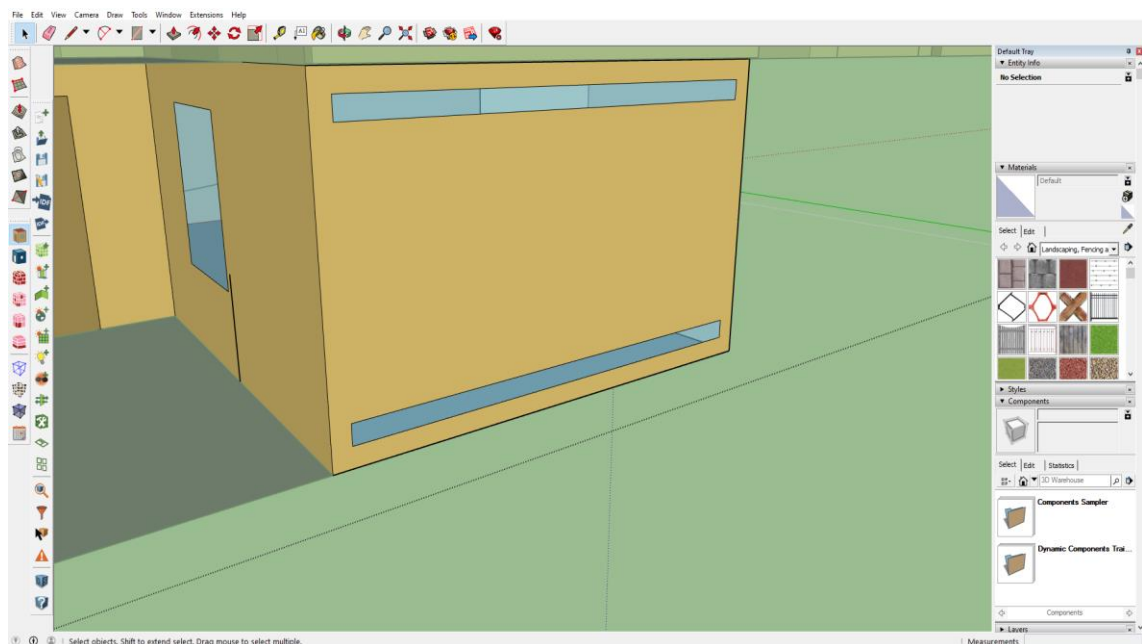
Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστεί η μέθοδος σχεδιασμού του τοίχου Trombe στο λογισμικό SketchUp. Στην προκειμένη περίπτωση θα παρουσιαστεί ο σχεδιασμός του τοίχου που βρίσκεται στο υπόγειο. Η μέθοδος που ακολουθείται για τους υπόλοιπους τοίχους Trombe που ανήκουν στο ισόγειο είναι παρόμοια.

Το αρχικό βήμα για τον σχεδιασμό της διάταξης του τοίχου Trombe είναι ο σχεδιασμός των θυρίδων εξαερισμού επάνω στις επιφάνειες του νότιου τοίχου του υπογείου. Επομένως, με τη χρήση της εντολής του Sketch Up **Tape Measure Tool** ορίζονται τα όρια των προς σχηματισμού θυρίδων όπως φαίνεται παρακάτω.



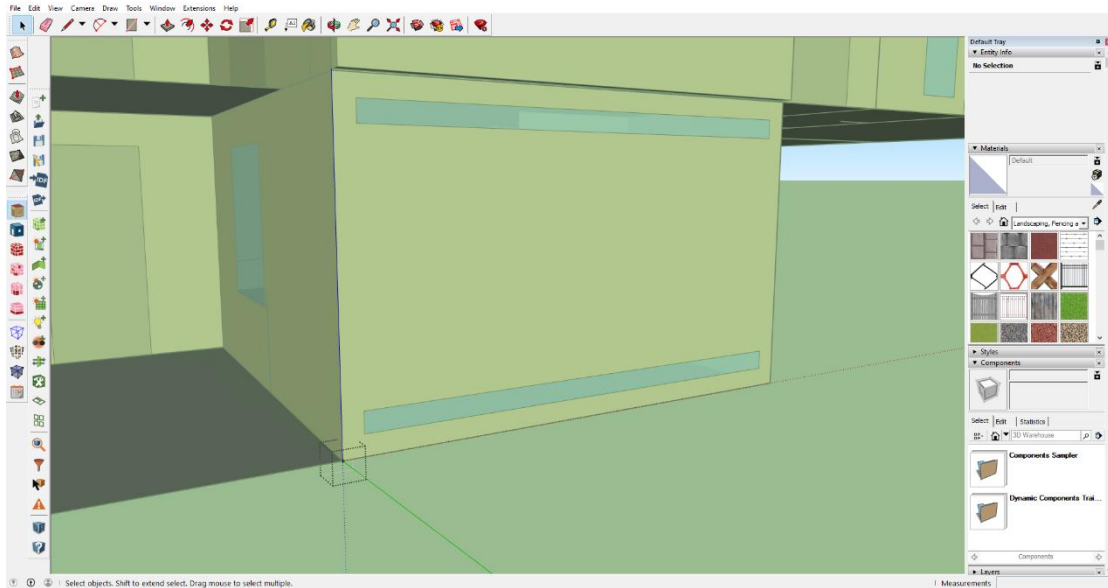
Εικόνα 5.78: Προσδιορισμός ορίων των θυρίδων εξαερισμού

Εν συνεχεία, με την εντολή **Shapes – Rectangle** σχηματίζονται οι δύο θυρίδες εξαερισμού στο επάνω και στο κάτω μέρος του τοίχου.



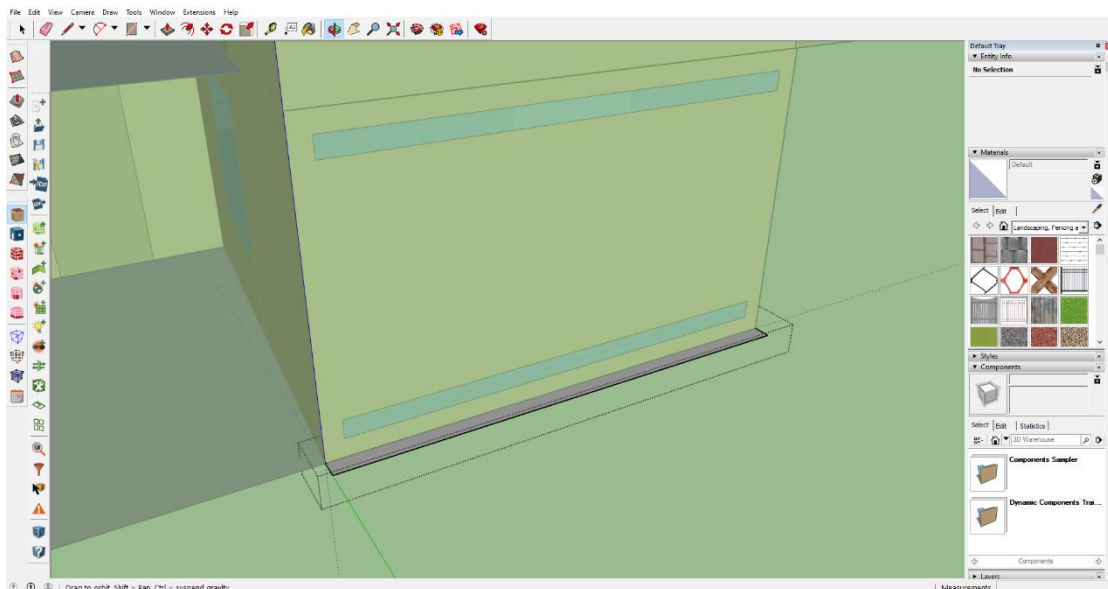
Εικόνα 5.79: Σχεδιασμός θυρίδων εξαερισμού

Για τη δημιουργία του κελύφους του τοίχου Trombe είναι απαραίτητη η εισαγωγή μιας νέας θερμικής ζώνης, μέσω του εργαλείου **New Space** και στη συνέχεια η ενεργοποίησή της με διπλό κλικ όπως φαίνεται.



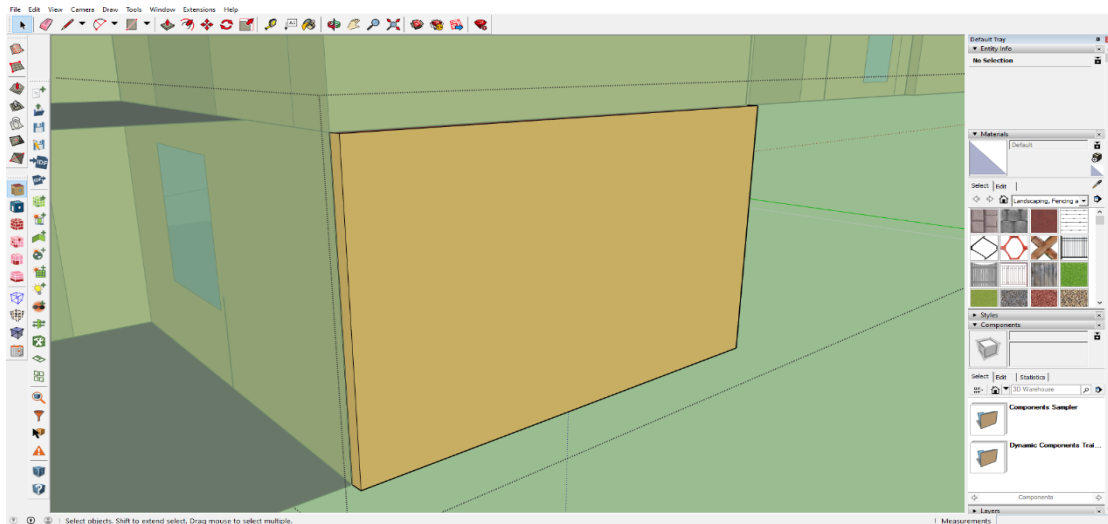
Εικόνα 5.80: Εισαγωγή θερμικής ζώνης

Έπειτα με τη βοήθεια της εντολής **Shapes – Rectangle** σχεδιάζεται εντός της νέας θερμικής ζώνης ένα ορθογώνιο κατάλληλων διαστάσεων το οποίο στην ουσία αποτελεί τη βάση του τοίχου Trombe ενώ το πλάτος του καθορίζει το διάκενο ανάμεσα στο τοίχο και το υαλοστάσιο.



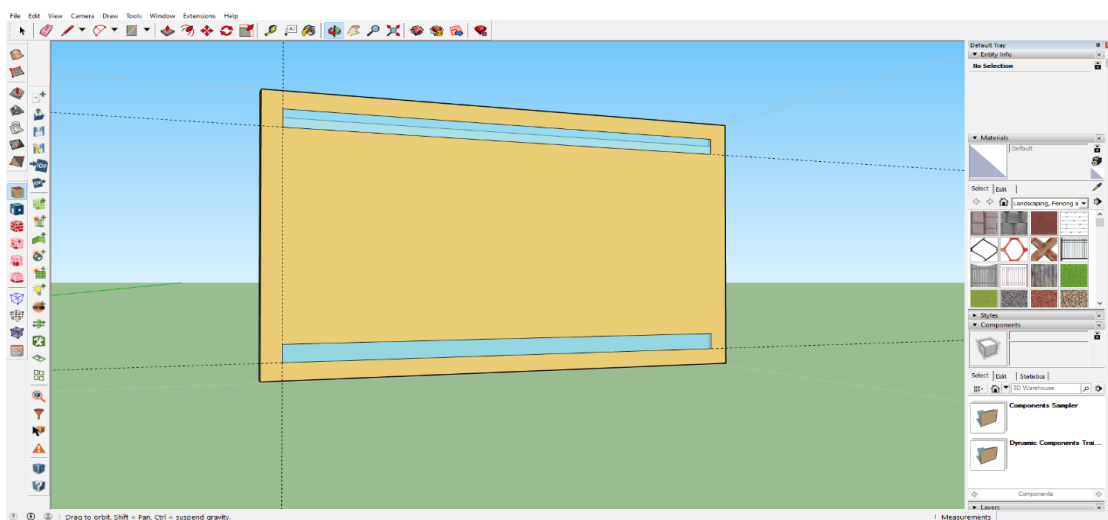
Εικόνα 5.81: Κάτοψη βάσης τοίχου Trombe

Εν συνεχεία, χρησιμοποιώντας την εντολή του Sketch Up **Push/Pull** διαμορφώνεται το ύψος της κάτοψης του διακένου ώστε να φτάνει ακριβώς μέχρι την οροφή του υπογείου.



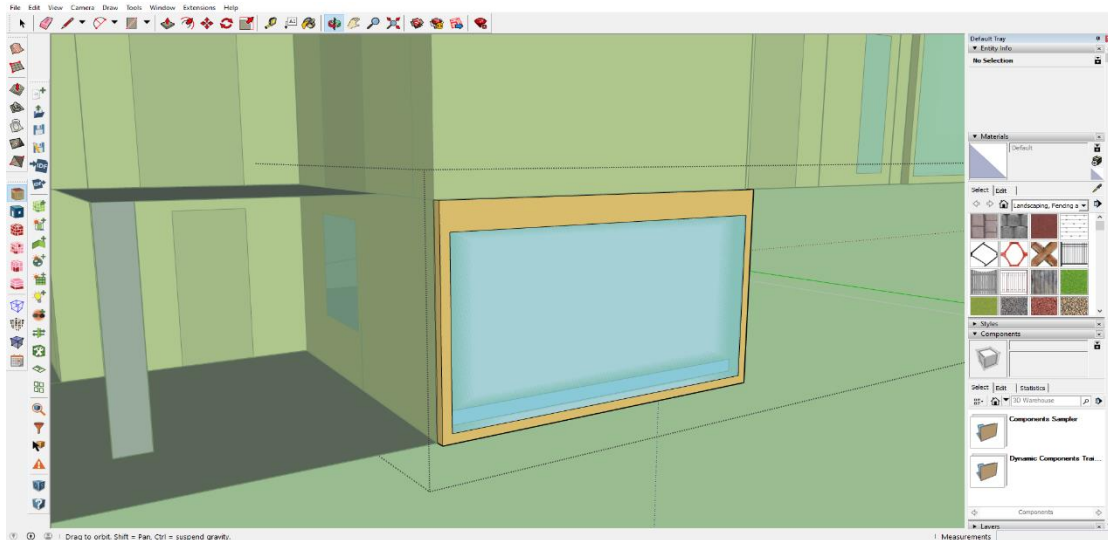
Εικόνα 5.82: Σχεδιασμός κελύφους τοίχου Trombe

Επομένως, έχει πλέον διαμορφωθεί ένας νέος χώρος. Στη συνέχεια, θα πρέπει να υπάρξει “επικοινωνία” μεταξύ των δύο θερμικών ζωνών (υπόγειο – τοίχος Trombe) μέσω των θυρίδων αερισμού. Για αυτό τον λόγο όπως συνέβη και με τον νότιο τοίχο του υπογείου, θα πρέπει να διαμορφωθούν οι θυρίδες αυτές και στον βόρειο τοίχο της διάταξης του τοίχου Trombe. Για τον σχηματισμό θα πρέπει αρχικά να επιλεγεί ολόκληρη η θερμική ζώνη του υπογείου και στη συνέχεια με δεξί κλικ να ενεργοποιηθεί η επιλογή **Hide** ώστε να γίνει απόκρυψη του χώρου. Με αυτό τον τρόπο εμφανίζεται ο βόρειος τοίχος της διάταξης χωρίς να παρεμβάλλονται άλλα αντικείμενα. Έτσι, με την ίδια ακριβώς διαδικασία όπως και προηγουμένως σχηματίζονται οι επιθυμητές θυρίδες αερισμού.



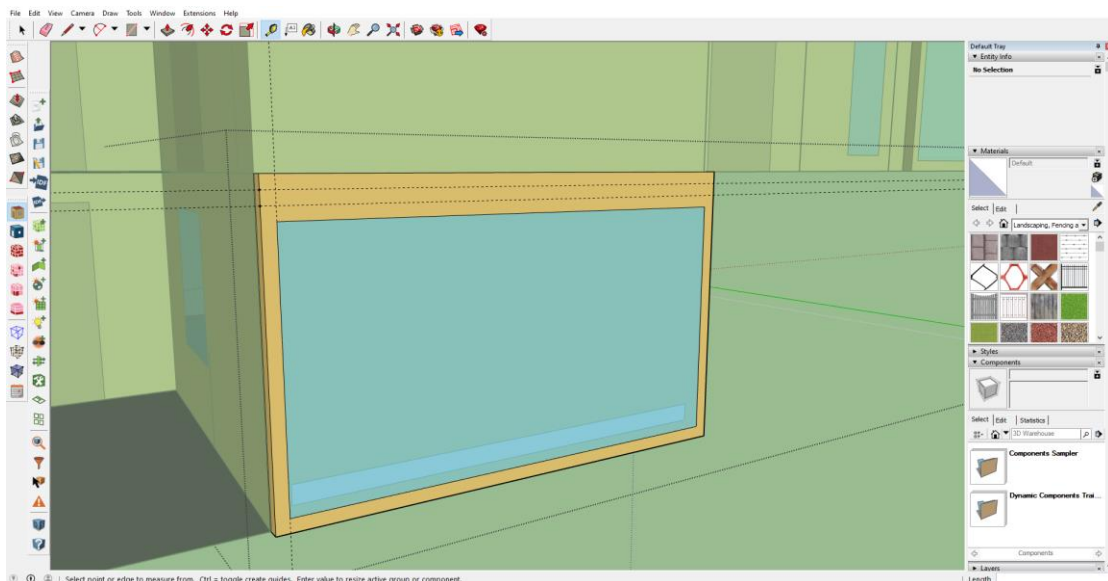
Εικόνα 5.83: Σχεδιασμός θυρίδων αερισμού βόρειου τοίχου της διάταξης Trombe Wall

Στη συνέχεια, σειρά έχει ο σχεδιασμός του υαλοστασίου της διάταξης. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας την εντολή **Offset** η οποία επιτρέπει τη διαμόρφωση μιας νέας επιφάνειας με τις ίδιες αναλογίες διαστάσεων με την επιλεγμένη επιφάνεια και σε απόσταση η οποία ορίζεται από τον χρήστη. Επομένως, προκύπτει το υαλοστάσιο όπως φαίνεται παρακάτω, με τις κατάλληλες διαστάσεις.



