

ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Σχεδιασμός και Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίου Σύνθετης Γεωμετρίας

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Τζιβανίδης Χρήστος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις βαθιές ευχαριστίες μου στον Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ κύριο Χρήστο Τζιβανίδη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναλάβω ένα θέμα τόσο ενδιαφέρον και για την στήριξη και καθοδήγησή που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου για την υπομονή και την στήριξή τους καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου και φυσικά τους συμφοιτητές μου που με στήριζαν και με ενέπνεαν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στην οικογένειά μου και στην κοπέλα μου για την στήριξη και το αμέριστο ενδιαφέρον που έδειχναν όλα τα χρόνια της φοίτησής 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.

Παναγιωτόπουλος Παναγιώτης

Περιεχόμενα

1.	Κλιματική αλλαγή – Ενέργεια – Κτίρια.....	8
1.1	Κλιματική αλλαγή.....	8
1.1.1	Αίτια.....	8
1.1.2	Αποτελέσματα.....	10
1.2	Κατανάλωση ενέργειας.....	11
1.2.1	Παγκοσμίως.....	11
1.2.2	Ευρώπη.....	13
1.2.3	Ελλάδα.....	18
1.3	Στόχοι και πολιτικές για την ενεργειακή κατανάλωση και το περιβάλλον 25	
1.3.1	Ευρωπαϊκή Ένωση.....	25
1.3.2	Ελλάδα.....	25
2.	Στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα.....	28
2.1	Στοιχεία Βιοκλιματικού Σχεδιασμού.....	28
2.2	Ηλιακή ακτινοβολία.....	29
2.3	Θερμικά Ηλιακά Συστήματα.....	30
2.4	Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	31
3.	Ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων.....	33
3.1	Μέθοδοι απλοποίησης, χρόνος ανάλυσης, και ακρίβεια αποτελεσμάτων 33	
3.2	Σύνθετη γεωμετρία στη σύγχρονη αρχιτεκτονική.....	35
4.	Εργαλεία σχεδίασης και προγράμματα προσομοίωσης.....	38
4.1	Rhinoceros 3D.....	38
4.2	Grasshopper.....	38
4.3	Ladybug Tools.....	38
4.4	Ladybug.....	39
4.5	Honeybee.....	40
4.6	OpenStudio.....	41
4.7	EnergyPlus.....	41
5.	Σχεδίαση γεωμετρίας κτιρίου – Rhinoceros 3D.....	42
5.1	Δισδιάστατη Σχεδίαση.....	42
5.1.1	Σχεδίαση κάτοψης ισογείου.....	42
5.1.2	Σχεδίαση κάτοψης πρώτου, δευτέρου, τρίτου ορόφου.....	43
5.2	Τρισδιάστατο μοντέλο.....	44
6.	Ενεργειακή μοντελοποίηση – Grasshopper 3D.....	56
6.1	Επεξεργασία της γεωμετρίας.....	56
6.1.1	Μεταφορά θερμικών ζωνών σύνθετης γεωμετρίας.....	56
6.1.2	Μεταφορά θερμικών ζωνών επίπεδης γεωμετρίας.....	61
6.1.3	Επεξεργασία των Honeybee Rooms.....	63
6.2	Κλιματικά δεδομένα.....	69
6.3	Θερμικά φορτία και χρονοδιαγράμματα.....	69

6.4	Υλικά κατασκευής.....	75
6.5	HVAC.....	83
6.5.1	HB Ideal Air-Υπολογισμός θερμικών φορτίων	83
6.5.2	VAV chiller with gas boiler reheat	85
6.5.3	Παραλλαγές συστήματος HVAC.....	88
6.6	Ηλιοθερμικό σύστημα για παροχή Ζ.Ν.Χ.	90
7.	Ενεργειακή προσομοίωση.....	93
7.1	Αποτελέσματα	93
7.1.1	Ideal Air Loads	93
7.1.2	VAV chiller with gas boiler reheat	95
7.1.3	Παραμετρική μελέτη προσανατολισμού	99
7.1.4	Παραμετρική μελέτη περιοχής και κλιματικών δεδομένων.....	102
7.1.5	Παραμετρική μελέτη συστημάτων HVAC	106
7.1.6	Μελέτη απλοποίησης της σύνθετης γεωμετρίας	109
8.	Συμπεράσματα – Μελλοντικές προτάσεις για έρευνα	112
8.1	Συμπεράσματα	112
8.2	Μελλοντικές προτάσεις.....	113
9.	Κατάλογος Πινάκων	114
10.	Κατάλογος Σχημάτων	115
11.	Κατάλογος Αναφορών	119

Περίληψη

Τα παγκόσμια προβλήματα της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής κρίσης έχουν οδηγήσει κυβερνήσεις και διεθνείς φορείς στη λήψη μέτρων και στη χάραξη στρατηγικής για την αντιμετώπισή τους. Ένας από τους πιο ενεργοβόρους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι τα κτίρια τα οποία αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 30% της κατανάλωσης ενέργειας στη Ευρώπη. Για τον λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένοι βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι στόχοι, σε ευρωπαϊκό αλλά και εγχώριο επίπεδο, για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Οι παραπάνω εξελίξεις συνέβαλαν στη ραγδαία ανάπτυξη των εργαλείων σχεδιασμού και ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων με σκοπό την βελτιστοποίηση του ενεργειακού τους σχεδιασμού. Ωστόσο, η ενεργειακή μοντελοποίηση εμφανίζει πληθώρα προκλήσεων, μια από τις οποίες είναι η μελέτη της σύνθετης γεωμετρίας που συναντάται όλο και πιο συχνά στη σύγχρονη αρχιτεκτονική. Το αντικείμενο της μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η σχεδίαση και η ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίου γραφείων σύνθετης γεωμετρίας, με στόχο την ανάλυση των ενεργειακών του απαιτήσεων. Το σχεδιαστικό πρόγραμμα Rhinoceros 3D που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό του κτιρίου κάνει χρήση του μαθηματικού μοντέλου NURBS γεγονός που το καθιστά ιδανικό για την απεικόνιση των κυρτών επιφανειών. Η ενεργειακή μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον της οπτικής προγραμματιστικής γλώσσας Grasshopper όπου χρησιμοποιήθηκαν τα Ladybug Tools και πιο συγκεκριμένα οι επεκτάσεις Honeybee και Ladybug για τη δημιουργία παραμετρικού διαγράμματος. Τα Ladybug Tools παρέχουν τη δυνατότητα ευκολότερης διαχείρισης της σύνθετης γεωμετρίας μέσω της δημιουργίας πλέγματος επίπεδων επιφανειών ώστε να είναι δυνατή η υλοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τα λογισμικά OpenStudio και EnergyPlus. Κατά την μοντελοποίηση εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών παραμέτρων όπως η χρήση διαφορετικών συστημάτων HVAC, η μεταβολή του προσανατολισμού του κτιρίου, καθώς και η μελέτη των κλιματικών δεδομένων διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών. Επιπλέον εξετάστηκε η επίπτωση της απλοποίησης της σύνθετης γεωμετρίας ως προς το σφάλμα των αποτελεσμάτων καθώς και η επίδρασή της στις χρονικές απαιτήσεις των υπολογισμών της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της εργασίας υποδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο διάφορες παράμετροι επηρεάζουν τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου, ενώ ταυτόχρονα περιγράφεται η ορθή σχεδιαστική προσέγγιση και διαχείριση σύνθετης γεωμετρίας αλλά και το εύρος του σφάλματος που προκύπτει από την απλοποίησή της.

Abstract

Climate change and the global energy crisis have led governments and international bodies to act and create strategies to minimize their negative impacts. Buildings are one of the most energy-intensive areas of human activity, representing more than 30% of the energy consumption in Europe. Thus, there have been established short-term and long-term goals, at a European and a domestic level, to save energy in buildings. All the above contributed to the rapid development of building design and energy simulation tools which are being used to optimize the energy planning of buildings. However, energy modeling faces a multitude of challenges, one of which is the study of complex geometry, which is increasingly common in modern architecture. The subject of the present diploma thesis is the design and energy modeling of an office building with complex geometry, with the aim of analyzing its energy requirements. The program Rhinoceros 3D which was used to design the building makes use of the mathematician NURBS model which makes it ideal for displaying curved surfaces. The energy modeling was materialized in the environment of the visual programming language Grasshopper, where the Ladybug Tools were used and more specifically the Honeybee and Ladybug extensions for creating a parametric diagram. Ladybug Tools can manage complex geometry through plane meshing surfaces so that it is possible to implement them into the simulation using the OpenStudio and EnergyPlus software. The effect of different parameters was studied during modeling, such as the use of different HVAC systems, the altering of the orientation of the building, as well as the result of using different climatic data for different geographical areas. In addition, the impact of the simplification of the complex geometry was studied in terms of the error of the results as well as its effect on the time required to complete the simulation calculations. The results of the study indicate how various parameters affect the energy consumption of the building, while simultaneously describing the correct design approach for complex geometry but also its margin of error resulting from its simplification.

1. Κλιματική αλλαγή – Ενέργεια – Κτίρια

1.1 Κλιματική αλλαγή

Ο όρος παγκόσμια υπερθέρμανση χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον αμερικανό επιστήμονα Wallace Brooker το 1975 ως τίτλος σε ένα επιστημονικό του δοκίμιο, ενώ ο όρος “κλιματική αλλαγή” άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Το 1988 ιδρύθηκε το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) , σκοπός του οποίου είναι η συγκέντρωση και η αξιολόγηση δεδομένων σχετικά με την κλιματική αλλαγή. [1]

Σύμφωνα με το IPCC, ως κλιματική αλλαγή ορίζεται μια αλλαγή στο κλίμα η οποία μπορεί να ταυτοποιηθεί μέσω μετρήσεων των αλλαγών των ιδιοτήτων του κλίματος. Οι αλλαγές αυτές πρέπει να αφορούν μία εκτεταμένη περίοδο, δεκαετίες ή και περισσότερο. [2]

Κάποιες άλλες πηγές συγκεκριμενοποιούν περισσότερο τον ορισμό, καταδεικνύοντας την σημασία της ανθρώπινης παρέμβασης σε αυτή την αλλαγή. Στην σύμβαση-πλαίσιο των Η.Ε. για την κλιματική αλλαγή, στο άρθρο 1, ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η αλλαγή στο κλίμα η οποία οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινη δραστηριότητα η οποία μεταβάλλει τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και η οποία είναι επιπρόσθετη στην φυσική κλιματική μεταβλητότητα που παρατηρείται. [3]

1.1.1 Αίτια

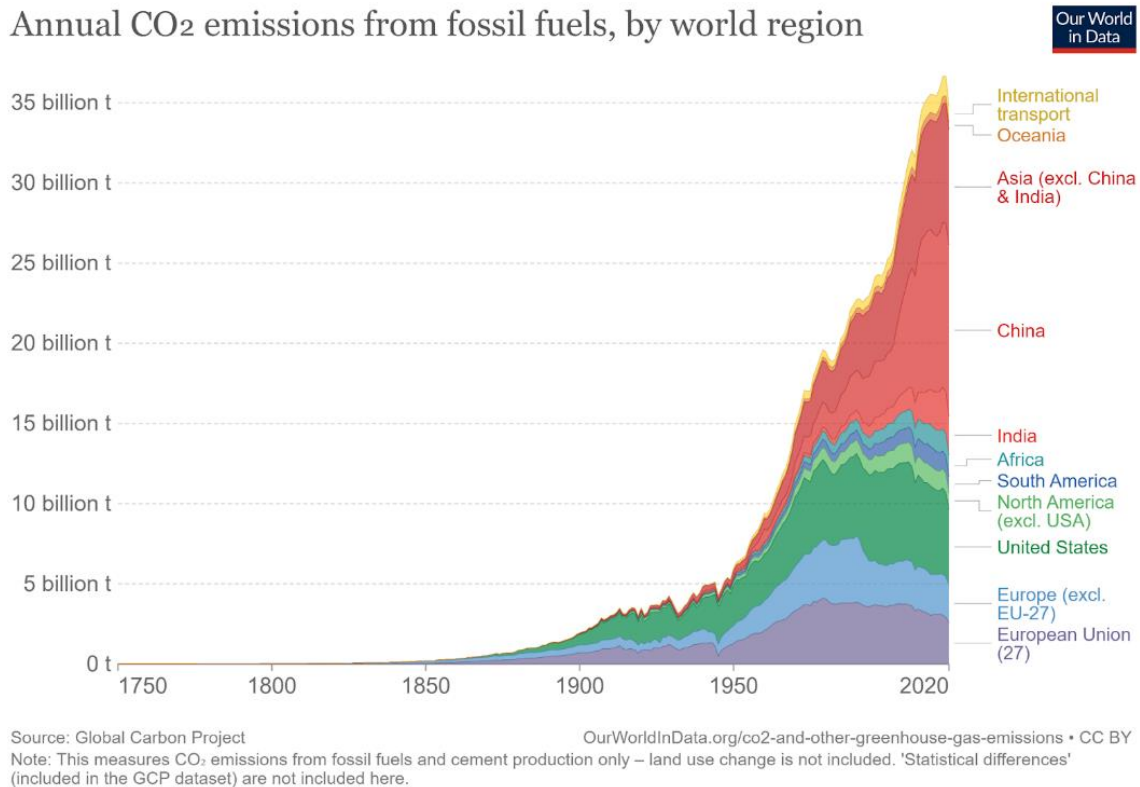
Η κλιματική αλλαγή οφείλεται σε έναν συνδυασμό παραγόντων, οι οποίοι είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και βρίσκονται κάτω από την ομπρέλα των κατηγοριών της υπερθέρμανσης του πλανήτη και του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ορισμένοι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες αναλύονται παρακάτω. [4]

1.1.1.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια από τις κυριότερες αιτίες της κλιματικής αλλαγής. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την ύπαρξη σημαντικών ποσοτήτων στην ατμόσφαιρα αερίων τα οποία έχουν την ιδιότητα να εγκλωβίζουν την ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να αυξάνουν τη θερμοκρασία της. [5]

Τέτοια αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το νιτρικό οξύ και τα φθοριούχα αέρια. Για την παραγωγή αυτών των αερίων ευθύνεται η καύση ορυκτών καυσίμων, οι άμεσες βιομηχανικές διαδικασίες, τα απόβλητα, η γεωργία και η χρήση γης. Το κύριο αέριο του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα είναι το διοξείδιο του άνθρακα η συγκέντρωση του οποίου στην ατμόσφαιρα εκτοξεύθηκε μετά την βιομηχανική επανάσταση του 19ου αιώνα και συνεχίζει να ακολουθεί ανοδική πορεία, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση του έχει σχεδόν διπλασιαστεί μέσα στα τελευταία 50 χρόνια. [6]



Σχήμα 1.1: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά γεωγραφική περιοχή [6]

1.1.1.2 Αποψίλωση των δασών

Τα φυσικά οικοσυστήματα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του κλίματος αφού απορροφούν τις μισές εκπομπές που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα γήινα οικοσυστήματα απορροφούν μεγάλο μέρος των εκπομπών, με τα δάση να λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα του διοξειδίου του άνθρακα ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του αέρα και του εδάφους της περιοχής. Η αποψίλωση έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα που απορροφάται από την ατμόσφαιρα, ενώ ταυτόχρονα ανεβαίνει και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Παράλληλα, όταν ξεριζώνεται ή κόβεται ένα δέντρο το διοξείδιο του άνθρακα που ήταν αποθηκευμένο σε αυτό και στο υπέδαφός του, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα επιδεινώνοντας την κατάσταση. [4]

1.1.1.3 Αστικοποίηση

Η ανέγερση αστικών κέντρων χωρίς έλεγχο και μέριμνα για το περιβαλλοντικό αποτέλεσμα συμβάλλει επίσης στην κλιματική αλλαγή. Αρχικά, ένα πυκνοκατοικημένο αστικό περιβάλλον συνεπάγεται και μειωμένη επιφάνεια βλάστησης η οποία συμβάλλει στην απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα, στην διατήρηση μιας πιο χαμηλής θερμοκρασίας και στον έλεγχο των υδάτινων ροών που προκύπτουν από βροχοπτώσεις. Μία ανεπαρκώς σχεδιασμένη και πυκνοκατοικημένη πόλη θα υποφέρει από αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου αστικής νησίδας, ενώ ταυτόχρονα κινδυνεύει από πλημμύρες και αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση. [4]

1.1.1.4 Υπερβολική χρήση γης και υπερανάπτυξη της γεωργίας

Η γεωργία, η δασοκομία και άλλες δραστηριότητες που χρησιμοποιούν την γη ήταν υπεύθυνες για την εκπομπή του 13% του διοξειδίου του άνθρακα, 44% του μεθανίου και 81% του νιτρώδους οξέος που παρήχθησαν από ανθρώπινες δραστηριότητες τη δεκαετία 2006-2017, εκπροσωπώντας το 23% των συνολικών εκπομπών για το προκείμενο χρονικό διάστημα. Οι ανάγκες του ανθρώπινου είδους για τροφή αυξάνονται με τα χρόνια και πολλές δασικές εκτάσεις μετατρέπονται σε καλλιεργήσιμες έχοντας ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. [4]

1.1.2 Αποτελέσματα

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ποικίλες και αφορούν όλους τους τομείς της ζωής: την φύση, την κοινωνία, ακόμα και την επιχειρηματικότητα. Όσον αφορά τον φυσικό κόσμο, η πιο έντονη επίπτωση αφορά την άνοδο της θερμοκρασίας η οποία και οδηγεί σε ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καύσωνες και πλημμύρες. Αποτέλεσμα αυτών είναι η αυξημένη θνησιμότητα, η μειωμένη παραγωγικότητα και η φθορά περιουσιών. Ταυτόχρονα απειλείται και η βιοποικιλότητα, καθώς αλλαγές στη θερμοκρασία ευνοούν ή υποβαθμίζουν την βιωσιμότητα συγκεκριμένων ειδών και διαταράσσουν την ισορροπία του οικοσυστήματος. Παράλληλα, περιορίζεται η παροχή νερού, τόσο για άρδευση ώστε να υποστηρίζεται η γεωργία, όσο και αυτή του πόσιμου νερού που είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση. Η άνοδος της θερμοκρασίας οδηγεί και στο λιώσιμο των πάγων που με τη σειρά του οδηγεί στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας που απειλεί την ασφάλεια παράκτιων περιοχών. Προβλέπεται ότι η στάθμη της θάλασσας στην Ευρώπη θα έχει ανέβει 60-80 εκατοστά μέχρι το τέλος του αιώνα.

Όσον αφορά την κοινωνία, η κλιματική αλλαγή παρουσιάζει κινδύνους σχετικά με την υγεία, ιδιαίτερα για τις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού. Ακραίες θερμοκρασίες, καύσωνες και παγετοί, αυξάνουν την θνησιμότητα ενώ πλημμύρες και φωτιές αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων. Ταυτόχρονα ευνοείται η εμφάνιση ανθεκτικών ασθενειών που προέρχονται από ζώα και φυτά, υπονομεύοντας την επιβίωση, όχι μόνο του ανθρώπινου είδους, αλλά και της χλωρίδας. Τέλος, η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει διάφορους τομείς της επιχειρηματικότητας, όπως για παράδειγμα τον τουρισμό.

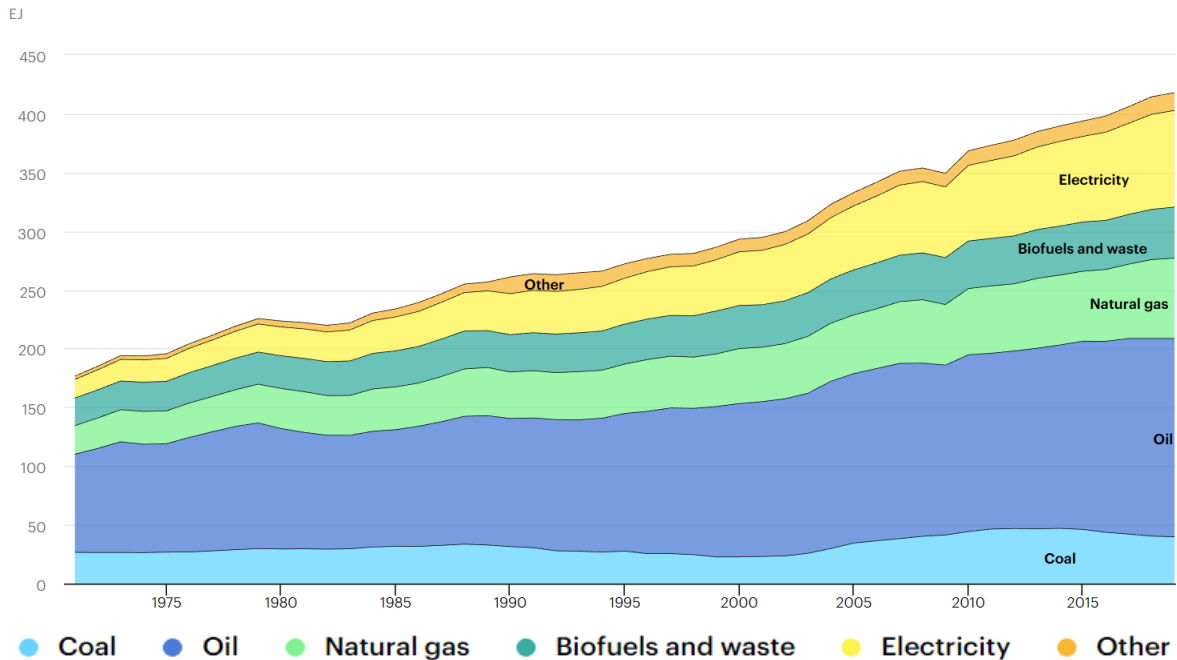
Προβλέπεται ότι ο τουρισμός των νότιων ευρωπαϊκών χωρών θα μειωθεί τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των ακραίων θερμοκρασιών, ενώ η κεντρική ευρώπη που προβλέπεται να αποκτήσει ηπιότερο κλίμα, θα παρατηρήσει πιθανότατα αύξηση στην τουριστική κίνηση καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου. [7]

1.2 Κατανάλωση ενέργειας

1.2.1 Παγκοσμίως

1.2.1.1 Ανά πηγή ενέργειας

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έχει γνωρίσει μια ανοδική πορεία από την βιομηχανική και ύστερα. Ιδιαίτερα από τα μέσα του 20ου αιώνα και μετά η ανοδική πορεία συνεχίζεται με ταχείς ρυθμούς. [8]

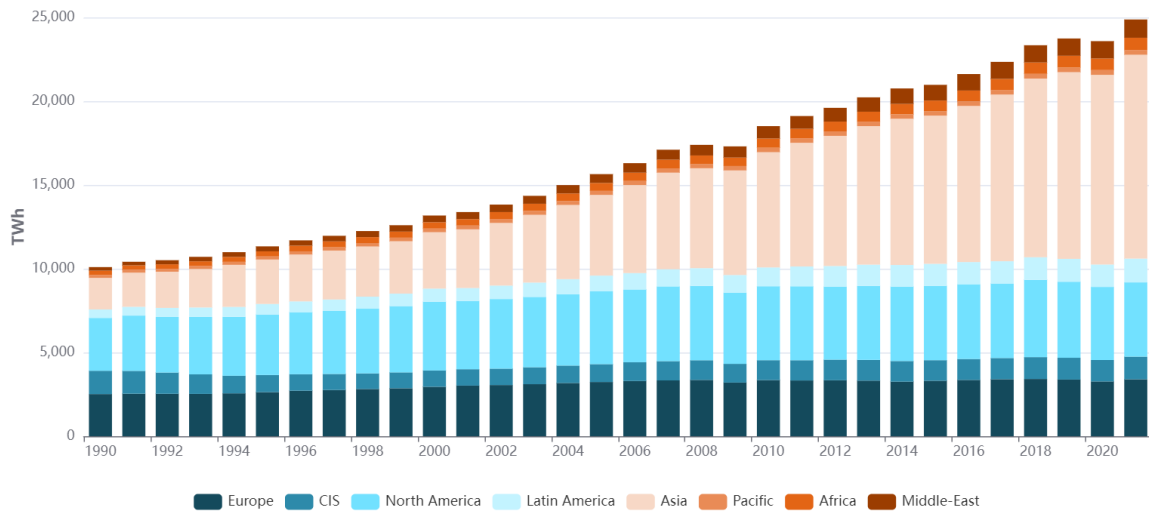


Σχήμα 1.2: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από το έτος 1975 έως το 2015 ανά πηγή ενέργειας [8]

Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα η κατανάλωση ενέργειας έχει σχεδόν διπλασιαστεί μεταξύ 1971 και 2019, ενώ το κύριο καύσιμο παραμένει το πετρέλαιο. Η κατανάλωση φυσικού αερίου σχεδόν τριπλασιάστηκε στην πάροδο των χρόνων ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν πενταπλασιάστηκε.

1.2.1.2 Ανά γεωγραφία

Η ενέργεια που καταναλώνεται διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Γενικά μιλώντας, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς στις περιοχές που και η διαδικασίες εκβιομηχάνισης αναπτύσσονται επίσης γρήγορα, ενώ σε χώρες που η διαδικασία έχει σταθεροποιηθεί η κατανάλωση ακολουθεί μια πιο σταθερή πορεία όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα. [9]



Σχήμα 1.3: Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ανά περιοχή [10]

Η Ασία είναι η ήπειρος με την μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εκπροσωπώντας το 31% και η Κίνα είναι η χώρα στην οποία αντιστοιχεί περίπου το 45% αυτής της κατανάλωσης. Η κατανάλωση στην Ασία είναι εξαπλάσια το 2021 σε σχέση με την κατανάλωση το 1990 και όπως φαίνεται είναι η Ήπειρος που έχει καθορίσει την αυξητική τάση των τελευταίων 40 ετών. Η κατανάλωση στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική έχει ακολουθήσει μια πολύ ηπιότερη αυξητική τάση της τάξεως του 50% στην ίδια χρονική περίοδο.

1.2.1.3 Ανά τομέα

Κάποιοι τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας καταναλώνουν πολύ μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας από άλλους, ενώ διαφορές υπάρχουν και στην πηγή ενέργειας που καταναλώνει ο κάθε τομέας.

Όσον αφορά τον άνθρακα, χρησιμοποιείται περισσότερο σε βαριές βιομηχανίες όπως της παραγωγής σιδήρου και ατσαλιού που ευθύνονται για το 34% της κατανάλωσης ενώ τα κτίρια κατοικίας ευθύνονται μόνο για το 6% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Παρόμοια είναι η κατάσταση σχετικά με το πετρέλαιο το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στις μετακινήσεις ενώ μόνο το 5.3% της κατανάλωσης αφορά κατοικίες. Αντίθετα με τα

προαναφερθέντα καύσιμα, τα κτίρια κατοικίας ευθύνονται περίπου για το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης φυσικού αερίου και ηλεκτρισμού. [8]

1.2.1.4 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

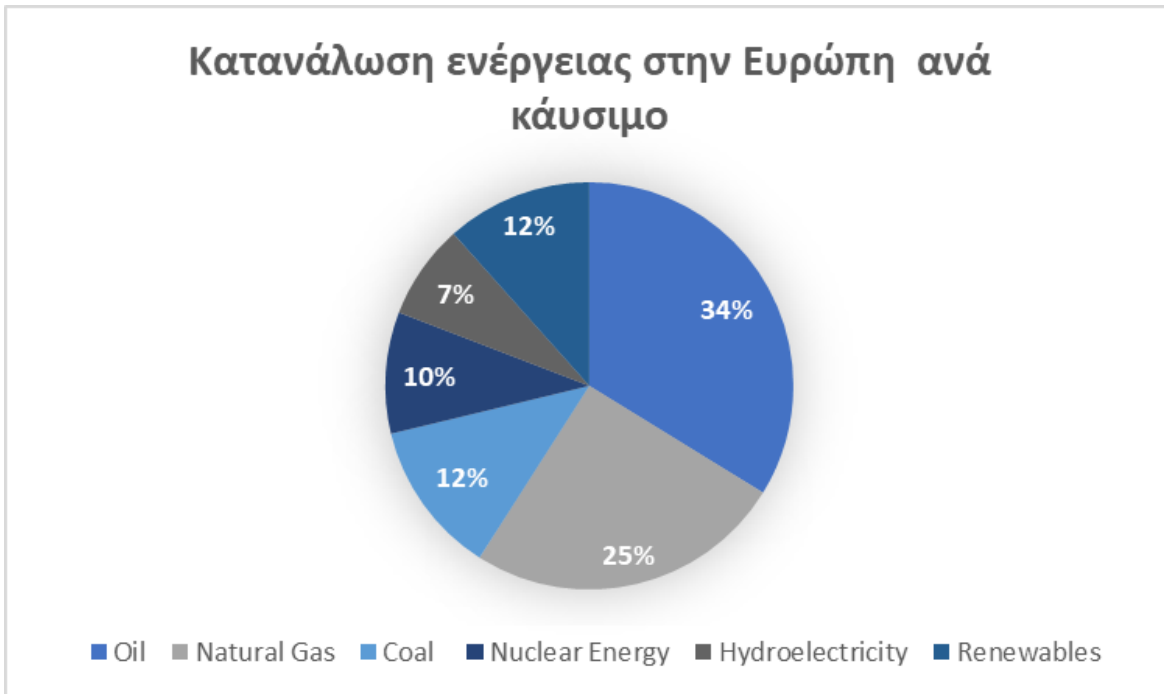
Το 2021, τα κτήρια ήταν υπεύθυνα για το 30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Το 35% αυτής της κατανάλωσης αφορά την ηλεκτρική ενέργεια στην οποία συγκαταλέγεται και ο κλιματισμός των κτιρίων. Ως αποτέλεσμα της ενεργειακής κατανάλωσης, τα κτίρια ευθύνονται για ένα μεγάλο ποσοστό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, πιο συγκεκριμένα για περίπου το 1/3 των εκπομπών παγκόσμια που σχετίζονται με την ενέργεια και τις διεργασίες. Αναλυτικά, το 8 % των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια και τις διεργασίες προήλθαν από τη χρήση ορυκτών καυσίμων στα κτίρια, το 19% από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας που χρησιμοποιείται στα κτίρια και ένα επιπλέον 6% σχετίζεται με την παραγωγή τσιμέντου, χάλυβα και αλουμινίου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή κτιρίων. [8]

1.2.2 Ευρώπη

1.2.2.1 Ανά πηγή ενέργειας

Η τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη έφτασε στο υψηλότερο σημείο το 2006, ενώ το 2020 ήταν μειωμένη κατά 10.6% σε σχέση με την μέγιστη τιμή. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας προέρχεται, σταθερά από το 1990 και μετά, από το πετρέλαιο και τα παράγωγα αυτού. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί μία πτωτική τάση στο μερίδιο που αντιστοιχεί στο πετρέλαιο όσο και στα ορυκτά καύσιμα. Στον αντίποδα, το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μίγμα αυξήθηκε από 4,3% το 1990 σε 11.8% το 2020, ενώ το φυσικό αέριο έχει κρατηθεί σε σταθερά επίπεδα, κοντά στο 20% του μίγματος ενέργειας. [11]

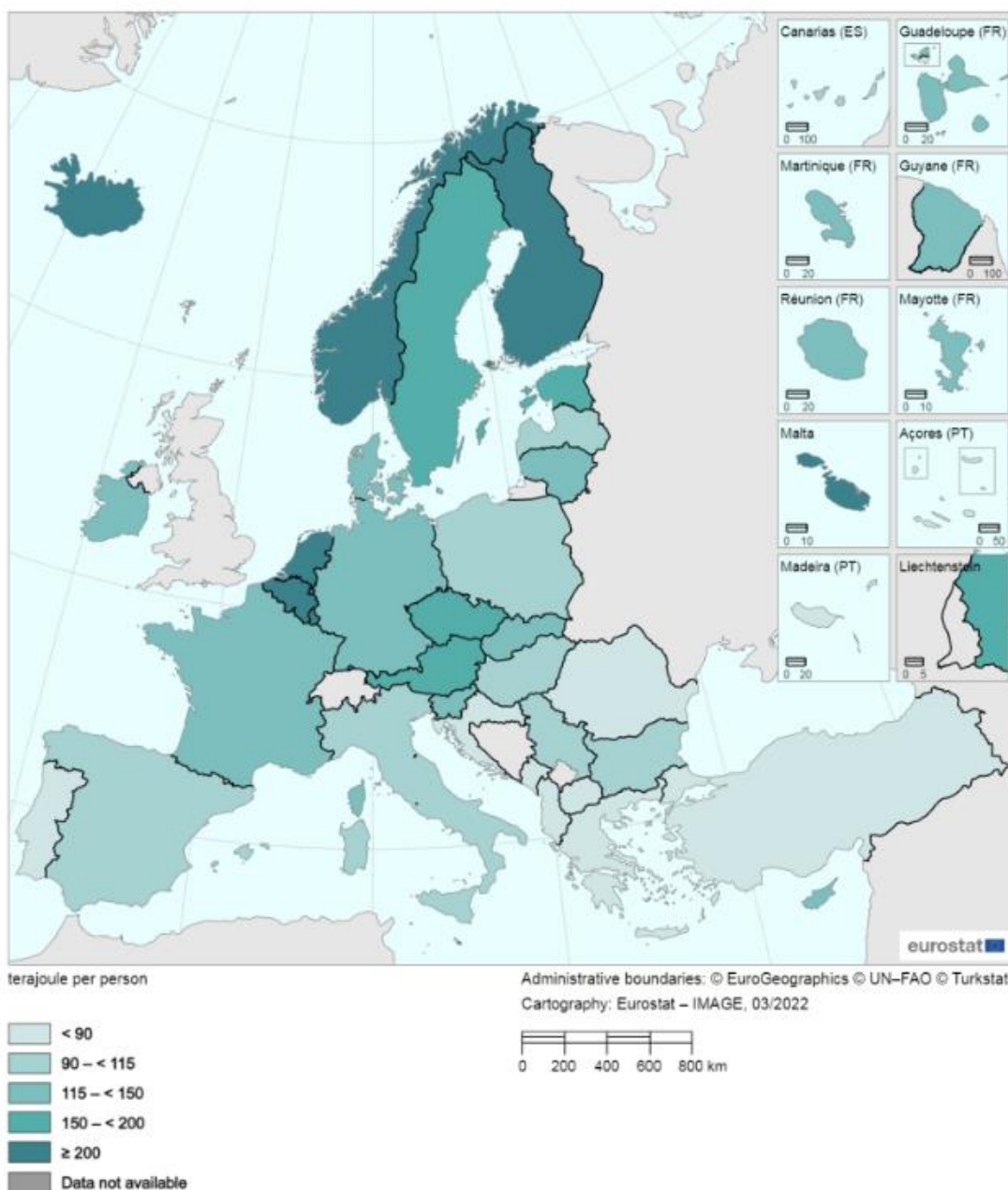
Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη για το 2020 με βάση το καύσιμο παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1.4: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ευρώπη [12]

1.2.2.2 Ανά χώρα

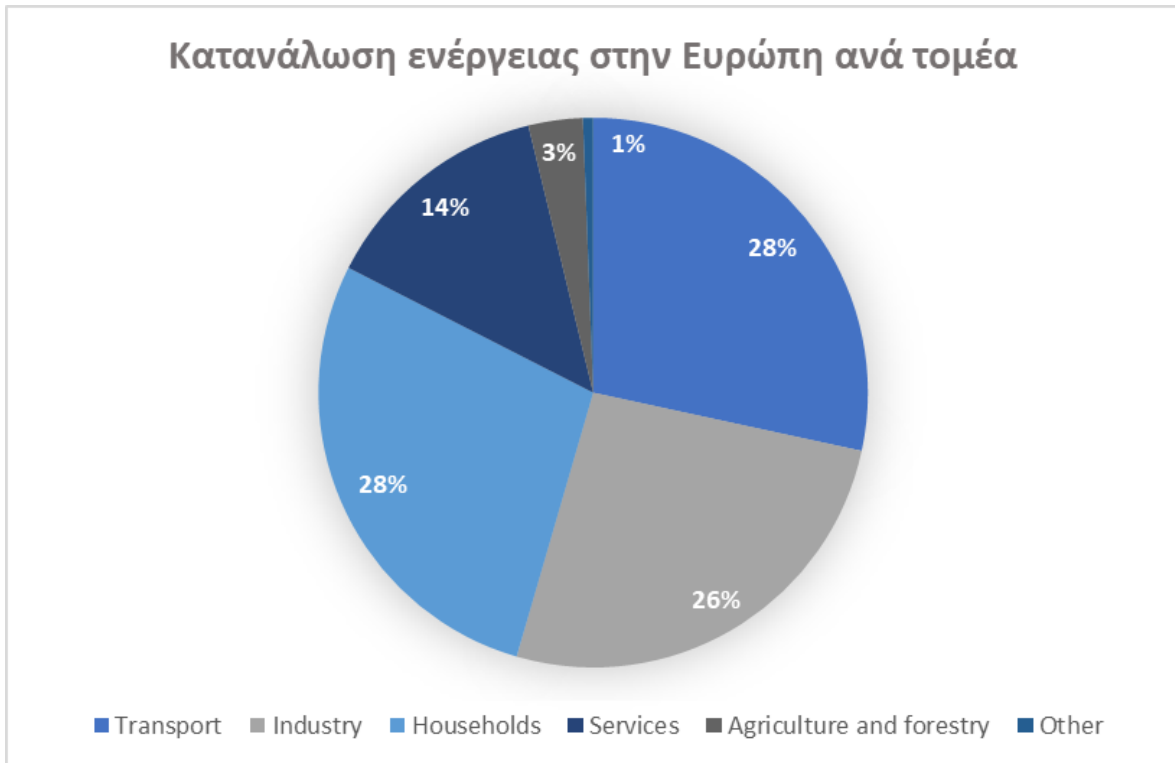
Σε επίπεδο χώρας η κατανάλωση διαμορφώνεται ανάλογα με το κλίμα, την βιομηχανική παραγωγή και άλλους εξωγενείς παράγοντες που διαφοροποιούνται από τη μία χώρα στην άλλη. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στις χώρες της Ευρώπης.



Σχήμα 1.5: Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη [11]

1.2.2.3 Ανά τομέα

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα για την Ευρώπη το 2020.

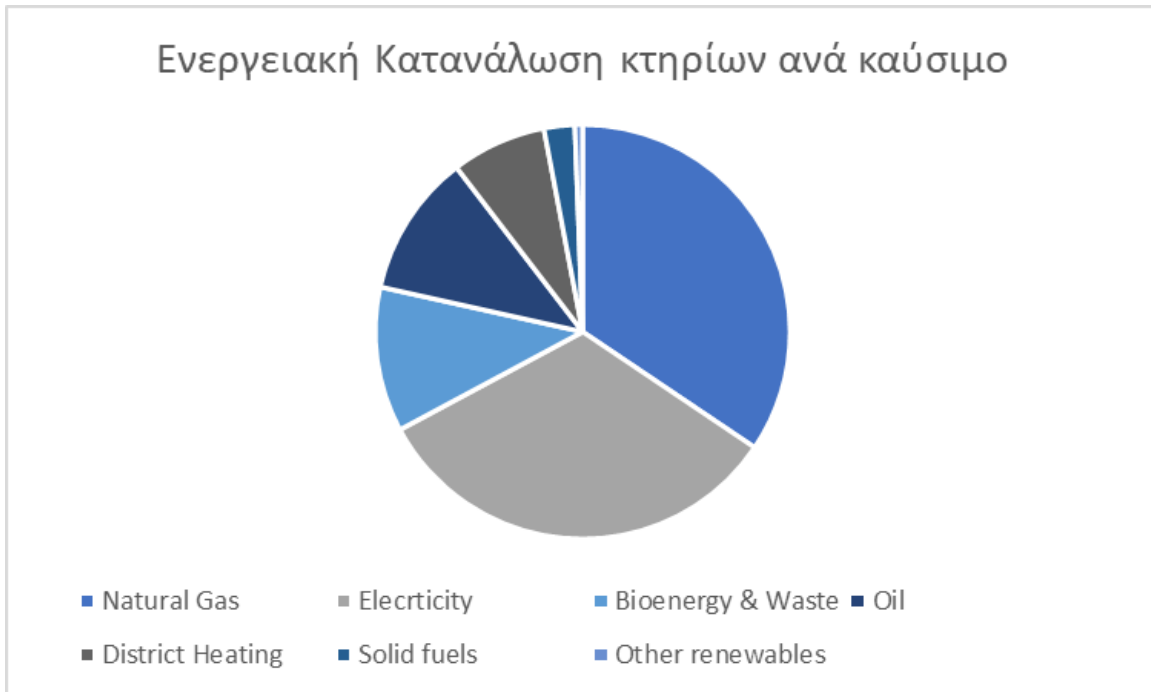


Σχήμα 1.6: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη [13]

1.2.2.4 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων

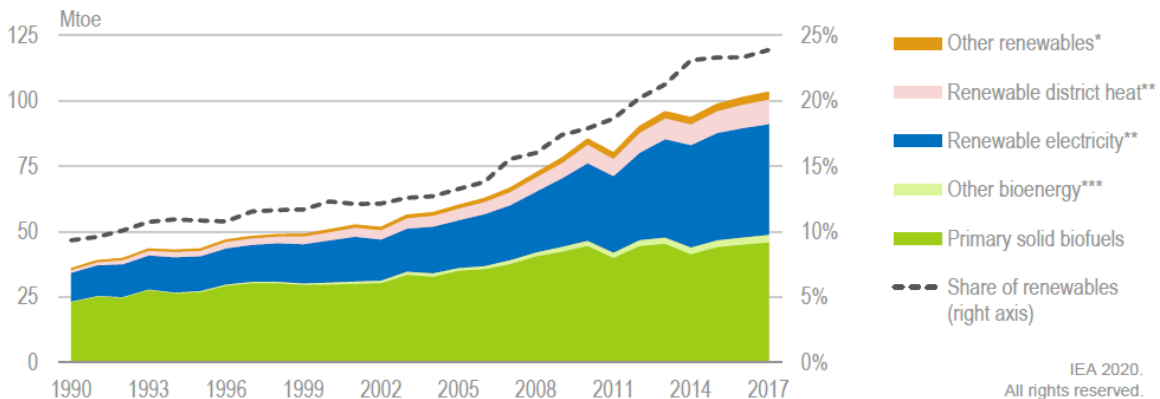
Στην Ευρώπη τα κτίρια είναι υπεύθυνα για περισσότερο από το $\frac{1}{3}$ της ενεργειακής κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα, η θέρμανση των εσωτερικών χώρων του κτιρίου και του νερού χρήσης αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. [13]

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται το μίγμα ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ευρώπη για το έτος 2017.



Σχήμα 1.7: Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια ανά καύσιμο – Ευρώπη [13]

Ο ηλεκτρισμός και το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύουν το καθένα περίπου το 1/3 της κατανάλωσης, ενώ όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το μεγαλύτερο μέρος καλύπτεται από βιοκαύσιμα και βιομάζα. Αξιοσημείωτη είναι η μεταβολή του μεριδίου της ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές το οποίο αυξήθηκε από 9% το 1990 σε 24% το 2017. Την χρονιά αυτή περίπου το 50% αντιστοιχούσε σε ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από ανανεώσιμες πηγές και τηλεθέρμανση, ενώ το άλλο 50% περίπου σε άμεση χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι προαναφερθείσες πληροφορίες παρουσιάζονται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα.



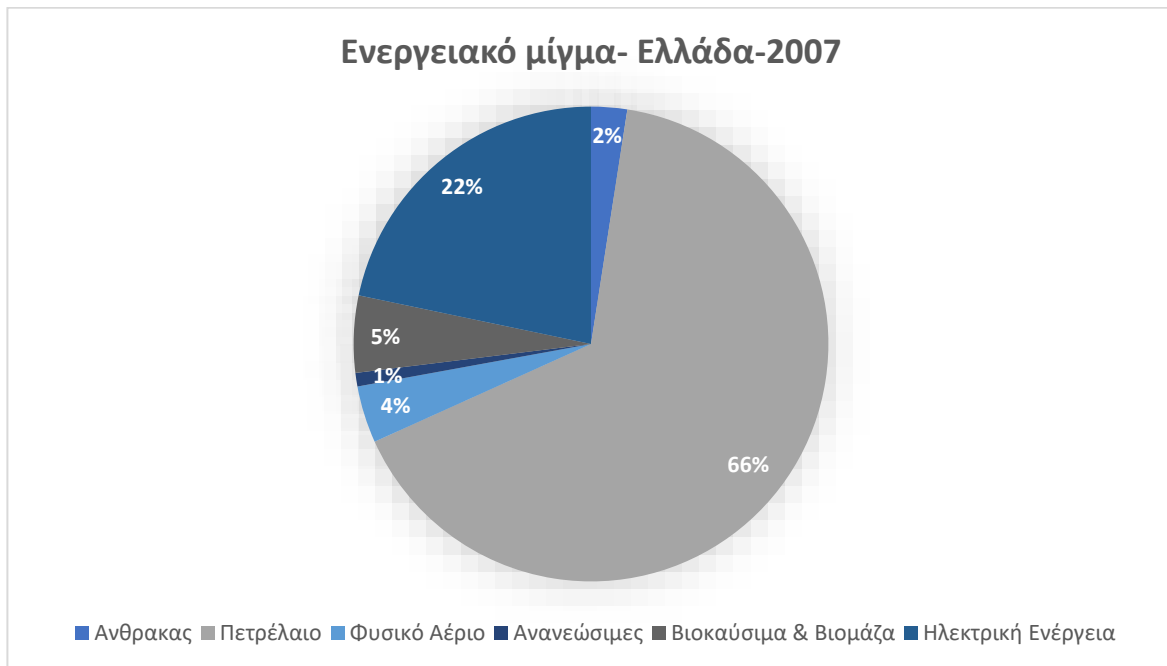
Σχήμα 1.8: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανά πηγή [13]

1.2.3 Ελλάδα

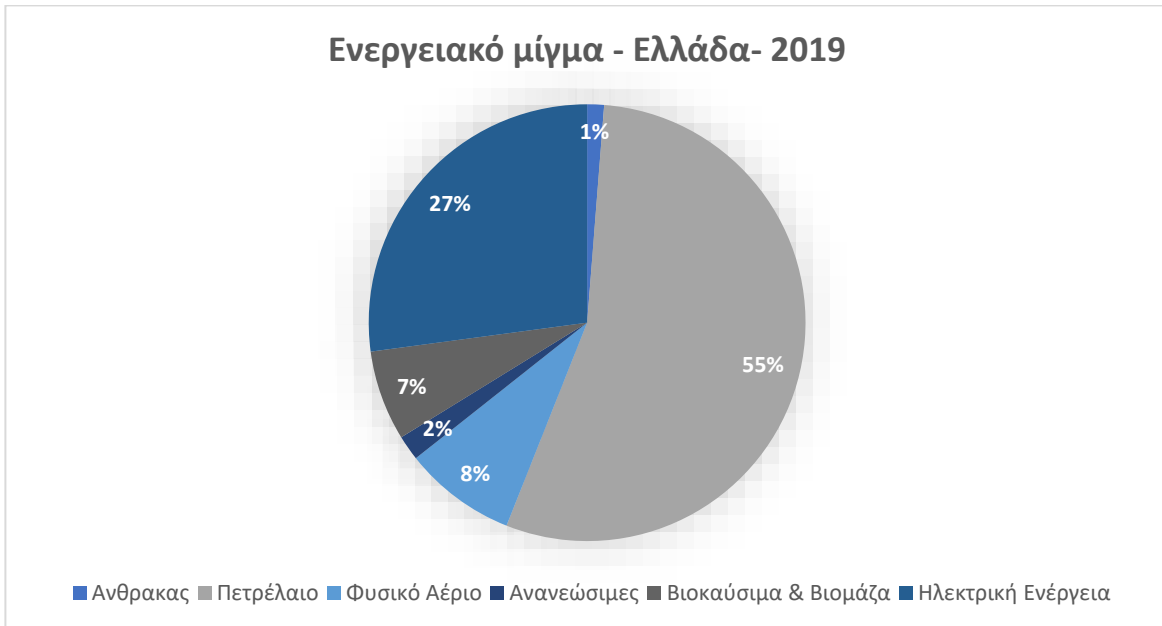
1.2.3.1 Ενεργειακό προφίλ

Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες της Ευρώπης με την μικρότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας η οποία ανήλθε σε 96 GJ/capita, με το μέγιστο νούμερο στην Ευρώπη να αποδίδεται στη Νορβηγία και να ανέρχεται σε 356 GJ/capita. [European Union 2020, energy policy review]. Η ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα έχει μειωθεί αρκετά τα τελευταία 20 χρόνια, με την μείωση να αγγίζει το ποσοστό του 16% μεταξύ των ετών 2000 και 2019. Οι κυριότερες μεταβολές εντοπίζονται στο μερίδιο των ορυκτών καυσίμων. Όσον αφορά την κατανάλωση πετρελαίου, το οποίο εξακολουθεί να διατηρεί το μερίδιο του λέοντος στο μίγμα ενεργειακής κατανάλωσης στη χώρα, παρουσίασε μεγάλη μείωση μεταξύ του έτους 2006, στο οποίο σημείωσε μέγιστο υψηλό, και του έτους 2019, της τάξεως του 46 %. Παρόμοια είναι η εικόνα για τον λιγνίτη, η κατανάλωση του οποίου μειώθηκε κατά 86% μεταξύ του έτους 1990 και του έτους 2019. [14]

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζεται το ενεργειακό μίγμα στην Ελλάδα για τα έτη 2007 , στο οποίο η χώρα παρουσίασε μέγιστο ενεργειακής κατανάλωσης των τελευταίων 30 ετών , και 2019. Το έτος 2020 δεν λαμβάνεται υπόψη λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που δημιούργησε η πανδημία της COVID-19.



