



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ ΣΕ ΠΑΘΗΤΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΑΠΟ  
ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ  
ΔΥΝΑΜΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΕΥΓΕΝΙΑ ΜΑΡΙΑ ΜΕΑΧΡΟΙΝΟΥ

mc18102

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ: Δρ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΠΑΛΛΑΝΤΖΑΣ

ΑΘΗΝΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2024

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Χρήστο Τζιβανίδη για την ευελιξία που έδειξε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου και για τις χρήσιμες συμβουλές του σε βασικά σημεία της μελέτης. Ακόμα ιδιαίτερες ευχαριστίες χρωστάω στον υποψήφιο διδάκτορα και αρμόδιο παρακολούθησης της διπλωματικής κύριο Δημήτριο Παλλαντζά για τις γνώσεις που μου μετέδωσε πάνω στον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων, τον άπειρο χρόνο που διέθεσε για την επίλυση των απορροιών και των προβλημάτων που προέκυπταν καθώς και την στήριξη του σε όλη την διάρκεια της μελέτης.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Ελληνικού Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, τον κύριο Στέφανο Παλλαντζά πρόεδρο του ινστιτούτο, τον κύριο Νεκτάριο Τσακουμάκη και την κυρία Αλεξάνδρα Μαγκίνα για όσα μου έμαθαν για τα παθητικά κτίρια, τον σχεδιασμό και την υλοποίησή τους κατά την διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στο ΕΙΠΑΚ αλλά και τις παρατηρήσεις πάνω στην διπλωματική εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς και τα αδέρφια μου για την στήριξη, και την υπομονή τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου, καθώς και τους συμφοιτητές, και πολύ αγαπημένους μου ανθρώπους, Μαρίζα Γκαδρή και Νικόλαο Δάβαρη για την καθημερινή συμπαράσταση.

## Περιεχόμενα

1. Περίληψη .....	5
2. Abstract.....	6
3. Το παθητικό κτίριο.....	7
4. Λογισμικά για ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων.....	9
5. Εισαγωγή .....	13
5.1. Δεδομένα του κτιρίου .....	13
5.2. Δεδομένα της μοντελοποίησης σε Honeybee .....	16
6. Αναλυτικές οδηγίες σχεδιασμού της γεωμετρίας του κτιρίου σε Rhino.....	19
6.1. Εισαγωγή κατόψεων από AutoCAD κτιρίου και επεξεργασία : .....	19
6.2. Κατασκευή της 3D γεωμετρίας ενιαίου μοντέλου κτιρίου από τις 2D κατόψεις: 22	
6.3. Κατασκευή της 3D γεωμετρίας μοντέλου κτιρίου χωρισμένο σε δωμάτια από τις 2D κατόψεις:.....	22
6.4. Κατασκευή των παραθύρων του κτιρίου και των εισόδων: .....	24
6.5. Κατασκευή των ρολών των παραθύρων του κτιρίου: .....	26
6. Αναλυτικές οδηγίες μοντελοποίησης ενεργειακού μοντέλου με Grasshopper. ....	26
6.1. Βασική συνδεσμολογία μοντέλου για δυναμική ανάλυση σε OpenStudio.....	27
6.2. <i>Σύνδεση της γεωμετρίας μεταξύ Rhino και HB και ορισμός οριακών συνθηκών.</i> 29	
6.1. Σύνδεση των HVAC, των προγραμμάτων και των παραμέτρων του κάθε χώρου. 39	
6.2. Σύνδεση των παραμέτρων του Open Studio. ....	44
6.3. Σύνδεση των κατάλληλων εργαλείων για την αποτύπωση των διαγραμμάτων. 46	
7. Αποτελέσματα μοντελοποίησης .....	47
7.1. <i>Μοντελοποίηση θερμικής άνεσης στο νέο και το παλιό κτίριο και σύγκληση των         παρατηρήσεων.....</i>	47
6.1.1 Αποτελέσματα θερμικής άνεσης στο νέο παθητικό κτίριο.....	47
6.1.2 Αποτελέσματα θερμικής άνεσης στο συμβατικό – αμόνωντο κτίριο πριν την ανακαίνιση.....	59
7.2. Παραμετρική μελέτη διαφοράς θερμοκρασίας υαλοπινάκων.....	66
7.3. Αποτελέσματα της μοντελοποίησης Free Running κι για τα δύο κτίρια .....	78
7.4. Σύγκριση των μετρήσεων με τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης. ....	83

8.	Συμπεράσματα – προτάσεις για μελλοντική μελέτη: .....	85
8.1	Συμπεράσματα:.....	85
8.2	Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες: .....	86
	<i>Βιβλιογραφία:</i> .....	88

## 1. Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μοντελοποίηση ενός κτιρίου πριν και μετά την ανακαίνιση του σε παθητικό με λογισμικό ωριαίας ανάλυσης. Ο σκοπός της μοντελοποίησης ήταν η εξαγωγή αποτελεσμάτων για τη θερμική άνεση του κτιρίου πριν και μετά την ανακαίνιση παίρνοντας αποτελέσματα για τις εσωτερικές θερμοκρασίες του χώρου, των επιφανειών και της ετήσιας κατανάλωσής του. Στην συνέχεια έγινε σύγκριση των τιμών αυτών με υπάρχουσες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κτίριο μετά την ανακαίνιση και για τα επόμενα επτά χρόνια. Τέλος, αναλύθηκε η θερμική άνεση του παθητικού και του αμόνωτου κτιρίου αν λειτουργούσαν χωρίς συστήματα ψύξης-θέρμανσης. Η μελέτη αποδεικνύει ότι εφαρμόζοντας βασικές αρχές της φυσικής των κτιρίων, όπως αυτές αποτυπώνονται στο πρότυπο του παθητικού κτιρίου, μπορεί να κατασκευαστεί ένα σπίτι το οποίο θα έχει ελάχιστες ενεργειακές καταναλώσεις με εξαιρετική ποιότητα ζωής καθώς και ότι με ένα λογισμικό δυναμικής ανάλυσης είναι εφικτό να προσομοιωθούν οι πραγματικές συνθήκες μέσα σε μία κατοικία.

## 2. Abstract

In this thesis, a building was modeled before and after its passive renovation with hourly analysis software. The purpose of this modeling was to derive results for the thermal comfort of the building before and after the renovation, by obtaining results for the internal temperature of the space, surface and its annual consumption. These results were then compared with the measurements that had been conducted for the past seven years, since the building's renovation. Finally, the thermal comfort of the passive and insulated building was analyzed as if there was no cooling-heating system operation. This study proves that by applying basic principles of building physics, as reflected in the passive building model, buildings can have minimal energy consumption and excellent life quality as well. It's also proved that with dynamic analysis software it is possible to simulate real life conditions inside the house.

### 3. Το παθητικό κτίριο

Ορισμός :

Το παθητικό κτίριο είναι ένα κτίριο στο οποίο η εσωτερική θερμική άνεση (ISO 7730) εξασφαλίζεται αποκλειστικά από προθέρμανση ή πρόψυξη της ποσότητας του νωπού αέρα, η οποία απαιτείται (DIN 1946) για τη σωστή εσωτερική ατμόσφαιρα, χωρίς τη χρήση επιπλέον ανακυκλοφορίας του αέρα.

Το πρότυπο του παθητικού κτιρίου προσφέρει υψηλή ενεργειακή απόδοση, άνεση, οικονομία και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Βασίζεται στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και της φυσικής του κτιρίου. Με απλούς σχεδιαστικούς κανόνες μπορεί να επιτύχει την δημιουργία κτιρίων με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε είδος κτιρίου (κατοικίες, γραφεία, σχολεία, νοσοκομεία), για κάθε τύπο κατασκευής (ξύλο, μπετό- τούβλο, μέταλλο) και για όλες τις κλιματικές περιοχές.

Πέντε βασικές αρχές του Παθητικού Κτιρίου:

Οι πέντε βασικές αρχές του παθητικού κτιρίου αποτελούν την βάση της ενεργειακής μελέτης καθώς ορίζουν τις προδιαγραφές των συστημάτων και των υλικών με τα οποία κάθε κτίριο, σε οποιαδήποτε κλιματική περιοχή, μπορεί να επιτύχει χαμηλές ενεργειακές καταναλώσεις.

- Μόνωση:

Με σωστή θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους διατηρεί τη ζέστη μέσα στο κτίριο κατά την διάρκεια του χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει.

- Κουφώματα:

Τα σωστά κουφώματα τα οποία είναι μονωμένα, με κατάλληλα σχεδιασμένο υαλοπίνακα και άρτια τοποθέτηση, συμμετέχουν στη βέλτιστη αξιοποίηση των θερμικών κερδών καθώς αφήνουν την επιθυμητή ποσότητα ηλιακής ενέργειας να διέλθει στο κτίριο, χωρίς να αποτελούν σημεία που θα υπήρχαν απώλειες θερμότητας.

- Αεροστεγανότητα:

Η αεροστεγανότητα εξασφαλίζει ότι αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος και έτσι να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και υγρασίας.

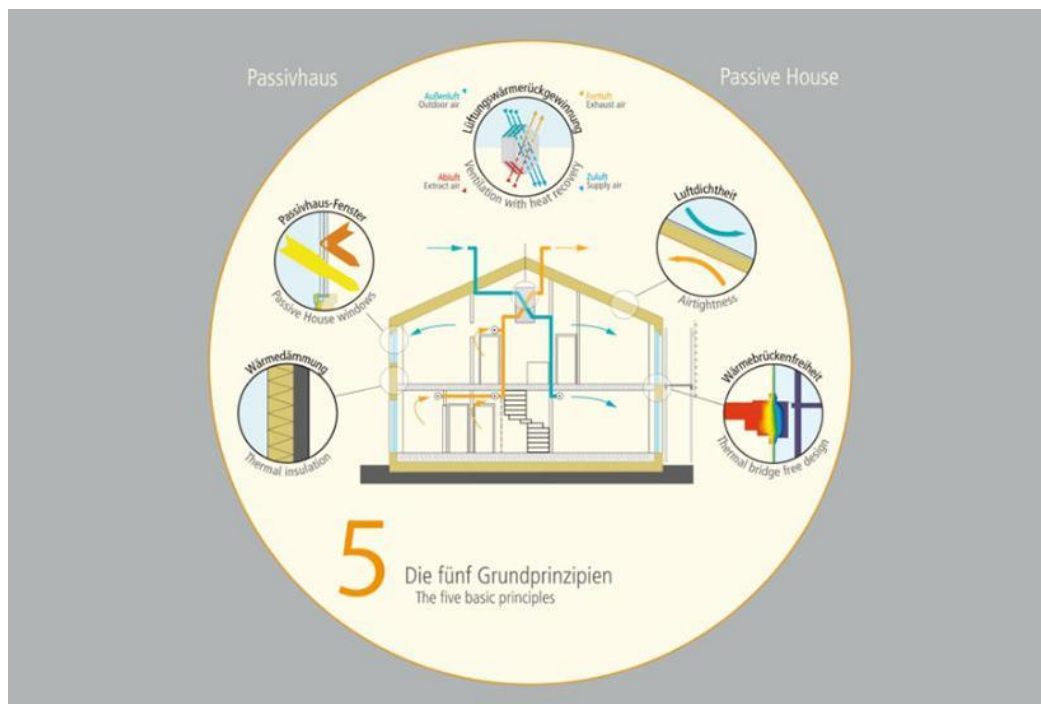
- Θερμογέφυρες:

Οι θερμογέφυρες είναι σημεία του κτιριακού κελύφους όπου είτε αλλάζει η γεωμετρία ή τα υλικά κατασκευής. Η ύπαρξη θερμογεφυρών έχει ως αποτέλεσμα την τοπική διευκόλυνση της ροής θερμότητας. Η ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών και των ασθενών σημείων στο κτιριακό κέλυφος, συνεισφέρει στη δημιουργία ευχάριστης και ομοιόμορφης θερμοκρασίας, εξαλείφοντας τις φθορές από την υγρασία, ενώ αυξάνει την ενεργειακή απόδοση.

- Αερισμός με ανάκτηση ενέργειας:

Το σύστημα αερισμού είναι απαραίτητο σε ένα παθητικό κτίριο καθώς εξασφαλίζει την συνεχή ροή φρέσκου αέρα ο οποίος θα είναι σε κοντινή θερμοκρασίας με τον εσωτερικό

χώρο και κατάλληλο επίπεδο υγρασίας. Συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην δημιουργία ενός ευχάριστους εσωτερικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 1: Οι πέντε βασικές αρχές (πηγή: Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού κτιρίου)

Τα παθητικά κτίρια είναι κτίρια που εξασφαλίζουν θερμική άνεση και ποιότητα ζωής με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Ένα νεόδμητο κτίριο για να πιστοποιηθεί ως παθητικό πρέπει η απαίτηση σε ψύξη και θέρμανση να είναι έως  $15 \text{ kWh/m}^2$  θερμαινόμενης επιφάνειας ετησίως. Αυτό επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας τις απώλειες και αξιοποιώντας τα παθητικά θερμικά ή ψυκτικά φορτία. Η μείωση των απωλειών και η αύξηση των κερδών γίνεται μέσω του σωστά μελετημένου κτιριακού κελύφους. Τόσο ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός όσο και η ενεργειακή μελέτη συμβάλλουν σε αυτή την μείωση.

Στα πρώτα βήματα του σχεδιασμού ενός κτιρίου είναι πολύ σημαντική η επιλογή του σωστού προσανατολισμού της οικοδομής σε συνδυασμό με την επιλογή κατάλληλων ανοιγμάτων ανάλογα με την περιοχή και το κλίμα. Αυτό θα επιτρέψει την αξιοποίηση των ηλιακών θερμικών κερδών όλο τον χρόνο, την μείωση των απωλειών κατά τους χειμερινούς μήνες αλλά και τον φυσικό δροσισμό από κατάλληλα σκίαστρα, φυσικά ή τεχνητά, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ακόμα όταν ένα κτίριο είναι στο στάδιο του σχεδιασμού μπορούν να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες θερμογέφυρες, είτε αποφεύγοντας τα πολλαπλά σπασίματα σε μια κατασκευή. Δηλαδή όγκους οι οποίοι προεξέχουν έναντι άλλων, είτε προτείνοντας κατασκευαστικές λύσεις θερμοδιακοπής τους, για παράδειγμα σχεδιάζοντας τα μπαλκόνια ως αυτοφερόμενες κατασκευές.



Αφού τελειώσει το στάδιο του σχεδιασμού του κτιρίου ξεκινά η ενεργειακή μελέτη στην οποία υπολογίζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των συστημάτων που θα τοποθετηθούν σε αυτό και θα εξασφαλίσουν την χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση του. Η μελέτη αυτή γίνεται με βάση τις πέντε αρχές του παθητικού κτιρίου. Ο κυρίως σκοπός της είναι να κατασκευαστεί ένα αεροστεγανό θερμός ώστε η θερμότητα να μην διαφεύγει στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται με την σωστή μόνωση, την επίλυση των θερμογεφυρών και την αεροστεγανότητα. Στην συνέχεια επιλέγονται κατάλληλα κουφώματα, τα οποία θα επιτρέπουν κατάλληλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας να εισέλθει στο κτίριο αφού ο ήλιος είναι κύρια πηγή θέρμανσης σε ένα παθητικό κτίριο. Συγχρόνως όμως το κούφωμα και ο υαλοπίνακας πρέπει να έχουν κατάλληλη θερμοπερατότητα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από τα παράθυρα. Συνδυαστικά με την επιλογή των υαλοπινάκων γίνεται και η ανάλυση της σκίασης του κτηρίου για να υπολογιστούν τα ηλιακά θερμικά φορτία κατά την διάρκεια του έτους.

Πολύ βασικό στοιχείο των παθητικών κτιρίων είναι ο μηχανικός αερισμός με εναλλάκτη ενέργειας. Η λειτουργία του είναι να προμηθεύει συνεχώς το κτίριο με φρέσκο αέρα ενώ συγχρόνως απάγει αέρα από τους χώρους στους οποίους μπορεί να υπάρχουν οσμές και αυξημένη υγρασία όπως η κουζίνα τα μπάνια και οι αποθήκες. Καθώς κάνει αυτή την εναλλαγή αέρα τα δύο ρεύματα περνάνε από έναν εναλλάκτη θερμότητας οπότε είτε προθερμαίνει είτε προψύχει τον εισερχόμενο αέρα ανάλογα την εποχή. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας καθώς μειώνεται η απαιτούμενη παραγωγή θερμότητας. Τέλος προσφέρει καλύτερη ποιότητα εσωτερικού αέρα αφού τοποθετούνται κατάλληλα φίλτρα στην προσαγωγή και την απαγωγή.

Με αυτό τον τρόπο ολοκληρώνεται η βασική μελέτη του παθητικού κτιρίου. Υπολογίζονται όλα τα θερμικά κέρδη, οι απώλειες του κελύφους και στην συνέχεια, από το ενεργειακό ισοζύγιο, εξάγεται η απαίτηση του κτιρίου σε ψύξη και θέρμανση η οποία θα είναι κάτω των 15 kWh/m<sup>2</sup> θερμαινόμενης επιφάνειας.

#### 4. Λογισμικά για ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων

Για την μοντελοποίηση και την ενεργειακή μελέτη κτιρίων υπάρχουν πολλά λογισμικά που είτε με δυναμική είτε με στατική ανάλυση μπορούν να προσεγγίσουν την συμπεριφορά που θα είχε ένα λειτουργικό κτίριο σε μια συγκεκριμένη περιοχή με καθορισμένα κλιματικά δεδομένα. Αυτά τα λογισμικά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τους μηχανικούς καθώς μπορούν να μοντελοποιήσουν οποιαδήποτε γεωμετρία και να εξάγουν ασφαλή αποτελέσματα για την συμπεριφορά και την κατανάλωση του κτιρίου μέσα στον χρόνο. Μερικά από τα διαθέσιμα λογισμικά θα παρουσιαστούν στην συνέχεια της εργασίας.

##### [PHPP-PassiveHousePlanningPackage](#)

Το PHPP είναι ένα εργαλείο υπολογισμού, το οποίο περιέχει οτιδήποτε είναι απαραίτητο ως προς το σχεδιασμό ενός λειτουργικού παθητικού κτιρίου. Επίσης, υπολογίζει το ενεργειακό

ισοζύγιο και την ετήσια απαίτηση ενέργειας του κτιρίου με βάση τα στοιχεία που του δίνει ο χρήστης. Τα κυριότερα αποτελέσματα που εξάγονται είναι:

- Η ετήσια απαίτηση ενέργειας για θέρμανση kWh/(m<sup>2</sup>a) και η μέγιστη θερμική ισχύς W/m<sup>2</sup>.
- Η καλοκαιρινή θερμική άνεση με χρήση ενεργητικής ψύξης: Ετήσια απαίτηση ενέργειας για ψύξη kWh/(m<sup>2</sup>a) και μέγιστη ψυκτική ισχύς W/m<sup>2</sup>.
- Η καλοκαιρινή θερμική άνεση μέσω παθητικών συστημάτων ψύξης: Πιθανότητα υπερθέρμανσης %.
- Η ετήσια απαίτηση πρωτεύουσας ενέργειας για ολόκληρο το κτίριο kWh/(m<sup>2</sup>a).

Το πρόγραμμα PHPP βασίζεται σε ένα αρχείο Excel με διάφορα φύλλα εργασίας που περιέχουν τις αντίστοιχες εισροές και υπολογισμούς για διάφορες μεταβλητές. Ο χρήστης εισάγει όλα τα χαρακτηριστικά των συστημάτων που θα έχει το κτίριο, την γεωμετρία και μηνιαία κλιματικά δεδομένα. Το λογισμικό υπολογίζει το ενεργειακό ισοζύγιο για όλο τον χρόνο αλλά και ανά μήνα.

#### □ Energy Plus

Το Energy Plus είναι ένα πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση της ενεργειακής απαίτησης σε θέρμανση και ψύξη επίσης λαμβάνει και άλλες παραμέτρους στους υπολογισμούς που εκτελεί όπως τον αερισμό, τον φωτισμό και το ζεστό νερό χρήσης. Βασίζεται σε 2 λογισμικά, το BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) και το DOE-2 που δημιουργήθηκαν στις αρχές του 1970. Το Energy Plus γράφτηκε αρχικά σε FORTRAN ενώ αργότερα τροποποιήθηκε σε C++. Για την προσομοίωση του κτιρίου, το EnergyPlus περιλαμβάνει το υποπρόγραμμα IDFEditor, για τη δημιουργία και επεξεργασία αρχείων εισόδου, καθώς και το EP-Launch για την διαχείριση αρχείων εισόδου, εξόδου και την εκτέλεση των επιθυμητών προσομοιώσεων. Μέσω αυτού, πραγματοποιείται ανάλυση των βασικών παραμέτρων που επιδρούν στην θερμική άνεση του κτιρίου όπως την μεταφορά θερμότητας μέσω των κατασκευαστικών στοιχείων, τον προσανατολισμό, τη ροή του αέρα, την υγρασία, τις κλιματολογικές συνθήκες, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και την σκίαση. Το EnergyPlus πραγματοποιεί δυναμική ανάλυση, δηλαδή προσομοιώσεις σε χρονικά βήματα μικρότερα της ώρας.

#### □ Ladybug Tools

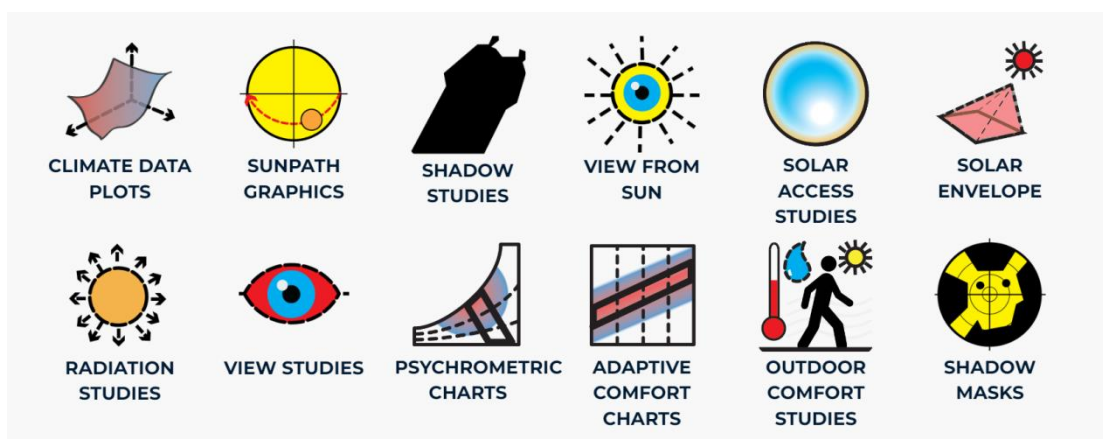
Τα Ladybug Tools αποτελούν plug in στο Grasshopper του Rhino τα οποία διαβάζουν την γεωμετρία που έχει σχεδιαστεί στο Rhino και εκτελούν δυναμική ανάλυση μέσω του Energy Plus. Αποτελούνται από το Ladybug, το Honeybee, το Dragonfly και το Butterfly, όπου το καθένα ειδικεύεται σε διαφορετική ανάλυση του κτιρίου. Είναι open source προγράμματα γραμμένα σε python.

Ladybug

Το Ladybug εισάγει κλιματικά δεδομένα από το Energy Plus στο Grasshopper. Παρέχει γραφήματα οπτικοποίησης των κλιματικών δεδομένων καθώς και διαδραστικά γραφήματα για έναν πρώτο έλεγχο της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου καθώς και της θερμικής του άνεσης. Αυτό το εκτελεί με βάση τα την ηλιακή ακτινοβολία, της οπτικής ανάλυσης του φωτός, την μοντελοποίηση των ωρών που έχει ηλιοφάνεια και άλλα.

Μερικά από τα γραφήματα που μπορεί να δημιουργήσει είναι:

- Γραφήματα κλιματικών δεδομένων
- Γράφημα τροχιάς του ήλιου
- Μελέτη σκίασης
- Μελέτη ακτινοβολίας
- Μελέτη οπτικής
- Γραφήματα θερμικής άνεσης
- Μελέτης εξωτερικής θερμικής άνεσης



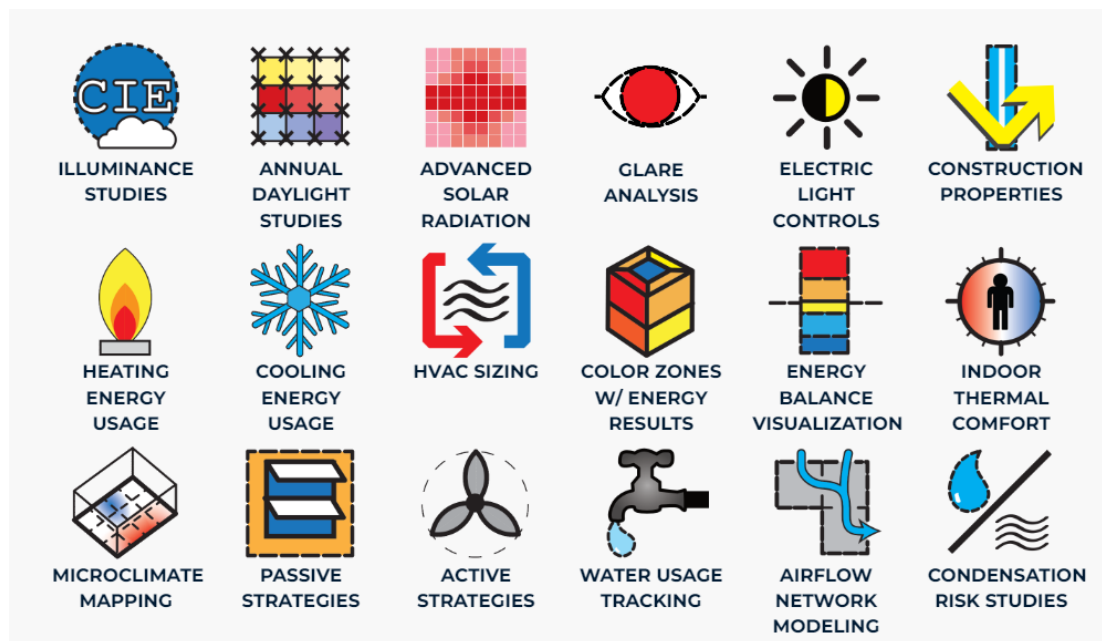
Εικόνα 2: Αποτελέσματα Ladybug

Το Honeybee

Το Honeybee εκτελεί δυναμική ανάλυση φωτός και θερμοδυναμικής. Συγκεκριμένα αναλύει και οπτικοποιεί τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας από το Radiance, και της ενεργειακής ανάλυσης από το Energy Plus. Ουσιαστικά συνδέει το CAD και το Rhino με τα παραπάνω υπολογιστικά εργαλεία. Μερικά από τα αποτελέσματα που μπορεί να εξάγει είναι:

- Μελέτη φωτισμού
- Ετήσιες Μελέτες για το φως της ημέρας
- Ετήσια έκθεση στον ήλιο
- Ανάλυση λάμπης
- Χρήση Ενέργειας Θέρμανσης και Ψύξης
- Διαστασιολόγηση HVAC
- Αποτελέσματα Ενεργειακών Μοντέλων σε χρωματικές ζώνες

- Οπτικοποιήσεις ενεργειακού ισοζυγίου
- Θερμική άνεση εσωτερικού χώρου
- Χαρτογράφηση μικροκλίματος
- Μοντελοποίηση Παθητικής Στρατηγικής
- Μοντελοποίηση HVAC



Εικόνα 3: Αποτελέσματα Honeybee

### Dragonfly

Το Dragonfly καθιστά δυνατή την ενεργειακή μοντελοποίησης ολόκληρων περιοχών λαμβάνοντας υπόψη τα κτήρια ως αφηρημένα σχήματα χωρίς λεπτομέρειες. Ενώ ταυτόχρονο μπορεί να παραλληλοποιήσει ενεργειακές μελέτες πολλαπλών κτιρίων που έχουν γίνει στο honeybee και να εξάγει συνολικά αποτελέσματα. Τα μοντέλα αυτά τρέχουν με το URBANopt SDK (Urban Renewable Building And Neighborhood optimization) το οποίο στηρίζεται στο Energy Plus. Τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν για την μελέτη του ηλεκτρικού φορτίου μια πόλη και των ηλεκτρικών υποδομών της καθώς και της μελέτης κόστους οφέλους της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέλος μπορεί να υπολογίσει πώς η αστική θερμονησίδα μια πόλης επηρεάζει το μικροκλίμα της περιοχής. Μερικά από τα αποτελέσματα που μπορεί να εξάγει είναι:

- Ενεργειακή κατανάλωση μια πόλης
- Το ηλεκτρικό φορτίο του συστήματος μια πόλης
- Την βελτιστοποίησης κόστους οφέλους την ΑΠΕ
- Την μέγιστη ζήτηση φορτίου και την ανταπόκριση του ηλεκτρικού δικτύου
- Μοντελοποίηση την αστικής θερμονησίδα
- Την μοντελοποίηση του πραγματικού κλίματος μια περιοχής



Εικόνα 4: Αποτελέσματα Dragonfly

### Butterfly

Το Butterfly εκτελεί υπολογιστική δυναμική ρευστών CFD σε OpenFOAM. Έχει σχεδιαστεί για να μετατρέπει την γεωμετρία ενός κτιρίου που έχει σχεδιαστεί σε Rhino σε OpenFOAM ώστε να μοντελοποιηθούν οι ροές του αέρα που είναι απαραίτητες για την μελέτη κτιρίων. Μπορεί να κάνει μελέτες και για το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου αλλά και για την εσωτερική θερμική άνεση, τον αερισμό ενός σπιτιού και άλλα. Μερικά από τα αποτελέσματα που μπορεί να εξαγάγει είναι:

- Μοντελοποίηση ροής αέρα εσωτερικού χώρου
- Μοντελοποίηση ροής αέρα εξωτερικού χώρου
- Μελέτη θερμικής άνεσης
- Μοντελοποίηση των ρευμάτων αέρα που προέρχονται από συσκευές
- 



Εικόνα 5: Αποτελέσματα Butterfly

## 5. Εισαγωγή

### 5.1. Δεδομένα του κτιρίου

Το κτίριο που μελετήθηκε βρίσκεται στην περιοχή του Παπάγου στην Αττική σε υψόμετρο 244 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Είναι μια ισόγεια κατοικία που στον ανεξάρτητο ημιυπόγειο χώρο που διαθέτει στεγάζονται τα γραφεία μίας εταιρείας. Χτίστηκε την δεκαετία του '60 με βορειοανατολικό προσανατολισμό, είναι κλασικής κατασκευής μπετόν – τούβλο 133,5m<sup>2</sup>.

Το κτίριο **πριν την ανακαίνιση** ήταν τελείως αμόνωτο με ξύλινα κουφώματα και μονούς υαλοπίνακες, ακόμα διέθετε συμβατικό σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και τζάκι. Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά από το λογισμικό PHPP (Passive House Planning Package) με το οποίο είχε γίνει η μελέτη του παλιού κτιρίου από την ομάδα Passivistas το 2016 προκύπτουν οι παρακάτω τιμές και τα χαρακτηριστικά του αμόνωτου κτιρίου:

- Αδιαφανή δομικά στοιχεία (U-Values) του κελύφους:
  - **Εδαφόπλακα κατοικίας προς έδαφος** – Uvalue = 1.918 W/m<sup>2</sup>K
  - **Εδαφόπλακα γραφείου προς έδαφος** – Uvalue = 3.517 W/m<sup>2</sup>K
  - **Οροφή προς εξωτερικό αέρα** – Uvalue = 3.938 W/m<sup>2</sup>K
  - **Τοιχοποιία με τούβλο προς εξωτερικό αέρα** – Uvalue = 2.199 W/m<sup>2</sup>K
  - **Τοιχοποιία με πέτρα προς εξωτερικό αέρα** – Uvalue = 2.146 W/m<sup>2</sup>K
  - **Τοιχοποιία με πέτρα προς έδαφος** – Uvalue = 2.513 W/m<sup>2</sup>K
- Διαφανή δομικά στοιχεία (U-Values) του κελύφους:
  - Μονοί Υαλοπίνακες: g = 0.87 και Ug=5.8 W/m<sup>2</sup>K
  - Ξύλινα Κουφώματα: Uf=2.5 W/m<sup>2</sup>K
- Αεροστεγανότητα: 5 εναλλαγές την ώρα σε πίεση 50 Pa.
- Φυσικός αερισμός: από τα παράθυρα.
- Θερμογέφυρες: δεν υπολογίστηκαν.

Η **ανακαίνιση** του κτιρίου σε παθητικό έγινε με βάση τις 5 βασικές αρχές του παθητικού κτιρίου και μελετήθηκε με το λογισμικό PHPP (Passive House Planning Package) από την ομάδα Passivistas. Με βάση τη μελέτη που έγινε, το νέο κτίριο έχει σωστή μόνωση η οποία προσδιορίστηκε ανάλογα με τους περιορισμούς της κατασκευής. Ακόμα τοποθετήθηκαν τριπλοί υαλοπίνακες με κουφώματα PVC, μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας, ενισχύθηκε η αεροστεγανότητα με την τοποθέτηση ταινιών στα νέα κουφώματα και τέλος επιλύθηκαν οι υπάρχουσες αερογέφυρες. Τα αναλυτικά χαρακτηριστικά των αλλαγών που έγιναν είναι:

- Αδιαφανή δομικά στοιχεία (U-Values) του κελύφους:
  - **Εδαφόπλακα κατοικίας προς έδαφος** – Uvalue = 0.408 W/m<sup>2</sup>K  
Μόνωση: λ=0,030W/mK, 5εκ.
  - **Εδαφόπλακα γραφείου προς έδαφος** – Uvalue = 0.484 W/m<sup>2</sup>K  
Μόνωση: λ=0,030W/mK, 5εκ.
  - **Οροφή προς εξωτερικό αέρα** – Uvalue = 0.100 W/m<sup>2</sup>K  
Μόνωση: λ=0,031 W/mK, 30εκ
  - **Τοιχοποιία με τούβλο προς εξωτερικό αέρα** – Uvalue = 0.178W/m<sup>2</sup>K  
Μόνωση: λ=0,030 W/mK, 15εκ
  - **Τοιχοποιία με πέτρα προς εξωτερικό αέρα** – Uvalue = 0.182 W/m<sup>2</sup>K  
Μόνωση: λ=0,030 W/mK, 15 εκ
  - **Τοιχοποιία με πέτρα προς έδαφος** – Uvalue = 0.470 W/m<sup>2</sup>K  
Μόνωση εσωτερική: λ=0,030 W/mK, 5 εκ

- Διαφανή δομικά στοιχεία (U-Values) του κελύφους:
  - Τριπλοί Υαλοπίνακες με πλαστικό αποστάτη, αέριο Αργό μεταξύ των τζαμιών και επιστρώσεις στο 2 και στο 5:  $g = 0.54$  και  $U_g = 0.55 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Κουφώματα PVC, η κατασκευή είχε 4 διαφορετικά κουφώματα από διαφορετικούς κατασκευαστές με :  $U_f = 0.78, 0.79$  και  $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Αεροστεγανότητα: 0.6 εναλλαγές την ώρα σε πίεση 50 Pa.
- Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας: 91%, παροχής  $238 \text{ m}^3/\text{h}$  (συνολικά για την κατοικία και το γραφείο).

**Πίνακας 1: Παροχές αερισμού ανά δωμάτιο.**

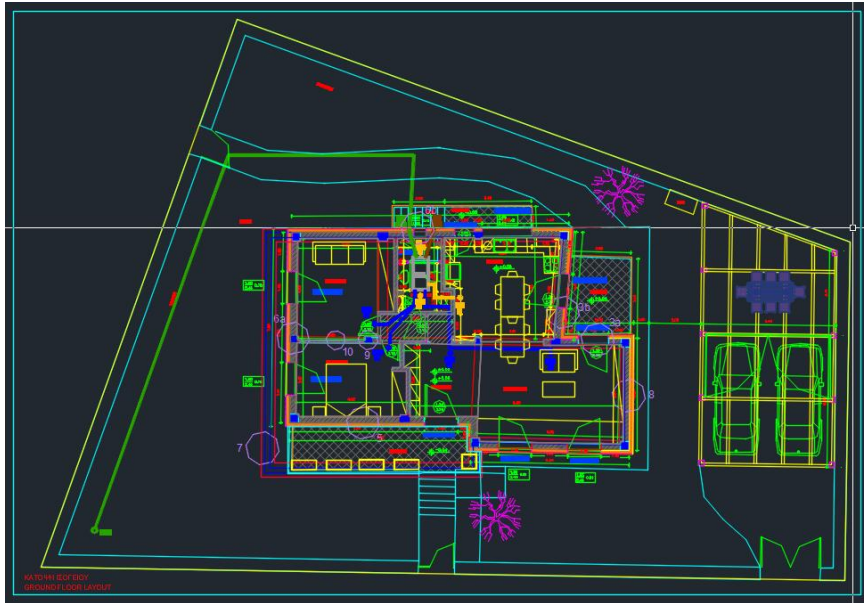
Όνομα	A	VSUP	VETA	VTRANS	ανά δωμάτιο n
	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	1/h
TFA bedroom 1	14.76	25			0.546376432
TFA bedroom 2	12.63	25			0.638520675
TFA bathroom	5.45		40		3.669724771
TFA kitchen	17.8		60		1.087350489
TFA living room	22.65	40			0.569678844
TFA entrance	8.13	20			0.793556323
TFA corridor	2.96			50	5.448997384
TFA basement	30.5105	129	129		1.966536111

- Θερμογέφυρες:

**Πίνακας 2: Πίνακας θερμογεφυρών**

Όνομα	Ψ W/mK
Τοίχος με int μόνωση προς έδαφος	<b>0.430</b>
Ισόγειο περιμετρική	<b>0.381</b>
living room προβολος βεράντας βορά	<b>0.273</b>
Kitchen προβολος βεράντας ανατολικά	<b>0.534</b>
ισόγειο πρόβολος βορά (μαζί)	<b>0.336</b>
Bedroom 1 roof - κολώνα	<b>1.263</b>
Bedroom 1 roof - εσωτερικός τοίχος	<b>0.383</b>

- Μηχανολογικά: Δύο κλιματιστικά 7000 btu ένα στο σαλόνι και ένα στο γραφείο.



Εικόνα 6: Κάτοψη του κτιρίου μετά την ανακαίνιση.

## 5.2. Δεδομένα της μοντελοποίησης σε Honeybee

Το κτίριο μοντελοποιήθηκε στο *Honeybee* (HB) το οποίο συνδέει τη γεωμετρία που σχεδιάστηκε στο *Rhino* με το *Open Studio* (OS) που τρέχει την ωριαία ανάλυση. Όλα τα δεδομένα που εισήχθησαν στο HB ήταν με βάση το Phrr στο οποίο είχε γίνει η αρχική μελέτη. Κάποια από αυτά προσαρμόστηκαν ανάλογα με τα πεδία που έχει το HB, καθώς είναι βασισμένο στο Αμερικανικό πρότυπο ASRAE και όχι στο Ευρωπαϊκό ISO όπως είναι το PHPP.

Στο HB εισήχθησαν, όπως αναλύεται και βήμα βήμα παρακάτω στην εργασία τα χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, οι θερμογέφυρες της κατασκευής, τα κουφώματα με τα ρολά τους, ο μηχανικός ή φυσικός αερισμός για το συμβατικό κτίριο, η αεροστεγανότητα, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από τους κατοίκους και τις συσκευές και τέλος το σύστημα ψύξης-θέρμανσης. Αρχικά στήθηκε το μοντέλο για το παθητικό κτίριο, στη συνέχεια για το συμβατικό και τέλος έτρεξε free running ανάλυση και για τις δύο περιπτώσεις.

