Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Θερμότητας

Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργειας και Κλιματισμού

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας
«Υπολογιστική Μελέτη Μοντέλου Κτιρίου-Γραφείου nZEB με την χρήση του Προγράμματος EnergyPlus»

ΝΙΚΟΛΑΟΣ-ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΡΑΠΤΗΣ
ΑΘΗΝΑ, 2021

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ ΜΕΛΟΣ ΔΕΠ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

<u>Υπεύθυνη δήλωση</u> για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ονοματεπώνυμο ΝΙΚΟΛΑΟΣ-ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΡΑΠΤΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για ορισμένα πρόσωπα , καθώς ,όπως είχε πει ένας σοφός, στις φιλοφρονήσεις είναι καλύτερο να χάνεις με ένα χαρτί περισσότερο στο χέρι παρά με ένα λιγότερο.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την πολύτιμη καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδελφή μου και τους γονείς μου για την καθοριστική συμβολή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Δίχως την καθημερινή και επίμονη ερώτηση " Πότε θα πάρεις πτυχίο" , αμφιβάλλω αν θα έγραφα αυτές τις γραμμές.

Τέλος, μην θέλοντας να φανώ ούτε αγενής ούτε αγνώμων προς τους συμφοιτητές μου θα ήθελα , πριν λήξουν οι ευχαριστίες, να τονίσω την ώθηση που μου προσέφεραν απλόχερα, κάνοντας με να αναπολώ συνεχώς τον στίχο του J.Hendrix " There must be some kind of way outta here".

Λοιπόν, την ανάγκη φιλοτιμία ποιούμενος , έγραψον τοιάδε.

ΑΘΗΝΑ 2021,

Ν.Γ.Ρ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσης διπλωματικές εργασίας είναι η μελέτη και ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του μοντέλου “Κτίριο-Γραφείο”, το οποίο σχεδιάσθηκε εξ’ ολοκλήρου από την αρχή, για διάφορα σενάρια κατασκευής του , με σκοπό την βελτίωση του. Η μελέτη αφορά την προσομοίωση του μοντέλου κατά την διάρκεια ενός τυπικού έτους στην Αθήνα.

Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά προγράμματα, τα οποία είναι τα εξής :

- Sketchup Pro 2020 ,πρόγραμμα στο οποίο σχεδιάστηκε το μοντέλο
- EnergyPlus,πρόγραμμα στο οποίο υπολογίστηκαν όλα τα φορτία του μοντέλου
- OpenStudio v.3.1.0, το οποίο αποτελεί γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI) του EnergyPlus, μέσω του οποίου σχεδιάστηκαν και καθορίστηκαν τα χρονοδιαγράμματα, τα δομικά στοιχεία, το HVAC και αποδόθηκαν τα εσωτερικά φορτία

Αναλυτικότερα,

Στο **κεφάλαιο 1** εξετάζεται η κατάσταση της κλιματικής αλλαγής σήμερα και η συμβολή του τομέα των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή.

Στο **κεφάλαιο 2** δίνονται οι ορισμοί των κτιρίων Μηδενικής Καταναλώσεως Ενέργειας (Nzeb) και η εξέλιξη των εννοιών αυτών σήμερα.

Στο **κεφάλαιο 3** γίνεται μια επισκόπηση των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC).

Στο **κεφάλαιο 4** γίνεται μια επισκόπηση των αντλιών θερμότητας.

Στο **κεφάλαιο 5** γίνεται μια πλήρη παρουσίαση του υπό σχεδίαση μοντέλου.

Στο **κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα προαναφερθέντα προγράμματα.

Στο **κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδιασμού του μοντέλου στα προγράμματα που αναφέρθηκαν.

Στο **κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των διάφορων εξεταζόμενων σεναρίων.

Στο **κεφάλαιο 9** παρουσιάζουμε τα συμπεράσματα μας και προτείνουμε σενάρια βελτίωσης του αρχικού μοντέλου για την επίτευξη καλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας

Στο **κεφάλαιο 10** περιέχεται η χρησιμοποιηθείσα βιβλιογραφία

ABSTRACT

The aim of this thesis is to study and calculate the heating and cooling loads of a model that simulates an Office Building , which was designed from scratch, in different scenarios in order to improve its performance. The study concerns the operation of this model during a typical year in Athens,Greece.

This thesis, in order to be prepared, used three different programs :

- Sketchup Pro 2020 , which was the program in which the model built
- EnergyPlus, in which all the loads of the studied model calculated
- OpenStudio v.3.1.0 (which is the Graphical User Interface (GUI) of EnergyPlus), in which all the schedules, constructions, HVAC system were designed and appointed and internal loads were assigned.

Analytically,

The **Chapter 1** addresses the situation of climate change today and the building sector's contribution in climate change.

The **Chapter 2** introduces the meanings of Zero Energy Buildings and the evolution of these meanings today.

The **Chapter 3** introduce us in HVAC Systems.

The **Chapter 4** introduce us in Heat Pumps.

The **Chapter 5** is dedicated to the presentation of the model

The **Chapter 6** is dedicated to a more informative presentation of the aforementioned programs.

The **Chapter 7** is dedicated to the thorough examination of the modeling process in Skethup and OpenStudio

The **Chapter 8** presents the different scenarios simulation's results

The **Chapter 9** presents our conclusions and proposes alienations to our initial model in order to achieve better energy efficiency

The **Chapter 10** contains the bibliography

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ενότητα	Σελίδα
1. Εισαγωγή	**12**
1.1 Κλιματική Αλλαγή	12
1.2 Ενεργειακές καταναλώσεις και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των κτιρίων	18
2. ZEB (Zero-Energy Building)	**22**
2.1 Εισαγωγή	22
2.2 Ορισμοί	24
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα κάθε ορισμού ZEB	26
2.4 Ταξινόμηση nZEB	30
2.5 Επέκταση των εννοιών των ZEB	33
3. HVAC (Heating, Ventilation, Air-Conditioning)	**35**
3.1 Ορισμός	35
3.2 Κατηγορίες HVAC	36
3.2.1 Συγκεντρωμένα Συστήματα	36
3.2.2 Μερικώς Συγκεντρωμένα Συστήματα Αέρα/Νερού	42
3.2.3 Τοπικά Συστήματα	48
3.3 Επιλογή Συστήματος HVAC	53
4. Αντλίες Θερμότητας	**54**
4.1 Ορισμός	54
4.2 Αρχή Λειτουργίας	56
4.3 Τμήματα Αντλίας Θερμότητας	58
4.4 Θεωρητικός και Πραγματικός κύκλος Λειτουργίας	60
4.5 Βαθμός Απόδοσης Αντλίας Θερμότητας	64
4.6 Κύκλος Λειτουργίας της Θερμικής Αντλίας σε Ψύξη και Θέρμανση	66
4.6.1 Κύκλος ψύξης	66

4.6.2 Κύκλος θέρμανσης 68
4.7 Βαθμός Απόδοσης και Ενεργειακή Αξιολόγηση για τους κύκλους ψύξης και θέρμανσης 69
4.7.1 Βαθμός Απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης 69
4.7.2 Βαθμός Απόδοσης σε λειτουργία ψύξης 69
4.7.3 Ενεργειακή Αξιολόγηση 69
4.7.4 Τυπικές τιμές COP σήμερα 69
4.8 Είδη Αντλιών Θερμότητας 71
4.8.1 Κριτήριο πηγή θερμότητας-εργαζόμενο μέσο 71
4.8.2 Κριτήριο θερμοδυναμικού κύκλου 78
5. Παρουσίαση Μοντέλου 82
5.1 Γενικά Στοιχεία 82
5.2 Εσωτερική διάρθρωση κτιρίου – Κατόψεις 83
5.3 Διαχωρισμός σε Θερμικές Ζώνες 85
6. Παρουσίαση Προγραμμάτων 87
7. Περιγραφή Βημάτων Μοντελοποίησης στο Sketchup και στο OpenStudio 89
7.1 SKETCHUP 89
7.1.1 Σχεδιασμός Κάτοψης Ισογείου 91
7.1.2 Εντολή Create Spaces from Diagram 92
7.1.3 Σχεδιασμός εσωτερικών και εξωτερικών παραθύρων 95
7.1.3.1. Α’ τρόπος 95
7.1.3.2 Β τρόπος Σχεδίασης 100
7.1.4. Σχεδιασμός Ορόφου 105
7.1.5 Σχεδιασμός εσωτερικών πορτών 107
7.1.6 Εκτέλεση της εντολής Surface Matching 110
7.1.7 Σχεδίαση Φωτοβολταϊκων Πάνελ 115
7.1.8 Εκτέλεση της εντολής Set Attributes for Selected Spaces 119
7.1.9 Έλεγχος για Non-Convex Surfaces 122

7.2 OPENSTUDIO 125
7.2.1 Εισαγωγή 125
7.2.2 Site Tab 126
7.2.3 Schedules Tab 127
7.2.4 Construction Tab 130
7.2.5 Loads Tab 144
7.2.6 Space Types Tab 145
7.2.7 Geometry Tab 149
7.2.8 Facility Tab 150
7.2.9 Spaces Tab 151
7.2.10 Thermal Zones Tab 154
7.2.11 HVAC Tab 155
7.2.12 Output Variables Tab 162
7.2.13 Settings Tab 163
7.2.14 Measures Tab 164
7.2.15 Run Simulation Tab 166
7.2.16 Results Summary 166
8. Παραμετρικές Μελέτες 167
8.1 Αποτελέσματα αρχικού μοντέλου 167
8.2 Παραμετρικές Μελέτες 172
8.2.1 Παραμετρική Μελέτη 1: Εξέταση διάφορων συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού 172
8.2.2 Παραμετρική Μελέτη 2: Εξέταση της επίδρασης του κλίματος στις καταναλώσεις ενέργειας του μοντέλου 175
8.2.3 Παραμετρική Μελέτη 3: Εξέταση της επίδρασης του πάχους μονώσεως των εξωτερικών τοίχων στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας 178
8.2.4 Παραμετρική Μελέτη 4: Εξέταση της επίδρασης του πάχους μονώσεως της εξωτερικής οροφής στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας 180

8.2.5 Παραμετρική Μελέτη 5: Εξέταση των συμπερασμάτων των παραμετρικών μελετών 3 και 4 στις μηνιαίες και ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας του μοντέλου 182

8.2.6 Παραμετρική Μελέτη 6: Εξέταση της επίδρασης των υλικών κατασκευής των εξωτερικών τοίχων στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για διάφορα πάχη της μονώσεως τους. 184

8.2.7 Παραμετρική Μελέτη 7: Συγκριτική εξέταση αποτελεσμάτων των παραμετρικών μελετών 5 και 6 187

8.2.8 Παραμετρική Μελέτη 8: Αύξηση της ετήσιας παραγωγής ενέργεια από τα φωτοβολταΪκά πάνελ μέσω της εγκατάστασης επιπλέον φωτοβολταΪκών πάνελ 190

8.2.9 Παραμετρική Μελέτη 9: Εξέταση της επίδρασης της σκίασης , προκαλούμενη από την ύπαρξη γειτονικών κτιρίων, στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταΪκά πάνελ 192

8.2.10 Παραμετρική Μελέτη 10: Εξέταση της επίδρασης του κλίματος στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ 197

9. Συμπεράσματα 198

10. Βιβλιογραφία 202

1. Εισαγωγή

1. 1 Κλιματική Αλλαγή

Η Γη έρχεται καθημερινά αντιμέτωπη με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Βέβαια, μεταβολές στο κλίμα της Γης έχουν συμβεί σε όλη την ιστορία της ύπαρξης της, αλλά είχαν μια σημαντική διαφορά με τις σημερινές. Δηλαδή, ενώ παλαιότερα τέτοιου είδους φυσικές διαδικασίες συνέβαιναν μέσα σε διάστημα εκατομμύριων χρόνων, σήμερα σε διάστημα μόλις πενήντα χρόνων οι μεταβολές είναι ταχύτατες και ραγδαίες και για τις οποίες - κατά κύριο λόγο- ευθύνεται η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης [1].

Η υπερθέρμανση του πλανήτη, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, έχει προκαλέσει, μέχρι στιγμής, την τεράστια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης στη διάρκεια των τελευταίων ετών *(βλ. εικόνα 1*), την αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 22.30 cm από την πρώτη καταγραφή της το 1880 *(βλ. εικόνα 2)*, την τήξη των πάγων (πιθανολογείται ότι θα λιώσει πλήρως η αρκτική μέχρι τα μέσα του 21° αιώνος με τους τωρινούς ρυθμούς *(βλ. εικόνες 3 και 4)*, αλλαγές στα βιοικοσυστήματα με τρομερές επιπτώσεις στη χλωρίδα και στην πανίδα, συχνότερες ξηρασίες και πιθανότητες ανεξέλεγκτων πυρκαγιών, συγχρόνως έχει επηρεάσει τις προμήθειες του γλυκού πόσιμου νερού λόγω αλλαγών στα υδρολογικά συστήματα, και έχει ευνοήσει την μετάδοση ασθενειών και έχει δημιουργήσει νέες δυσκολίες στον έλεγχο μολυσματικών ασθενειών [2,3,7,8].

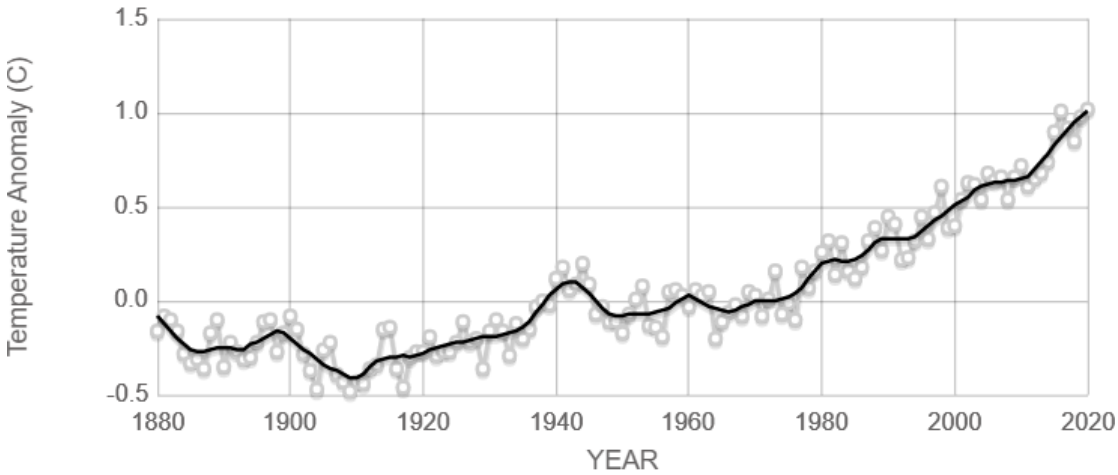
Ωστόσο, με μια πρώτη προσέγγιση, η αύξηση της θερμοκρασίας της γης μέσω της εκδίπλωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, αποτελούσε μια φυσική διαδικασία που μπορεί να συνέβαλε στην τροποποίηση του κλίματος της γης, στην μακρά ιστορίας της, αλλά συγχρόνως, θερμαίνοντάς το

μετέτρεπε σε ευνοϊκό περιβάλλον για την επιβίωση των έμβιων όντων. Η θετική συμβολή της θερμοκρασίας μετριάστηκε, όταν άρχισαν να εκπέμπονται σε τεράστιες ποσότητες αέρια του θερμοκηπίου μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα αέρια αυτά απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γη, καθώς ανακλώνται οι ηλιακές ακτινοβολίες που προσπίπτουν στην επιφάνεια της, εμποδίζοντας την διαφυγή της στο διάστημα και θερμαίνοντας κατά αυτό τον τρόπο τη γη. Από τα αέρια του θερμοκηπίου (δηλαδή υδρατμοί (H_2O), μεθάνιο (CH_4), οξείδιο του νατρίου (N_2O), χλωροφθοράνθρακες (CFCs), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το επικινδυνότερο εξ' αυτών που αποτελεί άλλωστε την κινητήρια δύναμη της κλιματικής αλλαγής είναι το διοξείδιο του άνθρακα [9].

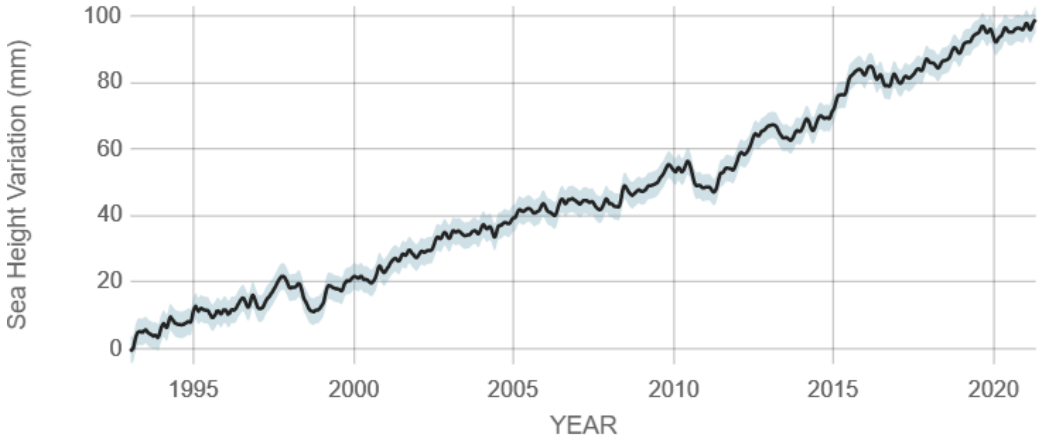
Το διοξείδιο του άνθρακα, αρχικά παράγωγο φυσικών διαδικασιών, όπως η φωτοσύνθεση, η ανθρώπινη αναπνοή, η αποσύνθεση της οργανικής ύλης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις κτλ απέκτησε την απειλητική του διάσταση, όταν έχοντας την ιδιότητα να παραμένει για χιλιάδες χρόνια στην ατμόσφαιρα, άρχισε να απορρίπτεται στο περιβάλλον σε τεράστιες ποσότητες εξαιτίας ορισμένων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών κτλ. Συγκεκριμένα, τα τελευταία 171 χρόνια οι ανθρώπινες δραστηριότητες αύξησαν τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα κατά 48 % πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα του 1850 [10]. Μάλιστα σήμερα η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει φτάσει στα 416.58 ppm *(βλ. εικόνα 5)*, ποσότητα η οποία δεν είχε συγκεντρωθεί στην ατμόσφαιρα ποτέ στα χρόνια ύπαρξης της γης *(βλ. εικόνα 6)* [10,11].

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη προκάλεσε και συνεχίζει να προκαλεί μια σειρά επικίνδυνων και σχεδόν μη-αντιστρεπτών, αλλαγών στο κλίμα και στο περιβάλλον της γης. Ουσιαστικά απειλούν την ίδια της την ύπαρξη ή τουλάχιστον αυτήν, όπως την γνώρισαν οι άνθρωποι αιώνες μέχρι σήμερα και κυριότερος παράγοντας αυτών των τεράστιων- σε μέγεθος και σημασία μεταβολών - είναι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Επομένως, μάχη κατά της κλιματικής αλλαγής σημαίνει και μάχη κατά των υψηλών εκπομπών του CO_2 που όπως θα δούμε ο τομέας των κτιρίων συντελεί κατά μεγάλο ποσοστό στην διατήρηση αυτών των υψηλών συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα.

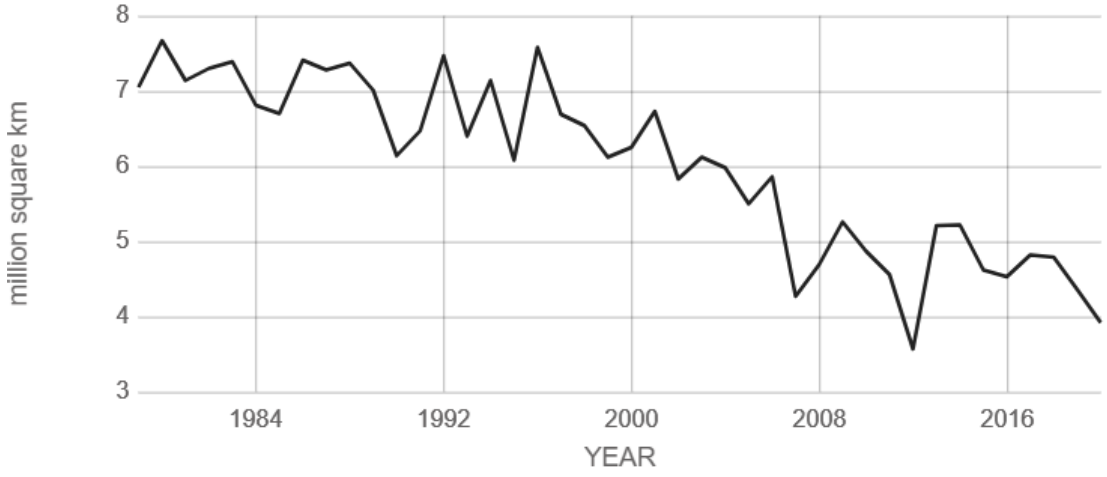
Εικόνα 1. Διάγραμμα μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας της γης για την περίοδο 1880-2020 [2]



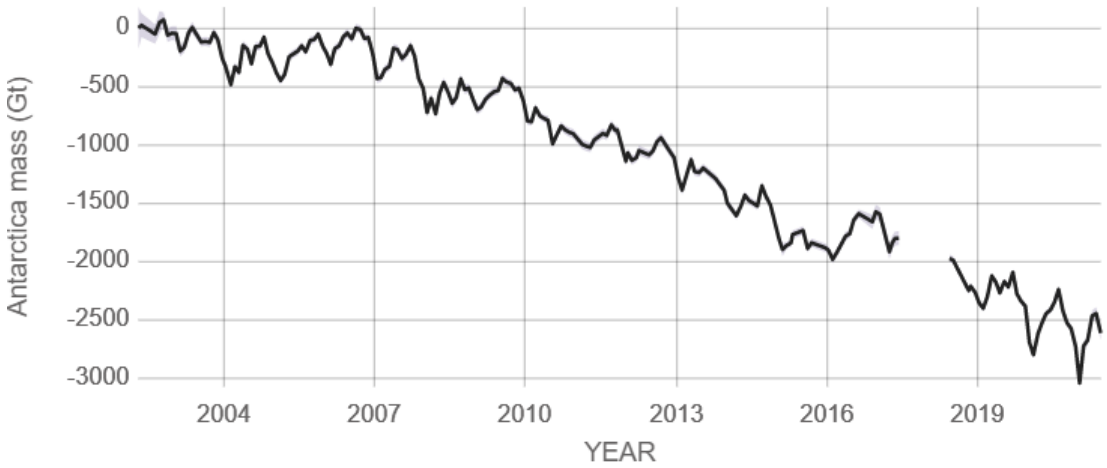
Εικόνα 2. Διάγραμμα μεταβολής της στάθμης της θάλασσας την περίοδο 1993-2020 [4]



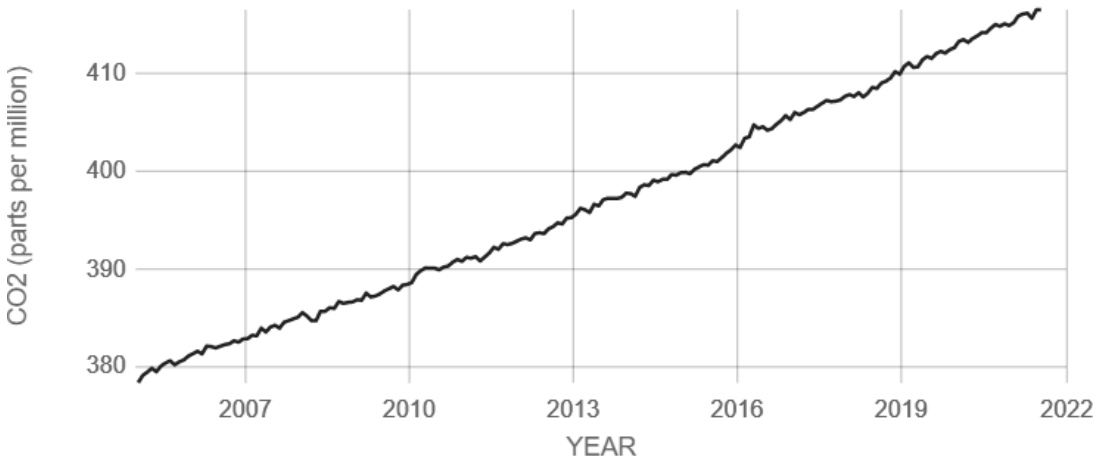
Εικόνα 3. Διάγραμμα μεταβολής της ελάχιστης έκτασης του αρκτικού πάγου (Arctic sea ice minimum) για την περίοδο 1979-2020 [5]



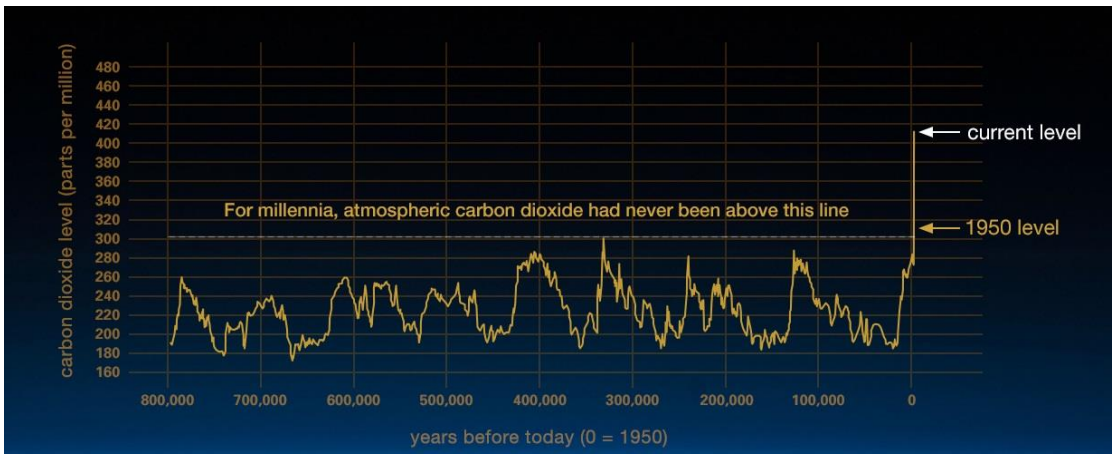
Εικόνα 4. Μείωση παγετώνων (Glaciers) στην αρκτική την περίοδο 2002-2021 [6]



Εικόνα 5. Διάγραμμα συγκέντρωσης CO_2 στην ατμόσφαιρα για την περίοδο 2005-2021 [10]



Εικόνα 6. Διάγραμμα συγκέντρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια χιλιετιών [11]



1.2 Ενεργειακές καταναλώσεις και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των κτιρίων

Ο τομέας των κτιρίων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, συντελεί σε τεράστιο ποσοστό στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, κατάσταση η οποία δεν διαμορφώθηκε στην περίοδο λίγων χρόνων αλλά έχει παλαιότερες καταβολές. Συγκεκριμένα, από τον 19^{ο} αιώνα, δηλαδή με την απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης, η έντονη βιομηχανοποίηση και η συνεπακόλουθη αστικοποίηση άρχισαν να τροποποιούν και να μεταβάλλουν τις μορφές των αστικών κέντρων καθώς και τις ανάγκες των κατοίκων τους. Οι ανάγκες στέγασης τόσο του αυξανόμενου πληθυσμού όσο και των εμπορικών και των οικονομικών δραστηριοτήτων οι οποίες συγκεντρώνονται σε αυτές και αναδύονταν αδιάκοπα στο πλαίσιο της οικονομικής ανάπτυξης των χωρών, οδήγησε σε μια εντυπωσιακή επέκταση των ορίων σε όλες τις δυνατές κατευθύνσεις [12]. Κατά αυτόν τον τρόπο προκλήθηκε η γιγάντωση του κτιριακού τομέα που μας οδήγησε στη σημερινή κατάσταση.

Η τάση της περαιτέρω μεγέθυνσης του κτιριακού τομέα, υφίσταται ακόμη, καθώς, όπως δείχνουν τα στοιχεία, μόνο την περίοδο 2010-2018 τα οικοδομημένα τετραγωνικά μέτρα αυξήθηκαν κατά 23% και παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός αύξησης οικοδομημένων τετραγωνικών μέτρων, δηλαδή η κατασκευή νέων κτιρίων, προχωρά με ρυθμό 2,3% το χρόνο [13,14]. Παράλληλα, η μεγέθυνση αυτού του τομέα, όπως ήταν αναμενόμενο, οδήγησε στην απορρόφηση τεράστιου μέρους της ηλεκτρικής παραγωγής ·μόνο την περίοδο 2010-2018 η κατανάλωση ενέργειας σε αυτόν τον τομέα αυξήθηκε κατά 6.5 EJ (Exajoule), αφού οι απαιτήσεις για ψύξη των χώρων και για ύπαρξη ζεστού νερού χρήσης αυξήθηκαν την ίδια περίοδο κατά 33% και 18%

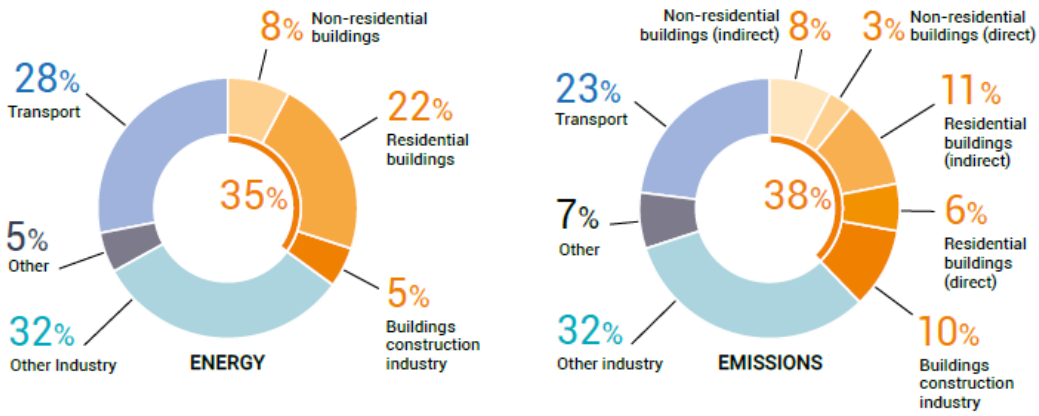
αντίστοιχα [13]. Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρόλο τις προσπάθειες που έχουν γίνει για μείωση της κατανάλωσης στον τομέα αυτό μέσω νέων τεχνολογιών και πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας - ας αναφέρουμε ότι έχει επιτευχθεί μείωση 20% στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και 17% στην απαιτούμενη ενέργεια για το φωτισμό, οι απαιτήσεις σε ενέργεια παραμένουν αρκετά υψηλές [13]. Μόνο το 2019 η κατανάλωση ενέργειας ήταν 130 EJ (μέγεθος που αντιπροσωπεύει το 35% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο-βλ. εικόνα 7), γεγονός που οφείλεται στον υψηλό ρυθμό κατασκευής νέων κτιρίων. Μάλιστα εκτιμάται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ότι ο ρυθμός κατασκευής νέων κτιρίων ανέρχεται στο 2.3 % το χρόνο, καθιστώντας ανεπαρκείς και ατελέσφορες τις περισσότερες παρεμβάσεις/βελτιώσεις που έγιναν για τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (μειώνεται με ρυθμό 1.5% ανά χρόνο) [14].

Λογικό επακόλουθο των υψηλών καταναλώσεων ενέργειας είναι η σύνδεση του κτιριακού τομέα με τεράστιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αφού η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται ακόμη - κατά μεγάλο ποσοστό- στη χρήση συμβατικών καυσίμων *(βλ. εικόνα 8).* Ειδικότερα, ευθύνεται για τις υψηλότερες (ενεργειακά σχετιζόμενες) εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αντιπροσωπεύοντας το 38% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα *(βλ. εικόνα 7).* Μόνο το 2019 καταγράφηκαν εκπομπές 9.7 Gt CO_2, ξεπερνώντας κατά 0.5 Gt το μέχρι πρότινος μέγιστο που είχε καταγραφεί το 2013 [14]. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το 40% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται από τις έμμεσες εκπομπές των κτιρίων, δηλαδή την διαδικασία κατασκευής τους, αφού μόνο το 6% της

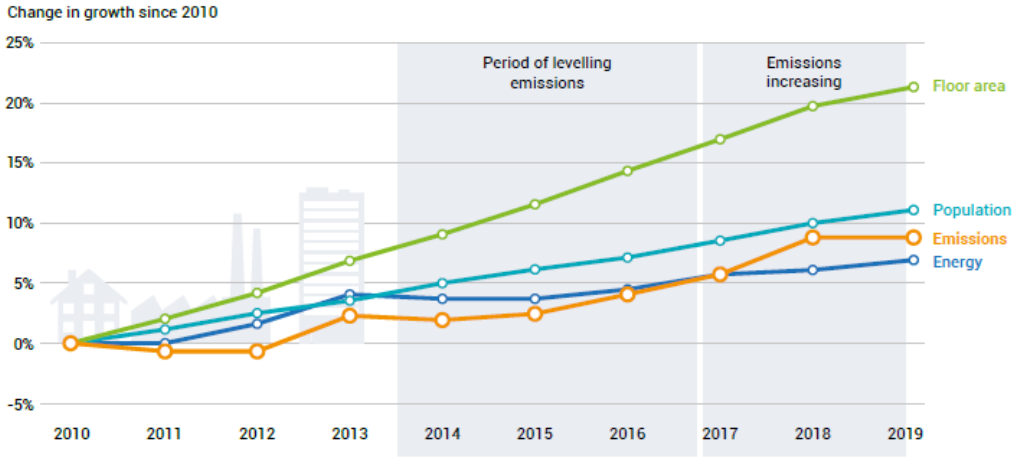
συνολικής ενέργειας που απορροφάται στην διαδικασία αυτήν προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [14].

Όλα τα παραπάνω στοιχεία μαρτυρούν την μεγάλη ευθύνη αυτού του τομέα στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Στο πλαίσιο, λοιπόν, της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής το ενδιαφέρον στράφηκε στους τρόπους με τους οποίους η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια θα εξορθολογιζόταν, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, η επιστημονική προσοχή εστίασε σε ένα νέου είδους κτιρίου, του οποίου η κεντρική σύλληψη είχε ήδη εμφανιστεί στη βιβλιογραφία από τις δεκαετίες του 1980 και 1990, τα κτίρια Μηδενικής Καταναλώσεως Ενέργειας (ZEB) [15,16].

Εικόνα 7. «Πίτα» Ενεργειακής Κατανάλωσης και Εκπομπών CO_2 ανά τομέα [14]



Εικόνα 8. Ποσοστιαία αύξηση εκπομπών CO_2 ανά τομέα [14]



2. ZEB (Zero-Energy Building)

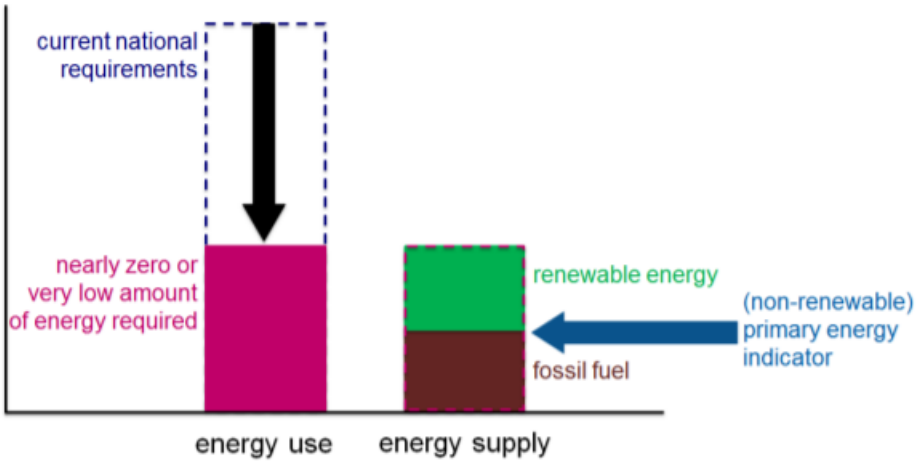
2.1 Εισαγωγή

Γενικά, γύρω από την έννοια «κτίριο μηδενικής καταναλώσεως ενέργειας» (Zero-Energy Building) επικρατεί αμφισημία, ορθότερα πολυσημία, καθώς μπορεί να ιδωθεί από πολλές μη-αντικρουόμενες πλευρές, όπως του τρόπου παραγωγής ή κατανάλωσης ενέργειας σε αυτό, του κόστους κτλ. Ανάλογα με την σημασία που θα του δοθεί και από την οπτική από την οποία θα ιδωθεί, θα καθοριστεί και ο στόχος προς επίτευξης του υπο-κατασκευή ZEB και συνεπακόλουθα θα επηρεάσει όλες τις αποφάσεις που αφορούν το σχεδιασμό του κτιρίου. Για αυτό έχουν δημιουργηθεί τέσσερις διακριτοί ορισμοί, ανταποκρινόμενος ο καθένας σε διαφορετικούς στόχους και πλαίσια, για να μπορεί να αποδοθεί το κατηγόρημα ZEB σε κάποιο κτίριο που θα ικανοποιεί ορισμένες προϋποθέσεις εξ' αυτών.

Πριν την παράθεση και περιγραφή αυτών των ορισμών είναι χρήσιμο πρώτα να δοθεί ο κεντρικός πυρήνας της σύλληψης του «κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας».

Απλουστευτικά, ένα «κτίριο μηδενικής καταναλώσεως ενέργειας» είναι ένα κτίριο, οικιακής ή εμπορικής χρήσεως με μειωμένες -σε μεγάλο βαθμό- ενεργειακές καταναλώσεις. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη της εφαρμογής αποτελεσματικών πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας, οι οποίες δύνανται να εξυπηρετηθούν μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, ηλιακοί συλλέκτες, βιομάζα, αιολική ενέργεια κτλ. Αυτά τα κτίρια η παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε τα ξεχωρίζει από τα απλώς παθητικά κτίρια [17,19].

Εικόνα 9. Σχηματική αναπαράσταση της κεντρικής ιδέας των ZEB [18]



2.2 Ορισμοί

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν υπάρχει ξεκάθαρος ορισμός των ZEB. Για αυτό έχουν προταθεί οι τέσσερις ακόλουθοι ορισμοί:

- ***Net Zero Site Energy:*** Το κτίριο παράγει, μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εγκατεστημένες εντός της περιμέτρους του, ενέργεια οριακά ίση με τις ετήσιες ανάγκες του.
- ***Net Zero Source Energy:*** Το κτίριο παράγει (ή αγοράζει) τουλάχιστον τόση ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές όση καταναλώνει στη διάρκεια ενός έτους. Η ενέργεια πηγής [Source energy] αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή, επεξεργασία, παραγωγή και διανομή της ενέργειας στο κτίριο. Για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας πηγής ενός κτιρίου, η εισαγόμενη και εξαγόμενη ενέργεια πολλαπλασιάζονται με τους κατάλληλους συντελεστές site-to-source, οι οποίοι εξαρτούνται από την μορφή της ενέργειας-πηγής.
- ***Net Zero Source Energy Costs*:** Θεωρείται το κτίριο στο οποίο το ποσό των χρημάτων, το οποίο η εταιρεία διανομής ενέργειας πληρώνει στον ιδιοκτήτη του κτιρίου για την ανανεώσιμη ενέργεια που προσφέρει αυτό στο δίκτυο, είναι τουλάχιστον ίσο με το ποσό των χρημάτων που πληρώνει ο ιδιοκτήτης στην εταιρεία για τις υπηρεσίες της και για την ετήσια απορροφούμενη ενέργεια.
- ***Net Zero Energy Emissions:*** Θεωρείται το κτίριο το οποίο παράγει (ή αγοράζει) ενέργεια, μηδενικών ρύπων, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να ισοσκελίσει τους ρύπους της ετήσιας παραγόμενης, από συμβατικές μορφές καυσίμου, ενέργειας. Συνήθεις τέτοιοι ρύποι

είναι τα οξείδια του άνθρακα, του αζώτου και του θείου. Για τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών ενός κτιρίου, η εισαγόμενη και εξαγόμενη ενέργεια πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές εκπομπής , οι οποίοι εξαρτώνται από τις utility's emissions και από τις εκπομπές της on-site παραγωγής ενέργειας (εφόσον υπάρχουν).

Να σημειωθεί ότι ένα κτίριο μπορεί, θεωρητικώς, να σχεδιαστεί ώστε να ικανοποιεί έναν ή περισσότερους από τους παραπάνω ορισμούς. Πρακτικά , όμως, αυτό δεν μπορεί να επιτυγχάνεται κάθε χρόνο, γιατί εξαρτάται από αρκετούς μεταβαλλόμενους παράγοντες οι στέκονται εμπόδιο σε αυτή την ιδανική κατάσταση, όπως οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση του κτιρίου, το είδος λειτουργιών αυτού κτλ. Για αυτό κάθε κτίριο NZEB πρέπει να παρακολουθείται και να αξιολογείται κάθε χρόνο με τα αρμόζοντα μέτρα [17,19].

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα κάθε ορισμού ZEB

- **Net Zero Site Energy** : Ένα site ZEB παράγει όση ενέργεια χρειάζεται κατά τη διάρκεια ενός έτους. Στις τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βάση τον ορισμό περιλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά στις στέγες, οι ηλιακοί συλλέκτες και η μικρή ανεμογεννήτρια, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ενέργεια που παράγεται κοντά στην τοποθεσία του κτιρίου, όπως φωτοβολταϊκά σε πάρκινγκ, υδροηλεκτρική ενέργεια κλπ. Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτού του ορισμού είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη τους συντελεστές μετατροπής της καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή. Για παράδειγμα, η ηλεκτρική παραγόμενη ενέργεια και η ενέργεια από φυσικό αέριο που χρησιμοποιεί το κτίριο θεωρούνται ισοδύναμες, όμως η ηλεκτρική ενέργεια έχει τριπλάσια αξία. Επομένως, σε κτίρια με εκτεταμένη χρήση φυσικού αερίου θα πρέπει να έχουμε και μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για να αντισταθμιστεί αυτό το μειονέκτημα. Κατά συνέπεια το site ZEB να απαιτεί πολύ καλό σχεδιασμό και εξοπλισμό, πράγμα που σημαίνει μεγαλύτερο κόστος για την κατασκευή του. Ωστόσο, το site ZEB είναι το είδος που επηρεάζεται λιγότερο από εξωτερικούς παράγοντες και έτσι αποτελεί το πιο πλήρες μοντέλο ZEB. Επιπλέον, οι μετρήσεις επαληθεύονται εύκολα στην τοποθεσία του κτιρίου, σε αντίθεση με άλλα είδη ZEB, γεγονός που διευκολύνει την εφαρμογή του.
- **Net Zero Source Energy**: Αυτός ο ορισμός έρχεται να καλύψει την αδυναμία του προηγούμενου μοντέλου. Η εισερχόμενη και η εξερχόμενη ενέργεια στο κτίριο πολλαπλασιάζεται με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια και με αυτόν τον τρόπο

εκμεταλλεύεται την αξία της ηλεκτρικής ενέργειας, η αξία της οποίας είναι τριπλάσια από το συντελεστή του φυσικού αερίου. Έτσι σε αυτό το μοντέλο ZEB μπορεί να γίνεται εκτεταμένη χρήση φυσικού αερίου, γεγονός που, ίσως, το απομακρύνει από τον αρχικό στόχο που είναι όλη η ενέργεια που χρησιμοποιεί το κτίριο να παράγεται από ΑΠΕ.

- **Net Zero Source Energy Costs**: Τα έσοδα από την εξερχόμενη ενέργεια που πουλάει ένα cost ZEB πρέπει να καλύπτουν τα έξοδα διανομής της εισερχόμενης ενέργειας, τους φόρους καθώς και τα έξοδα για τις μετρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για ένα μοντέλο ZEB εύκολο στην εφαρμογή και στη μέτρηση, που όμως απαιτεί μετρητικές διατάξεις και διάφορες χρεώσεις.
- **Net Zero Energy Emissions:** Σε αυτό το μοντέλο ZEB, η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ στο κτίριο πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την ενέργεια που παράγεται από συμβατικά καύσιμα, έτσι ώστε το τελικό ισοζύγιο ρύπων να είναι μηδέν. Η επιτυχία στην επίτευξη αυτού του τύπου ZEB συνδέεται άμεσα με τη χρησιμοποιούμενη πηγή για παραγωγή ενέργειας (*π.χ. κάρβουνο, αιολικό πάρκο, πυρηνική ενέργεια κ.ά.)* και τους αντίστοιχους συντελεστές εκπομπής ρύπων.

Πίνακας 1. Επιγραμματική παράθεση Πλεονεκτημάτων και Μειονεκτημάτων των διαφόρων ορισμών ZEB

	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**	**Άλλα Θέματα**
Site ZEB	• Εύκολο στην εφαρμογή • Επαληθεύσιμες μετρήσεις στην τοποθεσία του • Συντηρητική προσέγγιση ως προς την επίτευξη ZEB • Οι εξωτερικοί παράγοντες δεν το επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό • Ενισχύει τον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό	• Απαιτεί περισσότερα φωτοβολταϊκά πάνελ • Δεν περιέχει όλα τα έξοδα λειτουργίας • Δεν λαμβάνει υπόψη τους ρύπους που παράγει κάθε μορφή ενέργειας	
Source EB	• Εξισώνει τις διάφορες μορφές ενέργειας με βάση την πρωτογενή • Καλύτερο μοντέλο όσον αφορά τη σύνδεση του με το δίκτυο • Ευκολότερο προς επίτευξη	• Δεν λαμβάνει υπόψη τους ρύπους που παράγει κάθε μορφή ενέργειας • Δεν λαμβάνει υπόψη όλα τα έξοδα ενέργειας • Περιέχει περίπλοκους υπολογισμούς της πρωτογενούς ενέργειας • Δεν επικεντρώνεται αρκετά στον ενεργειακό σχεδιασμό	• Απαιτούνται συντελεστές μετατροπής καταναλισκόμενης ενέργειας σε πρωτογενή, οι οποίοι απαιτούν πληροφορίες για να καθοριστούν

Πίνακας 1. Επιγραμματική παράθεση Πλεονεκτημάτων και Μειονεκτημάτων των διαφόρων ορισμών ZEB *(συνέχεια)*

	Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**	**Άλλα Θέματα**
COST ZEB	• Εύκολο στην εφαρμογή και στη μέτρηση • Οι τιμές των καυσίμων στην αγορά Επιτρέπει τον έλεγχο στην πλευρά της ζήτησης της ενέργειας • Επιτρέπει τον έλεγχο στην πλευρά της ζήτησης της ενέργειας • Εύκολο στον έλεγχο μέσω των λογαριασμών	• Ενδέχεται να μην συμβάλει στο δίκτυο, καθώς η αποθήκευση ενέργειας π.χ. από PV να είναι πιο συμφέρουσα από την απόδοσή της στο δίκτυο • Απαιτεί μετρητές για την εξακρίβωση αν η εξαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να αντισταθμίζει τις χρεώσεις της εισαγόμενης ενέργειας και των διάφορων υπηρεσιών • Οι μεταβαλλόμενες τιμές της ενέργειας δημιουργούν δυσκολίες ως προς την επίτευξη του	• Απαιτεί κάθε μήνα συντήρηση και άλλες χρεώσεις • Σε περίπτωση που η λειτουργία των μετρητικών διατάξεων διαταραχτεί, θα μεταβληθούν οι τιμές της εισαγόμενης και εξαγόμενης ενέργειας
Emissions ZEB	• Αποτελεί την καλύτερη επιλογή για την προστασία του περιβάλλοντος • Συμπεριλαμβάνει τους συντελεστές μόλυνσης των μορφών ενέργειας • Εύκολος προς επίτευξη ZEB	• Δεν λαμβάνει υπόψη τους ρύπους που παράγει κάθε μορφή ενέργειας • Δεν λαμβάνει υπόψη όλα τα έξοδα ενέργειας • Περιέχει περίπλοκους υπολογισμούς της πρωτογενούς ενέργειας • Δεν επικεντρώνεται αρκετά στον ενεργειακό σχεδιασμό	• Απαιτεί κατάλληλους συντελεστές εκπομπής ρύπων

2.4 Ταξινόμηση nZEB

Κάθε προσπάθεια προς αυτήν την κατεύθυνση, δηλαδή το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων υπό το πρίσμα των ZEB, είναι σημαντικές και σχεδόν επιτακτικές δεδομένης της ενεργειακής κατανάλωσης που επικρατεί σε αυτό τον τομέα. Όμως, σε αυτή την διαδικασία θα πρέπει να τηρείται μια ιεράρχηση. Συγκεκριμένα, ιδιοκτήτες και σχεδιαστές, θα πρέπει, όταν σχεδιάζουν την κατασκευή ενός κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης, να αποσκοπούν αρχικώς, σε οικονομικά αποδοτικές και ενεργειακά αποτελεσματικές στρατηγικές και, αφού εξαντλήσουν αυτές τις δυνατότητας, να κινούνται στην εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο υπό σχεδίαση κτίριο. Έπειτα, έχοντας εξετάσει όλες τις δυνατότητες των δύο προηγούμενων σχεδιαστικών παραγόντων να εξετάζεται η δυνατότητα να προμηθεύονται ενέργεια μέσω εξωτερικών (ή ανεξάρτητων) ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εφόσον κρίνεται απαραίτητο.

Η παραπάνω ιεράρχηση οδήγησε στην ταξινόμηση των κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης σε τέσσερις κατηγορίες A,B,C και D, με φθίνοντα βαθμό προτεραιότητας. Από αυτές οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές πρέπει να αποσκοπούν πάντα στην πρώτη και μόνο αν τα εμπόδια είναι ανυπέρβλητα να κατέρχονται στην κλίμακα [19].

Αναλυτικότερα, οι τέσσερις αυτές ταξινομήσεις είναι οι εξής :

- ***Κατηγορία τύπου NZEB:A*** : Τα κτίρια τύπου NZEB: A παράγουν και χρησιμοποιούν ενέργεια μέσω ενός συνδυασμού ενεργειακών πρακτικών υψηλής αποτελεσματικότητος {energy efficiency } και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εντός των περιμέτρων τους. Μπορούν να χαρακτηριστούν και ως sites NZEB, επειδή χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εγκατεστημένων εντός του οικοδομήματος. Εάν οι πολλαπλασιαστές αναγωγής των εκπομπών είναι υψηλές κατά την διάρκεια κάλυψης των λειτουργικών αναγκών του κτιρίου και χαμηλές κατά την διάρκεια που προσφέρει ενέργεια στο δίκτυο, τότε είναι αβέβαιο αν μπορεί να χαρακτηριστείς ως emissions NZEB. Τέλος η ένταξη του στην κατηγορίας ως cost NZEB εξαρτάται από τις οικονομικές πολιτικές της χώρας στην οποία βρίσκεται.
- ***Κατηγορία τύπου NZEB:B*** : Τα κτίρια τύπου NZEB: B παράγουν και χρησιμοποιούν ενέργεια μέσω ενός συνδυασμού ενεργειακών πρακτικών υψηλής αποτελεσματικότητος, ενέργειας παραγόμενης από ανανεώσιμες πηγές εγκατεστημένες εντός της περιμέτρου του κτιρίου και ενέργειας παραγόμενης από ανανεώσιμες πηγές που βρίσκονται «πλησίον» του. Πληρούν τις προϋποθέσεις για να θεωρηθούν ως site ZEBλ επειδή χρησιμοποιούν ενέργεια προερχόμενη από Α.Π.Ε «εντός» τους. Εάν οι πολλαπλασιαστές αναγωγής των εκπομπών είναι υψηλές κατά την διάρκεια κάλυψης των λειτουργικών αναγκών του κτιρίου και χαμηλές κατά την διάρκεια που προσφέρει ενέργεια στο δίκτυο, τότε είναι αβέβαιο αν μπορεί να χαρακτηριστείς ως emissions

NZEB. Τέλος η ένταξη του στην κατηγορίας ως cost NZEB εξαρτάται από τις οικονομικές πολιτικές της χώρας στην οποία βρίσκεται.

- ***Κατηγορία τύπου NZEB:C*** : Τα κτίρια τύπου NZEB:C χρησιμοποιούν τις ίδιες τακτικές όπως αυτά των κατηγοριών τύπου A ή/και του τύπου B στον ευρύτερο δυνατό βαθμό. Όμως, αυτά τα κτίρια έχουν στη διάθεσή τους μια πρόσθετη επιλογή που τα διακρίνει από τα προαναφερθέντα. Μπορούν, δηλαδή, να χρησιμοποιήσουν για την παραγωγή ενέργειας εντός τους «εξωτερικές» και μεταβιβάσιμες στην πρωτογενή τους μορφή πηγές Α.Π.Ε, όπως βιομάζα, παλέτες, βιοντιζελ, αιθανόλη κτλ. Τέτοια κτίρια μπορούν να χαρακτηριστούν ως site, source, emissions NZEB όχι όμως και cost NZEB , καθώς τα έξοδα από την αγορά αυτών των εξωτερικών Α.Π.Ε ενδέχεται να μην αντισταθμίζονται από τα έσοδα μέσω της πώλησης του πλεονάσματος της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε στο δίκτυο(;). Να σημειώσουμε ότι και οι χαρακτηρισμοί ως source και site NZEB υπόκεινται σε περιορισμούς ανάλογα με το είδος των «εξωτερικών» Α.Π.Ε που θα εισάγει(αν είναι carbon-neutral) αλλά και τη χρονική στιγμή που θα τα καταναλώσει.
- ***Κατηγορία τύπου NZEB:D*** : Τα κτίρια τύπου NZEB:D χρησιμοποιούν όλες τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν για τα κτίρια τύπου A,B ή/και C, όμως, έχουν σαν χαρακτηριστικό ότι μπορούν, εφόσον κρίνεται απαραίτητο για να συνεχίσουν να αναγνωρίζονται ως ZEB, να προμηθευτούν την απαιτούμενη ενέργεια μέσω πιστοποιημένων και απομακρυσμένων από την περίμετρό τους Α.Π.Ε όπως αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα συνδεδεμένα με το δίκτυο [19]

2.5 Επέκταση των εννοιών των ZEB

Λόγω της ευρείας διάδοσης των ZEB και της συνεχούς ενασχόλησης και πειραματισμού με αυτά αναδύθηκε η ανάγκη διεύρυνσης του περιεχομένου των ZEB και σε συγκροτήματα κτιρίων που μοιράζονται την παραγόμενη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Έτσι δημιουργήθηκαν πρόσθετοι ορισμοί που αναφέρονται πλέον όχι σε μεμονωμένα κτίρια αλλά σε συμπλέγματα αυτών, ώστε να ανταποκρίνονται στις νέες ανάγκες του κατασκευαστικού τομέα που προέκυψαν.

Αυτοί είναι [20] :

- **Zero Energy Campus**: Είναι ένα ενεργειακά αποτελεσματικό (energy-efficient) campus, το οποίο στηριζόμενο στη λογική της source-energy, η ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια είναι λιγότερη ή ίση με την ενέργεια που παράγεται από Α.Π.Ε εγκατεστημένες στο χώρο του campus.

  Το **Campus** ορίζεται ως ένα σύνολο κτιρίων σε έναν συγκεκριμένο χώρο που περιέχει παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε στο "χώρο" του , οι οποίες ανήκουν σε κάποια κρατική δομή.

- **Zero Energy Portfolio**: Είναι ένα ενεργειακά αποτελεσματικό (energy-efficient) portfolio, όπου στηριζόμενο στη λογική της source-energy, η ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια είναι λιγότερη ή ίση με την ενέργεια που εξάγεται από Α.Π.Ε εγκατεστημένες στο "χώρο" αυτόν.

  Το **Portfolio** ορίζεται ως ένα σύνολο κτιρίων σε συγκεκριμένο χώρο που περιέχει συστήματα παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε που ανήκουν/ενοικιάζονται από μια συγκεκριμένη οντότητα (single entity).

- **Zero Energy Community:** Είναι ένα ενεργειακά αποτελεσματικό (energy-efficient) όπου, στηριζόμενο στη λογική της source-energy, η ετήσια

καταναλισκόμενη ενέργεια είναι ίση ή λιγότερη από την ενέργεια που εξάγεται από Α.Π.Ε εγκατεστημένες στο χώρο του.

Το **Community** ορίζεται ως ένα σύνολο κτιρίων σε συγκεκριμένο χώρο που περιέχει συστήματα παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε.

3.1 HVAC *(Heat, Ventilation, Air-Conditioning)*

3.1 Ορισμός

Το HVAC είναι ένα σύστημα θέρμανσης (Heating), αερισμού (Ventilation) και κλιματισμού (Air-Conditioning), το οποίο χρησιμοποιείται σε όλων των ειδών κτιρίων (βιομηχανικά, εμπορικά, οικιακά). Σκοπό του συστήματος αυτού είναι η δημιουργία και διατήρηση της επιθυμητής θερμικής κατάστασης στους χώρους του κτιρίου χρησιμοποιώντας τον εξωτερικό αέρα ως μέσο προσδόσεως ή απορροφήσεως θερμότητας. Οι τέσσερις στόχοι που πρέπει να εκπληρώνει η λειτουργία κάθε συστήματος HVAC είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της κυκλοφορίας και της ποιότητας του αέρα [21].

Τα συνήθη εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται είναι τα εξής: ανεμιστήρες απόρριψης ή ανακυκλοφορίας αέρα, φίλτρα, αγωγοί, εναλλάκτες για θέρμανση και ψύξη, στοιχεία για ύγρανση και αφύγρανση. Μπορεί να διαθέτουν και αντλίες θερμότητας [22].

Τα συστήματα HVAC κατηγοριοποιούνται με βάση την μέθοδο που εφαρμόζουν για να παράγουν, διανέμουν και να ελέγχουν την θερμότητα, τον αερισμό και τον κλιματισμό ορισμένου χώρου [21] .

3.2. Κατηγορίες HVAC

Τα συστήματα HVAC διακρίνονται στα συγκεντρωμένα, στα μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού και στα τοπικά συστήματα [23].

3.2.1 Συγκεντρωμένα Συστήματα

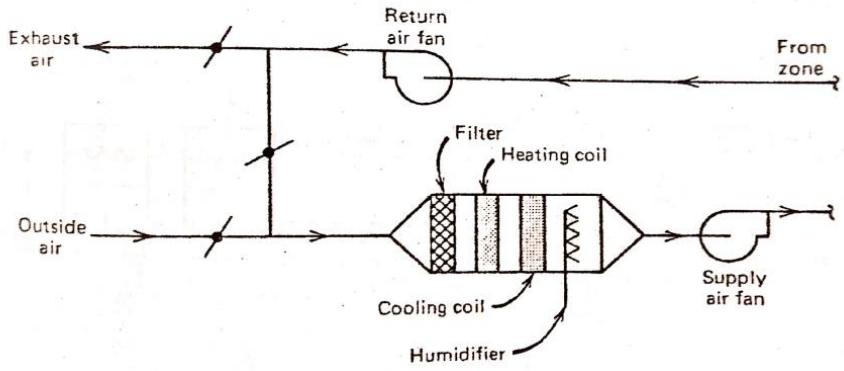
Ένα συγκεντρωμένο σύστημα ψύξης ή/και θέρμανσης παράγει την απαιτούμενη ψύξη ή/και θέρμανση σε έναν χώρο και την διανέμει έπειτα σε πολλαπλούς χώρους ενός κτιρίου ή σε μια ολόκληρη γειτονιά. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε όλα σχεδόν τα κτίρια, κυρίως, όμως, σε μεγάλων διαστάσεων ή όπου υπάρχουν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, όπως μεγάλα δημόσια κτίρια, σχολικές μονάδες, σε αστικά κέντρα, σε βιομηχανίες, σε μουσεία, σε νοσοκομεία κτλ. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των συγκεντρωμένων συστημάτων είναι ο μεγάλος διαστάσεων εξοπλισμός ψύξης ή/και θέρμανσης σε μια εγκατάσταση ή σε πολλούς μικρού χώρους που επικοινωνούν και λειτουργούν ως μία ενιαία μονάδα [21].