Σχήμα 1.9: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα 2007 [14]



Σχήμα 1.10: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα 2019 [14]

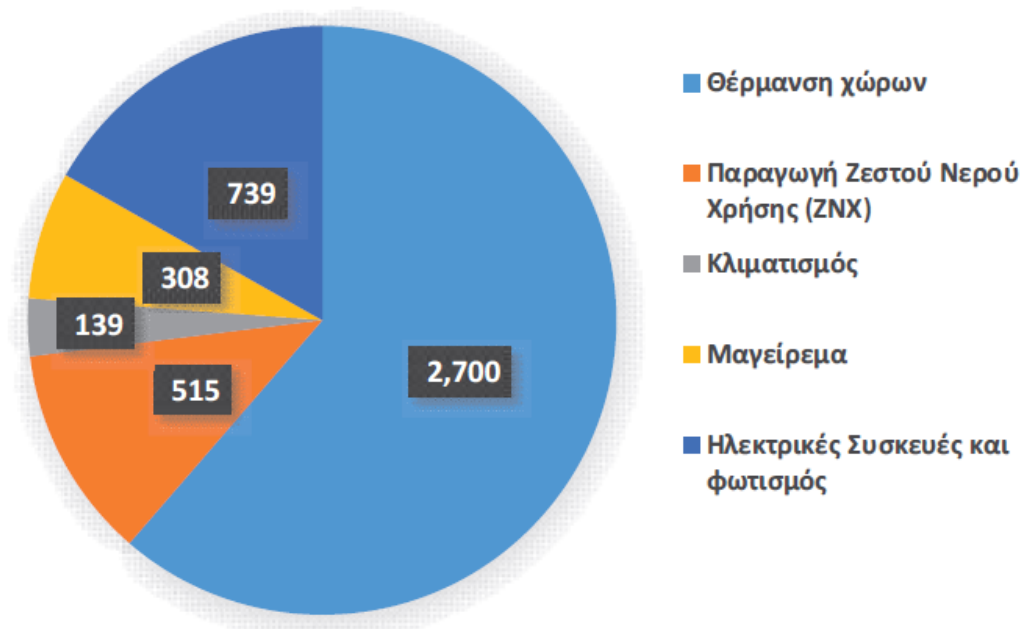
Περισσότερο από το 25% του μίγματος αποτελούσε η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία καταλαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο στο ενεργειακό μίγμα διαφόρων χωρών. Στη Ελλάδα συγκεκριμένα, η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως από την βιομηχανία, τα κτήρια και τις εμπορικές ή δημόσιες υπηρεσίες, τις στο μέλλον αναμένεται να καταλάβουν μεγαλύτερο μερίδιο όπως οι μετακινήσεις.

1.2.3.2 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων κατοικίας

Στην Ελλάδα τα κτίρια είναι υπεύθυνα περίπου για το 40% τις συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Σύμφωνα με το ΦΕΚ υπ' αριθμόν 974 σχετικά με την μακροπρόθεσμη στρατηγική ανακαίνισης κτιριακού αποθέματος, το μεγαλύτερο ποσοστό τις κατανάλωσης οφείλεται στις χρήσεις ενέργειας στα κτίρια κατοικίας. [15]

Στα κτίρια κατοικίας η τελική κατανάλωση ενέργειας αφορά την χρήση τις για θέρμανσης χώρων, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ) , τον κλιματισμό , το μαγείρεμα και τις ηλεκτρικές συσκευές. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή κατανάλωσης ενέργειας ανά χρήση.

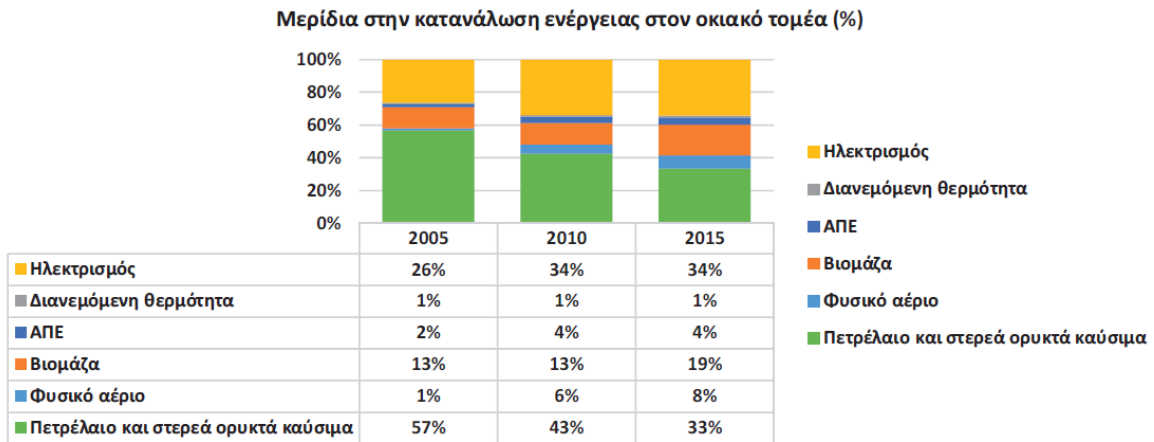
Τελική κατανάλωση ανά χρήση στον οικιακό τομέα (ktoe) (2015)



Σχήμα 1.11: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα 2015 [15]

Το 61% της κατανάλωσης ενέργειας αποδίδεται στη θέρμανση των χώρων, ενώ σημαντική κατανάλωση έχουν επίσης οι ηλεκτρικές συσκευές και ο φωτισμός.

Σημαντικές μεταβολές έχουν παρατηρηθεί και στα είδη ενέργειας που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις παραπάνω ανάγκες ανά τα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, μέσα στη δεκαετία 2005-2015, το μερίδιο του πετρελαίου και των ορυκτών καυσίμων μειώθηκε από 57% σε 33% , ενώ το μερίδιο του ηλεκτρισμού αυξήθηκε από 24% σε 36%. Περισσότερες λεπτομέρειες παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα. [15]



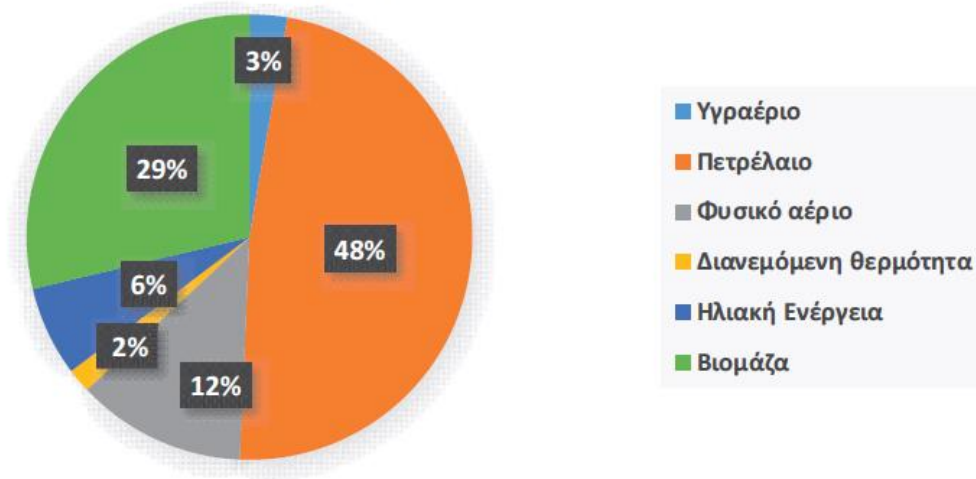
Πηγή: EUROSTAT

Σχήμα 1.12: Κατανάλωση ανά πηγή ενέργειας στον οικιακό τομέα [15]

Όσον αφορά την κάλυψη των θερμικών αναγκών, το πιο διαδεδομένο καύσιμο με ποσοστό 48% είναι το πετρέλαιο, ενώ ακολουθούν η βιομάζα και το φυσικό αέριο. Η κατανομή κάλυψης θερμικών αναγκών ανά καύσιμο παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. [15]

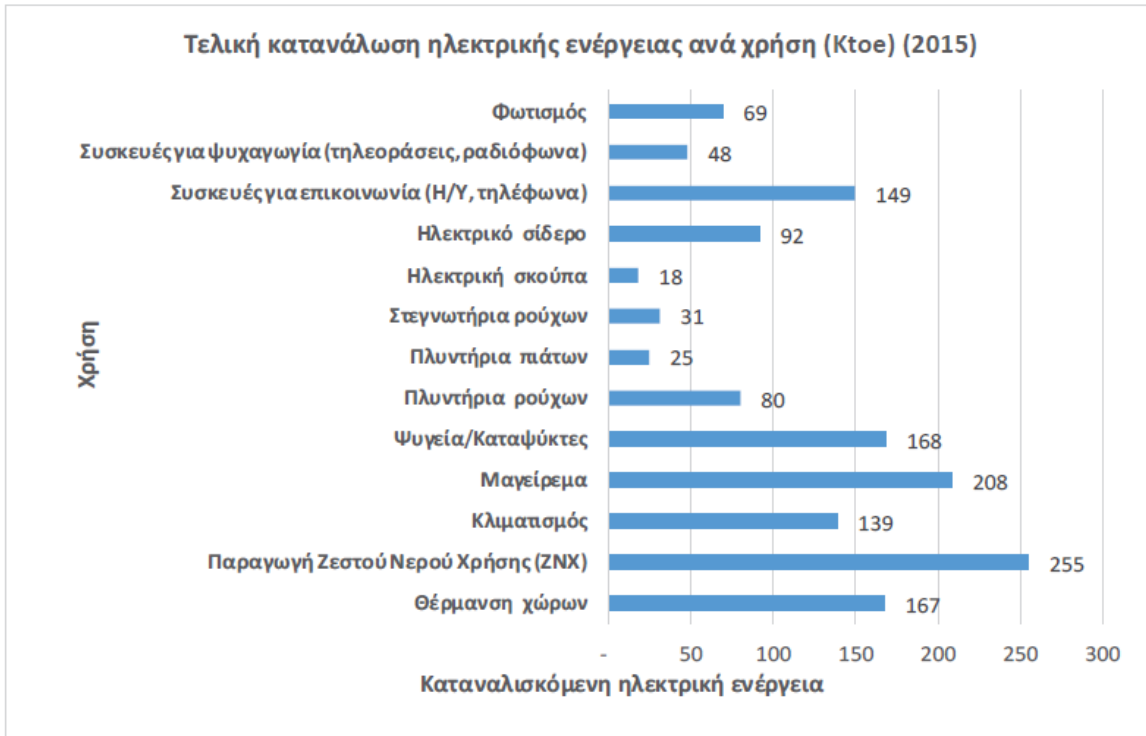
Σχήμα 13: Τελική κατανάλωση θερμικής ενέργειας στον οικιακό τομέα

Τελική κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά καύσιμο στον οικιακό τομέα για το 2015 (%)



Σχήμα 1.13: Κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά καύσιμο στον οικιακό τομέα [15]

Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, η χρήση της οποίας ακολουθεί αυξητική πορεία, χρησιμοποιείται κυρίως για την θέρμανση του νερού και το μαγείρεμα. Η πλήρης λίστα με τις χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια κατοικίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.



Σχήμα 1.14: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον οικιακό τομέα - Ελλάδα [15]

1.2.3.3 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων τριτογενούς τομέα

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια του τριτογενούς τομέα αντιστοιχεί σε περίπου το 50% όπως κατανάλωσης του οικιακού τομέα.

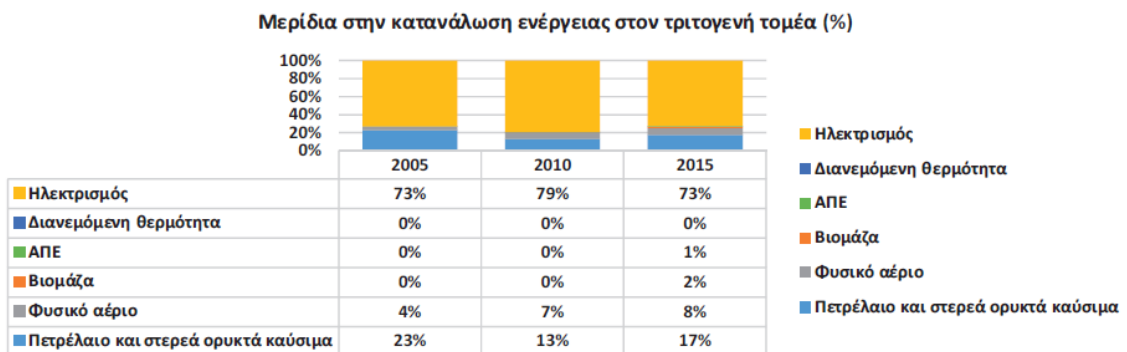
Όσον αφορά όπως όπως ενέργειας, όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα, περίπου το 50% αποτελεί η κατανάλωση για τη θέρμανση χώρων και τον κλιματισμό των κτιρίων.

Σχήμα 15: Διάρθρωση της κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα



Σχήμα 1.15: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον τριτογενή τομέα - Ελλάδα [15]

Σε αντίθεση με τις οικιακές χρήσεις, στις οποίες την κύρια πηγή ενέργειας αποτελούσε το πετρέλαιο, στα κτίρια του τριτογενούς τομέα κυρίαρχη πηγή ενέργειας αποτελεί ο ηλεκτρισμός, ο οποίος με μικρές αυξομειώσεις μέσα στη δεκαετία 2005-2015, έχει διατηρήσει μερίδιο πάνω από 70%. Τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας ανά πηγή στα κτίρια του τριτογενή τομέα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. [15]



Σχήμα 1.16: Κατανάλωση ανά πηγή ενέργειας στον τριτογενή τομέα - Ελλάδα [15]

1.3 Στόχοι και πολιτικές για την ενεργειακή κατανάλωση και το περιβάλλον

1.3.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Από το 2016 μέχρι το 2021, τα κράτη-μέλη της ΕΕ και ακόμα 195 κράτη, έχουν υπογράψει την *Συμφωνία του Παρισιού*, η οποία αποτελεί ένα σχέδιο την διαχείριση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Πιο συγκεκριμένα, η συμφωνία αυτή έχει θέσει ως πρωταρχικό στόχο τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά μέγιστο 2 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Επιπλέον, προβλέπεται η σταδιακή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με στόχο την ουδετερότητα μέχρι το 2050. Οι στόχοι αυτοί αποτελούν θεμέλιο λίθο στην χάραξη στρατηγικής όσον αφορά την ενέργεια και το κλίμα, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εγχώριο επίπεδο.

Η ΕΕ έχει θέση βραχυπρόθεσμους στόχους με χρονικό ορίζοντα το 2030 αλλά και μακροπρόθεσμους με χρονικό ορίζοντα το 2050. Στο βραχυπρόθεσμο πλάνο, βασικοί στόχοι είναι οι εξής: [16]

1. Τουλάχιστον 40% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.
2. Τουλάχιστον 32% συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μίγμα.
3. Τουλάχιστον 32.5 % βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Όσον αφορά την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, η ΕΕ έχει εφαρμόσει συγκεκριμένα εργαλεία για την επίτευξη των σχετικών στόχων. Αρχικά, εγκαθίδρυσε ένα σύστημα συναλλαγών πιστοποιητικών άνθρακα, το οποίο αφορά αποκλειστικά τους τομείς των μεταφορών και των κτιρίων. Τα έσοδα από αυτές τις συναλλαγές πρέπει να επενδύονται σε έργα σχετικά με την ενέργεια και το κλίμα. [17]

Επιπλέον, τον Οκτώβριο του 2020 η Ευρωπαϊκή επιτροπή δημοσίευσε την *Στρατηγική Ανακαινίσεων*, η οποία έχει ως στόχο να διπλασιάσει των ρυθμό ανακαινίσεων των κτιρίων στα επόμενα 10 χρόνια και να βελτιώσει την ενεργειακή τους απόδοση. Στο πλαίσιο αυτής της στρατηγικής, ο δημόσιος τομέας θα πρέπει να ανακαινίζει το 3% των κτιρίων του κάθε χρόνο. Άλλες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν στρατηγικές για κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό τομέα ώστε να μειωθούν τα απόβλητα, την εφαρμογή κριτηρίων για την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων, καθώς και οικονομικά μέτρα ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση των ήδη κατασκευασμένων κτιρίων. [17]

1.3.2 Ελλάδα

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ υποχρεούται να συντάξει ένα δεκαετές εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ), στο οποίο θα

περιλαμβάνεται η στρατηγική του κράτους για να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Το ΕΣΕΚ της Ελλάδας για την περίοδο 2021-2030 θέτει συνοπτικά τους εξής βασικούς στόχους: [18]

1. Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πάνω από 42% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.
2. Συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα σε ποσοστό 35%.
3. Βελτίωση της απόδοσης στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 38%.
4. Πλήρης απένταξη του λιγνίτη από το εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2028.

Συγκεκριμένα για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης το ΕΣΕΚ στοχεύει στην κάλυψη 12 προτεραιοτήτων οι οποίες παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

ΠΠ3.1: Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης δημοσίων κτιρίων και υποδειγματικός ρόλος δημοσίου τομέα- Βελτίωση μικροκλίματος του αστικού δημόσιου χώρου
ΠΠ3.2: Στρατηγική ανακαίνισης κτιριακού αποθέματος οικιακού και τριτογενή τομέα
ΠΠ3.3: Προώθηση συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης από ΕΕΥ
ΠΠ3.4: Προώθηση μηχανισμών αγοράς
ΠΠ3.5: Προώθηση καινοτόμων χρηματοδοτικών εργαλείων για μόχλευση ιδιωτικών κεφαλαίων και συμμετοχή χρηματοπιστωτικού τομέα
ΠΠ3.6: Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης και ανταγωνιστικότητας βιομηχανικού τομέα
ΠΠ3.7: Πλαίσιο αντικατάστασης ρυπογόνων επιβατικών και φορτηγών οχημάτων
ΠΠ3.8: Ανάπτυξη υποδομών και σχεδίων για μετατόπιση μεταφορικού έργου
ΠΠ3.9: Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου
ΠΠ3.10: Προώθηση παρεμβάσεων εκσυγχρονισμού υποδομών ύδρευσης/αποχέτευσης και άρδευσης
ΠΠ3.11: Προώθηση αποδοτικής θέρμανσης και ψύξης
ΠΠ3.12: Εκπαίδευση/ενημέρωση επαγγελματιών και καταναλωτών για ενεργειακά αποδοτικό εξοπλισμό και ορθολογική χρήση ενέργειας

Σχήμα 1.17: Προτεραιότητες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα [18]

Για τα κτίρια συγκεκριμένα θεσπίστηκε μια μακροχρόνια στρατηγική ανακαίνισης του εθνικού κτιριακού αποθέματος η οποία αφορά τόσο δημόσια, όσο και ιδιωτικά κτίρια και η οποία θα στηριχθεί από χρηματοδοτικά προγράμματα. Σε αυτήν προβλέπεται η ενεργειακή αναβάθμιση του 12-15% των κτιρίων/ κτιριακών μονάδων εντός της δεκαετίας 2021-2030. Έμφαση επίσης θα δοθεί στην προώθηση της αποδοτικής θέρμανσης και ψύξης στα κτίρια και τις εγκαταστάσεις. Επιπλέον μέτρα που αναφέρονται αφορούν την προώθηση των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, και φορολογικά και χρηματοδοτικά κίνητρα για την προώθηση κτιρίων άνω των ελαχίστων ενεργειακών απαιτήσεων. [18]

2. Στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα

2.1 Στοιχεία Βιοκλιματικού Σχεδιασμού

Η έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αρχιτεκτονική κτιρίων από τα χρόνια της αρχαιότητας, όταν οι πηγές ενέργειας ήταν περιορισμένες και ανεπαρκείς. Η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, αλλά και η επιδίωξη εξασφάλισης συνθηκών θερμικής άνεσης κατά τη διάρκεια του έτους μέσω παθητικών στρατηγικών ήταν πάντοτε αναγκαία για τον άνθρωπο. Οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού εφαρμόζονται σε όλες τις περιοχές του πλανήτη, με στόχο τη μέγιστη εκμετάλλευση των φυσικών πηγών ενέργειας που προσφέρουν οι ιδιαιτερότητες του κάθε κλίματος καθώς και του περιβάλλοντα χώρου.

Βασικός του στόχος είναι η ελαχιστοποίηση χρήσης ορυκτών καυσίμων και η εξοικονόμηση ενέργειας, επιτυγχάνοντας σε σημαντικό βαθμό την απαραίτητη θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου, δίχως να απαιτείται πρόσθετο κόστος για την κατασκευή ή τον εξοπλισμό. Κατά την θερινή περίοδο εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση των εσωτερικών θερμικών φορτίων που συσσωρεύονται στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, ενώ τους χειμερινούς μήνες, αξιοποιώντας παθητικές στρατηγικές, συλλέγει την ηλιακή θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την διατηρεί θερμαίνοντας έτσι το εσωτερικό του κτιρίου.

Το κλίμα της Ελλάδας έχει ως κύρια χαρακτηριστικά του το ξηρό και θερμό καλοκαίρι, και τον ήπιο χειμώνα με χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες. Αποτελεί ένα ιδανικό κλίμα για την εφαρμογή των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού, οι οποίες θα αποδώσουν σε σημαντικό βαθμό, μειώνοντας έτσι τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου. Κατά τη χειμερινή περίοδο, κρίνεται απαραίτητη η μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσω παθητικών αλλά και ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της ηλιακής θερμικής ενέργειας που εισχωρεί στο εσωτερικό του κτιρίου.

Ο προσανατολισμός του κτιρίου αποτελεί σημαντικό παράγοντα του βιοκλιματικού σχεδιασμού καθώς δύναται να επηρεάσει σημαντικά τα θερμικά φορτία που συγκεντρώνονται στους εσωτερικούς χώρους. Η καταλληλότερη αρχιτεκτονική δομή για το κτίριο είναι η επιμήκης πλευρά του να βρίσκεται στο νοητό άξονα που δημιουργούν η ανατολή με τη δύση. Η παραπάνω πρακτική προσφέρει μεγαλύτερη νότια επιφάνεια, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για παθητική συλλογή ηλιακής θερμότητας κατά τους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα, η βόρεια πλευρά θα πρέπει να αναχαιτίζει τους ψυχρούς ανέμους καθώς και να αποτρέπει τη συναλλαγή θερμότητας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του κτιρίου. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός συμβουλεύει τη δημιουργία μεγάλων ανοιγμάτων στη νότια πλευρά του κτιρίου για τη διεύδυση άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ μικρά ανοίγματα τοποθετούνται στη βόρεια πλευρά, τα οποία σε συνδυασμό με τη

στιβαρή και επαρκώς μονωμένη κατασκευή των τοίχων, παρέχουν προστασία από τα ψυχρά ρεύματα.

Για περεταίρω εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, θα ήταν ωφέλιμο η διαρρύθμιση του εσωτερικού χώρου του κτιρίου να είναι τέτοια, ώστε να αξιοποιεί σε μέγιστο βαθμό τον φυσικό φωτισμό. Τα δωμάτια τα οποία απαιτούν διαρκή φωτισμό την ημέρα τοποθετούνται στη νότια πλευρά του κτιρίου, ενώ τα βοηθητικά δωμάτια, με μικρότερες απαιτήσεις φωτισμού και περιορισμένη χρήση, τοποθετούνται στη βόρεια πλευρά. Μέσω της παραπάνω πρακτικής, αφενός δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στον επαρκή φωτισμό των κυρίων χώρων χρήσης, και αφετέρου οι βοηθητικοί χώροι δημιουργούν ένα επιπλέον προστατευτικό στρώμα ανάσχεσης των βορείων ανέμων κατά τους χειμερινούς μήνες.

2.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος εκπέμπει ηλιακή ακτινοβολία η οποία αποτελεί ενέργεια διαδιδόμενη στο κενό με την ταχύτητα του φωτός με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή φωτονίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, εκτός από το κενό διαδίδεται επίσης και μέσα από υλικά σώματα με την προϋπόθεση βέβαια ότι τα σώματα αυτά είναι διαπερατά από την συγκεκριμένη συχνότητα των ηλιακών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η ηλιακή ενέργεια κατά την διέλευση της μέσα από την ύλη είτε διέρχεται μέσα από αυτήν χωρίς να αλληλοεπιδρά με αυτήν αλλά βέβαια με διαφορετική ταχύτητα διάδοσης σε σχέση με το κενό, είτε διαχέεται με αποτέλεσμα την εκτροπή σε διάφορες κατευθύνσεις, είτε απορροφάτε και στη συνέχεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας όπως θερμότητα, ή απορροφάτε και επανεκπέμπεται.

Η διαδρομή που ακολουθεί η ηλιακή ακτινοβολία από την επιφάνεια του ηλίου έως την επιφάνεια της γης διαφέρει. Το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο καταφθάνει στην επιφάνεια της Γης κατευθείαν από τον ήλιο ονομάζεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία (direct solar radiation). Το μέρος δε εκείνο το οποίο φθάνει στην επιφάνεια της Γης κατόπιν διάχυσης η οποία προκαλείται από τα νέφη και τα σωματίδια σκόνης που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα ονομάζεται διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (diffuse radiation). Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας ονομάζεται ολική ηλιακή ακτινοβολία (total solar radiation).

Η ακτινοβολία αυτή μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους για μία συγκεκριμένη τοποθεσία, ενώ επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της είναι οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, αλλά και το ποσοστό ρύπανσης της ατμόσφαιρας που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή.

Η συνολική ισχύς που εκπέμπει ο ήλιος, και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια ορίζεται ως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Irradiance). Η παράμετρος που

μεταβάλλει κατά μεγαλύτερο ποσοστό την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το γεωγραφικό πλάτος.

2.3 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια που μετέπειτα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλιοθερμικά συστήματα για την λειτουργία τους χρησιμοποιούν κυρίως την άμεση ηλιακή ακτινοβολία δεδομένου ότι απαιτούν την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας και για το λόγο αυτό οι συλλέκτες προσανατολίζονται κατάλληλα ως προς την τροχιά του ηλίου.

Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος βασίζεται στην ηλιοθερμία η οποία αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ). Το νερό του δοχείου αποθήκευσης θερμαίνεται από τον ήλιο, και στη συνέχεια διοχετεύεται στα στοιχεία του εγκατεστημένου εξοπλισμού, όπου πραγματοποιείται η χρήση του. Η θερμότητα από ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, τη θέρμανση νερού χρήσης, θέρμανση χώρων, θερμότητα για βιομηχανικές διεργασίες, κλιματισμό κ.α.

Γενικά τα συστήματα ηλιοθερμίας αποτελούνται από τις παρακάτω μονάδες:

- Τους ηλιακούς συλλέκτες υψηλής απόδοσης
- Τα δοχεία αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία διαθέτουν ισχυρές μονώσεις και συνήθως σύστημα διαστρωμάτωσης του θερμού νερού καθ' ύψος του δοχείου, βάσει της θερμοκρασίας του. Έτσι, στο επάνω τμήμα αποθηκεύεται το υψηλής θερμοκρασίας νερό, για την κάλυψη των απαιτήσεων σε ΖΝΧ, στο μεσαίο τμήμα αποθηκεύεται νερό μέσης θερμοκρασίας για κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης, και στο χαμηλότερο τμήμα διατηρείται κρύο νερό. Την κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας, που συνήθως είναι λέβητες πετρελαίου ή αερίου, τεχνολογίας συμπύκνωσης, αντλία θερμότητας και λέβητας βιομάζας και συναντάται είτε ενσωματωμένη είτε εγκατεστημένη δίπλα στο δοχείο.
- Τον ηλιακό σταθμό μεταφοράς της ηλιακής ενέργειας, το σταθμό παραγωγής φρέσκου ζεστού νερού χρήσης, με την χρήση πλακοειδών εναλλακτών και ηλεκτρονικών κυκλοφορητών, τον παρελκόμενο εξοπλισμό όπως κυκλοφορητές, δοχεία διαστολής βαλβίδες εξισορρόπησης, ενώ υπάρχει ενσωματωμένος κεντρικός αυτοματισμός που ελέγχει το σύστημα.

Τα συστήματα αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το βαθμό θερμότητας που μπορούν να παράξουν όπως παρακάτω:

- Συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών (<80°C)

- Συστήματα μέσων θερμοκρασιών (80°-200°C)
- Συστήματα υψηλών θερμοκρασιών (>200°C)

Συστήματα χαμηλών και μέσων θερμοκρασιών χρησιμοποιούν συλλέκτες επιπέδων πλακών που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια για να ζεστάνουν νερό μέσα σε πλαίσιο, συνήθως για οικιακή και βιομηχανική χρήση. Αντίθετα, ηλιακά θερμικά συστήματα υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούν συλλέκτες οι οποίοι συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με κάτοπτρα ή φακούς σε δεξαμενή νερού μετατρέποντας το σε ατμό, ο οποίος κινεί στη συνέχεια ατμογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Με τον όρο φωτοβολταϊκά συστήματα ονομάζονται οι βιομηχανικές διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και ανήκουν στην κατηγορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Στην ουσία τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Η αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στην ένωση ημιαγωγών με σκοπό να δημιουργήσουν ένα εν σειρά ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι ημιαγωγοί αυτοί (solar cells) απορροφούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (φωτόνια) της ηλιακής ακτινοβολίας και παράγουν μια ηλεκτρική τάση. Με την κατάλληλη εν σειρά διασύνδεση των ημιαγωγών αυτών παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η παραγόμενη τυπική ισχύς ρεύματος κυμαίνεται από 20-300W.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που κατασκευάζονται κυρίως από πυρίτιο, τοποθετούνται σε ένα πλαίσιο (panel) και στη συνέχεια τα panels συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι συνεχούς ρεύματος (DC), η οποία βέβαια με την διασύνδεσή τους με κατάλληλες διατάξεις είναι δυνατόν να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα(AC).

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλικού πυριτίου διαστάσεων 10cmx10cm θα παράξει ρεύμα ισχύος 1W-1,5W υπό τάση 0,5V-0,6V υπό κανονικές συνθήκες.

Τα βασικά υποσυστήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα παρακάτω:

- Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (panel) στο οποίο είναι τοποθετημένα τα μεταξύ τους συνδεδεμένα στοιχεία, για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Ο μετατροπέας τάσης (inverter) που μετατρέπει το ρεύμα από συνεχές σε εναλλασσόμενο.

- Οι συσσωρευτές ή μπαταρίες είναι οι συσκευές που αποθηκεύεται το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταικά πάνελ.
- Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι η συσκευή που ελέγχει τη φόρτιση των μπαταριών ώστε να μην υπάρχουν ανωμαλίες κατά την φόρτιση τους όπως πχ. φαινόμενα υπερφόρτισης.

Τα φωτοβολταικά συστήματα διακρίνονται σε αυτόνομα και σε διασυνδεμένα. Τα αυτόνομα (off-grid) δεν συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτροδότησης (Διαχειριστή Ελληνικού Δικτιού Ηλεκτρικής Ενέργειας - ΔΕΔΔΗΕ), ενώ τα διασυνδεμένα (grid tied) συνδέονται με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

3. Ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων

Η ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων (Building Energy Modeling), αποτελεί ένα σύγχρονο εργαλείο για την πρόβλεψη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου, παρέχοντας ιδιαίτερα σημαντικά στοιχεία για την κατανάλωση και την ενεργειακή απόδοση του μοντέλου. Οι σύγχρονες απαιτήσεις για κτίρια με υψηλή ενεργειακή απόδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας είναι μία από τις βασικότερες παραμέτρους στον σύγχρονο σχεδιασμό. Τα κυριότερα εργαλεία των μηχανικών για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, είναι τα σχεδιαστικά προγράμματα και οι μηχανές προσομοίωσης. Η αναγκαιότητα για λεπτομερή ενεργειακή σχεδίαση, καθώς και η συνεχής στροφή της κοινωνίας αλλά και της νομοθεσίας, προς μία πιο «πράσινη» κατεύθυνση στον κτιριακό κλάδο, συνέβαλαν στη ραγδαία εξέλιξη και βελτίωση των προγραμμάτων ενεργειακής προσομοίωσης. Πλέον υπάρχει μια πληθώρα εξελιγμένων εργαλείων, τα οποία παράγουν έγκυρα αποτελέσματα, και καθοδηγούν τον χρήστη προς την εύρεση της βέλτιστης ενεργειακής λύσης. Βασισμένα σε μαθηματικά μοντέλα που κάνουν χρήση των βασικών αρχών της φυσικής, της θερμοδυναμικής και της μηχανικής, τα προγράμματα προσομοίωσης έχουν τη δυνατότητα να παραγάγουν ακριβή αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψιν τους μια πληθώρα παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση και την κατανάλωση του υπό μελέτη κτιρίου. Μεταξύ των σημαντικότερων αποτελεσμάτων που παρέχουν είναι οι ετήσιες θερμικές απαιτήσεις του, οι συνθήκες θερμικής άνεσης που επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους, η απόδοση των συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, καθώς και των παθητικών στρατηγικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δύναται να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς.

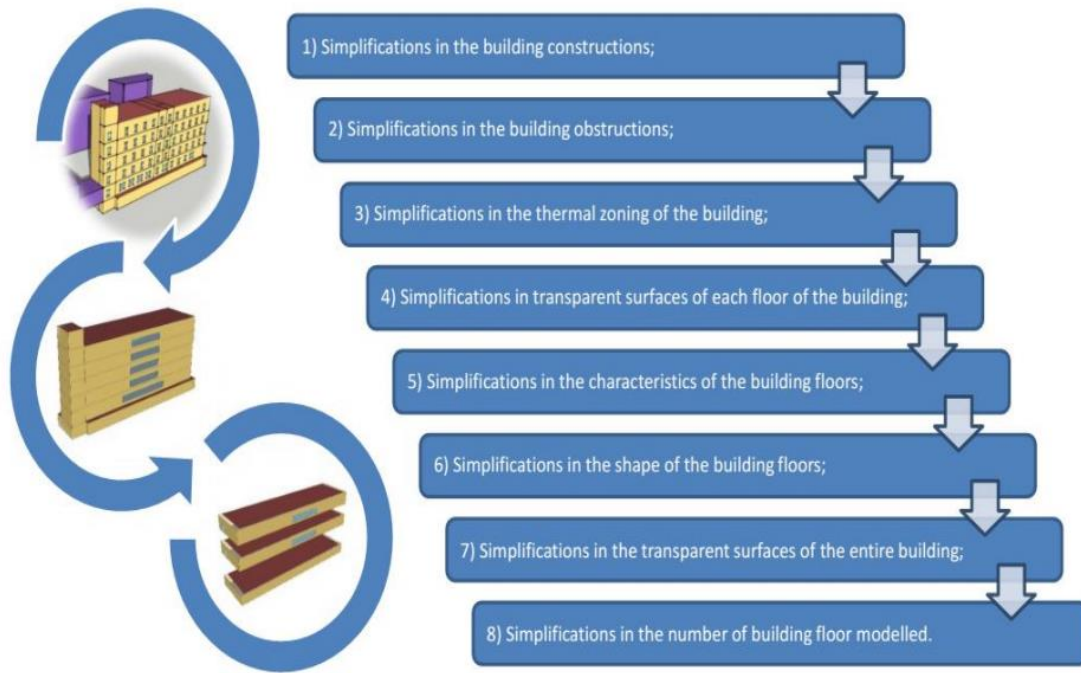
3.1 Μέθοδοι απλοποίησης, χρόνος ανάλυσης, και ακρίβεια αποτελεσμάτων

Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μιας ενεργειακής μοντελοποίησης απαιτείται η ορθή εισαγωγή του συνόλου των παραμέτρων που θα επηρεάσουν το μοντέλο. Πρέπει να δίνεται έμφαση στην πληρότητα και την ορθότητα των στοιχείων που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι, για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των πραγματικών μετρούμενων στοιχείων για την ενεργειακή απόδοση και την κατανάλωση του κτιρίου.

Έτσι, η ορθή ένταξη όλων των παραμέτρων στις θερμικές ζώνες του κτιρίου που θα μοντελοποιηθεί είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων μίας ολοκληρωμένης ενεργειακής προσομοίωσης. Ωστόσο, η υπερβολική επιβάρυνσή του μοντέλου με μεγάλο όγκο πληροφορίας, σε συνδυασμό με την περιπλοκότητα της γεωμετρίας του κτιρίου, είναι σίγουρο πως θα αυξήσει εκθετικά τη χρονική διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης.

Η παραπάνω συσχέτιση του όγκου των πληροφοριών ενός μοντέλου με την αύξηση της χρονικής διάρκειας της προσομοίωσης, είναι ένα κεφάλαιο της ενεργειακής

μοντελοποίησης το οποίο συχνά παραβλέπεται, αν και έχει ερευνηθεί σε κάποιον βαθμό, όμως είναι ιδιαίτερα σημαντικό δεδομένης της ανάγκης για ελαχιστοποίηση των χρονικών απαιτήσεων της ανάλυσης σε συνδυασμό με αξιόπιστα αποτελέσματα. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο είναι σημαντική η μείωση της χρονικής διάρκειας της προσομοίωσης είναι η αναγκαία επανάληψη της διαδικασίας, κατά την αναζήτηση μιας βέλτιστης ενεργειακής λύσης.



Σχήμα 3.1: Απλοποιήσεις διάφορων παραμέτρων ενεργειακού μοντέλου [19]

Παραμετρικές μελέτες έχουν ερευνηθεί και καταγράψει τον αντίκτυπο της απλοποίησης του μοντέλου ως προς τις βασικές του παραμέτρους, όπως το σύνολο των κατασκευαστικών του υλικών, τη γεωμετρία και τον αριθμό των διαφανών ανοιγμάτων του κτιρίου, το πλήθος και τη γεωμετρία των ορόφων και των θερμικών ζωνών. Οι σημαντικότερες ποσοστιαίες αποκλίσεις παρουσιάζονται στην απλοποίηση του γεωμετρικού ορισμού των θερμικών ζωνών εσωτερικά του κάθε ορόφου του κτιρίου, και στην απλουστευμένη ομοιόμορφη κατανομή των εσωτερικών θερμικών φορτίων. [19]

Αντίθετα με ό,τι αναμένεται, συντηρητικές απλοποιήσεις στη γεωμετρία του κτιρίου δεν αντιστοιχούν σε έντονη απόκλιση των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με λεπτομερή μοντέλα. Ωστόσο, οι γεωμετρικές απλουστεύσεις που επηρεάζουν έντονα τον ορισμό των θερμικών ζωνών του μοντέλου έχουν τον ισχυρότερο αντίκτυπο στα αποτελέσματα ανάλογα με την πολυπλοκότητα του κτιρίου.

Η αξιολόγηση των απλοποιήσεων ενός μοντέλου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το χρονικό κέρδος που εξασφαλίζει. Κάθε μοντέλο είναι μοναδικό και έτσι απαιτείται η εύρεση μιας εξατομικευμένης στρατηγικής απλοποίησης που να αποφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει σημαντικά τις χρονικές απαιτήσεις των υπολογισμών της προσομοίωσης. [20]

3.2 Σύνθετη γεωμετρία στη σύγχρονη αρχιτεκτονική

Η ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων σύνθετης γεωμετρίας συνεχίζει να αποτελεί μια πρόκληση. Στη σύγχρονη αρχιτεκτονική, η σύνθετη γεωμετρία σε κτίρια είναι συχνό φαινόμενο, και κατά συνέπεια, η ανάγκη για αποτελεσματικούς τρόπους προσομοίωσης όλο και μεγαλώνει. Τα περισσότερα εργαλεία προσομοίωσης είναι ικανά να παράξουν αξιόπιστα αποτελέσματα για απλή, μη-κυρτή γεωμετρία, με αποτέλεσμα, να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πιο περίπλοκες εφαρμογές. Η αδυναμία της διαχείρισης κυρτής γεωμετρίας από τις μηχανές προσομοίωσης, έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εύχρηστων σχεδιαστικών λύσεων.

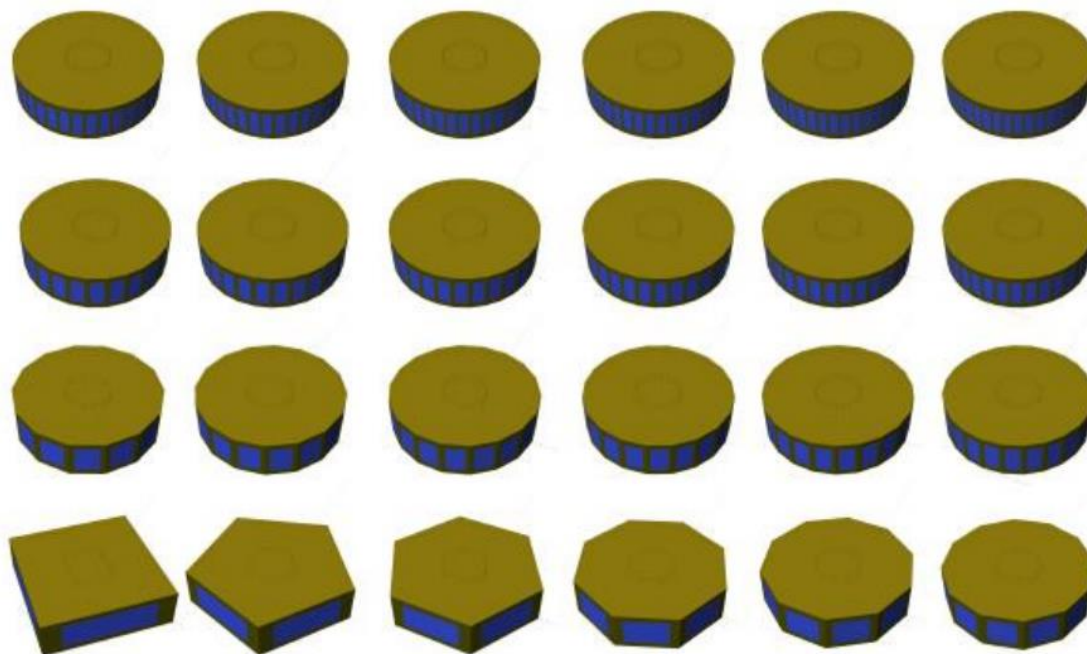
Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να παρακάμψουμε την κυρτή γεωμετρία είναι η χρήση πλέγματος (mesh), το οποίο αντιπροσωπεύει επαρκώς την κυρτή επιφάνεια, χωρίζοντάς την σε μικρότερες επίπεδες επιφάνειες. Η δημιουργία πλέγματος αποτελεί εξ ορισμού μία απλοποίηση της αρχικής γεωμετρίας, ενώ ταυτόχρονα θα επηρεάσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Για τον παραπάνω λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντική η ακρίβεια της αρχικής γεωμετρίας, η οποία θα αποτελέσει τη βάση του μοντέλου και θα επηρεάσει την ορθή εκτέλεση της διαδικασίας της πλεγματοποίησης. Έτσι, απαιτούνται εξελιγμένα σχεδιαστικά προγράμματα που να έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν την ακριβή σχεδίαση σύνθετων και καμπύλων επιφανειών, αλλά και να διαθέτουν εργαλεία πλεγματοποίησης για την περεταίρω ανάλυση της γεωμετρίας. Επιπλέον απαιτούνται ισχυρά εργαλεία προσομοίωσης, τα οποία να έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν γεωμετρίες πλέγματος, οι οποίες αποτελούνται από μεγάλο αριθμό επιφανειών, με συνέπεια να πολλαπλασιάζονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί της προσομοίωσης, γεγονός που μεταφράζεται σε μεγάλο χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωσή της.

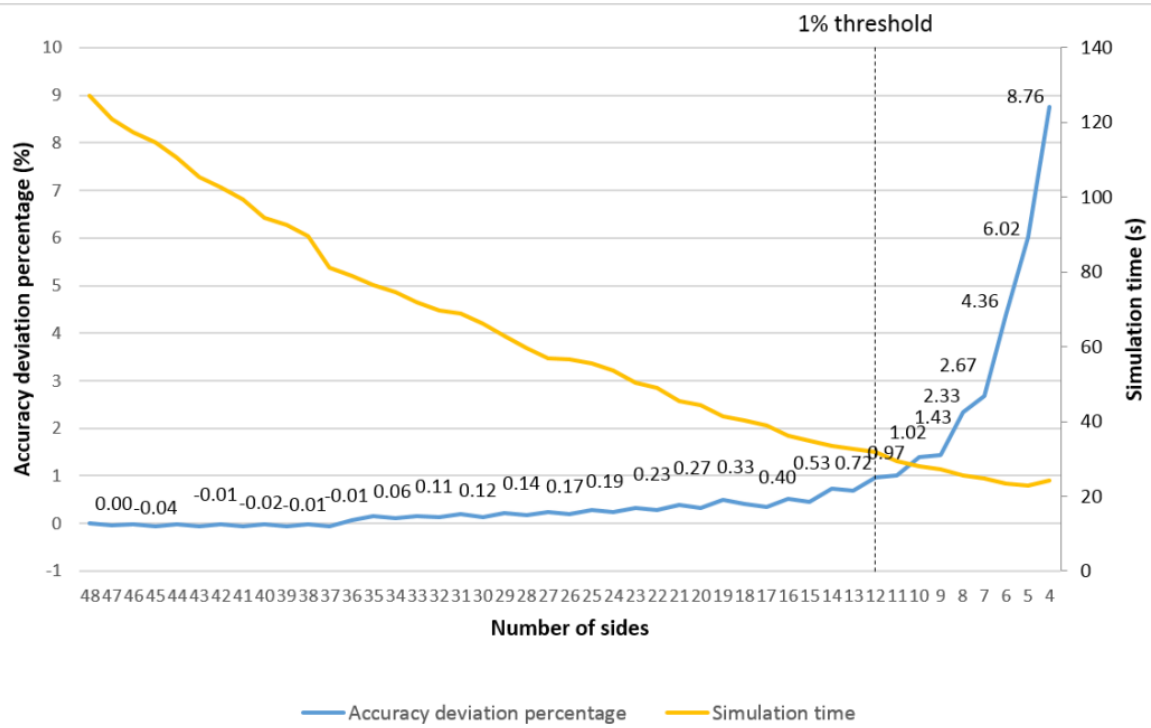
Η ακρίβεια και ο χρόνος αποτελούν έννοιες που συνδέονται εγγενώς με τη διαδικασία σχεδίασης και την προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Η εύρεση ισορροπίας στην επιρροή που ασκεί η απλοποίηση της γεωμετρίας στους παραπάνω θεμελιώδεις παράγοντες της μοντελοποίησης είναι μια πρόκληση που συναντάται σε κάθε προσομοίωση κτιρίου και απαιτεί εμπειρία και δεξιότητα, όπως και κάθε άλλη αφαίρεση στοιχείων από ένα κτιριακό μοντέλο.

Στοιχεία από έρευνες συμφωνούν ότι μέσω της ορθής χρήσης πλέγματος δύναται να επιτευχθεί σημαντική μείωση της γεωμετρικής πολυπλοκότητας με αμελητέα επίδραση

στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενώ ελαχιστοποιούνται σημαντικά οι χρονικές απαιτήσεις. Η ακρίβεια, ωστόσο, επιδεινώνεται γρήγορα έπειτα από ένα κρίσιμο όριο. [20]



Σχήμα 3.2: Μελέτη απλοποίησης της γεωμετρίας θερμικής ζώνης μειώνοντας τις επίπεδες πλευρές τις [20]



Σχήμα 3.3: Επίδραση της απλοποίησης θερμικής ζώνης στο χρόνο της προσομοίωσης και στο σφάλμα των αποτελεσμάτων [20]

4. Εργαλεία σχεδίασης και προγράμματα προσομοίωσης

4.1 Rhinoceros 3D

Το Rhinoceros 3D είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα 3D μοντελοποίησης με εφαρμογή κυρίως στην αρχιτεκτονική, τη μηχανολογία, και τη ναυπηγική. Ωστόσο χρησιμοποιείται και στη διακόσμηση, τον σχεδιασμό βιντεοπαιχνιδιών, αλλά και διαφόρων αντικειμένων που παράγονται μέσω 3D printer, καθώς και κοσμήματα. Το εύρος των σχεδιαστικών δυνατοτήτων που παρέχει στον χρήστη είναι αρκετό για να καλύψει εφαρμογές που απαιτούν ιδιαίτερα λεπτομερή και σύνθετη σχεδίαση.

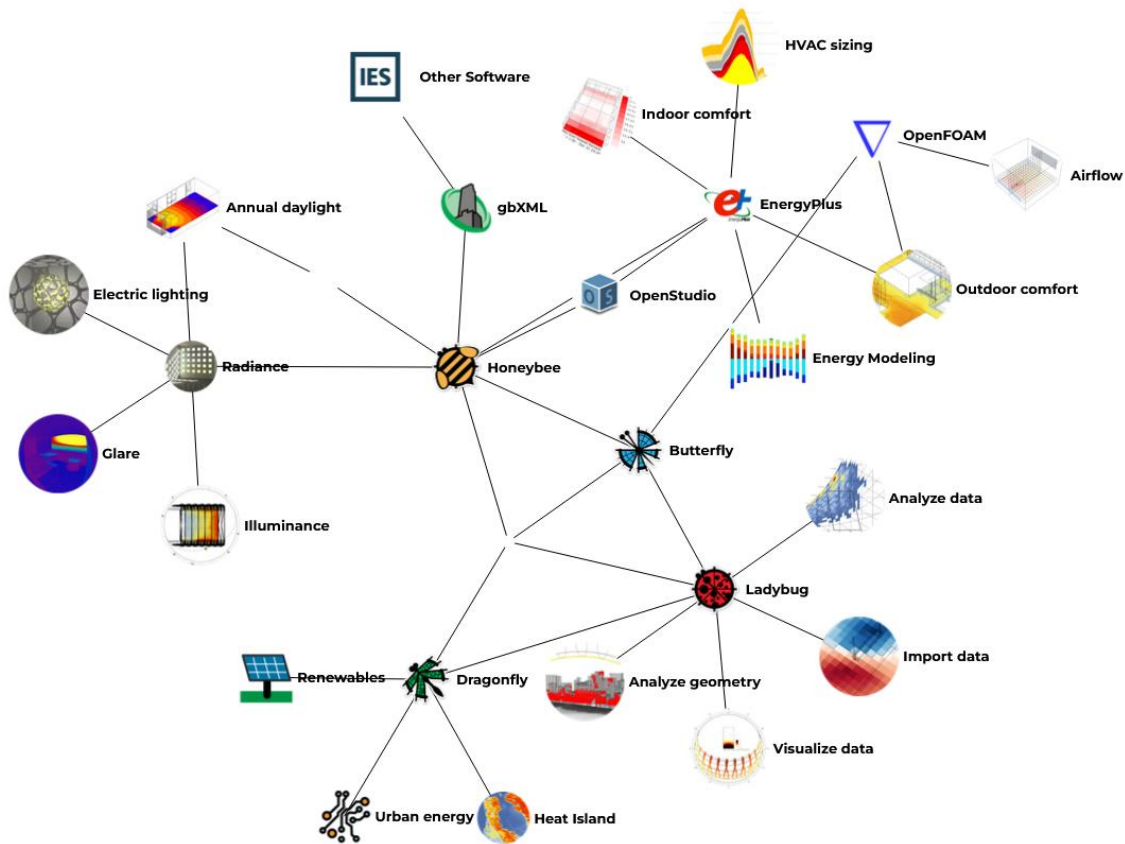
4.2 Grasshopper



Το Grasshopper είναι ένα περιβάλλον οπτικής γλώσσας προγραμματισμού. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί προγράμματα διασυνδέοντας τα πολυάριθμα προγραμματιστικά στοιχεία (components) μεταξύ τους, αντί να κάνει χρήση κειμένου. Αποτελεί ένα πρόσθετο (plugin) του Rhinoceros, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία και την επεξεργασία της γεωμετρίας παραμετρικά.