Παραδοχές στη μοντελοποίηση:

Επιφάνειες:

Το σχέδιο του κτιρίου στο *Rhino* έγινε με βάση τις εξωτερικές διαστάσεις της κατοικίας με αποτέλεσμα τα συνολικά τετραγωνικά να είναι  $142,4 \text{ m}^2$ , δηλαδή λίγο παραπάνω από την πραγματικότητα αφού δεν αποδίδονται πάχη στις τοιχοποιίες. Πιο αναλυτικά τα τετραγωνικά ανά δωμάτιο φαίνονται στην Πίνακα 3.



Πίνακας 3: Τετραγωνικά ανά δωμάτιο και συνολικά

	Area [m <sup>2</sup> ]
BATHROOM_64A30246	6.46
BEDROOM1_D57E2498	17.44
BEDROOM2_B3113CB6	15.08
CORRIDOR_C36996B9	3.49
ENTRANCE_1959707B	9.18
KITCHEN_F7552504	20.75
LIVINFROOM_5ED578AE	26.40
OFFICE_BCAA24A7	43.61
Total	142.40

Θερμογέφυρες :

Οι απώλειες από τις θερμογέφυρες υπολογίζονται από τον τύπο:

$$Q_T = \ell \cdot \Psi \cdot f_T \cdot G_t$$

Στο λογισμικό του Phrrr μοντελοποιούνται δίνοντας την τιμή  $\Psi$  της εκάστοτε θερμογέφυρας και το μήκος της  $\ell$ . Στο HB όμως δεν υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθούν οι θερμογέφυρες ως γραμμικά στοιχεία. Γι' αυτό ορίστηκαν με βάση το πρότυπο της ASRAE που τις θεωρεί ως την επιφάνεια που προκύπτει από την προβολή της θερμογέφυρας πάνω στο δομικό στοιχείο που εδράζονται, Εικόνα 7. Σε αυτή τη νέα επιφάνεια αποδίδεται ένα νέο  $U_e$  που προκύπτει από τον τύπο:

$$U_e = \frac{\Psi L}{At} + U_o$$

Όπου:

$U_e$ : το ισοδύναμο  $U$  της θερμογέφυρας σε  $W/m^2K$

$\Psi$ : είναι η τιμή  $\Psi$  της θερμογέφυρας σε  $W/mK$

$L$ : το μήκος της θερμογέφυρας σε  $m$

$At$ : το εμβαδόν της προβολής της θερμογέφυρας  $m^2$

$U_o$ : το  $U$  του στοιχείου στο οποίο εδράζεται η θερμογέφυρα.

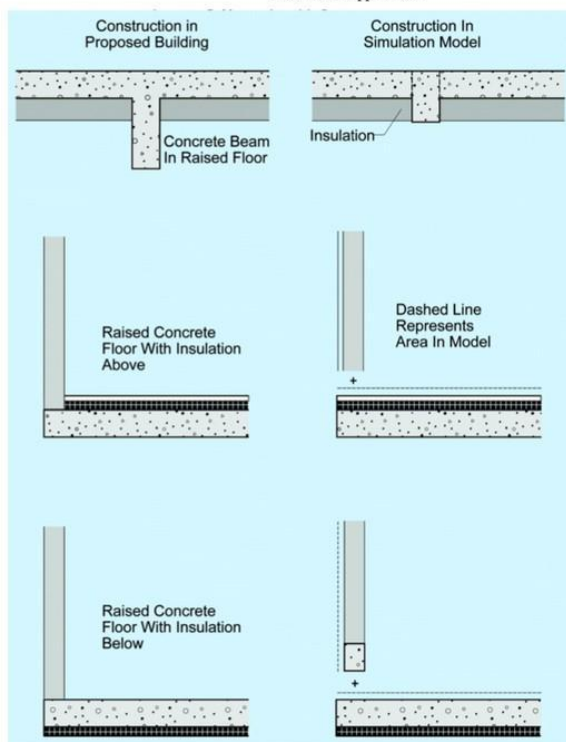


Figure G-B. MODELING UNINSULATED FLOOR CONDITIONS

Corresponding section: Building Envelope (Table G3.1[5])

**Εικόνα 7: Προτεινόμενος τρόπος υπολογισμού θερμογεφυρών από την ASRAE.**

Με βάση τον παραπάνω τύπο οι θερμογέφυρες της κατασκευής, μετά την ανακαίνιση, υπολογίστηκαν όπως φαίνονται στον πίνακα 3:

**Πίνακας 3: Υπολογισμός  $U_e$  θερμογεφυρών μετά την ανακαίνιση .**

Όνομα	Μήκος-L	$\Psi$	A	$U_{ref}$	$U_e$	d	$\lambda_e$
Τοίχος με int μόνωση προς έδαφος	8.92	0.43	1.197	0.47	3.674344	0.57	2.094376
Ισόγειο περιμετρική	22.37	0.381	4.93	0.182	1.910797	0.71	1.356666
living room προβολος βεράντας βορά	2.7	0.273	0.833	0.178	1.062874	0.41	0.435778
Kitchen προβολος βεράντας ανατολικά	3.32	0.534	0.985	0.178	1.977878	0.41	0.81093
ισόγειο πρόβολος βορά (μαζί)	2.29	0.336	0.118	0.182	6.702678	0.71	4.758901
Bedroom 1 roof - κολώνα	0.4	1.263	0.076	0.1	6.747368	0.5	3.373684
Bedroom 1 roof - εσωτερικός τοίχος	17.36	0.383	0.264	0.1	25.28515	0.5	12.64258

**Μηχανικός και φυσικός αερισμός:**

Στο παθητικό κτίριο, μετά την ανακαίνιση εγκαταστάθηκε μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας ο οποίος προσομοιώθηκε ορίζοντας τις αντίστοιχες εναλλαγές αέρα ανά δωμάτιο στο HB.

Στο παλιό κτίριο ορίστηκε ότι για να αερίζεται ο χώρος θα ανοίγουν τα παράθυρα το πρωί 8:00-9:00 τις ημέρες που η εξωτερική θερμοκρασία θα είναι από 12-35 C.

### Κλιματιστικά

Και για τις δύο περιπτώσεις τοποθετήθηκαν 2 κλιματιστικά ένα στο σαλόνι και ένα στο γραφείο με άπειρη διαθέσιμη ισχύς και χωρίς εναλλάκτη.

### Προγράμματα:

Για την παρομοίωση των εσωτερικών θερμικών φορτίων ορίστηκαν 3 άνθρωποι σε όλο το χώρο,  $2,02 \text{ W/m}^2$  η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών και  $0,1 \text{ W/m}^2$  η ισχύς του φωτισμού.

### Αεροστεγανότητα:

Με βάση τις τιμές από το phrr για το νέο σπίτι ορίστηκαν  $0,000022 \text{ εναλλαγές/s/m}^2$  πλευρικής επιφάνειας και για το παλιό  $0,000988 \text{ εναλλαγές/s/m}^2$  πλευρικής επιφάνειας.

## **6. Αναλυτικές οδηγίες σχεδιασμού της γεωμετρίας του κτιρίου σε Rhino.**

Αρχικά σχεδιάστηκε το 3D κτίριο στο Rhino με βάση τα υπάρχοντα σχέδια και πατώντας πάνω στις κατόψεις από το AutoCad.

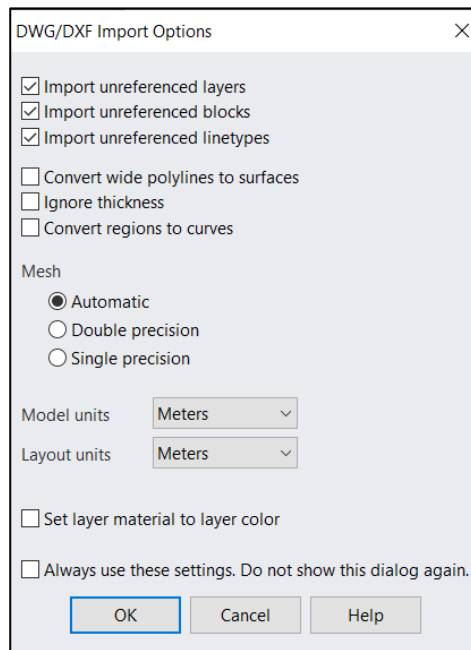
### **6.1. Εισαγωγή κατόψεων από AutoCAD κτιρίου και επεξεργασία :**

1. Για να εισαχθούν οι κατόψεις από το Rhino στο Autocad καλό είναι να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερες πληροφορίες ώστε εύκολα να σχεδιαστεί το περίγραμμα του κτιρίου. Οπότε στο *AutoCAD* αφαιρούνται οι περιττές πληροφορίες ώστε τα σχέδια να απλοποιηθούν και να μείνει μόνο η βασική τοιχοποιία του κτιρίου όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Επίσης αν τα σχέδια είναι προσανατολισμένα με κάποιον άλλο προσανατολισμό πέρα από Βορά-Νότο πρέπει να γυρίσουν στο σωστό προσανατολισμό, (Copy- paste σε νέο αρχείο AutoCAD) καθώς ο προσανατολισμός του κτιρίου ορίζεται μέσα από το HB.



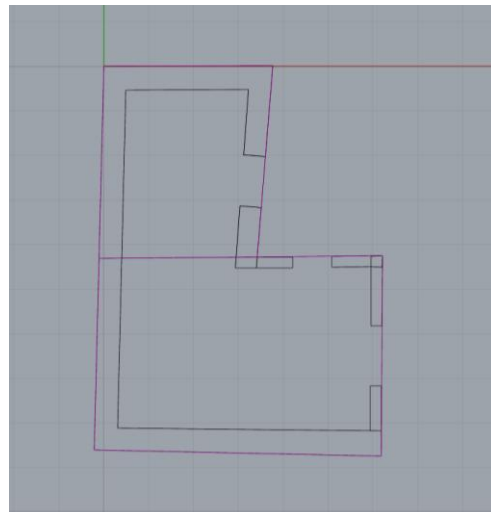
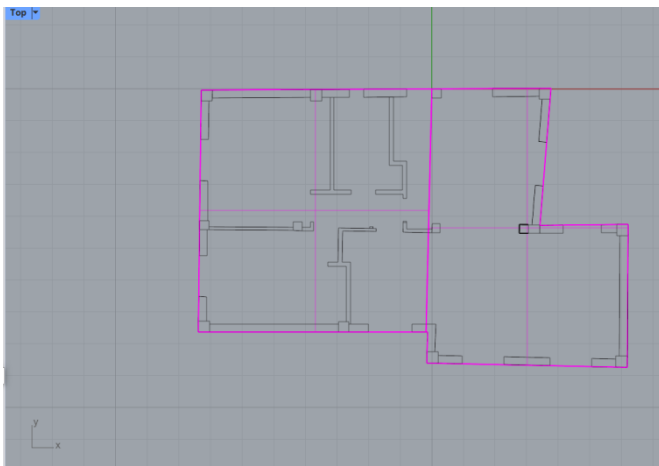
**Εικόνα 8: Απλοποιημένα σχέδια σε AutoCAD**

2. Ανοίγοντας νέο αρχείο στο *Rhino* με την εντολή *Units* καλό είναι να ελεγχθεί ότι οι διαστάσεις είναι σε μέτρα.
3. Με την εντολή *import* εισάγεται το αρχείο CAD που δημιουργήθηκε στο βήμα 1, με όλες τις διαστάσεις να είναι σε μέτρα.



Εικόνα 9: Επιλογή μονάδων εισαγόμενου σχεδίου από AutoCAD.

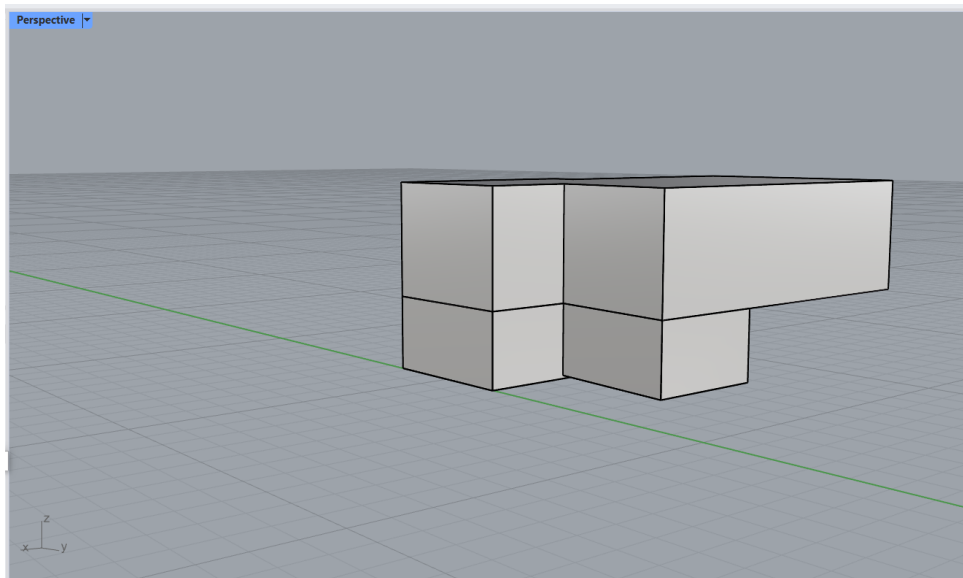
4. Επιλέγοντας όλη τη γεωμετρία που εισήχθη και με την εντολή *Move* επιλέγεται το επιθυμητό σημείο στο οποίο πρέπει να είναι το κτίριο, π. χ. στην αρχή των αξόνων πληκτρολογώντας (0,0,0).
5. Επιλέγονται οι κατόψεις και ορίζονται σε νέο layer. Στη συνέχεια διαγράφονται όλα τα άλλα layers που ήρθαν με το import από το AutoCad. Αν κάποιο από αυτά δεν διαγραφεί η εντολή *Block Manager* εμφανίζει όσα δεν διαγράφηκαν και σβήνονται από εκεί.
6. Με την εντολή *Polyline* σχεδιάστηκε το περίγραμμα των κατόψεων των τοίχων με βάση τις **εξωτερικές διαστάσεις**. Καλό είναι να τοποθετηθούν σε άλλο layer από αυτό που είναι το σχέδιο του CAD για να έχει ο χρήστης καλύτερο έλεγχο της γεωμετρίας που σχεδιάζει. Στη συγκεκριμένη εργασία σχεδιάστηκε το κάθε δωμάτιο ξεχωριστά αλλά παρατίθενται οι οδηγίες και για την κατασκευή του ενιαίου κτιρίου. Το ισόγειο σχεδιάστηκε σαν δύο διαφορετικοί χώροι γιατί έχουν υψομετρική διαφορά ενός σκαλοπατιού. Αν το κτίριο είναι χωρισμένο σε δωμάτια και το ενεργειακό μοντέλο ορίζεται ανά χώρο μπορεί να οριστεί το περίγραμμα του κάθε δωματίου (πιο αναλυτικές οδηγίες για τον σχεδιασμό των δωματίων υπάρχουν στην παράγραφο 1.3).
7. Με την εντολή *Move* μετακινείται η κάτοψη του πρώτου ορόφου πάνω από την κάτοψη του ισογείου και στο κατάλληλο ύψος (στο (0,0,2.3) ) ώστε να σχεδιαστεί στην συνέχεια το 3D μοντέλο του σπιτιού.



Εικόνα 10: Με μωβ το νέο polyline και με μαύρο η κάτοψη. Με μαύρο είναι η κάτοψη από το AutoCAD & με μωβ το polyline που σχεδιάσαμε

## 6.2. Κατασκευή της 3D γεωμετρίας ενιαίου μοντέλου κτιρίου από τις 2D κατόψεις:

8. Για τον σχεδιασμό των δαπέδων του πρώτου ορόφου με την εντολή *Surface from planar curve* μετατρέπεται η καμπύλη σε επιφάνεια.
9. Για τον σχεδιασμό των τοίχων με την εντολή *ExtrudeCrn* και επιλέγοντας όλη την περίμετρο της καμπύλης επεκτείνονται οι τοίχοι προς τα πάνω.
10. Για τον σχεδιασμό της οροφής με την εντολή *Move* μετακινείται η καμπύλη της κάτοψης στο ύψος της οροφή και με την εντολή *Surface from planar curve* γίνεται επιφάνεια.
11. Για το ισόγειο μετακινούνται τα δύο επίπεδα του πατώματος εκεί που τα ορίζουν τα αρχιτεκτονικά σχέδια (έχουν 10 cm υψομετρική διαφορά) και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία με προηγούμενης.
12. Με την εντολή *Split* μπορεί να δημιουργηθεί το άνοιγμα μεταξύ των δύο χώρων του γραφείου.



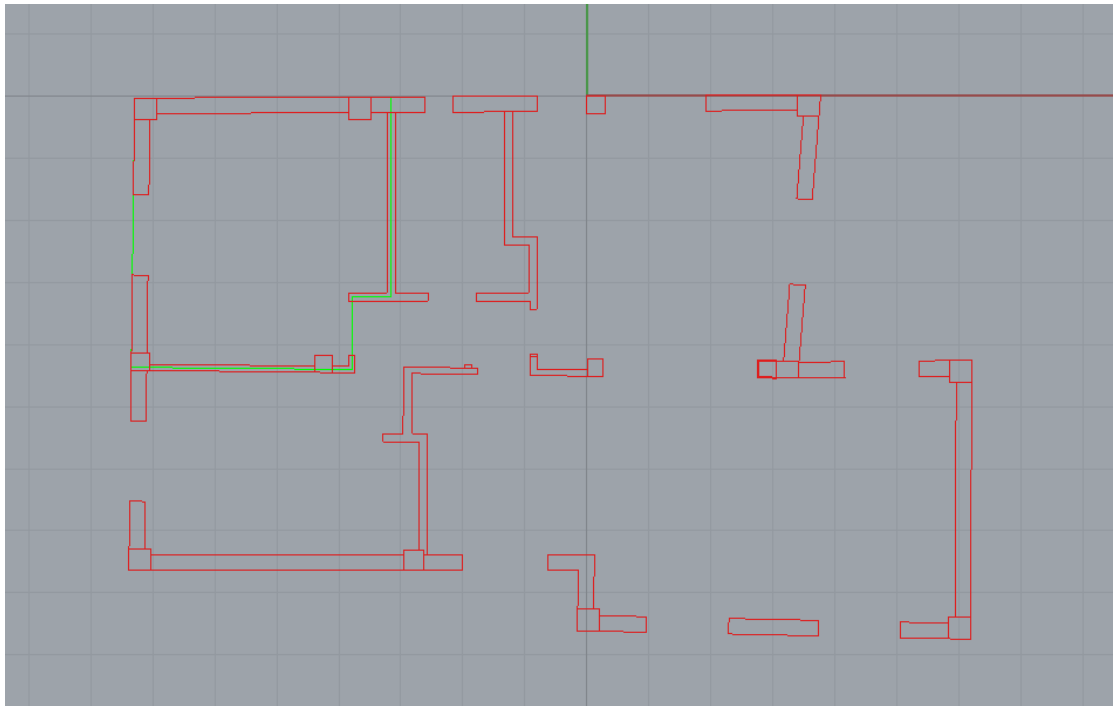
Εικόνα 11: Τελική γεωμετρία του κελύφους του κτιρίου.

## 6.3. Κατασκευή της 3D γεωμετρίας μοντέλου κτιρίου χωρισμένο σε δωμάτια από τις 2D κατόψεις:

Αν το ενεργειακό μοντέλο είναι ανά δωμάτιο ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα για τον κάθε χώρο ξεχωριστά (π.χ. κουζίνα, υπνοδωμάτιο κλπ) χρειάζεται εξ αρχής η γεωμετρία να χωριστεί σε διακριτές ζώνες. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω διαδικασία:

1. Εισάγονται οι κατόψεις από το AutoCAD όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.1 και επαναλαμβάνονται τα βήματα 1 με 5.

2. Με την εντολή *Polyline* και με βάση τις κατόψεις σχεδιάζεται το περίγραμμα των δωματίων. Οι εσωτερικοί τοίχοι χωρίζονται με βάση τη μέση γραμμή τους.

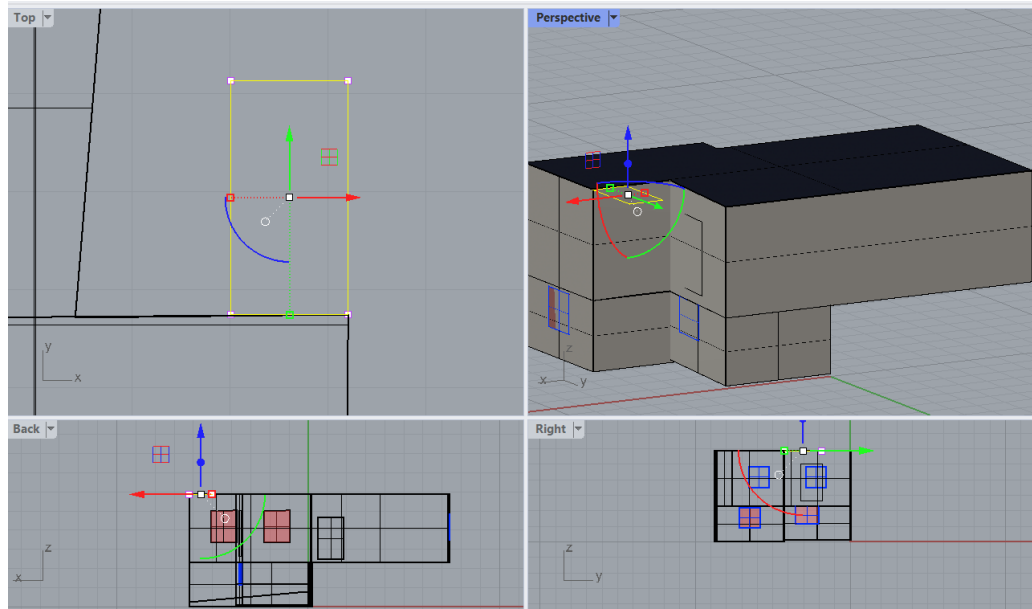


Εικόνα 12: Με κόκκινο η κάτοψη του AutoCAD με πράσινο το *polyline* που δημιουργήθηκε

3. Για να παραχθεί η 3D γεωμετρία ακολουθούνται τα βήματα 1-3 της παραγράφου 1.2. Σημείωση: καλό είναι το κάθε δωμάτιο να είναι σε διαφορετικό layer για τον καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας σχεδιασμού.
4. Επιλέγοντας όλους τους τοίχους του δωματίου, με την εντολή *Explode* να διαχωρίζεται η γεωμετρία σε ξεχωριστές επιφάνειες. Αυτό είναι απαραίτητο για τη συνέχεια καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν διαφορετικές οριακές συνθήκες και υλικά ανά επιφάνεια τοίχου μέσω του Grasshopper.
5. Με την εντολή *Join* ενώνονται όλες οι επιφάνειες των τοίχων του κάθε χώρου, που έχουν κοινά δομικά χαρακτηριστικά και ίδιες οριακές συνθήκες.

#### 6.4. Κατασκευή των παραθύρων του κτιρίου και των εισόδων:

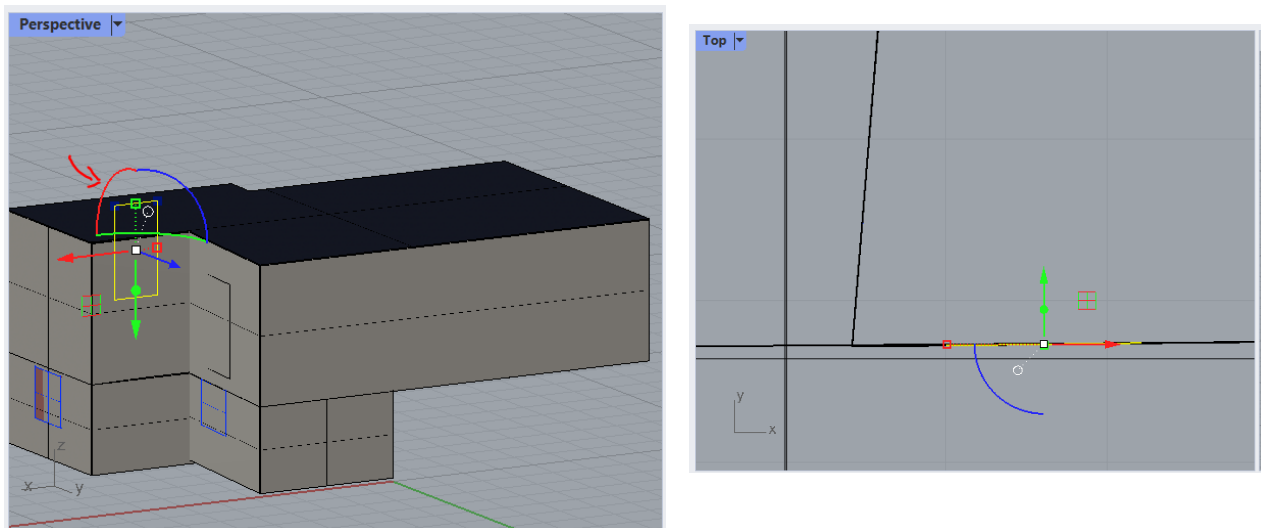
1. Στο Top view με polyline σχεδιάζεται το παράθυρο



Εικόνα 13: Σχεδιασμός παραθύρου

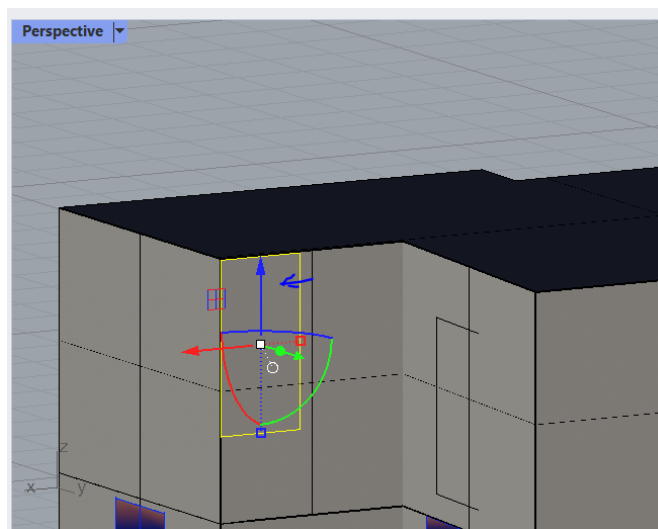
2. Περιστρέφεται το παραλληλόγραμμο ώστε να είναι παράλληλο με τον τοίχο, πατώντας στην κόκκινη καμπύλη των αξόνων. Έπειτα μετακινείται στη γωνία του τοίχου πατώντας πάνω στους αντίστοιχους άξονες και στη συνέχεια κάνοντας ένα κλικ στον μπλε (και στη συνέχεια στον κόκκινο) άξονα ορίζεται το ακριβές σημείο που βρίσκεται το παράθυρο, πληκτρολογώντας την απόσταση που έχει από το σημείο αναφοράς.



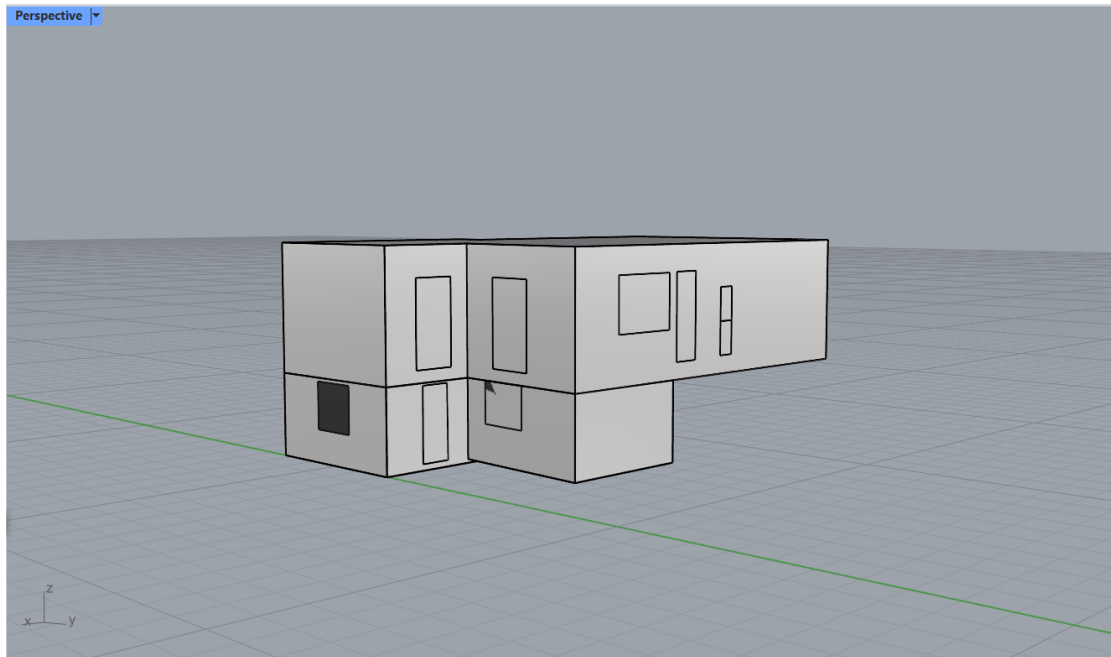


Εικόνα 14 Περιστροφή και μετακίνηση παραθύρου

3. Με την εντολή *Surface from planar curve* γίνεται η καμπύλη επιφάνεια και μετά διαγράφεται το curve. Ορίζεται το Layer της επιφάνειας αλλιώς κάθε καινούργιο σχέδιο πάει στο layer που είναι ενεργό.
4. Με την εντολή *Rotate 2D* μπορεί να περιστρέφει αν χρειάζεται το παράθυρο για να είναι εφαπτόμενο του τοίχου. Προσοχή: το αζιμούθιο της επιφάνειας του τοίχου και της επιφάνειας του παραθύρου πρέπει να διαφέρουν λιγότερο από  $90^\circ$ .
5. Ομοίως σχεδιάζονται και τα υπόλοιπα παράθυρα και οι πόρτες του κτιρίου.



Εικόνα 15! Εντολή *Rotate*



Εικόνα 16: Τελική γεωμετρία του κτιρίου με παράθυρα και πόρτες.

### 6.5. Κατασκευή των ρολών των παραθύρων του κτιρίου:

- 1 Για την κατασκευή των ρολών του κτιρίου ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία όπως και για τα παράθυρα και στη συνέχεια με την εντολή Split χωρίζεται ο τοίχος, ώστε τα ρολά να είναι μέρος του αλλά ξεχωριστή επιφάνεια για να οριστεί άλλο υλικό.

### 6. Αναλυτικές οδηγίες μοντελοποίησης ενεργειακού μοντέλου με Grasshopper.

Αφού κατασκευάστηκε η τρισδιάστατη γεωμετρία του κτιρίου στο Rhino χρειάζεται να συνδεθεί στο OS για να γίνει η προσομοίωση στο Energy Plus. Αυτό γίνεται μέσω του Grasshopper και συγκεκριμένα με το plug in Honeybee.

Το στήσιμο του ενεργειακού μοντέλου στο Honeybee παρουσιάζεται με βάση τη σειρά που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία η οποία είναι:

- Γενικό μοντέλο και σύνδεση στο OpenStudio.
- Σύνδεση κλιματικών δεδομένων.
- Σύνδεση της βασικής γεωμετρίας (τοίχοι, οροφή και δάπεδο) μεταξύ Rhino και HB και ορισμός οριακών συνθηκών.
- Ορισμός υλικών του κτιρίου.
- Σύνδεση των επιφανειών των παραθύρων μεταξύ Rhino και HB.
- Ορισμός των υλικών των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων.
- Σύνδεση των επιφανειών των ρολών μεταξύ Rhino και HB.

- Ορισμός των υλικών των ρολών.
- Σχεδιασμός και ορισμός των θερμογεφυρών.
- Προγράμματα των δωματίων.
- MVHR.
- Σύνδεση των παραμέτρων του Open Studio.
- Σύνδεση των διαγραμμάτων.

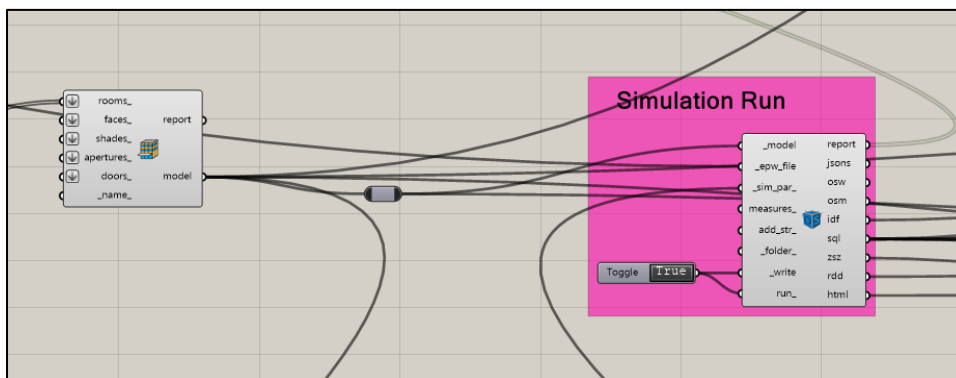
### 6.1. Βασική συνδεσμολογία μοντέλου για δυναμική ανάλυση σε OpenStudio.

#### Γενικό μοντέλο και σύνδεση στο OpenStudio.

Για να ξεκινήσει η μοντελοποίηση, συνίσταται να αρχίσει η διαδικασία «ανάποδα». Συνδέοντας δηλαδή πρώτα το κομμάτι που συνδέει το μοντέλο – γεωμετρία (*HB model*) με κομμάτι του OS (*HB model to OSM*).

Στο τελευταίο χρειάζεται να συνδεθούν ακόμα:

- Ένα *Boolean Toggle* στο write και το run ώστε να γράψει το Workflow του OS και να ξεκινήσει η προσομοίωση.
- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο (*LB DownloadEPW*).
- Οι παράμετροι της προσομοίωσης (*HB Simulation Parameter*).



Εικόνα 17: Βασική συνδεσμολογία μοντέλου.

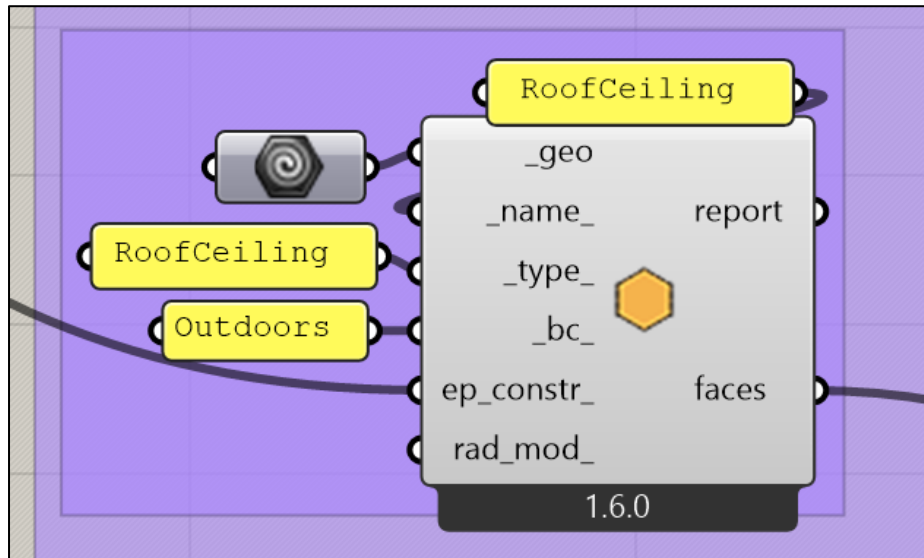
#### Σύνδεση κλιματικών δεδομένων:

Για να συνδεθούν τα κλιματικά δεδομένα αρκεί να επιλεγθεί η περιοχή που βρίσκεται το κτίριο και να εισαχθούν αυτές οι πληροφορίες στο HB με την παρακάτω συνδεσμολογία, εικόνα 18.



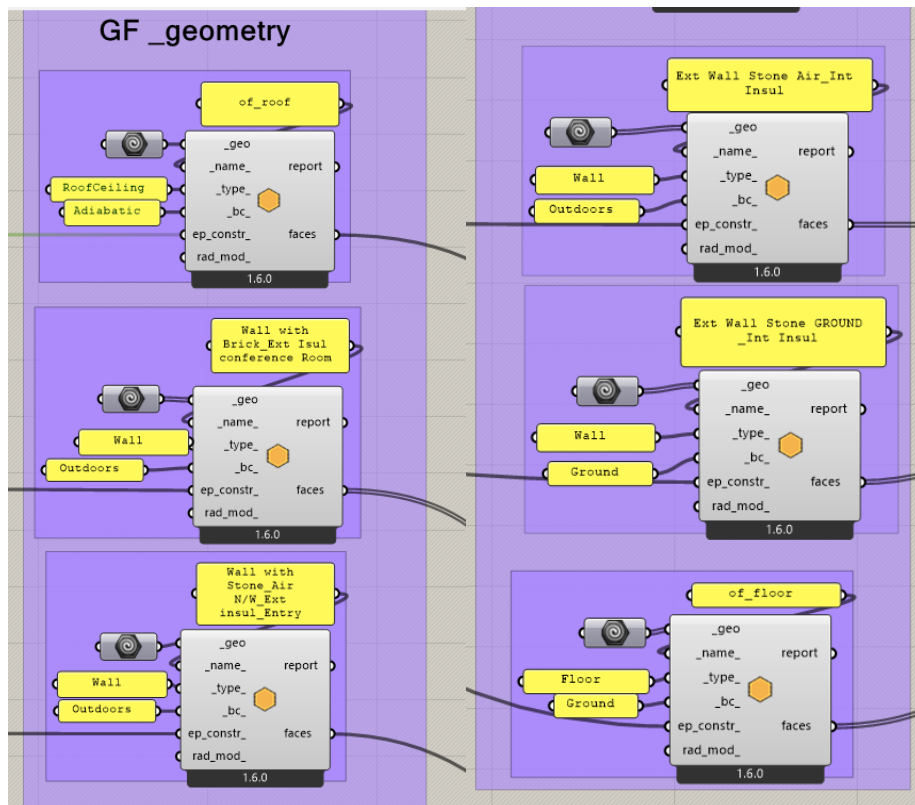
## 6.2. Σύνδεση της γεωμετρίας μεταξύ Rhino και HB και ορισμός οριακών συνθηκών.

Για να συνδεθεί η γεωμετρία που φτιάχτηκε στο Rhino στο HB αρκεί να οριστούν οι επιφάνειες με βάση το είδος τους (οροφή τοίχος εξωτερικός – εσωτερικός και δάπεδο) και την οριακή συνθήκη (εξωτερικό περιβάλλον, αδιαβατική επιφάνεια ή προς έδαφος). Αυτό γίνεται μέσω του εικονιδίου *HB Face*. Σε αυτό συνδέεται η γεωμετρία π.χ. η επιφάνεια της οροφής του δωματίου, ο τύπος της επιφάνειας πχ *RoofCeilling* και η οριακή συνθήκη π.χ. *Outdoors*. Στο ίδιο εικονίδιο θα συνδεθούν και τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένη η κάθε επιφάνεια όπως περιγράφεται παρακάτω.