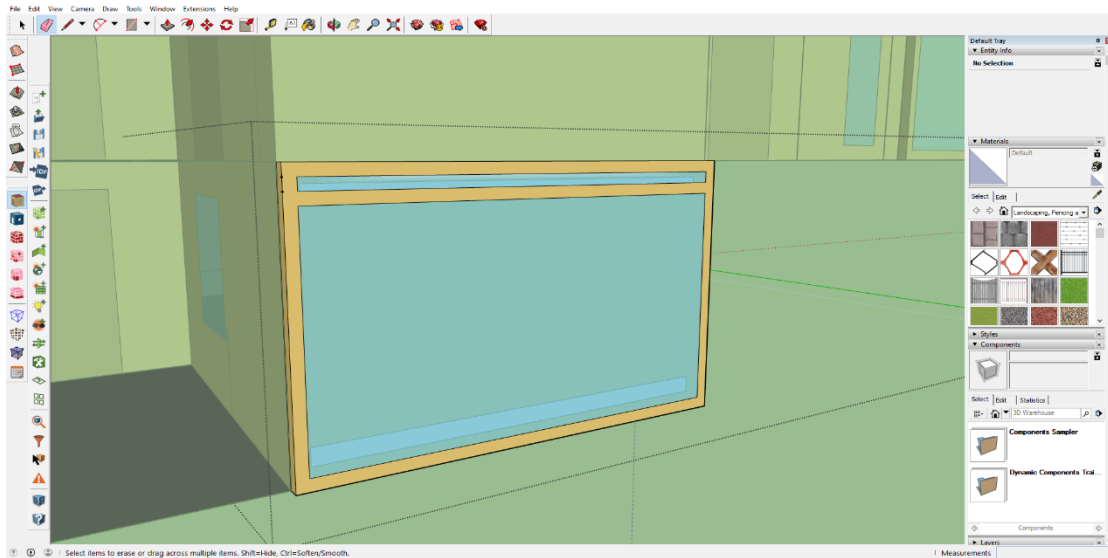
Εικόνα 5.84: Δημιουργία υαλοστασίου

Επιπλέον, ένα πολύ βασικό στοιχείο της διάταξης τοίχου Trombe είναι και η δημιουργία της θυρίδας αποφόρτισης ακριβώς επάνω από το υαλοστάσιο. Για το σχηματισμό της χρησιμοποιεί αρχικά το εργαλείο του Sketch Up **Tape Measure Tool** με το οποίο καθορίζονται οι κύριες διαστάσεις του.



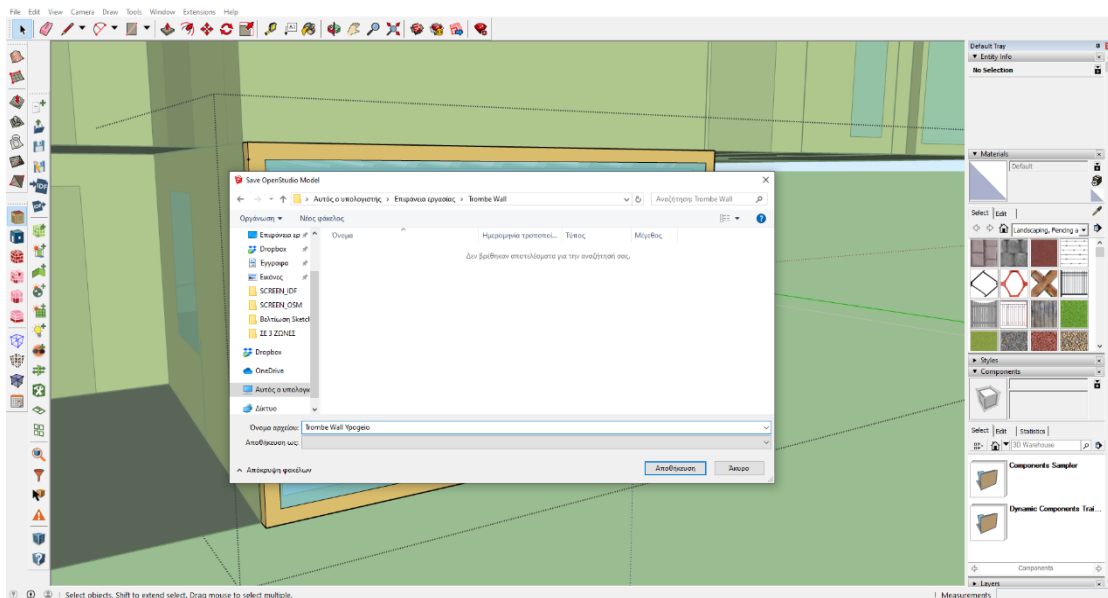
Εικόνα 5.85: Προσδιορισμός διαστάσεων θυρίδας αποφόρτισης

Ο σχηματισμός της θυρίδας αυτής όπως και των υπολοίπων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το εργαλείο **Shapes – Rectangle**.



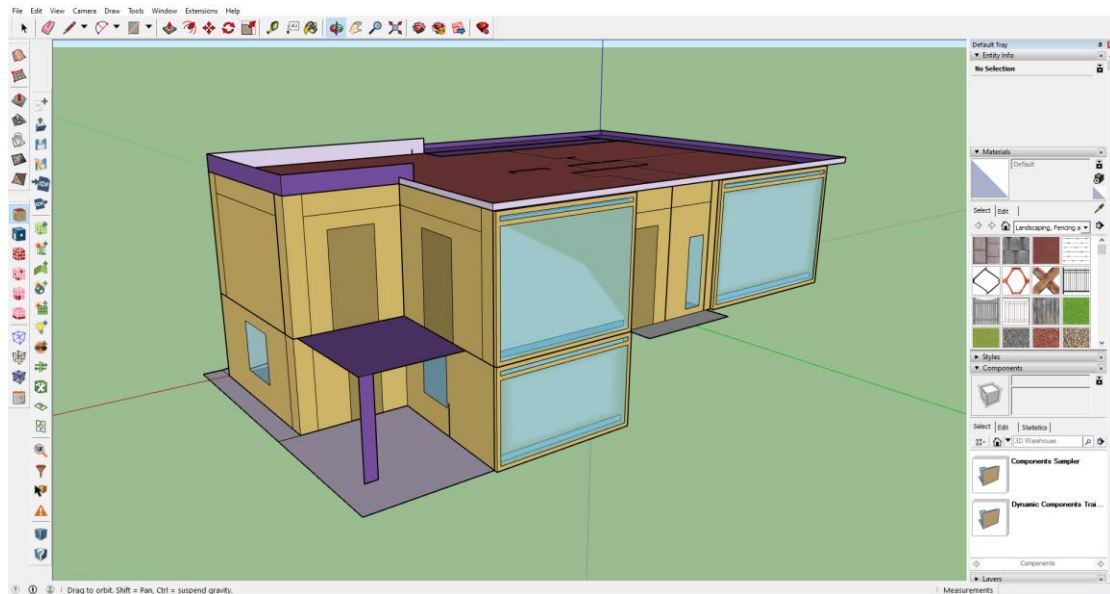
Εικόνα 5.86: Σχηματισμός θυρίδας αποφόρτισης

Το τελευταίο βήμα για τον πλήρη καθορισμό της θερμικής ζώνης του τοίχου Trombe είναι να συμπληρωθούν τα χαρακτηριστικά της ζώνης στα πεδία της επιλογής **Set Attributes For Selected Spaces**. Στην περίπτωση που μελετάται πρόκειται για μια νέα θερμική ζώνη, που ανήκει στο ίδιο κτίριο με τις υπόλοιπες ζώνες και επομένως διαμορφώνεται όπως φαίνεται παρακάτω.

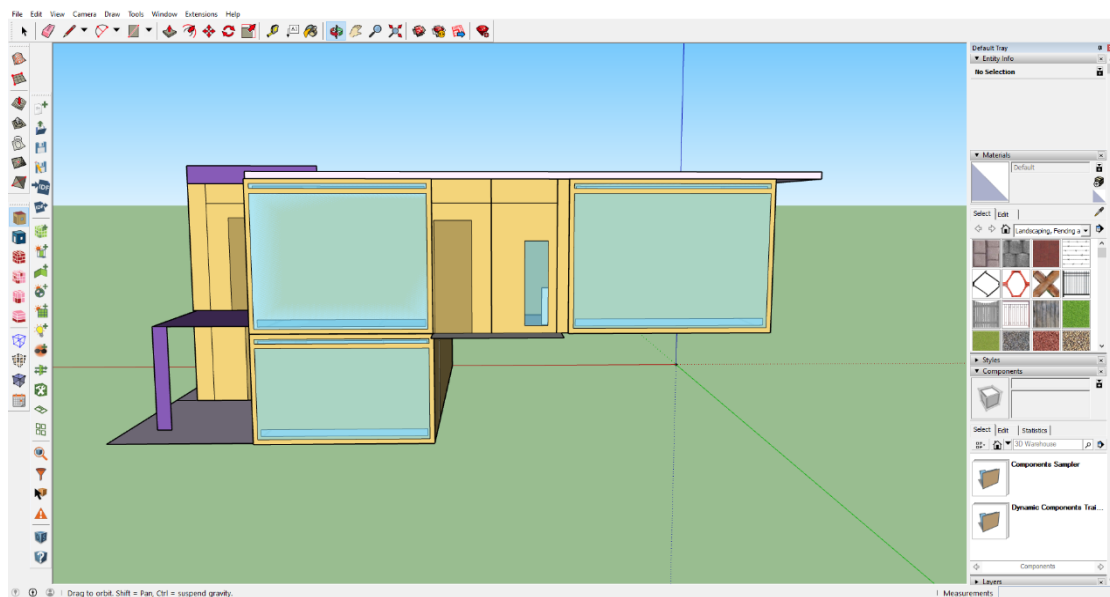


Εικόνα 5.87: Καθορισμός Χαρακτηριστικών θερμικής ζώνης τοίχου Trombe

Παραπάνω παρουσιάστηκαν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον σχεδιασμό του τοίχου Trombe που συνεισφέρει θερμικά στην ζώνη του υπογείου. Τα ίδια ακριβώς βήματα ακολουθούνται και για τον σχεδιασμό δύο επιπλέον τοίχων Trombe που σχετίζονται με την ζώνη του ισογείου. Η τελική διάταξη όλων των τοίχων Trombe στη νότια πλευρά του κτιρίου φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5.90: Τελική μορφή κτιρίου με τοίχους Trombe (1)



Εικόνα 5.91: Τελική μορφή κτιρίου με τοίχους Trombe (2)

5.5.2. Τοίχος Trombe – Energy Plus

Μετά τον σχεδιασμό των διατάξεων των τοίχων Trombe στο κτίριο ακολουθεί η διαδικασία καθορισμού των χαρακτηριστικών τους στο EnergyPlus. Παρακάτω περιγράφονται οι αλλαγές που έγιναν σε κάθε κλάση:

- **Schedule: Compact:** Στη συγκεκριμένη κλάση καθορίζονται τα χρονοδιαγράμματα με βάση τα οποία θα ανοίγουν και θα κλείνουν οι θυρίδες αερισμού της διάταξης (άνω και κάτω θυρίδα) και η θυρίδα αποφόρτισης του τοίχου. Επίσης, καθορίζεται το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας της συσκευής σκίασης.
- **Zone:** Σε αυτή την κλάση καθορίζονται τα ονόματα των θερμικών ζωνών του κάθε τοίχου Trombe.
- **Construction:** Σε αυτή την κλάση καθορίζεται η κατασκευή του τοίχου Trombe και του υαλοστασίου. Όσον αφορά την κατασκευή του τοίχου θερμικής μάζας επιλέγεται η (υπάρχουσα) κατασκευή στην οποία εδράζεται ο τοίχος. Και οι τρεις τοίχοι, πάνω στους οποίους εδράζονται οι αντίστοιχες διατάξεις, έχουν κοινή κατασκευή. Αναφορικά με το υαλοστάσιο επιλέγεται κατασκευή διπλού τζαμιού 2.5mm με διάκενο αέρα 3mm μεταξύ τους.
- **BuildingSurface:Detailed:** Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται αυτόματα από το λογισμικό οι επιφάνειες των τοίχων Trombe και επιλέγεται η κατασκευή του κάθε τοίχου από λίστα που προκύπτει από την προηγούμενη κλάση.
- **FenestrationSurface:Detailed:** Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται αυτόματα από το λογισμικό οι υποεπιφάνειες (παράθυρα, πόρτες) οι οποίες ανήκουν στον τοίχο Trombe. Στη συνέχεια από τον χρήστη επιλέγεται η κατασκευή του υαλοστασίου από λίστα που προκύπτει από την κλάση Construction.
- **AirflowNetwork:MultiZone:Zone:** Στη συγκεκριμένη κλάση εισάγονται αυτόματα όλες οι θερμικές ζώνες (συμπεριλαμβανομένων και των ζωνών των τοίχων Trombe). Από τον χρήστη επιλέγεται το χρονοδιάγραμμα για τον φυσικό αερισμό της κάθε ζώνης.
- **WindowMaterial:Blind:** Στη συγκεκριμένη κλάση επιλέγεται από τη “βιβλιοθήκη” του λογισμικού κατάλληλη διάταξη σκίασης για το υαλοστάσιο. Στην περίπτωση της διάταξης που εξετάζεται επιλέγονται περσίδες υψηλής ανακλαστικότητας.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί πως η βασική διάταξη τοίχου Trombe με την οποία γίνονται όλες οι συγκρίσεις είναι η εξής:

- Τοίχος θερμικής μάζας: *Ext. wall_brick 01ud* (φαίνεται στην ανάλυση της κλάσης Construction)
- Υαλοστάσιο: Τζάμι 2.5mm – Διάκενο αέρα 3mm – Τζάμι 2.5mm

5.5.2.1. Περιπτώσεις εναλλακτικών διατάξεων υαλοστασίου

Με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση των θερμοκρασιών των θερμικών ζωνών εξετάζονται τρία νέα σενάρια υαλοστασίου. Αυτά συγκρίνονται μεταξύ τους, αλλά και με την βασική διαμόρφωση του υαλοστασίου και εν τέλει κρίνεται ποιο αυτά είναι το πιο αποδοτικό. Τα τρία εναλλακτικά σενάρια είναι:

1. Η πρώτη περίπτωση που εξετάζεται είναι και η πιο απλή. Δηλαδή ένα τζάμι 2.5mm. Για την προσομοίωση αυτής της διάταξης στο Energy Plus έγιναν αλλαγές στις κλάσεις:
 - **WindowMaterial:Glazing:** Σε αυτή την κλάση επιλέγεται από τη “βιβλιοθήκη” του λογισμικού το κατάλληλο τζάμι πάχους 2.5mm.
 - **Construction:** Σε αυτή την κλάση διαμορφώνεται η κατασκευή του υαλοστασίου με όνομα Trombe Glazing και εισάγεται το τζάμι που επιλέχθηκε στην παραπάνω κλάση.
 - **FenestrationSurface:Detailed:** Στη συγκεκριμένη κλάση για την υποεπιφάνεια του υαλοστασίου του τοίχου Trombe επιλέγεται η κατασκευή που δημιουργήθηκε στην κλάση Construction.
2. Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζεται υαλοστάσιο με δύο τζάμια 2.5mm το καθένα και διάκενο με αέριο Αργόν ανάμεσά τους. Για την προσομοίωση αυτής της διάταξης στο Energy Plus έγιναν αλλαγές στις κλάσεις:
 - **WindowMaterial:Glazing:** Σε αυτή την κλάση επιλέγεται από τη “βιβλιοθήκη” του λογισμικού το κατάλληλο παράθυρο με τζάμι πάχους 2.5mm.
 - **WindowMaterial:Gas:** Στη συγκεκριμένη κλάση επιλέγεται από τη “βιβλιοθήκη” του λογισμικού το αέριο Αργόν για διάκενο 3mm.
 - **Construction:** Σε αυτή την κλάση διαμορφώνεται η κατασκευή του υαλοστασίου με όνομα Trombe Glazing και εισάγονται κατά σειρά τζάμι 2.5mm – το αέριο Αργόν 3mm – το τζάμι 2.5mm.

- **FenestrationSurface:Detailed:** Στη συγκεκριμένη κλάση για την υποεπιφάνεια του υαλοστασίου του τοίχου Trombe επιλέγεται η κατασκευή που δημιουργήθηκε στην κλάση Construction.
3. Στην τρίτη περίπτωση εξετάζεται υαλοστάσιο με τρία τζάμια 2.5mm το καθένα και διάκενο με αέρα ανάμεσά τους. Για την προσομοίωση αυτής της διάταξης στο Energy Plus έγιναν αλλαγές στις κλάσεις:
- **WindowMaterial:Glazing:** Σε αυτή την κλάση επιλέγεται από τη “βιβλιοθήκη” του λογισμικού το κατάλληλο τζάμι πάχους 2.5mm.
 - **WindowMaterial:Gas:** Στη συγκεκριμένη κλάση επιλέγεται από τη “βιβλιοθήκη” του λογισμικού ατμοσφαιρικός αέρας για το διάκενο 3mm.
 - **Construction:** Σε αυτή την κλάση διαμορφώνεται η κατασκευή του υαλοστασίου με όνομα Trombe Glazing και εισάγονται κατά σειρά τζάμι 2.5mm – ατμοσφαιρικός αέρας 3mm – τζάμι 2.5mm – ατμοσφαιρικός αέρας 3mm – τζάμι 2.5mm.
 - **FenestrationSurface:Detailed:** Στη συγκεκριμένη κλάση για την υποεπιφάνεια του υαλοστασίου του τοίχου Trombe επιλέγεται η κατασκευή που δημιουργήθηκε στην κλάση Construction.

5.5.2.2. Περιπτώσεις εναλλακτικών κατασκευών τοίχου θερμικής μάζας

Ο τοίχος θερμικής μάζας αποτελεί την πλέον βασική παράμετρο της απόδοσης της διάταξης του τοίχου Trombe. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτού του τοίχου καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας η οποία μεταφέρεται τελικά στους εσωτερικούς χώρους. Για το σύστημα του τοίχου Trombe που μελετάται πραγματοποιήθηκε ανάλυση τριών νέων σεναρίων κατασκευής τοίχου θερμικής μάζας. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις τέσσερις συνολικά κατασκευές που εξετάζονται (συμπεριλαμβανομένης της αρχικής διάταξης) για τον τοίχο θερμικής μάζας.

Με σκοπό τη σύγκριση με τις πιο ενισχυμένες κατασκευές, ως πρώτη περίπτωση τοίχου θερμικής μάζας, εξετάζεται μια πολύ απλή διάταξη τοίχου η οποία έχει ως βασικό δομικό υλικό το ενισχυμένο σκυρόδεμα. Ως δεύτερη περίπτωση εξετάζεται ο υπάρχων τοίχος του παθητικού κτιρίου ο οποίος είναι σημαντικά ενισχυμένος σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ οι περιπτώσεις 3 και 4 διαφοροποιούνται από τον υπάρχων τοίχο του παθητικού κτιρίου στο βασικό δομικό υλικό (ενισχύονται με μπλοκ μπετού και ενισχυμένο σκυρόδεμα αντίστοιχα) όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 5.5: Σενάρια τοίχου θερμικής μάζας

| Σενάριο | Στρώσεις Υλικών (Εξωτερικά προς Εσωτερικά) | | | | | | |
|-----------------------|---|------------------|----------------------|----------------------|--------------|----------------------|-----------------|
| 1 | Σκούρο υλικό απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας | Ασβεστοκονίαμα | Ενισχυμένο Σκυρόδεμα | Ασβεστοκονίαμα | - | - | - |
| 2 (Βασικό Σενάριο) | Ακρυλικός Σοβάς | Εξωτερική μόνωση | Σοβάς | Τούβλα | Διάκενο Αέρα | Τούβλα | Σοβάς |
| 3 | Ακρυλικός Σοβάς | Εξωτερική μόνωση | Σοβάς Τσιμέντου | Μπλοκ Μπετού | Διάκενο Αέρα | Μπλοκ Μπετού | Σοβάς Τσιμέντου |
| 4 | Ακρυλικός Σοβάς | Εξωτερική μόνωση | Σοβάς Τσιμέντου | Ενισχυμένο Σκυρόδεμα | Διάκενο Αέρα | Ενισχυμένο Σκυρόδεμα | Σοβάς Τσιμέντου |

Για την προσομοίωση της κάθε μίας από τις παραπάνω διατάξεις στο Energy Plus έγιναν αλλαγές στις κλάσεις:

- **Materials:** Στη συγκεκριμένη κλάση δηλώθηκαν όλα τα νέα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις νέες κατασκευές των τοίχων θερμικής μάζας.
- **Construction:** Στη συγκεκριμένη κλάση δημιουργήθηκαν οι νέες κατασκευές εισάγοντας με την κατάλληλη σειρά τα δομικά υλικά που δηλώθηκαν στην προηγούμενη κλάση.

