ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα κλιματισμού

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χρήστο Τζιβανίδη, αναπληρωτή καθηγητή Ε.Μ.Π, για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την πολύτιμη καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους ανθρώπους που με στήριξαν σε όλη την μέχρι τώρα πορεία μου. Στους συμφοιτητές μου που ήταν μαζί μου στην προσπάθεια αυτή και μοιραζόμασταν τις ωραίες και τις δύσκολες στιγμές.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου Χρήστο, Ζωή καθώς και τον αδερφό μου Παναγιώτη για την πολύπλευρη στήριξη και συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια.

<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.

Γεώργιος Παπαχρήστος

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες....3
Περίληψη....7
Abstract....8
Κατάλογος συμβόλων - αρκτικόλεξων....9
1. Εισαγωγή....11
1.1 Η ενεργειακή κατάσταση σήμερα....11
1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι....16
1.3 Οριοθέτηση....16
1.4 Διάρθρωση της εργασίας....17
2. Ηλιακή ενέργεια και τεχνολογίες....18
2.1 Ήλιος - γεωμετρία και άξονας....18
2.2 Βασικοί ορισμοί....22
2.3 Είδη ηλιακής ακτινοβολίας....24
2.4 Προσπίπτουσα ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου....25
2.5 Θερμικά ηλιακά πάνελ....26
2.6 Φωτοβολταϊκά στοιχεία....33
2.7 Ενεργειακός συμψηφισμός....38
3. Κλιματισμός χώρου....40
3.1 Ενεργειακή απόδοση κτηρίων....40
3.2 Θερμική άνεση....42
3.3 Αντλία θερμότητας....44
3.4 Ψύκτης απορρόφησης....46
3.5 Τερματική μονάδα (Fan Coil Unit)....47
3.6 Μονάδα αφύγρανσης....48
4. Λογισμικό προσομοίωσης....50
4.1 OpenStudio....50
4.2 Energy plus....50
4.3 Measures και Ruby....51
5. Προσομοίωση μοντέλου....58
5.1 Εισαγωγή....58
5.2 Δημιουργία κτηρίου στο SketchUp....58
5.3 Δεδομένα καιρού....62
5.4 Χρονοπρογράμματα....62
5.5 Υλικά Κατασκευής....68
5.6 Προσδιορισμός φορτίων....74
5.7 Ομαδοποίηση ανά τύπο χώρου....77
5.8 Οριοθέτηση θερμικών ζωνών....81
5.9 Ολοκλήρωση μοντέλου....82
5.10 Βελτιστοποίηση προσανατολισμού....83
5.11 Αερισμός χώρου....86
6. Σενάρια εγκατάστασης και συνδεσμολογία....87

6.1 Εισαγωγή 87
6.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ με αντλία θερμότητας αέρα – αέρα 87
6.3 Θερμικά πάνελ με δεξαμενή, ψύκτη απορρόφησης και πύργο ψύξης 89
7. Αποτελέσματα 100
7.1 Προσανατολισμός κτηρίου 100
7.2 Ιδανικά φορτία 101
7.3 Πρώτη εγκατάσταση 105
7.4 Δεύτερη εγκατάσταση 113
8. Συζήτηση 120
9. Συμπεράσματα 122
10. Μελλοντική εργασία 124
Κατάλογος Σχημάτων 125
Κατάλογος Πινάκων 126
Κατάλογος Εικόνων 127
Κατάλογος Αναφορών 130

Περίληψη

Η ανάγκη για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον, είναι ένα καθημερινό ζήτημα. Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη χρήση της ηλιακής ενέργειας με στόχο τον κλιματισμό μιας μέσης κατοικίας 100 m^2 στα βόρεια προάστια της Αθήνας όλο το χρόνο αυτόνομα. Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι για να επιτευχθεί θερμική άνεση σε οικιακό περιβάλλον με τη συμβολή του ήλιου και την μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια ή σε θερμότητα αντίστοιχα ως εξής:

- Χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για παραγωγή ενέργειας και παροχή της σε διάταξη αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα σε συνδυασμό με το θεσμό της ιδιοκατανάλωσης και του ενεργειακού συμψηφισμού.

- Χρήση θερμικών ηλιακών συστημάτων σε συνδυασμό με δεξαμενή αποθήκευσης, ψύκτη απορρόφησης και τερματικές μονάδες(**Fan Coil Units**)

Σκοπός της εργασίας είναι αρχικά να αποδειχτεί ότι η υλοποίηση τους είναι εφικτή και έπειτα να γίνει σύγκριση σχετικά με το ποια τεχνολογία είναι πιο αποδοτική.

Η διαστασιολόγηση και γενικά η προσομοίωση των παραπάνω διατάξεων γίνεται με το λογισμικό **Openstudio** το οποίο βασίζεται στον **Energy-plus**, κώδικα που συνίσταται για ενεργειακές μελέτες ανεξαρτήτως κλίμακας.

Τα αποτελέσματα που εξάγονται, αποδεικνύουν ότι οι διατάξεις είναι υλοποιήσιμες και μεταφράζουν ως πιο αποδοτική την πρώτη διάταξη με την αντλία θερμότητας η οποία μπορεί να είναι αυτόνομη με τη χρήση του δικτύου ως αποθηκευτικός χώρος. Η δεύτερη διάταξη λειτουργεί ορθά αλλά απαιτεί επιπλέον ενέργεια από τα μέρη της η οποία πρέπει να αποδοθεί από το δίκτυο. Αυτό είναι αρνητικό διότι χρησιμοποιεί σαν μέσο μεταφοράς ενέργειας το νερό.

Τα αποτελέσματα αυτά έχουν ιδιαίτερη σημασία σε ενεργειακές μελέτες κατοικιών και λοιπών κτηρίων ίδιας κλίμακας όπου πρέπει να επιλεγεί μία μέθοδος κλιματισμού.

Abstract

Need for using renewable energy sources with zero footprint in the environment is an everyday issue. Present diploma thesis deals the use of solar energy for conditioning one average residential building of 100 m^2 area in north suburbs of Athens annually. Use two options to succeed thermal comfort in residential space with sun contribution and converts it to electricity or heat as follows:

- Use of photovoltaic systems for electricity producing and heat exchanger air – air with net metering.
- Use of thermal solar panels in combination with storage tank, absorption chiller and fan coil units.

Aim of this thesis is first to prove that these systems can be implemented, second to compare them in performance.

Dimensioning and generally simulation of the above systems can be done with Openstudio software that depends on Energy-plus, code that used for energy research without scale.

The results that export, prove that these systems can be implemented and translate like more efficient the first set up with the heat exchanger that can be autonomous with the use of net like storage. The second set up works correct but require additional energy that must be taken by the net. This is very negative because the mean of energy transport is water.

Results have significant meaning in energy research of residential and non-residential buildings in the same scale where one method of space conditioning must be chosen.

Κατάλογος συμβόλων - αρκτικόλεξων

Λατινικά σύμβολα

Ac	Επιφάνεια συλλέκτη, m^2
Gb	Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, W/m^2
GbT	Άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου, W/m^2
Gd	Διάχυτη ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου, W/m^2
Gon	Ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας, W/m^2
Gsc	Ηλιακή σταθερά, W/m^2
Gt	Ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου, W/m^2
H	Ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, J/m^2
Hd	Ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία οριζόντιου επιπέδου, J/m^2
Ho	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας, J/m^2
I	Ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, J/m^2
Ib	Ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, J/m^2
Ic	Ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου τυπικής διαυγούς ατμόσφαιρας, J/m^2
Id	Ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, J/m^2
Io	Ωριαία ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας, J/m^2
kt	Δείκτης αιθριότητας
Lloc	Γεωγραφικό μήκος παρατηρητή, °
Lst	Γεωγραφικό μήκος τόπου, °
n	Ημέρα του έτους
Qu	Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς, W
Rb	Λόγος άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
rd	Λόγος ωριαίας διάχυτης προς ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
rt	Λόγος ωριαίας προς ημερήσια ακτινοβολία
S	Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, W/m^2
Ta	Θερμοκρασία περιβάλλοντος, ° C
Tp,m	Μέση θερμοκρασία απορροφητήρα, ° C
τρολ	Τοπικός χρόνος, h
UL	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, W/m^2 ° C

Ελληνικά σύμβολα

α	Ηλιακό ύψος, °
β	Κλίση επιπέδου, °
γ	Αζιμούθιο επιφάνειας, °
γs	Αζιμούθιο ηλίου, °
δ	Ηλιακή απόκλιση, °
θ	Γωνία πρόσπτωσης, °
θz	Γωνία ζενίθ, °
λ	Μήκος κύματος,μm
N	Διάρκεια της ημέρας
φ	Γεωγραφικό πλάτος, °
ω	Ωριαία γωνία, °
ωs	Ωριαία γωνία δύσης ηλίου, °

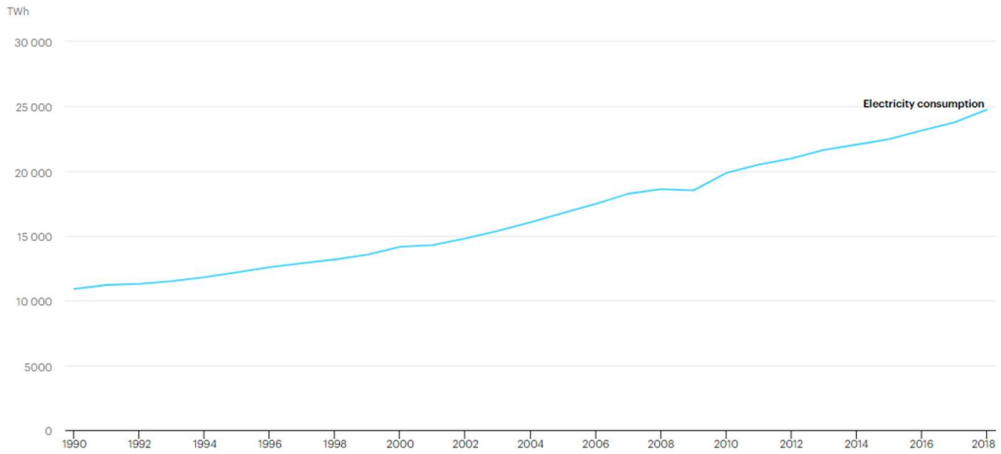
Αρκτικόλεξα

BCL	Building Component Library
EUI	Ένταση Ενέργειας Χρήσης (Energy Use Intensity)
FCU	Τερματική μονάδα (Fan Coil Unit)
HVAC	Θέρμανση, Εξαερισμός, Κλιματισμός (Heating, Ventilation, Air Conditioning)
PAT	Parametric Analysis Tool
PTAC	Συσκευασμένο Τερματικό Κλιματιστικό (Packaged Terminal Air Conditioner)
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων
ΠΕΑ	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης
ΠΕΚ	Πιστοποιητικό Ελέγχου Κατασκευής
ΤΟΤΕΕ	Τεχνικές Οδηγίες Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος

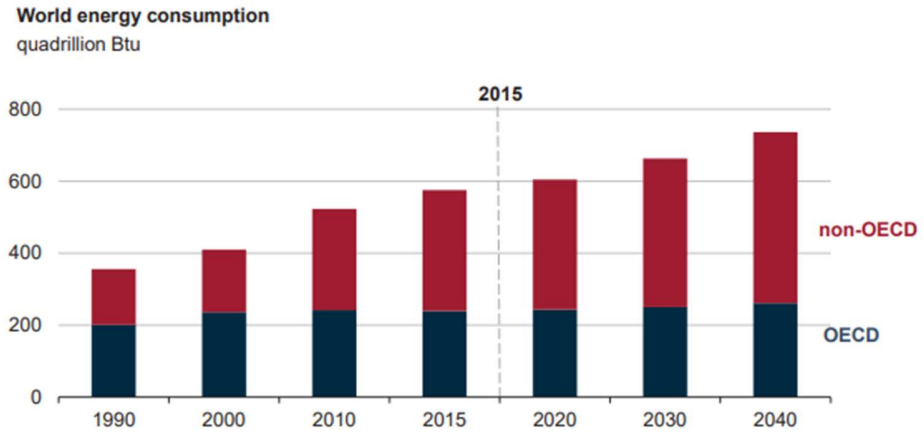
1. Εισαγωγή

1.1 Η ενεργειακή κατάσταση σήμερα

Οι άνθρωποι που ζουν στις σύγχρονες κοινωνίες, τη σημερινή εποχή, καταναλώνουν τεράστια ποσά ενέργειας για την κάλυψη βασικών αναγκών τους και μη, από τον κλιματισμό της κατοικίας τους, την αποθήκευση και την προετοιμασία του φαγητού, μέχρι τη λειτουργία βιομηχανικών μονάδων. Τα ποσά αυτά αυξάνονται ραγδαία λόγω της μεγάλης τεχνολογικής προόδου που συμβαίνει παγκοσμίως, της αύξησης του πληθυσμού και του επιπέδου ζωής τους. Στα **Σχήματα 1.1.1 – 1.1.2** φαίνεται η αύξηση της κατανάλωσης ανά τα έτη καθώς και μια πρόβλεψη για τα επόμενα 20 χρόνια.



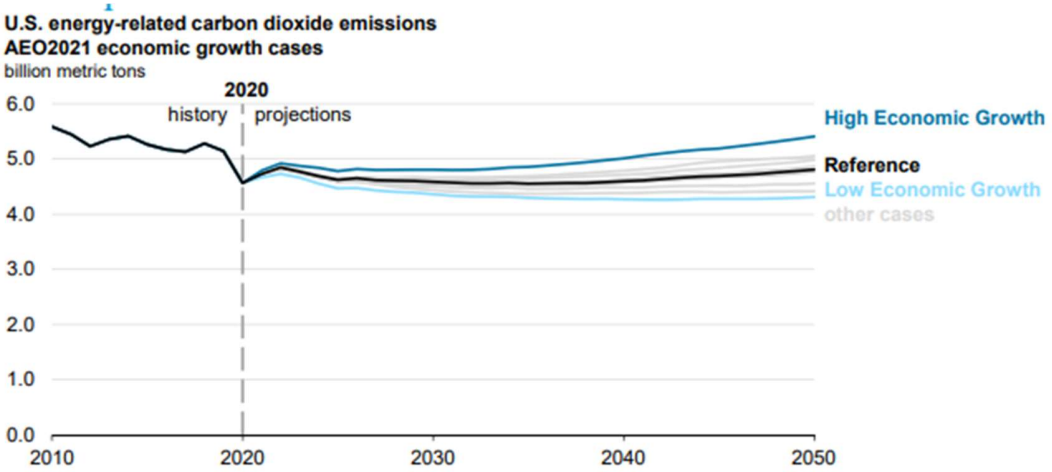
Σχήμα 1.1.1: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση από το 1990 έως το 2018 [1]



Σχήμα 1.1.2: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση για χώρες του ΟΟΣΑ και μη [2]

Μέχρι πριν λίγα χρόνια, το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιούταν ήταν τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία φαινόταν να είναι άφθονα, ήταν φθηνά και άμεσα διαθέσιμα. Τα μειονέκτημα όμως που παρουσιάζουν τα ορυκτά καύσιμα είναι πολύ σημαντικά [3]. Η ρύπανση που επιφέρουν στο περιβάλλον με τις εκπομπές CO2, οι κίνδυνοι ασφαλείας κατά την εξόρυξη και τη μεταφορά, η μείωση των αποθεμάτων σε παγκόσμια κλίμακα και η άνιση κατανομή σε χώρες πιο αναπτυγμένες από άλλες τα καθιστούν μη ικανά να στηρίξουν την παραγωγή ενέργειας.

Στο **Σχήμα 1.1.3** φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO2) ανά δισεκατομμύρια τόνους στις Η.Π.Α καθώς και κάποια σενάρια προβλέψεων για τα επόμενα έτη που βασίζονται στην οικονομική ανάπτυξη. Εάν υπάρξει συνέχεια χρήσης των ορυκτών καυσίμων θα επιβαρυνθεί η κατάσταση του κλίματος καθώς υπάρχει ήδη μεγάλο πρόβλημα με την τρύπα του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.1.3: Πρόβλεψη εκπομπών CO2 ανάλογα με την οικονομική ανάπτυξη [4]

Τα προβλήματα αυτά ώθησαν τον άνθρωπο σε εύρεση νέων μεθόδων για να παράγει την ενέργεια που καταναλώνει. Τρόποι ‘’εναλλακτικοί’’, μηδενικού ενεργειακού αποτυπώματος που θα αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ονομάστηκαν, είναι τρόποι εκμετάλλευσης φυσικών πηγών οι οποίες έχουν τα εξής πλεονεκτήματα [5]:

- Είναι ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον, με μηδενικά απόβλητα.

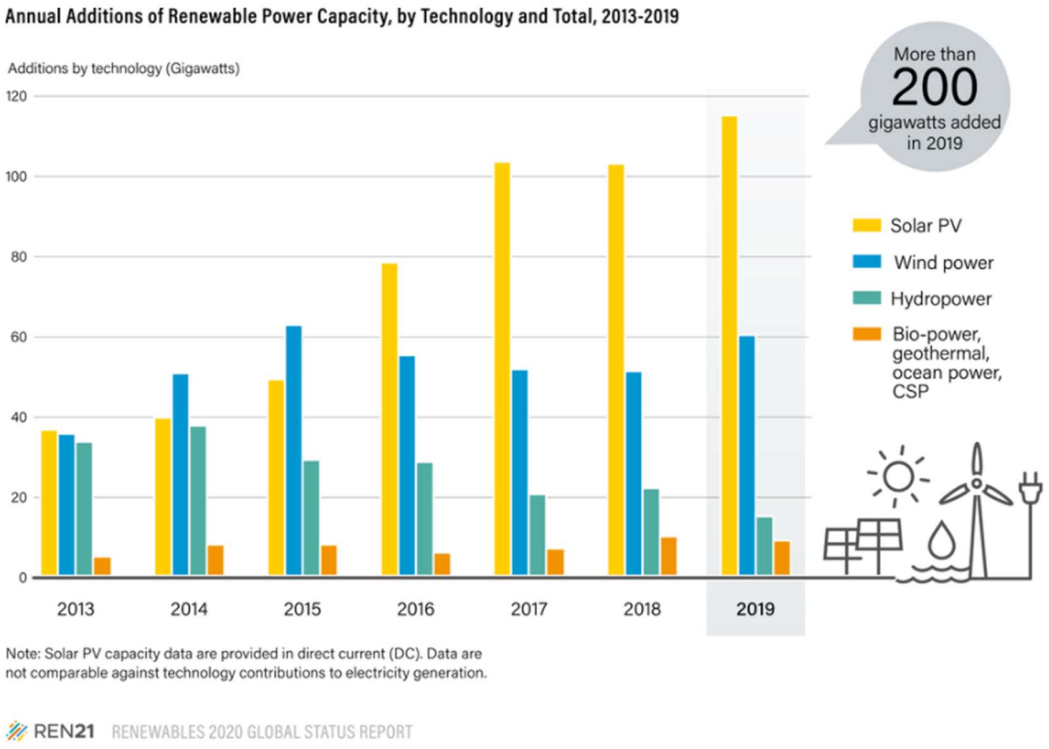
- Αντικαθιστώντας τους σταθμούς ενέργειας από συμβατικές πηγές μειώνεται το διοξείδιο του άνθρακα και η ρύπανση του περιβάλλοντος.
- Βοηθούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, αφού υπάρχουν σε πολλά γεωγραφικά σημεία και είναι ικανές να στηρίξουν τις τοπικές αλλά και περιφερειακές ενεργειακές ανάγκες.
- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Δημιουργούν θέσεις εργασίας που ενισχύουν και τις τοπικές κοινωνίες όπου εφαρμόζονται.

Τα είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδραυλική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια παλιρροιών
- Ενέργεια κυμάτων
- Ενέργεια ωκεανών

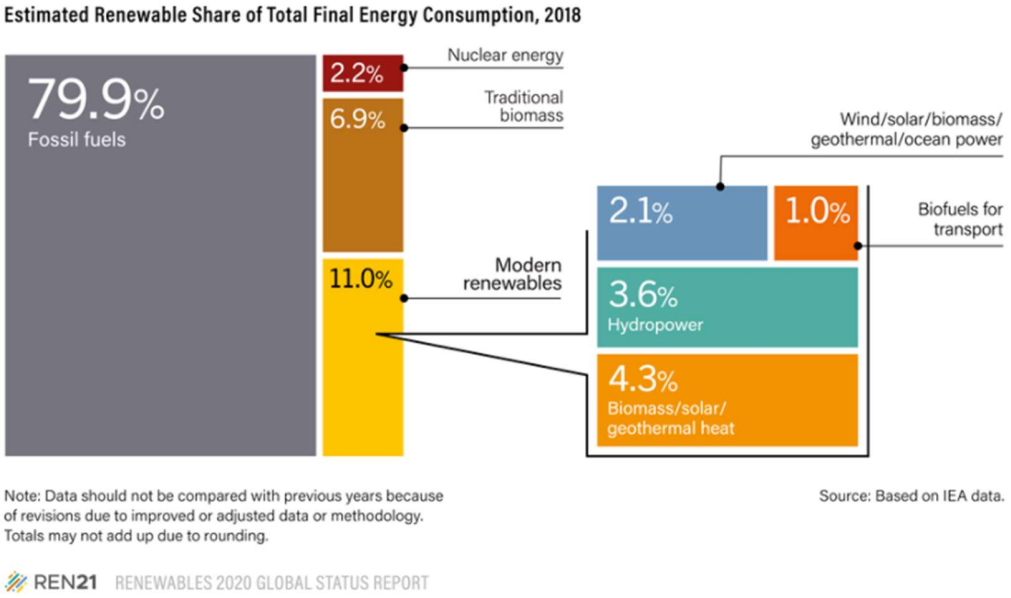
Εικόνα 1.1.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [6]

Με το πέρασμα των ετών, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διεισδύουν όλο και περισσότερο στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας. Στην Ευρώπη, η διείσδυση αυτή έχει ξεπεράσει το 20% και η Ευρωπαϊκή κομισιόν έχει ορίσει ένα στόχο τουλάχιστον 27% για το 2030 [6]. Στην **Εικόνα 1.1.2**. φαίνεται η επιπλέον εγκατεστημένη ισχύς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως.

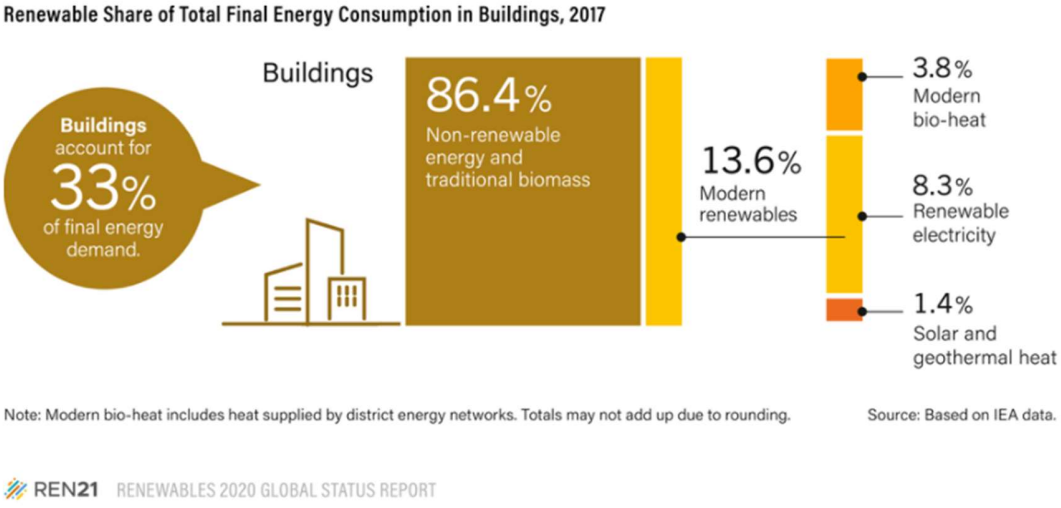


Εικόνα 1.1.2: Επιπλέον εγκατεστημένη ισχύς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανά χρόνο [7]

Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι και τα ίδια τα κράτη ενδιαφέρονται για την παραγωγή πράσινης ενέργειας. Σε παγκόσμια κλίμακα, η κατανομή της παραγωγής ενέργειας φαίνεται στην **Εικόνα 1.1.3**. Η παραγωγή εξαρτάται κατά ένα ποσοστό 79,9% από ορυκτά καύσιμα, πράγμα που καθιστά αναγκαία τη συνέχιση της επέκτασης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 1.1.3: Εκτιμώμενη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγώμενη ενέργεια, 2018 [7]



Εικόνα 1.1.4: Ποσοστό κατανάλωσης συνολικής ενέργειας από κτήρια [7]

Σύμφωνα με την **Εικόνα 1.1.4,** το 33% της ολικής ζήτησης ενέργειας είναι ενέργεια που χρειάζονται τα κτήρια για να λειτουργήσουν από το οποίο το 13,6% μόνο προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Άρα, ένα βήμα που μπορεί να γίνει προς την ανεξαρτητοποίηση της ζήτησης ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα είναι η ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων. Το βήμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί με τη δημιουργία απομακρυσμένων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας ή ακόμα και με εγκαταστάσεις μικρού τύπου προορισμένες για κάθε κτήριο ξεχωριστά. Έτσι θα μειωθεί η ζήτηση ενέργειας του δικτύου, θα αυτονομηθούν ενεργειακά σε ένα μεγάλο ποσοστό τα κτήρια και όλα αυτά με φιλικό τρόπο ως προς το περιβάλλον.

1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

Σκοπός της εργασίας είναι η ενεργειακή μελέτη μιας κατοικίας 100 m^2 στα βόρεια προάστια της Αθήνας και η επιλογή μεταξύ δύο συστημάτων παραγωγής ενέργειας - κλιματισμού έτσι ώστε να μπορεί να παράγει την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται και να είναι 100% αυτόνομο. Τα συστήματα αυτά είναι:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ με αντλία θερμότητας αέρα – αέρα και αποθήκευση ενέργειας στο δίκτυο υπό το θεσμό της ιδιοκατανάλωσης.
- Θερμικά ηλιακά πάνελ με ψύκτη απορρόφησης και πύργο ψύξης, με αποθήκευση ενέργειας σε δεξαμενή ζεστού νερού.

Το πρώτο ερώτημα είναι πόση ενέργεια χρειάζεται ένα τέτοιου μεγέθους κτήριο κατοικίας. Το δεύτερο ερώτημα είναι αν μπορεί να γίνει η υλοποίηση των επιλεγμένων συστημάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί 100% αυτονομία. Τέλος γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων και επιλογή του βέλτιστου.

1.3 Οριοθέτηση

Η μελέτη πραγματεύεται την ενεργειακή μελέτη του κτηρίου μόνο ως προς τον κλιματισμό του. Συνεπώς η παραγόμενη ενέργειας θα πρέπει να καλύπτει μόνο τα φορτία από τον κλιματισμό και όχι από τις ηλεκτρικές συσκευές ή το φωτισμό εντός του κτηρίου. Επίσης, δε θα υπολογιστεί το ζεστό νερό χρήσης καθόλου σαν φορτίο διότι έχει υποτεθεί ότι υπάρχει προ εγκατεστημένος ηλιακός θερμοσίφωνας που καλύπτει πλήρως τις ανάγκες. Ο ενεργειακός συμψηφισμός δε θα αναλυθεί εκτενώς, παρά μόνο θα γίνει μια λεπτομερείς αναφορά. Τέλος, η μελέτη αυτή δεν είναι οικονομοτεχνική, παρόλο που θα γίνει μια μικρή εκτίμηση κλίμακας των τεχνολογιών.

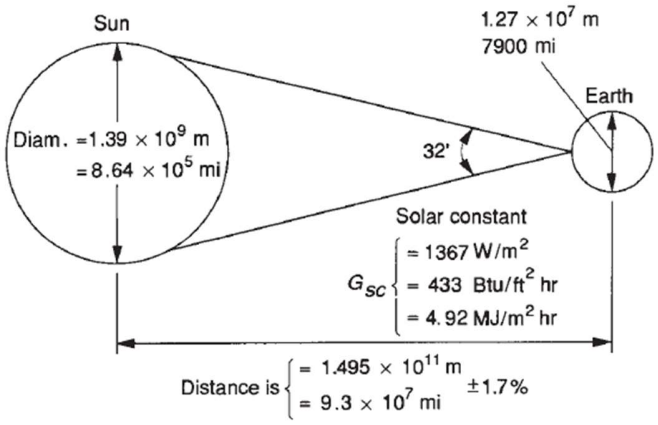
1.4 Διάρθρωση της εργασίας

Στο **πρώτο κεφάλαιο** ήδη αναφέρθηκε η ανάγκη για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτήρια λόγω της μεγάλης ζήτησης ενέργειας που έχουν. Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναλύονται διεξοδικά ο τρόπος με τον οποίο προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία στη γη καθώς και τεχνολογίες που την εκμεταλλεύονται. Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται εκτενής αναφορά στον κλιματισμό ενός χώρου, στη θερμική άνεση που πρέπει να έχει καθώς και στις τεχνολογίες κλιματισμού χώρου που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία. Στο **τέταρτο κεφάλαιο** δίνονται κάποιες πληροφορίες ως προς το λογισμικό προσομοίωσης που χρησιμοποιείται και των υπό-προγραμμάτων του τα οποία πρέπει να είναι κατανοητά πριν από την προσομοίωση. Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται εξήγηση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για να προσομοιωθεί το υπό μελέτη κτήριο. Στο **έκτο κεφάλαιο**, προσομοιώθηκαν τα δύο σενάρια εγκαταστάσεων πάνω στο κτήριο. Στο **έβδομο κεφάλαιο** φαίνονται τα αποτελέσματα του προγράμματος και παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες και γραφήματα. Στο **όγδοο κεφάλαιο** γίνεται μια συζήτηση σχετικά με τις τεχνολογίες που αναλύθηκαν και κατά πόσο συμφωνούν με τη βιβλιογραφία. Στο **ένατο κεφάλαιο** δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από όλη τη μελέτη. Τέλος, το **δέκατο κεφάλαιο** συμπεριλαμβάνει κάποιες άλλες συγκρίσεις για να συνεχιστεί αυτή η μελέτη.

2. Ηλιακή ενέργεια και τεχνολογίες

2.1 Ήλιος - γεωμετρία και άξονας

Ο ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Η γεωμετρία του είναι σχεδόν τέλεια σφαίρα, έχει διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές μεγαλύτερη από της γης), μάζα ίση με $2 * 10^{30}$kg και αποτελεί το 99,86% της μάζας του ηλιακού συστήματος [8]. Η τροχιά της γης γύρω από την ήλιο είναι τέτοια ώστε η απόσταση μεταξύ τους να μεταβάλλεται κατά $\pm 1{,}7\%$. Η μέση απόστασή τους είναι $1{,}495 * 10^{11}\ m$ (Εικόνα 2.1.1).



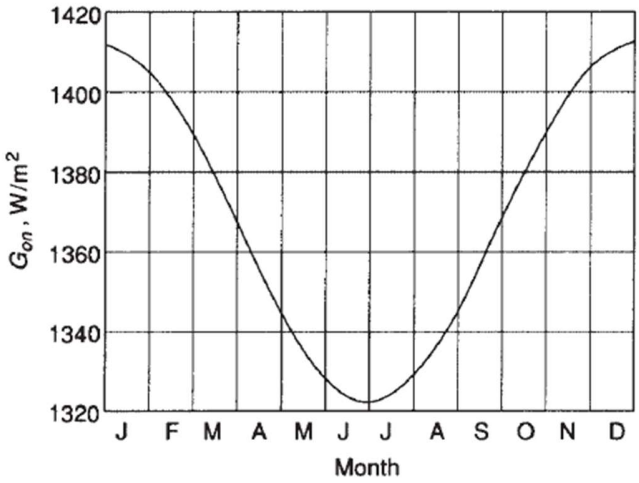
Εικόνα 2.1.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γης – ηλίου [9]

Η σημασία του ήλιου στην εξέλιξη και την διατήρηση της ζωής στη Γη είναι μεγάλη, καθώς δίνει όλη την ενέργεια στην Γη, ακόμη και για την δημιουργία του πετρελαίου και των ανθράκων, με εξαίρεση την πυρηνική. Με τη θεμελιώδη διαδικασία της φωτοσύνθεσης προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των φυτών και από αυτά των ζωντανών οργανισμών, και διατηρεί την επιφανειακή θερμοκρασία της Γης σε ανεκτά για τη ζωή επίπεδα. Αυτό το επιτυγχάνει με την ενέργεια υπό τη μορφή ακτινοβολίας που εκπέμπει προς όλες τα κατευθύνσεις, άρα και προς τη γη. Έτσι, ονομάζεται ηλιακή σταθερά η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο μονάδα επιφανείας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση γης – ηλίου λαμβάνει τη μέση τιμή της. Η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι $G_{SC} = 1353\,\frac{W}{m^2}$ [10].

Η μεταβολή της απόστασης γης – ηλίου προκαλεί και μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά $\pm 3\%$ της μέσης τιμής της. Η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας (Σχήμα 2.1.1), κάθετο στις ακτίνες, δίδεται από τη σχέση [2.1]:

$$G_{ON=}G_{SC}(1 + 0{,}033 * \cos\frac{360*n}{365}) \quad (2.1)$$

όπου $n = 1 \div 365$ είναι η μέρα του έτους (Πίνακας 2.1.1).

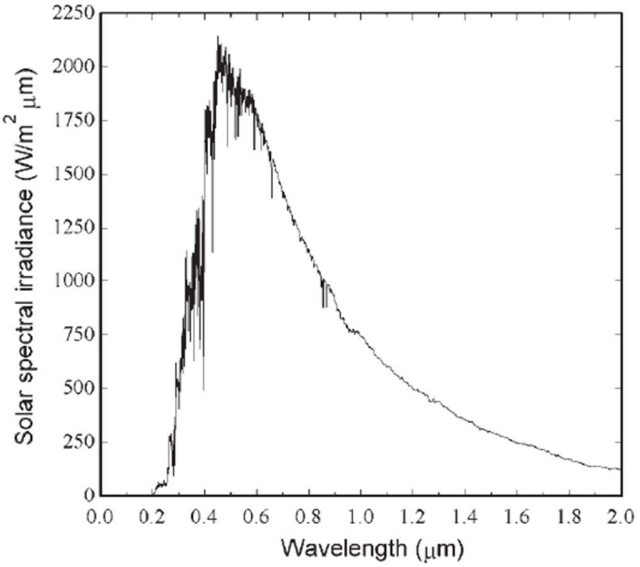


Σχήμα 2.1.1: Μεταβολή της ακτινοβολίας καθέτου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας συναρτήσει των ημερών του έτους [9]

Πίνακας 2.1.1: Αύξων αριθμός ημέρας του έτους, μέση ημέρα κάθε μήνα και ηλιακή απόκλιση [9]

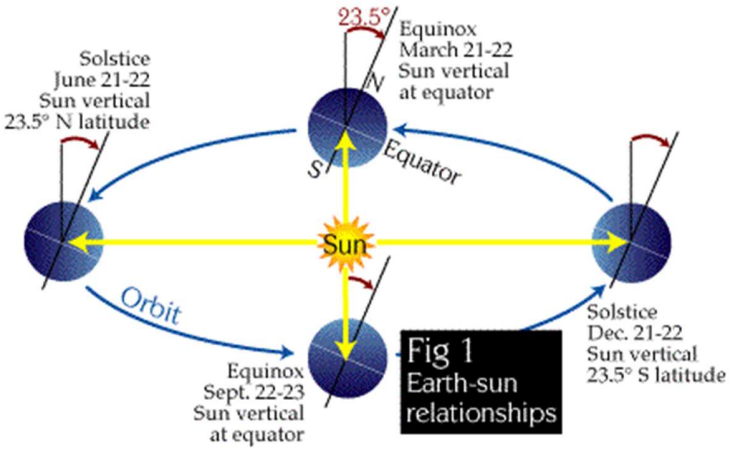
Month	n for ith Day of Month	For Average Day of Month		
		Date	n	δ
January	i	17	17	−20.9
February	$31 + i$	16	47	−13.0
March	$59 + i$	16	75	−2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	−9.6
November	$304 + i$	14	318	−18.9
December	$334 + i$	10	344	−23.0

Στο **Σχήμα 2.1.2** φαίνεται η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας κατά τη μέση απόσταση γης – ηλίου. Η υπεριώδης, η ορατή και η υπέρυθρη ακτινοβολία αντιστοιχούν στις περιοχές μηκών κύματος λ<0,38 μm, 0,38 μm < λ < 0,78 μm και λ>0,78 μm με αντίστοιχη ενέργεια 95 $\frac{W}{m^2}$, 640 $\frac{W}{m^2}$, 618 $\frac{W}{m^2}$.



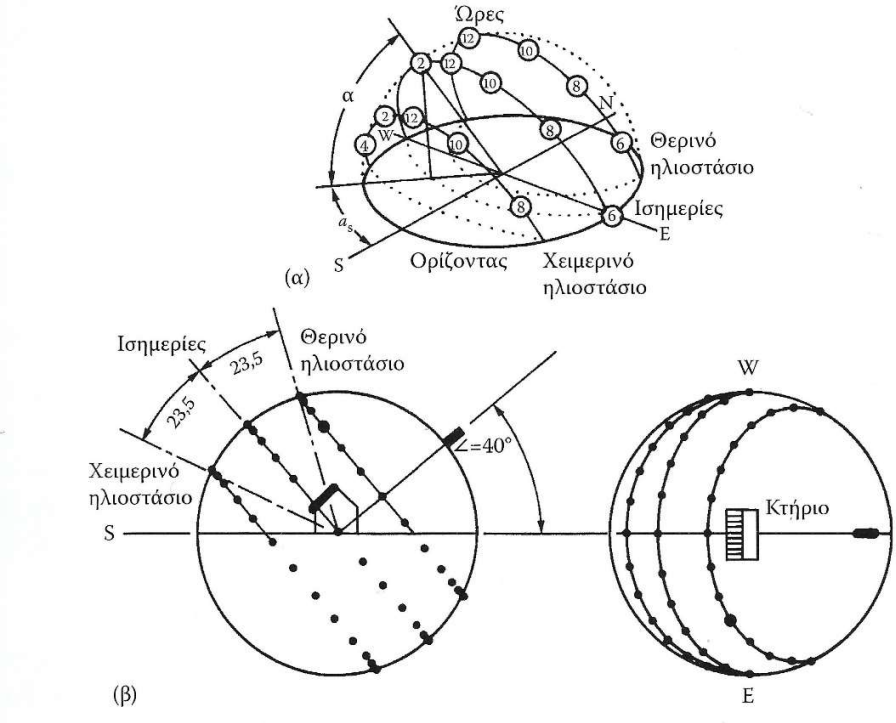
Σχήμα 2.1.2: Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας [9]

Ο άξονας της γης έχει και μια κλίση σε σχέση με την περιφορά του γύρω από τον ήλιο (Εικόνα 2.1.2).



Εικόνα 2.1.2: Σχέση του άξονα της γης με την περιστροφή γύρω από τον ήλιο [11]

Για να απλοποιηθεί η ανάλυση της κίνησης της γης, θεωρείται ότι ο ήλιος κινείται ως προς τη γη, η οποία είναι ακίνητη (πτολεμαϊκό μοντέλο) [12]. Έτσι, στην **Εικόνα 2.1.3** φαίνονται οι διαδρομές του ήλιου γύρω από αυτή για το χειμερινό και το θερινό ηλιοστάσιο.



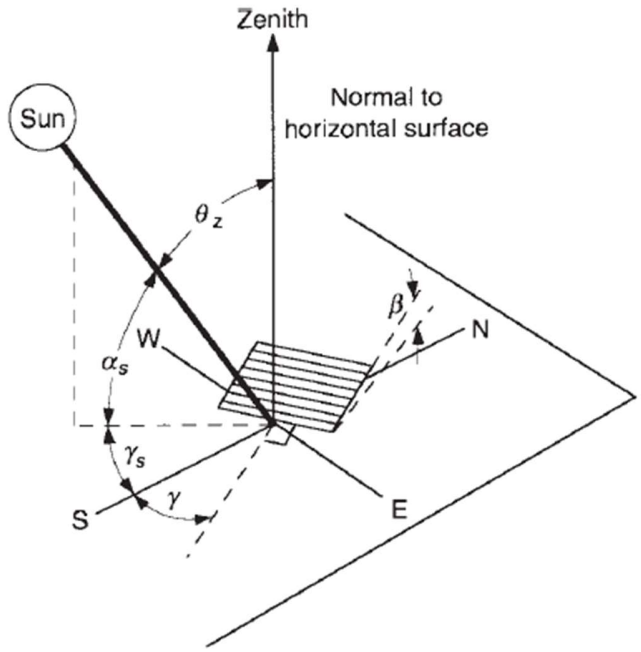
Εικόνα 2.1.3: Διαδρομές ηλίου κατά το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου), τις ισημερίες (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου) και το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου) για περιοχές σε γεωγραφικό πλάτος 40° Β: (α) ισομετρική προβολή, (β) πλάγια όψη και κάτοψη ως προς ένα κτήριο σε αυτό το γεωγραφικό πλάτος [12]

Έτσι φαίνεται ότι υπάρχει μια αντίθεση ως προς την ηλιακή ακτινοβολία που θα λάβει κάποιο αντικείμενο πάνω στη γη ανάλογα με τον προσανατολισμό του (π.χ. ένα αντικείμενο που βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο θα λαμβάνει περισσότερη ακτινοβολία από τη νότια πλευρά του, ενώ η βόρεια θα σκιάζεται).

2.2 Βασικοί ορισμοί

Οι βασικοί ορισμοί που χρειάζονται για την ηλιακή ενέργεια είναι [10]:

- Αζιμούθιο επιφάνειας (γ), είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση (Εικόνα 2.2.1). Είναι $-180^o \leq \gamma \leq 180^o$ με $\gamma = 0^o$ στο νότο, $\gamma = 90^o$ στη δύση, $\gamma = 180^o$ στο βορρά, $\gamma = -90^o$ στην ανατολή.
- Αζιμούθιο ηλίου (γs), είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης (Εικόνα 2.2.1).
- Κλίση επιπέδου (β), είναι η γωνία που σχηματίζει μία επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 2.2.1). Είναι $0^o \leq \beta \leq 180^o$. Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0^o$, ενώ για το κατακόρυφο $\beta = 90^o$. Για $\beta > 90^o$ το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.
- Γωνία ζενίθ (θz=90-α), είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου (Εικόνα 2.2.1).



Εικόνα 2.2.1: Γραφική παράσταση βασικών ορισμών ηλιακής ενέργειας [9]

- Ηλιακός χρόνος, είναι ο χρόνος που μετριέται με βάση τη φαινομενική κίνηση του ηλίου στον ουρανό. Έτσι, ηλιακό μεσημέρι είναι η χρονική στιγμή που ο ήλιος τέμνει τον μεσημβρινό του παρατηρητή. Ο ηλιακός χρόνος δε συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο, $t_{ρολ}$, που δείχνει το ρολόι. Η παρακάτω σχέση συνδέει τους δύο χρόνους [2.2]:

$$ηλιακός\ χρόνος = t_{ρολ} \pm 4(L_{ST} - L_{loc}) + E \quad (2.2)$$

όπου,

i. L_{st} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος (για Ελλάδα $L_{st} = 30^o$)

ii. L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή.

iii. $E=9,87 \cdot sin(2 \cdot B) - 7,53 \cdot cos(B) - 1,5 \cdot sin(B)$ (2.3)

iv. $B=360 \cdot (n - 84) / 364$ (2.4)

v. *n* είναι η μέρα του έτους

- Ωριαία γωνία (ω), είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό $15^o/h = 0,25^o$ /min [2.5].

$$\omega = 0,25 * (\min\ από\ ηλιακό\ μεσημέρι) \quad (2.5)$$

Λαμβάνεται ω > 0 για μ.μ. και ω < 0 για π.μ.

- Ηλιακή απόκλιση (δ), είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει $-23,45^o \leq \delta \leq 23,45^o$, με θετικές τιμές προς το βορρά [2.6].

$$\delta = 23,45 * sin(\frac{360*(284+n)}{365}) \quad (2.6)$$

Οι τιμές της ηλιακής απόκλισης δίδονται και στον **Πίνακα 2.1.1**.

- Γεωγραφικό πλάτος (φ) του τόπου ($-90^o \leq \phi \leq 90^o$). Για Αθήνα $\phi = 37,97^o$.

- Γωνία πρόσπτωσης (θ), είναι η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια [2.7].

$$cos\theta = sin\delta * sin\varphi * cos\beta - sin\delta * cos\varphi * sin\beta * cos\gamma + cos\delta * cos\varphi * cos\beta * cos\omega + cos\delta * sin\varphi * sin\beta * cos\gamma * cos\omega + cos\delta * sin\beta * sin\gamma * sin\omega \quad (2.7)$$

- Ηλιακό ύψος (α), είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ηλίου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 2.2.1) [12] [2.8].

$$\alpha = sin^{-1}[cos\delta * cos\varphi * cos\omega + sin\delta * sin\varphi] \quad (2.8)$$

- Ωριαία γωνία δύσης ηλίου (ωs), ισχύει για θz = 90° [2.9]:

$$cos\omega s = -tan\varphi * tan\delta \quad (2.9)$$

- Διάρκεια της ημέρας (N), ισχύει η εξίσωση [2.10]:

$$N = \frac{2}{15} * arc\cos(-tan\varphi * tan\delta) \quad (2.10)$$

2.3 Είδη ηλιακής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία του ήλιου που φτάνει στην επιφάνεια της γη χωρίζεται σε δύο κατηγορίες [10]:

- Άμεση ακτινοβολία, είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή (σε $\frac{W}{m^2}$) της αμέσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με G_b ενώ κεκλιμένο επίπεδο G_{bT}. Για χρονική περίοδο μιας ώρας ή μιας μέρας χρησιμοποιείται το σύμβολο I και H αντί του G (σε $\frac{J}{m^2}$).