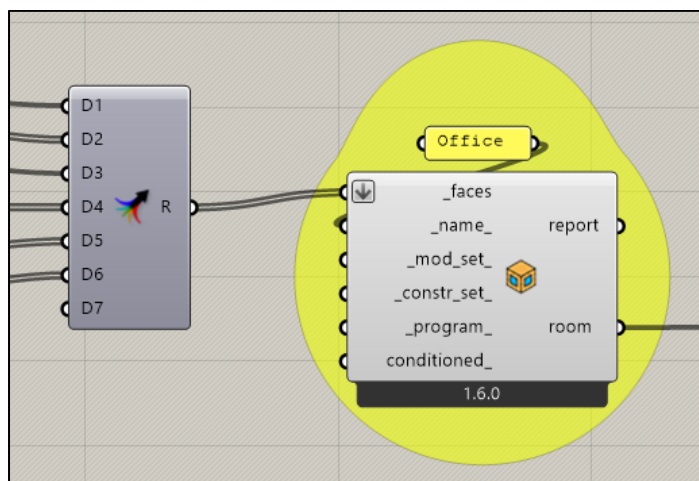
Εικόνα 20: Συνδεσμολογία εικονιδίου *HB Face*.

Η διαδικασία που περιγράφηκε επαναλαμβάνεται για όλα τα στοιχεία του κάθε δωματίου. Οι επιφάνειες που εισάγονται ανά εικονίδιο *HB Face* μπορούν να είναι παραπάνω από μία αρκεί να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Προσοχή οι εσωτερικοί τοίχοι πρέπει να οριστούν χωριστά από τους εξωτερικούς για να έχουν αδιαβατική οριακή συνθήκη.



Εικόνα 21: Παράδειγμα εισαγωγής της γεωμετρίας του γραφείου.

Στη συνέχεια όλες αυτές οι επιφάνειες πρέπει να συνδεθούν με ένα εικονίδιο *HB Room* ώστε να δημιουργηθούν τα δωμάτια που εν τέλει θα ενωθούν με το *HB model*, το οποίο ορίστηκε στην αρχή.

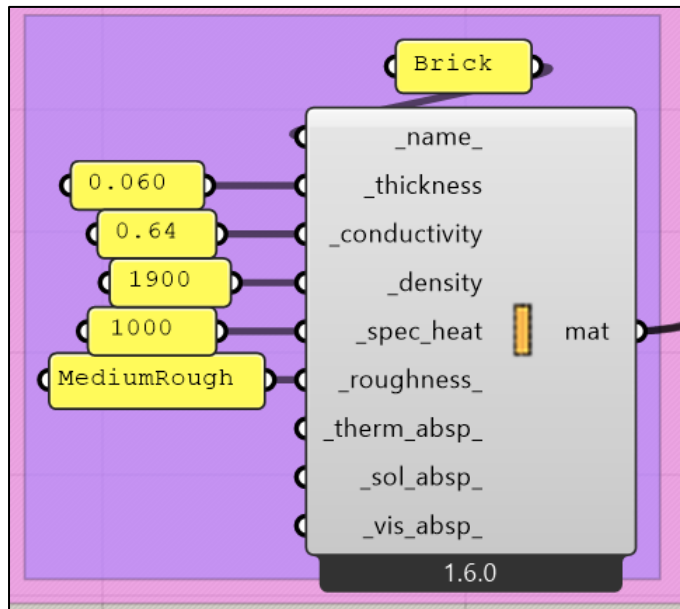


Εικόνα 22: Εικονίδιο HB Rooms

### Ορισμός υλικών του κτιρίου.

Πολύ βασικό σημείο της μοντελοποίησης ενός κτιρίου με τέτοια λογισμικά είναι ο ακριβής προσδιορισμός των υλικών της κατασκευής. Αν δεν οριστούν από τον χρήστη κάνει

υπολογισμούς με βάση δικά του πρότυπα κατασκευής τα οποία δεν είναι κοντά στα πρότυπα του παθητικού κτιρίου. Για να οριστεί ο τρόπος με τον οποίο είναι φτιαγμένο το κτίριο αρκεί να προσδιοριστούν τα υλικά και οι ιδιότητές τους. Αυτό γίνεται μέσω του εικονιδίου HB Opaque Material στο οποίο ορίζεται το όνομα του υλικού (π.χ. τούβλο), το πάχος, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$ , η πυκνότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα  $C_p$ . Όλα αυτά τα μεγέθη ορίστηκαν με βάση την TOTEE 20701-2/2010.

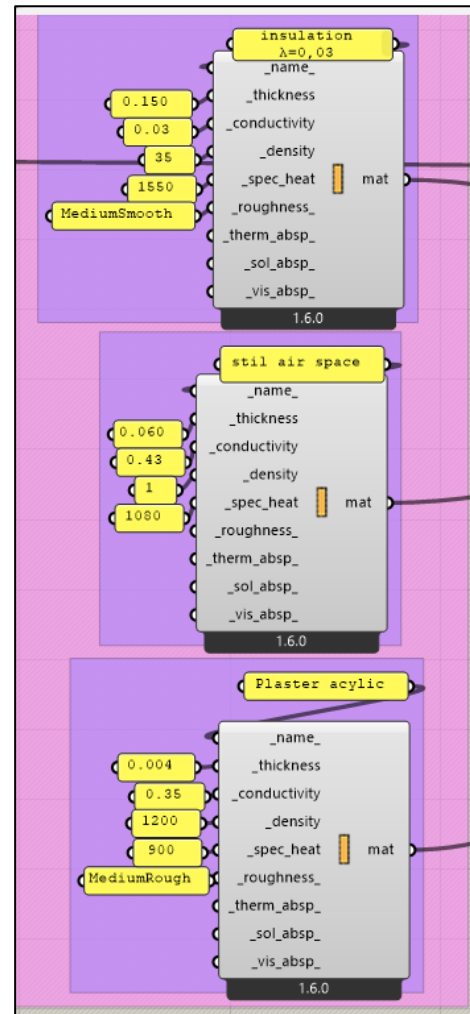
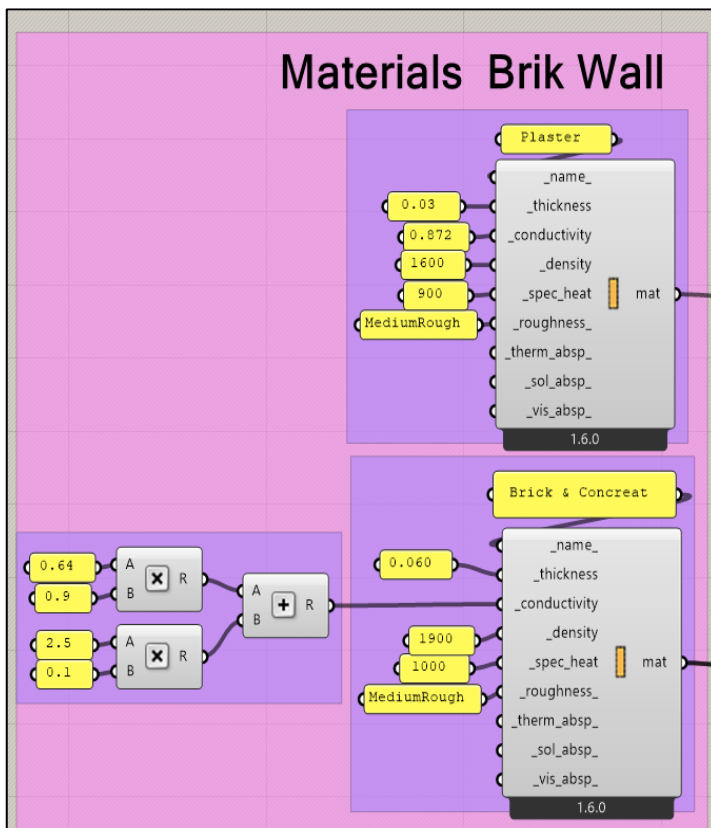


Εικόνα 23: Ορισμός υλικών π.χ. τούβλο.

Με αυτό τον τρόπο ορίζονται ένα ένα τα υλικά για κάθε στοιχείο με οδηγό τα υλικά που είχαν οριστεί στο Phrp.

Αριθμός δομικού στοιχείου	Περιγραφή δομικού στοιχείου	Εσωτερική μόνωση:				
01ud	Ext.wall_brick					
Αντίσταση της θερμικής μετάβασης [m <sup>2</sup> K/W]						
Προσανατολισμός δομικού στοιχείου: 2-Wand	εσωτερικός R <sub>si</sub> : 0.13					
Σε επαφή με: 1-Au?enluft	εξωτερικός R <sub>se</sub> : 0.04					
Τμήμα Επιφάνειας 1	$\lambda$ [W/(mK)]	Τμήμα Επιφάνειας 2 (προαιρετικό)	$\lambda$ [W/(mK)]	Τμήμα Επιφάνειας 3 (προαιρετικό)	$\lambda$ [W/(mK)]	Πάχος [mm]
interior plaster	0.872					30
perforated brick wall	0.640					60
still air space	0.430					80
perforated brick wall	0.640					60
exterior plaster	0.872					30
EXT. INSULATION	0.030					150
acrylic plaster	0.350					4
Ποσοστό τμήματος 1		Ποσοστό τμήματος 2		Ποσοστό τμήματος 3		Συνολικά
100%						<b>41.4</b> cm
Διάρθρωση Τιμής-U:			Τιμή-U: <b>0.178</b> W/(m <sup>2</sup> K)			

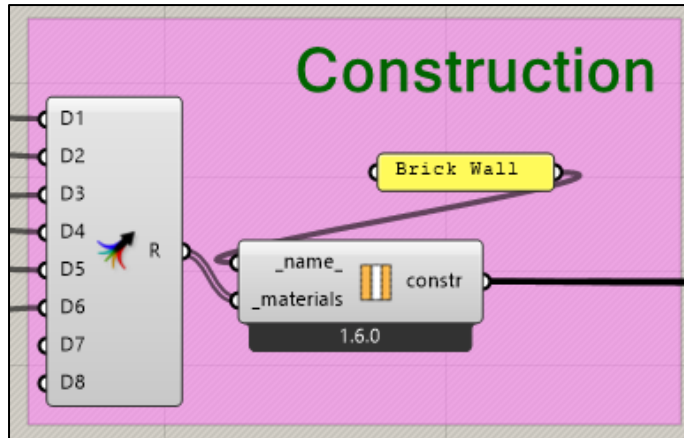
Εικόνα 24: Υλικά εξωτερικής τοιχοποιίας όπως είναι περασμένα στο Phrp



Εικόνα 25: Υλικά κατασκευής τοιχοποιίας

Τα υλικά πρέπει στο τέλος να συνδεθούν όλα μαζί, εικόνα 25, και να μπουν στο εικονίδιο *HB Opaque Construction* το οποίο στη συνέχεια συνδέεται στα *HB Face*.





Εικόνα 26: Εικονίδιο HB Opaque Construction

Η τοιχοποιία δεν αποτελείται μόνο από τούβλινους τοίχους αλλά και από τις μπετονένιες κολώνες. Για να προσομοιωθούν οι κολώνες που είναι από άλλο υλικό μπαίνουν στην τοιχοποιία μεταβάλλοντας το  $\lambda$  του τούβλου. Το οποίο θα είναι:

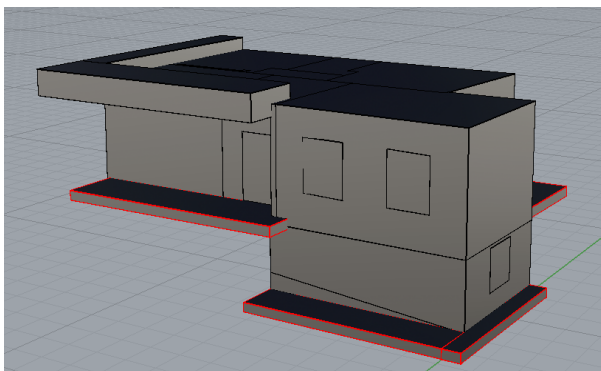
$$\lambda_{new} = \%_{brick}\lambda_{brick} + \%_{concrete}\lambda_{concrete}$$

Όπου τα ποσοστά βγαίνουν ανάλογα με το πόσο τοις εκατό, ο τοίχος αποτελείται από τούβλα και πόσο από μπετονένιες κολώνες. Στην παρούσα εργασία ορίστηκε 10% μπετόν.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε διαφορετικό δομικό στοιχείο κατασκευής που υπάρχει στο κτίριο και συνδέονται με τις αντίστοιχες επιφάνειες.

#### Θερμογέφυρες: κατασκευή και ορισμός υλικών

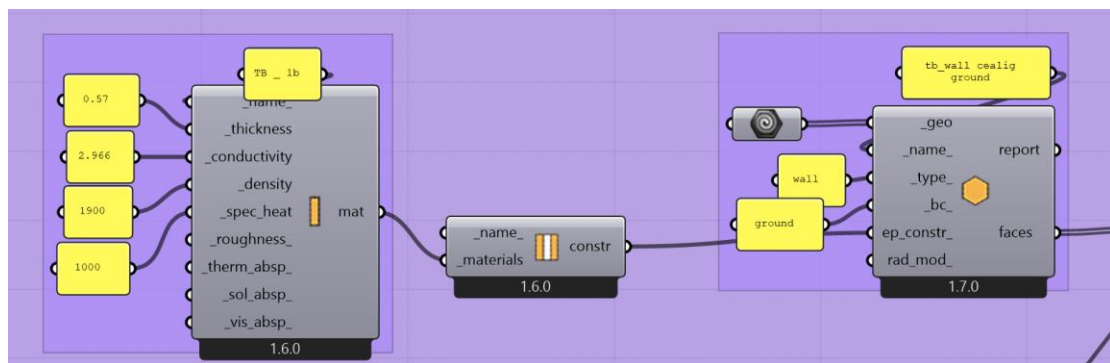
Για την κατασκευή των θερμογεφυρών αρχικά σχεδιάστηκε η 3D γεωμετρία τους στο Rhino με την εντολή *Box* όπως φαίνεται στην εικόνα 27.



Εικόνα 27: Σχεδιασμός θερμογεφυρών

Στη συνέχεια με την εντολή *Split* χωρίστηκε η επιφάνεια του τοίχου για να μείνει τελικά η επιφάνεια στην οποία θα οριστούν τα χαρακτηριστικά της θερμογέφυρας.

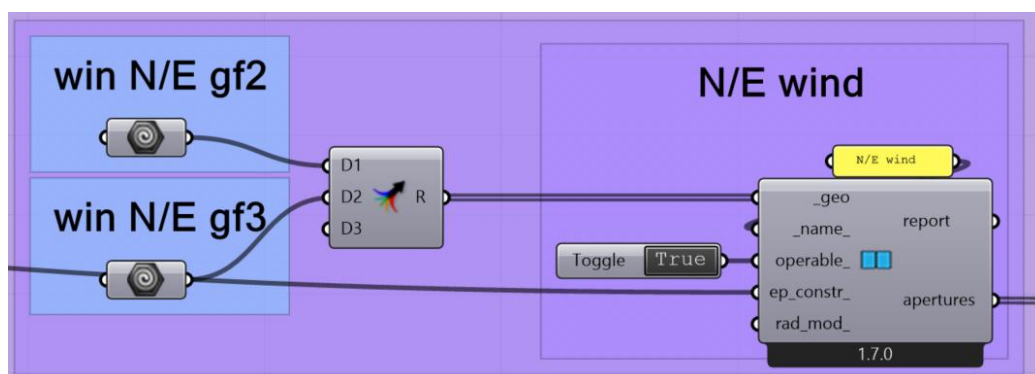
Στη συνέχεια αυτές οι νέες επιφάνειες περάστηκαν στην τοιχοποιία του δωματίου που αντιστοιχούσαν στο HB και όπως προηγουμένως ορίστηκαν τα υλικά τους με βάση τον πίνακα 3.



Εικόνα 28: Υλικά και επιφάνειες θερμογεφυρών στο HB

### Σύνδεση των επιφανειών των παραθύρων μεταξύ Rhino και HB.

Για τη σύνδεση των παραθύρων στο HB έγινε παρόμοια διαδικασία με αυτή που προαναφέρθηκε για τους τοίχους. Δηλαδή στο εικονίδιο *HB Apatures* συνδέεται η γεωμετρία που περιέχει το παράθυρο και ένα Boolean Toggle (True) στο operable για να υποδεικνύει ότι είναι ανοιγόμενο. Τα παράθυρα χωρίστηκαν ανάλογα με τα κουφώματά τους καθώς υπήρχαν 5 τύποι κουφωμάτων στο παθητικό.

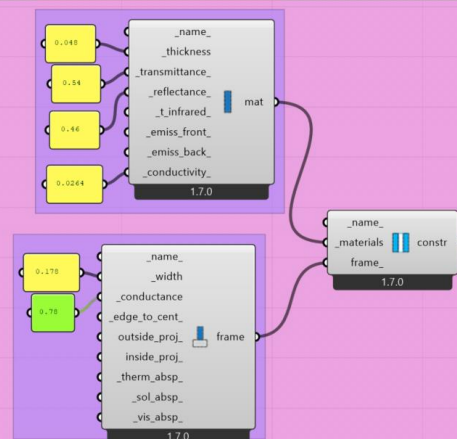


Εικόνα 26: Ορισμός παραθύρων στο HB

### Ορισμός των υλικών των υαλοπινάκων και των κουφωμάτων.

Για τον ορισμό των υλικών κατασκευής των κουφωμάτων και του υαλοπίνακα σε ένα εικονίδιο *HB Window Construction* συνδέεται ένα εικονίδιο *HB Glass Material* και ένα *HB Window Frame*. Στο πρώτο ορίζονται τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα: Πάχος = 0,048m, το  $g=0,54$  και το  $\lambda= 0,0264 \text{ W/mK}$  το οποίο προκύπτει από την σχέση:  $u_g = \frac{\lambda}{d}$ . Για το κούφωμα ανάλογα με την εταιρία ορίστηκαν διαφορετικές τιμές πάχους κουφώματος και *Uframe*.

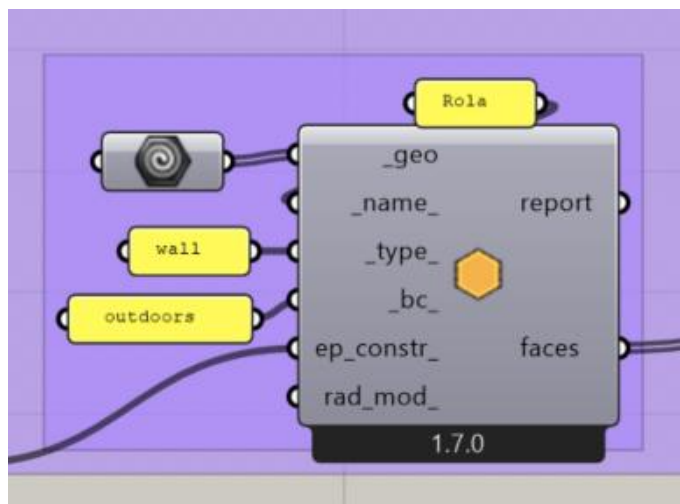
## HB wind constraction ud 13 ALUMIL S91



Εικόνα 29: Ορισμός χαρακτηριστικών κουφώματος και υαλοπίνακα.

### Σύνδεση των επιφανειών των ρολών μεταξύ Rhino και HB.

Αρχικά κατασκευάστηκαν τα ρολά πάνω από τα αντίστοιχα παράθυρα με ύψος 0.25 m ως curves και με την εντολή *Surface from planar curve* έγιναν επιφάνειες. Στη συνέχεια με την εντολή *Split* κόπηκαν οι επιφάνειες των τοίχων με βάση τα περιγράμματα των ρολών ώστε τα ρολά να είναι κομμάτι τους. Στη συνέχεια ορίστηκαν ως κομμάτι τοίχου στην αρχική γεωμετρία των δωματίων όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Αυτό έγινε γιατί τα ρολά είναι επικαθήμενα στα κουφώματα και έπρεπε να αποδοθεί η αλλαγή των υλικών μεταξύ του τοίχου και των ρολών.



Εικόνα 30: Εισαγωγή ρολών στο HB.

### Ορισμός των υλικών των ρολών.

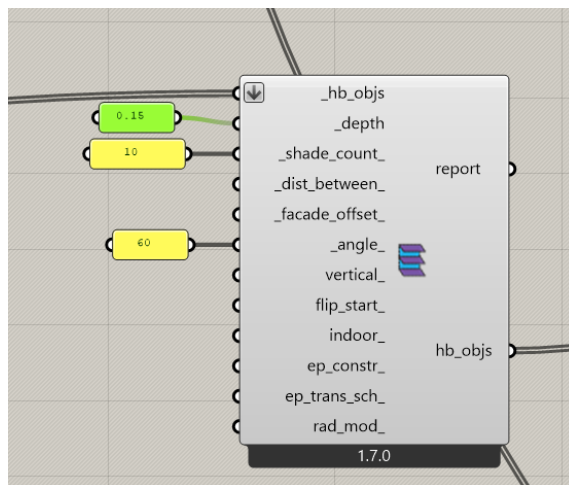
Για τον ορισμό του υλικού του ρολού θεωρήθηκε ότι είναι μεταλλικό με εσωτερική μόνωση 5 cm με  $\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ . Έτσι υπολογίστηκε το συνολικό  $\lambda$  ως  $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ .



Εικόνα 31: Ορισμός υλικού ρολών.

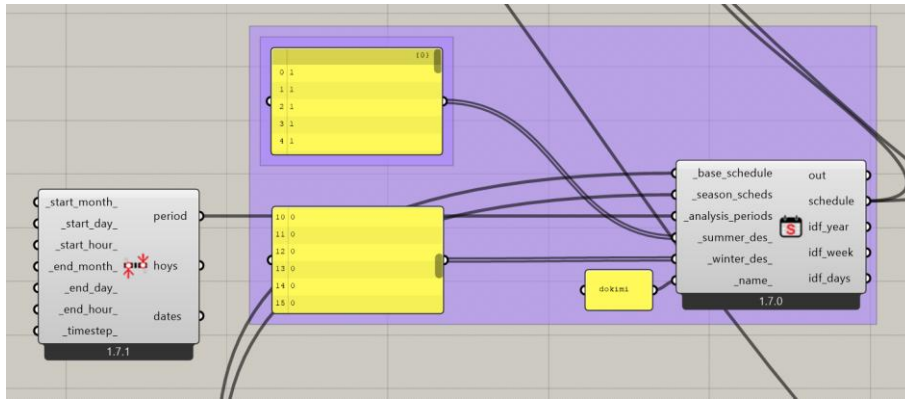
### Ορισμός Σκιάστρων και υλικών τους:

Τα σκιάστρα με το εικονίδιο *HB Louver Shades* με 15 cm πλάτος και 0,079 το πάχος της γρίλιας, 10 γρίλιες σύνολο με κλίση 60°.

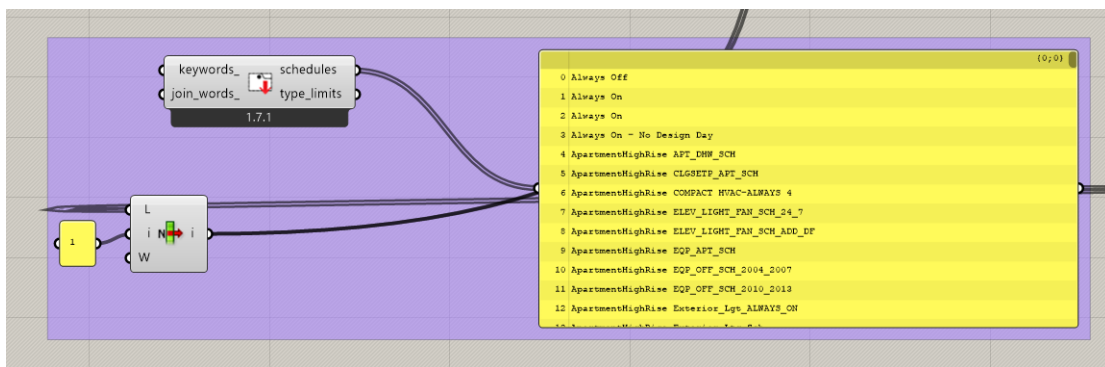


Εικόνα 32: Ορισμός σκιάστρων.

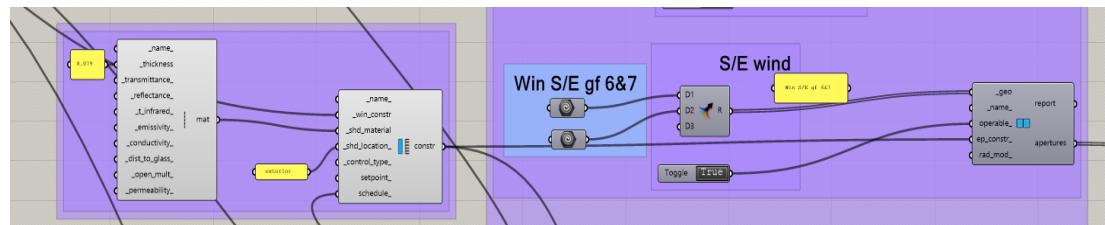
Στη συνέχεια ορίστηκε το πρόγραμμα που θα έχουν, δηλαδή πότε θα ανοίγουν και πότε θα κλείνουν. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 34 τοποθετήθηκε ως Base program -> Always on ενώ το καλοκαίρι θα είναι συνέχεια κλειστά και τον χειμώνα συνεχώς ανοιχτά. Τα οποία στη συνέχεια συνδέονται με τα παράθυρα όπως φαίνεται στην εικόνα 35.



Εικόνα 33: πρόγραμμα σκιάστρων

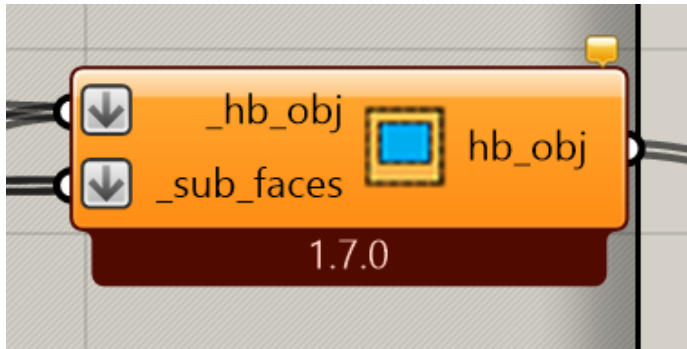


Εικόνα 34: Base program

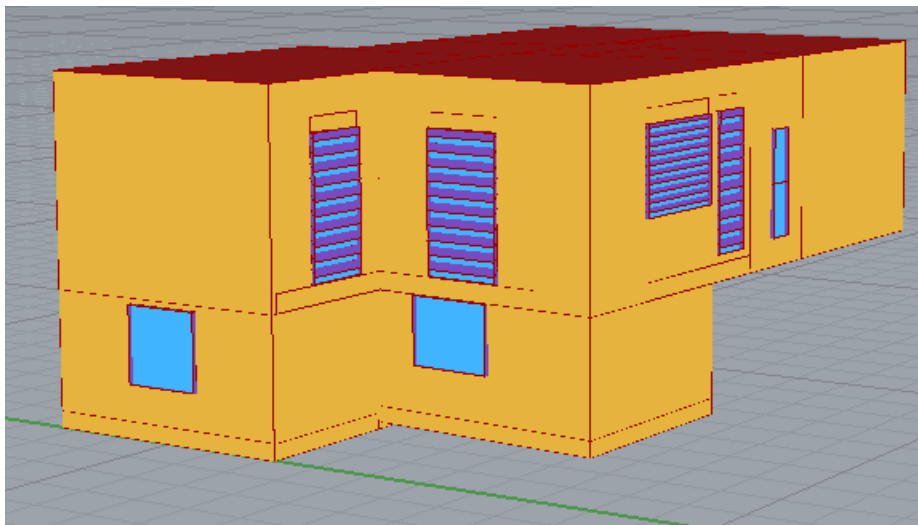


Εικόνα 35: Σύνδεση προγράμματος ρολού και υλικών του με τα κουφώματα.

Για να συνδεθούν οι επιφάνειες των τοίχων με τις επιφάνειες των παραθύρων χρησιμοποιείται το HB Add Surfaces.



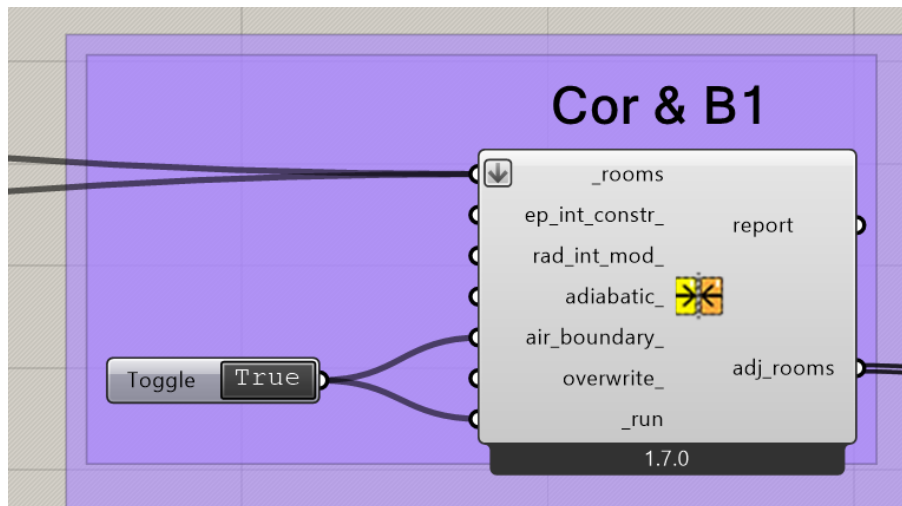
Εικόνα 36: HB Add Surfaces



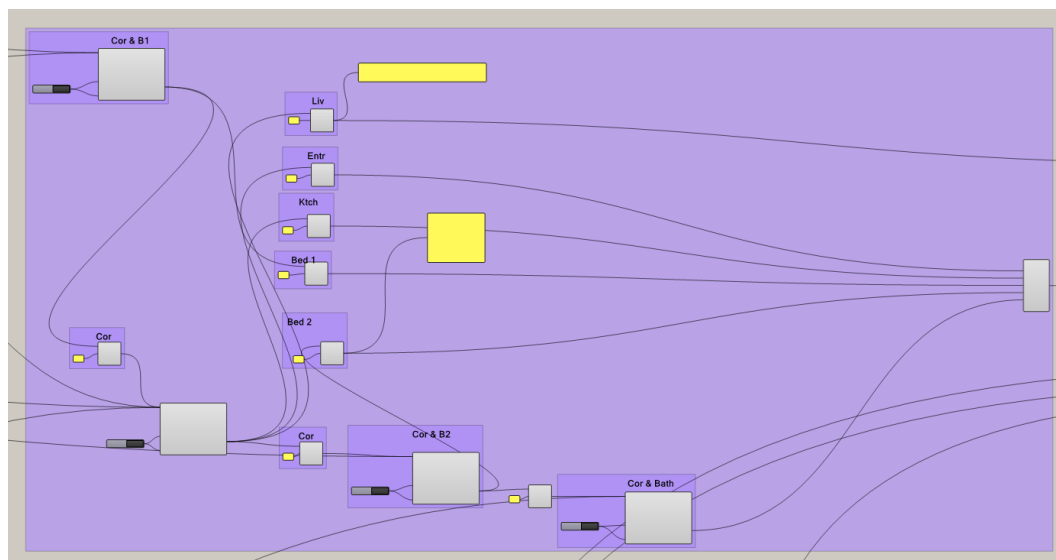
Εικόνα 37: Συνολική εικόνα της γεωμετρίας που ορίστηκε στο HB.

#### Εσωτερικοί τοίχοι που είναι Air Boundary:

Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί όλη η γεωμετρία, εικόνα 37, και χρειάζεται να οριστούν ποιοι από τους εσωτερικούς τοίχους επικοινωνούν. Στο συγκεκριμένο σπίτι το σαλόνι με την κουζίνα είναι ένα ενιαίος χώρος και ο διάδρομος επικοινωνεί με όλα τα δωμάτια. Για να οριστεί ένα Air Boundary χρησιμοποιείται το εικονίδιο *HB Solve Adjacency* στο οποίο συνδέονται όσα δωμάτια επικοινωνούν μεταξύ τους και με ένα *Boolean Toggle* ορίζεται το Air Boundary, εικόνα 38. Προσοχή να μην συνδεθούν στο ίδιο *HB Solve Adjacency* δωμάτια που οι άλλες τους επιφάνειες είναι μεταξύ τους αδιαβατικές.



Εικόνα 38: HB Solve Adjacency



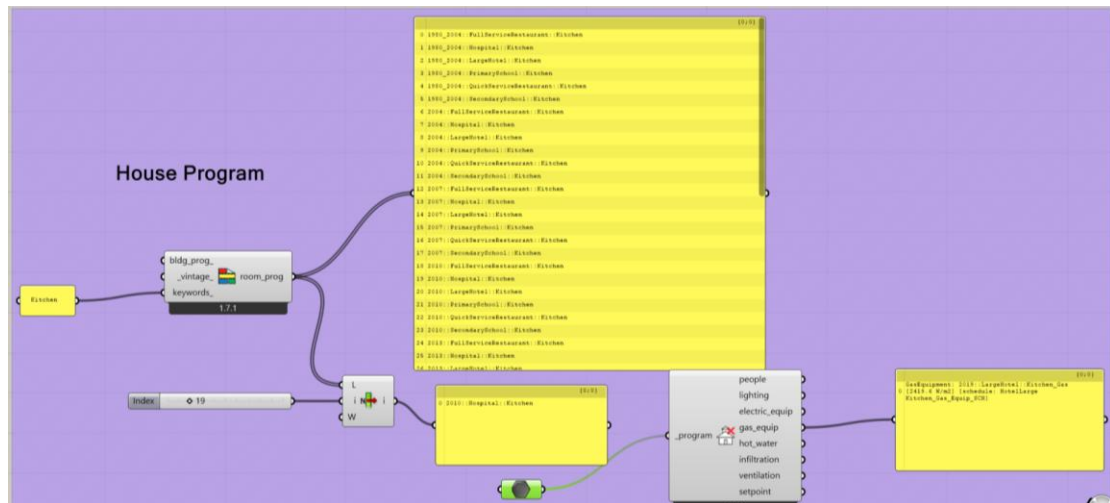
Εικόνα 39: Συνολική εικόνα ώστε να οριστούν όλα τα Air Boundaries

### 6.1. Σύνδεση των HVAC, των προγραμμάτων και των παραμέτρων του κάθε χώρου.

#### Ορισμός προγραμμάτων χρήσης των δωματίων:

Για κάθε δωμάτιο είναι απαραίτητο να οριστεί το πρόγραμμα λειτουργίας του καθώς και οι συσκευές που υπάρχουν ώστε να υπολογιστούν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη. Για να γίνει αυτό υπάρχουν δύο τρόποι είτε να μπουν σε κάθε δωμάτιο ξεχωριστά είτε όλα μαζί σε όλο το σπίτι. Στην παρούσα εργασία έγινε ένας συνδυασμός. Σε κάθε δωμάτιο του κτιρίου με το εικονίδιο *HB Program Type* ορίζεται το βασικό πρόγραμμα το οποίο περιέχει κάποιες προκαθορισμένες ρυθμίσεις. Πάνω σε αυτό θα προστεθούν οι συγκεκριμένες απαιτήσεις που θέλει ο χρήστης. Το HB έχει προκαθορισμένα προγράμματα στις βιβλιοθήκες του τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Με το εικονίδιο *HB Search Programs* και με λέξεις

κλειδιά π.χ. kitchen φορτώνονται όλα τα διαθέσιμα προγράμματα που μπορούν να οριστούν στην κουζίνα, Εικόνα 40.

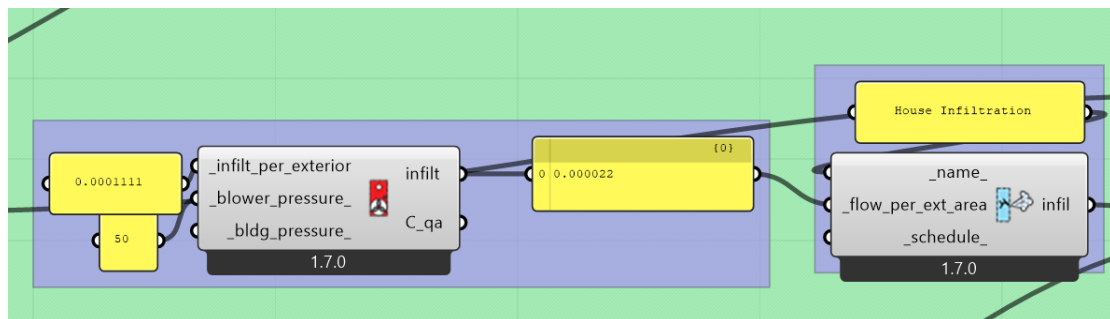


Εικόνα 40: Βιβλιοθήκη προγραμμάτων HB.

Στη συνέχεια πρέπει να ορίσει ο χρήστης ότι θέλει να είναι διαφορετικό από αυτά που θέτει το βασικό πρόγραμμα που επιλέχθηκε.

**Στη συγκεκριμένη μελέτη ορίστηκαν ανά δωμάτιο:**

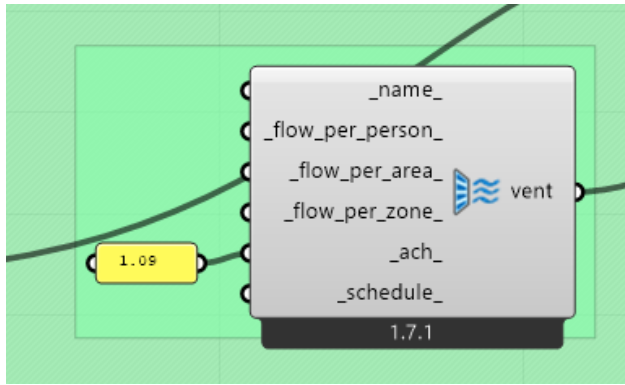
Οι εναλλαγές αέρα λόγω διήθησης με το *HB Infiltration*, εικόνα 41.



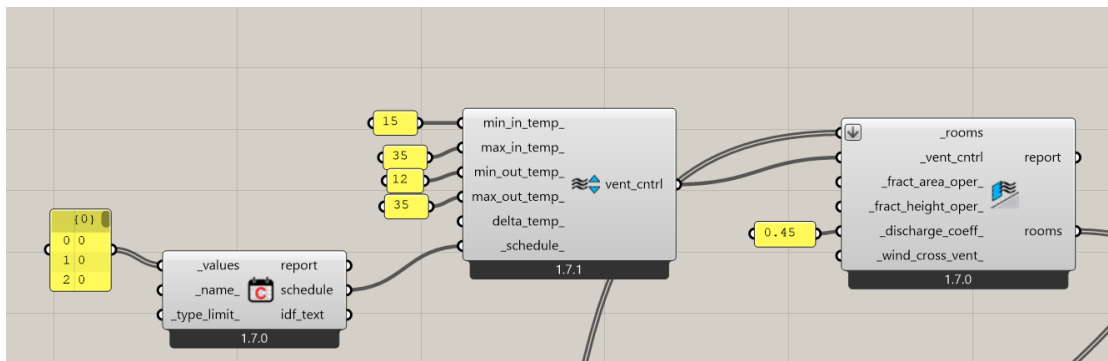
Εικόνα 41: Εισαγωγή της αεροστεγανότητας στο HB

Οι εναλλαγές αέρα του μηχανικού αερισμού με το *HB ventilation*, εικόνα 42. Για το παθητικό ορίστηκαν οι παροχές ανά δωμάτιο ενώ για το συμβατικό η συνολική παροχή μηχανικού αερισμού ήταν ίση με 0 και θεωρήθηκε ότι η ανανέωση του αέρα γίνεται μέσω παραθύρων με το *HB Window opening*, εικόνα 43.



