



# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

## Διπλωματική Εργασία Σχεδιασμός και Ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίου γραφείων

Νεοφύτου Νεόφυτος

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Τζιβανίδης Χρήστος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2022



**National Technical University of Athens**  
**School of Mechanical Engineering**

**Diploma Thesis**

**Design and Energy modeling of an office  
building**

**Neofytou Neofytos**

**Section: Thermal Engineering**

**Supervisor: Tzivanidis Christos, Professor NTUA**

**Athens, 2022**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Χρήστο Τζιβανίδη, για την εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπο μου, την καθοδήγηση, την πολύτιμη υποστήριξη, την προθυμία και αμεσότητα του, καθώς και για όλες τις γνώσεις που μου έδωσε την ευκαιρία να αποκομίσω κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω του φίλους και συμφοιτητές μου για την κοινή πορεία και άψογη συνεργασία που είχαμε σ' αυτά τα πέντε ολόκληρα χρόνια.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, καθώς και στην αδερφή μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους, την υπομονή και στήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Υπεύθυνη δήλωση 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.

Νεοφύτου Νεόφυτος

**Περιεχόμενα**

1.	Εισαγωγή .....	12
1.1	Πλαίσιο .....	12
1.2	Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι .....	13
1.3	Οριοθέτηση.....	14
1.4	Διάρθρωση της εργασίας .....	14
1.5	Μέθοδος Έρευνας .....	15
2.	Κλιματική αλλαγή και Ενεργειακή φτώχεια .....	16
2.1	Κλιματική αλλαγή .....	16
2.2	Συνέπειες κλιματικής αλλαγής .....	17
2.3	Πόλεμος, πανδημία και κλιματική αλλαγή .....	22
2.4	Πιθανά σενάρια κλιματικού μέλλοντος .....	24
2.5	Ενεργειακή φτώχεια .....	26
3.	Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας .....	29
3.1	Η παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα.....	29
3.2	Εξέλιξη εκπομπών αερίων θερμοκηπίου .....	33
3.3	Η εθνική πολιτική για την ενέργεια και το κλίμα.....	36
4.	Παθητικό κτίριο – NZEB - PEB .....	39
4.1	Παθητικό κτίριο .....	39
4.1.1	Η έννοια του παθητικού κτιρίου .....	39
4.1.2	Πέντε βασικές αρχές.....	40
4.2	Net Zero Energy Building – NZEB.....	46
4.3	Positive Energy Building – PEB.....	47
5.	Συστήματα HVAC .....	49
5.1	Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα .....	50
5.1.1	Συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου.....	50
5.1.2	Συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) .....	51
5.1.3	Συστήματα διπλού αγωγού .....	53
5.2	Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα – νερού .....	53
5.2.1	Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση .....	54
5.2.2	Συστήματα επαγωγής.....	55
5.2.3	Συστήμα fan-coil νερού αέρα.....	56
5.2.4	Μοναδιαία συστήματα αντλιών θερμότητας .....	57
5.3	Τοπικά συστήματα.....	57
5.3.1	Συσκευασμένες μονάδες διαμέσου τοίχων .....	58
5.3.2	Διαιρούμενες μονάδες .....	58
5.3.3	Αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας .....	59
5.3.4	Συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου – VRF .....	59
5.4	Περεταίρω ανάλυση αντλιών θερμότητας .....	59
5.4.1	Αντλία θερμότητας Αέρα-Αέρα .....	61
5.4.2	Αντλία θερμότητας Νερού-Αέρα.....	62

5.4.3	Αντλία θερμότητας Νερού-Νερού.....	63
6.	Παρουσίαση μοντέλου .....	64
6.1	Γενικά στοιχεία .....	64
6.2	Εσωτερική διαμόρφωση κτιρίου – κατόψεις.....	64
6.3	Διαχωρισμός χώρων σε θερμικές ζώνες .....	67
7.	Παρουσίαση των λογισμικών .....	68
7.1	Παρουσίαση του λογισμικού EnergyPlus.....	68
7.2	Παρουσίαση του λογισμικού SketchUp .....	71
7.3	Παρουσίαση του λογισμικού OpenStudio .....	71
8.	Αναλυτική περιγραφή της μοντελοποίησης του κτιρίου (SketchUp-OpenStudio).....	73
8.1	SketchUp.....	73
8.1.1	Σχεδιασμός ισογείου .....	75
8.1.2	Σχεδιασμός ανοιγμάτων ισογείου .....	78
8.1.3	Σχεδιασμός ορόφου .....	84
8.1.4	Surface matching .....	88
8.1.5	Set Attributes for Selected Spaces .....	92
8.1.6	Σχεδίαση φωτοβολταϊκών πάνελ .....	97
8.1.7	Έλεγχος για Non-Convex Surfaces .....	101
8.2	OpenStudio .....	105
8.2.1	Site Tab .....	106
8.2.2	Schedules Tab .....	107
8.2.3	Constructions Tab .....	108
8.2.4	Loads Tab .....	115
8.2.5	Space Types Tab.....	116
8.2.6	Geometry Tab .....	119
8.2.7	Facility Tab .....	120
8.2.8	Spaces Tab .....	121
8.2.9	Thermal Zones Tab .....	124
8.2.10	HVAC Systems Tab .....	125
8.2.11	Output Variables Tab .....	128
8.2.12	Simulation Settings Tab .....	129
8.2.13	Measures Tab.....	130
8.2.14	Run Simulation Tab .....	132
8.2.15	Results Summary Tab .....	132
9.	Αποτελέσματα/Συζήτηση - Παραμετρικές μελέτες.....	134
9.1	Αποτελέσματα αρχικού μοντέλου.....	134
9.2	Παραμετρικές μελέτες.....	138
9.2.1	Παραμετρική μελέτη 1: Εξέταση της επίδρασης του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου.....	138
9.2.2	Παραμετρική μελέτη 2: Εξέταση της επίδρασης του πάχους της μόνωσης της οροφής στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου.....	140

9.2.3 Παραμετρική μελέτη 3: Σύγκριση αρχικού μοντέλου με συνδυασμένο μοντέλο παραμετρικής ανάλυσης 1 και 2.....	142
9.2.4 Παραμετρική μελέτη 4: Εξέταση της επίδρασης του είδους των υαλοπινάκων στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου.....	143
9.2.5 Παραμετρική μελέτη 5: Σύγκριση αρχικού μοντέλου με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 4.....	147
9.2.6 Παραμετρική μελέτη 6: Εξέταση της επίδρασης διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου και σύγκριση με το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού του αρχικού μοντέλου. 148	148
9.2.7 Παραμετρική μελέτη 7: Εξέταση της επίδρασης του προσανατολισμού του κτιρίου στις ενεργειακές καταναλώσεις αυτού. ....	153
9.2.8 Παραμετρική μελέτη 8: Περιγραφή διαδικασίας διαστασιολόγησης και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ, εξέταση της επίδρασης τους στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου, και σύγκριση αυτού του μοντέλου με το αρχικό. ....	154
9.2.9 Παραμετρική μελέτη 9: Εξέταση της επίδρασης της σκίασης, η οποία μπορεί να προκληθεί από την δημιουργία γειτονικών κτιρίων, στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου και στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. ....	160
10. Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία.....	162
10.1 Συμπεράσματα .....	162
10.2 Μελλοντική εργασία.....	163
11. Κατάλογος Πινάκων.....	164
12. Κατάλογος Εικόνων .....	165
13. Αναφορές.....	170

## Σύνοψη

Τα κτίρια, στην Ευρωπαϊκή Ένωση ευθύνονται για το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ στην Ελλάδα για το 43% και καταναλώνουν το μεγαλύτερο μερίδιο ενέργειας, έχοντας παράλληλα το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Ο κτιριακός τομέας διευρύνεται, με επακόλουθο την συνεχή αύξηση της ενεργειακής του κατανάλωσης. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον κτιριακό τομέα, αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και η αυξημένη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και της τεχνολογικής ανάπτυξης της χώρας. Λόγω του πολυετούς κύκλου ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων, τα νέα κτίρια και τα υφιστάμενα κτίρια που υφίστανται ανακαίνιση μεγάλης κλίμακας πρέπει να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά στην ενεργειακή απόδοση, προσαρμοσμένες στο τοπικό κλίμα. Με την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, οι πολίτες μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς τους που αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας, να προστατεύσουν την υγεία τους και το περιβάλλον, καθώς και να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενεργειακή μελέτη ενός διώροφου κτιρίου γραφείων το οποίο σχεδιάστηκε εξολοκλήρου από την αρχή. Εξετάστηκε κατά πόσο, ένα νεόδμητο κτίριο στην πανεπιστημιακή κοινότητα του Ε.Μ.Π, στην Ζωγράφου, στην Αθήνα, i) ακολουθεί τις πρότυπες ενεργειακές καταναλώσεις ενός πρότυπου παθητικού κτιρίου, ii) μπορεί να χαρακτηριστεί ως κτίριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (NZEB) και iii) κατά πόσο είναι εφικτό από ένα τέτοιο κτίριο να περισεύει πλεόνασμα ενέργειας (PEB). Για τον σχεδιασμό και την ενεργειακή μελέτη του κτιρίου χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά SketchUp Make 2017 και το EnergyPlus μέσω του OpenStudio plug-in. Τα αποτελέσματα των παραμετρικών μελετών καθιστούν σαφές ότι μετά από σωστό σχεδιασμό και δίνοντας προσοχή στους βασικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου, επιτυγχάνεται η επαλήθευση των προδιαγραφών του πρότυπου παθητικού κτιρίου και μπορεί αυτό να χαρακτηριστεί ως κτίριο σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (NZEB). Το εξεταζόμενο μοντέλο μετά από τις κατάλληλες βελτιστοποιήσεις χρειάζεται 11,9 kWh/m<sup>2</sup> για ψύξη και 5,2 kWh/m<sup>2</sup> για θέρμανση. Όσο αφορά την εξέλιξη του κτιρίου αυτού σε κτίριο θετικού ενεργειακού ισοζυγίου (PEB) αξίζει να πραγματοποιηθεί μελέτη, περισσότερο σε επίπεδο γειτονιάς (κτίρια που συνδέονται μεταξύ τους και αλληλοκαλύπτουν τις ενεργειακές καταναλώσεις τους) και όχι τόσο σε επίπεδο μονάδας.



## Abstract

Buildings in the EE are responsible for 40% of the total energy consumption, whereas in Greece they are responsible for 43% and consume the largest proportion of energy, while simultaneously having the greatest potential for energy saving. The building sector continuously expands, resulting in an even greater increase in energy consumption. Therefore, the reduction of energy consumption and the use of energy from renewable energy sources in the building sector is of utmost importance in the quest of reducing greenhouse gases. This approach is vital in safeguarding continuous energy generation sources and ensuring technological advancements of the country. Due to the multi-year renovation cycle of existing buildings, new buildings or large-scale renovated structures, have to satisfy the minimum energy efficiency requirements adjusted to the local climate. More efficient energy usage reduces electricity bills, protects health and the environment, and improves air quality. The purpose of this thesis is the energy study of a two-story office building, which has been designed entirely from scratch. It was examined whether a newly constructed building in the University campus of E.M.P., in Zografou, Athens, i) abides by the standard requirements of a passive building, ii) can be characterized as a nearly zero energy building (NZEB) and iii) whether it is possible for such a building to have surplus energy (PEB). For the design and the energy study of the building in question, two different software were used, the SketchUp Make 2017 and EnergyPlus via the OpenStudio plug in. The results of the parametric studies indicate that after proper planning and paying attention to the main factors that influence the energy behavior of a building, the verification of the standard passive building specifications is achieved and it can be characterized as a nearly zero energy consumption building (NZEB). Upon appropriate optimizations, the proposed model requires 11.9 kWh/m<sup>2</sup> for cooling and 5.2 kWh/m<sup>2</sup> for heating. Regarding the evolution of this model into a positive energy balance building (PEB), it is worth conducting similar research at the neighborhood level (buildings that are connected to one another and supplement each other's energy requirements) instead of unit level.

## Συνομεύσεις

NZEB - Nearly Zero Energy Building

ΚΕΝΑΚ - Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

ESG - Environmental, Social and Governance

PEB: Positive Energy Building

Ε.Μ.Π: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

ΕΚΤ – Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα

EV - Electric Vehicle

ΕΟΚΕ - Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή

IEA - International Energy Agency

BPIE - Buildings Performance Institute Europe

ΑΠΕ – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΕΣΕΚ - Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

ΤΟΤΕΕ – Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

AHU - Air Handling Unit

VAV – Variable Air Volume

VRF – Variable Refrigerant Volume

GUI - Graphical User Interface

EP – EnergyPlus

NREL – National Renewable Energy Laboratory

EUI - Energy Use Intense

dbl clr – double clear

trp clr – triple clear

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Πλαίσιο

Το κτιριακό απόθεμα της Ευρώπης και κατ' επέκταση της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως παλαιό, ενεργοβόρο και μη φιλικό προς το περιβάλλον. Τα κτίρια έχουν μεγάλες ενεργειακές απώλειες με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολύ μεγάλες δαπάνες για την εξασφάλιση της πολυπόθητης θερμικής άνεσης, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του κτιριακού αποθέματος κατασκευάστηκε πριν από το 1980 όπου η κατασκευή των κτιρίων πραγματοποιούνταν χωρίς θερμομόνωση. Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κατοικιών και των κτιρίων του τριτογενούς τομέα καταλαμβάνει ένα ιδιαίτερα μεγάλο μερίδιο αναφορικά στις ενεργειακές καταναλώσεις ανά τομέα στην Ευρώπη, γεγονός που δικαιολογεί τον χαρακτηρισμό του κτιριακού τομέα ως ενεργοβόρο.

Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτιμώντας και την συμβολή της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, στη διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού, στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης και του κόστους της ενέργειας και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής οικονομίας θέτει υψηλούς στόχους για τις επόμενες δεκαετίες. Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, η οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με το νόμο 4122/2013, περιλαμβάνει πληθώρα διατάξεων σχετικά με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους. Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της οδηγίας αποτελεί η αναφορά στα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (NZEB).

Συγκεκριμένα, στο άρθρο 2 του ανωτέρω νόμου δίνεται ο ορισμός του κτιρίου με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, ως ένα κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, στο οποίο η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου, ελαχιστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. Στη συνέχεια, στο άρθρο 9 της οδηγίας και του νόμου αναφέρεται ότι από 1.1.2021, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, κάτι το οποίο παγοποιήθηκε μέχρι το 2022 με στόχο να μην πληγεί, έτι περαιτέρω, ο κατασκευαστικός κλάδος, ο οποίος μετά από το «χτύπημα» που δέχθηκε στα χρόνια της οικονομικής ύφεσης, έχει να αντιμετωπίσει μια νέα κρίση που φέρνει στην οικοδομή η πανδημία του κορωνοϊού [1].

Ο ορισμός ωστόσο ενός κτιρίου ως NZEB, εναπόκειται πλήρως στο εκάστοτε κράτος μέλος. Στην Ελλάδα, ο ορισμός του NZEB, χαρακτηρίζεται επιεικώς επιεικής, καθώς σύμφωνα με

τον ΚΕΝΑΚ οι ελάχιστες απαιτήσεις προκειμένου να κατηγοριοποιηθεί ένα κτίριο ως NZEB δεν εγγυώνται σχεδόν μηδενικές ενεργειακές καταναλώσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζονται οι πραγματικές δυσμενείς συνθήκες της κλιματικής αλλαγής που συντελείται σε όλον τον πλανήτη, καθώς και τα πιθανά σενάρια εξέλιξης του φαινομένου, το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως οικονομικό, κοινωνικό και πολιτικό φαινόμενο, έτσι ώστε να γίνει κατανοητό ότι η πράσινη κατεύθυνση αποτελεί πλέον μονόδρομο για τον τομέα των ακινήτων στη χώρα μας. Ήδη στη χώρα μας, τόσο θεσμικοί επενδυτές, όσο και εταιρείες επενδύσεων σε ακίνητα, στοχεύουν πλέον σε ακίνητα με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όπου σύμφωνα με έρευνες, τα ακίνητα αυτά, αποκτούν σημαντικό προβάδισμα τόσο ως προς την αξία όσο και ως προς τα παραγόμενα έσοδα, ενώ είναι και περισσότερο εμπορεύσιμα. Ο τομέας των ακινήτων είναι πάρα πολύ σημαντικός για το ESG, καθώς ανοίγει το δρόμο για τις κατασκευές που θα συντελέσουν στη μείωση της θερμοκρασίας του πλανήτη, με επενδύσεις 180 δισ. ευρώ μέχρι το 2050. Το 2019 το 63% των θεσμών είχαν υιοθετήσει τις αρχές ESG, ενώ το 2021, μόλις δύο χρόνια μετά, αυτό το ποσοστό έχει φτάσει το 72%. Παράλληλα, οι περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένες επενδύσεις το 2014 ήταν μόλις 15 δισ. Ευρώ, ενώ το 2024 αναμένεται να ξεπεράσουν τα 53 τρισ. Ευρώ, σημειώνοντας αύξηση κατά 60% [2].

## 1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

---

Η ραγδαία εξέλιξη του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής καθώς και του φαινομένου της ενεργειακής φτώχειας, απαιτούν άμεση εξοικονόμηση ενέργειας πριν να είναι πολύ αργά. Η επιβολή της νομοθεσίας για κατασκευή νεόδμητων κτιρίων το 2022 τα οποία ακολουθούν το πρότυπο του παθητικού κτιρίου και συμπεριφέρονται ως NZEB μοιάζει μονόδρομος στην προσπάθεια για προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία λοιπόν, σχεδιάζεται εξολοκλήρου από την αρχή ένα διώροφο κτίριο γραφείων στην πανεπιστημιακή κοινότητα του Ε.Μ.Π, στην Ζωγράφου, στην Αθήνα και μελετάται ενεργειακά έτσι ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο συμπεριφέρεται ως ένα κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (NZEB) και κατά πόσο είναι εφικτό από ένα τέτοιο κτίριο να περισσεύει πλεόνασμα ενέργειας (PEB).

### 1.3 Οριοθέτηση

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον σχεδιασμό και την ενεργειακή μελέτη ενός διώροφου κτιρίου γραφείων όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω. Πραγματοποιούνται αρκετές ενεργειακές αναβαθμίσεις - παραμετρικές μελέτες με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης ενεργειακά λύσης (χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου) και παρουσιάζονται τα ενεργειακά ισοζύγια των δύο καταστάσεων, της αρχικής και της αναβαθμισμένης ενώ εξετάζεται επίσης και η συνεισφορά κάθε παρέμβασης στην ενεργειακή εξοικονόμηση.

Η διπλωματική εργασία είναι συνυφασμένη με τα Ελληνικά δεδομένα (υλικά, μεθοδολογία, τεχνικές) έτσι ώστε να προκύπτουν ρεαλιστικά αποτελέσματα, αλλά δεν συμπεριλαμβάνεται στην εργασία οικονομοτεχνική μελέτη της επένδυσης ή κάποιο πιθανό σενάριο δανεισμού και πλήρους χρηματοδότησης της, τόσο για το αρχικό μοντέλο όσο και για την βέλτιστη ενεργειακά επιλογή.

### 1.4 Διάρθρωση της εργασίας

---

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας και περιλαμβάνει το πλαίσιο, τον σκοπό, τα ερωτήματα, τους στόχους, την οριοθέτηση και την μέθοδο έρευνας όπου έχει ακολουθηθεί, περιγράφοντας τα βασικά στάδια της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην κλιματική αλλαγή, τόσο στην υφιστάμενη κατάσταση, όσο και σε πιθανά σενάρια εξέλιξης αυτής στο μέλλον, καθώς επίσης και το πως συνδέεται με την πανδημία αλλά και τον πόλεμο στην Ουκρανία. Επιπλέον προβάλλεται το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η έννοια και οι βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου, καθώς επίσης και οι έννοιες NZEB και PEB.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται τα συστήματα HVAC και πραγματοποιείται μια περαιτέρω ανάλυση στις αντλίες θερμότητας.

Στο έκτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται μια πλήρη παρουσίαση του υπό-σχεδίαση μοντέλου.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην σχεδίαση και ενεργειακή μοντελοποίηση του κτιρίου.

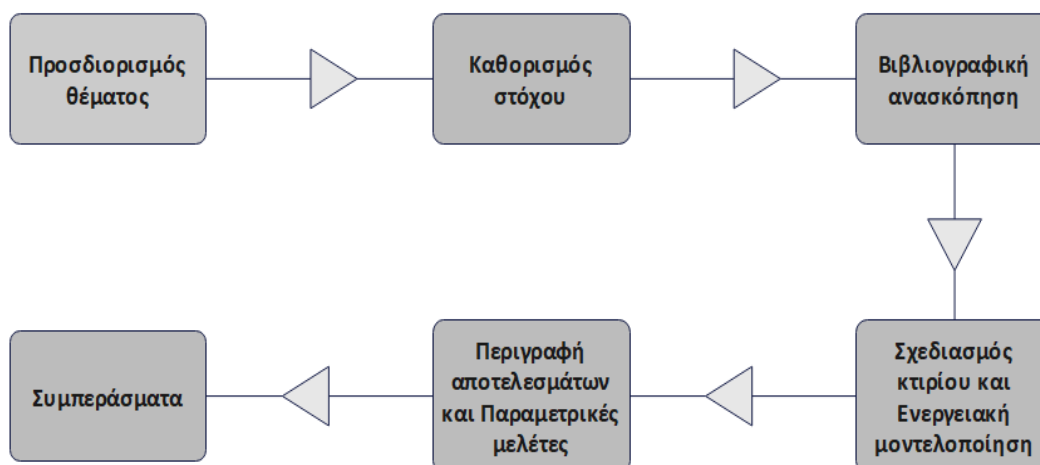
Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία σχεδιασμού και ενεργειακής μοντελοποίησης που ακολουθήθηκε.

Στο ένατο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αρχικού μοντέλου, καθώς επίσης και διάφορες παραμετρικές μελέτες που πραγματοποιούνται με στόχο την εύρεση της βέλτιστης ενεργειακά επιλογής.

Στο δέκατο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και πιθανή μελλοντική εργασία.

## 1.5 Μέθοδος Έρευνας

Αρχικά πραγματοποιείτε βιβλιογραφική ανασκόπηση τόσο σε ελληνική, όσο και σε διεθνή βιβλιογραφία. Στη φάση αυτή πραγματοποιείται αναζήτηση παρεμφερών ερευνών, επιστημονικών άρθρων καθώς και γενικών πληροφοριών σχετικά με το εξεταζόμενο αντικείμενο που μπορούν να φανούν χρήσιμες για τη συγκεκριμένη εργασία. Στη συνέχεια ακολουθεί η δημιουργία και ο σχεδιασμός του κτιρίου με την βοήθεια του λογισμικού SketchUp Make 2017, καθώς και η ενεργειακή μοντελοποίηση αυτού με χρήση του λογισμικού EnergyPlus μέσω του OpenStudio plug-in. Ακολουθώντας προκύπτουν τα αποτελέσματα για το αρχικό μοντέλο. Στη συνέχεια ακολουθούν οι διάφορες παραμετρικές μελέτες με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης ενεργειακά επιλογής. Τέλος ακολουθεί η περιγραφή των αποτελεσμάτων καθώς και τα συμπεράσματα. Η μέθοδος έρευνας που πραγματοποιείται περιγράφεται συνοπτικά με το παρακάτω διάγραμμα ροής (Εικόνα 1.1)



Εικόνα 1.1 - Διάγραμμα ροής εργασιών για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας

## 2. Κλιματική αλλαγή και Ενεργειακή φτώχεια

### 2.1 Κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με τη διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC), ως κλιματική αλλαγή ορίζεται το φαινόμενο που αναφέρεται στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε εξωτερικά αίτια (π.χ. αλλαγές στην ηλιακή δραστηριότητα, αλλαγές στην τροχιά της Γης, πτώση μετεωριτών) και σε εσωτερικά αίτια (φυσικά και ανθρωπογενή). Τα φυσικά αίτια σχετίζονται με φυσικές διαδικασίες (π.χ. εκρήξεις ηφαιστειών ή μεγάλης κλίμακας κλιματικά φαινόμενα, όπως το Ελ Νίνιο), ενώ τα ανθρωπογενή αίτια σχετίζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας με την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος, η αποψίλωση των δασών. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC) η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρωπίνες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια [3].

Τα αέρια του θερμοκηπίου εκπέμπονται μέσω φυσικών διεργασιών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Το σημαντικότερο φυσικό αέριο θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα είναι οι υδρατμοί. Ωστόσο, οι ανθρωπίνες δραστηριότητες παράγουν μεγάλες ποσότητες και άλλων αερίων θερμοκηπίου προκαλώντας αύξηση των συγκεντρώσεων αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα, τα οποία συντελούν με τη σειρά τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Οι κύριες πηγές των αερίων θερμοκηπίου που προκαλούνται από τον άνθρωπο είναι:

- καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις μεταφορές, τη βιομηχανία και τα νοικοκυριά (CO<sub>2</sub>)
- γεωργία (CH<sub>4</sub>) και αλλαγές στη χρήση γης, όπως η αποψίλωση των δασών (CO<sub>2</sub>)
- υγειονομική ταφή απορριμμάτων (CH<sub>4</sub>)
- χρήση βιομηχανικών φθοριούχων αερίων

Για να διασφαλίσουν την πρόληψη της εκδήλωσης δυσμενέστερων συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, οι χώρες που υπέγραψαν τη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) συμφώνησαν να περιορίσουν την παγκόσμια μέση αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας από την προβιομηχανική εποχή σε λιγότερο από 2°C. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου πρέπει

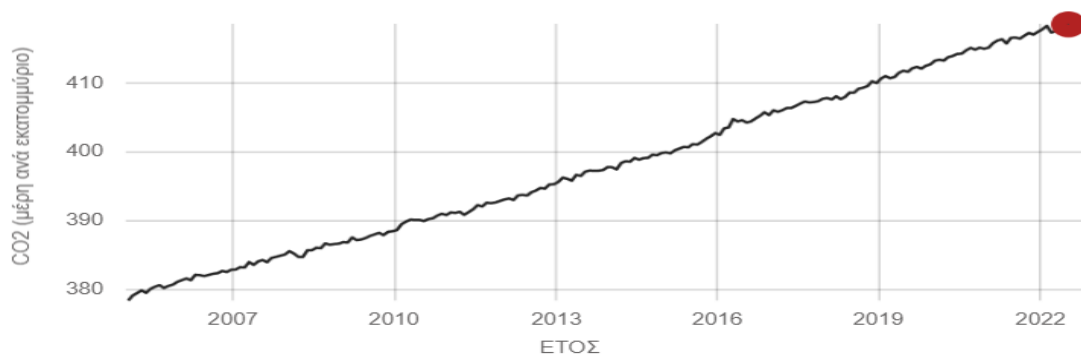


να κορυφωθούν το συντομότερο δυνατό και να μειωθούν με ταχύ ρυθμό στη συνέχεια. Οι παγκόσμιες εκπομπές θα πρέπει μέχρι το 2050 να μειωθούν κατά 50% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 προκειμένου να επιτευχθεί ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα πριν από το τέλος του αιώνα. Η ΕΕ στηρίζει τον στόχο της σύμβασης UNFCCC και επιδιώκει, μέχρι το 2050, να έχει μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 80 – 95 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Τα σημαντικά αυτά επίπεδα μείωσης λαμβάνουν υπόψη τις μικρότερες μειώσεις που απαιτούνται από τις αναπτυσσόμενες χώρες [4].

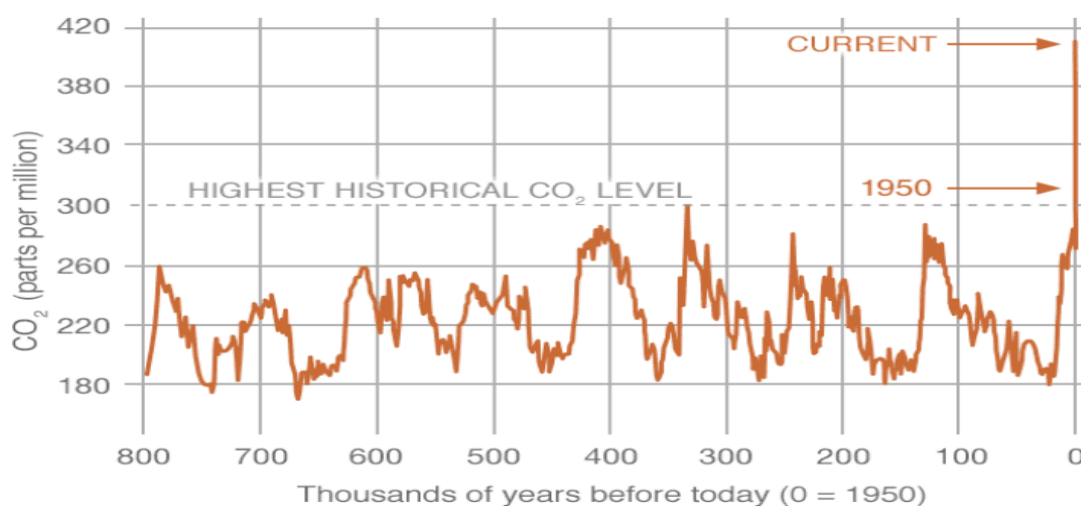
## 2.2 Συνέπειες κλιματικής αλλαγής

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει όλες τις περιοχές του κόσμου. Οι πάγοι στις πολικές περιοχές λιώνουν και η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Σε ορισμένες περιοχές, ακραία καιρικά φαινόμενα και έντονες βροχοπτώσεις εμφανίζονται όλο και συχνότερα, ενώ άλλες περιοχές δοκιμάζονται από καύσωνες και ξηρασίες μεγάλης έντασης. Πρέπει να αναληφθούν δράσεις για το κλίμα τώρα, διαφορετικά οι επιπτώσεις αυτές θα ενταθούν [5].

Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αποτελούν μία από τις βασικότερες συνέπειες της ταχείας κλιματικής αλλαγής. Το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θερμαίνει τον πλανήτη, προκαλώντας κλιματική αλλαγή. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξήσει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα κατά 50% σε λιγότερο από 200 χρόνια. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι ένα σημαντικό αέριο παγίδευσης θερμότητας ή αέριο θερμοκηπίου, που προέρχεται από την εξόρυξη και καύση ορυκτών καυσίμων (όπως άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), από πυρκαγιές και από φυσικές διεργασίες όπως ηφαιστειακές εκρήξεις. Το πρώτο γράφημα της εικόνας 2.1 (Εικόνα 2.1) δείχνει τα ατμοσφαιρικά επίπεδα CO<sub>2</sub> που μετρήθηκαν στο παρατηρητήριο Mauna Loa της Χαβάης τα τελευταία χρόνια, με τις φυσικές, εποχιακές αλλαγές να έχουν αφαιρεθεί. Το δεύτερο γράφημα (Εικόνα 2.2) δείχνει τα επίπεδα CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων παγετώνων κύκλων της Γης, όπως καταγράφηκαν από φυσαλίδες αέρα παγιδευμένες σε στρώματα πάγου και παγετώνες [6].

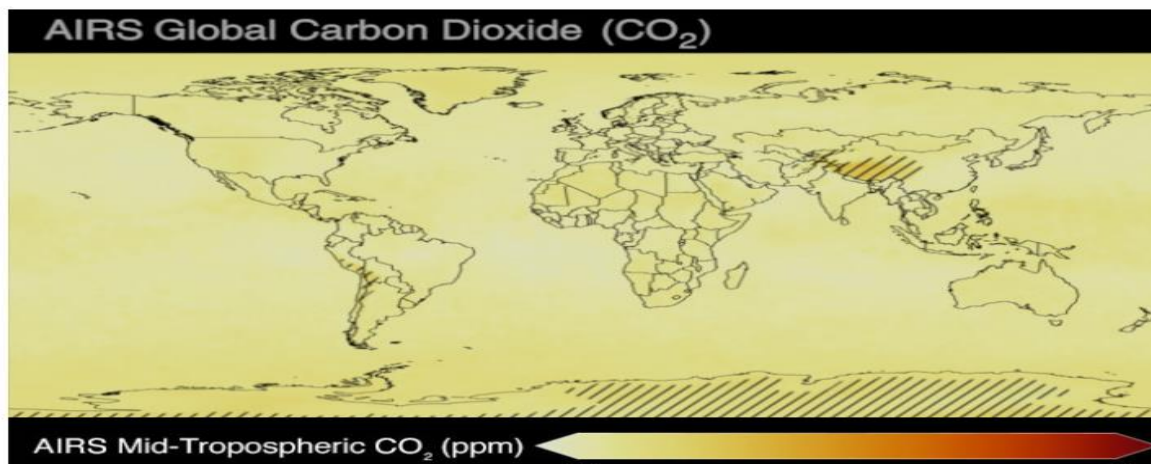


Εικόνα 2.1 - Ατμοσφαιρικά επίπεδα CO<sub>2</sub> τα τελευταία χρόνια [6]

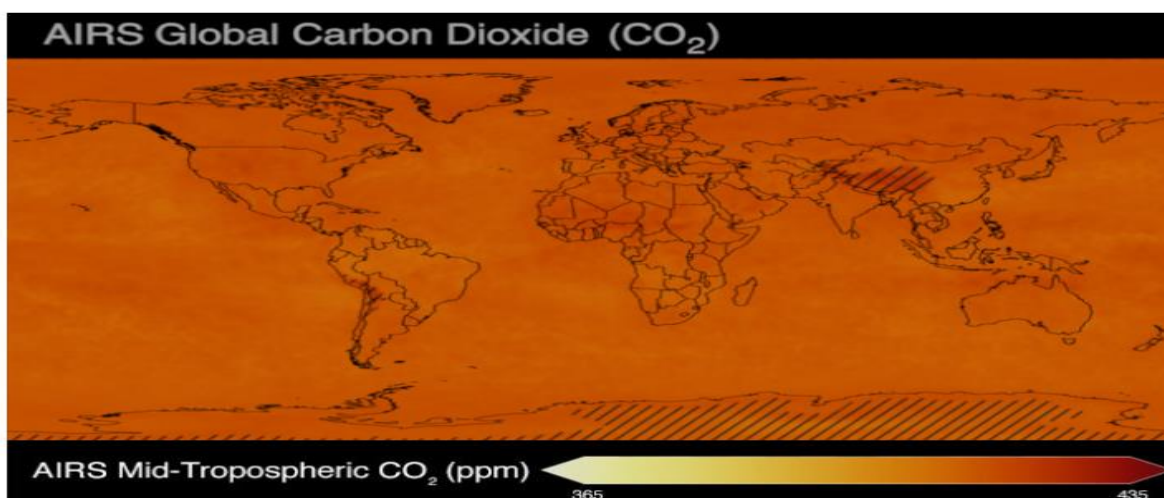


**Εικόνα 2.2 - Επίπεδα CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων παγετώνων κύκλων της Γης [6]**

Από την αρχή των βιομηχανικών χρόνων (τον 18ο αιώνα), οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξήσει το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> κατά 50%, που σημαίνει ότι η ποσότητα του CO<sub>2</sub> είναι τώρα 150% της αξίας του το 1750. Αυτό είναι μεγαλύτερο από αυτό που φυσικά συνέβη στο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων πριν από 20.000 χρόνια. Ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 2.3, Εικόνα 2.4) δείχνει πώς το παγκόσμιο διοξείδιο του άνθρακα έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Σημειώστε πώς ο χάρτης αλλάζει χρώματα καθώς η ποσότητα του CO<sub>2</sub> αυξάνεται από 365 κομμάτια ανά εκατομμύριο (ppm) το 2002 σε πάνω από 400 ppm επί του παρόντος. ("Κομμάτια ανά εκατομμύριο" αναφέρεται στον αριθμό των μορίων διοξειδίου του άνθρακα ανά εκατομμύριο μόρια ξηρού αέρα.) Αυτές οι μετρήσεις προέρχονται από τη μέση τροπόσφαιρα, το στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης που βρίσκεται 8 έως 12 χιλιόμετρα (περίπου 5 έως 7 μίλια) πάνω το έδαφος [6].

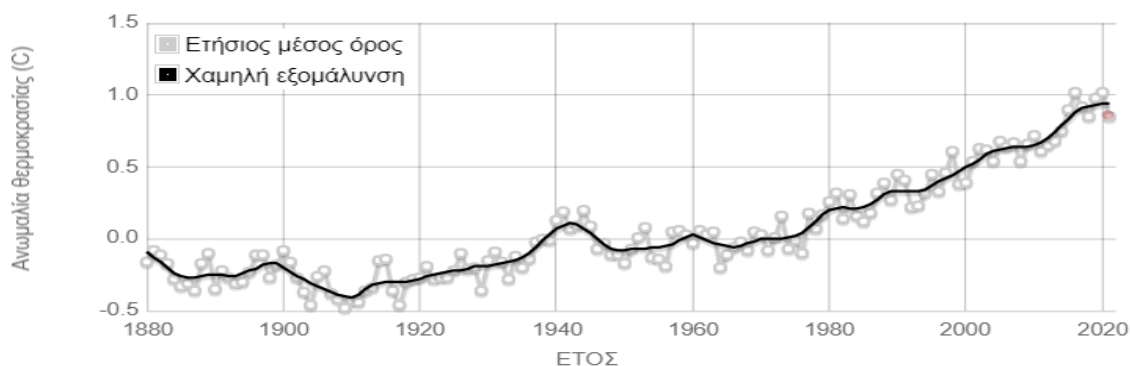


**Εικόνα 2.3 - Παγκόσμια ποσότητα CO<sub>2</sub> το 2002 [6]**

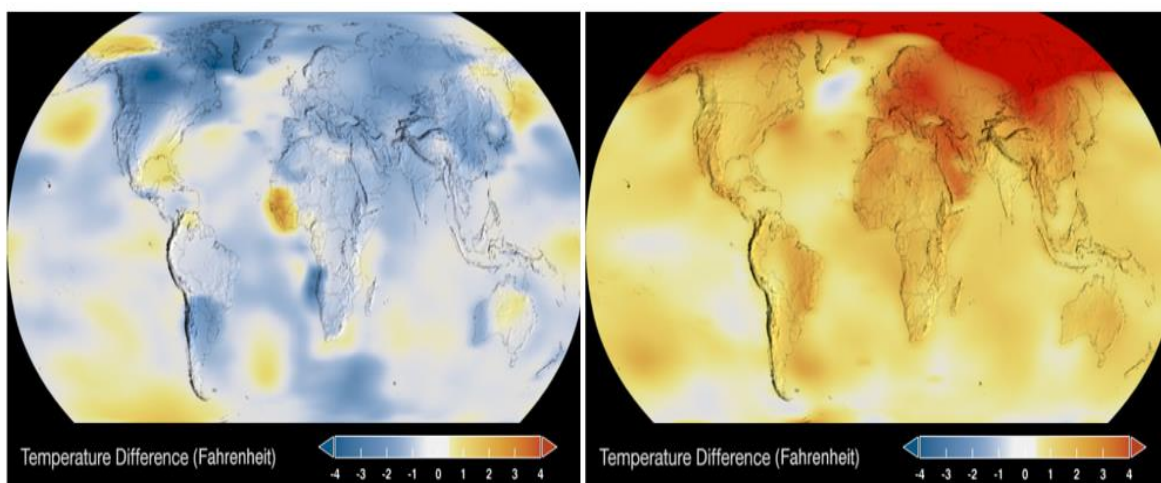


Εικόνα 2.4 - Παγκόσμια ποσότητα CO<sub>2</sub> το 2022 [6]

Μία ακόμη συνέπεια, εξίσου σημαντική είναι η αύξηση της θερμοκρασίας. Η παγκόσμια ετήσια θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια αυξάνεται σταθερά από τα τέλη του 19ου αιώνα. Ο ρυθμός αύξησης ήταν ιδιαίτερα υψηλός από τη δεκαετία του 1970 σε περίπου 0,2°C ανά δεκαετία. Σε αυτήν την περίοδο, η παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη περίοδο 50 ετών για τουλάχιστον 2000 χρόνια, με τα τελευταία 7 χρόνια (2015–2021) να είναι τα θερμότερα που έχουν καταγραφεί. Το παρακάτω γράφημα (Εικόνα 2.5) δείχνει τη μεταβολή της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας σε σύγκριση με τον μακροπρόθεσμο μέσο όρο από το 1951 έως το 1980, κάτι το οποίο αποτυπώνεται και στον παγκόσμιο χάρτη (Εικόνα 2.6). Δεκαεννέα από τα θερμότερα χρόνια έχουν σημειωθεί από το 2000, με εξαίρεση το 1998. Το έτος 2020 ισοδυναμεί με το 2016 για το θερμότερο έτος που έχει καταγραφεί από τότε που ξεκίνησε η τήρηση αρχείων (1880). Οι αναλύσεις της NASA ταιριάζουν γενικά με ανεξάρτητες αναλύσεις που εκπονήθηκαν από τη Μονάδα Κλιματικής Έρευνας και την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) [7].



Εικόνα 2.5 - Μεταβολή της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας [7]



**Εικόνα 2.6 - Μεταβολή θερμοκρασίας 1984 - 2021 [7]**

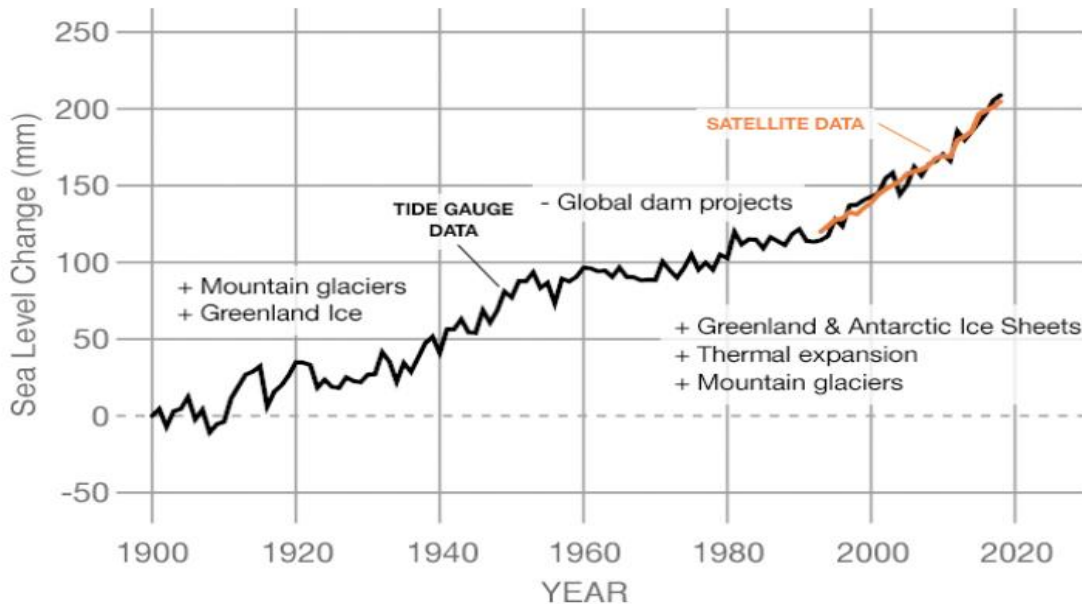
Η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, ενώ η τάση έχει επιταχυνθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Η άνοδος οφείλεται κυρίως στη θερμική επέκταση των ωκεανών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Ωστόσο, ο πάγος από την τήξη παγετώνων και του στρώματος πάγου της Ανταρκτικής συμβάλλουν επίσης στην άνοδο αυτή. Προβλέπεται ότι στην Ευρώπη θα σημειωθεί άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά μέσο όρο 60 έως 80 cm μέχρι το τέλος του αιώνα, κυρίως ανάλογα με τον ρυθμό με τον οποίο λιώνει το στρώμα πάγου της Ανταρκτικής. Περίπου το ένα τρίτο του πληθυσμού της ΕΕ ζει σε απόσταση 50 χλμ. από τις ακτές, και οι περιοχές αυτές παράγουν πάνω από το 30% του συνολικού ΑΕΠ της Ένωσης. Η οικονομική αξία των περιουσιακών στοιχείων που βρίσκονται σε απόσταση 500 μέτρων από τις θάλασσες της Ευρώπης κυμαίνεται μεταξύ 500 δισ. EUR και 1 000 δισ. EUR. Παράλληλα με άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα αυξήσει τον κίνδυνο πλημμύρας και διάβρωσης γύρω από τις ακτές, με σημαντικές συνέπειες για τους ανθρώπους, τις υποδομές, τις επιχειρήσεις και τη φύση στις περιοχές αυτές. Επιπλέον, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας προβλέπεται να μειώσει την ποσότητα των διαθέσιμων γλυκών υδάτων, καθώς το νερό της θάλασσας διεισδύει περαιτέρω σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτό θα επηρεάσει τη γεωργία και την παροχή πόσιμου νερού. Θα επηρεάσει επίσης τη βιοποικιλότητα στους παράκτιους οικοτόπους, καθώς και τις φυσικές υπηρεσίες και τα αγαθά που παρέχουν. Πολλοί υγροβιότοποι θα χαθούν, με αποτέλεσμα να κινδυνεύσουν μοναδικά είδη πτηνών και φυτών, και να εξαλειφθεί η φυσική προστασία που παρέχουν οι περιοχές αυτές έναντι των κυμάτων θύελλας [5].

Το παρακάτω γράφημα (Εικόνα 2.7) παρακολουθεί την αλλαγή στην παγκόσμια στάθμη της θάλασσας από το 1993, όπως παρατηρείται από δορυφόρους, ενώ το γράφημα της εικόνας 2.8 (Εικόνα 2.8), το οποίο προέρχεται από το μετρητή παράκτιας παλίρροιας και τα δορυφορικά δεδομένα, δείχνει πόσο άλλαξε η στάθμη της θάλασσας από περίπου το 1900

έως το 2018. Τα στοιχεία με συν (+) είναι παράγοντες που προκαλούν αύξηση της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας, ενώ τα μείον (-) είναι αυτά που προκαλούν η στάθμη της θάλασσας να μειωθεί. Αυτά τα στοιχεία εμφανίζονται τη στιγμή που επηρέαζαν τη στάθμη της θάλασσας [8].



Εικόνα 2.7 - Αλλαγή στην παγκόσμια στάθμη της θάλασσας από το 1993 [8]



Εικόνα 2.8 - Αλλαγή στην παγκόσμια στάθμη της θάλασσας από το 1900 [8]

## 2.3 Πόλεμος, πανδημία και κλιματική αλλαγή

Ο πόλεμος στην Ουκρανία αποτελεί σημείο καμπής στην παγκόσμια πολιτική από το τέλος του Ψυχρού Πολέμου στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Οι πόλεμοι ακολουθούνται συνήθως από ένα καθεστώς ειρήνης για να διατηρηθεί το status quo μεταξύ νικητών και ηττημένων. Αλλά, είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς ποιος θα θεωρηθεί νικητής αυτού του πολέμου μετά τις παγκόσμιες επιπτώσεις του στα τρόφιμα, το εμπόριο, την ενέργεια, τη βιοποικιλότητα και τη ρύπανση, ειδικά εν μέσω μιας έκτακτης ανάγκης για το κλίμα, και μια συνεχιζόμενη πανδημία. Επιπτώσεις που, δυστυχώς, πρέπει να προστεθούν στην αντιστάθμιση των επιτευγμάτων της βιωσιμότητας τα τελευταία 30 χρόνια [9].

Ο πόλεμος συνεπάγεται επίσης αναπόφευκτα με την καταστροφή, με αποτέλεσμα εκτεταμένες τοξικές ουσίες, νεκρή άγρια ζωή και μια ατμόσφαιρα πνιγμένη από αναθυμιάσεις. Τρία βασικά στοιχεία για το πώς ο πόλεμος επηρεάζει την κλιματική κρίση και το περιβάλλον:

- Οι στρατιωτικοί καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων, γεγονός που συμβάλλει άμεσα στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Αν ο στρατός των ΗΠΑ ήταν μια χώρα, για παράδειγμα, θα είχε την 47η υψηλότερη συνολική εκπομπή ρύπων παγκοσμίως.
- Οι βομβαρδισμοί και άλλες μέθοδοι σύγχρονου πολέμου βλάπτουν άμεσα την άγρια ζωή και τη βιοποικιλότητα. Η παράπλευρη ζημιά της σύγκρουσης μπορεί να σκοτώσει έως και το 90% των μεγάλων ζώων σε μια περιοχή.
- Η ρύπανση από τον πόλεμο μολύνει τα υδάτινα σώματα, το έδαφος και τον αέρα, καθιστώντας περιοχές μη ασφαλείς για τους ανθρώπους.

Οι στρατοί του κόσμου αντιπροσωπεύουν περίπου το 6% του συνόλου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και πολλές κυβερνήσεις δεν αναφέρουν καν στοιχεία για τις εκπομπές από στρατιωτικές δραστηριότητες. Ο πόλεμος σε αστικές περιοχές, όπως αυτό που συμβαίνει στην Ουκρανία αυτή τη στιγμή, προκαλεί εκτεταμένες ζημιές σε κτίρια, δρόμους και υποδομές, που μπορεί να γεμίσουν τον αέρα με συντρίμια και μπάζα, καθιστώντας πολύ πιο δύσκολη την αναπνοή. Η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία έχει επίσης επιθέσεις σε εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται επικίνδυνες χημικές ουσίες όπως η αμμωνία, η οποία έχει απειλήσει την ασφάλεια των γειτονικών κοινοτήτων [10].

Όσο αφορά την πανδημία, η υγειονομική κρίση που προκάλεσε ο COVID-19 είναι αναμφίβολα μία από τις χειρότερες του τελευταίου αιώνα και δυστυχώς, ακόμη εξελίσσεται. Εξίσου απότομος και ισχυρός είναι ο οικονομικός της αντίκτυπος. Όλα τα μέχρι τώρα δεδομένα δείχνουν ότι η οικονομική κρίση είναι βαθύτερη και η εξέλιξη της πολύ πιο γρήγορη από οποιαδήποτε προηγούμενη τον τελευταίο αιώνα. Ενώ σε προηγούμενες κρίσεις χρειάστηκαν τρίμηνα, τώρα σε εβδομάδες είχαμε ρεκόρ μείωσης της οικονομικής

δραστηριότητας και αύξησης της ανεργίας. Η κρίση του COVID-19 συνδέεται με την κλιματική κρίση και στα δύο σκέλη της. Όσον αφορά το υγειονομικό σκέλος, σειρά επιστημονικών μελετών δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή σε συνδυασμό με άλλες περιβαλλοντικές διαταραχές θα διευκολύνουν την ανάπτυξη περισσότερων, εντελώς νέων, λοιμωδών στελεχών όπως ο COVID-19. Επίσης, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αναφέρει πως τα μοντέλα μετάδοσης λοιμωδών νοσημάτων θα μεταβληθούν ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής. Όσον αφορά το οικονομικό σκέλος, παρά το μέγεθός της, η παρούσα κρίση θα φαντάζει σχετικά μικρή στο μέλλον σε περίπτωση που αφεθεί να εξελιχθεί η κλιματική κρίση. Πολλές μελέτες την τελευταία εικοσαετία έχουν αναδείξει τα δυνητικά οικονομικά κόστη της κλιματικής αλλαγής, τα οποία προς το παρόν εμφανίζονται με όχι τόσο έντονη εξέλιξη και διάσπαρτα στον πλανήτη, αλλά σωρευτικά είναι ήδη τεράστια. Ενδεικτικό είναι ότι την τελευταία δεκαετία ακόμη και οι Κεντρικές Τράπεζες αναγνωρίζουν τον συστημικό κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια οικονομία.

Επομένως, είναι απαραίτητη η ανάληψη άμεσων δράσεων για την μετάβαση σε μια οικονομία μηδενικού άνθρακα ώστε να περιοριστούν τα κόστη και οι ζημιές σε περιβαλλοντικό, υγειονομικό και οικονομικό επίπεδο. Η μετάβαση απαιτεί επενδύσεις οι οποίες είναι αδύνατον να αναληφθούν από τον ιδιωτικό τομέα χωρίς σημαντικές κρατικές παρεμβάσεις. Έως τώρα, το ύψος αυτών των παρεμβάσεων φάνταζε αποτρεπτικό, αλλά οι πρόσφατες δράσεις για τον περιορισμό της οικονομικής κρίσης του COVID-19, αποδεικνύουν ότι η χρηματοδότηση της ταχείας μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλού άνθρακα είναι απολύτως εφικτή.

Ιδιαίτερα στην περίπτωση της Ελλάδας, η οποία δεν έχει δεσμευτεί σε υψηλού άνθρακα επενδύσεις καθώς δεν έχει αναπτύξει βαριά βιομηχανία στο βαθμό άλλων χωρών, η ευκαιρία για να χαραχθεί μια μακρόχρονη, «πράσινη» αναπτυξιακή προοπτική είναι μοναδική. Είναι μοναδική καθώς η χώρα μας προέρχεται από την παρατεταμένη κρίση της προηγούμενης δεκαετίας και θα έχει στην διάθεσή της, τη σημαντική βοήθεια από το ταμείο ανάκαμψης και την ΕΚΤ. Αυτοί οι πόροι είναι ικανοί να χρηματοδοτήσουν μια οικονομική ανάπτυξη με «πράσινο» πρόσημο. Ακολουθούν μερικά ενδεικτικά παραδείγματα συγκεκριμένων δράσεων που περιλαμβάνουν και παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης, όπως:

- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην βιομηχανία (αντικατάσταση του εξοπλισμού και η αναβάθμιση των τεχνολογιών συλλογής αποβλήτων-θερμότητας, κ.λπ.)
- Παρεμβάσεις ενεργειακής απόδοσης στο σύνολο του κτιριακού αποθέματος
- Εγκατάσταση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, ιδιαίτερα σε εμπορικές ιδιοκτησίες
- Επενδύσεις σε αποθήκευση ενέργειας

- Δημιουργία δικτύων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV)
- Βελτίωση του σιδηροδρομικού δικτύου και αστικών συγκοινωνιών (με ηλεκτρικά λεωφορεία)
- Επενδύσεις στον γεωργικό τομέα για μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων, την αύξηση της παραγωγής ολοκληρωμένης διαχείρισης και βιολογικών προϊόντων
- Διεύρυνση των ποδηλατοδρόμων και διευκόλυνση της χρήσης ποδηλάτων
- Φορολογικά και άλλα κίνητρα στήριξης επιχειρήσεων και εργαζόμενων στην επιδιόρθωση και επαναχρησιμοποίηση αγαθών
- Άμεση ενίσχυση και παροχή φορολογικών κινήτρων για την προώθηση στον αγροτικό τομέα πρακτικών που μειώνουν την κατανάλωση και την απώλεια νερού [11]

## 2.4 Πιθανά σενάρια κλιματικού μέλλοντος

---

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) παρουσίασε τη νέα της αξιολόγηση το 2021 για την παγκόσμια κλιματική επιστήμη στην οποία περιγράφει τα πέντε πιθανά σενάρια για το μέλλον. Τα σενάρια αυτά είναι το αποτέλεσμα σύνθετων υπολογισμών που εξαρτώνται από το πόσο γρήγορα οι άνθρωποι θα περιορίσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα σενάρια αναλύονται στις επόμενες παραγράφους και παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες(Εικόνα 2.9,Εικόνα 2.10).

**Σενάριο 1 - SSP1-1.9:** Το πιο αισιόδοξο σενάριο της IPCC, περιγράφει έναν κόσμο όπου οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) θα μειωθούν στο καθαρό μηδέν γύρω στο 2050. Οι κοινωνίες θα στραφούν σε πιο βιώσιμες πρακτικές, με την εστίαση να μετατοπίζεται από την οικονομική ανάπτυξη στη συνολική ευημερία. Οι επενδύσεις στην παιδεία και την υγεία θα αυξηθούν. Η ανισότητα θα μειωθεί. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες θα είναι πιο συχνές, αλλά ο κόσμος θα έχει αποφύγει τις χειρότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αυτό το πρώτο σενάριο είναι το μόνο που ανταποκρίνεται στο στόχο της Συμφωνίας των Παρισίων για διατήρηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε περίπου 1,5 βαθμούς Κελσίου πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα θερμοκρασιών, με την αύξηση της θερμότητας να φτάνει τους 1,5 βαθμούς Κελσίου, αλλά στη συνέχεια να μειώνεται και να σταθεροποιείται γύρω στους 1,4 βαθμούς Κελσίου μέχρι το τέλος του αιώνα.

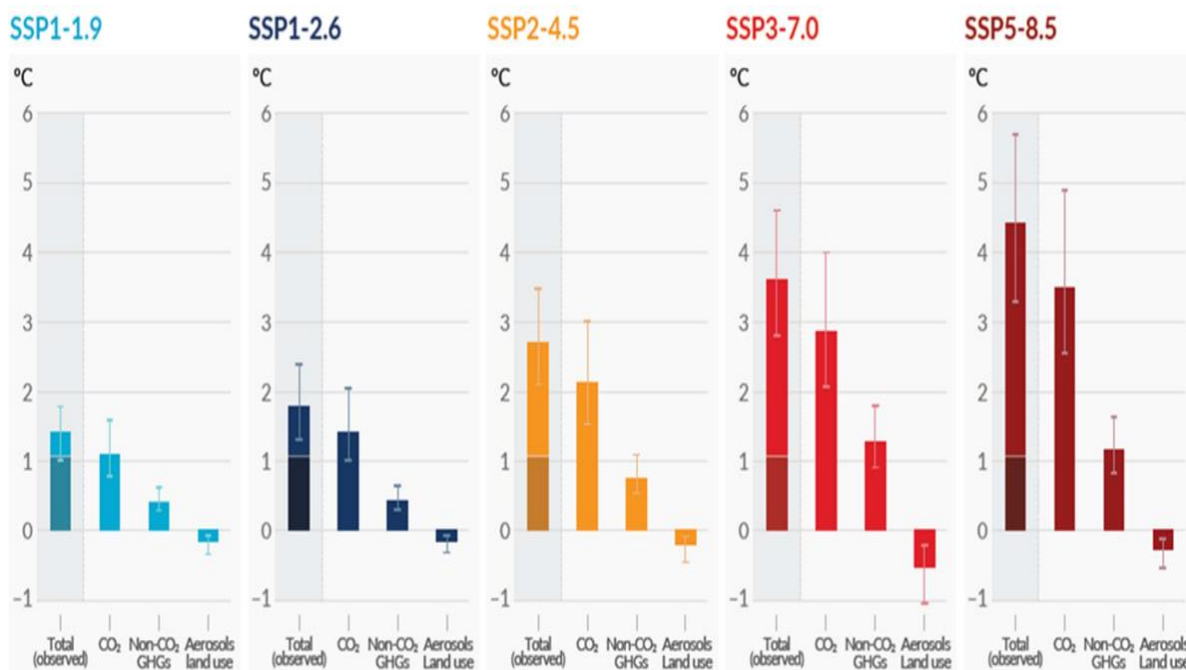
**Σενάριο 2 - SSP1-2.6:** Στο επόμενο καλύτερο σενάριο, οι παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub> θα μειωθούν αρκετά, αλλά όχι τόσο γρήγορα, φθάνοντας στο μηδέν μετά το 2050. Οι κοινωνικοοικονομικές μετατοπίσεις προς τη βιωσιμότητα θα είναι ίδιες με του πρώτου σεναρίου, αλλά οι θερμοκρασίες θα σταθεροποιηθούν γύρω στους 1,8 βαθμούς Κελσίου πιο πάνω μέχρι το τέλος του αιώνα.



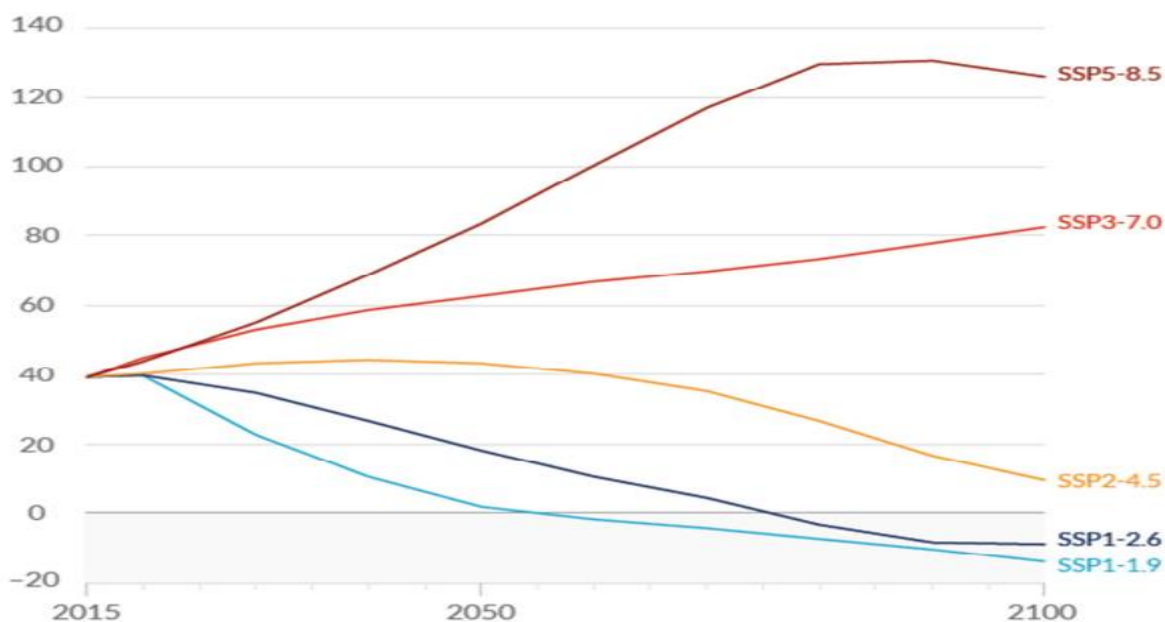
**Σενάριο 3 - SSP2-4.5:** Αυτό είναι ένα «μέτριο/ενδιάμεσο» σενάριο. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> θα κυμαίνονται γύρω από τα σημερινά επίπεδα πριν αρχίσουν να μειώνονται στα μέσα του αιώνα, αλλά δεν θα φτάνουν στο μηδέν έως το 2100. Οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες θα ακολουθήσουν τις ιστορικές τους τάσεις, χωρίς αξιοσημείωτες μεταβολές. Η πρόοδος προς τη βιωσιμότητα θα είναι αργή, με την ανάπτυξη και το εισόδημα να αυξάνονται άνισα. Σε αυτό το σενάριο, οι θερμοκρασίες θα έχουν αυξηθεί κατά 2,7C μέχρι το τέλος του αιώνα.

**Σενάριο 4 - SSP3-7.0:** Σε αυτή την περίπτωση, οι εκπομπές και οι θερμοκρασίες θα αυξάνονται σταθερά και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> σχεδόν θα διπλασιαστούν από τα σημερινά επίπεδα έως το 2100. Οι χώρες θα γίνουν πιο ανταγωνιστικές μεταξύ τους, εστιάζοντας την προσοχή τους στην εθνική ασφάλεια και στη διασφάλιση των δικών τους προμηθειών τροφίμων. Μέχρι το τέλος του αιώνα, οι μέσες θερμοκρασίες θα έχουν αυξηθεί κατά 3,6 βαθμούς Κελσίου.

**Σενάριο 5 - SSP5-8.5:** Αυτό είναι ένα μέλλον που πρέπει να αποφευχθεί με κάθε κόστος. Τα τρέχοντα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> θα έχουν διπλασιαστεί έως το 2050. Η παγκόσμια οικονομία θα αναπτύσσεται γρήγορα, αλλά αυτή η αύξηση θα τροφοδοτείται από την εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων και τρόπους ζωής που απαιτούν ενέργεια. Μέχρι το 2100, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία θα είναι κατά 4,4 βαθμούς Κελσίου υψηλότερη [12].



**Εικόνα 2.9 - Συμβολή στην μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του πλανήτη από διαφορετικές εκπομπές με κυρίαρχο ρόλο το CO<sub>2</sub> [12]**



Εικόνα 2.10 - Μελλοντική μεταβολή των εκπομπών του CO2 [12]

## 2.5 Ενεργειακή φτώχεια

Το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας, ή αλλιώς ενεργειακής ένδειας, και η επίλυση των προβλημάτων τα οποία επιφέρει στη σύγχρονη κοινωνία, αποτελούν παγκόσμια πρόκληση. Η ενεργειακή φτώχεια είναι πιεστικό πρόβλημα το οποίο επηρεάζεται από την πολύπλοκη αλληλεπίδραση της αύξησης των τιμών της ενέργειας, την αδυναμία των ανθρώπων να εξοφλήσουν τους λογαριασμούς τους, τη στασιμότητα ή τη μείωση των εισοδημάτων, τα υψηλά επίπεδα της ανεργίας και τον χαμηλό ρυθμό αναβάθμισης της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια κατοικιών με τεκμηριωμένες αρνητικές κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. Ο δρόμος προς την αντιμετώπισή του φαινομένου φαίνεται να είναι ακόμα μακρύς.

Η ενεργειακή φτώχεια άρχισε να συζητείται τα τέλη της δεκαετίας του 1970 στην Ευρώπη από τους Isherwood και Hancock, οι οποίοι είχαν προτείνει ήδη έναν πρώτο ορισμό και έναν δείκτη παρακολούθησης του φαινομένου. Ωστόσο, στην Ευρωπαϊκή Ένωση εισήλθε για πρώτη φορά στο λεξιλόγιο των θεσμικών οργάνων κατά τη διαδικασία της προετοιμασίας του «Τρίτου Ενεργειακού Πακέτου». Η αυξανόμενη σπουδαιότητα του ζητήματος της ενεργειακής φτώχειας και των επιπτώσεων της εντός της πολιτικής σφαίρας της ΕΕ, αποδεικνύεται με τη γνωμοδότηση με θέμα Ενεργειακή φτώχεια στο πλαίσιο της απελευθέρωσης και της οικονομικής κρίσης, που εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή (ΕΟΚΕ) στις 14 Ιουλίου του 2010, η οποία κατέληξε στο

συμπέρασμα ότι η «ενεργειακή φτώχεια επηρεάζει τον τομέα της ενέργειας» καθώς επίσης επηρεάζει και «την υγεία, τις συνθήκες των καταναλωτών και τη στέγαση».

Παρόλα αυτά, σαράντα χρόνια μετά, δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός του φαινομένου σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Εικόνα 2.11), εμποδίζοντας, έτσι, την ακριβή απογραφή των νοικοκυριών και των πολιτών που ζουν σε συνθήκες ενεργειακής φτώχειας ή βρίσκονται σε κίνδυνο αυτής, δυσχεραίνοντας παράλληλα τη χάραξη αποτελεσματικών στρατηγικών αντιμετώπισής της.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, ενεργειακή φτώχεια σημαίνει, συνήθως, έλλειψη πρόσβασης σε βασικές υπηρεσίες ενέργειας. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency – IEA) εκτιμά ότι περισσότεροι από 1,3 δισεκατομμύρια άνθρωποι εξακολουθούν να μην έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια, κατά συνέπεια να μην έχουν πρόσβαση σε παροχές τις οποίες ο αναπτυγμένος κόσμος θεωρεί δεδομένες. Άλλη μια σημαντική διάσταση στο πρόβλημα αυτό, σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, είναι πως 1 δισεκατομμύριο πληθυσμού έχει μεν πρόσβαση σε υπηρεσίες και παροχές ενέργειας, η πρόσβαση, όμως, αυτή είναι αναξιόπιστη. Το γεγονός ότι περίπου το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ηλεκτρισμό, καταδεικνύει το μέγεθος του προβλήματος της ενεργειακής φτώχειας στον πλανήτη.

Σε ό, τι αφορά τις ανεπτυγμένες χώρες, μεταξύ αυτών και τα κράτη-μέλη της ΕΕ, η έννοια του όρου ενεργειακή φτώχεια ή ενεργειακή ένδεια είναι τελείως διαφορετική καθώς, κυρίως, σημαίνει μόνιμη ή και προσωρινή αδυναμία πρόσβασης σε υπηρεσίες και παροχές ενέργειας. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο για την Ενεργειακή Φτώχεια, εκτιμάται ότι περισσότερα από 50 εκατομμύρια νοικοκυριά στην ΕΕ, δηλαδή το 10% του πληθυσμού, έρχονται αντιμέτωπα με το φαινόμενο και τις επιπτώσεις της ενεργειακής φτώχειας.

Ειδικότερα, μελέτη του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Απόδοσης Κτιρίων (Buildings Performance Institute Europe – BPIE), κατατάσσει την Ελλάδα, μαζί με τη Βουλγαρία και την Κύπρο, στις χώρες στις οποίες η ενεργειακή φτώχεια αποτελεί μείζον πρόβλημα. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, στη χώρα μας το 70% αδυνατεί να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου του σε επαρκή επίπεδα. Το 50,7% καθυστερεί στην αποπληρωμή οφειλών λογαριασμών ενέργειας και το 29,5% ζει σε κατοικίες με ακατάλληλες συνθήκες διαβίωσης. Τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά υψηλότερα από τους μέσους όρους της Ευρώπης οι οποίοι είναι 10,8%, 10% και 15,1%, αντίστοιχα. Επομένως, όπως παρατηρείται, σε κάποιες περιπτώσεις, η έννοια της ενεργειακής φτώχειας, ενώ δεν είναι ταυτόσημη της εισοδηματικής, συνδέεται συχνά με αυτή.

<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b> (2010 και 2013)	Ιρλανδία, Σκωτία και Ουαλία: Ένα νοικοκυριό θεωρείται ενεργειακά φτωχό όταν χρειάζεται να δαπανήσει περισσότερο από το 10% του οικογενειακού εισοδήματός του στα καύσιμα για να διατηρήσει ένα επαρκές επίπεδο ζεστασιάς. <sup>24</sup>
<b>Γαλλία</b> (2009)	Αγγλία: Ένα νοικοκυριό θεωρείται ενεργειακά φτωχό εάν η δαπάνη για τη θέρμανση της κατοικίας τους υπερβαίνει τη μέση εθνική δαπάνη, κάτι που οδηγεί στην κατάταξή του στα φτωχά νοικοκυριά. <sup>25</sup>
<b>Κύπρος</b> (2013)	«Στην έννοια της ενεργειακής φτώχειας εμπίπτουν οι λήπτες δημόσιου βοηθήματος από τις Υπηρεσίες Κοινωνικής Ευημερίας του Υπουργείου Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων οι οποίοι είναι Κύπριοι πολίτες ή πολίτες Κράτους Μέλους ή Κράτους του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου ή όσοι έχουν δικαιώματα με τους πιο πάνω, οι οποίοι διαμένουν νόμιμα στις περιοχές που ελέγχονται από την Κυπριακή Δημοκρατία» <sup>26</sup> .
<b>Σλοβακία</b> (2015)	Ενεργειακή φτώχεια είναι η κατάσταση κατά την οποία οι μέσες μηνιαίες δαπάνες κατανάλωσης ενέργειας αντιπροσωπεύουν σημαντικό μερίδιο του μέσου όρου του μηνιαίου εισοδήματος ενός νοικοκυριού.
<b>Ιρλανδία</b> (2016)	Ένα νοικοκυριό το οποίο δαπανά περισσότερο από το 10% του εισοδήματός του για υπηρεσίες ενέργειας θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση ενεργειακής φτώχειας.

**Εικόνα 2.11 - Επίσημοι ορισμοί για την ενεργειακή φτώχεια στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης [13]**

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι ο καθορισμός του φαινομένου της ενεργειακής φτώχειας αποτελεί σαφώς σημαντικό βήμα για την αντιμετώπισή του. Γνωρίζοντας το υπόβαθρο του φαινομένου και τις αιτίες που το προκαλούν, μπορούν να σχεδιαστούν με σαφήνεια οι πολιτικές, οι δράσεις και τα χρηματοδοτικά εργαλεία τα οποία θα ανακουφίσουν τα πληγέντα ή σε κίνδυνο ενεργειακής φτώχειας νοικοκυριά [13].

### 3. Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας

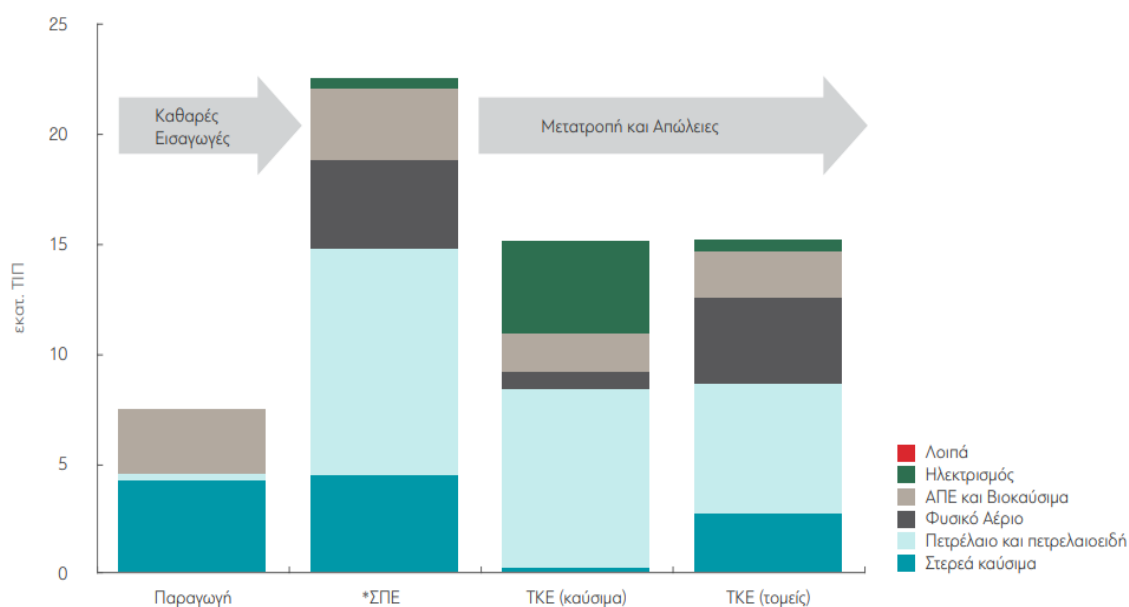
#### 3.1 Η παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Κάθε ενεργειακό σύστημα, με την έννοια του συνόλου των διευθετήσεων με τις οποίες αξιοποιούνται φυσικοί πόροι για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, έχει τρεις θεμελιώδεις συνιστώσες: τους φυσικούς (ανανεώσιμους ή μη ανανεώσιμους) ενεργειακούς πόρους, την τεχνολογία μετατροπής τους σε διαθέσιμη ενέργεια και μια ποικιλία ειδικών χρήσεων των διαθέσιμων ροών ενέργειας. Τα ενεργειακά συστήματα χαρακτηρίζονται από την αξιοποίηση πλήθους φυσικών πηγών, οι οποίες μετατρέπονται σε διαθέσιμη ενέργεια με πολλές και συνεχώς πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες, για να καλύψουν τις ιδιαίτερα απαιτητικές ενεργειακές ανάγκες των σύγχρονων κοινωνιών. Η ενέργεια, σε όλες τις διαστάσεις της (φυσικοί πόροι, τεχνολογίες μετατροπής, μεταφοράς και διανομής, τρόποι αξιοποίησης, ενεργειακές αγορές και άλλα θεσμικά συστήματα κατανομής των ενεργειακών πόρων), έχει ζωτικό ρόλο για την εξασφάλιση των υλικών αγαθών και υπηρεσιών (τρόφιμα, θέρμανση, μεταφορές κλπ.), που εντέλει καθορίζουν το βιοτικό επίπεδο των πολιτών.

