



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Κατεύθυνση:** Μηχανικών Περιβάλλοντος

## **ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΥ**

**ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΚΟΤΣΟΛΑΚΗ**

*ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ, 2023*



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Κατεύθυνση:** Μηχανικών Περιβάλλοντος

## ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΥ**

**ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΚΟΤΣΟΛΑΚΗ**

*ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:*

Κολοκοτσά Διονυσία (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ)

Τσούτσος Θεοχάρης

Βουλγαράκης Απόστολος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστώ την κυρία Διονυσία Κολοκοτσά για την εμπράγματη καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και για την διδακτική της συμβολή που με ώθησε να ασχοληθώ με αυτόν τον τομέα.

Επίσης , ένα ευχαριστώ σε όλους τους συνεργάτες μου στην Σαρρής Ενεργειακή που το πάθος τους σε αυτό που κάνουν με βοήθησε να γίνω καλύτερος.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Θεοχάρη Τσούτσο και τον κύριο Απόστολο, Βουλγαράκη για το χρόνο που αφιέρωσαν για την μελέτη και την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας .

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και του φίλους μου, που την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια για να κατάφερα να επιτύχω τους στόχους μου και να φτάσω στο σημείο που είμαι σήμερα .

## Περιεχόμενα

|   |    |
|---|----|
| Ευχαριστίες .....   | 2  |
| Περιεχόμενα .....   | 3  |
| Κατάλογος Εικόνων .....   | 5  |
| Κατάλογος Πινάκων .....   | 7  |
| Περίληψη .....  | 8  |
| Abstract.....   | 9  |
| 1. Εισαγωγή.....  | 10 |
| 1.1. Σκοπός Διπλωματικής .....                                      | 10 |
| 1.2. Κλιματική Αλλαγή.....  | 11 |
| 1.2.1. Ευρωπαϊκός Κλιματικός Νόμος .....                            | 13 |
| 1.2.2. Εθνικός Κλιματικός Νόμος .....                               | 14 |
| 1.3. Ενεργειακή Κρίση .....   | 15 |
| 1.3.1. Ενεργειακή Κρίση στην Ελλάδα .....                           | 16 |
| 1.4. Ενεργειακή Κατανάλωση Κτηρίων.....                             | 17 |
| 1.5. Κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) .....   | 21 |
| 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....                                   | 24 |
| 3. Μεθοδολογία.....   | 32 |
| 3.1. Τοποθεσία κτηριακής Εγκατάστασης.....                          | 32 |
| 3.2. Κλιματικά Δεδομένα.....  | 33 |
| 3.3. Περιγραφή γεωμετρίας κτηρίου .....                             | 34 |
| 3.4. Καταγραφή ενεργειακών χαρακτηριστικών υπάρχοντος κτηρίου ..... | 35 |
| 3.4.1. Κτηριακό κέλυφος.....  | 35 |
| 3.4.2. Σύστημα θέρμανσης & ψύξης .....                              | 35 |
| 3.4.3. Φωτισμός .....   | 38 |
| 3.4.4. Μηχανικός Αερισμός.....                                      | 40 |
| 3.4.5. Φωτοβολταϊκό Σύστημα με αποθήκευση ενέργειας.....            | 41 |
| 3.4.6. Ηλεκτρικές Συσκευές.....                                     | 43 |
| 3.4.7. KNX αυτοματισμοί.....  | 43 |
| 3.5. Μοντελοποίηση Κτηρίου.....                                     | 44 |
| 3.5.1. Σχεδίαση Κτηρίου.....  | 44 |
| 3.5.2. Schedules .....  | 44 |
| 3.5.3. Δομικά υλικά & δομικά στοιχεία .....                         | 48 |
| 3.5.4. Φορτία- Εσωτερικά κέρδη .....                                | 49 |
| 3.5.5. Τύποι Χώρων .....  | 51 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.5.6.  | Θερμικές Ζώνες.....                        | 52 |
| 3.5.7.  | Χώροι .....                                | 53 |
| 3.5.8.  | Συστήματα HVAC & Ventilation .....         | 54 |
| 3.5.9.  | Φωτοβολταϊκό Σύστημα .....                 | 56 |
| 3.5.10. | Measure.....                               | 56 |
| 3.6.    | Παραμετροποίηση ενεργειακού μοντέλου ..... | 57 |
| 3.6.1.  | Αποτελέσματα παραμετροποίησης .....        | 63 |
| 3.7.    | Αρχικό Κτήριο.....                         | 66 |
| 3.7.1.  | Αποτελέσματα αρχικού σεναρίου .....        | 68 |
| 3.8.    | Βέλτιστο Σενάριο .....                     | 71 |
| 3.8.1.  | Κέλυφος κτηρίου .....                      | 71 |
| 3.8.2.  | Αποτελέσματα Βέλτιστου σεναρίου .....      | 77 |
| 4.      | Αποτελέσματα .....                         | 80 |
| 5.      | Συμπεράσματα .....                         | 82 |
| 6.      | Βιβλιογραφία.....                          | 83 |

## Κατάλογος Εικόνων

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη ανάλογα τον τομέα .....   | 11 |
| Εικόνα 2: Εκτιμώμενη αλλαγή εισοδήματος για τους αγρότες με και χωρίς προσαρμογή. 12  |    |
| Εικόνα 3: Μέση χονδρική τιμή και μηνιαία μείωση της ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος στην Ευρωπαϊκή Ένωση, 2022.....   | 15 |
| Εικόνα 4: Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας μη οικιακών καταναλωτών δεύτερο εξάμηνο 2022 . 16  |    |
| Εικόνα 5 Χρήση ενέργειας ανά είδος για εμπορικά κτήρια στι ΗΠΑ, 2012 .....  | 17 |
| Εικόνα 6 Χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε αμερικανικά εμπορικά κτήρια ανά κύριες χρήσεις, 2012.....   | 18 |
| Εικόνα 7: Συνολική παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανα τομέα για το 2018 19   |    |
| Εικόνα 8: Κατανάλωση ενέργειας στις ΗΠΑ ανά πηγή και τομέα 2021(U.S. Energy Facts Explained - Consumption and Production - U.S. Energy Information Administration (EIA), 2022).....   | 20 |
| Εικόνα 9 Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη ανά τομέα για το 2021 .....  | 21 |
| Εικόνα 10 Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα ανά τομέα για το 2021.....  | 21 |
| Εικόνα 11: Απεικόνιση κτηρίου σχεδόν μηδενικής ενέργειας .....  | 22 |
| Εικόνα 12 Μεθοδολογία της μελέτης .....   | 25 |
| Εικόνα 13 Σύγκριση της μηνιαίας ζήτησης ενέργειας για όλες τις διαφορετικές παραλλαγές των συστημάτων HVAC με λεπτομερή ζώνη προγραμματισμού. Κάθε παραλλαγή του συστήματος HVAC αναπαρίστανται με ένα γράφημα ανά μήνα, με MV, RC και TABS (από αριστερά προς τα δεξιά). ..... | 28 |
| Εικόνα 14 Τοποθεσία εγκατάστασης στο Google earth .....   | 32 |
| Εικόνα 15: Κλιματικές Ζώνες Ελλάδα .....  | 33 |
| Εικόνα 16 Περιβαλλοντικές συνθήκες στην περιοχή της Σούδας.....   | 34 |
| Εικόνα 17 Κάτοψη Ισογείου .....   | 34 |
| Εικόνα 18 :τρισδιάστατο σχέδιο νυχτερινής όψης κτηριακής μονάδας .....  | 35 |
| Εικόνα 19 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντλίας Θερμότητας .....   | 36 |
| Εικόνα 20 Μηχανολογικό σχέδιο αντλίας θερμότητας.....   | 37 |
| Εικόνα 21 Κάτοψη φωτισμού ισογείου .....  | 39 |
| Εικόνα 22 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανικού αερισμού .....   | 40 |
| Εικόνα 23 Κάτοψη αεραγωγών μηχανικού αερισμού.....  | 40 |
| Εικόνα 24 Χωροθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος .....   | 41 |
| Εικόνα 25 Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος βάσει PVSYST .....  | 41 |
| Εικόνα 26 Τεχνικό φυλλάδιο φωτοβολταϊκού πλαισίου .....   | 42 |
| Εικόνα 27 Όψη κτηριακού κελύφους ενεργειακού μοντέλου .....   | 44 |
| Εικόνα 28 Schedule θερμοστάτη για ψύξη του γραφείου διεύθυνσης .....  | 45 |
| Εικόνα 29 Schedule θερμοστάτη για την θέρμανση του κτηρίου .....  | 45 |
| Εικόνα 30 Schedule λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών.....   | 46 |
| Εικόνα 31 Schedule πληρότητας κτηρίου .....   | 47 |
| Εικόνα 32 Schedule λειτουργίας φωτισμού .....   | 47 |
| Εικόνα 33 Schedule ωρών λειτουργίας συστήματος θέρμανσης/ψύξης .....  | 48 |
| Εικόνα 34 Schedule Επιπέδου δραστηριότητας .....  | 48 |
| Εικόνα 35 Καρτέλα εισαγωγής φορτίων ανθρώπων .....  | 50 |
| Εικόνα 36 Καρτέλα εισαγωγής φορτίων φωτισμού .....  | 51 |
| Εικόνα 37 Καρτέλα εισαγωγής φορτίων ηλεκτρικών συσκευών .....   | 51 |
| Εικόνα 38 Ανάθεση τύπου χώρων, θερμικών ζωνών, σετ κατασκευής στο Sketchup μέσω του Openstudio plugin .....   | 52 |
| Εικόνα 39 Καρτέλα τύπου χώρων.....  | 52 |
| Εικόνα 40 Καρτέλα θερμικών ζωνών .....  | 53 |

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 41 Καρτέλα χώρων για εισαγωγή θερμικών ζωνών, τύπου χώρων, προγραμμάτων και σετ κατασκευών .....                                  | 53 |
| Εικόνα 42 Ανάθεση φορτίων ανά χώρο .....   | 54 |
| Εικόνα 43 Υποκαρτέλα subsurfaces της καρτέλας των χώρων για εισαγωγή σκιάστρων .....   | 54 |
| Εικόνα 44 Καρτέλα HVAC για δημιουργία συστήματος θέρμανσης ψύξης .....   | 55 |
| Εικόνα 45 Καρτέλα θερμικών ζωνών για εισαγωγή συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού με τα αντίστοιχα χρονοπρογράμματα τους .....    | 55 |
| Εικόνα 46 Εισαγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω των user scripts του Openstudio plugin για το Sketchup .....                            | 56 |
| Εικόνα 47 Εισαγωγή μέτρου για την προσθήκη αισθητήρα φωτισμού στο χώρο της εισόδου .....   | 57 |
| Εικόνα 48 Εισαγωγή μέτρου σταθερής θερμοκρασίας εδάφους.....   | 57 |
| Εικόνα 49 Διάγραμμα ημερήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης για τη θέρμανση όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος 2022 ..... | 58 |
| Εικόνα 50 Διάγραμμα ημερήσιων παραγόμενων θερμικών κιλοβατώραν όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος 2022.....        | 58 |
| Εικόνα 51 Διάγραμμα ημερήσιου COP για το έτος 2022 .....   | 59 |
| Εικόνα 52 Διάγραμμα ημερήσιων παραγόμενων ψυκτικών κιλοβατώραν όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος 2022.....        | 59 |
| Εικόνα 53 Διάγραμμα ημερήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης για τη ψύξη όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος.....           | 60 |
| Εικόνα 54 Διάγραμμα ημερήσιου EER για το έτος 2022.....  | 60 |
| Εικόνα 55 Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις αντλίας θερμότητας στη θέρμανση 2022 ...  | 61 |
| Εικόνα 56 Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις αντλίας θερμότητας στη ψύξη 2022.....   | 61 |
| Εικόνα 57 Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση γραφείου όπως μετρήθηκε από το μετρητή ενέργειας για το έτος 2022 .....                          | 62 |
| Εικόνα 58 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση γραφείου.....   | 62 |
| Εικόνα 59 Ημερήσια παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος όπως μετρήθηκε στην έξοδο του αντιστροφέα.....                                      | 63 |
| Εικόνα 60 Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση παραμετροποιημένου σεναρίου.....  | 64 |
| Εικόνα 61 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση θέρμανσης σεναρίου αρχικής κατάστασης.....  | 64 |
| Εικόνα 62 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ψύξης παραμετροποιημένου σεναρίου .....   | 65 |
| Εικόνα 63 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση φωτισμού παραμετροποιημένου σεναρίου .....  | 65 |
| Εικόνα 64 Μηνιαία ηλεκτρική ηλεκτρικών συσκευών παραμετροποιημένου σεναρίου .....  | 66 |
| Εικόνα 65 Εισαγωγή τιμής COP αρχικής κατάστασης.....   | 67 |
| Εικόνα 66 Εισαγωγή τιμής EER αρχικής κατάστασης .....  | 67 |
| Εικόνα 67 Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση σεναρίου αρχικής κατάστασης.....  | 69 |
| Εικόνα 68 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση θέρμανσης σεναρίου αρχικής κατάστασης.....  | 69 |
| Εικόνα 69 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ψύξης σεναρίου αρχικής κατάστασης.....  | 70 |
| Εικόνα 70 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση φωτισμού σεναρίου αρχικής κατάστασης.....   | 70 |
| Εικόνα 71 Μηνιαία ηλεκτρική ηλεκτρικών συσκευών σεναρίου αρχικής κατάστασης .....  | 71 |
| Εικόνα 72 Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης.....   | 72 |
| Εικόνα 73 Εισαγωγή εξηλασμένης πολυστερίνης στο Openstudio .....   | 73 |
| Εικόνα 74 Εισαγωγή συστήματος μόνωσης δώματος στο Openstudio .....   | 73 |
| Εικόνα 75 Τεχνικά χαρακτηριστικά ινοπλισμένου κονιάματος .....   | 74 |
| Εικόνα 76 Τεχνικά χαρακτηριστικά σιλικονούχου σοβά .....   | 75 |
| Εικόνα 77 Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης.....   | 75 |
| Εικόνα 78 Εισαγωγή συστήματος θερμοπρόσοψης στο Openstudio .....   | 76 |
| Εικόνα 79 Εισαγωγή συστήματος κουφωμάτων στο Openstudio .....  | 76 |



|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 80 Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση βέλτιστου σεναρίου .....   | 77 |
| Εικόνα 81 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση θέρμανσης βέλτιστου σεναρίου .....   | 78 |
| Εικόνα 82 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ψύξης βέλτιστου σεναρίου .....   | 78 |
| Εικόνα 83 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση φωτισμού βέλτιστου σεναρίου .....  | 79 |
| Εικόνα 84 Μηνιαία ηλεκτρική ηλεκτρικών συσκευών βέλτιστου σεναρίου .....  | 79 |
| Εικόνα 85 Συντελεστής μετατροπής της τελικής κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου σε<br>πρωτογενή ενέργεια (άρθρο 5 ΚΕΝΑΚ) ..... | 81 |

### **Κατάλογος Πινάκων**

|   |    |
|---|----|
| Πίνακας 1 Κύριες τεχνολογίες nZEB .....                         | 27 |
| Πίνακας 2 εφαρμοσμένων μοντέλων .....                           | 31 |
| Πίνακας 3 Ανάλυση Κτηριακού Κελύφους .....                      | 35 |
| Πίνακας 4 Ανάλυση Φωτισμού Γραφείου .....                       | 38 |
| Πίνακας 5 Ανάλυση ηλεκτρικών συσκευών ανά χώρο .....            | 43 |
| Πίνακας 6 Ανάλυση Δομικών Υλικών Openstudio .....               | 49 |
| Πίνακας 7 Ανάλυση Κατασκευών Δομικών Στοιχείων Openstudio ..... | 49 |
| Πίνακας 8 Ανάλυση Φορτίων Ανθρώπων ανά Χώρο .....               | 50 |
| Πίνακας 9 Ανάλυση φωτισμού πριν τις παρεμβάσεις .....           | 68 |

## Περίληψη

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο τομέας των κτηρίων αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής ενεργειακής χρήσης (*Energy Statistics - an Overview - Statistics Explained*, 2021). Στην Ελλάδα τα ποσοστά είναι όμοια, με την κατανάλωση να αυξάνεται για κατασκευές πριν το 1980. Περίπου το 35% των κτηρίων στην Ελλάδα είναι παλαιότερα των 50 ετών καθιστώντας έτσι ενεργειακά κοστοβόρα (Απογραφή Κτηρίων 2011 - ELSTAT, 2015). Λόγω της παλαιότητας, της έλλειψης επαρκής μόνωσης καθώς και των παρωχημένων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης σπαταλούνται τεράστια ποσά ενέργειας ετησίως.

Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή και η ενεργειακή κρίση έχει εκτοξεύσει στα ύψη τις τιμές ρεύματος βυθίζοντας όλο και περισσότερα νοικοκυριά και επιχειρήσεις στην ενεργειακή φτώχεια. Έτσι η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια έγινε πιο επιτακτική όσο ποτέ ξανά.

Το σύνθετο αδειοδοτικό πλαίσιο για αρκετές από τις εργασίες εξοικονόμησης αποθαρρύνει μεγάλο ποσοστό ιδιοκτητών και οι ενοικιαστές αδυνατούν να πάρουν το ρίσκο για κάποιες παρεμβάσεις σε κτήρια που δεν τους ανήκουν.

Η διπλωματική μου εργασία με τίτλο «**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ**» έχει ως στόχο την ανάδειξη τεχνικών εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας μέσω της εγκατάστασης σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης/ψύξης, τη χρήση μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας, την εγκατάσταση φωτιστικών Led και τον έξυπνο έλεγχο του κτηρίου μέσω συστήματος KNX. Με τη βοήθεια των συλλεχθέντων δεδομένων θέλουμε να αποτυπώσουμε την εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί και σε ένα παλαιό κτήριο, μέσω των ηλεκτρομηχανολογικών παρεμβάσεων και εάν με αυτές τις παρεμβάσεις μπορεί επιτύχει στόχους κτηρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.

Για να επιτευχθεί αυτό χρειάστηκε η σωστή καταγραφή των παραμέτρων που επηρεάζουν το ενεργειακό μοντέλο καθώς και ο σωστός αναλυτικός σχεδιασμός του κτηρίου. Η μοντελοποίηση του κτηρίου έγινε σε λογισμικό ενεργειακής ανάλυσης (Openstudio), όπου με την βοήθεια των δεδομένων έγινε η παραμετροποίηση του μοντέλου για να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Μετά την παραμετροποίηση του κτηρίου έγιναν δύο διαφορετικές παραδοχές.

Η πρώτη παραδοχή αφορούσε την αρχική κατάσταση πριν την εκπόνηση των εργασιών ώστε να γίνει η εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτευχθεί, ενώ η δεύτερη αφορούσε το βέλτιστο σενάριο της πλήρους θωράκισης του κελύφους με στόχο την καταγραφή των βέλτιστων αποτελεσμάτων που θα μπορούσαν να επιτευχθούν.

## Abstract

In the European Union, the building sector accounts for 40% of total energy consumption(*Energy Statistics - an Overview - Statistics Explained*, 2021). In Greece, the percentages are similar, but the consumption increases for buildings constructed before 1980. About 35% of buildings in Greece are older than 50 years old, making them energy-intensive(Απογραφή Κτηρίων 2011 - ELSTAT, 2015.). Due to their age, lack of adequate insulation, and outdated heating and cooling systems, significant amounts of energy are wasted annually.

Additionally, climate change and the energy crisis have skyrocketed electricity prices, pushing more households and businesses into energy poverty. As a result, the need for energy efficiency in buildings has become more pressing than ever before.

The complex licensing framework discourages many property owners from implementing energy-saving measures, and tenants are unable to take the risk for interventions in buildings they do not own.

My thesis titled "Techniques for Energy Efficiency and Management in Office Buildings" aims to highlight energy-saving and management techniques through the installation of modern heating/cooling systems, the use of mechanical ventilation with heat recovery, the installation of LED lighting, and smart building control systems using KNX. With the help of collected data, we intend to demonstrate the energy savings that can be achieved in an old building through electro-mechanical interventions, aiming for nearly zero-energy consumption targets.

To achieve this, proper recording of parameters affecting the energy model and accurate analytical design of the building were necessary. The building was modeled using energy analysis software (OpenStudio), and with the help of the data, the model was parameterized to reflect reality. Two different assumptions were made after parameterizing the building.

The first assumption pertained to the initial state before the implementation of the interventions to estimate the achieved energy savings. The second assumption involved the optimal scenario of fully insulating the building envelope to record the best possible results that could be achieved.

## **1. Εισαγωγή**

### **1.1. Σκοπός Διπλωματικής**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα διεξαχθεί ανάλυση στην μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, για την κάλυψη των θερμικών φορτίων και ψυκτικών φορτίων καθώς και της ηλεκτροπαραγωγής του φωτοβολταϊκού σταθμού για μια επιχείρηση στην περιοχή της Σούδας στα Χανιά μετά την εφαρμογή διαφόρων τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα υφιστάμενο κτήριο 40 ετών.

Το παρών ακίνητο επιλέχθηκε λόγω της πληθώρας τεχνολογιών και των αυτοματισμών που εγκαταστάθηκαν, με στόχο το κτήριο να πλησιάσει στο πρότυπο του NZEB στον βαθμό που κάτι τέτοιο είναι εφικτό και βιώσιμο σε ένα παλαιό ενοικιαζόμενο κτήριο.

Σκοπός είναι η ανάδειξη των προβλημάτων που αντιμετωπίζει ένας ενοικιαστής στην Ελληνική κοινωνία που έχει την πρόθεση να αναβαθμίσει ενεργειακά το ακίνητο που μισθώνει. Θα συζητηθεί το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι ενοικιαστές κτηριακών εγκαταστάσεων των οποίων οι ιδιοκτήτες δεν έχουν πρόθεση ενεργειακής αναβάθμισης, ενώ παράλληλα οι ενοικιαστές δεν δύνανται να προβούν σε υλοποίηση παρεμβάσεων για ακίνητο που δεν είναι της ιδιοκτησίας τους. Επιπρόσθετα, θα συζητηθεί πως μια ενεργειακή παρέμβαση θα ήταν ασφαλής και αποσβέσιμη για ενοικιαστές υπό το πρίσμα του ορισμένου χρόνου μίσθωσης. Ακόμη, θα αναδειχθεί το πρόβλημα που συναντάται σε περιπτώσεις όπου λόγω του σύνθετου πολεοδομικού κανονισμού καθώς και των διενέξεων μεταξύ συνιδιοκτητών η οποιαδήποτε επέμβαση με στόχο την μείωση απωλειών του κελύφους να καθιστάτε ανέφικτη.

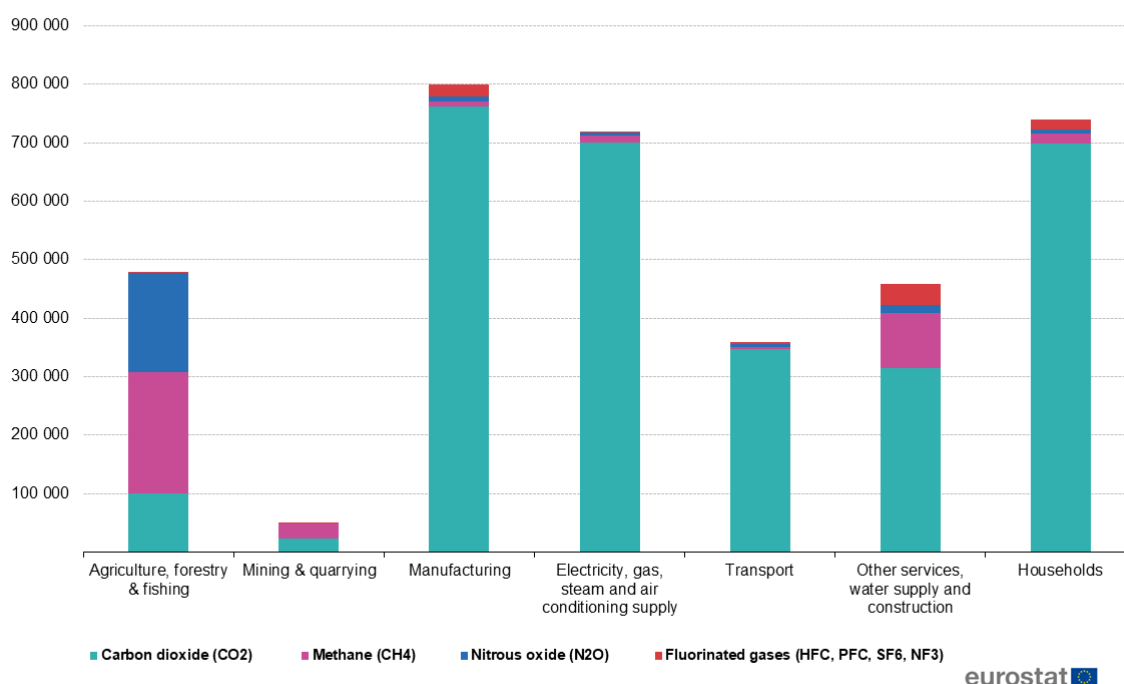
Για την επίτευξη του σκοπού της διπλωματικής θα γίνει μοντελοποίηση του κτηρίου με την βοήθεια του λογισμικού ενεργειακής ανάλυσης Openstudio και θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα που συλλέχθηκαν σε ημερήσια βάση μέσω του συστήματος KNX. Με την βοήθεια των παραπάνω θα γίνει βελτιστοποίηση του ενεργειακού μοντέλου, ώστε τα αποτελέσματα να είναι όσον το δυνατόν παραπλήσια στις πραγματικές μετρήσεις των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων του κτηρίου. Στην συνέχεια, θα γίνει αποδόμηση του μοντέλου με στόχο την ανάλυση και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων εξοικονόμησης που επιτεύχθηκαν από κάθε παρέμβαση. Θα μελετηθούν τα αποτελέσματα της παραγωγής ενέργειας που υπολογίστηκαν θεωρητικά, θα γίνει σύγκριση με τις πειραματικές μετρήσεις και θα σχολιαστούν τυχόν αποκλίσεις.

Τέλος, θα σχολιαστούν τα τελικά αποτελέσματα για την κατανάλωση ενέργειας που έχει υπολογιστεί μέσω της ενεργειακής προσομοίωσης σε σχέση με την πραγματική κατανάλωση.

## 1.2. Κλιματική Αλλαγή

Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στις μακροπρόθεσμες μεταβολές του κλίματος στην Γη σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι μεταβολές αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές στην στάθμη της θάλασσας, τα μοτίβα του καιρού, καθώς και τη συχνότητα και ένταση των ακραίων φαινομένων. Ο κύριος παράγοντας που προκαλεί αυτήν την κλιματική αλλαγή είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα. Ο κυριότερος ανθρωπογενής παράγοντας που επηρεάζει την κλιματική αλλαγή είναι οι εκπομπές τεραστίων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου πρόσθετες από αυτές που ήδη υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές αυτές σε μεγάλο βαθμό οφείλονται στην καύση ορυκτών καυσίμων αλλά και από άλλες διεργασίες όπως κτηνοτροφία, μεταφορές και άλλες (Climate Change, 2023). Μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου παράγονται από τα κτήρια όπως κατοικίες, εμπορικά κτήρια γραφεία κ.α., κυρίως λόγω της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και λειτουργία. Τα κτήρια αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ειδικότερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) όπου για την Ευρώπη να αγγίζουν το 36% των συνολικών εκπομπών το θερμοκηπίου, ενώ στο 13% για την ΗΠΑ (Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA, 2021). Στην Ευρώπη σύμφωνα με την Eurostat για το έτος 2021, τα κτήρια ήταν υπεύθυνα για την εκπομπή 700 kilotonnes CO<sub>2</sub>, συνθήκη που τα καθιστά δεύτερο μεγαλύτερο παραγωγό εκπομπών μετά την βιομηχανία [εικόνα 1].

**Greenhouse gas emissions by economic activity and by pollutant, EU, 2021**  
(thousand tonnes of CO<sub>2</sub> equivalents)

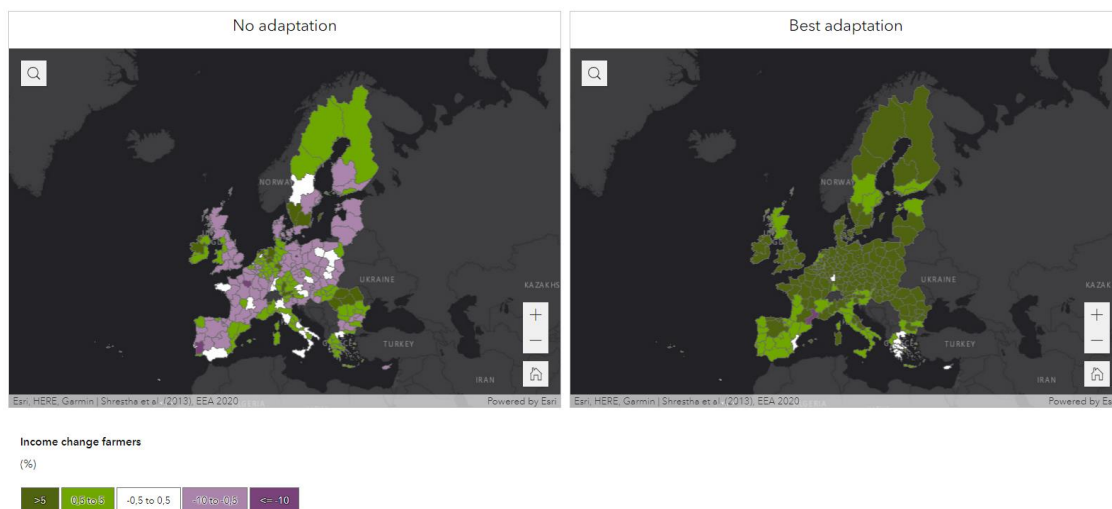


Source: Eurostat (online data code: env\_ac\_ainah\_r2)

Εικόνα 1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη ανάλογα τον τομέα (Greenhouse Gas Emission Statistics - Air Emissions Accounts - Statistics Explained, 2021)

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ποικίλουν, πολλές από αυτές μπορούν να επηρεάσουν οικοσυστήματα ανεπιστρεπτί ενώ άλλες επηρεάζουν πολλές διαφορετικές πτυχές της ζωής μας.

Οι παγκόσμιες θερμοκρασίες αυξάνονται, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καύσωνες, ξηρασίες και πλημμύρες όπου απειλούν την ασφάλεια και την παραγωγικότητα εκατομμυρίων συνανθρώπων μας. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε ταχύτερο λιώσιμο των πάγων και αύξηση της στάθμης της θάλασσας με αποτέλεσμα παράκτιες περιοχές να αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών και ακραίων καιρικών φαινομένων (Συνέπειες Της Κλιματικής Αλλαγής, 2023). Αρκετά κράτη με στόχο την προστασία τους από το φαινόμενο αυτό επενδύουν δισεκατομμύρια ευρώ σε έργα αποτροπής καταστροφών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι εκείνο της Ολλανδίας όπου κατά την περίοδο 2016-2028 θα εκτελεστούν έργα δημιουργίας νέων και ενίσχυσης των παλαιών αναχωμάτων ύψους 16,2 δις ευρώ με στόχο την αποτροπή μελλοντικών καταστροφών από πλημμύρες (*Low Probabilities, Large Consequences - PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*, 2021). Ακόμη, λόγω των αλλαγών στα κλιματικά μοτίβα υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στη γεωργία, την υδατοκαλλιέργεια, τη βιοποικιλότητα αλλά και την υγεία των ανθρώπων. Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές οικονομικές συνέπειες. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν οικονομικές απώλειες σε πολλούς τομείς, όπως τη γεωργία, τον τουρισμό, την ασφάλεια τροφίμων και την ενέργεια.



Εικόνα 2: Εκτιμώμενη αλλαγή εισοδήματος για τους αγρότες με και χωρίς προσαρμογή. (Climate Change Impacts in Europe, 2020)

Για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής απαιτούνται συλλογικές δράσεις και προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων, την προσαρμογή στις αλλαγές και την προώθηση της αειφορίας για τη διατήρηση του πλανήτη μας και την προστασία της ανθρώπινης ευημερίας.

### **1.2.1. Ευρωπαϊκός Κλιματικός Νόμος**

Η Ευρώπη έχει δημιουργήσει αρκετά νομοθετήματα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την προστασία του περιβάλλοντος. Ο Κλιματικός Νόμος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU 2021/1119) ο οποίος τέθηκε σε ισχύ από τις 29 Ιουλίου 2021 ενσωματώνει σε νομοθεσία τον στόχο που ορίζεται στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) για την ευρωπαϊκή οικονομία και κοινωνία να γίνουν κλιματικά ουδέτερα έως το 2050. Με τον παραπάνω νόμο η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει αναθεωρημένο στόχο μείωσης των εκπομπών κατά 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Στοχεύει να διασφαλίσει ότι όλες οι πολιτικές της ΕΕ συνεισφέρουν σε αυτόν τον στόχο και ότι κάθε τομέας της οικονομίας και της κοινωνίας παίζει τον ρόλο του. Πέρα από τους προαναφερόμενους στόχους προβλέπει την θέσπιση συστήματος παρακολούθησης της προόδου, της διασφάλισης της προβλεψιμότητας για τους επενδυτές και της διασφάλισης μιας αναστρέψιμης μετάβασης προς την κλιματική ουδετερότητα με την αξιολόγηση της προόδου να γίνεται κάθε πέντε χρόνια. Ο νόμος περιλαμβάνει επίσης διατάξεις για έναν κλιματικό στόχο του 2040, ενίσχυση του αποθέματος άνθρακα της ΕΕ και δεσμεύσεις για αρνητικές εκπομπές μετά το 2050. Επιπλέον, καθιερώνει ένα Ευρωπαϊκό Επιστημονικό Συμβούλιο για την Κλιματική Αλλαγή και τονίζει την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και τη συνοχή μεταξύ των πολιτικών της Ένωσης (European Climate Law, 2021).

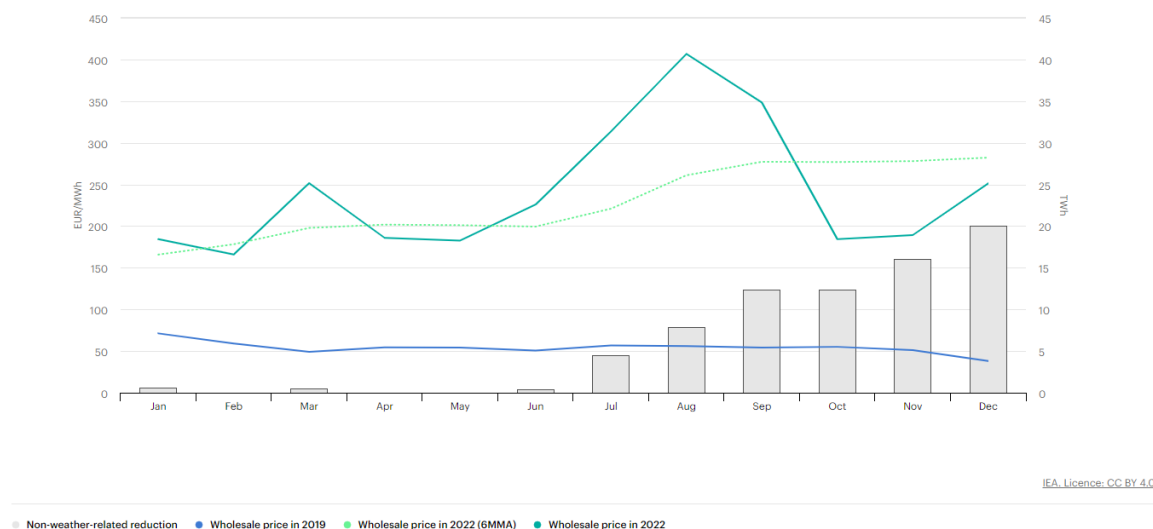
### 1.2.2. Εθνικός Κλιματικός Νόμος

Η εναρμόνιση του Κλιματικού Νόμου της Ευρωπαϊκής στην ελληνική νομοθεσία έγινε με την θέσπιση του Εθνικού Κλιματικού (Νόμος 4936/2022 , Κωδικοποιημένος Με Τον 4986/2022 ΦΕΚ Α 105/27.5.2022, 2022). Αποτελεί σημαντική νομοθετική πράξη με στόχο τη δημιουργία ενός συνεκτικού πλαισίου για τη βελτίωση της προσαρμοστικής ικανότητας και της ανθεκτικότητας της Ελλάδας στις κλιματικές αλλαγές. Ακόμη, έχει ως στόχο την ομαλή μετάβαση της χώρας προς την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, με βιώσιμο, δίκαιο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ο νόμος περιλαμβάνει πολιτικές και μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων, την αύξηση των απορροφήσεων, την ενίσχυση της ασφάλειας δικαίου για επενδυτές και πολίτες, καθώς και την ομαλή μετάβαση της οικονομίας και της κοινωνίας προς την κλιματική ουδετερότητα. Επιπλέον, ορίζονται ενδιάμεσοι κλιματικοί στόχοι για τα έτη 2030 και 2040, με στόχο τη μείωση των εκπομπών κατά τουλάχιστον 55% και 80% αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, ενώ παράλληλα βασίζεται στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) και τις προβλέψεις του. Έχει ως αντικείμενο την θέσπιση μέτρων για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή με χαμηλό κόστος, ενδιάμεσους στόχους μετριασμού εκπομπών για τα έτη 2030 και 2040, δείκτες παρακολούθησης της προόδου, διαδικασίες αξιολόγησης και αναπροσαρμογής των στόχων, καθώς και μέτρα για τον μετριασμό των εκπομπών από την ηλεκτροπαραγωγή, τον κτιριακό τομέα, τις μεταφορές και τις επιχειρήσεις. Επιπλέον, προβλέπεται η δημιουργία ενός μηχανισμού προϋπολογισμού άνθρακα για τους βασικούς τομείς της οικονομίας και του συστήματος διακυβέρνησης και συμμετοχής για την ανάληψη κλιματικής δράσης. Μέρος των δράσεων για την επίτευξη του στόχου της κλιματικής ουδετερότητας, το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) προβλέπει την εφαρμογή μέτρων και πολιτικών με κάποια από αυτά να αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας, την αντικατάσταση όλων των ορυκτών καυσίμων με ΑΠΕ και εξάλειψη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά και υγρά ορυκτά καύσιμα, την προώθηση της ηλεκτροκίνησης και της βιώσιμης αστικής κινητικότητας. Ακόμη, θέτει μέτρα προώθησης βιώσιμης γεωργίας και προστασίας των δασών καθώς και μέτρα κυκλικής οικονομίας και της ανακύκλωσης. Επιπλέον μία από τις σημαντικές προσθήκες του (Νόμος 4936/2022 , Κωδικοποιημένος Με Τον 4986/2022 ΦΕΚ Α 105/27.5.2022, 2022) είναι η απαγόρευση πώλησης και εγκατάστασης καυστήρων πετρελαίου θέρμανσης από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2025 [Αρ.17 Παρ.1]. Τα μέτρα και οι πολιτικές αυτές στοχεύουν στη μείωση των αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου και την προσαρμογή στις αλλαγές του κλίματος, προάγοντας την υπεύθυνη και βιώσιμη χρήση των πόρων. Τέλος, η ενθάρρυνση της καινοτομίας και της τεχνολογικής ανάπτυξης σε ανανεώσιμες ενέργειες και βιώσιμες λύσεις επιδιώκει να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες απασχόλησης και οικονομικής ανάπτυξης(Νόμος 4936/2022 , Κωδικοποιημένος Με Τον 4986/2022 ΦΕΚ Α 105/27.5.2022, 2022).



### 1.3. Ενεργειακή Κρίση

Παράλληλα με το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής ο κόσμος καθώς και η Ευρώπη ήρθε αντιμέτωπη με το πρόβλημα της ενεργειακής κρίσης. Το ενεργειακό δίλημμα της Ευρώπης έχει γίνει ένα κρίσιμο ζήτημα που απαιτεί γρήγορη προσοχή και ολοκληρωμένες λύσεις. Η πανδημία του COVID-19 προκάλεσε μια παγκόσμια ενεργειακή κρίση λόγω των διακυμάνσεων στη ζήτηση ενέργειας με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής πετρελαίου. Ωστόσο, το 2021 μετά το πέρας της πανδημίας η ανάκαμψη της ζήτησης σε πολλές περιοχές υπερέβη την ανάκαμψη της προσφοράς, δημιουργώντας ένα ανισόρροπο περιβάλλον προσφοράς-ζήτησης. Ακόμη, η διακοπή των εισαγωγών άνθρακα από την Αυστραλία στην Κίνα δημιούργησε προβλήματα στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού (*China Energy Crisis: Beijing Not Likely to Lift Coal Ban on Australia*, 2021), ενώ η εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία ήρθε να επιδεινώσει την ήδη επιβαρυνόμενη κατάσταση. Οι κυρώσεις που αναγκάστηκαν να υιοθετήσει η ευρωπαϊκή ένωση καθώς και πολλές χώρες του κόσμου οδήγησαν την τιμή του φυσικού αερίου να φτάσει σε ιστορικά υψηλά επίπεδα και την τιμή του πετρελαίου να φτάνει στα υψηλότερα επίπεδα της από το 2008. Λόγω των παραπάνω, σημειώθηκε αύξηση στην τιμές ηλεκτρικής ενέργειας κάνοντας την Ευρώπη ευάλωτη λόγω της ενεργειακής εξάρτησης από το φυσικό αέριο της Ρωσίας. Το αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η κατακόρυφη αύξηση της τιμής του φυσικού αερίου και κατ' επέκταση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη [εικόνα 3].