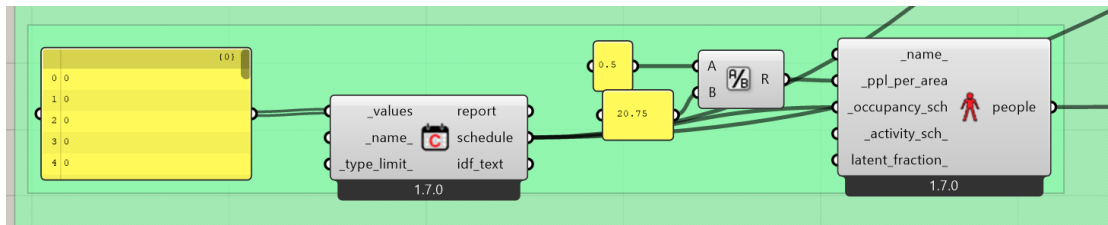


Εικόνα 42: Εισαγωγή παροχής μηχανικού αερισμού.



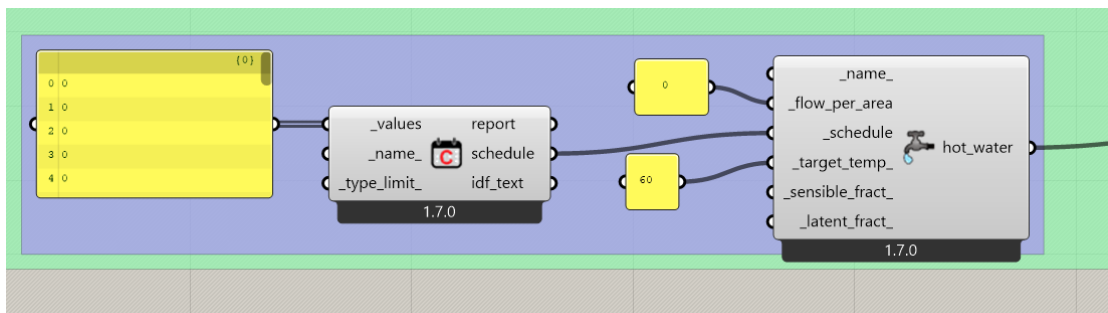
Εικόνα 43: Άνοιγμα παραθύρων στο συμβατικό.

Οι άνθρωποι ανά δωμάτιο και οι ώρες που βρίσκονται εκεί με το *HB People*, εικόνα 44.



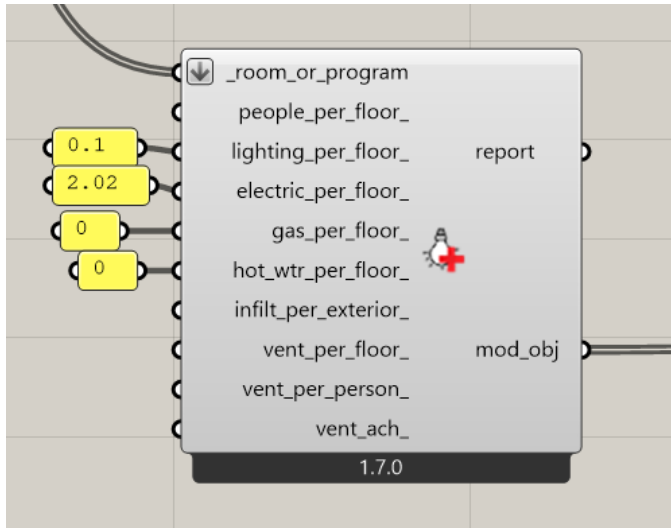
Εικόνα 44: Άνθρωποι ανά δωμάτιο και ποιες ώρες είναι εκεί HB.

Ζεστό νερό χρήσης με το *HB Service hot water*, εικόνα 45.

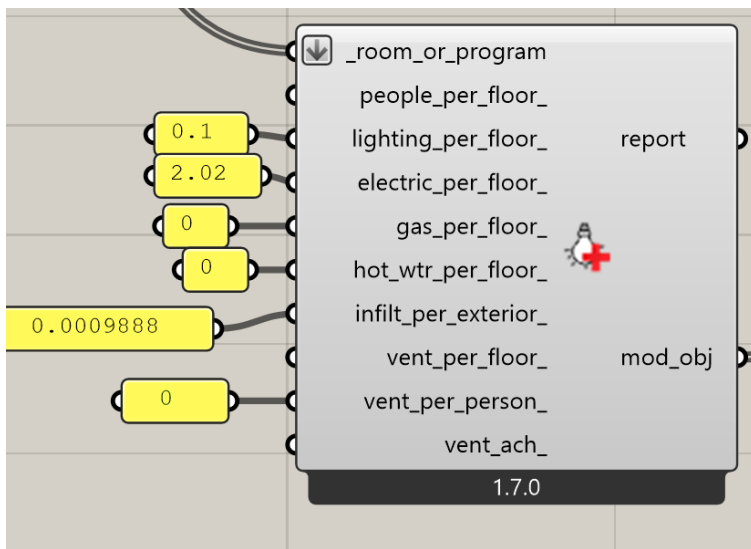


Εικόνα 45: Ζεστό νερό χρήσης HB.

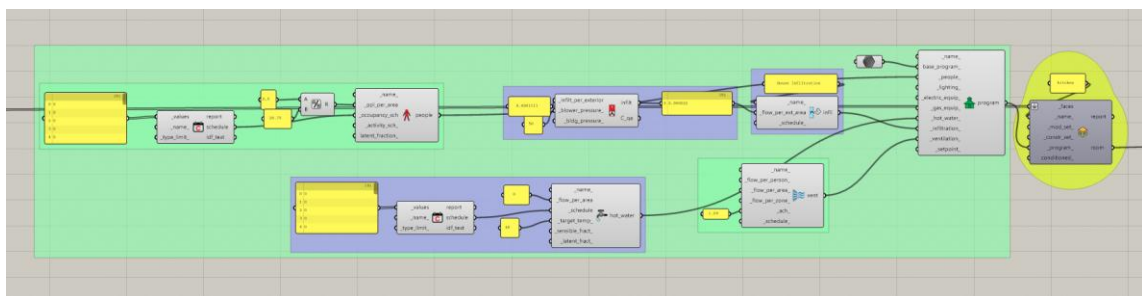
Και τα υπόλοιπα, δηλαδή τα ηλεκτρικά φορτία, ορίστηκαν σε όλα τα δωμάτια μαζί με το *HB Apply load values*, εικόνα 46.



Εικόνα 46: Ηλεκτρικά φορτία HB για το παθητικό.



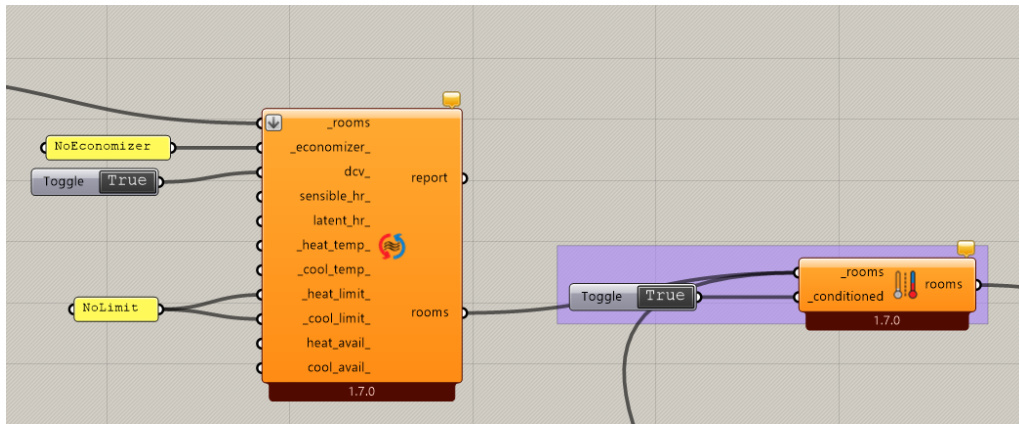
Εικόνα 47: Φορτία HB για το συμβατικό.



Εικόνα 48: Γενική εικόνα προγράμματος της κουζίνας.

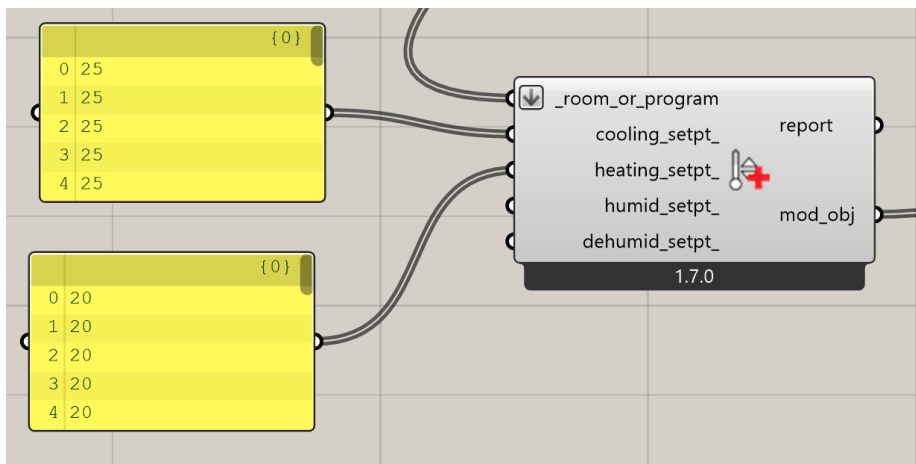
**Ορισμός κλιματιστικών, μηχανήματος αερισμού για το παθητικό και παραθύρων για το συμβατικό.**

Το κλιματιστικό και το μηχάνημα αερισμού ορίστηκε με το εικονίδιο *HB IdealAir* χωρίς ανάκτηση θερμότητας και χωρίς όριο παραγόμενης ισχύος για ψύξη και θέρμανση. Σε αυτό συνδέθηκαν όσα δωμάτια διέθεταν κλιματιστικό, δηλαδή το γραφείο και το σαλόνι και ακολούθως συνδέθηκε με το *HB Set condition*. Τα υπόλοιπα δωμάτια συνδέθηκαν κατευθείαν στο *HB Set condition* με ένα Boolean Toggle στο False.



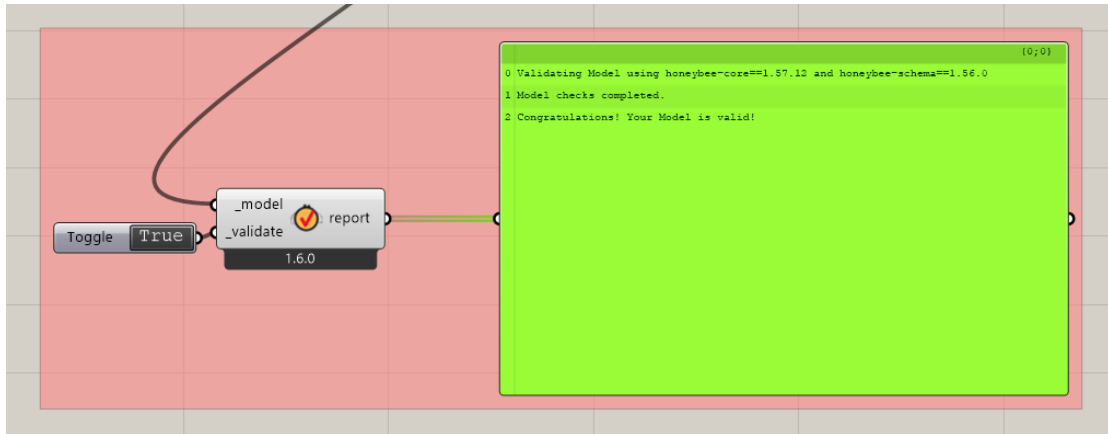
Εικόνα 49: *HB IdealAir* & *HB Set condition*

Τέλος συνδέθηκε ένας θερμοστάτης ώστε τα κλιματιστικά να δουλεύουν με σκοπό η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα, χωρίς την ακτινοβολία από τα οικοδομικά στοιχεία να είναι 20°C τον χειμώνα και 25°C το καλοκαίρι. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν με βάση τα κριτήρια που θέτει το PHPP για την πιστοποίηση των παθητικών κτιρίων. Τα set points ορίζονται με το *HB Apply Set points values* σε όλα τα δωμάτια συνολικά, εικόνα 50.



Εικόνα 50: *HB Apply Set points values*

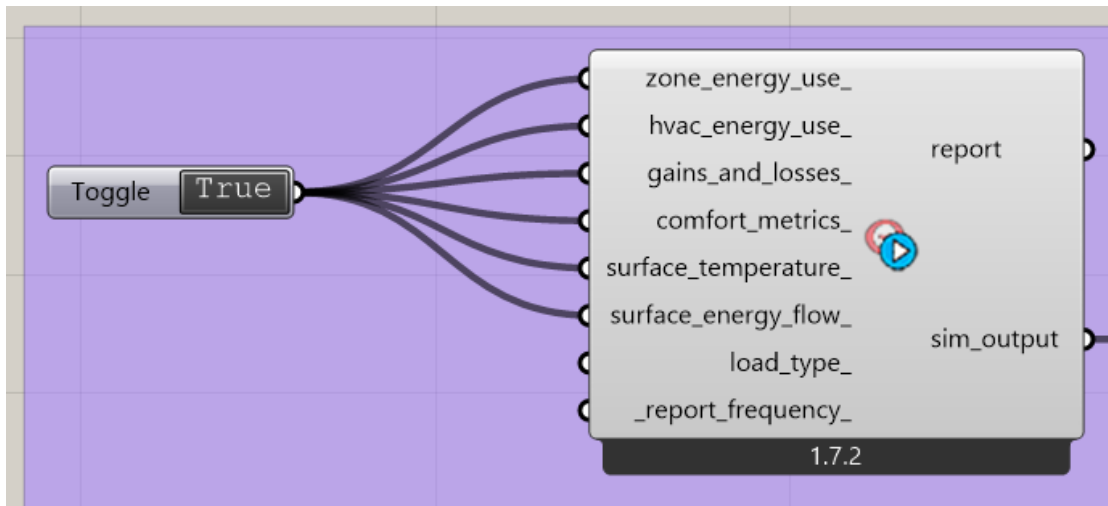
Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί το μοντέλο και μένει να συνδεθούν οι παράμετροι που αφορούν το PS. Αν ο χρήστης θέλει να ελέγξει το μοντέλο πριν το τρέξει αυτό γίνεται με το εικονίδιο *HB Validate Model*, εικόνα 51.



Εικόνα 51: HB Validate Model

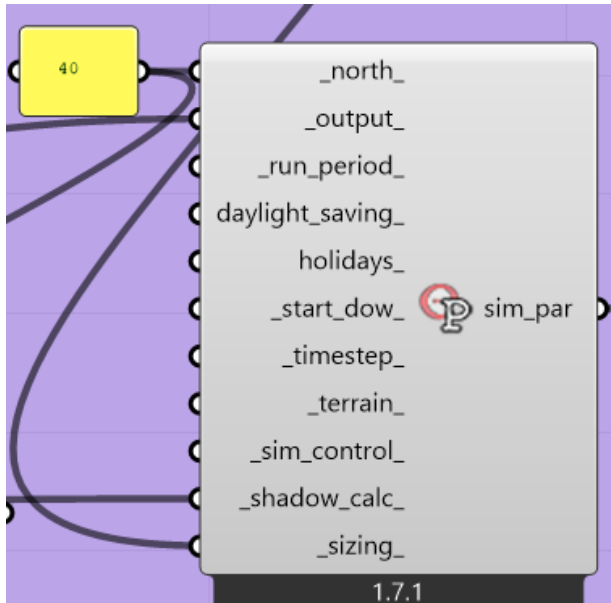
## 6.2. Σύνδεση των παραμέτρων του Open Studio.

Για να τρέξει η προσομοίωση χρειάζεται να οριστούν τα outputs θα δώσει με το *HB Simulation Outputs*, εικόνα 52.

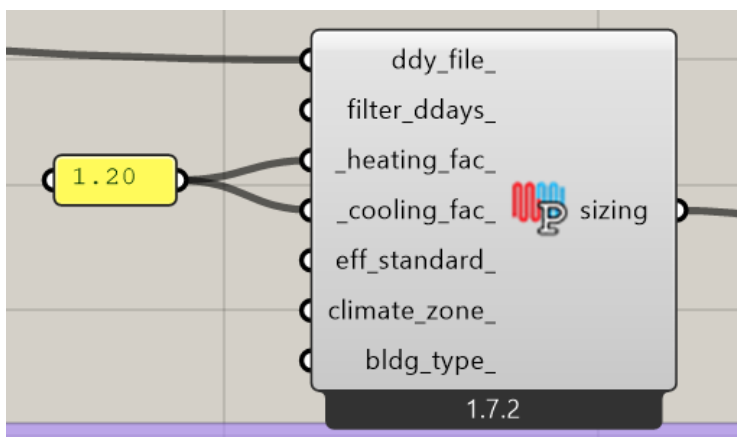


Εικόνα 52: HB Simulation Outputs

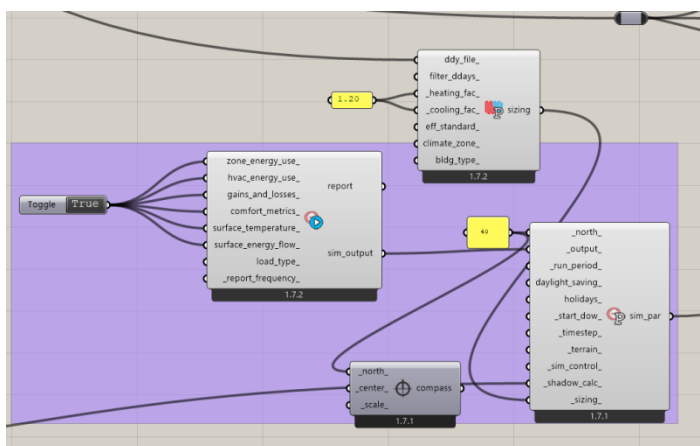
Το οποίο συνδέεται στο *HB Simulation parameters*, εικόνα 53. Στο ίδιο ορίζεται και η απόκλιση του κτιρίου από τον βορρά και συνδέεται και το *HB Sizing parameter* που ορίζει τη διαστασιολόγηση των συσκευών ψύξης και θέρμανσης, εικόνα 54.



Εικόνα 53: HB Simulation parameters



Εικόνα 54: HB Sizing parameter

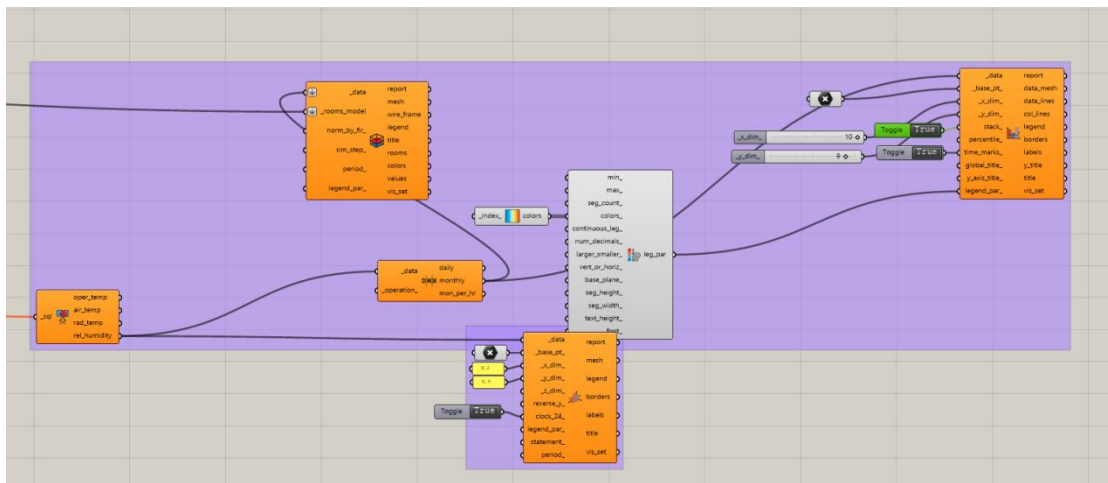


Εικόνα 55: Συνολική εικόνα για τις παραμέτρους του OS.

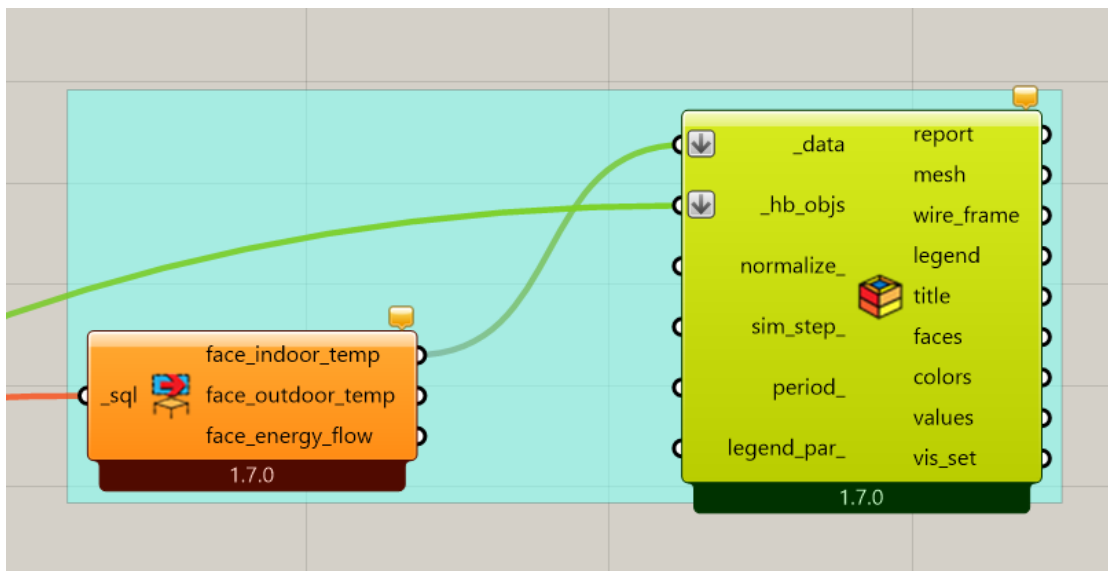
Πλέον η προσομοίωση μπορεί να τρέξει πατώντας το True στο Run.

### 6.3. Σύνδεση των κατάλληλων εργαλείων για την αποτύπωση των διαγραμμάτων.

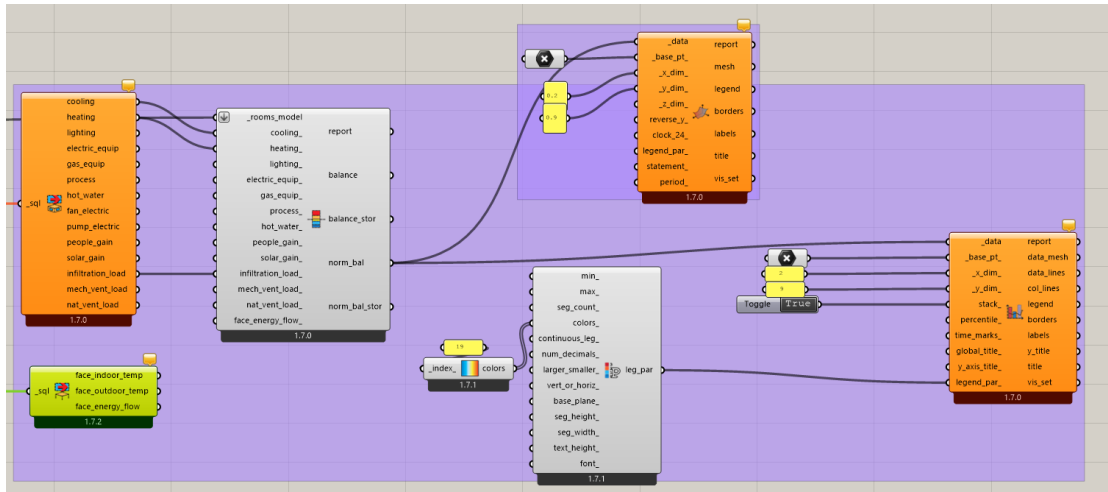
Για να παραχθούν διαγράμματα θερμικής άνεσης συνδέεται το sql file path που δίνει το OS με το εικονίδιο *HB Read comfort results*. Το τελευταίο, ανάλογα με το είδος του διαγράμματος, μπορεί να συνδεθεί στο LB Hourly plot για ωριαία αποτελέσματα, στο LB Monthly chart για μηνιαία αποτελέσματα ή στο HB Color rooms για αποτελέσματα ανά δωμάτιο, εικόνα 56. Για τα διαγράμματα με τις θερμοκρασίες των επιφανειών συνδέεται πάλι το sql file path με το HB read face results και αυτό με το HB color faces, εικόνα 57. Τέλος για τα διαγράμματα με τα εσωτερικά φορτία συνδέεται το sql με το HB read room energy results και στην συνέχεια με το HB thermal load balance και το norm balance που δίνει με το είδος του διαγράμματος που επιθυμεί ο χρήστης, εικόνα 58.



Εικόνα 56: Διαγράμματα αποτελεσμάτων θερμικής άνεσης.



Εικόνα 57: Διάγραμμα θερμοκρασιών επιφανειών.



Εικόνα 56: Διαγράμματα ενεργειακών αποτελεσμάτων.

## 7. Αποτελέσματα μοντελοποίησης

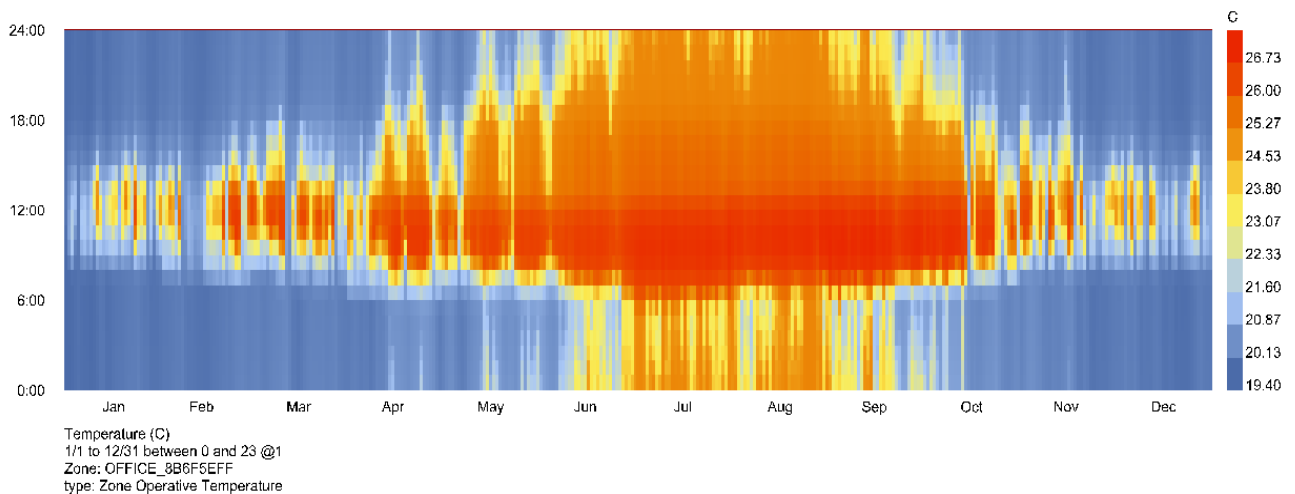
### 7.1. Μοντελοποίηση θερμικής άνεσης στο νέο και το παλιό κτίριο και σύγκληση των παρατηρήσεων.

Αρχικά έγινε η δυναμική ανάλυση για το παθητικό κτίριο και ακολούθως για το συμβατικό και αποτυπώθηκαν τα διαγράμματα για την εσωτερική αισθητή θερμοκρασία του αέρα, δηλαδή τη θερμοκρασία του αέρα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας των δομικών στοιχείων. Έπειτα απεικονίστηκε η μέση ετήσια θερμοκρασία των δομικών στοιχείων και για τις δύο περιπτώσεις.

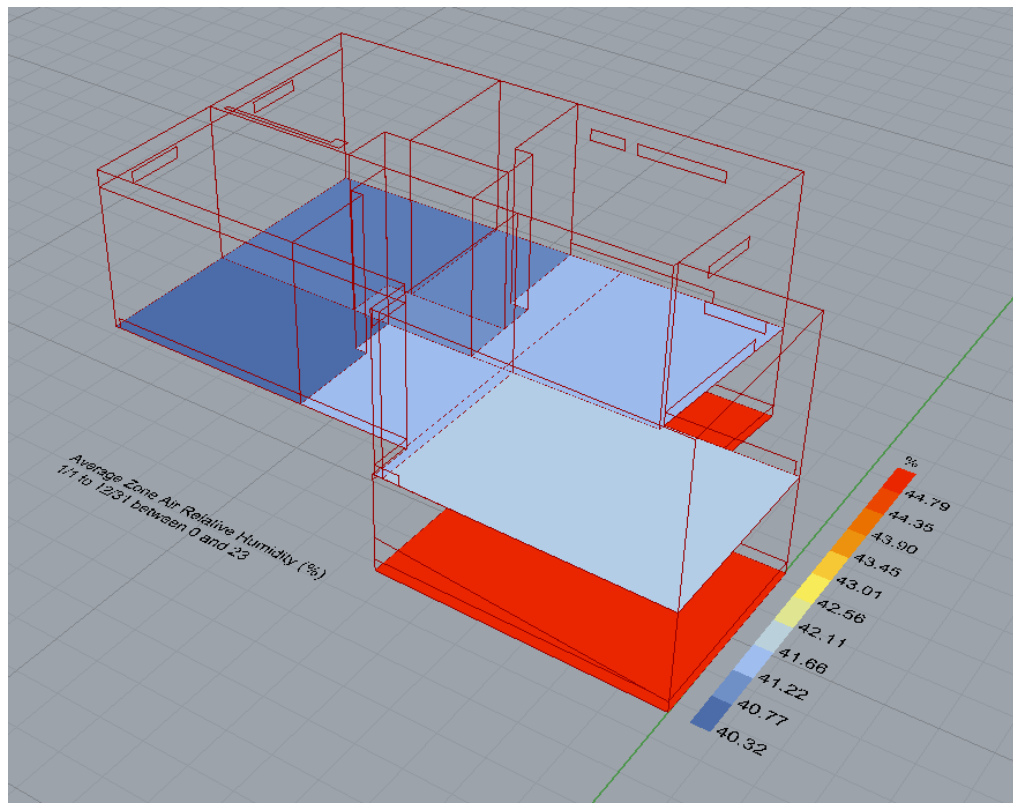
#### 6.1.1 Αποτελέσματα θερμικής άνεσης στο νέο παθητικό κτίριο.

##### Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα (operative) ανά δωμάτιο:

Γραφείο:



Διάγραμμα 1: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στο Γραφείο

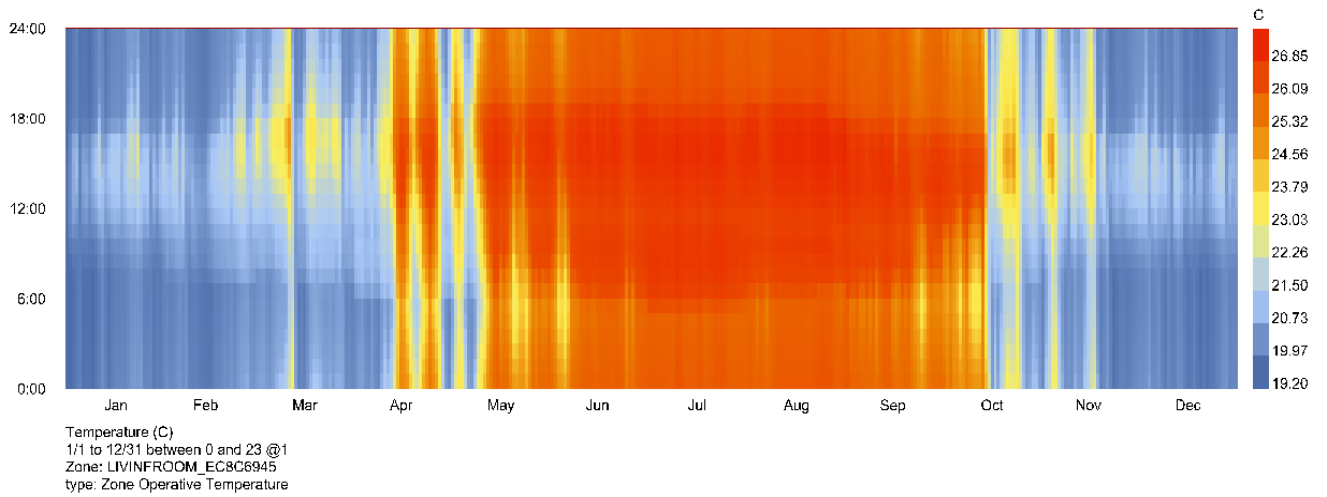


**Διάγραμμα 2: Μέση υγρασία των χώρων για όλο το έτος.**

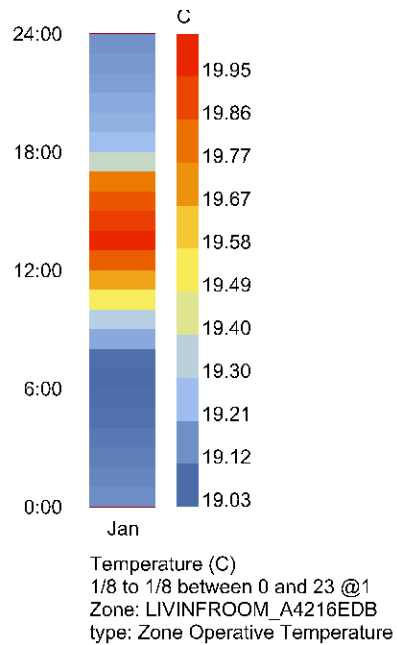
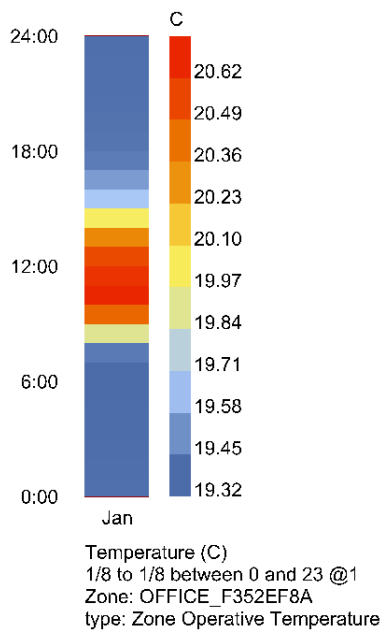
Το διάγραμμα 1 απεικονίζει την εσωτερική θερμοκρασία του γραφείου η οποία όλο τον χρόνο κυμαίνεται από 19.40° έως 26.73° C και το διάγραμμα 2 τη μέση σχετική υγρασία του χώρου η οποία είναι 45%. Παρατηρείται ότι είναι μέσα στα όρια της θερμικής άνεσης η οποία ορίζεται από 20°C το χειμώνα και 25°C το καλοκαίρι και 35- 55% σχετική υγρασία. Ακόμα είναι φανερή η αύξηση της θερμοκρασίας τις ώρες που το γραφείο είναι λειτουργικό και έχει μέσα κόσμο, δηλαδή από τις 8:00-18:00, σε σχέση με τις ώρες που δεν είναι.

Σαλόνι:

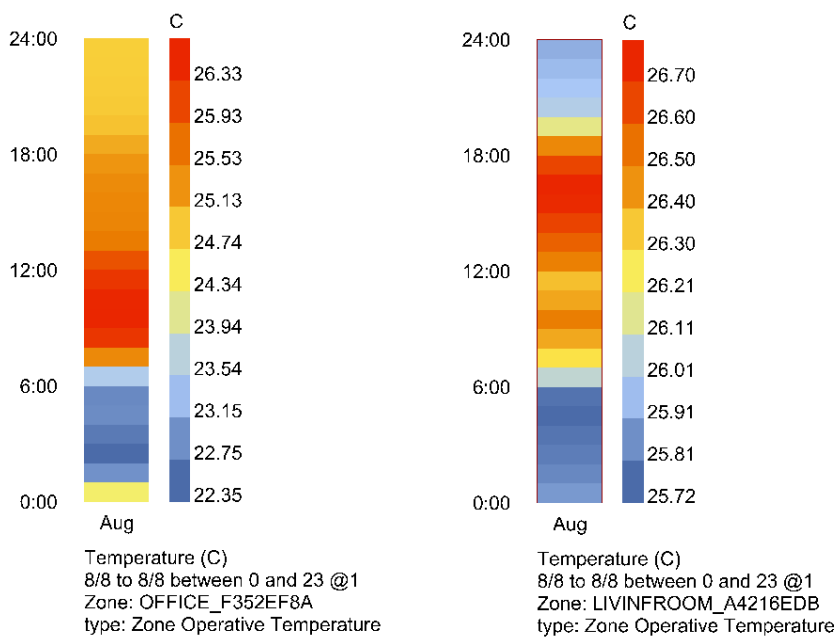




**Διάγραμμα 3: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στο σαλόνι**



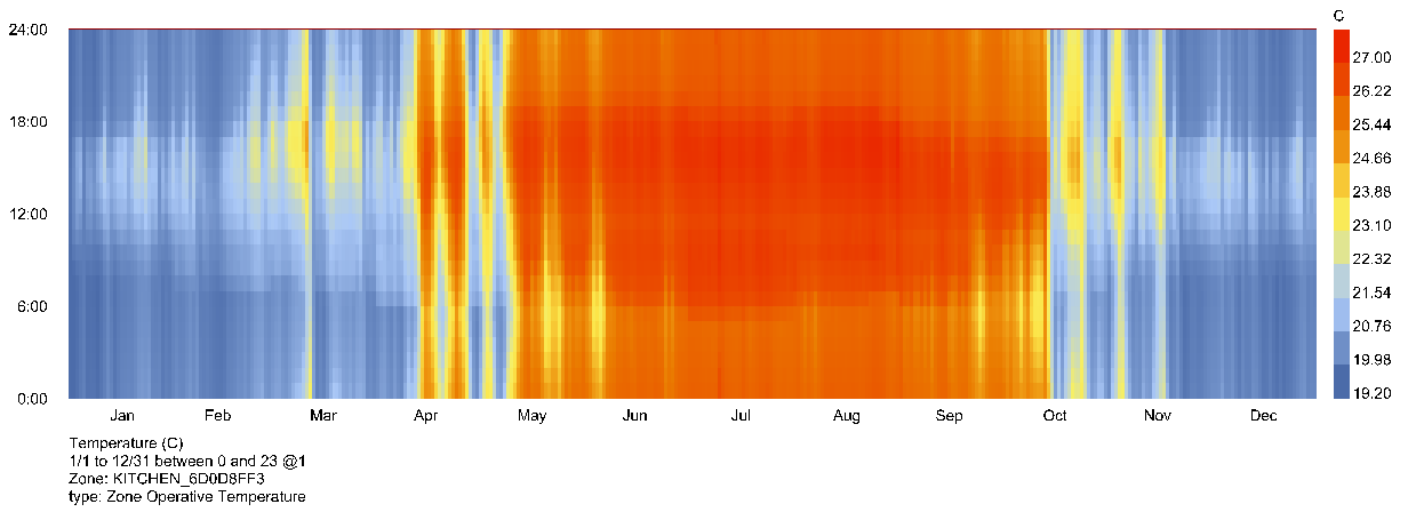
**Διάγραμμα 4: Εσωτερικές θερμοκρασίες μία τυπική μέρα τον Ιανουάριο στις 08/01 στο γραφείο και το σαλόνι.**



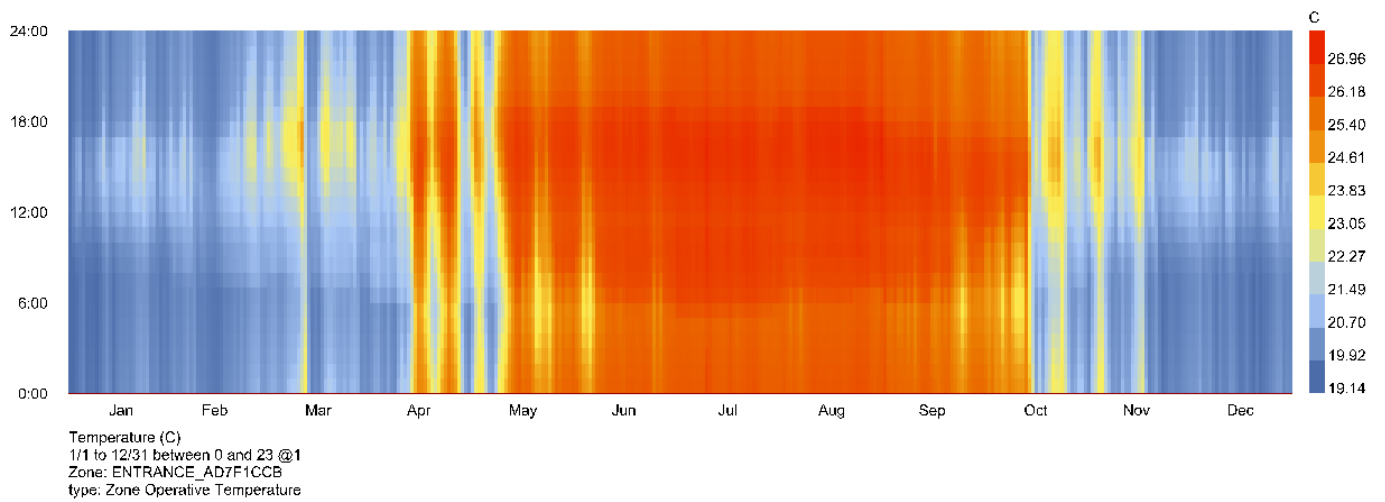
**Διάγραμμα 5: Εσωτερικές θερμοκρασίες στο γραφείο και στο σαλόνι μια τυπική μέρα τον Αύγουστο στις 08/08.**

Στο διάγραμμα 3 φαίνεται η εσωτερική θερμοκρασία του σαλονιού η οποία όλο τον χρόνο κυμαίνεται από 19.20°C έως 26.85°C με 41.66% σχετική υγρασία χώρου. Ξανά οι τιμές αυτές είναι μέσα στα όρια της θερμικής άνεσης όλο τον χρόνο. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν και τα διαγράμματα 4 και 5 τυπικών ημερών μια για τον χειμώνα και μία για το καλοκαίρι. Σε αυτά φαίνεται πιο αναλυτικά η διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στην ημέρα όπου τον χειμώνα η θερμοκρασία του χώρου δεν πέφτει κάτω από τους 19°C βαθμούς και το καλοκαίρι δεν ξεπερνά τους 27°C. Και στις δύο εποχές η μέγιστη θερμοκρασία της ημέρα εμφανίζεται τις μεσημεριανές ώρες.