4.3 Ladybug Tools

Τα Ladybug Tools είναι μία οικογένεια πρόσθετων εφαρμογών, συμβατά με το περιβάλλον του Grasshopper, τα οποία υποστηρίζουν τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό κτιρίων. Αποτελούν τη σύνδεση μεταξύ του σχεδιαστικού προγράμματος (CAD) και των έγκυρων εργαλείων προσομοίωσης, όπως είναι τα EnergyPlus/OpenStudio, Radiance, Therm/Window, και OpenFOAM.

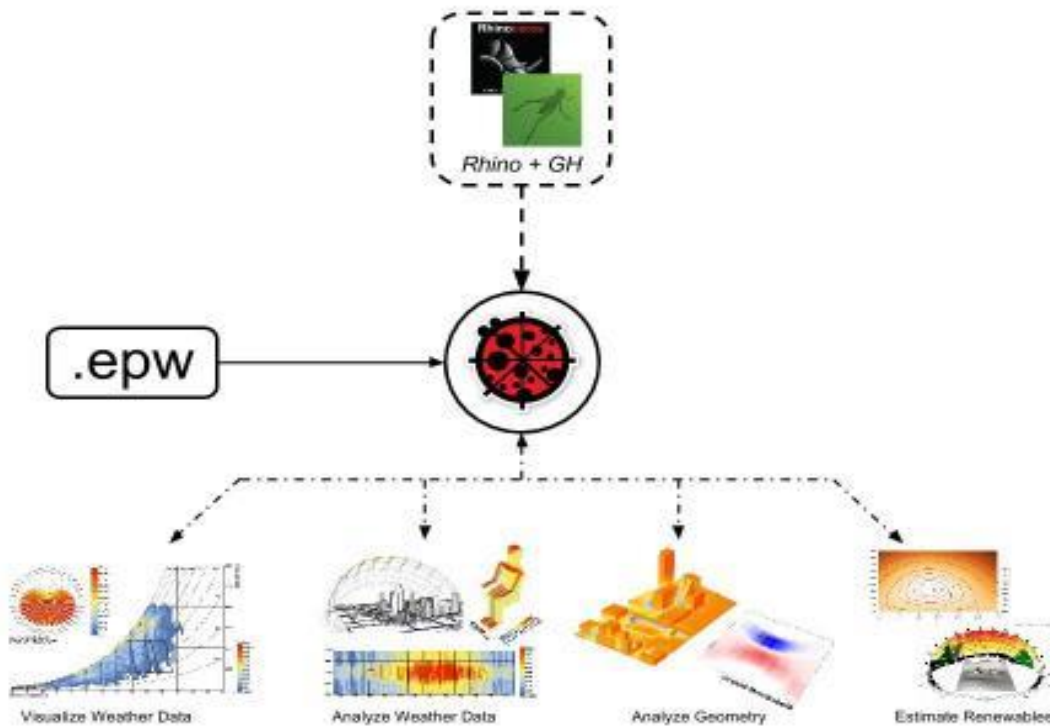


Σχήμα 4.1: Διάγραμμα συμβατότητας εργαλείων και επεκτάσεων σχετικών με την ενεργειακή μοντελοποίηση [21]

Πιο συγκεκριμένα, τα Ladybug Tools που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι τα Ladybug και Honeybee.

4.4 Ladybug

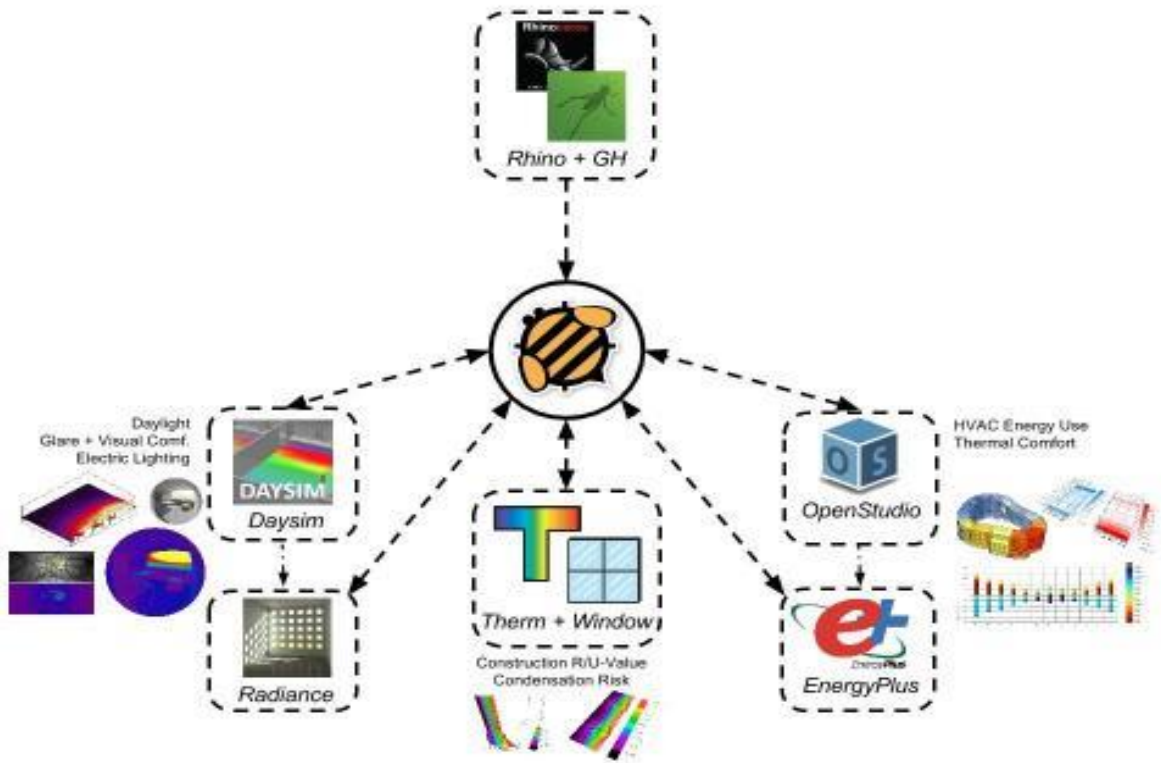
Το Ladybug πραγματοποιεί ανάλυση κλιματικών δεδομένων, με σκοπό την παραγωγή διαδραστικών απεικονίσεων, ειδικά προσαρμοσμένων στην εκάστοτε γεωμετρία και γεωγραφική περιοχή. Χρησιμοποιώντας κλιματικά αρχεία από το EnergyPlus Weather (.EPW) παρέχει μια ποικιλία διαδραστικών 2D και 3D γραφικών, τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα κατά το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα για την υλοποίηση μελέτης με χρήση του Ladybug [21]

4.5 Honeybee

Το Honeybee είναι το εργαλείο που δημιουργεί, οπτικοποιεί, και εκτελεί προσομοιώσεις ηλιακού φωτός μέσω του Radiance, και προσομοιώσεις ενεργειακής μοντελοποίησης μέσω του EnergyPlus/OpenStudio. Συνδέει το περιβάλλον του Rhinoceros/Grasshopper (CAD) με την έγκυρη μηχανή προσομοίωσης EnergyPlus/Openstudio, λαμβάνοντας υπόψιν την γεωμετρία του κτιρίου, καθώς και τα κλιματικά δεδομένα που παρέχει το Ladybug. Μέσω του Honeybee πραγματοποιείται η επεξεργασία της κλειστής γεωμετρίας του κτιρίου, στην οποία προσδίδεται μια πληθώρα ιδιοτήτων, καθώς και δεδομένα που καθορίζουν τις απαραίτητες παραμέτρους για την πραγματοποίηση της ενεργειακής ανάλυσης.



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα για την υλοποίηση μελέτης με χρήση του Honeybee [21]

4.6 OpenStudio

Το OpenStudio αποτελεί μία συλλογή εργαλείων λογισμικού, τα οποία κάνοντας χρήση του EnergyPlus, υποστηρίζουν την ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου.

4.7 EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων το οποίο χρησιμοποιείται από μηχανικούς, αρχιτέκτονες και ερευνητές για τη μοντελοποίηση της κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό όσο και για τη χρήση ζεστού νερού στα κτίρια.

5. Σχεδίαση γεωμετρίας κτιρίου – Rhinoceros 3D

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε πρωτότυπο κτίριο γραφείων στην περιοχή του Ελληνικού Αττικής, μέσω του σχεδιαστικού εργαλείου Rhinoceros 3D, με σκοπό την ενεργειακή του προσομοίωση και ανάλυση. Η ιδιαιτερότητα της γεωμετρίας του κτιρίου, έγκειται στο γεγονός ότι δεν αποτελείται αμιγώς από επίπεδες επιφάνειες, αλλά περιλαμβάνει και επιφάνειες κυρτής γεωμετρίας στο κέλυφός του. Σε αυτό το στάδιο σχεδιάζεται μόνο η κλειστή γεωμετρία του κελύφους και των επιμέρους θερμικών ζωνών, η οποία σε επόμενο κεφάλαιο θα μεταφερθεί στο Grasshopper 3D για να επεξεργασθεί και για να τους αποδοθούν ιδιότητες, ώστε να υλοποιηθεί η ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου μέσω του EnergyPlus.

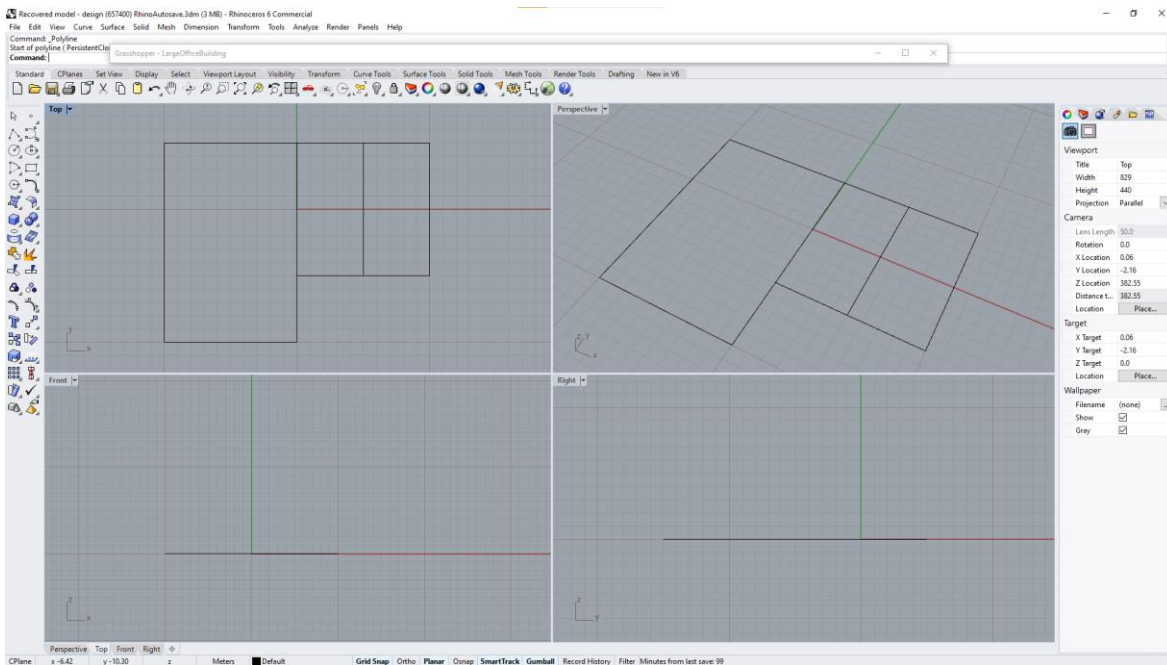
Τους επεκτάσεις του Grasshopper, Ladybug και Honeybee, που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας, υπάρχει προεγκατεστημένη ρύθμιση που ορίζει ως σχεδιαστικό βορρά τη θετική προέκταση του άξονα y . Έτσι, ορίζονται τα σημεία του οριζοντα ανατολή, δύση, και νότος, ως η θετική και αρνητική προέκταση του άξονα x , και η αρνητική προέκταση του άξονα y αντίστοιχα.

Επιλέγεται η πρόσοψη του κτιρίου να έχει νότιο προσανατολισμό, καθώς οι θερμικές ζώνες που θα την απαρτίζουν, θα αποτελούν γραφειακούς χώρους ή αίθουσες συσκέψεων, τους οποίους προτιμάται να εισέρχεται άφθονο φυσικό φως. Επιπλέον, τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό θα σχεδιαστούν σημαντικά μεγαλύτερα από αυτά με βόρειο, επιτρέποντας μεγαλύτερα θερμικά κέρδη κατά τους ψυχρούς μήνες, ενώ η εξωτερική και εσωτερική σκίαση θα συμβάλει στη μείωση των ηλιακών θερμικών φορτίων που συγκεντρώνονται κατά τους θερμούς μήνες.

5.1 Δισδιάστατη Σχεδίαση

5.1.1 Σχεδίαση κάτοψης ισογείου

Η κάτοψη των δωματίων του ισογείου αποτελείται από κλειστές καμπύλες, οι οποίες ορίζουν τα δωμάτια, τα οποία θα μοντελοποιηθούν ως ξεχωριστές θερμικές ζώνες. Επισημαίνεται ότι όταν δύο δωμάτια εφάπτονται μεταξύ τους, δεν αρκεί η απλή διαγράμμιση ανάμεσά τους, αλλά πρέπει να σχεδιαστούν δύο ευθείες γραμμές, με την κάθε μία να ανήκει στην κλειστή καμπύλη που ορίζει το δωμάτιο στο οποίο ανήκει.



Σχήμα 5.1: Σχεδίαση κάτοψης επίπεδων θερμικών ζωνών ισογείου

Με το εργαλείο Polyline ο χρήστης δύναται να σχεδιάσει κλειστές καμπύλες αποτελούμενες από ευθείες γραμμές, και χρησιμοποιείται για τα δωμάτια επίπεδης γεωμετρίας.

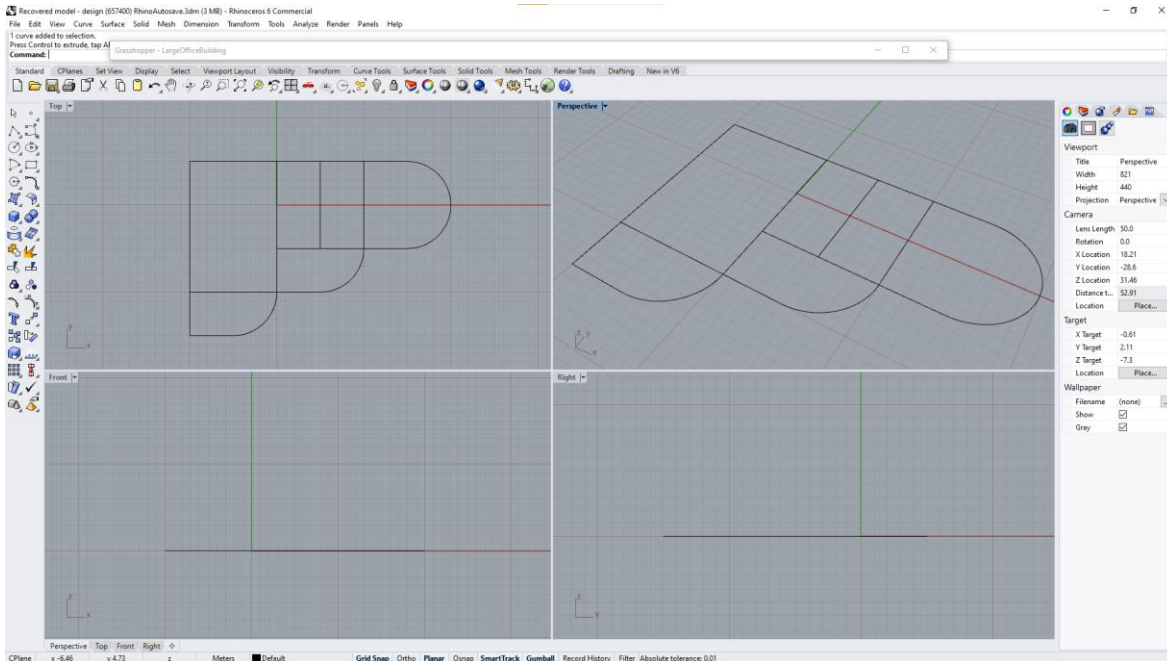
Για τα δωμάτια τα οποία εμπεριέχουν καμπύλες σύνθετης γεωμετρίας, σχεδιάζονται ξεχωριστά από τις ευθείες γραμμές, και ενώνονται στο τέλος εισάγοντας την εντολή join στη γραμμή εντολών.

5.1.2 Σχεδίαση κάτοψης πρώτου, δευτέρου, τρίτου ορόφου

Κάθε όροφος είναι ελαφρώς διαφορετικός ως προς την κάτοψη και το εμβαδόν του, ενώ η γενική διάταξη των δωματίων παραμένει ίδια, με εξαίρεση την αφαίρεση κάποιας θερμικής ζώνης ή τη διαφοροποίηση της γεωμετρίας της.

Για τη σχεδίαση των καμπύλων επιφανειών των σύνθετων θερμικών ζωνών έγινε χρήση του εργαλείου Control Point Curve, με το οποίο ο χρήστης επιλέγει τις συντεταγμένες και το πλήθος των σημείων ελέγχου που παράγουν την καμπύλη. Το Rhinoceros βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο NURBS (Non-uniform rational basis spline) για την ακριβή αναπαράσταση καμπυλών και επιφανειών, κάνοντας χρήση B-splines και σημείων ελέγχου. Κάθε σημείο της καμπύλης παράγεται μέσω σταθμισμένου αθροίσματος των σημείων ελέγχου.

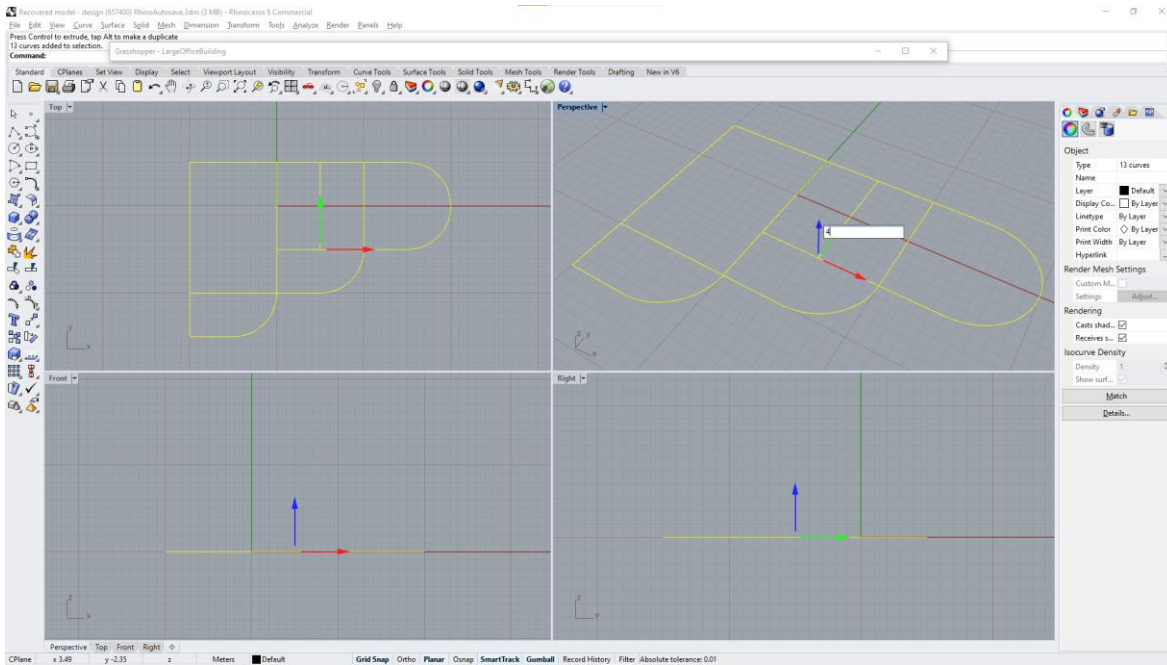
Έπειτα από τη δημιουργία καμπύλης με συμμετρικά σημεία ελέγχου, σχεδιάζονται ευθείες γραμμές που συμπληρώνουν το περίγραμμα, και με την εντολή join ενώνονται σε μία κλειστή καμπύλη που οριοθετεί τη θερμική ζώνη του δωματίου.



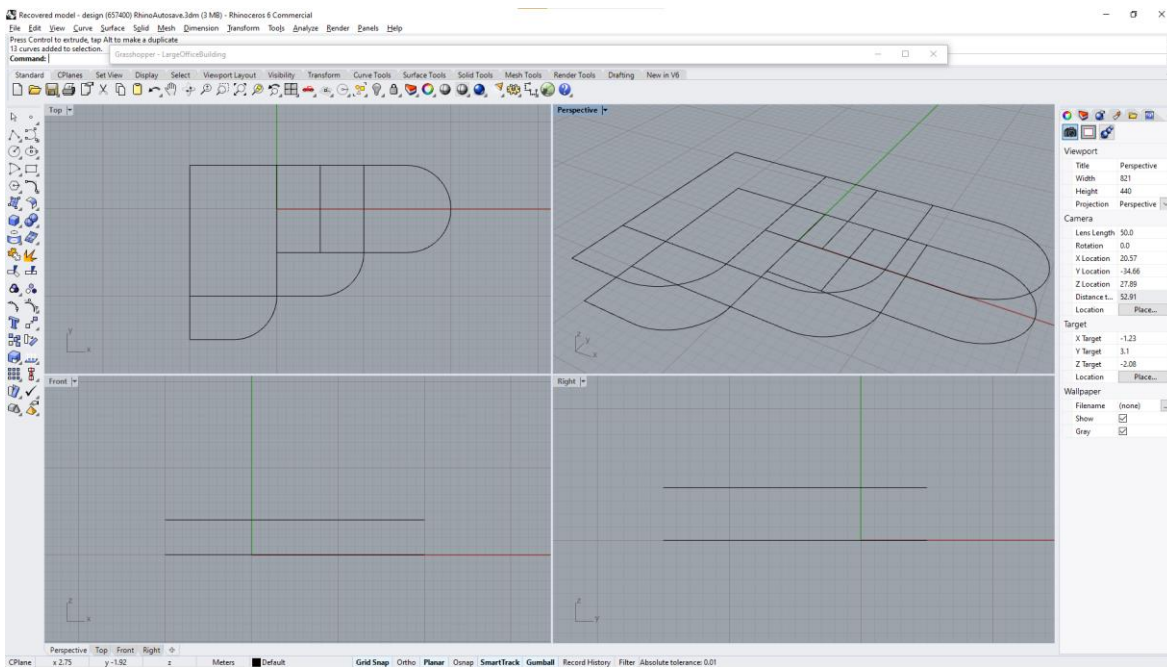
Σχήμα 5.2: Σχεδίαση κάτοψης καμπύλων θερμικών ζωνών ισογείου

5.2 Τρισδιάστατο μοντέλο

Ύστερα από την ολοκλήρωση των κατόψεων των ορόφων του κτιρίου πραγματοποιείται η δημιουργία των κλειστών όγκων των θερμικών ζωνών. Το Rhinoceros 3D προσφέρει πληθώρα τρόπων με τους οποίους γίνεται να επιτευχθεί η δημιουργία των επιφανειών. Ο τρόπος που επιλέχθηκε είναι μέσω της εντολής Loft, η οποία δύναται να παραγάγει επιφάνεια μεταξύ δύο επιλεγμένων καμπυλών. Οι κλειστές καμπύλες της κάτοψης του ισογείου αντιγράφονται και επικολλώνται στο επίπεδο του πρώτου ορόφου, δηλαδή μετατοπίζονται 4 μέτρα κατά τον θετικό άξονα z.



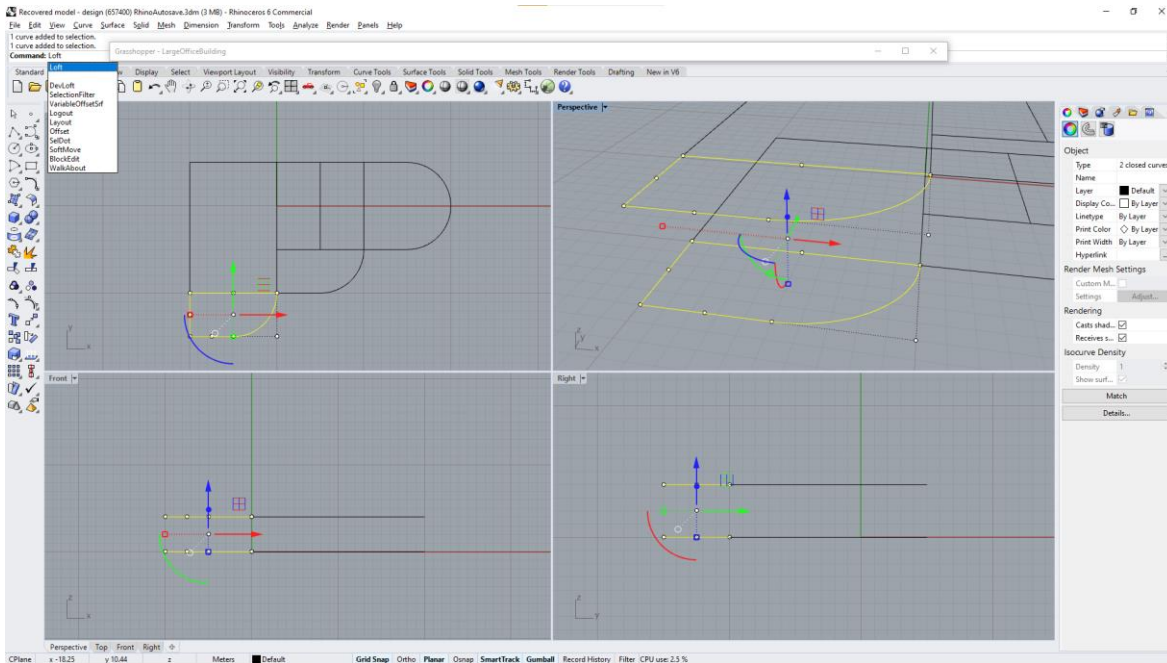
Σχήμα 5.3: Μετατόπιση κάτοψης κατά τον άξονα Z



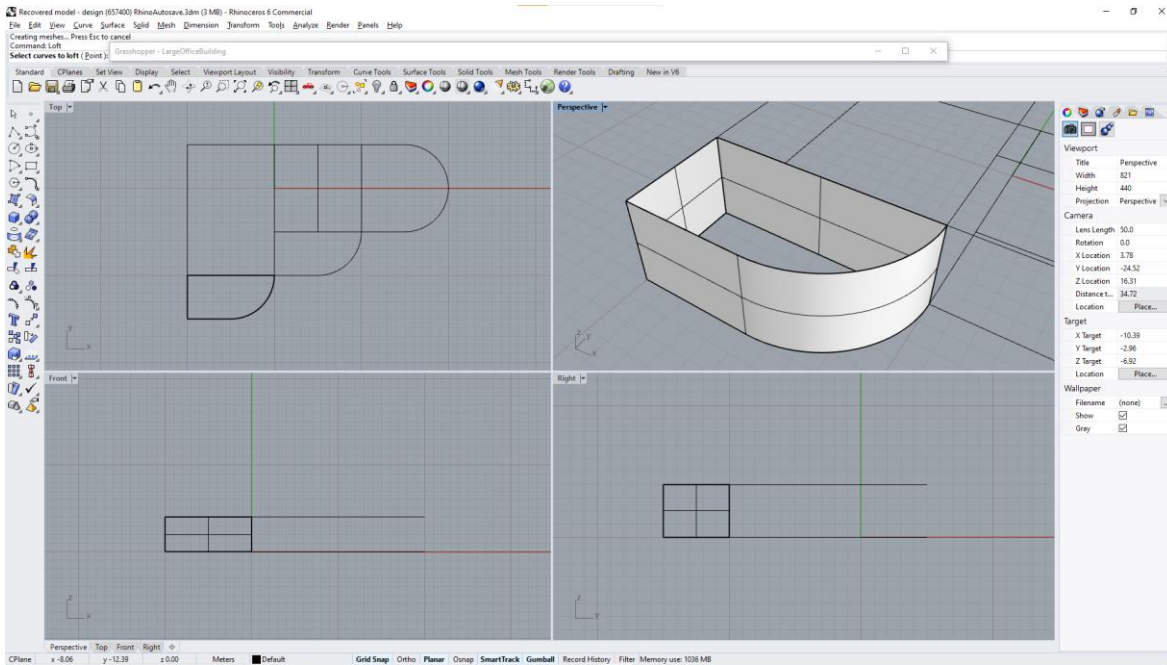
Σχήμα 5.4: Μετατόπιση κάτοψης κατά τον άξονα Z

Στη συνέχεια επιλέγονται ανά ζευγάρια οι κλειστές καμπύλες στο επίπεδο του ισογείου και του πρώτου ορόφου, ξεχωριστά για κάθε δωμάτιο, και εισάγοντας την εντολή Loft στη γραμμή εντολών παράγεται η κλειστή επιφάνεια ανάμεσά τους, η οποία αποτελεί τους

τοιίχους της κάθε θερμικής ζώνης. Επισημαίνεται ότι η διαδικασία δύναται να γίνει και τμηματικά, δηλαδή δίχως να είναι κλειστές οι καμπύλες, και κατά συνέπεια ούτε οι επιφάνειες. Ωστόσο, δεδομένου ότι κάθε δωμάτιο αποτελεί μία ξεχωριστή θερμική ζώνη, η οποία για τη μεταφορά και την επεξεργασία της στο Honeybee πρέπει να αποτελεί κλειστό όγκο, είναι απαραίτητο για κάθε ζευγάρι εφαπτόμενων δωματίων να χωρίζονται από διπλή επιφάνεια μεταξύ τους, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα από τα δύο δωμάτια.

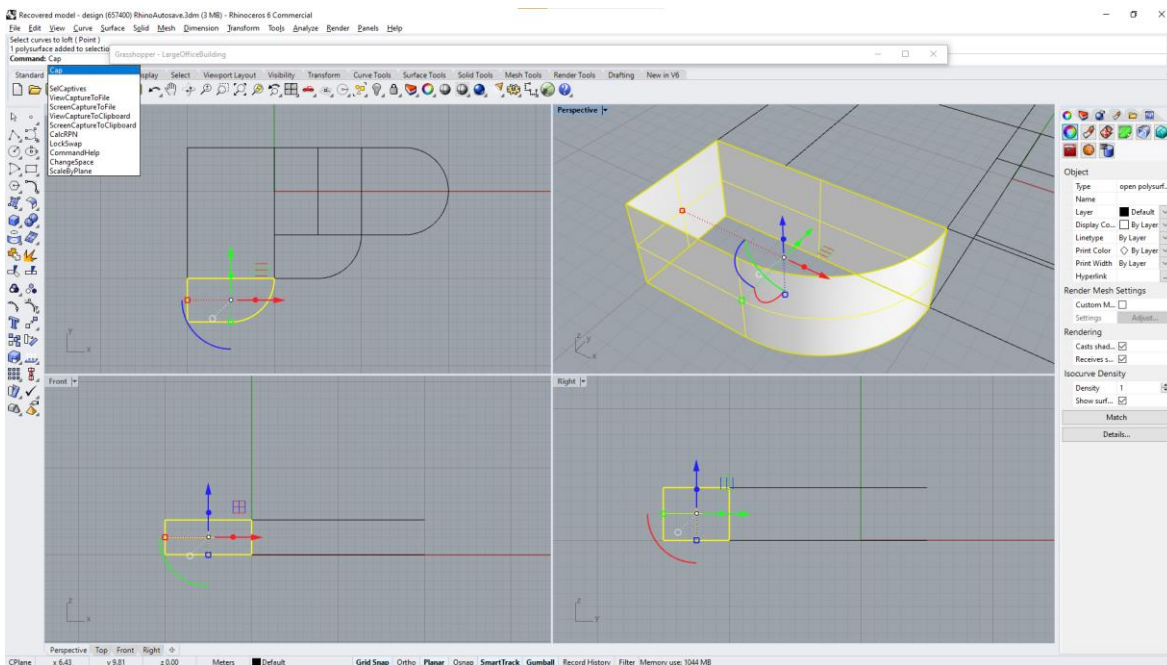


Σχήμα 5.5: Επιλογή κλειστών καμπυλών θερμικής ζώνης

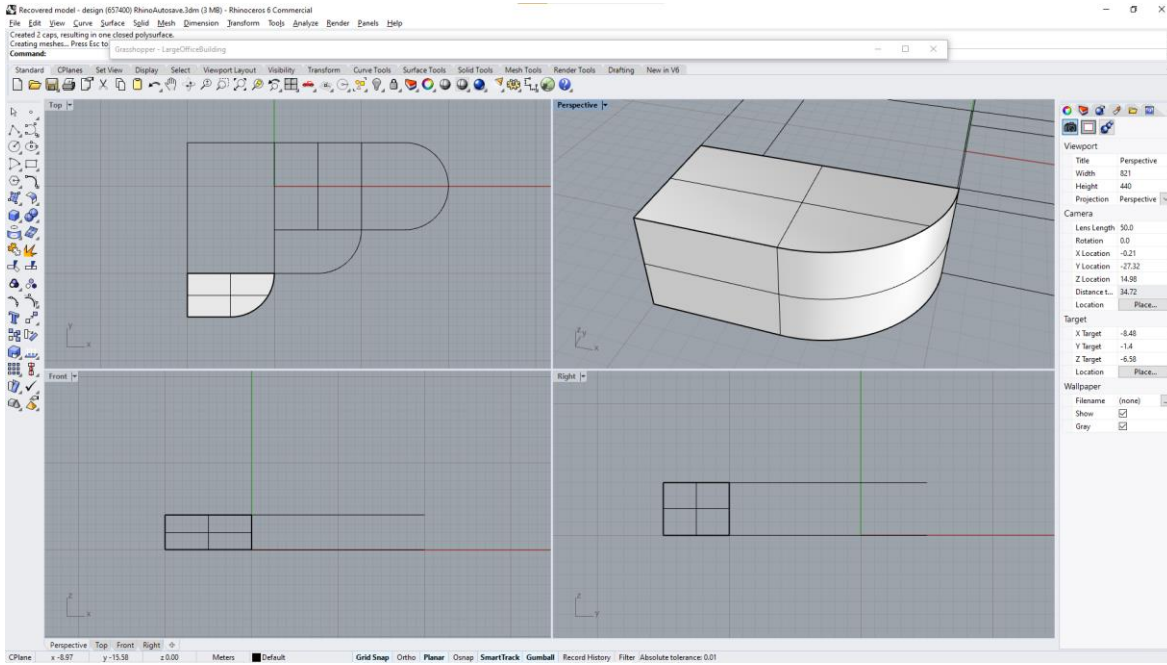


Σχήμα 5.6: Εντολή Loft, δημιουργία polysurface

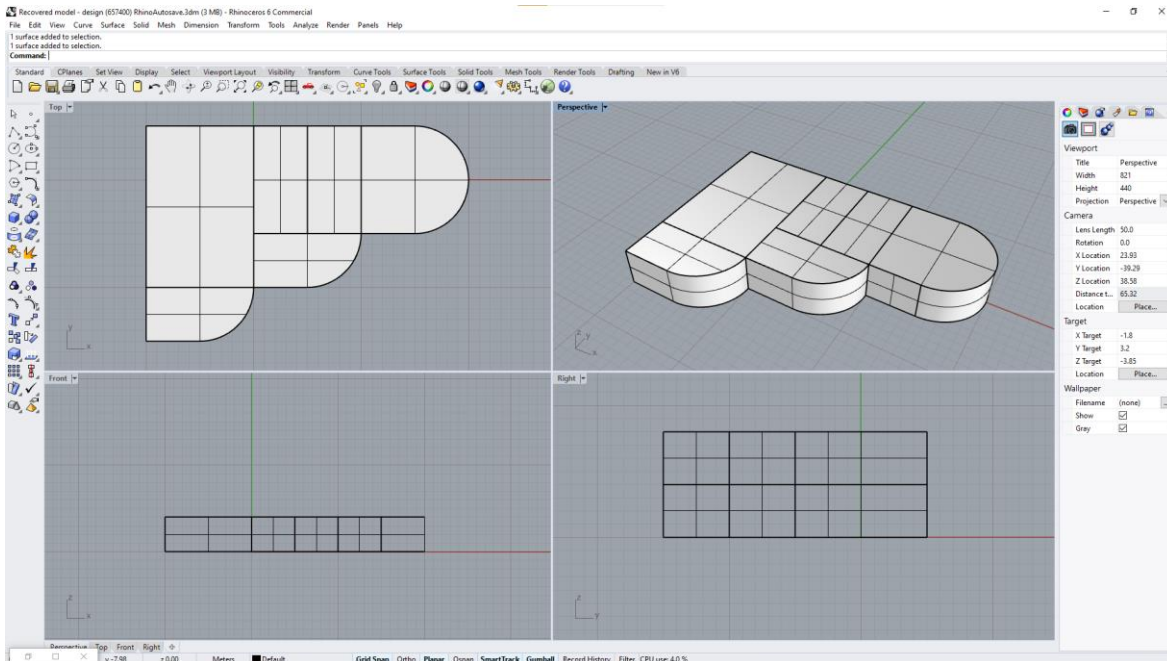
Με την εντολή Cap εμφανίζονται επιφάνειες στο άνω και κάτω μέρος της πολυεπιφάνειας (polysurface), οι οποίες έχουν περίγραμμα την κλειστή καμπύλη. Έτσι, δημιουργείται ένας κλειστός όγκος που αντιπροσωπεύει μία θερμική ζώνη.



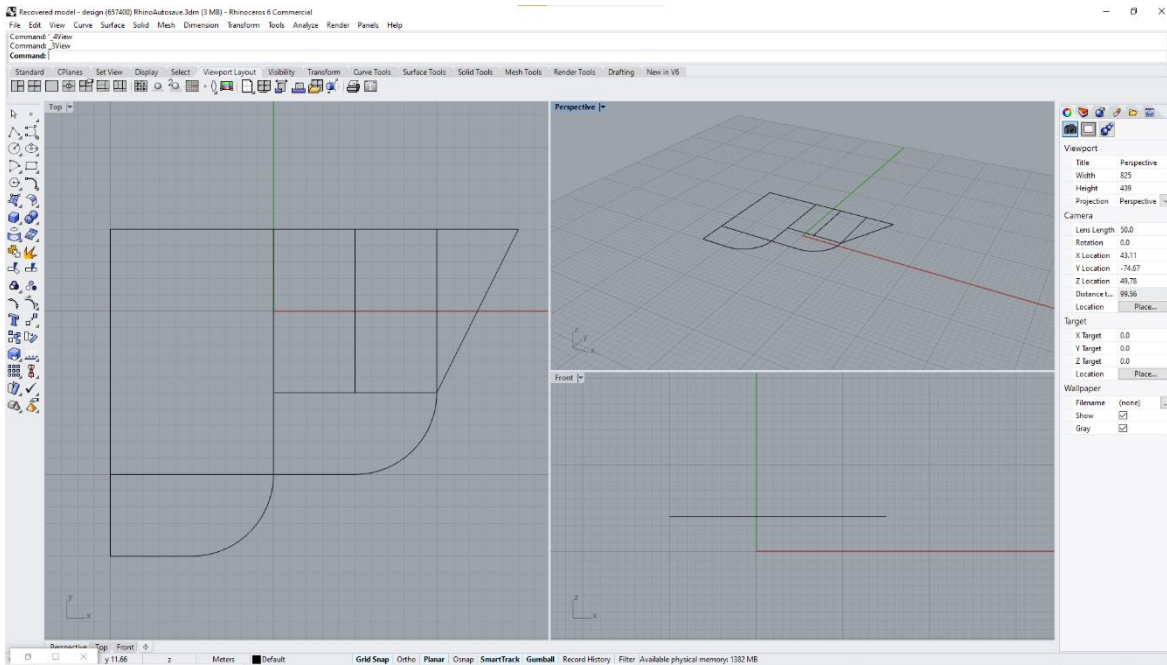
Σχήμα 5.7: Εντολή Cap



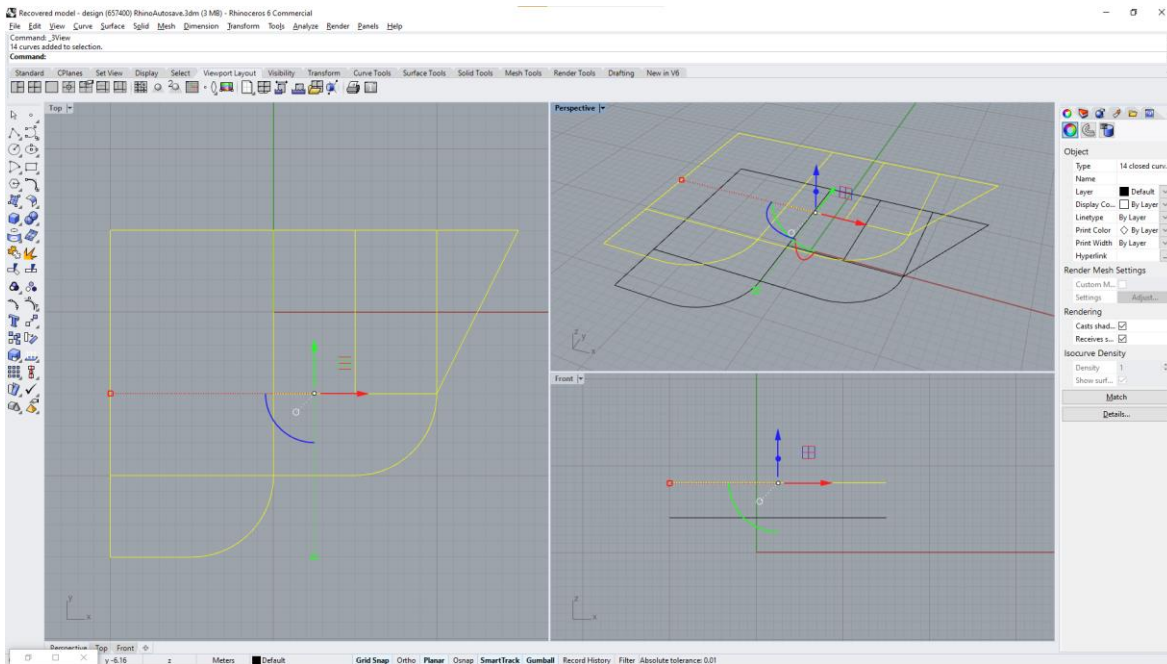
Σχήμα 5.8: Εντολή Cap, δημιουργία κελύφους θερμικής ζώνης



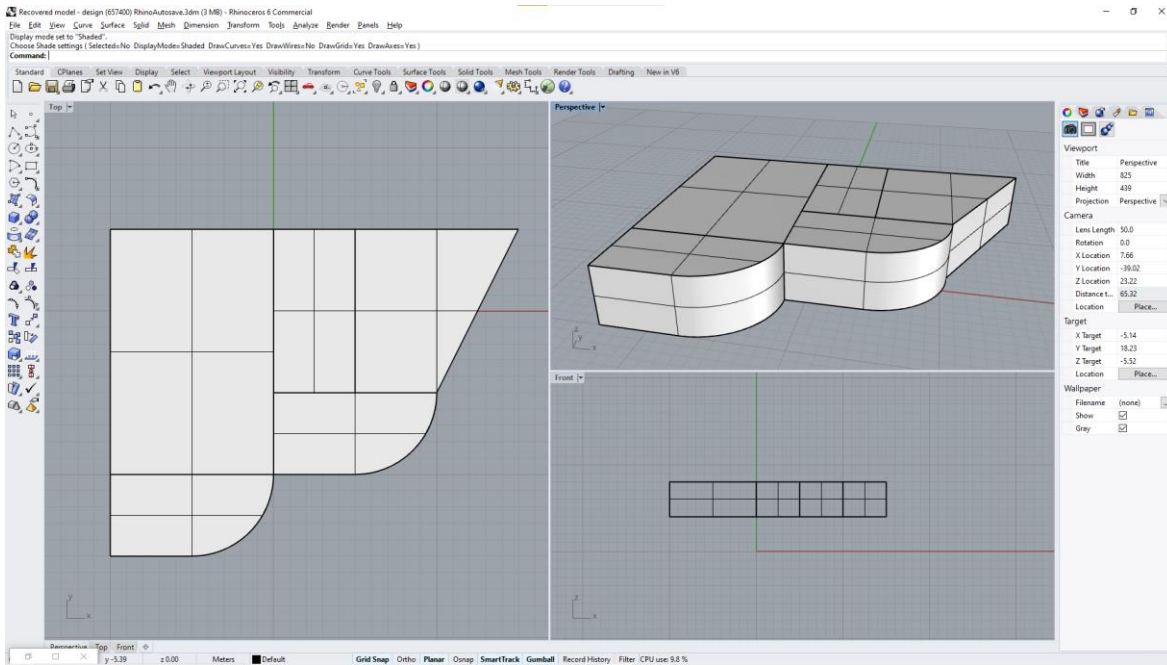
Σχήμα 5.9: Δημιουργία θερμικών ζωνών ισογείου



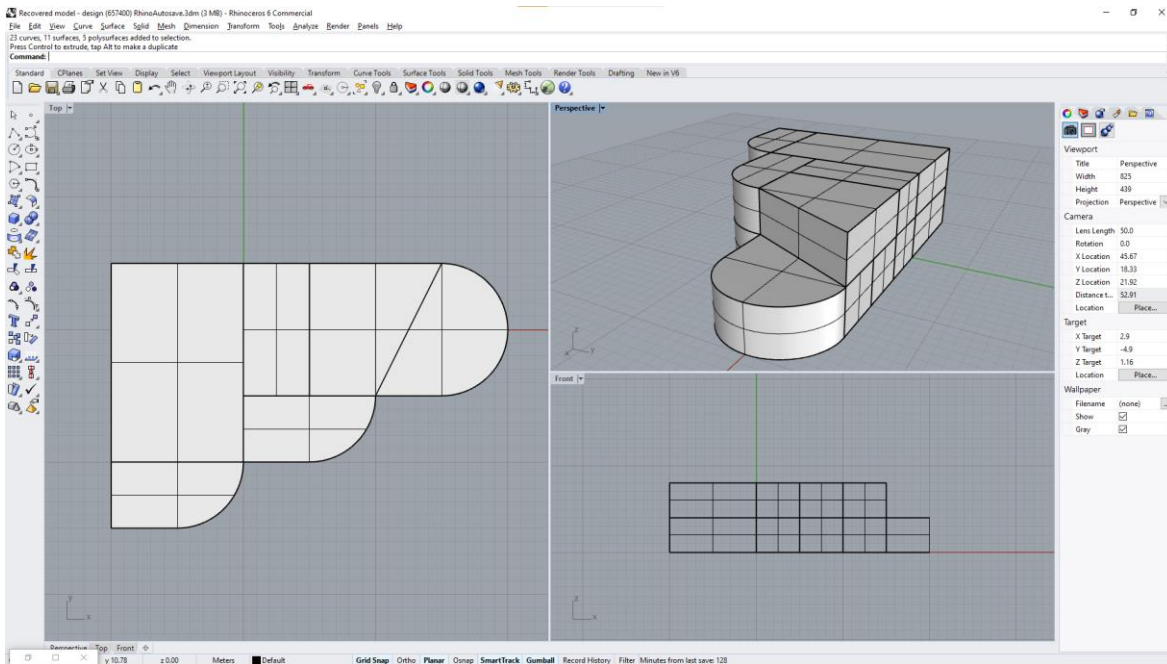
Σχήμα 5.10: Δημιουργία κάτοψης πρώτου ορόφου



Σχήμα 5.11: Μετατόπιση κάτοψης κατά τον άξονα Z

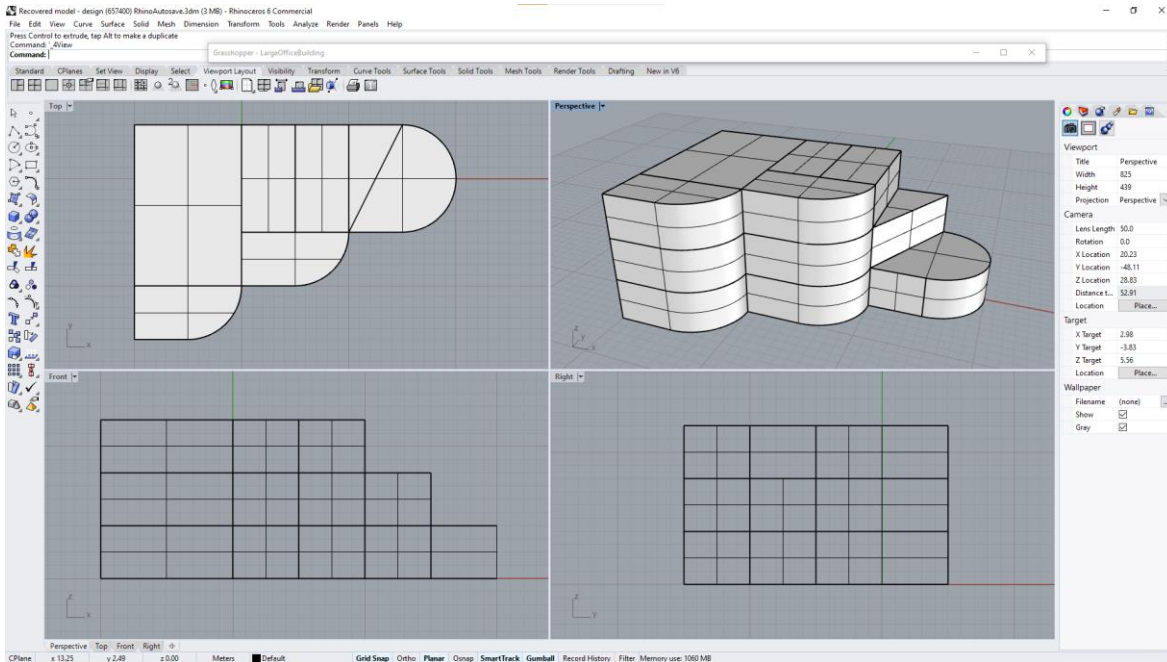


Σχήμα 5.12: Δημιουργία θερμικών ζωνών πρώτου ορόφου

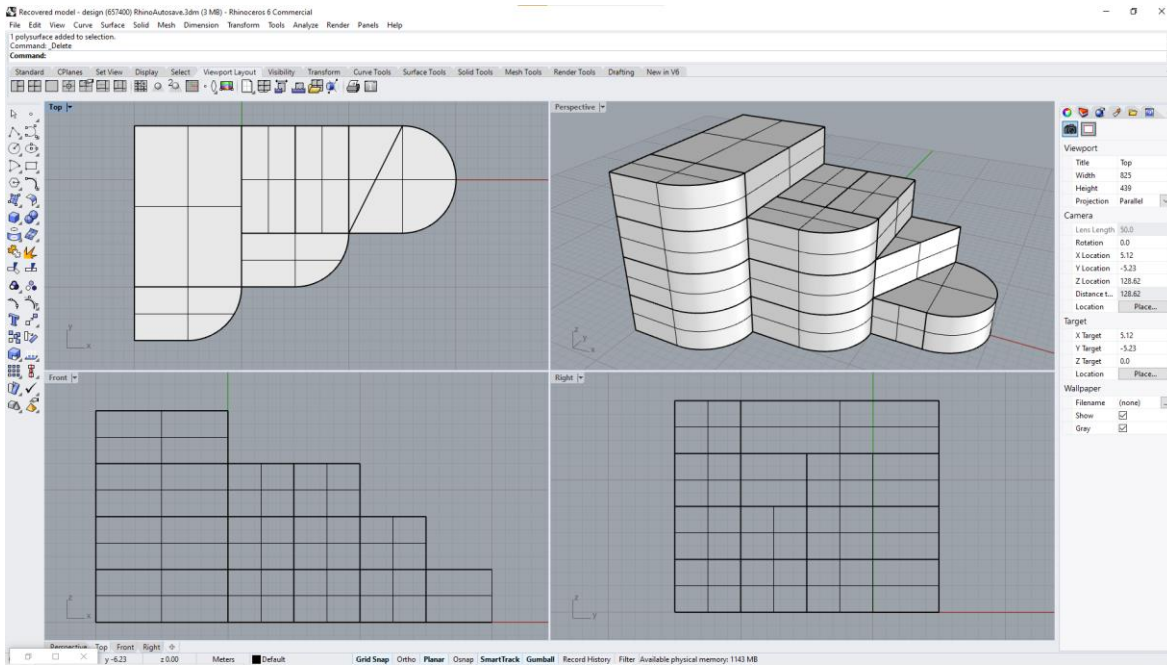


Σχήμα 5.13: Θερμικές ζώνες ισογείου και πρώτου ορόφου

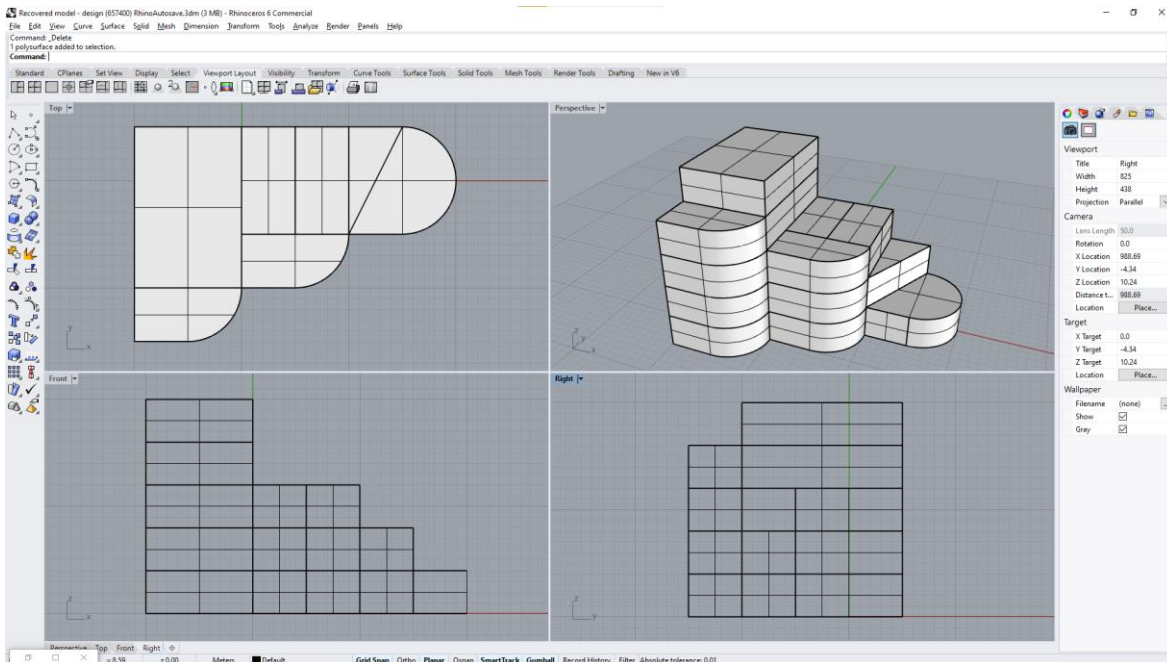
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αντιγράφοντας και επικολλώντας την κάτοψη του πρώτου ορόφου στο επίπεδο του δεύτερου. Το ύψος κάθε ορόφου ορίζεται στα 4 μέτρα. Επιλέγοντας τις καμπύλες ανά ζευγάρια και δίνοντας την εντολή Loft δημιουργούνται οι επιφάνειες των θερμικών ζωνών που αποτελούν τους εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους του κτιρίου.