Εικόνα 3: Μέση χονδρική τιμή και μηνιαία μείωση της ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος στην Ευρωπαϊκή Ένωση, 2022(Average Wholesale Price and Monthly Non-Weather-Related Reduction in Electricity Demand in the European Union, 2022 – Charts – Data & Statistics - IEA, 2023)

Η αύξηση των τιμών της ενέργειας οδήγησε πολλά νοικοκυριά σε ενεργειακή ένδεια, επιχειρήσεις να απειλούνται με κλείσιμο ενώ μειώθηκε και ο ρυθμός οικονομικής ανάπτυξης. Ιδιαίτερο πρόβλημα παρουσιάστηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπου λόγω των καίριων προβλημάτων της ενεργειακής κρίσης και της εξάρτησής της από το Ρώσικο φυσικό αέριο αναγκάστηκε να λάβει έκτακτα μέτρα για την αντιμετώπιση της. Τα μέτρα αυτά αφορούν κυρίως στην μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από το Ρώσικο φυσικό αέριο μέσω επενδύσεων σε υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και σε συμφωνίες με άλλα κράτη, την μείωση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, την ενίσχυση των ευάλωτων νοικοκυριών, την περαιτέρω εισαγωγή των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της Ευρώπης κ.α.

#### Electricity prices for non-household consumers, second half 2022

(€ per kWh)



\*This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.  
Source: Eurostat (online data codes: nrg\_pc\_205)

eurostat

Εικόνα 4: Τιμές ηλεκτρικής ενέργειας μη οικιακών καταναλωτών δεύτερο εξάμηνο 2022(Electricity Price Statistics - Statistics Explained, 2023)

#### 1.3.1. Ενεργειακή Κρίση στην Ελλάδα

Η χώρα μας επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από την ενεργειακή κρίση, σημειώνοντας από τις μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη [εικόνα 4]. Στα πλαίσια της της ενεργειακής κρίσης η Ελληνική κυβέρνηση έλαβε μέτρα για την αντιμετώπιση της. Αυτά αποτελούνταν από μέτρα στήριξης των ευάλωτων νοικοκυριών, την επιδότηση μέρους του λογαριασμού καθώς και την επίσπευση προγραμμάτων εξοικονόμησης ενέργειας.

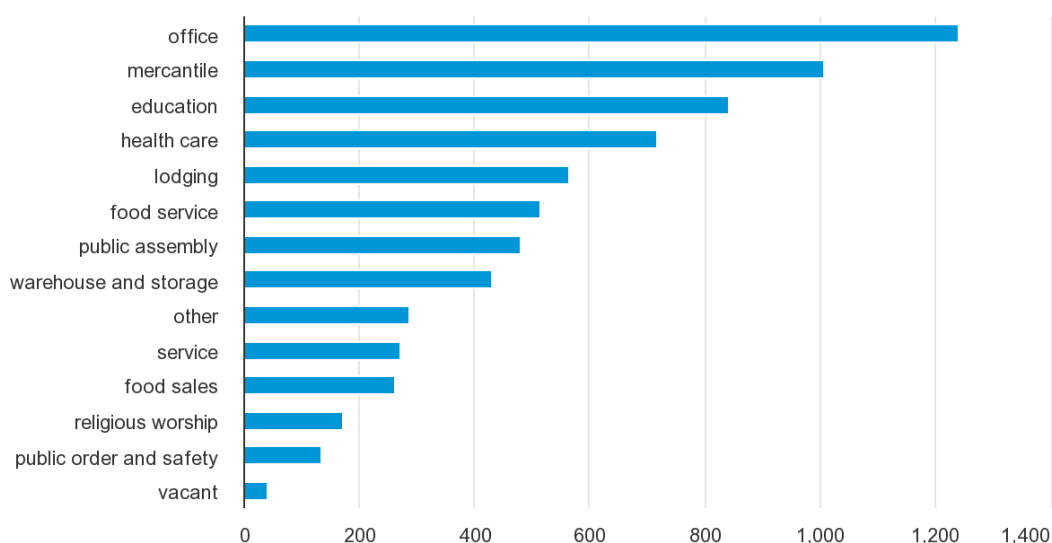
#### 1.4. Ενεργειακή Κατανάλωση Κτηρίων

Τα κτήρια καταλαμβάνουν ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας παγκοσμίως. Με τον όρο ενεργειακή κατανάλωση κτηρίων νοείται τόσο η κατανάλωση των κατοικιών όσο και τα εμπορικά κτήρια, συμπεριλαμβανομένων γραφείων, σχολείων, νοσοκομείων και οικιών.

Πολλοί είναι οι παράγοντες που συντελούν στην τελική κατανάλωση ενέργειας όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο φωτισμός, ο αερισμός, τα συστήματα παραγωγής ζεστών νερών χρήσης, καθώς και η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών.. Παράλληλα, στο παρελθόν, ακόμη και στις μέρες μας για την θέρμανση των χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, γίνεται χρήση παραδοσιακών πηγών ενέργειας όπως τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο-φυσικό αέριο), ενώ σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται και χρήση ξυλείας για την ικανοποίηση αυτών των ενεργειακών αναγκών. Το αποτέλεσμα της χρήσης των παραπάνω τακτικών είναι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για τα εμπορικά κτήρια των ΗΠΑ, τα κτήρια γραφείων είναι εκείνα που καταλαμβάνουν την πρώτη θέση στην κατανάλωση ενέργεια, καταναλώνοντας περισσότερη ενέργεια ακόμα και από τα κτήρια του εμπορίου [εικόνα 5] (*Use of Energy Explained-Energy Use in Commercial Buildings*, 2018).

##### Energy use by type of U.S. commercial building, 2012

total = 6,963 trillion British thermal units (Btu)



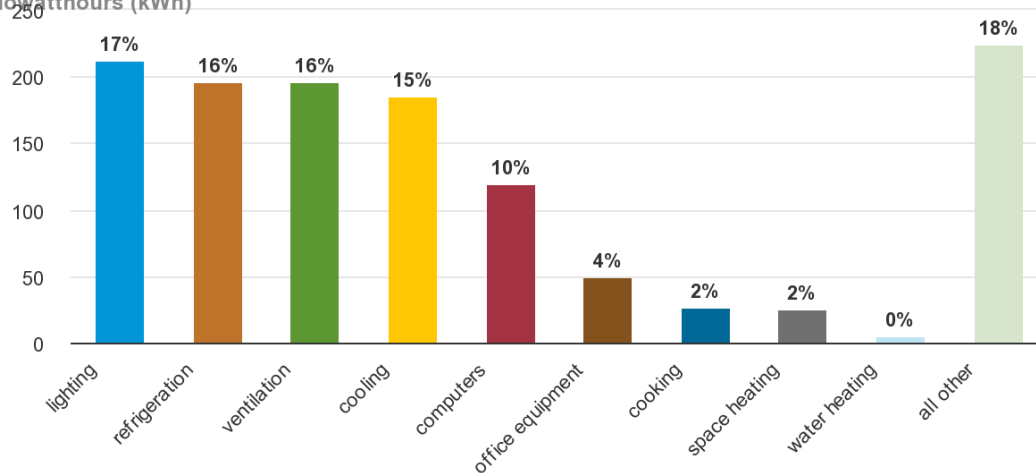
Data source: U.S. Energy Information Administration, 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey, Consumption and Expenditures, Table C1, May 2016

Εικόνα 5 Χρήση ενέργειας ανά είδος για εμπορικά κτήρια σι ΗΠΑ, 2012 (*Use of Energy in Commercial Buildings in Depth* - U.S. Energy Information Administration (EIA), 2018)

Παράλληλα, οι κύριοι τομείς κατανάλωσης για τα εμπορικά κτήρια είναι ο φωτισμός, ο κλιματισμός καθώς και ο αερισμός [εικόνα 6].(*Use of Energy Explained-Energy Use in Commercial Buildings*, 2018)

### Electricity use in U.S. commercial buildings by major end uses, 2012

total = 1,243 billion  
kilowatthours (kWh)



Note: All other includes motors, pumps, air compressors, process equipment, backup electricity generation, and miscellaneous appliances and plug-loads.

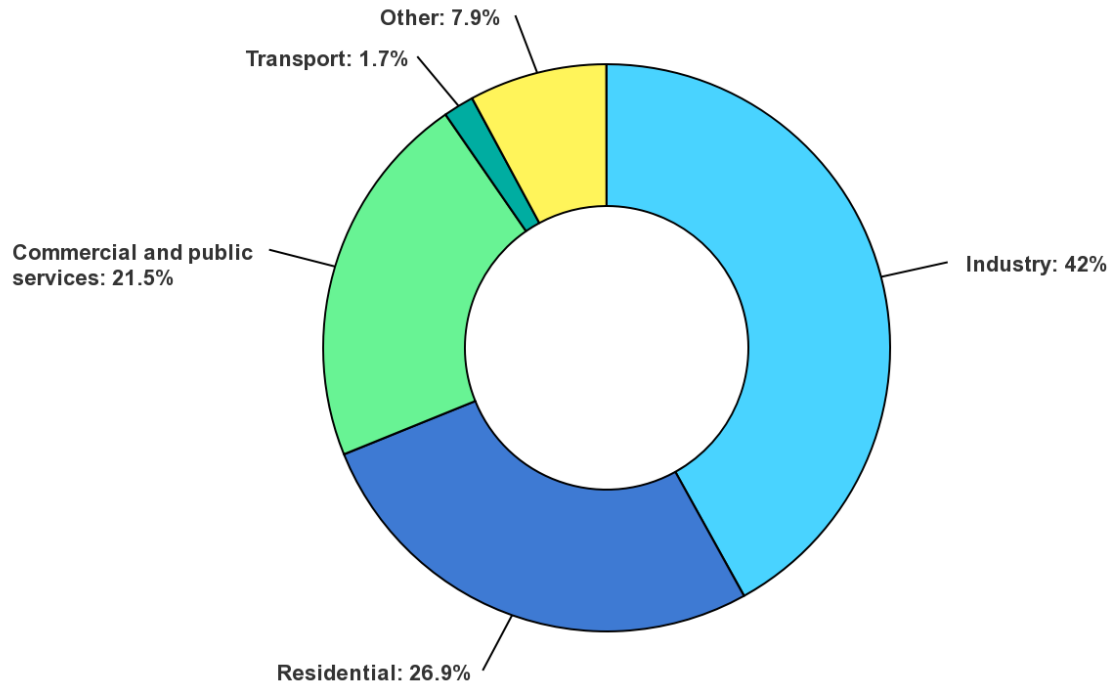


Data source: U.S. Energy Information Administration, 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey, Consumption and Expenditures, Table E5, May 2016

Εικόνα 6 Χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε αμερικανικά εμπορικά κτήρια ανά κύριες χρήσεις, 2012 (Use of Energy in Commercial Buildings in Depth - U.S. Energy Information Administration (EIA), 2018)

Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό ενέργειας [εικόνα 7] το 2018 ο κτηριακός τομέας (οικιακός, εμπορικός και δημόσιος) καταλαμβάνει την πρώτη θέση στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως με ποσοστό 48.4% (World Electricity Final Consumption by Sector, 2018 – Charts – Data & Statistics - IEA, 2020).

World total electricity final consumption: 1 919 Mtoe

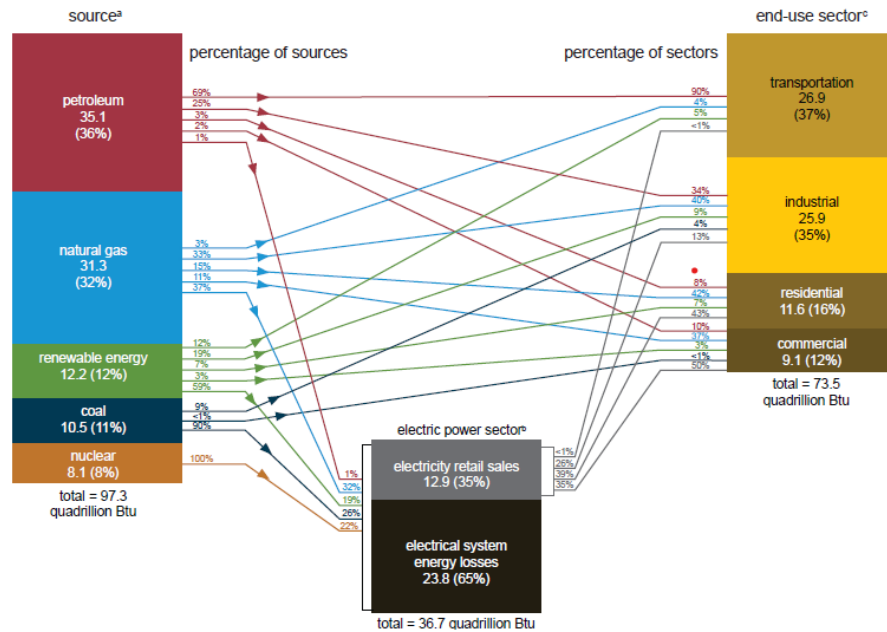


Εικόνα 7: Συνολική παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανα τομέα για το 2018 (World Electricity Final Consumption by Sector, 2018 – Charts – Data & Statistics - IEA, 2020)

Για τις Ηνωμένες Πολιτείες [εικόνα 8] ο κτηριακός τομέας καταλαμβάνει τη τρίτη θέση με 28% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας με την πρώτη θέση να καταλαμβάνουν οι μεταφορές (U.S. Energy Facts Explained - Consumption and Production - U.S. Energy Information Administration (EIA), 2022.).

### U.S. energy consumption by source and sector, 2021

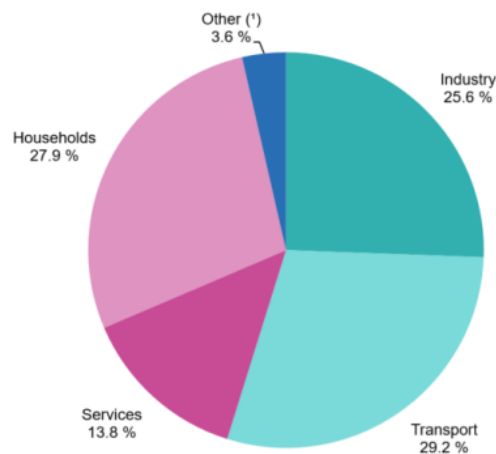
quadrillion British thermal units (Btu)



Εικόνα 8: Κατανάλωση ενέργειας στις ΗΠΑ ανά πηγή και τομέα 2021(U.S. Energy Facts Explained - Consumption and Production - U.S. Energy Information Administration (EIA), 2022)

Στην Ευρώπη σύμφωνα με την Eurostat για το έτος 2021 [εικόνα 9] τα κτήρια (κατοικίες, δημόσια κτήρια, εμπορικά) ευθύνονται συνολικά περίπου για το 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας θέτοντας τα στην πρώτη θέση ακολουθούμενα από τις μεταφορές (*Energy Statistics - an Overview - Statistics Explained*, 2023).

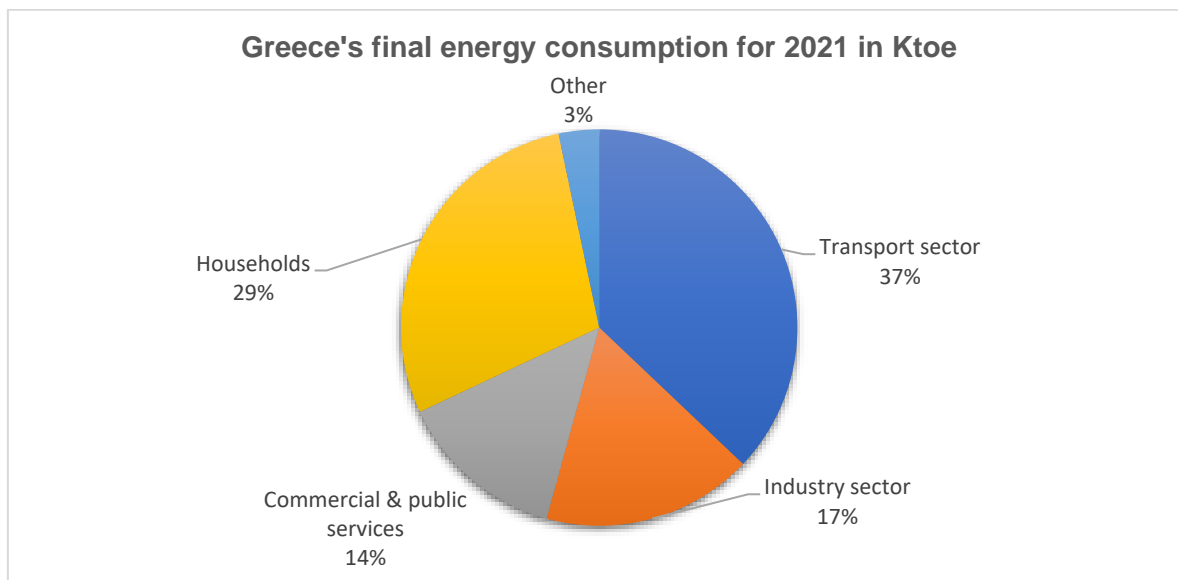
**Final energy consumption by sector, EU, 2021**  
(% of total, based on terajoules)



(<sup>1</sup>) International aviation and maritime bunkers are excluded from category Transport.  
Source: Eurostat (online data code: nrg\_bal\_c)

Εικόνα 9 Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη ανά τομέα για το 2021 (Energy Statistics - an Overview - Statistics Explained, 2023)

Στην Ελλάδα σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος και τα δεδομένα της Eurostat [εικόνα 10] η κατανάλωση ενέργειας του κτηριακού τομέα είναι παρόμοια με την εικόνα της υπόλοιπης Ευρώπης. Συνολικά τα κτήρια καταναλώνουν το μεγαλύτερο ποσά στην χώρα μας ποσοστό πάνω από 40%. (Ενέργεια-Στατιστικά Στοιχεία -, 2021)



Εικόνα 10 Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα ανά τομέα για το 2021

Τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής κρίσης, η Ευρώπη καθώς και η Ελλάδα έχουν υιοθετήσει πολιτικές και δράσεις, επενδύοντας σε βιώσιμες πρακτικές κατασκευής και σε ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες. Στόχος του είναι η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας του κτηριακού τομέα μετατρέποντάς τον σε κτήρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.

Στο πλαίσιο αυτό η Ελλάδα σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Ένωση την τελευταία δεκαετία έχει θεσπίσει δράσεις με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτές οι δράσεις αφορούν επιδοτούμενα προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας από κατοικίες όπως το Εξοικονομώ κατ' οίκον, ενώ λόγω της ενεργειακής κρίσης δημιουργήθηκαν και νέα προγράμματα όπως το ανακυκλώνω αλλάζω συσκευή/θερμοσίφωνα με στόχο την απόσυρση παλαιών κοστοβόρων ηλεκτρικών συσκευών, το Φωτοβολταϊκά στην Στέγη για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων με αποθήκευση ενέργειας σε κατοικίες καθώς και προγράμματα για επιχειρήσεις όπως η πράσινη μετάβαση και το Εξοικονομώ Επιχειρώ.

### **1.5. Κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB)**

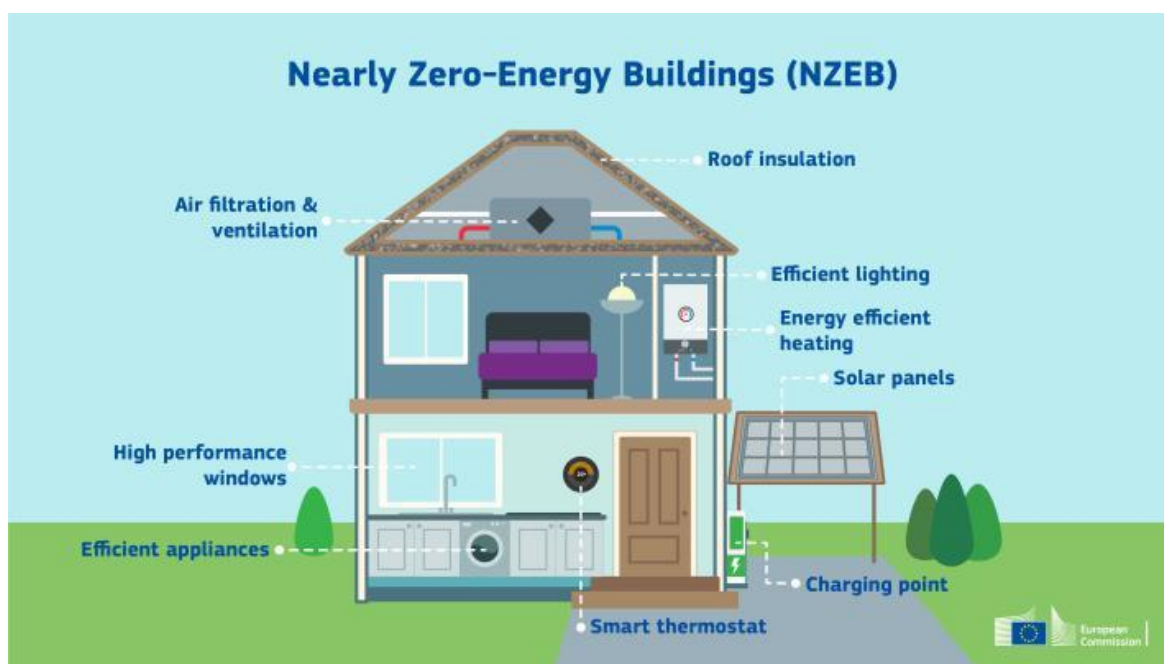
#### **i. Ευρωπαϊκή Ένωση**

Σύμφωνα με τον ορισμό που θεσπίζει η κοινοτική οδηγία 2010/31/ΕΕ, ένα κτήριο σχεδόν μηδενικής ενέργειας (nZEB - Nearly Zero Energy Building) θεωρείται ένα κτήριο με πολύ υψηλό επίπεδο ενεργειακής απόδοσης, οι ενεργειακές απαιτήσεις που απαιτούνται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που παράγονται επί τόπου ή πλησίον του κτηρίου, και

σε μικρότερο βαθμό, από μη ανανεώσιμες πηγές(*EUR-Lex - 02010L0031-20181224 - EN - EUR-Lex*, 2010).

Αυτό σημαίνει ότι τα κτήρια nZEB πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται με τρόπο που να επιτυγχάνει υψηλή ενεργειακή απόδοση, λαμβάνοντας υπόψιν τα εξής μέτρα για τη μείωση της ζήτησης ενέργειας:

- Κτηριακό κέλυφος μονωμένο με υλικά υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών
- Κατάλληλο αερισμός
- Χρήση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης υψηλής ενεργειακής απόδοσης
- Φωτισμός υψηλής ενεργειακής απόδοσης
- Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική για την παραγωγή ενέργειας
- Εφαρμογή συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας.



Εικόνα 11: Απεικόνιση κτηρίου σχεδόν μηδενικής ενέργειας(Nearly Zero-Energy Buildings, 2021a)

Σύμφωνα με την Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων, οι ευρωπαϊκές χώρες πρέπει να διασφαλίσουν ότι όλες οι νέες κατασκευές είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης έως το τέλος του 2020 και μετά από αυτήν την ημερομηνία, όλα τα νέα δημόσια κτήρια πρέπει επίσης να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η Οδηγία καθορίζει επίσης τις απαιτήσεις για την ενεργειακή αναβάθμιση των υπαρχόντων κτηρίων, προωθώντας έτσι την ενεργειακή απόδοση και την αειφορία στον τομέα των κτηρίων(*EUR-Lex - 02010L0031-20181224 - EN - EUR-Lex*, 2010; *Nearly Zero-Energy Buildings*, 2021b).

Τα εκάστοτε κράτη μέλη θα πρέπει να καθορίσουν τις ενεργειακές προδιαγραφές για τα δομικά στοιχεία, τα ηλεκτρομηχανολογικά του κτηρίου καθώς και το ποσοστό των αναγκών που θα καλύπτεται από Ανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, να θεσπίσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κτηρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης σύμφωνα με τις εκάστοτε εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές συνθήκες, να καταρτίσουν εθνικά σχέδια για την αύξηση του



αριθμού NZEB μέσω μέτρων προώθησης και χρηματοδότησης, ενώ τα αποτελέσματα να κοινοποιούνται στην επιβλέπουσα επιτροπή ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Η παραπάνω οδηγία πήγε ένα βήμα παραπέρα μετά την πρόταση τροποποίησης του Δεκεμβρίου 2021 όπου, ο στόχος ενός σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης κτηρίου ευθυγραμμίστηκε με τον στόχο του σχεδόν μηδενικής εκπομπής κτηρίου στα πλαίσια επίτευξης του στόχου κλιματικής ουδετερότητας και μείωσης των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Για τα νέα κτήρια η οδηγία θα τεθεί σε εφαρμογή από την 1 Ιανουαρίου 2030 ενώ για νέα δημόσια κτήρια από τις αρχές του 2027 (*Nearly Zero-Energy Buildings*, 2021b).

Το Μάρτιο του 2023 το Ευρωκοινοβούλιο ενέκρινε την αναθεώρηση της οδηγίας ενεργειακής απόδοσης κτηρίων (EPBD) στο πλαίσιο του πακέτου 'fit for 55', για την επίτευξη του στόχου μείωσης 55% στις εκπομπές του θερμοκηπίου στην Ε.Ε. έως το 2030. Σκοπός της οδηγίας είναι η επιτάχυνση των ανακαινίσεων στα κτήρια της Ε.Ε. για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου από τα κτήρια. Ο στόχος που θέτει η οδηγία είναι να καταστήσει τον κτηριακό τομέας κλιματικά ουδέτερο έως το 2050. Για την μείωση των εκπομπών, θεσπίζει μηδενικές στόχους εκπομπών για όλα τα νέα κτήρια από το 2028 ενώ η προθεσμία για τα δημόσια είναι το 2026. Ορίζει επίσης ότι: τα νέα κτήρια θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με τεχνολογίες συλλογής ηλιακής ενέργειας έως το 2028, ενώ οι ριζικά ανακαινιζόμενες κατοικίες έχουν προθεσμία έως το 2032. Ακόμη, θέτει σαν κατώτατο όριο στην κλίμακα ενεργειακής απόδοσης (A-G) το E έως το 2030, και το D έως το 2033 για όλα τα κτήρια κατοικιών, ενώ τα μη οικιστικά κτήρια θα πρέπει να φτάσουν στις αντίστοιχες βαθμίδες το 2027 και το 2030 αντίστοιχα. Η αναβάθμιση των κτηρίων θα υλοποιείται κατά την πώληση, ανακαίνιση ή ενοικίαση ενός κτηρίου. Για την επίτευξη αυτών των στόχων προβλέπονται μηχανισμοί στήριξης για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας, ενώ θα υπάρξουν και εξαιρέσεις από τους νέους κανόνες για κάποιες κατηγορίες κτηρίων ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. (Κείμενα Που Εγκρίθηκαν - Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων (Αναδιατύπωση) - Τρίτη 14 Μαρτίου 2023, 2023)

## ii. Ελλάδα

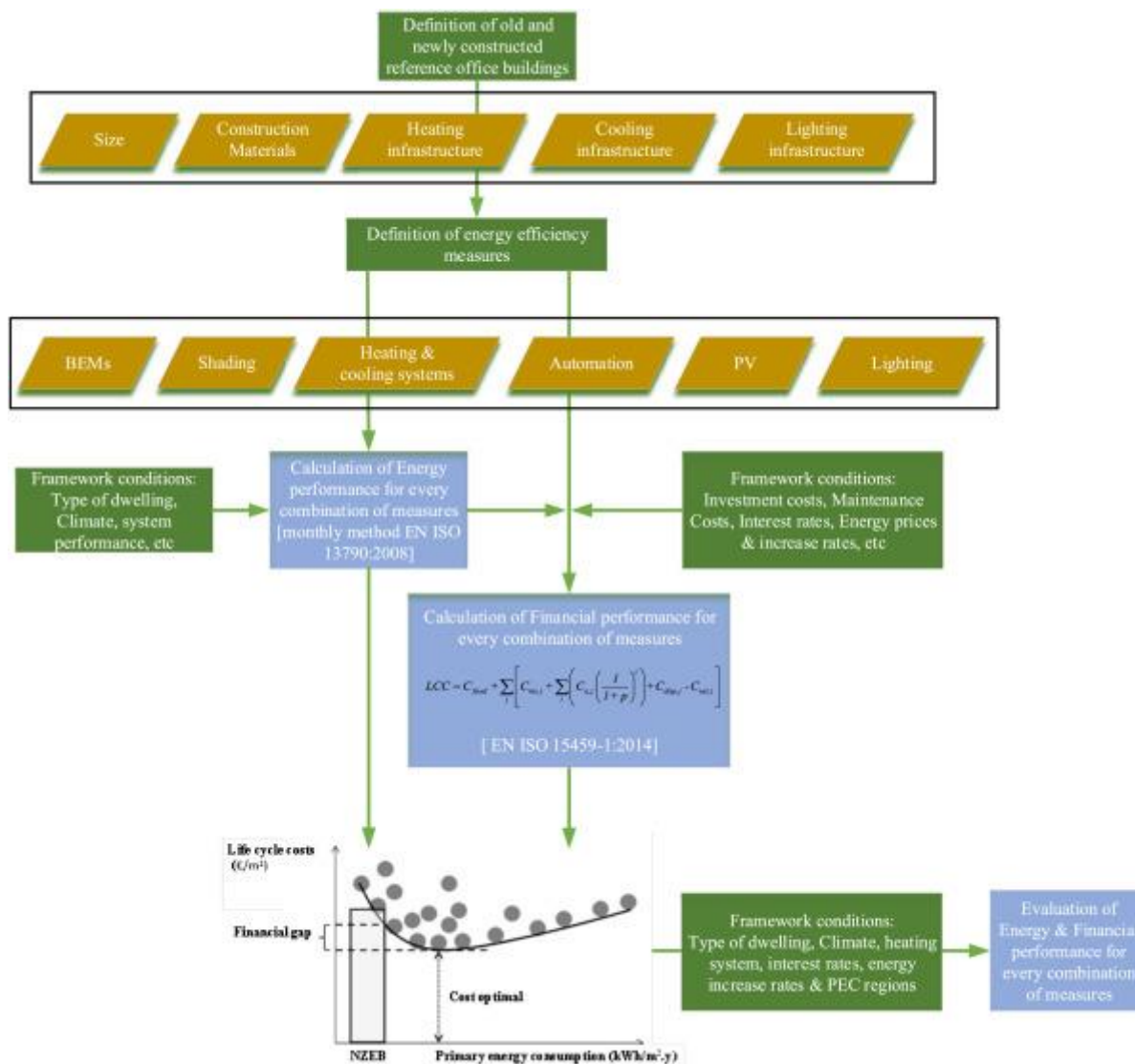
Η Ελλάδα εναρμονιζόμενη στην οδηγία 2010/31/ΕΕ έθεσε για πρώτη φορά με το νομοθετικό πλαίσιο του Ν.4122/2013, τον ορισμό του κτηρίου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (NZEB) με τρόπο πανομοιότυπο με εκείνο της Ε.Ε. Πιο αναλυτικά όπως αναφέρεται στον Ν.4122/2013 Άρθρο 2 Παρ. 5 «Κτήριο με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας: κτήριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου, πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτηρίου (ΝΟΜΟΣ 4122/2013 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 42/19.02.2013, 2013).

Η πρώτη φορά όπου αναφέρθηκε ο ορισμός του NZEB τέθηκε για πρώτη φορά στον ΝΟΚ-Ν.4067/2012 Νέο Οικοδομικό Κανονισμό όπου με το άρθ.21, παρ.43 αναφερόταν σε κτήρια υψηλής ενεργειακής κατάταξης. Παράλληλα στο άρθ.25, παρ.2 τέθηκαν τα ανώτατα όρια για την «ετήσια πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό, αερισμό και ζεστό νερό χρήσης κάτω των 10 kWh/m<sup>2</sup>/έτος».

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά μελέτες που έχουν προηγηθεί στο παρελθόν σχετικά με την αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια γραφείων.

Αρχικά μια δημοσίευση προερχόμενη από τον (Pallis et al., 2021) αξιολογεί την ενεργειακή και οικονομική απόδοση διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια γραφείων μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ZEB) στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογείται η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και του κόστους κύκλου ζωής των διαφόρων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, όπως συστήματα ψύξης/θέρμανσης, συστήματα αυτοματισμού, δομικά υλικά, φωτοβολταϊκά συστήματα σε κτήρια γραφείων τα οποία χωρίστηκαν με βάση τη χρονολογία κατασκευής τους σε 3 κατηγορίες καθώς και τη κλιματική τους ζώνη. Η κατανάλωση της πρωτογενούς ενέργειας των κτηρίων καθώς και το κόστος επένδυσης, λειτουργίας & συντήρησης υπολογίστηκαν σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία 2010/31/ΕΕ και το πρότυπο EN 15459-1. Στα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν για την εξοικονόμηση ενέργειας ανέδειξαν τις VRV αντλίες θερμότητας ως το πιο οικονομικά αποδοτικό μέτρο για την ψύξη & θέρμανση των κτηρίων ενώ συνδυάζονται με τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση. Τα συστήματα φωτισμού LED συνδυαστικά με τον αυτοματισμό τους, είναι απαραίτητα και αναντικατάστατα για την βελτιστοποίηση του κόστους σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια καθώς και για την επίτευξη του στόχου nZEB. Επίσης εξετάστηκαν διάφορα σενάρια με παρεμβάσεις στο κέλυφος των κτηρίων (τιμές U) τα οποία είναι αποτελεσματικά μόνο αν συνοδεύονται από επαρκή μέτρα απόδοσης, αντίθετα παρεμβάσεις στα κουφώματα (ιδιαίτερα στους υαλοπίνακες) δεν αποτελούν ιδιαίτερα οικονομικές λύσεις. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι καίριας σημασίας για την επίτευξη των ορίων nZEB, ειδικά στα νέα κτήρια. Επίσης επηρεάζουν θετικά τη σχέση κόστους – απόδοσης σε όλα τα σενάρια ενώ είναι απαραίτητα για τη βελτιστοποίηση του κόστους στα σενάρια όπου τοποθετήθηκαν συστήματα ψύξης/θέρμανσης που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί ότι κανένα από τα εξεταζόμενα σενάρια δεν επιτυγχάνει τα όρια κατωφλίου nZEB που είχαν οριστεί στη μελέτη με βάση την πρωτογενή κατανάλωση του κτηρίου αναφοράς και που πιθανώς να είναι υπερβολικά φιλόδοξες (Pallis et al., 2021).



Εικόνα 12 Μεθοδολογία της μελέτης (Pallis et al., 2021)

Μια δημοσίευση προερχόμενη από τον (Kyritsis et al., 2016) δίνει έμφαση στη δυνατότητα προσαρμογής του ενεργειακού προφίλ των κτηρίων γραφείων στη Νότια Ευρώπη σε προφίλ Ισορροπημένης Ενέργειας Κτηρίων (Balanced Energy Buildings). Η εξεταζόμενη μέθοδος για να επιτευχθεί αυτό το ενεργειακό προφίλ δεν στοχεύει μόνο στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση χρησιμοποιώντας διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά επιδιώκει την καλύτερη στιγμιαία αντιστοίχιση της ζήτησης του κτηρίου με την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Η κατανάλωση της καθαρής παραγόμενης ενέργειας που παράγεται από το σύστημα ΑΠΕ θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί και να μειωθούν στις ώρες αιχμής η ζήτηση της ενέργειας από το δίκτυο.

Οι προαναφερθέντες στόχοι επιτυγχάνονται με την αξιοποίηση συστημάτων ΑΠΕ (κυρίως φωτοβολταϊκών συστημάτων για τη Νότια Ευρώπη), ενεργών τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας υποστηριζόμενες από τεχνολογίες πληροφορικής & επικοινωνίας (ICT) και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας από το ICT είναι σχεδόν 23% για το σύστημα ψύξης/θέρμανσης του γραφείου και 25% για το φωτισμό. Επιπλέον, το σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας που προτείνεται μειώνει την ζήτηση σε ώρες αιχμής στο

σύστημα ψύξης/θέρμανσης κατά 50% και είναι μια αρκετά οικονομική λύση. Τα ηλεκτροχημικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας(μπαταρίες) μπορεί να γίνει οικονομικά βιώσιμη εναλλακτική λύση βραχυπρόθεσμα. Η χρήση μιας δεξαμενής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας αποτελεί ελκυστική λύση για τα νέα κτήρια και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη καθώς μειώνει αρκετά τα θερμικά και ψυκτικά φορτία(Kyritsis et al., 2016).

Η (D'Agostino et al., 2021) πραγματοποίησε μια αξιολόγηση της ανάπτυξης των κτηρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Όπως επισημαίνει, η απαλλαγή από τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στον ενεργειακό τομέα αποτελεί καίρια σημασία για την επίτευξη των μελλοντικών στόχων που έχουν οριστεί από την ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια. Σύμφωνα με την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, τα nZEB καθίστανται υποχρεωτικά ως στόχος δόμησης των νέων κτηρίων από το 2021 και μετά. Σκοπός της έρευνας ήταν η επισκόπηση της εφαρμογής της εθνικής νομοθεσίας και της ενεργειακής απόδοσης για νέα, υφιστάμενα, οικιστικά και μη κτήρια στα κράτη-μέλη της ΕΕ. Επίσης παρουσιάζονται συνοπτικά οι τεχνολογίες[πίνακας] που εφαρμόζονται πιο συχνά σε nZEB μαζί με το κόστος και τις σχετικές προβλέψεις για τις επόμενες δεκαετίες. Τέλος, δίνονται ποσοτικά δεδομένα για τη διάδοση των nZEB στα κράτη μέλη, όπως αξιολογήθηκαν πρόσφατα, ενώ προβλέπεται η εξέλιξη της έννοιας και του μελλοντικού ρόλου των nZEB. Τα κύρια ευρήματα της αξιολόγησης ήταν:

Έχουν οριστεί τα κριτήρια των nZEB σε 23 κράτη-μέλη, σε 2 κράτη είναι υπό ανάπτυξη και σε 4 είναι υπό εξέταση για επανορισμό.

Τα επίπεδα απόδοσης των nZEB στα περισσότερα κράτη – μέλη είναι λιγότερο απαιτητικά από τα επίπεδα αναφοράς της ΕΕ.

Οι τωρινές απαιτήσεις των nZEB είναι κατά 70% μικρότερες σε σχέση με τις εθνικά ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης το 2006, το οποίο δείχνει μια σταθερή αυξητική τάση της ενεργειακής απόδοσης.

Σχεδόν 1.25 εκατομμύρια κτήρια κατασκευάστηκαν ή ανακαινίστηκαν σε επίπεδα nZEB από το 2012 έως το 2016. Το μερίδιο των nZEB στην κατασκευαστική αγορά αυξήθηκε κατά 6% στην Ευρώπη (από 14% το 2012 σε 20% το 2016).