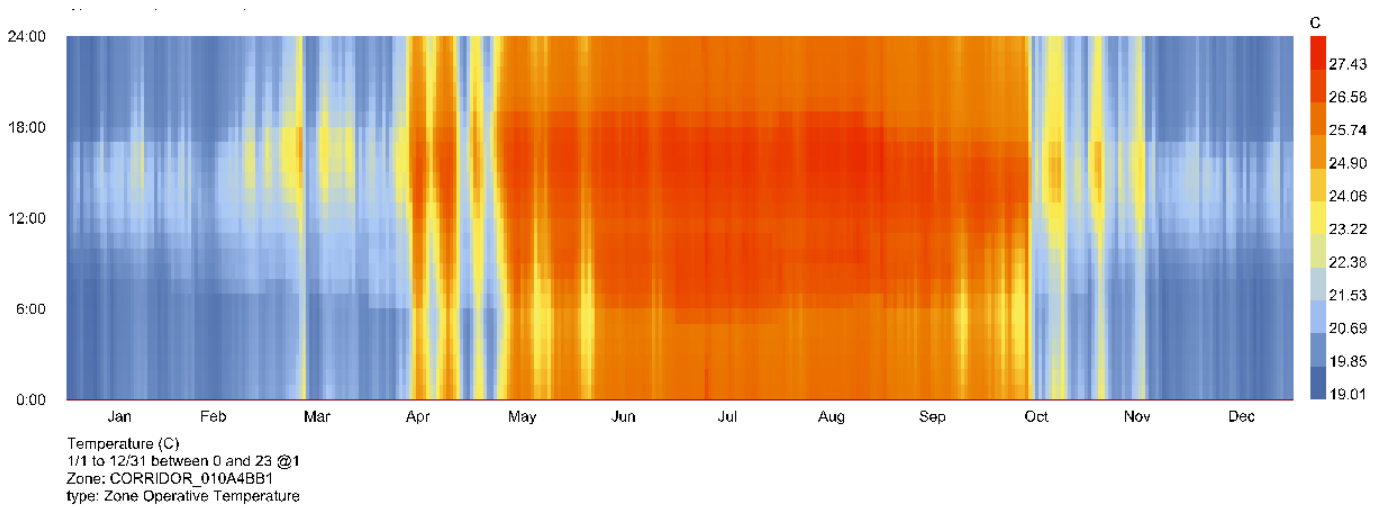
Ακολουθούν, για λόγους πληρότητας, τα διαγράμματα εσωτερικής θερμοκρασίας για τους υπόλοιπους χώρους του σπιτιού, κουζίνα, είσοδος, διάδρομος και κρεβατοκάμαρα 1 και 2 τα οποία είναι και αυτά μέσα στις αναμενόμενες τιμές :



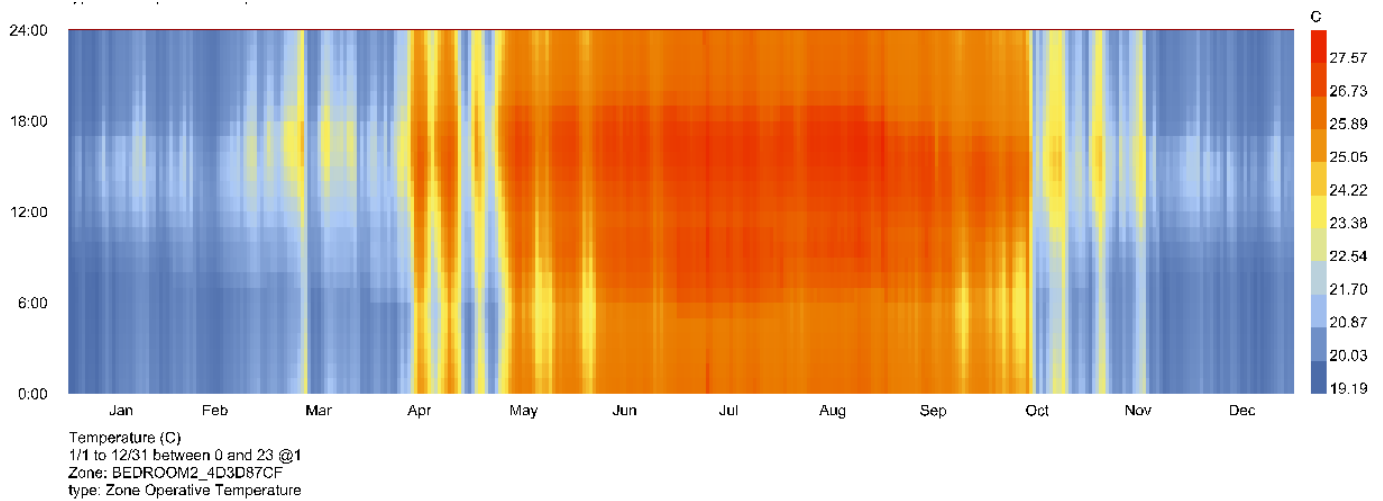
Διάγραμμα 6: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στην κουζίνα



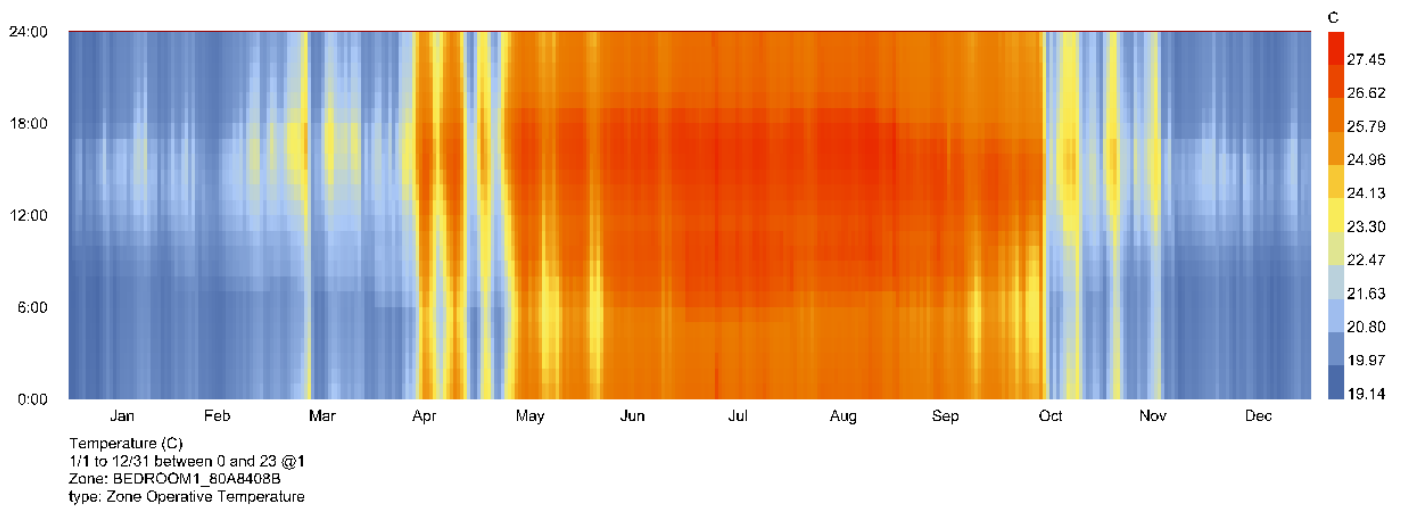
Διάγραμμα 7: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στην είσοδο



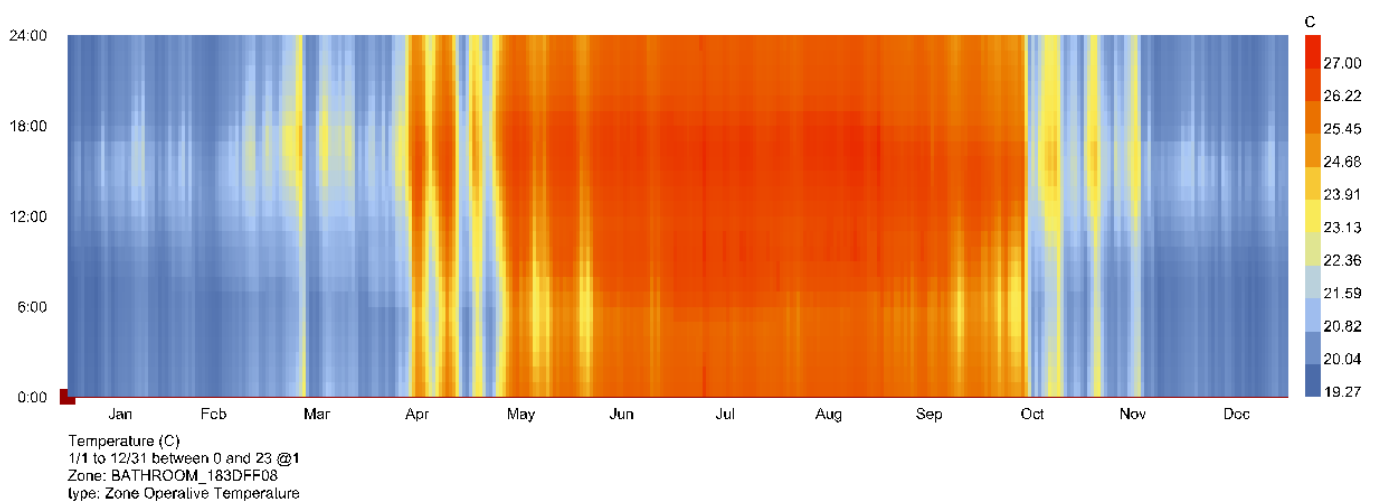
Διάγραμμα 8: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στον διάδρομο



**Διάγραμμα 9: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στο δωμάτιο 2**



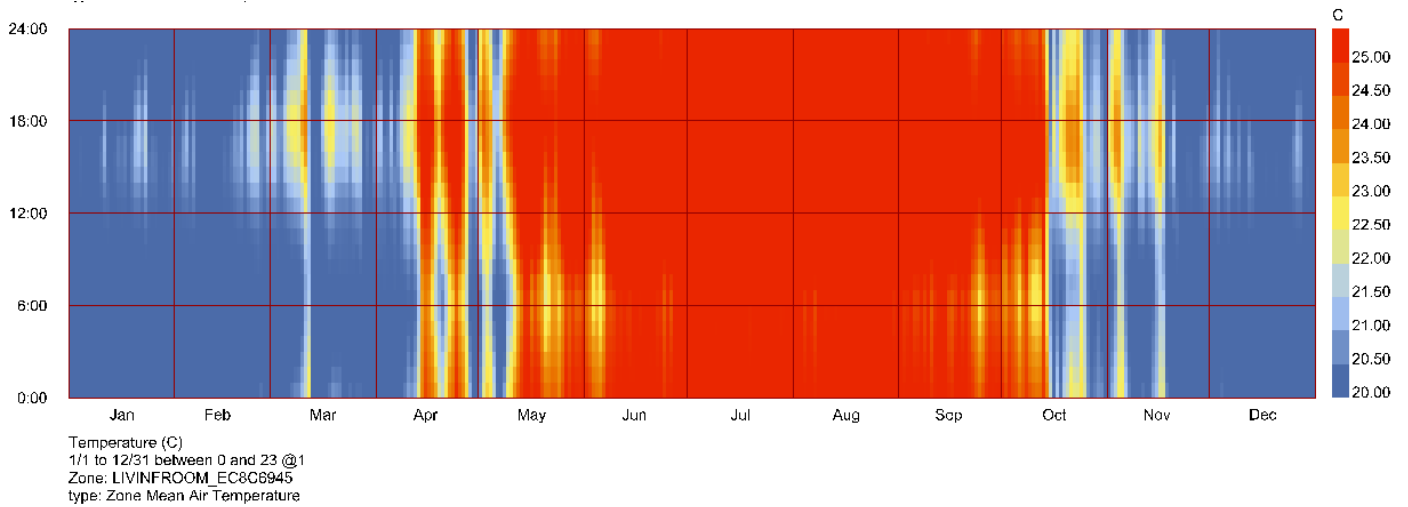
**Διάγραμμα 10: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στο σωματίο 1**



**Διάγραμμα 11: Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα στο μπάνιο**

Παρατίθεται και το διάγραμμα της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα χωρίς την επίδραση της ακτινοβολίας μόνο για το σαλόνι του σπιτιού. Είναι φανερό ότι τα κλιματιστικά

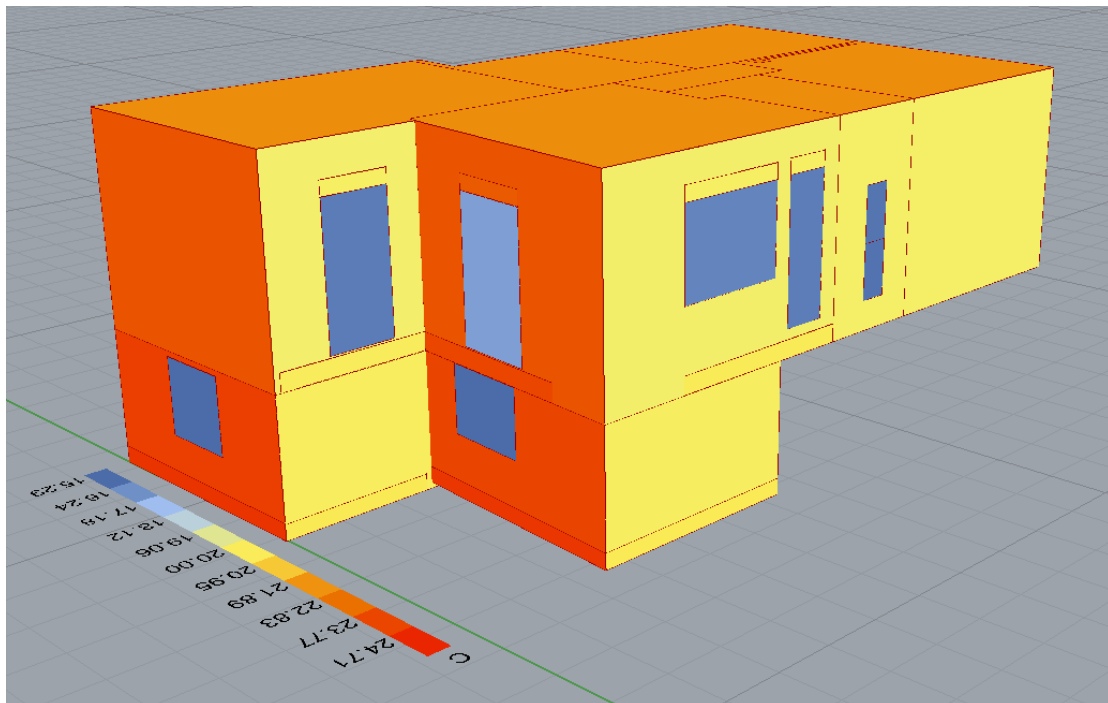
λειτουργούν σωστά καθώς είχε οριστεί θερμοστάτης στους 20°C τον χειμώνα και στους 25°C το καλοκαίρι.



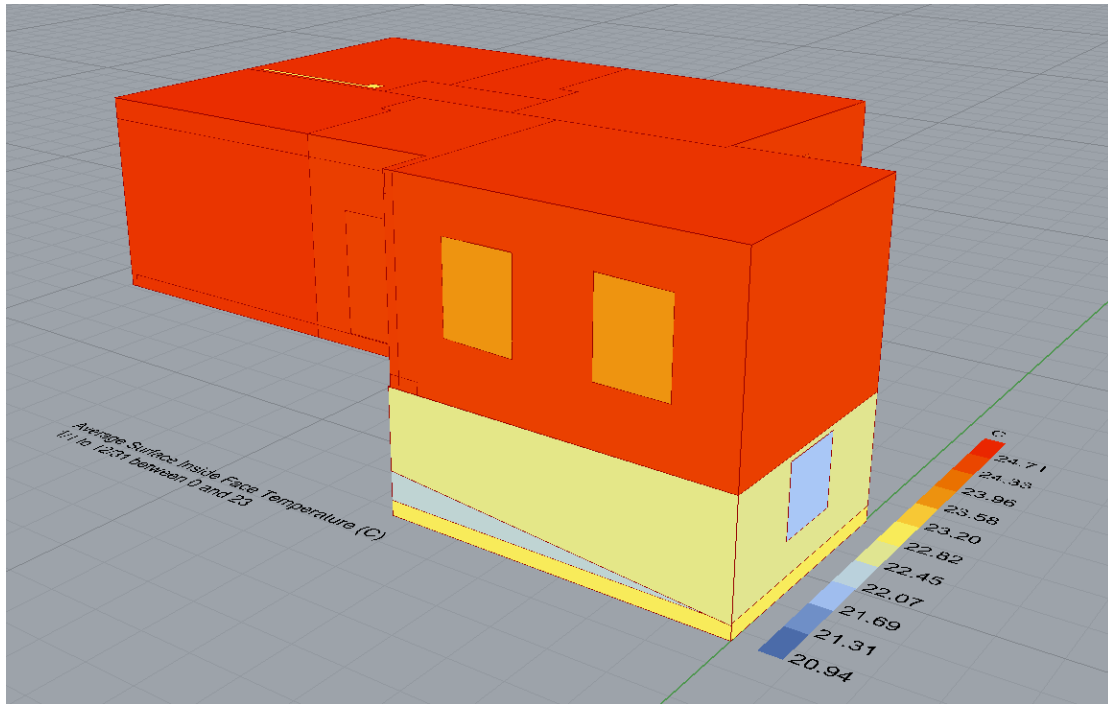
**Διάγραμμα 12: Ωριαία θερμοκρασία αέρα στο σαλόνι**

**Μέση ετήσια και μηνιαία θερμοκρασία επιφανειών εκτός και εντός κτιρίου.**

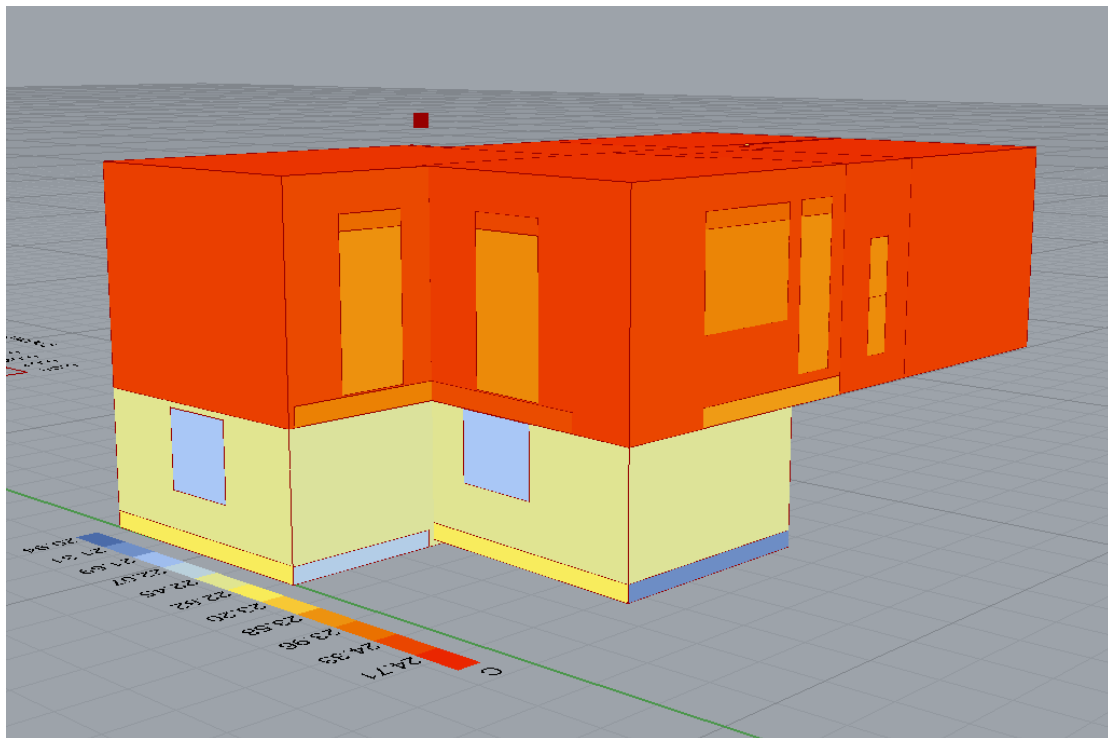
Στη συνέχεια της ενεργειακής μελέτης για τη θερμική άνεση του κτιρίου, παρατίθεται η απεικόνιση του κτιρίου με τη μέση ετήσια εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία όλων των επιφανειών του κτιρίου και τη μέση μηνιαία εξωτερική και εσωτερική θερμοκρασία για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.



**Διάγραμμα 13: Μέση ετήσια εξωτερική θερμοκρασία επιφανειών**



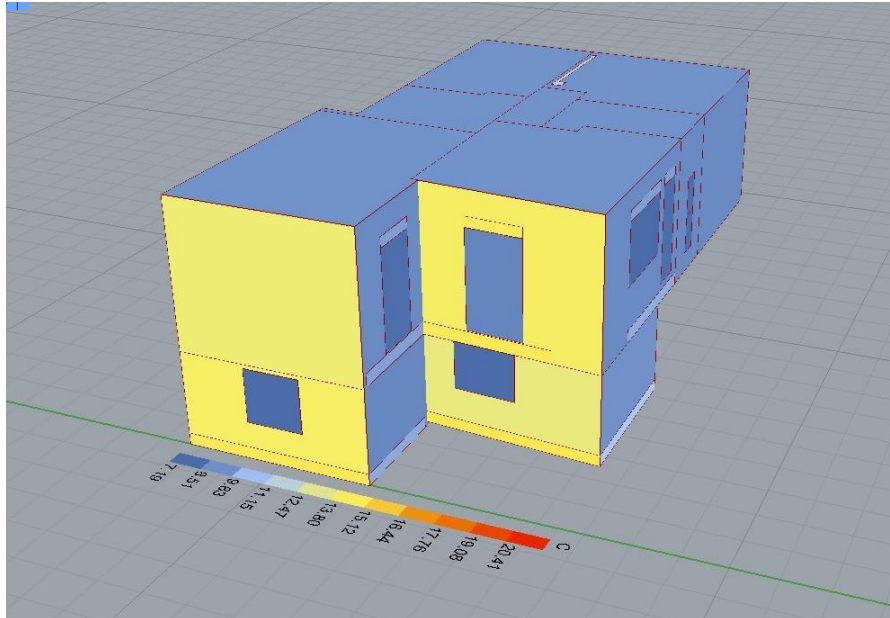
Διάγραμμα 14: Μέση ετήσια εσωτερική θερμοκρασία επιφανειών



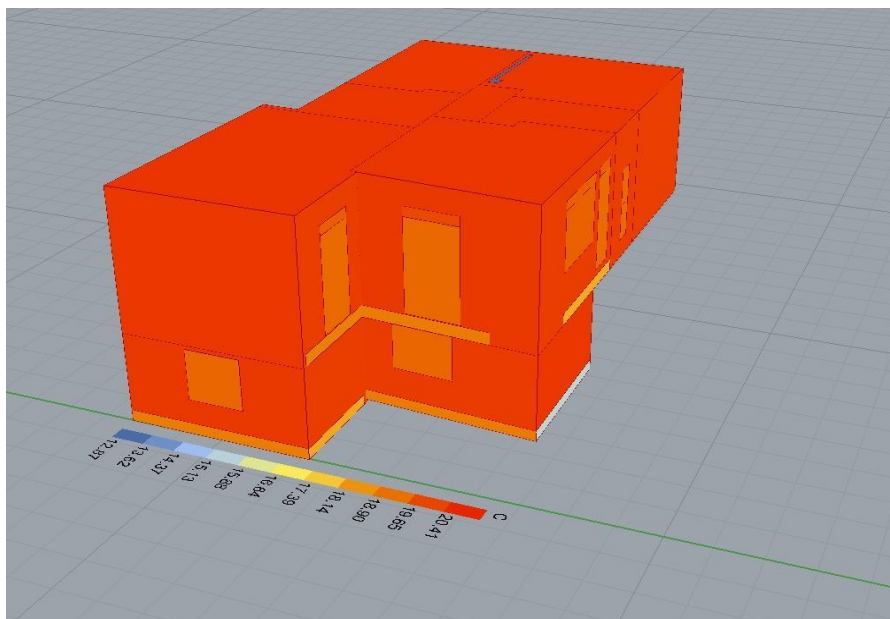
Διάγραμμα 15: Μέση ετήσια εσωτερική θερμοκρασία επιφανειών

Είναι πολύ ενδιαφέρον να παρατηρηθούν οι διαφορές στις θερμοκρασίες μεταξύ των τοίχων και των θερμογεφυρών, κάτι το οποίο γίνεται ακόμα πιο έντονο στο αμόνωτο κτίριο αλλά και των διαφορών της εσωτερικής με της εξωτερικής πλευράς των τοίχων. Κάτι που φαίνεται ακόμα πιο έντονα τους ακραίους μήνες (Ιανουάριο & Αύγουστο). Επίσης είναι εμφανής η καλή λειτουργία του τριπλού υαλοπίνακα καθώς η εσωτερική θερμοκρασία των τζαμιών έχει μικρή απόκλιση από τους τοίχους, αλλά κυρίως είναι εντυπωσιακή η διαφορά

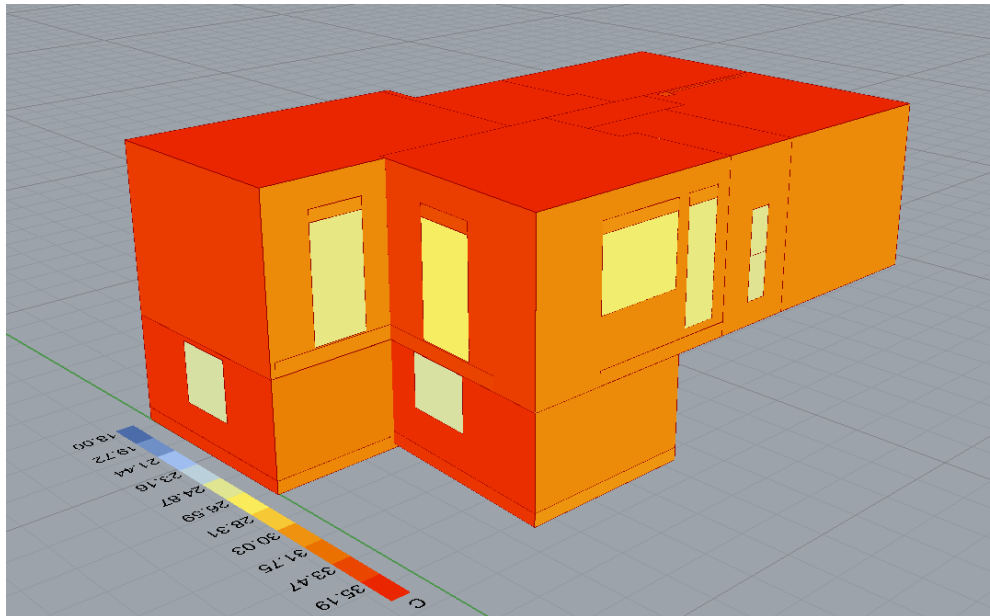
της εξωτερικής θερμοκρασίας του τζαμιού με την εσωτερική που έχουν έως και 8°C βαθμούς διαφορά. Ίδια συμπεριφορά παρατηρείται ακόμα και τους ακραίους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, με έως και 10°C διαφορά τον χειμώνα ενώ το καλοκαίρι δρα αντίθετα.



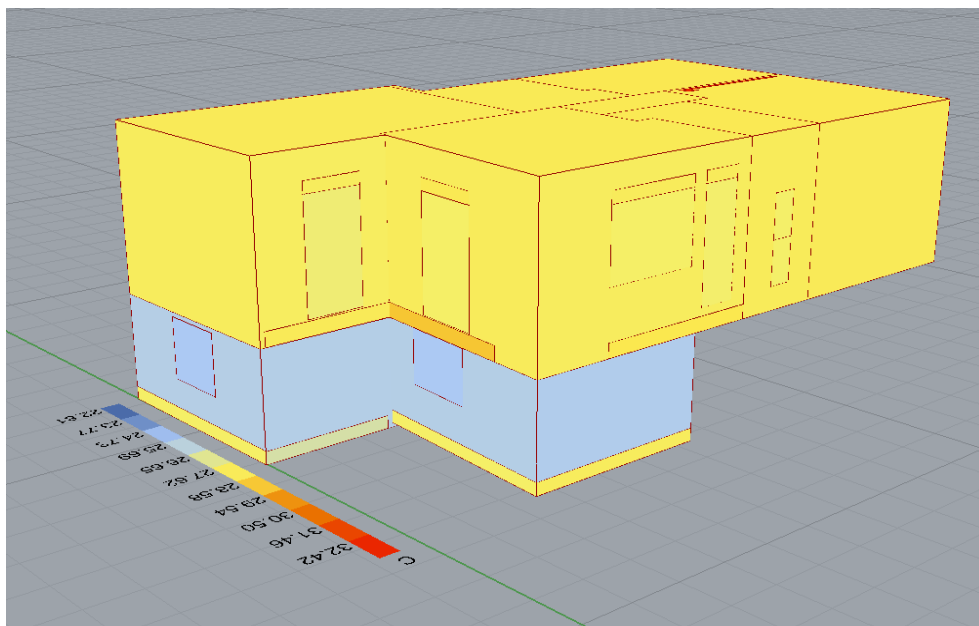
Διάγραμμα 16: Εξωτερικές θερμοκρασίες των επιφανειών τον Ιανουάριο.



Διάγραμμα 17: Εσωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Ιανουάριο.



**Διάγραμμα 18: Εξωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Αύγουστο**



**Διάγραμμα 19: Εσωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Αύγουστο.**

Τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο είναι ιδιαίτερα εμφανής ο ρόλος της μόνωσης σε ένα κτίριο καθώς παρατηρείται ότι τον χειμώνα τα δομικά στοιχεία φτάνουν μέχρι και 8°C στην εξωτερική πλευρά ενώ από μέσα η θερμοκρασία των επιφανειών είναι σταθερή στους 19°C και η διαφορά των δύο επιφανειών των υαλοπινάκων είναι 10°C. Επίσης, παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι η εξωτερική πλευρά φτάνει έως και 35°C ενώ μέσα είναι 27,6°C με 21,6°C. Τέλος, οι υαλοπίνακες ψύχονται από τη μέσα πλευρά καθώς η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου είναι όλη την ημέρα κοντά στους 26 βαθμούς. Όμως η εξωτερική του πλευρά θερμαίνεται τις πρωινές ώρες και ψύχεται τις βράδυνες καθώς η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και το βράδυ πέφτει αρκετά χαμηλά. Αυτό



επηρεάζει τον μέσο όρο των εξωτερικών θερμοκρασιών της επιφάνειας του υαλοπίνακα με αποτέλεσμα η μέσα και έξω πλευρά του να έχουν μικρή απόκλιση.

Για αξιολογηθούν ορθά τα παραπάνω αποτελέσματα πρέπει να μελετηθεί η κατανάλωση του κτιρίου σε ψύξη και θέρμανση καθώς δεν θα είχε κανένα αξιόλογο νόημα η εσωτερική θερμική άνεση του κτιρίου αν επιτυγχάνονταν με τεράστιο ενεργειακό κόστος.

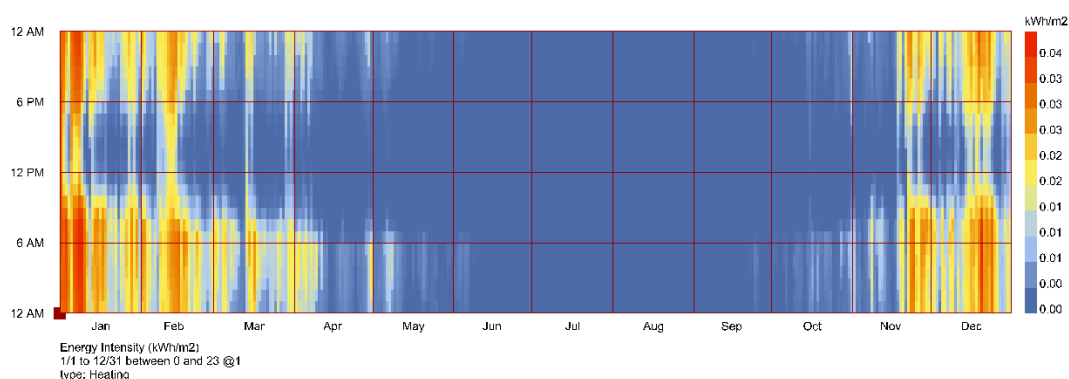
Αρχικά παρατίθενται η συνολική ετήσια κατανάλωση σε ψύξη και θέρμανση σε θερμικές kWh και σε ηλεκτρικές με την υπόθεση ότι το κτίριο διαθέτει αντλία θερμότητας αέρα με COP=3.

**Πίνακας 4: Απαιτήση ψύξης και θέρμανσης στο PH.**

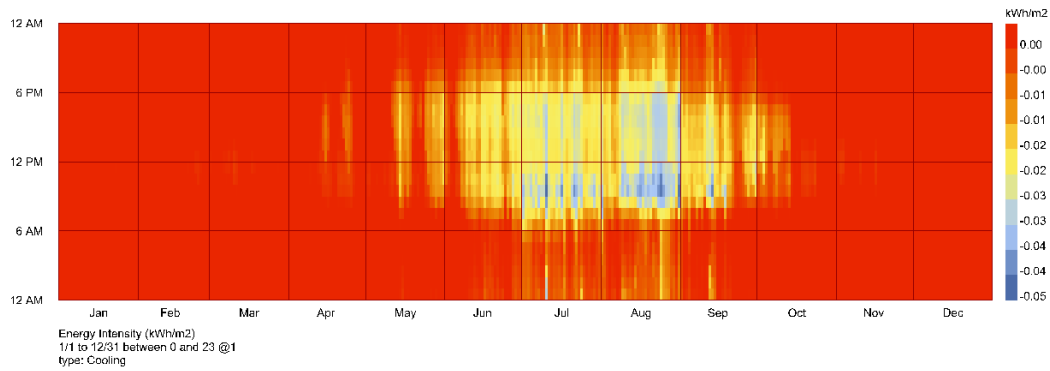
	Θερμικές / Ψυκτικές [kWh]	Ηλεκτρικές [kWh]	Ηλεκτρικές [kWh/m <sup>2</sup> ]
Θέρμανση	3738.88	1246.29	8.78
Ψύξη	6208.33	2069.44	14.57

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 οι ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι πάρα πολύ χαμηλές τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη το οποίο αποδεικνύει τη σωστή λειτουργία του παθητικού κτιρίου.

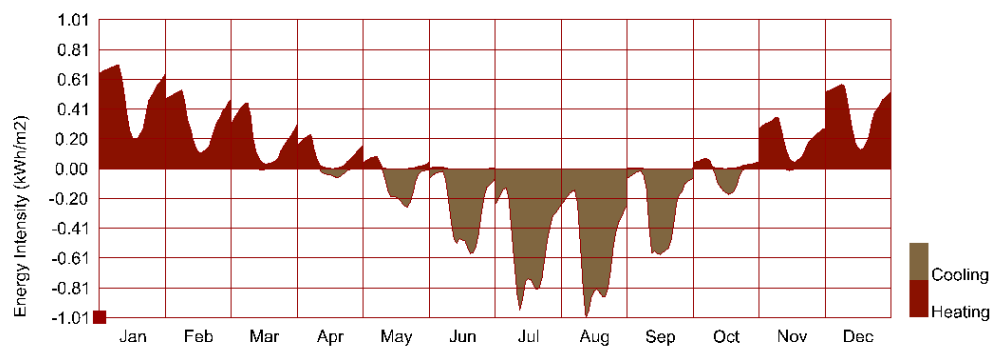
Για τον προσδιορισμό της συνολικής κατανάλωσης αλλά και την παρατήρηση της ανάγκης για ψύξη και θέρμανση κατά την διάρκεια της μέρας αποτυπώθηκαν τα διαγράμματα του ωριαίου φορτίου ψύξης και θέρμανσης, τα όποια είναι πριν την διαίρεση με τον COP οπότε δίνουν θερμικές - ψυκτικές kWh/m<sup>2</sup> και το αντίστοιχο μηνιαίο διάγραμμα:



**Διάγραμμα 20: Ωριαίο φορτίο θέρμανσης στο PH**



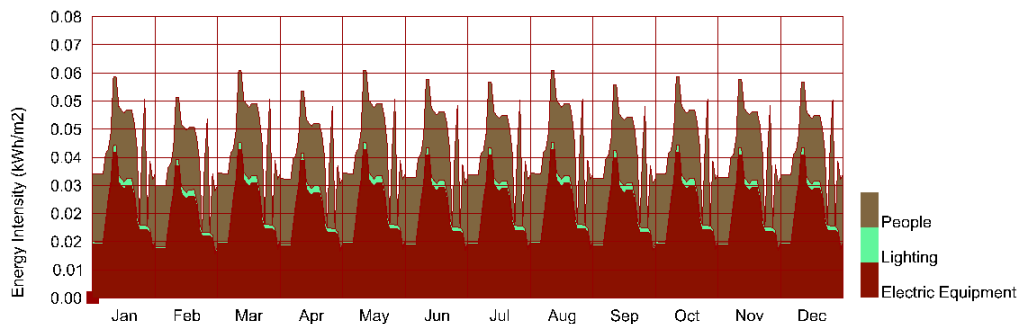
**Διάγραμμα 21: Ωριαίο φορτίο Ψύξης στο ΡΗ**



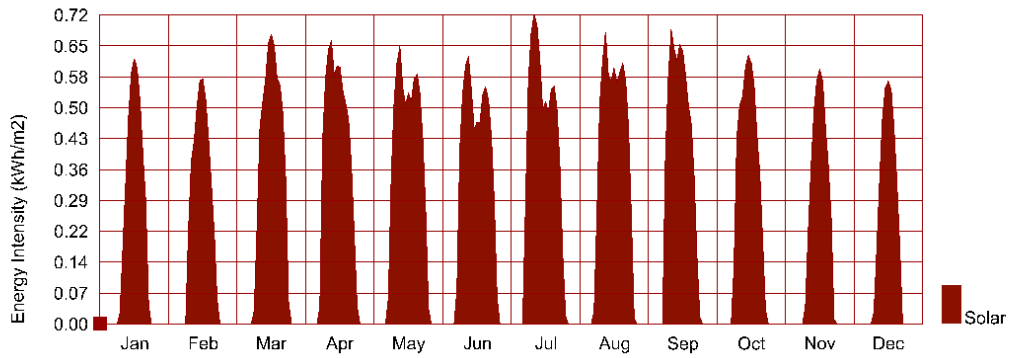
**Διάγραμμα 22: Μηνιαίο φορτίο ψύξης και θέρμανσης στο ΡΗ**

Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση είναι κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες όπως ήταν αναμενόμενο τους μήνες Νοέμβριο με Μάρτιο. Ενώ η απαίτηση για ψύξη είναι κυρίως τις μεσημεριανές ώρες τους μήνες Ιούνιο με Σεπτέμβριο.