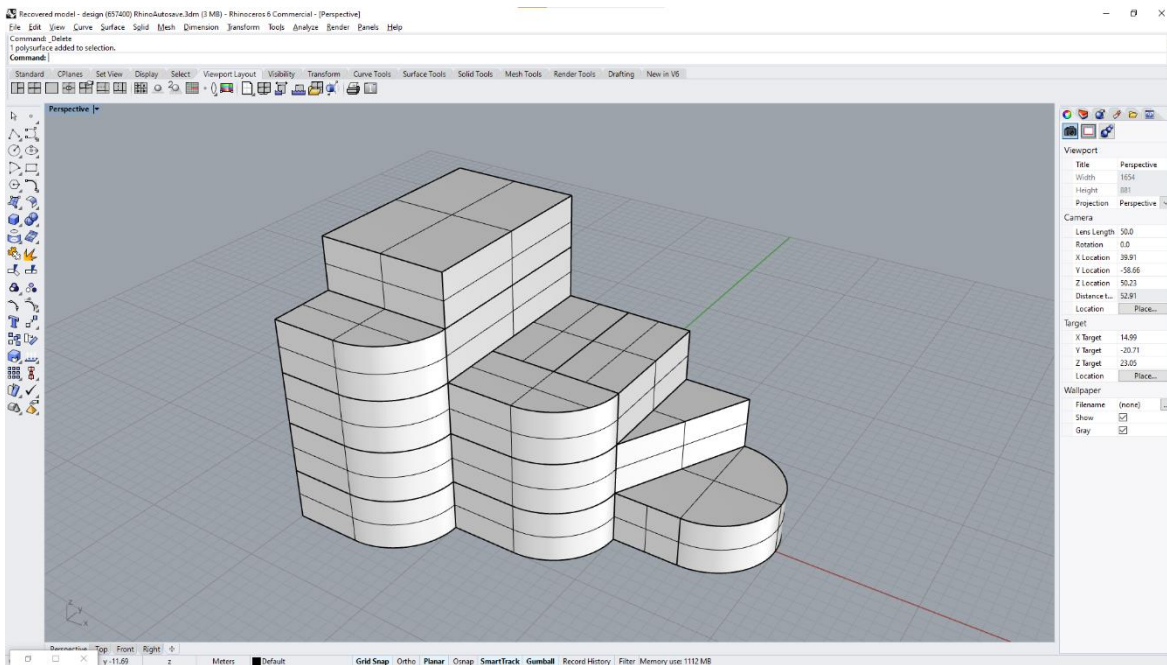
Σχήμα 5.14: Θερμικές ζώνες ισογείου, πρώτου και δεύτερου ορόφου



Σχήμα 5.15: Θερμικές ζώνες ισογείου, πρώτου, δευτέρου και τρίτου ορόφου

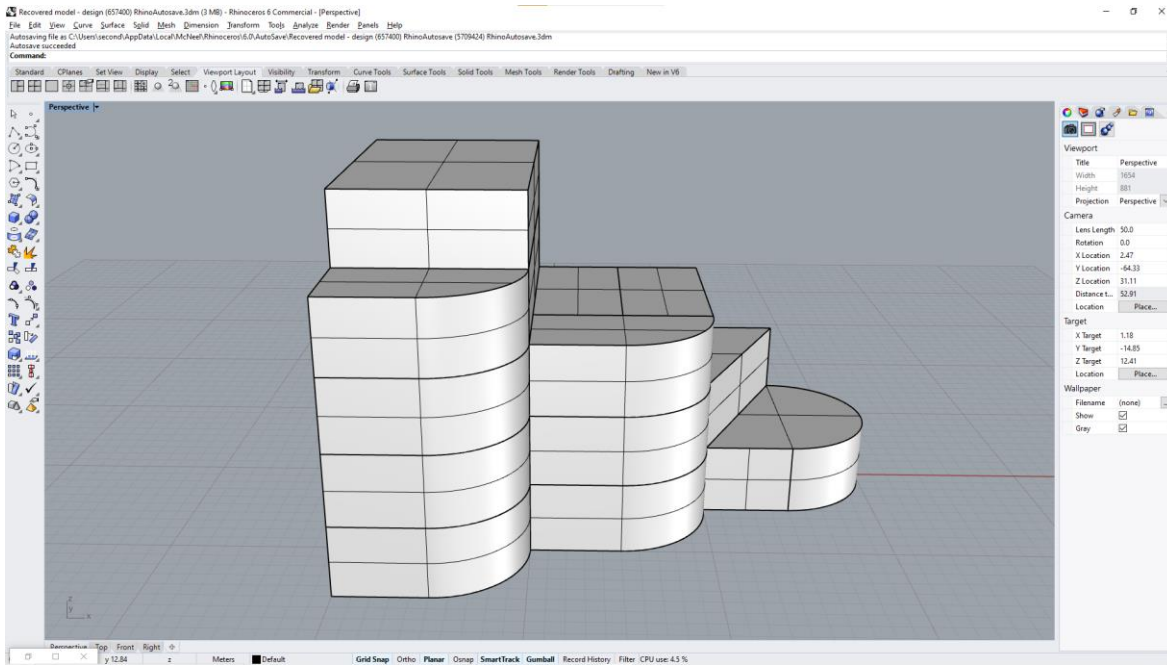


Σχήμα 5.16: Θερμικές ζώνες κτιρίου

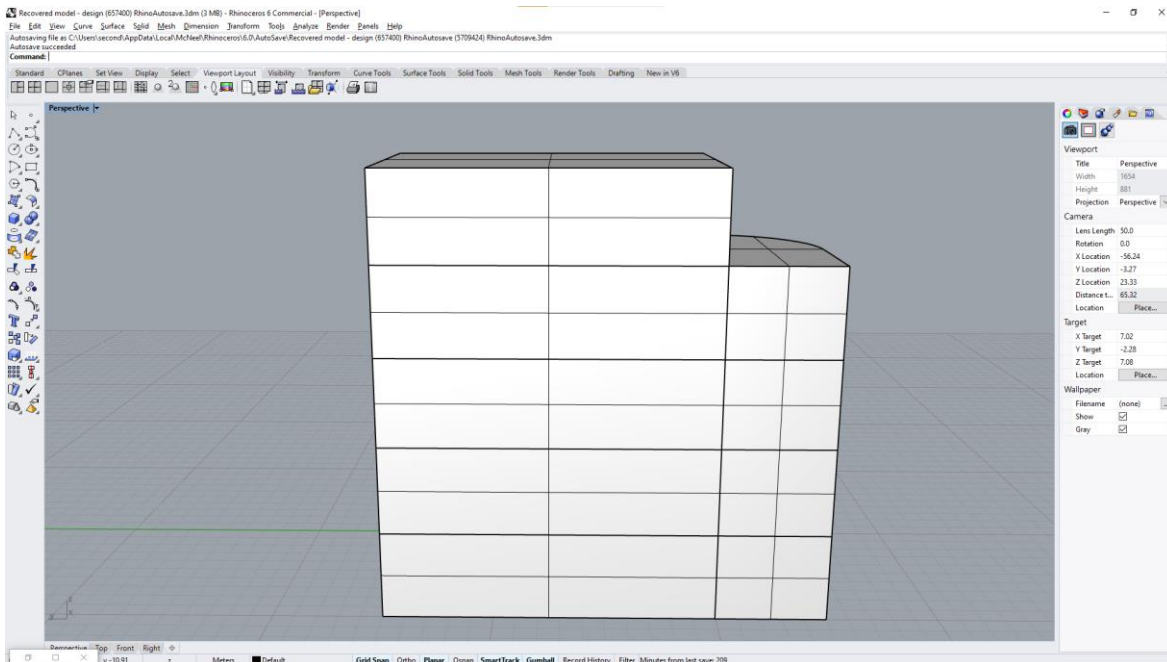


Σχήμα 5.17: Τελικό αποτέλεσμα σχεδίασης του κτιρίου γραφείων

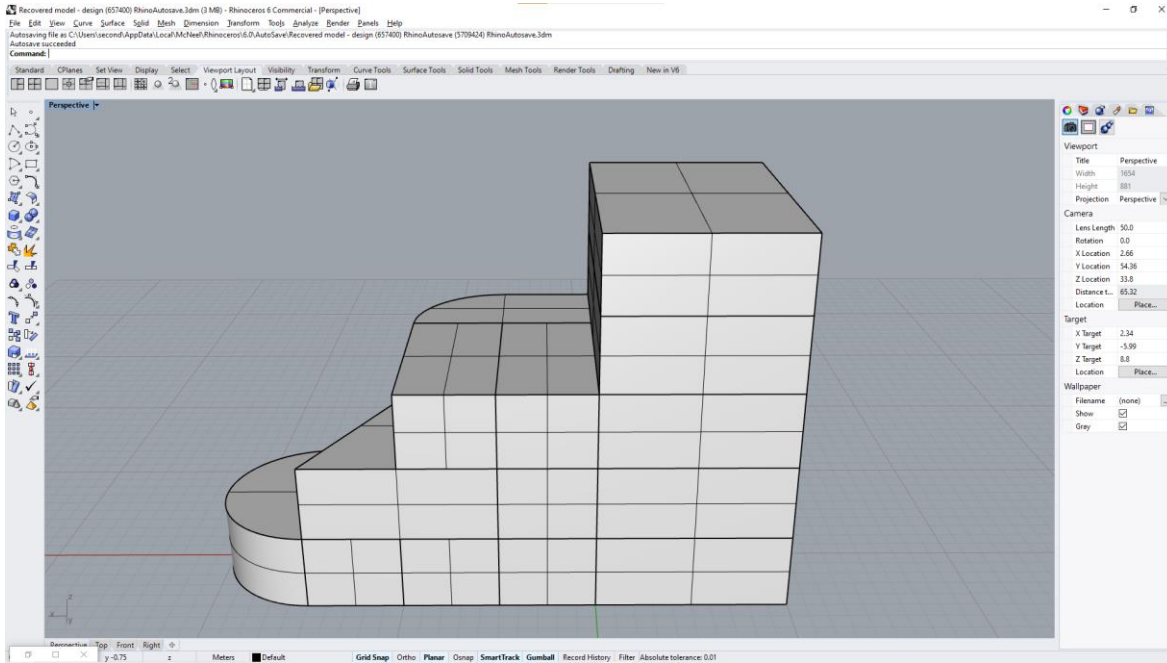
Η τοποθέτηση υαλοπινάκων στις επιφάνειες με κυρτή γεωμετρία εμπεριέχει μία επιπρόσθετη δυσκολία σε σχέση με τις επίπεδες επιφάνειες. Όμως, η κυρτή γεωμετρία τροποποιείται στο Honeybee και μετασχηματίζεται σε πλέγμα μικρότερων επίπεδων επιφανειών, του οποίου η γεωμετρία προσεγγίζει την αρχική. Έτσι, η δημιουργία των υαλοπινάκων πραγματοποιείται σε μεταγενέστερο στάδιο μέσω του Honeybee, και αφού η γεωμετρία έχει απλοποιηθεί ικανοποιητικά μέσω της διαδικασίας της πλεγματοποίησης. Τα ανοίγματα που δημιουργούνται αποτελούν θυγατρικές επιφάνειες στις ήδη υπάρχουσες. Επίσης, οι υαλοπίνακες ακολουθούν την γεωμετρία των επιφανειών του πλέγματος, η οποία μπορεί να είναι τετραγωνική, τριγωνική, αλλά και πολυμορφική, αναλόγως τον καθορισμό των παραμέτρων από τον χρήστη. Για αυτόν τον λόγο είναι σημαντικές οι επιλογές του χρήστη ως προς τη δημιουργία του πλέγματος καθώς θα επηρεάσει άμεσα τη γεωμετρία και το πλήθος των ανοιγμάτων.



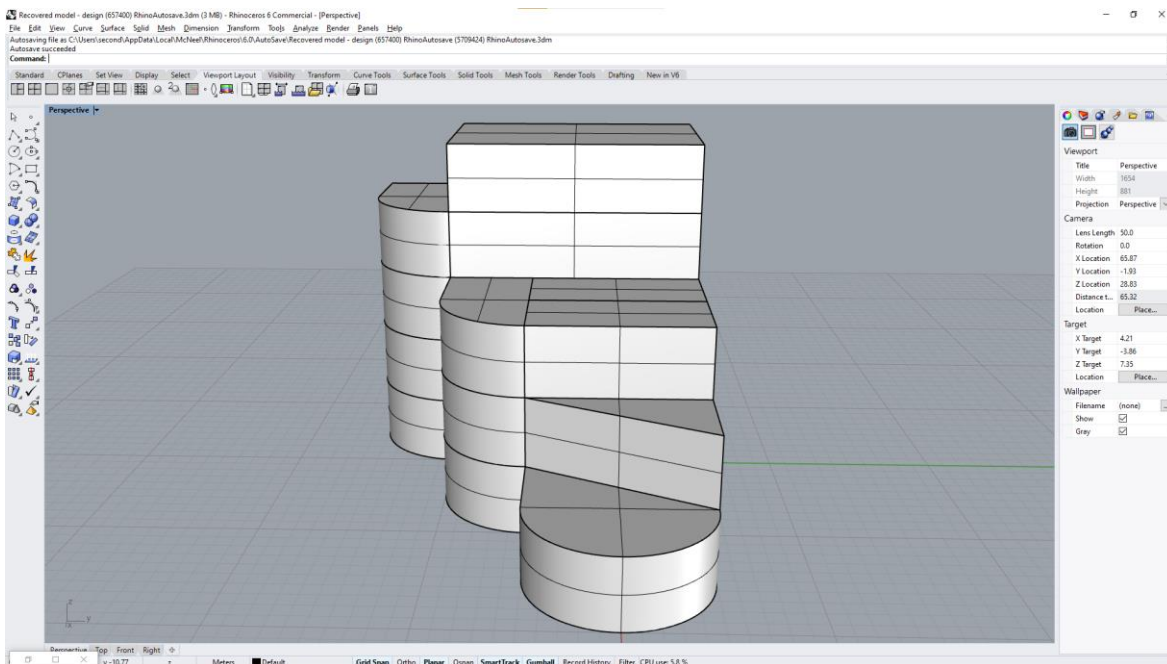
Σχήμα 5.18: Νότια όψη του κτιρίου γραφείων



Σχήμα 5.19: Δυτική όψη του κτιρίου γραφείων



Σχήμα 5.20: Βόρεια όψη του κτιρίου γραφείων



Σχήμα 5.21: Ανατολική όψη του κτιρίου γραφείων

6. Ενεργειακή μοντελοποίηση – Grasshopper 3D

Έπειτα από την ολοκλήρωση της σχεδίασης της γεωμετρίας του κτιρίου γραφείων στην επιφάνεια εργασίας του σχεδιαστικού εργαλείου Rhinoceros 3D, ακολουθεί η ενεργειακή μοντελοποίηση στο περιβάλλον του Grasshopper 3D. Κάνοντας χρήση των διαθέσιμων βασικών προγραμματιστικών στοιχείων του Grasshopper, αλλά και των στοιχείων των επεκτάσεων Honeybee και Ladybug, αποδίδονται ενεργειακές ιδιότητες και πληροφορίες στο κτίριο, με σκοπό την πραγματοποίηση της ενεργειακής του ανάλυσης μέσω του λογισμικού προσομοίωσης EnergyPlus. Τα προγραμματιστικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους, αποτελώντας ένα εκτενές διάγραμμα μέσω του οποίου καθορίζονται όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την προσομοίωση.

6.1 Επεξεργασία της γεωμετρίας

Πραγματοποιείται εκκίνηση του Grasshopper 3D δίνοντας την αντίστοιχη εντολή στη γραμμή εντολών ή επιλέγοντας το χαρακτηριστικό εικονίδιο από την καρτέλα Standard. Η επιφάνεια εργασίας του Rhinoceros παραμένει ενεργή, καθώς σε αυτήν προβάλλεται η γεωμετρία του κτιρίου ενώ εκείνη τροποποιείται μέσω του Honeybee, στο περιβάλλον του Grasshopper. Η μεταφορά τρισδιάστατης γεωμετρίας στο Grasshopper πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το προγραμματιστικό στοιχείο Brep (BoundaryREPresentation), το οποίο αναπαριστά τρισδιάστατα σχήματα μέσω του καθορισμού των ορίων του όγκου τους. Από το Rhinoceros επιλέγεται η γεωμετρία που πρόκειται να μεταφερθεί, και ανατίθεται σε ένα Brep, το οποίο αποτελεί την αρχή του διαγράμματος.

Για τη μεταφορά της γεωμετρίας του κτιρίου γραφείων, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός μεταξύ των θερμικών ζωνών που αποτελούνται από επιφάνειες με κυρτή γεωμετρία, και εκείνων που αποτελούνται από επίπεδες επιφάνειες. Ο παραπάνω χειρισμός παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη διαδικασία της παραγωγής πλέγματος (meshing) για την αναπαράσταση των κυρτών επιφανειών. Έτσι, επιτυγχάνεται ποιοτικότερο αποτέλεσμα, καθώς στην περίπτωση ταυτόχρονης δημιουργίας πλέγματος σε κυρτές και επίπεδες επιφάνειες, εμφανίζονται συχνά ανομοιομορφίες που δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα και δυσχεραίνουν την περαιτέρω επεξεργασία της γεωμετρίας.

6.1.1 Μεταφορά θερμικών ζωνών σύνθετης γεωμετρίας

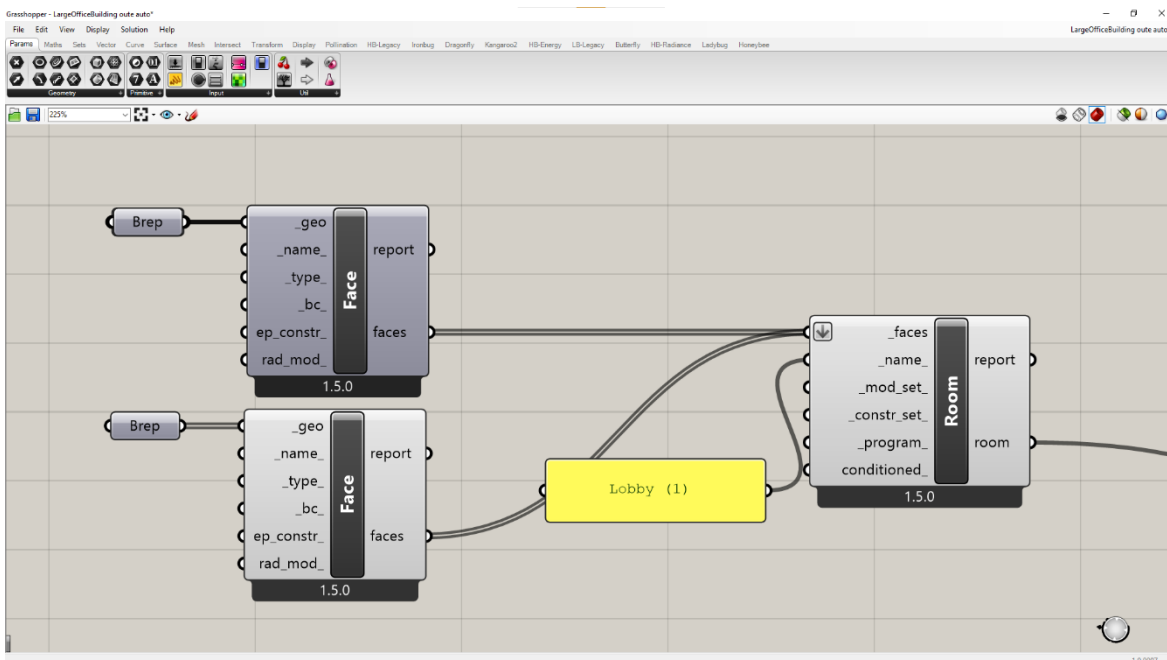
Κατά τη μεταφορά των θερμικών ζωνών σύνθετης γεωμετρίας πραγματοποιείται επιπλέον διαχωρισμός μεταξύ των κυρτών και των επίπεδων επιφανειών που τις αποτελούν. Οι καμπύλες επιφάνειες μιας θερμικής ζώνης, αφότου ενωθούν μεταξύ τους στο Rhinoceros μέσω της εντολής Join, ανατίθενται σε ένα Brep. Οι επίπεδες επιφάνειες, οι οποίες συμπληρώνουν την κλειστή γεωμετρία της ίδιας θερμικής ζώνης εισάγονται σε διαφορετικό Brep. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε ξεχωριστό δωμάτιο με κυρτή επιφάνεια. Έτσι, απομονώνονται οι επιφάνειες σύνθετης γεωμετρίας,

για τις οποίες απαιτείται παραγωγή πλέγματος για την αναπαράστασή τους στο Honeybee.

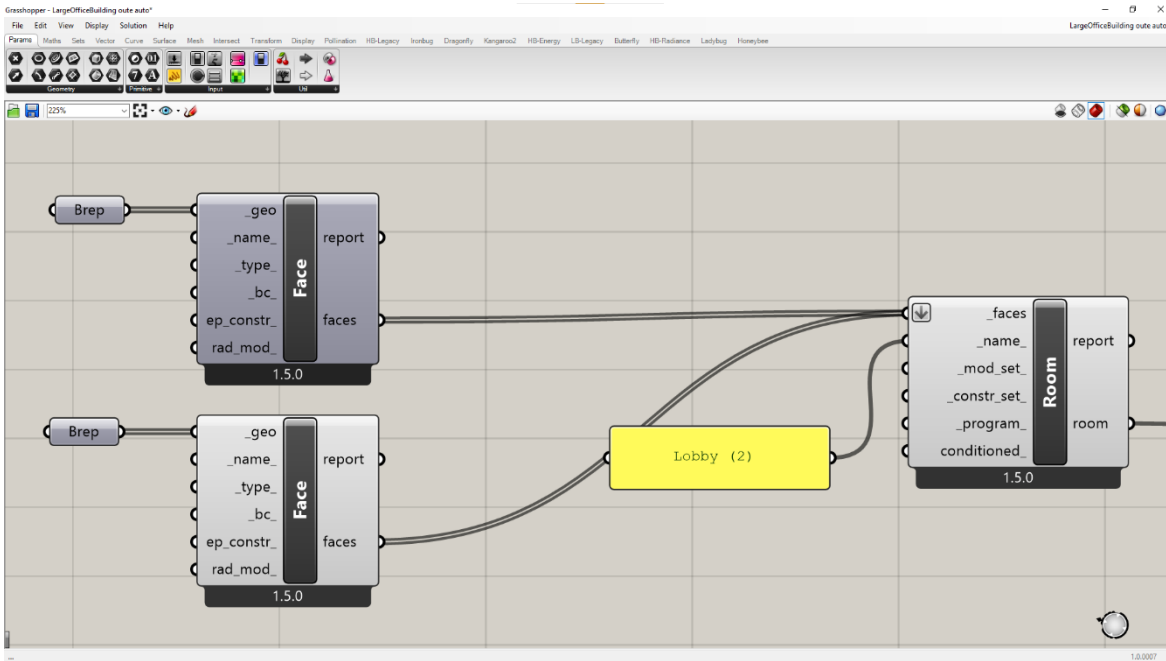
Δεδομένου του διαχωρισμού των επιφανειών κάθε μίας θερμικής ζώνης, τα Brep που δημιουργούνται είναι ανοιχτά (open Brep), δηλαδή εμπεριέχουν ανοιχτή γεωμετρία. Η ανοιχτή γεωμετρία μετατρέπεται σε Honeybee επιφάνειες μέσω του προγραμματιστικού στοιχείου HB Face (Face). Στο παραπάνω στοιχείο πραγματοποιείται η δημιουργία του πλέγματος στις καμπύλες επιφάνειες, ενώ ο χρήστης μέσω της εντολής preview δύναται να ελέγξει εάν η διαδικασία υλοποιήθηκε ορθά και δίχως ανεπιθύμητες ανομοιομορφίες.

Στη συνέχεια, το προγραμματιστικό στοιχείο HB Room (Room), δέχεται ως εισόδους τις Honeybee επιφάνειες που αποτελούν τις θερμικές ζώνες, δημιουργώντας Honeybee δωμάτια. Οι επιφάνειες που θα συνδεθούν στο παραπάνω στοιχείο είναι απαραίτητο να ανήκουν στη ίδια θερμική ζώνη και να αποτελούν κλειστή γεωμετρία, έτσι ώστε να συντεθεί δωμάτιο. Εάν η παραγωγή του πλέγματος δεν έχει πραγματοποιηθεί ορθά, τότε συχνά παρουσιάζονται κενά στην γεωμετρία της θερμικής ζώνης, τα οποία καθιστούν αδύνατη τη σύνθεση δωματίου.

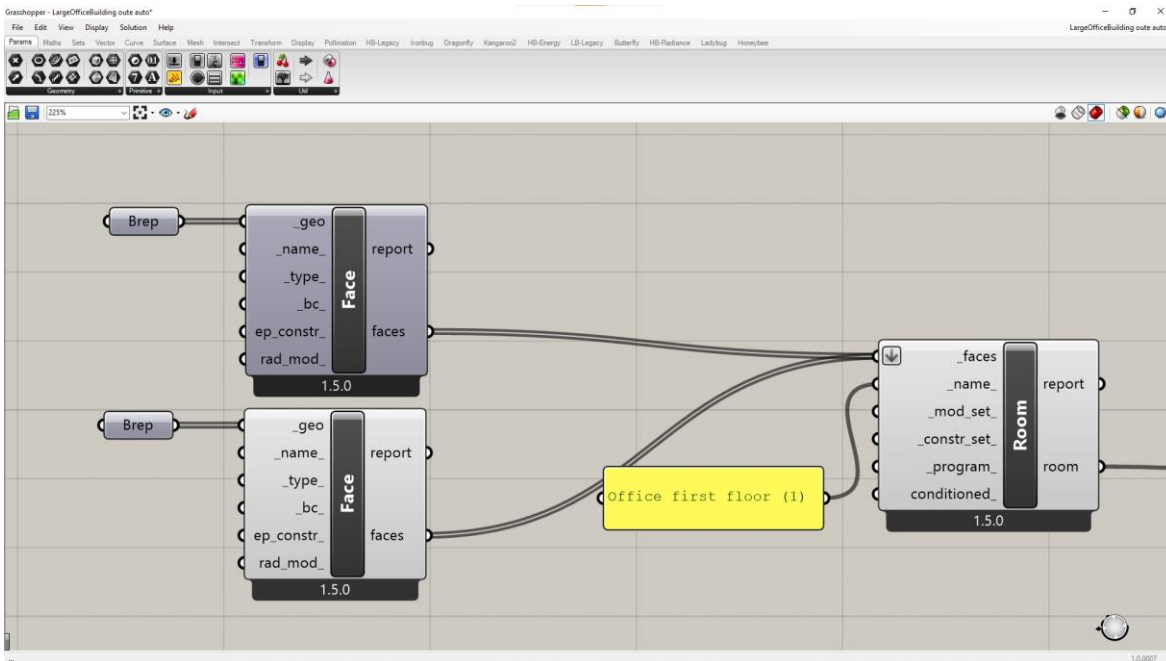
Επισημαίνεται ότι ο θετικός άξονας y αποτελεί τη διεύθυνση του σχεδιαστικού βορρά, και άρα η πρόσοψη του κτιρίου έχει νότιο προσανατολισμό.



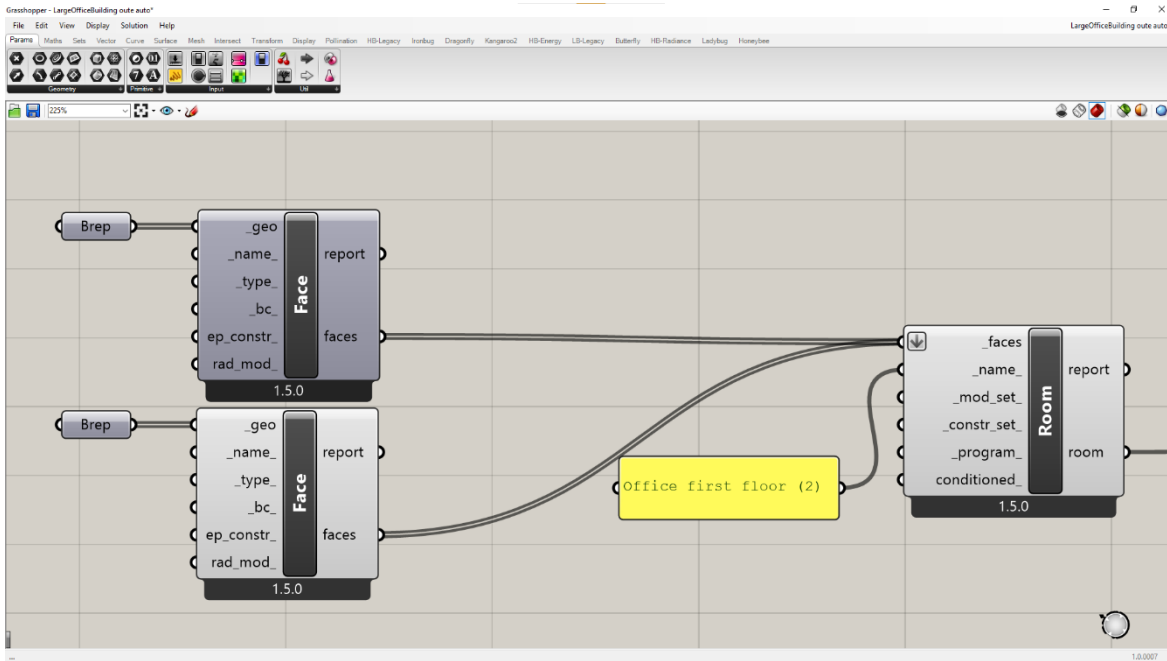
Σχήμα 6.1: Σύνθεση Honeybee δωματίου ισογείου



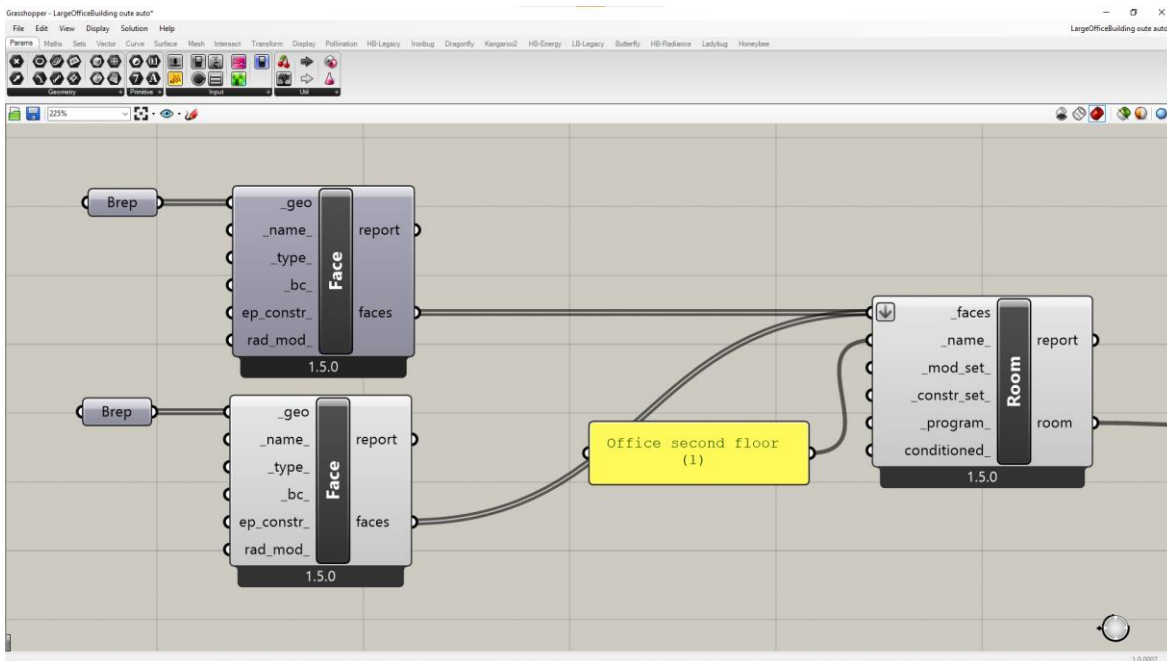
Σχήμα 6.2: Σύνθεση Honeybee δωματίου ισογείου



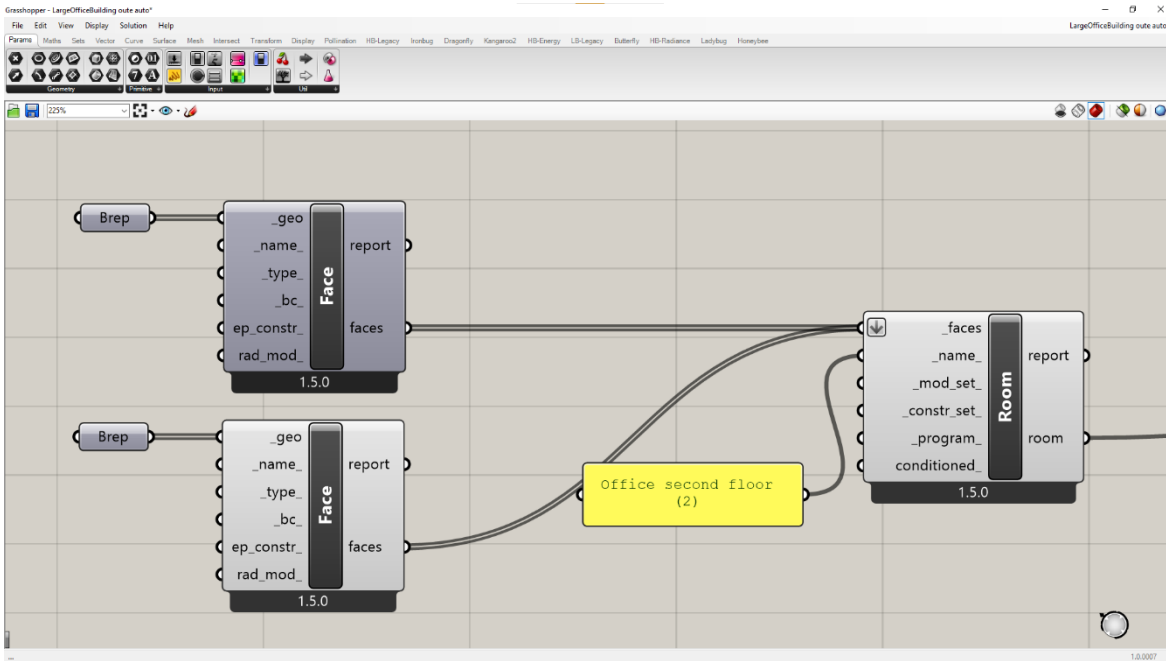
Σχήμα 6.3: Σύνθεση Honeybee δωματίου πρώτου ορόφου



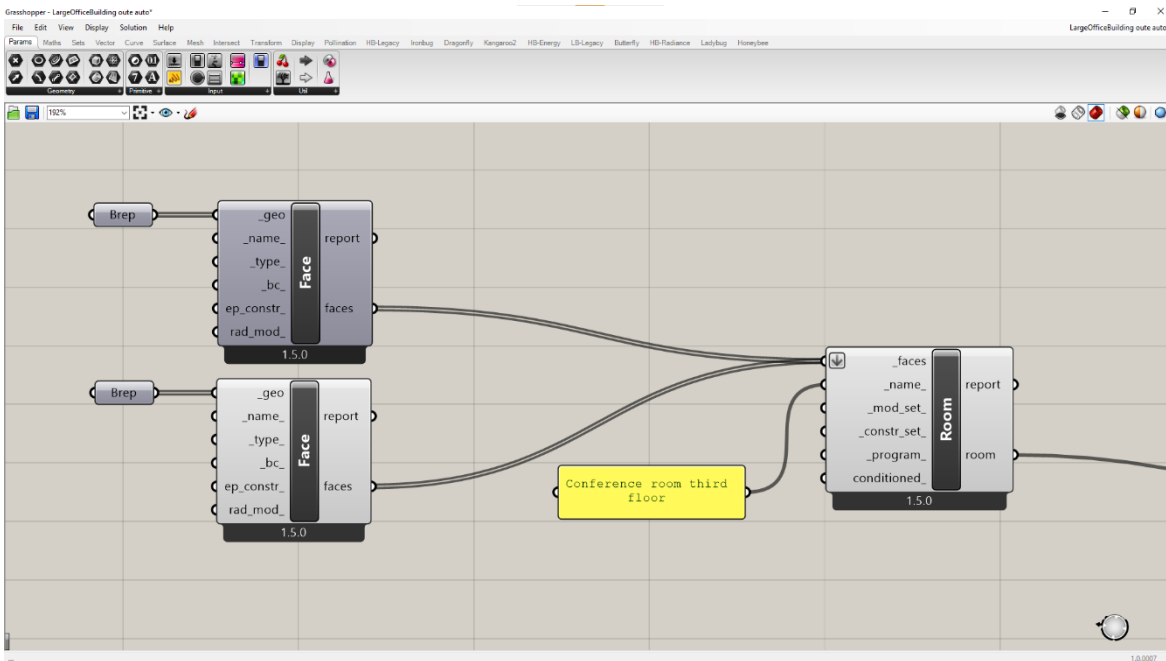
Σχήμα 6.4: Σύνθεση Honeybee δωματίου πρώτου ορόφου



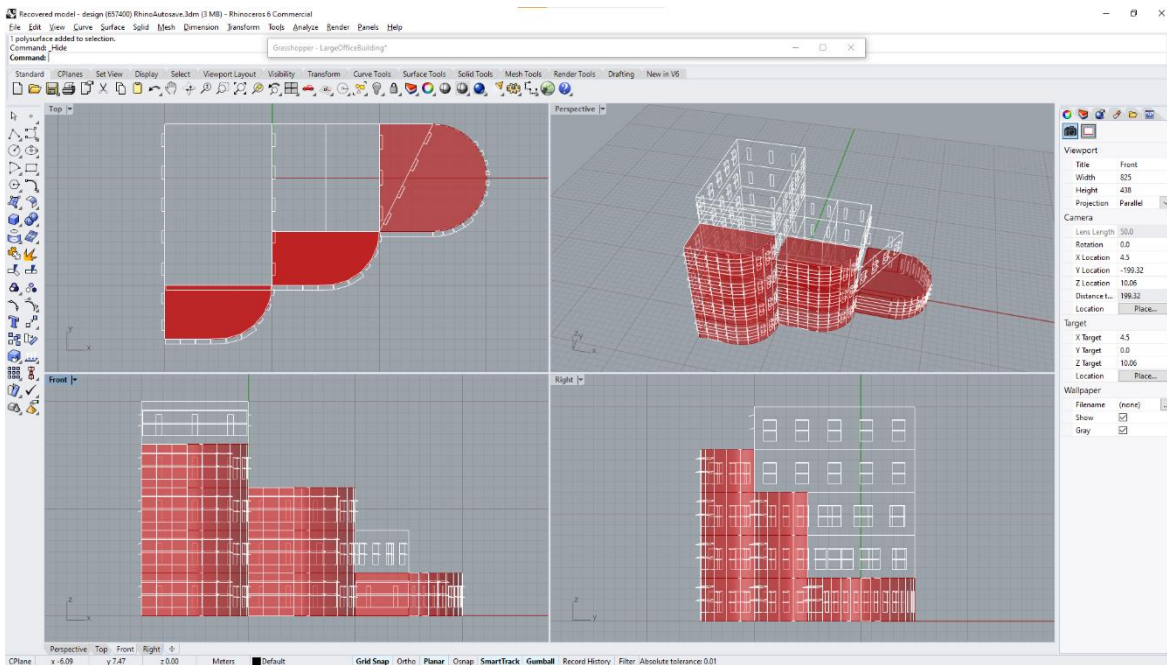
Σχήμα 6.5: Σύνθεση Honeybee δωματίου δευτέρου ορόφου



Σχήμα 6.6: Σύνθεση Honeybee δωματίου δευτέρου ορόφου



Σχήμα 6.7: Σύνθεση Honeybee δωματίου τρίτου ορόφου



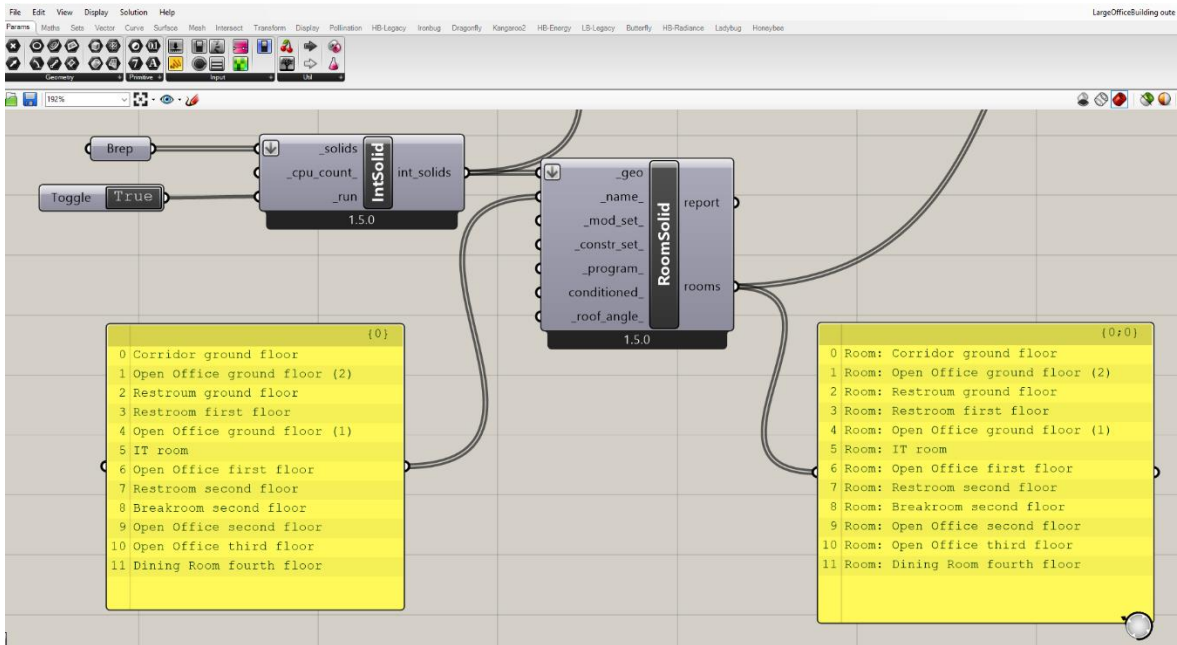
Σχήμα 6.8: Προβολή των Honeybee δωματίων σύνθετης γεωμετρίας

6.1.2 Μεταφορά θερμικών ζωνών επίπεδης γεωμετρίας

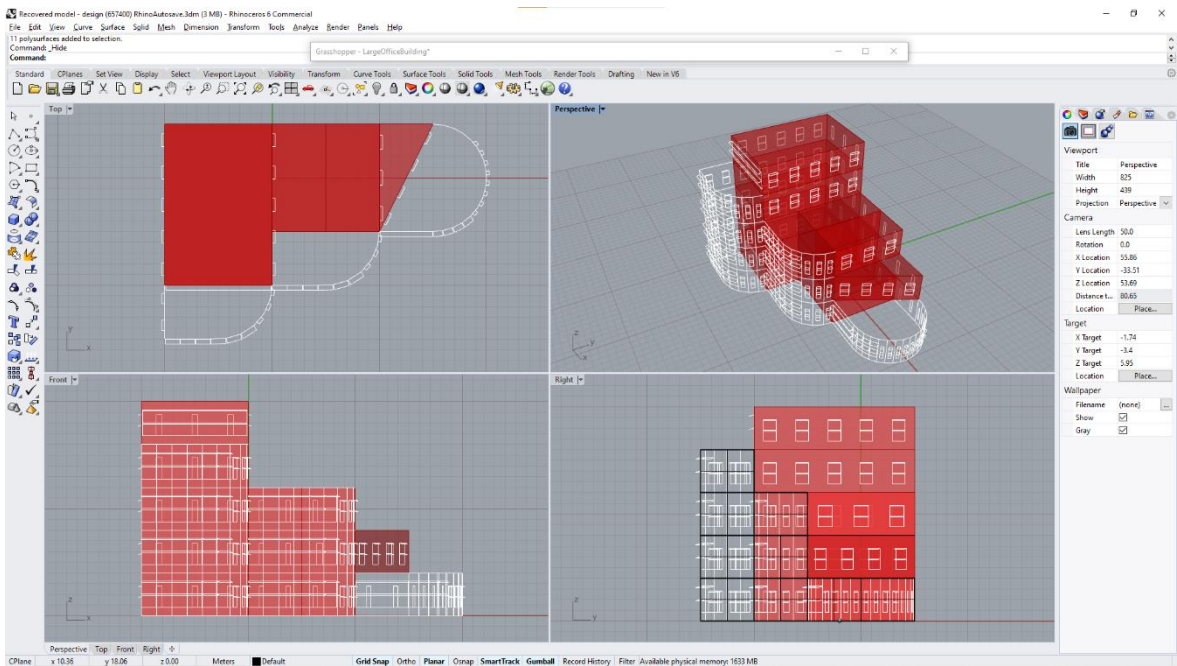
Οι θερμικές ζώνες που αποτελούνται αποκλειστικά από επίπεδες επιφάνειες ανατίθενται όλες σε ένα Brep. Λόγω της κλειστής γεωμετρίας όλων των θερμικών ζωνών, η έξοδος των στοιχείων είναι πάντα της μορφής closed Brep.

