



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ  
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ENERGYPLUS**

**ΜΠΑΚΟΥΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ (ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π)**

**ΑΘΗΝΑ, ΜΑΙΟΣ 2019**

Copyright © ΜΠΑΚΟΥΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ 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 της 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 το συγγραφέα.

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

*Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται  
σε όσους επιθυμούν να κάνουν τον κόσμο μας  
έμπρακτα πιο "πράσινο" και βιώσιμο για τις γενιές  
που θα επέλθουν...*



## Ευχαριστίες...

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Τζιβανίδη Χρήστο, για την ευκαιρία και την ιδέα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το παρόν θέμα της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερη μνεία και ευχαριστίες από καρδιάς θα ήθελα να δώσω στον υποψήφιο διδάκτορα κ Μητσόπουλο Γιώργο, για την υπερπολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας εργασίας και με ώθησε να υπερπηδήσω δυσκολίες που αντιμετώπισα και να την φέρω εις πέρας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μπέλλο Ευάγγελο, του οποίου οι συμβουλές με καθοδήγησαν τόσο στο ξεκίνημα, όσο και στη διάρκεια εκπλήρωσης της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω της οικογένειά μου και τους φίλους μου με στηρίζουν ανελλιπώς και ιδιαίτερα τους γονείς μου και την αδερφή μου για την αμέριστη στήριξή τους καθ' όλη την περίοδο της φοίτησής μου.

Χρήστος Μπακούρης

Αθήνα, Μάιος 2019



## Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του βιοκλιματικού κτηρίου γραφείων του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, των ολικών ενεργειακών του καταναλώσεων σε διαφορετικά σενάρια χρήσης και κατασκευής του καθώς και οι τρόποι περεταίρω βελτίωσης της απόδοσής του. Η μελέτη αφορά την λειτουργία του παρόντος κτηρίου κατά την διάρκεια ενός τυπικού έτους στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην Αθήνα. Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας έγινε χρήση τριών διαφορετικών προγραμμάτων:

- α) Το SketchUp 2017 που αποτέλεσε το βασικό πρόγραμμα σχεδιασμού του κτηρίου και όλων των επιφανειών και υποεπιφανειών που το αποτελούν,
- β) Το EnergyPlus που αποτελεί την βασική πλατφόρμα υπολογισμού όλων των φορτίων του προς μελέτη κτηρίου και
- γ) Το Openstudio v.2.7.0 που πρόκειται για το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη ( Graphical User Interface ή GUI) του EnergyPlus, στο οποίο ανατέθηκαν όλα τα επιμέρους συστήματα, δομικά στοιχεία και εσωτερικά φορτία του παρόντος κτηρίου.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα αναλυθούν όλες οι πληροφορίες που κατέχουμε για το παρόν κτήριο, η σημασία του βιοκλιματικού σχεδιασμού και των κτηρίων μηδενικής κατανάλωσης στις μέρες μας καθώς και όλα τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε στα προαναφερθέντα προγράμματα. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του EnergyPlus και θα γίνει σχολιασμός αυτών και πιθανοί τρόποι βελτίωσης της απόδοσης.

Με βάση τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν και τα σενάρια βελτίωσης που προτάθηκαν, επιτεύχθηκε μια μείωση της τάξης του 10% επί των συνολικών καταναλώσεων του κτηρίου, από 48.403,47 στις 44.860,61 kWh, σε συνδυασμό με την αύξηση παραγωγής ενέργειας από τις 3.719,44 στις 22069,44 kWh μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ.





## Abstract

The aim of this diploma is to study and calculate the heating and cooling loads of the bioclimatic office building in the Center for Renewable Energy Sources, its total energy consumptions in different construction and use scenarios and ways to further improve its performance. The study concerns the operation of this building during a typical year in Greece and more specifically in Athens. Three different programs were used to prepare this paper:

- a) SketchUp 2017, which was the basic design of the building and all of the surfaces and sub-surfaces
- b) EnergyPlus, which is the basic platform for calculating all the loads of the studied building and
- c) Openstudio v.2.7.0, which is the Graphical User Interface (GUI) of EnergyPlus, which assigned all the individual systems, constructions and internal loads of the building we study.

In the following chapters we will analyze all the information we have for this building, the importance of bioclimatic design and zero-consumption buildings nowadays as well as all the steps of the process followed in the aforementioned programs. Finally, the EnergyPlus simulations will be presented and annotated and possible ways to improve performance.

Based on the simulations and the proposed improvement scenarios, a reduction of 10% on the total building consumption was achieved, from 48,403.47 to 44,860.61 kWh, coupled with the increase in energy output from the 3,719.44 at 22069.44 kWh through the installation of photovoltaic panels.



# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	7
Abstract .....	9
<b>Κεφάλαιο 1 Κτήρια μηδενικής ενέργειας και βιοκλιματικός σχεδιασμός.....</b>	<b>15</b>
1.1 Ορισμός του κτηρίου μηδενικής ενέργειας.....	15
1.1.1 Κατηγοριοποίηση των κτηρίων συνολικής μηδενικής ενέργειας .....	17
1.1.2 Έλεγχος και χαρακτηρισμός ενός κτηρίου συνολικής μηδενικής ενέργειας.....	18
1.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός.....	19
1.2.1 Σκοπός και στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού .....	20
1.2.2 Τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού .....	20
<b>Κεφάλαιο 2 Τα Συστήματα HVAC.....</b>	<b>45</b>
2.1 Βασικά χαρακτηριστικά .....	46
2.2 Συνοπτική παρουσίαση των συστημάτων HVAC.....	48
2.2.1 Συστήματα θέρμανσης χώρων .....	48
2.2.2 Τεχνικές επιλογές για τον κλιματισμό .....	50
2.3 Περεταίρω ανάλυση αντλιών θερμότητας.....	59
2.3.1 Βασικά τμήματα της αντλίας θερμότητας.....	60
2.3.2 Λειτουργία αντλιών θερμότητας σε θέρμανση και ψύξη .....	62
2.3.3 Είδη αντλιών θερμότητας.....	63
2.3.4 Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας .....	64
2.3.5 Θεωρητικός και πραγματικός κύκλος της αντλίας θερμότητας.....	66
<b>Κεφάλαιο 3 Παρουσίαση κτηρίου και συστημάτων .....</b>	<b>67</b>
3.1 Το κτήριο .....	68
3.1.1 Στόχος.....	68
3.1.2 Κτηριολογικό πρόγραμμα και χρήση.....	68
3.1.3 Θέση - κλίμα.....	69
3.1.4 Κατασκευή .....	69
3.2 Τα συστήματα .....	71
3.2.1 Συστήματα φυσικού φωτισμού .....	71
3.2.2 Συστήματα παθητικού δροσισμού .....	72
3.2.3 Ενσωμάτωση Α.Π.Ε. στο σύστημα θέρμανσης - κλιματισμού.....	72
3.2.4 Εγκαταστάσεις φωτισμού .....	74
3.2.5 Σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτηρίου (BEMS).....	75
3.2.6 Φωτοβολταϊκά πάνελ .....	77

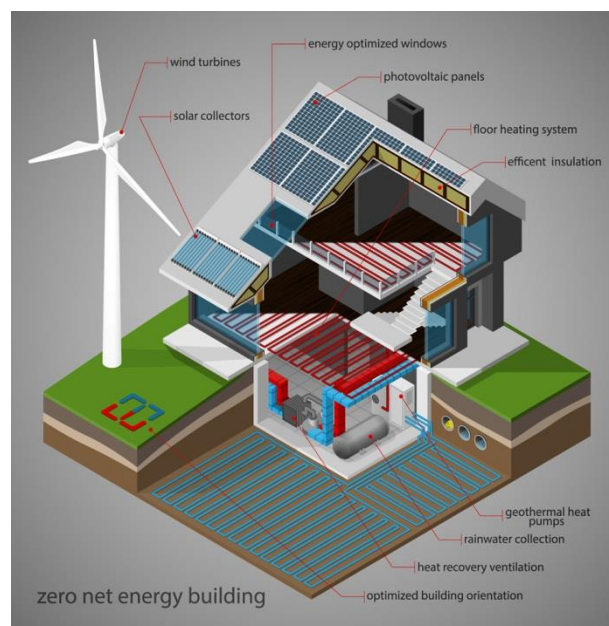
3.2.7 Οικονομική ανάλυση .....	77
<b>Κεφάλαιο 4 Εργαλεία μελέτης και μεθοδολογία .....</b>	<b>77</b>
4.1 Περιγραφή βημάτων.....	79
4.2 Σχεδιασμός κτηρίου .....	79
4.2.1 Σχεδιασμός τοίχων και παραθύρων .....	79
4.2.2 Καθορισμός επιφανειών σε επαφή με το έδαφος .....	88
4.2.3 Σχεδιασμός εσωτερικών πορτών και Surface Matching.....	93
4.2.4 Σχεδιασμός σκιάσεων, ηλιοπροστασίας και φωτοβολταϊκών πάνελ .....	96
4.2.5 Σχεδιασμός ηλιοροφής .....	100
4.2.6 Ανάθεση χαρακτηριστικών χώρων, θερμικών ζωνών και περιστροφή του τελικού κτηρίου .....	101
4.3 Επεξεργασία μέσω του προγράμματος OpenStudio .....	104
4.3.1 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων .....	104
4.3.2 Χρονοδιαγράμματα - Schedules .....	105
4.3.3 Σετ κατασκευής – Υλικά κατασκευής/ Constructions.....	107
4.3.4 Ορισμός εσωτερικών φορτίων – Internal Loads.....	115
4.3.5 Τύποι χώρων – Space Types .....	116
4.3.6 Γεωμετρία και κατασκευή – Geometry and Facility .....	118
4.3.7 Συνοπτική Παρουσίαση χώρων κτηρίου – Spaces.....	119
4.3.8 Θερμικές Ζώνες – Thermal Zones .....	120
4.3.9 Συστήματα HVAC και Ζεστού Νερού Χρήσης .....	121
4.3.10 Μεταβλητές - Output Variables και Ρυθμίσεις - Settings.....	137
4.3.11 Μετρήσεις – Measures .....	138
4.3.12 Εκτέλεση Προσομοίωσης - Run Simulation και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων – Results Summary .....	140
<b>Κεφάλαιο 5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....</b>	<b>140</b>
5.1 Παρούσα κατάσταση .....	140
5.2 Παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα .....	143
5.3 Επίδραση πάχους μόνωσης κατακόρυφων και οριζόντιων επιφανειών στις ενεργειακές καταναλώσεις .....	145
5.4 Συμπεριφορά διαφορετικών συστημάτων HVAC στο μελετηθέν κτήριο .....	146
5.5 Σύγκριση καταναλώσεων για διαφορετικές χρήσεις του κτηρίου .....	149
5.6 Συμπεριφορά κτηρίου και καταναλώσεων για διαφορετικά κλίματα της Ελλάδος .....	151
5.6.1 Συμπεριφορά παρόν κτηρίου .....	151
5.6.2 Απόδοση φωτοβολταϊκών πάνελ .....	153
5.6.3 Συμπεριφορά καταναλώσεων για διαφορετικά πάχη μόνωσης.....	155

5.7 Σενάρια βελτίωσης κτηρίου.....	158
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και επίλογος.....	160
Επίλογος.....	162
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>163</b>



## Κεφάλαιο 1 Κτήρια μηδενικής ενέργειας και βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν δημοσιευθεί, τα κτήρια, κατοικίες ή εμπορικά, αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη, με ποσοστό που αγγίζει το 40% της παραγόμενης ενέργειας, όσον αφορά τουλάχιστον τα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παράλληλα λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού κατά την διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τα επίπεδα CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά 25% .[1]



Εικόνα 1.1: Χαρακτηριστικά ενός Nearly Zero Energy Building - NZEB [2]

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, επεμβαίνοντας στην Energy Performance of Buildings Directive του 2002, συμφώνησε στον ανασχηματισμό της, που έγινε το Μάιο 2010, και τέθηκε η πρόταση ότι όλα τα κτήρια δημόσιου τομέα μετά τις 31 Δεκεμβρίου του 2018, θα πρέπει να αποτελούν “κτήρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Nearly Zero Energy Buildings)”, δηλαδή κτήρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης τα οποία θα παράγουν μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τουλάχιστον τόση ενέργεια όση καταναλώνουν. Επίσης συμφωνήθηκε ότι το ίδιο θα ισχύσει για όλα τα νέα κτήρια δημόσιου τομέα που θα κατασκευάζονται μετά το πέρας του 2020. [3] [4]

### 1.1 Ορισμός του κτηρίου μηδενικής ενέργειας

Παρά την ευρεία χρήση του όρου "κτήριο μηδενικής ενέργειας", δεν έχουμε κατασταλάξει σε έναν κοινά αποδεκτό ορισμό. Αρχικά, θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι ένα κτήριο μηδενικής ενέργειας (Net Zero Energy Building - NZEB) δεν αποτελεί ένα χώρο που η

ενεργειακή του κατανάλωση είναι μηδενική. Αναφερόμαστε σε μια κατοικία ή έναν εμπορικό χώρο στον οποίον οι κατά το δυνατόν ελαχιστοποιημένες ενεργειακές του καταναλώσεις καλύπτονται, ή σε μερικές περιπτώσεις υπερ-καλύπτονται, από τεχνολογίες χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ( ή Α.Π.Ε ). [5][6][7] Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών αποτελούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, η χρήση γεωθερμίας, η βιομάζα και οι ανεμογεννήτριες. [8]

Για να μπορέσει ένα κτήριο να χαρακτηριστεί ως NZEB έχουν αναπτυχθεί τέσσερις ορισμοί-κριτήρια από τους οποίους, όμως, δεν έχει υπερισχύσει κανένας, καθώς η χρήση οποιουδήποτε από τους παρακάτω ορισμούς εξαρτάται από τον στόχο που έχει θέσει ο ιδιοκτήτης του εκάστοτε κτηρίου.[6]

- **Συνολική μηδενική κατανάλωση στο χώρο εγκατάστασης του κτηρίου (net zero site energy):** Το κτήριο παράγει από Α.Π.Ε., διαθέσιμες στο χώρο εγκατάστασης του κτηρίου ή πλησίον αυτού, τουλάχιστον τόση ενέργεια όση καταναλώνει στη διάρκεια ενός έτους.
- **Συνολική μηδενική ενέργεια στο χώρο παραγωγής (net zero source energy):** Το κτήριο παράγει (ή και αγοράζει) τουλάχιστον τόση ανανεώσιμη ενέργεια, όση καταναλώνει στη διάρκεια ενός έτους, αναγόμενη σε πρωτογενή ενέργεια που καταναλώνεται για την εξαγωγή και την επεξεργασία ενεργειακών φυσικών πόρων και για την παραγωγή και τη διανομή ενέργειας στο κτήριο. Η πρωτογενής ενέργεια υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό της εισαγόμενης και την εξαγόμενης ενέργειας από το κτήριο με κατάλληλους συντελεστές , που σχετίζονται με τους συμβατικούς πόρους ή τις Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται.
- **Συνολικό μηδενικό ενεργειακό κόστος (net zero energy costs):** Στα κτήρια μηδενικού ενεργειακού κόστους, το ποσό των χρημάτων που πληρώνεται ο ιδιοκτήτης από το δίκτυο για την παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε πρέπει τουλάχιστον να ταυτίζεται με το ποσό που πληρώνει ο ιδιοκτήτης στο δίκτυο στην πάροδο ενός χρόνου.
- **Συνολικές μηδενικές ενεργειακές εκπομπές (net zero energy emissions):** Ένα τέτοιο κτήριο παράγει (ή αγοράζει) τόση ενέργεια από Α.Π.Ε., όση χρειάζεται για να αντισταθμίσει τις εκπομπές ρύπων από τη χρήση παραγόμενης μέσω συμβατικών μέσων ενέργειας σε ένα έτος. Τέτοιου είδους ρύποι αποτελούν τα οξείδια του άνθρακα, του αζώτου και του θείου. Για τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών, η εισαγόμενη και η εξαγόμενη ενέργεια του κτηρίου από και προς το δίκτυο πολλαπλασιάζεται με τις τιμές των εκλυόμενων αυτών ρύπων ή τις Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται. [9]





Εικόνα 1.2: Το Κέντρο Περιβαλλοντολογικών Σπουδών Lewis στο Κολλέγιο του Oberlin . [10]

### 1.1.1 Κατηγοριοποίηση των κτηρίων συνολικής μηδενικής ενέργειας

Παρόλο που όλες οι προσπάθειες επίτευξης ενός κτηρίου μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης είναι πολύτιμες, μπορούμε να ταξινομήσουμε τα είδη αυτών με βάση των Α.Π.Ε. που επιλέχθηκαν. Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση γίνεται με σκοπό την ώθηση των ιδιοκτητών και των σχεδιαστών στην εκμετάλλευση των άμεσα διαθέσιμων και τοπικών πηγών ενέργειας και έπειτα στην διερεύνηση των πιο απομακρυσμένων επιλογών. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα που εκδόθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory- NREL) το 2010 τα NZEB διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες: A, B, C και D. [7] [9] [11]

#### Κτήρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης Κατηγορίας A (NZEB:A)

Στην Κατηγορία A ταξινομούνται τα κτήρια στα οποία η ολική ετήσια ενέργεια που καταναλώνεται ταυτίζεται με την ενέργεια που τα ίδια παράγουν μέσω Α.Π.Ε., οι οποίες βρίσκονται εντός οικοδομήματος [11] , όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά , οι ηλιακοί θερμοσίφωνες και οι ανεμογεννήτριες στην οροφή.

#### Κτήρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης Κατηγορίας B (NZEB:B)

Σε αυτή την ομάδα κατηγοριοποιούνται κτήρια που επιτυγχάνουν τον ίδιο στόχο με τα NZEB:A με την διαφορά ότι οι Α.Π.Ε. μπορούν να βρίσκονται και εντός αλλά και πλησίον του κτηρίου.[11] Δηλαδή, φωτοβολταϊκά πάρκα ή ανεμογεννήτριες κοντά στο κτήριο όπως και υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

#### Κτήρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης Κατηγορίας C (NZEB:C)

Στην Κατηγορία C κατατάσσονται τα κτήρια που χρησιμοποιούν μέσα ίδια με τα κτήρια των κατηγοριών A και B, με την διαφορά ότι προστίθενται αγορά και εισαγωγή παραγόμενης

ενέργειας από Α.Π.Ε. που είναι διαθέσιμη και εκτός της εγκατάστασης του κτηρίου, όπως για παράδειγμα η καύση βιομάζας. [11]

### Κτήρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης Κατηγορίας D (NZEB:D)

Τέλος στην Κατηγορία D βρίσκονται τα κτήρια που περιλαμβάνουν τα μέσα που αναφέρονται στις τρεις προηγούμενες κατηγορίες καθώς και την επιπλέον αγορά πιστοποιημένων Α.Π.Ε. εκτός του χώρου της εγκατάστασης[6], όπως για παράδειγμα ή αγορά ενός αιολικού ή φωτοβολταϊκού πάρκου που είναι εγκατεστημένα στο δίκτυο.

#### 1.1.2 Έλεγχος και χαρακτηρισμός ενός κτηρίου συνολικής μηδενικής ενέργειας

Για τον χαρακτηρισμό ενός κτηρίου ως NZEB, θα πρέπει να εμπίπτει στους ορισμούς:

- Της μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης στο χώρο εγκατάστασης του κτηρίου και
- Του μηδενικού ενεργειακού κόστους.

Για τον έλεγχο των ανωτέρω ακολουθείται συνήθως μια συγκεκριμένη διαδικασία η οποία αποτελείται από:

- α. Τον προσδιορισμό των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου με την χρήση λογισμικού προσομοίωσης, όπως το EnergyPlus ή το TRANSYS, ή από προηγούμενες βιβλιογραφικές μελέτες ή με την χρήση λογαριασμών κατανάλωσης ενέργειας.
- β. Τον υπολογισμό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε που εξάγεται στο δίκτυο και
- γ. Την σύγκριση της παραγόμενης με την καταναλώμενη ενέργεια για τον πρώτο ορισμό και αναγωγή της στο κόστος για το δεύτερο.

Το ένα έτος αποτελεί την πιο συνηθισμένη αποδεκτή χρονική περίοδο, αλλά σε περιπτώσεις ύπαρξης έντονων μεταβολών στην ετήσια χρήση ενέργειας ενός κτηρίου από έτος σε έτος, η περίοδος αυτή των υπολογισμών μπορεί να επεκταθεί έως τα 50 χρόνια χρήσης του κτηρίου.

Οι ορισμοί της μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και του μηδενικού ενεργειακού κόστους είναι οι πιο κατανοητοί και οι πιο εύχρηστοι καθώς δεν απαιτείται μετατροπή των μονάδων που συγκρίνονται. [3] Όσον αφορά όμως τους ορισμούς της μηδενικής πρωτογενούς ενέργειας και των μηδενικών εκπομπών, γίνεται αναγωγή της ενέργειας χρήσης σε πρωτογενή ενέργεια και μονάδες CO<sub>2</sub> αντίστοιχα, από την εξαγωγή των ενεργειακών πόρων μέχρι και την τελική τους χρήση για την παραγωγή και την διανομή της ενέργειας. Ωστόσο προκύπτουν δύο προβλήματα που αφορούν το συγκεκριμένο ισοζύγιο.

Το πρώτο είναι η αλλαγή των συντελεστών αναγωγής ενέργειας σε πρωτογενή δεδομένου της αύξησης των βαθμών απόδοσης των υποδομών, όπως για παράδειγμα των θερμοηλεκτρικών σταθμών και το δεύτερο αποτελεί η υποτίμηση των Α.Π.Ε. .Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ότι 1 μονάδα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας συμβατικών μέσων αντιστοιχεί με 2-3 μονάδες πρωτογενούς , ενώ 1 μονάδα ενέργειας από Α.Π.Ε. αντιστοιχεί σε 1 μονάδα πρωτογενούς. Έτσι, για να μπορέσει να αντισταθμιστεί η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται από ένα κτήριο, θα πρέπει να παραχθεί 3 φορές περίπου περισσότερη ενέργεια από Α.Π.Ε. με τους ισχύοντες συντελεστές. [9]

Για την επίλυση του συγκεκριμένου ζητήματος, προτάθηκε η ενέργεια που παράγεται από Α.Π.Ε. να μην θεωρείται ως ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο. Ως αποτέλεσμα χρησιμοποιούνται υψηλότεροι συντελεστές αναγωγής για την συνεισφορά των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό ισοζύγιο και διευκολύνεται ο χαρακτηρισμός ενός κτηρίου ως NZEB. [9] [12] [13]

## 1.2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Βιοκλιματικός ονομάζεται ο σχεδιασμός ενός κτηρίου ο οποίος ,λαμβάνοντας υπ' όψη το κλίμα της εκάστοτε περιοχής, αποσκοπεί στην εξασφάλιση των απαραίτητων εσωκλιματικών συνθηκών, όπως η θερμική και οπτική άνεση και η ποιότητα αέρα, με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, αξιοποιώντας τις διαθέσιμες περιβαλλοντικές πηγές. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας θέρμανσης, ψύξης και φωτισμού του κτηρίου. [14] Η βιοκλιματική είναι ο κλάδος της αρχιτεκτονικής που λαμβάνει υπ' όψη τις επιταγές της οικολογίας αλλά και της βιωσιμότητας. [15]



Εικόνα 1.3: Βιοκλιματικό κτήριο διοίκησης ΔΕΥΑΛ στη Λαμία [16]

### 1.2.1 Σκοπός και στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Σκοπός του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελεί η ανέγερση κτηρίων σχεδιασμένων ώστε αφενός στο ενεργειακό ισοζύγιο να είναι μηδενική η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με εκπομπές βλαβερών ουσιών και αερίων και αφετέρου να καλύπτονται πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες. Η κάλυψη, δε των αναγκών αυτών (θέρμανσης, ψύξης) να γίνεται μέσω συστημάτων εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ενεργειακών πόρων, όπου η αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια των αντλιών θερμότητας να παράγεται μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων. [15] [17]

Συνοπτικά, στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν:

- Η εξασφάλιση ηλιασμού το χειμώνα
- Η προστασία του κτηρίου από τους δυνατούς ανέμους του χειμώνα
- Η ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας τους χειμερινούς μήνες
- Η προστασία του κτηρίου από τον ήλιο του καλοκαιριού
- Η εκμετάλλευση των καλοκαιρινών δροσερών ανέμων και
- Η απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

### 1.2.2 Τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού

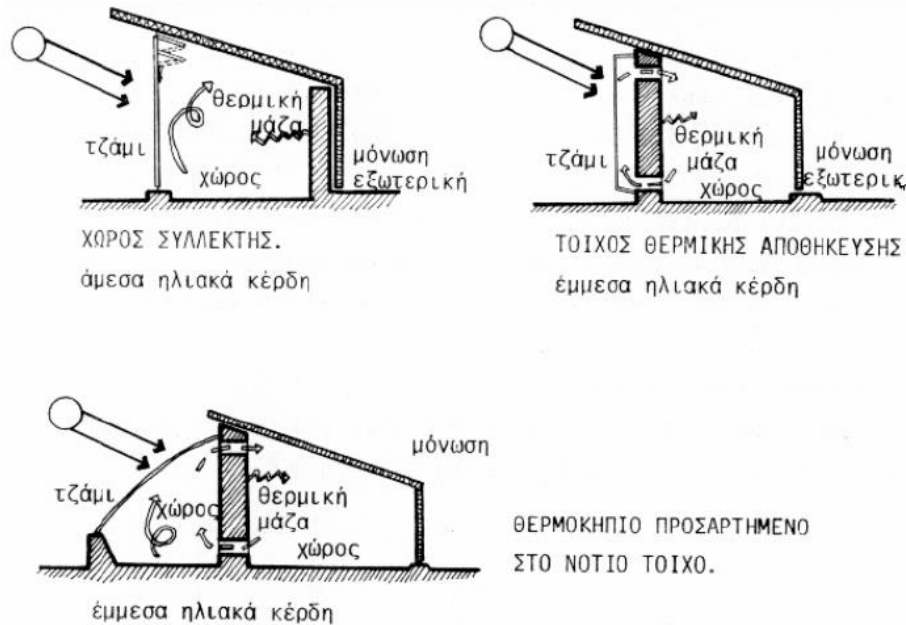
Τεχνικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν η θερμική προστασία του κελύφους, τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα συστήματα φυσικού φωτισμού και δροσισμού καθώς και ορθολογική χρήση της ενέργειας μέσω θερμικών ζωνών και αποθήκευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία του κτηρίου.

Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, τα βιοκλιματικά κτήρια, με τις ανωτέρω τεχνικές και όπως προκύπτει από αρκετές μελέτες και μετρήσεις, παρουσιάζουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30% σε σχέση με τα συμβατικά κτήρια, ενώ συγκριτικά με παλιότερα κτήρια που απουσιάζουν μόνωσης το ποσοστό αγγίζει το 80%.

Γενικότερη αρχή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελεί η χρήση της Νότιας πλευράς του κτηρίου για παθητική ηλιακή θέρμανση, ενώ η Βόρεια για αντιανεμική προστασία και ανάσχεση της θερμότητας. [14] [18]

#### Παθητικά συστήματα θέρμανσης

Ως παθητικά ονομάζονται τα συστήματα ενός κτηρίου που επιτρέπουν την ροή της ηλιακής θερμότητας με φυσικούς τρόπους, όπως δια της αγωγής και της ακτινοβολίας, συνεισφέροντας έτσι πάνω από το μισό της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση. [19]



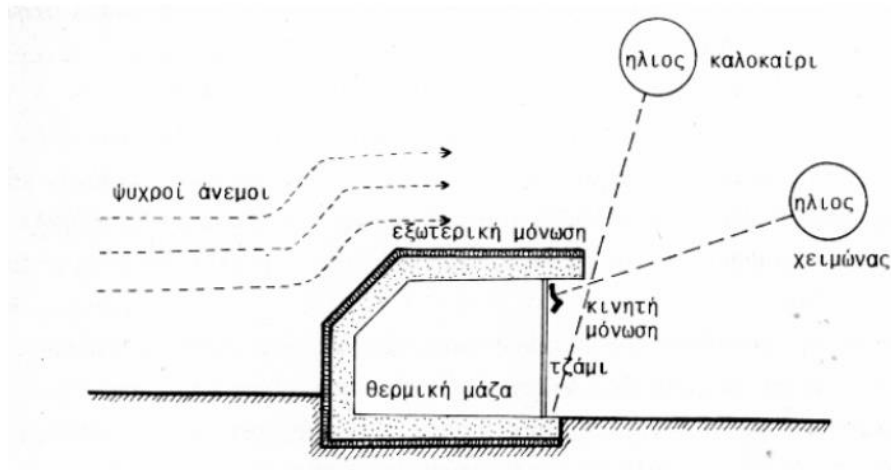
Εικόνα 1.4: Σχηματική παράσταση των τριών βασικότερων παθητικών ηλιακών συστημάτων [19]

Η παθητική συλλογή ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

#### Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους

Τα συστήματα αυτά αποτελούν τον απλούστερο τρόπο ηλιακού κέρδους καθώς το μόνο που απαιτούν είναι μια μεγάλη υαλόφρακτη επιφάνεια, όπως παράθυρα με διπλά τζάμια, προσανατολισμένη προς τη μεσημβρία και ένα καλά μονωμένο κέλυφος με σημαντική μάζα από μπετόν, τούβλα ή πέτρα στους τοίχους, στην οροφή και στο δάπεδο.

Τα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους χρησιμοποιούν τους χώρους του κτηρίου για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της ηλιακής θερμότητας και δεδομένου ότι ο σχεδιασμός τους είναι σωστός, μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ αποτελεσματική και πρακτική λύση ενεργειακής εξοικονόμησης. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το ύψος του ηλίου περιορίζει την ακτινοβολία που εισέρχεται στο χώρο, ενώ ένα καλά τοποθετημένο σκίαστρο, μπορεί να την αποκλείσει εντελώς.[15][18] [19]



Εικόνα 1.5: Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους [19]

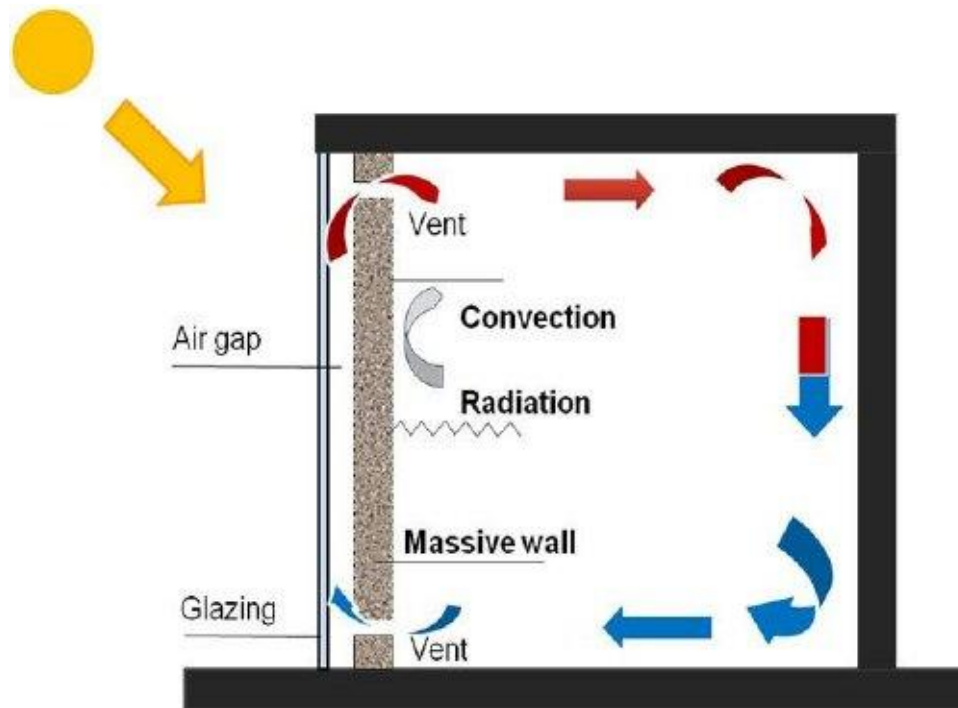
Η τοποθέτηση της μεγάλης θερμικής μάζας που αναφέρθηκε προηγουμένως αποσκοπεί σε δύο σημεία. Αρχικά, στην εξομάλυνση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της κατοικίας ακόμα και σε μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και έπειτα στη δημιουργία της απαραίτητης χρονικής καθυστέρησης στην απόδοση της θερμότητας μέσα στην κατοικία, με σκοπό την θέρμανσή της και μετά την δύση του ηλίου. [19]

Εκτός από τη θερμική μάζα ουσιώδης στην απόδοση του συστήματος αποτελεί και η κλίση και το είδος των υαλοπινάκων που θα χρησιμοποιηθούν. Τα κατακόρυφα υαλοστάσια είναι συνήθως προτιμητέα καθώς εξασφαλίζουν την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα και την ελάχιστη το καλοκαίρι, ενώ τα κεκλιμένα με μικρή γωνία προς τον ορίζοντα είναι πιθανόν να προκαλέσουν υπερθερμάνσεις τους θερινούς μήνες ενώ δίνουν χαμηλά κέρδη τους χειμερινούς.[18][19]

### Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης, γνωστοί και ως τοίχοι Trombe. Ο τοίχος αυτός κατά τη διάρκεια της μέρας δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια και την αποθηκεύει στο εσωτερικό του. Η ενέργεια αυτή, έπειτα από μια χρονική διάρκεια που εξαρτάται από το πάχος του τοίχου και το υλικό που αποτελείται, εμφανίζεται στην εσωτερική του επιφάνεια και θερμαίνει τον αέρα του εσωτερικού του κτηρίου.

Ο τοίχος Trombe, συμπεριφέρεται σαν μηχανισμός χρονικής μετάθεσης και αδρανοποίησης των διακυμάνσεων της εξωτερικής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα, ο εσωτερικός χώρος να μπορεί να επωφεληθεί από το θερμικό κέρδος του ηλίου ακόμα και μετά την δύση του, χωρίς την χρήση συμπληρωματικών μορφών ενέργειας.[19]



Εικόνα 1.6: Αρχή Λειτουργίας Τοίχου Trombe [20]

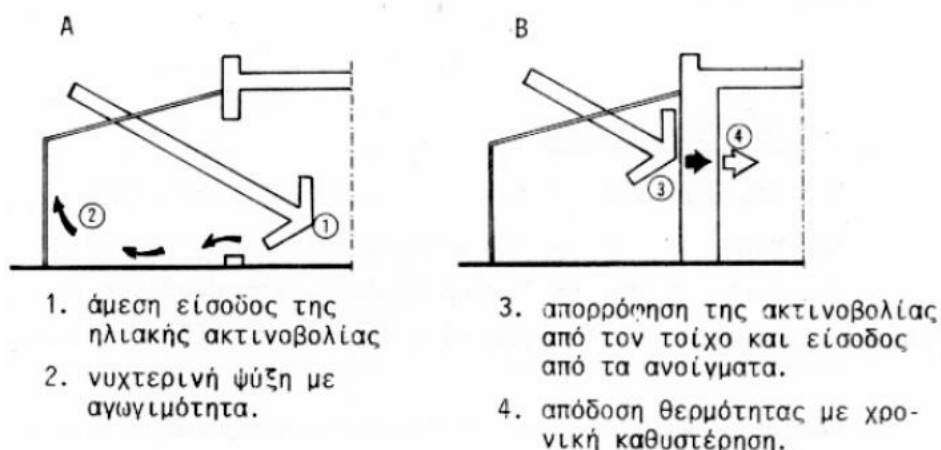
Περίπου το 30% της ενέργειας που αποταμιεύεται μεταβιβάζεται μέσω της φυσικής κυκλοφορίας ( συναγωγής), από τα ανοίγματα στον εσωτερικό χώρο. Τα ανοίγματα αυτά κατασκευάζονται στο επάνω και στο κάτω μέρος του τοίχου και σε πολλές εγκαταστάσεις τοποθετείται και ένας ανεμιστήρας για εξαναγκασμένη συναγωγή. Η κυκλοφορία του αέρα μέσω αυτών των ανοιγμάτων μπορεί να προσφέρει ή να αφαιρέσει θερμότητα από το εσωτερικό περιβάλλον και με την βοήθεια του ανεμιστήρα να ρυθμίζει τη θερμοκρασία. Η φυσική κυκλοφορία συνήθως ξεκινά όταν η ηλιακή ακτινοβολία αρχίσει να θερμαίνει τον τοίχο και συνεχίζεται μέχρι και 2-3 ώρες μετά τη δύση του, αναλόγως την αποταμιευμένη ενέργεια καθώς και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. [6][19]

#### Ηλιακός χώρος - θερμκήπιο

Το σύστημα του θερμκήπιου αποτελείται από έναν κλειστό διαφανή χώρο, συνήθως στη νότια πλευρά του κτηρίου που λειτουργεί σαν “θερμκήπιο”. Ανάμεσα στον ηλιακό αυτό χώρο και στην υπόλοιπη κατοικία κατασκευάζεται ένας τοίχος θερμικής συσσώρευσης ο οποίος συνδράμει στη θέρμανση του σπιτιού μετά τη δύση του ηλίου.

Πιο συγκεκριμένα, η λειτουργία είναι παρόμοια με αυτή των τοίχων θερμικής αποθήκευσης με την διαφορά ότι η γυάλινη επιφάνεια δε βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τον τοίχο αλλά δημιουργείται ένας χώρος που μπορεί και να κατοικηθεί. Σε πολλές περιπτώσεις ο τοίχος συνδυάζεται με την κίνηση του θερμού αέρα, προβλέποντας θυρίδες στο επάνω και στο κάτω τμήμα του, δημιουργώντας έτσι έναν τοίχο Trombe. Η

αποτελεσματικότητα του συστήματος μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω μέσω της αύξησης της μάζας θερμικής αποθήκευσης, δηλαδή με την χρήση βαρέων υλικών για την κατασκευή του δαπέδου του θερμοκηπίου ή με την τοποθέτηση δοχείων νερού μπροστά από τον τοίχο. [19]



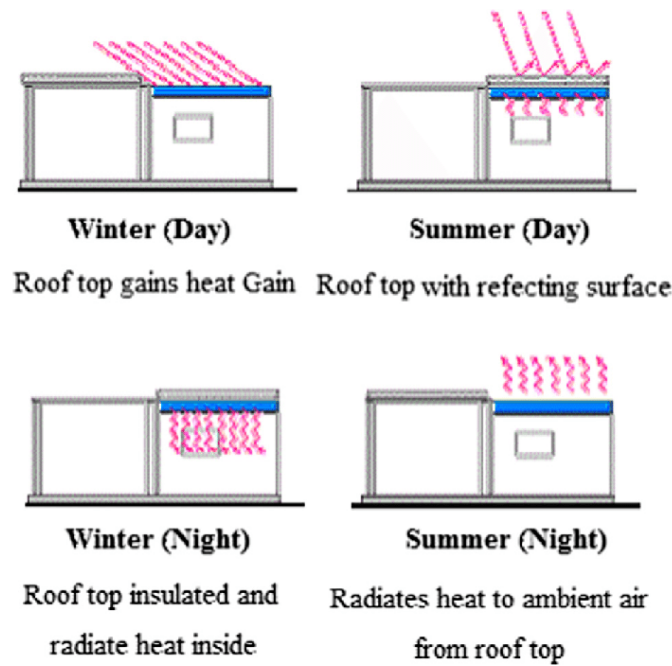
Εικόνα 1.7: Διαχωριστικός τοίχος θερμικής αποθήκευσης ανάμεσα στο θερμοκήπιο και στο κτήριο [19]

### Ηλιακή λίμνη

Όσον αφορά το σύστημα της ηλιακής λίμνης, η θερμική αποταμίευση συμβαίνει στο δώμα του κτηρίου και εφόσον η κλίση του είναι μηδενική, δέχεται μεγαλύτερα φορτία κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και μικρότερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η χρήση του απαιτεί την ύπαρξη κινητού μονωτικού καλύμματος, το οποίο χρησιμοποιείται τις νύχτες των χειμερινών μηνών για να διατηρήσει την θερμότητα που αποθηκεύτηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά τις φωτεινές ώρες των καλοκαιρινών μηνών για την αποτροπή της ηλιακής ακτινοβολίας. Το σύστημα χρησιμοποιείται περισσότερο για ψύξη το καλοκαίρι και αποδίδει πολύ αποτελεσματικότερα σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη και μικρές κατοικίες. Η λίμνη είναι συνήθως βάθους 5 cm και το νερό βρίσκεται μέσα σε σάκους από πλαστικό ενώ το δώμα πάνω στο οποίο τοποθετούνται απαιτείται να είναι πολύ αγωγίμο.

Η αποταμιευμένη θερμότητα κατά τους χειμερινούς μήνες ακτινοβολείται στους κάτω από τη λίμνη χώρους ενώ το κατά τους καλοκαιρινούς το νερό απορροφά θερμότητα από τους χώρους την νύχτα και τους ακτινοβολεί στην ατμόσφαιρα, εφόσον το κάλυμμα έχει αφαιρεθεί. Η διαστρωμάτωση του νερού αποτελεί μειονέκτημα το χειμώνα καθώς το ζεστό νερό βρίσκεται στην επιφάνειά της λίμνης με συνέπεια την αύξηση των θερμικών απωλειών, αλλά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η ίδια διαστρωμάτωση βοηθάει στην ψύξη καθώς το ψυχρό νερό βρίσκεται στη μεριά της οροφής του κτίσματος. [19][21]

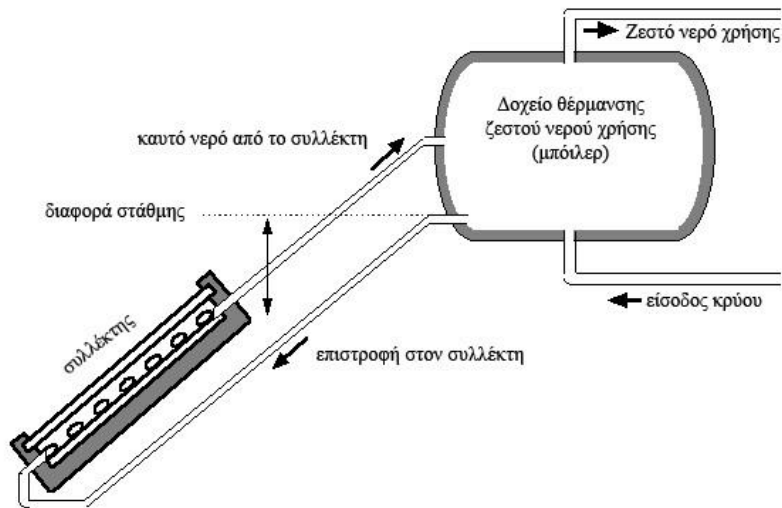




Εικόνα 1.8: Λειτουργία συστήματος ηλιακής λίμνης

## Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι ηλιακοί συλλέκτες που αποτελούν ένα ενεργητικό ηλιακό σύστημα το οποίο ζεσταίνει νερό μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που είναι γνωστές για τις μεγάλες περιόδους ηλιοφάνειας, όπως οι Μεσογειακές. Συνήθως συνοδεύεται και από μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού και όλο το σύστημα ονομάζεται ηλιακός θερμοσίφωνας. Ο ηλιακός θερμοσίφωνας αποτελεί την πιο απλή και γνωστή ηλιακή συσκευή. Κατά την λειτουργία του εκμεταλλεύονται δύο φυσικά φαινόμενα: του θερμοσίφωνου και του θερμοκηπίου. Το πρώτο αφορά τη φυσική κυκλοφορία του νερού μέσα στα κυκλώματα του συστήματος χωρίς μηχανικά μέρη ενώ το δεύτερο τη θέρμανση του νερού μέσω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του συλλέκτη. [18][22]



Εικόνα 1.9: Λειτουργία Ηλιακού θερμοσίφωνα [23]

## Φυσική ή παθητική ψύξη

Για την παροχή παθητικής ψύξης χρησιμοποιούνται διάφοροι συνδυασμοί παθητικής ανάκτησης θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο όπως είναι για παράδειγμα: η βοήθεια του περιβάλλοντα αέρα (με εξάτμιση) , της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας ( με ακτινοβολία) και του υπεδάφους (άμεση ή έμμεση φυσική ψύξη).

Επίσης, είναι δυνατή η εφαρμογή συνδυασμού των γενικών μεθόδων φυσικής ψύξης όπως η εκμετάλλευση της νυχτερινής δροσιάς με εξάτμιση και μεταφορά θερμότητας ή ο συνδυασμός της δροσιάς του νυχτερινού αέρα με ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος με πρόσθετη ψύξη με εξάτμιση.

Ανάλογα με τον κλιματικό τύπο της κάθε περιοχής μπορούν να εφαρμοστούν κατά περίπτωση οι ακόλουθες χαρακτηριστικές κοινές διαδικασίες:

1. Η ελαχιστοποίηση της ηλιακής θερμότητας που προσπίπτει στο κτήριο κατά τη διάρκεια του θέρους. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποτελεσματική σκίαση των παραθύρων, την χρήση ανοιχτών χρωμάτων στους εξωτερικούς τοίχους και στην οροφή καθώς και γενική προστασία ολόκληρου του κτηρίου από τον ήλιο.
2. Η πρόβλεψη με σκοπό τον αποτελεσματικότερο διασταυρούμενο αερισμό και αξιοποίηση του φαινομένου της καμινάδας, το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια. Ο φυσικός αερισμός μπορεί να εξασφαλίσει άνεση κατά τις εσπερινές ώρες και ταχεία ψύξη του κτηρίου τις νυκτερινές. Η βελτίωση του συστήματος αυτού μπορεί να επιτευχθεί με την πρόσθετη ( ενεργητική ) χρήση ενός ανεμιστήρα, ειδικά στις περιοχές που η ταχύτητα του αέρα κρίνεται ως ανεπαρκής.
3. Ο νότιος προσανατολισμός της μεγαλύτερης όψης του κτηρίου επιτυγχάνει την ελαχιστοποίηση της έκθεσης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους καλοκαιρινούς

μήνες ενώ μεγιστοποιεί την ισχύ της κατά τους χειμερινούς. Επιπρόσθετα, κρίνεται αναγκαία η μελέτη της κατεύθυνσης των ανέμων της περιοχής με σκοπό τον καθορισμό των κατάλληλων ανοιγμάτων των παραθύρων.

4. Η φυσική ψύξη του εσωτερικού του κτηρίου που μπορεί να πραγματοποιηθεί με εξάτμιση νερού, για παράδειγμα στην πλευρά εισόδου του αέρα στο κτήριο. Επίσης, είναι εφικτή η εξωτερική ψύξη του περιβλήματος του κτηρίου μέσω της εξάτμισης σταγονιδίων νερού που να διαβρέχουν τη στέγη ή το δώμα. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως σε ξερά και θερμά κλίματα που το νερό είναι επαρκές για την εφαρμογή τους. Η φυσική ψύξη με εξάτμιση είναι επίσης εφικτή μηχανικά μέσω μιας εναλλακτικής ή συμπληρωματικής εφαρμογής κλιματισμένου αέρα με κλασικά συστήματα, ιδιαίτερα μάλιστα σε θερμές και ξερές κλιματικές περιοχές.
5. Η διευκόλυνση της φυσικής ψύξης με νυχτερινή ακτινοβολία το καλοκαίρι. Ο δροσισμός του κτηρίου με τη συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της νύχτας, κατά την οποία η θερμοκρασία του περιβλήματός του είναι υψηλότερη του περιβάλλοντος. Για την επίτευξη όμως αυτού είναι απαραίτητος ο κατά το δυνατόν μεγαλύτερος συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας της επιφάνειας του κτηρίου.
6. Η αξιοποίηση της θερμικής κατάστασης του υπεδάφους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αρχές που σχετίζονται με την φυσική ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού δεν είναι δυνατό να εφαρμόζονται στις ψυχρότερες περιοχές καθώς οι περίοδοι υψηλών θερμοκρασιών είναι βραχύχρονες και τέτοιες πρακτικές θα κρίνονται, ως δαπανηρές. Αντίθετα, σε ζώνες εύκρατου ή θερμού κλίματος η λήψη μέτρων φυσικής ψύξης κρίνονται υποχρεωτικές. Στην περίπτωση των θερμών και υγρών περιοχών είναι δυνατή η εφαρμογή αυτών των μεθόδων, αλλά η απόδοσή τους κρίνεται ως μη ικανοποιητική. [19]

#### *Φυσική ψύξη από νυχτερινή κυκλοφορία αέρα*

Αποτελεί μια από τις πιο απλές μεθόδους καθώς βασίζεται στο σχηματισμό ρευμάτων αέρα με κατασκευές θόλων, οι οποίοι μπορούν ενίοτε να ανοίγουν εξασφαλίζοντας σχετική άνεση και διευκολύνοντας την ψύξη. Άλλες παρόμοιες πρακτικές αποτελούν εξωτερικές καπνοδόχοι και χωριστές κουζίνες που εμποδίζουν την πρόσθετη θερμότητα, συνδράμοντας στην απομάκρυνση του ζεστού αέρα. Η κατάσταση διευκολύνεται ακόμα περισσότερο με την σωστή εφαρμογή των παραθύρων. Ακόμη είναι σημαντικό οι εσωτερικές πόρτες να διαθέτουν θυρίδες κυκλοφορίας του αέρα με χωρίς όμως να εμποδίζεται η κυκλοφορία του.

Με αυτό τον τρόπο οι μάζες αποθήκευσης με την χαμηλή θερμοκρασία που απέκτησαν κατά τη διάρκεια της νύχτας δροσίζουν τους εσωτερικούς χώρους κατά τη διάρκεια της μέρας. Πρόσφατα μάλιστα ορισμένες έρευνες έδειξαν ότι με τη διατήρηση των παραθύρων

ανοιχτά κατά τη διάρκεια της νύχτας η εσωτερική θερμοκρασία έπεφτε κατά 15% της αντίστοιχης εξωτερικής κατά τη διάρκεια της μέρας. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου έγκειται στην πρακτική δυσκολία της ανάγκης να είναι ανοιχτά τα παράθυρα κατά τη διάρκεια της νύχτας, γεγονός που δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής καθώς και την πιθανότητα επικράτησης πολύ χαμηλής θερμοκρασίας του αέρα κατά τις πρώτες πρωινές ώρες.

Η απόδοση του νυχτερινού αερισμού εξαρτάται κυρίως από τη σχετική διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Όσο χαμηλότερη είναι η εξωτερική θερμοκρασία τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο νυχτερινός αερισμός. Επίσης, είναι αναγκαία η επίτευξη της καλύτερης δυνατής κίνησης αέρα μέσω των ανοιγμάτων, διαδικασία που μπορεί να βελτιωθεί με την τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής, οι οποίοι αυξάνουν την κίνηση του αέρα και συνεπώς τη συναγωγή μεταξύ αυτού και των διαφόρων επιφανειών.

Ο φυσικός αερισμός μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε μεγάλα κτήρια με μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας αέρα ,καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Σε κτήρια με μεγάλη θερμοχωρητικότητα η εσωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα με την μέση εξωτερική και σε εκείνα μάλιστα που εφαρμόζονται τεχνικές του νυχτερινού αερισμού, χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα παράθυρα με ανοίγματα στο επάνω μέρος τους. Μελέτη η οποία διεξήχθη σε κτήριο των Αθηνών κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών έδειξε ότι με την εφαρμογή του νυχτερινού αερισμού η μέγιστη μείωση που παρατηρήθηκε στην εσωτερική θερμοκρασία ήταν 1°C. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση βρέθηκε ότι είναι πιο σημαντική κατά τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο και λιγότερο κατά τον Ιούλιο που η νυχτερινή θερμοκρασία είναι υψηλότερη. Μια άλλη παρόμοια μελέτη επίσης έδειξε ότι με την εφαρμογή νυχτερινού αερισμού, η ανάγκη ψυκτικών φορτίων για τον κλιματισμό των χώρων είναι δυνατό να μειωθεί μέχρι κατά 30%. [19]

### *Παθητική ψύξη με εξαίτηση*

Τα συστήματα της συγκεκριμένης μεθόδου λειτουργούν κυρίως κατά τη διάρκεια της μέρας όταν η ψύξη κρίνεται απαραίτητη, καθώς οι θερμοκρασίες του θερμού αέρα των ξηρών αυτών κλιμάτων αγγίζει τους 35-42°C. Η διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα ευχάριστη ψυχολογικά για τον άνθρωπο μιας και ο εσωτερικός αέρας που ψύχεται είναι εξαιρετικά υγρός απαιτώντας μεγάλη ροή και αριθμό αλλαγών αέρα. Οι ανάγκες σε ψύξη είναι επίσης αυξημένες λόγω της μεγάλης ποσότητας αέρα που διαφεύγει αναξιόπιστος στο περιβάλλον.

Παρ' όλα αυτά σε περιοχές θερμού και ξηρού κλίματος η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει έναν ανέξοδο τρόπο φυσικής ψύξης με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η δυνατότητα αξιοποίησης του αέρα που εξέρχεται με ανακυκλοφορία στο κτήριο μέσω σωληνώσεων ή των τζαμιών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοσή του συστήματος, γεγονός που έχει διαπιστωθεί και μετρηθεί σε πολλές περιπτώσεις. [19]

### *Παθητική ψύξη με εξάτμιση από δεξαμενή νερού*

Η παθητική ψύξη με εξάτμιση εφαρμόζεται έμμεσα με τη χρήση μιας δεξαμενής νερού που εγκαθίσταται στο δώμα και έχει ελεύθερη αμόνωτη επιφάνεια. Η θερμοκρασία του δωματος παρακολουθεί την θερμοκρασία ξηρού βολβού του συστήματος με αποτέλεσμα η οροφή του κτηρίου να δρα ως παθητική ψυκτική επιφάνεια αποδίδοντας ψύξη στο χώρο που βρίσκεται από κάτω. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η πτώση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο χωρίς την αύξηση της υγρασίας στο εσωτερικό του. Η πτώση αυτή εξαρτάται, κατά βάση, από το υλικό κατασκευής της δεξαμενής και αυτό χωρίς της αύξηση της στάθμης της υγρασίας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η δεξαμενή παρέχει ψυκτικό φορτίο μέσω εξάτμισης στο χώρο, φαινόμενο που οφείλεται στη χαμηλότερη θερμοκρασία που προκύπτει από τη σκίαση ή τη χαμηλή νυχτερινή θερμοκρασία. Η κατανάλωση του νερού μιας τέτοιας δεξαμενής είναι μικρότερη σε συνθήκες σκίασης συγκριτικά με την περίπτωση που η επιφάνεια είναι ελεύθερη. [19]

### *Παθητική ψύξη με νυχτερινή ακτινοβολία*

Η ανταλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας μεταξύ των οριζοντίων επιφανειών και της ατμόσφαιρας αποδίδει στο κτήριο ψυκτική ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η χρήση της ενέργειας αυτής για παθητική ψύξη του εσωτερικού του κτηρίου γίνεται με δύο τρόπους:

1. Μέσω της άμεσης νυχτερινής ψύξης μιας ψυχρής επιφάνειας αποθήκευσης (συνήθως του δωματος) που κατά τη διάρκεια της μέρας προστατεύει το χώρο από την ηλιακή ακτινοβολία και το θερμό αέρα.
2. Και με τη χρήση ενός ελαφρά μονωμένου ειδικού σώματος που ψύχει τον περιβάλλοντα αέρα (ή νερό) και χρήση του ρευστού αυτού για ψύξη ενός μέσου αποθήκευσης ή της μάζας του ίδιου του κτηρίου.

Ένας τρόπος βελτίωσης της απόδοσης του ψυκτικού μέσου αποτελεί η προστασία της ακτινοβολούσας επιφάνειας με πλαστικό διαφανές φιλμ πολυαιθυλενίου που συγκρατεί ένα στρώμα ψυχρού αέρα πάνω από την επιφάνεια συλλογής, εξασφαλίζοντας χαμηλότερη θερμοκρασία. [19]

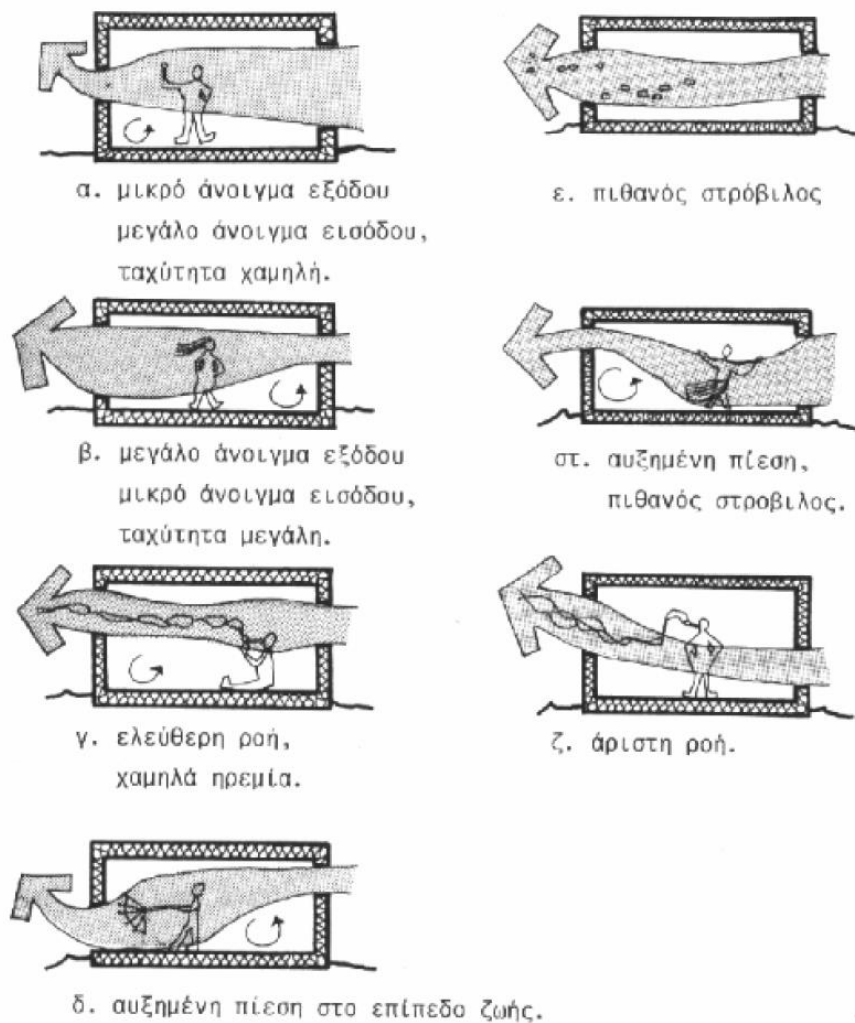
## Φυσικός αερισμός

Η τεχνική του φυσικού αερισμού αποτελεί την πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδο παθητικής ψύξης. Ο αερισμός των χώρων του κτηρίου είναι απαραίτητος όχι μόνο για την ψύξη του αλλά και για την διατήρηση της ποιότητας του αέρα σε ικανοποιητικά επίπεδα. Επιτυγχάνεται με τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα μέσω ανοιγμάτων στο εσωτερικό του κτηρίου εξαιτίας της διαφοράς πίεσης που υπάρχει μεταξύ των δύο πλευρών. Η διαφορά αυτή οφείλεται είτε στην ύπαρξη ανέμου είτε σε διαφορά θερμοκρασίας είτε σε συνδυασμό των δύο.

Σημαντικό παράγοντα στο σωστό σχεδιασμό ενός κτηρίου αποτελεί η γνώση της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η σωστή τοποθέτηση των ανοιγμάτων, επιτυγχάνοντας έτσι την σωστή κυκλοφορία του αέρα καθώς είναι σημαντικό να υπάρχουν υψηλά επίπεδα αερισμού κατά τη διάρκεια της μέρας στο ύψος του ανθρώπινου κεφαλιού. Οι κύριοι παράμετροι που επηρεάζουν τις συνθήκες του φυσικού αερισμού είναι :

- Οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες
- Ο προσανατολισμός του κτηρίου
- Η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων και
- Η χρήση του κτηρίου και η δραστηριότητα των ενοίκων

Οι απαιτήσεις ενός κτηρίου για φυσικό αερισμό καθορίζονται από τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Στις πιο εύκρατες περιοχές, όπου ο χειμώνας είναι υγρός και ψυχρός, το ποσοστό του αερισμού πρέπει να μειώνεται, προς αποφυγή της αύξησης των θερμικών απωλειών. Αντίθετα, το καλοκαίρι είναι απαραίτητος ο φυσικός αερισμός για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης καθώς η κίνηση του αέρα μειώνει την εσωτερική θερμοκρασία και απομακρύνει την πρόσθετη υγρασία. Στις ζεστές ξηρότερες περιοχές όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή είναι προτιμότερο ο φυσικός αερισμός κατά τη διάρκεια της μέρας να αποφεύγεται. Από την άλλη, κατά τη διάρκεια της νύχτας που η εξωτερική θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή, ο φυσικός αερισμός επιβάλλεται, τόσο για τη μείωση της θερμοκρασίας, όσο και για την ψύξη των εσωτερικών επιφανειών. [19]



Εικόνα 1.10 : Κατανομή της ροής αέρα στον εσωτερικό χώρο σε σχέση με το μέγεθος και τη θέση των ανοιγμάτων [19]

Ο προσανατολισμός η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων όπως φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία παίζουν καθοριστικό κριτήριο για το φυσικό αερισμό. Αναφορικά, οι καλύτερες συνθήκες αερισμού δημιουργούνται όταν η διεύθυνση του ανέμου παρουσιάζει μια κλίση  $45^\circ$  προς τη διεύθυνση των ανοιγμάτων εισόδου. Έτσι επιτυγχάνεται μια κυκλική κίνηση του αέρα στον εσωτερικό χώρο και μια πιο ομοιόμορφη κατανομή της ροής και της ταχύτητάς του. Από άλλες μελέτες προκύπτει ότι οι καλύτερες συνθήκες επιτυγχάνονται όταν το ρεύμα του αέρα αλλάζει διεύθυνση μέσα στο χώρο παρά όταν η ροή είναι κατευθυνόμενη. Όσον αφορά το σχήμα των ανοιγμάτων έχει αποδειχθεί ότι τα ορθογωνικά παράθυρα έχουν καλύτερη απόδοση σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο σχήμα και για οποιαδήποτε κλίση εισόδου του ανέμου. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί αέρας στο εσωτερικό ενός κτηρίου, οι διαστάσεις των ανοιγμάτων εισόδου πρέπει να είναι 50% περίπου μικρότερες από αυτές των ανοιγμάτων εξόδου. Γενικότερα, τα ανοίγματα που βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά (εξόδου) του κτηρίου πρέπει να είναι μεγαλύτερα ή

τουλάχιστον ισομεγέθη με τα ανοίγματα εισόδου του αέρα με σκοπό τη διευκόλυνση δημιουργίας υποπίεσης (Venturi).

Η χρήση μονόπλευρου αερισμού δεν συνίσταται διότι δεν είναι εφικτή η σωστή κυκλοφορία του αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί με ένα ανοιχτό παράθυρο ο αερισμός γίνεται κυρίως λόγω της τυρβώδους ροής του αέρα και η κίνηση του στο εσωτερικό του κτηρίου δεν είναι σημαντική. Επομένως, είναι προτιμότερη η χρήση δύο παραθύρων για την επίτευξη διαμετρή αερισμού όπως επίσης και η διανομή των ανοιγμάτων στην πρόσοψη του κτηρίου είναι επίσης σημαντική για την απόδοση του φυσικού αερισμού.

Οι εναλλαγές αέρα σε όγκους του χώρου ανά ώρα (ACH - Air Change per Hour) μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με τις συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα για μια κατοικία ή ένα γραφείο, σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) συνιστώνται 0,75 με 1 ACH ενώ σε περιπτώσεις γεμάτων θεάτρων ή μπαρ απαιτούνται 30 έως και 50 ACH. Βέβαια υψηλές τιμές εναλλαγών αερισμού μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τις συνθήκες άνεσης και να προκαλέσουν ενοχλήσεις: παραδείγματος χάρη ένα κερί τρεμοπαίζει σε ταχύτητα αέρα 0,5 m/s περίπου, ενώ σελίδες χαρτιού μπορούν να παρασυρθούν όταν η ταχύτητα του αέρα αγγίξει το 1,5 m/s.

Η σχέση που χαρακτηρίζει την ψύξη του κτηρίου με φυσικό αερισμό, μέσω της απαγωγής θερμότητας είναι η εξής:

$$Q = \frac{q}{\rho c_p (T_2 - T_1)} \quad (1)$$

Όπου,

Q: το ποσοστό αερισμού σε m<sup>3</sup>/h,

q: το συνολικό θερμικό κέρδος από ενοίκους και συσκευές σε kcal/h,

ρ: η μέση πυκνότητα του αέρα σε kg/m<sup>3</sup>,

c<sub>p</sub>: η ειδική θερμότητα του αέρα σε kcal/(kg°C) και

T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>: η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε °C.

Η παραπάνω σχέση υποδηλώνει ότι με στόχο τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε ανεκτά επίπεδα, εφόσον είναι γνωστή η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, μπορεί να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος αέρα ανά ώρα για την απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας.

Η θετική πίεση που προκύπτει λόγω της πρόσπτωσης του αέρα πάνω στο κτήριο υπολογίζεται με βάση τη σχέση:



$$p_w = \frac{c_p u \rho^2}{2} \quad (2)$$

Όπου,

$C_p$ : ο συντελεστής ανεμοπίεσης

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα σε  $\text{kg/m}^3$  και

$u$ : η ταχύτητα του ανέμου σε  $\text{m/s}$ .

Ο συντελεστής ανεμοπίεσης αποτελεί αδιάστατο μέγεθος και για τον υπολογισμό του απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία του κτηρίου, τη θέση του ως προς τα γειτονικά και την τοπογραφία του χώρου .

Η ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται βάσει των υπάρχοντων μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής τα οποία συλλέγονται από τους σταθμούς σε ύψος 10m συνήθως από το έδαφος. Η ταχύτητα του ανέμου  $u$ , σε ύψος  $H$  , υπολογίζεται από την πιο απλή και ευρύτερα διαδεδομένη σχέση η οποία είναι:

$$\frac{u}{u_{10}} = c H^a \quad (3)$$

Όπου,

$u_{10}$ : είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και

$c$  και  $a$ , είναι συντελεστές που δίνονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Τιμές των συντελεστών  $c$  και  $a$  για διάφορες περιοχές [19]

Περιοχή	$c$	$a$
Επίπεδη ανοιχτή περιοχή	0.68	0.17
Ημιαστική περιοχή	0.52	0.20
Αστική περιοχή	0.35	0.25
Πόλη	0.21	0.33

Σε όλες τις περιπτώσεις παθητικής ψύξης σημαντικό ρόλο παίζει η δυνατότητα αποθήκευσης και αξιοποίησης της ενέργειας τις περιόδους υψηλής θερμοκρασίας της ημέρας. Η χρήση σκυροδέματος ως υλικό κατασκευής δαπέδων και δωματίων ή οροφών παρέχει ένα εξαιρετικό μέσο αποθήκευσης της ενέργειας, το οποίο με τη χαμηλή

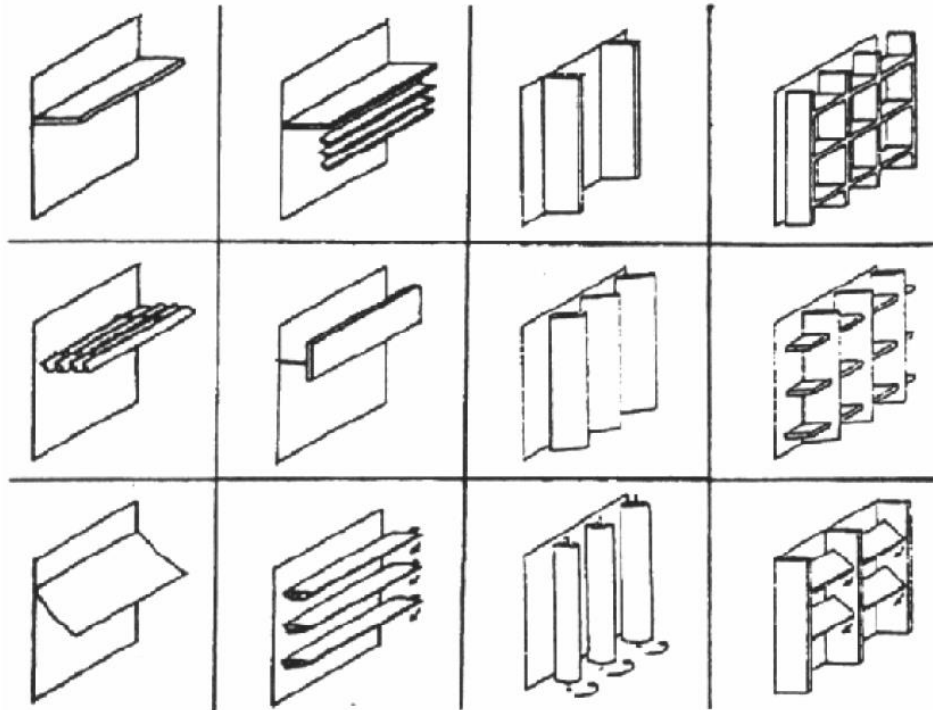
θερμοκρασία που αποκτά κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να αποδεχτεί τη θερμότητα που αφαιρείται από το χώρο εξασφαλίζοντας έτσι την επιθυμητή δροσιά. Η θερμική αξιοποίηση των δαπέδων και των οροφών εφαρμόζεται τόσο στην παθητική φυσική ψύξη όσο και στη θέρμανση. [19]

### *Σκίαση και ηλιοπροστασία*

Η ηλιοπροστασία αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη στρατηγική προστασίας του κτηρίου από τα θερμικά κέρδη. Η επιτυχής εφαρμογή της συνεισφέρει αφενός στη μείωση των ηλιακών κερδών στο κτήριο μέσω αδιάφανων αλλά και διαφανών στοιχείων του κελύφους, αφετέρου στη ρύθμιση του φυσικού φωτισμού αλλά και στην προστασία των ενοίκων από την υπεριώδη ακτινοβολία. Ο τύπος και ο βαθμός της σκίασης που κρίνεται αναγκαία εξαρτάται από τη θέση του ηλίου, την τοποθεσία αλλά και τη γεωμετρία του τμήματος του κτηρίου που καλείται να προστατευτεί. Κατά τη διάρκεια του θέρους τα νότια ανοίγματα λαμβάνουν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με το χειμώνα, οπότε είναι και πιο εύκολη η προστασία τους. Η σκίαση των ανατολικών και των δυτικών ανοιγμάτων και παραθύρων αποτελεί πιο δύσκολο εγχείρημα καθώς ο ήλιος κατά την ανατολή και την δύση του βρίσκεται στην χαμηλότερή του κλίση. Η σκίαση του κτηρίου επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση σκιάστρων και βλάστησης, ενώ οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι εσωτερικές ή εξωτερικές, κινητές ή σταθερές αλλά και συνδυασμός τους.

Τα πιο αποτελεσματικά σκιάστρα για τα νότια παράθυρα αποτελούν τα οριζόντια, αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι για τη χρήση του οριζόντιου σκιάστρου, ο νότιος προσανατολισμός είναι απαραίτητος, καθώς ακόμα και μια μικρή απόκλιση της τάξης των 8° μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της αποτελεσματικότητάς του. Για τους ανατολικούς και τους δυτικούς προσανατολισμούς από την άλλη, τα πιο αποτελεσματικά σκιάστρα είναι τα κατακόρυφα. Κύριο μειονέκτημα των σταθερών σκιάστρων αποτελεί το γεγονός ότι το ποσό της σκίασης είναι σταθερό και εξαρτάται μόνο από τη θέση του ηλίου κάθε εποχής και όχι από το επικρατούν κλίμα. Ακόμη, τα σταθερά σκιάστρα αποκόπτουν και μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτήριο κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Κινητά σκιάστρα αποτελούν οι τέντες, οι περσίδες, οι κουρτίνες και τα ρολά. Το πλεονέκτημα αυτών απέναντι στα σταθερά είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν κινητή μόνωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το πιο απλό σύστημα κινητής μόνωσης αποτελεί η τέντα η οποία περιορίζει το θερμικό κέρδος μέχρι και 65% το καλοκαίρι στις νότιες όψεις και μέχρι 80% στις ανατολικές και στις δυτικές αλλά πολλές φορές η αποτελεσματικότητά της περιορίζεται λόγω φθοράς εξαιτίας των καιρικών συνθηκών.



Εικόνα 1.11: Τύποι εξωτερικών σκιάστρων [19]



Εικόνα 1.12: Η βιβλιοθήκη Leo και Dottie Kolligian ,Πανεπιστήμιο της California, ΗΠΑ [24]

Διαφορετικοί τύποι σκιάστρων φαίνονται στην Εικόνα 1.11. Τα εσωτερικά σκιάστρα αξίζει να σημειωθεί ότι είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τα εξωτερικά διότι το φως του ηλίου εισέρχεται πρώτα στο χώρο και μετά προσπίπτει στο σκίαστρο. Έτσι, για να

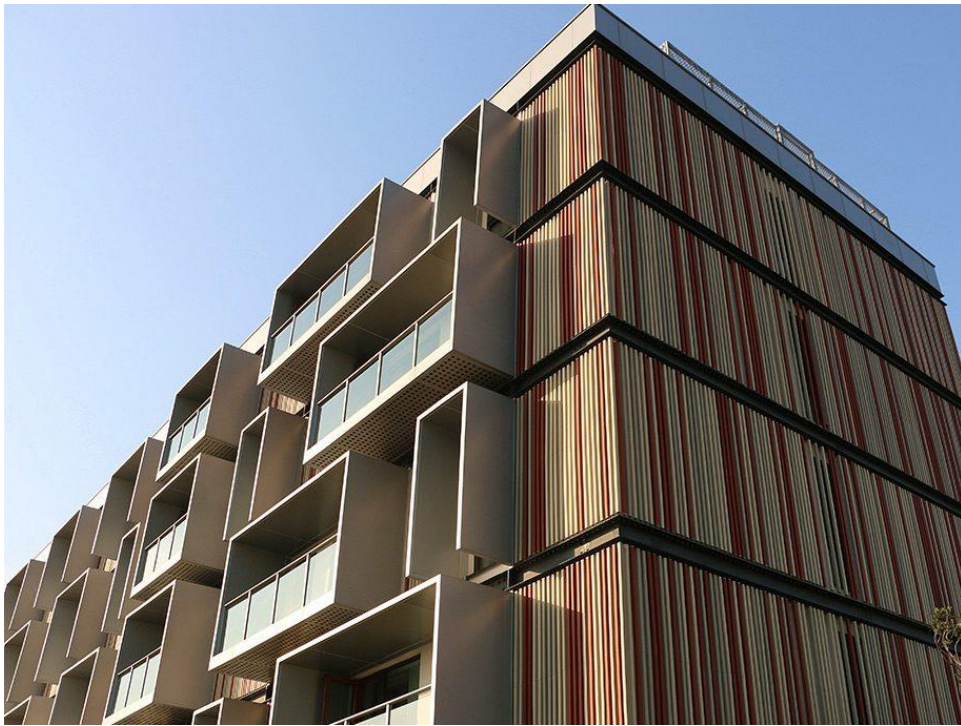
αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χώρου θα πρέπει το φως του ηλίου να ανακλάται πίσω μέσω του παραθύρου, όμως κάτι τέτοιο να επιτευχθεί στο 100% είναι αδύνατον, οπότε ένα μέρος της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τον εσωτερικό αέρα. Γι' αυτό και τα εσωτερικά σκίαστρα δεν πρέπει να έχουν σκούρο χρώμα. Τα εξωτερικά έχει αποδειχθεί ότι αποδίδουν όση ενέργεια έχουν απορροφήσει στον εξωτερικό αέρα, με αποτέλεσμα την αύξηση της αποτελεσματικότητάς του κατά 30% σε σχέση με τα εσωτερικά, τα οποία όμως έχουν χαμηλότερο κόστος και ο χειρισμός τους είναι ευκολότερος.

Η επιλογή του κατάλληλου σκίαστρου είναι σημαντική και αρκετά δύσκολη διαδικασία καθώς εξαρτάται τόσο από τις ανάγκες του κτηρίου και τη στρατηγική που θα ακολουθηθεί για τη διαμόρφωση της θερμικής και της ενεργειακής συμπεριφοράς του, όσο και από το κόστος της τοποθέτησής του. Ακόμη, τα σκίαστρα πρέπει να συνδυάζονται κατάλληλα ώστε ο φωτισμός στο εσωτερικό του κτηρίου να είναι στα ανεκτά επίπεδα και ο αερισμός ικανοποιητικός.