5.5.2.3. Σενάριο χωρίς τη χρήση συσκευής σκίασης στον τοίχο Trombe

Στην προσπάθεια να εξεταστεί εάν και κατά πόσο επιδρά η συσκευή σκίασης στην απόδοση της λειτουργίας του τοίχου Trombe εξετάζεται σενάριο χωρίς την χρήση της. Για την προσομοίωση του συγκεκριμένου σεναρίου η μόνη κλάση στην οποία πραγματοποιούνται αλλαγές είναι η *Schedule:Compact*. Σε αυτή την περίπτωση ρυθμίζεται το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας της συσκευής σκίασης ώστε να μη λειτουργεί καθόλου κατά τη διάρκεια του έτους.

Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που προκύπτουν σε αυτή την περίπτωση για τις εξεταζόμενες θερμικές ζώνες, σε σύγκριση μάλιστα με τις θερμοκρασίες που προκύπτουν όταν η συσκευή σκίασης λειτουργεί, φαίνονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 6

6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης Κτιρίου

Με σκοπό την δημιουργία μίας ολοκληρωμένης εικόνας που αφορά τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου παρουσιάζονται συγκεκριμένα γραφήματα που απεικονίζουν τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των εξεταζόμενων θερμικών ζωνών υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Αρχικά, παρατίθενται διαγράμματα τα οποία αναλύουν τις θερμοκρασίες του κτιρίου χωρίς να έχει γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση, ενώ στη συνέχεια εξετάζονται συγκεκριμένα σενάρια που αποσκοπούν στη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα για την ενεργειακή απόδοση εξετάζεται:

- Η επίδραση της χρήσης του συστήματος αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (HRV)
- Η επίδραση της χρήσης εναλλακτικών υλικών μόνωσης στους τοίχους
- Η επίδραση της χρήσης εναλλακτικών παραθύρων

Εν συνεχεία, με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης εξετάζεται σενάριο κατασκευής τοίχων Trombe στην νότια πλευρά του κτιριακού κελύφους. Αρχικά, παρατίθενται διαγράμματα τα οποία συγκρίνουν την απόδοση του κτιρίου πριν και μετά την κατασκευή της διάταξης, ενώ στη συνέχεια εξετάζονται βελτιωτικές κινήσεις που σχετίζονται με τον τοίχο Trombe. Πιο συγκεκριμένα με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης της διάταξης Trombe Wall εξετάζονται:

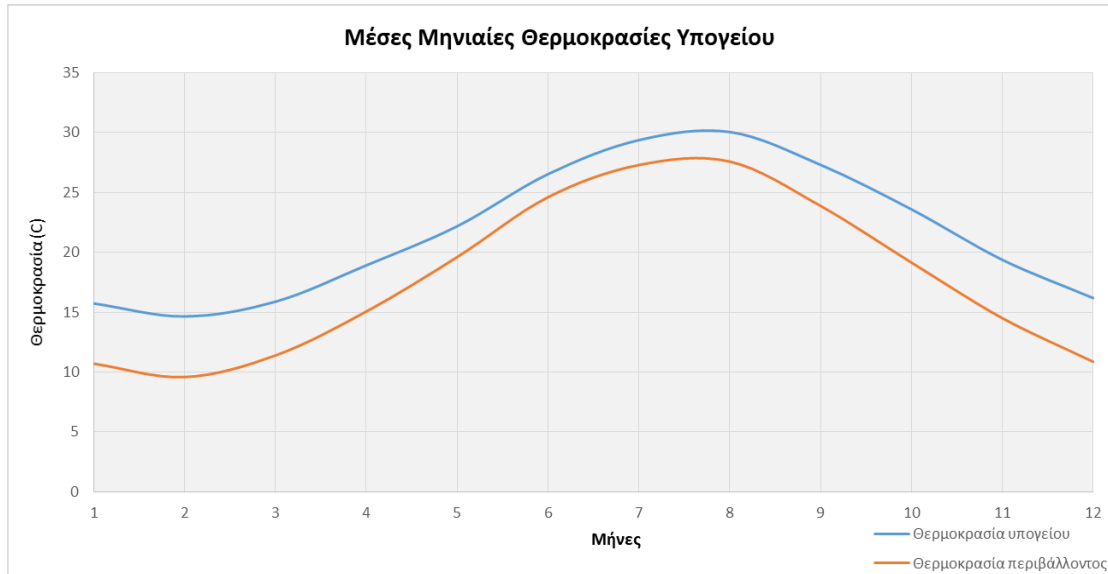
- Σενάρια εναλλακτικών υαλοστασίων τοίχου Trombe
- Σενάρια εναλλακτικών κατασκευών του τοίχου θερμικής μάζας (Trombe) όπου πραγματοποιείται και ανάλυση μέσω ωριαίων θερμοκρασιών για συγκεκριμένες ημέρες του έτους

Επιπλέον, παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών του υπογείου και του ισόγειου με και χωρίς την συσκευή σκίασης με σκοπό να εξεταστεί με ποιον τρόπο, αλλά και σε ποιον βαθμό επηρεάζεται η απόδοση της διάταξης του τοίχου Trombe από τη λειτουργία της.

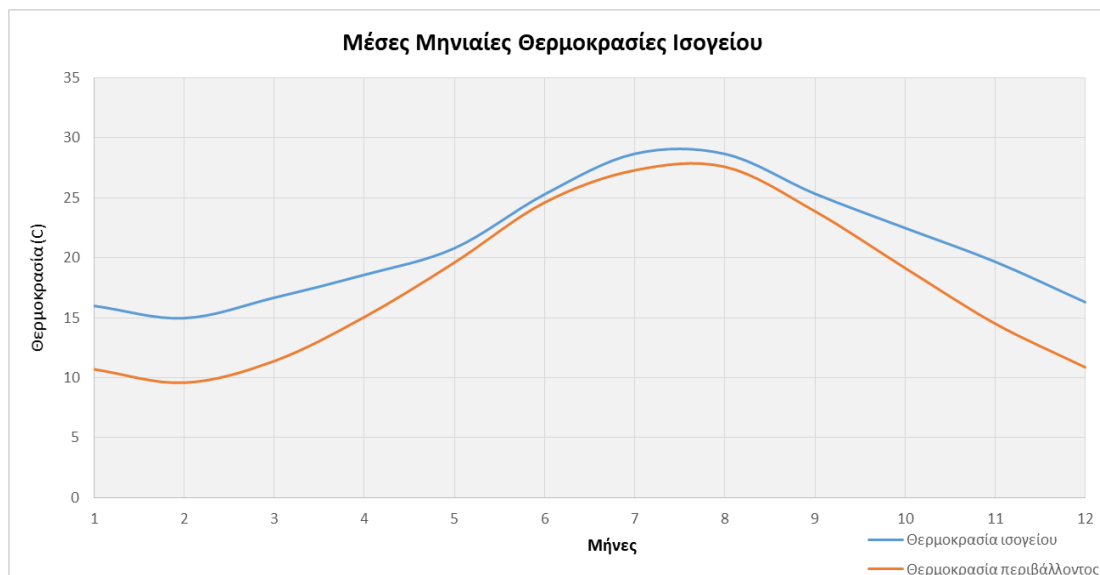
Κλείνοντας, είναι πολύ σημαντικό να υπογραμμιστεί πως στην παρούσα εργασία δεν λαμβάνονται υπόψιν οποιαδήποτε συστήματα θέρμανσης ή ψύξης που μπορεί να χρησιμοποιούνται εντός των θερμικών ζωνών.

6.1. Προσομοίωση υφιστάμενου κτιρίου

Μετά την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για το εξεταζόμενο κτίριο στο Energy Plus και χωρίς να υπάρξει καμία παρέμβαση στα υλικά της κατασκευής προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα που απεικονίζουν τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του ισογείου και του υπογείου κατά τη διάρκεια ενός έτους.



Διάγραμμα 6.1: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου - περιβάλλοντος



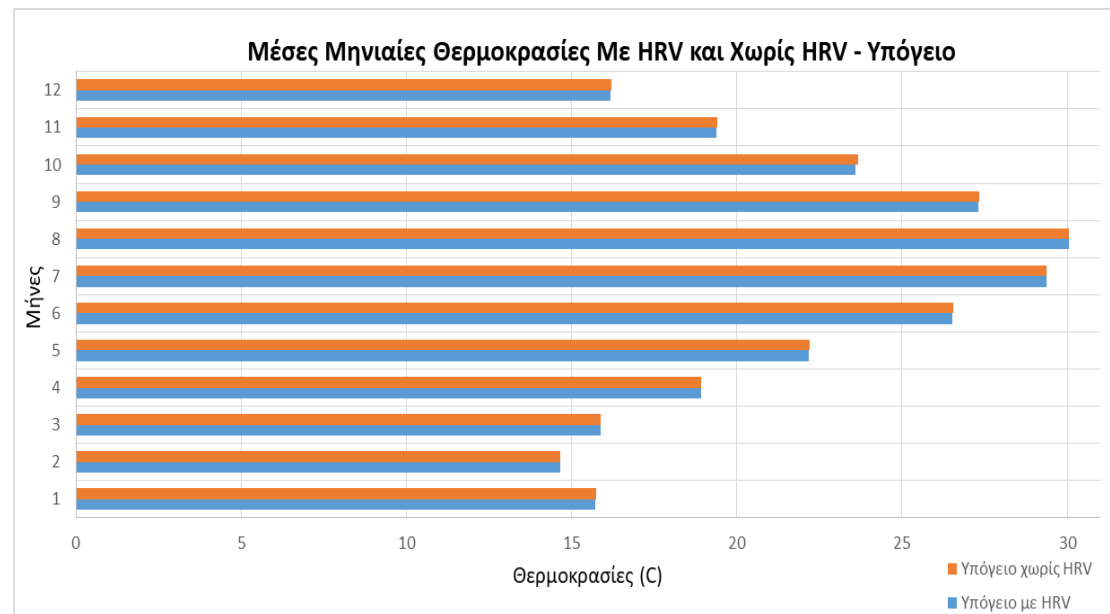
Διάγραμμα 6.2: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου - περιβάλλοντος

Στα συγκεκριμένα γραφήματα τα οποία απεικονίζουν παράλληλα και την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, μπορεί να παρατηρηθεί μια διαφορά της τάξεως των 6°C κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών ανάμεσα στους εσωτερικούς χώρους και το περιβάλλον. Αυτή η διαφορά δείχνει να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα, γεγονός το οποίο είναι απολύτως επιθυμητό αν αναλογιστεί κανείς πως το εύρος για τη θερμική άνεση των χώρων κυμαίνεται περίπου από 18-27°C. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών η διαφορά αυτή φαίνεται να μειώνεται στους 1-2°C που σημαίνει πως το κτίριο είναι καλά μονωμένο για να αντιμετωπίσει τις υψηλές θερμοκρασίες των θερινών μηνών.

6.2. Επίδραση Βασικών Παραμέτρων στην Ενεργειακή Απόδοση

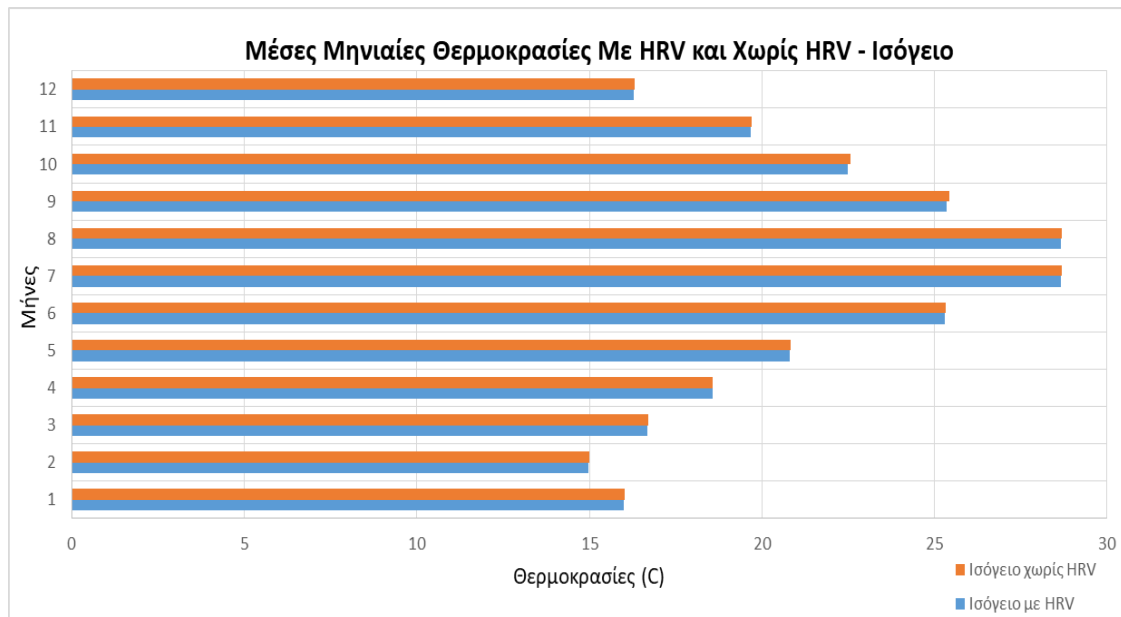
6.2.1. Επίδραση συστήματος HRV

Στα παρακάτω διαγράμματα τα οποία αναφέρονται σε υπόγειο και ισόγειο αντίστοιχα, μελετώνται οι μεταβολές που προκαλούνται στη θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων όταν απενεργοποιηθεί το σύστημα αερισμού και ανάκτησης θερμότητας HRV



Διάγραμμα 6.3: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με HRV – χωρίς HRV

Όπως αναμενόταν οι μεταβολές που παρατηρούνται μετά την απενεργοποίηση του συστήματος είναι ανεπαίσθητες. Αυτό συμβαίνει καθώς το HRV εξάγει ένα ποσοστό του αέρα της θερμικής ζώνης και εισάγει “φρέσκο” αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στην θερμοκρασία όμως που βρίσκεται ήδη ο εσωτερικός χώρος. Επομένως, το συγκεκριμένο σύστημα δεν επιδρά ουσιαστικά στην θερμοκρασία του χώρου.



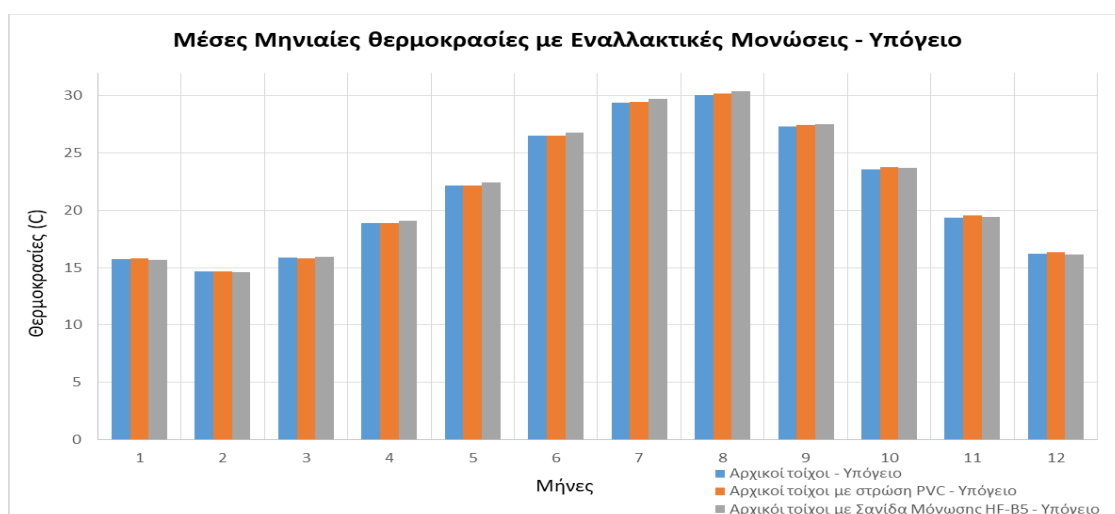
Διάγραμμα 6.4: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με HRV – χωρίς HRV

Παρόλα αυτά, στα παραπάνω γραφήματα είναι εμφανές πως σε συγκεκριμένους μήνες υπάρχει μια πολύ μικρή μείωση της θερμοκρασίας των χώρων, όταν χρησιμοποιείται το HRV. Αυτό συμβαίνει καθώς σε όλη τη διάρκεια του έτους η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη σε σχέση με τους εσωτερικούς χώρους (χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν συστήματα ψύξης – θέρμανσης). Έτσι το σύστημα εισάγει αέρα που θερμαίνεται στον εναλλάκτη χωρίς να φτάσει όμως στη θερμοκρασία εξωτερικών χώρων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός πως δεν είναι δυνατόν κάποιος εναλλάκτης να αποδίδει 100%. Επομένως, οι διαφορές αυτές είναι απολύτως λογικές και αναμενόμενες.

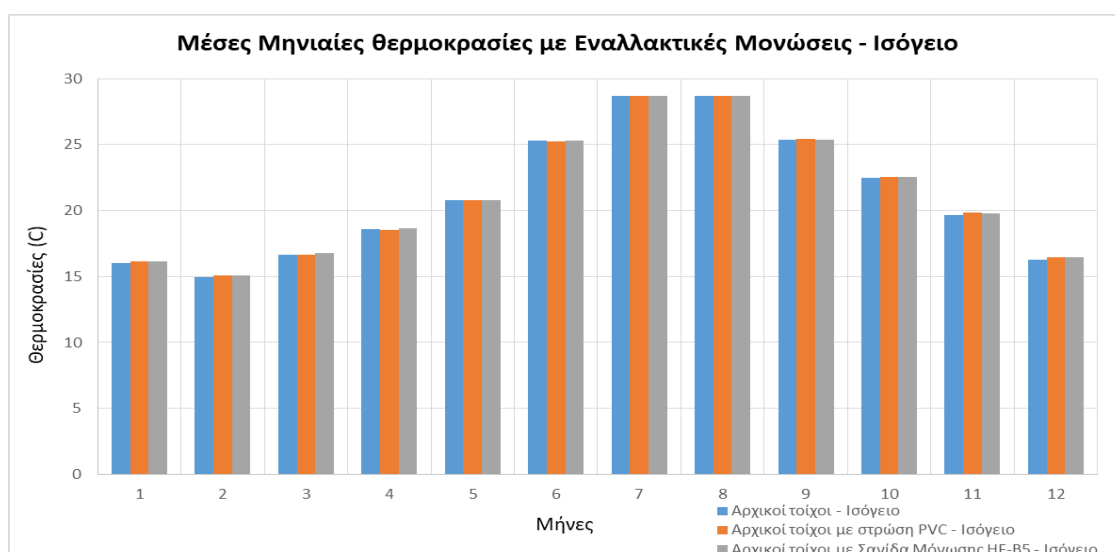
6.2.2. Επίδραση υλικών μόνωσης

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του ισογείου και του υπογείου μετά την εισαγωγή μιας επιπλέον στρώσης μόνωσης στις ήδη υπάρχουσες.