Το προγραμματιστικό στοιχείο HB Intersect Solids (IntSolid) δέχεται στην είσοδο solids τη λίστα των κλειστών Breps. Εντοπίζει τις επιφάνειες που εφάπτονται μεταξύ τους σχεδιαστικά για ένα μόνο τμήμα τους, δηλαδή εκείνες οι οποίες έχουν διαφορετικό εμβαδόν και συνεπώς το περίγραμμά τους δεν ταυτίζεται. Τα δωμάτια έχουν διαφορετικές διαστάσεις και είναι σύνηθες οι εσωτερικές εφαπτόμενες επιφάνειες να μην συμπίπτουν. Το EnergyPlus όμως υπολογίζει τη μεταφορά θερμότητας μόνο μεταξύ ίσων επιφανειών που ταυτίζονται πλήρως. Το στοιχείο IntSolid αντιμετωπίζει το πρόβλημα αυτό διαιρώντας τις επιφάνειες, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ζευγάρια μικρότερων εφαπτόμενων επιφανειών με ίσες διαστάσεις. Η διαίρεση και η αντιστοίχιση των επιφανειών είναι αναγκαία για τον ορθό υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών των θερμικών ζωνών. Για να τεθεί σε λειτουργία το στοιχείο, συνδέεται ένας διακόπτης (Boolean Toggle) στην είσοδο run και γίνεται η επιλογή True.

Η λίστα των νέων closed Breps συνδέεται στην είσοδο geo του στοιχείου HB Room from Solid (RoomSolid), το οποίο μετατρέπει τα Breps σε rooms. Δηλαδή η απλή γεωμετρία μετατρέπεται σε δωμάτια, ενώ κάθε δωμάτιο αποτελεί μία ξεχωριστή θερμική ζώνη.



Σχήμα 6.9: Σύνθεση Honeybee δωματίων επίπεδης γεωμετρίας



Σχήμα 6.10: Προβολή των Honeybee δωματίων επίπεδης γεωμετρίας

6.1.3 Επεξεργασία των Honeybee Rooms

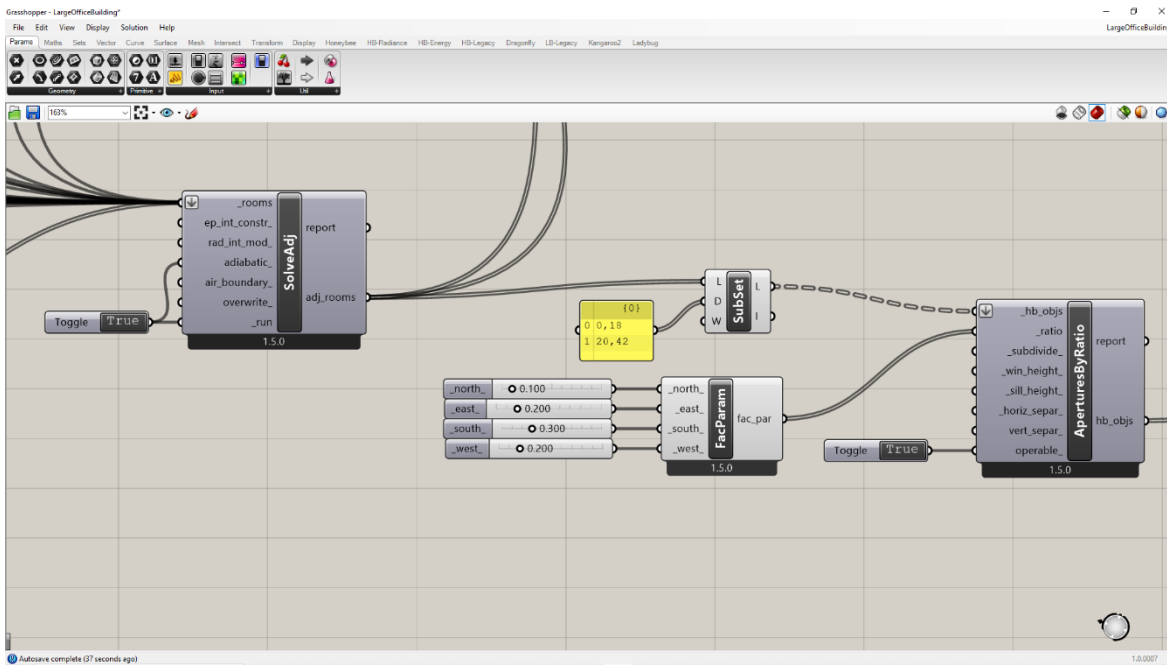
Κατά τη μεταφορά της γεωμετρίας των Honeybee δωματίων, συνδέθηκαν panels στην είσοδο name των προγραμματιστικών στοιχείων HB Room from Solid και HB Room για την ανάθεση των ονομασιών τους ανάλογα με τη λειτουργία τους. Σε επόμενο στάδιο της εργασίας θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής αντιστοίχιση θερμικών φορτίων και απαιτήσεων για κάθε είδος δωματίου, καθώς και χρονοδιαγράμματα που επιτρέπουν τη δυναμική ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψιν τη μεταβολή της έντασης των φορτίων κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Το σύνολο των Honeybee δωματίων εισάγεται στο επόμενο προγραμματιστικό στοιχείο, το οποίο ονομάζεται HB Solve Adjacency (SolveAdj). Κατά την λειτουργία του, εντοπίζει τις επιφάνειες που εφάπτονται μεταξύ τους σχεδιαστικά, και πραγματοποιεί ταίριασμα. Το ταίριασμα είναι αναγκαίο για την ταξινόμηση και τον διαχωρισμό των επιφανειών βάσει του είδους τους (εξωτερικός τοίχος, εσωτερικός τοίχος, οροφή, εσωτερικό δάπεδο, εξωτερικό δάπεδο), καθώς και για τον ορθό υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών των θερμικών ζωνών. Στην είσοδο run συνδέεται διακόπτης επιλεγμένος στο True για τη λειτουργία του στοιχείου.

Η δημιουργία των υαλοπινάκων δύναται να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως με χρήση του στοιχείου HB Apertures by Ratio (AperturesByRatio), καθώς και με το στοιχείο HB Add Subface (AddSubface), με το οποίο ο υαλοπίνακας, κατόπιν σχεδίασης του στην επιφάνεια εργασίας του Rhinoceros 3D και μεταφοράς του στο Grasshopper μέσω Vrep, ανατίθεται ως υπό-επιφάνεια σε μία γονική επιφάνεια. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για τη δημιουργία εξωτερικής πόρτας.

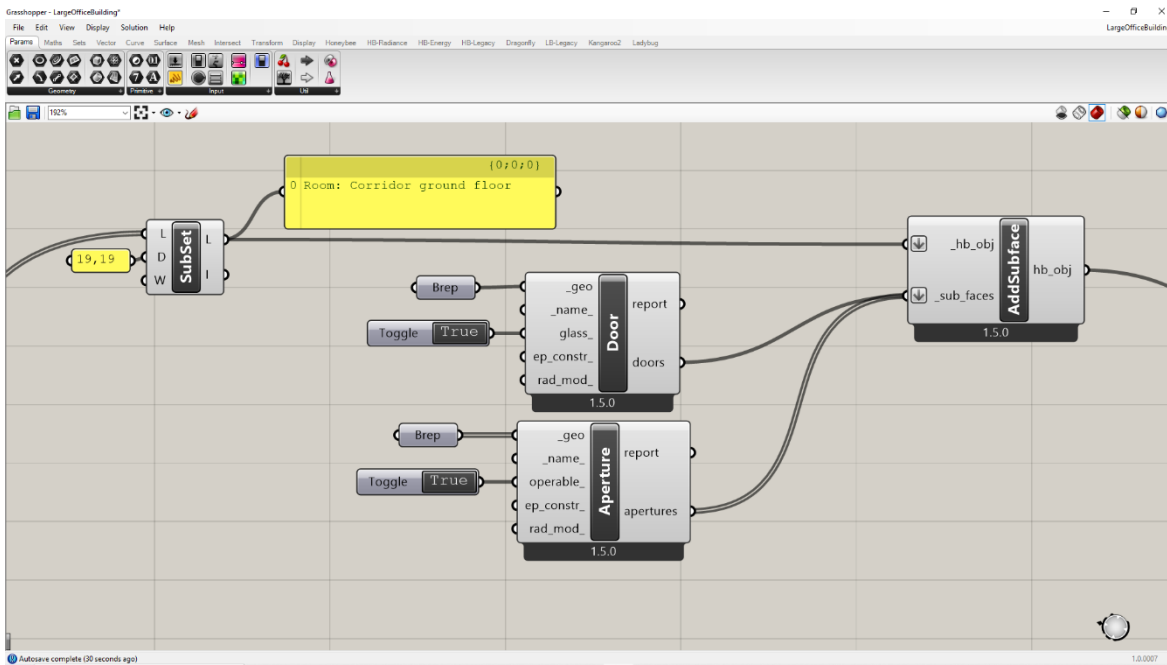
Για το υπό μελέτη κτίριο χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό στοιχείο HB Apertures by Ratio για τη δημιουργία των υαλοπινάκων των δωματίων, με εξαίρεση την κεντρική θερμική ζώνη του ισογείου, για την οποία σχεδιάστηκαν και ανατέθηκαν υπό-επιφάνειες για τους υαλοπίνακες και για την εξωτερική είσοδο του κτιρίου.

Η λίστα των δωματίων διαιρείται κάνοντας χρήση του βασικού προγραμματιστικού στοιχείου Sub List (SubSet), μέσω του οποίου επιλέγονται όλα τα δωμάτια εκτός του κεντρικού διαδρόμου του ισογείου. Στην είσοδο hb_objs του στοιχείου HB Apertures by Ratio εισάγονται τα δωμάτια, ενώ στη δεύτερη απαιτούμενη είσοδο ratio συνδέεται ένα Number Slider το οποίο καθορίζει το ποσοστό της κάθε επιφάνειας που θα καταλαμβάνει ο υαλοπίνακας. Το προγραμματιστικό στοιχείο HB Facade Parameters (FacParam) παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού του ποσοστού με βάση τον προσανατολισμό των επιφανειών. Τα Number Sliders δέχονται τιμές μεταξύ του 0 και του 1, και ο χρήστης μπορεί εύκολα να μεταβάλει το ποσοστό, ενώ ταυτόχρονα παρατηρεί την αλλαγή στην όψη του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο, στην επιφάνεια εργασίας του Rhinoceros.



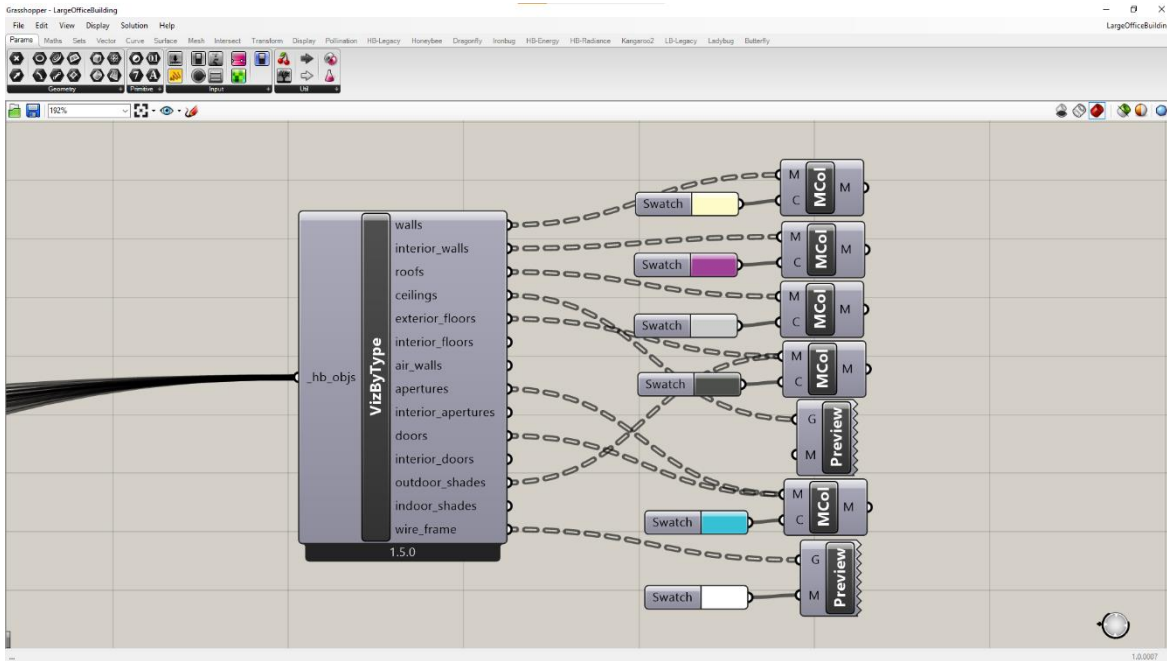
Σχήμα 6.11: Σύνδεση στοιχείου HB Solve Adjacency με το στοιχείο HB Apertures by Ratio

Η κεντρική θερμική ζώνη του ισογείου, η οποία βρίσκεται στην πρόσοψη του κτιρίου, συνδέεται στην είσοδο hb_obj του προγραμματιστικού στοιχείου HB Add Subface. Στην είσοδο sub_faces συνδέονται τα στοιχεία HB Door (Door) και HB Aperture (Aperture), αναθέτοντας στη θερμική ζώνη τις υπό-επιφάνειες που σχεδιάστηκαν για τους υαλοπίνακες και την εξωτερική πόρτα. Στην είσοδο glass του στοιχείου HB Door συνδέεται διακόπτης επιλεγμένος στο True, δηλώνοντας έτσι, ότι η πόρτα είναι κατασκευασμένη από διαφανές υλικό.

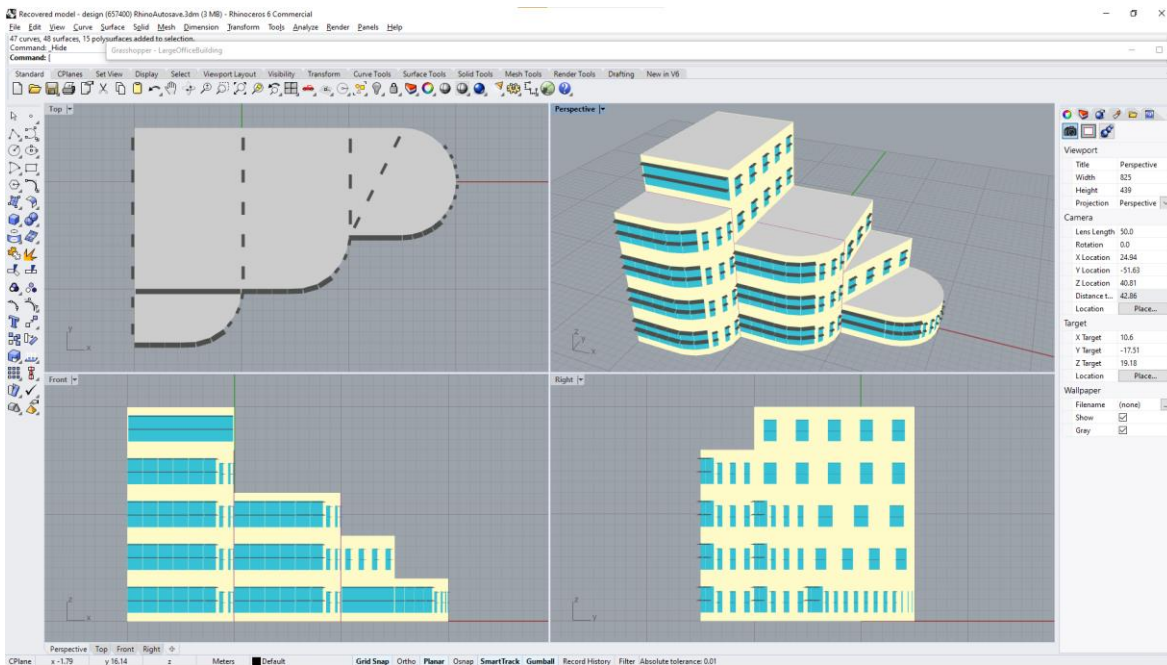


Σχήμα 6.12: Ανάθεση εξωτερικής εισόδου και ανοιγμάτων στην κεντρική θερμική ζώνη του του ισογείου

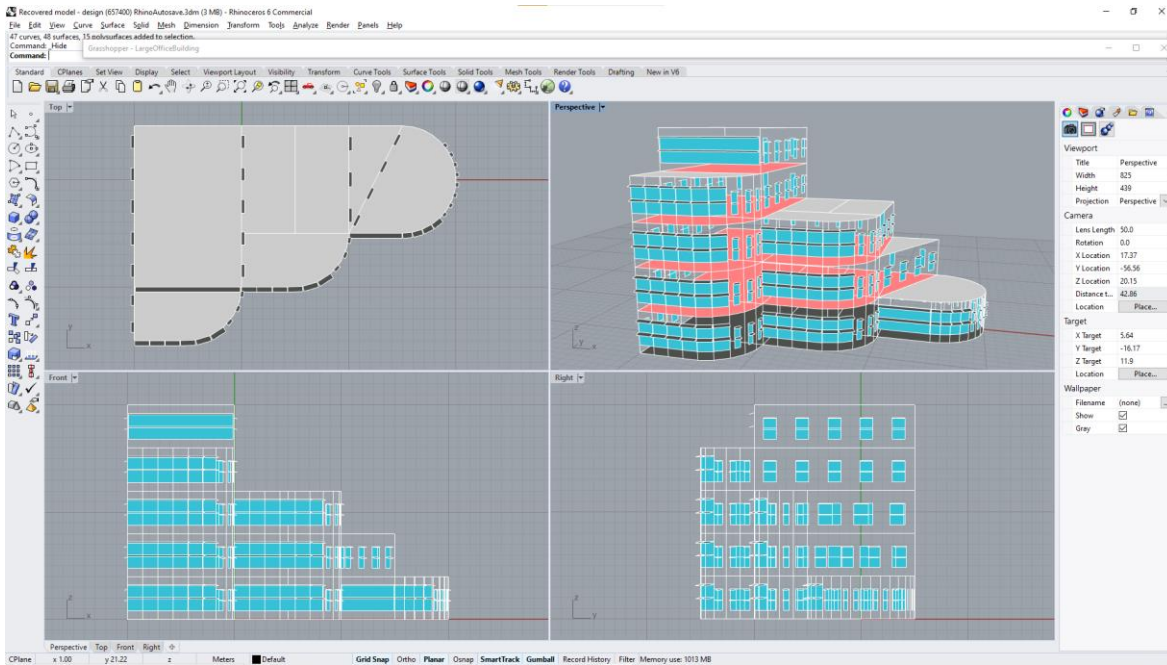
Εν συνέχεια, το σύνολο των δωματίων του κτιρίου εισάγεται στο στοιχείο HB Louver Shades (LouverShades) για τη δημιουργία εξωτερικής σκίασης στα ανοίγματα των υαλοπινάκων, ενώ το στοιχείο HB Facade Parameters χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του μήκους προέκτασης των σκιάστρων με βάση τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων.



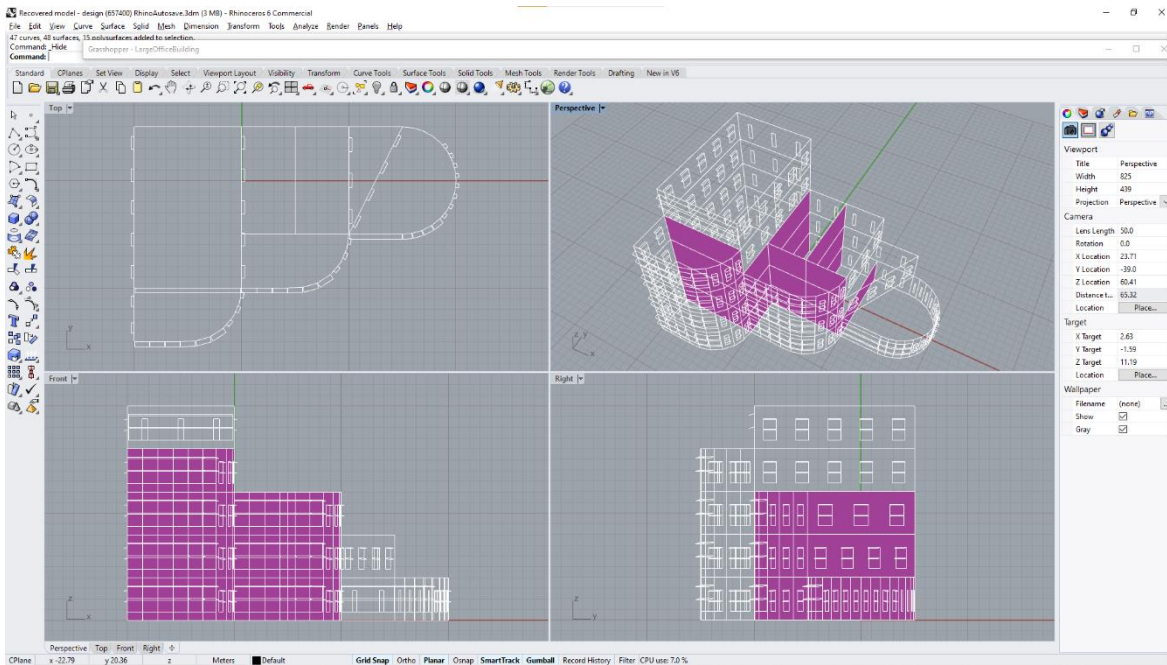
Σχήμα 6.14: Τμηματική απεικόνιση - Visualize By Type



Σχήμα 6.15: Απεικόνιση κτιρίου γραφείων



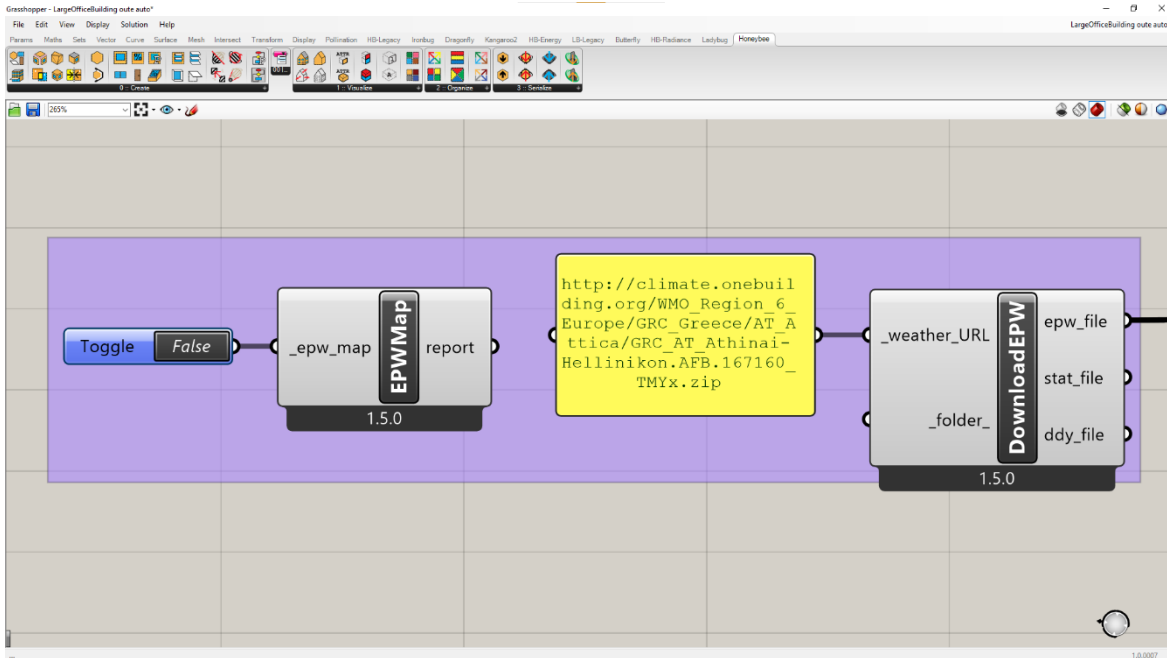
Σχήμα 6.16: Τμηματική απεικόνιση ανοιγμάτων, οροφής, σκιάστρων, εσωτερικών και εξωτερικών δαπέδων



Σχήμα 6.17: Τμηματική απεικόνιση εσωτερικών τοίχων

6.2 Κλιματικά δεδομένα

Κάνοντας χρήση των προγραμματιστικών στοιχείων LB EPWMap και LB Download Weather εισάγονται τα κλιματικά δεδομένα για την περιοχή του Ελληνικού. Το epw file που αποθηκεύεται συνδέεται στο προγραμματιστικό στοιχείο HB Model to OSM που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την προσομοίωση.



Σχήμα 6.18: Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων στο μοντέλο

6.3 Θερμικά φορτία και χρονοδιαγράμματα

Σε αυτήν την ενότητα προσδιορίζονται οι παράμετροι εσωτερικών θερμικών φορτίων, όπως τα θερμικά κέρδη από τον φωτισμό (Lighting), τους ανθρώπους που εργάζονται στο κτίριο (People), τον ηλεκτρικό εξοπλισμό (Electric Equipment), και τις απώλειες από το σύστημα του ζεστού νερού χρήσης (Service Hot Water). Ένα κτίριο που λειτουργεί ως γραφείο έχει αυξημένη ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα, καθώς και σχετικά υψηλές απαιτήσεις για επαρκή φωτισμό και λειτουργία του απαραίτητου εξοπλισμού. Είναι σαφές ότι τα θερμικά κέρδη από τις παραπάνω κατηγορίες είναι σημαντικά και πρέπει να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς μιας ενεργειακής προσομοίωσης, καθώς επηρεάζουν άμεσα την απαίτηση του κτιρίου για θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο και ακόμα περισσότερο για ψύξη κατά τη θερινή.

Επίσης, καθορίζεται η ροή διείσδυσης εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών (Infiltration), η οποία είναι αποτέλεσμα ρωγμών και ανοιγμάτων στο κέλυφος του κτιρίου. Σε αεροστεγείς κατασκευές δεν είναι επιθυμητή η εισχώρηση εξωτερικού αέρα,

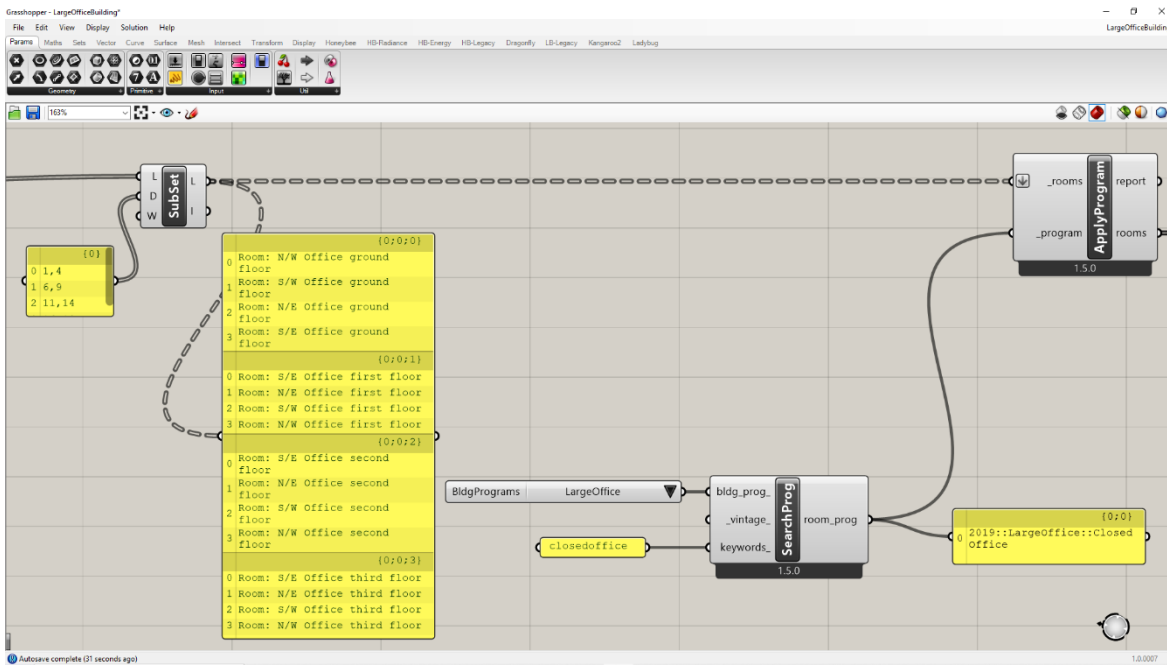
καθώς επηρεάζει αρνητικά την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αλλά και την θερμική του άνεση.

Δίνονται ακόμη οι απαιτήσεις για την λειτουργία του μηχανικού αερισμού του κτιρίου (Ventilation), δεδομένου ότι η διασφάλιση της υψηλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα αποτελεί σημαντική προτεραιότητα.

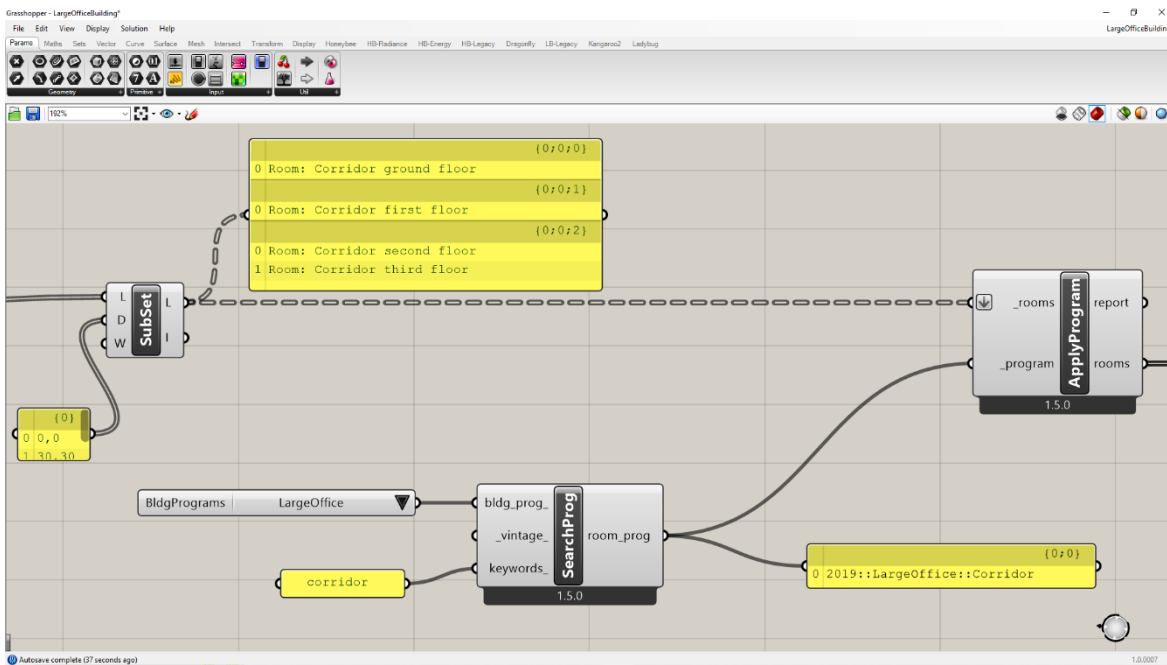
Η κατηγορία Setpoint περιλαμβάνει τις τιμές θερμοκρασίας στις οποίες είναι επιθυμητό να διατηρούνται οι θερμικές ζώνες όταν βρίσκονται σε λειτουργία τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Τα ξεχωριστά χρονοδιαγράμματα για την ψύξη και την θέρμανση καθορίζουν τις τιμές των επιθυμητών θερμοκρασιών για κάθε ώρα της ημέρας. Για το υπό μελέτη κτίριο γραφείων, έμφαση δίνεται στην επίτευξη ικανοποιητικών θερμοκρασιών κατά τα εργάσιμες ώρες. Οι παράμετροι για την επιλογή των θερμοκρασιών είναι η επίτευξη της επιθυμητής θερμικής άνεσης, αλλά και η κατανάλωση ενέργειας που θα απαιτηθεί από το σύστημα ψύξης/θέρμανσης.

Όλες οι παραπάνω κατηγορίες (People, Lighting, Electric Equipment, Service Hot Water, Infiltration, Ventilation, Setpoint) και οι προδιαγραφές τους αποτελούν ένα πρόγραμμα (Building Program) που προετοιμάζεται μέσω των προγραμματιστικών στοιχείων του Honeybee-Energy και μετά την ολοκλήρωσή του εφαρμόζεται στα δωμάτια.

Το Honeybee-Energy διαθέτει το HB Building Programs (BldgPrograms) το οποίο εμπεριέχει μια λίστα από έτοιμα προγράμματα που καθορίζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά ενός κτιρίου βάσει της λειτουργίας του (Office, Apartment, School, κ.α.). Τα προγράμματα μπορούν να ανατεθούν απευθείας σε μία θερμική ζώνη ή να τροποποιηθούν κατάλληλα έτσι ώστε να εκφράζουν με ακρίβεια τη λειτουργία και τη χρήση της. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ως πρόγραμμα βάσης το LargeOffice, το οποίο εμπεριέχει επιμέρους προγράμματα για τα διάφορα δωμάτια που συναντώνται σε ένα κτίριο γραφείων. Το κάθε πρόγραμμα θα ανατεθεί σε μία ή και παραπάνω θερμικές ζώνες, σύμφωνα με τη χρήση τους, ενώ όπου κριθεί απαραίτητο θα πραγματοποιηθούν αλλαγές στα προεγκατεστημένα φορτία.



Σχήμα 6.19: Πρόγραμμα δωματίων γραφείου - LargeOffice: ClosedOffice

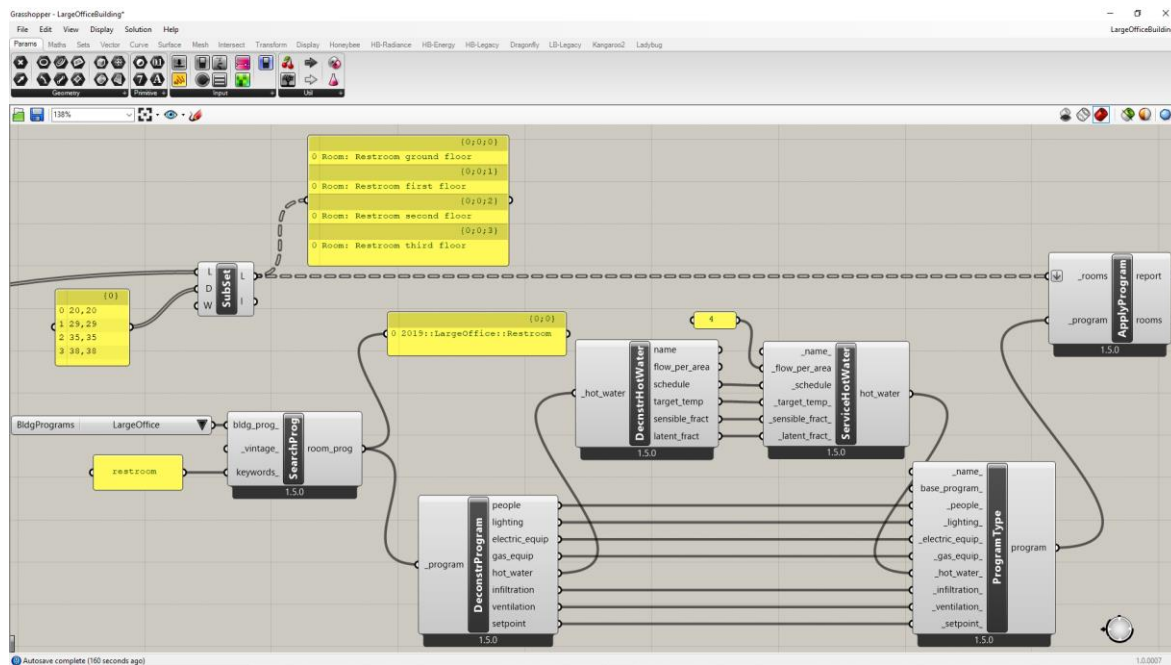


Σχήμα 6.20: Πρόγραμμα διαδρόμων - LargeOffice: Corridor

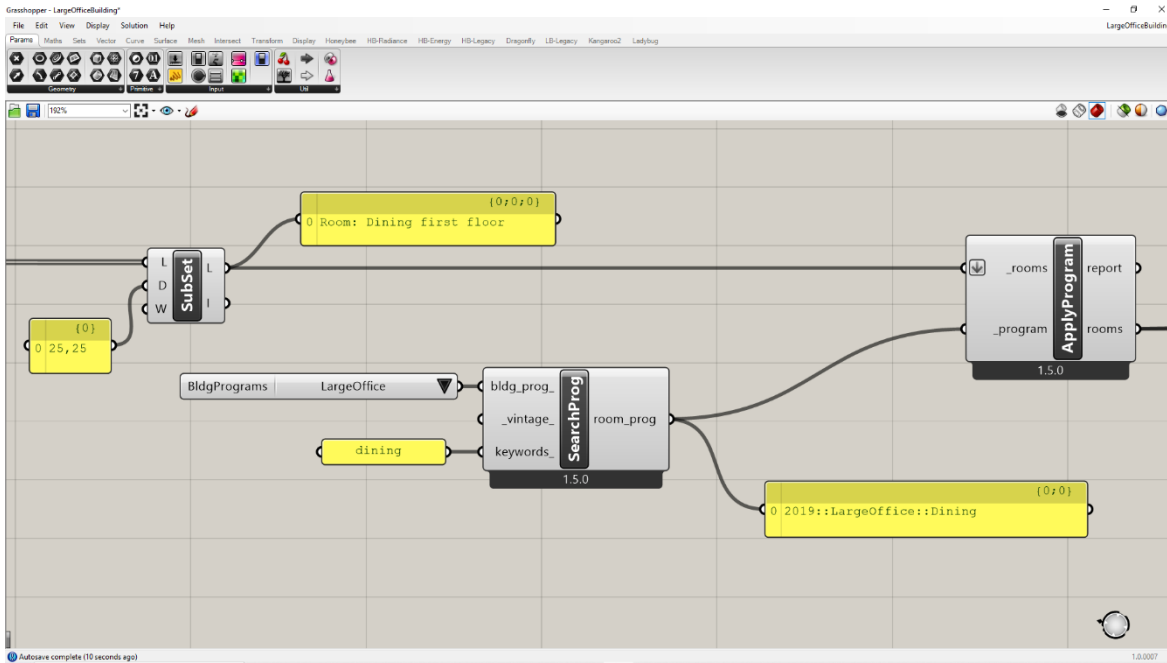
Με το προγραμματιστικό στοιχείο HB Deconstruct Program Type (DeconstrProgram), το πρόγραμμα χωρίζεται στις επιμέρους κατηγορίες του. Αντίστοιχα, τα στοιχεία HB Deconstruct People, HB Deconstruct Lighting, HB Deconstruct Equipment, HB Deconstruct

Infiltration, HB Deconstruct Hot Water, δίνουν ως εξόδους τις πληροφορίες που απαρτίζουν την κάθε κατηγορία που πρόκειται να τροποποιηθεί. Για κάθε κατηγορία υπάρχουν ενσωματωμένα χρονοδιαγράμματα (Schedules) που περιγράφουν τη συμπεριφορά της κάθε συνιστώσας τους κατά τη διάρκεια του χρόνου.

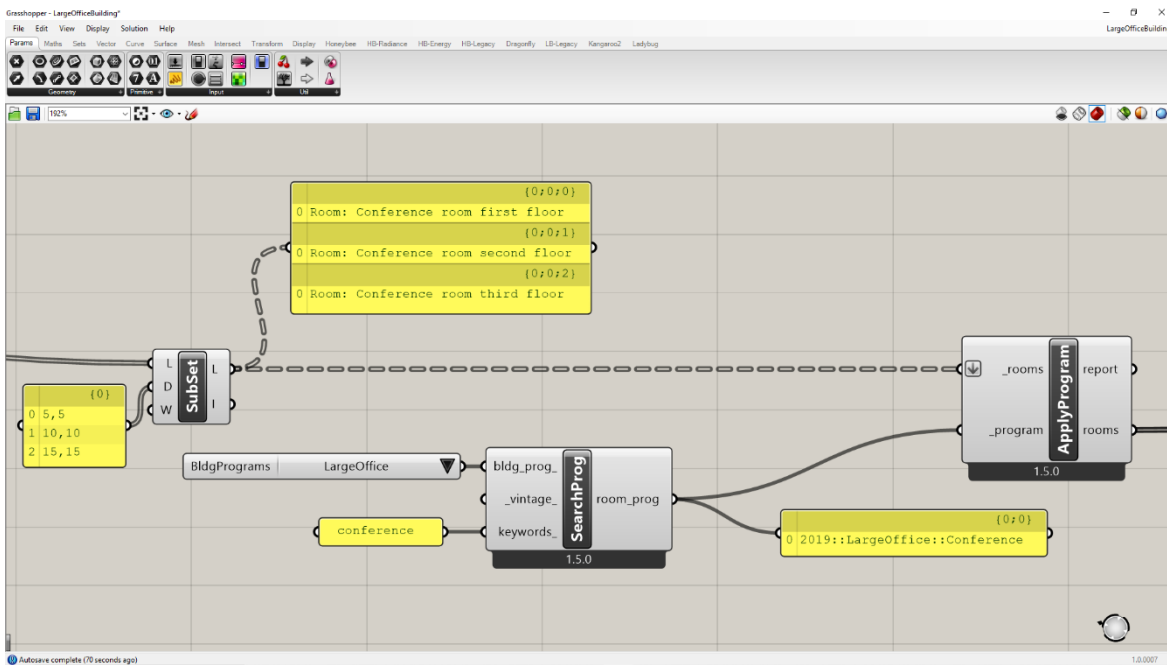
Έπειτα από την πραγματοποίηση των αλλαγών και τη συγκρότηση των νέων κατηγοριών, γίνεται η σύνδεσή τους στο στοιχείο HB Program Type (ProgramType), το οποίο εφαρμόζεται στα δωμάτια (HB rooms).



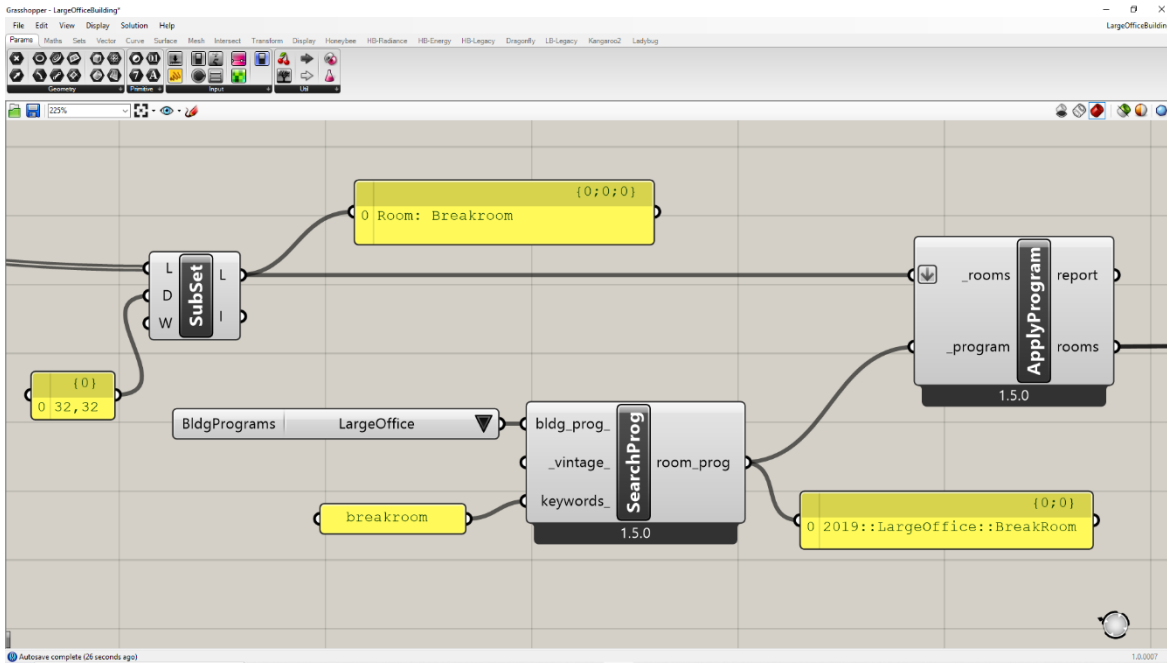
Σχήμα 6.21: Πρόγραμμα WC - LargeOffice: Restroom



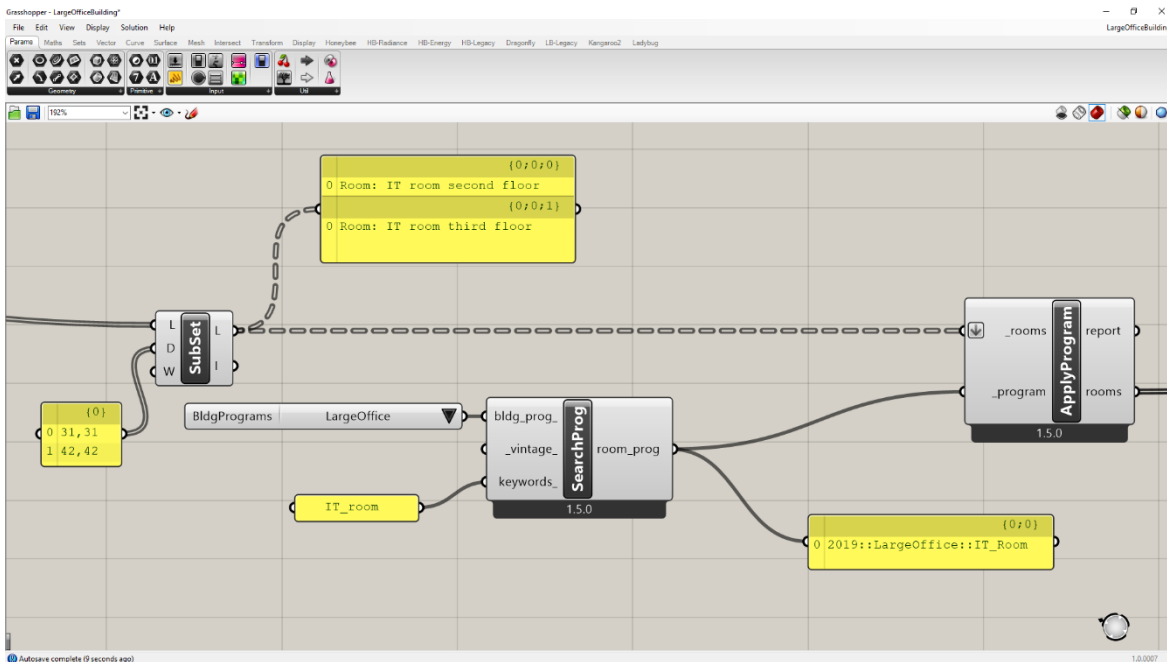
Σχήμα 6.22: Πρόγραμμα εστιατορίου - LargeOffice: Dining



Σχήμα 6.23: Πρόγραμμα αίθουσας συσκέψεων - LargeOffice: Conference



Σχήμα 6.24: Πρόγραμμα δωματίου διαλειμμάτων - LargeOffice: BreakRoom



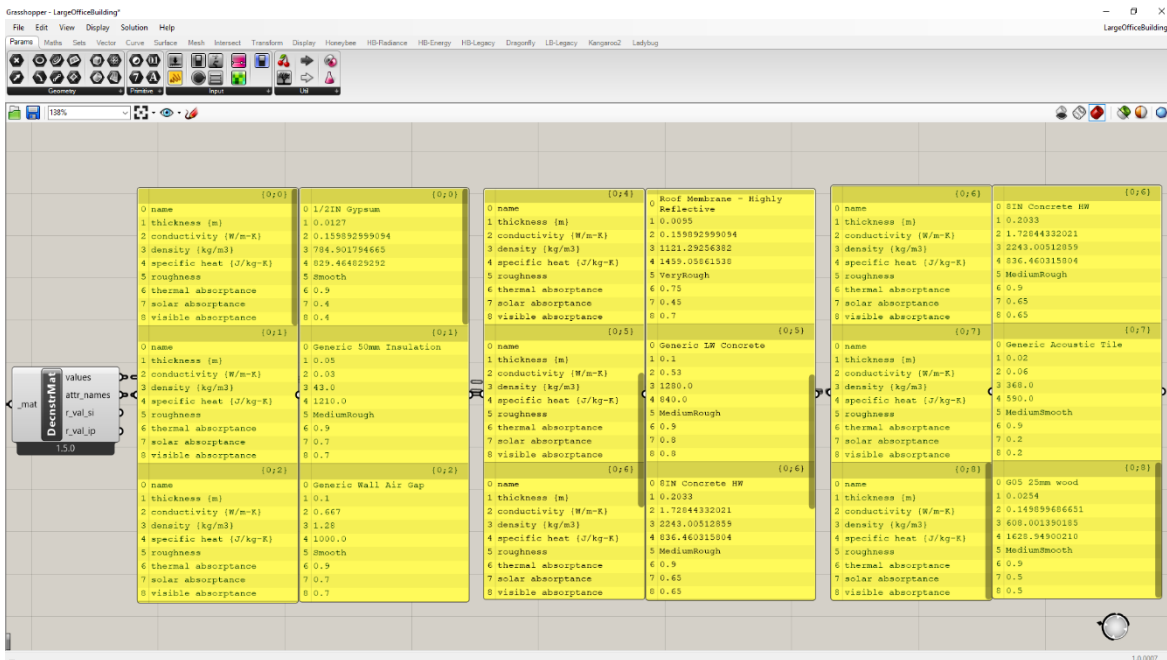
Σχήμα 6.25: Πρόγραμμα δωματίων IT - LargeOffice: IT Room

6.4 Υλικά κατασκευής

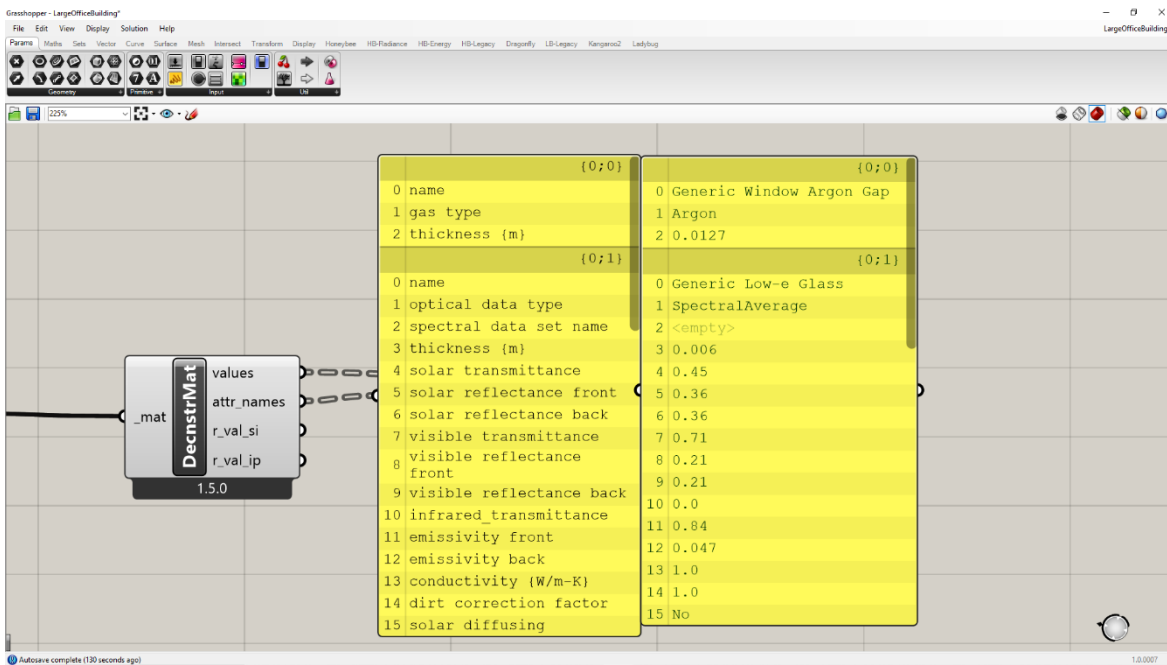
Στην ενότητα αυτήν αναθέτονται τα υλικά κατασκευής σε όλες τις επιφάνειες και υπό-επιφάνειες του κτιρίου. Το Honeybee διαθέτει βάση δεδομένων που εμπεριέχει εκτενείς λίστες με υλικά κατασκευής αλλά και ολοκληρωμένες κατασκευές που μπορούν άμεσα να ανατεθούν στις επιφάνειες. Επιπλέον, εάν το υλικό που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης δεν αντιπροσωπεύεται επαρκώς από τις επιλογές που παρέχει το Honeybee, υπάρχουν προγραμματιστικά στοιχεία που επιτρέπουν την ειδική κατασκευή υλικού. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν κατασκευαστικά υλικά που συναντώνται συχνά σε κατασκευές στην Ελλάδα. Δημιουργήθηκαν ολοκληρωμένες κατασκευές αποτελούμενες από στρώσεις υλικών για τους εξωτερικούς και τους εσωτερικούς τοίχους, τα εσωτερικά δάπεδα των ορόφων, το εξωτερικό δάπεδο που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, την οροφή, τους υαλοπίνακες, και την εξωτερική είσοδο.