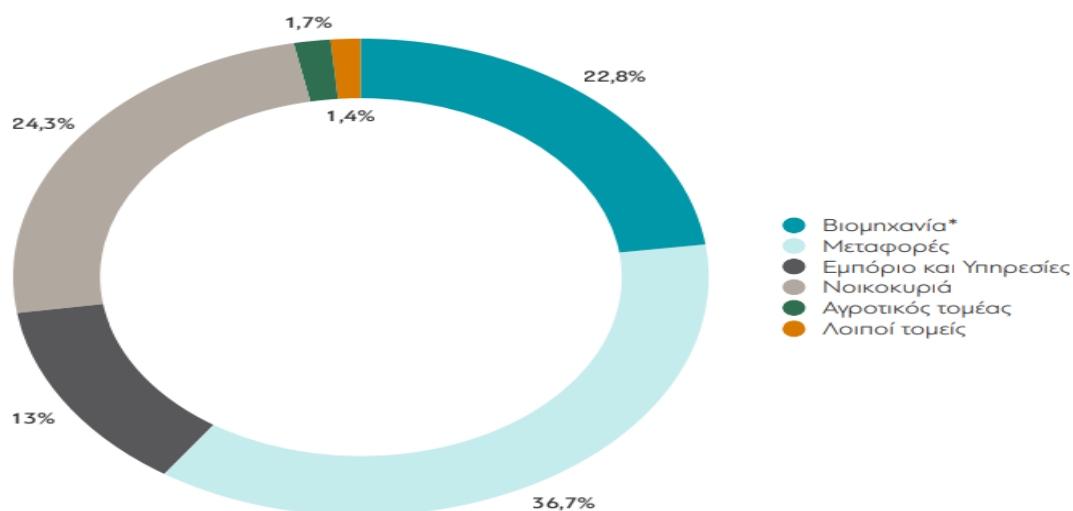
Η Ελλάδα δεν έχει μείνει ανεπηρέαστη από τις παγκόσμιες τάσεις στον τομέα Ενέργειας. Συχνά ωθούμενη από στόχους και πολιτικές που προσδιορίζονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, χωρίς πάντα να δείχνει ιδιαίτερη προθυμία ή ετοιμότητα, η χώρα προχώρησε σε μεταρρυθμίσεις και μέτρα προς την κατεύθυνση εκσυγχρονισμού και βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του τομέα ενέργειας. Ενδεικτικά, ιδιωτικές επιχειρήσεις δραστηριοποιήθηκαν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στην προμήθεια ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις, ενώ ανεξάρτητες εταιρείες ανέλαβαν τη διαχείριση του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Δόθηκαν κίνητρα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ και επιτεύχθηκε πρόοδος ως προς τους σχετικούς εθνικούς στόχους. Μάλιστα, η αλλαγή του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής ήταν δραστική παρά τις δύσκολες χρηματοδοτικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης. Η ενεργειακή αποδοτικότητα βελτιώθηκε, χωρίς, όμως, να καταγράφεται μια σαφής τάση «αποσύνδεσης» του μεγέθους της κατανάλωσης ενέργειας από το επίπεδο της οικονομικής δραστηριότητας.

Οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας καλύπτονται κυρίως από εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας (πετρέλαιο και φυσικό αέριο), και σε μικρότερο βαθμό από εγχώρια παραγωγή στερεών καυσίμων και ΑΠΕ. Η συμμετοχή της εγχώριας άντλησης αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι πολύ μικρή. Το 2018, η συνολική προσφορά πρωτογενούς ενέργειας έφτασε τα 22,56 εκατ. τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) και μετά από τη μετατροπή της σε ενεργειακά προϊόντα προς διάθεση για τελική κατανάλωση σε 15,19 εκατ. ΤΙΠ. Τα πετρελαιοειδή (8,09 εκατ. ΤΙΠ) και η ηλεκτρική ενέργεια (4,25 εκατ. ΤΙΠ) καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών για τελική κατανάλωση ενέργειας, ενώ μικρότερη

συμμετοχή έχουν οι ΑΠΕ και τα βιοκαύσιμα με 1,68 εκατ. ΤΙΠ και το φυσικό αέριο με 0,8 εκατ. ΤΙΠ. Οι μεταφορές είναι ο τομέας με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, ενώ ακολουθεί ο οικιακός τομέας, η βιομηχανία (περιλαμβάνει και της μη ενεργειακές χρήσεις) και οι υπηρεσίες (Εικόνα 3.1,Εικόνα 3.2) [14].



Εικόνα 3.1 - Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, 2018 [14]

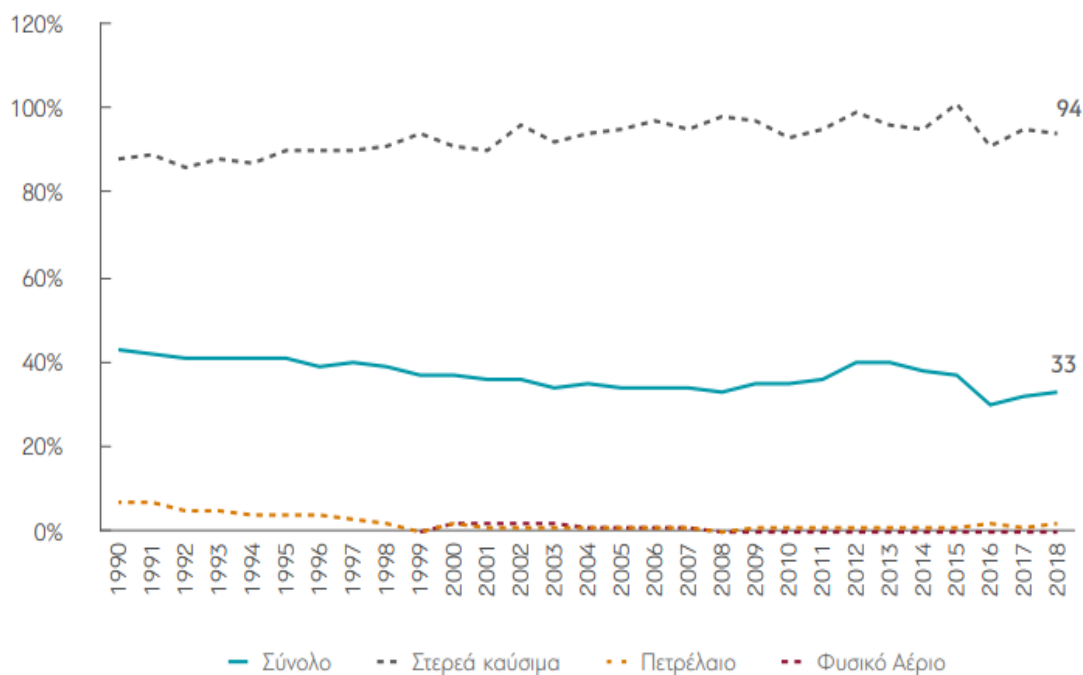


Εικόνα 3.2 - Κατανομή τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα, 2018 [14]

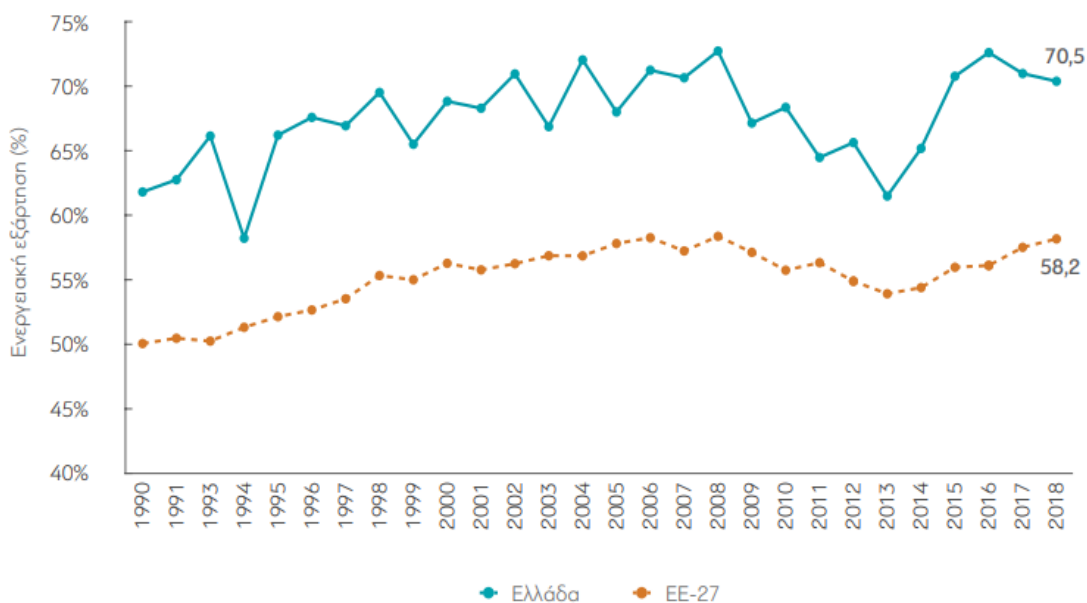
Τα στοιχεία αυτά αναδεικνύουν, σε ένα αρχικό επίπεδο, την υψηλή εξάρτηση της χώρας από εισαγωγές ενέργειας, καθώς και το γεγονός ότι η Ελλάδα παραμένει μια οικονομία που στηρίζεται στα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), με ό,τι αυτό συνεπάγεται για το μέγεθος των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Η συνολική προσφορά πρωτογενούς ενέργειας μειώθηκε κατά 25,5% από το 2008 μέχρι το 2018 (από 30,28 σε 22,56 εκατ. ΤΙΠ), επηρεαζόμενη κυρίως από την ύφεση της ελληνικής οικονομίας. Το πετρέλαιο παραμένει η κυριότερη πηγή ενέργειας, με μερίδιο 45% το 2018, παρά τη σημαντική πτώση κατά 37,3%, που σημείωσε από το 2008 (από 16,21 σε 10,17 εκατ. ΤΙΠ). Τα στερεά καύσιμα (κυρίως λιγνίτης), τα οποία χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή, ήταν η δεύτερη κυριότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 20,2% της συνολικής προσφοράς πρωτογενούς ενέργειας το 2018. Η προσφορά στερεών καυσίμων είχε περιοριστεί το 2018 κατά 45,1% έναντι του 2008 (από 8,32 σε 4,56 εκατ. ΤΙΠ), εξαιτίας της μείωσης της παραγωγής των λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Αντίθετα, σημαντική αύξηση κατά 17,4% σημείωσε την περίοδο 2008-2018 το φυσικό αέριο (από 3,51 σε 4,12 εκατ. ΤΙΠ), το οποίο έκανε την είσοδό του στο εγχώριο ενεργειακό ισοζύγιο μετά από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 και το 2018 αντιπροσώπευε το 18,3% της συνολικής προσφοράς πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα. Οι ΑΠΕ και τα βιοκαύσιμα σημείωσαν εντυπωσιακή ανάπτυξη κατά 78,9% από το 2008 μέχρι το 2018 (από 1,76 σε 3,14 εκατ. ΤΙΠ) και αύξησαν σημαντικά το μερίδιό τους στη συνολική προσφορά ενέργειας, από 5,8% το 2008 σε 13,9% το 2018, ενώ οι καθαρές εισαγωγές ηλεκτρισμού, οι οποίες αποτελούν μικρό τμήμα της εγχώριας προσφοράς ενέργειας (2,4% το 2018), αύξησαν αρκετά τη συμμετοχή τους μετά το 2013.

Η Ελλάδα παρουσιάζει σχεδόν πλήρη αυτάρκεια στην κατανάλωση στερεών καυσίμων λόγω της εγχώριας εξόρυξης λιγνίτη (Εικόνα 3.3). Αντίθετα, η πολύ μικρή παραγωγή αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου καθιστά τον βαθμό αυτάρκειας στις συγκεκριμένες πηγές ενέργειας σχεδόν μηδενικό. Συνολικά, η εγχώρια παραγωγή κάλυψε το 2018 το ένα τρίτο της συνολικής προσφοράς πρωτογενούς ενέργειας στη χώρα. Ο χαμηλός συνολικός βαθμός αυτάρκειας σε πρωτογενή ενέργεια υποδηλώνει την υψηλή εξάρτηση της χώρας από εισαγωγές ενέργειας. Πράγματι, το 2018 ο δείκτης εξάρτησης από εισαγωγές ενέργειας στην Ελλάδα ήταν 70,5% έναντι 58,2% στην ΕΕ-27 υποδεικνύοντας την υψηλή ενεργειακή εξάρτηση της χώρας σε σχέση με τα περισσότερα από τα άλλα κράτη-μέλη της ΕΕ (Εικόνα 3.4) [14].



Εικόνα 3.3 - Δείκτης αυτάρκειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα [14]

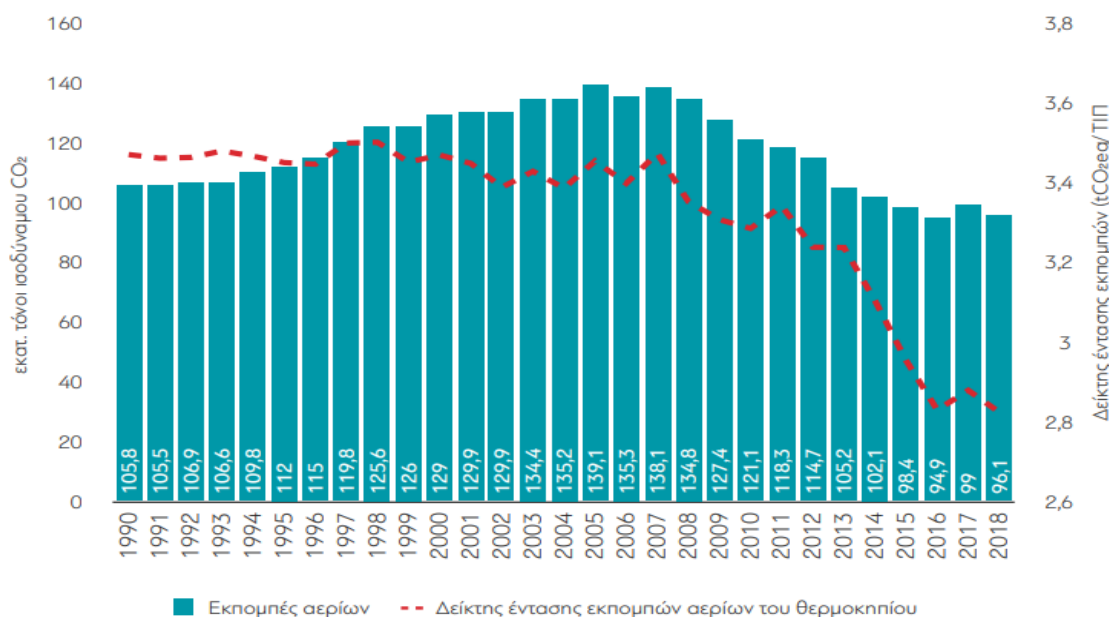


Εικόνα 3.4 - Βαθμός ενεργειακής εξάρτησης της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης [14]



### 3.2 Εξέλιξη εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

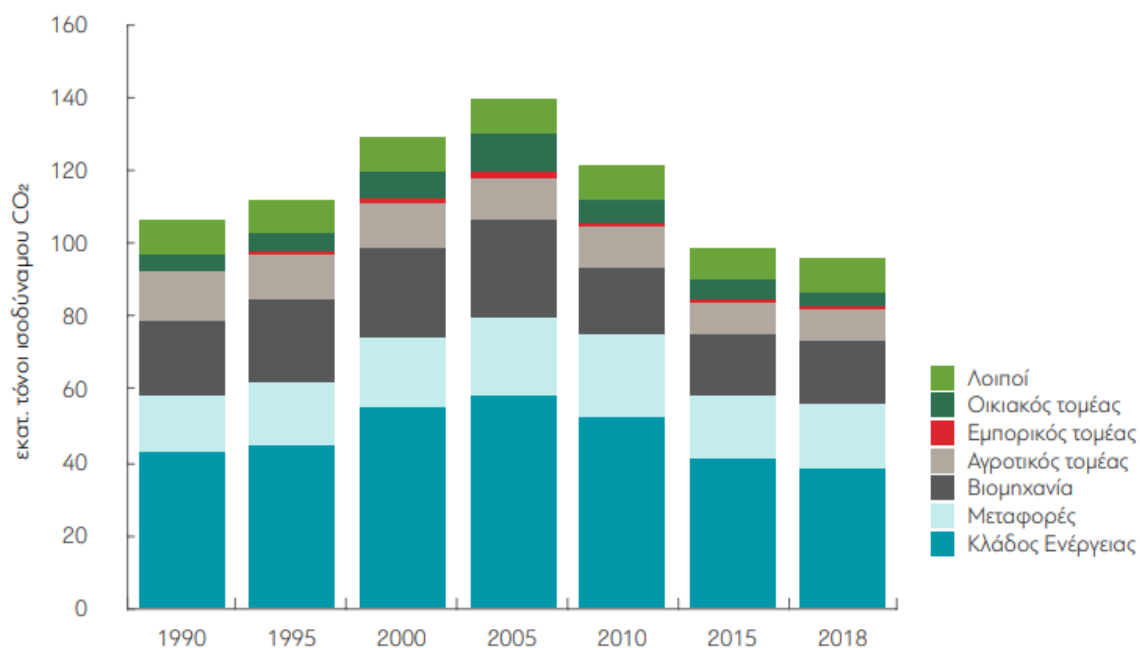
Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα διαμορφώθηκαν το 2018 σε 96,1 εκατ. τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), καταγράφοντας μείωση κατά 31% σε σχέση με το 2005, ενώ σε απόλυτα μεγέθη ήταν χαμηλότερα κατά 9% από το επίπεδο του 1990 (Εικόνα 3.5). Η μεγάλη εξάρτηση του ενεργειακού τομέα από τα πετρελαϊκά προϊόντα και τον λιγνίτη αποτυπώνεται στις υψηλές τιμές του δείκτη έντασης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (2,8 ισοδύναμοι τόνοι CO<sub>2</sub> ανά ΤΙΠ στην Ελλάδα, έναντι 2 στην ΕΕ-27), ο οποίος, ωστόσο, ακολούθησε πτωτική πορεία μετά το 2007. Σε αυτό έχει συντελέσει η αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας και, σε μικρότερο βαθμό, τα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.



**Εικόνα 3.5 - Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και δείκτης έντασης εκπομπών στην Ελλάδα, 1990-2018 [14]**

Το 2018 οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (σε ισοδύναμη ποσότητα CO<sub>2</sub>) του ενεργειακού τομέα ανήλθαν σε 38,3 εκατ. τόνους, αντιπροσωπεύοντας το 40% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, μερίδιο που παραμένει σχετικά σταθερό από το 1990 και έπειτα. Ακολουθεί ο βιομηχανικός τομέας με εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που ανήλθαν σε 17,51 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> το 2018. Ο τομέας των μεταφορών κατέχει το τρίτο μεγαλύτερο μερίδιο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με εκπομπές που ανήλθαν σε 17,45 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> το 2018. Οι οδικές μεταφορές, στις οποίες αντιστοιχεί διαχρονικά περίπου το 80-85% των εκπομπών του τομέα μεταφορών,

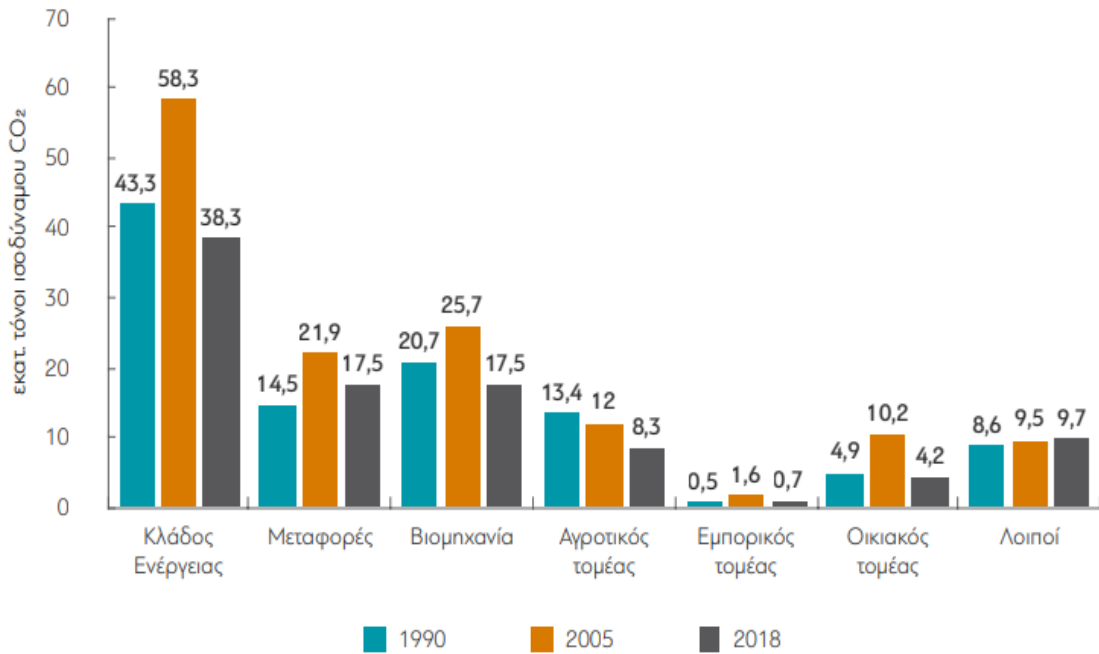
αποτελούν την κυριότερη πηγή εκπομπών του τομέα. Μικρότερη συμμετοχή στις εκπομπές αερίων εμφανίζει ο οικιακός τομέας, με 4,2 εκατ. τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> το 2018, αντιπροσωπεύοντας το 4,4% των συνολικών εκπομπών (Εικόνα 3.6).



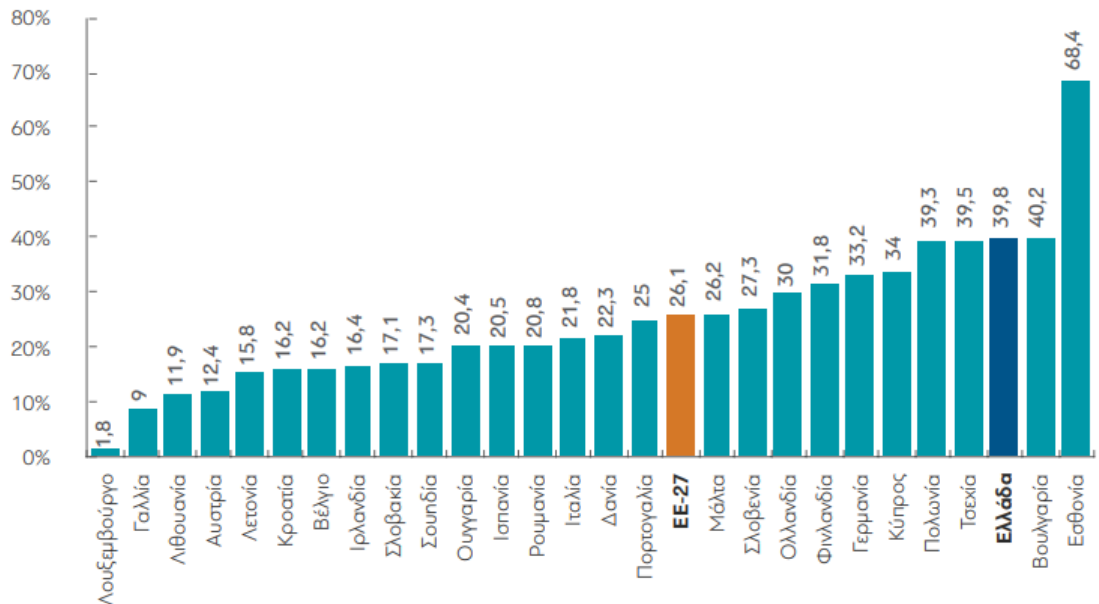
**Εικόνα 3.6 - Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα ανά τομέα, 1990-2018 [14]**

Η υποχώρηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον ενεργειακό τομέα υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική, καθώς το 2018 οι εκπομπές ήταν κατά 34% χαμηλότερες σε σχέση με το 2005. Το γεγονός αυτό αντανακλά την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή αντικατάσταση του λιγνίτη που αποτέλεσε το κύριο ορυκτό καύσιμο τις προηγούμενες δεκαετίες. Οι συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου ελαττώθηκαν και στους υπόλοιπους τομείς, κυρίως στον οικιακό τομέα (μείον 59%), ενώ στη βιομηχανία και στις μεταφορές σημειώθηκε μείωση κατά 32% και 20% αντιστοίχως (Εικόνα 3.7).

Σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη-μέλη της ΕΕ, το μερίδιο του ενεργειακού τομέα επί του συνόλου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα το 2018 ήταν το τρίτο υψηλότερο, έπειτα από την Εσθονία και τη Βουλγαρία (Εικόνα 3.8). Το γεγονός αυτό αναδεικνύει την κρισιμότητα του τομέα Ενέργειας στην Ελλάδα σε σχέση με την προσπάθεια περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και τη μακροπρόθεσμη επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας.



Εικόνα 3.7 - Εξέλιξη εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα στην Ελλάδα [14]



Εικόνα 3.8 - Μεριδίο του κλάδου Ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ-27, 2018 [14]

Το σύνολο των δεικτών ενεργειακής κατανάλωσης υποδηλώνει ότι η Ελλάδα υστερεί ως προς την ενεργειακή αποδοτικότητα σε σύγκριση με τον μέσο όρο στην ΕΕ-27 στους περισσότερους τομείς. Υπάρχουν, επομένως, σημαντικά περιθώρια βελτίωσης, τα οποία συνεπάγονται οφέλη σε διάφορες διαστάσεις (οικονομία, κοινωνία, περιβάλλον και κλίμα). Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, η οποία υποστηρίζεται και προωθείται από την ενεργειακή πολιτική, απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, οι οποίες δημιουργούν θέσεις εργασίας και προστιθέμενη αξία στην οικονομία. Παράλληλα, οδηγεί σε περιορισμό των δαπανών των επιχειρήσεων και των νοικοκυριών για ενέργεια, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα και το διαθέσιμο εισόδημα τους αντίστοιχα. Τα οφέλη είναι σημαντικά και για την ενεργειακή ασφάλεια των δικτύων, τα οποία θα είναι σε θέση να εξυπηρετούν τη ζήτηση πιο εύκολα.

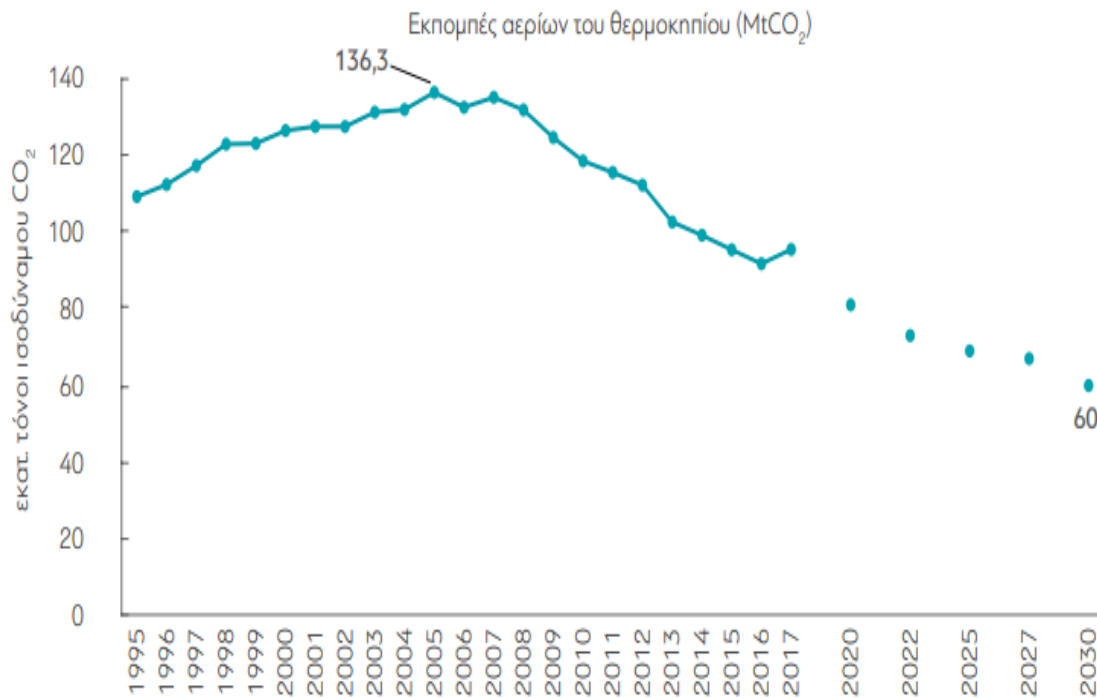
Επιπλέον, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι σημαντικό εργαλείο για τον περιορισμό της ενεργειακής φτώχειας. Οι παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια, παρά το γεγονός ότι συνεπάγονται θετικό ιδιωτικό οικονομικό όφελος, επηρεάζονται από την υποκειμενική, και ενδεχομένως «μυωπική», αξιολόγηση της σκοπιμότητας και αποδοτικότητάς τους από την πλευρά των νοικοκυριών και τους περιορισμένους διαθέσιμους πόρους, που αποτρέπουν συχνά την υλοποίηση σχετικών επενδύσεων από τα νοικοκυριά. Αυτό συμβαίνει τη στιγμή που στην Ελλάδα δεν φαίνεται να έχει «αποσυνδεθεί» σε μεγάλο βαθμό η κατανάλωση ενέργειας από την πορεία της οικονομικής δραστηριότητας. Η επίτευξη των εθνικών στόχων για την εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι το 2020 είναι κυρίως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης και λιγότερο της προσπάθειας βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Έτσι, σε συνδυασμό με την ενεργειακή κατάσταση του αποθέματος κτηρίων και τον εξαιρετικά χαμηλό ρυθμό επενδύσεων σε νέες κατοικίες, διαπιστώνεται ότι το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια είναι μεγάλο. Στο πλαίσιο αυτό, η προσφορά κινήτρων από την πλευρά της Πολιτείας για την ενεργειακή αναβάθμιση κτηρίων και την δημιουργία κτιρίων NZEB μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική, εφόσον κινητοποιήσει επαρκώς το ενδιαφέρον των πολιτών, θα οδηγήσει τόσο σε τόνωση της οικονομικής δραστηριότητας και της απασχόλησης με υπολογίσιμα περιβαλλοντικά οφέλη, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται η σημαντική μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον κτηριακό τομέα, όσο και σε μείωση της κατανάλωσης εισαγόμενων καυσίμων [14].

### 3.3 Η εθνική πολιτική για την ενέργεια και το κλίμα

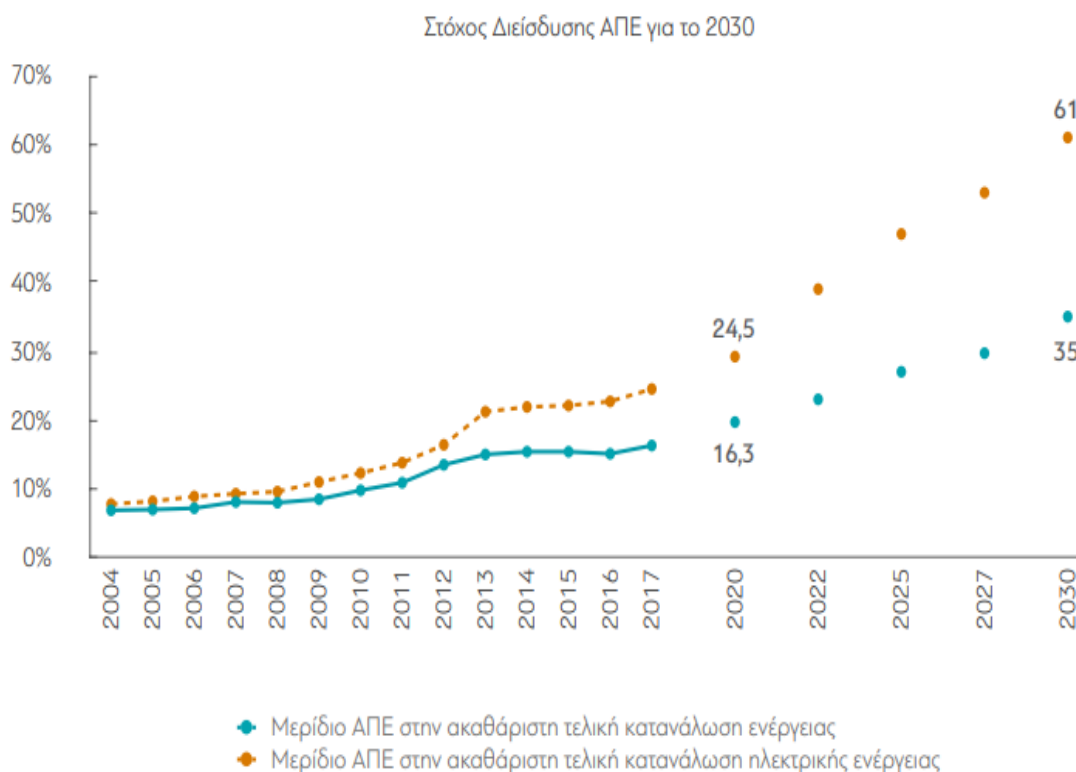
Στην Ελλάδα, οι βασικές κατευθύνσεις της πολιτικής της ΕΕ έχουν ενσωματωθεί στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο δημοσιεύτηκε τον Δεκέμβριο του 2019 και αποτελεί το βασικό εργαλείο ενεργειακής πολιτικής της χώρας για την επίτευξη ποιοτικών και ποσοτικών στόχων την περίοδο 2021-2030. Το ΕΣΕΚ περιλαμβάνει συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής, τα οποία λαμβάνουν υπόψη το δυναμικό, τις τεχνικές

ιδιαιτερότητες και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελληνικού ενεργειακού συστήματος στους τομείς της παραγωγής, διάθεσης και κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα προβλέπει:

- Μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2030 κατά τουλάχιστον 42% σε σύγκριση με το επίπεδο των εκπομπών το 1990, και 56% έναντι του 2005 (Εικόνα 3.9)
- Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ τουλάχιστον σε 35% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2030 και μερίδιο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή 61%-64% έως το 2030 (Εικόνα 3.10)
- Βελτίωση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΕΑ) κατά τουλάχιστον 38% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με προβλέψεις που έγιναν το 2007
- Μηδενικό μερίδιο του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή έως το 2028



**Εικόνα 3.9 - Ποσοτικοί στόχοι του Εθνικού Σχεδίου για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [14]**



**Εικόνα 3.10 - Ποσοτικοί στόχοι του Εθνικού Σχεδίου για τις ΑΠΕ [14]**

Η ενεργειακή πολιτική της χώρας για την επόμενη δεκαετία αποσκοπεί στη βιώσιμη ανάπτυξη όλων των τομέων της οικονομίας, στην ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα με ιδιαίτερη μέριμνα στην περιβαλλοντική προστασία και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής με τον βέλτιστο οικονομικά τρόπο, την εδραίωση της Ελλάδας ως ενεργειακού κόμβου με ισχυρή συμβολή στην ενεργειακή ασφάλεια της ΕΕ, στον εκσυγχρονισμό και την ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών, στη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού ενέργειας (εισαγωγές) και στη δημιουργία ελκυστικού επενδυτικού περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των κοινοτικών πόρων και μηχανισμών.

Για να επιτευχθεί ο στόχος μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου πρέπει να υπερδιπλασιαστεί η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ και η τελική κατανάλωση ενέργειας με βάση τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, στην ουσία να αποσυνδεθεί από την οικονομική ανάπτυξη. Ο τομέας ηλεκτρισμού θα έχει κομβικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια, καθώς η ανάπτυξη των ΑΠΕ θα προέλθει κυρίως από την ηλεκτροπαραγωγή με σημαντική ανάπτυξη νέων αιολικών και φωτοβολταϊκών μονάδων που μαζί με νέες μονάδες φυσικού αερίου θα υποκαταστήσουν το έλλειμμα ισχύος που θα αφήσει η απόσυρση των λιγνιτικών μονάδων [14].

## 4. Παθητικό κτίριο – NZEB - PEB

### 4.1 Παθητικό κτίριο

#### 4.1.1 Η έννοια του παθητικού κτιρίου

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

Ανεξάρτητα από το κλίμα ή την περιοχή, τα Παθητικά Κτίρια διατηρούν όλο το χρόνο μια άνετη και ευχάριστη θερμοκρασία με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα κτίρια θερμαίνονται παθητικά, δηλαδή κάνουν αποτελεσματική χρήση του ήλιου, των εσωτερικών πηγών θερμότητας και της ανάκτησης θερμότητας, με αποτέλεσμα τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης να μην είναι απαραίτητα ακόμη και τις πιο κρύες ημέρες του χειμώνα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί παθητικές τεχνικές ψύξης, όπως είναι ο σωστός σχεδιασμός σκίασης και νυχτερινού φυσικού αερισμού, προκειμένου να διατηρείται δροσερό. Σε κάθε περίπτωση, τα εξαιρετικής ποιότητας και τεχνολογίας υλικά και ο προσεκτικός σχεδιασμός εγγυώνται ότι οι θερμοκρασίες παραμένουν όλο το χρόνο, σε σταθερά και ευχάριστα για τους ενοίκους / χρήστες επίπεδα.

Ένα Παθητικό Κτίριο χρησιμοποιεί έως και 90% λιγότερη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη από τα συμβατικά κτίρια της Κεντρικής Ευρώπης, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερο από 1,5 λίτρο πετρελαίου ή 1,5 κυβικό μέτρο φυσικού αερίου το χρόνο, για τη θέρμανση ενός τετραγωνικού μέτρου κατοικήσιμου χώρου. Εξαιρετικά μεγάλη οικονομία, όμως, επιτυγχάνεται και στις θερμότερες περιοχές, όπου τα κτίρια χρειάζονται ψύξη. Ο περιορισμός της χρήσης ενέργειας οδηγεί σε περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και έτσι το Παθητικό Κτίριο είναι μια πραγματικά αειφόρος επιλογή σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές.

Τα μέγιστα ενεργειακά κέρδη ενός Παθητικού Κτιρίου επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας επιμέρους ενεργειακά αποδοτικότερα κατασκευαστικά στοιχεία και ένα ποιοτικό σύστημα αερισμού. Η ικανότητα του Παθητικού Κτιρίου να διατηρεί στο εσωτερικό του τις επιθυμητές συνθήκες διαβίωσης βασίζεται σε πέντε θεμελιώδεις αρχές (Εικόνα 4.1) οι οποίες αναλύονται στην επόμενη υπό-ενότητα (4.1.2)[15].

### 4.1.2 Πέντε βασικές αρχές



Εικόνα 4.1 - Παθητικό κτίριο – Πέντε βασικές αρχές [15]

#### 1. Μόνωση:

Ο θερμικός φάκελος του κτιρίου περικλείεται από αδιάκοπο στρώμα μόνωσης περίπου σταθερού πάχους. Ένα σωστά μονωμένο κτιριακό κέλυφος, διατηρεί τη θερμότητα στο εσωτερικό του κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ την καλοκαιρινή περίοδο εμποδίζει την είσοδό της σε αυτό. Για τον λόγο αυτό, επιλέγεται μόνωση με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \leq 0,1 \text{ W/mK}$ , ώστε να προκύπτει ικανοποιητικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας (U-value) του κελύφους περίπου μεταξύ 0,10 και 0,25  $\text{W/m}^2\text{K}$ . Η θερμομόνωση ενός παθητικού κτιρίου μπορεί να είναι αυτονόητη και αναγκαία, αλλά δεν είναι προσχεδιασμένη, είναι ευθύνη του σχεδιαστή να επιλέξει τον κατάλληλο τύπο και το κατάλληλο πάχος μόνωσης.

Κατά το σχεδιασμό ενός Παθητικού Κτιρίου η μόνωση τοποθετείται συνήθως στο εξωτερικό μέρος του κτιριακού κελύφους. Με την τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης επιτυγχάνεται:



- Καλύτερη αξιοποίηση της θερμοαγωγιμότητας του εσωτερικού τοίχου, βελτιώνοντας παράλληλα και την θερμική συμπεριφορά του χώρου. Έτσι επιτυγχάνεται άριστη διατήρηση της ιδανικής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της μείωσης των θερμικών απωλειών και της μείωσης των θερμογεφυρών. Το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού απαιτούν μειωμένη λειτουργία.
- Προστασία των δομικών υλικών της κατασκευής από τις συστολές και τις διαστολές
- Ενεργειακή ταυτότητα σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε. Απόκτηση πιστοποιητικού ενεργειακής καταλληλότητας, με προδιαγραφές που ορίζονται από ευρωπαϊκά πρότυπα.
- Αύξηση της εμπορικής αξίας του ακινήτου. Η τελική αξία του ακινήτου αυξάνεται κατά 30% [16]

## **2. Κουφώματα:**

Είναι γνωστό ότι τα ανοίγματα ενός κτιρίου αποτελούν την κύρια πηγή απωλειών θερμότητας, αλλά και την κύρια πηγή κέρδους. Μέσω των ανοιγμάτων επιτυγχάνεται ο φωτισμός του κτιρίου, η θέρμανση από τον ήλιο και η εναλλαγή αέρα. Οι αρνητικές επιπτώσεις που οφείλονται στα συμβατικά κουφώματα είναι η έλλειψη αεροστεγανότητας, ο υψηλός συντελεστής θερμοπερατότητας και οι χαμηλές θερμοκρασίες των επιφανειών τους. Ο σχεδιασμός των κουφωμάτων πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά και να ληφθούν υπ' όψιν όλες οι περιπτώσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Ο σχεδιαστής είναι υπεύθυνος να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες, να μεγιστοποιήσει τα κέρδη, όταν και όπου χρειάζεται, και να προφυλάξει το κτίριο από υπερθέρμανση. Οι πιο συνηθισμένοι και διαδεδομένοι τύποι υαλοπινάκων στην Ελληνική αγορά παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

### **Μονοί υαλοπίνακες:**

Πρόκειται για την πιο απλή μορφή υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνταν παλιότερα στις κατασκευές. Παρότι οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες χρησιμοποιούνται συχνά στην Ελλάδα, η θερμική τους συμπεριφορά δεν συμφωνεί πλέον με την τεχνική οδηγία του τεχνικού επιμελητήριου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ). Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους υαλοπινάκων παρουσιάζουν την υψηλότερη συναλλαγή ενέργειας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ επιτρέπουν τη μέγιστη εισχώρηση σε φυσικό φως. Έχει παρατηρηθεί ότι η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  μειώνεται με αύξηση του πάχους του γυαλιού.

**Διπλοί υαλοπίνακες:**

Οι διπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από δύο φύλλα γυαλιού που διαχωρίζονται από ένα στρώμα αέρα ή κάποιου ευγενούς αερίου. Το αέριο που χρησιμοποιείται στο διάκενο θα πρέπει να είναι ξηρό, ώστε να αποφεύγονται υγροποιήσεις των υδρατμών. Το εσωτερικό φύλλο γυαλιού απορροφά και ανακλά μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από το εξωτερικό φύλλο. Σε σύγκριση με τα συστήματα μονής υάλωσης, οι διπλοί υαλοπίνακες περιορίζουν σημαντικά της θερμικές απώλειες λόγω της θερμομονωτικής ιδιότητας του αερίου στο διάκενο. Επιπλέον, παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα σε φυσικό φως. Της συμβατικούς διπλούς υαλοπίνακες τα 2/3 περίπου των θερμικών απωλειών οφείλονται σε θερμική ακτινοβολία, ενώ το υπόλοιπο 1/3 προέρχεται από μεταφορά θερμότητας διαμέσου του υαλοπίνακα με αγωγή ή με συναγωγή. Το πάχος του διακένου επηρεάζει τις θερμομονωτικές ικανότητες του υαλοπίνακα. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U του διπλού υαλοπίνακα μειώνεται με αύξηση του πάχους του διακένου για πάχη μέχρι 16 mm. Για διάκενα μεγαλύτερου πάχους παρατηρείται μικρή αύξηση του συντελεστή θερμοπερατότητας, καθώς επιτρέπεται η κίνηση του αέρα στο διάκενο, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμομονωτικής ικανότητας λόγω της μεταφοράς θερμότητας από τον εσωτερικό στον εξωτερικό υαλοπίνακα κατά τη χειμερινή περίοδο και αντίστροφα κατά τη θερινή.

**Τριπλοί υαλοπίνακες:**

Οι τριπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από ένα σύστημα τριών φύλλων γυαλιού, που διατηρούνται σε απόσταση μεταξύ τους μέσω μεταλλικής κατασκευής. Όπως και στην περίπτωση των διπλών υαλοπινάκων, ο εγκλωβισμένος αέρας στα διάκενα βελτιώνει τη θερμομονωτική συμπεριφορά τους. Ένας τριπλός υαλοπίνακας παρουσιάζει στη γενική περίπτωση μεγαλύτερη θερμομόνωση από έναν διπλό. Ωστόσο, υπάρχουν και εξαιρέσεις, καθώς ένας τριπλός υαλοπίνακας με το ίδιο πάχος στρωμάτων γυαλιού και το ίδιο συνολικό πάχος με έναν διπλό θα παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας και συνεπώς μεγαλύτερες θερμικές απώλειες συγκριτικά με τον διπλό. Αυτό συμβαίνει επειδή ο αέρας, ο οποίος θα καταλαμβάνει μεγαλύτερο χώρο στην περίπτωση του διπλού υαλοπίνακα παρουσιάζει μικρότερη θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με το γυαλί. Γενικά, το πάχος των τριπλών υαλοπινάκων είναι μεγαλύτερο από αυτό των διπλών. Οι τριπλοί υαλοπίνακες παρουσιάζουν δυσκολίες στην εφαρμογή τους λόγω του αυξημένου τους βάρους. Συνιστώνται σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους. Μπορούν να τοποθετηθούν σε ειδικές κατηγορίες κουφωμάτων με τη χρήση ειδικών μηχανισμών που είναι ανθεκτικοί σε μεγάλα βάρη [17].

### 3. Αεροστεγανότητα:

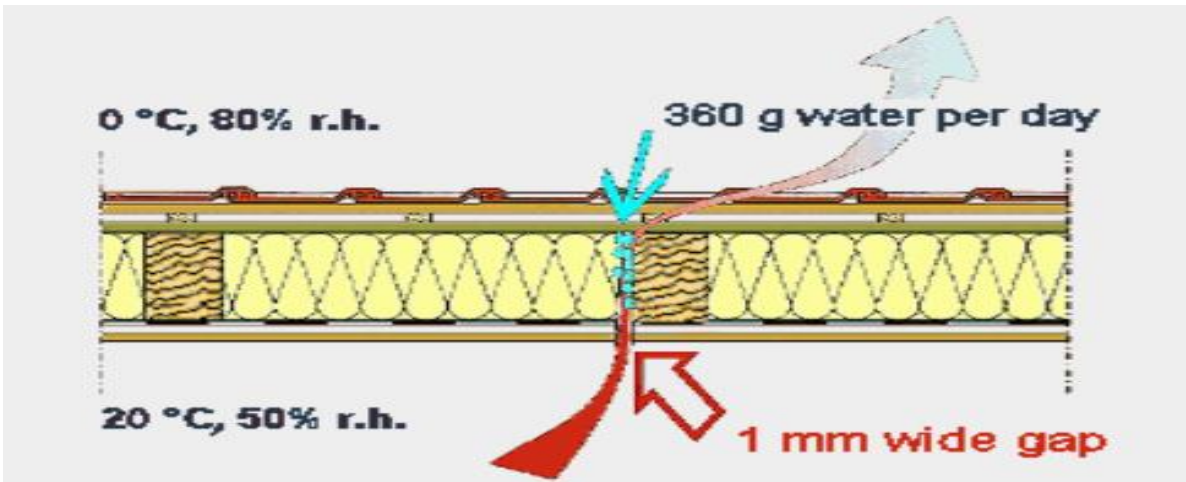
Κατά τον σχεδιασμό ενός Παθητικού Κτιρίου δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αεροστεγανότητα του κτιριακού κελύφους, το οποίο σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αποφεύγεται η διαρροή αέρα από σημεία αυτού, όπως ρωγμές, χαραμάδες, ενώσεις και μικρές οπές (Εικόνα 4.2).

Ο εσωτερικός αέρας έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδρατμούς (απόλυτη υγρασία) από τον εξωτερικό αέρα - εάν δεν αφυγρανθεί. Σε ένα ψυχρό κλίμα, ο εσωτερικός αέρας ψύχεται κατά τη ροή από μέσα προς τα έξω (που ονομάζεται διήθηση). Ο ψυχρότερος αέρας δεν μπορεί να συγκρατήσει την υψηλή ποσότητα υδρατμών - η συμπύκνωση θα συμβεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα στην κατασκευή (Εικόνα 4.3). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές ζημιές. Σε θερμά και υγρά κλίματα, όπου θα ψύχονται οι χώροι που χρησιμοποιούνται, η ροή του αέρα θα κυριαρχεί με κατεύθυνση έξω προς τα μέσα (που ονομάζεται διείσδυση) και θα προκαλέσει το ίδιο πρόβλημα με την υγρασία. Η διαδικασία που περιγράφεται εδώ είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο η εξωτερική δομή του κτιρίου πρέπει να κατασκευάζεται αεροστεγώς. Για το πρότυπο του παθητικού σπιτιού απαιτείται πραγματικά καλή αεροστεγανότητα. Οι ροές αέρα που συζητούνται εδώ θα είναι αμελητέες, γεγονός που αποτελεί ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του προτύπου, χωρίς προβλήματα υγρασίας [18].

Η αεροστεγανότητα εξασφαλίζεται με ένα αεροστεγές εσωτερικό φράγμα του στρώματος μόνωσης του κτιρίου και η τιμή της κατά τον έλεγχο αεροστεγανότητας στα 50Pa (blower door test) δεν θα πρέπει να ξεπερνά τις 0,6 εναλλαγές αέρα την ώρα ( $n_{50} \leq 0,6h^{-1}$ ) [19].



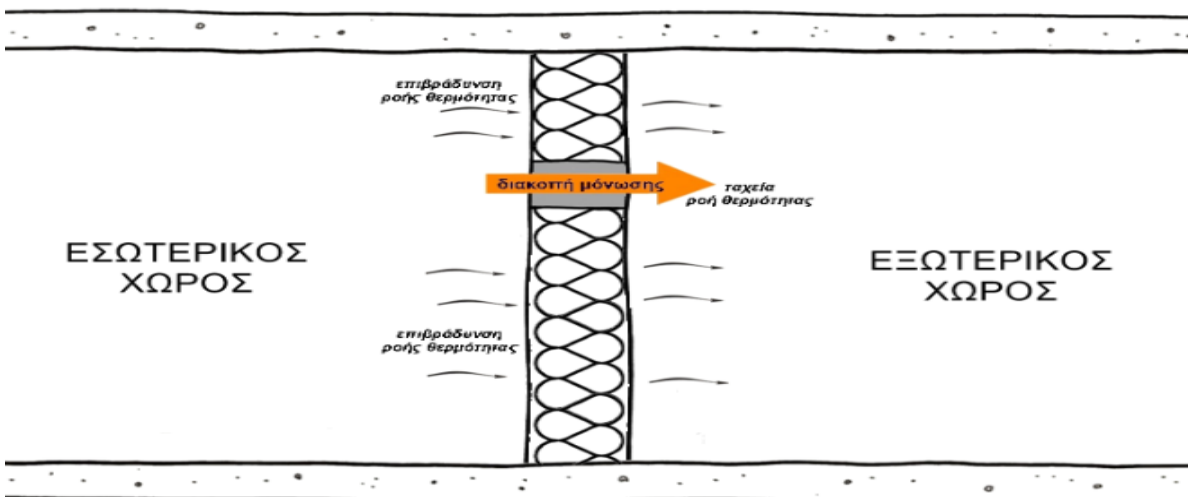
Εικόνα 4.2 - Διαρροή αέρα από διαφορετικά μέρη του κτιριακού κελύφους [18]



Εικόνα 4.3 - Δημιουργία υγρασίας στο κτιριακό κέλυφος [18]

#### 4. Θερμογέφυρες:

Οι θερμογέφυρες είναι θερμικά αδύναμα σημεία ή σημεία διακοπής του κτιριακού κελύφους, όπου χάνονται μεγάλα ποσά θερμότητας. Είναι μια τοπική περιοχή όπου η ροή θερμότητας είναι διαφορετική (συνήθως αυξημένη) σε σύγκριση με παρακείμενες περιοχές και η θερμότητα περνάει από τον θερμαινόμενο χώρο προς τα έξω, ακολουθώντας το μονοπάτι της ελάχιστης αντίστασης εάν και εφόσον υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα (Εικόνα 4.4) [20].



Εικόνα 4.4 - Σημείο εμφάνισης θερμογέφυρας [20]

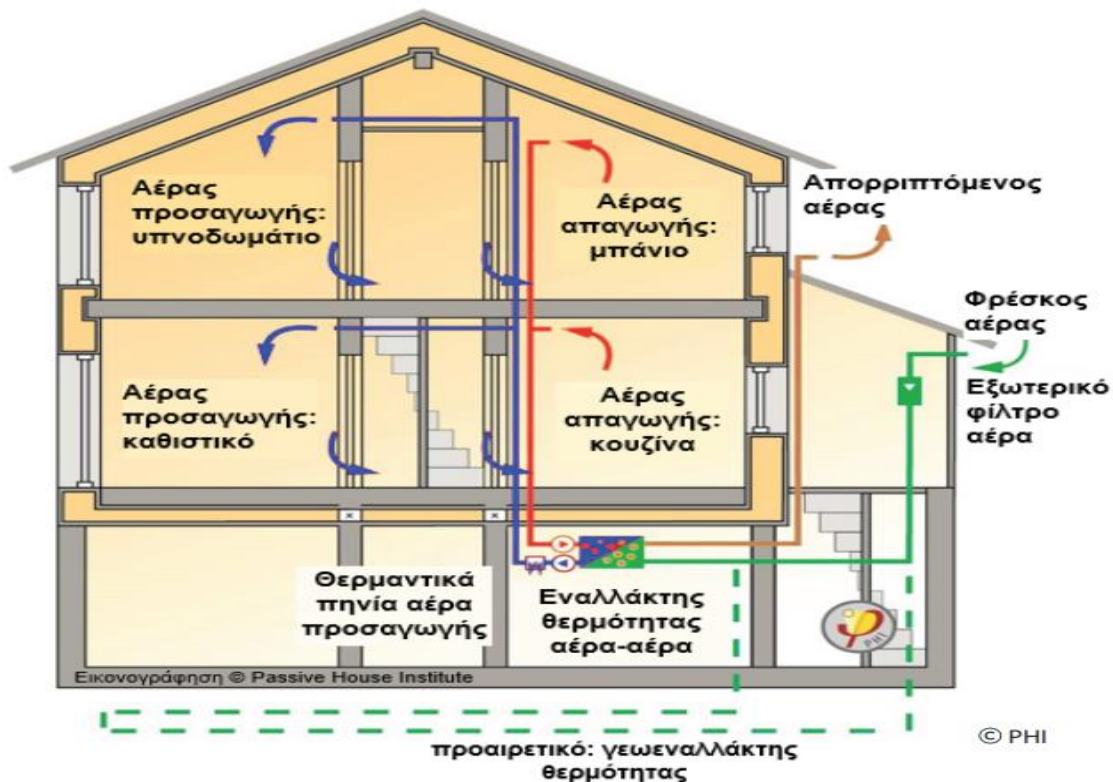
Ανάλογα την αιτία που τις προκαλεί διακρίνονται στις κατασκευαστικές, στις γεωμετρικές και στο συνδυασμό αυτών. Κατασκευαστική θερμογέφυρα έχουμε όταν δεν υφίσταται συνεχόμενα η στρώση της θερμομόνωσης, ενώ γεωμετρική θερμογέφυρα όταν υπάρχει σχηματική διαφοροποίηση του δομικού στοιχείου.

Βάσει της μορφής της διατομής διακρίνονται σε γραμμικές και σε σημειακές. Οι γραμμικές θερμογέφυρες εμφανίζονται κατά μήκος μιας επιφάνειας, στην οποία συνενώνονται διάφορα δομικά στοιχεία (ένωση δαπέδου με τοίχο, ένωση δοκού με τοίχο). Αντίθετα οι σημειακές θερμογέφυρες εμφανίζονται τοπικά σε ένα σημείο και δεν υπάρχει ομοιογενής ροή θερμότητας κατά μήκος μια διεύθυνσης, όπως στις γραμμικές [21].

Οι επιπτώσεις των θερμογεφυρών είναι αυξημένες απώλειες θερμότητας και μειωμένες θερμοκρασίες εσωτερικής επιφάνειας, όπου στη χειρότερη περίπτωση αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διεύδυση υγρασίας στα δομικά στοιχεία και ανάπτυξη μούχλας [20].

#### **5. Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας:**

Ένα σύστημα μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας παρέχει φρέσκο, καθαρό αέρα, απαλλαγμένο από σκόνη και γύρη, με τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση, χάρη στα ειδικά φίλτρα και στην παθητική ανάκτηση θερμότητας (εναλλάκτης θερμότητας) που διαθέτει. Το ρεύμα απαγωγής αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου προς το περιβάλλον διέρχεται μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας, μέσα από τον οποίο διέρχεται και το ρεύμα του εξωτερικού αέρα περιβάλλοντος που προσάγεται στο κτίριο. Ο αέρας περιβάλλοντος φιλτράρεται και αφού ανακτήσει μεγάλο μέρος της θερμότητας από το ρεύμα του απορριπτόμενου αέρα, προσάγεται στους κατάλληλους χώρους του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται ο απαιτούμενος αερισμός του κτιρίου με τις ελάχιστες δυνατές θερμικές απώλειες, ενώ συγχρόνως ελέγχονται τα επίπεδα υγρασίας στον χώρο (Εικόνα 4.5). Επίσης, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση στην λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού και εξασφαλίζεται υψηλής ποιότητας εσωτερικός αέρας όλο το 24ωρο, χωρίς να γίνεται απαραίτητο το άνοιγμα των παραθύρων [22].



Εικόνα 4.5 - Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας [22]

## 4.2 Net Zero Energy Building – NZEB

Παρά τη χρήση του συναρπαστικού όρου "κτίριο μηδενικής ενέργειας", δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός ή μία κοινή αντίληψη για τη σημασία του. Κατ' αρχάς, πρέπει να διευκρινιστεί ότι ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας, δεν είναι ένα κτίριο στο οποίο η κατανάλωση ενέργειας είναι μηδενική ή σχεδόν μηδενική. Κάτι τέτοιο είναι ακόμη ουτοπικό. Κατά την ευρεία έννοια, ένα κτίριο συνολικής μηδενικής ενέργειας (Net Zero Energy Building - NZEB) μπορεί να οριστεί ως κατοικία ή εμπορικό κτίριο με κατά το δυνατόν ελαχιστοποιημένες ενεργειακές απαιτήσεις, οι οποίες μπορούν να καλυφθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό, έως και να υπερκαλυφθούν, από τεχνολογίες χρήσης Α.Π.Ε. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα θερμικά ηλιακά, οι ανεμογεννήτριες, τα υδροηλεκτρικά, η γεωθερμία, τα βιοκαύσιμα, η βιομάζα, τα συσσωματώματα βιομάζας κ.ά. Για το χαρακτηρισμό ενός κτιρίου ως NZEB έχουν αναπτυχθεί τέσσερις ορισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούνται συχνά. Δεν υπάρχει καλύτερος και χειρότερος ορισμός και το ποιος ορισμός χρησιμοποιείται εξαρτάται από το στόχο που έχει θέσει και επιθυμεί να επιτύχει ο ιδιοκτήτης ή ο σχεδιαστής του εκάστοτε NZEB [23].

**Net Zero Site Energy - Συνολική μηδενική κατανάλωση στο χώρο εγκατάστασης του κτιρίου:** Το κτίριο παράγει από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες είναι διαθέσιμες στο χώρο εγκατάστασης του κτιρίου, τουλάχιστον τόση ενέργεια όση καταναλώνει στη διάρκεια ενός έτους [24].

**Net Zero Source Energy - Συνολική μηδενική ενέργεια στο χώρο παραγωγής:** Το κτίριο παράγει (ή και αγοράζει) τουλάχιστον τόση ανανεώσιμη ενέργεια, όση καταναλώνει στη διάρκεια ενός έτους, αναγόμενη σε πρωτογενή ενέργεια που καταναλώνεται για την εξαγωγή και την επεξεργασία ενεργειακών φυσικών πόρων και για την παραγωγή και τη διανομή ενέργειας στο κτίριο. Για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας, η εισαγόμενη από το δίκτυο στο κτίριο και η εξαγόμενη από το κτίριο προς το δίκτυο ενέργεια, πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές μετατροπής, που σχετίζονται με τους συμβατικούς πόρους ή τις Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται [24].

**Net Zero Energy Costs - Συνολικό μηδενικό ενεργειακό κόστος:** Σε ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας με συνολικά μηδενικό ενεργειακό κόστος τα χρήματα που το δίκτυο πληρώνει στον ιδιοκτήτη του κτιρίου για την ενέργεια από Α.Π.Ε. πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσα με αυτά που πληρώνει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου στο δίκτυο σε ένα χρόνο [24].

**Net Zero Energy Emissions - Συνολικές μηδενικές ενεργειακές εκπομπές:** Ένα τέτοιο κτίριο παράγει (ή αγοράζει) τόση "καθαρή" ενέργεια από Α.Π.Ε., όση χρειάζεται για να αντισταθμίσει τις εκπομπές ρύπων από τη χρήση "μη καθαρής" ενέργειας σε ένα έτος. Οξείδια του άνθρακα, του αζώτου και του θείου είναι οι πιο συνηθισμένοι ρύποι, που στοχεύουν να αντισταθμίζουν τα κτίρια μηδενικής ενέργειας με συνολικά μηδενικές ενεργειακές εκπομπές. Για τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών, η εισαγόμενη από το δίκτυο στο κτίριο και η εξαγόμενη από το κτίριο προς το δίκτυο ενέργεια, πολλαπλασιάζονται με τις τιμές των εκλυόμενων ρύπων που σχετίζονται με τους συμβατικούς πόρους ή τις Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται [24].

### 4.3 Positive Energy Building – PEB

Επί του παρόντος, αποτελεί πρόκληση η έλλειψη ενός επίσημου ορισμού του κτιρίου θετικής ενέργειας (PEB). Με βάση την έρευνα του EU H2020 EXCESS ένα κτίριο θετικής ενέργειας (PEB) ορίζεται ως ένα ενεργειακά αποδοτικό κτίριο που παράγει περισσότερη ενέργεια από ότι χρησιμοποιεί μέσω ανανεώσιμων πηγών, με υψηλό ποσοστό ιδιοκατανάλωσης και υψηλή ενεργειακή ευελιξία, σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Ένα υψηλής ποιότητας εσωτερικό περιβάλλον είναι βασικό στοιχείο του PEB, διατηρώντας την άνεση και την ευημερία των ενοίκων του κτιρίου. Το PEB μπορεί επίσης να ενσωματώσει μελλοντικές τεχνολογίες όπως η τροφοδοσία κινητών συσκευών, ηλεκτρικών εργαλείων

ακόμη και ηλεκτρικών οχημάτων με το κίνητρο να μεγιστοποιήσει την επιτόπια κατανάλωση και να μοιραστεί την πλεονάζουσα ανανεώσιμη ενέργεια [25].

Τα κτίρια θετικού ενεργειακού ισοζυγίου (PEB) αποτελούν μια εξέλιξη του μοντέλου NZEB καθώς, παράγοντας περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζεται για τις ανάγκες τους, θα μπορούσαν να συμβάλουν στην ενεργειακή υποστήριξη άλλων κτιρίων που συνδέονται με αυτά, δημιουργώντας ένα σύστημα μονάδων που συνδέονται μεταξύ τους σε επίπεδο γειτονιάς, με στόχο την απόκτηση ουδετερότητας ή, σε ακραίες περιπτώσεις, ενεργειακής θετικότητας [26].

Η ευρύτερη ανάπτυξη των PEB απαιτεί τεχνικές λύσεις έτοιμες για την αγορά που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε υψηλό TRL (Τεχνολογικό Επίπεδο Ετοιμότητας). Αυτές οι λύσεις υπάρχουν ήδη, αλλά μόνο λίγοι πάροχοι κυκλοφορούν στην αγορά. Στα PEB, η ενεργειακή ευελιξία είναι μια σημαντική πτυχή, που διευκολύνει τη μείωση της αναντιστοιχίας μεταξύ της ζήτησης ενέργειας και της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Απαιτείται ένας καλά ενημερωμένος ολοκληρωτής (integrator) ή μια διεπιστημονική ομάδα για να φτάσουμε σε ένα σύστημα που λειτουργεί σωστά. Επιπλέον, οι κατάλληλες τεχνικές λύσεις για το PEB εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία και το κλίμα. Για παράδειγμα, η Φινλανδία έχει υψηλή εποχική διακύμανση ενεργειακών αναγκών και προσφοράς, ενώ η Ισπανία έχει πολλή ηλιακή ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους [25].



## 5. Συστήματα HVAC

Το HVAC (που προφέρεται ως τέσσερα χωριστά γράμματα) είναι ένα αρκτικόλεξο που αντιπροσωπεύει την θέρμανση (H), τον εξαερισμό (V) και τον κλιματισμό (AC) και περιλαμβάνει γενικά ποικίλα ενεργά μηχανολογικά/ηλεκτρολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί ο θερμικός έλεγχος των κτιρίων. Ο έλεγχος του θερμικού περιβάλλοντος αποτελεί βασικό στόχο ουσιαστικά για όλα τα κατειλημμένα κτίρια. Για πολλές χιλιετίες, ο έλεγχος αυτός απλά περιοριζόταν στην προσπάθεια να εξασφαλιστεί η επιβίωση κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμώνων. Στο σύγχρονο κόσμο, οι προσδοκίες του θερμικού ελέγχου πηγαίνουν αρκετά πέρα από την επιβίωση και περιλαμβάνουν τις σύνθετες θεωρήσεις για θερμική άνεση και ποιότητα του αέρα, που επηρεάζουν την υγεία, την ικανοποίηση και την παραγωγικότητα των ατόμων που καταλαμβάνουν τους χώρους του κάθε κτιρίου.

Ένα σύστημα θέρμανσης ("H" του HVAC) σχεδιάζεται για να προσθέτει θερμική ενέργεια σε ένα χώρο ή κτίριο, προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία αέρα, η οποία ειδάλλως δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ροής της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον (απώλεια θερμότητας).

Ένα σύστημα εξαερισμού ("V") έχει ως σκοπό του το να κυκλοφορεί τον αέρα σε ένα χώρο, ώστε να τον κινεί χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει η θερμοκρασία του. Τα συστήματα εξαερισμού μπορούν, και σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει, να χρησιμοποιούνται για να βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και, κατ' αυτόν τον τρόπο, τα επίπεδα άνεσης των ενοίκων.

Ένα σύστημα ψύξης (ή, αλλιώς, δροσισμού), που δεν περιλαμβάνεται ρητά ως έννοια στο αρκτικόλεξο HVAC, σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτίριο. Αυτό είναι ανάγκη να γίνεται προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που, αλλιώς, θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές της, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου (κέρδος θερμότητας). Οι ψυκτικές διατάξεις εξετάζονται συνήθως ως τμήμα του "AC", σε σχέση με τα αρχικά HVAC. Το "AC" υποδηλώνει τον κλιματισμό (Air-Conditioning).

Ένα σύστημα κλιματισμού, σύμφωνα με τον ορισμό της ASHRAE (Αμερικάνικη Ομοσπονδία των Μηχανικών Θέρμανσης, Κατάψυξης και Κλιματισμού), είναι μία συνάθροιση συνιστωσών, με μια καθορισμένη δομή και λειτουργία, που πρέπει να εκπληρώνει τέσσερις στόχους ταυτόχρονα. Αυτοί είναι ο έλεγχος:

- της θερμοκρασίας του αέρα
- της υγρασίας του αέρα
- της κυκλοφορίας του αέρα

- της ποιότητας του αέρα

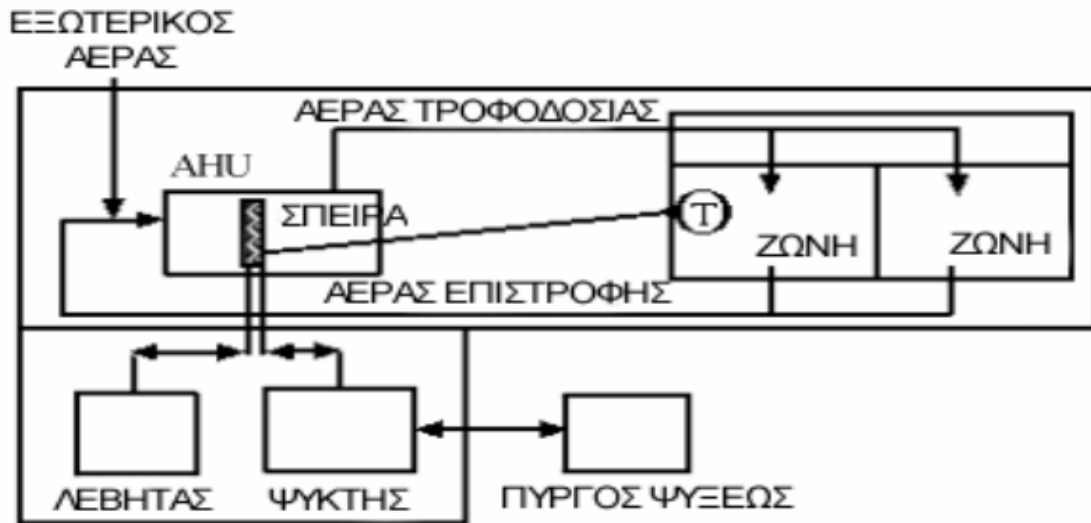
Αν και η λέξη "έλεγχος" αφορά μια πολύ αόριστη έννοια, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από τον εξαιρετικά ακριβή έλεγχο των εγκαταστάσεων κεντρικών υπολογιστών μέχρι τον έλεγχο για νυχτερινή λειτουργία στις κατοικίες, η απαίτηση από ένα σύστημα κλιματισμού να είναι σε θέση να τροποποιεί ταυτόχρονα και τις ανωτέρω τέσσερις ιδιότητες του αέρα καταδεικνύει το βαθμό της πολυπλοκότητας των εν λόγω συστημάτων. Η φράση "κλιματισμός" συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια μεγάλη ποικιλία επιπέδων υπηρεσιών, από το μηχανικό εξαερισμό μέχρι τα σύνθετα συστήματα που παρέχουν και τους τέσσερις προαναφερθέντες ελέγχους [27].

## 5.1 Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα

Αυτά τα συστήματα συνήθως κτίζονται γύρω από προ-συσκευασμένη μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU), η οποία αποτελείται από έναν ανεμιστήρα και συνδυασμούς σπειρών θέρμανσης ή/και δροσισμού, φίλτρων, υγραντών και αποσβεστήρων ελέγχου. Μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν συσκευασμένες αντλίες θερμότητας και έναν ανεμιστήρα απόρριψης ή/και να έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλώνουν τον απορριπτόμενο αέρα πίσω στο κτίριο. Η μονάδα διαχείρισης του αέρα συνήθως τοποθετείται μέσα σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων, με τις ψυκτικές μονάδες και τους λέβητες τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις. Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι αρκούντως πιο δροσερός από το επιθυμητό επίπεδο, μπορεί να εισαχθεί φρέσκος αέρας απ' ευθείας στον κλιματιζόμενο χώρο και, πλέον, να μην απαιτείται η μηχανική κατάψυξη του από την κεντρική μονάδα. Πρέπει εν γένει να ανιχνεύονται οι δυνατότητες και να διευκολύνεται αυτή η "ελεύθερη ψύξη", προκειμένου να ελαχιστοποιείται η ανάγκη για ψύξη με μηχανικά μέσα. Οι μονάδες διαχείρισης του αέρα μπορούν να διαμορφωθούν κατάλληλα ώστε να εξυπηρετούν μία σειρά από διαφορετικούς τύπους συστημάτων διανομής [27].

### 5.1.1 Συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου

Τα συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου (Εικόνα 5.1) είναι απλά, σχετικά χαμηλού κόστους και εύκολα στην εγκατάσταση, αλλά δεν μπορούν να παράσχουν επαρκή έλεγχο για τις περιοχές (ζώνες) που παρουσιάζουν διαφορετικές ή/και ταυτόχρονες ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να απαιτηθεί η εισαγωγή διάφορων διαιρούμενων συστημάτων για να εξυπηρετηθούν οι διαφορετικές ζώνες, αυξάνοντας έτσι τις δαπάνες αγοράς και τον απαραίτητο χώρο εγκατάστασης [27].



Εικόνα 5.1 - Σύστημα HVAC ενιαίας ζώνης αέρα-αέρα, με ένα χωριστό διαχειριστή αέρα, ένα λέβητα και μία ψυκτική μονάδα [27]

### 5.1.2 Συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV)

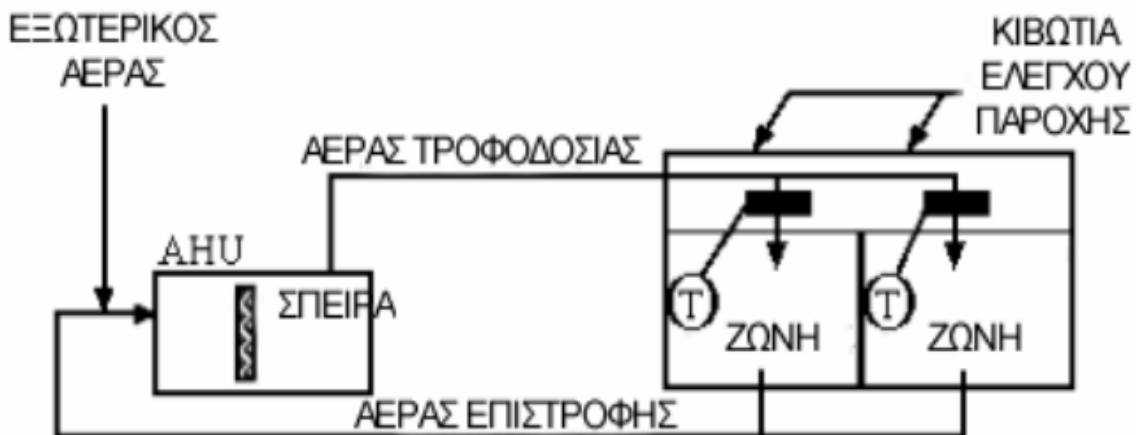
Με τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα (VAV), το πρόβλημα των ζωνών με διαφορετικές απαιτήσεις αντιμετωπίζεται μεταβάλλοντας την ποσότητα του αέρα που παρέχεται σε κάθε ζώνη. Ο αέρας παρέχεται σε μια σταθερή θερμοκρασία μέσω των θερμοστατικά ελεγχόμενων μονάδων απόσβεσης, που ονομάζονται και κιβώτια VAV, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5.2). Ο όγκος του αέρα και συνακόλουθα, η ποσότητα του ψυκτικού φορτίου μεταβάλλεται ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις κάθε ζώνης. Υπό κανονικές συνθήκες, υφίσταται η δυνατότητα επαναρρύθμισης της σταθερής θερμοκρασίας του αέρα.