Στην πρώτη περίπτωση έγινε η εισαγωγή μόνωσης υλικού P.V.C. στους τοίχους του κτιρίου, ενώ στην δεύτερη περίπτωση έγινε η εισαγωγή σανίδας μόνωσης HF-B5. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα και από τα γραφήματα, οι τοίχοι του κτιρίου “αρχικοί τοίχοι” (και στις δύο θερμικές ζώνες) οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από υλικά που χρησιμοποιούνται κατά κόρων στα παθητικά κτίρια επηρεάζονται ελάχιστα από την ύπαρξη επιπλέον μόνωσης.



Διάγραμμα 6.5: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με εναλλακτικές μονώσεις



Διάγραμμα 6.6: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου με εναλλακτικές μονώσεις

Παρόλα αυτά, διακρίνεται μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας κυρίως τους χειμερινούς μήνες (η οποία είναι απολύτως επιθυμητή) όταν χρησιμοποιείται η επιπλέον στρώση μόνωσης από PVC. Στην άλλη περίπτωση η παρουσία της σανίδας μόνωσης HF-B5 δείχνει να επηρεάζει και αυτή ελάχιστα χωρίς να ξεφεύγει από τις μέσες θερμοκρασίες που παρατηρούνται. Επομένως, θα μπορούσε να ειπωθεί πως οι μονώσεις των κύριων επιφανειών του κτιρίου δεν επιδέχονται περαιτέρω βελτιώσεις (στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιείται) που μπορούν να επηρεάσουν δραματικά τις θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων.

Για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εικόνας και λόγω των μικρών διαφορών που παρατηρούνται στα διαγράμματα 6.5 και 6.6 παρατίθενται οι πίνακες τιμών.

Πίνακας 6.1: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Υπογείου με Εναλλακτικές Μονώσεις

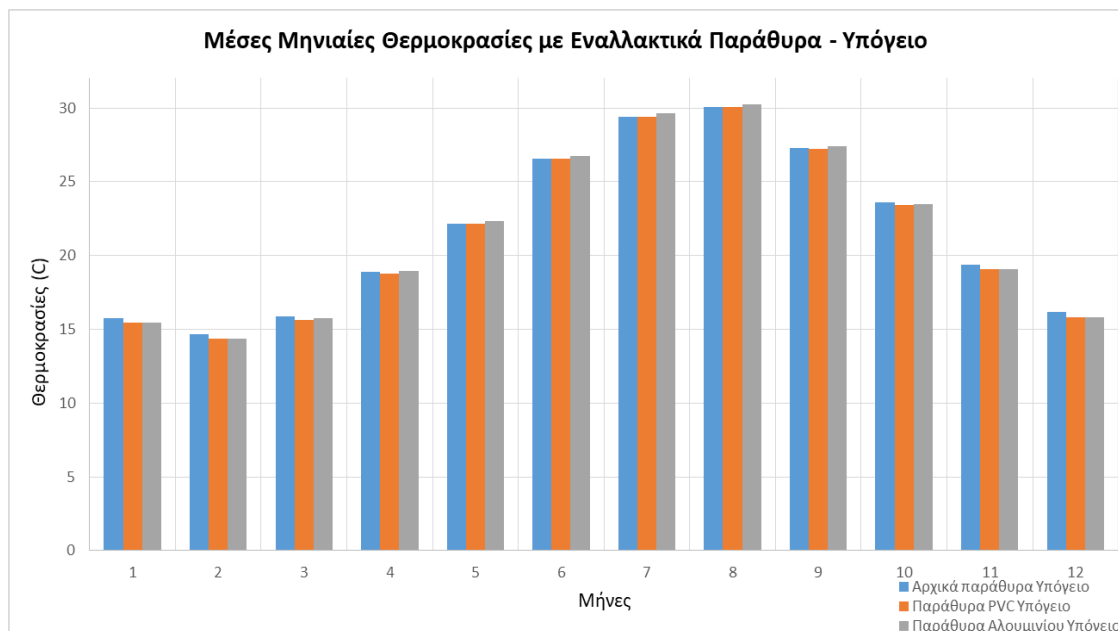
| Μήνες | Αρχικοί τοίχοι – Υπόγειο (°C) | Αρχικοί τοίχοι με στρώση PVC – Υπόγειο (°C) | Αρχικοί τοίχοι με Σανίδα Μόνωσης HF-B5 – Υπόγειο (°C) |
|-------------|-------------------------------|---|---|
| Ιανουάριος | 15,730 | 15,834 | 15,688 |
| Φεβρουάριος | 14,647 | 14,697 | 14,61 |
| Μάρτιος | 15,878 | 15,844 | 15,918 |
| Απρίλιος | 18,916 | 18,897 | 19,076 |
| Μάιος | 22,178 | 22,182 | 22,405 |
| Ιούνιος | 26,536 | 26,508 | 26,798 |
| Ιούλιος | 29,378 | 29,465 | 29,734 |
| Αύγουστος | 30,058 | 30,193 | 30,376 |
| Σεπτέμβριος | 27,310 | 27,457 | 27,492 |
| Οκτώβριος | 23,598 | 23,787 | 23,734 |
| Νοέμβριος | 19,380 | 19,55 | 19,414 |
| Δεκέμβριος | 16,183 | 16,328 | 16,16 |

Πίνακας 6.2: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Ισογείου με Εναλλακτικές Μονώσεις

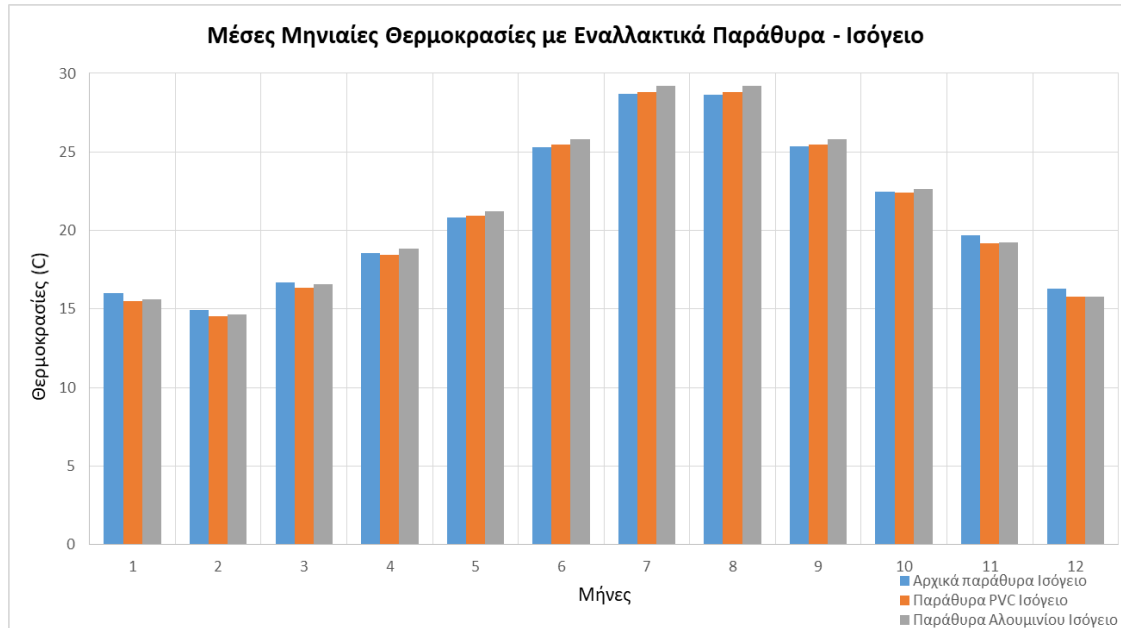
| Μήνες | Αρχικοί τοίχοι – Ισόγειο (°C) | Αρχικοί τοίχοι με στρώση PVC – Ισόγειο (°C) | Αρχικοί τοίχοι με Σανίδα Μόνωσης HF-B5 – Ισόγειο (°C) |
|-------------|-------------------------------|---|---|
| Ιανουάριος | 15,993 | 16,146 | 16,125 |
| Φεβρουάριος | 14,962 | 15,046 | 15,078 |
| Μάρτιος | 16,671 | 16,616 | 16,765 |
| Απρίλιος | 18,578 | 18,55 | 18,632 |
| Μάιος | 20,800 | 20,767 | 20,794 |
| Ιούνιος | 25,294 | 25,226 | 25,277 |
| Ιούλιος | 28,673 | 28,655 | 28,67 |
| Αύγουστος | 28,665 | 28,685 | 28,662 |
| Σεπτέμβριος | 25,342 | 25,395 | 25,343 |
| Οκτώβριος | 22,486 | 22,545 | 22,52 |
| Νοέμβριος | 19,669 | 19,836 | 19,794 |
| Δεκέμβριος | 16,297 | 16,487 | 16,45 |

6.2.3. Επίδραση παραθύρων

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών του υπογείου και του ισόγειου σε δύο εναλλακτικές περιπτώσεις παραθύρων τα οποία χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε ενεργειακά αλλά και συμβατικά κτίρια.



Διάγραμμα 6.7: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με εναλλακτικά παράθυρα



Διάγραμμα 6.8: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισόγειου με εναλλακτικά παράθυρα

. Εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς πως οι διαφορές θερμοκρασιών (είτε στο υπόγειο είτε στο ισόγειο) είναι αρκετά μικρές μεταξύ των διαφορετικών κατασκευών των παραθύρων. Η μέγιστη διαφορά να φτάνει τους $0,6^{\circ}\text{C}$, ενώ οι υπόλοιπες να κυμαίνονται στους $0,2^{\circ}\text{C}$. Χωρίς αμφιβολία όμως, τέτοιο είδους θερμοκρασιακές διαφορές είναι ικανές να επιφέρουν ένα σεβαστό ποσό εξοικονόμησης ενέργειας σε βάθος ενός έτους.

Στην πρώτη εναλλακτική περίπτωση έγινε εισαγωγή παραθύρων με κουφώματα που εμπειρεύσαν υλικό PVC και διπλό τζάμι 3mm με αέρα 6mm ενδιάμεσα των τζαμιών, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα τζάμια και κουφώματα αλουμινίου. Και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται πως τους χειμερινούς μήνες επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες στις θερμικές ζώνες, από αυτές που παρατηρούνται με τη χρήση των αρχικών παραθύρων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας (U-Value) και στις δύο περιπτώσεις είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή των αρχικών παραθύρων, ενώ ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους (Solar Heat Gain Coefficient “SHGC”) βρίσκεται στα ίδια επίπεδα και στις τρεις περιπτώσεις.

Παρόλα αυτά, τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται πως η θερμοκρασία των θερμικών ζωνών χρησιμοποιώντας παράθυρα PVC βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με την περίπτωση χρήσης των αρχικών παραθύρων, ενώ σε μερικές περιπτώσεις είναι και ελάχιστα χαμηλότερη. Επομένως, θα μπορούσε να ειπωθεί πως τα “αρχικά

παράθυρα” που χρησιμοποιούνται στο υφιστάμενο παθητικό κτίριο που εξετάζεται έχουν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά (σχετικά με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στις δύο εναλλακτικές περιπτώσεις) καθώς μονώνουν σε μεγαλύτερο τα ανοίγματα του κτιρίου ενώ παράλληλα αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία η οποία θερμαίνει τις εσωτερικές επιφάνειες κατά τους χειμερινούς μήνες.

Για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εικόνας και λόγω των μικρών διαφορών που παρατηρούνται στα διαγράμματα 6.7 και 6.8 παρατίθενται οι παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.3: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Υπογείου με Εναλλακτικά Παράθυρα

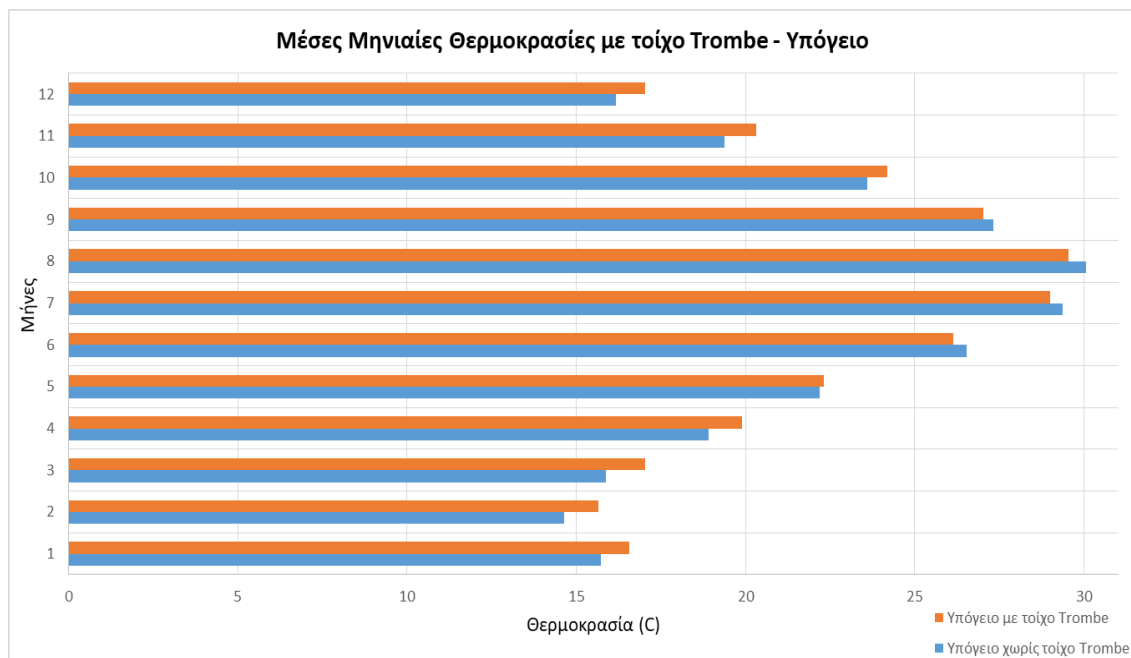
| Μήνες | Αρχικά παράθυρα Υπόγειο (°C) | Παράθυρα PVC Υπόγειο (°C) | Παράθυρα Αλουμινίου Υπόγειο (°C) |
|-------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Ιανουάριος | 15,730 | 15,433 | 15,433 |
| Φεβρουάριος | 14,647 | 14,35 | 14,369 |
| Μάρτιος | 15,878 | 15,65 | 15,738 |
| Απρίλιος | 18,916 | 18,784 | 18,949 |
| Μάιος | 22,178 | 22,153 | 22,326 |
| Ιούνιος | 26,536 | 26,562 | 26,771 |
| Ιούλιος | 29,378 | 29,411 | 29,627 |
| Αύγουστος | 30,058 | 30,056 | 30,242 |
| Σεπτέμβριος | 27,310 | 27,238 | 27,381 |
| Οκτώβριος | 23,598 | 23,425 | 23,507 |
| Νοέμβριος | 19,380 | 19,082 | 19,086 |
| Δεκέμβριος | 16,183 | 15,844 | 15,819 |

Πίνακας 6.4: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Ισογείου με Εναλλακτικά Παράθυρα

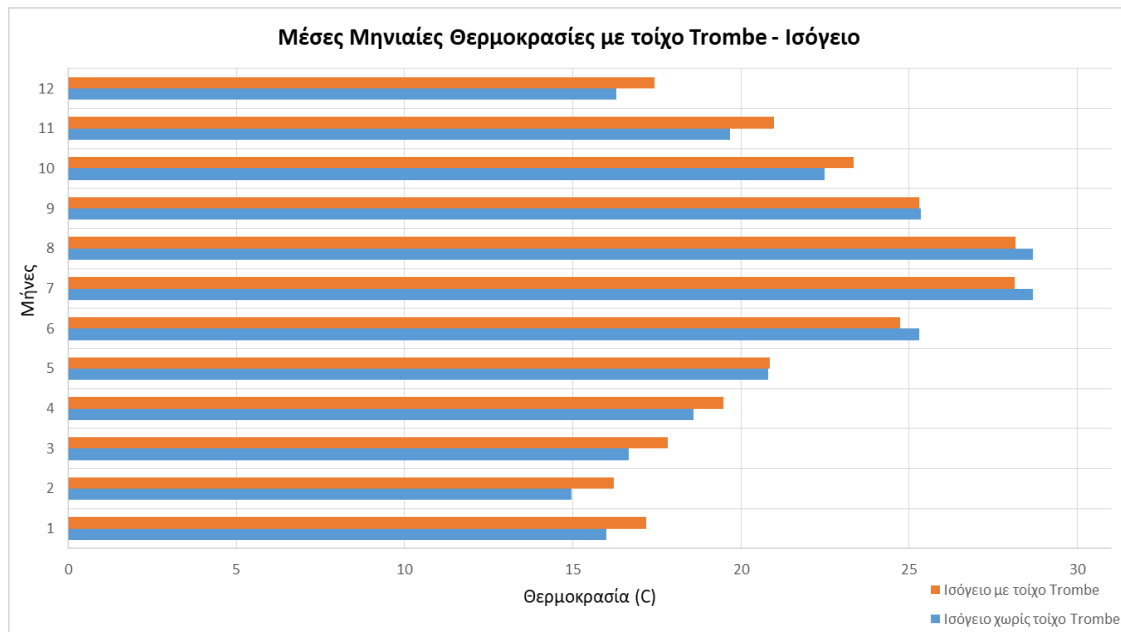
| Μήνες | Αρχικά παράθυρα Ισόγειο (°C) | Παράθυρα PVC Ισόγειο (°C) | Παράθυρα Αλουμινίου Ισόγειο (°C) |
|-------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Ιανουάριος | 15,993 | 15,532 | 15,606 |
| Φεβρουάριος | 14,962 | 14,528 | 14,646 |
| Μάρτιος | 16,671 | 16,335 | 16,578 |
| Απρίλιος | 18,578 | 18,477 | 18,827 |
| Μάιος | 20,800 | 20,922 | 21,25 |
| Ιούνιος | 25,294 | 25,457 | 25,825 |
| Ιούλιος | 28,673 | 28,815 | 29,19 |
| Αύγουστος | 28,665 | 28,834 | 29,218 |
| Σεπτέμβριος | 25,342 | 25,478 | 25,823 |
| Οκτώβριος | 22,486 | 22,394 | 22,622 |
| Νοέμβριος | 19,669 | 19,203 | 19,259 |
| Δεκέμβριος | 16,297 | 15,762 | 15,776 |

6.3. Διάταξη τοίχου Trombe

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στην προσπάθεια να εξεταστεί εάν το κτίριο δέχεται περαιτέρω βελτιώσεις (όσον αφορά τις θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών) τοποθετήθηκαν στους νότιους τοίχους του ισογείου και του υπογείου διατάξεις τοίχων Trombe. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του ισογείου και του υπογείου υπό την επίδραση των διατάξεων Trombe Wall, αλλά και χωρίς αυτές. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως ως βασικό σενάριο της διάταξης Trombe θεωρείται η κατασκευή που λαμβάνει ως τοίχο θερμικής μάζας τον τοίχο που προϋπήρχε στο σημείο που κατασκευάστηκε ο Trombe και ως υαλοστάσιο την διάταξη με διπλό τζάμι - διάκενο αέρα.