Από την καρτέλα HB-Energy επιλέγεται η κατηγορία Constructions, και από αυτήν επιλέγονται και τοποθετούνται στην επιφάνεια εργασίας τα προγραμματιστικά στοιχεία HB Search Constructions (SearchConstrs) και HB Search Materials (SearchMats). Μέσω του πρώτου, ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει στη βάση δεδομένων του Honeybee ολοκληρωμένες κατασκευές αδιαφανών υλικών, υαλοπινάκων, ή σκίασης, συνδέοντας ένα panel στην αντίστοιχη έξοδο. Η αναζήτηση δύναται να επικεντρωθεί σε μία κατηγορία κατασκευών, συνδέοντας ένα panel στην είσοδο keywords, το οποίο να εμπεριέχει έναν κατασκευαστικό όρο. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για την αναζήτηση αδιαφανών υλικών και υλικών για την κατασκευή υαλοπινάκων, στο αντίστοιχο προγραμματιστικό στοιχείο.

Οι ιδιότητες των υλικών αλλά και των ολοκληρωμένων κατασκευών είναι προσβάσιμες μέσω των προγραμματιστικών στοιχείων HB Deconstruct Material (DecnstrMat) και HB Deconstruct Construction (DecnstrConstr). Λειτουργώντας δηλαδή αντίστροφα σε σχέση με την παραπάνω διαδικασία, η κατασκευή χωρίζεται στα επιμέρους υλικά της, και τα υλικά στις ιδιότητές τους. Συνδέοντας ένα panel στην έξοδο values του στοιχείου Deconstruct Material, εμφανίζονται διάφορες τιμές, ενώ από την έξοδο attr_names δίνονται οι ονομασίες των ιδιοτήτων στις οποίες αντιστοιχούν οι τιμές, καθώς και οι μονάδες μέτρησης.



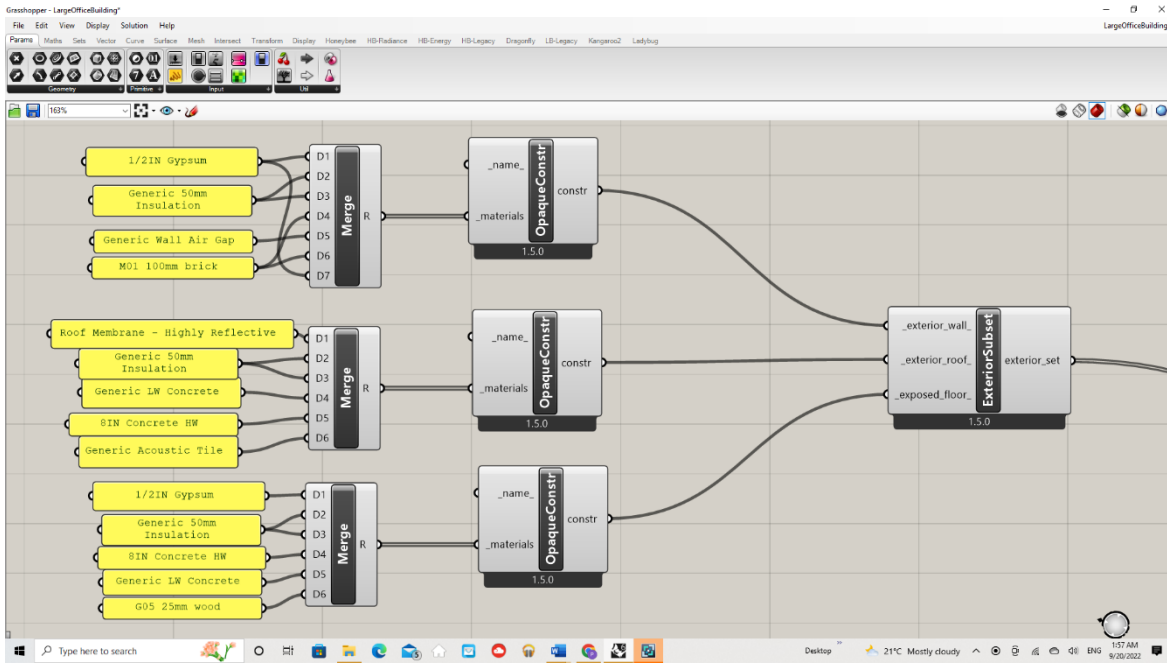
Σχήμα 6.26: Θερμοφυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά υλικών αδιαφανών κατασκευών



Σχήμα 6.27: Θερμοφυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά υλικών διαφανών κατασκευών

Έπειτα από την αναζήτηση και την επιλογή των κατάλληλων υλικών για κάθε κατασκευή, δημιουργούνται ολοκληρωμένες κατασκευές από τα εν λόγω υλικά, οι οποίες με τη σειρά τους απαρτίζουν ένα κατασκευαστικό σύνολο. Αρχικά τοποθετούνται στην επιφάνεια εργασίας panels, στα οποία με κείμενο αναγράφονται τα επιθυμητά υλικά όπως ακριβώς υπάρχουν στην βάση δεδομένων του Honeybee. Έπειτα, από την καρτέλα Sets επιλέγεται η κατηγορία Tree, και από αυτήν τοποθετείται στην επιφάνεια εργασίας το βασικό προγραμματιστικό στοιχείο Merge, το οποίο ενώνει διαφορετικά data streams. Στις εισόδους του συνδέονται τα υλικά, ενώ η έξοδος του συνδέεται με την είσοδο materials του προγραμματιστικού στοιχείου HB Opaque Construction (OpaqueConstr), όταν πρόκειται για αδιαφανή κατασκευή. Όταν πρόκειται για κατασκευή υαλοπίνακα χρησιμοποιείται το στοιχείο HB Window Construction (WindowConstr).

Σε αυτό το σημείο παράγονται κατασκευαστικά υποσύνολα τα οποία αποτελούν τις παραμέτρους του κατασκευαστικού συνόλου που θα εφαρμοστεί στο μοντέλο. Τα προγραμματιστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι τα HB Exterior Construction Subset (ExteriorSubset), HB Interior Construction Subset (InteriorSubset), HB Ground Construction Subset (GroundSubset), και HB Subface Construction Subset (SubfaceConstr). Στο HB Exterior Construction Subset συνδέονται ως εισοδοί τα δεδομένα κατασκευής για τους εξωτερικούς τοίχους, την οροφή, και τα εκτεθειμένα δάπεδα, δηλαδή οι αδιαφανείς κατασκευές που θα βρίσκονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα. Στο HB Interior Subset εισάγονται οι κατασκευές που βρίσκονται εσωτερικά, δηλαδή οι εσωτερικοί τοίχοι και τα εσωτερικά δάπεδα, ενώ στο HB Ground Construction Subset η εδαφόπλακα που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Τέλος, στο HB Subface Construction Subset εισάγονται οι κατασκευές των υπό-επιφανειών, δηλαδή των υαλοπινάκων και της εξωτερικής εισόδου. Όλα τα Construction Subsets αποτελούν το τελικό κατασκευαστικό σύνολο που θα εφαρμοστεί στο κτίριο, και συνδέονται στο προγραμματιστικό στοιχείο HB Construction Set στις αντίστοιχες εισόδους.



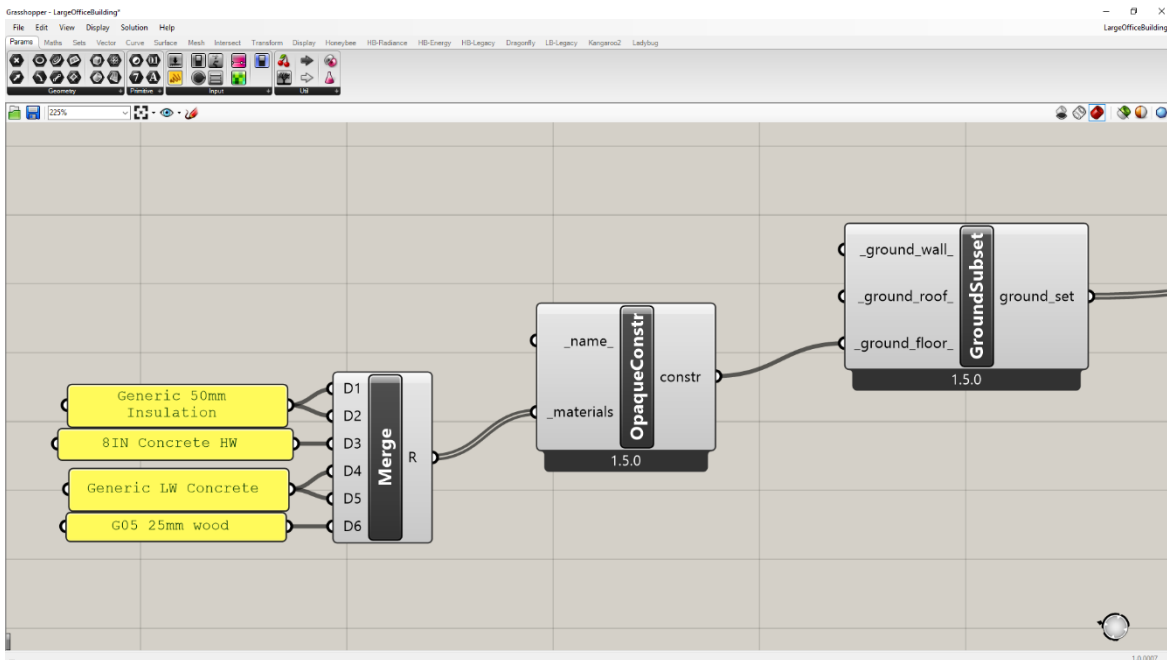
Σχήμα 6.28: Κατασκευή εξωτερικού τοίχου, οροφής, και εκτεθειμένου δαπέδου

Πίνακας 1: Ιδιότητες υλικών εξωτερικού τοίχου

Exterior Wall Construction				
	Thickness (m)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ²)	R-Value (m ² K/W)
Gypsum Plaster	0.013	0.16	784.9	0.08
Insulation Material	0.1	0.03	43	1.67
Brick	0.1	0.88	1920	0.11
Air Gap	0.1	0.67	1.28	0.15
Brick	0.1	0.88	1920	0.11
Gypsum Plaster	0.013	0.16	784.9	0.08
				U-Value (W/m²K)
				0.247

Πίνακας 2: Ιδιότητες υλικών εξωτερικής οροφής

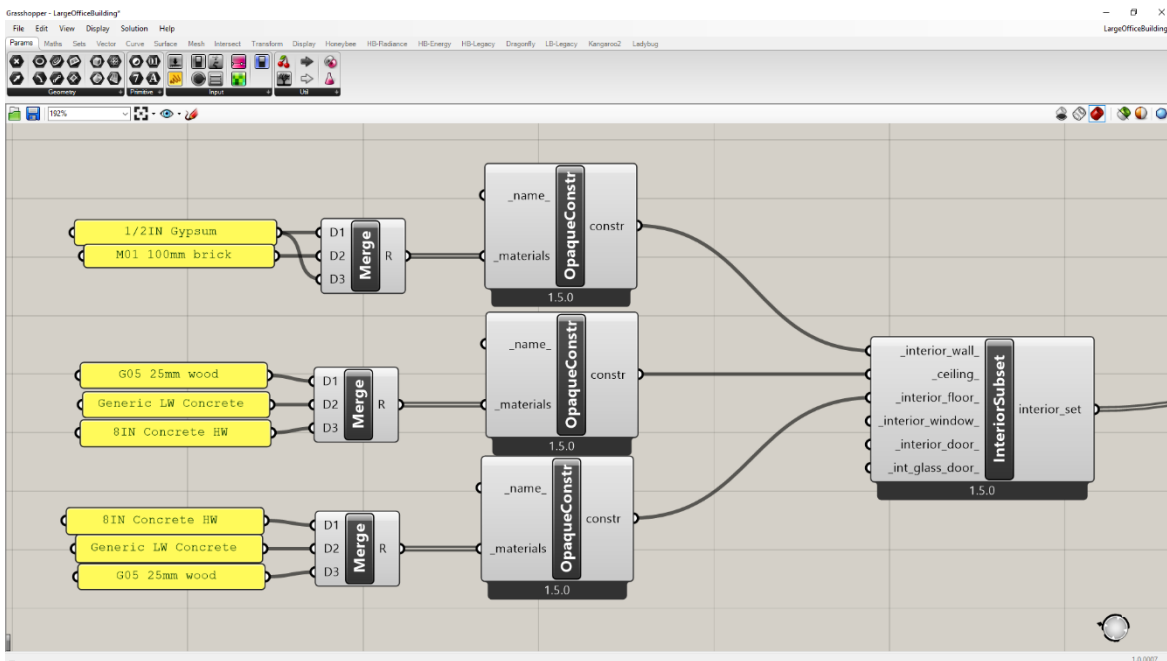
Exterior Roof Construction				
	Thickness (m)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ²)	R-Value (m ² K/W)
Roof Membrane	0.0095	0.16	1121.3	0.06
Insulation Material	0.1	0.03	43	1.67
Lightweight Concrete	0.1	0.53	1280	0.19
Reinforced Concrete	0.203	1.73	2243	0.12
Acoustic Tile	0.02	0.06	368	0.33
				U-Value (W/m²K)
				0.232



Σχήμα 6.29: Κατασκευή πλάκας επί εδάφους

Πίνακας 3: Ιδιότητες υλικών εξωτερικού δαπέδου

Ground Floor Construction				
	Thickness (m)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ²)	R-Value (m ² K/W)
Insulation Material	0.1	0.03	43	1.67
Reinforced Concrete	0.203	1.73	2243	0.12
Lightweight Concrete	0.1	0.53	1280	0.19
Wood Floor	0.025	0.15	608	0.16
				U-Value (W/m²K)
				0.24

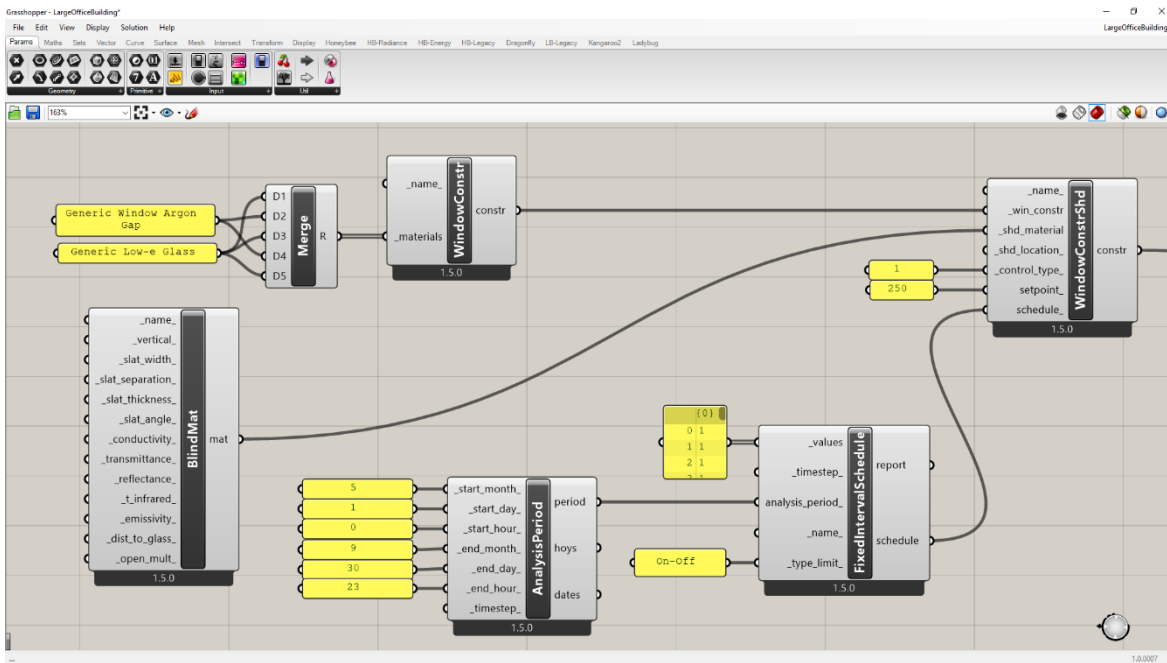


Σχήμα 6.30: Κατασκευή εσωτερικών τοίχων και δαπέδων

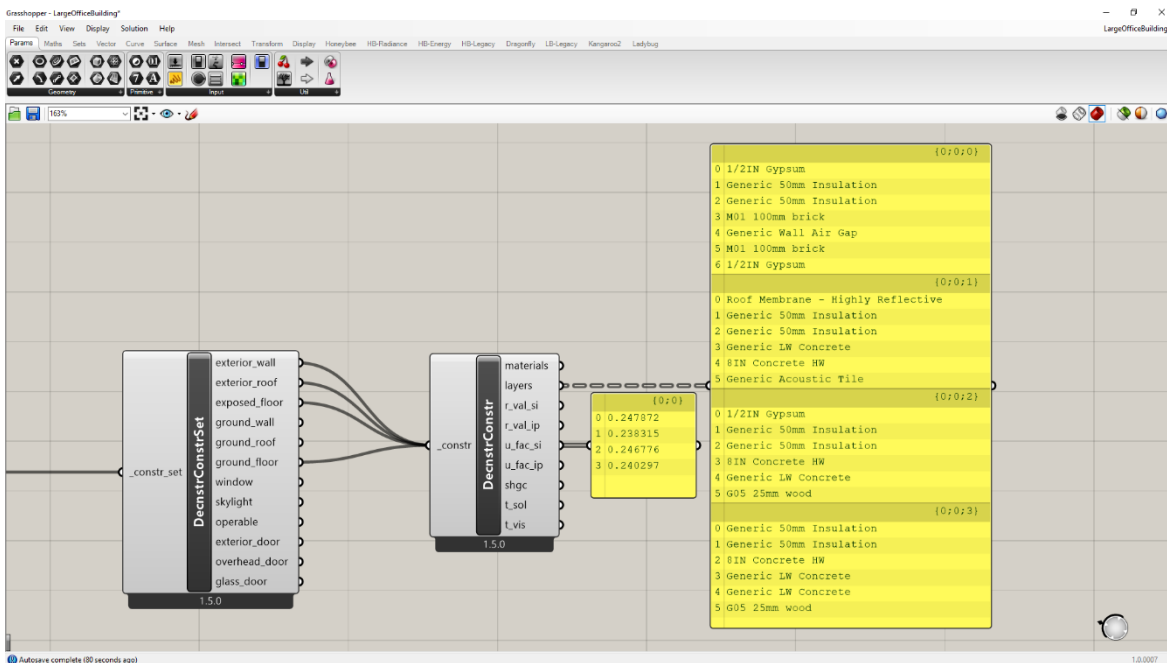
Πίνακας 4: Ιδιότητες υλικών εσωτερικού δαπέδου και εσωτερικού τοίχου

Interior Floor Construction				
	Thickness (m)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m²)	R-Value (m²K/W)
Acoustic Tile	0.02	0.06	368	0.33
Reinforced Concrete	0.203	1.73	2243	0.12
Lightweight Concrete	0.1	0.53	1280	0.19
Wood Floor	0.025	0.15	608	0.16
Interior Wall Construction				
	Thickness (m)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m²)	R-Value (m²K/W)
Gypsum Plaster	0.013	0.16	784.9	0.08
Brick	0.1	0.88	1920	0.11
Gypsum Plaster	0.013	0.16	784.9	0.08

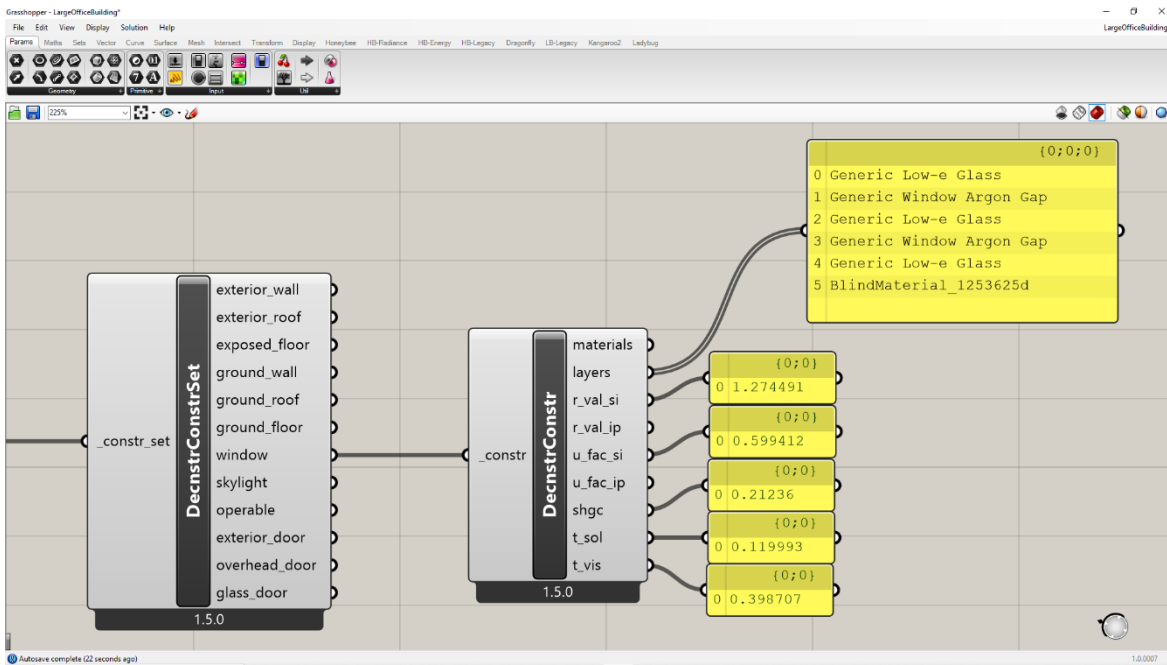
Για το κτίριο γραφείων επιλέχθηκαν τριπλοί υαλοπίνακες με επίστρωση low-e, και ανάμεσά τους διάκενο με αέριο αργό. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε χαμηλός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας, μειώνοντας το ηλιακό φορτίο που εισέρχεται στις θερμικές ζώνες. Επιπλέον, ανατίθεται εσωτερική σκίαση (στόρια) στα ανοίγματα των υαλοπινάκων, η οποία τίθεται σε λειτουργία από τον Μάιο έως το Σεπτέμβριο. Σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί τη σκίαση ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα. Το όριο ενεργοποίησης τίθεται στα 250 W/m².



Σχήμα 6.31: Κατασκευή υαλοπινάκων και εσωτερικής σκίασης



Σχήμα 6.32: U-values εξωτερικών αδιαφανών κατασκευών



Σχήμα 6.33: U-value εξωτερικών διάφανων κατασκευών

6.5 HVAC

Οι παράμετροι λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, ψύξης, και μηχανικού αερισμού επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου. Υπόψιν πρέπει να ληφθεί και η επίτευξη ικανοποιητικής θερμικής άνεσης κατά τις εργάσιμες ώρες, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σε ένα κτίριο γραφείων ιδιαίτερη έμφαση δίνεται και στην διασφάλιση της υψηλής ποιότητας του εσωτερικού αέρα, ο οποίος εναλλάσσεται μέσω του συστήματος μηχανικού αερισμού.

6.5.1 HB Ideal Air-Υπολογισμός θερμικών φορτίων

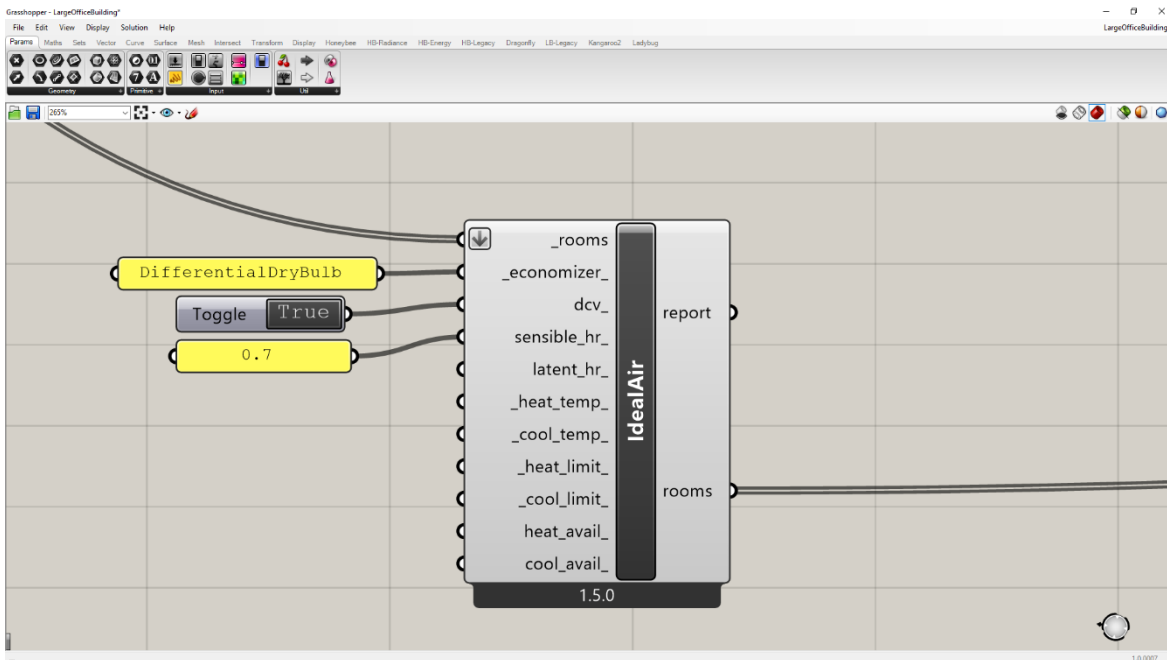
Στην ενότητα αυτή αρχικά μοντελοποιείται η ανάλυση των θερμικών φορτίων που συγκεντρώνονται στο σύνολο των θερμικών ζωνών του κτιρίου, ώστε να υπολογιστούν οι απαιτήσεις του για ενεργητική θέρμανση και ψύξη. Το Honeybee, μέσω του EnergyPlus, παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού των ιδανικών φορτίων αέρα που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών κάθε θερμικής ζώνης. Υπολογίζοντας για κάθε μήνα του έτους τα θερμικά κέρδη και τις θερμικές απώλειες, σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν αποδοθεί στο κτίριο, διαμορφώνονται οι ανάγκες που θα απαιτούνταν από ένα ιδανικό σύστημα HVAC, για την επίτευξη της ισορροπίας της θερμικής ενέργειας. Η απαίτηση ενεργητικής θέρμανσης εκφράζεται ως το έλλειμμα θερμικής ενέργειας που καλείται να καλυφθεί από το σύστημα HVAC κατά τους ψυχρούς μήνες, ενώ η απαίτηση ενεργητικής ψύξης ως το πλεόνασμα που πρέπει να απομακρυνθεί κατά τους θερμούς μήνες. Δηλαδή,

κάνοντας χρήση του προγραμματιστικού στοιχείου HB Ideal Air (IdealAir), ανατίθεται στο κτίριο ένα ιδανικό και θεωρητικό σύστημα HVAC, του οποίου η κατανάλωση υπολογίζεται ως θερμική ενέργεια. Η απαραίτητη παραδοχή που γίνεται για το σύστημα HB Ideal Air είναι ότι λειτουργεί με βαθμό απόδοσης 100% για την θέρμανση και την ψύξη, και παρέχει στις θερμικές ζώνες αέρα ιδανικής θερμοκρασίας και υγρασίας σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, η κατανάλωση υπολογίζεται δίχως να λαμβάνεται υπόψιν ο τρόπος παραγωγής του εν λόγω αέρα, αλλά και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα βοηθητικά μηχανήματα. Έτσι, τα αποτελέσματα που παράγονται από μία ενεργειακή προσομοίωση που χρησιμοποιεί το HB Ideal Air ως σύστημα HVAC, δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως την πραγματικότητα. Ωστόσο, αποτελούν μία χρήσιμη εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων και της κατανάλωσης του κτιρίου, αλλά και ένα μέτρο σύγκρισης που δύναται να συμβάλλει στη μοντελοποίηση και στην επιλογή ενός πραγματικού και λεπτομερούς συστήματος HVAC.

Στο προγραμματιστικό στοιχείο HB Ideal Air (IdealAir) διαμορφώνονται ορισμένες συνθήκες λειτουργίας του θεωρητικού συστήματος HVAC. Αρχικά, θεωρείται ότι στο σύστημα εφαρμόζεται ανάκτηση θερμότητας μέσω εναλλάκτη με βαθμό απόδοσης 70%. Το ρεύμα εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο σύστημα διασταυρώνεται με εκείνο του εσωτερικού αέρα που απορρίπτεται, ανακτώντας ένα ποσοστό της θερμότητάς του.

Θεωρείται ότι στον μηχανικό αερισμό είναι ενσωματωμένο σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας (Economizer), το οποίο με χρήση controller, αξιοποιεί τον εξωτερικό αέρα για την ψύξη της θερμικής ζώνης όταν αυτός είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας, μειώνοντας έτσι την ανάγκη ενεργητικής ψύξης. Όταν η λειτουργία economizer είναι ενεργή, τίθεται εκτός λειτουργίας ο εναλλάκτης θερμότητας.

Στην είσοδο dcv (demand controlled ventilation) συνδέεται διακόπτης που δηλώνει την ύπαρξη ελεγχόμενου μηχανικού αερισμού, ο οποίος μεταβάλλει την ποσότητα εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο κτίριο ανάλογα με τον αριθμό εργαζομένων που βρίσκονται στον χώρο ανά πάσα στιγμή. Το χρονοδιάγραμμα πληρότητας (occupancy schedule) σε συνδυασμό με τις παραμέτρους που δόθηκαν για τον μηχανικό αερισμό (Ventilation) και τους εργαζόμενους (People) στο πρόγραμμα (ProgramType) που έχει εφαρμοστεί στα δωμάτια, καθορίζουν την ποσότητα φρέσκου αέρα που εισέρχεται μέσω του συστήματος μηχανικού αερισμού για κάθε ώρα του έτους.



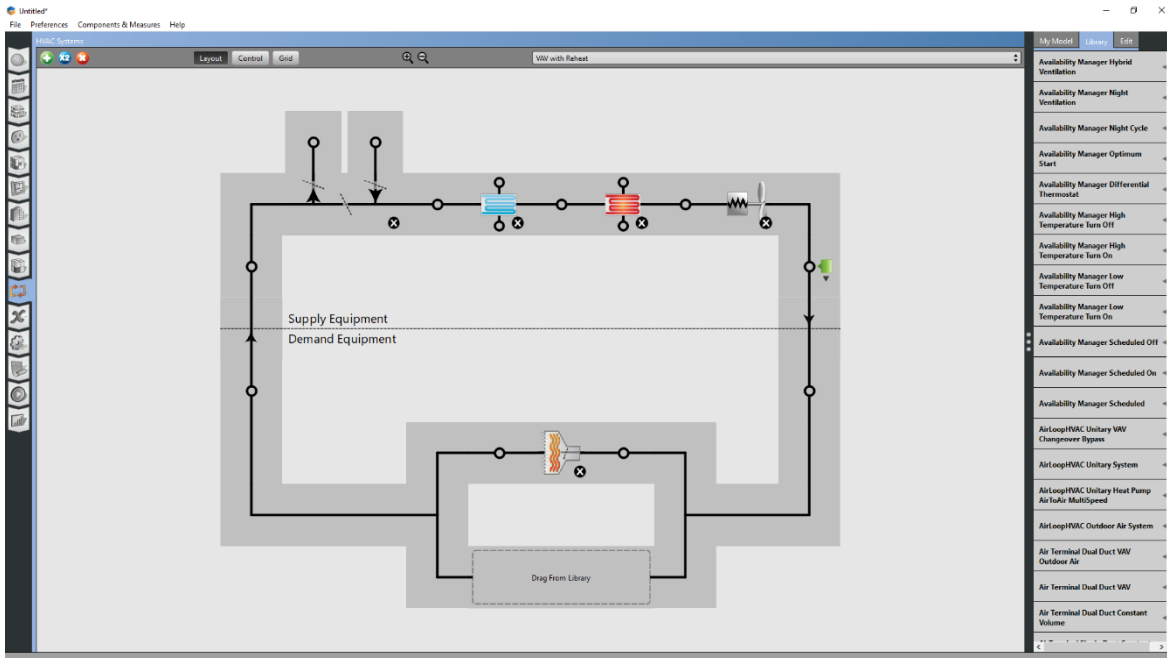
Σχήμα 6.34: Σύνδεση προγραμματιστικού στοιχείου Ideal Air

6.5.2 VAV chiller with gas boiler reheat

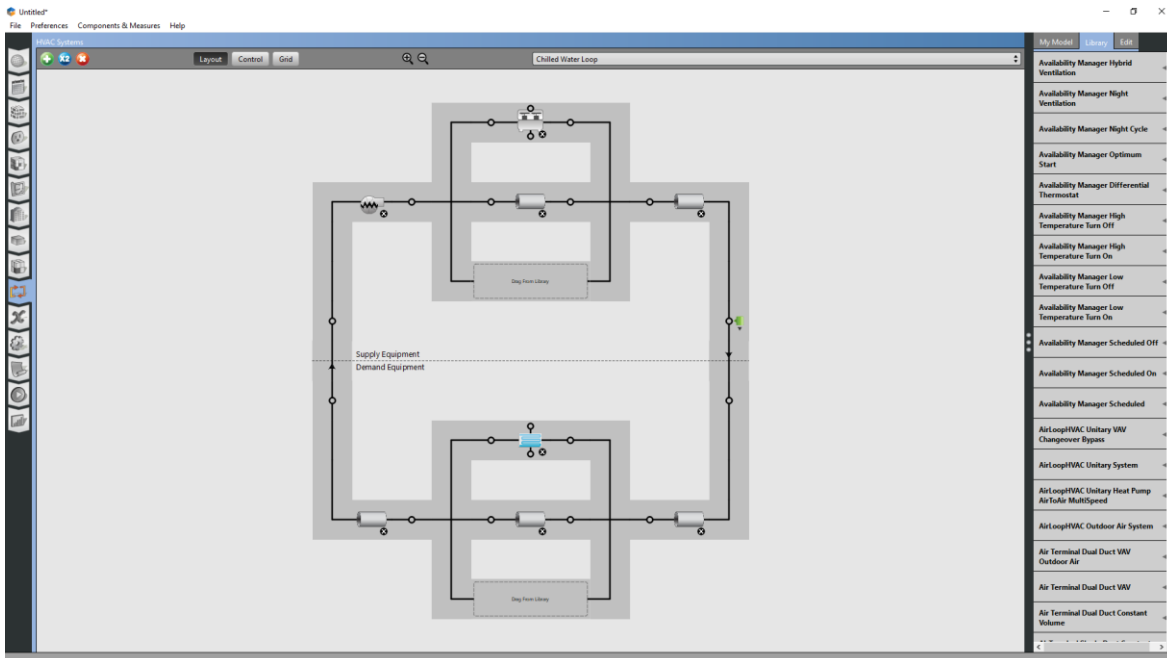
Στην παρακάτω ενότητα πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση ενός μεταβλητού όγκου αέρα (VAV) συστήματος, ικανό ώστε να ικανοποιήσει με υψηλή αποδοτικότητα τις ανάγκες θέρμανσης, ψύξης, και μηχανικού αερισμού του κτιρίου γραφείων. Τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα εφαρμόζονται συχνά σε πολυώροφα κτίρια γραφείων, καθώς επιτρέπουν τον έλεγχο πολλαπλών θερμικών ζωνών, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις τους ανάλογα με το φορτίο. Το σύστημα περιλαμβάνει λέβητα φυσικού αερίου για τις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύκτη με υδρόψυκτο συμπυκνωτή για τις ανάγκες της ενεργητικής ψύξης. Επίσης εφαρμόζεται αναθέρμανση στο σύστημα, δηλαδή πραγματοποιείται η αρχική ψύξη του αέρα στην προεπιλεγμένη χαμηλή θερμοκρασία, και ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε θερμικής ζώνης αναθερμαίνεται πριν την εισαγωγή του στα δωμάτια. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο της υγρασίας των θερμικών ζωνών, διατηρώντας την σε συγκεκριμένο επίπεδο.

Το σύστημα αναπτύσσεται σε τέσσερις κλειστούς βρόχους, τρεις εκ των οποίων διαρρέονται από νερό και ένας από αέρα. Ο βρόχος αέρα είναι αυτός στον οποίο πραγματοποιείται η θέρμανση και η ψύξη του αέρα πριν την εισαγωγή του στις θερμικές ζώνες, καθώς και η απαγωγή του εσωτερικού απορριπτόμενου αέρα. Το σύστημα συμπληρώνεται από τους βρόχους ψυχρού νερού (Chilled Water Loop), θερμού νερού (Hot Water Loop), και νερού συμπυκνωτή (Condenser Water Loop).

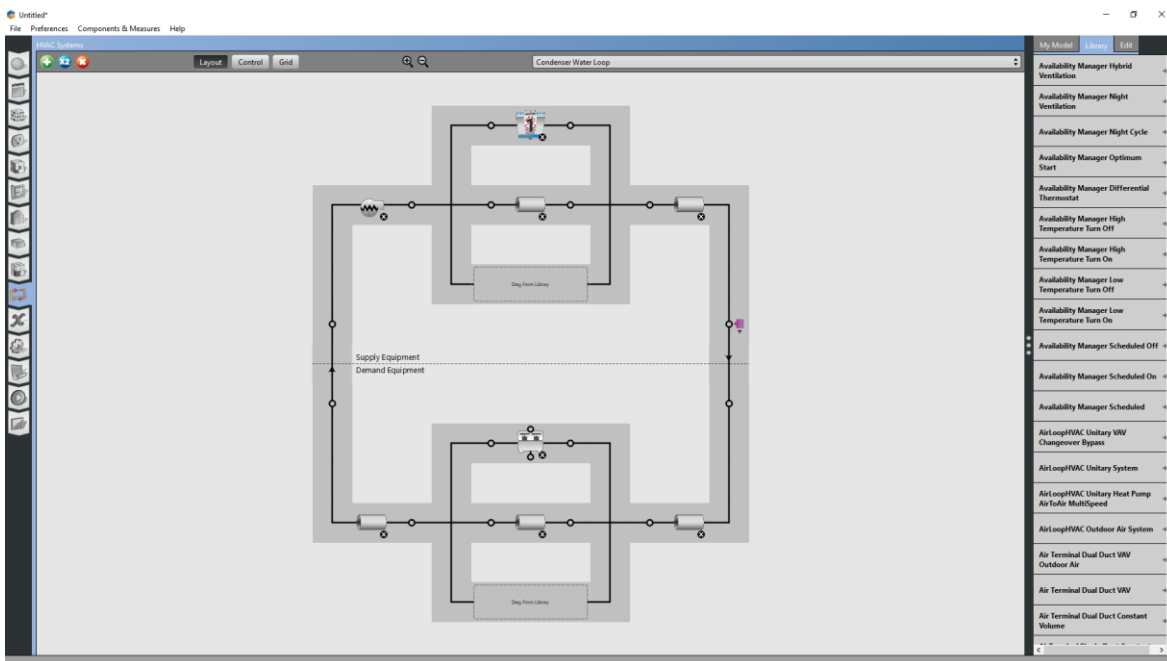
Ο βρόχος ψυχρού νερού αρχίζει από τον ψύκτη (chiller), ο οποίος προμηθεύει με ψυχρό νερό τα σωληνάκια (coils) που ψύχουν το ρεύμα του εισερχόμενου καθαρού αέρα. Εν συνεχεία, ο ψύκτης συνδέεται με το βρόχο του νερού συμπυκνωτή, που καταλήγει στον πύργο ψύξης, όπου πραγματοποιείται η απόρριψη θερμότητας. Αντίστοιχα, τα σωληνάκια θέρμανσης συνδέονται με το βρόχο θερμού νερού, ο οποίος καταλήγει στο λέβητα φυσικού αερίου. Ο λέβητας θερμαίνει το νερό που διαρρέει τα αρχικά σωληνάκια θέρμανσης, αλλά και αυτά που χρησιμοποιούνται για την αναθέρμανση. Στους βρόχους νερού χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές αντλίες για την εξαναγκασμένη κυκλοφορία του υγρού, ενώ για το βρόχο αέρα γίνεται χρήση ηλεκτρικών ανεμιστήρων.



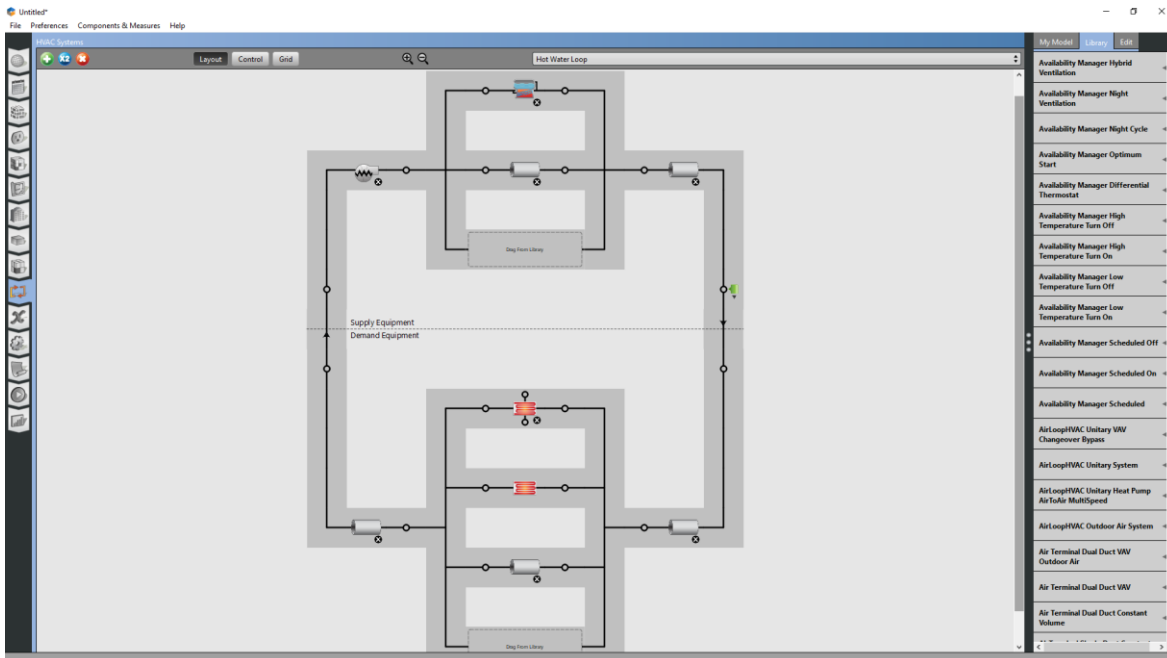
Σχήμα 6.35: Βρόχος αέρα VAV συστήματος με αναθέρμανση



Σχήμα 6.36: Βρόχος ψυχρού νερού



Σχήμα 6.37: Βρόχος νερού συμπυκνωτή



Σχήμα 6.38: Βρόχος θερμού νερού

Όσον αφορά στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του συστήματος, ρυθμίζονται όπως και στο σύστημα HB Ideal Air, ώστε να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων. Θεωρείται δηλαδή, ότι στο σύστημα υπάρχει εναλλάκτης θερμότητας βαθμού απόδοσης 70%, δυνατότητα για ρύθμιση economizer εφόσον οι εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας το επιτρέπουν, και ελεγχόμενος μηχανικός αερισμός με βάση το χρονοδιάγραμμα πληρότητας του κτιρίου.

6.5.3 Παραλλαγές συστήματος HVAC

6.5.3.1 VAV air cooled chiller with central air source heat pump reheat

Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί μία παραλλαγή του αρχικού VAV συστήματος, όντας επίσης ένα κεντρικό σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα. Το εν λόγω σύστημα HVAC διαφέρει με το προηγούμενο κατά βάση ως προς τον τρόπο θέρμανσης του κτιρίου αλλά και ως προς την ψύξη.

Αντί του λέβητα φυσικού αερίου χρησιμοποιείται στο σύστημα τεχνολογία αντλίας θερμότητας για την παραγωγή θερμού αέρα, μαζί με αναθέρμανση πριν την είσοδο στις θερμικές ζώνες, όταν απαιτείται. Η αντλία θερμότητας αποτελείται από μία διάταξη η οποία μεταφέρει θερμότητα από ένα περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας σε έναν άλλο υψηλότερης θερμοκρασίας. Από την παραπάνω περιγραφή γίνεται φανερό ότι οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν αντίθετα στη φυσική ροή της μεταφοράς της θερμικής

ενέργειας. Όπως είναι αυτονόητο, για την πραγματοποίηση των προαναφερθέντων, απαιτείται μια σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Τα υπάρχοντα είδη αντλιών θερμότητας είναι οι αέρος-αέρος, νερού-αέρος, αέρος-νερού και νερού-νερού. Στις αντλίες θερμότητας νερού-νερού υπάγονται και οι γεωθερμικές.

Οι αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα διαθέτουν εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού υγρού και αέρα. Ο ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι ο ατμοποιητής ενώ ο άλλος ο συμπυκνωτής. Όταν βρίσκεται σε λειτουργία ψυκτικού κύκλου ο εξωτερικός αέρας διέρχεται από τον συμπυκνωτή, ενώ ο αέρας του εσωτερικού χώρου διέρχεται από τον ατμοποιητή. Για την ικανοποίηση απαιτήσεων θέρμανσης αναστρέφεται η ροή του ψυκτικού μέσου γεγονός που επιτυγχάνεται με τη χρήση βαλβίδας.

Οι αντλίες θερμότητας νερού-αέρα λειτουργούν με το νερό ως πηγή ή αποδέκτη θερμότητας ενώ ο αέρας μεταφέρει ή απάγει θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο. Το νερό, μέσω δικτύου σωληνώσεων είναι τοποθετημένο σε συμπυκνωτή και ατμοποιητή όπου ανταλλάσσει θερμότητα με το ψυκτικό υγρό. Εκείνο με τη σειρά του ανταλλάσσει θερμότητα με τον αέρα που εισάγεται στους εσωτερικούς χώρους.

Οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού λειτουργούν με το νερό ως πηγή ή αποδέκτη θερμότητας όπως και οι αντλίες νερού-αέρα, με τη διαφορά πως η ανταλλαγή θερμότητας πραγματοποιείται μέσω υδρόψυκτου εναλλάκτη, και μεταφέρεται σε δεύτερο κύκλωμα νερού που διοχετεύεται σε μονάδες στους εσωτερικούς χώρους και ικανοποιεί τις θερμικές τους απαιτήσεις.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή η αντλία θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί είναι μία Air Source Heat Pump (ASHP), δηλαδή αντλία θερμότητας αέρα-νερού όπως συχνά αναφέρονται, η οποία αντλεί θερμότητα από το περιβάλλον, μεταφέροντάς τη στη συνέχεια σε σωληνάκια θερμού νερού που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση και την αναθέρμανση του αέρα με ίδια διάταξη όπως και στην προηγούμενη εφαρμογή που χρησιμοποιούσε ως πηγή θερμότητας το φυσικό αέριο.

Για την ψύξη χρησιμοποιήθηκε ψύκτης όπως και στην προηγούμενη εφαρμογή με τη διαφορά ότι ο συγκεκριμένος είναι αερόψυκτος αντί για υδρόψυκτος. Οι αερόψυκτοι ψύκτες είναι γενικά λιγότεροι αποδοτικοί αλλά εξαιτίας του μειωμένου εξοπλισμού, απαιτείται σχετικά λιγότερος χώρος για την τοποθέτησή τους καθώς και χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης. Η βασική ιδιαιτερότητα των αερόψυκτων ψυκτών είναι πως ένας αερόψυκτος συμπυκνωτής χρησιμοποιεί τον αέρα του περιβάλλοντος για να ψύξει και να συμπυκνώσει το ζεστό ψυκτικό αέριο πάλι σε υγρό. Συνήθως, όπως και στην περίπτωση αυτή βρίσκεται μέσα στο ψυκτικό συγκρότημα το οποίο είναι τοποθετημένο εξωτερικά του κτιρίου και τελικά απορρίπτει τη θερμότητα από το ψύκτη στον αέρα.