- Διάχυτη ακτινοβολία, είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη ύστερα από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα G_d.

Αυτό γίνεται γιατί κατά τη διέλευση στην ατμόσφαιρα, η ακτινοβολία υπόκειται σε εξασθένηση αφ' ενός λόγω διασκορπισμού από τα μόρια του αέρα, του υδρατμού και της σκόνης και αφετέρου λόγω απορρόφησης από O_3, H_2O, CO_2.

Άρα τελικά η ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένου και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες.

2.4 Προσπίπτουσα ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

Η ηλιακή ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμόσφαιρας για χρονική περίοδο μιας ώρας δίνεται από τη σχέση [2.11] (σε $\frac{J}{m^2}$) [10]:

$$Io = \frac{12*3600}{\pi} * Gsc * \left(1 + 0{,}033 * cos\frac{360*n}{365}\right) * \left(cos\varphi * cos\delta * (sin\omega 2 - sin\omega 1) + \frac{2*\pi*(\omega 2-\omega 1)}{360} * sin\varphi * sin\delta\right) \quad (2.11)$$

Ενώ για μια μέρα ισχύει [2.12] (σε $\frac{J}{m^2}$):

$$Ho = \frac{24*3600}{\pi} * Gsc * \left(1 + 0{,}033 * cos\frac{360*n}{365}\right) * \left(cos\varphi * cos\delta * sin\omega s + \frac{2*\pi*\omega s}{360} * sin\varphi * sin\delta\right) \quad (2.12)$$

Ο δείκτης (kt) αιθριότητας δείχνει τη διαύγεια της ατμόσφαιρας στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται [2.13].

$$kt = \frac{I}{Io} \quad , \; kt = \frac{H}{Ho} \quad (2.13)$$

όπου:

I = ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

H = ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

Η ανάλυση της ολικής ακτινοβολίας σε άμεση και διάχυτη γίνεται ως εξής [2.14], [2.15]:

$$\frac{Hd}{H} = \begin{cases} 0{,}99\,, & kt \le 0{,}17 \\ 1{,}188 - 2{,}272 * kt + 9{,}473 * kt^2 - 21{,}865 * kt^3 + 14{,}648 * kt^4\,, & 0{,}17 \le kt \le 0{,}75 \\ 0{,}54 * kt + 0{,}632\,, & 0{,}17 \le kt \le 0{,}8 \\ 0{,}2\,, & kt \ge 0{,}8 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\frac{Id}{I} = \begin{cases} 1 - 0{,}1 * \frac{I}{Ic}\,, & 0 \le \frac{I}{Ic} \le 0{,}48 \\ 1{,}11 + 0{,}0396 * \frac{I}{Ic} - 0{,}789 * \left(\frac{I}{Ic}\right)^2\,, & 0{,}48 \le \frac{I}{Ic} \le 1{,}1 \\ 0{,}20\,, & 1{,}1 \le \frac{I}{Ic} \end{cases} \quad (2.15)$$

Η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου βρίσκεται από τη σχέση [2.16]:

$$\mathrm{I}b = I - Id \tag{2.16}$$

Η ανάλυση της ημερήσιας ακτινοβολίας δίνεται από του τύπους [2.17], [2.20]:

$$\mathrm{r}t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} * (\alpha + \beta * cos\omega) * \frac{cos\omega - cos\omega s}{sin\omega s - (2*\pi*\omega s/360)*cos\omega s} \tag{2.17}$$

όπου:

$$\alpha = 0{,}409 + 0{,}5016 * \sin(\omega s - 60) \tag{2.18}$$

$$\beta = 0{,}6609 + 0{,}4767 * \sin(\omega s - 60) \tag{2.19}$$

και

$$\mathrm{r}d = \frac{Id}{Hd} = \frac{\pi}{24} * \frac{cos\omega - cos\omega}{sin\omega s - (2*\pi*\omega s/360)*cos\omega s} \tag{2.20}$$

Ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου ως προς την άμεση οριζοντίου επιπέδου είναι [2.21]:

$$\mathrm{R}b = \frac{cos\theta}{cos\theta z} \tag{2.21}$$

Άρα, η ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου δίνεται από τη σχέση [2.22]:

$$Gt = Ib * Rb + Id * \left(\frac{1+cos\beta}{2}\right) + (Ib + Id) * \rho * \left(\frac{1-cos\beta}{2}\right) \tag{2.22}$$

2.5 Θερμικά ηλιακά πάνελ

Μια από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τα θερμικά ηλιακά πάνελ. Ο ηλιακός συλλέκτης, ένας ειδικής μορφής εναλλάκτης θερμότητας, μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Αυτό το επιτυγχάνει χρησιμοποιώντας τις ακτίνες του ηλίου για να θερμάνει ένα ρευστό, το οποίο βρίσκεται μέσα σε σωλήνες κάτω από το κάλυμμά του. Η ιδιορρυθμία του έγκειται στο γεγονός ότι δεν εργάζεται όπως οι συμβατικοί εναλλάκτες, που η θερμότητα μεταφέρεται από ένα ρευστό σε ένα άλλο και η

ακτινοβολία είναι αμελητέα. Στην προκειμένη περίπτωση ενδιαφέρει μόνο η ακτινοβολία καθώς η πηγή βρίσκεται αρκετά μακριά [10] [13].

Υπάρχουν τρία είδη ηλιακών συλλεκτών.

- Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες
- Συλλέκτες κενού
- Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

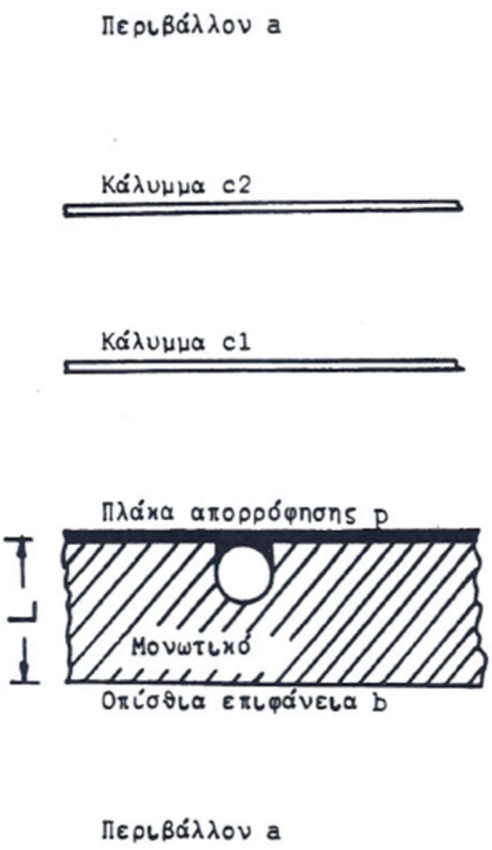
Οι **επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες** είναι μια διαδεδομένη και ώριμη τεχνολογία που χρησιμοποιείτε σε οικιακά συστήματα θέρμανσης καθώς έχει μέσες θερμοκρασίες περίπου 100^{o} C. Οι συλλέκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση νερού καθώς και για θέρμανση κτηρίων ενώ στις δυνατές εφαρμογές συμπεριλαμβάνεται ο κλιματισμός και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση. Μπορούν να εκμεταλλευτούν και την άμεση αλλά και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και δεν απαιτούν τη χρήση μηχανισμού κίνησης για την παρακολούθηση του ηλίου σε αντίθεση με τους συγκεντρωτικούς. Αυτό σημαίνει ότι είναι απλή κατασκευή και συνεπώς απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Στις **Εικόνες 2.5.1 – 2.5.2** φαίνονται κάποιοι τυπικοί επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες.

Εικόνα 2.5.1: Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες σε οροφές [14]

Εικόνα 2.5.2: Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες σε ξενοδοχείο στο Κατάκολο Ηλείας [15]

Ο ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από επιμέρους στοιχεία τα οποία είναι από πάνω προς τα κάτω [10]:

- Η συλλεκτική επιφάνεια (κάλυμμα)(Εικόνα 2.5.3), που είναι υπεύθυνη για την προστασία των κύριων στοιχείων του συλλέκτη, γι' αυτό και είναι κατασκευασμένη από διάφανο κρύσταλλο. Επίσης βοηθάει στη μέγιστη απόδοση συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Το υπόστρωμα (πλάκα απορρόφησης)(Εικόνα 2.5.3), κατασκευασμένο από χαλκό και περασμένο με μαύρο χρώμιο για να αυξάνεται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Οι σωλήνες χαλκού, από εκεί διέρχεται το ρευστό όπου λαμβάνει την ακτινοβολία που έχει συσσωρευθεί και αυξάνεται η θερμοκρασία του (Εικόνα 2.5.3).
- Η προστατευτική επιφάνεια (οπίσθια επιφάνεια - μονωτικό)(Εικόνα 2.5.3), μονωμένη για να έχει τη μέγιστη απορρόφηση της ακτινοβολίας
- Το εξωτερικό περίβλημα, το οποίο είναι η βάση που συγκρατεί όλα τα επιμέρους στοιχεία του συλλέκτη και είναι συνήθως φτιαγμένο από ανοξείδωτο αλουμίνιο (Εικόνα 2.5.3).



Εικόνα 2.5.3: Στοιχεία επίπεδου ηλιακού πάνελ [10]

Η ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς (W) που δίνουν φαίνεται από τον παρακάτω τύπο[2.23] [10]:

$$Qu = Ac * [S - Ul(Tp, m - Ta)] \quad (2.23)$$

όπου:

Qu = Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς (W).

Ac = Επιφάνεια του συλλέκτη (επιφάνεια του καλύμματος) (m^2).

S = Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών (W/m^2).

UL = Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από το συλλέκτη στο περιβάλλον δι' αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας($W/m^2\ oC$).

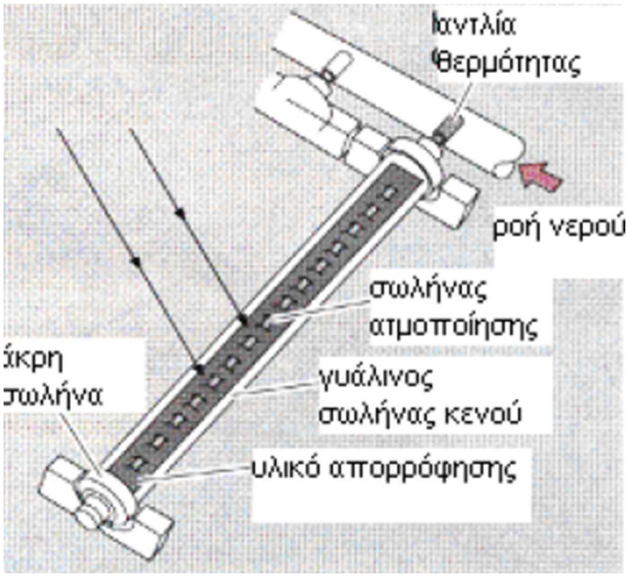
Tp,m = Μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα (ο C).

Ta = Θερμοκρασία περιβάλλοντος (ο C).

Έτσι φαίνεται πως αποδίδεται η ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας στο ρευστό ανεβάζοντας τη θερμοκρασία του.

Οι **συλλέκτες κενού** είναι μια κατηγορία μεγαλύτερης απόδοσης από τους ηλιακούς συλλέκτες με πιο δύσκολη κατασκευή, αφού στο εσωτερικό τους υπάρχει ρευστό με πολύ χαμηλή πίεση. Εκμεταλλεύονται την άμεση και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και μαζί με την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών λόγω κενού, είναι η πιο κατάλληλη επιλογή για κρύα κλίματα και περιοχές με μικρή ηλιοφάνεια το χειμώνα. Επίσης λόγω του κυλινδρικού σχήματος των αγωγών, το ηλιακό φως προσπίπτει κάθετα στην απορροφητική επιφάνεια το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Οι συλλέκτες κενού επιτυγχάνουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες από αυτές των επίπεδων συλλεκτών αλλά έχουν πιο ακριβή κατασκευή [3].

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου αποτελούνται από ένα σύστημα αρθρωτών σωλήνων όπου στο κέντρο τους υπάρχει λεπτός μεταλλικός αγωγός με απορροφητική επιφάνεια. Εκεί τοποθετείται υγρό σε τέτοια πίεση ώστε να βράζει στο ''ζεστό'' άκρο και η συμπύκνωση του ατμού να γίνεται στο ''κρύο άκρο''. Η θερμική αγωγιμότητα ενός τέτοιου σωλήνα είναι πολλές φορές μεγαλύτερη σε σχέση με συμπαγή μεταλλικό σωλήνα με δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων ποσών θερμότητας για μικρή θερμοκρασιακή διαφορά. Στην **Εικόνα 2.5.4** φαίνονται τα επιμέρους στοιχεία του συλλέκτη κενού ενώ στην **Εικόνα 2.5.5** φαίνονται κάποιοι τυπικοί ηλιακοί συλλέκτες κενού.



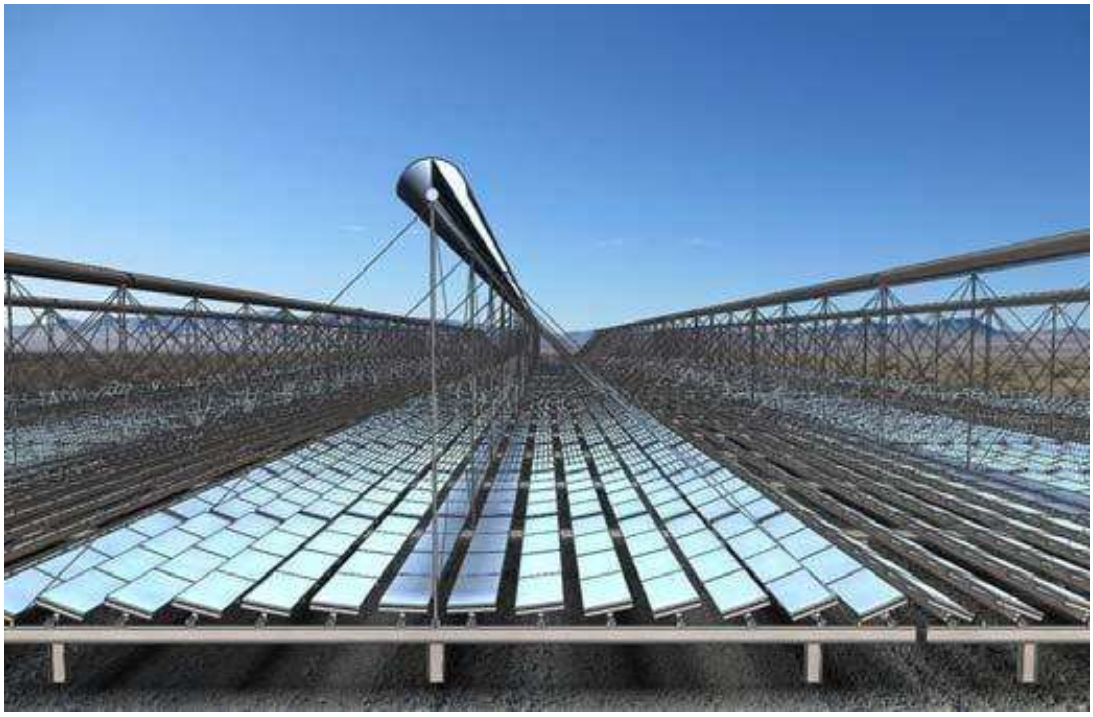
Εικόνα 2.5.4: Μέρη του συλλέκτη κενού [3]

Εικόνα 2.5.5: Ηλιακός συλλέκτης κενού [16]

Οι **συγκεντρωτικοί συλλέκτες** συγκεντρώνουν μεγάλο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρή επιφάνεια. Η συγκέντρωση επιτυγχάνεται με παρεμβολή μιας οπτικής ανακλαστικής ή διαθλαστικής συσκευής μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο ήλιος, και της επιφάνειας απορρόφησης [17].

Πλεονεκτήματα των συγκεντρωτικών συλλεκτών σε σχέση με τους επίπεδους είναι ότι έχουν υψηλότερη θερμική απόδοση λόγω μικρότερης επιφάνειας απορρόφησης που συνεπάγεται μικρότερες απώλειες και ότι το εργαζόμενο μέσο αναπτύσσει υψηλές θερμοκρασίες. Οι ανακλαστικές επιφάνειες χρειάζονται λιγότερο υλικό και η κατασκευή είναι πιο απλή από τους επίπεδους συλλέκτες και πιο φθηνή. Τα μειονεκτήματα τους όμως είναι ότι χρειάζονται μηχανισμό παρακολούθησης του ηλίου που αυξάνει το κόστος τους, αξιοποιούν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, και χρειάζονται συνεχή συντήρηση και καθαρισμό στις συλλεκτικές επιφάνειες για να μην χάνουν την ανακλαστικότητά τους. Έτσι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ατμού στην ηλεκτροπαραγωγή.

Τα κύρια μέρη του είναι ο συγκεντρωτής που συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σημείο και ο δέκτης που τη λαμβάνει. Στις **Εικόνες 2.5.6 – 2.5.7** φαίνονται κάποιοι τυπικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες.



Εικόνα 2.5.6: Συγκεντρωτικοί συλλέκτες [18]

Εικόνα 2.5.7: Συγκεντρωτικοί συλλέκτες [19]

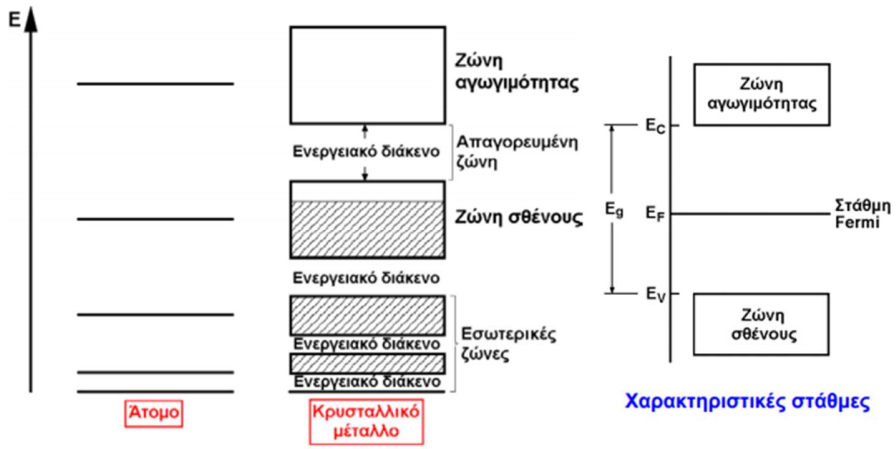
2.6 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Ένας διαφορετικός τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και ενέργειας είναι με τη φωτοβολταϊκή μετατροπή. Η μετατροπή αυτή είναι μια άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να μεσολαβεί κάποια θερμική μηχανή. Οι συσκευές που λειτουργούν βάσει αυτής της μετατροπής είναι στερεάς κατάστασης, επομένως προσφέρουν απλότητα και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, καθώς δεν έχουν κινητά μέρη, Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των συσκευών αυτών είναι ότι μπορούν να υλοποιήσουν αυτόνομα συστήματα όλων των τάξεων, από μερικά μW έως MW. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρές και μεγάλες συσκευές, καθώς και να ενσωματωθούν σε στέγες και τοίχους κτηρίων με τη μορφή πάνελ. Λόγω της ποικιλίας των εφαρμογών, η ζήτηση για φωτοβολταϊκά συστήματα αυξάνεται κάθε χρόνο. Το 2012 μόνο τέθηκαν σε λειτουργία παγκοσμίως σταθμοί 32GW συνολικής ισχύος [12].

Το ίδιο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1893 από τον Alexandre-Edmond Becquerel με την πρόσπτωση φωτός σε ένα ηλεκτρόδιο εντός ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Έπειτα, το 1877 το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε σε στερεά και συγκεκριμένα στο σελήνιο από τους William Grylls Adams και Richard Evans Day. Πρωτοπόροι ερευνητές, όπως οι W. H. Schottky, L. Lange, L. O. Grondahl, εξέλιξαν τα πρώτα στάδια της τεχνολογίας αυτής με οξείδια του σεληνίου και του

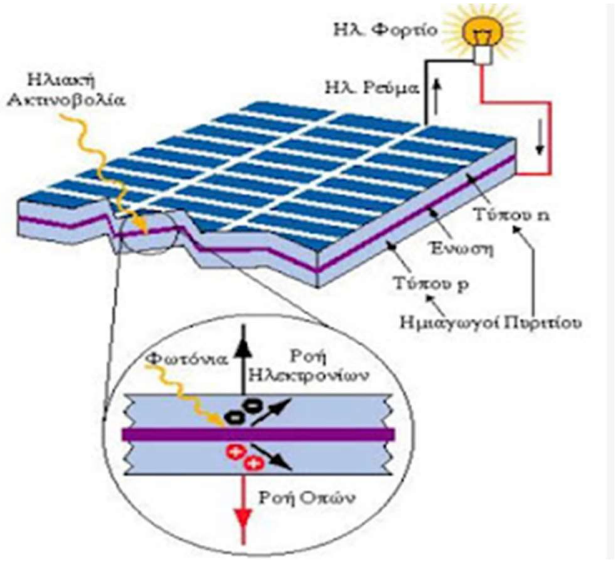
χαλκού. Κατά το 1954, ερευνητές της RCA και των Bell Laboratories ανέφεραν την επίτευξη βαθμού απόδοσης 6% χρησιμοποιώντας συσκευές από ημιαγωγούς τύπου p και n. Ο διαστημικός ανταγωνισμός μεταξύ ΗΠΑ και ΕΣΣΔ αποτέλεσε κινητήριο δύναμη για τη γοργή βελτίωση των φωτοβολταϊκών συσκευών. Η εργασία του R.H. Bube (1960) παρουσιάζει την αρχική ανάπτυξη της τεχνολογίας της φωτοβολταϊκής μετατροπής [12]. Η παγκόσμια ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών ήταν εκθετική μεταξύ των ετών 1992-2017. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα φωτοβολταϊκά εξελίχθηκαν από μια εξειδικευμένη αγορά εφαρμογών μικρής κλίμακας σε σημαντική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα αναγνωρίστηκαν για πρώτη φορά ως πολλά υποσχόμενη τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διάφορες κυβερνήσεις εφάρμοσαν προγράμματα προκειμένου να παράσχουν οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις. Για αρκετά χρόνια, η ανάπτυξη προήλθε κυρίως από την Ιαπωνία και τις πρωτοπόρες ευρωπαϊκές χώρες. Από τότε, η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων έχει αποκτήσει δυναμική σε παγκόσμια κλίμακα, ιδιαίτερα στην Ασία, αλλά και στη Βόρεια Αμερική και σε άλλες περιοχές. Η αύξηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας προχώρησε ακόμη πιο γρήγορα όταν η παραγωγή ηλιακών κυψελών και μονάδων άρχισε να αυξάνεται στις ΗΠΑ με το έργο Million Solar Roofs, καθώς και με την πρόσθεση των ΑΠΕ στο πενταετές σχέδιο της Κίνας για την παραγωγή ενέργειας για το 2011 [20].

Όσον αφορά την αρχή λειτουργίας, σύμφωνα με τη κβαντική θεωρία της ύλης η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου βρίσκεται σε ένα από τα πολλά ενεργειακά επίπεδα ή ενεργειακές ζώνες (Εικόνα 2.6.1). Τα ηλεκτρόνια που μπορούν να λάβουν μέρος στο σχηματισμό ενώσεων βρίσκονται στη ζώνη σθένους. Είναι δυνατό, υπό κατάλληλες συνθήκες, κάποια ηλεκτρόνια να αποκτήσουν ικανή ενέργεια για να μεταπηδήσουν στη ζώνη αγωγιμότητας οπότε το υλικό μετατρέπεται σε αγωγό του ηλεκτρισμού. Το μέγεθος της ενεργειακής διαφοράς ή του χάσματος ζώνης, διαφέρει από υλικό σε υλικό και μετράται σε eV [3].



Εικόνα 2.6.1: Ενεργειακές ζώνες και ενεργειακές στάθμες κρυσταλλικού υλικού [21]

Έτσι για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία το φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από συνδυασμό δύο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς, γνωστούς ως p-type και n-type (Εικόνα 2.6.2). Οι ημιαγωγοί αυτοί κατασκευάζονται συνήθως από πυρίτιο. Οι n-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων (συνήθως φωσφόρου) έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο και γι' αυτό ο ημιαγωγός ονομάζεται n-type. Οι p-type ημιαγωγοί κατασκευάζονται και αυτοί από κρυσταλλικό πυρίτιο στο οποίο όμως εισάγονται διαφορετικού τύπου προσμίξεις (συνήθως βόριο) οπότε το υλικό παρουσιάζει έλλειμα ελευθέρων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια που ''λείπουν'' ονομάζονται οπές. Η έλλειψη των αρνητικών φορτισμένων ηλεκτρονίων μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με την ύπαρξη θετικού φορτίου και γι' αυτό η ημιαγωγοί του τύπου ονομάζονται p-type.



Εικόνα 2.6.2: Διάταξη φωτοβολταϊκού στοιχείου [22]

Εφόσον χρησιμοποιείται το πυρίτιο πρέπει να αναφερθούν οι ιδιότητές του. Ο κρύσταλλος του καθαρού πυριτίου έχει κυβική δομή. Το άτομο του πυριτίου έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους. Κάθε άτομο συγκρατείται στο κρυσταλλικό πλέγμα, με αμοιβαία συνεισφορά δύο ηλεκτρονίων με άλλα τέσσερα γειτονικά άτομα πυριτίου σε ίσες αποστάσεις. Με τη δράση θερμότητας ή φωτονίων παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια ώστε ένα ηλεκτρόνιο να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας, όπου το ηλεκτρόνιο κινείται ελεύθερα μέσα στο πλέγμα και άγει το ηλεκτρικό του φορτίο. Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας αφήνει πίσω του μια οπή, δηλαδή μια περιοχή όπου υπάρχει θετικό φορτίο.

Οι κρύσταλλοι πυριτίου n-type δημιουργούνται με την εισαγωγή απειροελάχιστης ποσότητας φωσφόρου. Κάθε άτομο φωσφόρου έχει πέντε ηλεκτρόνια σθένους. Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους του P θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο, που περισσεύει, θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό φορτίο του P. Μικρή ενέργεια αρκεί για την απόσπασή του και τη μεταφορά του στη ζώνη αγωγιμότητας (του κρυστάλλου). Με την απομάκρυνση του πέμπτου ηλεκτρονίου το άτομο του P μετατρέπεται σε θετικό ιόν, ακίνητο στο πλέγμα. Σε κανονικές θερμοκρασίες, οι κρύσταλλοι n-type έχουν περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων. Το πεντασθενές άτομο προσμίξεων συμπεριφέρεται ως δότης ηλεκτρονίων.

Από την άλλη, οι κρύσταλλοι πυριτίου p-type δημιουργούνται με την εισαγωγή απειροελάχιστης ποσότητας βορίου. Κάθε άτομο βορίου έχει τρία μόνο ηλεκτρόνια σθένους, τα οποία προσφέρονται σε τρία γειτονικά άτομα πυριτίου. Το τέταρτο άτομο πυριτίου σχηματίζει ένα δεσμό στον οποίο λείπει ένα ηλεκτρόνιο. Με απορρόφηση λίγης ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να μετακινηθεί προς την κενή θέση, αφήνοντας την προηγούμενη θέση του μια οπή. Συγχρόνως, με την απόκτηση του επιπλέον ηλεκτρονίου και τη συμπλήρωση του τέταρτου δεσμού, το άτομο του B φορτίζεται αρνητικά. Συνεπώς, οι p-type κρύσταλλοι έχουν περισσότερες οπές από ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα τρισθενή άτομα στο πλέγμα του Si συμπεριφέρονται ως αποδέκτες ηλεκτρονίων.

Έτσι κατά τη διάταξη των δύο στρωμάτων πυριτίου p-type και n-type, όταν ένα φωτόνιο με την απαραίτητη ενέργεια εισέρθει σε ένα στοιχείο πυριτίου και συναντά ένα άτομο πυριτίου, εκτοπίζει ένα ηλεκτρόνιο και δημιουργεί μια οπή. Το ηλεκτρόνιο κινείται προς το στρώμα του n-type πυριτίου. Η οπή κινείτε προς το στρώμα του p-type πυριτίου. Το ηλεκτρόνιο κινείται προς ένα συλλέκτη φορτίων στην εμπρός επιφάνεια του στοιχείου, δημιουργεί ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα και επανέρχεται στο στρώμα του p-type πυριτίου, όπου μπορεί να ενωθεί με τις οπές. Όταν φωτόνιο με ενέργεια μεγαλύτερη από την ενεργειακή διαφορά των στοιβάδων προσπίπτει σε άτομο πυριτίου οδηγεί σε συνδυασμό ηλεκτρονίου – οπής (η περίσσεια ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα). Φωτόνιο με ενέργεια μικρότερη από την ενεργειακή διαφορά των στοιβάδων περνά από το στοιχείο χωρίς να προσδίδει καθόλου ενέργεια. Μερικά φωτόνια ανακλώνται από την μπροστινή επιφάνεια παρά την ύπαρξη ειδικού επικαλυπτικού στρώματος. Μερικά φωτόνια χάνονται καθώς η επιφάνεια του συλλέκτη φορτίων δεν τους επιτρέπει να προσεγγίσουν τον κρύσταλλο. Στις **Εικόνες 2.6.3 – 2.6.4** φαίνονται κάποια τυπικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Εικόνα 2.6.3: Εγκατάσταση με φωτοβολταϊκά στοιχεία [23]

Εικόνα 2.6.4: Φωτοβολταϊκό πάρκο [24]

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν πολύ μεγάλη ζήτηση στην αγορά λόγω των αρκετών πλεονεκτημάτων που έχουν σαν τεχνολογία. Καταρχήν εκμεταλλεύονται μια ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή. Έχουν μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων και λειτουργούν αθόρυβα. Η αξιοπιστία του είναι αρκετά υψηλή και οι απαιτήσεις συντήρησης ελάχιστες λόγω έλλειψης κινούμενων μερών. Έχουν μεγάλη αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες και η διάρκεια ζωής τους είναι τουλάχιστον 25 έτη. Μπορούν να είναι ανεξάρτητα του δικτύου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα τεράστιο εύρος εφαρμογών ανεξαρτήτου ισχύος [25]. Από την άλλη, ο βαθμός απόδοσής τους

φθάνει μέχρι το 15% πράγμα που σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ.

2.7 Ενεργειακός συμψηφισμός

Ο συμψηφισμός της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενέργειας αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ΑΠΕ και εφαρμόζεται σε διάφορες χώρες, κυρίως για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών [26]. Για να επιτευχθεί όμως αυτός ο συμψηφισμός απαιτούνται πολύ μεγάλες αποθήκες ενέργειας κυρίως λόγω της έλλειψης παραγωγής ενέργειας από τον ήλιο το βράδυ αλλά και πιθανής νέφωσης που μπορεί να ελαττώσει ή να μηδενίσει την παραγωγή ενέργειας για κάποιες ημέρες. Ο κλασικός τρόπος επίλυσης είναι η χρήση μπαταριών για αποθήκη ενέργειας. Σε απομακρυσμένα συστήματα εκτός δικτύου ενδείκνυται, όχι όμως σε οικιστικές περιοχές όπου υπάρχει σύνδεση στο δίκτυο, όπως η περιοχή μελέτης. Οι μπαταρίες είναι ένα πολύ ακριβό στοιχείο στο κύκλωμα και είναι δύσκολο να καλύψουν εξ ολοκλήρου το σύστημα αποδοτικά για πολύ καιρό [27].

Ένας εναλλακτικός τρόπος αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας είναι μέσω του δικτύου. Επειδή το δίκτυο έχει πολύ μεγάλη χωρητικότητα σε σχέση με τις καταναλώσεις του κτηρίου μπορεί να θεωρηθεί αποθηκευτικός χώρος. Με αυτόν τον τρόπο, η διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών γίνεται έτσι ώστε η παραγωγή τους να ισούται με την κατανάλωση του κτηρίου σε βάθος ενός χρόνου. Πάνω σε αυτή τη λογική δημιουργήθηκε ο θεσμός της ιδιοκατανάλωσης και του ενεργειακού συμψηφισμού (**net-metering**). Στην **Εικόνα 2.7.1** φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται τα φωτοβολταϊκά στο δίκτυο.

Εικόνα 2.7.1: Σύνδεση φωτοβολταϊκών στοιχείων στο δίκτυο [26]

Δεδομένου ότι οι περισσότεροι μετρητές είναι αμφίδρομοι, η εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού δεν απαιτεί συνήθως σημαντικά έξοδα από πλευράς του καταναλωτή, αφού δεν απαιτείται πρακτικά η εγκατάσταση και δεύτερου μετρητή (όπως ισχύει στην περίπτωση της καταμέτρησης και πώλησης της παραγόμενης ενέργειας).

Η αρχή του ενεργειακού συμψηφισμού στην Ελλάδα έγινε το 2014 όπου με υπουργική απόφαση [28] θεσπίστηκε η ανάπτυξη Φωτοβολταϊκών Συστημάτων από αυτοπαραγωγούς για την κάλυψη ιδίων αναγκών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικός όρος είναι ότι τυχόν πλεόνασμα παραγόμενης ενέργειας μετά τον ετήσιο συμψηφισμό δεν αποζημιώνεται. Συνεπώς δεν ενδείκνυται η παραγωγή να υπερβαίνει τη συνολική ετήσια κατανάλωση, κατά την έννοια ότι δεν προκύπτει κάποιο όφελος για τον αυτοπαραγωγό. Επομένως, η ισχύς του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να επιλέγεται με βάση τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες [29].

Το 2012, ο ενεργειακός συμψηφισμός αφορούσε μόνο στο 2% των φωτοβολταϊκών συστημάτων που εγκαταστάθηκαν διεθνώς. Ο λόγος για τη μικρή συμβολή έχει να κάνει με το γεγονός ότι στις περισσότερες χώρες η λιανική τιμή του ρεύματος είναι συνήθως χαμηλότερη από το κόστος παραγωγής της ηλιακής κιλοβατώρας και άρα δεν υπάρχει κίνητρο για τον καταναλωτή. Ο ενεργειακός συμψηφισμός αναπτύχθηκε λοιπόν εκεί όπου είτε υπάρχει κάποια επιπλέον επιδότηση για την εγκατάσταση είτε η λιανική τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι αρκετά υψηλή. Σήμερα που το κόστος της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας έχει μειωθεί σημαντικά και οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί σε σχέση με το πρόσφατο παρελθόν, ο ενεργειακός συμψηφισμός αρχίζει να γίνεται πλέον ελκυστικός και για άλλες χώρες, όπως για παράδειγμα η Ελλάδα [25] [30].

Με τη βοήθεια αυτής της καινοτομίας, δηλαδή της χρήσης του δικτύου ως αποθηκευτικό χώρο, μπορεί με την κατάλληλη διαστασιολόγηση του συστήματος φωτοβολταϊκών να υπάρξει αυτονομία ενός κτηρίου.

3. Κλιματισμός χώρου

3.1 Ενεργειακή απόδοση κτηρίων

Η ανάγκες που έχουν τα κτήρια σε θέρμανση και ψύξη λόγω της ανθρώπινης παρουσίας μεταφράζονται σε κατανάλωση ενέργειας. Η κατανάλωση αυτή δεν μπορεί να αποφευχθεί δεδομένου του ότι ο άνθρωπος για να αισθανθεί άνετα σε ένα χώρο χρειάζεται συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας (στο **κεφάλαιο 3.2** θα αναλυθούν περαιτέρω). Αυτές οι καταναλώσεις όμως μπορούν να γίνουν μικρότερες με την κατάλληλη μελέτη. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί μικρότερη ζήτηση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, συνεπώς μικρότερη καύση ορυκτών καυσίμων και λιγότερη μόλυνση προς το περιβάλλον.

Η ενεργειακή απόδοση κτηρίων προσδιορίζεται με βάση μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, σύμφωνα με την οποία λαμβάνονται υπόψη, η χρήση του κτηρίου, τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, τα γεωμετρικά δεδομένα και τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και φωτισμού των χώρων [31].

Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων και η ορθολογική χρήση της ενέργειας έχουν στόχο να διασφαλίσουν αποδεκτές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος με τη σωστή θερμική συμπεριφορά του κτηρίου, καθ’ όλη την διάρκεια του έτους και συνεπώς να περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας, με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται. Στην περίπτωση του βιοκλιματικού σχεδιασμού ο στόχος επιτυγχάνεται με καθαρά σχεδιαστικούς χειρισμούς ή με διάφορες τεχνικές στην κατασκευή του κτηρίου, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο την εξάρτηση από το μηχανολογικό εξοπλισμό για την θέρμανση και ψύξη. Έτσι, καλύπτοντας τις ανάγκες των κτηρίων με ηλιακή ενέργεια και άλλες ατμοσφαιρικές πηγές καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια απ’ ότι οι αντίστοιχες συμβατικές κατασκευές. Εξοικονόμηση ενέργειας στις κατασκευές προκύπτει από το σωστό και ορθολογικό σχεδιασμό, ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω της σωστής χωροθέτησης του κτηρίου στο περιβάλλον και τον προσανατολισμό του, της διάστασης και προσανατολισμού των ανοιγμάτων του, την προστασία του κελύφους από τις ατμοσφαιρικές εναλλαγές αλλά και από τη σωστή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού [32].

Για την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την χειμερινή περίοδο απαιτείται περιορισμός των θερμικών απωλειών του κτηρίου και μεγιστοποίηση των θερμικών ηλιακών κερδών. Αντίθετα κατά την θερινή περίοδο θα πρέπει να επιδιώκεται ο φυσικός δροσισμός του κτηρίου με την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών και τη θερμική αποφόρτιση του κτηρίου μέσω του αερισμού και των άλλων σχετικών μέτρων.

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στην Ελλάδα υπολογίζεται με βάση μεθοδολογία που ορίζεται στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) ο οποίος περιλαμβάνει, πλέον των θερμομονωτικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων της εξωτερικής επιφάνειας του κτηρίου (κέλυφος) και άλλους παράγοντες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, όπως οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα στοιχεία παθητικής θέρμανσης και ψύξης, η σκίαση, η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων, ο επαρκής φυσικός φωτισμός και ο σχεδιασμός του κτηρίου. Η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης καλύπτει την ετήσια ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και έχει εκπονηθεί σύμφωνα με τα σχετικά ευρωπαϊκά πρότυπα [33] [34].

Με τον ΚΕΝΑΚ καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και των δομικών στοιχείων. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν καθοριστεί με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη από πλευράς κόστους ισορροπία μεταξύ των συναφών επενδύσεων και των ενεργειακών δαπανών που εξοικονομούνται στη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτηρίου.

Πληροφορίες σχετικά με την τυπική ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, αλλά και οικονομικά συμφέρουσες συμβουλές σχετικά με τη βελτίωση της απόδοσης του, δίνονται στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) που είναι χρήσιμο στον ιδιοκτήτη, στον μελλοντικό αγοραστή αλλά και στον ενοικιαστή ενός κτηρίου ή κτηριακής μονάδας. Ο ιδιοκτήτης αναθέτει σε ενεργειακό επιθεωρητή την εκπόνηση ενεργειακής επιθεώρησης και την έκδοση ΠΕΑ.

Η έκδοση του ΠΕΑ είναι υποχρεωτική για την πώληση και ενοικίαση (μακροχρόνια, βραχυχρόνια, υπεκμίσθωση) κάθε κτηρίου/κτηριακής μονάδας. Ειδικά για τη διάθεση προς πώληση ή προς μίσθωση κτηρίου ή κτηριακής μονάδας, απαιτείται η δήλωση του δείκτη ενεργειακής απόδοσης (ενεργειακή κατηγορία), όπως αυτός προκύπτει από το ΠΕΑ, σε όλες τις εμπορικές διαφημίσεις και καταχωρήσεις. Στην ηλεκτρονική δήλωση στην ΑΑΔΕ της μίσθωσης (μακροχρόνιας, βραχυχρόνιας, υπεκμίσθωσης) σε νέο ενοικιαστή κτηρίου ή κτηριακής μονάδας, καταχωρείται ο αριθμός πρωτοκόλλου του ΠΕΑ σε αυτή.

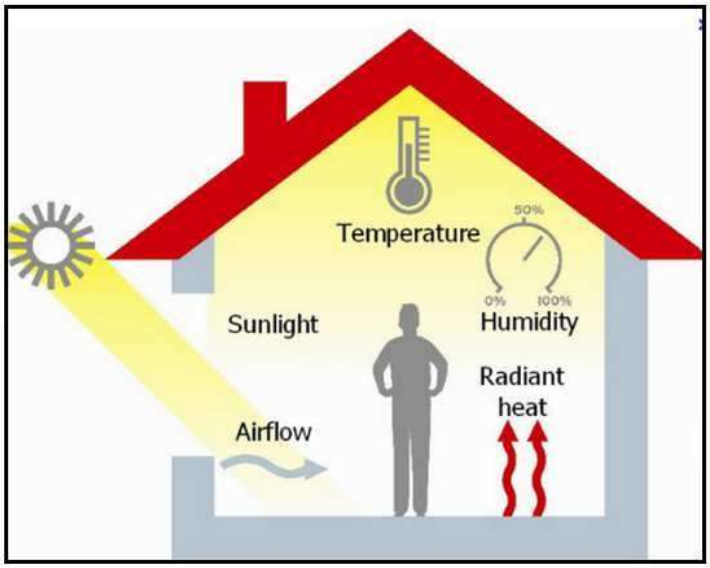
Επιπλέον, το ΠΕΑ απαιτείται μετά την ολοκλήρωση των οικοδομικών εργασιών νέου κτηρίου, προσθήκης, ριζικής ανακαίνισης, για την έκδοση του Πιστοποιητικού Ελέγχου Κατασκευής (ΠΕΚ).

Οι τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΟΤΕΕ) είναι αυτές που ακολουθούνται για να επιτευχθεί ο ΚΕΝΑΚ. Οι οδηγίες αυτές ανανεώνονται ανά τα έτη με τις τελευταίες να είναι του 2017 [35].

3.2 Θερμική άνεση

Η θερμική άνεση είναι μια κατάσταση του μυαλού η οποία εκφράζει την ικανοποίηση του ανθρώπου σε ένα χώρο. Επειδή υπάρχουν μεγάλες διαφορές από άνθρωπο σε άνθρωπο, είναι δύσκολο να υπάρχει μια ενιαία κατάσταση για όλους. Έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες και από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι υπάρχει ένα εύρος συνθηκών που ικανοποιεί μεγάλο ποσοστό ανθρώπων [36]. Υπάρχουν 6 κύριες παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τον υπολογισμό συνθηκών για θερμική άνεση (Εικόνα 3.2.1). Αυτές είναι:

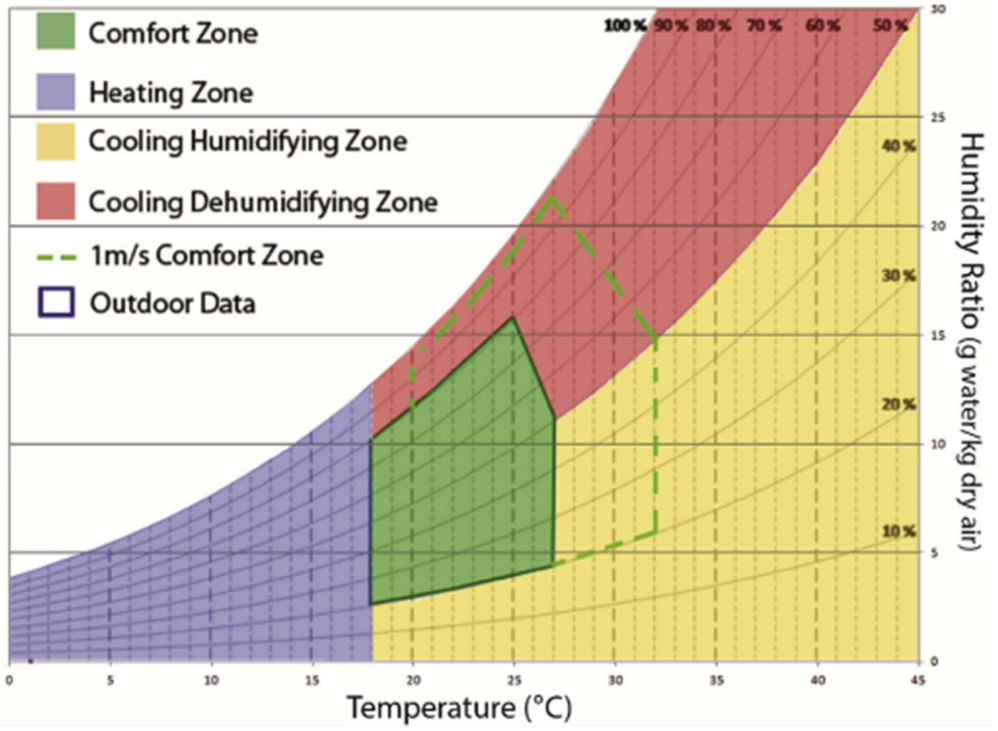
- Μεταβολισμός
- Μόνωση ρουχισμού
- Θερμοκρασία αέρα
- Θερμική ακτινοβολία
- Ταχύτητα αέρα
- Υγρασία



Εικόνα 3.2.1: Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση [37]

Είναι πιθανό όλοι οι παράγοντες να διαφέρουν με το χρόνο. Θεωρείτε όμως ότι η θερμική άνεση είναι μια σταθερή κατάσταση. Σαν αποτέλεσμα, οι άνθρωποι που εισέρχονται σε ένα χώρο που πληροί τις προϋποθέσεις της θερμικής άνεσης μπορεί

να μην νιώσουν κατευθείαν άνετα εάν αυτοί είχαν τελείως διαφορετικές συνθήκες πριν μπουν στο χώρο. Η επίδραση της προηγούμενης έκθεσης ή δραστηριότητας μπορεί να επηρεάσει την εκτίμηση άνεσης για περίπου μία ώρα. Στο ψυχρομετρικό διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.2.1) φαίνονται τα όρια θερμικής άνεσης στο Ιράν.