Τέλος, η ύπαρξη μεγάλων δένδρων γύρω από το κτήριο μπορεί να παρέχει επίσης σκίαση κατά τη διάρκεια της ημέρας και, λόγω της εξατμοδιαπνοής τους, απορροφούν θερμότητα από τον αέρα με αποτέλεσμα την επίτευξη χαμηλότερων θερμοκρασιών. Η θέση και η πυκνότητα του φυλλώματος αποτελούν του κύριους παράγοντες χρήσης της βλάστησης ως φυσικής σκίασης. Τα δέντρα που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε τέτοιες περιπτώσεις είναι τα φυλλοβόλα διότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα δεν εμποδίζουν τα θερμικά κέρδη από τον ήλιο και ταυτόχρονα παρέχουν καλύτερη διέλευση του φυσικού φωτισμού. Οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη σκίαση των δένδρων είναι η μορφολογία και η εξωτερική υφή του εδάφους, το κλίμα, το μέγεθος του καταλαμβάνουν με την πάροδο του χρόνου, αλλά και η περιποίησή τους.[18][19][21]



Εικόνα 1.13: Σπίτι B-99 Gurgaon, Haryana, Ινδία [24]



Εικόνα 1.14: Bruck Passive House Hotel , Συνοικία Zhejiang, Κίνα [24]

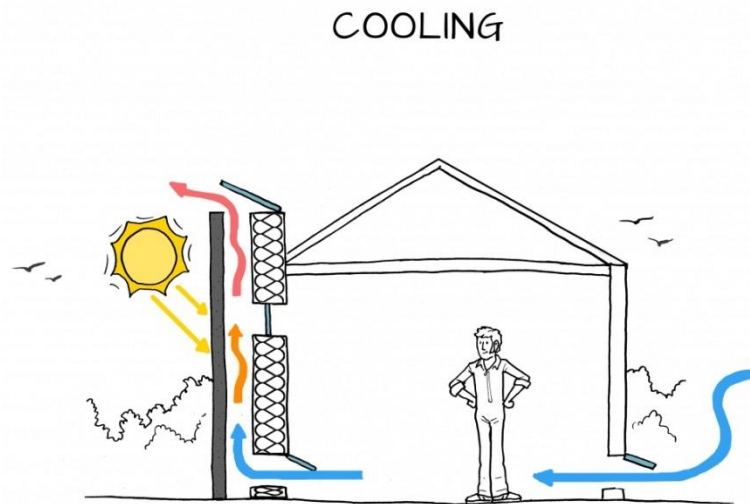
### Φαινόμενο καμινάδας

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου δημιουργούν διαφορές πυκνότητας στις αντίστοιχες ζώνες και κατ' επέκταση διαφορές πίεσης. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την εξωτερική, κρύος αέρας εισέρχεται από τα χαμηλότερα ανοίγματα του κτηρίου ενώ θερμός εξέρχεται από τα υψηλότερα. Δύο εκφάνσεις του φαινομένου της καμινάδας αποτελούν ο πύργος αερισμού και η ηλιακή καμινάδα.

Όσον αφορά την πρώτη περίπτωση, του πύργου αερισμού, γίνεται αξιοποίηση της ταχύτητας του ανέμου για τη μεταφορά της στον εσωτερικό χώρο. Ο άνεμος εισρέει στην κοιλότητα του πύργου που υπάρχει στο επάνω μέρος της καμινάδας, η οποία έχει προσανατολισμό ίδιο με την προσήνεμη πλευρά, και οδηγείται στο κάτω μέρος και στη συνέχεια εξέρχεται από το κτήριο μέσω ανοιγμάτων που βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά.

Στην δεύτερη περίπτωση, η ηλιακή καμινάδα εκμεταλλεύεται τον ήλιο για τη θέρμανση της εσωτερικής της επιφάνειας και κατ' επέκταση του αέρα που βρίσκεται εκεί, κάνοντας χρήση της θερμότητας με συναγωγή. Ο ζεστός αέρας ανέρχεται και εξέρχεται στο περιβάλλον αντικαθιστώντας τον αέρα του κτηρίου, δημιουργώντας ροή αέρα στο εσωτερικό του. Επίσης, είναι σημαντικό στην προσήνεμη πλευρά του κτηρίου να τοποθετείται παράθυρο, με σκοπό την εισαγωγή φρέσκου και δροσερού αέρα, ενώ οι

διαστάσεις της καμινάδας πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να μην επιτρέπεται η ανάστροφη ροή του αέρα. [6][19]



Εικόνα 1.15: Λειτουργία Ηλιακής καμινάδας [25]

#### Χρήση του εδάφους για δροσισμό

Η μέθοδος του συγκεκριμένου δροσισμού στηρίζεται στη διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ του εδάφους και του περιβάλλοντα αέρα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η θερμοκρασία που επικρατεί υπόγεια είναι κατά πολύ χαμηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος και επομένως είναι δυνατή η μεταφορά του πλεονάζοντος θερμικού φορτίου του κτηρίου στο έδαφος. Η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους μειώνεται ανάλογα με το βάθος, το ποσοστό υγρασίας που εμπεριέχει καθώς και με την αγωγιμότητά του. Οι τεχνικές με τις οποίες επιτυγχάνεται ο δροσισμός είναι δύο: η άμεση χρήση του εδάφους ως δεξαμενή θερμότητας, που προϋποθέτει την απευθείας επαφή του κτηρίου ή ενός μέρους του με το έδαφος και η έμμεση χρήση του χρησιμοποιώντας εναλλάκτες εδάφους-αέρα υπόγεια.

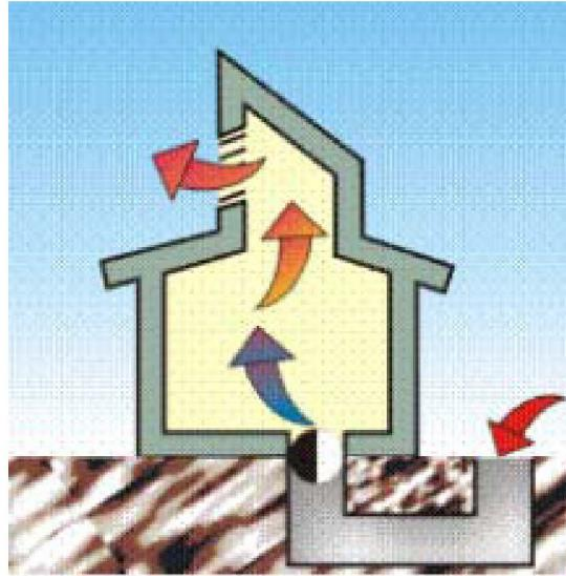
Η μετάδοση της θερμότητας μέσω της άμεσης επαφής του περιβλήματος του κτηρίου με το έδαφος αποτελεί μια ευρέως γνωστή τεχνική. Στην Ελλάδα ειδικά υπάρχουν πολλές υπόσκαφες παραδοσιακές κατοικίες, οι οποίες μπορούν να είναι σχετικά ζεστές τον χειμώνα και δροσερές το καλοκαίρι. Τα κτήρια αυτά εκτός από τη μόνωση που εξασφαλίζουν, παρέχουν και επαρκή δροσισμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει επειδή μέσα από τους τοίχους, το δάπεδο, ακόμα και από την οροφή, που μπορούν να βρίσκονται υπόγεια, μπορεί να γίνει μεταφορά της θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού του κτηρίου και του εδάφους που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία. Η συγκεκριμένη μέθοδος όμως δροσισμού πραγματοποιείται σε κατά βάση μικρά κτήρια, καθώς η δυνατότητα κατασκευής της σε μεγαλύτερη κλίμακα είναι περιορισμένη λόγω του

υψηλού κόστους και των ανεπαρκών συνθηκών φωτισμού. Ακόμα και τα μικρά κτήρια όμως που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος αποτελούν κατασκευές υψηλού κόστους λόγω της αναγκαστικής αυξημένης ενίσχυσης των οροφών, για την υποστήριξη αυτού του βάρους και της ειδικής κατασκευής των τοίχων για την αντοχή των πιέσεων και των τάσεων που αναπτύσσονται ανάλογα με το βάθος. Επίσης για είναι εφικτός ο δροσισμός θα πρέπει τα κτήρια να μην μονώνονται θερμικά, αλλά να υγραμονώνονται για την αποφυγή των προβλημάτων, λόγω υγρασίας, των επιφανειών.

Η μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτηρίου δεν περιορίζεται μόνο στη μείωση της κατανάλωσης που αφορά τη θέρμανση και την ψύξη. Πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και οι ανάγκες του κτηρίου για φωτισμό. Συνεπώς το βάθος και το ποσοστό του κτηριακού κελύφους που θα σκιάζεται εξαιτίας του εδάφους πρέπει να μελετάται ώστε να γίνεται πολύ προσεκτικός σχεδιασμός των ανοιγμάτων μέσω των οποίων το ηλιακό φως θα εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Συνήθως σχεδιάζονται όσο το δυνατόν περισσότερα ανοίγματα στην πλευρά που είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία, όπου και βρίσκονται οι κύριοι χώροι της κατοικίας, ενώ οι βοηθητικοί σχεδιάζονται στην αντίθετη κατεύθυνση.

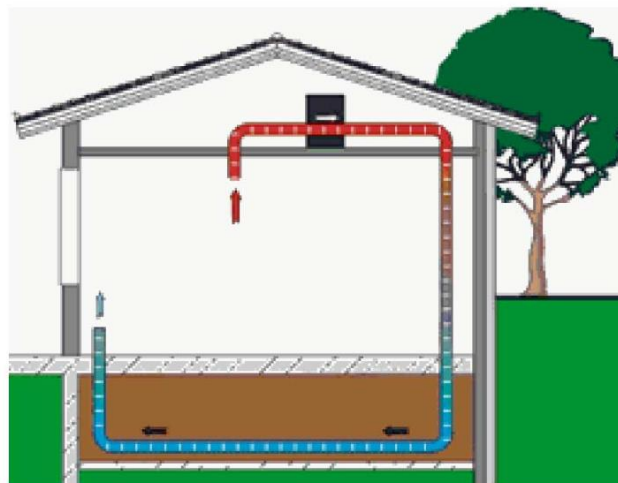
Στην περίπτωση τώρα που γίνεται χρήση του εδάφους με την βοήθεια εναλλακτών εδάφους-αέρα, χρησιμοποιείται μια σωλήνωση η οποία έχει τοποθετηθεί οριζόντια μέσα στο έδαφος ,μέσα στην οποία κυκλοφορεί αέρας με τη βοήθεια μηχανικών μέσων (ανεμιστήρων). Μέσω αυτού του συστήματος ο αέρας εισάγεται στο εσωτερικό του κτηρίου και το ψύχει καθώς ο θερμός αέρας κυκλοφορεί εντός του αγωγού και μεταδίδει τη θερμότητά του με συναγωγή και εξάτμιση στη γη, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Παρόλο που η συγκεκριμένη τακτική αναπτύχθηκε περισσότερο τα τελευταία χρόνια, πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τους Πέρσες και τους Έλληνες κατά την προχριστιανική περίοδο.

Οι εναλλάκτες εδάφους-αέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε ανοικτό είτε σε κλειστό κύκλωμα. Στους εναλλάκτες ανοικτού κυκλώματος η είσοδος των αγωγών βρίσκεται εξωτερικά του κτηρίου και η έξοδος τους μέσα σε αυτό. Η συγκεκριμένη κατασκευή είναι αρκετά περίπλοκη και πρέπει να αποδοθεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς η είσοδος των αγωγών πρέπει να έχει μικρή κλίση για την αποφυγή εισαγωγής νερού βροχής στο εσωτερικό της κατοικίας και η αποχέτευση πρέπει να είναι πάντα καλά συντηρημένη ώστε να μην συσσωρεύεται νερό στο εσωτερικό του αγωγού που με την αύξηση της στάθμης του μπορεί να εμποδίσει την εισαγωγή του αέρα στον αγωγό. Επίσης, η θέση της εισόδου επιβάλλεται να βρίσκεται σε σκιερό μέρος ώστε ο εισερχόμενος αέρας να μην είναι θερμός για να μπορέσει ,αφού ψυχθεί επαρκώς, να δροσίσει το κτήριο. Στους εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος η είσοδος όσο και η έξοδος του αγωγού βρίσκονται στο εσωτερικό του κτηρίου και με την είσοδο του αέρα να γίνεται από ένα υψηλό σημείο ώστε ο αέρας να είναι όσο πιο θερμός γίνεται.



Εικόνα 1.16: Εναλλάκτης εδάφους-αέρα ανοικτού κυκλώματος [12]

Η πτώση της θερμοκρασίας του αέρα εξαρτάται από την θερμοκρασία του στην είσοδο, τη θερμοκρασία του εδάφους στο βάθος του εναλλάκτη, τη θερμική αγωγιμότητα των αγωγών, την ταχύτητα του αέρα και τις διαστάσεις του εναλλάκτη. Οι αγωγοί πρέπει να έχουν μεγάλο μήκος να για μπορέσει η ψύξη του αέρα να είναι επαρκής και κατ' επέκταση και ο δροσισμός του εσωτερικού χώρου. Σημαντική παράμετρο αποτελεί και το σχήμα των αγωγών καθώς και το είδος του υλικού κατασκευής. Οι αγωγοί πρέπει να είναι ευθύγραμμοι για να μπορεί η ροή στο εσωτερικό τους να είναι ομαλή ενώ δεν πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από πορώδες υλικό, καθώς μπορούν να προκύψουν προβλήματα από τα σωματίδια που θα έχουν εισχωρήσει στον ψυχόμενο αέρα μέσω του εδάφους. Απαραίτητη, επίσης, είναι και η ύπαρξη φίλτρου μέσα στον αγωγό για την αποφυγή εισροής σκόνης, σωματιδίων αλλά και εντόμων στο εσωτερικό του κτηρίου. Οριακή τιμή για την εφαρμογή ενός συστήματος εναλλακτών εδάφους-αέρα αποτελεί η θερμοκρασιακή διαφορά τουλάχιστον  $5-6^{\circ}\text{C}$  μεταξύ του εδάφους γύρω από τον αγωγό και του αέρα. [19]



Εικόνα 1.17: Εναλλάκτης εδάφους-αέρα κλειστού κυκλώματος [19]



## Εξατμιστική ψύξη

Η μέθοδος της ψύξης αυτής χρησιμοποιεί το φαινόμενο της εξάτμισης για την απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο ενός κτηρίου στο περιβάλλον. Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα όταν η πίεση ατμού του νερού είναι υψηλότερη από τη μερική πίεση των ατμών του νερού στην ατμόσφαιρα. Σημαντικές παραμέτρους αποτελούν η μεγιστοποίηση της ροής του αέρα κοντά στο νερό καθώς και η συνεχής διαθεσιμότητα φρέσκου αέρα για αντικατάσταση του ρεύματος που είναι υψηλό σε υγρασία. Αδυναμία αντικατάστασης του αέρα που βρίσκεται κοντά στο νερό έχει σαν συνέπεια τον κορεσμό της κατοικίας με υδρατμούς, με αποτέλεσμα την μη ικανοποιητική απόδοση του συστήματος. Επίσης, κατασκευές, έπιπλα και οτιδήποτε άλλο που εμποδίζει τη ροή του αέρα πρέπει να απομακρύνεται και να αποφεύγεται.

Η εξάτμιση χαρακτηρίζεται από μετατόπιση κατά μήκος της ευθείας γραμμής της σταθερής θερμοκρασίας υγρού βολβού στον ψυχομετρικό χάρτη. Όταν η μείωση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού συνοδεύεται από αύξηση της υγρασίας του αέρα, η διαδικασία ονομάζεται άμεση ψύξη με εξάτμιση. Στην περίπτωση τώρα που η εξάτμιση του νερού συμβαίνει μέσα σε ένα σωλήνα ή επάνω σε μια επιφάνεια, συμβάλλοντας τη μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών, είναι δυνατό να ψυχθεί ο παρακείμενος προς αυτές τις επιφάνειες αέρας χωρίς να αυξηθεί η υγρασία του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ψύξη με έμμεση εξάτμιση και χαρακτηρίζεται από μετατόπιση κατά μήκος της ευθείας με σταθερό λόγο υγρασίας. Η αποδοτικότητα των συστημάτων εξατμιστικής ψύξης βασίζονται στην απόδοση κορεσμού η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\alpha. \kappa. = \frac{T_{dbin} - T_{dbout}}{T_{dbin} - T_{wbin}} \quad (4)$$

Όπου,

$T_{dbin}$  και  $T_{dbout}$  : οι θερμοκρασίες ξηρού βολβού του αέρα στην είσοδο και

στην έξοδο του συστήματος αντίστοιχα και

$T_{wbin}$  : η θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα στην είσοδο του συστήματος.

Τυπικές τιμές της απόδοσης κορεσμού κυμαίνονται μεταξύ 60% και 80%.

Τα συστήματα ψύξης με άμεση εξάτμιση αυξάνουν την υγρασία του ψυχθέντος αέρα αυξάνοντας την τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα του εσωτερικού χώρου και μαζί το λόγο υγρασίας αυτού. Η αύξηση αυτή είναι αποδεκτή μόνο όταν ο ρυθμός αλλαγών αέρα είναι επαρκής καθώς σε διαφορετική περίπτωση είναι δυνατό να επηρεαστεί η άνεση μέσα στο χώρο και να παρατηρηθεί συμπύκνωση ή σχηματισμός μυκήτων. Η εξατμιστική ψύξη χρησιμοποιείται και στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική, ιδίως σε θερμές και ξηρές περιοχές, όπου κοντά υπάρχουν μικρές λίμνες ή δεξαμενές που βρίσκονται προς την πλευρά του

ρεύματος αέρα. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν λίγη ή καθόλου βοηθητική ενέργεια αλλά απλές και στιβαρές τεχνολογικές κατασκευές με σκοπό την αποφυγή της ανάγκης μεγάλων επιφανειών νερού και κίνησης μεγάλων όγκων αέρα, πλεονέκτημα που τα καθιστά κατάλληλα για ξηρές περιοχές. Το κύριο μειονέκτημά τους έγκειται στο αυξημένο ποσοστό υγρασίας του αέρα αερισμού που παρέχεται στους εσωτερικούς χώρους.

Όσον αφορά τα συστήματα έμμεσης εξατμιστικής ψύξης, βασίζονται στη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Ο εσωτερικός αέρας προωθείται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα και περνάει από το πρωτεύον κύκλωμα στο οποίο πραγματοποιείται η εξάτμιση, ενώ ο εξωτερικός διέρχεται από το δευτερεύον. Με αυτή τη διαδικασία, η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα μειώνεται ενώ ταυτόχρονα αποφεύγεται η αύξηση του ποσοστού της υγρασίας του. Υπάρχουν τρεις τύποι τέτοιων ψυκτών: οι επίπεδοι, οι σωληνωτοί και οι περιστρεφόμενοι τύπου. Κατώτατη συνθήκη για τη λειτουργία ενός συστήματος τέτοιας μορφής αποτελεί η πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας υγρού βολβού στο σημείο που γίνεται πιο χαμηλή από την εξωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού. Πρακτικά μιλώντας, είναι όταν η εσωτερική θερμοκρασία υγρού βολβού πέσει κάτω από τους 21°C.

Σε θερμά και ξηρά κλίματα με τις προαναφερθείσες μεθόδους ψύξης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 30% σε σχέση με τα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούν συμπιεστές. Η αποδοτικότητα όμως του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα. Στα συστήματα έμμεσης ψύξης, εφόσον δεν αυξάνουν την υγρασία του εσωτερικού χώρου, δεν απαιτείται για τη λειτουργία τους έλεγχος της υγρασίας. Επίσης, εξαρτήματα που διαβρώνονται θα πρέπει να αποφεύγονται και η χρήση αποτελεσματικών φίλτρων για την αποφυγή συσσώρευσης σωματιδίων σκόνης είναι αναγκαία. Στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία αέρα είναι πολύ υψηλή, είναι εφικτή η χρήση ενός συστήματος ψύξης δύο σταδίων, το οποίο αποτελείται από έναν έμμεσο ψύκτη σε ζεύξη με έναν άμεσο ή ένα έμμεσο οι οποίοι μπορούν να συμπληρώνονται από μια ψυκτική μονάδα κλιματισμού.

Εναλλακτικό σύστημα εξατμιστικής ψύξης θα μπορούσε να αποτελεί και ο ψεκασμός της οροφής κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού προσφέροντας μια καλή λύση για δροσισμό στο κτήριο. Το νερό με τη βοήθεια μιας αντλίας ψεκάζεται στην οροφή του σπιτιού και κυλώντας αργά πάνω στην κεκλιμένη στέγη, απάγει την θερμότητα της οροφής και την ψύχει. Η αισθητή θερμότητα στην επιφάνεια της οροφής μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα ψύξης, και το νερό εξατμίζεται δημιουργώντας έτσι θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών επιφανειών, ψύχοντας το κτήριο. Το νερό μπορεί να συλλεχθεί στο κάτω μέρος της στέγης και να επαναχρησιμοποιηθεί για άλλες χρήσεις ενώ με τον συνεχή ψεκασμό η επιφάνεια της στέγης μπορεί να διατηρείται συνεχώς υγρή. Τέλος, λόγω της μεγάλης επιφάνειας που ψεκάζεται και της εξ ολοκλήρου έκθεσης στο νυχτερινό ουρανό, το σύστημα του ψεκασμού της οροφής έχει πολύ καλή απόδοση.

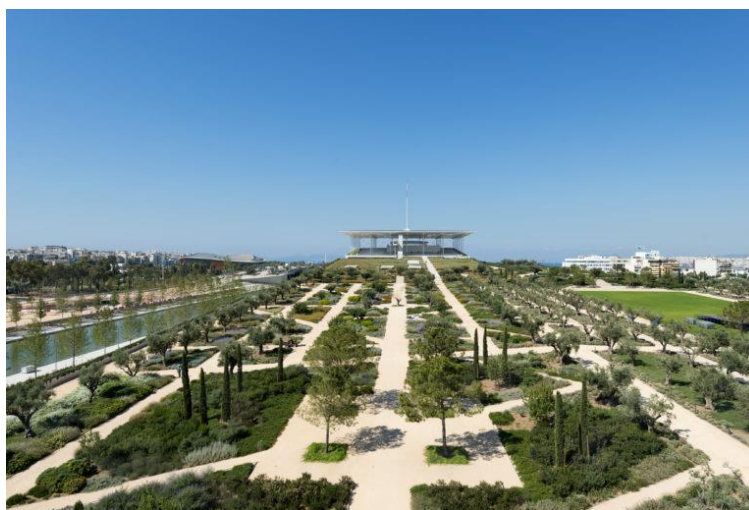
Ο αέρας που εισέρχεται στο κτήριο μπορεί προηγουμένως να έχει ψυχθεί μέσω της χρήσης υδάτινων επιφανειών οι οποίες τροποποιούν το μικρόκλιμα μιας περιοχής με την εξάτμιση. Για την αλλαγή της κατάστασης του νερού σε ατμό, απαιτείται ένα συγκεκριμένο ποσό θερμότητας που είναι γνωστό ως λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Η θερμότητα αυτή

παρέχεται μέσω θερμού αέρος, εμφανίζοντας έτσι πτώση της θερμοκρασίας του αέρα που συνοδεύεται από αύξηση της σχετικής υγρασίας του (  $\Phi$  ). Η επίδραση της ψύξης από εξάτμιση μπορεί να μεγιστοποιηθεί τόσο με την αύξηση της επιφάνειας επαφής, όσο και με τη σχετική κίνηση του αέρα που εισέρχεται στο κτήριο. Η αύξηση της υγρασίας μέσω των υδάτινων επιφανειών είναι ιδιαίτερα ευεργετική σε ξηρά κλίματα, ενώ σε υγρά μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα, εφόσον ο αέρα βρίσκεται ήδη σε κατάσταση κορεσμού. [18][19]

### *Φυτεμένα δώματα*

Οι φυτεμένες οροφές αποτελούνται από ένα στρώμα βλάστησης, το οποίο αναπτύσσεται σε ένα ειδικά διαμορφωμένο, συνήθως οριζόντιο, επίπεδο. Το φυτεμένο δώμα συνεισφέρει στη θερμική μόνωση του κτηρίου λόγω των υλικών που το αποτελούν, όπως το χώμα ικανού πάχους και τον αέρα που εγκλωβίζεται μεταξύ των φυλλωμάτων και των φυτών. Θα πρέπει υποχρεωτικά να συνδυάζεται με κατάλληλα διαμορφωμένη θερμομόνωση αλλά και υδρομόνωση της οροφής. Το καλοκαίρι εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει το κέλυφος του κτηρίου, λόγω των φυτών στην επιφάνειά του, και πρακτικά θεωρείται ότι μηδενίζει την επίδραση της στην οροφή, η οποία αποτελεί σημαντική πηγή θερμικής επιβάρυνσης του κτηρίου. Επίσης, τα φυτά μέσω της εξάτμισης από τα φύλλα τους συνεισφέρουν στην εξατμιστική ψύξη της οροφής.

Τόσο η κατασκευή ενός φυτεμένου δώματος, όσο και η επιλογή των φυτών εξαρτάται από το είδος της οροφής αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο. Ένα φυτεμένο δώμα συνεισφέρει στη δημιουργία ήπιων συνθηκών στους από κάτω χώρους και συμβάλει στην ευχάριστη αίσθηση της παρουσίας ενός φυσικού περιβάλλοντος, στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, στη βελτίωση του κλίματος της πόλης και στον εμπλουτισμό της με οξυγόνο και στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα.

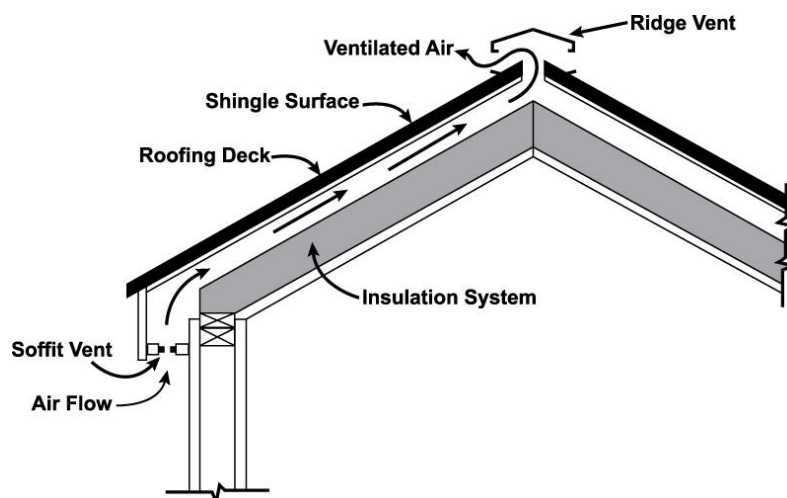


Εικόνα 1.18 : Φυτεμένο δώμα στο Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος-Φωτογραφία: Γιώργης Γερόλυμπος [26]

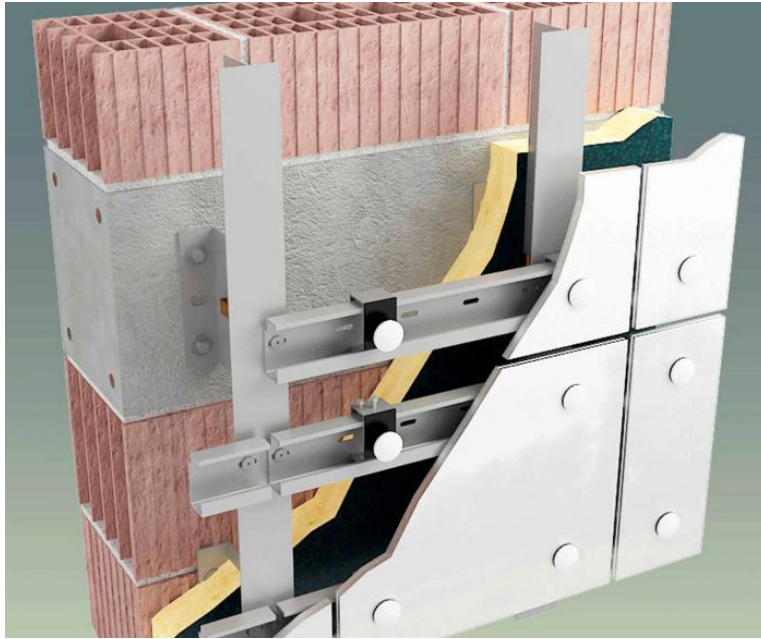
## Αεριζόμενα δομικά στοιχεία

Τα αεριζόμενα δομικά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώματα υλικών μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα διάκενο αέρα το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Λόγω διαφορών στις πυκνότητες του αέρα, άρα και διαφορές πίεσης, δημιουργείται ροή στο εσωτερικό του διακένου και απάγεται με φυσικό τρόπο ο θερμός αέρας. Σε μερικές περιπτώσεις, μάλιστα, για την επίτευξη της απαιτούμενης ταχύτητας στο εσωτερικό του διακένου μπορούν να τοποθετηθούν ένας ή και περισσότεροι ανεμιστήρες. Τα αεριζόμενα δομικά στοιχεία, δεδομένου του σωστού σχεδιασμού, μπορούν να βελτιώσουν τα επίπεδα θερμικής άνεσης και να μειώσουν τα θερμικά κέρδη το καλοκαίρι, κυρίως σε κτήρια μεσαίου ύψους και μεγάλου πλάτους.

Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος αυτή έχει γίνει το αντικείμενο πολλών ερευνών λόγω της καλής της απόδοσης σε περιπτώσεις υπερθέρμανσης των κτηριακών κατασκευών κατά τη διάρκεια του θέρους. Διαφορετική εφαρμογή της ίδιας μεθόδου αποτελεί η τοποθέτηση μιας αεριζόμενης γυάλινης πρόσοψης, η οποία χρησιμοποιεί δύο στρώματα διαφορετικών δομικών στοιχείων και ένα κανάλι αέρος ανάμεσά τους. Το κανάλι αυτό χρησιμεύει στην συλλογή ή την απομάκρυνση της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την πρόσοψη. Για αρχιτεκτονικούς και αισθητικούς λόγους, η εξωτερική στρώση αποτελείται από γυάλινες επιφάνειες ενώ η εσωτερική μπορεί να είναι συμπαγής ή ημισυμπαγής, μειώνοντας έτσι τα ηλιακά κέρδη και αυξάνοντας τη θερμική αδράνεια του κτηρίου. Οι προσόψεις αυτές βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις βορειότερες χώρες της Ευρώπης, ενώ μελέτες πραγματοποιούνται για τυχόν μελλοντική εφαρμογή τους στις πιο νότιες. Πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων συστημάτων αποτελούν η επίτευξη καλών συνθηκών φυσικού φωτισμού και αερισμού του κτηρίου, εξωτερική ομοιομορφία και όμορφο αισθητικό αποτέλεσμα ενώ μειονέκτημά τους αποτελεί η αύξηση τόσο των θερμικών κερδών όσο και των θερμικών απωλειών.



Εικόνα 1.19: Αεριζόμενη οροφή [27]



Εικόνα 1.20: Αεριζόμενη πρόσοψη [28]

## Κεφάλαιο 2 Τα Συστήματα HVAC

Το σύστημα HVAC (που προφέρεται ως τέσσερα χωριστά γράμματα,) αποτελεί ένα αρκτικόλεξο που αντιπροσωπεύει τη θέρμανση (H), τον εξαερισμό (V) και τον κλιματισμό (AC)" και περιλαμβάνει διάφορα ενεργά μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του θερμικού ελέγχου ενός κτηρίου. Ο έλεγχος του θερμικού περιβάλλοντος αποτελεί βασικό στόχο για όλα τα κατειλημμένα κτήρια. Για πολλές χιλιετίες, ο έλεγχος αυτός απλά περιοριζόταν στην προσπάθεια εξασφάλισης της επιβίωσης κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμώνων. Στη σημερινή εποχή, βέβαια, οι προσδοκίες του θερμικού ελέγχου εκτείνονται αρκετά πέρα από την απλή επιβίωση του ανθρώπου και περιλαμβάνουν τις σύνθετες θεωρήσεις για θερμική άνεση και ποιότητα του αέρα, που επηρεάζουν την υγεία, την ικανοποίηση και την παραγωγικότητα των ατόμων που καταλαμβάνουν τους χώρους του κάθε κτηρίου.

Ένα σύστημα θέρμανσης ("H" του HVAC) σχεδιάζεται με σκοπό την προσθήκη θερμικής ενέργειας σε ένα χώρο ή κτήριο, προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή μια επιλεγμένη θερμοκρασία αέρα, η οποία ,σε διαφορετική περίπτωση, δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ροής της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον (απώλεια θερμότητας).

Ένα σύστημα εξαερισμού ("V") έχει ως βασικό του σκοπό την κυκλοφορία του αέρα σε ένα χώρο χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η θερμοκρασία του. Τα συστήματα εξαερισμού είναι πιθανό, και σε ορισμένες περιπτώσεις αναγκαίο να χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα και, κατ' επέκταση, τα επίπεδα άνεσης των ενοίκων.

Ένα σύστημα ψύξης (ή, αλλιώς, δροσισμού), που δεν περιλαμβάνεται ρητά ως έννοια στο αρκτικόλεξο HVAC, σχεδιάζεται με σκοπό την αφαίρεση της θερμικής ενέργειας από ένα

χώρο ή κτήριο. Η χρήση ενός συστήματος ψύξης είναι αναγκαίο για να μπορεί να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που, σε άλλη περίπτωση, θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές της, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου (κέρδος θερμότητας). Οι ψυκτικές διατάξεις εξετάζονται συνήθως ως τμήμα του "AC", σε σχέση με τα αρχικά HVAC. Το "AC" υποδηλώνει τον κλιματισμό (Air-Conditioning).

Ένα σύστημα κλιματισμού, σύμφωνα με τον ορισμό της ASHRAE, είναι μία συνάθροιση συνιστωσών, με καθορισμένη δομή και λειτουργία, που πρέπει να εκπληρώνει ταυτόχρονα τέσσερις στόχους. Αυτοί ονομαστικά είναι ο έλεγχος:

- της θερμοκρασίας του αέρα,
- της υγρασίας του αέρα,
- της κυκλοφορίας του αέρα και
- της ποιότητας του αέρα.

Αν και η λέξη "έλεγχος" αφορά μια πολύ αόριστη έννοια, στην οποία μπορούν να εκτείνεται από τον εξαιρετικά ακριβή έλεγχο των εγκαταστάσεων κεντρικών υπολογιστών μέχρι τον έλεγχο για νυχτερινή λειτουργία στις κατοικίες, η απαίτηση από ένα σύστημα κλιματισμού να είναι σε θέση να τροποποιεί ταυτόχρονα και τις ανωτέρω τέσσερις ιδιότητες του αέρα καταδεικνύει το βαθμό της πολυπλοκότητας των εν λόγω συστημάτων. Η φράση "κλιματισμός" συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια μεγάλη ποικιλία επιπέδων υπηρεσιών, από το μηχανικό εξαερισμό μέχρι τα σύνθετα συστήματα που παρέχουν και τους τέσσερις προαναφερθέντες ελέγχους. [29]

## 2.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Τα συστήματα HVAC είναι ουσιώδη και από πλευράς σχεδιασμού ενός κτηρίου στο σύνολό του, για τέσσερις κύριους λόγους.

Κατ' αρχήν, τα συστήματα αυτά απαιτούν συχνά σημαντικό χώρο δαπέδου ή/και κτηριακό όγκο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού και των διατάξεων διανομής, ζητήματα που πρέπει να διευθετούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η έκταση αυτών των απαιτήσεων για μια μεγάλη ποικιλία κτηριακών τύπων.

Πίνακας 2.1 : Απαιτήσεις χώρου των συστημάτων HVAC

Συνολική Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Κατοχή Ανάλογη των			
	Κατοικιών	Ιδρυμάτων	Γραμμών Παραγωγής	Εργαστηρίων
1.000	6%	8%	9%	11%
5.000 - 10.000	4%	6%	7%	10%
50.000	3%	4%	5%	8%

Κατά δεύτερο λόγο, τα συστήματα HVAC αποτελούν σημαντικό στοιχείο του προϋπολογισμού για πολυάριθμους συνήθεις κτηριακούς τύπους. Σε μια κατοικία το ποσοστό του προϋπολογισμού που αφορά το σύστημα HVAC μπορεί να αγγίζει το 2,3% ενώ σε ένα εστιατόριο το 19%, σε ένα κτηριακό χώρο γραφείων περίπου το 13% ενώ σε μια μεσαίου μεγέθους πολυκατοικία το 10%. Βεβαίως, κακή επιλογή του συστήματος κατά τη φάση του σχεδιασμού μπορεί, όχι μόνο να αυξήσει το αρχικό κόστος εγκατάστασης, αλλά και να επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας του.

Ως τρίτη αιτία μπορεί να αναφερθεί το γεγονός ότι, η επιτυχία ή και η αποτυχία των προσπαθειών για θερμική άνεση σχετίζεται συνήθως άμεσα με την επιτυχία ή την αποτυχία αντίστοιχα των συστημάτων HVAC των κτηρίων με την επίδοσή τους, μάλιστα, να αξιολογείται αυστηρά από τους ενοίκους των κτηρίων σε καθημερινή βάση. Είναι αποδεκτό δηλαδή να συμπεράνουμε ότι τα αποδοτικά συστήματα HVAC είναι συχνά το κλειδί για επιτυχή κτήρια.

Τελευταίος, αλλά όχι ασήμαντος, λόγος αποτελεί το γεγονός ότι η διατήρηση των κατάλληλων θερμικών συνθηκών μέσω της λειτουργίας ενός συστήματος HVAC, συνιστά μία σημαντική παράμετρο για την κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου. Είναι γεγονός ότι, η ενέργεια που καταναλώνεται στα κτήρια για θέρμανση, φωτισμό και παροχή υπηρεσιών αποτελεί το μισό του ενεργειακού λογαριασμού μιας χώρας. Από την άλλη, υφίσταται ιδιαίτερα ευνοϊκό πεδίο για τη μείωσή της.

Έτσι, στα γραφεία, για παράδειγμα, που κλιματίζονται, το 30 έως 40% του ενεργειακού τους λογαριασμού συνήθως αποδίδεται αποκλειστικά στον κλιματισμό τους. Αυτό δεν αντιπροσωπεύει μόνο το ποσοστό ενός μεμονωμένου χρήστη, αλλά αν αναλυθεί σε εθνικό επίπεδο, οδηγεί στην εκπομπή εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα, τον σημαντικότερο από τους παράγοντες που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εξάλλου, οι CFC ( χλωροφθοράνθρακες) , που έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά ως ψυκτικά μέσα, συμβάλλουν επίσης σημαντικά στο περιβαλλοντικό κόστος του κλιματισμού, καθώς, όταν αποδεσμεύονται, συμβάλλουν στη μείωση του στρώματος όζοντος και έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Επίσης αξίζει να αναφέρουμε ότι σε ένα μεγάλο αριθμό κτηρίων, ο πλήρης κλιματισμός των χώρων τους δεν είναι πραγματικά απαραίτητος και μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλα ενεργειακά οφέλη με τη χρησιμοποίηση μηχανικού ή φυσικού εξαερισμού αντ' αυτού. Η χρήση του μηχανικού εξαερισμού ή του μερικού κλιματισμού (λειτουργία μικτού τρόπου) είναι σημαντικό να εξετάζεται πριν από τη λήψη οποιασδήποτε απόφασης για τον κλιματισμό ολόκληρης της κτηριακής εγκατάστασης με τις αποφάσεις αυτές να λαμβάνονται νωρίς κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού.

Όπου ο κλιματισμός είναι απαραίτητος, έχει υπολογισθεί από διάφορες μελέτες ότι μέχρι και το 30% του τυπικού ενεργειακού κόστους μπορεί να εξοικονομηθεί εάν ληφθεί πρόνοια για:

- Την κατάλληλη επιλογή του συστήματος.
- Τον ενεργειακά συνειδητό σχεδιασμό της εγκατάστασης.

- Τον καλό έλεγχο του συστήματος.
- Την αποτελεσματική λειτουργία και συντήρηση του συστήματος.

Εν τούτοις, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι ακόμη και το καταλληλότερα επιλεγμένο σύστημα κλιματισμού μπορεί να είναι ακριβό στη λειτουργία του εάν δεν είναι σωστά εγκατεστημένο, ρυθμισμένο, ελεγχόμενο και συντηρούμενο.[29]

## 2.2 Συνοπτική παρουσίαση των συστημάτων HVAC

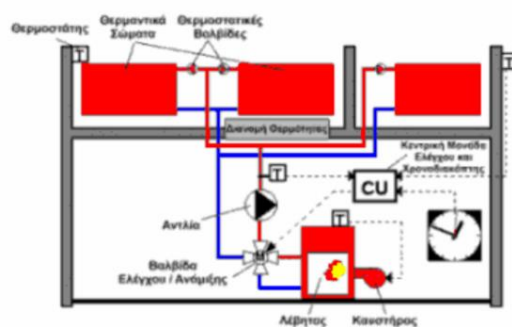
Τα συστήματα HVAC μπορούν να ταξινομηθούν γενικά ως εξής: μόνο θέρμανσης, μόνο εξαερισμού, μόνο δροσισμού ή, τέλος, στα συστήματα κλιματισμού. Στη συνέχεια, όταν γίνεται αναφορά στα συστήματα κλιματισμού, θα εννοούνται τα συστήματα εκείνα που μπορούν κατ' ελάχιστο να παράσχουν δροσισμό του αέρα. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, στα περισσότερα κτήρια οι προσδοκίες/απαιτήσεις άνεσης των κατοίκων τους απαιτούν εν γένει τη χρήση των συστημάτων κλιματισμού. Τα συστήματα αυτού του είδους αποτελούν το αντικείμενο μελέτης αυτού του κεφαλαίου, αν και θα γίνει αναφορά και στα συστήματα με τις πιο περιορισμένες δυνατότητες.[29]

### 2.2.1 Συστήματα θέρμανσης χώρων

Τα συστήματα μόνο θέρμανσης χώρων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1 στηρίζονται συνήθως σε μία κεντρικά τοποθετημένη θερμαντική μονάδα, στην οποία αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για τη διανομή της θερμότητας στους προς θέρμανση χώρους. Σήμερα πλέον, οι περισσότερες, αν όχι όλες, κτηριακές μονάδες χρησιμοποιούν κεντρική θέρμανση. Ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης αποτελείται από τα παρακάτω κύρια υποσυστήματα:

- Μία μονάδα παραγωγής, η οποία μπορεί να είναι ένας λέβητας ορυκτού καυσίμου, μία αντλία θερμότητας ή ένας υποσταθμός εναλλαγής θερμότητας, συνδεδεμένος σε ένα σύστημα περιφερειακής θέρμανσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται και μονάδες συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) για το σκοπό αυτό. Στην περίπτωση των μονάδων ορυκτού καυσίμου, τα καυσαέρια του λέβητα οδηγούνται στην ατμόσφαιρα μέσω της καμινάδας.
- Ένα δίκτυο αγωγών διανομής, για τη μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου, που συνήθως είναι νερό ή ατμός, στους προς θέρμανση χώρους.
- Συσκευές απόδοσης της θερμότητας στο χώρο, οι οποίες διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία και επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες του θερμαινόμενου χώρου. Αυτές περιλαμβάνουν τα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ), τα οποία είναι και οι πιο συνηθισμένες από τις συσκευές αυτές, τους μεταγωγείς, αλλά και τους θερμαντήρες πατώματος χαμηλής θερμοκρασίας.





Εικόνα 2.1 Σχηματική Παράσταση ενός Συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης [29]

Η μονάδα παραγωγής του συστήματος τροφοδοτείται με νερό, το οποίο θερμαίνεται και μετατρέπεται σε ζεστό νερό ή ατμό. Η θέρμανση αυτή επιτυγχάνεται μέσω ενός **λέβητα** που καίει κάποιο ορυκτό καύσιμο. Το καύσιμο μπορεί να είναι πετρέλαιο, αέριο ή ξύλο, το οποίο καίγεται σε κατάλληλα διαμορφωμένη συσκευή, τον καυστήρα, ο οποίος είναι εν γένει ενσωματωμένος στο λέβητα και αποτελεί μια πολύ σημαντική συνιστώσα του συστήματος επηρεάζοντας με μεγάλο βαθμό την απόδοσή του.

Εναλλακτικά, σε πολύ μικρότερο όμως βαθμό, χρησιμοποιούνται **κλίβανοι**, οι οποίοι στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τους λέβητες. Η βασική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το θερμαντικό μέσο δεν είναι πλέον νερό (ή ίσως ατμός), αλλά αέρας. Ο αέρας, αφού θερμανθεί, κυκλοφορείται μέσω ενός δικτύου αεραγωγών προς τους χώρους ενδιαφέροντος. Ένα άλλο είδος θερμαντικών μονάδων που γίνεται όλο και πιο δημοφιλές είναι οι **αντλίες θερμότητας**. Σε αυτές, η θερμότητα μεταφέρεται στο εργαζόμενο μέσο από μία δεξαμενή θερμότητας χαμηλής ποιότητας, μέσω ενός κύκλου συμπίεσης ή απορρόφησης.

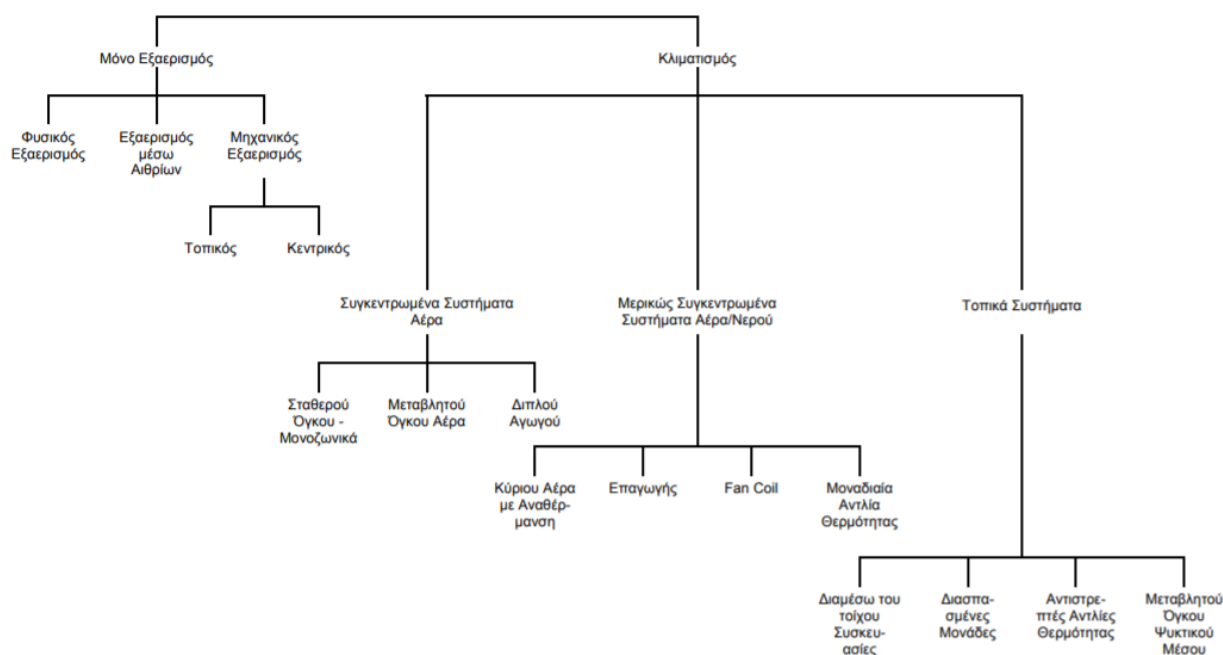
Στην περίπτωση που υπάρχει ταυτόχρονη ζήτηση για ζεστό νερό και ηλεκτρισμό, είναι συχνά επιθυμητή η εγκατάσταση μίας μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Τέτοιες εγκαταστάσεις επιτυγχάνουν υψηλή απόδοση, καθώς η πλεονάζουσα θερμότητα από τον κύκλο παραγωγής του ηλεκτρισμού χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χώρων και δεν απορρίπτεται ανεκμετάλλευτη στο περιβάλλον και αποτελούν τις πλέον κατάλληλες μονάδες για την περίπτωση σταθερών φορτίων, τόσο ηλεκτρικών όσο και θερμικών.

Η διανομή της θερμότητας γίνεται με την μεταφορά του κατάλληλα προθερμασμένου στην κεντρική μονάδα μέσου, μέσω του δικτύου αγωγών, στους θερμαινόμενους χώρους. Εκεί, η θερμότητα αποδίδεται προς χρήση στο χώρο μέσω μίας κατάλληλης συσκευής θέρμανσης ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χώρου. Το θερμαντικό μέσο ψύχεται καθώς αυτό διέρχεται μέσα από ένα μεγάλο αριθμό μονάδων απόδοσης προς χρήση και συναλλάσσει θερμότητα με τον αέρα των δωματίων. Στο τέλος του βρόχου που δημιουργείται, το μέσο επιστρέφει στην κεντρική μονάδα για να ξαναζεσταθεί.[29]

## 2.2.2 Τεχνικές επιλογές για τον κλιματισμό

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι συστημάτων κλιματισμού, με πολλές διαθέσιμες παραλλαγές για τον κάθε έναν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2 :

- Συγκεντρωμένα (ή κεντρικά) συστήματα αέρα, στα οποία όλα τα φορτία θέρμανσης ή/και ψύξης παράγονται σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και μεταβιβάζονται στους υπόλοιπους χώρους με τη βοήθεια ενός δικτύου αγωγών.
- Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού, στα οποία ο κεντρικά ψυχρός ή θερμός αέρας δροσίζεται ή θερμαίνεται περαιτέρω τη στιγμή που εισέρχεται στα δωμάτια.
- Τοπικά συστήματα, στα οποία όλες οι διαδικασίες εκτελούνται τοπικά, στους χώρους που υπάρχει ανάγκη να κλιματιστούν ή να θερμανθούν.



Εικόνα 2.2 : Τύποι συστημάτων κλιματισμού [29]

Η δυνατότητα παραλλαγών και συνδυασμών των διαφόρων τύπων συστημάτων περιορίζεται μόνο από τη φαντασία του σχεδιαστή. Παραδείγματος χάριν, στους σχετικά μεγάλους χώρους (εκτεθειμένα γραφεία, αίθουσες υποδοχής ξενοδοχείων, κ.τ.λ.) με εξωτερικούς τοίχους, είναι σύνηθες το να χωρίζεται το σύστημα που σχετίζεται με τον εξωτερικό τοίχο (περίμετρο), όπου η ανάγκη για θέρμανση το χειμώνα μεγιστοποιείται, από αυτό που βρίσκεται στα ενδότερα του κτηρίου. Συχνά, ένα κεντρικό σύστημα αέρα μπορεί να εξυπηρετεί το εσωτερικό, ενώ στην περίμετρο μπορούν να χρησιμοποιούνται θερμαντικά σώματα ή εντοιχισμένες θερμάστρες. Εναλλακτικά, στις περιπτώσεις αυτές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο χωριστά κεντρικά συστήματα αέρα.

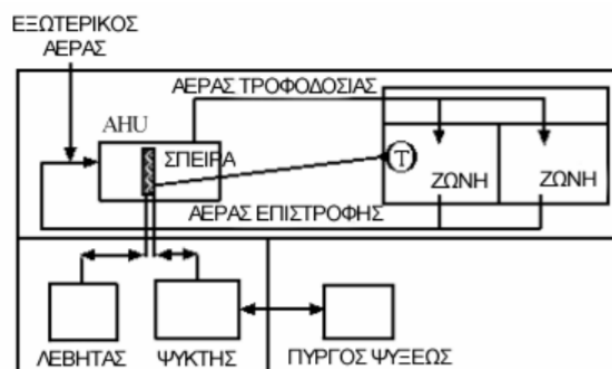
Δεδομένου ότι είναι ευκολότερο να ελεγχθεί η θέρμανση του αέρα από την ψύξη του, τα περισσότερα ολικώς και μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα θερμαίνουν εκ νέου τον αέρα που ήταν προηγουμένως υπερδροσισμένος. Τα υφιστάμενα απορριπτόμενα θερμικά φορτία μπορούν να ελαχιστοποιηθούν μέσω του προσεκτικού ελέγχου και σχεδιασμού του συστήματος. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι κύριες επιλογές συστημάτων κλιματισμού που μπορεί να έχει ένας μελετητής-μηχανικός ή κάποιος δυνητικός χρήστης.[29]

### Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα

Τα συστήματα αυτά συνήθως χτίζονται γύρω από μια προ-συσκευασμένη μονάδα διαχείρισης αέρα (AHU – Air Handling Unit), η οποία αποτελείται από έναν ανεμιστήρα και συνδυασμούς σπειρών θέρμανσης ή/και δροσισμού, φίλτρων, υγραντήρων και αποσβεστήρων ελέγχου. Μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν συσκευασμένες αντλίες θερμότητας και έναν ανεμιστήρα απόρριψης ή/και να έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλώνουν τον απορριπτόμενο αέρα πίσω στο κτήριο. Η μονάδα διαχείρισης του αέρα συνήθως τοποθετείται σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων, με τις ψυκτικές μονάδες και τους λέβητες τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις.

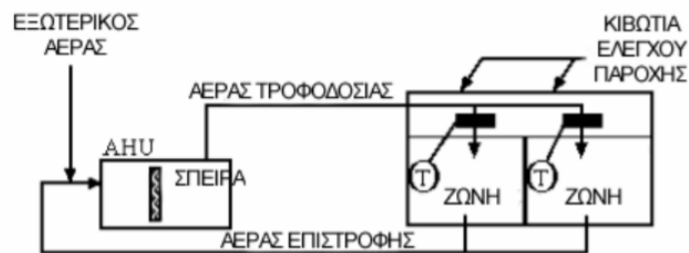
Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι αρκετά πιο δροσερός από το επιθυμητό επίπεδο, μπορεί να εισαχθεί φρέσκος αέρας απ' ευθείας στον κλιματιζόμενο χώρο και χωρίς την κατάψυξή του από την κεντρική μονάδα. Γενικά, πρέπει να ανιχνεύονται οι δυνατότητες και να διευκολύνεται αυτή η “ελεύθερη ψύξη”, προκειμένου να ελαχιστοποιείται η ανάγκη για ψύξη μέσω μηχανικών μέσων. Οι μονάδες διαχείρισης του αέρα μπορούν να διαμορφωθούν κατάλληλα ώστε να εξυπηρετούν μία σειρά από διαφορετικούς τύπους συστημάτων διανομής.

Τα **συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου** (όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.3) είναι απλά, σχετικά χαμηλού κόστους και εύκολα στην εγκατάσταση, αλλά είναι εφικτός ο επαρκής έλεγχος για τις περιοχές (ζώνες) που παρουσιάζουν διαφορετικές ή/και ταυτόχρονες ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης. Στην περίπτωση αυτή, βέβαια, μπορεί να απαιτηθεί η εισαγωγή διάφορων διαιρούμενων συστημάτων για την εξυπηρέτηση των διαφορετικών ζωνών, αυξάνοντας έτσι τις δαπάνες αγοράς και τον απαραίτητο χώρο εγκατάστασης.

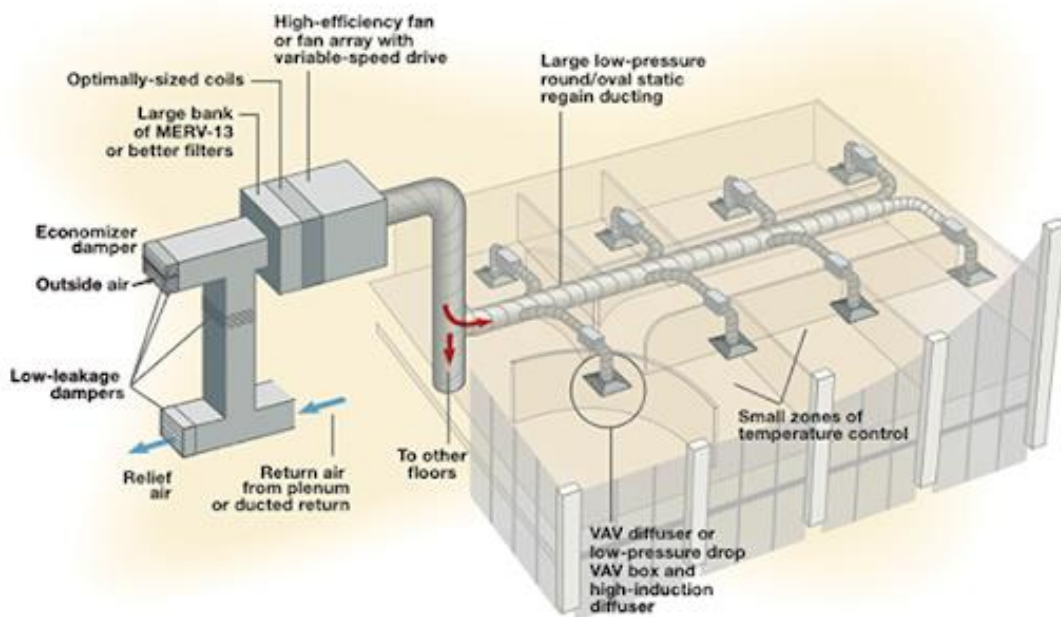


Εικόνα 2.3 : Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος HVAC ενιαίας ζώνης αέρα-αέρα, με ένα χωριστό διαχειριστή αέρα, ένα λέβητα και μια ψυκτική μονάδα [29]

Με τα **συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV)**, το πρόβλημα των ζωνών με διαφορετικές απαιτήσεις αντιμετωπίζεται μέσω της μεταβολής της ποσότητας του αέρα που παρέχεται σε κάθε ζώνη. Ο αέρας παρέχεται σε μια σταθερή θερμοκρασία μέσω των θερμοστατικά ελεγχόμενων μονάδων απόσβεσης, που ονομάζονται και κιβώτια VAV, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.4. Ο όγκος του αέρα και, κατ' επέκταση, η ποσότητα του ψυκτικού φορτίου μεταβάλλεται για να μπορέσει να καλύψει τις απαιτήσεις κάθε ζώνης. Υπό κανονικές συνθήκες, υφίσταται η δυνατότητα επαναρρύθμισης της σταθερής θερμοκρασίας του αέρα.



Εικόνα 2.4 : Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος VAV [29]



Εικόνα 2.5 : Διαρρύθμιση συστήματος VAV [30]

Η χρήση των κιβωτίων VAV σημαίνει ότι σε περίπτωση συντήρησης των ίδιων των κιβωτίων, τα οποία βρίσκονται συνήθως τοποθετημένα σε ελεύθερες επιφάνειες στις οροφές των εσωτερικών χώρων, χρειάζεται συχνά να πραγματοποιείται ακόμη και όταν αυτοί είναι κατελιημμένοι. Εντούτοις, οι απαιτήσεις συντήρησης είναι χαμηλές και η

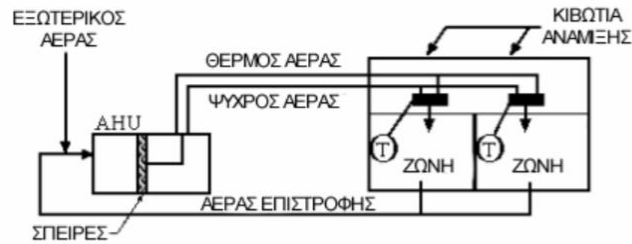
συντήρηση καθ' εαυτή δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Στα πλαίσια της παροχής μεταβλητού όγκου αέρα (VAV), ο σχεδιαστής έχει πολλές διαφορετικές διαθέσιμες επιλογές, συμπεριλαμβανομένων των ανεμιστήρων για την ανακυκλοφορία του αέρα του δωματίου, καθώς και παρακάμψεων για τον αέρα που δεν είναι αναγκαίος, ώστε αυτός να διοχετεύεται πίσω στον ανεμιστήρα απόρριψης. Λύσεις αυτού του είδους είναι προτιμητέες από την απλή μείωση της ροής.

Οι ανεμιστήρες αναδιανομής περιορίζουν σημαντικά το πρόβλημα της παροχής μεγάλων μεταβαλλόμενων όγκων αέρα μέσω ενός ενιαίου διασκορπιστή, χωρίς τη δημιουργία ρευμάτων. Αυτό, βέβαια, μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τον αυξημένο θόρυβο στα δωμάτια και να επιβαρύνει τις απαιτήσεις συντήρησης. Η παράκαμψη του αέρα από τα κιβώτια VAV δεν έχει επιπτώσεις στην άνεση των ενοίκων και απλοποιεί το σχεδιασμό του συστήματος. Εντούτοις, με αυτήν την προσέγγιση δεν καθίσταται δυνατή η εκμετάλλευση δύο εν δυνάμει πλεονεκτημάτων του συστήματος μεταβλητού όγκου αέρα, δεδομένου ότι η κεντρική μονάδα παραγωγής του αέρα εξακολουθεί να λειτουργεί σε πλήρες φορτίο.

Είναι γεγονός ότι οι ζώνες δροσισμού δεν απαιτούν τη μέγιστη ψύξη όλες μαζί ταυτόχρονα. Εάν, λοιπόν, η επιλογή της μονάδας διαχείρισης του αέρα γίνει λαμβάνοντας υπ' όψη τις μειωμένες απαιτήσεις μερικών περιοχών, οι κύριες δαπάνες μπορούν να μειωθούν αρκετά. Από την άλλη, στις περισσότερες εφαρμογές, μέγιστο φορτίο ψύξης απαιτείται για πολύ λίγες ημέρες κατά τη διάρκεια ενός έτους. Έτσι, η χρήση ενός συστήματος μεταβλητού όγκου αέρα θα έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των απαιτήσεων σε αέρα, κατά τον περισσότερο χρόνο λειτουργίας του. Αυτό, με τη σειρά του, θα οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, τόσο από την ελαττωμένη απαίτηση ισχύος των ανεμιστήρων, όσο και από τη μειωμένη ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση και τη ψύξη του αέρα.

Τα συστήματα VAV είναι κατάλληλα κατά βάση για τα κτίρια τα οποία παρουσιάζουν απαιτήσεις για ψύξη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Υπό κανονικές συνθήκες θα πρέπει να εμφανίζουν μικρότερες απαιτήσεις σε χώρο από τα ισοδύναμα συστήματα πολλαπλών ζωνών, δεδομένου ότι, βάσει της φιλοσοφίας του σχεδιασμού τους, δεν χρειάζεται να παρέχεται πλήρης ψύξη ταυτόχρονα σε όλες τις ζώνες.

Τα **συστήματα διπλού αγωγού** έχουν τη δυνατότητα να συνδυάζουν τις αρχές και του σταθερού αλλά και του μεταβλητού όγκου αέρα. Όπως υπονοείται από το όνομά τους και παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.5, στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται δύο αγωγοί, ένας για τη μεταφορά του θερμού αέρα στο χώρο και ένας για τη μεταφορά του ψυχρού. Εκεί, ο αέρας αναμιγνύεται σε ένα θερμοστατικά ελεγχόμενο κιβώτιο ανάμιξης, που τοποθετείται συνήθως σε μια ψευδοροφή. Τα συστήματα αυτά παρέχουν ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας των χώρων, με το μειονέκτημα ότι οι κύριες δαπάνες και οι απαιτήσεις τους σε χώρο είναι σχετικά υψηλές, επειδή απαιτούνται δύο σύνολα δικτύων αγωγών. Στα συστήματα διπλού αγωγού, στη σταθερού όγκου μορφή τους, χρειάζεται συχνά η ανάμιξη του αέρα που έχει θερμανθεί (από την μονάδα) με αέρα που έχει δροσιστεί (πάλι από τη μονάδα). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σπαταλιέται μεγάλο μέρος της ενέργειας για θέρμανση και ψύξη.[30]



Εικόνα 2.5 : Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος διπλού αγωγού [29]

### Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού

Κοινός παράγοντας των συγκεκριμένων συστημάτων αποτελεί η χρήση μια κεντρικής μονάδας διαχείρισης του αέρα (ΑΗΥ), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά ο περαιτέρω κλιματισμός του δωματίου μπορεί να είναι τοπικά ελεγχόμενος. Τα μερικώς συγκεντρωμένα πολυζωνικά συστήματα και τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα επιτρέπουν την ελεύθερη ψύξη, μέσω του ελέγχου απόσβεσης στην κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα.

Τα **συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση** (όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6), τόσο τα σταθερού όσο και τα μεταβλητού όγκου, είναι κατάλληλα για τις περιπτώσεις όπου είναι αναγκαία η περαιτέρω θέρμανση ή ψύξη του αέρα μετά τον κεντρικό ανεφοδιασμό, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε κλιματισμό των δωματίων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω πρόσθετων σπειρών θέρμανσης ή δροσισμού (μπαταρίες). Όσον αφορά τα συστήματα σταθερού όγκου, η λειτουργία αυτή βελτιώνει σημαντικά τη δυνατότητα ελέγχου του συστήματος και το δίκτυο των αγωγών μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα για να μπορεί να εξυπηρετεί χώρους με αρκετά διαφορετικές απαιτήσεις (**πολυζωνικά συστήματα σταθερού όγκου**, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.6 : Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος τερματικής αναθέρμανσης [29]



Εικόνα 2.7 : Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος πολλαπλών ζωνών [29]

Οι σπείρες θέρμανσης ή/και δροσισμού μπορούν να βρίσκονται είτε στο εσωτερικό των ελεύθερων χώρων της οροφής (μερικώς συγκεντρωμένο σύστημα), είτε στο δωμάτιο της κεντρικής εγκατάστασης (πλήρως συγκεντρωμένο σύστημα). Στην τελευταία περίπτωση, η τοποθέτηση αυτή των σπειρών είναι πιθανό να αυξήσει τις κύριες δαπάνες και τις απαιτήσεις χώρου, δεδομένου ότι οι χωριστοί αγωγοί θα πρέπει να διατρέχουν το διάστημα μεταξύ του δωματίου εγκαταστάσεων και της κάθε ζώνης.

Στα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα χρησιμοποιούνται, κατά βάση, μόνο σπείρες αναθέρμανσης, τοποθετημένες μέσα στο κιβώτιο VAV (**VAV με αναθέρμανση**). Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης διαμόρφωσης έγκειται στο γεγονός ότι το καυτό νερό πρέπει να διοχετεύεται με σωλήνες στα κιβώτια VAV, όπου εκεί υφίσταται κάποια πιθανότητα διαρροής μέσα στις κατελιγμένες περιοχές. Το σύστημα αυτό, εν τούτοις, παρέχει καλό έλεγχο για τις περιοχές με ευρέως μεταβαλλόμενα θερμικά φορτία, ενώ η αναθέρμανση εφαρμόζεται μόνο σε κάποια από τα κιβώτια VAV, εκεί όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι μεγάλες, όπως είναι οι περιμετρικές περιοχές.

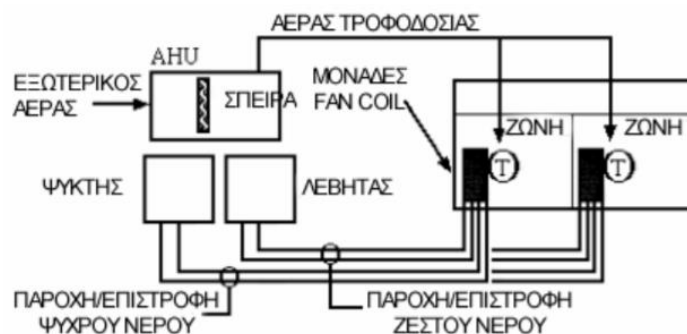
Τα **συστήματα επαγωγής** χρησιμοποιούν τον αέρα από την κεντρική μονάδα διαχείρισης (πρωτογενής αέρας), ο οποίος διαχέεται μέσω ακροφυσίων προκειμένου να προκληθεί κυκλοφορία του αέρα του δωματίου γύρω από μια σπείρα, στην οποία εφαρμόζεται ανάλογα θέρμανση ή ψύξη. Ο πρωτογενής αέρας περιορίζεται στην ελάχιστη ποσότητα φρέσκου αέρα που απαιτείται για τον εξαερισμό, με αποτέλεσμα τα συστήματα αυτά να παρέχουν περιορισμένες δυνατότητες για ελεύθερη ψύξη και έλεγχο της υγρασίας.

Το καυτό ή/και το κρύο νερό μεταφέρεται σε κάθε χώρο από συστήματα δύο σωλήνων (ένας ανεφοδιασμού και ένας επιστροφής), τριών σωλήνων (παροχές καυτού και κρύου νερού, κοινή επιστροφή) ή τεσσάρων σωλήνων (παροχές και επιστροφές καυτού και κρύου νερού). Από αυτά, μόνο τα συστήματα τεσσάρων σωλήνων παρέχουν δυνατότητες καλού ελέγχου και αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα και γι' αυτό το λόγο είναι προτιμητέα. Ο κεντρικός έλεγχος των συστημάτων επαγωγής είναι περίπλοκος, αλλά οι περισσότερες μονάδες εγκαθίστανται με χειροκίνητα ελεγχόμενες διατάξεις απόσβεσης, για τον έλεγχο της ροής του επανακυκλοφορούμενου αέρα.

Οι απαιτήσεις χώρου των συστημάτων επαγωγής είναι χαμηλές όσον αφορά το κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και το δίκτυο αγωγών. Οι ίδιες οι μονάδες απόδοσης τοποθετούνται συχνά κάτω από τα παράθυρα, καταλαμβάνοντας χώρο στο δάπεδο.

Επίσης, διατίθενται μονάδες που μπορούν να τοποθετηθούν στην οροφή, οι οποίες όμως δεν είναι ευρέως διαδεδομένες. Κάθε μονάδα επαγωγής απαιτεί συντήρηση και καθαρισμό, ο οποίος πραγματοποιείται στους κατελιημένους χώρους. Επίσης, ο σφυριχτός ήχος του πρωτογενούς αέρα που εκλύεται από τα ακροφύσια είναι πιθανό να προκαλέσει κάποια ακουστική ενόχληση, λόγω του θορύβου, στην κατελιημένη περιοχή.

Τα **συστήματα fan-coil** είναι παρόμοια με με αυτά των μονάδων επαγωγής, με τη διαφορά ότι σ' αυτά ο αέρας κινείται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα, αντί να κινείται εξαιτίας του φαινομένου της επαγωγής. Ο φρέσκος αέρας μπορεί να προέρχεται έμμεσα από μία μονάδα διαχείρισης ή άμεσα από το εξωτερικό περιβάλλον και να διέρχεται μέσω του ανεμιστήρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.8. Σε ορισμένους τύπους τέτοιου είδους μονάδων, ο φρέσκος αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ελεύθερης ψύξης, κατά τον τρόπο που περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Οι μονάδες fan-coil μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην περίμετρο ή στην οροφή των δωματίων, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι σύγχρονοι ανεμιστήρες είναι εκπληκτικά αθόρυβοι. Ο θόρυβος μπορεί παρόλα αυτά να αποτελέσει αιτία ενόχλησης, ενώ και η συντήρηση ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη. [29]



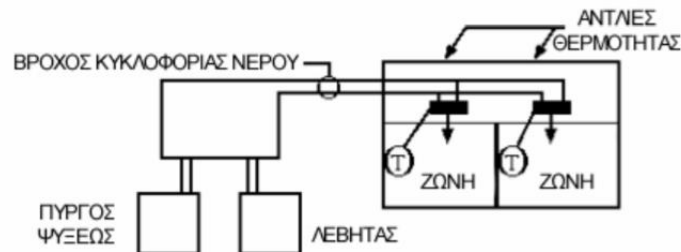
Εικόνα 2.8 : Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας fan-coil νερού αέρα [29]

Τα συστήματα μονάδων επαγωγής και μονάδων fan-coil υπό κανονικές συνθήκες ανεφοδιάζονται πλήρως με φρέσκο αέρα από τη μονάδα διαχείρισης του αέρα. Έτσι, ελαχιστοποιείται η απαίτηση για φρέσκο αέρα και, σαν αποτέλεσμα τα συστήματα να χρειάζονται πολύ μικρότερο όγκο αέρα συγκριτικά με ένα ισοδύναμο πολυγωνικό σύστημα. Επίσης, απαιτείται μικρότερος όγκος τόσο για τη μονάδα διαχείρισης του αέρα όσο και για τους αγωγούς, αν και τα συστήματα επαγωγής μπορεί να εμφανίζουν αυξημένες, συγκριτικά με τα fan-coil, απαιτήσεις σε χώρο λόγω της ανάγκης επαγωγής του αέρα των δωματίων. Στην περίπτωση απαίτησης ταυτόχρονης θέρμανσης και κλιματισμού από τις μονάδες αυτές, συνιστάται η χρήση συστημάτων τεσσάρων σωλήνων.

Διατίθενται επίσης **μοναδιαία συστήματα αντλιών θερμότητας**, στα οποία χρησιμοποιείται ένας βρόχος νερού σταθερής θερμοκρασίας (δύο σωλήνων) για το καυτό και το κρύο μέσο. Το σχηματικό διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας πηγής νερού



παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.9. Η θέρμανση (με τη βοήθεια ενός λέβητα) ή η ψύξη (συχνά από έναν πύργο ψύξεως) παρέχεται στο βρόχο του νερού στην περιοχή του κεντρικού δωματίου εγκαταστάσεων. Οι μονάδες αντλιών θερμότητας, που έχουν ενσωματωμένες και μονάδες fan-coil, χρησιμοποιούν αυτόν το βρόχο για να προσφέρουν ή να αφαιρούν θερμότητα, ανάλογα με το εάν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη από τον κλιματιζόμενο χώρο. [29]



Εικόνα 2.9 : Σχηματικό διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας πηγής νερού [29]

## Τοπικά συστήματα

Η φράση “δροσισμός άνεσης” είναι η καταλληλότερη για να περιγράψει τα περισσότερα τοπικά συστήματα κλιματισμού, δεδομένου ότι απ’ αυτά παρέχεται μόνο ψύξη στο χώρο συνήθως κατά τους θερινούς μήνες. Άλλες λειτουργίες του κλιματισμού, όπως είναι ο ανεφοδιασμός σε φρέσκο αέρα, ο έλεγχος της υγρασίας και η θέρμανση του χώρου, δεν είναι απαραίτητως διαθέσιμες. Αυτά τα συστήματα χαρακτηρίζονται από την εγκατάσταση μιας μονάδας ανά κλιματιζόμενη ζώνη, όταν μόνο μερικά μέρη ενός κτηρίου απαιτούν κλιματισμό, ή στην περίπτωση που η ψύξη πρόκειται να εισάγεται σε ένα δωμάτιο τη φορά.

Οι **διαμέσου του τοίχου συσκευασμένες μονάδες** είναι δημοφιλείς στις Μεσογειακές περιοχές αλλά ασυνήθιστες στις Βόρειο-ευρωπαϊκές χώρες. Οι μονάδες αυτές αποτελούνται κατά βάση από μια μικρή ψυκτική μονάδα με έναν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την κυκλοφορία του αέρα. Ο αέρας απορροφάται από το χώρο, στη συνέχεια δροσιζεται καθώς διέρχεται από τη μονάδα και επιστρέφεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Η θερμότητα που αφαιρείται από τον αέρα περνά διαμέσω του τοίχου και απορρίπτεται στον εξωτερικό αέρα.

Οι μονάδες σε γενικές γραμμές είναι απλές, χαμηλού κόστους κατασκευής, εύκολες στη χρήση και δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να τις ρυθμίζει τοπικά. Αντιθέτως, οι δυνατότητες ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου είναι φτωχές, λόγω της θέσης των αισθητήρων και της σχετικής δράσης ελέγχου, η οποία είναι τύπου on/off. Επιπλέον, οι μονάδες αυτές απαιτούν ρύθμιση στον τοίχο, μπορεί να είναι θορυβώδεις και, γενικά, δεν είναι πολύ αποδοτικές. Οι απαιτήσεις συντήρησης ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μπορεί να αποδειχθούν μεγάλες, ενώ οι περισσότερες από αυτές δεν προσαρμόζονται εύκολα σε κάποιο σύστημα κεντρικού ελέγχου. Μερικές μονάδες προσφέρουν δυνατότητα θέρμανσης, με τη βοήθεια ηλεκτρικών στοιχείων (αντιστάσεων), των οποίων, όμως, η χρήση δεν κρίνεται αποδοτική.

Οι **συσκευασμένες “διαιρούμενες μονάδες”** είναι επίσης αρκετά δημοφιλείς. Το κομμάτι της μονάδας που τοποθετείται στο εσωτερικό του δωματίου μοιάζει εξωτερικά με μια μονάδα fan-coil, αλλά η ψύξη παρέχεται στο σύστημα από το ψυκτικό μέσο και όχι από το κρύο νερό. Το ψυκτικό μέρος των μονάδων αυτών μπορεί να είναι απομακρυσμένο από την κατειλημμένη περιοχή, γεγονός που προσφέρει δυνατότητες περιπλοκότερου ελέγχου απ' ότι οι διαμέσου του τοίχου συσκευασίες. Επίσης, μερικές μονάδες διατίθενται με συμπιεστές μεταβλητής ταχύτητας, καθώς και με πολύπλοκο, προσαρμοζόμενο έλεγχο θερμοκρασίας με τη βοήθεια ορισμένων, τοποθετημένων σε απομακρυσμένα σημεία, αισθητήρων.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συσκευασμένων διαιρούμενων μονάδων είναι σε μεγάλο βαθμό τα ίδια με την προηγούμενη κατηγορία, αλλά ένα μεγάλο κομμάτι της συντήρησης γίνεται τώρα έξω από την κατειλημμένη περιοχή. Τα πολυδιαιρούμενα συσκευασμένα συστήματα αποτελούν επίσης μια επιλογή, στην οποία διάφορα δοχεία ψύξης δωματίων συνδέονται με μια κεντρική μονάδα ψύξης. Ο μεμονωμένος έλεγχος των προαναφερθέντων δοχείων ψύξης δεν είναι γενικά δυνατός με ένα σύστημα αυτού του είδους.