Οι πιο εφαρμοσμένες τεχνολογίες ΑΠΕ είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ηλιακοί συλλέκτες. Οι προβλέψεις κόστους δείχνουν ότι το κόστος των ΦΒ θα μειωθεί μεταξύ 41-56% έως το 2050 και για τους ηλιακούς συλλέκτες μεταξύ 22-51%. Τα ΦΒ συστήματα ενδεχομένως να αποτελέσουν τον πυλώνα για την απαλλαγή από τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην παροχή ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες. Η αναγκαιότητα για την αποθήκευση ενέργειας θα γίνεται όλο και πιο σημαντική(D'Agostino et al., 2021).

|                       | Νέα κτήρια  | Ανακαινισμένα κτήρια  |
|-----------------------|---|---|
| Παθητικές Παρεμβάσεις | Θερμική μόνωση, Υαλοπίνακες(τριπλά τζάμια), Παθητικές λύσεις ψύξης : σκίαση, φυσικός αερισμός & φωτισμός, | Θερμική μόνωση, Υαλοπίνακες(τριπλά τζάμια), Παθητικές λύσεις ψύξης : σκίαση, φυσικός αερισμός & φωτισμός, |

|                         | θερμική μάζα, νυχτερινή ψύξη  | θερμική μάζα, νυχτερινή ψύξη   |
|-------------------------|---|--|
| Ενεργητικές παρεμβάσεις | Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας<br>Θέρμανση: Αντλίες θερμότητας ή τηλεθέρμανση<br>Ψύξη: Αντλίες θερμότητας<br>ZNX: Χρήση συστήματος θέρμανσης για ψυχρά κλίματα αλλιώς αποκλειστική παραγωγή ζεστού νερού με χρήση εν μέρη ηλιακής ενέργειας<br>Χρήση ενεργειακών αποδοτικών συσκευών και συστημάτων φωτισμού | Μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας<br>Θέρμανση: Λέβητας συμπύκνωσης(ΦΑ) ή τηλεθέρμανση<br>Ψύξη: Αντλίες θερμότητας<br>ZNX: Χρήση συστήματος θέρμανσης για ψυχρά κλίματα αλλιώς αποκλειστική παραγωγή ζεστού νερού με χρήση εν μέρη ηλιακής ενέργειας<br>Χρήση ενεργειακών αποδοτικών συσκευών και συστημάτων φωτισμού |
| ΑΠΕ                     | ΦΒ , Ηλιοθερμική  | ΦΒ , Ηλιοθερμική   |

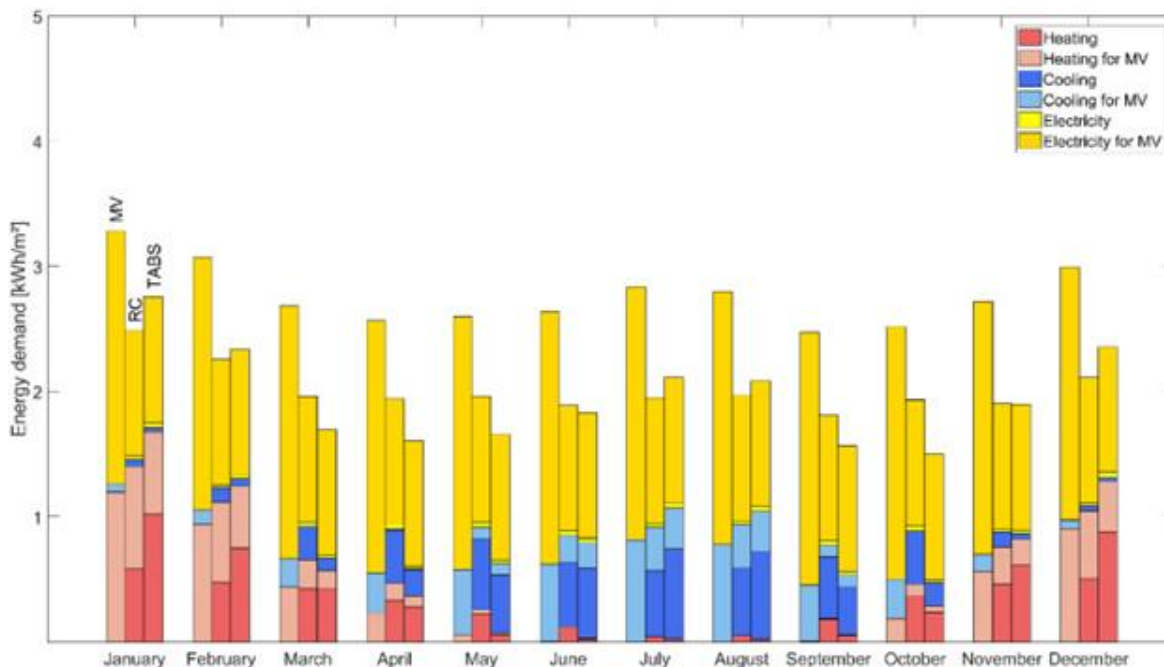
Πίνακας 1 Κύριες τεχνολογίες nZEB (D'Agostino et al., 2021)

Η (Gärtner et al., 2020) έκανε μία εκτίμηση της επίδρασης της διαμόρφωσης συστημάτων HVAC και της ζώνης ελέγχου στη θερμική άνεση και της ενεργειακής απόδοσης σε χώρους γραφείων. Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η επίδραση του σχεδιασμού μιας ευέλικτης διάταξης του χώρου γραφείου στη θερμική άνεση και της απαιτούμενης ενέργειας. Με τη μέθοδο της δυναμικής θερμικής προσομοίωσης, αξιολογήθηκαν οι δυνατότητες εφαρμογής τριών διαφορετικών συστημάτων HVAC (μηχανικός αερισμός, ακτινοβολούμενη θέρμανση-ψύξη οροφής, θερμικά ενεργό κτιριακό σύστημα[TABS]) σε συνδυασμό με τέσσερις ζώνες ελέγχου. Η εύρεση της βέλτιστης λύσης για κάθε διαμόρφωση και ζώνης ελέγχου μπορεί να βοηθήσει στις αποφάσεις σχεδιασμού κατά τη φάση κατασκευής ή ανακαίνισης ενός χώρου γραφείου. Ο κύριος σκοπός της μελέτης ήταν να καταστεί δυνατή η ευέλικτη σχεδίαση της διάταξης του χώρου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτηρίου χωρίς να έχει επιπτώσεις στη θερμική άνεση ή την ενεργειακή απόδοση. Οι διαφορές μεταξύ των τριών συστημάτων HVAC στις ενεργειακές απαιτήσεις φαίνονται στην [εικόνα 13].

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν η επίδραση των στρατηγικών ζωνών ελέγχου στις παραβιάσεις της θερμικής άνεσης και της έντασης χρήσης ενέργειας (EUI) ποικίλλει ανάλογα με το εγκατεστημένο σύστημα HVAC. Για το σύστημα μηχανικού αερισμού, θα πρέπει να προτιμάται μια στρατηγική με μικρές ζώνες ελέγχου για την αποφυγή παραβιάσεων της θερμικής άνεσης. Ο μηχανικός αερισμός είναι το πιο ευαίσθητο σύστημα και έτσι επιτυγχάνονται υψηλές τυπικές αποκλίσεις παραβιάσεων άνεσης και EUI για διαφορετικούς σχεδιασμούς διάταξης χώρων και χώρων στο χώρο του γραφείου. Αντίθετα, οι οροφές ακτινοβολίας και τα TABS παρουσιάζουν υψηλότερη αξιοπιστία, ειδικά όσον αφορά τη θερμική άνεση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ένα υψηλό επίπεδο θερμικής άνεσης μπορεί να επιτευχθεί ανεξάρτητα από τη σχεδίαση της διάταξης του χώρου και τη στρατηγική ελέγχου ζωνών, η οποία επιτρέπει έναν ευέλικτο χώρο γραφείου. Σε περιοχές με υψηλά εσωτερικά θερμικά κέρδη, όπως οι αίθουσες συσκέψεων, οι οροφές ακτινοβολίας επιτυγχάνουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από το TABS. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμοζόμενη στρατηγική ελέγχου TABS δεν χρειάζεται αισθητήρα στο δωμάτιο και εξακολουθεί να επιτυγχάνει ισχυρά αποτελέσματα. Σε γενικές γραμμές, αυτά τα



αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι οι οροφές ακτινοβολίας και τα TABS είναι πιο υποσχόμενες λύσεις για ευέλικτους χώρους γραφείων σε σύγκριση με τον μηχανικό αερισμό για να διατηρηθεί η θερμοκρασία λειτουργίας στο δωμάτιο εντός των ορίων θερμικής άνεσης (Gärtner et al., 2020).



Εικόνα 13 Σύγκριση της μηνιαίας ζήτησης ενέργειας για όλες τις διαφορετικές παραλλαγές των συστημάτων HVAC με λεπτομερή ζώνη προγραμματισμού. Κάθε παραλλαγή του συστήματος HVAC αναπαρίστανται με ένα γράφημα ανά μήνα, με MV, RC και TABS (από αριστερά προς τα δεξιά). (Gärtner et al., 2020)

Ο (Petidis et al., 2018) διεξήγαγαν μια μελέτη στο υφιστάμενο κτήριο φοιτητικής εστίασης του Πολυτεχνείου Κρήτης για να αξιολογήσουν τις εσωτερικές συνθήκες, τη συμπεριφορά κατανάλωσης ενέργειας και την ικανοποίηση των κατοίκων. Διαπιστώθηκε χαμηλή ενεργειακή απόδοση, κάτι που συνηθίζεται σε πολλά παλαιά κοινωνικά κτήρια στην Ευρώπη. Τα προβλήματα που εντοπίστηκαν ήταν : ο ανεπαρκής εξαερισμός, η υψηλή υγρασία, οι άβολες θερμοκρασίες και ο ανεπαρκής φωτισμός. Στο πλαίσιο βελτίωσης την ενεργειακής κατανάλωσης μελετήθηκαν ορισμένες ενεργειακά αποδοτικές επιλογές, όπως η θερμομόνωση, τα πράσινα δώματα, οι LED λάμπες και η αντικατάσταση κουφωμάτων. Η συνδυασμένη εφαρμογή αυτών των μέτρων οδήγησε σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 36%. Ενώ, η εξοικονόμηση ενέργειας από την αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων με LED ήταν 14.6%. Επιπλέον, η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αυτοπαραγωγής στο διαθέσιμο χώρο της στέγης οδήγησε σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 62% σε σύγκριση με την αρχική κατανάλωση ενέργειας, προσεγγίζοντας έτσι τον στόχο ενός σχεδόν ενεργειακά αυτόνομου κτηρίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η θέρμανση και η ψύξη απαιτούσαν τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, με τις ανάγκες για ψύξη να είναι μεγαλύτερες λόγω του μεσογειακού κλίματος. Οι τέσσερις διάφορες προσεγγίσεις είχαν διαφορετικό βαθμό εξοικονόμησης ενέργειας, με τις LED λάμπες και τη θερμομόνωση να παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλες μειώσεις. Η συνδυαστική προσέγγιση θεωρήθηκε η πλέον αποτελεσματική. Παρά την μεγάλη περίοδο αποπληρωμής, η μελέτη υπογράμμισε την ανάγκη βελτίωσης της θερμικής άνεσης και της ποιότητας του εσωτερικού αέρα μέσω μέτρων όπως η θερμομόνωση και τα πράσινα δώματα. Οι προτεινόμενες βελτιώσεις είχαν

ως στόχο τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων, τη μείωση της ζήτησης ενέργειας και των εκπομπών, και τον μετασχηματισμό του κτηρίου σε ένα σχεδόν αυτόνομο κτήριο με ενέργεια μηδέν (nZEB). Τέλος, προτάθηκε η εγκατάσταση ηλιακών ανακλαστικών χρωμάτων και εξοπλισμού σκίασης για μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες(Petidis et al., 2018).

Η μελέτη της (Mavrigiannaki et al., 2021)αναλύει πραγματικά δεδομένα από τον πρώτο χρόνο παρακολούθησης μιας πειραματικής γειτονιάς με μηδενική ενεργειακή κατανάλωση. Η γειτονιά κατάφερε με επιτυχία να επιτύχει τους στόχους για της ενεργειακής κατανάλωσης, την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και το κόστος. Επίσης, απέδειξε θετικό ενεργειακό ισοζύγιο όταν λήφθηκε υπόψη η συνολική κατανάλωση και η παραγωγή ηλιακής ενέργειας (PV). Η μελέτη τονίζει τη μετάβαση από μεμονωμένα κτίρια σε συγκροτήματα κτιρίων για την επίτευξη της μηδενικής ενεργειακής απόδοσης. Καθορίστηκαν συγκεκριμένοι στόχοι απόδοσης και παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας για τα υπό κτίρια εντός των γειτονιών μηδενικής ενέργειας (ZEN). Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης για τον έλεγχο και τη μέτρηση της απόδοσης. Ωστόσο, η πειραματική γειτονιά είναι περιορισμένη σε μέγεθος και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να αξιολογηθεί η μακροπρόθεσμη απόδοση, να ληφθεί υπόψη η επίδραση των καθολικών αποκλεισμών και να εξεταστούν ευκαιρίες για μεγαλύτερη παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, διαχείριση της ζήτησης και κοινοτική κοινοχρησία ενέργειας. Το έργο αποτελεί μια ευκαιρία μάθησης και απαιτούνται επιπλέον πραγματοποιημένα έργα για να προωθηθεί η υιοθέτηση των εννοιών μηδενικής ενέργειας σε κλίμακα γειτονιάς(Mavrigiannaki et al., 2021).

Η (Attia et al., 2017)στην μελέτη που διεξήγαγε, επικεντρώθηκε στους τρόπους υλοποίησης κτηρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) σε χώρες της Νότιας Ευρώπης, οι οποίες περιλαμβάνουν την Κύπρο στην προσπάθεια να επιτύχουν τους κλιματικούς και ενεργειακούς στόχους της Ε.Ε. Στην μελέτη εξετάζονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν η Κύπρος, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιταλία, η Πορτογαλία, η Ρουμανία και η Ισπανία στην υλοποίηση των NZEB. Μία από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζεται είναι η διαφορετική αντίληψη του ορισμού και της υλοποίησης των nZEB ανάμεσα στις χώρες τις Ε.Ε., δημιουργώντας παρανοήσεις και καθιστώντας δύσκολη την θέσπιση ενός κοινού πλαισίου. Στην μελέτη καλύφθηκαν διαφορετικές πτυχές της υλοποίησης nZEB, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών, κοινωνικών και πολιτικών παραγόντων. Παράλληλα, εξέτασαν την υιοθέτηση των nZEB και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η κάθε χώρα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Κύπρου όπου λόγω του μεσογειακού κλίματος οι ιδιώτες επενδυτές αντιμετωπίζουν οικονομικά προβλήματα στην ανακαίνιση ενός nZEB χωρίς κρατική υποστήριξη.

Σύμφωνα με την μελέτη εντοπίστηκαν τρία βασικά τεχνικά και κοινωνικά εμπόδια για την υλοποίηση των nZEB τα οποία είναι η έλλειψη τοπικών γνώσεων και υποδομών, γρήγορη εισαγωγή κανονιστικών ρυθμίσεων χωρίς απαιτούμενη προετοιμασία και διαφορετικές ερμηνείες για τα nZEB ανάμεσα στις χώρες.

Για την αντιμετώπιση αυτών το προκλήσεων οι μελετητές προτείνουν, την ανάπτυξη ενός κοινού πλαισίου και ορολογίας σε ότι αφορά υλοποίηση των nZEB, την θέσπιση σαφών απαιτήσεων απόδοσης ενέργειας και την ένταξη παθητικών και ενεργών συστημάτων ψύξης στον σχεδιασμό των nZEB. Προτείνει επίσης τις συντονισμένες ενέργειες μεταξύ των χωρών, τη δημιουργία της απαραίτητης ανθρώπινης και βιομηχανικής υποδομής, τη

θέσπιση νομοθεσίας που βασίζεται σε επιστημονικά στοιχεία, και την ενημέρωση του κοινού μέσω εκπαίδευσης επαγγελματιών και συμμετοχής των πολιτών.

Τέλος, παρόλο που η μελέτη αποτυπώνει τις δυσκολίες και τις προσεγγίσεις που συναντώνται στην εφαρμογή των nZEB στην Νότια Ευρώπη, αναγνωρίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και μελέτες περιπτώσεων για να επιβεβαιωθούν τα ευρήματά της και να προωθηθεί η ευρεία υιοθέτηση των nZEB (Attia et al., 2017).

Ο (Michelakis Andreas, 2023) στην διπλωματική εργασία εξέτασε την τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας στον ξενοδοχειακό κλάδο και προσδιορίζει δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας. Εστίασε στη μετατροπή ενός ξενοδοχείου στην Αθήνα, σε ξενοδοχείο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας NZEH. Για την επίτευξη του στόχου πρότεινε την αξιοποίηση ενεργειακά αποδοτικών στρατηγικών και τεχνολογιών, όπως αποδοτικά συστήματα θέρμανσης/ψύξης και φωτοβολταϊκά.

Σύμφωνα με τα δεδομένα, της μελέτης η εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και η παραγωγή ενέργειας με την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε περίπου 85% μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα ξενοδοχεία ενώ μειώθηκαν σημαντικά και οι εκπομπές CO<sub>2</sub>. Παράλληλα, συμπέρανε ότι παρά το υψηλό κόστος μιας τέτοιας επένδυσης τα έτη απόσβεσης είναι λιγότερα από 9, ενώ μετά από αυτό το χρονικό διάστημα, υπάρχει καθαρό κέρδος, κάτι που ενισχύει την αποτελεσματικότητα της επένδυσης και την ανάπτυξη της επιχείρησης στην αγορά. Τέλος, στην περίπτωση αναβάθμισης ενός ξενοδοχείου σε NZEH επισημαίνει ότι τα έτη απόσβεσης ενδέχεται να μειωθούν μιας και μελέτες έχουν δείξει την αύξηση ζήτησης για βιώσιμα ξενοδοχεία από ταξιδιώτες και επαγγελματίες, και κατ' επέκταση την αύξηση των εσόδων (Michelakis Andreas, 2023).

Ο (Tsilikas Ioannis, 2019) στη διπλωματική του εργασία εξέτασε το πρόβλημα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε μία οικία καθώς και των μέσων που απαιτούνται για το περιορισμό-εκμηδενισμό των εκπομπών. Το υπό εξέταση κτήριο είναι μία μονώροφη κατοικία εμβαδού 102m<sup>2</sup>, το κέλυφος του δε διαθέτει κάποιου είδους θερμομόνωση πλην της οροφής. Ως σύστημα θέρμανσης χρησιμοποιείται ένας καυστήρας πετρελαίου και ο ηλεκτρικός εξοπλισμός του είναι χαμηλής ενεργειακής κλάσης. Η μοντελοποίηση του αρχικού κτηρίου έγινε στο λογισμικό IES VE όπου με την εισαγωγή των δεδομένων υπολογίστηκαν οι αρχικές καταναλώσεις και εκπομπές. Οι ανάγκες του κτηρίου σε θέρμανση ανερχόταν σε 6640 kWh ετησίως που αντιστοιχούσε στο 33,5% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας του κτηρίου. Οι εκπομπές συνδυαστικά της θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας ξεπερνούσαν τους 8 t CO<sub>2</sub>/y. Τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που εξετάστηκαν αφορούσαν τη θερμομόνωση της οικίας για το περιορισμό των θερμικών αναγκών, την αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών με νέες υψηλής ενεργειακής κλάσης. Όσο για το σύστημα θέρμανσης έγιναν δοκιμές αντικατάστασης του καυστήρα πετρελαίου με καυστήρα βιο-καυσίμων καθώς και η εναλλακτική λύση τοποθέτησης αντλίας θερμότητας. Στη συνέχεια, τα μέτρα αυτά μοντελοποιήθηκαν και έγινε προσομοίωση του μοντέλου. Η επέμβαση στο κέλυφος του κτηρίου μειώνει αισθητά τα θερμικά & ψυκτικά φορτία, την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> όμως ορισμένες παρεμβάσεις ήταν αρκετά δαπανηρές (π.χ. τριπλός υαλοπίνακας). Με την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης με άλλες πηγές όπως το βιοαέριο, τη βιομάζα



και αντλία θερμότητας επιτεύχθηκε μείωση των εκπομπών έως και 40%. Η βιομάζα σε σύγκριση με τις άλλες πηγές ενέργειας είχε τον μικρότερο συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> και συγκαταλέγεται στις ΑΠΕ. Με τον κατάλληλο συνδυασμό μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας τα αποτελέσματα παρουσίασαν μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε ποσοστό 62%. Η εγκατάσταση μιας Α/Γ μειώνει περίπου κατά 10% τις εκπομπές αλλά είχε υψηλό κόστος, για τον λόγο αυτό η εγκατάσταση ενός ΦΒ συστήματος ήταν αναγκαίο μέτρο για τον εκμηδενισμό των εκπομπών καθώς κάλυπτε ένα σημαντικό ποσό της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, όσο αφορά το οικονομικό σκέλος της μελέτης, αν ο ιδιοκτήτης του κτηρίου αποφασίσει να απαλλαγεί από τις ανθρακούχες εκπομπές θα έχει οικονομικό όφελος με ένα χρόνο αποπληρωμής στα 13 έτη (Tsilikas Ioannis, 2019).

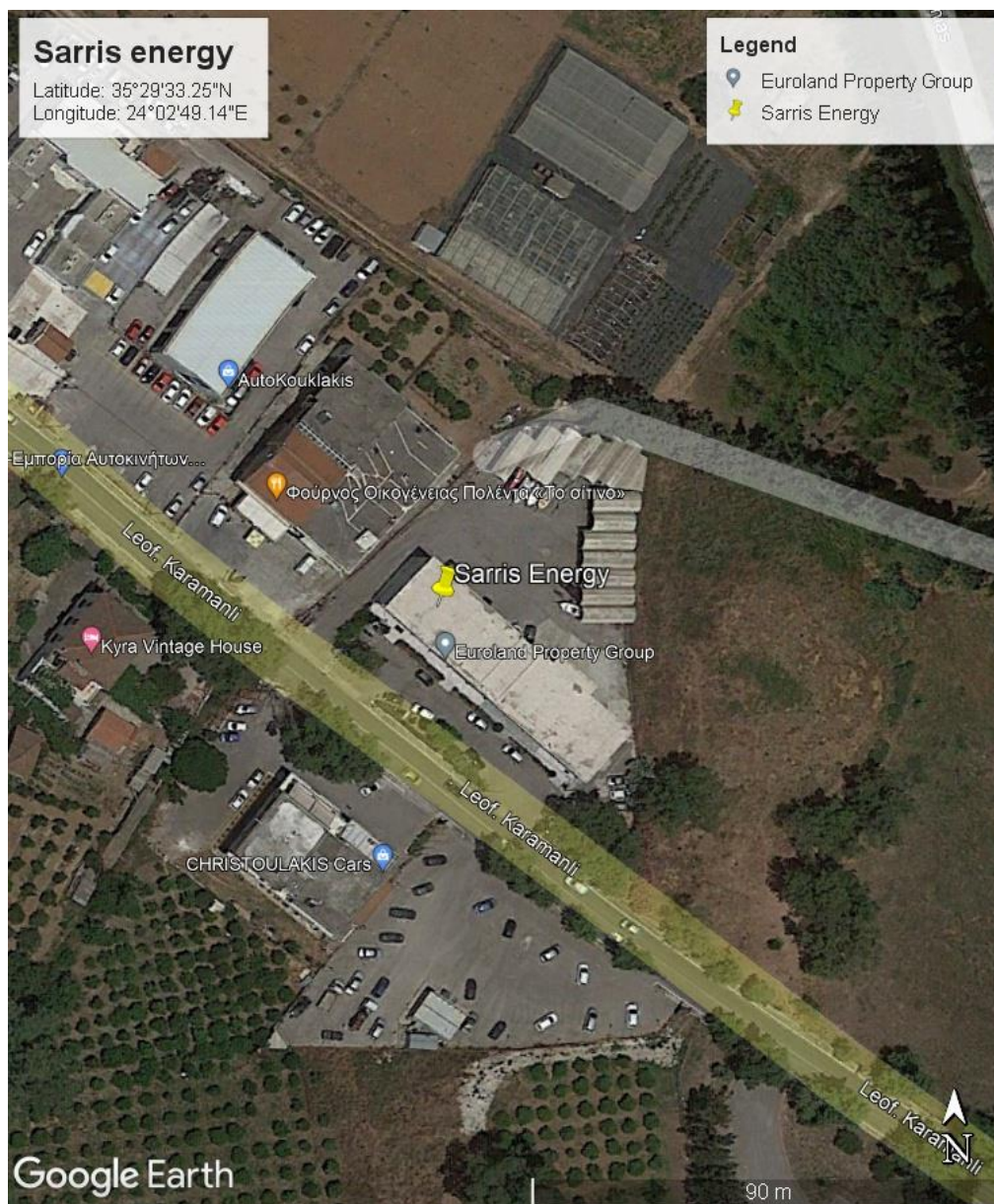
|   |  |               |   |   |                        |                                  |
|---|--|---------------|---|---|------------------------|----------------------------------|
| Στάδιο  | Σενάρια  |               |   |   |                        |                                  |
| Αρχικό  | Μοντέλο υφιστάμενου κτηρίου (βασικό σενάριο)   |               |   |   |                        |                                  |
| Ενεργειακή αναβάθμιση(αντικατάσταση κουφωμάτων) | Διπλός Υαλοπίνακας με κούφωμα αλουμινίου με θερμοδιακοπή και Αργό  |               | Τριπλός υαλοπίνακας με κούφωμα PVC και Αργό |   | Πόρτα με θερμομόνωση   |                                  |
| Ενεργειακή αναβάθμιση(προσθήκη μόνωσης)         | Πετρομβάμβοντας  | Υαλοβάμβοντας | Διογκωμένη πολυστερίνη(ESP)                 | Εξηλασμένη πολυστερίνη(XPS)   | Ξυλόμαλλο ή Herakleith | Παρθένος Ορυκτοβάμβακας(Supafil) |
| Μείωση κατανάλωσης ενέργειας                    | Αντικατάσταση ηλεκτρικού εξοπλισμού με νέες συσκευές ανώτερης ενεργειακής κλάσης   |               |   |   |                        |                                  |
| Αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης              | Σύστημα θέρμανσης με βιοαέριο  |               | Σύστημα θέρμανσης με βιομάζα                |   | Αντλία θερμότητας      |                                  |
| Συνδυαστικά σενάρια                             | Δημιουργία συνδυαστικού σεναρίου με την ταυτόχρονη εφαρμογή των μέτρων που εξετάστηκαν ξεχωριστά και επέφεραν τα καλύτερα αποτελέσματα στην μείωση εκπομπών CO2 (1ο συνδυαστικό) |               |   | Δημιουργία συνδυαστικού σεναρίου με θερμική αντλία υψηλής απόδοσης για την εξέταση του κτηρίου με πιθανή εγκατάσταση συστήματος ψύξης, στην λογική της βέλτιστης θερμικής άνεσης των χρηστών (2ο συνδυαστικό) |                        |                                  |
| Συνδυαστικά σενάρια με ΑΠΕ                      | 1ο συνδυαστικό σενάριο με PV   |               | 1ο συνδυαστικό σενάριο με Α/Γ               | 2ο συνδυαστικό σενάριο με PV  |                        | 2ο συνδυαστικό σενάριο με Α/Γ    |

Πίνακας 2 εφαρμοσμένων μοντέλων (Tsilikas Ioannis, 2019)

### 3. Μεθοδολογία

#### 3.1. Τοποθεσία κτηριακής Εγκατάστασης

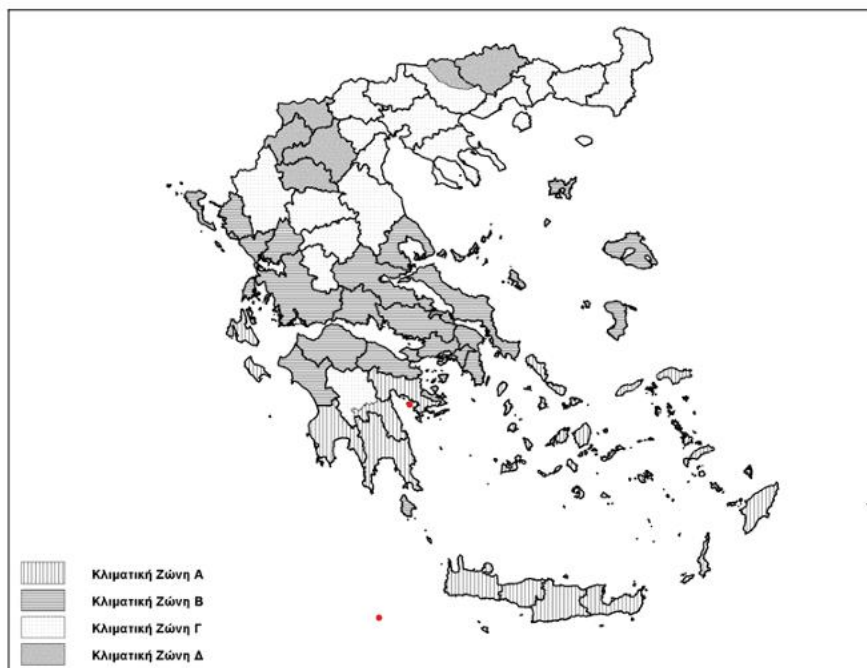
Η παρούσα μελέτη περίπτωσης αφορά τομέα από σύμπλεγμα κτηριακών εγκαταστάσεων γραφείων το οποίο εδρεύει στο νησί της Κρήτης στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Σούδας της δημοτική ενότητας Χανίων με συντεταγμένες 35ο29'35"N & 24ο02'49"E. Η περιοχή μελέτης έχει υψόμετρο 9 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, απόσταση 1,300 μέτρα από τον κόλπο της Σούδας και 3,900 μέτρα από το κέντρο της πόλης.



Εικόνα 14 Τοποθεσία εγκατάστασης στο Google earth

### 3.2. Κλιματικά Δεδομένα

Το κτήριο βρίσκεται στην περιοχή της Σούδας στην κλιματική ζώνη Α [εικόνα 15] ενώ χαρακτηρίζεται από 888 βαθμοημέρες θέρμανσης και 2,981 βαθμώρες ψύξης σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010.



Εικόνα 15: Κλιματικές Ζώνες Ελλάδα (ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2017)

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά υγρασίας με το μέγιστο να παρατηρείται τον Δεκέμβριο με το ποσοστό σχετική υγρασίας να αγγίζει το 74.32% ενώ την ελάχιστη τον Ιούλιο ποσοστό 62.86%. Μέγιστη μέση θερμοκρασία παρατηρείται τον Αύγουστο με 25.3 °C και ελάχιστη τον Ιανουάριο με 11.8 °C. (Souda Climate: Average Temperature, Weather by Month, Souda Water Temperature - Climate-Data.Org, 2021)

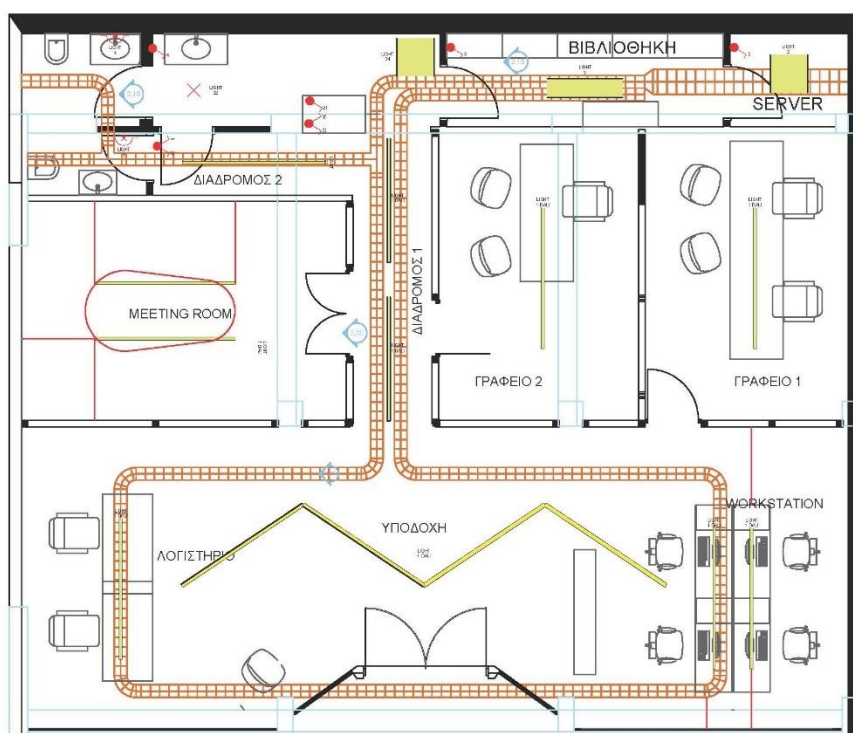
|                                     | January              | February             | March                | April                | May                  | June                 | July                 | August               | September            | October              | November             | December             |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Avg. Temperature °C (°F)            | 11.8 °C<br>(53.2) °F | 11.9 °C<br>(53.4) °F | 13.4 °C<br>(56.1) °F | 15.7 °C<br>(60.2) °F | 19.2 °C<br>(66.5) °F | 23 °C<br>(73.4) °F   | 25.3 °C<br>(77.6) °F | 25.4 °C<br>(77.7) °F | 23.1 °C<br>(73.7) °F | 19.8 °C<br>(67.6) °F | 16.7 °C<br>(62.1) °F | 13.4 °C<br>(56.2) °F |
| Min. Temperature °C (°F)            | 9.9 °C<br>(49.9) °F  | 9.9 °C<br>(49.9) °F  | 11.1 °C<br>(52) °F   | 13.2 °C<br>(55.7) °F | 16.5 °C<br>(61.7) °F | 20.2 °C<br>(68.4) °F | 22.5 °C<br>(72.5) °F | 22.7 °C<br>(72.9) °F | 20.7 °C<br>(69.2) °F | 17.7 °C<br>(63.9) °F | 14.7 °C<br>(58.5) °F | 11.7 °C<br>(53) °F   |
| Max. Temperature °C (°F)            | 13.3 °C<br>(55.9) °F | 13.6 °C<br>(56.4) °F | 15.3 °C<br>(59.5) °F | 17.6 °C<br>(63.8) °F | 21.2 °C<br>(70.1) °F | 24.9 °C<br>(76.8) °F | 27.2 °C<br>(81) °F   | 27.3 °C<br>(81.2) °F | 25.1 °C<br>(77.1) °F | 21.6 °C<br>(70.8) °F | 18.3 °C<br>(65) °F   | 14.9 °C<br>(58.8) °F |
| Precipitation / Rainfall<br>mm (in) | 156<br>(6)           | 140<br>(5)           | 88<br>(3)            | 39<br>(1)            | 26<br>(1)            | 6<br>(0)             | 3<br>(0)             | 6<br>(0)             | 27<br>(1)            | 82<br>(3)            | 109<br>(4)           | 171<br>(6)           |
| Humidity(%)                         | 74%                  | 73%                  | 72%                  | 70%                  | 68%                  | 64%                  | 63%                  | 65%                  | 69%                  | 72%                  | 74%                  | 74%                  |
| Rainy days (d)                      | 11                   | 10                   | 8                    | 4                    | 3                    | 1                    | 1                    | 1                    | 3                    | 7                    | 8                    | 12                   |
| avg. Sun hours (hours)              | 6.1                  | 6.9                  | 8.6                  | 10.2                 | 11.7                 | 12.6                 | 12.5                 | 11.6                 | 10.1                 | 8.4                  | 7.1                  | 5.9                  |

Data: 1991 - 2021 Min. Temperature °C (°F), Max. Temperature °C (°F), Precipitation / Rainfall mm (in), Humidity, Rainy days. Data: 1999 - 2019: avg. Sun hours

Εικόνα 16 Περιβαλλοντικές συνθήκες στην περιοχή της Σούδας (Souda Climate: Average Temperature, Weather by Month, Souda Water Temperature - Climate-Data.Org, 2021)

### 3.3. Περιγραφή γεωμετρίας κτηρίου

Η κτηριακή μονάδα της μελέτης βρίσκεται στην νοτιοδυτική άκρη κτηριακού συγκροτήματος 4 γραφείων κατασκευής 1985, με την όψη τους επί της οδού Λεωφόρου Καραμανλή. Η κτηριακή μονάδα ενδιαφέροντος στεγάζει γραφεία τεχνικής εταιρείας, διαθέτει 2 ορόφους, έχει καθαρή επιφάνεια 248.43 m<sup>2</sup> και ύψος 5.65 m. Πιο συγκεκριμένα, το ισόγειο αποτελείται από το χώρο της εισόδου με επιφάνεια 68.25 m<sup>2</sup>, τους χώρους γραφείων επιφάνειας 33,12 m<sup>2</sup>, τους χώρους των τουαλετών με επιφάνεια 6.40 m<sup>2</sup>, το χώρο της κουζίνα με επιφάνεια 4.25 m<sup>2</sup>, το χώρο του διαδρόμου με επιφάνεια 14.00 m<sup>2</sup>, το χώρο συνεδριάσεων με επιφάνεια 20.16 m<sup>2</sup> και τέλος τον χώρο της βιβλιοθήκης και σέρβερ συνολικής επιφάνειας 12.15 m<sup>2</sup>. Ο πρώτος όροφος απαρτίζεται από τον χώρο γραφείων και διασκέδασης με συνολική επιφάνεια 60.72 m<sup>2</sup> και τον χώρο εκπαίδευσης του προσωπικού με επιφάνεια 29.37 m<sup>2</sup>.