Διάγραμμα 6.9: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με και χωρίς τοίχο Trombe



Διάγραμμα 6.10: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισόγειου με και χωρίς τοίχο Trombe

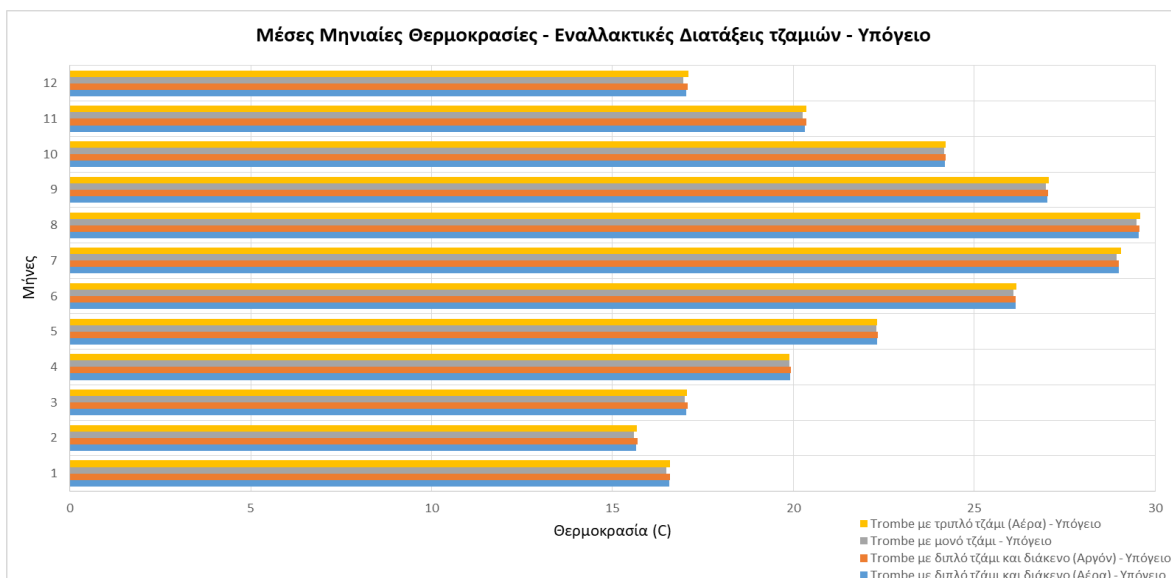
Εύκολα μπορεί να διακρίνει κανείς την επίδραση του παθητικού ηλιακού συστήματος και στις δύο θερμικές ζώνες, καθώς τους χειμερινούς μήνες είναι εμφανές πως η διάταξη επιφέρει αύξηση θερμοκρασίας ως και $1,6^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν τοίχοι Trombe. Αυτό συμβαίνει καθώς όλες της ώρες της ημέρας η διάταξη δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, την οποία αποθηκεύει στον τοίχο θερμικής μάζας και την αποδίδει τις απογευματινές-βραδινές ώρες στους εσωτερικούς χώρους.

Παράλληλα, με τη χρήση της διάταξης παρατηρείται πως κατά τους μήνες του καλοκαιριού υπάρχει μια μικρή μείωση της θερμοκρασίας των χώρων. Αυτό συμβαίνει καθώς στην συγκεκριμένη περίοδο του έτους ο τοίχος Trombe προστατεύεται από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία (ουσιαστικά απενεργοποιείται) χρησιμοποιώντας διατάξεις σκίασης, ενώ την ίδια στιγμή συνεχίζει να προσφέρει ένα μικρό ποσό αέρα ανανέωσης μέσω των θυρίδων αποφόρτισης και αερισμού.

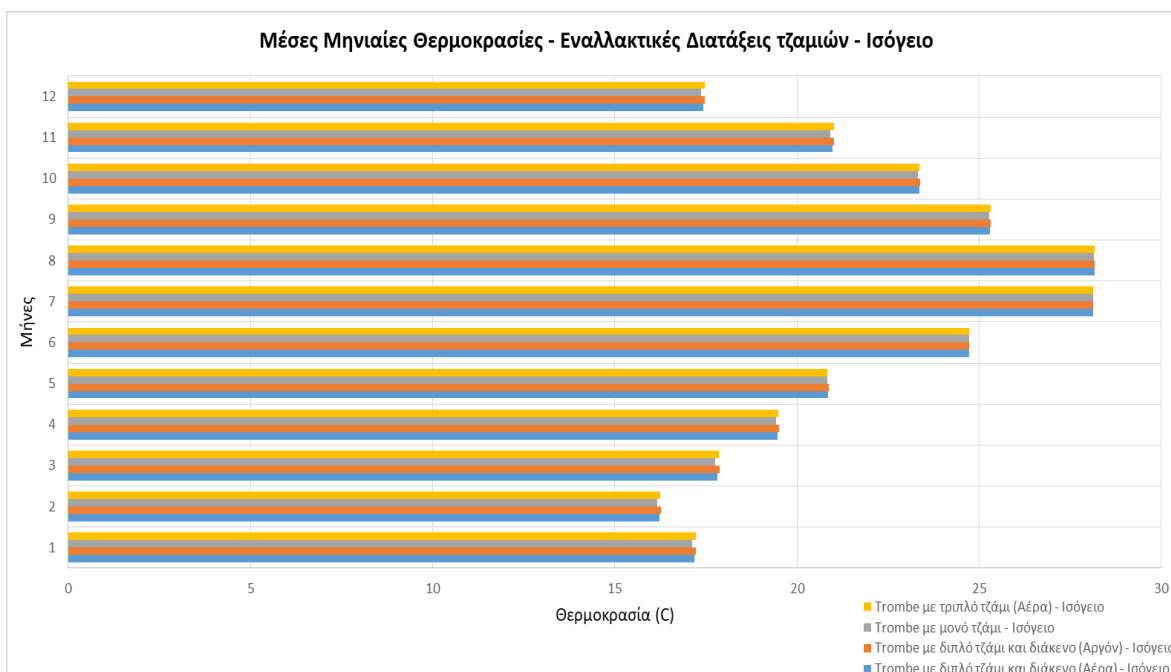
Επομένως, φαίνεται πως η διάταξη τοίχου Trombe μπορεί να αυξήσει σε ένα σεβαστό ποσοστό την θερμοκρασία του αέρα στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου τους χειμερινούς μήνες, να την μειώσει ελάχιστα όταν κρίνεται αναγκαίο και εν τέλει να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας. Προφανώς, στην παρούσα εργασία δεν κρίνεται αν η διάταξη είναι οικονομικά συμφέρουσα, αλλά κρίνεται με μοναδικό γνώμονα τη θερμική ενέργεια που προσφέρει στο κτίριο όταν αυτή είναι απαραίτητη.

6.3.1. Επίδραση τζαμιών Υαλοστασίου διάταξης Trombe

Μια από τις βασικές παραμέτρους της λειτουργίας του τοίχου Trombe είναι το είδος και η διάταξη των τζαμιών που χρησιμοποιούνται στο υαλοστάσιο. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τέσσερις διαφορετικές διατάξεις που συναντώνται αρκετά συχνά.



Διάγραμμα 6.11: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διατάξεις τζαμιών υαλοστασίου τοίχου Trombe



Διάγραμμα 6.12: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισόγειου για εναλλακτικές διατάξεις τζαμιών υαλοστασίου τοίχου Trombe

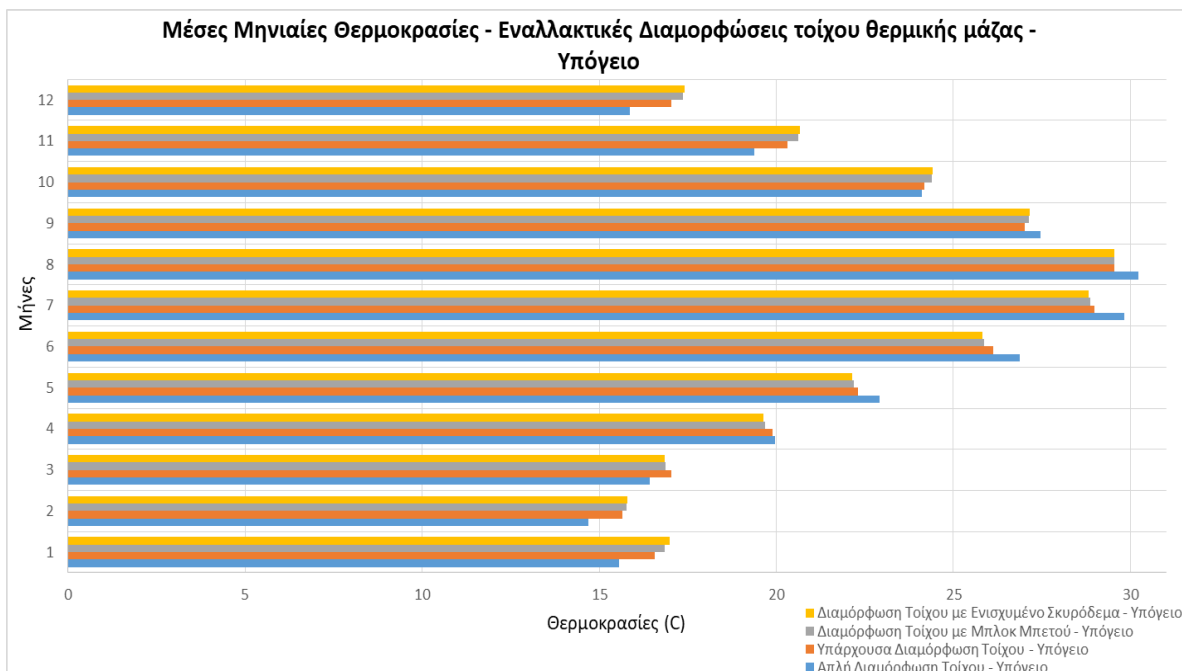
Εύκολα διακρίνεται πως οι μέγιστες διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών διαμορφώσεων του υαλοστασίου είναι της τάξης των $0,2^{\circ}\text{C}$. Είναι ξεκάθαρο πως η διάταξη του υαλοστασίου με μονό τζάμι 2.5mm μειονεκτεί φανερά έναντι των υπολοίπων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ένα (μονό) τζάμι δεν έχει τη δυνατότητα να παγιδεύσει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στον ίδιο βαθμό με μία διάταξη διπλού και τριπλού τζαμιού, τα οποία μονώνουν τον χώρο αποτελεσματικότερα λόγω του πάχους τους και του ενδιάμεσου αέρα.

Παράλληλα, μέσω των παραπάνω γραφημάτων δίνεται η δυνατότητα να συγκριθούν δύο διατάξεις με δύο τζάμια (2.5mm το καθένα) τα οποία στη μια περίπτωση χωρίζονται από στρώμα αέρα, ενώ στην άλλη περίπτωση από στρώμα ευγενούς αερίου Αργού. Παρατηρείται πως η διάταξη που εμπεριέχει το ευγενές αέριο έχει καλύτερη απόδοση καθώς κυρίως κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών διακρίνονται ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες εντός των θερμικών ζωνών. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το αέριο Αργό λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς του μειώνει τη μεταφορά θερμότητας και έχει υψηλότερη μονωτική ικανότητα από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε γενικότερη βάση, το συγκεκριμένο αέριο προτιμάται έναντι του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς βελτιώνει τον συντελεστή θερμοπερατότητας (U-value) της διάταξης τζαμιών ενώ παράλληλα δεν περιέχει υγρασία η οποία μπορεί να συμπυκνωθεί εντός της διάταξης, όπως συμβαίνει με τον αέρα.

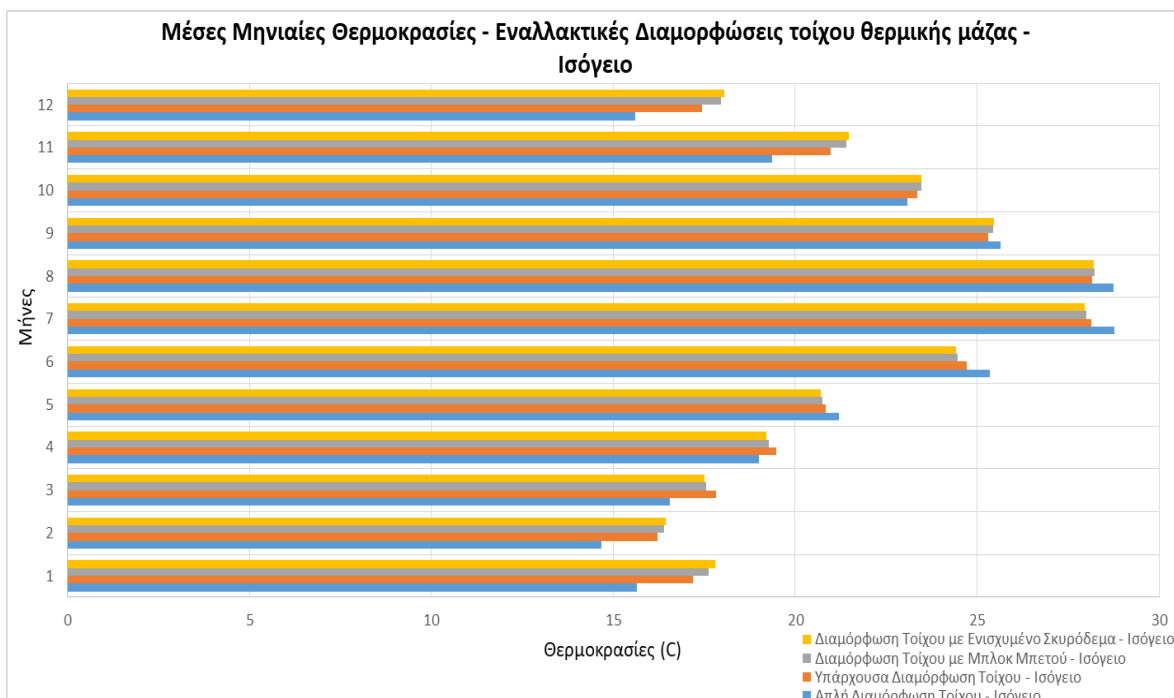
Πέραν των προαναφερθέντων διατάξεων, αυτή που φαίνεται να έχει την ελαφρώς καλύτερη απόδοση από τις υπόλοιπες είναι διάταξη με το τριπλό τζάμι. Γίνεται εύκολα κατανοητό πως ένα τέτοιου είδους υαλοστάσιο με τρία επίπεδα τζαμιών και δύο στρώματα αέρος είναι πολύ καλά μονωμένο λόγω της αυξημένου συντελεστή θερμικής αντίστασης (που προκύπτει από το συνολικό πάχος των τζαμιών). Επομένως είναι δυνατόν να παγιδεύσει αποτελεσματικότερα την ηλιακή ακτινοβολία εντός της διάταξης Trombe.

6.3.2. Επίδραση τοίχου θερμικής μάζας στην διάταξη Trombe

Μία από τις βασικότερες παραμέτρους που προσδιορίζουν την απόδοση του ηλιακού παθητικού συστήματος που μελετάται είναι ο τοίχος θερμικής μάζας. Από τα υλικά κατασκευής της συγκεκριμένης διάταξης καθορίζεται το ποσό της θερμικής ενέργειας που θα αποθηκευτεί και εν συνεχεία θα αποδοθεί ομαλά εντός της θερμικής ζώνης κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.



Διάγραμμα 6.13: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe



Διάγραμμα 6.14: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισόγειο για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe

Στα παραπάνω διαγράμματα, τα οποία αναφέρονται στο υπόγειο και στο ισόγειο αντίστοιχα απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της θερμικής ζώνης σε

τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Αυτές οι εναλλακτικές περιπτώσεις περιγράφονται διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Εν συντομία αναφέρονται βασικά χαρακτηριστικά:

- Περίπτωση 1: Απλή διαμόρφωση με μία στρώση ενισχυμένου σκυροδέματος.
- Περίπτωση 2 : Υπάρχουσα κατασκευή (Βασικό Σενάριο) με 2 στρώσεις τούβλα και διάκενο αέρα.
- Περίπτωση 3: Αντίστοιχη κατασκευή με περίπτωση 2, με αντικατάσταση τούβλων με “μπλοκ” μπετού (τούβλα μπετού) και αλλαγές στο είδος σοβά.
- Περίπτωση 4: Αντίστοιχη κατασκευή με περίπτωση 3, με αντικατάσταση μπλοκ μπετού με ενισχυμένο σκυρόδεμα.

Παρατηρώντας τα γραφήματα, γίνεται εύκολα κατανοητό πως η περίπτωση 1 μειονεκτεί σε μεγάλο βαθμό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τρεις διαμορφώσεις τοίχου, Αυτό γίνεται αντιληπτό καθώς οι θερμοκρασίες που παρατηρούνται εντός των θερμικών ζωνών κατά τους χειμερινούς μήνες είναι αρκετά χαμηλότερες από τις υπόλοιπες περιπτώσεις, ενώ παράλληλα τους θερινούς μήνες υπάρχει αυξητική τάση η οποία είναι ανεπιθύμητη. Η κατάσταση αυτή εξηγείται από το γεγονός πως η συγκεκριμένη διαμόρφωση τοίχου έχει έντονες απώλειες θερμότητας, κατά τους χειμερινούς μήνες, λόγω της ελλιπούς μόνωσης, ενώ ταυτόχρονα δεν έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες θερμότητας λόγω της έλλειψης όγκου υλικών κατασκευής (συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιπτώσεις).

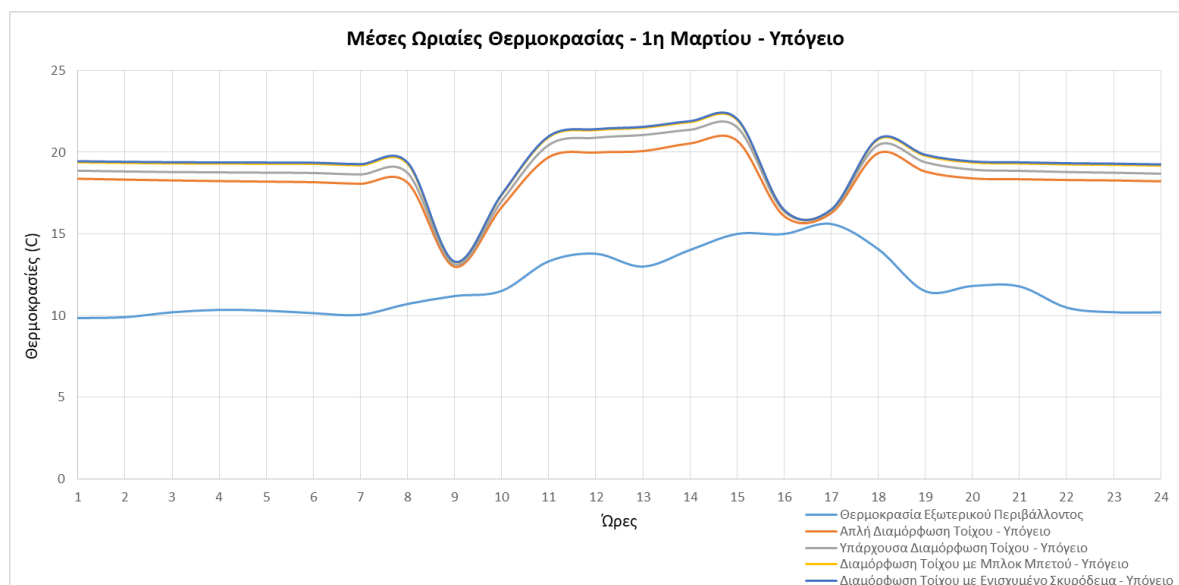
Επιπλέον, παρατηρώντας τις τάσεις των θερμοκρασιών φαίνεται πως η περίπτωση 3 πλεονεκτεί σε μεγάλο βαθμό έναντι της περίπτωσης 2 κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η διαμόρφωση με τα “μπλοκ” μπετού έχει καλύτερη απόδοση από τα συμβατικά τούβλα. Αυτό συμβαίνει καθώς το μπετόν έχει χαρακτηριστικά τα οποία επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη αποθήκευση θερμότητας. Παράλληλα, με τη χρήση της κατασκευής 3, κατά τους θερινούς μήνες παρατηρούνται λίγο χαμηλότερες θερμοκρασίες (της τάξης 0.1-0.15 °C), γεγονός το οποίο αποδίδεται στην αποδοτικότερη μόνωση που επιφέρουν τα “μπλοκ” μπετού.