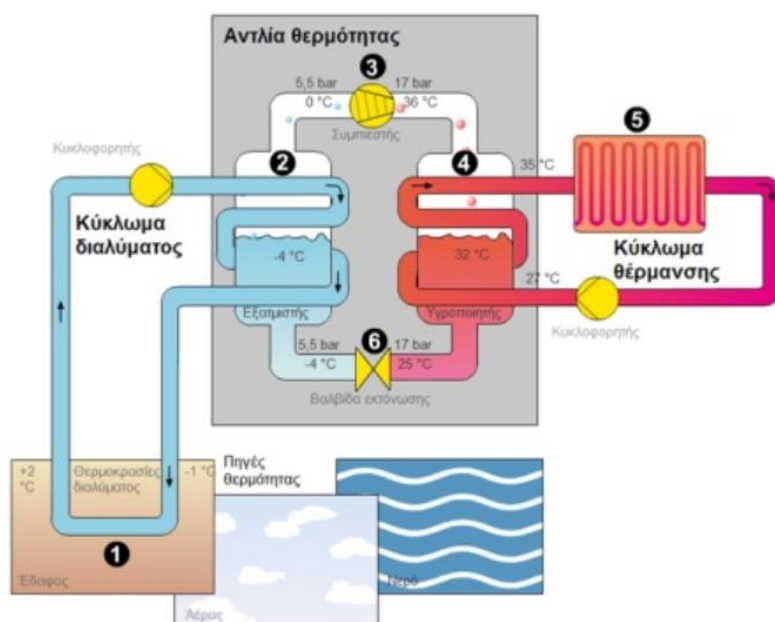
Οι **μεμονωμένες αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας** διατίθενται τόσο ως συστήματα διαμέσω του τοίχου, όσο και ως συσκευασμένες διαιρούμενες μονάδες. Στο συγκεκριμένο σύστημα η ψύξη μπορεί να λειτουργήσει και κατά την αντίστροφη φορά, αντλώντας θερμότητα και μέσα και έξω από το δωμάτιο. Έχουν, δηλαδή, τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ψύξη, οπότε αυτή χρειάζεται.

Τα **συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου** (VRF – Variable Refrigerant Volume) αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Πρόκειται για μία παραλλαγή των πολυδιαιρούμενων συσκευασμένων συστημάτων αντλιών θερμότητας. Τα δοχεία ψύξης των δωματίων συνδέονται απευθείας με μια ενιαία υπαίθρια ψυκτική μονάδα. Η παροχή του ψυκτικού μέσου μπορεί να μεταβάλλεται, χρησιμοποιώντας ένα συμπιεστή μεταβλητής ταχύτητας, που ανταποκρίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις ψύξης των δωματίων. Ένα περίπλοκο σύστημα ελέγχου επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ των λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης.

Στα πολυπλοκότερα συστήματα, μία εσωτερική μονάδα ενός χώρου μπορεί να λειτουργεί στην κατάσταση θέρμανσης ή ψύξης ανεξάρτητα από τις άλλες. Η δυνατότητα αυτή οδηγεί σε σημαντικά ενεργειακά οφέλη, όταν απαιτούνται ταυτόχρονα θέρμανση και ψύξη σε διαφορετικές ζώνες. Τα συστήματα αυτά μπορεί να πλεονεκτούν στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης της κεντρικής εγκατάστασης και στην περίπτωση που τα διάφορα δωμάτια έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση την ίδια στιγμή. Προσφέρουν μεγάλη ευελιξία, αλλά, όπως συμβαίνει και με όλα τα διανεμημένα συστήματα, οι δαπάνες για τη συντήρησή τους μπορεί να είναι σημαντικές. [29]

## 2.3 Περεταίρω ανάλυση αντλιών θερμότητας

Εφόσον στο μελετηθέν κτήριο χρησιμοποιούνται κατά βάση αντλίες θερμότητας, θεωρείται σκόπιμο το συγκεκριμένο σύστημα να αναλυθεί περαιτέρω. Πιο συγκεκριμένα, οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μηχανήματα υψηλής απόδοσης, τα οποία “αντλούν” την θερμότητα από μια δεξαμενή θερμότητας, όπως για παράδειγμα ο αέρας περιβάλλοντος, μια δεξαμενή νερού, υπόγεια νερά, μια λίμνη ή το έδαφος, και τη διοχετεύουν σε έναν άλλο χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός κύκλου εξάτμισης και συμπύκνωσης ενός εργαζόμενου μέσου με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύκλος λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας είναι πλήρως αναστρέψιμος, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες τόσο για την θέρμανση όσο και για την ψύξη ενός χώρου.[31]



Εικόνα 2.10 : Σχηματική αναπαράσταση μιας αντλίας θερμότητας [31]

Η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του κύκλου ψύξης έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή νερό, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου. Όπως είναι γνωστό, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Το σύστημα όμως αυτό, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική της ροή. Αντλεί δηλαδή θερμότητα από χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Την ίδια ικανότητα έχει και ένα ψυγείο, μόνο που στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας το ενδιαφέρον παρουσιάζεται για τη θερμότητα και όχι για την ψύξη.

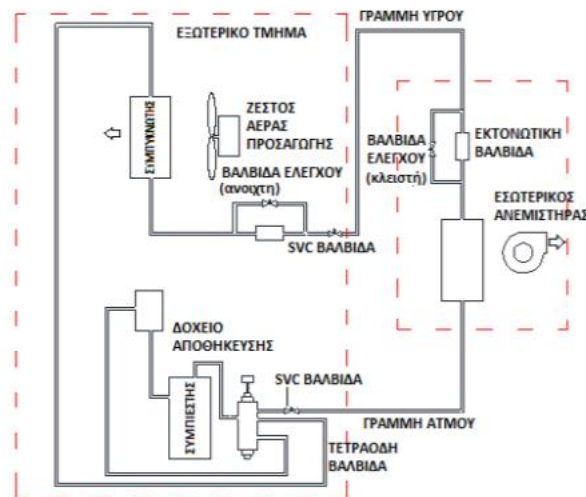
Η αρχή λειτουργίας της είναι η ίδια με αυτή που εφαρμόζεται και στα ψυγεία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το χώρο του ψυγείου (π.χ. -5 °C) στο χώρο του περιβάλλοντος

(20 °C), ή στις κλιματιστικές συσκευές, με τις οποίες η θερμότητα μεταφέρεται από το δωμάτιο (26 °C) στην ύπαιθρο (π.χ. 35 °C). Έτσι λοιπόν, αν ο χώρος A είναι το εσωτερικό κτηρίου και ο B το περιβάλλον, η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα με κατάλληλο χειρισμό να μεταφέρει θερμότητα από το χώρο A προς το χώρο B (ψύξη του κτηρίου) ή αντίστροφα από το χώρο B προς το χώρο A (θέρμανση του κτηρίου).[31][32]

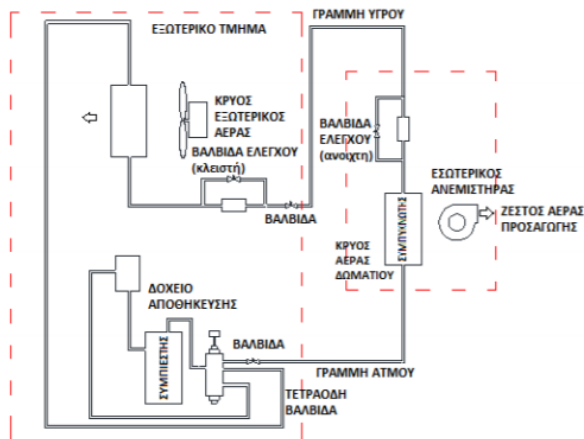
### 2.3.1 Βασικά τμήματα της αντλίας θερμότητας

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι (όπως φαίνονται στις Εικόνες 2.11 και 2.12) :

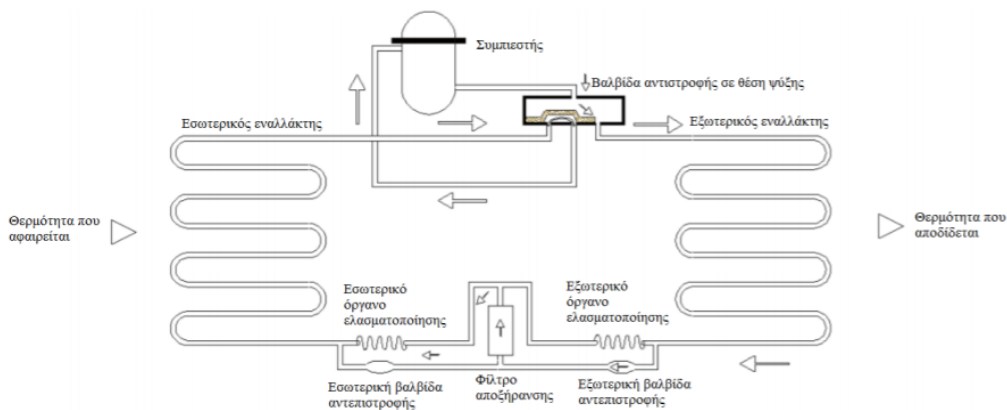
- Το **τμήμα συμπιεστή - συμπυκνωτή**, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία απορροφά θερμότητα).
- Το **τμήμα ανεμιστήρα - ατμοποιητή**, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία προσδίδει θερμότητα).
- Ο **μηχανισμός αντιστροφής**, που αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε θερμαντικό (κύκλο θέρμανσης) και αντίστροφα.
- Οι **αυτοματισμοί** για τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
- Η **συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση**, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή. Μερικές φορές το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με αντιστροφή του κύκλου για περιορισμένο χρόνο.[33]



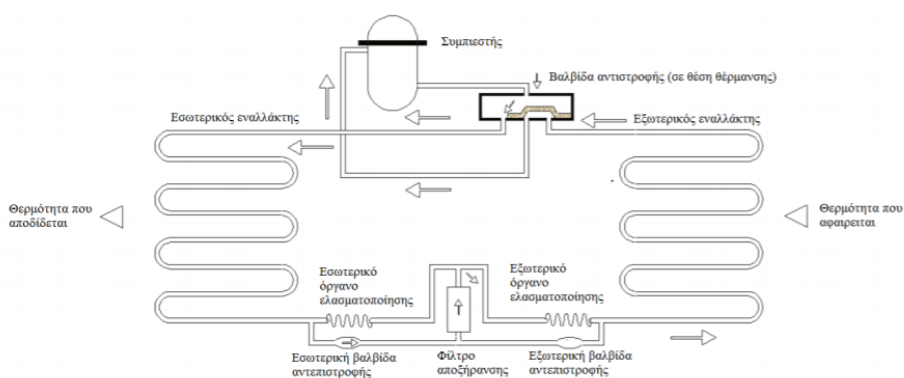
Εικόνα 2.11 : Κύκλος αντλίας θερμότητας για ψύξη [33]



Εικόνα 2.12 : Κύκλος αντλίας θερμότητας για θέρμανση [33]



Εικόνα 2.13 : Σχεδιάγραμμα αρχής λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος μιας αντιστρεπτής αντλίας θερμότητας αέρα - αέρα. Ψυκτικός Κύκλος [33]



Εικόνα 2.14 : Σχεδιάγραμμα αρχής λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος μιας αντιστρεπτής αντλίας θερμότητας αέρα - αέρα. Κύκλος θέρμανσης [33]

### 2.3.2 Λειτουργία αντλιών θερμότητας σε θέρμανση και ψύξη

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μια αντλία θερμότητας αντιστρέφει τον κύκλο του ψυκτικού της ρευστού και ανάλογα με τις ανάγκες ακολουθεί κύκλο ψύξης το καλοκαίρι ή θέρμανσης το χειμώνα. Στην πράξη, πρέπει να τονισθεί ότι η αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό, γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή. Το καλοκαίρι το εσωτερικό στοιχείο λειτουργεί ως ατμοποιητής και είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ το χειμώνα ως συμπυκνωτής και τον θερμαίνει. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής - συμπυκνωτής από το δωμάτιο στο περιβάλλον (π.χ. μπαλκόνι), η αντλία θερμότητας με τη χρήση της τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου.

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμού. Η μελέτη του κύκλου για ψύξη (Εικόνα 2.11) εκτελείται ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του συστήματος. Ξεκινώντας για παράδειγμα από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή.

1. Η είσοδος του ψυκτικού υγρού στον ατμοποιητή ελέγχεται από μια άεργη εκτονωτική - στραγγαλιστική βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή μειώνει την πίεση του υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας προσδίδονται στο αέριο, το οποίο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία στο συμπιεστή.
2. Το συμπιεσμένο αέριο φθάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Καθώς ο ατμός ψυκτικού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας διέρχεται από το συμπυκνωτή, υγροποιείται και εξέρχεται ως ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Με την υγροποίηση του ατμού αφαιρείται θερμότητα από αυτόν.
3. Το ψυκτικό υγρό οδηγείται στην εκτονωτική βαλβίδα. Κατά τη φάση της εκτόνωσης το συμπυκνωμένο ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης περνάει μέσα από μία εκτονωτική διάταξη, όπου μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του και μετατρέπεται σε ένα μίγμα από υγρό και ατμό χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Ο κύκλος θέρμανσης (Εικόνα 2.12) περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης. Μόνο που στην περίπτωση αυτή το στοιχείο που εκτελούσε ατμοποίηση εκτελεί συμπύκνωση και το αντίστροφο.

Για να μπορεί να λειτουργήσει μια αντλία θερμότητας σε θέρμανση και ψύξη θα πρέπει να γίνεται εναλλαγή ρόλων μεταξύ των δύο εναλλακτών, του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή το οποίο ονομάζεται αναστροφή του ψυκτικού κύκλου. Η αλλαγή του ψυκτικού κύκλου σε κύκλο θέρμανσης, γίνεται με τη βοήθεια τετράοδης βαλβίδας, που οδηγεί το ψυκτικό ρευστό μετά την έξοδό του από το συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους

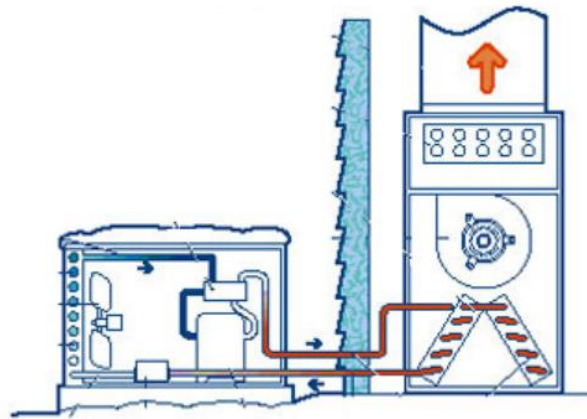
εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου - αέρα (ή νερού), ανάλογα με την επιλογή των απαιτήσεων μέσω διακόπτη.[33]

### 2.3.3 Είδη αντλιών θερμότητας

Ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) την ενέργεια η αντλία στις Θέσεις (2) και (4) του ψυκτικού κύκλου, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

#### 1. Αντλίες θερμότητας αέρος / αέρος

Είναι αντλίες που διαθέτουν και στη Θέση 2 και στη Θέση 4 εναλλάκτη θερμότητας αέρα / ψυκτικού και είναι ευρέως γνωστά ως κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου (split type).



Εικόνα 2.15 : Αντλία θερμότητας αέρος / αέρος [32]

#### 2. Αντλίες θερμότητας αέρος / νερού.

Οι αντλίες αυτές είναι ίδιες με την προηγούμενη κατηγορία με την διαφορά ότι στην Θέση 2 αντί για στοιχείο, αποτελούνται από έναν εναλλάκτη ψυκτικού μέσου / νερού ο οποίος τις περισσότερες φορές βρίσκεται είτε υπόγεια σε επαφή με την υδροφόρο ορίζοντα είτε μέσε σε μία λίμνη ή δεξαμενή.

#### 3. Αντλίες θερμότητας νερού / νερού.

Στις αντλίες αυτές και οι δύο εναλλάκτες είναι νερού, και το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από τη μια μάζα νερού στην άλλη. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας με πύργο ψύξης και οι μονάδες που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με γεωεναλλάκτη (γεωθερμικές), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.10.

#### 4. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας απορροφούν ποσά θερμότητας από τον φλοιό της γης. Ουσιαστικά, η αντλία εκμεταλλεύεται την θερμική ενέργεια του ηλίου και του εδάφους και χρησιμοποιώντας αυτήν την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εξοικονομείται και καλύπτεται το 65-70 % των ετήσιων αναγκών ενός κτηρίου για θέρμανση και παραγωγή ζεστών νερών χρήσης.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν:

- Μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (COP 6-7)
- Σταθερό βαθμό απόδοσης ανεξαρτήτως εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- Μεγαλύτερη ισχύ μηχανημάτων για μεγάλες εφαρμογές

Οι γεωθερμικές εφαρμογές χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες. Στις ανοικτού και στις κλειστού τύπου.

- Στις κλειστού τύπου εφαρμογές ο γεωθερμικός εναλλάκτης (οριζόντιος ή κατακόρυφος) αποτελείται από ένα κλειστό κύκλωμα νερού που βρίσκεται υπόγεια και απορροφάει ενέργεια συνεχώς.
- Στις ανοικτού τύπου εφαρμογές εκμεταλλευόμαστε το νερό υπάρχουσας γεώτρησης για την απορρόφηση θερμικής ενέργειας, δεδομένου ότι το νερό αυτό βρίσκεται μόνιμως σε σταθερή θερμοκρασία .

Ανάλογα με τη θέση των στοιχείων τους, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact) όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε ένα ενιαίο κοινό κέλυφος.
- Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units), όπου ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπολοίπου συστήματος.

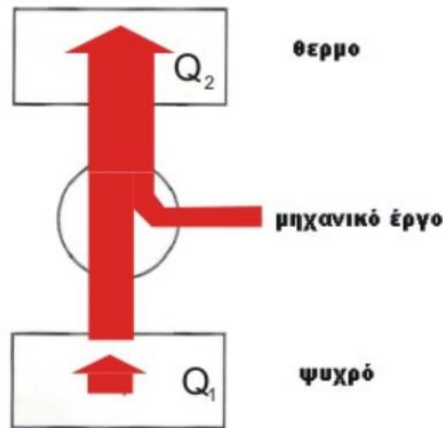
Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:

- Αντλίες με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές
- Αντλίες με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κλπ)
- Αντλίες με συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης ( θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας). [32]

#### 2.3.4 Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας

Η ροή ενέργειας σε μια αντλία θερμότητας που λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, έχει όπως στο παρακάτω σχήμα:





Εικόνα 2.16 : Ροή ενέργειας σε μια αντλία θερμότητας [32]

Η αντλία λαμβάνει από το ψυχρό περιβάλλον ένα ποσό θερμότητας (ενέργειας)  $Q_1$ , και με την προσθήκη μηχανικού έργου ( $W$ ) στο συμπιεστή, αποδίδει ποσό ενέργειας  $Q_2$  στο θερμό χώρο.

Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, το "θερμό" αναφέρεται στον εσωτερικό χώρο του κτηρίου, το "ψυχρό" στο περιβάλλον, και το ζητούμενο είναι το  $Q_2$ , ενώ όταν λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης, το "ψυχρό" αναφέρεται στο κτήριο, το "θερμό" είναι το περιβάλλον και το ζητούμενο είναι το  $Q_1$ .

Ο ενεργειακός ισολογισμός που απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα, απαιτεί :

$$Q_2 = Q_1 + W.$$

#### Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ( $Q_2 / W$  σε θέρμανση), ονομάζεται ειδικός βαθμός απόδοσης της αντλίας (**COP, coefficient of performance**).

#### Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία ψύξης

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ( $Q_1 / W$  σε ψύξη), ονομάζεται βαθμός ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (**EER, energy efficiency ratio**).

Τόσο ο ειδικός βαθμός απόδοσης COP όσο και ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης EER εξαρτώνται:

- από τη θερμοκρασία της "πηγής" ( $T_{Q1}$ )
- από τη θερμοκρασία του "αποδέκτη" ( $T_{Q2}$ )
- από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας
- από τις ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου.

και μεταβάλλονται διαρκώς, δεδομένου της συνεχόμενης μεταβολή τόσο της θερμοκρασίας του ψυχρού όσο και της θερμοκρασίας του θερμού.

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί η μέτρηση του COP και του EER σε τυποποιημένες συνθήκες (συνθήκες Eurovent) που είναι:

Για τη θέρμανση:

*Θερμοκρασία θερμού = 20°C και*

*Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7°C / 6°C WB - Υγρού Βολβού (ψυχρού)*

Και για την ψύξη:

*Θερμοκρασία θερμού = 27°C και*

*Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35°C / 6°C WB - Υγρού Βολβού*

Οι βαθμοί απόδοσης σε συνθήκες Eurovent χαρακτηρίζουν την ποιότητα κατασκευής μιας αντλίας θερμότητας, αφού ο υπολογισμός τους αναφέρεται στις ίδιες συνθήκες για όλες τις αντλίες .

Επειδή όμως σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας οι θερμοκρασίες θερμού και ψυχρού δεν ισούνται με τις θερμοκρασίες που καθορίζονται από το πρότυπο Eurovent, ορίζεται και ο μέσος ή ετήσιος ειδικός βαθμός απόδοσης SCOP (Seasonal COP - για τη θέρμανση) και ο μέσος ή ετήσιος βαθμός ενεργειακής απόδοσης SEER (Seasonal EER - για τη λειτουργία της ψύξης) οι οποίοι ουσιαστικά εκφράζουν τους μέσους βαθμούς απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας σε ετήσια λειτουργία και αποτελούν το προτιμότερο κριτήριο αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας.

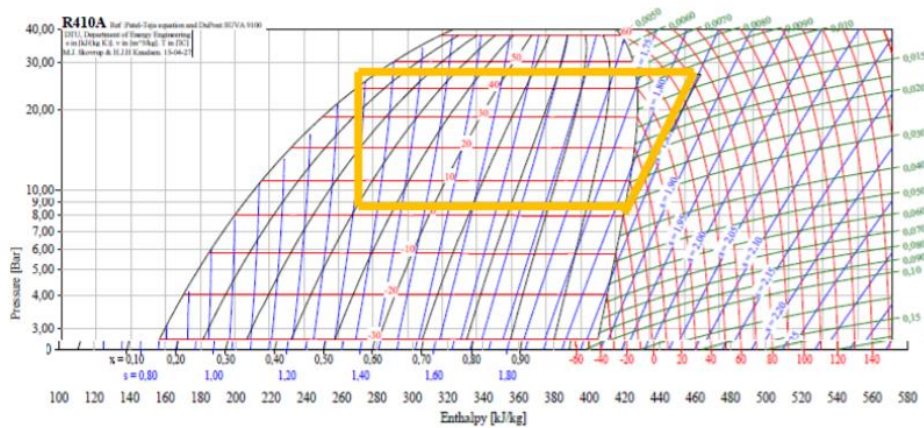
Στις σύγχρονες αντλίες θερμότητας συνήθεις τιμές των COP και EER είναι μεγαλύτερες του 3.0, γεγονός κατατάσσει τις αντλίες θερμότητας στις συσκευές αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών . Τιμή COP (ή EER) ίση με 3.0 σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ενέργειας που καταναλώνει μια αντλία θερμότητας, μεταφέρει (αποδίδει) τρεις (3) μονάδες ενέργειας. [32]

### 2.3.5 Θεωρητικός και πραγματικός κύκλος της αντλίας θερμότητας

Οι μεταβολές του κύκλου πάνω στο διάγραμμα  $\ln p-h$ , είναι ως εξής: συμπίεση, συμπύκνωση, στραγγαλισμός και ατμοποίηση των ατμών του ψυκτικού μέσου. Στην πράξη όμως, όπως είναι γνωστό, πρέπει να γίνουν ορισμένες τροποποιήσεις, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Λόγω κινδύνου σχηματισμού σταγόνων υγρού μέσα στο συμπιεστή, ο ατμός οδηγείται προς αυτόν υπέρθερμος.
2. Επειδή ο συμπιεστής δεν έχει την δυνατότητα να εκτελέσει ισεντροπική συμπίεση, απαιτείται πάντα περισσότερο μηχανικό έργο. Το επιπλέον έργο αυτό,  $W'$  γίνεται θερμότητα, που προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού.

3. Στους εναλλάκτες θερμότητας (συμπυκνωτή - ατμοποιητή), οι μεταβολές είναι θεωρητικά ισοβαρείς και ισόθερμες. Στην πράξη όμως, λόγω της μεγάλης διατηρητέας ταχύτητας, παρουσιάζεται πτώση πίεσης.
4. Λόγω κινδύνου σχηματισμού ατμού πριν την εκτονωτική βαλβίδα (από απρόβλεπτη θέρμανση ή πτώση πίεσης), γίνεται υπόψυξη του υγρού, με τη βοήθεια ενδιάμεσου ψύκτη.[33]



Εικόνα 2.17 : Σχεδιάγραμμα  $lnp - h$  κατά την ψύξη [33]

### Κεφάλαιο 3 Παρουσίαση κτηρίου και συστημάτων

Το βιοκλιματικό κτήριο γραφείων που μελετάμε σχεδιάστηκε το 1998 από συνεργάτες του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ( Κ.Α.Π.Ε.) ως ένα εντυπωσιακό κτήριο εφαρμογής ενεργειακών τεχνολογιών και ύστερα από μειοδοτικό διαγωνισμό ξεκίνησε η κατασκευή του το 1999 και τελείωσε το 2001. Από το Νοέμβριο του 2001 άρχισε η συστηματική καταγραφή των στοιχείων που σχετίζονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και την απόδοση των ενεργειακών τεχνολογιών του. [34]



Εικόνα 3.1: Το μελετηθέν κτήριο γραφείων εξωτερικά [35]

## 3.1 Το κτήριο

### 3.1.1 Στόχος

Βασικό στόχο του έργου αποτελεί ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός βιοκλιματικού κτηρίου χαμηλής κατανάλωσης καθώς και η χρήση διαφορετικών ήπιων μορφών ενέργειας και τεχνικών εξοικονόμησης. Στο κτήριο ενσωματώθηκε μεγάλος αριθμός συστημάτων που χρησιμοποιούν ως βασική πηγή τις Α.Π.Ε. και ενεργειακών τεχνολογιών για λόγους επίδειξης, παρακολούθησης αλλά και αξιολόγησης της απόδοσής τους. Τέλος, οι εργαζόμενοι αποτελούν πολύ σημαντική παράμετρο για την τελική απόδοση των τεχνολογιών καθώς παίζουν το ρόλο του “χρήστη” και λειτουργούν τα παραπάνω συστήματα, ώστε να προκύψουν συμπεράσματα “περί της συμπεριφοράς των χρηστών”. [34]

### 3.1.2 Κτηριολογικό πρόγραμμα και χρήση

Η κατασκευή του κτηρίου αφορά ένα δώροφο ενιαίο κτήριο με υπόγειο το οποίο περιλαμβάνει:

- Θέσεις ερευνητών - γραφεία
- Βιβλιοθήκη - βιβλιοστάσιο
- Μικρή αίθουσα συνεδριάσεων

- Χώρους υγιεινής
- Μικρό κουζινάκι
- Κοινόχρηστους χώρους και χώρους εσωτερική κυκλοφορίας
- Υπόγειους βοηθητικούς χώρους και
- Ψυχροστάσιο

### 3.1.3 Θέση - κλίμα

Το μελετηθέν κτήριο , όπως και οι εγκαταστάσεις του Κ.Α.Π.Ε. , βρίσκεται 20 χιλιόμετρα από το κέντρο της Αθήνας στην περιοχή των Μεσογείων επί της λεωφόρου Μαραθώνος στο Πικέρμι σε μια αγροτική περιοχή γεμάτη με ελιές και αμπέλια, η οποία δομείται ραγδαία τα τελευταία χρόνια .

Η θέση των εγκαταστάσεων είναι αρκετά ευνοϊκή, χωρίς υπερβολικό θόρυβο και ατμοσφαιρική ρύπανση. Η φύτευση που περιβάλλει το κτήριο δεν το επηρεάζει αρνητικά και επιτρέπει τον ηλιασμό της νότιας όψης. Τα υπόλοιπα κτήρια των εγκαταστάσεων που βρίσκονται στην βόρεια πλευρά προστατεύουν μερικώς το κτήριο από τους κρύους βόρειους ανέμους.

Η μέση θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος που μετρήθηκε είναι 9,4°C κατά την Ιανουάριο και 28,7°C κατά τον Ιούλιο. Η περίοδος θέρμανσης του κτηρίου διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου έως τα τέλη Απριλίου και οι βαθμοημέρες θέρμανσης είναι 1217,5.



Εικόνα 3.2: Θέση εγκαταστάσεων Κ.Α.Π.Ε, Google Maps

### 3.1.4 Κατασκευή

Η κατασκευή του κτηρίου έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μελέτης και τους ισχύοντες ελληνικούς κανονισμούς.

Ο φέρωντας οργανισμός κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα C20/25 οπλισμένο από χάλυβα S500. Οι τοιχοποιίες κατασκευάστηκαν από οπτοπλινθοδομές διπλές, δρομικές, χωρίς ενδιάμεσο κενό, δεδομένου ότι η μόνωση τοποθετήθηκε εξωτερικά για την αποφυγή θερμογεφυρών.

Τα εσωτερικά χωρίσματα κατασκευάστηκαν από τοίχους ξηράς δόμησης ( γυψοσανίδα) με εσωτερική μόνωση πετροβάμβακα ενώ τα εξωτερικά επιχρίσματα σε τρεις στρώσεις από τσιμεντοκονίαμα.



Εικόνα 3.3: Εξωτερική θερμομόνωση της βόρειας όψης του κτηρίου [34]



Εικόνα 3.4: Νοτιοανατολική όψη του κτηρίου κατά την περίοδο κατασκευής των οπτοπλινθοδομών [34]

Για την θερμομόνωση των τοίχων χρησιμοποιήθηκαν πλάκες Tektalan 5cm , σε επιλεγμένα σημεία της νότιας όψης χρησιμοποιήθηκε διαφανής μόνωση από πλάκες Sto Therm Solar και στην οροφή πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης Roofmate της DOW, πάχους 5cm.

Η επίστρωση των δαπέδων έγινε με κεραμικά πλακίδια διαστάσεων 30x30 cm γκρι χρώματος και “ματ” υφής. Τέλος, τα κουφώματα είναι από αλουμίνιο της εταιρίας EUROPA, λευκά, συρόμενα επάλληλα με διπλά υαλοστάσια συνολικού πάχους 22mm, με διάκενο 12mm και δύο υαλοπίνακες πάχους 5mm έκαστος.



Εικόνα 3.5: Λεπτομέρεια εξωτερικής οπτοπλινθοδομής με εξωτερική θερμομόνωση [34].

## 3.2 Τα συστήματα

Η μελέτη του κτηρίου προέβλεπε την ενσωμάτωση Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων ( Π.Η.Σ. ) με σκοπό της αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των χώρων:

- Συστήματα άμεσου κέρδους ( ανοίγματα νότιου προσανατολισμού) επιφάνειας  $17\text{m}^2$  για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των χώρων για παθητική θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες.
- Θερμοκήπιο, εμβαδού  $8,25\text{m}^2$  προσαρτημένο στη νότια όψη του κτηρίου, επιφάνειας ανοιγμάτων  $12\text{m}^2$ , όπου συλλέγεται η ηλιακή ακτινοβολία η οποία εγκλωβίζεται ως θερμότητα και στη συνέχεια κυκλοφορεί μέσω ανοιγμάτων στο εσωτερικό του κτηρίου.
- Ηλιακοί συλλέκτες αέρα - θερμοσιφωνικά πάνελ ενσωματωμένα στη νότια όψη του κτηρίου επιφάνειας  $17\text{m}^2$ , που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και την αποδίδουν ως θερμότητα είτε άμεσα μέσω θυρίδων στους χώρους, είτε έμμεσα ως προθερμασμένο αέρα στην αντλία θερμότητας στο δώμα.
- Ηλιακό αίθριο που αποτελείται από υαλόφρακτο τμήμα της οροφής του κτηρίου επιφάνειας  $14\text{m}^2$ , για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και την περαιτέρω απόδοση της θερμικής της ενέργειας στο κεντρικό εσωτερικό τμήμα του κτηρίου.
- Διαφανής θερμομόνωση συνολικής επιφάνειας  $8\text{m}^2$  για την ενίσχυση των ηλιακών κερδών των νότιων χώρων.

### 3.2.1 Συστήματα φυσικού φωτισμού

Παράλληλα και σε συνδυασμό με τα Π.Η.Σ., μελετήθηκαν και τα συστήματα φυσικού φωτισμού . Στόχος της ένταξης τέτοιων συστημάτων είναι η κάλυψη των αναγκών του εσωτερικού χώρου του κτηρίου με φυσικό φως για το κατά το δυνατό μεγαλύτερο ποσοστό της μέρας και συνεπώς την μείωση του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου για φωτισμό.

Ειδικότερα προβλέπονται:

- Συστήματα φωτισμού οροφής που αποτελούνται από ένα υαλόφρακτο τμήμα για την είσοδο φυσικού φωτισμού στην κεντρική ζώνη του κτηρίου και
- Αίθριο με το οποίο έχουν “οπτική επαφή” τα ανοίγματα των αιθουσών, ώστε να εξασφαλίζεται φυσικός φωτισμός και στις βαθύτερες ζώνες των χώρων.



Εικόνα 3.6: Το ηλιακό αίθριο που χρησιμοποιείται ως σύστημα παθητικού δροσισμού, έμμεσου φυσικού φωτισμού και ηλιασμού [34].

### 3.2.2 Συστήματα παθητικού δροσισμού

Προς αποφυγή της υπερθέρμανσης και ελαχιστοποίησης των αναγκών για τον κλιματισμό των χώρων τοποθετήθηκαν στο κτήριο συστήματα παθητικού δροσισμού, αναλυτικότερη παρουσίαση των οποίων έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ειδικότερα, εγκαταστάθηκαν και εφαρμόστηκαν:

- Συστήματα σκίασης των ανοιγμάτων όπως κατακόρυφες τέντες στη νότια όψη του κτηρίου, κατακόρυφα στόρια στην ανατολική και την δυτική όψη, σε συνδυασμό με βενετικά στόρια στο εσωτερικό.
- Συστήματα φυσικού διαμπερούς εξαερισμού, με ανοίγματα παραθύρων, ανεμιστήρων ή φεγγιτών και
- Συστήματα φυσικού εξαερισμού μέσω των ηλεκτροκίνητων ανοιγμάτων της οροφής και ενδεχόμενη υποβοήθηση με ανεμιστήρες.

### 3.2.3 Ενσωμάτωση Α.Π.Ε. στο σύστημα θέρμανσης - κλιματισμού

#### Γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού - νερού

Κατά την περίοδο των χειμερινών μηνών, το νερό της γεώτρησης διέρχεται από τον εξατμιστή της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού - νερού προσφέροντας τη θερμότητά του στον ψυκτικό κύκλο. Αναφορικά, οι θερμοκρασίες σχεδιασμού για το κύκλωμα του φρεατικού νερού είναι 18/12°C. Ταυτόχρονα ο συμπυκνωτής της αντλίας θερμότητας θερμαίνει το χωριστό κύκλωμα νερού του δικτύου των fan-coils του ισογείου και προσφέρει σε αυτό τη θερμότητά του, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία που υπέστη πτώση λόγω των φορτίων απωλειών του κτηρίου ( οι θερμοκρασίες σχεδιασμού των FCU είναι 45/40 °C ). Αντίστοιχη είναι και η λειτουργία κατά την περίοδο του καλοκαιριού.



Η μονάδα χρησιμοποιεί το φρεατικό νερό υπάρχουσας γεώτρησης, βάθους 80m, που βρίσκεται σε απόσταση 10m βόρεια του κτηρίου. Η θερμοκρασία του νερού αυτού μετρήθηκε το Μάιο στους 21°C και η παροχή της είναι σταθερή και ίση με 1,2m<sup>3</sup>/h.

Η αντλία θερμότητας έχει ψυκτική ισχύ 16kW και θερμική 17,5kW, είναι τεχνολογίας R22 με εμβολοφόρο παλινδρομικό συμπιεστή και βήματα ρύθμισης 0-100. Ο συντελεστής COP της αντλίας για τις θερμοκρασίες που αναφέρθηκαν είναι 4,2 και ο εναλλάκτης νερού είναι ομοαξονικής τεχνολογίας.[34]



Εικόνα 3.7 : Γεωθερμική Αντλία θερμότητας νερού - νερού για θέρμανση και ψύξη του ισογείου [34]

### Ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα - νερού

Όσον αφορά τον πρώτο όροφο, η κάλυψη του φορτίου του γίνεται μέσω μιας ηλιοβοηθούμενης αντλίας θερμότητας νερού αέρος ισχύος 18kW.

Γενικά, το σημαντικότερο χαρακτηριστικό μιας συμβατικής αντλίας θερμότητας αέρα-νερού είναι ότι αντλεί θερμότητα από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Το μειονέκτημα του αέρα, σαν πηγή θερμότητας, έγκειται στη χαμηλή θερμοκρασία του τον χειμώνα, που έχει σαν αποτέλεσμα της μείωσης του βαθμού συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας (COPA/Θ) ενώ ταυτόχρονα αυξάνει η ανάγκη θέρμανσης των χώρων. Άλλο ένα μειονέκτημα του αέρα είναι η υγρασία του που παγώνει στα πτερύγια του εξατμιστή, με αποτέλεσμα τη μείωση έως και τον μηδενισμό της ταχύτητας κυκλοφορίας του αέρα και της αύξησης της θερμική αντίσταση του εξατμιστή λόγω του σχηματιζόμενου πάγου.[35][36]

Τα παραπάνω δύο μειονεκτήματα του αέρα ακυρώνονται στην ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα-νερού, ισχύος 15 kW, όπου ο αέρας, αφού περάσει από τις συστοιχίες των ηλιακών συλλεκτών αέρα, θερμαίνεται και προσάγεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας όπου η τελευταία αντλεί την θερμότητά θερμαίνοντας το νερό του δικτύου FCU του κτηρίου.[36]

Έτσι, ο συντελεστής συμπεριφοράς αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, δείχνοντας έτσι την χρησιμότητα των ηλιακών συλλεκτών προθέρμανσης του αέρα με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη χρήση του μηχανήματος.[36]

Η αντλία θερμότητας αέρα νερού που χρησιμοποιήσαμε στο βιοκλιματικό κτήριο του ΚΑΠΕ είναι της εταιρίας TRANE το μοντέλο CGC/CXC 075, τύπου “καναλάτης” στην πλευρά της πηγής (αέρα).[36]

Οι τιμές του COP για θερμοκρασία προσαγωγής νερού 45 °C, κυμαίνεται από

COP= 2,8 για  $\theta_a = -8$  °C έως το

COP =4,1 για  $\theta_a = 15$  °C.

Κατά τους χειμερινούς μήνες, ο αέρας αφού διέλθει και προθερμανθεί από τους ηλιακούς συλλέκτες αέρα της νότιας όψης του κτηρίου, συνολικής επιφάνειας 17m<sup>2</sup> και παροχής σχεδιασμού 1700 m<sup>3</sup>/h, προσάγεται στον εξατμιστή της αντλίας, υποβοηθούμενος από φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες και προσφέρει τη θερμότητά του στον ψυκτικό κύκλο. Αναφέρεται επίσης, ότι οι θερμοκρασίες σχεδιασμού του κυκλώματος του προθερμασμένου αέρα είναι 10/3 °C και το δίκτυο διανομής της είναι παρόμοιο με του ισογείου.

Η αντλία θερμότητας έχει ψυκτική ισχύ 16,5kW και θερμική 18kW. Είναι τεχνολογίας R22 με εμβολοφόρο παλινδρομικό συμπιεστή και βήματα ρύθμισης 0-100. Ο συντελεστής COP της αντλίας για την περίπτωση της ηλιακής αρωγής ανέρχεται στο 4,8 και ο εναλλάκτης είναι ομοαξονικού τύπου.



Εικόνα 3.8 : Ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα - νερού για την θέρμανση και την ψύξη του ορόφου [34]

Τέλος, στο υπόγειο του κτηρίου όπου και βρίσκεται η βιβλιοθήκη έχουν εγκατασταθεί δύο αντλίες θερμότητας αέρα - αέρα ημικεντρικού τύπου ισχύος 18kW.

#### 3.2.4 Εγκαταστάσεις φωτισμού

Η εγκατάσταση του τεχνητού φωτισμού αποτελείται κυρίως από το γενικό φωτισμό των χώρων, που ελέγχεται από το σύστημα BEMS. Τα φωτιστικά που χρησιμοποιήθηκαν στο κτήριο αποτελούνται από λαμπτήρες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (φθορισμού ή τύπου PLC) και φωτιστικά οροφής με ηλεκτρονικό Ballast HF με μεταλλικές εγκάρσιες

παραβολικές περιόδους και διαμήκη στοιχεία διπλής παραβολικότητας, ή spot οροφής με γυαλιστερό ανταυγαστήρα.

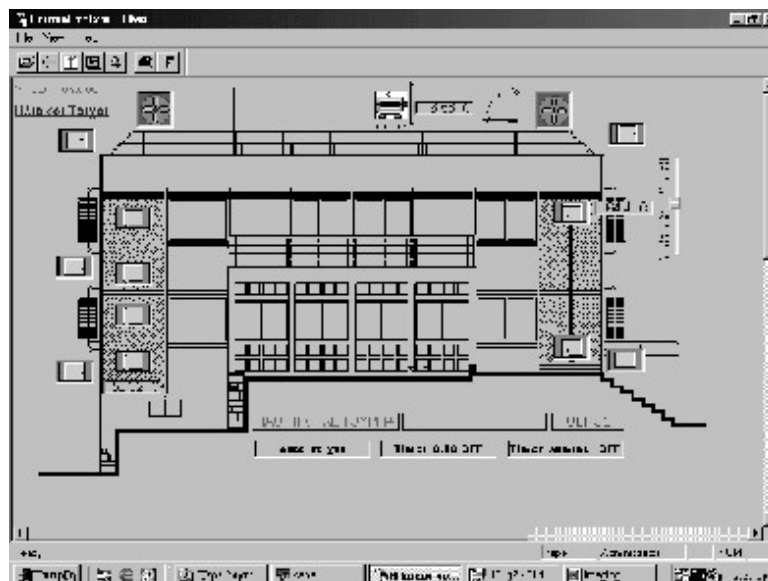
### 3.2.5 Σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτηρίου (BEMS)

Η εγκατάσταση του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.9 έχει ως βασική λειτουργία την επιτήρηση και τον αυτόματο έλεγχο των ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων του κτηρίου με βασικό σκοπό την δυνατότητα άμεσης πρόσβασης, απρόσκοπτης λειτουργίας, ρύθμισης παραμέτρων και ανάλυσης των δεδομένων όλων των εγκαταστάσεων από ένα σταθμό ελέγχου.

Παράλληλα, παρακολουθούνται και ελέγχονται :

- η συμπεριφορά των θερμοσιφονικών πάνελ και των ηλιακών αεροσυλλεκτών
- η θερμική άνεση των χώρων,
- οι εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού,
- τα παθητικά ηλιακά συστήματα,
- οι εγκαταστάσεις φωτισμού και φυσικού δροσισμού,
- το θερμοκήπιο,
- το ηλιακό αίθριο,
- οι τοίχοι με την διαφανή μόνωση,
- τα συστήματα δροσισμού,
- η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου καθώς και
- η ποιότητα αέρα.

Στη συνέχεια δημιουργεί και αποθηκεύει αρχεία με τα στατιστικά στοιχεία που συλλέχτηκαν. Το σύστημα είναι βασισμένο στο πρωτόκολλο επικοινωνίας EIB (EUROPEAN INSTALLATION BUS).[34][36]



Εικόνα 3.9 : Οθόνη του συστήματος ενεργειακής διαχείρισης (BEMS), που ελέγχει την συμπεριφορά των ηλιακών συλλεκτών αέρα. [34]

Το σύστημα αποτελείται από έναν Κεντρικό Σταθμό Ελέγχου και παρακολούθησης, τα αισθητήρια όργανα, τις συσκευές εκτέλεσης εντολών ΕΙΒ καθώς και τις συνδετήριες καλωδιώσεις. Ο προγραμματισμός και ο χειρισμός του συστήματος είναι εύκολος και γρήγορος μέσω του κεντρικού σταθμού ελέγχου. Σε ορισμένους χώρους, μάλιστα, η λειτουργία και η επιλογή διαφόρων συνθηκών γίνεται μέσω επί μέρους χειριστηρίων που διαθέτουν ορισμένες καταστάσεις προς επιλογή.

Το σύστημα αποτελείται από ανεξάρτητα δομικά στοιχεία, τα οποία επιλέγονται και συνδέονται μεταξύ τους με τρόπο ο οποίος επιτρέπει τον έλεγχο και την παρακολούθηση του κτηρίου από ένα κεντρικό σημείο μέσω ενός Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Η σύνδεση με το Σταθμό Ελέγχου επιτυγχάνεται μέσω ενός Interface RS 232.

Χρησιμοποιείται σύγχρονη τεχνολογία ΕΙΒ η οποία είναι πλήρως ψηφιακή. Οι εντολές καθοδήγησης μεταφέρονται μέσω ενός ζεύγους συνεστραμμένων αγωγών θωρακισμένου καλωδίου από την κεντρική μονάδα στους επί μέρους αποκωδικοποιητές και η ηλεκτροδότηση πραγματοποιείται από ένα κατάλληλο τροφοδοτικό στοιχείο χαμηλής τάσης 24V. Οι εν λόγω αποκωδικοποιητές φέρουν μια διεύθυνση και ελέγχουν μεμονωμένα ή κατά ομάδες τα σημεία ελέγχου που είναι συνδεδεμένα σε αυτούς. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η ομαδοποίηση, ο προγραμματισμός και ο έλεγχος των παραμέτρων του κτηρίου. Το ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών συνδέει όλα τα σημεία ελέγχου (π.χ. μπουτόν, ρελέ, dimmers, ανιχνευτές κίνησης) της εγκατάστασης μεταξύ τους χωρίς επιστροφές (δηλαδή “ τρέχει απλά από το ένα στο άλλο αρχίζοντας από το πρώτο και καταλήγοντας στο τελευταίο) και χρησιμοποιείται με δύο τρόπους:

- Μεταφέρει τα συστήματα επικοινωνίας και
- Τροφοδοτεί ταυτόχρονα με την απαραίτητη χαμηλή τάση ,των 24V DC, τα σημεία για τη λειτουργία τους.

Η διανομή των καλωδίων ισχύος των 230V AC, με αυτόν τον τρόπο, περιορίζεται πλέον μόνο μεταξύ του πίνακα διανομής και των ηλεκτρικών φορτίων.

Τα σημεία ελέγχου δέχονται την ίδια χρονική στιγμή εντολές, μέσω του κοινού, για όλα τα bus και μάλιστα χωρίς τον κίνδυνο συμφόρησης χάρη στην χρήση του πρωτόκολλου “Carrier Sence Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)”. Κάθε σημείο έχει την δική του διεύθυνση μέσω της οποίας καθορίζεται αν το μήνυμα που κυκλοφορεί στο bus απευθύνεται σε αυτό, οπότε εκτελεί την ανάλογη εντολή ή απλά “ ακούει την εντολή και δεν αντιδράει.

Στο BUS συνδέονται και προγραμματίζονται κατάλληλα σχεδιασμένα modules , όπως αισθητήρια παρουσίας, συστήματα ελέγχου με μπουτόν, αισθητήρια θερμοκρασίας, σύστημα μέτρησης του υπάρχοντος φυσικού φωτισμού κ.λπ...[35][36]

### 3.2.6 Φωτοβολταϊκά πάνελ

Στο κεκλιμένο τμήμα του δώματος που καλύπτει το ηλιακό αίθριο, έχουν εγκατασταθεί 12 Φωτοβολταϊκά πάνελ (Φ/Β) διάστασης 132cmx64cmx5cm συνολικής ισχύος 600W, άμορφου πυριτίου, συνδεδεμένα απευθείας στο δίκτυο του κτηρίου μέσω μετατροπέα ισχύος. Η κλίση της συστοιχίας των Φ/Β για αρχιτεκτονικούς και αισθητικούς λόγους είναι 20° ενώ η ενδεδειγμένη για τη μέγιστη ετήσια απόδοση τους θα ήταν 40°. Τέλος, έχει εγκατασταθεί και ηλιακός συλλέκτης παραγωγής ζεστού νερού χρήσης 60 λίτρων για την κάλυψη των μικρών αναγκών του κτηρίου σε ζεστό νερό.[34]

### 3.2.7 Οικονομική ανάλυση

Οι ενεργειακές τεχνολογίες και συστήματα που είναι εγκατεστημένα στο κτήριο κόστισαν σε τιμές 1999, 11% (39.780 Ευρω) του συνολικού κόστους του κτηρίου. Με βάση τα αποτελέσματα των πρώτων 208 ημερών των ενεργειακών μετρήσεων του κτηρίου και τον υπολογισμό της εξοικονομούμενης ενέργειας (44934kWh/έτος) συγκριτικά με αντίστοιχα «συμβατικά» κτίρια γραφείων προκύπτει απλή περίοδος αποπληρωμής της τάξεως των 14.5 ετών. Εξαιτίας του επιδεικτικού χαρακτήρα του κτηρίου, ο αριθμός και η πολυπλοκότητα των εγκατεστημένων συστημάτων (τρία συστήματα κλιματισμού, διπλάσιος αριθμός αισθητηρίων και εκλεκτών στο BMS κ.λπ.) αύξησαν το κόστος των ενεργειακών τεχνολογιών, με αποτέλεσμα η περίοδος αποπληρωμής να είναι αυξημένη.

Το συμπέρασμα που προκύπτει για τη θερμική λειτουργία του κτηρίου συνοψίζεται ως εξής: Το «Κτήριο Μέτρησης της Απόδοσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας» είναι ένα κτήριο γραφείων βιοκλιματικού σχεδιασμού, όπου με διάφορα συστήματα ελαχιστοποιείται η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και για φωτισμό, χωρίς η ενέργεια που καταναλώνεται για ψύξη να υπερβαίνει την αντίστοιχη ενός συμβατικού σύγχρονου κτηρίου, διατηρώντας ταυτόχρονα πολύ υψηλά επίπεδα θερμικής και οπτικής άνεσης.[35][36]

## Κεφάλαιο 4 Εργαλεία μελέτης και μεθοδολογία

Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν πέρα από τα βασικά τρία που να αναλυθούν παρακάτω, τα δύο πιο γνωστά προγράμματα του Microsoft Office, το Word και το Excel. Τα υπόλοιπα τρία που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

1. **SketchUp 2017:** Αποτέλεσε το βασικό πρόγραμμα για το σχεδιασμό του κτηρίου. Μέσω αυτού ήταν δυνατή η μοντελοποίηση του κτηριακού κελύφους και του εσωτερικού του που αποτέλεσε και πρώτο βήμα της εκπλήρωσης της παρούσας

εργασίας. Το SketchUp, πρώην Google SketchUp αποτελεί ένα πρόγραμμα υπολογιστή που δίνει την δυνατότητα σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων (3D) και απευθύνεται κυρίως σε χρήστες του κλάδου της αρχιτεκτονικής, της διακόσμησης, της αρχιτεκτονικής τοπίου, της μηχανολογίας, τον σχεδιασμό παιχνιδιών και ταινιών. Το SketchUp έχει ενσωματωμένη την τεχνολογία BIM στον πυρήνα του, παρέχοντας στους επαγγελματίες μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα σχεδίασης στην οποία κάθε στοιχείο που σχεδιάζεται έχει ενσωματωμένες όλες τις πληροφορίες που το συνοδεύουν, όπως η γεωμετρία, η θέση του, το υλικό και μία σειρά από άλλες παραμέτρους και χαρακτηριστικά. Το πρόγραμμα ανήκει στην εταιρία Trimble Inc., η οποία παρόλο που είναι γνωστή για την τεχνολογία GPS, ενσωματώνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών εντοπισμού θέσης, συμπεριλαμβανομένων GPS, laser, οπτικών και αδρανειακών τεχνολογιών με λογισμικό εφαρμογών, ασύρματες επικοινωνίες καθώς και υπηρεσίες. Επιτρέπει τη χρήση μιας ψηφιακής βιβλιοθήκης, στην οποία χρήστες μπορούν να “ανεβάσουν” έτοιμα αρχεία δωρεάν στο ευρύ κοινό, που ονομάζεται 3D Warehouse και υποστηρίζει προγράμματα “plug-in” διαφορετικών κατασκευαστών μέσω του Extension Warehouse, δίνοντας διαφορετικές δυνατότητες στο χρήστη όπως π.χ. την δημιουργία 3D μοντέλων στο Google Earth. Το plug-in που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το Openstudio, το οποίο δίνει την δυνατότητα στο χρήστη, μέσω του SketchUp, την γρήγορη και εποπτική μοντελοποίηση κτηρίων με σκοπό την ενεργειακή τους ανάλυση.

2. **Openstudio:** Αποτελείται από μια τεράστια γκάμα εφαρμογών λογισμικού ελεύθερης και ανοιχτής πηγής που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων. Η πρωταρχική χρήση του, σε συνεργασία με το SketchUp, επιτρέπει στο χρήστη να προβάλλει και να επεξεργαστεί τρισδιάστατα μοντέλα που στη συνέχεια εισάγονται στο λογισμικό προσομοίωσης EnergyPlus. Το OpenStudio κυκλοφόρησε τον Απρίλιο του 2008 από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τμήμα του Αμερικανικού Υπουργείου Ενέργειας (NREL – National Renewable Energy Laboratory) και σχεδιάστηκε με σκοπό την διευκόλυνση των χρηστών του EnergyPlus, μέσω της γραφικής αναπαράστασης των κτιρίων, των δομικών τους στοιχείων και των συστημάτων που τα διέπουν. Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει την ενεργειακή ανάλυση των κτηρίων πριν τη κατασκευή τους και δίνει την δυνατότητα δημιουργίας και επεξεργασίας των ζωνών και των επιφανειών που χρησιμοποιεί το EnergyPlus. Έτσι λοιπόν η ενσωμάτωση του Openstudio ως πρόσθετο επιτρέπει στους μηχανικούς:

- Την δημιουργία και επεξεργασία ζωνών και επιφανειών για το EnergyPlus
- Εκκίνηση του EnergyPlus και παρουσίαση αποτελεσμάτων χωρίς την έξοδο από το σχεδιαστικό πρόγραμμα
- Αναζήτηση επιφανειών και επιφανειών με βάση το όνομα αντικειμένου
- Υπολογισμό φορτίων

- Προσθήκη ιδανικού συστήματος HVAC για τον υπολογισμό των φορτίων
  - Ορισμός και αλλαγή προεπιλεγμένων κατασκευών
3. **EnergyPlus:** Αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης ενεργειακής ανάλυσης κτηρίων και χρησιμοποιείται για την δημιουργία μοντέλων και τον υπολογισμό των φορτίων τους, όπως θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού και νερού. Χρηματοδοτήθηκε και δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α (U.S. Department of Energy Building Technologies Office). Το EnergyPlus δεν διαθέτει γραφικό περιβάλλον, αλλά ο χρήστης εισάγει και εξάγει δεδομένα και αποτελέσματα σε μορφή κειμένου (console-base program) αλλά επειδή η διαδικασία αυτή μπορεί να αποδειχθεί χρονοβόρα και περίπλοκη, αρκετοί τρίτοι εκδότες δημιούργησαν πολλά και διαφορετικά GUI ( Graphical User Interface - Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη) με το πιο γνωστό και διαδεδομένο να είναι το OpenStudio.

## 4.1 Περιγραφή βημάτων

Συνοπτικά για την εκπλήρωση της εργασίας ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

1. Μοντελοποίηση του κτηρίου σε τρισδιάστατη μορφή στο πρόγραμμα SketchUp
2. Ορισμός δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους αλλά και του εσωτερικού
3. Μοντελοποίηση όλων των προγραμμάτων (schedules) των συστημάτων του κτηρίου
4. Μοντελοποίηση του συστήματος HVAC μέσω του Openstudio
5. Διεξαγωγή προσομοιώσεων για διαφορετικές παραμέτρους του κτηρίου
6. Εξαγωγή αποτελεσμάτων

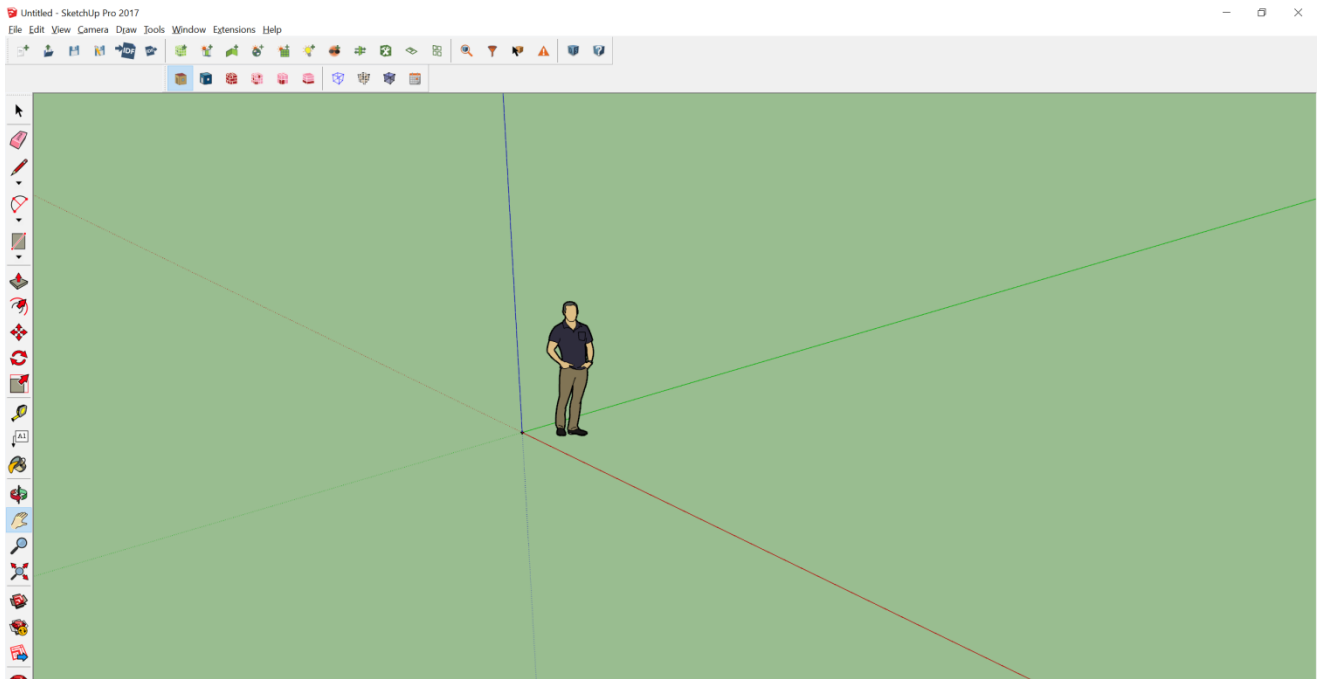
Η ανωτέρω διαδικασία ,σε συνδυασμό με τις πληροφορίες των ενοτήτων που ακολουθούν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν οδηγός για την διεκπεραίωση παρόμοιων σχεδίων και εργασιών.

*Σημείωση: Στην περίπτωση χρήσης της παρούσας εργασίας σαν οδηγό, βεβαιωθείτε ότι και τα τρία προγράμματα είναι ενημερωμένα στην τελευταία έκδοση, καθώς και ότι είναι συμβατά μεταξύ τους.*

## 4.2 Σχεδιασμός κτηρίου

### 4.2.1 Σχεδιασμός τοίχων και παραθύρων


Κατά την πρώτη εκτέλεση του προγράμματος SketchUp και μετά την επιλογή του κατάλληλου συστήματος μέτρησης σε μέτρα (meters – m) η αρχική επιφάνεια που εμφανίζεται είναι η εξής:



Εικόνα 4.1 : Γραφικό περιβάλλον SketchUp

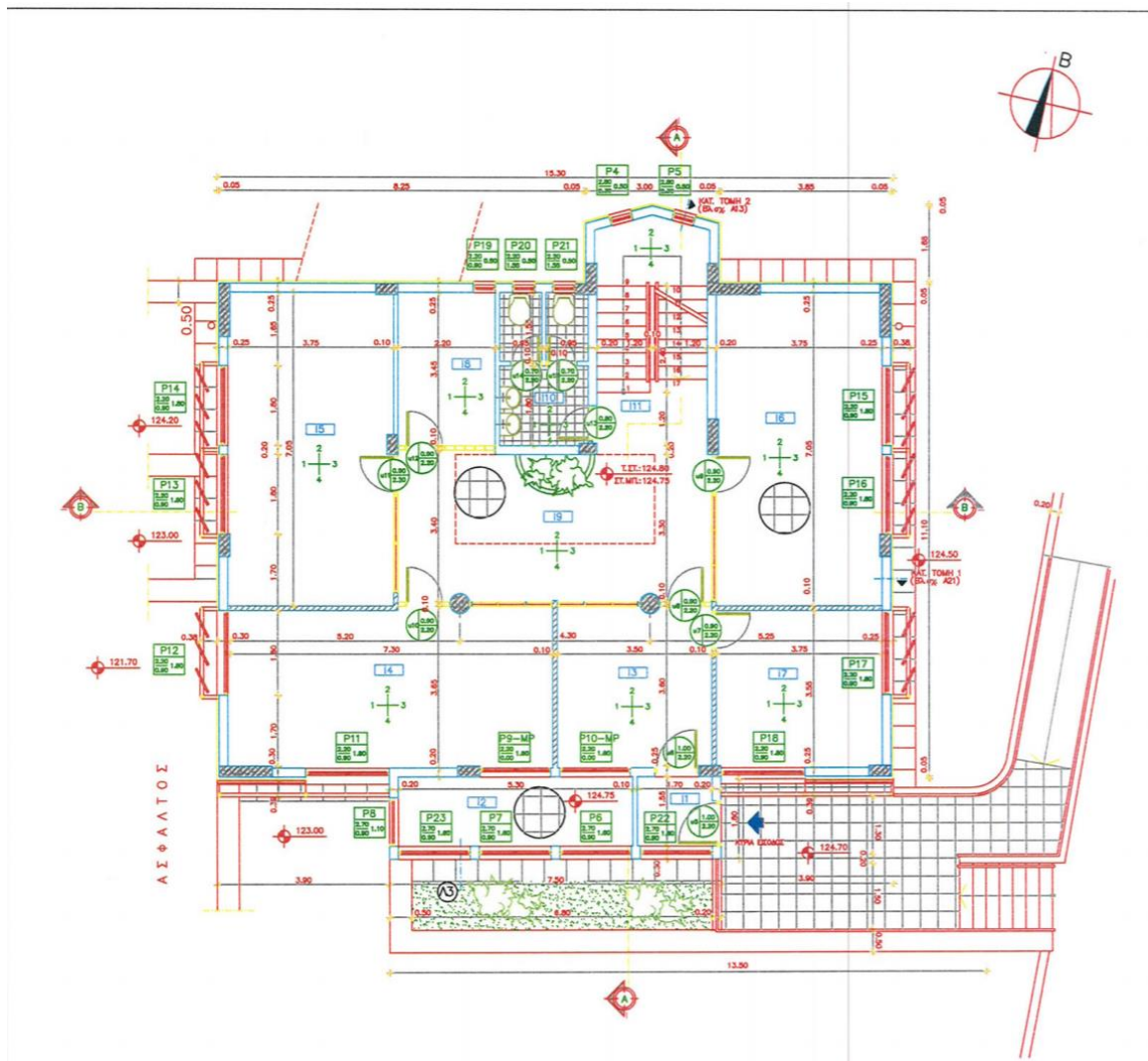
Στην παραπάνω φωτογραφία διακρίνονται στην αριστερή στήλη τα σχεδιαστικά εργαλεία του SketchUp που μας δίνουν την δυνατότητα σχεδιασμού του κτηρίου σε τρισδιάστατη μορφή ενώ στην οριζόντια μπάρα (toolbar) εμφανίζονται τα εργαλεία του OpenStudio που χρησιμεύουν στην εισαγωγή των δεδομένων και των στοιχείων της ενεργειακής προσομοίωσης. Αναφέρεται, ότι η διάταξη των toolbars έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευκολότερη και πιο βολική η χρήση τους.

Στη συνέχεια , θα δημιουργήσουμε μια καινούργια ενεργειακή περιοχή μέσω της εντολής

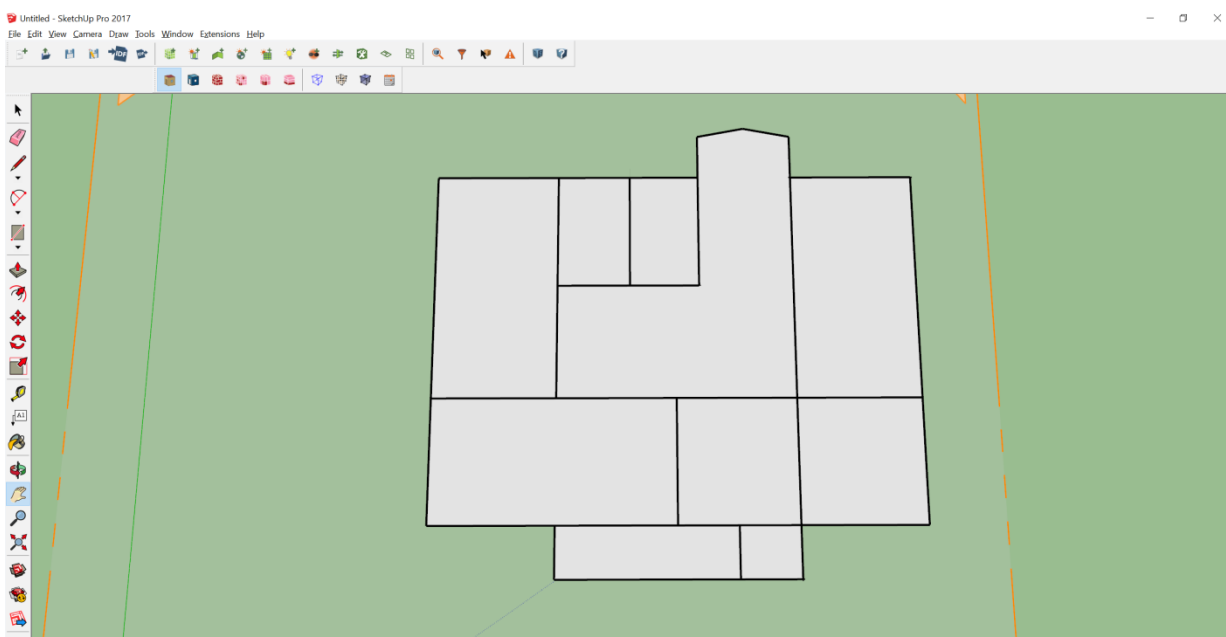
**New Space**  . Επιλέγοντας ένα σημείο στο χώρο μας δημιουργείται μια καινούργια ζώνη μέσα στην οποία οποιαδήποτε επιφάνεια σχεδιαστεί θα ταυτοποιείται αυτόματα ως ενεργειακή και θα χρωματίζεται αναλόγως με τις ιδιότητές της και τη λειτουργία της.

Με βάση, λοιπόν τα σχέδια που έχουμε σχεδιάζουμε την κάτοψη του κτηρίου μας και χωρίζουμε τους εσωτερικούς χώρους.









Εικόνα 4.2 : Αρχιτεκτονικό σχέδιο κτηρίου



Επειδή τα αρχιτεκτονικά σχέδια λαμβάνουν υπ' όψιν τα πάχη των εσωτερικών και των εσωτερικών τοίχων στο σχεδιασμό, ενώ το SketchUp θεωρεί, κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού τουλάχιστον, του τοίχους ως πολύ λεπτούς, χρήζει ιδιαίτερης προσοχής ο σχεδιασμός των εσωτερικών χώρων καθώς ακόμα και μια μικρή απόκλιση του ενός χιλιοστού, μπορεί να προκαλέσει αρκετά προβλήματα αργότερα κατά τη διαδικασία της επιφανειακής αντιστοίχισης (**Surface Matching**) που θα χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Σημείωση : Είναι σημαντικό κατά την αποθήκευση του αρχείου που επεξεργαζόμαστε, να μην αποθηκεύεται σαν αρχείο του SketchUp αλλά του OpenStudio (.osm file). Αυτό επιτυγχάνεται με την αποθήκευση του αρχείου μέσω της εντολής **Save OpenStudio Model** ή **Save OpenStudio Model As**  . Αντίστοιχα, το άνοιγμα του αρχείου OpenStudio στο SketchUp γίνεται με την εντολή **Open OpenStudio Model** .

Έπειτα, επιλέγουμε όλες τις οριζόντιες επιφάνειες που έχουμε σχεδιάσει και επιλέγουμε

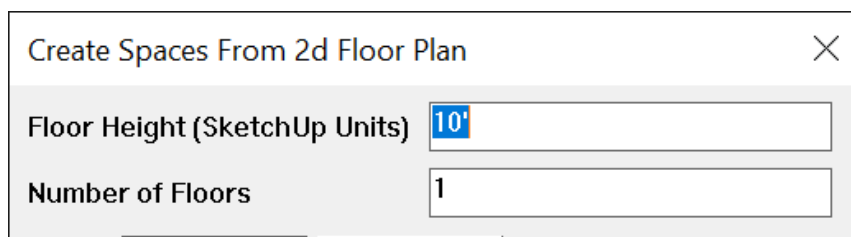
την εντολή **Create Spaces From Diagram**  η οποία, με βάση την κάτοψη που έχει επιλεγεί, σχεδιάζει τους υπόλοιπους τοίχους και την οροφή σε απόσταση 10' (Ποδιών - Feet) από το πάτωμα, που αντιστοιχούν σε 3.048m, όσο δηλαδή είναι ένας τυπικός όροφος. Επίσης, μέσω της εντολής αυτής, για κάθε διαφορετικό χώρο που έχουμε σχεδιάσει, θα του αντιστοιχίσει και μια διαφορετική ενεργειακή ζώνη. Στη συνέχεια, ο χρήστης θα διορίσει αυτές τις ζώνες σε διαφορετικά **Thermal Zones** (Θερμική ζώνη) και σε διαφορετικά "είδη χώρων" **Space Types**. Πριν όμως προχωρήσουμε στην υλοποίηση του βήματος αυτού, καλό θα ήταν να κατανοήσουμε την έννοια της θερμικής ζώνης και της σημασίας της.

Μια θερμική ζώνη χρησιμοποιείται για να καθορισμό ενός χώρου μέσα στον οποίο αποδίδονται φορτία. Για το κτήριο γραφείων που αναλύουμε αυτά τα φορτία είναι κυρίως θερμικά λόγω του ήλιου, των ανθρώπων, του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών. Με τον σωστό καθορισμό των θερμικών ζωνών, τα τελικά αποτελέσματα που θα εξαχθούν μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματικότητα. Για παράδειγμα, σε μια κατοικία που οι χώροι της κουζίνας, του σαλονιού και της τραπεζαρίας είναι ενιαίοι, είναι σκόπιμο να θεωρήσουμε τον χώρο της κουζίνας ως μια ξεχωριστή θερμική ζώνη, καθώς τα φορτία που αναπτύσσονται είναι πολύ περισσότερα από μια τραπεζαρία, καθώς περιέχονται φούρνοι, ψυγεία και εστίες μαγειρέματος που εκλύουν πολλές μονάδες θερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Επίσης, με τον χωρισμό σε πολλές διαφορετικές θερμικές ζώνες δίνεται η δυνατότητα αντιστοίχισης διαφορετικών προγραμμάτων (**Schedules**) για τις ζώνες αυτές που θα αναλυθούν αργότερα στο παρόν κεφάλαιο, όπου θα γίνει και η επεξεργασία τους. Όπως θα δούμε και παρακάτω υπάρχει διαφορά μεταξύ των **Thermal Zones** και των **Space Types**.

Με το **Space Type** καθορίζουμε για το χώρο ένα πρότυπο, το οποίο περιλαμβάνει διαφορετικές παραμέτρους όπως εσωτερικά φορτία, προγράμματα- schedules, κατασκευαστικά υλικά κτλ, ανάλογα με το είδος του χώρου. Αυτό το πρότυπο δύναται να χρησιμοποιείται σε πλειάδα χώρων του κτιρίου και μειώνει δραστικά τον χρόνο που θα απαιτείτο για να πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι χώροι του κτηρίου αποτελούνται από γραφεία (space type), αλλά κάθε γραφείο, εφόσον έχει τον δικό του θερμοστάτη, αντιστοιχεί σε διαφορετική thermal zone.

Με την επιλογή της εντολής **Create Spaces for Diagram** εμφανίζεται, λοιπόν, το παρακάτω παράθυρο:

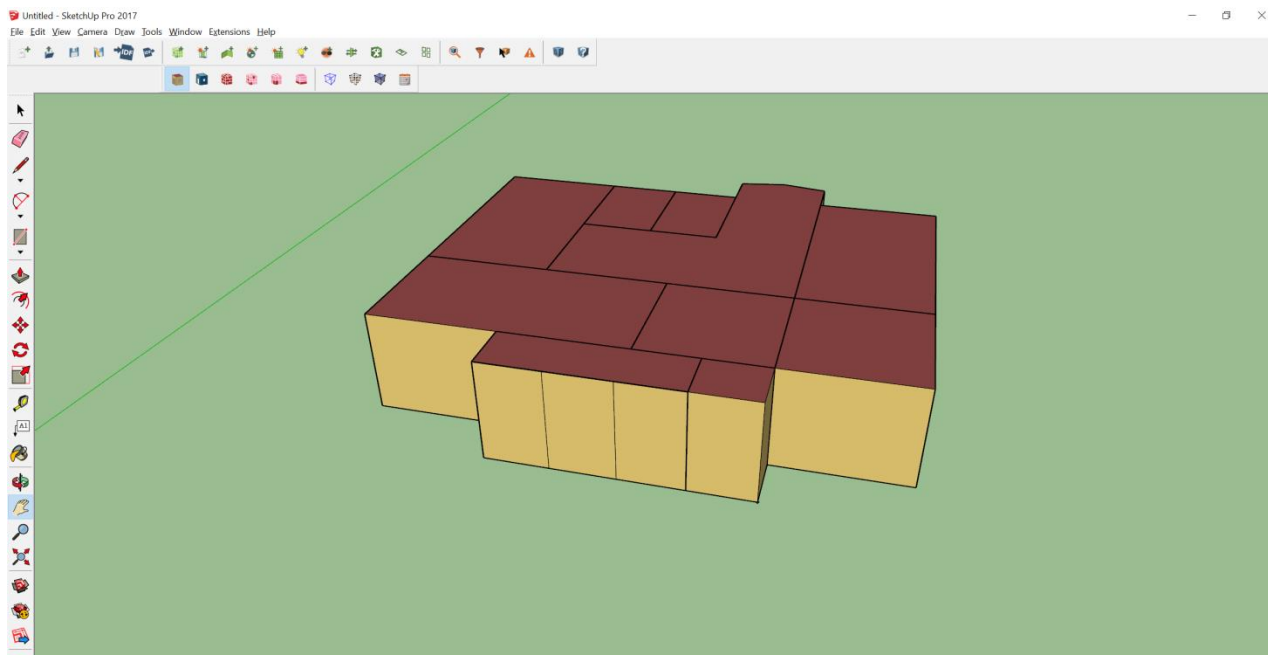


Create Spaces From 2d Floor Plan	
Floor Height (SketchUp Units)	10'
Number of Floors	1



Εικόνα 4.4 : Παράθυρο εντολής Create Spaces from Diagram

Στο παρόν παράθυρο μπορούμε να επεξεργαστούμε να το ύψος του τυπικού ορόφου με την επεξεργασία του αριθμού στην γραμμή **Floor Height**. Αναλόγως των αριθμό των οροφών που έχουμε μπορούμε επίσης να αλλάξουμε τον αριθμό που βρίσκεται στα δεξιά της σειράς **Number of Floors** και το πρόγραμμα να σχεδιάσει κατευθείαν περισσότερους από έναν ορόφους τον έναν πάνω στον άλλον. Η εντολή αυτή βολεύει στον σχεδιασμό πολλαπλών ορόφων μόνο που στην περίπτωση που η διαρρύθμιση των χώρων είναι ακριβώς η ίδια, όπως για παράδειγμα σε πολλαπλούς ορόφους ξενοδοχείων, αλλά στην περίπτωση του κτηρίου μου μελετάμε, δεδομένου ότι οι χώροι δεν είναι ίδιοι από όροφο σε όροφο, κρίθηκε προτιμότερο να σχεδιαστεί κάθε όροφος ξεχωριστά.