Τα συγκεντρωμένα συστήματα διακρίνονται στα συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου (βλ. εικόνα 10), τα συστήματα μεταβλητής παροχής αέρα (VAV) (βλ. εικόνα 11) και τα συστήματα διπλού αεραγωγού (βλ. εικόνα 12), όπως αναλύονται παρακάτω.

- **Συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου** : Πρόκειται για το απλούστερο σύστημα αέρος, το οποίο κλιματίζει μια μόνο ζώνη ανταποκρινόμενο σε μία μόνο κατάσταση χώρου. Συνεπώς, η χρήση του περιορίζεται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το φορτίο μεταβάλλεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη τη ζώνη. Η κλιματιστική συσκευή μπορεί να εγκατασταθεί σε απόσταση ή μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και να

λειτουργεί με ή χωρίς αεραγωγούς διανομής. Ο έλεγχος του μονοζωνικού συστήματος γίνεται μέσω μεταβολής είτε της παροχής του ψυκτικού ή θερμαντικού μέσου είτε της ύγρανσης είτε της παροχής αέρος προσαγωγής, ανακυκλοφορίας ή παράκαμψης με αεροβαλβίδες (dampers). Τέλος, συνήθως, χρησιμοποιούνται σε μικρά ανεξάρτητα καταστήματα, ανεξάρτητες αίθουσες διδασκαλίας κτλ [24].

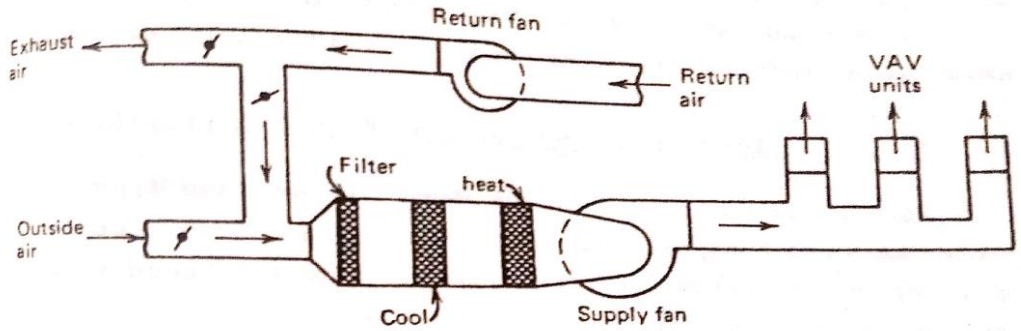
Εικόνα 10. Σύστημα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου [24]



- **Συστήματα μεταβλητής παροχής αέρα (VAV)** : Πρόκειται για σύστημα , το οποίο ανταποκρίνεται στην μεταβολή του φορτίου ενός χώρου δια μεταβολής της παροχής του προσαγομένου αέρος και όχι της θερμοκρασίας αυτού. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα , κάθε χώρος είναι εφοδιασμένος με στόμιο ελεγχόμενης παροχής αέρος και αποτελεί μια ιδιαίτερη ζώνη. Επιπλέον, αυτά τα συστήματα έχουν το πλεονέκτημα - σε σχέση με άλλες διατάξεις- του χαμηλότερου κόστους αγοράς και λειτουργίας, επειδή η παροχή του αέρος μειώνεται με μείωση του φορτίου και ως εκ τούτου και η ψυκτική ισχύς και η ισχύς του ανεμιστήρα ακολουθούν με ακρίβεια το φορτίου του κλιματισμού επιτυγχάνοντας

σημαντική οικονομία. Να σημειωθεί ότι το σύστημα VAV περιορίζεται μόνο για τη ψύξη κτιρίων. Δεν επιτρέπει συγχρόνως θέρμανση και ψύξη στις διάφορες ζώνες. Τέλος, συνήθως, χρησιμοποιείται σε κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, νοσοκομεία συγκροτήματα διαμερισμάτων και σχολεία.

Εικόνα 11. Σύστημα μεταβλητής παροχής αέρα (VAV) [24]

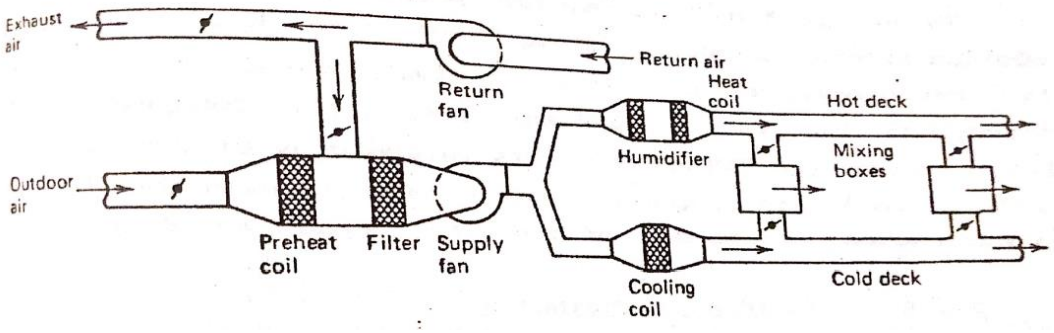


- **Συστήματα διπλού αεραγωγού** : Σε αυτά τα συστήματα, ο κεντρικός σταθμός παρέχει θερμό και ψυχρό αέρα σε δύο ανεξάρτητους παράλληλους αγωγούς. Η επιθυμητή κατάσταση σε κάθε κλιματιζόμενο χώρο ρυθμίζεται παρέχοντας αέρα, ο οποίος προκύπτει με ανάμειξη θερμού και ψυχρού αέρος σε κατάλληλες αναλογίες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Για την καλή λειτουργία συστήματος απαιτείται σταθεροποιητής παροχής αέρος λόγω των μεγάλων μεταβολών των στατικών πιέσεων, οι οποίες προκύπτουν από τις μεταβολές των φορτίων. Οικονομία επιτυγχάνεται με αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας αέρος του ψυχρού αγωγού στην μέγιστη επιτρεπτή τιμή και της θερμοκρασίας αέρος του θερμού αεραγωγού στην ελάχιστη επιτρεπτή. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι

αρκετά χαμηλή, ο εξωτερικός αέρας μπορεί να εισαχθεί κατ' ευθείαν στο ψυχρό αγωγό. Αυτά τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία κτλ. Γενικώς, βρίσκει εφαρμογή σε κτίρια πολλών δωματίων με μεγάλες μεταβολές αισθητού φορτίου από δωμάτιο σε δωμάτιο. Τέλος, παρέχει μεγάλη ευελιξία και ανταποκρίνεται με μεγάλη ταχύτητα στις απότομες μεταβολές φορτίων [24].

Εικόνα 12. Σύστημα διπλού αεραγωγού [24]



Τα συγκεντρωμένα συστήματα παρουσιάζουν **ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**. Έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετούν συνεχώς τις ανάγκες σε φορτία θέρμανσης και ψύξης ανεξάρτητα από την λειτουργία των επιμέρους εξαρτημάτων και των εξωτερικών συστημάτων της εγκατάστασης. Επίσης, χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα αλλά λιγότερα εξαρτήματα, μειώνουν τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία και διευρυμένο εύρος λειτουργίας. Επιπλέον, μπορούν να εφαρμοστούν ευκολότερα και με λιγότερο κόστος πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας, όπως η εγκατάσταση ανακομιστών θερμότητας ή μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας. Ακόμη, και σε περίπτωση απαίτησης για διεύρυνση της μονάδας και των δικτύων αγωγών της, η επέκταση αυτή αυτών των συστημάτων μπορεί να υλοποιηθεί μέσα σε πλαίσια οικονομικής βιωσιμότητας. Λόγω της συγκεντρωτικής τους διάταξης ο συνολικός έλεγχος του συστήματος είναι ευκολότερος, καθώς ασκείται σε μία και μοναδική περιοχή αντί για πολλές και ξεχωριστές περιοχές. Ταυτόχρονα, αυτός ο συγκεντρωτισμός προσφέρει τη δυνατότητα εξαρτήματα τα οποία ενδέχεται να προκαλούν ηχορύπανση να τοποθετηθούν μακριά από τους χώρους του κτιρίου. Τέλος, σε αυτές τις εφαρμογές δύνανται να χρησιμοποιηθούν διάφορες μορφές καυσίμου παρέχοντας ευελιξία στη λειτουργία τους και συγχρόνως οι εκπομπές τους, λόγω του εντοπισμού τους σε μία και μοναδική περιοχή, μπορούν να αντιμετωπιστούν με οικονομικότερα μέτρα.

Βέβαια, λόγω των μεγάλων διαστάσεων των εξαρτημάτων από τα οποία απαρτίζονται απαιτείται αρκετά επεκτεταμένος χώρος για την εγκατάσταση τους. Ταυτόχρονα, ο προς εγκατάσταση χώρος θα πρέπει να εξυπηρετεί και δύο άλλες απαιτήσεις. Πρώτον να είναι εύκολα προσβάσιμος για να

πραγματοποιείται η διανομή του καυσίμου στις δεξαμενές αποθήκευσης και οι οποίες απαιτούν επιπρόσθετο επίγειο ή υπόγειο χώρο. Δεύτερον, λόγω του μεγάλου μεγέθους τους, ο χρόνος παραγωγής και παράδοσης αυτών των εξαρτημάτων ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα υψηλός. Επίσης, η συγκεντρωτική τους δομή καθιστά την διάταξή τους ιδιαίτερα περίπλοκη καθιστώντας τον έλεγχο τους δύσκολο και εκτελέσιμο μόνο από εξειδικευμένους χειριστές. Τέλος, απαιτείται ευρύ δίκτυο σωλήνων για την διανομή του αέρα και σε περίπτωση χρήσης ορυκτών καυσίμων απαιτείται κατασκευή καμινάδας [21].

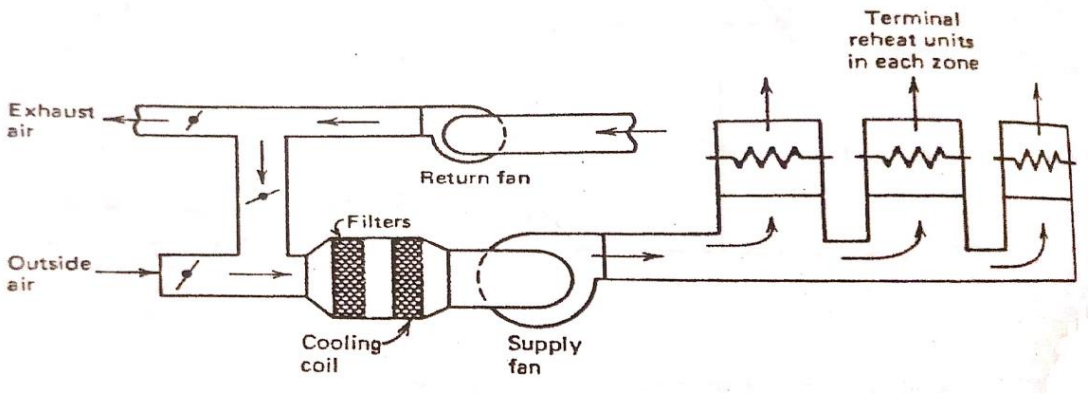
3.2.2. Μερικώς Συγκεντρωμένα Συστήματα Αέρα/Νερού

Αυτού του είδους τα συστήματα χρησιμοποιούν μία κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα ,αλλά ο περαιτέρω κλιματισμός του δωματίου μπορεί να είναι τοπικά ελεγχόμενος.

Τα μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού τα οποία κυρλιως χρησιμοποιούνται είναι τα **συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση** *(βλ. εικόνα 13)*, **τα συστήματα επαγωγής** *(βλ. εικόνα 14,15)* και τα **συστήματα ανεμιστήρος – στοιχείου ή τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan-coil units)** (βλ. εικόνα 16)

- **Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση**: Το σύστημα με αναθέρμανση προκύπτει με τροποποίηση του μονοζωνικού συστήματος. Σκοπός του είναι να κλιματίσει χώρους με διαφορετικά φορτία. Εφαρμόζεται, επίσης, σε περιπτώσεις, οι οποίες απαιτούν ακριβή έλεγχο των συνθηκών χώρου (π.χ. χειρουργεία, εργαστήρια). Ο όρος αναθέρμανση υποδηλώνει ότι η πρόσδεση θερμότητας αποτελεί δεύτερη κατά σειρά διεργασία εφαρμοζόμενη είτε στον προ-κλιματισμένο αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος είτε στον αέρα ανακυκλοφορίας. Η πρόσδοση της θερμότητας μπορεί να γίνει με θερμό νερό, ατμό ή με ηλεκτρική αντίσταση. Η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου ψυχρού αέρα, ο οποίος παρέχεται από την κεντρική μονάδα, είναι τέτοια ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις της ζώνης με το μέγιστο ψυκτικό φορτίο. Οι θερμοστάτες ενεργοποιούν τα στοιχεία αναθέρμανσης όπου απαιτείται. Είναι προφανές ότι για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας η αναθέρμανση πρέπει να χρησιμοποιείται με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο.

Εικόνα 13. Συγκεντρωμένο συστήματα αέρα με αναθέρμανση [24]



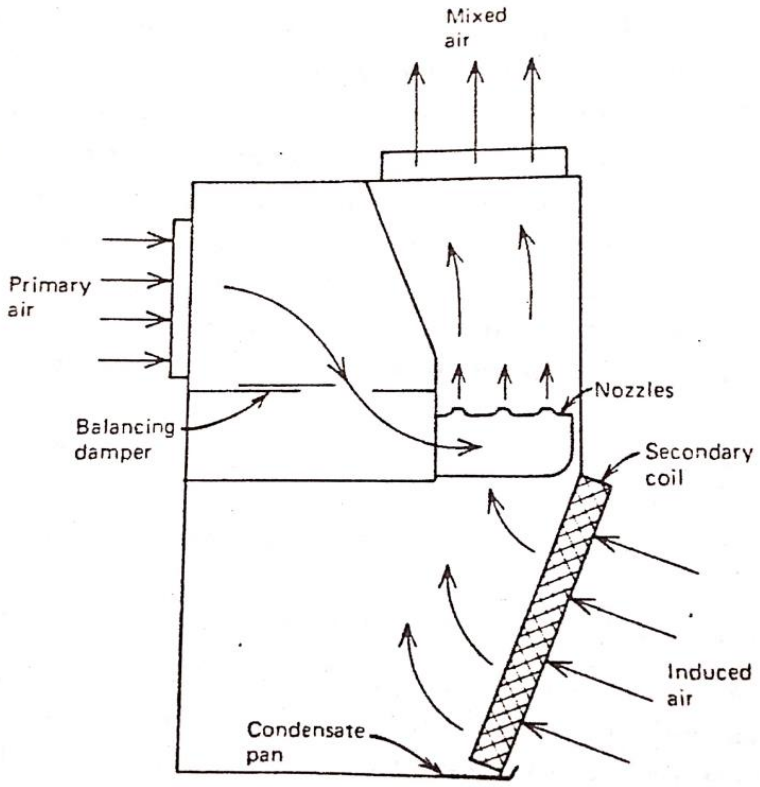
- **Συστήματα επαγωγής**: Σε αυτά τα συστήματα ο πρωτεύων αέρας, αφού κλιματισθεί στην κεντρική κλιματιστική συσκευή προσάγεται υπό υψηλή πίεση στον αεροθάλαμο της μονάδας επαγωγής. Ο αεροθάλαμος φέρει ηχομόνωση για την απόσβεση του παραγόμενου θορύβου στον αεραγωγό προσαγωγής και στην μονάδα. Στην έξοδο του θαλάμου χρησιμοποιείται αεροδιακόπτης (damper) για τη ρύθμιση της παροχής του πρωτεύοντος αέρος στα επιθυμητά όρια.

  Ο υψηλής πιέσεως πρωτεύων αέρας διέρχεται δια των ακροφυσίων επαγωγής και επάγει δευτερεύοντα αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο δια του δευτερεύοντος στοιχείου. Ο δευτερεύων αέρας, κατά την διέλευση του από το δευτερεύων στοιχείο, θερμαίνεται ή ψύχεται αναλόγως των απαιτήσεων. Κάτω από το στοιχείο βρίσκεται ο υποδοχέας του συμπυκνώματος. Πρωτεύων και δευτερεύων αέρας αναμειγνύονται και εκβάλλουν στον κλιματιζόμενο χώρο.

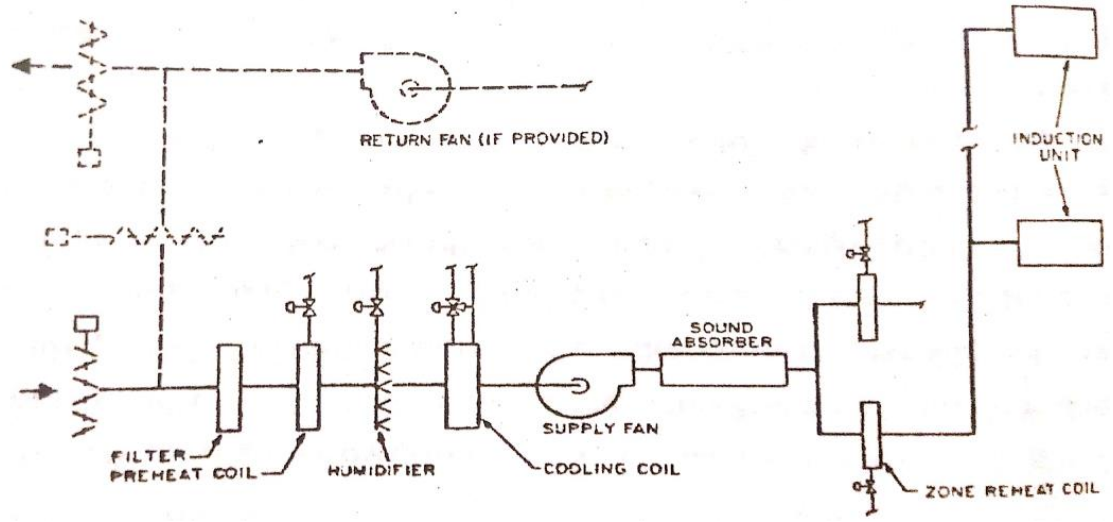
Αυτές οι μονάδες εγκαθίστανται, συνήθως, επί εξωτερικών τοίχων κάτω από τα παράθυρα, υπάρχουν όμως και μονάδες που εγκαθίστανται στην οροφή.

Τα πλεονεκτήματα του είναι ότι έχουν χαμηλό αρχικό κόστος και κόστος λειτουργίας, η συντήρησή τους είναι εύκολη, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και κατά τη λειτουργία τους δεν παράγουν υψηλούς θορύβους.

Εικόνα 14. Μονάδα επαγωγής αέρος-νερού [24]



Εικόνα 15. Δίκτυο πρωτεύοντος αέρος [24]



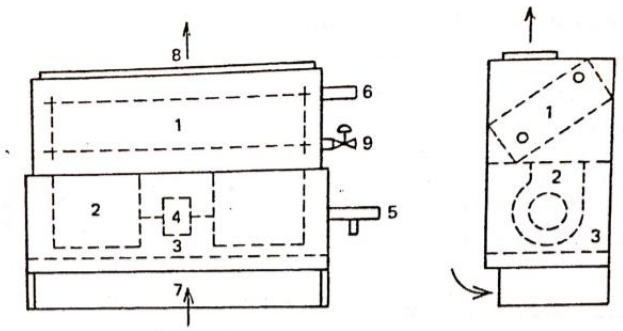
- **Συστήματα ανεμιστήρες – στοιχείου ή τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan-coil units)**: Στα συστήματα αυτά αντικαθίστανται οι μονάδες επαγωγής με μονάδες ανεμιστήρες – στοιχείου. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται τόσο στα συστήματα αέρος- νερού όσο και στα συστήματα νερού.

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται αυτά τα συστήματα είναι το ψυκτικό ή θερμαντικό στοιχείο αποτελούμενο από σωλήνα πολλών διαδρομών με πτερύγια και ο ανεμιστήρας. Συγκεκριμένα, ο ανεμιστήρας εξαναγκάζει τον αέρα του δωματίου να κυκλοφορεί συνεχώς μέσω του στοιχείου δια του οποίου διέρχεται ψυχρό ή θερμό νερό. Η μονάδα ενδέχεται να φέρει και βοηθητικό θερμαντικό στοιχείο (ηλεκτρική αντίσταση ή στοιχείο νερού ή υδρατμού). Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο αέρας του δωματίου θερμαίνεται ή ψύχεται. Ο πρωτεύων αέρας, με παροχή καθοριζομένη από τις ανάγκες ανανέωσης αέρος του χώρου, προσάγεται από την κεντρική κλιματιστική συσκευή μέσω ανεξάρτητων στομίων

οροφής. Μπορεί, όμως, και να συνδεθεί με την τερματική μονάδα ανεμιστήρος-στοιχείου. Κατά την χειμερινή περίοδο, ο πρωτεύων αέρας θερμαίνεται στην κεντρική κλιματιστική συσκευή - συνήθως μέχρι τη θερμοκρασία δωματίου- ενώ κατά την θερινή ψύχεται και αφυγραίνεται. Επίσης, ο πρωτεύων αέρας μπορεί να διακόπτεται κατά τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ότι έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν ακόμη και με κλειστή την παροχή πρωτεύοντος αέρος, έχουν σταθερή ταχύτητα αέρος, ο πρωτεύοντας αέρας μπορεί να εισαχθεί είτε μέσω του ανεμιστήρος-στοιχείου είτε κατευθείαν στο χώρο από ανεξάρτητα στόμια προσαγωγής. Βέβαια, αυτές οι μονάδες έχουν υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης και παρουσιάζουν υψηλές καταναλώσεις ενέργειας λόγω του ανεμιστήρος [24].

Εικόνα 16. Σύστημα ανεμιστήρος – στοιχείου ή τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan-coil units) [24]



1. Ψυκτικό ή θερμαντικό στοιχείο
2. Ανεμιστήρας
3. Φίλτρο
4. Κινητήρας ανεμιστήρα
5. Δοχείο συμπυκνώματος
6. Σύνδεση στοιχείου
7. Είσοδος αέρος
8. Έξοδος αέρος
9. Βαλβίδα ελέγχου νερού

3.2.3. Τοπικά Συστήματα

Ένα αποκεντρωμένο σύστημα μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα ατομικές μονάδες HVAC, με ενσωματωμένο το καθένα με δικό του κύκλωμα ψύξης, θέρμανσης και άμεσου ή έμμεσου αερισμού. Τα διάφορα εξαρτήματα, τα οποία τα αποτελούν, όπως εναλλάκτες, συμπυκνωτές, συμπιεστές, αντλίες, ανεμιστήρες κτλ, είναι βιομηχανικά τυποποιημένα και προσφέρονται ως ολοκληρωμένα σύνολα [21].

Τα τοπικά συστήματα διακρίνονται στις **διαμέσου τοίχου συσκευασμένες μονάδες**, στις **συσκευασμένες "διαιρούμενες μονάδες"**, στις **μεμονωμένες αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας** και στα **συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου** [23].

- **Διαμέσου τοίχου συσκευασμένες μονάδες**: Αυτές οι μονάδες αποτελούνται γενικά από μια μικρή μεγέθους ψυκτική μονάδα με έναν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την κυκλοφορία του αέρα. Ο αέρας απορροφάται από το χώρο, δροσίζεται, καθώς διέρχεται από τη μονάδα, και επιστρέφεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Η θερμότητα που αφαιρείται από τον αέρα περνά διαμέσου του τοίχου και απορρίπτεται στον εξωτερικό αέρα.

  Οι μονάδες είναι απλές, χαμηλού κόστους κτήσεως, εύκολες στη χρήση και προσφέρουν τη δυνατότητα για τοπική ρύθμιση από το χρήστη. Αντιθέτως, οι δυνατότητες ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου είναι φτωχές, λόγω της θέσης των αισθητήρων και της σχετικής δράσης ελέγχου, η οποία γίνεται θέτοντας είτε σε λειτουργία είτε εκτός λειτουργίας τη μονάδα. Επιπλέον, οι μονάδες αυτές απαιτούν μοντάρισμα στον τοίχο,

μπορεί να είναι θορυβώδεις και, γενικά, δεν είναι πολύ αποδοτικές. Οι απαιτήσεις συντήρησης ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μπορεί να είναι σημαντικές, ενώ οι περισσότερες από αυτές δεν προσαρμόζονται εύκολα σε κάποιο σύστημα κεντρικού ελέγχου. Μερικές μονάδες προσφέρουν δυνατότητα θέρμανσης με τη βοήθεια ηλεκτρικών στοιχείων τα οποία, όμως, μπορεί να είναι ενεργοβόρα στη χρήση τους [23].

- **Συσκευασμένες "διαιρούμενες μονάδες"** : Το τοποθετημένο στο δωμάτιο μέρος των μονάδων μοιάζει εξωτερικά με μια μονάδα fancoil, αλλά η ψύξη παρέχεται από το ψυκτικό μέσο και όχι από το κατεψυγμένο νερό. Το ψυκτικό μέρος των μονάδων αυτών μπορεί να βρίσκεται μακριά από την κατειλημμένη περιοχή και προσφέρουν δυνατότητες περιπλοκότερου έλεγχου απ' ότι οι διαμέσου του τοίχου συσκευασίες. Επίσης, μερικές μονάδες προσφέρονται με συμπιεστές μεταβλητής ταχύτητας, καθώς και με πολύπλοκο, προσαρμοζόμενο έλεγχο θερμοκρασίας με τη βοήθεια κάποιων τοποθετημένων σε απομακρυσμένα σημεία αισθητήρων.

  Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συσκευασμένων διαιρούμενων μονάδων είναι σε μεγάλο βαθμό τα ίδια με αυτά των διαμέσου του τοίχου μονάδων, αλλά ένα μεγάλο μέρος 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 [23].

- **Μεμονωμένες αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας**: Αυτά τα συστήματα διατίθενται τόσο ως συστήματα διαμέσου του τοίχου, όσο και ως συσκευασμένες διαιρούμενες μονάδες. Σε αυτές η ψύξη μπορεί να λειτουργήσει και κατά την αντίστροφη φορά αντλώντας θερμότητα τόσο μέσα στο δωμάτιο όσο και από το δωμάτιο. Έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ψύξη, όποτε αυτή χρειάζεται.

- **Συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου** : Πρόκειται για μία παραλλαγή των πολυδιαιρούμενων συσκευασμένων συστημάτων αντλιών θερμότητας. Διάφορα δοχεία ψύξης δωματίων συνδέονται απευθείας με μια ενιαία υπαίθρια ψυκτική μονάδα. Η παροχή του ψυκτικού μέσου μπορεί να μεταβάλλεται, χρησιμοποιώντας ένα συμπιεστή μεταβλητής ταχύτητας, σε ανταπόκριση στις αλλαγές των απαιτήσεων ψύξης. Ένα περίπλοκο σύστημα ελέγχου επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ των λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης.

Στις περισσότερο πολύπλοκες εκδόσεις, μία εσωτερική μονάδα ενός χώρου μπορεί να λειτουργεί στην κατάσταση θέρμανσης ή ψύξης ανεξάρτητα από τις άλλες. Η τελευταία αυτή διαμόρφωση είναι δυνατό να οδηγήσει σε σημαντικά ενεργειακά οφέλη, όταν απαιτούνται ταυτόχρονα θέρμανση και ψύξη σε διαφορετικές ζώνες. Αυτά τα συστήματα μπορεί να πλεονεκτούν στις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν υπάρχει διαθέσιμο κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και οι διάφορες θερμικές ζώνες 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 [23].

Τα τοπικά συστήματα παρουσιάζουν ορισμένα **πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.** Καταρχάς, σε αυτά τα συστήματα η θέρμανση και η ψύξη γίνονται αυτόνομα σε κάθε χώρο, δηλαδή, ανεξάρτητα από την κατάσταση λειτουργίας των υπόλοιπων χώρων του κτιρίου. Έτσι ακόμη και σε περίπτωση βλάβης κάποιου εξαρτήματος επηρεάζεται μόνο μια ζώνη και ταυτόχρονα η λειτουργία τους είναι σχετικά απλή. Επίσης, χάρη της αυτονομίας που τα χαρακτηρίζει, το υπο-σύστημα, το οποίο ενδέχεται να εξυπηρετεί άδειους χώρους, μπορεί τοπικά να τερματιστεί δίχως να επηρεαστούν οι υπόλοιποι χώροι επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, ενώ λόγω της απλότητάς τους δεν απαιτούνται εξειδικευμένοι χειριστές. Επιπλέον, επειδή είναι βιομηχανικά τυποποιημένες μονάδες, κάθε εξάρτημα που τα αποτελεί έχει ακριβείς και πιστοποιημένες αποδόσεις και συγχρόνως καλύτερη ποιότητα και αξιοπιστία. Τέλος, έχει μικρό αρχικό κόστος εγκατάστασης, καθώς απαιτείται μικρότερος χώρος για τον μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό σε σχέση με τα συγκεντρωτικά συστήματα.

Βέβαια, αυτά τα συστήματα ενδέχεται να έχουν υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας από την αντίστοιχη των συγκεντρωτικών συστημάτων, εάν η συνολική απόδοση της διάταξης των εξαρτημάτων που το αποτελούν είναι χαμηλή. Επίσης, καθώς είναι βιομηχανικά τυποποιημένα, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές εφαρμογές όπου απαιτείται η στενή παρακολούθηση της υγρασίας (π.χ. σε δωμάτια ηλεκτρονικών υπολογιστών) . Πάλι λόγω αυτής της τυποποίησης η λειτουργίας του ενδέχεται να περιοριστεί από τους περιορισμούς που επιβάλλει η χρήση συμπυκνωτών, εναλλακτών, ανεμιστήρων κτλ , καθώς αυτά τα στοιχεία έχουν συγκεκριμένες και σταθερές

ιδιότητες. Επιπλέον, το φιλτράρισμα του αέρα είναι περιορισμένο και, όταν λειτουργούν σε χαμηλά ψυκτικά φορτία, ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας δεν είναι σταθερός. Τέλος, λόγω των πολλαπλών και διασκορπισμένων εξαρτημάτων που σχηματίζουν αυτό το σύστημα, ενδέχεται να επηρεάσουν την «αισθητική» του κτιρίου, όπως και να προκαλέσουν ηχορύπανση όντας εγγύτερα των ενοίκων του κτιρίου, ενώ συγχρόνως, εξαιτίας αυτού του γεγονότος, η συντήρησή τους είναι δύσκολη [21].

3.3 Επιλογή Συστήματος HVAC

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος HVAC εξαρτάται από πολλούς, διάφορους και συχνά αντιτιιθέμενους σχεδιαστικούς παράγοντες. Παραδείγματος χάρη θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, η καθαρότητα και η κατεύθυνση του εξωτερικού αέρα, το γενικότερο τοπικό κλίμα, η αρχιτεκτονική δομή του κτιρίου, ο διαθέσιμος χώρος για εγκατάσταση του συστήματος, τα κόστη της αρχικής εγκατάστασης αλλά και τα μετέπειτα κόστη λειτουργίας και συντήρησης, η αξιοπιστία, η δυνατότητα εύκολου ελέγχου και η προσαρμοστικότητα του επιλεχθέντος συστήματος σε μεταβλητές εξωτερικές συνθήκες κτλ. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι πολλοί σχεδιαστικοί παράγοντες είναι αντικρουόμενοι, προερχόμενοι από διαφορετικές οπτικές, όπως του ιδιοκτήτη, του μηχανικού που σχεδιάζει το σύστημα, του κατασκευαστή του κτιρίου, και για αυτό ο μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει κάθε φορά την αλληλεξάρτηση τους και να προτείνει περισσότερες από μια λύσεις που θα ικανοποιούν τόσο τους πολλαπλούς αυτούς στόχους όσο και τις επιθυμίες του ιδιοκτήτη. [21].

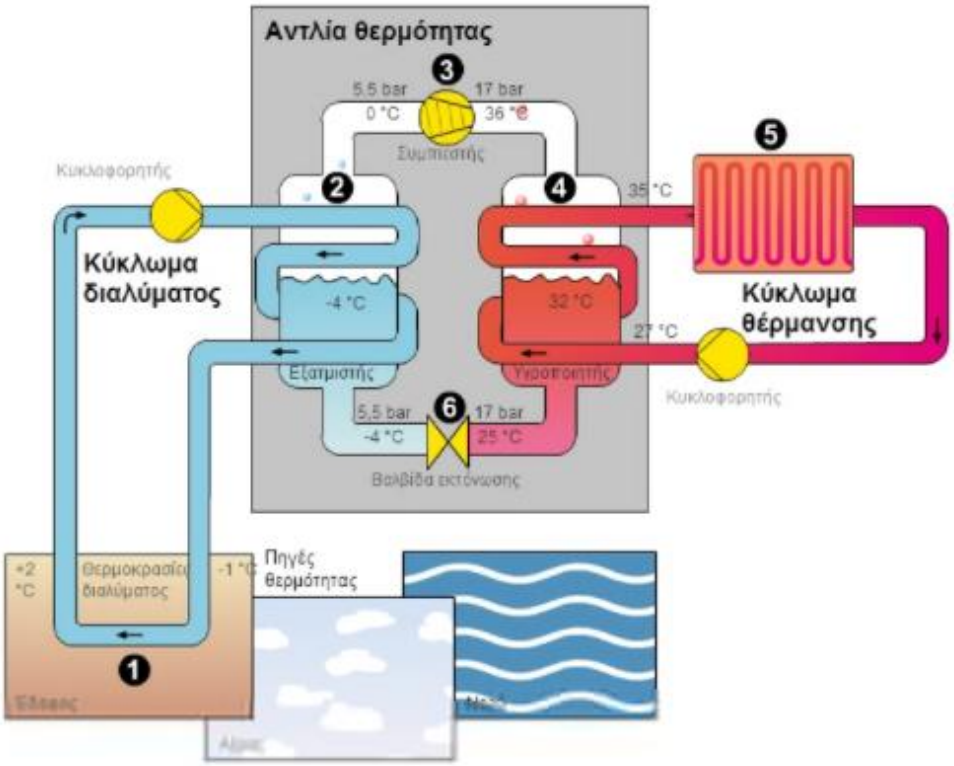
Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιο είδους πανάκειας για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος HVAC αλλά πρέπει να εξετάζεται η κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

4.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

4.1 Ορισμός

Η αντλία θερμότητας είναι μια ηλεκτρική συσκευή *(βλ. εικόνα 17*), η οποία χρησιμοποιώντας τον κύκλο ψύξης έχει την ικανότητα, ανάλογα με τις κλιματιστικές ανάγκες του εκάστοτε χώρου, να αποδίδει είτε κρύο αέρα (ή νερό) συμβάλλοντας στην ψύξη του χώρου είτε να αποδίδει ζεστό αέρα (ή νερό) συμβάλλοντας στην θέρμανσή του. Βέβαια, η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από περιοχές υψηλότερων θερμοκρασιών προς περιοχές χαμηλότερων θερμοκρασιών. Αυτή τη «φυσική» ροή της θερμότητας, η αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα, είτε με την χρήση μηχανικού έργου είτε με την βοήθεια μιας θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας, να την «αντιστρέφει», αντλώντας θερμότητα από έναν χώρο χαμηλότερων θερμοκρασιών και μεταφέροντάς την σε ένα χώρο που επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Αυτή η «αντιστροφή» της ροής της θερμότητας αποτελεί το διακριτικό τους χαρακτηριστικό, ξεχωρίζοντας τες π.χ. από τα ψυγεία [25, 26].

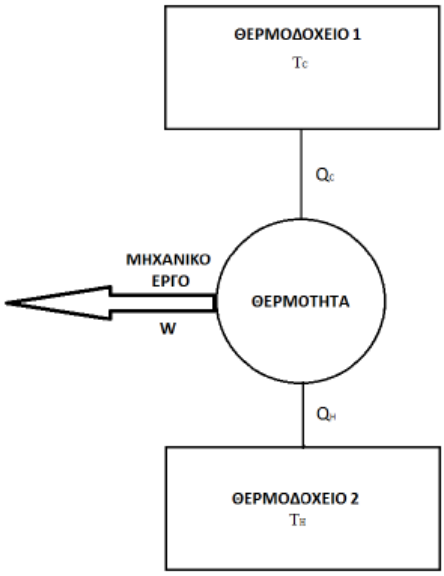
Εικόνα 17. Σχηματική αναπαράσταση μίας αντλίας θερμότητας [26]



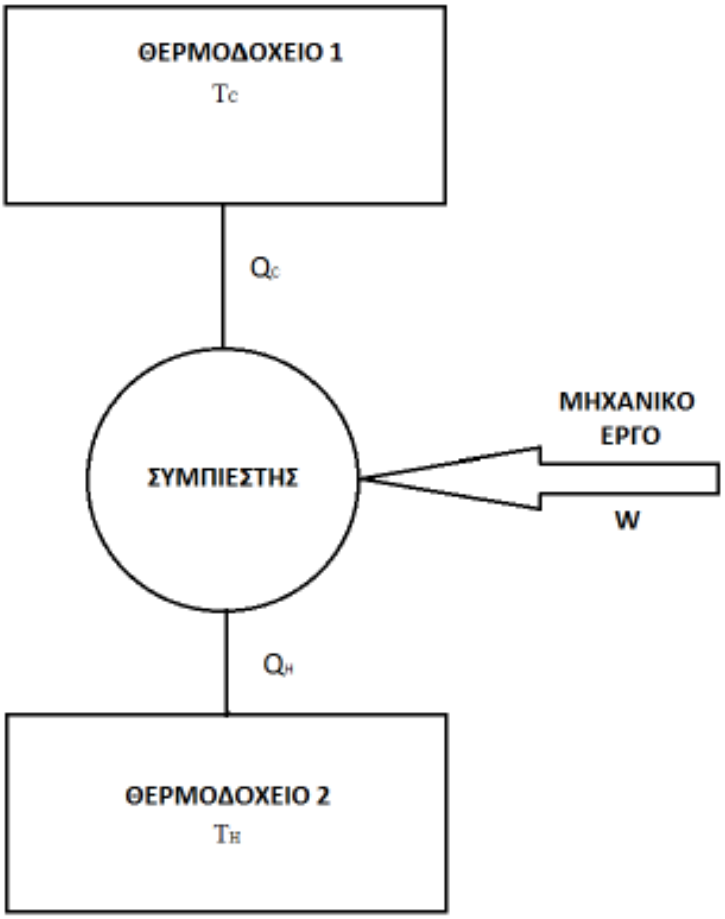
4.2 Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στην θεωρητική αρχή της μηχανής Carnot. Για την λειτουργία της μηχανής Carnot απαιτείται ένα θερμοδοχείο χαμηλής θερμοκρασίας (T_{Ψ}) και ένα θερμοδοχείο υψηλής θερμοκρασίας (T_{Θ}). Κατά την λειτουργία της έχουμε παραγωγή μηχανικού έργου W με την πρόσδεση θερμότητας (βλ. εικόνα 18). Η αντιστροφή του παραπάνω κύκλου αποδίδει την λειτουργία της αντλίας θερμότητας , όπου με την κατανάλωση μηχανικού έργου έχουμε πρόσδωση/απαγωγή θερμότητας (βλ. εικόνα 19) [28, 29]. Επομένως, η αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που δεν παράγει θερμική ενέργεια, αλλά μόνο τη μεταφέρει.

Εικόνα 18. Αρχή Λειτουργίας κύκλου Carnot [27]



Εικόνα 19. Αρχή θερμοδυναμικής λειτουργίας αντλίας θερμότητας [27]



4.3 Τμήματα Αντλίας Θερμότητας

Θα παρουσιαστούν τα τμήματα μιας αντλίας θερμότητας , η οποία υλοποιεί τον κλειστό κύκλο συμπίεσης ψυκτικών ρευστών, καθώς είναι από τους πιο διαδεδομένους κύκλους.

Συγκεκριμένα, τα βασικά μέρη αυτής της θερμικής αντλίας είναι τα εξής:

- **Ατμοποιητής (Evaporator)**: Είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος μεταφέρει θερμότητα χαμηλής ενεργειακής στάθμης από τον αέρα προς το ψυκτικό μέσο. Ειδικότερα, καθώς το ψυκτικό μέσο διαρρέει τον ατμοποιητή με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία, παραλαμβάνει θερμότητα και κατά συνέπεια μεταπηδά από την υγρή στην αέρια φάση.
- **Συμπιεστής (Compressor)**: Αναρροφά το ψυκτικό μέσο μετά την έξοδο του από τον ατμοποιητή και το συμπιέζει ώστε να το φέρει στο επιθυμητό επίπεδο πίεσης και θερμοκρασίας. Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία συμπίεσης απαιτείται μηχανικό έργο.
- **Συμπυκνωτής (Condenser)** : Ο υπέρθερμος ατμός της εξόδου του συμπιεστή εισέρχεται στον συμπυκνωτή, ο οποίος είναι ένας εναλλάκτης θερμότητα. Μέσα σε αυτόν οι θερμοί ατμοί του ψυκτικού ρευστού ψύχονται μέχρι μια ορισμένη θερμοκρασία και έπειτα συμπυκνώνονται. Μέσω αυτής της διαδικασίας αποβάλλεται θερμότητα προς το χώρο ή το περιβάλλον.
- **Βαλβίδα εκτόνωσης (Expansion Valve)** : Η βαλβίδα αυτή μειώνει την υψηλή πίεση του ψυκτικού μέσου, στην οποία βρίσκεται από την στιγμή της εξόδους του από τον συμπιεστή, μέχρι την πίεση ατμοποίησης ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος [4, 27,29].

Ορισμένες διατάξεις περιλαμβάνουν , πέρα από τα βασικά τμήματα, και τα παρακάτω εξαρτήματα :

- **Στοιχεία αυτοματισμών** : Για τον έλεγχο του συστήματος θέρμανσης.
- **Συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση**:Για την αύξηση της θερμικής απόδοσης, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή.
- **Μηχανισμό αντιστροφής** : Αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον κύκλο ψύξης σε κύκλος θέρμανσης και το αντίστροφο [30].

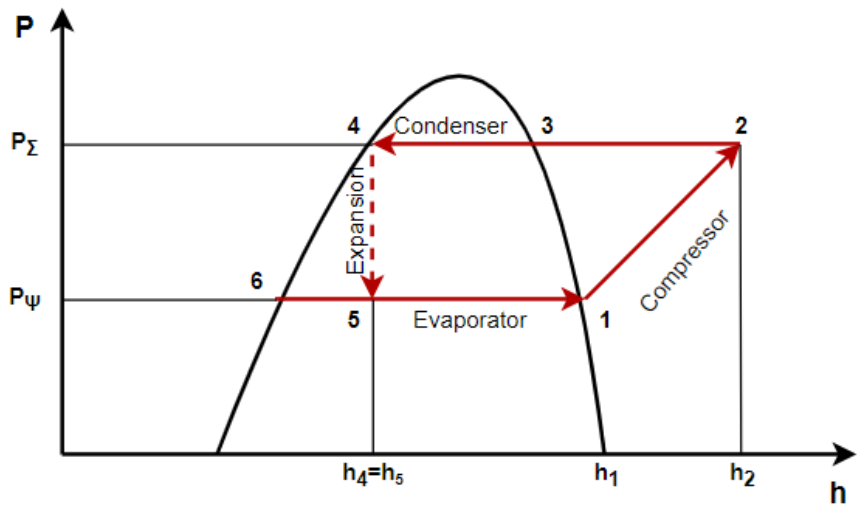
4.4 Θεωρητικός και Πραγματικός κύκλος Λειτουργίας

Θεωρητικό Κύκλος

Στην εικόνα 21 δίνεται η σχηματική διάταξη της αντλίας θερμότητας για την καλύτερη κατανόηση του διαγράμματος πίεσης - ενθαλπίας του θερμοδυναμικού κύκλου της που ακολουθεί.

Εικόνα 4.4 : Θεωρητικός κύκλος αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα Πίεσης-Ενθαλπίας

Εικόνα 20. Διάγραμμα Πίεσης-Ενθαλπίας Πραγματικού κύκλου



Βλέπουμε ότι ο θεωρητικός κύκλος, ο οποίος παρουσιάζει ομοιότητες με τον ψυκτικό κύκλο Carnot (βλ. εικόνα 23), αποτελείται από τις εξής μεταβολές [31] :

Μεταβολή 1-2 : Ισεντροπική αναστρέψιμη συμπίεση 12, η οποία βρίσκεται επί της ισεντροπικής που διέρχεται από το σημείο 1, με το οποίο χαρακτηρίζεται η κατάσταση του ψυκτικού μέσου στην αναρρόφηση του

συμπιεστή. Η τομή αυτής με την ισόθλιπτη της πίεσης συμπυκνώσεως P_{Σ} προσδιορίζει την κατάσταση και θέση του σημείου 2.

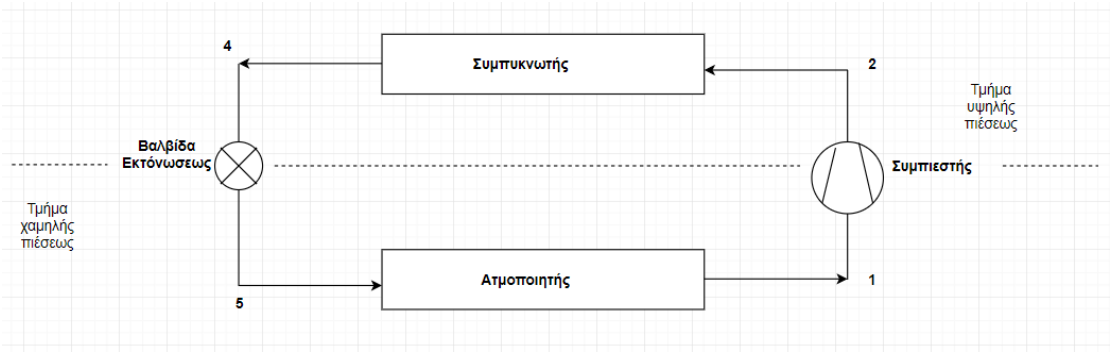
Μεταβολή 2-3 : Ψύξη του υπέρθερμου ατμού καταστάσεως 2 μέχρι την ξηρή κεκορεσμένη κατάσταση 3.

Μεταβολή 3-4 : Συμπύκνωση της ξηρής κεκορεσμένης κατάστασης 3 μέχρι του σημείου 4, επί της οριακής γραμμής (x=0) που βρίσκονται πάνω στην ισόθλιπτη γραμμή P_{Σ}.

Μεταβολή 4-5 : Στραγγαλισμός πιέσεως 4 5 , ο οποίος προσεγγίζεται με ισενθαλπική μεταβολή, παρίσταται με την κατακόρυφο που διέρχεται από το σημείο 4. Η τομή αυτής με την ισόθλιπτη της πίεσης συμπυκνώσεως P_{ψ} ορίζει το σημείο 5, το οποίο παριστά την κατάσταση του διφασικού μείγματος ατμός/υγρό , που εισέρχεται στο στοιχείο ατμοποιήσεως.

Μεταβολή 5-1 : Ισόθλιπτη και ταυτόχρονα ισοθερμοκρασιακή ατμοποιήση μέχρι την κατάσταση 1.

Εικόνα 21. Σχηματική διάταξη της αντλίας θερμότας



Πραγματικός Κύκλος

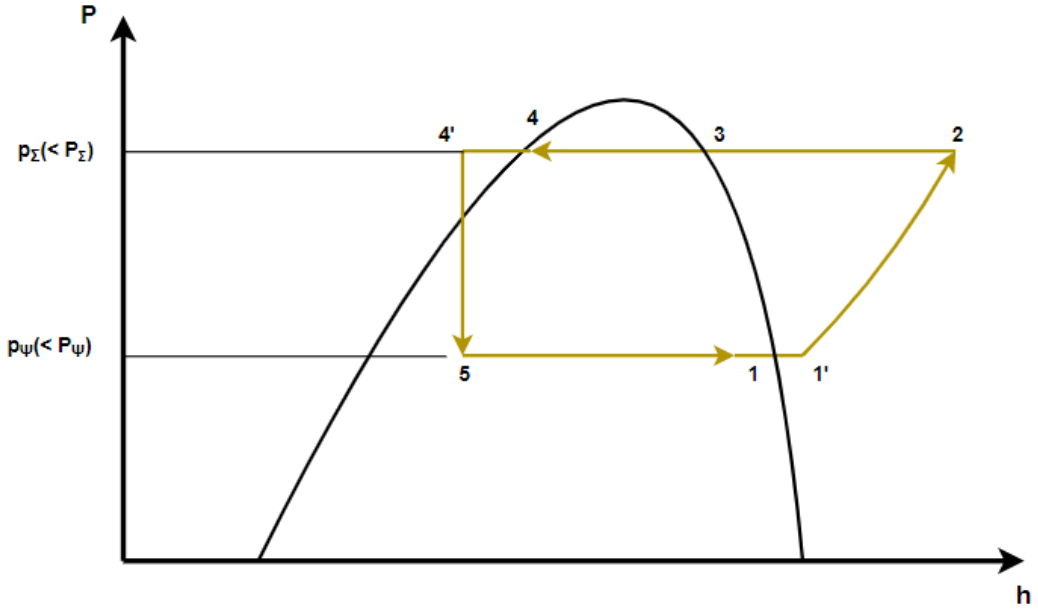
Βέβαια, ο πραγματικός κύκλος δεν είναι ποτέ ιδανικός, οπότε οι περιγραφθείσες μεταβολές υφίστανται ορισμένες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, ο ατμός εισέρχεται στον συμπιεστή σε υπέρθερμη κατάσταση για την αποφυγή του κινδύνου δημιουργίας σταγόνων υγρών στο εσωτερικό του συμπιεστή , οπότε δεν έχουμε την κορεσμένη κατάσταση 1.

Επίσης, η συμπίεση 1-2 ποτέ δεν είναι ισεντροπική και για αυτό απαιτείται περισσότερο μηχανικό έργο από το θεωρητικό. Αυτό το έργο μετατρέπεται σε θερμότητα, την οποία παραλαμβάνει το ρευστό με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του.

Επιπλέον, οι εναλλάκτες (ατμοποιητής και συμπυκνωτής), παρουσιάζουν πάντα απώλειες πίεσης, οπότε δεν επιτυγχάνονται οι θεωρετικές ισόθλιπτες μεταβολές 3-4 και 5-1.

Τέλος, λόγω κινδύνου εμφάνισης ατμού πριν την εκτονωτική βαλβίδα, πραγματοποιείται με χρήση ενός ενδιάμεσου ψύκτη υπόψυξη του υγρού [32].

Εικόνα 22. Διάγραμμα Πίεσης-Ενθαλπίας Πραγματικού κύκλου



4.5 Βαθμός Απόδοσης Αντλίας Θερμότητας

Σύμφωνα με τον θεωρητικό κύκλο (βλ. εικόνα 20), η ψύξη που επιτυγχάνεται στον ατμοποιητή ανηγμένη/ αναγόμενη στη μονάδα μάζας του εκάστοτε ψυκτικού μέσου που χρησιμοποιείται καλείται **ψυκτική ικανότητα q_Ψ** για την οποία ισχύει [31] :

$$q_\Psi = \frac{Q_\Psi}{\dot{m}} = h_1 - h_5 \ , \qquad \text{όπου } Q_\Psi\text{: Ψυκτική Ισχύς}$$

λόγω του ισενθαλπικού στραγγαλισμού $h_4 = h_5$

Το ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου απαιτούμενο θεωρητικό μηχανικό έργο w_{th} , το οποίο απαιτείται για την συμπίεση 1-2 , ισούται με την ενθαλπική διαφορά $h_2 - h_1$. Δηλαδή,

$$w_{th} = \frac{P_{th}}{\dot{m}} = h_2 - h_1 \ , \qquad \text{όπου } P_{th}\text{: Θεωρητική μηχανική ισχύς}$$

Από τις δύο παραπάνω σχέσεις προκύπτει ο **θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς COP_{th}** για τον οποίο ισχύει :

$$COP_{th} = \frac{q_\psi}{w_{th}} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1}$$

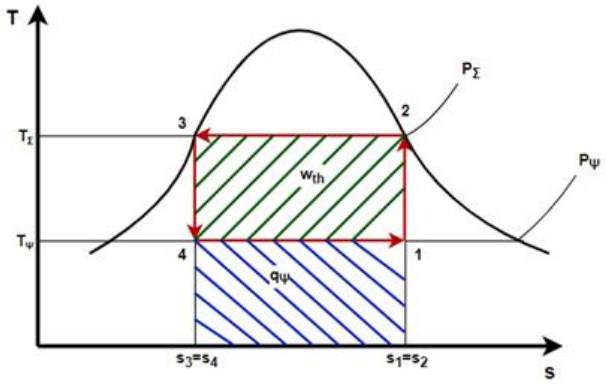
Εύκολα συνάγεται από τα παραπάνω και ο **πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς COP**, ο οποίος ορίζεται με την βοήθεια του **ανηγμένου πραγματικού μηχανικού έργου w_{ef}** που προσδίδεται στην άτρακτο του συμπιεστή :

$$COP = \frac{q_\Psi}{w_{ef}}$$

Για λόγους πληρότητας αναφέρεται και ο **θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης ως προς τον κύκλο Carnot E_C** ,ο οποίος δίνεται από την σχέση :

$$E_c = \frac{COP_{th}}{COP_c} \ , \quad \text{όπου } COP_c = \frac{T_\Psi}{T_\Sigma - T_\psi}$$

Εικόνα 23. Θερμοδυναμικός κύκλος Carnot



4.6 Κύκλος Λειτουργίας της Θερμικής Αντλίας σε Ψύξη και Θέρμανση

Είχε ειπωθεί προηγουμένως ότι η αντλία θερμότητας «αντιστρέφει» την θερμική ροή, δηλαδή τον κύκλο ψύξης, παραβιάζοντας -σε λεκτικό πάντα επίπεδο- τους θερμοδυναμικούς νόμους. Να τονιστεί ότι δεν υφίσταται θερμικός κύκλος · η αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και το μοναδικό που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με αυτόν του ατμοποιητή. Συγκεκριμένα, το καλοκαίρι (ψυκτικός κύκλος) ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχώμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ το χειμώνα («κύκλος θέρμανσης») λειτουργεί το εσωτερικό στοιχείο στο κλιματιζόμενο χώρο ως συμπιεστής και τον θερμαίνει. Δηλαδή, αντί να μεταφέρονται ατμοποιητής και συμπυκνωτής από τον εσωτερικό χώρο στο περιβάλλον, με την χρήση της τετράοδης βαλβίδας, η αντλία θερμότητας αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού μέσου, συνεχίζοντας να λειτουργεί ως ψυκτικός κύκλος, στον οποίο η αποδίδεται το απαραίτητο μηχανικό έργο .

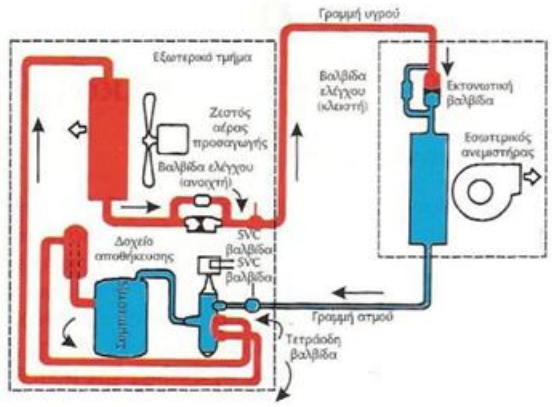
Ας δούμε αναλυτικότερα πως λειτουργεί η αντλία θερμότητας στις δύο αυτές καταστάσεις.

4.6.1 Κύκλος ψύξης

Το ψυκτικό μέσο, σε αέρια κατάσταση και χαμηλή πίεση, απορροφάται από τον συμπιεστή και εξέρχεται σε αέρια κατάσταση υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, εισέρχεται στον συμπυκνωτή όπου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του και της χαμηλής του συμπυκνωτή (ο οποίος είναι ένας εναλλάκτης), αποβάλλει θερμότητα προς το μέσο συμπυκνώσεως. Αυτό το μέσο μπορεί να είναι αέρας ή νερό, με αποτέλεσμα την συμπύκνωσή του, δηλαδή την μετατροπή του από αέριο σε υγρό υψηλής πίεσης (ίδια με αυτήν

που απέκτησε στον συμπιεστή) και θερμοκρασίας. Έπειτα, το συμπύκνωμα ρέει στην διάταξη στραγγαλισμού (βαλβίδα εκτονώσεως) όπου η πίεση και η θερμοκρασία του ελαττώνονται σημαντικά. Σε αυτό το σημείο συνυπάρχουν δύο φάσεις, η υγρή και η αέρια. Έχοντας η θερμοκρασία του μείγματος λάβει τιμή χαμηλότερη από την επικρατούσα στο εσωτερικό του κλιματιζούμενου χώρου, εισέρχεται στον ατμοποιητή (ο οποίος είναι ένας εναλλάκτης). Εκεί, αφού απορροφά θερμότητα από τον περιβάλλοντα χώρο, παράγει την απαιτούμενη ψυκτική ισχύ και εξέρχεται σε κατάσταση κορεσμένου ή και υπέρθερμου ατμού. Τέλος, οδηγείται στον συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται [30].

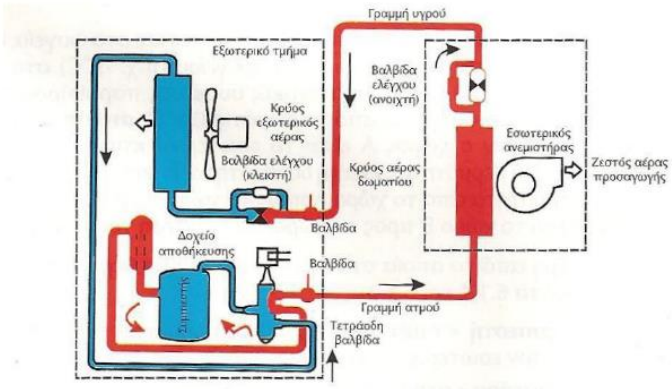
Εικόνα 24. Κύκλος αντλίας θερμότητας για ψύξη [32]



4.6.2 Κύκλος θέρμανσης

Περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης με μόνη διαφορά ότι η ροή του ψυκτικού μέσου είναι αντίστροφη. Δηλαδή, ο εναλλάκτης που εκτελούσε την ατμοποίηση εκτελεί την συμπύκνωση και ο εναλλάκτης που εκτελούσε την συμπύκνωση εκτελεί την ατμοποίηση. Κατά αυτόν τον τρόπο γίνεται μεταφορά θερμότητας από τον εξωτερικό χώρο προς τον εσωτερικό και για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία απαιτείται η τετράοδη βαλβίδα που θα οδηγήσει το ψυκτικό υγρό μετά την έξοδό του από τον συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου – αέρα (ή νερού).

Εικόνα 25. Κύκλος αντλίας θερμότητας για θέρμανση [32]



4.7 Βαθμός Απόδοσης και Ενεργειακή Αξιολόγηση για τους κύκλους ψύξης και θέρμανσης

Όπως γνωρίζουμε από την αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας (βλ. εικόνα ΑΘ.3), η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας Q_1, προσθέτει μηχανικό έργο W στο συμπιεστή και αποδίδει ποσό ενέργειας Q_2 στο θερμό χώρο.

Από τον ενεργειακό ισολογισμό προκύπτει :

$$Q_2 = Q_1 + W$$

Από εδώ προκύπτουν ο βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης και ο βαθμός απόδοσης σε λειτουργίας ψύξης.

4.7.1 Βαθμός Απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης

Ορίζεται ως ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας Q_2 προς το καταναλικσκόμενο έργο W και τον συναντήσαμε πιο πάνω. Είναι ο ειδικός βαθμός απόδοσης της αντλίας **COP (Coefficient Of Perfomance)**

4.7.2 Βαθμός Απόδοσης σε λειτουργία ψύξης

Ορίζεται ως ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας Q_2 προς το καταναλικσκόμενο έργο W και ονομάζεται **βαθμός ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (EER : Energy Efficiency Ratio)**

Οι δύο παραπάνω βαθμοί απόδοσης εξαρτώνται από :

- Την θερμοκρασία της “πηγής” (T_{Q1})
- Την θερμοκρασία του “αποδέκτη” (T_{Q2})
- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας
- Τις ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου

4.7.3 Ενεργειακή Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί η μέτρηση του COP και του EER να γίνονται σε τυποποιημένες συνθήκες, οι οποίες είναι :

Για θέρμανση: Θερμοκρασία θερμού=20°C, θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα=7°C

Για ψύξη: Θερμοκρασία θερμού= 27°C, θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα=35°C [33]

4.7.4 Τυπικές τιμές COP σήμερα

Να σημειωθεί ότι για σύγχρονες αντλίες θερμότητας οι συνήθεις τιμές των COP και ERR είναι μεγαλύτερες του 3.0. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ενέργειας που καταναλώνει μια αντλία θερμότητας αποδίδει τρεις μονάδες ενέργειας [34].