Σχήμα 3.2.1: Όρια θερμικής άνεσης [38]

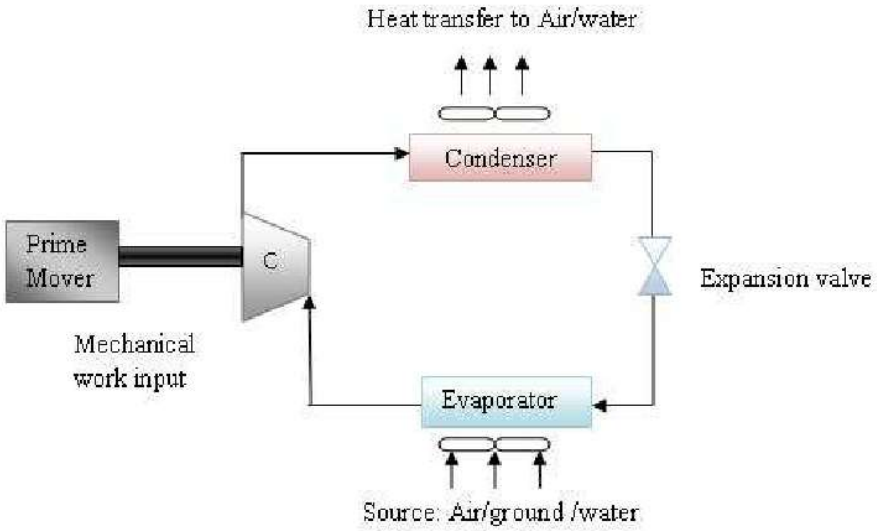
Το διάγραμμα αυτό μπορεί να ισχύσει και στην Ελλάδα εφόσον οι τιμές που χρησιμοποιούνται είναι 20^{o} C για θέρμανση το χειμώνα και 24^{o} C για ψύξη. Οι τιμές αυτές βασίζονται στο **2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals-CHAPTER 17** [39]. Οι τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΟΤΕΕ) [35] ζητούν 26^{o} C για ψύξη, επειδή όμως οι πρώτες τιμές είναι πιο αυστηρές θα προτιμηθούν. Η σχετική υγρασία πρέπει να είναι στο εύρος 40 – 45% σύμφωνα με το ΤΟΤΕΕ αν και μικρές αποκλίσεις βρίσκονται επίσης μέσα στα όρια θερμικής άνεσης.

3.3 Αντλία θερμότητας

Η αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που επιτρέπει μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας προς ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Με άλλα λόγια μεταφέρει ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας αντίθετα από τη φορά της φυσικής ροής. Γι' αυτό το λόγο απαιτεί ενέργεια για να λειτουργήσει. Βασίζεται στον κύκλο ψύξης και έχει την ικανότητα να αντιστρέφει τη λειτουργία της ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου που κλιματίζεται. Χρησιμοποιείται πλέον σε πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητα καθώς είναι πολύ αποδοτική και αξιόπιστη λόγω του απλού κύκλου της. Έχει τροποποιηθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε ξεχωριστής εφαρμογής και έτσι υπάρχουν τα εξής είδη:

- Αντλίες θερμότητας αέρος – αέρος, είναι τα γνωστά κλιματιστικά συστήματα όπου ψύχουν η θερμαίνουν τον εσωτερικό αέρα.
- Αντλίες θερμότητας αέρος – νερού, είναι ίδιες με την πρώτη κατηγορία, με τη μόνη διαφορά ότι θερμαίνουν και ψύχουν νερό.
- Αντλίες θερμότητας νερού – νερού, εδώ και οι δύο εναλλάκτες είναι εναλλάκτες νερού, και το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από τη μια μάζα νερού στην άλλη.
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπου απορροφούν ποσά θερμότητας από τον φλοιό της γης.

Το κύκλωμα που χρησιμοποιείται στις αντλίες θερμότητας φαίνεται στην **Εικόνα 3.3.1**.



Εικόνα 3.3.1: Κύκλος συμπίεσης σε αντλία θερμότητα [40]

Το κύκλωμα αποτελείται από 4 μέρη τα οποία είναι ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής που βρίσκεται εξωτερικά του κτηρίου, ο ατμοποιητής που βρίσκεται στο εσωτερικό του κτηρίου, και η βαλβίδα θερμικής διαστολής [40].

Το κύκλωμα στηρίζεται σε ένα εργαζόμενο μέσο, λεγόμενο και ψυκτικό μέσο το οποίο έχει πολύ χαμηλό σημείο βρασμού, δηλαδή έχει την ιδιότητα να αλλάζει φάση από υγρό σε αέριο και το αντίθετο σε θερμοκρασία μικρότερη από του περιβάλλοντος. Αυτή η αλλαγή φάσης συνοδεύεται από κάποια ποσά θερμότητας τα οποία τραβούν από ένα χώρο και δίνουν σε έναν άλλο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί η διάταξη αυτή να μεταφέρει θερμότητα από ένα χώρο σε ένα άλλο. Στην Εικόνα 3.3.2 φαίνεται μια τυπική διάταξη αντλίας θερμότητας.

Εικόνα 3.3.2: Τυπική διάταξη αντλίας θερμότητας [41]

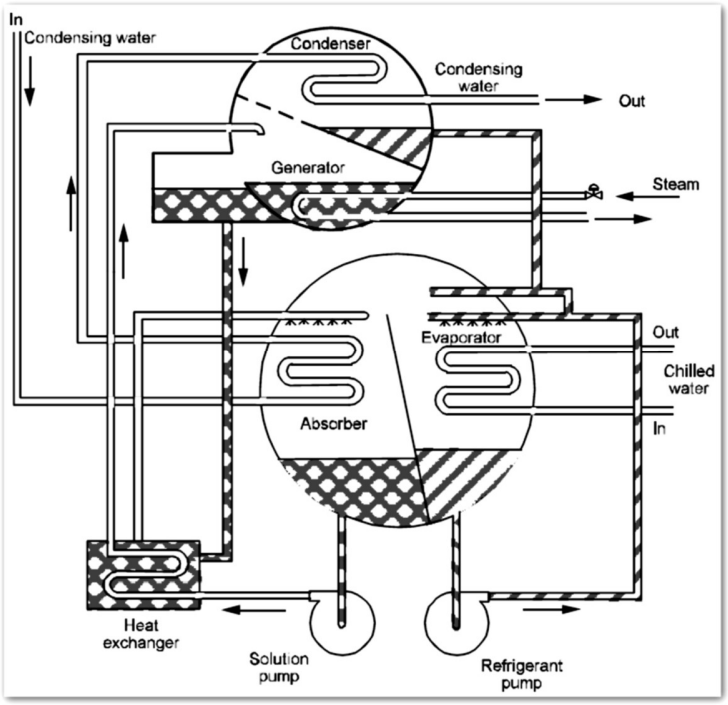
Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας είναι ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο. Σε λειτουργία θέρμανσης και ψύξης, ο βαθμός αυτός ονομάζεται COP και EER αντίστοιχα. Στις σύγχρονες αντλίες θερμότητας συναντάμε τιμές COP και EER μεγαλύτερες του 3. Τιμή COP (ή EER) ίση με 3 σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ενέργειας που καταναλώνει μια αντλία θερμότητας, μεταφέρει τρεις μονάδες ενέργειας.

3.4 Ψύκτης απορρόφησης

Δεδομένης της ραγδαίας αύξησης για κλιματισμό τη θερινή περίοδο τα τελευταία χρόνια και σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας έχουν εφευρεθεί μη συμβατικές μέθοδοι ψύξης. Μία από αυτές είναι και ο ψύκτης απορρόφησης. Χαρακτηριστική είναι η αρχή λειτουργίας του κατά την οποία χρησιμοποιώντας τη θερμότητα κάποιου θερμού ρευστού μπορεί να παρέχει ψύξη σε ένα χώρο. Δεν απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα όπως οι συμβατικές μέθοδοι και με την κατάλληλη μελέτη είναι πιο αποδοτική από αυτές. Είναι ένα κλειστό κύκλωμα ψύξης, που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται αναπλήρωση του μέσου στο κύκλωμα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του και επίσης δεν αποτελείται από κινούμενα μέρη (εκτός από κάποιες αντλίες) που μεταφράζεται σε απουσία θορύβου και μικρότερη ανάγκη για συντήρηση [42].

Πιο συγκεκριμένα ο κύκλος λειτουργίας του δεν είναι ίδιος με τον κύκλο της συμπίεσης καθώς απουσιάζει ο συμπιεστής και υπάρχουν δύο εργαζόμενα μέσα το ένα εκ των οποίων χρησιμεύει ως ψυκτικό μέσο και το άλλο ως απορροφητής. Συνήθεις συνδυασμοί είναι το νερό – αμμωνία καθώς και το νερό – βρωμιούχο λίθιο. Επειδή ο πρώτος συνδυασμός είναι τοξικός λόγω της αμμωνίας, στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται ο δεύτερος συνδυασμός.

Στην εικόνα φαίνεται μια εγκατάσταση ψύκτη απορρόφησης:



Εικόνα 3.4.1: Εγκατάσταση ψύκτη απορρόφησης [43]

Αρχικά ένα μείγμα βρωμιούχου λιθίου και νερού φεύγει από τον απορροφητή μέσω αντλίας προς τον εναλλάκτη θερμότητας και έπειτα κατευθύνεται στον αναγεννητή. Εκεί αυξάνεται η θερμοκρασία του χάρη στο κύκλωμα ζεστού νερού ή ατμού που είναι η πηγή. Το νερό εξατμίζεται και κατευθύνεται στον συμπυκνωτή και το βρωμιούχο λίθιο μένει στον πάτο του αναγεννητή. Από εκεί, το πλούσιο απορροφητικό βρωμιούχο λίθιο κατευθύνεται στον εναλλάκτη, δίνοντας τη θερμότητά του στο μείγμα και γυρίζει πίσω στον απορροφητή ψυχρό με ψεκασμό. Αναμειγνύεται με το μείγμα και είναι έτοιμο να ξανακάνει τον παραπάνω κύκλο.

Οι υδρατμοί που έχουν μαζευτεί στο συμπυκνωτή πρέπει να συμπυκνωθούν και να ξαναγίνουν υγρό. Έτσι ένα κλειστό κύκλωμα νερού περνάει από τον συμπυκνωτή και κατευθύνεται προς τον πύργο ψύξης όπου απορρίπτει τη θερμότητα στο περιβάλλον. Η θερμοκρασία του νερού του πύργου ψύξης είναι αρκετή για να συμπυκνώσει τους υδρατμούς όταν έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια των σωλήνων. Έτσι το υγρό πέφτει προς τα κάτω και μαζεύεται στο ειδικό δοχείο διαλογής.

Έπειτα, το υγρό που συλλέχθηκε ψεκάζεται στον ατμοποιητή ο οποίος έχει πολύ χαμηλή πίεση. Μόλις το υγρό έρθει στις συνθήκες χαμηλής πίεσης ρίχνει απότομα τη θερμοκρασία του και παγώνει. Εκεί υπάρχει το κλειστό κύκλωμα του νερού που έρχεται σε επαφή με το χώρο και φέρει όλη την θερμότητα που πρέπει να απορριφθεί από αυτό. Έτσι με το ψεκασμό γίνεται η συναλλαγή θερμότητας και το υγρό του ατμοποιητή ατμοποιείται και επιστρέφει στον απορροφητή για να ενωθεί με το βρωμιούχο λίθιο. Η ποσότητα υγρού που δεν έρχεται σε επαφή με το κύκλωμα του χώρου ξαναγυρνάει με μια αντλία στο πάνω μέρος του ατμοποιητή και συνεχίζει να ψεκάζεται έως ότου να το επιτύχει.

Κατά την ένωση του νερού με το βρωμιούχο λίθιο εκλύεται ένα ποσό θερμότητας το οποίο πρέπει να απορριφθεί. Γι’ αυτό το λόγο το κύκλωμα του πύργου ψύξης περνάει και από τον απορροφητή.

Εννοείτε ότι το ρευστό του κυκλώματος του ζεστού νερού της πηγής, του πύργου ψύξης και του κρύου νερού δεν έρχονται σε επαφή με τα ρευστά των επιμέρους στοιχείων του ψύκτη παρά μόνο συναλλάσουν θερμότητα.

Συνήθεις βαθμός απόδοσης COP είναι περί το 0,65-0,84 για ένα στάδιο και 1-1,5 για διπλού σταδίου ψύκτες απορρόφησης [44].

3.5 Τερματική μονάδα (Fan Coil Unit)

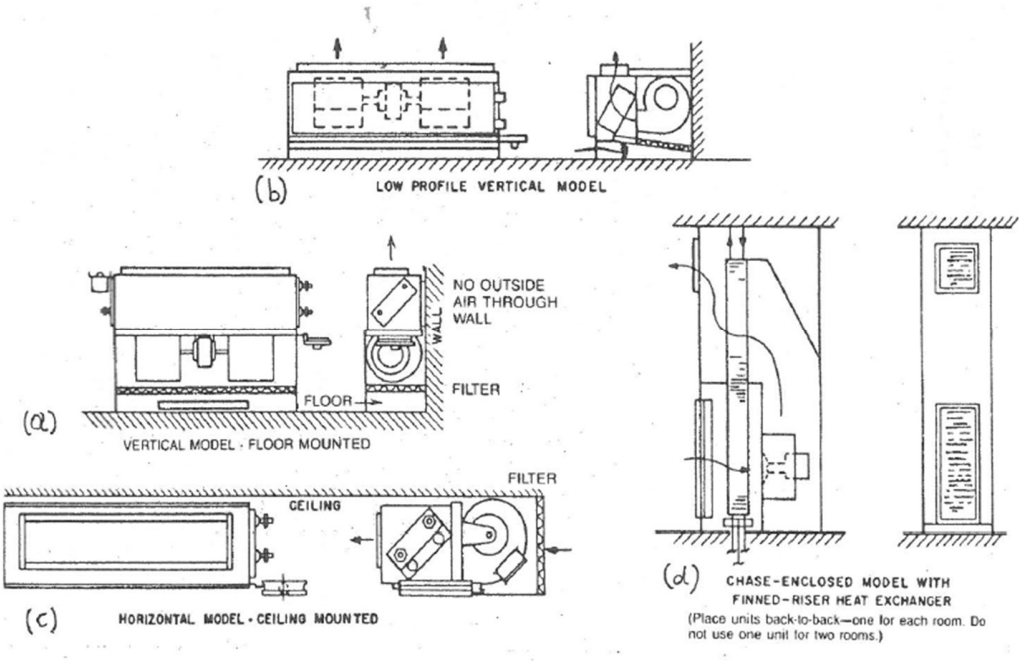
Η τερματική μονάδα ή αλλιώς τοπική κλιματιστική μονάδα είναι ένα σύστημα το οποίο δίνει η απάγει τη θερμότητα του χώρου. Αποτελείται από δύο σωληνώσεις,

τη μία για το ζεστό νερό και την άλλη για το κρύο, και έναν ανεμιστήρα. Όπως φαίνεται δεν παράγει θερμότητα αλλά συναλλάσει με το χώρο θερμότητα από άλλα στοιχεία που μπορεί να έχει το κύκλωμα για ψύξη και θέρμανση. Με λίγα λόγια είναι το τελικό στοιχείο που κάνει συναλλαγή θερμότητας. Η μονάδα αυτή, μπορεί επίσης να ανακυκλοφορεί τον αέρα του χώρου ή να εισάγει νωπό από το περιβάλλον [45].

Ο ανεμιστήρας εξαναγκάζει τον αέρα 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) σε περίπτωση που το αρχικό κύκλωμα δεν επαρκεί.

Για οικιακή χρήση διατίθενται μονάδες διαφόρων τύπων, με παροχή αέρα από 95 - 570 L/s. Οι τύποι αυτοί διαχωρίζονται ως προς την κύρια διεύθυνση ροής του αέρα σε κατακόρυφου και οριζοντίου τύπου και ως προς τη θέση εγκατάστασης σε δαπέδου, τοίχου και οροφής.

Στην **Εικόνα 3.5.1** φαίνονται όλες αυτές οι διαφοροποιήσεις.

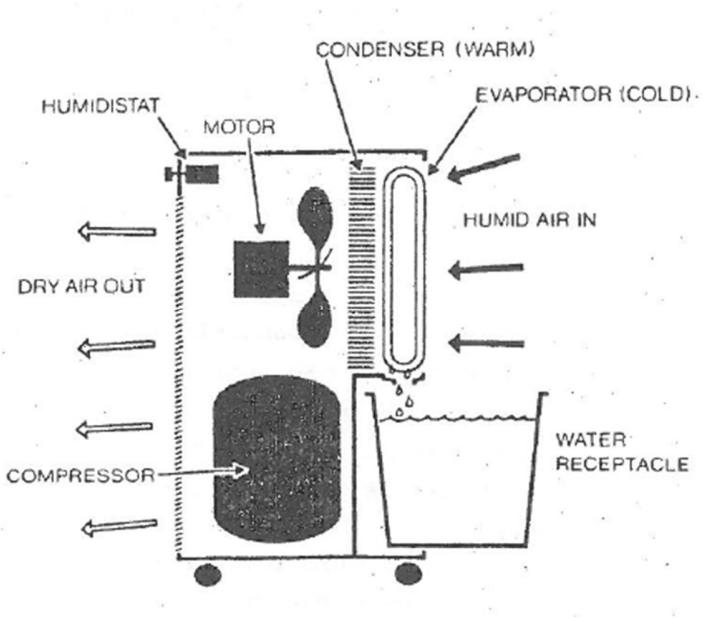


Εικόνα 3.5.1: Τυπικές μονάδες ανεμιστήρα - στοιχείου [45]

3.6 Μονάδα αφύγρανσης

Η συγκεκριμένη μονάδα ανήκει στην κατηγορία των οικιακών συσκευών και χρησιμοποιείται για να μειώσει την υγρασία του χώρου στον οποίο λειτουργεί.

Αποτελείται από ένα κύκλωμα ψύξης, δηλαδή από συμπιεστή, συμπυκνωτή, ανεμιστήρα κυκλοφορίας αέρος, ατμοποιητή και μέσο συλλογής συμπυκνώματος (Εικόνα 3.6.1). Ο ανεμιστήρας αναρροφά τον υγρό αέρα, ο οποίος έρχεται σε επαφή με την ψυχρή επιφάνεια του ατμοποιητή και ψύχεται σε θερμοκρασία χαμηλότερα του σημείου δρόσου. Το συμπύκνωμα που προκύπτει συλλέγεται σε δοχείο. Μετά την αφύγρανση, ο ψυχρός αέρας αναθερμαίνεται ερχόμενος σε επαφή με το συμπυκνωτή και αποδίδεται στο δωμάτιο σε υψηλότερη θερμοκρασία αλλά με χαμηλότερη σχετική υγρασία [45].



Εικόνα 3.6.1: Μικρή μονάδα αφύγρανσης [45]

Εικόνα 3.6.2: Τυπικός αφυγραντήρας [46]

4. Λογισμικό προσομοίωσης

4.1 OpenStudio

Το **OpenStudio** είναι μια συλλογή εργαλείων λογισμικού που υποστηρίζει ενεργειακές μελέτες κτηρίων. Το **OpenStudio** είναι **open source** πρόγραμμα για να διευκολύνει την ανάπτυξη της κοινότητας, την επέκταση και την υιοθέτησή του από τον ιδιωτικό τομέα [47].

Το **OpenStudio** κυκλοφόρησε για πρώτη φορά τον Απρίλιο του 2008 από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, μέρος του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ. Υπολογίζεται ότι έχει κατά μέσο όρο 700 λήψεις ανά μήνα.

Το **OpenStudio** σχεδιάστηκε για να συνεργάζεται με το **SketchUp**, επειδή πολλοί αρχιτέκτονες χρησιμοποιούν ήδη το **SketchUp** για σχέδια κτηρίων. Η ενσωμάτωση επιτρέπει στους αρχιτέκτονες να αναλύσουν την ενεργειακή απόδοση ενός σχεδίου πριν ξεκινήσουν την κατασκευή.

Επίσης, στο γραφικό κομμάτι το **OpenStudio** επιτρέπει στους ερευνητές κτηρίων και τους προγραμματιστές λογισμικού να ξεκινήσουν γρήγορα μέσω των πολλαπλών επιπέδων εισόδου, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης μέσω **C ++**, **Ruby** και **C #**. Οι χρήστες μπορούν να αξιοποιήσουν το περιβάλλον της **Ruby** για να δημιουργήσουν **Measures** που μπορούν εύκολα να κοινοποιηθούν και να εφαρμοστούν σε μοντέλα.

Τέλος το **OpenStudio** χρησιμοποιεί το **EnergyPlus** για την ενεργειακή προσομοίωση με έναν πιο φιλικό στο χρήστη τρόπο καθώς δεν είναι απαραίτητη η εισαγωγή κώδικα για να λειτουργήσει.

4.2 Energy plus

Το **EnergyPlus** είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων που χρησιμοποιούν μηχανικοί, αρχιτέκτονες και ερευνητές για να μοντελοποιήσουν τόσο την ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό, φωτισμό, φορτία συσκευών καθώς και χρήση νερού σε κτήρια. Μερικά από τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά και δυνατότητες του EnergyPlus περιλαμβάνουν [48]:

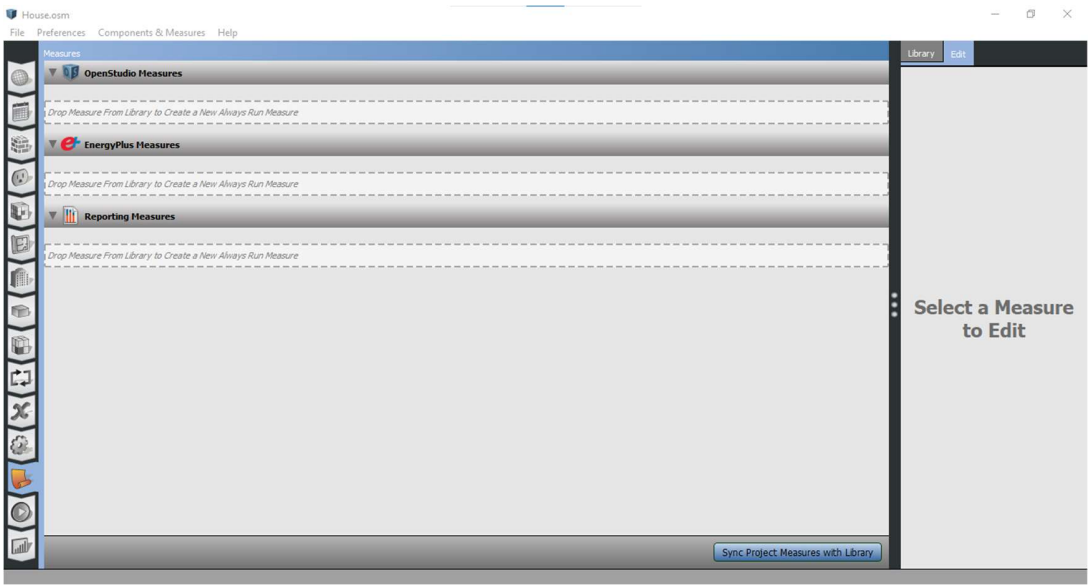
- Υπολογισμός συνθηκών θερμικής ζώνης και απόκριση συστήματος HVAC που δεν προϋποθέτει ότι το σύστημα HVAC μπορεί να καλύψει φορτία ζώνης και με τη δυνατότητα προσομοίωσης χώρων χωρίς κλιματισμό.

- Θερμικός υπολογισμός ακτινοβολίας και συναγωγής όπου συμβάλουν στην επιφανειακή θερμοκρασία και στη θερμική άνεση.
- Καθορισμένα από τον χρήστη χρονικά βήματα για αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος. με αυτόματα ποικίλα χρονικά βήματα για αλληλεπιδράσεις μεταξύ θερμικών ζωνών και συστημάτων HVAC. Αυτά επιτρέπουν στο EnergyPlus να μοντελοποιεί συστήματα με γρήγορη δυναμική, ενώ ταυτόχρονα ρίχνει την ταχύτητα προσομοίωσης για μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που αντιπροσωπεύει την κίνηση αέρα μεταξύ των ζωνών.
- Υπολογισμοί φωτισμού και λάμψης για την αναφορά οπτικής άνεσης και ελέγχων φωτισμού.
- HVAC συστήματα με δυνατότητα τροποποίησής τους για να υποστηρίζει τυπικές και νέες διαμορφώσεις συστήματος.
- Ένας μεγάλος αριθμός ενσωματωμένων στρατηγικών ελέγχου HVAC και φωτισμού και ένα επεκτάσιμο σύστημα γραφής κώδικα για έλεγχο που καθορίζεται από τον χρήστη.
- Τυπική σύνοψη και αναλυτικές αναφορές, καθώς και αναφορές που καθορίζονται από τον χρήστη με επιλέξιμη ανάλυση χρόνου.

4.3 Measures και Ruby

Τα **Measures** είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα που έχει το **Openstudio** καθώς δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να παραμετροποιούν τη μελέτη σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες, καθώς και να εξάγουν επιπλέον πληροφορίες από την προσομοίωση. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος ως προς την μοντελοποίηση αλλά και κόστος [47]. Τα **measures** μπορούν να γραφτούν εύκολα από οποιονδήποτε έχει προγραμματιστικές γνώσεις, καθώς δίνεται η δυνατότητα να μοιραστούν μέσω της **BCL** βιβλιοθήκης [49]. Τα measures χωρίζονται σε 3 κατηγορίες (Εικόνα 4.3.1):

- OpenStudio Measures
- EnergyPlus Measures
- Reporting Measures



Εικόνα 4.3.1: Κατηγορίες Measures

Η κατηγοριοποίηση αυτή οφείλεται στη διαφορετική κατεύθυνση που έχει το κάθε **Measure**. Ένα **measure** στην πρώτη κατηγορία εφαρμόζει αλλαγές στα δεδομένα που αφορούν το **Openstudio** και πιθανώς να μην μπορούν να γίνουν μέσω του γραφικού περιβάλλοντος (όπως η περιστροφή ενός κτηρίου, που θα έπρεπε να στραφεί από το **SketchUp**). Επίσης μπορεί να χρειάζεται να γίνει μια γρήγορη αλλαγή η οποία παρακάμπτει τις επιλογές που εισήχθησαν αρχικά από το χρήστη (όπως η εισαγωγή των **U-values** των υλικών).

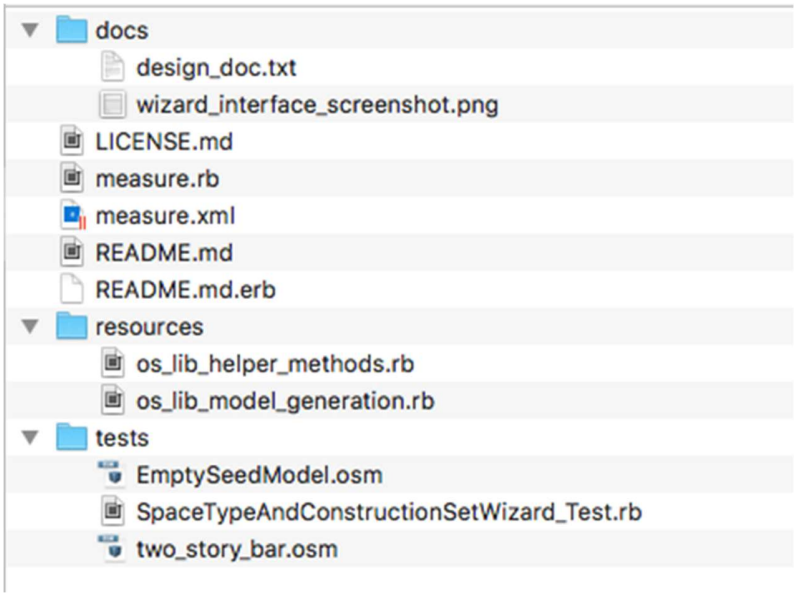
Τα **EnergyPlus Measures** επιτρέπουν την παραμετροποίηση σημείων που δεν φαίνονται στο **Openstudio**. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να θέλει να κάνει μια τροποποίηση στον τρόπο που λειτουργεί ένα εξάρτημα **HVAC** συστήματος το οποίο σχετίζεται άμεσα με το **EnergyPlus**.

Τέλος τα **Reporting Measures** είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για να εξάγουν αποτελέσματα σχετικά με την κάθε μία ενεργειακή μελέτη. Μπορούν να εξάγουν αποτελέσματα σε **CSV** μορφή ή να δημιουργήσουν διαγράμματα (π.χ. ψυχρομετρικός χάρτης). Όλες οι χρήσιμες πληροφορίες που δίνει η προσομοίωση μπορούν να εξαχθούν σε οποιαδήποτε μορφή από εκεί.

Ένα **Measure** γράφεται σε γλώσσα **Ruby**. Η δομή ενός **Measure** αποτελείται από τα εξής αρχεία(Εικόνα 4.3.2):

- **measure.rb**, είναι το κυρίως αρχείο που προσδιορίζει το **Measure.**

- **measure.xml**, είναι το αρχείο που περιγράφει το **Measure** σε άλλες εφαρμογές. Το αρχείο αυτό ανανεώνεται αυτόματα όταν γίνονται αλλαγές. Το κάθε ένα αρχείο τέτοιου είδους πρέπει να έχει μοναδικό όνομα, το οποίο παίρνει αυτόματα κατά τη δημιουργία του **Measure** ή την αντιγραφή του από κάποιο άλλο.
- **LICENSE.md** (προαιρετικό), είναι η άδεια προς άλλους χρήστες για αναπαραγωγή, διανομή, ή χρήση του **Measure** για δημιουργία διαφορετικού.
- **README.md** (προαιρετικό), παρέχει την εξήγηση του **Measure** που γράφτηκε.
- **README.md.erb** (προαιρετικό), εάν υπάρχει, παράγει το **README.md** μαζί με πληροφορίες για τις αλλαγές που έγιναν.
- **docs** (προαιρετικό)**,** φάκελος που μπορεί να περιέχει εικόνες ή άλλο περιεχόμενο που χρειάζονται για το **Measure**.
- **resources** (προαιρετικό)**,** φάκελος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση επιπρόσθετου κώδικα σε Ruby καθώς και βιβλιοθήκες χρήσιμες για το **Measure.**
- **test** (προαιρετικό)**,** φάκελος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση τεστ που επιβεβαιώνουν ότι το **Measure** λειτουργεί σωστά.



Εικόνα 4.3.2: Αρχεία από τα οποία αποτελείται ένα Measure [47]

Για να επιδειχθεί ο τρόπος που γράφεται ο κώδικας χρησιμοποιείται ένα παράδειγμα για έναν θερμαντήρα νερού που γράφτηκε κατά τη διάρκεια της έρευνας της διπλωματικής. Το κυρίως αρχείο του κώδικα ξεκινάει προσδιορίζοντας τις απαιτήσεις από τον φάκελο **resources** (αν υπάρχουν).

```
require "#{File.dirname(__FILE__)}/resources/os_lib_geometry"
```

Εικόνα 4.3.3: Άνοιγμα εξωτερικών αρχείων resources

Δημιουργείται μια κλάση η οποία ονομάζει το **Measure** και του λέει σε ποια από τις τρεις κατηγορίες ανήκει. Στην **Εικόνα 4.3.4** το **Measure** προσδιορίστηκε ως **EnergyPlus Measure**.

```
class AutosizeWaterHeater < OpenStudio::Measure::EnergyPlusMeasure
```

Εικόνα 4.3.4: Δημιουργία κλάσης

Σειρά έχουν τα ονόματα και οι περιγραφές που θα εμφανίζονται στους χρήστες που θέλουν να χρησιμοποιήσουν αυτό το **Measure**.

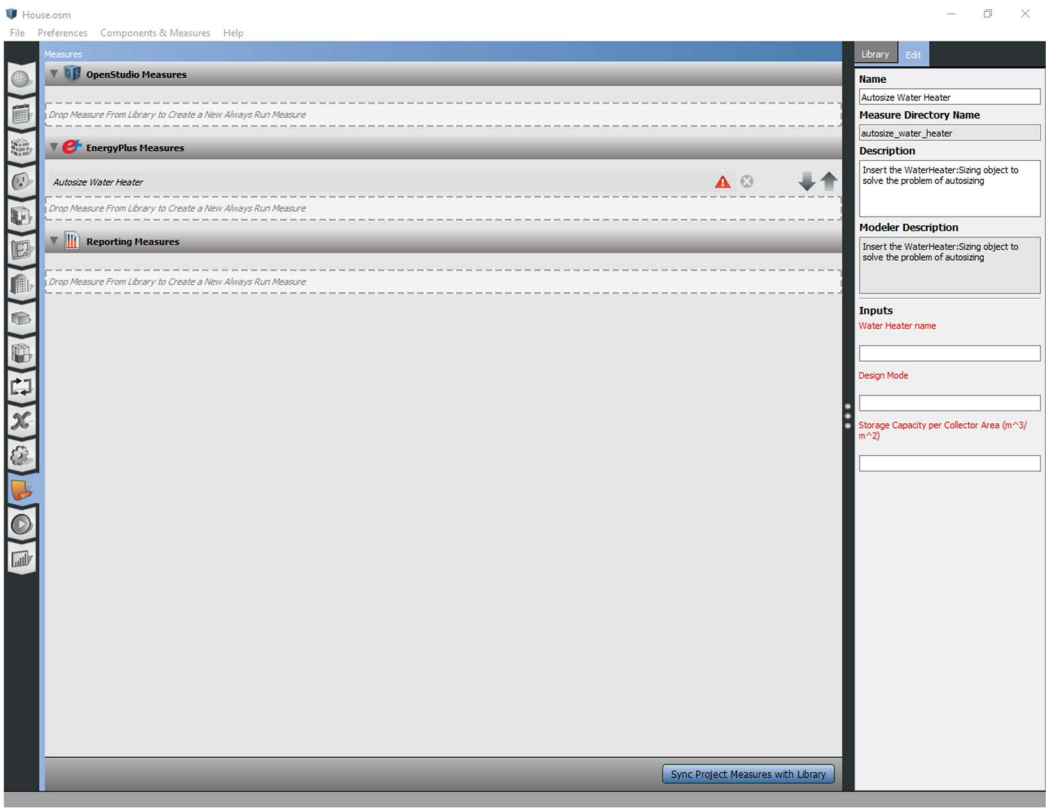
```
# human readable name
def name
  return "Autosize Water Heater"
end
# human readable description
def description
  return "Insert the WaterHeater:Sizing object to solve the problem of autosizing"
end
# human readable description of modeling approach
def modeler_description
  return "Insert the WaterHeater:Sizing object to solve the problem of autosizing"
end
```

Εικόνα 4.3.5: Όνομα και περιγραφές για τους χρήστες

Το επόμενο βήμα είναι τα μεγέθη που θα πρέπει να εισαχθούν από το χρήστη (Εικόνα 4.3.6). Το **args** υποδηλώνει τα καινούρια μεγέθη που θα δημιουργηθούν. Γι' αυτό όλα τα μεγέθη στο τέλος τους μπαίνουν μέσα στο **args**. Στην πρώτη γραμμή του κάθε μεγέθους δηλώνεται η μεταβλητή που το αφορά καθώς και το αν είναι κείμενο, αριθμός κτλ. Στη δεύτερη γραμμή γράφεται το όνομα του μεγέθους και στην τρίτη γραμμή μπορεί να προσδιορισθούν και οι μονάδες μέτρησης. Αυτά τα μεγέθη φαίνονται στο **Openstudio** όπως στην **Εικόνα 4.3.7.**

```ruby
# define the arguments that the user will input
def arguments(workspace)
  args = OpenStudio::Measure::OSArgumentVector.new

  # the name of the waterheater you want to autosize
  waterheater_name = OpenStudio::Measure::OSArgument.makeStringArgument('waterheater_name',
   true)
  waterheater_name.setDisplayName('Water Heater name')
  args << waterheater_name

  # the design mode
  design_mode = OpenStudio::Measure::OSArgument.makeStringArgument('design_mode', true)
  design_mode.setDisplayName('Design Mode')
  args << design_mode

  # the storage capacity per collector area
  storage_capacity_per_collector_area = OpenStudio::Measure::OSArgument.makeDoubleArgument(
  'storage_capacity_per_collector_area', true)
  storage_capacity_per_collector_area.setDisplayName('Storage Capacity per Collector Area')
  storage_capacity_per_collector_area.setUnits('m^3/m^2')
  args << storage_capacity_per_collector_area

  return args
end
```

Εικόνα 4.3.6: Μεγέθη για εισαγωγή από το χρήστη



Εικόνα 4.3.7: Εισαγωγή δεδομένων στο Measure

Η διαφοροποίηση στις τρεις κατηγορίες measure γίνεται και σε αυτό το σημείο καθώς ζητείται να εισαχθεί σε ποιο σημείο του κώδικα θα τρέξει το **Measure** (Εικόνα 4.3.6). Εάν πρόκειται για **OpenStudio Measure**, τότε ορίζεται το **def** ως **arguments(model)**, εάν πρόκειται για **EnergyPlus Measure**, τότε ορίζεται ως **arguments(workspace),** ενώ για **Reporting Measure,** είναι σκέτο **arguments.**

Επόμενο στάδιο είναι ο προσδιορισμός του τι συμβαίνει όταν το **Measure** τρέχει (Εικόνα 4.3.8). Η εντολή run δίνει την εκκίνηση του προγράμματος. Η πρώτη μεταβλητή προσδιορίζει τον τύπο του **Measure,** όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η δεύτερη μεταβλητή είναι κάποιες εντολές που δίνονται από τον προγραμματιστή και εξάγουν χρήσιμες πληροφορίες πριν, κατά τη διάρκεια που τρέχει το **Measure** αλλά και μετά. Επίσης είναι και εντολές οι οποίες ορίζουν μεταβλητές στο **Measure.** Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.3.9**, με την εντολή αυτή ορίζονται οι μεταβλητές οι οποίες εισήχθησαν από τον χρήστη. Η Τρίτη μεταβλητή συμπεριλαμβάνει όλες τις τιμές που συμπλήρωσε ο χρήστης και θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια από το **Measure.**

```
# define what happens when the measure is run
def run(workspace, runner, user_arguments)
  super(workspace, runner, user_arguments)
```

Εικόνα 4.3.8: Εκκίνηση προγράμματος

```
# assign the user inputs to variables
waterheater_name = runner.getStringArgumentValue('waterheater_name', user_arguments)
design_mode = runner.getStringArgumentValue('design_mode', user_arguments)
storage_capacity_per_collector_area = runner.getDoubleArgumentValue(
'storage_capacity_per_collector_area', user_arguments)
```

Εικόνα 4.3.9: Εγγραφή των κελιών που εισάχθηκαν από το χρήστη σαν μεταβλητές

Σε αυτό το σημείο μπορούν να γίνουν οι πράξεις που αφορούν το **Measure.** Στο συγκεκριμένο παράδειγμα σκοπός ήταν να γίνει εισαγωγή δεδομένων στον κώδικα του **EnergyPlus**. Ο θερμαντήρας νερού είχε εισαχθεί από το **OpenStudio** όμως έλειπαν κάποια δεδομένα. Έτσι, οι μεταβλητές που εισήχθησαν τοποθετήθηκαν στα κατάλληλα κελιά του θερμαντήρα νερού (Εικόνα 4.3.10). Κάθε φορά που θα τρέχει η προσομοίωση με αυτό το **Measure** θα προστίθενται αυτές οι ποσότητες στον κώδικα.

```
# add a new water heater sizing object to the model
autosized_water_heaters_sizing = "
  WaterHeater:Sizing,
    #{waterheater_name} ,  !- WaterHeater Name
    #{design_mode},  !- Design Mode
    ,  !- Time Storage Can Meet Peak Draw
    ,  !- Time for Tank Recovery
    ,  !- Nominal Tank Volume for Autosizing Plant Connections
    ,  !- Number of Bedrooms
    ,  !- Number of Bathrooms
    ,  !- Storage Capacity per Person
    ,  !- Recovery Capacity per Person
    ,  !- Storage Capacity per Floor Area
    ,  !- Recovery Capacity per Floor Area
    ,  !- Number of Units
    ,  !- Storage Capacity per Unit
    ,  !- Recovery Capacity per Unit
    #{storage_capacity_per_collector_area},  !- Storage Capacity per Collector Area
    ,  !- Height Aspect Ratio
  "
idfObject = OpenStudio::IdfObject.load(autosized_water_heaters_sizing)
object = idfObject.get
wsObject = workspace.addObject(object)
new_zone_mixing_object = wsObject.get
```

Εικόνα 4.3.10: Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus

Πολύ σημαντικές επιπρόσθετες πληροφορίες μπορούν να δοθούν και κατά τη διάρκεια που τρέχει το **Measure** έτσι ώστε να μπορεί να καταλάβει ο χρήστης αν έτρεξε και τι αλλαγές έκανε. Αυτές δίνονται με την εντολή runner. Στην **Εικόνα 4.3.11 -4.3.12** φαίνεται η αρχική και η τελική κατάσταση του κτηρίου όσον αφορά τους θερμαντήρες νερού που υπέστησαν αλλαγή.

```
# reporting initial condition of model
autosized_water_heaters = workspace.getObjectsByType(
'WaterHeater:Sizing'.to_IddObjectType)
runner.registerInitialCondition("The building started with #{
autosized_water_heaters.size} autosized water heaters.")
```

Εικόνα 4.3.11:Δείξε πόσοι θερμαντήρες νερού έχουν αλλάξει αρχικά

```
# report final condition of model
autosized_water_heaters = workspace.getObjectsByType(
'WaterHeater:Sizing'.to_IddObjectType)
runner.registerFinalCondition("The building finished with #{
autosized_water_heaters.size} autosized water heaters.")
```

Εικόνα 4.3.12: Δείξει πόσοι θερμαντήρες νερού άλλαξαν τελικά

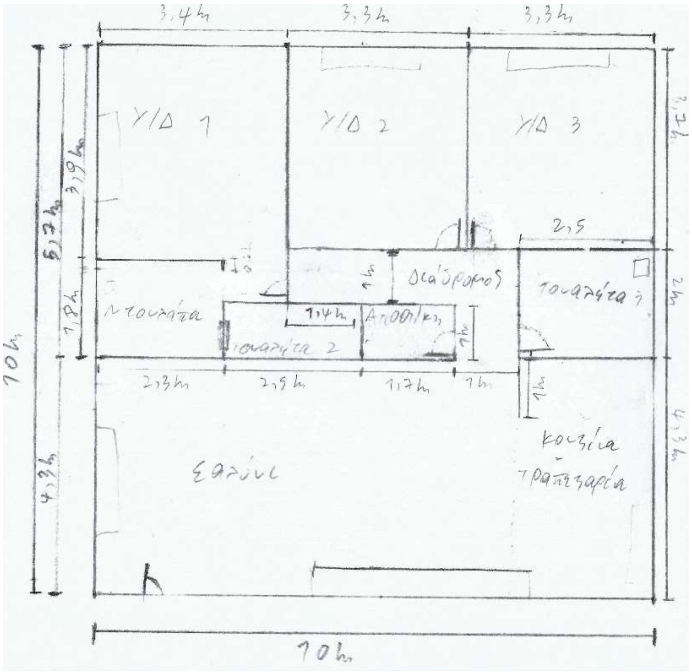
5. Προσομοίωση μοντέλου

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η αναλυτική διαδικασία που ακολουθήθηκε για να γίνει η προσομοίωση των εγκαταστάσεων. Αρχικά δημιουργήθηκε το κτήριο στο **SketchUp** όπου καθορίστηκαν οι χώροι και οι θερμικές ζώνες του. Έπειτα προστέθηκαν οι ιδιότητες του στο **Openstudio** και υπολογίστηκαν τα θεωρητικά φορτία. Τέλος, έγιναν κάποιες διορθώσεις ως προς τον προσανατολισμό του κτηρίου και τον αερισμό του έτσι ώστε να χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να κλιματιστεί.

5.2 Δημιουργία κτηρίου στο SketchUp

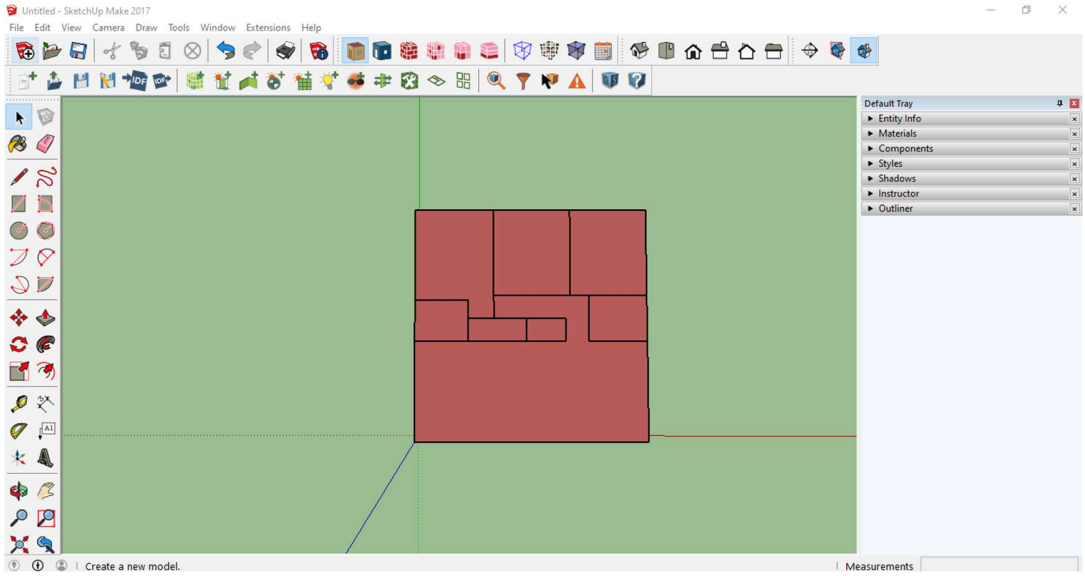
Το κτήριο που προσομοιώνεται είναι μια κατοικία 5μελούς οικογένειας στα βόρεια προάστια Αθηνών διαστάσεων 10X10 m, συνολικού εμβαδού 100 m^2, ύψους 3 m. Δεν συνορεύει με άλλα κτήρια σε μικρή απόσταση, συνεπώς δεν σκιάζεται και έχει όλες τις εξωτερικές του επιφάνειες εκτεθειμένες. Το σκαρίφημα που δημιουργήθηκε αρχικά στο χέρι φαίνεται στην **Εικόνα 5.2.1**.