Έπειτα από την επιλογή OK, το κτήριο από την δισδιάστατη μορφή που είχε παίρνει την παρακάτω τρισδιάστατη:

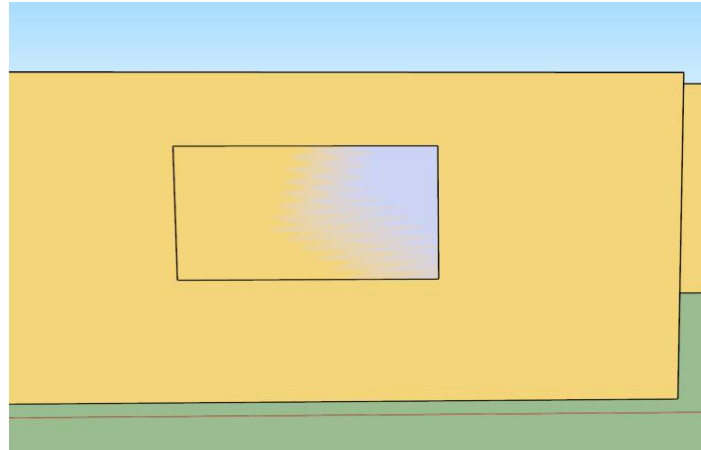


Εικόνα 4.5 : Τρισδιάστατη αρχική μορφή Ισογείου


Σε αυτό το σημείο, παρατηρούμε ότι στο σχέδιο ανάλογα με τις ιδιότητες της κάθε επιφάνειας, αυτή εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα. Το πάτωμα εμφανίζεται γκρί, οι εξωτερικοί τοίχοι ανοιχτό καφέ και η οροφή μπορντό. Επίσης παρατηρούμε ότι οποιοδήποτε χώρο επιλέξουμε κάνοντας διπλό κλικ θα ανακαλύψουμε ότι το υπόλοιπο κτήριο εξαφανίζεται ή φαίνεται σχεδόν διαφανές, αυτό σημαίνει ότι ο χώρος που έχουμε επιλέξει αποτελεί ξεχωριστό κομμάτι του κτηρίου και μπορεί να μορφοποιηθεί διαφορετικά απ' τα υπόλοιπα. Η εμφάνιση ή όχι του κτηρίου κατά την επιλογή ενός χώρου καθορίζεται από την επιλογή των εντολών **Hide Rest of the Model**  και **View Model in X Ray Mode** .



Επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός των παραθύρων. Εδώ αξίζει να επισημάνουμε ότι καλό θα ήταν ο σχεδιασμός των παραθύρων να γίνεται σε κάθε χώρο ξεχωριστά (με την επιλογή του εκάστοτε χώρου με διπλό κλικ) και όχι όταν το κτήριο φαίνεται ολόκληρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στην μετέπειτα διαδικασία, όταν το πρόγραμμα αντιστοιχήσει κάθε παράθυρο σε μια επιφάνεια και έναν χώρο, να το αντιστοιχήσει στον σωστό, δηλαδή σε αυτόν που ανήκει, και όχι σε όλο το κτήριο.

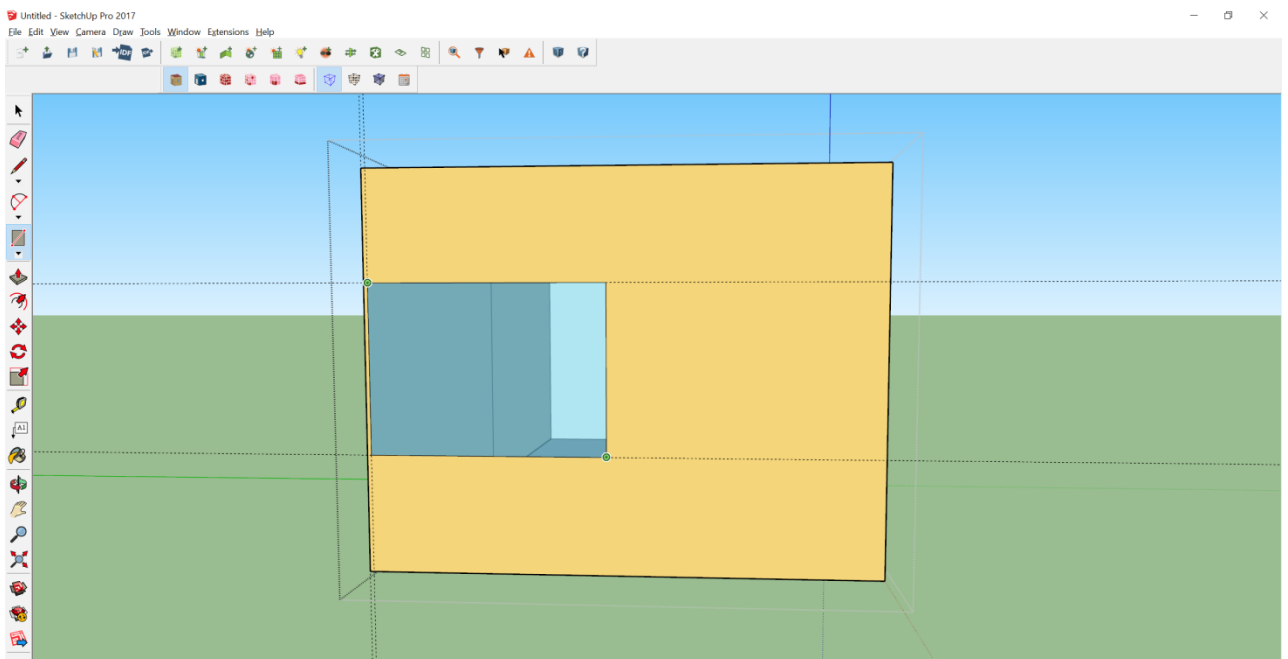
Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση σχεδιασμού ενός παραθύρου στο σύνολο του κτηρίου, το παράθυρο θα φαίνεται να τρεμοπαίζει και να εναλλάσσει τον χρωματισμό του από γαλάζιο σε καφέ, που σημαίνει ότι στη συγκεκριμένη επιφάνεια το πρόγραμμα θεωρεί ότι έχει και τοίχο και παράθυρο, όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 4.6 : Παράθυρο που ο χώρος τους ταυτίζεται με αυτόν του τοίχου

Τέτοιες γεωμετρίες το πρόγραμμα τις ονομάζει **Loose Geometry** και μπορεί να τις διορθώσει μέσω της εντολής **Project Loose Geometry** , αλλά θεωρείται πιο σωστό και πιο εύκολο ο σχεδιασμός να γίνεται σε κάθε χώρο ξεχωριστά και το παράθυρο να εμφανίζεται κατ' ευθείαν όπως θα έπρεπε.

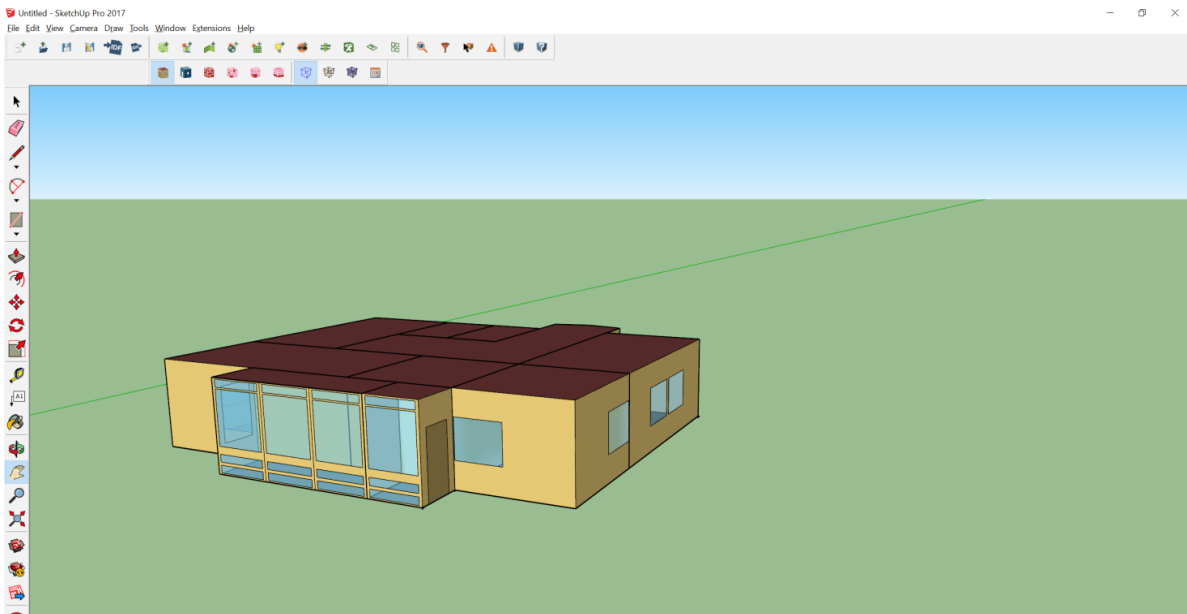
Όταν επιλέξουμε, λοιπόν, τον χώρο στον οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε το παράθυρο, για να είναι οι μετρήσεις μας ακριβές, χρησιμοποιούμε το εργαλείο **Tape Measure Tool**  και δημιουργούμε γραμμές "οδηγούς" από τις άκρες του τοίχου και στη συνέχεια μέσω του εργαλείου **Shapes : Rectangle**  (Shortcut - R) σχεδιάζουμε το παράθυρο σύροντας τον κέρσορα από την μια γωνία μέχρι την άλλη όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω:



Εικόνα 4.7 : Ο σχεδιασμός του παραθύρου και οι βοηθητικές γραμμές για τον ακριβή σχεδιασμό του

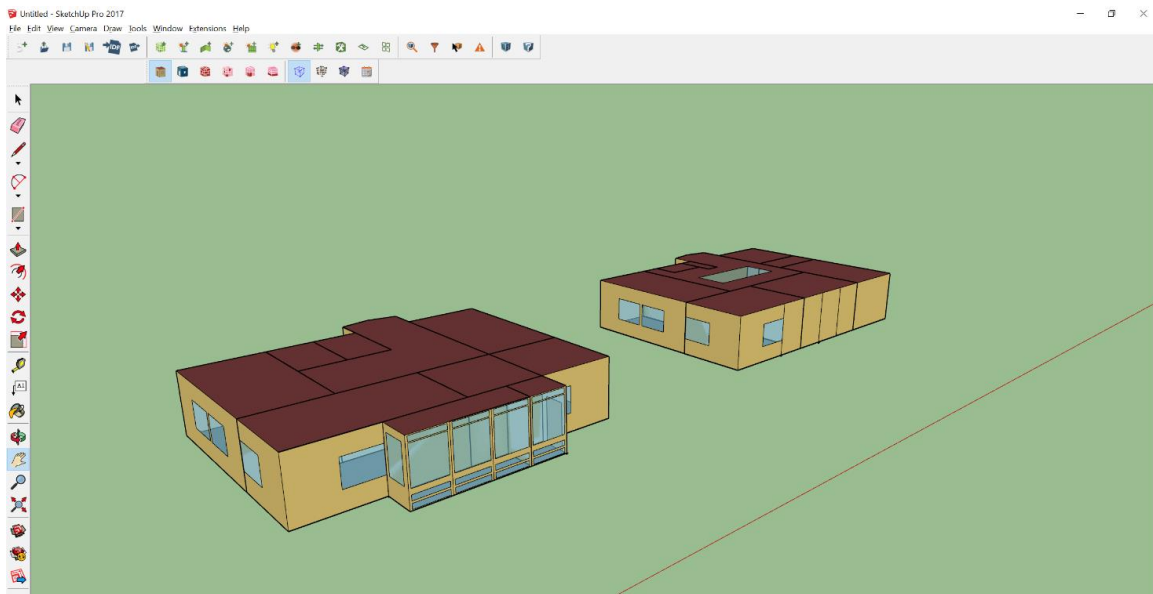
Ο σχεδιασμός της πόρτας γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο με τα παράθυρα με τη διαφορά ότι η μία πλευρά της τέμνει το πάτωμα. Έτσι το πρόγραμμα την ταυτοποιεί διαφορετικά και την χρωματίζει με σκούρο καφέ αντί για διαφανές γαλάζιο που είναι τα παράθυρα.

Τελικά, μετά τον σχεδιασμό όλων των παραθύρων το τελικό σχέδιο του ορόφου μοιάζει κάπως έτσι:




Εικόνα 4.8 : Ολοκληρωμένο σχέδιο του Ισογείου με όλα τα παράθυρα και τις πόρτες

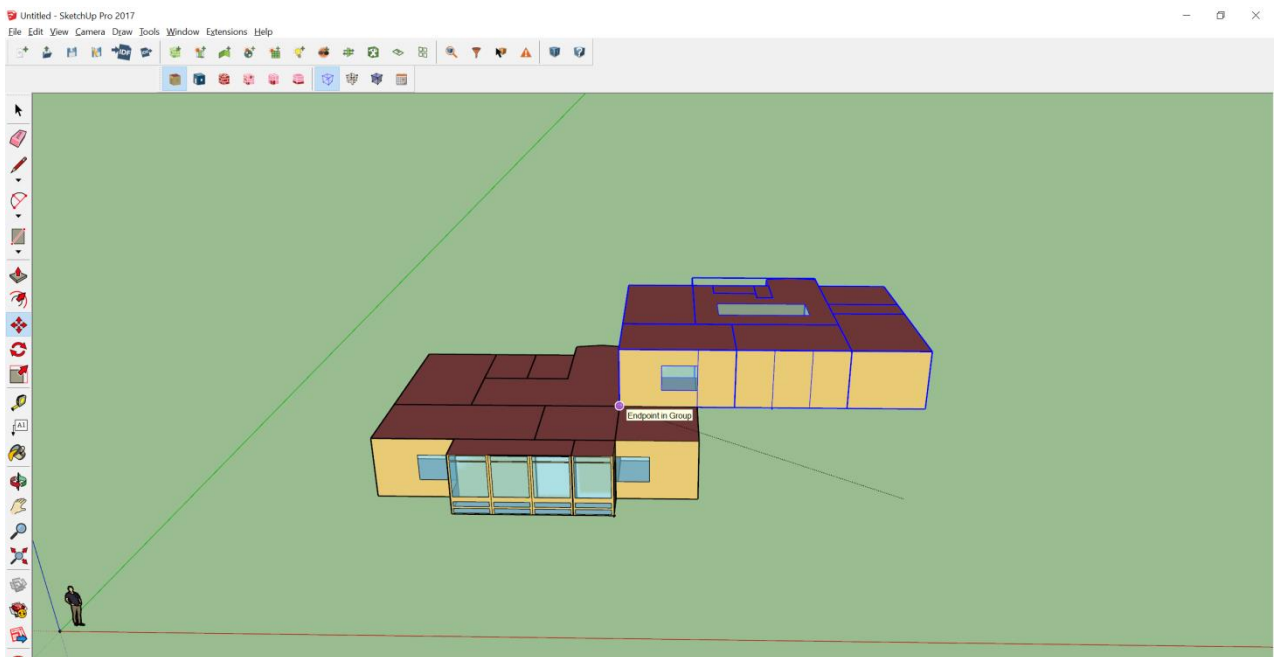
Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο σχεδιάστηκαν και οι άλλοι δύο όροφοι. Στο σημείο που τελείωσε ο σχεδιασμός και του πρώτου ορόφου, ο οποίος για λόγους πρακτικότητας σχεδιάστηκε στο πλάι του ισογείου και όχι από πάνω, μετακινήθηκε και τοποθετήθηκε στο επάνω μέρος του Ισογείου με την παρακάτω διαδικασία:



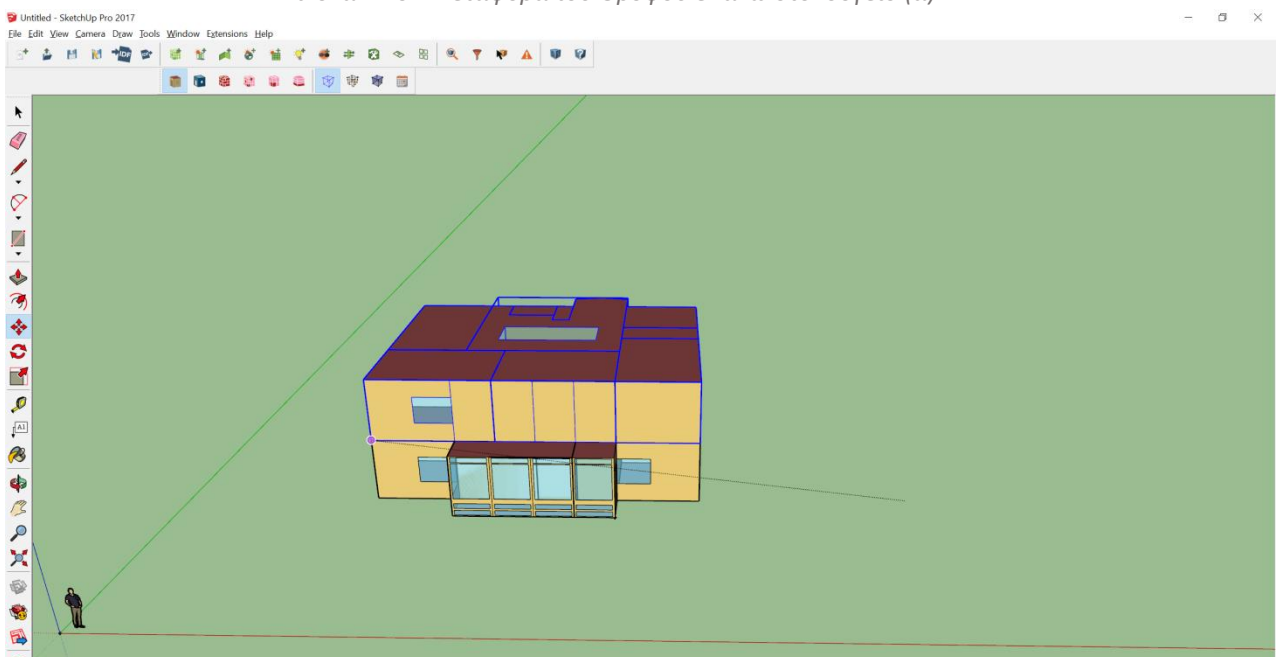
Εικόνα 4.9 : Τα ολοκληρωμένα σχέδια του Ορόφου και του Ισογείου

Σημείωση : Στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να επιλέξει πολλαπλές ακμές ενός χώρου το Κλικ + Σύρσιμο από Αριστερά προς τα Δεξιά επιλέγει μόνο τα στοιχεία που βρίσκονται **ολόκληρα** μέσα στο πλαίσιο, ενώ το Κλικ + Σύρσιμο από Δεξιά προς τα Αριστερά επιλέγει όλες τις ακμές που έχουν **έστω και ένα** μικρό κομμάτι τους μέσα στο πλαίσιο.

Αφού επιλέχθηκε ολόκληρος ο Όροφος, με τη χρήση του εργαλείου **Toogle** , επιλέγουμε ένα σημείο του σχεδίου ( κατά προτίμηση κάποια εξωτερική γωνία) και το φέρνουμε στο σημείο που θέλουμε να ταυτίζεται με το Ισόγειο όπως φαίνεται παρακάτω:

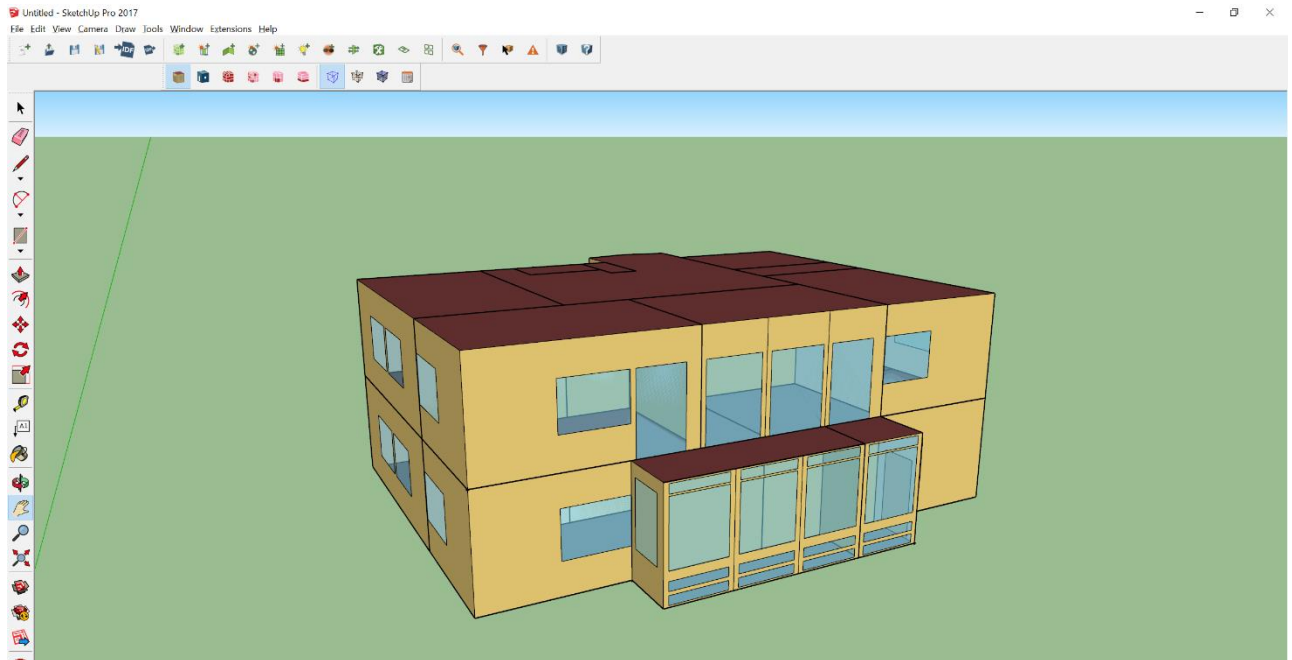


Εικόνα 4.10 : Μεταφορά του Ορόφου επάνω στο Ισόγειο (α)

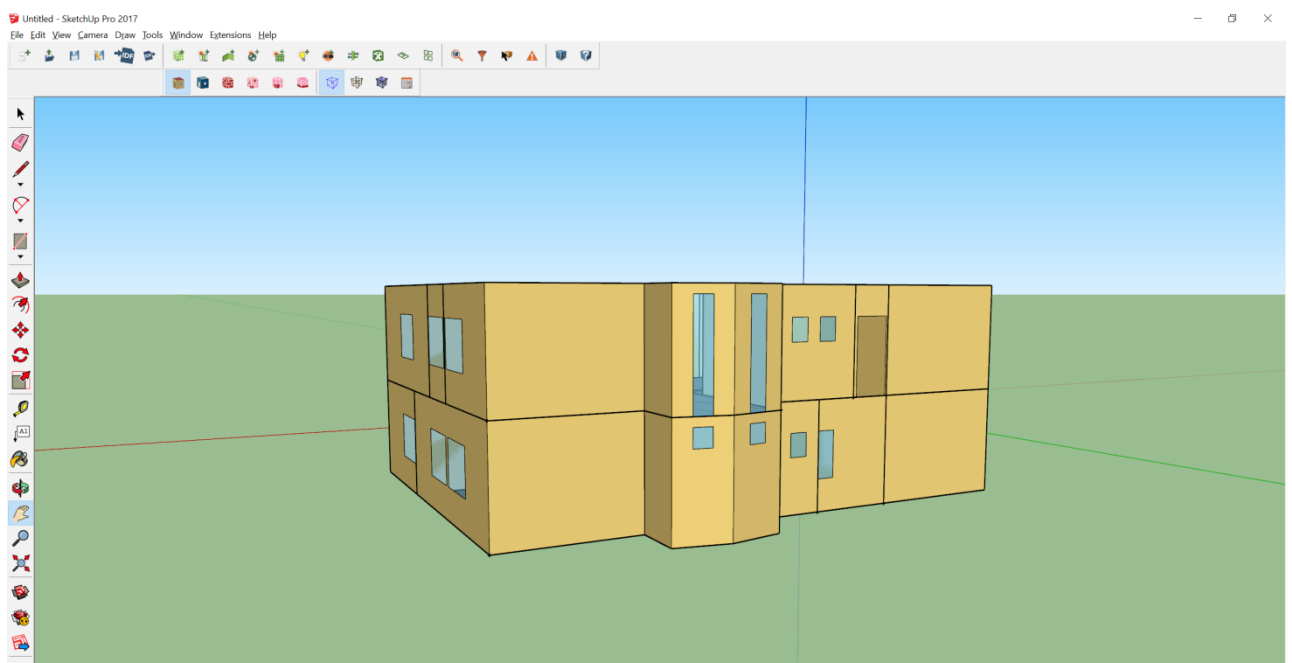


Εικόνα 4.11 : Μεταφορά του Ορόφου επάνω στο Ισόγειο (β)

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να διαπιστώσουμε ότι όλες οι ακμές των ορόφων ταυτίζονται και δεν έχουν γίνει λάθη στο σχεδιασμό, ούτε στο μπροστινό μέρος του κτηρίου αλλά ούτε και στο πίσω.



Εικόνα 4.12 : Ολοκληρωμένη μπροστινή όψη του κτηρίου για το Ισόγειο και τον Όροφο



Εικόνα 4.13 : Ολοκληρωμένη πίσω όψη του κτηρίου για το Ισόγειο και τον Όροφο

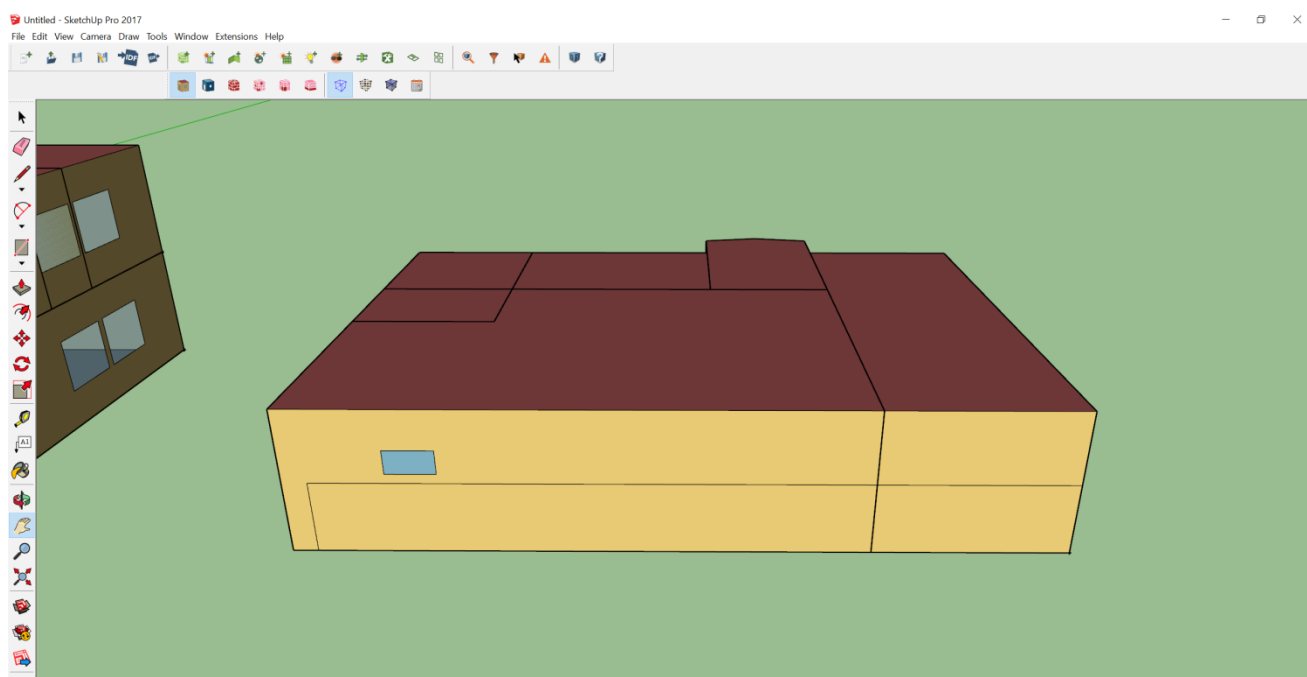
#### 4.2.2 Καθορισμός επιφανειών σε επαφή με το έδαφος




Μεταξύ Ορόφου και Ισογείου δεν υπήρξε κάποια ουσιαστική διαφορά στο σχεδιασμό αλλά όσον αφορά το Υπόγειο, υπήρχαν κάποια σημεία τα οποία έχριζαν προσοχής.

Πιο συγκεκριμένα, οι τοίχοι οι οποίοι βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, για να μπορεί η προσομοίωση να είναι αντιπροσωπευτική, πρέπει οι τοίχοι που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος να οριστούν αντιστοίχως.

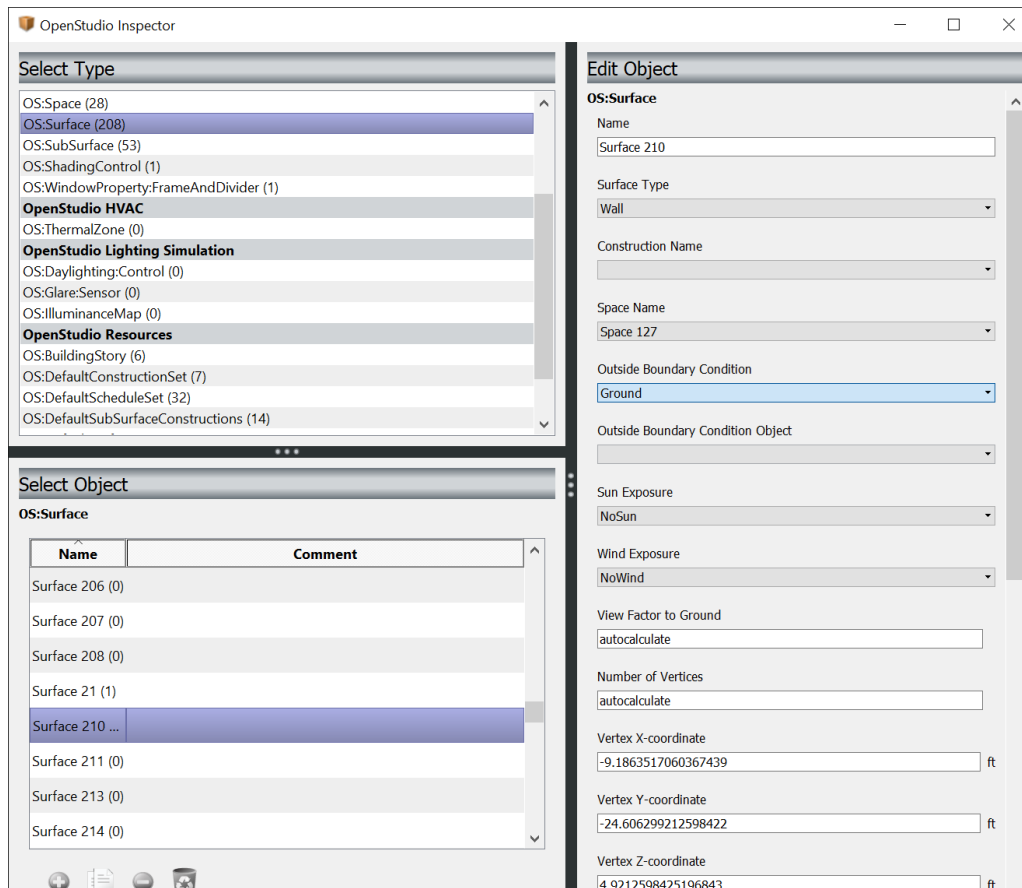
Αρχικά, αυτό που πρέπει να γίνει είναι όλα τα σημεία του τοίχου που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος πρέπει να σχεδιαστούν όπως φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 4.14 : Διαχωρισμός τοίχου Υπογείου ανάλογα με την επαφή με τον εξωτερικό αέρα ή το έδαφος

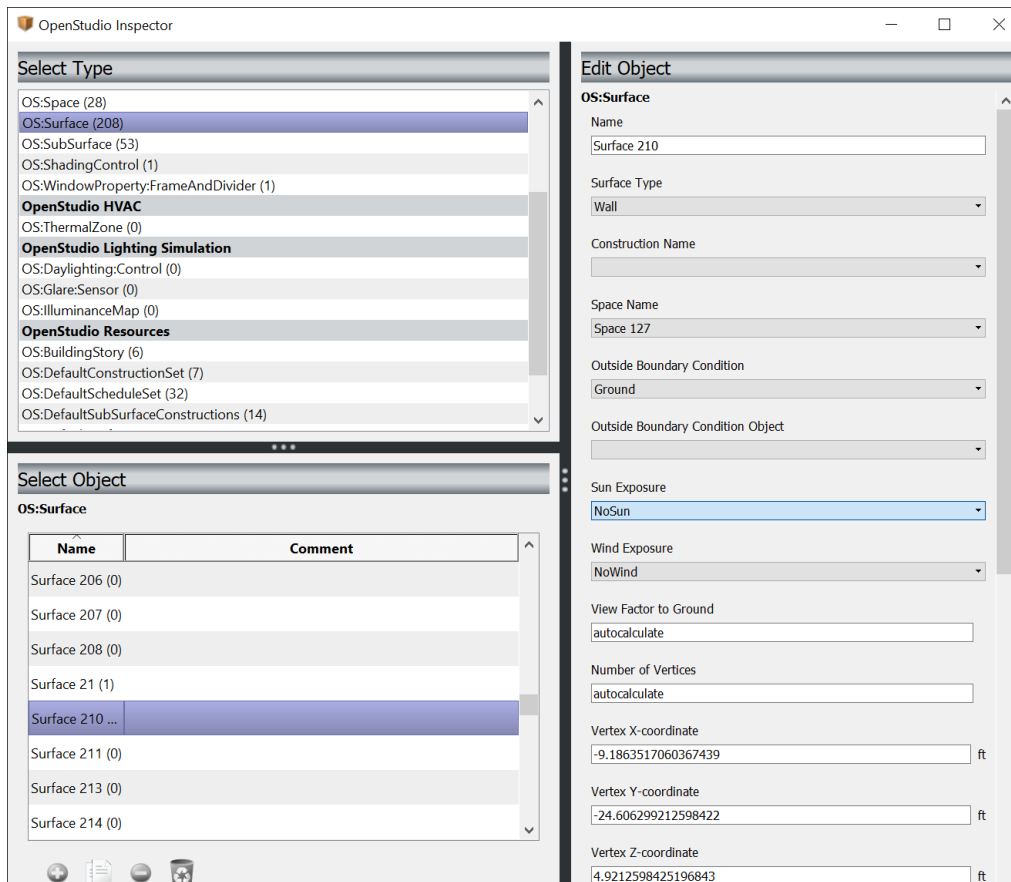
Στη συνέχεια, μέσω του εργαλείου **Inspector**  ο χρήστης μπορεί επιλέγοντας την επιθυμητή επιφάνεια, να αντλήσει πληροφορίες γι' αυτήν καθώς και να αλλάξει ορισμένες παραμέτρους, όπως για παράδειγμα το είδος της επιφάνειας (εσωτερικός/εξωτερικός τοίχος, οροφές κ.λπ.). Αν και το πρόγραμμα καταχωρεί αυτομάτως τις επιφάνειες, σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως αυτή που αντιμετωπίστηκε εδώ, οι επιφάνειες πρέπει να τροποποιούνται.

Το αναδυόμενο παράθυρο είναι το ακόλουθο:




Εικόνα 4.15 : Παράθυρο ενεργειών εργαλείου Inspector

Η πρώτη αλλαγή που έπρεπε να γίνει αφορά την εξωτερική συνθήκη του τοίχου από **Outside** σε **Ground** , δηλώνοντας έτσι ότι το συγκεκριμένο κομμάτι της επιφάνειας, σαν εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνει εκείνη του εδάφους και όχι του εξωτερικού αέρα. Στη συνέχεια, σειρά έχουν οι επιλογές **Sun Exposure** και **Wind Exposure** οι οποίες από την μπάρα που εμφανίζεται επιλέγονται οι καταστάσεις **No Sun** και **No Wind** αντίστοιχα όπως φαίνεται παρακάτω.



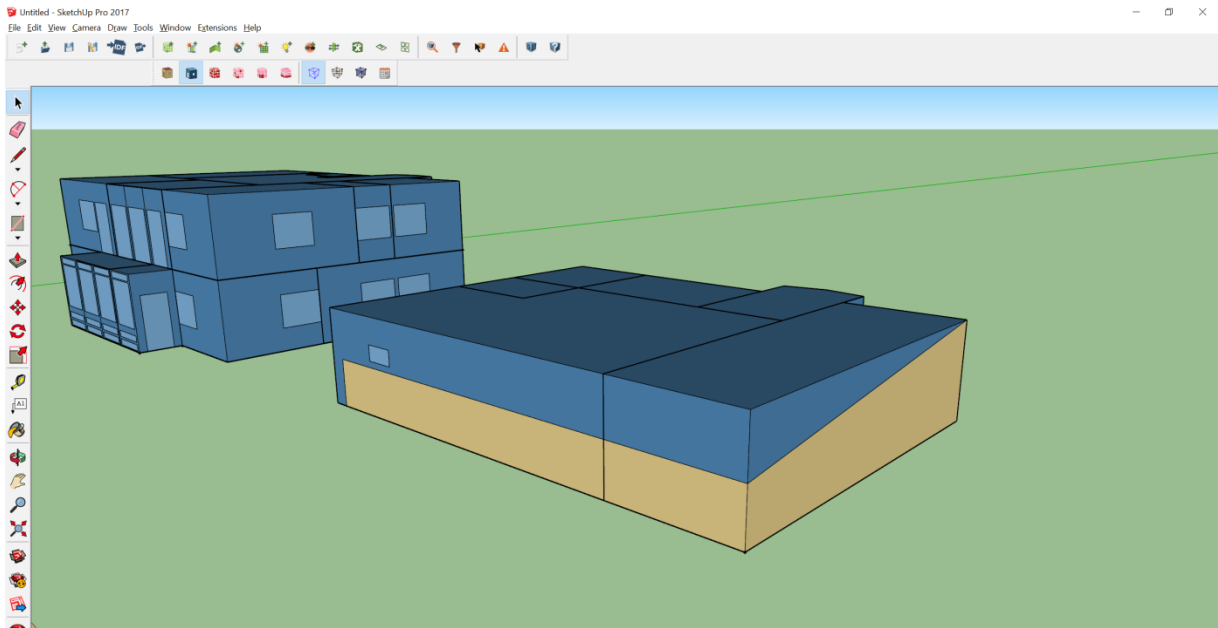
Εικόνα 4.16 : Επιλογή No Sun και No Wind για τον υπόγειο τοίχο μέσω του Inspector

Για να βεβαιωθούμε ότι η ενέργεια έγινε σωστά χρησιμοποιούμε την εντολή **Render by**

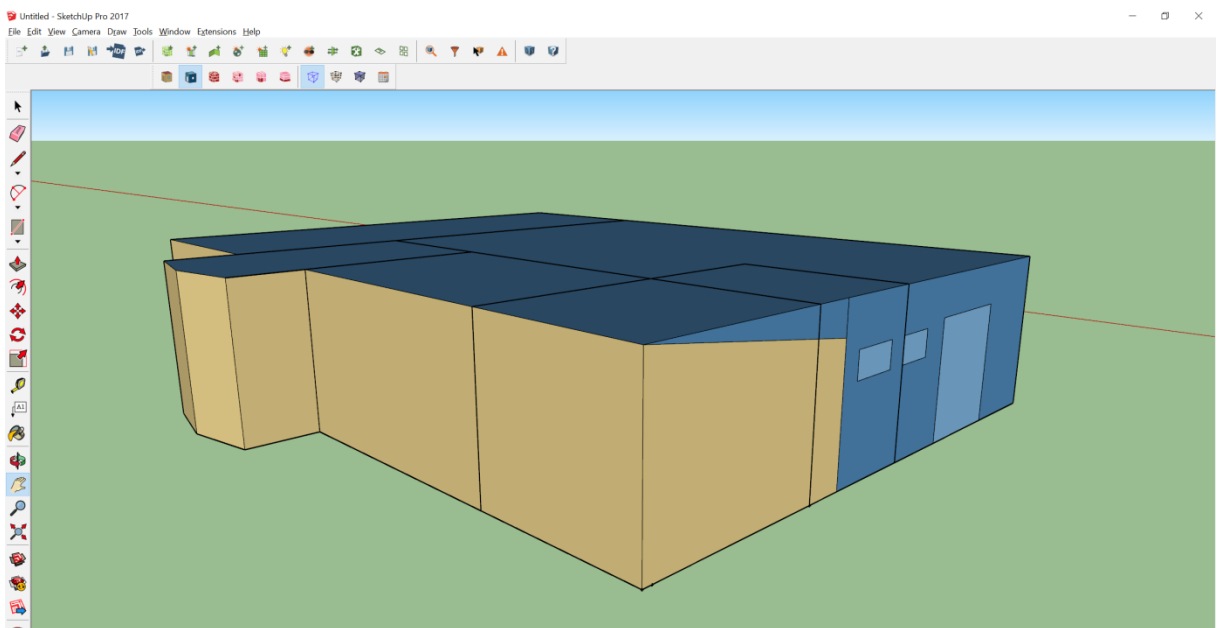
**Boundary Condition** , η οποία ανάλογα με την εξωτερική συνθήκη της κάθε επιφάνειας, αυτή χρωματίζεται διαφορετικά. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα οι επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος έχουν χρώμα ανοιχτό καφέ, τα εξωτερικά παράθυρα με ένα ανοιχτό μπλε, οι εξωτερικοί τοίχοι με σκούρο μπλε, οι εσωτερικοί τοίχοι με σκούρο πράσινο, οι εσωτερικές πόρτες και παράθυρα με ανοιχτό πράσινο, οι αδιαβατικοί τοίχοι με ροζ και οι σκιάσεις με άσπρο. Τα εσωτερικά στοιχεία του κτηρίου και οι σκιάσεις θα αναλυθούν αργότερα στο παρόν κεφάλαιο.

Να σημειωθεί ότι οι περιπτώσεις των αδιαβατικών τοίχων αφορούν περιπτώσεις πολυκατοικιών που υπάρχει μεσοτοιχία μεταξύ των δύο κτηρίων και ο τοίχος δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι συναλλάσσει φορτία με τον διπλανό χώρο εφόσον και αυτός κλιματίζεται. Η αλλαγή ενός τοίχου σε **Adiabatic** γίνεται όπως περιγράφηκε πριν για τον υπόγειο, με την διαφορά ότι αντί για **Ground** επιλέγεται **Adiabatic**.

Το κτήριο μετά τις αλλαγές όλων συνθηκών των επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος πρέπει να μοιάζει όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:



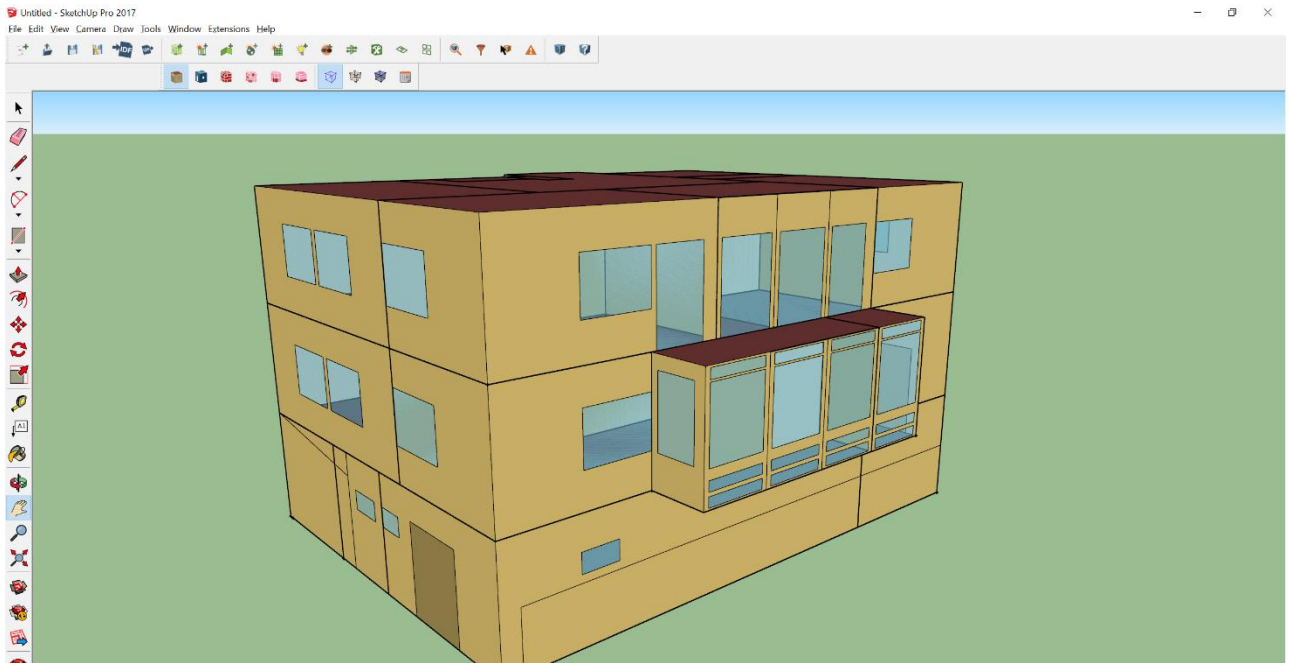
Εικόνα 4.17 : Μπροστινή όψη Υπογείου με την επιλογή Render by Boudanry Condition



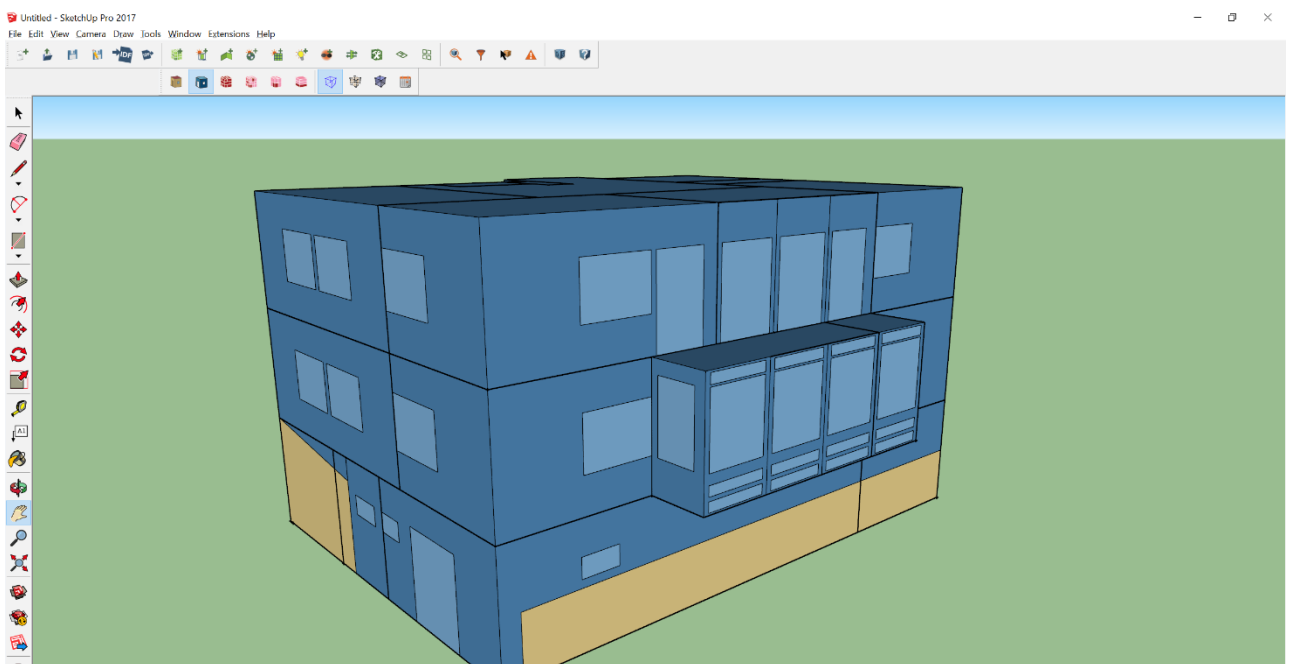
Εικόνα 4.18 : Πίσω όψη Υπογείου με την επιλογή Render by Boudanry Condition

Αναφέρεται ότι στις παραπάνω εικόνες στα σημεία που ο τοίχος έχει χωριστεί με κλίση οφείλεται στο γεγονός ότι το κτήριο είναι τοποθετημένο σε κατηφορικό έδαφος και με βάση φωτογραφιών σχεδιάστηκε αναλόγως.

Και τελικά, με την μετακίνηση του υπόλοιπου κτηρίου επάνω στο υπόγειο το τελικό κτήριο παρατίθενται στις παρακάτω φωτογραφίες:



Εικόνα 4.19 : Τελική μπροστινή όψη ολόκληρου του κτηρίου σε *Render by Surface Type*



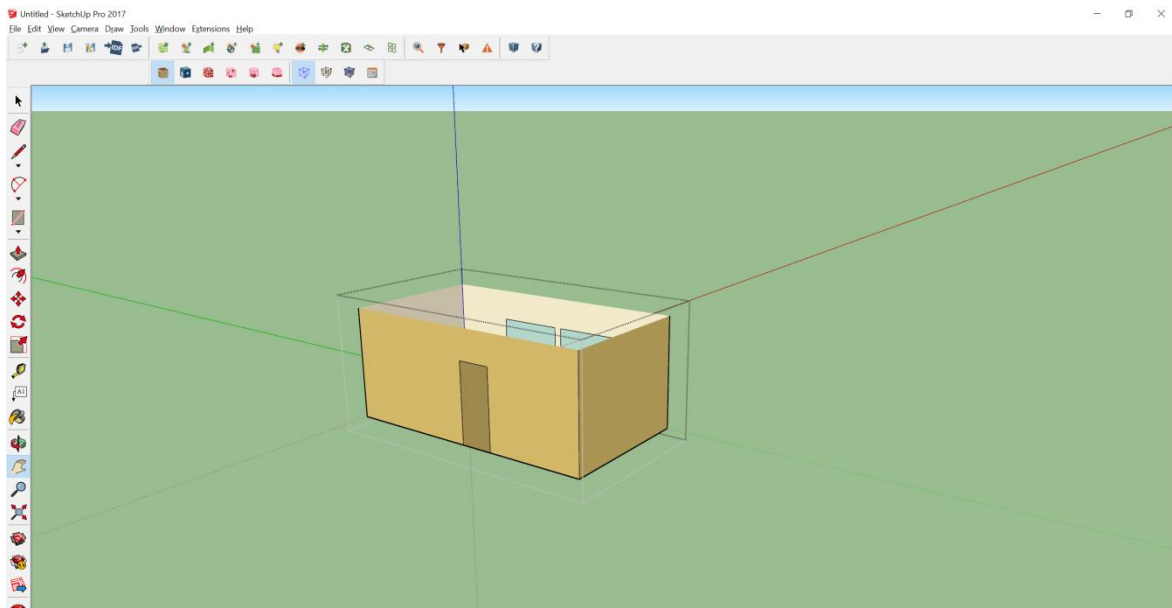
Εικόνα 4.20 : Τελική μπροστινή όψη του κτηρίου σε *Render by Boundary Condition*

#### 4.2.3 Σχεδιασμός εσωτερικών πορτών και Surface Matching

Στη συνέχεια, σειρά έχει ο σχεδιασμός των εσωτερικών πορτών και παραθύρων του κτηρίου που γίνεται ακριβώς με την ίδια διαδικασία που έγιναν τα εξωτερικά με μία βασική διαφορά. Στην περίπτωση των εσωτερικών πορτών, η πόρτα δεν ανήκει μόνο σε ένα

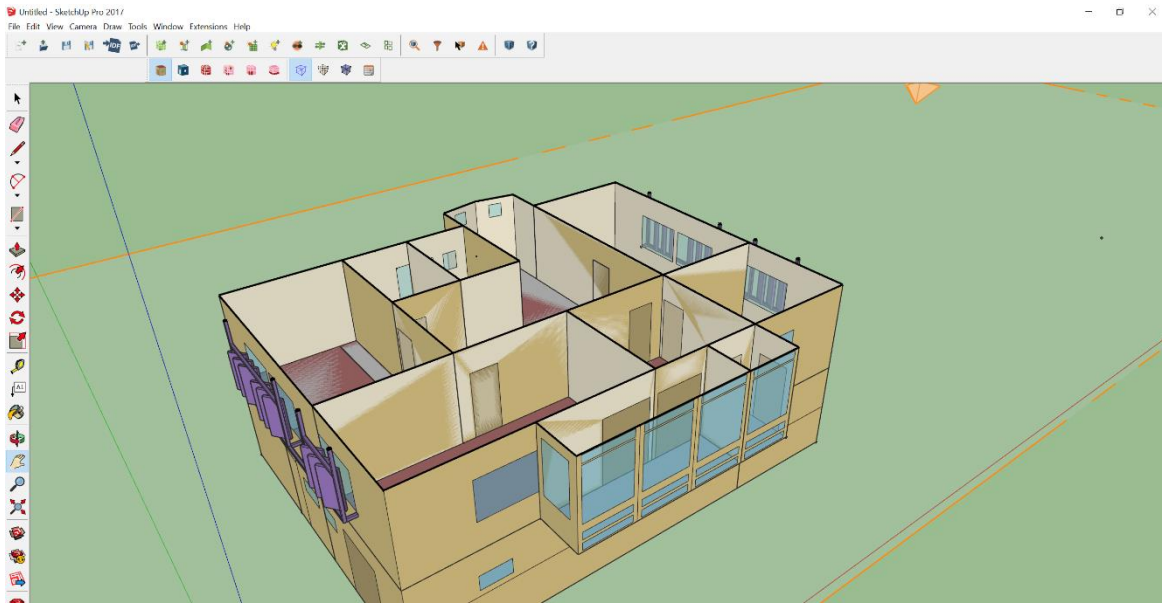
δωμάτιο αλλά σε δύο ταυτόχρονα. Εδώ αξίζει να τονιστεί ότι δεν είναι αναγκαίος ο σχεδιασμός της κάθε πόρτας δύο φορές καθώς το πρόγραμμα εκτελεί την διαδικασία αυτόματα όπως περιγράφεται παρακάτω.

Ο σχεδιασμός γίνεται με την βοήθεια του εργαλείου **Section Plane** (Tools > Section Plane) που δημιουργεί μια τομή στην επιφάνεια που θα επιλέξουμε με αποτέλεσμα να μας αποκαλύπτει το εσωτερικό της.




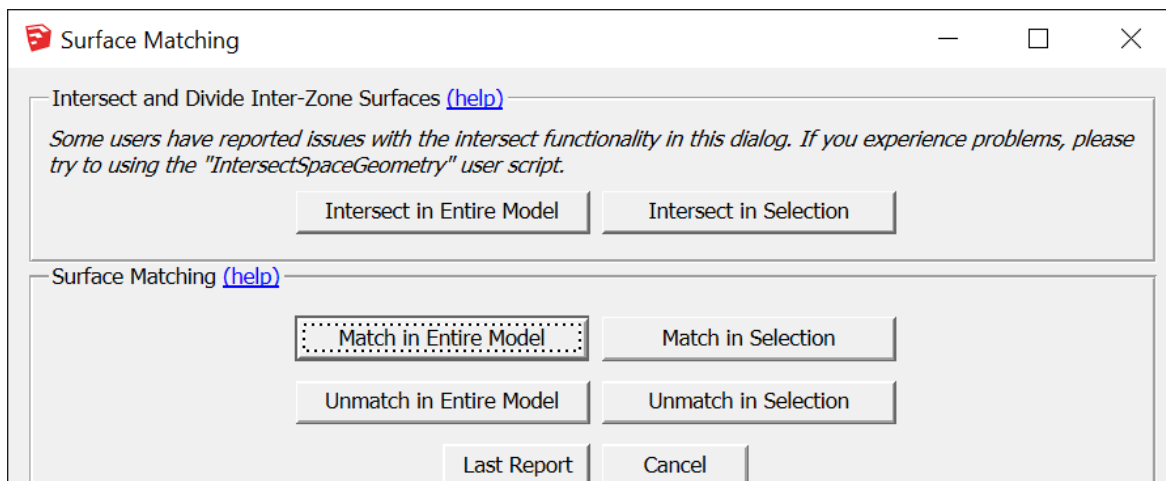
Εικόνα 4.21 : Σχεδιασμός εσωτερικής πόρτας σε ένα μεμονωμένο δωμάτιο του κτηρίου

Μετά τον σχεδιασμό όλων των εσωτερικών πορτών του κτηρίου το σχέδιο μοιάζει όπως φαίνεται παρακάτω. Η εναλλαγή των χρωμάτων των εσωτερικών τοίχων δεν είναι ανησυχητική ,όπως σε προηγούμενη περίπτωση, καθώς οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόγραμμα τον θεωρεί ταυτόχρονα εσωτερικό για ένα δωμάτιο (όσον αφορά το “μέσα” του δωματίου ,όχι την επαφή του με τον εξωτερικό αέρα) και εξωτερικό για κάποιο άλλο, όπως είναι λογικό.



Εικόνα 4.22 : Τμημένη όψη Ισογείου μετά τον σχεδιασμό των εσωτερικών πορτών

Το επόμενο κομμάτι είναι ένα από τα πιο σημαντικά στην διαδικασία του σχεδιασμού και αφορά την αντιστοίχιση των εσωτερικών τοίχων, πορτών, παραθύρων, δαπέδων και οροφών που εφάπτονται. Δηλαδή, την εντολή με την οποία το πρόγραμμα αναγνωρίζει ποιες επιφάνειες στο εσωτερικό του κτηρίου συναλλάσσουν φορτία μεταξύ τους και όχι με το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό γίνεται μέσω του εργαλείου **Surface Matching**  και το παράθυρο επιλογών του είναι το παρακάτω:

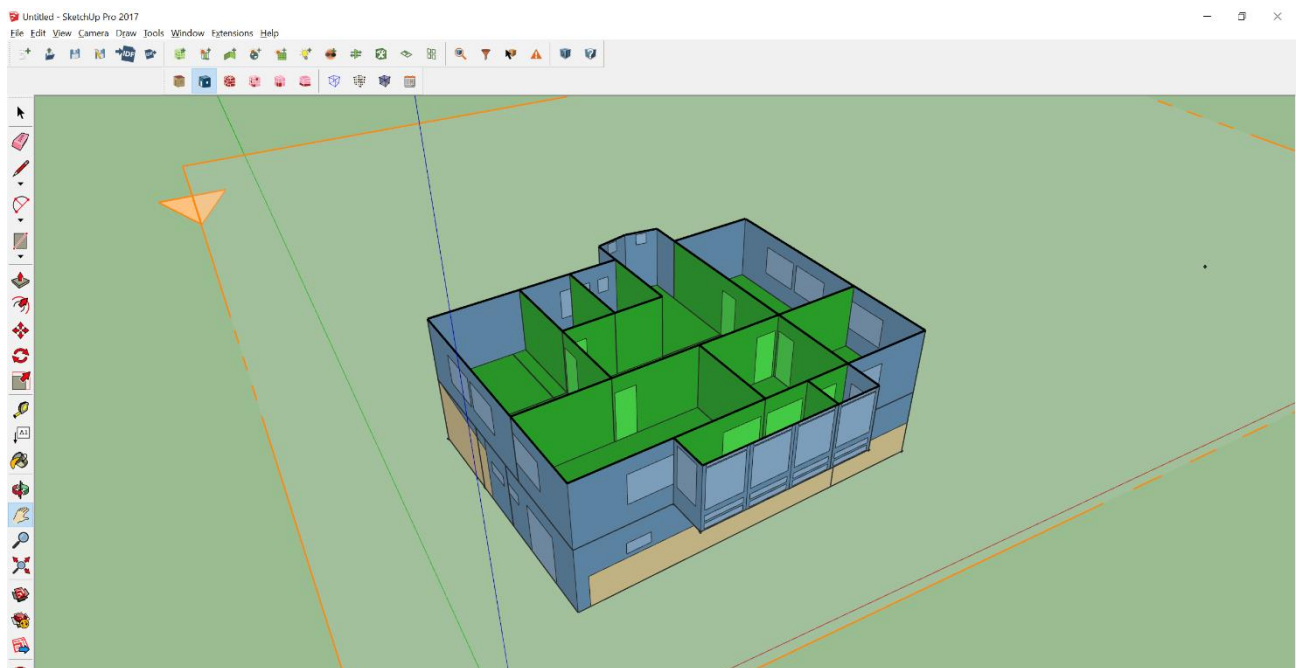


Εικόνα 4.21 : Παράθυρο εργαλείου Surface Matching

Αρχικά, πριν την αντιστοίχιση ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την εντολή **Intersect in Selection** (σε περίπτωση που θέλουμε να το εκτελέσουμε σε δύο ή τρία μόνο επιλεγμένα δωμάτια και όχι σε ολόκληρο το κτήριο) ή **Intersect in Entire Model**. Η εντολή αυτή,

αυτόματα διατρήχει όλο το κτήριο και καθορίζει σε ποια σημεία οι επιφάνειες τέμνονται μεταξύ τους. Η σημαντικότητα της έγκειται στο γεγονός ότι στην περίπτωση που, για παράδειγμα, οι όροφοι δεν διαχωρίζονται με τον ίδιο τρόπο, όπως εδώ, να καθορίσει ποια κομμάτια του δαπέδου δέχονται φορτία από ποιο αντίστοιχα δωμάτιο του ισογείου. Επίσης, με την εντολή αυτή όλες οι εσωτερικές πόρτες που έχουν σχεδιαστεί μία φορά θα σχεδιαστούν αυτόματα και διπλανά δωμάτια.

Έπειτα, αφού βεβαιωθεί ότι όλες οι πόρτες και όλες οι επιφάνειες έχουν τμηθεί σωστά επιλέγεται εντολή **Match in Entire Model** ή **Match in Selection**. Αν οι σχεδιασμοί των τοίχων έχουν γίνει σωστά και δεν υπάρχουν προβλήματα, το εσωτερικό του κτηρίου πρέπει να μοιάζει όπως στην εικόνα παρακάτω.




Εικόνα 4.22 : Εσωτερικό του κτηρίου έπειτα από το Surface Matching

#### 4.2.4 Σχεδιασμός σκιάσεων, ηλιοπροστασίας και φωτοβολταϊκών πάνελ

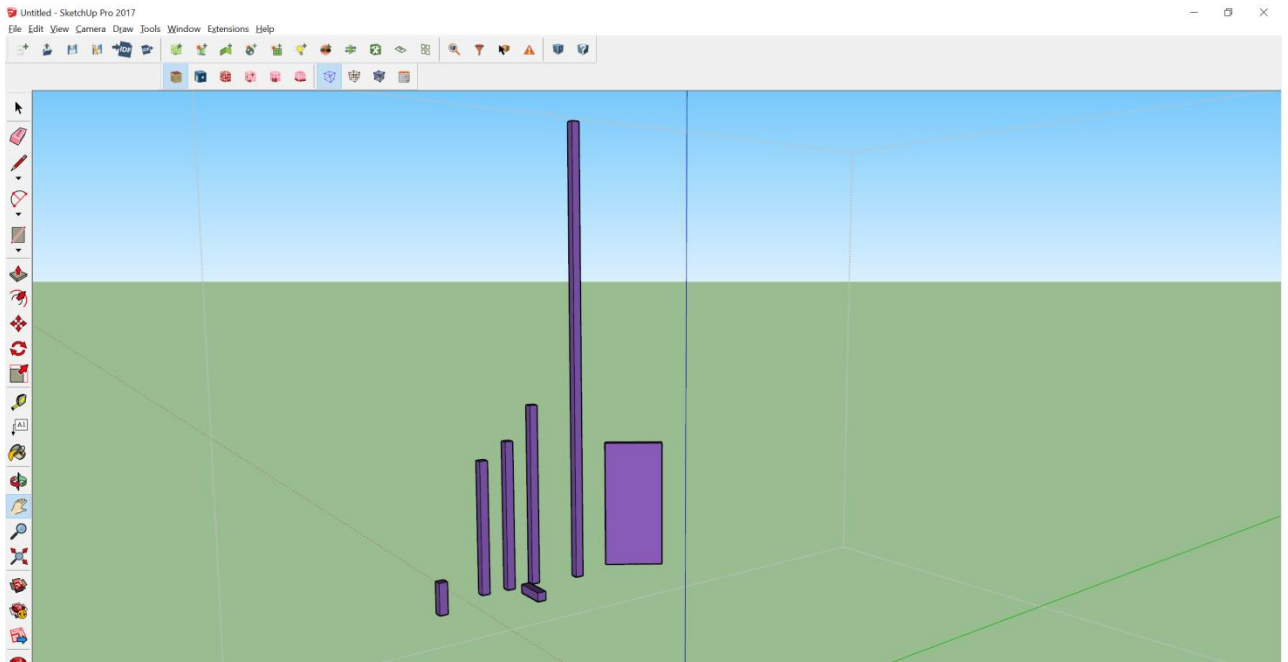
Επόμενο βήμα της διαδικασίας αποτελεί ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση στο υπάρχον μοντέλο των σκιάσεων, κτηριακών και περιβαλλοντικών.

Το κτήριο βρίσκεται σε αγροτική περιοχή και τα γύρω κτήρια είναι σχετικά απομακρυσμένα, οπότε οι σκιάσεις τους εν υπάρχει λόγος να σχεδιαστούν. Όσον αφορά τις σκιάσεις που βρίσκονται εγκατεστημένες στο κτήριο, όπως φαίνονται στην Εικόνα 3.1 του τρίτου κεφαλαίου και από τα αρχιτεκτονικά σχέδια, η διαδικασία έχει ως εξής:



Αρχικά, επιλέγουμε την εντολή **New Shading Surface Group**  και επιλέγουμε έναν ελεύθερο χώρο του σχεδίου όπως έγινε στην αρχή με το εργαλείο **New Space**. Έπειτα

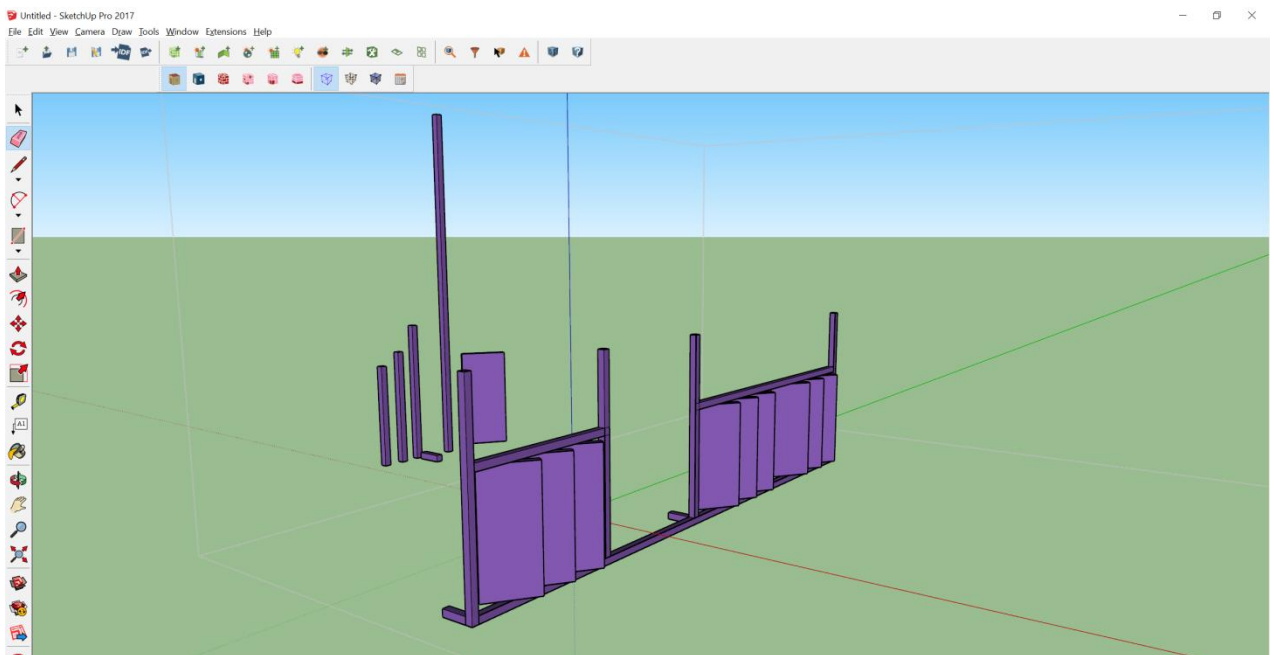


σχεδιάστηκαν τα επί μέρους κομμάτια της κατασκευής της σκίασης όπως φαίνεται παρακάτω.



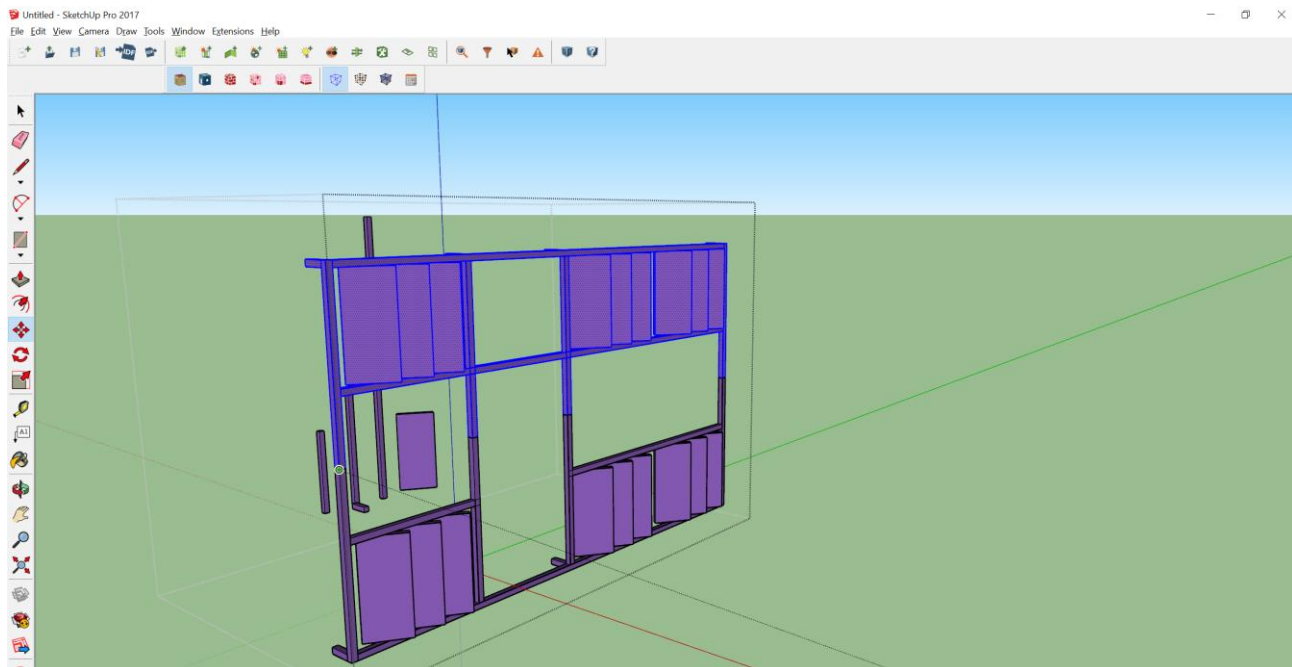
Εικόνα 4.23 : Επιμέρους κομμάτια της διάταξης σκίασης

Έπειτα μέσω των εργαλείων **Copy** (Toggle με κρατημένο Ctrl), **Toogle**  και **Rotate**  διαμορφώνεται το μισό της Ανατολικής ηλιοπροστασίας, για εξοικονόμηση χρόνου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



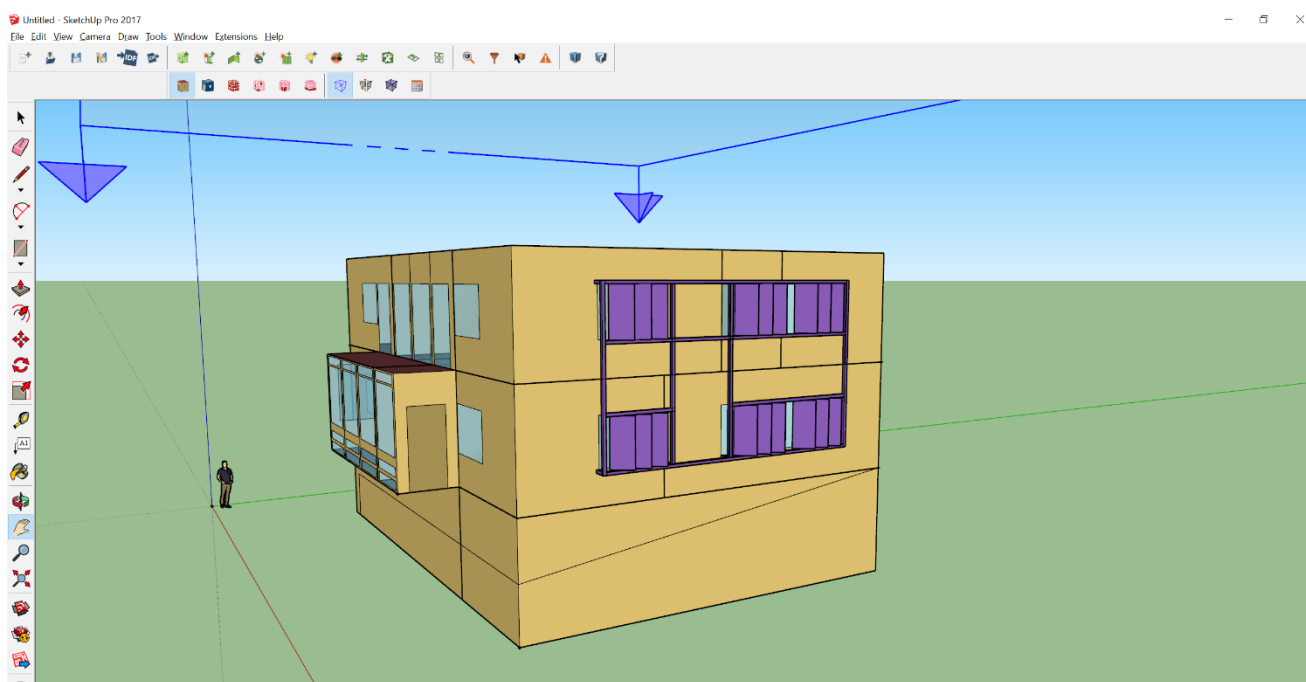
Εικόνα 4.24 : Ολοκληρωμένο μισό της διάταξης σκίασης

Για τον σχεδιασμό του υπόλοιπου μισού αλλά και της Δυτικής , μέσω του εργαλείου **Copy** και της διαδικασίας **Flip Along** ( Δεξί κλικ > Flip Along > Red/Blue/Green Direction) ανάλογα την διεύθυνση που επιθυμούμε, διαμορφώνεται η τελική συνδεσμολογία .



Εικόνα 4.25 : Ολοκληρωμένη κατασκευή σκίασης Ανατολικής πλευράς

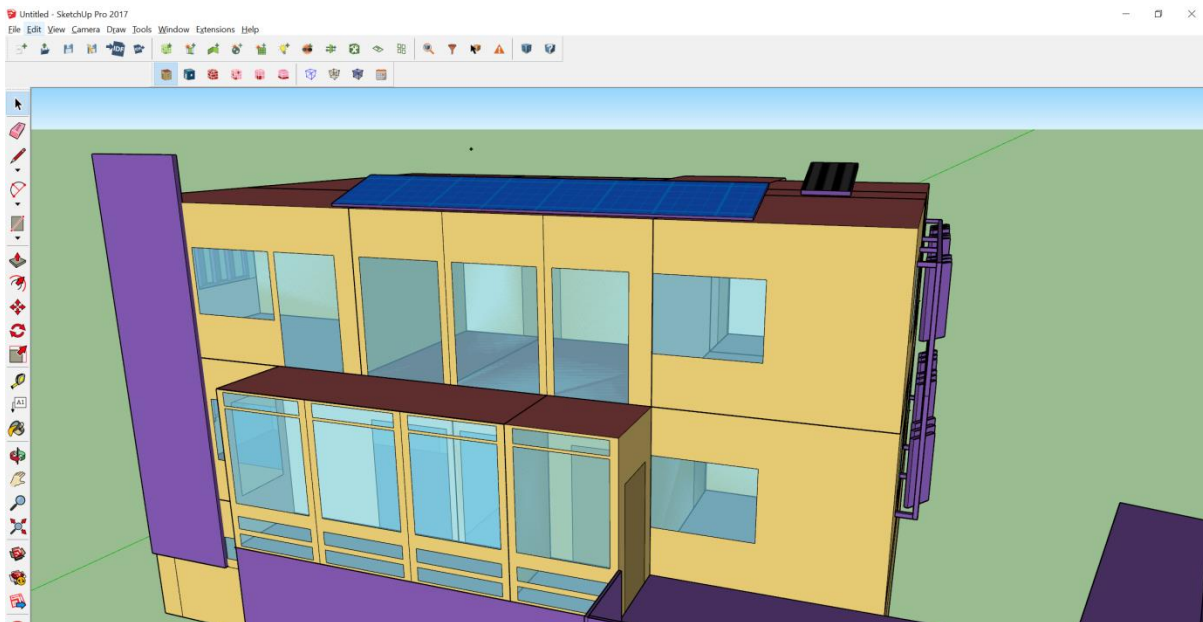
Και το κτήριο, μετά την εγκατάσταση της διάταξης σκίασης απεικονίζεται κάπως έτσι:



Εικόνα 4.26 : Ανατολική πλευρά κτηρίου με την ηλιοπροστασία

Τέλος, για λόγους πληρότητας του σχεδίου, όσον αφορά τις σκιάσεις των Νότιων αλλά και των Ανατολικών τοίχων σχεδιάστηκε η είσοδος του κτηρίου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.27 καθώς και οι επιφάνειες στις οποίες θα ανατεθούν τα Φωτοβολταϊκά πάνελ και οι ηλιακού συλλέκτες.