4.8 Είδη Αντλιών Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την πηγή θερμότητας (heat source and sink), το εργαζόμενο μέσο (heating and cooling distribution fluid), τον θερμοδυναμικό κύκλο που υλοποιούν, το μέγεθος και την διαμόρφωσή τους και τέλος με βάση τους περιορισμούς της πηγής θερμότητας και του εργαζόμενου μέσου.

Ειδικότερα θα παρουσιαστούν δύο ταξινομήσεις. Η πρώτη θα είναι με βάση του κριτηρίου πηγή θερμότητας-εργαζόμενο μέσου και η δεύτερη με βάση του κριτηρίου των θερμοδυναμικών κύκλων που υλοποιούνται [31].

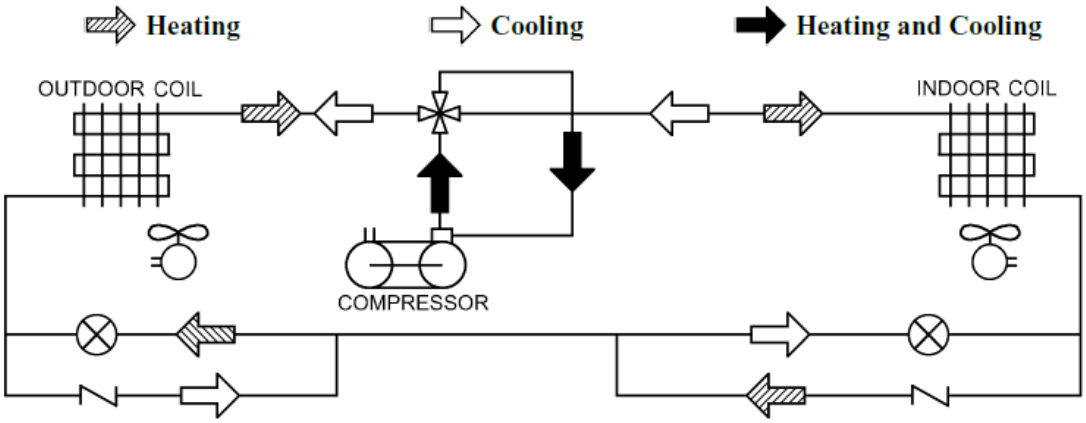
4.8.1 Κριτήριο πηγή θερμότητας-εργαζόμενο μέσο

- **Αντλίες θερμότητας Αέρα-Αέρα**: Αποτελούν τον συνηθέστερο τύπο θερμικής αντλίας και χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε εμπορικά όσο και σε οικιακά κτίρια. Σε αυτά τα συστήματα ο θερμός ή ψυχρός αέρας κυκλοφορεί είτε υποβοηθούμενος από κάποιον κινητήρα είτε μέσω κατάλληλων αεροβαλβίδων παράκαμψης. Σε αυτές τις αντλίες πάντα ο ένας εναλλάκτης είναι ο ατμοποιητής και ο άλλος ο συμπυκνωτής. Κατά τη λειτουργία του ψυκτικού κύκλου ο εξωτερικός αέρας διέρχεται από τον συμπυκνωτή, ενώ ο αέρας του κλιματιζόμενου χώρου διέρχεται από τον ατμοποιητή και η μετατροπή του κύκλου σε «κύκλο θέρμανσης» επιτυγχάνεται με αλλαγές της θέσης των αεροβαλβίδων παράκαμψης.

  Βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένο τύπου είναι ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ειδικότερα στις μέρες που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, η απόδοσή τους μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα να αδυνατούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες

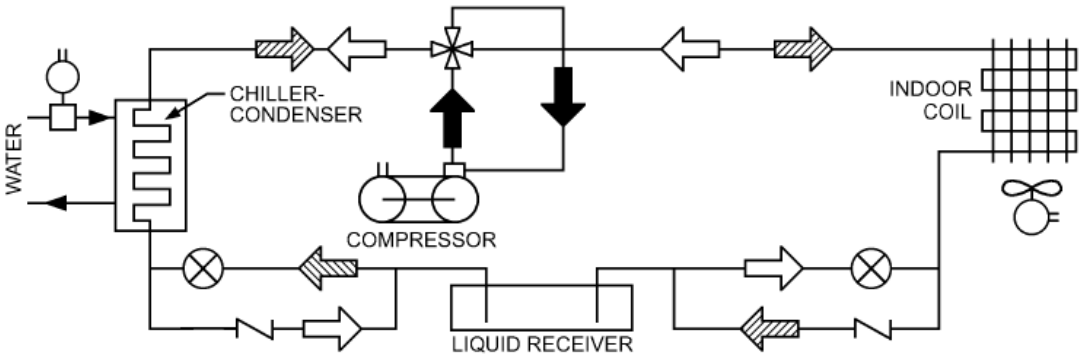
θέρμανσης. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό τοποθετούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις ως συμπληρωματική πηγή θερμικής ενέργειας. Οι αντιστάσεις αυτές τοποθετούνται στη μονάδα διαχείρισης του αέρα και ενεργοποιούνται αυτόματα και σταδιακά καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέφτει [25,30].

Εικόνα 26. Αντλία θερμότητας Αέρα-Αέρα [21]



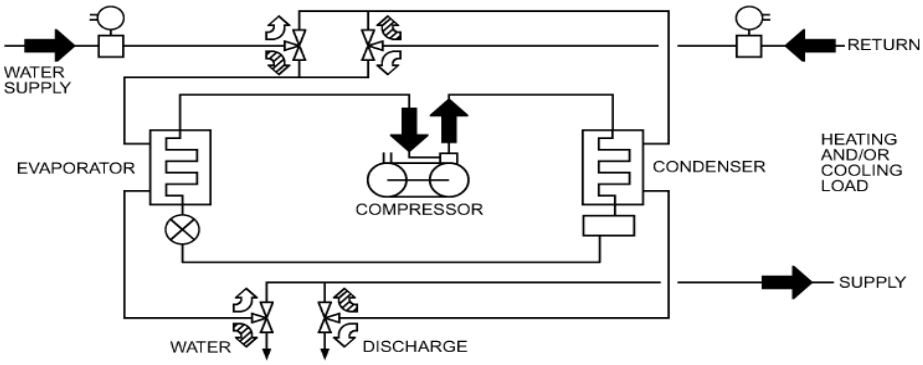
- **Αντλίες θερμότητας Νερού-Αέρα** : Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιεί το νερό ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας και τον αέρα για να μεταφέρει ή να απάγει θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Το νερό προσάγεται μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων σε υδρόψυκτο συμπυκνωτή/ατμοποιητή όπου ανταλλάσει θερμότητα με το ψυκτικό ρευστό, ενώ το ψυκτικό ρευστό ανταλλάσει θερμότητα με τον κλιματιζόμενο αέρα μέσω αερόψυκτου ατμοποιητή /συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, ο κλιματιζόμενος αέρας προσάγεται στους χώρους μέσω κατάλληλου δικτύου αεραγωγών. Η εναλλαγή του κύκλου λειτουργίας της αντλίας από θέρμανση σε ψύξη γίνεται με αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου μέσω τετράοδης βαλβίδας. Το νερό που χρησιμοποιείται ως πηγή και αποδέκτης θερμότητας μπορεί να είναι είτε υπεδαφικό είτε επίγειο αλλά και απόνερα [25,30].

Εικόνα 27. Αντλία Θερμότητας Νερού-Αέρα [21]



❖ **Αντλίες θερμότητας Νερού-Νερού** : Όπως ο προηγούμενος, έτσι και αυτός ο τύπος αντλίας θερμότητας χρησιμοποιεί ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας το νερό. Το πρωτεύον κύκλωμα τροφοδοτείται με νερό από το περιβάλλον, ενώ το δευτερεύον συνδέεται με τοπικές μονάδες ανεμιστήρα/στοιχείου (fan-coil units) ή με στοιχεία κλιματιστικών μονάδων (AHUs). Το θερμό/ψυχρό νερό του δευτερεύοντος κυκλώματος εξασφαλίζει τις επιθυμητές συνθήκες κλιματισμού κάθε χώρου. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του νερού προσαγωγής και του ψυκτικού ρευστού αλλά και μεταξύ ψυκτικού ρευστού και δευτερεύοντος κυκλώματος, πραγματοποιείται με τη βοήθεια υδρόψυκτου εναλλάκτη (συμπυκνωτή/ατμοποιητή) [25, 30].

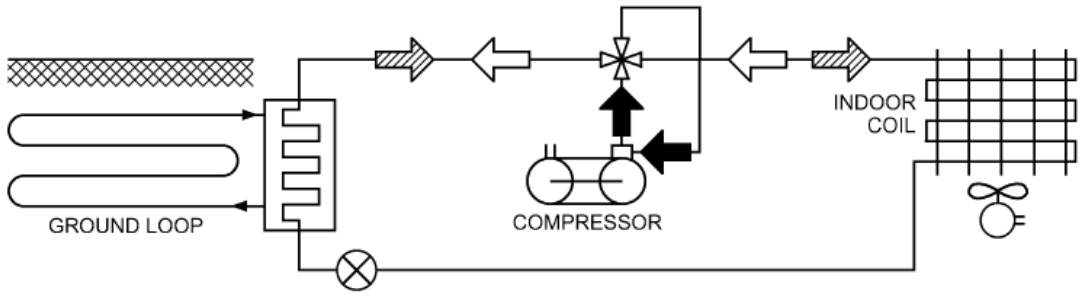
Εικόνα 28. Αντλία θερμότητας Νερού-Νερού [21]



- **Γεωθερμικές αντλίες**: Ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιεί την αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους (θερμοχωρητικότητα εδάφους) για τον κλιματισμό δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων κάθε μεγέθους. Η άντληση και απόρριψη θερμότητας από το έδαφος πραγματοποιείται με τη χρήση γεωεναλλάκτη. Στις σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη μπορεί να κυκλοφορεί αντιπηκτικό υγρό ή και αλατόνερο με τη βοήθεια ξεχωριστής αντλίας. Στη περίπτωση αυτή η αντλία θερμότητας χαρακτηρίζεται ως **αντλία θερμότητας εδάφους-νερού κλειστού κυκλώματος**. Το κύκλωμα του γεωεναλλάκτη είναι κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο και συνδέεται με υδρόψυκτο ατμοποιητή/συμπυκνωτή, όπου πραγματοποιείται η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ αντιπηκτικού και ψυκτικού υγρού. Πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου αποτελεί η δυνατότητα χρήσης γεωεναλλάκτη με σωληνώσεις αρκετά μεγάλου μήκους, καθώς η πτώση πίεσης εντός των σωληνώσεων μπορεί να υπερνικηθεί με τη χρήση κατάλληλης αντλίας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η επιφάνεια εναλλαγής του γεωεναλλάκτη, καθιστώντας αποδοτικότερη την άντληση/απόρριψη ενέργειας στο έδαφος. Ένας διαφοροποιημένος τύπος αντλίας θερμότητας είναι η **αντλία θερμότητας εδάφους-νερού απευθείας εκτόνωσης**, όπου στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη, το οποίο είναι κατασκευασμένο από σωλήνες χαλκού, κυκλοφορεί απευθείας το ψυκτικό ρευστό. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει την άμεση ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ ψυκτικού ρευστού και εδάφους, παρακάμπτοντας έτσι τη χρήση υδρόψυκτου εξατμιστή/συμπυκνωτή και τις απώλειες ενέργειας που αυτό συνεπάγεται. Η έλλειψη ενός δεύτερου εναλλάκτη συμβάλει σε απλούστερη κατασκευή της μονάδας με λιγότερα κατασκευαστικά στοιχεία. Ωστόσο, μειονέκτημα

αποτελεί το γεγονός ότι μέρος της ενέργειας του συμπιεστή καταναλώνεται και για την κυκλοφορία του ψυκτικού ρευστού εντός του γεωεναλλάκτη, ενώ η απευθείας χρήση ψυκτικού ρευστού εγκυμονεί κινδύνους διαρροών. Κλείνοντας, και στους δύο τύπους που περιγράφηκαν, η θερμότητα που αντλείται από το έδαφος μεταφέρεται μέσω υδρόψυκτου συμπυκνωτή προς το δευτερεύον κύκλωμα νερού, το οποίο με τη σειρά του συνδέεται τοπικές μονάδες ανεμιστήρα/στοιχείου (fan-coil units),στοιχεία κλιματιστικών μονάδων (AHUs), ή κυκλώματα ενδοδαπέδιας θέρμανσης [25,30].

Εικόνα 29. Γεωθερμική Αντλία [21]

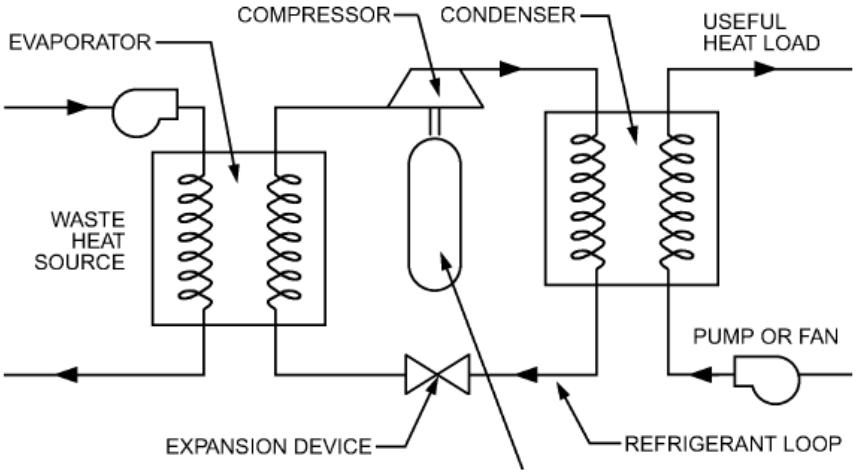


- **Υδρυβικές γεωθερμικές αντλίες**: Αποτελούν μια παραλλαγή των γεωθερμικών, οι οποίες χρησιμοποιούν συμπυκνωτή αέρος ή ψυγείο για να μειώσουν τις ετήσιες αποβολές θερμότητας προς το έδαφος.

4.8.2 Κριτήριο θερμοδυναμικού κύκλου

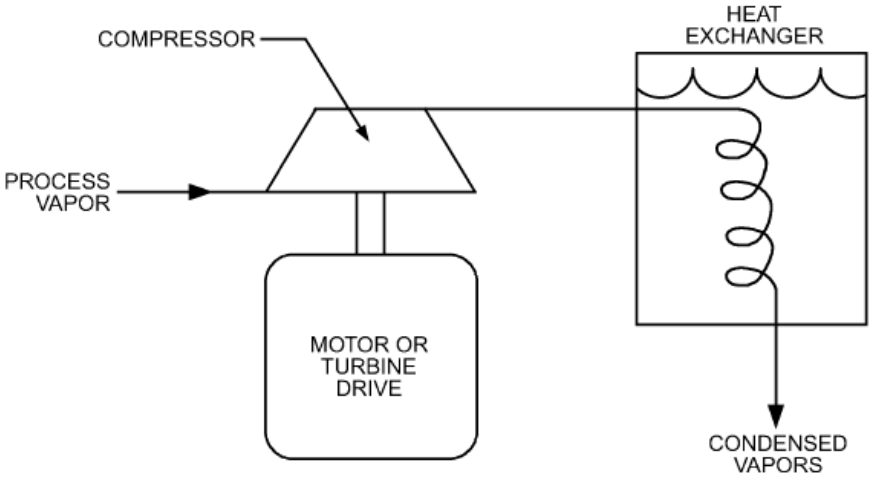
- **Κλειστού κύκλου συμπιεσμένου ατμού**: Είναι ο πιο συχνά υλοποιούμενος κύκλος τόσο σε συστήματα HVAC όσο και σε βιομηχανικές διαδικασίες εφαρμόζοντας τον συμβατικό ψυκτικό κύκλο.

Εικόνα 30. Αντλία Θερμότητας – Κλειστού κύκλου συμπιεσμένου ατμού [21]



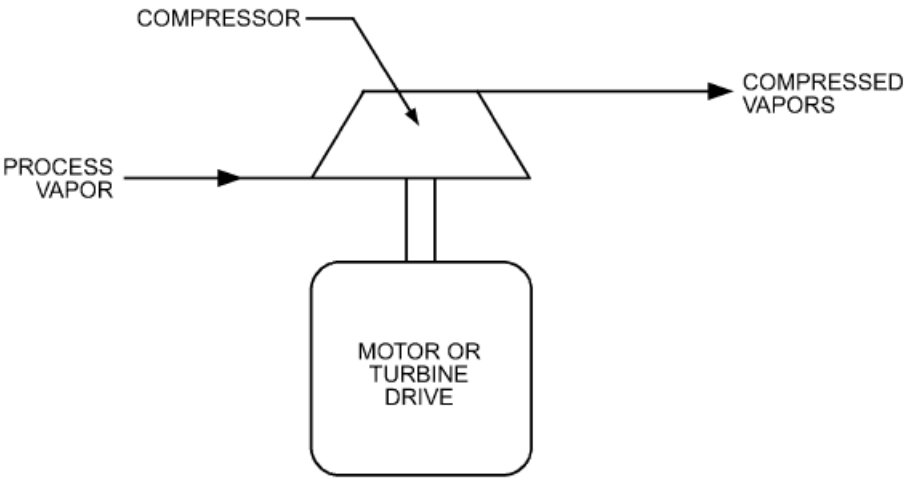
- **Κύκλου μηχανικής ανασυμπιέσεως ατμού με εναλλάκτη θερμότητας** : Ο χρησιμοποιούμενος ατμός συμπιέζεται σε θερμοκρασία και πίεση επαρκείς ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί από το κύκλωμα. Η κατανάλωση ενέργειας σε τέτοιου είδους συστήματα είναι ελάχιστη, καθώς επιλέγονται θερμοκρασίες για την βέλτιστη λειτουργία του κύκλου. Εγκαταστάσεις που εφαρμόζουν αυτόν τον θερμοδυναμικό κύκλο περιλαμβάνουν ατμοποιητές και στοιχεία διύλισης.

Εικόνα 31. Αντλία Θερμότητας – Κύκλου μηχανικής ανασυμπιέσεως ατμού με εναλλάκτη θερμότητας [21]



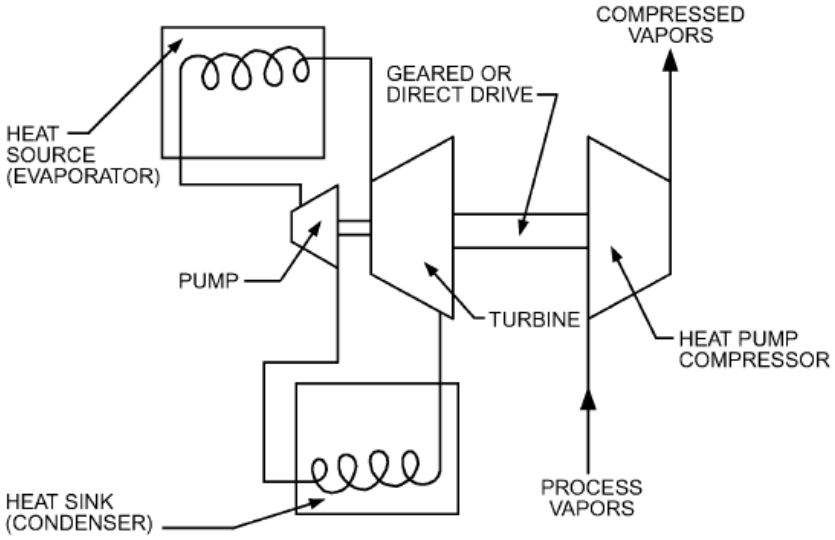
- **Ανοικτού κύκλου ανασυμπιέσεως ατμού** : Τυπική εφαρμογή αυτού του κύκλου εντοπίζεται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις που απαιτούνται διάφορα επίπεδα πίεσης του ατμού και υπάρχει αρκετή ποσότητα ατμού που βρίσκεται σε πίεση χαμηλότερη της επιθυμητής.

Εικόνα 32. Αντλία θερμότητας – Ανοικτού κύκλου ανασυμπιέσεως ατμού[21]



- **Οδηγούμενης απορριπτόμενης θερμότητας-κύκλος Rankine** : Αυτός ο κύκλος είναι χρήσιμος, όταν μεγάλες ποσότητες θερμότητας αποβάλλονται δίχως να αξιοποιείται το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τα κόστη της παραγόμενης ενέργειας είναι υψηλά. Το μέρος του κύκλου που αφορά την αντλία θερμότητας μπορεί να είναι είτε ανοικτού είτε κλειστού τύπου αλλά ο κύκλος Rankine είναι συνήθως κλειστού τύπου [21].

Εικόνα 33. Αντλία θερμότητας – Οδηγούμενης απορριπτόμενης θερμότητας-κύκλος Rankine [21]



5. Παρουσίαση Μοντέλου

5. 1 Γενικά Στοιχεία

Το υπό μελέτη κτίριο αποτελεί ένα «φανταστικό» κτίριο, καθώς σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας και δεν αντιστοιχεί σε κάποιο υπό σχεδίαση ή κατασκευασμένο πραγματικό κτίριο.

Θεωρήθηκε ότι αυτό το κτίριο, αποτελούμενο από ισόγειο και έναν μοναδικό όροφο και τοποθετημένο στην πόλη της Αθήνας, διαστάσεων 24 x 30 m^2 και συνολικού ύψους 7 m, προορίζεται για την φιλοξενία ορισμένου αριθμού γραφείων, τα οποία θα βρίσκονται συγκεντρωμένα στον μοναδικό όροφο, μαζί με ορισμένους άλλους χώρους (οι οποίοι θα παρουσιαστούν εν συνεχεία) σχετιζόμενους με την λειτουργία και την εξυπηρέτηση των αναγκών του κτιρίου ως «κτιρίου-γραφείου», οι οποίοι θα βρίσκονται κατά κύριο λόγο συγκεντρωμένοι στο ισόγειο.

Μία από τις παραμέτρους σχεδίασης ήταν να εμφανίζει μειωμένες ενεργειακές καταναλώσεις, για αυτό σχεδιάσθηκαν ορισμένα υλικά με κατάλληλες μονώσεις για τις κατασκευές των εξωτερικών τοίχων, της οροφής, του δαπέδου και των εξωτερικών παραθύρων. Επίσης, το κτίριο θα φέρει επί της οροφής του φωτοβολταϊκά πάνελ με σκοπό να ικανοποιεί ως ένα ορισμένο βαθμό τις ιδιοκαταναλώσεις του. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνολικού εμβαδού 13.79 m^2 τοποθετήθηκαν με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας ώστε να παρουσιάζουν μέγιστη ετήσια παραγωγής ενέργειας. Τέλος, σχεδιάσθηκε, για την ικανοποίηση των αναγκών του κτιρίου σε θερμικό και ψυκτικό φορτίο, ένα σύστημα αντλίας θερμότητας νερού-αέρος.

5.2 Εσωτερική διάρθρωση κτιρίου – Κατόψεις

Εσωτερικά το κτίριο διαρθρώνεται σε ένα σύνολο 10 γραφείων μαζί με 19 βοηθητικούς χώρους απαραίτητους για την συνολική του λειτουργία, δηλαδή θα φέρει ένα σύνολο 29 χώρων .

Συγκεκριμένα ισόγειο και όροφος , σύμφωνα με τις κατόψεις (βλ. εικόνα 34 και 35) διαρθρώνονται με τον εξής τρόπο :

	Χώροι	**Σύμβολο**
Ισόγειο	Κεντρικός Χώρος	400
	Αποθήκη	140
	Χώρος Μηχανολογικού Εξοπλισμού	150
	Τουαλέτα Γυναικών	170
	Τουαλέτα Ανδρών	160
	Αίθουσα Συνεντεύξεων	110
	Αίθουσα Αρχείων	120
	Χώρος Διαλείμματος	200
	Αίθουσα Συσκέψεως I	180
	Αίθουσα Συσκέψεως II	190
	Αίθουσα Συνεδριάσεων I	100
	Αίθουσα Συνεδριάσεων II	130

	Χώροι	**Σύμβολο**
Όροφος	Κεντρικός Χώρος	50
	Χώρος Μηχανολογικού Εξοπλισμού	800
	Χώρος Διαλείμματος Ι	600
	Χώρος Διαλείμματος ΙΙ	610
	Αρχείο-Αίθουσα Εκτυπώσεως	900
	Τουαλέτα Γυναικών	700
	Τουαλέτα Ανδρών	710
	Γραφείο Ι	500
	Γραφείο ΙΙ	510
	Γραφείο ΙΙΙ	520
	Γραφείο IV	530
	Γραφείο V	540
	Γραφείο VI	550
	Γραφείο VII	560
	Γραφείο VIII	570
	Γραφείο Γραμματείας	580
	Γραφείο Προϊσταμένου	590

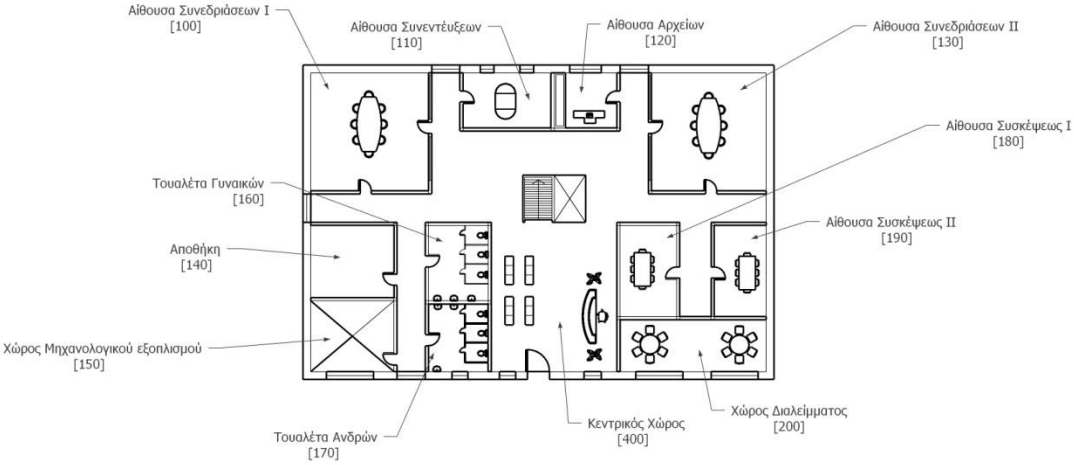
5.3 Διαχωρισμός σε Θερμικές Ζώνες

Αρχικά, μια θερμική ζώνη, η οποία αποτελεί βασική παράμετρο στην μοντελοποίηση του κτιρίου, είναι ένας χώρος ή ένα σύνολο χώρων, οι οποίοι έχουν παρόμοιες απαιτήσεις κλιματισμού και τις ίδιες απαιτήσεις σε θερμικό και ψυκτικό φορτίο. Επίσης, κάθε θερμική ζώνη, η οποία έχει σχηματιστεί, πρέπει να περιέχει έναν χώρο ή περισσότερους. Επιπλέον, διάφορες θερμικές ζώνες μπορούν να σχηματίσουν ευρύτερα σύνολα μεταξύ τους. Τέλος, μια θερμική ζώνη μπορεί να περιέχει χώρους με διαφορετικά χρονοδιαγράμματα λειτουργίας, χώρους που μπορούν να έχουν φυσικό φωτισμό ενώ άλλοι όχι, όπως επίσης να περιέχει χώρους με διαφορετικές ρυθμίσεις του εσωτερικού φωτισμού [35].

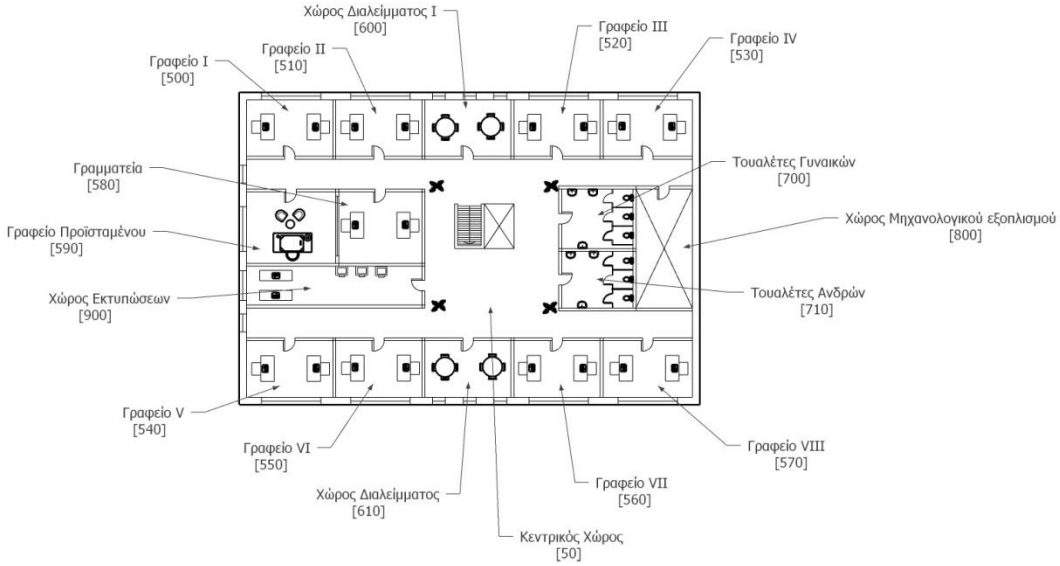
Έχοντας αυτά κατά νού το κτίριο χωρίστηκε σε επτά θερμικές ζώνες με τον παρακάτω τρόπο:

	Θερμική Ζώνη	**Χώροι**
Ισόγειο	I	400
	II	120 , 140 , 150 , 160 , 170
	III	110, 180 , 190 , 200
	IV	100 , 130
Όροφος	V	50
	VI	500 , 510 , 520 , 530 ,540 , 550 , 560 , 570 , 580 , 590 , 600 , 610
	VII	700 , 710 , 800 , 900

Εικόνα 34. Κάτοψη Ισογείου



Εικόνα 35. Κάτοψη Ορόφου



6.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Για τη δημιουργία του κτιρίου και για την μετέπειτα ενεργειακή του προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Sketchup και Opentudio (-Energy plus) αντιστοίχως, για τα οποία θα δοθούν συνοπτικώς ορισμένες πληροφορίες.

SKETCHUP Pro 2020: Το Sketchup είναι ένα εμπορικό πρόγραμμα, ιδιοκτησία της εταιρείας Trimble Inc. [37], το οποίο προσφέρει την δυνατότητα σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων απευθυνόμενο κυρίως στους κλάδους της αρχιτεκτονικής, της διακόσμησης, της μηχανολογίας, σχεδιασμού ταινιών και παιχνιδιών. Παράλληλα, παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να μοιράζουν δωρεάν 3D μοντέλα δημιουργηθέντα στο sketchup με τους υπόλοιπους χρήστες μέσω της βιβλιοθήκης “3D Warehouse” αλλά και να κοινοποιούνται διάφορα plug-ins κατασκευασμένα ειδικώς για το Sketchup , τα οποία προσθέτουν νέα εργαλεία και χαρακτηριστικά στο Sketchup μέσω της βιβλιοθήκης “ Extension Warehouse”. Για αυτό το λόγο προτιμήθηκε το Sketchup ως πρόγραμμα μοντελοποίησης του κτιρίου, καθώς το Openstudio plug-in προσφέρει την γρήγορη και εύκολη μοντελοποίηση του κτιρίου με απώτερο σκοπό την ενεργειακή του προσομοίωση [36].

EnergyPlus: Το EnergyPlus είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανοικτού κώδικα, το οποίο αναπτύχθηκε από το υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy’s Building Technologies Office). Αυτό χρησιμοποιείται για την συνολική ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων, καθώς μέσω αυτού δύνανται να μοντελοποιηθούν τόσο η ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό κτλ όσο και η χρήση νερού στα κτίρια. Ένα μικρό μειονέκτημα του ως προς την χρηστικότητα του είναι η απουσία γραφικού

περιβάλλοντος- διαβάζει δεδομένα και εξάγει αποτελέσματα σε μορφή κειμένου (“console-based program”)- παρότι συνοδεύεται με διάφορα υπο-προγράμματα για την διευκόλυνση της επεξεργασίας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων (IDF editor, EP-Launch, EP-Compare). Για αυτό δημιουργήθηκαν διάφορα GUI (Graphical User Interface) από τρίτους με το πιο διαδεδομένο να αποτελεί το OpenStudio [38].

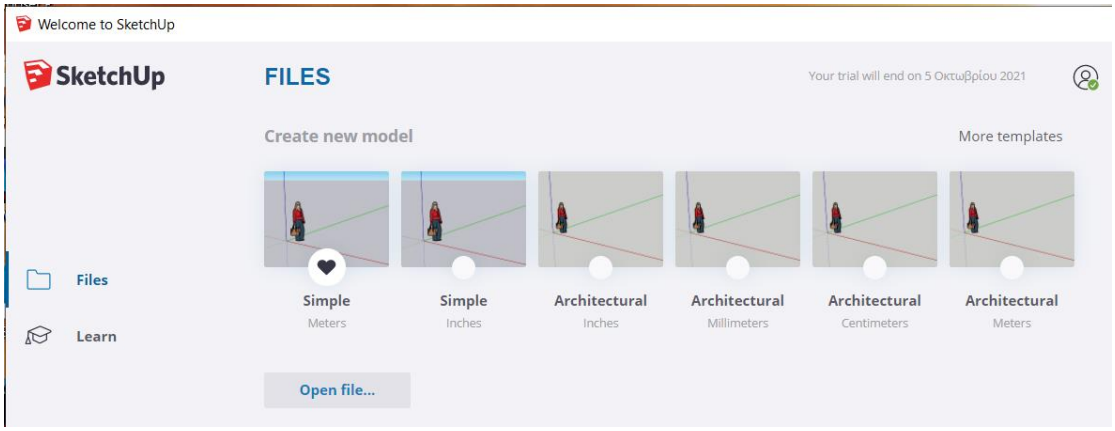
OpenStudio: Το OpenStudio, δημιουργημένο και αυτό από το υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (U.S. Department of Energy’s Building Technologies Office), αποτελεί μια συλλογή λογισμικών ανοικτού κώδικα για την ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων χρησιμοποιώντας το EnergyPlus σε συνδυασμό με { advanced daylight analysis using Radiance } και σχεδιάστηκε για την διευκόλυνση των χρηστών του EnergyPlus εν απουσία σε αυτό ορισμένου GUI [39].

7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ SKETCHUP ΚΑΙ OPENSTUDIO

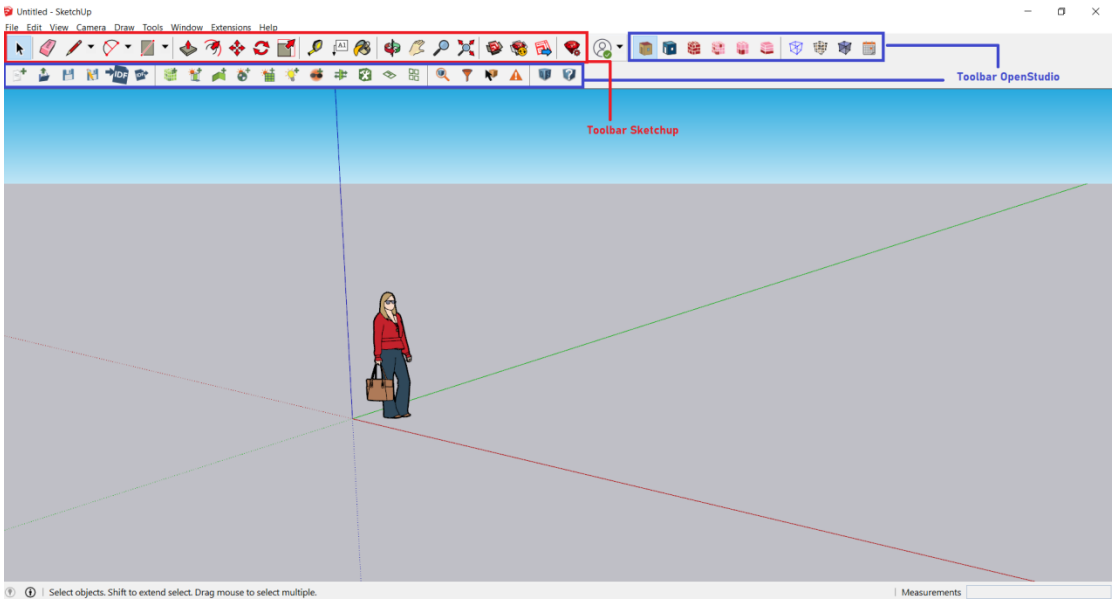
7.1 SKETCHUP

Στην εκτέλεση του προγράμματος για πρώτη φορά, αφού επιλέξουμε το επιθυμητό σύστημα μέτρησης, στην περίπτωσή μας μέτρα (βλ. εικόνα 36) , αναδύεται το εξής παράθυρο *(εικόνα 37)*:

Εικόνα 36. Παράθυρο Έναρξης SketchUp



Εικόνα 37. Γραφικό Περιβάλλον SketchUp



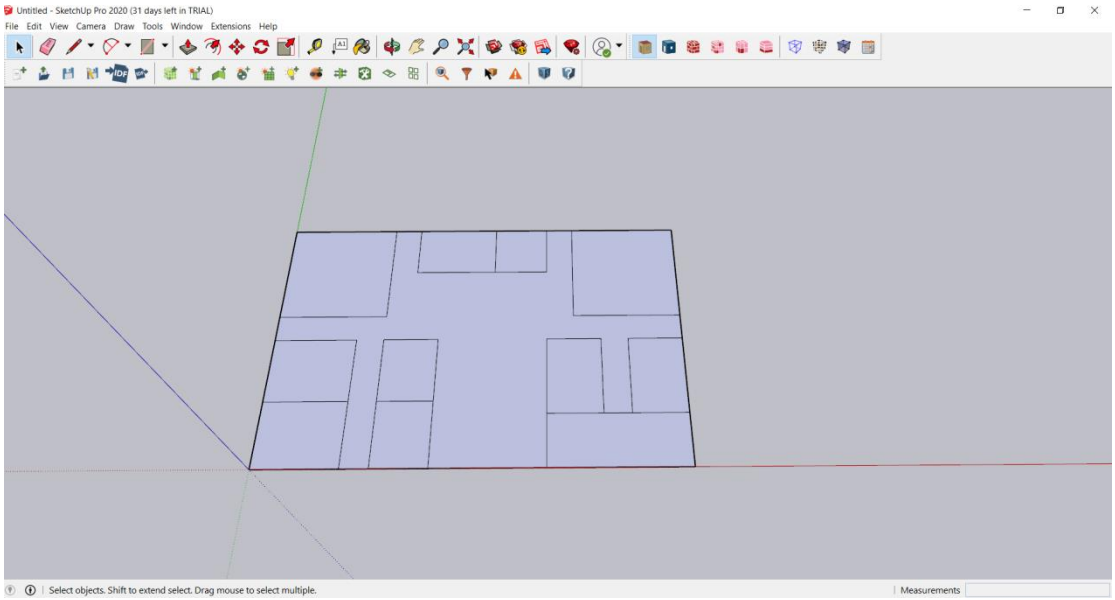
Αρχικά να σημειώσουμε ότι κατά την –κυριολεκτικώς - πρώτη εκτέλεση του προγράμματος, το toolbar του **OpenStudio** δεν θα υπάρχει. Εμφανίζεται , αφού έχει πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του **OpenStudio plug-in** (Extension Warehouse–"κουμπί"). Επίσης, για πιο ευδιάκριτο διαχωρισμό των δύο παραπάνω toolbar υπάρχει η δυνατότητα να μεταφερθεί π.χ. το toolbar του **Sketchup** κάθετα αριστερά και να παραμείνει το αντίστοιχο του **OpenStudio** ως έχει.

7.1.1 Σχεδιασμός Κάτοψης Ισογείου

Έπειτα, σχεδιάζουμε με τα εργαλεία του **Sketchup** απλώς την κάτοψη του κτιρίου μας σύμφωνα με τα σχέδια της εικόνας Χ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την σχεδίαση της κατόψεως ο χωρισμός των εσωτερικών χώρων πρέπει να είναι ακριβέστατος με μηδενικές αποκλίσεις, καθώς σε διαφορετική περίπτωση ακόμη και ελάχιστη απόκλιση θα δημιουργήσει σφάλματα κατά την εκτέλεση της εντολής ***Surface Matching***.

Εικόνα 38. Κάτοψη Ισογείου του κτιρίου

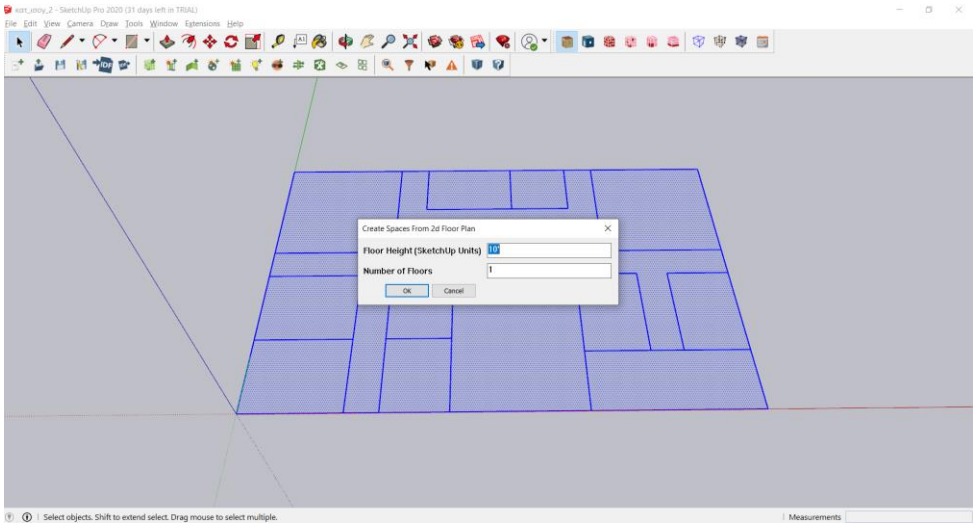


7.1.2 Εντολή Create Spaces from Diagram

Τώρα, για να «χρωματιστούν» ενεργειακά από το **OpenStudio** οι χώροι, οι οποίοι θα δημιουργηθούν (3D) από την δισδιάστατη κάτοψη, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η εντολή ***Create Spaces from Diagram*** [ ].

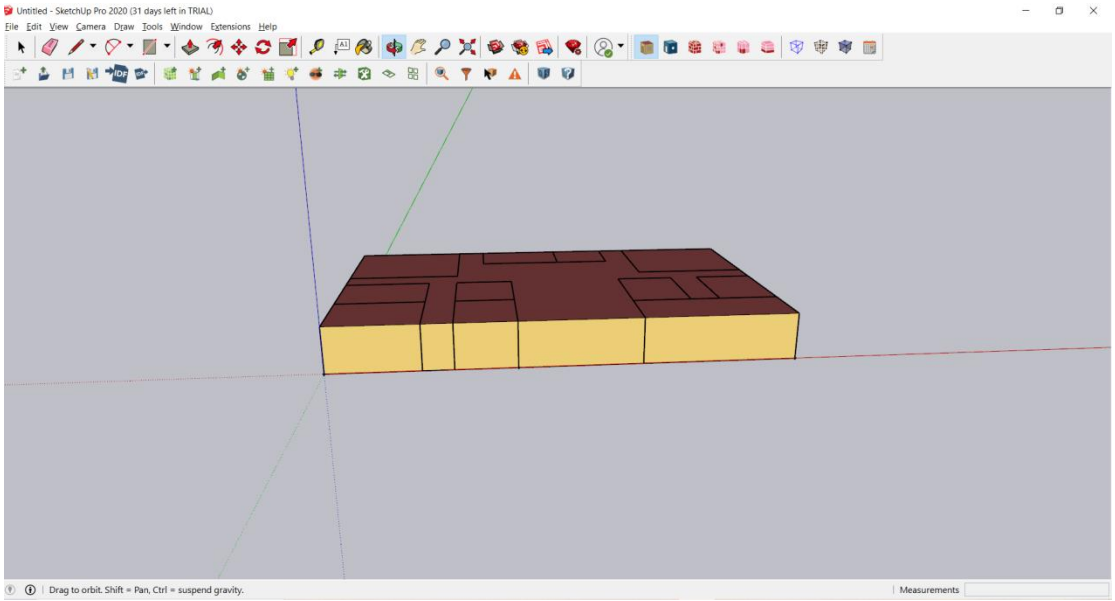
Εκτελώντας την εντολή αυτή εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο (βλ. εικόνα 39) το οποίο ζητά το ύψος του ορόφου (**Floor Height**) και τον αριθμό των ορόφων (**Number of Floors**).Συμπληρώνουμε για το ύψος του ορόφου 11.48 ft = 3.5 m (δέχεται “Sketchup Units” δηλαδή feet) και στον αριθμό των ορόφων “1”.

Εικόνα 39. Παράθυρο εντολής Create Spaces from Diagram



Έτσι, θα σχεδιάσει την οροφή σε απόσταση 3.5 m από το δάπεδο και τους υπόλοιπους τοίχους για να προκύψει το τελικό μοντέλο τριών διαστάσεων (βλ. εικόνα 40).

Εικόνα 40. Τρισδιάστατη μορφή του Ισογείου



Να σημειώσουμε ότι η δεύτερη συνιστώσα της εντολής ***Create Spaces from Diagram***, δηλαδή η **Number of Floors** μπορεί να φαίνεται για την περίπτωση μας ανούσια μιας και οι κατόψεις του ισογείου με τον όροφο είναι διαφορετικές αλλά αν είχαμε την περίπτωση ίδιας χωρικής διαρρύθμισης πολλαπλών ορόφων, δηλαδή κοινές κατόψεις, θα δημιουργούσε τον έναν πάνω στον άλλο γλιτώνοντας μας από την χρονοβόρα διαδικασία να σχεδιάζουμε τον καθένα ξεχωριστά.

Όμως, η εντολή ***Create Spaces from Diagram*** δεν αποτελεί απλώς μια εντολή που παράγει ένα 3D μοντέλο από ένα σχέδιο δύο διαστάσεων προσφέροντας του την διάσταση του ύψους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το «χρωματίζει» ενεργειακά. Συγκεκριμένα, κάθε διαφορετικό χώρο, δηλαδή κάθε εσωτερικό εμβαδόν, το αντιστοιχεί σε διαφορετική ενεργειακή ζώνη, τους

οποίους αυτούς ενεργειακούς χώρους ο χρήστης θα τους προσδώσει διαφορετικές ιδιότητες (***Space Types***) και θα τους εντάξει σε διάφορες θερμικές ζώνες (***Thermal Zones***). Αυτοί οι παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στην μετέπειτα ενεργειακή προσομοίωση, αφού το «είδος του χώρου» φέρει τις πληροφορίες για τα εσωτερικά φορτία του, ενώ η θερμική ζώνη καθορίζει τις επιθυμητές θερμοκρασίες εντός του συγκεκριμένου χώρου.

Να παρατηρήσουμε σε αυτό το σημείο ότι από την στιγμή που εκτελείται η εντολή του OpenStusio plug-in ***Create Spaces from Diagram***, το αρχείο μας θα πρέπει να αποθηκεύεται πατώντας το κουμπί ***Save OpenStudio Model*** [ ] δημιουργώντας ένα .osm αρχείο, γιατί αν γίνει η αποθήκευση μέσω του **Sketchup** θα δημιουργηθεί ένα αρχείο .skp , στο οποίο δεν διατηρούνται οι ενεργειακές πληροφορίες οι δημιουργημένες από το OpenStudio. Επίσης, στην ίδια κατεύθυνση για να ανοίξουμε το .osm αρχείο μας , το οποίο περιέχει το αποθηκευμένο μοντέλο μας, στο Sketchup θα πρέπει να ανοίξουμε την εφαρμογή όπως περιγράφηκε στην σελ. Z και έπειτα πατώντας το “κουμπί”

Open OpenStudio Model [ ]

να επιλέξουμε το επιθυμητό και συμβατό αρχείο.

7.1.3 Σχεδιασμός εσωτερικών και εξωτερικών παραθύρων

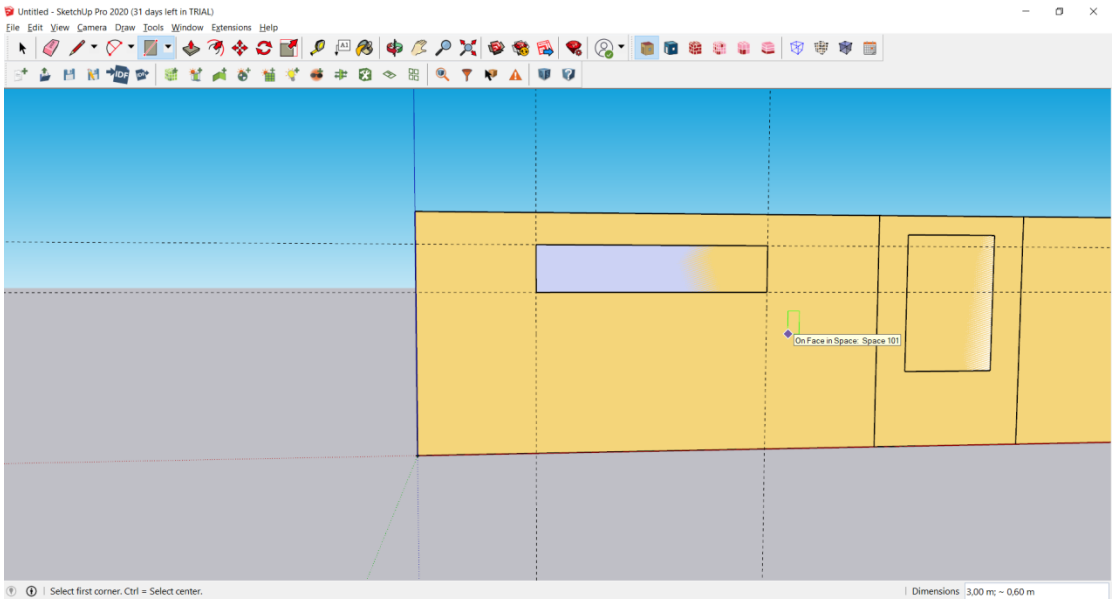
Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία παραθύρων και πορτών σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, των οποίων ο σχεδιασμός μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.

Παρατήρηση : Ο σχεδιασμός παραθύρου και πόρτας είναι ο ίδιος, καθώς το OpenStudio εκλαμβάνει οποιοδήποτε κλειστό περίγραμμα, στην περίπτωσή μας παραλληλόγραμμο, ακουμπά στο έδαφος ή δάπεδο ως πόρτα ενώ οποιοδήποτε κλειστό περίγραμμα, πάλι στην περίπτωσή μας παραλληλόγραμμο, απέχει από το έδαφος ή δάπεδο οποιαδήποτε απόσταση- ακόμη και χιλιοστών- ως παράθυρο.

7.1.3.1. Α τρόπος

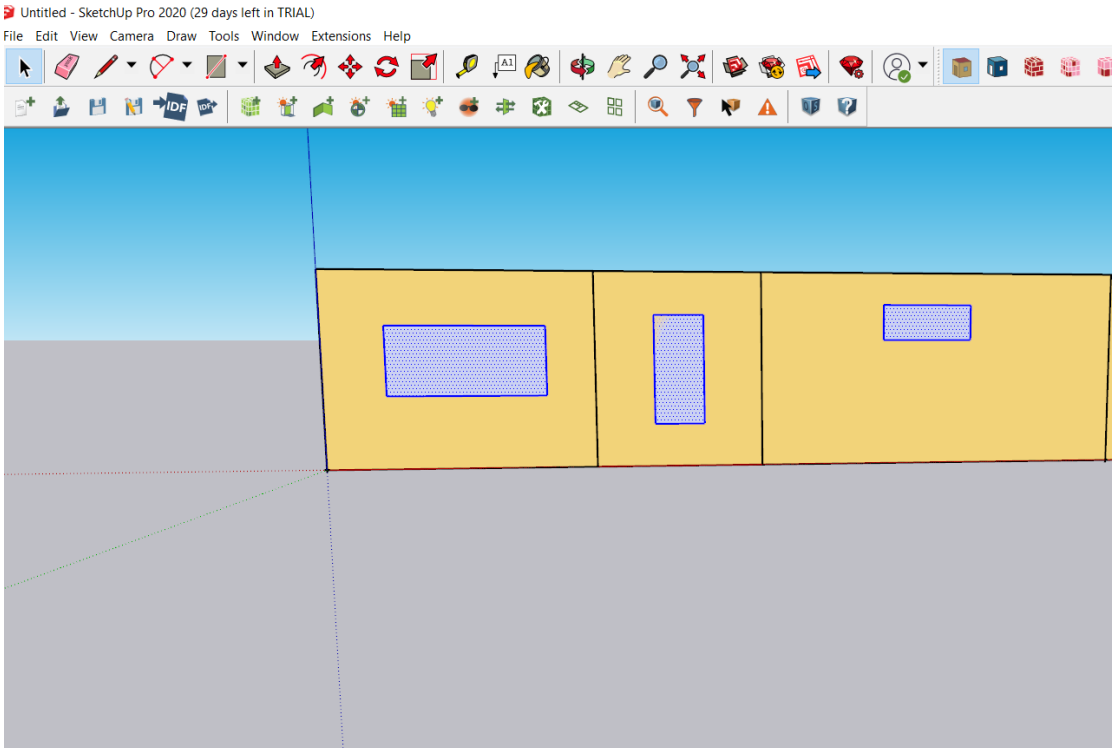
Ο πρώτος τρόπος είναι να σχεδιάσουμε τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα που θα αποτελέσουν τα παράθυρα και τις πόρτες μας απευθείας πάνω στο μοντέλο (βλ. εικόνα 41) όπως αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα 40)

Εικόνα 41. Περίπτωση της οντότητας “τοίχος-παράθυρο”



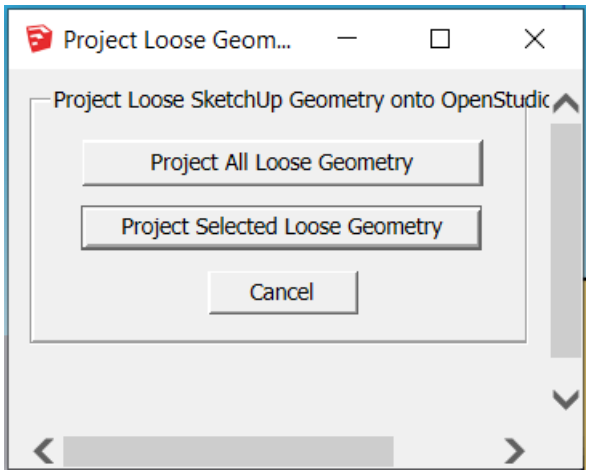
Όπως φαίνεται στην εικόνα 41 το ορθογώνιό μας παραλληλόγραμμό μας δεν αναγνωρίζεται ακόμη από το OpenStudio ως οντότητα-“παράθυρο” αλλά η εναλλαγή του χρωματισμού του υποδηλώνει ότι αντιμετωπίζεται ως τοίχο-παράθυρο, δηλαδή αποτελεί αυτό που το πρόγραμμα χαρακτηρίζει ως ***Loose Geometry***. Έχοντας σχεδιάσει όλα τα παράθυρα και τις πόρτες ως ***Loose Geometry***, τα επιλέγουμε όλα πατώντας σε καθένα ξεχωριστά το κουμπί **Shift** και αριστερό κλικ (βλ. εικόνα 42).

Εικόνα 42. Μαρκάρισμα πολλαπλών στοιχείων



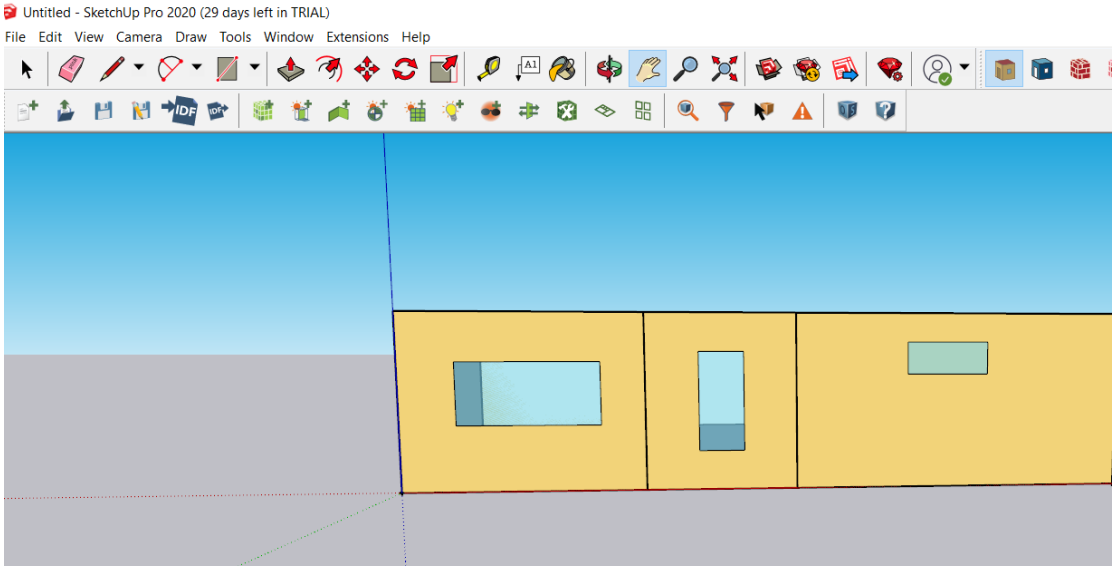
Για να διορθωθούν και να αναγνωριστούν αυτές οι οντότητες “τοίχος-παράθυρο” ως “παράθυρα” εκτελούμε την εντολή ***Project Loose Geometry*** [ ]. Κατά την εκτέλεση της αναδύεται ένα παράθυρο (βλ. εικόνα 43) , το οποίο μας ζητά αν επιθυμούμε να κάνουμε project όλες τις Loose Geometry του μοντέλου ή μόνο όσες έχουμε επιλέξει.

Εικόνα 43. Παράθυρο εντολής Project Loose Geometry



Έχοντας ολοκληρωθεί η εντολή δημιουργούνται τελικά τα παράθυρα (βλ. εικόνα 44)

Εικόνα 44. Δημιουργία Παραθύρου



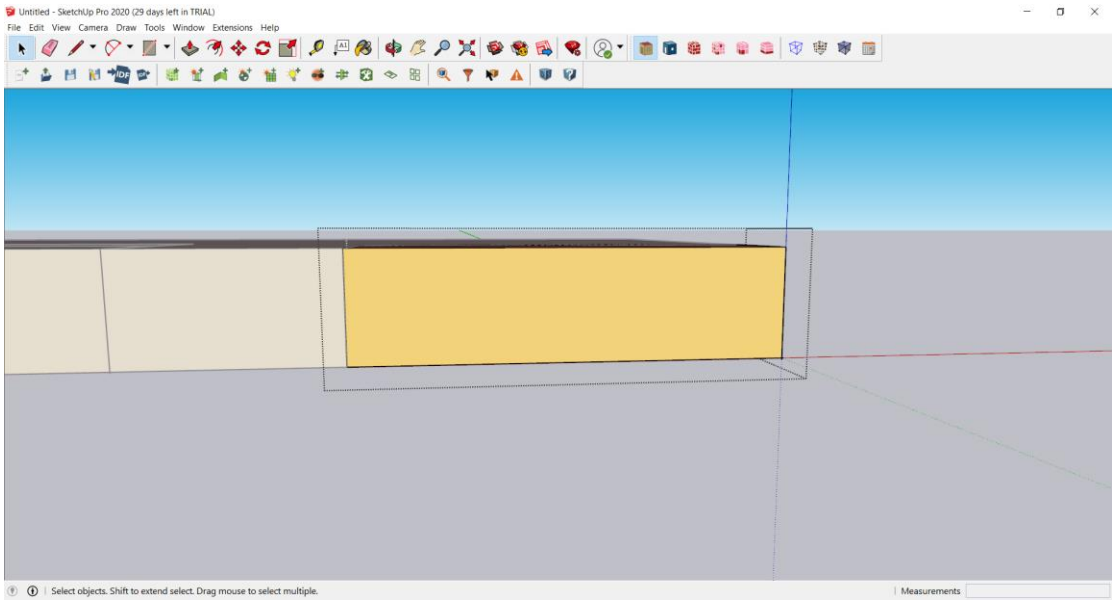
Ο παραπάνω τρόπος δεν είναι και ο πιο δόκιμος, καθώς –ειρήσθω εν παρόδω- δεν αποδίδει κάθε παράθυρο στο ξεχωριστό **Space** στο οποίο

ανήκει, όπως ο δεύτερος τρόπος που θα παρουσιαστεί, αλλά εν γένει σε όλο το κτίριο. Ακόμη, υπάρχει η πιθανότητα, όταν επιλεχθούν πολλές τέτοιες γεωμετρίες μετά την εκτέλεση της εντολής ***Project Loose Geometry*** ορισμένες να μην μετατραπούν σε παράθυρο, αλλά να συνεχίσουν να αναγνωρίζονται ως “παράθυρα-τοίχοι” προκαλώντας ορισμένες περιπλοκές στη σχεδίαση του μοντέλου.