Η χρήση των κιβωτίων VAV σημαίνει ότι η όποια συντήρηση των ίδιων των κιβωτίων, τα οποία βρίσκονται συνήθως τοποθετημένα σε ελεύθερες επιφάνειες στις οροφές των εσωτερικών χώρων, χρειάζεται συχνά να πραγματοποιείται ακόμη και όταν αυτοί είναι κατελιγμένοι. Εντούτοις, οι απαιτήσεις συντήρησης είναι χαμηλές και η συντήρηση καθ' εαυτή δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Μέσα στα πλαίσια της παροχής μεταβλητού όγκου αέρα (VAV), ο σχεδιαστής έχει διάφορες διαθέσιμες επιλογές, συμπεριλαμβανομένων των ανεμιστήρων για την ανακυκλοφορία του αέρα του δωματίου, καθώς και παρακάμψεων για τον αέρα που δεν είναι αναγκαίος, ώστε αυτός να διοχετεύεται πίσω στον ανεμιστήρα απόρριψης. Λύσεις αυτού του είδους είναι προτιμότερες από την απλή μείωση της ροής.

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

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

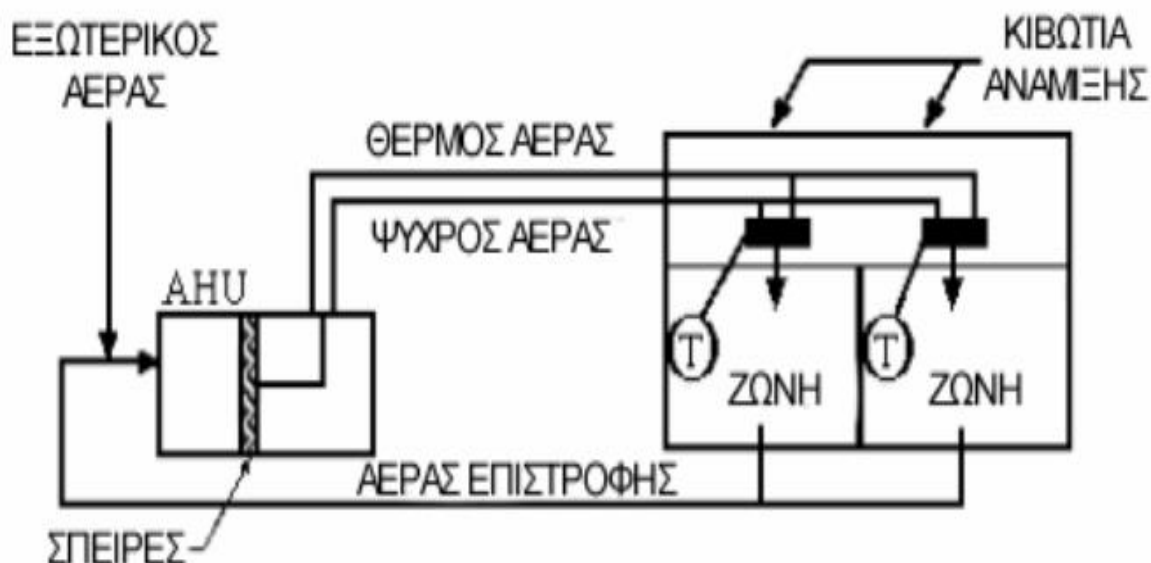
Τα συστήματα VAV είναι κατάλληλα πρωτίστως για τα κτίρια τα οποία παρουσιάζουν απαιτήσεις για ψύξη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Κανονικά θα πρέπει να εμφανίζουν μικρότερες απαιτήσεις σε χώρο από τα ισοδύναμα συστήματα πολλαπλών ζωνών, δεδομένου ότι, βάσει της φιλοσοφίας του σχεδιασμού τους, δεν χρειάζεται να παρέχεται πλήρης ψύξη ταυτόχρονα σε όλες τις ζώνες [27].



Εικόνα 5.2 - Σύστημα VAV [27]

### 5.1.3 Συστήματα διπλού αγωγού

Τα συστήματα διπλού αγωγού παρουσιάζουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν τις αρχές είτε του σταθερού είτε του μεταβλητού όγκου αέρα. Όπως υπονοείται από το όνομα τους και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5.3), στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται δύο αγωγοί, ένας που μεταφέρει τον ζεστό και ένας τον κρύο αέρα στο χώρο. Εκεί, ο αέρας αναμιγνύεται σε ένα θερμοστατικά ελεγχόμενο κιβώτιο ανάμιξης, που τοποθετείται συνήθως σε μια ψευδοροφή. Αυτά τα συστήματα παρέχουν ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας των δωματίων, αλλά οι κύριες δαπάνες και οι απαιτήσεις τους σε χώρο είναι σχετικά υψηλές, επειδή απαιτούνται δύο σύνολα δικτύων αγωγών. Στα συστήματα διπλού αγωγού, στη σταθερού όγκου μορφή τους, χρειάζεται συχνά να αναμιχθεί ο αέρας που έχει θερμανθεί (με τη χρήση ενέργειας) με αέρα που έχει δροσιστεί (πάλι με τη χρήση ενέργειας). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σπαταλάτε σημαντικό μέρος της ενέργειας για θέρμανση και δροσισμό [27].



Εικόνα 5.3 - Σύστημα διπλού αγωγού [27]

## 5.2 Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα – νερού

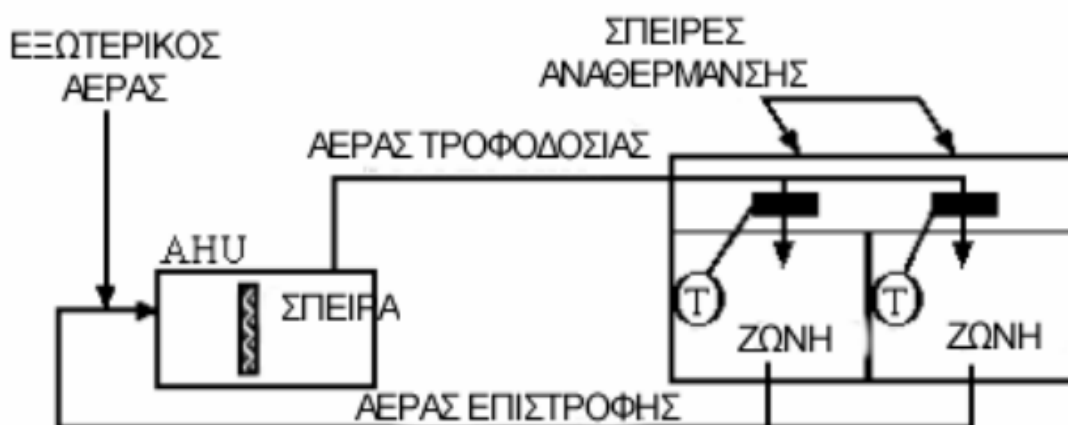
Ο κοινός παράγοντας σε αυτά τα συστήματα είναι ότι χρησιμοποιείται μία κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα (ΑΗΥ), όπως περιγράφεται ανωτέρω, αλλά ο περαιτέρω κλιματισμός του δωματίου μπορεί να είναι τοπικά ελεγχόμενος. Τα μερικώς συγκεντρωμένα πολυζωνικά συστήματα και τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα επιτρέπουν την ελεύθερη ψύξη, μέσω του ελέγχου απόσβεσης στην κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα [27].

### 5.2.1 Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση

Τα συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση (Εικόνα 5.4), τόσο τα σταθερού όσο και τα μεταβλητού όγκου, είναι κατάλληλα για τις περιπτώσεις όπου ο αέρας από τον κεντρικό ανεφοδιασμό πρέπει να θερμαίνεται ή να ψύχεται περαιτέρω, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε κλιματισμό των δωματίων. Αυτό γίνεται μέσω πρόσθετων σπειρών θέρμανσης ή ψύξης (μπαταρίες). Στα συστήματα σταθερού όγκου, η λειτουργία αυτή βελτιώνει σημαντικά τη δυνατότητα ελέγχου του συστήματος και το δίκτυο των αγωγών μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί χώρους με αρκετά διαφορετικές απαιτήσεις (πολυζωνικά συστήματα σταθερού όγκου) (Εικόνα 5.5).

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

Στα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο σπείρες αναθέρμανσης, τοποθετημένες μέσα στο κιβώτιο VAV (VAV με αναθέρμανση). Η διαμόρφωση αυτή έχει το μειονέκτημα ότι το καυτό νερό πρέπει να διοχετεύεται με σωλήνες στα κιβώτια VAV και, τότε, υφίσταται κάποια πιθανότητα για εμφάνιση διαρροών μέσα στις κατελιημμένες περιοχές. Το σύστημα αυτό, εν τούτοις, παρέχει καλό έλεγχο για τις περιοχές με ευρέως μεταβαλλόμενα θερμικά φορτία, ενώ η αναθέρμανση εφαρμόζεται μόνο σε κάποια από τα κιβώτια VAV, εκεί όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι μεγάλες, παραδείγματος χάριν στις περιμετρικές περιοχές [27].



Εικόνα 5.4 - Συγκεντρωμένο σύστημα αέρα με αναθέρμανση [27]



Εικόνα 5.5 - Πολυζωνικό σύστημα σταθερού όγκου [27]

### 5.2.2 Συστήματα επαγωγής

Τα συστήματα επαγωγής χρησιμοποιούν τον αέρα από την κεντρική μονάδα διαχείρισης (πρωτογενής αέρας), ο οποίος εγχέεται μέσω ακροφυσίων προκειμένου να προκληθεί κυκλοφορία του αέρα του δωματίου γύρω από μια σπείρα, στην οποία εφαρμόζεται ανάλογα θέρμανση ή ψύξη. Ο πρωτογενής αέρας περιορίζεται γενικά στην ελάχιστη ποσότητα φρέσκου αέρα που απαιτείται για τον εξαερισμό, με αποτέλεσμα τα συστήματα αυτά να παρέχουν περιορισμένες δυνατότητες για ελεύθερη ψύξη και έλεγχο της υγρασίας. Το καυτό ή/και κατεψυγμένο νερό παρέχεται σε κάθε δωμάτιο από συστήματα δύο σωλήνων (ένας ανεφοδιασμού και ένας επιστροφής), τριών σωλήνων (παροχές καυτού και κατεψυγμένου νερού, κοινή επιστροφή) ή τεσσάρων σωλήνων (παροχές και επιστροφές καυτού και κατεψυγμένου νερού). Μόνο τα συστήματα τεσσάρων σωλήνων παρέχουν δυνατότητες καλού ελέγχου και αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα και πρέπει γενικά να προτιμώνται.

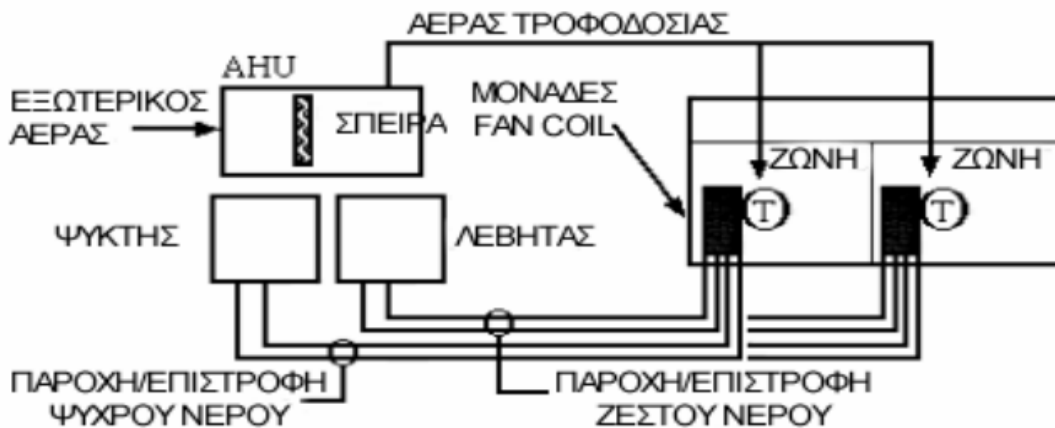
Ο κεντρικός έλεγχος των συστημάτων επαγωγής είναι περίπλοκος, αλλά οι περισσότερες μονάδες εγκαθίστανται με χειροκίνητα ελεγχόμενες διατάξεις απόσβεσης, για τον έλεγχο της ροής του επανακυκλοφορούμενου αέρα. Οι απαιτήσεις χώρου των συστημάτων επαγωγής είναι χαμηλές όσον αφορά το κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και το δίκτυο αγωγών. Οι ίδιες οι μονάδες απόδοσης τοποθετούνται συχνά κάτω από τα παράθυρα, καταλαμβάνοντας χώρο στο δάπεδο. Επίσης, διατίθενται μονάδες που μπορούν να τοποθετηθούν στην οροφή, οι οποίες όμως δεν είναι ευρέως διαδεδομένες. Κάθε μονάδα επαγωγής απαιτεί συντήρηση και καθαρισμό, που πρέπει να πραγματοποιείται στους κατελημμένους χώρους. Ο σφυριχτός ήχος του πρωτογενούς αέρα που εκλύεται από τα

ακροφύσια μπορεί επίσης να προκαλέσει κάποια ενόχληση, λόγω του θορύβου, στην κατειλημμένη περιοχή [27].

### 5.2.3 Συστήμα fan-coil νερού αέρα

Τα συστήματα fan-coil είναι παρόμοια με τις μονάδες επαγωγής, εκτός του ότι σ' αυτά ο αέρας κινείται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα, αντί να κινείται εξαιτίας του φαινομένου της επαγωγής. Ο φρέσκος αέρας μπορεί να παράσχετε από μία μονάδα διαχείρισης ή να προέρχεται άμεσα από το εξωτερικό περιβάλλον και να διέρχεται μέσω του ανεμιστήρα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5.6). Σε μερικούς τύπους των μονάδων αυτού του είδους, ο φρέσκος αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρασχεθεί και ελεύθερη ψύξη, κατά τον τρόπο που περιγράφεται στα προηγούμενα. Οι μονάδες fan-coil μπορούν να τοποθετούνται στην περίμετρο ή την οροφή των δωματίων, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι σύγχρονοι ανεμιστήρες είναι εκπληκτικά αθόρυβοι. Ο θόρυβος μπορεί πάραυτα να αποτελεί αιτία ενόχλησης, ενώ και η συντήρηση ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μπορεί να είναι δύσκολη.

Τα συστήματα μονάδων επαγωγής και μονάδων fan-coil κανονικά ανεφοδιάζονται πλήρως με φρέσκο αέρα από τη μονάδα διαχείρισης του αέρα. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων σε φρέσκο αέρα και, επομένως, τα συστήματα αυτά χρειάζονται για την ορθή λειτουργία τους πολύ μικρότερο όγκο αέρα από ό,τι ένα ισοδύναμο πολυζωνικό σύστημα. Απαιτούνται επίσης μικρότερα μεγέθη τόσο για τη μονάδα διαχείρισης του αέρα όσο και για τους αγωγούς, αν και τα συστήματα επαγωγής μπορεί να εμφανίζουν αυξημένες, σε σχέση με αυτές των fan-coil, απαιτήσεις σε χώρο λόγω της ανάγκης επαγωγής του αέρα των δωματίων. Στην περίπτωση όπου απαιτείται ταυτόχρονη θέρμανση και ψύξη από τις μονάδες επαγωγής ή fan-coil, συνιστάται να χρησιμοποιούνται συστήματα τεσσάρων σωλήνων.

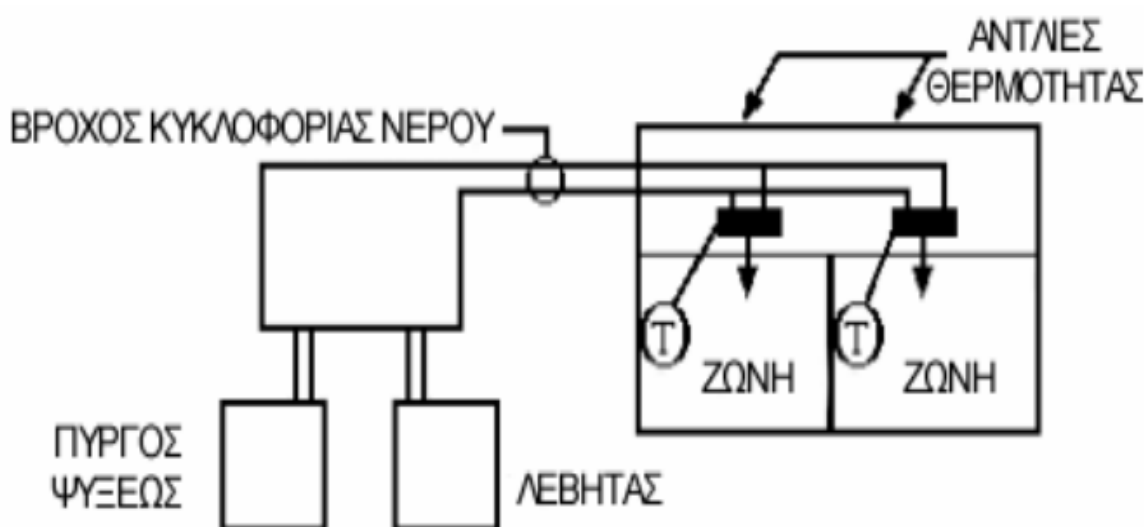


Εικόνα 5.6 - Σύστημα fan-coil νερού αέρα [27]



### 5.2.4 Μοναδιαία συστήματα αντλιών θερμότητας

Στα μοναδιαία συστήματα αντλιών θερμότητας χρησιμοποιείται ένας βρόχος νερού σταθερής θερμοκρασίας (δύο σωλήνων) για το καυτό και το κρύο μέσο. Το σχηματικό διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας πηγής νερού παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Εικόνα 5.7). Η θέρμανση (με τη βοήθεια ενός λέβητα) ή η ψύξη (συχνά από έναν πύργο ψύξεως) παρέχεται στο βρόχο του νερού στην περιοχή του κεντρικού δωματίου εγκαταστάσεων. Οι μονάδες αντλιών θερμότητας, που έχουν ενσωματωμένες και μονάδες fan-coil, χρησιμοποιούν αυτόν το βρόχο για να παράσχουν ή να αφαιρούν θερμότητα, ανάλογα με το εάν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη από τον κλιματιζόμενο χώρο [27].



Εικόνα 5.7 - Αντλία θερμότητας πηγής νερού [27]

### 5.3 Τοπικά συστήματα

Η φράση “δροσισμός άνεσης” είναι η πιο κατάλληλη για να περιγράψει τα περισσότερα τοπικά συστήματα κλιματισμού, δεδομένου ότι απ’ αυτά παρέχεται στο χώρο συνήθως μόνο ψύξη κατά τους θερινούς μήνες. Άλλες λειτουργίες του κλιματισμού, όπως είναι ο ανεφοδιασμός σε φρέσκο αέρα, ο έλεγχος της υγρασίας και η θέρμανση του χώρου, δεν είναι απαραίτητως διαθέσιμες. Αυτά τα συστήματα χαρακτηρίζονται από την εγκατάσταση μιας μονάδας ανά κλιματιζόμενη ζώνη, όταν μόνο μερικά μέρη ενός κτιρίου απαιτούν κλιματισμό ή εάν ο κλιματισμός πρόκειται να εισάγεται σε ένα δωμάτιο κάθε φορά [27].

### 5.3.1 Συσκευασμένες μονάδες διαμέσου τοίχων

Οι διαμέσου του τοίχου συσκευασμένες μονάδες είναι δημοφιλείς στις Μεσογειακές περιοχές αλλά ασυνήθιστες στις Βόρειο-Ευρωπαϊκές χώρες. Οι μονάδες αυτές αποτελούνται γενικά από μια μικρού μεγέθους ψυκτική μονάδα, με έναν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την κυκλοφορία του αέρα. Ο αέρας απορροφάται από το χώρο, δροσίζεται καθώς διέρχεται από τη μονάδα και επιστρέφεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Η θερμότητα που αφαιρείται από τον αέρα περνά δια μέσω του τοίχου και απορρίπτεται στον εξωτερικό αέρα. Οι μονάδες είναι απλές, χαμηλού κόστους κτήσεως, εύκολες στη χρήση και προσφέρουν τη δυνατότητα για τοπική ρύθμιση από το χρήστη. Αντιθέτως, οι δυνατότητες ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου είναι φτωχές, λόγω της θέσης των αισθητήρων και της σχετικής δράσης ελέγχου, η οποία γίνεται θέτοντας είτε σε λειτουργία είτε εκτός λειτουργίας τη μονάδα. Επιπλέον, οι μονάδες αυτές απαιτούν μοντάρισα στον τοίχο, μπορεί να είναι θορυβώδεις και, γενικά, δεν είναι πολύ αποδοτικές. Οι απαιτήσεις συντήρησης ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μπορεί να είναι σημαντικές, ενώ οι περισσότερες από αυτές δεν προσαρμόζονται εύκολα σε κάποιο σύστημα κεντρικού ελέγχου. Μερικές μονάδες προσφέρουν δυνατότητα θέρμανσης, με τη βοήθεια ηλεκτρικών στοιχείων, που όμως μπορεί να είναι ενεργοβόρα στη χρήση τους [27].

### 5.3.2 Διαιρούμενες μονάδες

Οι συσκευασμένες “διαιρούμενες μονάδες” είναι επίσης αρκετά δημοφιλείς. Το τοποθετημένο στο δωμάτιο μέρος των μονάδων μοιάζει εξωτερικά με μια μονάδα fan-coil, αλλά η ψύξη παρέχεται από το ψυκτικό μέσο και όχι από το κατεψυγμένο νερό. Το ψυκτικό μέρος των μονάδων αυτών μπορεί να βρίσκεται μακριά από την κατειλημμένη περιοχή και προσφέρουν δυνατότητες περιπλοκότερου ελέγχου απ' ό,τι οι διαμέσου του τοίχου συσκευασίες. Επίσης, μερικές μονάδες προσφέρονται με συμπιεστές μεταβλητής ταχύτητας, καθώς και με πολύπλοκο, προσαρμοζόμενο έλεγχο θερμοκρασίας με τη βοήθεια κάποιων τοποθετημένων σε απομακρυσμένα σημεία αισθητήρων. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συσκευασμένων διαιρούμενων μονάδων είναι σε μεγάλο βαθμό τα ίδια με αυτά των διαμέσου του τοίχου μονάδων, αλλά ένα μεγάλο μέρος της συντήρησης γίνεται τώρα έξω από την κατειλημμένη περιοχή. Τα πολυδιαιρούμενα συσκευασμένα συστήματα αποτελούν επίσης μια επιλογή, στην οποία διάφορα δοχεία ψύξης δωματίων συνδέονται με μια κεντρική μονάδα ψύξης. Ο μεμονωμένος έλεγχος των προαναφερθέντων δοχείων ψύξης δεν είναι γενικά δυνατός με ένα σύστημα αυτού του είδους [27].

### 5.3.3 Αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας

Οι μεμονωμένες αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας διατίθενται τόσο ως συστήματα δια μέσω του τοίχου, όσο και ως συσκευασμένες διαιρούμενες μονάδες. Σε αυτές η ψύξη μπορεί να λειτουργήσει και κατά την αντίστροφη φορά, αντλώντας θερμότητα μέσα στο, καθώς επίσης και από το, δωμάτιο. Έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ψύξη, όποτε αυτή χρειάζεται [27].

### 5.3.4 Συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου – VRF

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

Στις περισσότερες πολύπλοκες εκδόσεις, μία εσωτερική μονάδα ενός χώρου μπορεί να λειτουργεί στην κατάσταση θέρμανσης ή ψύξης ανεξάρτητα από τις άλλες. Η τελευταία αυτή διαμόρφωση είναι δυνατό να οδηγήσει σε σημαντικά ενεργειακά οφέλη, όταν απαιτούνται ταυτόχρονα θέρμανση και ψύξη σε διαφορετικές ζώνες. Αυτά τα συστήματα μπορεί να πλεονεκτούν στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμο κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και όταν διάφορες θερμικές ζώνες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση την ίδια στιγμή. Προσφέρουν μεγάλη ευελιξία, αλλά, όπως συμβαίνει και με όλα τα διανεμημένα συστήματα, οι δαπάνες για τη συντήρησή τους μπορεί να είναι σημαντικές [27].

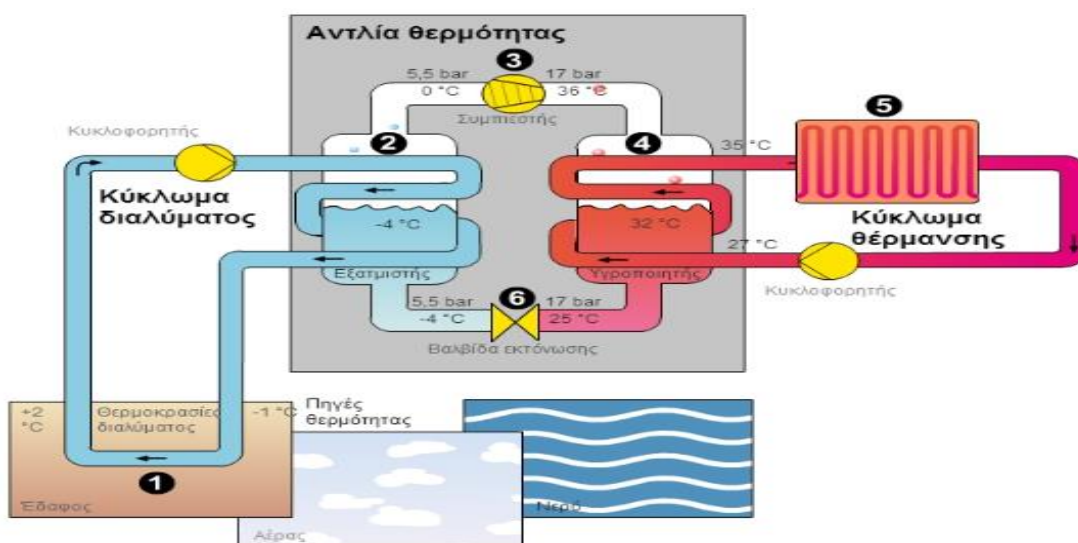
## 5.4 Περαιτέρω ανάλυση αντλιών θερμότητας

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει την δυνατότητα εναλλαγής λειτουργίας στον κύκλο ψύξης ενός συστήματος έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή άλλο μέσο μεταφοράς θερμότητας ή ψύχους, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου. Ως γνωστόν, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων. Το σύστημα αυτό όμως, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική ροή, δηλαδή 'αντλεί' θερμότητα και για αυτό ονομάζεται έτσι. Συγκεκριμένα το καλοκαίρι αφαιρεί θερμότητα από έναν κλιματιζόμενο χώρο, ενώ το χειμώνα αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον και την αποβάλλει μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τον θερμαίνει.

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας πρωτοεφαρμόστηκε ως επί το πλείστον στα συνήθη ψυγεία και καταψύκτες, τα κλιματιστικά και εν συνεχεία σε συσκευές παραγωγής ζεστού νερού χρήσης. Πολλές φορές ταυτίζεται ο όρος αντλία θερμότητας με το κλιματιστικό. Η διαφορά μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας και ενός κοινού κλιματιστικού είναι ότι η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη λειτουργώντας βάση του ίδιου θερμοδυναμικού κύκλου του οποίου η λειτουργία μπορεί να αντιστραφεί ανάλογα με την ανάγκη (θέρμανση ή ψύξη). Σε ψυχρά κλίματα είναι μάλιστα σύνηθες να σχεδιάζονται και να κυκλοφορούν στην αγορά αντλίες θερμότητας μόνο για θέρμανση ενώ στα θερμότερα κλίματα είναι σύνηθες η χρήση αυτών των μηχανών τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

Στη μηχανή κλιματισμού που απαιτεί μηχανικό έργο (που με τη σειρά του απαιτεί συνήθως κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας) για την συντήρηση του θερμοδυναμικού κύκλου, ο όρος αντλία θερμότητας αναφέρεται σε μηχανές που λειτουργούν με την χρήση συμπιεζόμενου αερίου ως μέσο μεταφοράς της ενέργειας ανάμεσα σε πηγή και καταβόθρα. Η μηχανή αυτή αποτελείται από κυκλοφορητή, συμπιεστή, βαλβίδα εκτόνωσης και εναλλάκτης θερμότητας ώστε η κατεύθυνση άντλησης της θερμικής ενέργειας να μπορεί να αντιστραφεί. Για το λόγο αυτό συνήθως παρέχει θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων αλλά και ζεστό νερό χρήσης. Οι πιο κοινές πηγές άντλησης θερμότητας για τέτοιες μηχανές είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας και το έδαφος. Ανάλογα με την φύση της πηγής και αντίστοιχα της καταβόθρας οι αντλίες θερμότητας διαχωρίζονται σε αέρα-αέρα, αέρα-νερού και νερού-νερού

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας, βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, έναν αέναο κύκλο εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού όπως στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5.8):

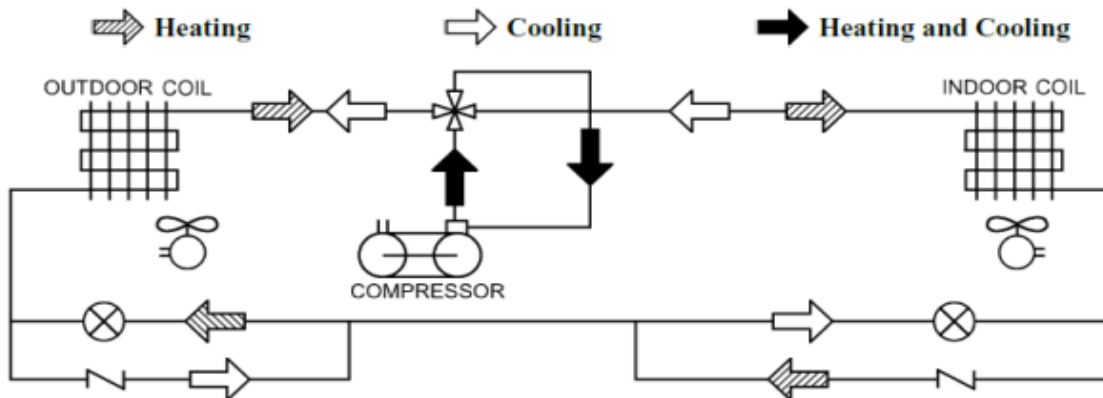


Εικόνα 5.8 - Αντλία θερμότητας – Αρχή λειτουργίας [28]

Το ρευστό (ψυκτικό μέσο) που ρέει μέσα στις σωλήνες, στη θέση 4, είναι υγρό σε μεγάλη πίεση και θερμοκρασία, μετά το συμπιεστή. Στη θέση 4, αποβάλλεται θερμότητα, ενώ μετά το ψυκτικό μέσο, εκτονώνεται (μειώνεται η πίεση του) στην εκτονωτική βαλβίδα (6), και εξατμίζεται (λόγω της πτώσης της πίεσης) στον εξατμιστή στη θέση 2, όπου ψύχεται και προσλαμβάνει θερμότητα. Στη συνέχεια το κρύο ψυκτικό μέσο, σε αέρια ακόμη μορφή, συμπιέζεται στον συμπιεστή, υγροποιείται, θερμαίνεται, αποβάλλει θερμότητα και ούτω κάθε εξής. Το σημαντικό είναι ότι σε κάθε κύκλο, αποβάλλεται θερμότητα στη θέση 4 και προσλαμβάνεται στη θέση 2, άρα εφόσον ο κύκλος είναι διαρκής υπάρχει μια διαρκής μεταφορά θερμότητας από το σημείο 2 στο σημείο 4 και άρα με τον ψυκτικό κύκλο μπορούμε να μεταφέρουμε θερμότητα (ενέργεια) μεταξύ δυο σημείων, και αυτός είναι ο λόγος που οι συσκευές που λειτουργούν με τον τρόπο αυτόν ονομάζονται αντλίες θερμότητας. Για να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε τη δυνατότητα άντλησης ενέργειας, θα πρέπει στα σημεία 2 και 4, η σωλήνα να έχει τέτοια μορφή, ώστε να μπορεί να προσλάβει και να αποβάλει ενέργεια το ρευστό ευκολότερα. Η πρόσληψη και η εναλλαγή ενέργειας, γίνεται μέσω ειδικών διατάξεων, που λέγονται εναλλάκτες θερμότητας [28].

#### 5.4.1 Αντλία θερμότητας Αέρα-Αέρα

Οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα (Εικόνα 5.9) αποτελούν τον συνηθέστερο τύπο θερμικής αντλίας και χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε εμπορικά όσο και σε οικιακά κτίρια. Σε αυτά τα συστήματα ο θερμός ή ψυχρός αέρας κυκλοφορεί είτε υποβοηθούμενος από κάποιον κινητήρα είτε μέσω κατάλληλων αεροβαλβίδων παράκαμψης. Σε αυτού του τύπου τις αντλίες πάντοτε ο ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι ο ατμοποιητής και ο άλλος ο συμπυκνωτής. Κατά τη λειτουργία του ψυκτικού κύκλου ο εξωτερικός αέρας διέρχεται από τον συμπυκνωτή, ενώ ο αέρας του κλιματιζόμενου χώρου διέρχεται από τον ατμοποιητή και η μετατροπή του κύκλου σε “κύκλο θέρμανσης” επιτυγχάνεται με τη χρήση της τετράοδης βαλβίδας η οποία αναστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου [29].

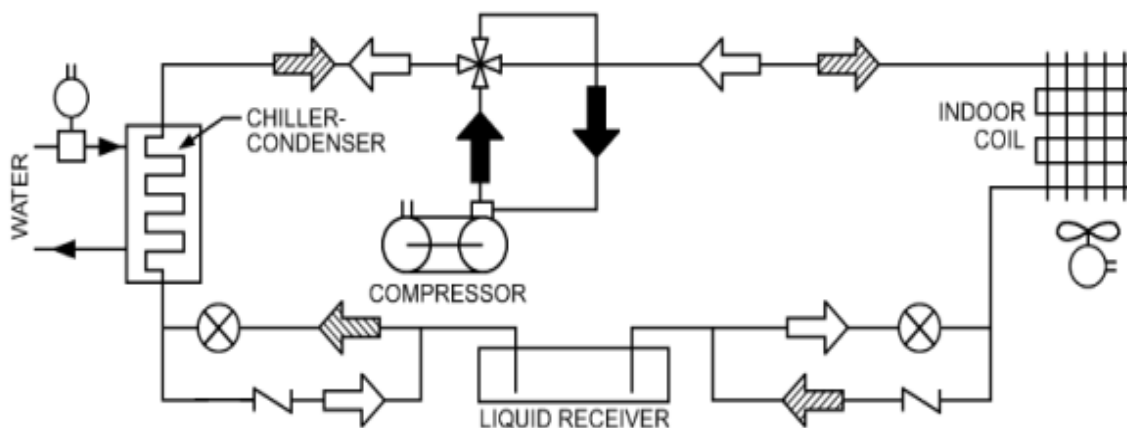


Εικόνα 5.9 – Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα [29]

Βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου είναι ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ειδικότερα στις μέρες όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, η απόδοση τους μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα να αδυνατούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες θέρμανσης. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό τοποθετούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις ως συμπληρωματική πηγή θερμικής ενέργειας. Οι αντιστάσεις αυτές τοποθετούνται στη μονάδα διαχείρισης του αέρα και ενεργοποιούνται αυτόματα και σταδιακά καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αρχίζει να μειώνεται [29].

#### 5.4.2 Αντλία θερμότητας Νερού-Αέρα

Οι αντλίες θερμότητας νερού-αέρα (Εικόνα 5.10) χρησιμοποιούν το νερό ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας και τον αέρα για να μεταφέρει ή να απάγει θερμότητα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Το νερό προσάγεται μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων σε υδρόψυκτο συμπυκνωτή/ατμοποιητή όπου ανταλλάσσει θερμότητα με το ψυκτικό ρευστό, ενώ το ψυκτικό ρευστό ανταλλάσσει θερμότητα με τον κλιματιζόμενο αέρα μέσω αερόψυκτου ατμοποιητή/συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, ο κλιματιζόμενος αέρας προσάγεται στους χώρους μέσω κατάλληλου δικτύου αεραγωγών. Η εναλλαγή του κύκλου λειτουργίας της αντλία από θέρμανση σε ψύξη πραγματοποιείται με χρήση της τετράοδης βαλβίδας η οποία αναστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου. Το νερό που χρησιμοποιείται ως πηγή και αποδέκτης θερμότητας μπορεί να είναι είτε υπεδafικό είτε επίγειο αλλά και απόνερα [29].

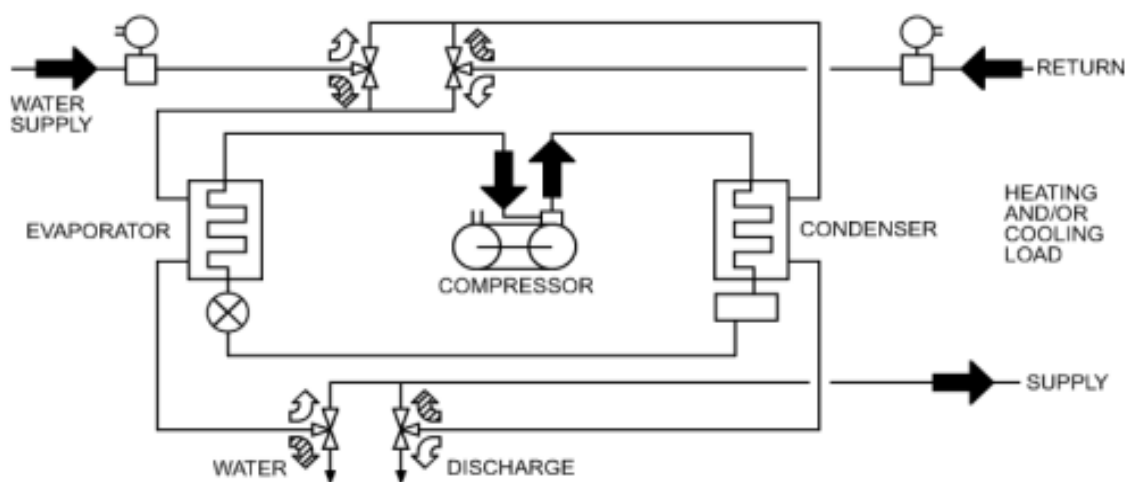


Εικόνα 5.10 – Αντλία θερμότητας νερού-αέρα [29]

### 5.4.3 Αντλία θερμότητας Νερού-Νερού

Οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού (Εικόνα 5.11) χρησιμοποιούν ως πηγή και αποδέκτη θερμότητας το νερό. Το πρωτεύον κύκλωμα τροφοδοτείται με νερό από το περιβάλλον, ενώ το δευτερεύον συνδέεται με τοπικές μονάδες ανεμιστήρα/στοιχείου (fan-coil units) ή με στοιχεία κλιματιστικών μονάδων (AHUs).

Το θερμό/ψυχρό νερό του δευτερεύοντος κυκλώματος εξασφαλίζει τις επιθυμητές συνθήκες κλιματισμού κάθε χώρου. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του νερού προσαγωγής και του ψυκτικού ρευστού αλλά και μεταξύ ψυκτικού ρευστού και δευτερευόντως κυκλώματος, πραγματοποιείται με τη βοήθεια υδρόψυκτου εναλλάκτη (συμπυκνωτή/ατμοποιητή) [29].



Εικόνα 5.11 -Αντλία θερμότητας νερού-νερού [29]

## 6. Παρουσίαση μοντέλου

### 6.1 Γενικά στοιχεία

Το εξεταζόμενο κτίριο σχεδιάστηκε εξολοκλήρου από την αρχή για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας με χρήση των λογισμικών SketchUp Make 2017 και του EnergyPlus μέσω του OpenStudio plug-in, και δεν αντιστοιχεί σε κάποιο υπό σχεδίαση ή υφιστάμενο κτίριο. Θεωρήθηκε ότι το κτίριο θα κατασκευαστεί στην πανεπιστημιακή κοινότητα του Ε.Μ.Π, στην Ζωγράφου, στην Αθήνα.

Οι διαστάσεις του κτιρίου είναι 20m x 30m, ύψους 7m και αποτελείται από το ισόγειο και ένα όροφο. Το κτίριο προορίζεται για να λειτουργεί ως “κτίριο – γραφείων” και περιέχει όλους τους απαραίτητους χώρους που απαιτείται να έχει ένα σύγχρονο “κτίριο – γραφείων”, οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικά στην επόμενη υπό-ενότητα (6.2).

Η σχεδίαση του κτιρίου πραγματοποιείται με γνώμονα τις μειωμένες ενεργειακές καταναλώσεις και πραγματοποιούνται παραμετρικές μελέτες σε κύριες παραμέτρους, όπως τα δομικά υλικά, το σύστημα κλιματισμού και θέρμανσης κ.λπ., με σκοπό την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων. Το κτίριο φέρει φωτοβολταϊκά πάνελ οροφής συνολικού εμβαδού 50m<sup>2</sup> τοποθετημένα σε κλίση 30° με σκοπό να καλύπτουν ένα μέρος από τις καταναλώσεις αυτού.

### 6.2 Εσωτερική διαμόρφωση κτιρίου – κατόψεις

Το κτίριο εσωτερικά αποτελείται από 29 συνολικά χώρους. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 1, Πίνακας 2) παρουσιάζονται αναλυτικά όλοι οι χώροι του κτιρίου που βρίσκονται στο ισόγειο (Εικόνα 6.1) και στον πρώτο όροφο (Εικόνα 6.2).

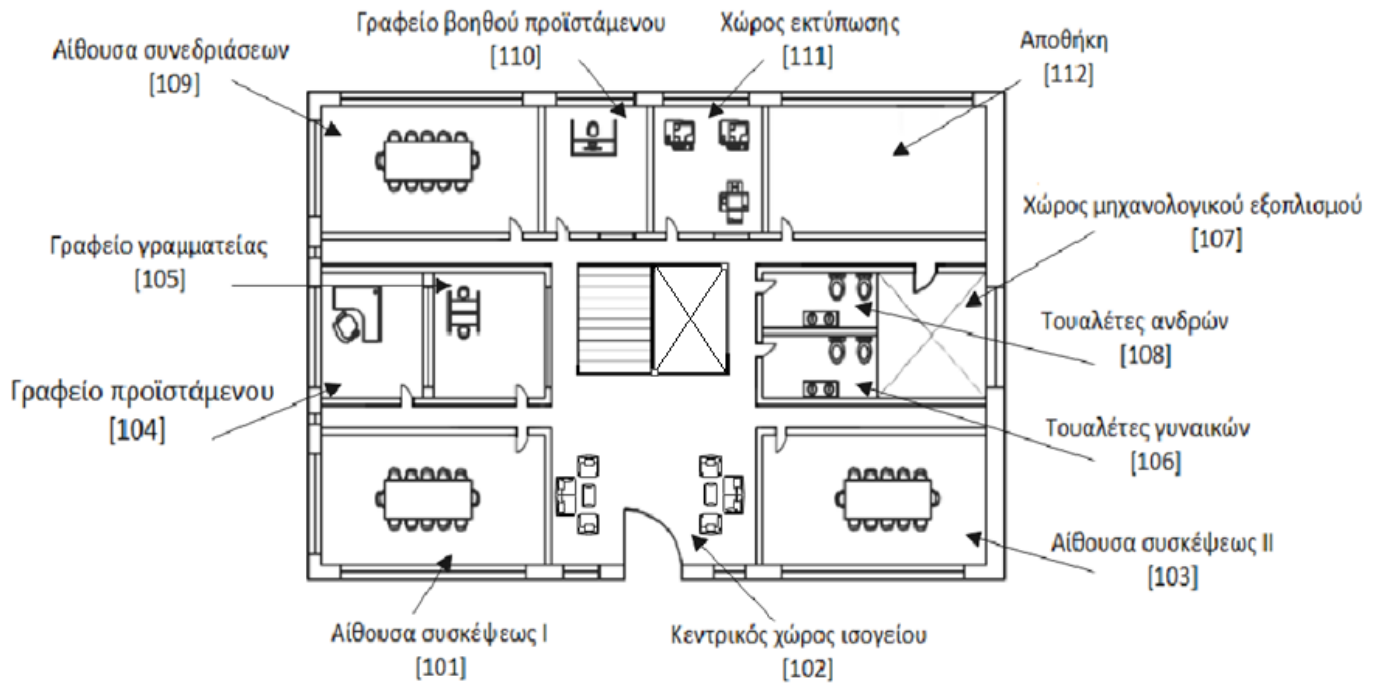


**Πίνακας 1 – Χώροι ισογείου**

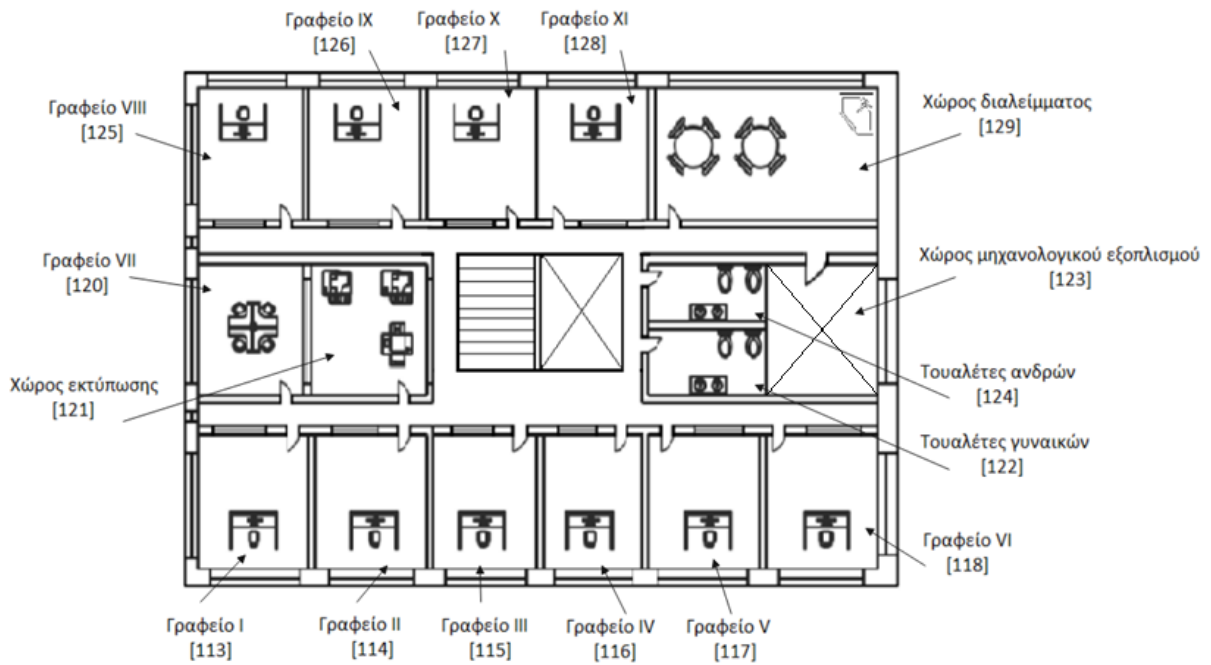
<b>Χρήση χώρου</b>	<b>Αριθμός χώρου</b>
Κεντρικός χώρος ισογείου	102
Αίθουσα συσκέψεως Ι	101
Αίθουσα συσκέψεως ΙΙ	103
Γραφείο προϊστάμενου	104
Γραφείο γραμματείας	105
Τουαλέτες γυναικών	106
Τουαλέτες ανδρών	108
Χώρος μηχανολογικού εξοπλισμού	107
Αίθουσα συνεδριάσεων	109
Γραφείο βοηθού προϊστάμενου	110
Χώρος εκτύπωσης	111
Αποθήκη	112

**Πίνακας 2 – Χώροι Ορόφου**

<b>Χρήση χώρου</b>	<b>Αριθμός χώρου</b>
Κεντρικός χώρος ορόφου	119
Γραφείο Ι	113
Γραφείο ΙΙ	114
Γραφείο ΙΙΙ	115
Γραφείο ΙV	116
Γραφείο V	117
Γραφείο VI	118
Γραφείο VII	120
Γραφείο VIII	125
Γραφείο IX	126
Γραφείο X	127
Γραφείο XI	128
Χώρος εκτύπωσης	121
Τουαλέτες γυναικών	122
Τουαλέτες ανδρών	124
Χώρος μηχανολογικού εξοπλισμού	123
Χώρος διαλείμματος	129



Εικόνα 6.1 - Κάτοψη ισογείου



Εικόνα 6.2 - Κάτοψη ορόφου

### 6.3 Διαχωρισμός χώρων σε θερμικές ζώνες

Ο διαχωρισμός των χώρων του κτιρίου στις κατάλληλες θερμικές ζώνες αποτελεί ένα από τους βασικότερους παράγοντες στην ενεργειακή μοντελοποίηση αυτού. Για τον καθορισμό των θερμικών ζωνών του κτιρίου έχουν ληφθεί υπόψη τα παρακάτω βασικά κριτήρια [30]:

- Περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία , θόρυβος)
- Χρήση του κάθε χώρου (Χρονοδιαγράμματα λειτουργίας)
- Κέρδη ηλιακής θερμότητας
- Προσανατολισμός

Συνολικά το κτίριο έχει χωριστεί σε 14 θερμικές ζώνες και οι χώροι που εμπεριέχονται σε κάθε ζώνη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3).

**Πίνακας 3 – Θερμικές ζώνες κτιρίου**

Θερμική ζώνη	Αριθμός χώρου	Όροφος
1	102	Ισόγειο
2	106,107,108,112	
3	101	
4	104,105	
9	103	
10	109	
11	110,111	
5	119	1 <sup>ος</sup> Όροφος
6	113,114,115	
7	122,123,124	
8	129	
12	116,117,118	
13	120,121	
14	125,126,127,128	

## 7. Παρουσίαση των λογισμικών

### 7.1 Παρουσίαση του λογισμικού EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα από τα βασικότερα προγράμματα ενεργειακής ανάλυσης, προσομοίωσης και υπολογισμού των θερμικών φορτίων αλλά και άλλων ενεργειακών καταναλώσεων μίας θερμικής εγκατάστασης ή ενός κτιρίου. Βασίζεται στη ταυτόχρονη λειτουργία πολλών υποπρογραμμάτων τα οποία έχουν σαν σκοπό να υπολογίσουν μια πληθώρα μεταβλητών όπως τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης για την θερμική ισορροπία του κτιρίου, τις θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών και των επιφανειών, την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου κλπ. Οι πληροφορίες οι οποίες απαιτούνται για την εκκίνηση της προσομοίωσης θα πρέπει να εισαχθούν από τον χρήστη και αφορούν την αναλυτική περιγραφή των γεωμετρικών και δομικών χαρακτηριστικών του κτιρίου καθώς επίσης και των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC Systems-Heating Ventilation and Aircondition Systems). Για την υλοποίηση της κτιριακής προσομοίωσης το EnergyPlus παρέχει, μεταξύ άλλων, τα υποπρογράμματα: IDF Editor και EP-Launch τα οποία αντίστοιχα εξυπηρετούν στη δημιουργία/επεξεργασία αρχείων εισόδου και την εκτέλεση προσομοιώσεων. Η προσομοίωση όπως επίσης και οι υπολογισμοί στηρίζονται στις θεμελιώδεις αρχές της μεταφοράς θερμότητας (Εικόνα 7.1) [31].

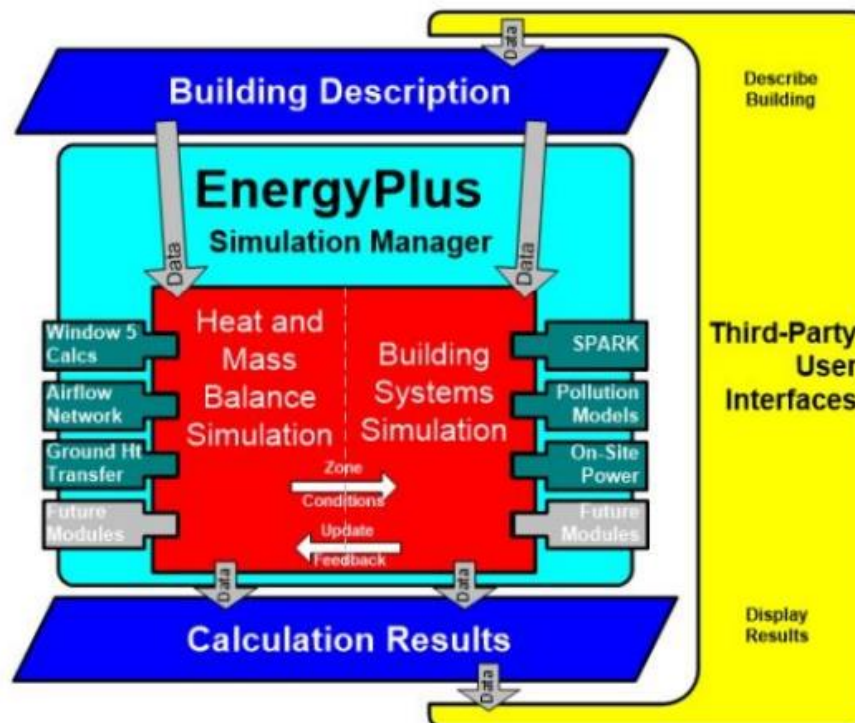
Πρόκειται επίσης για ένα ελεύθερο λογισμικό (freeware), ανοιχτού κώδικα (open source) και ανεξάρτητο πλατφόρμας (cross-platform) υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++ (ή στην Fortran90 σε παλαιότερες εκδόσεις), το οποίο εκδόθηκε από το τμήμα ενέργειας της Αμερικάνικης κυβέρνησης το 2001 και έχει τις ρίζες του στα προγενέστερα προγράμματα BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) και DOE-2. Τα προγράμματα αυτά αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '70 ως εργαλεία ενεργειακής προσομοίωσης, με σκοπό να συμβάλουν στην σχεδίαση κτιρίων και εγκαταστάσεων με βελτιστοποιημένη ενεργειακή απόδοση και μάλιστα σε μία περίοδο έντονης ανησυχίας για το ενεργειακό ζήτημα όπως αυτό διαμορφώθηκε μετά την πετρελαϊκή κρίση των αρχών του '70. Πολλά από τα χαρακτηριστικά του EnergyPlus στηρίζονται στα δύο αυτά προγράμματα, αλλά προφανώς πρόκειται για μία βελτιωμένη έκδοση η οποία υπερβαίνει τις ελλειμματικές των προκατόχων της (πολυπλοκότητα στον κώδικα, αδυναμία ανατροφοδότησης με τα συστήματα HVAC και τις συνθήκες των θερμικών ζωνών, διαδοχικές προσομοιώσεις χωρίς την δυνατότητα ανάδρασης, χρήση απαρχαιωμένης γλώσσας προγραμματισμού κ.α.). Σε αντίθεση με τα BLAST/DOE-2, στο EnergyPlus, το μοντέλο προσομοιώνεται αρκετά ρεαλιστικά αφού τα αποτελέσματα των υποπρογραμμάτων συνδέονται με αναδράσεις, καταλήγοντας σε μια λειτουργία ταυτόχρονης λύσης με αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και συστημάτων HVAC. Το σύνολο του προγράμματος, μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια σειρά από λειτουργικά στοιχεία που ενώνονται με βρόχους. Η διαδικασία επίλυσης είναι μια επαναληπτική δομή διαδοχικών αντικαταστάσεων τύπου Gauss-Seidell. Όλα τα στοιχεία ενσωματώνονται και ελέγχονται από τον διαχειριστή της προσομοίωσης.

Το EnergyPlus δεν διαθέτει γραφικό περιβάλλον, αλλά ο χρήστης εισάγει και εξάγει δεδομένα και αποτελέσματα σε μορφή κειμένου (console-base program), αλλά επειδή η διαδικασία αυτή μπορεί να αποδειχθεί χρονοβόρα και περίπλοκη, αρκετοί τρίτοι εκδότες δημιούργησαν πολλά και διαφορετικά GUI ( Graphical SAR Interface - Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη) με το πιο γνωστό και διαδεδομένο να είναι το OpenStudio.

Παρακάτω είναι μια λίστα με μερικά από τα χαρακτηριστικά της πρώτης έκδοσης του EnergyPlus:

- Ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη επίλυση της συμπεριφοράς του κτιρίου και των πρωτευόντων και δευτερευόντων συστημάτων, όταν αυτά είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους.
- Χρονικά βήματα μικρότερα της μίας ώρας για την αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος, καθώς και μεταβλητά χρονικά βήματα για την αλληλεπίδραση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού (HVAC Systems).
- ASCII αρχεία κειμένου, για τα κλιματολογικά και τα δεδομένα εισόδου, που περιλαμβάνουν ωριαίες, ή και συντομότερες καταγραφές καθώς και αποτελέσματα με τύπο και μορφή που καθορίζονται από τον χρήστη.
- Τεχνική επίλυση βασισμένη στη θερμική ισορροπία των φορτίων του κτιρίου, που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της ακτινοβολίας και της συναγωγής, τόσο για την εσωτερική όσο και για την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου.
- Συναρτήσεις θερμικής αγωγιμότητας για τον υπολογισμό αυτής στα διάφορα μέρη του κτιρίου, όπως τοίχοι, οροφές, δάπεδα κλπ.
- Βελτιωμένη προσομοίωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω εδάφους, βασισμένη σε τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους και απλοποιημένες μεθόδους ανάλυσης.
- Συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό της απορρόφησης και της αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα των επιφανειών του κτιρίου. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή με το μοντέλο EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model).
- Μοντέλα θερμικής άνεσης που λαμβάνουν υπόψη τους τη δραστηριότητα των ενοίκων, την υγρασία κλπ.
- Ανισοτροπικό μοντέλο ουρανού για τον καλύτερο υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε κεκλιμένες επιφάνειες.
- Σύνθετοι υπολογισμοί ανοιγμάτων που περιλαμβάνουν ελεγχόμενες περσίδες παραθύρων, ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες κ.ά.

- Έλεγχοι της ημερήσιας ηλιακής φωτεινότητας, συμπεριλαμβανομένων και των υπολογισμών του εσωτερικού φωτισμού, της προσομοίωσης και του ελέγχου και του τεχνητού φωτισμού.
- Υπολογισμοί της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τις ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO και μικροσωματιδίων, οι οποίοι παράγονται κατά τις μετατροπές της ενέργειας ώστε να μπορεί να καταναλωθεί από το κτίριο και τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που αυτό διαθέτει.
- Παραπομπές σε άλλα δημοφιλή περιβάλλοντα προσομοίωσης τα οποία επιτρέπουν την λεπτομερέστερη ανάλυση των δομικών στοιχείων του κτιρίου [32].



Εικόνα 7.1 - Σχηματική απεικόνιση του λογισμικού EP από την κατασκευάστρια εταιρεία [31]

## 7.2 Παρουσίαση του λογισμικού SketchUp

Το λογισμικό SketchUp Make 2017 αποτέλεσε το βασικό πρόγραμμα για το σχεδιασμό του κτηρίου. Είναι η τελευταία δωρεάν έκδοση του λογισμικού όπου μέσω αυτού ήταν δυνατή η μοντελοποίηση του κτηριακού κελύφους και του εσωτερικού του που αποτέλεσε και βασικό βήμα της εκπλήρωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το SketchUp, πρώην Google SketchUp αποτελεί ένα πρόγραμμα υπολογιστή που δίνει την δυνατότητα σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων (3D) και απευθύνεται κυρίως σε χρήστες του κλάδου της αρχιτεκτονικής, της διακόσμησης, της αρχιτεκτονικής τοπίου, της μηχανολογίας, τον σχεδιασμό παιχνιδιών και ταινιών. Το SketchUp έχει ενσωματωμένη την τεχνολογία BIM στον πυρήνα του, παρέχοντας στους επαγγελματίες μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα σχεδίασης στην οποία κάθε στοιχείο που σχεδιάζεται έχει ενσωματωμένες όλες τις πληροφορίες που το συνοδεύουν, όπως η γεωμετρία, η θέση του, το υλικό και μία σειρά από άλλες παραμέτρους και χαρακτηριστικά. Το πρόγραμμα ανήκει στην εταιρία Trimble Inc., η οποία παρόλο που είναι γνωστή για την τεχνολογία GPS, ενσωματώνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών εντοπισμού θέσης, συμπεριλαμβανομένων GPS, laser, οπτικών και αδρανειακών τεχνολογιών με λογισμικό εφαρμογών, ασύρματες επικοινωνίες καθώς και υπηρεσίες. Επιτρέπει τη χρήση μιας ψηφιακής βιβλιοθήκης, στην οποία χρήστες μπορούν να “ανεβάσουν” έτοιμα αρχεία δωρεάν στο ευρύ κοινό, που ονομάζεται 3D Warehouse και υποστηρίζει προγράμματα “plug-in” διαφορετικών κατασκευαστών μέσω του Extension Warehouse, δίνοντας διαφορετικές δυνατότητες στο χρήστη όπως π.χ. την δημιουργία 3D μοντέλων στο Google Earth. Το plug-in που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το OpenStudio, το οποίο δίνει την δυνατότητα στο χρήστη, μέσω του SketchUp, την γρήγορη και εποπτική μοντελοποίηση κτηρίων με σκοπό την ενεργειακή τους ανάλυση [33].

## 7.3 Παρουσίαση του λογισμικού OpenStudio

Το OpenStudio είναι μια συλλογή εργαλείων λογισμικού πολλαπλών πλατφόρμων (Windows, Mac και Linux) για την υποστήριξη της ενεργειακής μοντελοποίησης ολόκληρου του κτιρίου χρησιμοποιώντας το EnergyPlus και την προηγμένη ανάλυση φωτός της ημέρας με χρήση Radiance. Το OpenStudio είναι ένα έργο ανοιχτού κώδικα (LGPL) για τη διευκόλυνση της κοινοτικής ανάπτυξης, επέκτασης και υιοθέτησης από τον ιδιωτικό τομέα.

Οι γραφικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την προσθήκη OpenStudio SketchUp, την Εφαρμογή OpenStudio και το Εργαλείο Παραμετρικής Ανάλυσης. Το SketchUp Plug-in και η εφαρμογή OpenStudio διατηρούνται από το OpenStudio Coalition, το οποίο ιδρύθηκε για τη συντήρηση και ανάπτυξη αυτών των γραφικών εφαρμογών για την κοινότητα ενεργειακών μοντέλων κτιρίων. Το SketchUp Plug-in είναι μια επέκταση του δημοφιλούς εργαλείου μοντελοποίησης SketchUp 3D της Trimble που επιτρέπει στους χρήστες να

δημιουργούν γρήγορα τη γεωμετρία που απαιτείται για το EnergyPlus. Επιπλέον, το OpenStudio υποστηρίζει εισαγωγή gbXML και IFC για δημιουργία γεωμετρίας. Η εφαρμογή OpenStudio είναι μια πλήρως εξοπλισμένη γραφική διεπαφή για τα μοντέλα OpenStudio, συμπεριλαμβανομένων των φακέλων, των φορτίων, των χρονοδιαγραμμάτων και του HVAC. Το ResultsViewer επιτρέπει την περιήγηση, τη γραφική παράσταση και τη σύγκριση δεδομένων εξόδου προσομοίωσης, ειδικά χρονοσειρών. Το Εργαλείο Παραμετρικής Ανάλυσης επιτρέπει τη μελέτη του αντίκτυπου της εφαρμογής πολλαπλών συνδυασμών Μετρήσεων OpenStudio σε ένα βασικό μοντέλο καθώς και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης για υποβολή EDAPT.

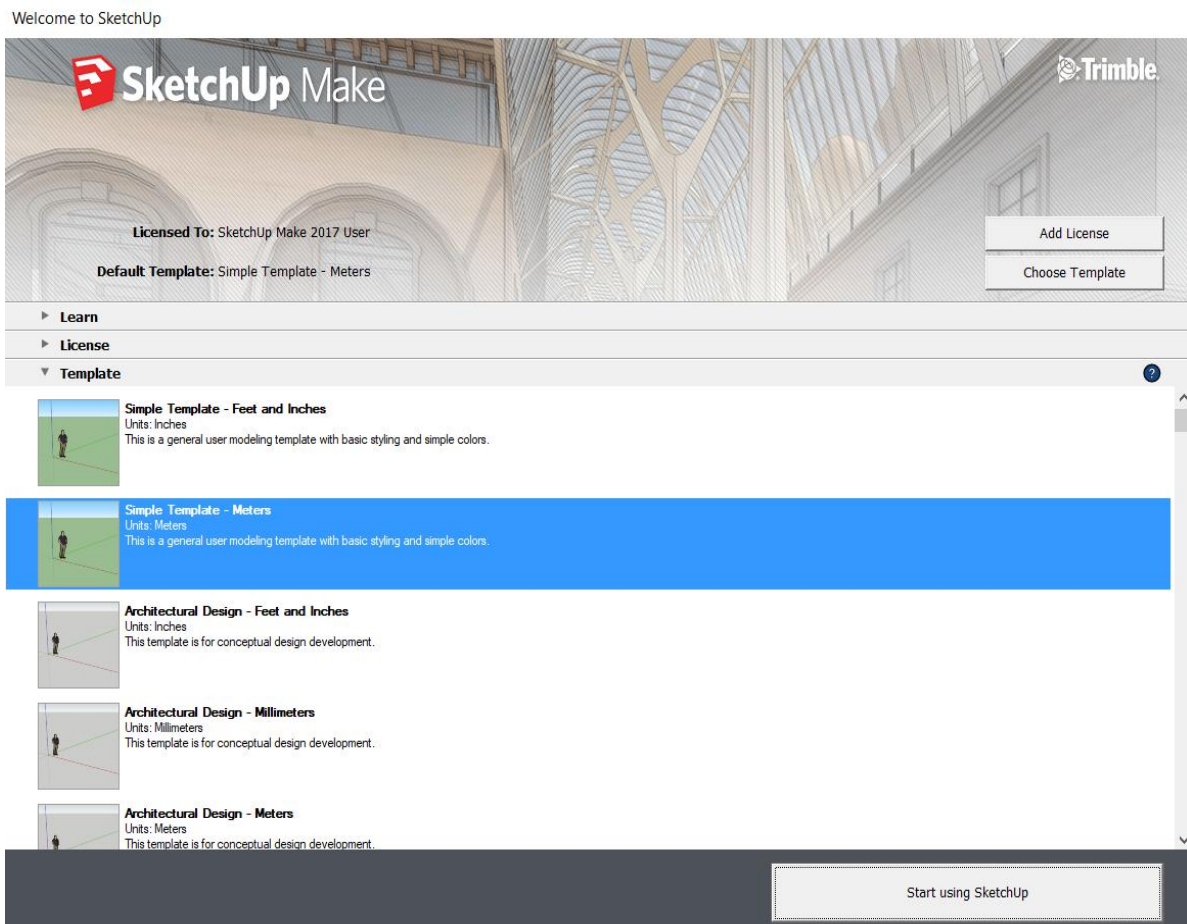
Το OpenStudio επιτρέπει σε ερευνητές κτιρίων και προγραμματιστές λογισμικού να ξεκινήσουν γρήγορα μέσω των πολλαπλών επιπέδων εισόδου του, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης μέσω C++, Ruby, Python και C#. Οι χρήστες μπορούν να αξιοποιήσουν τη διεπαφή Ruby για να δημιουργήσουν OpenStudio Measures που μπορούν εύκολα να μοιραστούν και να εφαρμοστούν σε μοντέλα OpenStudio [34].



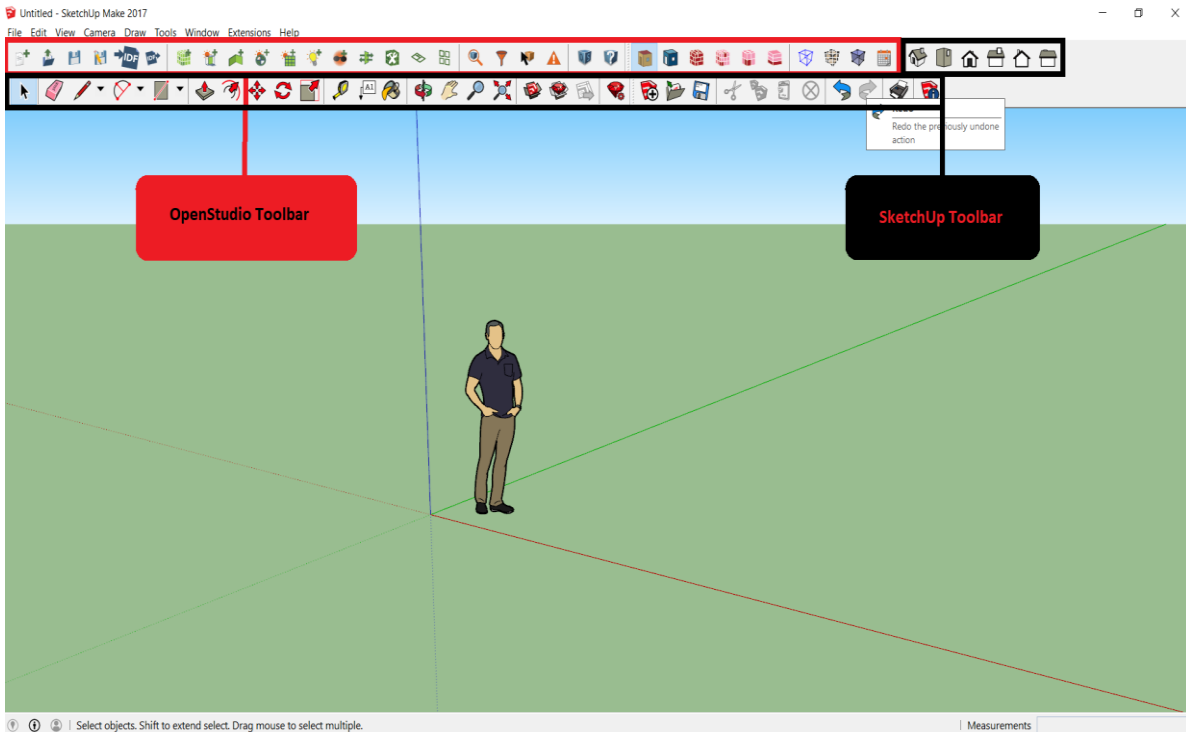
## 8. Αναλυτική περιγραφή της μοντελοποίησης του κτιρίου (SketchUp-OpenStudio)

### 8.1 SketchUp

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος για πρώτη φορά, γίνεται η επιλογή του επιθυμητού συστήματος μέτρησης (Εικόνα 8.1), και στην συνέχεια αναδύεται το εξής παράθυρο (Εικόνα 8.2):

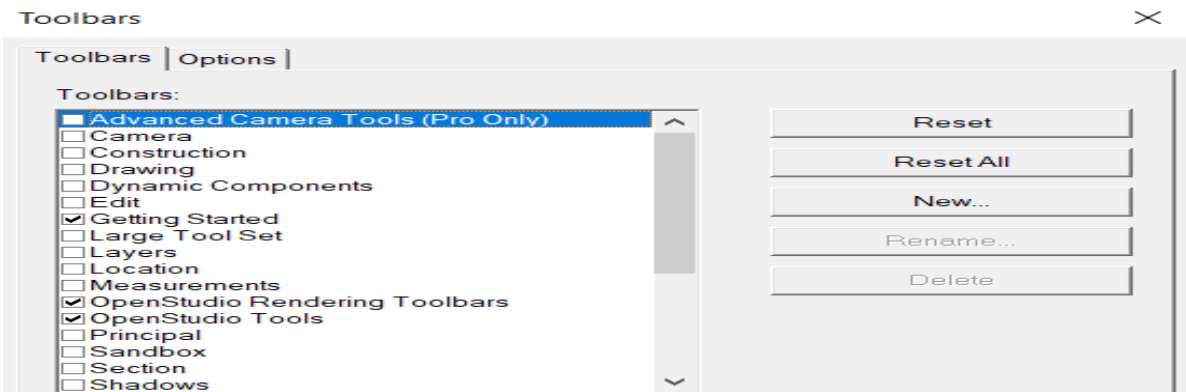


Εικόνα 8.1 - Παράθυρο έναρξης SketchUp



Εικόνα 8.2 - Γραφικό περιβάλλον SketchUp

Κατά την πρώτη εκτέλεση του προγράμματος η γραμμή εργαλείων του OpenStudio δεν υπήρχε. Χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του κατάλληλου OpenStudio Plugin μέσω της βιβλιοθήκης του NREL (OpenStudio SDK Version Compatibility Matrix) ακολουθώντας κατά σειρά τις εντολές Window – Extension Manager – Install Extension. Πέραν των βασικών γραμμών εργαλείων, ο σχεδιαστής δύναται να κάνει χρήση αρκετών ακόμα, με σκοπό τη διευκόλυνση του σχεδιαστικού του έργου. Οι επιπλέον γραμμές εργαλείων, γίνονται επιλέξιμες μέσω της επιλογής view – toolbar (Εικόνα 8.3).



Εικόνα 8.3 - Παράθυρο επιλογής γραμμών εργαλείων

### 8.1.1 Σχεδιασμός ισογείου

Η πρώτη εντολή που επιλέγεται είναι η New OpenStudio Model From Wizard στην οποία πραγματοποιείτε ο ορισμός της ταυτότητας του κτιρίου (Εικόνα 8.4).

User input

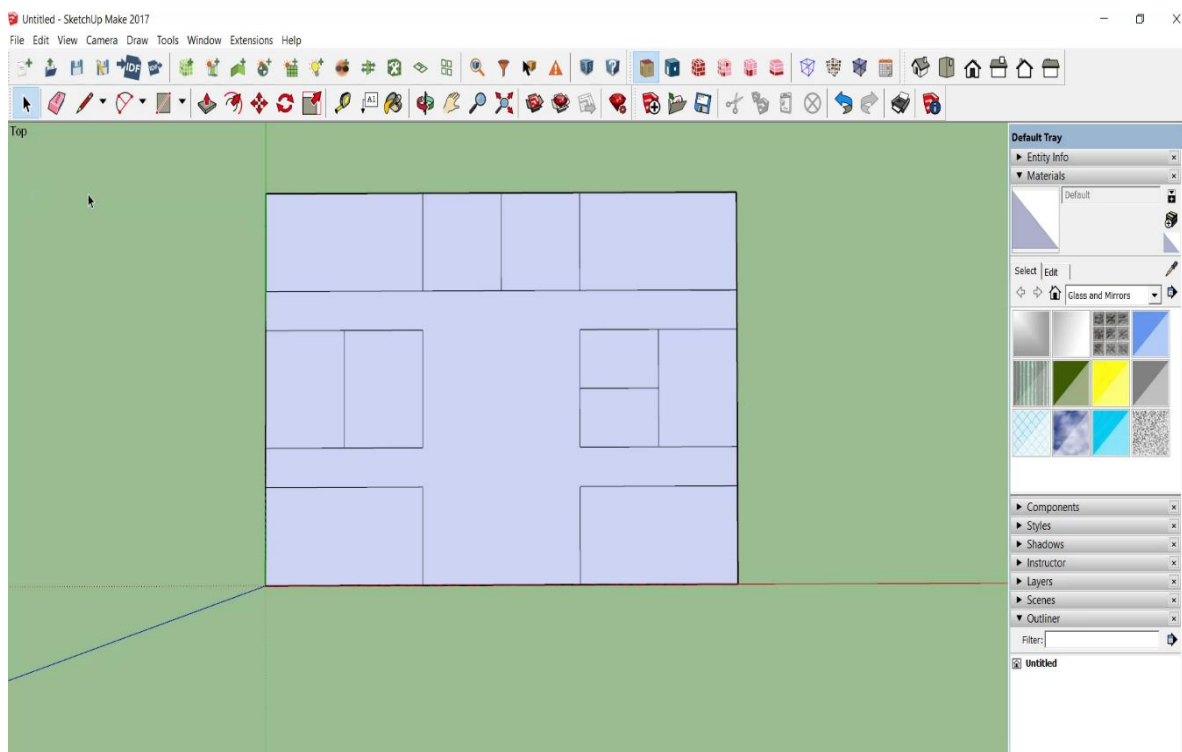
Building Type	Office
Template	189.1-2009
ASHRAE Climate Zone	ASHRAE 169-2006-2A
Create Space Types?	true
Create Construction Set?	true
Set Building Defaults Using New Objects?	true

OK Cancel

Εικόνα 8.4 - Εντολή New OpenStudio Model From Wizard

Το SketchUp παρέχει πληθώρα επιλογών όπως, κτίρια γραφείων, οικίες, μικρές ή μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες κ.α. Στην προκειμένη περίπτωση στο building type γίνεται η επιλογή της χρήσης του κτιρίου ως κτίριο γραφείων. Κάθε μία από τις επιλογές, παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να αποδώσει σε κάθε σχεδιαζόμενο χώρο συγκεκριμένη ταυτότητα η οποία θα βασίζεται στη λειτουργία του (γραφείο, χώρος διαλλείματος, κουζίνα κ.α.). Επιπροσθέτως, το πρόγραμμα δημιουργεί βασιζόμενο στα πρότυπα της ASHRAE, συγκεκριμένα σετ δομικών στοιχείων, χρονοδιαγραμμάτων λειτουργίας των χώρων καθώς και πληθώρα άλλων παραμέτρων τα οποία θα αναλυθούν διεξοδικά, στην επόμενη ενότητα η οποία αφορά το πρόγραμμα OpenStudio.