Για τα Φωτοβολταϊκά συγκεκριμένα, μετά την σωστή τους τοποθέτηση και περιστροφή, επιλέγεται η επιφάνεια στην οποία θα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία και εκτελώντας την εντολή **Extensions>OpenStudio User Scripts > Alter or Add Model Elements > Add Photovoltaics** και θέτοντας την σωστή απόδοσή τους το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 4.28. Η συγκεκριμένη διαδικασία δίνει την δυνατότητα υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.




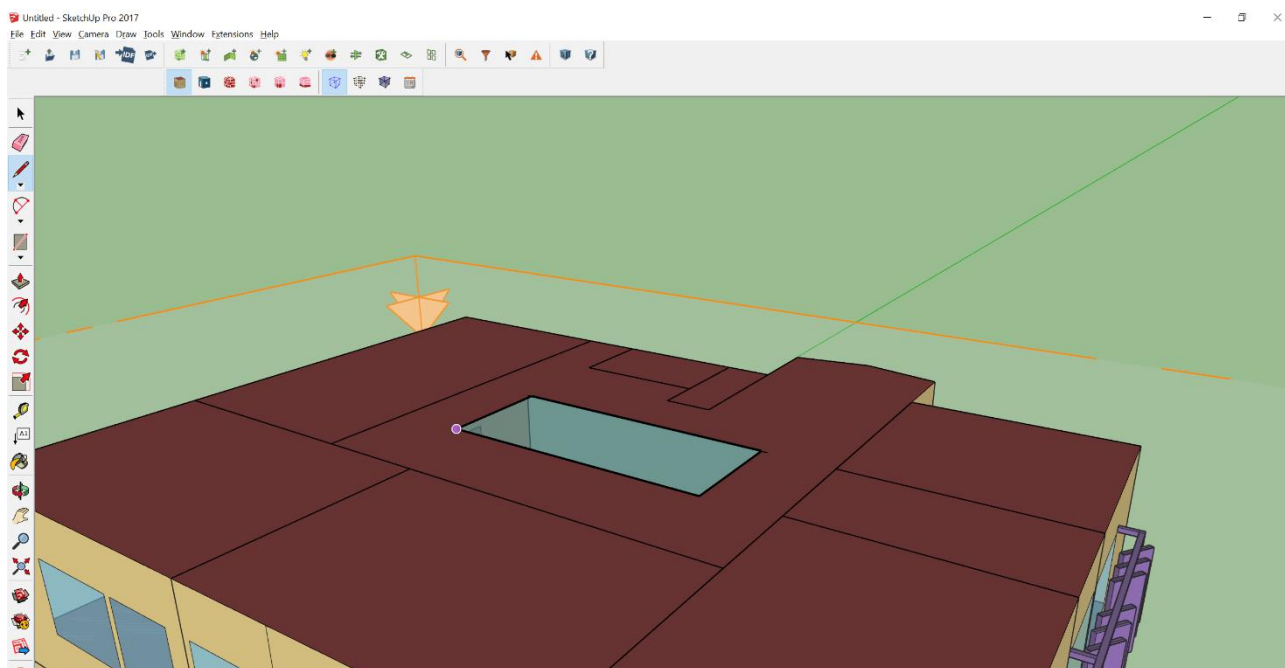
Εικόνα 4.27 : Το κτήριο με ολοκληρωμένα συστήματα σκίασης

User input. <span style="float: right;">✕</span>	
Choose Electric Load Center Distribution.	<input type="text" value="*New Electric Load Center Distribution*"/>
Fraction of Surface Area with Active Solar Cells.	<input type="text" value="1"/>
Fixed Cell Efficiency.	<input type="text" value="0.2"/>

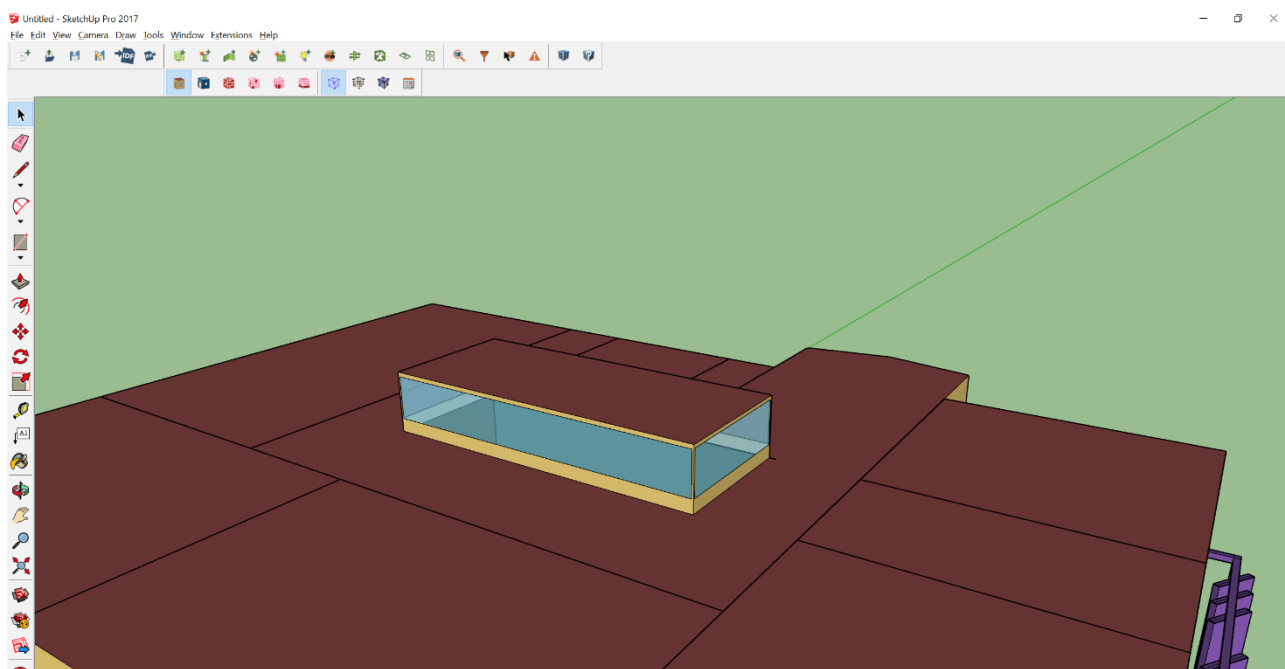
Εικόνα 4.28 : Παράθυρο εντολών για την εισαγωγή της επιφάνειας των Φωτοβολταϊκών Πάνελ

#### 4.2.5 Σχεδιασμός ηλιοροφής

Προτελευταίο κομμάτι του σχεδιασμού αποτελεί η κατασκευή της ηλιοροφής του κτηρίου που γίνεται, λόγω της απλότητάς της, μέσω του εργαλείου **Lines**  και με την βοήθεια της εντολής **Extensions > OpenStudio User Scripts > Alter or Add Model Elements > Set Window to Wall Ratio**, επιλέγοντας τους τέσσερις τοίχους της ηλιοροφής σχεδιάζονται αυτόματα μονοκόμματά παράθυρα όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 4.29 : Ηλιοροφή πριν το σχεδιασμό της




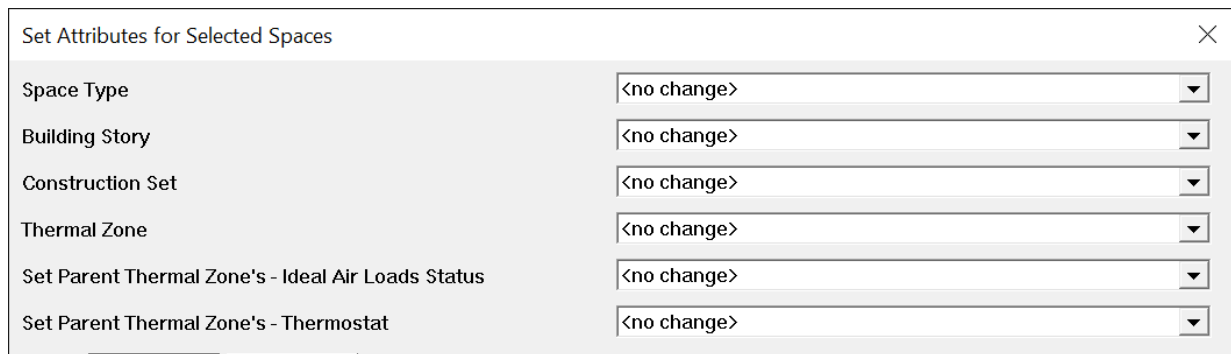
Εικόνα 4.30 : Ηλιοροφή μετά το σχεδιασμό της

## 4.2.6 Ανάθεση χαρακτηριστικών χώρων, θερμικών ζωνών και περιστροφή του τελικού κτηρίου

Τελευταίο κομμάτι της διαδικασίας του σχεδιασμού αποτελεί η ανάθεση, σε κάθε χώρο ξεχωριστά, του είδους του **Space Type**, της **Thermal Zone** στην οποία ανήκει και η ολική περιστροφή του κτηρίου. Γενικά, εφόσον κάθε χώρος αποτελεί χώρο γραφείου που έχει τον δικό του θερμοστάτη, σε όλα τα δωμάτια πέρα από τα μπάνια, τους διαδρόμους, και την βιβλιοθήκη στο υπόγειο ανατέθηκε το είδος του **Closed Office** για την συγκεκριμένη κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει το κτήριο (2A).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η παρακάτω:

Αρχικά, επιλέγουμε κάθε χώρο ξεχωριστά και ενεργοποιούμε το εργαλείο **Set Attributes for Selected Spaces**  που εμφανίζει το παρακάτω παράθυρο εργασίας:



Attribute	Value
Space Type	<no change>
Building Story	<no change>
Construction Set	<no change>
Thermal Zone	<no change>
Set Parent Thermal Zone's - Ideal Air Loads Status	<no change>
Set Parent Thermal Zone's - Thermostat	<no change>

Εικόνα 4.31 : Παράθυρο εντολής *Set Attributes for Selected Spaces*

Στη συνέχεια για κάθε γραμμή του παραθύρου επιλέγουμε ως εξής

### **Space Type :**

- 189.1-2009-Office-ClosedOffice – CZ1-3 για τους χώρους των γραφείων
- 189.1-2009-Office-Restroom – CZ1-3 για τις τουαλέτες ,
- 189.1-2009-Office-Corridor – CZ1-3 για τους διαδρόμους
- 189.1-2009-Office-Lobby – CZ1-3 για την είσοδο
- 189.1-2009-Office-Storage – CZ1-3 για όλους τους χώρους του υπογείου πέρα από τη σκάλα και
- 189.1-2009-Office-Stairs – CZ1-3 για την σκάλα του υπογείου

### **Construction Set:**

Για όλους τους χώρους επιλέγεται το “σετ” 189.1-2009-CZ2 – Office το οποίο θα επεξεργαστεί στο επόμενο κεφάλαιο μέσω του προγράμματος OpenStudio.

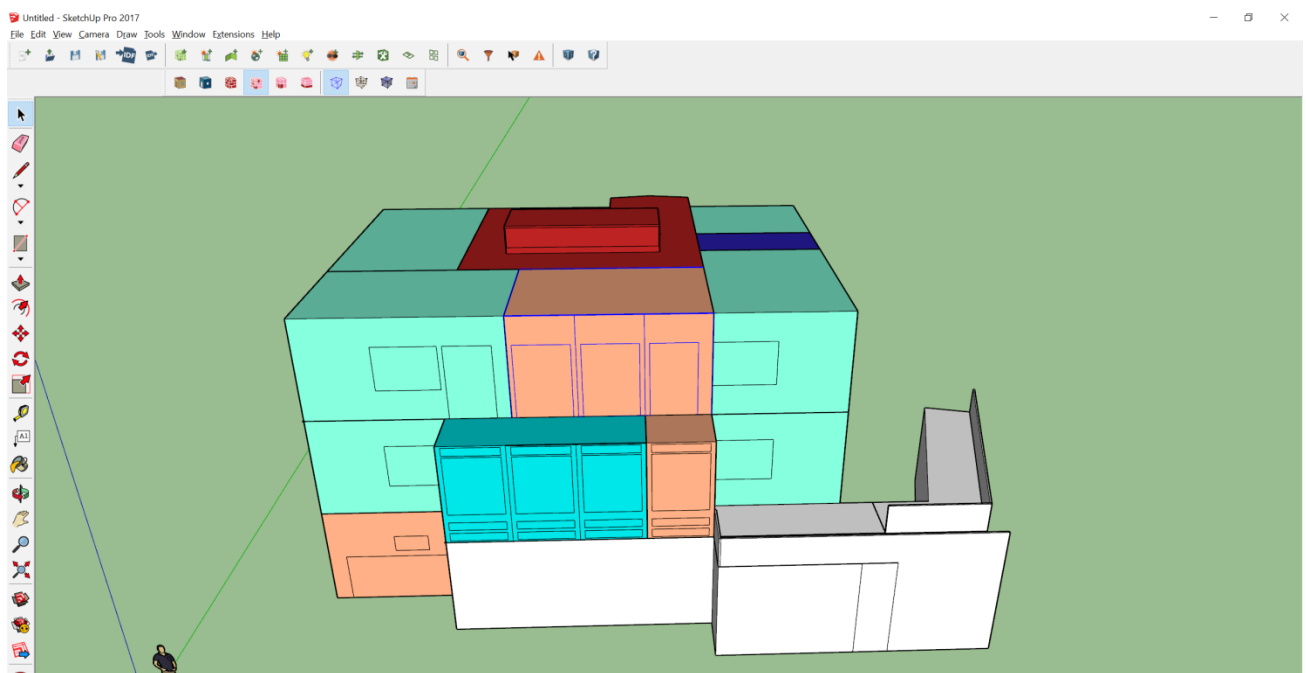
### **Thermal Zone :**

Εδώ για όλους κάθε χώρο, εκτός των μπάνιων και του υπογείου επιλέγεται <New Thermal Zone>. Εφόσον, όλοι ο χώροι του υπογείου αποτελούν βιβλιοθήκη και γενικά αποθηκευτικούς χώρους, του επιλέγουμε όλους και τους αναθέτουμε σε μια θερμική ζώνη.

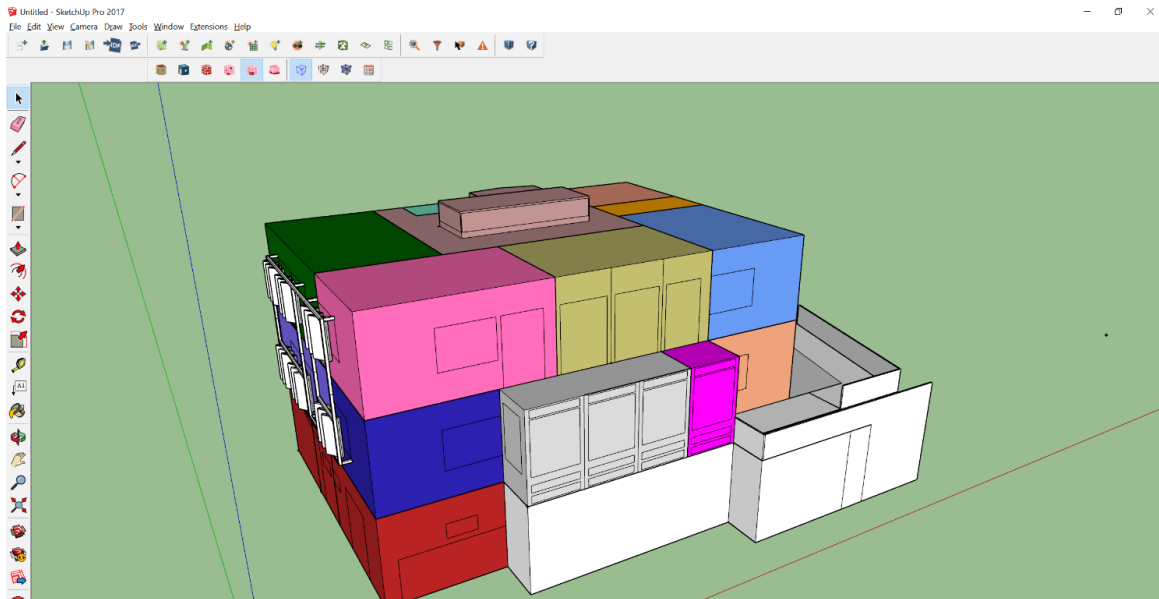
#### Set Parent Thermal Zone's - Thermostat:

Όπως και με το **Space Type** για κάθε χώρο επιλέγεται ο κατάλληλος θερμοστάτης του οποίου το όνομα, όπως είναι λογικό, πρέπει τα ταυτίζεται με το είδος του. Παραδείγματος χάρη για τους χώρους με **Space Type** 189.1-2009-Office-ClosedOffice – CZ1-3 επιλέγεται ο θερμοστάτης 189.1-2009-Office-ClosedOffice – CZ1-3 Thermostat.


Μετά τις παραπάνω αλλαγές σε όλους τους χώρους όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όταν επιλέγουμε την εντολή **Render by Space Type**  το κτήριο πρέπει να απεικονίζεται όπως στην Εικόνα 4.32 ενώ με την εντολή **Render by Thermal Zone** , όπως στην Εικόνα 4.33. Τα διαφορετικά χρώματα στην πρώτη περίπτωση απεικονίζουν τα διαφορετικά είδη των χώρων του κτηρίου ενώ με την δεύτερη, σχεδόν όλα τα δωμάτια έχουν διαφορετικό χρώμα καθώς, όπως προαναφέρθηκε, ανήκουν σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.



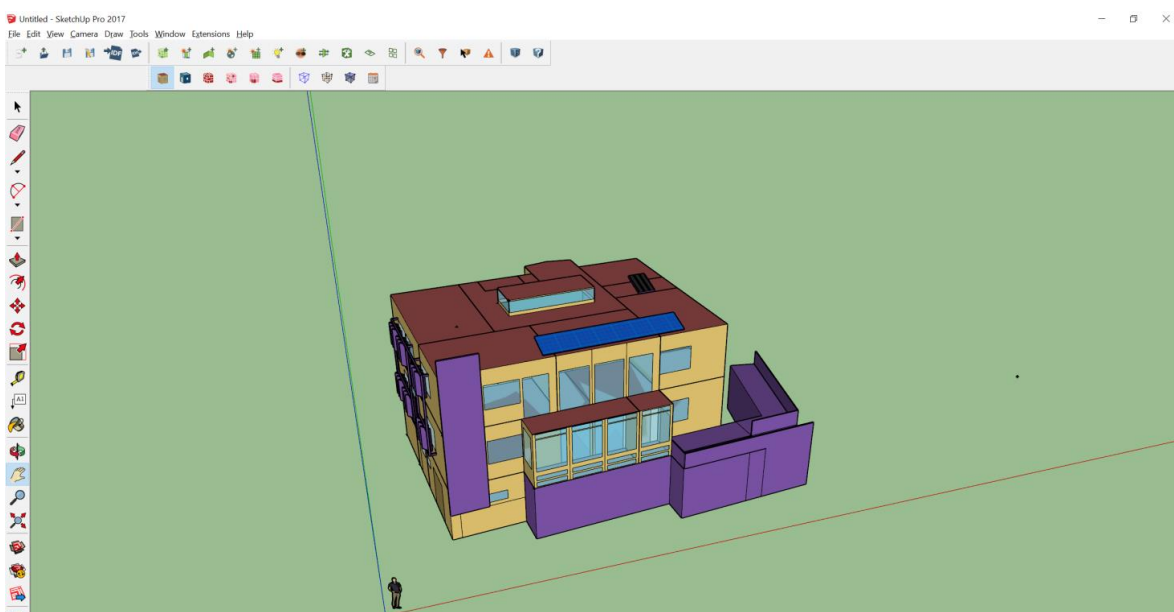
Εικόνα 4.32 : Η απεικόνιση του κτηρίου μέσω της εντολής *Render by Space Type*



Εικόνα 4.33 : Η απεικόνιση του κτηρίου μέσω της εντολής *Render by Thermal Zone*

Για τον ακριβή προσανατολισμό του κτηρίου το μόνο που χρειάζεται είναι μετά την επιλογή όλων των χώρων, μέσω του εργαλείου **Rotate** , να πληκτρολογηθούν οι μοίρες που θέλουμε να το περιστρέψουμε. Στην περίπτωση του μελετηθέν κτηρίου επιλέχθηκαν 5° όπως φαίνεται στα αρχιτεκτονικά σχέδια και το τελικό αποτέλεσμα είναι το παρακάτω.

Πλέον το κτήριο είναι έτοιμο και μπορεί να ξεκινήσει η επεξεργασία του στο πρόγραμμα OpenStudio. Μέσω του τελευταίου βήματος το OpenStudio και κατ' επέκταση το EnergyPlus, θα λάβει υπ' όψιν όλους τους κλιματιζόμενους χώρους του κτηρίου και την αλληλεπίδραση των μεταξύ τους φορτίων. Εφόσον το σύστημα HVAC δεν είναι μεμονωμένο για όλο το κτήριο, αλλά χωρίζεται διαφορετικά στα επί μέρους δωμάτια και ορόφους, το τελευταίο βήμα είναι πολύ σημαντικό για την σωστή προσομοίωση και εξαγωγή αποτελεσμάτων.

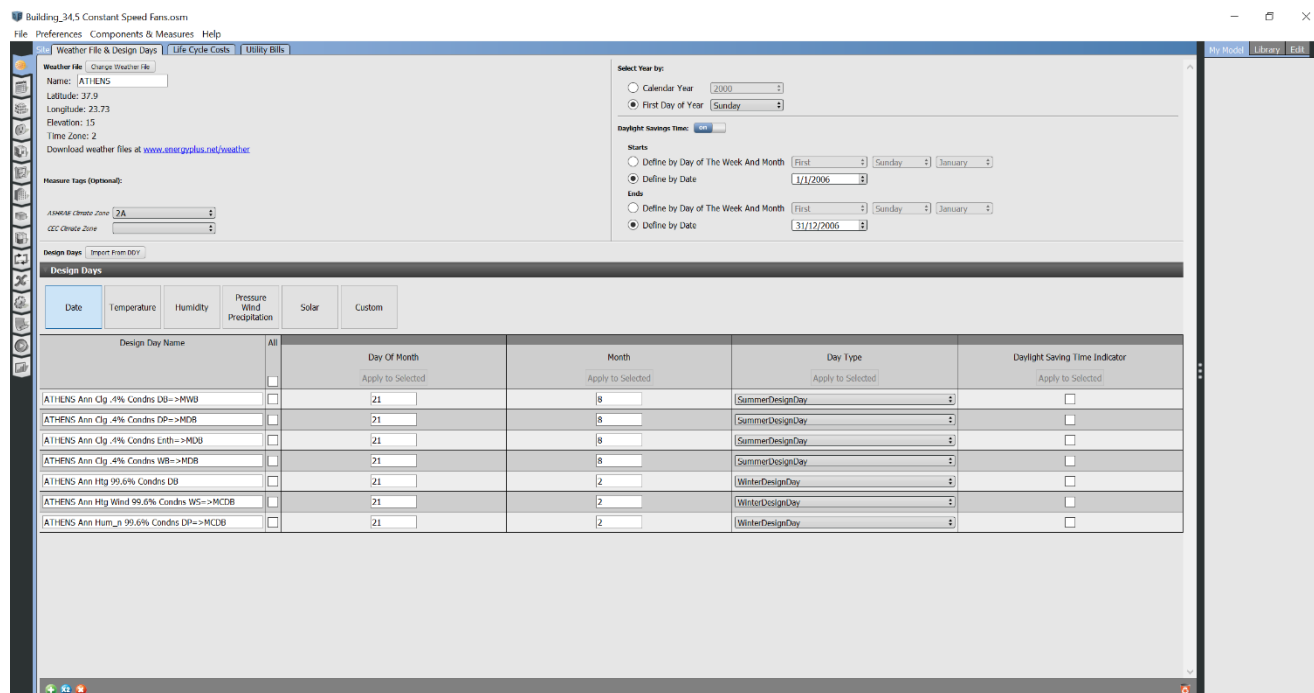


4.34 : Ολοκληρωμένο σχέδιο του μελετηθέν κτηρίου

## 4.3 Επεξεργασία μέσω του προγράμματος OpenStudio

Πλέον, μετά το πέρας της σχεδίασης του κτηρίου , μπορούμε να ανοίξουμε το αποθηκευμένο αρχείο του κτηρίου κατ' ευθείαν στο OpenStudio χωρίς την χρήση του SketchUp.

Η πρώτη εικόνα που συναντάει ο χρήστης είναι η εξής:




Εικόνα 4.35 : OpenStudio GUI

Το OpenStudio όπως ειπώθηκε προηγουμένως αποτελεί τον συνδεδεμένο κρίκο μεταξύ του προγράμματος σχεδιασμού SketchUp και αυτού της προσομοίωσης EnergyPlus. Γενικά, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το GUI του EnergyPlus, αλλά μέχρι στιγμής περιλαμβάνει μόνο το 60% των λειτουργιών και των επιλογών που προσφέρει το τελευταίο.

Στην περίπτωση του κτηρίου που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία, σχεδόν το 100% των παραμέτρων και των συστημάτων που το διέπουν μπορούν να απεικονιστούν επιτυχώς, με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαία η περεταίρω επεξεργασία του στο πρόγραμμα EnergyPlus.

### 4.3.1 Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων

Η πρώτη καρτέλα, **Site** , που εμφανίζεται αφορά τα κλιματολογικά δεδομένα όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.35. Τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες περιοχές του πλανήτη και με βάση αυτά θα




πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Οι πληροφορίες που παρέχουν αφορούν τις ωριαίες θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, την υγρασία, την διάρκεια της ημέρας όπως και την ηλιακή ακτινοβολία.

Αρχικά, ο χρήστης πρέπει να επισκεφτεί τον ιστότοπο <https://www.energyplus.net/weather> και από εκεί να αποθηκεύσει τα δεδομένα της περιοχής που τον ενδιαφέρει. Εδώ επιλέχθηκαν τα δεδομένα της Αθήνας, ενώ για τη υπόλοιπη Ελλάδα, υπάρχουν επίσης οι περιοχές της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας.

Έπειτα, μέσω της εντολής **Change Weather File** ο χρήστης επιλέγει τα δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το κτήριο και στην γραμμή της επιλογής **ASHRAE Climate Zone**, την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει ( στην παρούσα περίπτωση επιλέγεται η 2Α ). Τέλος, όσον αφορά τις **Design Days** του κτηρίου επιλέγονται οι αντίστοιχες της κλιματικής περιοχής μέσω την εντολής **Import From DDY**.

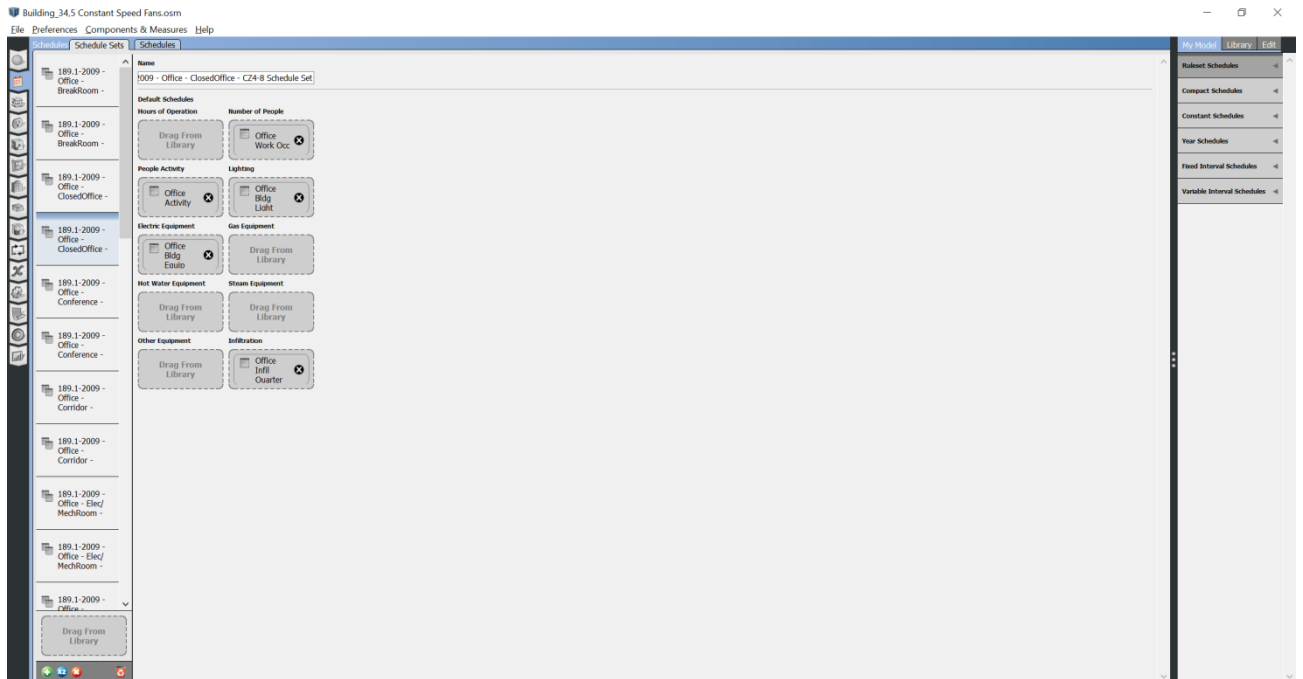
#### 4.3.2 Χρονοδιαγράμματα - Schedules

Η επόμενη καρτέλα **Schedules**  σχετίζεται με τα χρονοδιαγράμματα που αφορούν το κτήριο και αποτελούν βασικό κομμάτι στη διαδικασία της προσομοίωσης.

Αναλυτικότερα τα χρονοδιαγράμματα μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή τους ορίσει ο χρήστης. Κατά βάση απεικονίζουν την μεταβολή ενός στοιχείου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Το χρονικό βήμα μπορεί να είναι ωριαίο, ανά 15 λεπτά ακόμα και ανά λεπτό. Με αυτό το τρόπο μπορεί να σχηματιστεί ημερήσιο, εβδομαδιαίο και μηνιαίο χρονοδιάγραμμα.

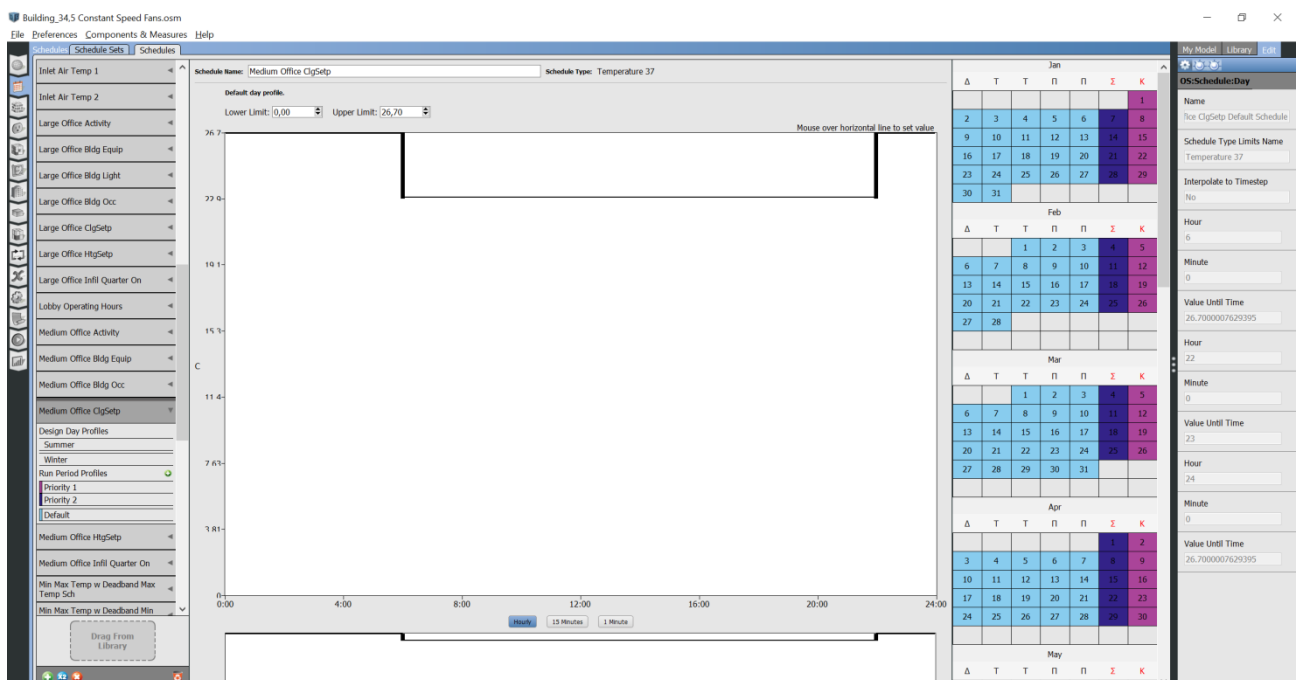
Όσον αφορά τις παραμέτρους που μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου, οι κυριότερες είναι η εξής:

- Επιθυμητή θερμοκρασία θερμοστάτη
- Ωράριο λειτουργίας
- Χρονοδιάγραμμα φωτισμού
- Πληρότητα χώρου

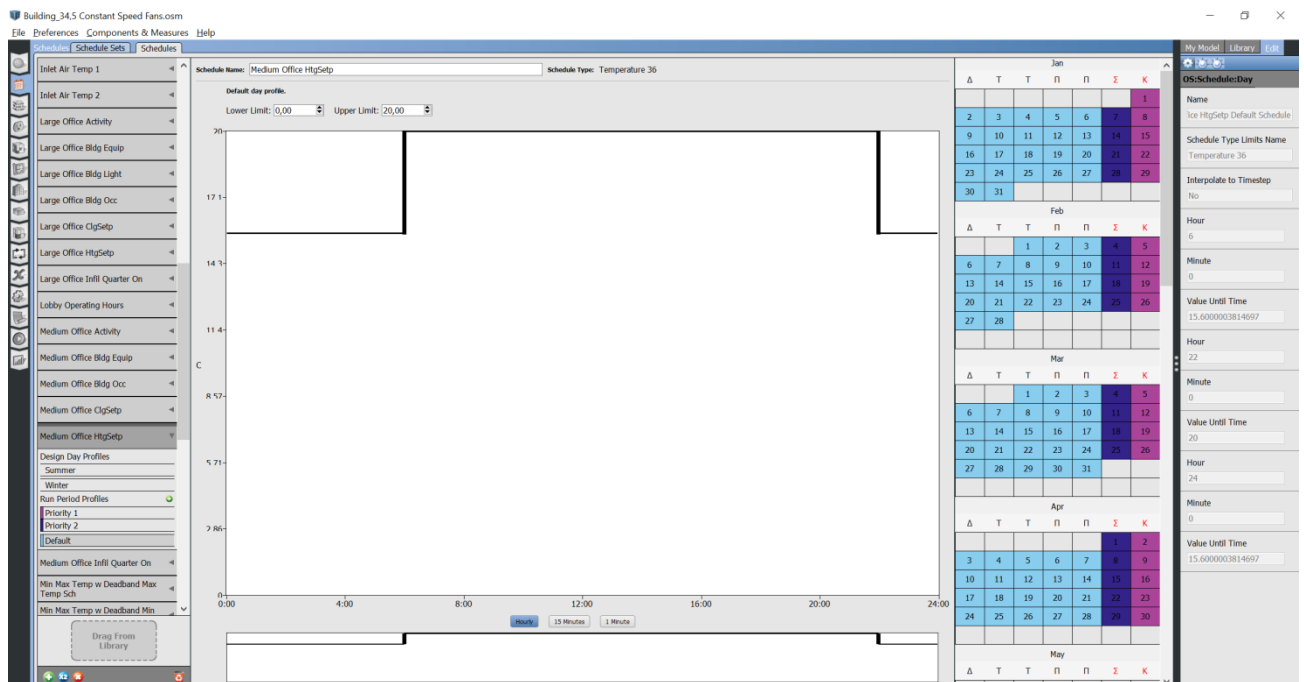


Εικόνα 4.36 : Καρτέλα Schedules – Schedule Sets

Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα χρονοδιαγράμματα δεν επεξεργάστηκαν σε μεγάλο βαθμό καθώς το OpenStudio περιλαμβάνει γενικά χρονοδιαγράμματα για χώρους γραφείου που κρίθηκαν ακριβή και ικανοποιητικά. Το χρονοδιάγραμμα που δημιουργήθηκε από την αρχή ήταν μόνο αυτό της θερμοκρασίας του ζεστού νερού χρήσης ,ενώ τα μόνα τα οποία έχρηζαν επεξεργασίας ήταν αυτά του θερμοστάτη της θέρμανσης και της ψύξης όπως φαίνονται παρακάτω.




Εικόνα 4.37 : Χρονοδιάγραμμα θερμοστάτη ψύξης

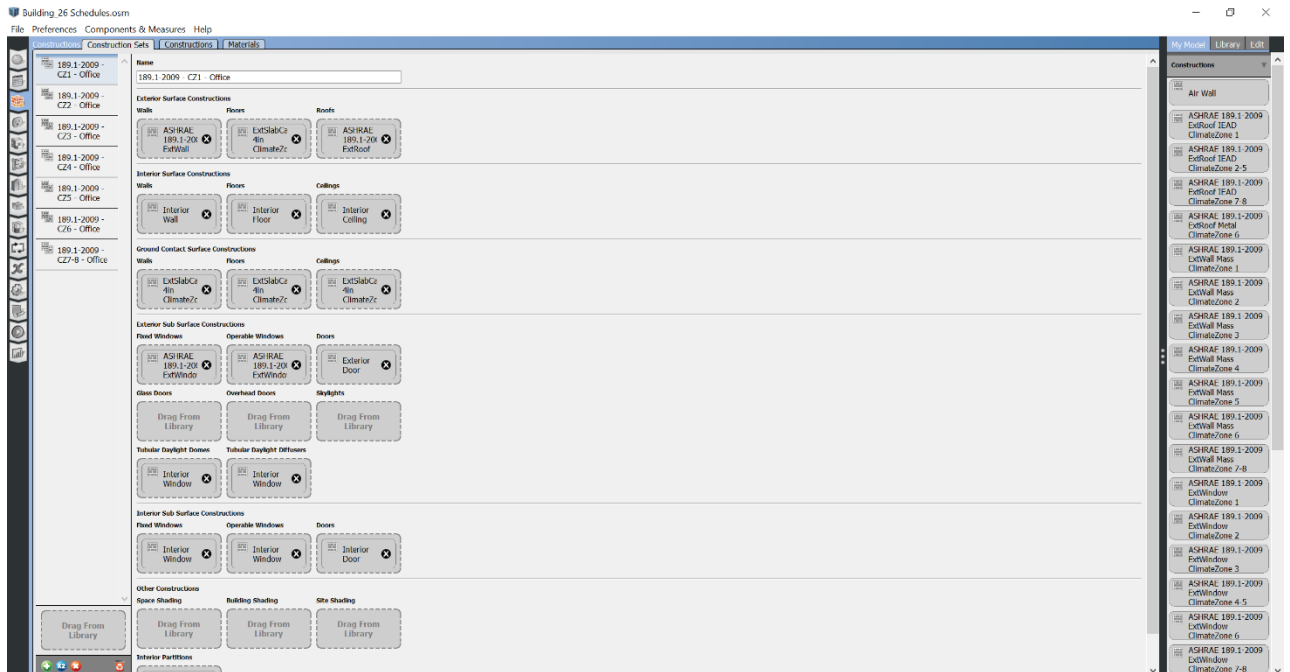


Εικόνα 4.38 : Χρονοδιάγραμμα θερμοστάτη θέρμανσης

Όπως φαίνεται από τις Εικόνες 4.37 και 4.38 ο θερμοστάτης που αφορά την θέρμανση τίθενται στους 20°C για την διάρκεια λειτουργίας των γραφείων ενώ τις υπόλοιπες ώρες στους 15°C, ενώ αυτός της ψύξης τίθενται στους 22°C για τις ώρες λειτουργίας ενώ στους 26,7°C τις υπόλοιπες. Επίσης, το χρονοδιάγραμμα επεξεργάζεται καταλλήλως για τις μέρες του Σαββατοκύριακου, μέσω της εισαγωγής νέων χρονοδιαγραμμάτων χαμηλότερης σημασίας (Priority 1 και 2), στα οποία η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή κοντά στη μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος καθώς δεν είναι αναγκαία η χρήση του συστήματος HVAC μιας και τα γραφεία είναι κλειστά.

#### 4.3.3 Σειτ κατασκευής – Υλικά κατασκευής/ Constructions

Η επόμενη στη σειρά καρτέλα περιέχει όλες τις πληροφορίες για την κατασκευή των δομικών στοιχείων του κελύφους του κτηρίου, παράθυρα όπως και πόρτες . Η καρτέλα **Constructions**  περιλαμβάνει τρεις υπο-καρτέλες όπως φαίνεται παρακάτω.

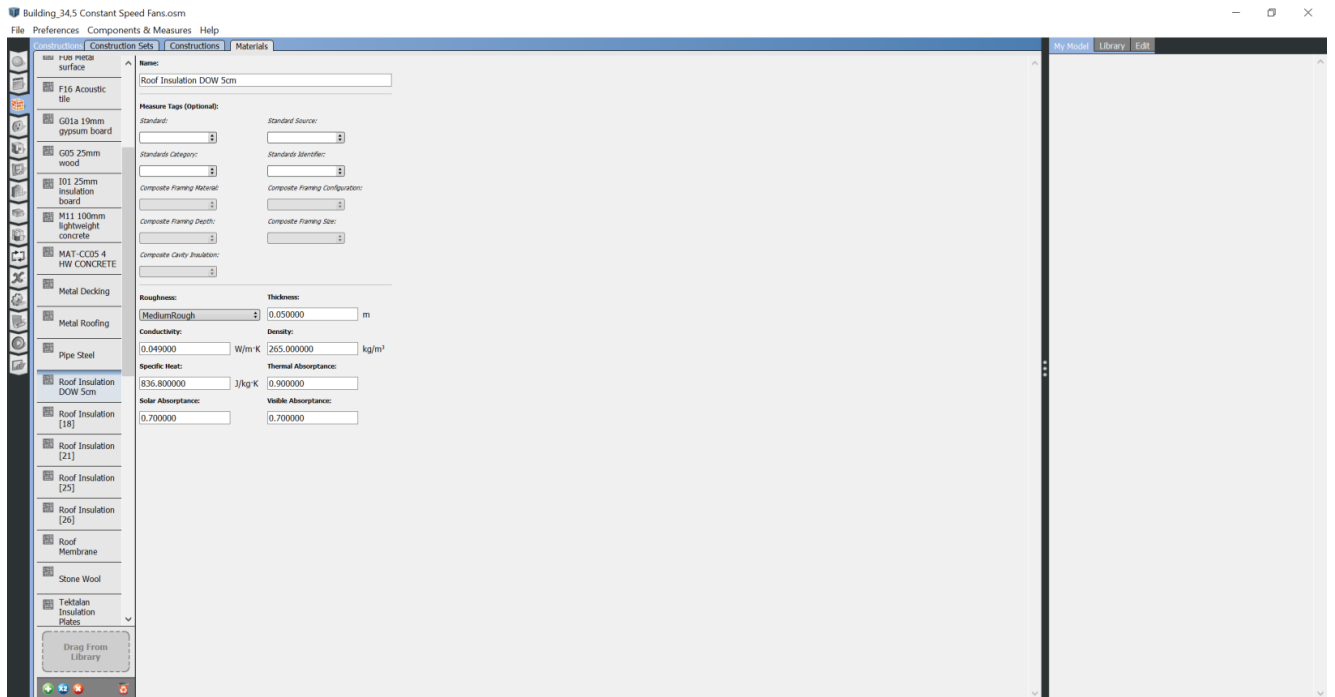


Εικόνα 4.39 : Παράθυρο Constructions

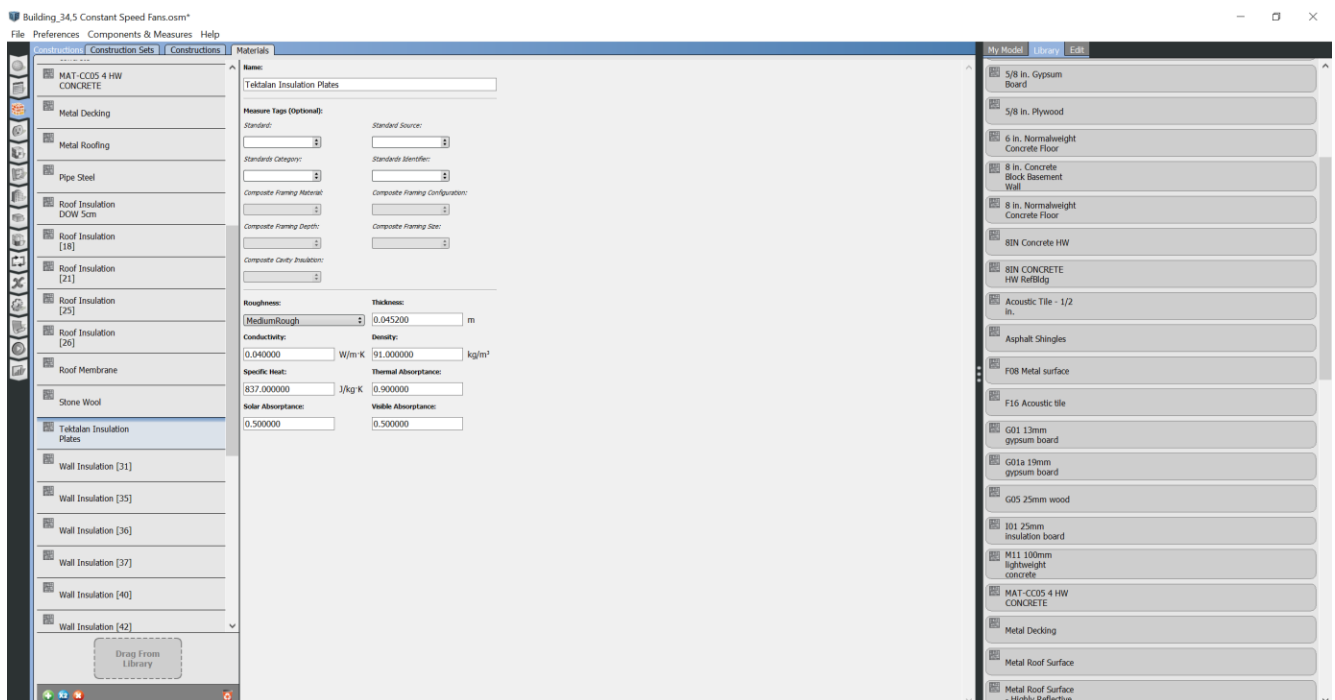
Αρχικά, ξεκινάμε από την τρίτη κατά σειρά υπο-καρτέλα των υλικών (**Materials**). Στην παρούσα καρτέλα ο χρήστης εισάγει όλα τα υλικά από τα οποία αποτελείται η κατασκευή και δίνεται η δυνατότητα τροποποίησης όλων των παραμέτρων τους ,όπως του πάχους, της αγωγιμότητας, της πυκνότητας κ.λπ.. Μάλιστα, πολλά υλικά που δεν περιλαμβάνονται στη πρόγραμμα μπορούν να εισαχθούν σε αυτό μέσω της βιβλιοθήκης BCL (Building Component Library).

Στην παρούσα καρτέλα θα δημιουργήσουμε τα Materials που δεν βρίσκονται στην υπάρχουσα βιβλιοθήκη. Αυτά είναι:

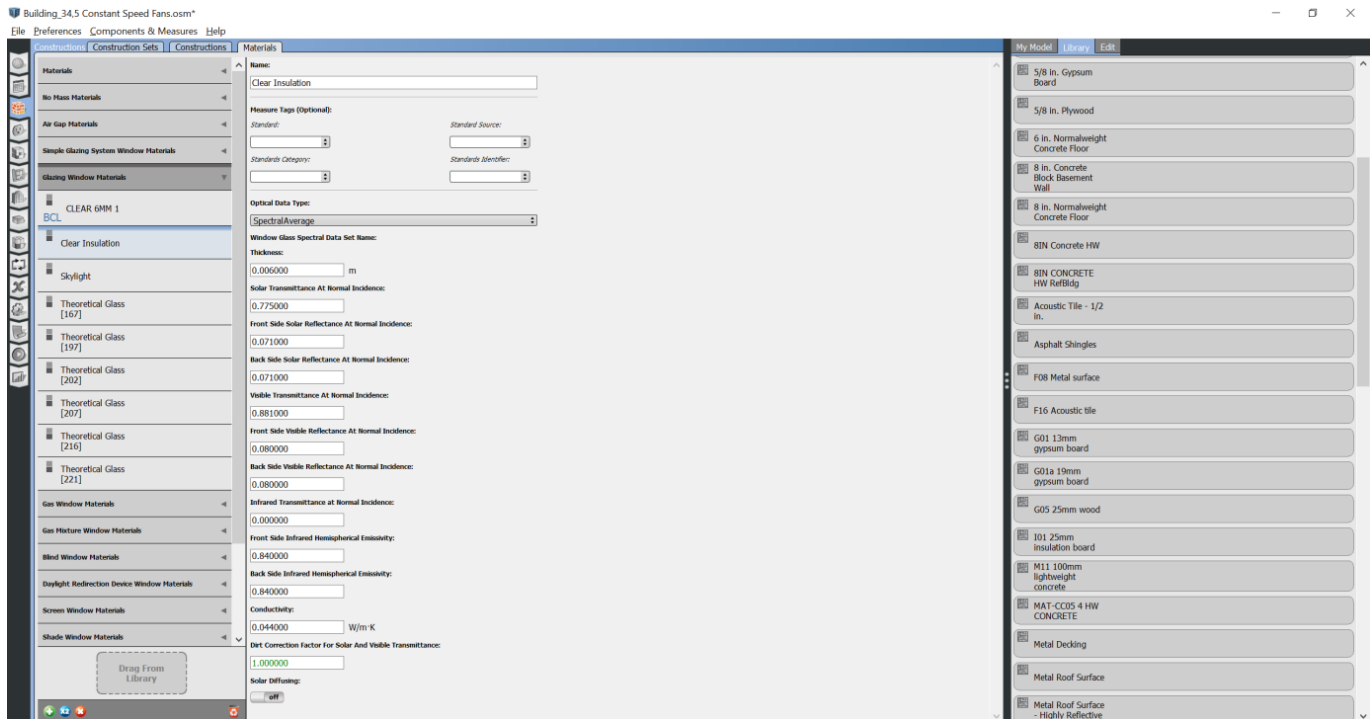
- Η μόνωση DOW 5cm της οροφής
- Η μόνωση των τοίχων της Tektalan
- Οι διπλοί υαλοπίνακες
- Το τσιμεντοκονίαμα
- Η διαφανής μόνωση και
- Ο πετροβάμβακας των εσωτερικών τοίχων



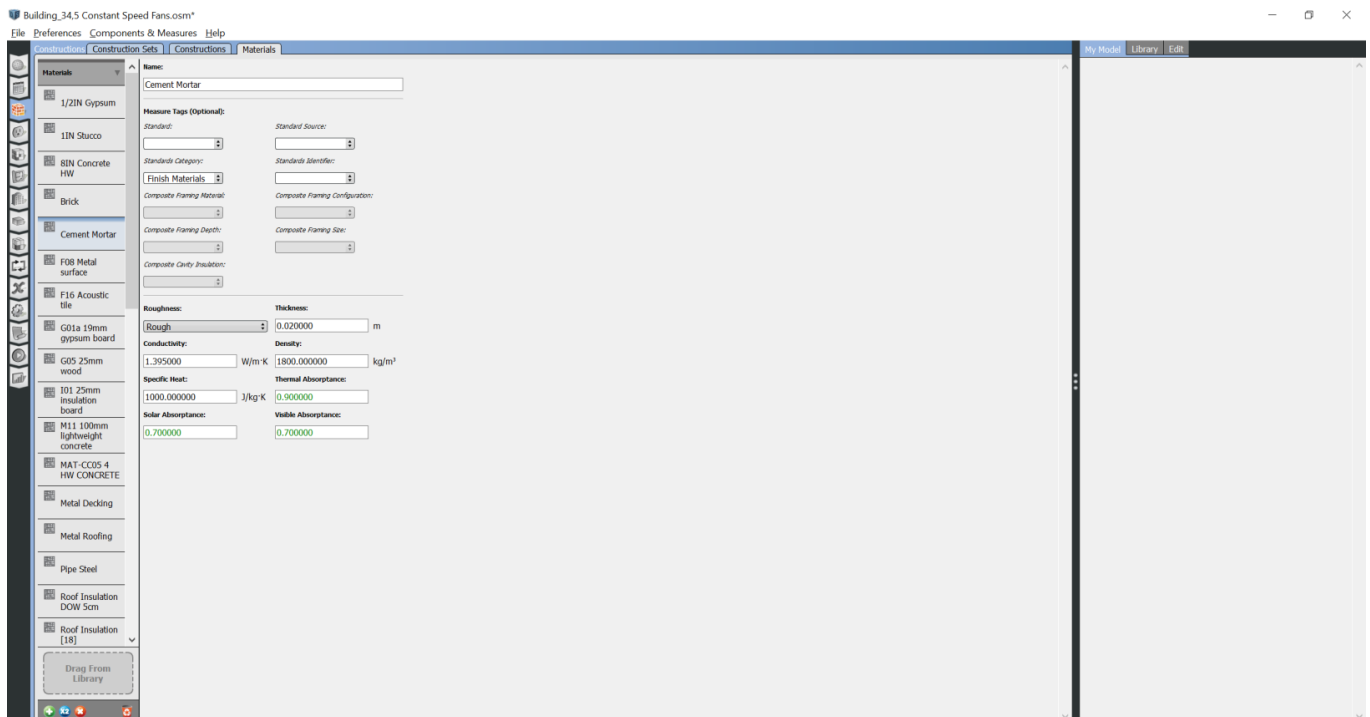
Εικόνα 4.40 : Παράθυρο Materials – Μόνωση Οροφής



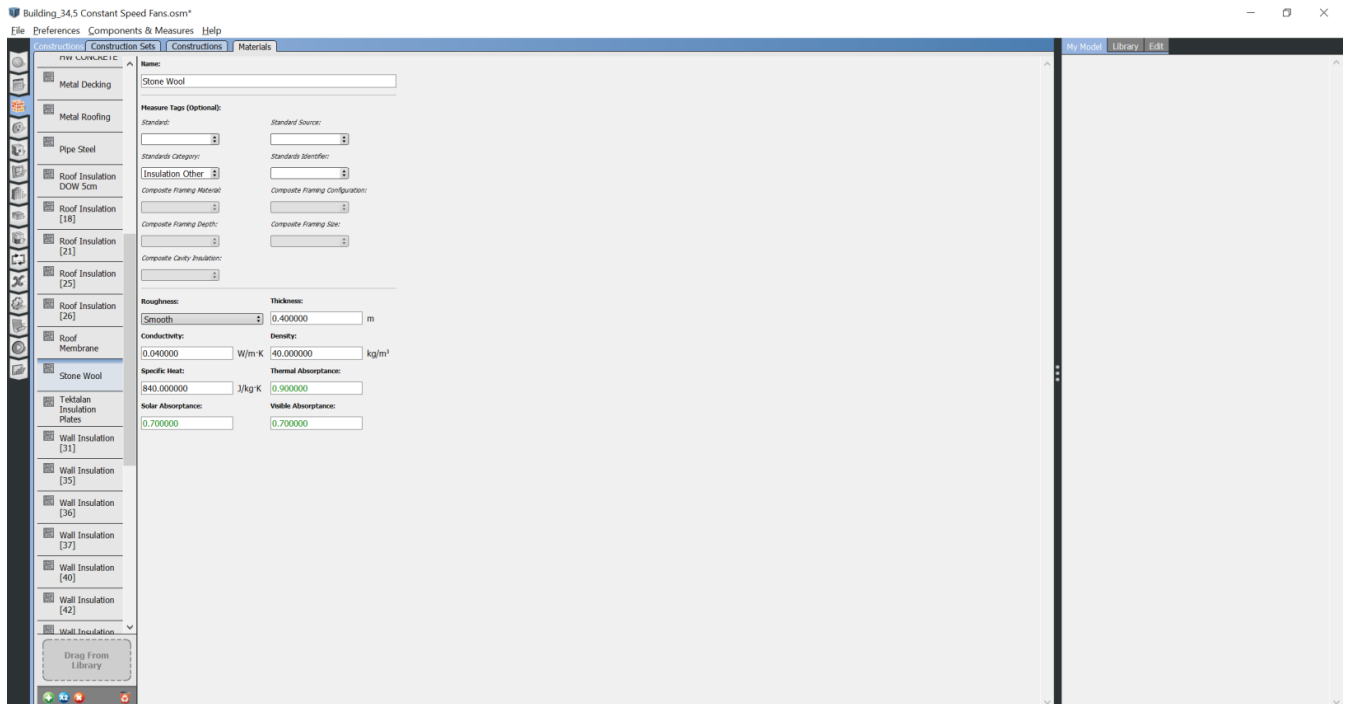
Εικόνα 4.41 : Παράθυρο Materials – Μόνωση τοίχων



Εικόνα 4.42 : Παράθυρο Materials – Διαφανής Μόνωση

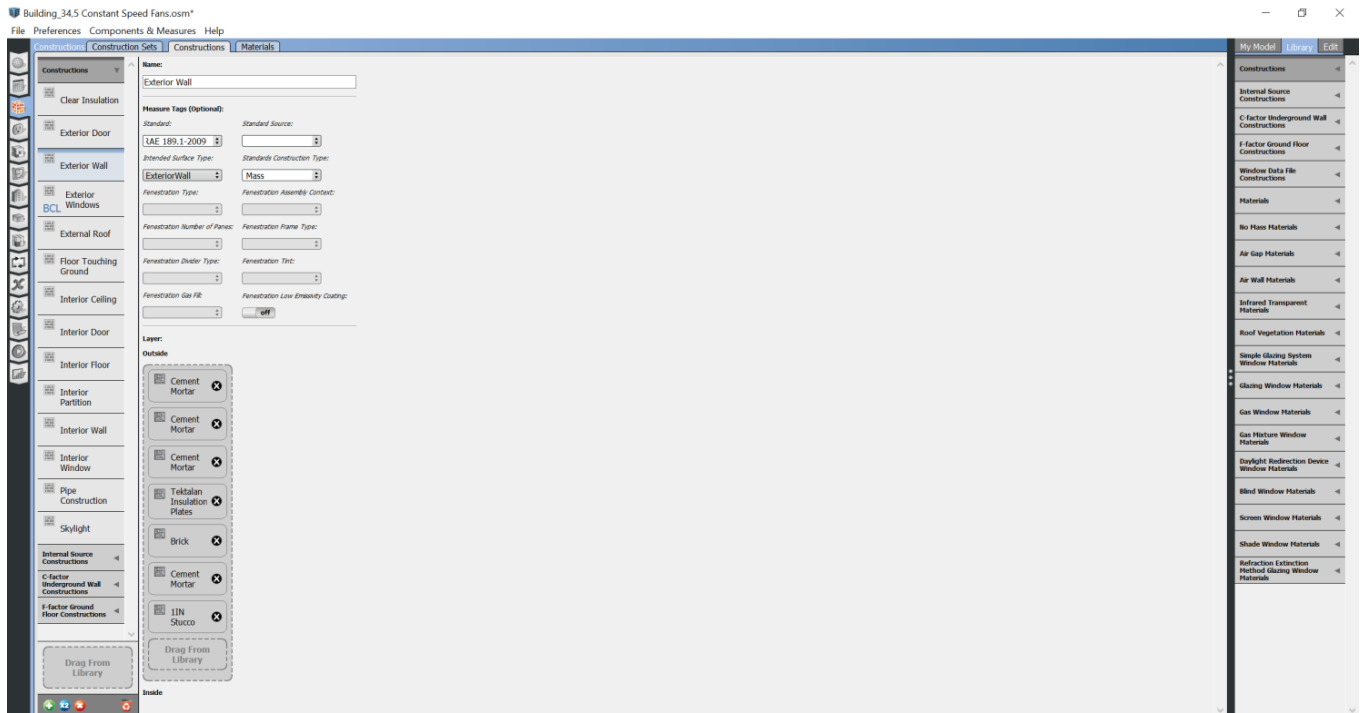


Εικόνα 4.43 : Παράθυρο Materials – Τιμεντοκονίαμα

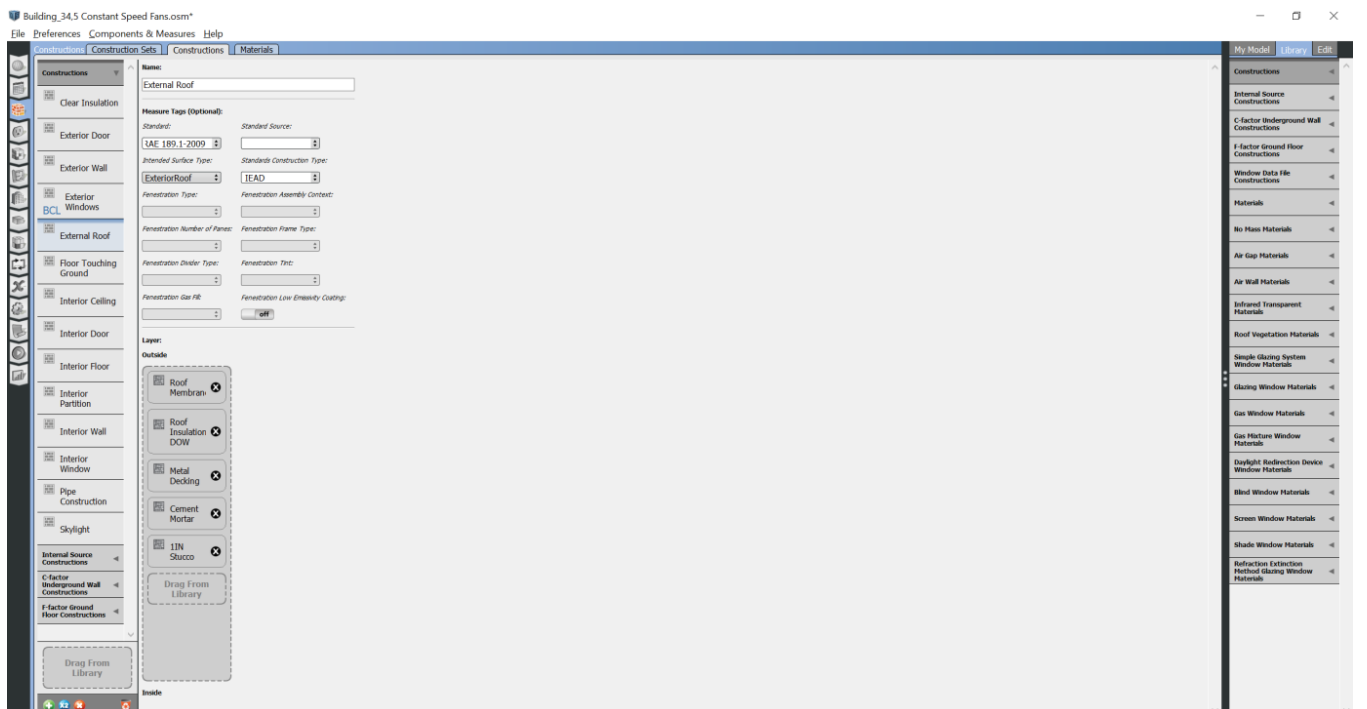


Εικόνα 4.44 : Παράθυρο Materials – Πετροβάμβακας

Στη συνέχεια με βάση τα υλικά που μόλις κατασκευάσαμε, στην δεύτερη καρτέλα, μπορούμε να «χτίσουμε» με γραφικό τρόπο τον κάθε τοίχο όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.45. Η μοντελοποίηση του εκάστοτε τοίχου ξεκινάει από την εξωτερική στρώση και δουλεύεται προς το εσωτερικό με Drag and Drop από την βιβλιοθήκη στα δεξιά. Η συνολική θερμική αγωγιμότητά υπολογίζεται βάσει των υλικών που επιλέξαμε για την επίστρωση του. Αναφέρεται ότι όλοι οι τοίχοι σχεδιάστηκαν με βάση τις πληροφορίες που είχαμε για το κτήριο όπως αυτό περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.

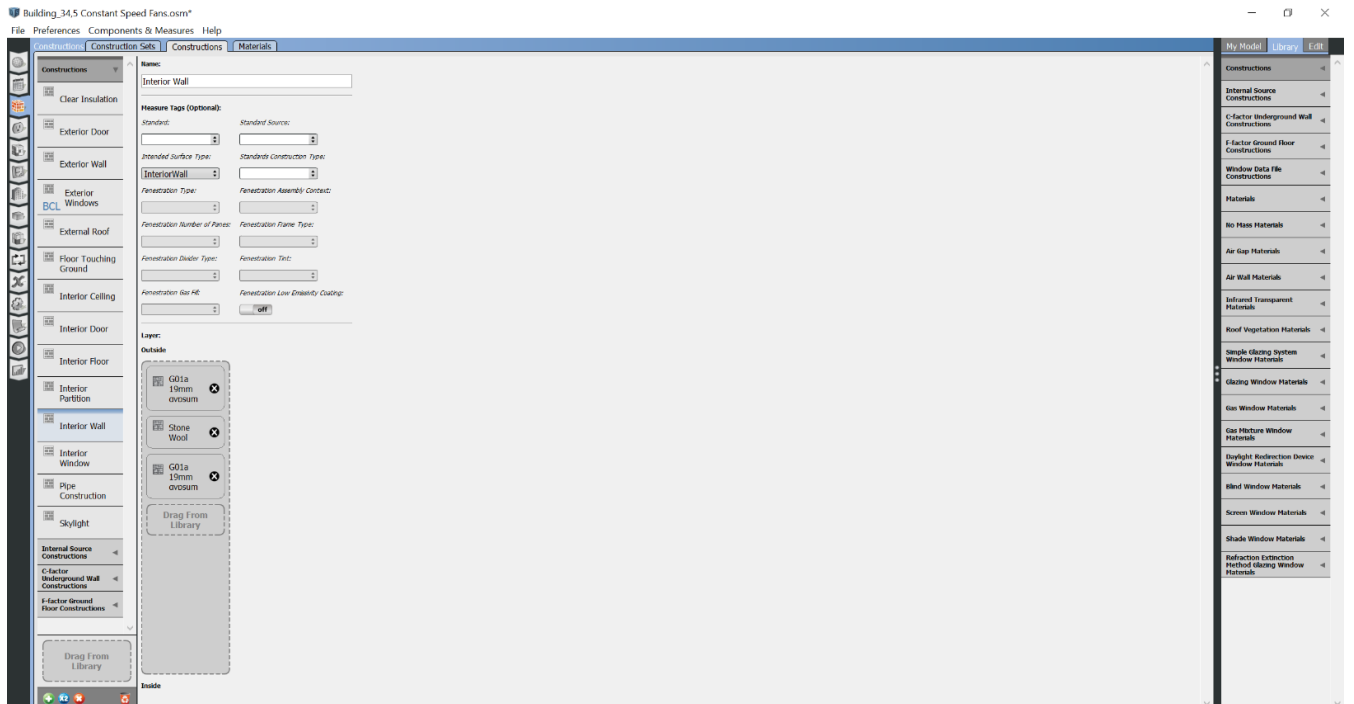


Εικόνα 4.45 : Παράθυρο Constructions – Διαστρωμάτωση εξωτερικών τοίχων

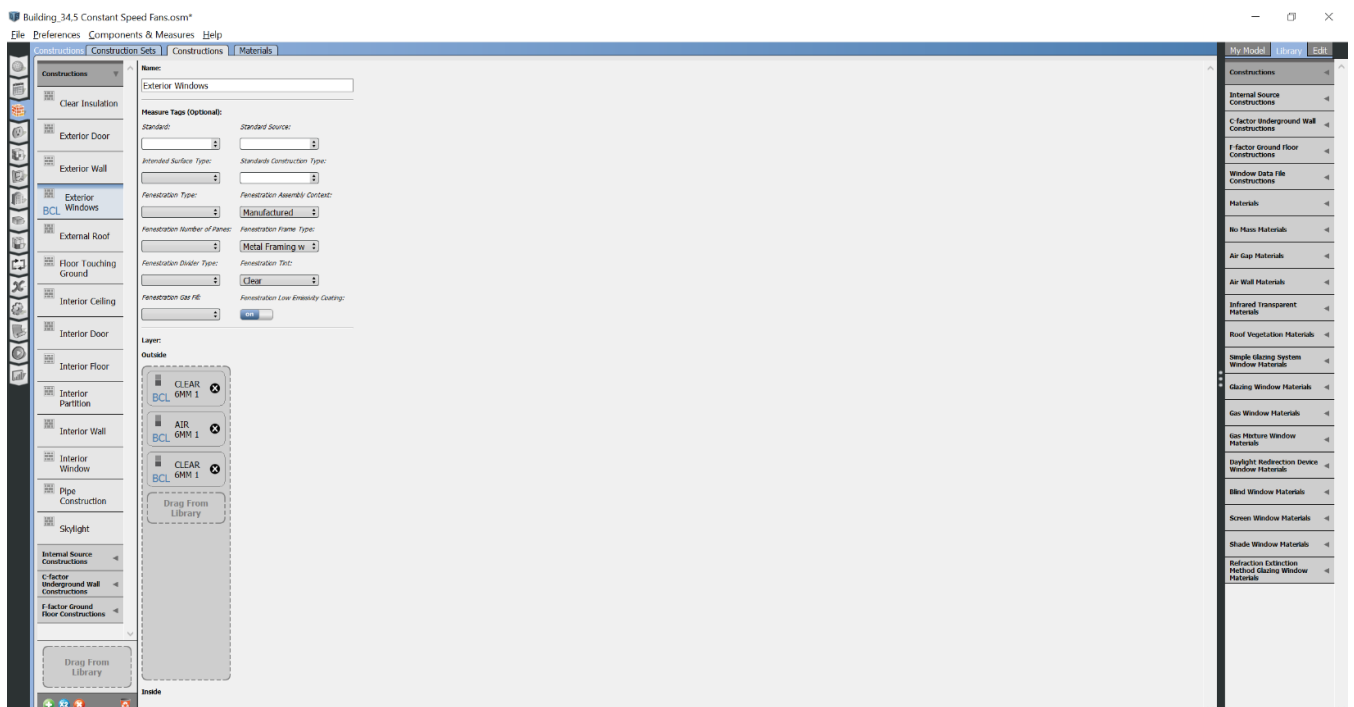


Εικόνα 4.46 : Παράθυρο Constructions – Διαστρωμάτωση Οροφής

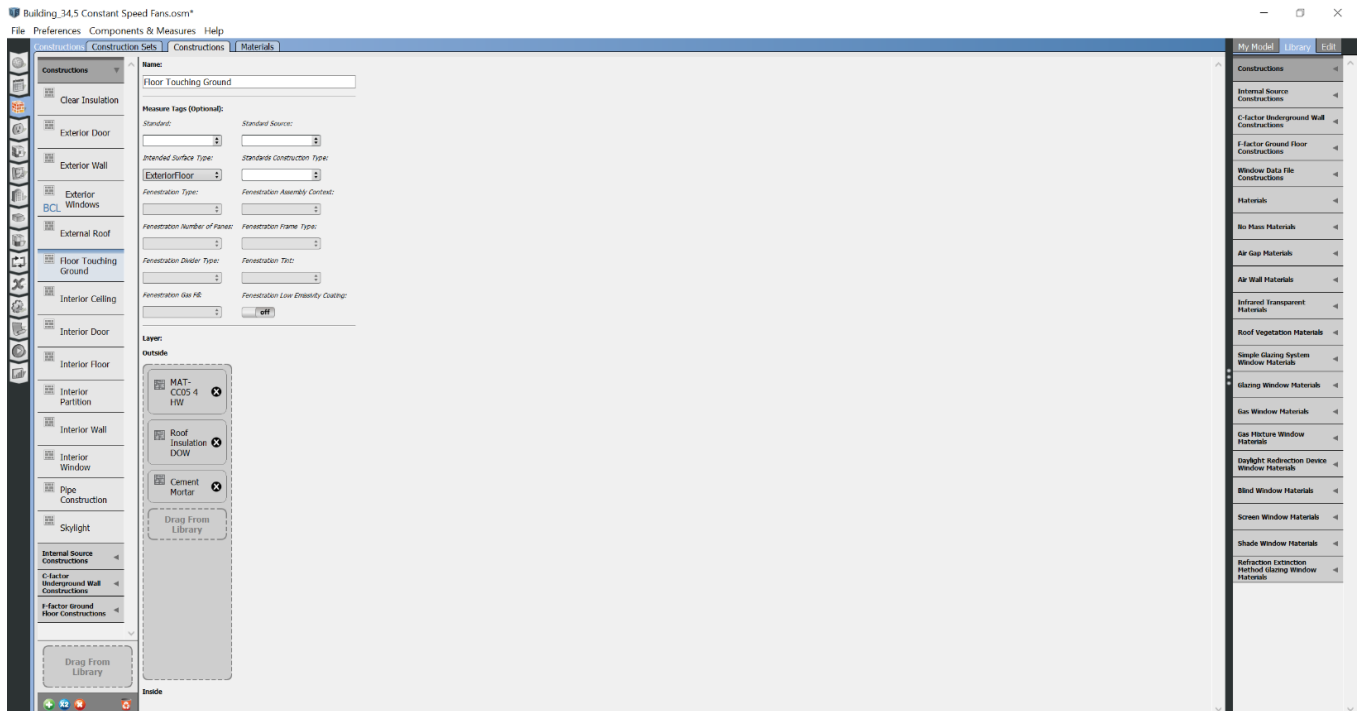




Εικόνα 4.47 : Παράθυρο Constructions – Διαστρωμάτωση Εσωτερικών τοίχων

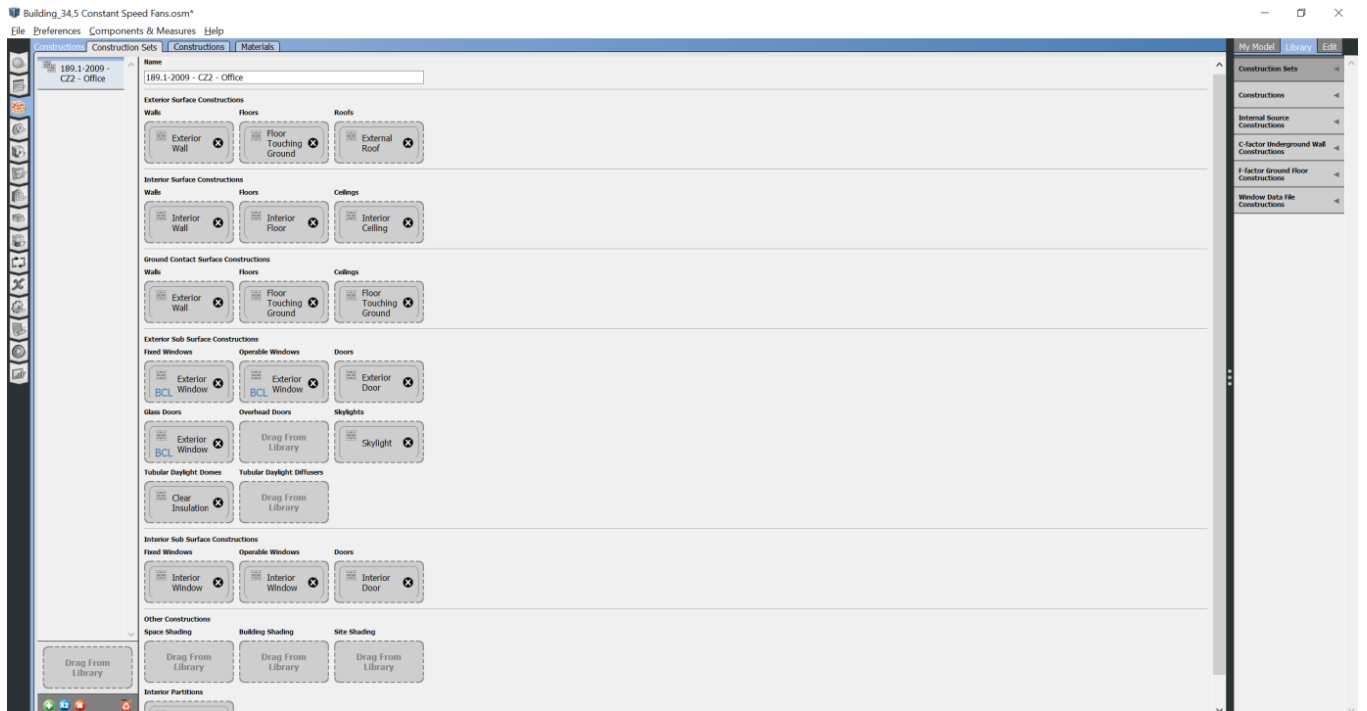


Εικόνα 4.48 : Παράθυρο Constructions – Διαστρωμάτωση διπλών υαλοπινάκων



Εικόνα 4.49 : Παράθυρο Constructions – Διαστρωμάτωση μονωμένου πατώματος σε επαφή με έδαφος


Η τελευταία καρτέλα αφορά τα **Construction Sets**. Σε αυτή τη καρτέλα παρουσιάζονται συνοπτικά οι τοίχοι που επιθυμούμε να ορίσουμε ως προεπιλογή για το μοντέλο, ανάλογα με το είδος του χώρου. Στην περίπτωση μας ,εφόσον αναφερόμαστε σε ένα χώρο που αποτελείται μόνο από γραφεία, επιλέγουμε να τροποποιήσουμε μόνο το σετ που αφορά τα γραφεία για τις κλιματικές ζώνες 2, δηλαδή το 189.1-2009 - CZ2 – Office. Στη συνέχεια από τα Constructions που διαμορφώσαμε πριν, με την ίδια διαδικασία του Drag and Drop, ολοκληρώνουμε το «σετ» των προεπιλογών όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.47 παρακάτω:

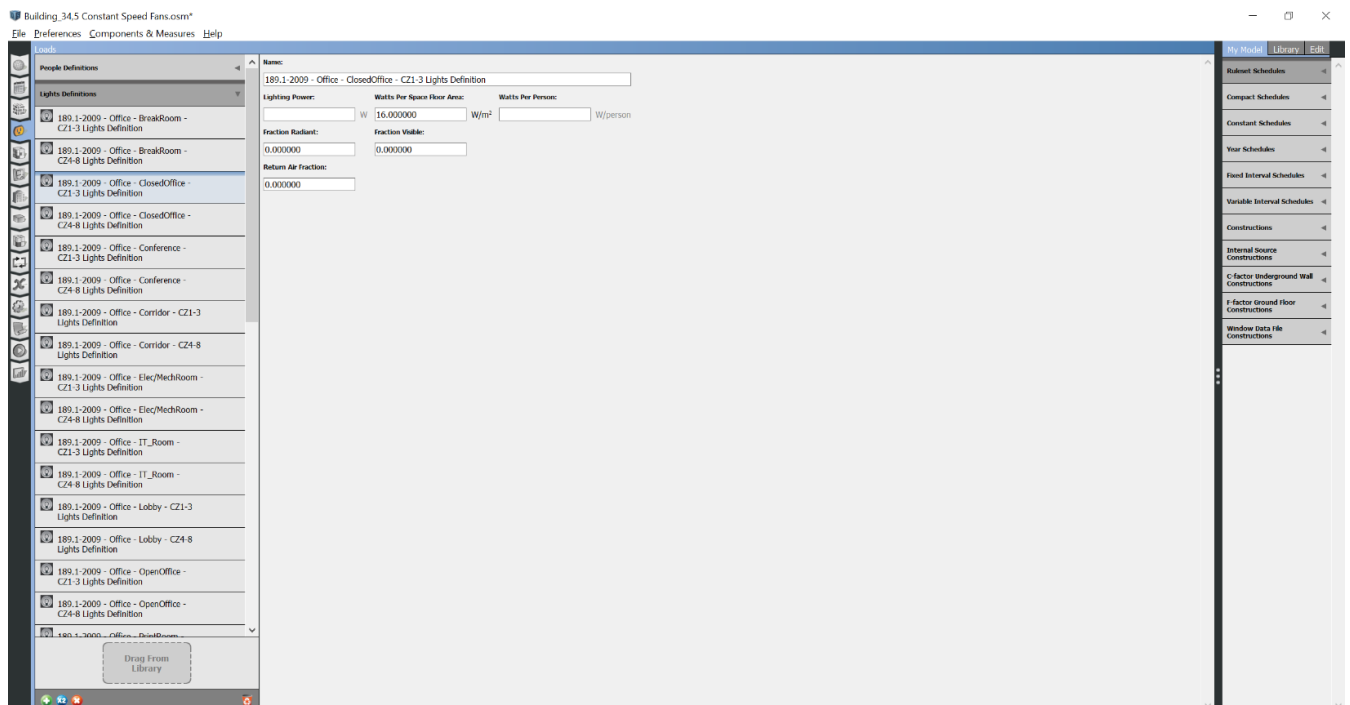


Εικόνα 4.47 : Ολοκληρωμένο Construction Set για το μοντέλο των γραφείων

Με αυτό τον τρόπο για όλους του τοίχους, δώματα και υαλοπίνακες που τους ορίσαμε το «σετ» 189.1-2009 - CZZ – Office στο Κεφάλαιο 4.2.6, διαμορφώνονται αυτόματα τα υλικά τα οποία τα διέπουν.