Επίσης σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα με τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και τα ηλιακά κέρδη. Τα ηλεκτρικά θερμικά κέρδη προκύπτουν από την χρήση ηλεκτρικών συσκευών και από τον φωτισμό ενώ τα εσωτερικά κέρδη προκύπτουν και από τους ανθρώπους.



**Διάγραμμα 23: Εσωτερικά κέρδη λόγω των ανθρώπων, του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών .**

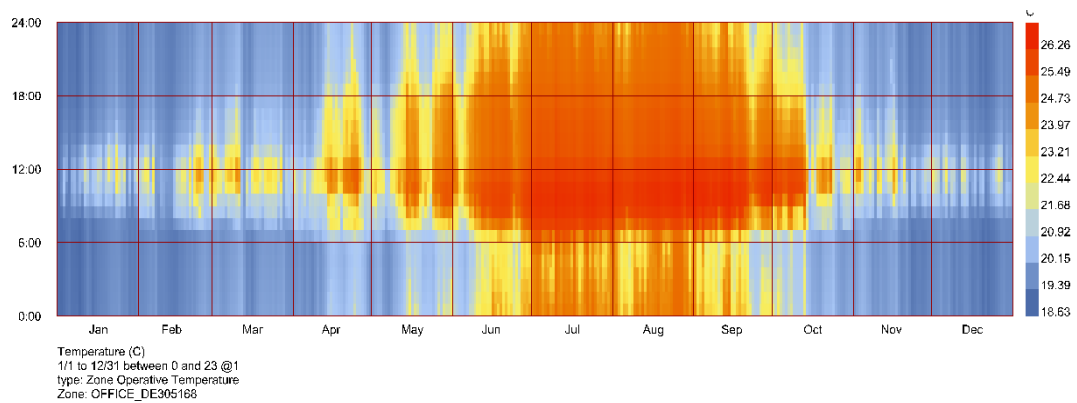


Διάγραμμα 24: Ηλιακά κέρδη ανά μήνα

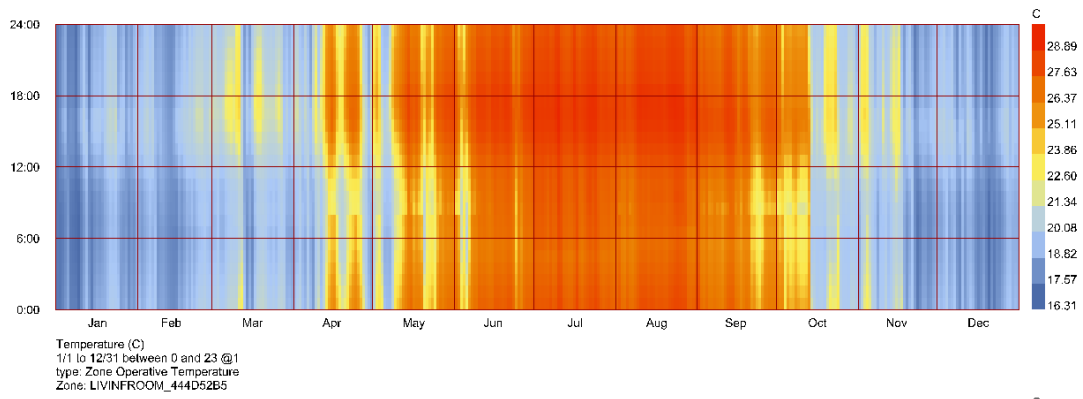
### 6.1.2 Αποτελέσματα θερμικής άνεσης στο συμβατικό - αμόνωτο κτίριο πριν την ανακαίνιση.

#### Εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα (operative) ανά δωμάτιο:

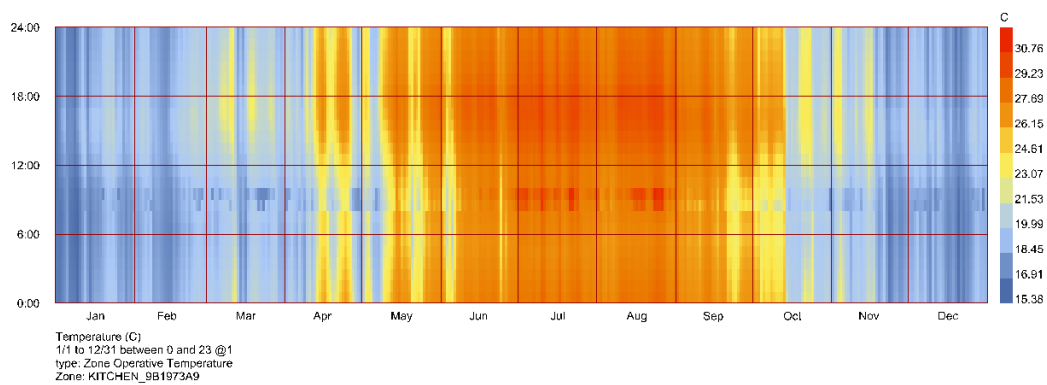
Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι ωριαίες τιμές της εσωτερικής θερμοκρασίας (αέρα και ακτινοβολίας) του κτιρίου για το γραφείου, το σαλόνι και την κουζίνα.



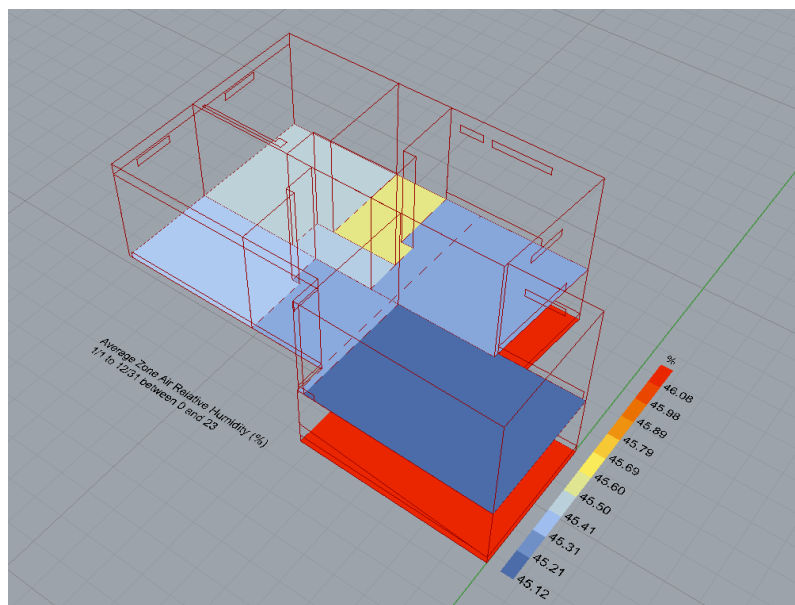
Διάγραμμα 25: Εσωτερικές ωριαίες θερμοκρασίες του αμόνωτου σπιτιού στο γραφείο.



**Διάγραμμα 26: Εσωτερικές ωριαίες θερμοκρασίες του αμόνωτου σπιτιού στο σαλόνι.**



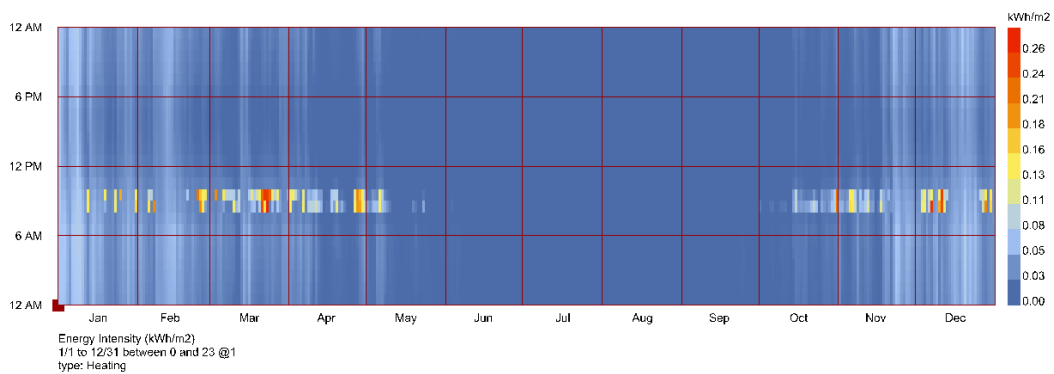
**Διάγραμμα 27: Εσωτερικές ωριαίες θερμοκρασίες του αμόνωτου σπιτιού στην κουζίνα.**



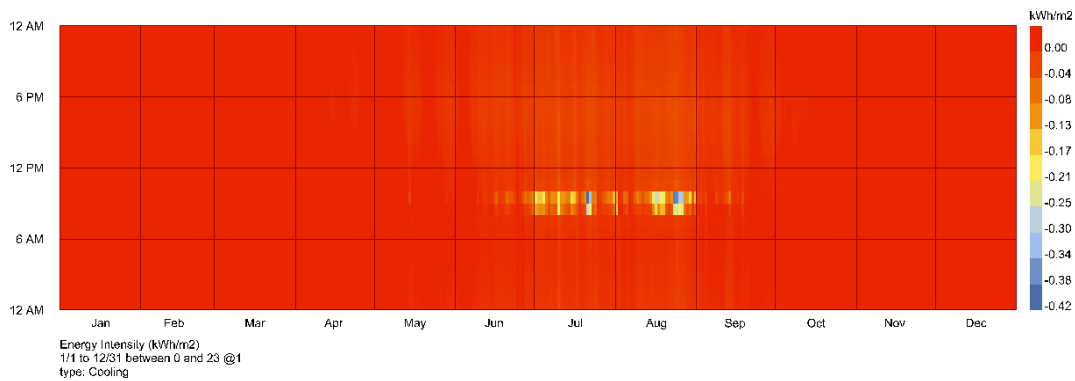
**Διάγραμμα 28: Μέση σχετική υγρασία στο συμβατικό σπίτι όλο τον χρόνο.**

Κοιτώντας τις θερμοκρασίες ανά χώρο προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Στο γραφείο υπάρχει ένα κλιματιστικό χωρίς περιορισμό στο πόσο ή πότε θα είναι ανοιχτό και ο χώρος

είναι μικρός 43,61 m<sup>2</sup> οι εσωτερικές θερμοκρασίες είναι ανάμεσα στους 18-26°C όλο τον χρόνο με 46% υγρασία. Αντίθετα στο σπίτι που έχει ένα κλιματιστικό μόνο στο σαλόνι παρατηρείται ότι, ενώ στο δωμάτιο με το κλιματιστικό οι θερμοκρασίες είναι 16-28°C στο ακριβώς δίπλα δωμάτιο, δηλαδή την κουζίνα κυμαίνονται από 15-30°C. Ακόμα είναι πολύ ενδιαφέρον να παρατηρηθεί η ξαφνική αλλαγή των τιμών τις ώρες που ανοίγουν τα παράθυρα για να αεριστεί το σπίτι. Αυτό φαίνεται εντονότερα στην κουζίνα στις 9:00 το πρωί όπου καλοκαίρι και χειμώνα υπάρχει αυξομείωση της θερμοκρασίας έως και 3 βαθμούς κελσίου. Το ίδιο φαινόμενο απεικονίζεται και στα διαγράμματα απαίτησης ψύξης και θέρμανσης, διαγράμματα 29 και 30, που ξαφνικά το φορτίο ανεβαίνει έως και 8 φορές πάνω.

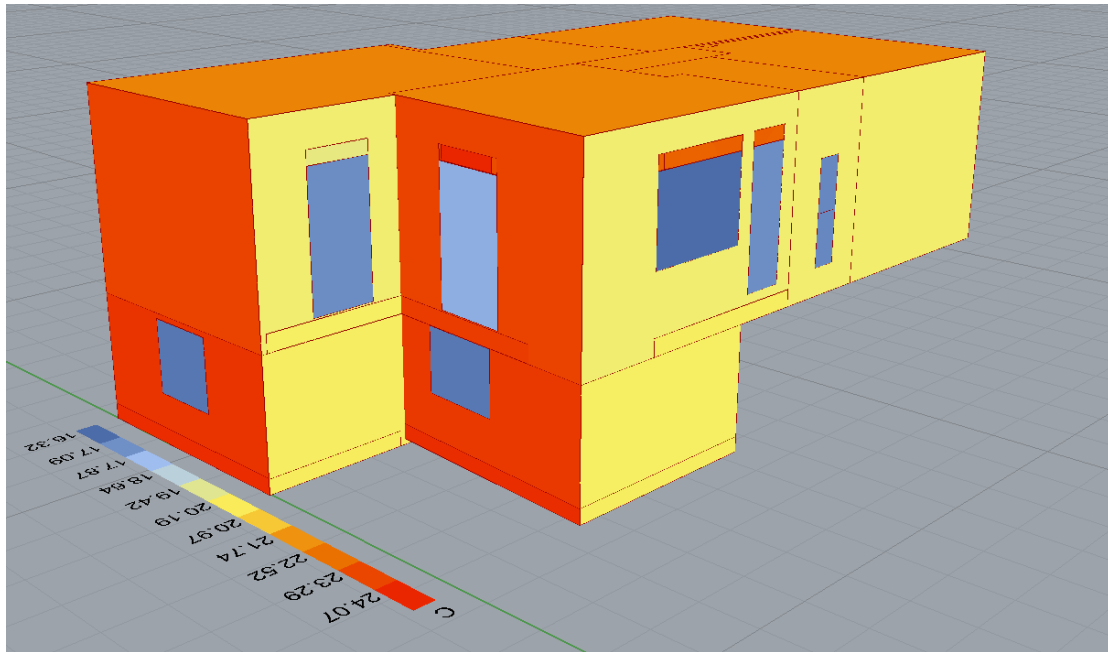


**Διάγραμμα 29: Ωριαίο φορτίο θέρμανσης στο αμόνωτο.**

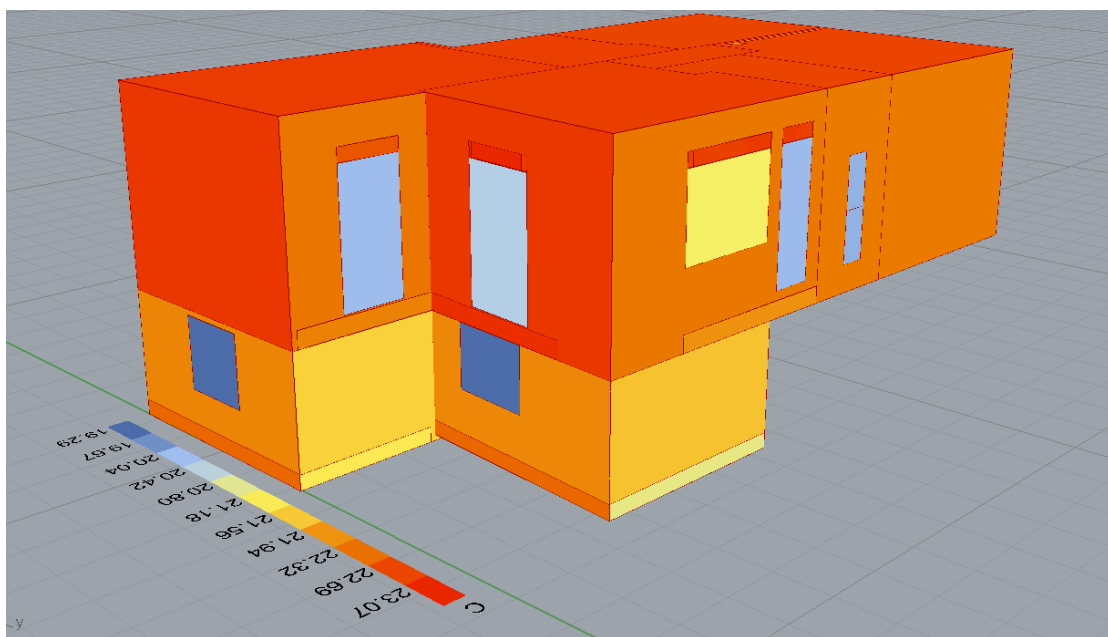


**Διάγραμμα 30: Ωριαίο φορτίο ψύξης στο αμόνωτο.**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εξωτερικές και εσωτερικές θερμοκρασίες των επιφανειών του αμόνωτου κτιρίου για όλο τον χρόνο και για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.



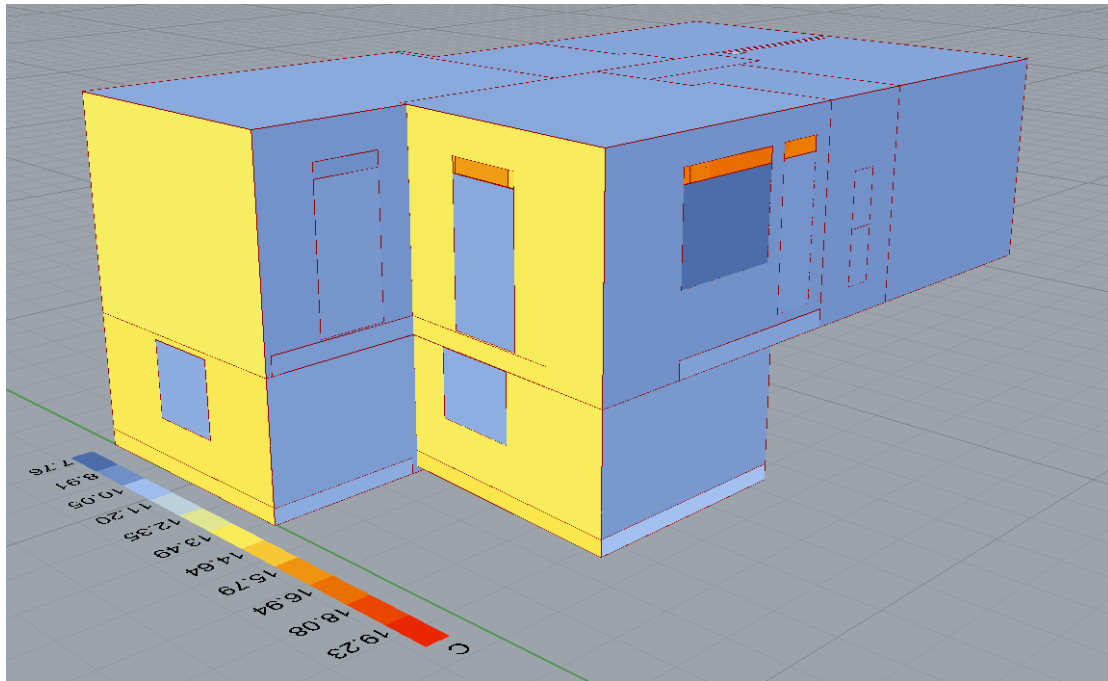
Διάγραμμα 31: Μέση εξωτερική θερμοκρασία επιφανειών όλο το χρόνο στο αμόνωτο.



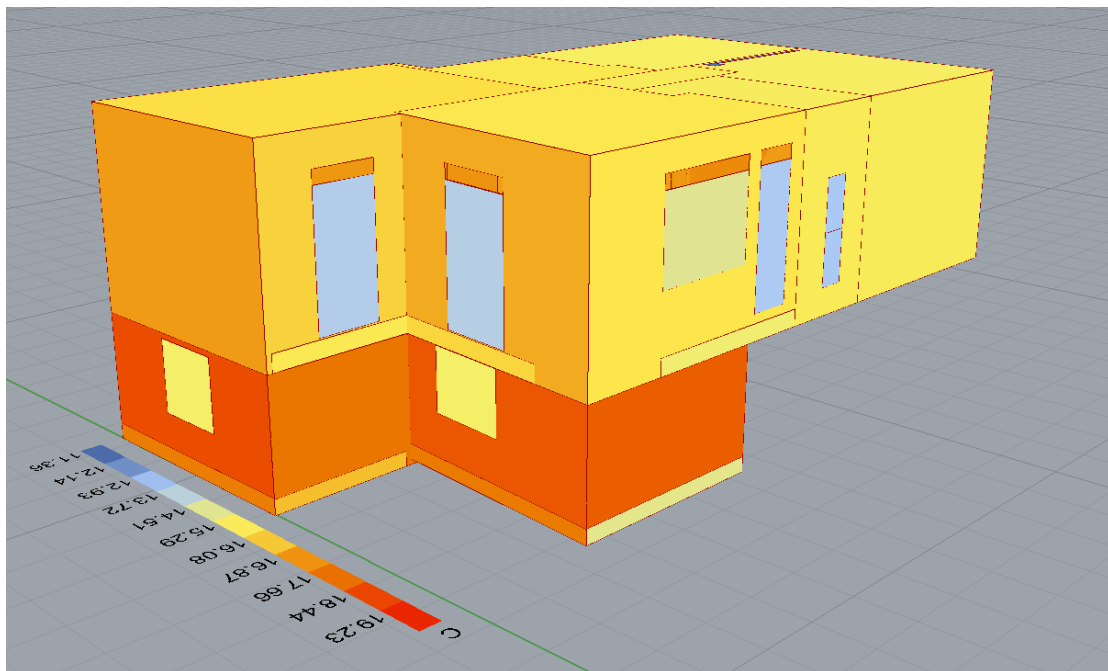
Διάγραμμα 32: Μέση εσωτερική θερμοκρασία επιφανειών όλο το χρόνο στο αμόνωτο.

Κοιτώντας τις τιμές της θερμοκρασίας των επιφανειών της τοιχοποιίας μέσα και έξω από το σπίτι είναι φανερό ότι κατά τη διάρκεια όλο το χρόνου οι τιμές είναι σχεδόν ίδιες μέσα και έξω με διαφορές της τάξης των 2 βαθμών.

Θερμοκρασίες επιφανειών στην εξωτερική και εσωτερική πλευρά του κτιρίου τον Ιανουάριο.



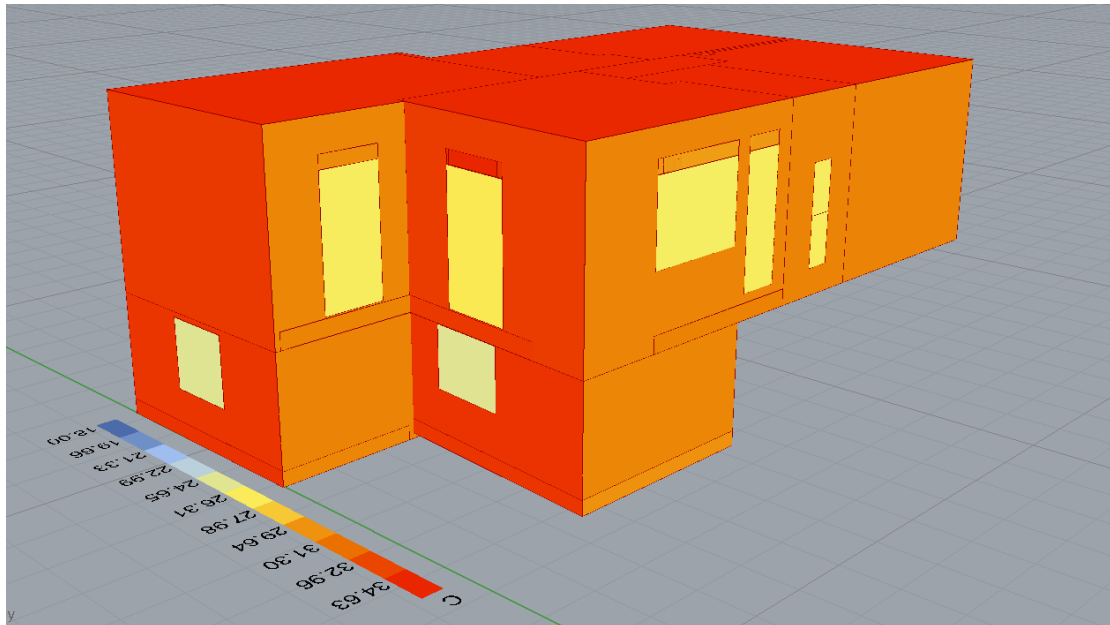
Διάγραμμα 33: Εξωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Ιανουάριο στο αμόνωτο σπίτι.



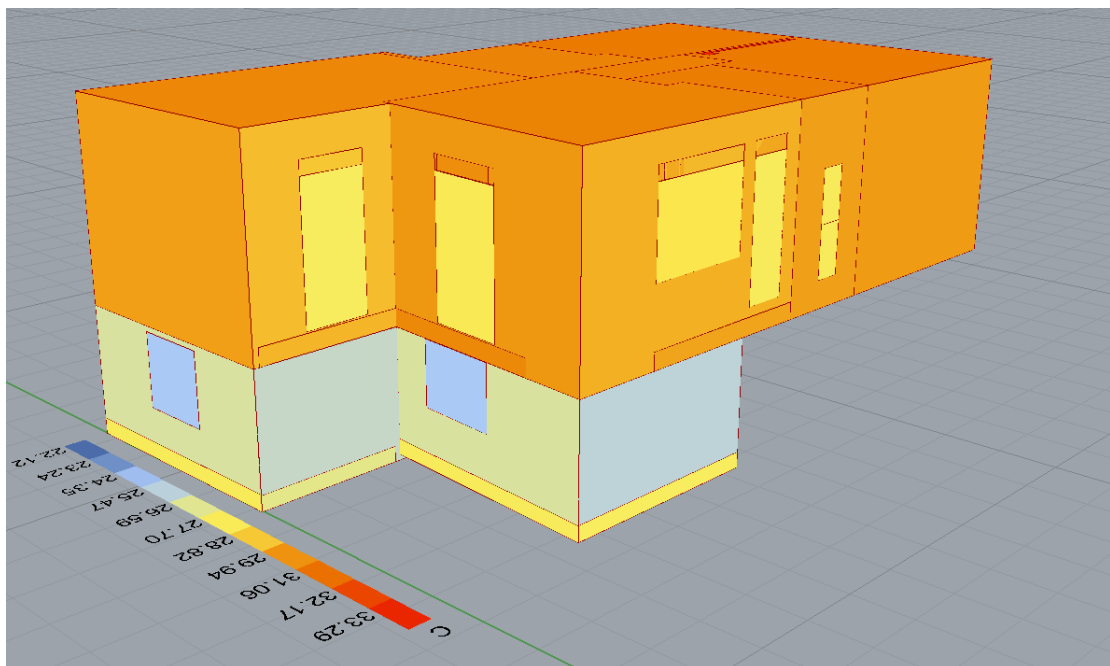
Διάγραμμα 34: Εσωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Ιανουάριο στο αμόνωτο σπίτι.

Εξωτερικά η τοιχοποιία έχει 8-13°C ενώ μέσα έχει 18-15°C ενώ η κατοικία στο ισόγειο έχει 15°C όταν έξω έχει 10-13 C. Επίσης υπάρχουν κουφώματα τα οποία έχουν 3 C βαθμούς διαφορά στις δύο πλευρές τους. Αυτό συμβαίνει γιατί τα τζάμια είναι μονά και η τοιχοποιία δεν έχει μόνωση.

Θερμοκρασίες επιφανειών στην εξωτερική και εσωτερική πλευρά του κτιρίου τον Αύγουστο.



Διάγραμμα 35: Εξωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Αύγουστο στο αμόνωτο.



Διάγραμμα 36: Εσωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Αύγουστο στο αμόνωτο.

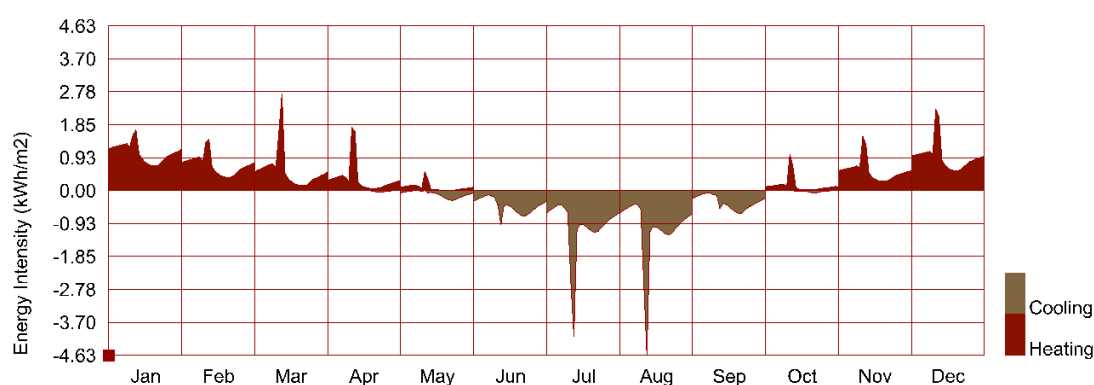
Εξωτερικά η τοιχοποιία έχει 31-34 C ενώ μέσα έχει 25-29 C. Οι 25 βαθμοί είναι στο γραφείο που έχει μια κλιματιστική μονάδα για 43m<sup>2</sup> η οποία δουλεύει χωρίς περιορισμούς. Επίσης τα κουφώματα έχουν σχεδόν την ίδια θερμοκρασία μέσα και έξω το οποίο συμβάλει στην απώλεια της ψύξης από τους εσωτερικούς χώρους.



Απαιτήση σε ψύξη και θέρμανση με τα ίδια set points που είχε και το παθητικό δηλαδή με το κλιματιστικό να ανοίγει ώστε η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα να είναι 20C τον χειμώνα και 25C το καλοκαίρι.

**Πίνακας 5: Απαιτήση θέρμανσης και ψύξης για όλο τον χρόνο στο συμβατικό κτίριο.**

	Θερμικές / Ψυκτικές [kWh]	Ηλεκτρικές με AC [kWh]	Ηλεκτρικές [kWh/m <sup>2</sup> ]	Φορές πάνω από το παθητικό
Θέρμανση	15152,2	5057,4	35,61	x 4
Ψύξη	10200	3400	23,94	x 1,64



**Διάγραμμα 37: Απαιτήση ψύξης και θέρμανσης ανά μήνα στο παλιό σπίτι.**

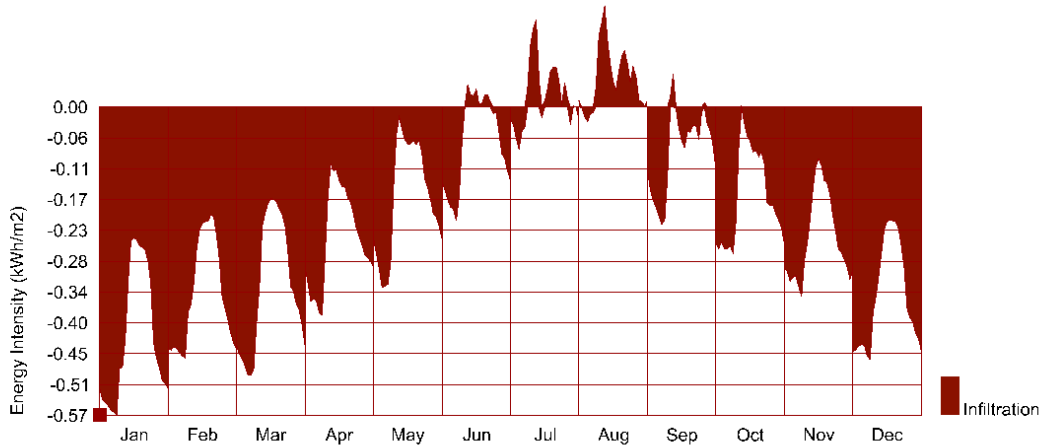
Η έντονη διαφορά των δύο κτιρίων φαίνεται κυρίως στην απαίτηση θέρμανσης που είναι 4 φορές πάνω για τη συμβατική κατοικία σε σχέση με το ανακαινισμένο παθητικό.

Το διάγραμμα με τα εσωτερικά θερμικά κέρδη και τα ηλιακά κέρδη δεν παρατίθεται καθώς είναι το ίδιο με αυτό του παθητικού.

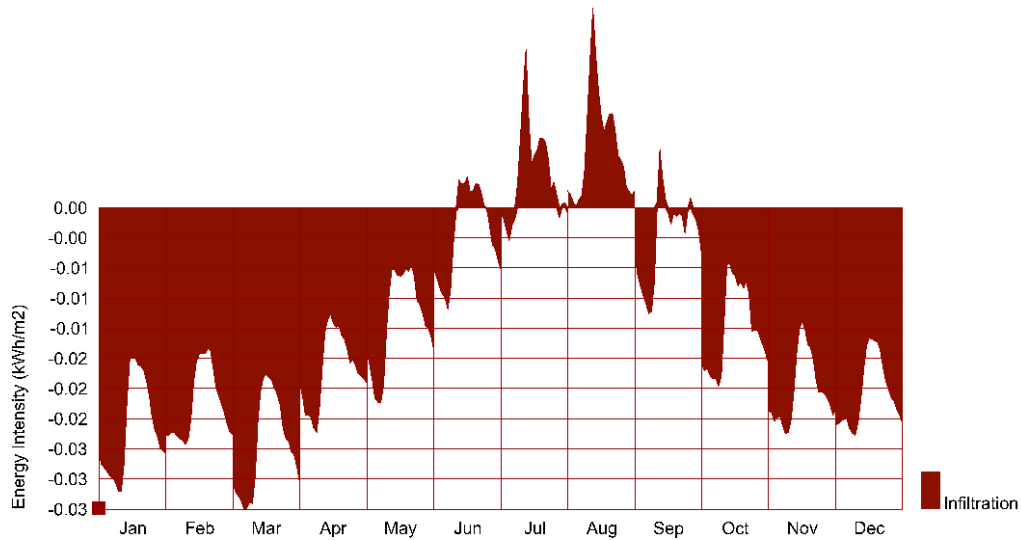
Συγκρίνοντας όμως το διάγραμμα απωλειών ενέργειας λόγω διήθησης, οι απώλειες του συμβατικού είναι 20 φορές περισσότερες από του παθητικού. Η διήθηση του αέρα μέσα στο σπίτι προέρχεται από την ελλιπή αεροστεγανότητα των κουφωμάτων, των πριζών και πιθανών ατελειών του κελύφους.

**Πίνακας 6: Συνολικές Απώλειες θερμότητας όλο τον χρόνο και για τις δύο περιπτώσεις**

	Infiltration Heat Removal [kWh/a]
Συμβατικό	-10794.44
Παθητικό	-521.38



Διάγραμμα 38: Απώλειες ενέργειας λόγω διήθησης τους αέρα στο συμβατικό.



Διάγραμμα 39 Απώλειες ενέργειας λόγω διήθησης τους αέρα στο PH.

### 7.2. Παραμετρική μελέτη διαφοράς θερμοκρασίας υαλοπινάκων.

Στη συνέχεια της εργασίας συγκρίθηκαν 4 διαφορετικοί υαλοπίνακες ως προς τη διάφορα της εσωτερικής τους θερμοκρασίας τους μήνες του καλοκαιριού και του χειμώνα.

Στοιχεία υαλοπινάκων:

#### 1. Μονός υαλοπίνακας.

Πάχος [mm]	g	Ug [W/m2K]
4	0.88	5.8

#### 2. Διπλός υαλοπίνακας με 15mm αποστάτη, αέρα ανάμεσα στα δυο τζάμια και χωρίς επιστρώσεις.

Πάχος [mm]	g	Ug [W/m2K]
23	0.8	2.7

3. Διπλός υαλοπίνακας με 15mm αποστάτη, αέριο αργό ανάμεσα στα δυο τζάμια και επιστρώσεις στη δεύτερη και τρίτη επιφάνεια.

Πάχος [mm]	G	Ug [W/m2K]
23	0,58	1.1

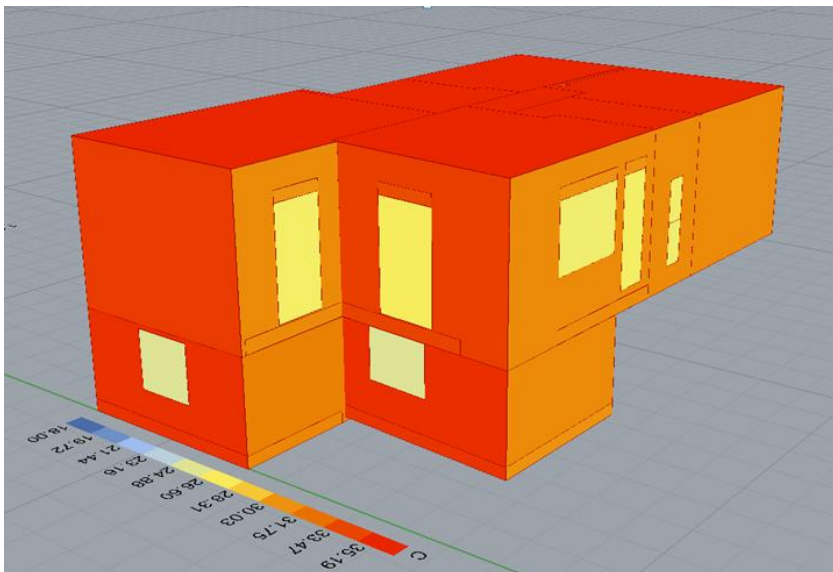
4. Τριπλός υαλοπίνακας με 18 mm αποστάτη, αέριο αργό ανάμεσα στα τζάμια και με επιστρώσεις στη δεύτερη και πέμπτη επιφάνεια.