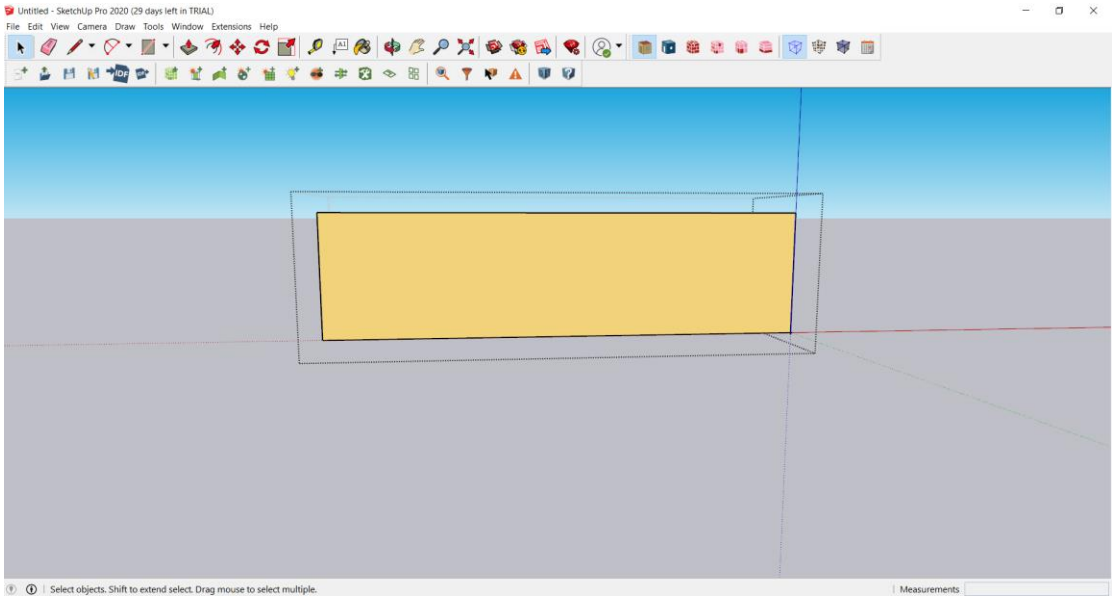
7.1.3.2 Β τρόπος Σχεδίασης

Ο δεύτερος τρόπος είναι να απομονώσουμε από το συνολικό κτίριο, κάνοντας διπλό κλικ πάνω του (βλ. εικόνα 45), κάθε **Space** του οποίου κάποια επιφάνεια, εσωτερική ή εξωτερική, φέρει παράθυρο ή πόρτα. Η «απομόνωση» του ξεχωριστού **Space** από το υπόλοιπο κτίριο για να γίνει ακόμα πιο ευδιάκριτη μπορεί να περαιτέρω να εκτελεστεί η εντολή ***Hide Rest of the Model*** [ ] (βλ. εικόνα 46)

Εικόνα 45. Μερική απομόνωση συγκεκριμένου χώρου

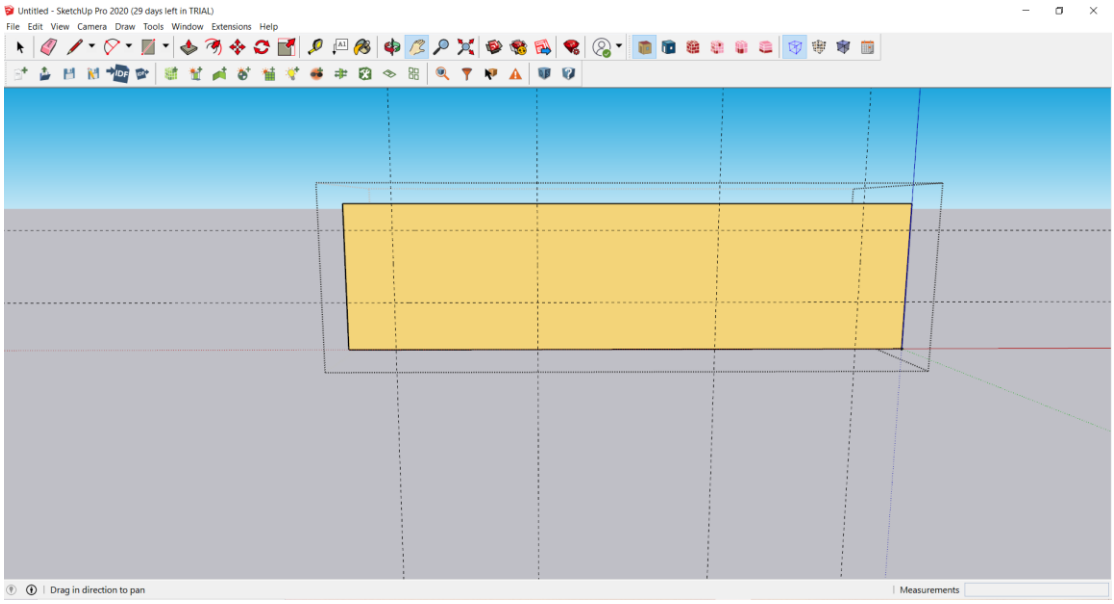


Εικόνα 46. Απομόνωση συγκεκριμένου χώρου κατόπιν εκτελέσεως της εντολής Hide Rest of the Model

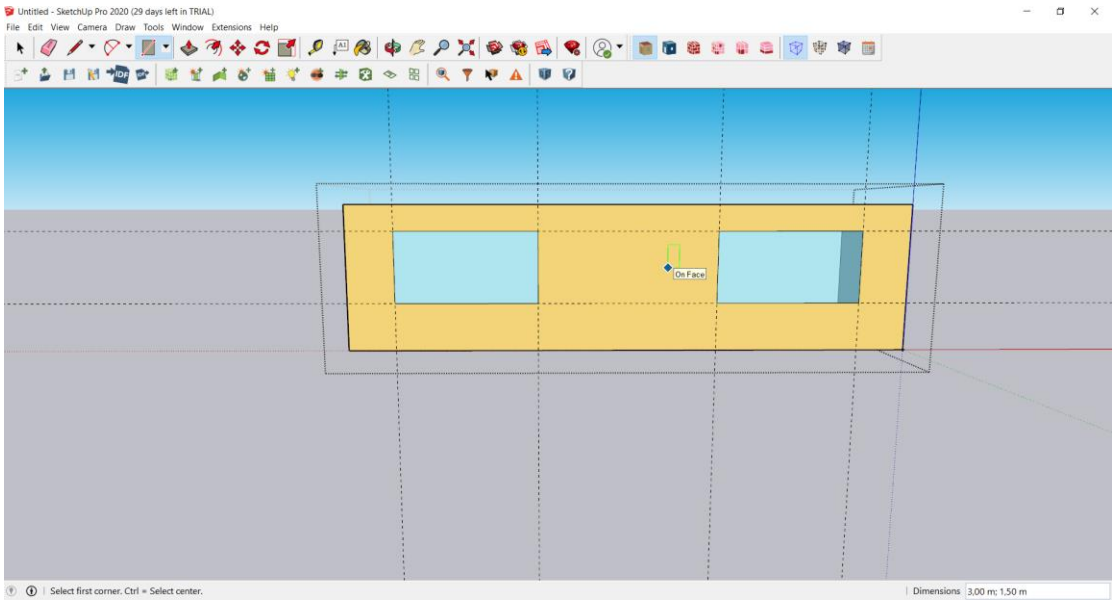


Τώρα, ό,τι σχεδιαστεί πάνω στις επιφάνειες αυτές θα αφορά αποκλειστικά το επιλεγμένο **Space** ακόμη και οι βοηθητικές γραμμές που θα σχεδιαστούν παρακάτω. Να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός των διαστάσεων παραθύρων και πορτών πρέπει να είναι ακριβέστατος, γιατί οποιοδήποτε κλειστό περίγραμμα σχεδιαστεί πάνω στις λεπτές επιφάνειες που αναπαριστούν τους τοίχους θα εκληφθεί αυτόματα -ανάλογα με την περίπτωση-ως παράθυρο ή πόρτα χωρίς δυνατότητα τροποποίησης. Οπότε για να κάνουμε έναν ακριβή σχεδιασμό χρησιμοποιούμε το ***Tape Measure Tool*** [ ] του **Sketchup** (βλ. εικόνα 47,48,49,50).

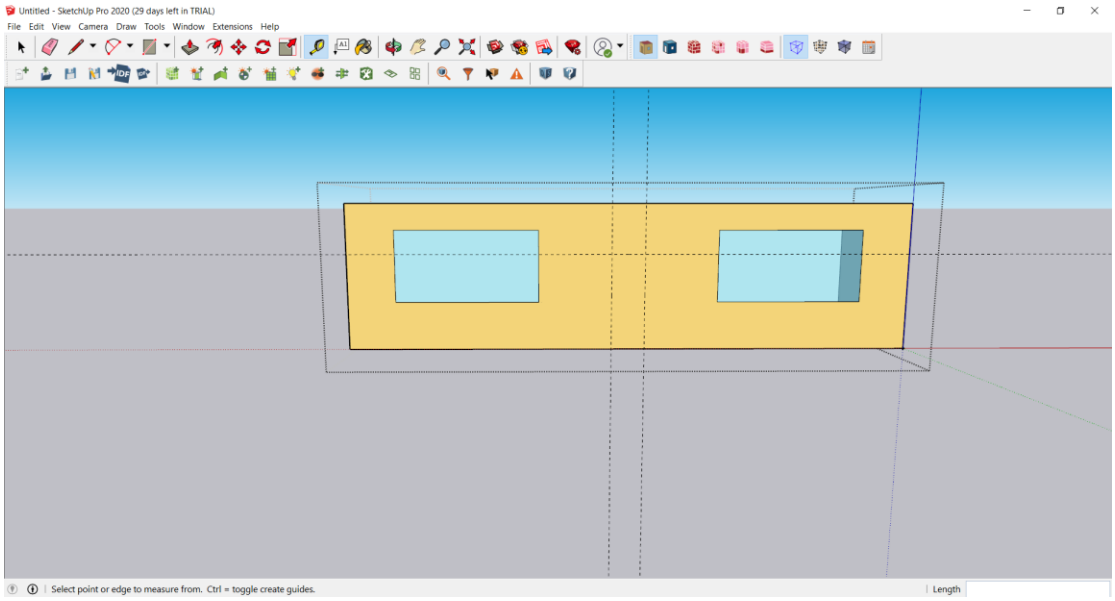
Εικόνα 47. Σχεδιασμός βοηθητικών γραμμών για τον σχεδιασμό παραθύρων με χρήση του Tape Measure Tool



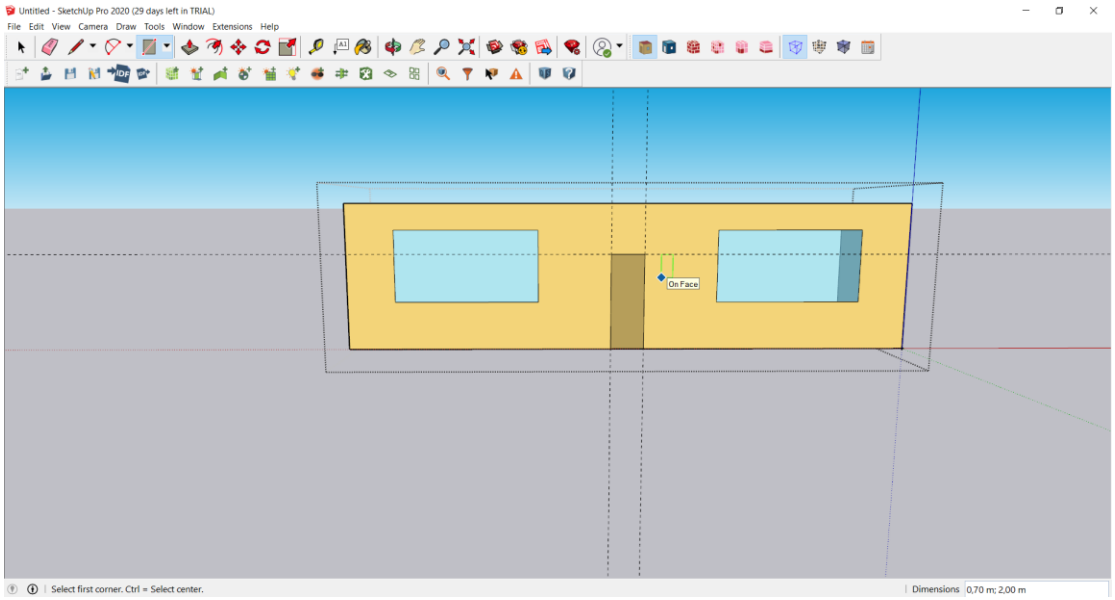
Εικόνα 48. Δημιουργία παραθύρων



Εικόνα 49. Σχεδιασμός βοηθητικών γραμμών για τον σχεδιασμό πορτών με χρήση του Tape Measure Tool

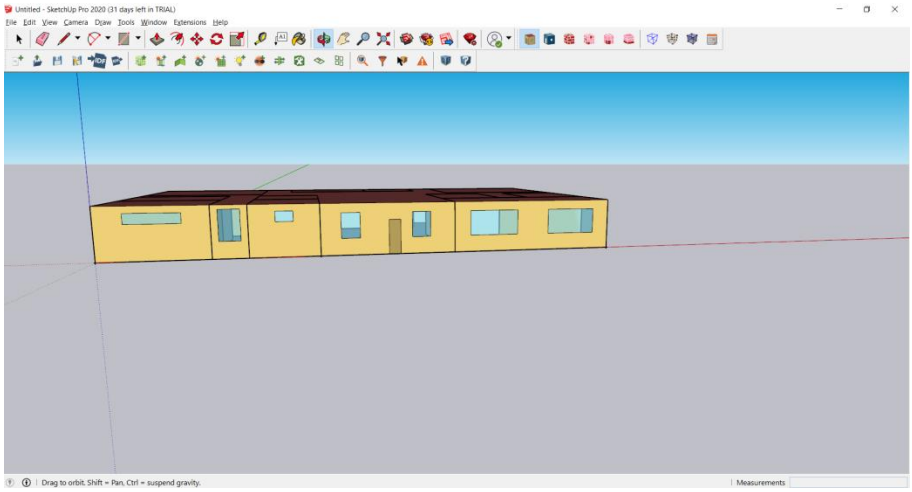


Εικόνα 50. Δημιουργία Πόρτας



Μετά το πέρας του σχεδιασμού παραθύρων και πορτών το ένα μέρος του κτιρίου που σχεδιάζαμε, το ισόγειο, ολοκληρώθηκε (βλ. εικόνα 51).

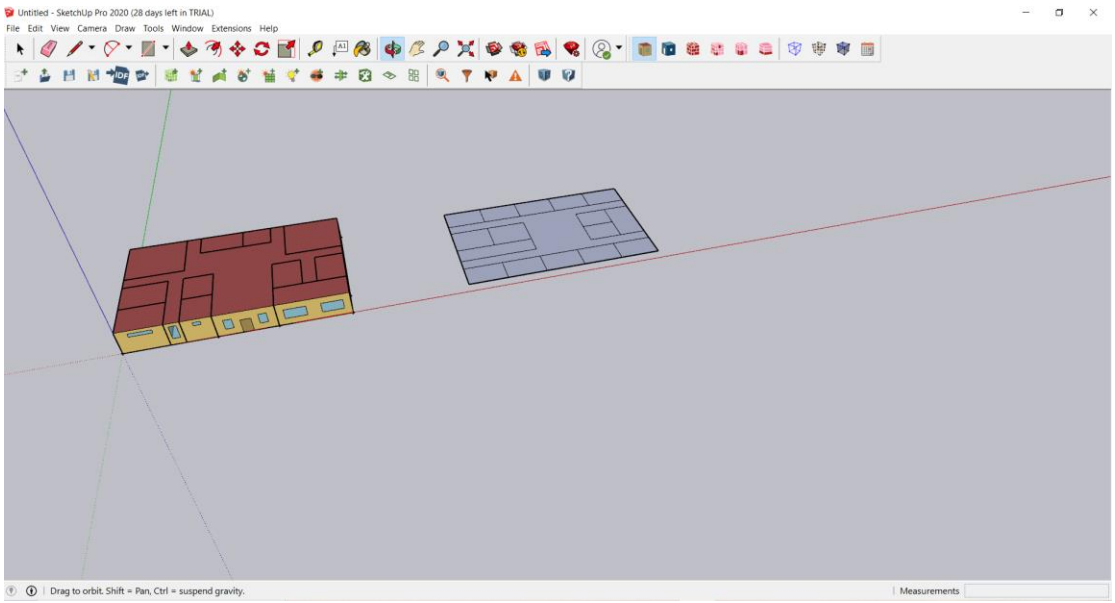
Εικόνα 51. Ολοκληρωμένο σχέδιο του Ισογείου με όλα τα παράθυρα και τις πόρτες



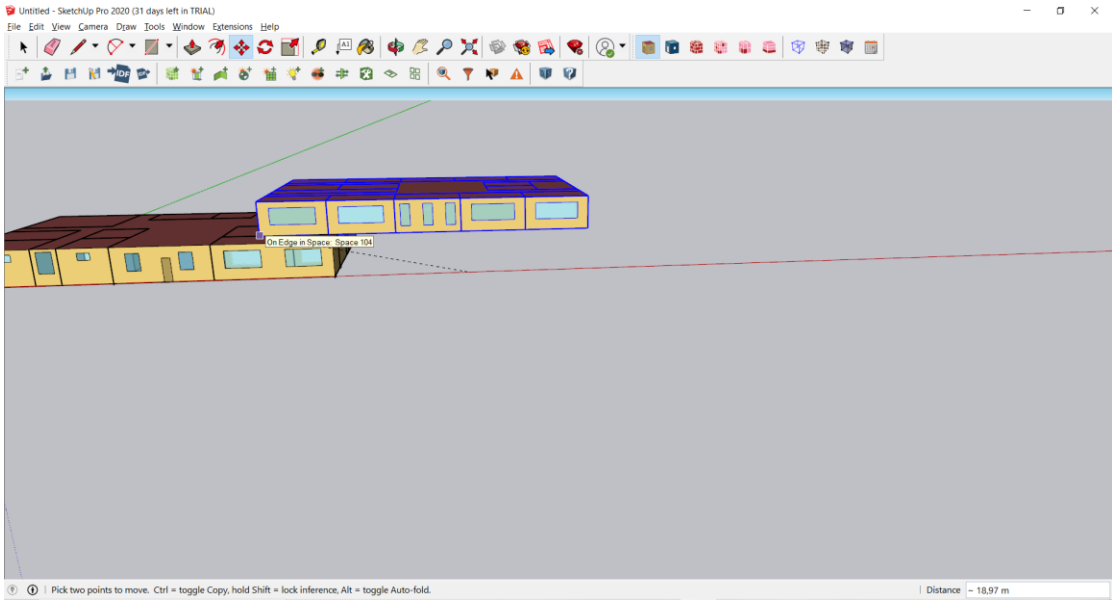
7.1.4. Σχεδιασμός Ορόφου

Απομένει να σχεδιασθεί και ο μοναδικός όροφος του κτιρίου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό του είναι παρόμοια, δηλαδή σχεδιάσαμε την κάτοψη, έπειτα εκτελέστηκε η εντολή ***Create Spaces from Diagram*** και τέλος «κατασκευάστηκαν» παράθυρα και πόρτες κατά τα πρότυπα του δεύτερου τρόπου σχεδίασης παραθύρων και πορτών (βλ. σελ. 98). Επίσης, να σημειωθεί ότι η κάτοψη του ορόφου δεν σχεδιάστηκε πάνω στην «οροφή» του ισογείου αλλά δίπλα του ολοκληρωμένου μέρους του κτιρίου (βλ. εικόνα 52) και μετά την ολοκλήρωσή του τοποθετήθηκε , αφού πρώτα είχε επιλεχθεί ολόκληρο, μέσω του εργαλείου **Move** [ ] του **Sketchup** πάνω στο ισόγειο (βλ. εικόνα 53,54).

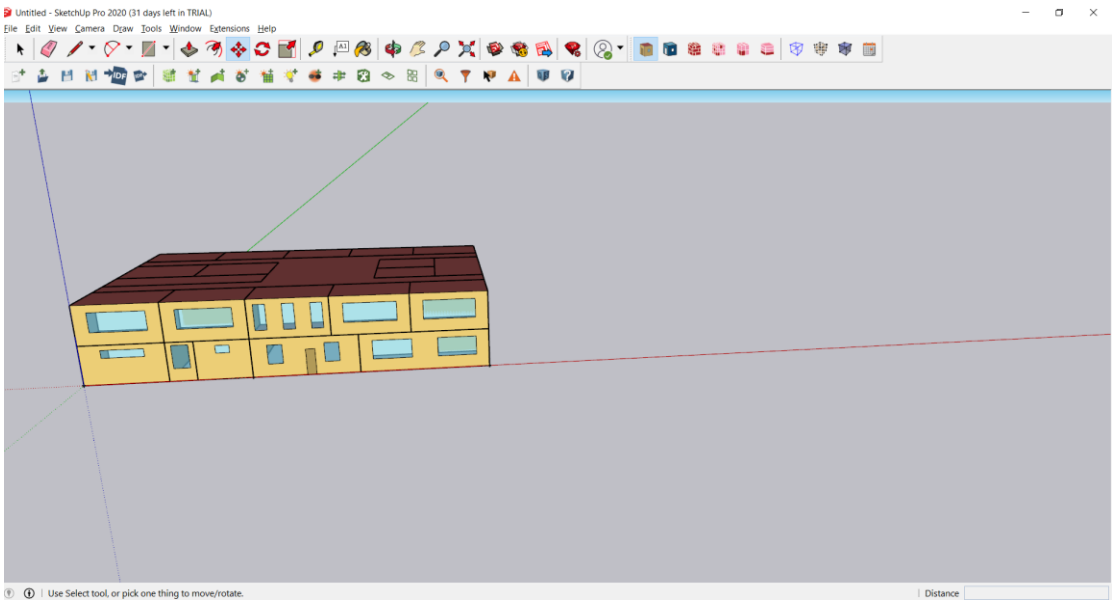
Εικόνα 52. Σχεδιασμός κατόψεως του Ορόφου



Εικόνα 53. Μεταφορά του Ορόφου προς την οροφή του Ισογείου



Εικόνα 54. Ευθυγράμμιση και τοποθέτηση Ορόφου πάνω στο Ισόγειο

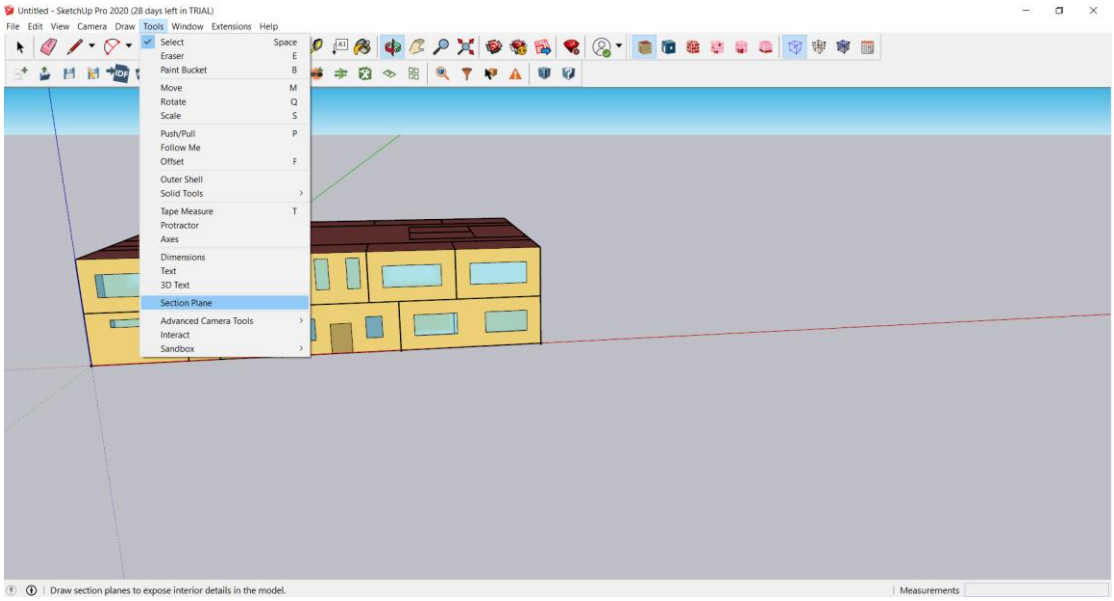


7.1.5 Σχεδιασμός εσωτερικών πορτών

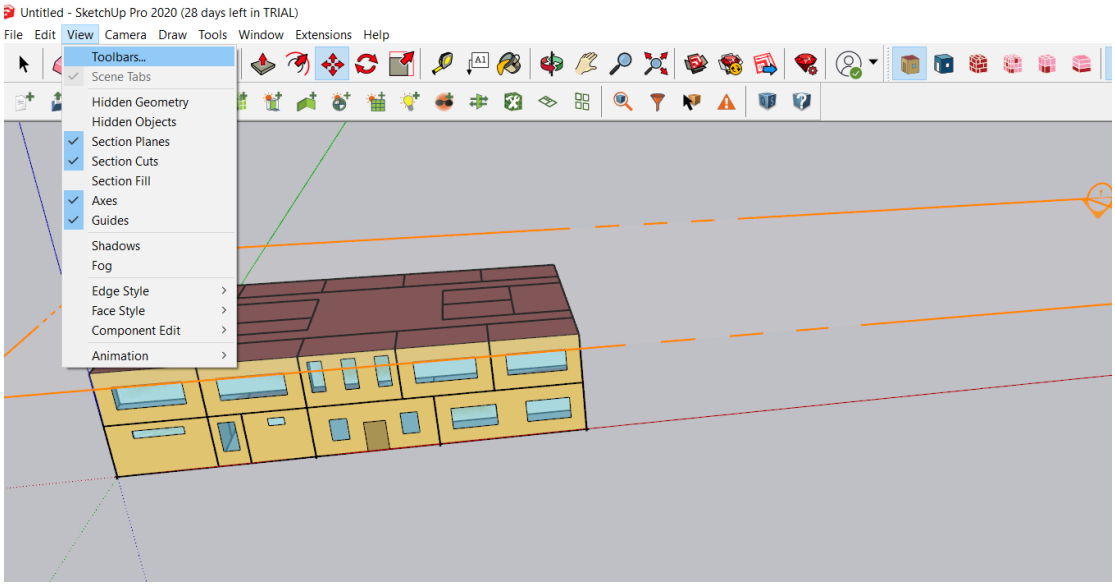
Το μετέπειτα στάδιο του σχεδιασμού είναι η δημιουργία των εσωτερικών πορτών του κτιρίου μέσω της ίδιας διαδικασίας που περιγράφηκε και για τις εξωτερικές. Συγκεκριμένα, για να δούμε το εσωτερικό του κτιρίου και να σχεδιάσουμε εντός του, χρησιμοποιούμε το εργαλείο ***Section Plane*** του **Sketchup** (βλ. εικόνα 55,56).

Παρατήρηση : Για να είναι ορατό το εσωτερικό του κτιρίου μέσω της τομής **Section Plane** θα πρέπει να έχουμε ελέγξει πρώτα μέσω της καρτέλας ***Views*** αν το **Section Fill** είναι απενεργοποιημένο (βλ. εικόνα 57).

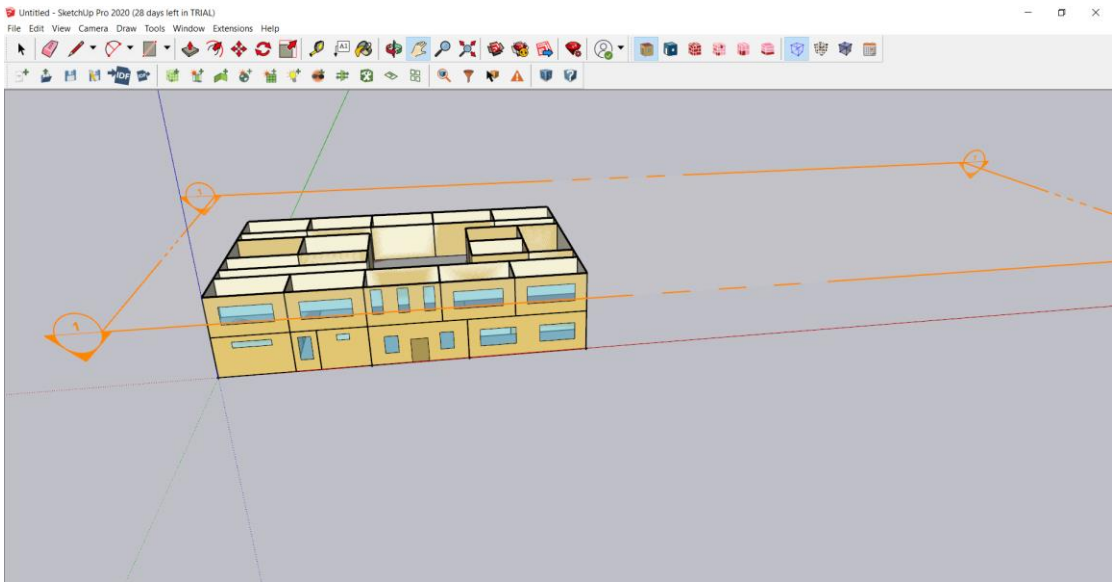
Εικόνα 55. Εντοπισμός του Εργαλείου Section Plane



Εικόνα 56. Απενεργοποίηση της εντολής Section Fill

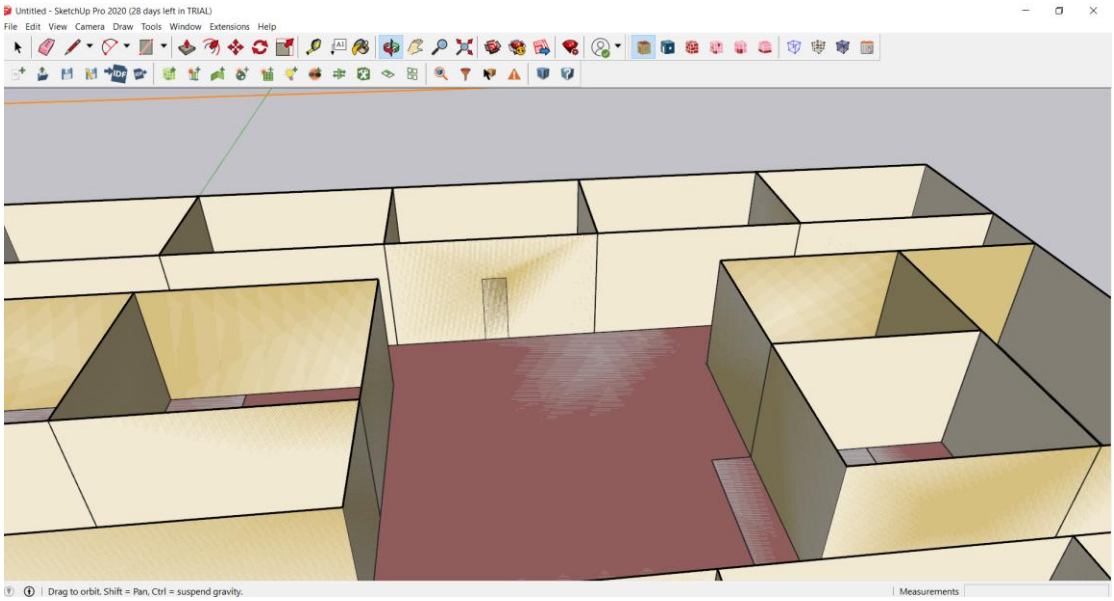


Εικόνα 57. Τομή με χρήση της εντολής Section Plane



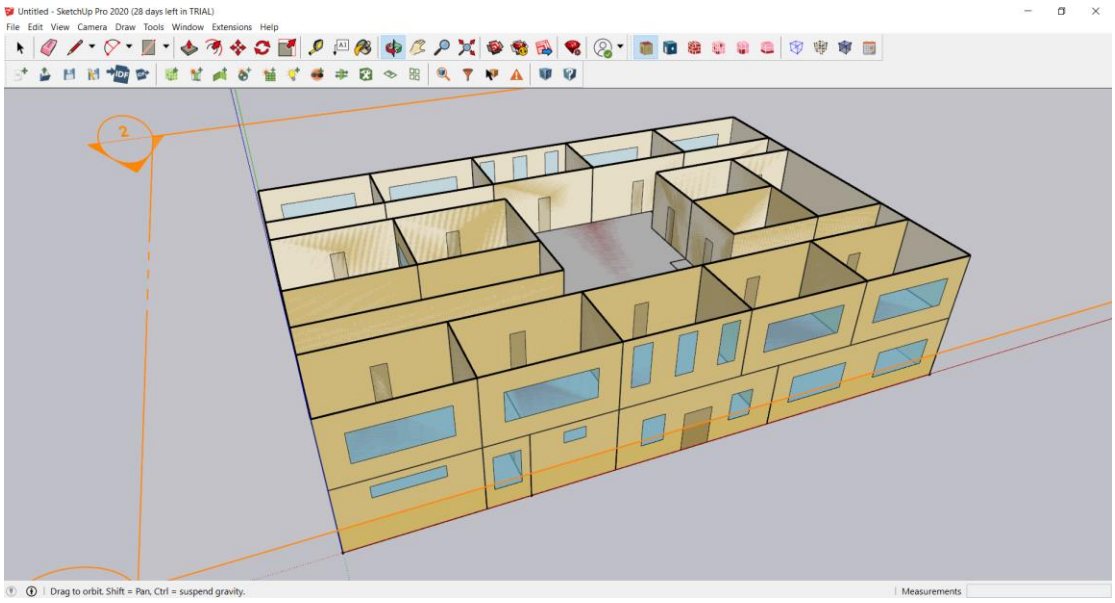
Η μόνη διαφορά που ίσως παρατηρηθεί μεταξύ των δύο ειδών πορτών, δηλαδή εξωτερικής και εσωτερικής, είναι η εναλλαγή του χρωματισμού στην εσωτερική (βλ. εικόνα 58), καθώς ανήκοντας ταυτόχρονα η πόρτα σε δύο χώρους το πρόγραμμα ορθώς την «αντιλαμβάνεται» ταυτοχρόνως ως εσωτερική για το ένα και εξωτερική για το άλλο.

Εικόνα 58. Σχεδιασμός εσωτερικής πόρτας



Κατόπιν όλων τούτων, το σχεδόν ολοκληρωμένο μοντέλο έχει την εξής μορφή:

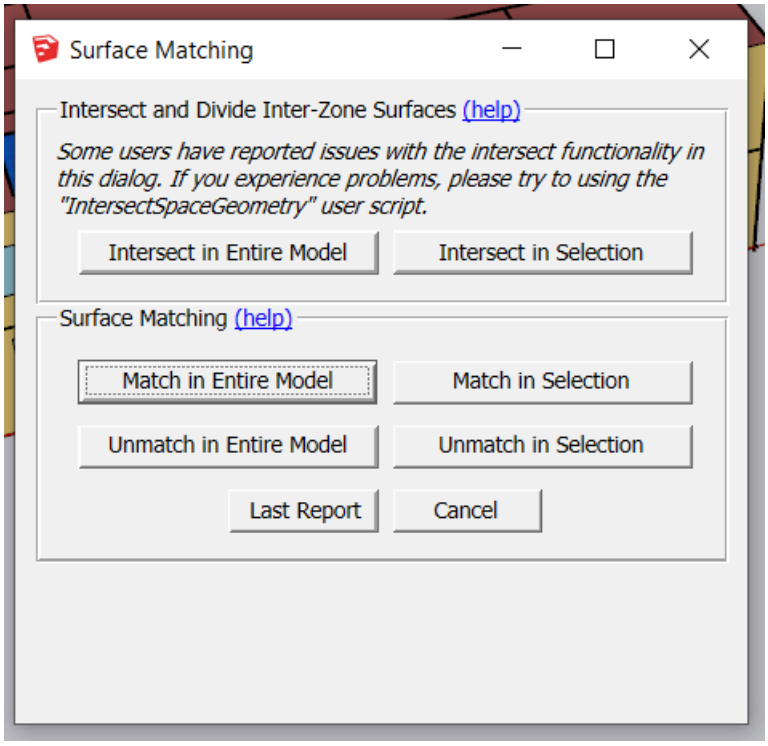
Εικόνα 59 . Ολοκληρωμένο σχέδιο Ορόφου με όλα τα παράθυρα και τις πόρτες



7.1.6 Εκτέλεση της εντολής Surface Matching

Μέχρι αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί, ας πούμε, η γεωμετρική συνιστώσα του ενεργειακού μας μοντέλου. Απομένει η αντιστοίχιση των δαπέδων, τοίχων, οροφών, πορτών και παραθύρων που εφάπτονται, δηλαδή ο καθορισμός ποιές επιφάνειες συναλλάσσουν φορτία μεταξύ τους και ποιές με τον εξωτερικό περιβάλλοντα αέρα, διαδικασία ιδιαίτερα σημαντική για την τελική ενεργειακή προσομοίωση. Αυτή η αντιστοίχιση επιτυγχάνεται μέσω της εντολής ***Surface Matching*** [ ]. Εκτελώντας αυτή την εντολή αναδύεται το εξής παράθυρο :

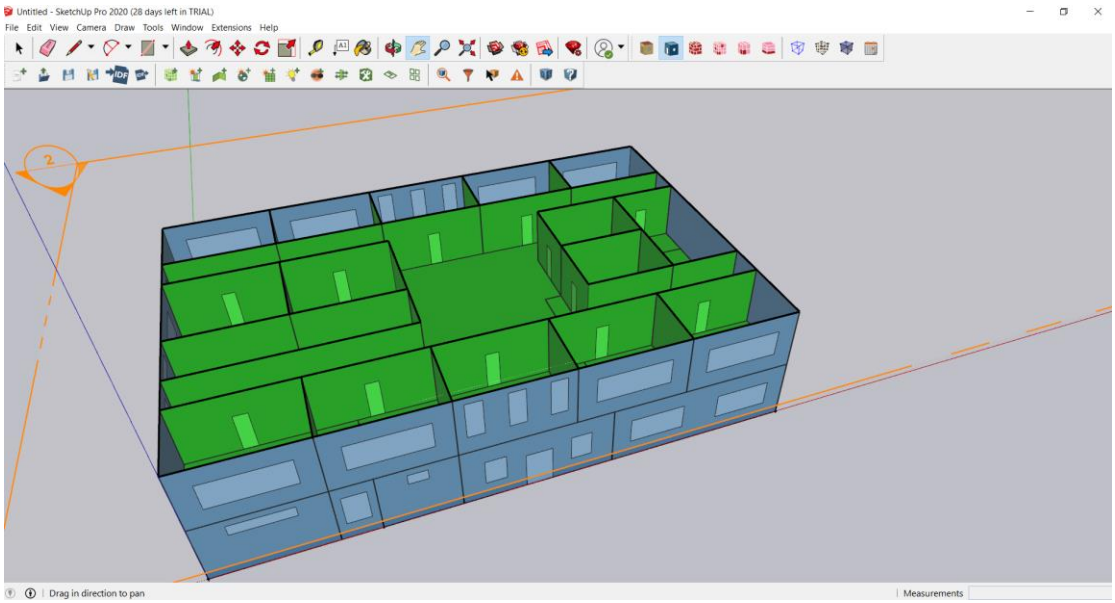
Εικόνα 60. Παράθυρο εντολής Surface Matching



Πριν την εκτέλεση της εντολής ***Match in Entire Model***, σε σύνθετες γεωμετρίες, όπως είναι η δικιά μας. Δηλαδή, όταν η κάτοψη του Ν ορόφου είναι διαφορετική από την κάτοψη του Ν-1 ορόφου, πρέπει να εκτελεστεί πρώτα η εντολή ***Intersect in Entire Model,*** αν επιθυμούμε να πραγματοποιηθεί για ολόκληρο το μοντέλο ή ***Intersect in Selection,*** αν επιθυμούμε να πραγματοποιηθεί για συγκεκριμένους χώρους. Αυτή η εντολή καθορίζει από ποιούς χώρους του ισογείου δέχεται φορτία κάθε χώρος του ορόφου π.χ. λόγω της ανομοιομορφίας της διαρρύθμισης ένας χώρος του Ν ορόφου μπορεί να βρίσκεται σε θερμική συναλλαγή με τρείς διαφορετικούς χώρους του Ν-1 ορόφου.

Εκτελώντας τα παραπάνω με την προαναφερθείσα σειρά, δεδομένου ότι όλα έχουν σχεδιαστεί ορθώς, καταλήγουμε στο εξής :

Εικόνα 61. Όψη κτιρίου με χρήση της εντολής Render by Boundary Condition

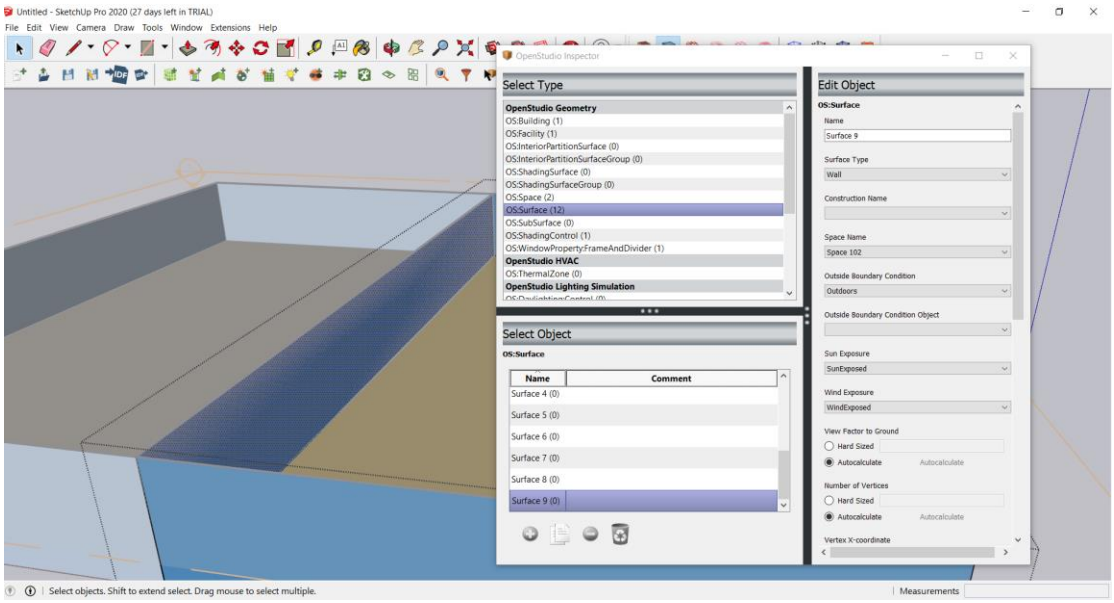


Το πράσινο χρώμα σημαίνει ότι γίνεται συναλλαγή θερμότητας μεταξύ επιφανειών ενώ το μπλέ σημαίνει ότι γίνεται συναλλαγή θερμότητας μεταξύ επιφάνειας και εξωτερικού περιβάλλοντος αέρα (Για να ιδωθεί το μοντέλο υπό αυτή την προοπτική , δηλαδή των συνοριακών συνθηκών, αρκεί να πατήσουμε το "κουμπί" ***Render by Boundary Condition*** [ ]

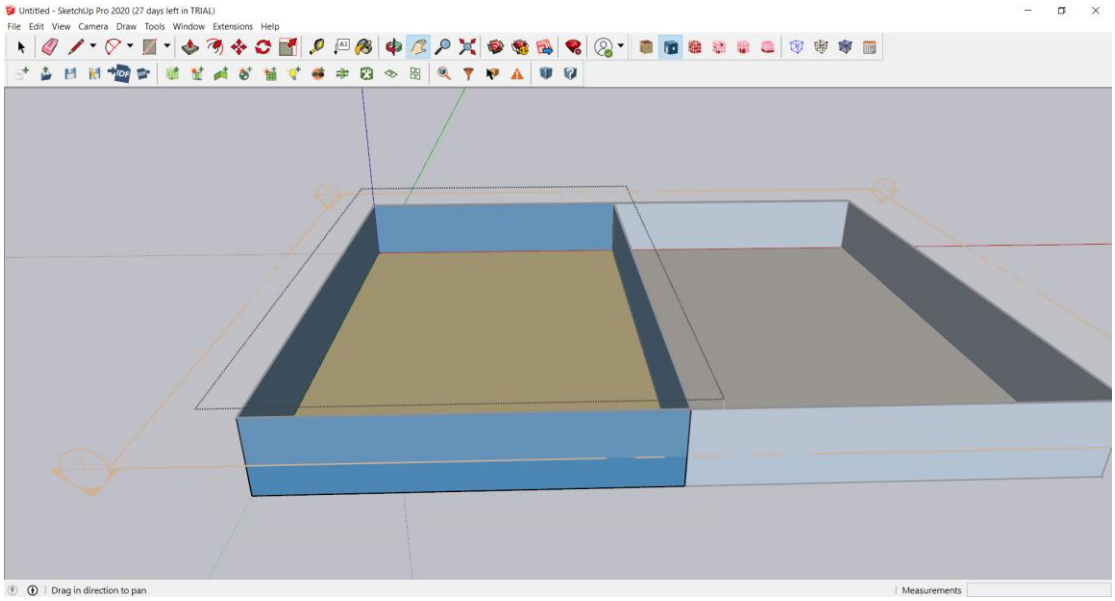
Παρατήρηση: Ορισμένες φορές για αρκετά σύνθετες γεωμετρίες η εντολή ***Surface Matching*** του **OpenStudio** ενδέχεται να μην αποδώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα (π.χ. το δάπεδο του ορόφου να χρωματίζεται μπλέ) παρόλο την σωστή εκτέλεση των βημάτων που αναφέρθηκαν. Σε αυτή την περίπτωση οι συνοριακές συνθήκες πρέπει να επιβληθούν χειροκίνητα μέσω του ***Inspector*** [ ] του **OpenStudio**, το οποίο μας παρέχει όλες τις πληροφορίες, γεωμετρικές και ενεργειακές, αφορούσες τόσο ολόκληρο το μοντέλο όσο και κάθε ένα χώρο που το απαρτίζει ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, κάθε εσωτερική επιφάνεια ανήκει σε δύο χώρους – **Spaces**- οπότε για να επιβάλλουμε τις σωστές συνοριακές συνθήκες, θα πρέπει να επιλέξουμε πρώτα τον έναν από τους δύο χώρους στους οποίους ανήκει «ταυτοχρόνως» η επιφάνεια. Έπειτα, μέσω της χρήσης του ***Inspector*** πρέπει να δούμε το όνομα που έχει για το συγκεκριμένο **Space** η επιφάνεια προς εξέταση (βλ. εικόνα 62) και έχοντας καταγράψει το όνομα, επιλέγουμε το άλλο **Space**, στο οποίο ανήκει η υπό εξέταση επιφάνεια (βλ. εικόνα 63). Τέλος, μέσω του ***Inspector***, αφού την έχουμε επιλέξει, αλλάζουμε την παράμετρο Outside Boundary Condition Object, επιλέγοντας το όνομα της επιφάνειας που καταγράψαμε προηγουμένως και το οποίο στο παράδειγμά μας είναι Surface 9 (βλ. εικόνα 64). Αν όλα έχουν εκτελεστεί σωστά, αυτόματα μετά την αλλαγή

αυτής της παραμέτρου ο τοίχος από μπλέ θα πρέπει αυτόματα να χρωματιστεί πράσινος (βλ. εικόνα 65).

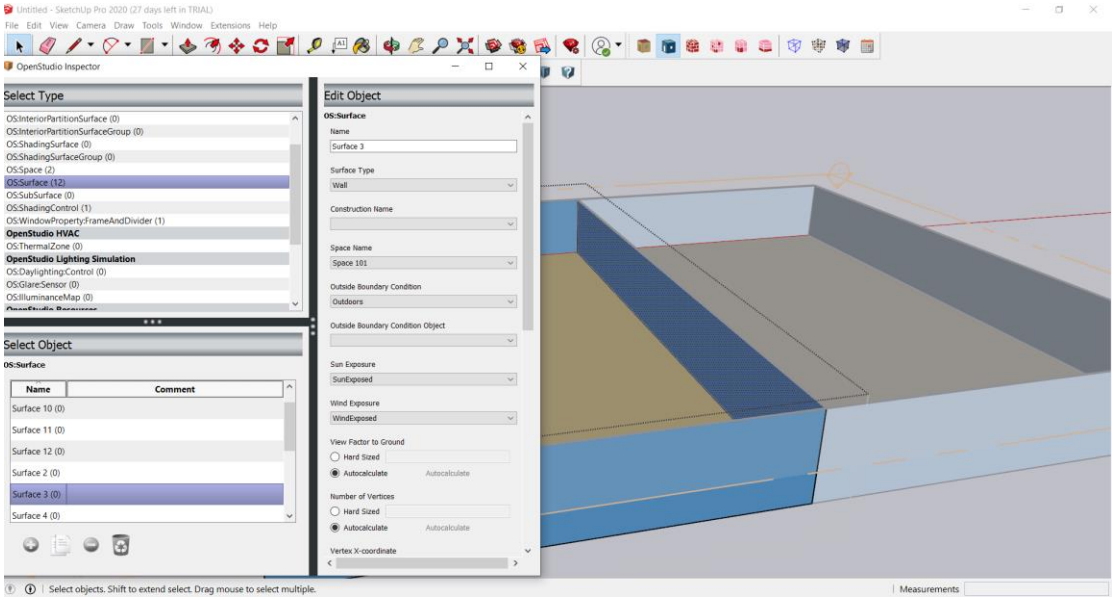
Εικόνα 62. Παράθυρο Inspector



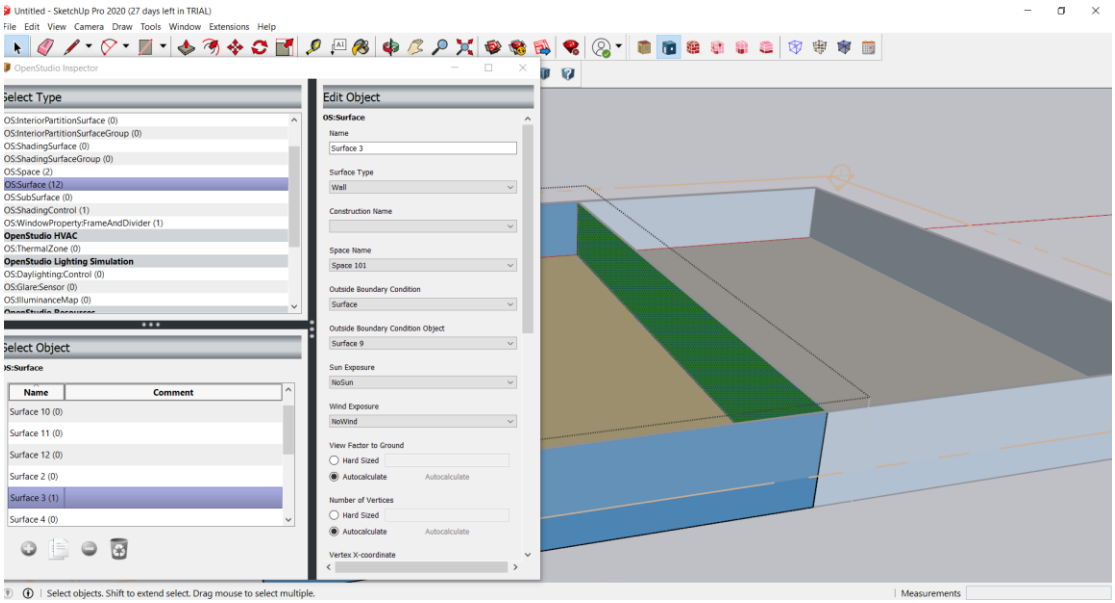
Εικόνα 63. Επιλογή Space



Εικόνα 64. Επιλογή της ενδιάμεσης επιφάνειας Surface 9



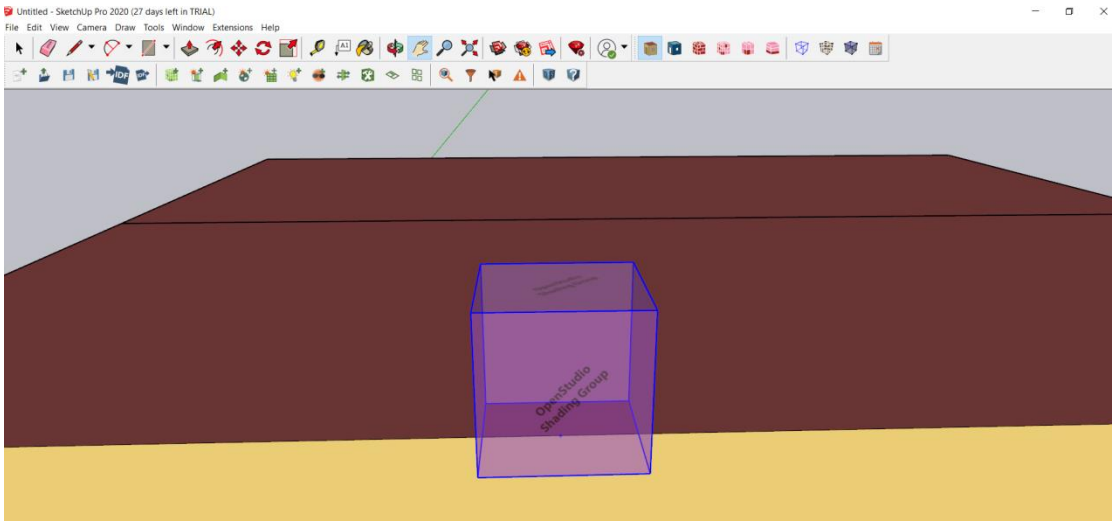
Εικόνα 65. Συμπλήρωση του πεδίου Outside Boundary Condition Object



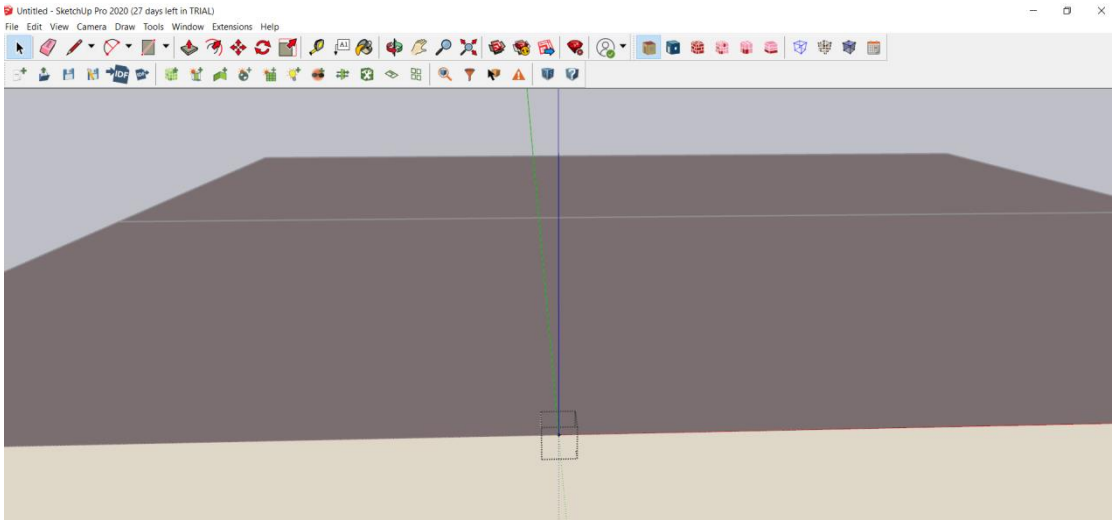
7.1.7 Σχεδίαση Φωτοβολταϊκων Πάνελ

Έχοντας ολοκληρώσει τα παραπάνω, απομένει ο σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή του κτιρίου. Η κατασκευή τους είναι σχετικά απλή. Συγκεκριμένα, δημιουργούμε την γεωμετρική επιφάνεια, η οποία θα αποτελέσει τα φωτοβολταϊκά πάνελ, στη σωστή θέση και υπό την σωστή γωνία, ώστε να προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία, και η οποία επιφάνεια θα πρέπει να είναι μια ***Shading Surface***. Για τη δημιουργία μιας σκιασμένης επιφάνειας (***Shading Surface)*** χρησιμοποιούμε την εντολή ***New Shading Surface Group*** [ ] (βλ. εικόνα 66,67,68)

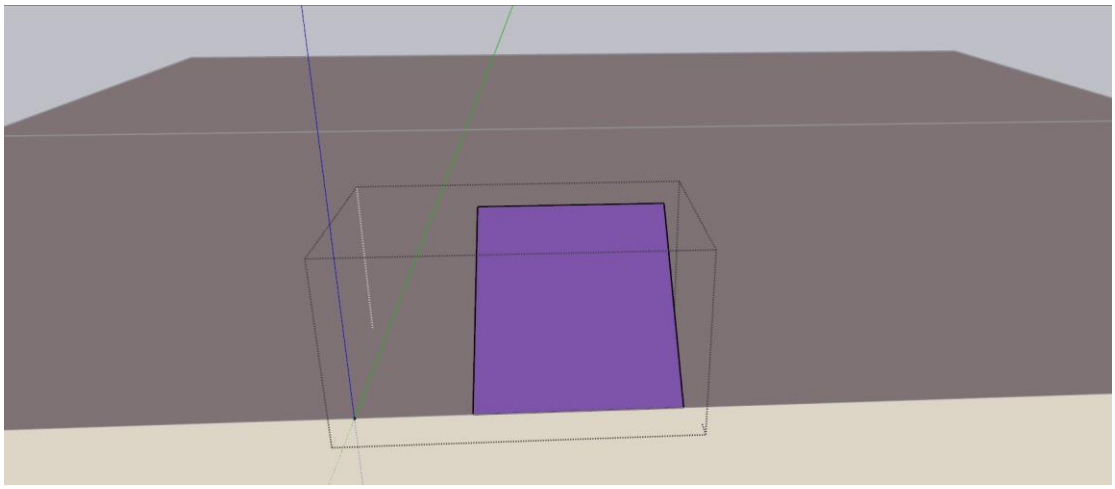
Εικόνα 66. Δημιουργία σκιασμένης επιφάνειας με εκτέλεση της εντολής New Shading Surface Group



Εικόνα 67. Σχεδιασμός σκιασμένης επιφάνειας (α)

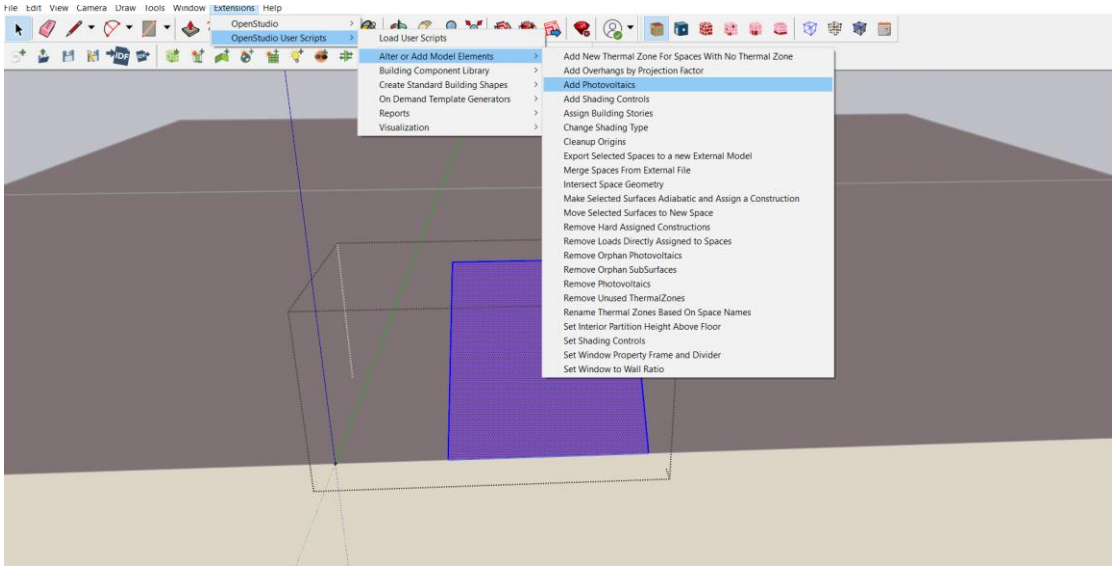


Εικόνα 68 . Ολοκλήρωση σχεδιασμού σκιασμένης επιφάνειας (β)

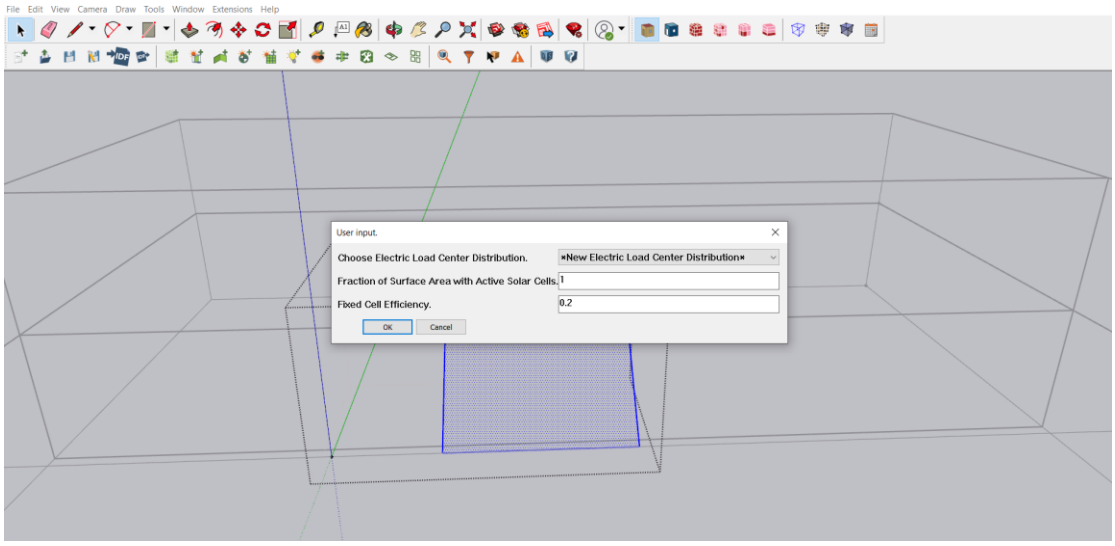


Αφού δημιουργήσαμε την ***Shading Surface***, μπορούμε να εκτελέσουμε την εντολή ***Extensions/OpenStudio User Scripts/Alter or Add Model Elements/Add Photovoltaics*** (βλ. εικόνα 69) από την εκτέλεση της οποίας αναδύεται ένα νέο παράθυρο (βλ. εικόνα 70) όπου βάζοντας τις επιθυμητές παραμέτρους, δημιουργούνται οι επιφάνειες των φωτοβολταΪκών (βλ. εικόνα 71). Η παραπάνω διαδικασίας μας προσφέρει την δυνατότητα υπολογισμού της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους.