#### 4.3.4 Ορισμός εσωτερικών φορτίων – Internal Loads


Στην επόμενη καρτέλα των **Internal Loads**  ο χρήστης ορίζει τα χαρακτηριστικά των φορτίων που λειτουργούν στους εσωτερικούς χώρους του κτηρίου όπως τα φώτα και θερμικά κέρδη από ανθρώπους. Τα στοιχεία αυτά είναι πλήρως τροποποιήσιμα και επεξεργάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα. Πέρα από τα προεπιλεγμένα φορτία που παρέχει το OpenStudio ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και δικά του, εκ νέου.



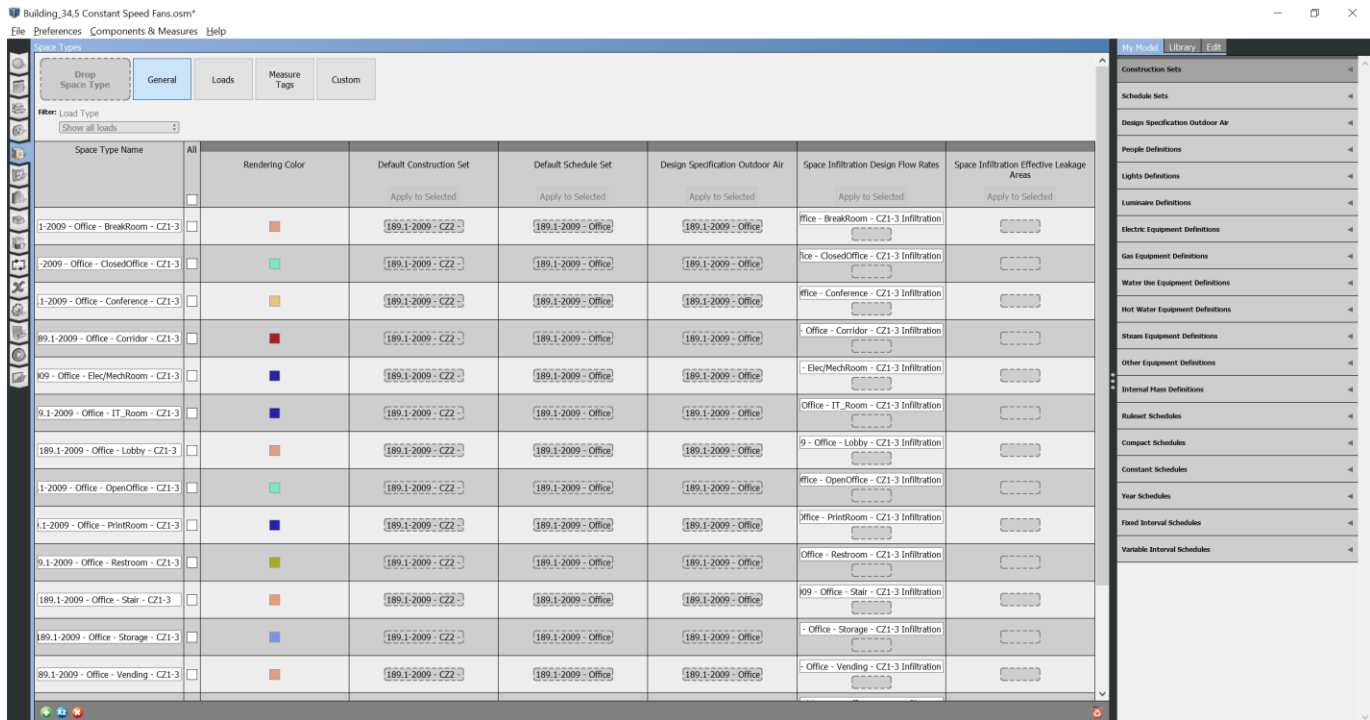
Εικόνα 4.48 : Εσωτερικά φορτία φωτισμού

Για το κτήριο που μελετάμε επεξεργάστηκαν μόνο τα φορτία του φωτισμού. Πιο συγκεκριμένα εφόσον το κτήριο χρησιμοποιεί λαμπτήρες φθορισμού, σύμφωνα με το T.O.T.E.E. 20701-1/2017, για την οπτική άνεση των εργαζομένων, χρειάζονται  $500 \text{ lux/m}^2$  στους χώρους των γραφείων και  $200 \text{ lux/m}^2$  στους υπόλοιπους χώρους. Και με βάση τον Πίνακα 5.1α (σελ 154) της οδηγίας, οι λάμπες φθορισμού καταναλώνουν  $3,2 \text{ W}/100\text{lux/m}^2$ , άρα για τους χώρους των γραφείων χρειάζονται  $3,2 * 5 = 16 \text{ W/m}^2$  ενώ για τους υπόλοιπους (Corridor, Restroom, Lobby, Storage, Stairs)  $3,2 * 2 = 6,4 \text{ W/m}^2$ .

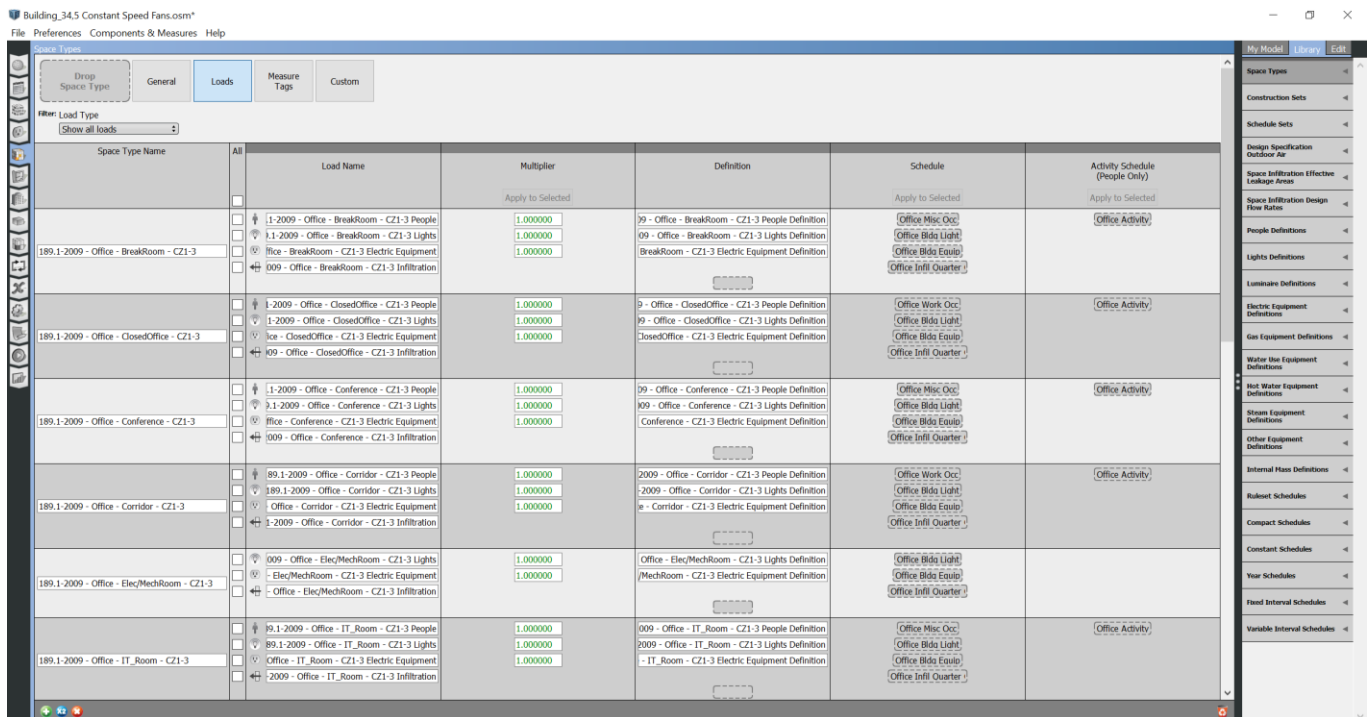
#### 4.3.5 Τύποι χώρων – Space Types

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει πρότυπα είδη χώρων. Στην παρούσα καρτέλα **Space Types**  παρουσιάζονται συνοπτικά τα είδη των χώρων που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα. Αναφορικά η πρώτη υπο-καρτέλα παρουσιάζει γενικά (**General**) τα είδη των χώρων του κτηρίου ενώ η δεύτερη τα εσωτερικά φορτία (**Internal Loads**) που αντιστοιχούν σε κάθε χώρο.

Στην δεύτερη υπο-καρτέλα ορίζονται τα φορτία που δέχεται κάθε τύπος χώρου και το χρονοδιάγραμμα από το οποίο συνοδεύεται. Εφόσον όμως ορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα και τα εσωτερικά φορτία στα προηγούμενα κεφάλαια, η συγκεκριμένη καρτέλα δεν χρίζει καμιάς επεξεργασίας.





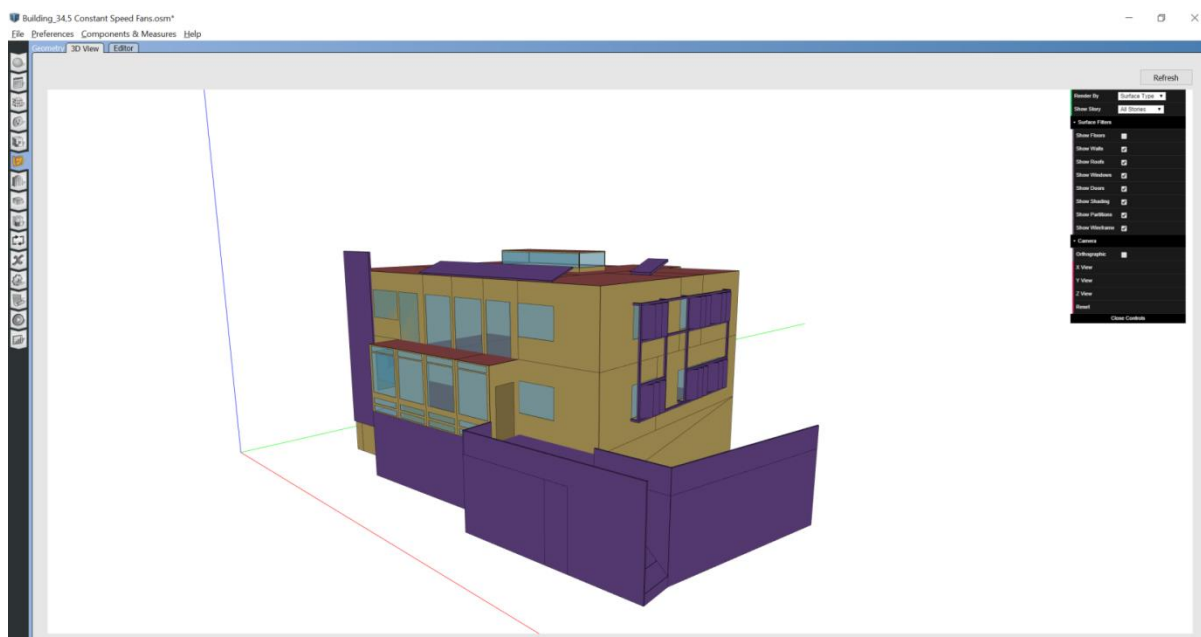
Εικόνα 4.49 : Παράθυρο Space Types – General



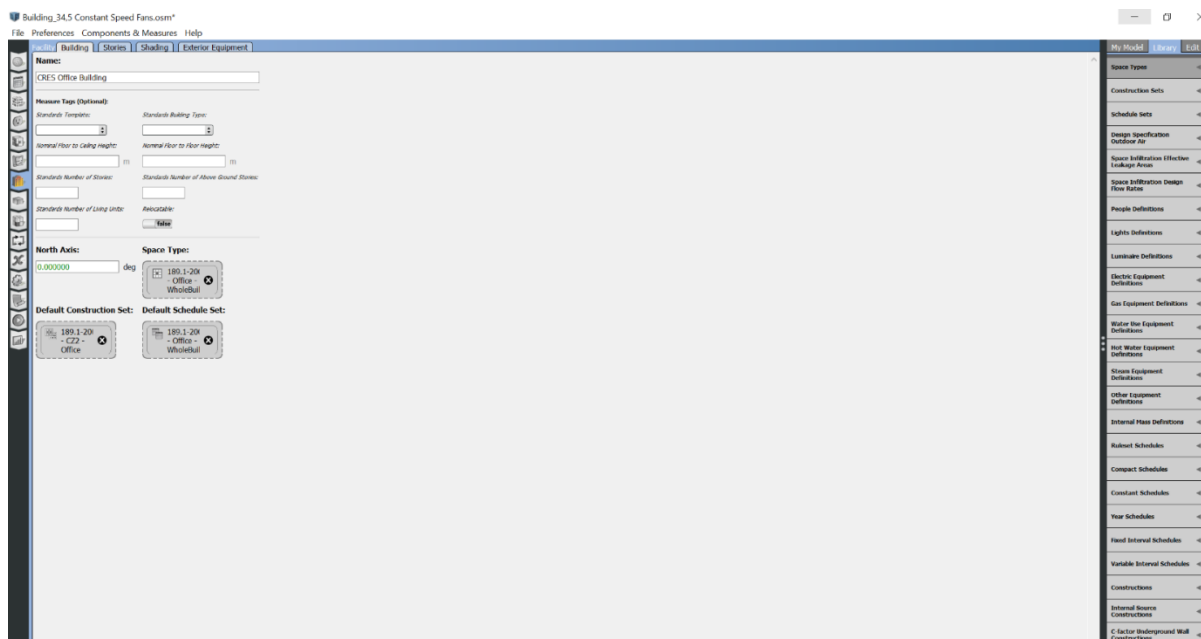
Εικόνα 4.50 : Παράθυρο Space Type – Loads

#### 4.3.6 Γεωμετρία και κατασκευή – Geometry and Facility

Οι επόμενες δύο καρτέλες δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου στην παρούσα διπλωματική εργασία αλλά για λόγους πληρότητας θα παρουσιαστούν συνοπτικά. Η καρτέλα **Geometry**  δίνει την δυνατότητα απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου του κτηρίου και περιγραφής οποιουδήποτε στοιχείου του επιλεχθεί. Και η καρτέλα **Facility**  δίνει μια συνοπτική παρουσίαση του κτηρίου, όπως του ονόματός του, των ορόφων του, των σκιάσεων του και του εξωτερικού εξοπλισμού του. Τα παράθυρα των δύο αυτών καρτελών παρουσιάζονται παρακάτω:




Εικόνα 4.51 : Παράθυρο Geometry

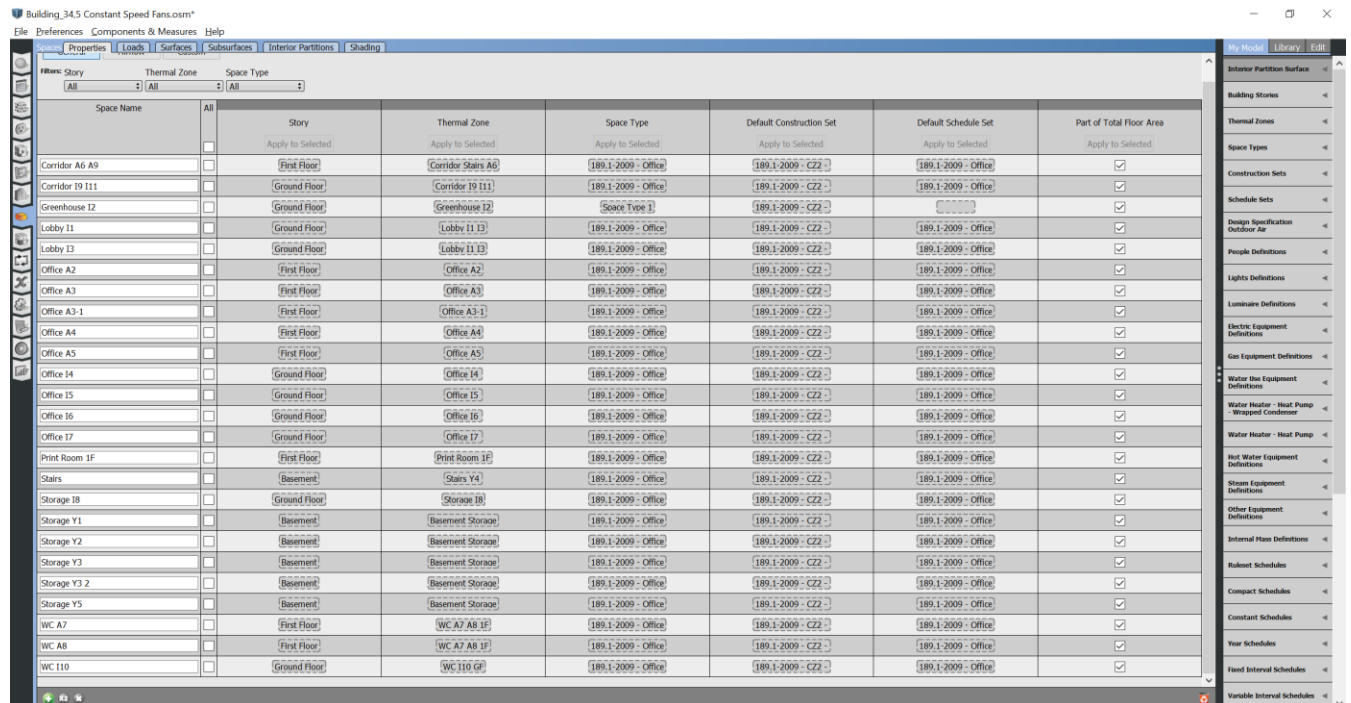


Εικόνα 4.52 : Παράθυρο Facility

### 4.3.7 Συνοπτική Παρουσίαση χώρων κτηρίου – Spaces

Επόμενη καρτέλα του προγράμματος αποτελεί αυτή των **Spaces** . Σε αυτή ορίζονται τα στοιχεία όλων των χώρων του κτηρίου, όπως σε ποιον όροφο ανήκουν, σε ποια θερμική ζώνη, τι τύπου είναι, τα δομικά τους στοιχεία, τα ονόματα των επιφανειών και των υπο-επιφανειών που τα διέπουν καθώς και τα χρονοδιαγράμματά τους. Εφόσον, όμως όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία ορίστηκαν είτε σε προηγούμενα κεφάλαια μέσω του OpenStudio, είτε κατά τον σχεδιασμό (Κεφάλαιο 4.2.6) η περαιτέρω επεξεργασία τους δεν είναι αναγκαία.

Στην δεύτερη υπο-καρτέλα που αφορά τα φορτία, τα πράσινα γράμματα υποδηλώνουν ότι η συγκεκριμένη πληροφορία έχει αποδοθεί, στον εκάστοτε χώρο, σε προηγούμενο βήμα .



Space Name	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
Corridor A6 A9	First Floor	Corridor Stairs A6	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Corridor I9 I11	Ground Floor	Corridor I9 I11	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Greenhouse I2	Ground Floor	Greenhouse I2	Space Type I	189.1-2009 - CZ2		<input checked="" type="checkbox"/>
Lobby I1	Ground Floor	Lobby I1 I3	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Lobby I3	Ground Floor	Lobby I1 I3	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office A2	First Floor	Office A2	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office A3	First Floor	Office A3	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office A3-1	First Floor	Office A3-1	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office A4	First Floor	Office A4	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office A5	First Floor	Office A5	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office I4	Ground Floor	Office I4	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office I5	Ground Floor	Office I5	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office I6	Ground Floor	Office I6	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Office I7	Ground Floor	Office I7	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Print Room 1F	First Floor	Print Room 1F	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Stairs	Basement	Stairs Y4	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Storage I8	Ground Floor	Storage I8	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Storage Y1	Basement	Basement Storage	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Storage Y2	Basement	Basement Storage	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Storage Y3	Basement	Basement Storage	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Storage Y3 2	Basement	Basement Storage	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
Storage Y5	Basement	Basement Storage	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
WC A7	First Floor	WC A7 A8 1F	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
WC A8	First Floor	WC A7 A8 1F	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>
WC I10	Ground Floor	WC I10 GF	189.1-2009 - Office	189.1-2009 - CZ2	189.1-2009 - Office	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4.53 : Παράθυρο Spaces – Properties

Space Name	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Corridor A6 A9	89.1-2009 - Office - Corridor - CZ1-3 People	1.000000	2009 - Office - Corridor - CZ1-3 People Definition	Apply to Selected	Office Activity
	89.1-2009 - Office - Corridor - CZ1-3 Lights	1.000000	2009 - Office - Corridor - CZ1-3 Lights Definition		
	Office - Corridor - CZ1-3 Electric Equipment	1.000000	e - Corridor - CZ1-3 Electric Equipment Definition		
	1-2009 - Office - Corridor - CZ1-3 Infiltration	1.000000			Office Infil Quarter
Corridor I9 I11	89.1-2009 - Office - Corridor - CZ1-3 People	1.000000	2009 - Office - Corridor - CZ1-3 People Definition	Office Work Occ	Office Activity
	89.1-2009 - Office - Corridor - CZ1-3 Lights	1.000000	2009 - Office - Corridor - CZ1-3 Lights Definition		
	Office - Corridor - CZ1-3 Electric Equipment	1.000000	e - Corridor - CZ1-3 Electric Equipment Definition		
	1-2009 - Office - Corridor - CZ1-3 Infiltration	1.000000			Office Infil Quarter
Lobby I1	189.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 People	1.000000	1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 People Definition	Office Misc Occ	Office Activity
	189.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Lights	1.000000	1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Lights Definition	Office Bldg Light	
	9 - Office - Lobby - CZ1-3 Electric Equipment	1.000000	lce - Lobby - CZ1-3 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	9.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Infiltration	1.000000			Office Infil Quarter
Lobby I3	189.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 People	1.000000	1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 People Definition	Office Misc Occ	Office Activity
	189.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Lights	1.000000	1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Lights Definition	Office Bldg Light	
	9 - Office - Lobby - CZ1-3 Electric Equipment	1.000000	lce - Lobby - CZ1-3 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	9.1-2009 - Office - Lobby - CZ1-3 Infiltration	1.000000			Office Infil Quarter
Office A2	1-2009 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 People	1.000000	9 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 People Definition	Office Work Occ	Office Activity
	1-2009 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 Lights	1.000000	9 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 Lights Definition	Office Bldg Light	
	lce - ClosedOffice - CZ1-3 Electric Equipment	1.000000	lce - ClosedOffice - CZ1-3 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	09 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 Infiltration	1.000000			Office Infil Quarter
Office A3	1-2009 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 People	1.000000	9 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 People Definition	Office Work Occ	Office Activity
	1-2009 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 Lights	1.000000	9 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 Lights Definition	Office Bldg Light	
	lce - ClosedOffice - CZ1-3 Electric Equipment	1.000000	lce - ClosedOffice - CZ1-3 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	09 - Office - ClosedOffice - CZ1-3 Infiltration	1.000000			Office Infil Quarter

Εικόνα 4.54 : Παράθυρο Spaces – Loads

#### 4.3.8 Θερμικές Ζώνες – Thermal Zones

Στην παρούσα καρτέλα ο χρήστης καθορίζει το σύστημα κλιματισμού που θα τροφοδοτεί την εκάστοτε θερμική ζώνη ή την ενεργοποίηση της εντολής **Ideal Air Loads**. Η εντολή αυτή δίνει την δυνατότητα της άμεσης εύρεσης φορτίων στους χώρους, χωρίς τον σχεδιασμό ενός συστήματος κλιματισμού και θέρμανσης. Ουσιαστικά, στην προσομοίωση, τίθεται σε λειτουργία ένα θεωρητικό σύστημα κλιματισμού, το οποίο όμως έχει μηδενικές απώλειες. Έτσι η ζήτηση των χώρων σε ενέργεια που προκύπτει μετά το πέρας της προσομοίωσης, αποτελεί την καθαρή ανάγκη των χώρων και κατ' επέκταση του κτηρίου σε ενέργεια.

Επίσης, στην καρτέλα αυτή μπορούν να καθοριστούν οι θερμοστάτες της εκάστοτε περιοχής, ενέργεια όμως ανούσια καθώς έχει ήδη περιγραφεί προηγουμένως.

Στο σημείο αυτό δεν είναι αναγκαία ή ανάθεση ενός συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού στους χώρους αυτούς, καθώς αυτό θα πραγματοποιηθεί στην επόμενη καρτέλα των συστημάτων HVAC.



Building\_34.5 Constant Speed Fans.osim\*

File Preferences Components & Measures Help

Thermal Zones										
Systems										
Name	All	Rendering Color	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule	Humidifying Setpoint Schedule	Dehumidifying Setpoint Schedule	Multiplier
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
Basement Storage	<input type="checkbox"/>	<span style="color: red;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Basement	Constant Volume No Reheat 1	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Corridor I9 I11	<input type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Ground Floor	Diffuser 24	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Corridor Stairs A6	<input type="checkbox"/>	<span style="color: brown;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 8	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Greenhouse I2	<input type="checkbox"/>	<span style="color: grey;">■</span>	<input type="checkbox"/>							1
Lobby I1 I3	<input type="checkbox"/>	<span style="color: magenta;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Ground Floor	Diffuser 25	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office A2	<input type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 9	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office A3	<input type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 10	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office A3-1	<input type="checkbox"/>	<span style="color: pink;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 11	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office A4	<input type="checkbox"/>	<span style="color: blue;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 12	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office A5	<input type="checkbox"/>	<span style="color: orange;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 13	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office I4	<input type="checkbox"/>	<span style="color: darkblue;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Ground Floor	Diffuser 26	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office I5	<input type="checkbox"/>	<span style="color: purple;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Ground Floor	Diffuser 27	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office I6	<input type="checkbox"/>	<span style="color: yellow;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Ground Floor	Diffuser 28	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Office I7	<input type="checkbox"/>	<span style="color: orange;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop Ground Floor	Diffuser 29	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1
Print Room I1	<input type="checkbox"/>	<span style="color: orange;">■</span>	<input type="checkbox"/>	Air Loop 1st Floor	Diffuser 14	Medium Office Cls5	Medium Office Hts5			1

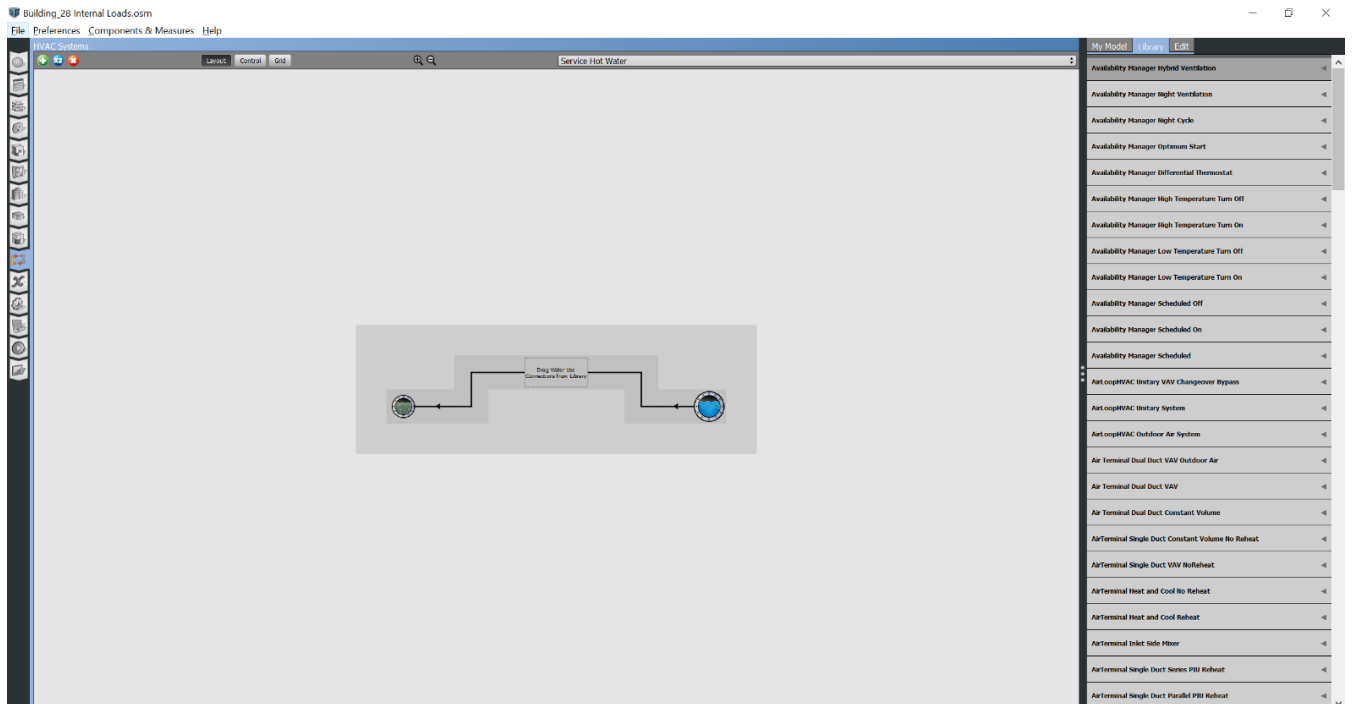
Εικόνα 4.55 : Παράθυρο Thermal Zones

#### 4.3.9 Συστήματα HVAC και Ζεστού Νερού Χρήσης

Στην καρτέλα αυτή δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάσει γραφικά τα συστήματα **HVAC** που βρίσκονται εγκατεστημένα στο κτήριο, καθώς και τα συστήματα Ζεστού Νερού Χρήσης (ΖΝΧ). Η συγκεκριμένη έκδοση OpenStudio (2.7.0) μας έδωσε την δυνατότητα να σχεδιαστούν όλα τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού χωρίς να χρειαστεί να προβούμε στο EnergyPlus. Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3.2.3 τα κυκλώματα που πρέπει να σχεδιαστούν είναι:

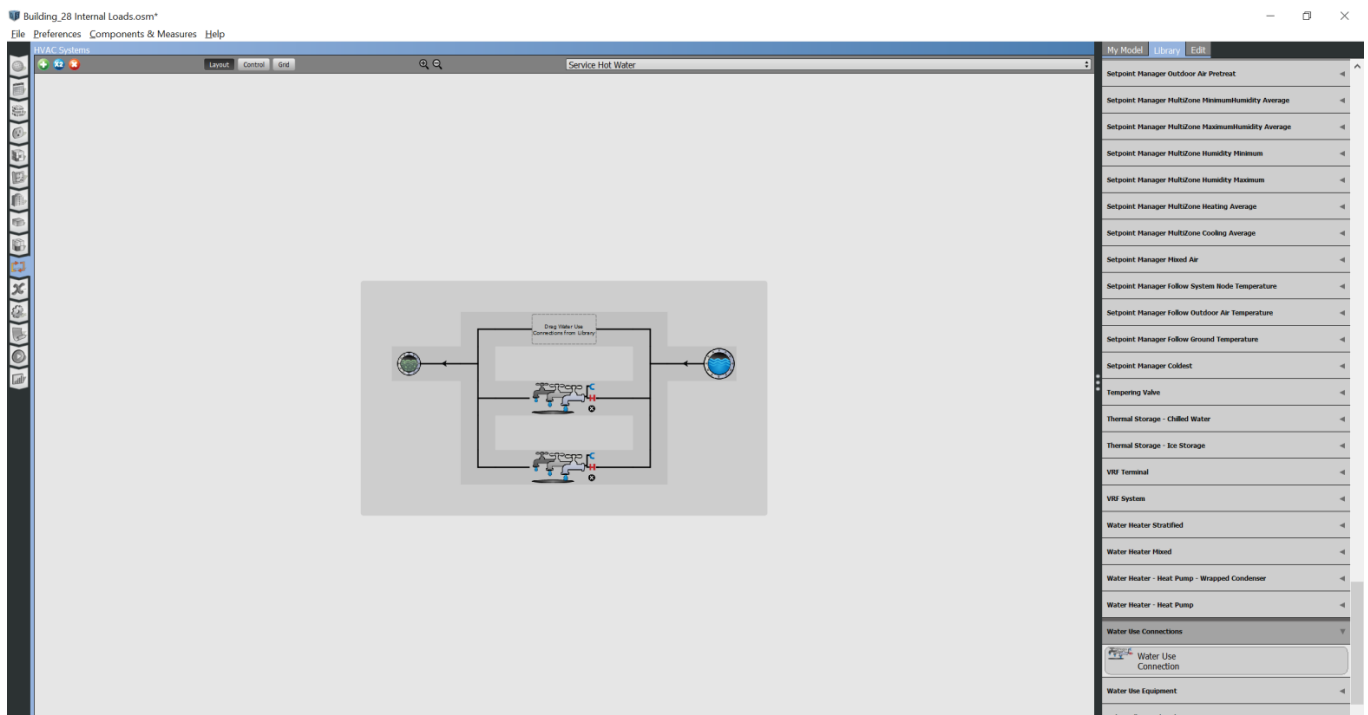
- Της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας νερού-νερού του Ισογείου
- Της αντλίας θερμότητας νερού-αέρος του Ορόφου
- Την αντλίας θερμότητας αέρος-αέρος του Υπογείου και
- Του Ζεστού Νερού Χρήσης

Το πρώτο και το πιο απλό σύστημα που καλούμαστε να σχεδιάσουμε αποτελεί το σύστημα του ζεστού νερού χρήστη του κτηρίου, που είναι και το πρώτο που εμφανίζεται.



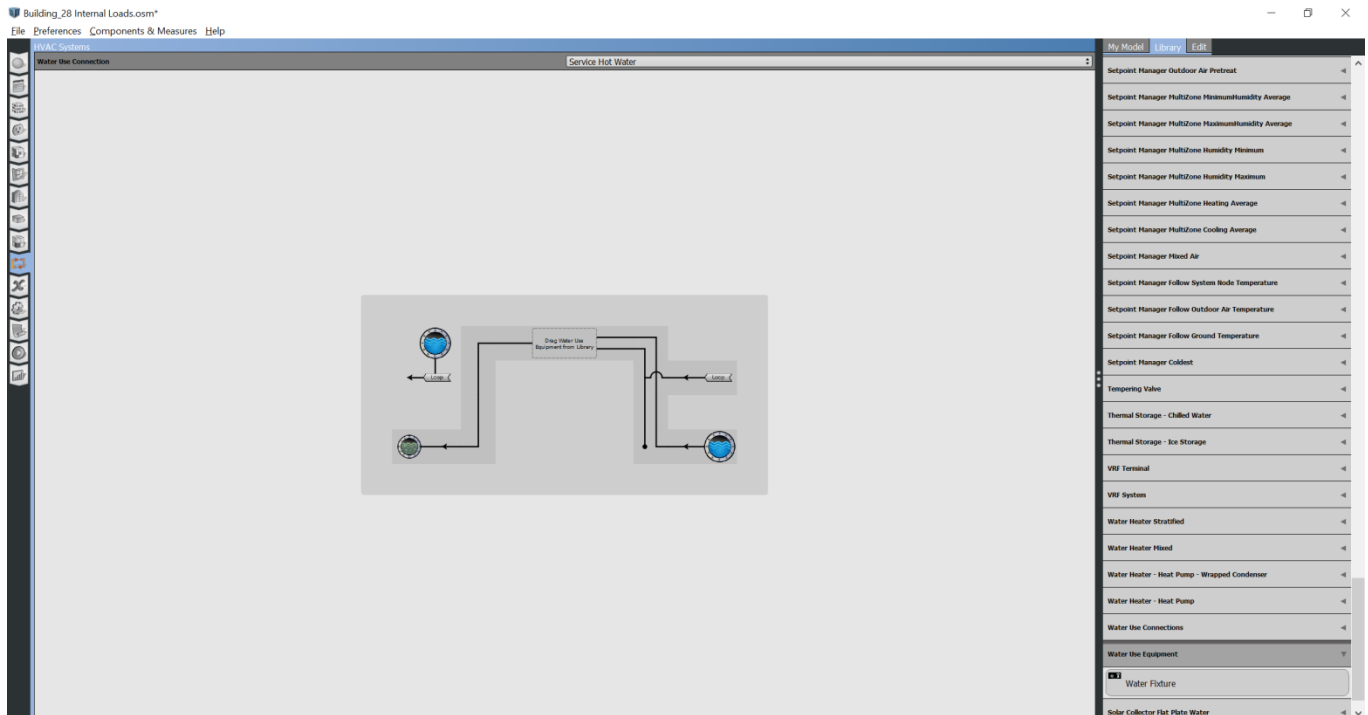
Εικόνα 4.56 : Παράθυρο HVAC – Κύκλωμα Ζεστού Νερού Χρήσης – Service Hot Water

Αρχικά από την δεξιά μπάρα, στην υπο-καρτέλα Library, επιλέγουμε την κατηγορία **Water Use Connections** και με τη διαδικασία Drag and Drop εισάγουμε στο κύκλωμα δύο **Water Use Connections** που αφορούν τα δύο μπάνια του Ισογείου και του Ορόφου, όπως φαίνεται παρακάτω.

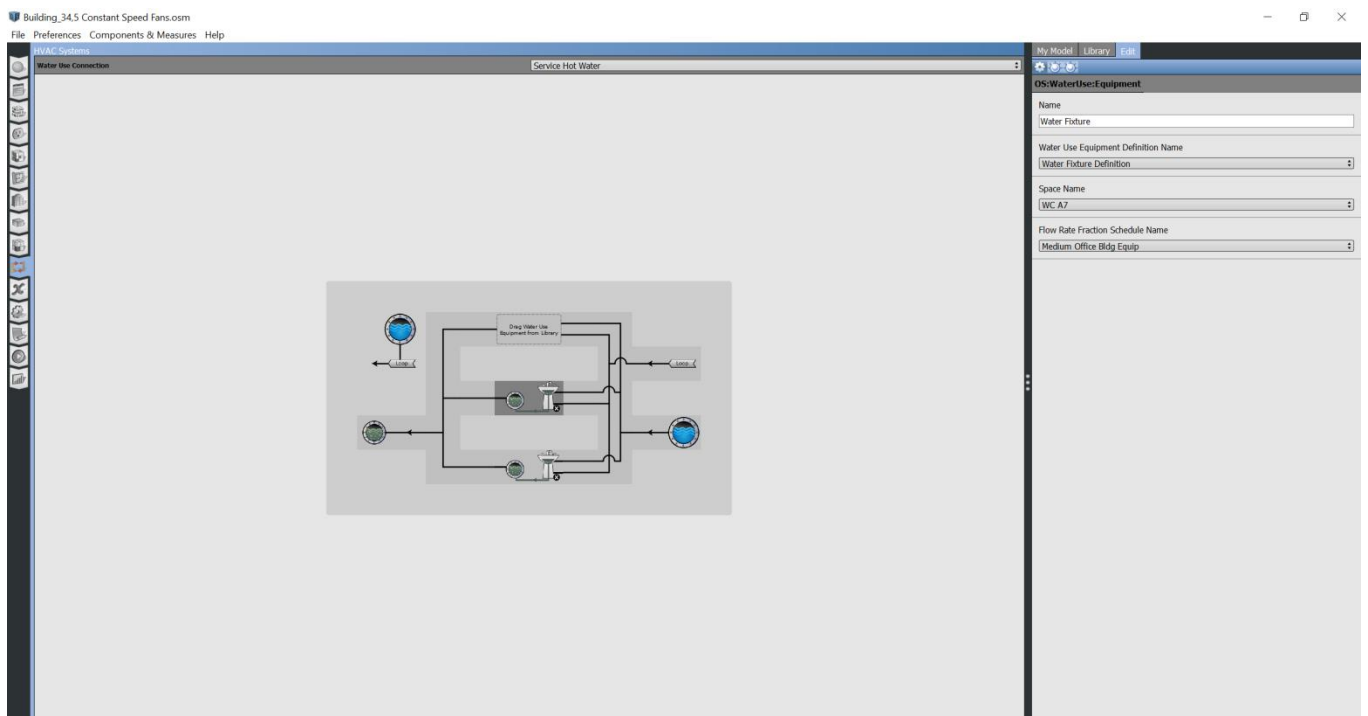


Εικόνα 4.57 : Παράθυρο HVAC – Εισαγωγή Water Use Connections

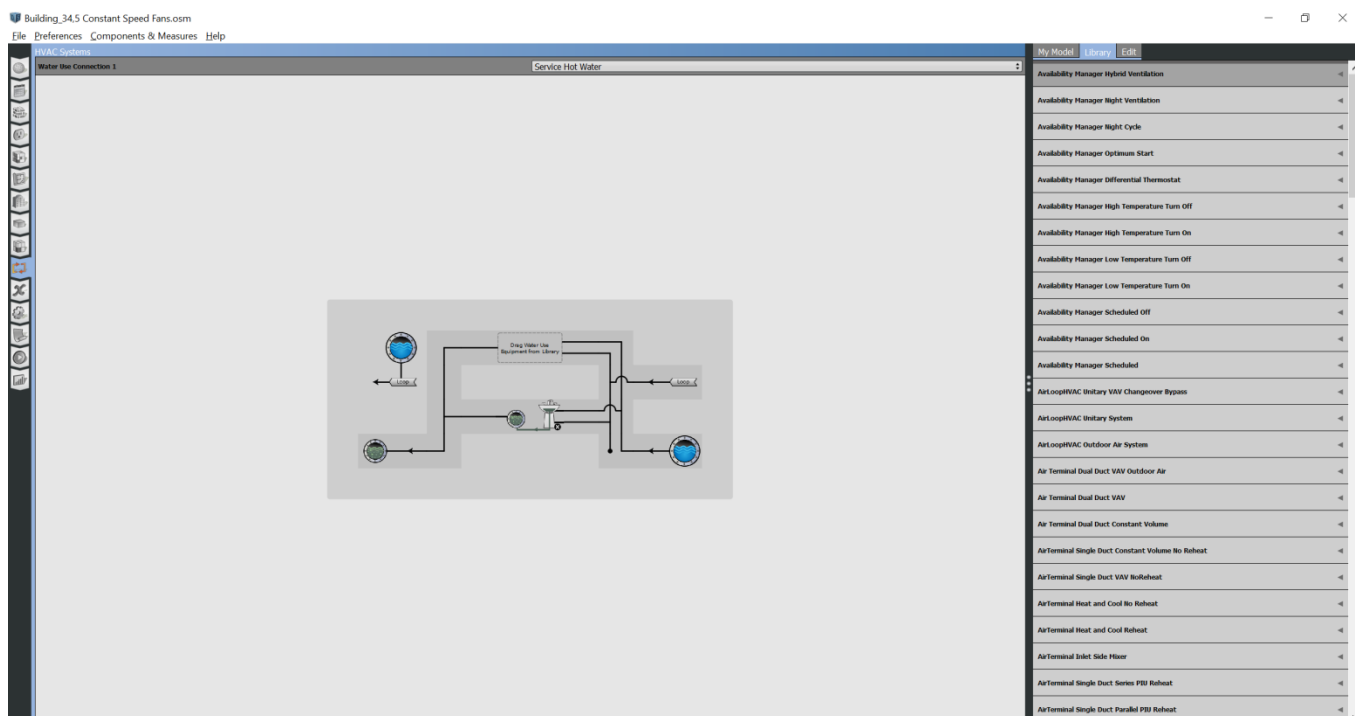
Στη συνέχεια επιλέγουμε, ένα από τα δύο στοιχεία και μεταφερόμαστε στο παρακάτω κύκλωμα που αφορά τα στοιχεία του εκάστοτε μπάνιου. Με την ίδια διαδικασία με πριν, από την ομάδα **Water Use Equipment**, εισάγουμε δύο **Water Fixture** στο κύκλωμα που αφορούν τους δύο νιπτήρες του Ορόφου και το ίδιο γίνεται, με έναν νιπτήρα, για το μπάνιο του Ισογείου.



Εικόνα 4.58 : Παράθυρο HVAC – Κύκλωμα Συστημάτων ZNX




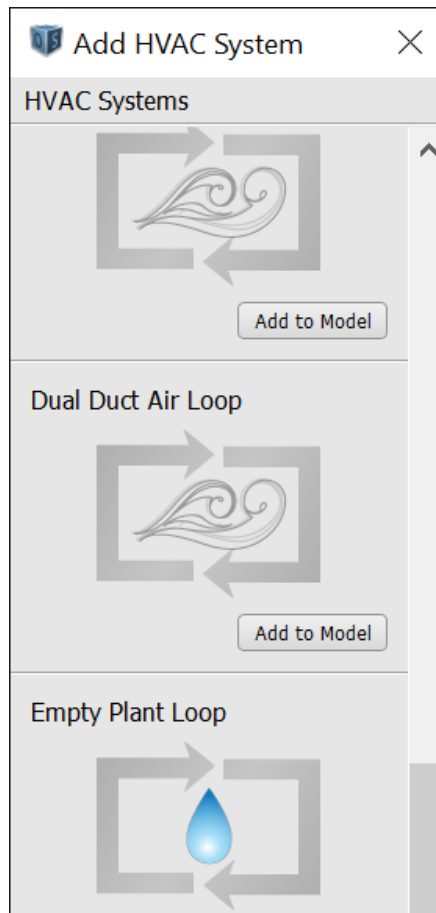
Εικόνα 4.59 : Παράθυρο HVAC – Εισαγωγή Water Fixture Ορόφου



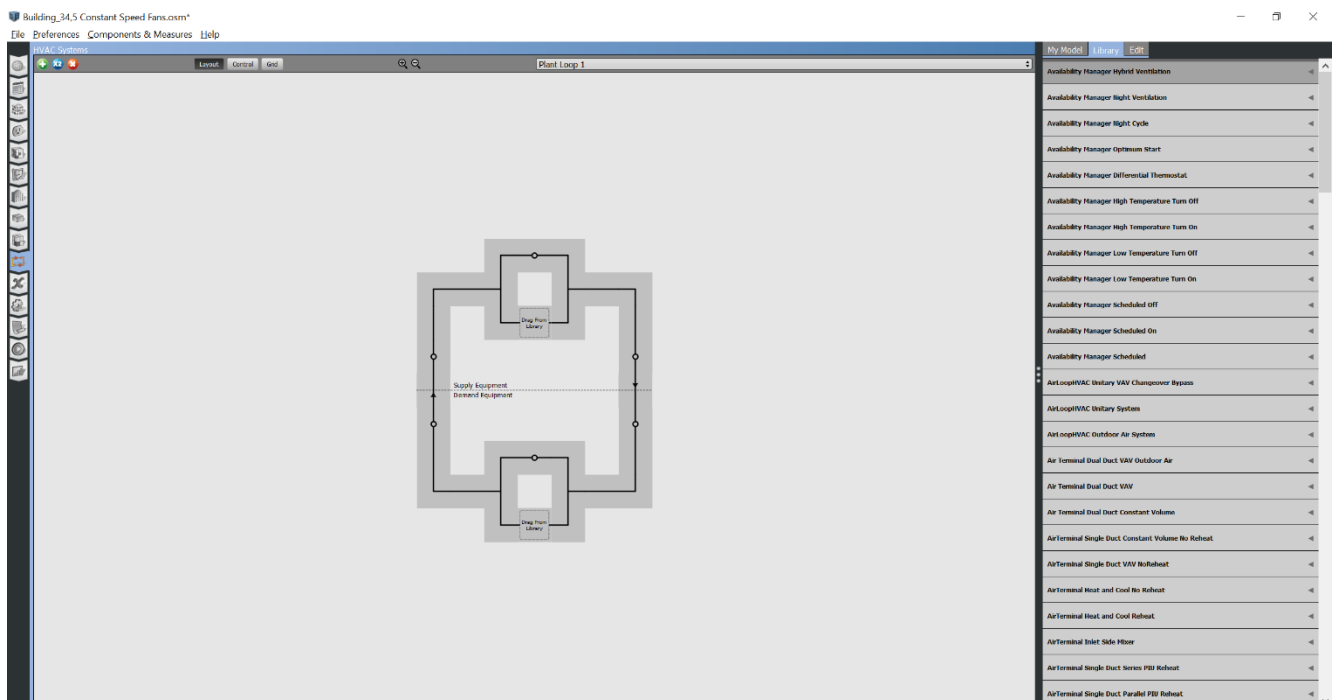
Εικόνα 4.60 : Παράθυρο HVAC – Εισαγωγή Water Fixture Ισογείου

Για το κάθε Water Fixture ,στην τρίτη κατά σειρά υπο-καρτέλα **Edit**, εφόσον αναφερόμαστε σε νιπτήρες, η γραμμή *Water Use Equipment Definition Name* δεν επεξεργάζεται καθώς λαμβάνει την προκαθορισμένη τιμή της από το πρόγραμμα, στην γραμμή *Space Name* επιλέγεται το ένα μπάνιο του Ορόφου ( WC A7) ενώ για την γραμμή *Flow Rate Fraction Schedule Name* επιλέγεται το χρονοδιάγραμμα Medium Office Bldg Equip ( Medium Office Building Equipment) . Αντίστοιχα γίνεται και με τους άλλους δύο νιπτήρες με την διαφορά ότι στην γραμμή *Space Name* επιλέγονται τα άλλα δύο μπάνια ( WC A8 και WC110) αντίστοιχα. Αναφορικά, οι ονομασίες όλων των δωματίων του κτηρίου έγιναν με βάση τις αντίστοιχες των αρχιτεκτονικών σχεδίων.

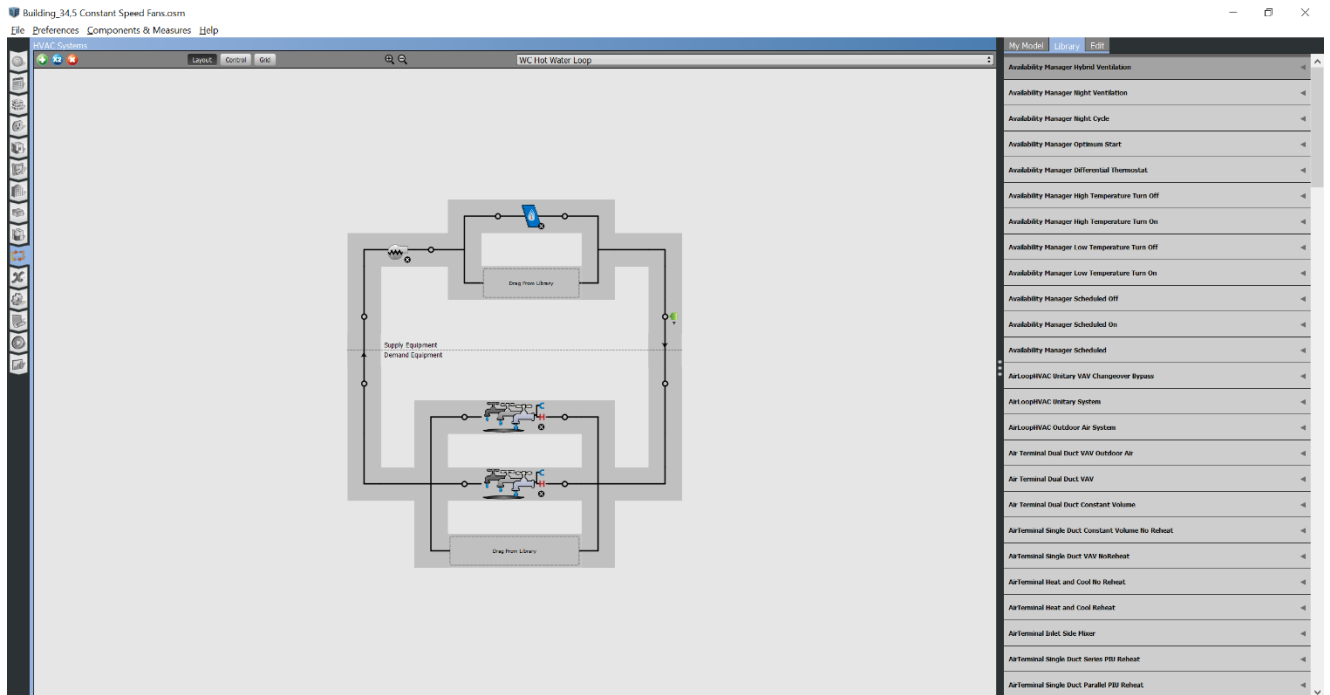
Τέλος, πρέπει να κατασκευάσουμε το κύκλωμα του ζεστού νερού καθώς και στοιχεία από τα οποία παρέχεται. Με την εντολή **Add HVAC System**  εμφανίζεται το παράθυρο της Εικόνας 4.61 και επιλέγεται η προσθήκη ενός *Empty Plant Loop*. Στο παράθυρο που εμφανίζεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.62, εισάγονται στο *Demand Equipment* ,από την υπο-καρτέλα **My Model** στα δεξιά, τα δύο *Water Use Connections* , ενώ στο *Supply Equipment* ένας *Solar Collector Flat Plate Water* , ένας αισθητήρας *Setpoint Manger – Scheduled* και μια αντλία μεταβλητών στροφών ( *Variable Speed Pump*) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.63.



Εικόνα 4.61 : Παράθυρο Add HVAC System




Εικόνα 4.62 : Εισαγωγή Empty Plant Loop




Εικόνα 4.63 : Ολοκληρωμένο κύκλωμα ζεστού νερού

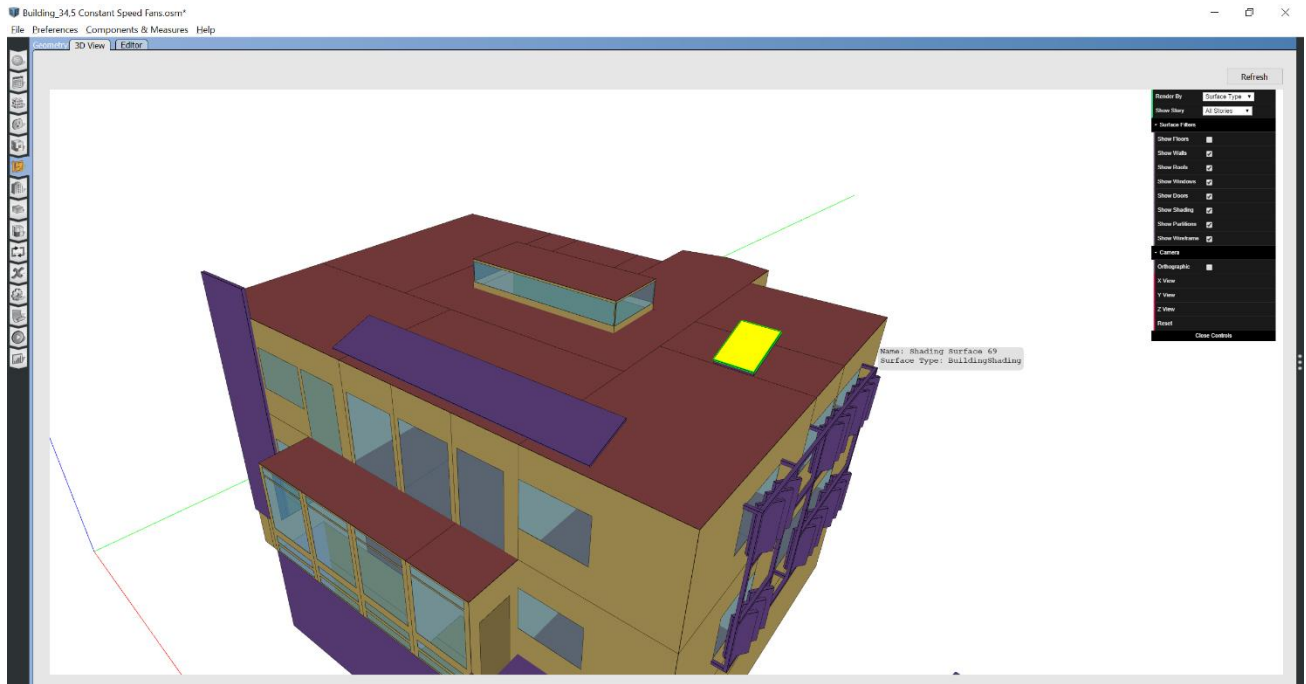
Από τα στοιχεία που εισάχθηκαν πρώτα επεξεργάζεται ο ηλιακός συλλέκτης όπου πρέπει να επιλεγεί η επιφάνεια σκίασης στην οποία βρίσκεται. Στο παρόν κτήριο η επιφάνεια αυτή είναι η *Shading Surface 69*. Το παράθυρο επεξεργασίας φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 4.64. Όσον αφορά τον αισθητήρα στο πεδίο *Control Variable* επιλέχθηκε η επιλογή *Temperature* και στο πεδίο *Schedule Name* το *WC Water Temp*.

Σε αυτό το σημείο, παρατηρούμε ότι στο παράθυρο των *Water Fixture*, όπως φαίνεται


στην Εικόνα 4.60 με την επιλογή της εντολής *Loop*  μεταφερόμαστε αυτόματα στο κύκλωμα του ζεστού νερού της Εικόνας 4.63. Αυτό συμβαίνει γιατί τα *Water Use Connections* που επιλέχθηκαν δεν ήταν «καινούργια» από την βιβλιοθήκη αλλά από την υπο-καρτέλα *My Model* όπως και θα έπρεπε. Με αυτή τη διαδικασία ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί γρήγορα μεταξύ των κυκλωμάτων θέρμανσης και ψύξης χωρίς να χρειαστεί να ψάξει το κύκλωμα που τον ενδιαφέρει από την πάνω δεξιά μπάρα, εργαλείο πολύ χρήσιμο στην περίπτωση μεγάλου αριθμού κυκλωμάτων όπως εδώ.

My Model   Library   Edit	
	
<b>OS:SolarCollector:FlatPlate:Water</b>	
Name	Solar Collector Flat Plate Water 1
Surface Name	Shading Surface 69
Maximum Flow Rate	<input type="text"/> m <sup>3</sup> /s
<b>OS:SolarCollectorPerformance:FlatPlate</b>	
Name	Alternate Energy Technologies AE-32 1
Gross Area	2.9646 m <sup>2</sup>
Test Fluid	Water
Test Flow Rate	3.88e-005 m <sup>3</sup> /s
Test Correlation Type	Inlet
Coefficient 1 of Efficiency Equation	0.691
Coefficient 2 of Efficiency Equation	-0.00193 W/m <sup>2</sup> ·K
Coefficient 3 of Efficiency Equation	<input type="text"/> W/m <sup>2</sup> ·K <sup>2</sup>
Coefficient 2 of Incident Angle Modifier	-0.1939
Coefficient 3 of Incident Angle Modifier	-0.0055

Εικόνα 4.64 : Παράθυρο επεξεργασίας ηλιακού συλλέκτη



Εικόνα 4.65 : Εξακρίβωση της σωστής επιλογής της επιφάνειας μέσω της καρτέλας *Geometry*

Στη συνέχεια, σειρά έχει η δημιουργία των κυκλωμάτων της αντλίας θερμότητας νερού-νερού για την θέρμανση και την ψύξη του Ισογείου. Αρχικά, θα κατασκευάσουμε το κύκλωμα του συμπιεστή της ψύξης. Με την εντολή **Add HVAC System**  εισάγουμε ένα *Empty Plant Loop*.

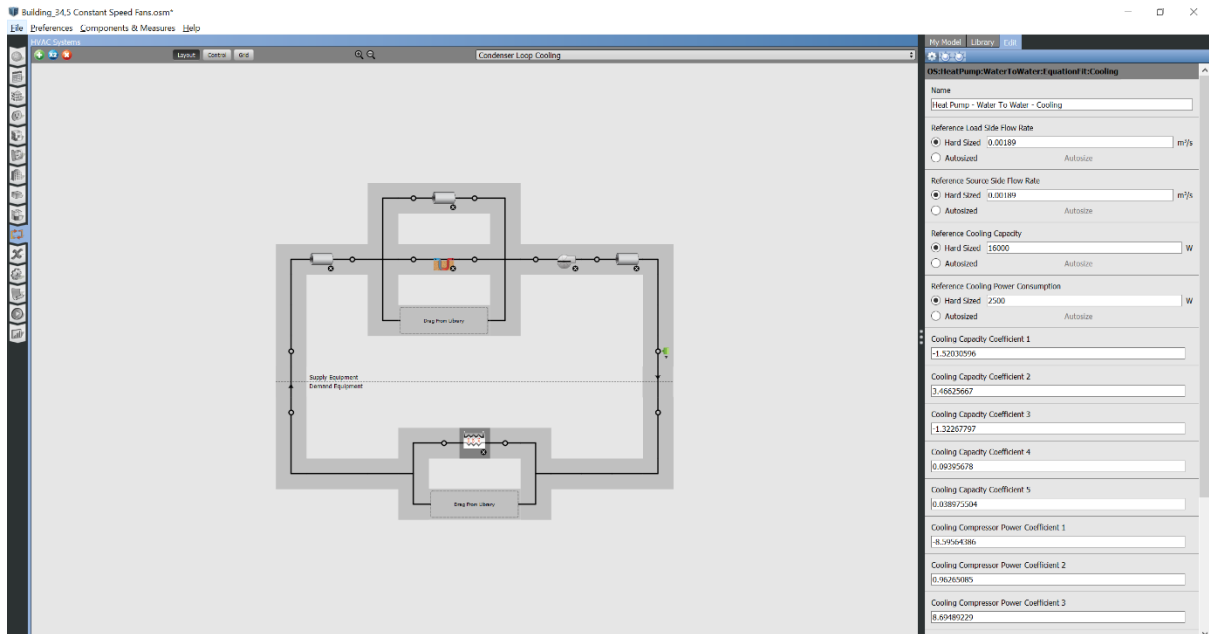
Από την βιβλιοθήκη στα δεξιά με την διαδικασία του *Drag and Drop* προστίθενται τα ακόλουθα στοιχεία:

Στο *Supply Equipment* προσθέτουμε μία αντλία σταθερών στροφών (*Constant Speed Pump*), τον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητα (*Ground Heat Exchanger – Vertical*) που θεωρήθηκε μια καλή προσέγγιση της γεώτρησης και έναν αισθητήρα για τη λειτουργία του κυκλώματος μόνο όποτε χρειάζεται ψύξη με βάση το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα. (*Setpoint Manager – Scheduled*). Στη συνέχεια στην καρτέλα **Edit** της γεώτρησης επεξεργάστηκε το βάθος της και το αυξήσαμε στα 80m όπως αναφέρεται, ενώ στον αισθητήρα στο πεδίο *Control Variable* επιλέχθηκε η επιλογή *Temperature* και στο πεδίο *Schedule Name* το *Medium Office ClgSetp*.

Στο *Demand Equipment* προσθέτουμε μόνο μια *Heat Pump - Water To Water – Cooling*, εφόσον στην παρούσα φάση κατασκευάζουμε το κύκλωμα ψύξης και επεξεργαζόμαστε στην καρτέλα **Edit** την γραμμή *Reference Cooling Capacity* και προσθέτουμε τον αριθμό 16000 W, δηλαδή την ψυκτική ισχύ της αντλίας σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3.2.3.

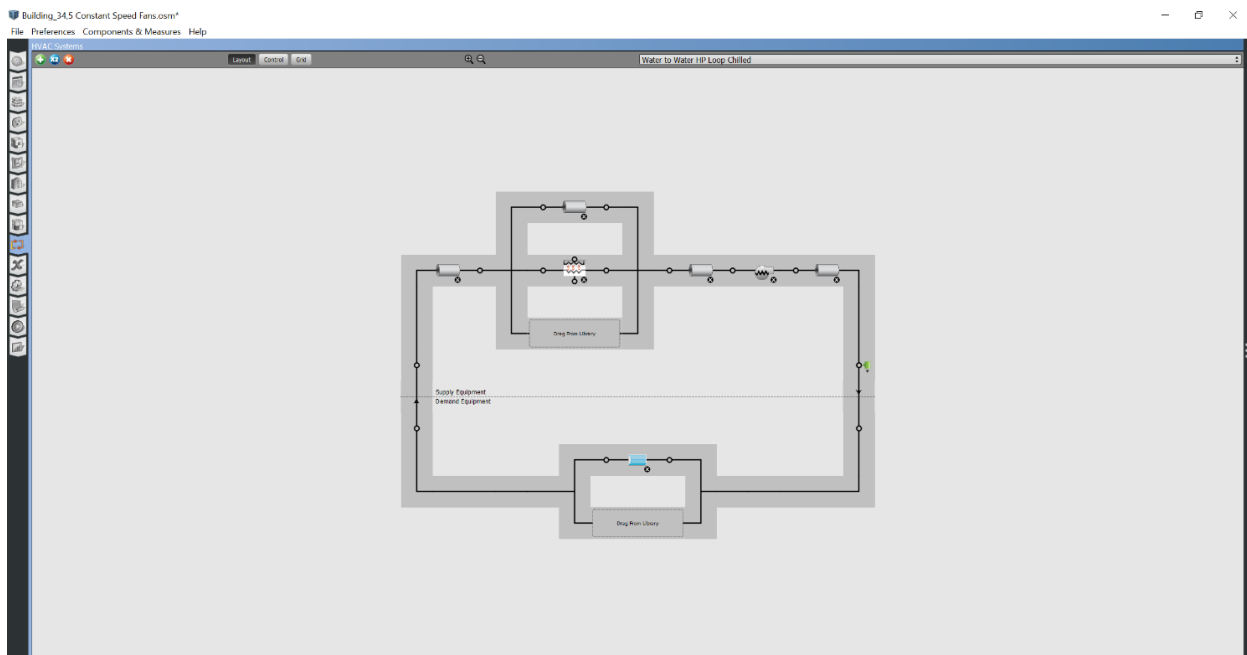
Το κύκλωμα που προκύπτει είναι το παρακάτω:





Εικόνα 4.66 : Κύκλωμα Συμπυκνωτή αντλίας νερού-νερού για την ψύξη

Εφόσον δημιουργήθηκε το κύκλωμα του συμπιεστή , τώρα σειρά έχει το κύκλωμα του εξατμιστή ( Evaporator). Με την ίδια διαδικασία με πριν εισάγουμε ένα κενό κύκλωμα νερού, με τη διαφορά ότι στο παρόν κύκλωμα, η *Heat Pump - Water To Water – Cooling* (από την υπο-καρτέλα **My Model** εφόσον έχει ήδη εισαχθεί σε προηγούμενο κύκλωμα και μιλάμε για την ίδια αντλία) εισάγεται στο *Supply Equipment* ενώ στο *Demand Equipment* από το **Library** εισάγεται , από την κατηγορία *Coil Cooling Water*, ένα *CHW Clg Coil* ( Chilled Water Cooling Coil) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.67.




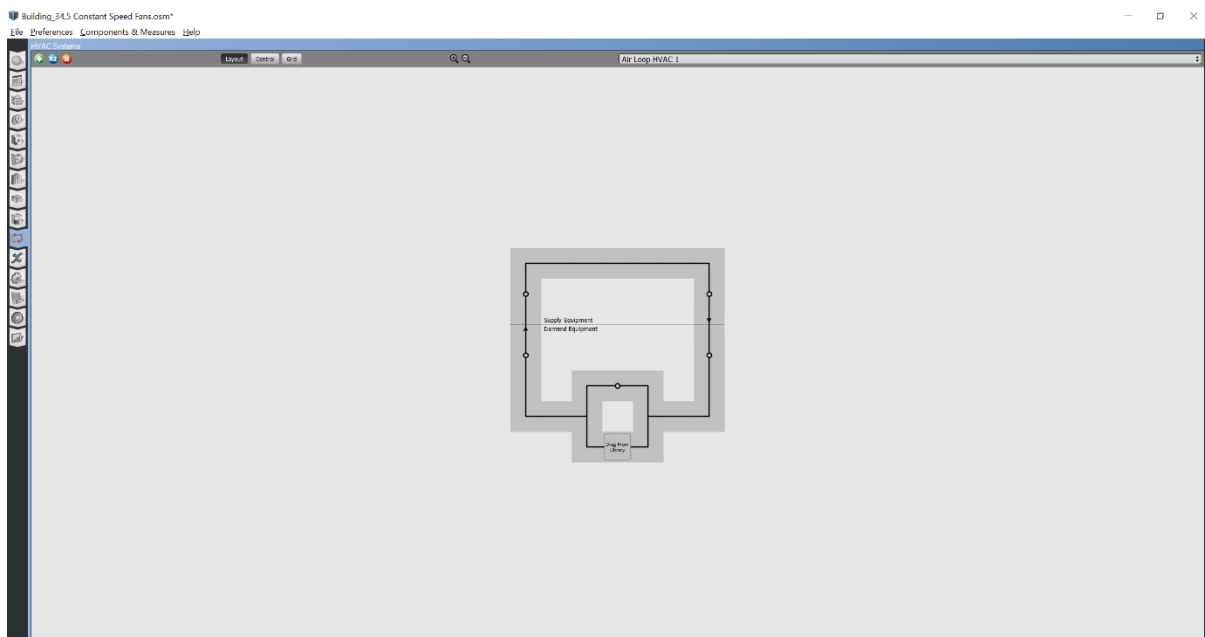
Εικόνα 4.67 : Κύκλωμα Εξατμιστή αντλίας νερού-νερού για την ψύξη

Για τα κυκλώματα του Συμπιεστή και του Εξατμιστή της αντλίας νερού-νερού για την θέρμανση, η διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια με της εξής διαφορές :


- Όπου εισάχθηκε *Heat Pump - Water To Water – Cooling* επιλέγεται *Heat Pump - Water To Water – Heating*,
- Στην επεξεργασία της αντλίας θερμότητας, στο πεδίο *Reference Heating Capacity* εισάγεται ο αριθμός 17500 W ( σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3.2.3),
- Στους αισθητήρες στο πεδίο *Schedule Name* επιλέγεται το *Medium Office HtgSetp* (Heating Setpoint) και
- Στο τελευταίο κύκλωμα αντί της εισαγωγής ,από την κατηγορία *Coil Cooling Water*, ενός *CHW Clg Coil* ( Chilled Water Cooling Coil), προσθέτουμε , από την κατηγορία *Coil Heating Water*, ένα *HW Heating Coil* (Hot Water Heating Coil).

Με την δημιουργία και των κυκλωμάτων θέρμανσης της αντλίας θερμότητας νερού – νερού το μόνο που απομένει για την ολοκλήρωση του συστήματος HVAC του Ισογείου είναι το κύκλωμα διανομής του αέρα.

Μέσω της εντολής **Add HVAC System**  εισάγεται ένα Empty Air Loop όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



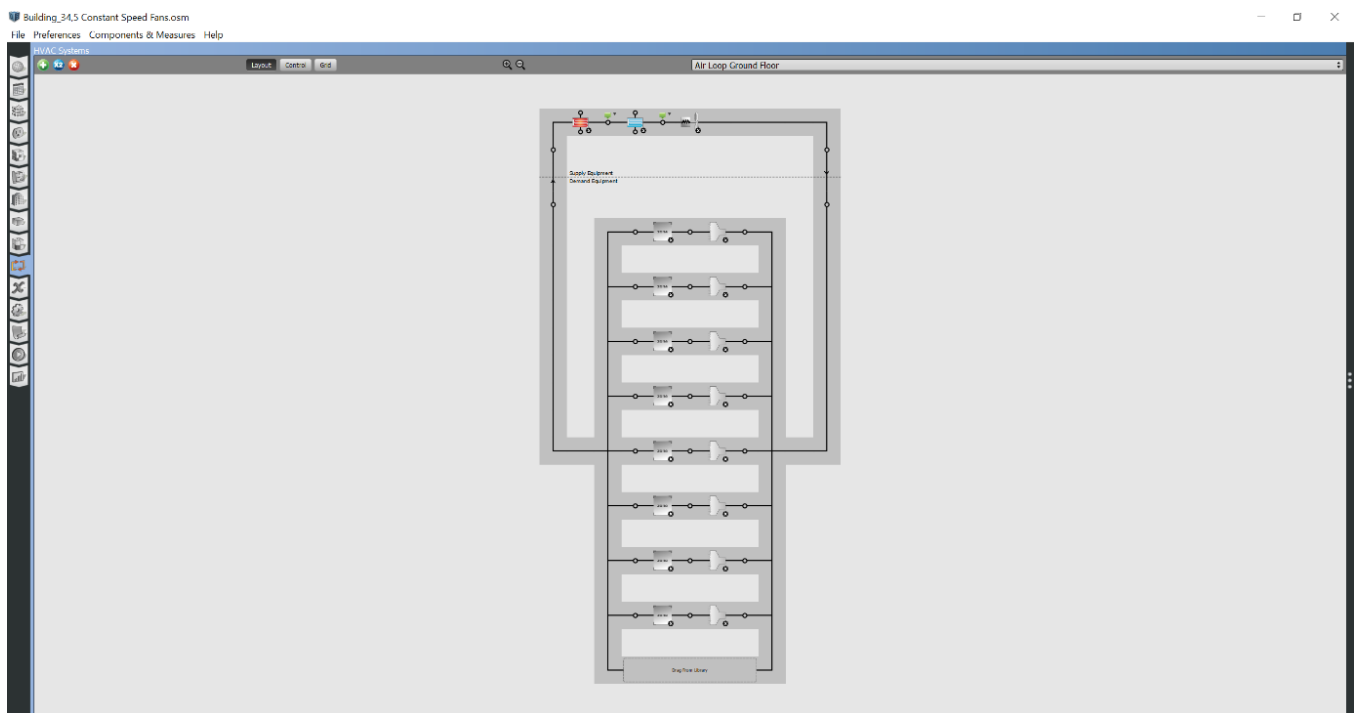
Εικόνα 4.68 : Εισαγωγή Empty Air Loop

Έπειτα, στο *Supply Equipment* από την υπο-καρτέλα **My Model** στα δεξιά, από τις υποκατηγορίες *Coil Cooling Water* και *Coil Heating Water* αντίστοιχα, εισάγονται τα πηνία (Coils, μπλε για Colling και κόκκινο για Heating) και στα ακριβώς επόμενα *Nodes*  από αυτά προστίθενται τα αντίστοιχα Setpoint Manager που επιλέχθηκαν στα αντίστοιχα κυκλώματα. Δηλαδή, μετά το πηνίο θέρμανσης τοποθετείται ένα *Setpoint Manager*

*Scheduled* με *Medium Office HtgSetp* ενώ μετά το πηνίο ψύξης τοποθετείται ένα *Setpoint Manager Scheduled* με *Medium Office ClgSetp*. Προστίθεται επίσης, από την καρτέλα **Library** ένας Ανεμιστήρας Μεταβλητών Στροφών (*Variable Speed Fan*) από την κατηγορία *Fan Variable Volume*.