Για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης της κατασκευής, στην περίπτωση 4 αντικαταστάθηκαν οι στρώσεις “μπλοκ” μπετού με ενισχυμένο σκυρόδεμα. Με αυτή την αλλαγή φαίνεται πως η κατασκευή έχει καλύτερη απόδοση τους πιο ψυχρούς μήνες του έτους (Ιανουάριος – Δεκέμβριος), ενώ κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης χρονιάς οι αλλαγές είναι ανεπαίσθητες και οι θερμοκρασίες είναι παρόμοιες με την περίπτωση 3. Οι αυξημένες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα οφείλονται

στο γεγονός ότι το ενισχυμένο σκυρόδεμα είναι πιο “βαρύ” υλικό από τα “μπλοκ” μπετού με αποτέλεσμα να αποθηκεύει μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας, ενώ το καλοκαίρι οι θερμοκρασίες είναι παρόμοιες καθώς η μόνωση δεν επηρεάζεται αισθητά σε σχέση με την περίπτωση 3.

6.3.2.1. Ωριαίες Θερμοκρασίες 1^η Μαρτίου

Στην προσπάθεια να εξεταστεί όσο το δυνατόν πιο διεξοδικά η απόδοση της διάταξης του τοίχου Trombe, πραγματοποιείται ωριαία ανάλυση των θερμοκρασιών των θερμικών ζωνών για συγκεκριμένες “τυπικές” ημέρες του έτους. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται οι θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων του κτιρίου ανά μία ώρα κατά την 1^η Μαρτίου.



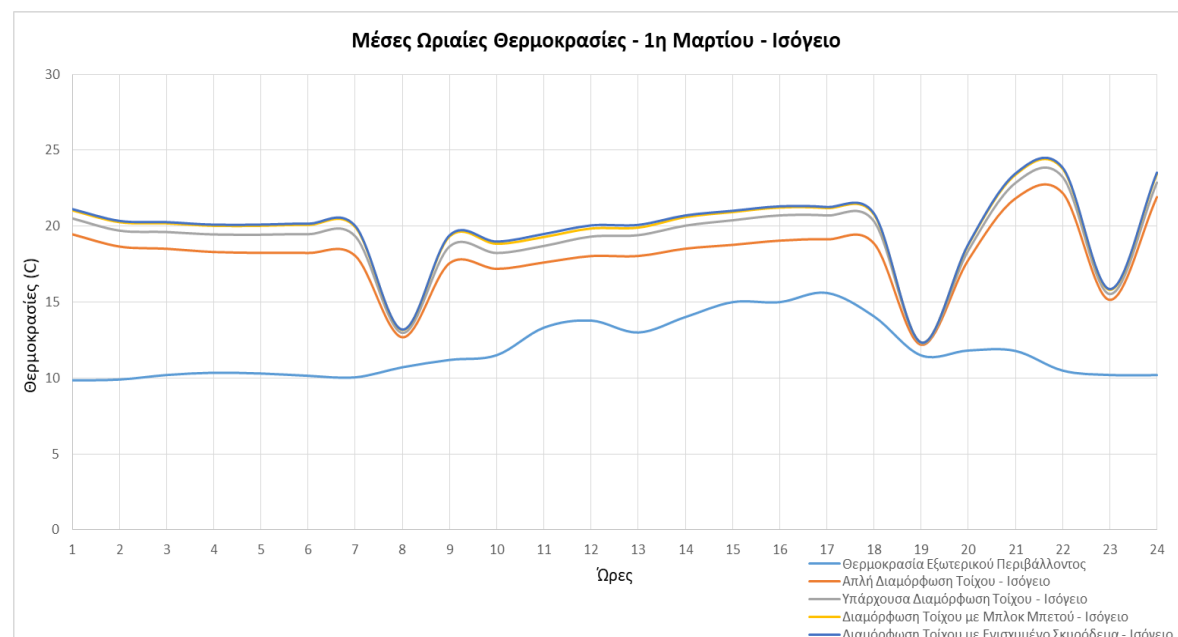
Διάγραμμα 6.15: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1^η Μαρτίου

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η ωριαία απόκριση της θερμοκρασίας του υπογείου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου για τις τέσσερις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Είναι εμφανές πως η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας βρίσκεται σε σταθερά επίπεδα, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας φαίνονται να υπάρχουν κάποιες εναλλαγές. Οι εναλλαγές αυτές εναρμονίζονται πλήρως με το πρόγραμμα αερισμού που εφαρμόζεται στο υπόγειο, το οποίο όπως έχει αναφερθεί αποτελεί εργασιακό χώρο. Παρατηρείται πως κατά τις ώρες εργασίας πραγματοποιείται δύο φορές αερισμός του χώρου και για αυτό φαίνεται σε δύο σημεία

η καμπύλη της θερμοκρασίας να έχει αρνητική κλίση, ενώ μετά το τέλος της εργασίας η θερμοκρασία ομαλοποιείται.

Όσον αφορά τις διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών περιπτώσεων κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας, παρατηρείται πως η απλή διαμόρφωση του τοίχου μειονεκτεί ξεκάθαρα έναντι των υπολοίπων, καθώς καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου η θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή. Παράλληλα, φαίνεται πως οι κατασκευές 3 και 4 (μπλοκ μπετού και ενισχυμένο σκυρόδεμα αντίστοιχα) αποφέρουν τις υψηλότερες θερμοκρασίες στους εσωτερικούς χώρους ενώ δείχνουν να έχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους. Την ίδια στιγμή η θερμοκρασία των χώρων χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα κατασκευή (περίπτωση 2), δείχνει να κινείται σε επίπεδα που διαφέρουν κατά 0.5°C από τις περιπτώσεις 3 και 4.

Σε γενικότερη βάση τα επίπεδα των θερμοκρασιών δείχνουν να είναι ικανοποιητικά καθώς κατά μέσο όρο κινούνται στο εύρος 18-19.5°C, ενώ παράλληλα η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων είναι αρκετά υψηλότερη από το εξωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 6.16: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας ισογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1^η Μαρτίου

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η ωριαία απόκριση της θερμοκρασίας του ισογείου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για τις τέσσερις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Είναι εμφανές πως η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων κατά τη διάρκεια της νύχτας βρίσκεται σε σταθερά επίπεδα, ενώ

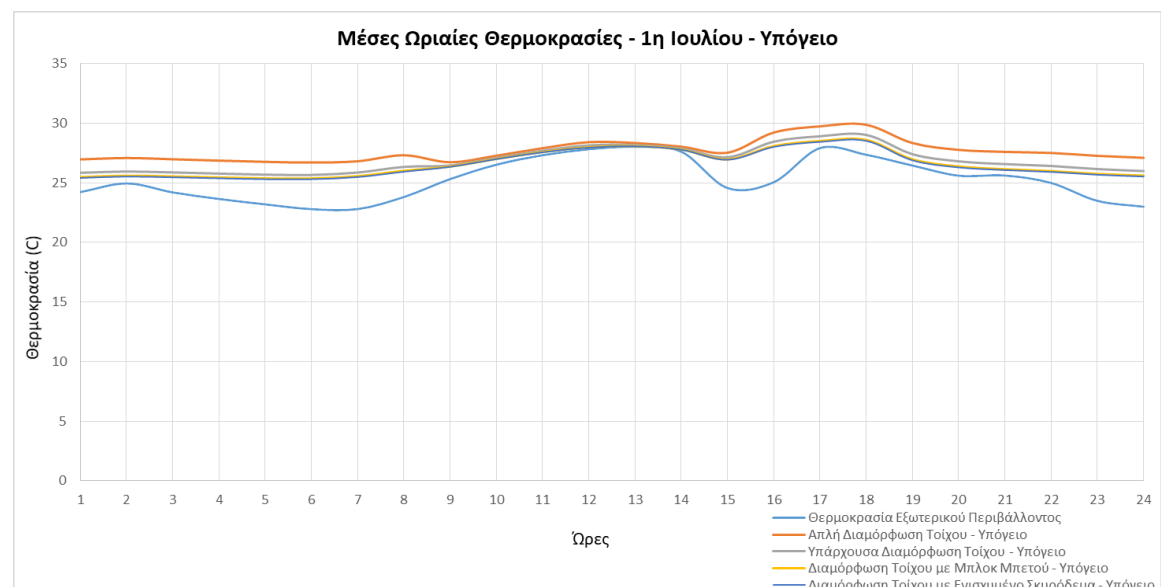
και κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν φαίνονται να υπάρχουν έντονες εναλλαγές θερμοκρασίας πέρα από τις απογευματινές ώρες. Το ισόγειο όπως έχει αναφερθεί αποτελεί κατοικία δύο εργαζόμενων ατόμων και επομένως ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται κυρίως τις απογευματινές ώρες όπου οι κάτοικοι έχουν επιστρέψει από την εργασία τους. Έτσι τις συγκεκριμένες ώρες η καμπύλη θερμοκρασίας φαίνεται να έχει τι πιο έντονες κλίσεις.

Όσον αφορά τις περιπτώσεις των κατασκευών, σε αυτό το γράφημα όπως και στο προηγούμενο είναι εμφανές πως οι περιπτώσεις 3 και 4 πλεονεκτούν ξεκάθαρα έναντι των υπολοίπων, ενώ η περίπτωση 1 αποφέρει την χαμηλότερη μέση ωριαία θερμοκρασία στους εσωτερικούς χώρους.

Σε γενικότερη βάση όπως και στην περίπτωση του υπογείου τα επίπεδα των θερμοκρασιών δείχνουν να είναι ικανοποιητικά καθώς κατά μέσο όρο κινούνται στο εύρος 19-21°C, ενώ παράλληλα η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων είναι αρκετά υψηλότερη από το εξωτερικό περιβάλλον

6.3.2.2. Ωριαίες Θερμοκρασίες 1^η Ιουλίου

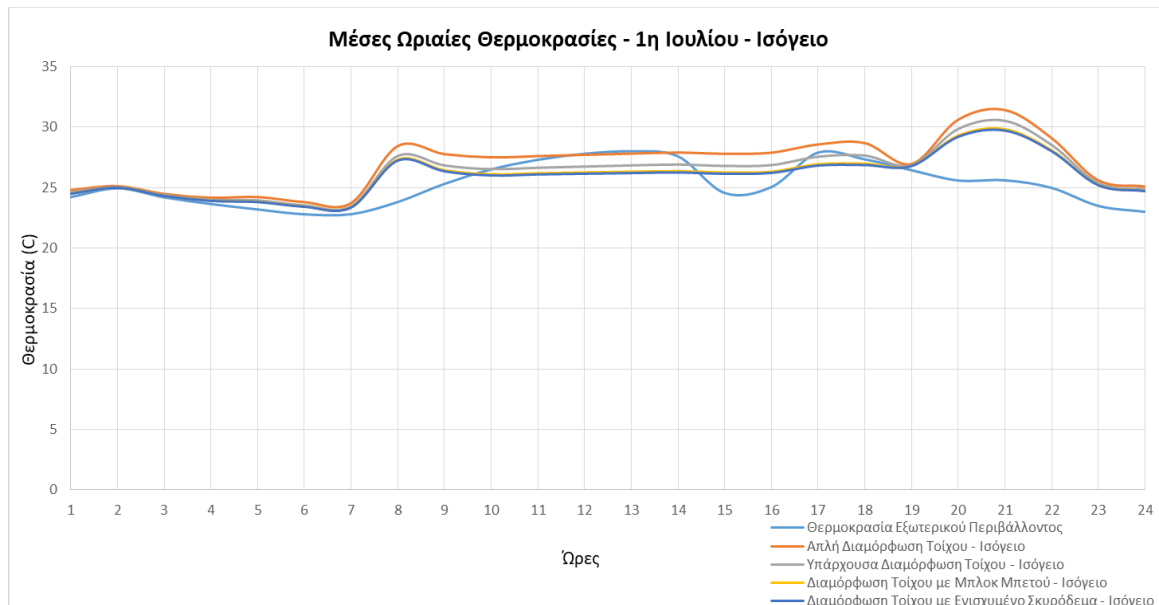
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες των δύο θερμικών ζωνών του κτιρίου κατά τη 1^η Ιουλίου που αποτελεί μια “τυπική” καλοκαιρινή ημέρα.



Διάγραμμα 6.17: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1^η Ιουλίου

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η ωριαία κατανομή της θερμοκρασίας του υπογείου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για τις τέσσερις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Είναι εμφανές πως η θερμοκρασία η θερμικής ζώνης κινείται σε σταθερά επίπεδα καθώς σε κανένα σημείο δεν παρατηρούνται έντονες κλίσεις στην καμπύλη. Στον χώρο πραγματοποιείται φυσικός αερισμός συγκεκριμένες ώρες τις ημέρας όπου η θερμοκρασία φαίνεται να βρίσκεται σε πιο χαμηλά επίπεδα, αλλά οι εναλλαγές δεν είναι έντονες καθώς η διαφορά θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων με το περιβάλλον είναι πολύ μικρή (της τάξης του 0.8°C κατά μέσο όρο).

Αναφορικά με τις διαφορετικές περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας, είναι εμφανές πως η απλή διαμόρφωση του τοίχου (περίπτωση 1) μειονεκτεί ξεκάθαρα έναντι των υπολοίπων καθώς παρατηρούνται αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες. Παράλληλα, οι περιπτώσεις 3 και 4 επιφέρουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες εσωτερικών χώρων λόγω της αισθητά καλύτερης μόνωσής τους, ενώ η περίπτωση 2 κινείται στα ίδια επίπεδα με αυτές διαφέροντας μόνο κατά 0.2°C κατά μέσο όρο.



Διάγραμμα 6.18: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας ισόγειο για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1^η Ιουλίου

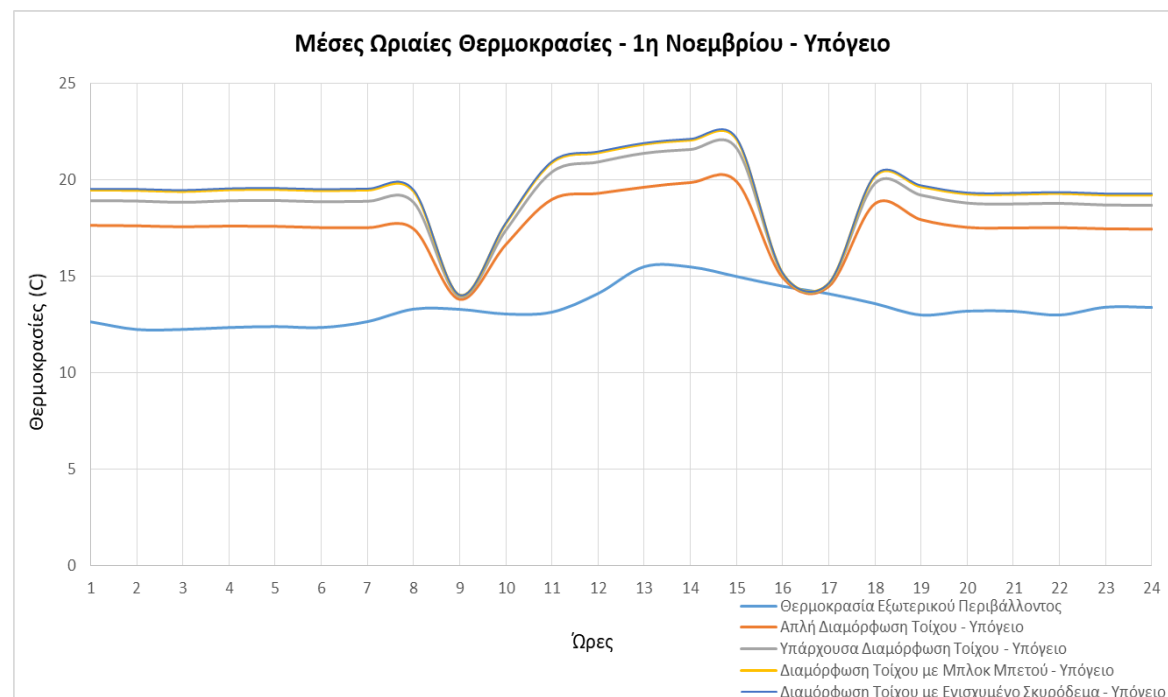
Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η ωριαία απόκριση της θερμοκρασίας του ισόγειο κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για τις τέσσερις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Εύκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό πως οι

θερμοκρασία της θερμικής ζώνης κατά τις βραδινές ώρες είναι αρκετά χαμηλή και αγγίζει τα επίπεδα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αυτό συμβαίνει καθώς οι κάτοικοι προτιμούν τον φυσικό αερισμό κατά τις βραδινές ώρες. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας η θερμοκρασία δείχνει να σταθεροποιείται σε υψηλότερα επίπεδα από το βράδυ καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και δεν υπάρχει συχνός φυσικός αερισμός.

Όσον αφορά τις εναλλακτικές περιπτώσεις κατασκευής των τοίχου θερμικής μάζας είναι φανερό πως η κατασκευή με την πιο ελλιπή μόνωση (περίπτωση 1) παρουσιάζει τις υψηλότερες θερμοκρασίες κατά την καλοκαιρινή μέρα που εξετάζεται. Οι υπόλοιπες περιπτώσεις κατασκευών έχουν αρκετά καλύτερη παρουσία, λόγω της καλής μόνωσης, ενώ μάλιστα για τέσσερις ώρες της ημέρας η θερμοκρασία του ισογείου φτάνει σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά του εξωτερικού περιβάλλοντος.

6.3.2.3. Ωριαίες Θερμοκρασίες 1^η Νοεμβρίου

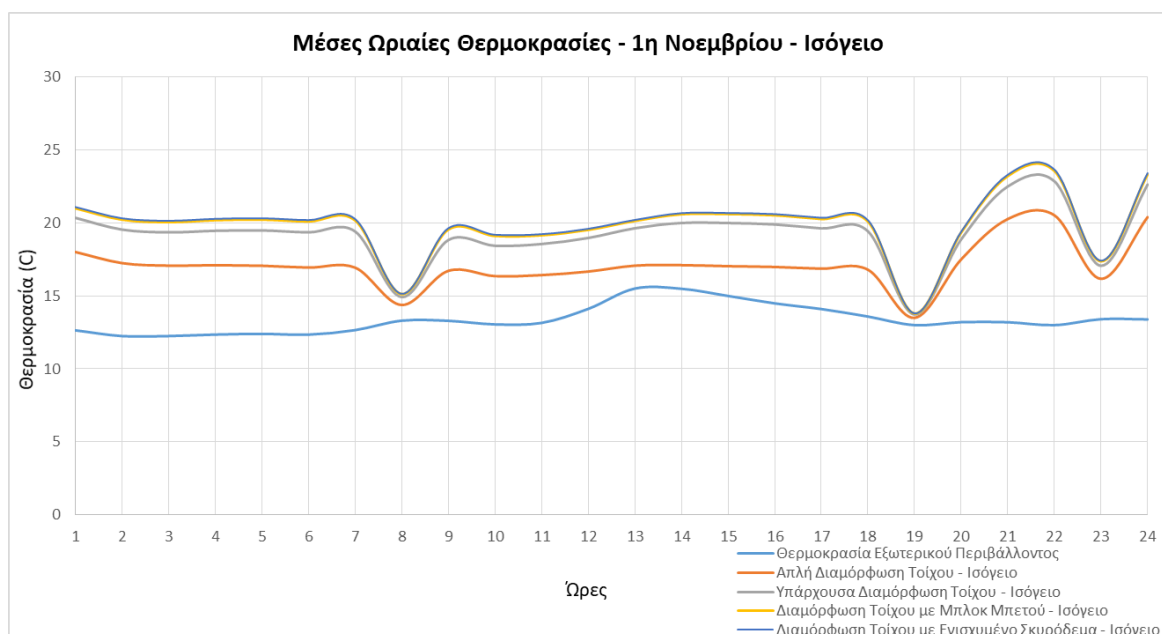
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται οι μέσες ωριαίες θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών του κτιρίου κατά την 1^η Νοεμβρίου που θεωρείται μια τυπική ημέρα ενός “ψυχρού” μήνα του έτους.