Εικόνα 5.2.1: Σκαρίφημα κτηρίου

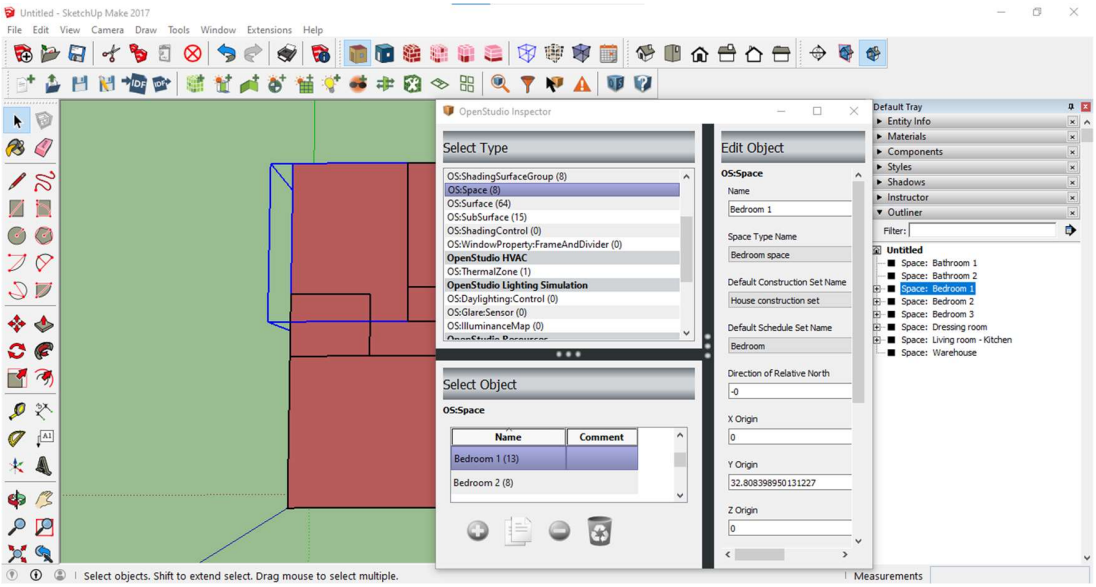
Το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία του **SketchUp** αρχείου. Με το εικονίδιο **New Openstudio Model** ξεκίνησε η κατασκευή του μοντέλου. Στο άξονα x, y

σχεδιάζεται η κάτοψη της κατοικίας και με το εικονίδιο **Create Spaces from Diagram** σηκώνεται η κατασκευή στον άξονα z στα 3 m (Εικόνα 5.2.2).



Εικόνα 5.2.2: Δημιουργία κάτοψης κτηρίου

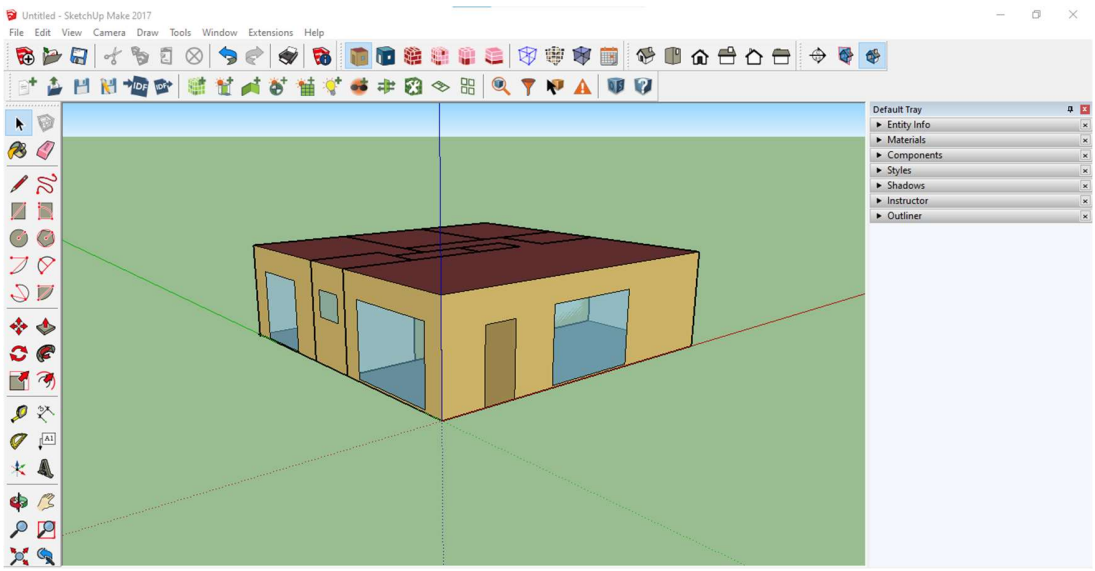
Το **Openstudio** αναγνωρίζει τους χώρους του κτηρίου ως **Spaces** τα οποία ονομάζονται βάση του είδους χώρου που είναι. Για να γίνει η ονοματολογία, αρκεί να γίνει η χρήση του εικονιδίου **inspector** και να συμπληρωθεί το πεδίο **Name** (Εικόνα 5.2.3). Σε επόμενο κεφάλαιο φαίνεται πως προσδίδονται τα φορτία στα **spaces** αυτά.



Εικόνα 5.2.3: Ονοματολογία χώρων

Ο προσανατολισμός σε αυτή τη φάση δεν έχει σημασία διότι το κτήριο μπορεί να στραφεί αργότερα μέσω του **Openstudio**. Σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται μελέτη ως προς το βέλτιστο προσανατολισμό.

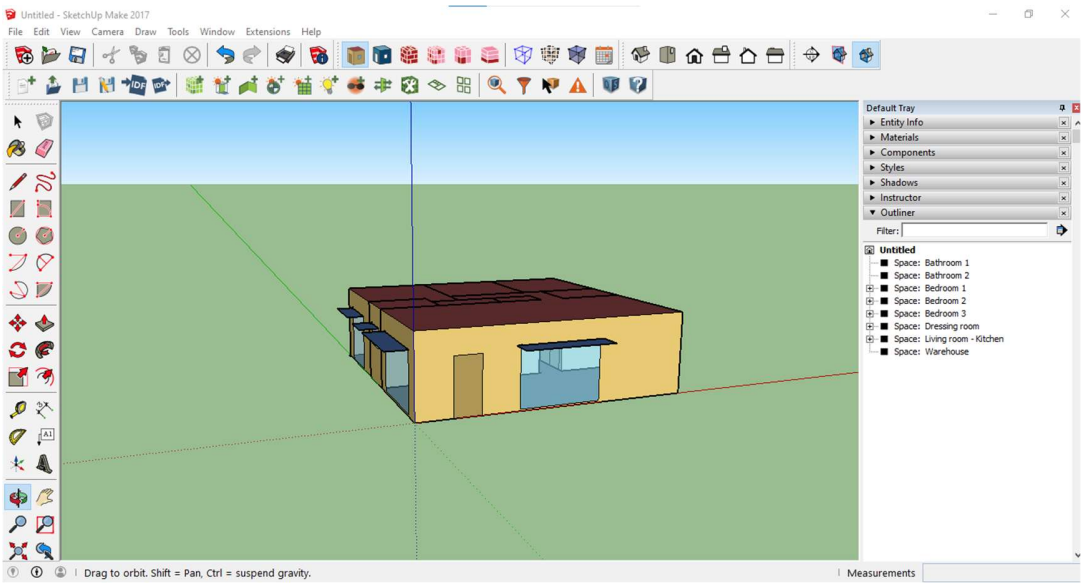
Το επόμενο στάδιο είναι η προσθήκη γεωμετριών όπως πόρτες και παράθυρα. Η προσθήκη τους είναι απλή. Με το πάτημα του εικονιδίου **rectangle** δίνεται η δυνατότητα παράστασης τετράπλευρου. Όταν ένα τετράπλευρο σχεδιαστεί πάνω σε μία επιφάνεια αυτόματα αναγνωρίζεται ως παράθυρο εκτός αν τέμνει το έδαφος όπου αναγνωρίζεται ως πόρτα. Με τον τρόπο αυτό σχεδιάζονται όλες οι επιμέρους επιφάνειες στο μοντέλο(Εικόνα 5.2.4).



Εικόνα 5.2.4: Εισαγωγή δευτερευόντων επιφανειών

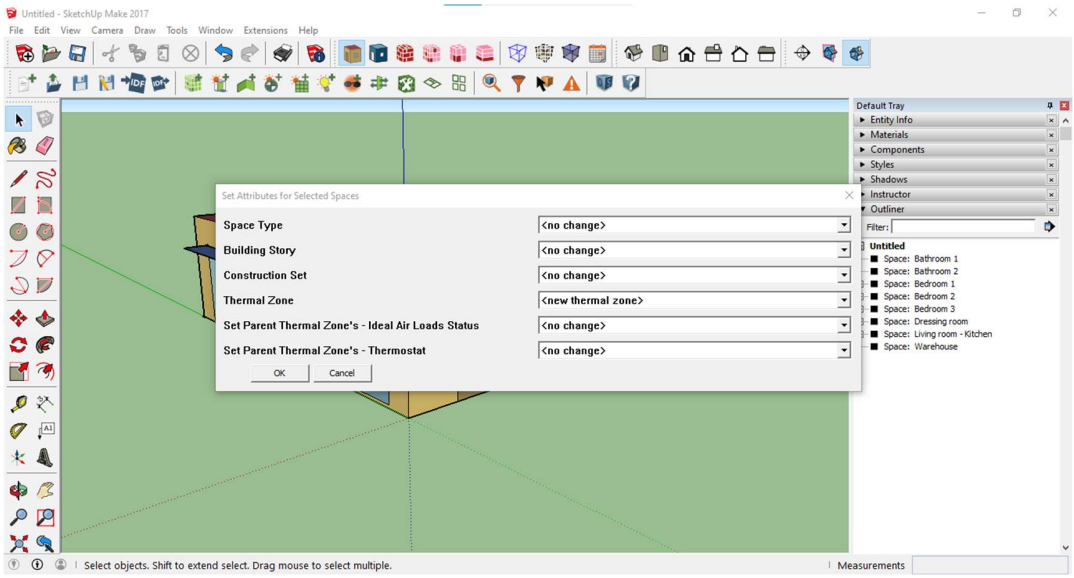
Ακολουθεί και πάλι χρήση του **inspector**, μόνο που αυτή τη φορά προσδιορίζεται ο τύπος των επιφανειών αυτών με επιλογή **sub surface type**. Έτσι οι επιφάνειες αυτές μεταφράζονται σε εξωτερικές πόρτες, εσωτερικές πόρτες, παράθυρα, γυάλινες πόρτες.

Οι τελευταίες γεωμετρίες που προστίθενται είναι οι σκιάσεις του κτηρίου. Με το εικονίδιο **New Shading Surface Group** εισάγονται οι γεωμετρίες των σκιάστρων σε όλες τις γυάλινες επιφάνειες χειροκίνητα (Εικόνα 5.2.5).



Εικόνα 5.2.5: Εισαγωγή σκιάστρων στο κτήριο

Τελευταίο βήμα είναι η εισαγωγή θερμικής ζώνης στο κτήριο. Λόγω των μικρών διαστάσεων της κατοικίας και των ομοιόμορφων φορτίων που τη διέπουν σε όλο το χώρο θεωρείται ότι υπάρχει μία μόνο θερμική ζώνη για όλους τους χώρους. Από το εικονίδιο **Set Attributes for Selected Spaces** για το πρώτο **space** στο πεδίο **Thermal zone** επιλέγεται το **<new thermal zone>** και έπειτα για κάθε **space** ξεχωριστά η θερμική ζώνη **Thermal Zone 1** (Εικόνα 5.2.6).

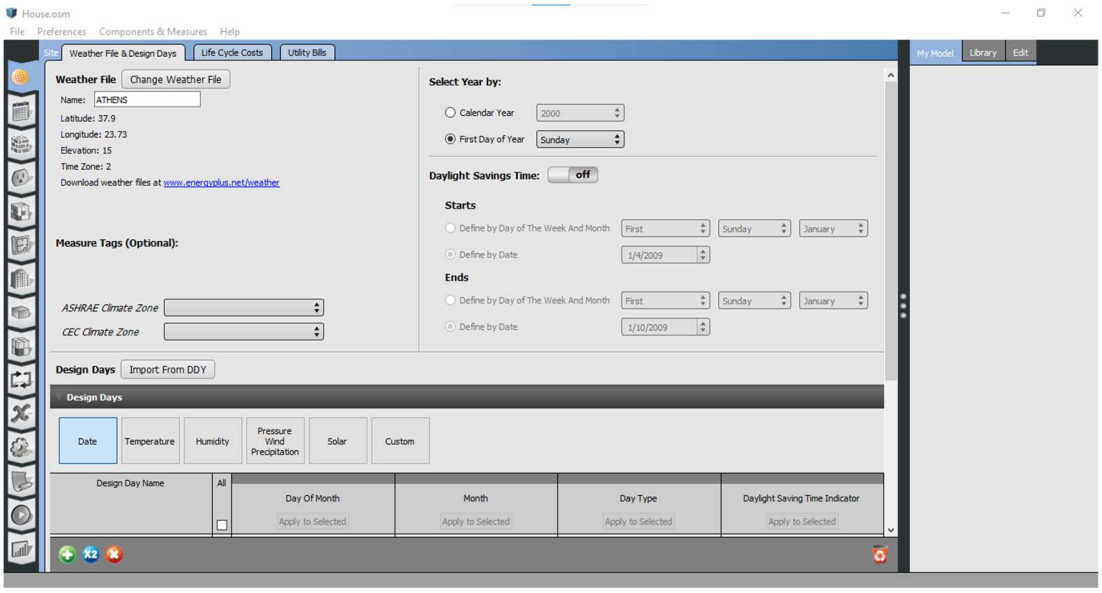


Εικόνα 5.2.6: Προσθήκη θερμικής ζώνης

5.3 Δεδομένα καιρού

Με την ολοκλήρωση του **SketchUp** έπεται η επεξεργασία στο **Openstudio**. Για να ανταποκρίνεται το μοντέλο στην πραγματικότητα απαιτούνται συνθήκες που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

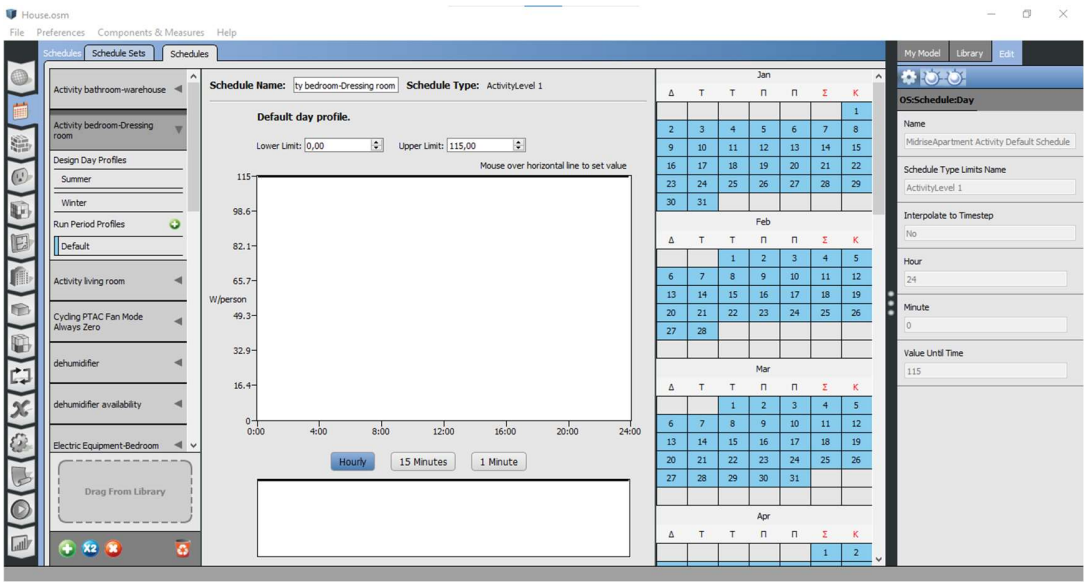
Η πρώτη καρτέλα στο πρόγραμμα είναι η εισαγωγή των καιρικών συνθηκών της περιοχής **(Site)**. Τα δεδομένα του καιρού υπάρχουν στο διαδίκτυο για ελεύθερη λήψη [50] και εισάγονται από το εικονίδιο **Set Weather File**.



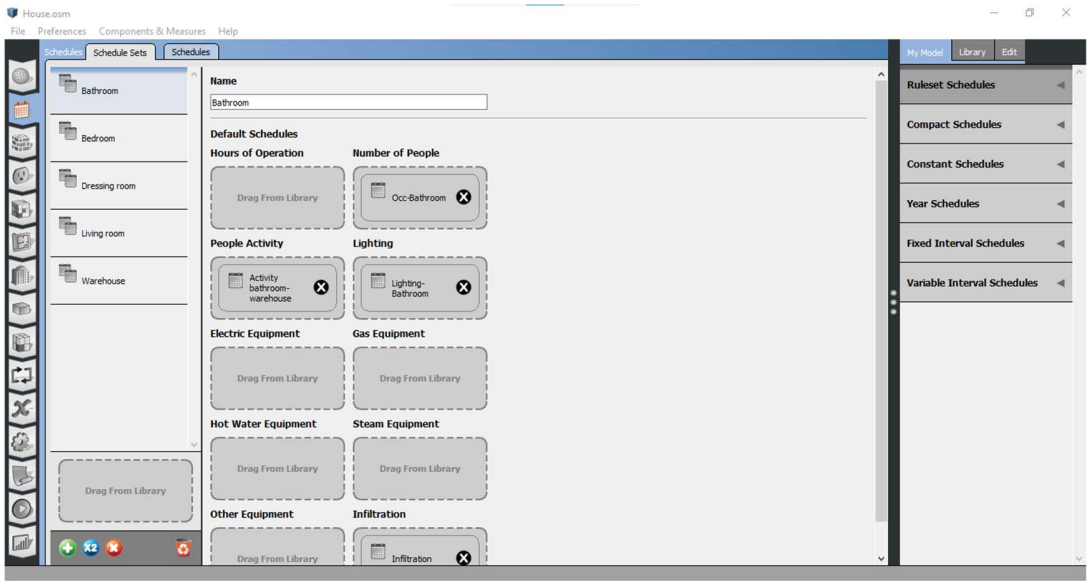
Εικόνα 5.3.1: Εισαγωγή δεδομένων καιρού

5.4 Χρονοπρογράμματα

Η δεύτερη καρτέλα του **Openstudio** είναι τα χρονοπρογράμματα **(Schedules)**. Στην καρτέλα **Schedules** δημιουργούνται χρονοπρογράμματα που συνδέονται αρχικά με τα φορτία των χώρων (Εικόνα 5.4.1). Στην καρτέλα **Schedule Sets** ομαδοποιούνται τα προγράμματα αυτά ανάλογα με τη χρήση του κάθε χώρου (Εικόνα 5.4.2).

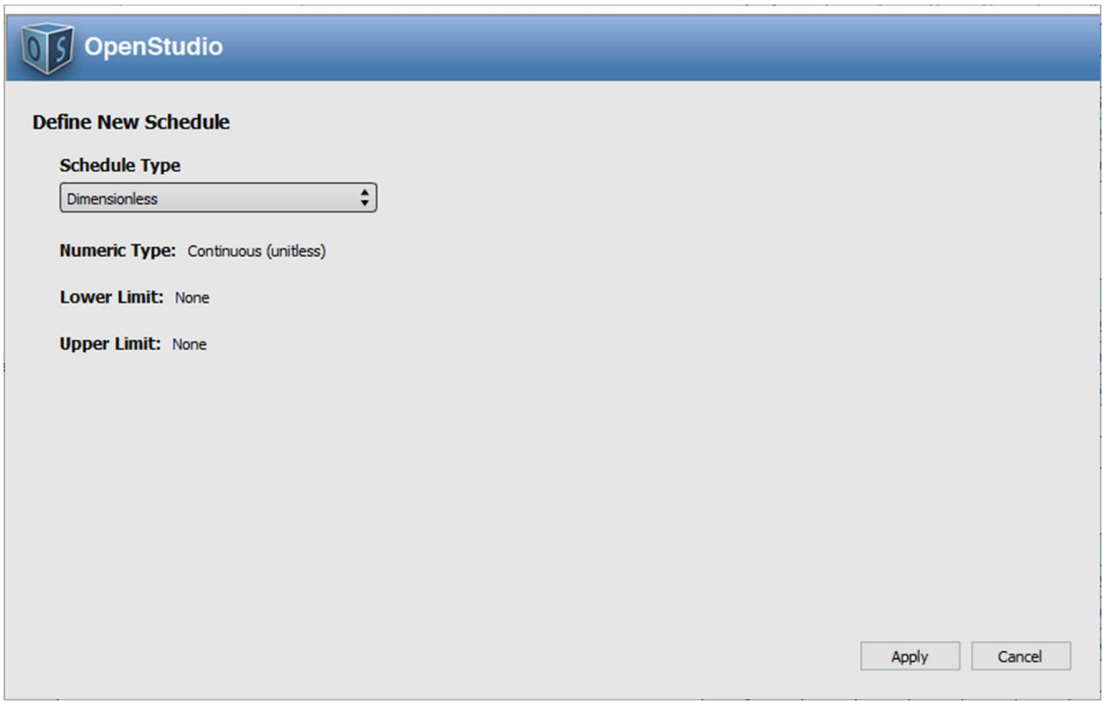


Εικόνα 5.4.1: Δημιουργία Χρονοπρογραμμάτων



Εικόνα 5.4.2: Δημιουργία σετ χρονοπρογραμμάτων

Πρώτη κατηγορία των **Schedule** είναι τα φορτία που εκπέμπει ο μέσος άνθρωπος ανάλογα με τη δραστηριότητα που έχει στο χώρο **(Activity)**. Πατώντας στο εικονίδιο **add new object** εμφανίζεται ο πίνακας της **Εικόνας 5.4.3** στον οποίο επιλέγεται το είδος του χρονοπρογράμματος που χρειάζεται στην κάθε εφαρμογή.



Εικόνα 5.4.3: Προσδιορισμός νέου χρονοπρογράμματος

Για τη δραστηριότητα, ο κατάλληλος τύπος είναι **Activity Level 1**. Βάση του **Πίνακα 5.4.1** [51], τα μεγέθη της δραστηριότητας φαίνονται στον **Πίνακα 5.4.2**.

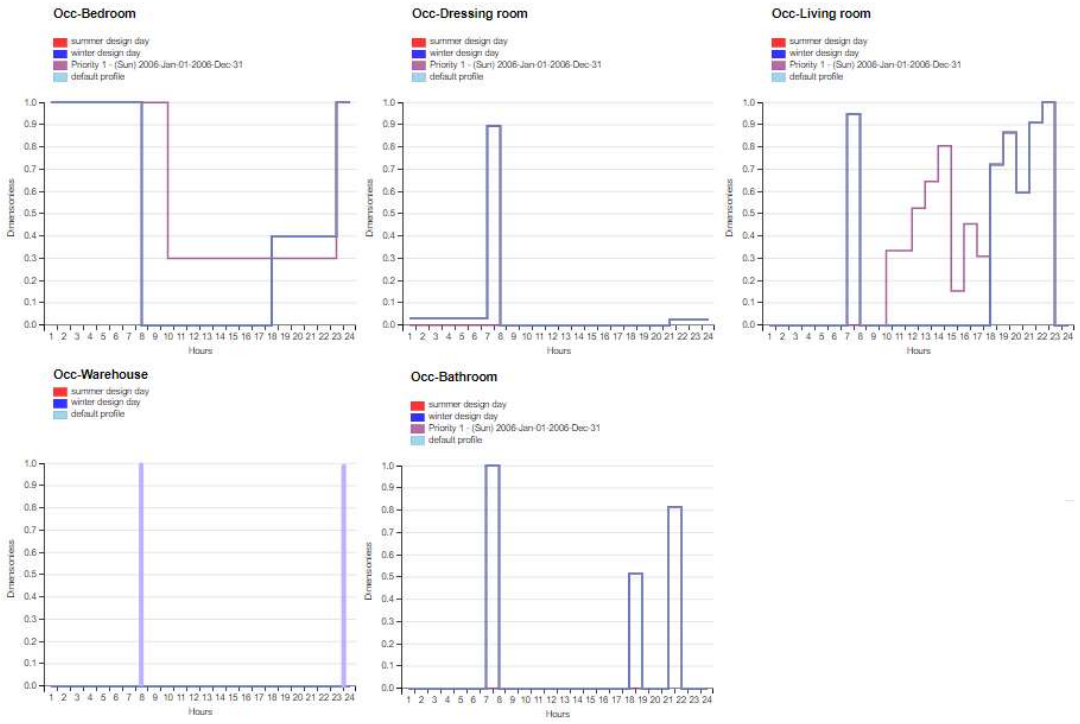
Πίνακας 5.4.1:Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity [51]

Degree of Activity	Location	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant[b]	
		Adult Male	Adjusted, M/F[a]			Low *V*	High *V*
Seated at theater	Theater	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant[c]	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling[d]	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Πίνακας 5.4.2: Δραστηριότητα ατόμων σε σχέση με το χώρο

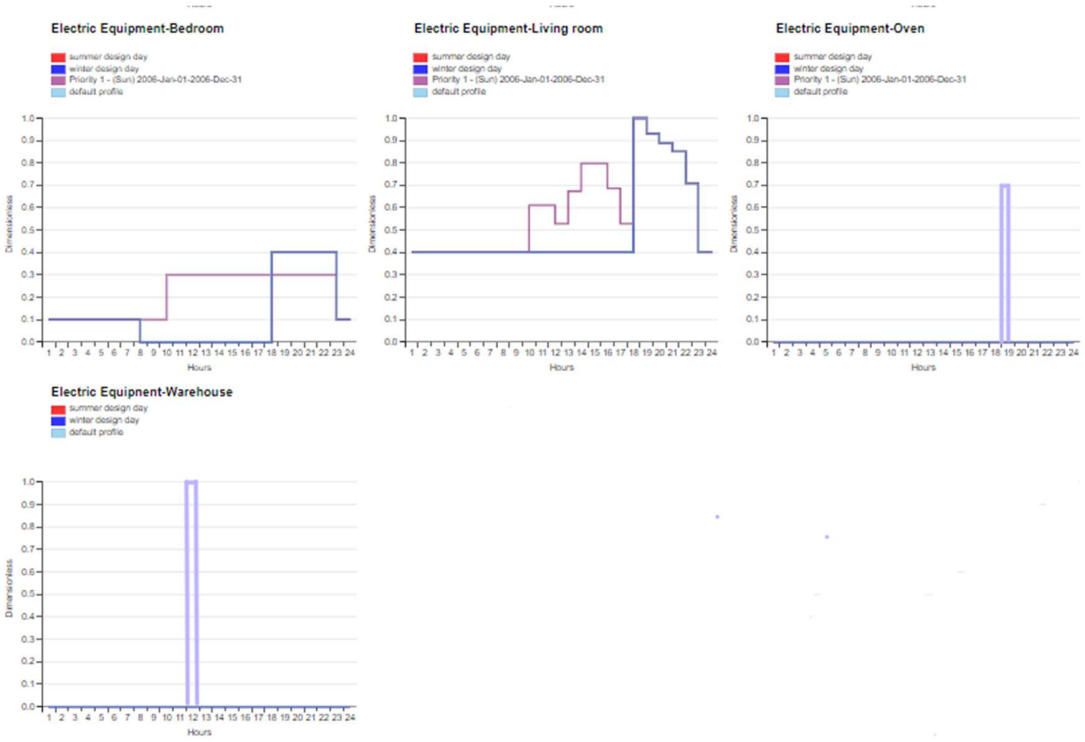
Spaces	W/person
Living room	130
Bedroom	115
Bathroom	105
Warehouse	105
Dressing room	115

Επόμενη κατηγορία είναι η πιθανότητα να βρίσκεται ένας άνθρωπος σε ένα χώρο **(Occupancy)**. Πατώντας πάλι στο εικονίδιο **add new object** εμφανίζεται ο πίνακας της **Εικόνας 5.4.3** στον οποίο επιλέγεται το είδος **Fractional**. Τα χρονοπρογράμματα που έγιναν φαίνονται στην **Εικόνα 5.4.4.**



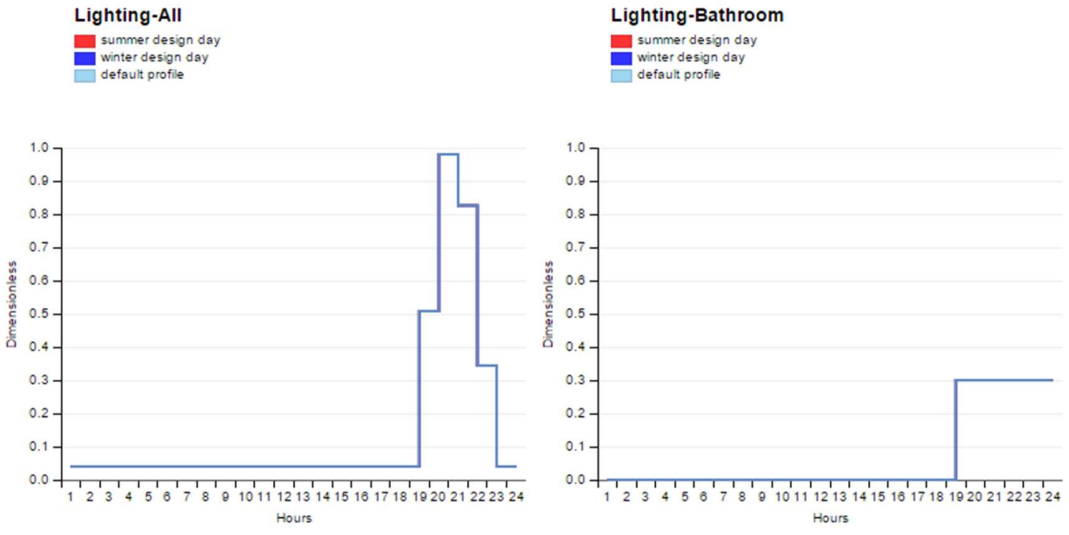
Εικόνα 5.4.4: Χρονοπρογράμματα Occupancy

Τα χρονοπρογράμματα της λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών **(Electric Equipment)** είναι το επόμενο βήμα. Ο τύπος προγράμματος είναι **fractional.** Στην **Εικόνα 5.4.5** φαίνονται τα χρονοπρογράμματα των ηλεκτρικών συσκευών.



Εικόνα 5.4.5: Χρονοπρογράμματα χρήσης ηλεκτρικών συσκευών

Σειρά έχει ο φωτισμός **(Lighting)**. Ο τύπος είναι επίσης **fractional** και δείχνει πότε ανάβουν τα φώτα και πόσες ώρες μένουν ανοικτά. Στην **Εικόνα 5.4.6** φαίνονται τα χρονοπρογράμματα του φωτισμού.



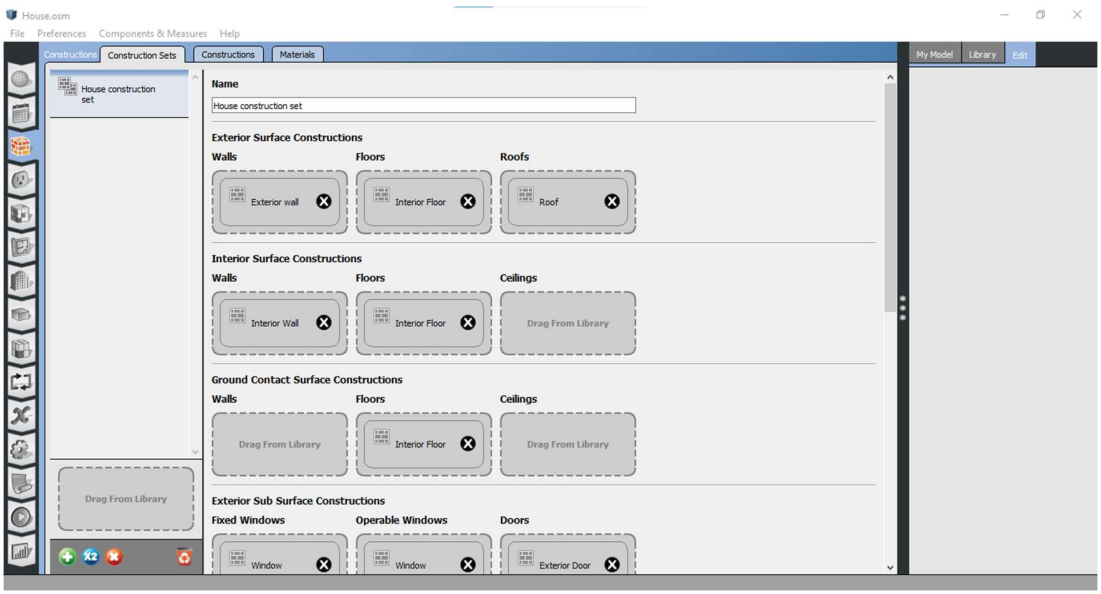
Εικόνα 5.4.6: Χρονοπρογράμματα φωτισμού

Τελευταίο χρονοπρόγραμμα είναι αυτό της διείσδυσης αέρα **(Infiltration)** στο κτήριο το οποίο είναι είδος **fractional** και ισούται με τη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει διείσδυση όλη την ημέρα η οποία υπολογίζεται σε επόμενο υποκεφάλαιο.

Για να λειτουργήσουν τα χρονοπρογράμματα ορίζονται κάποιες ομάδες χώρων για τις οποίες ισχύουν. Σε αυτό το μοντέλο υπάρχουν πέντε είδη χώρων τα οποία είναι α) υπνοδωμάτιο, β) μπάνιο, γ) δωμάτιο - ντουλάπα, δ) καθιστικό, ε) αποθήκη τα οποία προστίθενται με το εικονίδιο **Add new object**. Έτσι στον κάθε χώρο εισάγονται τα παραπάνω προγράμματα που αντιστοιχούν, από τη βιβλιοθήκη στα δεξιά της εφαρμογής (Εικόνα 5.4.2).

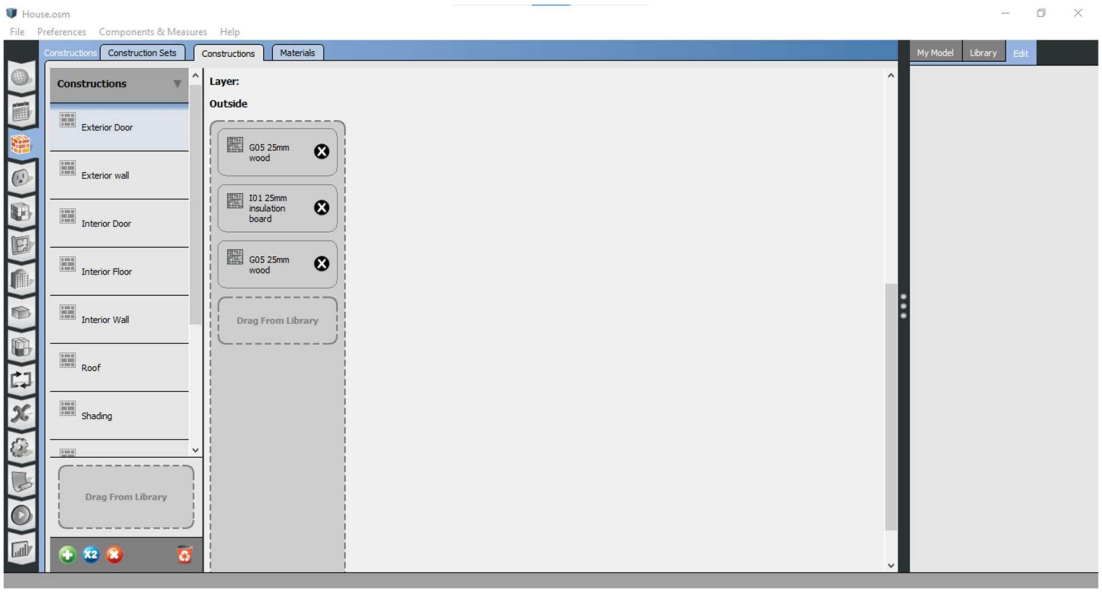
5.5 Υλικά Κατασκευής

Επόμενος στόχος για τη μοντελοποίηση του κτηρίου είναι να οριστούν τα υλικά της κάθε επιφάνειας **(Constructions)**. Εδώ υπάρχουν τρεις καρτέλες, α) **Construction Sets**, β) **Constructons**, γ) **Materials**. Η πρώτη καρτέλα είναι οι γεωμετρίες που εισάγονται στο κτήριο. Εδώ υπάρχει μόνο ένα σετ, το οποίο δημιουργήθηκε από την αρχή και είναι το **House construction set** (Εικόνα 5.5.1).



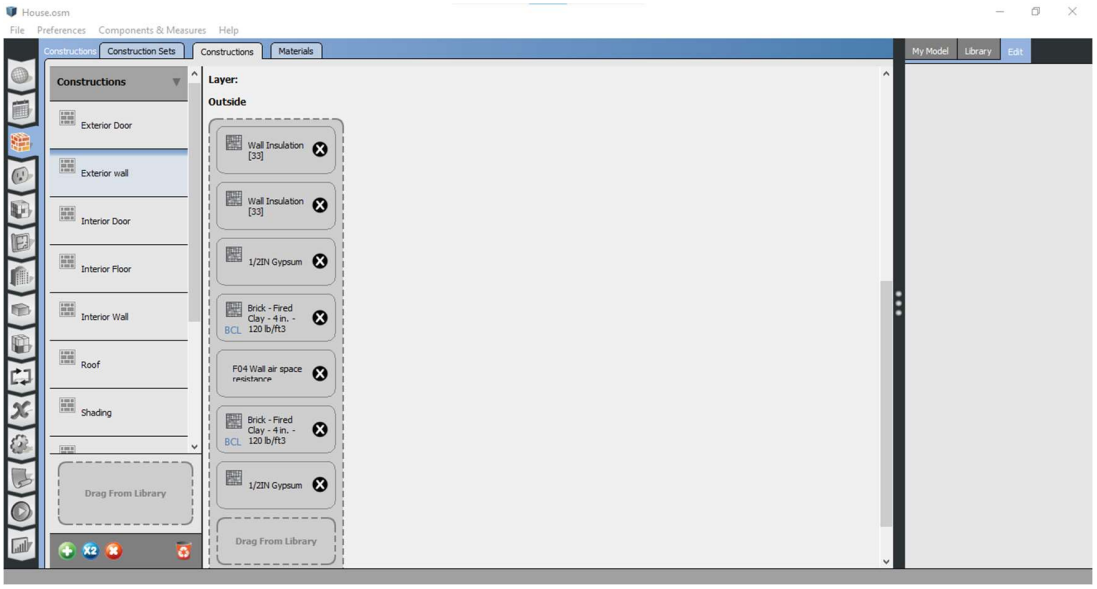
Εικόνα 5.5.1: Σετ κατασκευών

Οι κατασκευές **(Constructions)** είναι τα σύνολα υλικών που χρειάζονται για να αναπαρασταθεί η κάθε μία επιφάνεια (Εικόνα 5.5.2 – Εικόνα 5.5.9).

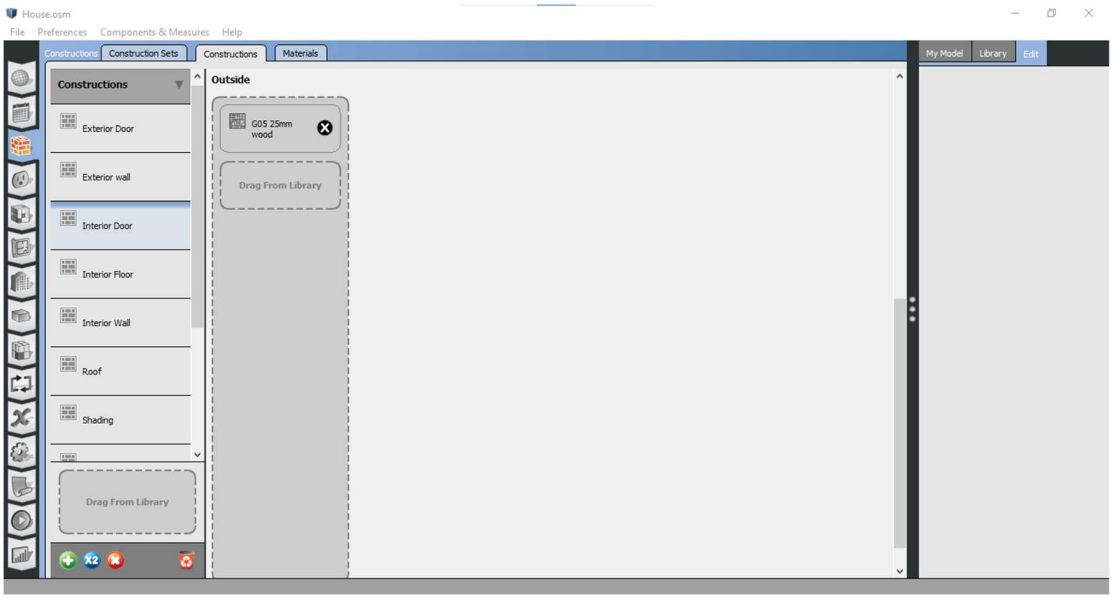


Εικόνα 5.5.2: Υλικά Εξωτερικής πόρτας

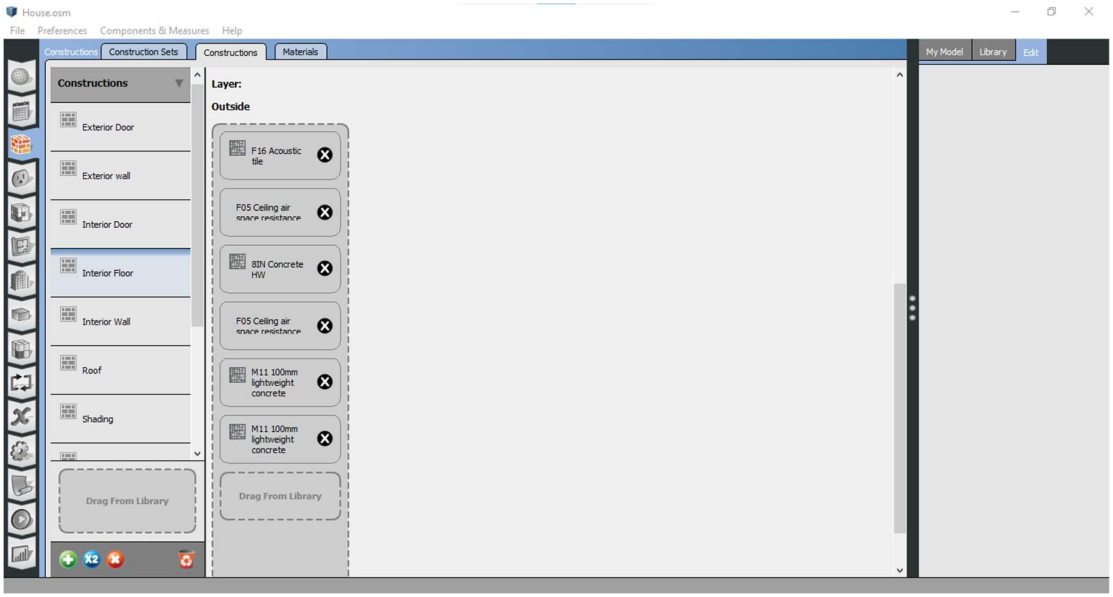
Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι εξωτερικά μονωμένοι με μόνωση πάχους 15,6 εκατοστών. Το ίδιο και η οροφή η οποία έχει 21 εκατοστά πάχος μόνωσης. Η μόνωση προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και απαιτείται πριν από την εγκατάσταση οποιουδήποτε εξοπλισμού.