Πάχος [mm]	g	Ug [W/m2K]
48	0,54	0,55

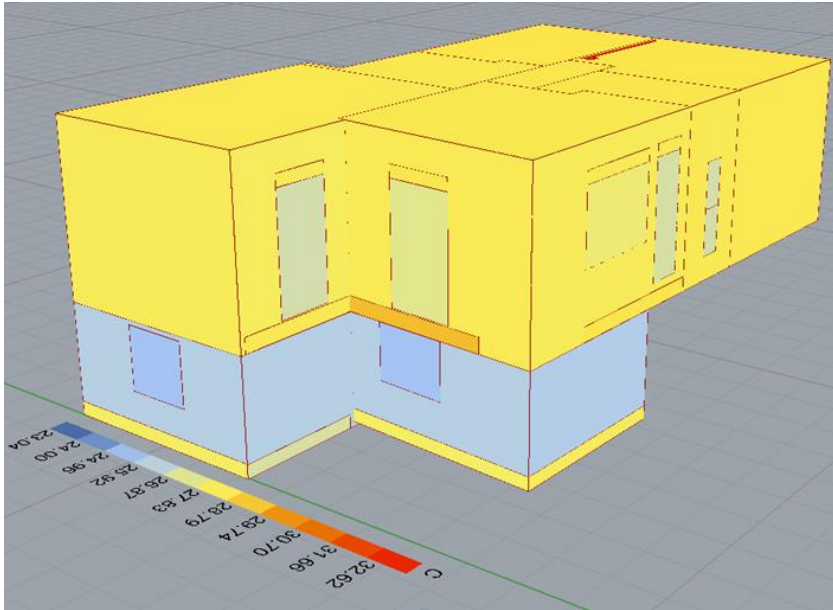
Αποτελέσματα:

1. Μονός υαλοπίνακας:

Καλοκαίρι:

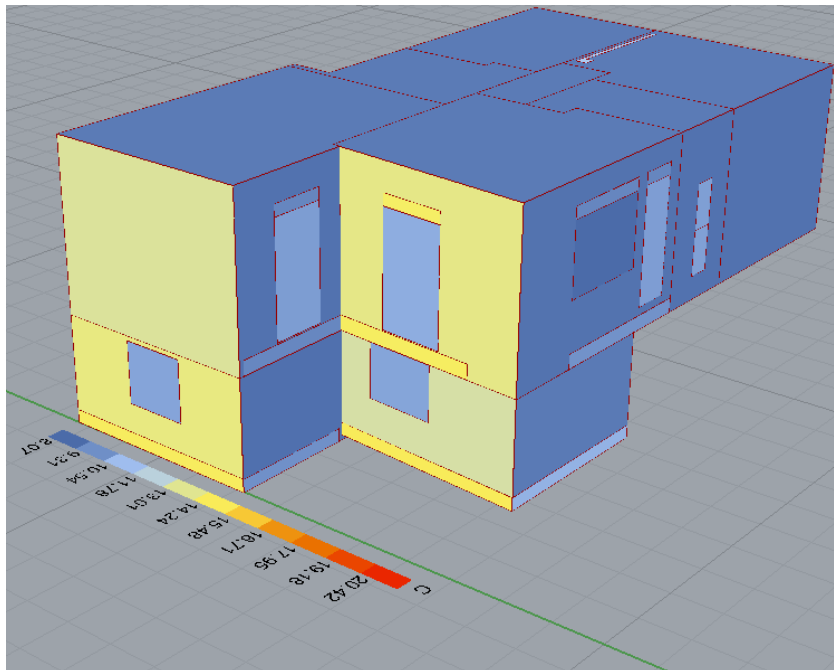


Διάγραμμα 40: Εξωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι με μονό υαλοπίνακα.

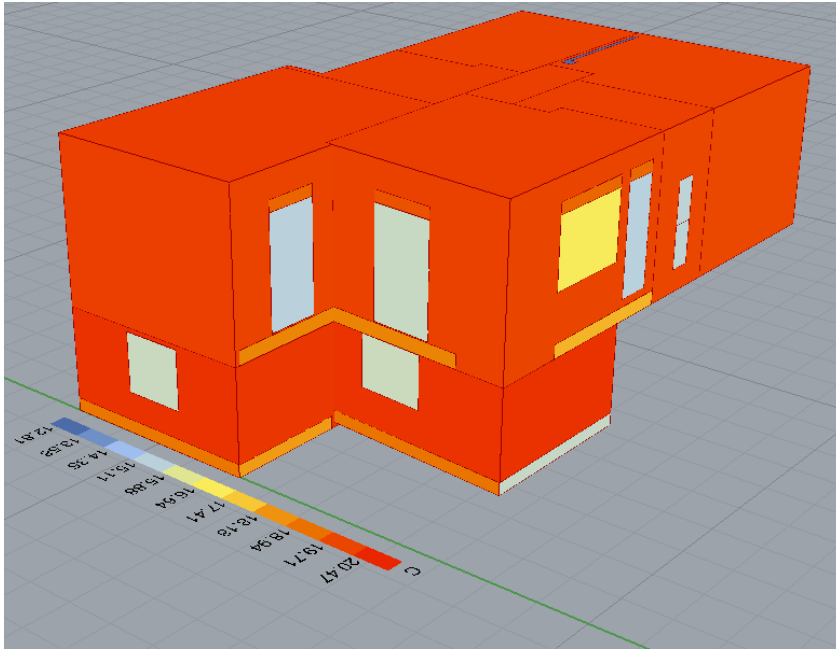


Διάγραμμα 41: Εξωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι με μονό υαλοπίνακα.

Χειμώνας:

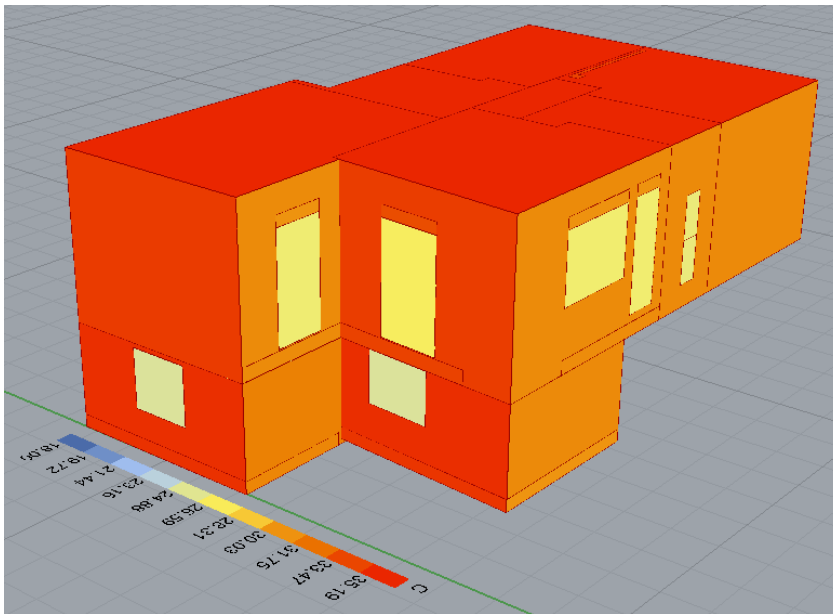


Διάγραμμα 42: εξωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα με μονό υαλοπίνακα

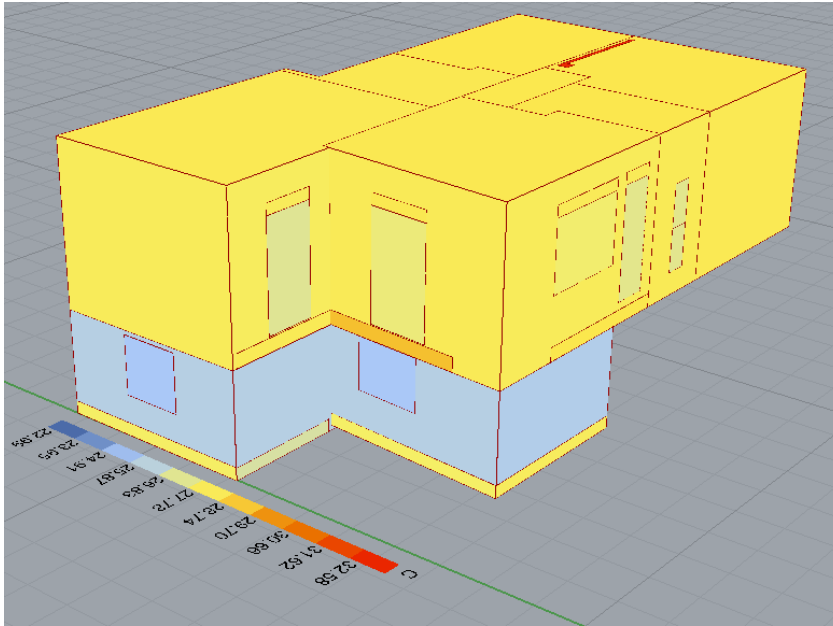


Διάγραμμα 43: Εσωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα με μονό υαλοπίνακα

2. Διπλός με αέρα
- Καλοκαίρι:

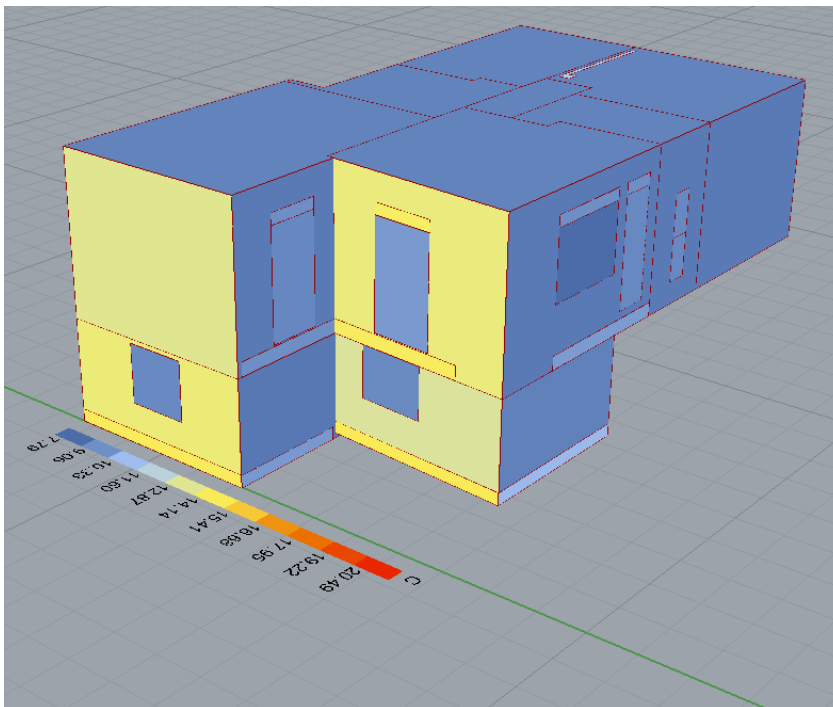


Διάγραμμα 44: Εξωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι με διπλό υαλοπίνακα με αέρα ανάμεσα στα τζάμια.

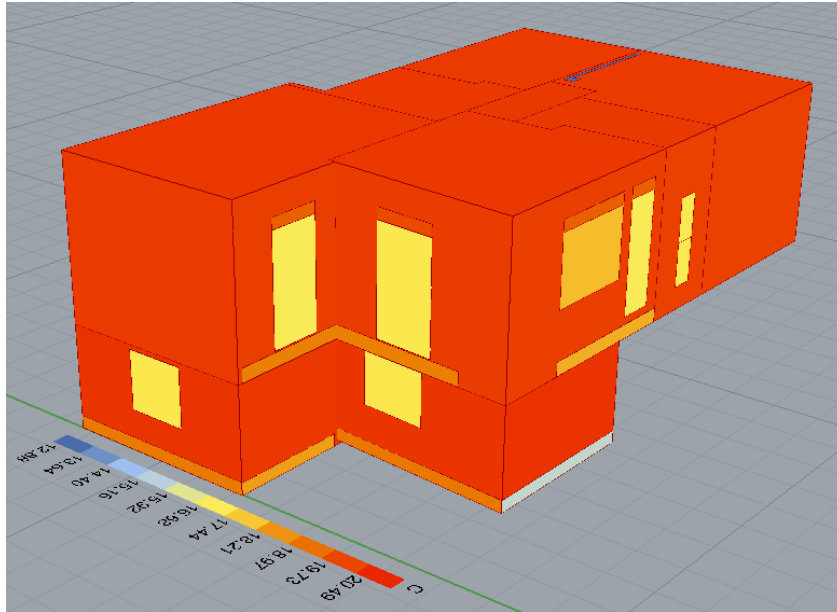


Διάγραμμα 45: Εσωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι με διπλό υαλοπίνακα με αέρα ανάμεσα στα τζάμια.

Χειμώνας:



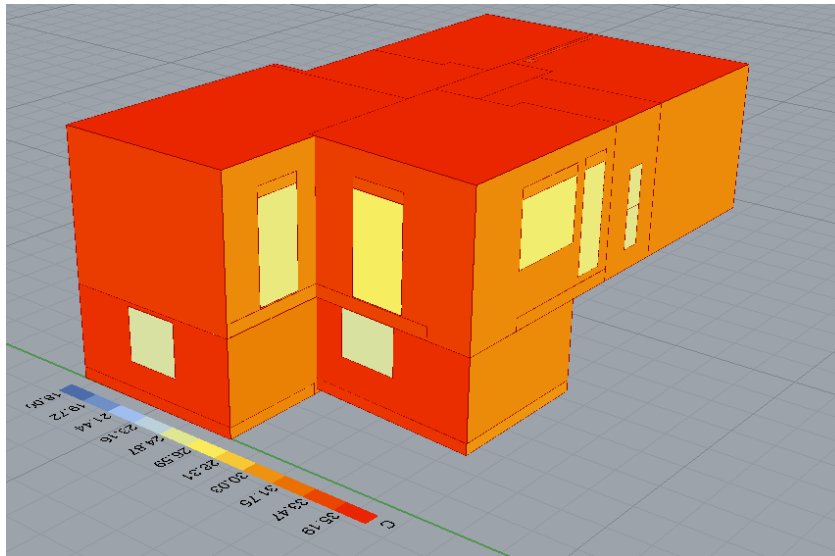
Διάγραμμα 46: Εξωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα με διπλό υαλοπίνακα με αέρα ανάμεσα στα τζάμια.



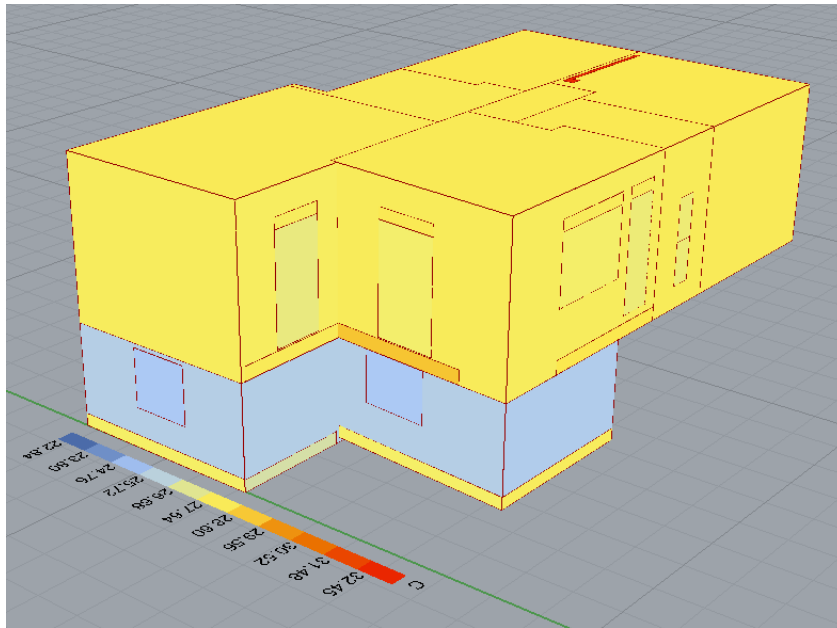
Διάγραμμα 47 Εσωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα με διπλό υαλοπίνακα με αέρα ανάμεσα στα τζάμια.

3. Διπλός υαλοπίνακας με αργό ανάμεσα στα τζάμια και μεμβράνες στη δεύτερη και τρίτη επιφάνεια.

Καλοκαίρι :

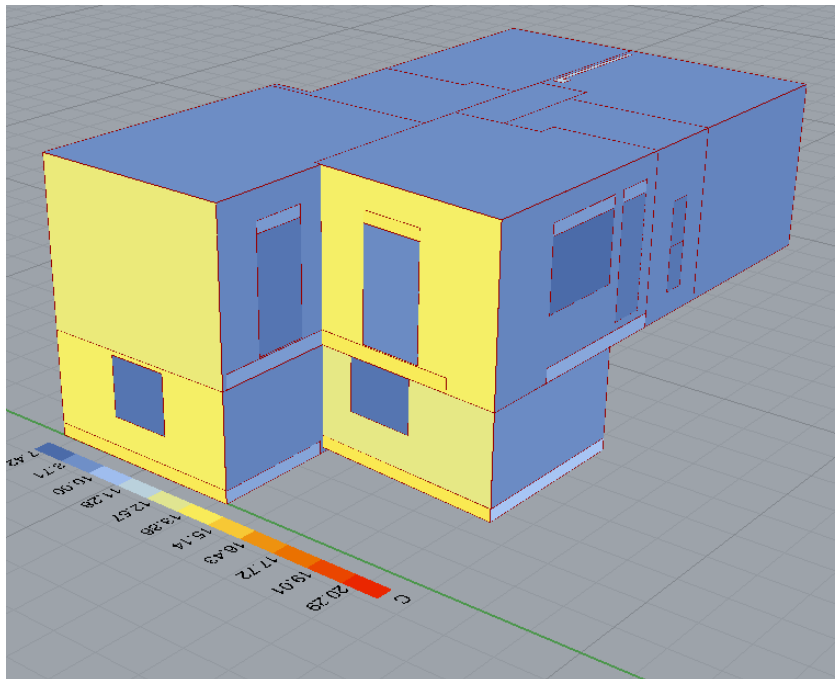


Διάγραμμα 48: Εξωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι με διπλό υαλοπίνακα με αργό ανάμεσα στα τζάμια.



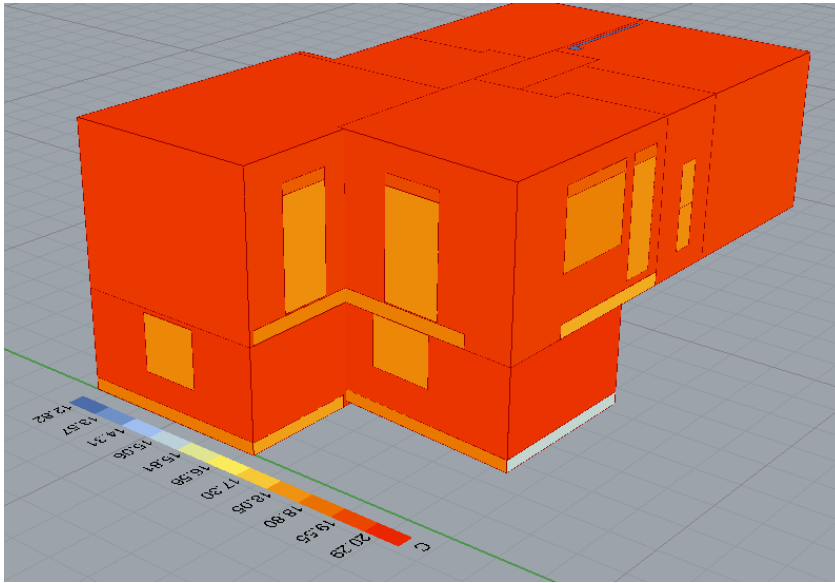
Διάγραμμα 49: Εσωτερικές θερμοκρασίες το καλοκαίρι με διπλό υαλοπίνακα με αργό ανάμεσα στα τζάμια.

Χειμώνας:



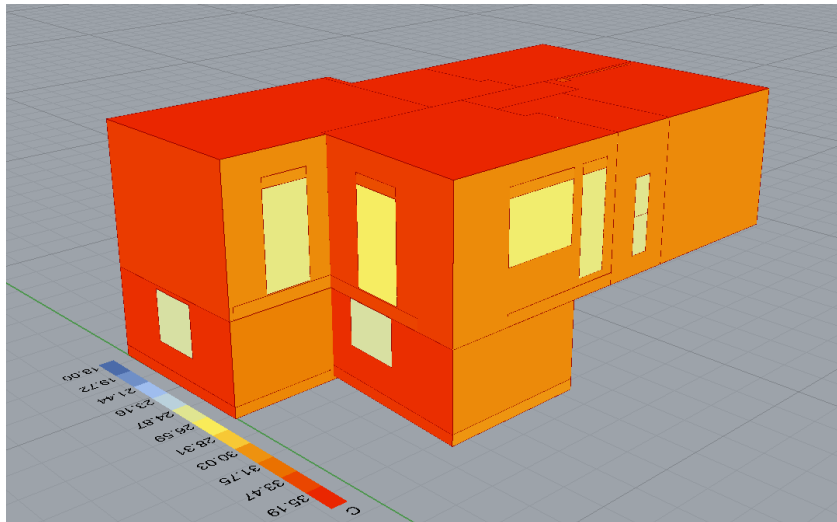
Διάγραμμα 50: Εξωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα με διπλό υαλοπίνακα με αργό ανάμεσα στα τζάμια.



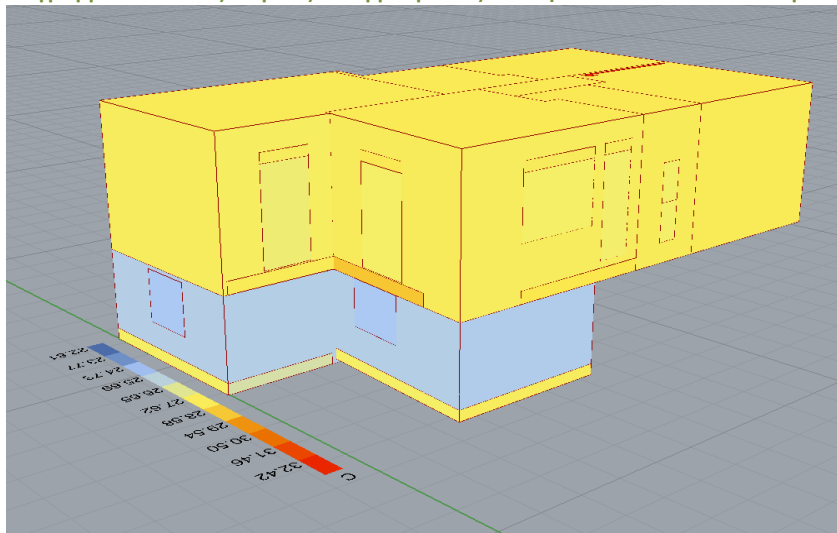


Διάγραμμα 51: Εσωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα με διπλό υαλοπίνακα με αργό ανάμεσα στα τζάμια.

4. Τριπλός υαλοπίνακας με αργό ανάμεσα στα τζάμια και μεμβράνες στη δεύτερη και πέμπτη επιφάνεια.  
Καλοκαίρι :

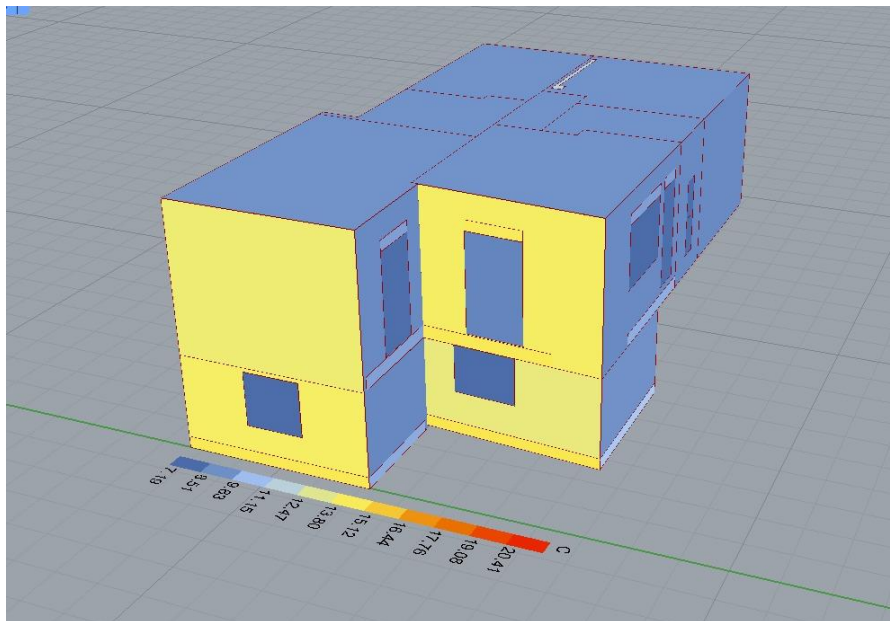


Διάγραμμα 52: Εξωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών το καλοκαίρι με τριπλό υαλοπίνακα

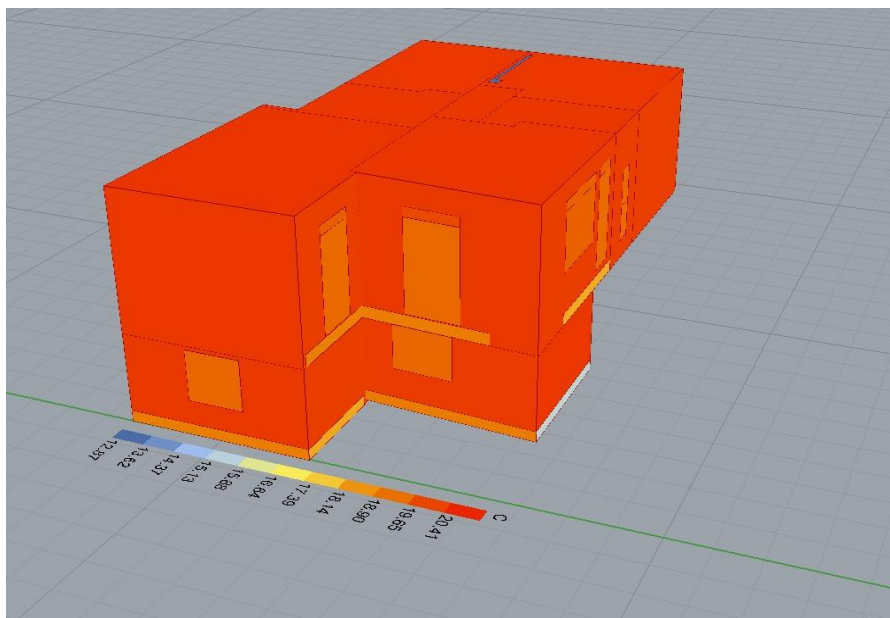


Διάγραμμα 53: Εσωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών το καλοκαίρι με τριπλό υαλοπίνακα

Χειμώνας:



Διάγραμμα 54: Εξωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον χειμώνα με τριπλό υαλοπίνακα

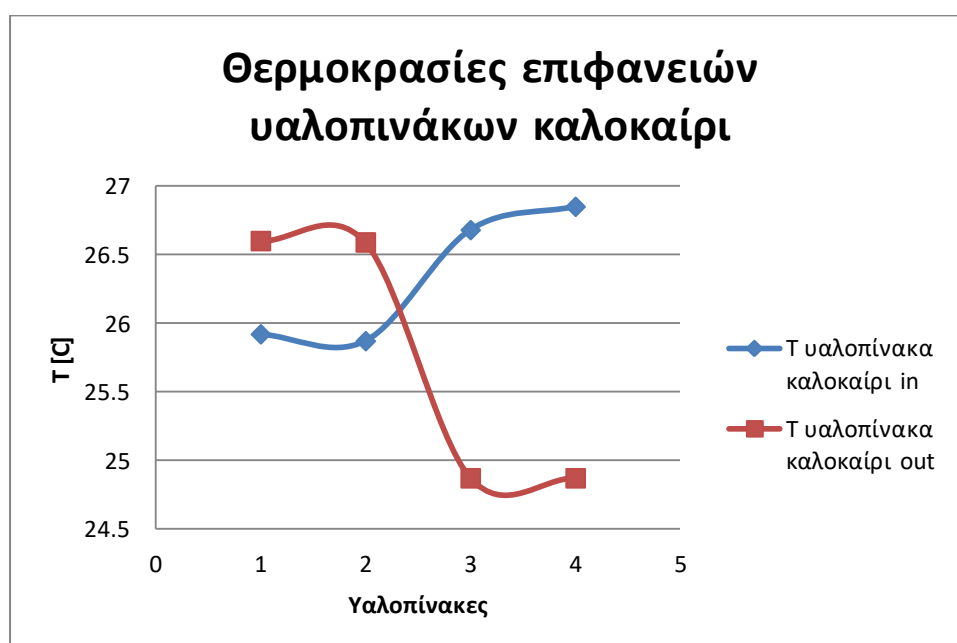


Διάγραμμα 55: Εσωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον χειμώνα με τριπλό υαλοπίνακα

Για την καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για τον υαλοπίνακα του σαλονιού στον πίνακα 7 και τα διαγράμματα.

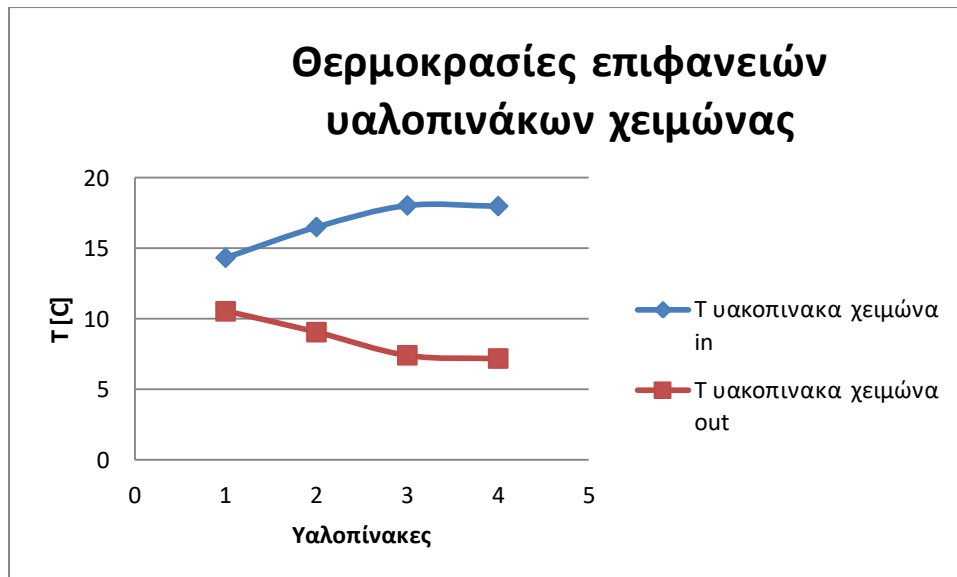
Πίνακας 1: Αναλυτικά αποτελέσματα για την παραμετρική ανάλυση του υαλοπίνακα στο σαλόνι.

	T υαλοπίνακα καλοκαίρι in	T υαλοπίνακα καλοκαίρι out	T υαλοπίνακα χειμώνα in	T υαλοπίνακα χειμώνα out	ΔT καλοκαίρι (έξω - μέσα )	ΔT χειμώνα (έξω - μέσα )	ΔT καλοκαίρι τζάμι-τοίχος	ΔT χειμώνα τζάμι-τοίχος
1	25.92	26.6	14.34	10.54	0.68	-3.8	1.91	5.36
2	25.87	26.59	16.52	9.06	0.72	-7.46	1.91	3.05
3	26.68	24.87	18.05	7.42	-1.81	-10.63	0.96	1.79
4	26.85	24.87	18	7.19	-1.98	-10.81	0.97	1.81



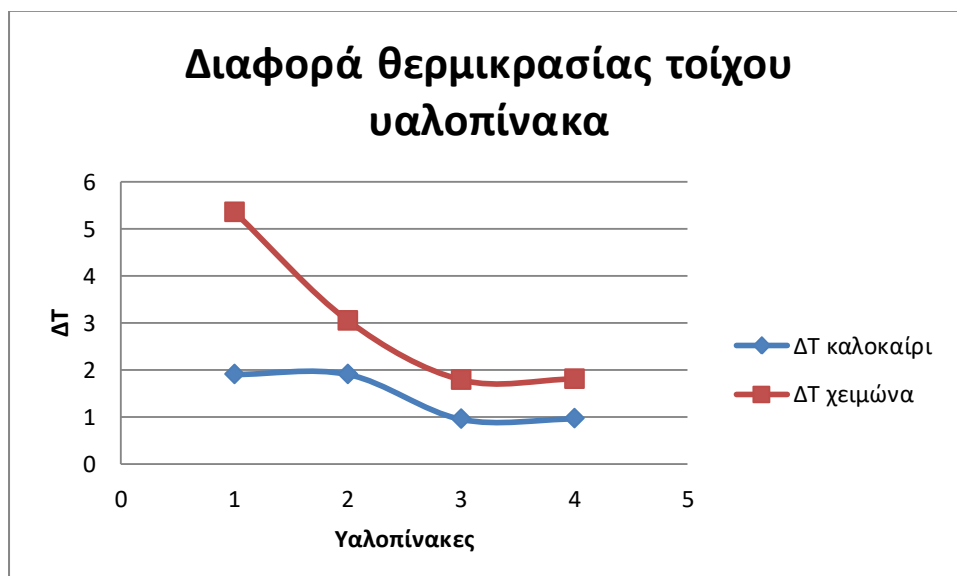
Διάγραμμα 56: Μέση μηνιαία εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία επιφανειών των υαλοπινάκων το καλοκαίρι.

Το καλοκαίρι φαίνεται ότι η μέση εξωτερική θερμοκρασία στο τζάμι 3 και 4 είναι πιο χαμηλή από την εσωτερική. Αυτό συμβαίνει διότι το βράδυ η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πιο χαμηλή από την εσωτερική και λόγω αδράνειας των υλικών του κτιρίου δεν προλαβαίνει να ψυχθεί ο εσωτερικός χώρος. Αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να επιλυθεί κάνοντας νυχτερινό αερισμό στο κτίριο. Αντίθετα τα τζάμια 1 και 2 που έχουν υψηλότερο U έχουν υψηλότερη εξωτερική θερμοκρασία από ότι εσωτερική.



Διάγραμμα 57: Μέση μηνιαία εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία επιφανειών των υαλοπινάκων τον χειμώνα.

Από τις θερμοκρασίες που παρουσιάζουν οι υαλοπίνακες τον χειμώνα φαίνεται ότι όσο καλύτερο είναι το τζάμι του παραθύρου τόσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει εσωτερικά και τόσο χαμηλότερη εξωτερικά. Αυτό σημαίνει ότι οι απώλειες θερμότητας από τον υαλοπίνακα είναι μικρότερες και ότι η εσωτερική του πλευρά έχει σχεδόν την ίδια θερμοκρασία με τον περιβάλλοντα χώρο. Εξίσου σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ακόμα και οι διπλοί υαλοπίνακες έχουν αρκετά διαφορετική συμπεριφορά. Ο διπλός με αέρα ανάμεσα στα δυο τζάμια έχει χαμηλότερη εσωτερική θερμοκρασία σε σχέση με τον διπλό που έχει αργό και μεμβράνες ανακλαστικότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί έχει καλύτερο συντελεστή θερμοπερατότητας, άρα μεγαλύτερη θερμική αντίσταση.



Διάγραμμα 58 Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα.

Στο διάγραμμα 58 απεικονίζεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του τοίχου και του υαλοπίνακα και στις τέσσερις περιπτώσεις. Η επιφάνεια του τριπλού υαλοπίνακα έχει πολύ μικρότερη διαφορά με την επιφάνεια του τοίχου σε σχέση με τον μονό υαλοπίνακα. Το τριπλό τζάμι (4) και τις δύο εποχές έχει μικρή διαφορά θερμοκρασίας με τον τοίχο ενώ όσο χειρότερο είναι το τζάμι τόσο αυξάνει αυτή η διαφορά. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών είναι πιο έντονη τον χειμώνα καθώς τότε λειτουργούν ως σημείο απωλειών θερμότητας.

### **7.3. Αποτελέσματα της μοντελοποίησης Free Running κι για τα δύο κτίρια .**

Με σκοπό την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των κτιρίων χωρίς ελεγχόμενη ψύξη και θέρμανση η μοντελοποίησή τους έγινε με τις εξής παραδοχές

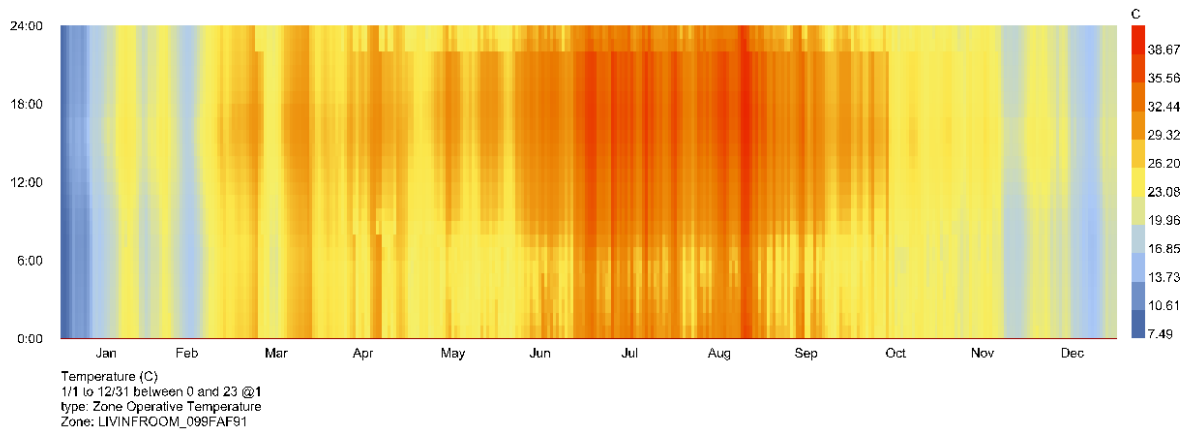
Για το παθητικό:

- Καμία συσκευή ψύξης – θέρμανσης
- Όχι μηχανικό αερισμό
- Ο βραδινός αερισμός μέσω παραθύρων λειτουργεί όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι ανάμεσα στους 15-30C και σταματάει όταν η διαφορά της εσωτερικής με την εξωτερική θερμοκρασία έχει πέσει κάτω από 5C.
- Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη είναι τα ίδια με πριν.
- Η αεροστεγανότητα είναι η ίδια με πριν.

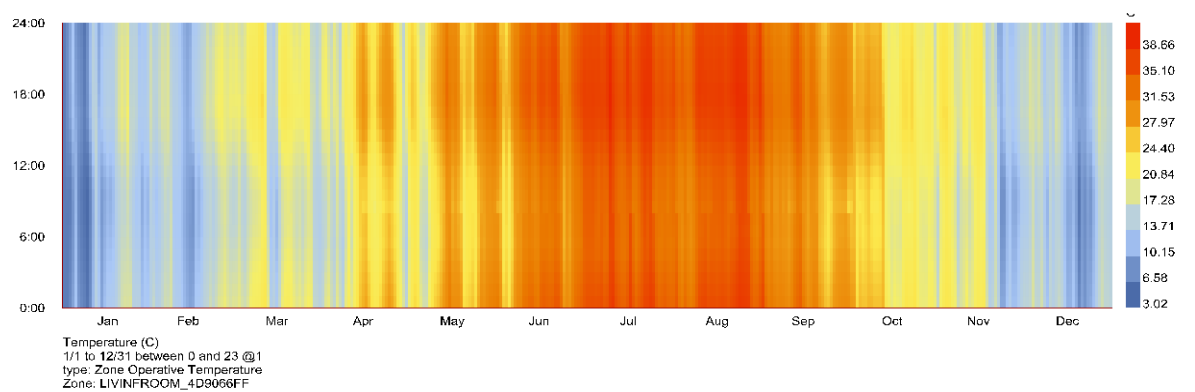
Για το συμβατικό

- Καμία συσκευή ψύξης – θέρμανσης
- Αερισμός από παράθυρα, όπως πριν.
- Ο βραδινός αερισμός (22:00- 8:00) γίνεται μέσω παραθύρων όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι ανάμεσα στους 15-30C, ενώ όταν η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας πέσει κάτω από 5C τα παράθυρα κλείνουν.
- Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη είναι τα ίδια με πριν.
- Η αεροστεγανότητα είναι η ίδια με πριν.