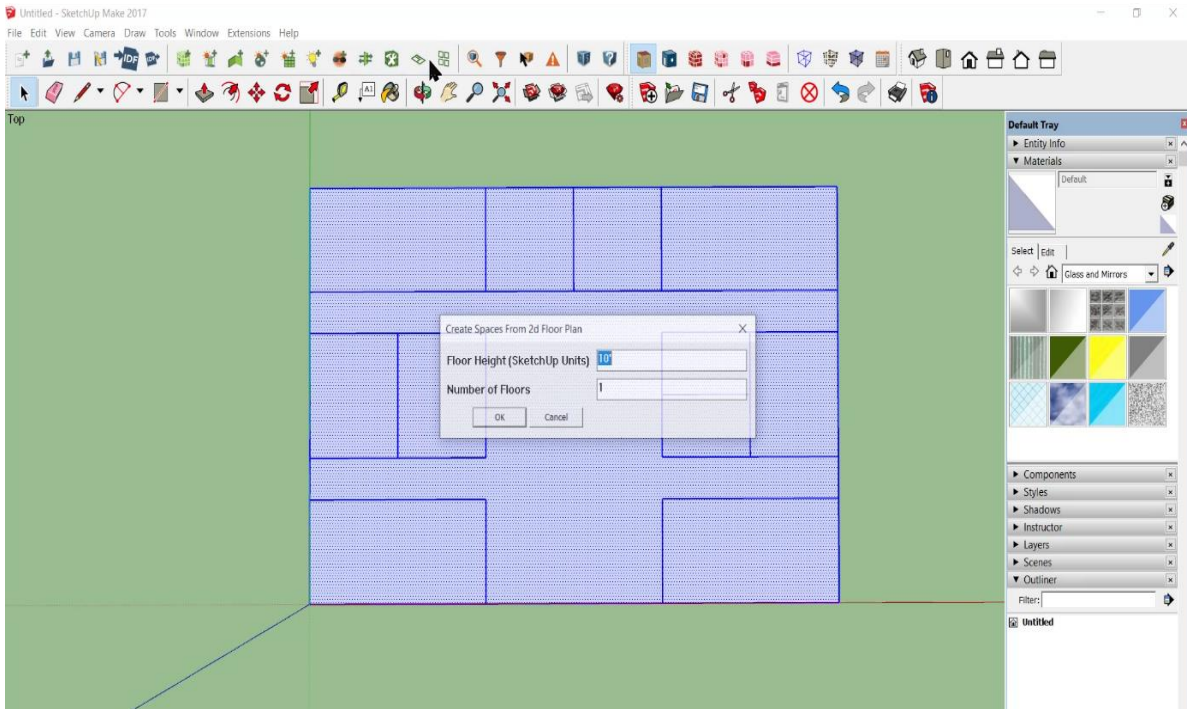
Με την γραμμή εργαλείων του SketchUp σχεδιάζεται η κάτοψη του ισογείου (Εικόνα 8.5). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί η αδυναμία του προγράμματος να αναγνωρίσει πάχη τοίχου του κτηρίου. Ο σχεδιασμός οφείλει να βασίζεται στις εσωτερικές διαστάσεις του κτιρίου. Επίσης κατά τον σχεδιασμό της κατόψεως ο χωρισμός των εσωτερικών χώρων πρέπει να είναι ακριβέστατος με μηδενικές αποκλίσεις, καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα δημιουργηθούν σφάλματα κατά την εκτέλεση της εντολής Surface Matching.



Εικόνα 8.5 - Κάτοψη Ισογείου

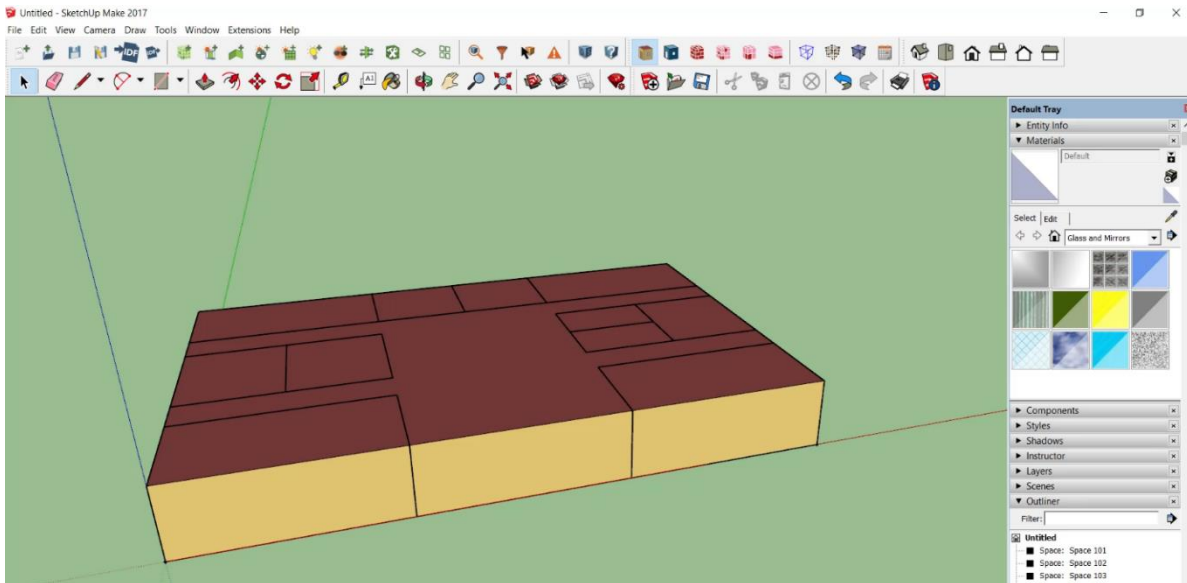
Αφού ολοκληρωθεί ο δισδιάστατος σχεδιασμός της κάτοψης του ισογείου, ακολουθεί η διαδικασία απόδοσης όγκου έτσι ώστε το σχέδιο να αποκτήσει τρισδιάστατη μορφή, καθώς και ο ενεργειακός «χρωματισμός» του κτιρίου, μέσω της εντολής Create Spaces From Diagram. Κατά την εκτέλεση της εντολής εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 8.6), όπου πραγματοποιείται η συμπλήρωση του ύψους του ορόφου, καθώς και ο αριθμός των ορόφων. Το Floor Height ισούται με 3,5m ενώ το Number of Floors ισούται με ένα. Το Number of Floors αποκτά μεγάλη σημασία κατά την δημιουργία κτιρίων πολλαπλών ορόφων με την ίδια χωρική διαρρύθμιση, δηλαδή κοινές κατόψεις, κάτι το οποίο δεν πραγματοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Η εντολή Create Spaces From Diagram δεν αποτελεί απλώς μία εντολή που δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο από ένα σχέδιο δύο διαστάσεων, αλλά το «χρωματίζει» και ενεργειακά όπως έχει ήδη αναφερθεί. Συγκεκριμένα, κάθε διαφορετικό χώρο, δηλαδή κάθε εσωτερικό εμβαδόν το αντιστοιχεί σε διαφορετική ενεργειακή ζώνη και το αντιμετωπίζει ως ξεχωριστό ενεργειακό χώρο. Τους χώρους αυτούς ο χρήστης μπορεί αργότερα να τους προσδώσει διαφορετικές ιδιότητες (Space Type), να τους εντάξει σε διάφορες θερμικές ζώνες (Thermal Zones) καθώς και πολλά άλλα τα οποία αναλύονται στην επόμενη ενότητα η οποία αφορά το πρόγραμμα OpenStudio.



Εικόνα 8.6 - Εντολή Create Spaces From Diagram

Με την ολοκλήρωση της εντολής Create Spaces From Diagram το αρχικό σχέδιο δύο διαστάσεων αποκτά πλέον τρισδιάστατη μορφή (Εικόνα 8.7).



Εικόνα 8.7 - Τρισδιάστατη μορφή ισογείου

Με σκούρο καφέ χρώμα, απεικονίζεται η στέγη του ισογείου ενώ με μπεζ, οι εξωτερικές τοιχοποιίες.

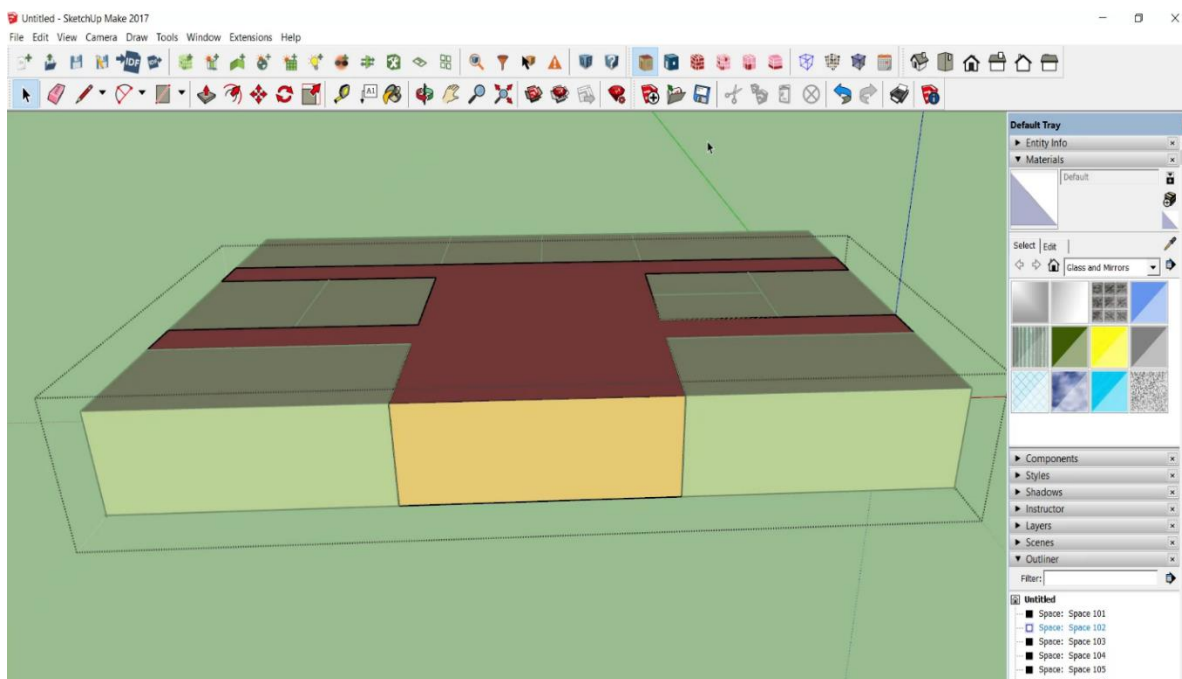
Να σημειωθεί ότι με την χρησιμοποίηση της γραμμής εργαλείων του OpenStudio πλέον το αρχείο αποθηκεύεται μέσω της εντολής Save OpenStudio Model, δημιουργώντας ένα αρχείο .osm έτσι ώστε να πραγματοποιείται και διατήρηση των ενεργειακών πληροφοριών του μοντέλου.

### **8.1.2 Σχεδιασμός ανοιγμάτων ισογείου**

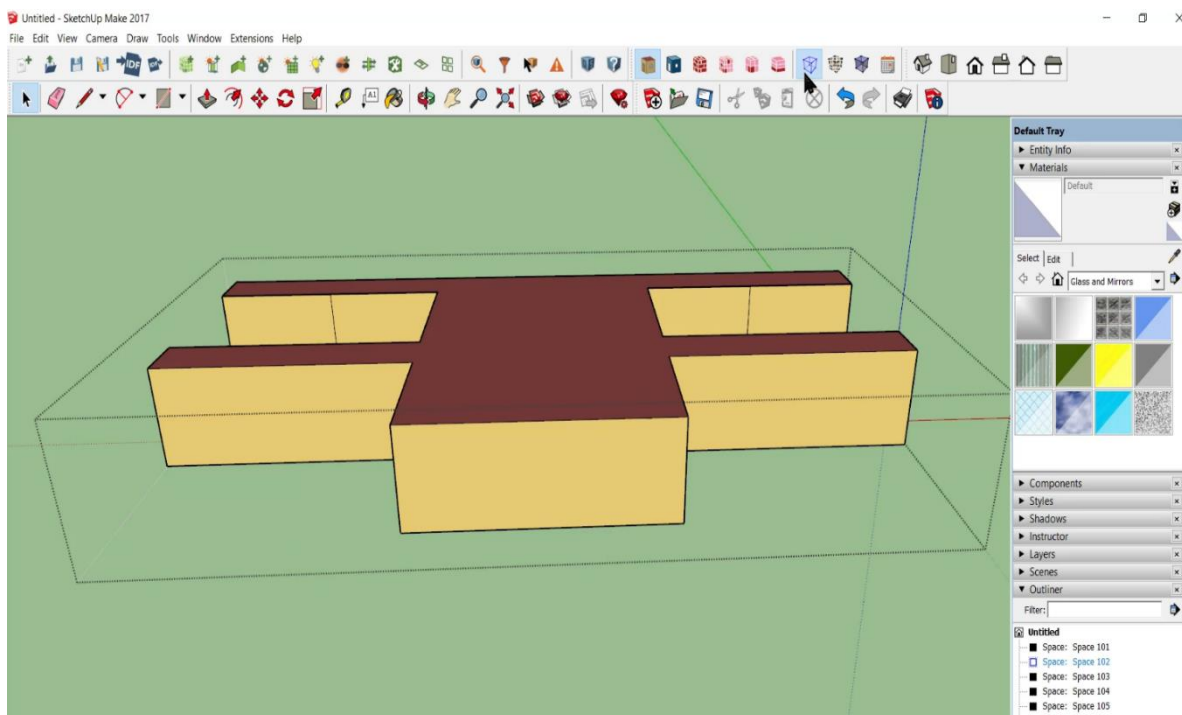
Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία παραθύρων και πορτών σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Η δημιουργία παραθύρων και πορτών πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο, καθώς το OpenStudio αντιλαμβάνεται οποιοδήποτε κλειστό περίγραμμα ως πόρτα εφόσον ακουμπά στο έδαφος ή στο δάπεδο, ενώ οποιοδήποτε κλειστό περίγραμμα απέχει από το έδαφος ή το δάπεδο μερικά χιλιοστά το αντιλαμβάνεται ως παράθυρο.

Αρχικά γίνεται επιλογή του χώρου με διπλό κλικ (Εικόνα 8.8). Στη συνέχεια ακολουθεί η απομόνωση του επιλεγμένου χώρου από το υπόλοιπο μοντέλο μέσω της εντολής Hide Rest of Model (Εικόνα 8.9). Με την βοήθεια του εργαλείου Tape Measure Tool του SketchUp πραγματοποιείται ο σχεδιασμός βοηθητικών γραμμών έτσι ώστε ο σχεδιασμός τόσο των παραθύρων όσο και των πορτών να είναι ακριβής (Εικόνα 8.10).

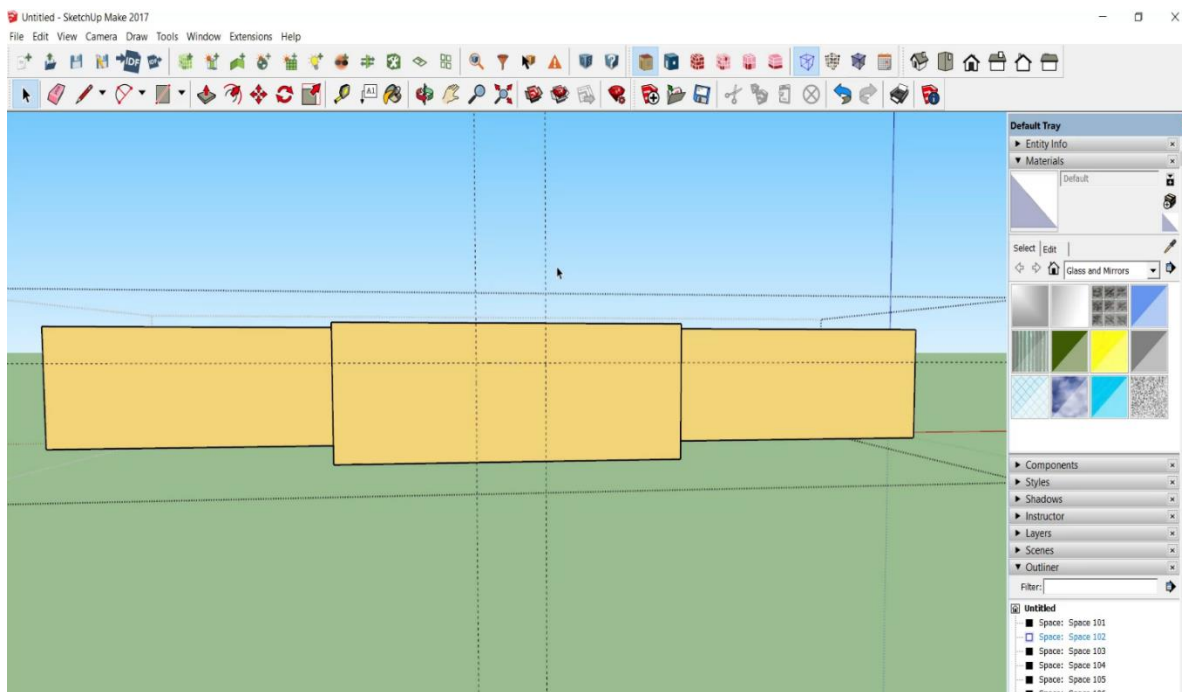
Τέλος μέσω του εργαλείου Lines του SketchUp πραγματοποιείται ο σχεδιασμός των αντίστοιχων κλειστών περιγραμμάτων και ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός των εξωτερικών παραθύρων και των πορτών (Εικόνα 8.11, Εικόνα 8.12).



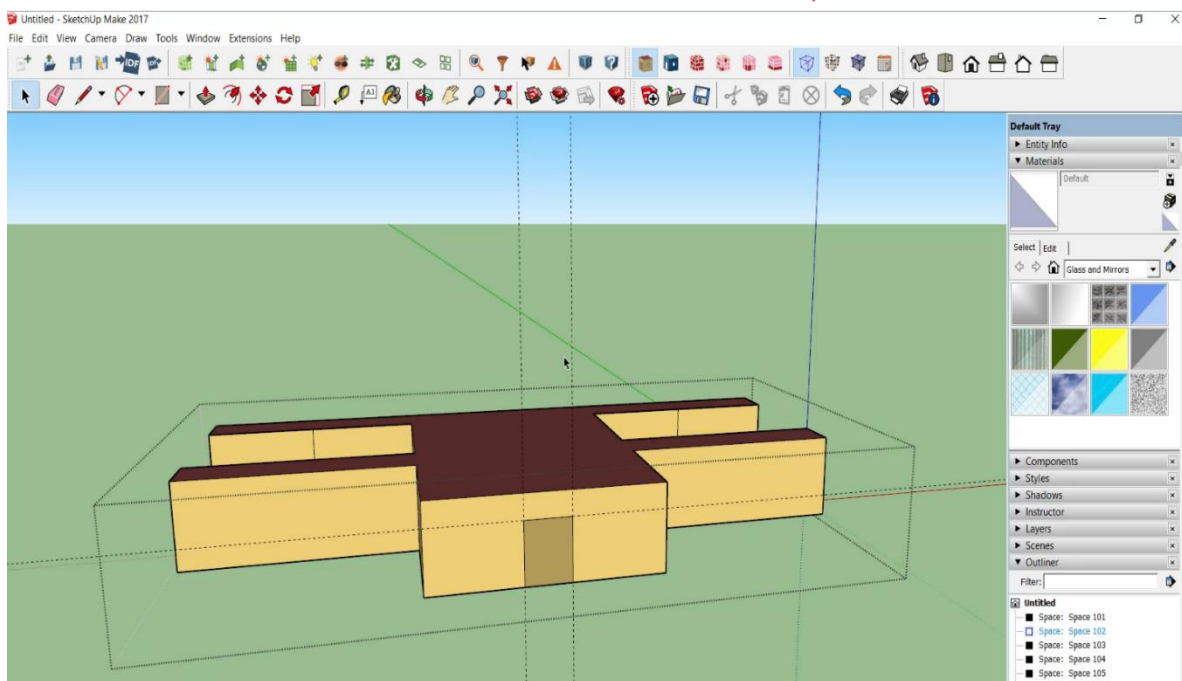
Εικόνα 8.8 - Επιλογή χώρου με διπλό κλικ



Εικόνα 8.9 - Εκτέλεση εντολής Hide Rest of Model

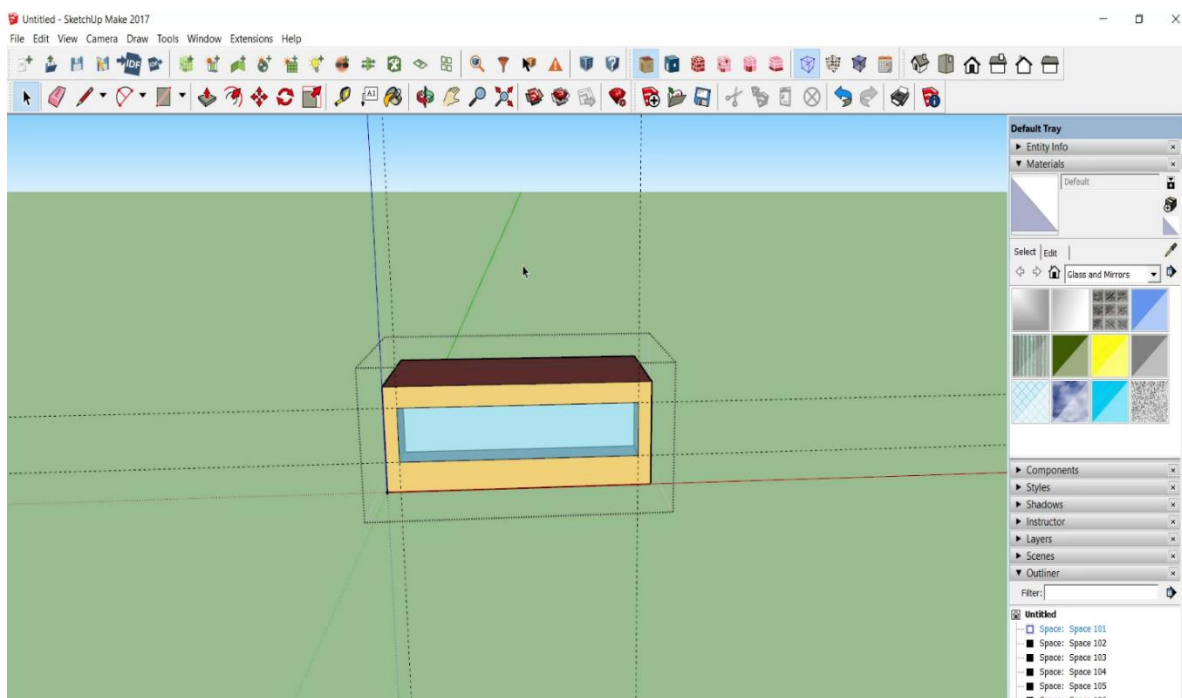


Εικόνα 8.10 - Χρήση του εργαλείου Tape Measure Tool



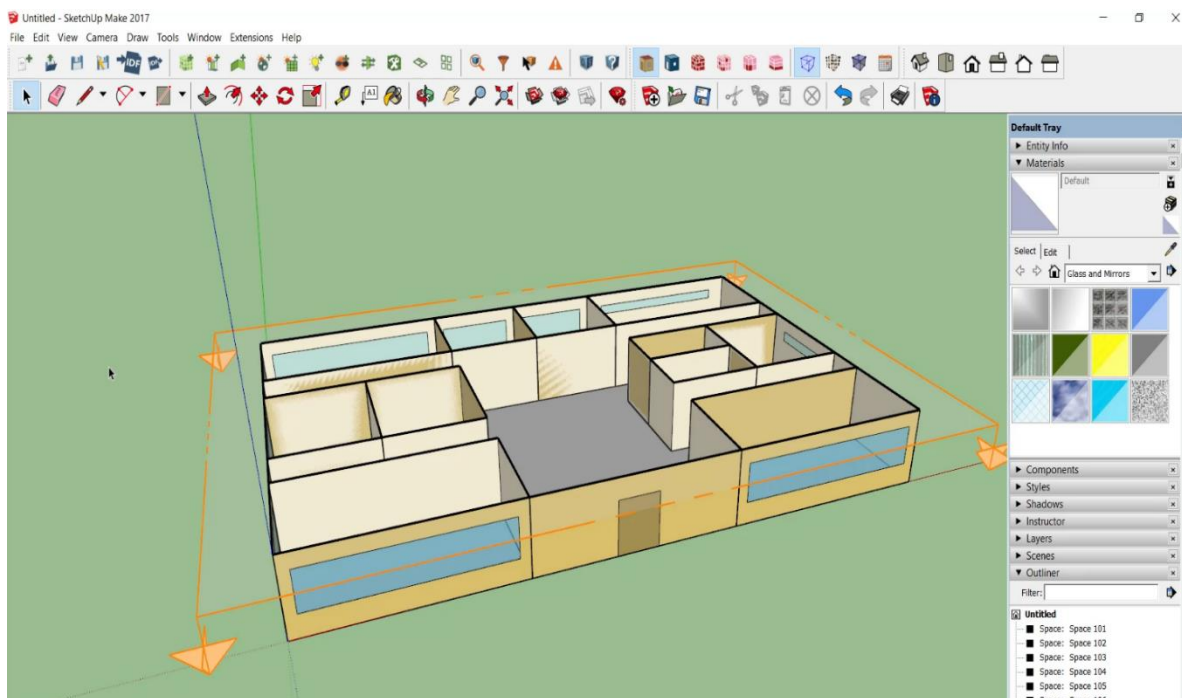
Εικόνα 8.11 - Δημιουργία εξωτερικής πόρτας



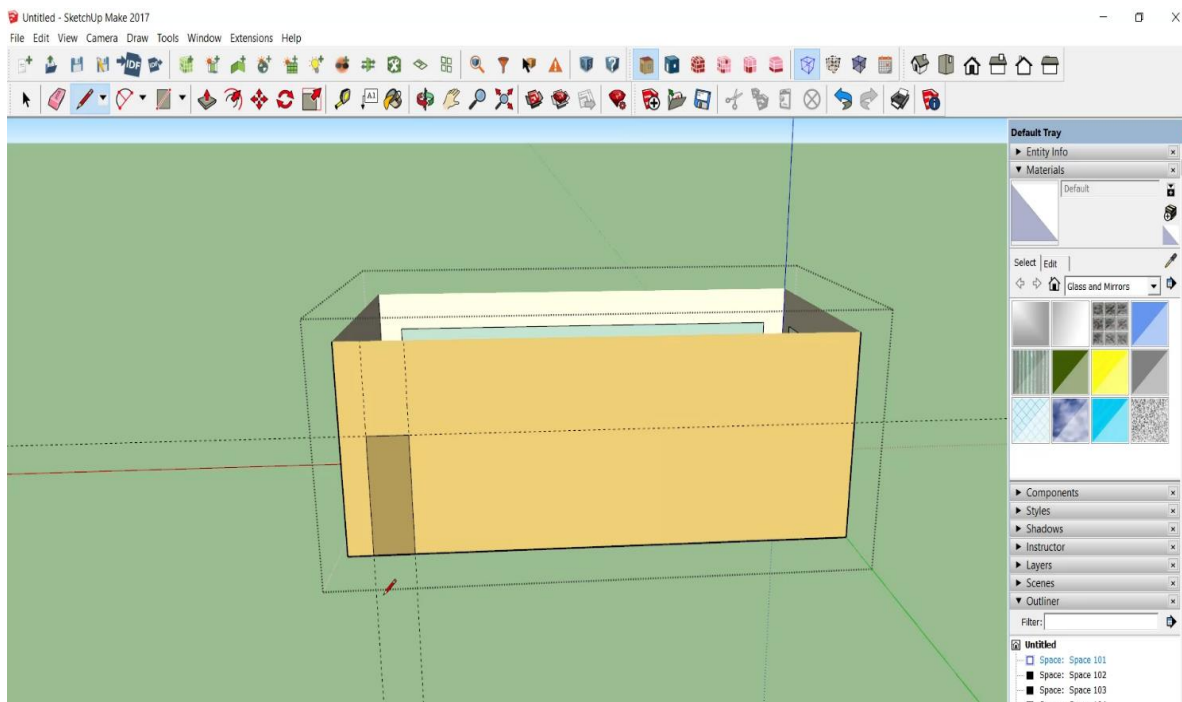


**Εικόνα 8.12 - Δημιουργία εξωτερικού παραθύρου**

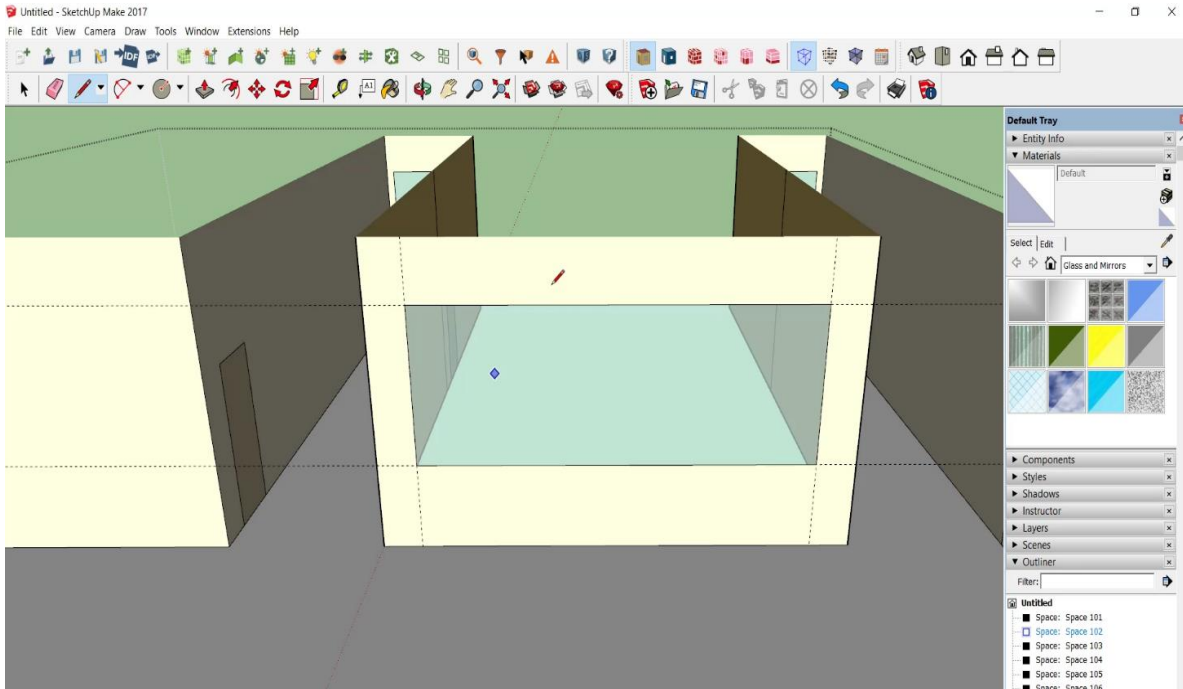
Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός των εξωτερικών παραθύρων και των πορτών, μέσω της εντολής Section Plane (Tools – Section Plane) (Εικόνα 8.13) πραγματοποιείται και ο σχεδιασμός των εσωτερικών παραθύρων και των πορτών (Εικόνα 8.14, Εικόνα 8.15). Ακολουθείται και πάλι η ίδια διαδικασία. Επιλέγεται ο κάθε χώρος ξεχωριστά, έχοντας ενεργοποιημένη την εντολή Hide Rest of Model (Εικόνα 8.9), και με χρήση του εργαλείου Tape Measure Tool ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός.



Εικόνα 8.13 - Εκτέλεση της εντολή Section Plane

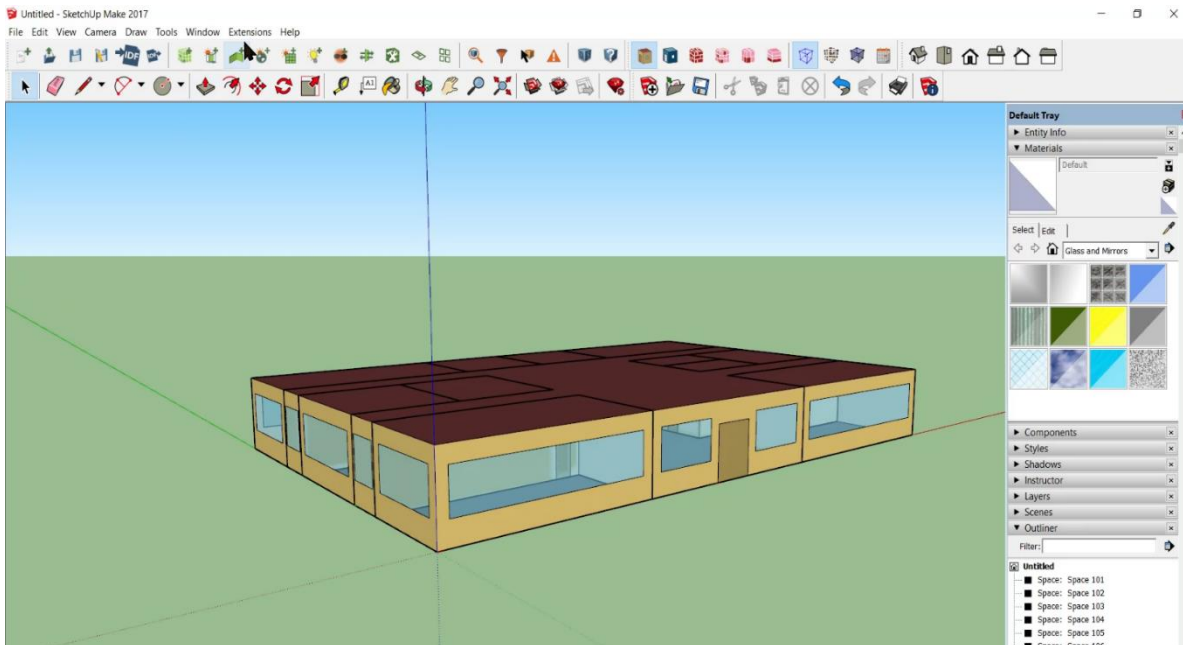


Εικόνα 8.14 - Δημιουργία εσωτερικής πόρτας

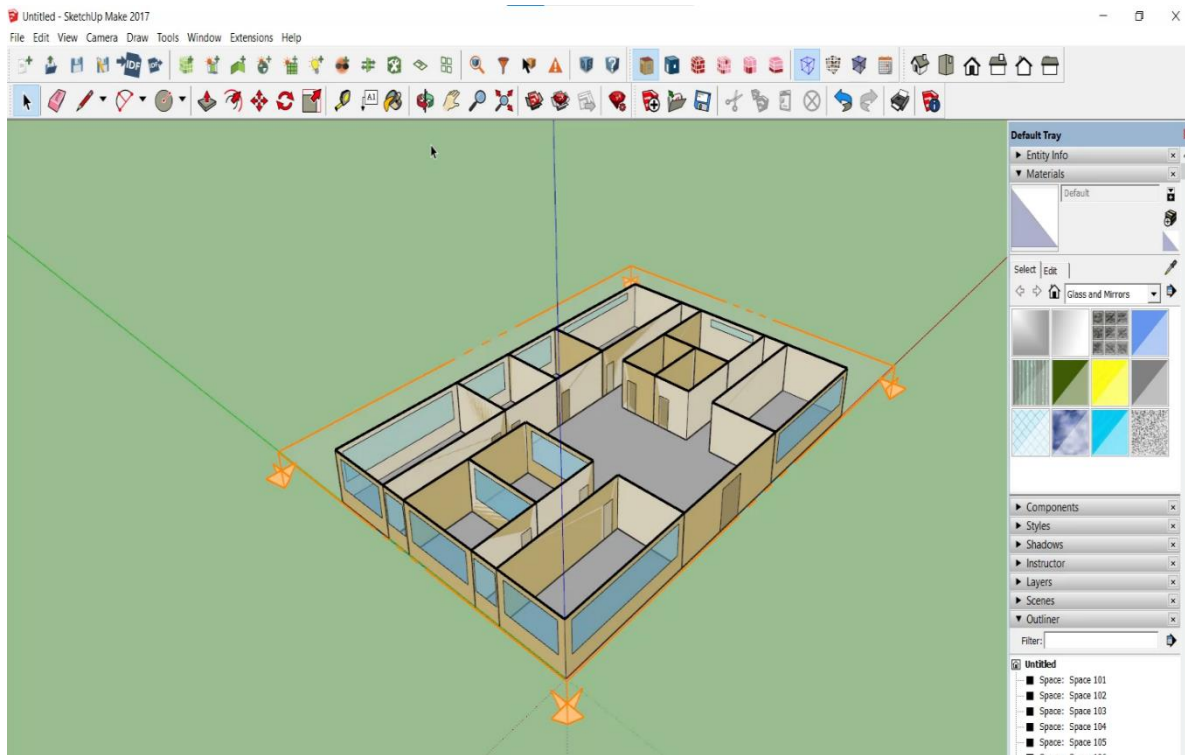


Εικόνα 8.15 - Δημιουργία εσωτερικού παραθύρου

Με την ολοκλήρωση και της δημιουργίας των εσωτερικών παραθύρων και πορτών ολοκληρώνεται η γεωμετρία του ισογείου (Εικόνα 8.16, Εικόνα 8.17).



Εικόνα 8.16 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία ισογείου εξωτερικά



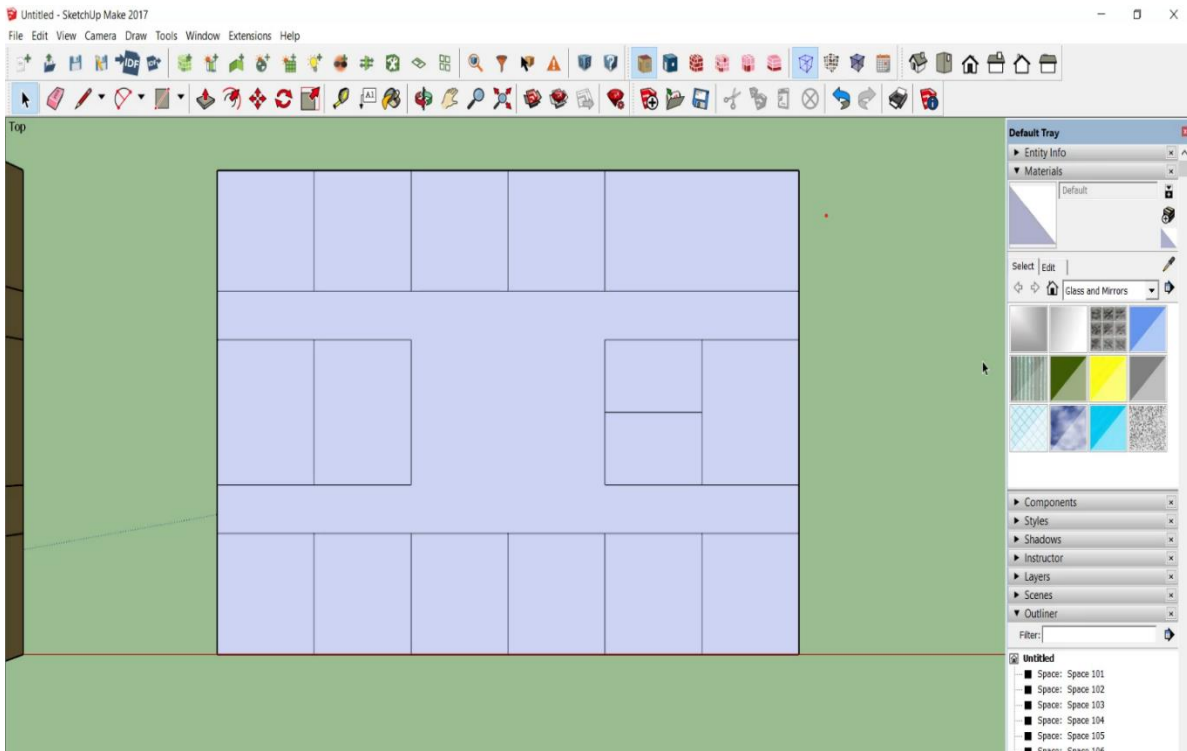
Εικόνα 8.17 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία ισογείου εσωτερικά

### 8.1.3 Σχεδιασμός ορόφου

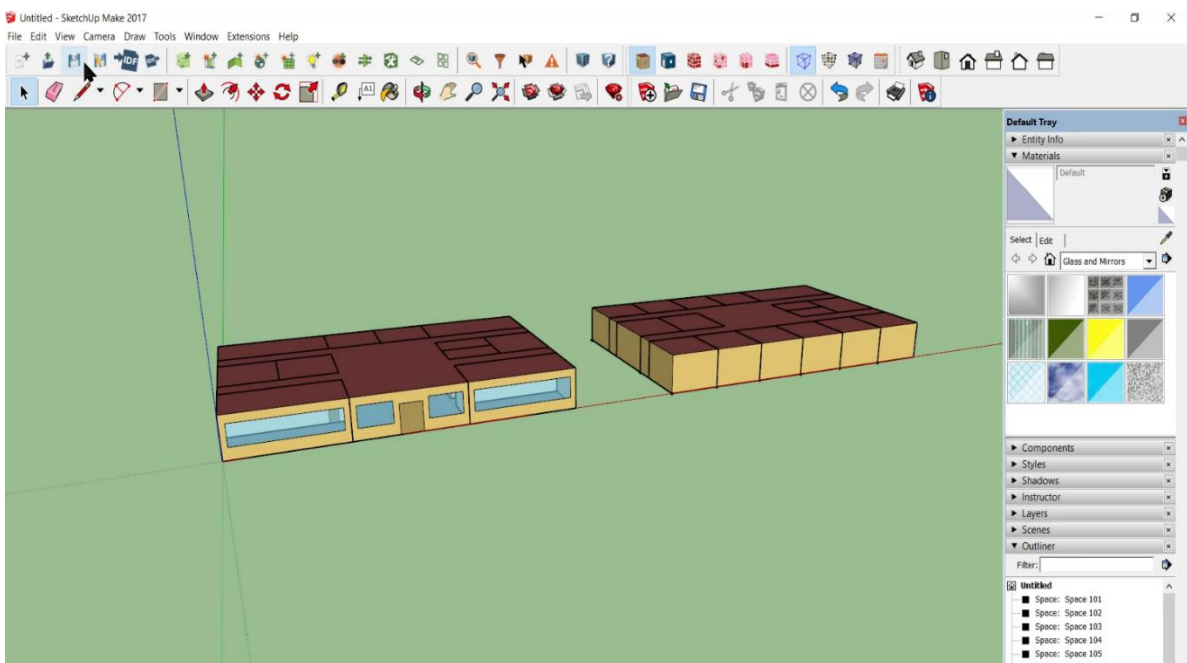
Για τον σχεδιασμό του ορόφου πραγματοποιείτε η ίδια διαδικασία με αυτή για τον σχεδιασμό του ισογείου.

Σχεδιάζεται η κάτοψη του ορόφου (Εικόνα 8.18) δίπλα από το ισόγειο και όχι πάνω σε αυτό. Ακολουθεί η εκτέλεση της εντολής Create Spaces From Diagram έτσι ώστε να αποκτήσει τρισδιάστατη μορφή ο όροφος (Εικόνα 8.19). Ακολουθεί η επιλογή όλου του ορόφου και με την βοήθεια του εργαλείου Move (Εικόνα 8.20), η ευθυγράμμιση και τοποθέτηση του ορόφου πάνω από το ισόγειο (Εικόνα 8.21).

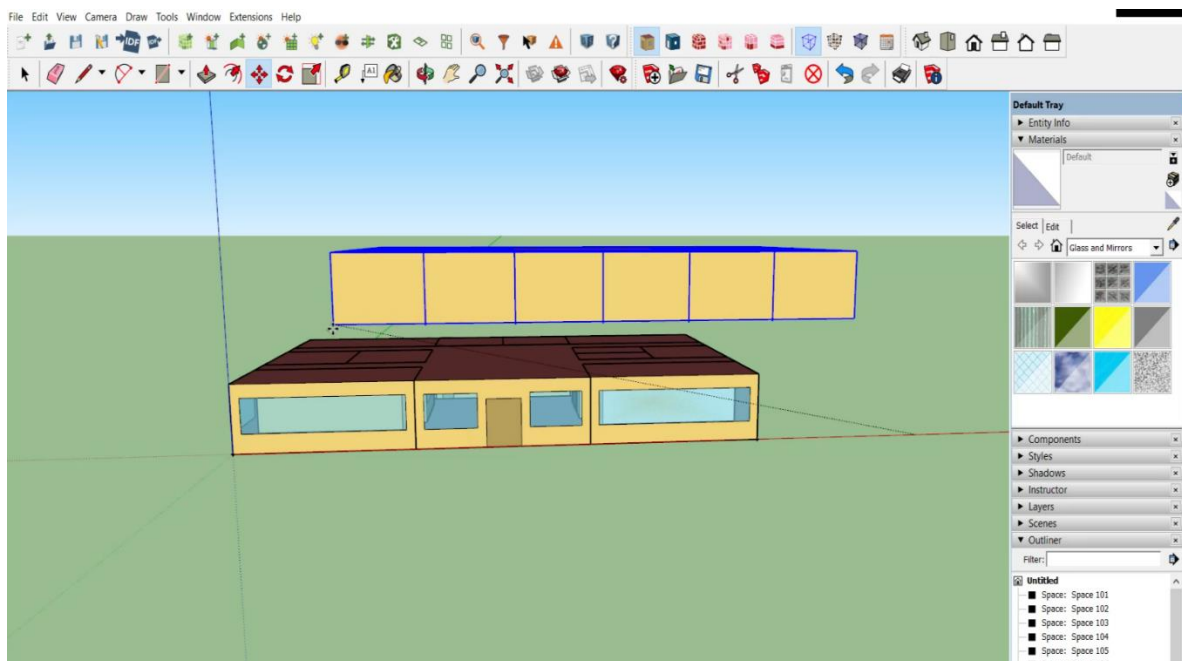
Πραγματοποιείτε ο σχεδιασμός των εξωτερικών παραθύρων. Με την βοήθεια του εργαλείου Section View ακολουθεί η δημιουργία των εσωτερικών παραθύρων και πορτών και ολοκληρώνεται η γεωμετρία του κτιρίου (Εικόνα 8.22, Εικόνα 8.23).



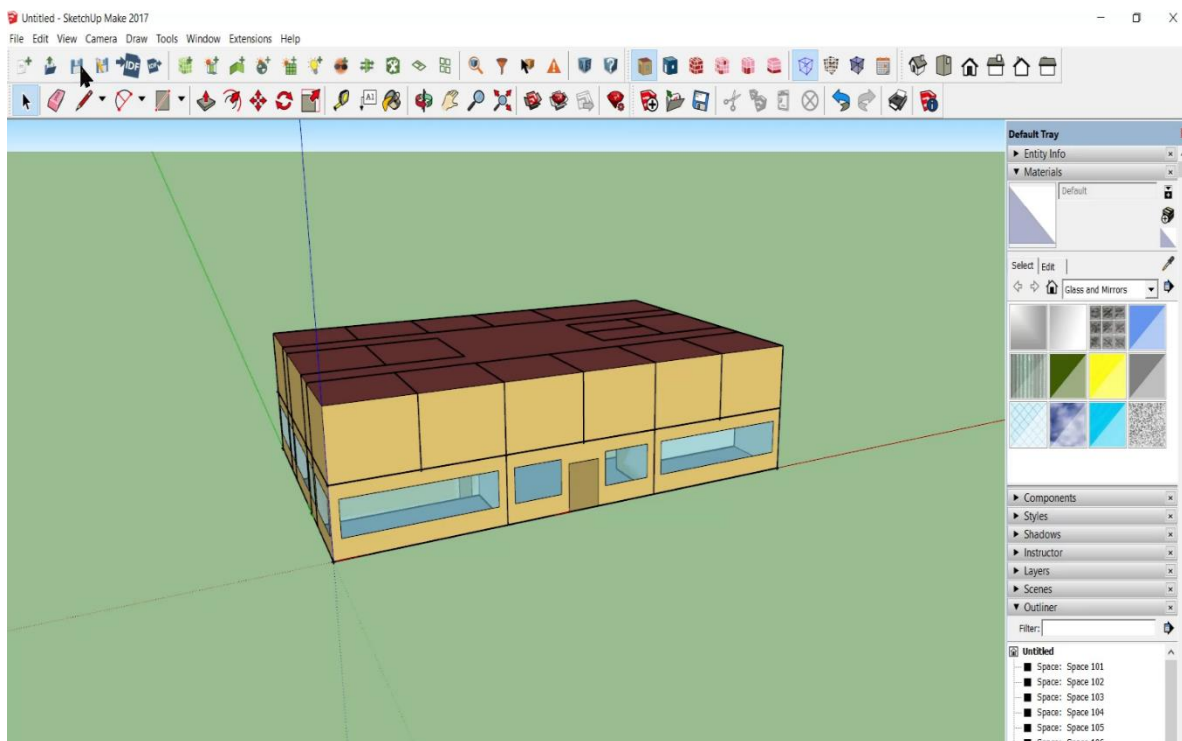
Εικόνα 8.18 - Κάτοψη ορόφου



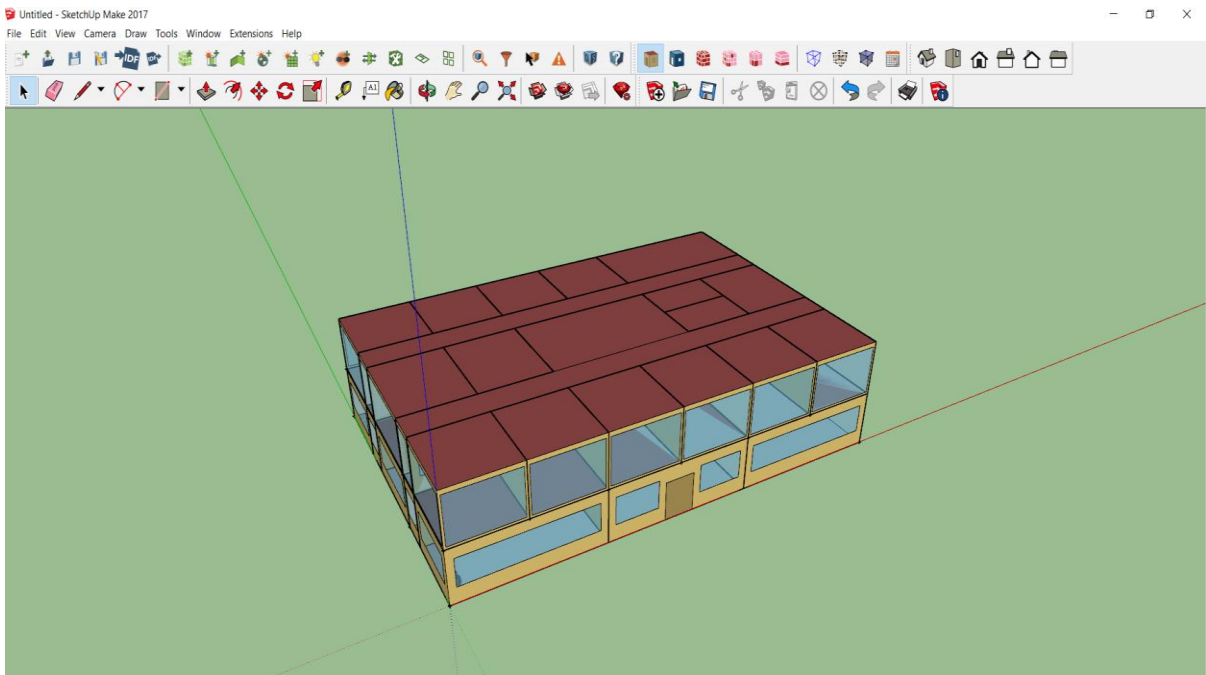
Εικόνα 8.19 - Εκτέλεση της εντολής Create Spaces from Diagram



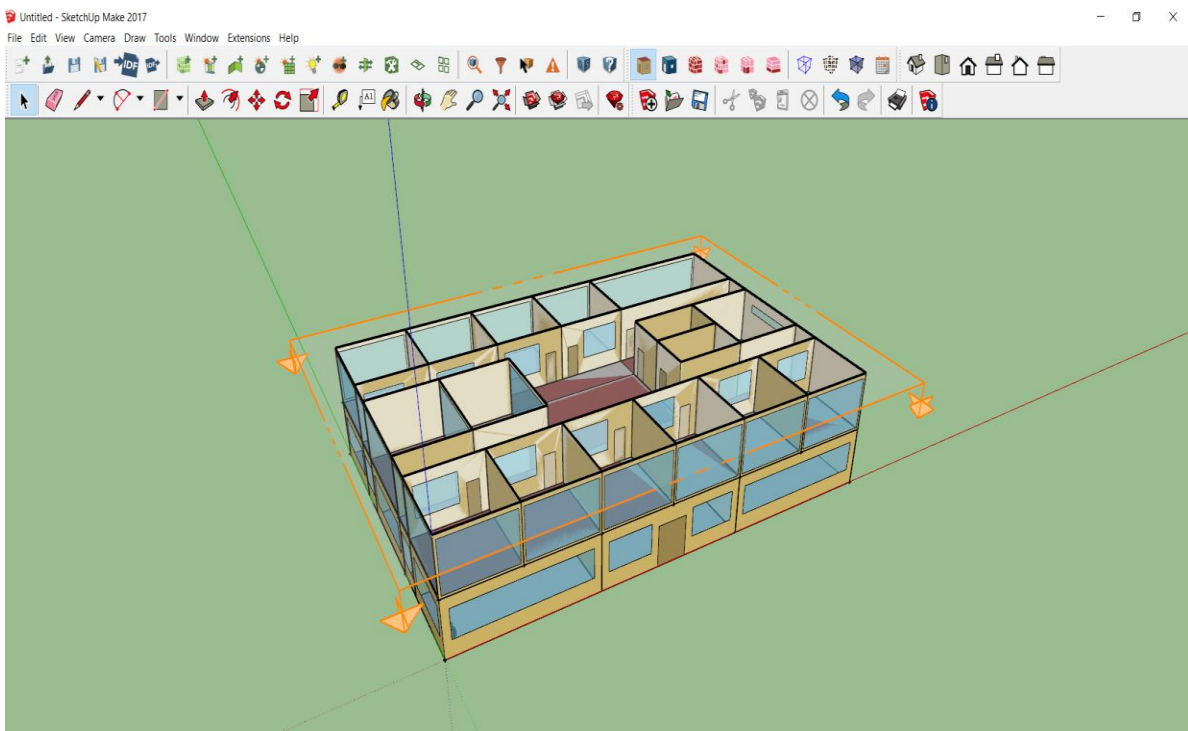
Εικόνα 8.20 - Μετακίνηση ορόφου μέσω του εργαλείου Move



Εικόνα 8.21 - Τοποθέτηση ορόφου πάνω από το ισόγειο



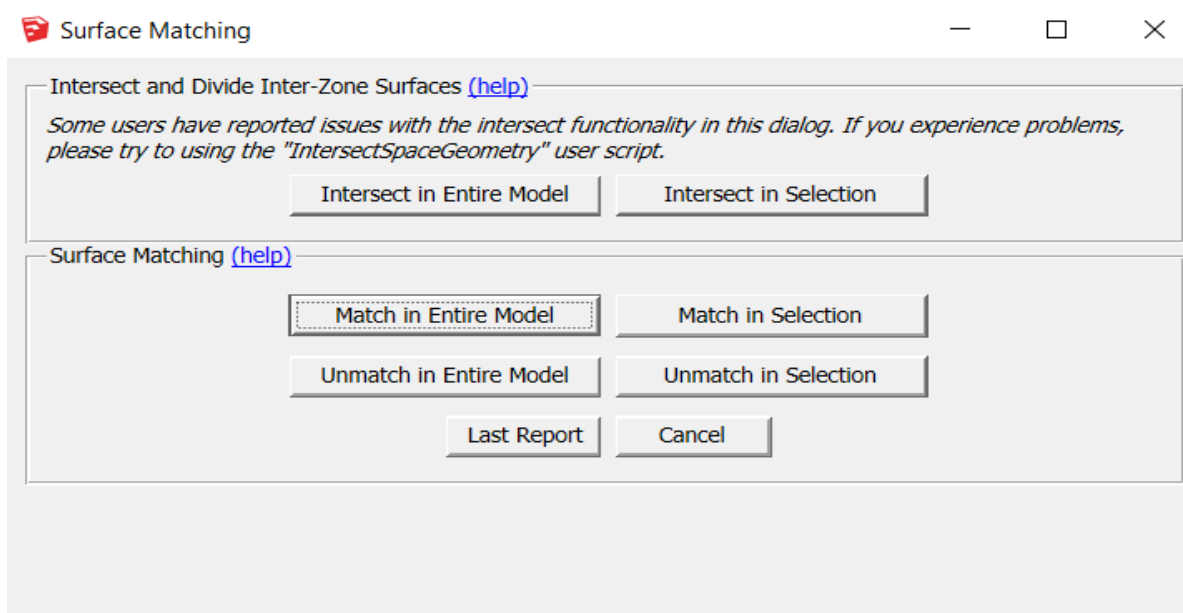
**Εικόνα 8.22 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία κτιρίου εξωτερικά**



**Εικόνα 8.23 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία κτιρίου εσωτερικά**

### 8.1.4 Surface matching

Με την ολοκλήρωση της γεωμετρίας του κτιρίου, απομένει η αντιστοίχιση των επιφανειών που εφάπτονται (δάπεδα, τοίχοι, οροφές, πόρτες, παράθυρα) και ο καθορισμός των επιφανειών που ανταλλάσσουν φορτία είτε μεταξύ τους είτε με τον εξωτερικό αέρα. Είναι μια διαδικασία πολύ σημαντική για την ενεργειακή προσομοίωση του μοντέλου και πρέπει να πραγματοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Η παραπάνω διαδικασία επιτυγχάνεται μέσω της εντολής Surface Matching. Κατά την εκτέλεση της εντολής αναδύεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 8.24):

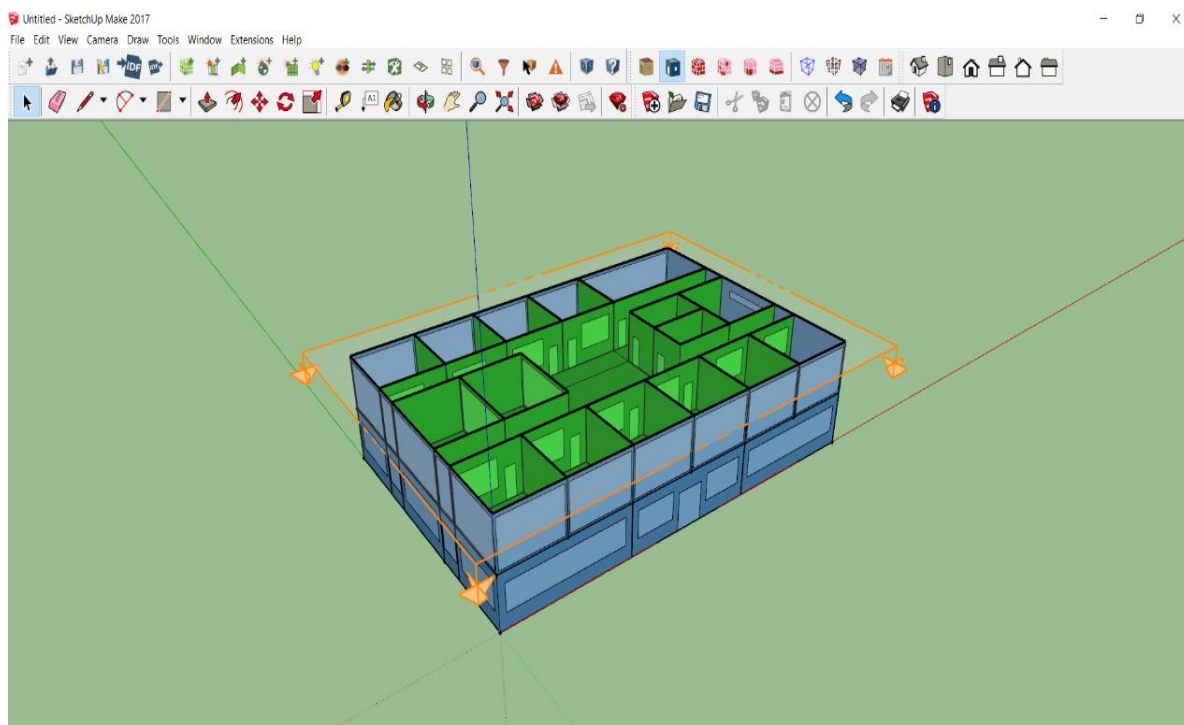


Εικόνα 8.24 - Παράθυρο εντολής Surface Matching

Λόγω του ότι η κάτοψη του ισογείου είναι διαφορετική από την κάτοψη του ορόφου (κτίριο με σύνθετη γεωμετρία), πριν από την εκτέλεση της εντολής Match in Entire Model εκτελείται η εντολή Intersect in entire Model. Η εντολή Intersect in entire Model ουσιαστικά καθορίζει το ποιες επιφάνειες – χώροι του ορόφου συναλλάσσουν φορτία με επιφάνειες – χώρους του ισογείου, και η εντολή αυτή είναι απαραίτητη λόγω του ότι για παράδειγμα ένας χώρος του ισογείου μπορεί να συναλλάσει φορτία με περισσότερους από ένα χώρο του ορόφου.

Επομένως με εκτέλεση κατά σειρά των εντολών Intersect in entire Model και Match in Entire Model και με την προϋπόθεση ότι έχει γίνει ακριβές σχεδιασμός, με την επιλογή του εργαλείου Render By Boundary Condition προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα (Εικόνα 8.25):

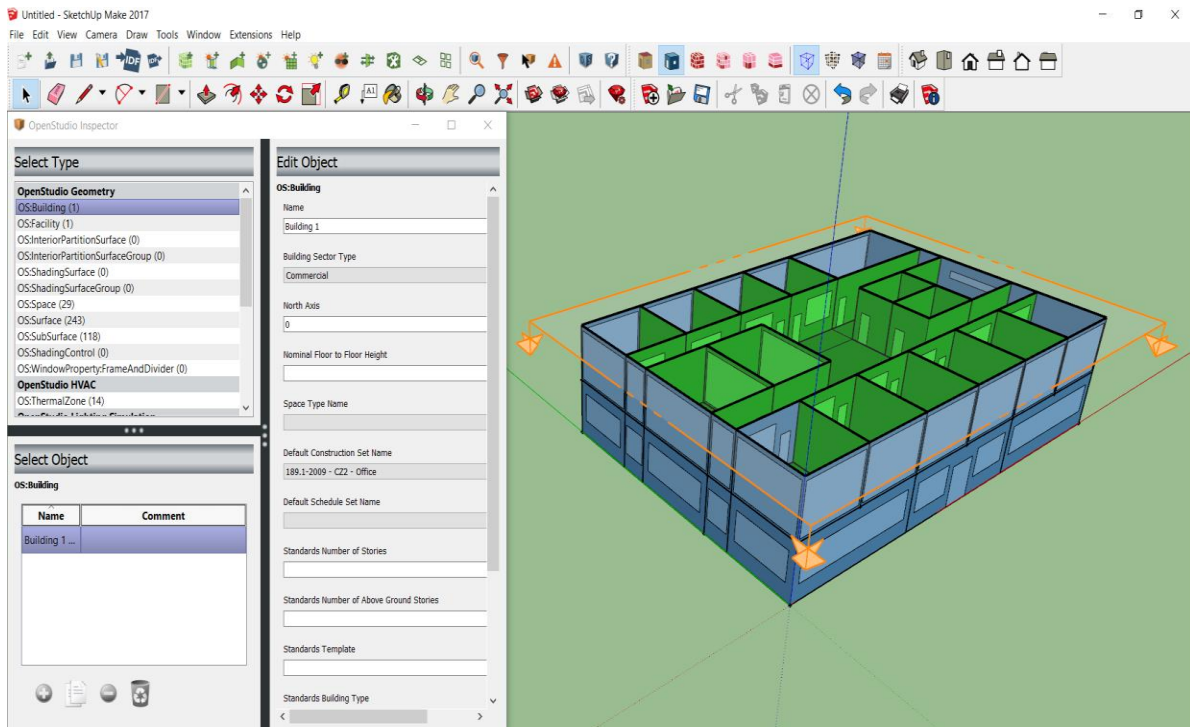




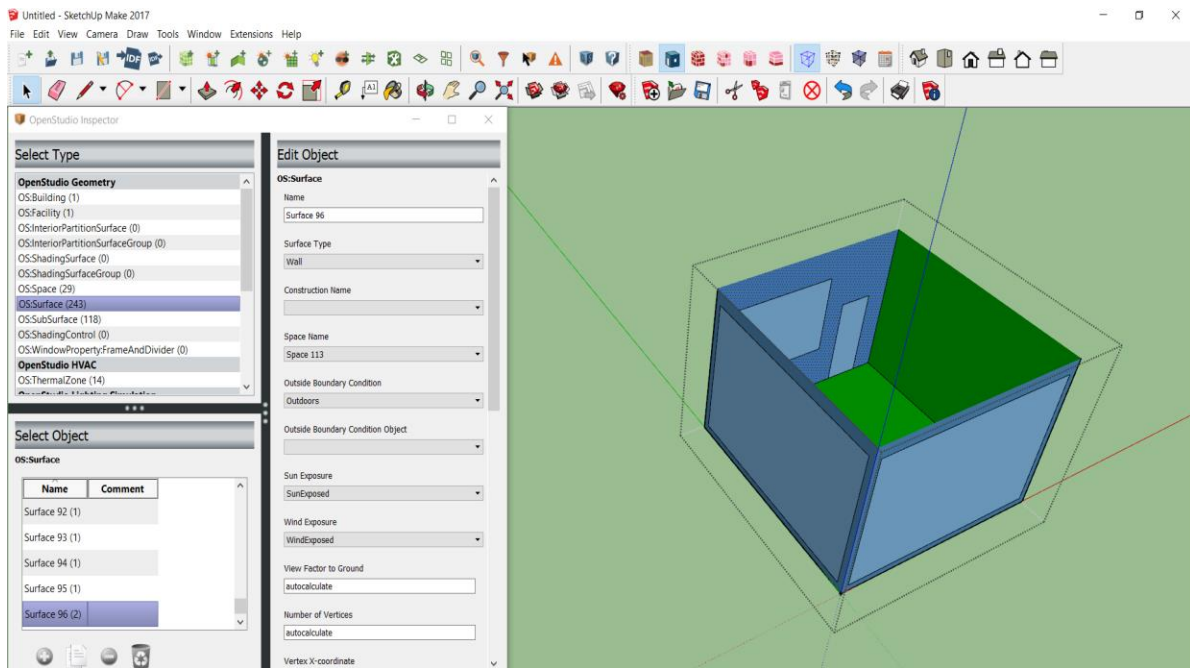
**Εικόνα 8.25 - Render By Boundary Condition μετά την εκτέλεση της εντολής Surface Matching**

Το εργαλείο Render By Boundary Condition αποδίδει το μοντέλο με βάση τις συνοριακές συνθήκες τις κάθε επιφάνειας. Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι επιφάνειες που συναλλάζουν θερμότητα μεταξύ τους, ενώ με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι επιφάνειες που συναλλάζουν θερμότητα με τον εξωτερικό αέρα.

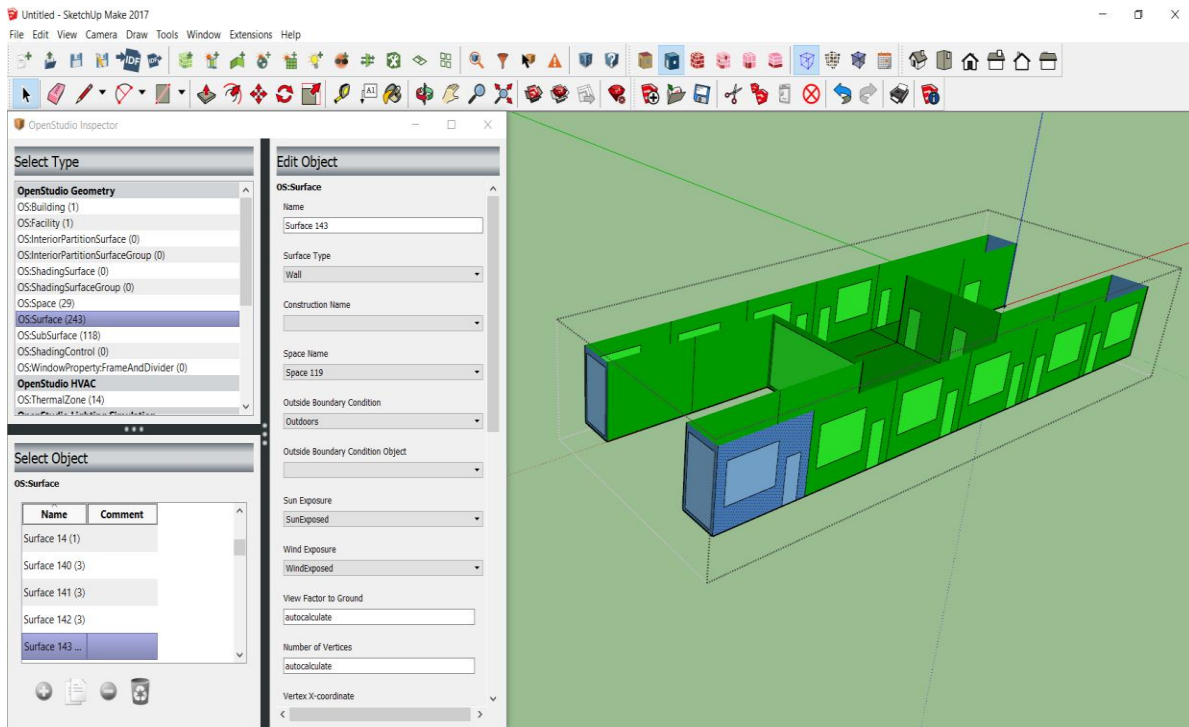
Τις περισσότερες φορές για σύνθετες γεωμετρίες κτιρίων, η εντολή Surface Matching του OpenStudio δεν προσδίδει αμέσως το επιθυμητό αποτέλεσμα (Εικόνα 8.25). Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των συνοριακών συνθηκών χειροκίνητα, μέσω της χρήσης του εργαλείου Inspector του OpenStudio (Εικόνα 8.26) το οποίο παρέχει όλες τις πληροφορίες, γεωμετρικές και ενεργειακές, που αφορούν τόσο ολόκληρο το μοντέλο όσο και κάθε χώρο που το απαρτίζει ξεχωριστά. Συγκεκριμένα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι κάθε εσωτερική επιφάνεια ανήκει σε δύο χώρους (κάτι ιδιαίτερα σημαντικό και κατά την σχεδίαση του μοντέλου), επιλέγεται ο ένας από τους δύο χώρους όπου ανήκει ταυτόχρονα η συγκεκριμένη εσωτερική επιφάνεια και σημειώνεται το όνομα αυτής (Surface Name), (Εικόνα 8.27) με την βοήθεια του Inspector. Στη συνέχεια επιλέγεται ο άλλος χώρος όπου ανήκει η συγκεκριμένη επιφάνεια (Εικόνα 8.28) και στο πεδίο του Outside Boundary Condition συμπληρώνεται το όνομα της επιφάνειας που έχει σημειωθεί προηγουμένως. Αν η διαδικασία έχει πραγματοποιηθεί σωστά (Εικόνα 8.29) η επιλεγμένη επιφάνεια μετατρέπεται σε πράσινη, κάτι το οποίο παρουσιάζεται στις εικόνες 8.26, 8.27, 8.28, 8.29.



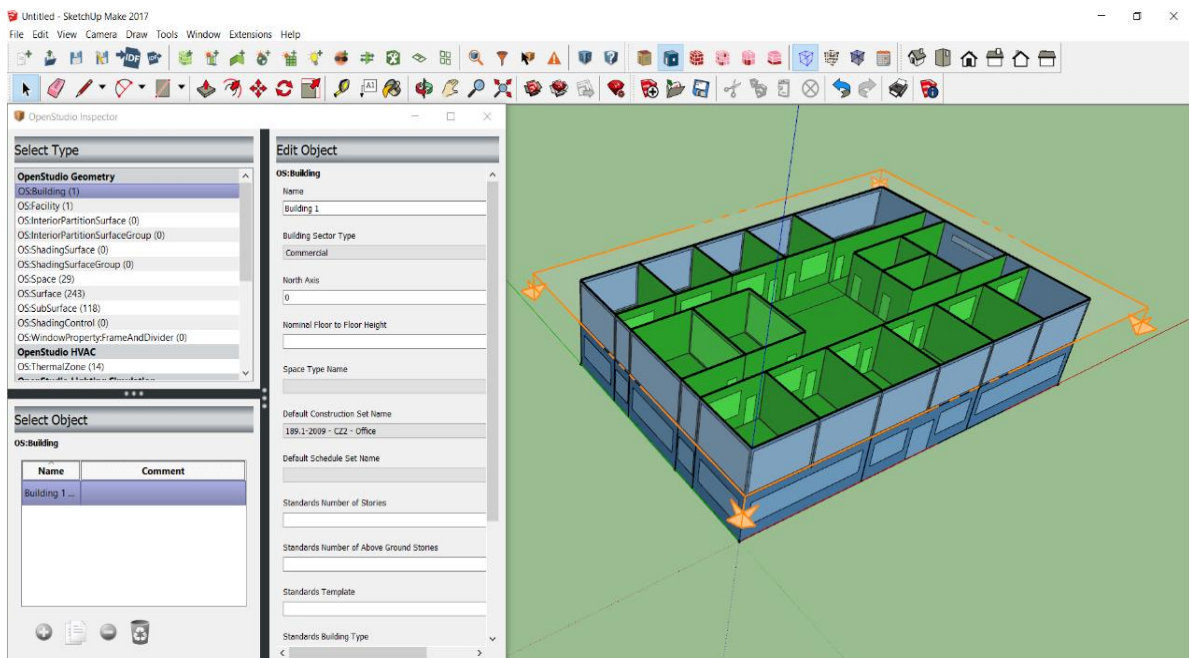
Εικόνα 8.26 - Εργαλείο Inspector



Εικόνα 8.27 - Επιλογή χώρου 113 όπου ανήκει η επιφάνεια 96



Εικόνα 8.28 - Επιλογή του χώρου 119 όπου ανήκει ταυτόχρονα η επιφάνεια 96



Εικόνα 8.29 - Ολοκλήρωση διαδικασίας Surface Matching χειροκίνητα μέσω του Inspector

### 8.1.5 Set Attributes for Selected Spaces

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας του Surface Matching, ακολουθεί η απόδοση των «χαρακτηριστικών» σε κάθε χώρο του κτιρίου ξεχωριστά. Τα «χαρακτηριστικά» αυτά απονέμονται μέσω της εντολής Set Attributes for Selected Spaces του OpenStudio, όπου κατά την εκτέλεση της αναδύεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 8.30).