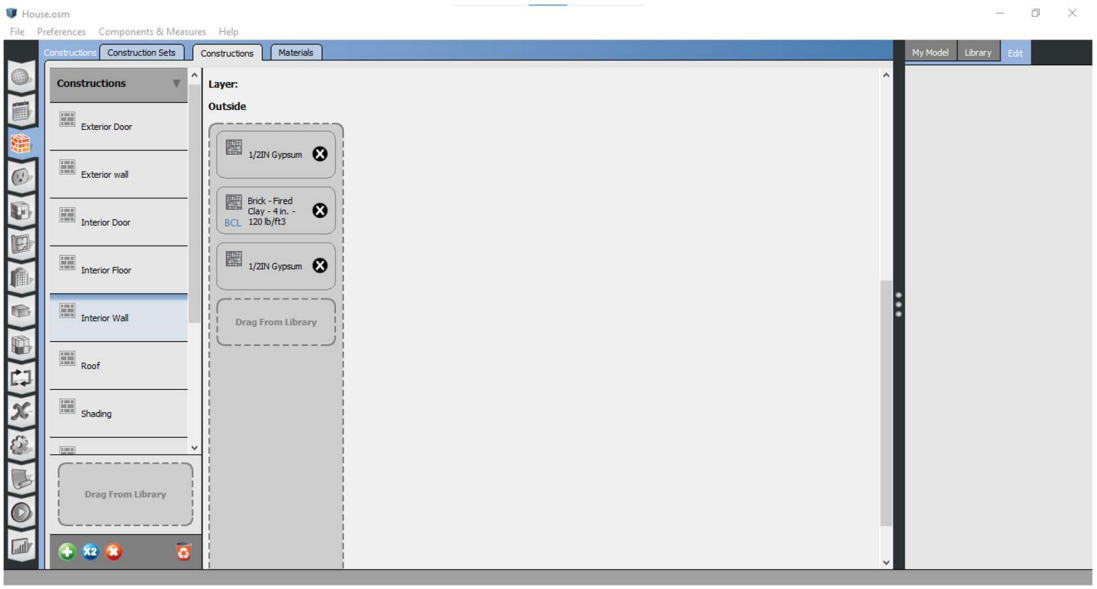
Εικόνα 5.5.3: Υλικά Εξωτερικού τοίχου



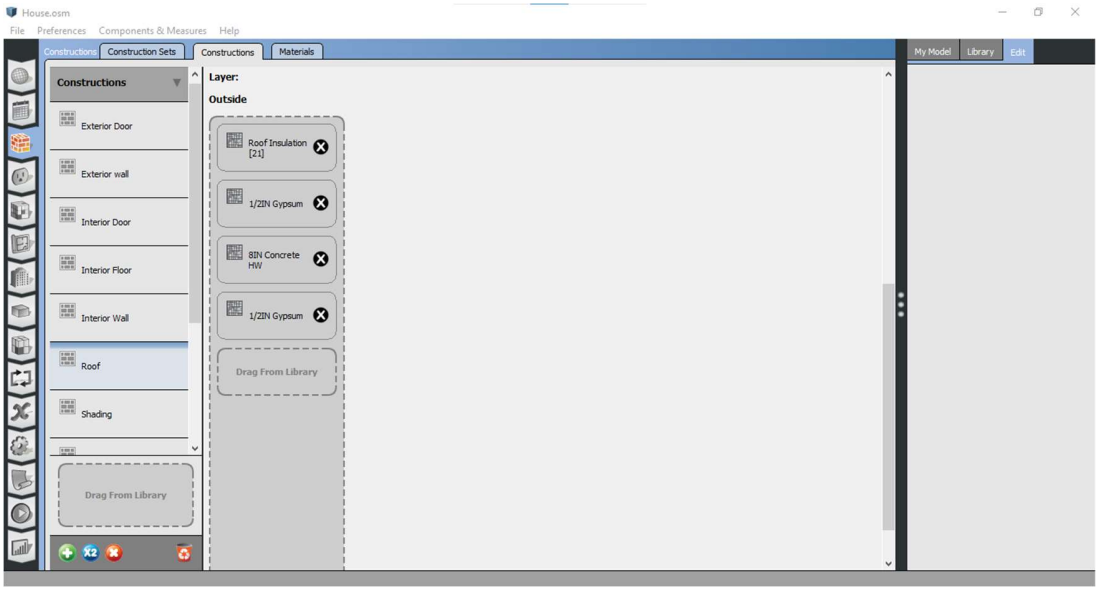
Εικόνα 5.5.4: Υλικά Εσωτερικής πόρτας



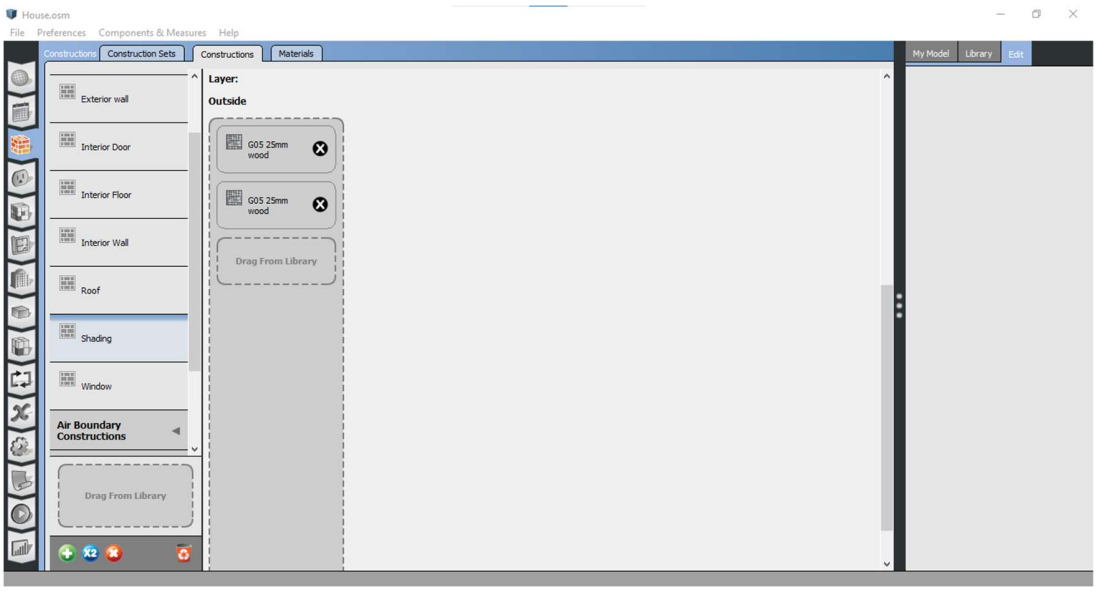
Εικόνα 5.5.5: Υλικά πατώματος



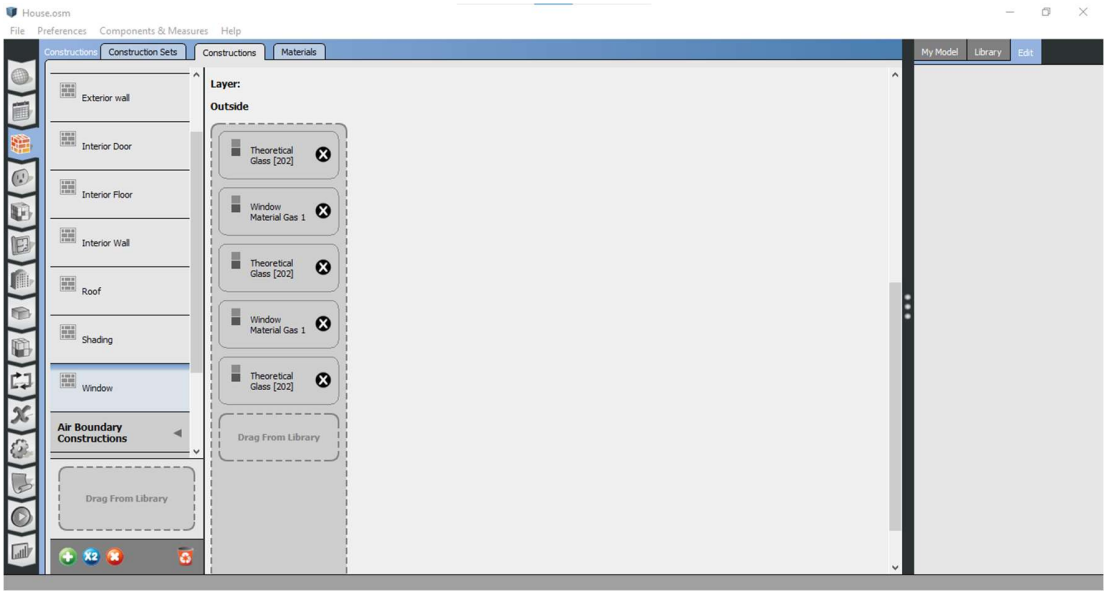
Εικόνα 5.5.6: Υλικά Εσωτερικού τοίχου



Εικόνα 5.5.7: Υλικά Οροφής



Εικόνα 5.5.8: Υλικά Σκιάσεων



Εικόνα 5.5.9: Υλικά παραθύρου

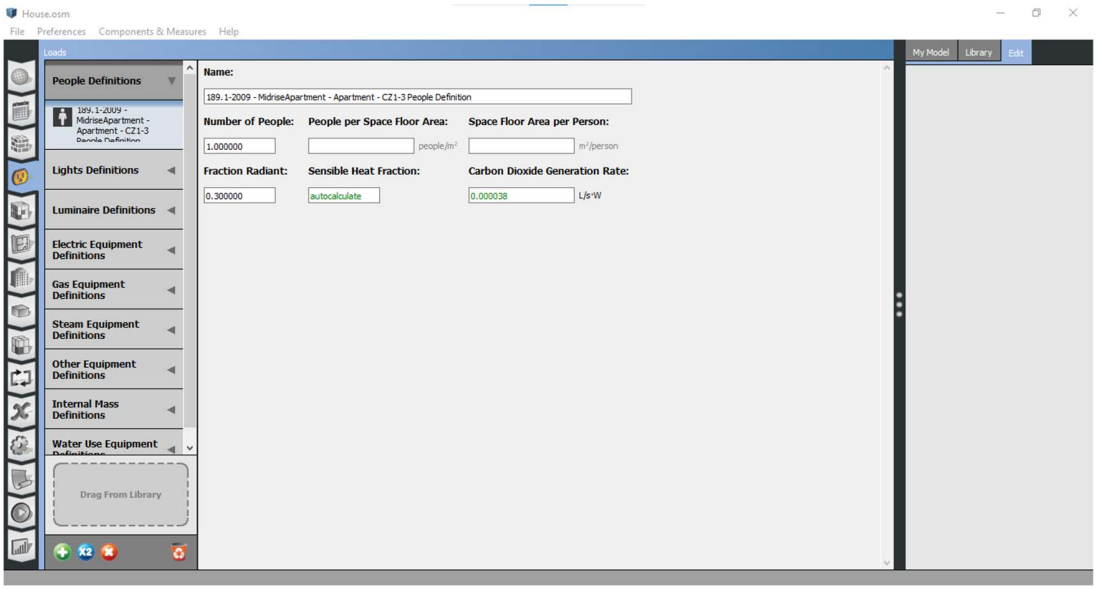
Οι κατασκευές αυτές στηρίζονται στα υλικά της τρίτης καρτέλας τα οποία υπάρχουν ήδη στο πρόγραμμα. Μοναδική εξαίρεση είναι το τούβλο το οποίο έγινε λήψη από την ειδική βιβλιοθήκη της **BREL** εντός του προγράμματος [49]. Οι κανονισμοί που ισχύουν για τις μέγιστες τιμές θερμοπερατότητας και θα φανούν στο τέλος φαίνονται στον **Πίνακα 5.5.1** για την ζώνη Β' [35].

Πίνακας 5.5.1: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη [35]

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m²·K)]			
	Ζώνη Α'	Ζώνη Β'	Ζώνη Γ'	Ζώνη Δ'
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70

5.6 Προσδιορισμός φορτίων

Τα φορτία **(Loads)** εκτός από χρονοπρογράμματα πρέπει να οριστούν και σαν αντικείμενα στο χώρο. Σκοπός του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου είναι να οριστούν οι τιμές γι' αυτά τα αντικείμενα. Ένας ορισμός είναι ο άνθρωπος. Στο **people definitions** με το εικονίδιο **Add new object** δημιουργείτε ο ιδανικός άνθρωπος. Το **number of people** είναι 1 και τα υπόλοιπα κελιά παραμένουν ως έχουν από προεπιλογή (Εικόνα 5.6.1).



Εικόνα 5.6.1: Ορισμός ανθρώπου

Στο **light definitions** υπάρχει ο φωτισμός. Οι υπολογισμοί γίνονται σε $\frac{W}{m^2}$ [51] σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.6.1**.

Πίνακας 5.6.1: Τιμές φωτισμού ανά τετραγωνικό μέτρο [51]

Common Space Types*	LPD, W/m²
Atrium	
≤12.2 m high	1.1/m total height
>12.2 m high	4.3 + 0.7/m total height
Audience Seating Area	
In auditorium	6.8
In convention center	8.9
In gymnasium	7.1
In motion picture theater	12.3
In penitentiary	3.1
In performing arts theater	26.2
In religious building	16.5
In sports arena	4.7
All other audience seating areas	4.7
Banking Activity Area	11.9
Breakroom (See Lounge/Breakroom)	
Classroom/Lecture Hall/Training Room	
In penitentiary	14.5
All other classrooms/lecture halls/ training rooms	13.4
Conference/Meeting/Multipur-pose Room	13.3
Confinement Cells	8.8
Copy/Print Room	7.8
Corridor[b]	
In facility for visually impaired (and not used primarily by staff)[c]	9.9
In hospital	10.7
In manufacturing facility	4.4
All other corridors	7.1
Courtroom	18.6
Computer Room	18.4
Dining Area	
In penitentiary	10.4
In facility for visually impaired (and not used primarily by staff)[c]	28.5 W/m²
In bar/lounge or leisure dining	11.6
In cafeteria or fast food dining	7.0
In family dining	9.6
All other dining areas	7.0
Electrical/Mechanical Room[f]	4.6
Emergency Vehicle Garage	6.1
Food Preparation Area	13.1
Guest Room	9.8
Laboratory	
In or as classroom	15.5
All other laboratories	19.5
Laundry/Washing Area	6.5

Common Space Types*	LPD, W/m²
Loading Dock, Interior	5.1
Lobby	
In facility for the visually impaired (and not used primarily by staff)[c]	19.4
For elevator	7.0
In hotel	11.5
In motion picture theater	6.4
In performing arts theater	21.6
All other lobbies	9.7
Locker Room	8.1
Lounge/Breakroom	
In health care facility	10.0
All other lounges/breakrooms	7.9
Office	
Enclosed	12.0
Open plan	10.6
Parking Area, Interior	2.1
Pharmacy Area	18.1
Restroom	
In facility for the visually impaired (and not used primarily by staff)[c]	13.1
All other restrooms	10.6
Sales Area[d]	15.5
Seating Area, General	5.9
Stairway	
Space containing stairway determines LPD and control requirements for stairway.	
Stairwell	7.4
Storage Room	
<4.65 m²	13.3
All other storage rooms	6.8
Vehicular Maintenance Area	7.3
Workshop	17.2

Building-Specific Space Types*	LPD, W/m²
Facility for Visually Impaired[c]	
In chapel (used primarily by residents)	23.8
In recreation room/common living room (and not used primarily by staff)	26.0
Automotive (See Vehicular Maintenance Area)	
Convention Center: Exhibit Space	15.7
Dormitory/Living Quarters	4.2
Fire Station: Sleeping Quarters	0.22
Gymnasium/Fitness Center	
In exercise area	7.8
In playing area	13.0

Building-Specific Space Types*	LPD, W/m²
Health Care Facility	
In exam/treatment room	18.0
In imaging room	16.3
In medical supply room	
In nursery	9.5
In nurses' station	7.6
In operating room	26.8
In patient room	6.7
In physical therapy room	9.9
In recovery room	12.4
Library	
In reading area	11.5
In stacks	18.4
Manufacturing Facility	
In detailed manufacturing area	13.9
In equipment room	8.0
In extra-high-bay area (15.2 m floor-to-ceiling height)	11.3
In high-bay area (7.6 to 15.2 m floor-to-ceiling height)	13.3
In low-bay area (<7.6 m floor-to-ceiling height)	12.9
Museum	
In general exhibition area	11.4
In restoration room	11.0
Performing Arts Theater, Dress-ing Room	6.6
Post Office, Sorting Area	10.2
Religious Buildings	
In fellowship hall	6.9
In worship/pulpit/choir area	16.5
Retail Facilities	
In dressing/fitting room	7.7
In mall concourse	11.9
Sports Arena, Playing Area	
For Class I facility	39.7
For Class II facility	25.9
For Class III facility	19.4
For Class IV facility	13.0
Transportation Facility	
In baggage/carousel area	5.7
In an airport concourse	3.9
At a terminal ticket counter	8.7
Warehouse—Storage Area	
For medium to bulky, palletized items	6.2
For smaller, hand-carried items[e]	10.2

Άρα οι ορισμοί που χρειάζονται για τα φώτα είναι:

Πίνακας 5.6.2: Φωτισμός χώρων

Lights Definitions	W/m2
Bedroom - Bathroom - Dressing room	10,6
Living room	11,6
Warehouse	10,2

Οι ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται κατά προσέγγιση μέσα στον κάθε χώρο φαίνονται στον **Πίνακα 5.6.4** και στηρίζονται σε πραγματικές τιμές συσκευών σε μια μέση κατοικία.

Πίνακας 5.6.3: Ηλεκτρικές συσκευές κατά προσέγγιση ανά χώρο

Living room		Bedroom		Warehouse	
Συσκευή	**Watt**	**Συσκευή**	**Watt**	**Συσκευή**	**Watt**
Κουζίνα	1300	Υπολογιστής	300	Πλυντήριο	1020
Ψυγείο	90	2 φορτιστές	10		
Τηλεόραση	40				

Συνεπώς, τα **electric equipment definitions** που χρειάζονται φαίνονται στον **Πίνακα 5.6.4**.

Πίνακας 5.6.4: Ορισμοί Ηλεκτρικών συσκευών

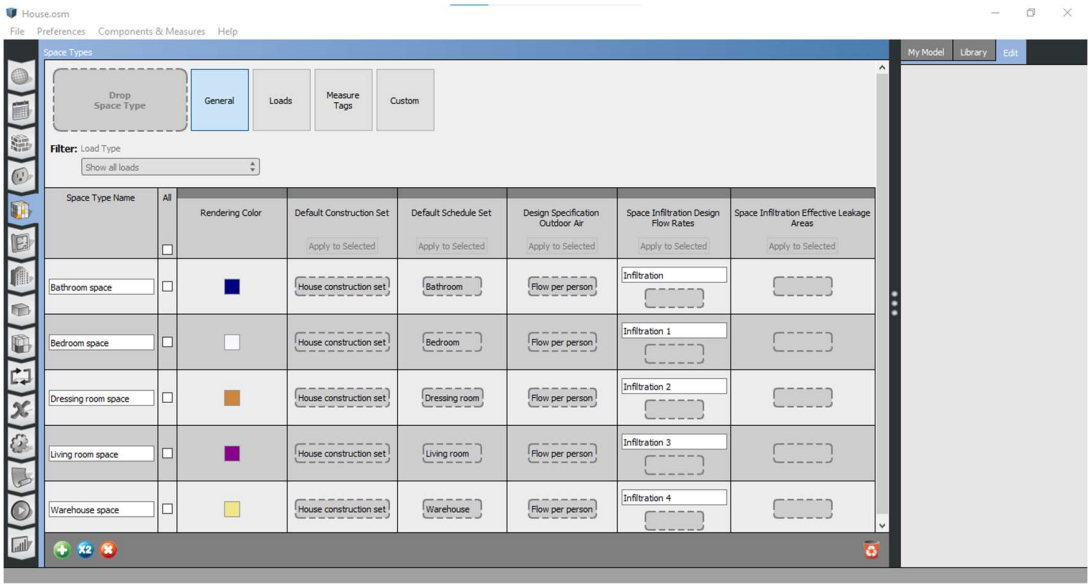
Electric Equipment	Watt
Bedroom	310
Living room	130
Oven	1300
Warehouse	1020

Δε θα υπολογιστεί το ζεστό νερό χρήσης καθόλου σαν φορτίο διότι έχει υποτεθεί ότι υπάρχει προ εγκατεστημένος ηλιακός θερμοσίφωνας που καλύπτει πλήρως τις ανάγκες.

5.7 Ομαδοποίηση ανά τύπο χώρου

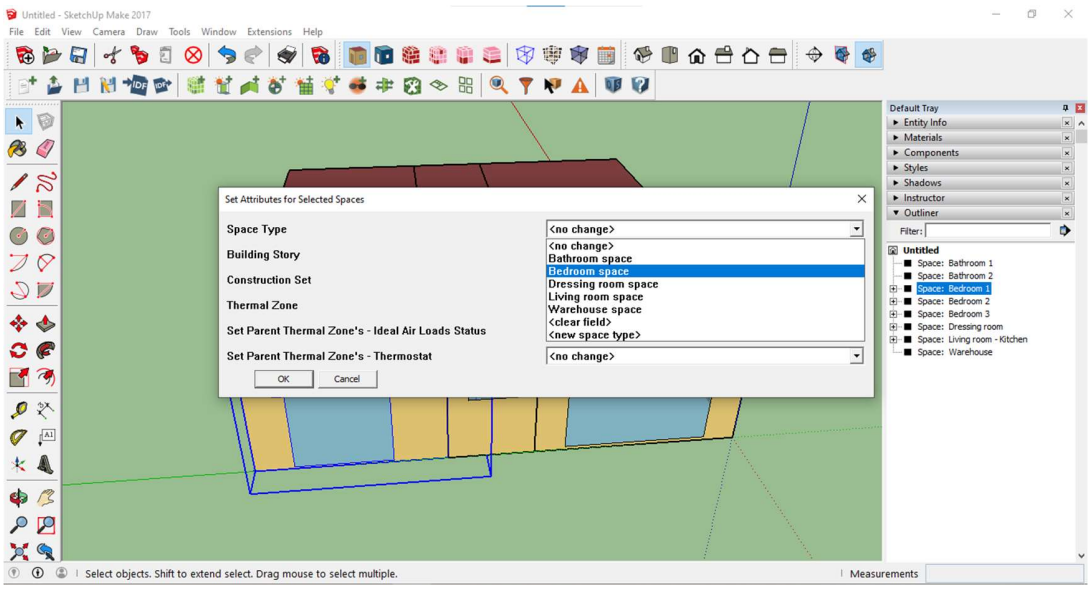
Στην επόμενη καρτέλα ορίζονται οι τύποι των χώρων **(Space Types)** έτσι ώστε όμοιοι χώροι να λαμβάνουν τα ίδια φορτία. Αυτό επιταχύνει τη διαδικασία απόδοσης φορτίων σε κάθε ένα χώρο καθώς δεν χρειάζεται η εισαγωγή ξεχωριστά στον καθένα από αυτούς. Άρα διαμορφώνονται οι τύποι χώρων και επιλέγονται οι χώροι που αφορούν.

Τα **Space Types** που δημιουργήθηκαν φαίνονται στην **Εικόνα 5.7.1.**



Εικόνα 5.7.1: Δημιουργία Space Types

Αφού δημιουργηθούν γίνεται η εισαγωγή των χώρων **(Spaces)** στους τύπους χώρων **(Space Types)**. Έτσι, από το Sketch up με το εικονίδιο **Set Attributes for Selected Spaces** εισάγεται ο κάθε χώρος στην αντίστοιχη κατηγορία **Space Types (**Εικόνα 5.7.2).



Εικόνα 5.7.2: Εισαγωγή χώρων στα Space Types

Το σετ κατασκευής **(Default Construction Set)** που χρησιμοποιούν όλοι οι τύποι χώρων είναι το **House construction set** που καλύφθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ενώ το σετ χρονοπρογραμμάτων είχε φτιαχτεί αρχικά με βάση τους τύπους χώρων, άρα ήταν εύκολη η αντιστοίχιση. Ο αερισμός, δηλαδή η ηθελημένη προσαγωγή αέρα σε ένα κτήριο, έχει κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις [35] οι οποίες φαίνονται στον **Πίνακα 5.7.1**.

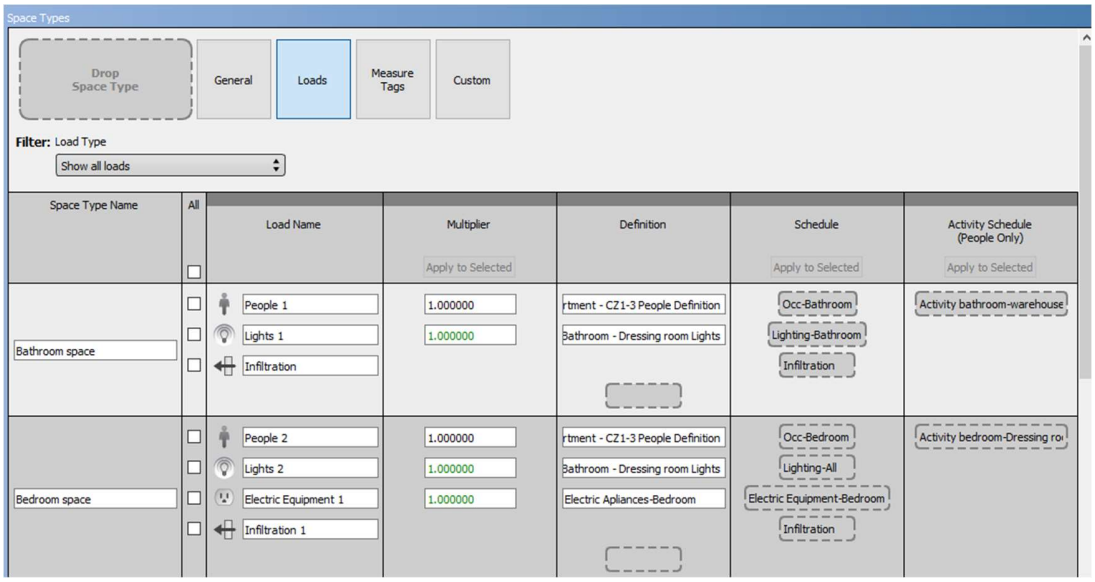
Πίνακας 5.7.1: Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου [35]

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m^2 επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [$m^3/h/$άτομο]	Νωπός αέρας [$m^3/h/m^2$]
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	5	15	0,75
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας*	15	20	3,00
θερινής λειτουργίας*	15	20	3,00
χειμερινής λειτουργίας*	15	20	3,00
Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας*	15	20	3,00
θερινής λειτουργίας*	15	20	3,00

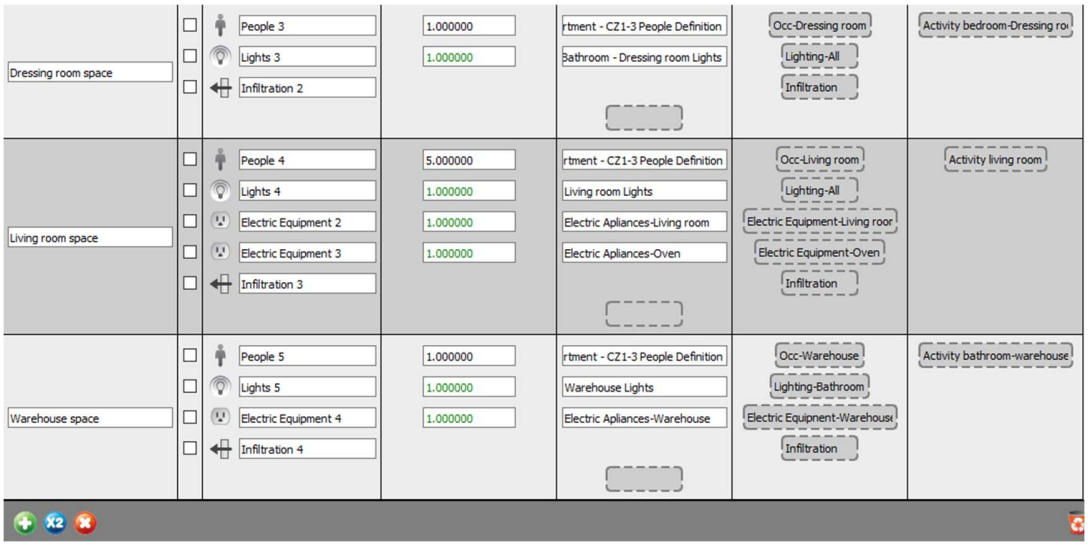
Έτσι το πεδίο **Design Specification Outdoor air** παίρνει τιμή από τη βιβλιοθήκη και παραμετροποιείται με 0,004166666 $\frac{m^3}{s*άτομο}$.

Η διείσδυση, δηλαδή η αθέλητη προσαγωγή αέρα που πραγματοποιείται από τις χαραμάδες και τα διάκενα των θυρών και των παραθύρων είναι αναπόφευκτη. Το πεδίο **Space Infiltration Design Flow Rates** παίρνει τιμή από τη βιβλιοθήκη.

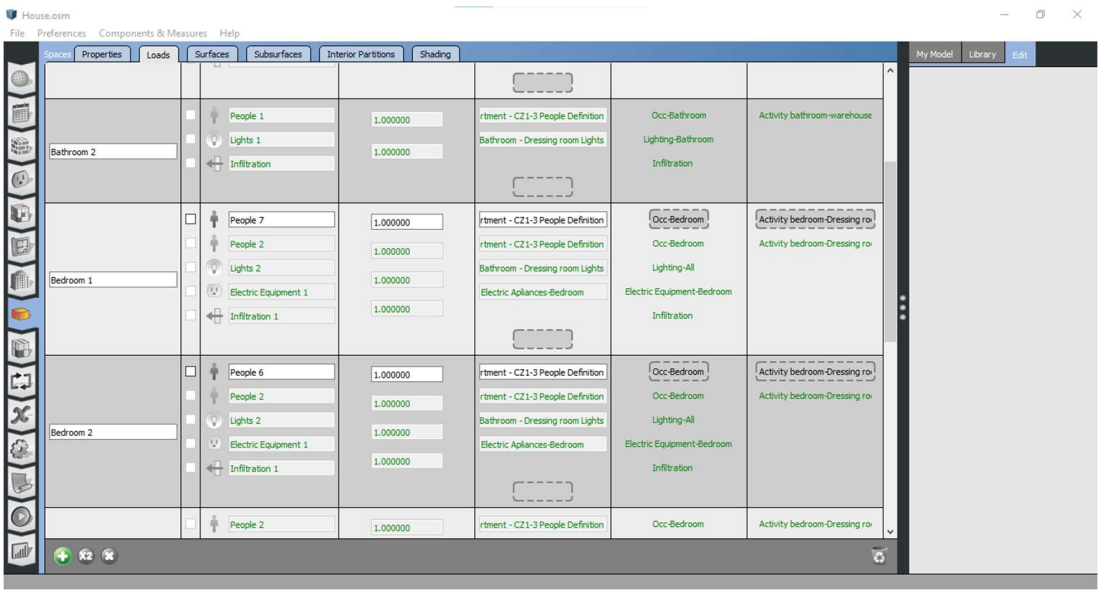
Στο δεύτερο μενού των τύπων χώρων υπάρχουν τα φορτία **(Space Types -> Loads)**. Ως εκ τούτου, είναι το στάδιο που εισάγονται όλα τα φορτία στα **Space Types** (Εικόνα 5.7.3-5.7.4). Αυτό γίνεται με εισαγωγή των στοιχείων από το **My Model** στα δεξιά του προγράμματος μαζί με τα χρονοπρογράμματά τους. Σημαντική λεπτομέρεια είναι τα φορτία των ανθρώπων. Ο ορισμός αναφέρει έναν άνθρωπο. Με την επιλογή **multiplier** εισάγεται ο αριθμός των ατόμων στον εκάστοτε χώρο. Σημαντική διαφοροποίηση υπάρχει στα δωμάτια 1 και 2 όπου εισάγεται επιπλέον ένα άτομο από το μενού **Spaces -> Loads** (Εικόνα 5.7.5).



Εικόνα 5.7.3: Φορτία σε τύπους χώρων 1



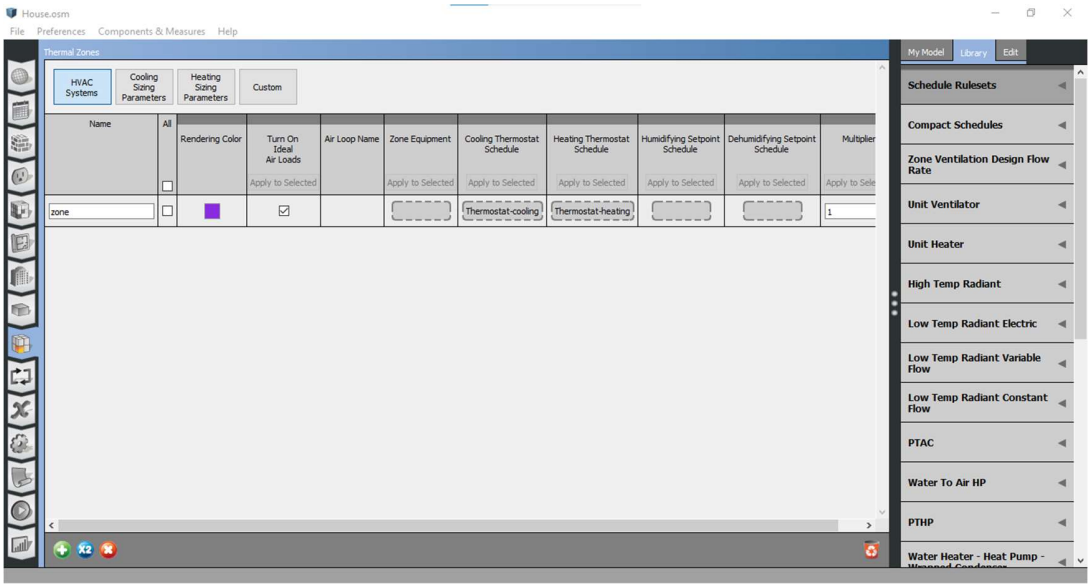
Εικόνα 5.7.4: Φορτία σε τύπους χώρων 2



Εικόνα 5.7.5: Προσθήκη ατόμων στα υπνοδωμάτια 1 και 2

5.8 Οριοθέτηση θερμικών ζωνών

Στην τελευταία καρτέλα **Thermal Zones** (Εικόνα 5.8.1) δημιουργούνται οι θερμικές ζώνες και γίνεται η προσθήκη του εξοπλισμού που απαιτείται για τον κλιματισμό τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο, λόγω του ότι είναι μια μικρή κατοικία και εξυπηρετεί 5 ανθρώπους έχει μικρά φορτία. Έτσι είναι δυνατόν, για ευκολία μελέτης, να μπουν όλοι οι χώροι σε μία θερμική ζώνη χωρίς να αλλοιωθούν τα αποτελέσματα.

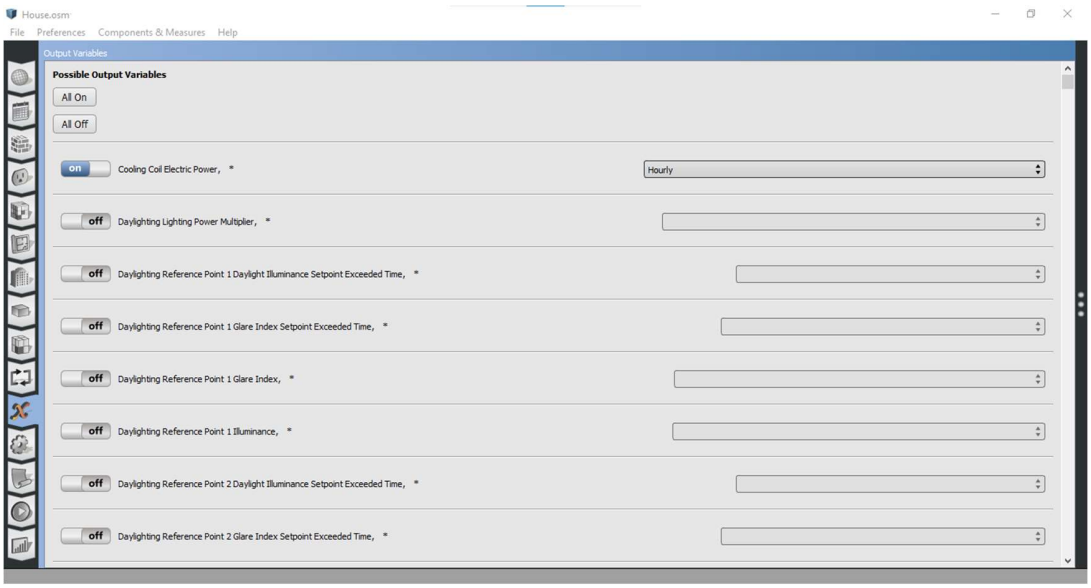


Εικόνα 5.8.1: Θερμική ζώνη κατοικίας

Στο **κεφάλαιο 5.2** έγινε η δημιουργία της μοναδικής αυτής ζώνης μέσω του Sketch up. Η επιλογή των ιδανικών φορτίων είναι ενεργοποιημένη, καθώς δεν υπάρχει εξοπλισμός κλιματισμού, για την εκτίμηση της ενέργειας που χρειάζεται για να επιτευχθεί κλιματισμός. Βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει η επιλογή αυτή είναι η προσθήκη θερμοστατών για θέρμανση και ψύξη. Από το **Schedules -> Schedules** δημιουργούνται δύο **Temperature Schedules** τα οποία είναι μόνιμα στους 24^{o} C για την ψύξη **(Thermostat-cooling)** και στους 20^{o} C για τη θέρμανση **(Thermostat-heating)**.

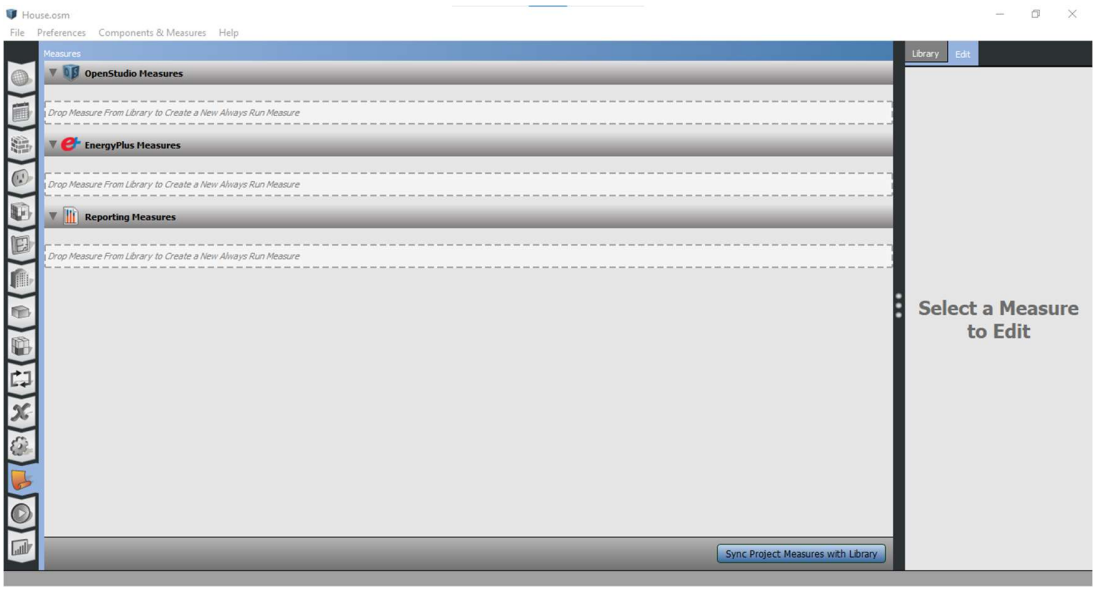
5.9 Ολοκλήρωση μοντέλου

Υπάρχουν ακόμη δύο καρτέλες οι οποίες είναι σημαντικές για τα αποτελέσματα που εξάγονται καθώς και για την εμφάνισή τους. Η πρώτη καρτέλα είναι τα **Output Variables** (Εικόνα 5.9.1) στην οποία επιλέγεται ποια αποτελέσματα θα εξαχθούν στο τέλος της προσομοίωσης.



Εικόνα 5.9.1: Output Variables

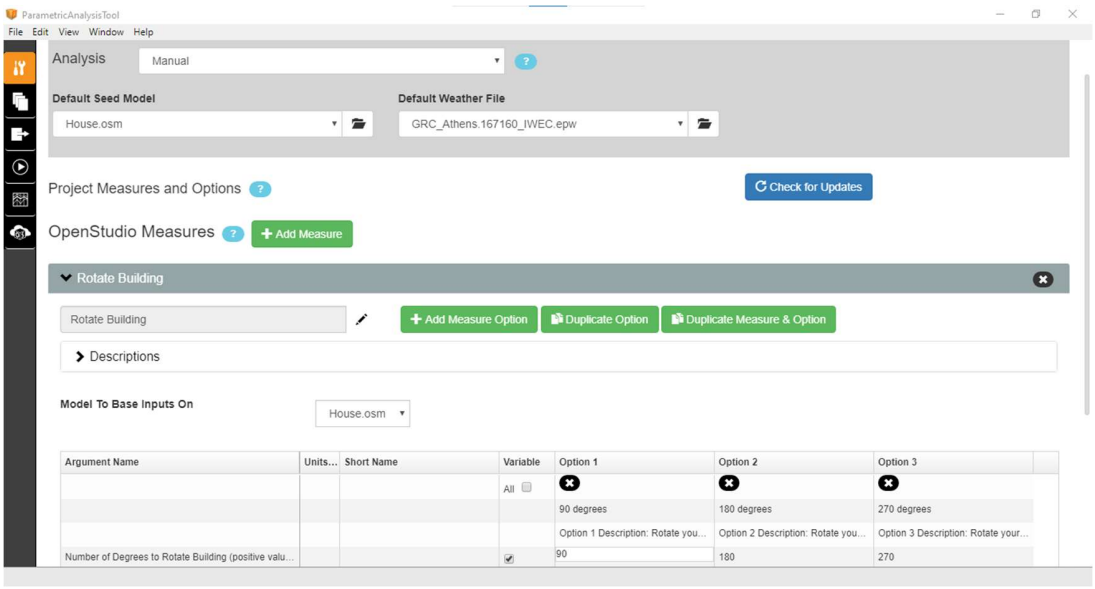
Η δεύτερη καρτέλα είναι οι μετρήσεις (**Measures)** (Εικόνα 5.9.2). Εκεί, σύμφωνα με προηγούμενο κεφάλαιο είναι το σημείο που προστίθενται επιπλέον δυνατότητες υπολογισμού, παραμετροποιήσεις συστημάτων καθώς και αναφορές αποτελεσμάτων, οι οποίες δεν υπάρχουν σαν επιλογές στη δομή του λογισμικού. Τα εργαλεία αυτά βρίσκονται έτοιμα στη [49] **NREL** αλλά μπορούν να δημιουργηθούν και εκ νέου βάση παραπάνω κεφαλαίου. Σημαντικό **measure** είναι το **Opentudio Results** που δημιουργεί μια αναφορά για τα αποτελέσματα και χρησιμοποιείται έναντι της καθορισμένης από το πρόγραμμα αναφοράς.



Εικόνα 5.9.2: Εισαγωγή μετρήσεων

5.10 Βελτιστοποίηση προσανατολισμού

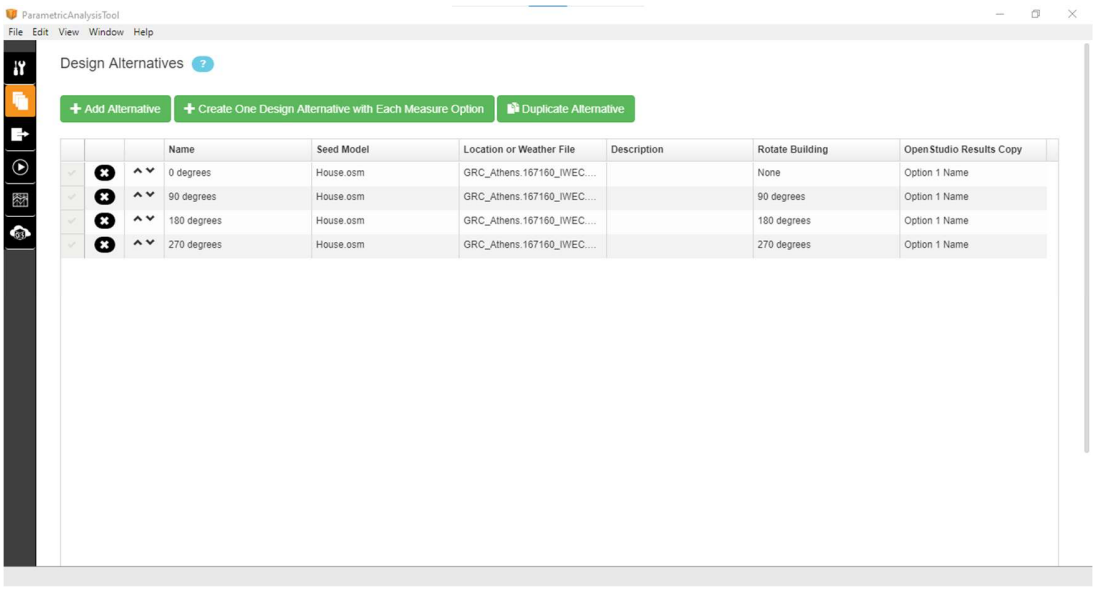
Ο ήλιος μπορεί να προσδώσει θερμότητα στο κτήριο χωρίς κάποια διάταξη. Για να γίνει αποδοτικά αυτό πρέπει να γίνεται αρχιτεκτονικός σχεδιασμός ως προς τα σημεία που θα τοποθετηθούν ανοικτές επιφάνειες όπως είναι τα παράθυρα. Όπως ειπώθηκε στο **Κεφάλαιο 2.1** η τροχιά του ηλίου δεν είναι πάνω στον ισημερινό κατά τη διάρκεια της μέρας. Έχει μια μεγάλη κλίση προς το νότο το χειμώνα και μια μικρή επίσης το καλοκαίρι. Έτσι, είναι απαγορευτικό να υπάρχουν ανοίγματα στο βορρά και ενδείκνυται να υπάρχουν στο νότο. Με αυτό το γνώμονα σχεδιάστηκε το κτήριο εξαρχής με μία όψη δίχως ανοίγματα. Για να διαπιστωθεί αυτό όμως και στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε το **measure Rotate Building.** Οι υποψήφιες γωνίες στροφής είναι οι 0, 90, 180, 270 μοίρες έτσι ώστε η κάθε όψη να αντιστοιχεί σε μία από τις 4 κατευθύνσεις. Για να γίνει άμεση σύγκριση μεταξύ τους χρησιμοποιείται το **Parametric Analysis Tool** (Εικόνα 5.10.1). Το εργαλείο αυτό είναι επιπρόσθετο στοιχείο του κυρίως λογισμικού του **Openstudio** και λειτουργεί για να συγκρίνει αλλαγές στην ίδια προσομοίωση δίχως να γίνει αλλαγή στο πρωτεύον αρχείο. Έχει πολύ απλή λειτουργία η οποία φαίνεται στη συνέχεια.