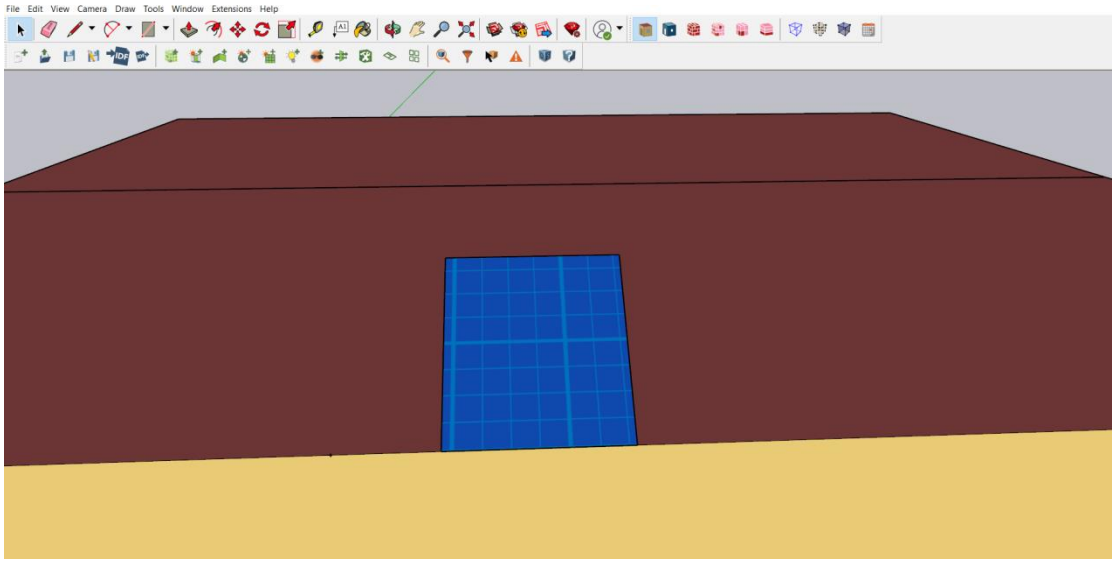
Εικόνα 69. Προσθήκη Φωτοβολταΐκων



Εικόνα 70. Παράθυρο κατά την εκτέλεση της εντολής Add Photovoltaics

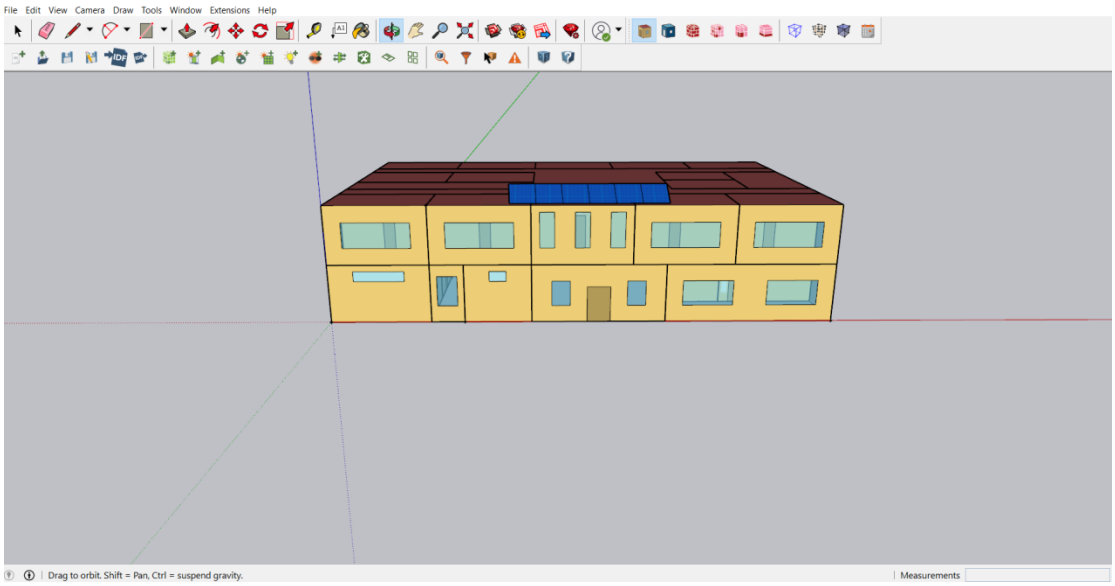


Εικόνα 71. Ολοκλήρωση σχεδιασμού φωτοβολταΪκων



Το ολοκληρωμένο μοντέλο έχει την παρακάτω μορφή :

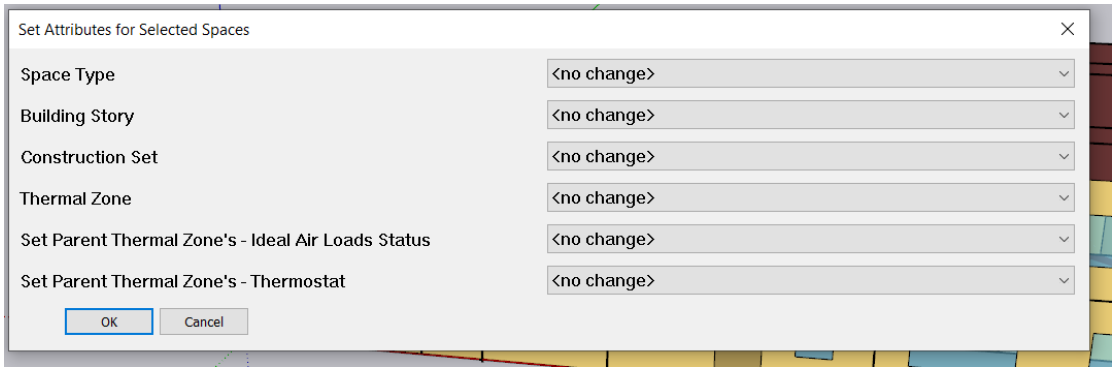
Εικόνα 72. Ολοκληρωμένη μορφή του μοντέλου



7.1.8 Εκτέλεση της εντολής Set Attributes for Selected Spaces

Τώρα απομένει να αποδώσουμε στον κάθε χώρο τα «χαρακτηριστικά» του , δηλαδή να το εντάξουμε σε θερμική ζώνη, να του αποδώσουμε ***Space Type*** και θερμοστάτη. Αυτή η διαδικασία θα πραγματοποιηθεί, για κάθε χώρο ξεχωριστά, μέσω της εντολής ***Set Attributes for Selected Spaces*** [ ], μέσω της εκτέλεσης της οποίας αναδύεται το εξής παράθυρο:

Εικόνα 73. Παράθυρο εντολής Set Attributes for Selected Spaces



Οι παράμετροι ***Space Type***, ***Construction Set*** και ***Set Parent Thermal Zone's – Thermostat*** συμπληρώθηκαν για κάθε χώρο, σύμφωνα με τον εξής τρόπο:

Space Type :

Στους χώρους γραφείων, για την αίθουσα συνεντεύξεων, τις δύο αίθουσες σύσκεψης αποδόθηκε το 189.1-2009-Office-ClosedOffice-CZ1-3.

Στις τουαλέτες αποδόθηκε το 189.1-2009-Office-Restroom-CZ1-3.

Στους διαδρόμους αποδόθηκε το 189.1-2009-Office-Corridor-CZ1-3.

Στους δύο χώρους εκδηλώσεων αποδόθηκε το 189.1-2009-Office-Conference-CZ1-3.

Στους χώρους του μηχανολογικού εξοπλισμού αποδόθηκε το 189.1-2009-Elec/Mech-CZ1-3.

Στο χώρο “Αρχείο” αποδόθηκε το 189.1-2009-Office-IT_Room-CZ1-3.

Στο χώρο που θα λειτουργήσει ως αποθήκη αποδόθηκε το 189.1-2009-Office-Storage-CZ1-3.

Construction Set:

Ανεξαρτήτως, για όλους επιλέχθηκε το σετ 189.1-2009-CZ2-Office.

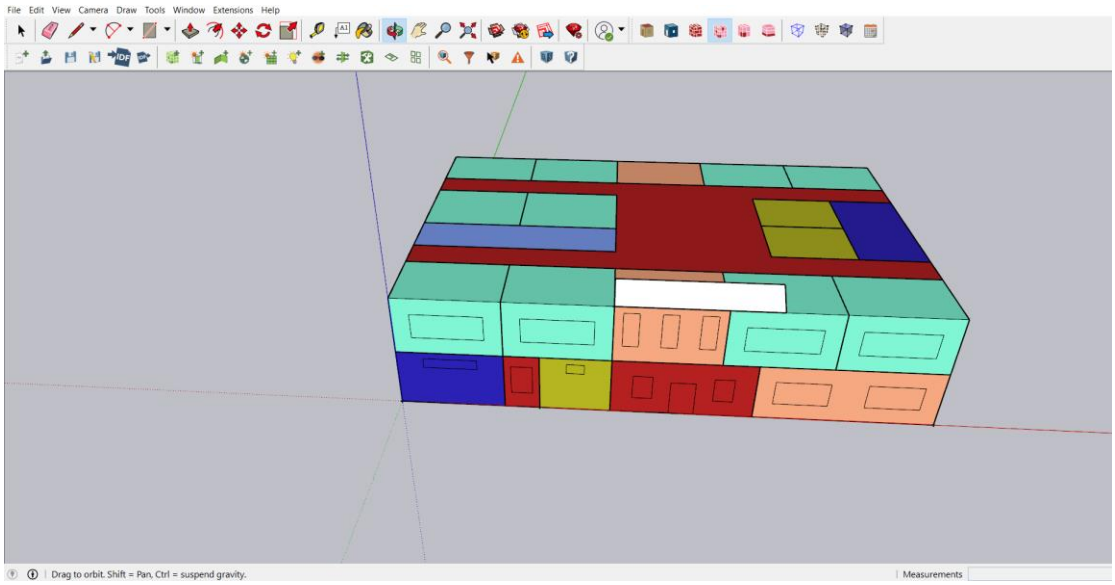
Set Parent Thermal Zone’s – Thermostat:

Επιλέχθηκαν κατά αντιστοιχία με τις επιλογές του Space Type , δηλαδή αφού για τους χώρους γραφείων επιλέξαμε το 189.1-2009-Office-ClosedOffice-CZ1-3 θα επιλέξουμε για τον θερμοστάτη το το 189.1-2009-Office-ClosedOffice-CZ1-3 Thermostat.

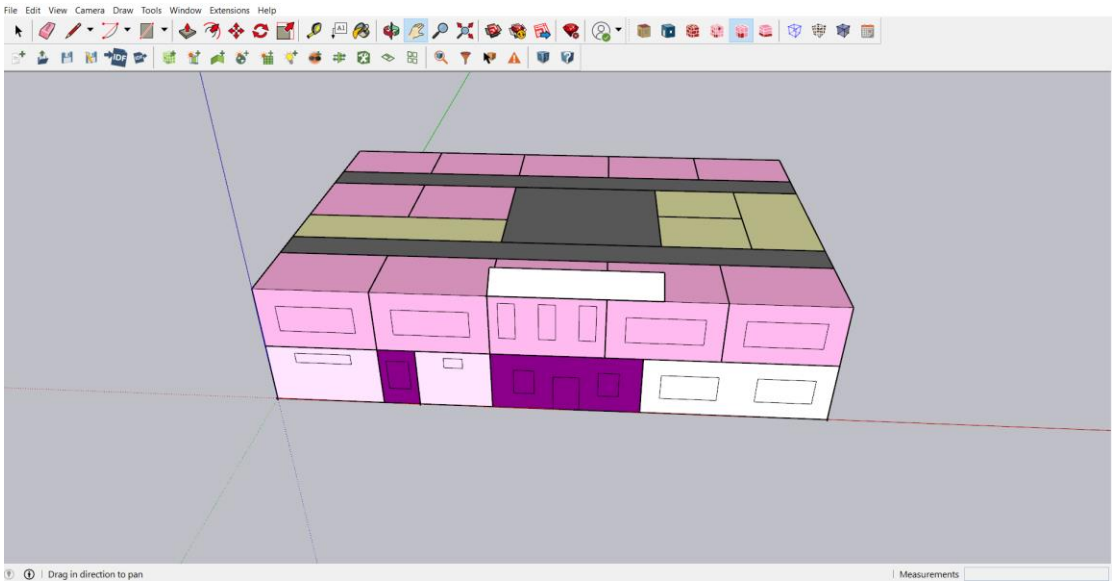
Οι χώροι κατανεμήθηκαν στις θερμικές ζώνες όπως είχε δηλωθεί στη σελ. Z1.

Για να εξακριβώσουμε ότι αποδόθηκαν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για αυτόν τον έλεγχο το ***Inspector*** ή για μια γρηγορότερη εξακρίβωση να πατήσουμε το “κουμπί” ***Render by Space Type*** (βλ. εικόνα 74) ή ***Render by Thermal Zone*** (βλ. εικόνα 75)

Εικόνα 74. Όψη του κτιρίου κατόπιν εκτελέσεως της εντολής Render by Space Type



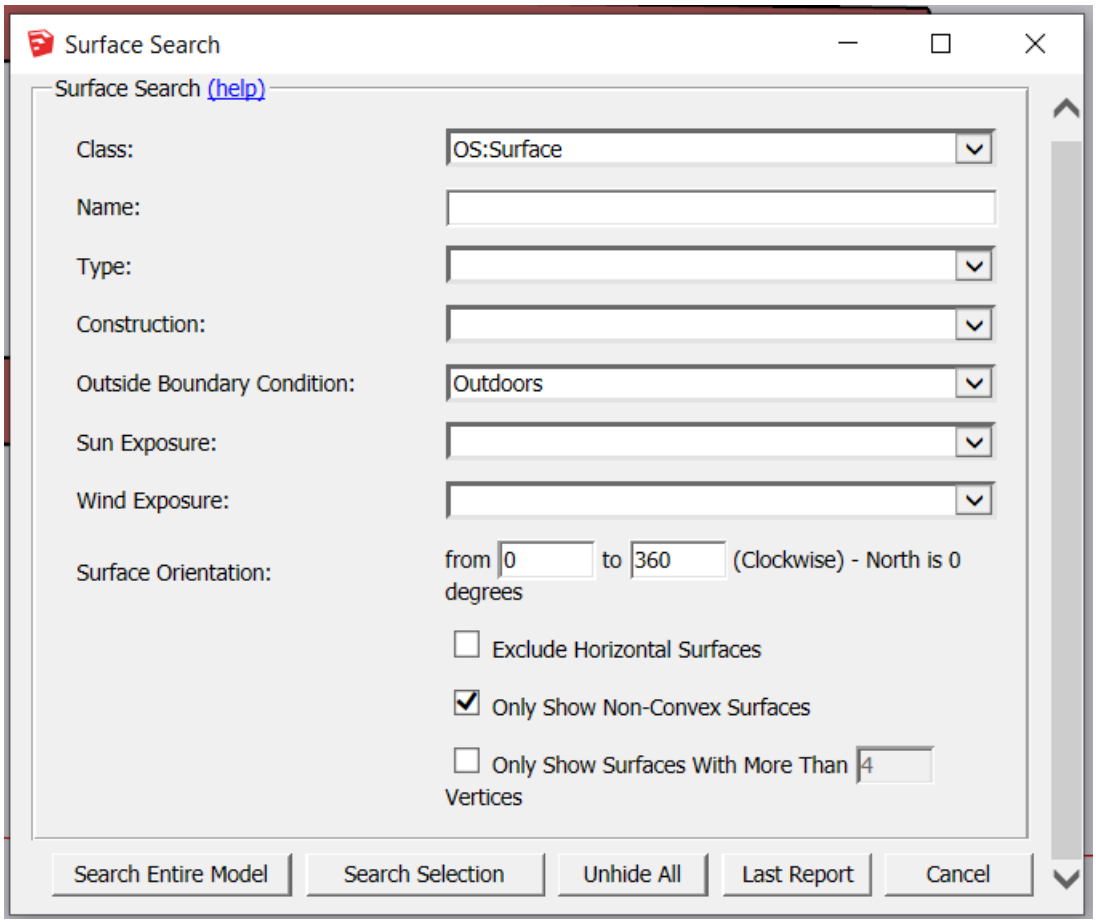
Εικόνα 75. Όψη κτιρίου κατόπιν εκτελέσεως της εντολής Render by Thermal Zone



7.1.9 Έλεγχος για Non-Convex Surfaces

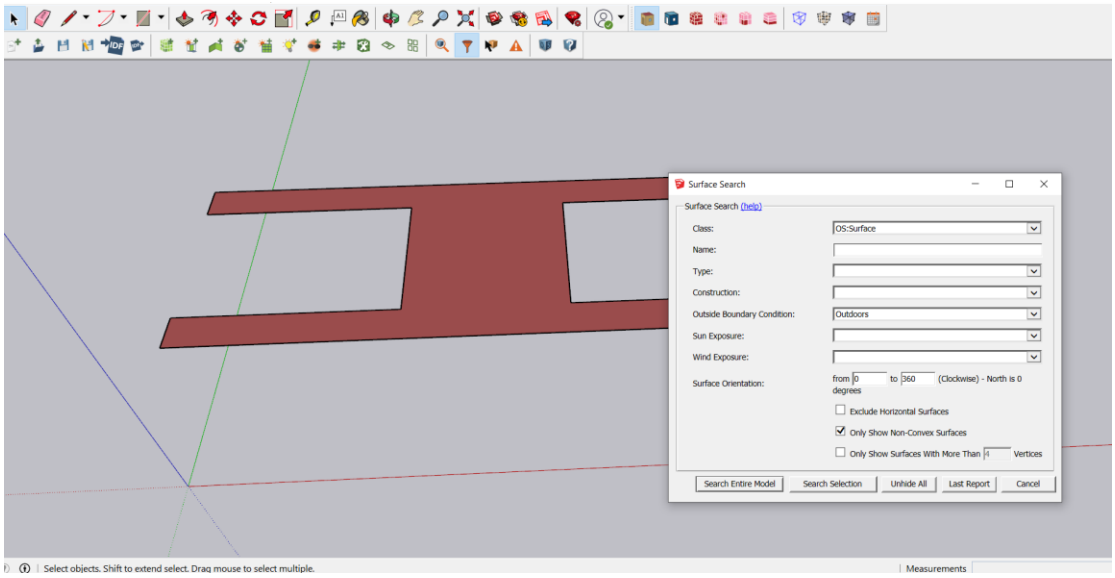
Σε αυτό το σημείο είναι σώφρον να κάνουμε έλεγχο για την περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν “non-convex Surfaces”, καθώς σε μια τέτοια περίπτωση θα προκληθεί ο τερματισμός της προσομοίωσης στο OpenStudio. Ο έλεγχος είναι γρήγορος και απλός. Συγκεκριμένα, επιλέγουμε το “κουμπί” ***Search Surfaces*** [ ] μέσω της εκτέλεση του οποίου αναδύεται το εξής παράθυρο και το συμπληρώνουμε όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :

Εικόνα 76. Παράθυρο εντολής Surface Search



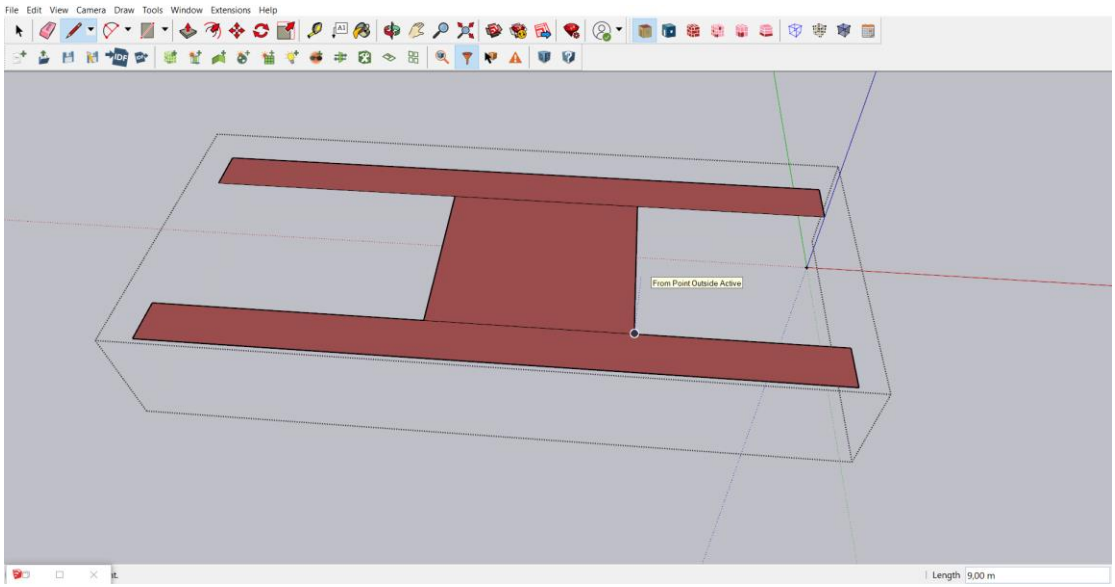
Εκτελώντας την εντολή “Search Entire Model“ θα μας παρουσιαστούν αποκλειστικά, εφόσον υπάρχουν, όλες οι “Non-Convex Surfaces” του μοντέλου. Όπως θα φανεί στην εικόνα 77, στο μοντέλο μας υπάρχει μια τέτοια επιφάνεια, αυτή της οροφής.

Εικόνα 77. Εμφάνιση “Non-Convex Surface” κατόπιν εκτελέσεως της εντολής Search in Entire Model



Για να διορθώσουμε το δυνητικό αυτό σφάλμα, αρκεί να χαράξουμε δύο ευθείες όπως φαίνεται παρακάτω.

Εικόνα 78. Διόρθωση της “Non-Convex Surface”



Έτσι εξαλείφονται οι “Non-Convex Surfaces”. Για επαλήθευση αρκεί να επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία (βλ. εικόνα 76), αναμένοντας μετά την αναζήτηση να μην εμφανιστεί καμία επιφάνεια.

Το μοντέλο μας,πλέον, έχει σχεδιαστεί πλήρως και μπορούμε να συνεχίσουμε στην περαιτέρω και τελική του επεξεργασία στο OpenStudio Application.

7.2 OPENSTUDIO

7.2.1 Εισαγωγή

Το GUI του Energy Plus , δηλαδή το OpenStudio, αποτελείται από 15 καρτέλες ,οι οποίες είναι οι εξής :

- Site Tab
- Schedules Tab
- Construction Tab
- Loads Tab
- Space Types Tab
- Geometry Tab
- Facility Tab
- Spaces Tab
- Thermal Zones Tab
- HCAC Tab
- Output Variables Tab
- Simulation Settings Tab
- Measures Tab
- Run Simulation Tab
- Results Summary Tab

Το περιεχόμενο και η λειτουργία κάθε μίας θα παρουσιαστεί και φανεί, καθώς τις συμπληρώνουμε κατά σειρά.

7.2.2 Site Tab

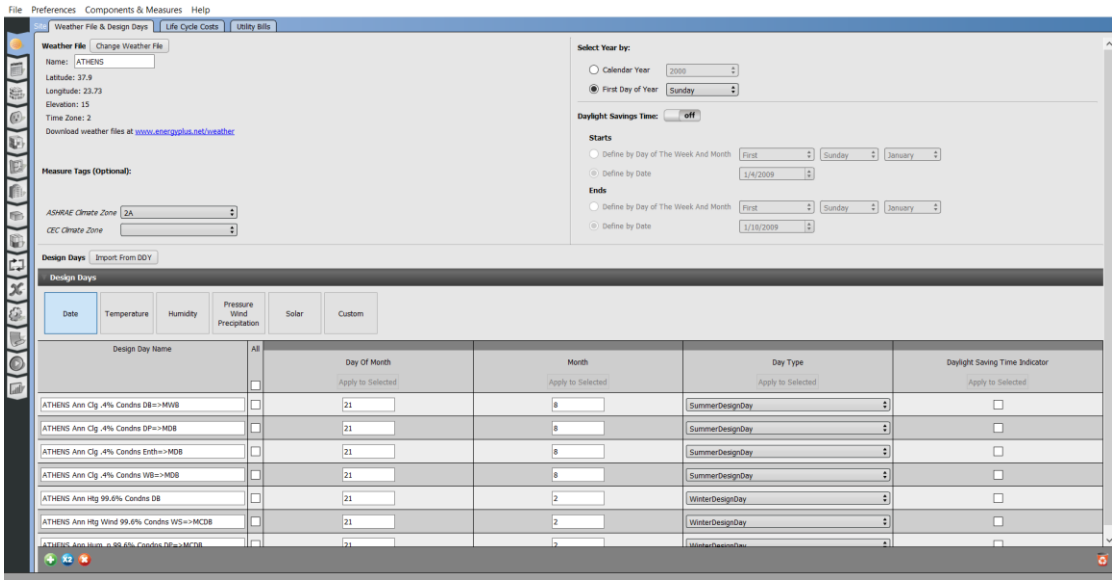
Σχετίζεται με τα κλιματολογικά και οικονομικά δεδομένα (βλ. εικόνα 79). Τα κλιματολογικά δεδομένα που απαιτούνται περιέχουν πληροφορίες για τις ωριαίες θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία κτλ του υπό εξέταση τόπου και αυτά μπορούν να βρεθούν και να αποθηκευτούν ακολουθώντας τον σύνδεσμο που υπάρχει στην καρτέλα .

Ο ληφθείς φάκελος θα περιέχει δύο αρχεία, το ένα θα είναι *.epw και θα εισαχθεί εκτελώντας την εντολή ***Change Weather File*** και το άλλο θα είναι *.ddy και θα εισαχθεί εκτελώντας την εντολή ***Import From DDY***

Στην περίπτωσή μας τα δεδομένα αυτά που επιλέχθηκαν αφορούν την Αθήνα, αλλά διατίθενται και τα αφορούντα την Θεσσαλονίκη και την Ανδραβίδα.

Τέλος, συμπληρώνουμε στο ***Measure Tags*** το ***ASHRAE Climate Zone*** επιλέγοντας το 2A.

Εικόνα 79. Site Tab



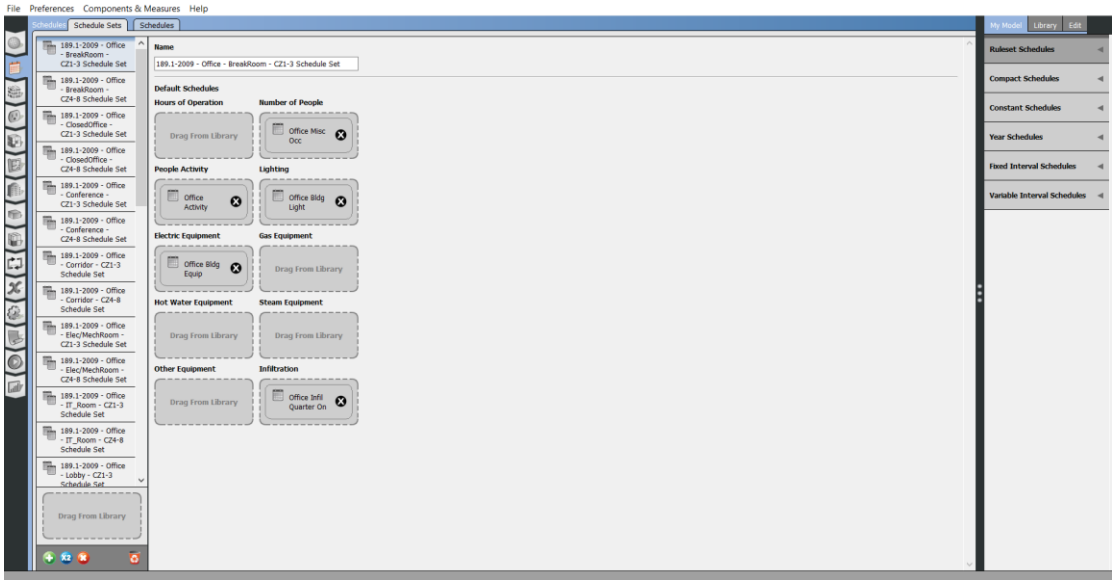
7.2.3 Schedules Tab

Σε αυτή την καρτέλα, καθορίζουμε τις διακυμάνσεις λειτουργίας ενός “στοιχείου” κατά την διάρκεια μιας ημέρας με χρονικό βήμα που μπορεί να ποικίλει. Το “ στοιχείο “ μπορεί να είναι η θερμοκρασίας ενός χώρου, το ωράριο λειτουργίας, τα επίπεδα λειτουργίας του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και φωτισμού, η πληρότητα του χώρου κτλ.

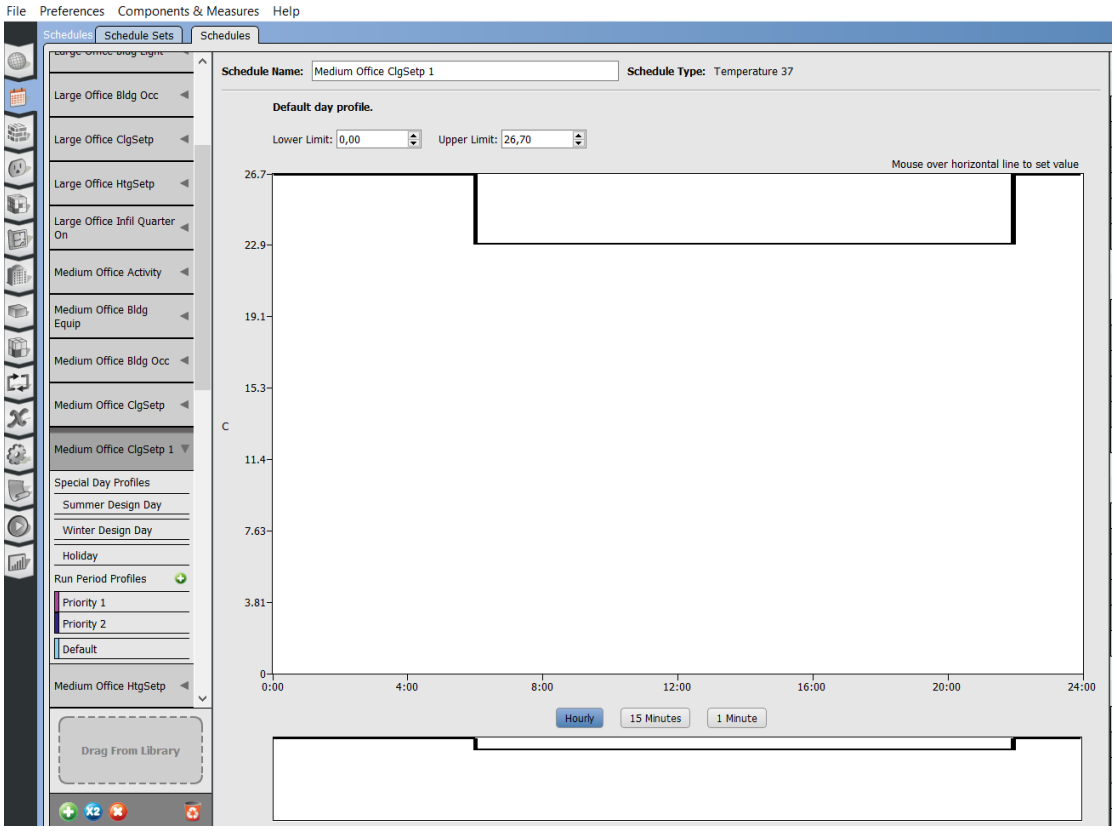
Όπως φαίνεται στην εικόνα 80, απαρτίζεται από δύο υπο-καρτέλες, αυτή του Schedule Sets και αυτή του Schedules. Τα **Schedules Sets** αποτελούν μια συλλογή πολλών διαφορετικών και διακριτών χρονοδιαγραμμάτων σχηματίζοντας ένα σύνολο, το οποίο αργότερα μπορεί να αποδοθεί σε ένα ***Space Type***. Στην υπο-καρτέλα **Schedules** μπορούμε να επεξεργαστούμε υπάρχοντα χρονοδιαγράμματα ή να δημιουργήσουμε νέα δικά μας.

Τα χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν πάρθηκαν από τα γενικά χρονοδιαγράμματα που διαθέτει στη βιβλιοθήκη του το ***OpenStudi***ο, καθώς θεωρήθηκαν ικανοποιητικά για τους χώρους του κτιρίου μας, με εξαίρεση του χρονοδιαγράμματος του θερμοστάτη της θέρμανσης και της ψύξης όπου επεξεργάστηκαν για να εισαχθούν οι επιθυμητές δικές μας θερμοκρασίες (βλ. εικόνα 81, 82).

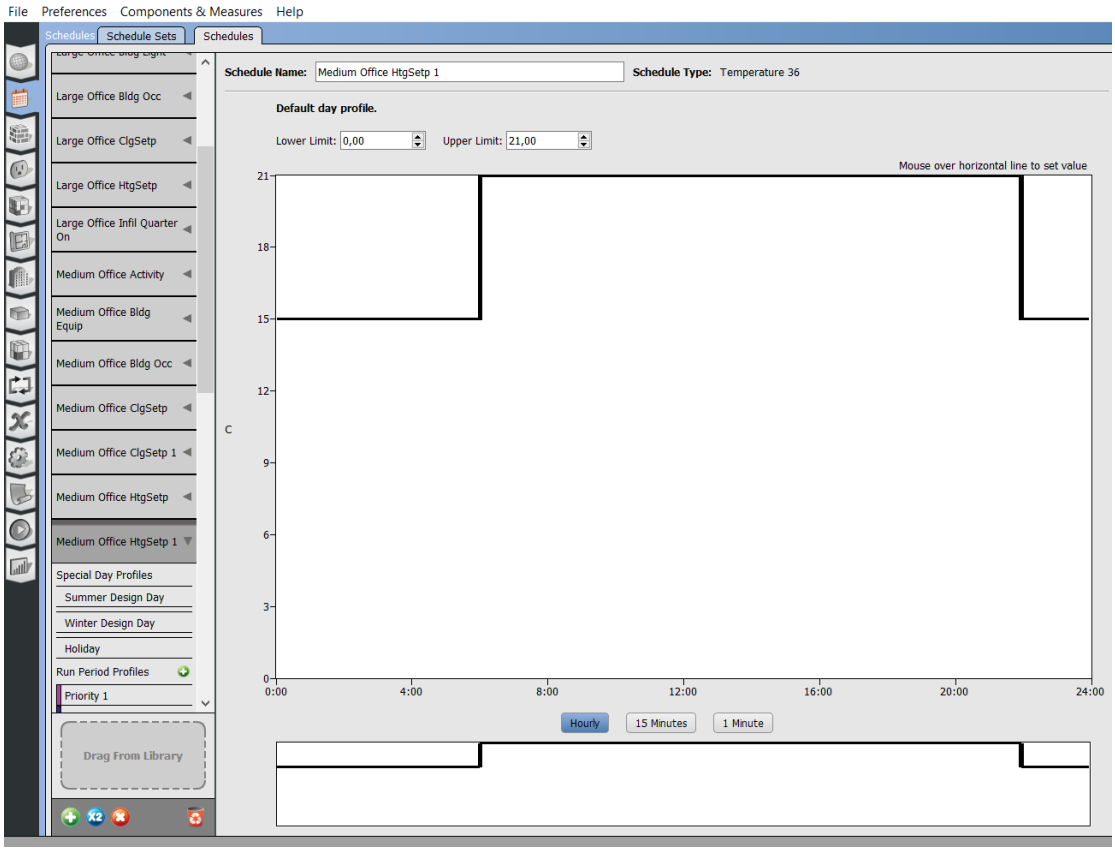
Εικόνα 80. Schedules Tab



Εικόνα 81. Χρονοδιάγραμμα θερμοστάτη ψύξης



Εικόνα 82. Χρονοδιάγραμμα θερμοστάτη θέρμανσης



7.2.4 Construction Tab

Σε αυτή την καρτέλα, ουσιαστικά, δημιουργούμε, συνθέτουμε και σχηματίζουμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που όταν αποδοθούν θα μετατρέψουν τις λεπτές επιφάνειες του μοντέλου μας σε τοίχους, οροφές, δάπεδα, παράθυρα, πόρτες, καθένα με το σύνολο των χαρακτηριστικών του.

Συγκεκριμένα, αποτελείται από τρείς υπο-καρτέλες , την ***Construction Sets***, την ***Constructions*** και την ***Materials*** (βλ. εικόνα 83). Η σχέση μεταξύ των τριών υπο-καρτελών είναι σχέση τύπου γονέα-παιδιού, δηλαδή με materials που δημιουργήθηκαν στην υπο-καρτέλα ***Materials*** συναρμολογούμε διάφορα constructions στην υπο-καρτέλα ***Construction***, με τα οποία constructions σχηματίζουμε σύνολα κατασκευών στην υπο-καρτέλα ***Constructions Sets***, τα οποία θα αποδοθούν σε διάφορους χώρους .

Ειδικότερα, η διάχυση των πληροφοριών, οι οποίες θα επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, αρχίζει από την υπο-καρτέλα ***Materials***, καθώς εκεί γίνεται η εισαγωγή των χαρακτηριστικών των διάφορων υλικών, όπως η τραχύτητα, το πάχος, η θερμική του αγωγιμότητα, η πυκνότητα κτλ (βλ. εικόνα 84).

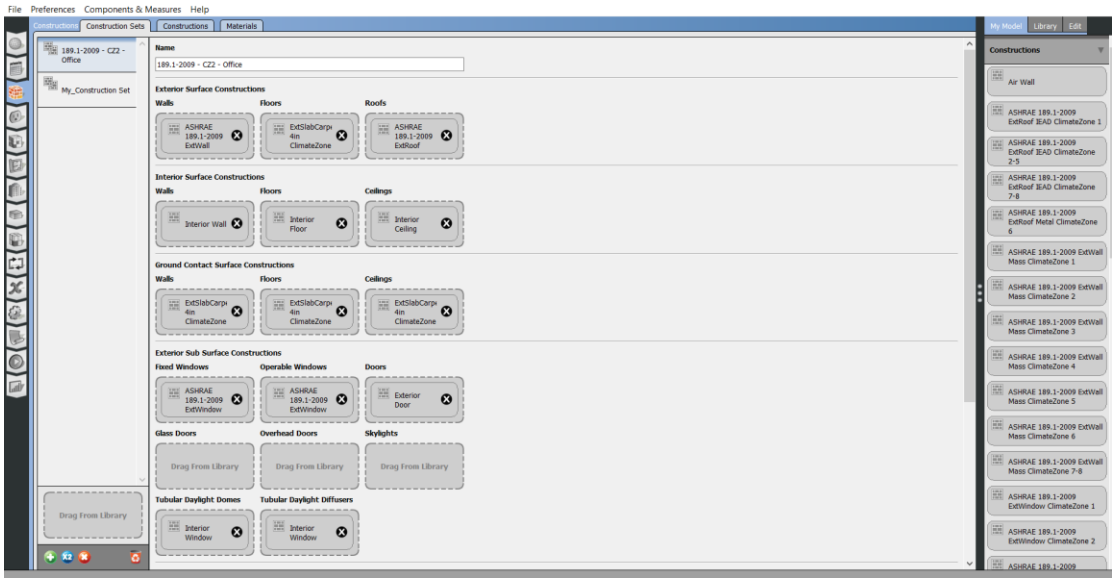
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο περιέχονταν στη βιβλιοθήκη ***BCL***, αλλά μερικά δημιουργήθηκαν, όπως αυτά της μονώσεως του τοίχους (βλ. εικόνα 85), της μονώσεως της οροφής (βλ. εικόνα 86), των τούβλων (βλ. εικόνα 87), το τσιμεντοκονίαμα (βλ. εικόνα 88).

Έπειτα με αυτά τα υλικά συνέθεσα πέντε **Constructions**, τα οποία αφορούν τους εξωτερικούς τοίχους (βλ. εικόνα 89), την οροφή (βλ. εικόνα 90), τα εξωτερικά παράθυρα (βλ. εικόνα 91), το δάπεδο (βλ. εικόνα 92) και τους εσωτερικούς τοίχους (βλ. εικόνα 93). Η παραπάνω διαδικασία είναι σχετικά

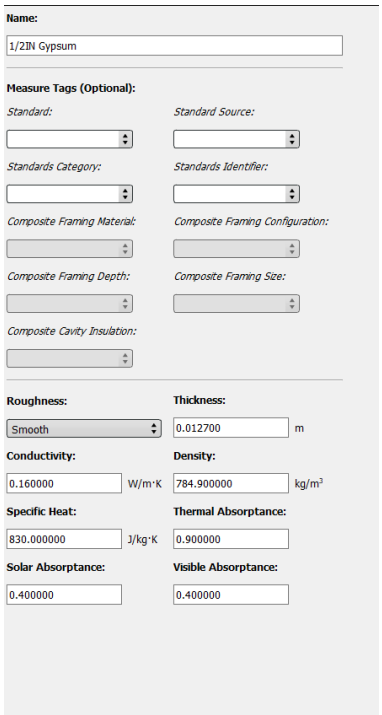
απλή, ουσιαστικά μέσω του ***“ Drag and Drop”*** δημιουργούμε τις κατασκευές μας κινούμενοι από το εξωτερικό προς το εσωτερικό.

Τέλος, έχοντας σχηματίσει τις «κατασκευές» μας δημιούργησα ένα νέο ***Construction Set*** όπως φαίνεται στις εικόνες 94 και 95.

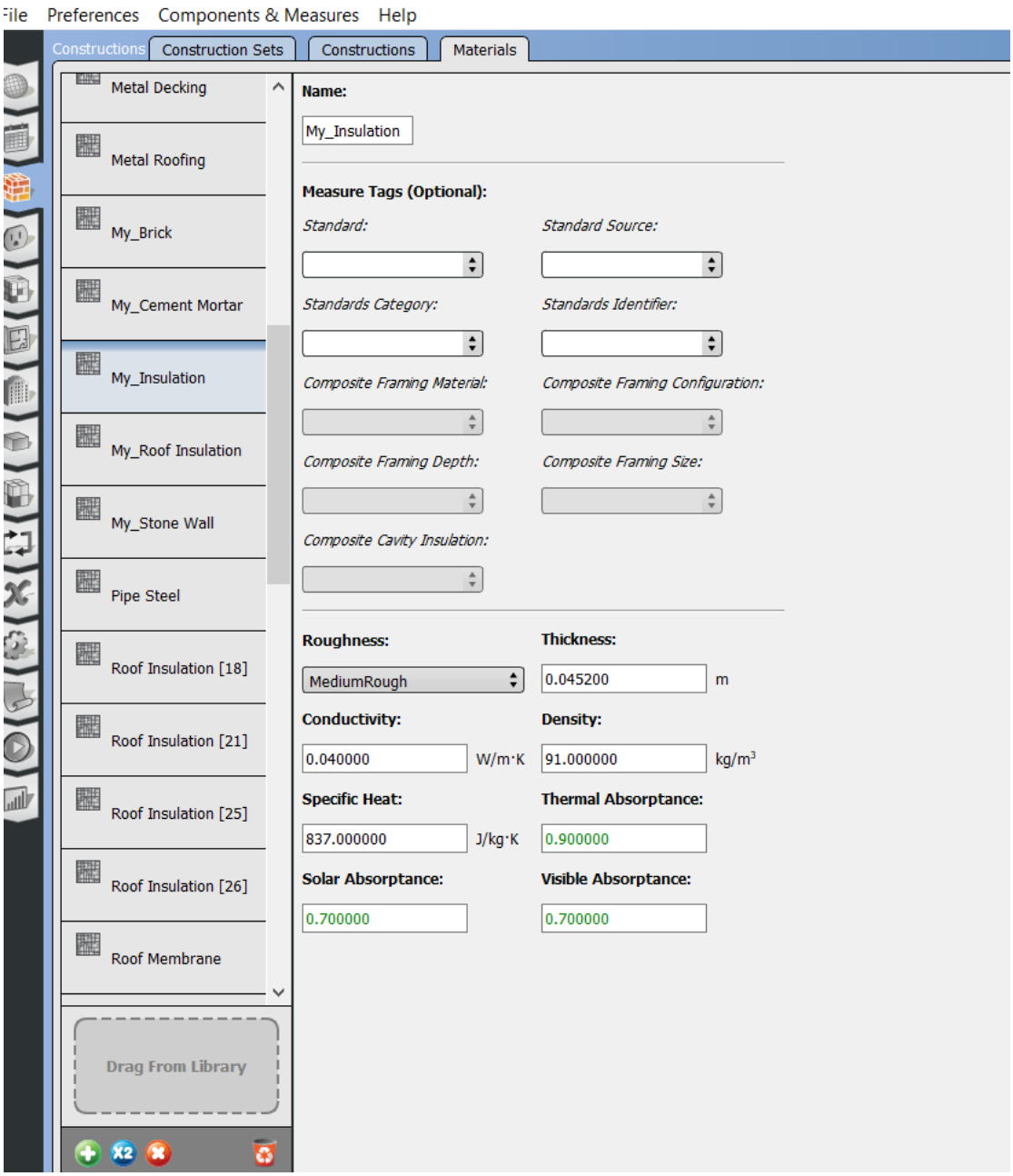
Εικόνα 83. Constructions Tab



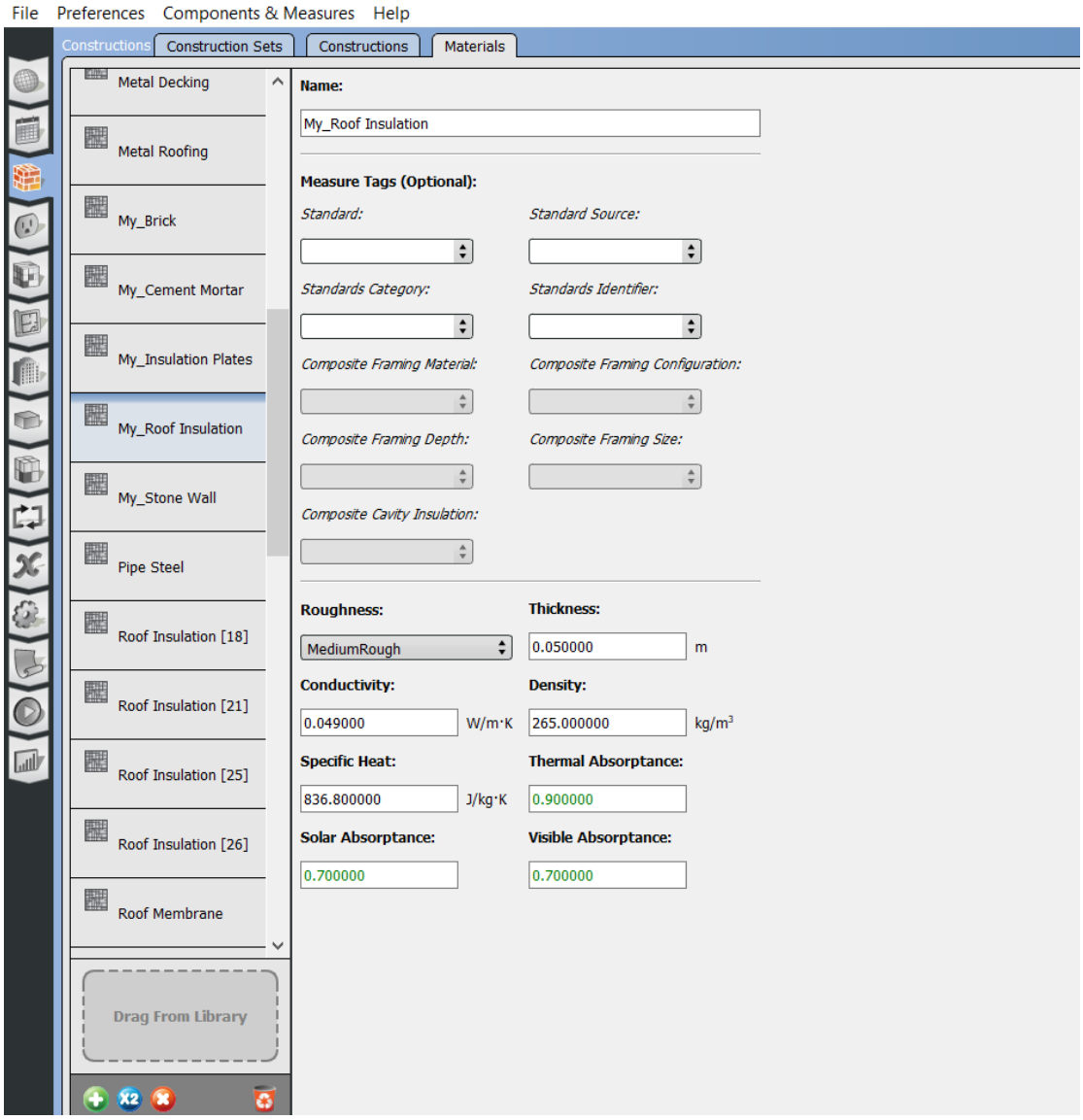
Εικόνα 84. Υπο-καρτέλα Materials – επιλεγμένο ένα τυχαίο material



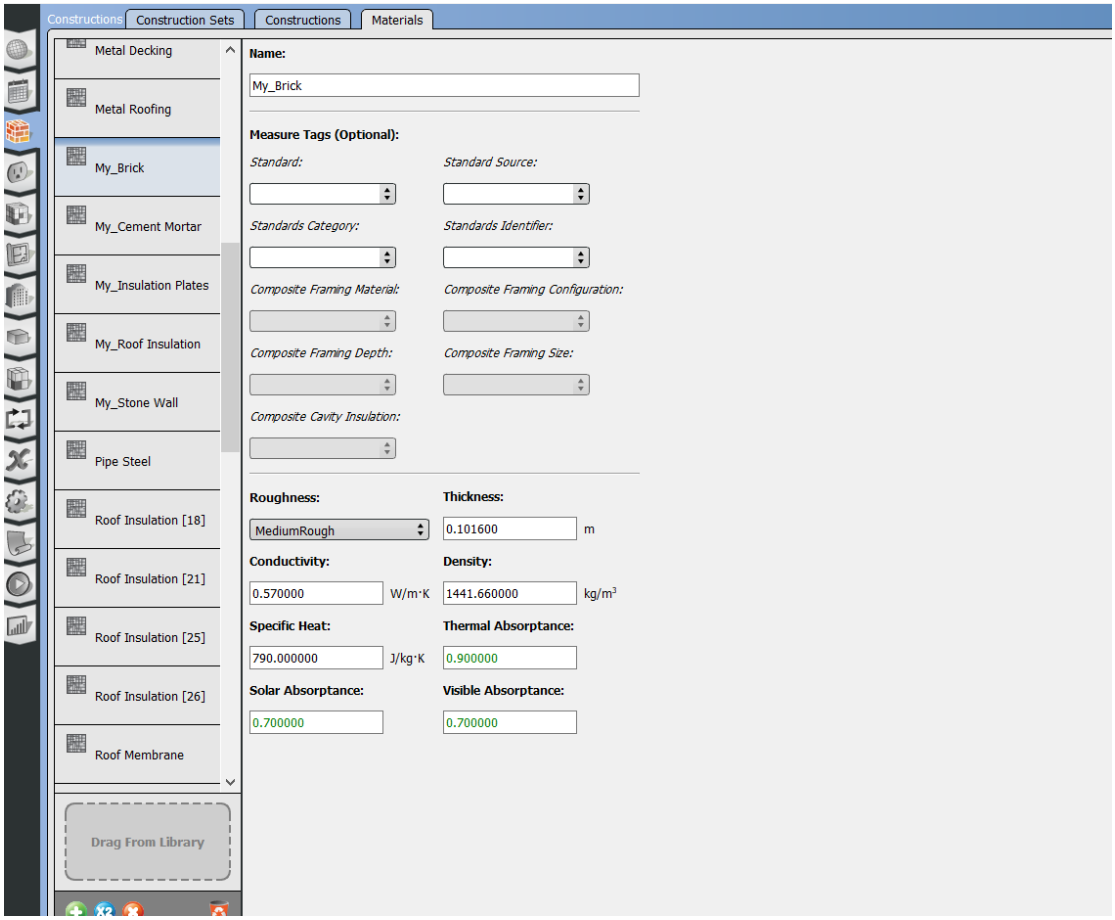
Εικόνα 85. Υπο-καρτέλα Materials – Μόνωση Τοίχων



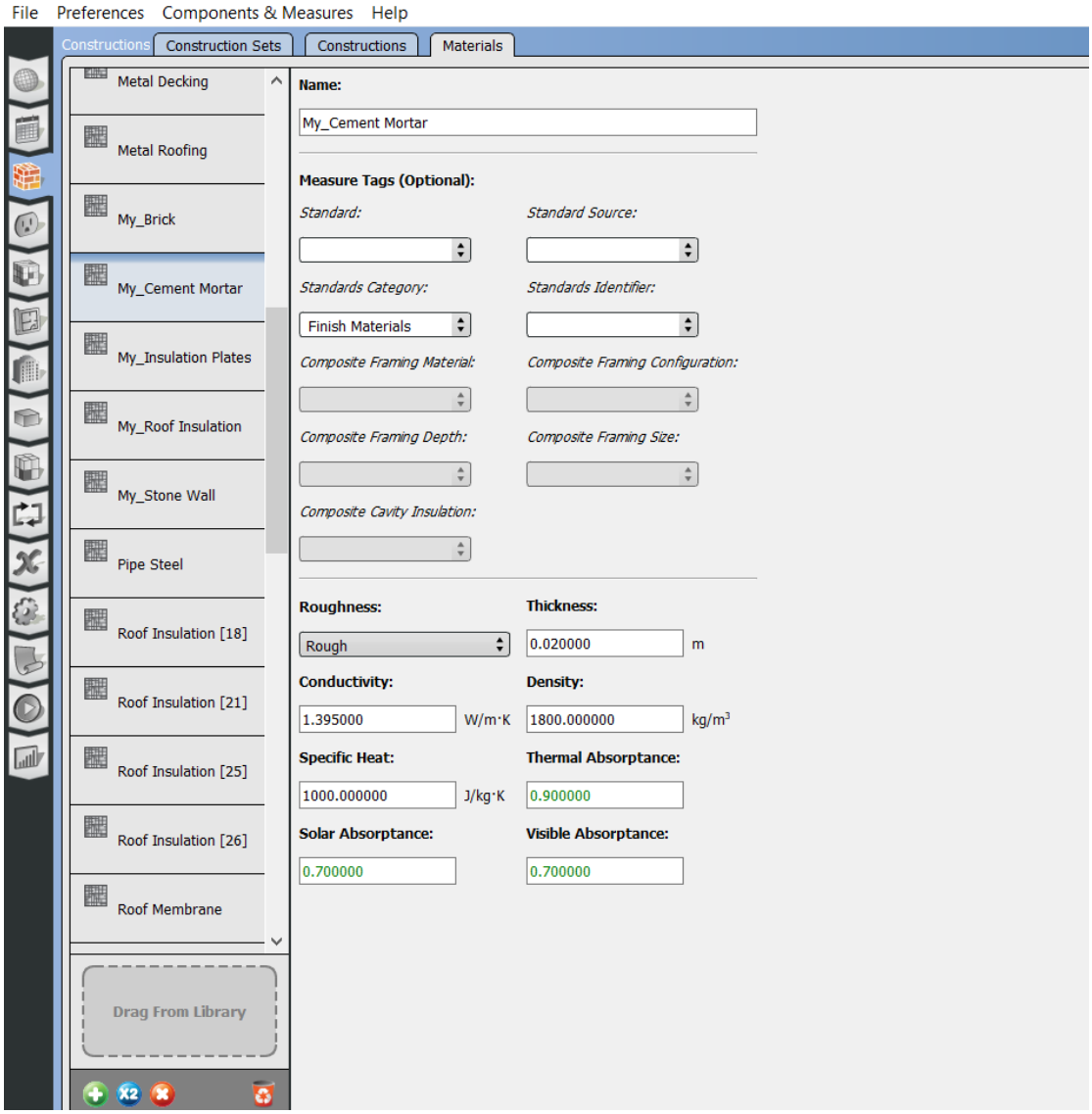
Εικόνα 86. Υπο-καρτέλα Materials – Μόνωση Οροφής