Εικόνα 17 Κάτοψη Ισογείου





Εικόνα 18 :τρισεδιάστατο σχέδιο νυχτερινής όψης κτηριακής μονάδας

### 3.4. Καταγραφή ενεργειακών χαρακτηριστικών υπάρχοντος κτηρίου

#### 3.4.1. Κτηριακό κέλυφος

Το κέλυφος του κτηρίου αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και δρομική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη και από τις δύο όψεις για το κέλυφος ενώ ανεπίχρηστο για από την μια όψη για το δώμα. Στο δώμα έχει εγκατασταθεί σύστημα υγρομόνωσης με ελαστομερές επαλειφόμενο στεγανωτικό τύπου hyperdesmo λευκού χρώματος με σκοπό την μείωση των απωλειών του δώματος κατά τους θερινούς μήνες. Στο εσωτερικό έχουν τοποθετηθεί γυψοσανίδες με πετροβάμβακα 5cm για την διαμερισμάτωση, ενώ στο δάπεδο έχει εγκατασταθεί πλακίδιο μοκέτας 7mm και θερμικής αγωγιμότητας  $U=0.084 \text{ W/m}^2\text{K}$ .





























| Περιγραφή            | Είδος  |
|----------------------|--|
| Εξωτερική Τοιχοποιία | Αμόνωτη επιχρησμένη και στις 2 όψεις πάχους 24cm                                 |
| Δάπεδο Ισογείου      | Αμόνωτο από Οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 15cm                                      |
| Οροφή                | Οπλισμένο σκυρόδεμα με ελαστομερή μόνωση πάχους 15cm                             |
| Τζαμαρία             | Μόνος υαλοπίνακας 10 mm  |
| Γυάλινη Είσοδος      | Μόνος υαλοπίνακας 10 mm  |
| Παράθυρα Ορόφου      | Θερμοδιακοπτόμενα επάλληλα κουφώματα με διπλό υαλοπίνακα 3+3 mm και διάκενο αέρα |

Πίνακας 3 Ανάλυση Κτηριακού Κελύφους

#### 3.4.2. Σύστημα θέρμανσης & ψύξης

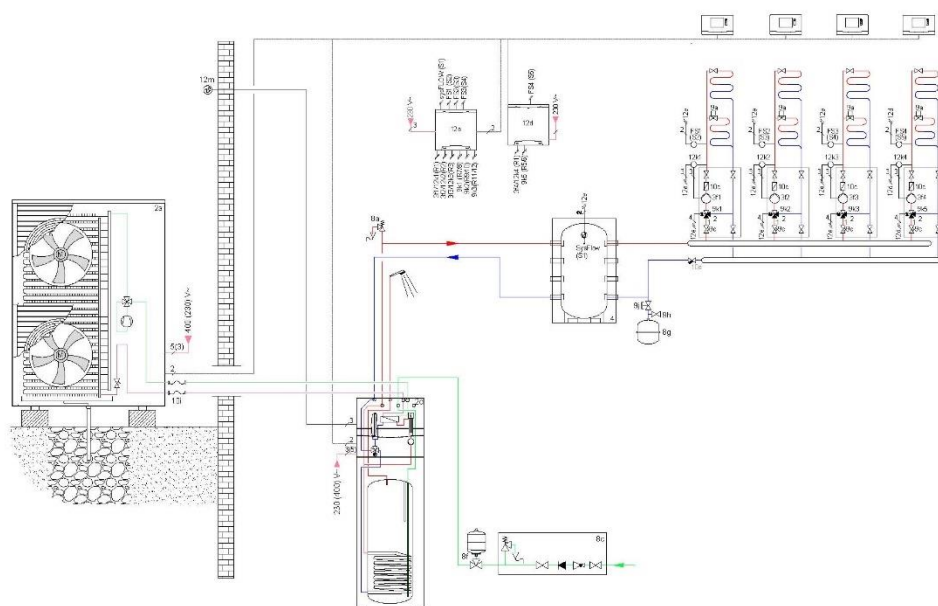
Στο κτήριο κατά την ενοικίαση του εγκαταστάθηκε νέο σύστημα θέρμανσης/ψύξης αντλίας θερμότητας αέρος/νερού σε συνδυασμό με μονάδες fan coil. Ποιο αναλυτικά εγκαταστάθηκε η aroTHERM VWL PLUS 155/6 της εταιρείας Vailant με ψυκτικό μέσο R290 και ονομαστική θερμική ισχύς θερμό κλίμα Prated 13kW. Η διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης έγινε μέσω του προγράμματος απωλειών της 4μ για εξωτερική θερμοκρασία 2°C και θερμοκρασία χώρου 20°C. Τα αναλυτικά χαρακτηριστικά της αντλίας καθώς και η ενεργειακές ετικέτες παρουσιάζονται παρακάτω:

# Τεχνικά χαρακτηριστικά.

|  |   | aroTHERM plus   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|
|  |   | VWL 55 / 6<br>230 V   | VWL 85 / 6<br>230 V   | VWL 125 / 6*<br>230 V   | VWL 125 / 6*<br>400 V   | VWL 155 / 6<br>230 V  | VWL 155 / 6<br>400 V  |
| A7 W35 Μέγιστη απόδοση θέρμανσης   | kW  | 8,1   | 10,9  | 15,6  | 15,6  | 18,7  | 18,7  |
| A7 W35 Ονομαστική απόδοση / COP  | kW  | 3,5 / 4,4   | 5,0 / 4,8   | 9,3 / 4,9   | 9,3 / 4,9   | 9,3 / 5,1   | 9,3 / 5,1   |
| A7 W45 Μέγιστη απόδοση θέρμανσης   | kW  | 7,9   | 10,4  | 15,1  | 15,1  | 18,1  | 18,1  |
| A7 W45 Ονομαστική απόδοση / COP  | kW  | 3,5 / 3,6   | 4,7 / 3,7   | 8,6 / 3,9   | 8,6 / 3,9   | 8,8 / 4,0   | 8,8 / 4,0   |
| Ενεργ. απόδοση εποχιακής θέρμανσης χώρου η5 σε θερμό κλίμα 55 °C / 35 °C | %   | 157 / 215   | 162 / 228   | 176 / 256   | 175 / 256   | 172 / 245   | 172 / 244   |
| Ονομ. θερμική ισχύς θερμό κλίμα Prated                                   | kW  | 5   | 7   | 10  | 10  | 13  | 13  |
| A35 W7 Μέγιστη απόδοση ψύξης   | kW  | 5,6   | 7,7   | 12,8  | 12,8  | 12,8  | 12,8  |
| A35 W7 Ονομαστική απόδοση / EER  | kW  | 3,0 / 3,5   | 4,5 / 3,5   | 7,5 / 3,7   | 7,5 / 3,7   | 7,5 / 3,7   | 7,5 / 3,7   |
| A35 W18 Μέγιστη απόδοση ψύξης  | kW  | 7,3   | 11,0  | 18,0  | 18,0  | 18,0  | 18,0  |
| A35 W18 Ονομαστική απόδοση / EER   | kW  | 4,1 / 4,6   | 6,0 / 4,5   | 9,9 / 4,8   | 9,9 / 4,8   | 9,9 / 4,8   | 9,9 / 4,8   |
| Ηχητική ισχύς για A7 W55   | dB(A)   | 54  | 57  | 60  |   | 61  |   |
| Ηλεκτρική σύνδεση  |   | 230V / 50Hz   |   | 230V / 50Hz   | 400V / 50Hz   | 230V / 50Hz   | 400V / 50Hz   |
| Διαστάσεις σε συσκευασία (ύψος/πλάτος/βάθος)                             | mm  | 765 x 1100<br>x 450   | 965 x 1100<br>x 450   | 1565 x 1100<br>x 450  |   |   |   |
| Βάρος σε συσκευασία  | kg  | 132   | 150   | 223   | 239   | 223   | 239   |
| Ποσότητα ψυκτικού μέσου R290   | kg  | 0,6   | 0,9   | 1,3   |   |   |   |
| Ενεργειακή απόδοση θέρμανσης χώρου σε 35°C                               |  (A+++ to D)  |   |   |   |   |   |   |
| Ενεργειακή απόδοση θέρμανσης χώρου σε 55°C                               |  (A+++ to D) |  |  |  |  |  |  |
| Συνδυασμός με ταμπετιέρα   |   | uniTOWER plus VIH QW 190 / 6  |   |   |   |   |   |
| Ενεργειακή απόδοση θέρμανσης χώρου                                       |  (A+++ to D) |  |  |  |  |  |  |
| Ενεργειακή απόδοση ZNX   |  (A+ to F)   |  |  |  |  |  |  |
|  |   | uniTOWER plus   |   |   |   |   |   |
|  |   | VIH QW 190 / 6  |   |   |   |   |   |
| Χωρητικότητα ενσωματωμένου δοχείου                                       | l   | 185   |   |   |   |   |   |
| Μέγιστη θερμοκρασία ZNX (με βοηθητική αντίσταση)                         | °C  | 55 - 75   |   |   |   |   |   |
| Διαστάσεις σε συσκευασία (ύψος/πλάτος/βάθος)                             | mm  | 1880 x 599 x 693  |   |   |   |   |   |
| Βάρος εκτός συσκευασίας  | kg  | 146   |   |   |   |   |   |
| Μέγιστη ισχύς ενσωματωμένης αντίστασης                                   | KW  | 6kW (230V/50Hz) / 9kW (400V/50Hz)   |   |   |   |   |   |
|  |   | Υδραυλικός σταθμός  |   |   |   |   |   |
|  |   | VWZ MEH 97  |   |   |   |   |   |
| Διαστάσεις σε συσκευασία (ύψος/πλάτος/βάθος)                             | mm  | 720 x 440 x 350   |   |   |   |   |   |
| Βάρος εκτός συσκευασίας  | kg  | 20  |   |   |   |   |   |
| Μέγιστη ισχύς ενσωματωμένης αντίστασης                                   | KW  | 6 kW (230V/50Hz) / 9 kW (400V/50Hz)   |   |   |   |   |   |



Εικόνα 19 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντλίας Θερμότητας ([thermogas.gr](http://thermogas.gr))



Εικόνα 20 Μηχανολογικό σχέδιο αντλίας θερμότητας

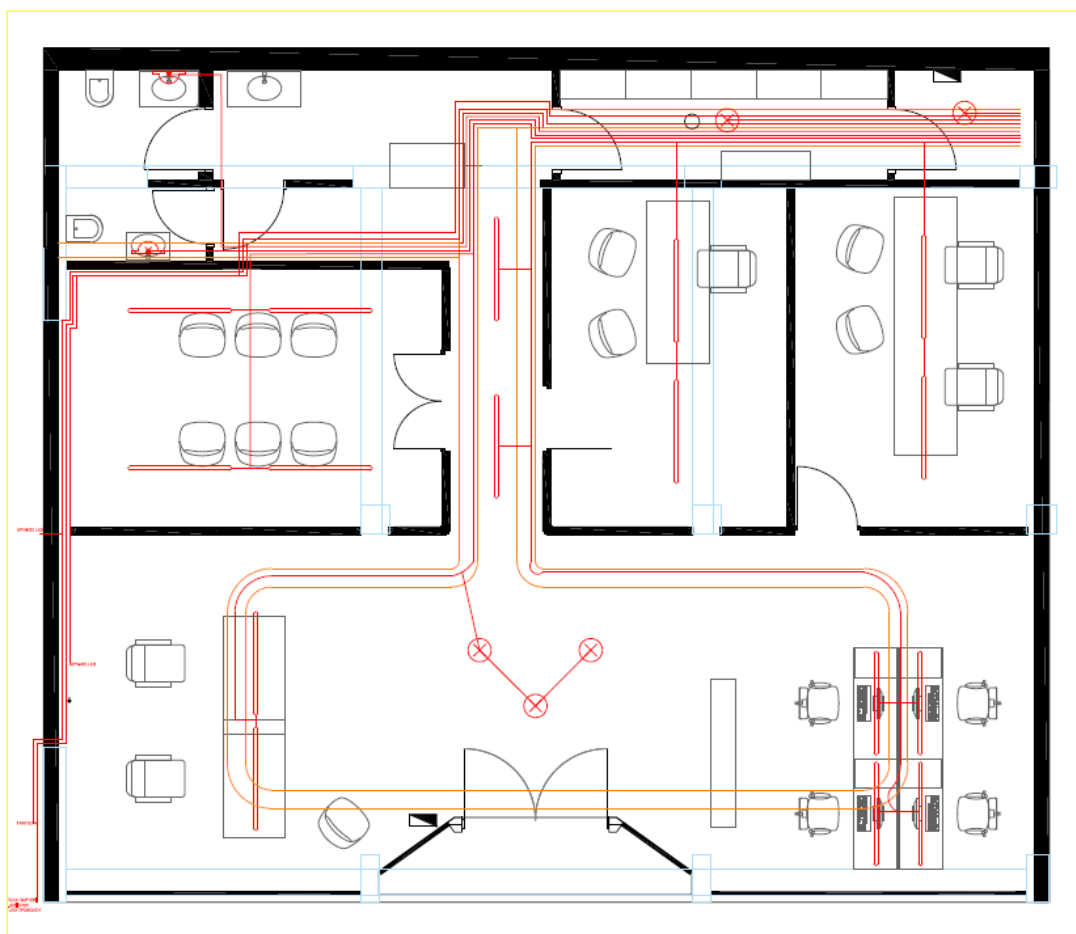
### 3.4.3. Φωτισμός

Για τον φωτισμό επιλέχθηκαν γραμμικά κρεμαστά φωτιστικά LED της εταιρείας Zambelis Architectural Pendant Profile διαστάσεων 2.26m & 1.98m με θερμοκρασία χρώματος 4000K Dali και φωτεινής απόδοσης 200 lumen/Watt καθώς και λάμπες LED για την κουζίνα και το μπάνιο. [zambelislights.gr]

| Ανάλυση Φωτισμού Γραφείου |                       |                 |         |                  |                         |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|---------|------------------|-------------------------|
| Χώρος Εγκατάστασης        | Τύπος                 | Φωτεινή απόδοση | Τεμάχια | Ισχύς Φωτιστικού | Συνολική Ισχύς Φωτισμού |
| Είσοδος                   | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 4       | 35 W             | 140 W                   |
| Είσοδος                   | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 3       | 38 W             | 114 W                   |
| Χώρος Συνεδριάσεων        | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 2       | 38 W             | 76 W                    |
| Γραφείο Κάτω              | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 1       | 38 W             | 38 W                    |
| Γραφείο Διεύθυνσης        | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 1       | 38 W             | 38 W                    |
| Γραφείο Επάνω             | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 6       | 38 W             | 228 W                   |
| Χώρος Εκπαιδεύσεων        | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 3       | 38 W             | 114 W                   |
| Βιβλιοθήκη                | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 1       | 38 W             | 38 W                    |
| Server                    | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 1       | 24 W             | 24 W                    |
| Χωλ                       | Architectural Pendant | 200 lm/W        | 2       | 35 W             | 70 W                    |
| Κουζίνα                   |                       |                 | 1       | 9 W              | 9 W                     |
| Wc 1                      |                       |                 | 1       | 9 W              | 9 W                     |
| Wc 2                      |                       |                 | 1       | 9 W              | 9 W                     |

Πίνακας 4 Ανάλυση Φωτισμού Γραφείου





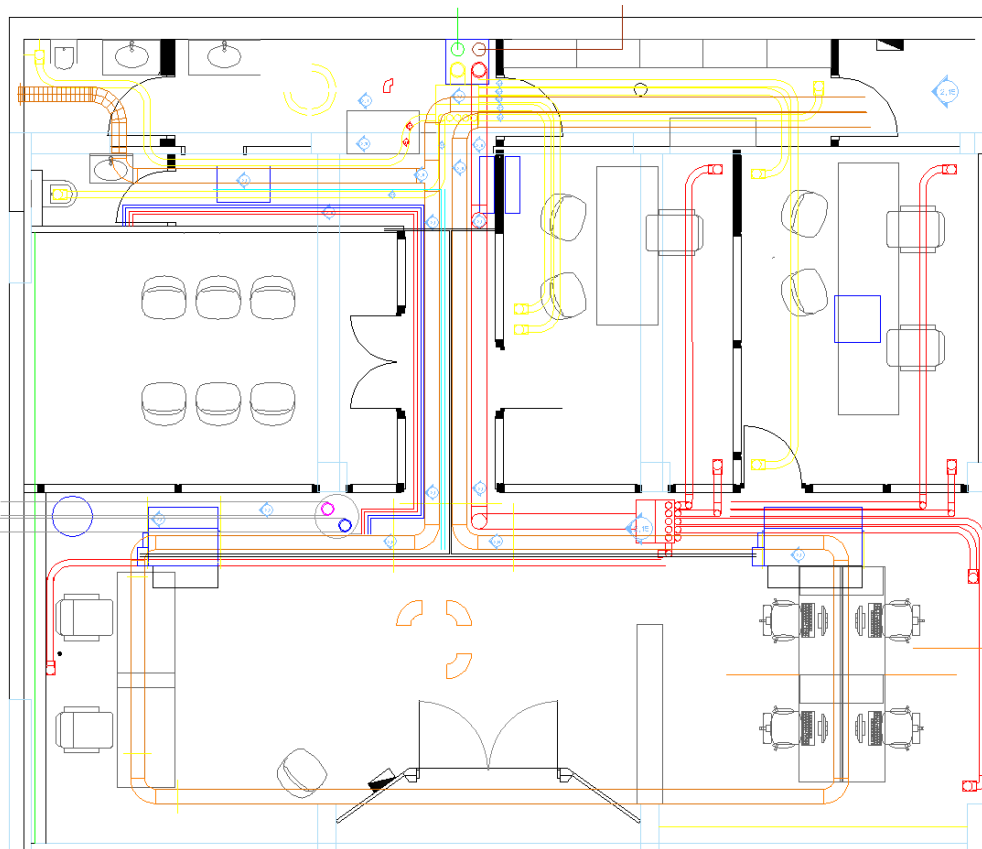
Εικόνα 21 Κάτοψη φωτισμού ισογείου

### 3.4.4. Μηχανικός Αερισμός

Για τον αερισμό του χώρου, έγινε εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού με ανάκτηση θερμότητας της εταιρεία Vailant με παροχή αέρα 360 m<sup>3</sup>/h και βαθμό ανάκτησης θερμότητας 75%. Σκοπός της τοποθέτησης του ήταν η επαρκή παροχή αέρα στον χώρο με ταυτόχρονη μείωση των θερμικών φορτίων καθώς και ο έλεγχος της υγρασίας στον χώρο.

| Περιγραφή                              |                   | recoVAIR – VAR 260/4 | recoVAIR – VAR 360/4 |
|--|-------------------|----------------------|----------------------|
| Τεχνικά χαρακτηριστικά                 |                   |                      |                      |
| Ενεργειακή κλάση                       |                   | A                    |                      |
| Μέγιστη παροχή                         | m <sup>3</sup> /h | 260                  | 360                  |
| Διατομή αεραγωγών Εξωτερική/ Εσωτερική | mm                | 210/180              |                      |
| Πλάτος / Βάθος / Ύψος                  | mm                | 595/631/885          |                      |
| Βάρος                                  | kg                | 41                   | 41,2                 |
| Ηλεκτρικές συνδέσεις                   | V                 | 230 V ~ 50Hz         |                      |

Εικόνα 22 Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανικού αερισμού



Εικόνα 23 Κάτοψη αεραγωγών μηχανικού αερισμού

### 3.4.5. Φωτοβολταϊκό Σύστημα με αποθήκευση ενέργειας

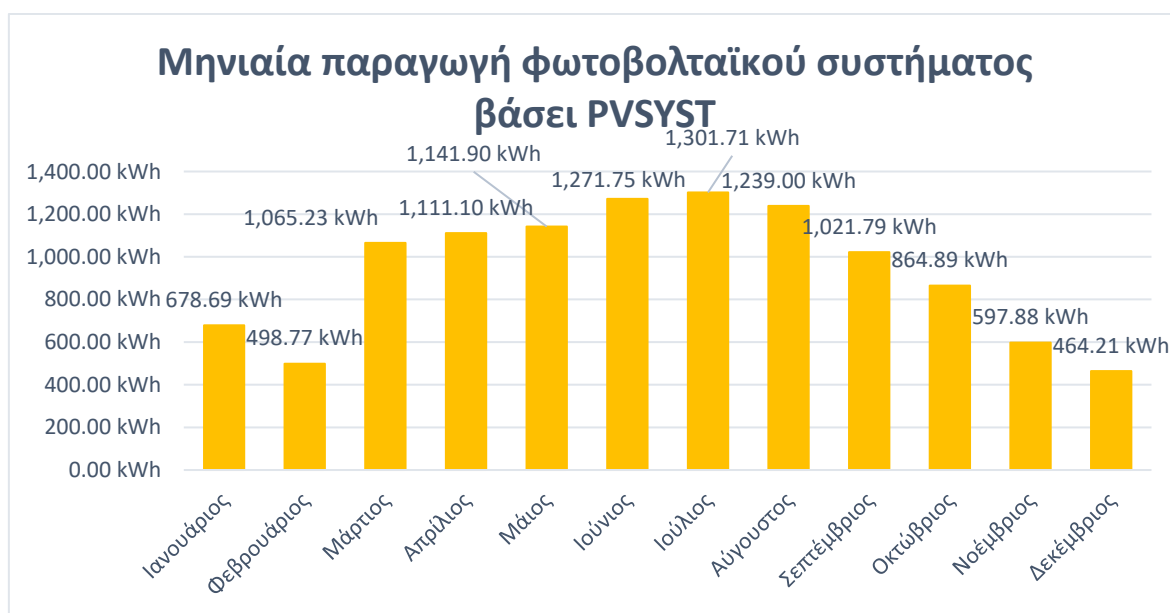
Στο ακίνητο της μελέτης έχει εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα ενεργειακού συμφηφισμού για την κάλυψη των αναγκών και αποθήκευση ενέργειας με μπαταρία λιθίου για αύξηση της ιδιοκατανάλωσης και χρήση της ως UPS σε περίπτωση ανάγκης.

Ποιο αναλυτικά το φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 6.66kWp βρίσκεται στο δώμα του κτηρίου σε νοτιοδυτικό προσανατολισμό με απόκλιση 44° από τον νότο και κλίση 44°. Ενώ χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά τα παρακάτω: από:

- 18 τεμάχια μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πλαισίων Longi LR4-60HPH-370M
- Τριαφασικό Inverter Fronius Symo 6.0-3-M
- Μπαταρία λιθίου με μέγιστη ισχύ εκφόρτισης 2.5 kVA της Pylontech



Εικόνα 24 Χωροθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος

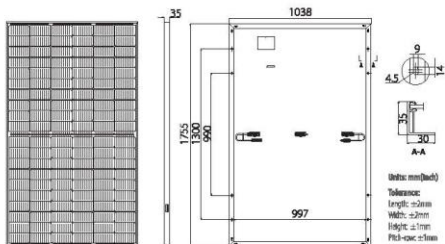


Εικόνα 25 Μηνιαία παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος βάσει PVSYST

Η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή υπολογίζεται βάσει της ηλεκτρομηχανολογικής μελέτης μέσω του PVSYST στις 11,256.90 kWh ενώ η εκτιμώμενη απόδοση με βάση την θέση, τον προσανατολισμό και την κλίση υπολογίζεται στις 1,690.23 kWh/kWp/year

## LR4-60HPH 350~380M

### Design (mm)



### Mechanical Parameters

Cell Orientation: 120 (6x20)  
Junction Box: IP68, three diodes  
Output Cable: 4mm<sup>2</sup>, 1200mm in length  
(for EU DG)  
Glass: Single glass  
3.2mm coated tempered glass  
Frame: Anodized aluminum alloy frame  
Weight: 19.5kg  
Dimension: 1755x1038x35mm  
Packaging: 30pcs per pallet  
180pcs per 20'GP  
780pcs per 40'HC

### Operating Parameters

Operational Temperature: -40 °C ~ +85 °C  
Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W  
Voc and Isc Tolerance: ±3%  
Maximum System Voltage: DC1500V (IEC/UL)  
Maximum Series Fuse Rating: 20A  
Nominal Operating Cell Temperature: 45±2 °C  
Safety Class: Class II  
Fire Rating: UL type 1 or 2

### Electrical Characteristics

Test uncertainty for Pmax: ±3%

| Model Number                     | LR4-60HPH-350M |       | LR4-60HPH-355M |       | LR4-60HPH-360M |       | LR4-60HPH-365M |       | LR4-60HPH-370M |       | LR4-60HPH-375M |       | LR4-60HPH-380M |       |
|----------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Testing Condition                | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax/W)           | 350            | 261.4 | 355            | 265.1 | 360            | 268.8 | 365            | 272.6 | 370            | 276.3 | 375            | 280.0 | 380            | 283.8 |
| Open Circuit Voltage (Voc/V)     | 40.1           | 37.6  | 40.3           | 37.8  | 40.5           | 38.0  | 40.7           | 38.2  | 40.9           | 38.3  | 41.1           | 38.5  | 41.3           | 38.7  |
| Short Circuit Current (Isc/A)    | 11.15          | 9.02  | 11.25          | 9.10  | 11.35          | 9.17  | 11.43          | 9.25  | 11.52          | 9.32  | 11.60          | 9.38  | 11.69          | 9.45  |
| Voltage at Maximum Power (Vmp/V) | 33.6           | 31.3  | 33.8           | 31.5  | 34.0           | 31.7  | 34.2           | 31.8  | 34.4           | 32.0  | 34.6           | 32.2  | 34.8           | 32.4  |
| Current at Maximum Power (Imp/A) | 10.42          | 8.35  | 10.51          | 8.43  | 10.59          | 8.49  | 10.68          | 8.56  | 10.76          | 8.63  | 10.84          | 8.69  | 10.92          | 8.76  |
| Module Efficiency(%)             | 19.2           |       | 19.5           |       | 19.8           |       | 20.0           |       | 20.3           |       | 20.6           |       | 20.9           |       |

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25 °C, Spectra at AM1.5

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20 °C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

### Temperature Ratings (STC)

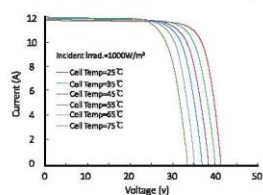
|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Temperature Coefficient of Isc  | +0.048%/°C |
| Temperature Coefficient of Voc  | -0.270%/°C |
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.350%/°C |

### Mechanical Loading

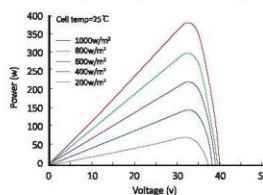
|                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Front Side Maximum Static Loading | 5400Pa                               |
| Rear Side Maximum Static Loading  | 2400Pa                               |
| Hailstone Test                    | 25mm Hailstone at the speed of 23m/s |

### I-V Curve

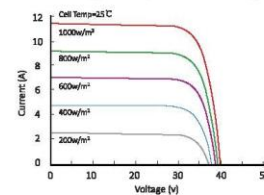
Current-Voltage Curve (LR4-60HPH-365M)



Power-Voltage Curve (LR4-60HPH-365M)



Current-Voltage Curve (LR4-60HPH-365M)



**LONGI**

Room 801, Tower 3, Lujiazui Financial Plaza, No.826 Century Avenue, Pudong Shanghai, 200120, China  
Tel: +86-21-80162606 E-mail: module@longi-silicon.com Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

20200414V11 for EU DG only

Εικόνα 26 Τεχνικό φυλλάδιο φωτοβολταϊκού πλαισίου

### 3.4.6. Ηλεκτρικές Συσκευές

Λόγω της χρήσης κτηρίου (γραφείο) είναι ο πάγιος εξοπλισμός του γραφείου (υπολογιστές, οθόνες, εκτυπωτές κλπ.) καθώς και ο εξοπλισμός της κουζίνας. Στον πίνακα [πίνακα 4] παρουσιάζονται αναλυτικά ο εξοπλισμός ηλεκτρικών συσκευών καθώς και η θέση τους που τοποθετήθηκαν στο μοντέλο.

| Θέση               | Είδος                | Τεμάχια | Ισχύς  | Συνολική ισχύς |
|--------------------|----------------------|---------|--------|----------------|
| Είσοδος            | Υπολογιστής          | 6       | 65 W   | 534 W          |
|                    | Οθόνη                | 6       | 21 W   |                |
|                    | Τηλέφωνο             | 6       | 3 W    |                |
| Γραφείο Ισογείου   | Υπολογιστής          | 2       | 65 W   | 178 W          |
|                    | Οθόνη                | 2       | 21 W   |                |
|                    | Τηλέφωνο             | 2       | 3 W    |                |
| Γραφείο Διεύθυνσης | Υπολογιστής          | 1       | 65 W   | 150 W          |
|                    | Οθόνη                | 2       | 21 W   |                |
|                    | Τηλέφωνο             | 1       | 3 W    |                |
|                    | Εκτυπωτής            | 1       | 40 W   |                |
| Γραφείο Α' ορόφου  | Υπολογιστής          | 1       | 65 W   | 89 W           |
|                    | Οθόνη                | 1       | 21 W   |                |
|                    | Τηλέφωνο             | 1       | 3 W    |                |
| Δωμάτιο Σέρβερ     | Υπολογιστής          | 1       | 65 W   | 92 W           |
|                    | Οθόνη                | 1       | 21 W   |                |
|                    | Router               | 1       | 6 W    |                |
| Κουζίνα            | Ψυγείο               | 1       | 70 W   | 3730 W         |
|                    | Φούρνος Μικροκυμάτων | 1       | 1200 W |                |
|                    | Τοστιέρα             | 1       | 1200 W |                |
|                    | Καφετιέρα            | 1       | 1260 W |                |
| Χωλ                | Εκτυπωτής            | 2       | 40 W   | 80 W           |
| Meeting Room       | Τηλεόραση            | 1       | 120 W  | 120 W          |

Πίνακας 5 Ανάλυση ηλεκτρικών συσκευών ανά χώρο

Οι καταναλώσεις των υπολογιστών & εκτυπωτών υπολογίστηκαν βάσει ASHRAE [2009 ASHRAE Fundamentals- Handbook, p. 18.12, table 8,9], ενώ για τις συσκευές κουζίνας υπολογίστηκαν βάσει πινάκων του ASHRAE [2001 ASHRAE Fundamentals- Handbook, p. 29.10, table 5]

### 3.4.7. KNX αυτοματισμοί

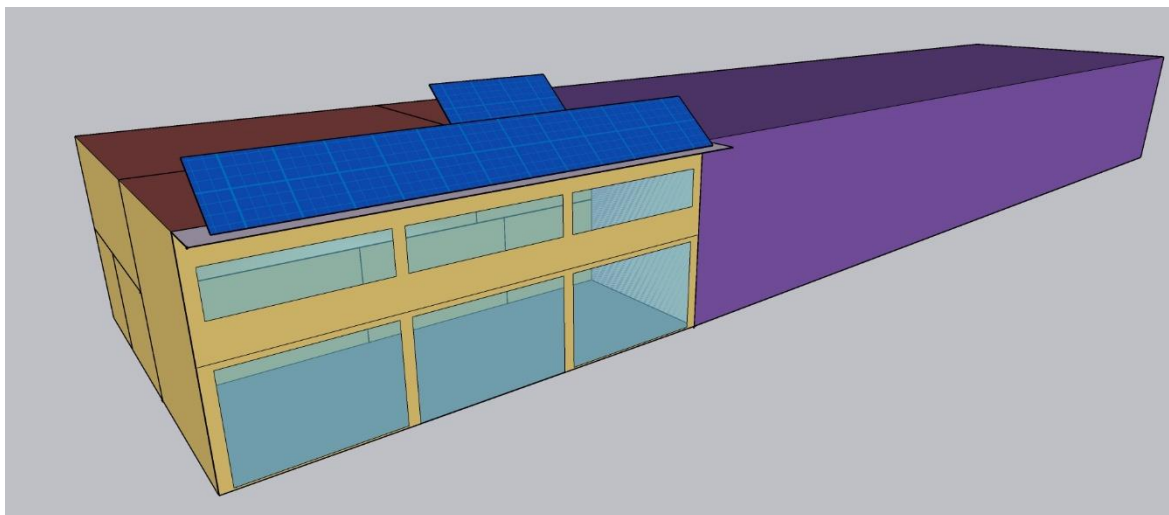
Στο κτήριο έχει γίνει εγκατάσταση συστήματος KNX, για την αυτοματοποίηση και τον αποδοτικό έλεγχο του φωτισμού και του συστήματος θέρμανσης και ψύξης. Στόχος του είναι η μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω έξυπνου χειρισμού. Για τον φωτισμό έχουν εγκατασταθεί στους χώρους του ισογείου, αισθητήρες φωτισμού οι οποίοι διατηρούν κατά την διάρκεια της ημέρας την φωτεινότητα στα 500 lux προσαρμόζοντας την φωτεινότητα των φωτιστικών ανάλογα με τις ανάγκες του χώρου. Επιπλέον, έχει γίνει εγκατάσταση αισθητήρων παρουσίας οι οποίοι στην περίπτωση μη ανίχνευσης κίνησης στον χώρο απενεργοποιούν τα φωτιστικά. Ομοίως με τα φωτιστικά, οι αισθητήρες παρουσίας στην περίπτωση μη ανίχνευσης κίνησης, δίνουν την εντολή στα χειριστήρια των

fan coil του εκάστοτε χώρου για παύση λειτουργίας της μονάδας με στόχο την μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση.

### 3.5. Μοντελοποίηση Κτηρίου

#### 3.5.1. Σχεδίαση Κτηρίου

Για την σχεδίαση του κτηρίου και την αρχική μοντελοποίηση του χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό λογισμικό Sketchup μαζί με το plugin του Openstudio. Αρχικά, με την βοήθεια του sketchup έγινε γεωμετροποίησης του κτηρίου για τον σωστό προσανατολισμό του, ενώ με την βοήθεια των κατόψεων του κτηρίου σχεδιάστηκε το περίγραμμα για τους χώρους του ισογείου και του ορόφου. Με τη βοήθεια του Openstudio plugin και το tool create spaces from diagram ορίστηκαν τα ύψη για την δημιουργία του κάθε χώρου τα οποία ήταν: 2.9 m για όλους του χώρους του ισογείου, 2.75 m για τους χώρους του ορόφου και 5.65 m για το χώρο της εισόδου, ενώ στην συνέχεια σχεδιάστηκαν τα κουφώματα στο κέλυφος. Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κελύφους, έγινε η χρήση του tool new shading surface group για το σχεδιασμό το υπόλοιπου συμπλέγματος καθώς και τον πρόβολο στην όψη του κτηρίου.



Εικόνα 27 Όψη κτηριακού κελύφους ενεργειακού μοντέλου

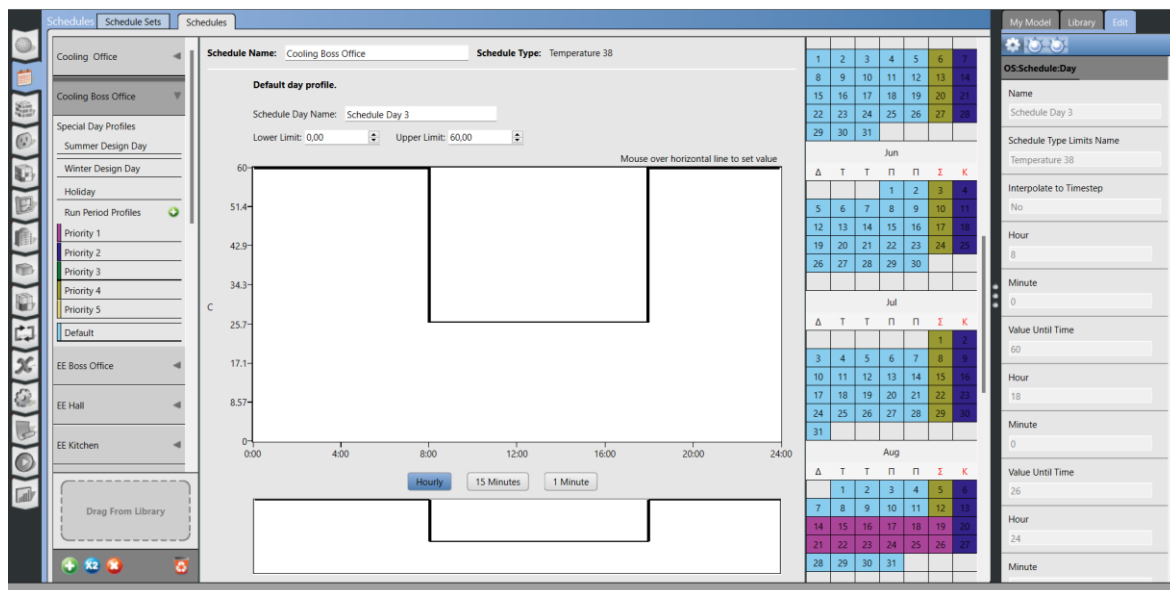
#### 3.5.2. Schedules

Αφότου έγινε η ολοκλήρωση του σχεδιασμού, και για την συνέχιση της μοντελοποίησης δημιουργήθηκαν διαφορετικά προγράμματα μέσω της καρτέλας shedules στο Openstudio. Συνολικά δημιουργήθηκαν 21 προγράμματα που αφορούσαν την επιθυμητή θερμοκρασία, τον αερισμό, την πληρότητα, το είδος εργασίας, την συχνότητα χρήσης των συσκευών & φωτισμού, το ωράριο του κλιματισμού, καθώς και το ωράριο χρήσης του χώρου. Πιο αναλυτικά δημιουργήθηκαν:

- Schedules για επιθυμητή θερμοκρασία στον χώρο

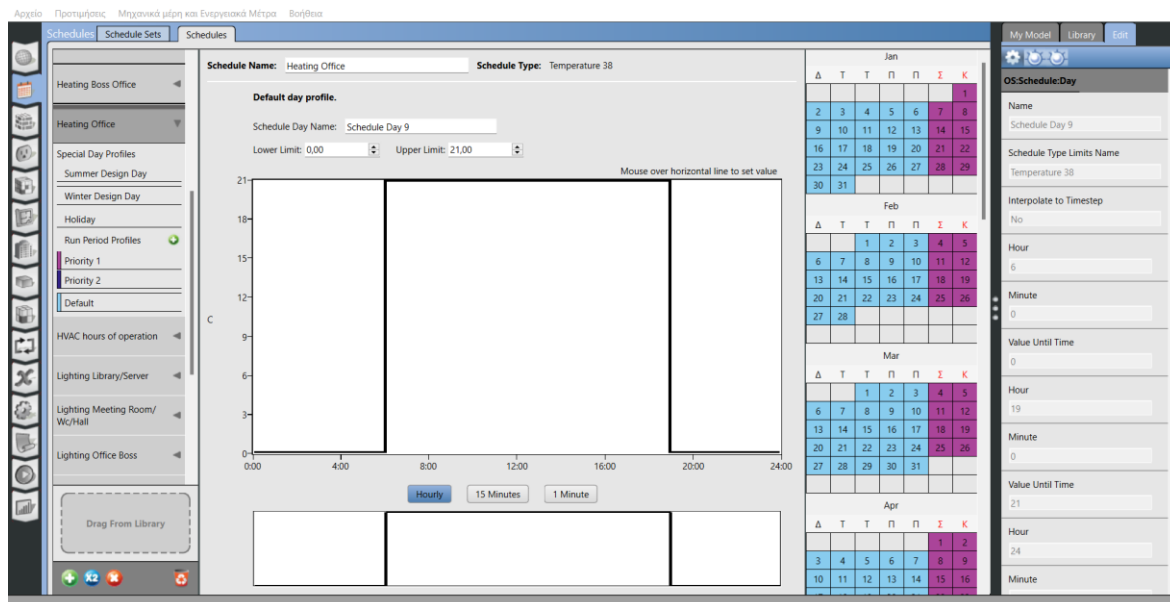
Δημιουργήθηκαν 2 προγράμματα θερμοκρασίας για τα ωράρια της ψύξης, το ένα αφορά όλους τους χώρους του κτηρίου πλην του γραφείου της διεύθυνσης, ενώ το δεύτερο αφορά τον χώρο του γραφείου της διεύθυνσης. Για το 1<sup>ο</sup> πρόγραμμα, ορίστηκε η επιθυμητή θερμοκρασία στους 26°C από Δευτέρα έως Παρασκευή και ώρες από τις 8:00 έως τις 19:00 για τους θερινούς μήνες Μάιο-Σεπτέμβρη ενώ το σύστημα παρέμεινε τους μη θερινούς μήνες, τις 2 εβδομάδες των θερινών διακοπών και τι ώρες πλην των αναφερομένων. Το 2<sup>ο</sup>

πρόγραμμα είναι πανομοιότυπο με το πρώτο, με την διαφοροποίηση ότι ο χώρος της διευθύνσεως λειτουργεί και Σάββατα από τις 10:00 έως τις 15:00 [εικόνα 28].



Εικόνα 28 Schedule θερμοστάτη για ψύξη του γραφείου διευθύνσεως

Παρομοίως, δημιουργήθηκαν 2 προγράμματα για της ωράρια θέρμανσης, με το 1<sup>ο</sup> να αφορά όλο το κτήριο και να έχει οριστεί επιθυμητή 21 °C [εικόνα 29] από Δευτέρα έως Παρασκευή και ώρες από τις 6:00 έως τις 19:00 για τους χειμερινούς μήνες Οκτώβρη-Απρίλη ενώ το σύστημα παρέμεινε τους θερινούς μήνες, και τι ώρες πλην των αναφερομένων κλειστό με (επιθυμητή θερμοκρασίας χώρου 0 °C). Το 2<sup>ο</sup> πρόγραμμα και πάλι είναι πανομοιότυπο με το πρώτο, με την διαφοροποίηση ότι ο χώρος της διευθύνσεως λειτουργεί και Σάββατα από τις 10:00 έως τις 15:00.



Εικόνα 29 Schedule θερμοστάτη για την θέρμανση του κτηρίου

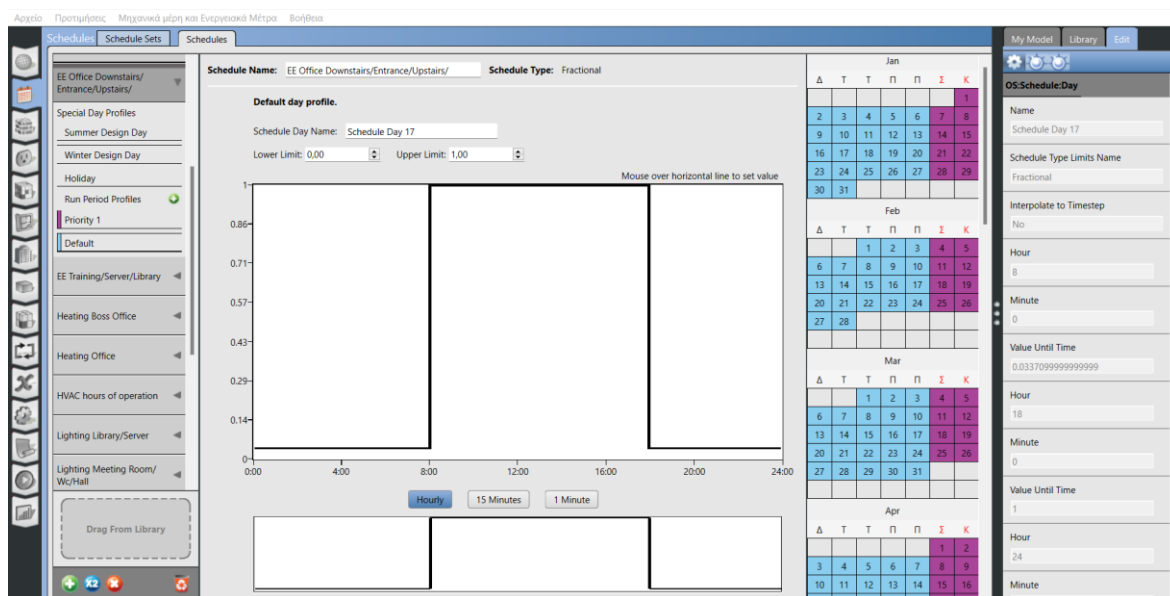
Επιπρόσθετα, λόγω της αυτόνομης λειτουργίας του κάθε FCU και της δυνατότητας του χρήστη να θέτει την δική του επιθυμητή θερμοκρασία στον θερμοστάτη, η ακριβής



θερμοκρασία του κάθε θερμοστάτη κάθε στιγμή να είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί. Επομένως, για να μπορέσουμε να μοντελοποιήσουμε σωστά το κτήριο μας, θέσαμε τα ωράρια για θέρμανση και ψύξη καθώς και την απαιτούμενη θερμοκρασία του χώρου, με βάση την γενική ρύθμιση του ελεγκτή της αντλίας θερμότητας η οποία λειτουργεί με χρονοπρόγραμμα.