6.5.3.2 PTAC

Το επόμενο σύστημα που θα εξεταστεί είναι το Packaged Terminal Air Conditioning το οποίο παρέχει σε κάθε θερμική ζώνη μία μονάδα που εξασφαλίζει την ικανοποίηση των απαιτήσεων θέρμανσης, ψύξης και αερισμού.

Η κάθε μονάδα διαθέτει single-speed (DX) coil άμεσης εκτόνωσης για την ψύξη, και ηλεκτρική αντίσταση για τη θέρμανση. Πιο αναλυτικά, το σύστημα για την ψύξη αποτελείται από το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τη βαλβίδα εκτόνωσης, τον εξατμιστή και ανεμιστήρα συνεχούς όγκου (Constant Volume Fan) ο οποίος διακινεί τον κλιματιζόμενο αέρα. Ταυτόχρονα για τη θέρμανση ο αέρας οδηγείται στην ηλεκτρική αντίσταση, ώστε να θερμανθεί μέσω συναλλαγής θερμότητας.

Αποτελεί μια σχετικά απλή διάταξη αποκεντρωμένου συστήματος που θα συγκριθεί με τα προηγούμενα σενάρια συγκεντρωμένων συστημάτων. Αναμένεται η κατανάλωσή του να είναι υψηλότερη λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού ζωνών με διαφορετικές απαιτήσεις η καθεμία, γεγονός που καθιστά τα κεντρικά συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα την πιο αποτελεσματική και ενεργειακά αποδοτική επιλογή.

Επίσης αναμένονται υψηλότερες καταναλώσεις ανεμιστήρων καθώς το σύστημα σ

6.5.3.3 PTHP

Το σύστημα Packaged Terminal Heat Pump (PTHP) αποτελεί μία παραλλαγή του παραπάνω συστήματος. Ουσιαστικά η διαφοροποίησή του έγκειται στη χρήση αντλίας θερμότητας έναντι της ηλεκτρικής αντίστασης για τις ανάγκες θέρμανσης. Το σύστημα αντλίας θερμότητας είναι αέρα-αέρα, δηλαδή αποτελείται από δύο εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού υγρού με αέρα, όπως περιεγράφηκε παραπάνω.

Το σύστημα αυτό τείνει να είναι περισσότερο αποδοτικό από το PTAC ειδικότερα όσον αφορά στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση. Ωστόσο, πρόκειται ξανά για μία εφαρμογή μη κεντρικού συστήματος σε ένα μεγάλο θερμικών ζωνών, ενώ ταυτόχρονα οι ανεμιστήρες παραμένουν συνεχούς όγκου.

6.6 Ηλιοθερμικό σύστημα για παροχή Ζ.Ν.Χ.

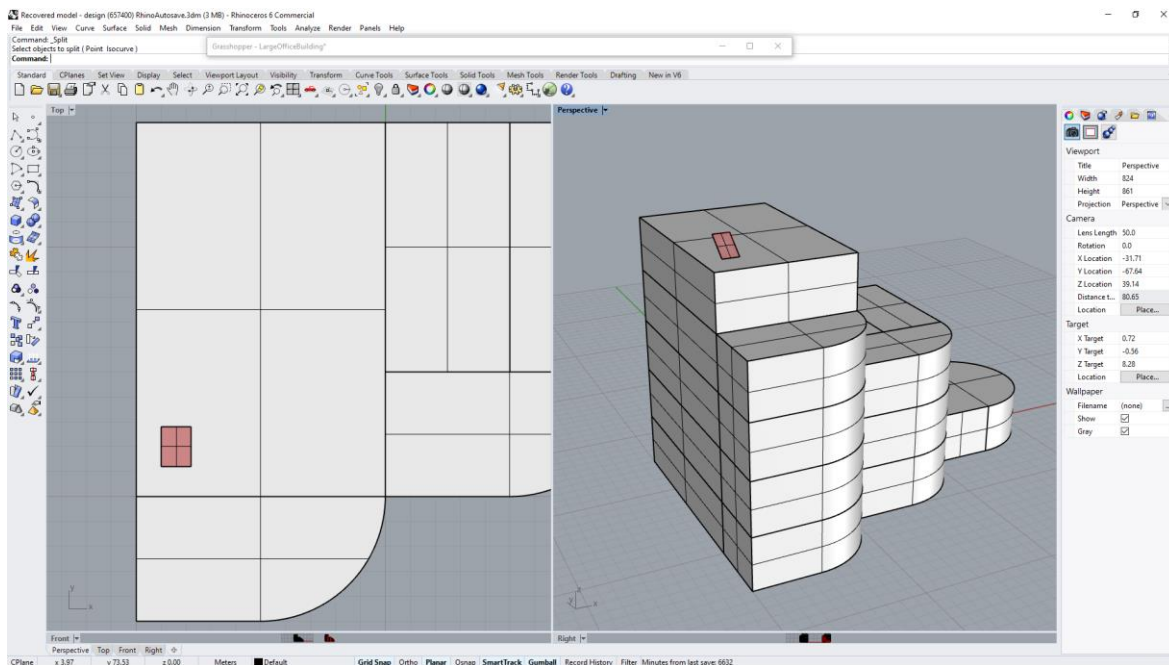
Στην ενότητα αυτή σχεδιάστηκε η κάλυψη των απαιτήσεων παροχής ζεστού νερού χρήσης για το κτίριο γραφείων μέσω συστήματος ηλιακών θερμικών panel τοποθετημένα στην οροφή του κτιρίου.

Αρχικά, μέσω του προγραμματιστικού στοιχείου Ladybug_Commercial Public Apartment Hot Water, πραγματοποιείται η ανάλυση που υπολογίζει την απαίτηση ζεστού νερού χρήσης του κτιρίου. Εισάγεται ο τύπος κτιρίου που εξετάζεται, δηλαδή κτίριο γραφείων, το πλήθος των εργαζομένων όπως έχει χρησιμοποιηθεί και νωρίτερα στην ανάθεση

εσωτερικών θερμικών φορτίων, καθώς και θεωρείται πως κάθε εργαζόμενος κάνει χρήση 3.8 λίτρων ζεστού νερού την ημέρα. Κάνοντας χρήση ενός διακόπτη και τοποθετώντας τον στο True πραγματοποιείται ο υπολογισμός.

Μέσω του χρονοδιαγράμματος πληρότητας (occupancy schedule) που έχει ανατεθεί στο κτίριο, αλλά και ξεχωριστού χρονοδιαγράμματος για τη ζήτηση ζεστού νερού χρήσης για κάθε ώρα, υπολογίζονται οι απαιτήσεις για κάθε ημέρα του έτους. Ο συντελεστής του χρονοδιαγράμματος πληρότητας πολλαπλασιάζεται με το σταθερό αριθμό εργαζομένων ανά τετραγωνικό μέτρο που έχει χρησιμοποιηθεί στο προγραμματιστικό στοιχείο HB people, και στη συνέχεια με τον συντελεστή ζήτησης ζεστού νερού.

Στη συνέχεια σχεδιάζεται κεκλιμένη επιφάνεια η οποία αποτελεί ένα panel με διαστάσεις 2.4 τετραγωνικά μέτρα, για το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί. Αφού υπολογιστεί η ενέργεια που δύναται να προσφέρει, και συγκρίνοντας τα αποτελέσματά με την απαιτούμενη ενέργεια που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα, αποφασίζεται ο κατάλληλος αριθμός συλλεκτών για το κτίριο γραφείων.



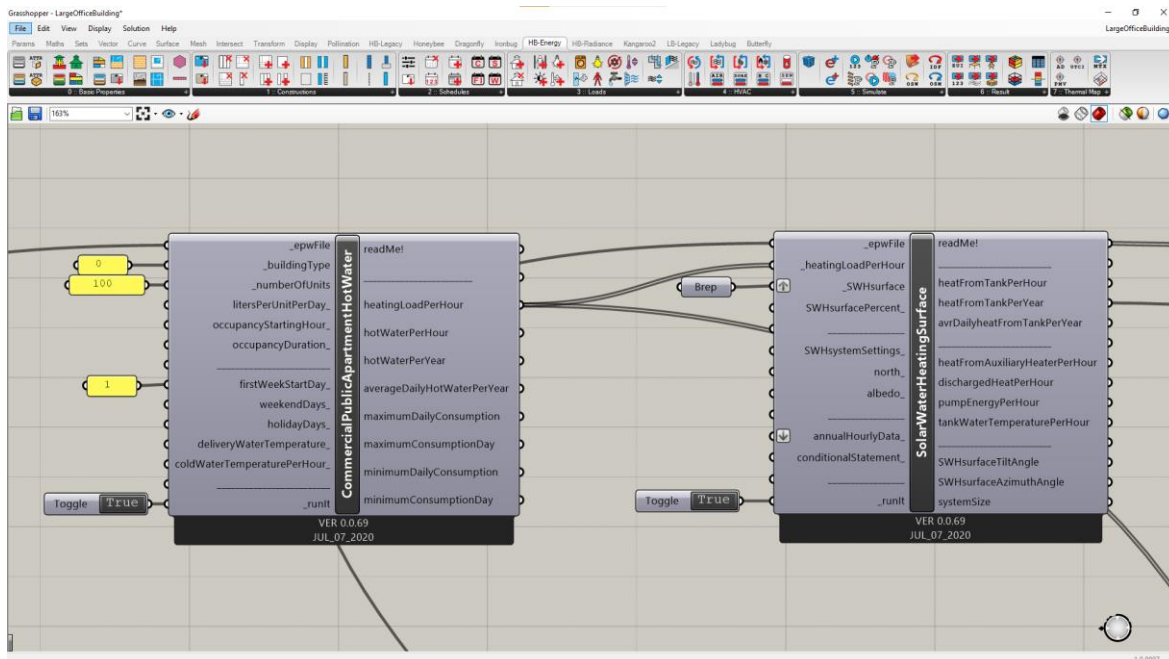
Σχήμα 6.39: Σχεδίαση κεκλιμένης επιφάνειας συλλέκτη

Για τη σχεδίαση αποφασίζεται πρώτα η κλίση και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι γνωστό ότι ο πιο επικερδής προσανατολισμός είναι ο νότιος για μεγιστοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας που δέχεται ο συλλέκτης, ενώ η κλίση ακολουθεί το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή 37 μοίρες για την Αθήνα. Τα παραπάνω επαληθεύονται και μέσω του προγραμματιστικού στοιχείου Ladybug_Tilt And Orientation Factor (TOF) εισάγοντας τα κλιματικά δεδομένα της Αθήνας και την επιφάνεια του συλλέκτη. Παράγεται γραφικά στο

Ladybug σχήμα το οποίο απεικονίζει τα εύρη διαφορετικών αποδόσεων του συλλέκτη για διάφορους συνδυασμούς προσανατολισμού και κλίσης.

Αφού πραγματοποιηθεί η σχεδίαση της επιφάνειας, εκείνη εισάγεται στο προγραμματιστικό στοιχείο Ladybug_Solar Water Heating Surface μέσω Brep, όπως και οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου για κάθε ώρα του έτους όπως υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, και πραγματοποιείται η ανάλυση για το ποσοστό κάλυψης των αναγκών αυτών από την ηλιοθερμική επιφάνεια.

Οι ετήσιες συνολικές απαιτήσεις του κτιρίου για το ζεστό νερό χρήσης υπολογίστηκαν στις 4420.8 kWh θερμικής ενέργειας ενώ ο ένας συλλέκτης δύναται να παράξει 1615.2 kWh το χρόνο. Καθώς το σύστημα είναι δυναμικό, και εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε ώρας, δεν αρκεί απλώς να τοποθετηθούν συλλέκτες ώστε να ξεπερνούν την τιμή της συνολικής απαίτησης. Είναι σημαντικό να υπολογιστεί η διαφορά μεταξύ ζήτησης και προσφοράς ζεστού νερού ανά ώρα ώστε να υπολογιστεί το επιπρόσθετο ποσό ενέργειας που απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες κατά τις ημέρες και ώρες που ο συλλέκτης υστερεί. Με μία εγκατάσταση τεσσάρων συλλεκτών και συνολικής παραγόμενης ενέργειας 6460.8 kWh, οι απαιτήσεις στις οποίες δεν ανταποκρίνεται ο συλλέκτης διαμορφώνονται στις 57.8 kWh το έτος, ποσό ενέργειας αμελητέο που μπορεί να καλυφθεί από μια μικρή εγκατάσταση Electric Water Heater που θα λειτουργεί σαν βοηθητικό σύστημα για την κάλυψη των αναγκών τις ημέρες και ώρες που ο συλλέκτης λόγω καιρού δεν θα συγκεντρώνει την απαραίτητη ενέργεια.



Σχήμα 6.40: Προγραμματιστικά στοιχεία για τον υπολογισμό της παραγωγής θερμικής ενέργειας ηλιοθερμικού συστήματος

7. Ενεργειακή προσομοίωση

Το στοιχείο HB Model (Model) είναι αυτό που προετοιμάζει ο χρήστης και εμπεριέχει όλες τις πληροφορίες για το υπό μελέτη κτίριο.

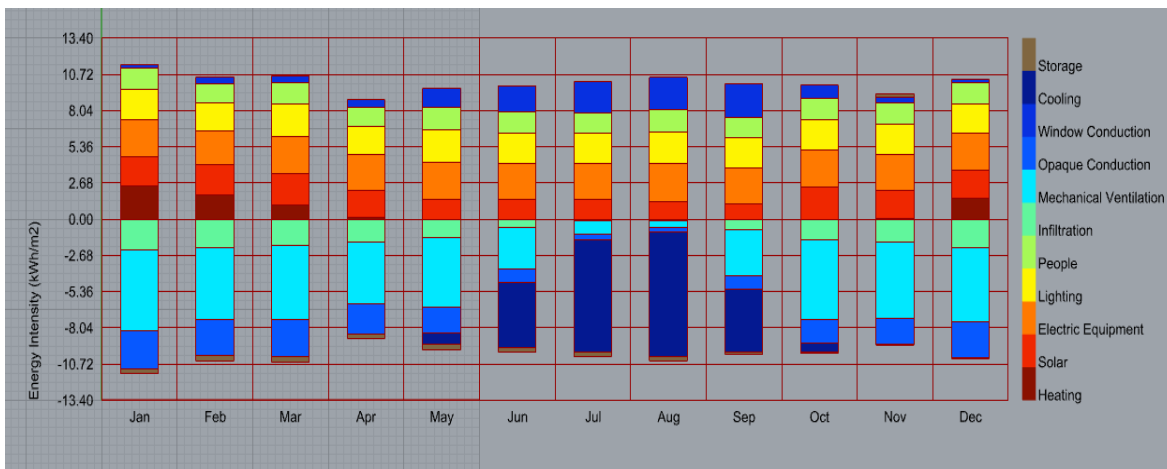
Η ανάλυση γίνεται μέσω του προγραμματιστικού στοιχείου HB Model to OSM (ModelToOSM), το οποίο στην είσοδο model δέχεται το επεξεργασμένο μοντέλο που εμπεριέχει την γεωμετρία και όλες τις ενεργειακές της ιδιότητες.

7.1 Αποτελέσματα

7.1.1 Ideal Air Loads

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου μέσω του OpenStudio και του EnergyPlus, ξεκινώντας με τη θερμική ισορροπία και τα ιδανικά φορτία του κτιρίου.

Στα θετικά θερμικά φορτία που συγκεντρώνονται στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου παρατηρούμε σημαντική συνεισφορά από τα εσωτερικά θερμικά φορτία. Σε ένα κτίριο γραφείων αρκετά μεγάλου μεγέθους είναι αναμενόμενο να υπάρχει αυξημένο θερμικό φορτίο που οφείλεται στον εξοπλισμό, στο φωτισμό, και στους ανθρώπους.

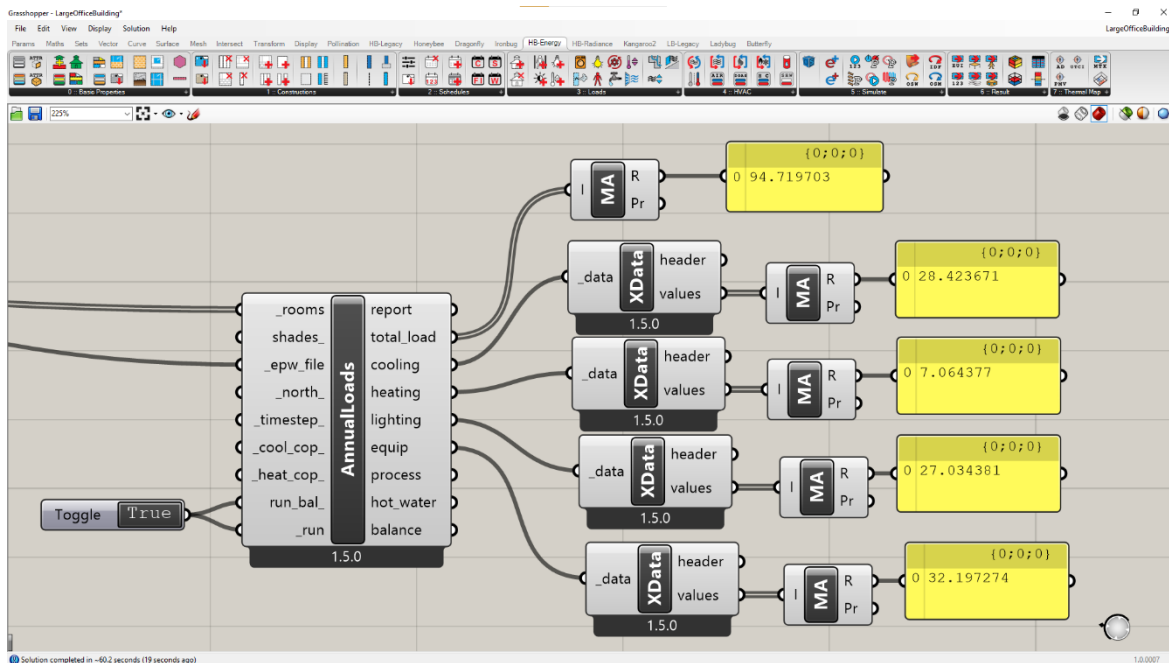


Σχήμα 7.1: Ισορροπία θερμικής ενέργειας (Ideal Air)

Είναι επίσης φανερό η μείωση του φορτίου της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ παρουσιάζεται αύξησή της κατά τους χειμερινούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ορθή τοποθέτηση της εξωτερικής σκίασης η οποία εμποδίζει τον καλοκαιρινό ήλιο ο οποίος βρίσκεται ψηλά να διεισδύσει ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επιπλέον παράγοντας είναι και η εσωτερική σκίαση η οποία έχει ρυθμιστεί να τίθεται σε λειτουργία

όταν προσπίπτει ακτινοβολία υψηλής εντάσεως στα ανοίγματα, γεγονός που συμβαίνει συχνότερα κατά τους θερινούς μήνες.

Παρατηρούνται επίσης σημαντικά φορτία λόγω της μεταφοράς θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, γεγονός που αποδίδεται στα μεγάλων διαστάσεων νότια ανοίγματα του κτιρίου, αλλά και στο μεγάλο πλήθος ανοιγμάτων στη δυτική πλευρά.



Σχήμα 7.2: Energy Use Intensity – Heating Load – Cooling Load – Hot Water Load - (Ideal Air)

Όσον αφορά στα αρνητικά θερμικά φορτία, παρατηρείται πως η μεγαλύτερη απώλεια είναι αυτή του μηχανικού αερισμού. Όπως αναμενόταν ένα σύγχρονο κτίριο γραφείων διαθέτει ικανοποιητικές εναλλαγές αέρα, ώστε στο εσωτερικό του να υπάρχει άφθονος φρέσκος αέρας και να επικρατούν ικανοποιητικές συνθήκες για τους παρευρισκόμενους.

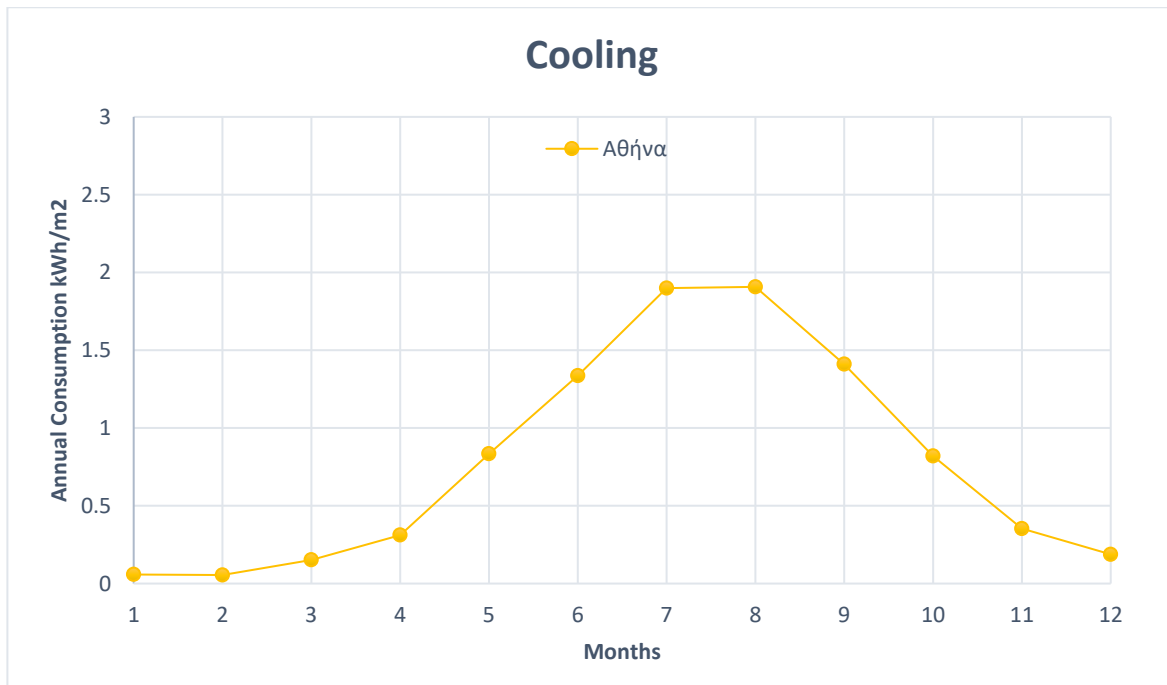
Η μεταφορά θερμότητας μέσω των εξωτερικών τοίχων και της οροφής είναι επίσης σημαντικός παράγοντας όπως και η ανεπιθύμητη διείσδυση αέρα.

Τα θετικά θερμικά φορτία είναι υπεύθυνα για τα φορτία ψύξης που απαιτούνται για την ικανοποίηση της θερμικής ισορροπίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ τα αρνητικά θερμικά φορτία αυξάνουν της απαιτήσεις φορτίων θέρμανσης των χώρων κατά τους χειμερινούς μήνες.

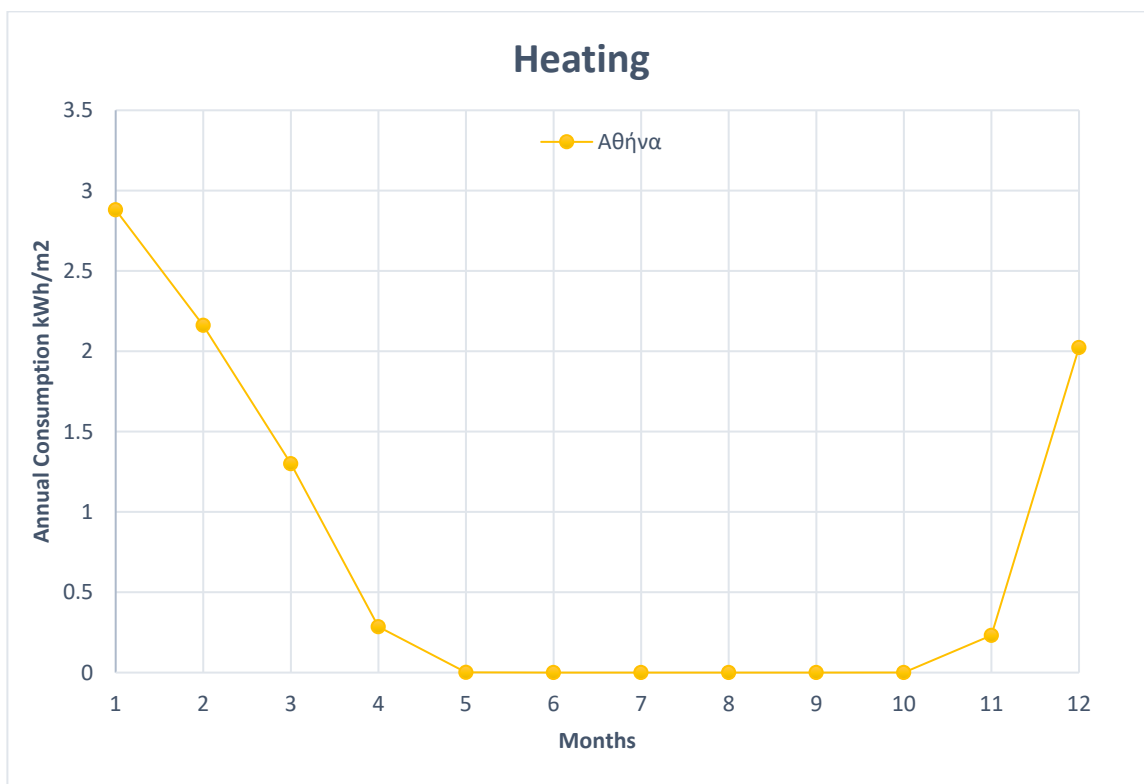
Είναι εμφανές πως οι απαιτήσεις ψύξης σε ένα κλίμα όπως αυτό της Ελλάδας θα είναι υψηλότερες από εκείνες της θέρμανσης, ιδιαίτερα σε ένα μεγάλο κτίριο γραφείων με αυξημένα εσωτερικά θερμικά φορτία. Ωστόσο, τα ιδανικά φορτία ψύξης και θέρμανσης εκφράζουν τις θερμική ενέργεια η οποία πρέπει να απομακρυνθεί ή να προστεθεί στο χώρο για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν το σύστημα με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η παραπάνω διαδικασία.

7.1.2 VAV chiller with gas boiler reheat

Παρακάτω ακολουθούν οι πραγματικές καταναλώσεις ενέργειας του κτιρίου, όταν αυτό είναι εξοπλισμένο με σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα που διαθέτει ψύκτη νερού για ψύξη και λέβητα φυσικού αερίου για θέρμανση.

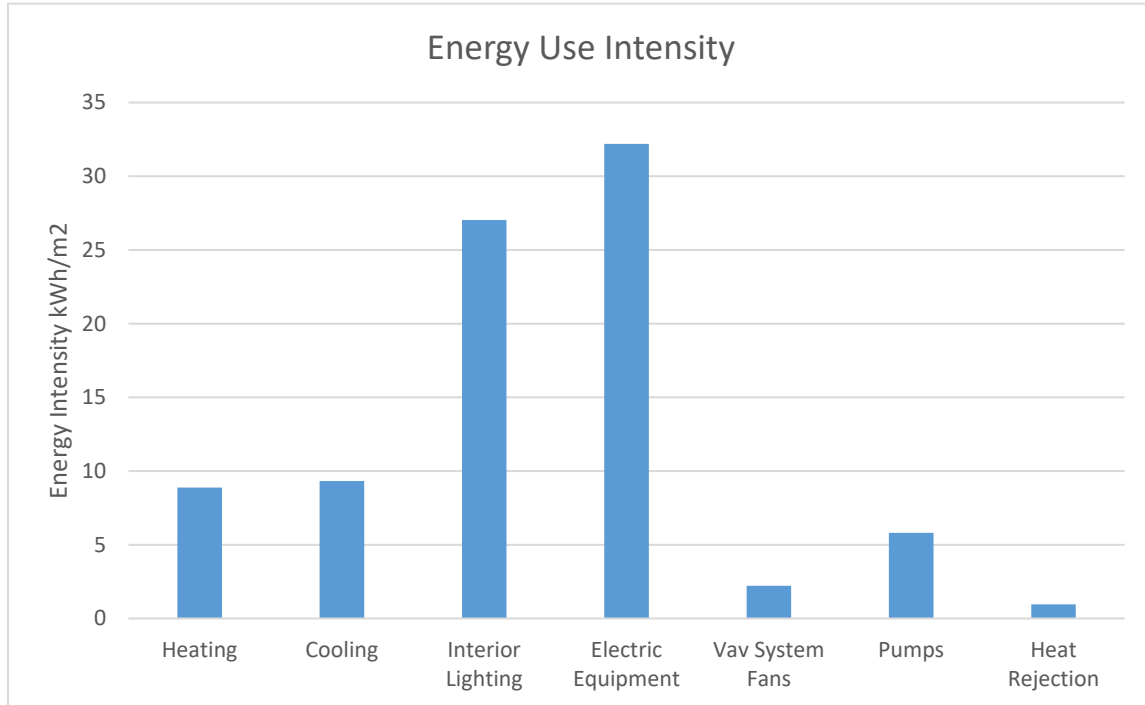


Σχήμα 7.3: Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη



Σχήμα 7.4: Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση

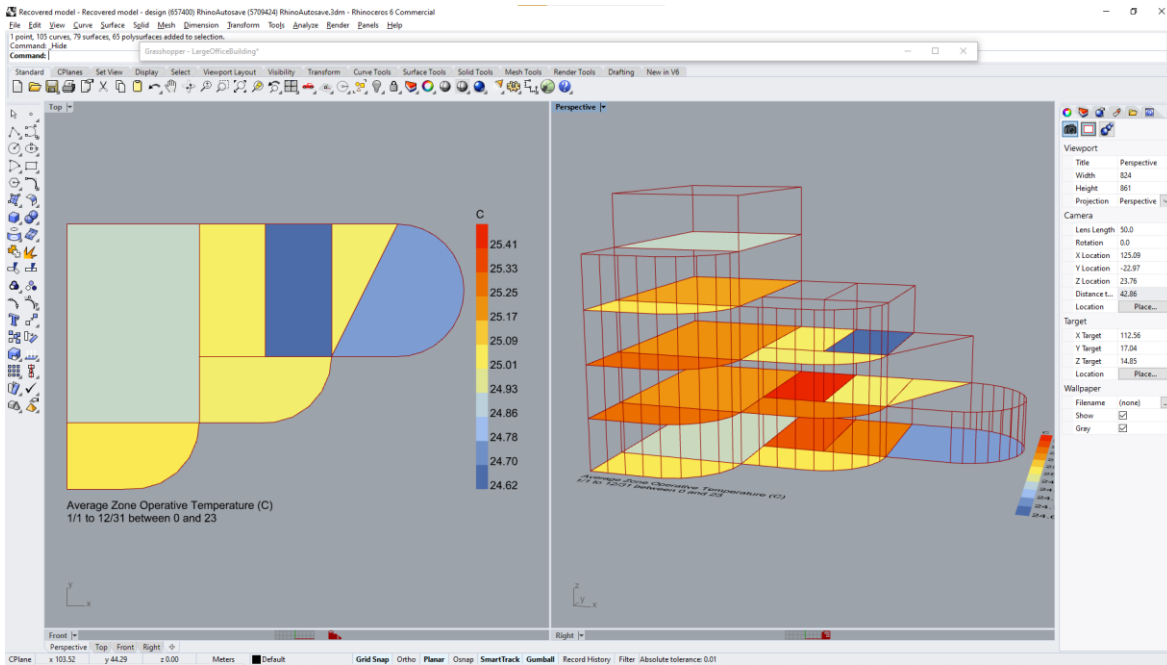
Πιο αναλυτικά, όσο αφορά την ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τις τελικές χρήσεις έχουμε:



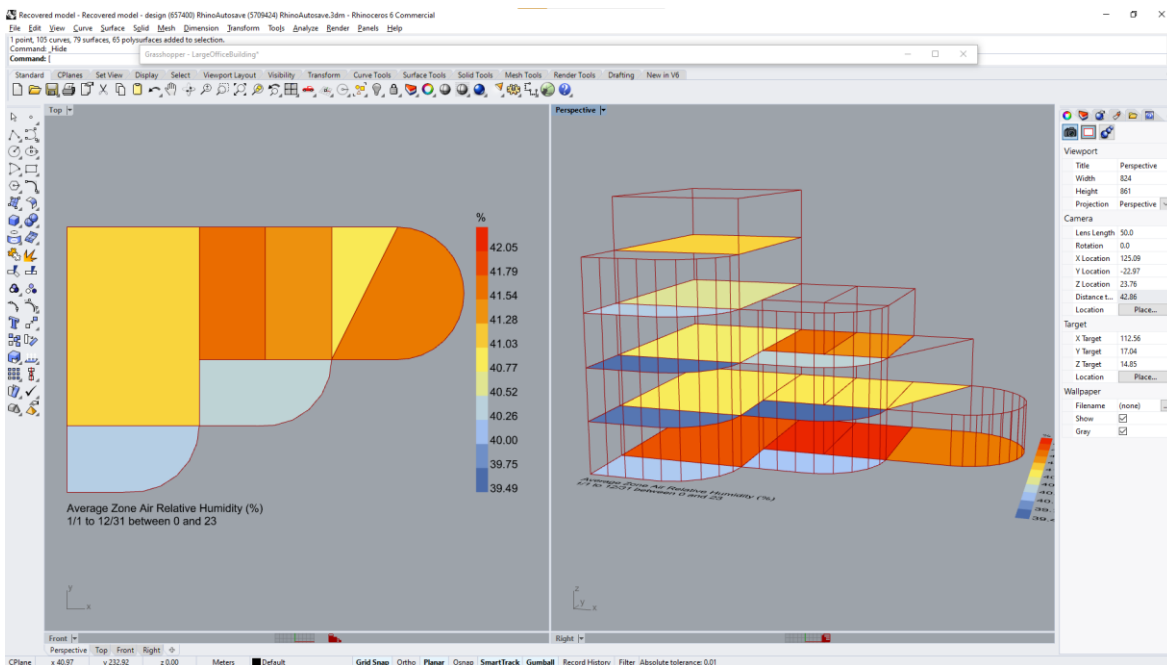
Σχήμα 7.5: Συνολικές καταναλώσεις

Οι συνολική ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο (EUI) που καταναλώνει το κτίριο είναι 86.42 kWh/m².

Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για τις θερμικές ζώνες και να παραχθούν γραφικά που να απεικονίζουν τις συνθήκες που επικρατούν στις θερμικές ζώνες και να συγκριθούν μεταξύ τους.



Σχήμα 7.6: Μέση θερμοκρασία θερμικών ζωνών



Σχήμα 7.7: Μέση υγρασία θερμικών ζωνών

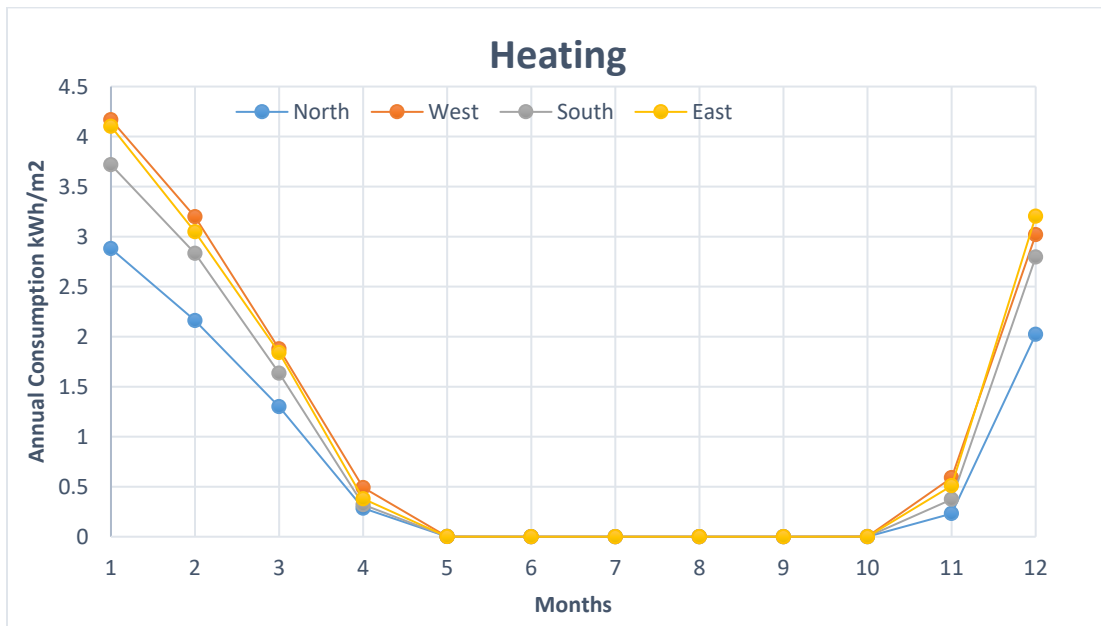
Παρατηρείται όπως είναι αναμενόμενο ότι στις θερμικές ζώνες με προσανατολισμό προς το νότο επικρατούν γενικά υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας, καθώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τα λανθάνοντα φορτία. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιες θερμικές ζώνες προσανατολισμένες προς το βορρά που επίσης επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Μάλιστα η θερμότερη ζώνη του κτιρίου βρίσκεται στη βόρεια πλευρά, στον δεύτερο όροφο. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται καθώς η ζώνη αυτή είναι εκείνη με τη μικρότερη επαφή με τον εξωτερικό αέρα, και ως εκ τούτου είναι προστατευμένη κατά ένα μεγάλο ποσοστό από τις θερμικές ζώνες που την περικλείουν.

Συνεπώς, οι θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν είναι ένας συνδυασμός των παραγόντων του προσανατολισμού και του ποσοστού έκθεσης της θερμικής ζώνης στον εξωτερικό αέρα. Είναι φυσικό οι ζώνες που έρχονται σε επαφή σε μεγάλο βαθμό, με το εξωτερικό του κτιρίου, δηλαδή τον εξωτερικό αέρα και το εξωτερικό δάπεδο, να είναι ψυχρότερες από εκείνες των μεσαίων ορόφων. Για τον παραπάνω λόγο παρατηρείται πως και οι θερμικές ζώνες με οροφή παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες.

7.1.3 Παραμετρική μελέτη προσανατολισμού

Όπως έχει επισημανθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, ο προσανατολισμός ενός κτιρίου είναι σημαντικός παράγοντας που θα επηρεάσει τις καταναλώσεις του σε μεγάλο βαθμό. Έτσι, το κτίριο σχεδιάστηκε αρχικά με γνώμονα τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού που ορίζουν πως όταν η επιμήκης πλευρά ενός κτιρίου είναι παράλληλη με το νοητό άξονα που ορίζουν η ανατολή με τη δύση, θα υπάρξει ως αποτέλεσμα η μείωση των απαιτήσεων του για θέρμανση και ψύξη, ενώ ταυτόχρονα θα συμβάλλει στην επικράτηση συνθηκών θερμικής άνεσης. Ακόμη, τα ανατολικά και τα δυτικά ανοίγματα σχεδιάστηκαν μικρότερα από τα νότια, ενώ τα βόρεια ακόμη μικρότερα, γεγονός που θα συμβάλει επίσης σημαντικά στην αλλαγή του προσανατολισμού.

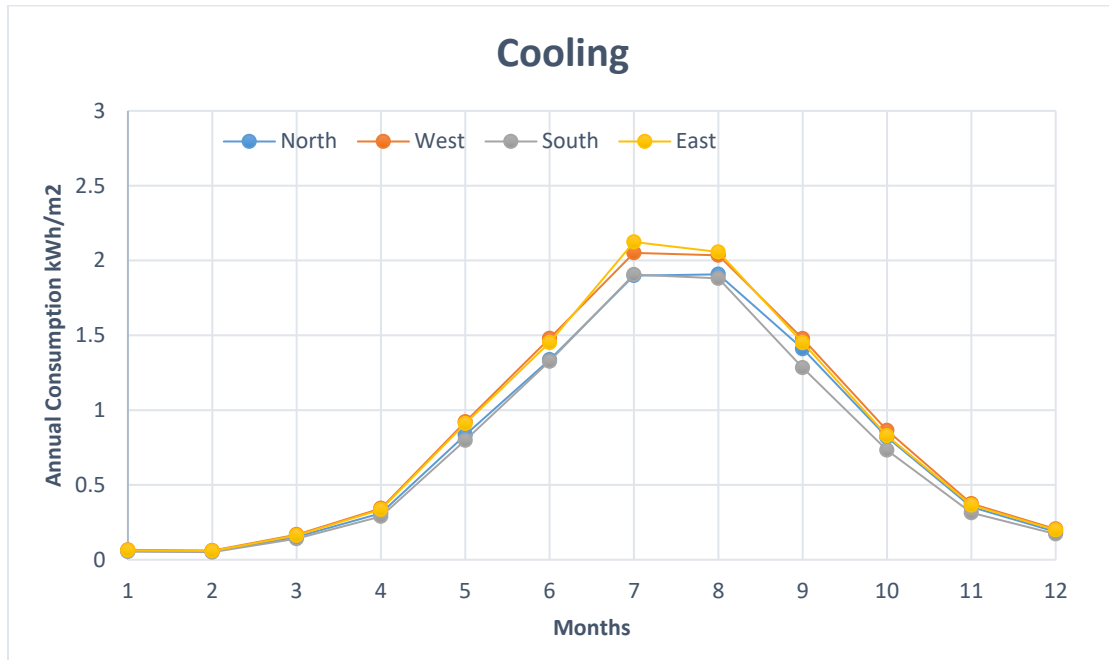
Με βάση τα παραπάνω παρατίθενται τα αποτελέσματα παραμετρικής μελέτης κατά την οποία μεταβάλλεται ο προσανατολισμός και καταγράφονται τα αποτελέσματα και συγκρίνονται οι καταναλώσεις και οι απαιτήσεις του κτιρίου για ψύξη και θέρμανση.



Σχήμα 7.8: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανάλογα τον προσανατολισμό

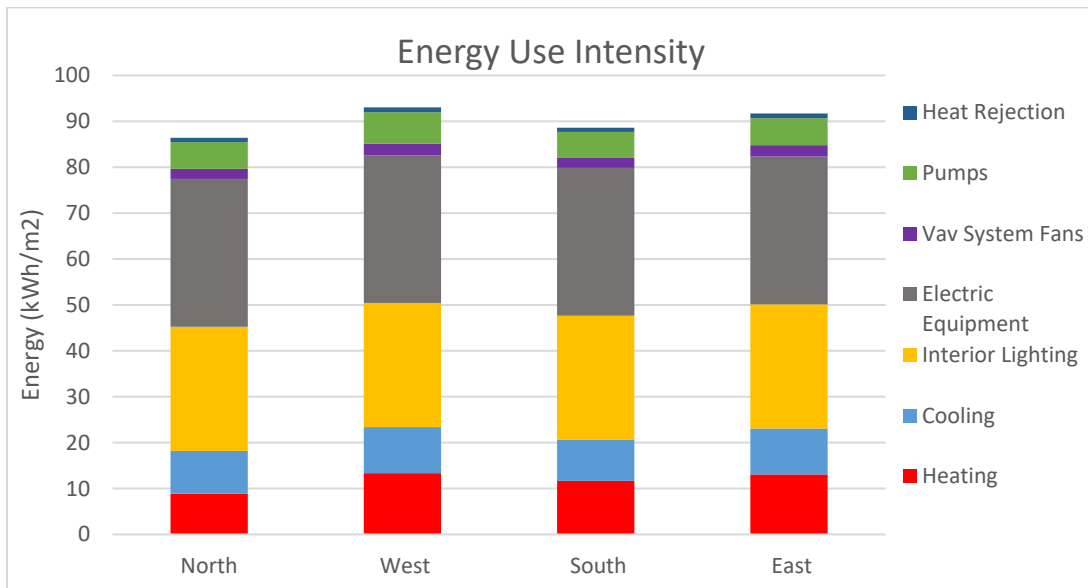
Από τα αποτελέσματα των καταναλώσεων για τις απαιτήσεις της θέρμανσης του κτιρίου είναι προφανές ότι το αρχικό μοντέλο που σχεδιάστηκε του με βάση τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι εκείνο που μειώνει αρκετά τις καταναλώσεις. Όταν ο θετικός άξονας γ είναι ο σχεδιαστικός βορράς, η πλευρά του κτιρίου με τα μεγάλα ανοίγματα, και με τη μεγαλύτερη επιφάνεια, καθώς πρόκειται για πλευρά με σύνθετη γεωμετρία, έχει νότιο προσανατολισμό. Επομένως, είναι αναμενόμενο να είναι με διαφορά ο πιο ενεργειακά αποδοτικός προσανατολισμός όσον αφορά στη θέρμανση.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί και η επίδραση της ορθής τοποθέτησης της σκίασης καθώς επιτρέπει αποτελεσματικά την εισχώρηση της ακτινοβολίας του χειμερινού ήλιου και συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στις μειωμένες απαιτήσεις κατανάλωσης. Τέλος να επισημανθεί πως οι λιγότερο ενεργειακά αποδοτικοί προσανατολισμοί είναι ο δυτικός και ο ανατολικός, γεγονός που τονίζει την επίδραση της αρχής του βιοκλιματικού σχεδιασμού που συμβουλεύει οι μεγάλες επιφάνειες του κτιρίου να βρίσκονται στον άξονα της ανατολής με τη δύση.



Σχήμα 7.9: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανάλογα τον προσανατολισμό

Στην κατανάλωση για τις απαιτήσεις ψύξης του κτιρίου, ο ανατολικός και ο δυτικός προσανατολισμός παραμένουν οι λιγότερο ενεργειακά οικονομικές επιλογές. Όπως αναμενόταν, ο νότιος προσανατολισμός του κτιρίου που συνεπάγεται ότι τα μεγάλα ανοίγματα έχουν βόρειο προσανατολισμό ενώ τα μικρά ανοίγματα έχουν νότιο προσανατολισμό, παρουσιάζει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας για ψύξη του εσωτερικού καθώς δεν δέχεται μεγάλα θερμικά φορτία από την ακτινοβολία του ήλιου ενώ ταυτόχρονα δροσίζεται περισσότερο μέσω μεταφοράς ενέργειας από τους μεγάλους βόρειους υαλοπίνακες.



Σχήμα 7.10: Ετήσια κατανάλωση (kWh/m²) ανά προσανατολισμό

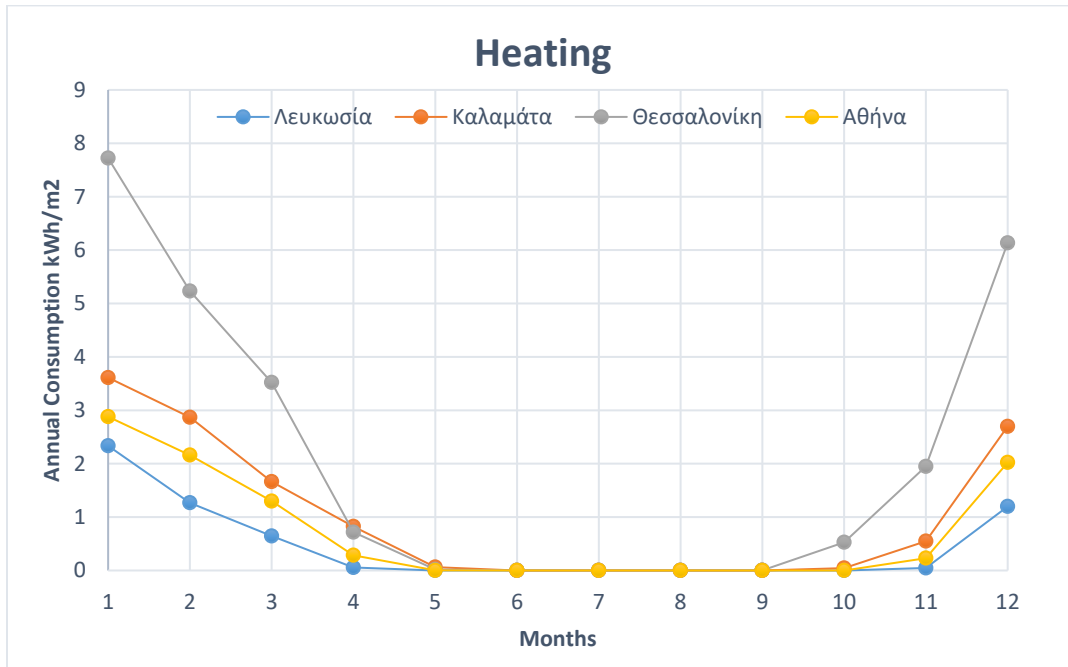
Ένα έμμεσο συμπέρασμα που δύναται να εξαχθεί από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ότι δεδομένου των σχετικά μικρών (μα όχι αμελητέων) διαφορών στις καταναλώσεις, η ποιότητα των υλικών και της κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν στο παραπάνω μοντέλο συνέβαλλαν σημαντικά στην ανθεκτικότητά του ως προς τις εξωτερικές συνθήκες και τις μεταβολές τους όπως με τη μεταβολή του προσανατολισμού.

Παρατηρώντας στο παραπάνω ιστόγραμμα τις συνολικές καταναλώσεις του κτιρίου για τους διαφορετικούς προσανατολισμούς, συμπεραίνεται η σημαντικότητα του βιοκλιματικού σχεδιασμού και η αδιαμφισβήτητη επίδρασή του στις ενεργειακές απαιτήσεις.