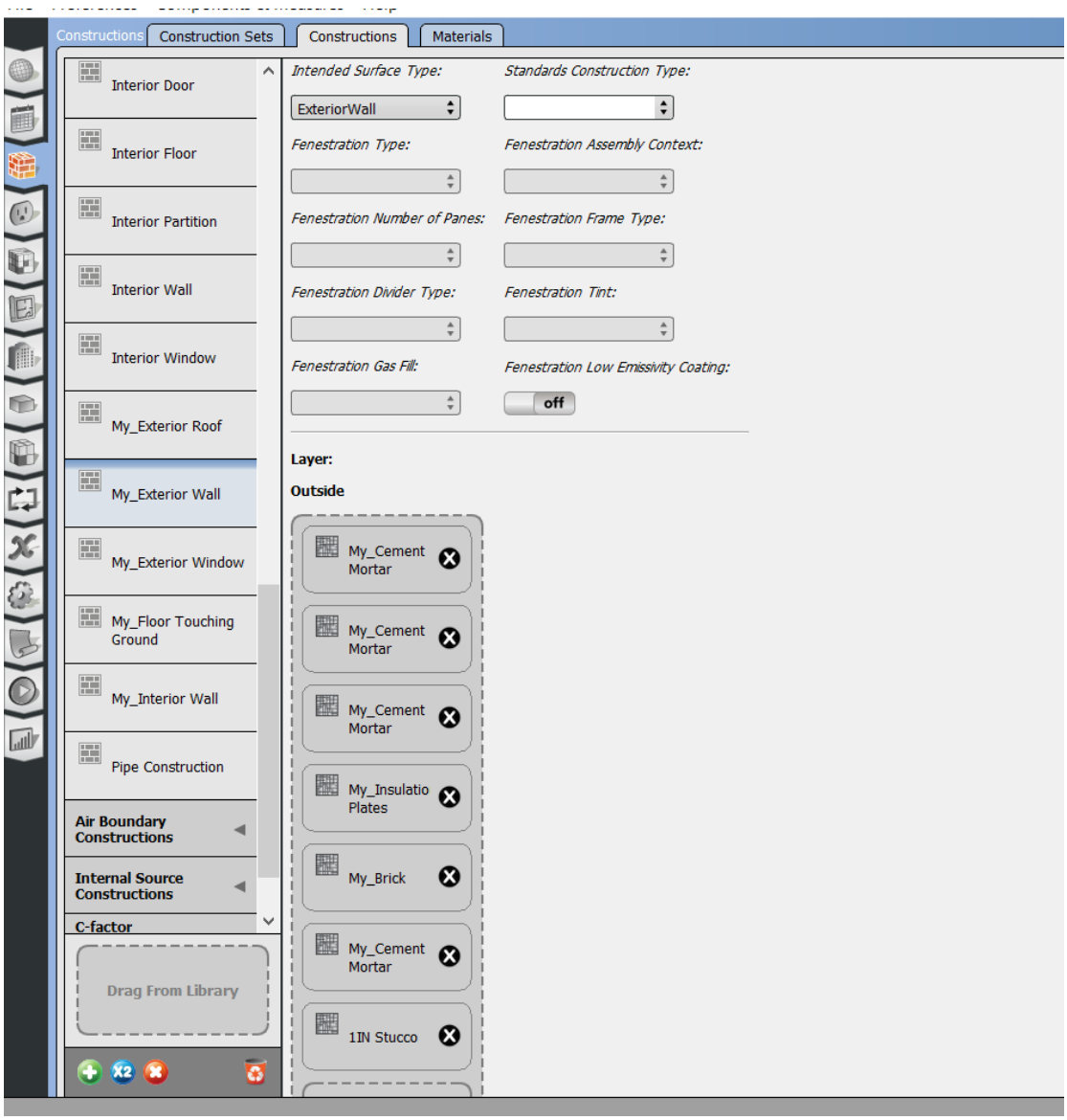
Εικόνα 87. Υπο-καρτέλα Materials – Τούβλο



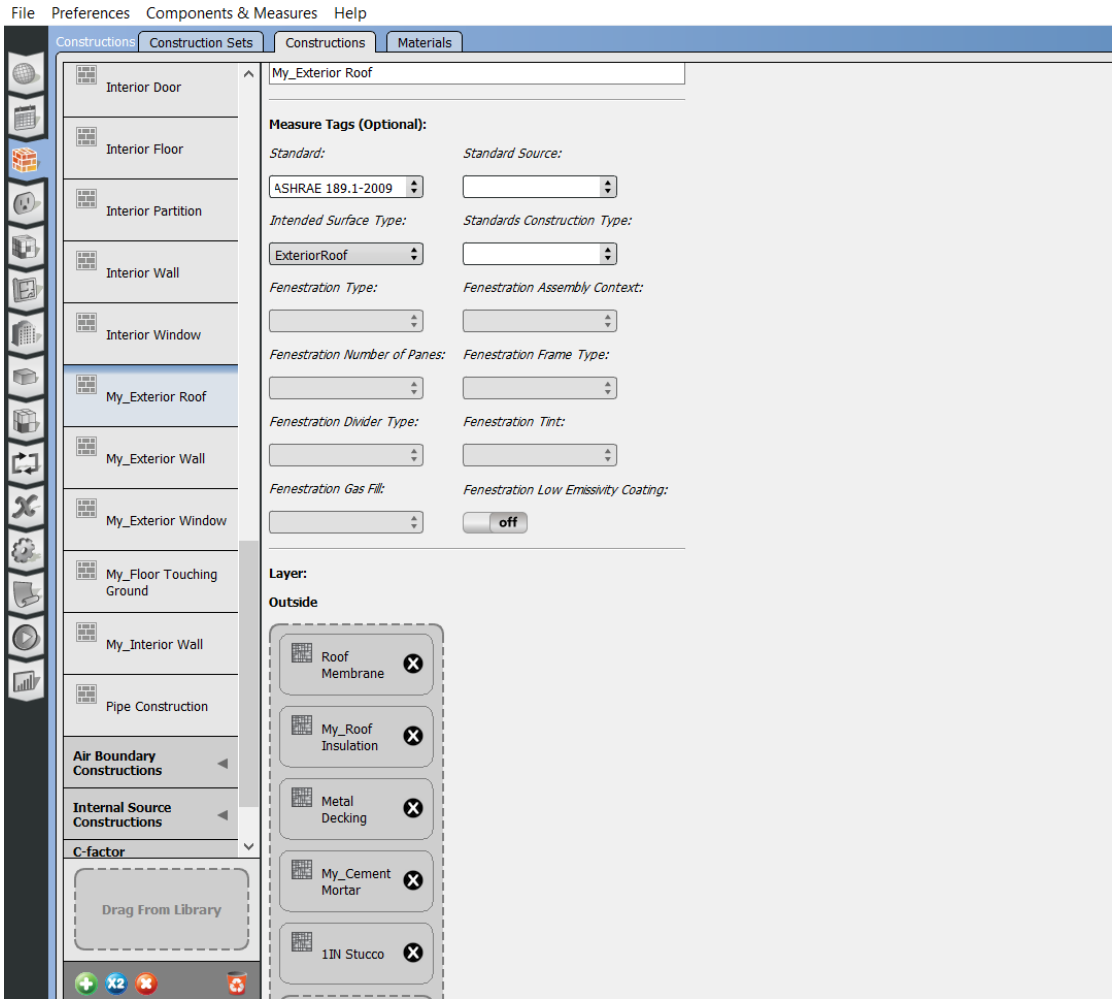
Εικόνα 88. Υπο-καρτέλα Materials – Τσιμεντοκονίαμα



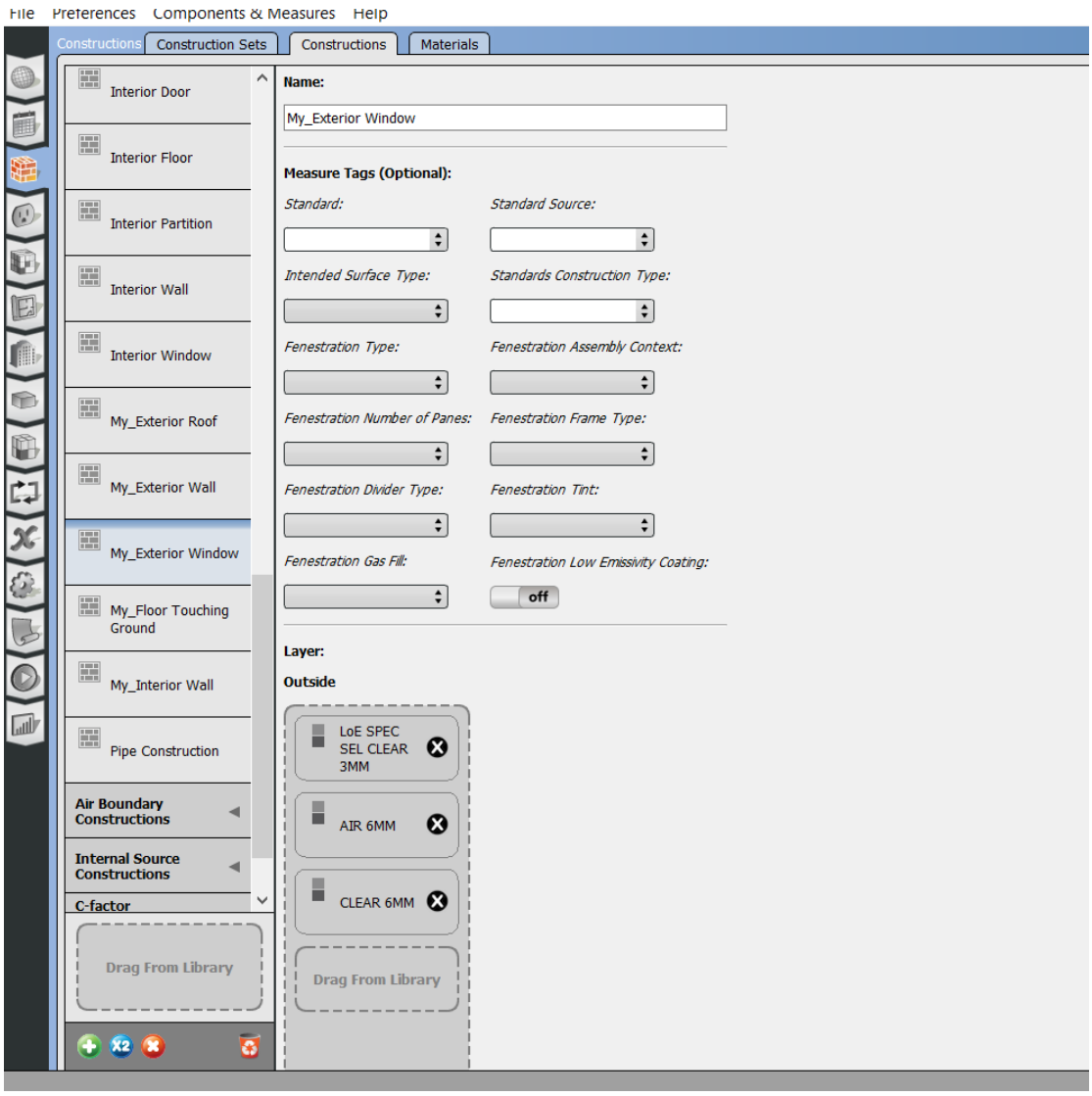
Εικόνα 89. Υπο-καρτέλα Constructions – Κατασκευή εξωτερικών τοίχων



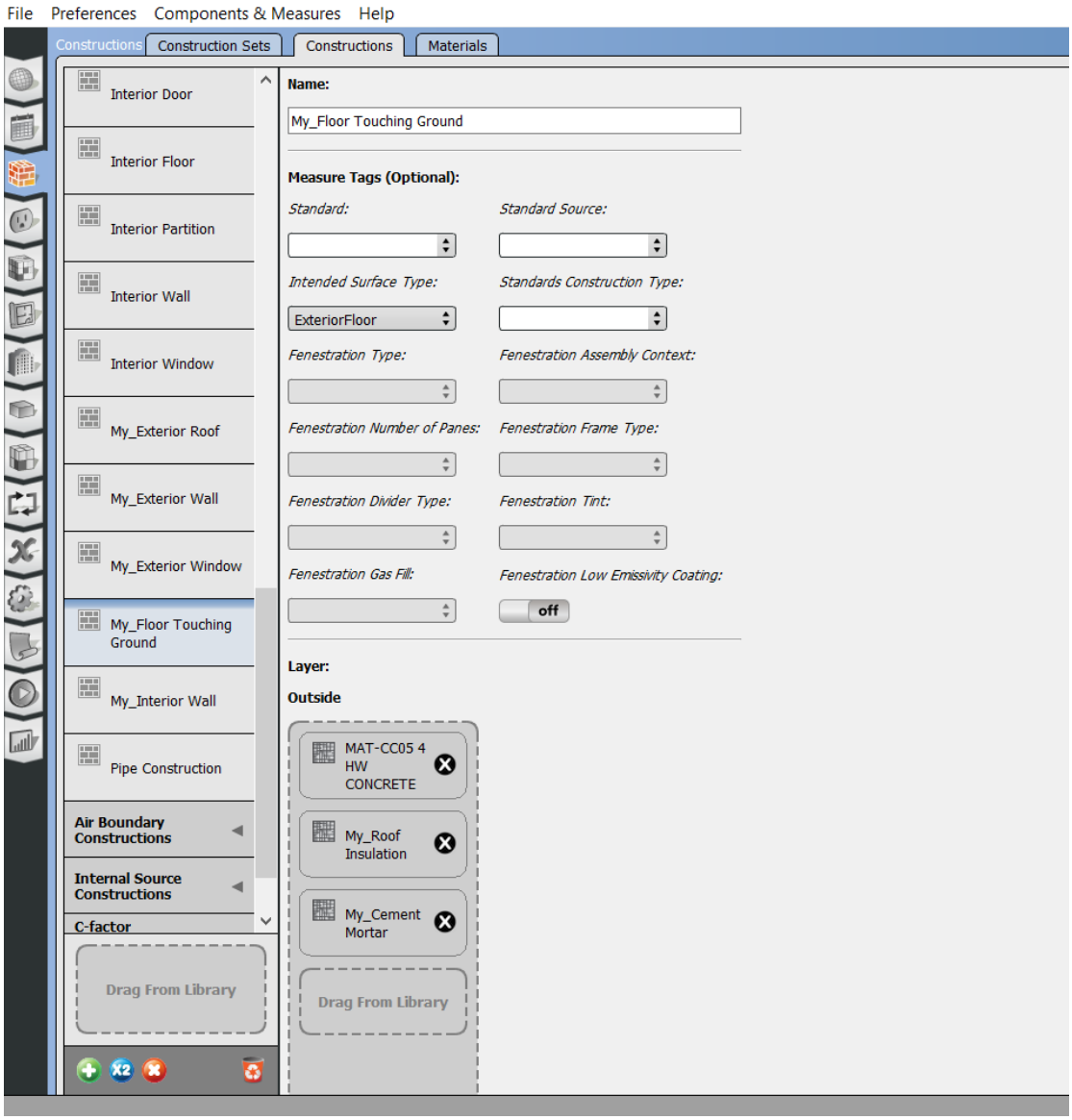
Εικόνα 90. Υπο-καρτέλα Constructions – Κατασκευή Οροφής



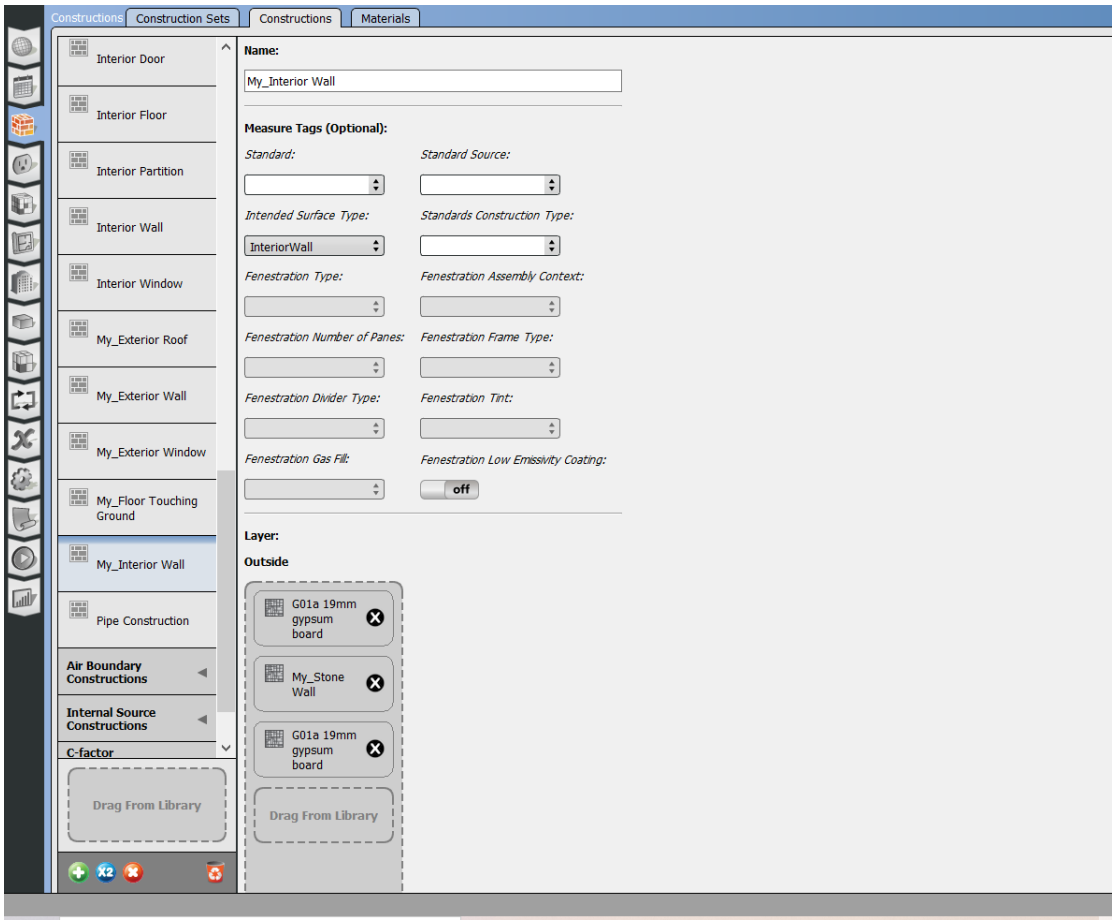
Εικόνα 91. Υπο-καρτέλα Constructions – Κατασκευή Παραθύρων



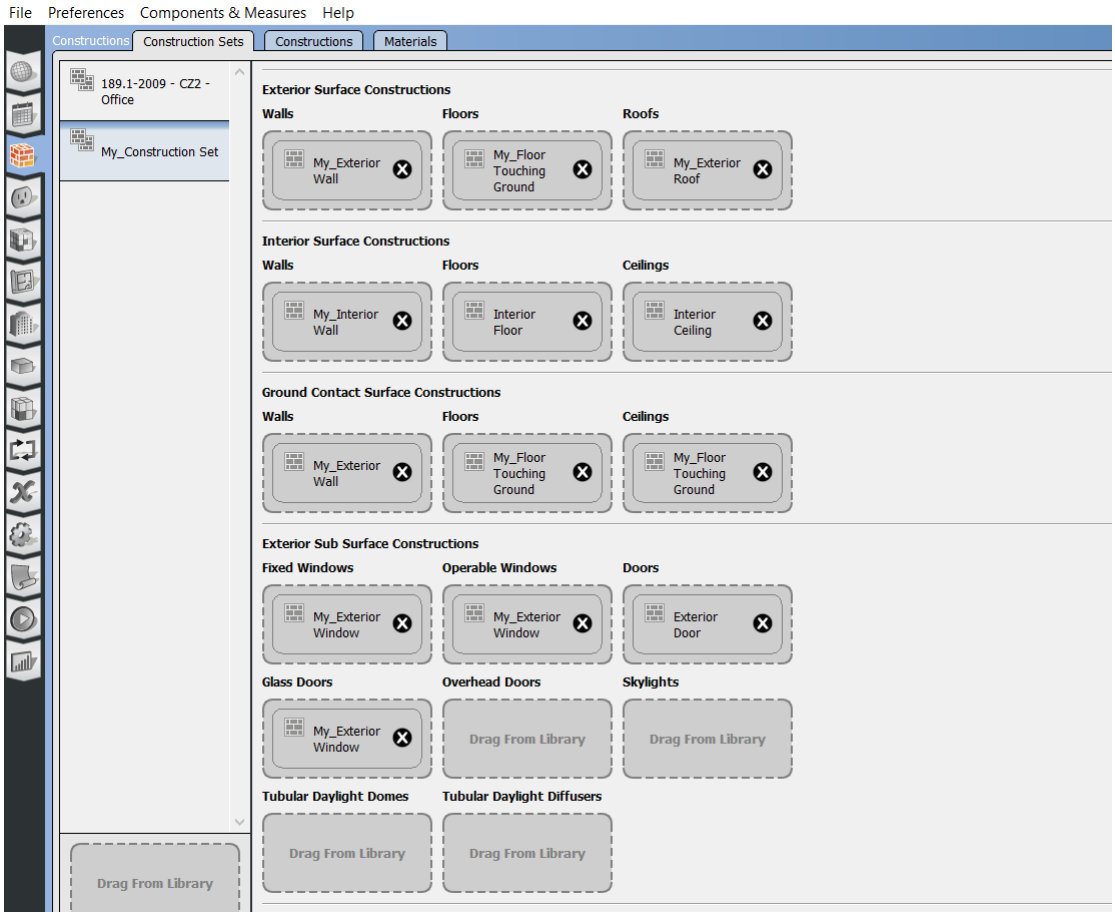
Εικόνα 92. Υπο-καρτέλα Constructions – Κατασκευή Δαπέδου



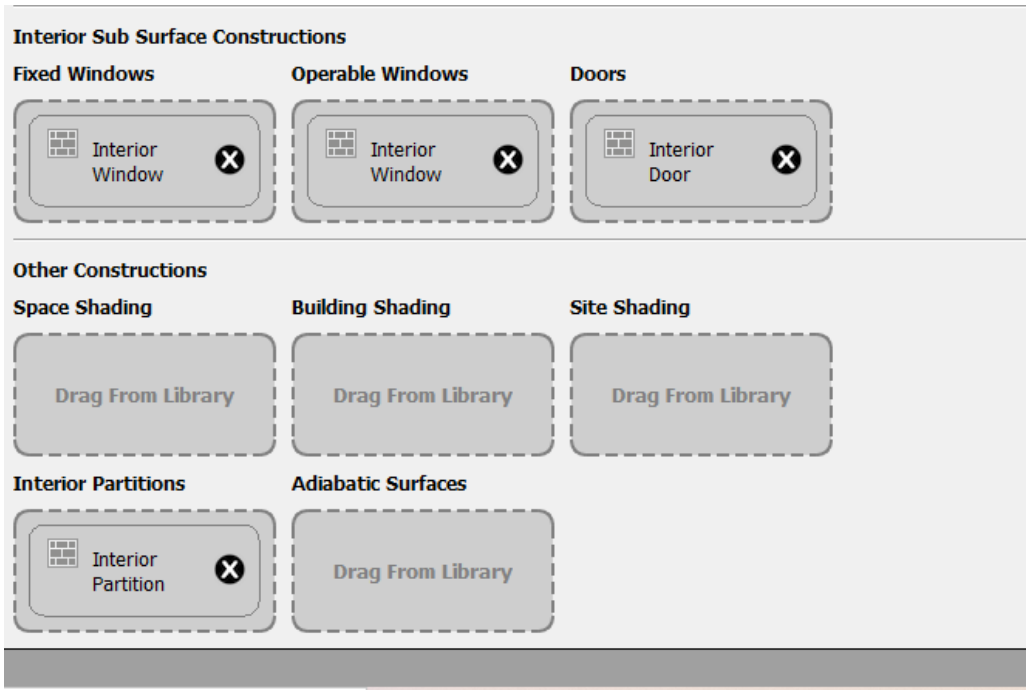
Εικόνα 93. Υπο-καρτέλα Constructions – Κατασκευή εσωτερικών τοίχων



Εικόνα 94. Υπο-καρτέλα Constructions Sets – Σύνθεση του Construction Set του μοντέλου (α)



Εικόνα 95. Υπο-καρτέλα Constructions Sets – Σύνθεση του Construction Set του μοντέλου (β)

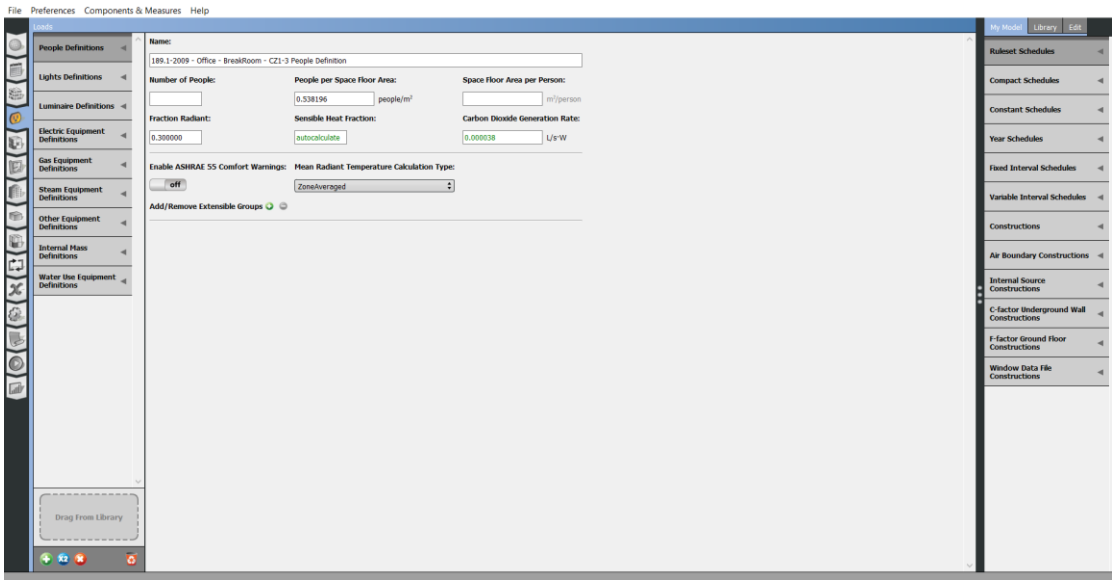


7.2.5 Loads Tab

Σε αυτή την καρτέλα (βλ. εικόνα 96), καθορίζονται τα φορτία των εσωτερικών χώρων, όπως αυτά παράγονται από την πυκνότητα των ατόμων στο χώρο (***People Definitions***), από τον φωτισμό (***Lights Definitions***) , από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό (***Electric Equipment Definitions***) κτλ ώστε να αναπαρασταθούν πιο ολοκληρωμένα οι πραγματικές συνθήκες που επικρατούν.

Αυτά που μας απασχόλησαν ήταν, κυρίως, τα φορτία από τους ανθρώπους και από το φωτισμό, τα οποία επιλέχθηκαν από την έτοιμη βιβλιοθήκη του ***OpenStudio***, καθώς κρίθηκαν ικανοποιητικά.

Εικόνα 96. Loads Tab



7.2.6 Space Types Tab

Σε αυτή τη καρτέλα μπορούμε να τροποποιήσουμε υπάρχοντα ή να δημιουργήσουμε νέα «είδη» χώρων (βλ. εικόνα 97). Αναλυτικότερα, κάθε είδος (***Space Type***) φέρει μαζί του ένα σύνολο πληροφοριών (αποτελεί ας πούμε ένα υπερ-σύνολο) όπως ***Construction Set***, ***Schedule Set***, ***Loads*** κτλ όποτε όταν σε έναν ουδέτερο χώρο ενός κτιρίου αποδίδεται ένα Space Type αυτομάτως αυτός ο χώρος παραλαμβάνει αυτές τις πληροφορίες.

Συγκεκριμένα, αποτελείται από τέσσερις υπο-καρτέλες, την ***General*** (βλ. εικόνα 97), την ***Loads*** (βλ. εικόνα 98), την ***Measure Tags*** (βλ. εικόνα 7.99) και την ***Custom*** (βλ. εικόνα 100).

Στην υπο-καρτέλα ***General*** μπορούμε να αποδώσουμε σε κάποιο ***Space Type*** τα default construction, schedule set που επιθυμούμε εισάγοντας τα μέσω του ***"Drag and Drop"*** .

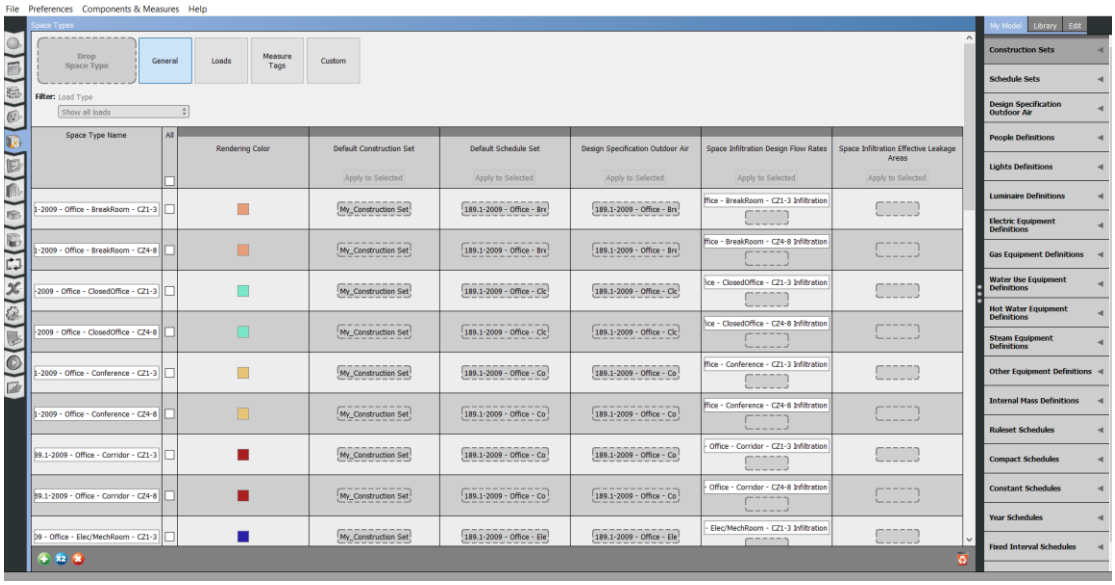
Η υπο-καρτέλα ***Loads*** είναι παρόμοιας φύσεως με αυτήν της ***General*** με την διαφορά ότι αφορά τα φορτία, δηλαδή ορίζονται τι είδους φορτία περιλαμβάνει κάθε είδος χώρου.

Η υπο-καρτέλα ***Measure Tags*** ,αφορά πιο προηγμένο ενεργειακό σχεδιασμό, καθώς επικεντρώνεται σε ορισμένες , ας τις ονοματίσουμε, " λέξεις-κλειδιά" και προσπαθεί να αποτυπώσει πως οι μεταβολές αυτών των στοιχείων επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας στο υπό εξέταση κτίριο.

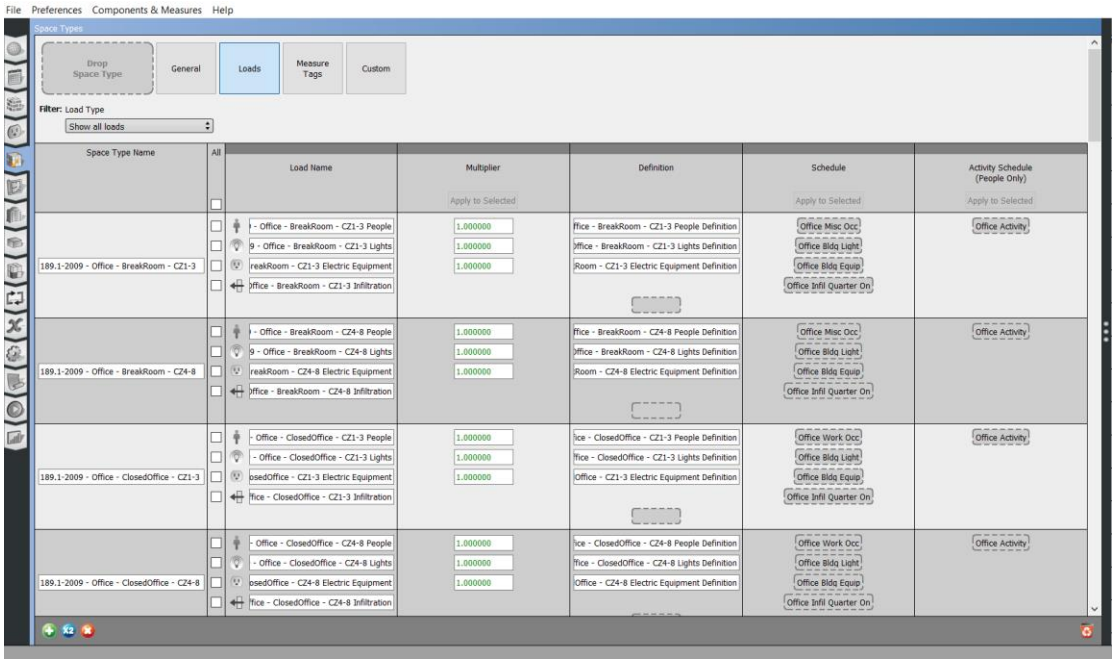
Η υπό-καρτέλα ***Custom*** ενδέχεται να αφορά κάποιο είδος προγραμματισμού.

Εμάς μας αφορούν οι δύο πρώτες υπο-καρτέλες και η μοναδική τροποποίηση που συνέβη είναι η απόδοση σε όλους τους χώρους του My_Construction Set , το οποίο δημιουργήθηκε σε προηγούμενη καρτέλα.

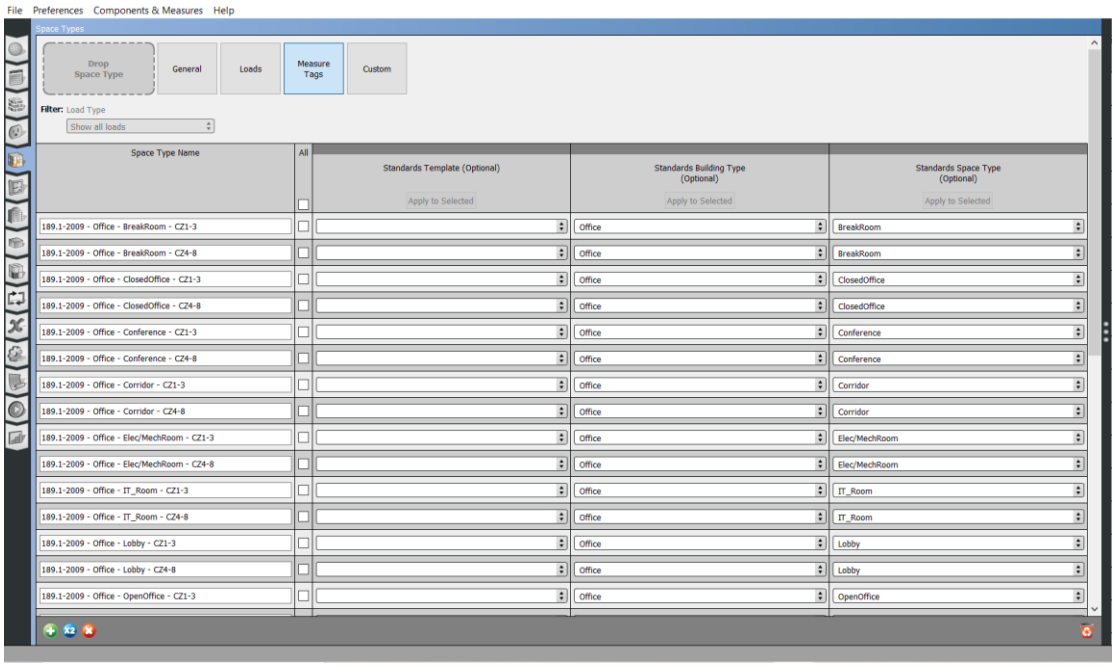
Εικόνα 97. Space Type Tab – Υπο-καρτέλα General



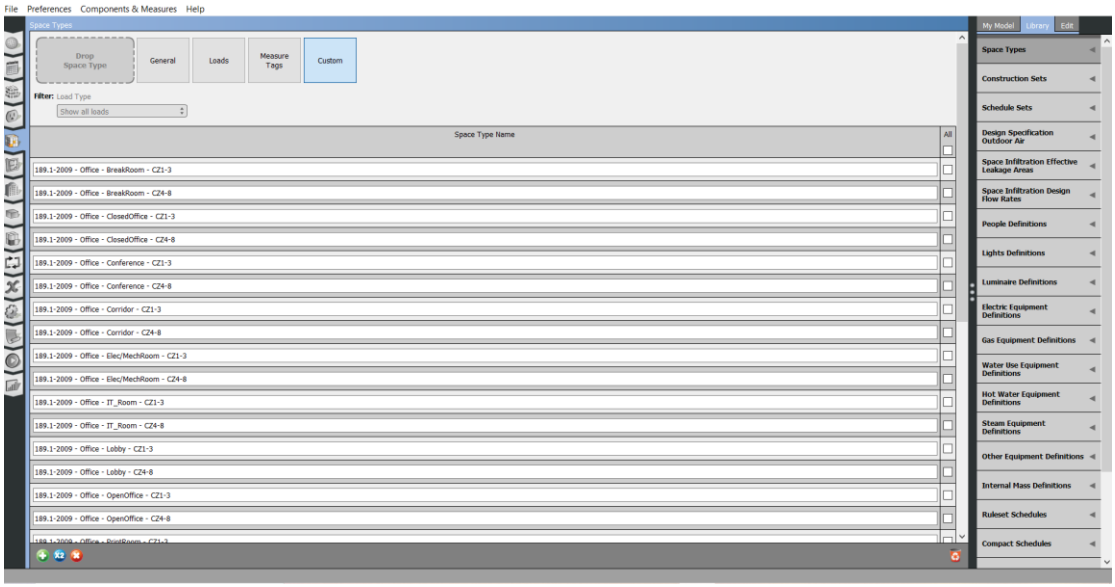
Εικόνα 98. Space Type Tab – Υπο-καρτέλα Loads



Εικόνα 99. Space Type Tab – Υπο-καρτέλα Measure Tags



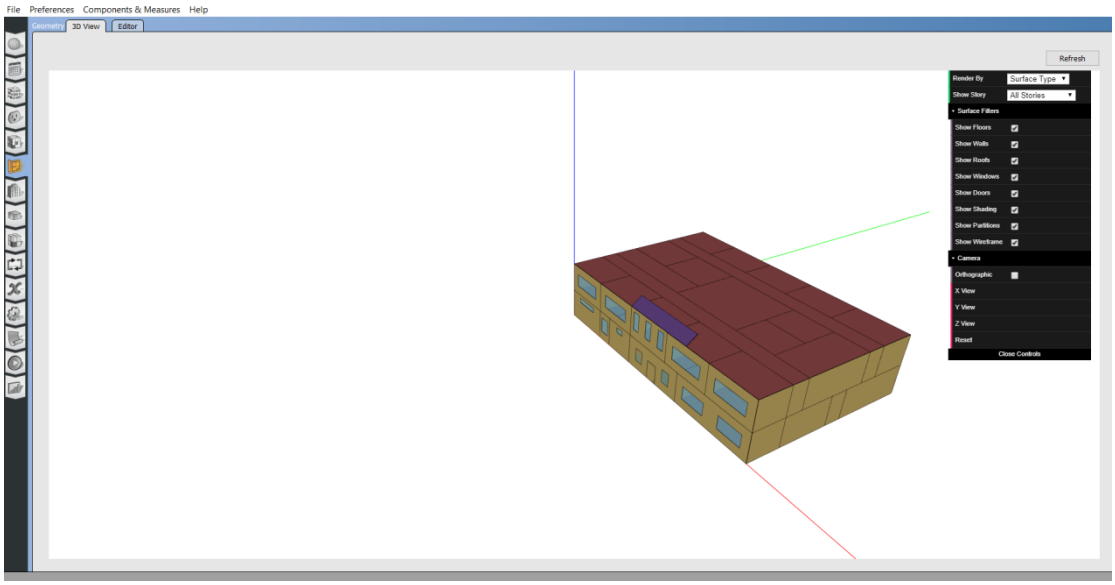
Εικόνα 100. Space Type Tab – Υπο-καρτέλα Custom



7.2.7 Geometry Tab

Αυτή η καρτέλα δίνει την δυνατότητα τρισδιάστατης αναπαράστασης και επεξεργασίας του μοντέλου (βλ. εικόνα 101). Απαρτίζεται από τις υπο-καρτέλες ***3D View*** και ***Editor***. Στην παρούσα διπλωματική η καρτέλα αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου, όμως για λόγους πληρότητας ας αναφέρουμε ότι το ***Editor*** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία ή δημιουργία του κτιρίου αν είχε επιλεχθεί π.χ. το πρόγραμμα **FloorspaceJS** [40].

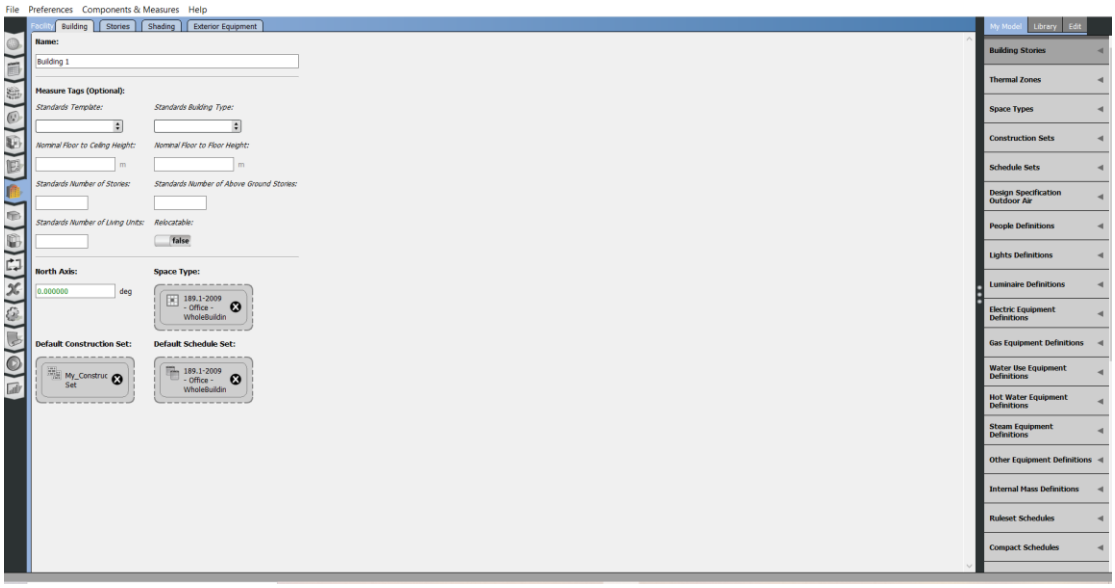
Εικόνα 101. Geometry Tab – Υπο-καρτέλα 3D View



7.2.8 Facility Tab

Αυτή η καρτέλα (βλ. εικόνα 102), η οποία δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου, αποτελείται από τις υπο-καρτέλες ***Building***, ***Stories***, ***Shading*** και ***Exterior Equipment*** και μας παρέχει μια γρήγορη παρουσίαση στοιχείων του μοντέλου μας, όπως ποιο Construction Set θεωρείται default (υπο-καρτέλα ***Building***), τον αριθμό των ορόφων (υπο-καρτέλα ***Stories***), των σκιάσεων του (υπο-καρτέλα ***Shading***) και του εξωτερικού εξοπλισμού π.χ. εξωτερικό φωτισμό (υπο-καρτέλα ***Exterior Equipment***).

Εικόνα 102. Facility Tab – Υπο-καρτέλα Building

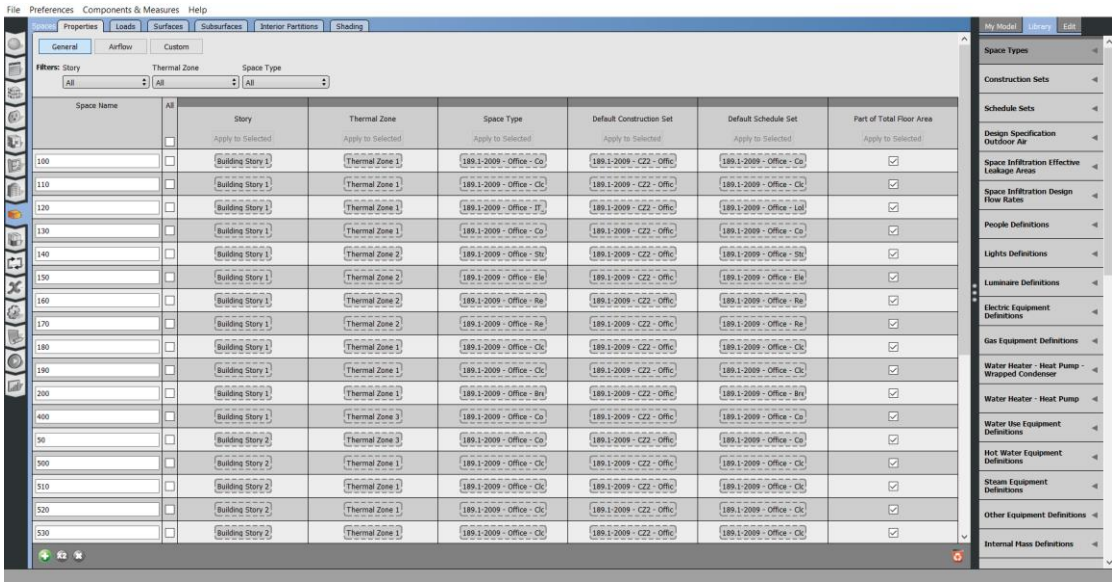


7.2.9 Spaces Tab

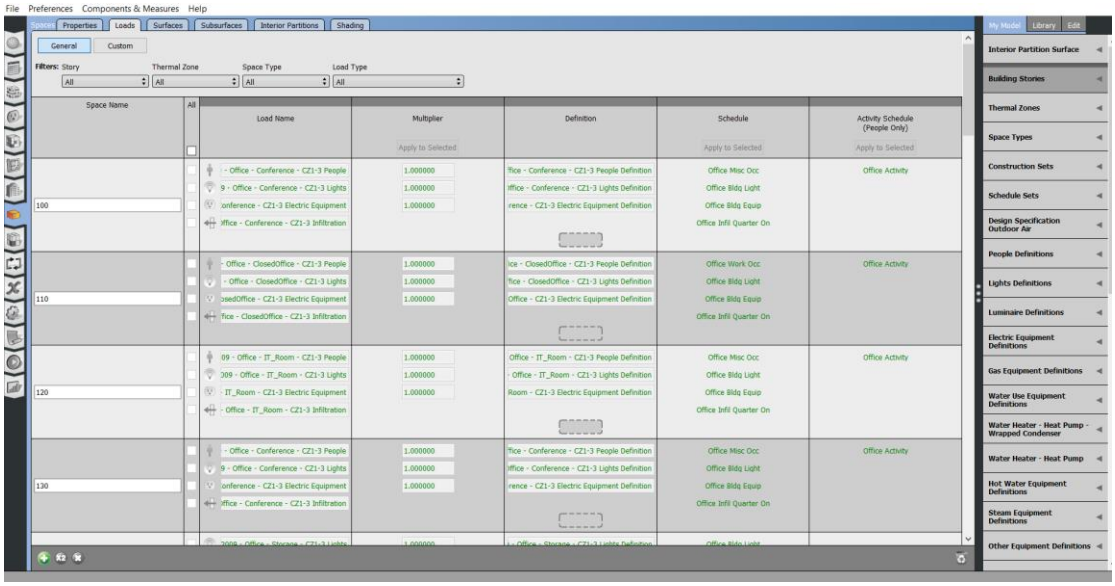
Στην καρτέλα αυτή (βλ. εικόνα 103) μας παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία του κάθε χώρου του κτιρίου. Συγκεκριμένα, στην υπο-καρτέλα ***Properties*** (βλ. εικόνα 103) δίνονται τα ονόματα του κάθε χώρου, ο όροφος στον οποίο ανήκουν, η θερμική ζώνη στην οποία συμπεριλαμβάνονται, το είδος του χώρου που τους έχει αποδοθεί, όπως και ο τύπος της κατασκευής του, το χρονοδιάγραμμα του καθενός. Στην υπο-καρτέλα ***Loads*** (βλ. εικόνα 104) προβάλλεται οποιαδήποτε πληροφορία αφορά τα φορτία του κάθε χώρου, στην υπο-καρτέλα ***Surface*** (βλ.εικόνα 105) αναλύεται κάθε χώρος στις επιφάνειες που τον συνθέτουν και στην υπο-καρτέλα ***Subsurfaces*** (βλ. εικόνα 106) αποδίδεται κάθε είδους παραθύρου και πόρτας στην επιφάνεια που αντιστοιχεί. Εν ολίγοις, είναι αυτή η καρτέλα μια πιο ολοκληρωμένη εκδοχή του Inspector που συναντήσαμε στην σελ.110.

Αυτή η καρτέλα δεν χρειάστηκε επεξεργασίας, καθώς όλα αυτές οι πληροφορίες είχαν συμπληρωθεί σε προηγούμενα στάδια.

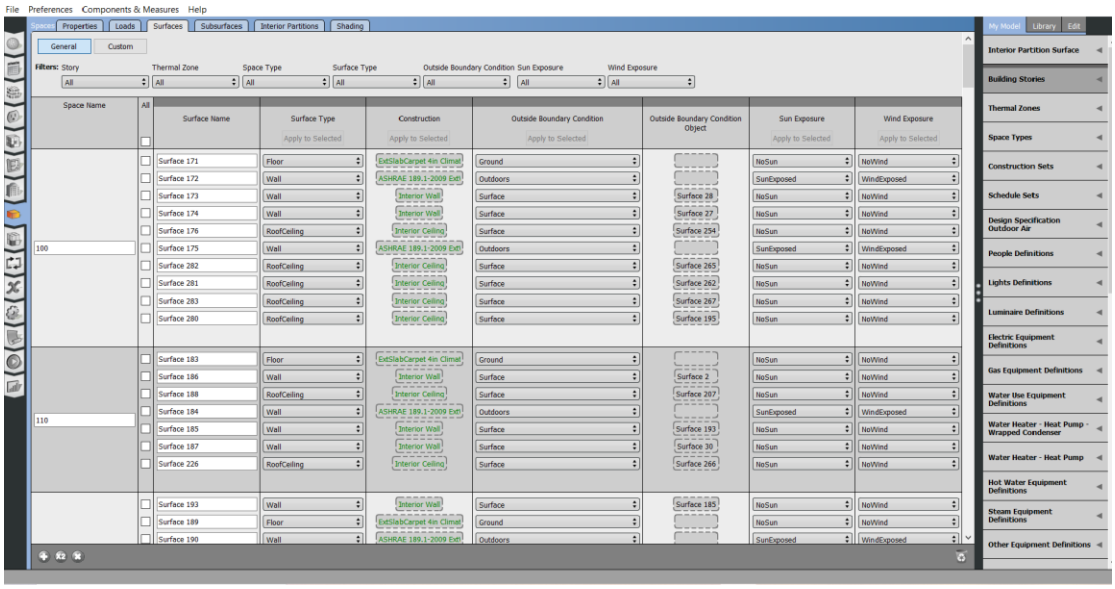
Εικόνα 103. Spaces Tab- Υπο-καρτέλα Properties



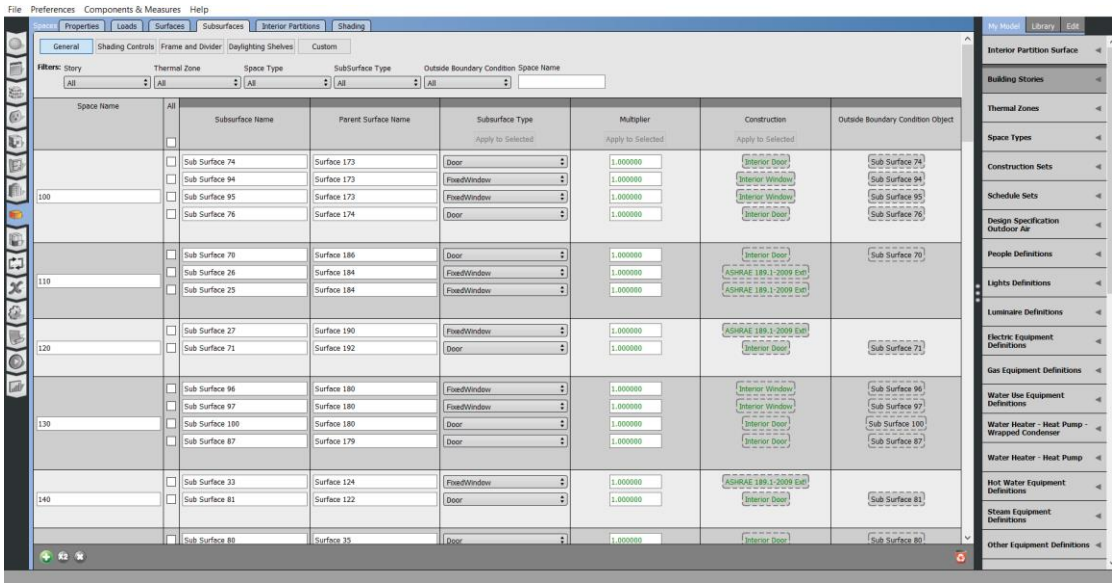
Εικόνα 104. Spaces Tab- Υπο-καρτέλα Loads



Εικόνα 105. Spaces Tab- Υπο-καρτέλα Surfaces



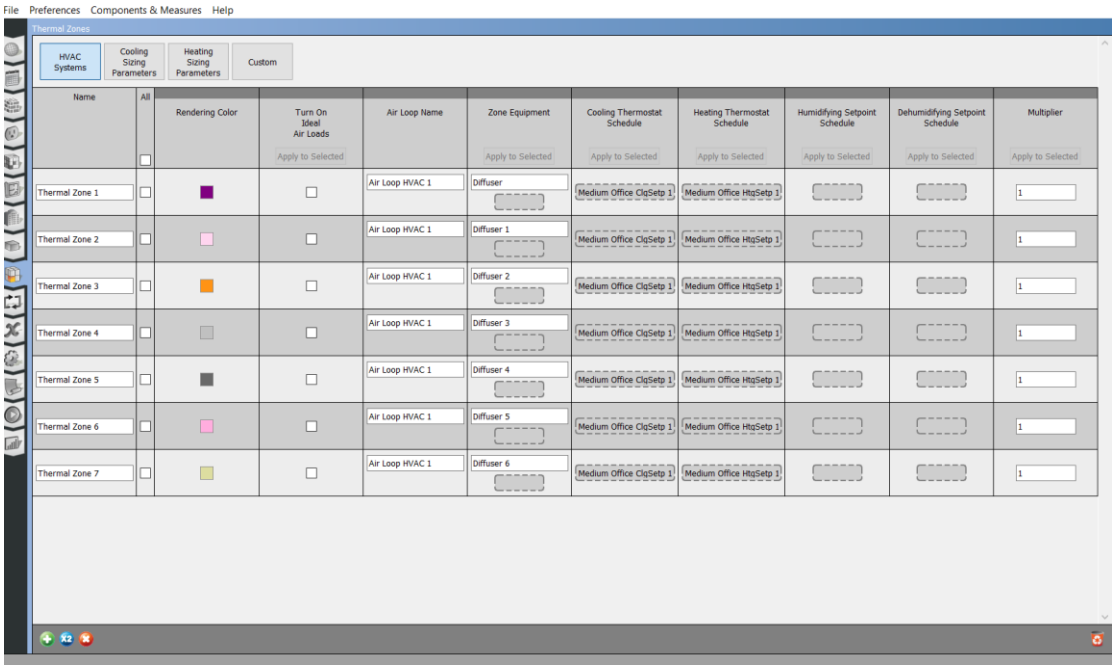
Εικόνα 106. Spaces Tab- Υπο-καρτέλα Subsurfaces



7.2.10 Thermal Zones Tab

Σε αυτήν την καρτέλα (βλ. εικόνα 107) καθορίζεται το σύστημα κλιματισμού που θα τροφοδοτεί την εκάστοτε θερμική ζώνη. Αυτό, όπως θα δούμε, συμπληρώνεται αναδρομικά (τα στοιχεία ***Air Loop Name*** και ***Zone Equipment*** αφήνονται κενά σε αυτή την καρτέλα και συμπληρώνονται αυτόματα όταν σχεδιασθεί το σύστημα HVAC στην επόμενη), και επιλέγονται τα χρονοδιαγράμματα των θερμοστατών που αφορούν την ψύξη και την θέρμανση. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα ενεργοποίησης της εντολής ***Ideal Air Loads***, η οποία μας δίνει τη δυνατότητα να τρέξουμε την προσομοίωση χωρίς τον σχεδιασμό οποιουδήποτε συστήματος HVAC, το αποτέλεσμα της οποίας συνιστά τις καθαρές απαιτήσεις του κάθε χώρου ξεχωριστά αλλά και του κτιρίου συνολικά σε ενέργεια.

Εικόνα 107. Thermal Zones Tab



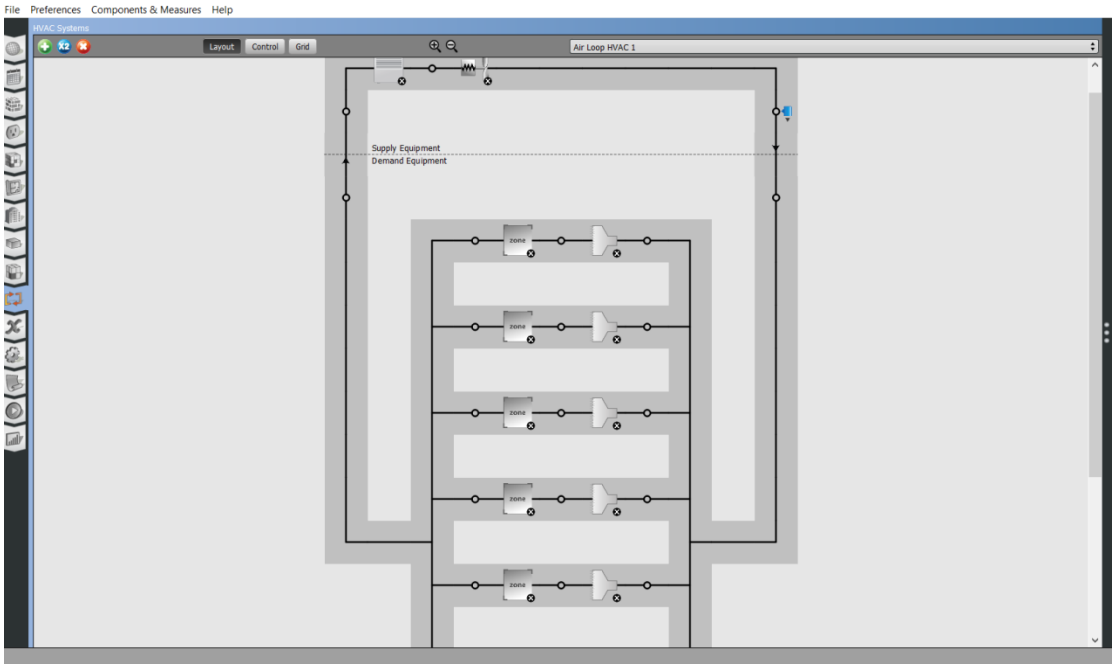
7.2.11 HVAC Tab

Σε αυτή την καρτέλα σχεδιάσαμε το σύστημα HVAC του μοντέλου μας (βλ. εικόνα 108), δηλαδή της αντλίας θερμότητας νερού-αέρα του κτιρίου.

Συγκεκριμένα, προσθέτουμε ένα ***Empty Air Loop***, στο οποίο τοποθετούμε τις Thermal Zones και Diffuser για κάθε μία θερμική ζώνη στο ***Demand Equipment***. Η εισαγωγή των θερμικών ζωνών γίνεται μέσω “Drag and Drop” ακολουθώντας την διαδρομή ***My Model/Thermal Zone*** ενώ η εισαγωγή του Diffuser γίνεται μέσω της διαδρομής ***Library/Air Terminal Single Duct Constant Volume***.