- Schedules για ηλεκτρικές συσκευές

Για τα προγράμματα χρήσης των συσκευών χρησιμοποιήθηκαν fractional σενάρια με βάση την χρήση τους. Οι ώρες χρήσης συμβαδίζουν με τις ώρες λειτουργίας 8:00-19:00 και τις υπόλοιπες σε standby mode, ενώ και οι συσκευές γραφείου της διεύθυνσης του γραφείου διεύθυνσης θα λειτουργούν τα Σάββατα [εικόνα 30].

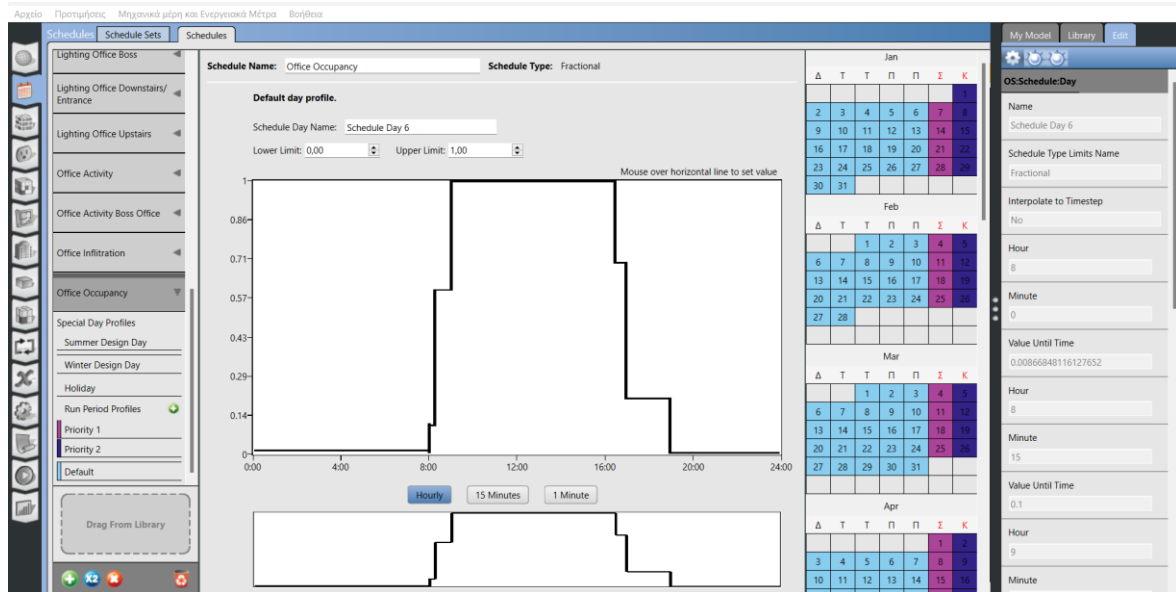


Εικόνα 30 Schedule λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών

- Schedules Πληρότητας

Με βάσει τις ώρες προέλευσης των εργαζομένων δημιουργήθηκε ένα fractional πρόγραμμα. Η έλευση είναι σταδιακή ανάλογα με τα ωράρια και σε κάθε περίπτωση Δευτέρα έως Παρασκευή 8:00-19:00 όλο τον χρόνο [εικόνα 31].

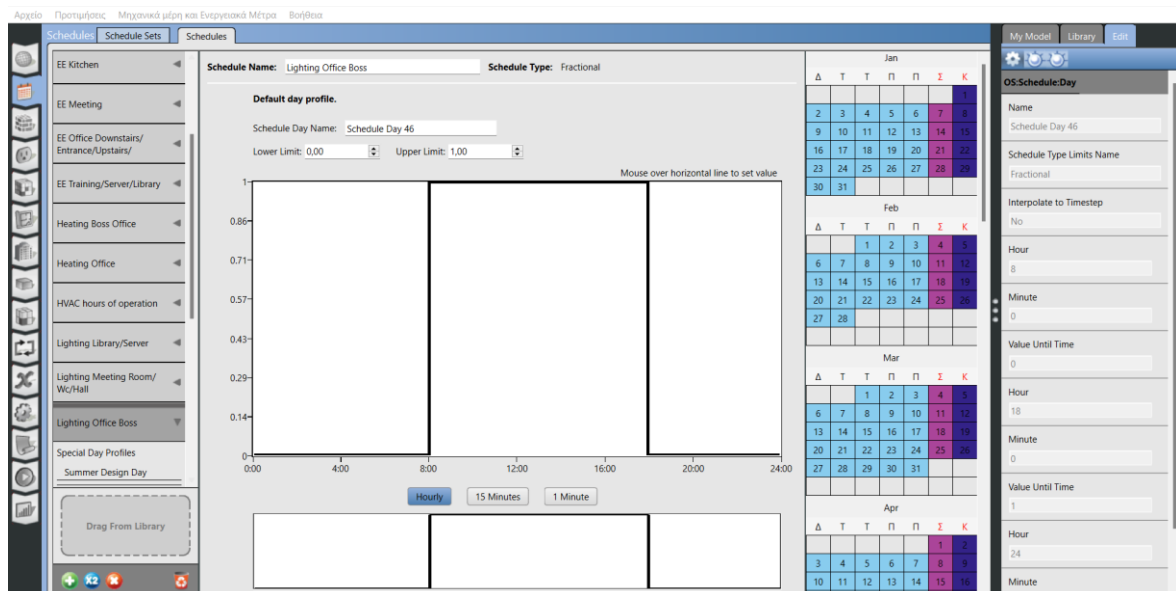




Εικόνα 31 Schedule πληρότητας κτηρίου

- Schedules Φωτισμού

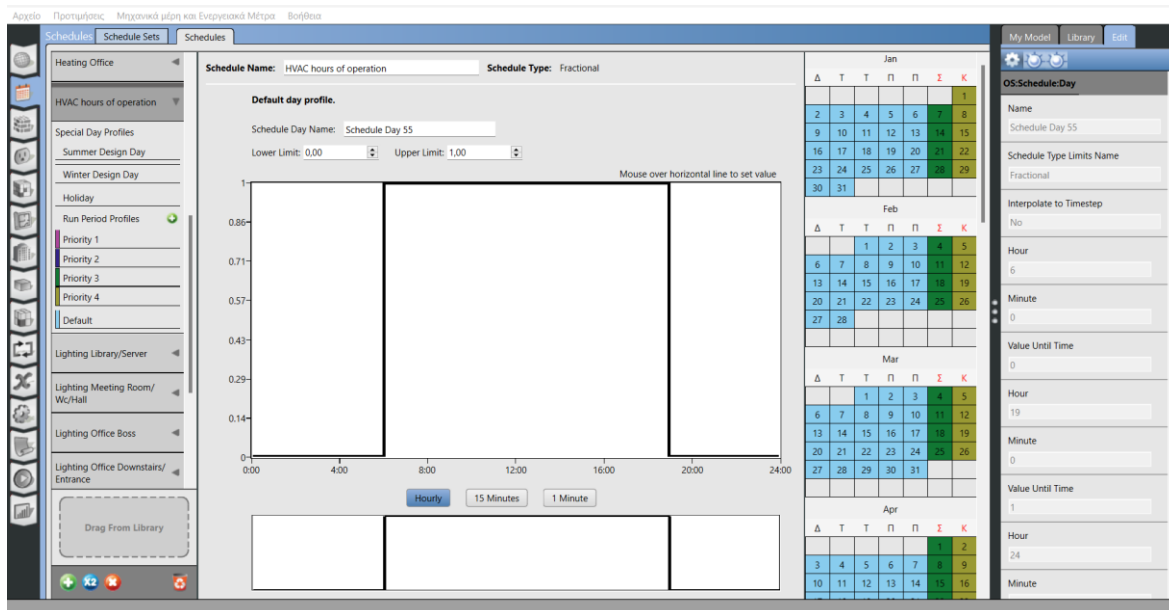
Για τα προγράμματα χρήσης των συσκευών φωτισμού χρησιμοποιήθηκαν fractional σενάρια με βάση τις ώρες λειτουργίας. Τα φώτα του ορόφου είναι on/off ενώ στο ισόγειο ρυθμίζονται με αισθητήρες φωτισμού πλην των τουαλετών και του σέρβερ. Οι ώρες χρήσης συμβαδίζουν με τις ώρες λειτουργίας 8:00-19:00, τις υπόλοιπες ώρες θεωρούνται κλειστά, ενώ ο φωτισμός του γραφείου διευθύνσεως θα λειτουργεί και τα Σάββατα [εικόνα 32].



Εικόνα 32 Schedule λειτουργίας φωτισμού

- Schedule Χρονοπρογράμματος θέρμανσης/ψύξης

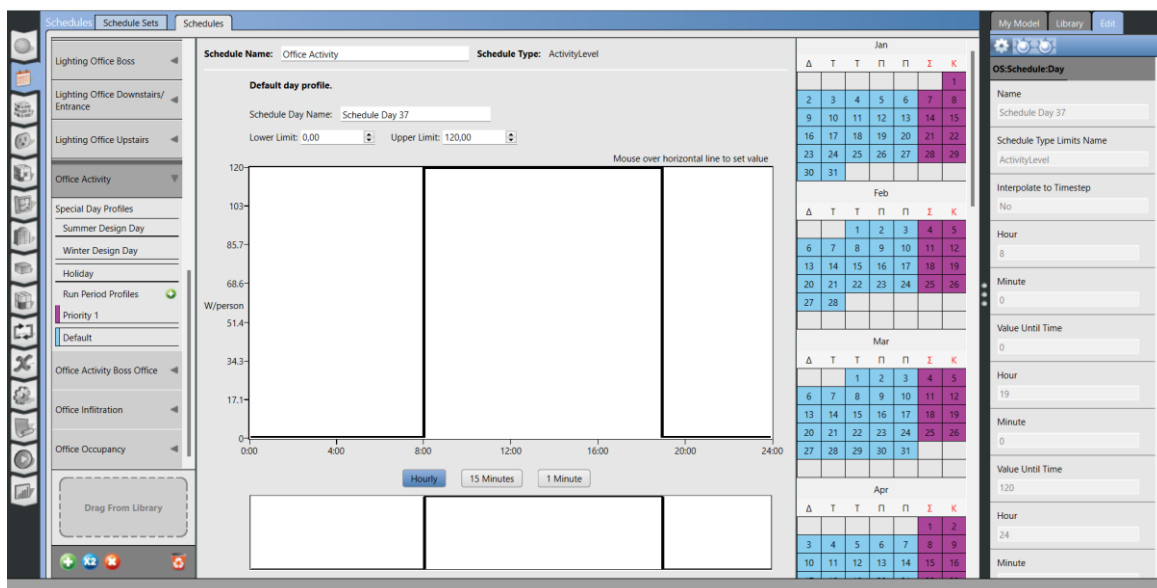
Για τις ώρες θέρμανσης/ψύξης δημιουργήθηκε ένα fractional schedule με στόχο να λειτουργεί σαν σήμα on/off για την αντλία θερμότητας [εικόνα 33].



Εικόνα 33 Schedule ωρών λειτουργίας συστήματος θέρμανσης/ψύξης

- Schedule Επιπέδου δραστηριότητας

Για τον υπολογισμό και την μοντελοποίηση των εσωτερικών θερμικών κερδών της εργασίας σε γραφείο, δημιουργήθηκε Schedule activity level και ως ανώτατη τιμή ορίστηκε η τιμή των 120 W/person που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ [εικόνα 34].



Εικόνα 34 Schedule Επιπέδου δραστηριότητας

### 3.5.3. Δομικά υλικά & δομικά στοιχεία

Στην καρτέλα construction δημιουργήθηκαν τα δομικά υλικά με βάση τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά τους βάσει τεχνικών φυλλαδίων και της [σελίδα 51, πίνακας 2] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 [σελίδα 51, πίνακας 2], στην συνέχεια έγιναν οι κατασκευές που αποτελούν το κέλυφος που αναλύεται στην ενότητα 4.4.1 και το σκελετό κατασκευής. Ποιο αναλυτικά

δημιουργήθηκαν τα εξής υλικά [πίνακας 5] με τα παρακάτω θερμοφυσικά χαρακτηριστικά και οι παρακάτω κατασκευές [πίνακας 6]:

| Δομικά Υλικά        |        |                                       |                             |   |
|---------------------|--------|---------------------------------------|-----------------------------|---|
| Περιγραφή Υλικού    | Πάχος  | Πυκνότητα $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Θερμική Αγωγιμότητα (W/m*K) | Ειδική Θερμοχωρητικότητα $C_p$ (J/kg*K) |
| Οπτόπλινθος         | 19 cm  | 1200                                  | 0.45                        | 1000                                    |
| Οπλισμένο Σκυρόδεμα | 15cm   | 2300                                  | 2.3                         | 1000                                    |
| Επίχρισμα           | 2.5 cm | 1800                                  | 0.87                        | 1000                                    |
| Πλακάκι             | 1.5 cm | 840                                   | 1.84                        | 2000                                    |
| Μοκέτα              | 0.7 cm | 113                                   | 0.083658                    | 1600                                    |
| Hyperdesmo          | 0.2 cm | 1500                                  | 0.25                        | 1800                                    |

Πίνακας 6 Ανάλυση Δομικών Υλικών Openstudio

| Κατασκευές Δομικών στοιχείων Openstudio |                                 |         |
|---|---------------------------------|---------|
| Είδος κατασκευής                        | Υλικά                           | Πάχος   |
| Εξωτερικός τοίχος                       | Επίχρισμα                       | 2.5 cm  |
|   | Οπτόπλινθος                     | 19.0 cm |
|   | Επίχρισμα                       | 2.5 cm  |
| Εσωτερικός τοίχος                       | Επίχρισμα                       | 2.5 cm  |
|   | Οπτόπλινθος                     | 19.0 cm |
|   | Επίχρισμα                       | 2.5 cm  |
| Δάπεδο ορόφου                           | Επίχρισμα                       | 2.5 cm  |
|   | Οπλισμένο σκυρόδεμα             | 15.0 cm |
|   | Κεραμικό πλακίδιο               | 1.5 cm  |
| Δάπεδο ισογείου                         | Οπλισμένο σκυρόδεμα             | 15.0 cm |
|   | Κεραμικό πλακίδιο               | 1.5 cm  |
|   | Πλακίδιο Μοκέτας                | 0.7 cm  |
| Οροφή ισογείου                          | Κεραμικό πλακίδιο               | 15.0 cm |
|   | Οπλισμένο σκυρόδεμα             | 1.5 cm  |
|   | Επίχρισμα                       | 0.7 cm  |
| Οροφή ορόφου                            | Ελαστομερής μόνωση (hyperdesmo) | 2.0 cm  |
|   | Οπλισμένο σκυρόδεμα             | 15.0 cm |
|   | Επίχρισμα                       | 1.5 cm  |
| Σταθερά Παράθυρα/<br>Πόρτα εισόδου      | Υαλοπίνακας                     | 1.0 cm  |
| Χρηστικά Παράθυρα                       | Υαλοπίνακας                     | 0.3 cm  |

Πίνακας 7 Ανάλυση Κατασκευών Δομικών Στοιχείων Openstudio

### 3.5.4. Φορτία- Εσωτερικά κέρδη

Στην καρτέλα των φορτίων- εσωτερικών κερδών δημιουργήθηκαν όλα τα επιμέρους φορτία για την μετέπειτα συμπλήρωση τους. Τα φορτία ορίζονται με στόχο την αποτύπωση όλων των παραμέτρων του κτηρίου που μπορούν να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας και τα αποτελέσματα του ενεργειακού μας μοντέλου. Τα φορτία -εσωτερικά κέρδη που προκύπτουν από τους ανθρώπους και τις δραστηριότητές τους αποτελούν σημαντική πηγή

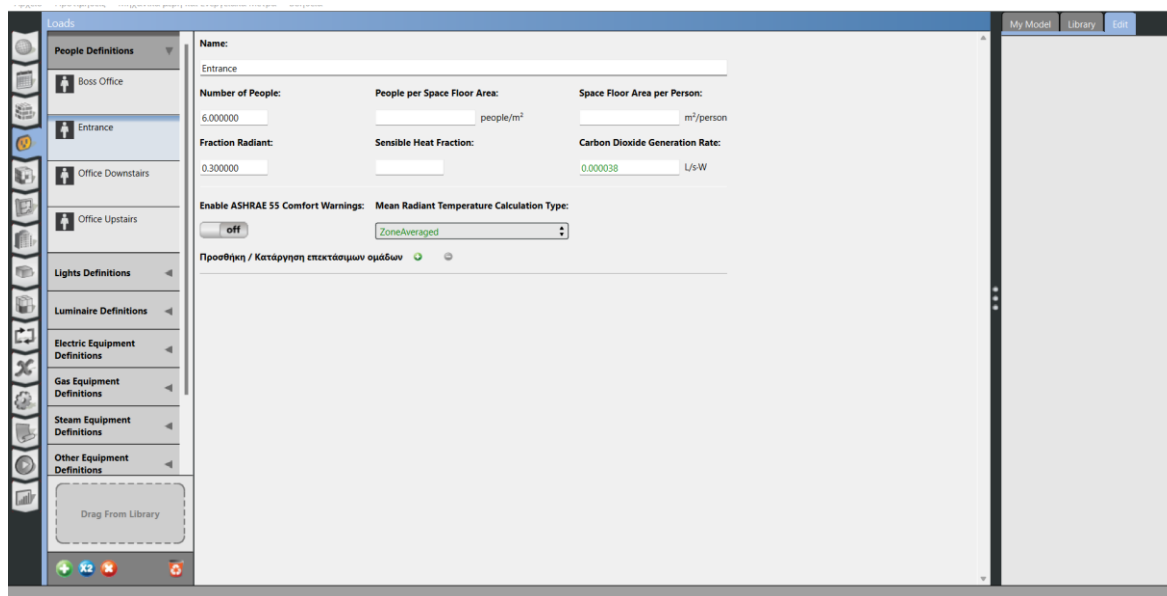
θερμότητας για τα κτήρια. Αυτά μπορεί να είναι θερμικά φορτία ή κέρδη που προκύπτουν σε ένα χώρο και εξαρτώνται από τον αριθμό των ατόμων μέσα σε αυτό, το ωράριο παραμονής τους στο χώρο και το είδος της δραστηριότητάς τους (μεταβολισμός). Αντίστοιχα, εξαρτώνται από τη χρήση του κτηρίου και το είδος, αριθμό και χρόνο λειτουργίας όλων των ηλεκτρικών συσκευών.

- Φορτία ανθρώπων

Για το κτήριο μας δημιουργήθηκαν 4 φορτία για τους ανθρώπων ανάλογα με τις θέσεις εργασίας που απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα [πίνακα 7] και στην συνέχεια τα εισαγάγαμε στο openstudio [εικόνα 35].

| Χώρος              | Αριθμός Θέσεων Εργασίας | Άνθρωποι στον χώρο |
|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Είσοδος            | 6                       | 6                  |
| Γραφείο Διεύθυνσης | 1                       | 1                  |
| Γραφείο Επάνω      | 1                       | 1                  |
| Γραφείο Κάτω       | 2                       | 2                  |

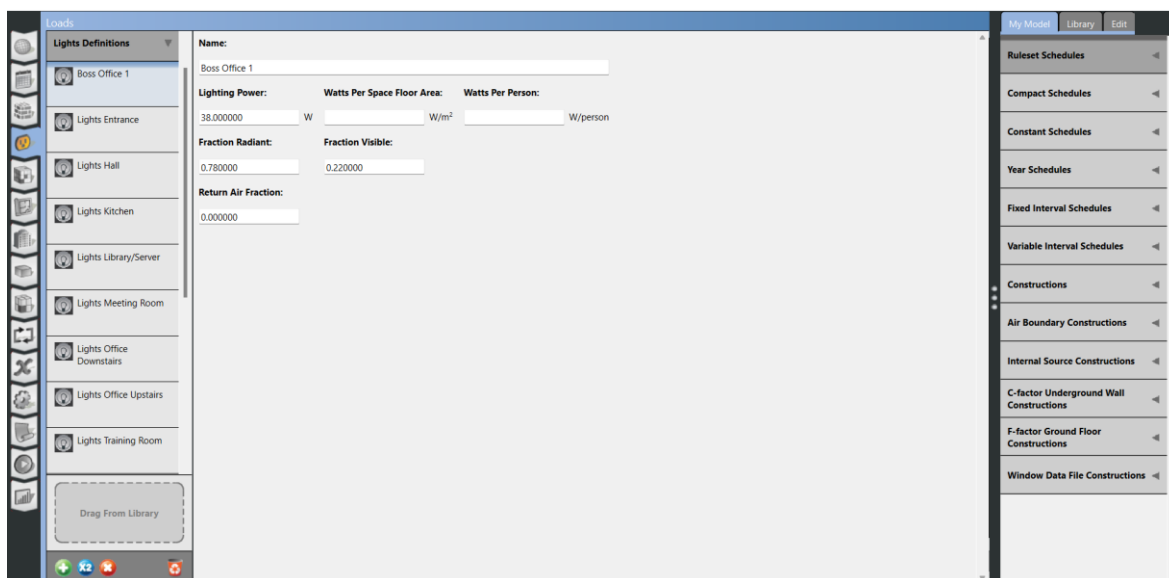
Πίνακας 8 Ανάλυση Φορτίων Ανθρώπων ανά Χώρο



Εικόνα 35 Καρτέλα εισαγωγής φορτίων ανθρώπων

- Φορτία Φωτισμού

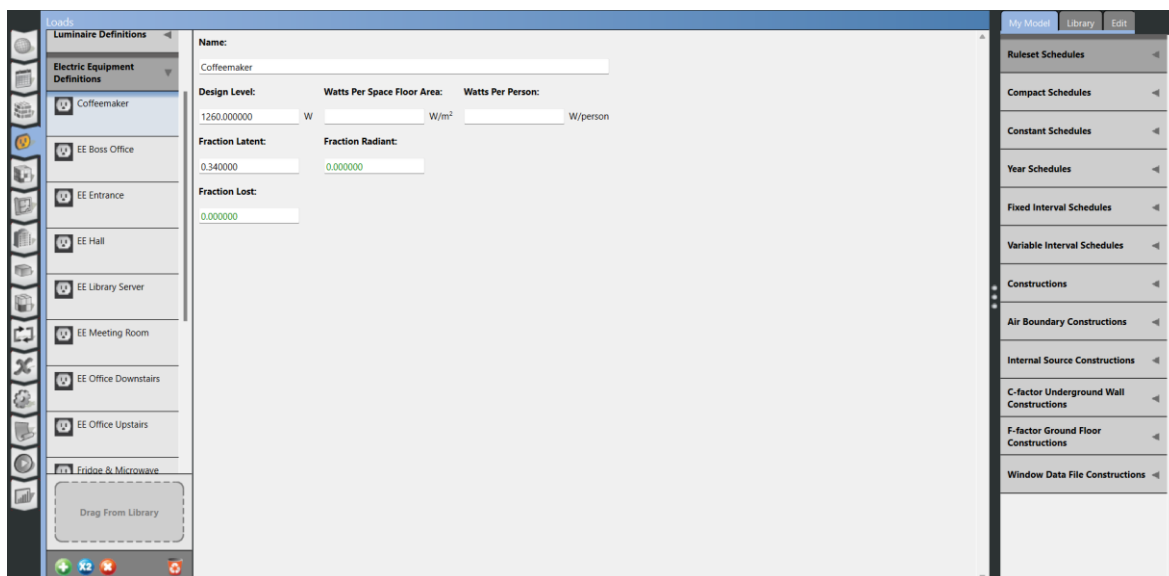
Για το κτήριο μας εισήχθησαν τα φορτία για τον φωτισμό [εικόνα 36] ανάλογα με τα φωτιστικά του κάθε χώρου με βάση τον πίνακα που αναλύθηκε στην παράγραφο 4.4.1. Για την κάθε χώρο έγινε η εισαγωγή της συνολικής ισχύς του φωτισμού.



Εικόνα 36 Καρτέλα εισαγωγής φορτίων φωτισμού

- Φορτία ηλεκτρικών συσκευών

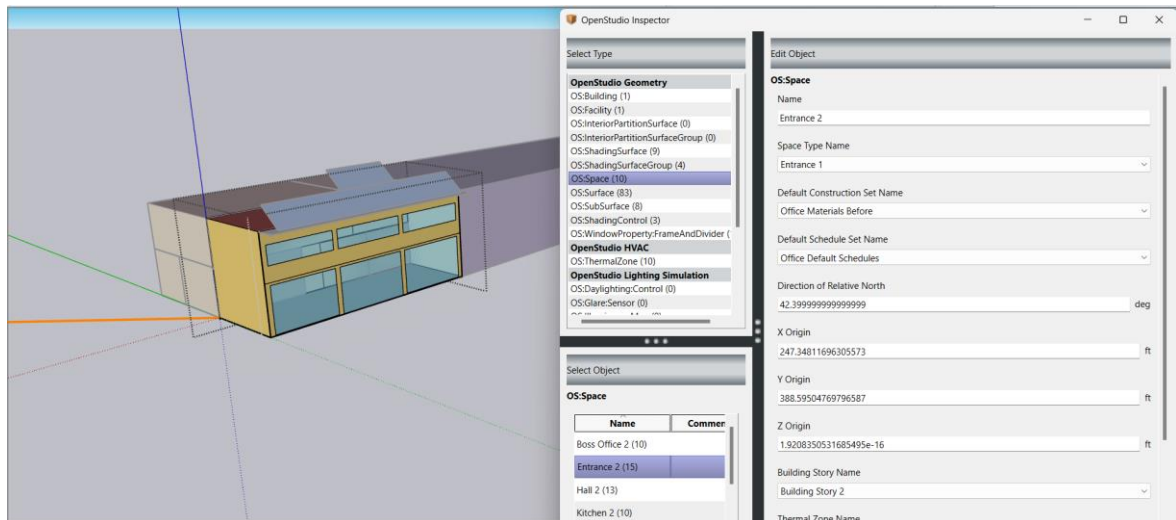
Ακόμη προστέθηκαν τα φορτία ηλεκτρικών συσκευών [εικόνα 37] όπως παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.4.6. συνολικά για κάθε χώρο πλην των συσκευών της κουζίνας που λόγω ιδιομορφιών εισήχθησαν χωριστά.



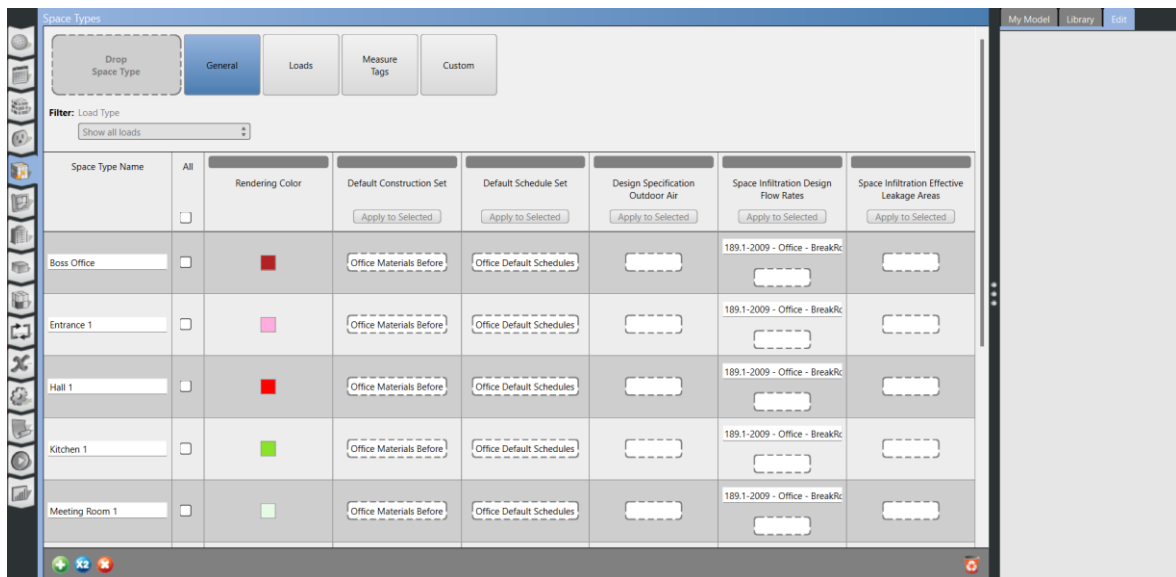
Εικόνα 37 Καρτέλα εισαγωγής φορτίων ηλεκτρικών συσκευών

### 3.5.5. Τύποι Χώρων

Στο στάδιο αυτό δημιουργήθηκαν οι διαφορετικοί τύποι χώρων για το κτήριο γραφείων στο ενεργειακό μοντέλο. Οι τύποι αυτοί αποτελούνται από: την είσοδο, το γραφείο διεύθυνσης, το γραφείο επάνω & κάτω, τον χώρο συνεδριάσεων, τον χώρο εκπαίδευσης, την κουζίνα, την τουαλέτα και την βιβλιοθήκη/σέρβερ. Μετά την εισαγωγή τους στο μοντέλο, μέσω του inspector tool (openstudio plugin) [εικόνα 38], έγινε η ανάθεση τους στους χώρους του κτηρίου [εικόνα 39].



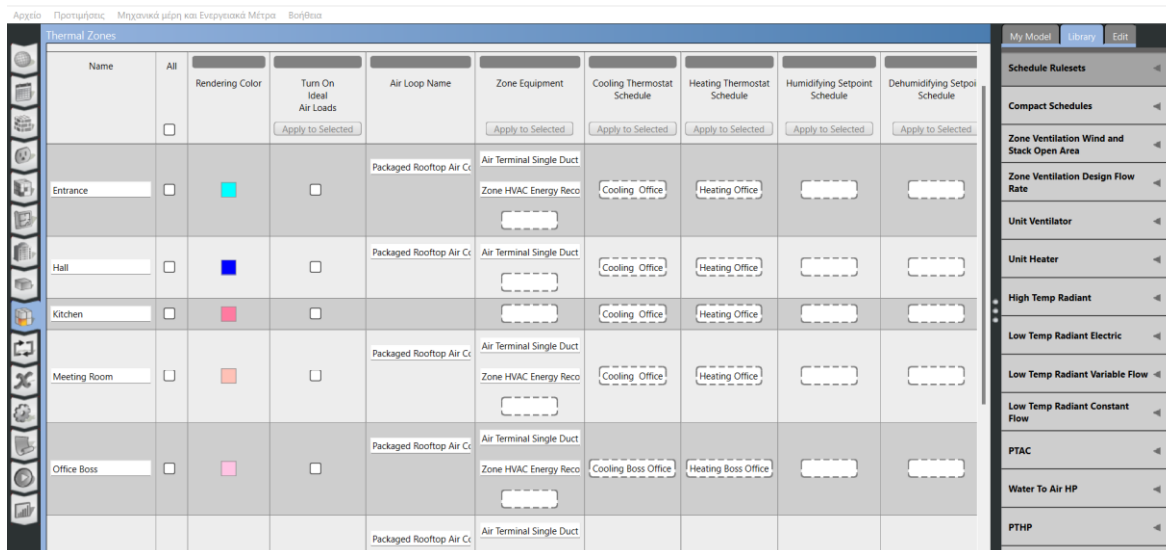
Εικόνα 38 Ανάθεση τύπου χώρων, θερμικών ζωνών, σετ κατασκευής στο Sketchup μέσω του Openstudio plugin



Εικόνα 39 Καρτέλα τύπου χώρων

### 3.5.6. Θερμικές Ζώνες

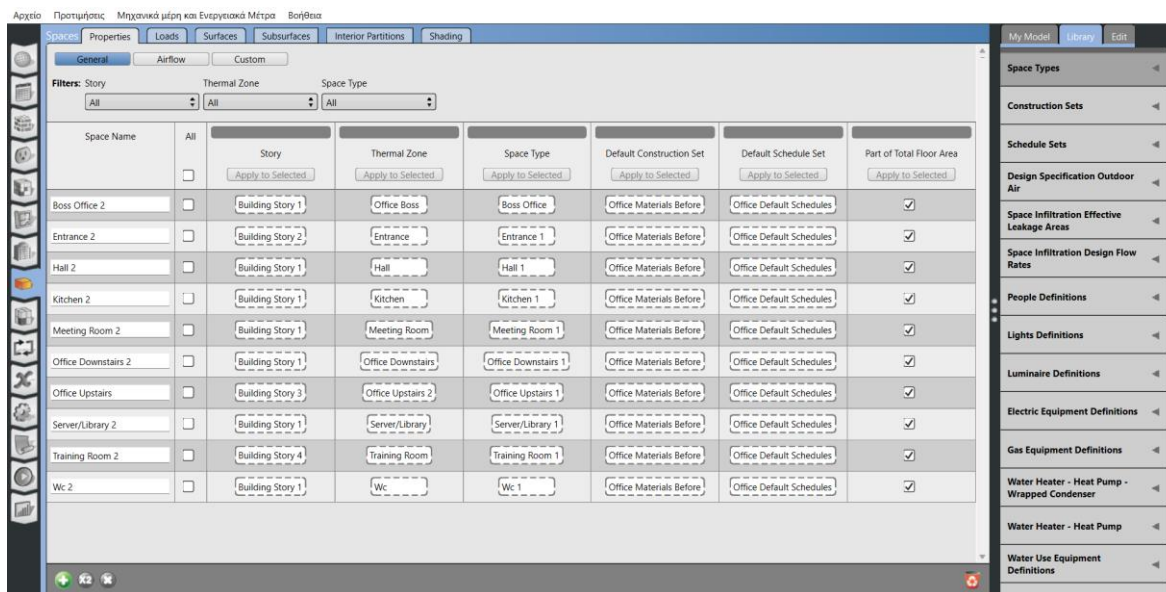
Στην καρτέλα θερμικών ζωνών δημιουργήθηκαν χωριστές θερμικές ζώνες για κάθε χώρο του γραφείου και στην συνέχεια ανατέθηκαν στον αντίστοιχο χώρο [εικόνα 40].



Εικόνα 40 Καρτέλα θερμικών ζωνών

### 3.5.7. Χώροι

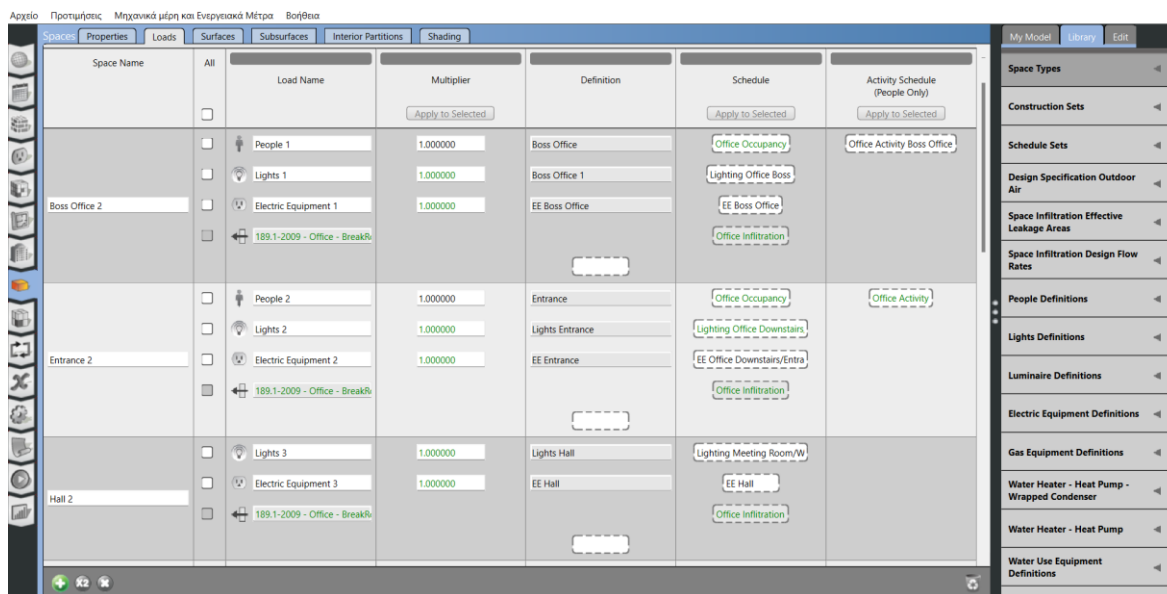
Η καρτέλα των χώρων είναι εκείνη στην οποία όλα τα παραπάνω χρονοδιαγράμματα, φορτία και κατασκευές εισάγονται. Στην πρώτη υπό καρτέλα properties εισήχθησαν τα σετ κατασκευών, τα σετ χρονοδιαγραμμάτων οι τύποι χώρων καθώς και οι θερμικές ζώνες [εικόνα 41].



Εικόνα 41 Καρτέλα χώρων για εισαγωγή θερμικών ζωνών, τύπου χώρων, προγραμμάτων και σετ κατασκευών

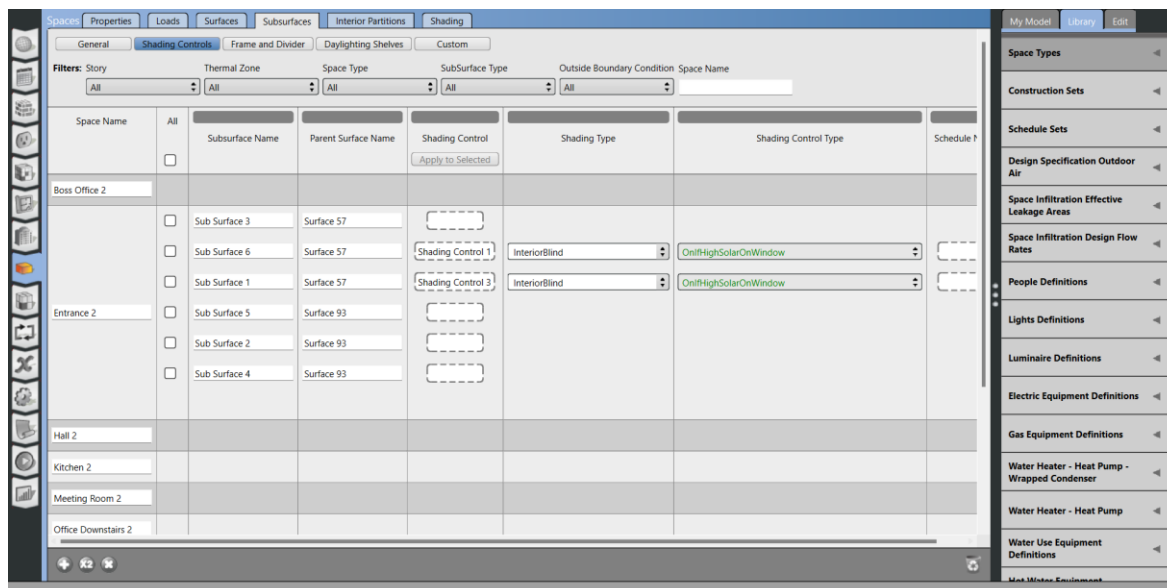
Στην δεύτερη υπό καρτέλα ανατέθηκαν όλα τα φορτία ανά χώρο καθώς και τα χρονοδιαγράμματα που αφορούν τα εκάστοτε φορτία [εικόνα 42].





Εικόνα 42 Ανάθεση φορτίων ανά χώρο

Τέλος, στην υπό καρτέλα subsurfaces εισήχθησαν σαν σύστημα από την βιβλιοθήκη τα ελεγχόμενα σκίαστρα καθώς και ο έλεγχος τους [εικόνα 43].