**Εικόνα 8.30 - Εντολή Set Attributes for Selected Spaces**

Στο Space Type συμπληρώνεται το είδος του επιλεγμένου χώρου.

Στους χώρους γραφείων, στις αίθουσα συνεδριάσεων και στις αίθουσες συσκέψεων επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – ClosedOffice – CZ1-3.

Στους διαδρόμους επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Corridor – CZ1-3.

Στις τουαλέτες επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Restroom – CZ1-3.

Στον χώρο διαλλείματος επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – BreakRoom – CZ1-3.

Στους χώρους μηχανολογικού εξοπλισμού επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Elec/MechRoom – CZ1-3.

Στον χώρο αποθήκης επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Storage – CZ1-3.

Στο Building Story επιλέγεται το ισόγειο (Building Story 1) ή ο όροφος (Building Story 2), ανάλογα με το που βρίσκεται ο χώρος για τον οποίο πραγματοποιείται η εντολή.

Στο Construction Set επιλέγεται το 189,1-2009 – CZ2 – Office για όλους τους χώρους.

Στο Thermal Zone γίνεται η επιλογή της κατάλληλης θερμικής ζώνης για κάθε χώρο όπως επιλέχθηκε στο κεφάλαιο 6, στην υπό-ενότητα 6.3.

Στο Set Parent Thermal Zone's – Ideal Air Loads Status παραμένει το no change ως έχει.

Στο Set Parent Thermal Zone's – Thermostat πραγματοποιούνται οι αντίστοιχες επιλογές με αυτές του Space Type, δηλαδή:

Στους χώρους γραφείων, στις αίθουσα συνεδριάσεων και στις αίθουσες συσκέψεων επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – ClosedOffice – CZ1-3 Thermostat.

Στους διαδρόμους επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Corridor – CZ1-3 Thermostat.

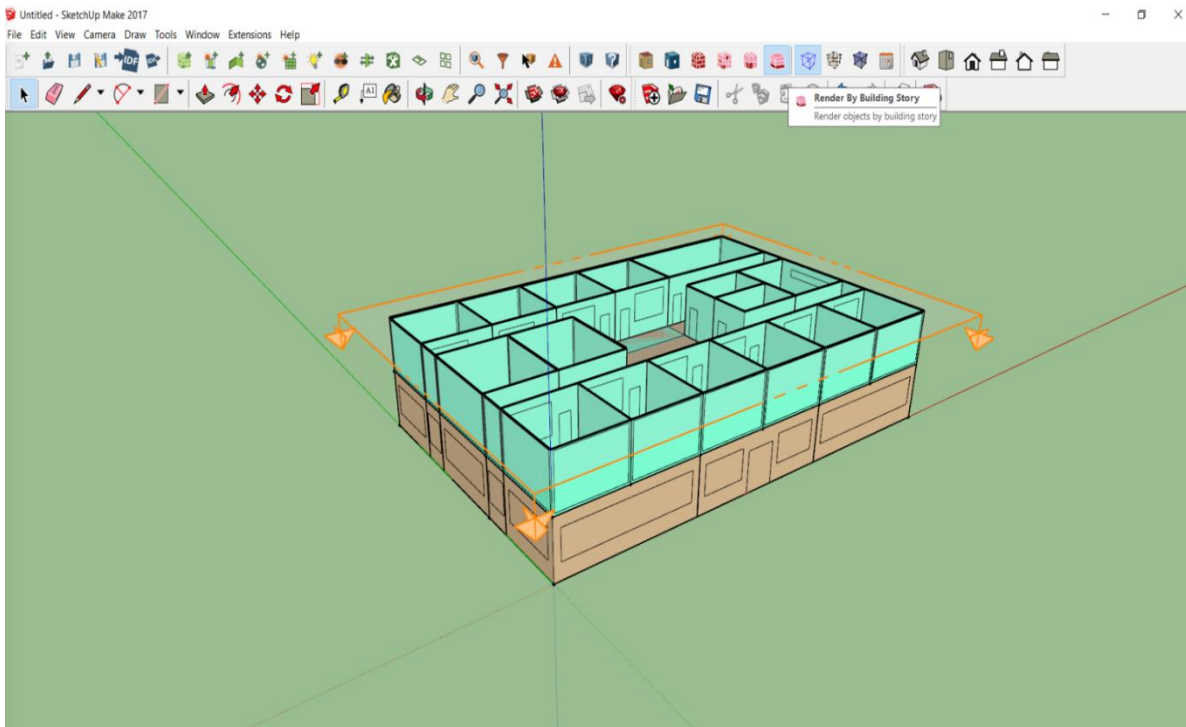
Στις τουαλέτες επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Restroom – CZ1-3 Thermostat.

Στον χώρο διαλλείματος επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – BreakRoom – CZ1-3 Thermostat.

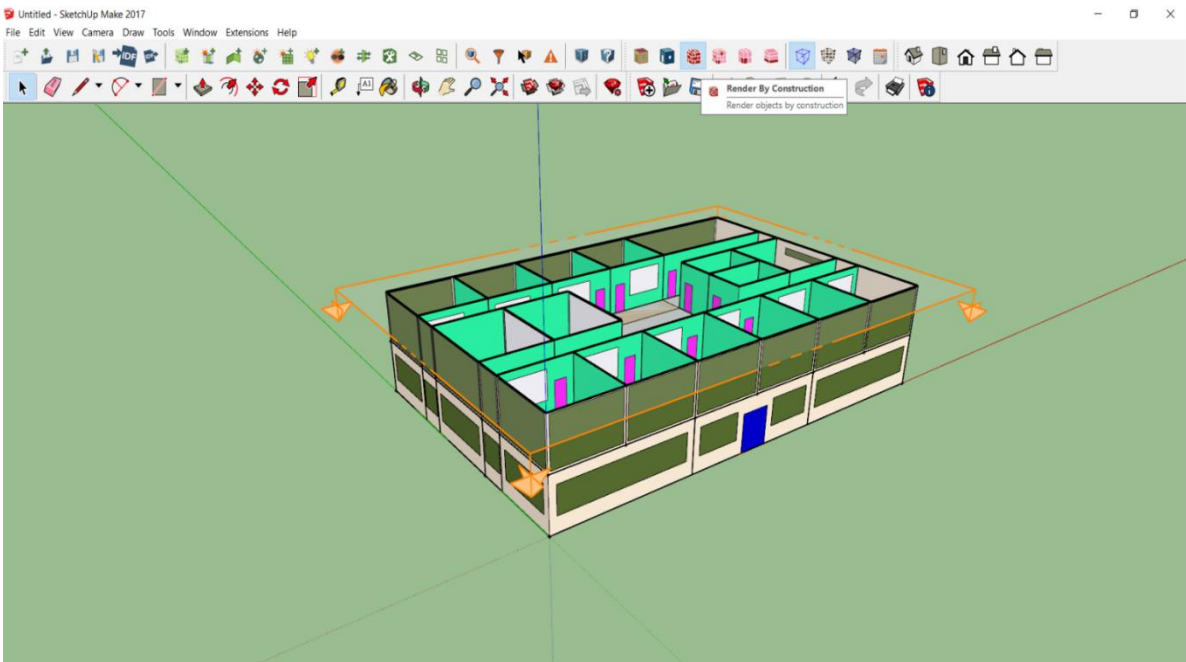
Στους χώρους μηχανολογικού εξοπλισμού επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Elec/MechRoom – CZ1-3 Thermostat.

Στον χώρο αποθήκης επιλέγεται το 189,1-2009 – Office – Storage – CZ1-3 Thermostat.

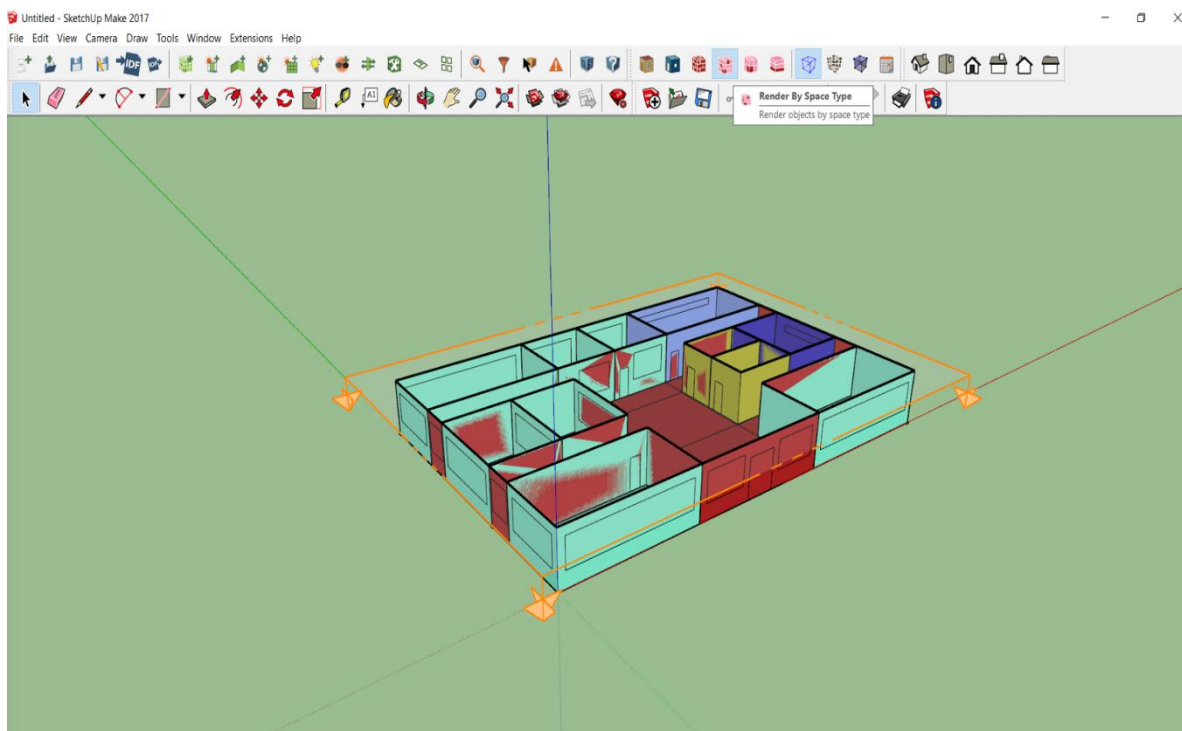
Για επαλήθευση του ότι όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποδόθηκαν σωστά στο πρόγραμμα για τον κάθε χώρο ξεχωριστά, αποδίδεται το μοντέλο στις παρακάτω εικόνες με βάση τον όροφο που βρίσκεται ο κάθε χώρος (Εικόνα 8.31), με βάση το σετ κατασκευής του κάθε χώρου (Εικόνα 8.32), με βάση το είδος του κάθε χώρου (Εικόνα 8.33, Εικόνα 8.34) και με βάση την θερμική ζώνη την οποία ανήκει (Εικόνα 8.35, Εικόνα 8.36).



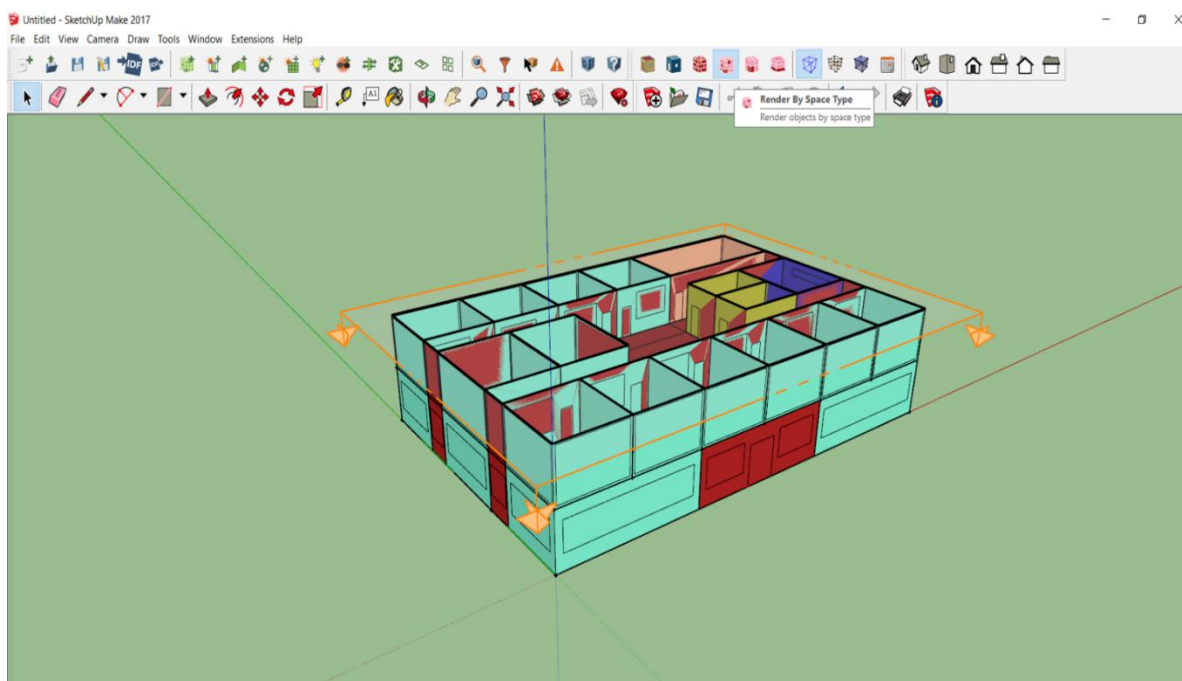
Εικόνα 8.31 - Render By Building Story



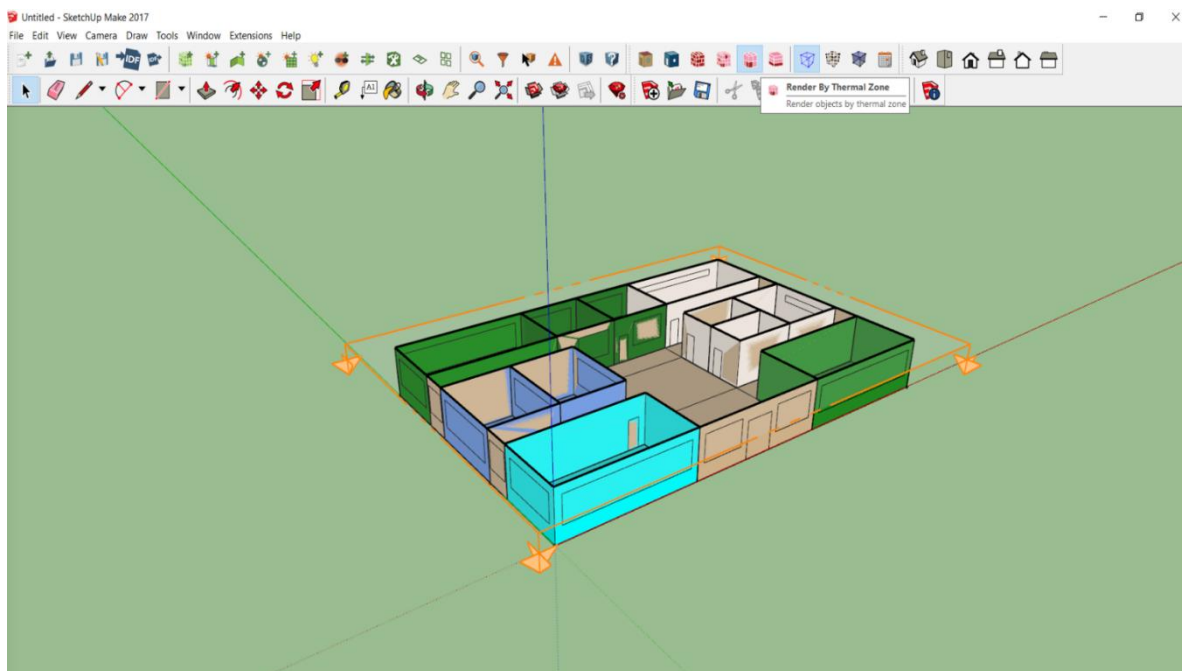
Εικόνα 8.32 - Render By Construction



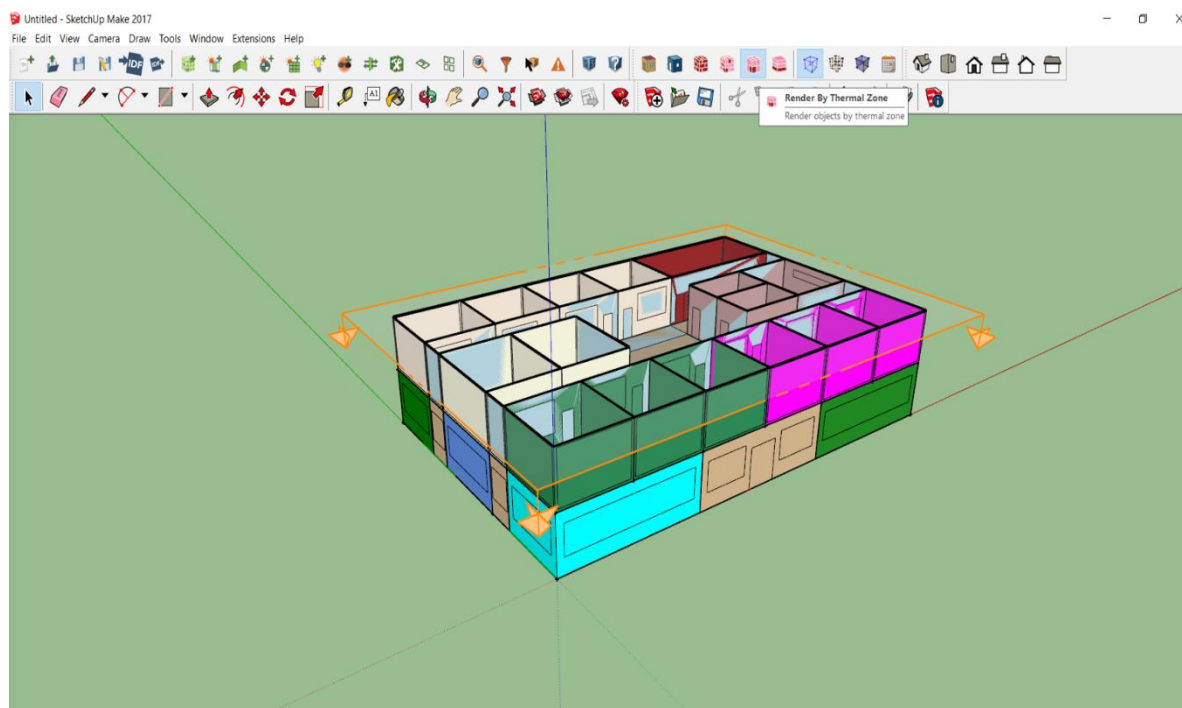
Εικόνα 8.33 - Render By Space Type - Ισόγειο



Εικόνα 8.34 - Render By Space Type - Όροφος



**Εικόνα 8.35 - Render By Thermal Zone - Ισόγειο**



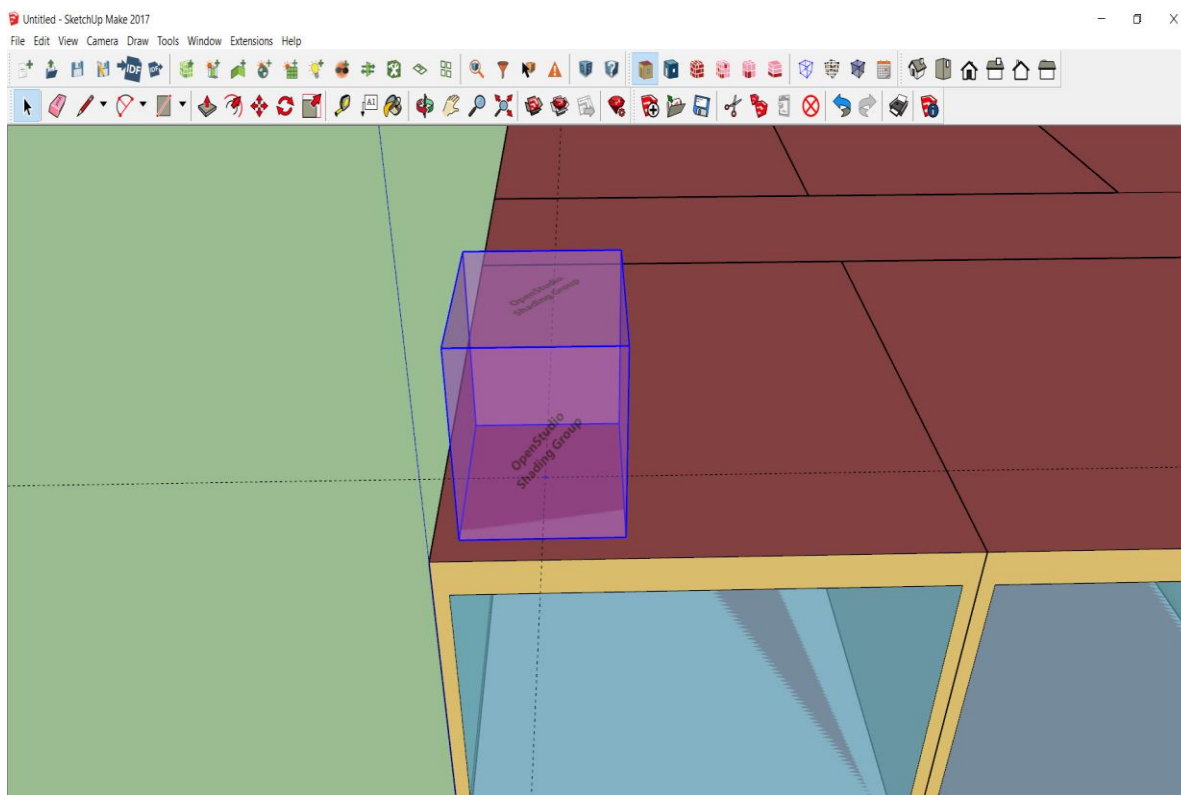
**Εικόνα 8.36 - Render By Thermal Zone - Όροφος**



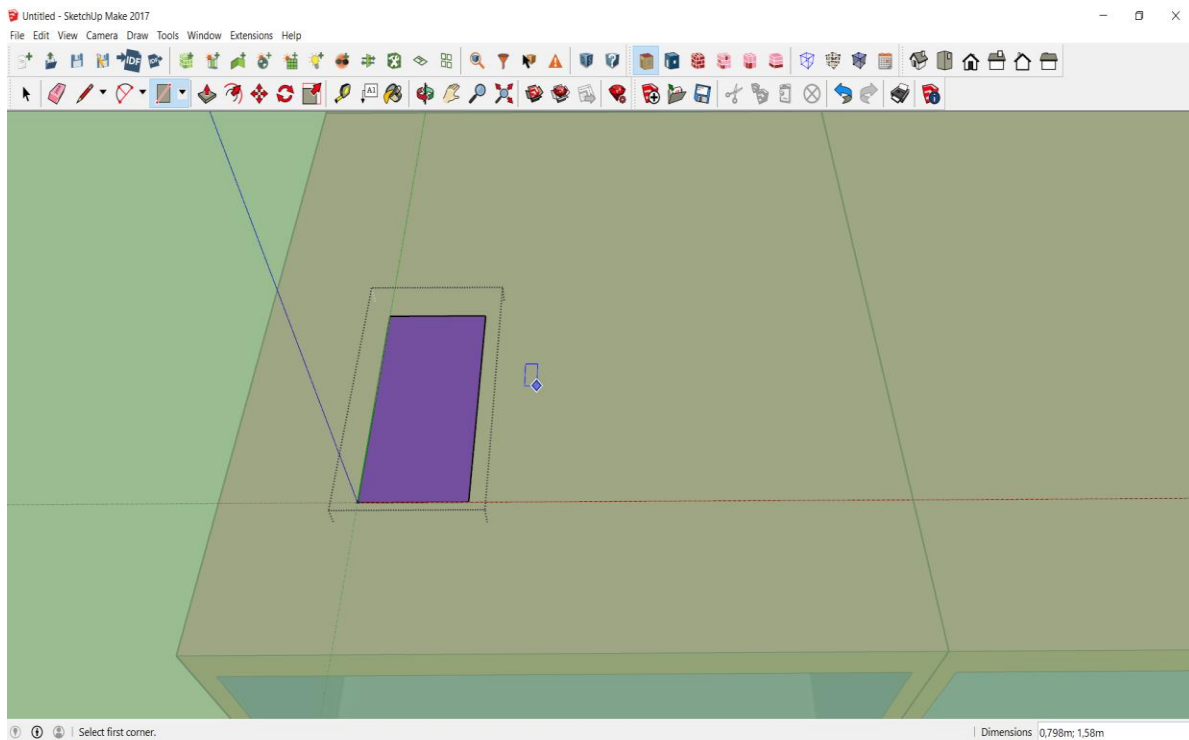
### 8.1.6 Σχεδίαση φωτοβολταϊκών πάνελ

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της γεωμετρίας του κτιρίου αλλά και της απόδοσης «χαρακτηριστικών» στους χώρους αυτού, απομένει η σχεδίαση των φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή του κτιρίου. Η ενότητα αυτή αφορά εντελώς το σχεδιαστικό μέρος των φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς η μελέτη για την διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, την γωνία τοποθέτησης των συλλεκτών και την κατασκευαστική εταιρεία αυτών, πραγματοποιείται στην ενότητα 9 στην παραμετρική μελέτη 9.2.8.

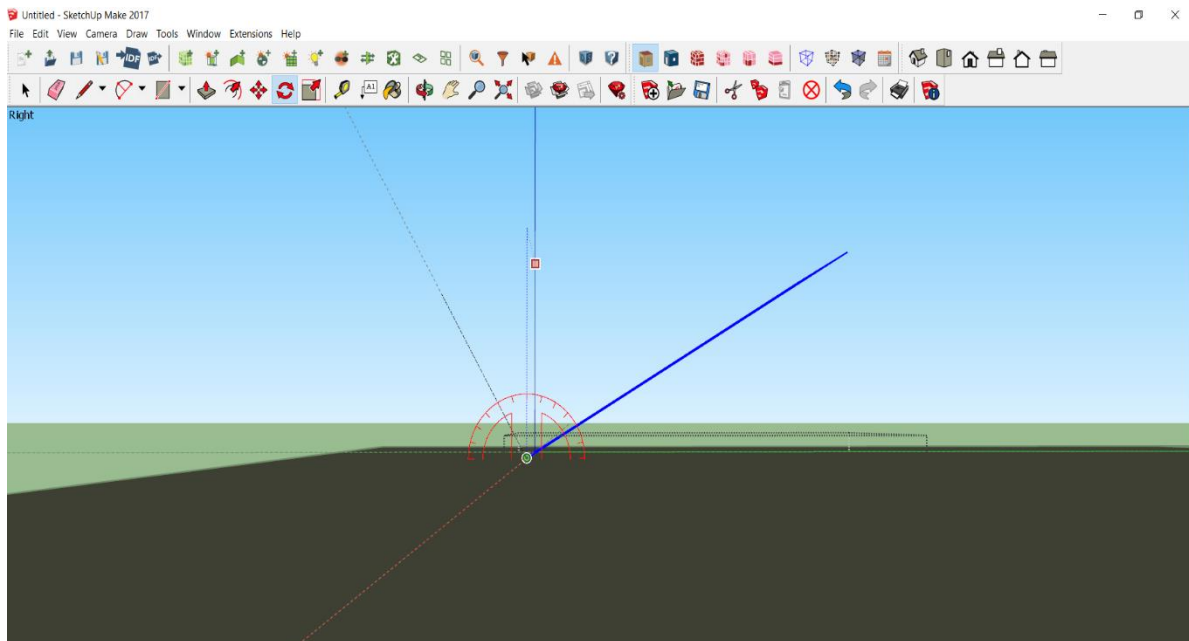
Η δημιουργία της γεωμετρικής επιφάνειας η οποία θα αποτελέσει την επιφάνεια του συλλέκτη είναι μια σκιασμένη επιφάνεια (Shading Surface) και πραγματοποιείται μέσω της εντολής New Shading Surface Group (Εικόνα 8.37) του OpenStudio. Με την εκτέλεση της εντολής New Shading Surface Group πατώντας το πλήκτρο Enter πραγματοποιείται ο σχεδιασμός της Shading Surface μέσω της γραμμής εργαλείων του SketchUp (Εικόνα 8.38, Εικόνα 8.39).



Εικόνα 8.37 - Εκτέλεση της εντολής New Shading Surface Group

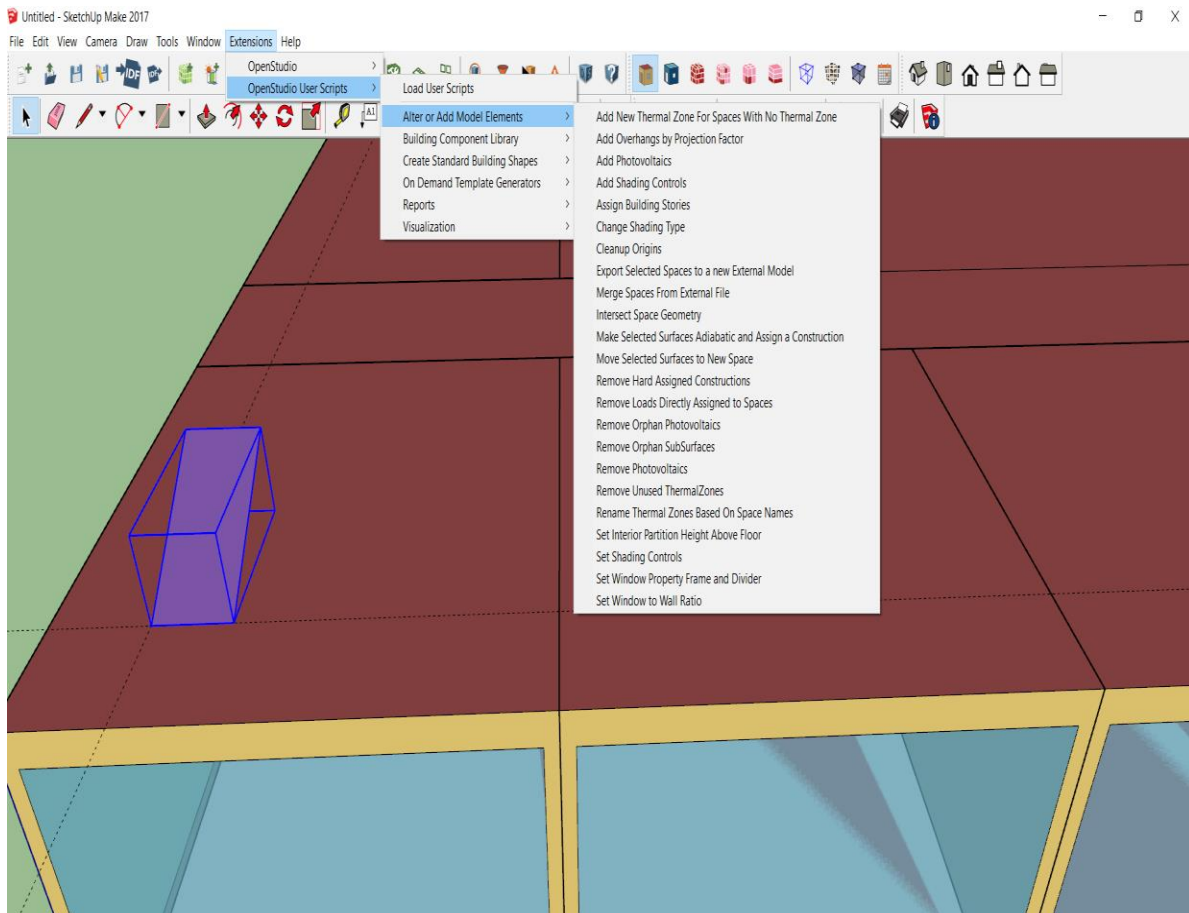


Εικόνα 8.38 - Σχεδιασμός Shading Surface

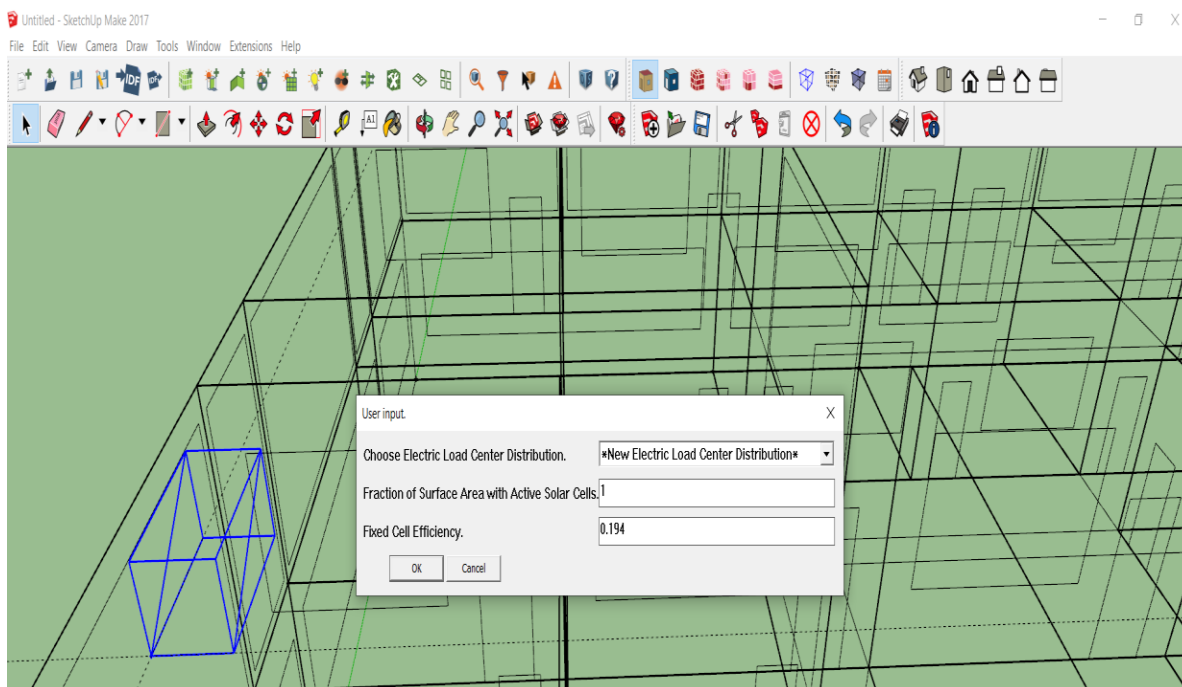


Εικόνα 8.39 - Περιστροφή Shading Surface μέσω του εργαλείου Rotate

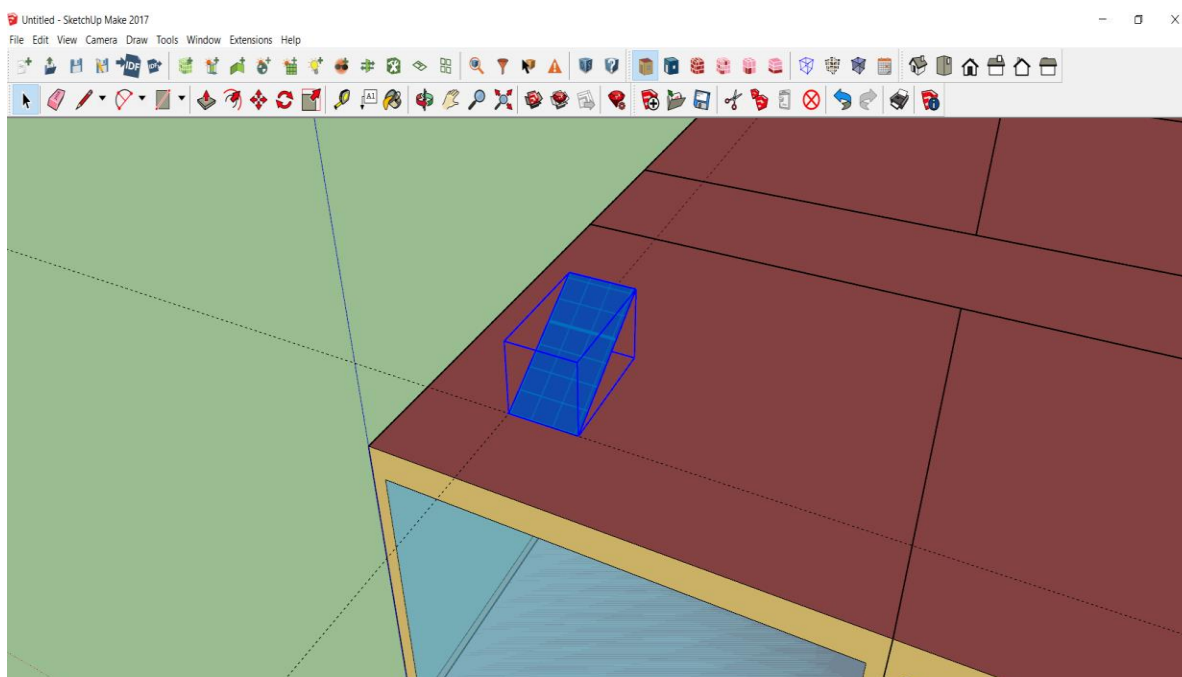
Με την ολοκλήρωση της δημιουργίας του Shading Surface, επιλέγεται η επιφάνεια αυτή και εκτελείται η εντολή Add Photovoltaics μέσω της διαδρομής Extensions – OpenStudio User Scripts – Alter or Add Elements – Add Photovoltaics (Εικόνα 8.40) και αναδύεται το παράθυρο της εικόνας 8.41 στο οποίο πραγματοποιείται ο καθορισμός των βασικών παραμέτρων: Fraction of Surface Area with Active Solar Cells και Fixed Cell Efficiency (Εικόνα 8.41). Με τον καθορισμό αυτό ολοκληρώνεται η διαμόρφωση του φωτοβολταϊκού (Εικόνα 8.42) και του κτιρίου (Εικόνα 8.43).



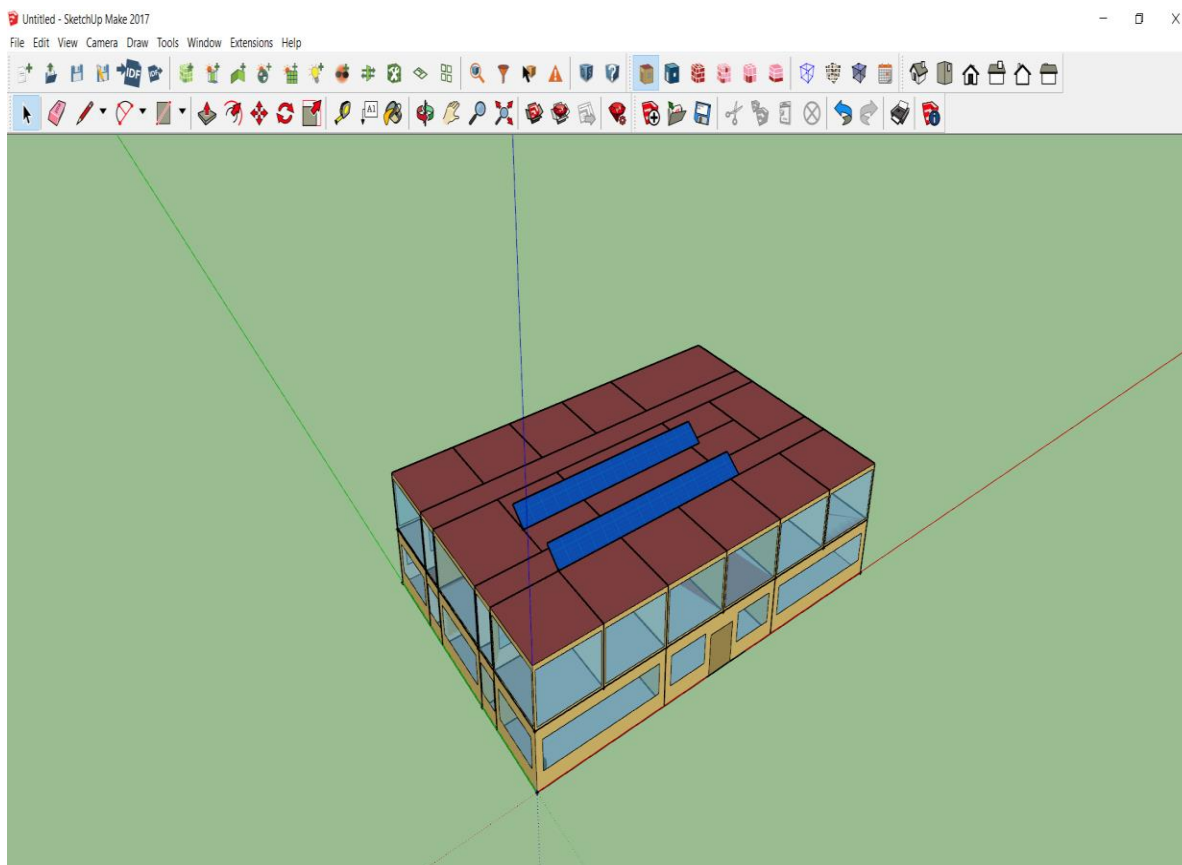
**Εικόνα 8.40 - Διαδρομή για εκτέλεση της εντολής Add Photovoltaics**



Εικόνα 8.41 - Ορισμός παραμέτρων κατά την εκτέλεση της εντολής Add Photovoltaics



Εικόνα 8.42 - Ολοκλήρωση σχεδιασμού του φωτοβολταϊκού

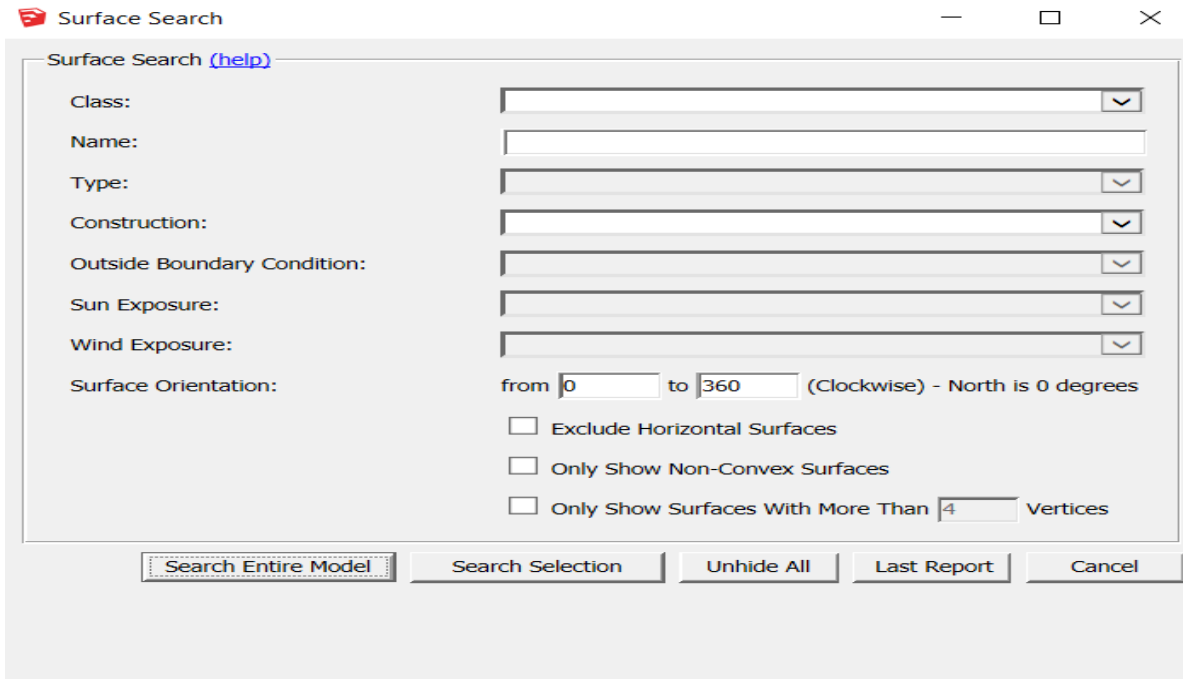


Εικόνα 8.43 - Ολοκληρωμένη μορφή κτιρίου

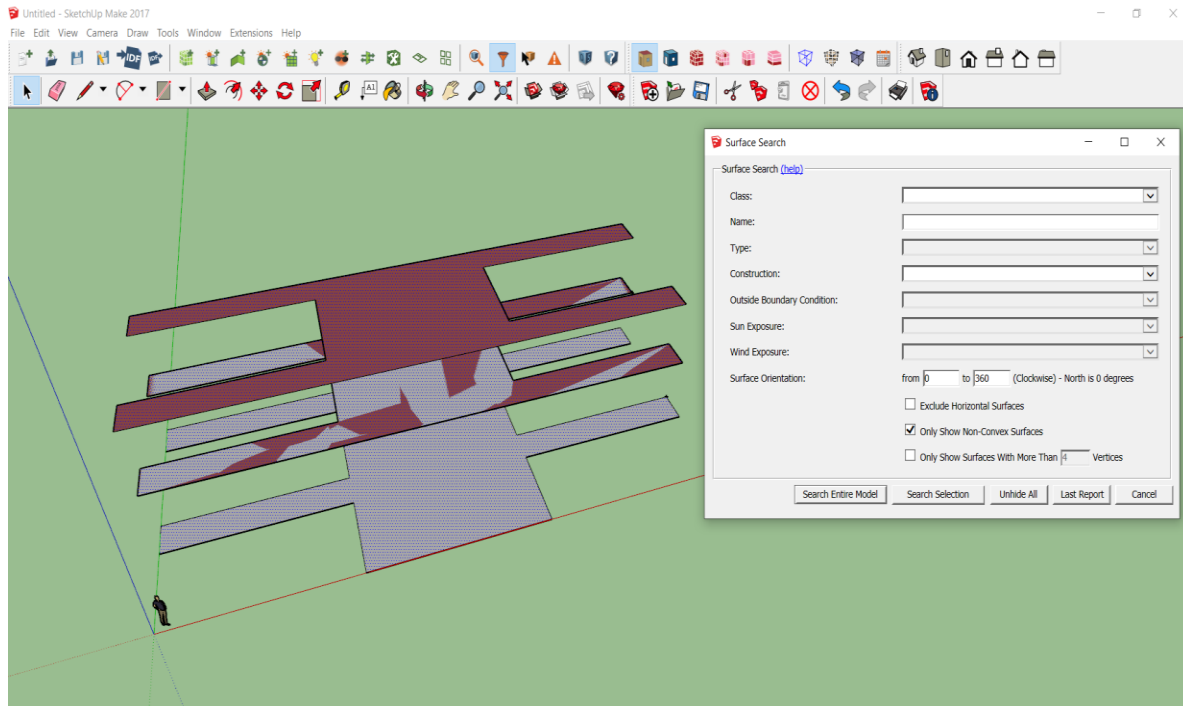
### 8.1.7 Έλεγχος για Non-Convex Surfaces

Τελευταίος έλεγχος που πραγματοποιείται στο SketchUp πριν την επεξεργασία του μοντέλου μέσω του OpenStudio, είναι ο έλεγχος για Non-Convex Surfaces. Ο έλεγχος αυτός κρίνεται απαραίτητος καθώς στη περίπτωση που υπάρχουν Non-Convex Surfaces στο μοντέλο, προκαλείται ο τερματισμός της ενεργειακής προσομοίωσης του στο OpenStudio. Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω του εργαλείου Surface Search, κατά την εκτέλεση του οποίου αναδύεται το παρακάτω παράθυρο της εικόνας 8.44 (Εικόνα 8.44):

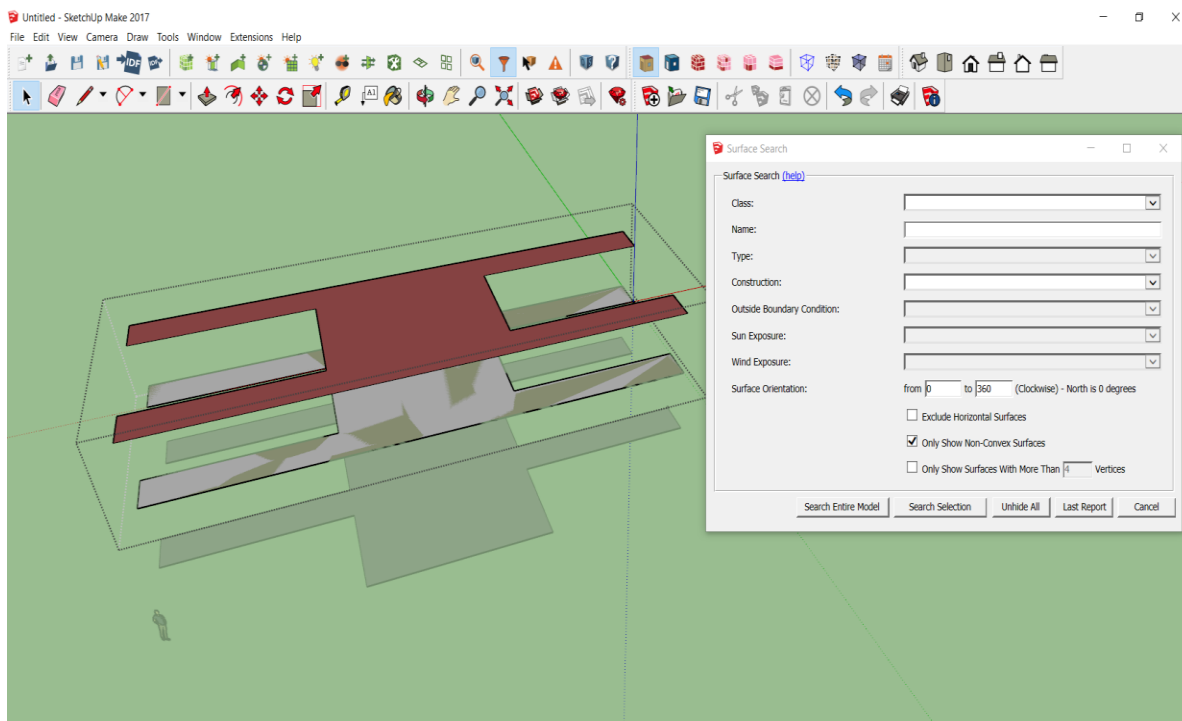
Με την επιλογή του Only Show Non-Convex Surfaces και στην συνέχεια του Search Entire Model εμφανίζονται, εφόσον υπάρχουν όλες οι Non-Convex Surfaces του μοντέλου (Εικόνα 8.45). Για την επίλυση του συγκεκριμένου σφάλματος επιλέγεται η κάθε επιφάνεια ξεχωριστά (Εικόνα 8.46) και χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα μέσω του εργαλείου Lines του SketchUp (Εικόνα 8.47). Με το πέρας της διόρθωσης της κάθε επιφάνειας ξεχωριστά, εκτελείται ξανά η εντολή Search Entire Model και αν όλα έχουν πραγματοποιηθεί επιτυχώς δεν εμφανίζεται καμία επιφάνεια (Εικόνα 8.48).



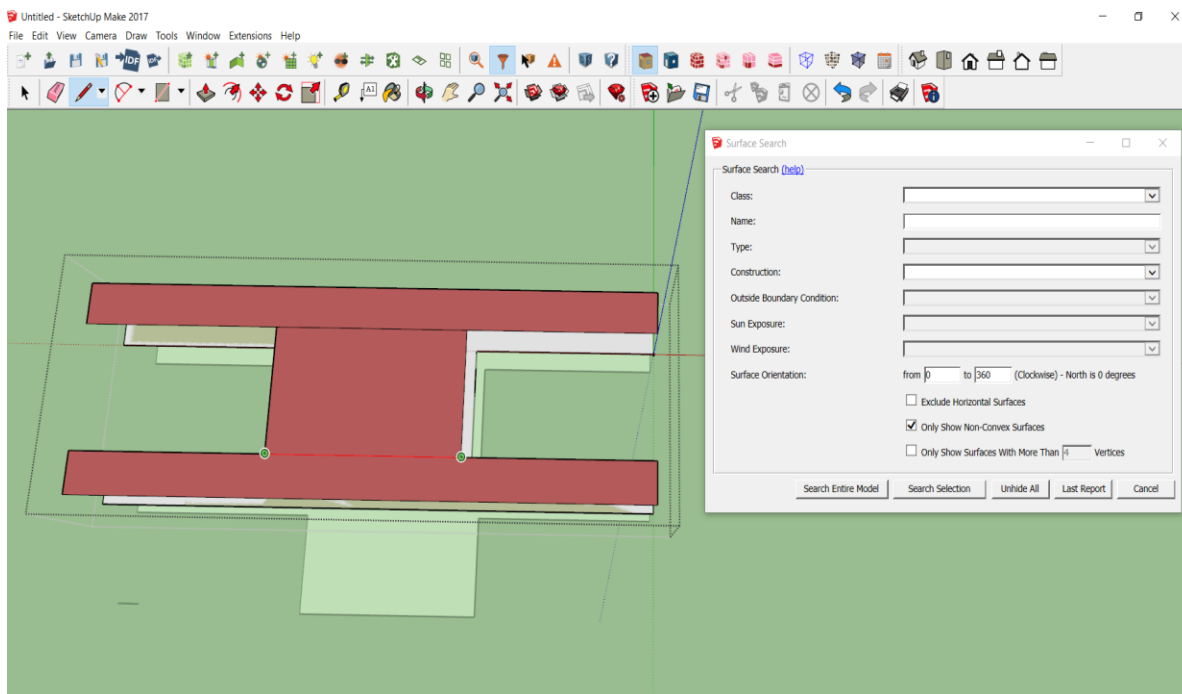
Εικόνα 8.44 - Εντολή Surface Search



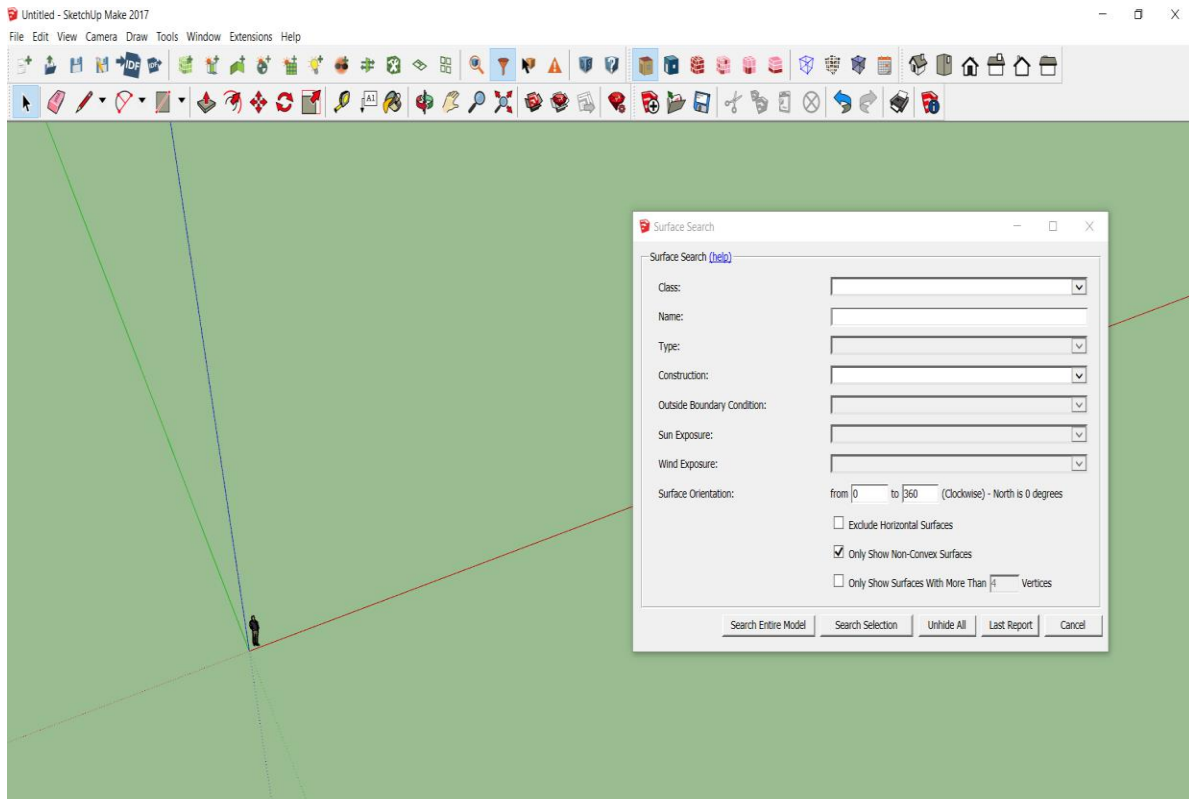
Εικόνα 8.45 - Αποτέλεσμα εκτέλεσης της εντολής Search Entire Model (Only Show Non-Convex Surfaces)



Εικόνα 8.46 - Επιλογή επιφάνειας για διόρθωση



Εικόνα 8.47 - Χρήση του εργαλείου Lines του SketchUp



Εικόνα 8.48 - Ολοκλήρωση του ελέγχου για Non-Convex Surfaces



## 8.2 OpenStudio

---

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κτιρίου μέσω του λογισμικού SketchUp, αρχίζει η επεξεργασία αυτού, μέσω του λογισμικού OpenStudio. Το OpenStudio όπως έχει ειπωθεί προηγουμένως αποτελεί τον συνδεδετικό κρίκο μεταξύ του προγράμματος σχεδιασμού SketchUp και αυτού της προσομοίωσης EnergyPlus. Γενικά, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το GUI του EnergyPlus, αλλά μέχρι στιγμής δεν περιλαμβάνει το 100% των λειτουργιών και των επιλογών που προσφέρει το τελευταίο. Στην περίπτωση του κτηρίου που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία, το 100% των παραμέτρων και των συστημάτων που το διέπουν μπορούν να απεικονιστούν επιτυχώς, με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαία η περαιτέρω επεξεργασία του στο πρόγραμμα EnergyPlus.

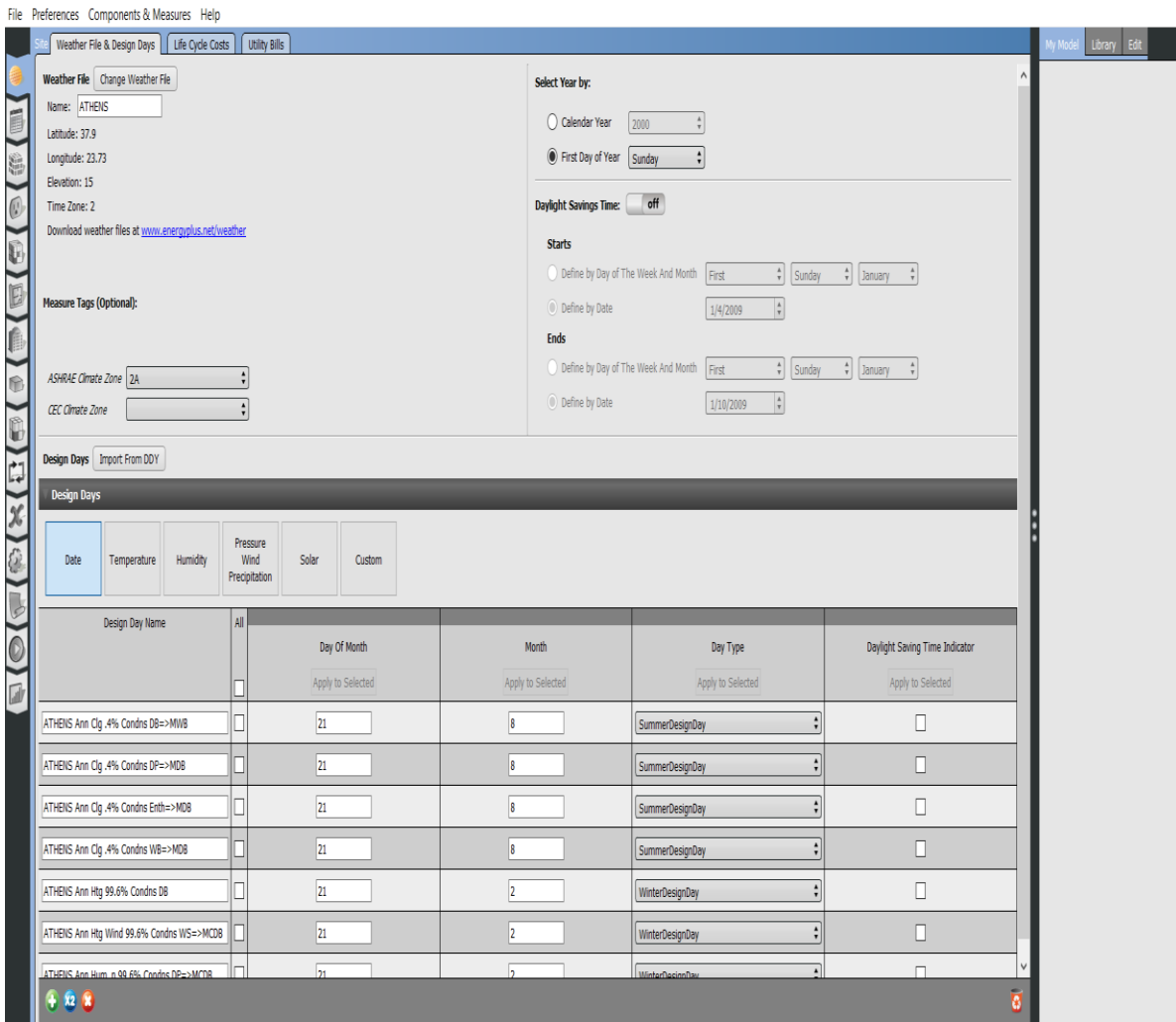
Το OpenStudio αποτελείται από τις παρακάτω ενότητες-καρτέλες:

1. Site Tab
2. Schedules Tab
3. Constructions Tab
4. Loads Tab
5. Space Types Tab
6. Geometry Tab
7. Facility Tab
8. Spaces Tab
9. Thermal Zones Tab
10. HVAC Systems Tab
11. Output Variables Tab
12. Simulation Settings Tab
13. Measures Tab
14. Run Simulation Tab
15. Results Summary

Στις αμέσως επόμενες υπό-ενότητες παρουσιάζεται το περιεχόμενο και η μεθοδολογία επεξεργασίας της κάθε ενότητας-καρτέλας ξεχωριστά.

### 8.2.1 Site Tab

Η πρώτη καρτέλα η οποία εμφανίζεται, η καρτέλα Site Tab (Εικόνα 8.49) αφορά τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής στην οποία πραγματοποιείται η ενεργειακή μελέτη. Τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες περιοχές του πλανήτη και με βάση αυτά θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται μέσω της σελίδας του EnergyPlus στην ενότητα Weather Data [35]. Οι πληροφορίες που παρέχουν αφορούν τις ωριαίες θερμοκρασίες του εξωτερικού περιβάλλοντος, την υγρασία, την διάρκεια της ημέρας καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία. Ο ληφθείς φάκελος από την σελίδα του EnergyPlus περιέχει δύο αρχεία, ένα σε μορφή .erw όπου εισάγεται στο OpenStudio μέσω της εντολής Change Weather File, και το άλλο είναι σε μορφή .ddy όπου εισάγεται στο πρόγραμμα μέσω της εντολής Import From DDY.



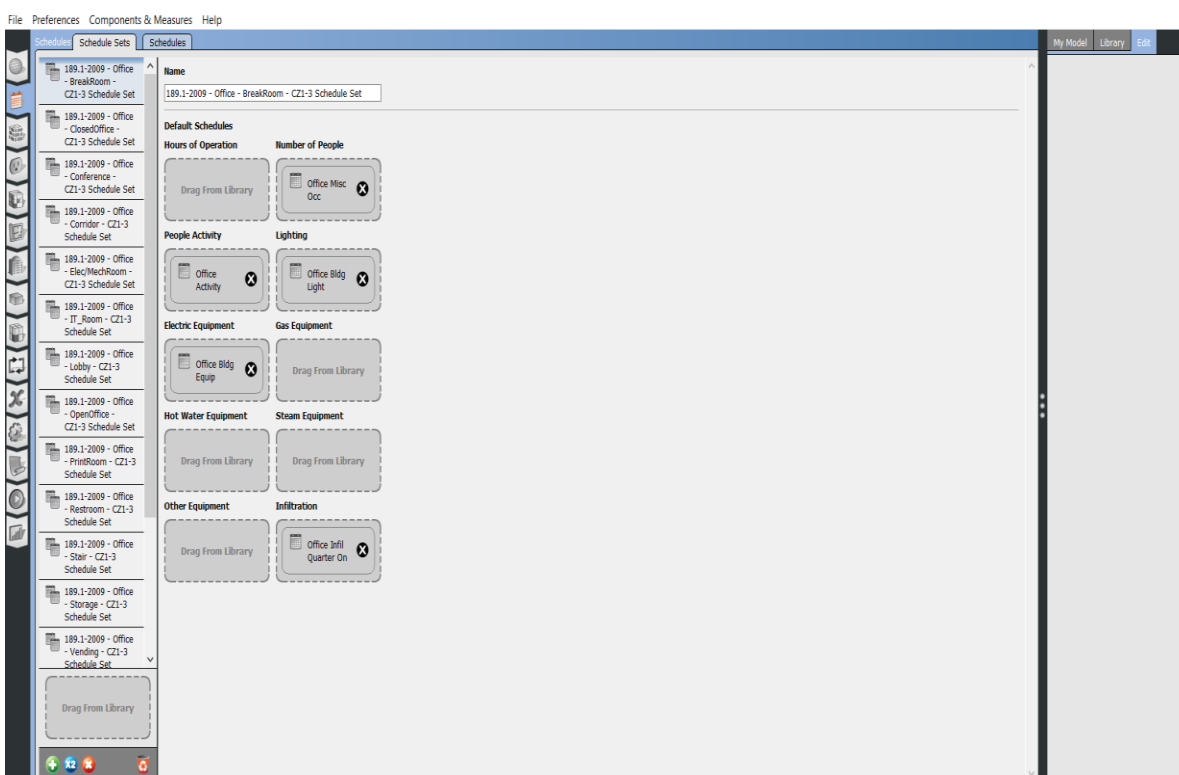
Εικόνα 8.49 - Site Tab

## 8.2.2 Schedules Tab

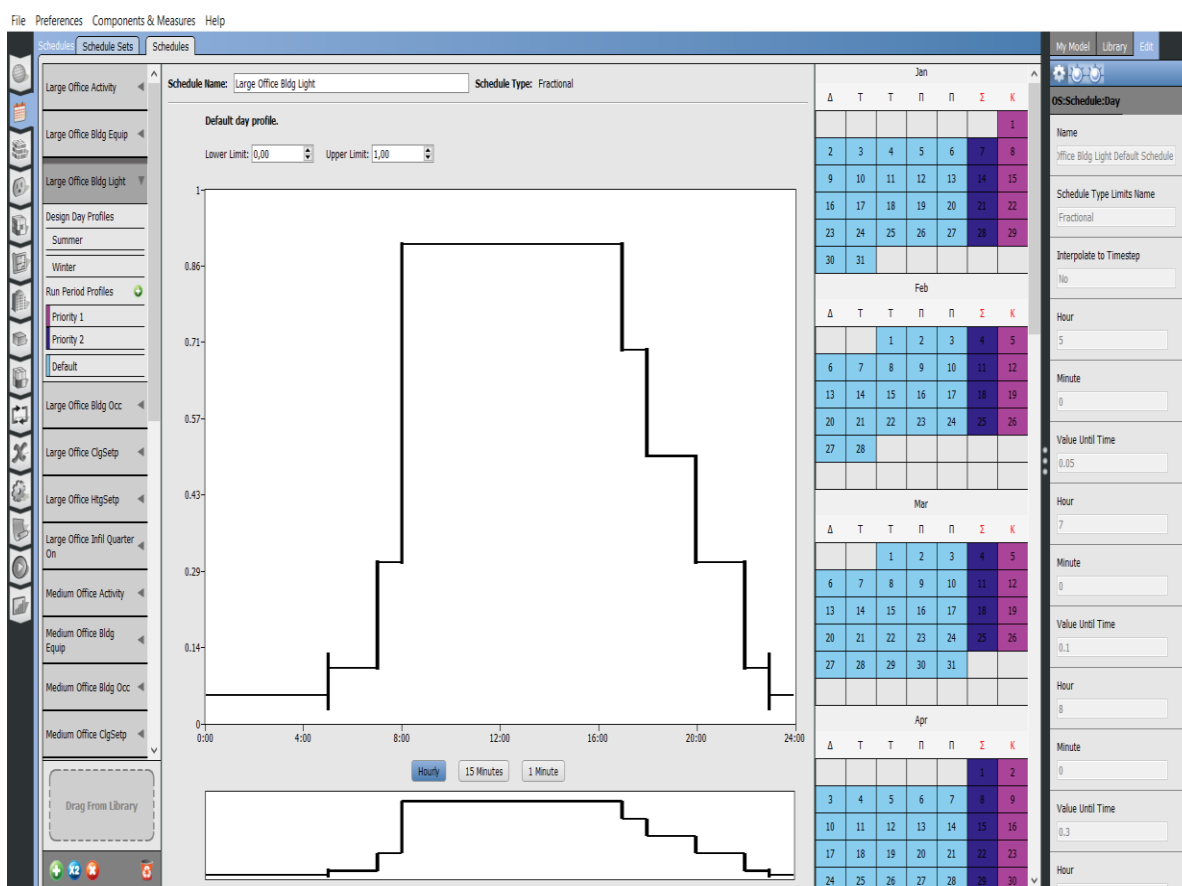
Στην καρτέλα Schedules Tab (Εικόνα 8.50) πραγματοποιείται ο καθορισμός των χρονοδιαγραμμάτων των «στοιχείων» που αποτελούν το κτίριο. Ο όρος «στοιχείο» μπορεί να είναι η θερμοκρασία ενός χώρου, ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο, ο φωτισμός, η λειτουργία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού ενός χώρου κτλ. Τα χρονοδιαγράμματα μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή τους ορίσει ο χρήστης και απεικονίζουν την μεταβολή ενός στοιχείου κατά την διάρκεια της ημέρας. Το χρονικό βήμα μπορεί να είναι ωριαίο, ανά δεκαπεντάλεπτο καθώς και ανά λεπτό.

Η καρτέλα Schedules Tab αποτελείται από δύο υπό-καρτέλες, την υπό-καρτέλα Schedule Sets (Εικόνα 8.50) και την υπό-καρτέλα Schedules (Εικόνα 8.51). Στην υπό-καρτέλα Schedules πραγματοποιείται η επεξεργασία σε υπάρχον χρονοδιαγράμματα ή η δημιουργία καινούργιων. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά εισάγονται στην υπό-καρτέλα Schedule Sets η οποία αποτελεί μια συλλογή πολλών διαφορετικών και διακριτών χρονοδιαγραμμάτων σχηματίζοντας ένα σύνολο, το οποίο στην συνέχεια αποδίδεται σε ένα Space Type.

Για τις ανάγκες μοντελοποίησης του κτιρίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σχεδόν όλα τα χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν πάρθηκαν από την βιβλιοθήκη του OpenStudio για κτίριο γραφείων, σύμφωνα με το πρότυπο της Ashrae ASHRAE 189.1-2009, καθώς κρίθηκαν ακριβή και ικανοποιητικά, και πληρούν τις προϋποθέσεις του TOTEE [36].