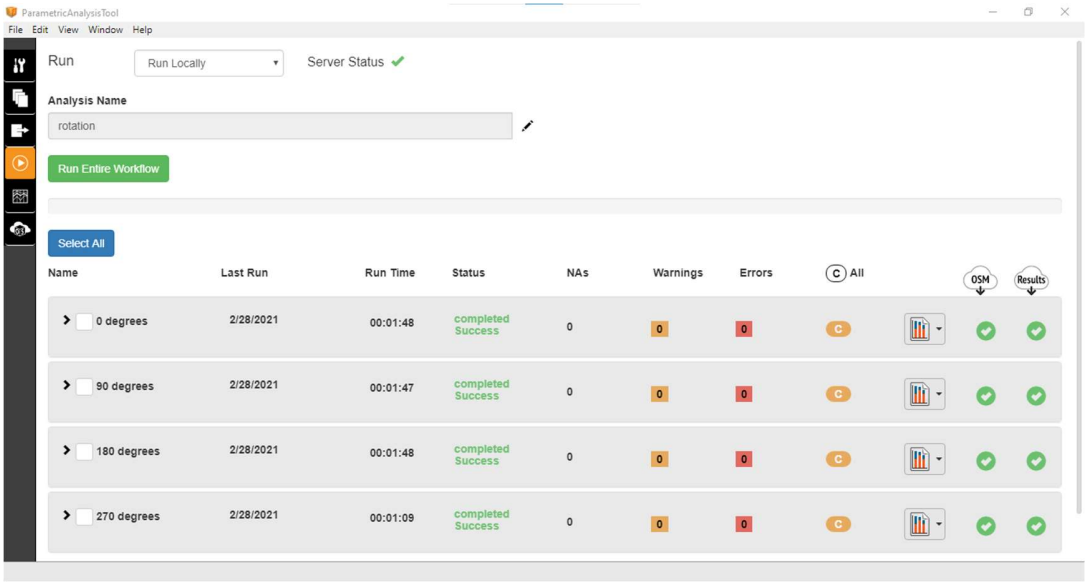
Εικόνα 5.10.1: Χρήση PAT για εύρεση κατάλληλου προσανατολισμού κτηρίου

Δημιουργείται το νέο αρχείο και προσδιορίζεται το μοντέλο της προσομοίωσης καθώς και το αρχείο του καιρού. Στη συνέχεια προστίθενται οι μετρήσεις **(measures)** που χρειάζονται για να δημιουργηθούν οι διάφορες εκδοχές τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρειάζεται το **Rotate Building** για να στρέψει το κτήριο και το **Openstudio Results** για να δείξει τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Στο **Rotate Building** δημιουργούνται οι επιλογές που μπορεί να πάρει η εισαγωγή **(Input)** οι οποίες αναφέρθηκαν πιο πριν. Αφού γίνει αυτό τότε μένει να δημιουργηθούν οι εναλλακτικές στην δεύτερη καρτέλα του προγράμματος (Εικόνα 5.10.2) και να τρέξει η προσομοίωση από την τρίτη καρτέλα (Εικόνα 5.10.3).



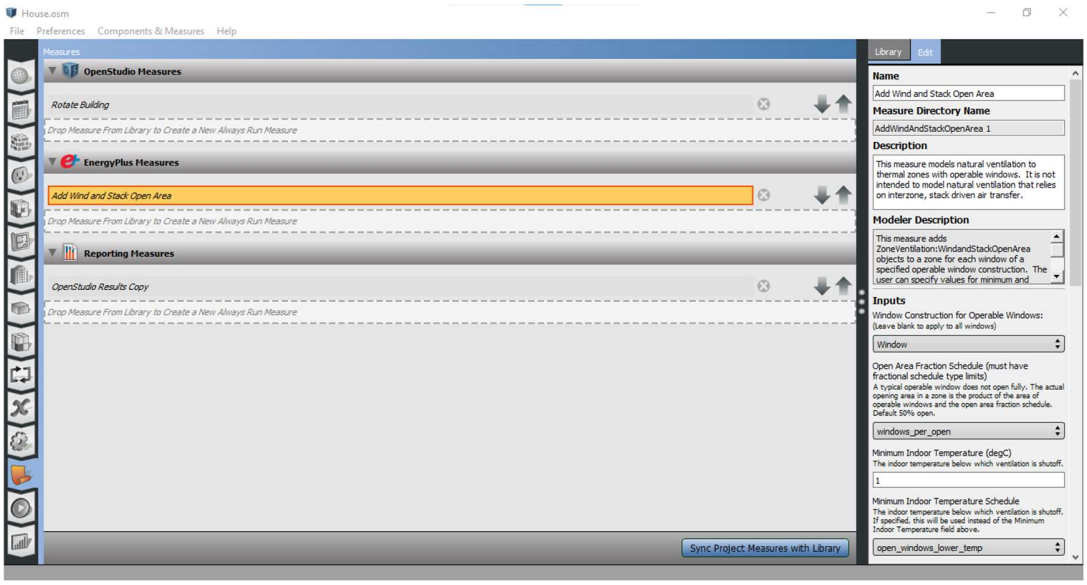
Εικόνα 5.10.2: Δημιουργία εναλλακτικών περιστροφής κτηρίου



Εικόνα 5.10.3: Διενέργεια προσομοίωσης

5.11 Αερισμός χώρου

Στο κεφάλαιο 5.7 έγινε αερισμός του χώρου βάση των ελάχιστων προδιαγραφών για την ασφάλεια των ανθρώπων που διαμένουν στο κτήριο. Επίσης, ορίστηκε και η διείσδυση από τις χαραμάδες και τα διάκενα των θυρών και των παραθύρων. Σε ένα πραγματικό χώρο όμως πρέπει να υπάρχει και επιπλέον αερισμός για την απομάκρυνση φορτίων όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν. Οι τρόποι κλιματισμού στο επόμενο κεφάλαιο δεν έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν φρέσκο αέρα στο χώρο, δηλαδή δεν μπορεί να γίνει μηχανικός αερισμός. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο επιπρόσθετος αερισμός είναι με το άνοιγμα των παραθύρων. Για να μοντελοποιηθεί η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ένα **measure** από τη βιβλιοθήκη, το **Add Wind and Stack Open Area** (Εικόνα 5.11.1)**.**



Εικόνα 5.11.1: Αερισμός χώρου χωρίς εξοπλισμό

Για να λειτουργήσει η μέτρηση χρειάζεται κάποιες παραμέτρους. Η πρώτη από αυτές είναι η γεωμετρίες που ανοίγουν, όπου είναι τα παράθυρα. Τα παράθυρα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον αερισμό αυτό είναι του μπάνιου και του δωματίου-ντουλάπας. Η δεύτερη είναι το ποσοστό ανοίγματος των παραθύρων, για το οποίο δημιουργήθηκε ένα **Schedule -> fractional -> windows_per_open** με τιμή 0,9. Η τρίτη είναι η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί ο αερισμός. Αυτή δεν είναι χρήσιμη παράμετρος και έτσι παίρνει τιμή 50. Η διαφορά θερμοκρασίας εξωτερικού – εσωτερικού περιβάλλοντος κάτω από την οποία ο αερισμός κλείνει είναι μια ακόμα παράμετρος και έχει οριστεί ίση με 0,5. Ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος είναι δύο παράμετροι που δεν αξιοποιούνται, άρα οι τιμές τους είναι 1 και 50. Τέλος, η μέγιστη ταχύτητα ανέμου μένει από προεπιλογή ίση με 5,4 m/s

6. Σενάρια εγκατάστασης και συνδεσμολογία

6.1 Εισαγωγή

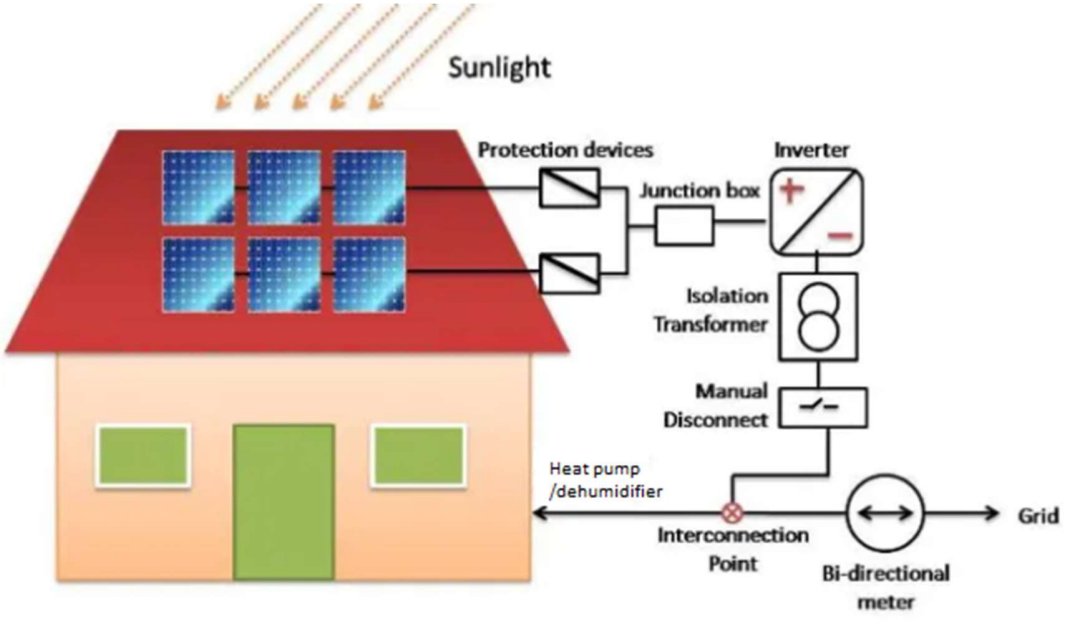
Στο παραπάνω μοντέλο προστίθενται οι ακόλουθες εγκαταστάσεις:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ με αντλία θερμότητας αέρα – αέρα και αποθήκευση ενέργειας στο δίκτυο υπό το θεσμό της ιδιοκατανάλωσης.
- Θερμικά ηλιακά πάνελ με ψύκτη απορρόφησης και πύργο ψύξης, με αποθήκευση ενέργειας σε δεξαμενή ζεστού νερού.

Ο σκοπός είναι η σύγκριση της ενεργειακής εξοικονόμησης που προσφέρουν.

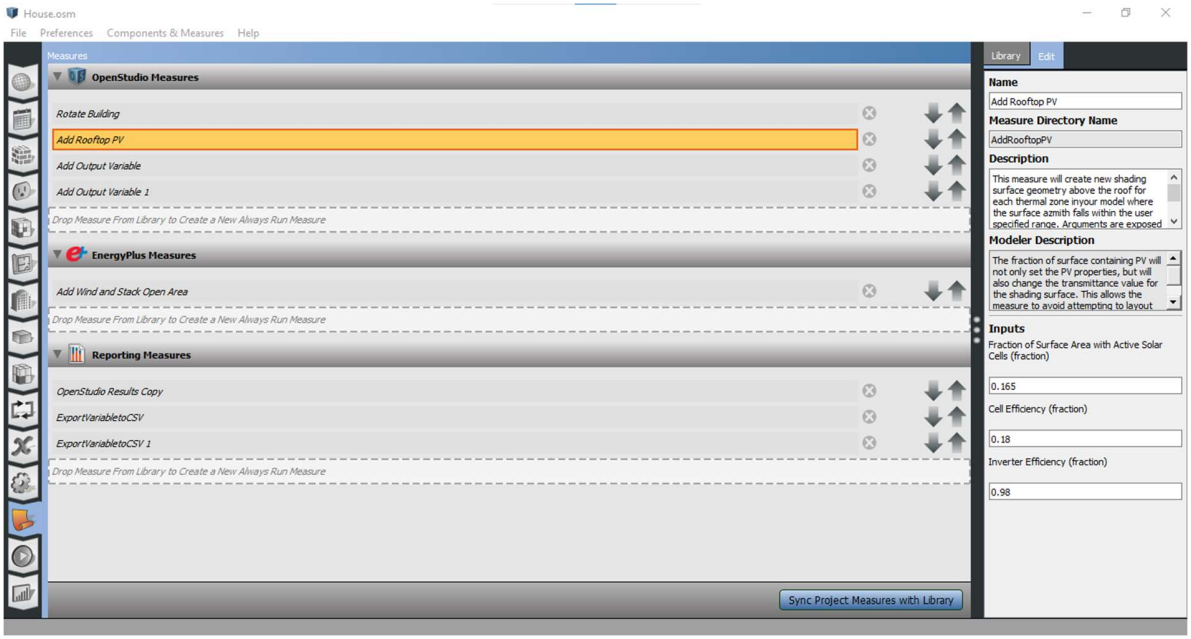
6.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ με αντλία θερμότητας αέρα – αέρα

Η πρώτη εγκατάσταση είναι απλή σύνδεση της αντλίας θερμότητας στο ρεύμα και σύνδεση των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο. Στην **Εικόνα 6.2.1** φαίνεται η τυπική διάταξη.



Εικόνα 6.2.1: Διάταξη Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένων στο δίκτυο [52]

Στην ουσία εγκαθίστανται μια συστοιχία πάνελ στην οροφή του κτηρίου τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια του ηλίου σε ηλεκτρισμό. Αυτό στο Openstudio μπορεί να προσομοιωθεί με τη μέτρηση **(measure) Add Rooftop PV** (Εικόνα 6.2.2)**.** Η πρώτη παράμετρος είναι το ποσοστό του εμβαδού της οροφής που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση των πάνελ. Μέσα από αναλυτική διαδικασία προέκυψε ότι θα χρησιμοποιηθεί το 0,165 της επιφάνειας, δηλαδή 16,5 m^2. Οι επόμενες δύο παράμετροι είναι σχετικοί με την αποδοτικότητα των πάνελ και παραμένουν με την προεπιλεγμένη τιμή.

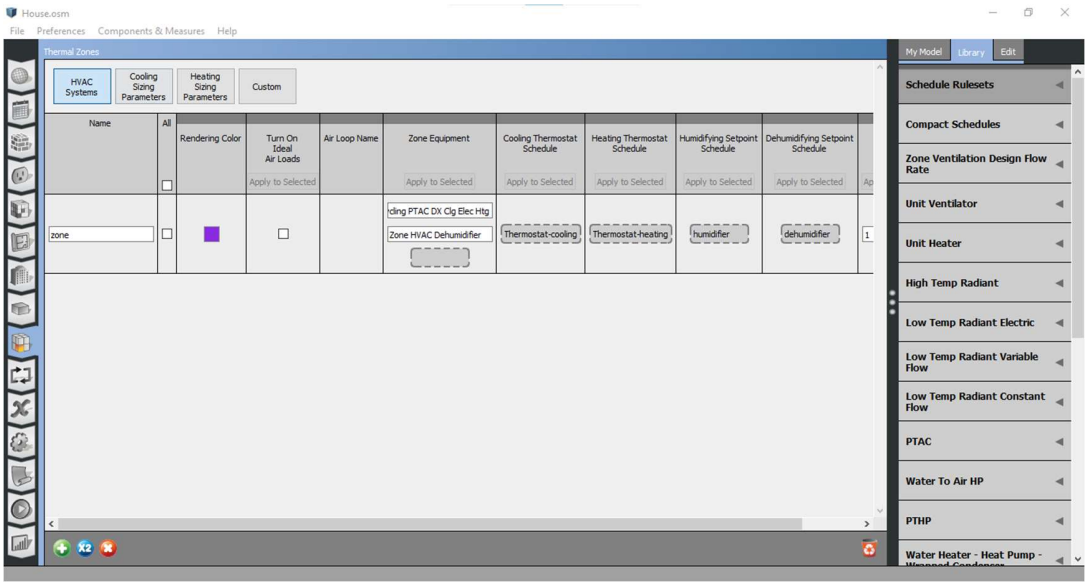


Εικόνα 6.2.2: Εισαγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται στηρίζεται στο καινοτόμο σύστημα της ιδιοκατανάλωσης. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει διαστασιολόγηση βάση των απαιτήσεων σε ενέργεια ετησίως το οποίο σημαίνει μικρότερη κλίμακα μιας και υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της ενέργειας την περίοδο του χρόνου όπου υπάρχει πολύ αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό στην πράξη σημαίνει μικρότερο κόστος λόγω της υπό – διαστασιολόγησης αλλά και της έλλειψης μπαταριών καθώς και μικρότερη ανάγκη για συντήρηση.

Η αντλία θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου αέρα-αέρα και στην ουσία ένα διπλού στοιχείου **(split)** κλιματιστικό το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα. Άρα αρκεί να εισαχθεί στη θερμική ζώνη (Εικόνα 6.2.3) για να την κλιματίσει. Το Openstudio δεν έχει έτοιμο στοιχείο **split** αλλά πετυχαίνει την προσομοίωση με το στοιχείο **Cycling PTAC DX Clg Elec Htg** καθώς στηρίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας

με τη μόνη διαφορά ότι το συσκευασμένο τερματικό κλιματιστικό **(PTAC)** έχει όλα τα μηχανολογικά του εξαρτήματα στο ίδιο πλαίσιο και τοποθετείται σε άνοιγμα του τοίχου.



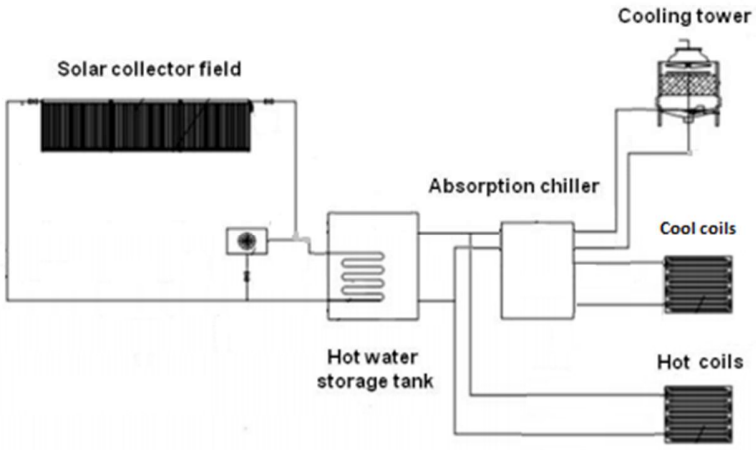
Εικόνα 6.2.3: Εισαγωγή αντλίας θερμότητας και αφυγραντήρα

Οι απαιτήσεις φαίνονται στα αποτελέσματα σε επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος, για να επιτευχθεί θερμική άνεση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ένας αφυγραντήρας ο οποίος θα ρίχνει την υγρασία στα προκαθορισμένα επίπεδα. Για να λειτουργήσει χρειάζεται δύο χρονοπρογράμματα για τα όρια της υγρασίας **percent -> dehumidifier -> 45** και **percent -> humidifier -> 40** καθώς και ένα χρονοπρόγραμμα για τη διαθεσιμότητα του αφυγραντήρα **percent -> dehumidifier availability** για να λειτουργεί από τον Απρίλιο μέχρι το Νοέμβριο όπου υπάρχει πολύ υγρασία.

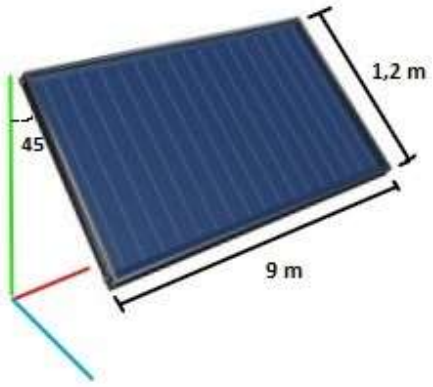
6.3 Θερμικά πάνελ με δεξαμενή, ψύκτη απορρόφησης και πύργο ψύξης

Η δεύτερη εγκατάσταση είναι λίγο πιο σύνθετη καθώς το μέσο που μεταδίδεται και αποθηκεύεται η ενέργεια είναι το νερό. Το κύκλωμα που αφορά την όλη διάταξη φαίνεται στην **Εικόνα 6.3.1.**



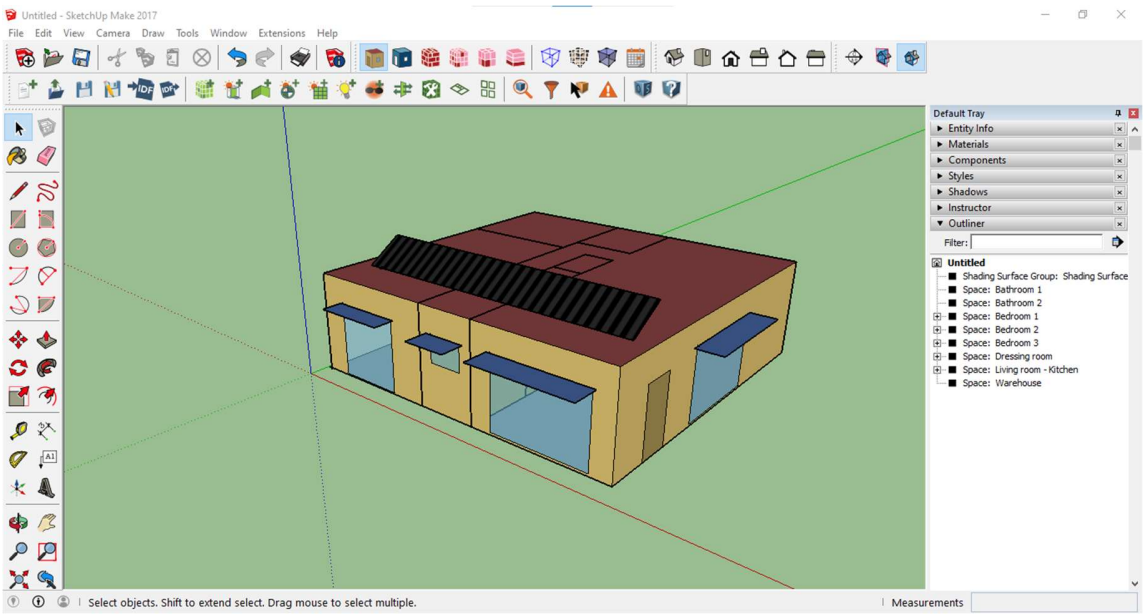
Εικόνα 6.3.1: Διάταξη Θερμικών πάνελ με δεξαμενή και ψύκτη απορρόφησης

Κατά την υλοποίηση της διάταξης αυτής έπρεπε στην οροφή του κτηρίου να εγκατασταθούν μια σειρά από θερμικά ηλιακά (Εικόνα 6.3.2).



Εικόνα 6.3.2: Διαστάσεις εγκατεστημένων θερμικών πάνελ

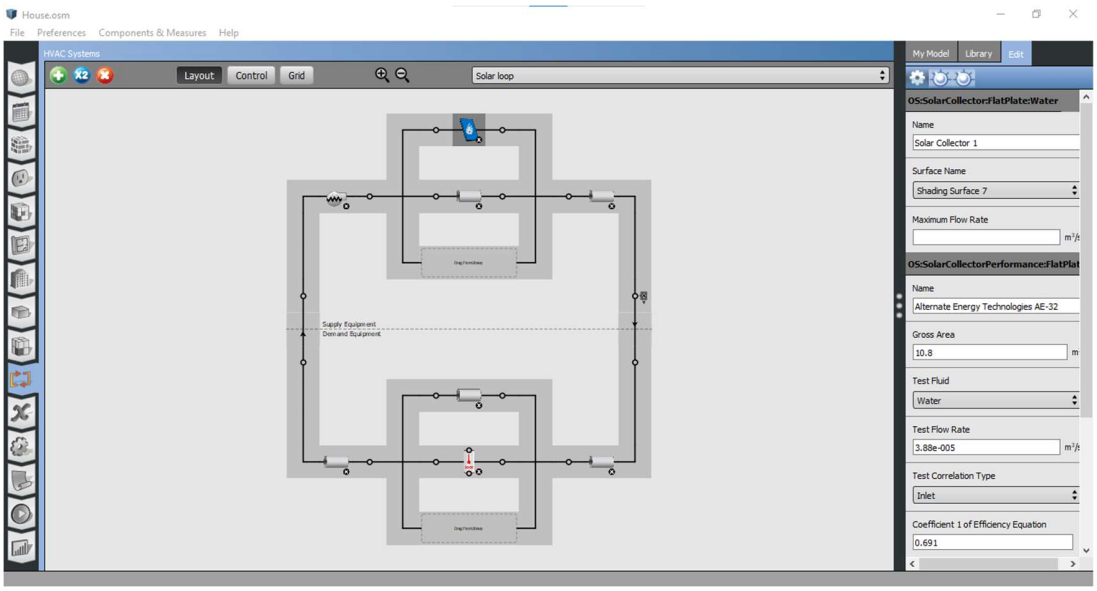
Για να γίνει αυτό, δημιουργήθηκε η επιφάνεια στο Sketch up (Εικόνα 6.3.3).



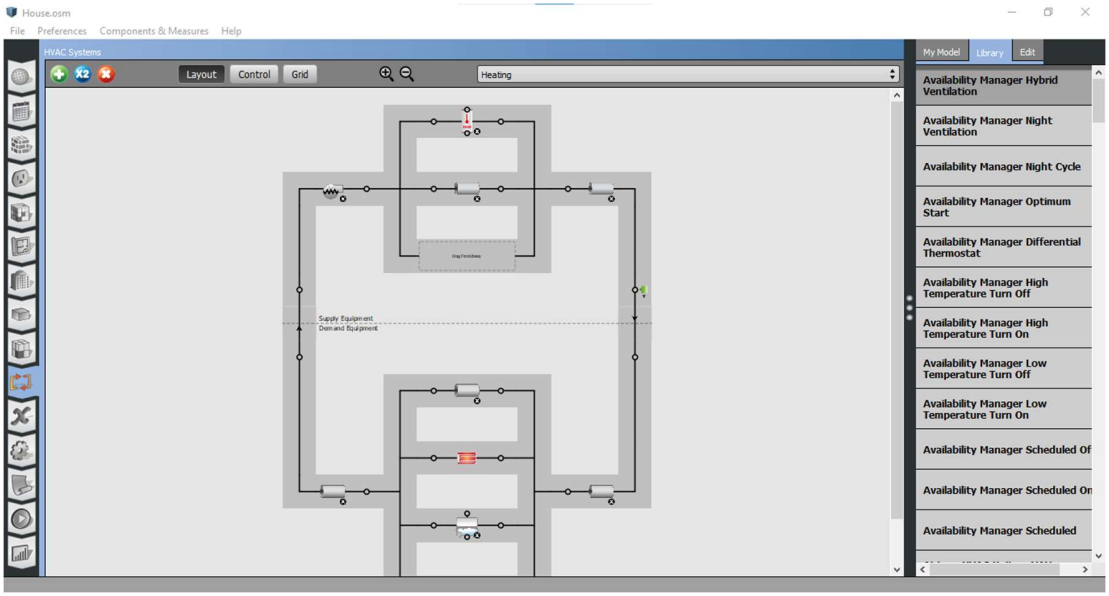
Εικόνα 6.3.3: Προσθήκη επιφάνειας για θερμικά ηλιακά πάνελ

Με το εικονίδιο **New Shading Surface Group** σχεδιάστηκε μια κεκλιμένη επιφάνεια πάνω στην οροφή η οποία είναι σύμφωνη με τις απαιτούμενες διαστάσεις και κλίσεις των θερμικών ηλιακών συστημάτων.

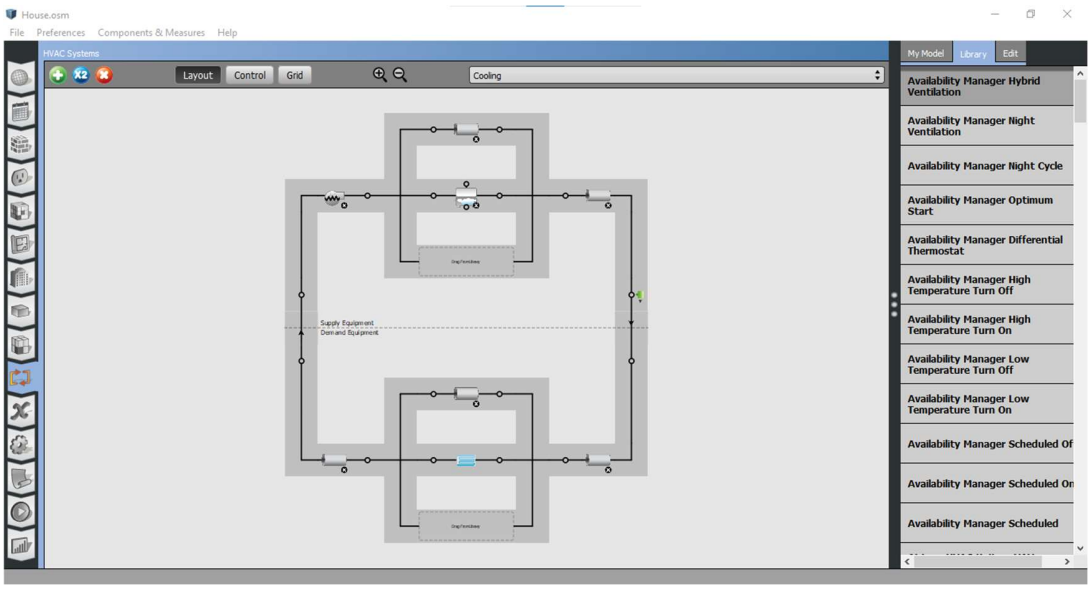
Επόμενο βήμα ήταν να μοντελοποιηθεί η διάταξη στο Openstudio. Ο μόνος τρόπος για να γίνει αυτό ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα διαφορετικό κομμάτι του προγράμματος που σχετίζεται με συστήματα **HVAC** [53]. Τα κυκλώματα του νερού προσομοιώθηκαν και φαίνονται στην **Εικόνα 6.3.4 - Εικόνα 6.3.7**.



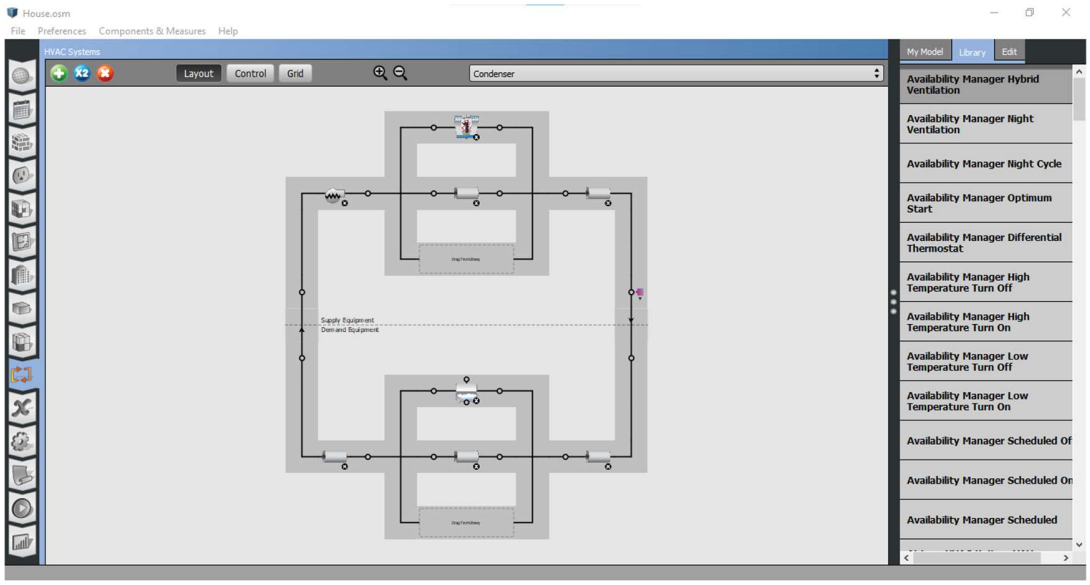
Εικόνα 6.3.4: Κύκλωμα ρευστού στους συλλέκτες



Εικόνα 6.3.5: Κύκλωμα θέρμανσης



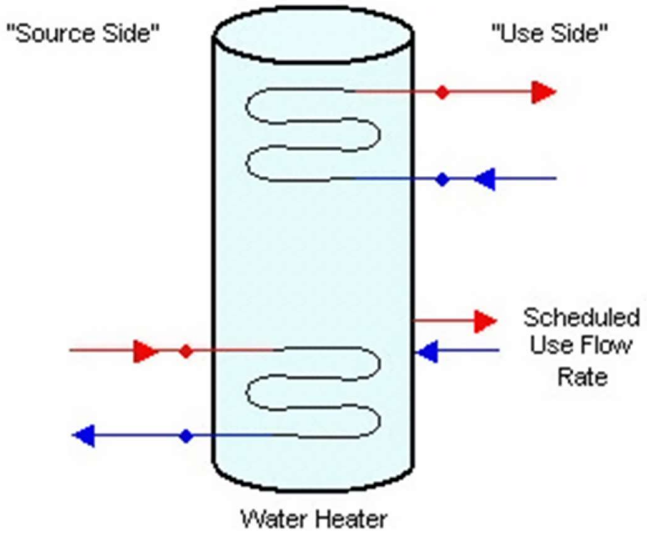
Εικόνα 6.3.6: Κύκλωμα ψύξης



Εικόνα 6.3.7:Κύκλωμα συμπύκνωσης

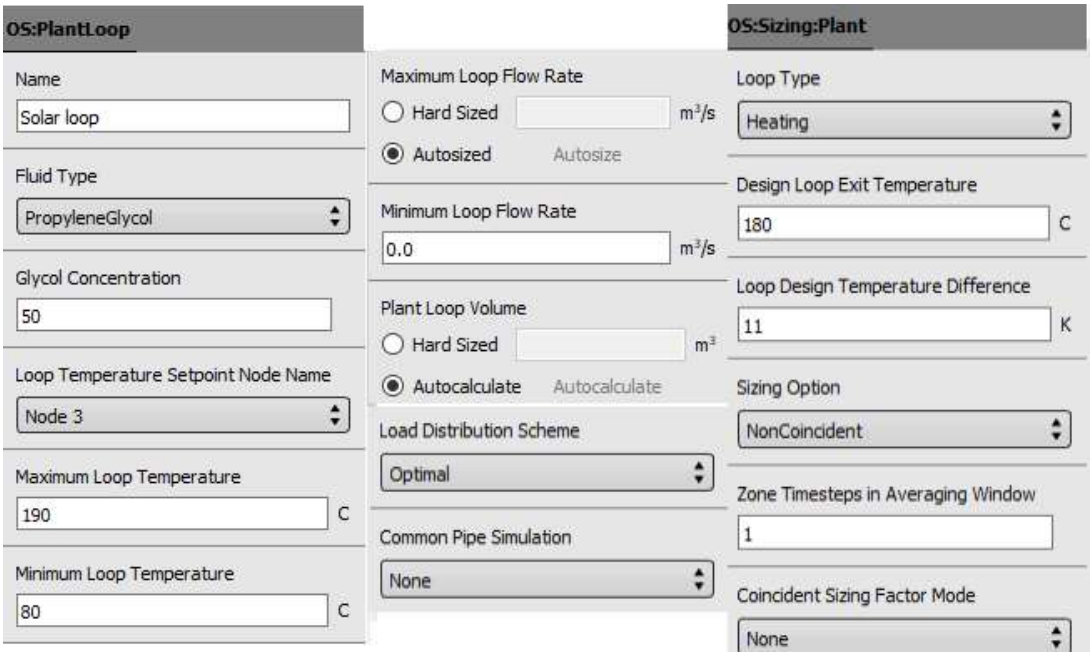
Πρώτο στάδιο είναι το κύκλωμα που ζεσταίνει το νερό με τη βοήθεια των πάνελ (Εικόνα 6.3.4). Στο μέρος της παροχής **(Supply Equipment)** προστίθεται το στοιχείο **SolarCollector:FlatPlate:Water** που αντιπροσωπεύει το θερμικό ηλιακό πάνελ. Στις ρυθμίσεις του εισάγεται το όνομα της επιφάνειας που δημιουργήθηκε στο Sketch up **Surface Name -> Shading Surface 7.**

Στο μέρος της ζήτησης **(Demand Equipment)** προστίθεται το στοιχείο **WaterHeater:Mixed** που αντιπροσωπεύει έναν θερμαντήρα νερού. Επειδή δεν υπάρχει αυτούσιο το στοιχείο του δοχείου αποθήκευσης χρησιμοποιείται ο θερμαντήρας με χωρητικότητα θέρμανσης μηδενική. Επίσης, ο θερμαντήρας είναι τύπου μανδύα (δεν αναμειγνύονται τα ρευστά από τα διαφορετικά κυκλώματα) (Εικόνα 6.3.8) συνεπώς λειτουργεί ταυτόχρονα και ως εναλλάκτης θερμότητας. Στις ρυθμίσεις του εισάγεται ένα χρονοπρόγραμμα **Schedule -> Hot Water Setpoint Temperature -> Temperature -> 80° C** το οποίο είναι για τη σχεδιασμένη θερμοκρασία λειτουργίας του δοχείου αποθήκευσης και μπαίνει στο Setpoint **Temperature Schedule Name**. Επίσης στις ρυθμίσεις μεταβάλλονται τα **Tank Volume -> 10, Deadband Temperature Difference -> 1, Maximum Temperature Limit -> 195, Heater Maximum Capacity -> 0, Source Side Flow Control Mode -> StorageTank.** Συνεπώς, ο όγκος της δεξαμενής είναι 10 m^3. Αυτό αποφασίστηκε έπειτα από επαναληπτική διαδικασία [54].



Εικόνα 6.3.8: Αρχή λειτουργίας θερμαντήρα [54]

Οι ρυθμίσεις του κύκλου των πάνελ φαίνονται στην **Εικόνα 6.3.9.**



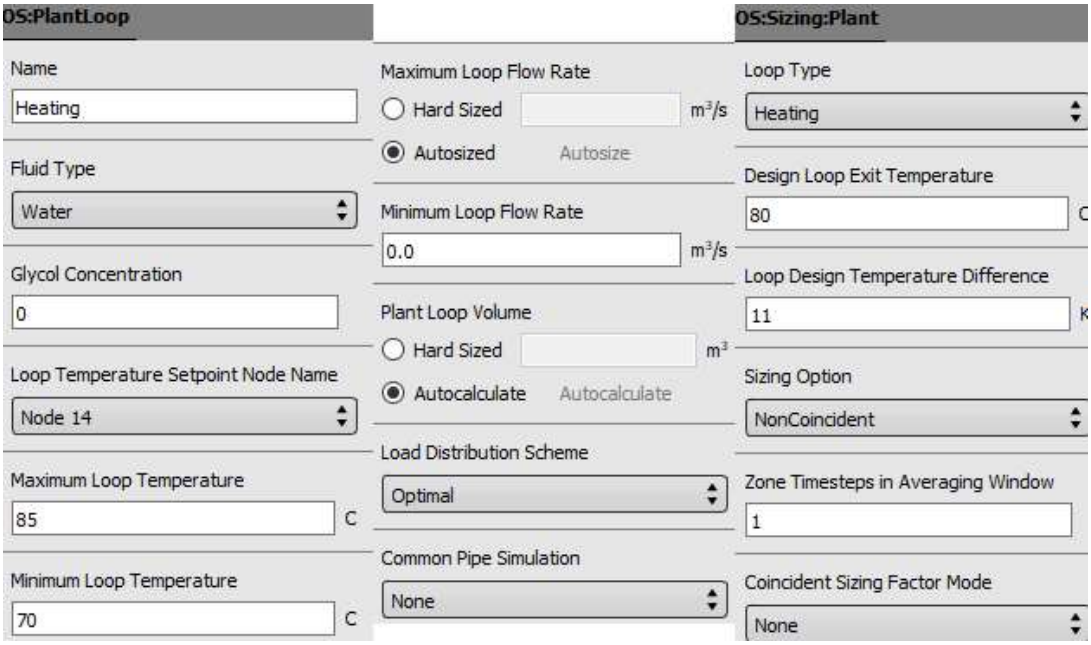
Εικόνα 6.3.9: Ρυθμίσεις κύκλου πάνελ

Το συγκεκριμένο κύκλωμα βρίσκεται εξωτερικά του κτηρίου και οι σωλήνες μπορεί να υποπέσουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Το ρευστό που υπάρχει εντός των σωλήνων θα πρέπει να έχει αντιπηκτικές ιδιότητες. Έτσι προτιμάται ένα μείγμα νερού – προπυλενογλυκόλης αντιστοιχία 50% [55].

Για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα προστέθηκε μια αντλία μεταβλητής ταχύτητας, αδιαβατικοί σωλήνες, καθώς και ένα **setpoint manager** που ορίζει τη μέγιστη και την ελάχιστη θερμοκρασία σε 190^{o} C και 80^{o} C αντίστοιχα.

Το επόμενο κύκλωμα είναι αυτό της θέρμανσης (Εικόνα 6.3.5). Στο μέρος της παροχής εισάγεται ο **WaterHeater:Mixed** του προηγούμενου κυκλώματος. Στην ουσία αυτή είναι το μέρος χρήσης του δοχείου αποθήκευσης. Στο μέρος της ζήτησης προστίθεται η τερματική μονάδα στη λειτουργία της θέρμανσης και ο ψύκτης απορρόφησης όπου εξηγούνται παρακάτω. Αντλία μεταβλητής ταχύτητας, αδιαβατικοί σωλήνες, καθώς και ένα **setpoint manager -> Schedule -> Hot Water setpoint manager -> Temperature -> 80^{o} C** προστίθενται και εδώ με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας στους 80^{o} C.

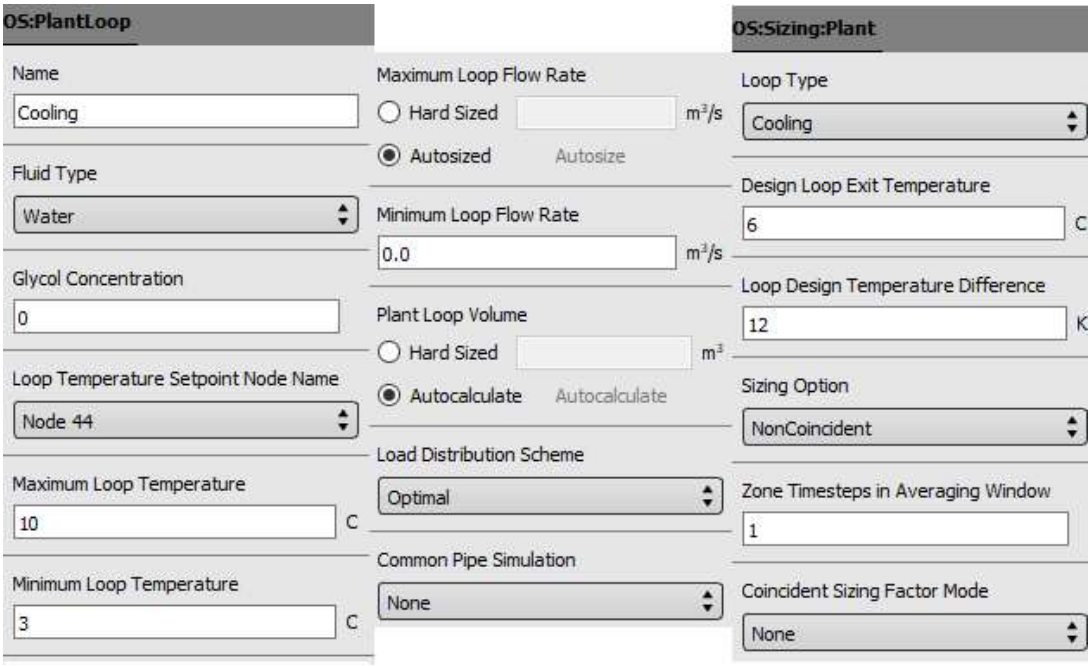
Οι ρυθμίσεις του κύκλου θέρμανσης φαίνονται στην **Εικόνα 6.3.10.**



Εικόνα 6.3.10: Ρυθμίσεις κύκλου θέρμανσης

Στο κύκλωμα ψύξης εισάγεται ο ψύκτης απορρόφησης **Chiller:Absorption:Indirect** (Εικόνα 6.3.6) στον εξοπλισμό παροχής και ρυθμίζεται έτσι ώστε να τροφοδοτείται από ζεστό νερό στο **Generator Heat Source Type -> Hot Water**. Στο μέρος της ζήτησης προστίθεται η τερματική μονάδα στη λειτουργία της ψύξης. Εννοείται και εδώ ότι προστίθενται αντλία μεταβλητής ταχύτητας, αδιαβατικοί σωλήνες, καθώς και ένα **setpoint manager -> Schedule -> Chilled Water Temperature -> Temperature -> 6° C** που θέλει το νερό που κινείται προς το κτήριο με θερμοκρασία 6° C.