Στο ***Supply Equipment*** προσθέτουμε ένα Unitary-WaterToAir Heat Pump-Cycling-Elec reheat ακολουθώντας την διαδρομή ***Library/AirLoopHVAC Unitary System*** , ένα Variable Speed Fan μέσω της διαδρομής ***Library/Fan Variable Volume*** και έναν αισθητήρα Single Zone Reheat μέσω της διαδρομής ***Library/Setpoint Manager Single Zone Reheat*** . Επιλέγοντας τον αισθητήρα ***Single Zone Reheat*** πηγαίνουμε στην υπο-καρτέλα ***Edit*** και στο πεδίο Minimum Supply Air Temperature συμπληρώνουμε 14 C^o , στο ***Maximum Supply Air Temperature*** συμπληρώνουμε 35 C^o και στο πεδίο ***Control Zone Name*** επιλέγουμε Thermal Zone 1 , η οποία επιλογή πρέπει να είναι ίδια με την αντίστοιχη , στην υπο-καρτέλα Edit, για το ***Single Zone Reheat***.

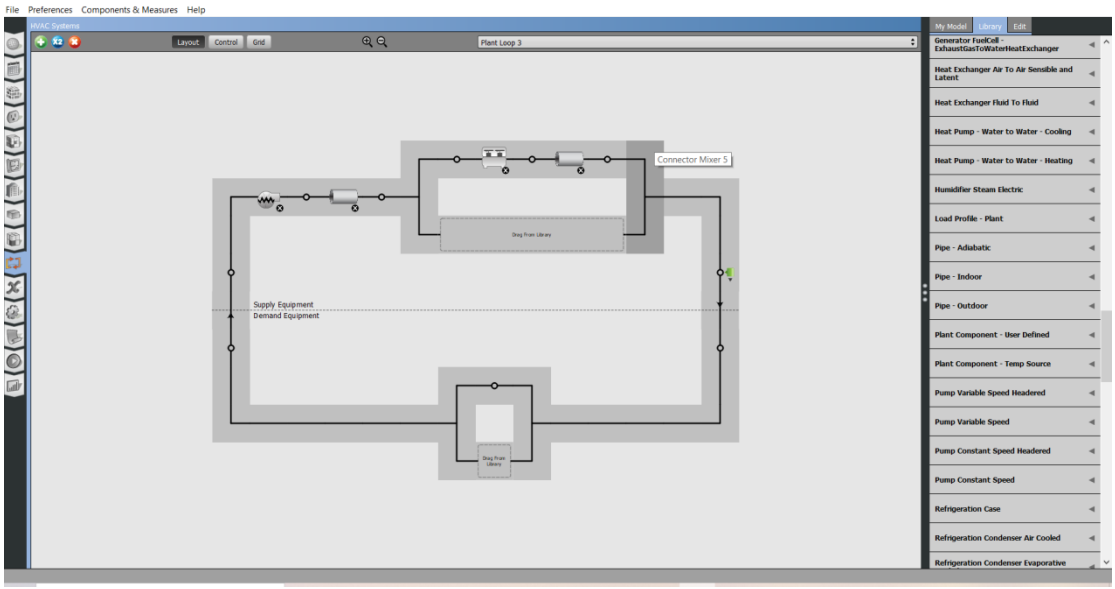
Εικόνα 108. Καρτέλα HVAC – Κύκλωμα αέρα κτιρίου



Έχοντας δημιουργήσει το παραπάνω κύκλωμα, εισάγουμε δύο "***Empty Plant Loop***", το πρώτο θα αποτελέσει το κύκλωμα του νερού ψύξης της αντλίας θερμότητας και το δεύτερο το κύκλωμα του ζεστού νερού.

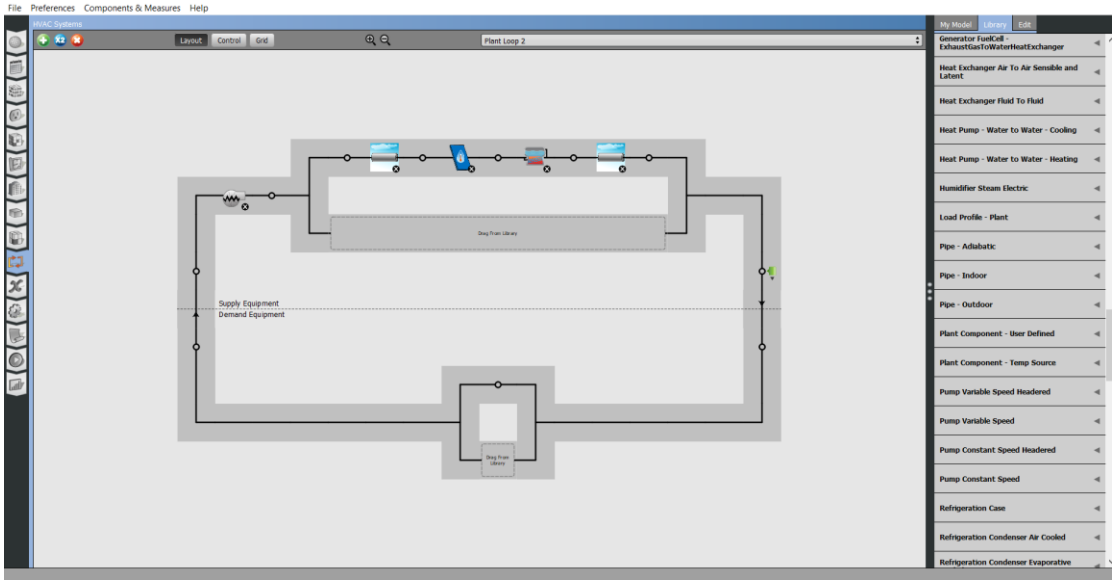
Όσον αφορά το πρώτο κύκλωμα (βλ. εικόνα 109) εισάγουμε στο ***Supply Equipment*** μια αντλία μεταβλητών στροφών μέσω της διαδρομής ***Library/Pump Variable Speed***, έναν Chiller Air Cooled μέσω της διαδρομής ***Library/Chiller Electric-EIR*** και έναν αισθητήρα Scheduled CHW Temp μέσω της διαδρομής ***Library/Setpoint Manager Scheduled***. Επίσης προσθέτηκαν δύο αδιαβατικοί σωλήνες μέσω της διαδρομής ***Library/Pipe – Adiabatic***.

Εικόνα 109. Κύκλωμα νερού ψύξης της αντλίας αέρα-νερού



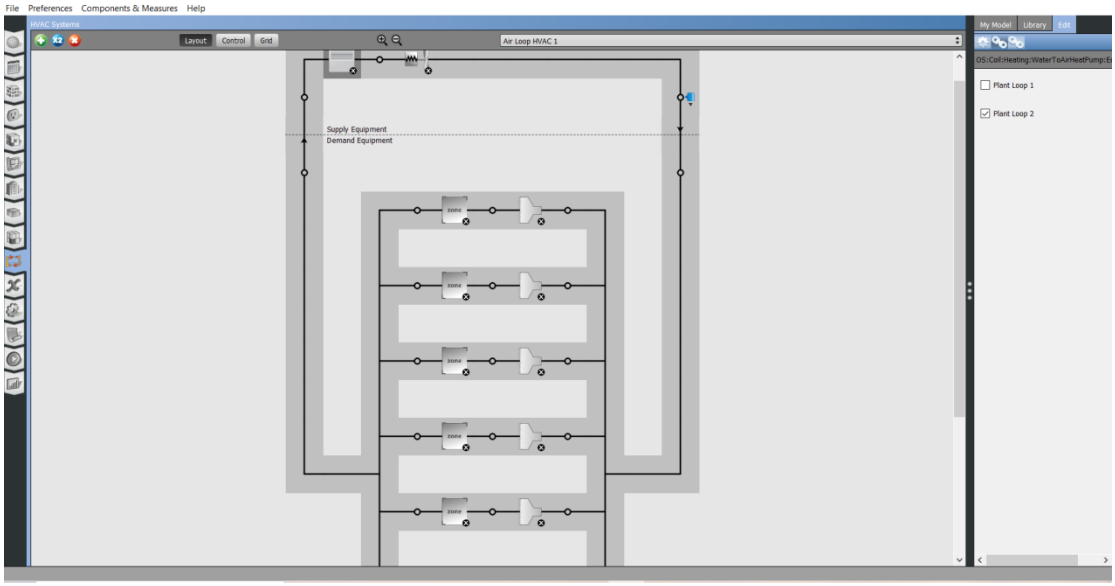
Στο δεύτερο κύκλωμα (βλ. εικόνα 110) εισάγουμε στο ***Supply Equipment*** μια αντλία μεταβλητών στροφών μέσω της διαδρομής ***Library/Pump Variable Speed***, τους ηλιακούς συλλέκτες μέσω της διαδρομής ***Library/Solar Collector Flat Plate Water***, έναν Boiler μέσω της διαδρομής ***Library/Boiler Hot Water***, έναν αισθητήρα Scheduled HW Temp μέσω της διαδρομής ***Library/Setpoint Manager Scheduled*** και τέλος προσθέτουμε εξωτερικούς σωλήνες μέσω της διαδρομής ***Library/Pipe-Outdoor***. Επίσης, απαιτούνται δύο επεξεργασίες, η μία αφορά το ***Solar Collector Flat Plate Water*** όπου στην υπο-καρτέλα ***Edit*** επιλέγουμε την Shading Surface 1 και στο πεδίο ***Gross Area*** συμπληρώνουμε το εμβαδόν των ηλιακών συλλεκτών μας και η δεύτερη αφορά το ***Boiler Hot Water*** όπου στην υπο-καρτέλα ***Edit*** στο ***Fuel Type*** επιλέγουμε ***Electricity***.

Εικόνα 110. Κύκλωμα ζεστού νερού της αντλίας αέρα - νερού

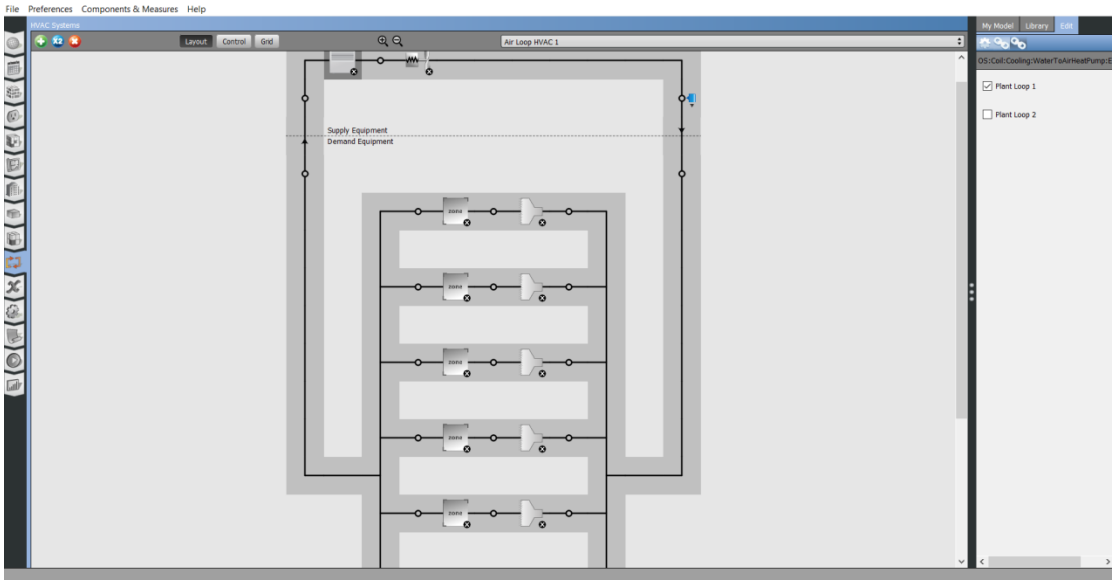


Μετά το πέρας του σχεδιασμού των δύο παραπάνω κυκλωμάτων, απομένει να προστεθούν τα στοιχεία του Demand Equipment όπου θα εισαχθούν στο καθένα μέσω του στοιχείου ***Unitary-WaterToAir Heat Pump-Cycling-Elec reheat*** το οποίο είναι τοποθετημένο στο ***Air Loop HVAC 1*** . Συγκεκριμένα, επιλέγουμε το ***Unitary-WaterToAir Heat Pump-Cycling-Elec reheat*** και στην υπο-καρτέλα ***Edit*** επιλέγουμε την πρώτη αλυσίδα (με το όνομα ***OS:Coil:Heating:WaterToAirHeatPump:Equation Fit***) όπου θα επιλεχθεί το Plant Loop 2 που αφορά την θέρμανση (βλ. εικόνα 111) ενώ στην δεύτερη αλυσίδα (με το όνομα ***OS:Coil:Cooling:WaterToAirHeatPump:Equation Fit***) επιλέγεται το Plant Loop 3 που αφορά την ψύξη (βλ. εικόνα 112).

Εικόνα 111. Παράθυρο «Σύνδεσης» UnitaryToAir Heat Pump (α)

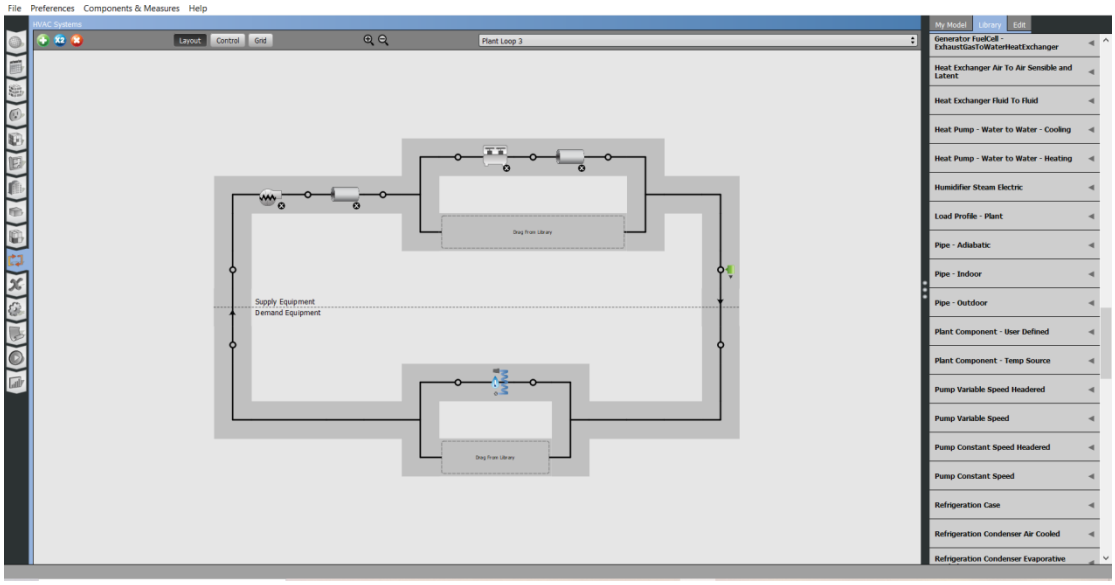


Εικόνα 112. Παράθυρο «Σύνδεσης» UnitaryToAir Heat Pump (β)

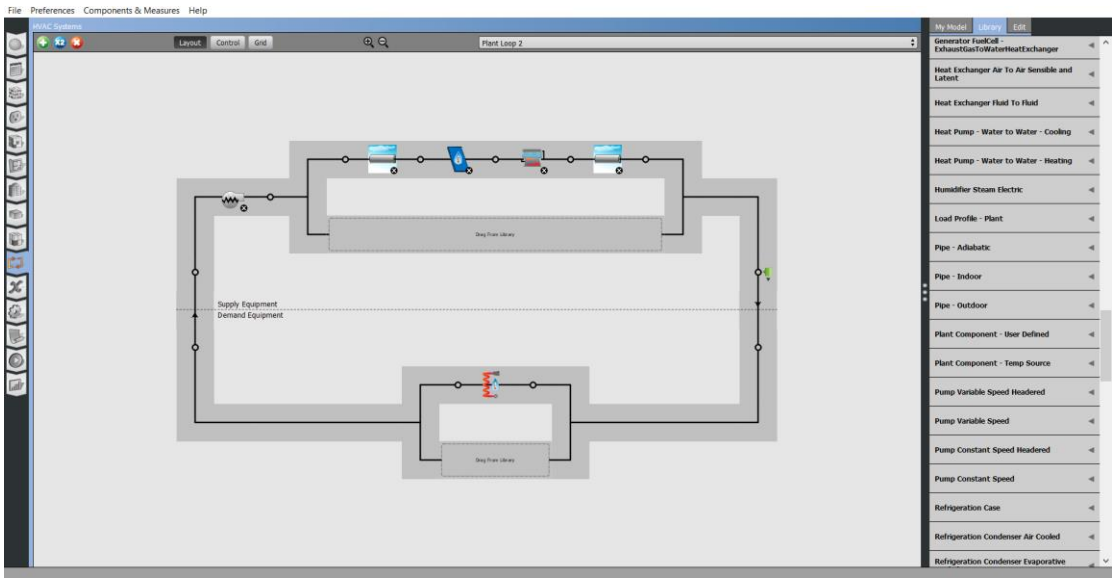


Έχοντας ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία , τα κυκλώματα της ψύξης και θέρμανσης εμφανίζονται με τον παρακάτω τρόπο :

Εικόνα 113. Ολοκληρωμένο κύκλωμα νερού ψύξης της αντλίας θερμότητας νερού-αέρα



Εικόνα 114. Ολοκληρωμένο κύκλωμα νερού θέρμανσης της αντλίας θερμότητας νερού-αέρα

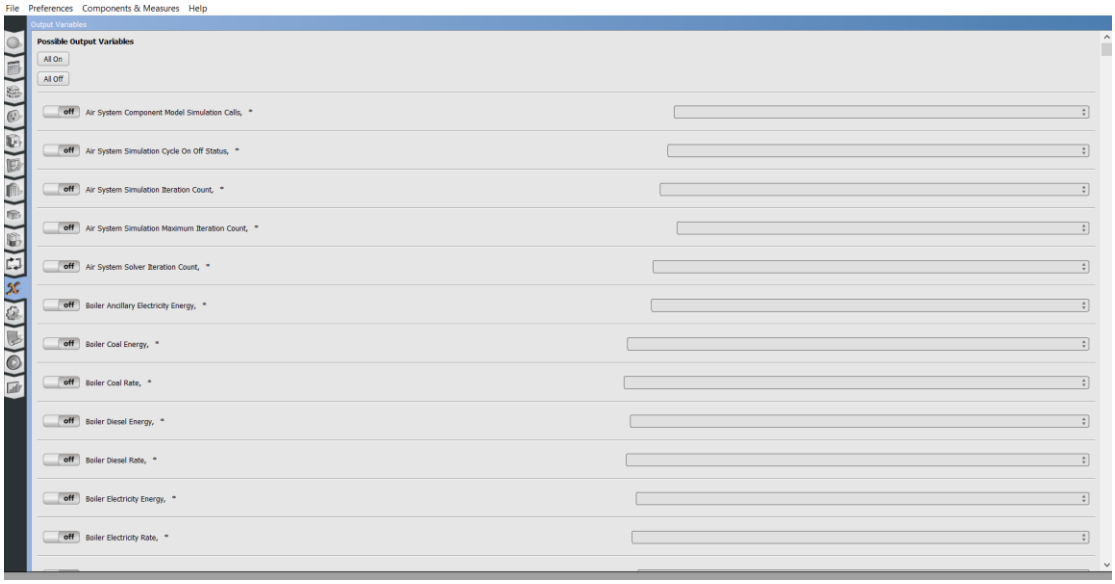


7.2.12 Output Variables Tab

Σε αυτή την καρτέλα (βλ. εικόνα 115) ορίζουμε ποιά αποτελέσματα το πρόγραμμα επιθυμούμε να μας υπολογίσει και ποια όχι.

Σε αυτή την καρτέλα δεν έγινε καμία αλλαγή.

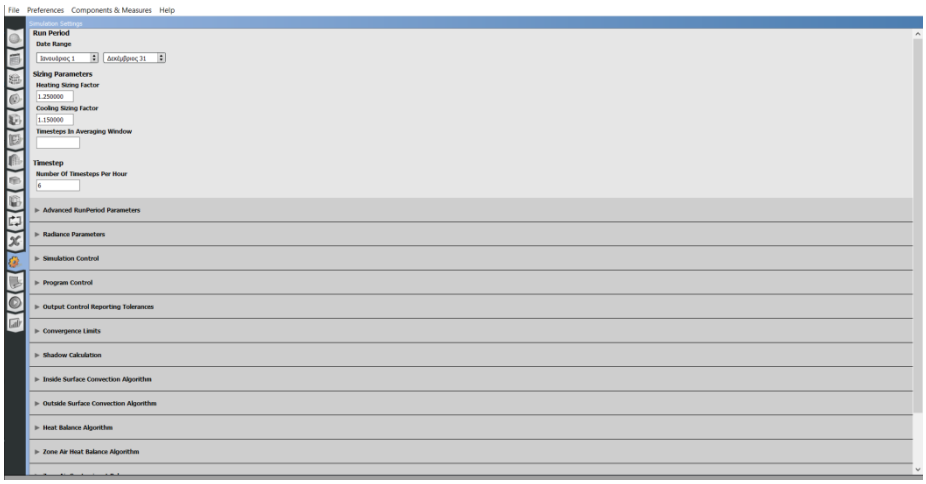
Εικόνα 115. Output Variables Tab



7.2.13 Settings Tab

Σε αυτή την καρτέλα (βλ. εικόνα 116) μπορούμε να επιλέξουμε τον αριθμό των πυρήνων του επεξεργαστή που θα χρησιμοποιηθούν για την λειτουργία της προσομοίωσης, το χρονικό βήμα των μετρήσεων και άλλες παραμέτρους. Σε αυτή την καρτέλα δεν έγινε καμία αλλαγή στις προκαθορισμένες τιμές.

Εικόνα 116. Settings Tab

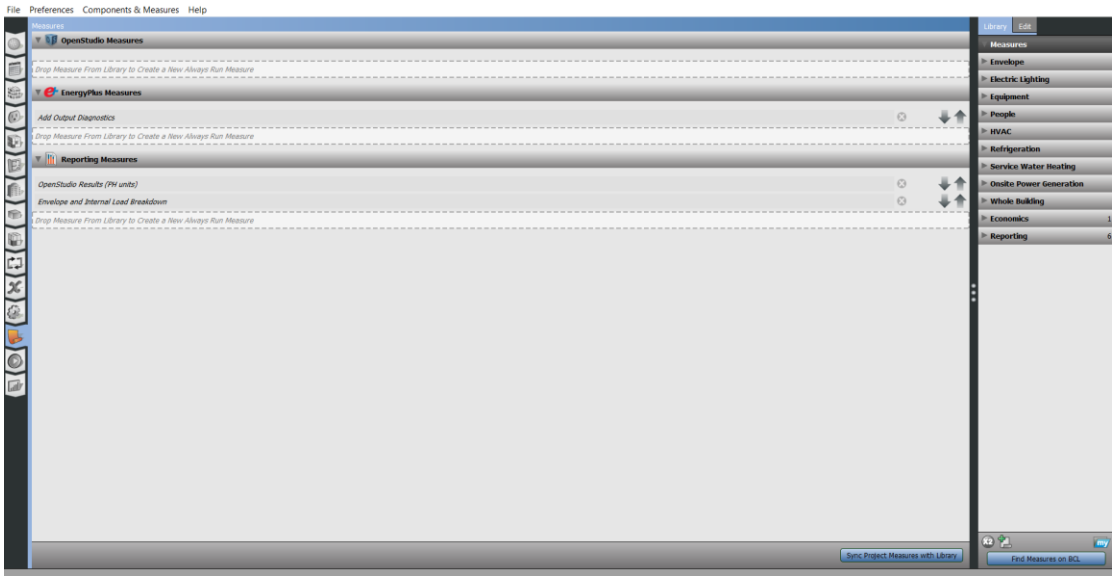


7.2.14 Measures Tab

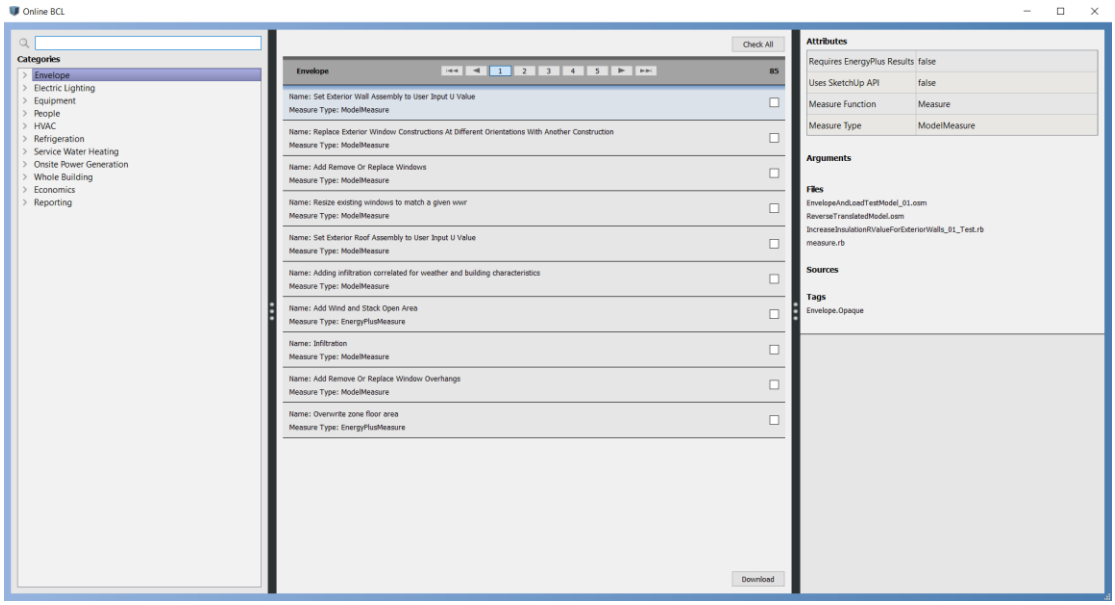
Αυτή η καρτέλα (βλ. εικόνα 117) δίνει τη δυνατότητα να προστεθούν στο πρόγραμμα πρόσθετες μετρήσεις τις οποίες επιθυμούμε να εκτελέσει το OpenStudio. Αυτές τις νέες μετρήσεις που ονομάζονται Measures μπορεί να της δημιουργήσει ο χρήστης ή να χρησιμοποιήσει έτοιμες, οι οποίες εντοπίζονται και εισάγονται μέσω της BCL Library (βλ. εικόνα 118) εκτελώντας την εντολή ***Find Measures on BCL***.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο ***Measures***, ένα για το EnergyPLus και δύο για το OpenStudio. Για το OpenStudio εισάχθηκε μέσω " ***Drag and Drop*** " το measure ***OpenStudio Results*** για την γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του EnergyPlus και το measure **Envelope and Internal Load Breakdown**, το οποίο μας παρουσιάζει τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές απώλειες του κτιρίου. Για το EnergyPlus εισάχθηκε το measure ***Add Output Diagnostics***, το οποίο μας παρουσιάζει αναλυτικά οποιοδήποτε σφάλμα ή ενδεχόμενο λάθος, αφού τρέξει η προσομοίωση, το οποίο ενδέχεται να παρουσιαστεί. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που τρέξει η προσομοίωση αλλά αποτύχει, καθώς υπάρχει κάποιο σοβαρό σφάλμα (τα σφάλματα στο EnergyPLus διακρίνονται σε Warnings, Severe και Fatal, τα οποία και προκαλούν τον άμεσο τερματισμό του προγράμματος) μας βοηθά να εντοπίσουμε που βρίσκεται το λάθος διαφορετικά θα μας έλειπε οποιοσδήποτε μίτος . Π.χ. η διόρθωση στη σελ. Z για τις Non-convex surfaces προήλθε από την ένδειξη αυτού του measure.

Εικόνα 117. Measures Tab



Εικόνα 118. Παράθυρο BCL Library



7.2.15 Run Simulation Tab

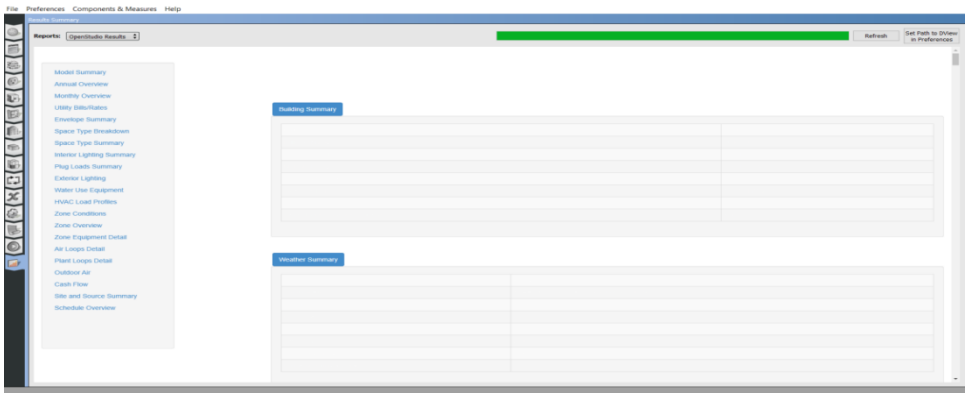
Σε αυτή την καρτέλα γίνεται η έναρξη της προσομοίωσης.

7.2.16 Results Summary

Σε αυτήν την καρτέλα γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Να σημειώσουμε ότι υπάρχει το ενδεχόμενο , αφού έχει ολοκληρωθεί ομαλώς η προσομοίωση, να εμφανιστεί η καρτέλα Results Summary κενής αποτελεσμάτων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Εικόνα 119. Results Summary



Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα βρίσκονται στον φάκελο που έχουμε αποθηκεύσει το *.osm μέσω της διαδρομής */reports.

8. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Αποτελέσματα αρχικού μοντέλου

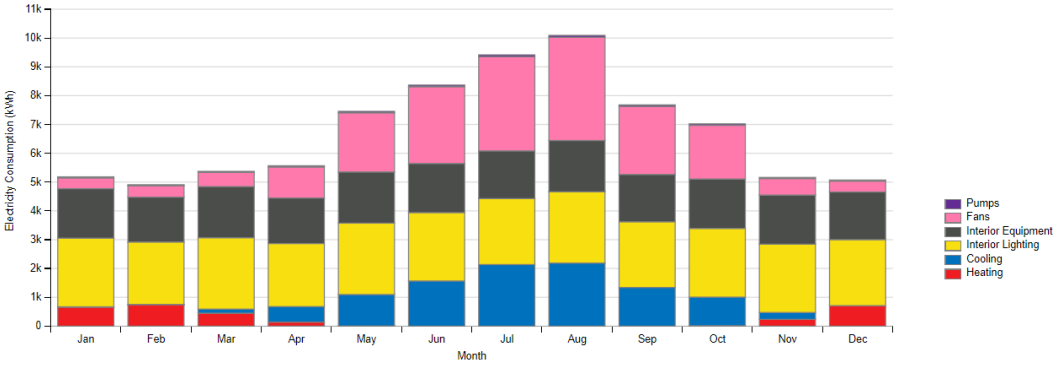
Από την ολοκλήρωση της προσομοίωσης του μοντέλου προέκυψαν τα εξής στοιχεία :

Εικόνα 120. Πίνακας Building Summary

Building Name	Building 1
Total Site Energy	81,294 kWh
Net Site Energy	76,314 kWh
Total Building Area	1,200 m^2
Total Site EUI	67.75 kWh/m^2
Net Site EUI	63.59 kWh/m^2

Βλέπουμε ότι η ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου είναι στις **81294 kWh** και η συνολική «ένταση ενεργειακής κατανάλωσης» (Energy Use Intensity) είναι **στις 67.75 kWh/m^2** . Τα αποτελέσματα δεν ανταποκρίνονται στην ιδανική κατάσταση ενός παθητικού κτιρίου. Όμως θεωρούνται ικανοποιητικά, καθώς σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ένα απλό μοντέλο αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα και καλές μονώσεις στους εξωτερικούς τοίχους και στην εξωτερική οροφή, παράμετροι οι οποίοι δύνανται να βελτιωθούν. Παράλληλα, η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα εγκαταστημένα φωτοβολταϊκά είναι **5083.33 kWh**.

Εικόνα 121. Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου



Παρατηρούμε, στην εικόνα 121 ότι τα μεγαλύτερα φορτία ψύξης εμφανίζονται τους θερινούς μήνες, ενώ τα μεγαλύτερα φορτία θέρμανσης τους χειμερινούς, όπως ήταν και το λογικό. Οι καταναλώσεις του εξοπλισμού του κτιρίου παραμένουν σταθερές και μικρές κατά τη διάρκεια του έτους, όπως και σταθερές μένουν και οι καταναλώσεις του εσωτερικού φωτισμού και των αντλιών. Αντιθέτως, στους ανεμιστήρες βλέπουμε συχνές μεταβολές κατά την διάρκεια του έτους στις καταναλώσεις τους. Βέβαια, οι καταναλώσεις των ανεμιστήρων είναι αρκετά υψηλές, το οποίο εξηγείται από το γεγονός ότι έχουμε δημιουργήσει ένα μοναδικό Air Loop που θα ικανοποιεί όλο τις θερμικές ζώνες και ενδεχομένως ο βαθμός απόδοσης του ανεμιστήρα να είναι χαμηλός.

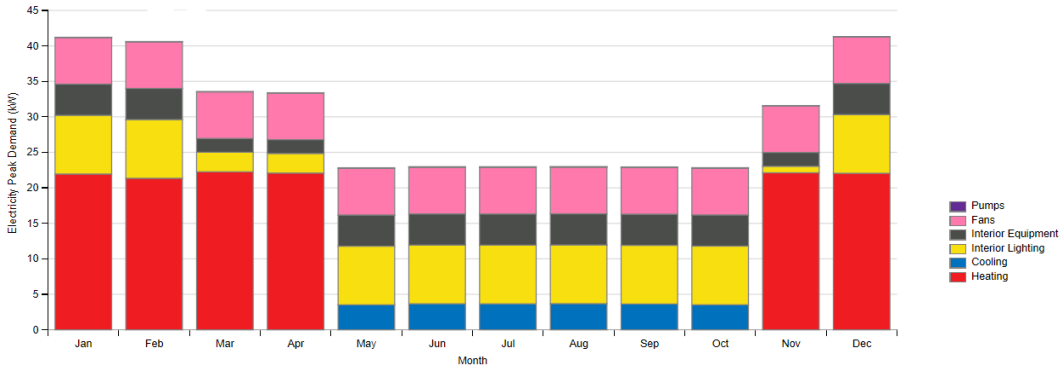
Αναλυτικότερα, οι ετήσιες καταναλώσεις κάθε τομέα ,δηλαδή του φωτισμού, των αντλιών της θέρμανσης, της ψύξης και του εσωτερικού εξοπλισμού του κτιρίου φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

Εικόνα 122. Μηνιαίες καταναλώσεις ανά «τομέα»

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	658.94	747.91	448.68	140.1	6.3					13.81	233.87	710.47	2960.08
Cooling	11.38	6.27	142.01	539.13	1090.78	1567.58	2136.4	2188.56	1341.42	993.12	238.23		10254.88
Interior Lighting	2384.09	2165.35	2476.92	2187.41	2476.92	2373.06	2291.26	2476.92	2280.23	2384.09	2373.06	2291.26	28160.56
Exterior Lighting													
Interior Equipment	1716.44	1558.27	1777.95	1581.71	1777.95	1704.73	1654.93	1777.95	1643.22	1716.44	1704.73	1654.93	20269.26
Exterior Equipment													
Fans	373.37	395.8	487.84	1074.78	2050.62	2664.49	3268.61	3582.44	2360.7	1862.33	571.88	377.18	19070.04
Pumps	37.55	33.85	39.34	43.86	52.91	57.39	65.45	66.39	54.49	51.38	39.59	37.4	579.6

Το επόμενο διάγραμμα , το οποίο θα κοιτάξουμε, είναι αυτό της “Electricity Peak Demand”.

Εικόνα 123. Διάγραμμα “ Electricity Peak Demand “

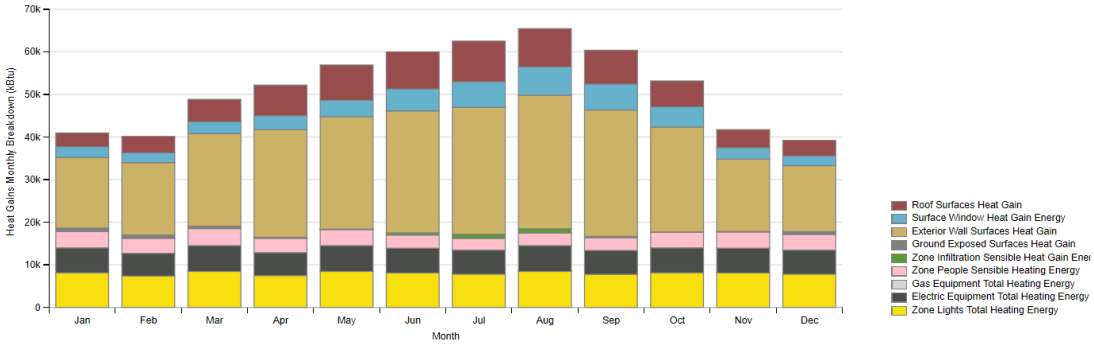


Βλέπουμε ότι οι απαιτήσεις ψύξης αυξάνονται την θερινή περίοδο και αυτές της θέρμανσης τη χειμερινή περίοδο, όπως ήταν αναμενόμενο. Επίσης, παρατηρούμε ότι οι ανεμιστήρες καταναλώνουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ο εσωτερικός εξοπλισμός παραμένει περίπου σταθερός. Βέβαια, κοιτάζοντας το διάγραμμα θα δούμε κάτι το παράδοξο · το μοντέλο μας έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις για φωτισμό τους καλοκαιρινούς μήνες από τους χειμερινούς. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρόγραμμα δεν «αναγνωρίζει» την διάχυτη ακτινοβολία που υπάρχει στο χώρο λόγω της υψηλότερης θέσης του

ηλίου εκείνη την περίοδο και έτσι «εικάζει» ότι το φως είναι μειωμένο και θεωρεί ότι τα φώτα είναι ανοιχτά.

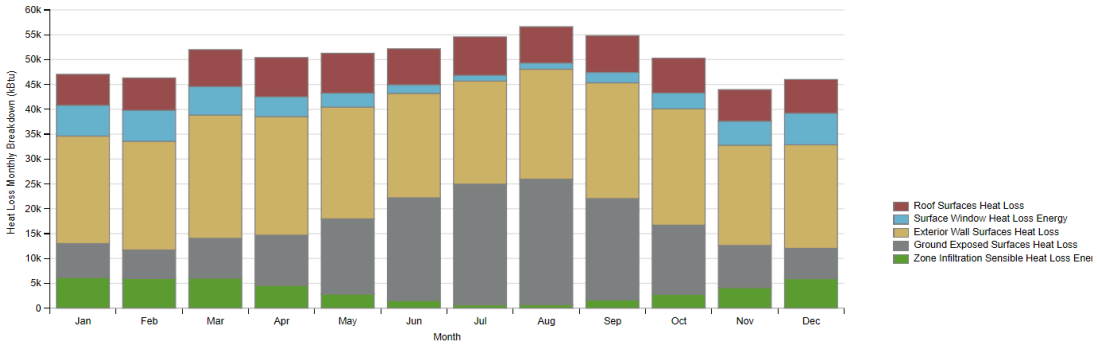
Τέλος , θα κοιτάξουμε τα αποτελέσματα του “ Envelope and Internal Load Breakdown.

Εικόνα 124. Διάγραμμα Θερμικών Κερδών



Παρατηρούμε, ότι το υψηλότερο θερμικό κέρδος μας το παρέχουν οι εξωτερικοί τοίχοι. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, καθώς όντας σε επαφή με τον εξωτερικό περιβάλλοντα αέρα πρέπει να φροντίζουν να εμποδίζουν την προσφερόμενη θερμότητα για θέρμανση να διαφεύγει του κελύφους ,όπως και κατά την ψύξη να εμποδίζουν τον εξωτερικό αέρα να προσδίδει θερμότητα στον χώρο. Μετά τους εξωτερικούς τοίχους υψηλό θερμικό κέρδος μας προσφέρουν ο εσωτερικός φωτισμός, η εξωτερική οροφή και ο ηλεκτρικός εξοπλισμός.

Εικόνα 125. Διάγραμμα Θερμικών Απωλειών



Βλέπουμε, ότι οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν τις υψηλότερες θερμικές απώλειες , πρέπει να χρησιμοποιηθεί καλύτερη μόνωση. Επίσης, το δάπεδο του Ισογείου παρουσιάζει πολύ υψηλές θερμικές απώλειες.

8.2 Παραμετρικές Μελέτες

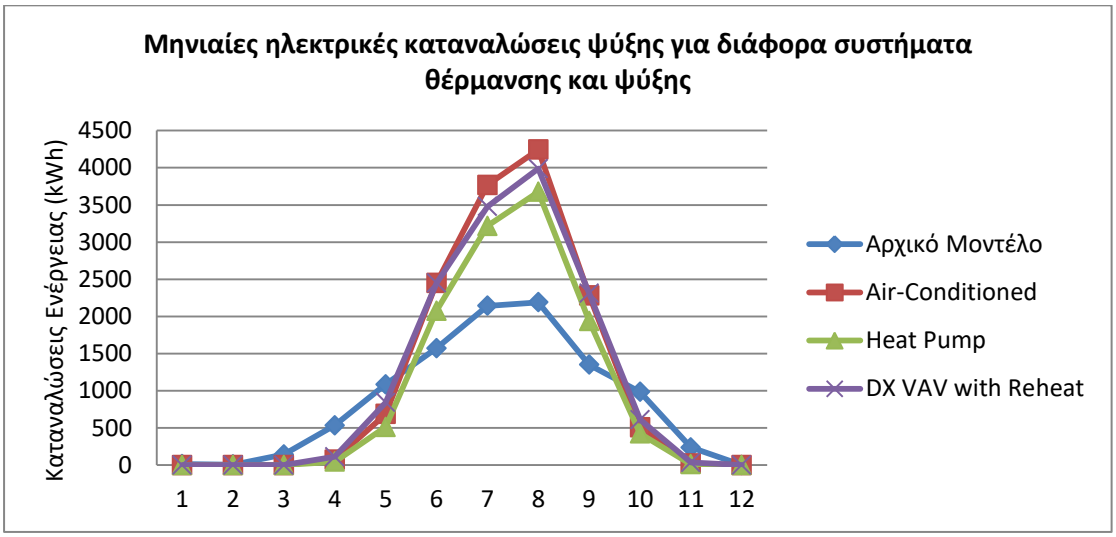
8.2.1 Παραμετρική Μελέτη 1: Εξέταση διάφορων συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού

Στην πρώτη παραμετρική μελέτη εξετάζεται η συμπεριφορά των ηλεκτρικών καταναλώσεων του κτιρίου μας για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού. Συγκεκριμένα εξετάζονται συγκριτικά με το μοντέλο μας οι εξής περιπτώσεις :

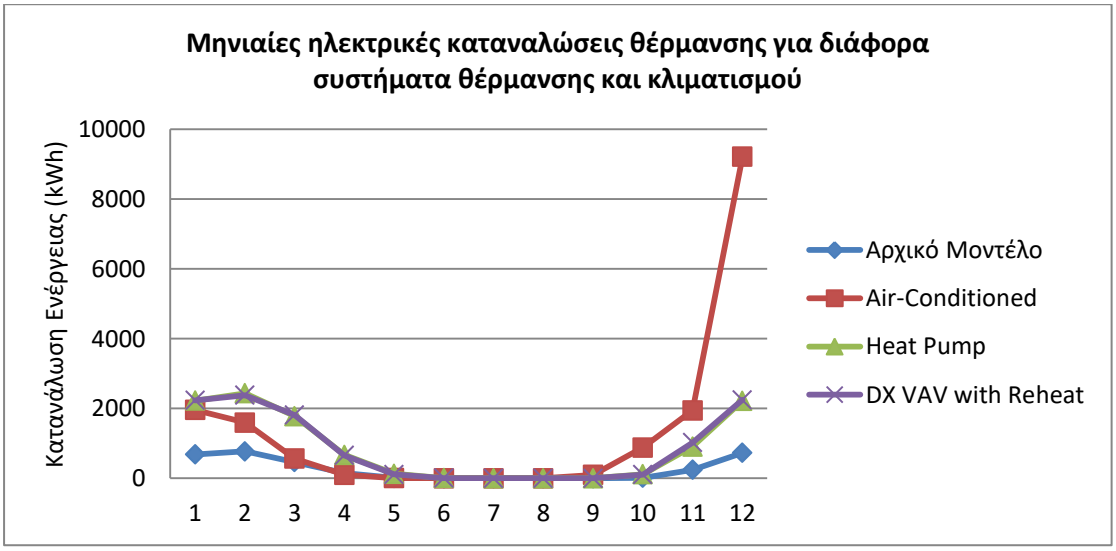
- Συσκευασμένο Κλιματιστικό Οροφής (Packaged Rooftop Air Condition)
- Αντλία Θερμότητας αέρα-αέρα Οροφής (Packaged Rooftop Heat Pump)
- Σύστημα Μεταβλητού Όγκου Αέρα , άμεσης Εκτόνωσης και Αναθέρμανσης (Packaged Rooftop DX VAV with Reheat)

Τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

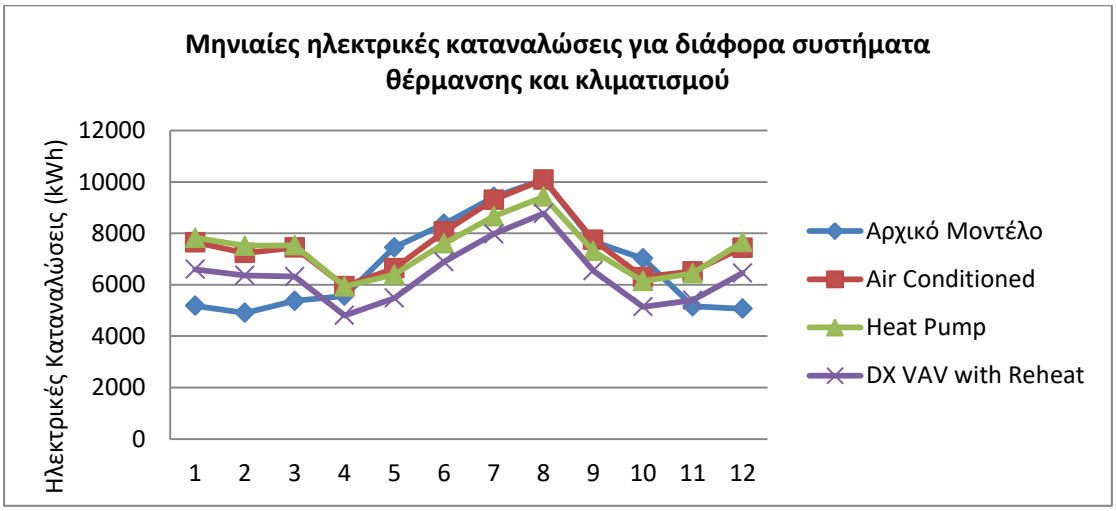
Διάγραμμα 1. Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις ψύξης για διάφορα συστήματα θέρμανσης και ψύξης.



Διάγραμμα 2. Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις θέρμανσης για διάφορα συστήματα θέρμανσης και ψύξης.



Διάγραμμα 3. Ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για διάφορα συστήματα θέρμανσης και ψύξης.



Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι το καλύτερο σύστημα αποτελεί το σύστημα Σύστημα Μεταβλητού Όγκου Αέρα , άμεσης Εκτόνωσης και Αναθέρμανσης (Packaged Rooftop DX VAV with Reheat) , καθώς έχεις τις μικρότερης ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας (**76771.77 kWh**). Επίσης, βλέπουμε ότι την περίοδο των χειμερινών μηνών το ήδη υπάρχων σύστημα του μοντέλου είναι το πιο αποτελεσματικό συγχρόνως με την εγκατάσταση θερμικής αντλίας αέρα-αέρα (Heat Pump), ενώ τους θερινούς μήνες το πιο αποτελεσματικό είναι το σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα , άμεσης εκτόνωσης και αναθέρμανσης(Packaged Rooftop DX VAV with Reheat)

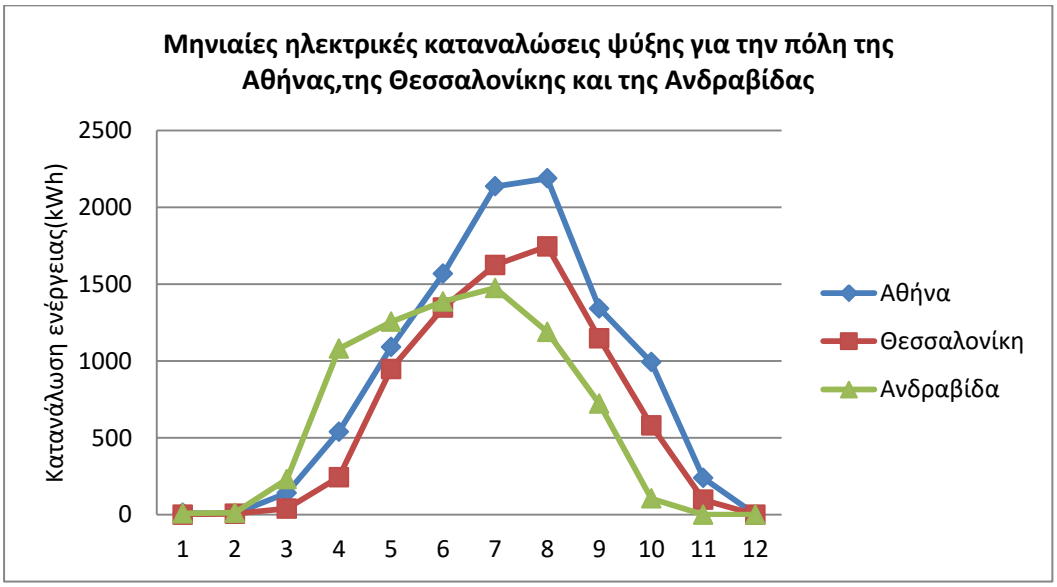
Θεωρούμε ότι η αρχική επιλογή συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού εξακολουθεί να παραμένει η καλύτερη , καθώς οι εγκαταστάσεις VAV είναι συνήθως μεγάλου μεγέθους και ενδέχεται να χαρακτηριστούν ασύμφορες για μεσαίου μεγέθους κτίρια, αφού απαιτούν την αγορά πολλών τερματικών μεταβλητού όγκου αέρα για κάθε ένα χώρο ξεχωριστά.

8.2.2 Παραμετρική Μελέτη 2: Εξέταση της επίδρασης του κλίματος στις καταναλώσεις ενέργειας του μοντέλου

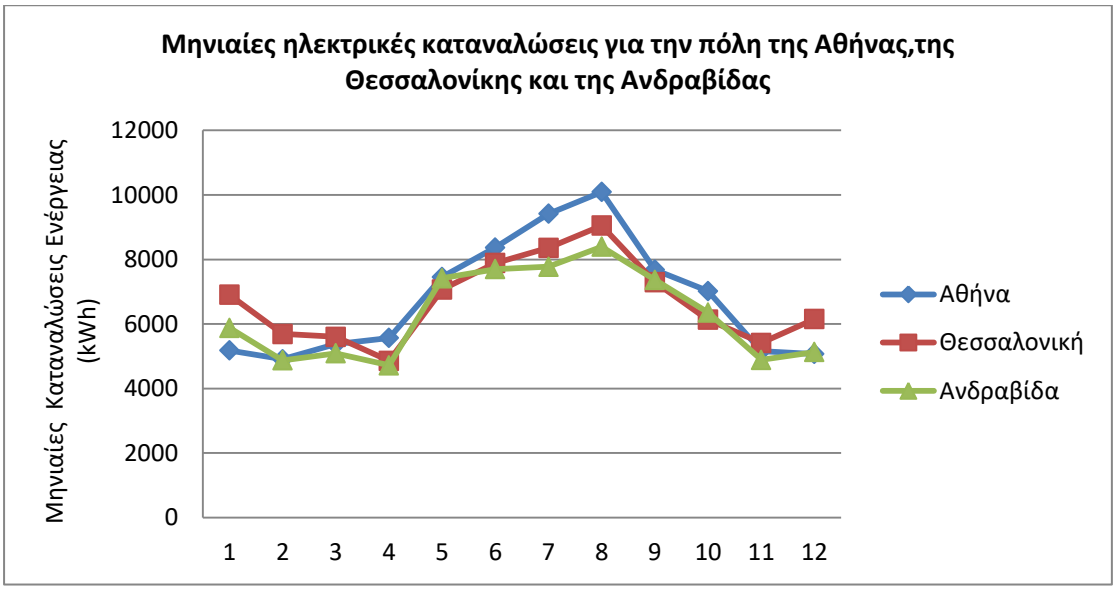
Θα μελετήσουμε την λειτουργία του μοντέλου εάν αυτό τοποθετηθεί εκτός της πόλεως της Αθήνας όπου έχει γίνει η αρχική του σχεδίαση, στις πόλεις της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας.

Διάγραμμα 4. Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις θέρμανσης για την πόλη της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας.

Διάγραμμα 5. Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις ψύξης για την πόλη της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας.



Διάγραμμα 6. Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις για την πόλη της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας.



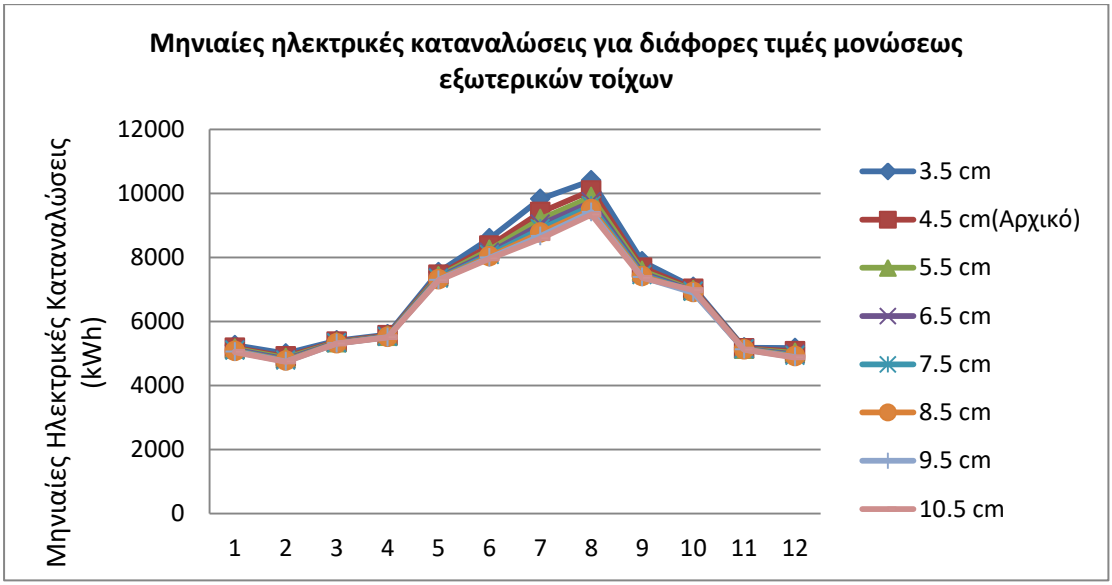
Βλέπουμε ότι η Αθήνα παρουσιάζει τα υψηλότερα φορτία ψύξης ενώ η Θεσσαλονίκη τα υψηλότερα φορτία θέρμανσης λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών κατά την διάρκεια του χειμώνα. Η Ανδραβίδα στα φορτία θέρμανσης έχει παρόμοια συμπεριφορά με την Αθήνα ενώ στα φορτία της ψύξης ομοιάζει της Θεσσαλονίκης.

8.2.3 Παραμετρική Μελέτη 3: Εξέταση της επίδρασης του πάχους μονώσεως των εξωτερικών τοίχων στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας.

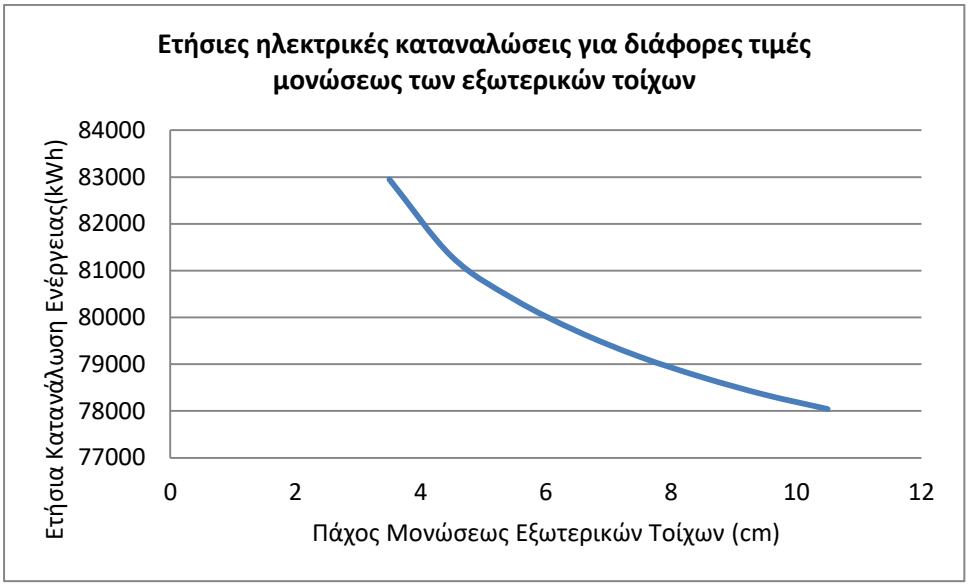
Σε αυτή την παραμετρική εξετάζεται η επίδραση του πάχους της μονώσεως των εξωτερικών τοίχων στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας, παράγοντας ιδιαίτερα σημαντικός αν αναλογιστούμε τις απώλειες θερμικού φορτίου όπως μας παρουσιάστηκαν στην *εικόνα 125* στη σελίδα 167.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των ετήσιων και μηνιαίων ηλεκτρικών καταναλώσεων για διάφορα πάχη μονώσεως των εξωτερικών τοίχων όπως προέκυψαν από την προσομοίωση.

Διάγραμμα 7. Διάγραμμα μηνιαίων ηλεκτρικών καταναλώσεων για διάφορα πάχη μονώσεως των εξωτερικών τοίχων.



Διάγραμμα 8. Διάγραμμα ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για διάφορα πάχη μονώσεως των εξωτερικών τοίχων.



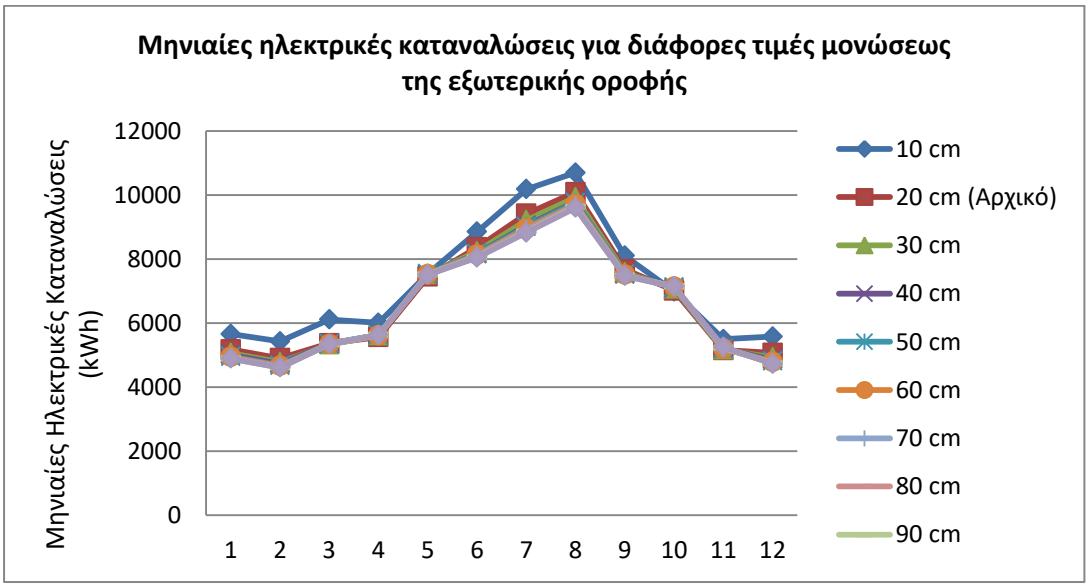
Βλέπουμε ότι η αύξηση του πάχους της μονώσεως επιδρά σημαντικότατα στις καταναλώσεις του κτιρίου, καθώς μια αύξηση 5 cm από το αρχικό πάχος της μονώσεως μας ελαττώνει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας από 81294 kWh στις 78042 kWh. Αυτό συμβαίνει επειδή η μόνωση εξασθενίζει την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος προς το εσωτερικό του κτιρίου ενώ παράλληλα εμποδίζει και την διαφυγή θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον.