Αποτελέσματα:

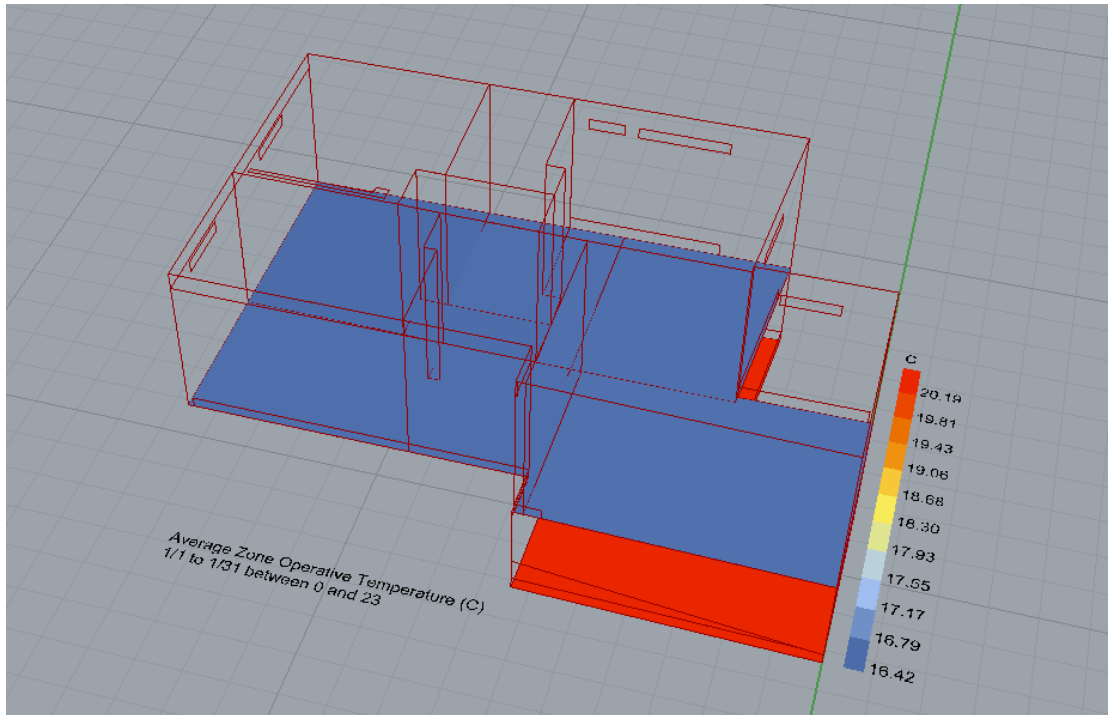


**Διάγραμμα 59: Εσωτερικές θερμοκρασίες στο σαλόνι του παθητικού**

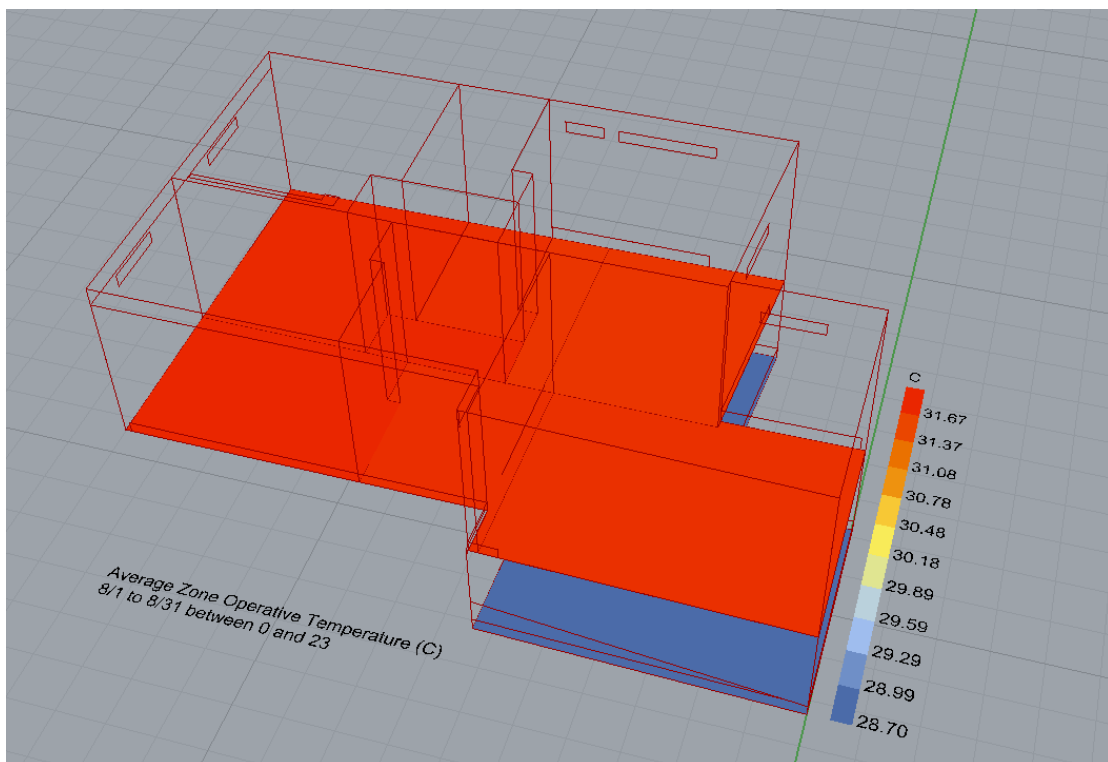


**Διάγραμμα 60: Ωριαία αποτελέσματα εσωτερικής θερμοκρασίας στο συμβατικό – Free running**

Παρατηρώντας τα ωριαία αποτελέσματα είναι φανερό ότι μέσα στη χρονιά η εσωτερική θερμοκρασία του παθητικού είναι πιο κοντά στις συνθήκες θερμικής άνεσης από ότι είναι το συμβατικό. Αυτό είναι πιο έντονο στα μέσα μηνιαία αποτελέσματα για τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο καθώς εκεί παρατηρείται ότι το παθητικό έχει 16C βαθμούς τον χειμώνα και 31C βαθμούς το καλοκαίρι ενώ το συμβατικό έχει 10C και 33C αντίστοιχα, εικόνες 97-100. Η σύγκριση είναι για την ισόγεια κατοικία και όχι για τον χώρο του γραφείου.

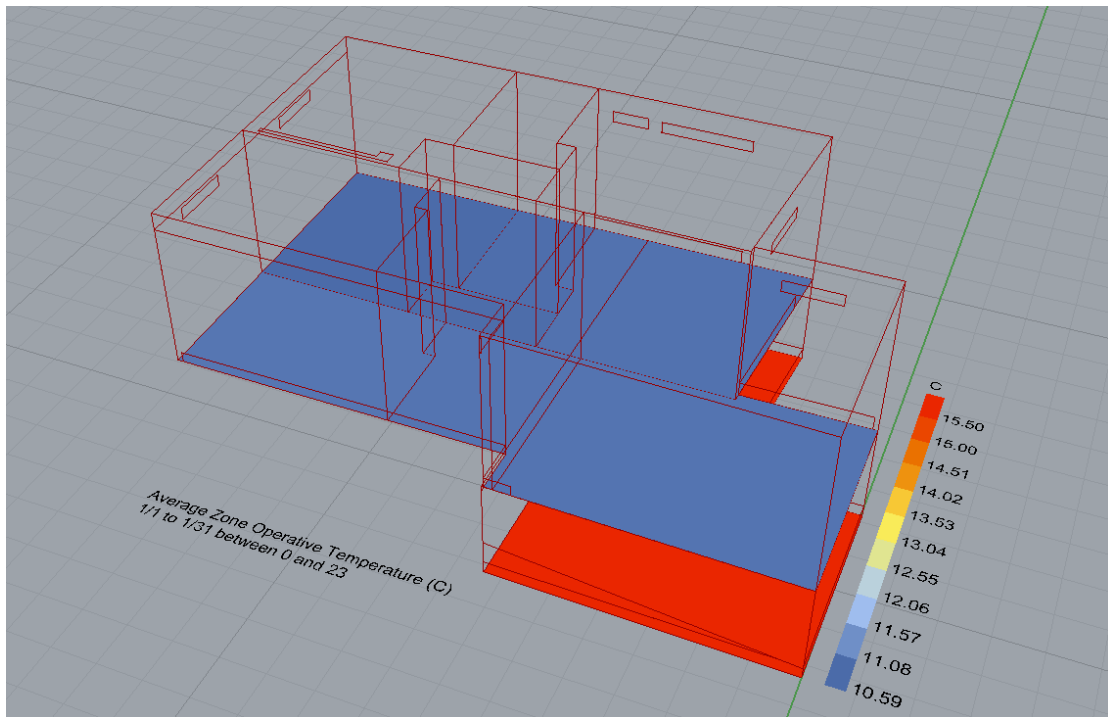


Διάγραμμα 61: Μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Ιανουάριο παθητικό- Free running

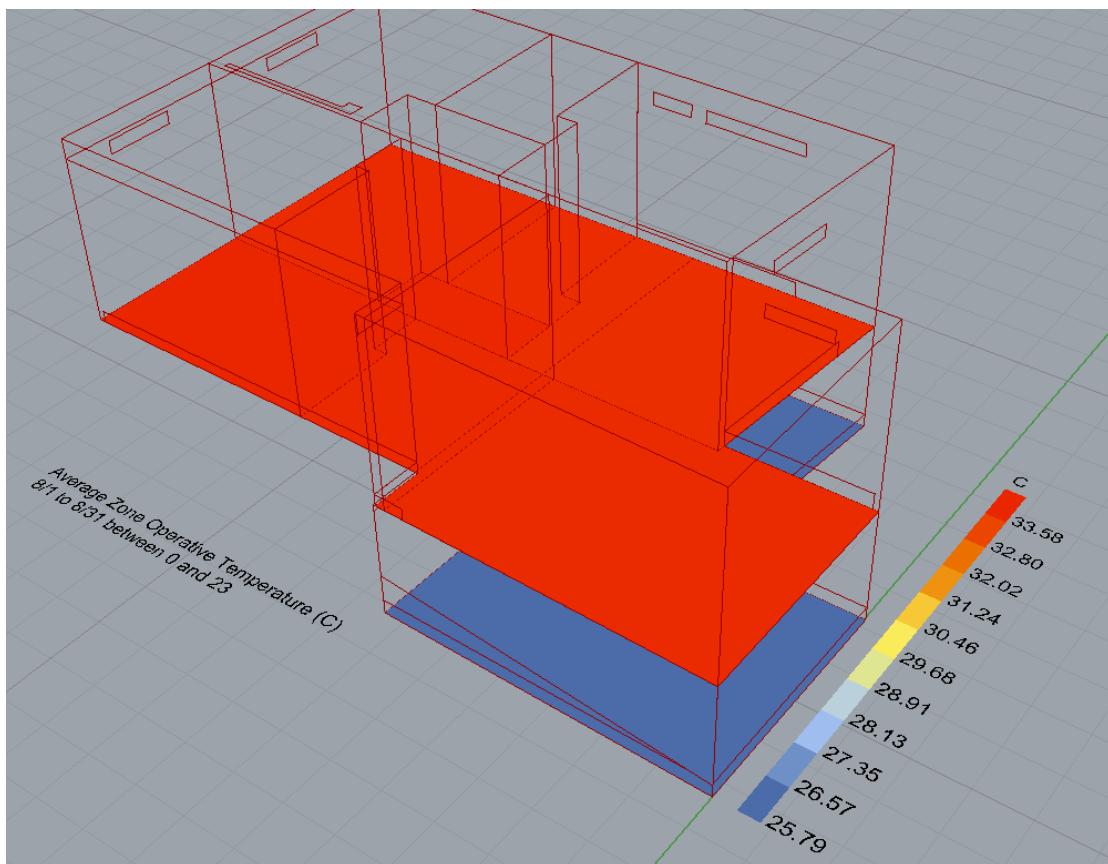


Διάγραμμα 62 Μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Αύγουστο παθητικό free running.



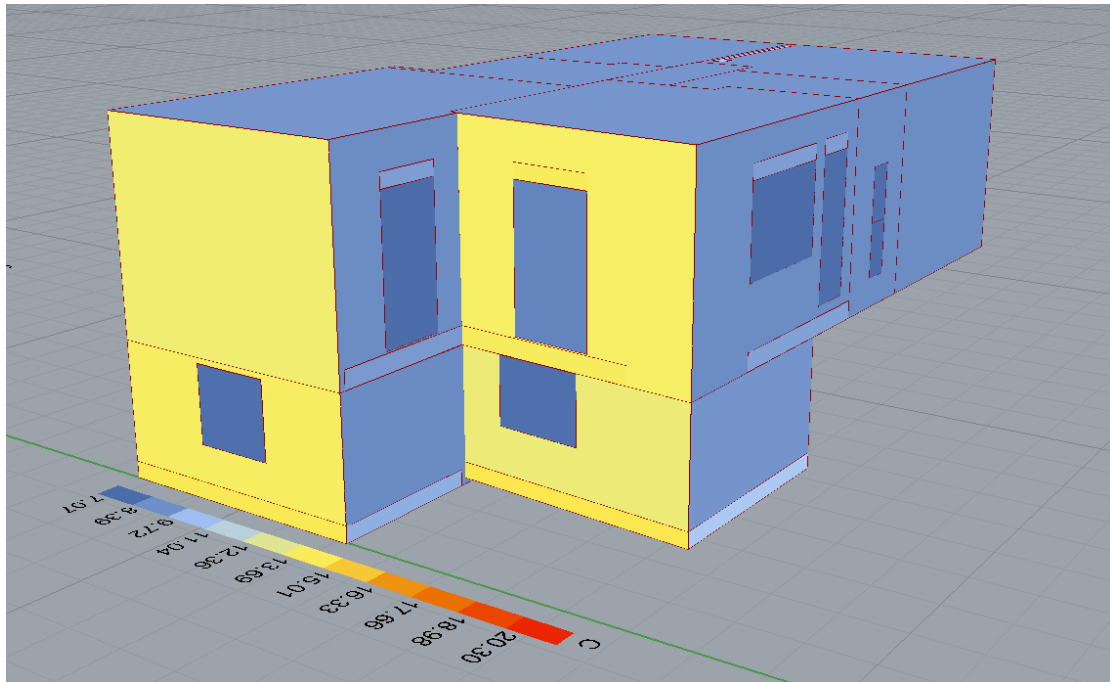


Διάγραμμα 63: Μέση εσωτερική θερμοκρασία τον Ιανουάριο στο συμβατικό free running.

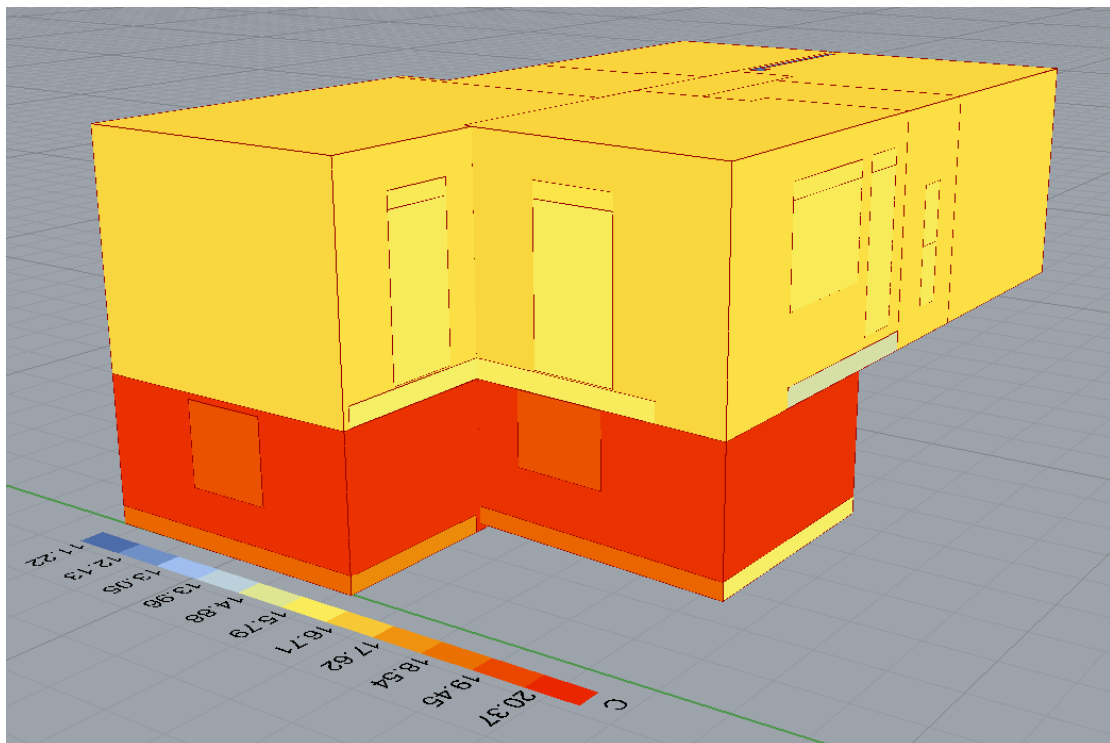


Διάγραμμα 64: Μέση εσωτερική θερμοκρασία τον Αύγουστο στο συμβατικό free running.

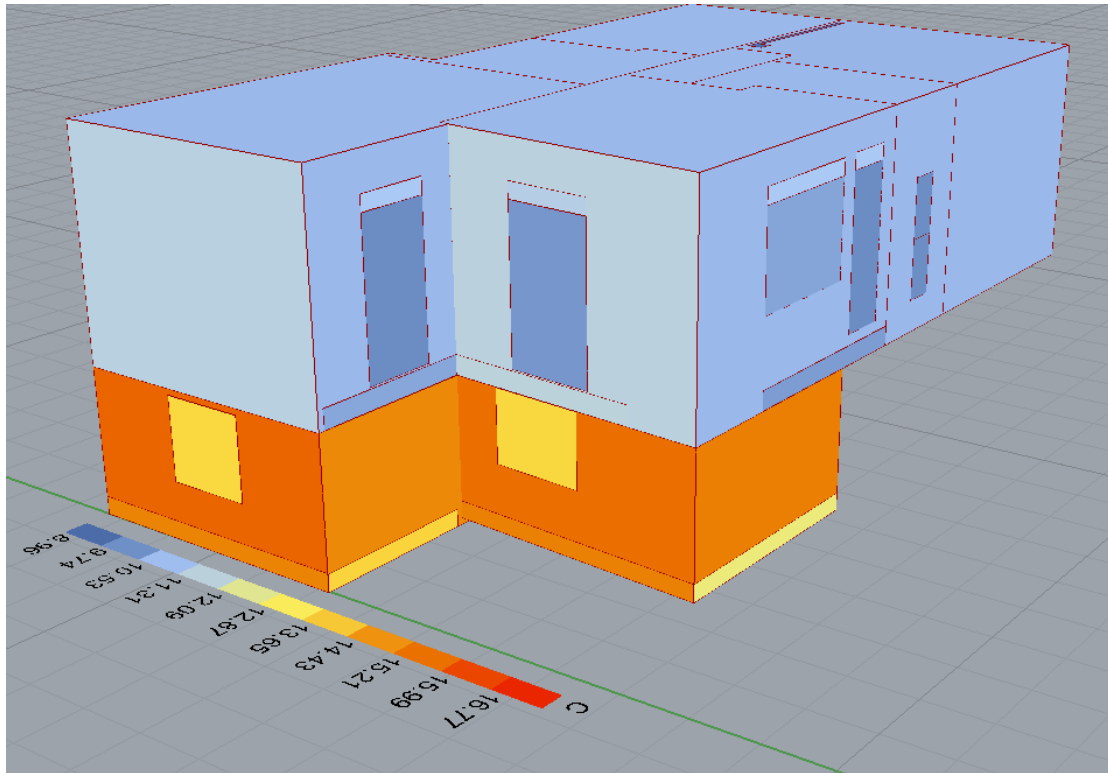
Αποτελέσματα θερμοκρασιών των επιφανειών του κτιρίου όταν λειτουργεί χωρίς ψύξη και θέρμανση:



Διάγραμμα 65: Εξωτερικές θερμοκρασίες επιφανειών τον Ιανουάριο



Διάγραμμα 66: Εσωτερικές θερμοκρασίες τον Ιανουάριο παθητικό - Free Running



**Διάγραμμα 67: Μέση εσωτερική θερμοκρασία επιφανειών τον Ιανουάριο συμβατικό – Free running**

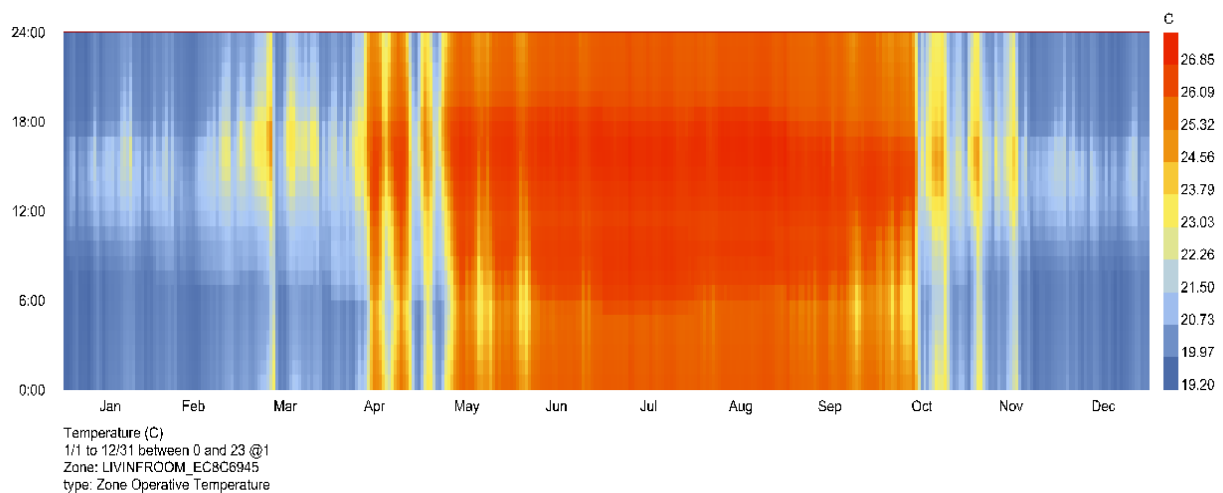
Συγκρίνοντας τις τιμές των εσωτερικών επιφανειών αποδεικνύεται ότι η συμβατική κατοικία έχει σχεδόν ίδιες θερμοκρασίες μέσα κι έξω από τα τζάμια και πολύ μικρές διαφορές στην τοιχοποιία. Αντίθετα οι υαλοπίνακες του παθητικού έχουν μέχρι και 7C βαθμούς διαφορά μεταξύ των δύο επιφανειών τους, ενώ οι τοίχοι έχουν έως και 6C διαφορά. Αυτό αποδεικνύει ότι ακόμα και χωρίς ενεργητική ψύξη και θέρμανση το παθητικό κτίριο μπορεί να διατηρήσει υψηλότερες θερμοκρασίες στα οικοδομικά του στοιχεία το οποίο δικαιολογεί και τη χαμηλότερη απαίτηση σε κατανάλωση ενέργειας όλο τον χρόνο.

#### **7.4. Σύγκριση των μετρήσεων με τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης.**

Το σπίτι που μελετάται αφού ανακαινίστηκε σε παθητικό κατοικήθηκε για 7 χρόνια. Μέσα στο σπίτι είχαν εγκατασταθεί μετρητικά στο σαλόνι που κατέγραφαν την εσωτερική θερμοκρασία, την υγρασία και το CO2 του χώρου κάθε 5 λεπτά. Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται σύγκριση των μετρήσεων μιας χρονιάς, του 2017, με τα ωριαία αποτελέσματα που έδωσε η δυναμική ανάλυση με το Open Studio.



Διάγραμμα 68: Διάγραμμα με τις εσωτερικές θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στο σαλόνι το 2017.



Διάγραμμα 69: Ωριαία αποτελέσματα εσωτερικής θερμοκρασίας στο σαλόνι.

Οι μετρήσεις δείχνουν ότι η θερμοκρασία στο δωμάτιο ήταν όλο τον χρόνο ανάμεσα στους 20.3 με 25.6 C. Οι καταναλώσεις την ίδια χρονιά για θέρμανση ήταν 4.63 kWh/m<sup>2</sup> TFA τους μήνες Νοέμβριο με Απρίλιο και για ψύξη 2.23 kWh/m<sup>2</sup>TFA τους μήνες Απρίλιο με Οκτώβριο. Αυτό αποδεικνύει στην πράξη πόσο καλά λειτουργεί ένα παθητικό κτίριο. Επίσης είναι εντυπωσιακό ότι το παρόν κτίριο έγινε παθητικό μετά από ανακαίνιση άρα είχε πολλούς κατασκευαστικούς περιορισμούς που σε ένα νεόδμητο θα μπορούσαν να επιλυθούν κατά τη φάση της μελέτης και του σχεδιασμού του, όπως ο προσανατολισμός του και οι θερμογέφυρες.

Σε σχέση με τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης οι πραγματικές μετρήσεις της θερμοκρασίας και η απαίτηση σε ενέργεια είναι χαμηλότερες. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι είναι δύσκολο να προσομοιωθεί απόλυτα η συμπεριφορά του χρήστη, τα κλιματικά δεδομένα μιας περιοχής αλλά και η δυναμική σκίαση που προκύπτει από τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου όπως τα γειτονικά κτίρια και τα δέντρα. Παρόλα αυτά το δυναμικό μοντέλο προβλέπει τη θερμική άνεση που θα είχε ένα παθητικό καθώς και τη συμπεριφορά των δομικών στοιχείων του.

## **8. Συμπεράσματα – προτάσεις για μελλοντική μελέτη:**

### **8.1 Συμπεράσματα:**

Κύριος στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της θερμικής άνεσης ενός παθητικού κι ενός συμβατικού κτιρίου. Η θερμική άνεση επιτυγχάνεται όταν η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου κυμαίνεται από 20 έως 25 °C και η υγρασία είναι μεταξύ 30% και 50%. Η εσωτερική θερμική άνεση είναι δείκτης του αν ένας βιώσιμος χώρος είναι υγιεινός. Αναλογιζόμενοι τον σύγχρονο τρόπο ζωής όπου ο μέσος άνθρωπος περνάει το 90% του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους, είτε το σπίτι του είτε στον χώρο εργασίας, η εσωτερική θερμική άνεση θα έπρεπε να είναι δεδομένη για κάθε τύπο κτιρίου. Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι σε ένα παθητικό κτίριο μπορεί να επιτευχθεί θερμική άνεση με χαμηλό ενεργειακό κόστος εφαρμόζοντας τις βασικές αρχές που ορίζει το πρότυπο του παθητικού κτιρίου. Αυτό φάνηκε και από τις μετρήσεις που υπάρχουν σε υφιστάμενο παθητικό σπίτι και από την δυναμική ανάλυση που έγινε με το Honeybee. Αντίθετα σε ένα συμβατικό σπίτι η δυναμική ανάλυση έδειξε ότι για να επιτευχθούν οι παρόμοιες εσωτερικές συνθήκες χρειάζεται τετραπλάσια ενέργεια για θέρμανση και διπλάσια για ψύξη. Ακόμα ένα σημαντικό συμπέρασμα της μελέτης ήταν η διαφορά της θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων στα δυο κτίρια. Στο παθητικό τόσο η εσωτερική επιφάνεια των τοίχων όσο και η εσωτερική μεριά των υαλοπινάκων έχουν θερμοκρασίες κοντά σε αυτή του εσωτερικού περιβάλλοντος όλο τον χρόνο. Αυτό δείχνει ότι η το κτίριο έχει ομοιόμορφη θερμοκρασιακή κατανομή αρα είναι και πιο ευχάριστη η διαβίωση μέσα σε αυτό. Αντίθετα το συμβατικό κτίριο έχει κρύες εσωτερικές επιφάνειες τον χειμώνα και ζεστές το καλοκαίρι. Μια ακόμη θεματική της διπλωματικής εργασίας ήταν η παραμετρική ανάλυση τεσσάρων διαφορετικών υαλοπινάκων και σύγκριση της εσωτερικής τους θερμοκρασίας. Η μελέτη έδειξε ότι όσο καλύτερος ο υαλοπίνακας δηλαδή με περισσότερα τζάμια και επιστρώσεις τόσο πιο κοντά είναι η θερμοκρασία της εσωτερικής του επιφάνειας στην θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος. Τέλος έγινε δυναμική ανάλυση για τα δύο κτίρια αν αυτά λειτουργούσαν χωρίς συστήματα ψύξης και θέρμανσης. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το παθητικό έχει μεγαλύτερη αδράνεια στις εξωτερικές συνθήκες από ότι το συμβατικό καθώς διατηρεί την εσωτερική του θερμοκρασία σε βιώσιμα επίπεδα. Από όλα τα παραπάνω είναι φανερό ότι σε ένα παθητικό κτίριο μπορεί να επιτευχθεί ένα υγιεινό και ευχάριστο εσωτερικό κλίμα με ελάχιστες καταναλώσεις όλο τον χρόνο.

## 8.2 Προτάσεις για μελλοντικές μελέτες:

Κλείνοντας την εργασία αυτή ακολουθούν έξι προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Κάποιες από αυτές θα μπορούσαν να αποτελέσουν συνέχεια αυτής της διπλωματικής ενώ άλλες είναι ιδέες που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εργασίας και αφορούν την δυναμική μοντελοποίηση κτιρίων σε Honeybee.

1. Μελέτη διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης και πως επιδρούν στην θερμική άνεση του χώρου: Εφόσον το Honeybee έχει την δυνατότητα να παράξει διαγράμματα θερμοκρασία αέρα ανά χώρο και ανά ώρα είναι εφικτό να μελετηθούν οι διαφορές μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας αέρα και ενός συστήματος θέρμανσης με ακτινοβολία πχ καλοριφέρ ή ενδοδαπέδια θέρμανση. Σκοπός είναι να μελετηθούν οι διαφορές στην θερμοκρασία του κάθε χώρου λόγω του διαφορετικού τρόπου μετάδοσης της θερμότητας και αν υπάρχουν διαφορές στην θερμοκρασία της εσωτερικής πλευράς των δομικών στοιχείων (τοίχοι και κουφώματα). Ακόμα μπορεί να καταγραφεί το πόσο συχνά χρειάζεται να λειτουργεί το κάθε σύστημα, για πόση ώρα χρειάζεται για να θερμαίνει ένα παθητικό κτίριο και τι είναι πιο αποδοτικό από άποψη κόστους οφέλους συμπεριλαμβανομένου και το κόστους επένδυσης.
2. Ανάλυση με CFD της θερμοκρασίας των χώρων και της ροής του αέρα μέσα σε ένα παθητικό κτίριο: Ένα από το plug in του grasshopper είναι το Butterfly το οποίο κάνει CFD ανάλυση σε κτίρια που έχουν μοντελοποιηθεί με Honeybee. Θα ήταν ενδιαφέρον να γίνει μια τέτοια ανάλυση σε ένα παθητικό κτίριο ώστε να αποτυπωθούν χάρτες εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα σε κάθε χώρο. Αυτό θα δείξει πώς επηρεάζει την εσωτερική κατανομή της θερμοκρασία του χώρου η θέση του κλιματιστικού, τα κουφώματα και οι θερμογέφυρες, καθώς τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας θα είναι τοπικά και όχι η μέση τιμή όλου του δωματίου. Επίσης με το ίδιο εργαλείο μπορεί να γίνει και αποτύπωση της ροής αέρα για το σύστημα αερισμού και για τα κλιματιστικά. Αυτή η έρευνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση της θέσης τοποθέτησης των στομιών αλλά και των κλιματιστικών μονάδων σε ένα κτίριο.
3. Κατασκευή εργαλείου εισαγωγής γραμμικών θερμογεφυρών: Όπως αναφέρθηκε και στην εργασία το Honeybee δεν διαθέτει κάποιο εργαλείο για την εισαγωγή των θερμογεφυρών του κτιρίου. Η μοντελοποίηση των θερμογεφυρών γίνεται με βάση το πρότυπο της ASRAE το οποίο τις ορίζει ως μια νέα επιφάνεια που θα έχει ένα τροποποιημένο U value. Αυτό περιπλέκει πολύ την διαδικασία της μελέτης και του σχεδιασμού ενός κτιρίου καθώς χρειάζεται να σχεδιαστούν όλες αυτές οι επιφάνειες στο γεωμετρικό μοντέλο και στην συνέχεια να περαστούν όλα τα χαρακτηριστικά τους στο Honeybee. Το Honeybee όπως είναι ένα ανοιχτό λογισμικό γραμμένο σε python το οποίο παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής νέων εντολών. Για αυτό προτείνεται η δημιουργία ενός νέου κώδικα που θα υπολογίζει θερμογέφυρες. Συνοπτικά αυτός ο κώδικας θα πρέπει να κάνει τα εξής: Να έχει ως εισαγωγή το μήκος και την τιμή  $\Psi$  της θερμογέφυρας. Να υπολογίζει τις απώλειες με βάση τον τύπο  $Q_{TB} = l \cdot \Psi \cdot fT \cdot Gt$  και να τις προθέτει στις συνολικές απώλειες που υπολογίζει το Energy Plus.
4. Σύγκριση μελέτης σκίασης μεταξύ Design PH και Honeybee: Όταν γίνεται μια μελέτη για την κατασκευή ενός παθητικού κτιρίου η μελέτη της σκίασης γίνεται με το εργαλείο Design PH το οποίο είναι ένα plug in του Sketch up. Αυτό δίνει τους συντελεστές σκίασης του κάθε παραθύρου για το καλοκαίρι και τον χειμώνα με

βάση την γεωμετρία του κτιρίου και τον περιβάλλοντα χώρο. Αντίστοιχα στο Honeybee μπορεί να σχεδιαστούν τα σκίαστρα και ο περιβάλλοντας χώρος στο Rhino και στην συνέχεια να περαστούν ως Shading στο Honeybee. Εφόσον και τα δυο λογισμικά κάνουν δυναμική ανάλυση της σκίασης μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα τους.

5. Κατασκευή ενός προτύπου (template) για την μελέτη παθητικών κτιρίων στο honeybee. Το βασικό λογισμικό μελέτης παθητικών κτιρίων είναι το rhrp (passive house planning package) το οποίο είναι σε μορφή excel και κάνει στατική ανάλυση με μηνιαίο χρονικό βήμα. Το πλεονέκτημα του rhrp είναι ότι ο χρήστης ακολουθεί μια συγκεκριμένη ακολουθία βημάτων και υπάρχουν συγκεκριμένα κελιά που πρέπει να ορίσει τιμές. Οπότε αν μάθει το λογισμικό εύκολα καταλήγει σε ασφαλή αποτελέσματα. Προτείνεται η δημιουργία μιας αντίστοιχης τυποποιημένης διαδικασίας που σταδιακά θα οδηγεί σε μια ολοκληρωμένη μελέτη κτιρίων σε Honeybee. Αυτό θα ήταν ωφέλιμο για δύο λόγους. Πρώτον επειδή το Honeybee συνδέεται με το Rhino θα αυτοματοποιηθεί η διαδικασία της μελέτης καθώς τα 3D σχέδια από τους αρχιτέκτονες θα ήταν άμεσα επεξεργάσιμα. Δεύτερων θα μπορούσαν να παραχθούν γρήγορα γραφήματα και απεικονίσεις για κάθε κτίριο προς μελέτη. Αυτά θα είναι εξαιρετικά χρήσιμα κυρίως για παρουσιάσεις ειδικευμένων αποτελεσμάτων σε όσους ενδιαφέρονται να χτίσουν ή να ανακαινίσουν ένα παθητικό κτίριο και είναι στο στάδιο έρευνας της αγοράς και αναζήτησης της καλύτερης λύσης για το σπίτι τους.
6. Μοντελοποίηση μηχανολογικών συστημάτων: Στην παρούσα μελέτη τα μηχανολογικά συστήματα όπως τα κλιματιστικά και το σύστημα μηχανικού αερισμού μοντελοποιήθηκαν ως ιδανικά συστήματα. Όμως το grasshopper διαθέτει ένα ακόμα plug in το Iron Bug το οποίο είναι συμβατό με το Honeybee και είναι για την αναλυτική μοντελοποίηση των μηχανολογικών συστημάτων. Με αυτό θα μπορούσαν να δοθούν περισσότερες λεπτομέρειες για αυτά τα συστήματα και να παραχθούν πιο αναλυτικά αποτελέσματα σχετικά με την απόδοση και την κατανάλωση τους.

## Βιβλιογραφία:

Δημήτριος Παλλαντζάς «Ενεργειακή ανάλυση παθητικών συστημάτων σε Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης με χρήση των λογισμικών PHPP και DesignPH», Διπλωματική εργασία, Μάρτιος 2019.

Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, Τεύχος προδιαγραφών και λεπτομερειών υλικών και συστημάτων παθητικού κτιρίου και κατάρτισης τεχνικού προσωπικού,

Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, Οδηγός αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, 2020.

Ελληνικό Ινστιτούτο Παθητικού Κτιρίου, Κριτήρια Πιστοποίησης για τα πρότυπα Passive House, EnerPHit και PHI Κτίριο Χαμηλής Ενέργειας,

Τεχνική Οδηγία, Τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Τ.Ε 20701 -2/2010

Τεχνική Οδηγία, Τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Τ.Ε 20701 -2/2021

“Το Κτίριο – WwW.Passivistas.Com.” WwW.Passivistas.Com – Το Σπίτι Του 2020 Σήμερα!, <http://passivistas.com.www366.your-server.de/t%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%BF%CF%85/%CF%84%CE%BF-%CE%BA%CF%84%CE%AF%CF%81%CE%B9%CE%BF/>.

Ko, Won Hee, et al. “Ventilation, Thermal and Luminous Autonomy Metrics for an Integrated Design Process.” *Building and Environment*, Elsevier BV, Nov. 2018, pp. 153–65. Crossref, doi:10.1016/j.buildenv.2018.08.038.

“Ladybug Tools | Home Page.” Ladybug Tools | Home Page, <https://www.ladybug.tools/index.html#header-slide-show>. Accessed 18 Mar. 2024.

Levitt, Brendon. *VT1.0 Introduction to the Arch 149 Tutorials*. YouTube, 20 June 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=D5mG3Di23Zo>.

Mackey, Chris. *0 - Honeybee Energy Modeling - Introduction*. YouTube, 28 Sept. 2014, <https://www.youtube.com/watch?v=m8ncENwXpek>.

May. 02 HBPH to WUFI-Passive | Geometry. YouTube, 13 Nov. 2022, <https://www.youtube.com/watch?v=yi-QTB1Z7v0>.

Passive House institute, Criteria for Buildings Passive House – EnerPHit – PHI Low Energy Building, 2023.

Passive House Institute, Thermal Bridges Catalogue.

Roberts, Tristan. “We Spend 90% of Our Time Indoors. Says Who? | BuildingGreen.” BuildingGreen, BuildingGreen, <https://www.buildinggreen.com/blog/we-spend-90-our-time-indoors-says-who>. Accessed 10 Feb. 2024.



“Using Honeybee THERM to Calculate Psi-Values - #27 by Fn - Resources - Ladybug Tools | Forum.” Ladybug Tools | Forum, Ladybug Tools | Forum, 1 Dec. 2021, <https://discourse.ladybug.tools/t/using-honeybee-therm-to-calculate-psi-values/3328/27>.