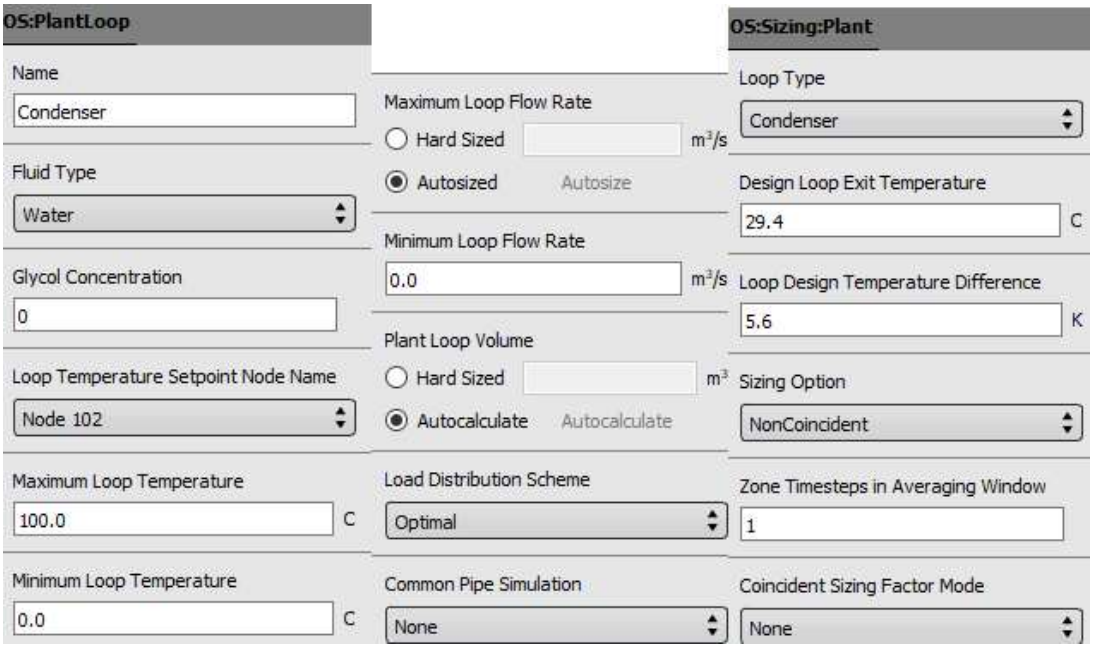
Οι ρυθμίσεις του κύκλου ψύξης φαίνονται στην **Εικόνα 6.3.11.**



Εικόνα 6.3.11: Ρυθμίσεις κύκλου ψύξης

Ο ψύκτης απορρόφησης για να λειτουργήσει απαιτεί εξοπλισμό για την ψύξη του. Έτσι εισάγεται επιπλέον και το κύκλωμα συμπύκνωσης (Εικόνα 6.3.7). Το κύκλωμα αποτελείται από έναν πύργο ψύξης στο μέρος της παροχής, τον **Cooling Tower:Single Speed**, μαζί με την αντλία μεταβλητής ταχύτητας, και συνδέεται στο μέρος της ζήτησης με το ψύκτη απορρόφησης. Επίσης χρειάζεται ένα **setpoint manager** ο οποίος ακολουθεί τη θερμοκρασία υγρού βολβού εξωτερικού αέρα και έχει **Offset Temperature Type -> 1,5, Maximum Setpoint Temperature -> 80, Minimum Setpoint Temperature -> 6**.

Οι ρυθμίσεις του κύκλου συμπύκνωσης φαίνονται στην **Εικόνα 6.3.12.**

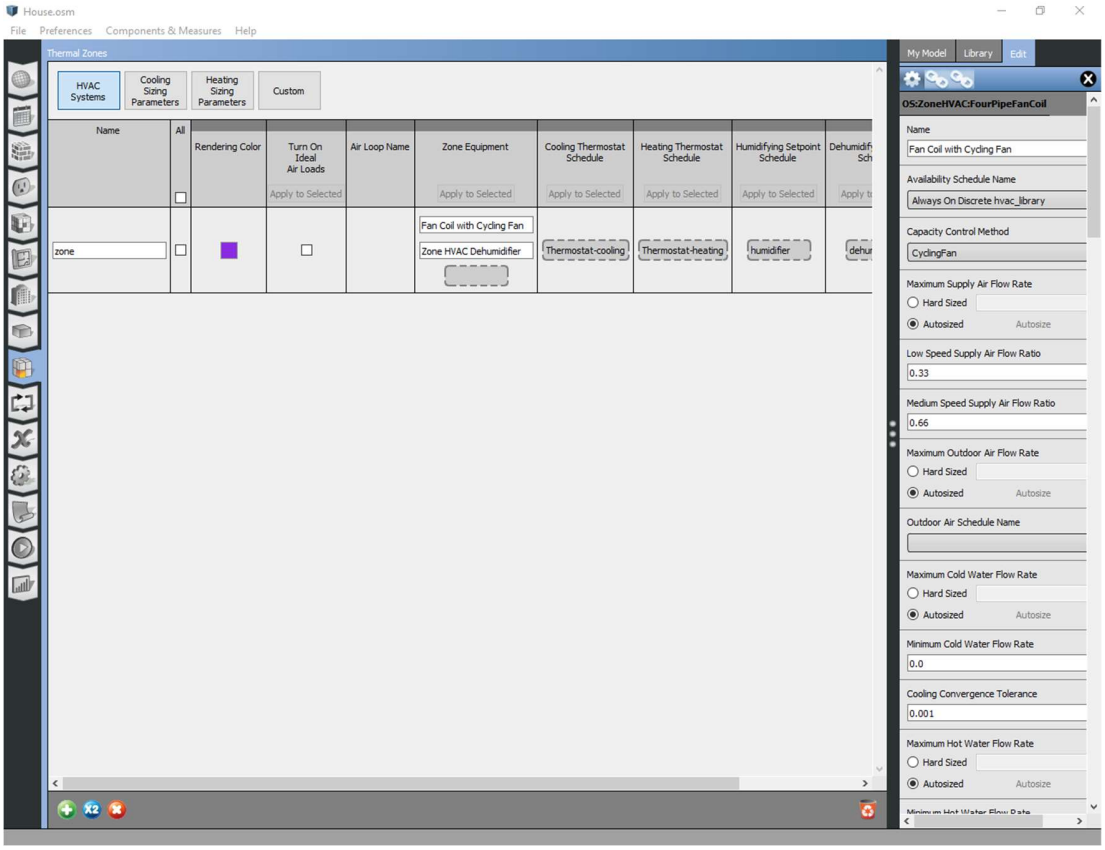


Εικόνα 6.3.12: Ρυθμίσεις κύκλου συμπύκνωσης

Τέλος προστίθεται ο ψύκτης απορρόφησης στο μέρος της ζήτησης στο κύκλωμα θέρμανσης από το οποίο λαμβάνει τη θερμότητα που χρειάζεται μέσα από το ζεστό νερό.

Για να γίνει εναλλαγή θερμότητας μεταξύ εξοπλισμού και χώρου χρειάζεται μια τερματική μονάδα **(Fan Coil Unit)** η οποία προστίθεται στην καρτέλα **Thermal Zones -> Zone Equipment** (Εικόνα 6.3.13). Οι συνδέσεις στο κύκλωμα θέρμανσης και ψύξης γίνονται μέσα από τις ρυθμίσεις του στοιχείου.

Όπως και στην προηγούμενη διάταξη, για να επιτευχθεί θερμική άνεση, εκτός από τη θερμοκρασία πρέπει να ρυθμιστεί και η υγρασία του χώρου. Άρα εισάγεται και ένας αφυγραντήρας με τις ρυθμίσεις που είχε και στην προηγούμενη διάταξη.



Εικόνα 6.3.13: Εισαγωγή τερματικής μονάδας και αφυγραντήρα

7. Αποτελέσματα

7.1 Προσανατολισμός κτηρίου

Η βασική προϋπόθεση για να βγουν τα φορτία του κτηρίου χαμηλά είναι ο προσανατολισμός του. Τα αποτελέσματα από το **Parametric Analysis Tool** ανάλογα με τη γωνία στροφής φαίνονται στους **Πίνακες 7.1.1 – 7.1.4**.

Πίνακας 7.1.1: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 0 μοιρών

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	9,642 kWh
Total Building Area	100 m^2
Total Site EUI	96.42 kWh/m^2
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Πίνακας 7.1.2: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 90 μοιρών

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	9,828 kWh
Total Building Area	100 m^2
Total Site EUI	98.28 kWh/m^2
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Πίνακας 7.1.3: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 180 μοιρών

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	9,597 kWh
Total Building Area	100 m^2
Total Site EUI	95.97 kWh/m^2
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Πίνακας 7.1.4: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 270 μοιρών

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	9,572 kWh
Total Building Area	100 m^2
Total Site EUI	95.72 kWh/m^2
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Σε στροφή 270 μοιρών το κτήριο έχει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και αυτό διότι σε εκείνο τον προσανατολισμό, ο τοίχος που κοιτάει προς το βορρά δεν έχει ανοίγματα για παράθυρα και πόρτες. Το ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στους προσανατολισμούς σημαίνει ότι το κτήριο είναι πολύ μονωμένο.

7.2 Ιδανικά φορτία

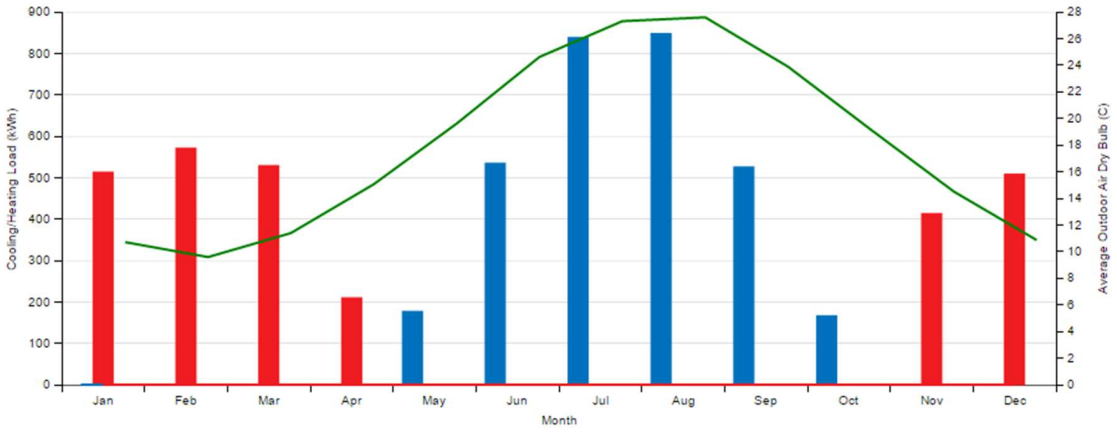
Το τέλος του προγράμματος δίνει αποτελέσματα για ολόκληρο το κτήριο ενεργειακά και δίνει πληροφορίες και για τις επιφάνειες που το αποτελούν. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας τυχαίων επιφανειών που αντιπροσωπεύουν κύριες κατασκευές φαίνονται στον **Πίνακα 7.2.1**.

Πίνακας 7.2.1: Θερμοπερατότητα κατασκευών

	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]	Gross Area [m2]	Net Area [m2]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
SURFACE 11	EXTERIOR WALL	0.30	0.241	0.250	12.90	12.90	0.00	90.00	N
SURFACE 23	INTERIOR FLOOR	0.70	0.746	0.848	4.14	4.14	270.00	180.00	
SURFACE 57	ROOF	0.30	0.212	0.219	14.14	14.14	270.00	0.00	

	Construction	Glass Area [m2]	Frame Area [m2]	Divider Area [m2]	Area of One Opening [m2]	Area of Multiplied Openings [m2]	Glass U-Factor [W/m2-K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Frame Conductance [W/m2-K]	Divider Conductance [W/m2-K]	Shade Control	Parent Surface	Azimuth [deg]	Tilt [deg]
SUB SURFACE 9	WINDOW	6.60	0.00	0.00	6.60	6.60	1.167	0.062	0.033			No	SURFACE 12	90.00	90.00

Με χρήση ιδανικών διατάξεων κλιματισμού, η ισχύς που απαιτείται για να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης στο κτήριο φαίνονται στον **Σχήμα 7.2.1**.



Σχήμα 7.2.1: Απαιτούμενη ισχύς κλιματισμού χώρου και εξωτερική θερμοκρασία

Στο **Πίνακα 7.2.2** φαίνεται και η κατανάλωση ενέργειας το χρόνο.

Πίνακας 7.2.2: Κατανάλωση ενέργειας (ιδανικά φορτία)

End Use	Consumption (kWh)
Heating	3,336
Cooling	2,989
Interior Lighting	1,331
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	2,164
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

Υπάρχει έλεγχος για θερμοκρασία, όμως όχι για υγρασία (Πίνακας 7.2.3-7.2.4).

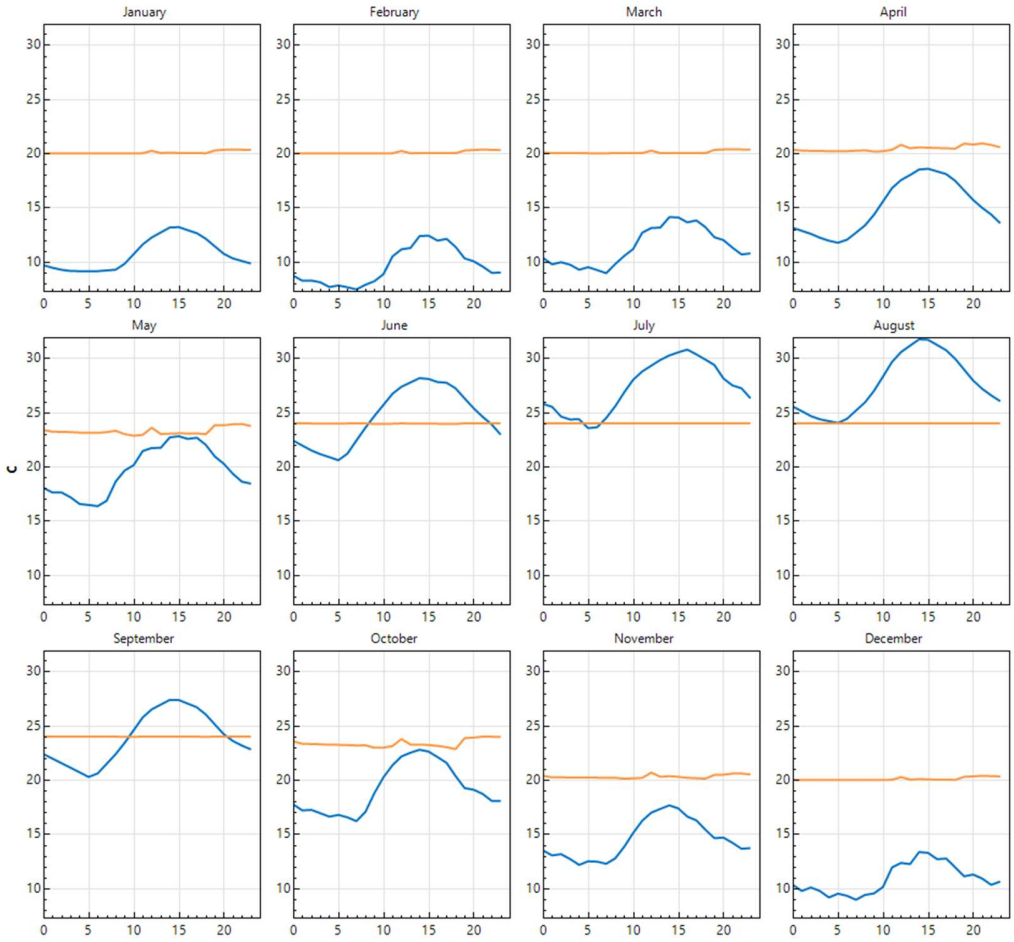
Πίνακας 7.2.3: Ώρες σε κάθε θερμοκρασιακό εύρος

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Unmet Clg (hr)	Unmet Clg - Occ (hr)	Mean Temp (C)
ZONE	0	0	0	0	0	524	3716	179	297	1276	2768	0	0	0	0	0	22.0 (C)

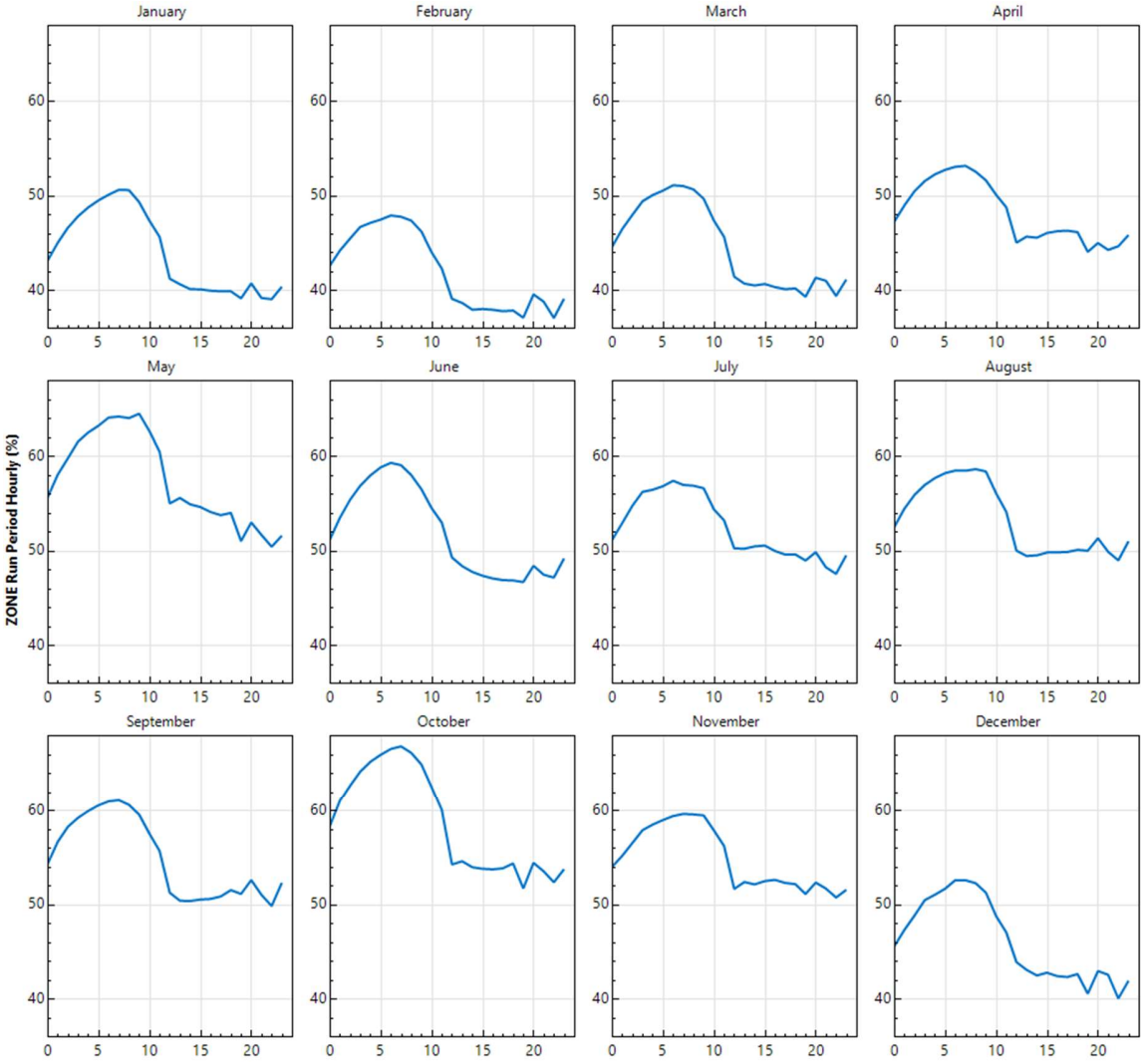
Πίνακας 7.2.4: Ώρες σε κάθε εύρος υγρασίας

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
ZONE	339	509	660	896	1590	1631	1331	1021	490	208	76	9	50.7 (%)

Οι θερμοκρασία του περιβάλλοντος (μπλε χρώμα) σε σχέση με τη θερμοκρασία εσωτερικού χώρου (πορτοκαλί χρώμα) ανά μήνα φαίνεται στο **Σχήμα 7.2.2**. Η υγρασία του χώρου φαίνεται στο **Σχήμα 7.2.3**.



Σχήμα 7.2.2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου



Σχήμα 7.2.3: Υγρασία χωρίς αφύγρανση

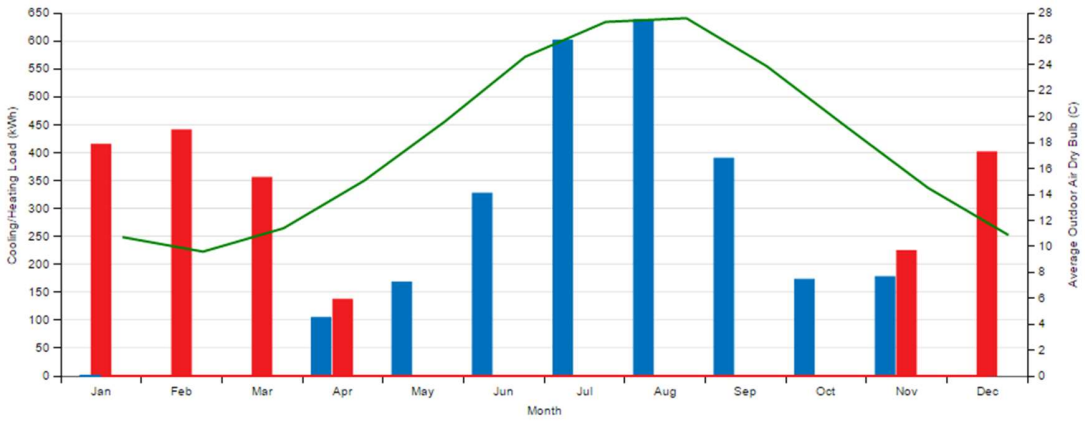
7.3 Πρώτη εγκατάσταση

Σε αυτή την εκδοχή με τα φωτοβολταϊκά η σύνοψη του κτηρίου φαίνεται στον **Πίνακα 7.3.1**. Το **Net Site Energy** είναι η διαφορά της απαιτούμενης ισχύος με την παραγόμενη. Το μέγεθος αυτό δεν είναι μηδέν διότι η ενέργεια που παράγεται είναι εκείνη που απαιτείται για τον κλιματισμό του κτηρίου και όχι για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού.

Πίνακας 7.3.1: Σύνοψη κτηρίου με την 1η εγκατάσταση

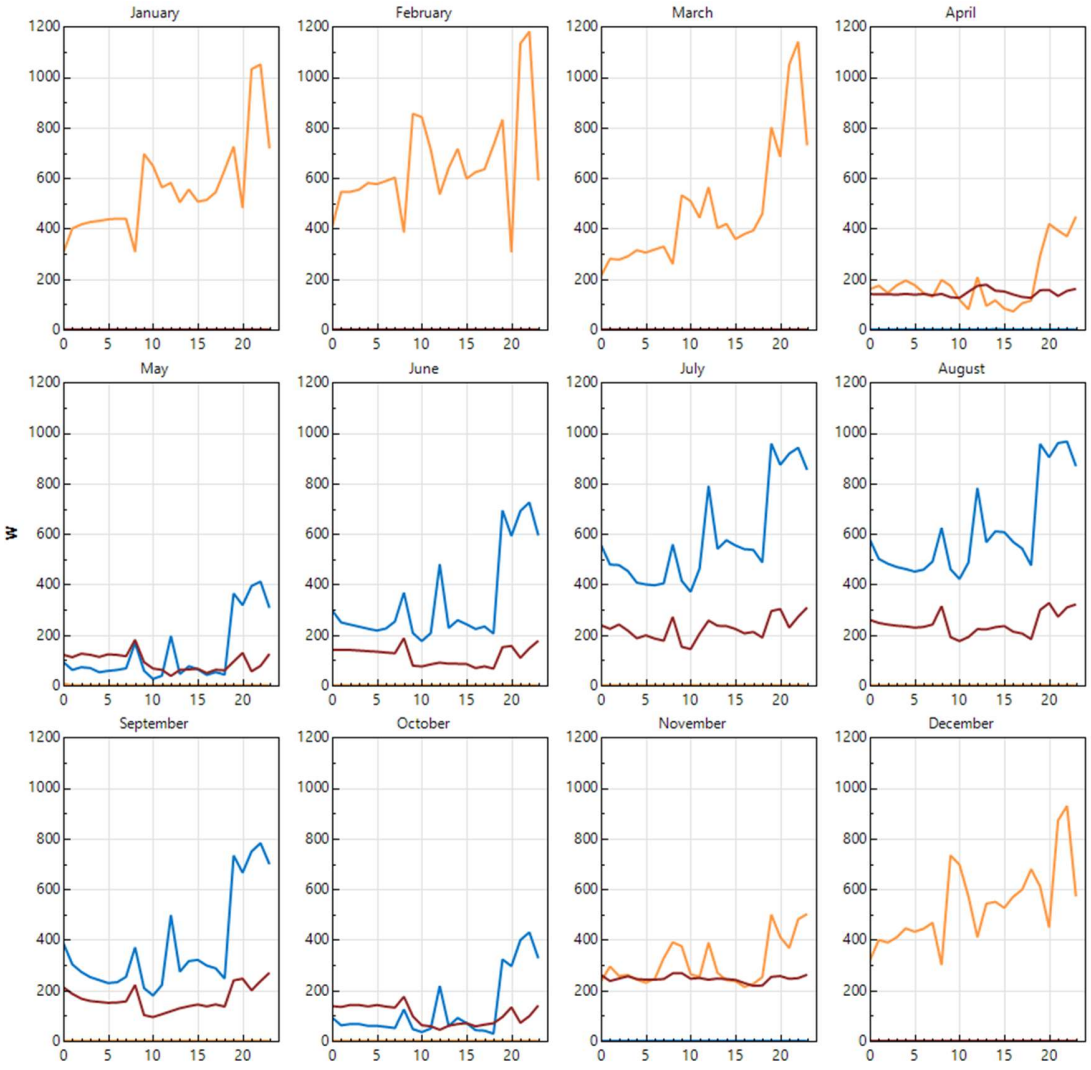
Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	8,219 kWh
Net Site Energy	3,383 kWh
Total Building Area	100 m^2
Total Site EUI	82.19 kWh/m^2
Net Site EUI	33.83 kWh/m^2
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Η ισχύς που απαιτείται για να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης στο κτήριο φαίνονται στον **Σχήμα 7.3.1**. Το κόκκινο χρώμα είναι για τη θέρμανση ενώ το μπλε είναι για την ψύξη. Το πράσινο υποδηλώνει τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην ενέργεια της ψύξης συμπεριλαμβάνεται και η αφύγρανση που γίνεται από τον Απρίλιο έως το Νοέμβριο.



Σχήμα 7.3.1: Απαιτούμενη ισχύς κλιματισμού και εξωτερική θερμοκρασία (1η)

Η κατανάλωση φαίνεται και στο **Σχήμα 7.3.2** ανά ώρα για τη μέση μέρα κάθε μήνα για θέρμανση (πορτοκαλί), ψύξη (μπλε) και αφύγρανση (κόκκινο).



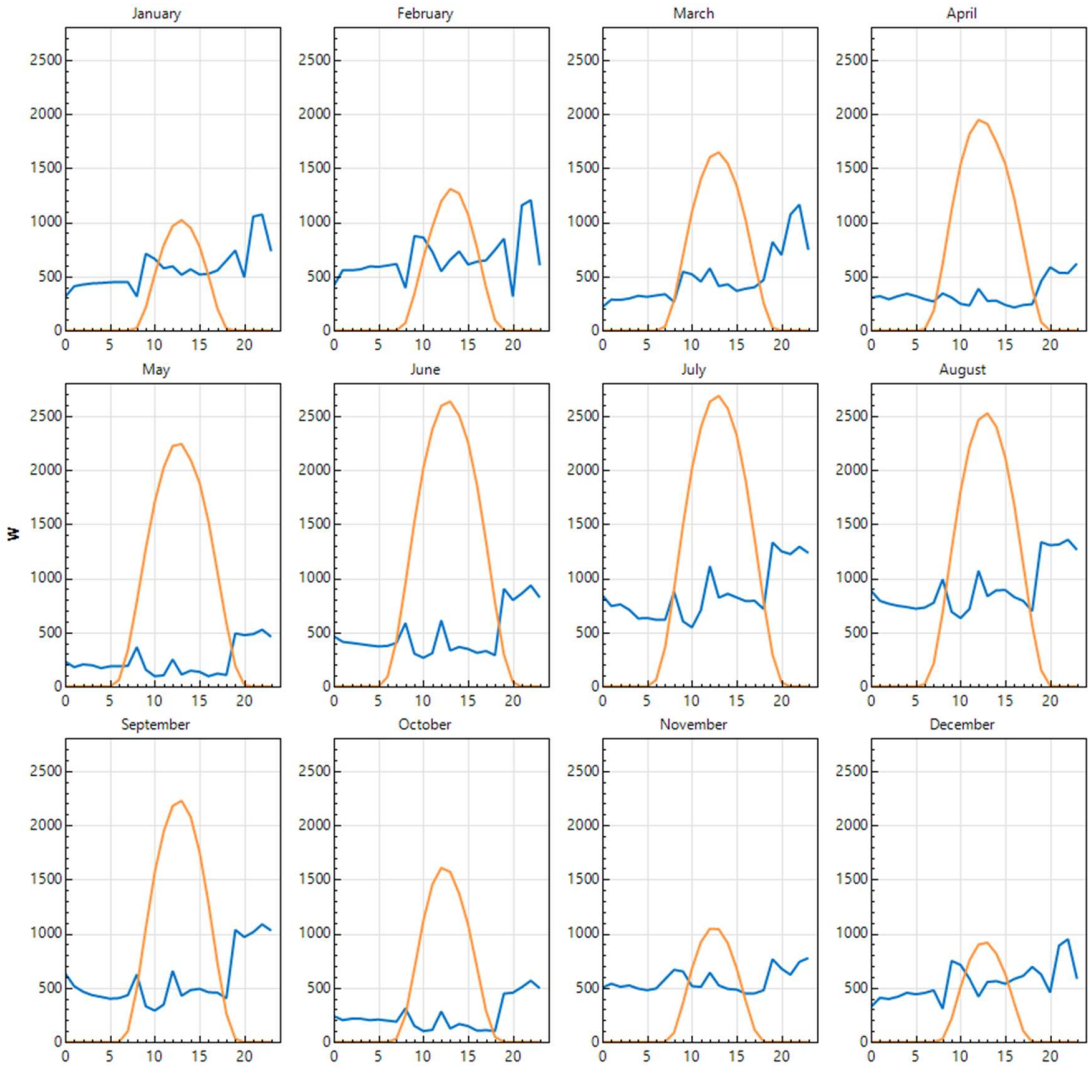
Σχήμα 7.3.2: Ισχύς για θέρμανση, ψύξη και αφύγρανση

Ο **Πίνακας 7.3.2** δείχνει τη γενική κατανάλωση του κτηρίου σε ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αυτό το σημείο επίσης, στην ενέργεια της ψύξης συμπεριλαμβάνεται και η αφύγρανση που γίνεται από τον Απρίλιο έως το Νοέμβριο.

Πίνακας 7.3.2: Κατανάλωση ενέργειας (1η)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	414.41	440.17	355.24	136.87							224.29	400.94	1971.92
Cooling				104.41	168.05	327.04	600.94	637.74	389.68	172.94	177.58		2578.37
Interior Lighting	113.09	102.15	113.09	109.45	113.09	109.45	113.09	113.09	109.45	113.09	109.45	113.09	1331.6
Exterior Lighting													
Interior Equipment	185.04	165.76	182.38	179.5	182.38	176.84	185.04	182.38	176.84	185.04	176.84	185.04	2163.1
Exterior Equipment													
Fans	8.59	9.12	7.36	2.84	8.58	20.54	35.8	37.58	22.83	8.37	4.65	8.31	174.58
Pumps													
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	721.13	717.21	658.08	533.07	472.11	633.86	934.88	970.8	698.8	479.44	692.81	707.38	8219.57

Η ισχύς που παράγεται (πορτοκαλί χρώμα) μαζί με την ισχύ που καταναλώνεται (μπλε χρώμα) ανά ώρα τη μέση μέρα κάθε μήνα φαίνονται στο **Σχήμα 7.3.3**.



Σχήμα 7.3.3: Κατανάλωση και Παραγωγή ισχύος

Συνολικά, οι τιμές της παραγωγής και της ζήτησης ενέργειας φαίνονται στον **Πίνακα 7.3.2**. Οι μήνες που η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση σημειώνονται ως **true** ενώ τους υπόλοιπους ως **false.** Όμως τα φωτοβολταϊκά είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο. Άρα σημασία έχει η συνολική παραγωγή η οποία είναι μεγαλύτερη από τη συνολική κατανάλωση. Υπάρχει μια διαφορά της τάξης των 100kWh η οποία λειτουργεί ως συντελεστής ασφαλείας. Σε περίπτωση που περισσέψει χρησιμοποιείται από τις ηλεκτρικές συσκευές.

Πίνακας 7.3.3: Συνολική παραγωγή και ζήτηση ενέργειας

	P-Produced[kWh]	L-Demand[kWh]	
Jan	185,62	422,50	FALSE
Feb	227,93	449,51	FALSE
Mar	358,73	362,93	FALSE
Apr	447,43	243,91	TRUE
May	558,38	176,54	TRUE
Jun	650,72	347,36	TRUE
Jul	676,62	636,64	TRUE
Aug	596,79	674,94	FALSE
Sep	470,96	413,09	TRUE
Oct	315,46	181,41	TRUE
Nov	186,68	407,00	FALSE
Dec	161,91	408,98	FALSE
Total	4.837,25	4.724,81	TRUE

Τέλος υπάρχει έλεγχος για θερμοκρασία και για υγρασία (Πίνακας 7.3.3-7.3.4).

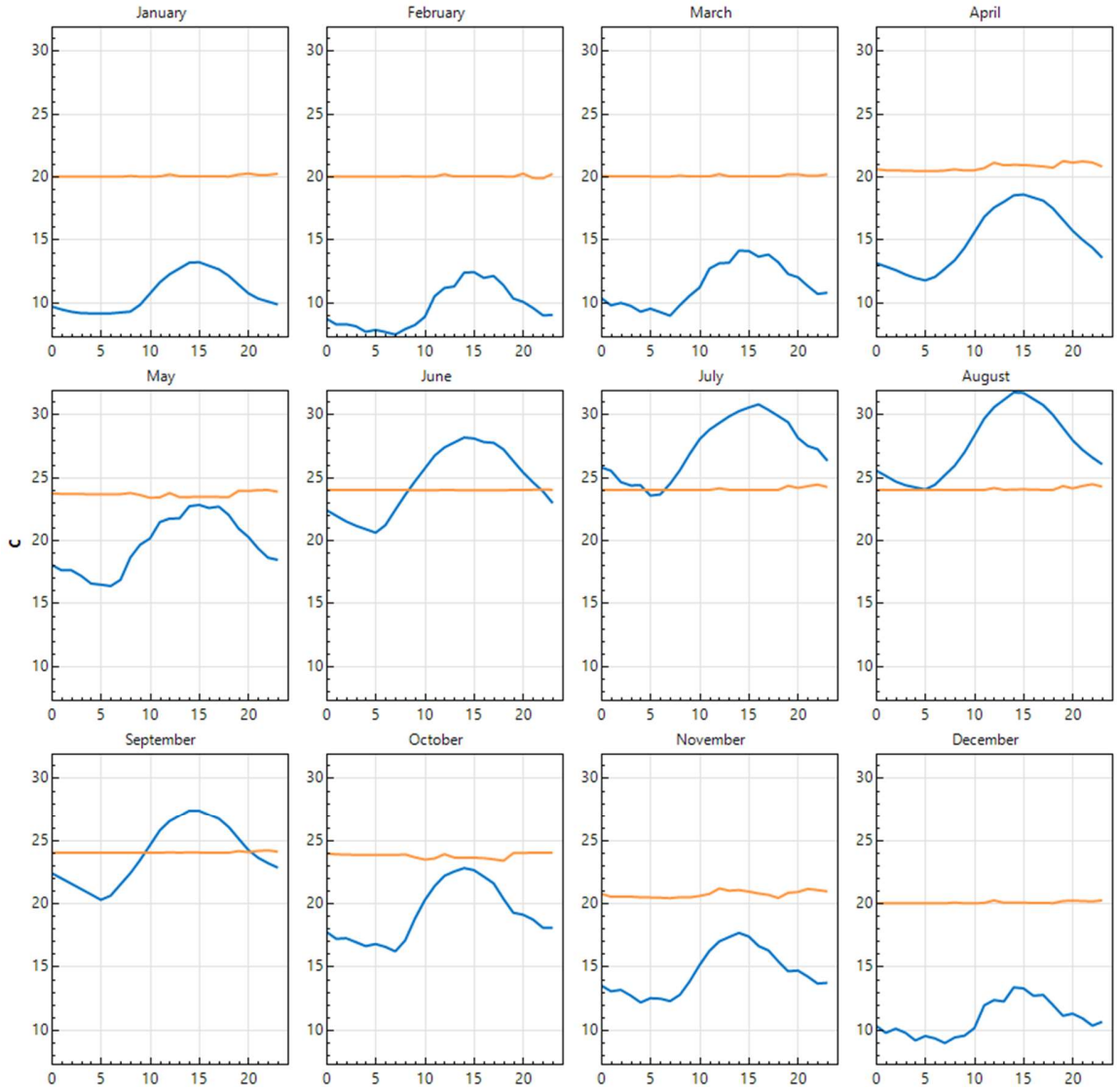
Πίνακας 7.3.4: Ώρες σε κάθε θερμοκρασιακό εύρος (1η)

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Unmet Clg (hr)	Unmet Clg - Occ (hr)	Mean Temp (C)
ZONE	27	26	0	0	0	261	3720	242	224	2997	1315	1	0	0	54	52	22.1 (C)

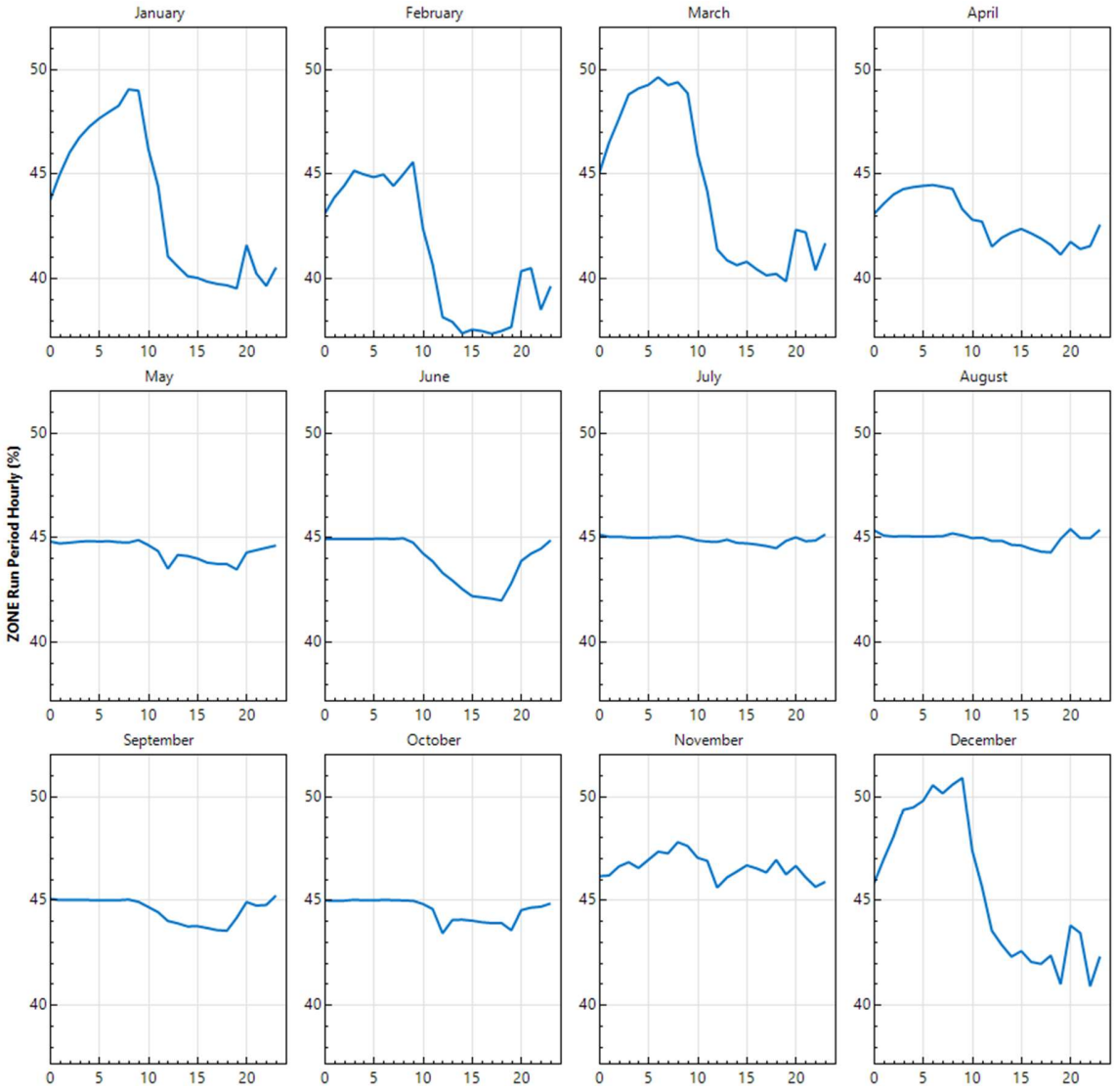
Πίνακας 7.3.5: Ώρες σε κάθε εύρος υγρασίας (1η)

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
ZONE	368	522	713	3232	2862	492	304	146	66	46	9	0	44.3 (%)

Η θερμοκρασίες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του χρόνου φαίνονται στο Σχήμα 7.3.4 και η υγρασία στο Σχήμα 7.3.5.



Σχήμα 7.3.4: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου (1η)



Σχήμα 7.3.5: Υγρασία χώρου με αφύγρανση (1η)

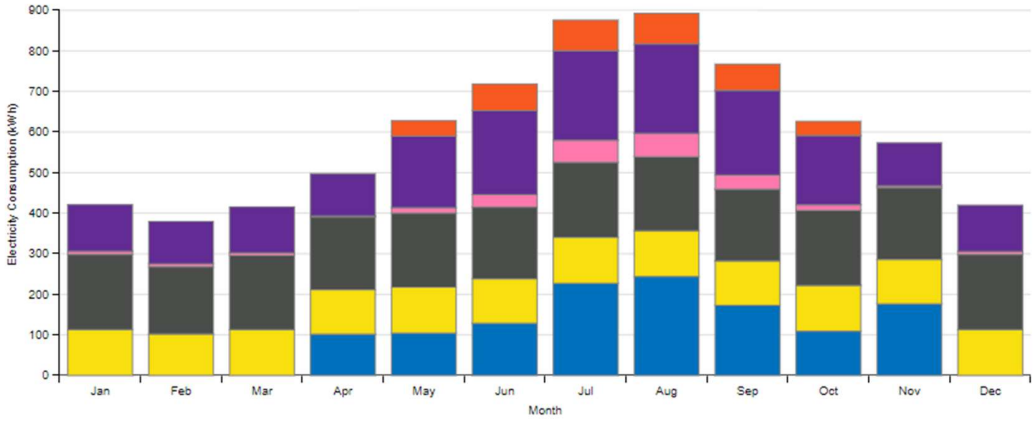
7.4 Δεύτερη εγκατάσταση

Σε αυτή την εκδοχή, η σύνοψη του κτηρίου φαίνεται στον **Πίνακα 7.4.1**

Πίνακας 7.4.1: Σύνοψη κτηρίου με την 2η εγκατάσταση

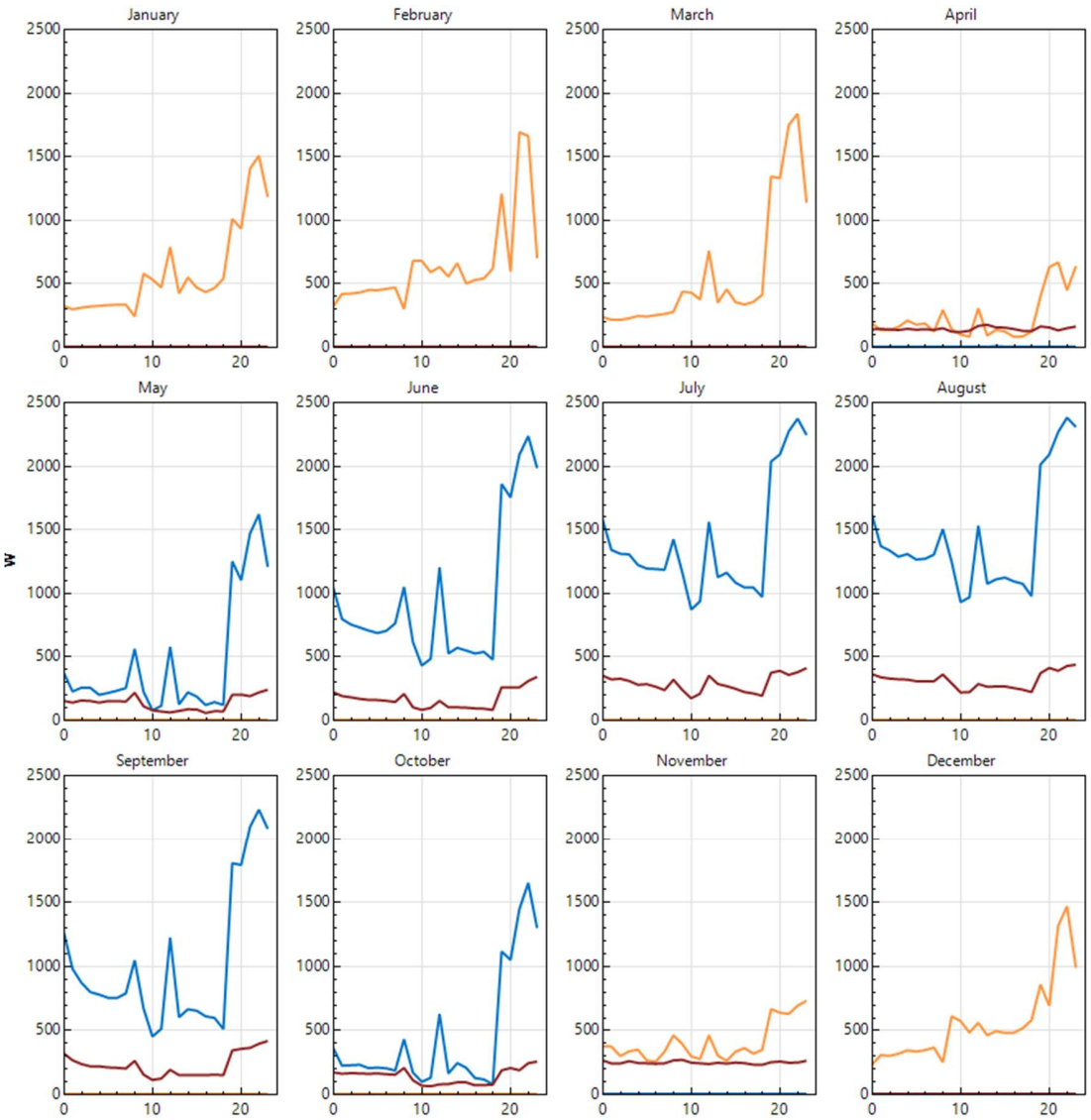
Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	7,214 kWh
Total Building Area	100 m^2
Total Site EUI	72.14 kWh/m^2
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για να επιτευχθούν συνθήκες θερμικής άνεσης στο κτήριο φαίνονται στον **Σχήμα 7.4.1**. Το πορτοκαλί χρώμα υποδηλώνει την απόρριψη θερμότητας ενώ το μπλε είναι για την αφύγρανση. Το μοβ υποδηλώνει τις αντλίες ενώ το ροζ τους ανεμιστήρες. Τα υπόλοιπα χρώματα είναι των ηλεκτρικών συσκευών (μαύρο) και του φωτισμού (κίτρινο).