7.1.4 Παραμετρική μελέτη περιοχής και κλιματικών δεδομένων

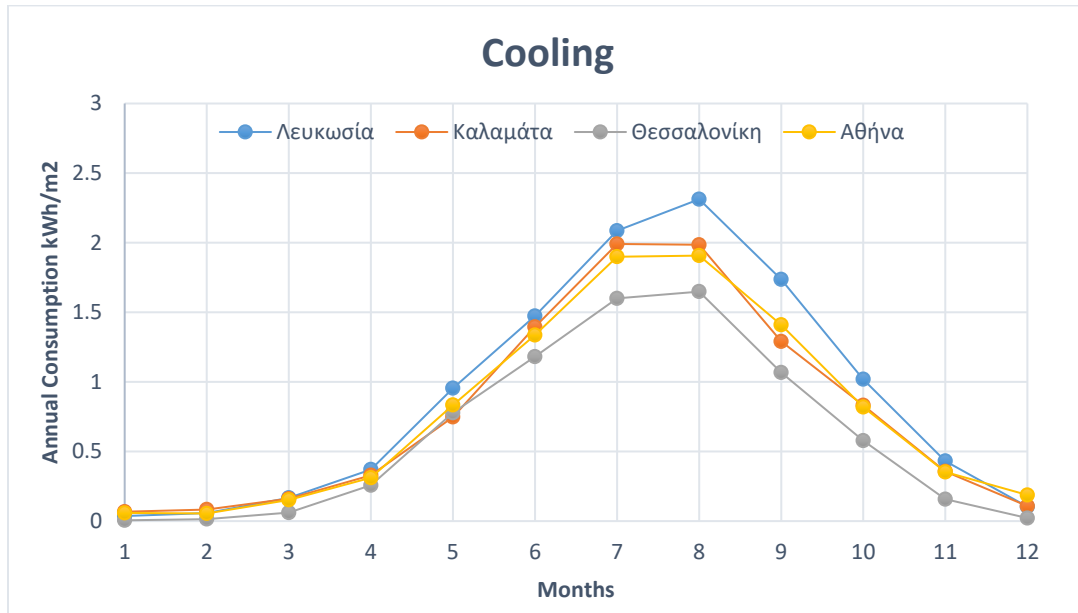
Στην ενότητα αυτή εξετάστηκαν οι καταναλώσεις βάσει της περιοχής ή της πόλης στην οποία σχεδιάζεται το κτίριο χρησιμοποιώντας κλιματικά δεδομένα από την Θεσσαλονίκη, την Καλαμάτα, και τη Λευκωσία, ενώ τα αποτελέσματα συγκρίνονται με το αρχικό μοντέλο που σχεδιάστηκε στην Αθήνα. Η επιλογή των παραπάνω πόλεων έγινε έτσι ώστε να εκφραστεί η ποικιλομορφία που υπάρχει όσον αφορά στο κλίμα μεταξύ διαφορετικών περιοχών και να καταγραφεί η επίπτωσή του στις ενεργειακές του απαιτήσεις.

Η παρακάτω παραμετρική μελέτη δείχνει επίσης πόσο ευαίσθητο μπορεί να είναι ένα μοντέλο όταν μεταβάλλονται τα κλιματικά δεδομένα και κατά πόσο είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψιν η περιοχή στην οποία σχεδιάζεται ένα κτίριο.



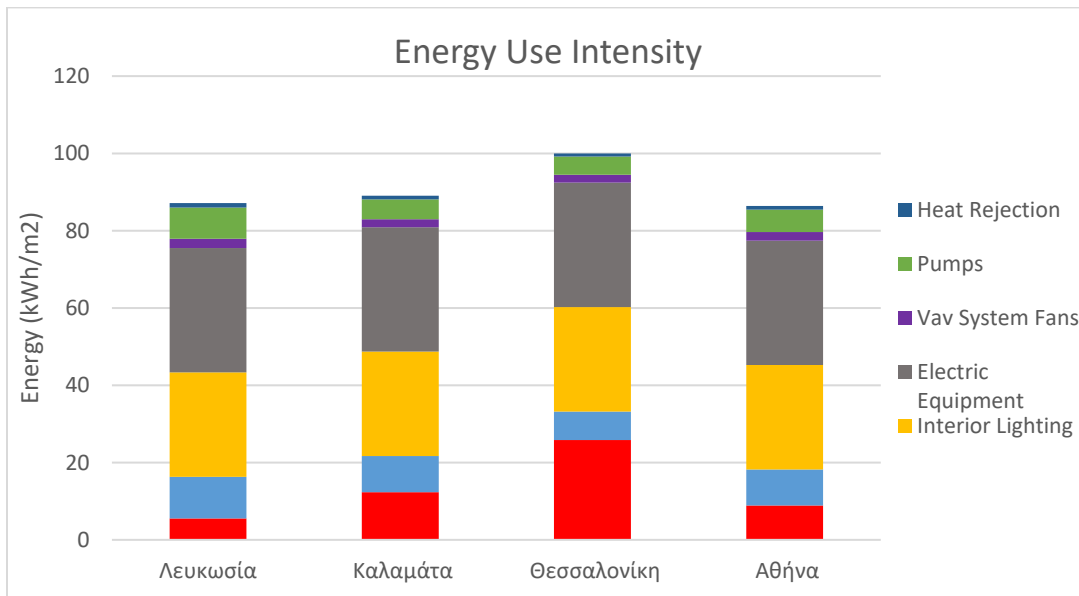
Σχήμα 7.11: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανάλογα τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων

Όπως αναμενόταν οι υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση παρατηρούνται στη γεωγραφικά βορειότερη πόλη που μελετήθηκε, δηλαδή για τα κλιματικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης. Η Λευκωσία αντίθετα παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλές ανάγκες για θέρμανση. Η Αθήνα με την Καλαμάτα παρουσιάζουν μικρές διαφορές που ωστόσο δείχνουν πως τα κλιματικά δεδομένα της Καλαμάτας, αν και βρίσκεται νοτιότερα της Αθήνας, εμφανίζουν λιγότερο ήπιες θερμοκρασίες κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά συνέπεια υψηλότερες καταναλώσεις.



Σχήμα 7.12: Κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη ανάλογα τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων

Αντίθετα παρατηρούνται χαμηλές καταναλώσεις για ψύξη για τα κλιματικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης ενώ υψηλές για τη Λευκωσία της οποίας το κλίμα εμφανίζει θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των καταναλώσεων μεταξύ Αθήνας και Καλαμάτας όπου και πάλι η τελευταία παρουσιάζει υψηλότερες καταναλώσεις. Το γεγονός αυτό επισημαίνει την ιδιομορφία του συγκεκριμένου κλίματος της Καλαμάτας, η οποία παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών από την Αθήνα κατά τη διάρκεια του έτους.

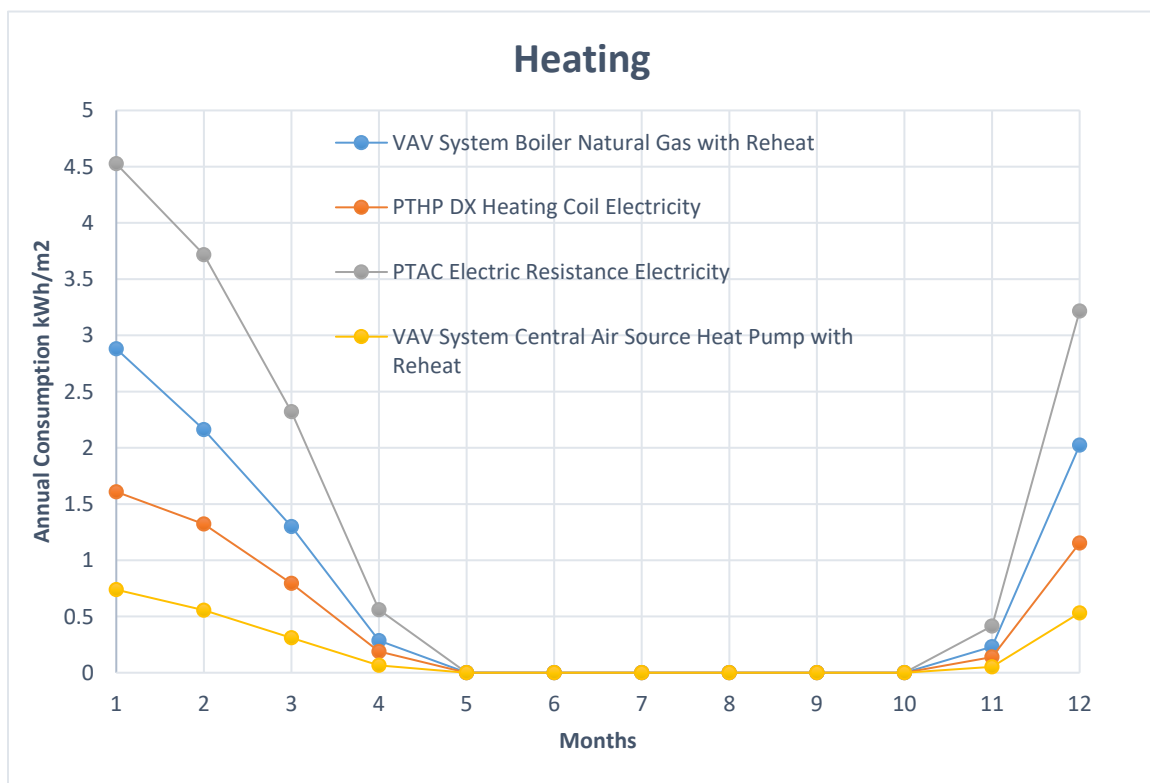


Σχήμα 7.13: Συνολική κατανάλωση του κτιρίου ανάλογα τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων

Τα τελικά αποτελέσματα των καταναλώσεων εκφράζουν με σαφήνεια την επίπτωση που δύναται να έχει το κλίμα της περιοχής στην οποία σχεδιάζεται ένα κτίριο. Είναι εμφανές ότι για την περίπτωση της Θεσσαλονίκης θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην επιλογή κατάλληλου συστήματος θέρμανσης, καθώς όπως φαίνεται οι καταναλώσεις του λέβητα φυσικού αερίου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις διακυμάνσεις των απαιτήσεων. Σε αντίθετη περίπτωση, για ένα κτίριο που σχεδιάζεται στη Λευκωσία είναι σημαντική η επιλογή συστήματος ψύξης καθώς οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες είναι ικανές να αυξήσουν αρκετά την κατανάλωση ενέργειας.

7.1.5 Παραμετρική μελέτη συστημάτων HVAC

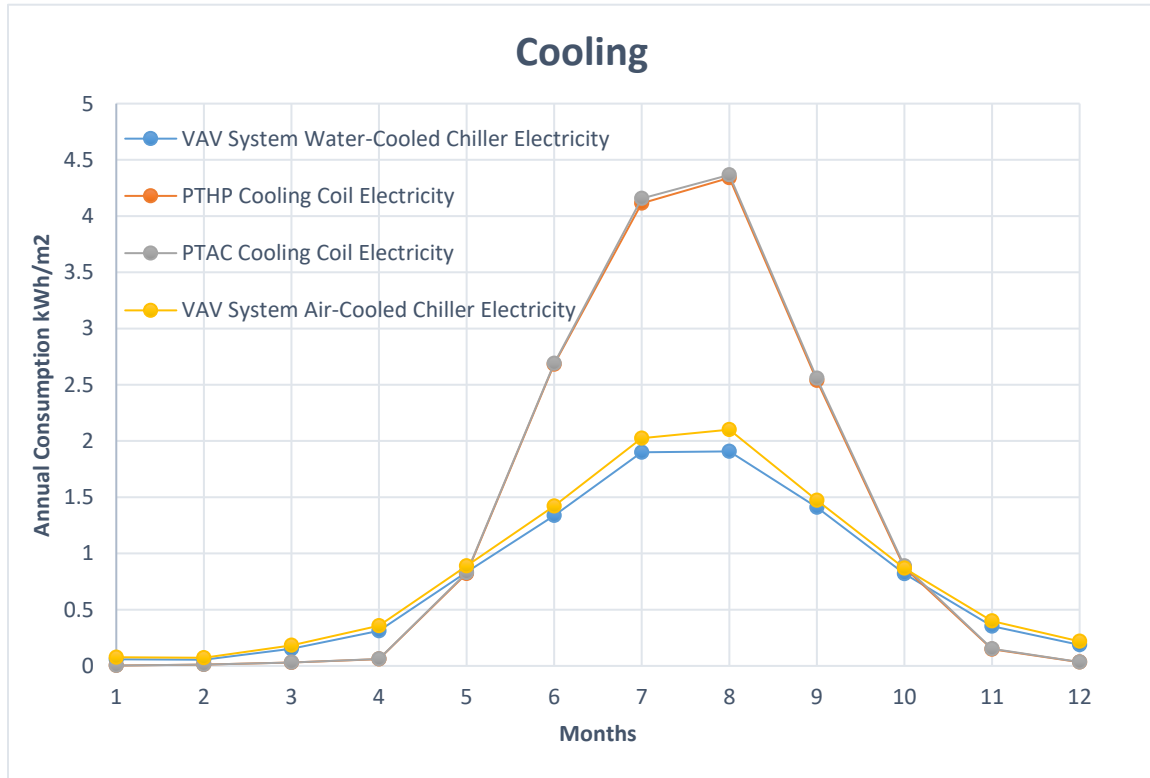
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με τη μελέτη της μεταβολής των καταναλώσεων για την κάλυψη των συνολικών απαιτήσεων του κτιρίου για ψύξη, θέρμανση, και αερισμό, για διαφορετικά συστήματα HVAC όπως εκείνα παρουσιάστηκαν και περιεγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα συστήματα HVAC που συγκρίθηκαν είναι το αρχικό, δηλαδή ένα σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα με υδρόψυκτο ψύκτη και λέβητα φυσικού αερίου με αναθέρμανση (VAV with chiller and gas boiler reheat), μία παραλλαγή του αρχικού που χρησιμοποιεί αερόψυκτο ψύκτη μαζί με κεντρική αντλία θερμότητας αέρα – νερού με αναθέρμανση (VAV with air-cooled chiller and central air source heat pump reheat), ένα σύστημα μονάδων κλιματισμού με DX coil και θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση (PTAC), και τέλος μία παραλλαγή του τελευταίου όπου γίνεται χρήση αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα (PTHP).



Σχήμα 7.14: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανά σύστημα HVAC

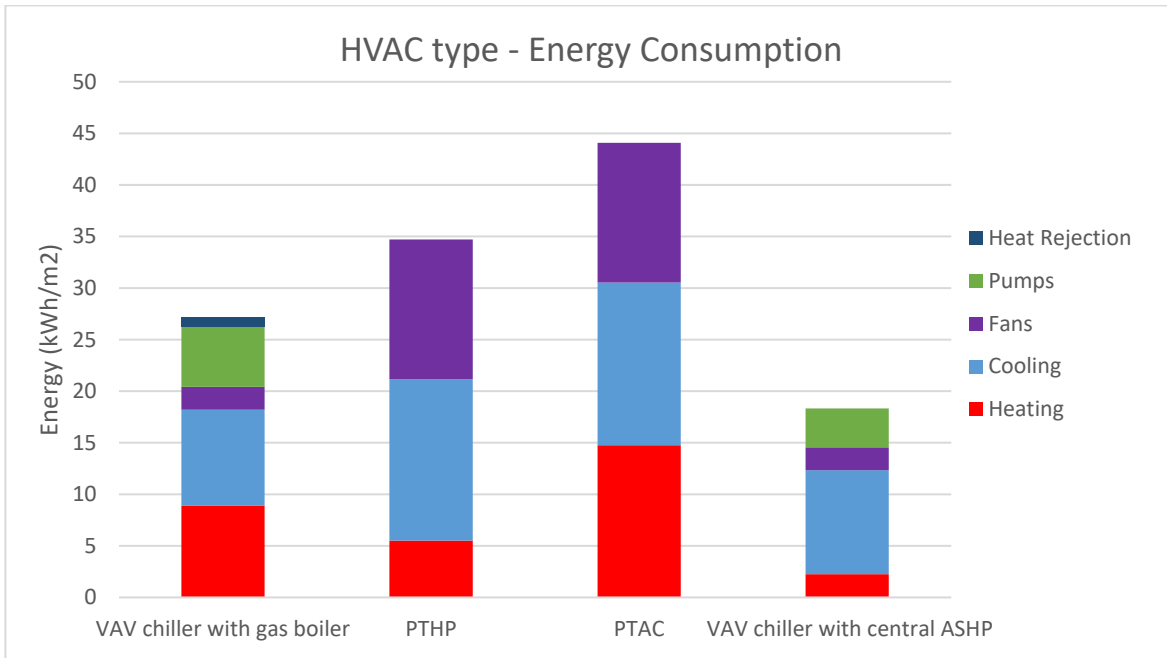
Τα αποτελέσματα της κατανάλωσης για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης των εσωτερικών χώρων παρατηρείται ότι οι αντλίες θερμότητας είναι περισσότερο

αποδοτικές από το λέβητα φυσικού αερίου καθώς και από την ηλεκτρική αντίσταση των μονάδων ΡΤΑC η οποία είναι η λιγότερο αποδοτική επιλογή. Η κεντρική αντλία θερμότητας αέρα – νερού η οποία λειτουργεί σε σύστημα μεταβλητού όγκου αέρα με αναθέρμανση αποτελεί την πιο οικονομική επιλογή παρουσιάζοντας ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.



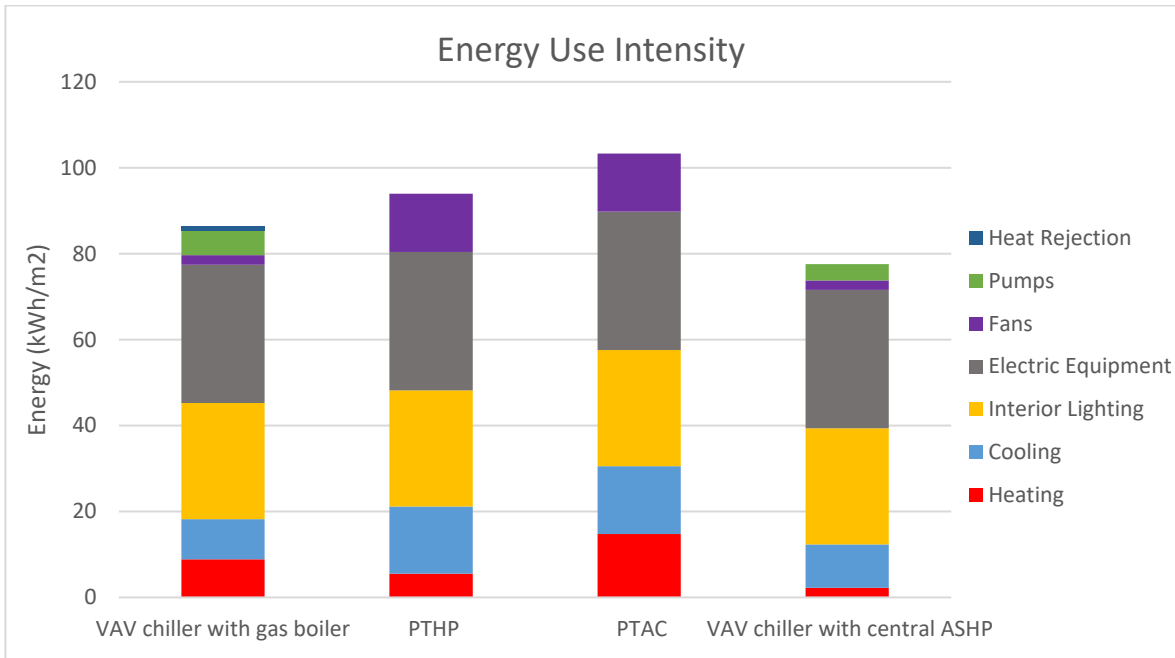
Σχήμα 7.15: Κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη ανά σύστημα HVAC

Όσον αφορά στην κατανάλωση για ψύξη, όπως ήταν αναμενόμενο οι μονάδες ΡΤΑC και ΡΤΗΡ παρουσιάζουν σχεδόν πανομοιότυπα αποτελέσματα αφού χρησιμοποιούν πρακτικά το ίδιο τρόπο ψύξης με DX coils. Τα συστήματα αυτά είναι περισσότερο αποδοτικά για single zone εφαρμογές ενώ η ενεργειακή τους απόδοση μειώνεται συγκριτικά με άλλα συστήματα HVAC όταν πρόκειται για μεγαλύτερα κτίρια. Ιδιαίτερα χαμηλότερες είναι οι καταναλώσεις των συγκεντρωμένων συστημάτων VAV με ψύκτες, γεγονός που υποδεικνύει την καταλληλότητά τους για κτίρια με μεγάλο αριθμό θερμικών ζωνών με διαφορετικές απαιτήσεις. Παρατηρείται επίσης ότι ο υδρόψυκτος ψύκτης πετυχαίνει υψηλότερη απόδοση από τον αερόψυκτο.



Σχήμα 7.16: Συνολική κατανάλωση ανά σύστημα HVAC

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται οι συνολικές καταναλώσεις για κάθε σύστημα HVAC. Παρατηρείται ότι παρόλο που τα συστήματα PTAC και PTHP πλεονεκτούν στο γεγονός ότι δεν απαιτούν κατανάλωση για αντλίες, έχουν υψηλές καταναλώσεις ανεμιστήρων καθώς πρόκειται για συνεχούς όγκου συστήματα.

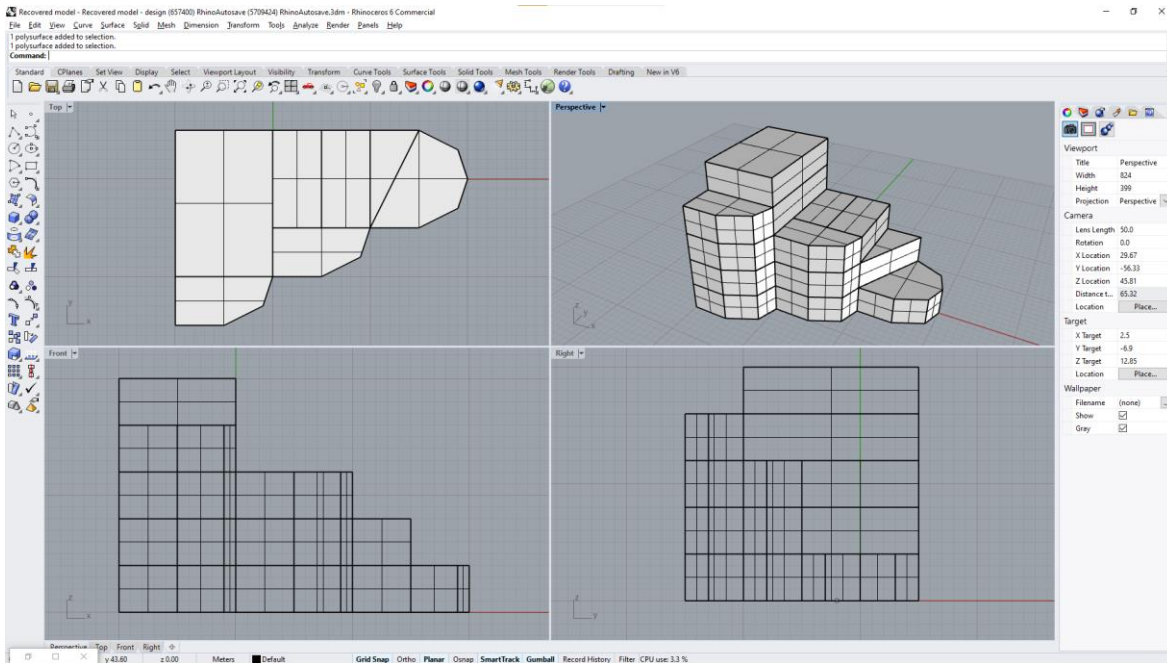


Σχήμα 7.17: Συνολική κατανάλωση του κτιρίου ανά σύστημα HVAC

7.1.6 Μελέτη απλοποίησης της σύνθετης γεωμετρίας

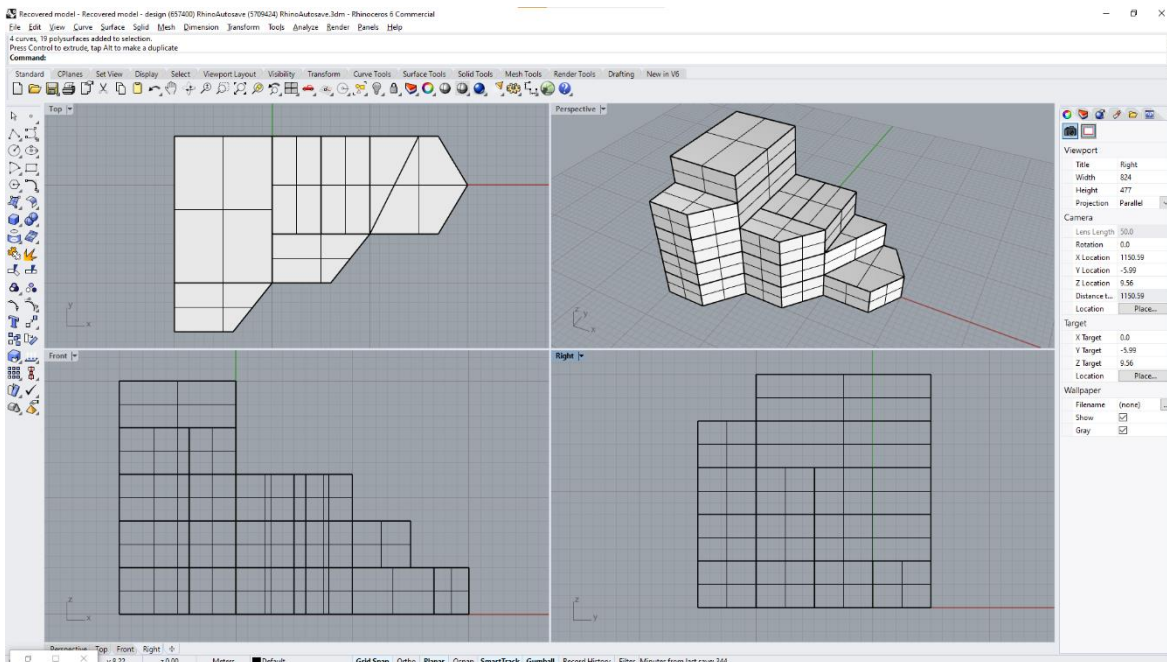
Στην ενότητα αυτή εξετάστηκε η επίδραση που ασκεί η περεταίρω απλοποίησης της σύνθετης γεωμετρίας του κτιρίου στην ποιότητα των αποτελεσμάτων. Κατά την διαδικασία της πλεγματοποίησης που πραγματοποιήθηκε μέσω του Honeybee οι κυρτές επιφάνειες μετασχηματίστηκαν σε πλέγμα επίπεδων επιφανειών το οποίο προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την αρχική γεωμετρία που σχεδιάστηκε στο Rhinoceros 3D.

Πραγματοποιήθηκαν δύο απλοποιήσεις ενώ παρέμεινε σταθερό το εμβαδόν των θερμικών ζωνών ώστε να πραγματοποιηθεί έγκυρη σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων. Στην πρώτη απλοποίηση δημιουργήθηκε πλέγμα στις κυρτές επιφάνειες των νοτίων θερμικών ζωνών με τρεις επιφάνειες ενώ στην ημικυκλικού σχήματος επιφάνεια της ανατολικής θερμικής ζώνης του ισογείου με έξι επιφάνειες. Δηλαδή τέθηκε στις παραμέτρους τις πλεγματοποίησης η παραγωγή του ενός τρίτου των επιφανειών που παράχθηκαν για το αρχικό μοντέλο.



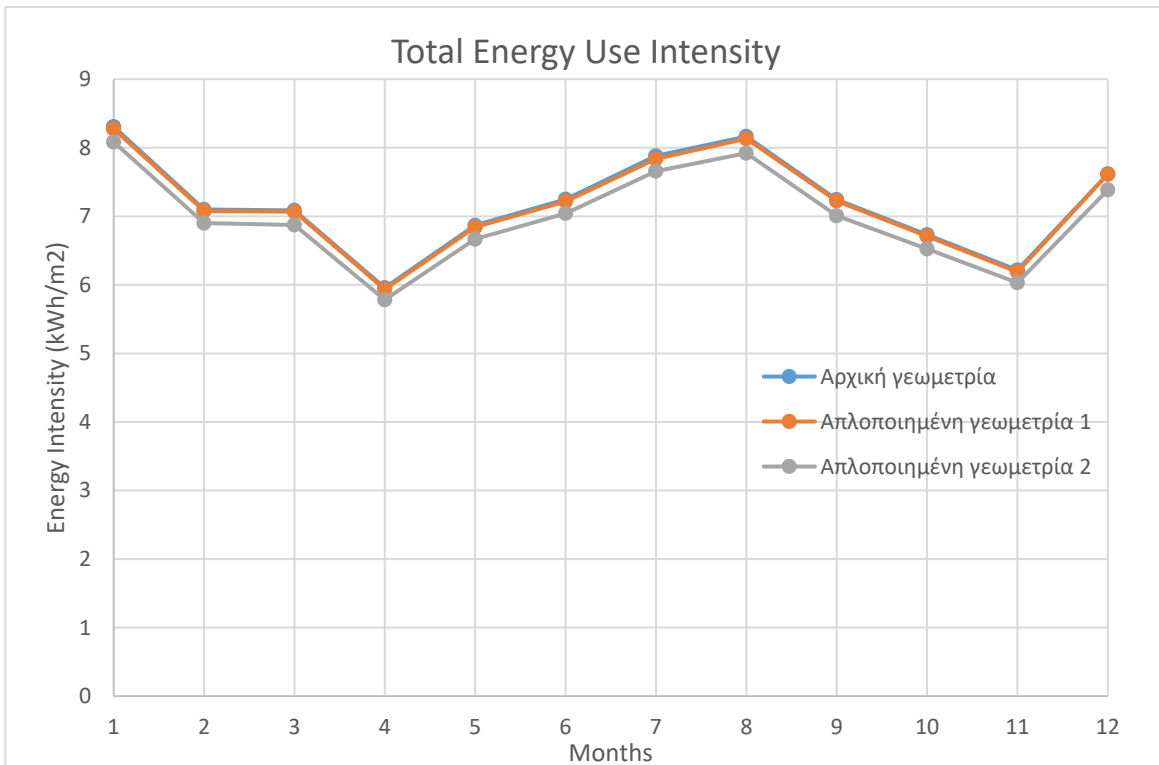
Σχήμα 7.18: Γεωμετρία πρώτης απλοποίησης

Στη δεύτερη απλοποίηση μειώθηκαν στις δύο οι επίπεδες επιφάνειες των πλεγμάτων των κυρτών επιφανειών των νοτίων θερμικών ζωνών και στις τέσσερις στην ημικυκλικού σχήματος επιφάνεια της ανατολικής θερμικής ζώνης του ισογείου. Δηλαδή μειώθηκαν στο πλήθος τους και πάλι κατά ένα τρίτο.



Σχήμα 7.19: Γεωμετρία δεύτερης απλοποίησης

Οι θερμικές ζώνες σύνθετης γεωμετρίας που απλοποιήθηκαν αποτελούν ένα μέρος του συνολικού κτιρίου καθώς ένα μεγάλο μέρος του αποτελείται από επίπεδη γεωμετρία. Ωστόσο, παραμένει σημαντική η πλεγματοποίηση των νοτίων επιφανειών σύνθετης γεωμετρίας καθώς έχουν σχεδιασμένα μεγάλα ανοίγματα και η κάθε απλοποίηση ορίζει αναπόφευκτα τον προσανατολισμό των επιμέρους επιφανειών που δημιουργούνται. Έτσι, όσο μεγαλύτερης κλίμακας απλοποίηση πραγματοποιείται τόσο απομακρύνεται συνολικά η προσέγγιση του προσανατολισμού μιας κυρτής επιφάνειας. Το γεγονός αυτό έχει άμεσες επιπτώσεις στον υπολογισμό των ηλιακών θερμικών φορτίων και συνεπώς των συνολικών καταναλώσεων.



Σχήμα 7.20: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανά γεωμετρία

Οι συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις που υπολογίζονται για την πρώτη απλοποίηση είναι 85.9 kWh/m^2 δηλαδή παρουσιάζουν σφάλμα 0.6% σε σχέση με τις καταναλώσεις που υπολογίστηκαν στο αρχικό μοντέλο. Ωστόσο συγκεκριμένα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες το σφάλμα αγγίζει μέχρι και το 1%.

Στη δεύτερη απλοποίηση οι συνολικές καταναλώσεις είναι 83.9 kWh/m^2 και άρα το σφάλμα υπολογίζεται στο 2.9%. Συμπεραίνεται ότι οι αρχικές συντηρητικές απλοποιήσεις της σύνθετης γεωμετρίας δεν παρουσιάζουν μεγάλο σφάλμα, ωστόσο όσο πραγματοποιούνται περαιτέρω απλοποιήσεις το σφάλμα αρχίζει να αυξάνεται εκθετικά και τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά από τα αρχικά.

8. Συμπεράσματα – Μελλοντικές προτάσεις για έρευνα

8.1 Συμπεράσματα

Στη διπλωματική αυτή πραγματοποιήθηκε η ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίου γραφείων σύνθετης γεωμετρίας κάνοντας χρήση του εργαλείου σχεδίασης Rhinoceros 3D και του λογισμικού προσομοίωσης EnergyPlus, καθώς και της οπτικής προγραμματιστικής γλώσσας του Grasshopper, το οποίο σε συνδυασμό με τις επεκτάσεις των Ladybug Tools αποτέλεσε το περιβάλλον στο οποίο δημιουργήθηκε το διάγραμμα της μοντελοποίησης. Η χρήση των παραπάνω προγραμμάτων κατέστησε δυνατή τη μελέτη ενός κτιρίου που αποτελείται από επίπεδες αλλά και καμπύλες επιφάνειες. Εκτός από την ευκολότερη διαχείριση της σύνθετης γεωμετρίας, ένα βασικό πλεονέκτημα των παραπάνω προγραμμάτων είναι η εποπτεία που δύναται να ασκεί ο σχεδιαστής κατά τη διαδικασία της δημιουργίας του διαγράμματος της μοντελοποίησης. Η μέθοδος σύνθεσης του μοντέλου μέσω του διαγράμματος των προγραμματιστικών στοιχείων παρέχει πλήρη έλεγχο στο χρήστη για τις παραμέτρους που ορίζονται σε αυτό, και δεδομένης της επικοινωνίας μεταξύ του Rhinoceros και του Grasshopper δίνει τη δυνατότητα οπτικοποίησης των επιλογών του μέσω της απεικόνισης του κτιρίου αλλά και των ιδιοτήτων του. Η πλειονότητα των αντίστοιχων λογισμικών που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των παραμέτρων ενός κτιρίου με σκοπό την ενεργειακή του μοντελοποίηση χρησιμοποιούν καρτέλες εισαγωγής δεδομένων, και ως εκ τούτου δεν παρέχουν τις παραπάνω δυνατότητες.

Για την ενεργειακή μοντελοποίηση δόθηκε έμφαση στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου, στην επιλογή των υλικών και στη δημιουργία αεροστεγούς και επαρκώς μονωμένου κελύφους. Ορίστηκαν λεπτομερώς τα εσωτερικά θερμικά φορτία, τα χρονοδιαγράμματά τους, και έγινε εισαγωγή των κλιματικών δεδομένων. Έπειτα από την ολοκλήρωση του διαγράμματος του μοντέλου πραγματοποιήθηκαν μελέτες σχετικά με την επίπτωση της μεταβολής συγκεκριμένων παραμέτρων στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου και κατά συνέπεια στις καταναλώσεις του.

Η μεταβολή του προσανατολισμού του κτιρίου υπέδειξε ότι είναι σημαντική η τοποθέτηση των μεγάλων ανοιγμάτων στη νότια πλευρά του κτιρίου, ενώ οι μεγαλύτερες καταναλώσεις παρουσιάστηκαν όταν η επιμήκης πλευρά του κτιρίου βρισκόταν στον άξονα που σχηματίζει ο βορράς με το νότο. Τα παραπάνω αποτελέσματα τονίζουν τη σημαντικότητα των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η μεταβολή των κλιματικών δεδομένων και της γεωγραφικής περιοχής σχεδίασης του κτιρίου παρουσίασε σημαντικές μεταβολές στις ενεργειακές καταναλώσεις του συστήματος HVAC. Συμπεραίνεται ότι κατά τις επιλογές των παραμέτρων που ορίζουν ένα μοντέλο, και ιδιαίτερα κατά την επιλογή του συστήματος HVAC πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η ιδιομορφία του κλίματος της

περιοχής σχεδίασης καθώς αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη επιλογής κατάλληλου συστήματος HVAC για το κτίριο γραφείων συγκρίνοντας δύο συγκεντρωμένα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα και δύο συστήματα τοπικών μονάδων. Λόγω του μεγάλου αριθμού θερμικών ζωνών του κτιρίου και των διαφορετικών απαιτήσεών τους, τα συγκεντρωμένα VAV συστήματα αποδείχτηκαν αποδοτικότερα. Στη σύγκριση των επιμέρους συστημάτων θέρμανσης και ψύξης παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες καταναλώσεις ενέργειας από την κεντρική αντλία θερμότητας και από τον υδρόψυκτο ψύκτη.

Όσον αφορά στη σύνθετη γεωμετρία, διερευνήθηκαν σενάρια περεταίρω απλοποίησής της και καταγράφηκαν οι επιπτώσεις στην ποιότητα των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι η απλοποίηση της γεωμετρίας είναι μια διαδικασία που απαιτεί εμπειρία και ικανότητα καθώς το σφάλμα αυξάνεται εκθετικά έπειτα από ένα κρίσιμο σημείο. Ωστόσο, εάν η απλοποίηση πραγματοποιηθεί σωστά και διατηρώντας σταθερά τα βασικά χαρακτηριστικά του κτιρίου όπως το εμβαδόν φαίνεται η επίδραση της απλοποίησης να μην αλλοιώνει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, και το σφάλμα να παραμένει κάτω από το 1%, ενώ η χρονική διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης μειώθηκαν κατά σχεδόν 50%. Συμπεραίνεται ότι η απλοποίηση σύνθετης γεωμετρίας είναι αποδεκτή όταν πραγματοποιείται συντηρητικά και με σεβασμό στις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε κτιρίου.

8.2 Μελλοντικές προτάσεις

Προτείνονται τα παρακάτω θέματα για μελλοντική έρευνα προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων καθώς θα συνεχίσει να αποτελεί ένα κεντρικό ζήτημα της σύγχρονης αλλά και της μελλοντικής κοινωνίας.

- Βελτιστοποίηση υπάρχοντος κτιρίου γραφείων και η ένταξη περεταίρω παθητικών στρατηγικών για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματός του.
- Επανάληψη της σχεδίασης του κτιρίου σύνθετης γεωμετρίας με διαφορετικό σχεδιαστικό εργαλείο και σύγκριση της διαδικασίας πλεγματοποίησής και απλοποίησης των κυρτών επιφανειών.
- Επανάληψη της δημιουργίας του μοντέλου και της προσομοίωσής του με διαφορετικά προγράμματα, σύγκριση της διαδικασίας και καταγραφή των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του κάθε τρόπου σύνθεσης του μοντέλου.
- Περεταίρω διερεύνηση της σύνθετης γεωμετρίας στα κτίρια και πραγματοποίηση παραμετρικών μελετών για τον καθορισμό των αποτελεσμάτων που επηρεάζονται περισσότερο κατά την απλοποίησή της.

9. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5: Ιδιότητες υλικών εξωτερικού τοίχου.....	78
Πίνακας 6: Ιδιότητες υλικών εξωτερικής οροφής.....	79
Πίνακας 7: Ιδιότητες υλικών εξωτερικού δαπέδου.....	80
Πίνακας 8: Ιδιότητες υλικών εσωτερικού δαπέδου και εσωτερικού τοίχου.....	81

10. Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά γεωγραφική περιοχή [6]	9
Σχήμα 1.2: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από το έτος 1975 έως το 2015 ανά πηγή ενέργειας [8]	11
Σχήμα 1.3: Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ανά περιοχή [10].....	12
Σχήμα 1.4: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ευρώπη [12]	14
Σχήμα 1.5: Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη [11]	15
Σχήμα 1.6: Κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη [13]	16
Σχήμα 1.7: Κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια ανά καύσιμο – Ευρώπη [13]	17
Σχήμα 1.8: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανά πηγή [13].....	17
Σχήμα 1.9: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα 2007 [14]	18
Σχήμα 1.10: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο στην Ελλάδα 2019 [14]	19
Σχήμα 1.11: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα 2015 [15]	20
Σχήμα 1.12: Κατανάλωση ανά πηγή ενέργειας στον οικιακό τομέα [15]	21
Σχήμα 1.13: Κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά καύσιμο στον οικιακό τομέα [15].....	22
Σχήμα 1.14: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον οικιακό τομέα - Ελλάδα [15]	23
Σχήμα 1.15: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον τριτογενή τομέα - Ελλάδα [15]	24
Σχήμα 1.16: Κατανάλωση ανά πηγή ενέργειας στον τριτογενή τομέα - Ελλάδα [15]	24
Σχήμα 1.17: Προτεραιότητες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα [18]	27
Σχήμα 3.1: Απλοποιήσεις διάφορων παραμέτρων ενεργειακού μοντέλου [19]	34
Σχήμα 3.2: Μελέτη απλοποίησης της γεωμετρίας θερμικής ζώνης μειώνοντας τις επίπεδες πλευρές τις [20].....	36
Σχήμα 3.3: Επίδραση της απλοποίησης θερμικής ζώνης στο χρόνο της προσομοίωσης και στο σφάλμα των αποτελεσμάτων [20]	37
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα συμβατότητας εργαλείων και επεκτάσεων σχετικών με την ενεργειακή μοντελοποίηση [21].....	39
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα για την υλοποίηση μελέτης με χρήση του Ladybug [21]	40
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα για την υλοποίηση μελέτης με χρήση του Honeybee [21]	41
Σχήμα 5.1: Σχεδίαση κάτοψης επίπεδων θερμικών ζωνών ισογείου	43
Σχήμα 5.2: Σχεδίαση κάτοψης καμπύλων θερμικών ζωνών ισογείου	44
Σχήμα 5.3: Μετατόπιση κάτοψης κατά τον άξονα Z	45
Σχήμα 5.4: Μετατόπιση κάτοψης κατά τον άξονα Z	45
Σχήμα 5.5: Επιλογή κλειστών καμπυλών θερμικής ζώνης	46
Σχήμα 5.6: Εντολή Loft, δημιουργία polysurface	47
Σχήμα 5.7: Εντολή Cap	47
Σχήμα 5.8: Εντολή Cap, δημιουργία κελύφους θερμικής ζώνης.....	48
Σχήμα 5.9: Δημιουργία θερμικών ζωνών ισογείου	48
Σχήμα 5.10: Δημιουργία κάτοψης πρώτου ορόφου	49

Σχήμα 5.11: Μετατόπιση κάτοψης κατά τον άξονα Z	49
Σχήμα 5.12: Δημιουργία θερμικών ζωνών πρώτου ορόφου.....	50
Σχήμα 5.13: Θερμικές ζώνες ισογείου και πρώτου ορόφου	50
Σχήμα 5.14: Θερμικές ζώνες ισογείου, πρώτου και δευτέρου ορόφου	51
Σχήμα 5.15: Θερμικές ζώνες ισογείου, πρώτου, δευτέρου και τρίτου ορόφου	52
Σχήμα 5.16: Θερμικές ζώνες κτιρίου	52
Σχήμα 5.17: Τελικό αποτέλεσμα σχεδίασης του κτιρίου γραφείων	53
Σχήμα 5.18: Νότια όψη του κτιρίου γραφείων	54
Σχήμα 5.19: Δυτική όψη του κτιρίου γραφείων	54
Σχήμα 5.20: Βόρεια όψη του κτιρίου γραφείων	55
Σχήμα 5.21: Ανατολική όψη του κτιρίου γραφείων	55
Σχήμα 6.1: Σύνθεση Honeybee δωματίου ισογείου.....	57
Σχήμα 6.2: Σύνθεση Honeybee δωματίου ισογείου.....	58
Σχήμα 6.3: Σύνθεση Honeybee δωματίου πρώτου ορόφου	58
Σχήμα 6.4: Σύνθεση Honeybee δωματίου πρώτου ορόφου	59
Σχήμα 6.5: Σύνθεση Honeybee δωματίου δευτέρου ορόφου	59
Σχήμα 6.6: Σύνθεση Honeybee δωματίου δευτέρου ορόφου	60
Σχήμα 6.7: Σύνθεση Honeybee δωματίου τρίτου ορόφου	60
Σχήμα 6.8: Προβολή των Honeybee δωματίων σύνθετης γεωμετρίας.....	61
Σχήμα 6.9: Σύνθεση Honeybee δωματίων επίπεδης γεωμετρίας.....	62
Σχήμα 6.10: Προβολή των Honeybee δωματίων επίπεδης γεωμετρίας.....	62
Σχήμα 6.11: Σύνδεση στοιχείου HB Solve Adjacency με το στοιχείο HB Apertures by Ratio	64
Σχήμα 6.12: Ανάθεση εξωτερικής εισόδου και ανοιγμάτων στην κεντρική θερμική ζώνη του του ισογείου.....	65
Σχήμα 6.13: Εξωτερική σκίαση ανοιγμάτων βάσει προσανατολισμού.....	66
Σχήμα 6.14: Τμηματική απεικόνιση - Visualize By Type	67
Σχήμα 6.15: Απεικόνιση κτιρίου γραφείων	67
Σχήμα 6.16: Τμηματική απεικόνιση ανοιγμάτων, οροφής, σκιάστρων, εσωτερικών και εξωτερικών δαπέδων.....	68
Σχήμα 6.17: Τμηματική απεικόνιση εσωτερικών τοίχων	68
Σχήμα 6.18: Εισαγωγή κλιματικών δεδομένων στο μοντέλο	69
Σχήμα 6.19: Πρόγραμμα δωματίων γραφείου - LargeOffice: ClosedOffice	71
Σχήμα 6.20: Πρόγραμμα διαδρόμων - LargeOffice: Corridor.....	71
Σχήμα 6.21: Πρόγραμμα WC - LargeOffice: Restroom	72
Σχήμα 6.22: Πρόγραμμα εστιατορίου - LargeOffice: Dining	73
Σχήμα 6.23: Πρόγραμμα αίθουσας συσκέψεων - LargeOffice: Conference	73
Σχήμα 6.24: Πρόγραμμα δωματίου διαλειμμάτων - LargeOffice: BreakRoom.....	74
Σχήμα 6.25: Πρόγραμμα δωματίων IT - LargeOffice: IT Room.....	74
Σχήμα 6.26: Θερμοφυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά υλικών αδιαφανών κατασκευών	76

Σχήμα 6.27: Θερμοφυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά υλικών διαφανών κατασκευών	76
Σχήμα 6.28: Κατασκευή εξωτερικού τοίχου, οροφής, και εκτεθειμένου δαπέδου	78
Σχήμα 6.29: Κατασκευή πλάκας επί εδάφους	79
Σχήμα 6.30: Κατασκευή εσωτερικών τοίχων και δαπέδων	80
Σχήμα 6.31: Κατασκευή υαλοπινάκων και εσωτερικής σκίασης	82
Σχήμα 6.32: U-values εξωτερικών αδιαφανών κατασκευών	82
Σχήμα 6.33: U-value εξωτερικών διάφανων κατασκευών	83
Σχήμα 6.34: Σύνδεση προγραμματιστικού στοιχείου Ideal Air	85
Σχήμα 6.35: Βρόχος αέρα VAV συστήματος με αναθέρμανση	86
Σχήμα 6.36: Βρόχος ψυχρού νερού	87
Σχήμα 6.37: Βρόχος νερού συμπυκνωτή	87
Σχήμα 6.38: Βρόχος θερμού νερού	88
Σχήμα 6.39: Σχεδίαση κεκλιμένης επιφάνειας συλλέκτη	91
Σχήμα 6.40: Προγραμματιστικά στοιχεία για τον υπολογισμό της παραγωγής θερμικής ενέργειας ηλιοθερμικού συστήματος	92
Σχήμα 7.1: Ισορροπία θερμικής ενέργειας (Ideal Air)	93
Σχήμα 7.2: Energy Use Intensity – Heating Load – Cooling Load – Hot Water Load - (Ideal Air)	94
Σχήμα 7.3: Κατανάλωση ενέργειας για ψύξη	95
Σχήμα 7.4: Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση	96
Σχήμα 7.5: Συνολικές καταναλώσεις	97
Σχήμα 7.6: Μέση θερμοκρασία θερμικών ζωνών	98
Σχήμα 7.7: Μέση υγρασία θερμικών ζωνών	98
Σχήμα 7.8: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανάλογα τον προσανατολισμό	100
Σχήμα 7.9: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανάλογα τον προσανατολισμό	101
Σχήμα 7.10: Ετήσια κατανάλωση (kWh/m ²) ανά προσανατολισμό	102
Σχήμα 7.11: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανάλογα τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων	103
Σχήμα 7.12: Κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη ανάλογα τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων	104
Σχήμα 7.13: Συνολική κατανάλωση του κτιρίου ανάλογα τα κλιματικά δεδομένα των πόλεων	105
Σχήμα 7.14: Κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση ανά σύστημα HVAC	106
Σχήμα 7.15: Κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη ανά σύστημα HVAC	107
Σχήμα 7.16: Συνολική κατανάλωση ανά σύστημα HVAC	108
Σχήμα 7.17: Συνολική κατανάλωση του κτιρίου ανά σύστημα HVAC	109
Σχήμα 7.18: Γεωμετρία πρώτης απλοποίησης	110
Σχήμα 7.19: Γεωμετρία δεύτερης απλοποίησης	110
Σχήμα 7.20: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανά γεωμετρία	111

11. Κατάλογος Αναφορών

- [1] «BCC News,» 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bbc.com/news/science-environment-15874560>.
- [2] «IPCC glossary,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/>.
- [3] «Global Climate Change,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>.
- [4] S. T. Fakana, «Causes of climate change:review article,» *ResearchGate*, 2020.
- [5] «European Comission Climate Action,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_en.
- [6] M. R. & P. R. Hannah Ritchie, «CO2 & Greenhouse Gas Emissions,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#global-emissions-have-not-yet-peaked>.
- [7] «European Comission Climate Action Consequences of Climate Change,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/clima/climate-change/consequences-climate-change_en.
- [8] «Key World Energy Statistics,» International Energy Agency, 2021.
- [9] Z. Liu, «Chapter 1 - Global Energy Developement: The Reality & Challenges,» *ScienceDirect*, 2015.
- [10] «World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2022,» Enerdata, 2022.
- [11] «Statistics Explained - Energy Statistics - An Overview,» Eurostat, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption.
- [12] BP, «Statistical Review of World Energy,» 2021.
- [13] IEA, «European Union Energy Policy Review,» 2020.
- [14] IEA, «Country Profile Greece,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/countries/greece>.

- [15] ΥΠΕΝ, «Μακροπρόθεσμη Στρατηγική για την Ανακαίνιση του Κτιριακού Αποθέματος,» 2021.
- [16] European Commission, «Climate Action 2030 Climate and Energy Framework,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en.
- [17] European Council for an Energy Efficient Economy, «Policy Pages - Energy Performance of Buildings,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eceee.org/policy-areas/Buildings/>.
- [18] ΥΠΕΝ, «Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050,» 2021.
- [19] M. P. & M. Marengo, «On the Impact of Simplifications on Building Energy Simulation for Early Stage Building Design,» 2015.
- [20] A. M. H. L. S. L. W. J. Aikaterini Chatzivasileiadi, «The Effect of Reducing Geometry Complexity on Energy Simulation Results».
- [21] E. Bazafkan, «Assessment of Usability and Usefulness of New Building Performance Simulation Tools in the Architectural Design Process,» 2017.