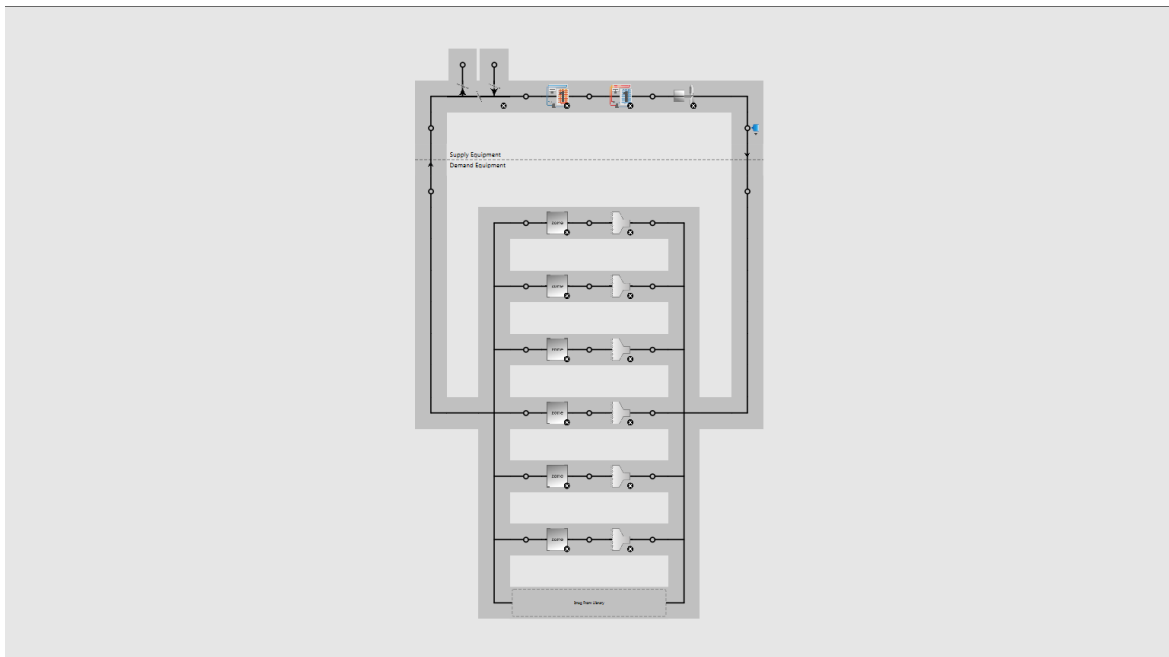
Εικόνα 43 Υποκαρτέλα subsurfaces της καρτέλας των χώρων για εισαγωγή σκιάστρων

### 3.5.8. Συστήματα HVAC & Ventilation

Το σύστημα θέρμανσης και ψύξης καθώς και ο μηχανικός αερισμός με ανάκτηση έχουν εγκατασταθεί στους χρηστικούς χώρους του κτηρίου. Οι χρηστικοί χώροι είναι οι χώροι γραφείων, η είσοδος, ο διάδρομος καθώς και ο χώρος συσκέψεων. Λόγω της μη ύπαρξη συστήματος αντλίας θερμότητας αέρος/νερού στο Openstudio μοντελοποιήθηκε ως αντλία θερμότητας αέρα/αέρα. Για την δημιουργία του χρειάστηκε η δημιουργία ενός airloop με είσοδο και έξοδο του αέρα και στην πλευρά της παραγωγής εισήγαμε ένα dx heating, ένα dx cooling coil και έναν ανεμιστήρα σταθερού όγκου από το βιβλιοθήκη του Openstudio και βάλαμε τις τυπικές τιμές των COP & EER του κατασκευαστή [εικόνα 44]. Στην συνέχεια



χρηιάστηκαν οι τερματικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης (fcu) στην περίπτωση μας diffusers που κλιματίζουν την κάθε θερμική ζώνη.



Εικόνα 44 Καρτέλα HVAC για δημιουργία συστήματος θέρμανσης ψύξης

Έπειτα, στην καρτέλα των θερμικών ζωνών εισήχθηκε το σύστημα θέρμανσης/ψύξης για τους θερμαινόμενους χώρους. Επιπλέον, στους χώρους του ισογείου εισήχθηκε και ο μηχανικός αερισμός με ανάκτηση θερμότητας με το σύστημα εξαερισμού ανάκτησης ενέργειας από την βιβλιοθήκη του openstudio, και τους βαθμούς απόδοσης του κατασκευαστή [εικόνα 45].

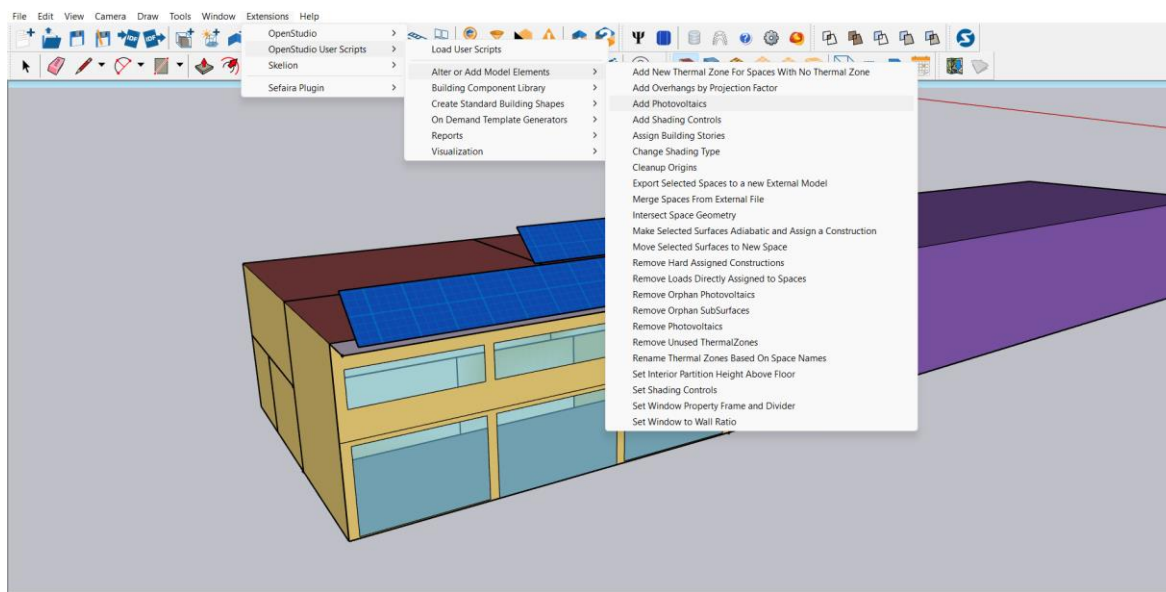
Αρχείο Προτιμήσεις Μηχανικά μέρη και Ενεργειακά Μέτρα Βοήθεια

| Thermal Zones |                          |  |  |                         |   |  |  |  |  |
|---------------|--------------------------|--|--|-------------------------|---|--|--|--|--|
| Name          | All                      | Rendering Color                        | Turn On Ideal Air Loads                          | Air Loop Name           | Zone Equipment                                    | Cooling Thermostat Schedule                      | Heating Thermostat Schedule                      | Humidifying Setpoint Schedule                    | Dehumidifying Setpoint Schedule                  |
|               | <input type="checkbox"/> |  | <input type="checkbox"/>                         |                         |   |  |  |  |  |
|               |                          |  | <input type="button" value="Apply to Selected"/> |                         | <input type="button" value="Apply to Selected"/>  | <input type="button" value="Apply to Selected"/> | <input type="button" value="Apply to Selected"/> | <input type="button" value="Apply to Selected"/> | <input type="button" value="Apply to Selected"/> |
| Entrance      | <input type="checkbox"/> | <span style="color: cyan;">■</span>    | <input type="checkbox"/>                         | Packaged Rooftop Air Cc | Air Terminal Single Duct<br>Zone HVAC Energy Reco | Cooling Office                                   | Heating Office                                   |  |  |
| Hall          | <input type="checkbox"/> | <span style="color: blue;">■</span>    | <input type="checkbox"/>                         | Packaged Rooftop Air Cc | Air Terminal Single Duct                          | Cooling Office                                   | Heating Office                                   |  |  |
| Kitchen       | <input type="checkbox"/> | <span style="color: magenta;">■</span> | <input type="checkbox"/>                         |                         |   | Cooling Office                                   | Heating Office                                   |  |  |
| Meeting Room  | <input type="checkbox"/> | <span style="color: orange;">■</span>  | <input type="checkbox"/>                         | Packaged Rooftop Air Cc | Air Terminal Single Duct<br>Zone HVAC Energy Reco | Cooling Office                                   | Heating Office                                   |  |  |
| Office Boss   | <input type="checkbox"/> | <span style="color: pink;">■</span>    | <input type="checkbox"/>                         | Packaged Rooftop Air Cc | Air Terminal Single Duct<br>Zone HVAC Energy Reco | Cooling Boss Office                              | Heating Boss Office                              |  |  |
|               |                          |  |  | Packaged Rooftop Air Cc | Air Terminal Single Duct                          |  |  |  |  |

Εικόνα 45 Καρτέλα θερμικών ζωνών για εισαγωγή συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού με τα αντίστοιχα χρονοπρογράμματα τους

### 3.5.9. Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Για την εισαγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος χρειάζεται μια διαφορετική προσέγγιση, αφού δεν περιέχεται στις βιβλιοθήκες του λογισμικού. Χρειάστηκε η δημιουργία 2 νέων shading surface group στην όψη του κτηρίου με επιφάνεια 7.29 m<sup>2</sup> και ένα 21.86 m<sup>2</sup> όμοια με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βάσει χωροθέτησης, ενώ η κλίση που τοποθετήθηκαν είναι 40°. Στην συνέχεια μέσω του Openstudio scripts [εικόνα 46], προστέθηκε το κλάσμα της επιφάνειας που καλύπτεται από ΦΒ καθώς και η απόδοση των πλαισίων 20.3% βάσει τεχνικού φυλλαδίου.

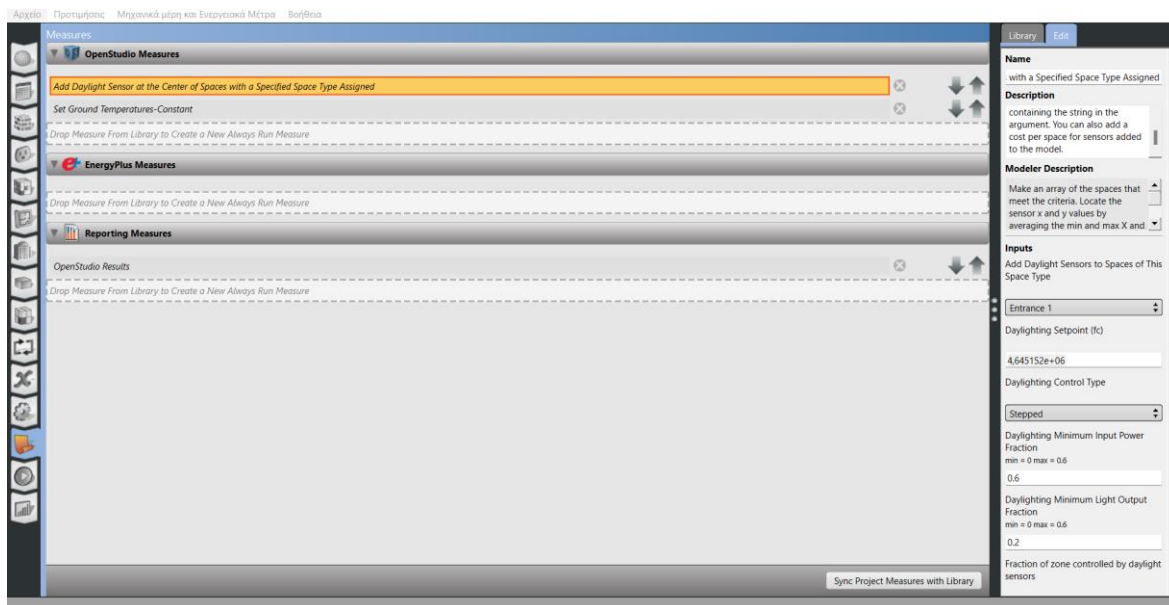


Εικόνα 46 Εισαγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω των user scripts του Openstudio plugin για το Sketchup

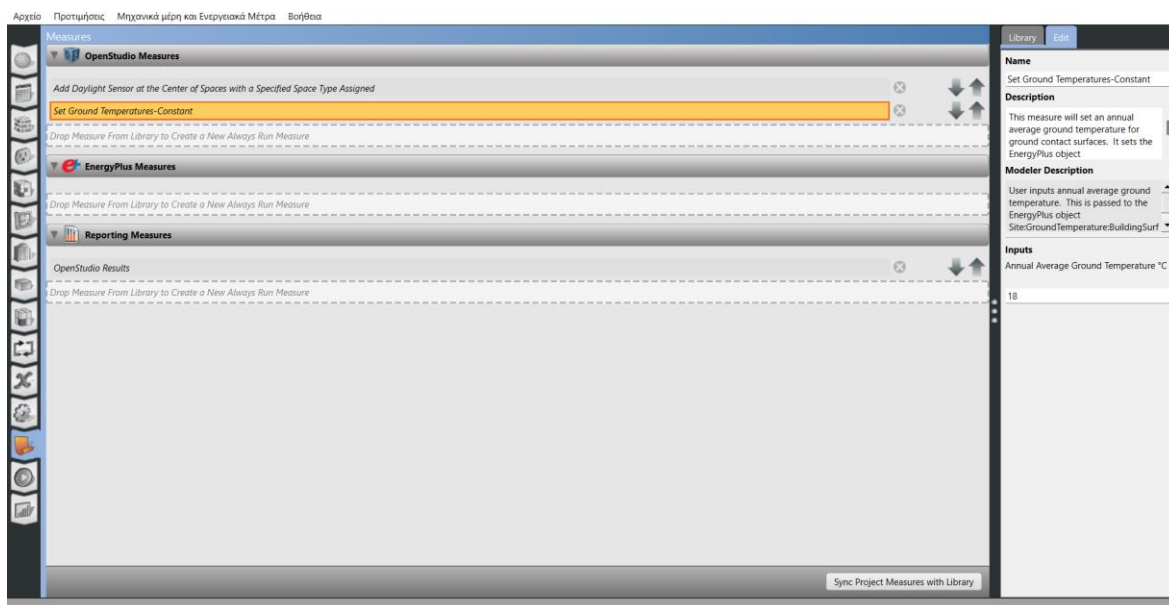
### 3.5.10. Measure

Στο μοντέλο χρειάστηκε να προστεθούν και κάποια μέτρα από τη βιβλιοθήκη κτιριακών στοιχείων. Το πρώτο μέτρο αφορά την εισαγωγή μιας μέσης ετήσιας θερμοκρασία 18 C° για το δάπεδο [εικόνα 48], ώστε να υπολογιστούν οι απώλειες του κτηρίου από το δάπεδο. Ακόμη, προστέθηκε μέτρο “Add Daylight Sensor at the Center of Spaces with a Specified Space Type” [εικόνα 47] για την μοντελοποίηση του αυτοματισμού των φωτιστικών της εισόδου. Η φωτεινότητα στον χώρο έχει οριστεί στα 500 lux, επομένως για την εισαγωγή της έγινε η μετατροπή της σε footcandles (fc).[bcl.nrel.gov]

$$Ev(fc) = Ev(lx) \times 0,09290304 = 46,45152$$



Εικόνα 47 Εισαγωγή μέτρου για την προσθήκη αισθητήρα φωτισμού στο χώρο της εισόδου



Εικόνα 48 Εισαγωγή μέτρου σταθερής θερμοκρασίας εδάφους

### 3.6. Παραμετροποίηση ενεργειακού μοντέλου

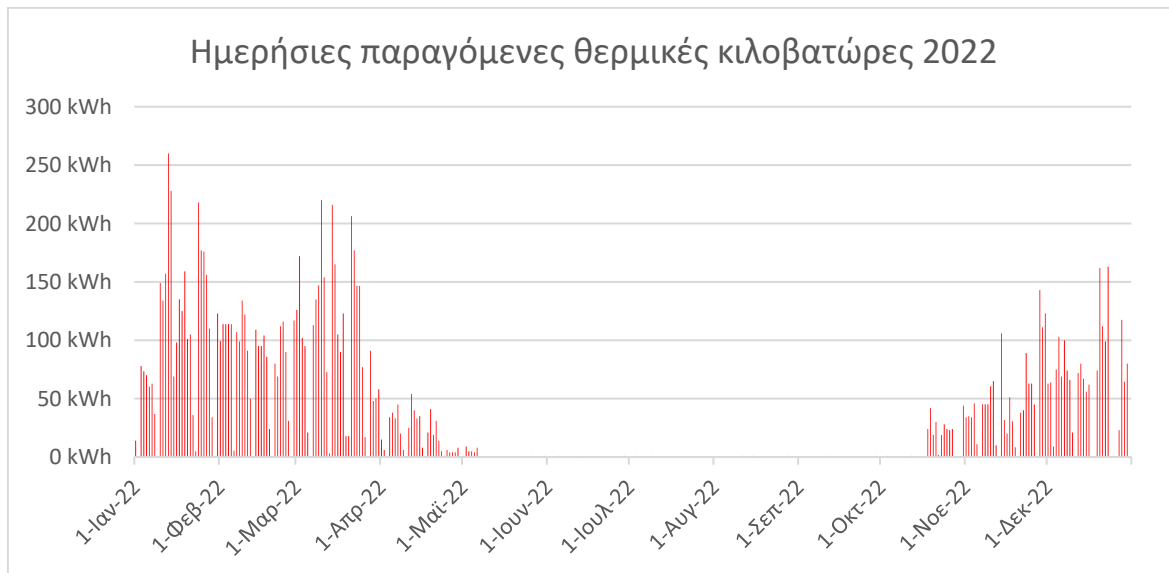
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η παραμετροποίηση του μοντέλου έπειτα από την αρχική του μοντελοποίηση. Για την ακριβέστερη και κοντινότερη παραμετροποίηση του αρχικού κτηριακού μας μοντέλου σε σχέση με την πραγματικότητα χρησιμοποιήθηκαν τα συλλεχθέντα δεδομένα από τις συνεχείς μετρήσεις των αισθητηρίων της εγκατάστασης. Στην διάθεση μας έχουμε μετρήσεις από τα αισθητήρια της αντλίας θερμότητας, των φορτίων των ηλεκτρικών συσκευών καθώς και την συνολική κατανάλωση ενέργειας. Με την βοήθεια των ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων σε συνάρτηση με της παραγόμενες θερμικές κιλοβατώρες σε όλη την διάρκεια του έτους 2022, υπολογίστηκε το μέσο COP της αντλίας για την Θέρμανση. Ομοίως, για την ψύξη με βάση τις ηλεκτρικές και τις ψυκτικές κιλοβατώρες υπολογίστηκε το μέσο COP για την ψύξη. Στόχος μας είναι, με την χρήση των

δεδομένων να παρατηρήσουμε την απόκλιση των τιμών απόδοσης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας σε σχέση με τις τιμές του κατασκευαστή. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά, τα γραφήματα που αφορούν την αντλία θερμότητας.



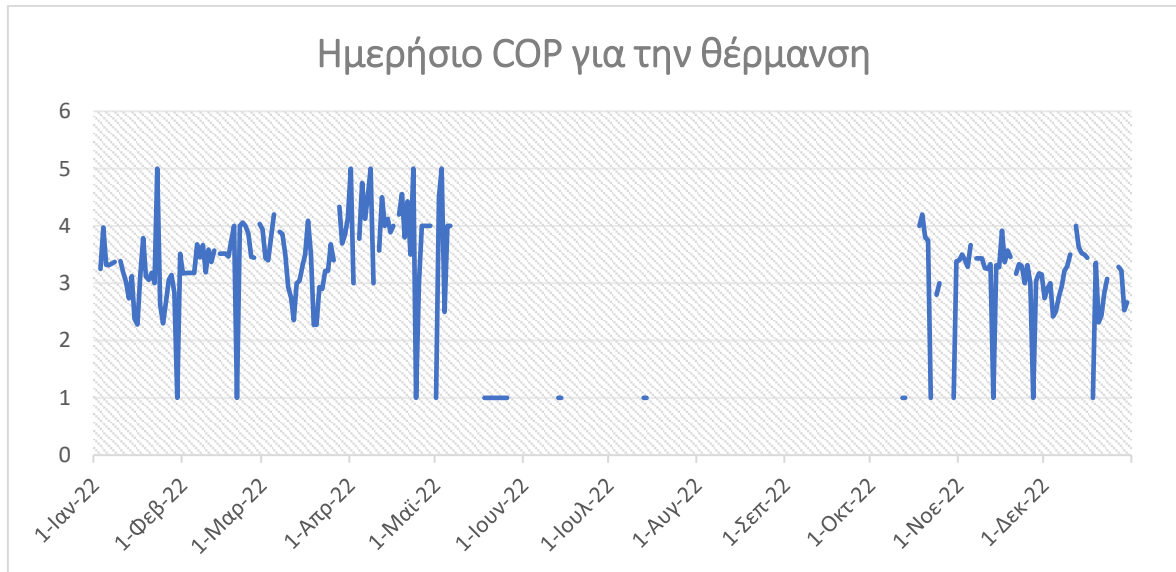
Εικόνα 49 Διάγραμμα ημερήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης για τη θέρμανση όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος 2022

Η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για την θέρμανση για το έτος 2022 [εικόνα 49,55] ήταν 3,990 kWh ή 16.09 kWh/m<sup>2</sup>/year.



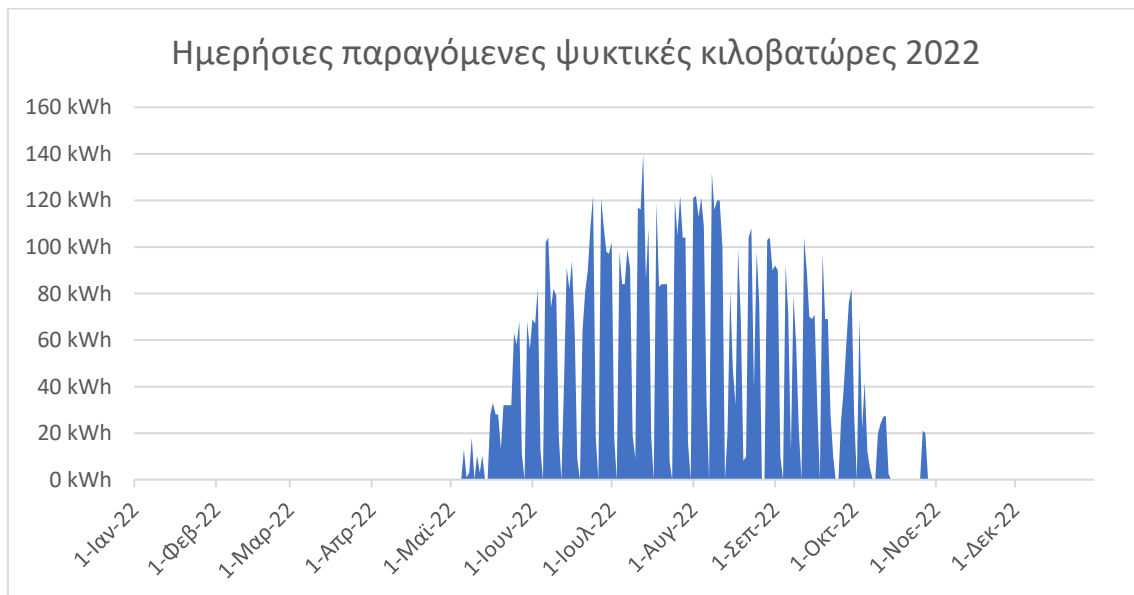
Εικόνα 50 Διάγραμμα ημερήσιων παραγόμενων θερμικών κιλοβατώραν όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος 2022

Οι συνολικές παραγόμενες θερμικές κιλοβατώρες για το 2022 ήταν 12,725 kWh [εικόνα 50].



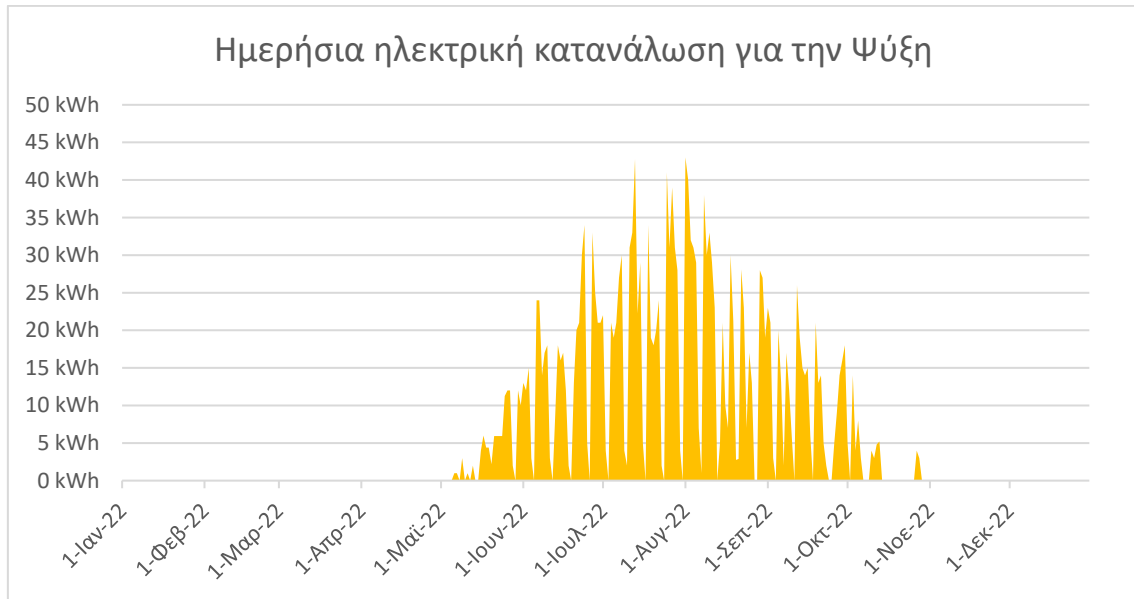
Εικόνα 51 Διάγραμμα ημερήσιου COP για το έτος 2022

Με βάση τις παραπάνω τιμές υπολογίστηκε το μέσο  $COP_{avg} = 2.90$  [εικόνα 51], όπου στην συνέχεια εισαγάγαμε στο Openstudio. Όπως παρατηρείται, το ποσοστό μείωσης της απόδοσης της αντλίας θερμότητας για την θέρμανση είναι της τάξης του 27.5% σε σχέση με την τιμή του κατασκευαστή.



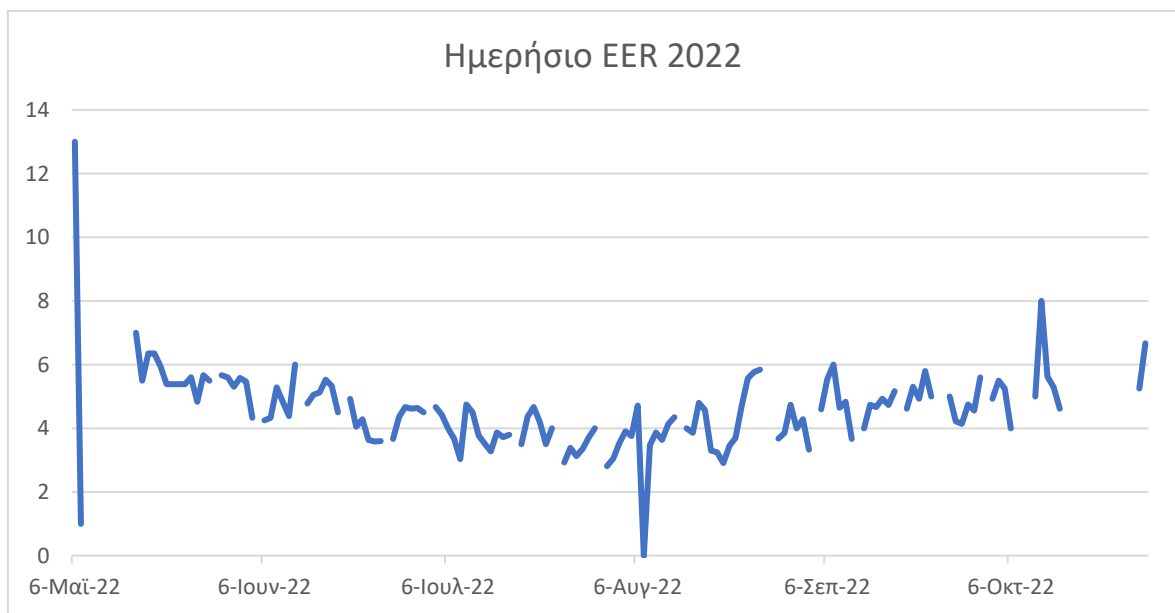
Εικόνα 52 Διάγραμμα ημερήσιων παραγόμενων ψυκτικών κιλοβατώραν όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος 2022

Οι συνολικές παραγόμενες ψυκτικές κιλοβατώρες για το 2022 ήταν 8,977 kWh [εικόνα 52].



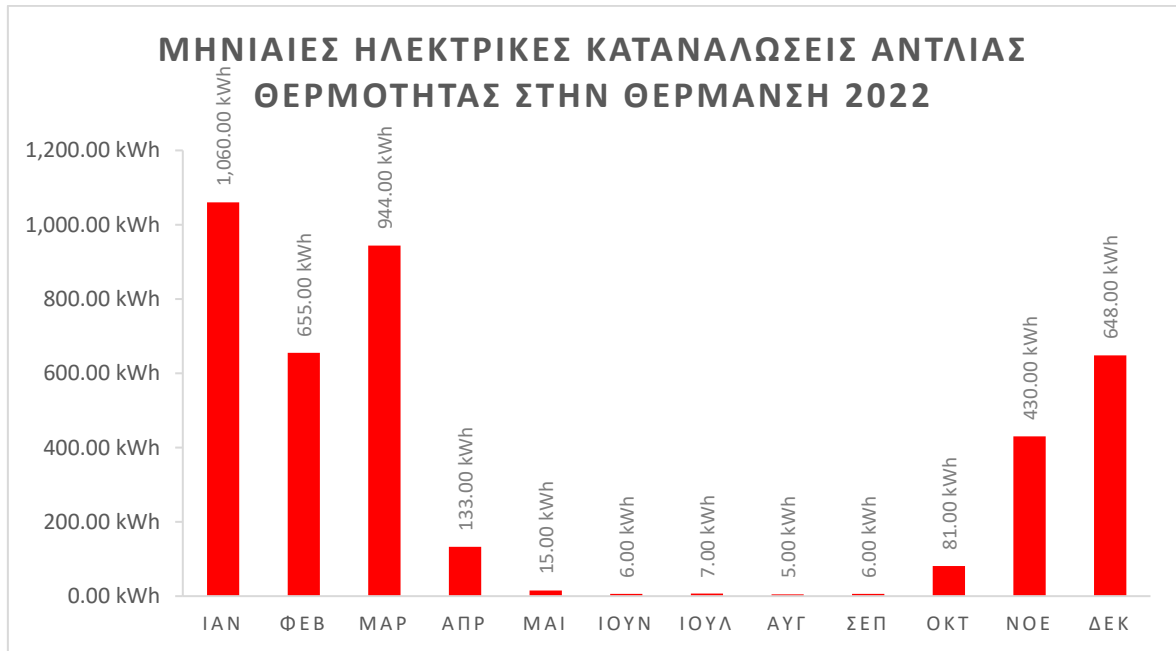
Εικόνα 53 Διάγραμμα ημερήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης για τη ψύξη όπως μετρήθηκε από το αισθητήριο της αντλίας για το έτος

Η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για την ψύξη για το έτος 2022 [εικόνα 53,56], ήταν 2,141 kWh ή 8.63 kWh/m<sup>2</sup>/year.

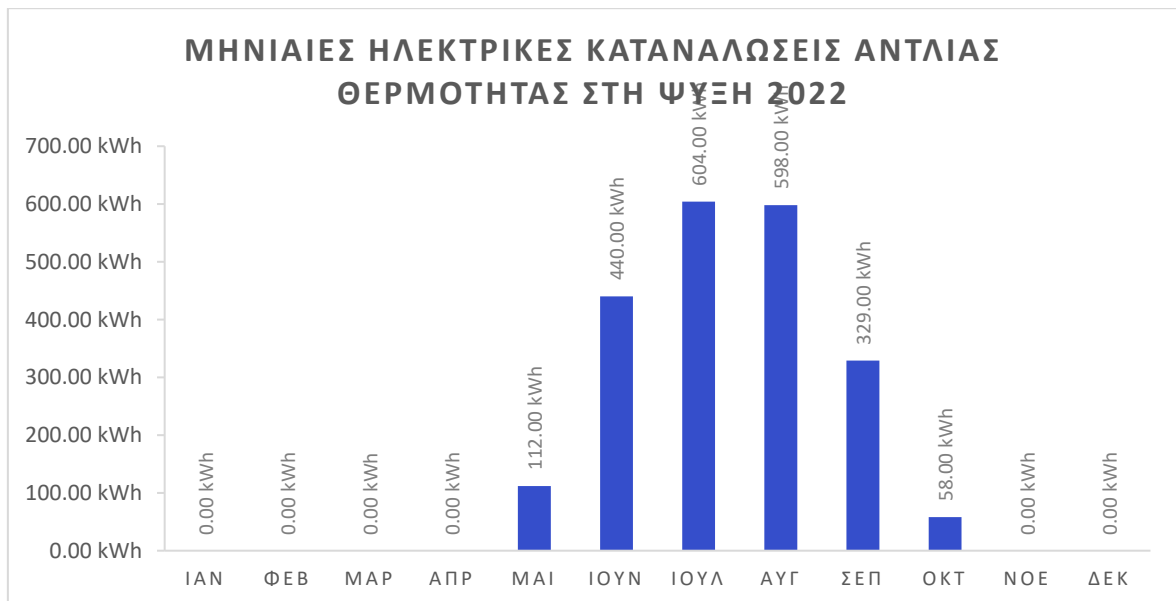


Εικόνα 54 Διάγραμμα ημερήσιου EER για το έτος 2022

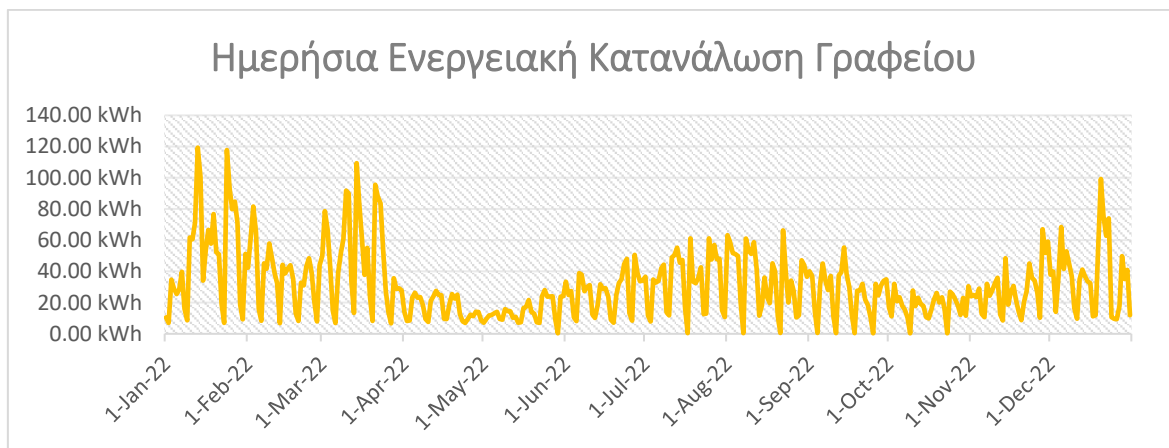
Με βάση τις παραπάνω τιμές υπολογίστηκε το μέσο  $EER_{avg} = 4.6$  [εικόνα 54], όπου στην συνέχεια εισαγάγαμε στο Openstudio. Όπως παρατηρείται, το ποσοστό μείωσης της απόδοσης της αντλίας θερμότητας για την ψύξη είναι της τάξης του 4% σε σχέση με την τιμή του κατασκευαστή.



Εικόνα 55 Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις αντλίας θερμότητας στη θέρμανση 2022

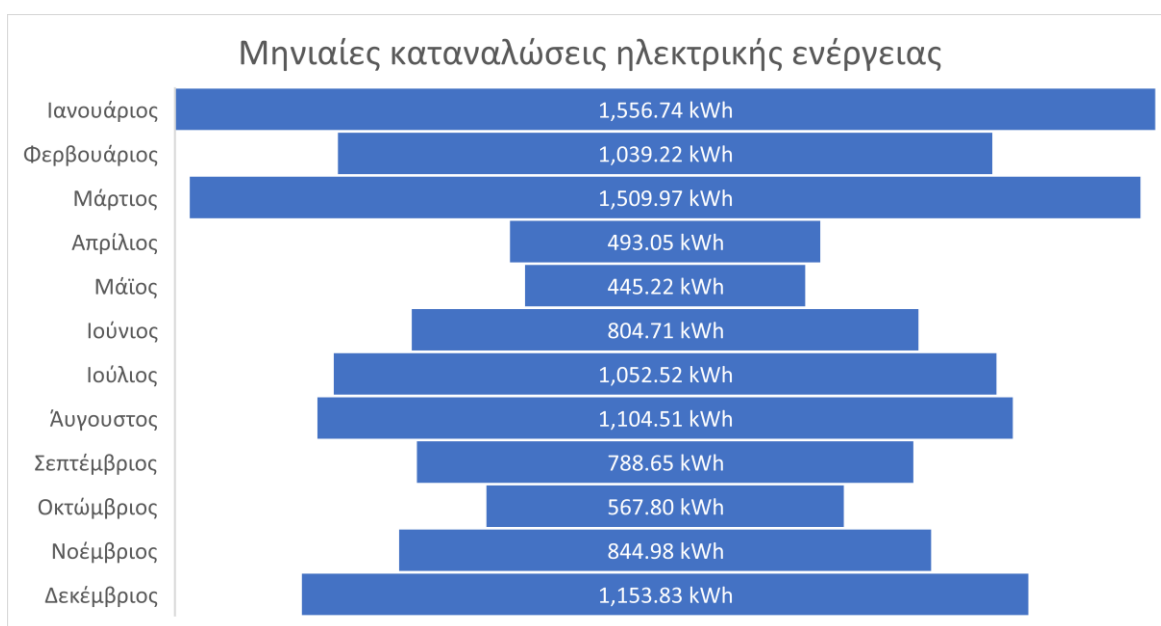


Εικόνα 56 Μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις αντλίας θερμότητας στη ψύξη 2022



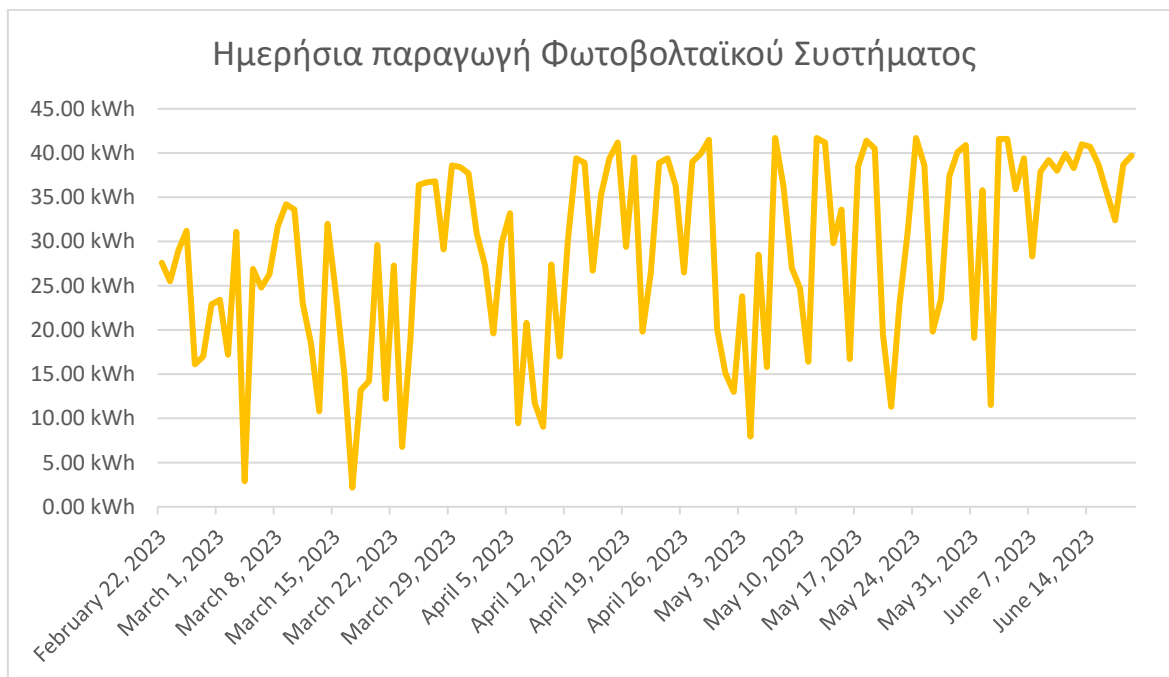
Εικόνα 57 Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση γραφείου όπως μετρήθηκε από το μετρητή ενέργειας για το έτος 2022

Οι συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις όπως αυτές μετρήθηκαν από τον μετρητή ενέργειας του κτηρίου είναι 11,361.20 kWh [εικόνα 57,58] καταναλώνοντας περίπου 45.78 kWh/m<sup>2</sup>/year. Στα γραφήματα που παρουσιάζονται απεικονίζονται οι καταναλώσεις ενέργειας σε ημερήσια και μηνιαία βάση, για όλη την διάρκεια του έτους 2022.



Εικόνα 58 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση γραφείου





Εικόνα 59 Ημερήσια παραγωγή φωτοβολταϊκού συστήματος όπως μετρήθηκε στην έξοδο του αντιστροφέα

Λόγω της μετέπειτα εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος οι ημερήσιες μετρήσεις που έχουμε στην διάθεση μας είναι από τα τέλη Φεβρουαρίου 2023 όπου και εγκαταστάθηκε μέχρι τις 19/06/2023, Για το διάστημα αυτό η παραγωγή υπολογίστηκε στις 3,381.05 kWh.