Διάγραμμα 6.19: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1^η Νοεμβρίου

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας του υπογείου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για την κάθε μία από τις τέσσερις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Όπως παρατηρείται οι θερμοκρασίες τις βραδινές ώρες βρίσκονται σε σταθερά και υψηλά επίπεδα σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Με βάση τις ώρες που πραγματοποιείται ο φυσικός αερισμός του υπογείου (δηλαδή συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα κατά το ωράριο εργασίας) δικαιολογούνται οι πτώσεις της καμπύλης θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα σημεία του διαγράμματος.

Αναφορικά με τις εναλλακτικές περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας, είναι ξεκάθαρο πως η περίπτωση 1 μειονεκτεί έναντι των υπολοίπων, ενώ οι περιπτώσεις 3 και 4 έχουν την καλύτερη παρουσία με τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, χωρίς να γίνονται αντιληπτές οι διαφορές μεταξύ τους. Η περίπτωση 2 αποδίδει σταθερά υψηλές και ικανοποιητικές θερμοκρασίες και διαφέρει κατά μέσο όρο 0.3°C από τις άλλες δύο διαμορφώσεις τοίχου.



Διάγραμμα 6.20: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας ισόγειου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1^η Νοεμβρίου

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η ωριαία απόκριση της θερμοκρασίας του ισόγειου κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου για τις τέσσερις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας. Η θερμοκρασία δείχνει να σταθεροποιείται τις βραδινές ώρες όπως και τις ώρες που λείπουν οι κάτοικοι του σπιτιού και δεν υπάρχει

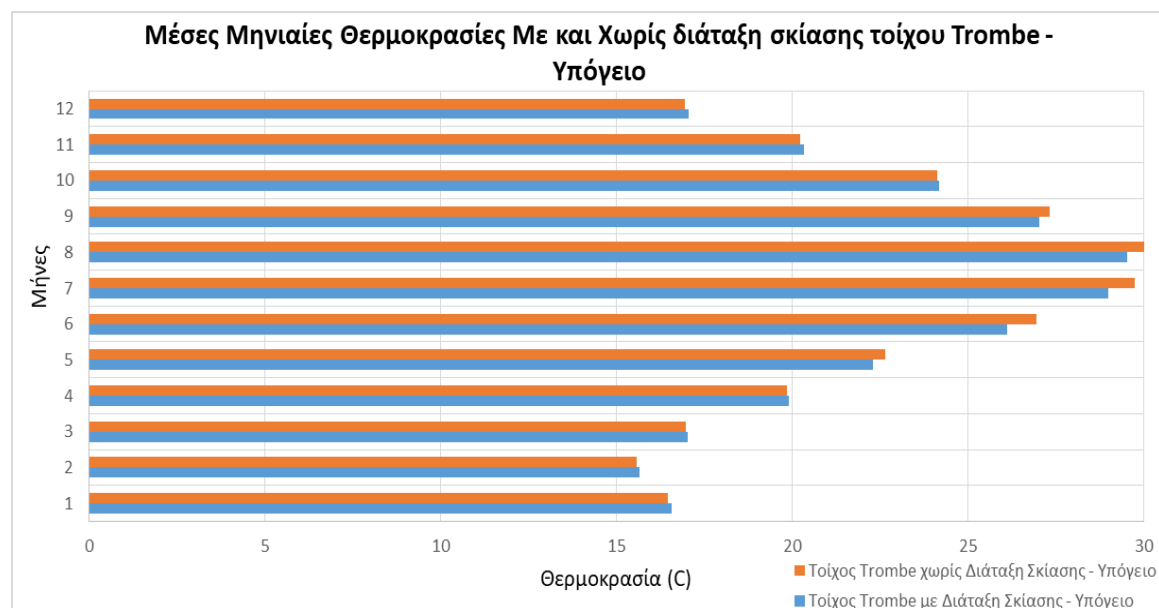
αερισμός. Τις υπόλοιπες ώρες παρατηρούνται συγκεκριμένες ανωμαλίες της καμπύλης οι οποίες οφείλονται κατά κύριο λόγο στον φυσικό αερισμό που πραγματοποιείται στην κατοικία.

Παρατηρώντας τις διαφορετικές αποκρίσεις των θερμοκρασιών γίνεται εύκολα αντιληπτό και σε αυτή την περίπτωση πως η κατασκευή 1 επιφέρει την χαμηλότερη μέση ωριαία θερμοκρασία σε σχέση με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις. Επιπλέον, η κατασκευή 2 αποφέρει υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασιών στη θερμική ζώνη σε σχέση με την κατασκευή 1, αλλά βρίσκεται κατά μέσο όρο 0.3°C κάτω από τις καμπύλες 3 και 4 οι οποίες σχεδόν συμπίπτουν μεταξύ τους.

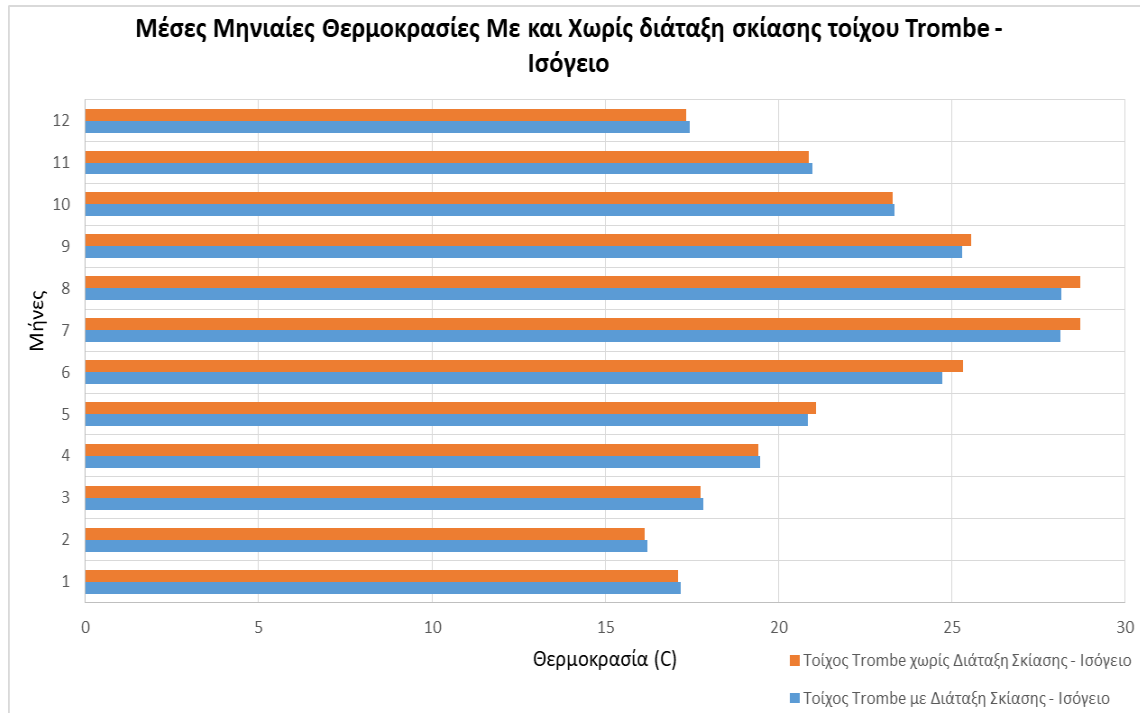
Αναφορικά με τα θερμοκρασιακά επίπεδα σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον, είναι εμφανές πως τις βραδινές ώρες οι διαφορές φτάνουν στο επίπεδο των 9°C , ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά τις ώρες που δεν πραγματοποιείται φυσικός αερισμός οι διαφορές είναι τις τάξεις των 6°C (για την περίπτωση 4).

6.3.3. Επίδραση διάταξης σκίασης τοίχου Trombe

Με σκοπό να εξετασθεί η αναγκαιότητα χρήσης των συσκευών σκίασης στην διάταξη του τοίχου Trombe πραγματοποιήθηκε δοκιμή λειτουργίας του παθητικού ηλιακού συστήματος χωρίς τη χρήση περσίδων. Παρακάτω παρατίθεται τα διαγράμματα των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών των εσωτερικών χώρων του κτιρίου με τη χρήση των συσκευών σκίασης, αλλά και χωρίς αυτές.



Διάγραμμα 6.21: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με και χωρίς τη διάταξη σκίασης του τοίχου Trombe



Διάγραμμα 6.22: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισόγειου με και χωρίς τη διάταξη σκίασης του τοίχου Trombe

Είναι εμφανές πως η απουσία της συγκεκριμένης διάταξης επηρεάζει σε πολύ σημαντικό βαθμό τη θερμοκρασία των θερμικών ζωνών του κτιρίου κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Κατά την περίοδο αυτή, η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων φαίνεται να αυξάνεται κατά 1-1.3°C (Ιούλιος – Αύγουστος) και αυτό εξηγείται από το γεγονός πως η συσκευή σκίασης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού λειτουργεί τις ώρες που υπάρχει έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Επομένως η απουσία της γίνεται έντονα αισθητή. Παράλληλα, η διάταξη χρησιμοποιώντας διαφορετικό χρονοδιάγραμμα για τους χειμερινούς μήνες συμβάλει στην αύξηση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών.

Κεφάλαιο 7

7. Συμπεράσματα και Προτάσεις για μελλοντική μελέτη

Στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, έγινε σχεδιασμός και προσομοίωση ενός υπάρχοντος κτιρίου με τη χρήση των λογισμικών Sketch Up, Open Studio και Energy Plus. Αρχικά παρουσιάστηκαν οι θερμοκρασίες οι οποίες προέκυψαν στις θερμικές ζώνες του ισογείου και του υπογείου χωρίς να γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση στο κτιριακό κέλυφος, ενώ στη συνέχεια αναλύθηκαν συγκεκριμένα σενάρια με σκοπό να εξεταστεί η δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Γνωρίζοντας πως το κτίριο που μελετάται είναι κατασκευασμένο στα πρότυπα των παθητικών κτιρίων μπορεί να ειπωθεί πως οι θερμοκρασίες που προκύπτουν τους περισσότερους μήνες του έτους και χωρίς τη χρήση συστημάτων ψύξης και θέρμανσης είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές καθώς βρίσκονται εντός των ορίων θερμικής άνεσης. Παράλληλα, το σύστημα αερισμού με ανάκτηση θερμότητας φαίνεται πως είναι αρκετά αποδοτικό καθώς μετά την απενεργοποίησή του οι θερμοκρασίες μεταβλήθηκαν ανεπαίσθητα. Αυτό υποδηλώνει πως το σύστημα κατά τη λειτουργία του δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία των θερμικών ζωνών, γεγονός το οποίο είναι απολύτως επιθυμητό.

Μελετώντας τις θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, που προέκυψαν μετά τη δοκιμή των εναλλακτικών περιπτώσεων παραθύρων είναι εύκολο να συμπεράνει κάποιος πως οι υπάρχουσες διαμορφώσεις παραθύρων έχουν καλύτερη απόδοση, σε σχέση με τις εναλλακτικές. Πιο συγκεκριμένα, τα παράθυρα με κουφώματα αλουμινίου δείχνουν να έχουν παρόμοια απόδοση με τα υπάρχοντα παράθυρα τους χειμερινούς μήνες, αλλά χειρότερη απόδοση κατά τους θερινούς. Παράλληλα, τα κουφώματα PVC παρουσιάζουν μια σταθερή απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η οποία είναι χαμηλότερη από τις υπάρχουσες διαμορφώσεις.

Αναφορικά με τις εναλλακτικές μονώσεις των τοίχων που αναλύθηκαν, τα συμπεράσματα είναι παρόμοια. Το στρώμα μόνωσης που προστέθηκε στους τοίχους (διαφορετικό υλικό για κάθε σενάριο) προκάλεσε πολύ μικρές μεταβολές στις θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων. Πιο συγκεκριμένα, οι τοίχοι με μονωτικό υλικό PVC φαίνεται πως επιφέρουν τους χειμερινούς μήνες τις υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την σανίδα μόνωσης HF-B5. Οι αρχικοί τοίχοι δείχνουν να βρίσκονται σε λίγο χαμηλότερες θερμοκρασίες το χειμώνα, αλλά το καλοκαίρι μονώνουν πιο αποδοτικά

το κτίριο σε σχέση με τα άλλα δυο σενάρια. Επομένως, μειονεκτούν ελάχιστα για τέσσερις μήνες ανά έτος, αλλά συνολικά φαίνεται πως έχουν την καλύτερη παρουσία.

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα που αφορούν τα εναλλακτικά σενάρια μονώσεων και τα εναλλακτικά σενάρια παραθύρων οδηγούν στο συμπέρασμα πως το εξεταζόμενο κτίριο είναι κατασκευασμένο από ένα πολύ καλά μονωμένο κέλυφος. Κατά τους χειμερινούς μήνες πραγματοποιείται αποθήκευση της απαραίτητης θερμικής ενέργειας στους τοίχους θερμικής μάζας του κτιρίου η οποία αποδίδεται στους εσωτερικούς χώρους, ενώ κατά τους θερινούς μήνες φαίνεται πως τα υλικά του κτιρίου διατηρούν τις θερμικές ζώνες σε επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασιών.

Στη συνέχεια της μελέτης εξετάστηκε η περίπτωση χρήσης της διάταξης τοίχου Trombe. Με την εισαγωγή του συγκεκριμένου παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης φαίνεται πως υπάρχει βελτίωση καθώς οι θερμοκρασίες σε ισόγειο και υπόγειο αυξάνονται κατά μέσον όρο 1.3°C τους χειμερινούς μήνες, ενώ μειώνονται ελάχιστα κατά τους μήνες του καλοκαιριού. Είναι προφανές πως η διάταξη του τοίχου Trombe αποτελεί μια ενεργειακά συμφέρουσα λύση, χωρίς να αναλύεται όμως στην παρούσα εργασία η οικονομική πτυχή του ζητήματος.

Όσον αφορά τις εναλλακτικές περιπτώσεις υαλοστασίου που αναλύθηκαν για το σύστημα, μπορεί να ειπωθεί πως η διάταξη με το τριπλό τζάμι, όπως και αυτή με το διπλό τζάμι (με αέριο Αργόν) είχαν την καλύτερη παρουσία έναντι των υπολοίπων. Επιπλέον, σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις περιπτώσεις κατασκευής του τοίχου θερμικής μάζας, είναι ξεκάθαρο πως η περίπτωση 1 αποτελεί την λιγότερο αποδοτική από όλες. Η κατασκευή της περίπτωσης 2 είναι αρκετά αποδοτική, αλλά μειονεκτεί έναντι των περιπτώσεων 3 και 4 οι οποίες έχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους.

Τέλος, εξετάστηκε το σενάριο λειτουργίας του τοίχου Trombe χωρίς την παρουσία συσκευής σκίασης και παρατηρήθηκε πως οι θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών αυξήθηκαν αρκετά κυρίως κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Επομένως, είναι προφανές πως υπάρχει σοβαρή αναγκαιότητα σκίασης του υαλοστασίου.

Συνοψίζοντας, κρίνοντας από τις θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών γίνεται κατανοητό πως πρόκειται για ένα κτιριακό κέλυφος το οποίο έχει πολύ καλή ενεργειακή του απόδοση. Οι εσωτερικοί χώροι βρίσκονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και κατ' επέκταση απαιτείται ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση. Έτσι, το πρότυπο του παθητικού κτιρίου δείχνει να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό, αξιόπιστο και αναμφίβολα φιλικό προς το περιβάλλον.

Κάποιες μελλοντικές μελέτες που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με βάση την παρούσα διπλωματική εργασία είναι:

- Μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης – οικονομική μελέτη με και χωρίς τη χρήση της διάταξης τοίχου Trombe.
- Μελέτη χρήσης υλικών αλλαγής φάσης στον τοίχο θερμικής μάζας του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης.
- Ενεργειακή μελέτη η οποία θα εξετάζει την κάλυψη όλων των οικιακών αναγκών από ηλιακά πάνελ και παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.

Βιβλιογραφία

- Αργυρίου Α., Καραγιάννης Κ., Μπαλαράς Κ. *Συμβατικές και Ήπιες Μορφές Ενέργειας*, .
Αθήνα: εκδ. Τεκδοτική-Τσέλκα-4Μ, 2006.
- Β., Στασινόπουλος. *Μέτρα του Ελληνικού κράτους για περιορισμό και πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος από συμβατικές πηγές ενέργειας. Μια κατάταξη κατά προτεραιότητα της εφαρμογής των μέτρων αυτών*. Πειραιάς: Τμήμα Οργάνωσης & Διοίκησης επιχειρήσεων, 2005.
- Βουρνάς Κ., Παπαδιάς Κ., Ντελκής Κ. *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας*. Αθήνα: εκδ. Συμμετρία, 1991.
- Γεωργίου Χ., Γιανναράς, Κούτσικος Η., Τσίμας Σ. *Βιομηχανική Παραγωγή και Ενέργεια*.
Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, 1997.
- Γιαννακοπούλου, 1. Α. *Τομέας Εθνικού Ενδιαφέροντος, ΚΕΙΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΓΕΤ στο πλαίσιο της διαμόρφωσης στρατηγικής 2014-2020*,. 2013.
- Γιαννιτσιάδης, Ιωάννης. *Ενέργεια και Περιβάλλον στην Ευρωπαϊκή Ένωση*. 2017.
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ), Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ), Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΟΕΕ). n.d.
<www.energycon.org>.
- Ελένη, Ανδρεαδάκη. *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Περιβάλλον και Βιωσιμότητα*.
- Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικών Κτιρίων (ΕΙΠΑΚ). <<http://www.eipak.org/pathitiko-ktirio-passive-house>>.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ). < <http://www.statistics.gr/>>.
- Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. *Ενεργειακή πολιτική για την Ευρώπη*. Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. *Η Ευρωπαϊκή Ένωση με απλά λόγια: Ενέργεια*. Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2015.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. *Η Ευρωπαϊκή Ένωση με απλά λόγια: Περιβάλλον*. Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2015.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. *Δέσμη μέτρων για την ενεργειακή ένωση: Στρατηγική πλαίσιο για μια ανθεκτική Ενεργειακή Ένωση με μακρόπνοη πολιτική για την κλιματική αλλαγή*. Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. *Η Ευρωπαϊκή Ένωση με απλά λόγια: Δράση για το κλίμα*. Λουξεμβούργο: Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2015.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. *Προκλήσεις και πολιτική στον τομέα της ενέργειας: Εισήγηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο της 22ας Μαΐου 2013*. Βρυξέλλες: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2013.
- Ζερβός, Α. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.