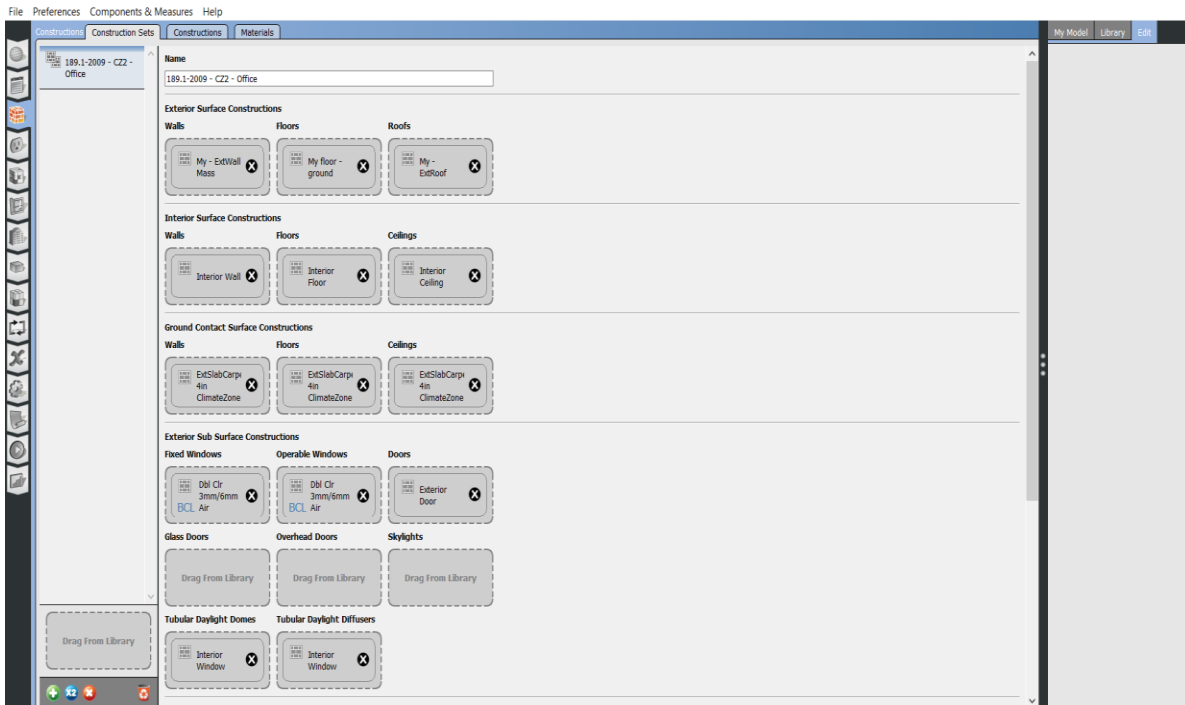
Εικόνα 8.50 - Schedules Tab – Υπό-καρτέλα Schedule Sets



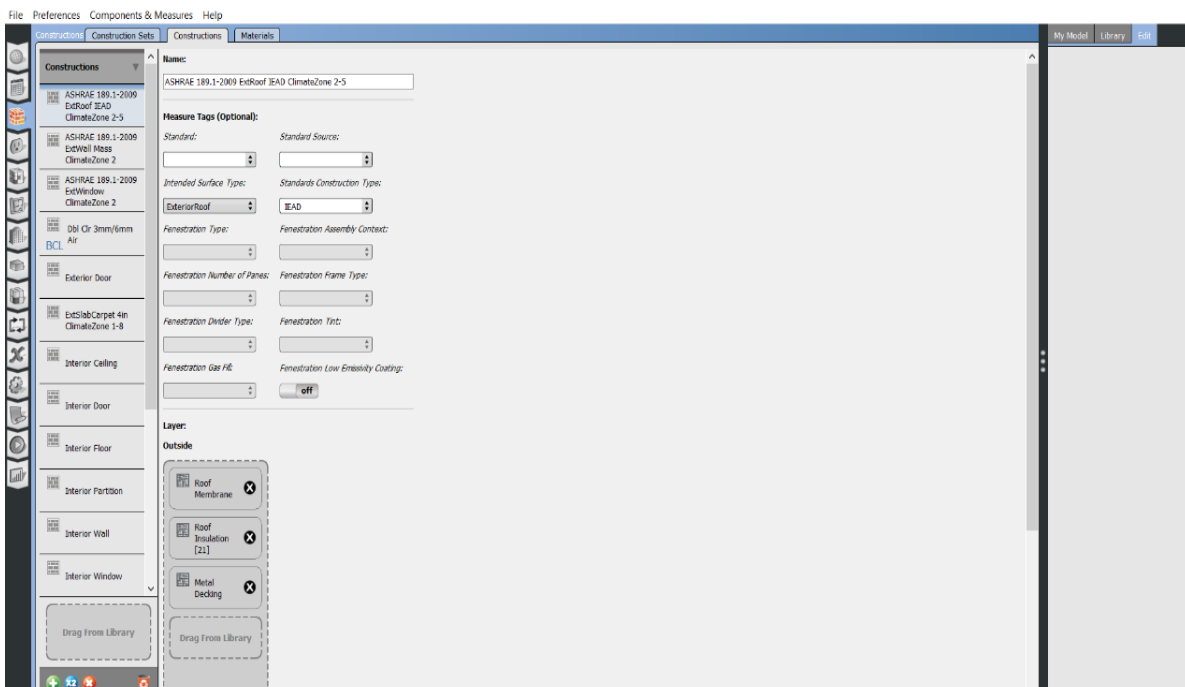
Εικόνα 8.51 - Schedule Tab Υπό-καρτέλα Schedules

### 8.2.3 Constructions Tab

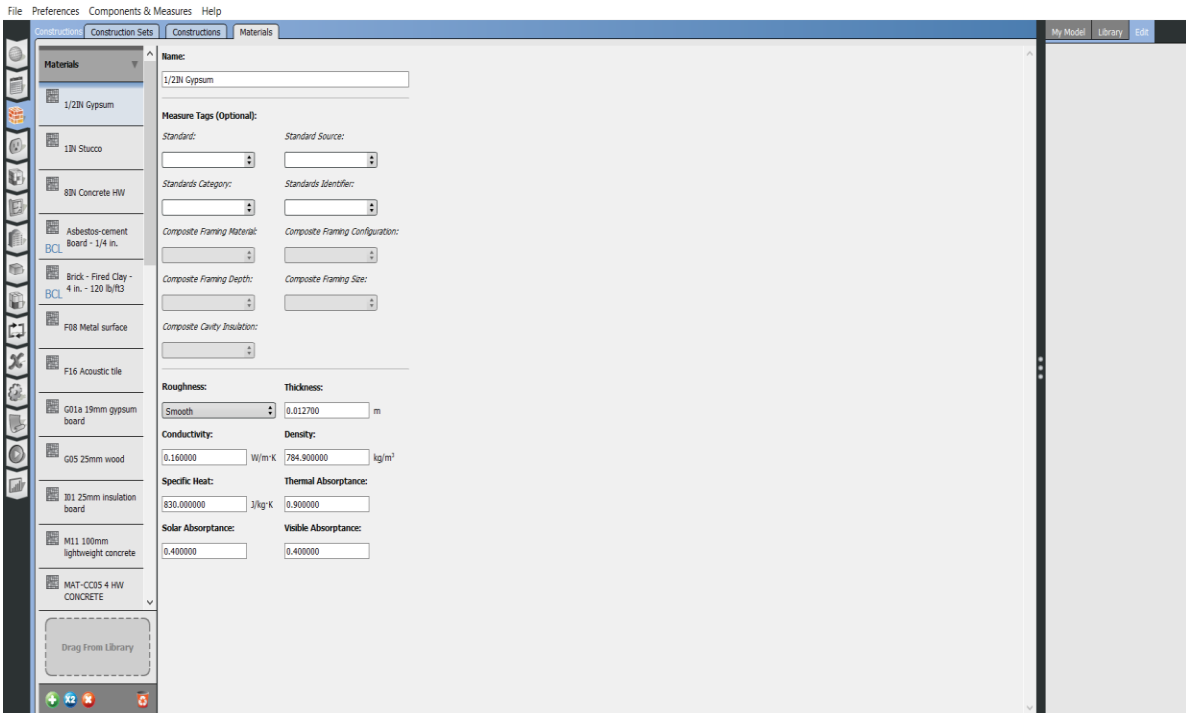
Στην καρτέλα αυτή παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας, σύνθεσης και σχηματισμού όλων των απαραίτητων πληροφοριών που όταν αποδοθούν θα μετατρέψουν τις λεπτές επιφάνειες του κτιρίου σε τοίχους, δάπεδα, οροφές, παράθυρα, πόρτες, κάθε ένα με το σύνολο των χαρακτηριστικών του. Η καρτέλα Constructions Tab αποτελείται από τρεις υπό-καρτέλες. Την υπό-καρτέλα Construction Sets (Εικόνα 8.52), την υπό-καρτέλα Constructions (Εικόνα 8.53), και την υπό-καρτέλα Materials (Εικόνα 8.54), οι οποίες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Αρχίζοντας από την τρίτη σε σειρά υπό-καρτέλα Materials, πραγματοποιείται η εισαγωγή όλων των υλικών από τα οποία αποτελείται η κατασκευή του κτιρίου. Στην υπό-καρτέλα αυτή δίνεται η δυνατότητα τροποποίησης των χαρακτηριστικών όλων των υλικών της βιβλιοθήκης του OpenStudio, όπως το πάχος, η πυκνότητα, η αγωγιμότητα κ.λπ. Επίσης μέσω της βιβλιοθήκης BCL - Building Component Library (Εικόνα 8.55) [37] μπορεί να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή τόσο έτοιμων υλικών (Materials), όσο και έτοιμων σετ κατασκευών (Construction Sets).



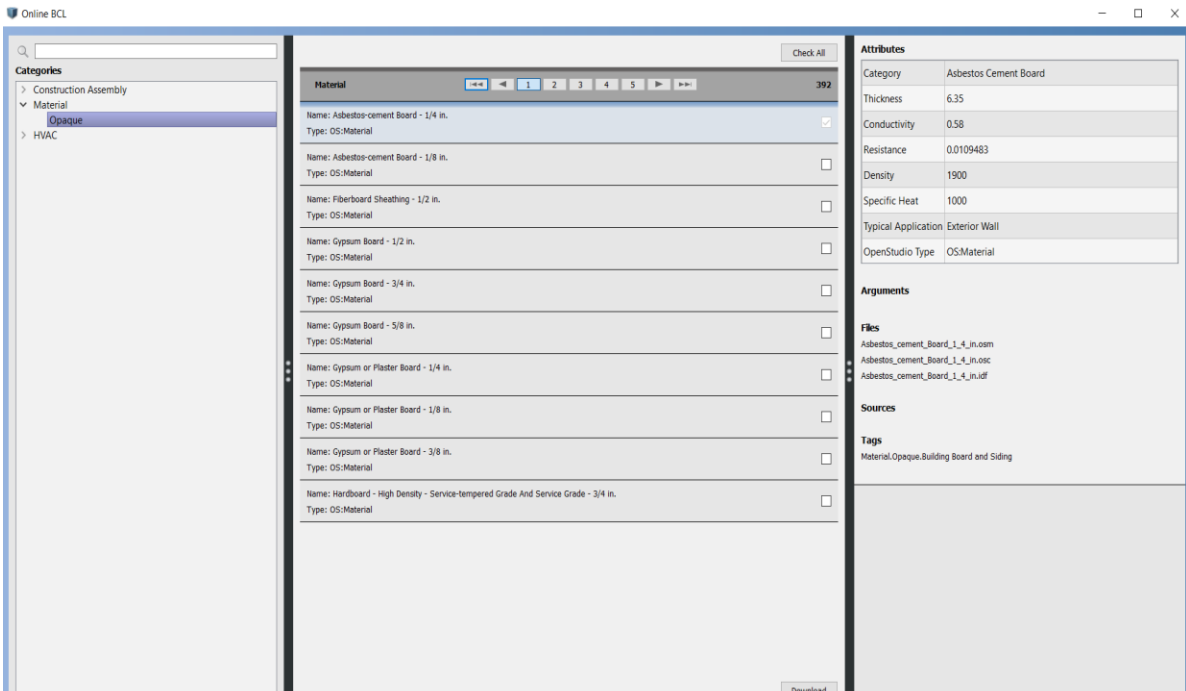
Εικόνα 8.52 - Constructions Tab Υπό-καρτέλα Constructions Sets



Εικόνα 8.53 - Constructions Tab Υπό-καρτέλα Constructions



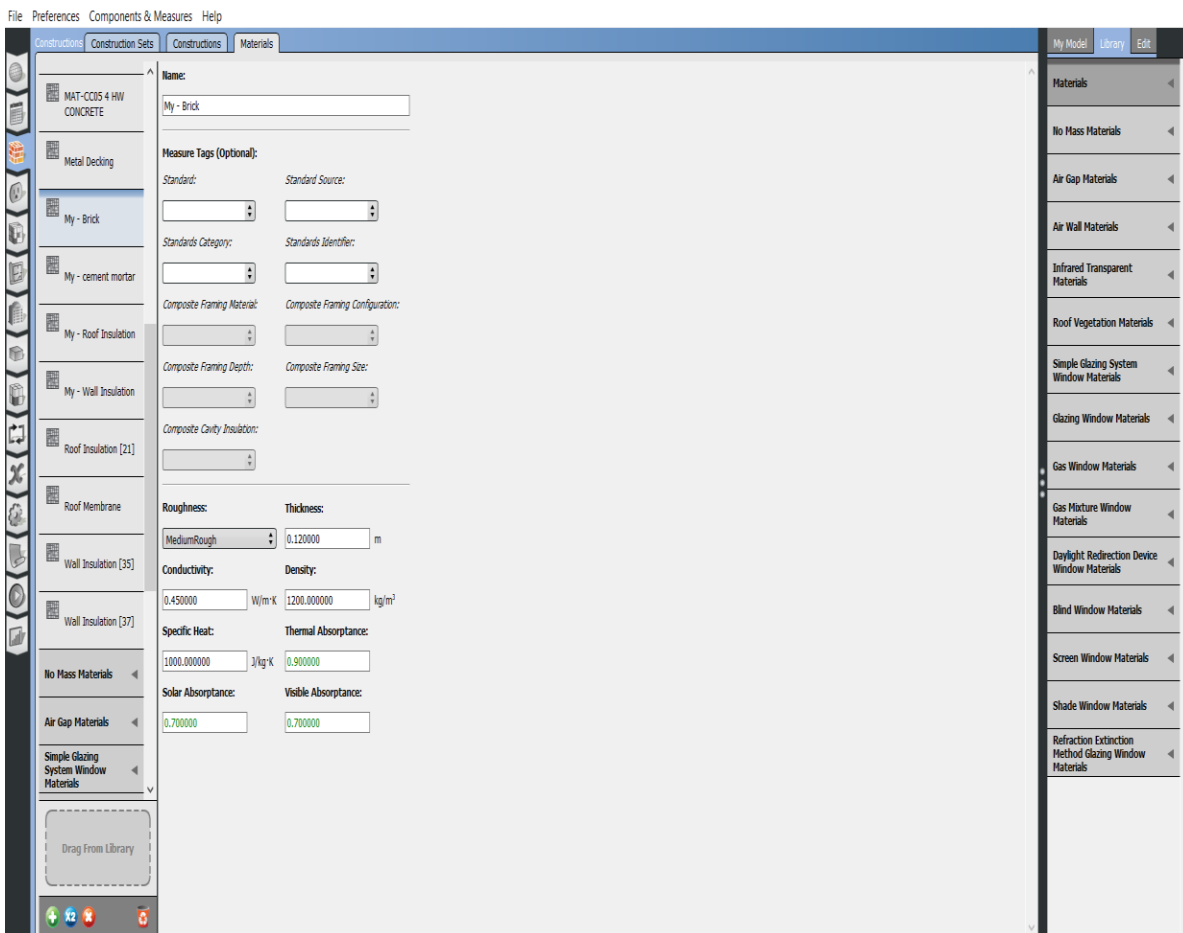
Εικόνα 8.54 - Constructions Tab Υπό-καρτέλα Materials



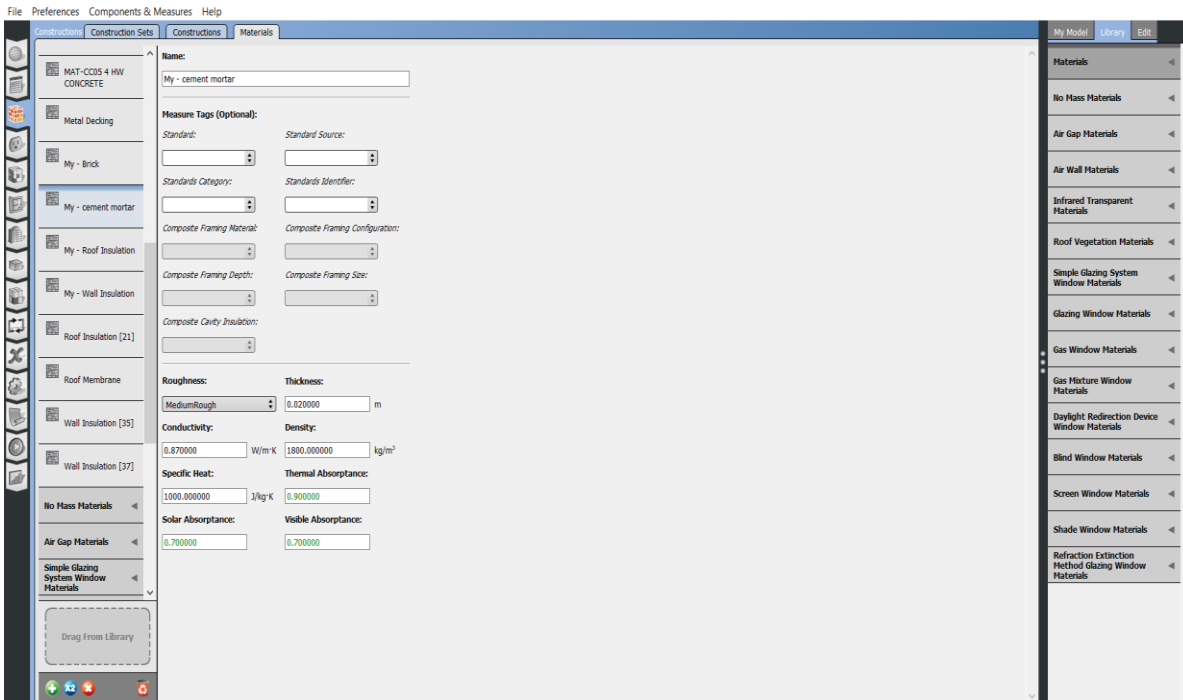
Εικόνα 8.55 - BCL - Building Component Library

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ενός υλικού εξολοκλήρου από την αρχή προσθέτοντας το όνομα και τα χαρακτηριστικά αυτού, χαρακτηριστικά τα οποία πάρθηκαν από τον ΤΟΤΕΕ [38], [39]. Τα υλικά (Materials) που δημιουργούνται είναι:

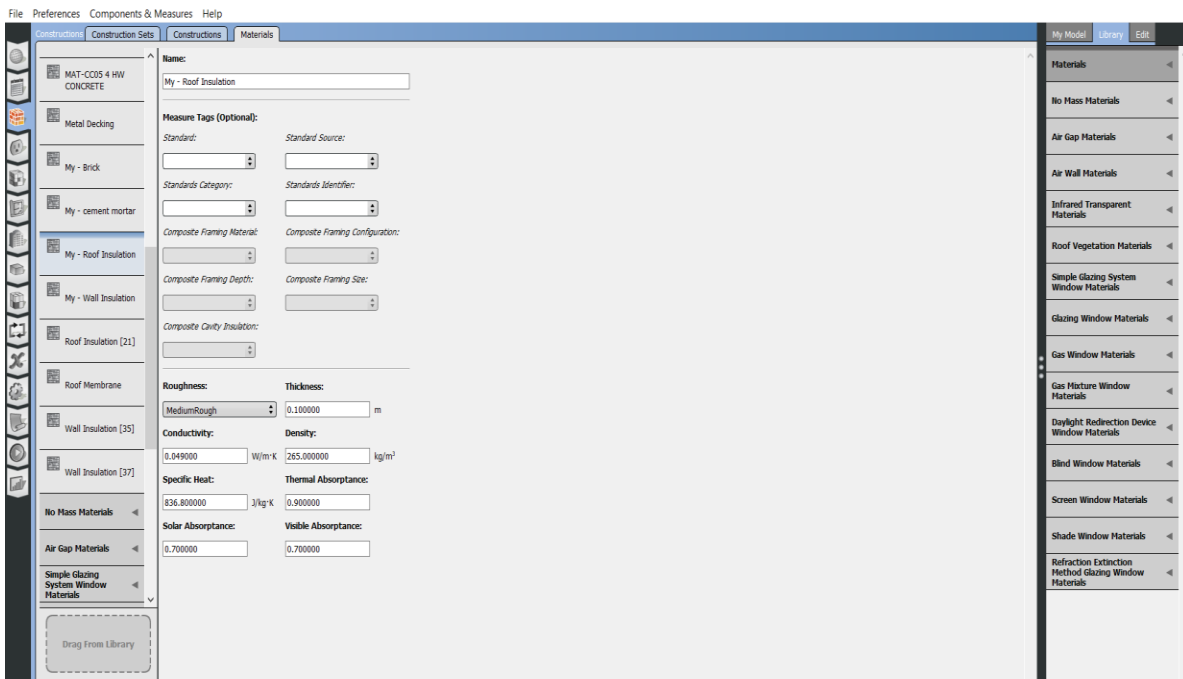
- Τούβλο – My Brick (Εικόνα 8.56)
- Τσιμεντοκονίαμα – My cement mortar (Εικόνα 8.57)
- Μόνωση οροφής – My Roof Insulation (Εικόνα 8.58)
- Μόνωση τοίχου – My Wall Insulation (Εικόνα 8.59)



Εικόνα 8.56 - Υπό-κάρτελα Materials - My Brick

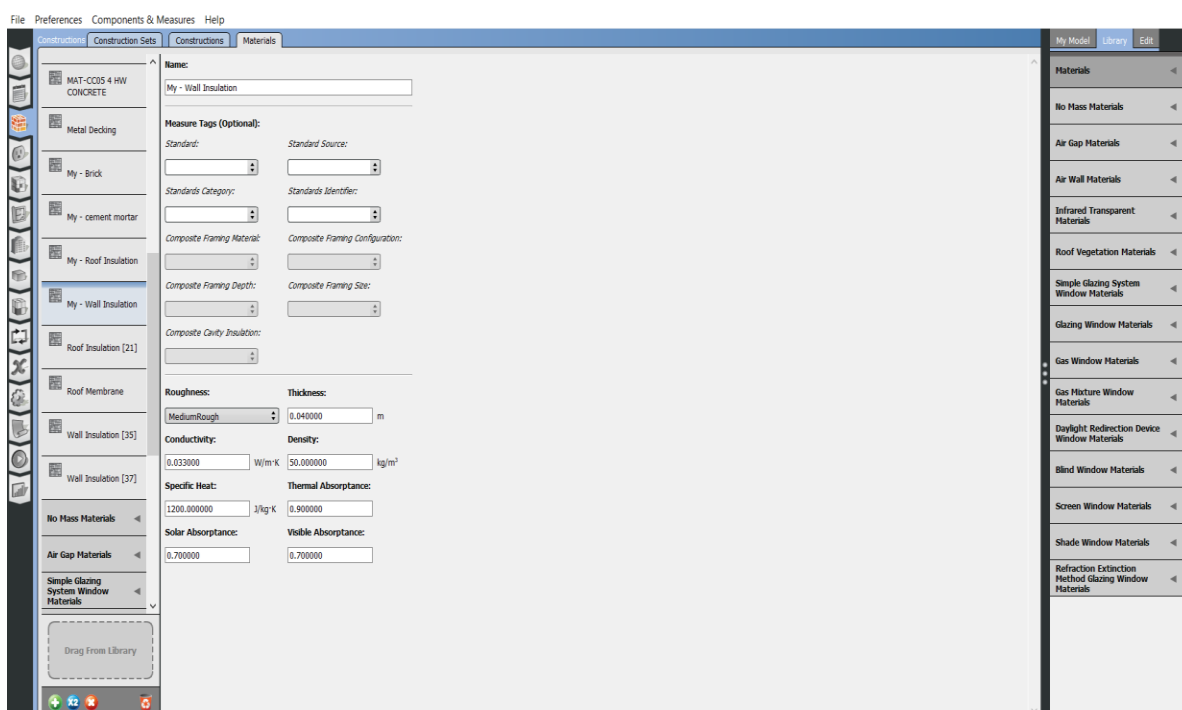


Εικόνα 8.57 - Υπό-καρτέλα Materials - My Cement Mortar



Εικόνα 8.58 - Υπό-καρτέλα Materials - My Roof Insulation



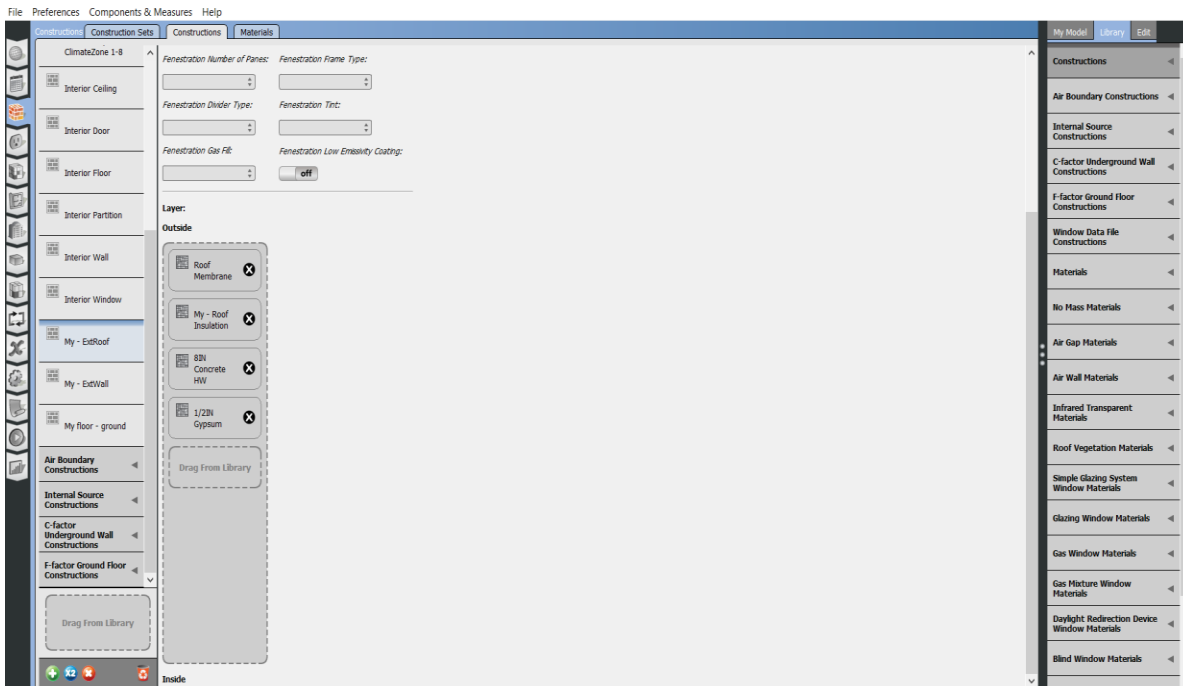


Εικόνα 8.59 - Υπό-καρτέλα Materials - My Wall Insulation

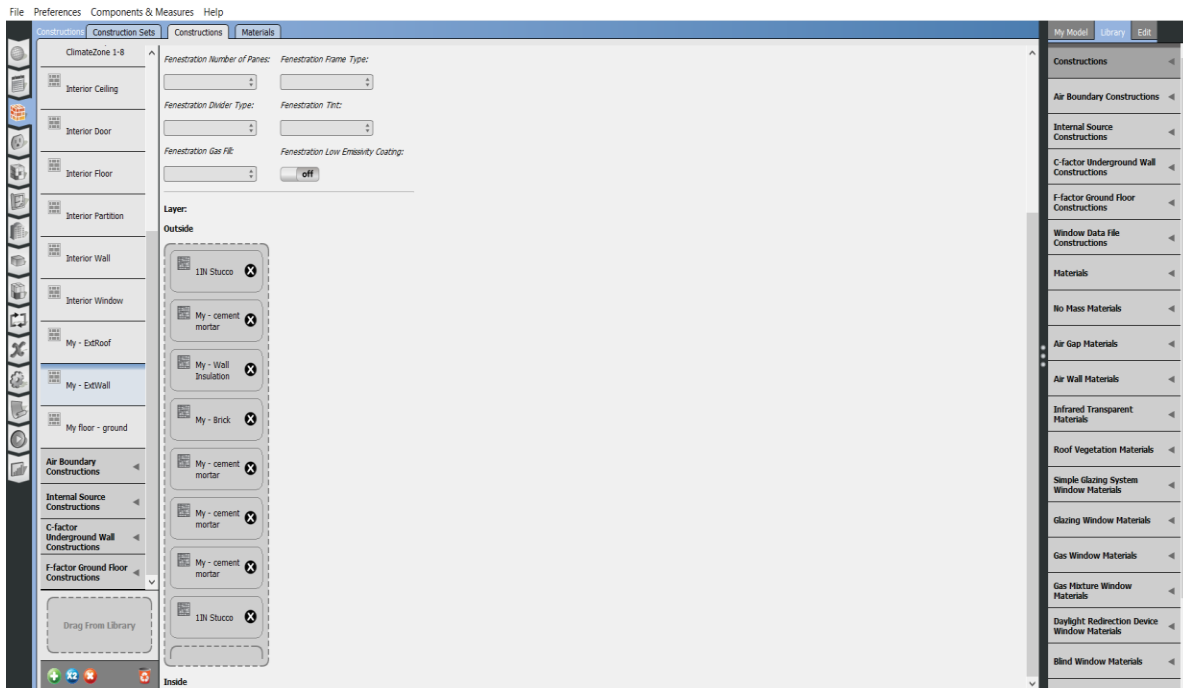
Στη συνέχεια με τα υλικά που μόλις δημιουργήθηκαν, στην δεύτερη σε σειρά υπό-καρτέλα Constructions, πραγματοποιείται το “χτίσιμο” του κάθε σετ κατασκευής. Το “χτίσιμο” αυτό πραγματοποιείται με γραφικό τρόπο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Η μοντελοποίηση αρχίζει με την προσθήκη υλικών (materials) από το εξωτερικό μέρος του σετ κατασκευής και καταλήγει στο εσωτερικό του, μέσω της διαδικασίας “Drag and Drop” από την βιβλιοθήκη που βρίσκεται στα δεξιά του παραθύρου, η οποία περιέχει τα υλικά αυτής αλλά και αυτά που έχουν δημιουργηθεί. Με την ολοκλήρωση του σετ κατασκευής υπολογίζεται η συνολική θερμική αγωγιμότητα αυτού, η οποία για όλα τα σετ κατασκευής είναι μέσα στα όρια-κανονισμούς του TOTEE [38].

Τα σετ κατασκευής (Construction Sets) που δημιουργούνται είναι:

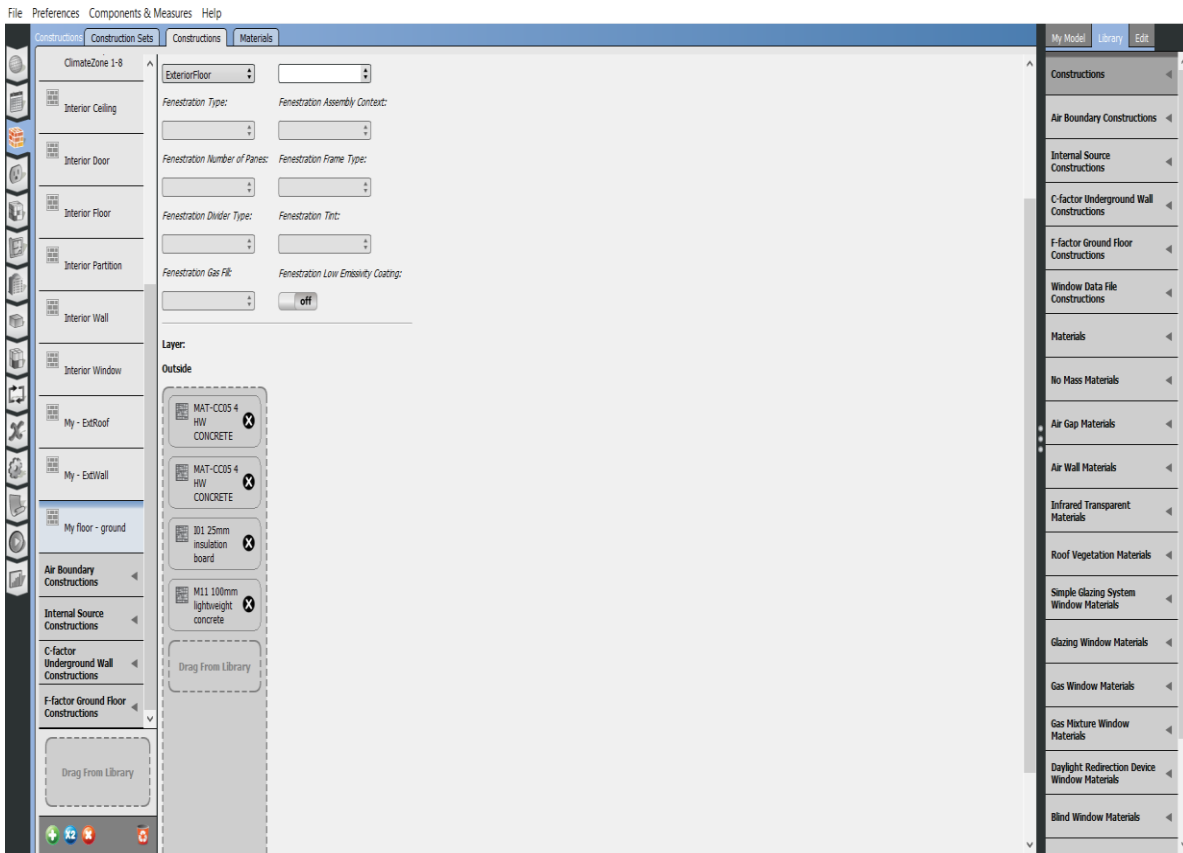
- Εξωτερική Οροφή – My ExtRoof (Εικόνα 8.60)
- Εξωτερικός τοίχος – My ExtWall (Εικόνα 8.61)
- Δάπεδο που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος – My floor-ground (Εικόνα 8.62)



Εικόνα 8.60 - Υπό-καρτέλα Constructions - My ExtRoof



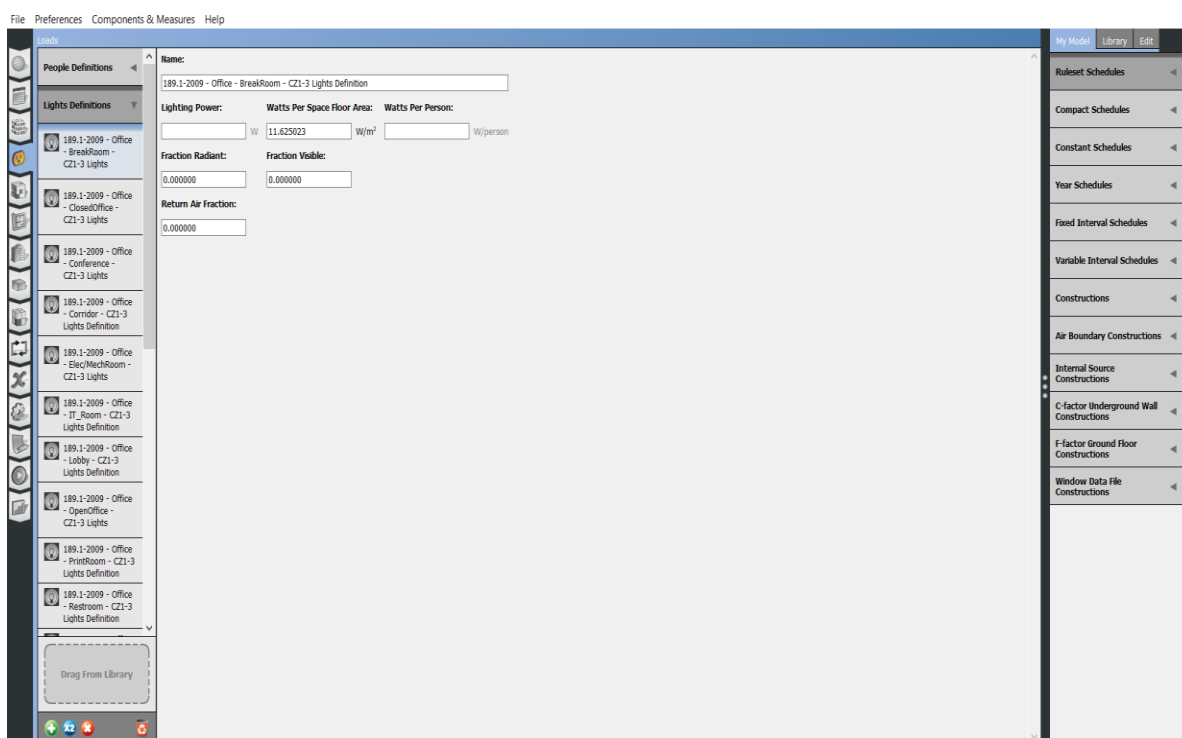
Εικόνα 8.61 - Υπό-καρτέλα Constructions - My ExtWall



Εικόνα 8.62 - Υπό-καρτέλα Constructions - My floor-ground

### 8.2.4 Loads Tab

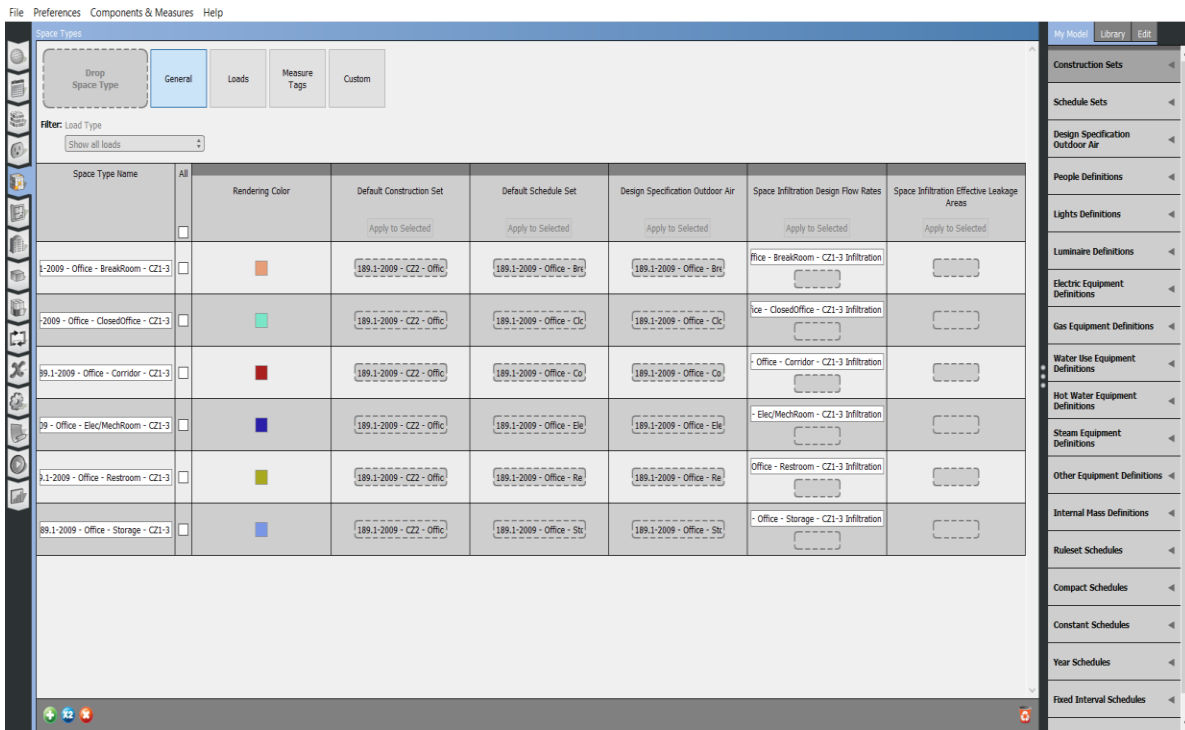
Σε αυτή την καρτέλα (Εικόνα 8.63) πραγματοποιείται ο καθορισμός των φορτίων των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, όπως των φορτίων που δημιουργούνται από τους ανθρώπους, τον φωτισμό, τις ηλεκτρικές συσκευές κ.λπ. Πέρα από τα υπάρχοντα φορτία που παρέχει το OpenStudio τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν αν κριθεί αναγκαίο, υπάρχει και η δυνατότητα δημιουργίας καινούργιων. Τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία πάρθηκαν από την βιβλιοθήκη του OpenStudio καθώς κρίθηκαν ικανοποιητικά και βρίσκονται μέσα στα όρια-κανονισμούς του TOTEE [38].



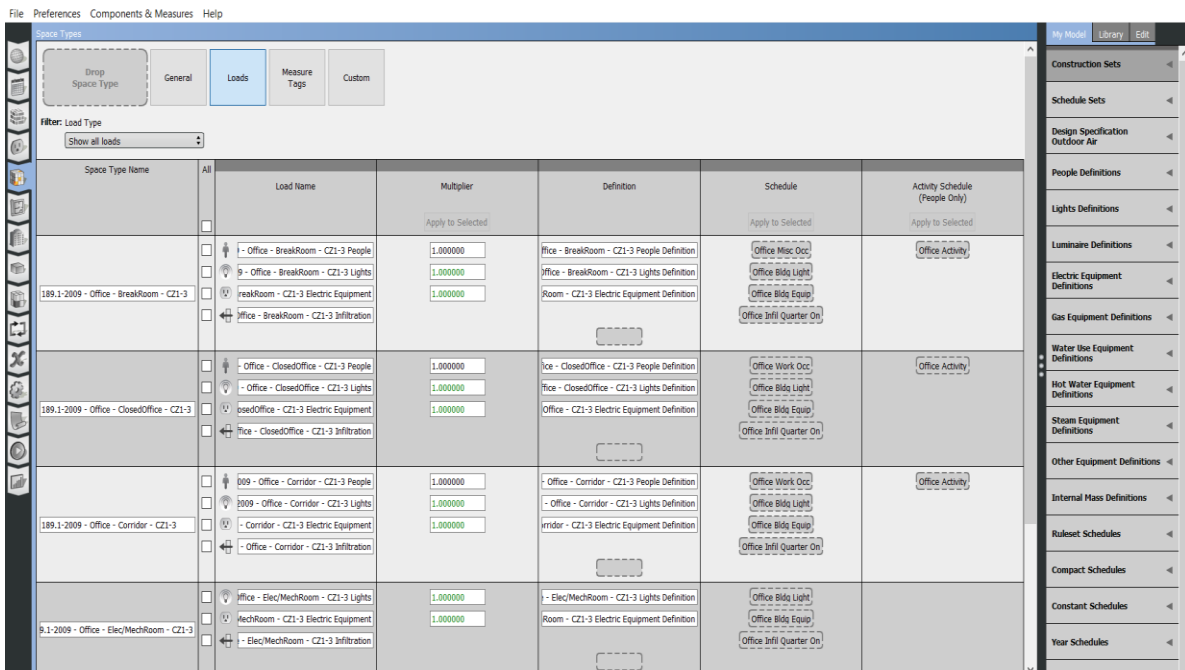
Εικόνα 8.63 - Loads Tab

### 8.2.5 Space Types Tab

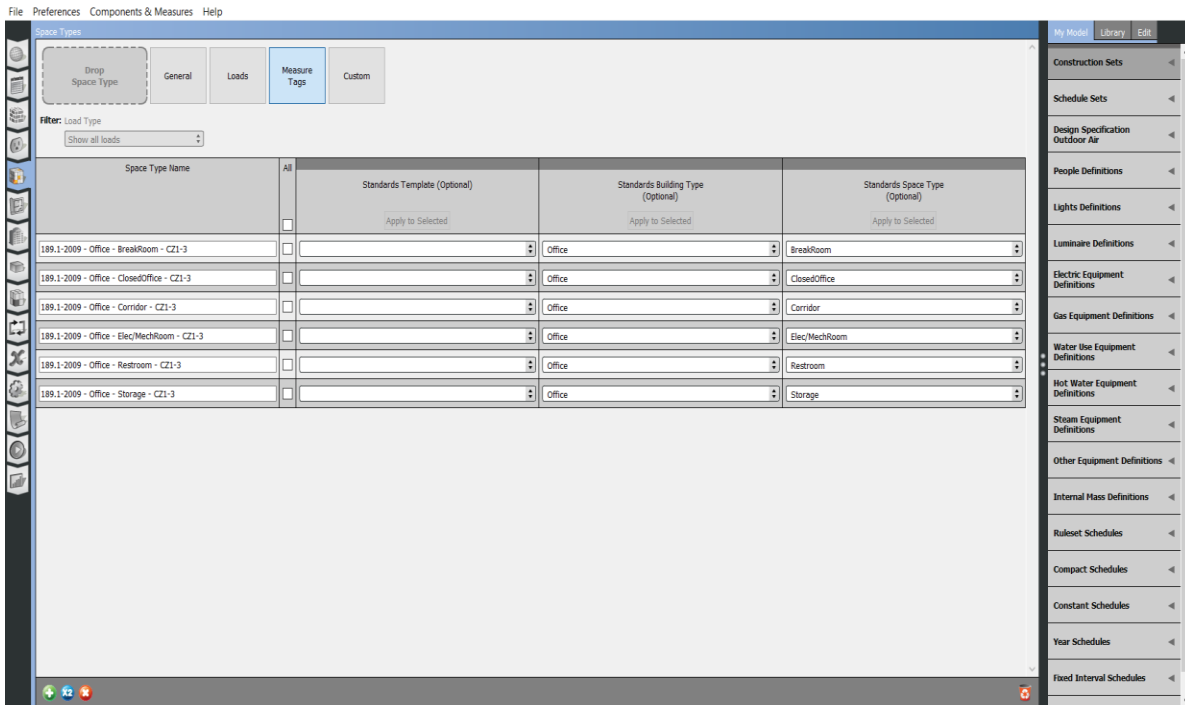
Η καρτέλα αυτή αποτελείται από τέσσερις υπό-καρτέλες. Την υπό-καρτέλα General (Εικόνα 8.64), την υπό-καρτέλα Loads (Εικόνα 8.65), την υπό-καρτέλα Measure Tags (Εικόνα 8.66) και από την υπό-καρτέλα Custom (Εικόνα 8.67). Στην υπό-καρτέλα General παρουσιάζονται συνοπτικά τα είδη των χώρων που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα, ενώ δίνεται και η δυνατότητα δημιουργίας πρότυπου είδους χώρου. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα καθορισμού του Default Construction Set, του Default Schedule Set, και του Design Specification Outdoor Air όπου καθορίζει στο ενεργειακό μοντέλο το ποσό αερισμού που απαιτείται για τον συγκεκριμένο χώρο. Στην υπό-καρτέλα Loads παρουσιάζονται συνοπτικά τα είδη των φορτίων που αντιστοιχούν σε κάθε χώρο καθώς και τα χρονοδιαγράμματα αυτών, ενώ δίνεται και η δυνατότητα προσθήκης οποιουδήποτε φορτίου σε οποιοδήποτε χώρο με το αντίστοιχο χρονοδιάγραμμα του. Επίσης υπάρχει και η στήλη Multiplier όπου ουσιαστικά χρησιμεύει στην πραγματοποίηση μιας αλλαγής χωρίς την αλλαγή του φορτίου ή του χρονοδιαγράμματος του. Για παράδειγμα, αν μια συσκευή βρίσκεται σε λειτουργία τις μισές ώρες από αυτές που οριστική αρχικά, πραγματοποιείται αλλαγή στην στήλη από 1 σε 0,5. Η υπό-καρτέλα Measures Tag αφορά την προηγμένη ενεργειακή μοντελοποίηση, καθώς επικεντρώνεται σε ορισμένες “λέξεις-κλειδιά”, και προσπαθεί να αποτυπώσει πως οι μεταβολές αυτών των στοιχείων, επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας στο εξεταζόμενο κτίριο. Τέλος, η υπό-καρτέλα Custom αφορά κάποιο είδος προγραμματισμού.



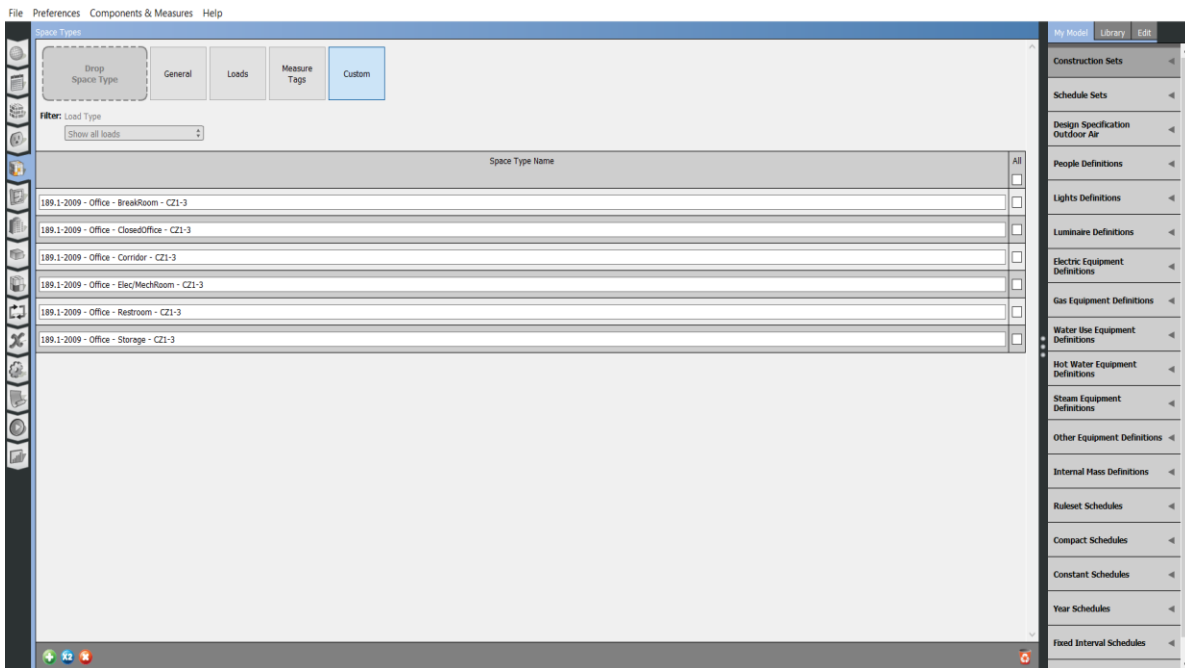
Εικόνα 8.64 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα General



Εικόνα 8.65 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα Loads



Εικόνα 8.66 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα Measures Tags

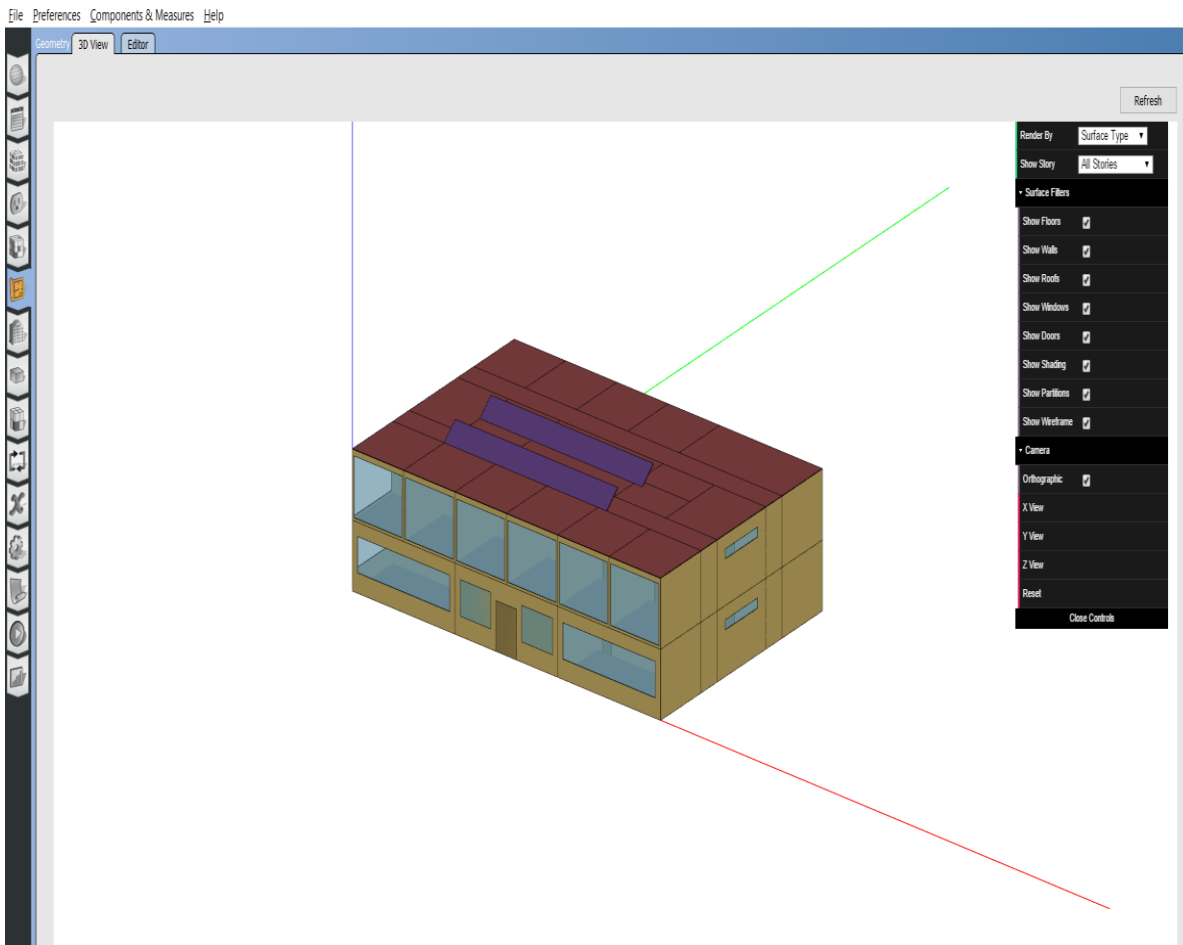


Εικόνα 8.67 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα Custom

### 8.2.6 Geometry Tab

Στην καρτέλα Geometry Tab (Εικόνα 8.68) παρουσιάζεται το μοντέλο σε τρισδιάστατη μορφή. Δίνεται η δυνατότητα προβολής αυτού με βάση τα σεντ κατασκευής, τα είδη των χώρων, τις θερμικές ζώνες, τις οριακές συνθήκες κ.λπ.

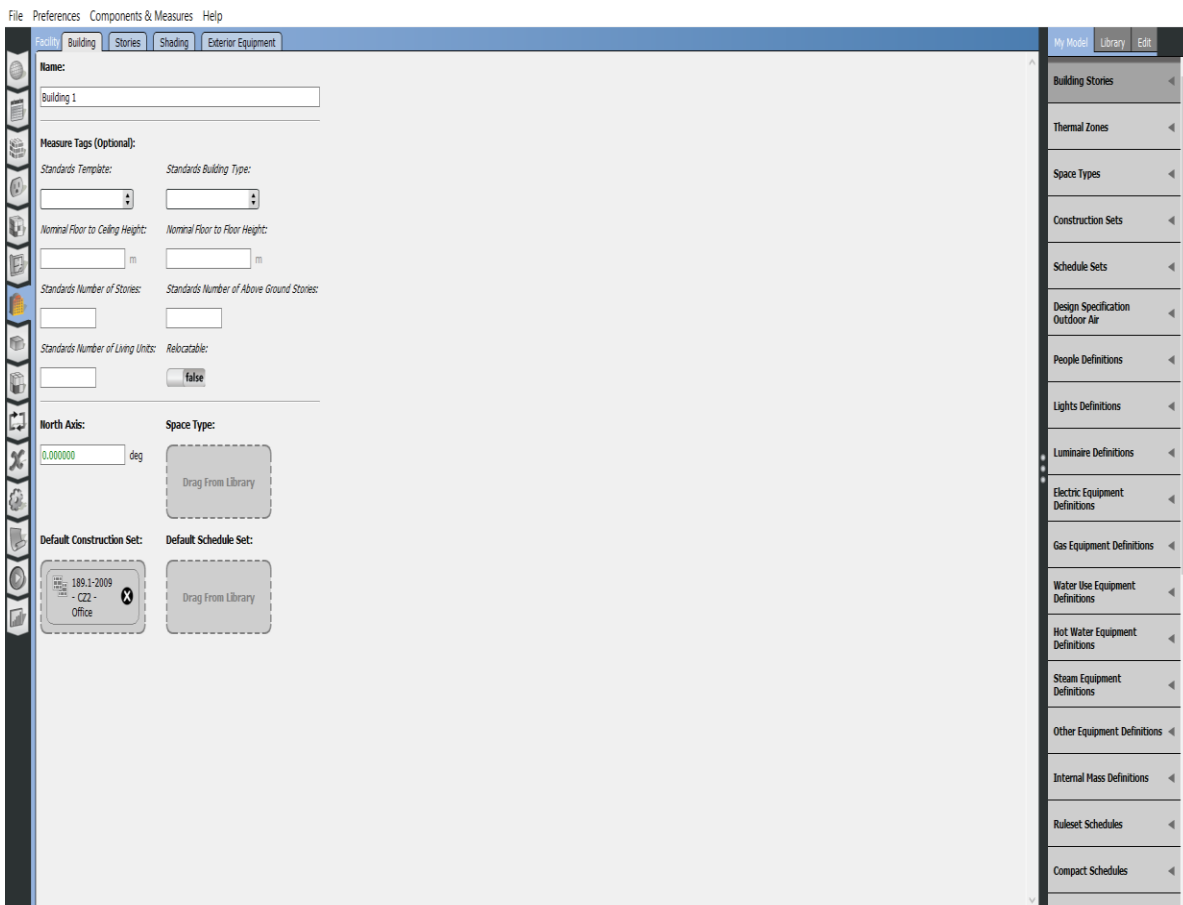
Στην παρούσα διπλωματική εργασία η συγκεκριμένη καρτέλα δεν έχει χρησιμοποιηθεί καθόλου, καθώς για το ότι είχε να κάνει με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, έγινε χρήση του λογισμικού SketchUp Make 2017.



Εικόνα 8.68 - Geometry Tab – Υπό-καρτέλα 3D View

### 8.2.7 Facility Tab

Η καρτέλα αυτή (Εικόνα 8.69) αποτελείται από τις υπό-καρτέλες Building, Stories, Shading, Exterior Equipment και παρέχει μια συνοπτική παρουσίαση του κτηρίου. Στην υπό-καρτέλα Building παρουσιάζονται τα sets που θεωρούνται ως Default και δεν είναι αναγκαία η προσθήκη τους σε άλλες καρτέλες (για παράδειγμα το construction set), στην υπό-καρτέλα Stories παρουσιάζονται οι όροφοι, στην υπό-καρτέλα Shading παρουσιάζονται οι σκιάσεις, και στην υπό-καρτέλα Exterior Equipment παρουσιάζεται ο εξωτερικός εξοπλισμός. Στην παρούσα διπλωματική εργασία η συγκεκριμένη καρτέλα δεν έχει χρησιμοποιηθεί καθόλου.



Εικόνα 8.69 - Facility Tab – Υπό-καρτέλα Building



## 8.2.8 Spaces Tab

Επόμενη καρτέλα του προγράμματος αποτελεί η καρτέλα Spaces Tab, στην οποία ορίζονται όλα τα στοιχεία του κάθε χώρου του κτιρίου. Συγκεκριμένα ορίζεται το όνομα κάθε χώρου, ο όροφος στον οποίο ανήκει, η θερμική ζώνη στην οποία ανήκει, το είδος του χώρου, το construction και το schedule set, τα φορτία που υπάρχουν σε κάθε χώρο, καθώς επίσης οι κύριες επιφάνειες και οι υπό-επιφάνειες του κάθε χώρου. Η καρτέλα αποτελείται από τις υπό-καρτέλες Properties (Εικόνα 8.70), Loads (Εικόνα 8.71), Surfaces (Εικόνα 8.72), Subsurfaces (Εικόνα 8.73), Interior Partitions (Εικόνα 8.74), και την υπό-καρτέλα Shading (Εικόνα 8.75). Στην παρούσα διπλωματική εργασία όλες αυτές οι πληροφορίες έχουν ήδη συμπληρωθεί σε προηγούμενες καρτέλες του OpenStudio, καθώς επίσης και κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου μέσω του SketchUp, όπως παρουσιάστηκε στις υπό-ενότητες 8.1.4 και 8.1.5.

File Preferences Components & Measures Help

Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading

My Model Library Edit

General Airflow Custom

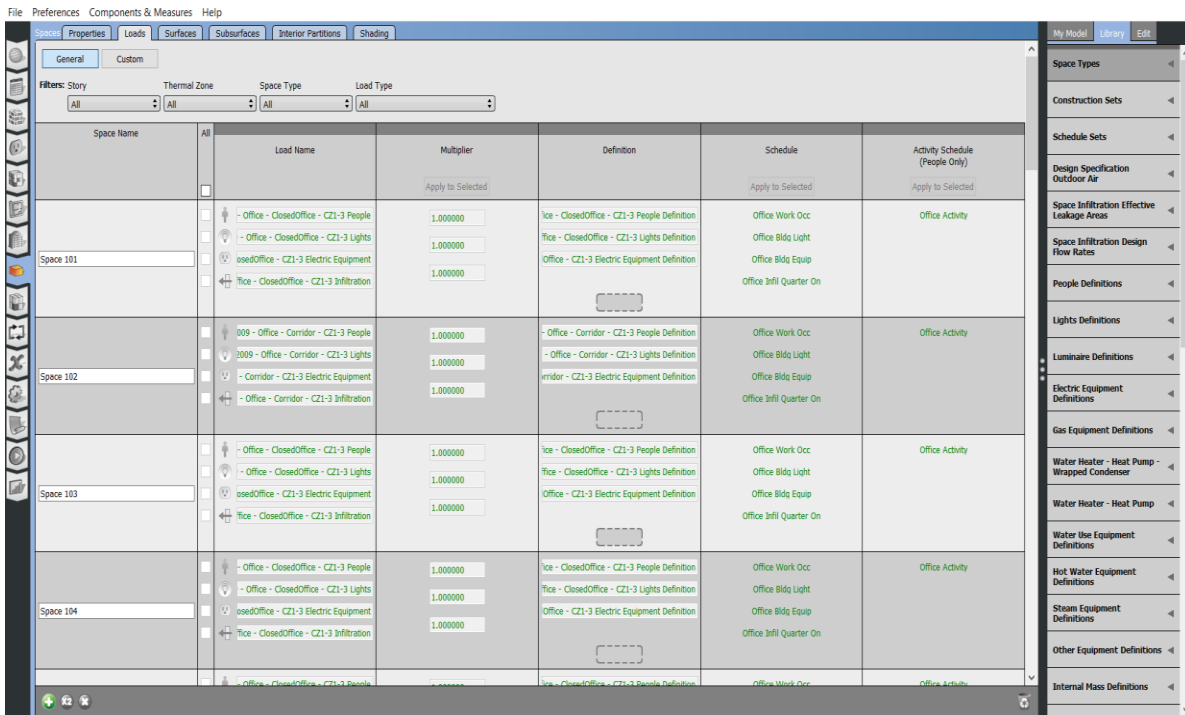
Filters: Story Thermal Zone Space Type

All All All

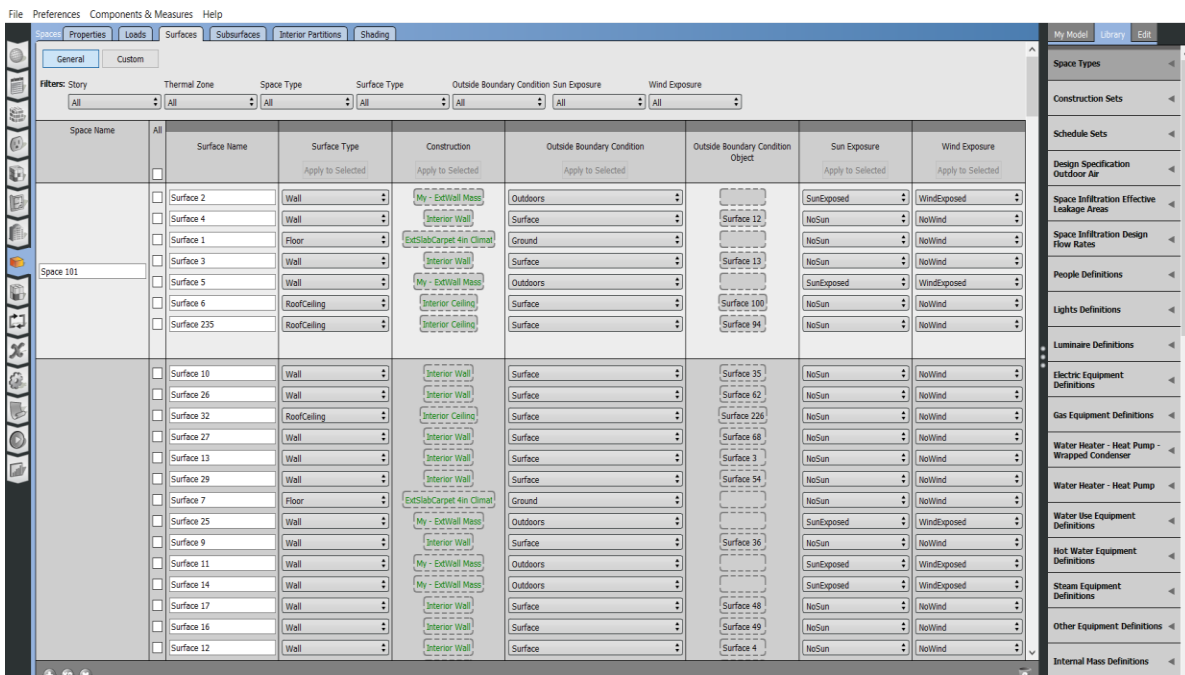
Space Name	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
Space 101	Building Story 1	Thermal Zone 3	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 102	Building Story 1	Thermal Zone 1	189.1-2009 - Office - Co	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Co	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 103	Building Story 1	Thermal Zone 9	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 104	Building Story 1	Thermal Zone 4	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 105	Building Story 1	Thermal Zone 4	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 106	Building Story 1	Thermal Zone 2	189.1-2009 - Office - Re	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Re	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 107	Building Story 1	Thermal Zone 2	189.1-2009 - Office - Ele	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Ele	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 108	Building Story 1	Thermal Zone 2	189.1-2009 - Office - Re	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Re	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 109	Building Story 1	Thermal Zone 10	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 110	Building Story 1	Thermal Zone 11	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 111	Building Story 1	Thermal Zone 11	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 112	Building Story 1	Thermal Zone 2	189.1-2009 - Office - St	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - St	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 113	Building Story 2	Thermal Zone 6	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 114	Building Story 2	Thermal Zone 6	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 115	Building Story 2	Thermal Zone 6	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 116	Building Story 2	Thermal Zone 12	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>
Space 117	Building Story 2	Thermal Zone 12	189.1-2009 - Office - Cl	189.1-2009 - CZ2 - Office	189.1-2009 - Office - Cl	<input checked="" type="checkbox"/>

Space Types  
Construction Sets  
Schedule Sets  
Design Specification Outdoor Air  
Space Infiltration Effective Leakage Areas  
Space Infiltration Design Flow Rates  
People Definitions  
Lights Definitions  
Luminaire Definitions  
Electric Equipment Definitions  
Gas Equipment Definitions  
Water Heater - Heat Pump - Wrapped Condenser  
Water Heater - Heat Pump  
Water Use Equipment Definitions  
Hot Water Equipment Definitions  
Steam Equipment Definitions  
Other Equipment Definitions  
Internal Mass Definitions

Εικόνα 8.70 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Properties



Εικόνα 8.71 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Loads



Εικόνα 8.72 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Surfaces

File Preferences Components & Measures Help

Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading

General Shading Controls Frame and Divider Daylighting Shelves Custom

Filters: Story Thermal Zone Space Type SubSurface Type Outside Boundary Condition Space Name

Space Name	Subsurface Name	Parent Surface Name	Subsurface Type	Multiplier	Construction	Outside Boundary Condition
Space 101	Sub Surface 3	Surface 2	FixedWindow	1.000000	DBI Cr 3mm/6mm Air	
	Sub Surface 14	Surface 3	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 14
	Sub Surface 2	Surface 5	FixedWindow	1.000000	DBI Cr 3mm/6mm Air	
Space 102	Sub Surface 39	Surface 26	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 39
	Sub Surface 15	Surface 13	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 15
	Sub Surface 29	Surface 29	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 29
	Sub Surface 17	Surface 9	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 17
	Sub Surface 40	Surface 11	FixedWindow	1.000000	DBI Cr 3mm/6mm Air	
	Sub Surface 41	Surface 11	FixedWindow	1.000000	DBI Cr 3mm/6mm Air	
	Sub Surface 1	Surface 11	Door	1.000000	Exterior Door	
	Sub Surface 4	Surface 14	FixedWindow	1.000000	DBI Cr 3mm/6mm Air	
	Sub Surface 25	Surface 17	FixedWindow	1.000000	Interior Window	Sub Surface 25
	Sub Surface 21	Surface 16	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 21
	Sub Surface 5	Surface 20	FixedWindow	1.000000	DBI Cr 3mm/6mm Air	
	Sub Surface 33	Surface 22	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 33
	Sub Surface 117	Surface 22	FixedWindow	1.000000	Interior Window	Sub Surface 117
	Sub Surface 20	Surface 15	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 20
	Sub Surface 35	Surface 23	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 35
	Sub Surface 118	Surface 23	FixedWindow	1.000000	Interior Window	Sub Surface 118
Sub Surface 31	Surface 21	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 31	
Sub Surface 36	Surface 24	Door	1.000000	Interior Door	Sub Surface 36	

My Model Library Edit

- Space Types
- Construction Sets
- Schedule Sets
- Design Specification Outdoor Air
- Space Infiltration Effective Leakage Areas
- Space Infiltration Design Flow Rates
- People Definitions
- Lights Definitions
- Luminaire Definitions
- Electric Equipment Definitions
- Gas Equipment Definitions
- Water Heater - Heat Pump - Wrapped Condenser
- Water Heater - Heat Pump
- Water Use Equipment Definitions
- Hot Water Equipment Definitions
- Steam Equipment Definitions
- Other Equipment Definitions
- Internal Mass Definitions

Εικόνα 8.73 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Subsurfaces

File Preferences Components & Measures Help

Spaces Properties Loads Surfaces Subsurfaces Interior Partitions Shading

General Custom

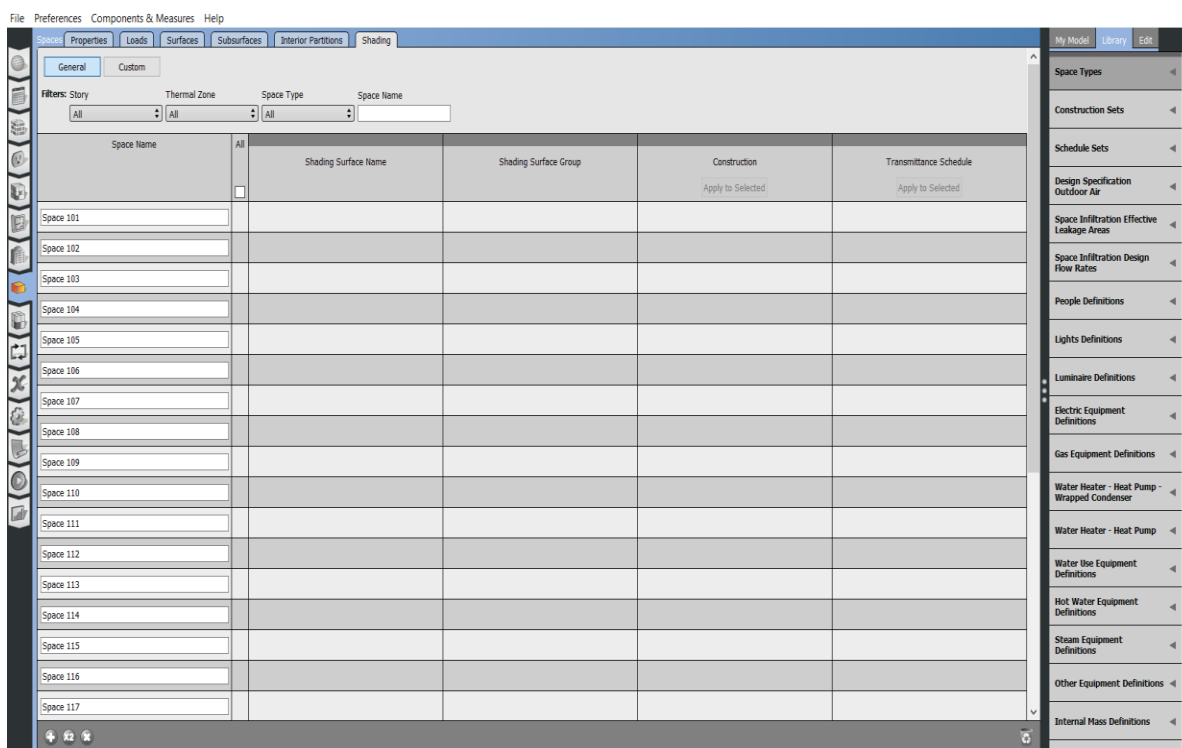
Filters: Story Thermal Zone Space Type Interior Partition Group

Space Name	Interior Partition Name	Interior Partition Group Name	Construction Name	Convert to Internal Mass
Space 101				Apply to Selected
Space 102				
Space 103				
Space 104				
Space 105				
Space 106				
Space 107				
Space 108				
Space 109				
Space 110				
Space 111				
Space 112				
Space 113				
Space 114				
Space 115				
Space 116				
Space 117				

My Model Library Edit

- Space Types
- Construction Sets
- Schedule Sets
- Design Specification Outdoor Air
- Space Infiltration Effective Leakage Areas
- Space Infiltration Design Flow Rates
- People Definitions
- Lights Definitions
- Luminaire Definitions
- Electric Equipment Definitions
- Gas Equipment Definitions
- Water Heater - Heat Pump - Wrapped Condenser
- Water Heater - Heat Pump
- Water Use Equipment Definitions
- Hot Water Equipment Definitions
- Steam Equipment Definitions
- Other Equipment Definitions
- Internal Mass Definitions

Εικόνα 8.74 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Interior Partitions

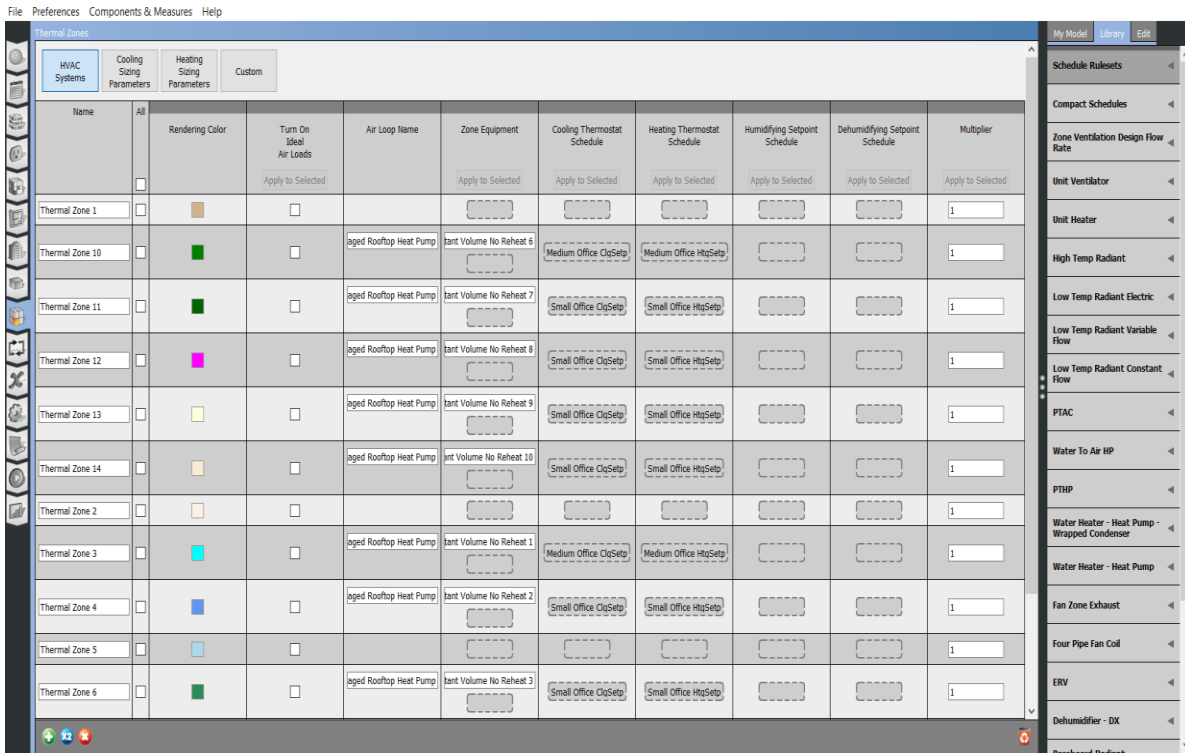


Εικόνα 8.75 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Shading

### 8.2.9 Thermal Zones Tab

Στην καρτέλα αυτή (Εικόνα 8.76) δίνεται η δυνατότητα καθορισμού του συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού που τροφοδοτεί την εκάστοτε θερμική ζώνη, καθώς και τα χρονοδιαγράμματα αυτών. Επίσης δίνεται η δυνατότητα επιλογής της εντολής Turn On Ideal Air Loads. Με την επιλογή της εντολής αυτής, ουσιαστικά το πρόγραμμα θέτει σε λειτουργία ένα ιδανικό σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού με μηδενικές απώλειες. Επομένως με το πέρας της ενεργειακής προσομοίωσης, η ζήτηση που προκύπτει αποτελεί την καθαρή ανάγκη του κτιρίου σε ενέργεια.

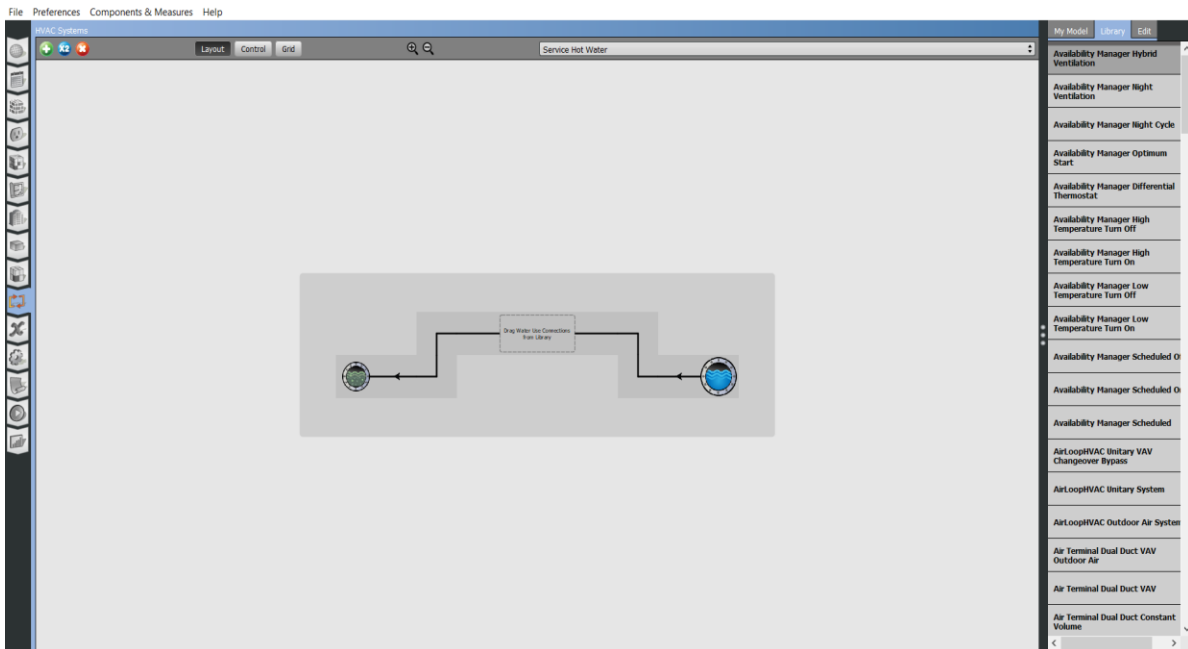
Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο καθορισμός του συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού πραγματοποιήθηκε στην υπό-καρτέλα Hvac Systems, όπως φαίνεται στην επόμενη υπό-ενότητα (8.2.10).