### 3.6.1. Αποτελέσματα παραμετροποίησης

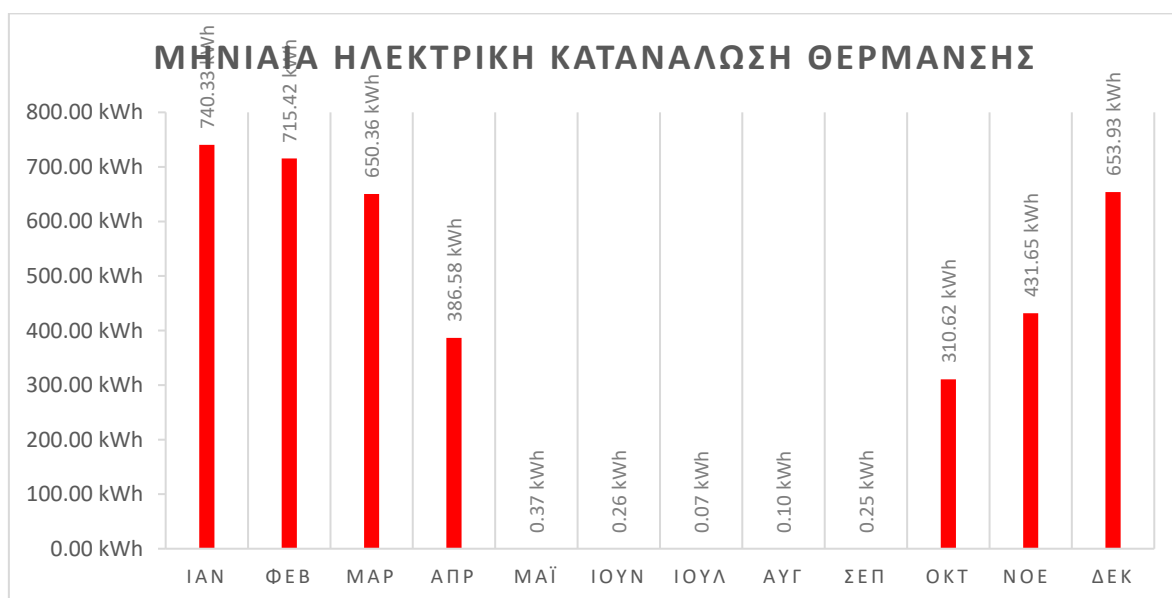
Στην συνέχεια μετά την παραμετροποίηση του ενεργειακού μοντέλου με την βοήθεια των δεδομένων του κτηρίου μας, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα της ετήσιας κατανάλωσης.



Εικόνα 60 Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση παραμετροποιημένου σεναρίου

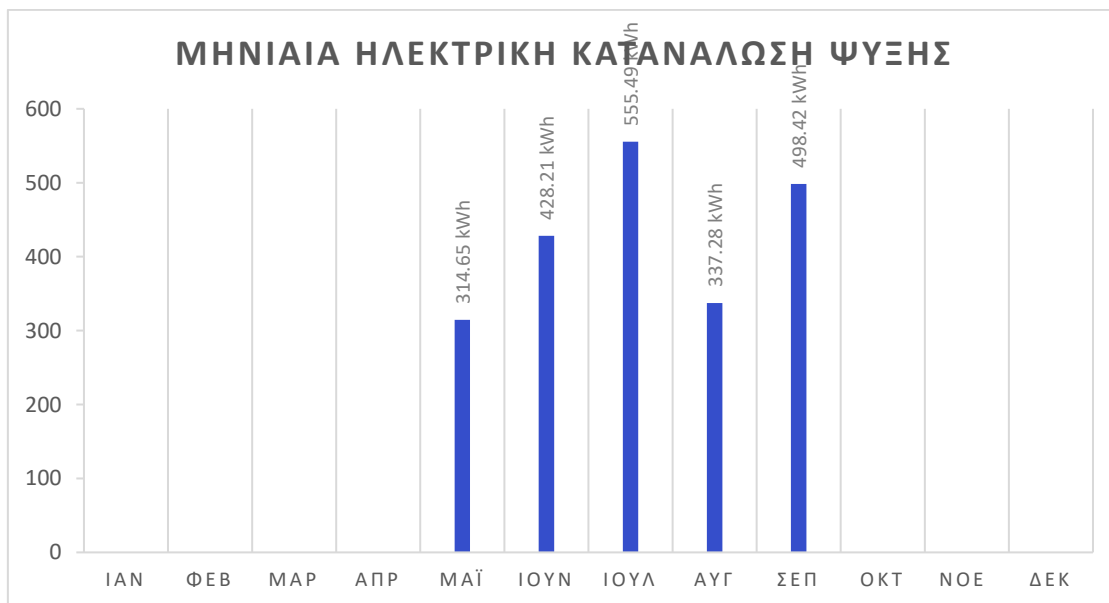
Σύμφωνα με την [εικόνα 59] στην οποία απεικονίζεται η ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του παραμετροποιημένου σεναρίου παρατηρείται ότι:

Το 44% της κατανάλωσης του κτηρίου προέρχεται από τις ηλεκτρικές συσκευές που ως παραγωγικός εξοπλισμός της επιχείρησης δεν μπορεί να γίνει κάποια επιπλέον εξοικονόμηση επ' αυτού. Η θέρμανση και η ψύξη καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό με 34% και 18% αντίστοιχα ενώ για περαιτέρω μείωση θα απαιτούνταν θερμομόνωση του κελύφους. Ενώ με την αντικατάσταση του φωτισμού παρατηρούμε ότι μόλις το 4% της συνολικής κατανάλωσης οφείλεται στον φωτισμό. Περαιτέρω μείωση θα ήταν εφικτή με την εισαγωγή αισθητήρων παρουσίας και στους χώρους του ορόφου. Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής για το κτήριο ενδιαφέροντος είναι 11,579.70 kWh ή 46.67 kWh/m<sup>2</sup>/year



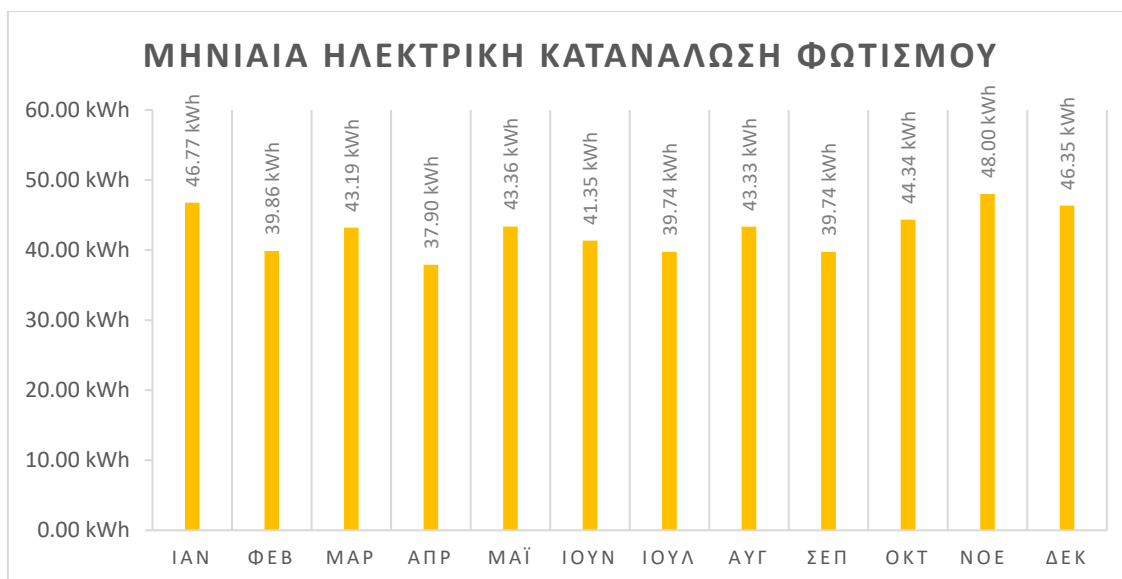
Εικόνα 61 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση θέρμανσης σεναρίου αρχικής κατάστασης

Η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για την θέρμανση μετά την παραμετροποίηση υπολογίστηκε σε 3,889.94 kWh ή 15.68 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 61] και με μία απόκλιση 2.5% που θεωρείται αποδεκτή.



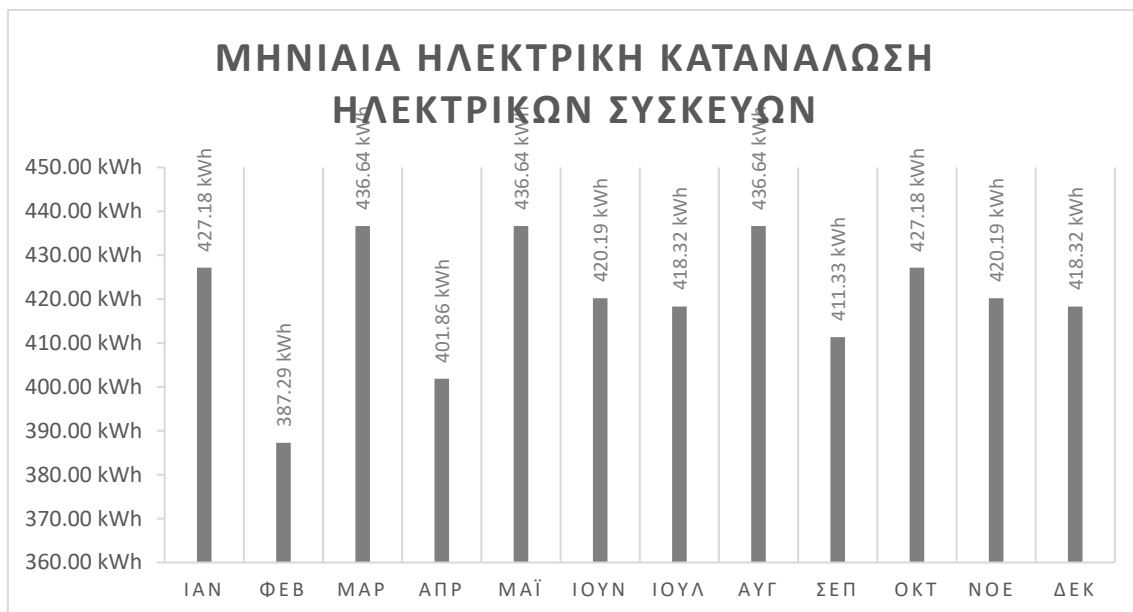
Εικόνα 62 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ψύξης παραμετροποιημένου σεναρίου

Για την ψύξη η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση μετά την παραμετροποίηση υπολογίστηκε σε 2,134.05 kWh ή 8.60 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 62] και με την απόκλιση της τάξης 0.03% που θεωρείται αποδεκτή.



Εικόνα 63 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση φωτισμού παραμετροποιημένου σεναρίου

Για τον φωτισμό η συνολική ενεργειακή κατανάλωση παρατηρείται σε σταθερά επίπεδα καθόλη την διάρκεια του έτους, με την ετήσια κατανάλωση του στις 513.93 kWh ή 2.07 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 63].



Εικόνα 64 Μηνιαία ηλεκτρική ηλεκτρικών συσκευών παραμετροποιημένου σεναρίου

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση των ηλεκτρικών καθόλη την διάρκεια του έτους υπολογίστηκε στις 5,041.78 kWh ή 20.32 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 64].

Σύμφωνα με το μοντέλο ενεργειακό μοντέλο η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος για το ίδιο χρονικό διάστημα με τα δεδομένα μας υπολογίστηκε στις 3,844.44 kWh περισσότερες κατά 463.39 kWh.

Η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίστηκε στις 11,297.22 kWh, παράγοντας 282.48 kWh λιγότερες από τις απαιτούμενες για την πλήρη κάλυψη των αναγκών του γραφείου.

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρείται ότι το κτήριο μας μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης αφού η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας που δεν παράγεται από ΑΠΕ είναι μόλις 282.48 kWh ή 1.14 kWh/m<sup>2</sup>/year. Με οποιαδήποτε περαιτέρω παρέμβαση η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα υπερκάλυπτε την απαιτούμενη.

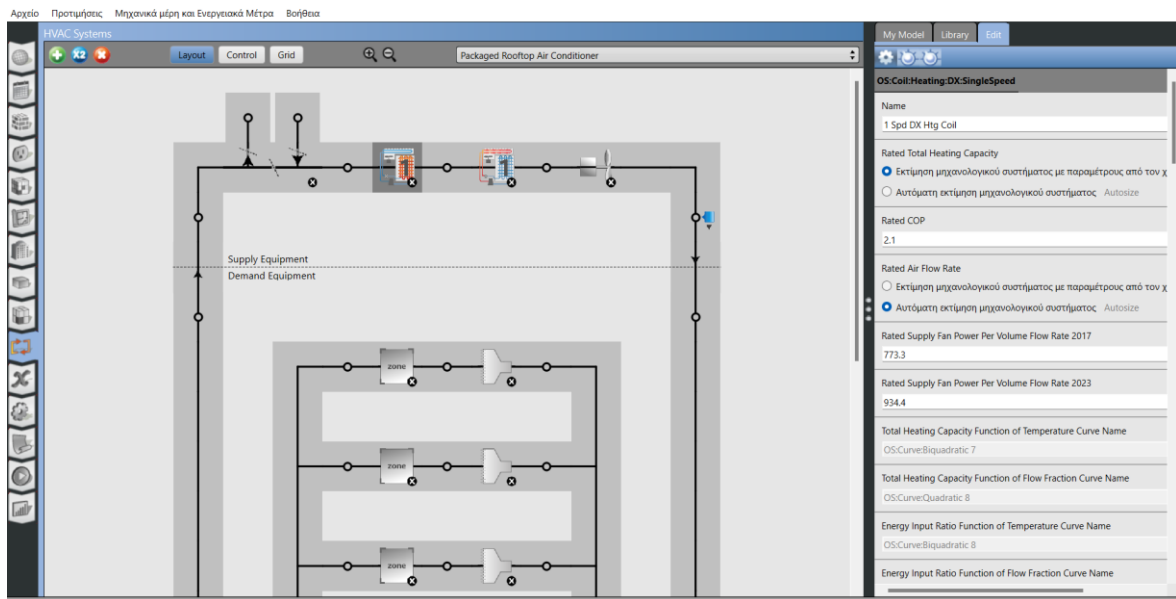
### 3.7. Αρχικό Κτήριο

Κατά την ενοικίαση του το κτήριο διέθετε λαμπτήρες φθορισμού για τον φωτισμό καθώς και μονάδα θέρμανσης και ψύξης τύπου multi της εταιρείας trane με ψυκτικό υγρό R22. Για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης που επιτεύχθηκε και λόγω έλλειψης προηγούμενων λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος δεδομένου ότι η πληθώρα των εργασιών υλοποιήθηκαν πριν την επαναλειτουργία του κτηρίου, χρησιμοποιήθηκε το ήδη παραμετροποιημένο ενεργειακό μοντέλο. Στην συνέχεια για τον υπολογισμό της εξοικονόμησης αφαιρέθηκαν όλες οι προσθήκες ώστε το κτήριο να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση.

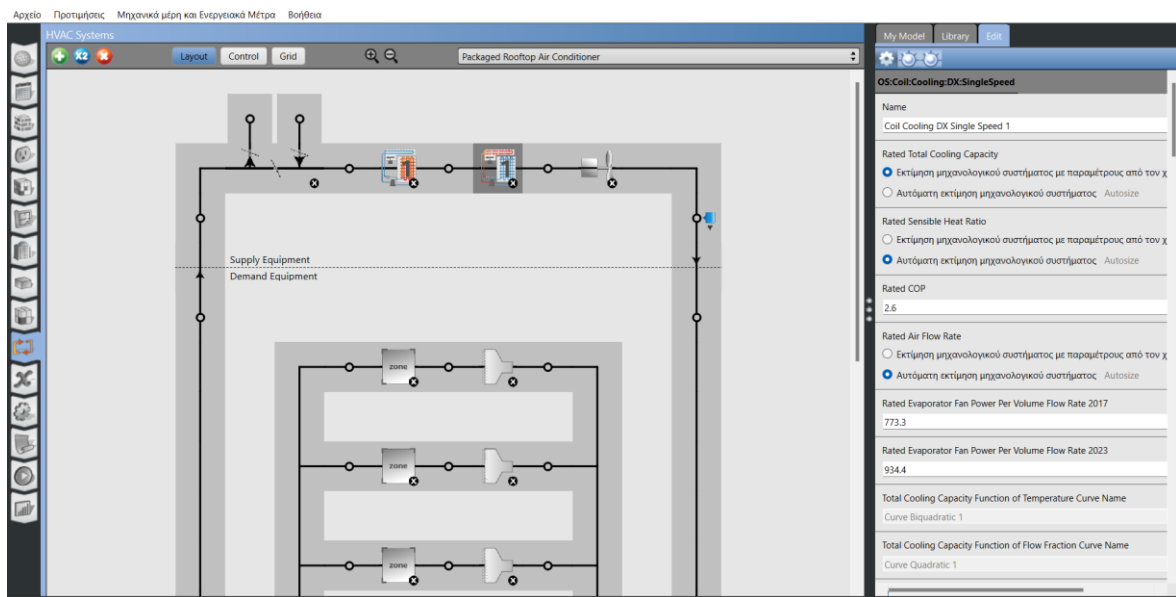
- Σύστημα θέρμανσης & ψύξης

Λόγω έλλειψης ενεργειακών χαρακτηριστικών της μονάδας multi έγινε έρευνα για μηχανήματα παρόμοιας τεχνολογίας και βρέθηκε ότι EER= 2.7 και COP= 2.9. Με βάση το ποσοστό μείωσης της απόδοσης από την δηλωθείσα απόδοση του κατασκευαστή για το υπάρχων σύστημα υπολογίστηκε η πτώση στην απόδοση και για το προϋφιστάμενο

σύστημα, Πιο αναλυτικά, με μια πτώση στην απόδοση της τάξης του 4% για την ψύξη υπολογίστηκε το  $EER = 2.6$  ενώ με μια πτώση 27.5% για την θέρμανση υπολογίστηκε το  $COP = 2.1$  [εικόνα 65,66].



Εικόνα 65 Εισαγωγή τιμής COP αρχικής κατάστασης



Εικόνα 66 Εισαγωγή τιμής EER αρχικής κατάστασης

- Φωτισμός

Για τον υπολογισμό των φωτιστικών με βάση μια μέση φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού 50 lm/W, υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα φωτιστικά για τον κάθε χώρο που αναλύονται στον παρακάτω πίνακα [πίνακα 8].

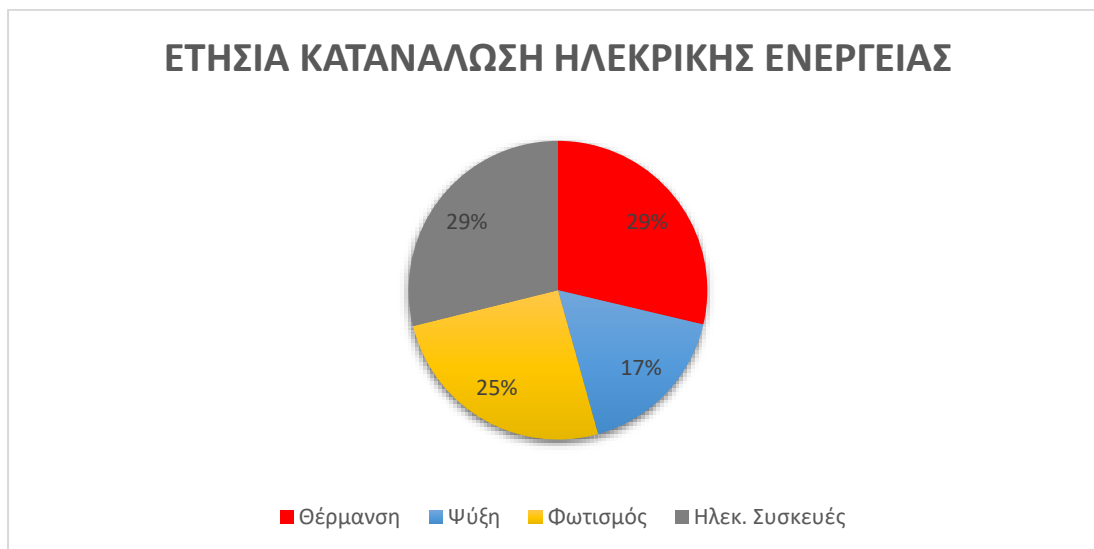
| Ανάλυση φωτισμού πριν τις παρεμβάσεις |                 |         |                  |                         |
|---------------------------------------|-----------------|---------|------------------|-------------------------|
| Χώρος Εγκατάστασης                    | Φωτεινή απόδοση | Τεμάχια | Ισχύς Φωτιστικού | Συνολική Ισχύς Φωτισμού |
| Είσοδος                               | 50 lm/W         | 4       | 140 W            | 560 W                   |
| Είσοδος                               | 50 lm/W         | 3       | 150 W            | 450 W                   |
| Χώρος Συνεδριάσεων                    | 50 lm/W         | 2       | 150 W            | 300 W                   |
| Γραφείο Κάτω                          | 50 lm/W         | 1       | 150 W            | 150 W                   |
| Γραφείο Διεύθυνσης                    | 50 lm/W         | 1       | 150 W            | 150 W                   |
| Γραφείο Επάνω                         | 50 lm/W         | 6       | 150 W            | 900 W                   |
| Χώρος Εκπαιδεύσεων                    | 50 lm/W         | 3       | 150 W            | 450 W                   |
| Βιβλιοθήκη                            | 50 lm/W         | 1       | 150 W            | 150 W                   |
| Server                                | 50 lm/W         | 1       | 90 W             | 90 W                    |
| Χωλ                                   | 50 lm/W         | 2       | 140 W            | 280 W                   |
| Κουζίνα                               | 50 lm/W         | 1       | 15 W             | 15 W                    |
| Wc 1                                  | 50 lm/W         | 1       | 15 W             | 15 W                    |
| Wc 2                                  | 50 lm/W         | 1       | 15 W             | 15 W                    |

Πίνακας 9 Ανάλυση φωτισμού πριν τις παρεμβάσεις

Ακόμη, αφαιρέθηκαν οι αισθητήρες φωτισμού ενώ τα φώτα υπολογίστηκαν ως on/off και τέλος αφαιρέθηκαν η μοκέτα, η μόνωση με hyperdesmo, τα θερμοδιακοπτόμενα κουφώματα του επάνω ορόφου, τα σκίαστρα καθώς και το φωτοβολταϊκό σύστημα.

### 3.7.1. Αποτελέσματα αρχικού σεναρίου

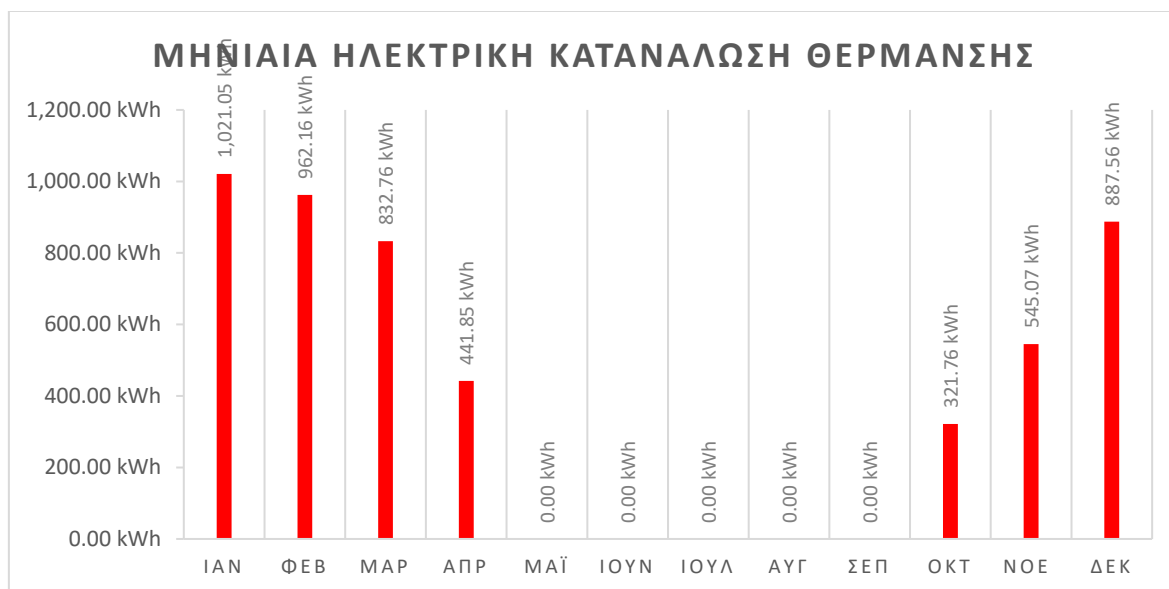
Στην συνέχεια μετά την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων στο παραμετροποιημένο ενεργειακό μας μοντέλο, υπολογίστηκαν οι συνολικές καταναλώσεις οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 67 Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση σεναρίου αρχικής κατάστασης

Σύμφωνα με την [εικόνα 67] στην οποία απεικονίζεται η ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του σεναρίου πριν τις παρεμβάσεις παρατηρείται ότι:

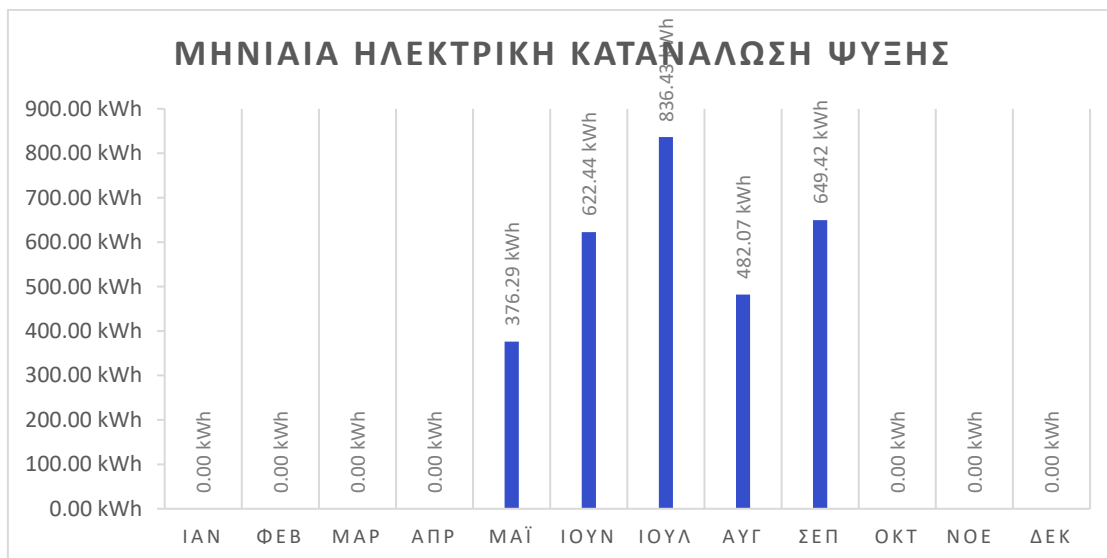
Υπάρχουν αλλαγές στο διάγραμμα των συνολικών καταναλώσεων με τις πρώτες θέσεις της συνολικής κατανάλωσης με ποσοστό 29% να κατέχουν οι ηλεκτρικές συσκευές και η θέρμανση, το 25% να καταλαμβάνει ο φωτισμός ενώ η ψύξη καταλαμβάνει το μικρότερο ποσοστό με 17%. Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής για το κτήριο ενδιαφέροντος είναι 17,469.24 kWh ή 70.40 kWh/m<sup>2</sup>/year



Εικόνα 68 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση θέρμανσης σεναρίου αρχικής κατάστασης

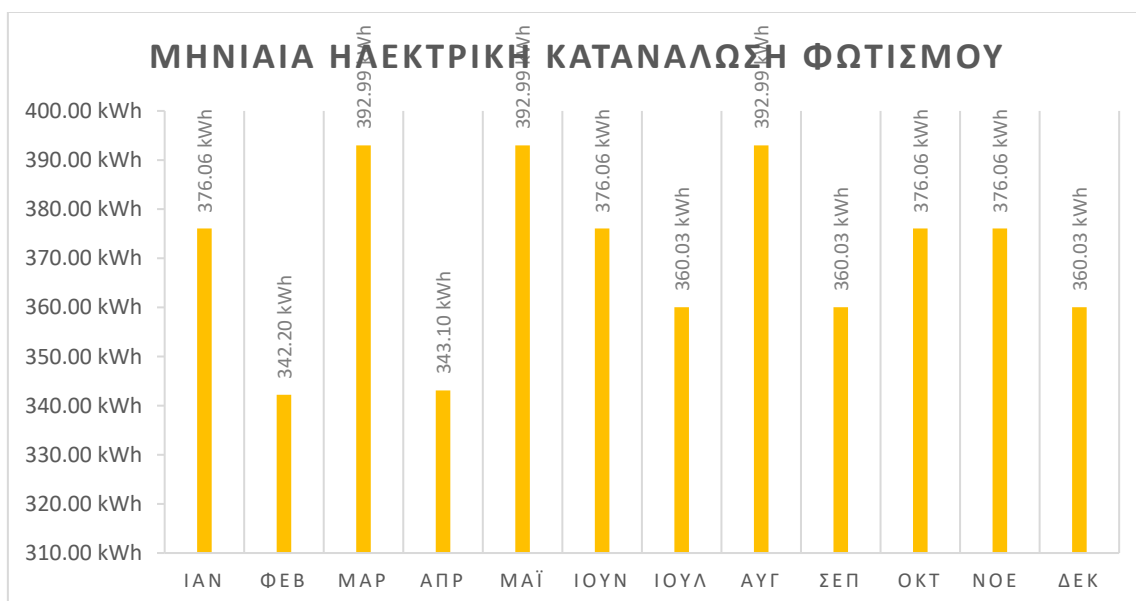
Η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για την θέρμανση μετά την εισαγωγή του προ υφιστάμενου συστήματος υπολογίστηκε σε 5,012.21 kWh ή 20.20 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 68], καταναλώνοντας 1,122.27 kWh περισσότερες από ότι το υφιστάμενο σύστημα.





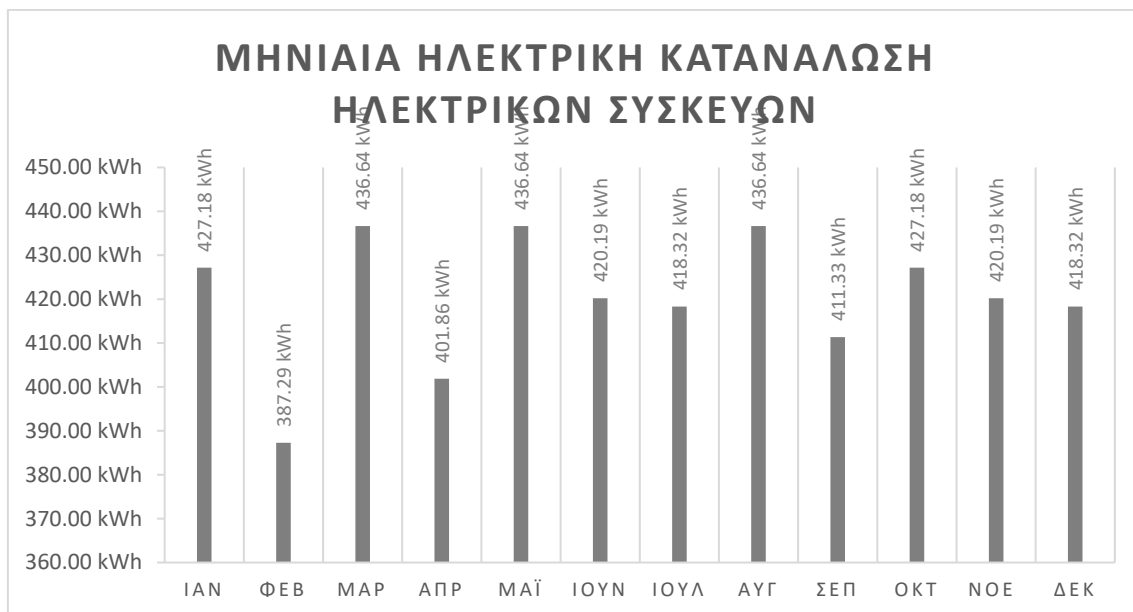
Εικόνα 69 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ψύξης σεναρίου αρχικής κατάστασης

Για την ψύξη η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση υπολογίστηκε σε 2,966.65 kWh ή 11.96 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 69], καταναλώνοντας 844.65 kWh περισσότερες από ότι το υφιστάμενο σύστημα.



Εικόνα 70 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση φωτισμού σεναρίου αρχικής κατάστασης

Στον φωτισμό παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αλλαγή με τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση να υπολογίζεται σε 4,448.60 kWh ή 17.93 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 70], καταναλώνοντας 3,934.67 kWh περισσότερες από ότι τα υφιστάμενα φωτιστικά .



Εικόνα 71 Μηνιαία ηλεκτρική ηλεκτρικών συσκευών σεναρίου αρχικής κατάστασης

Τέλος, στις ηλεκτρικές συσκευές που αποτελούν παραγωγικό εξοπλισμό της επιχείρησης δεν παρατηρήθηκε κάποια αλλαγή και η ενεργειακή κατανάλωση τους καθόλη την διάρκεια του έτους παρέμεινε στις 5,041.78 kWh ή 20.32 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 71].

### 3.8. Βέλτιστο Σενάριο

Στην παράγραφο αυτή μοντελοποιήσαμε το ήδη παραμετροποιημένο ενεργειακό μας μοντέλο για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής εξοικονόμησης και την παρατήρηση των αποτελεσμάτων που μπορούν να επιτευχθούν στο συγκεκριμένο κτήριο. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, προσθέσαμε στο μοντέλο μας ενεργειακούς υαλοπίνακες στις τζαμαρίες της εισόδου, θερμομόνωση στο κέλυφος και θερμομόνωση στο δώμα.

Μια τέτοια παρέμβαση στην πράξη δεν εφικτή να πραγματοποιηθεί από έναν ενοικιαστή λόγω του υπέρογκου κόστους μιας τέτοια επένδυσης και του μεγάλου χρόνου αποσβέσεως. Επιπρόσθετα, λόγω το σύνθετου αδειοδοτικού πλαισίου και την απαίτηση της έγκρισης των συνιδιοκτητών, καθώς και του μεγάλου ρίσκου του ενοικιαστή που μελλοντικά μπορεί να κληθεί να εγκαταλείψει το ακίνητο, καθιστά αυτές τις παρεμβάσεις πιο δύσκολες στην υλοποίησή τους.

#### 3.8.1. Κέλυφος κτηρίου

Για την σωστή μοντελοποίηση στο openstudio των υλικών χρησιμοποιήθηκαν τα τεχνικά φυλλάδια επώνυμων εταιρειών και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν η απαραίτητες κατασκευές.

- Μόνωση Δώματος

Λόγω της παλαιότητας της κατασκευής προτείνεται η χρήση κεραμικού πλακιδίου 1.5cm με εξηλασμένη πολυστερίνη 7cm θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda_D = 0.034 \text{ W/m K}$  τύπου FIBRAN STAR το οποίο πρόκειται για μια ελαφριά λύση σε σχέση με τα συμβατικά και ανεστραμμένα δώματα ώστε να μην γίνει επιβάρυνση του δώματος.

## Τεχνικά χαρακτηριστικά

Κωδικός σήμανσης:

XPS (Extruded Polystyrene) - EN 13164 – T1 – CS(10/Y)300 – DS(70,90) – WL(T)0,7 – WD(V)3 – FTCD1

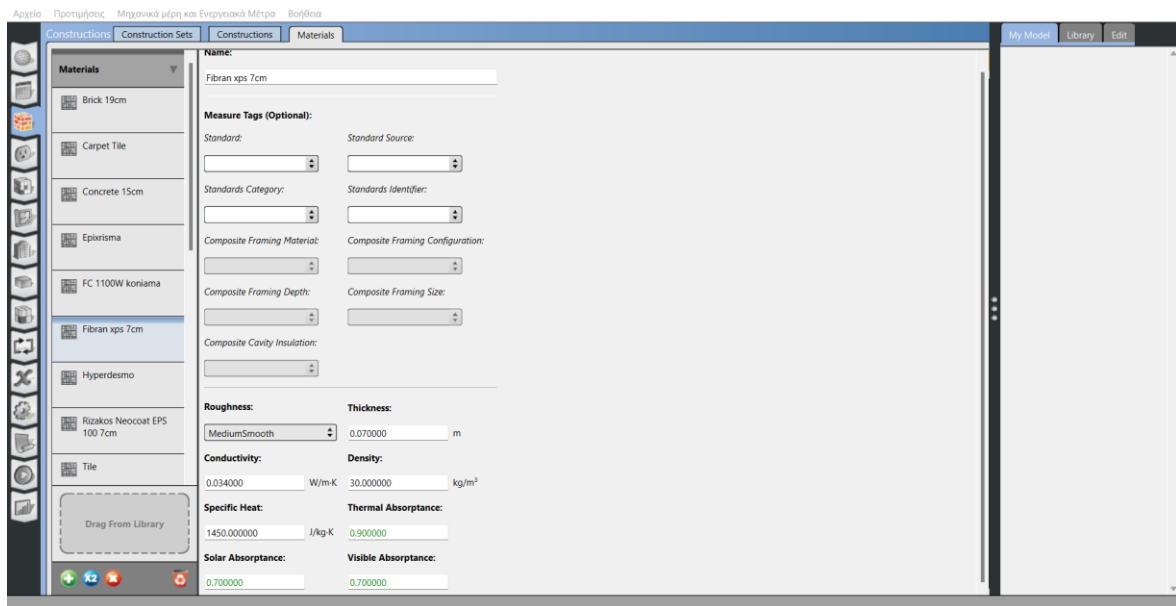
| Τεχνικά χαρακτηριστικά  | Σύμβολο EN 13164 | Μονάδα μέτρησης                           | Τιμή  | Πρότυπο EN           |
|---|------------------|---|---|----------------------|
| Επιφάνεια   |                  | Λεία επιφάνεια εξέλασης                   |   |                      |
| Διαμόρφωση ακμών κατά μήκος / κατά πλάτος                                       |                  | L (γωνία) / L (γωνία) ή I (ισα) / I (ισα) |   |                      |
| Διαστάσεις  | -                | mm  | 1250 x 600  | EN 822               |
| Ονομαστικό πάχος  | $d_N$            | mm  | 50 - 100  | EN 823               |
| Ανοχή πάχους  | T                | Class                                     | T1<br>( $\pm 2$ mm < 50mm<br>-2,+3mm $\geq$ 50mm) | EN 13164             |
| Δηλωμένος Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας στους 10 °C                         | $\lambda_D$      | W/(m·K)                                   | 0,033 $\leq$ 60mm<br>0,034 > 60mm                 | EN 13164<br>EN 12667 |
| Αντοχή συμπίεσης πάχους κατά 10%  | CS(10)           | kPa                                       | 300   | EN 826               |
| Προτεινόμενο μέγιστο φορτίο σχεδιασμού  | -                | kN/m <sup>2</sup>                         | < 130   | EN 13164             |
| Διαστασιακή σταθερότητα σε συνθήκες θερμοκρασίας 70°C και σχετικής υγρασίας 90% | DS(70,90)        | %   | <5  | EN 1604              |
| Μακροχρόνια απορρόφηση νερού με ολική εμβάπτιση                                 | WL(T)            | Vol. %                                    | < 0,7   | EN 12087             |
| Μακροχρόνια απορρόφηση νερού με διάχυση υδρατμών                                | WD(V)            | Vol. %                                    | < 3   | EN 12088             |
| Μακροχρόνια απορρόφηση νερού με διάχυση υδρατμών μετά από κύκλους παγωμάτος     | FTCD             | Vol. %                                    | < 1   | EN 12088             |
| Θερμοκρασία λειτουργίας   | -                | °C  | από -50 μέχρι +75                                 | -                    |
| Κατηγορία συμπεριφοράς στη φωτιά  | -                | Class                                     | E   | EN 13501-1           |

## Θερμική αντίσταση R

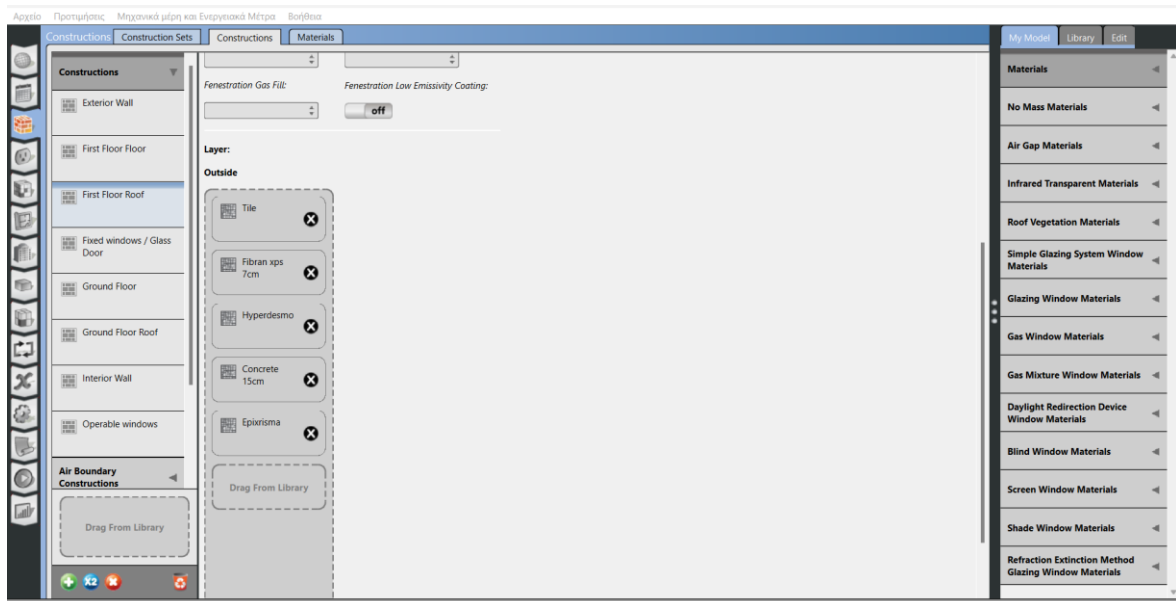
| Ονομαστικό πάχος           | $d_N$ | mm                 | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | EN 823   |
|----------------------------|-------|--------------------|------|------|------|------|------|------|----------|
| Δηλωμένη θερμική αντίσταση | $R_D$ | m <sup>2</sup> K/W | 1,50 | 1,81 | 2,05 | 2,35 | 2,60 | 2,90 | EN 13164 |

Εικόνα 72 Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης

Στην συνέχεια με την βοήθεια του τεχνικού φυλλαδίου καθώς και του πίνακα 4 [κεφ. 4 σελ. 48, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010] δημιουργήσαμε το απαραίτητο υλικό και την απαραίτητη κατασκευή [εικόνα 73] και δημιουργήσαμε την κατασκευή του συστήματος για το δώμα [εικόνα 74].