Στο Demand Equipment προστίθενται, αρχικά μέσω Drag and Drop από την υπο-καρτέλα **My Model** και την κατηγορία *Thermal Zones*, μια τυχαία θερμική ζώνη του Ισογείου και στο *Node* στα δεξιά της ,από το **Library** και την κατηγορία *Air Terminal Single Duct Constant Volume*, ένα τερματικό τύπου *Diffuser*. Στη συνέχεια με την επιλογή του σημείου διαχωρισμού του αέρα προς τις θερμικές ζώνες, εμφανίζεται στα δεξιά ένα παράθυρο με όλες τις θερμικές ζώνες και επιλέγονται όλες εκείνες που ανήκουν στο Ισόγειο. Εφόσον, προηγουμένως είχαμε εισάγει ήδη μια θερμική ζώνη και ένα τερματικό, το πρόγραμμα προσθέτει αυτόματα και τα υπόλοιπα τερματικά χωρίς να χρειαστεί να τα προσθέσει ένα – ένα ξεχωριστά.

Το κύκλωμα που προκύπτει φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



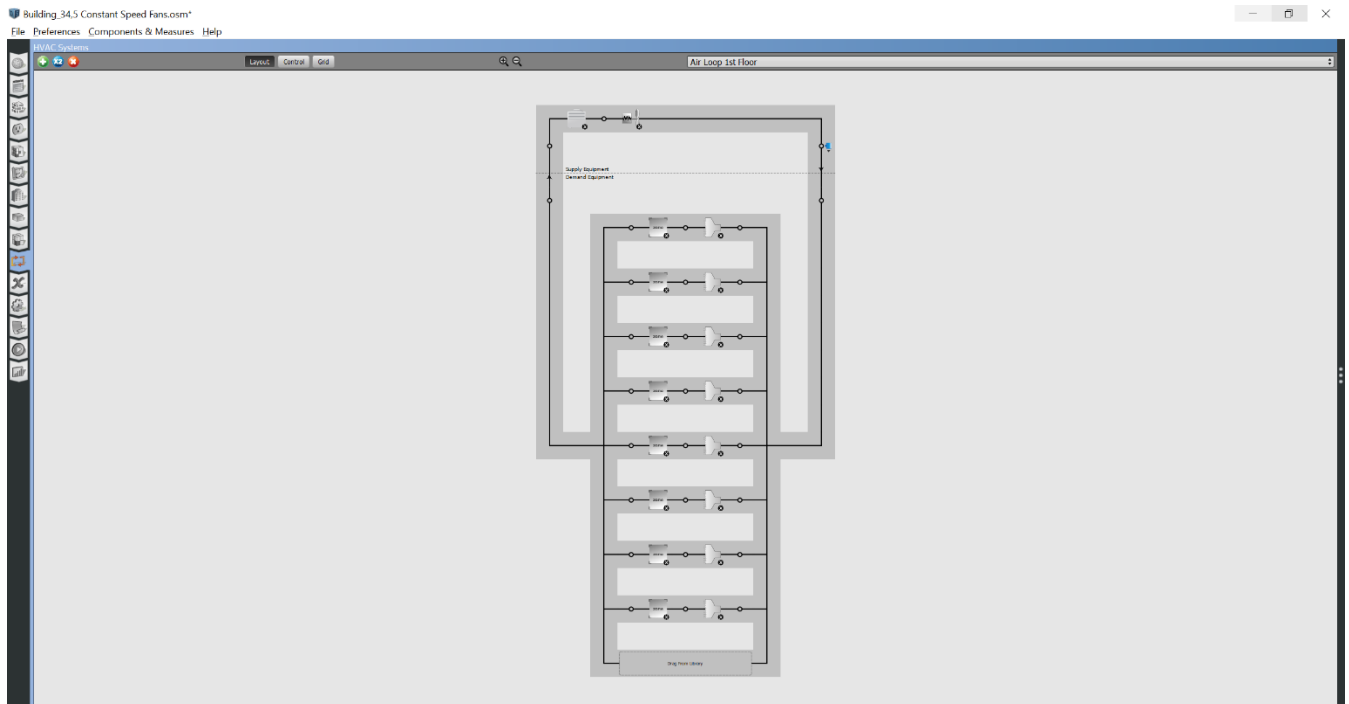
Εικόνα 4.69 : Κύκλωμα αέρα Ισογείου

Τα *Nodes* που φαίνονται στο επάνω μέρος των *Coils*, όπως και στα προηγούμενα κυκλώματα με τα *Water to Water Heat Pump*, χρησιμεύουν για την γρήγορη μεταφορά του χρήστη από κύκλωμα σε κύκλωμα και εμφανίζονται όταν εισάγεται ένα ήδη υπάρχον στοιχείο μέσω της υπο-καρτέλας **My Model**.

Το επόμενο σύστημα HVAC που θα σχεδιάσουμε είναι της αντλίας αέρος – νερού που τροφοδοτεί τις θερμικές ζώνες του Ορόφου. Συγκριτικά με το προηγούμενο, ήταν πιο πολύπλοκο καθώς ο σχεδιασμός του δεν γίνεται με τον απλό και ευθύ τρόπο που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρόγραμμα δεν επιτρέπει την

εισαγωγή ενός Water to Air Heat Pump ούτε σε ένα κύκλωμα νερού αλλά ούτε και σε ένα κύκλωμα αέρα.

Αναλυτικότερα, ο σχεδιασμός ξεκινάει «ανάποδα» με πρώτο το κύκλωμα αέρα. Προσθέτουμε αρχικά ένα *Empty Air Loop* τοποθετούμε τα *Thermal Zones* και τα *Diffusers* στο *Demand Equipment* όπως προηγουμένως. Στη συνέχεια, στο *Supply Equipment* μέσω του **Library** προσθέτουμε, από την κατηγορία *AirLoopHVAC Unitary System*, ένα *Unitary - WaterToAir Heat Pump - Cycling - Elec reheat*, έναν *Variable Speed Fan* ,όπως πριν, και έναν αισθητήρα *Single Zone Reheat Temp* από την κατηγορία *Setpoint Manager Single Zone Reheat*. Στο στοιχείο *Unitary* η μόνη επεξεργασία που γίνεται στην υπο-καρτέλα **Edit** είναι στο πεδίο *Controlling Zone or Thermostat Location*, όπου επιλέγεται μια θερμική ζώνη γενικής χρήσης του Ορόφου, όπως ο διάδρομος (Corridor Stairs A6) που επιλέχθηκε εδώ. Για τον αισθητήρα του κυκλώματος στο πεδίο *Minimum Supply Air Temperature* δίνεται η τιμή 14°C , για το πεδίο *Maximum Supply Air Temperature* ή τιμή 40°C, ενώ στην γραμμή *Control Zone Name* επιλέγεται η ίδια θερμική ζώνη που επιλέχθηκε στο *Unitary*, με σκοπό τον συγχρονισμό και την σωστή λειτουργία και των δύο. Ο αισθητήρας, παρόλο που ονομάζεται *Single Zone Reheat* ,περιλαμβάνει πολλαπλές ζώνες χωρίς αναθέρμανση γεγονός όμως που δεν επηρεάζει την σωστή λειτουργία του συστήματος. Το κύκλωμα που δημιουργήθηκε φαίνεται παρακάτω:

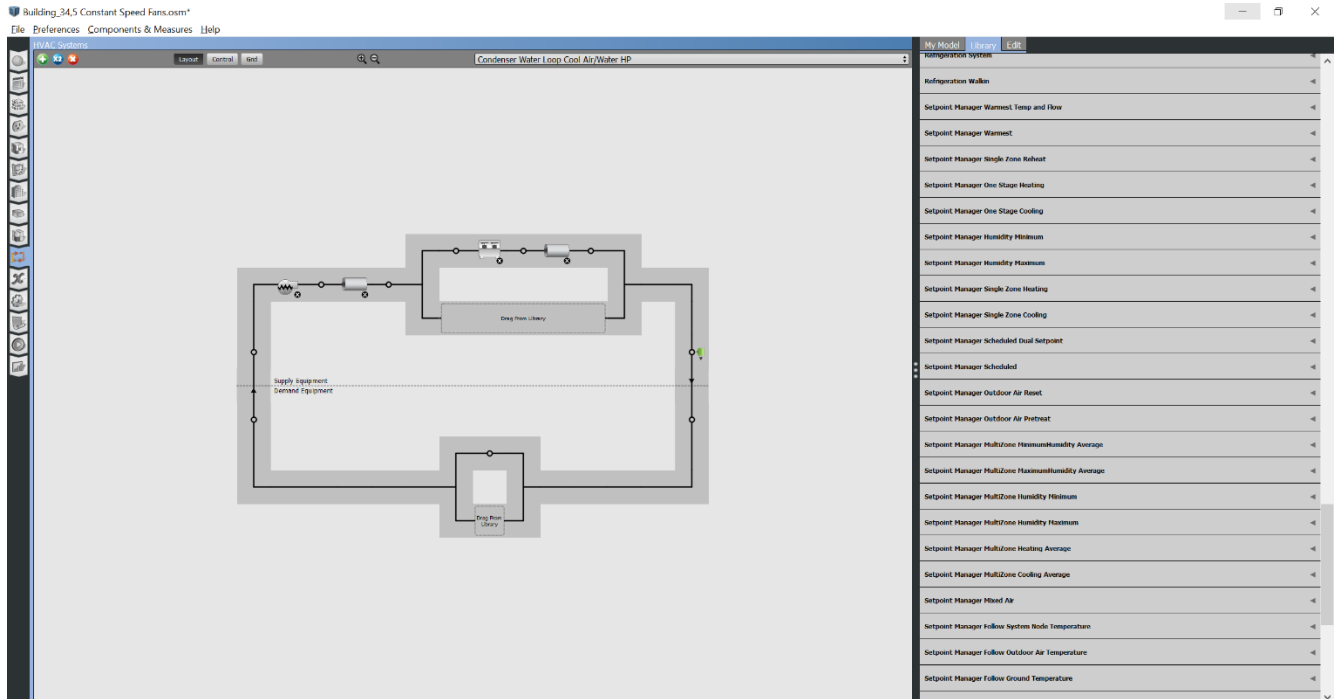


Εικόνα 4.70 : Κύκλωμα αέρα Ορόφου

Στη συνέχεια εισάγουμε δύο *Empty Plant Loop*:

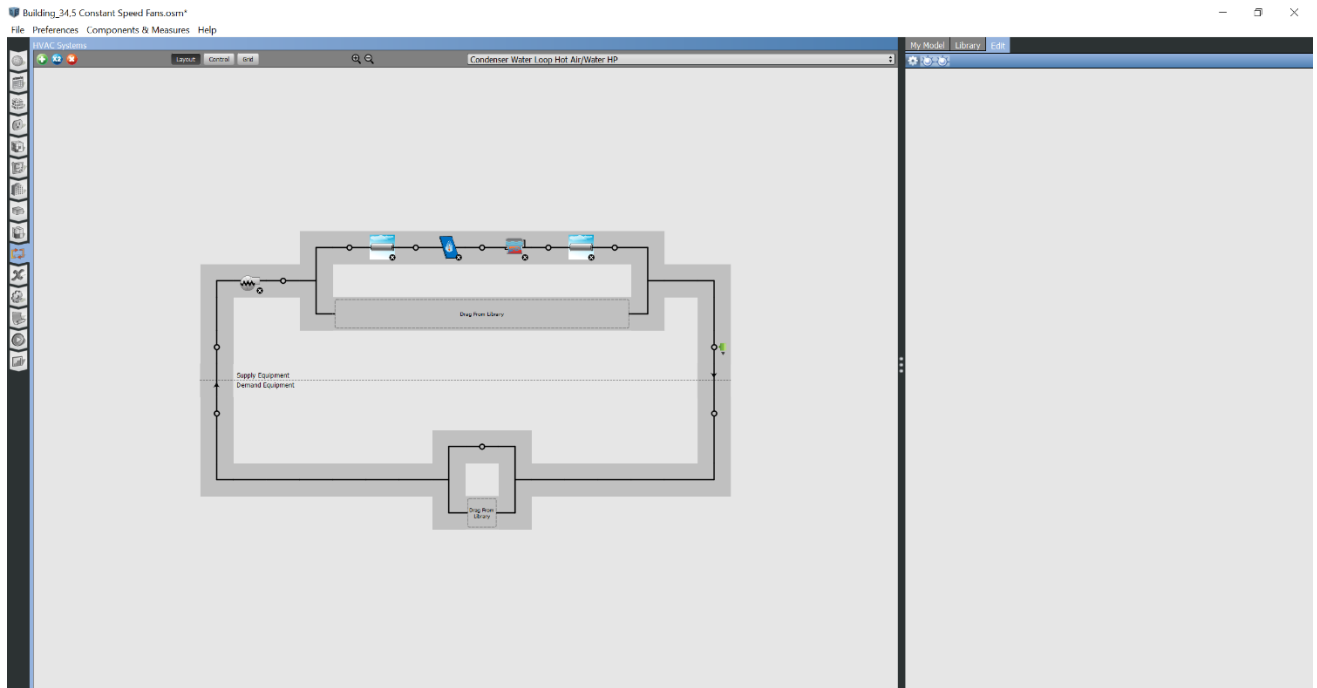
Στο πρώτο, που θα αποτελέσει το κύκλωμα νερού ψύξης της αντλίας θερμότητας, εισάγουμε όπως πριν στο *Supply Equipment* μια αντλία μεταβλητών στροφών (*Variable*

*Speed Pump*) και έναν αισθητήρα *Setpoint Manager Scheduled* με την διαφορά ότι εδώ επιλέγεται ο *Scheduled CHW Temp* (Chilled Water Temperature). Επίσης, εισάγεται από την κατηγορία *Chiller Electric – EIR* ένας *Chiller Air Cooled* για την παραγωγή του κρύου νερού του κύκλωματος όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:




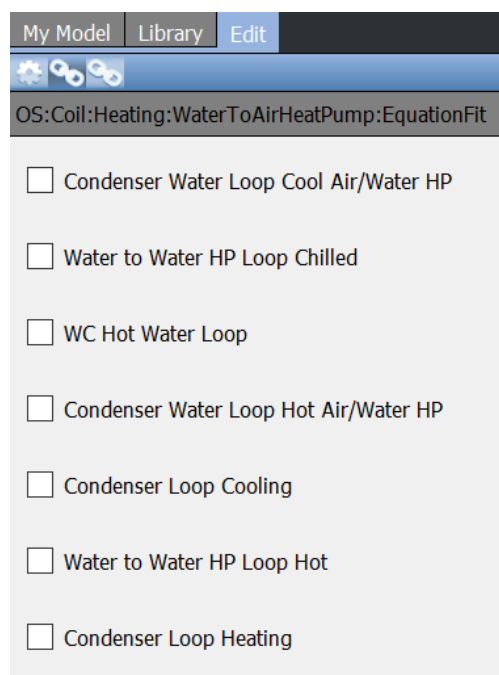
Εικόνα 4.71 : Κύκλωμα νερού ψύξης της αντλίας αέρα – νερού

Παρόμοια διαδικασία γίνεται και στο δεύτερο κύκλωμα που θα αποτελέσει το κύκλωμα του ζεστού νερού. Οι διαφορές με το προηγούμενο κύκλωμα είναι ότι αντί για *Scheduled CHW Temp* επιλέγεται *Scheduled HW Temp* και στη θέση του Chiller τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες και ένα Boiler. Για τους ηλιακούς συλλέκτες στη γραμμή *Surface Name* επιλέγεται η αντίστοιχη που σχεδιάστηκε (*Shading Surface 63*) ενώ στο πεδίο *Gross Area* πληκτρολογείται ο αριθμός 17 που αφορά το εμβαδόν των συλλεκτών, όπως αυτό περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.2.3. Όσον αφορά το Boiler, εφόσον δεν έχουμε ακριβείς μετρήσεις, η μόνη επεξεργασία που γίνεται είναι στη γραμμή *Fuel Type* όπου επιλέγεται το καύσιμο *Electricity*. Το κύκλωμα που προκύπτει είναι το παρακάτω:



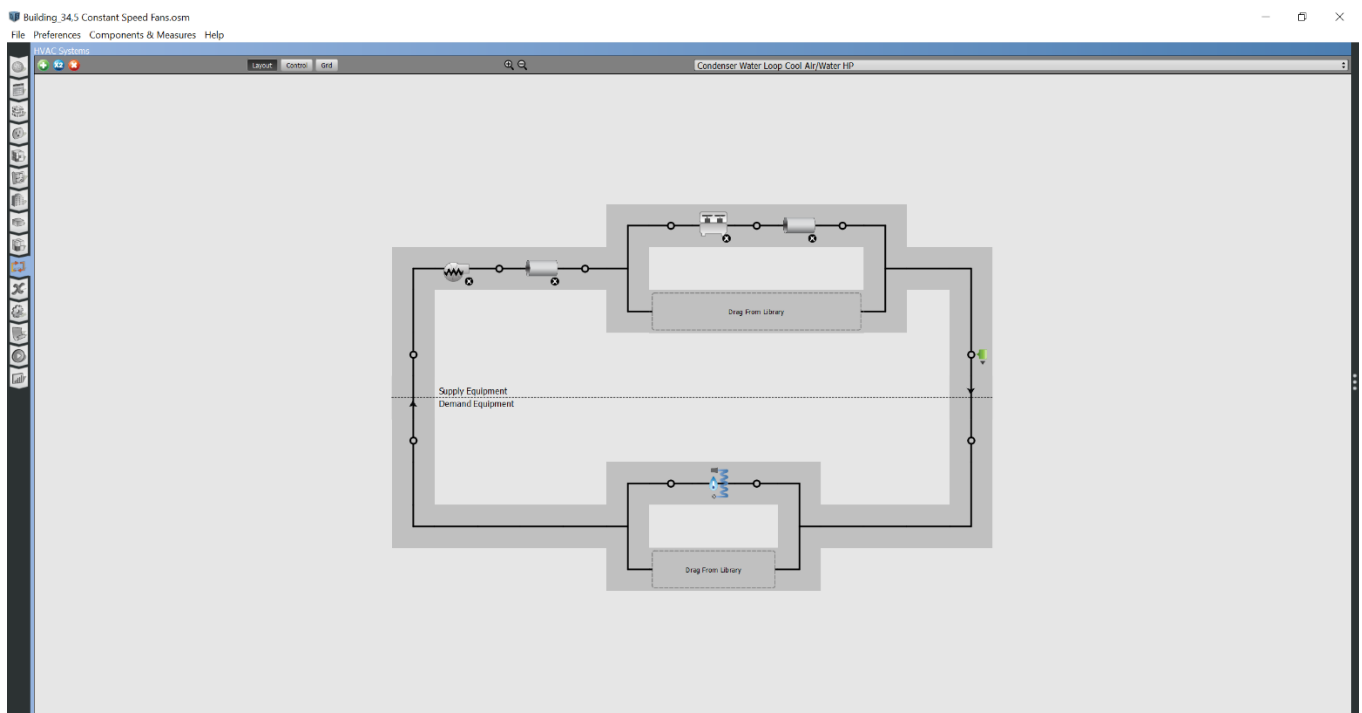
Εικόνα 4.72 : Κύκλωμα ζεστού νερού της αντλίας αέρα – νερού

Το μόνο τώρα που χρειάζεται να προστεθεί σε αυτά τα δύο κυκλώματα είναι τα στοιχεία του *Demand Equipment*. Πηγαίνουμε πίσω στο κύκλωμα αέρα του υπογείου και επιλέγουμε το *Unitary - WaterToAir Heat Pump - Cycling - Elec reheat* και στη συνέχεια την υπο-καρτέλα **Edit**. Στο επάνω σημείο της υπο-καρτέλας επιλέγουμε το πρώτο σύμβολο  το οποία μας μεταφέρει στο παρακάτω παράθυρο:

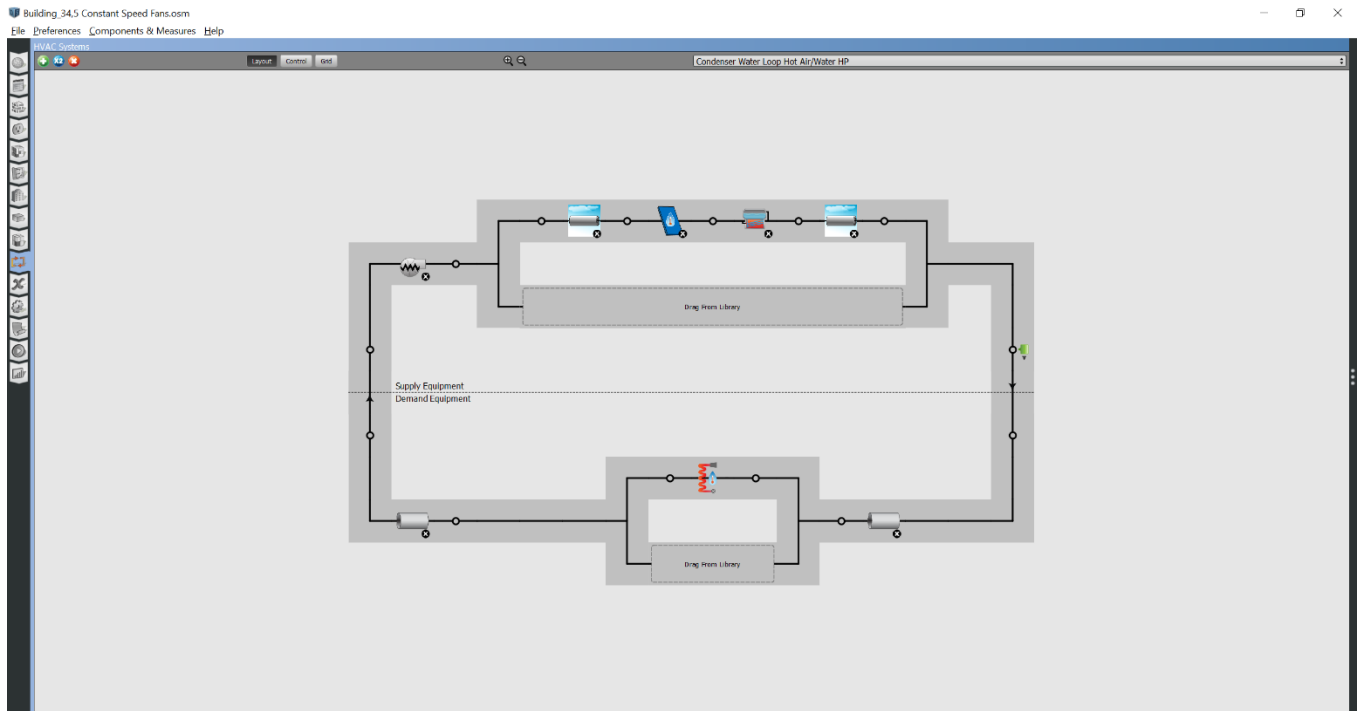


Εικόνα 4.73 : Παράθυρο «Σύνδεσης» *Unitary - WaterToAir Heat Pump*

Το παραπάνω παράθυρο εμφανίζει όλα τα διαθέσιμα Plant Loop του συστήματος στα οποία μπορεί να συνδεθεί το *Unitary - WaterToAir Heat Pump*. Για την περίπτωση του πρώτου που ,όπως αναγράφεται, αφορά το Heating επιλέγεται το κύκλωμα που σχεδιάσαμε προηγουμένως με τους συλλέκτες, ενώ για το επόμενο που αφορά το Cooling επιλέγεται το κύκλωμα με το Chiller. Μετά την επιλογή των κατάλληλων κυκλωμάτων, όταν επιστρέψουμε στα κυκλώματα νερού είτε θερμού είτε ψυχρού, στο Demand Equipment έχουν προστεθεί τα αντίστοιχα πηνία (Coils) της αντλίας θερμότητας όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 4.74 : Ολοκληρωμένο κύκλωμα νερού ψύξης της αντλίας θερμότητας νερού – αέρα



Εικόνα 4.75 : Ολοκληρωμένο κύκλωμα νερού θέρμανσης της αντλίας θερμότητας νερού – αέρα

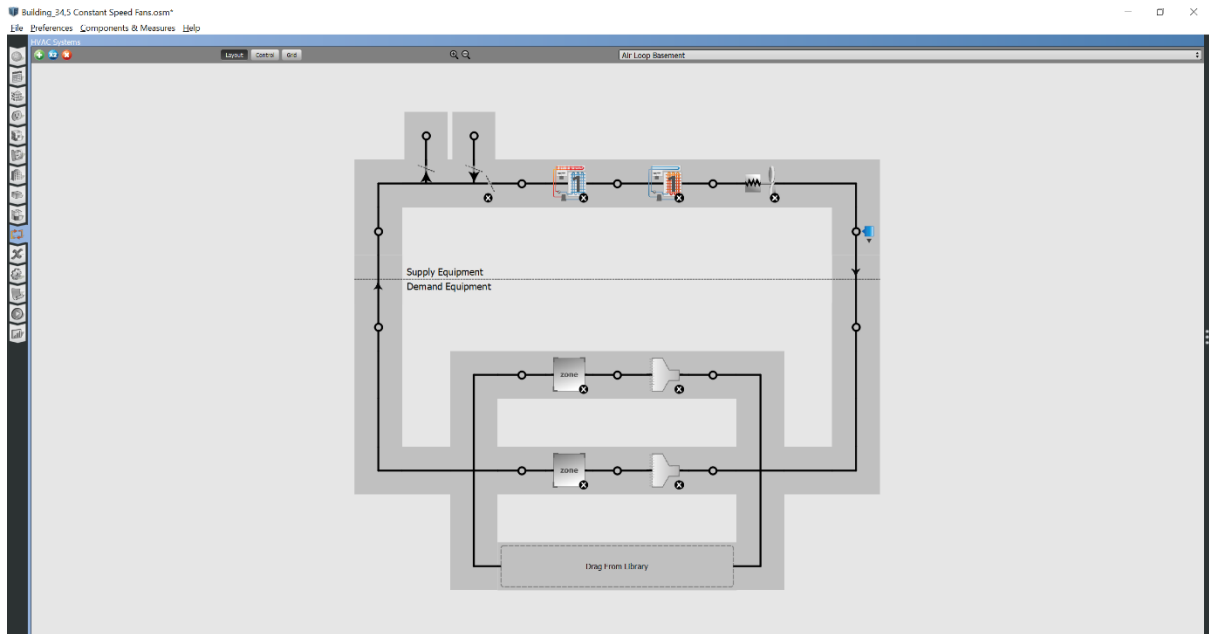
Σε κάθε ένα από αυτά τα πηνία στην καρτέλα **Edit** επεξεργάζονται οι τιμές του *COP* και του *Rated Cooling/Heating Capacity* ώστε να ταυτίζονται με τις πραγματικές, δηλαδή για τα *COP* η τιμή 4.8, για την ψυκτική ισχύ η τιμή 16500 W ενώ για την θερμική η 18000 W (όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3.2.3).

Τελευταίο σύστημα HVAC που πρέπει να σχεδιάσουμε αποτελεί αυτό του υπογείου, που είναι και το πιο απλό συγκριτικά με τα δύο προηγούμενα.

Αρχικά, σχεδιάζουμε μόνο ένα *Empty Air Loop* στο οποίο ,με την ίδια διαδικασία με πριν, προσθέτουμε τις θερμικές ζώνες του Υπογείου μαζί με τα τερματικά τους, έναν ανεμιστήρα μεταβλητών στροφών και έναν αισθητήρα *Setpoint Manager Single Zone Reheat* στον οποίον επιλέγονται αντίστοιχες θερμοκρασίες με προηγουμένως και σαν *Controlling Zone or Thermostat Location* η θερμική ζώνη που περιλαμβάνει όλους τους χώρους του Υπογείου.



Στη συνέχεια, στο *Supply Equipment* προσθέτουμε σε σειρά από την κατηγορία *Coil Heating DX Single Speed* του **Library**, ένα *1 Spd DX Htg Coil* (1 Speed Direct Expansion Heating Coil) και από την *Coil Cooling DX Single Speed*, ένα *1 Spd DX Clg Coil* (1 Speed Direct Expansion Cooling Coil). Σε κάθε ένα από αυτά τα πηνία, εφόσον δεν γνωρίζουμε το *COP*, δεν τον επεξεργαζόμαστε, αλλάζουμε όμως το *Rated Total Heating/Cooling Capacity* σε 18000 W όπως γνωρίζουμε. Τελικά προκύπτει το παρακάτω ολοκληρωμένο κύκλωμα:



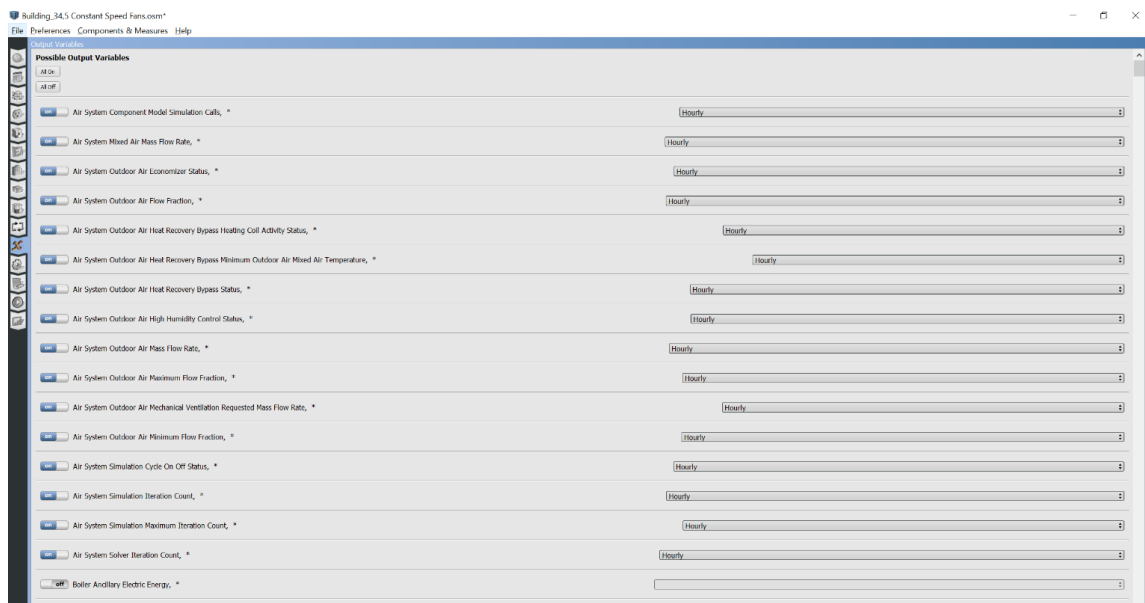


Εικόνα 4.76 : Ολοκληρωμένο σύστημα HVAC αντλιών θερμότητας αέρα – αέρα Υπογείου

#### 4.3.10 Μεταβλητές - Output Variables και Ρυθμίσεις - Settings

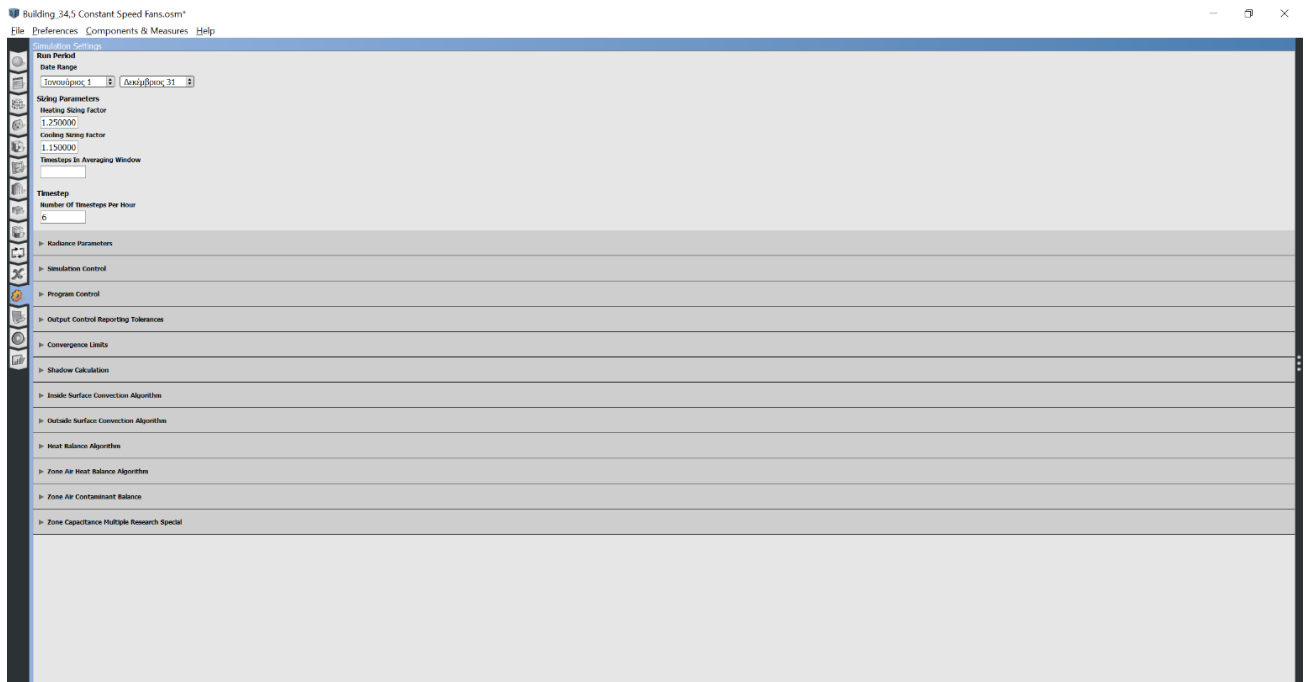
Οι καρτέλες **Output Variables**  και **Settings**  δεν επεξεργάστηκαν καθώς οι προκαθορισμένες τιμές του προγράμματος είναι ικανοποιητικές.

Στην καρτέλα **Output Variables** ο χρήστης μπορεί να ορίσει τα αποτελέσματα που επιθυμεί να του υπολογίσει το πρόγραμμα. Ορισμένες από αυτές, όπως θα παρατηρήσουμε, είναι ήδη στο ON από το πρόγραμμα ανάλογα με τα συστήματα που έχουμε τοποθετήσει.




Εικόνα 4.77 : Παράθυρο καρτέλας Output Variables

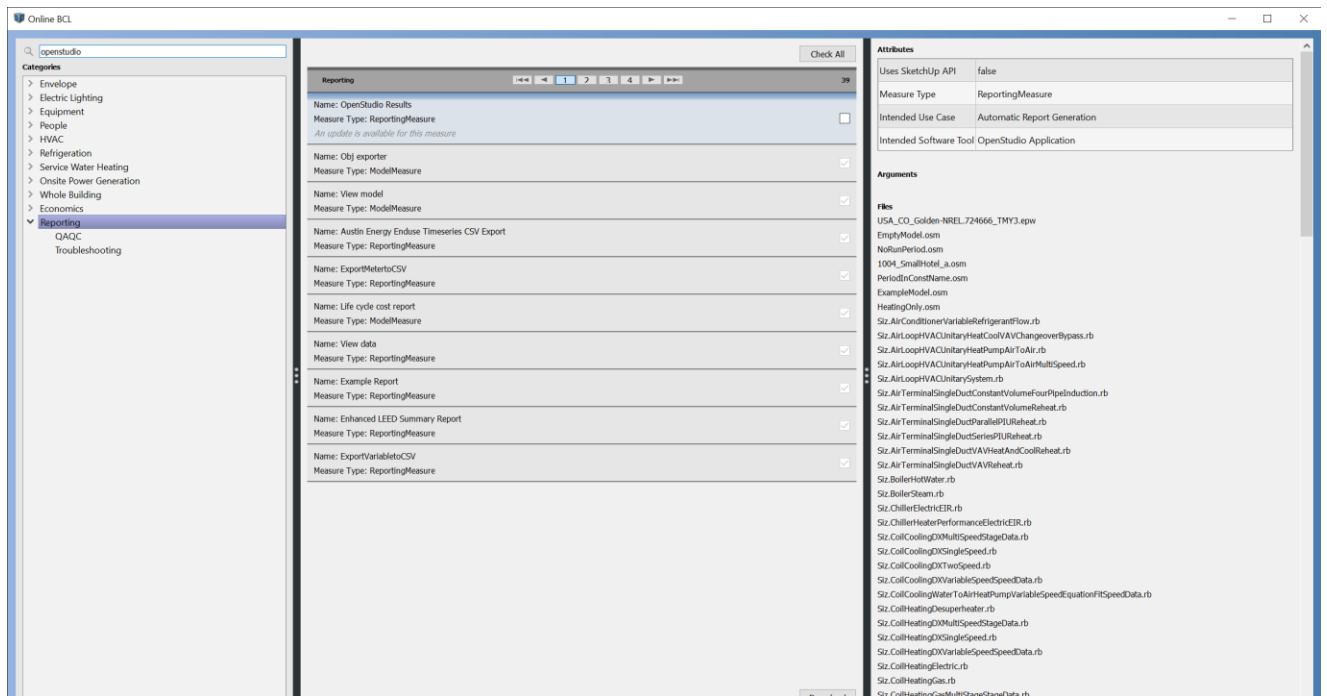
Στην καρτέλα Settings ο χρήστης μπορεί να ορίσει το χρονικό βήμα των μετρήσεων, την υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων HVAC, τον αριθμό των πυρήνων του επεξεργαστή που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα, όπως και άλλες παραμέτρους οι περισσότερες των οποίων είναι προκαθορισμένες και δεν μπορούν να τροποποιηθούν.



Εικόνα 4.78 : Παράθυρο καρτέλας Settings

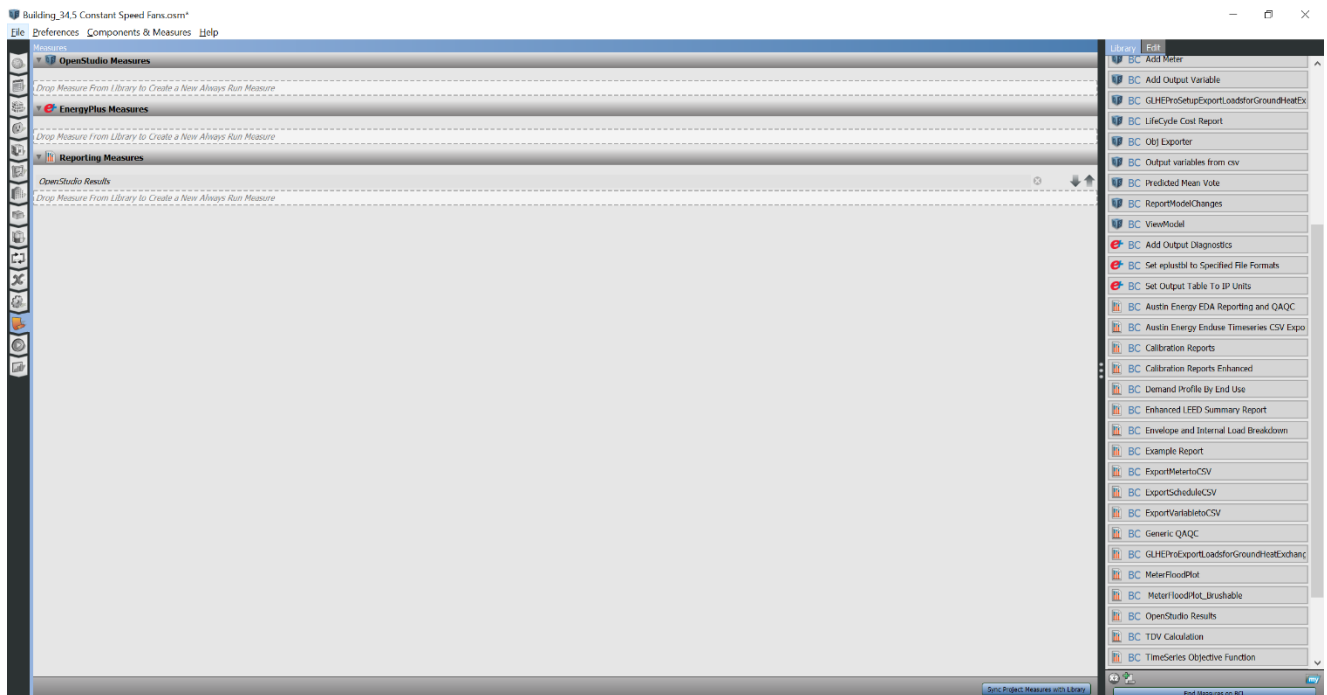
#### 4.3.11 Μετρήσεις – Measures

Στην παρούσα καρτέλα **Measures**  ο χρήστης μπορεί να εισάγει πρόσθετες μετρήσεις που θέλει να πραγματοποιήσει το πρόγραμμα μέσω της βιβλιοθήκης BCL. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική εργασία εγκαταστάθηκε η εργαλειοθήκη μετρήσεων του OpenStudio, που αποτελεί μια πιο γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του EnergyPlus. Αυτό πραγματοποιήθηκε μέσω των εντολών Component & Measures > Find Measures και της υποκατηγορίας Reporting. Στη συνέχεια μέσω της γραμμής αναζήτησης βρέθηκε η επιθυμητή επιλογή και αποθηκεύτηκε. Το παράθυρο της βιβλιοθήκης BCL φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:





Εικόνα 4.79 : Παράθυρο BCL Library

Έπειτα στο αρχικό παράθυρο από την εντολή Components & Measures > Apply Measures Now εκτελείται η μέτρηση που μόλις εγκαταστάθηκε και εμφανίζεται στην πλαϊνή μπάρα και στη συνέχεια μέσω Drag and Drop προστίθενται στη γραμμή Reporting Measures όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.80.



Εικόνα 4.80 : Παράθυρο Measures

### 4.3.12 Εκτέλεση Προσομοίωσης - Run Simulation και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων – Results Summary

Στις τελευταίες δύο αυτές καρτέλες (**Run Simulation**  και **Results Summary** ) ο χρήστης εκτελεί την προσομοίωση του κτηρίου που έχει σχεδιάσει και λαμβάνει τα αποτελέσματα αυτής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτελέστηκαν πολλές διαφορετικές προσομοιώσεις για διαφορετικές παραμέτρους, οι οποίες θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

## Κεφάλαιο 5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

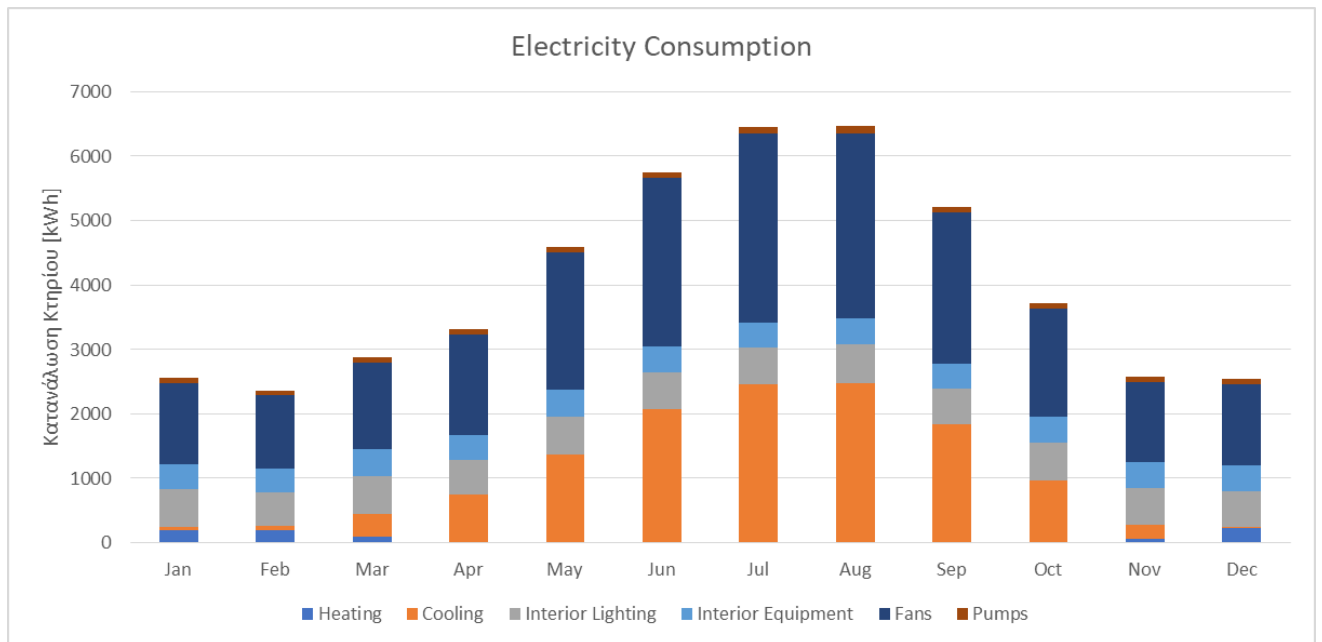
Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα όλων των προσομοιώσεων που έγιναν για το μελετηθέν κτήριο. Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκαν πολλά διαφορετικά σενάρια τα οποία περιληπτικά είναι:

Η συμπεριφορά του κτηρίου και η διακύμανση των καταναλώσεών του :

- Σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες
- Με διαφορετικά συστήματα HVAC
- Με διαφορετικά πάχη μονώσεων και
- Με μεγαλύτερο εμβαδόν φωτοβολταϊκών πάνελ

### 5.1 Παρούσα κατάσταση

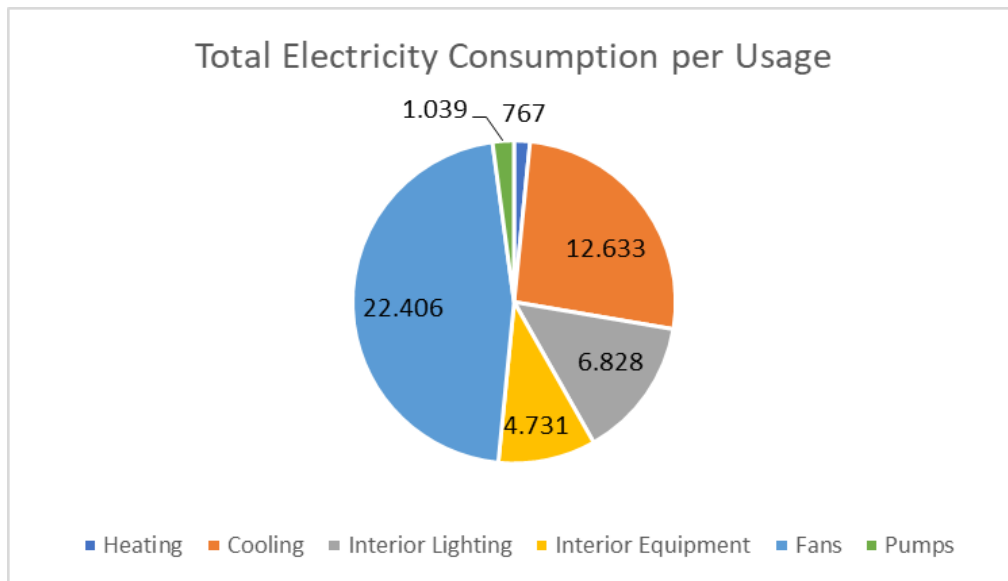
Από την πρώτη στιγμή που κτίστηκε το κτήριο στο Κ.Α.Π.Ε., όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, βασικός στόχος του ήταν η κατά το δυνατόν μικρότερη ενεργειακή του κατανάλωση σε συνδυασμό με παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ. Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτηρίου φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 5.1 : Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις κτηρίου

Όπως είναι λογικό τα μεγαλύτερα φορτία της θέρμανσης εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα ενώ της ψύξης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι καταναλώσεις του εσωτερικού φωτισμού και του εξοπλισμού του κτηρίου κατά τη διάρκεια του έτους παραμένουν σταθερές ενώ μικρές αλλά γενικά σταθερές παραμένουν και οι καταναλώσεις των αντλιών. Αυτό που αξίζει να παρατηρήσουμε είναι οι υψηλές καταναλώσεις των ανεμιστήρων για τη διακίνηση του αέρα στο εσωτερικό του κτηρίου. Σύμφωνα με το γράφημα οι καταναλώσεις αυτές αποτελούν περίπου το 50% των μηνιαίων, αλλά δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά συστήματα HVAC με ανεμιστήρες μεταβλητών στροφών οι τιμές τους μπορούν να δικαιολογηθούν.

Οι ολικές ετήσιες καταναλώσεις του κτηρίου, σύμφωνα με τη προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε, ανέρχονται στις 48.403,47 kWh αριθμός εξαιρετικά ικανοποιητικός αν αναλογιστούμε ότι, σύμφωνα με τα στοιχεία του Κ.Α.Π.Ε., οι πραγματικές του διακυμαίνονται στο εύρος 43.331,013 – 51.997,216 kWh ανά έτος. Από το σύνολο αυτό των ενεργειακών μονάδων, καλό θα ήταν να παρουσιάσουμε και τι ποσοστό της ενέργειας αυτής καταναλώνεται από τα εκάστοτε στοιχεία του κτηρίου.

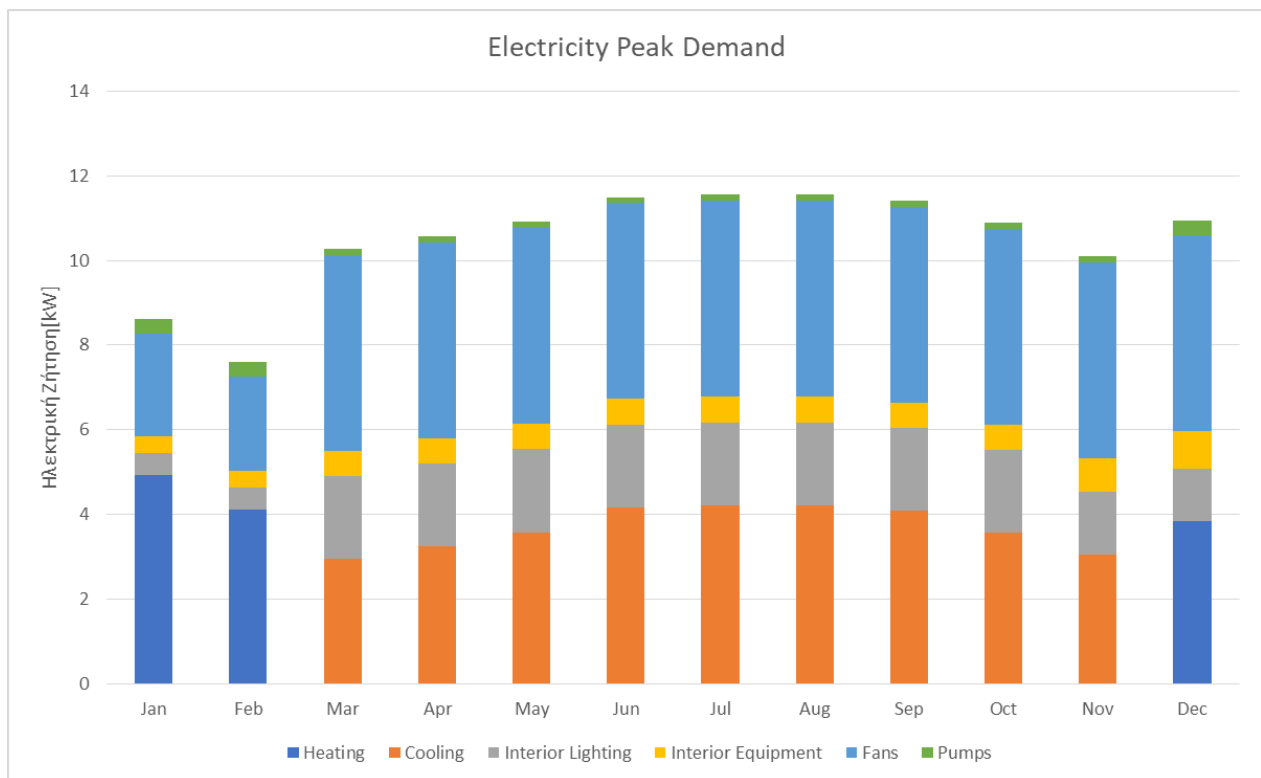


Εικόνα 5.2 : Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας από τα εκάστοτε στοιχεία του κτηρίου

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα οι ετήσιες καταναλώσεις του κτηρίου αποτελούνται κατά βάση από αυτές των ανεμιστήρων των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού (46,28%), από τις καταναλώσεις ψύξης (26,09%), θέρμανσης (1,58%) και των αντλιών τους, τα στοιχεία εσωτερικού φωτισμού (14,10%) καθώς και τον εξοπλισμό των γραφείων του κτηρίου (9,77%).

Ο εξοπλισμός των χώρων, δεδομένου ότι είναι πρόσφατη η κατασκευή του, ορίστηκε περίπου στα  $4,5\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους των γραφείων, ενώ υψηλότερη αυτή του χώρου εκτυπώσεων και διαλείμματος στα  $15\text{W}/\text{m}^2$ . Όσον αφορά τα συστήματα ψύξης, είναι λογικός ο αριθμός καθώς και το ποσοστό, αν αναλογιστούμε ότι, στην περίπτωση του Ορόφου, στη θέρμανση, ένα σημαντικό κομμάτι της προθέρμανσης του νερού γίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες, ενώ στην περίπτωση του κλιματισμού, όλη η διαδικασία της ψύξης του νερού γίνεται στο ψύκτη (Chiller).

Οι μέγιστη ζήτηση ενέργειας είναι ένα επίσης ενδιαφέρον διάγραμμα καθώς απεικονίζει σε ποιους μήνες και από ποια στοιχεία εξαρτάται η μέγιστη ζήτηση που μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 5.3 παρακάτω:



Εικόνα 5.3 : Μέγιστη μηνιαία ενεργειακή ζήτηση κτηρίου

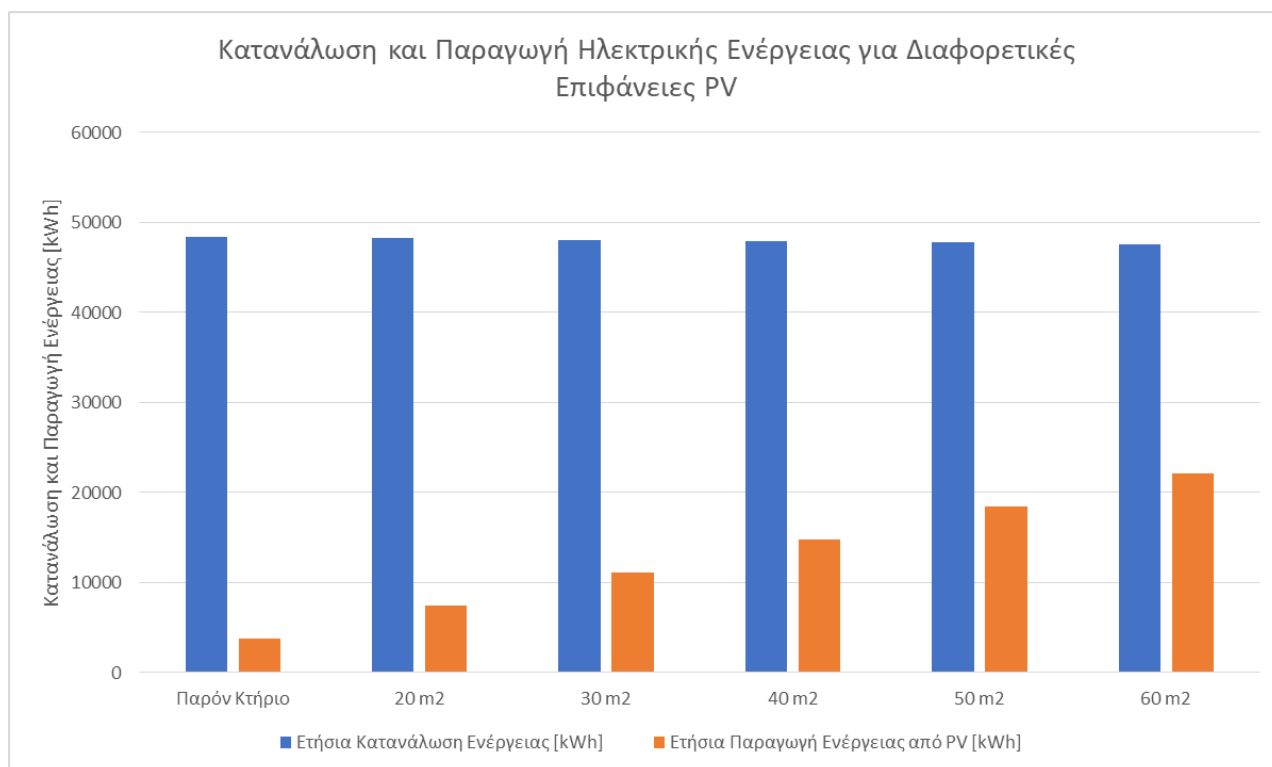
Όπως ήταν αναμενόμενο οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου σε ψύξη και θέρμανση εμφανίζονται τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες αντίστοιχα. Παρόλο που οι ανάγκες ηλεκτρισμού του κτηρίου για θέρμανση είναι λίγο μεγαλύτερες σε σχέση με την ψύξη, οι απαιτήσεις που αφορούν τους ανεμιστήρες φαίνονται να αυξάνονται αρκετά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Βέβαια, οι αριθμοί αυτοί είναι λογικοί αν σκεφτεί κανείς τη συχνότητα εμφάνισης «ακραίων» θερμοκρασιών της Αθήνας και τη θέρμανση, άνω των ανεκτών ορίων, του κτηρίου λόγω του ήλιου. Η ενέργεια που απαιτείται για τον εσωτερικό εξοπλισμό παραμένει σχετικά σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ μια μικρή διακύμανση παρουσιάζουν τα φορτία του φωτισμού με μια μικρή αύξηση προς τους καλοκαιρινούς μήνες. Αν και αυτό στα μάτια του παρατηρητή είναι παράλογο, να χρειάζεται δηλαδή ένα κτήριο περισσότερο φωτισμό το καλοκαίρι, δεν είναι εντελώς αδικαιολόγητο μιας και ο ήλιος όντας ψηλότερα, δεν ακτινοβολεί απ ευθείας μέσα στο κτήριο αλλά μέσω της ακτινοβολίας που είναι διάχυτη στο περιβάλλον. Το πρόγραμμα δεν λαμβάνει υπ' όψιν την οπτική άνεση που προσφέρει η διάχυτη ακτινοβολία, αλλά παρατηρεί ότι το φως είναι μειωμένο στο χώρο και γι αυτό θεωρεί τα φώτα ανοικτά.

## 5.2 Παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα

Η πρώτη μετατροπή του κτηρίου που μελετάμε αποτελεί η τοποθέτηση πρόσθετων φωτοβολταϊκών πάνελ και η παρακολούθηση της παραγόμενης ενέργειας από αυτά. Πιο

συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν πέντε (5) επιπλέον περιπτώσεις στις οποίες το εμβαδόν των πάνελ αυξάνεται κατά 10m<sup>2</sup> κάθε φορά. Ο αριθμός των περιπτώσεων εξαρτήθηκε καθαρά από την επιφάνεια της οροφής και την ρεαλιστική τοποθέτηση των πάνελ με σκοπό την εύκολη προσέγγισή τους σε περίπτωση επισκευής ή συντήρησής τους.

Το διάγραμμα που αφορά την κατανάλωση του κτηρίου και παραγωγή από τα φωτοβολταϊκά φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 5.4 : Κατανάλωση και παραγωγή ενέργειας για διαφορετικά εμβαδά φωτοβολταϊκών πάνελ

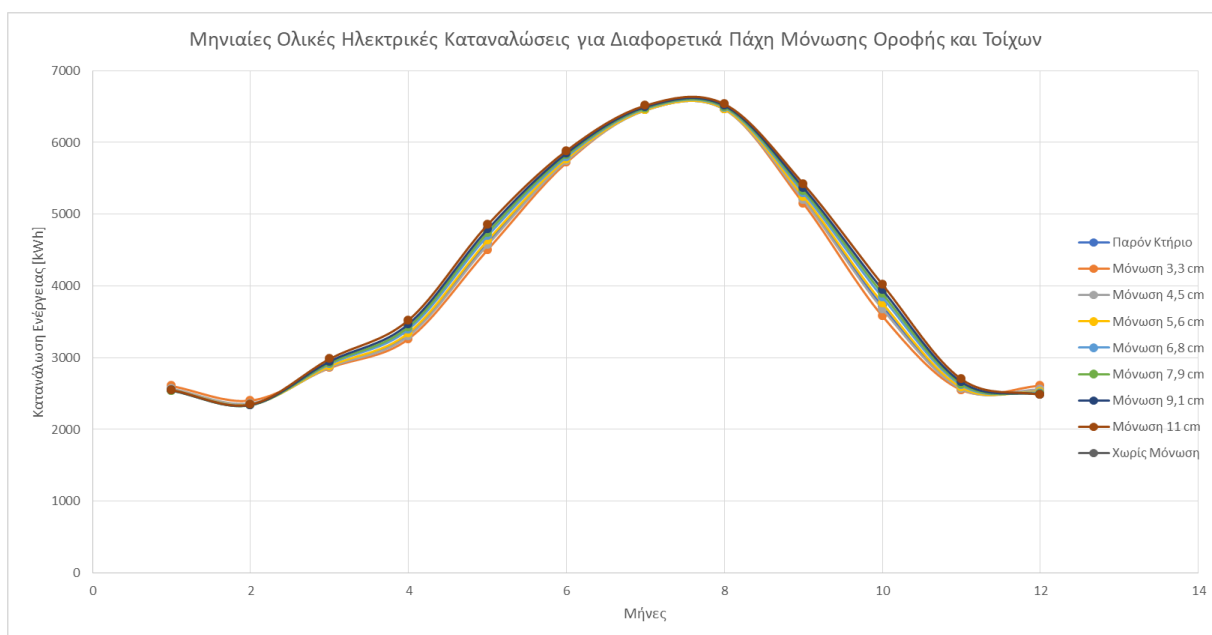
	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας [kWh]	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από PV [kWh]
Παρόν Κτήριο	48403,47	3719,44
20 m <sup>2</sup>	48219,1	7416,67
30 m <sup>2</sup>	48068,41	11100
40 m <sup>2</sup>	47941,79	14761,11
50 m <sup>2</sup>	47796,32	18397,22
60 m <sup>2</sup>	47603,19	22069,44

Όπως είναι λογικό η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται γραμμικά με το εμβαδόν των πάνελ. Η κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με το διάγραμμα και τον παραπάνω πίνακα πέφτει κατά ένα μικρό βαθμό, καθώς οι επιφάνειες των πάνελ σκιάζουν το δώμα του κτηρίου και τα φορτία που δέχεται είναι μικρότερα. Αυτό που επίσης παρατηρείται είναι πως στις τελευταίες περιπτώσεις η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι ακριβές πολλαπλάσιο της αρχικής καθώς, λόγω των υπόλοιπων πάνελ και της ηλιοροφής, υπάρχουν απώλειες.

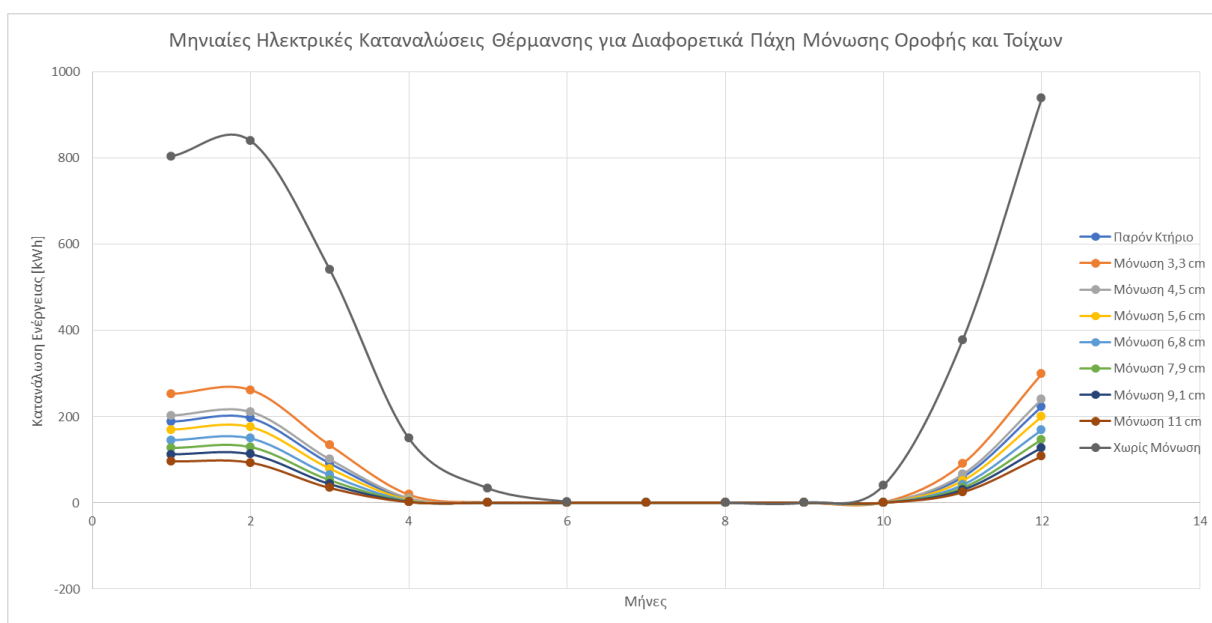


### 5.3 Επίδραση πάχους μόνωσης κατακόρυφων και οριζόντιων επιφανειών στις ενεργειακές καταναλώσεις

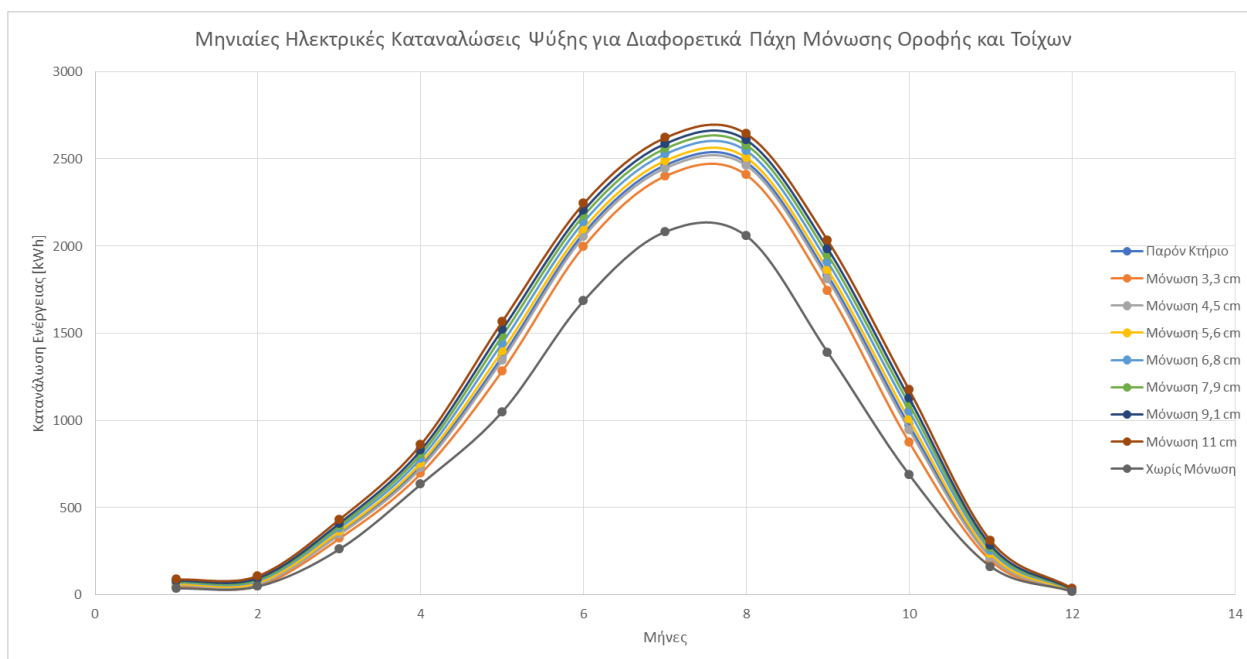
Οι επόμενες προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν το πάχος της μόνωσης του κτηρίου, κριτήριο που επηρεάζει άμεσα τις ενεργειακές του καταναλώσεις και συγκεκριμένα τα φορτία που δέχεται το κτήριο από το εξωτερικό του περιβάλλον. Στα επόμενα διαγράμματα απεικονίζεται η επίδραση του πάχους αυτού στις ολικές, θερμικές και ψυκτικές καταναλώσεις ρεύματος του κτηρίου που μελετάμε.



Εικόνα 5.5 : Μηνιαίες ολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις για διαφορετικά πάχη μόνωσης



Εικόνα 5.6 : Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις θέρμανσης για διαφορετικά πάχη μόνωσης



Εικόνα 5.7 : Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις ψύξης για διαφορετικά πάχη μόνωσης

Σύμφωνα με όσα γνωρίζουμε για την επίδραση μια μόνωσης στις καταναλώσεις ενός κτηρίου, τα διαγράμματα είναι αυτά που περιμένουμε. Οι ετήσιες καταναλώσεις του κτηρίου μειώνονται ραγδαία με την τοποθέτηση ακόμα και της μικρότερης δυνατής μόνωσης από 58.317 σε 48.146 kWh. Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 5.6 οι θερμικές καταναλώσεις ενός κτηρίου μειώνονται όσο αυξάνει το πάχος της μόνωσης καθώς το κτήριο μπορεί να διατηρήσει πιο εύκολα την εσωτερική του θερμοκρασία και η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στο εσωτερικό είναι μικρότερη. Ωστόσο, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5.7, τα φορτία που αφορούν την ψύξη του κτηρίου αυξάνονται όσο αυξάνεται και η μόνωση, γεγονός που δικαιολογείται αν αναλογιστούμε ότι η αύξηση του πάχους μειώνει την δυνατότητα πρόσληψης αλλά και απόρριψης θερμότητας από και προς το εξωτερικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, το κτήριο μετά τις ώρες λειτουργίας του, όπου παύει και η χρήση των συστημάτων ψύξης, συνεχίζει να λαμβάνει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας, την οποία όμως δεν μπορεί εύκολα να αποβάλλει λόγω της μόνωσης που έχει τοποθετηθεί. Πρόβλημα που θα μπορούσε να αποφευχθεί με την εφαρμογή μιας μεθόδου αερισμού κατά τις νυκτερινές ώρες.