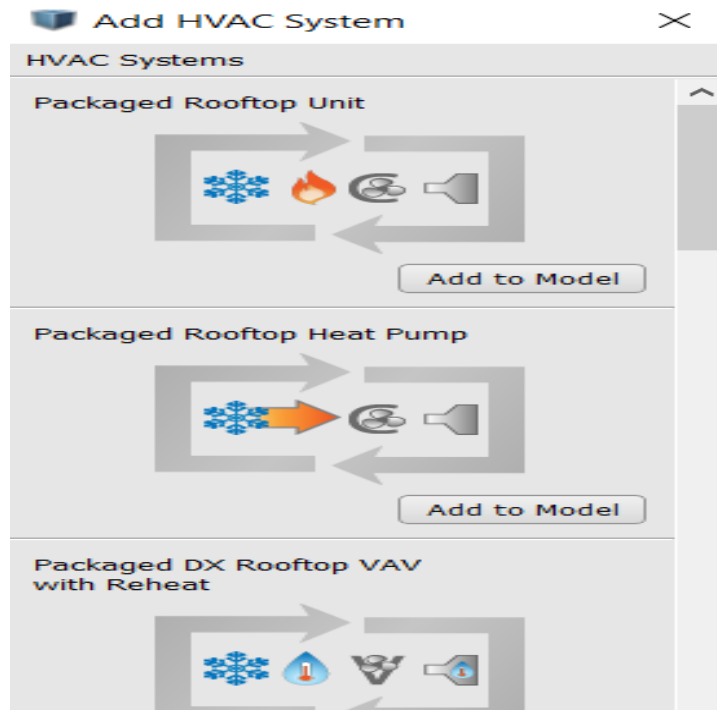
Εικόνα 8.76 - Thermal Zones Tab

### 8.2.10 HVAC Systems Tab

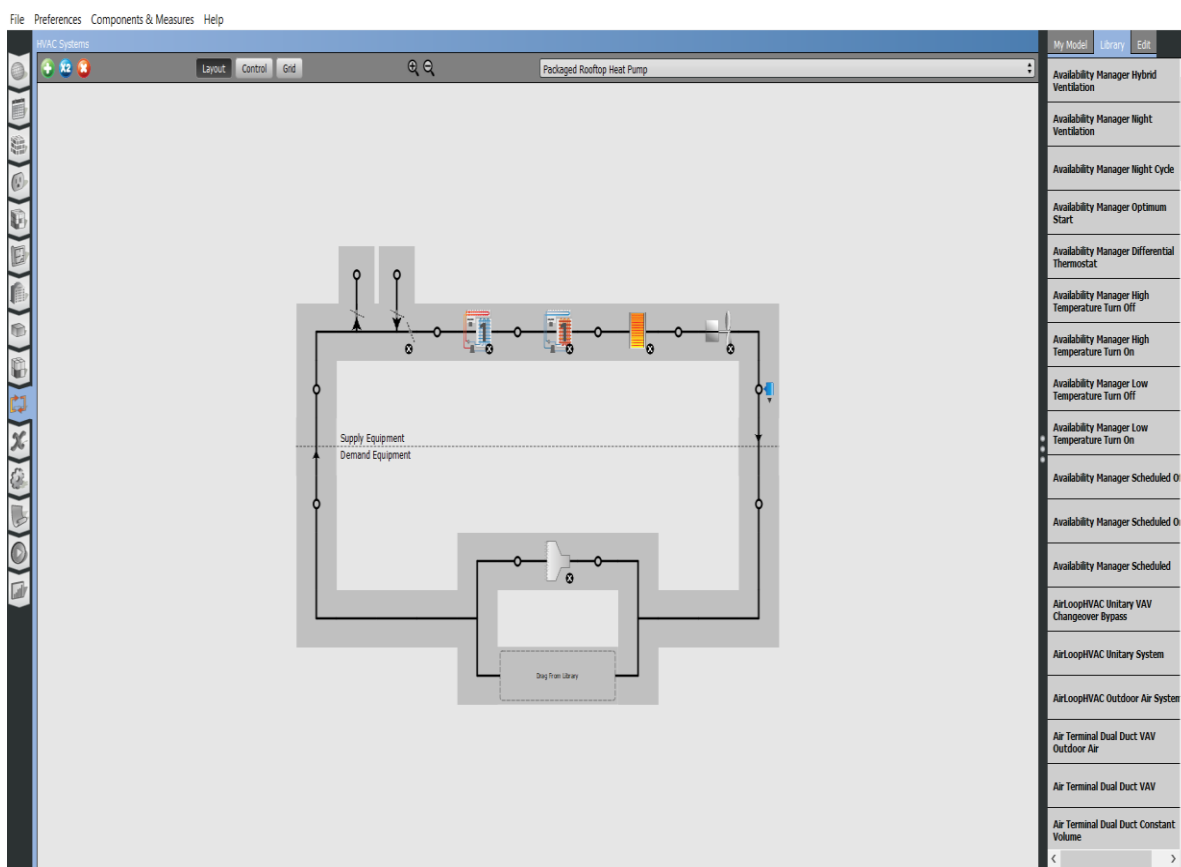
Όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω ενότητα, στην καρτέλα αυτή (Εικόνα 8.77) πραγματοποιείται ο καθορισμός του συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού της εκάστοτε θερμικής ζώνης του κτιρίου. Δίνεται η δυνατότητα τόσο του σχεδιασμού ενός συστήματος HVAC εξολοκλήρου από την αρχή, όσο και η επιλογή κάποιου από την βιβλιοθήκη του OpenStudio. Για την θέρμανση και κλιματισμό του αρχικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε η επιλογή της αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα οροφής - Packaged Rooftop Heat Pump η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις για το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού του αρχικού μοντέλου. Για την εισαγωγή αυτού του συστήματος, επιλέγεται το πράσινο εργαλείο πάνω αριστερά του παραθύρου και αναδύεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 8.78) . Με την επιλογή της αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα οροφής - Packaged Rooftop Heat Pump αναδύεται η Εικόνα 8.79.



Εικόνα 8.77 - HVAC Systems Tab



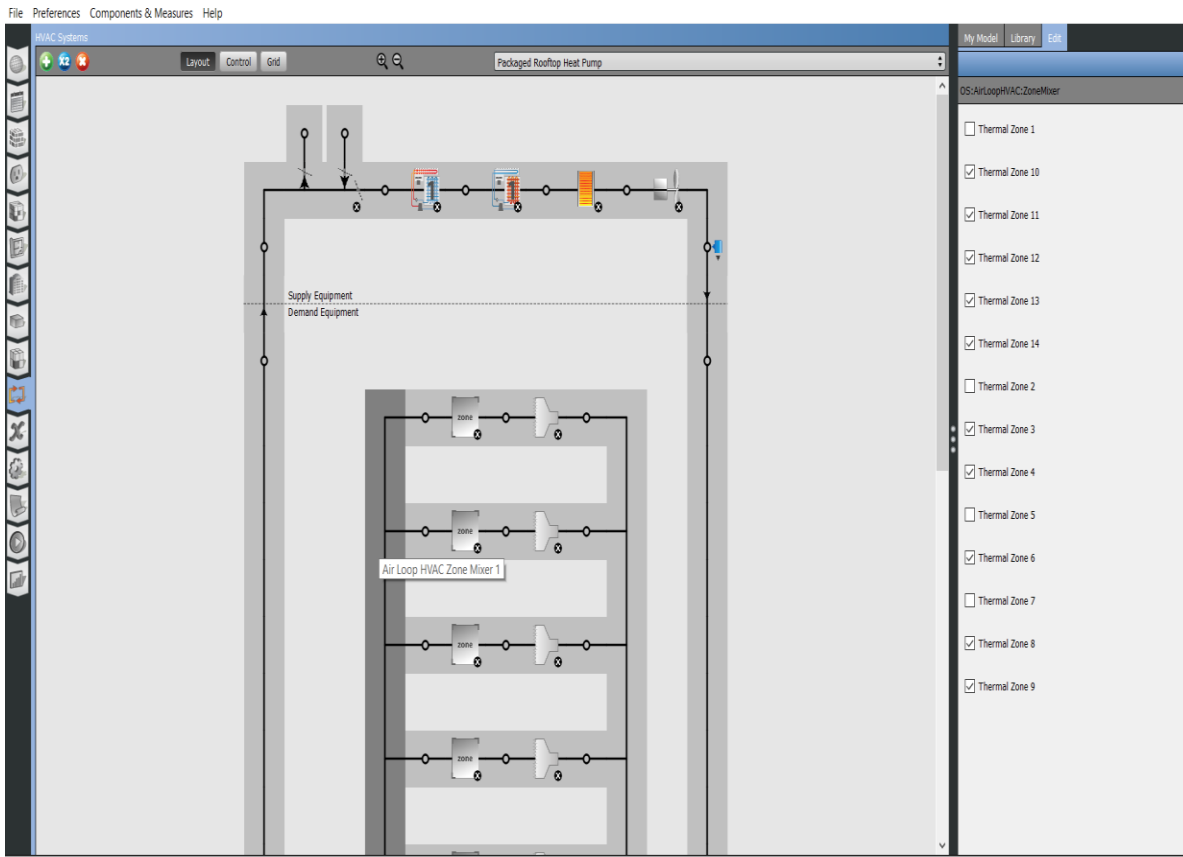
Εικόνα 8.78 - HVAC Systems Tab – Add new HVAC System



**Εικόνα 8.79 - Εκτέλεση της εντολής Add HVAC System**

Το σύστημα Packaged Rooftop Heat Pump περιέχει όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την παροχή κλιματιζόμενου αέρα, σε μία συμπαγή μονάδα. Η μονάδα η οποία βρίσκεται στην ταράτσα συνδέεται απευθείας με ένα σύστημα αγωγών που διανέμει τον κλιματιζόμενο αέρα μέσω ενός χώρου και τον επιστρέφει στη συσκευασμένη μονάδα. Η μονάδα διαθέτει και θερμαντικό στοιχείο κοντά στον ανεμιστήρα για περαιτέρω ρύθμιση της υγρασίας του αέρα.

Στην συνέχεια ακολουθεί η προσθήκη των θερμικών ζωνών και των Diffuser για κάθε θερμική ζώνη. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Είτε με την επιλογή του Air Loop HVAC Zone Mixer 1 από το Demand Equipment (Εικόνα 8.80) όπου επιλέγονται οι επιθυμητές θερμικές ζώνες, είτε μέσω της διαδικασίας “Drag and Drop”, όπου οι θερμικές ζώνες προστίθενται μέσω της διαδρομής My Model – Thermal Zones, και οι διαχύτες μέσω της διαδρομής Library – Air Terminal Single Duct Constant Volume.

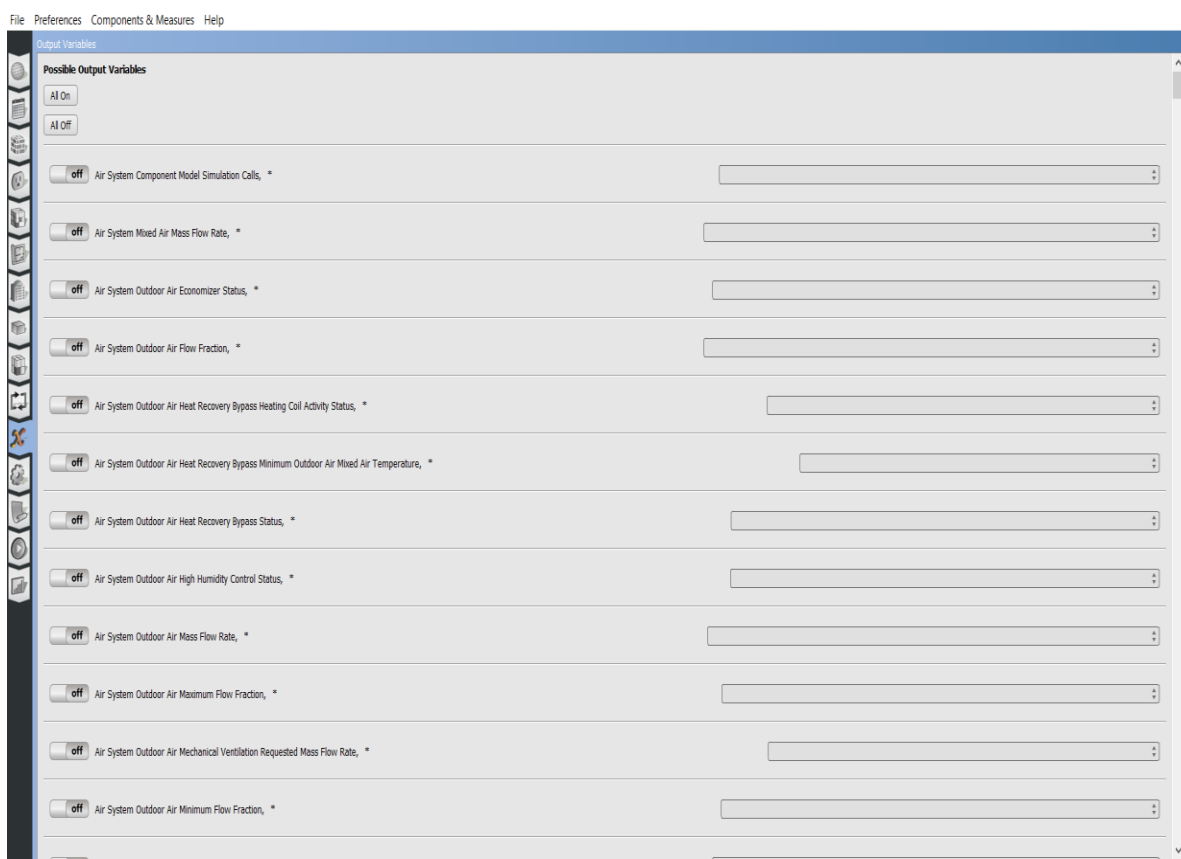


**Εικόνα 8.80 - Add Thermal Zones μέσω του Air Loop HVAC Mixer 1**

### 8.2.11 Output Variables Tab

Στην καρτέλα αυτή (Εικόνα 8.81) δίνεται η δυνατότητα επιλογής επιπλέον αποτελεσμάτων που επιθυμεί ο χρήστης να υπολογίσει το πρόγραμμα με το πέρα της ενεργειακής ανάλυσης. Στην παρούσα διπλωματική δεν πραγματοποιήθηκε καμία αλλαγή στην συγκεκριμένη καρτέλα, καθώς τα αποτελέσματα που εξάγονται από το πρόγραμμα κρίθηκαν απολύτως ικανοποιητικά.

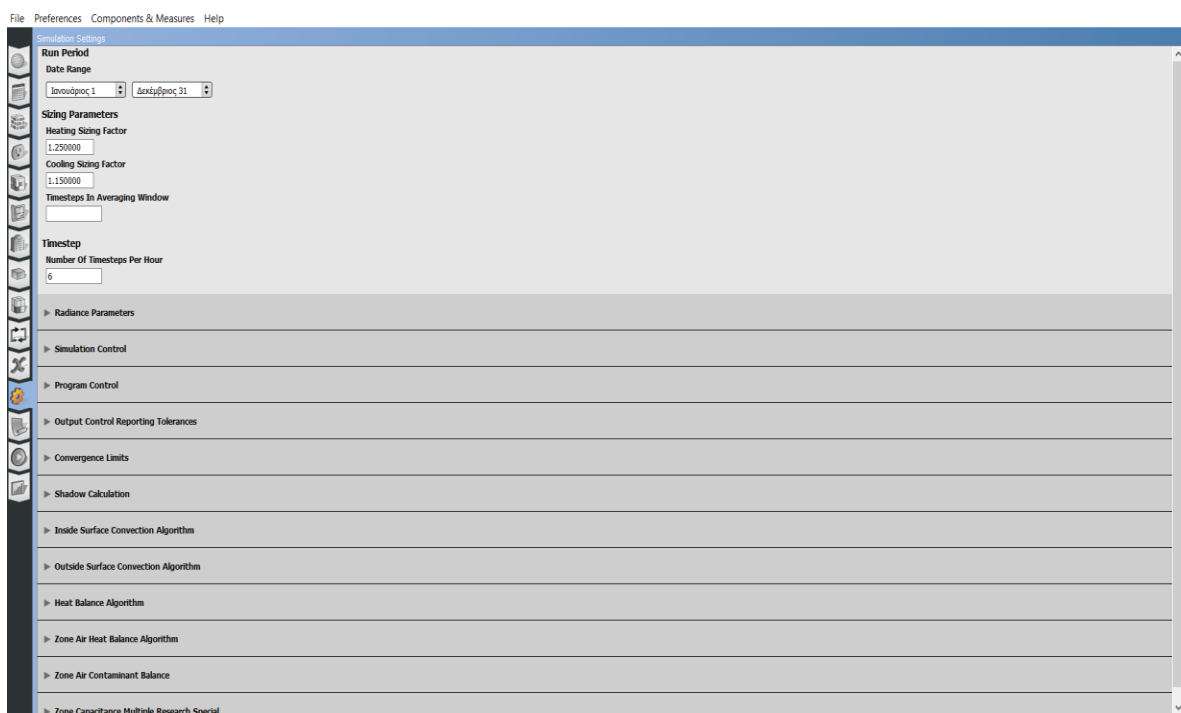




Εικόνα 8.81 - Output Variables Tab

### 8.2.12 Simulation Settings Tab

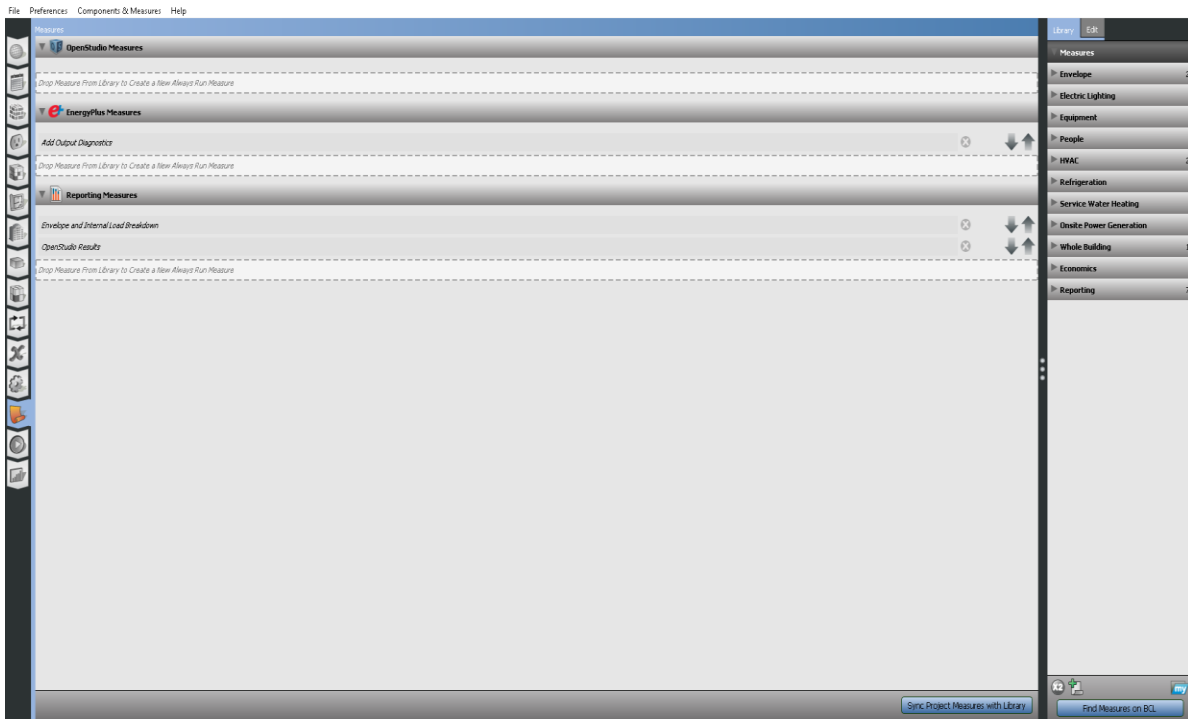
Στην καρτέλα Simulation Settings (Εικόνα 8.82), ο χρήστης μπορεί να ορίσει την χρονική διάρκεια και το χρονικό βήμα των μετρήσεων, την υπερδιαστασιολόγηση των συστημάτων HVAC, τον αριθμό των πυρήνων του επεξεργαστή που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα κατά την ενεργειακή ανάλυση, καθώς και πολλές άλλες παραμέτρους που αφορούν κυρίως το προγραμματιστικό μέρος του EnergyPlus. Δεν πραγματοποιήθηκε κάποια αλλαγή στην συγκεκριμένη καρτέλα.



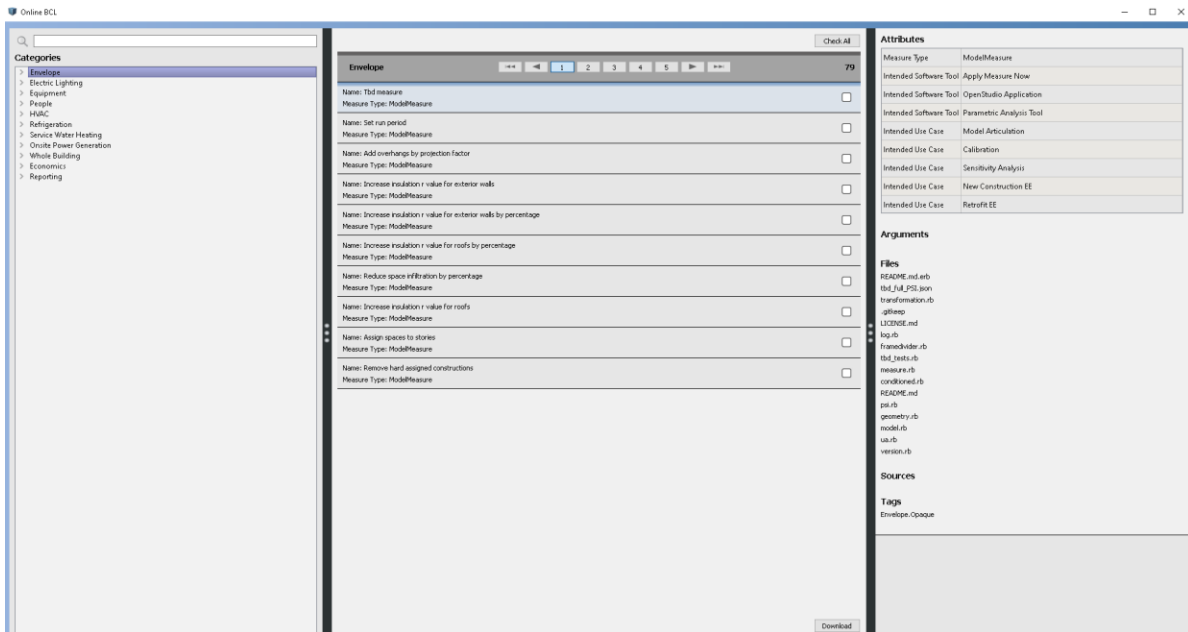
Εικόνα 8.82 - Simulation Settings Tab

### 8.2.13 Measures Tab

Τελευταία καρτέλα πριν από την εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου, αποτελεί η καρτέλα Measures (Εικόνα 8.83). Στην καρτέλα αυτή πραγματοποιείται η προσθήκη πρόσθετων μετρήσεων (Measures) όπου ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει το πρόγραμμα. Τα Measures μπορούν να προστεθούν είτε από την βιβλιοθήκη BCL - Building Component Library μέσω της διαδρομής Components & Measures – Find Measures (Εικόνα 8.84), είτε να δημιουργηθούν εξ ολοκλήρου από την αρχή ανάλογα με τις ανάγκες της μελέτης. Στην παρούσα φάση της διπλωματικής εργασίας και συγκεκριμένα για το αρχικό μοντέλο προστέθηκαν τα Measures που φαίνονται στην εικόνα 8.83, μέσω της διαδικασίας “Drag and Drop”. Το Measure Add Output Diagnostics αποτελεί ένα EnergyPlus Measure και η προσθήκη του κρίνεται ως απαραίτητη καθώς εμφανίζει στο χρήστη τυχόν σφάλματα τα οποία οδηγούν στον τερματισμό της ενεργειακής μοντελοποίησης. Στην κατηγορία Reporting Measures προστέθηκαν το OpenStudio Results για την γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του EnergyPlus, και το Envelope and Internal Load Breakdown το οποίο παρουσιάζει τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές απώλειες του μοντέλου. Στην ενότητα 9.2.6 χρησιμοποιήθηκαν τα Measures AedgOfficeHvacVanChw και AedgOfficeHvacVanDx όπου ανήκουν στην κατηγορία OpenStudio Measures (HVAC – Whole System) για την προσθήκη HVAC Systems, ενώ στην ενότητα 9.2.7 χρησιμοποιήθηκε το Measure Rotate Building το οποίο επίσης ανήκει στην κατηγορία OpenStudio Measures για περιστροφή του κτιρίου.



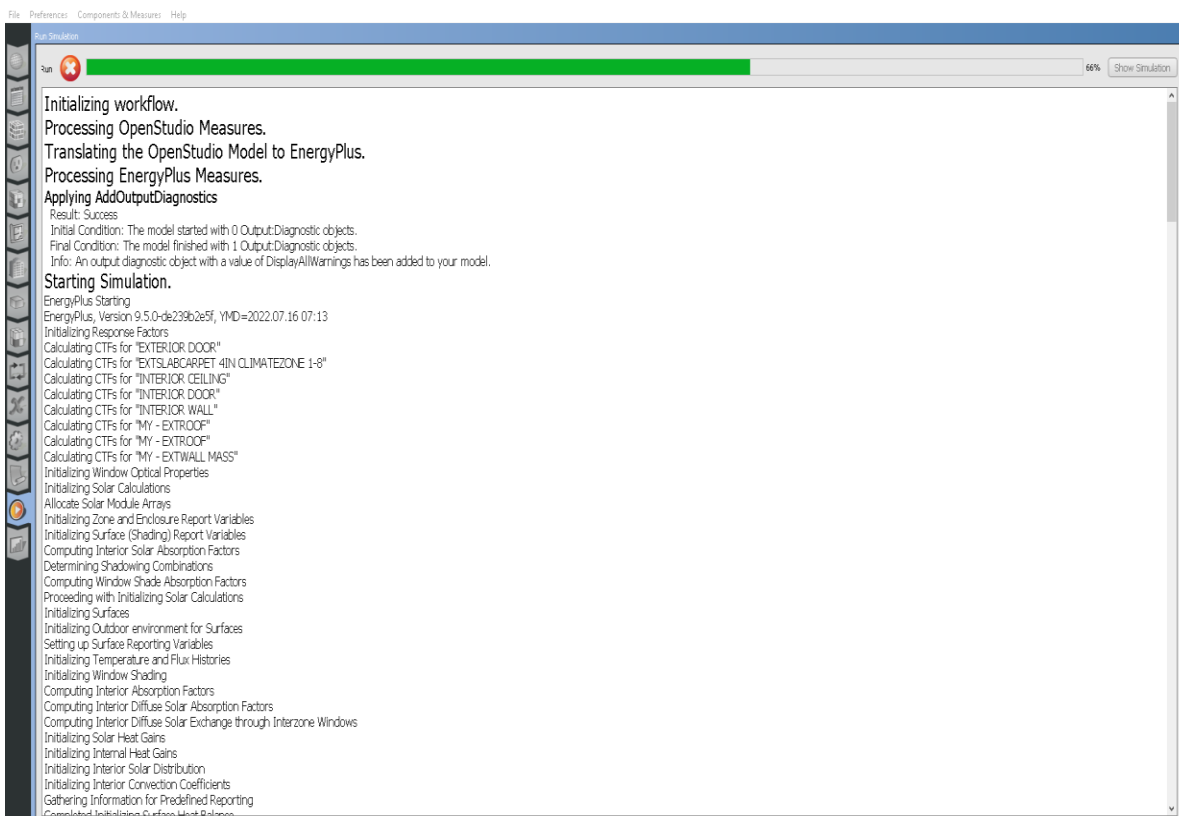
Εικόνα 8.83 - Measures Tab



Εικόνα 8.84 - BCL - Building Component Library – Find Measures

### 8.2.14 Run Simulation Tab

Στην καρτέλα αυτή (Εικόνα 8.85) πραγματοποιείται η εκτέλεση της ενεργειακής προσομοίωσης που έχει σχεδιαστεί. Τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης εμφανίζονται στην επόμενη καρτέλα.



Εικόνα 8.85 - Run Simulation Tab

### 8.2.15 Results Summary Tab

Στην τελευταία καρτέλα του προγράμματος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκάστοτε ενεργειακής προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται ως αποτελέσματα EnergyPlus (Εικόνα 8.86) αρχικά, αλλά λόγω της τοποθέτησης του κατάλληλου Measure, μέσω της διαδρομής Reports – OpenStudio Results παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του OpenStudio (Εικόνα 8.87).

File Preferences Components & Measures Help

Results Summary

Reports: EnergyPlus Results Refresh Set Path to Drive in Preferences

Program Version: EnergyPlus, Version 9.5.0-de239b2e5f, YMD=2022.06.21 12:55

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building 1

Environment: RUN PERIOD 1 \*\* ATHENS - GRC IWEC Data WMO#=167160

Simulation Timestamp: 2022-06-21 12:55:28

Report: Annual Building Utility Performance Summary Table of Contents

For: Entire Facility

Timestamp: 2022-06-21 12:55:28

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy (GJ)	Energy Per Total Building Area [MJ/m <sup>2</sup> ]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m <sup>2</sup> ]
Total Site Energy	504.59	420.49	813.85
Net Site Energy	504.59	420.49	813.85
Total Source Energy	1598.03	1331.69	2577.47
Net Source Energy	1598.03	1331.69	2577.47

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site to Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	1.200
Gasoline	1.050

Εικόνα 8.86 - Results Summary Tab – EnergyPlus results

File Preferences Components & Measures Help

Results Summary

Reports: OpenStudio Results Refresh Set Path to Drive in Preferences

OpenStudio Results

Model Summary

Building Summary

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	140,164 kWh
Total Building Area	1,200 m <sup>2</sup>
Total Site EUI	116.80 kWh/m <sup>2</sup>
OpenStudio Standards Building Type	n/a

Weather Summary

	Value
Weather File	ATHENS - GRC IWEC Data WMO#167160
Latitude	37.90
Longitude	23.73
Elevation	15 m
Time Zone	2.00
North Axis Angle	0.00
ASHRAE Climate Zone	2A

Sizing Period Design Days

Εικόνα 8.87 - Results Summary Tab – OpenStudio results

## 9. Αποτελέσματα/Συζήτηση - Παραμετρικές μελέτες

### 9.1 Αποτελέσματα αρχικού μοντέλου

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κτιρίου μέσω του λογισμικού SketchUp Make 2017, και της ενεργειακής προσομοίωσης μέσω του OpenStudio, παρουσιάζονται παρακάτω τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Συνοπτικά τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4):

**Πίνακας 4 - OpenStudio Results - Model Summary**

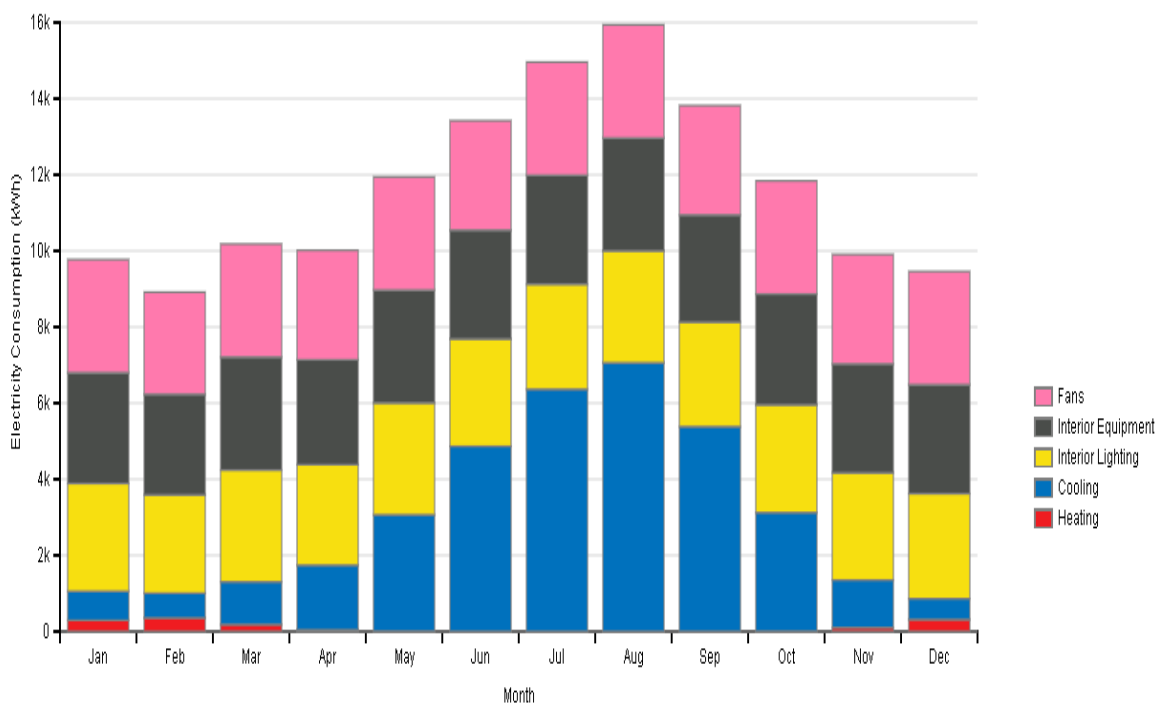
Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	140.164 kWh
Annual Energy Generated	17.933,33 kWh
Net Site Energy	122.475 kWh
Total Building Area	1200 m <sup>2</sup>
Total Site EUI	116,80 kWh/m <sup>2</sup>
North Axis Angle	0°

Η ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις 140.164 kWh, ενώ η “ένταση ενεργειακής κατανάλωσης” (Energy Use Intense), η οποία είναι η ετήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας του χώρου διαιρεμένη με το εμβαδόν αυτού, είναι ίση με 116,80 kWh/m<sup>2</sup>. Η συνολική ετήσια ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ίση με 17.933,33 kWh, και επομένως η καθαρή ενέργεια που απαιτείται για τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου είναι ίση με 122.475 kWh, η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα της ετήσιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας μείον την ετήσια ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μείον τις απώλειες μεταφοράς.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) και στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 9.1) παρουσιάζονται οι μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου.

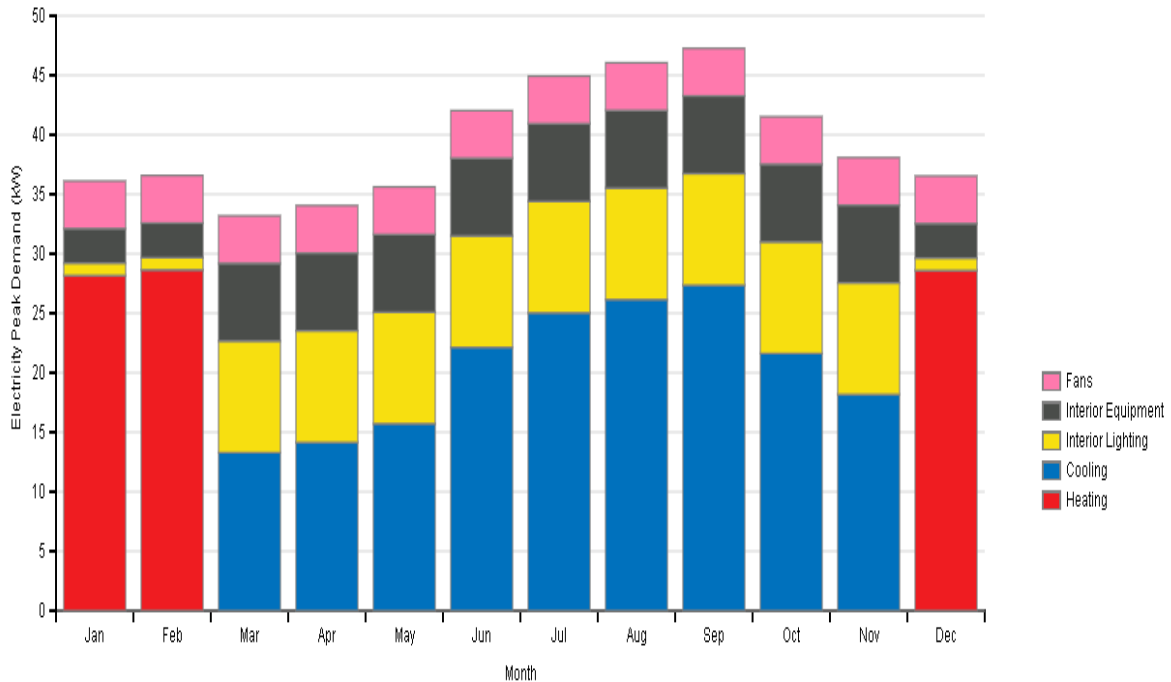
**Πίνακας 5 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου**

Months:	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
<b>Heating</b>	293,81	356,68	183,49	41,97	5,97	0,9	0,64	0,83	0,95	3,81	102,19	314,86	1306,11
<b>Cooling</b>	763,52	649,76	1119,98	1698,96	3060,86	4865,31	6362,69	7061,36	5381,75	3119,39	1249,22	547,23	35880,02
<b>Interior Lighting</b>	2833,19	2585,09	2938,47	2642,43	2938,47	2820,67	2760,21	2938,47	2747,71	2833,19	2820,67	2760,21	33618,79
<b>Interior Equipment</b>	2908,33	2638,54	2964,92	2754,22	2964,92	2856,11	2863	2964,92	2810,81	2908,33	2856,11	2863	34353,21
<b>Fans</b>	2973,06	2685,34	2973,06	2877,14	2973,06	2877,14	2973,06	2973,06	2877,14	2973,06	2877,14	2973,06	35005,29



**Εικόνα 9.1 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου**

Όπως αναμενόταν, τα μεγαλύτερα φορτία θέρμανσης παρατηρούνται κατά την περίοδο των χειμερινών μηνών, ενώ τα μεγαλύτερα φορτία ψύξης στην διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Οι καταναλώσεις εσωτερικού φωτισμού, εσωτερικού εξοπλισμού και οι καταναλώσεις των ανεμιστήρων παραμένουν σταθερές κατά την διάρκεια του έτους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η επόμενη εικόνα (Εικόνα 9.2) με το διάγραμμα της μέγιστης μηνιαίας ενεργειακής ζήτησης.

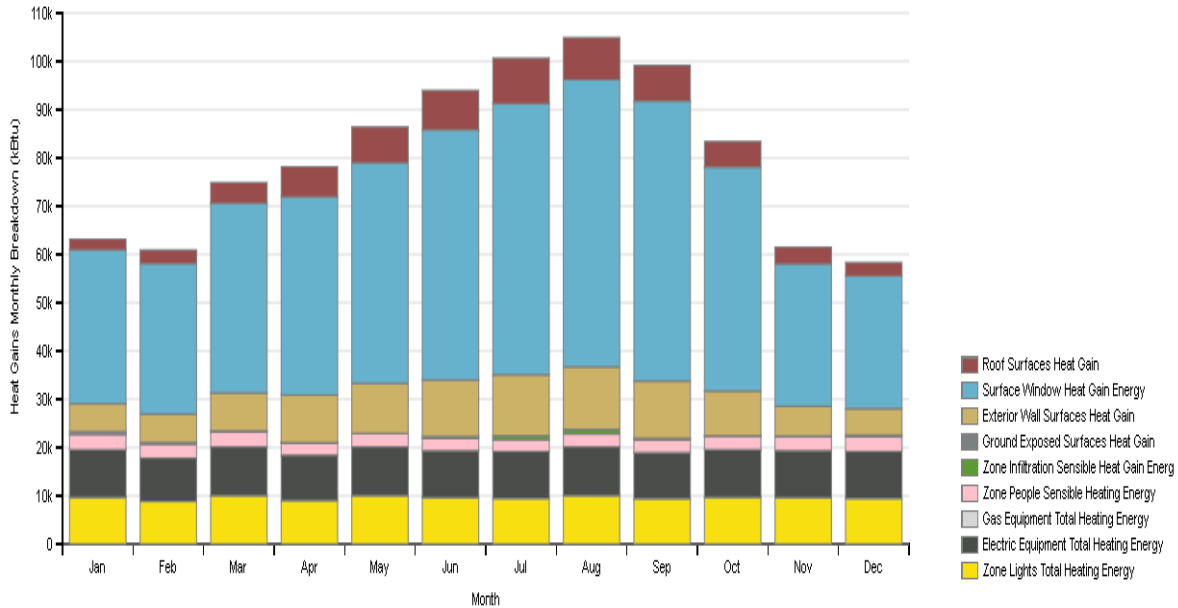


**Εικόνα 9.2 - Μέγιστη μηνιαία ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου**

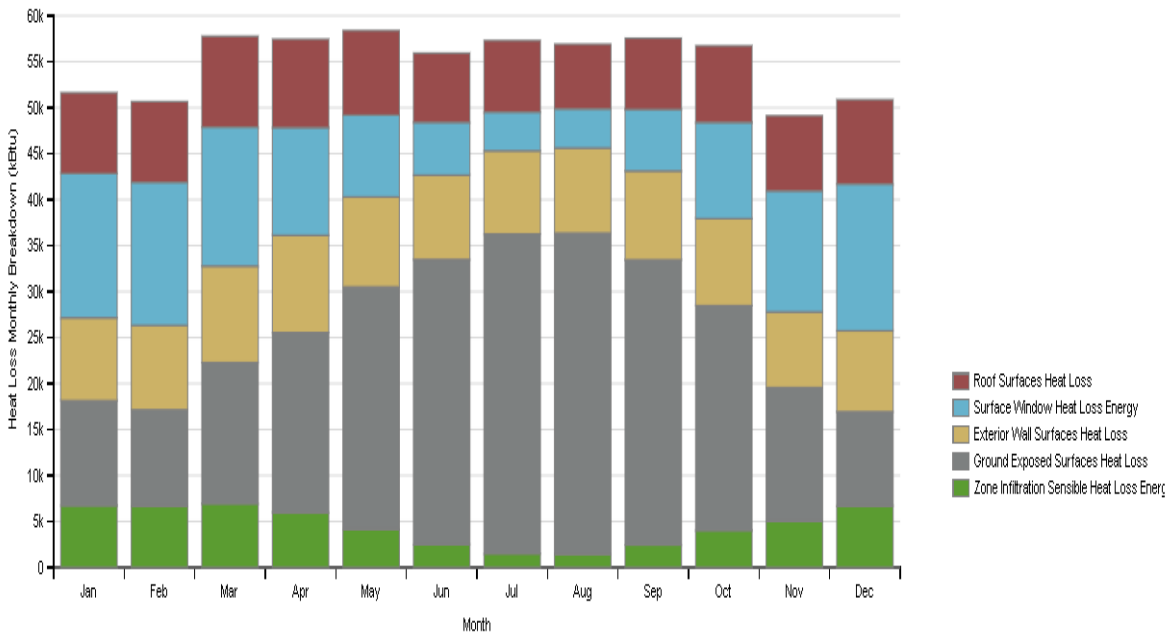
Στην εικόνα παρατηρείται και πάλι όπως ήταν αναμενόμενο, η ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη να μεγιστοποιείται τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες αντίστοιχα. Οι ανεμιστήρες και ο εσωτερικός εξοπλισμός παρουσιάζουν περίπου την ίδια ενεργειακή ζήτηση καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Εντύπωση προκαλεί η ενεργειακή ζήτηση του εσωτερικού φωτισμού κατά την διάρκεια του έτους, καθώς η ζήτηση αυτή είναι μικρότερη τους χειμερινούς μήνες. Αυτό παρατηρείται λόγω του ότι, τους χειμερινούς μήνες ο ήλιος βρίσκεται σε χαμηλότερη θέση σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες, και ακτινοβολεί απευθείας μέσα στο κτίριο. Τους υπόλοιπους μήνες όπου ο ήλιος βρίσκεται ψηλότερα δεν ακτινοβολεί απευθείας μέσα στο κτίριο, αλλά μέσω της ακτινοβολίας που είναι διάχυτη στο περιβάλλον (διάχυτη ακτινοβολία). Το πρόγραμμα δεν αντιλαμβάνεται πλήρως την διάχυτη ακτινοβολία και την οπτική άνεση που προσφέρει, με αποτέλεσμα να θεωρεί ότι τους μήνες αυτούς το φως είναι μειωμένο λόγω της υψηλότερης θέσης του ήλιου, και επομένως τα φώτα χρειάζονται να παραμένουν ανοικτά περισσότερες ώρες.



Με την προσθήκη του Measure Envelope and Internal Load Breakdown όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 8.2.13 προκύπτουν τα δύο παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 9.3, Εικόνα 9.4), όπου παρουσιάζουν τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές απώλειες του μοντέλου.



Εικόνα 9.3 - Μηνιαία ολικά θερμικά κέρδη κτιρίου



Εικόνα 9.4 - Μηνιαίες ολικές θερμικές απώλειες κτιρίου

Όσο αφορά τα θερμικά κέρδη του κτιρίου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο θερμικό κέρδος προκύπτει από τους υαλοπίνακες, κάτι το οποίο αναμενόταν μιας και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό κατασκευής του κτιρίου. Οι υαλοπίνακες εμποδίζουν την πρόσδοση θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου από τον περιβάλλον ατμοσφαιρικό αέρα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και εμποδίζουν την διαφυγή θερμότητας από τους εσωτερικούς χώρους προς το περιβάλλον κατά τους χειμερινούς μήνες. Επίσης αξιοσημείωτα ποσά θερμικών κερδών στο κτίριο προσφέρουν οι ηλεκτρικές συσκευές, ο φωτισμός, οι εξωτερικοί τοίχοι, καθώς και η οροφή.

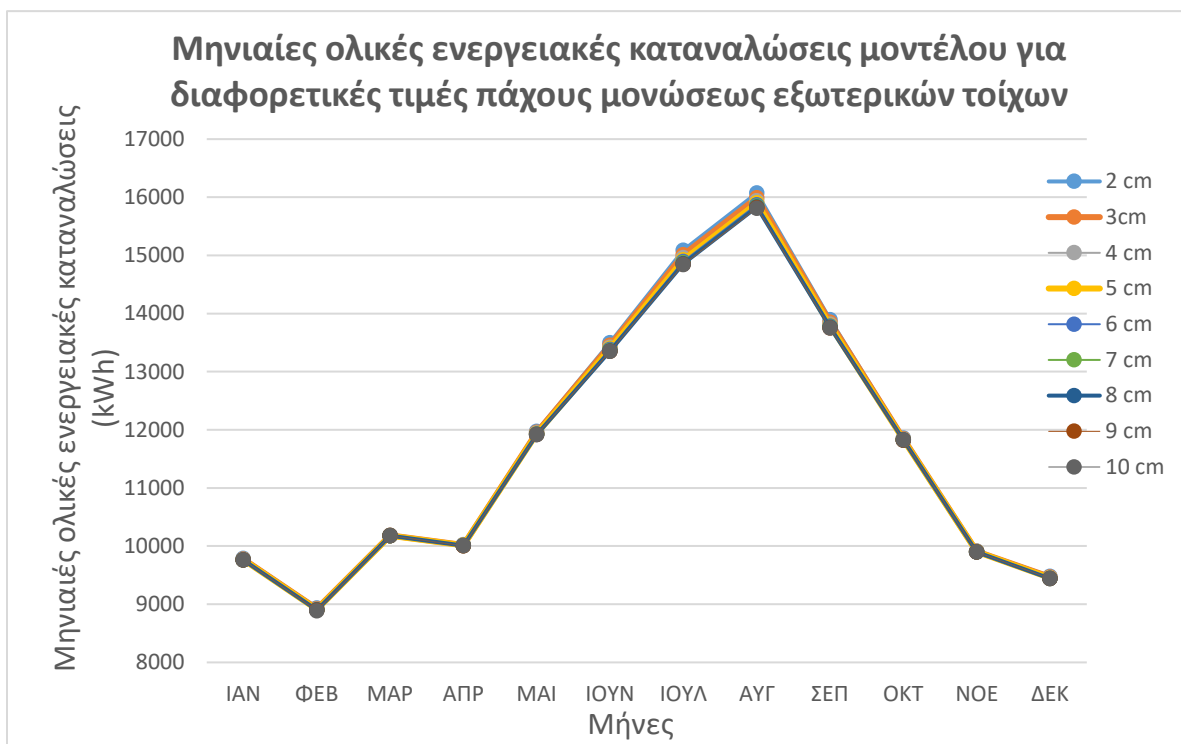
Παρατηρώντας τώρα το διάγραμμα θερμικών απωλειών, προκύπτει ότι η διεπαφή του δαπέδου του ισογείου με το έδαφος παρουσιάζει πολύ μεγάλες θερμικές απώλειες. Μεγάλες θερμικές απώλειες προκύπτουν επίσης και από τους υαλοπίνακες, και από τους εξωτερικούς τοίχους και από την οροφή του κτιρίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Λαμβάνοντας πολύ σοβαρά υπόψιν τα παραπάνω διαγράμματα πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω παραμετρικές μελέτες, με στόχο την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, με βάση και τα πρότυπα του παθητικού κτιρίου. Στις παρακάτω παραμετρικές μελέτες πάρθηκε υπόψιν τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο όσο και τα κριτήρια του ΤΟΤΕΕ. Επίσης από κάθε παραμετρική μελέτη πραγματοποιούταν η επιλογή της βέλτιστης επιλογής η οποία θεωρείτο δεδομένη για την επόμενη παραμετρική μελέτη.

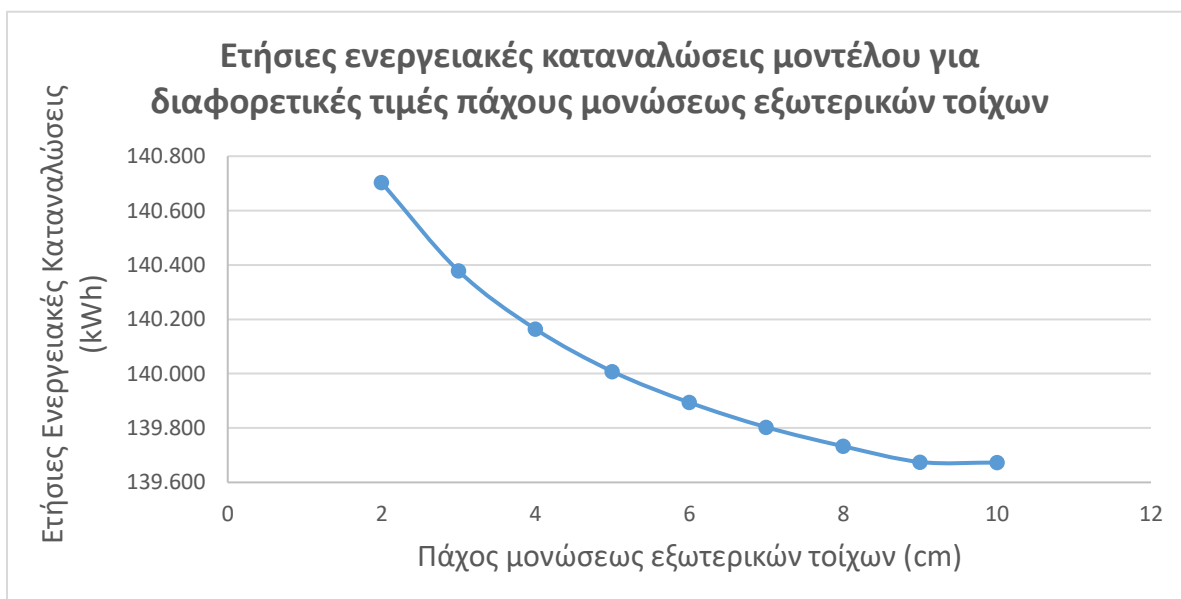
## 9.2 Παραμετρικές μελέτες

### 9.2.1 Παραμετρική μελέτη 1: Εξέταση της επίδρασης του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου.

Στην πρώτη παραμετρική μελέτη εξετάστηκε η επίδραση του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων στις ολικές μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου, μιας και αποτελούν (εξωτερικοί τοίχοι) ένα σημαντικό παράγοντα στα θερμικά κέρδη και στις θερμικές απώλειες του κτιρίου. Τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 9.5, Εικόνα 9.6).



**Εικόνα 9.5 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως εξωτερικών τοίχων**

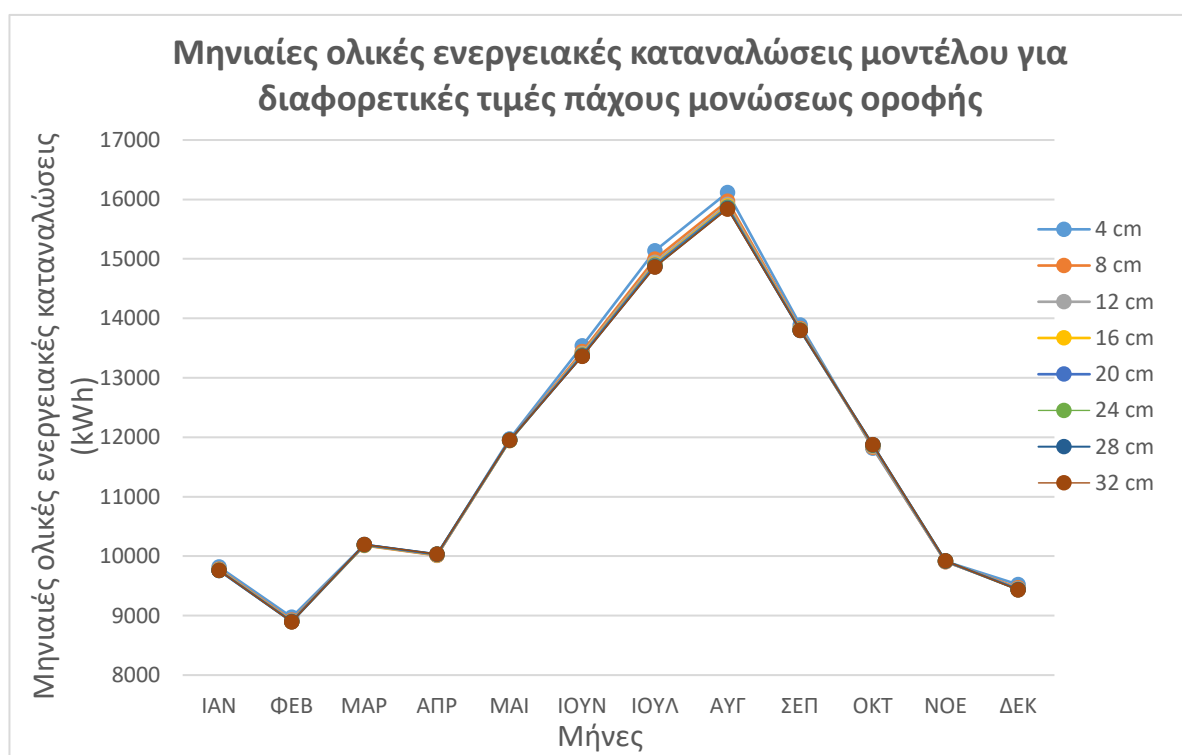


**Εικόνα 9.6 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως εξωτερικών τοίχων**

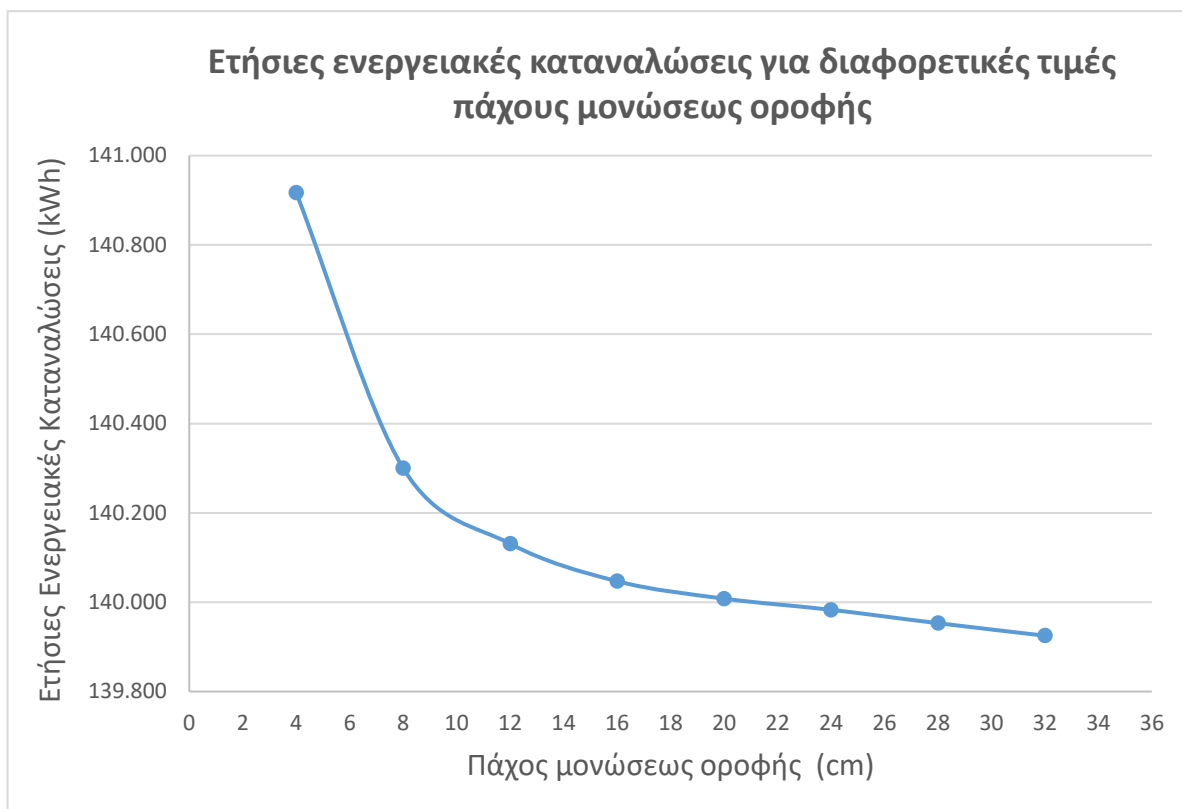
Παρατηρείται ότι με την αύξηση του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων μειώνονται οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου. Με πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου 2cm οι ετήσιες καταναλώσεις του κτιρίου ισούνται με 140.703 kWh, ενώ με πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου 10cm οι ετήσιες καταναλώσεις του κτιρίου ισούνται με 139.673 kWh. Το αποτέλεσμα αυτό αναμενόταν και συμβαδίζει με το θεωρητικό υπόβαθρο λόγω του ότι, με την αύξηση της μόνωσης μειώνεται η θερμική διαπερατότητα του τοίχου (U-Value), με αποτέλεσμα να μειώνονται οι θερμικές απώλειες διάμεσο αυτού.

### 9.2.2 Παραμετρική μελέτη 2: Εξέταση της επίδρασης του πάχους της μόνωσης της οροφής στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου.

Στην δεύτερη παραμετρική μελέτη εξετάστηκε η επίδραση του πάχους της μόνωσης της οροφής του πρώτου ορόφου (δηλαδή της οροφής που έρχεται σε επαφή με τον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα) στις ολικές μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου, λόγω του ότι σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας 9.4 (Εικόνα 9.4), και η οροφή συμβάλει κατά πολύ στις θερμικές απώλειες του μοντέλου. Στις ακόλουθες εικόνες (Εικόνα 9.7, Εικόνα 9.8) παρουσιάζονται τα διαγράμματα της παραμετρικής μελέτης όπως αυτά προέκυψαν από την ενεργειακή προσομοίωση.



**Εικόνα 9.7 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως της οροφής**



**Εικόνα 9.8 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως της οροφής**

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικόνα 9.7, Εικόνα 9.8) παρατηρείται ότι με την αύξηση του πάχους της μόνωσης της οροφής μειώνονται οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου, το οποίο και αυτό είναι κάτι όπου αναμενόταν. Η εξέταση του πάχους πραγματοποιήθηκε για ρεαλιστικά πάχη μόνωσης οροφής τα οποία τοποθετούνται σε νεόδμητα κτίρια στην Αθήνα (για παράδειγμα δεν εξετάστηκε η περίπτωση πάχους μόνωσης οροφής 80 εκατοστών). Παρατηρείται επίσης ότι η αύξηση του πάχους της μόνωσης από ένα σημείο και μετά δεν προσφέρει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση ανάλογη του κόστους αυτής. Ακόμη, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην αύξηση του πάχους της μόνωσης τόσο στους εξωτερικούς τοίχους όσο και στην οροφή, διότι η αύξηση αυτής κατά πολύ μειώνει την δυνατότητα πρόσληψης και απόρριψης θερμότητας προς το περιβάλλον, όπου αυτό μερικές φορές δεν είναι επιθυμητό. Το πρόβλημα αυτό συνήθως επιλύεται με μεθόδους αερισμού κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες.

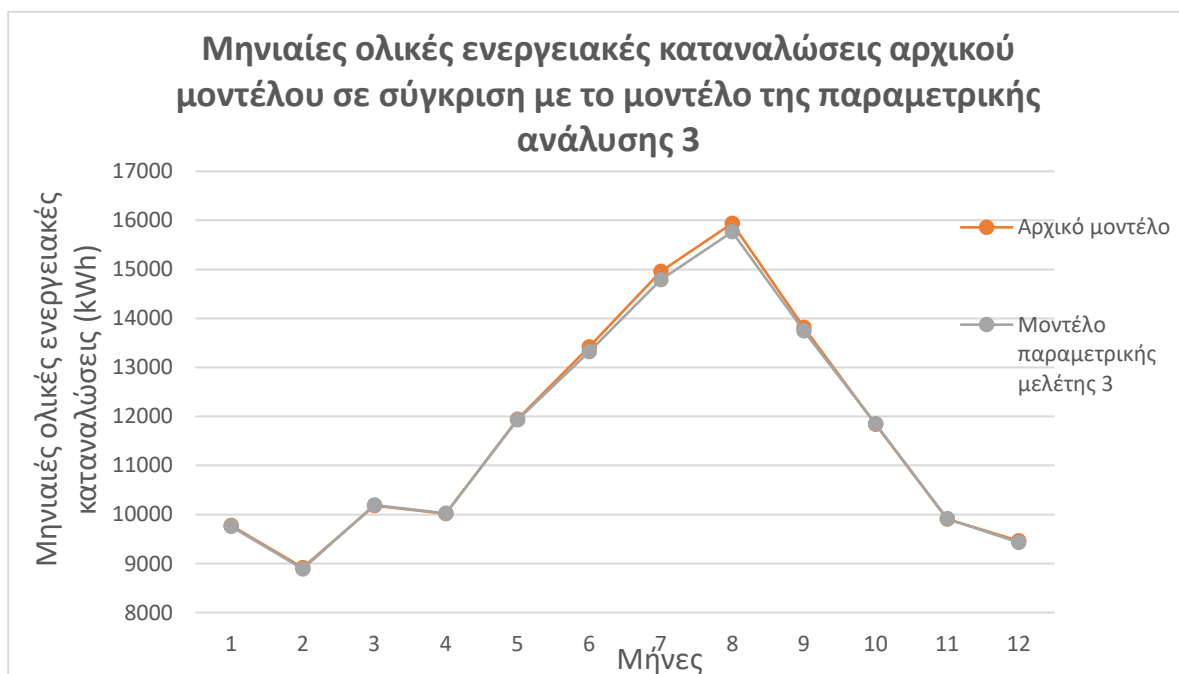
### 9.2.3 Παραμετρική μελέτη 3: Σύγκριση αρχικού μοντέλου με συνδυασμένο μοντέλο παραμετρικής ανάλυσης 1 και 2.

Σε αυτή την παραμετρική μελέτη πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ενεργειακών καταναλώσεων (ολικών μηνιαίων και ετήσιων) του αρχικού μοντέλου με ένα συνδυασμένο μοντέλο το οποίο προέκυψε από τα συμπεράσματα των παραμετρικών μελετών 1 και 2, το αποτέλεσμα της οποίας παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 9.9, Εικόνα 9.10).

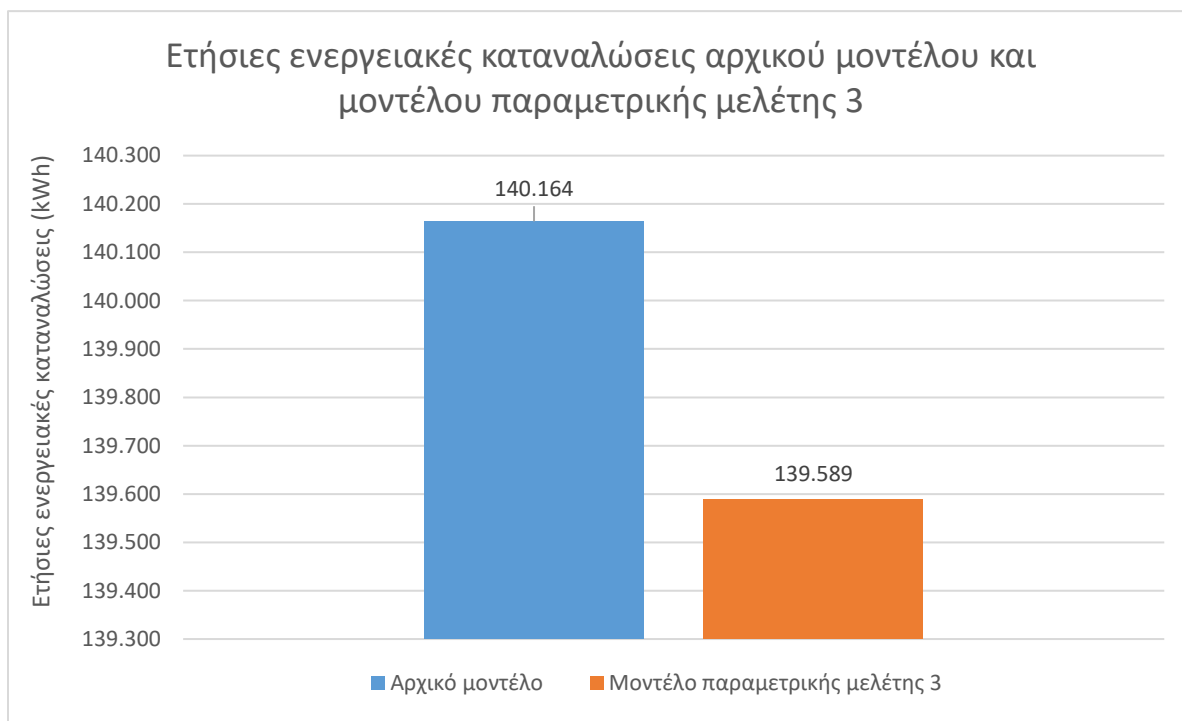
Λαμβάνοντας υπόψη, και τους οικονομικούς παράγοντες σε αντιστοιχία με την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών καταναλώσεων, από την 1η παραμετρική μελέτη επιλέχθηκε πάχος μόνωσης εξωτερικών τοίχων ίσο με 8 cm, και από την 2η παραμετρική μελέτη επιλέχθηκε πάχος μόνωσης οροφής ίσο με 20 cm. Οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου μειώνονται από 140.164 kWh σε 139.589 kWh. Τα δεδομένα των δύο μοντέλων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6).

Πίνακας 6 - Δεδομένα μοντέλων στα οποία πραγματοποιείται ενεργειακή προσομοίωση

Παράμετροι:	Αρχικό μοντέλο	Μοντέλο παραμετρική μελέτης 3
Πάχος μόνωσης εξωτερικών τοίχων	4 cm	8 cm
Πάχος μόνωσης οροφής	10 cm	20 cm



Εικόνα 9.9 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 3



**Εικόνα 9.10 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 3**

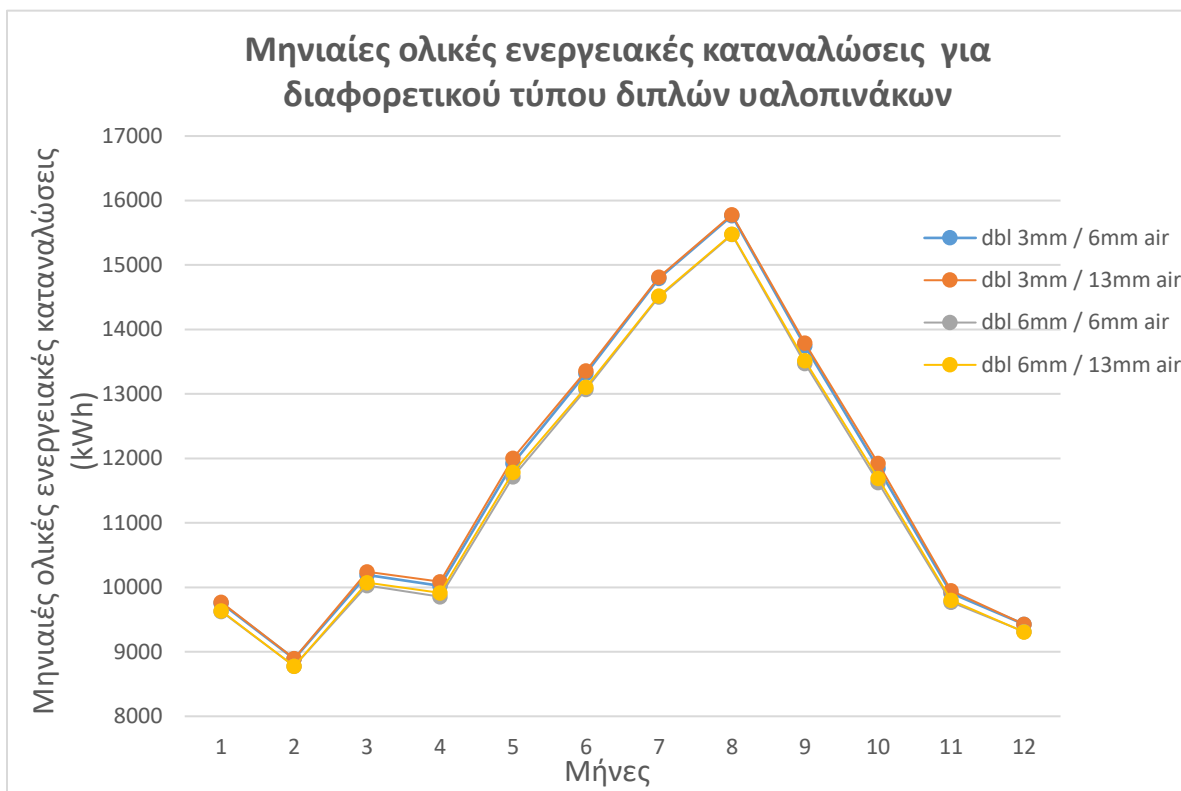
#### 9.2.4 Παραμετρική μελέτη 4: Εξέταση της επίδρασης του είδους των υαλοπινάκων στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου.