Σχήμα 7.4.1: Απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς κτηρίου (2η)

Η ισχύς που δίδεται και απορροφάται από το χώρο από τα τυλίγματα ζεστού (πορτοκαλί) και κρύου νερού (μπλε) εκφρασμένη σε Watt ανά ώρα για τη μέση μέρα κάθε μήνα φαίνεται στο **Σχήμα 7.4.2**. Επιπλέον, υπάρχει και η ηλεκτρική ισχύς από τον αφυγραντήρα (κόκκινο).



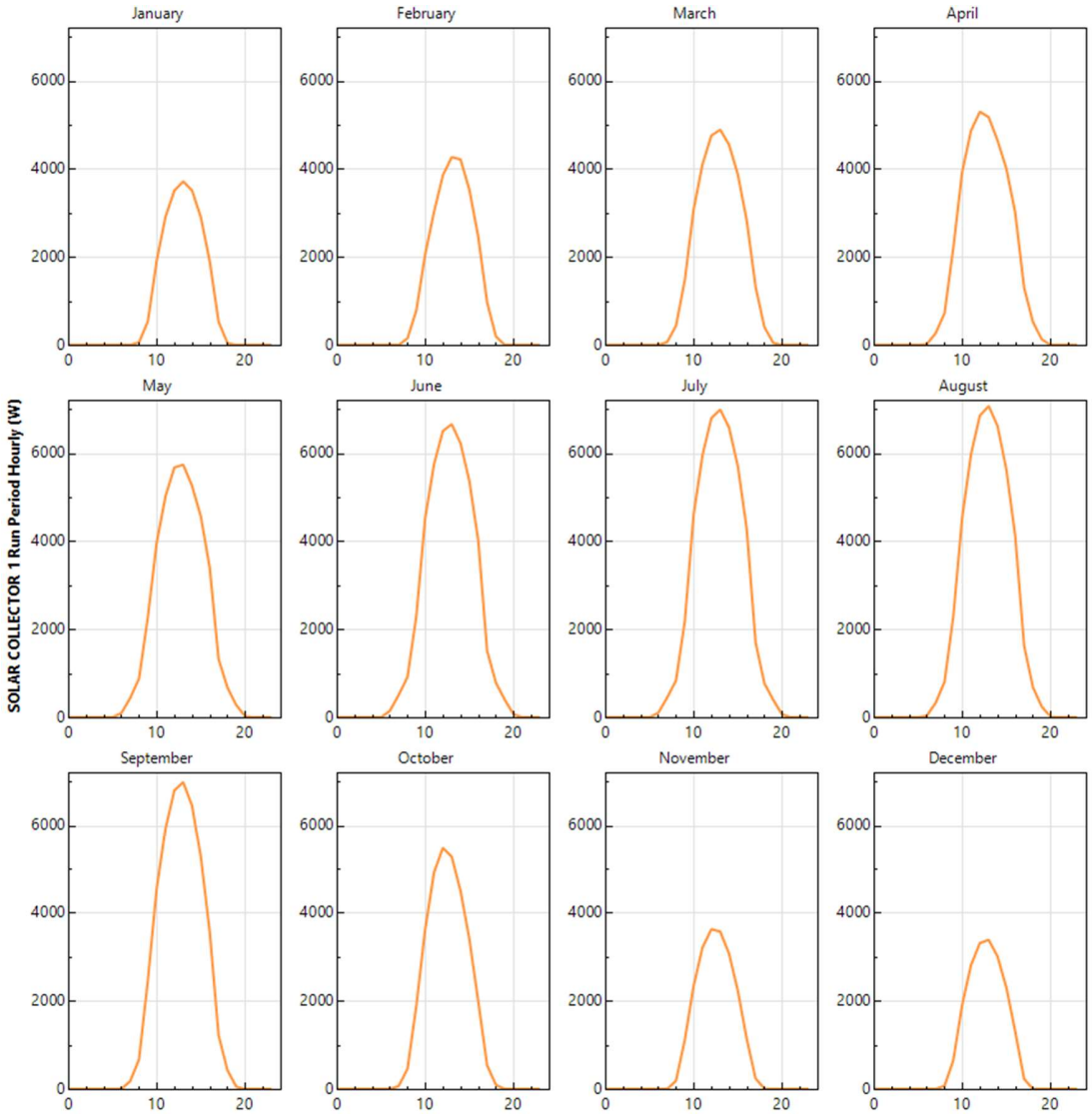
Σχήμα 7.4.2: Ισχύς για θέρμανση, ψύξη και αφύγρανση ($2^{η}$)

Ο **Πίνακας 7.4.2** δείχνει τη γενική κατανάλωση του κτηρίου σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Πίνακας 7.4.2: Κατανάλωση ενέργειας (2η)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating													
Cooling				101.82	104.42	128.67	227.16	243.74	172.76	108.9	176.48		1263.95
Interior Lighting	113.09	102.15	113.09	109.45	113.09	109.45	113.09	113.09	109.45	113.09	109.45	113.09	1331.6
Exterior Lighting													
Interior Equipment	185.04	165.76	182.38	179.5	182.38	176.84	185.04	182.38	176.84	185.04	176.84	185.04	2163.1
Exterior Equipment													
Fans	7.92	7.39	6.83	2.16	13.81	30.84	54.34	57.44	34.94	13.46	4.72	7.36	241.21
Pumps	114.83	104.21	112.94	104.49	176.27	206.95	220.84	220.34	208.62	170.78	105.83	114.22	1860.32
Heat Rejection					37.78	65.21	75.41	75.3	64.72	35.15			353.57
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	420.88	379.51	415.25	497.41	627.77	717.94	875.88	892.3	767.33	626.42	573.32	419.72	7213.73

Η ισχύς που απορροφάται από τα θερμικά ηλιακά ανά ώρα τη μέση μέρα κάθε μήνα φαίνεται στο **Σχήμα 7.4.3**.



Σχήμα 7.4.3: Ισχύς που απορροφάται από τα θερμικά ηλιακά πάνελ

Τέλος υπάρχει έλεγχος για θερμοκρασία και για υγρασία (Πίνακας 7.4.3-7.4.4).

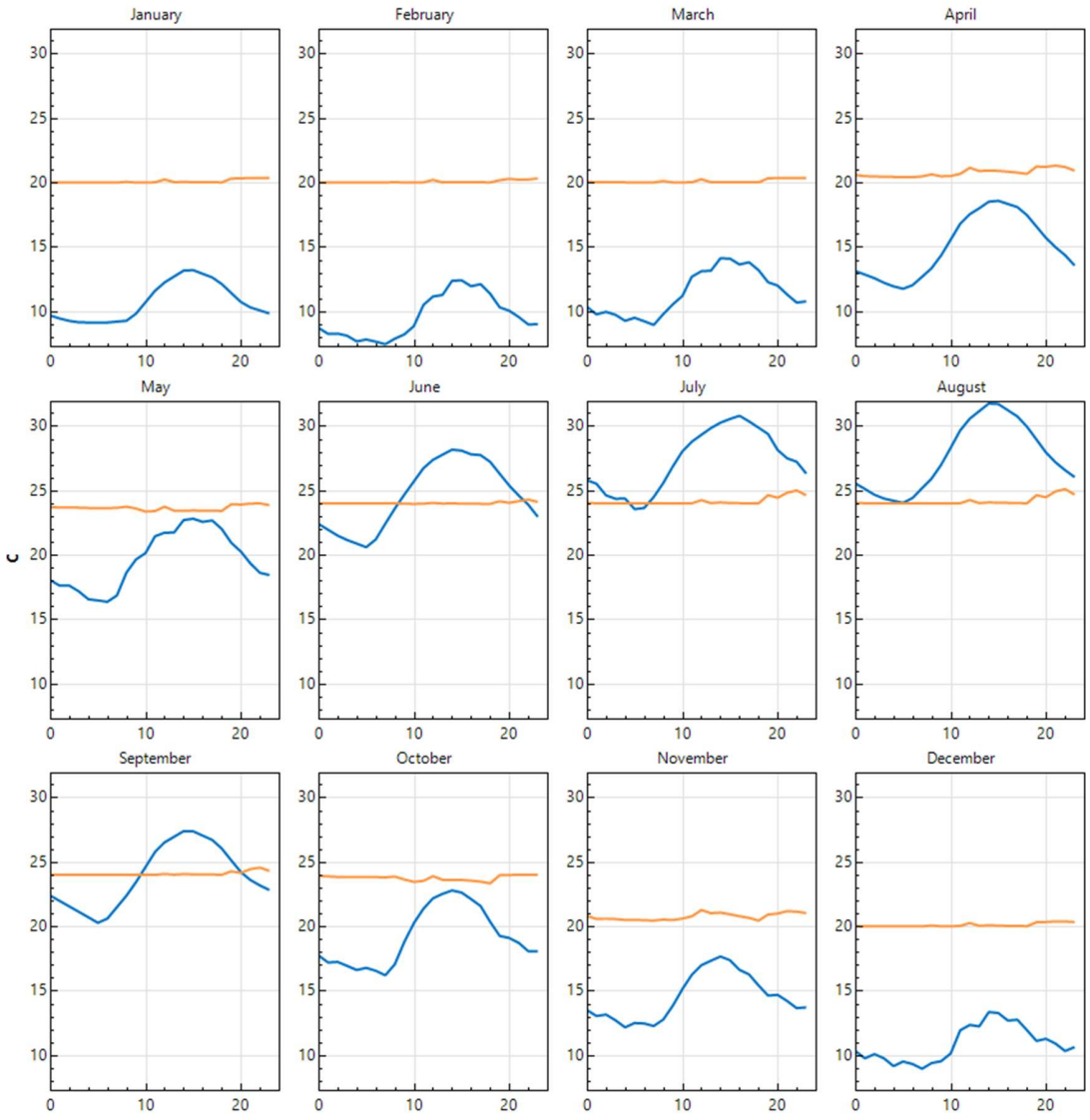
Πίνακας 7.4.3: Ώρες σε κάθε θερμοκρασιακό εύρος (2η)

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-19 (C)	19-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-31 (C)	>= 31 (C)	Unmet Clg (hr)	Unmet Clg - Occ (hr)	Mean Temp (C)
ZONE	2	2	0	0	0	2000	1988	240	224	777	3529	2	0	0	160	157	22.2 (C)

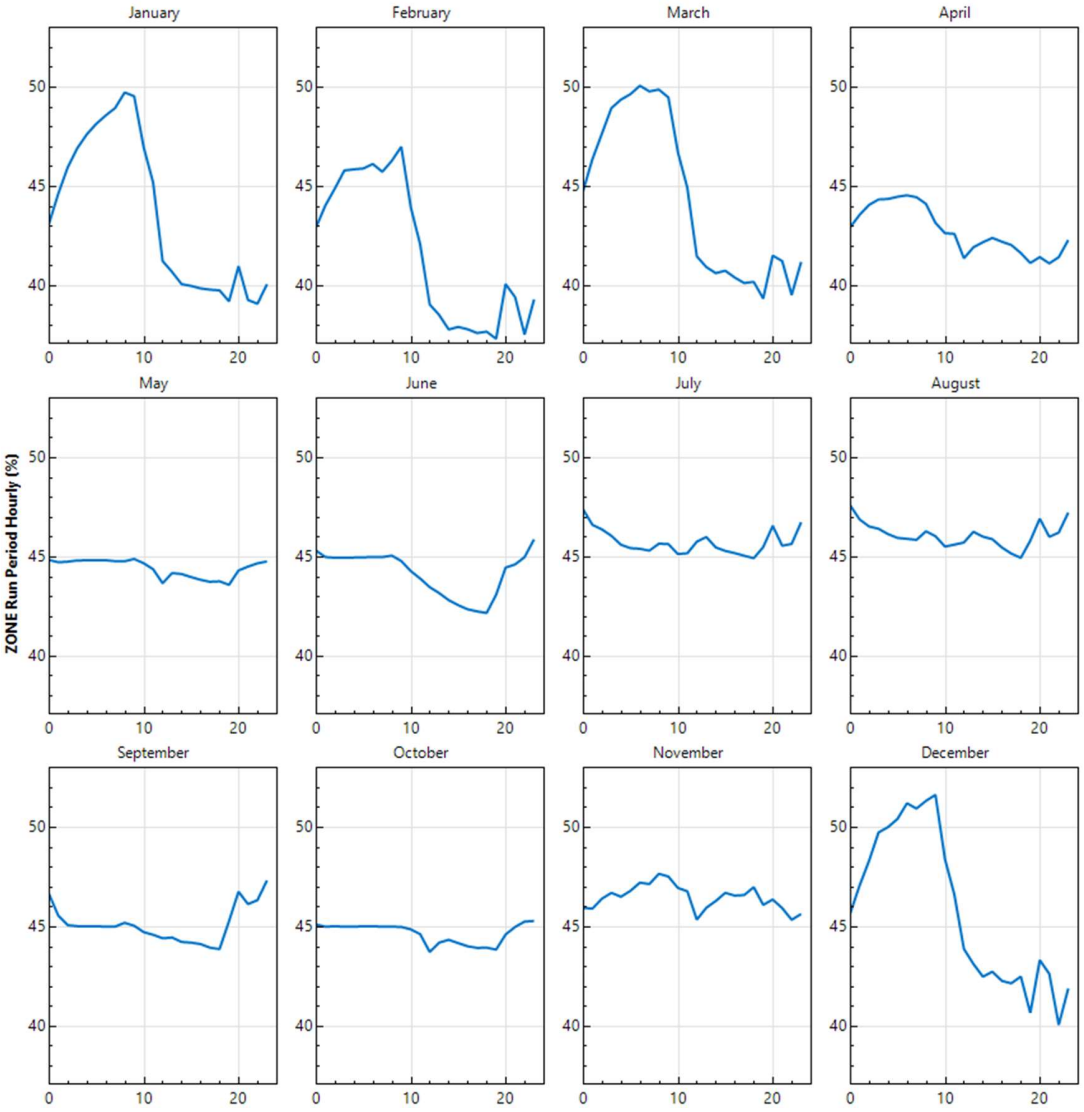
Πίνακας 7.4.4: Ώρες σε κάθε εύρος υγρασίας (2η)

Zone	< 30 (%)	30-35 (%)	35-40 (%)	40-45 (%)	45-50 (%)	50-55 (%)	55-60 (%)	60-65 (%)	65-70 (%)	70-75 (%)	75-80 (%)	>= 80 (%)	Mean Relative Humidity (%)
ZONE	354	532	707	2825	3162	604	309	144	62	52	9	0	44.6 (%)

Η θερμοκρασίες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του χρόνου φαίνονται στο Σχήμα 7.4.4 και η υγρασία στο Σχήμα 7.4.5.



Σχήμα 7.4.4: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου (2η)



Σχήμα 7.4.5: Υγρασία χώρου με αφύγρανση (2η)

8. Συζήτηση

Η αρχική απορία για τον κλιματισμό του κτηρίου αρχικά είναι πιο σύστημα παραγωγής ενέργειας είναι πιο προσαρμοσμένο στις συνθήκες της Αθήνας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ εκμεταλλεύονται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τα θερμικά ηλιακά πάνελ, αλλά όχι σε όλες τις περιοχές του πλανήτη καθώς τα κλιματικά δεδομένα κάθε περιοχής επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του συστήματος που μελετάται [56]. Μέση λύση μπορεί να βρεθεί με τη χρήση υβριδικής τεχνολογίας που συνδυάζει και τις δύο διατάξεις. Σε αυτή την περίπτωση όμως υπάρχουν αρκετά προβλήματα που δημιουργούνται και χρειάζεται μια διαφορετική κατεύθυνση από αυτή που ακολουθήθηκε σε αυτή την εργασία [57].

Ακόμα και με την απάντηση της παραπάνω απορίας, η κλιματιστική συσκευή που μπορεί να στηρίξει την κάθε μια τεχνολογία δίνει μια διαφορετική απάντηση στο τελικό συμπέρασμα. Οι διαφορές στις κλιματιστικές συσκευές είναι ότι χρησιμοποιούν διαφορετικό μέσο μεταφοράς ενέργειας. Στη διάταξη των φωτοβολταϊκών η ενέργεια από τον ήλιο γίνεται ηλεκτρική ενώ στη διάταξη των θερμικών πάνελ γίνεται θερμότητα σε ρευστό. Δεν είναι δυνατόν όμως να επιτευχθεί αυτονομία στο κύκλωμα με τα θερμικά ηλιακά καθώς υστερούν στο κομμάτι της ψύξης, μιας και χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμός για να ψυχθεί ένας χώρος. Ο εξοπλισμός αυτός υπάρχει αλλά είναι αδύνατο να λειτουργήσει χωρίς τη χρήση ηλεκτρισμού για τις αντλίες του.

Η αυτονομία όλης της διάταξης είναι ο τελικός σκοπός της εργασίας αυτής. Άρα, σημασία έχει να υπάρχει γενικά χαμηλή κατανάλωση και να μπορεί να αποθηκευτεί η ενέργεια για χρήση της τη νύχτα που δεν έχει ήλιο (μιας και υπάρχει στήριξη μόνο από ηλιακή ενέργεια). Η χαμηλή κατανάλωση επιτυγχάνεται με τον έλεγχο του προσανατολισμού του κτηρίου και με την επαρκή μόνωση όλων των εξωτερικών επιφανειών. Όσον αφορά το πρώτο σύστημα, προσθέτοντας μπαταρίες μπορεί να υπάρξει ενεργειακή αυτονομία και ιδιοκατανάλωση, αλλά αν συνυπολογιστεί το κόστος των μπαταριών, τότε το σύστημα γίνεται ασύμφορο. Μετακινήσεις φορτίων μπορούν να γίνουν, αν και ο σκοπός τους είναι η μείωση κόστους παρά η ενεργειακή αυτονομία [58]. Άρα η ιδέα της χρήσης του δικτύου είναι ένα πολύ καλό βήμα στην επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας του κτηρίου καθώς δεν υπάρχει επιπλέον κόστος εγκατάστασης, η νομοθεσία το επιτρέπει και το κυριότερο, επιτυγχάνεται 100% αυτονομία καθώς υποστηρίζει εποχιακές μεταβολές φορτίων. Έτσι είναι και αποδοτικό, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται μικρότερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

Όσον αφορά την οικονομική σύγκριση των δύο συστημάτων, σύμφωνα με την πηγή [59] δεν μπορεί να επιτευχθεί με ακρίβεια διότι οδηγούν σε διαφορετικού είδους επένδυση, και κόστη λειτουργίας. Ακόμα και οι οικονομικοί δείκτες είναι διαφορετικοί. Σε αντίθεση με αυτή την πηγή μπορεί να γίνει μια μικρή εκτίμηση,

καθώς η δεύτερη διάταξη χρειάζεται εξοπλισμό που χρησιμοποιείται σε βιομηχανικό επίπεδο για μεγαλύτερα φορτία (όπως ο ψύκτης απορρόφησης θερμού νερού) και έτσι το κόστος είναι αρκετά μεγαλύτερο.

Τέλος, τόσο στη μελέτη [59] όσο και σε αυτή την εργασία φαίνεται ότι η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων της πρώτης διάταξης χρησιμοποιείται συντηρητικά μόνο για την κάλυψη των αναγκών του κτηρίου και ότι δεν μεταπωλείται. Σύμφωνα με την πηγή όμως, η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας και η μεταπώλησή της (σε χώρες που το επιτρέπουν) μπορεί να αυξήσει τη σκοπιμότητα του συστήματος καθώς και να μειώσει το χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης που έγινε.

9. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτηρίου στο κομμάτι του κλιματισμού. Το πρώτο βήμα ήταν να μοντελοποιηθεί το κτήριο στο Openstudio και να αποφασιστεί ο βέλτιστος προσανατολισμός του ανάμεσα σε γωνίες 0, 90, 180, 270 μοίρες. Η κατάλληλη περιστροφή ήταν στις 270 μοίρες, απάντηση που είναι ορθή διότι σε αυτό τον προσανατολισμό η επιφάνεια του κτηρίου που εκτίθεται στο βορρά δεν έχει ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα).

Το επόμενο βήμα ήταν να εκτιμηθούν τα ιδανικά φορτία κλιματισμού του χώρου πριν από τη χρήση κάποιας κλιματιστικής διάταξης. Οι κατά προσέγγιση κιλοβατώρες που χρειάζονται για να κλιματιστεί το κτήριο είναι 6325kWh. Οι συντελεστές θερμοπερατότητας που βρέθηκαν τηρούν τις προδιαγραφές του **Πίνακα 5.5.1**. και δείχνουν το πόσο καλά μονωμένο είναι το κτήριο.

Στα κυρίως βήματα χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί μέθοδοι προσέγγισης, που εκμεταλλευόντουσαν την ενέργεια του ηλίου αλλά είχαν σημαντική διαφορά ως προς την μετατροπή της. Τα συστήματα που συγκρίθηκαν ήταν:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ με αντλία θερμότητας αέρα – αέρα και αποθήκευση ενέργειας στο δίκτυο υπό το θεσμό της ιδιοκατανάλωσης και του ενεργειακού συμψηφισμού.
- Θερμικά ηλιακά πάνελ με ψύκτη απορρόφησης και πύργο ψύξης, με αποθήκευση ενέργειας σε δεξαμενή ζεστού νερού.

Το πρώτο σύστημα χρησιμοποιούσε την ενέργεια του ηλίου για να παραγάγει ηλεκτρισμό και ύστερα να τον δίνει στην αντλία θερμότητας και στον αφυγραντήρα. Παράλληλα αξιοποιούσε το δίκτυο σαν μια μεγάλη μπαταρία, η οποία του έδινε αυτονομία 100%. Η κατανάλωση έφτανε στις 4725,81kWh ετησίως, μέγεθος αρκετά μικρό για το μέγεθος του κτηρίου, το οποίο οφείλεται στον συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας που ήταν ίσος με 3, αλλά και στην επαρκή μόνωση που είχε το κτήριο

Το δεύτερο σύστημα μετέτρεπε την ενέργεια του ήλιου σε θερμότητα και την απέδιδε σε ένα ρευστό, στη συγκεκριμένη περίπτωση το νερό. Το καυτό πλέον νερό αποθηκευόταν σε μια μεγάλη δεξαμενή $10m^2$ και από εκεί αποδιδόταν στον εσωτερικό χώρο το χειμώνα μέσω μιας τερματικής μονάδας ή αξιοποιούταν από έναν ψύκτη απορρόφησης για την παροχή κρύου νερού και απομάκρυνση φορτίων από τον εσωτερικό χώρο.

Παρόλο που το μέσο στη δεύτερη διάταξη ήταν το νερό και απέδιδε ενέργεια σε κιλοβατώρες στο χώρο, χρειαζόταν αρκετό ηλεκτρικό ρεύμα για να κινήσει τις αντλίες και τους ανεμιστήρες των κυκλωμάτων καθώς και τον αφυγραντήρα, περί τις 3325,48 kWh. Μπορεί η κατανάλωση αυτή σε ηλεκτρικό ρεύμα να είναι μικρότερη από την πρώτη διάταξη αλλά εδώ πρέπει να προστεθεί στο συνολικό κόστος. Άρα εκτός από το κόστος της εγκατάστασης, θα υπήρχε και το κόστος των 3325,48kWh ετησίως. Σε αντίθεση με αυτή, η πρώτη διάταξη παράγει τις κιλοβατώρες που χρειάζεται για να λειτουργήσει. Έτσι, η πιο αποτελεσματική διάταξη είναι η πρώτη με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και την αντλία θερμότητας αέρα – αέρα.

Τέλος, μια μικρή οικονομική αναφορά θέλει το πρώτο σύστημα να είναι πιο φθηνό στην υλοποίησή του. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρώτο κύκλωμα δεν απαιτεί περίπλοκες τεχνολογίες και μεγάλο σε μέγεθος εξοπλισμό όπως είναι ο ψύκτης απορρόφησης, η μεγάλη δεξαμενή και ο πύργος ψύξης. Σε κάποια βιομηχανική εγκατάσταση πολλών kWh μπορεί να ήταν πιο αποδοτικός ο εξοπλισμός αυτών, σε οικιακές συνθήκες και φορτία όμως το κόστος είναι τεράστιο.

10. Μελλοντική εργασία

Η ενεργειακή μελέτη κτηρίων και εισαγωγή συστημάτων κλιματισμού αποτελεί ένα ευρύ πεδίο έρευνας, καθώς η υλοποίηση μιας εγκατάστασης κλιματισμού έχει κάποιο κόστος και δεν μπορεί να ελέγχεται πειραματικά η απόδοσή του στο προς μελέτη κτήριο. Προς αποφυγή λανθασμένων επιλογών και σπατάλη χρημάτων συνίσταται η προσομοίωση των κτηρίων με σκοπό τη σωστή επιλογή και διαστασιολόγηση των κατάλληλων τεχνολογιών κλιματισμού. Έτσι επιτυγχάνεται ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση.

Στο συγκεκριμένο θέμα η επιλογή θερμικών ηλιακών συστημάτων δεν είχε την κατάλληλη αυτονομία καθώς το ποσοστό εξάρτησης από το δίκτυο ήταν μεγάλη. Σε μεγαλύτερα κτήρια με υψηλότερα φορτία η αντιμετώπιση μπορεί να ήταν διαφορετική.

Η συγκεκριμένη εργασία έχει αρκετές προοπτικές συνέχισης οι οποίες θα μπορούσαν να είναι:

- Μελέτη θερμικών ηλιακών συστημάτων σε μεγαλύτερο κτήριο με πιο υψηλά φορτία.
- Σύγκριση της αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα με άλλους τύπους της.
- Ανεξαρτητοποίηση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών από το δίκτυο και χρήση μπαταριών για αποθήκευση ενέργειας.
- Εκπόνηση ενεργειακής μελέτης για το ίδιο το κτήριο έτσι ώστε να χρειάζεται ακόμα λιγότερη ενέργεια για τον κλιματισμό.
- Σύγκριση των κλιματολογικών δεδομένων και ενεργειακών απαιτήσεων ανάλογα με τη περιοχή.
- Μεγέθυνση των φωτοβολταϊκών πάνελ της πρώτης εγκατάστασης με σκοπό την κάλυψη όλων των αναγκών του κτηρίου, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών.

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1.1: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση από το 1990 έως το 2018 [1] 11
Σχήμα 1.1.2: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση για χώρες του ΟΟΣΑ και μη [2] .. 11
Σχήμα 1.1.3: Πρόβλεψη εκπομπών CO2 ανάλογα με την οικονομική ανάπτυξη [4] . 12
Σχήμα 2.1.1: Μεταβολή της ακτινοβολίας καθέτου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας συναρτήσει των ημερών του έτους [9] 19
Σχήμα 2.1.2: Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας [9] 20
Σχήμα 3.2.1: Όρια θερμικής άνεσης [38] 43
Σχήμα 7.2.1: Απαιτούμενη ισχύς κλιματισμού χώρου και εξωτερική θερμοκρασία 102
Σχήμα 7.2.2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου..... 104
Σχήμα 7.2.3: Υγρασία χωρίς αφύγρανση..... 105
Σχήμα 7.3.1: Απαιτούμενη ισχύς κλιματισμού και εξωτερική θερμοκρασία (1η).... 106
Σχήμα 7.3.2: Ισχύς για θέρμανση, ψύξη και αφύγρανση..... 107
Σχήμα 7.3.3: Κατανάλωση και Παραγωγή ισχύος..... 109
Σχήμα 7.3.4: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου (1η)..... 111
Σχήμα 7.3.5: Υγρασία χώρου με αφύγρανση (1η) 112
Σχήμα 7.4.1: Απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς κτηρίου (2η)..... 113
Σχήμα 7.4.2: Ισχύς για θέρμανση, ψύξη και αφύγρανση (2η)..... 114
Σχήμα 7.4.3: Ισχύς που απορροφάται από τα θερμικά ηλιακά πάνελ 116
Σχήμα 7.4.4: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου (2η)..... 118
Σχήμα 7.4.5: Υγρασία χώρου με αφύγρανση (2η) 119

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1.1: Αύξων αριθμός ημέρας του έτους, μέση ημέρα κάθε μήνα και ηλιακή απόκλιση [9] 19
Πίνακας 5.4.1:Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity [51] 65
Πίνακας 5.4.2: Δραστηριότητα ατόμων σε σχέση με το χώρο 65
Πίνακας 5.5.1: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη [35] 73
Πίνακας 5.6.1: Τιμές φωτισμού ανά τετραγωνικό μέτρο [51] 75
Πίνακας 5.6.2: Φωτισμός χώρων 75
Πίνακας 5.6.3: Ηλεκτρικές συσκευές κατά προσέγγιση ανά χώρο 76
Πίνακας 5.6.4: Ορισμοί Ηλεκτρικών συσκευών 76
Πίνακας 5.7.1: Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου [35] 78
Πίνακας 7.1.1: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 0 μοιρών 100
Πίνακας 7.1.2: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 90 μοιρών 100
Πίνακας 7.1.3: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 180 μοιρών 101
Πίνακας 7.1.4: Κατανάλωση κτηρίου με περιστροφή 270 μοιρών 101
Πίνακας 7.2.1: Θερμοπερατότητα κατασκευών 102
Πίνακας 7.2.2: Κατανάλωση ενέργειας (ιδανικά φορτία) 103
Πίνακας 7.2.3: Ώρες σε κάθε θερμοκρασιακό εύρος 103
Πίνακας 7.2.4: Ώρες σε κάθε εύρος υγρασίας 103
Πίνακας 7.3.1: Σύνοψη κτηρίου με την 1η εγκατάσταση 106
Πίνακας 7.3.2: Κατανάλωση ενέργειας (1η) 108
Πίνακας 7.3.3: Συνολική παραγωγή και ζήτηση ενέργειας 110
Πίνακας 7.3.4: Ώρες σε κάθε θερμοκρασιακό εύρος (1η) 110
Πίνακας 7.3.5: Ώρες σε κάθε εύρος υγρασίας (1η) 110
Πίνακας 7.4.1: Σύνοψη κτηρίου με την 2η εγκατάσταση 113
Πίνακας 7.4.2: Κατανάλωση ενέργειας (2η) 115
Πίνακας 7.4.3: Ώρες σε κάθε θερμοκρασιακό εύρος (2η) 117
Πίνακας 7.4.4: Ώρες σε κάθε εύρος υγρασίας (2η) 117

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [6] 13
Εικόνα 1.1.2: Επιπλέον εγκατεστημένη ισχύς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανά χρόνο [7] 14
Εικόνα 1.1.3: Εκτιμώμενη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγώμενη ενέργεια, 2018 [7] 15
Εικόνα 1.1.4: Ποσοστό κατανάλωσης συνολικής ενέργειας από κτήρια [7] 15
Εικόνα 2.1.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γης – ηλίου [9] 18
Εικόνα 2.1.2: Σχέση του άξονα της γης με την περιστροφή γύρω από τον ήλιο [11]. 20
Εικόνα 2.1.3: Διαδρομές ηλίου κατά το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου), τις ισημερίες (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου) και το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου) για περιοχές σε γεωγραφικό πλάτος 40^{o} Β: (α) ισομετρική προβολή, (β) πλάγια όψη και κάτοψη ως προς ένα κτήριο σε αυτό το γεωγραφικό πλάτος [12] 21
Εικόνα 2.2.1: Γραφική παράσταση βασικών ορισμών ηλιακής ενέργειας [9] 22
Εικόνα 2.5.1: Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες σε οροφές [14] 27
Εικόνα 2.5.2: Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες σε ξενοδοχείο στο Κατάκολο Ηλείας [15] 28
Εικόνα 2.5.3: Στοιχεία επίπεδου ηλιακού πάνελ [10] 29
Εικόνα 2.5.4: Μέρη του συλλέκτη κενού [3] 31
Εικόνα 2.5.5: Ηλιακός συλλέκτης κενού [16] 31
Εικόνα 2.5.6: Συγκεντρωτικοί συλλέκτες [18] 32
Εικόνα 2.5.7: Συγκεντρωτικοί συλλέκτες [19] 33
Εικόνα 2.6.1: Ενεργειακές ζώνες και ενεργειακές στάθμες κρυσταλλικού υλικού [21] 34
Εικόνα 2.6.2: Διάταξη φωτοβολταϊκού στοιχείου [22] 35
Εικόνα 2.6.3: Εγκατάσταση με φωτοβολταϊκά στοιχεία [23] 37
Εικόνα 2.6.4: Φωτοβολταϊκό πάρκο [24] 37
Εικόνα 2.7.1: Σύνδεση φωτοβολταϊκών στοιχείων στο δίκτυο [26] 38
Εικόνα 3.2.1: Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση [37] 42
Εικόνα 3.3.1: Κύκλος συμπίεσης σε αντλία θερμότητα [40] 44
Εικόνα 3.3.2: Τυπική διάταξη αντλίας θερμότητας [41] 45
Εικόνα 3.4.1: Εγκατάσταση ψύκτη απορρόφησης [43] 46
Εικόνα 3.5.1: Τυπικές μονάδες ανεμιστήρα - στοιχείου [45] 48
Εικόνα 3.6.1: Μικρή μονάδα αφύγρανσης [45] 49
Εικόνα 3.6.2: Τυπικός αφυγραντήρας [46] 49
Εικόνα 4.3.1: Κατηγορίες Measures 52
Εικόνα 4.3.2: Αρχεία από τα οποία αποτελείται ένα Measure [47] 53
Εικόνα 4.3.3: Άνοιγμα εξωτερικών αρχείων resources 54
Εικόνα 4.3.4: Δημιουργία κλάσης 54
Εικόνα 4.3.5: Όνομα και περιγραφές για τους χρήστες 54
Εικόνα 4.3.6: Μεγέθη για εισαγωγή από το χρήστη 55

Εικόνα 4.3.7: Εισαγωγή δεδομένων στο Measure 55
Εικόνα 4.3.8: Εκκίνηση προγράμματος 56
Εικόνα 4.3.9: Εγγραφή των κελιών που εισάχθηκαν από το χρήστη σαν μεταβλητές56
Εικόνα 4.3.10: Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus 57
Εικόνα 4.3.11:Δείξε πόσοι θερμαντήρες νερού έχουν αλλάξει αρχικά 57
Εικόνα 4.3.12: Δείξει πόσοι θερμαντήρες νερού άλλαξαν τελικά 57
Εικόνα 5.2.1: Σκαρίφημα κτηρίου 58
Εικόνα 5.2.2: Δημιουργία κάτοψης κτηρίου 59
Εικόνα 5.2.3: Ονοματολογία χώρων 59
Εικόνα 5.2.4: Εισαγωγή δευτερευόντων επιφανειών 60
Εικόνα 5.2.5: Εισαγωγή σκιάστρων στο κτήριο 61
Εικόνα 5.2.6: Προσθήκη θερμικής ζώνης 61
Εικόνα 5.3.1: Εισαγωγή δεδομένων καιρού 62
Εικόνα 5.4.1: Δημιουργία Χρονοπρογραμμάτων 63
Εικόνα 5.4.2: Δημιουργία σετ χρονοπρογραμμάτων 63
Εικόνα 5.4.3: Προσδιορισμός νέου χρονοπρογράμματος 64
Εικόνα 5.4.4: Χρονοπρογράμματα Occupancy 66
Εικόνα 5.4.5: Χρονοπρογράμματα χρήσης ηλεκτρικών συσκευών 67
Εικόνα 5.4.6: Χρονοπρογράμματα φωτισμού 67
Εικόνα 5.5.1: Σετ κατασκευών 68
Εικόνα 5.5.2: Υλικά Εξωτερικής πόρτας 69
Εικόνα 5.5.3: Υλικά Εξωτερικού τοίχου 69
Εικόνα 5.5.4: Υλικά Εσωτερικής πόρτας 70
Εικόνα 5.5.5: Υλικά πατώματος 70
Εικόνα 5.5.6: Υλικά Εσωτερικού τοίχου 71
Εικόνα 5.5.7: Υλικά Οροφής 71
Εικόνα 5.5.8: Υλικά Σκιάσεων 72
Εικόνα 5.5.9: Υλικά παραθύρου 72
Εικόνα 5.6.1: Ορισμός ανθρώπου 74
Εικόνα 5.7.1: Δημιουργία Space Types 77
Εικόνα 5.7.2: Εισαγωγή χώρων στα Space Types 78
Εικόνα 5.7.3: Φορτία σε τύπους χώρων 1 79
Εικόνα 5.7.4: Φορτία σε τύπους χώρων 2 80
Εικόνα 5.7.5: Προσθήκη ατόμων στα υπνοδωμάτια 1 και 2 80
Εικόνα 5.8.1: Θερμική ζώνη κατοικίας 81
Εικόνα 5.9.1: Output Variables 82
Εικόνα 5.9.2: Εισαγωγή μετρήσεων 83
Εικόνα 5.10.1: Χρήση PAT για εύρεση κατάλληλου προσανατολισμού κτηρίου 84
Εικόνα 5.10.2: Δημιουργία εναλλακτικών περιστροφής κτηρίου 85
Εικόνα 5.10.3: Διενέργεια προσομοίωσης 85
Εικόνα 5.11.1: Αερισμός χώρου χωρίς εξοπλισμό 86
Εικόνα 6.2.1: Διάταξη Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένων στο δίκτυο [52] 87

Εικόνα 6.2.2: Εισαγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων 88
Εικόνα 6.2.3: Εισαγωγή αντλίας θερμότητας και αφυγραντήρα 89
Εικόνα 6.3.1: Διάταξη Θερμικών πάνελ με δεξαμενή και ψύκτη απορρόφησης 90
Εικόνα 6.3.2: Διαστάσεις εγκατεστημένων θερμικών πάνελ 90
Εικόνα 6.3.3: Προσθήκη επιφάνειας για θερμικά ηλιακά πάνελ 91
Εικόνα 6.3.4: Κύκλωμα ρευστού στους συλλέκτες 92
Εικόνα 6.3.5: Κύκλωμα θέρμανσης 92
Εικόνα 6.3.6: Κύκλωμα ψύξης 93
Εικόνα 6.3.7:Κύκλωμα συμπύκνωσης 93
Εικόνα 6.3.8: Αρχή λειτουργίας θερμαντήρα [54] 94
Εικόνα 6.3.9: Ρυθμίσεις κύκλου πάνελ 95
Εικόνα 6.3.10: Ρυθμίσεις κύκλου θέρμανσης 96
Εικόνα 6.3.11: Ρυθμίσεις κύκλου ψύξης 97
Εικόνα 6.3.12: Ρυθμίσεις κύκλου συμπύκνωσης 98
Εικόνα 6.3.13: Εισαγωγή τερματικής μονάδας και αφυγραντήρα 99

Κατάλογος Αναφορών

[1] *"International Energy Agency", https://www.iea.org/.*

[2] U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2017,* September 14, 2017.

[3] Α. Ζερβός, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.

[4] U. E. I. Administration, *Annual Energy Outlook 2021 with projections to 2050,* February 3, 2021.

[5] *https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy.*

[6] *European Committee for Standardization, Renewable energy sources, https://www.cen.eu/work/areas/energy/renewables/pages/default.aspx.*

[7] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, "RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT, https://www.ren21.net/gsr-2020/," 2020.

[8] Wikipedia, *"Sun", https://en.wikipedia.org/wiki/Sun.*

[9] J. A. Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition, John Wiley & Sons, 2013.

[10] Κ. Α. Αντωνοπούλος, Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.

[11] Wheeling Jesuit University/NASA-supported Classroom of the Future, *http://www.cotf.edu/ete/modules/carbon/efculprits3.html.*

[12] D. Y. Goswami, ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2021.

[13] *https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector.*

[14] *https://el.decorexpro.com/solnechnye-batarei/kollektor-dlya-otopleniya/.*

[15] *https://www.oleng.eu/dwrean-thermansi-apo-ton-ilio/.*

[16] *www.avatec.gr/υπηρεσία/ηλιακοί-συλλέκτες-κενού/20.*

[17] Ε. Μπούσι, *Οπτική και θερμική ανάλυση συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη με παραβολοειδές κάτοπτρο, Διπλωματική εργασία,* Αθήνα, Ιούλιος 2019.

[18] *www.eurostar-solar.com/ηλιακοι-συλλεκτες-γραμμικης-εστιασης.html.*

[19] *www.pvmaint.gr/ηλιοθερμία/.*

[20] *https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά.*

[21] *http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/D1_Hmiagogoi_1.pdf.*

[22] *http://www.varnas-ete.gr/photovoltaic-systems.php.*

[23] *https://www.mipesun.gr/blog/νεα-μονοκρυσταλλικα-φωτοβολταικα-πανελ-υψηλησ-αποδοσησ-ωσ-370-watt-απο-τη-sharp.htm.*

[24] *www.gpproject.gr/el/φωτοβολταικα.html.*

[25] Π. Χ. Κωνσταντίνος, *Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών-αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης, Διπλωματική εργασία,* Αθήνα, Απρίλιος 2015.

[26] Δ. Κυριακίδης, *Προτάσεις για τη βέλτιστη εφαρμογή του net-metering,* Αθήνα: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, Νοέμβριος, 2013.

[27] M. GiulioCerino Abdin, "Electricity storage compared to net metering in residential PV applications," *ELSEVIER,* March 2018.

[28] *ΦΕΚ Β 3583 - 31.12.2014,* Αθήνα, Δεκέμβριος 2014.

[29] *https://www.dei.gr/el/oikiakoi-pelates/xrisimes-plirofories-gia-to-logariasmo-sas/net-metering/ti-einai-ta-fwtovoltaika-sustimata-fv-apo-autopa.*

[30] M. Latour, *"PV Market And Policy Trends In Europe",* Warsaw: European Photovoltaic Industry Association, June, 2013.

[31] Κ. Μόσχος, *Προσομοίωση υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας από ηλιακά συστήματα για θέρμανση κτιρίου, Διπλωματική εργασία,* Αθήνα, Φεβρουάριος 2016.

[32] Σκανδάλης Α., *Υπολογιστική προσομοίωση της θερμικής απόδοσης τοιχοποιιών ξηράς δόμησης με εφαρμογή συμβατικών και υπέρ-μονωτικών υλικών, Διπλωματική εργασία,* Αθήνα, 2015.

[33] *https://ypen.gov.gr/.*

[34] *ΦΕΚ Β 2367 - 12.07.2017,* Αθήνα, 07, 2017.

[35] ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017,* 2017.

[36] American Society of Heating, Refrigerating, *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010,* 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, 2010.

[37] M. S. Alwetaishi, "Impact of Building Function on Thermal Comfort: A Review Paper," *American Journal of Engineering and Applied Sciences ,* 2016.

[38] M. F. S. A. Gh.R. Roshan, "Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements," *ELSEVIER,* 2017.

[39] ASHRAE, "CHAPTER 17 - RESIDENTIAL COOLING AND HEATING," in *2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)*, 2017.

[40] H. N. H. M. SHAH NN, "A REVIEW OF DIESEL ENGINE DRIVEN HEAT PUMPS (DEHPs) AND THEIR POTENTIAL IN THE UK DOMESTIC SECTOR," *ResearchGate,* 2011.

[41] *https://www.climamarket.eu/en/wall-split-air-conditioner-samsung-ar24txhqasineu-ar24txhqasixeu#.*

[42] Μ. Ιωάννης, *Ψυκτικά Συστήματα και Εφαρμογές, Διπλωματική Εργασία,* Αθήνα, 2015.

[43] C. Keizer, *Absorption refrigeration machines, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology,* Delft, The Netherlands, 1982.

[44] T. D. Max Santini, «Module 91: High-efficiency waste heat-powered lithium bromide absorption chillers,» *CIBSE JOURNAL,* March 2016.

[45] Κ. Α. Αντωνόπουλος, Κλιματισμός, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.

[46] *https://ilektroxoros.gr/toyotomi-SEN-TDE20GAP20-afigrantiras-20lt.html?gclid=CjwKCAjwpKCDBhBPEiwAFgBzj7XI0uLFyzX1y2ZF1btkJLF8phIY752Kxb0UoAUoY7ObQts1u0Jk4BoCpncQAvD_BwE.*

[47] *Openstudio, https://www.openstudio.net/.*

[48] *https://energyplus.net/.*

[49] National Renewable Energy Laboratory, *Building Component Library, https://bcl.nrel.gov/.*

[50] *U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), https://www.energyplus.net/weather.*

[51] ASHRAE, "CHAPTER 18 - NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING," in *2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)*, 2017.

[52] *https://greencleanguide.com/how-grid-interactive-roof-top-solar-pv-systems-work/.*

[53] L. B. -. A. P. -. D. M. -. K. Benne, Building Energy Modeling with OpenStudio, Springer.

[54] *https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-7/input-output-reference/group-water-heaters.html#group-water-heaters.*

[55] E. -. F. -. T. -. F.Davodic, "An experimental investigation on the efficiency of a Flat-plate solar collector with binary working fluid: A case study of propylene glycol (PG)–water".*ScienceDirect.*

[56] S. K. R. A. Osama Bany Mousa, «Comparative energy and greenhouse gas assessment of industrial rooftop-integrated PV and solar thermal collectors,» *ELSEVIER,* May 2019.

[57] M. J. l. C. J. M.Fuentes, "An experimental comparison between commercial hybrid PV-T and simple PV systems intended for BIPV," *ELSEVIER,* October 2018.

[58] E. Bee, *Heat pump and photovoltaic systems in residential applications, Doctoral thesis,* Italy, 2019.

[59] S. Poppi, *Solar heat pump systems for heating applications, Doctoral thesis,* Stockholm, Sweden, 2017.