- Κακαράς, Ε. & Καρέλλας Σ. *Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών*. Αθήνα: Εκδόσεις Τσότηρας, 2013.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός*. <www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm#>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα*. <http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα*. <www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata.htm>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Αμέσου Κέρδους*. <www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_ameso_kerdos.htm#>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Έμμεσου Κέρδους*. <www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_ilia_koi_toixoi.htm>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού*. <http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos.htm>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού*. <www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_fotismos.htm>.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Ψύξη μέσω Εδάφους*. <www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_psixi_edafous.htm>.
- Κολλάρος Ραφαήλ. *Υπολογιστική Μελέτη Εγκατάστασης Κλιματισμού και Μόνωσης Σουπερμάρκετ με Χρήση του προγράμματος EnergyPlus, 2018*.
- Ν. Ανδρίτσος. *Ενέργεια και Περιβάλλον: Διδακτικές σημειώσεις*. Βόλος: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2008.3
- Παλλαντζάς Δημήτριος. *Ενεργειακή Ανάλυση Παθητικών Συστημάτων σε Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με χρήση των λογισμικών PHPP και DesignPH, 2019*.
- Π., Κοσμόπουλος. *Κτίρια, ενέργεια και περιβάλλον*. 2008.
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. <www.rae.gr>.
- Σιόντη Βασιλική. *Επίδραση των Υλικών Αλλαγής Φάσης στην Ενεργειακή Απόδοση των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων, 2018*.
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. <www.tee.gr>.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. <<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=546&language=el-GR>>.

- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής. «5η Έκθεση για το επίπεδο Διείσδυσης της Ανανεώσιμης Ενέργειας το έτος 2010.» 2009.
<<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=ysYxrE3Ia94%3D&tabid=285>>.
- Χρήστος, Τζιβανίδης. *Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2017.
- LANDCO ltd. BIOCLIMATIC ARCHITECTURE in association with Landscaping.
<landco.gr/en/services-2/environmental-applications/24-services/perivallontikes-efarmoges/95-bioclimate-architecture-in-association-with-landscaping>.
- ASHRAE. *Thermal Comfort chapter, Fundamentals volume of the ASHRAE Handbook*. Atlanta, 2005.
- Big Ladder Software. *EnergyPlus Web-Based Documentation*.
<<https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-2/getting-started/what-is-energyplus.html>>.
- British Petroleum (BP). *BP Statistical Review of World Energy*.
<<http://www.bp.com/en/global/corporate/energyeconomics/statistical-review-of-world-energy.html>>.
- BUILD UP Skills-Greece & Ομάδες συνεργατών από την κοινοπραξία των εταίρων του έργου BUS-GR. *Ανάλυση της Υφιστάμενης Κατάστασης σε Εθνικό Επίπεδο*. Φεβρουάριος 2013.
- Ε.Γ. Δασκαλάκη, Κ. Δρούτσα, Κ.Α. Μπαλαράς, Σ. Κοντογιαννίδης - Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης. *Τυπολογία Ελληνικών Κτιρίων Κατοικίας - Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2016.
- Enerdata, ADEME &. *Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU - Lessons from the ODYSSEE MURE project*. <<http://www.odyssee-indicators.org/publications/PDF/Buildingsbrochure-2012.pdf>>.
- Energy Plus. *Engineering Reference*.
<https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/EngineeringReference.pdf>.
- Energy Plus. *Input Output Reference*.
<https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs/pdfs_v8.3.0/InputOutputReference.pdf>.
- EnergyPlus. *EnergyPlus*. <<https://energyplus.net/>>.
- European Commission. *Sustainable buildings*. 2015.
- Integrated Environment Solutions. <https://help.iesve.com/ve2018/table_6_thermal_conductivity__specific_heat_capacity_and_density.htm?ms=IQAAEAI%3D&st=MA%3D%3D&sct=NTUw&mw=MjQw>
- International Renewable Energy Agency. <<https://www.irena.org/>>.
- KTIRIO.gr. *Τοίχος Trombe*. <<http://www.ktirio.gr/εφαρμογες/θερμανση/τοιχος-trombe>>.
- Open Studio. *Open Studio*. <<https://www.openstudio.net/>>.

Renewable 2010 Global Status Report, REN21.

<<http://www.ren21.net/REN21Activities/Publications/GlobalStatusReport/tabid/5434/Default.aspx>>.

SketchUp. *3D Design Software / 3D Modeling on the Web*. <<https://www.sketchup.com>>.

Wikipedia. *Passive Solar Building Design*.

<en.wikipedia.org/wiki/Passive_solar_building_design>.

Περιεχόμενα Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1.1: Πηγές Πρωτογενούς ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο..... | 4 |
| Εικόνα 1.2: Πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ ατμόσφαιρας-γης..... | 6 |
| Εικόνα 1.3: Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά κλάδο στις 28 χώρες της ΕΕ..... | 8 |
| Εικόνα 1.4: Παγκόσμια παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά πηγή..... | 9 |
| Εικόνα 1.5: Παγκόσμια εγκατεστημένη Ισχύς ανά έτος..... | 10 |
| Εικόνα 1.6: Εκτίμηση διείσδυσης ΑΠΕ σύμφωνα με τους στόχους του Εθνικού Σχεδίου Δράσης 20-20-20..... | 11 |
| Εικόνα 2.1: Ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα..... | 13 |
| Εικόνα 2.2: Κατανομή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα 1990..... | 14 |
| Εικόνα 2.3: Κατανομή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα 2013..... | 14 |
| Εικόνα 2.4: Κατανομή κατοικιών κατά περίοδο κατασκευής..... | 15 |
| Εικόνα 2.5: Κατανομή κατανάλωσης θερμικής ενέργειας κατά τύπο καυσίμου..... | 16 |
| Εικόνα 2.6: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τελική χρήση..... | 16 |
| Εικόνα 2.7: Μέση ετήσια συνολική τελική (πραγματική) κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας κτιρίου (kWh/m ²) για διάφορες τελικές χρήσεις Ελληνικών κτιρίων του οικιακού και τριτογενή τομέα..... | 17 |
| Εικόνα 3.1: Πρότυπο Παθητικού Κτιρίου..... | 21 |
| Εικόνα 3.2: Οι βασικές αρχές ενός Παθητικού Κτιρίου..... | 23 |
| Εικόνα 3.3: Παθητικό ηλιακό σύστημα άμεσου κέρδους..... | 25 |
| Εικόνα 3.4: Παθητικό ηλιακό σύστημα έμμεσου κέρδους (Ηλιακός χώρος)..... | 26 |
| Εικόνα 3.5: Παθητικό ηλιακό σύστημα απομονωμένου κέρδους (Θερμοσιφωνικό πάνελ)..... | 27 |
| Εικόνα 3.6: Φυσικός αερισμός κτιρίου..... | 29 |
| Εικόνα 3.7: Υπεδάφιο Σύστημα Αγωγών (Εναλλάκτης εδάφους – αέρα)..... | 30 |
| Εικόνα 3.8: Διαφορετικοί τύποι προβόλων..... | 32 |
| Εικόνα 3.9: Σύστημα αερισμού με ανάκτηση ενέργειας..... | 34 |
| Εικόνα 4.1: Διάταξη τοίχου Trombe-Michel..... | 38 |
| Εικόνα 4.2: Λειτουργία τοίχου θερμικής μάζας..... | 40 |
| Εικόνα 4.3: Λειτουργία Θυρίδων Εξαερισμού..... | 42 |
| Εικόνα 5.1: Προγραμματιστικό Περιβάλλον SketchUp..... | 48 |
| Εικόνα 5.2: Εισαγωγή Θερμικής Ζώνης Υπογείου..... | 49 |
| Εικόνα 5.3: Ενεργοποίηση της Θερμικής Ζώνης Υπογείου..... | 50 |
| Εικόνα 5.4: Σχεδιασμός Ορίων Υπογείου..... | 50 |
| Εικόνα 5.5 Ολοκληρωμένο Κτιριακού Κελύφους Υπογείου..... | 51 |
| Εικόνα 5.6: Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Υπογείου..... | 52 |
| Εικόνα 5.7: Καθορισμός Χαρακτηριστικών – Set Attributes..... | 53 |
| Εικόνα 5.8: Open Studio Inspector..... | 54 |
| Εικόνα 5.9: Αποθήκευση αρχείου .osm..... | 55 |
| Εικόνα 5.10: Εισαγωγή Θερμικής Ζώνης Ισογείου..... | 55 |
| Εικόνα 5.11: Σχεδιασμός Ορίων Ισογείου..... | 56 |
| Εικόνα 5.12: Ολοκληρωμένο Κτιριακό Κέλυφος Ισογείου..... | 56 |
| Εικόνα 5.13: Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Ισογείου..... | 57 |
| Εικόνα 5.14: Τελική Μορφή Κτιρίου (1)..... | 59 |
| Εικόνα 5.15: Τελική Μορφή Κτιρίου (2)..... | 59 |
| Εικόνα 5.16: Τελική Μορφή Κτιρίου (3)..... | 59 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 5.17: Περιβάλλον EP-Launch | 60 |
| Εικόνα 5.18: Περιβάλλον IDF Editor | 61 |
| Εικόνα 5.19: Κλάση Version | 62 |
| Εικόνα 5.20: Κλάση Simulation Control | 63 |
| Εικόνα 5.21: Προσανατολισμός του κτιρίου (Πραγματικός Βοράς – Βοράς στο SketchUp) | 64 |
| Εικόνα 5.22: Κλάση Building..... | 65 |
| Εικόνα 5.23: Κλάση Shadow Calculation..... | 66 |
| Εικόνα 5.24: Κλάση Surface Convection Algorithm: Inside | 67 |
| Εικόνα 5.25: Κλάση Surface Convection Algorithm: Outside | 69 |
| Εικόνα 5.26 Κλάση Heat Balance Algorithm | 69 |
| Εικόνα 5.27: Κλάση Timestep | 70 |
| Εικόνα 5.28: Κλάση Site: Location..... | 71 |
| Εικόνα 5.29: Κλάση Run Period..... | 72 |
| Εικόνα 5.30: Κλάση Site: Ground Temperature: Building Surface | 73 |
| Εικόνα 5.31: Κλάση Schedule TypeLimits..... | 74 |
| Εικόνα 5.32: Θερμικό κέρδος βασιζόμενο στη δραστηριότητα..... | 77 |
| Εικόνα 5.33: Κλάση Schedule: Compact (1) | 78 |
| Εικόνα 5.34: Τυπικές τιμές μόνωσης ρούχων..... | 79 |
| Εικόνα 5.35: Κλάση Schedule: Compact (2) | 81 |
| Εικόνα 5.36: Κλάση Schedule: Compact (3) | 84 |
| Εικόνα 5.37: Κλάση Materials (1)..... | 88 |
| Εικόνα 5.38: Κλάση Materials (2)..... | 88 |
| Εικόνα 5.39: Κλάση WindowMaterials: SimpleGlazingSystem | 89 |
| Εικόνα 5.40: Κλάση Construction (1) | 92 |
| Εικόνα 5.41: Κλάση Construction (2) | 93 |
| Εικόνα 5.42: Κλάση Global Geometry Rules | 94 |
| Εικόνα 5.43: Κλάση Zone..... | 95 |
| Εικόνα 5.44: Κλάση Building Surface: Detailed (1) | 98 |
| Εικόνα 5.45: Κλάση Building Surface: Detailed (2) | 98 |
| Εικόνα 5.46: Κλάση Building Surface: Detailed (3) | 99 |
| Εικόνα 5.47: Κλάση Building Surface: Detailed (4) | 99 |
| Εικόνα 5.48: Κλάση Fenestration Surface: Detailed..... | 101 |
| Εικόνα 5.49: Κλάση Shading: Building: Detailed..... | 102 |
| Εικόνα 5.50: Κλάση People | 104 |
| Εικόνα 5.51: Κλάση Lights | 106 |
| Εικόνα 5.52: Κλάση Electric Equipment..... | 107 |
| Εικόνα 5.53: Αποτύπωμα κτιρίου στο οποίο φαίνονται οι βασικές μεταβλητές που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τους υπολογισμούς με τη γωνία α να συμβολίζει το αζιμούθιο..... | 109 |
| Εικόνα 5.54: Κλάση Airflow Network: Simulation Control | 111 |
| Εικόνα 5.55: Κλάση Airflow Network: MultiZone: Zone | 113 |
| Εικόνα 5.56: Κλάση Airflow Network: MultiZone: Surface | 116 |
| Εικόνα 5.57: Κλάση AirflowNetwork: MultiZone: Component: SimpleOpening | 117 |
| Εικόνα 5.58: Σχηματική απεικόνιση σύνθετου συστήματος EnergyRecoveryVentilator | 119 |
| Εικόνα 5.59: Κλάση ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator | 122 |
| Εικόνα 5.60: Κλάση ZoneHVAC: EnergyRecoveryVentilator: Controller..... | 124 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 5.61: Κλάση ZoneHVAC: EquipmentList | 125 |
| Εικόνα 5.62: Κλάση ZoneHVAC: EquipmentConnections | 127 |
| Εικόνα 5.63: Κλάση Fan: OnOff | 130 |
| Εικόνα 5.64: Σχηματική απεικόνιση παράκαμψης εναλλάκτη θερμότητας | 142 |
| Εικόνα 5.65: Κλάση HeatExchanger: AirToAir: SensibleAndLatent | 148 |
| Εικόνα 5.66: Κλάση NodeList | 149 |
| Εικόνα 5.67: Κλάση OutdoorAir: NodeList..... | 149 |
| Εικόνα 5.68: Κλάση Output: VariableDictionary | 150 |
| Εικόνα 5.69: Κλάση Output: Variable | 151 |
| Εικόνα 5.70: Κλάση Output: SQLite | 151 |
| Εικόνα 5.71: Διαγραφή σχετιζόμενων κλάσεων με το HRV | 152 |
| Εικόνα 5.72: Εισαγωγή υλικού μόνωσης PVC στην κλάση Materials | 153 |
| Εικόνα 5.73: Εισαγωγή στρώσης μόνωσης PVC στις κατασκευές των τοίχων - κλάση Materials..... | 153 |
| Εικόνα 5.74: Εισαγωγή σανίδας μόνωσης HF-B5 στην κλάση Materials | 154 |
| Εικόνα 5.75: Εισαγωγή σανίδας μόνωσης HF-B5 στις κατασκευές των τοίχων - κλάση Materials..... | 154 |
| Εικόνα 5.76: Εισαγωγή χαρακτηριστικών παραθύρου με κουφώματα PVC στην κλάση WindowMaterial: SimpleGlazingSystem | 155 |
| Εικόνα 5.77: Εισαγωγή χαρακτηριστικών παραθύρου με κουφώματα Αλουμινίου στην κλάση WindowMaterial: SimpleGlazingSystem | 156 |
| Εικόνα 5.78: Προσδιορισμός ορίων των θυρίδων εξαερισμο | 158 |
| Εικόνα 5.79: Σχεδιασμός θυρίδων εξαερισμού | 158 |
| Εικόνα 5.80: Εισαγωγή θερμικής ζώνης | 159 |
| Εικόνα 5.81: Κάτοψη βάσης τοίχου Trombe | 159 |
| Εικόνα 5.82: Σχεδιασμός κελύφους τοίχου Trombe | 160 |
| Εικόνα 5.83: Σχεδιασμός θυρίδων αερισμού βόρειου τοίχου της διάταξης Trombe Wall | 160 |
| Εικόνα 5.84: Δημιουργία υαλοστασίου..... | 161 |
| Εικόνα 5.85: Προσδιορισμός διαστάσεων θυρίδας αποφόρτισης..... | 161 |
| Εικόνα 5.86: Σχηματισμός θυρίδας αποφόρτισης | 162 |
| Εικόνα 5.87: Καθορισμός Χαρακτηριστικών θερμικής ζώνης τοίχου Trombe..... | 162 |
| Εικόνα 5.88: Εργαλείο ταύτισης επιφανειών | 163 |
| Εικόνα 5.89: Αποθήκευση κατασκευής κτιρίου με Trombe στο υπόγειο σε αρχείο .osm | 163 |
| Εικόνα 5.90: Τελική μορφή κτιρίου με τοίχους Trombe (1) | 164 |
| Εικόνα 5.91: Τελική μορφή κτιρίου με τοίχους Trombe (2) | 164 |

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

| | |
|---|-----|
| Διάγραμμα 6.1: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου - περιβάλλοντος | 170 |
| Διάγραμμα 6.2: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου - περιβάλλοντος | 170 |
| Διάγραμμα 6.3: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με HRV – χωρίς HRV | 171 |
| Διάγραμμα 6.4: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με HRV – χωρίς HRV | 172 |
| Διάγραμμα 6.5: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με εναλλακτικές μονώσεις | 173 |
| Διάγραμμα 6.6: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου με εναλλακτικές μονώσεις | 173 |
| Διάγραμμα 6.7: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με εναλλακτικά παράθυρα | 175 |
| Διάγραμμα 6.8: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου με εναλλακτικά παράθυρα | 176 |
| Διάγραμμα 6.9: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με και χωρίς τοίχο Trombe | 178 |
| Διάγραμμα 6.10: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου με και χωρίς τοίχο Trombe | 179 |
| Διάγραμμα 6.11: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διατάξεις τζαμιών υαλοστασίου τοίχου Trombe | 180 |
| Διάγραμμα 6.12: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου για εναλλακτικές διατάξεις τζαμιών υαλοστασίου τοίχου Trombe | 180 |
| Διάγραμμα 6.13: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe | 182 |
| Διάγραμμα 6.14: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe | 182 |
| Διάγραμμα 6.15: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1 ^η Μαρτίου | 184 |
| Διάγραμμα 6.16: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας ισογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1 ^η Μαρτίου | 185 |
| Διάγραμμα 6.17: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1 ^η Ιουλίου | 186 |
| Διάγραμμα 6.18: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας ισογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1 ^η Ιουλίου | 187 |
| Διάγραμμα 6.19: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας υπογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1 ^η Νοεμβρίου | 188 |
| Διάγραμμα 6.20: Κατανομές μέσης ωριαίας θερμοκρασίας ισογείου για εναλλακτικές διαμορφώσεις τοίχου θερμικής μάζας διάταξης Trombe – 1 ^η Νοεμβρίου | 189 |
| Διάγραμμα 6.21: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπογείου με και χωρίς τη διάταξη σκίασης του τοίχου Trombe | 190 |
| Διάγραμμα 6.22: Κατανομές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας ισογείου με και χωρίς τη διάταξη σκίασης του τοίχου Trombe | 191 |

Περιεχόμενα Πινάκων

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 5.1: Ιδιότητες Υλικών (Materials) | 86 |
| Πίνακας 5.2: Ιδιότητες των παραθύρων..... | 89 |
| Πίνακας 5.3: Κατασκευές | 90 |
| Πίνακας 5.4: Ιδιότητες μονωτικών υλικών | 155 |
| Πίνακας 5.5: Σενάρια τοίχου θερμικής μάζας..... | 168 |
| Πίνακας 6.1: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Υπογείου με Εναλλακτικές Μονώσεις | 174 |
| Πίνακας 6.2: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Ισογείου με Εναλλακτικές Μονώσεις | 175 |
| Πίνακας 6.3: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Υπογείου με Εναλλακτικά Παράθυρα | 177 |
| Πίνακας 6.4: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες Ισογείου με Εναλλακτικά Παράθυρα | 177 |