Στην τέταρτη παραμετρική μελέτη εξετάστηκε η επίδραση της μεταβολής του είδους των υαλοπινάκων στις ολικές μηνιαίες και ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου. Με βάση το διάγραμμα της εικόνας 9.4 (Εικόνα 9.4), οι υαλοπίνακες συμβάλλουν κατά πολύ στις θερμικές απώλειες του κτιρίου κυρίως τους μη καλοκαιρινούς μήνες, επομένως κρίνεται επιτακτική η παραμετρική ανάλυση τους.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη τόσο για διπλούς υαλοπίνακες, όσο και για τριπλούς, για διαφορετικά πάχη γυαλιού και αέρα ενδιάμεσα αυτών. Τα χαρακτηριστικά των υαλοπινάκων που έχουν μελετηθεί παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 7, Πίνακας 8), και τα αποτελέσματα αυτών στις ακόλουθες εικόνες (Εικόνα 9.11, Εικόνα 9.12, Εικόνα 9.13, Εικόνα 9.14):

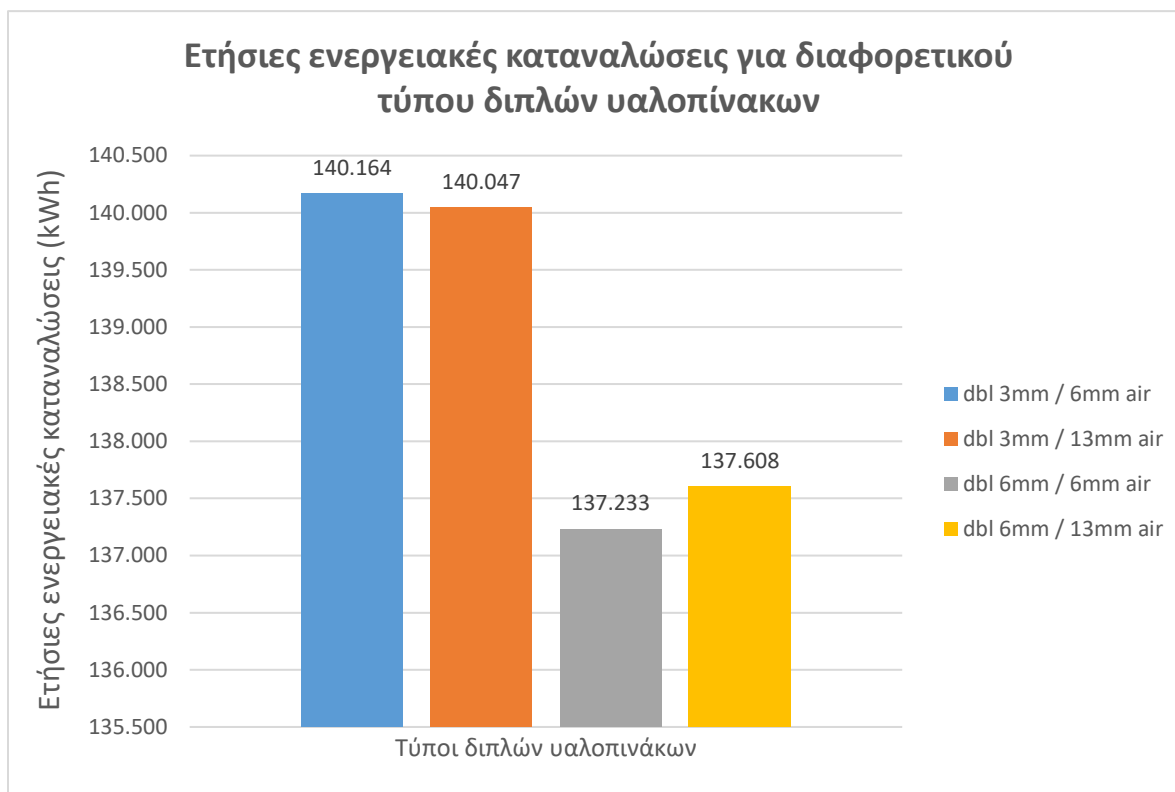
Πίνακας 7 - Χαρακτηριστικά διπλών υαλοπινάκων

Είδος υαλοπίνακα:	Overall U-Value	Συντελεστής απολαβής ηλιακής θερμότητας (Solar heat gain coefficient)	Διαπερατότητα ορατού φωτός (Visible light transmittance)
dbl clr 3mm/6mm air (Αρχικό μοντέλο)	3,122	0,762	0,812
dbl clr 3mm / 13mm air	2,72	0,764	0,812
dbl clr 6mm / 6mm air	3,058	0,70	0,781
dbl clr 6mm / 13mm air	2,67	0,703	0,781



Εικόνα 9.11 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου διπλών υαλοπινάκων

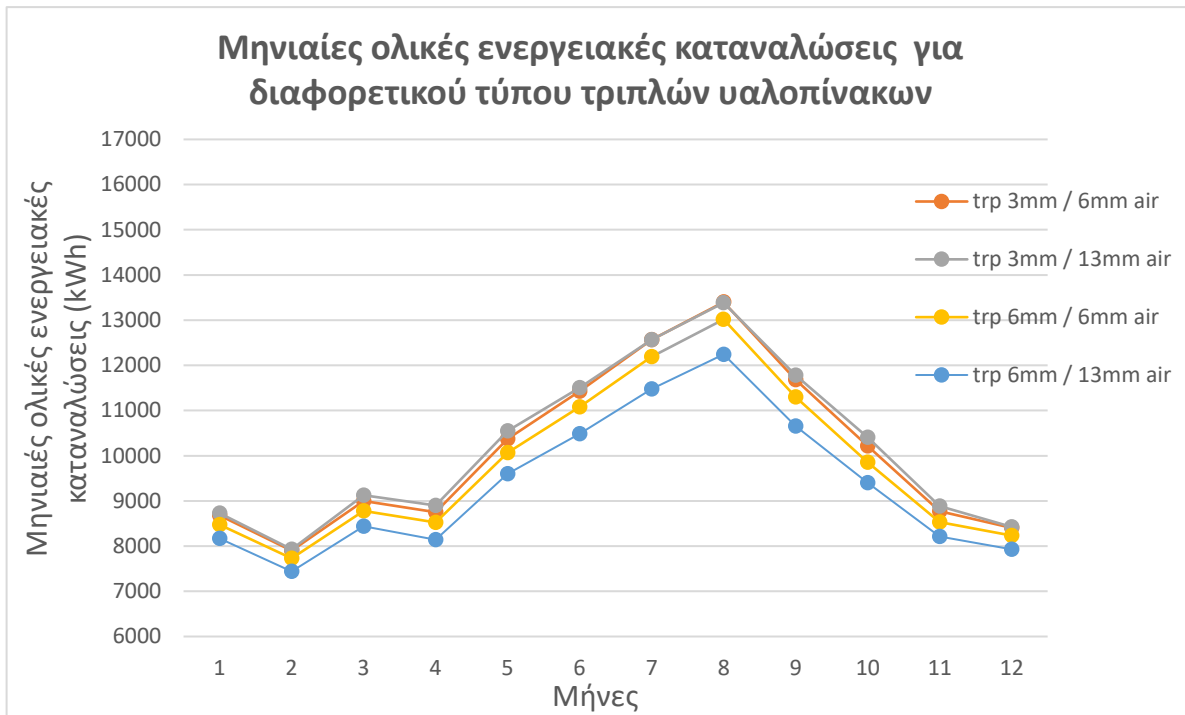




**Εικόνα 9.12 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου διπλών υαλοπινάκων**

**Πίνακας 8 - Χαρακτηριστικά τριπλών υαλοπινάκων**

Είδος υαλοπίνακα:	Overall U-Value	Συντελεστής απολαβής ηλιακής θερμότητας (Solar heat gain coefficient)	Διαπερατότητα ορατού φωτός (Visible light transmittance)
trp clr 3mm / 6mm air	1,745	0,462	0,637
trp clr 3mm / 13mm air	0,992	0,474	0,661
trp clr 6mm / 6mm air	1,712	0,358	0,535
trp clr 6mm / 13mm air	1,208	0,31	0,455



**Εικόνα 9.13 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου τριπλών υαλοπινάκων**

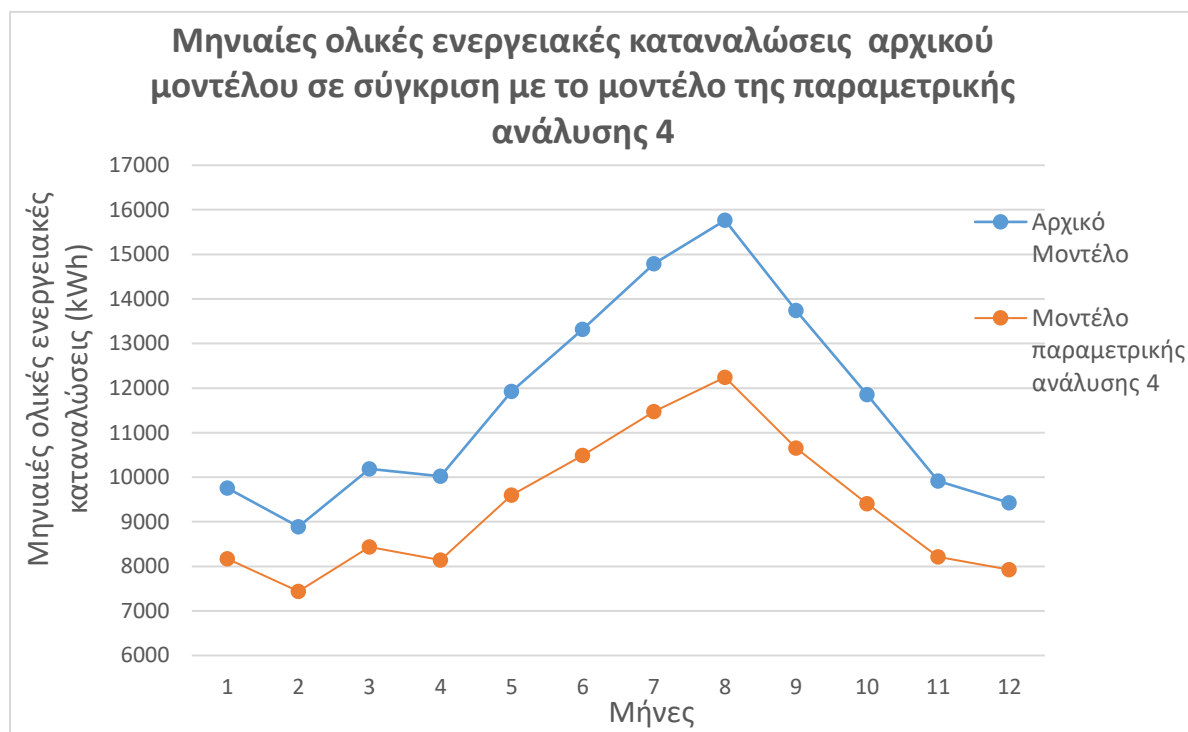


**Εικόνα 9.14 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου τριπλών υαλοπινάκων**

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι με την βελτίωση του τύπου-είδους του υαλοπίνακα και την μετάβαση από διπλό σε τριπλό υαλοπίνακα οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου μειώνονται, κάτι το οποίο αναμενόταν και με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο της υπό-ενότητας 4.1.2. Παρατηρείται ότι με την εγκατάσταση του τριπλού υαλοπίνακα με 6mm πάχος γυαλιού και 13 mm πάχος αέρα, οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μειώνονται στις 112.197kWh λόγω του διπλού στρώματος αέρα, ο οποίος παρουσιάζει αρκετά μικρή θερμική αγωγιμότητα. Η τόσο σημαντική μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων του μοντέλου δικαιολογείται και από τα γραφήματα των θερμικών κερδών και απωλειών του κτιρίου (Εικόνα 9.3, Εικόνα 9.4) στα οποία παρουσιάζονται οι υαλοπίνακες ως κύρια πηγή απωλειών αλλά και κέρδους.

### 9.2.5 Παραμετρική μελέτη 5: Σύγκριση αρχικού μοντέλου με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 4.

Σε αυτή την παραμετρική μελέτη πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ολικών μηνιαίων και ετήσιων ενεργειακών καταναλώσεων του αρχικού μοντέλου σε σχέση με το μοντέλο όπου προέκυψε από την παραμετρική μελέτη 4, και τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 9.15, Εικόνα 9.16).



**Εικόνα 9.15 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 4**



**Εικόνα 9.16 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 4**

### **9.2.6 Παραμετρική μελέτη 6: Εξέταση της επίδρασης διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου και σύγκριση με το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού του αρχικού μοντέλου.**

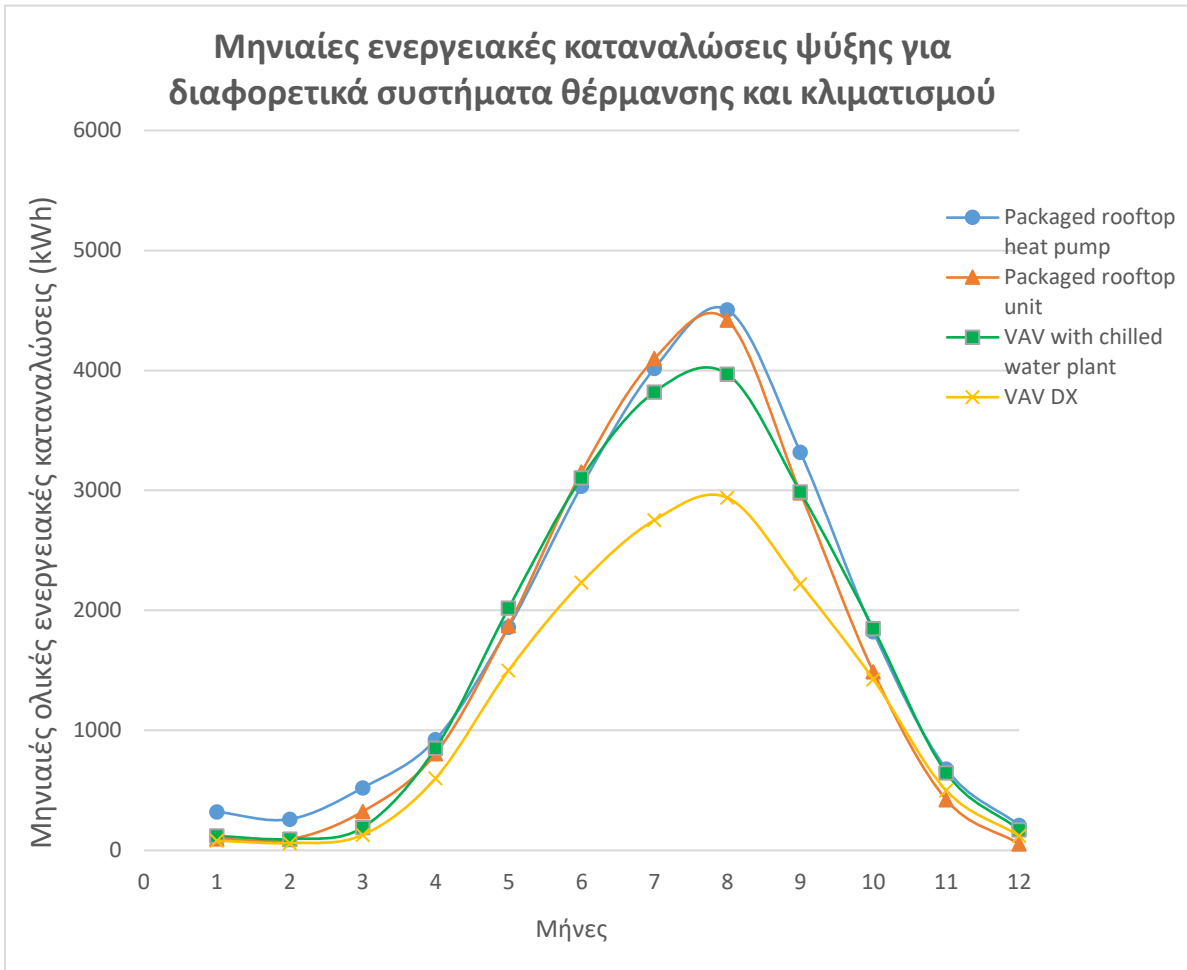
Στην έκτη παραμετρική μελέτη εξετάστηκε η συμπεριφορά των μηνιαίων και ετήσιων ενεργειακών αναγκών του κτιρίου για διαφορετικές εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού, καθώς και η σύγκριση της βέλτιστης ενεργειακά επιλογής της παραμετρικής μελέτης, με το σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού του αρχικού μοντέλου.

Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τα παρακάτω συστήματα:

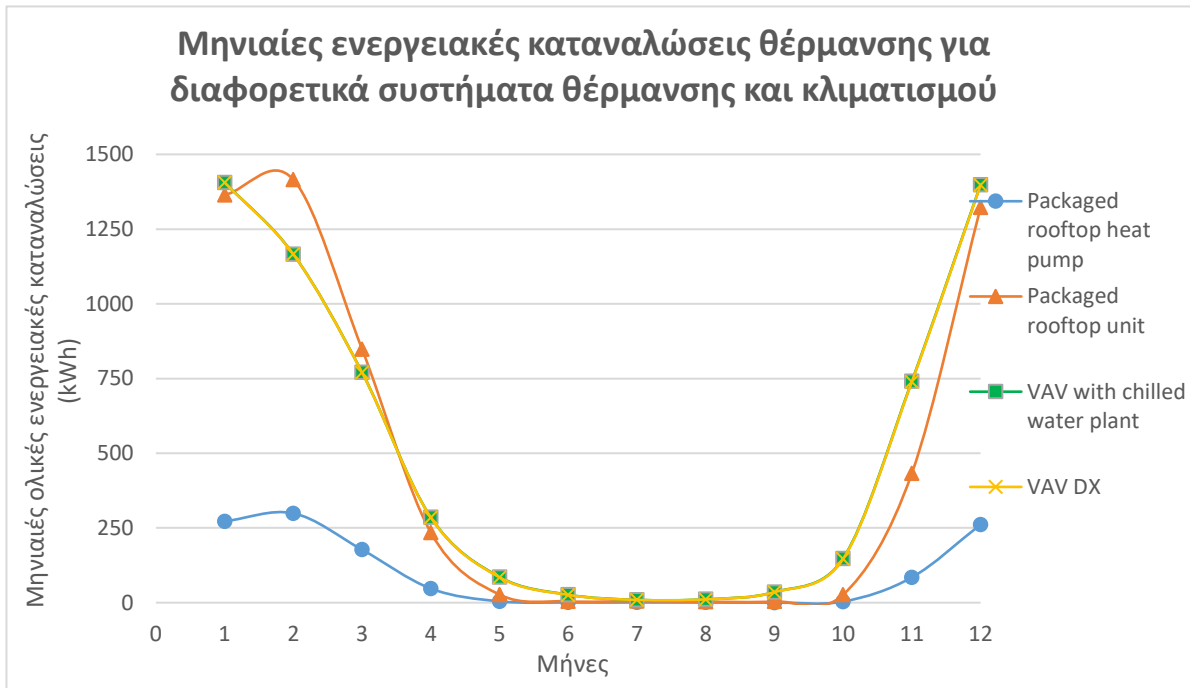
- Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα οροφής - Packaged Rooftop Heat Pump (Αρχικό μοντέλο)
- Συσκευασμένο κλιματιστικό οροφής - Packaged Rooftop Air Conditioner

- Σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα – VAV with chilled water plant
- Σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα άμεσης εκτόνωσης – VAV DX

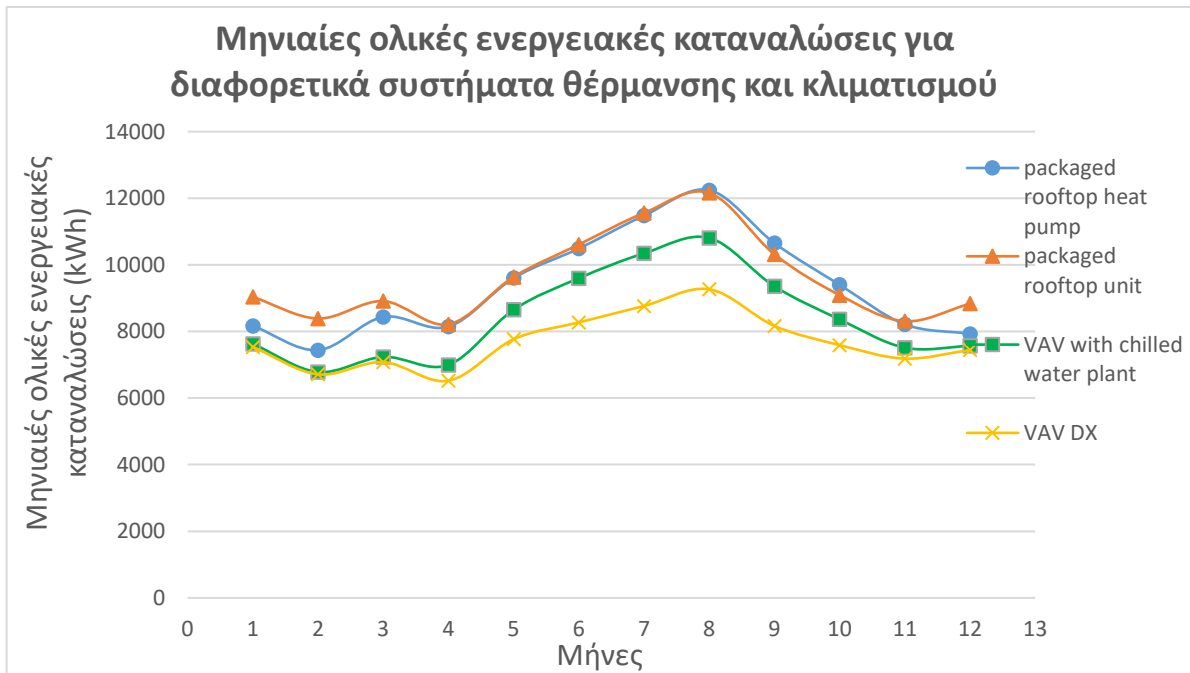
Στα ακόλουθα δύο διαγράμματα (Εικόνα 9.17, Εικόνα 9.18) παρουσιάζονται οι μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης και κλιματισμού για τα τέσσερα διαφορετικά συστήματα, καθώς και οι ολικές ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου (Εικόνα 9.19).



**Εικόνα 9.17 - Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού**

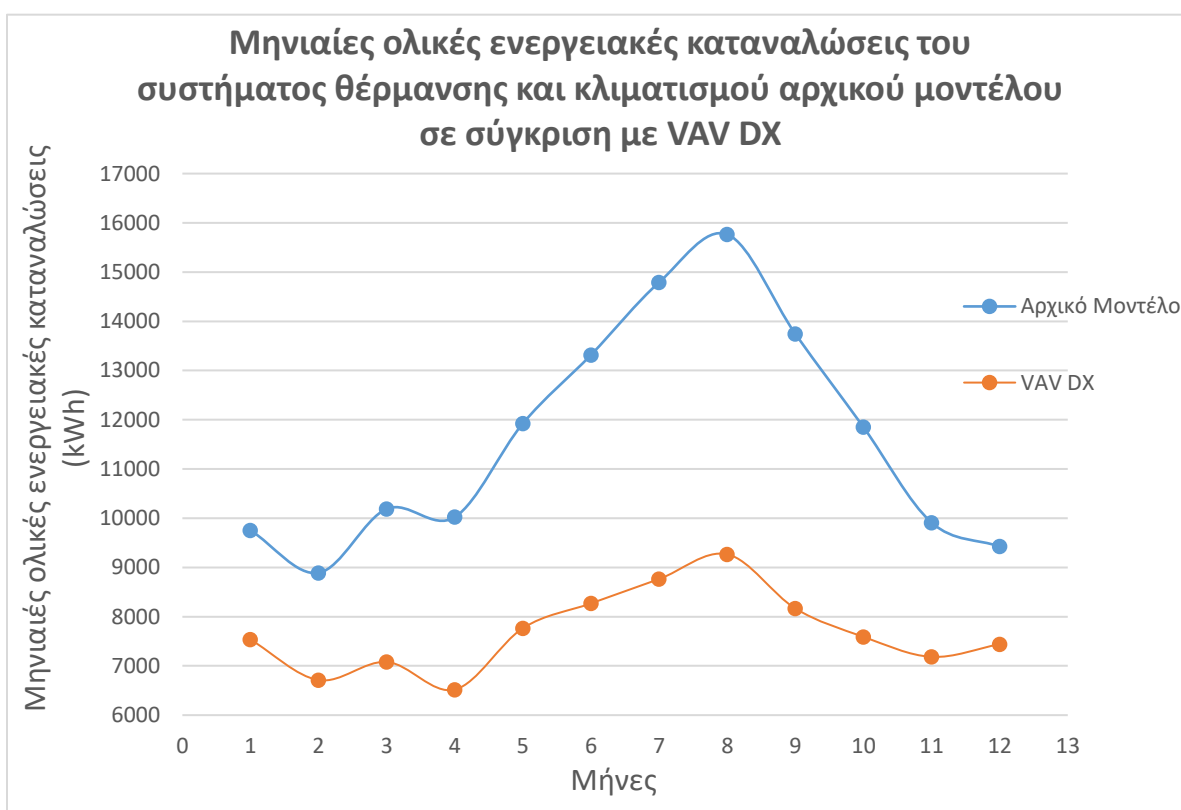


Εικόνα 9.18 - Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού



Εικόνα 9.19 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι το σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα άμεσης εκτόνωσης – VAV DX αποτελεί την βέλτιστη επιλογή κατά την οποία προκύπτουν οι χαμηλότερες ενεργειακές καταναλώσεις (92.297 kWh). Παρατηρείται ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα του αρχικού μοντέλου για θέρμανση είναι χαμηλότερες από το σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα άμεσης εκτόνωσης, ταυτόχρονα όμως όπου οι ενεργειακές καταναλώσεις για ψύξη είναι αρκετά μεγαλύτερες. Κάτι το οποίο αναμενόταν και από το θεωρητικό υπόβαθρο μιας και τα συστήματα VAV είναι κατάλληλα πρωτίστως για κτίρια τα οποία παρουσιάζουν υψηλές απαιτήσεις για ψύξη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η εγκατάσταση ενός συστήματος VAV απαιτεί ύπαρξη πολλών τερματικών μονάδων κάτι το οποίο κοστίζει αρκετά, αλλά θεωρούμε ότι σε μεγάλα έργα με μεγάλη διάρκεια ζωής πραγματοποιείται απόσβεση της επένδυσης. Οι ενεργειακές καταναλώσεις του συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού του αρχικού μοντέλου συγκριτικά με τις ενεργειακές καταναλώσεις της βέλτιστης επιλογής συστήματος αυτής της παραμετρικής μελέτης παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 9.20, Εικόνα 9.21).



**Εικόνα 9.20 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με VAV DX**

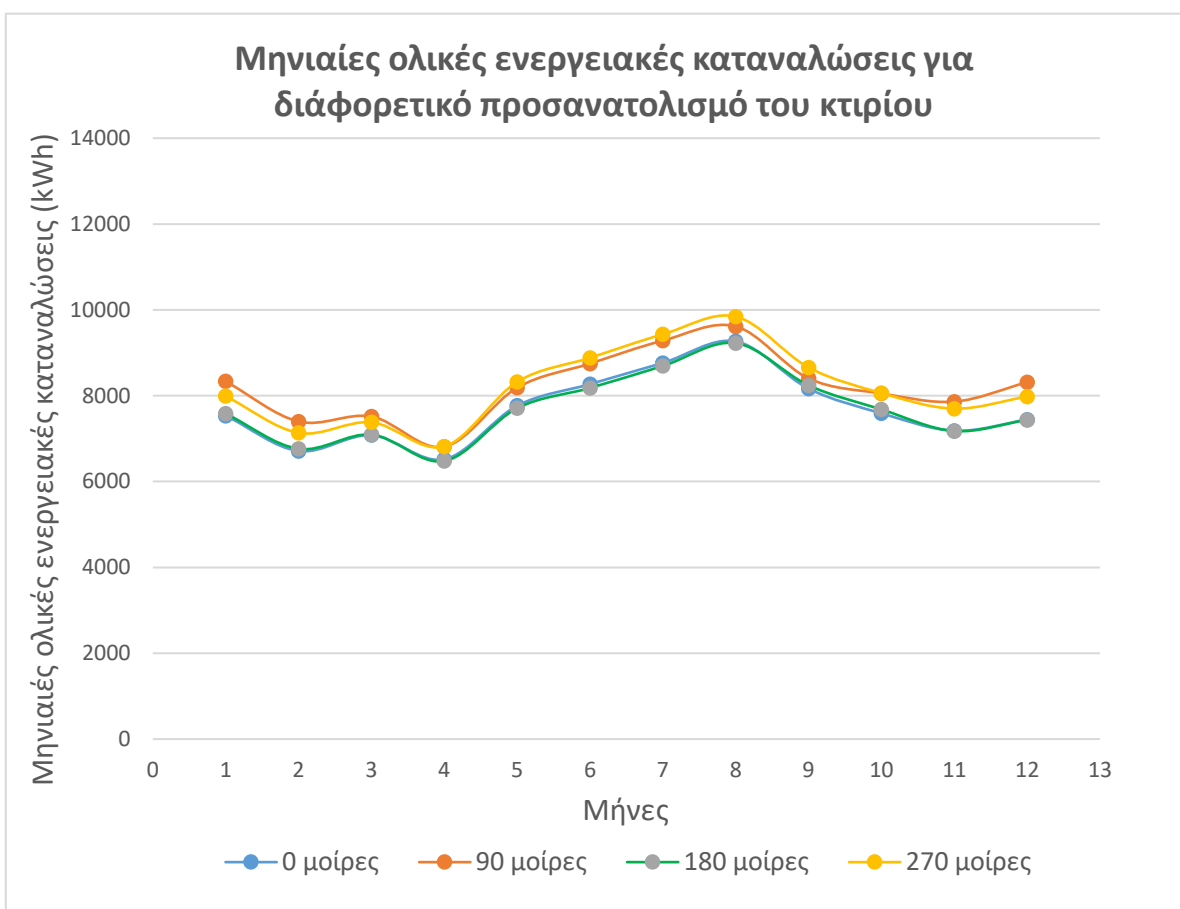


**Εικόνα 9.21 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με VAV DX**



### 9.2.7 Παραμετρική μελέτη 7: Εξέταση της επίδρασης του προσανατολισμού του κτιρίου στις ενεργειακές καταναλώσεις αυτού.

Στην έβδομη παραμετρική μελέτη εξετάστηκε η συμπεριφορά των μηνιαίων και ετήσιων ενεργειακών αναγκών του κτιρίου για διαφορετικό προσανατολισμό του κτιρίου. Εξετάστηκαν οι περιπτώσεις 90, 180 και 270 μοιρών απόκλισης από τον νότο (Εικόνα 9.22). Όπως αναμενόταν το κτίριο παρουσιάζει τις χαμηλότερες ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις με την πρόοψη στραμμένη προς τον νότο (0 μοίρες απόκλιση από τον νότο). Παρατηρείται ότι οι ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις για διαφορετικό προσανατολισμό, κάτι το οποίο οφείλεται στο καλά μονωμένο μοντέλο.



**Εικόνα 9.22 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις για διαφορετικό προσανατολισμό του κτιρίου**

### 9.2.8 Παραμετρική μελέτη 8: Περιγραφή διαδικασίας διαστασιολόγησης και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ, εξέταση της επίδρασης τους στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου, και σύγκριση αυτού του μοντέλου με το αρχικό.

Για την εκτίμηση της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών στοιχείων που πρέπει να εγκατασταθούν για την κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του κτιρίου, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί:

Ο προσανατολισμός τόσο του κτιρίου, όσο και των φωτοβολταϊκών στοιχείων που έχουν τοποθετηθεί είναι νότιος.

Για τον υπολογισμό της βέλτιστης γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων τέθηκε ως βασικό κριτήριο η μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, και για τον υπολογισμό αυτής κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 9).

- Στην 1η στήλη αναγράφεται ο μήνας.
- Στην 2η στήλη αναγράφεται η μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ( $\bar{H}$ ) η οποία πάρθηκε από τον πίνακα 4.1 του TOTEE\_2017\_3.
- Ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας ( $\bar{k}_T$ ) δίνεται από τον πίνακα 4.3 του TOTEE\_2017\_3 (3η στήλη)
- Για τον υπολογισμό της ωριαίας γωνίας δύσης ή ανατολής, για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα ( $\omega_s$ ) χρησιμοποιήθηκε η σχέση:  $\cos(\omega_s) = -\tan(\varphi) * \tan(\delta)$  (4η στήλη)
- Η ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ ) δίνεται από τον TOTEE\_2017\_3 (5η στήλη)
- Η ωριαία γωνία δύσης της κεκλιμένης επιφάνειας για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα ( $\omega'_s$ ) δίνεται από την σχέση (6η στήλη):  

$$\omega'_s = \min \{ \cos^{-1}(-\tan(\varphi) \tan(\delta)), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan(\delta)) \}$$
- Ο μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας ( $R_b$ ) που είναι ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς την άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο δίνεται από την ακόλουθη σχέση (7η στήλη):

$$\bar{R}_b = \frac{[\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega'_s) + \frac{\pi}{180} \omega'_s \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta)]}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta)}$$

- Η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται από την σχέση των Collares-Pereira & Ab, η οποία αναφέρεται στον λόγο της διάχυτης προς την ολική μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Ο λόγος αυτός δίνεται από την παρακάτω σχέση (8η στήλη):

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 0.755 + 0.00653(\omega_s - 90) - (0.505 + 0.00455(\omega_s - 90))\cos(115k_T - 103)$$

- Για τον προσδιορισμό των τριών συνιστωσών της ακτινοβολίας (άμεση-διάχυτη-ανακλώμενη) εφαρμόζεται η σχέση(9η στήλη):

$$\overline{R} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right)\overline{R_b} + \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}}\left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) + \rho\left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right)$$

- Στην τελευταία στήλη πολλαπλασιάζοντας το  $\overline{R}$  με την μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο ( $\overline{H}$ ), προκύπτει σε κάθε γραμμή η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο και αθροίζοντας τις γραμμές προκύπτει η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο ( $\overline{H_T}$ ).

**Πίνακας 9 - Υπολογισμός μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο ( $\overline{H_T}$ )**

Μήνας	$\overline{H}(\text{Kwh/m}^2)$	$\overline{k_T}$	$\omega_s(\text{deg})$	$\delta(\text{deg})$	$\omega_s'(\text{deg})$	$\overline{R_b}$	$\overline{H_d}/\overline{H_T}$	$\overline{R}$	$\overline{H_T}(\text{KWh/m}^2)$
ΙΑΝ	68	0,45	73,88	-20,9	73,88	2,21	0,41	1,76	119,83
ΦΕΒ	81	0,46	80,36	-13	80,36	1,70	0,24	1,62	131,40
ΜΑΡ	127	0,51	88,29	-2,4	88,29	1,24	0,28	1,25	159,38
ΑΠΡ	161	0,54	96,98	9,4	93,19	0,89	1,34	0,88	141,87
ΜΑΙΟΣ	210	0,61	104,42	18,8	96,52	0,67	0,77	0,90	188,27
ΙΟΥΝ	220	0,63	108,16	23,1	98,17	0,59	0,49	0,82	181,48
ΙΟΥΛ	223	0,64	106,47	21,2	97,43	0,63	1,11	0,94	208,78
ΑΥΓ	204	0,64	100,13	13,5	94,61	0,79	1,06	0,92	187,39
ΣΕΠ	160	0,61	91,65	2,2	90,78	1,09	0,70	1,01	162,39
ΟΚΤ	117	0,56	82,96	-9,6	82,96	1,53	0,42	1,36	159,19
ΝΟΕ	78	0,51	75,59	-18,9	75,59	2,06	0,25	1,88	146,57
ΔΕΚ	60	0,44	72,02	-23	72,02	2,38	0,86	1,14	68,32

Η παραπάνω διαδικασία υπολογισμού της μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο ( $\overline{H_T}$ ), πραγματοποιήθηκε με βέλτιστη κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ) ίση με 56,9 μοίρες, όπου αντιστοιχεί στην βέλτιστη κλίση του συλλέκτη για τον μήνα Ιανουάριο. Με  $\beta=56,9^\circ$  η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο  $\overline{H_T} = 1854 \text{ kWh/m}^2$ .

Πραγματοποιώντας την παραπάνω διαδικασία με εύρος γωνίας  $\beta$  από 0-90 μοίρες μέσω επαναληπτικής διαδικασίας, προέκυψε η βέλτιστη γωνία τοποθέτησης του συλλέκτη να ισούται με 27 μοίρες στις οποίες μεγιστοποιείται η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο και γίνεται ίση με  $\overline{H_T} = 1987,17 \text{ kWh/m}^2$ .

Επομένως με την εύρεση της βέλτιστης γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων, ακολουθεί η επιλογή του μοντέλου του φωτοβολταϊκού και ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από αυτά. Η διαδικασία υπολογισμού της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία περιγράφεται λεπτομερώς παρακάτω.

Πραγματοποιήθηκε επιλογή συγκεκριμένου μοντέλου φωτοβολταϊκού το οποίο υπάρχει στην ελληνική αγορά, τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 10) [40].

**Πίνακας 10 - Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ**

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Απόδοση	Μήκος	Πλάτος	Επιφάνεια	Ισχύς	NOCT	Συντελεστής θερμοκρασίας	Βάρος
Panasonic	VBHN245SJ25	19.4%	1.58m	0.798m	1,26m <sup>2</sup>	245W	44°C	0.258 %/°C	15Kg

Με την επιλογή του φωτοβολταϊκού, ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού της μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας (Πίνακας 11):

- Στην 1η στήλη αναγράφεται ο μήνας.
- Στην 2η στήλη αναγράφεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο ( $\overline{H_T}$ ) που υπολογίστηκε παραπάνω.
- Στην 3η στήλη αναγράφεται η βέλτιστη γωνία τοποθέτησης του συλλέκτη ( $\beta$ ) για την οποία έχουμε την μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο.
- Η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη για τον κάθε μήνα προκύπτει από την σχέση:  

$$\beta_m = |\varphi - \delta| \text{ (4η στήλη)}$$
- Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας ( $T_a$ ) δίνεται από τον πίνακα 3.2 του TOTEE\_2017\_3 (5η στήλη).

- Ο διορθωτικός συντελεστής ( $C_f$ ) υπολογίζεται από την σχέση:

$$C_f = 1 - 1.17 * 10^{-4}(\beta_m - \beta)^2 \quad (6\text{η στήλη})$$

- Στην 7η στήλη αναγράφεται ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας ( $\overline{k_T}$ ).
- Η θερμοκρασία που αναπτύσσει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ( $T_c$ ) και συνδέεται με την μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας δίνεται από την σχέση του Evans-1981:

$$T_c - T_a = (219 + 832\overline{k_T}) \frac{NOCT-20}{800} \quad (8\text{η στήλη})$$

- Η μέση απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δίνεται από την σχέση:

$$\eta_p = \eta_r \left(1 - \beta_p(T_c - T_r)\right) \quad (9\text{η στήλη})$$

- Η ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό ανά εγκατεστημένη επιφάνεια είναι:

$$\frac{E_p}{S} = \eta_p * \overline{H_T} \quad (10\text{η στήλη})$$

- Παίρνουμε ένα τυπικό  $\lambda_p=10\%$  όπου είναι οι διαφορές απώλειες του επιλεγμένου φωτοβολταϊκού, και προκύπτει η ενέργεια που λαμβάνουμε από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία :

$$\frac{E_A}{S} = \frac{E_p}{S} (1 - \lambda_p) \quad (11\text{η στήλη})$$

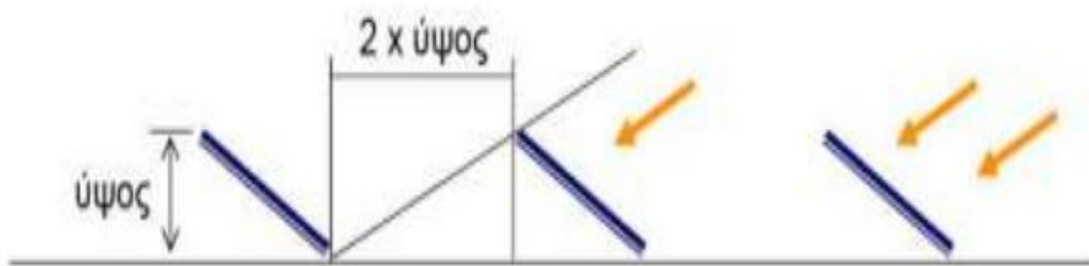
**Πίνακας 11 - Υπολογισμός μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ**

Μήνας	$\overline{H_T}$ (KWh/m <sup>2</sup> )	$\beta$	$\beta_m$	$T_a$ (°C)	$C_f$	$\overline{k_T}$	$T_c$ (°C)	$\eta_p$	$E_p/S$	$E_A/S$
ΙΑΝ	105,61	27	56,9	11,5	0,90	0,45	27,44	19,28%	20,36	18,32
ΦΕΒ	121,54	27	49	11,5	0,94	0,46	28,53	19,22%	23,36	21,03
ΜΑΡ	163,93	27	38,4	12,6	0,98	0,51	31,61	19,07%	31,26	28,13
ΑΠΡ	164,17	27	26,6	15,3	1,00	0,54	35,35	18,88%	30,99	27,89
ΜΑΙΟΣ	220,64	27	17,2	19,7	0,99	0,61	41,25	18,58%	41,00	36,90
ΙΟΥΝ	223,29	27	12,9	24,1	0,98	0,63	45,88	18,35%	40,97	36,87
ΙΟΥΛ	237,07	27	14,8	26,6	0,98	0,64	48,75	18,20%	43,15	38,84
ΑΥΓ	214,98	27	22,5	26,6	1,00	0,64	49,09	18,18%	39,09	35,18
ΣΕΠ	180,42	27	33,8	23,7	0,99	0,61	45,38	18,37%	33,15	29,83
ΟΚΤ	157,20	27	45,6	19,9	0,96	0,56	39,62	18,66%	29,34	26,40
ΝΟΕ	127,33	27	54,9	16,4	0,91	0,51	33,94	18,95%	24,13	21,71
ΔΕΚ	70,99	27	59	13,3	0,88	0,44	28,75	19,21%	13,64	12,27

Με το άθροισμα της τελευταίας στήλης προκύπτει η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά για γωνία τοποθέτησης  $27^\circ$ , η οποία είναι ίση με  $333,38 \text{ kWh/m}^2$ .

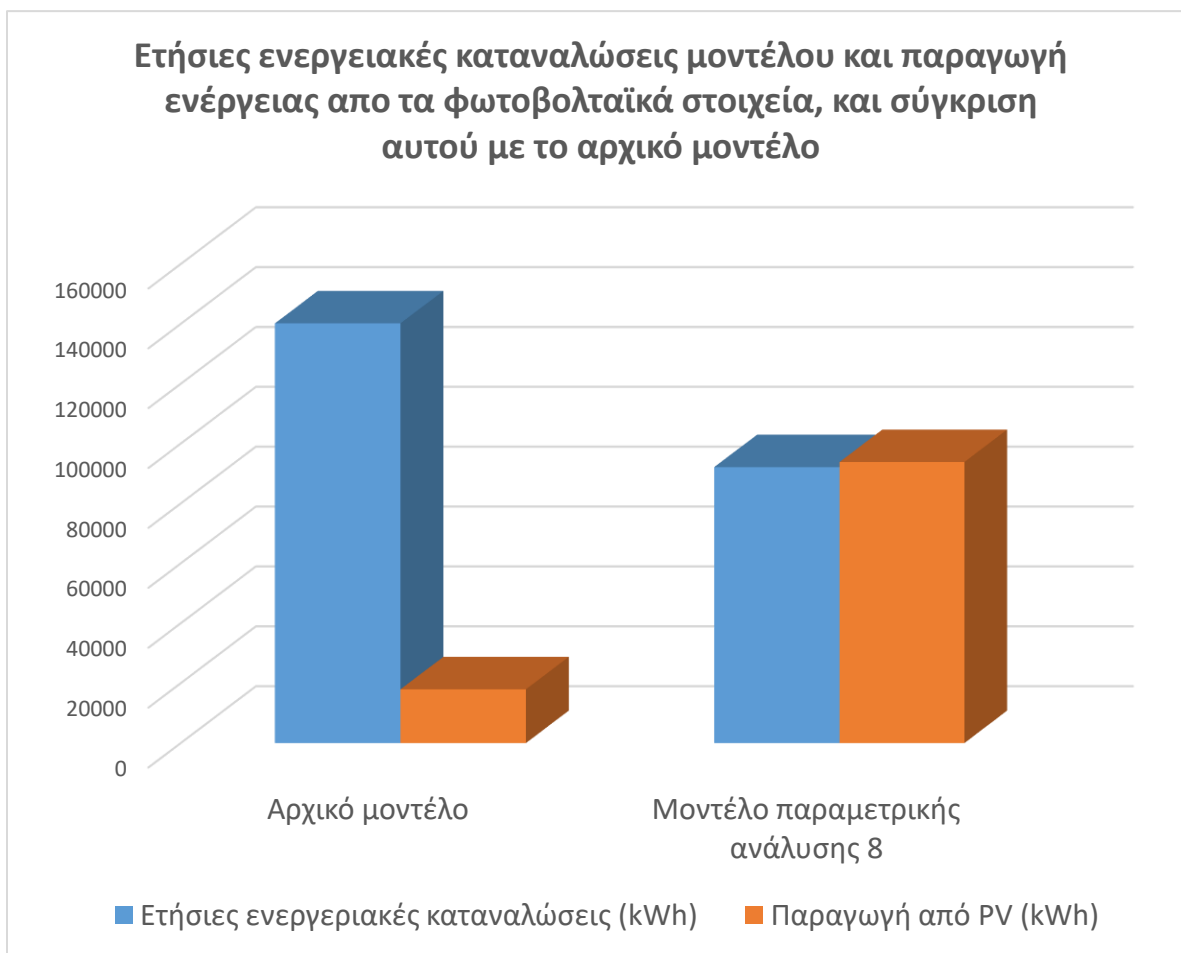
Επομένως για την κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του μοντέλου όπου σύμφωνα με την παραμετρική μελέτη 6 ανέρχονται στις  $92.297 \text{ kWh}$ , απαιτούνται  $92.297/333,38 = 276,9 \text{ m}^2$  φωτοβολταϊκών πάνελ.

Στην τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών λήφθηκε υπόψη και η απαραίτητη απόσταση που πρέπει να έχουν μεταξύ τους τα φωτοβολταϊκά πάνελ, έτσι ώστε να μην προκύψουν τυχόν προβλήματα σκίασης, καθώς επίσης, να είναι εύκολα προσεγγίσιμα για σκοπούς επιδιόρθωσης και συντήρησης. Ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 9.23):



**Εικόνα 9.23 - Χωροθέτηση σειρών πάνελ [41]**

Με την επιλογή της βέλτιστης κλίσης τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων και τον υπολογισμό των απαιτούμενων τετραγωνικών μέτρων για την κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του μοντέλου, στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 9.24) παρουσιάζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου, καθώς και η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και η σύγκριση αυτού με το αρχικό μοντέλο.



**Εικόνα 9.24 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου και παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, και σύγκριση αυτού με το αρχικό μοντέλο**

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, καθώς και τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν στην ενότητα αυτή, παρατηρείται ότι με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων καθαρού εμβαδού 276,9 τετραγωνικών μέτρων (εμβαδόν οροφής ίσο με 600 τετραγωνικά μέτρα), καλύπτονται σχεδόν πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, καθώς οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες αυτού ανέρχονται στις 172 kWh. Το ποσό αυτό δεν είναι ίσο με την διαφορά της ετήσιας προαγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μείον την ετήσια απαιτούμενη ενέργεια του κτιρίου καθώς υπάρχουν απώλειες στην μετατροπή ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου τις παραμετρικής ανάλυσης 8 είναι ελάχιστα μειωμένες σε σχέση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 7, λόγω της σκίασης που δημιουργούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στην οροφή.

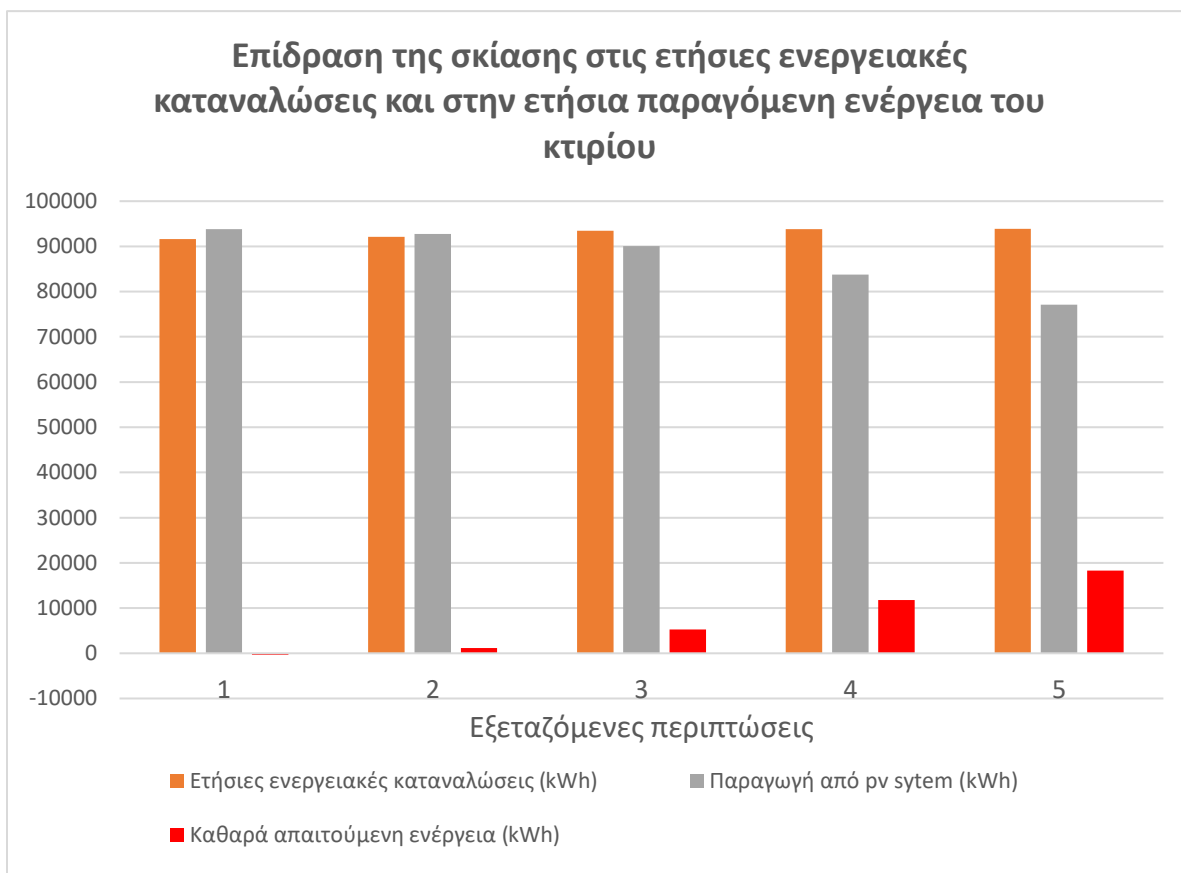
### 9.2.9 Παραμετρική μελέτη 9: Εξέταση της επίδρασης της σκίασης, η οποία μπορεί να προκληθεί από την δημιουργία γειτονικών κτιρίων, στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου και στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Στην τελευταία παραμετρική μελέτη, εξετάστηκε η επίδραση της σκίασης στις ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου και στην ετήσια παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, η οποία μπορεί να προκληθεί από την δημιουργία καινούργιων κτιρίων περιφερειακά του μοντέλου. Εξετάστηκαν οι περιπτώσεις δημιουργίας πολυώροφων κτιρίων στην νότια, βόρεια και ανατολική πλευρά του κτιρίου. Στην δυτική πλευρά του κτιρίου θα υπάρχει χώρος στάθμευσης επομένως δεν εξετάστηκε η δημιουργία κάποιου κτιρίου. Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 12), και τα αποτελέσματα στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικόνα 9.25).

**Πίνακας 12 - Εξεταζόμενες περιπτώσεις παραμετρικής μελέτης 9**

Εξεταζόμενες περιπτώσεις	Δημιουργία κτιρίων (αριθμός ορόφων)			Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις (kWh)	Παραγωγή από PV (kWh)	Καθαρά απαιτούμενη ενέργεια (kWh)
	Νότια	Βόρεια	Ανατολικά			
1	2	2	2	91.639	93.822,22	-306(PEB)
2	3	3	3	92.078	92.775	1.158
3	4	4	4	93.481	90.038,89	5.242
4	5	5	5	93.842	83.747,22	11.769
5	6	6	6	93.883	77.102,78	18.322





**Εικόνα 9.25 - Επίδραση της σκίασης στις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις και στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια του κτιρίου**

Παρατηρείται ότι με την αύξηση του ύψους των κτιρίων που γειτνιάζουν με το εξεταζόμενο κτίριο, η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μειώνεται, κάτι το οποίο αναμενόταν καθώς μειώνεται η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης παρατηρείται μια μικρή αύξηση τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις του μοντέλου, καθώς παρά τα θερμικά οφέλη λόγω της σκίασης που προσφέρουν τα γειτνιάζοντα κτίρια, ελαχιστοποιούνται τα θερμικά κέρδη όπου οφείλονται στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, μιας και το κτίριο δέχεται ηλιακή ακτινοβολία κυρίως από την δυτική του μεριά.

## 10. Συμπεράσματα – Μελλοντική εργασία

### 10.1 Συμπεράσματα

Ο κτιριακός τομέας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το 43% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα απαιτείται να συμβάλει στο μέγιστο δυνατό στην εξοικονόμηση ενέργειας και πρέπει να γίνει κατανοητό από όλους ότι η πράσινη κατεύθυνση αποτελεί πλέον μονόδρομο για τον τομέα των ακινήτων στη χώρα μας. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον κτιριακό τομέα αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο σχεδιασμός ενός διώροφου κτιρίου γραφείων μέσω του λογισμικού SketchUp Make 2017 και η ενεργειακή μελέτη αυτού με χρήση του λογισμικού EnergyPlus μέσω του OpenStudio plug-in, έτσι ώστε να μελετηθεί κατά πόσο ένα τέτοιο νεόδμητο κτίριο στην πανεπιστημιακή κοινότητα του Ε.Μ.Π, στην περιοχή Ζωγράφου, στην Αθήνα ακολουθεί τις πρότυπες ενεργειακές καταναλώσεις ενός πρότυπου παθητικού κτιρίου, και κατά πόσο μπορεί να χαρακτηριστεί ως NZEB ή ακόμη και ως PEB.

Εξετάστηκαν οι ενεργειακές καταναλώσεις του αρχικού μοντέλου που είχε σχεδιαστεί, και μέσω των παραμετρικών μελετών εξετάστηκαν οι καταναλώσεις ενέργειας για διαφορετικά πάχη μόνωσης των τοίχων, πάχη μόνωσης της οροφής, διαφορετικού τύπου-είδους υαλοπίνακες, διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού και για διαφορετικό προσανατολισμό κτιρίου. Τέλος πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον υπολογισμό του κατάλληλου αριθμού φωτοβολταϊκών στοιχείων που απαιτείται έτσι ώστε το κτίριο να καλύπτει σχεδόν πλήρως τις ενεργειακές του καταναλώσεις, καθώς και η επίδραση της σκίασης η οποία μπορεί να προκληθεί από την δημιουργία καινούργιων κτιρίων περιφερειακά του μοντέλου.

Με την ολοκλήρωση των παραμετρικών μελετών, οι ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις της βέλτιστης ενεργειακά επιλογής προκύπτουν ίσες με 92.297 kWh, ενώ η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ίση με 93.822,22 kWh. Οι ανάγκες ψύξης ανέρχονται στις 11,9 kWh/m<sup>2</sup> και οι ανάγκες θέρμανσης στις 5,2 kWh/m<sup>2</sup>. Αποτελέσματα τα οποία εμπίπτουν στις προδιαγραφές που απαιτούνται για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως παθητικό, μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (NZEB) και συγκεκριμένα ως Net Zero Site Energy.

Εν κατακλείδι, με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας προκύπτει ότι μέσα από ένα σωστό σχεδιασμό και προσεκτική επιλογή υλικών και συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν στο κτίριο, είναι εφικτή η δημιουργία ενός κτιρίου NZEB. Όσο αφορά την εξέλιξη του κτιρίου αυτού σε κτίριο θετικού ενεργειακού ισοζυγίου (PEB) αξίζει να πραγματοποιηθεί μελέτη περισσότερο σε επίπεδο γειτονιάς (κτίρια που συνδέονται μεταξύ τους και αλληλοκαλύπτουν τις ενεργειακές καταναλώσεις τους) και όχι τόσο σε επίπεδο

μονάδας. Οι κυβερνήσεις όλων των κρατών έχουν αντιληφθεί το πρόβλημα και σε συνδυασμό με την ενεργειακή φτώχεια και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής όπου άρχισαν να γίνονται εντονότερες, έχουν αρχίσει να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για ένα πιο “πράσινο” μέλλον με μηδαμινό αποτύπωμα στο περιβάλλον.

## 10.2 Μελλοντική εργασία

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ένα πρώτο βήμα για να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι εφικτή η δημιουργία ενός κτιρίου μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης ή ακόμη και θετικού ενεργειακού ισοζυγίου με ρεαλιστικά υλικά και συστήματα. Προκειμένου να διαφανεί ακόμη περισσότερο αυτή η ρεαλιστικότητα είναι σημαντικό να διεξαχθεί και η οικονομοτεχνική μελέτη που διέπει το υπό μελέτη έργο, δηλαδή, του κύκλου ζωής του κτιρίου.

Επίσης λόγω του ότι η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μια διπλωματική εργασία η οποία ασχολείται με αρκετές παραμέτρους (υλικά, μονώσεις, υαλοπίνακες, συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, φωτοβολταϊκά στοιχεία κ.λπ.) θα παρουσίαζε μεγάλο ενδιαφέρον η μελέτη κάθε μιας παραμέτρου, ως ξεχωριστή διπλωματική εργασία και η σύνδεση αυτών στο τέλος, με στόχο την εύρεση της βέλτιστης επιλογής (λιγότερες ενεργειακές καταναλώσεις, χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, οικονομικά βιώσιμη κ.λπ.).

## 11. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 – Χώροι ισογείου.....	65
Πίνακας 2 – Χώροι Ορόφου .....	65
Πίνακας 3 – Θερμικές ζώνες κτιρίου.....	67
Πίνακας 4 - OpenStudio Results - Model Summary.....	134
Πίνακας 5 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου.....	135
Πίνακας 6 - Δεδομένα μοντέλων στα οποία πραγματοποιείται ενεργειακή προσομοίωση .....	142
Πίνακας 7 - Χαρακτηριστικά διπλών υαλοπινάκων.....	144
Πίνακας 8 - Χαρακτηριστικά τριπλών υαλοπινάκων .....	145
Πίνακας 9 - Υπολογισμός μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο ( <b>HT</b> ) .....	155
Πίνακας 10 - Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ.....	156
Πίνακας 11 - Υπολογισμός μέσης ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ .....	157
Πίνακας 12 - Εξεταζόμενες περιπτώσεις παραμετρικής μελέτης 9.....	160

## 12. Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 - Διάγραμμα ροής εργασιών για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας..	15
Εικόνα 2.1 - Ατμοσφαιρικά επίπεδα CO <sub>2</sub> τα τελευταία χρόνια [6] .....	17
Εικόνα 2.2 - Επίπεδα CO <sub>2</sub> κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων παγετώνων κύκλων της Γης [6] .....	18
Εικόνα 2.3 - Παγκόσμια ποσότητα CO <sub>2</sub> το 2002 [6] .....	18
Εικόνα 2.4 - Παγκόσμια ποσότητα CO <sub>2</sub> το 2022 [6] .....	19
Εικόνα 2.5 - Μεταβολή της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας [7] .....	19
Εικόνα 2.6 - Μεταβολή θερμοκρασίας 1984 - 2021 [7] .....	20
Εικόνα 2.7 - Αλλαγή στην παγκόσμια στάθμη της θάλασσας από το 1993 [8] .....	21
Εικόνα 2.8 - Αλλαγή στην παγκόσμια στάθμη της θάλασσας από το 1900 [8] .....	21
Εικόνα 2.9 - Συμβολή στην μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του πλανήτη από διαφορετικές εκπομπές με κυρίαρχο ρόλο το CO <sub>2</sub> [12] .....	25
Εικόνα 2.10 - Μελλοντική μεταβολή των εκπομπών του CO <sub>2</sub> [12] .....	26
Εικόνα 2.11 - Επίσημοι ορισμοί για την ενεργειακή φτώχεια στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης [13] .....	28
Εικόνα 3.1 - Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, 2018 [14] .....	30
Εικόνα 3.2 - Κατανομή τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα, 2018 [14] .....	30
Εικόνα 3.3 - Δείκτης αυτάρκειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα [14] .....	32
Εικόνα 3.4 - Βαθμός ενεργειακής εξάρτησης της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης [14] .....	32
Εικόνα 3.5 - Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και δείκτης έντασης εκπομπών στην Ελλάδα, 1990-2018 [14] .....	33
Εικόνα 3.6 - Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα ανά τομέα, 1990-2018 [14] .....	34
Εικόνα 3.7 - Εξέλιξη εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα στην Ελλάδα [14] .....	35
Εικόνα 3.8 - Μεριδίδια του κλάδου Ενέργειας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ-27, 2018 [14] .....	35
Εικόνα 3.9 - Ποσοτικοί στόχοι του Εθνικού Σχεδίου για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [14] .....	37
Εικόνα 3.10 - Ποσοτικοί στόχοι του Εθνικού Σχεδίου για τις ΑΠΕ [14] .....	38
Εικόνα 4.1 - Παθητικό κτίριο – Πέντε βασικές αρχές [15] .....	40
Εικόνα 4.2 - Διαρροή αέρα από διαφορετικά μέρη του κτιριακού κελύφους [18] .....	43
Εικόνα 4.3 - Δημιουργία υγρασίας στο κτιριακό κέλυφος [18] .....	44
Εικόνα 4.4 - Σημείο εμφάνισης θερμογέφυρας [20] .....	44
Εικόνα 4.5 - Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας [22] .....	46
Εικόνα 5.1 - Σύστημα HVAC ενιαίας ζώνης αέρα-αέρα, με ένα χωριστό διαχειριστή αέρα, ένα λέβητα και μία ψυκτική μονάδα [27] .....	51
Εικόνα 5.2 - Σύστημα VAV [27] .....	52
Εικόνα 5.3 - Σύστημα διπλού αγωγού [27] .....	53
Εικόνα 5.4 - Συγκεντρωμένο σύστημα αέρα με αναθέρμανση [27] .....	54

Εικόνα 5.5 - Πολυζωνικό σύστημα σταθερού όγκου [27] .....	55
Εικόνα 5.6 - Σύστημα fan-coil νερού αέρα [27] .....	56
Εικόνα 5.7 - Αντλία θερμότητας πηγής νερού [27].....	57
Εικόνα 5.8 - Αντλία θερμότητας – Αρχή λειτουργίας [28] .....	60
Εικόνα 5.9 – Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα [29].....	61
Εικόνα 5.10 – Αντλία θερμότητας νερού-αέρα [29] .....	62
Εικόνα 5.11 -Αντλία θερμότητας νερού-νερού [29] .....	63
Εικόνα 6.1 - Κάτοψη ισογείου .....	66
Εικόνα 6.2 - Κάτοψη ορόφου .....	66
Εικόνα 7.1 - Σχηματική απεικόνιση του λογισμικού EP από την κατασκευάστρια εταιρεία [31] .....	70
Εικόνα 8.1 - Παράθυρο έναρξης SketchUp .....	73
Εικόνα 8.2 - Γραφικό περιβάλλον SketchUp .....	74
Εικόνα 8.3 - Παράθυρο επιλογής γραμμών εργαλείων .....	74
Εικόνα 8.4 - Εντολή New OpenStudio Model From Wizard .....	75
Εικόνα 8.5 - Κάτοψη Ισογείου .....	76
Εικόνα 8.6 - Εντολή Create Spaces From Diagram .....	77
Εικόνα 8.7 - Τρισδιάστατη μορφή ισογείου .....	77
Εικόνα 8.8 - Επιλογή χώρου με διπλό κλικ .....	79
Εικόνα 8.9 - Εκτέλεση εντολής Hide Rest of Model .....	79
Εικόνα 8.10 - Χρήση του εργαλείου Tape Measure Tool.....	80
Εικόνα 8.11 - Δημιουργία εξωτερικής πόρτας .....	80
Εικόνα 8.12 - Δημιουργία εξωτερικού παραθύρου .....	81
Εικόνα 8.13 - Εκτέλεση της εντολής Section Plane.....	82
Εικόνα 8.14 - Δημιουργία εσωτερικής πόρτας .....	82
Εικόνα 8.15 - Δημιουργία εσωτερικού παραθύρου .....	83
Εικόνα 8.16 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία ισογείου εξωτερικά.....	83
Εικόνα 8.17 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία ισογείου εσωτερικά .....	84
Εικόνα 8.18 - Κάτοψη ορόφου .....	85
Εικόνα 8.19 - Εκτέλεση της εντολής Create Spaces from Diagram.....	85
Εικόνα 8.20 - Μετακίνηση ορόφου μέσω του εργαλείου Move .....	86
Εικόνα 8.21 - Τοποθέτηση ορόφου πάνω από το ισόγειο.....	86
Εικόνα 8.22 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία κτιρίου εξωτερικά .....	87
Εικόνα 8.23 - Ολοκληρωμένη γεωμετρία κτιρίου εσωτερικά .....	87
Εικόνα 8.24 - Παράθυρο εντολής Surface Matching .....	88
Εικόνα 8.25 - Render By Boundary Condition μετά την εκτέλεση της εντολής Surface Matching.....	89
Εικόνα 8.26 - Εργαλείο Inspector .....	90
Εικόνα 8.27 - Επιλογή χώρου 113 όπου ανήκει η επιφάνεια 96.....	90
Εικόνα 8.28 - Επιλογή του χώρου 119 όπου ανήκει ταυτόχρονα η επιφάνεια 96.....	91

Εικόνα 8.29 - Ολοκλήρωση διαδικασίας Surface Matching χειροκίνητα μέσω του Inspector .....	91
Εικόνα 8.30 - Εντολή Set Attributes for Selected Spaces .....	92
Εικόνα 8.31 - Render By Building Story .....	94
Εικόνα 8.32 - Render By Construction .....	94
Εικόνα 8.33 - Render By Space Type - Ισόγειο .....	95
Εικόνα 8.34 - Render By Space Type - Όροφος .....	95
Εικόνα 8.35 - Render By Thermal Zone - Ισόγειο .....	96
Εικόνα 8.36 - Render By Thermal Zone - Όροφος .....	96
Εικόνα 8.37 - Εκτέλεση της εντολής New Shading Surface Group .....	97
Εικόνα 8.38 - Σχεδιασμός Shading Surface .....	98
Εικόνα 8.39 - Περιστροφή Shading Surface μέσω του εργαλείου Rotate .....	98
Εικόνα 8.40 - Διαδρομή για εκτέλεση της εντολής Add Photovoltaics .....	99
Εικόνα 8.41 - Ορισμός παραμέτρων κατά την εκτέλεση της εντολής Add Photovoltaics..	100
Εικόνα 8.42 - Ολοκλήρωση σχεδιασμού του φωτοβολταϊκού .....	100
Εικόνα 8.43 - Ολοκληρωμένη μορφή κτιρίου .....	101
Εικόνα 8.44 - Εντολή Surface Search.....	102
Εικόνα 8.45 - Αποτέλεσμα εκτέλεσης της εντολής Search Entire Model (Only Show Non-Convex Surfaces) .....	102
Εικόνα 8.46 - Επιλογή επιφάνειας για διόρθωση .....	103
Εικόνα 8.47 - Χρήση του εργαλείου Lines του SketchUp.....	103
Εικόνα 8.48 - Ολοκλήρωση του ελέγχου για Non-Convex Surfaces .....	104
Εικόνα 8.49 - Site Tab .....	106
Εικόνα 8.50 - Schedules Tab – Υπό-καρτέλα Schedule Sets.....	107
Εικόνα 8.51 - Schedule Tab Υπό-καρτέλα Schedules .....	108
Εικόνα 8.52 - Constructions Tab Υπό-καρτέλα Constructions Sets.....	109
Εικόνα 8.53 - Constructions Tab Υπό-καρτέλα Constructions .....	109
Εικόνα 8.54 - Constructions Tab Υπό-καρτέλα Materials .....	110
Εικόνα 8.55 - BCL - Building Component Library.....	110
Εικόνα 8.56 - Υπό-καρτέλα Materials - My Brick .....	111
Εικόνα 8.57 - Υπό-καρτέλα Materials - My Cement Mortar .....	112
Εικόνα 8.58 - Υπό-καρτέλα Materials - My Roof Insulation.....	112
Εικόνα 8.59 - Υπό-καρτέλα Materials - My Wall Insulation .....	113
Εικόνα 8.60 - Υπό-καρτέλα Constructions - My ExtRoof.....	114
Εικόνα 8.61 - Υπό-καρτέλα Constructions - My ExtWall .....	114
Εικόνα 8.62 - Υπό-καρτέλα Constructions - My floor-ground.....	115
Εικόνα 8.63 - Loads Tab.....	116
Εικόνα 8.64 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα General .....	117
Εικόνα 8.65 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα Loads.....	117
Εικόνα 8.66 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα Measures Tags .....	118
Εικόνα 8.67 - Space Types Tab - Υπό-καρτέλα Custom.....	118

Εικόνα 8.68 - Geometry Tab – Υπό-καρτέλα 3D View .....	119
Εικόνα 8.69 - Facility Tab – Υπό-καρτέλα Building.....	120
Εικόνα 8.70 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Properties .....	121
Εικόνα 8.71 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Loads.....	122
Εικόνα 8.72 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Surfaces .....	122
Εικόνα 8.73 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Subsurfaces .....	123
Εικόνα 8.74 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Interior Partitions .....	123
Εικόνα 8.75 - Spaces Tab - Υπό-καρτέλα Shading .....	124
Εικόνα 8.76 - Thermal Zones Tab .....	125
Εικόνα 8.77 - HVAC Systems Tab.....	126
Εικόνα 8.78 - HVAC Systems Tab – Add new HVAC System.....	126
Εικόνα 8.79 - Εκτέλεση της εντολής Add HVAC System.....	127
Εικόνα 8.80 - Add Thermal Zones μέσω του Air Loop HVAC Mixer 1 .....	128
Εικόνα 8.81 - Output Variables Tab.....	129
Εικόνα 8.82 - Simulation Settings Tab.....	130
Εικόνα 8.83 - Measures Tab .....	131
Εικόνα 8.84 - BCL - Building Component Library – Find Measures .....	131
Εικόνα 8.85 - Run Simulation Tab .....	132
Εικόνα 8.86 - Results Summary Tab – EnergyPlus results.....	133
Εικόνα 8.87 - Results Summary Tab – OpenStudio results .....	133
Εικόνα 9.1 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου .....	135
Εικόνα 9.2 - Μέγιστη μηνιαία ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου .....	136
Εικόνα 9.3 - Μηνιαία ολικά θερμικά κέρδη κτιρίου .....	137
Εικόνα 9.4 - Μηνιαίες ολικές θερμικές απώλειες κτιρίου .....	137
Εικόνα 9.5 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως εξωτερικών τοίχων.....	139
Εικόνα 9.6 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως εξωτερικών τοίχων.....	139
Εικόνα 9.7 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως της οροφής.....	140
Εικόνα 9.8 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικές τιμές πάχους μονώσεως της οροφής.....	141
Εικόνα 9.9 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 3.....	142
Εικόνα 9.10 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 3 .....	143
Εικόνα 9.11 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου διπλών υαλοπινάκων .....	144
Εικόνα 9.12 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου διπλών υαλοπινάκων.....	145



Εικόνα 9.13 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου τριπλών υαλοπινάκων .....	146
Εικόνα 9.14 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου για διαφορετικού τύπου τριπλών υαλοπινάκων.....	146
Εικόνα 9.15 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 4.....	147
Εικόνα 9.16 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με το μοντέλο της παραμετρικής ανάλυσης 4 .....	148
Εικόνα 9.17 - Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού .....	149
Εικόνα 9.18 - Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις θέρμανσης για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού .....	150
Εικόνα 9.19 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις για διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού .....	150
Εικόνα 9.20 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με VAV DX.....	151
Εικόνα 9.21 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις συστήματος θέρμανσης και κλιματισμού αρχικού μοντέλου σε σύγκριση με VAV DX .....	152
Εικόνα 9.22 - Μηνιαίες ολικές ενεργειακές καταναλώσεις για διαφορετικό προσανατολισμό του κτιρίου .....	153
Εικόνα 9.23 - Χωροθέτηση σειρών πάνελ [41] .....	158
Εικόνα 9.24 - Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις μοντέλου και παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, και σύγκριση αυτού με το αρχικό μοντέλο .....	159
Εικόνα 9.25 - Επίδραση της σκίασης στις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις και στην ετήσια παραγόμενη ενέργεια του κτιρίου .....	161

## 13. Αναφορές

- [1] «Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/greece\\_el\\_version\\_2017.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/greece_el_version_2017.pdf).
- [2] «Πόσο ενεργοβόρα είναι τα κτίρια στην Ελλάδα.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.capital.gr/oikonomia/3623934/poso-energobora-einai-ta-ktiria-stin-ellada>.
- [3] «Understanding and attributing climate change Coordinating Lead Authors: Gabriele C. Hegerl (USA, Germany), Francis W. Zwiers (Canada) Lead Authors:Contributing Authors.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [file:///C:/Users/neofy/Downloads/Understanding\\_and\\_attributing\\_climate\\_ch%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/neofy/Downloads/Understanding_and_attributing_climate_ch%20(1).pdf).
- [4] «Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος - Κλιματική αλλαγή.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>.
- [5] «Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Συνέπειες κλιματικής αλλαγής.» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/climate-change/consequences-climate-change\\_el](https://ec.europa.eu/clima/climate-change/consequences-climate-change_el).
- [6] «Global Climate Change - Vital Signs of the Planet - Carbon Dioxide.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>.
- [7] «GLOBAL CLIMATE CHANGE - Vital Signs of the Planet - Global Temperature.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>.
- [8] «GLOBAL CLIMATE CHANGE Vital Signs of the Planet - Sea Level.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>.
- [9] «Bringing the Urban World to the peace and sustainability track.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://talkofthecities.iclei.org/>.
- [10] «How War Impacts Climate Change and the Environment.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.globalcitizen.org/en/>.
- [11] «Η πανδημία, η κλιματική αλλαγή και η μεγάλη ευκαιρία.» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.greenpeace.org/greece/issues/klima/14707/i-pandimia-i-klimatiki-allagi-kai-i-megali-eykairia/>.

- [12] «Εκθεση ΟΗΕ για το κλίμα: Τα πέντε σενάρια για το μέλλον του πλανήτη,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.huffingtonpost.gr/entry/ekthese-oee-gia-to-klima-ta-pente-senaria-gia-to-mellon-toe-planete\\_gr\\_61114fc2e4b034426d4e2a41](https://www.huffingtonpost.gr/entry/ekthese-oee-gia-to-klima-ta-pente-senaria-gia-to-mellon-toe-planete_gr_61114fc2e4b034426d4e2a41).
- [13] «ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΦΤΩΧΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://gr.boell.org/sites/default/files/2020-12/BOLL\\_POVERTY2\\_WEB.pdf](https://gr.boell.org/sites/default/files/2020-12/BOLL_POVERTY2_WEB.pdf).
- [14] «Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, Προοπτικές και Προκλήσεις,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://iobe.gr/docs/research/RES\\_05\\_25042021\\_REP\\_GR.pdf](http://iobe.gr/docs/research/RES_05_25042021_REP_GR.pdf).
- [15] «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eipak.org/pathitiko-ktirio-passive-house/ti-einai>.
- [16] «ΜΟΝΟΤΙΚΑ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.monoseis-monotica.gr/monoseis-sektiria/eksoteriki-thermomonomosi/>.
- [17] «ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - Ενεργειακή προσομοίωση θερμοχρωμικών και ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων σε κτίριο γραφείων με μεγάλη εξωτερική γυάλινη επιφάνεια - Δέτση Μιχαέλα Παναγιώτα,» [Ηλεκτρονικό].
- [18] «PASSIPEDIA - The Passive House Resource,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://passipedia.org/planning/airtight\\_construction](https://passipedia.org/planning/airtight_construction).
- [19] «PASSIPEDIA - The Passive House Resource,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://passipedia.org/planning/airtight\\_construction/general\\_principles/blower\\_door\\_test](https://passipedia.org/planning/airtight_construction/general_principles/blower_door_test).
- [20] «PASSIPEDIA - The Passive House Resource,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://passipedia.org/basics/building\\_physics\\_-\\_basics/thermal\\_bridges/thermal\\_bridge\\_definition](https://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/thermal_bridges/thermal_bridge_definition).
- [21] «Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.smhbe.gr/images/downloads/Files/Thermogefyres%20%2825-01-2011%29.pdf>.
- [22] «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eipak.org/ventilationguide>.
- [23] «Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition Conference Paper NREL/CP-550-39833,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>.
- [24] «ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ktirio.gr/el/>.

- [25] «What about Positive Energy Buildings? A new book highlights concepts, challenges and opportunities,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/what-about-positive-energy-buildings-new-book-highlights-concepts-challenges-and>.
- [26] «ELSEVIER - From nearly zero energy buildings (NZEB) to positive energy buildings (PEB): The next challenge - The most recent European trends with some notes on the energy analysis of a forerunner PEB example,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165920300156>.
- [27] «ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΟΔΗΓΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ HVAC,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.cres.gr/cres/files/xrisima/ekdoseis/ekdoseis\\_GR22.pdf](http://www.cres.gr/cres/files/xrisima/ekdoseis/ekdoseis_GR22.pdf).
- [28] «HEATMAX - HEAT PUMP,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.heatmax.gr/antlies-thermotitas/>.
- [29] «ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - Υπολογιστική μελέτη μοντέλου κτιρίου - γραφείου nZEB με την χρήση του προγράμματος EnergyPlus - ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΡΑΠΤΗΣ,» [Ηλεκτρονικό].
- [30] «CHAPTER 18 - NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS - ASHRAE HANDBOOK,» [Ηλεκτρονικό].
- [31] «Engineering Reference - U.S. Department of Energy,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://energyplus.net/assets/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v22.1.0/EngineeringReference.pdf](https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.1.0/EngineeringReference.pdf).
- [32] «bigladder software,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-2/getting-started/what-is-energyplus.html>.
- [33] «Trimble - SketchUp,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sketchup.com/>.
- [34] «OpenStudio,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://openstudio.net/>.
- [35] «EnergyPlus - Weather Data,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energyplus.net/weather>.

- [36] «Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 - ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-3rd%20edition.pdf>.
- [37] «Building Component Library,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://bcl.nrel.gov/> .
- [38] « TOTEE-20701-2-Final-TEE,» [Ηλεκτρονικό].
- [39] «Διαλέξεις προπτυχιακού μαθήματος "Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων" , Χρήστος Τζιβανίδης - Καθηγητής ΕΜΠ, 2022,» [Ηλεκτρονικό].
- [40] «Panasonic - Photovoltaic module HIT® VBHN245SJ25 / VBHN240SJ25,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.kewsolar.co.uk/datasheets/VBHN240\\_245SJ25\\_PEWEU\\_EN.pdf](http://www.kewsolar.co.uk/datasheets/VBHN240_245SJ25_PEWEU_EN.pdf).
- [41] «TEE - Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika\\_ergwn.pdf](http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika_ergwn.pdf).