8.2.4 Παραμετρική Μελέτη 4: Εξέταση της επίδρασης του πάχους μονώσεως της εξωτερικής οροφής στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας.

Σε αυτήν την παραμετρική μελέτη εξετάζεται η επίδραση της μονώσεως της εξωτερικής οροφής στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας, καθώς όπως είχαμε δει στην εικόνα 125 στη σελίδα 167 η εξωτερική οροφή παρουσίαζε και αυτή μαζί με τους εξωτερικούς τοίχους υψηλές απώλειες φορτίου.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των ετήσιων και μηνιαίων ηλεκτρικών καταναλώσεων για διάφορα πάχη μονώσεως της εξωτερικής οροφής όπως προέκυψαν από την προσομοίωση.

Διάγραμμα 9. Διάγραμμα μηνιαίων ηλεκτρικών καταναλώσεων για διάφορα πάχη μονώσεως της εξωτερικής οροφής.



Διάγραμμα 10. Διάγραμμα ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για διάφορα πάχη μονώσεως της εξωτερικής οροφής.

Βλέπουμε ότι και το πάχος της μονώσεως της εξωτερικής οροφής συμβάλλει σημαντικά στην μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων μέχρι για μια ορισμένη τιμή του πάχους της, καθώς η περαιτέρω αύξηση της από 40 cm και πάνω μειώνει μεν την ηλεκτρική κατανάλωση, όμως η μείωση αυτή είναι περίπου 1000 kWh για αύξηση κατά 60 cm της μόνωσης, ελάττωση που δεν δικαιολογεί το κόστος της εγκατάστασης της.

8.2.5 Παραμετρική Μελέτη 5: Εξέταση των συμπερασμάτων των παραμετρικών μελετών 3 και 4 στις μηνιαίες και ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας του μοντέλου.

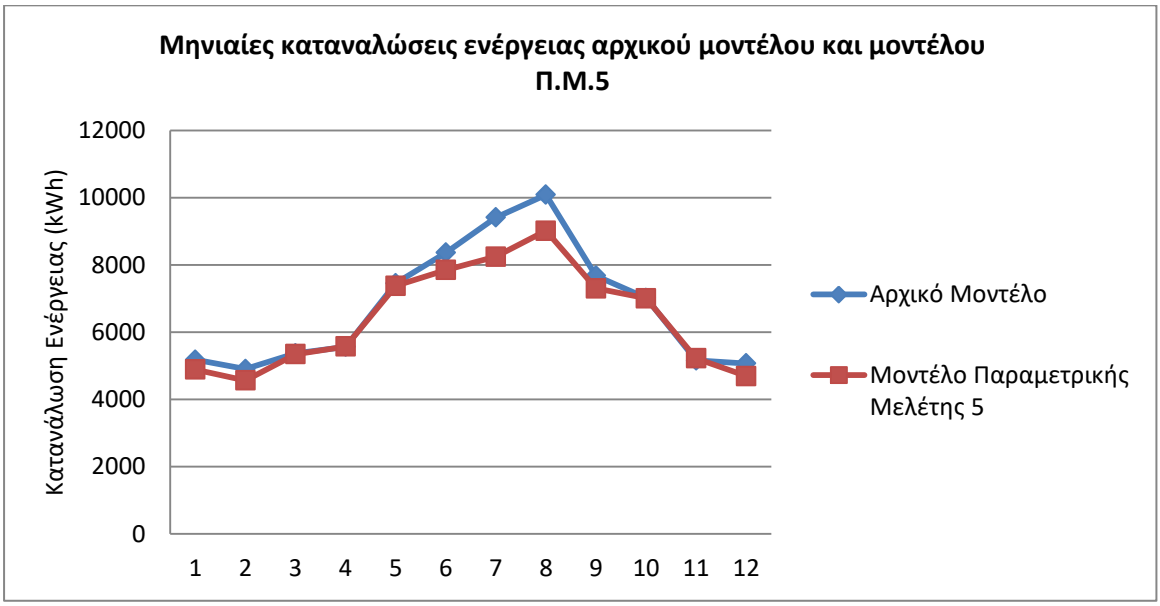
Σε αυτή την παραμετρική μελέτη εξετάζουμε τα αποτελέσματα του συνδυασμού των συμπερασμάτων των παραμετρικών μελετών 4 και 5 στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις του μοντέλου.

Συγκεκριμένα, από την παραμετρική μελέτη 3 γνωρίζουμε ότι η αύξηση κατά 6 cm της μονώσεως των εξωτερικών τοίχων μας προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας ενώ από την μελέτη 4 γνωρίζουμε ότι το πάχος μόνωσης της εξωτερικής οροφής μας αποκομίζει όφελος , εφόσον συμπεριλάβουμε στην θεώρηση μας και τον οικονομικό παράγοντα, μέχρι αύξηση κατά 20 cm. Επομένως, θα εξετάσουμε πως συμπεριφέρεται το μοντέλο μας για πάχος μόνωσης 10.5 cm των εξωτερικών και πάχος μόνωσης 40 cm της εξωτερικής οροφής.

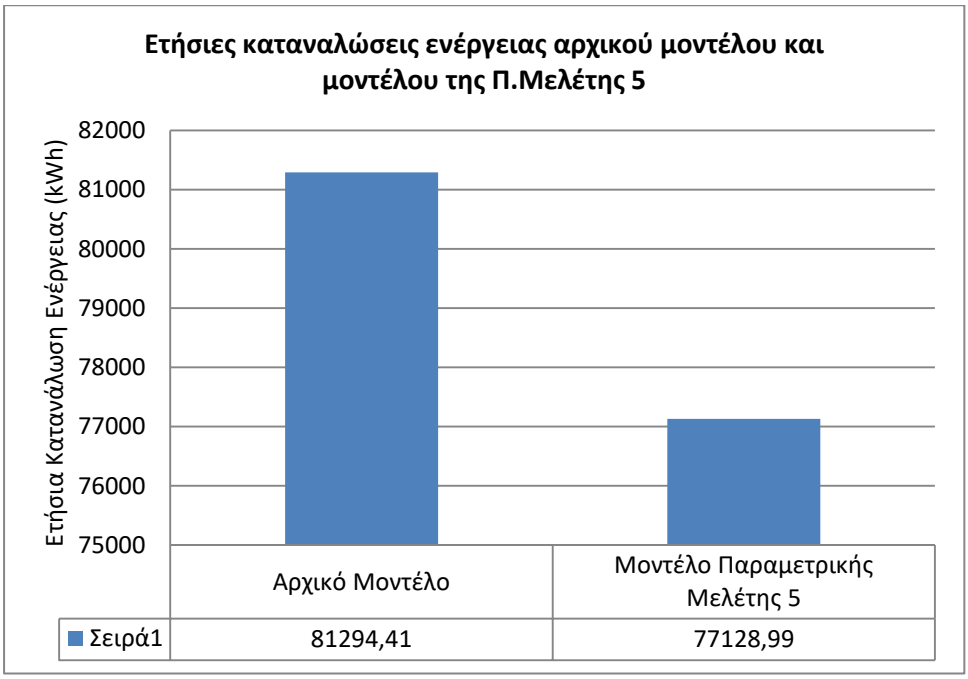
Πίνακας 2 : Μονώσεις εξωτερικών τοίχων και εξωτερικής οροφής αρχικού μοντέλου και μοντέλου παραμετρικής μελέτης 5

	Αρχικό Μοντέλο	**Μοντέλο Παραμετρικής Μελέτης 5**
Πάχος Μονώσεως Εξωτερικών Τοίχων *[cm]*	4.5	10.5
Πάχος Μονώσεως Εξωτερικής Οροφής *[cm]*	20	40

Διάγραμμα 11. Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας αρχικού μοντέλου και μοντέλου της παραμετρικής μελέτης 5.



Διάγραμμα 12. Ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας αρχικού μοντέλου και μοντέλου της παραμετρικής μελέτης 5.



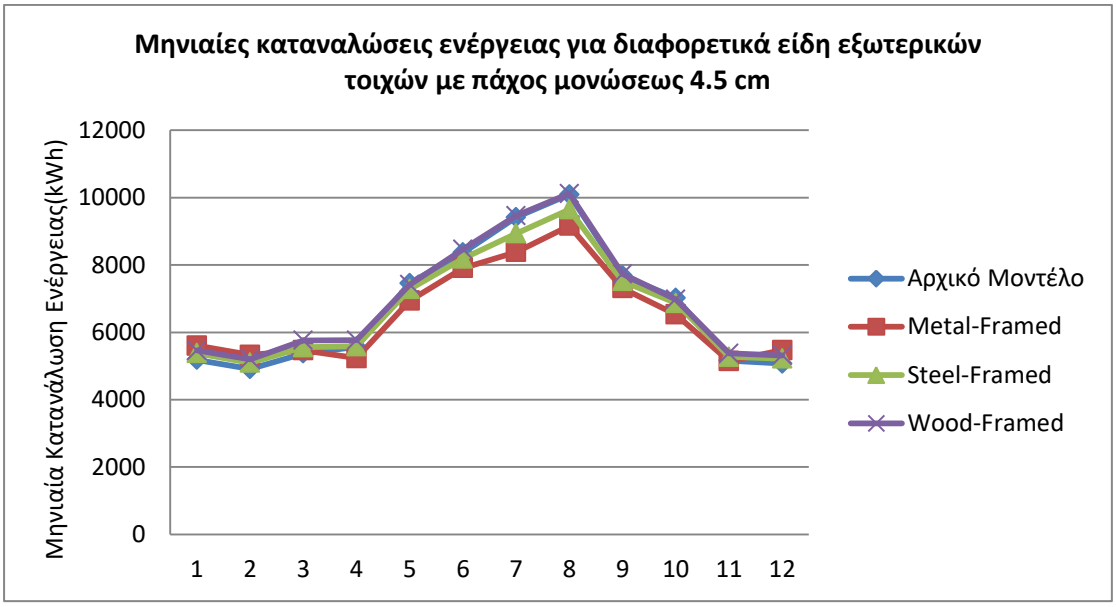
Βλέπουμε ότι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας από **81294.41 kWh** μειώθηκε στις **77128.99 kWh** , δηλαδή την μειώσαμε κατά **4165.42 kWh**.

8.2.6 Παραμετρική Μελέτη 6: Εξέταση της επίδρασης των υλικών κατασκευής των εξωτερικών τοίχων στις ετήσιες και μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για διάφορα πάχη της μονώσεως τους.

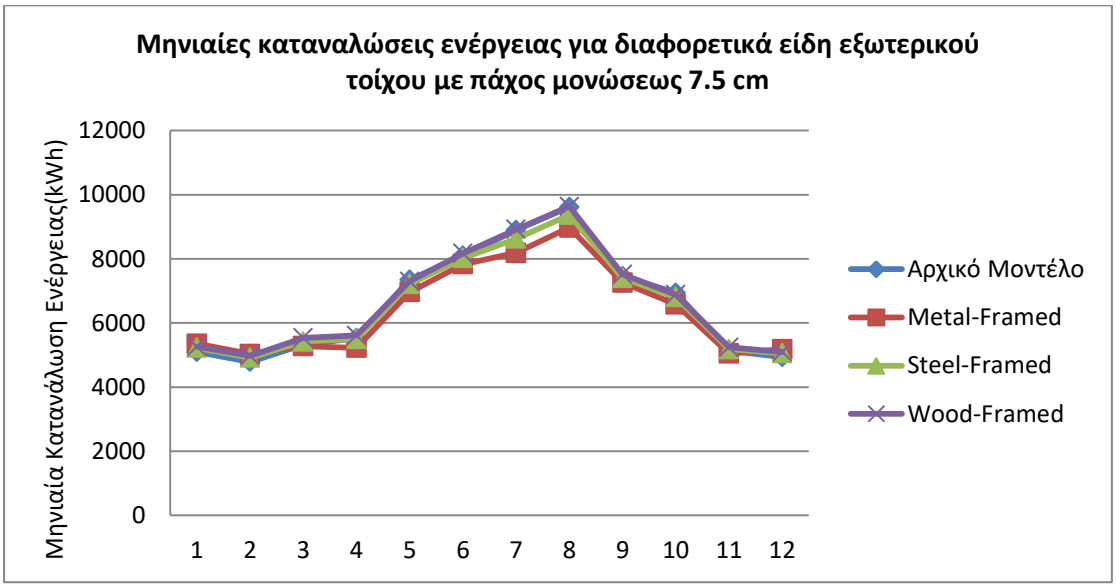
Σε αυτή την παραμετρική μελέτη εξετάστηκε η επίδραση των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένοι οι εξωτερικοί τοίχοι στην ετήσια και μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για πάχη μονώσεως 4.5 cm, 7.5 cm και 10.5 cm.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

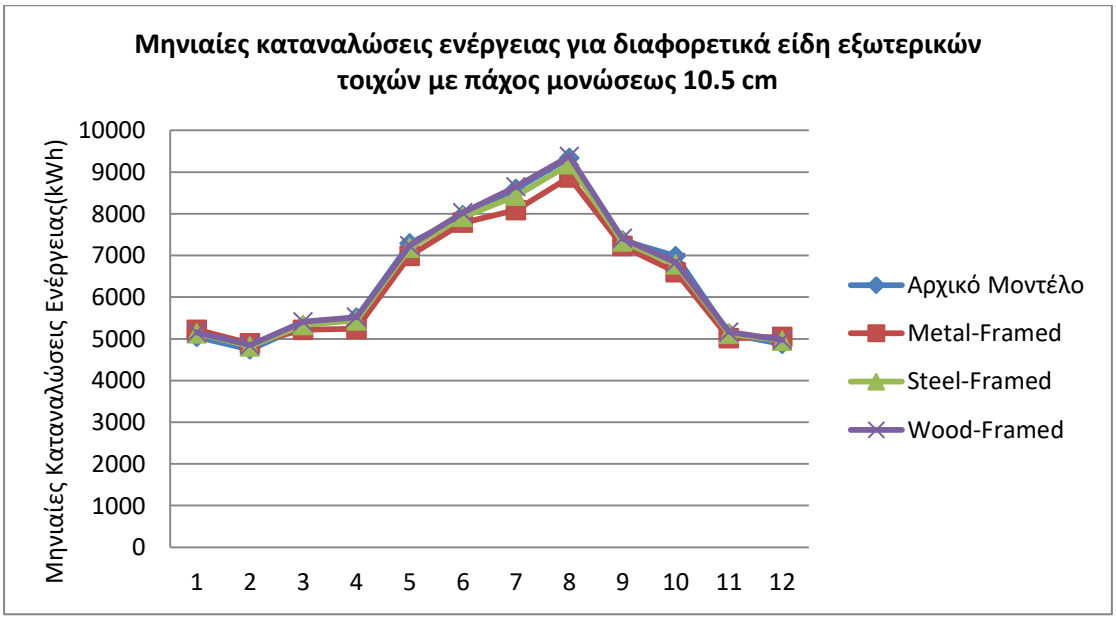
Διάγραμμα 13. Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικά είδη εξωτερικών τοίχων με πάχος μονώσεως 4.5 cm.



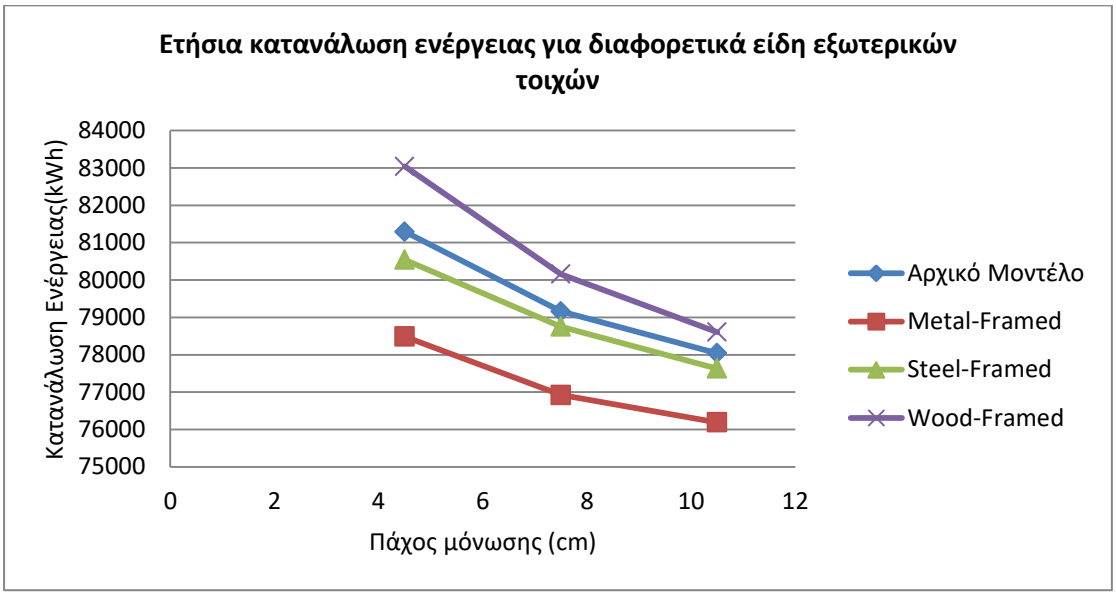
Διάγραμμα 14. Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικά είδη εξωτερικών τοίχων με πάχος μονώσεως 7.5 cm.



Διάγραμμα 15. Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικά είδη εξωτερικών τοίχων με πάχος μονώσεως 10.5 cm.



Διάγραμμα 16. Ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικά είδη εξωτερικών τοίχων για πάχη μονώσεως 4.5 cm , 7.5 cm και 10.5 cm.



Παρατηρούμε ότι τις μικρότερες μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας για όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις πάχους μονώσεως τις έχει ο μεταλλικά κατασκευασμένος τοίχος και ως εκ τούτου έχει και τις μικρότερες ετήσιες καταναλώσεις. Στο αντίθετο άκρο βρίσκεται ο ξύλινης κατασκευής τοίχος , ο οποίος έχει τις υψηλότερες καταναλώσεις , ενώ οι καταναλώσεις του σιδερένιου και του αρχικού τοίχου του μοντέλου μας (σκυρόδεμα) βρίσκονται ανάμεσα σε αυτά τα δύο όρια.

Ο μεταλλικός τοίχος με πάχος μονώσεως 10.5 cm παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς μειώνει τις ετήσιες αρχικές μας καταναλώσεις από **81294 kWh** στις **76189 kWh**, καταφέρνουμε μείωση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας κατά **5105 kWh**.

8.2.7 Παραμετρική Μελέτη 7: Συγκριτική εξέταση αποτελεσμάτων των παραμετρικών μελετών 5 και 6

Στην παραμετρική μελέτη 5 βρήκαμε, ότι με πάχος μόνωσης 10.4 cm των εξωτερικών τοίχων και με πάχος μόνωσης 40 cm της εξωτερικής οροφής ελαττώνουμε την ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατά **4165.42 kWh.**

Στην παραμετρική μελέτη 6 βρήκαμε ότι μετατρέποντας την κατασκευή των εξωτερικών τοίχων του μοντέλου από σκυρόδεμα σε μεταλλική κατασκευή, με πάχος μόνωσης 10.5 cm και διατηρώντας ,ταυτοχρόνως, το πάχος της μόνωσης της εξωτερικής οροφής ίσο με το αρχικό, δηλαδή 20 cm, μειώνουμε την ετήσια κατανάλωση ενέργειας κατά **5105 kWh**.

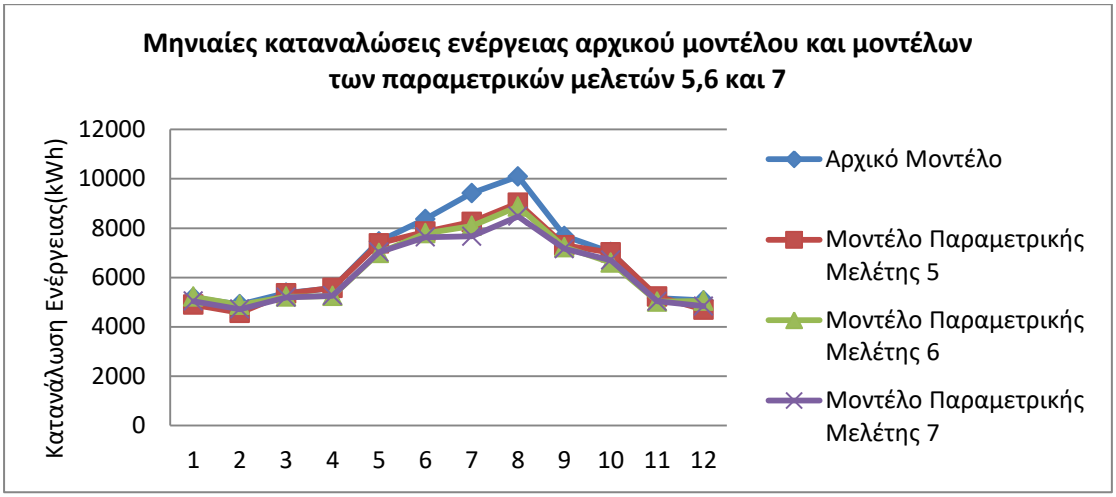
Πίνακας 3: Ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας αρχικού μοντέλου και μοντέλων παραμετρικής ανάλυσης 5 και 6

	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας *(kWh)*
Αρχικό Μοντέλο	81294.41
Μοντέλο Παραμετρικής Μελέτης 5	77128.99
Μοντέλο Παραμετρικής Μελέτης 6	76189.00

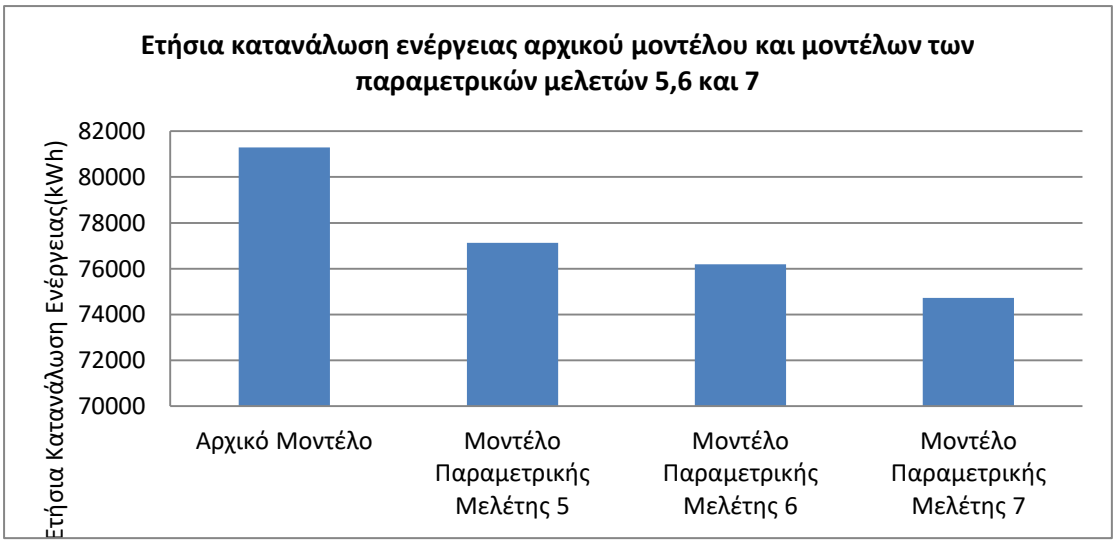
Έχει ενδιαφέρον να εξετάσουμε την περίπτωση όπου το μοντέλο μας θα έχει μεταλλική κατασκευή εξωτερικών τοίχων με πάχος μονώσεως 10.5 cm και πάχος μονώσεως εξωτερικής οροφής 40 cm.

Τα αποτελέσματα της διερεύνησης αυτής παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Διάγραμμα 17. Μηνιαίες καταναλώσεις ενέργειας του αρχικού μοντέλου και των μοντέλων των παραμετρικών μελετών 5,6 και 7.



Διάγραμμα 18. Ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας του αρχικού μοντέλου και των μοντέλων των παραμετρικών μελετών 5,6 και 7.



Βλέπουμε,λοιπόν, ότι το μοντέλο αυτής της παραμετρικής μελέτης μειώνει την αρχική κατανάλωση ενέργειας από την τιμή των **81294 kWh** στις **74722 kWh**, εξοικονομώντας **6572 kWh** το χρόνο.

Βέβαια αυτή την εξοικονόμηση στην ενέργεια την πετύχαμε αλλάζοντα το υλικό κατασκευής των εξωτερικών τοίχων. Για να αποφασίσουμε αν είναι εν τέλει αξιόλογη μετατροπή θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και το οικονομικό κόστος της αλλαγής υλικού , καθώς η διαφορά της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ του μοντέλου της παραμετρικής μελέτης 4 που είναι από σκυρόδεμα και του μοντέλου της παραμετρικής μελέτης 6 είναι **2406.99 kWh**.

8.2.8 Παραμετρική Μελέτη 8: Αύξηση της ετήσιας παραγωγής ενέργεια από τα φωτοβολταΪκά πάνελ μέσω της εγκατάστασης επιπλέον φωτοβολταΪκών πάνελ

Θα παρακολουθήσουμε την ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταΪκά πάνελ , καθώς αυξάνουμε την εγκαταστημένη ισχύ.

Συγκεκριμένα, παρακολουθήθηκαν έξι περιπτώσεις, στις οποίες το εμβαδόν αυξάνεται κατά 10 m^2 από μετάβαση από περίπτωση σε περίπτωση. Επίσης, η τοποθέτηση των νέων φωτοβολταϊκών πανελ έγινε αναλογιζόμενοι τα διαθέσιμα τετραγωνικά μέτρα της οροφής σε συνδυασμό με τον σημαντικό παράγοντα της εύκολης πρόσβασης σε αυτά σε περίπτωση επισκευής ή συντήρησης τους.

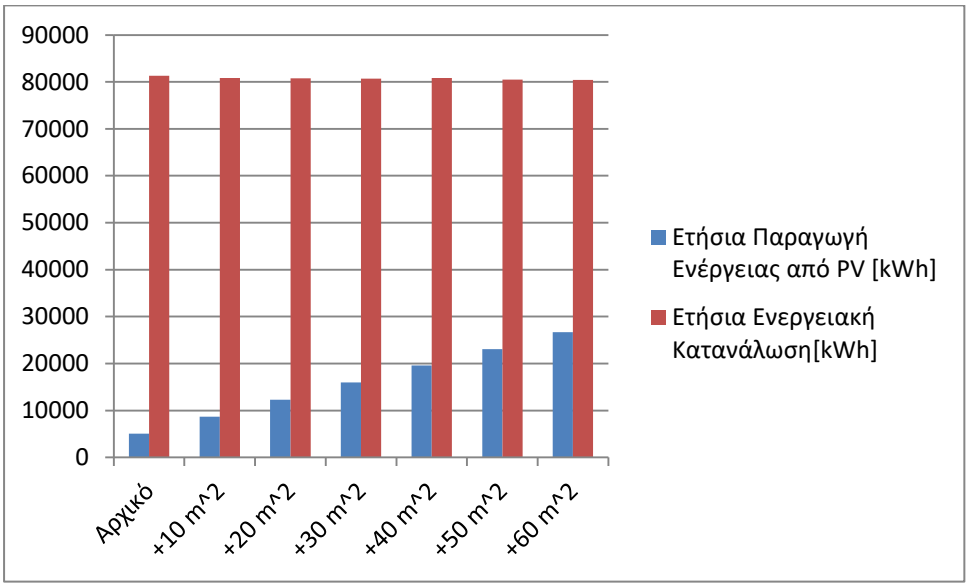
Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα και στην γραφική του απεικόνιση.

Πίνακας 4: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV διάφορων εμβαδών

	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από PV *(kWh)*	**Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας *(kWh)***
Αρχική Εγκατάσταση	5083.33	81294
+10 m^2	8691.67	80800
+20 m^2	12325	80728
+30 m^2	15955.56	80700
+40 m^2	19591.67	80539
+50 m^2	23102.78	80475

+60 m^2	26705.56	80417

Διάγραμμα 19. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV για διάφορα εμβαδά φωτοβολταικών πάνελ.



Όπως ήταν το αναμενόμενο η αύξηση του εμβαδού των φωτοβολτάΙκών πάνελ αυξάνει και την ετήσια παραγόμενη ενέργεια από αυτά. Επιπλέον, παρατηρείται μια μικρή μείωση της ετήσιας ενέργειας κατανάλωσης, καθώς οι επιφάνειες των πάνελ σκιάζουν ορισμένα μέρη της οροφής με αποτέλεσμα να δέχεται μικρότερα φορτία.

8.2.9 Παραμετρική Μελέτη 9: Εξέταση της επίδρασης της σκίασης , προκαλούμενη από την ύπαρξη γειτονικών κτιρίων, στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταΪκά πάνελ

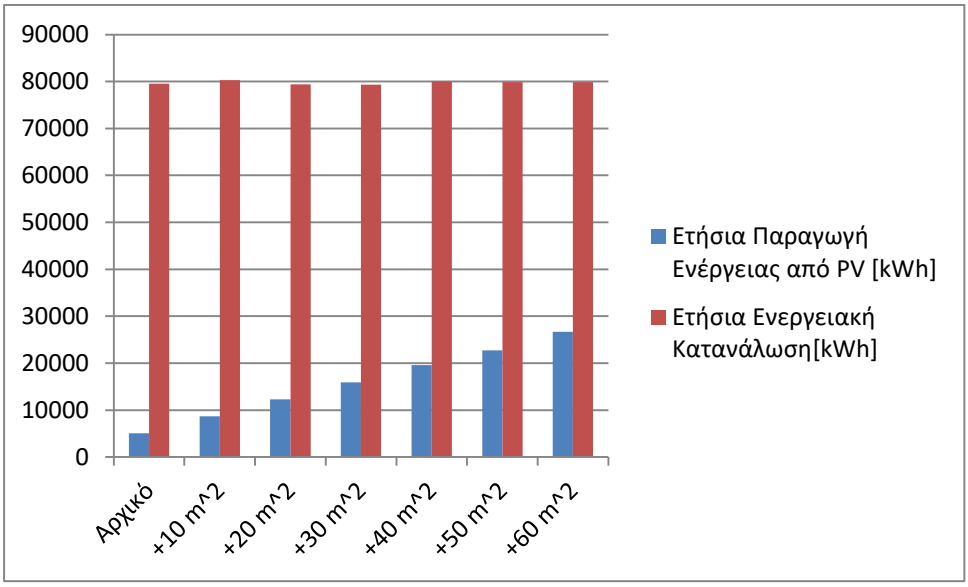
Στο πλαίσιο της μεγαλύτερης προσέγγισης της πραγματικότητας, εξετάζεται η ετήσια παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταΪκών πάνελ όταν το μοντέλο μας γειτονεύει με άλλο κτίριο. Εξετάστηκαν τρείς περιπτώσεις , γειτνίαση με κτίριο ύψους 10 , 20 και 30 m. Τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης δίνονται στον παρακάτω πίνακα και στα επόμενα διαγράμματα.

Πίνακας 5 :Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσια παραγωγή από PV για γειτνίαση του μοντέλου με κτίρια ύψους 10 m , 20 m και 30 m

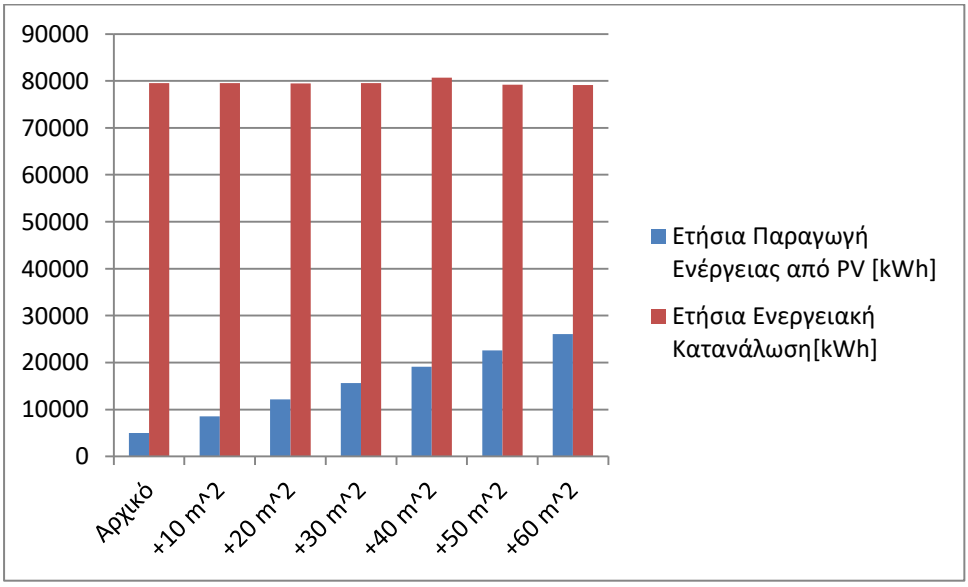
Κτίριο ύψους 10 m		
	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από PV *(kWh)*	**Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας** *(kWh)*
Αρχική Εγκατάσταση	5083.33	79500
+10 m^2	8672.22	80278
+20 m^2	12316.67	79400
+30 m^2	15911.11	79328
+40 m^2	19569.44	80031
+50 m^2	22700	79900
+60 m^2	26680.56	78869

Κτίριο ύψους 20 m		
	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από PV *(kWh)*	**Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας** *(kWh)*
Αρχική Εγκατάσταση	5030.36	79500
+10 m^2	8550	79539
+20 m^2	12127.78	79439
+30 m^2	15638.89	79500
+40 m^2	19136.11	80700
+50 m^2	22588.89	79186
+60 m^2	26069.14	79131
Κτίριο ύψους 30 m		
	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας από PV *(kWh)*	**Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας** *(kWh)*
Αρχική Εγκατάσταση	4963.89	79400
+10 m^2	8366.67	79203
+20 m^2	11825.00	79111
+30 m^2	15211.11	78986
+40 m^2	18600	78975
+50 m^2	21830.65	78889
+60 m^2	25230.00	78750

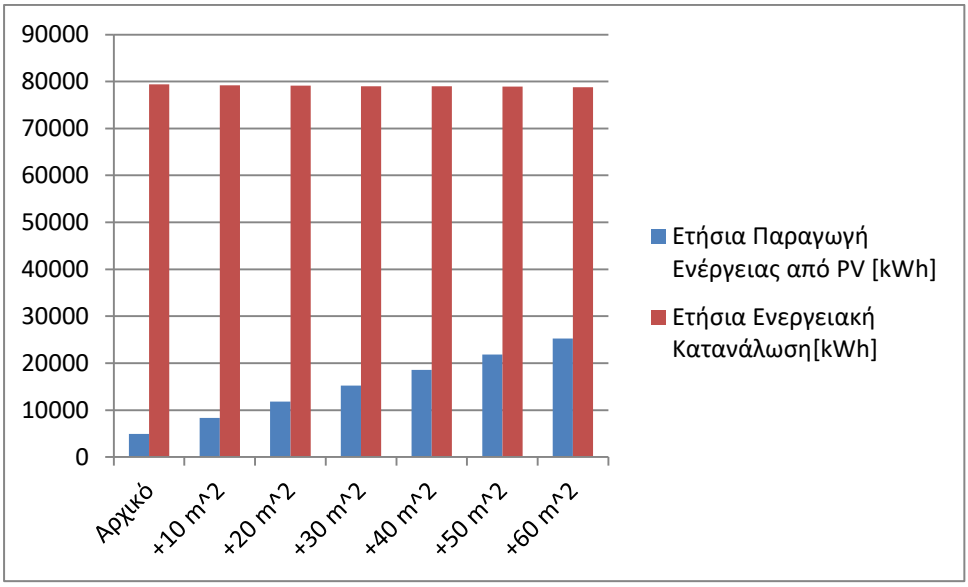
Διάγραμμα 20. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV για διάφορα εμβαδά φωτοβολταικών πάνελ με γειτνίαση με κτίριο ύψους 10 m.



Διάγραμμα 21. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV για διάφορα εμβαδά φωτοβολταικών πάνελ με γειτνίαση με κτίριο ύψους 20 m.



Διάγραμμα 22. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV για διάφορα εμβαδά φωτοβολταικών πάνελ με γειτνίαση με κτίριο ύψους 30 m.

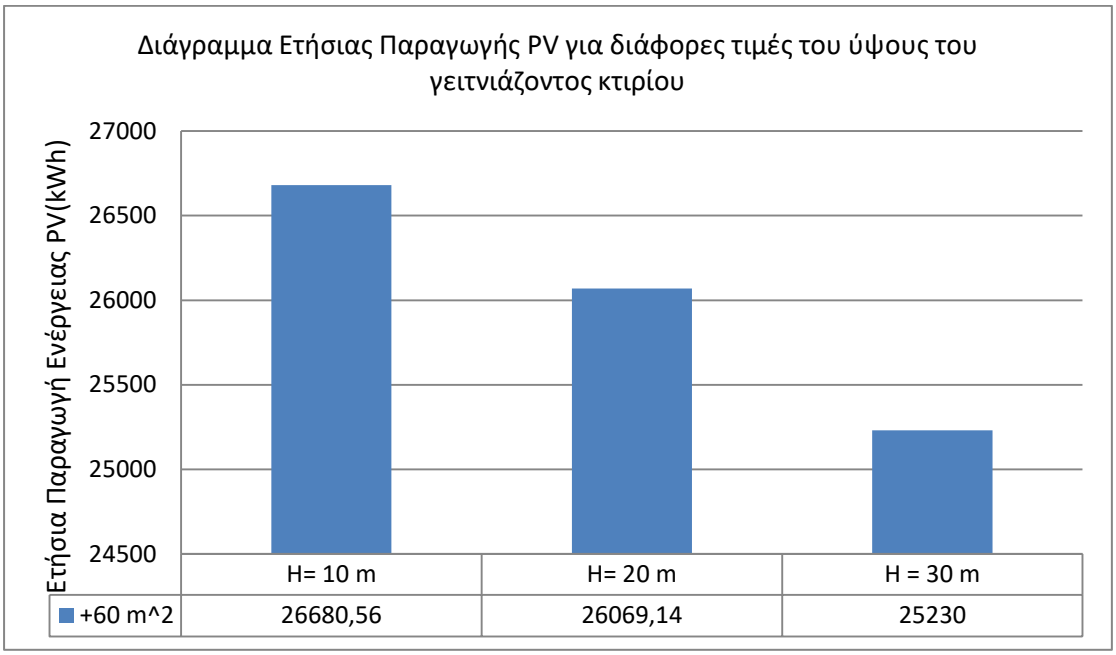


Παρατηρούμε, όπως είναι το λογικό, η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ να μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος του γειτνιάζοντος κτιρίου, καθώς μειώνεται η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα φωτοβολταΪκά. Να παρατηρήσουμε ότι η ετήσια παραγωγή ενέργειας στην αρχική μας εγκατάσταση παραμένει σταθερή για τις περιπτώσεις γειτνιάζοντος κτιρίου ύψους 10 και 20 m , γεγονός που εξηγείται από την τοποθέτηση της μακρύτερα από την επιφάνεια του διπλανού κτιρίου που σκιάζει την οροφή του μοντέλου μας. Παράλληλα, βλέπουμε ότι μειώνεται και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας , καθώς πέρα από τις μειώσεις του φορτίου λόγω των σκιάσεων που δημιουργούν τα φωτοβολταΪκά πάνελ , δέχεται και την σκίαση από το διπλανό του κτίριο.

Επιπλέον, παρατίθεται ξεχωριστά το διάγραμμα της ετήσιας παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ για τις διάφορες τιμές του ύψους του

γειτνιάζοντος κτιρίου για την την εγκατάσταση μετά την προσθήκη 60 m^2 νέων φωτοβολταϊκών.

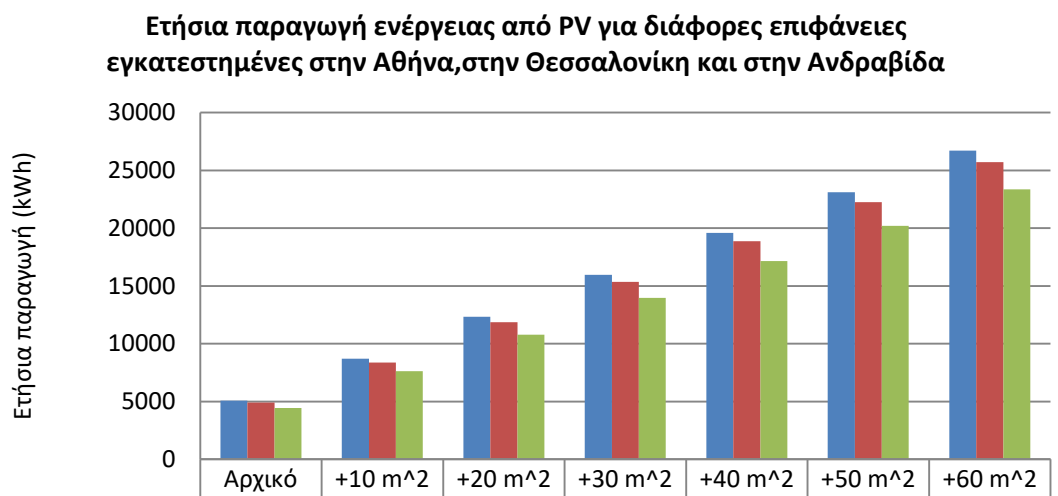
Διάγραμμα 23. Ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV της εγκατάστασης (με την προσθήκη 60 m^2 νέων φωτοβολταϊκών) για τις διάφορες τιμές του ύψους του γειτνιάζοντος κτιρίου.



8.2.10 Παραμετρική Μελέτη 10: Εξέταση της επίδρασης του κλίματος στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ

Θα παρατηρήσουμε και θα αντιπαραβάλλουμε την ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταΪκα πάνελ για τα κλίματα τριών διαφορετικών πόλεων, της Αθήνας, της Ανδραβίδας και της Θεσσαλονίκης , των οποίων τα κλιματικά δεδομένα υπάρχουν διαθέσιμα στον ιστότοπο του EnergyPlus [1].

Διάγραμμα 24. Ετήσια παραγωγή ενέργειας από PV για διάφορες επιφάνειες εγκατεστημένες στην Αθήνα, στην Θεσσαλονίκη και στην Ανδραβίδα.



	Αρχικό	+10 m^2	+20 m^2	+30 m^2	+40 m^2	+50 m^2	+60 m^2
Αθήνα	5083,33	8691,67	12325	15955,56	19591,67	23102,78	26705,56
Θεσσαλονίκη	4897,22	8377,78	11866,67	15363,89	18863,89	22238,89	25708,33
Ανδραβίδα	4447,22	7608,33	10783,33	13961,11	17144,44	20211,11	23361,11

Παρατηρούμε, ότι η υψηλότερη παραγωγή ενέργειας αντιστοιχεί στην Αθήνα και ακολουθεί δεύτερη η Θεσσαλονίκη και τελευταία η Ανδραβίδα. Τούτο οφείλεται στο ότι τόσο το κλίμα της Θεσσαλονίκης όσο και της Ανδραβίδας χαρακτηρίζεται από συχνότερες νεφώσεις σε σχέση με το αντίστοιχο της Αθήνας.

9. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, μέσω των παραμετρικών μελετών εξετάσαμε τις καταναλώσεις ενέργειας του μοντέλου για διάφορα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, για διαφορετικές πόλεις τοποθέτησης του, για διάφορα πάχη μονώσεως τόσο για τους εξωτερικούς τοίχους όσο και την εξωτερική οροφή, για διαφορετικά είδη κατασκευής των εξωτερικών τοίχων και για διαφορετικά είδη μονώσεων. Παράλληλα, εξετάσαμε την ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταΪκά τόσο όταν λειτουργούν ασκίαστα όσο και όταν λειτουργούν υπό σκίαση όπως επίσης εξετάσαμε την ετήσια παραγωγή τους για διαφορετικά κλίματα.

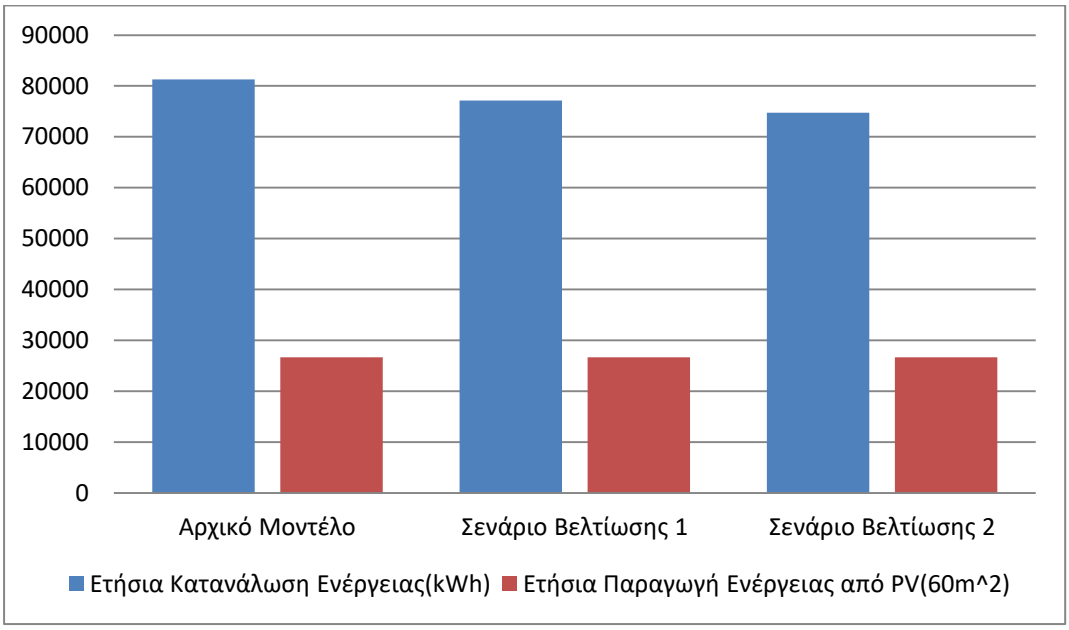
Προτείνουμε ως σενάρια βελτίωσης τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης 5 ή 7 σε συνδυασμό με τα συμπεράσματα που αποκομίσαμε από την παραμετρική μελέτη 8 και 9.

Συγκεκριμένα , στην παραμετρική μελέτη 5 καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αύξηση του πάχους μονώσεως των εξωτερικών τοίχων κατά 6 cm με ταυτόχρονη αύξηση του πάχους μονώσεως της εξωτερικής οροφής κατά 20 cm, μειώνει την αρχική κατανάλωση ενέργειας των **81294 kWh** στις **77128.99 kWh**, δηλαδή την μειώσαμε κατά 5%.

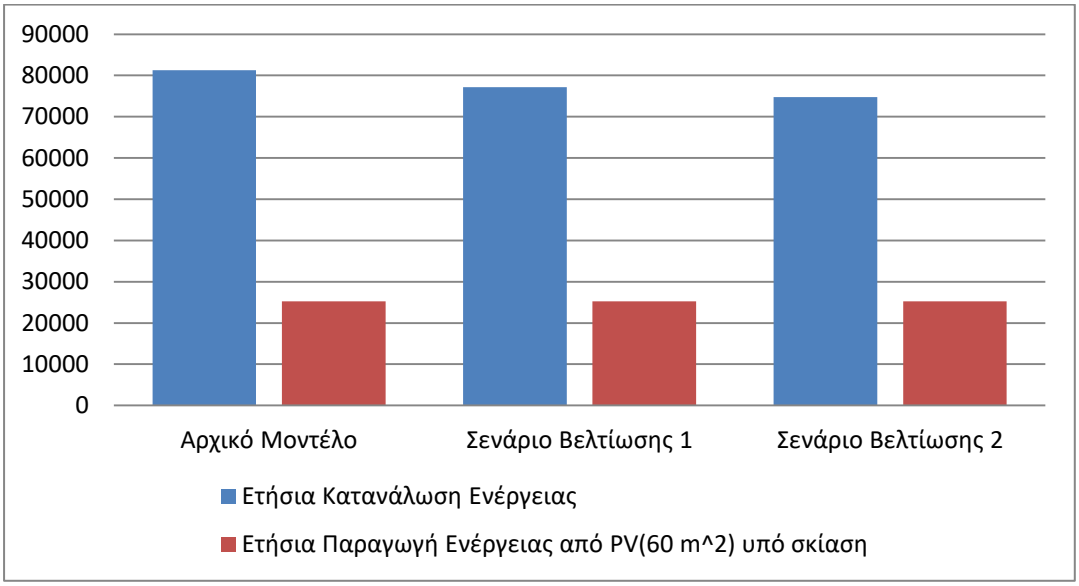
Στην παραμετρική μελέτη 7 καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι αν προτιμήσουμε μεταλλική κατασκευή των εξωτερικών τοίχων , διατηρώντας τα ίδια πάχη μόνωσης με αυτά της παραμετρικής μελέτης 5, μειώνουμε τις ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας από **81294 kWh** σε **74722 kWh** , δηλαδή την μειώσαμε κατά 8.08 %.

Ας κοιτάξουμε αυτές τις νέες καταναλώσεις των προτεινόμενων σεναρίων βελτίωσης εν συγκρίσει με την ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά των 60 m^2 όταν λειτουργούν ασκίαστα και υπό σκίαση.

Διάγραμμα 25. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας(kWh) και ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh) από PV (60 m^2)-ασκίαστη λειτουργία- για αρχικό μοντέλο, σενάριο βελτίωσης 1 και 2.



Διάγραμμα 26. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας(kWh) και ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh) από PV (60 m^2)-υπό σκίαση λειτουργία- για αρχικό μοντέλο, σενάριο βελτίωσης 1 και 2.



Βλέπουμε ότι στην περίπτωση της ασκίαστης λειτουργίας των φωτοβολταΪκών, για το πρώτο σενάριο η ετήσια παραγωγή αντιστοιχεί στο 34.62 % των ετήσιων καταναλώσεων ενώ στο δεύτερο σενάριο αντιστοιχεί στο 35.74 % των ετήσιων καταναλώσεων.

Στην περίπτωση της υπό σκίασης λειτουργίας των φωτοβολταϊκών , για το πρώτο σενάριο βελτίωσης η ετήσια παραγωγή αντιστοιχεί στο 32.71 % των ετήσιων καταναλώσεων ,ενώ στο δεύτερο σενάριο βελτιώσεως αντιστοιχεί στο 33.77 % των ετήσιων καταναλώσεων.

Εν πάση περίπτωση λειτουργίας των φωτοβολταΪκών η παραγωγή τους διατηρείται πολύ υψηλά.

Επίσης, το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταΪκών , σύμφωνα με τις κοστολογήσεις εταιρειών που δραστηριοποιούνται στο χώρο αυτόν, κυμαίνεται στα 13700 € [41].

Τέλος, αν τα μοντέλα των σεναρίων βελτίωσης μπορούν να χαρακτηριστούν ως ΖΕΒ. Σίγουρα παρουσιάζουν μειωμένες ενεργειακές καταναλώσεις και τα παράγουν ενέργεια μέσω εγκατεστημένων Α.Π.Ε στο κτίριο. Όμως δεν εμπίπτουν στους ορισμούς του Net Zero Site Energy , καθώς η παραγόμενη από Α.Π.Ε ενέργεια δεν είναι ίση με τις λειτουργικές τους ανάγκες, ούτε ως Net Zero Source Energy μπορεί να χαρακτηριστεί γιατί δεν αγοράζει ενέργεια από Α.Π.Ε ίση με τις καταναλώσεις του.

Όμως τηρεί τον ορισμό των Net Zero Source Energy Costs. Συγκεκριμένα, το συνολικό κόστος λειτουργίας του , σύμφωνα με τα τιμολόγια γενικής χρήσης της ΔΕΗ, ανέρχεται σε 10799.60 € για το σενάριο βελτίωσης 1 και 10462 € για το σενάριο βελτίωσης 2. Για να θεωρηθεί ως Net Zero Source Energy Costs θα πρέπει τα έσοδα από την προσφορά της ενέργειας από Α.Π.Ε στο δίκτυο να καλύπτουν τα λειτουργικά έξοδα. Για να συμβεί αυτό η τιμή αγοράς της kWh από Α.Π.Ε θα πρέπει να τηρεί την εξής ανισότητα:

- Σενάριο Βελτίωσης 1 : Τιμή Αγοράς > 0.404 €/kWh
- Σενάριο Βελτίωσης 2 : Τιμή Αγοράς > 0.39 €/kWh

Με τα μέχρι πρότινος δεδομένα του Feed-in Tarrif η τιμή αγοράς ανερχόταν στα 0.55 €/kWh οπότε σίγουρα το κτίριο μας θα θεωρούταν ως ΖΕΒ. Όμως αυτές οι τιμές υπόκεινται σε συνεχείς μεταβολές , καθώς εμπίπτουν στην σφαίρα της οικονομίας, για αυτό όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 2 τα κτίρια ΖΕΒ πρέπει να αξιολογούνται κάθε χρόνο λόγω των πολλών παραμέτρων από τους οποίους εξαρτάται η κατηγοριοποίηση τους.

10. Βιβλιογραφία

1. Introduction to Climate Change. Διαθέσιμο σε: https://www.climateassembly.uk/documents/5/Introduction_to_climate_change_FINAL_002.pdf. Πρόσβαση: 1/9/2021
2. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε:https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/. Πρόσβαση: 1/9/2021
3. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε:https://climate.nasa.gov/effects/. Πρόσβαση: 1/9/2021
4. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε:https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/. Πρόσβαση: 1/9/2021
5. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε:https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/. Πρόσβαση: 1/9/2021
6. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε:https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/. Πρόσβαση: 1/9/2021
7. Climate Change Consequences. Διαθέσιμο σε: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_el. Πρόσβαση: 1/9/2021
8. Κλιματική αλλαγή: Είμαστε στο παρά πέντε. Διαθέσιμο σε: https://eody.gov.gr/wp-content/uploads/2019/05/klimatiki-allagi.pdf. Πρόσβαση: 1/9/2021
9. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε: https://climate.nasa.gov/causes/ Πρόσβαση: 1/9/2021
10. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε: https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/. Πρόσβαση: 1/9/2021

11. Global Climate Change. Διαθέσιμο σε: https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/. Πρόσβαση: 1/9/2021
12. Khozema AA, Ahmad MI, Yusup Y. "Issues, Impacts, and Mitigations of Carbon Dioxide Emissions in the Building Sector". Sustainability 2020;12:7427.
13. United Nation Environment Programme. "2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector". Διαθέσιμο σε: https://www.unep.org/resources/publication/2019-global-status-report-buildings-and-construction-sector. Πρόσβαση:1/9/2021
14. United Nation Environment Programme. "2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector". Διαθέσιμο σε: https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/34573. Πρόσβαση:1/9/2021
15. Esbesen TV, Korsgaard V. "Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark" Solar Energy 1977;19:195-199
16. Gilijamse W. "Zero-Energy Houses in the Netherlands. Proceedings of Building Simulation' 95". Madison 1995;11:276-283.
17. Torcellini P, Pless S, Deu M, Crawley. "Net-Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition". Διαθέσιμο σε: https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf. . Πρόσβαση: 1/9/2021
18. Erhorn H, Erhorn-Kluttig H. "Overview of national applications of the Nearly Zero-Energy Building (NZEB) definition". Διαθέσιμο σε:

https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/06/CT1-Factsheet-National_applications_of_NZEB_definition.pdf. Πρόσβαση: 1/9/2021

19. Pless S, Torcellini P. “Net-Zero Energy Buildings : A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options”. Διαθέσιμο σε: https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/44586.pdf. Πρόσβαση:1/9/2021
20. Peterson K, Torcellini P, Grant R, Taylor C, Runjabi S, et al. “A Common Definition for Zero Energy Buildings”. Διαθέσιμο σε: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/A%20Common%20Definition%20for%20Zero%20Energy%20Buildings.pdf. Πρόσβαση:1/9/2021
21. ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment. Διαθέσιμο σε: https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/description-2020-ashrae-handbook-hvac-systems-and-equipment. Πρόσβαση: 1/9/2021
22. Seyam S. “Types of HVAC Systems, HVAC System”. Διαθέσιμο σε: https://www.intechopen.com/chapters/62059. Πρόσβαση: 1/9/2021
23. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. «ΟΔΗΓΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ HVAC». Διαθέσιμο σε: http://www.cres.gr/kape/publications/download.htm. Πρόσβαση: 1/9/2021
24. Κίμωνος Α.Αντωνοπούλου. «Κλιματισμός». 2015
25. Gunt Hamburg. Διαθέσιμο σε:https://www.gunt.de/images/download/heat-pumps_english.pdf. Πρόσβαση: 1/9/2021
26. Αντλίες Θερμότητας. Διαθέσιμο σε: https://www.heatmax.gr/antlies-thermotitas/. Πρόσβαση: 1/9/2021

27. Γιαννάκος Ν. «Αντλίες Θερμότητας σε Συστήματα Θέρμανσης: Σχεδιασμός– Ενεργειακή Αξιολόγηση» 2014. Διαθέσιμο σε: https://ikee.lib.auth.gr/record/281504/files/%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%9B%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%91%CE%A3%20%CE%A3%CE%95%20%CE%A3%CE%A5%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%91%CE%9D%CE%A3%CE%97%CE%A3%20%CE%A3%CE%A7%CE%95%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A3%20-%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%20%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%97%CE%A3%CE%97.pdf. Πρόσβαση: 1/9/2021

28. Carrier. Διαθέσιμο σε: https://www.carrier.com/residential/en/us/products/heat-pumps/how-doe%CE%B3%CE%BF. Πρόσβαση: 1/9/2021

29. Heat Pump Association. Διαθέσιμο σε: https://www.heatpumps.org.uk/consumers/heat-pump-technical-information/the-vapour-compression-cycle/ Πρόσβαση: 1/9/2021

30. Σαββίδης Ε. «Αντλίες Θερμότητας». 2012. Διαθέσιμο σε http://apothesis.teicm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/731/savvidis.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Πρόσβαση: 1/9/2021

31. Χατζηδάκης Σ. «Σημειώσεις Ψύξης». 2003

32. Κυπραίου Κ. «Οικονομική Αξιολόγησης Επένδυσης Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Κάλυψη του Κόστους Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας Υψηλών Θερμοκρασιών». Διαθέσιμο σε: https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/18211. Πρόσβαση: 1/9/2021
33. Κατσουλάκος ΝΜ. «Ψυκτικός Κύκλος και Αντλίες Θερμότητας» Διαθέσιμο σε:http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1282/document/Cooling_Cycle.pdf. Πρόσβαση: 1/9/2021.
34. Αντλίες Θερμότητας . Διαθέσιμο σε: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B1_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82. Πρόσβαση: 1/9/2021.
35. Building Energy Efficiency Standards. Διαθέσιμο σε: https://energycodeace.com/site/custom/public/reference-ace-2016/index.html#!Documents/53thermalzones.htm. Πρόσβαση: 1/9/2021
36. Sketchup. Διαθέσιμο σε: https://www.sketchup.com/. Πρόσβαση: 1/9/2021
37. Trimble. Διαθέσιμο σε: https://www.trimble.com/. Πρόσβαση: 1/9/2021
38. Energy Plus. Διαθέσιμο σε: https://energyplus.net/. Πρόσβαση: 1/9/2021
39. Open Studio. Διαθέσιμο σε: https://www.openstudio.net/. Πρόσβαση: 1/9/2021
40. Διαθέσιμο σε: https://nrel.github.io/floorspace.js/. Πρόσβαση: 1/9/2021
41. Mp Energy. Διαθέσιμες πληροφορίες στο : https://www.mp-energy.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%83%CE%B5-

%CF%84%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%84%CF%83%CE%B5%CF%83.html