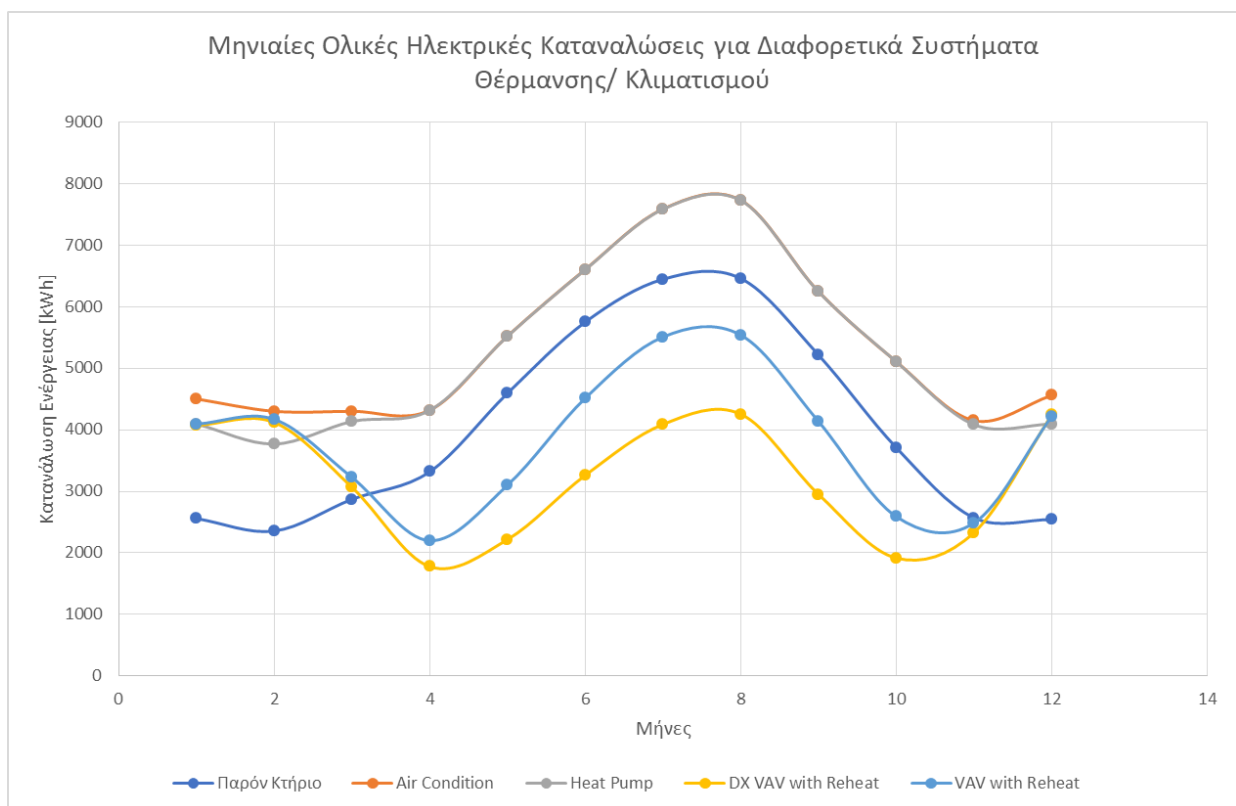
## 5.4 Συμπεριφορά διαφορετικών συστημάτων HVAC στο μελετηθέν κτήριο

Επόμενο βήμα αξιολόγησης του παρόντος κτηρίου αποτελεί η συμπεριφορά των ηλεκτρικών του φορτίων για τις διαφορετικές εγκαταστάσεις συστημάτων θέρμανσης και

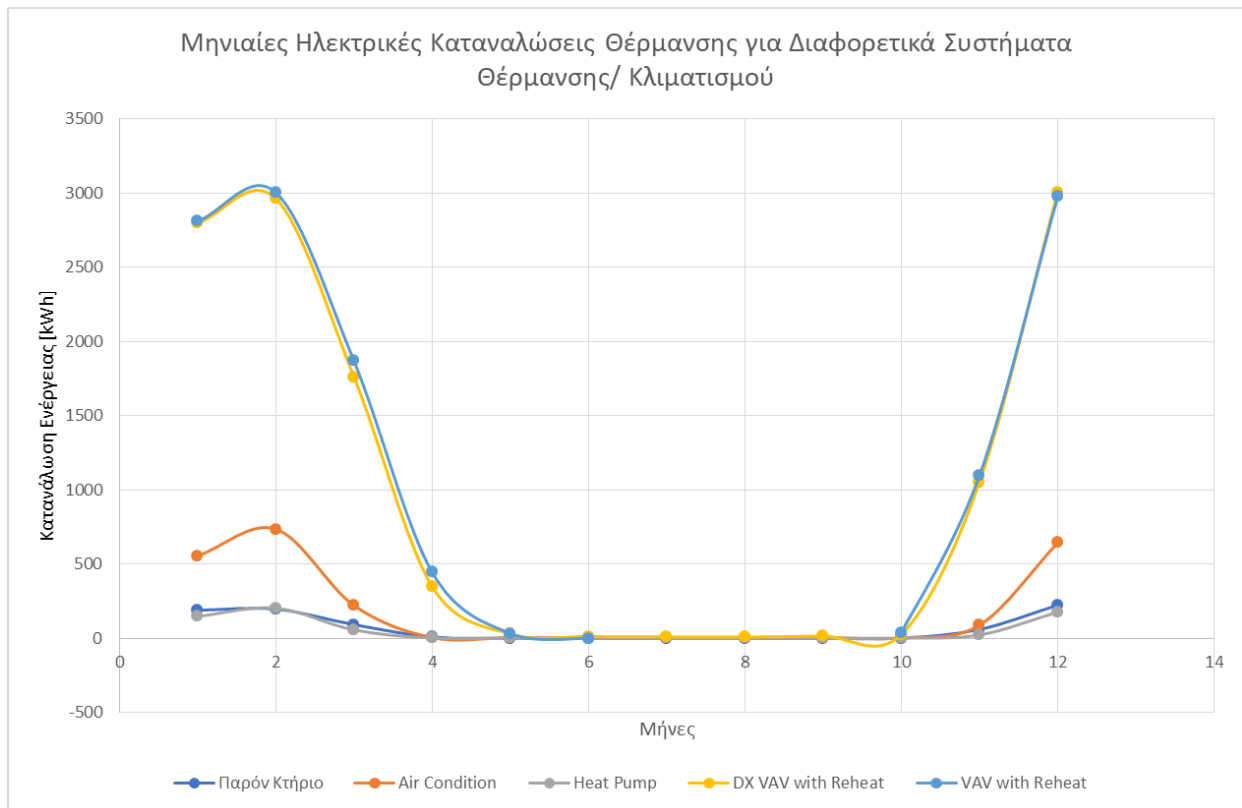
κλιματισμού, τα οποία ήταν είτε ήδη προεγκαταστημένα στο πρόγραμμα είτε σχεδιάστηκαν από την αρχή. Προσομοιώθηκαν τα εξής συστήματα:

- Παρόν κτήριο
- Συσκευασμένο Κλιματιστικό (Packaged Rooftop Air Condition)
- Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα (Packaged Rooftop Heat Pump)
- Σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα ,άμεσης εκτόνωση και αναθέρμανσης (Packaged Rooftop DX VAV with Reheat) και
- Σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα με αναθέρμανση και αντλία θερμότητας αέρα-αέρα (Packaged Rooftop VAV with Reheat)

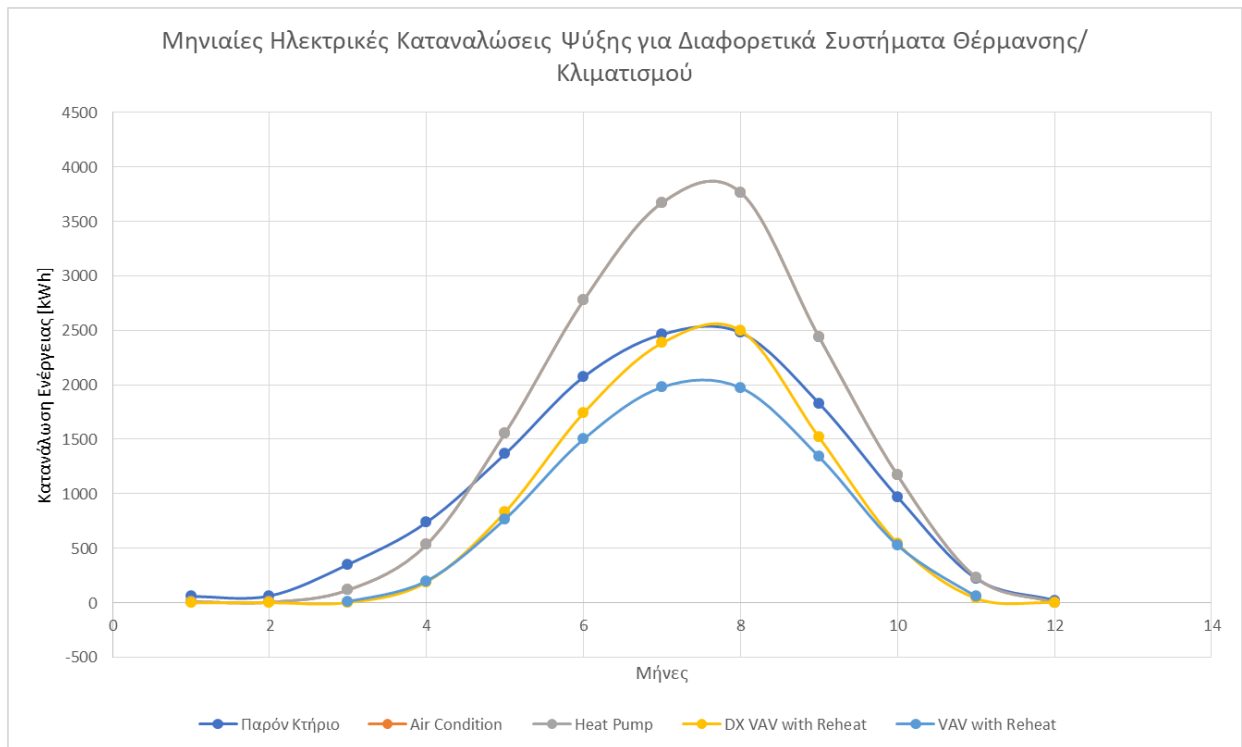
Τα διαγράμματα καταναλώσεων των προαναφερθέντων συστημάτων παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 5.8 : Μηνιαίες Ολικές Ηλεκτρικές Καταναλώσεις για Διαφορετικά Συστήματα Θέρμανσης/ Κλιματισμού



Εικόνα 5.9 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Θέρμανσης για Διαφορετικά Συστήματα Θέρμανσης/ Κλιματισμού



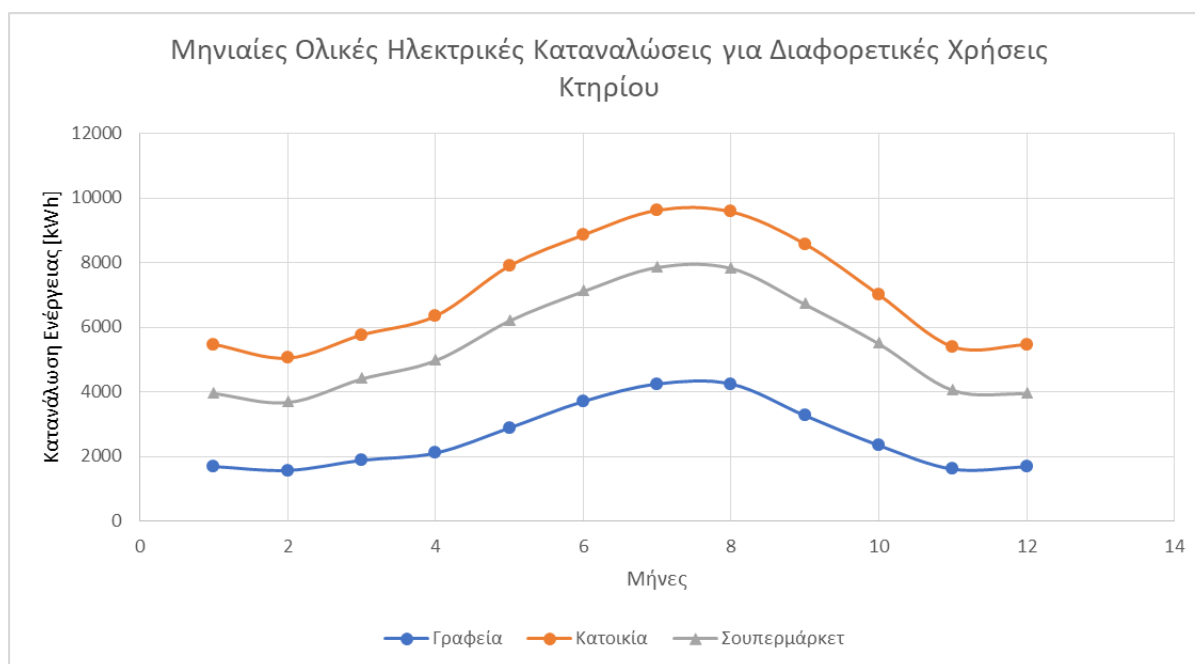
Εικόνα 5.10 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Ψύξης για Διαφορετικά Συστήματα Θέρμανσης/ Κλιματισμού

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι το συμφέρον σύστημα για όλους τους μήνες αποτελεί το τελευταίο με μειωμένη συνολική ετήσια κατανάλωση (38.299 kWh). Εδώ όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει ψύκτη (Chiller) ο οποίος τροφοδοτείται από ψυκτικό πύργο (Cooling Tower), εγκατάσταση υπερβολική και ασύμφορη για ένα μεσαίου μεγέθους κτήριο όπως αυτό που μελετάμε. Όσον αφορά τις επί μέρους καταναλώσεις, τους χειμερινούς μήνες το πιο συμφέρον σύστημα αποτελεί το ήδη υπάρχον, με μικρή διαφορά από το σύστημα μιας μεγάλης αντλίας θερμότητας, ενώ τους καλοκαιρινούς, η εγκατάσταση άμεσης εκτόνωσης.

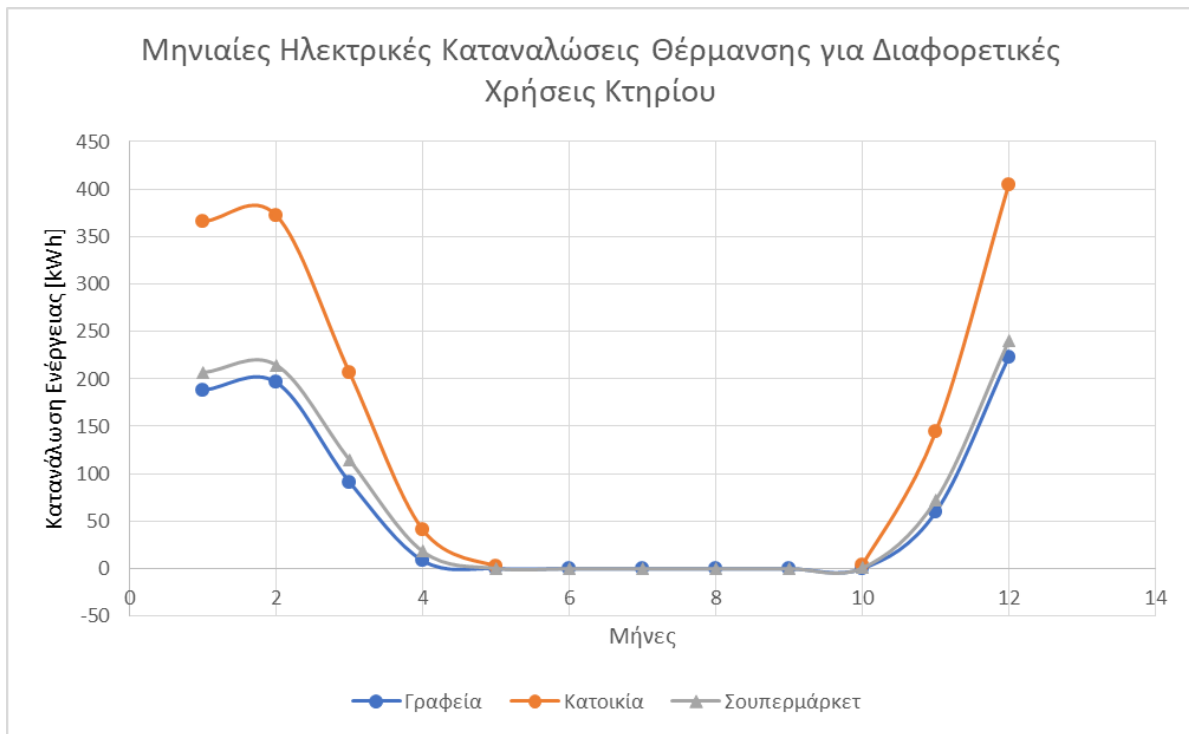
Με δεδομένα τα παραπάνω είναι φρόνιμο να συμπεράνουμε ότι τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν στο κτήριο είναι επαρκή και οικονομικά συμφέροντα, αν λάβουμε υπ' όψιν όχι μόνο τις καταναλώσεις αλλά και τα κόστη που θα περιλάμβαναν τα υπόλοιπα. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση των συστημάτων VAV θα ήταν αναγκαία η αγορά πολλών τερματικών μεταβλητού όγκου αέρα για κάθε ένα χώρο ξεχωριστά, κόστος τεράστιο συγκριτικά με αυτό ενός απλού τερματικού fan-coil.

## 5.5 Σύγκριση καταναλώσεων για διαφορετικές χρήσεις του κτηρίου

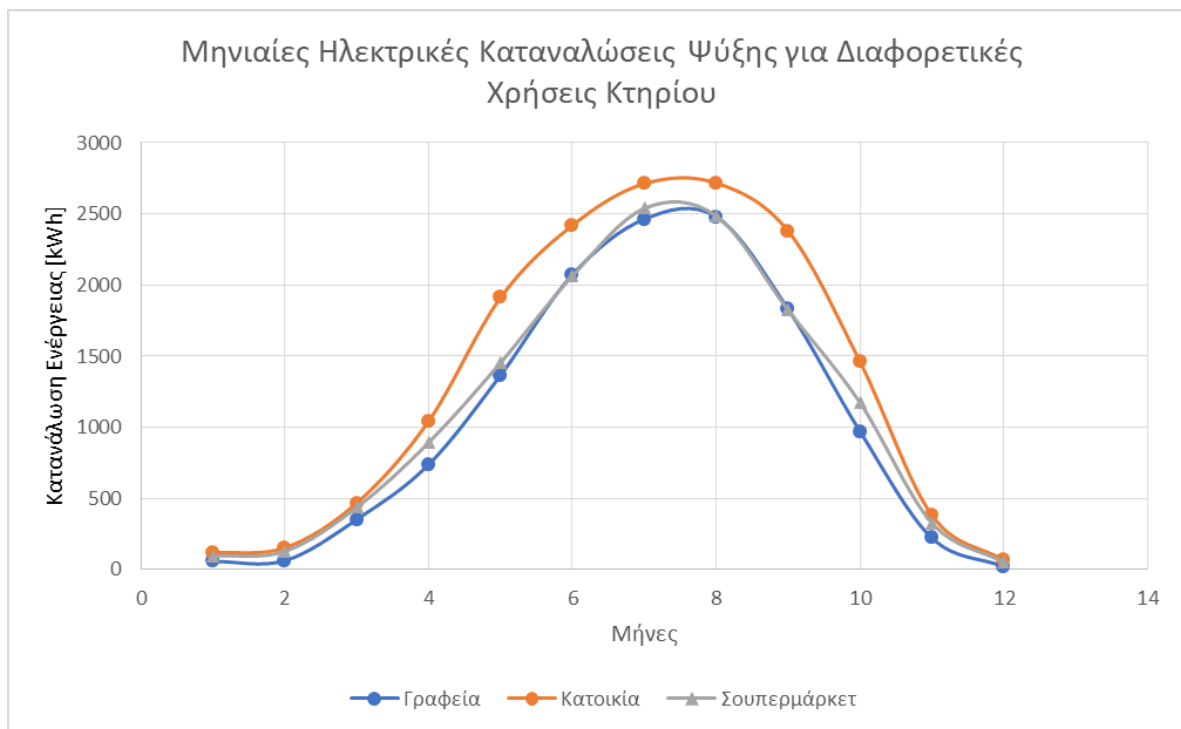
Οι επόμενες δύο προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό της σύγκριση των καταναλώσεων του ίδιου χώρου σε περιπτώσεις διαφορετικής χρήσης αυτού. Συγκεκριμένα αναλύθηκε η περίπτωση της πολυκατοικίας και του σουπερμάρκετ και τα διαγράμματα που προέκυψαν απεικονίζονται παρακάτω:



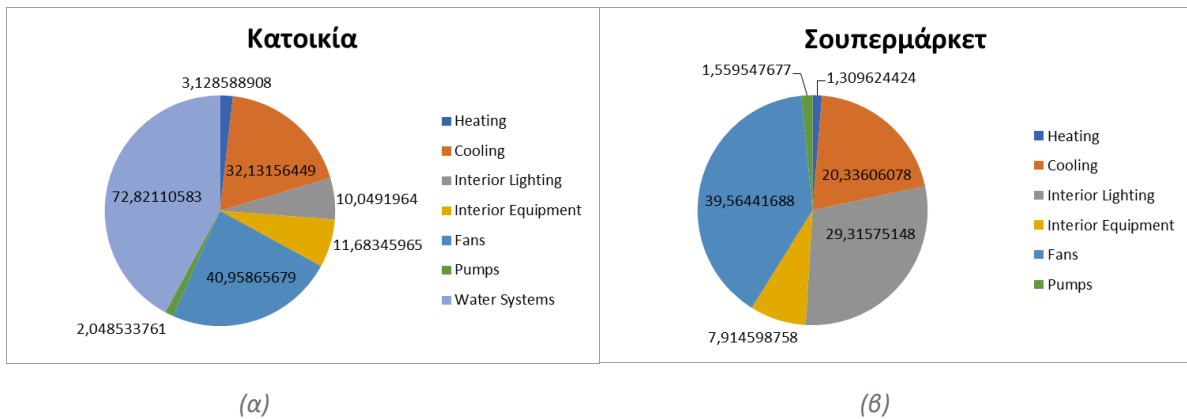
Εικόνα 5.11 : Μηνιαίες Ολικές Ηλεκτρικές Καταναλώσεις για Διαφορετικές Χρήσεις Κτηρίου



Εικόνα 5.12 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Θέρμανσης για Διαφορετικές Χρήσεις Κτηρίου



Εικόνα 5.13 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Ψύξης για Διαφορετικές Χρήσεις Κτηρίου



Εικόνα 5.14 : Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας συστημάτων κτηρίου για τις διαφορετικές χρήσεις του (α): Κατοικία, (β) Σουπερμάρκετ

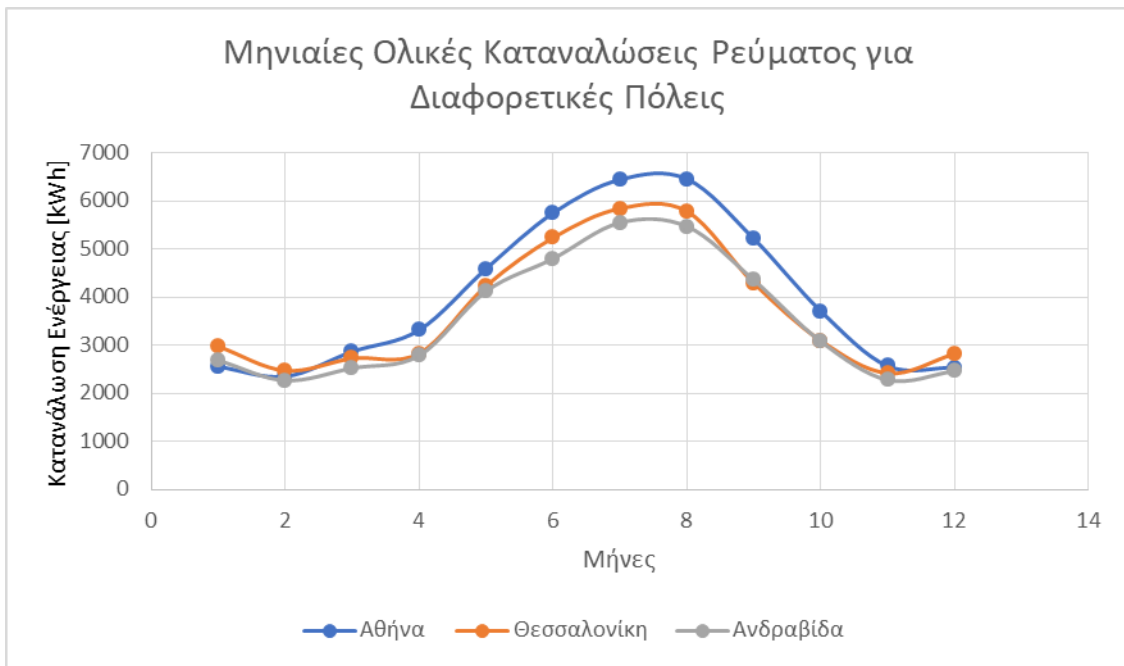
Όπως είναι αναμενόμενο οι απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξης καθώς και οι ολικές είναι μεγαλύτερες από αυτές που αφορούν ένα κτήριο γραφείων. Για το σουπερμάρκετ λόγω των της θερμότητας αλλά και του ψύχους που εκλύεται από τα ψυγεία οι απαιτήσεις είναι αναμενόμενα αυξημένες. Αλλά αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία και εκεί έγκειται και η μεγάλη διαφορά της περίπτωσης την κατοικίας συγκριτικά με τις άλλες δύο, είναι οι ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης και η «μόνιμη» λειτουργία των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης λόγω της 24ωρης χρήσης τους. Οι θερμοκρασίες των θερμοστατών του χώρου των γραφείων και του σουπερμάρκετ πλησιάζουν τις περιβαλλοντικές τις ώρες που το κτήριο δεν είναι κατειλημμένο, δηλαδή από τις 16:00 ή τις 20:00 αντίστοιχα, ενώ για την περίπτωση του σπιτιού τα συστήματα, λόγω της παρουσίας ατόμων στο εσωτερικό, συνεχίζουν τη λειτουργία τους σχεδόν για όλο το 24ωρο.

## 5.6 Συμπεριφορά κτηρίου και καταναλώσεων για διαφορετικά κλίματα της Ελλάδος

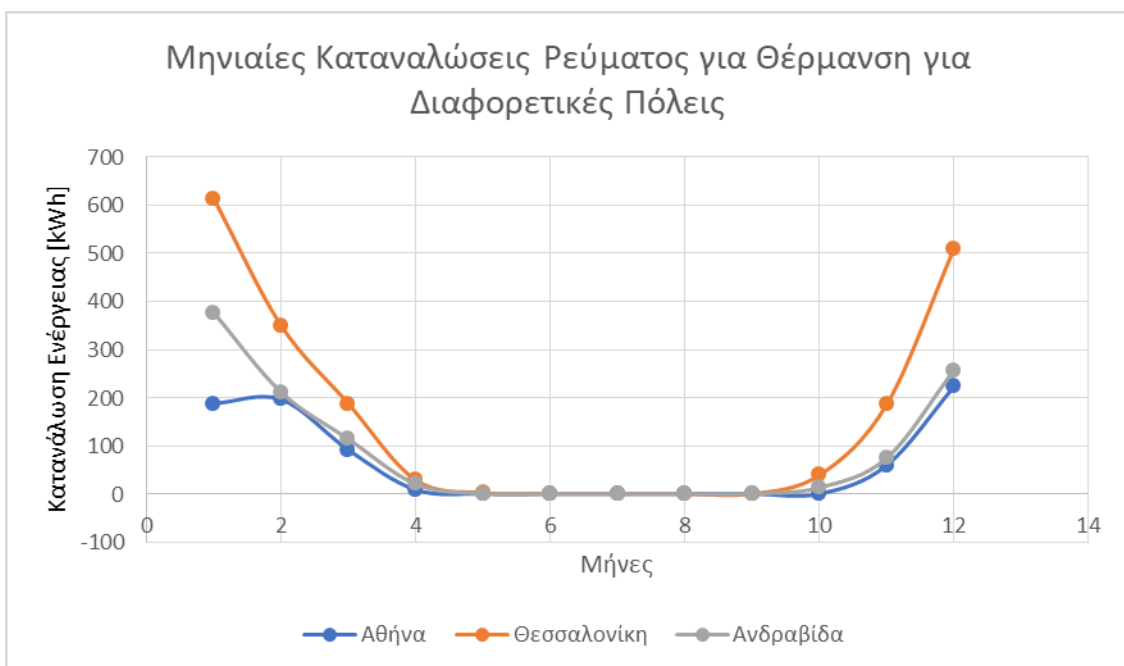
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια το πρόγραμμα EnergyPlus διαθέτει κλιματολογικά δεδομένα για τρεις (3) διαφορετικές περιοχές της Ελλάδος: την Αθήνα, την Θεσσαλονίκη και την Ανδραβίδα. Σκοπός των προσομοιώσεων που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια αποτελεί η παρακολούθηση των διακυμάνσεων για τις περιοχές αυτές και τους λόγους που μπορεί να οφείλονται.

### 5.6.1 Συμπεριφορά παρόν κτηρίου

Οι πρώτη προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε αφορά το παρόν κτήριο. Τα διαγράμματα των καταναλώσεων για τις τρεις διαφορετικές πόλεις απεικονίζονται παρακάτω:

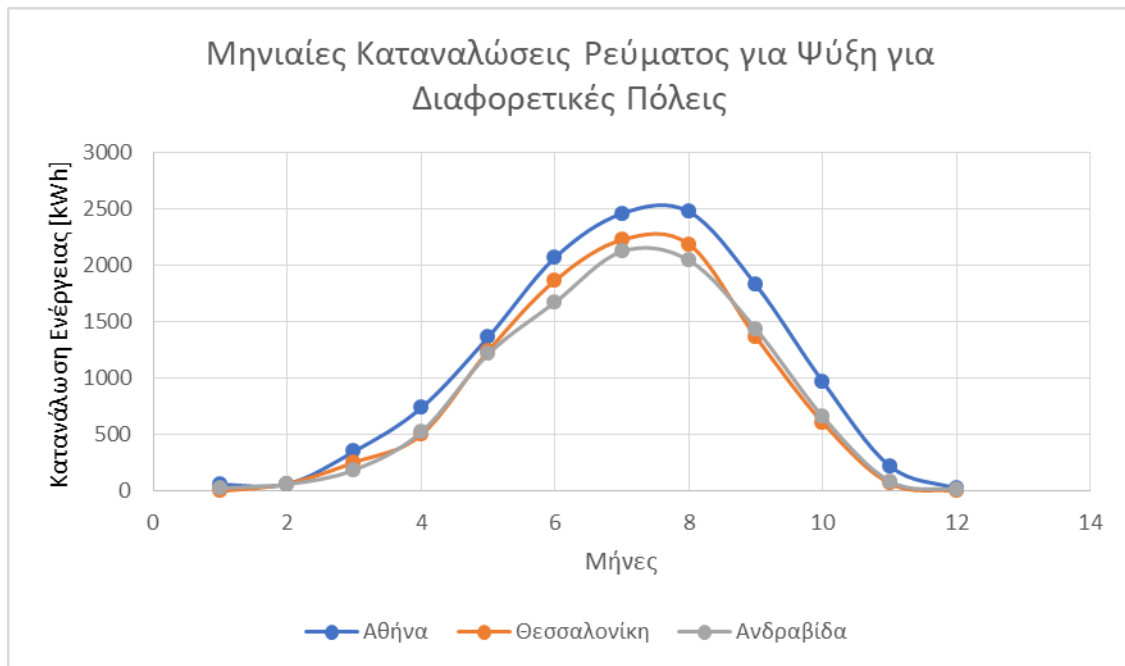


Εικόνα 5.15 : Μηνιαίες Ολικές Καταναλώσεις Ρεύματος για Διαφορετικές Πόλεις



Εικόνα 5.16 : Μηνιαίες Καταναλώσεις Ρεύματος για Θέρμανση για Διαφορετικές Πόλεις





Εικόνα 5.17 : Μηνιαίες Καταναλώσεις Ρεύματος για Ψύξη για Διαφορετικές Πόλεις

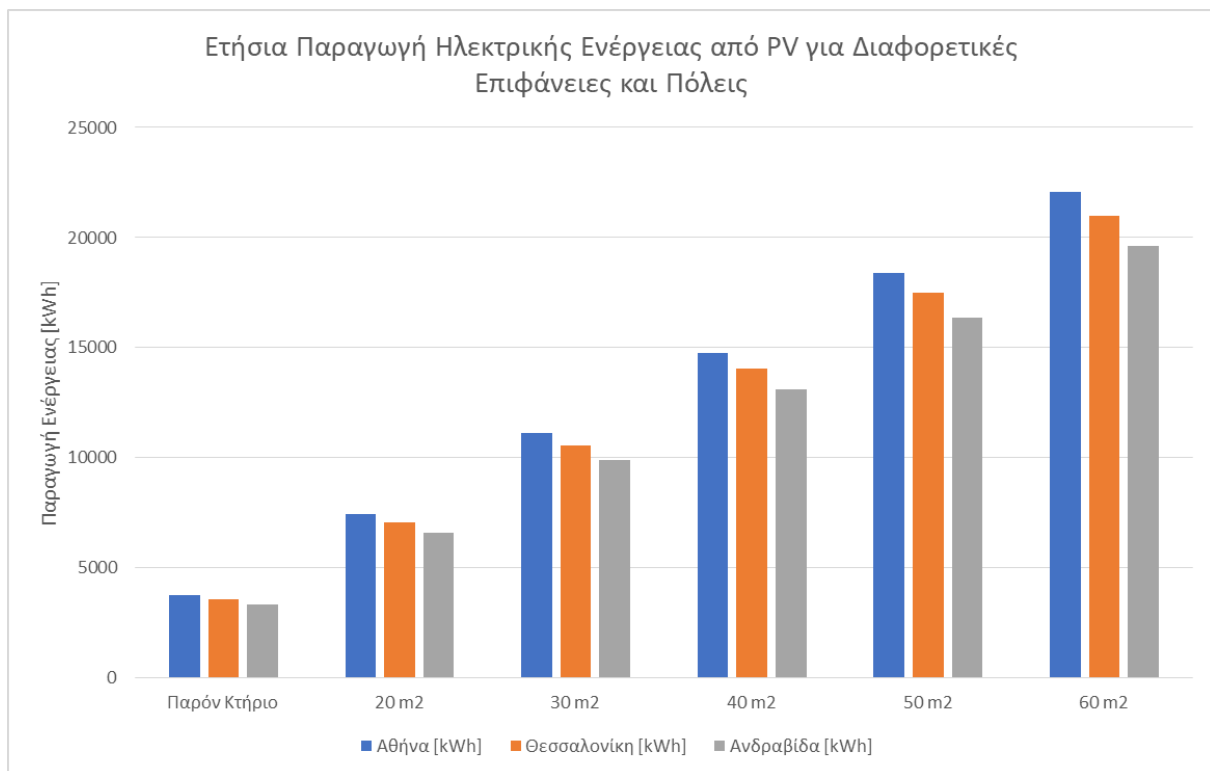
Τα αποτελέσματα που λάβαμε είναι τα αναμενόμενα για του λόγους που ακολουθούν:

Η Ανδραβίδα παρόλο που βρίσκεται περίπου στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος με την Αθήνα τα φορτία της θέρμανσης είναι αυξημένα καθώς λόγω της οροσειράς της Πίνδου οι βροχοπτώσεις και οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι συχνότερες. Για τον ίδιο λόγο, τα φορτία της ψύξης παρουσιάζονται χαμηλότερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

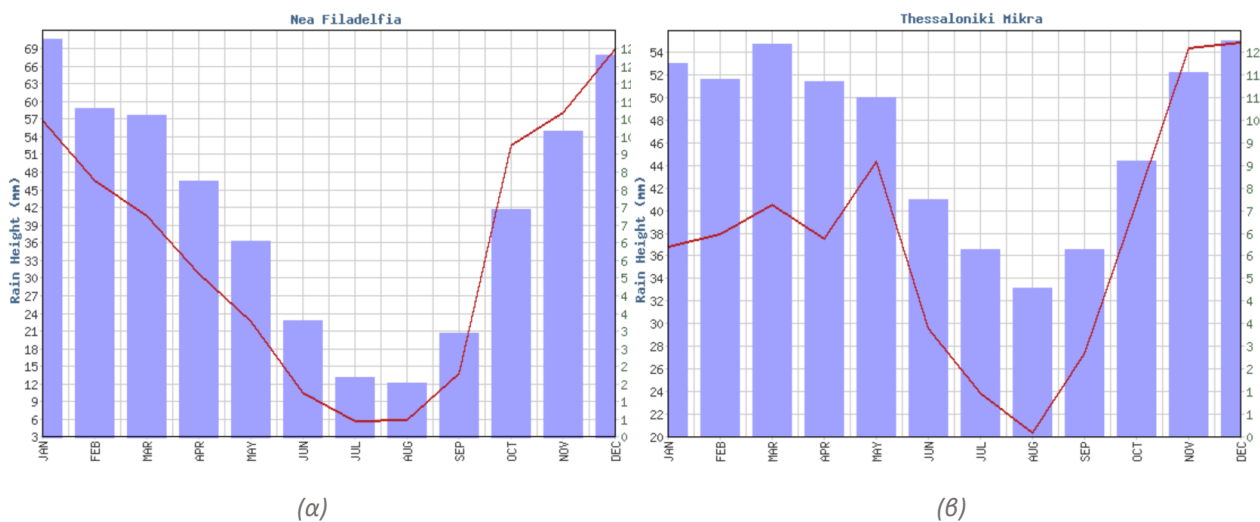
Όσον αφορά την Θεσσαλονίκη, όπως είναι αναμενόμενο τα φορτία κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι υψηλότερα λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού χαμηλότερα. Αιτία του συγκεκριμένου γεγονότος αποτελεί η βορειότερη γεωγραφική θέση συγκριτικά με την Αθήνα.

### 5.6.2 Απόδοση φωτοβολταϊκών πάνελ

Επόμενο κομμάτι των προσομοιώσεων για τις διαφορετικές πόλεις αποτέλεσε η συμπεριφορά και η παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών πάνελ στις πόλεις αυτές. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η Αθήνα παράγει την περισσότερη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο, με την διαφορά να γίνεται εμφανέστερη στα μεγαλύτερα εμβαδά. Η Θεσσαλονίκη λόγω του υψηλότερου υετού, άρα και νέφωσης, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σύμφωνα με πίνακες της Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία), όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.22, είναι αναμενόμενο να παράγει λιγότερη ενέργεια. Όσον αφορά την Ανδραβίδα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, λόγω της οροσειράς της Πίνδου, οι νεφώσεις είναι αυξημένες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και συνεπώς και η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ.



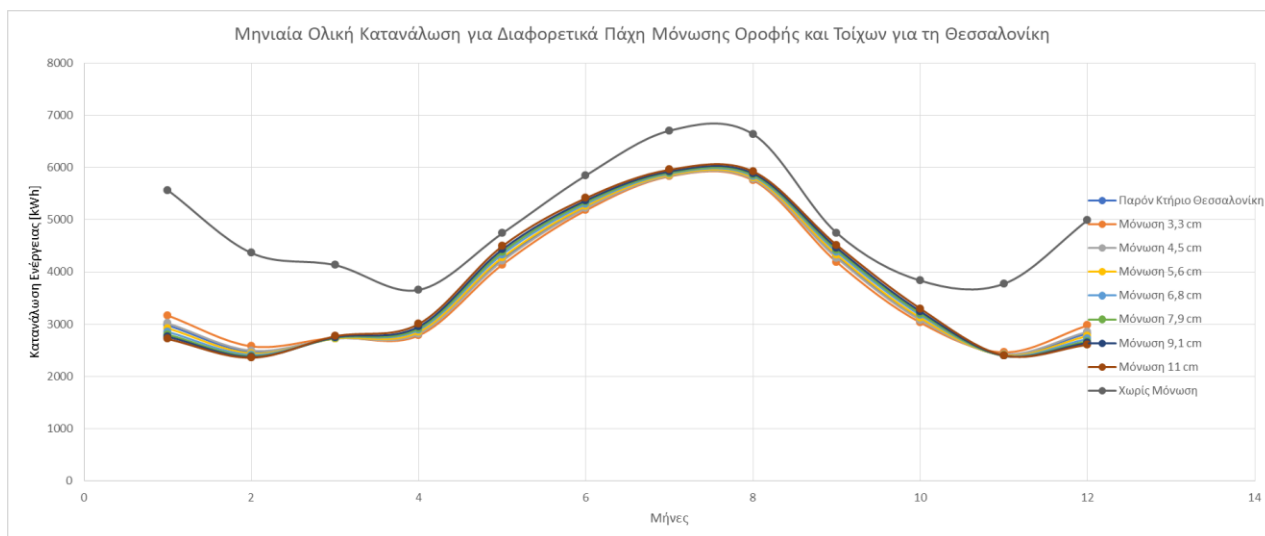
Εικόνα 5.18 : Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από PV για Διαφορετικές Επιφάνειες και Πόλεις



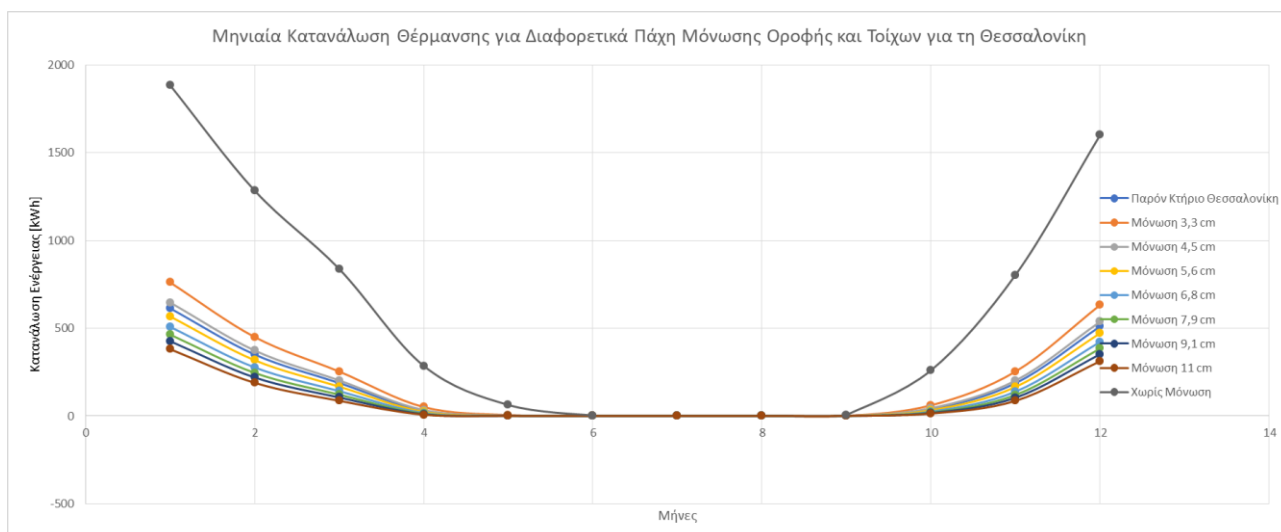
Εικόνα 5.19 : Πίνακες υετού της ΕΜΥ για Αθήνα (α) και Θεσσαλονίκη (β)

### 5.6.3 Συμπεριφορά καταναλώσεων για διαφορετικά πάχη μόνωσης

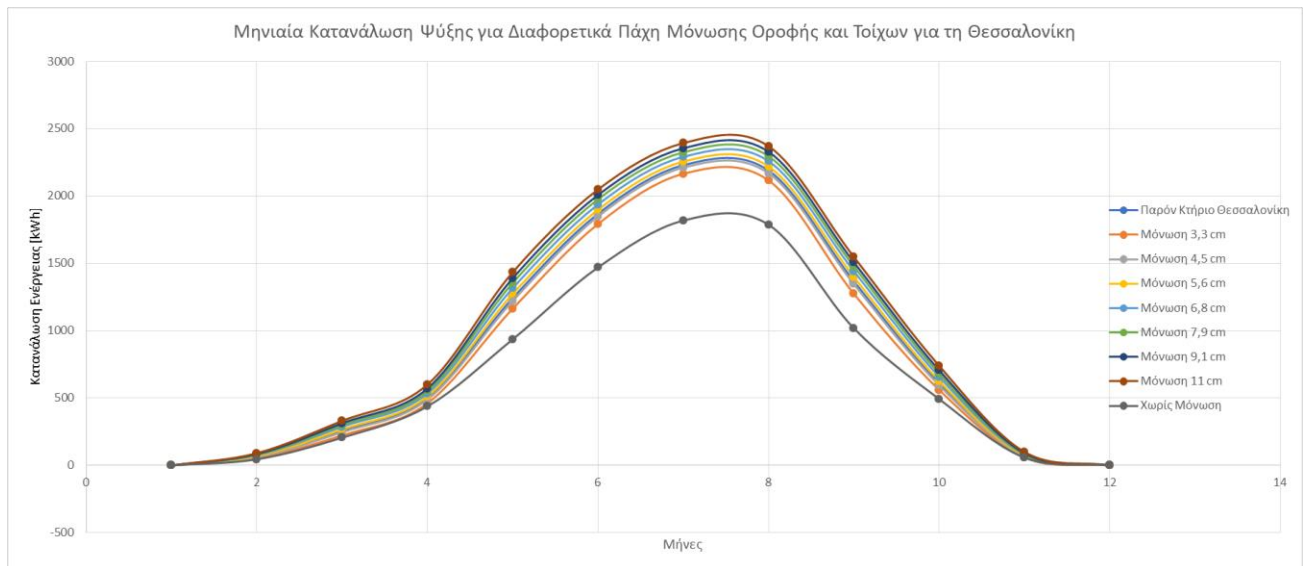
Η επόμενη κατηγορία προσομοιώσεων που θεωρήθηκε ενδιαφέρουσα να μελετηθεί είναι η συμπεριφορά των ενεργειακών καταναλώσεων και οι μειώσεις που προκύπτουν για διαφορετικά πάχη μόνωσης στις διαφορετικές πόλεις. Καθώς, η κάθε μια πόλη αφορά διαφορετικό κλίμα και διαφορετικές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες, η συνεισφορά και η σημαντικότητα της μόνωσης σε κάθε μία από αυτές διαφέρει.



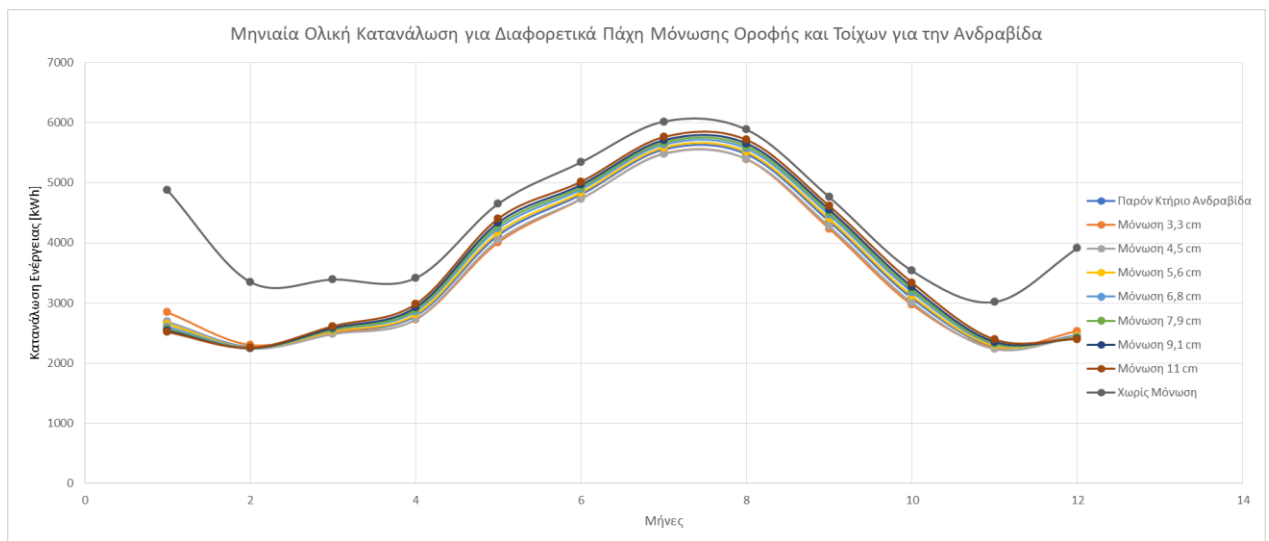
Εικόνα 5.20 : Μηνιαία Ολική Κατανάλωση για Διαφορετικά Πάχη Μόνωσης Οροφής και Τοίχων για τη Θεσσαλονίκη



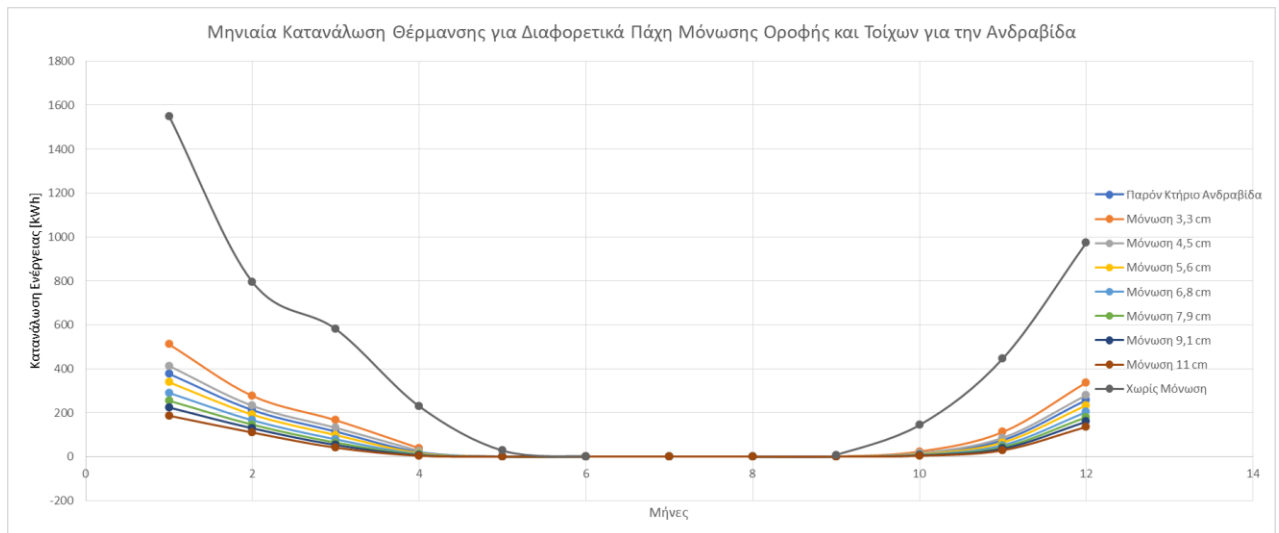
Εικόνα 5.21 : Μηνιαία Κατανάλωση Θέρμανσης για Διαφορετικά Πάχη Μόνωσης Οροφής και Τοίχων για τη Θεσσαλονίκη



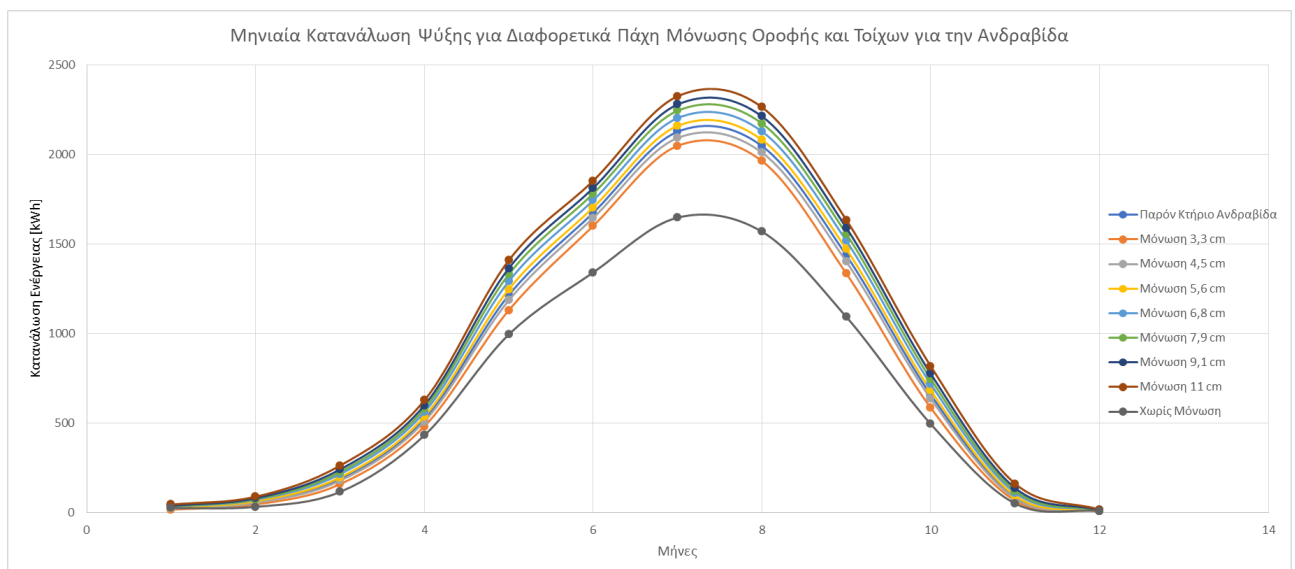
Εικόνα 5.22 : Μηνιαία Κατανάλωση Ψύξης για Διαφορετικά Πάχη Μόνωσης Οροφής και Τοίχων για τη Θεσσαλονίκη



Εικόνα 5.23 : Μηνιαία Ολική Κατανάλωση για Διαφορετικά Πάχη Μόνωσης Οροφής και Τοίχων για την Ανδραβίδα



Εικόνα 5.24 : Μηνιαία Κατανάλωση Θέρμανσης για Διαφορετικά Πάχη Μόνωσης Οροφής και Τοίχων για την Ανδραβίδα

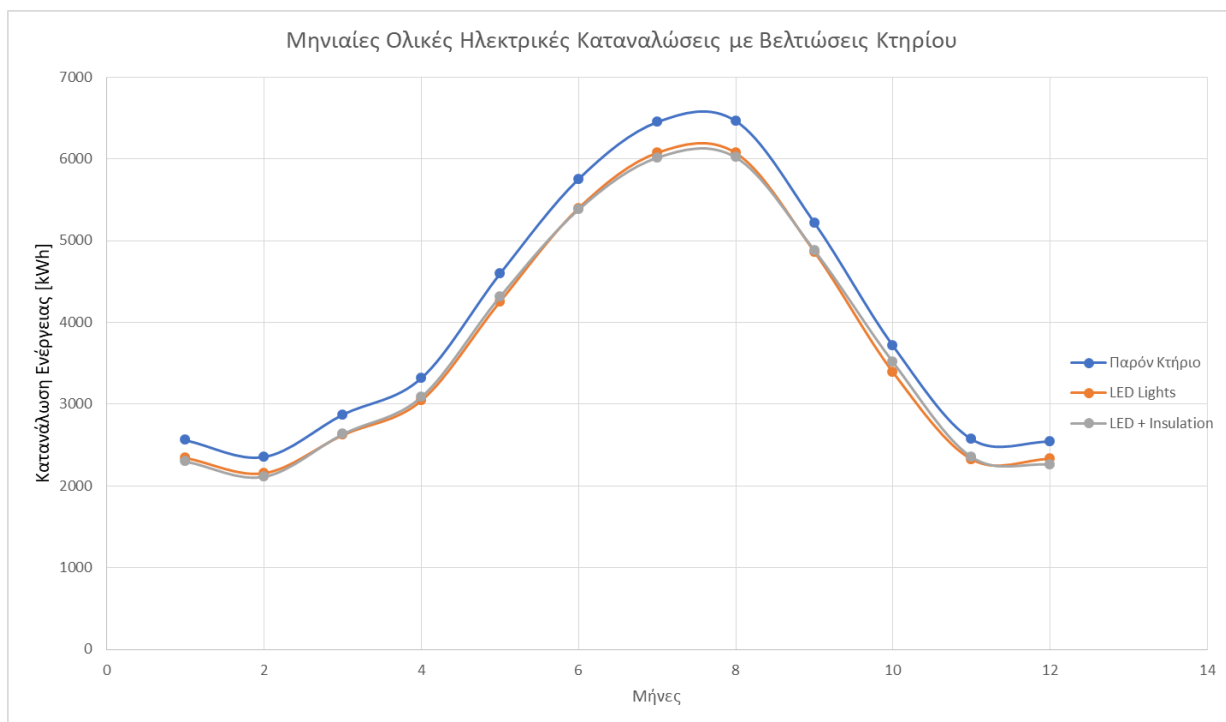


Εικόνα 5.25 : Μηνιαία Κατανάλωση Ψύξης για Διαφορετικά Πάχη Μόνωσης Οροφής και Τοίχων για την Ανδραβίδα

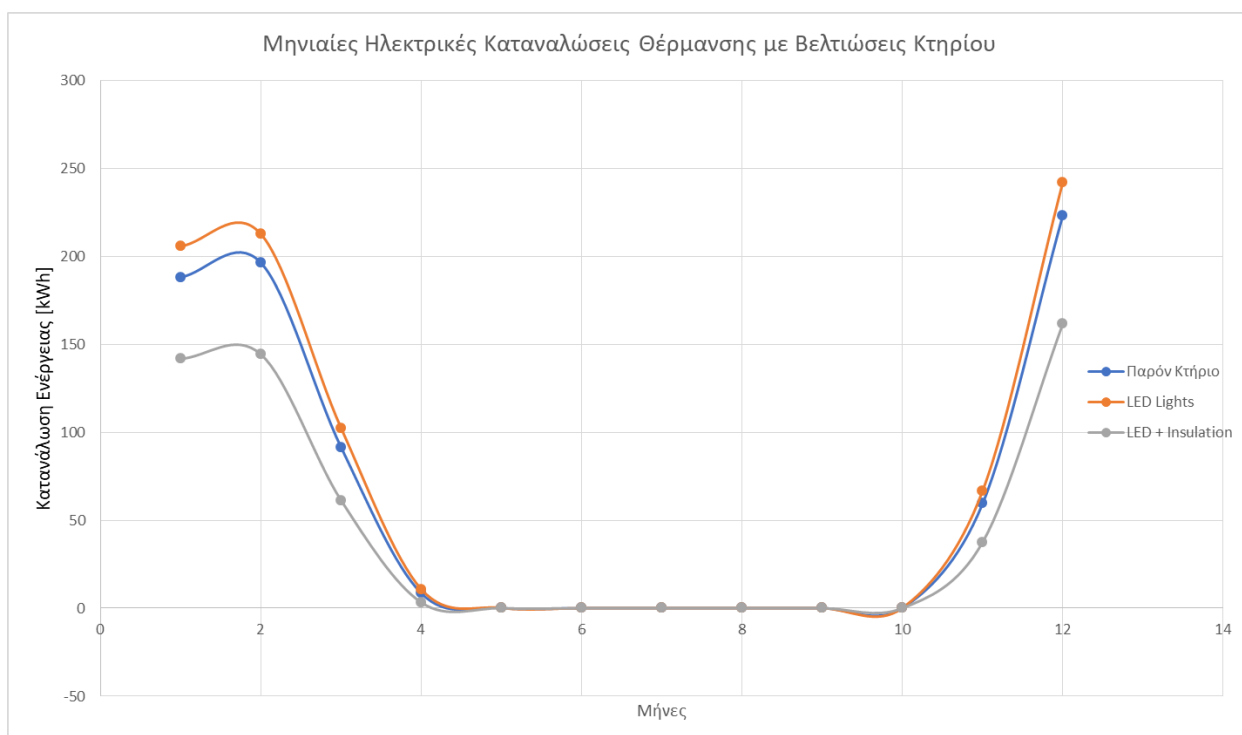
Όπως και στην περίπτωση της Αθήνας η ολική ενεργειακή εξοικονόμηση είναι τεράστια ακόμα και με την τοποθέτηση της μικρότερης δυνατής μόνωσης. Οι καταναλώσεις της θέρμανσης μειώνονται όσο αυξάνει το πάχος, ενώ αυτές της ψύξης αυξάνονται. Οι διαφορές από πόλη σε πόλη έγκειται στο διαφορετικό κλίμα και στις διαφορετικές θερμοκρασίες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του έτους και γι αυτό το λόγο, παρόλο που η διαμόρφωση των διαγραμμάτων είναι η ίδια, οι καταναλώσεις είναι εντελώς διαφορετικές.

## 5.7 Σενάρια βελτίωσης κτηρίου

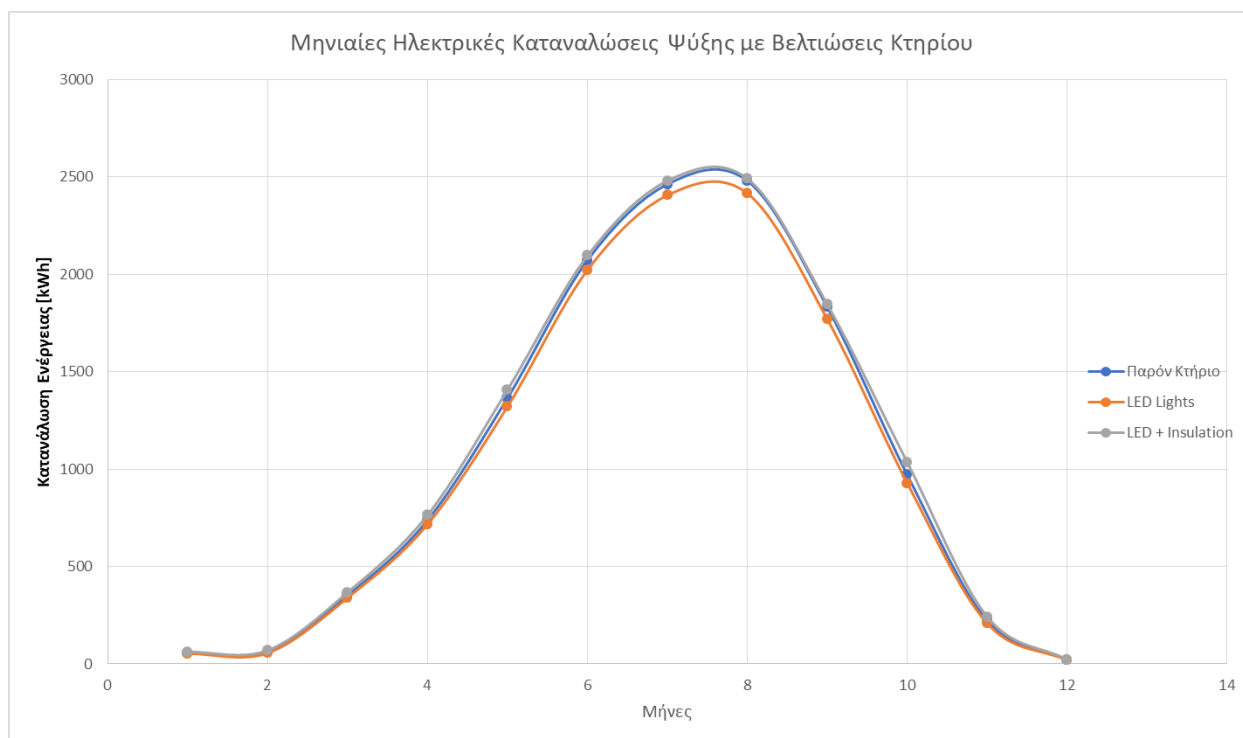
Στα πλαίσια της περαιτέρω εξοικονόμησης ενέργειας, προτάσσονται και παρουσιάζονται δύο (2) πιθανά σενάρια βελτίωσης του παρόντος κτηρίου και τα διαγράμματα που προκύπτουν απεικονίζονται παρακάτω:



Εικόνα 5.26 : Μηνιαίες Ολικές Ηλεκτρικές Καταναλώσεις με Βελτιώσεις Κτηρίου



Εικόνα 5.27 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Θέρμανσης με Βελτιώσεις Κτηρίου



Εικόνα 5.28 : Μηνιαίες Ηλεκτρικές Καταναλώσεις Ψύξης με Βελτιώσεις Κτηρίου

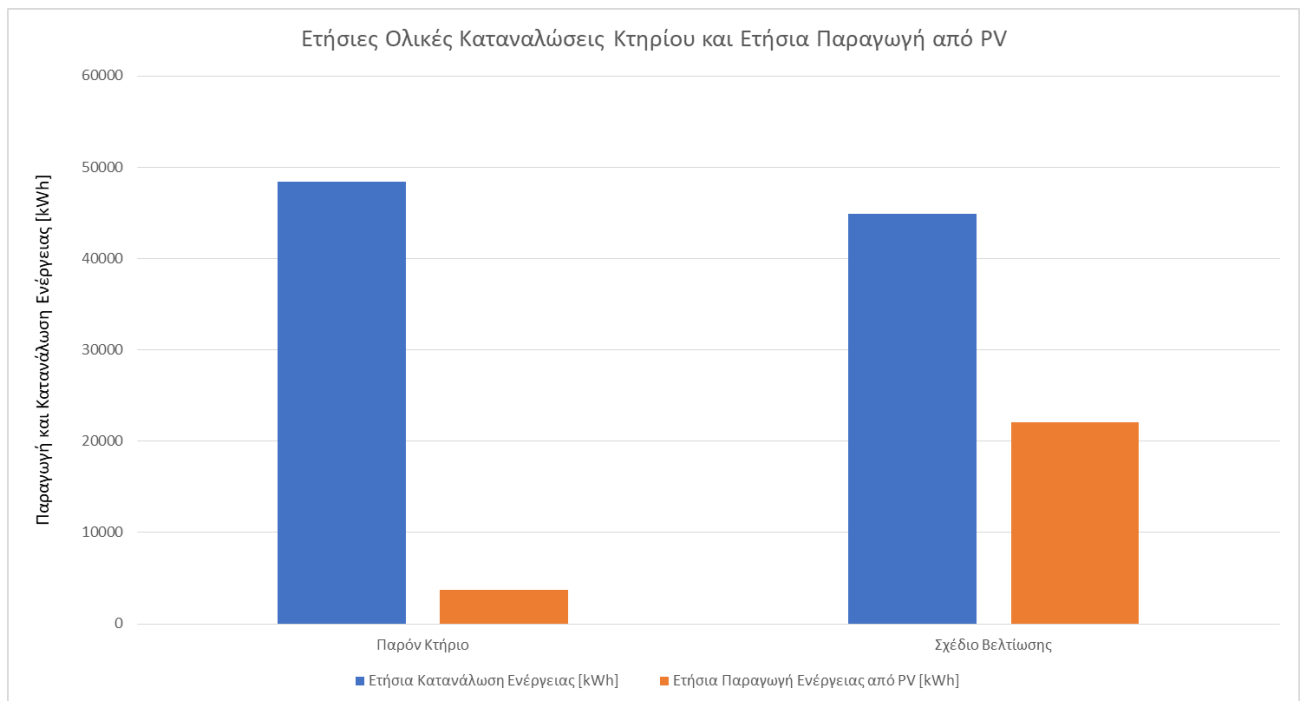
Αναλυτικότερα, τα σενάρια που προσομοιώθηκαν αφορούν τη συμπεριφορά των καταναλώσεων στην περίπτωση εγκατάστασης Δίοδων Εκπομπής Φωτός (LED – Light Emitting Diode) , αύξηση της μόνωσης από 5 σε 8 cm και την τοποθέτηση μεγαλύτερου εμβαδού φωτοβολταϊκών πάνελ.

Παρόλο, που η προσθήκη μόνωσης αποτελεί ένα βασικό βήμα στην εξοικονόμηση ενέργειας των κτηρίων, στην μελετώμενη περίπτωση κρίνεται μη αναγκαία. Η συνεισφορά της είναι εμφανέστατη στην Εικόνα 5.12 και στο διάγραμμα θερμικών καταναλώσεων, όπου η εξοικονόμηση αγγίζει το 30%, αλλά η ολική ετήσια μείωση που προκαλείται εξαιτίας της είναι αμελητέα. Συμπερασματικά, αν λάβουμε υπ όψιν το κόστος αγοράς και τοποθέτησής της, το σενάριο κρίνεται ασύμφορο και απορρίπτεται.

Για το λόγο αυτό, το προτεινόμενο σενάριο βελτίωσης επικεντρώνεται στην αντικατάσταση των συστημάτων φωτισμού με LED και την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Στο διάγραμμα που αφορά τις καταναλώσεις της θέρμανσης παρουσιάζεται μια αύξηση του απαιτούμενου φορτίου, φαινόμενο απόλυτα λογικό αν αναλογιστούμε ότι το οι εσωτερικοί χώροι δεν περιλαμβάνουν πλέον φώτα που εκλύουν σημαντικά θερμικά κέρδη. Αντίστοιχα στο διάγραμμα της Εικόνας 5.28 που αφορά την ψύξη για τους ίδιους λόγους με τη θέρμανση η κατανάλωση είναι κατά ένα μικρό ποσοστό μικρότερη της προηγούμενης. Τέλος, στην Εικόνα 5.26 που αφορά τις ολικές καταναλώσεις του κτηρίου, η μόνιμη διαφορά που απεικονίζεται αφορά ,κατά κύριο λόγο, τη μείωση των φορτίων φωτισμού σε συνδυασμό

με τις αντίστοιχες μειώσεις που προκύπτουν και στα υπόλοιπα συστήματα. Αναλυτικοί πίνακες που παρουσιάζουν αυτές τις διαφορές απεικονίζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα με τις αλλαγές αυτές η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος μειώνεται από τις **48.403,47** στις **44.860,61 kWh**, δηλαδή παρατηρείται μείωση της τάξης του 10% και η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται από τις **3.719,44** στις **22069,44 kWh** όπως απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 5.29 : Ετήσιες ολικές καταναλώσεις κτηρίου και ετήσια παραγωγή από PV για το παρόν κτήριο και το προτεινόμενο σενάριο βελτίωσης

Με το προτεινόμενο σχέδιο όχι μόνο μειώνεται κατανάλωση, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 50% της ολικής απαιτούμενης.

## Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και επίλογος

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της ΔΕΗ, η τιμή της κιλοβατώρας (kWh) για τις επιχειρήσεις ανέρχεται στα 0,2€/kWh, συνεπώς το κτήριο με την τοποθέτηση των διόδων (LED) εξοικονομεί χονδρικά 3500kWh που αν αυτό μεταφραστεί σε χρήματα, αντιστοιχεί σε περίπου 700€/έτος. Με την αγορά και την εγκατάστασή τους να κοστίζει το πολύ 625€ (περίπου 25€ ανά πάνελ), σε ένα μόλις έτος γίνεται απόσβεση.



Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι ολικές καταναλώσεις του παρόν κτηρίου καθώς και του προτασσόμενου σεναρίου βελτίωσης προς σύγκριση των αντίστοιχων τιμών:

Παρόν Κτήριο	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	188	196	91	9	0	0	0	0	0	0	59	223	<b>767</b>
Cooling	57	63	352	738	1366	2072	2463	2479	1831	970	222	21	<b>12634</b>
Interior Lighting	579	525	596	538	596	572	561	596	555	579	572	561	<b>6828</b>
Interior Equipment	400	363	408	379	408	393	394	408	387	400	393	394	<b>4730</b>
Fans	1256	1139	1345	1574	2133	2617	2926	2874	2351	1676	1250	1266	<b>22405</b>
Pumps	77	68	79	82	93	99	106	105	95	87	74	75	<b>1040</b>
<b>Total</b>	<b>2558</b>	<b>2354</b>	<b>2871</b>	<b>3319</b>	<b>4595</b>	<b>5754</b>	<b>6450</b>	<b>6463</b>	<b>5218</b>	<b>3712</b>	<b>2570</b>	<b>2541</b>	<b>48403</b>

Σενάριο Βελτίωσης	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	206	213	102	11	0	0	0	0	0	0	67	242	<b>841</b>
Cooling	53	56	340	717	1321	2022	2406	2415	1769	927	208	18	<b>12252</b>
Interior Lighting	452	410	465	420	465	447	438	465	433	452	447	438	<b>5335</b>
Interior Equipment	400	363	408	379	408	393	394	408	387	400	393	394	<b>4730</b>
Fans	1152	1043	1227	1435	1966	2437	2730	2679	2179	1523	1137	1162	<b>20670</b>
Pumps	80	71	79	82	92	98	106	105	94	86	73	76	<b>1042</b>
<b>Total</b>	<b>2343</b>	<b>2156</b>	<b>2622</b>	<b>3043</b>	<b>4254</b>	<b>5398</b>	<b>6074</b>	<b>6072</b>	<b>4862</b>	<b>3389</b>	<b>2325</b>	<b>2331</b>	<b>44869</b>

Για τα συστήματα των φωτοβολταϊκών πάνελ δεδομένου γνωρίζουμε ότι η τιμή αγοράς θα είναι σταθερή για 25 έτη και εξαρτάται από την ημερομηνία κατασκευής και σύνδεσης του φωτοβολταϊκού στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού (ΔΕΔΔΗΕ). Επειδή το κόστος των φωτοβολταϊκών πέφτει κάθε χρόνο 4-5%, κάθε 6 μήνες πέφτει και η τιμή πώλησης του ρεύματος για τα νέα φωτοβολταϊκά μόνο. Εφόσον όμως το κτήριο που μελετάμε είναι ήδη συνδεδεμένο στο δίκτυο από την ημερομηνία κατασκευής του, η τιμή αγοράς παραμένει αμετάβλητη στα 0,55€/kWh. Δεδομένου αυτού, το κτήριο «πληρώνεται» περισσότερα χρήματα από αυτά που αναγκάζεται να πληρώσει για το ρεύμα που καταναλώνει, με αποτέλεσμα το κόστος λειτουργίας του να είναι μηδαμινό. Μάλιστα μέσα στην σύμβαση προβλέπεται ότι η τιμή αυτή θα αυξάνει στο 1/4 του ετήσιου πληθωρισμού. Δηλαδή αν υποθέσουμε ένα πληθωρισμό στο 3% για τα 25 χρόνια της σύμβασης, η τιμή που θα ξεκινήσει με 55 λεπτά θα γίνει 66 λεπτά στο 25<sup>ο</sup> έτος.

Το κόστος μιας πρόσθετης εγκατάστασης 3kW φωτοβολταϊκών πάνελ (επιπλέον 50m<sup>2</sup>) κοστολογείται περίπου στα 13.500€ σύμφωνα με τις τιμές που υπάρχουν στο διαδίκτυο από διάφορες εταιρίες εγκατάστασης. Δεδομένου όμως των χρημάτων που δαπανώνται κάθε χρόνο στο παρόν κτήριο, με την τοποθέτηση των επιπλέον 3kW η χρηματική εξοικονόμηση ανέρχεται περίπου στα 9000€ ετησίως.

Με βάση τα παραπάνω, μια λελογισμένη οικονομικά επένδυση αναδιαμόρφωσης των συστημάτων φωτισμού και των φωτοβολταϊκών, η ετήσια μείωση του λειτουργικού κόστους μπορεί να ανέλθει και στο 100% καθιστώντας το κτήριο, σύμφωνα με αυτά που ειπώθηκαν στο Κεφάλαιο 1, μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτός ο ισχυρισμός βέβαια, δεν βασίζεται στον ορισμό του NZEB με βάση την καταναλώμενη ενέργεια, αλλά με βάση το μηδενικό συνολικό ενεργειακό κόστος ( Net Zero Energy Cost).

## Επίλογος

Συνοψίζοντας, η σημαντικότητα του σεναρίου βελτίωσης δεν έγκειται τόσο στις χρηματικές εξοικονομήσεις, όσο στις ενεργειακές. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι αναμφίβολα ο ταχύτερος, οικονομικότερος και ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης όλων των συστημάτων κατανάλωσης συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας εξασφαλίζοντας παράλληλα τις βέλτιστες συνθήκες άνεσης των καταναλωτών. Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στις μέρες μας γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική και μείζονα, εξαιτίας της οικονομικής ύφεσης, καθώς συμβάλει στην βελτίωση τόσο των οικονομικών μεγεθών όσο και των περιβαλλοντικών συνθηκών .

Γιατί τελικά η πιο «καθαρή» ενέργεια είναι αυτή που δεν καταναλώνεται.

## Βιβλιογραφία

- [1] «Nearly zero energy building renovation: From energy efficiency to environmental efficiency, a pilot case study», Arianna Brambilla et al., Elsevier Ltd, 2018
- [2] «A “Nearly Zero Energy” Standard by 2050 in EU – Half-Dream, Half-Reality» [Ηλεκτρονικό] Available: <https://www.energyintime.eu/nearly-zero-energy-standard-2050-eu-half-dream-half-reality/>
- [3] DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings
- [4] «Call for Nearly Zero Energy standard for retrofitting European buildings by 2050» David Thorpe, 2016. [Ηλεκτρονικό] Available : <https://www.thefifthestate.com.au/innovation/building-construction/call-for-nearly-zero-energy-standard-for-retrofitting-european-buildings-by-2050/85329/>
- [5] «Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: A Review in Residential Buildings», P.Chastas et al., Elsevier Ltd, 2017
- [6] «A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency Solutions», Lorenzo Belussi et al., Elsevier Ltd, 2019
- [7] «Energy performance of European residential buildings: Energy use, technical and environmental characteristics of the Greek residential sector –energy conservation and CO 2 reduction», Athina G. Gaglia et al., Elsevier Ltd, 2019
- [8] «Economic Analysis of the routes for fulfillment of net-zero energy buildings (NZEBs) in the UK», Matthew Dowds, Siming You, Elsevier Ltd, 2019
- [9] «ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ» Άρθρο των: ΙΩΑΝΝΗ ΚΟΣΜΟΠΟΥΛΟΥ, υποψ. διδάκτορα Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ., ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΠΑΠΑΚΩΣΤΑ, επικ. καθηγητή Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ. 2012
- [10] «Can zero-energy buildings become the norm?», Monica Kanojia, 2016 [Ηλεκτρονικό]. Available : <https://www.greenbiz.com/article/can-zero-energy-buildings-become-norm>
- [11] «Net Technical Report -Zero Energy Buildings»: NREL/TP-550-44586 A Classification System Based June 2010 on Renewable Energy Supply Options Shanti Pless and Paul Torcellini
- [12] «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ» Ι. Κοσμόπουλος Κοσμόπουλος, Υπ. Διδάκτωρ Διδάκτωρ, Τμ. Μηχ. Μηχ. ΑΠΘ Κ. Παπακώστας Παπακώστας, Επικ. καθ., Τμ. Μηχ. Μηχ. ΑΠΘ, Οκτώβριος 2011
- [13] «Three options to calculate the percentage renewable energy: An example for a EU policy debate» Reinoud Segers , 2008
- [14] «Βιοκλιματικός σχεδιασμός» [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/bioklimatikos\\_sxediasmos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm) [Ηλεκτρονικό]
- [15] «ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ» [Ηλεκτρονικό]. Available : <http://www.noisis7group.gr/index.php/blogs/bioklimatikos-schediasmos-ktiriwn>
- [16] <http://www.ktirio.gr> Βιοκλιματικό κτίριο διοίκησης ΔΕΥΑΛ στη Λαμία
- [17] «POE of Bioclimatic Design Building towards Promoting Sustainable Living», Hazreena Hussein, Adi Ainurzaman Jamaludin, Elsevier Ltd, 2015
- [18] «Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort», Francisco Manzano-Aguliaro et al., Elsevier Ltd, 2015

- [19] Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων: Σημειώσεις Μαθήματος Θερμικής Συμπεριφοράς Κτηρίων. Τζιβανίδης Χρήστος
- [20] «Heat gain through Trombe wall using solar energy in a cold region of Turkey» , Türkan Göksal Özbalta, 2010 [Ηλεκτρονικό] .Available : [https://www.researchgate.net/publication/228678835\\_Heat\\_gain\\_through\\_Trombe\\_wall\\_using\\_solar\\_energy\\_in\\_a\\_cold\\_region\\_of\\_Turkey/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/228678835_Heat_gain_through_Trombe_wall_using_solar_energy_in_a_cold_region_of_Turkey/figures?lo=1)
- [21] «Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones», Abdollah Baghaei Daemei et al., Elsevier Ltd, 2019
- [22] «Ηλιακός θερμοσίφωνας» <https://el.wikipedia.org/>
- [23] «Γενικά για τους ηλιακούς θερμοσίφωνες» [Ηλεκτρονικό] Available : <http://www.galaxysolar.gr/1A725604.el.aspx>
- [24] «Shading Devices» [Ηλεκτρονικό] Available : <http://2030palette.org/shading-devices/>
- [25] «Solar/Thermal Chimney» [Ηλεκτρονικό] Available : <http://ae390-systemsvariety-group6.weebly.com/solarthermal-chimney.html>
- [26] «Το Green Roof Leadership Award 2018 στο Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος» , «Εθνικός Κήρυξ» 26 Φεβρουαρίου, 2018 [Ηλεκτρονικό] Available: <https://www.ekirikas.com/t%CE%BF-green-roof-leadership-award-2018-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CE%BA%CE%AD%CE%BD%CF%84%CF%81%CE%BF-%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D-%CE%B9%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1/>
- [27] «Roofing Ventilation» [Ηλεκτρονικό] Available : <https://hodgesroofs.com/roofing-ventilation/>
- [28] «Αεριζόμενη πρόσοψη» [Ηλεκτρονικό] Available : <https://el.play-azlab.com/domashniy-uyut/8496-ventiliruemyg-fasad-chto-eto-takoe-montazh-fasadov.html>
- [29] Κ.Α.Π.ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,«ΟΔΗΓΟΣ ΣΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ HVAC», Ευρωπαϊκή Επιτροπή Γενική Διεύθυνση V Ευρωπαϊκό Κοινοτικό Ταμείο
- [30] «WHAT IS VAV HVAC?» [Ηλεκτρονικό]. Available : <https://airfixture.com/glossary/vav-hvac>
- [31] «Αντλίες Θερμότητας» [Ηλεκτρονικό] Available : <http://hottowel.gr/antlies-thermotitas/>
- [32] «Αντλίες Θερμότητας» <https://el.wikipedia.org>
- [33]ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ Δρ. Μιχάλης Γρ. Βραχόπουλος Καθηγητής Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. ΤΕΙ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Δρ. Μαρία Κ. Κούκου Επ. Συν. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. ΤΕΙ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ Δρ. Κωνσταντίνος Καρύτσας Τμήμα Γεωθερμίας, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [34]Έργο: Μελέτη – Κατασκευή Κτηρίου Εργαστηρίου Μέτρησης της απόδοσης των ΑΠΕ σε οικόπεδο του ΚΑΠΕ στο Πικέρμι Αττικής.
- [35] «ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ» [Ηλεκτρονικό], 2004 Available : [www.ktirio.gr](http://www.ktirio.gr)
- [36] Ηλιακή θέρμανση και γεωθερμική ψύξη στο νέο κτήριο γραφείων του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) στο Πικέρμι Αττικής. Μ. Καραγεωργιάς