Εικόνα 73 Εισαγωγή εξηλασμένης πολυστερίνης στο Openstudio



Εικόνα 74 Εισαγωγή συστήματος μόνωσης δώματος στο Openstudio

- Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας

Για τη θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας προτείνεται σύστημα θερμοπρόσοψης με ινοπλισμένο ρητινούχο κονίαμα τσιμεντοειδούς βάσης θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 0.45 \text{ W/m K}$  τύπου FC 1100, γραφιτούχα διογκωμένη πολυστερίνη 7cm θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 0.031 \text{ W/m K}$  τύπου NEOCOAT και σιλικονούχο επίχρισμα θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 0.70 \text{ W/m K}$  τύπου FC 1300.

| ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ  |   |
|---|---|
| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ  |   |
| Μορφή   | παστώδης  |
| Χημική βάση   | ακρυλικές και σιλικονούχες ρητίνες, πολυσιλοξανικά πρόσθετα   |
| Χρώμα   | λευκό / έγχρωμο σε 260 αποχρώσεις <b>Finoclima® COLOUR PALETTE</b>  |
| Μέγιστος κόκκος   | 1,0mm / 1,2mm / 1,5mm / 2,4mm   |
| Πυκνότητα   | 1,80-1,90 kg/lt ανάλογα με την κοκκομετρία  |
| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (+23°C / 50% Σ.Υ.)                         |   |
| Αναλογία νερού ανάμειξης  | προϊόν έτοιμο προς χρήση  |
| Χρόνος στεγνώματος  | 5-6 ώρες (23°C)   |
| Θερμοκρασία εφαρμογής   | ελάχιστη: +5°C / μέγιστη: +35°C   |
| Κατανάλωση  | ανάλογα με την κοκκομετρία:<br>1,0mm: 1,8-2,0 kg/m <sup>2</sup><br>1,2mm: 1,9-2,2 kg/m <sup>2</sup><br>1,5mm: 2,0-2,5 kg/m <sup>2</sup><br>2,4mm: 2,8-3,2 kg/m <sup>2</sup> |
| ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ   |   |
| Διαπερατότητα υδρατμών<br>(EN ISO 7783-2)                           | V1: S <sub>D</sub> < 0,14m  |
| Απορρόφηση νερού<br>(EN 1062-3)                                     | W3: w ≤ 0,10 kg/m <sup>2</sup> ·h <sup>0,5</sup>  |
| Πρόσφυση<br>(EN 1542)   | ≥ 0,60 N/mm <sup>2</sup> - Απαιτήση EN 15824 ≥ 0,40 N/mm <sup>2</sup>   |
| Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ <sub>10,dry</sub><br>(EN 1745) | 0,70 W/mK (πίνακας A12 για P=50%)   |
| Αντίδραση σε φωτιά<br>(EN 13501-1)                                  | Κλάση F   |

**Σημείωση:** Οι μετρήσεις έχουν γίνει σε εργαστηριακό περιβάλλον. Οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο εργοτάξιο (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός, απορροφητικότητα υποστρώματος) είναι πιθανό να επηρεάσουν τις ιδιότητες του υλικού.

Εικόνα 75 Τεχνικά χαρακτηριστικά ινοπλισμένου κονιάματος (finomix.gr)

| ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ   |  |
|--|--|
| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ   |  |
| Μορφή  | κονία  |
| Χρώμα  | λευκό / γκρι   |
| Μέγιστος κόκκος  | 0,8mm (λευκό) / 0,5mm (γκρι)   |
| Ειδικό βάρος ξηρού κονιάματος  | 1,45 ± 0,05 kg/lt  |
| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (+23°C / 50% Σ.Υ.)  |  |
| Αναλογία νερού ανάμειξης   | 26% (λευκό) / 22% (γκρι)   |
| pH μίγματος  | > 11   |
| Πυκνότητα μίγματος   | 1,70 ± 0,05 kg/lt  |
| Εργάσιμος χρόνος   | ~3 ώρες (23°C)   |
| Θερμοκρασία εφαρμογής  | ελάχιστη: +5°C / μέγιστη: +35°C  |
| Κατανάλωση   | Ως κονίαμα συγκόλλησης: περίπου 4-5 kg/m <sup>2</sup><br>Ως οπλισμένο κονίαμα: περίπου 1,5 kg/m <sup>2</sup> για στρώση πάχους 1mm |
| ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ  |  |
| Αντοχή σε θλίψη<br>(EN 1015-11)  | 14,00 N/mm <sup>2</sup> (λευκό) / 12,00 N/mm <sup>2</sup> (γκρι)   |
| Αντοχή σε κάμψη<br>(EN 1015-11)  | 6,00 N/mm <sup>2</sup> (λευκό) / 5,00 N/mm <sup>2</sup> (γκρι)   |
| Συντελεστής διάχυσης υδρατμών (μ)<br>(EN 1015-19)  | 5/20   |
| Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ <sub>10,dry</sub><br>(EN 1745)                            | 0,45 W/mK (πίνακας A12 για P=50%)  |
| Πρόσφυση 28 ημερών σε σκυρόδεμα<br>(EN 1015-12 / μέθοδος ETAG 004)                             | ≥ 2,00 N/mm <sup>2</sup> - Απαιτήση ETAG 004: ≥ 0,25 N/mm <sup>2</sup>   |
| Πρόσφυση 28 ημερών σε EPS (χωρίς οπλισμό)<br>(μέθοδος ETAG 004)                                | ≥ 0,25 N/mm <sup>2</sup> (Θραύση EPS) - Απαιτήση ETAG 004: ≥ 0,08 N/mm <sup>2</sup>  |
| Πρόσφυση 28 ημερών σε MW<br>(με οπλισμό υαλοπλέγματος 160g/m <sup>2</sup> ) (μέθοδος ETAG 004) | ≥ 0,09 N/mm <sup>2</sup> (Θραύση MW) - Απαιτήση ETAG 004: ≥ 0,08 N/mm <sup>2</sup>   |
| Πρόσφυση 28 ημερών σε XPS (χωρίς οπλισμό)<br>(μέθοδος ETAG 004)                                | ≥ 0,30 N/mm <sup>2</sup> - Απαιτήση ETAG 004: ≥ 0,08 N/mm <sup>2</sup>   |
| Τριχοειδής απορρόφηση νερού<br>(EN 1015-18)  | ≤ 0,10 kg/m <sup>2</sup> ·min <sup>0,5</sup> (λευκό) / ≤ 0,20 kg/m <sup>2</sup> ·min <sup>0,5</sup> (γκρι)                         |
| Θερμοκρασιακή αντοχή   | -30°C έως +90°C  |

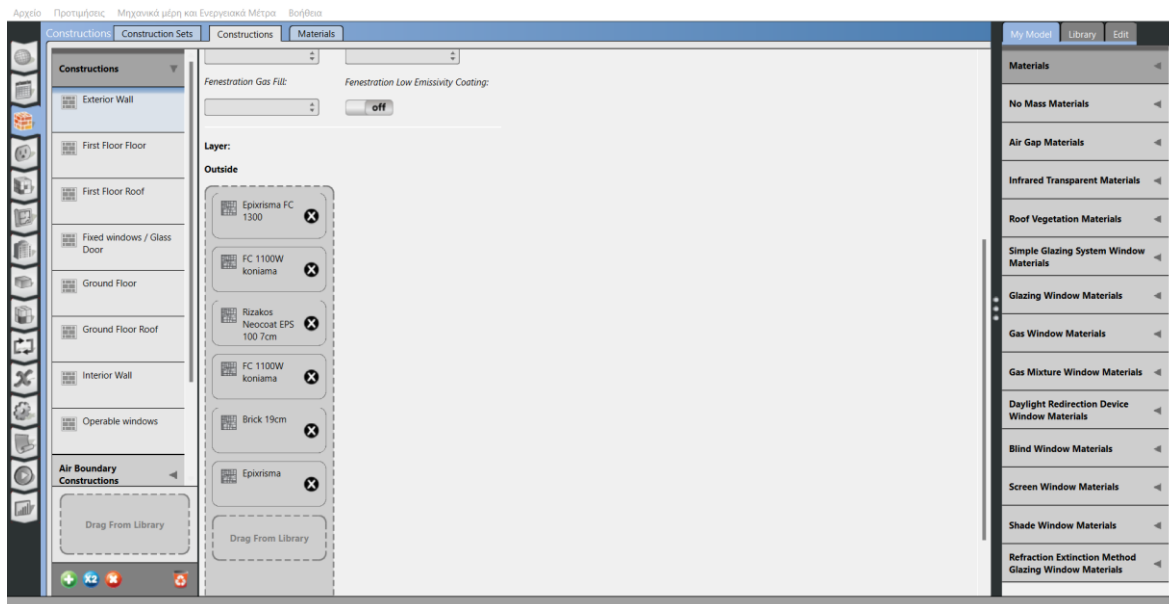
**Σημείωση:** Οι μετρήσεις έχουν γίνει σε εργαστηριακό περιβάλλον θερμοκρασίας +23°C, 50% Σ.Υ. και χωρίς αερισμό. Οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο εργοτάξιο (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός, απορροφητικότητα υποστρώματος) είναι πιθανό να επηρεάσουν τις ιδιότητες του υλικού.

Εικόνα 76 Τεχνικά χαρακτηριστικά σιλικονούχου σοβά (finomix.gr)

| 7. Δηλωθείσα επίδοση                                     |   | Πίνακας 1                            |                   |                       |                 |
|--|---|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| Ουσιαστές χαρακτηριστικά                                 | Επίδοση                                     | Σύμβολο                              | Δηλωθείσα Επίδοση | Εναρμονισμένο Πρότυπο | Πρότυπο Δοκιμής |
| Αντίσταση στη Φωτιά                                      | Αντίσταση στη Φωτιά                         | Euroclass                            | E                 | EN 13163              | EN 13501-1      |
| Θερμική Αντίσταση  | Θερμική Αντίσταση                           | R <sub>d</sub> [m <sup>2</sup> K/W]  | Πίνακας 2         | EN 13163              | EN 12667        |
|  | Θερμική Αγωγιμότητα                         | λ <sub>d</sub> [W/m K]               | 0,031             | EN 13163              | EN 12667        |
| Ανοχές Διαστάσεων  | Πάχος                                       | T                                    | ± 2               | EN 13163              | EN 823          |
|  | Μήκος                                       | L                                    | ± 3               | EN 13163              | EN 822          |
|  | Πλάτος                                      | W                                    | ± 3               | EN 13163              | EN 822          |
|  | Ορθογωνικότητα                              | S                                    | ± 5               | EN 13163              | EN 825          |
|  | Επιπεδότητα                                 | P                                    | ± 10              | EN 13163              | EN 824          |
| Διαστασιακή Σταθερότητα                                  | Συνθήκες Εργαστηρίου (23°C / 50% υγρ.)      | DS(N)                                | ≤ 2%              | EN 13163              | EN 1603         |
|  | Ειδικές Συνθήκες (70°C / 50% υγρ.)          | DS(70,-)I                            | ≤ 1%              | EN 13163              | EN 1604         |
|  | Αντοχή σε θλίψη στο 10% της παραμόρφωσης    | CS(10) [kPa]                         | ≥ 80              | EN 13163              | EN 826          |
| Μηχανικές ιδιότητες                                      | Αντοχή σε εφελκυσμό κάθετα των όψεων        | TR [kPa]                             | Δεν αξιολογείται  | EN 13163              | EN 1607         |
|  | Αντοχή σε κάμψη                             | BS [kPa]                             | ≥ 125             | EN 13163              | EN 12090        |
| Ανθεκτικότητα έναντι γήρανσης/υποβάθμισης                | Αντίσταση στη φωτιά                         |                                      | Δεν μεταβάλλεται  | EN 13163              | Δεν υφίσταται   |
|  | Θερμική Αγωγιμότητα                         |                                      | Δεν μεταβάλλεται  | EN 13163              | Δεν υφίσταται   |
| Απορρόφηση νερού   | Απορρόφηση με ολική εμβάπτιση για 28 ημέρες | WL(T) [vol.%]                        | Δεν αξιολογείται  | EN 13163              | EN 12087        |
|  | Απορρόφηση με μερική εμβάπτιση για 24 ώρες  | WL(P) [kg/m <sup>2</sup> ]           | Δεν αξιολογείται  | EN 13163              | EN 12088        |
| Αντίσταση διάχυση υδρατμών                               | Παράγοντας διάχυσης υδρατμών                | μ [1]                                | 20 - 40           | EN 13163              | EN 12086        |
|  | Διεισδυτικότητα υδρατμών                    | δ [mg/(Pa h m)]                      | 0,015 - 0,030     | EN 13163              | EN 12086        |
| Απελευθέρωση επικινδυνών ουσιών στο εσωτερικό περιβάλλον | Απελευθέρωση επικινδυνών ουσιών             |                                      | Δεν αξιολογείται  | EN 13163              | Δεν υφίσταται   |
| Δυναμική ακαμψία   |   | SD                                   | Δεν αξιολογείται  | EN 13163              | EN 29052-1      |
| Συμπίεσιμότητα   |   | CP                                   | Δεν αξιολογείται  | EN 13163              | EN 12431        |
| Διατμητική αντοχή  | Διατμητική αντοχή                           | f <sub>tk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | Δεν αξιολογείται  | ETAG 004              | EN 12090        |
|  | Διατμητικός παράγοντας                      | G <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]  | Δεν αξιολογείται  | ETAG 004              | EN 12090        |

Εικόνα 77 Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένης πολυστερίνης

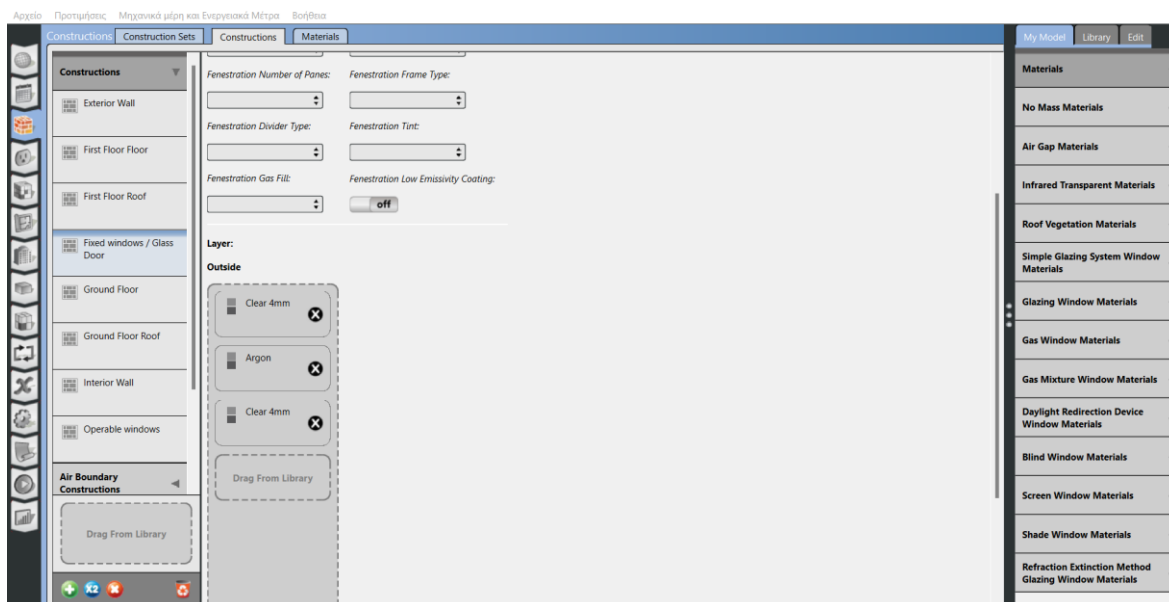
Για την εγκατάσταση των θερμομονωτικών πλακών απαιτείται βάσει οδηγιών κατασκευαστή 1.5 cm τσιμεντοειδές κονίαμα για την συγκόλληση και 1.5 cm τσιμεντοειδές κονίαμα για την επικάλυψη των πλακών καθώς και 1.5 cm σιλικονούχου επιχρίσματος. Μετά την δημιουργία των υλικών έγινε η δημιουργία της κατασκευής για την τοιχοποιία [εικόνα 78]



Εικόνα 78 Εισαγωγή συστήματος θερμοπρόσοψης στο Openstudio

- Υαλοπίνακες όψης

Για την όψη του κτηρίου προτείνεται η εγκατάσταση διπλών ενεργειακών υαλοπινάκων 4mm με κένο 16 mm με αργό, όποτε και δημιουργείται η απαραίτητη κατασκευή στο openstudio [εικόνα 79].

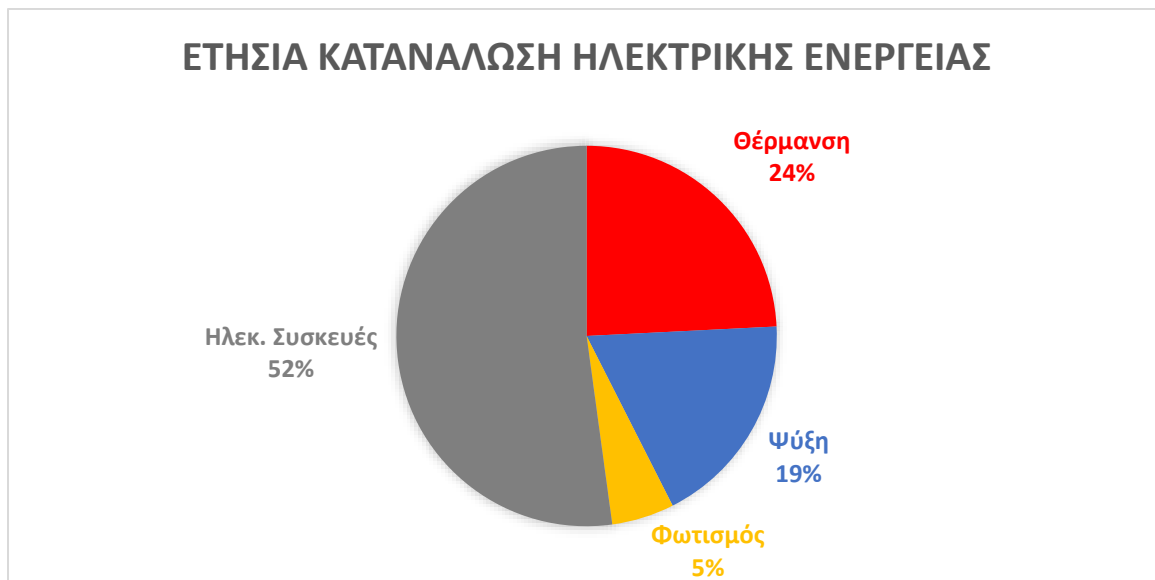


Εικόνα 79 Εισαγωγή συστήματος κουφωμάτων στο Openstudio



### 3.8.2. Αποτελέσματα Βέλτιστου σεναρίου

Στην συνέχεια, μετά την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων στο παραμετροποιημένο ενεργειακό μας μοντέλο, υπολογίστηκαν οι συνολικές καταναλώσεις για το βέλτιστο μοντέλο οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 80 Ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση βέλτιστου σεναρίου

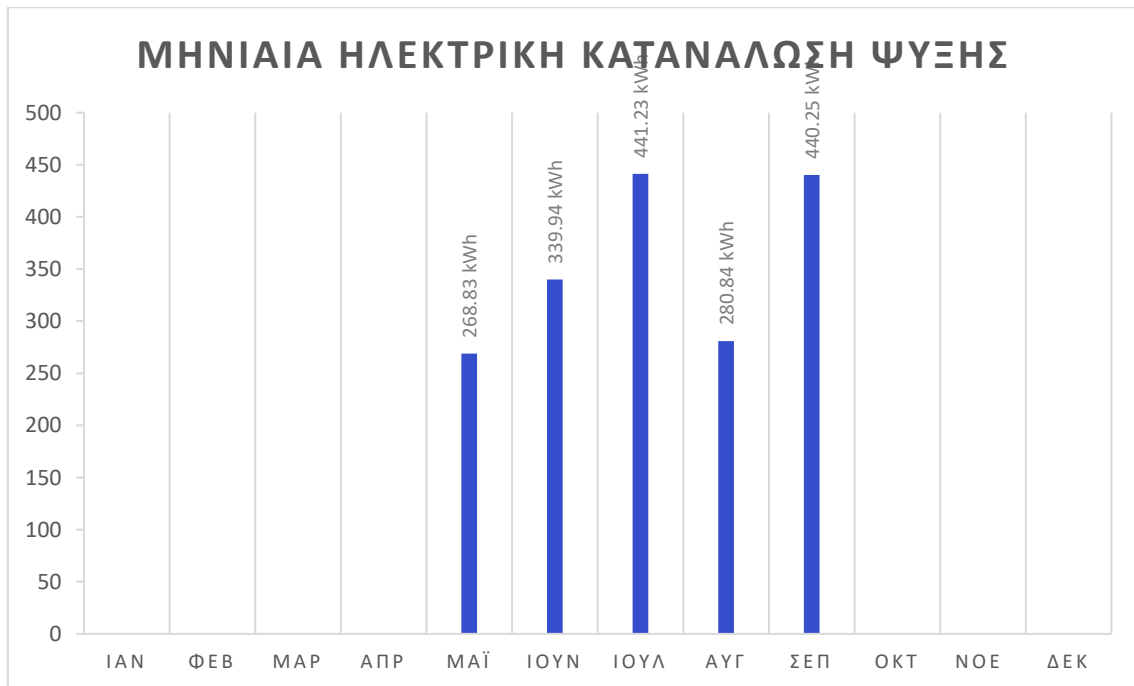
Σύμφωνα με την [εικόνα 80] στην οποία απεικονίζεται η ετήσια συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του σεναρίου πριν τις παρεμβάσεις παρατηρείται ότι:

Στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν αλλαγές στο διάγραμμα των συνολικών καταναλώσεων με την πρώτη θέση της συνολικής κατανάλωσης με ποσοστό 54% να κατέχουν οι ηλεκτρικές συσκευές, την δεύτερη η θέρμανση με 24%, το 19% να καταλαμβάνει η ψύξη ενώ ο φωτισμός καταλαμβάνει το μικρότερο ποσοστό με μόλις 5% της συνολικής κατανάλωσης. Η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του βέλτιστου κτηρίου υπολογίστηκε στις 9,666.43 kWh του ή 38.96 kWh/m<sup>2</sup>/year.



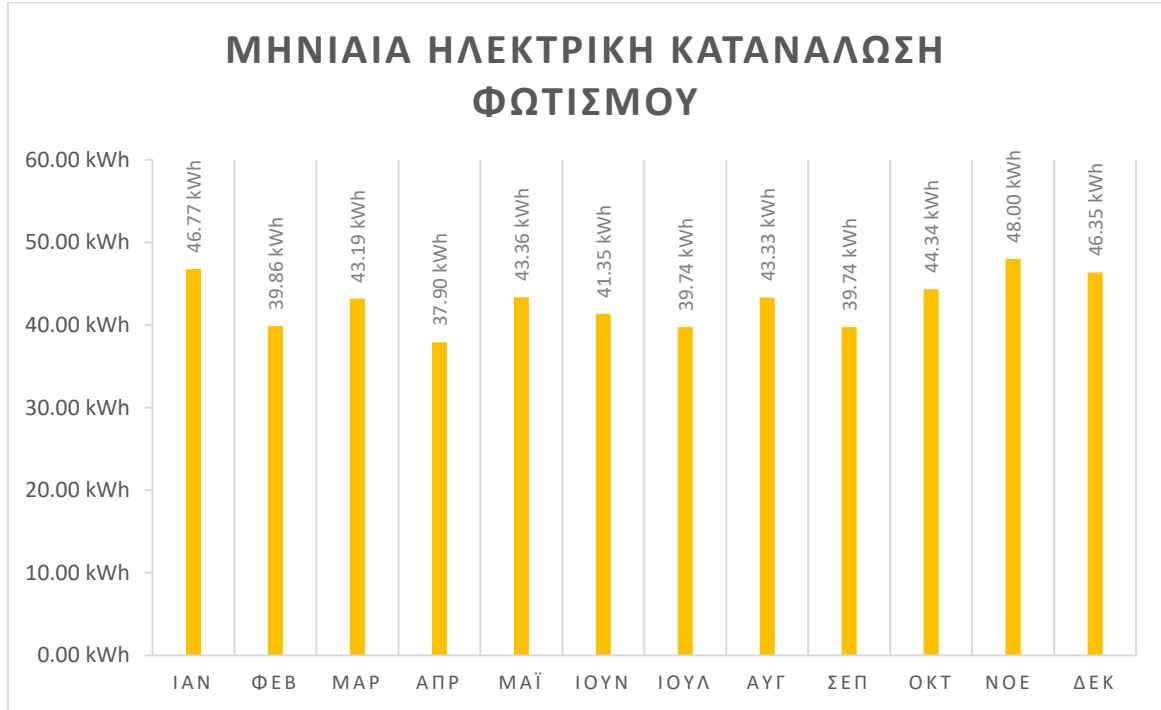
Εικόνα 81 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση θέρμανσης βέλτιστου σεναρίου

Η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για την θέρμανση μετά την εισαγωγή του προ υφιστάμενου συστήματος υπολογίστηκε σε 2,339.63 kWh ή 9.43 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 81], καταναλώνοντας 1,550.31 kWh λιγότερες λόγω της μείωσης των απωλειών από το κέλυφος και το δώμα του κτηρίου .



Εικόνα 82 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ψύξης βέλτιστου σεναρίου

Για την ψύξη η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση υπολογίστηκε σε 1,771.09 kWh ή 7.14 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 82], καταναλώνοντας 362.96 kWh λιγότερες λόγω της μείωσης των απωλειών από το κέλυφος και το δώμα του κτηρίου .



Εικόνα 83 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση φωτισμού βέλτιστου σεναρίου

Στον φωτισμό δεν παρατηρήθηκε κάποια αλλαγή με τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση να παραμένει σταθερή και να υπολογίζεται σε 513.93 kWh ή 2.07 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 83].



Εικόνα 84 Μηνιαία ηλεκτρική κατανάλωση ηλεκτρικών συσκευών βέλτιστου σεναρίου

Τέλος, στις ηλεκτρικές συσκευές που αποτελούν παραγωγικό εξοπλισμό της επιχείρησης δεν παρατηρήθηκε κάποια αλλαγή, και η ενεργειακή κατανάλωση τους ξια όλη την διάρκεια του έτους παρέμεινε στις 5,041.78 kWh ή 20.32 kWh/m<sup>2</sup>/year [εικόνα 84].

#### 4. Αποτελέσματα

Όπως παρατηρείται στο παραμετροποιημένο ενεργειακό μας μοντέλο τα αποτελέσματα συνάδουν σε μεγάλο βαθμό με εκείνα του πραγματικού κτηρίου με μια διαφορά των 218.5 kWh. Φυσικά, τυχόν αποκλίσεις προκύπτουν αν και η διαφορά όπως βλέπουμε είναι αμελητέα της τάξης του 1.89%.

Οι παράμετροι που μπορούν να δικαιολογήσουν διαφορές στο μοντέλο είναι ο φωτισμός, οι καιρικές συνθήκες, οι σκιάσεις, οι συσκευές στον χώρο, η τροποποίηση της θερμοκρασίας του χώρου από τον χρήστη.

Για το φωτισμό, η εισαγωγή αισθητηρίων φωτισμού στο ενεργειακό μοντέλο, δεν ήταν εφικτή για τους χώρους του ισογείου, πλην του χώρου της εισόδου λόγω δυσλειτουργίας του προγράμματος στους γειτνιάζοντες εσωτερικούς χώρους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μην είναι δυνατές οι αυξομειώσεις της φωτεινότητας του φωτισμού ανάλογα με την φωτεινότητα του χώρου. Άλλοι παράμετροι που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το μοντέλο μας αφορούν την μοντελοποίηση των συσκευών καθώς και απρόβλεπτων συσκευών που οι χρήστες μπορούν να χρειαστούν μέσα στη μέρα όπως φορτιστές κινητών, τάμπλετ, λάπτοπ κ.α.

Για την παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος παρότι δεν έχουμε τα δεδομένα ενός ολόκληρου ημερολογιακού έτους παρατηρούμε ότι υπάρχουν αποκλίσεις της τάξης του 12.05%, οι οποίες οφείλονται στον τρόπο μοντελοποίησης του προγράμματος Openstudio μιας και λαμβάνεται υπόψη μόνο η απόδοση του πλαισίου και όχι η απόδοση του αντιστροφέα. Παράλληλα, υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν το φωτοβολταϊκό σύστημα όπως, απώλειες λόγω θερμοκρασίας, τυχών σκιάσεις λόγω καλωδίων που διέρχονται άνωθεν του συστήματος και δεν είναι δυνατή η μοντελοποίηση τους. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί ότι η μειωμένη απόδοση μπορεί να προέκυψε και λόγω των καιρικών συνθηκών μιας και τις περισσότερες ημέρες του μήνα Μάϊου του έτους αναφοράς επικρατούσαν πυκνές νεφώσεις επηρεάζοντας την απόδοση. Για την ακριβέστερη μοντελοποίηση της παραγωγής του Φωτοβολταϊκού συστήματος θα προτεινόταν η χρήση κατάλληλου λογισμικού που λαμβάνει τις απαραίτητες παραμέτρους.

Στην μοντελοποίηση της αρχικής κατάσταση του κτηρίου παρατηρείται ότι μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής κατανάλωσης οφειλόταν στο φωτισμό με ποσοστό 25%, Ενώ η αντικατάσταση του με LED καθώς και αισθητήρες παρουσίας και διαχείρισης φωτεινότητας εξοικονόμησε 3,934.67 kWh. Παράλληλα με την αντικατάσταση του προ υπάρχοντος συστήματος με αντλία θερμότητας αέρα/νερού νεότερης τεχνολογίας είχαμε μία εξοικονόμηση 1,954.87 kWh. Η ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτεύχθηκε μετά τις παρεμβάσεις είναι 33.71% σε σχέση με την αρχική κατανάλωση.

Στην περίπτωση εγκατάστασης μόνωσης στο κτηριακό κέλυφος καθώς και την αντικατάσταση των κουφωμάτων θα μπορούσε να επιτευχθεί μία περαιτέρω εξοικονόμηση 16.52% ενώ το φωτοβολταϊκό σύστημα που θα απαιτούνταν θα ήταν 11% μικρότερο από το υπάρχων. Αυτή λύση θα ήταν η βέλτιστη αλλά λόγω του υπέρογκου κόστους καθώς και τους συνήθη του ιδιοκτησιακού καθεστώτος είναι ανέφικτη.

Η εξοικονόμηση ρύπων CO<sub>2</sub> μετά τις παρεμβάσεις που υλοποιήθηκαν σε σχέση με τους ρύπους του αρχικού κτηρίου υπολογίστηκαν βάσει του πίνακα 1.2 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [εικόνα 85].

| Πηγή ενέργειας                                       | Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια | Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (kgCO <sub>2</sub> /kWh) |
|--|--|--|
| Φυσικό αέριο   | 1,05   | 0,196  |
| Πετρέλαιο θέρμανσης                                  | 1,10   | 0,264  |
| Ηλεκτρική ενέργεια                                   | 2,9  | 0,989  |
| Υγραέριο   | 1,05   | 0,238  |
| Βιομάζα  | 1,00   | ---  |
| Τηλεθέρμανση από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής | 0,7  | 0,347  |
| Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ                                 | 0,5  | ---  |

Εικόνα 85 Συντελεστής μετατροπής της τελικής κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια (άρθρο 5 ΚΕΝΑΚ)(ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2017)

Το κτήριο μας καταναλώνει μόνο ηλεκτρική ενέργεια ως εκ' τούτου οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για το αρχικό κτήριο υπολογίστηκαν στους 17.28 tonnes CO<sub>2</sub>/year.

Λόγω των παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης, το κτήριο εξοικονόμησε 5.83 tonnes CO<sub>2</sub>/year, ενώ η τελική εκπομπή ρύπων CO<sub>2</sub> του κτηρίου υπολογίστηκε στα 279.37 kg CO<sub>2</sub>/year λόγω της κάλυψης του μεγαλύτερου ποσοστού των φορτίων από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Με το φωτοβολταϊκό σύστημα και τις παρεμβάσεις οι τελικές εκπομπές του κτηρίου μειώθηκαν κατά 17.00 tonnes CO<sub>2</sub>/year. Τέλος, με την υλοποίηση των παρεμβάσεων την μόνωσης του κελύφους το κτήριο θα έπιανε του στόχους των ZEB αφού η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος θα υπερκάλυπτε τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου έχοντας έτσι μηδενικές εκπομπές.

## 5. Συμπεράσματα

Το μεγαλύτερο μέρος του κτιριακού αποθέματος της χώρας μας αφορά κτήρια κατασκευασμένα τις δεκαετίες 1970 1980. Τα κτήρια αυτά ως επί το πλείστο δεν διαθέτουν θερμομόνωση ή διαθέτουν ανεπαρκή. Για να επιτύχει ένα κτήριο το πρότυπο του NZEB απαιτείται η εγκατάσταση συστημάτων θερμομόνωσης, η οποία σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι η πρώτη τακτική που θα ακολουθηθεί ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες του κτηρίου και να επιτευχθεί η επιθυμητή ενεργειακή αναβάθμιση. Στην πραγματικότητα όμως, μεγάλο πρόβλημα συναντάται σε κτήρια πολλών συνιδιοκτητών (πολυκατοικίες, συμπλέγματα κτηρίων) καθώς και σε ενοικιαζόμενα κτήρια που επιθυμούν να αναβαθμίσουν ενεργειακά το κέλυφος του κτηρίου τους. Στα ενοικιαζόμενα, ο ενοικιαστής δεν έχει την δυνατότητα να επιβάλλει στον ιδιοκτήτη την ενεργειακή αναβάθμιση του ακινήτου, ενώ παράλληλα για τον ίδιο δεν είναι οικονομικά συμφέρον να επενδύσει σε εργασίες αναβάθμιση που θα παραμείνουν στον ακίνητο μετά το πέρας λήξης του συμβολαίου του ή σε περίπτωση διένεξης με τον ιδιοκτήτη. Για την περίπτωση κτηρίων με πολλούς ιδιοκτήτες το πρόβλημα διογκώνεται, μιας και βάση πολεοδομικού κανονισμού απαιτείται σύμφωνη γνώμη του συνόλου των συνιδιοκτητών για την εκπόνηση οποιασδήποτε εργασίας σε κοινόχρηστο χώρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πληθώρα κτηρίων να παραμένουν ενεργειακά κοστοβόρα λόγω της δυσμενούς αυτής κατάστασης. Το 2022 η Ενεργειακή κρίση έφερε σε αδιέξοδο μεγάλο αριθμό επιχειρήσεων αφού λόγω της αύξησης του κόστους ρεύματος τα πάγια έξοδα αυξήθηκαν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής ένδειας. Ένα τρόπος, ο οποίος θα μπορούσε να προταθεί για τα ενοικιαζόμενα κτήρια και τις επιχειρήσεις είναι η αναβάθμιση του κτηρίου από την ηλεκτρομηχανολογική σκοπιά. Αυτή η αναβάθμιση θα αφορά την αντικατάσταση παλαιών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και του φωτισμού με νέες ενεργειακά πιο αποδοτικές τεχνολογίες (smart φωτιστικά, αντλίες θερμότητας), την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και την χρήση συστημάτων ελέγχου φορτίων κτηρίου. Τα οφέλη όμως μία τέτοιας λύσης είναι πολλαπλά, αφού θα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε έναν μεγάλο βαθμό λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας από την μη χρήση ενεργειακά κοστοβόρων συστημάτων. Παράλληλα, θα μπορούσε να επιτευχθεί μια επιμέρους μείωση της κατανάλωσης μέσω παραμετροποίησης των φορτίων του κτηρίου, ενώ με την συνεισφορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων η απαιτούμενη καταναλισκόμενη ενέργεια θα παραγόταν στο κτήριο από ΑΠΕ συμβάλλοντας έτσι στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Ακόμη, τέτοιες λύσεις θα ωφελήσουν κυρίως του ενοικιαστές, αφού με σωστή προμελέτη ο εκάστοτε ενοικιαστής θα μπορεί να μετεγκαταστήσει τα συστήματα του σε νέα τοποθεσία μετά το πέρας της μίσθωσης. Ακόμη, μεγάλο μέρος αυτών την εργασιών διενεργείται δίχως την απαίτηση συνθέτης αδειοδότησης και την σύμφωνη γνώμη των συνιδιοκτητών. Επιπρόσθετα, μια τροποποίηση του αδειοδοτικού πλαισίου κάνοντάς τις αδειοδοτήσεις απλούστερες και πιο ελαστικό σε ότι αφορά παρεμβάσεις εξοικονόμησης θα μπορούσε να έχει πολλαπλά οφέλη εξοικονόμησης σε κτήρια πολλών ιδιοκτησιών. Τέλος, ο συνδυασμός σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης/ψύξης & αερισμού, φωτισμού LED, φωτοβολταϊκού συστήματος και συστήματος παρακολούθησης κτηρίου προτείνεται αφού μπορούν να επιτευχθούν μεγάλα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας. Ακόμα, υπάρχει περαιτέρω δυνατότητα για έρευνα στους τρόπους εξοικονόμησης και βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας, αφού με την βοήθεια των δεδομένων από το σύστημα παρακολούθηση κτηρίου, μπορούν να μελετηθούν οι συνήθειες και οι δραστηριότητες των χρηστών και να τροποποιηθούν οι λειτουργίες των συστημάτων βάσει αυτών.

## 6. Βιβλιογραφία

- Attia, S., Eleftheriou, P., Xeni, F., Morlot, R., Ménézo, C., Kostopoulos, V., Betsi, M., Kalaitzoglou, I., Pagliano, L., Cellura, M., Almeida, M., Ferreira, M., Baracu, T., Badescu, V., Crutescu, R., & Hidalgo-Betanzos, J. M. (2017). Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 155, 439–458. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.09.043>
- Average wholesale price and monthly non-weather-related reduction in electricity demand in the European Union, 2022 – Charts – Data & Statistics - IEA.* (2023). <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-wholesale-price-and-monthly-non-weather-related-reduction-in-electricity-demand-in-the-european-union-2022>
- China energy crisis: Beijing not likely to lift coal ban on Australia.* (2021). <https://www.cnn.com/2021/10/26/china-energy-crisis-beijing-not-likely-to-lift-coal-ban-on-australia.html>
- Climate change.* (2023). [https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change\\_en](https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_en)
- Climate change impacts in Europe.* (2020). <https://discomap.eea.europa.eu/climate/>
- D'Agostino, D., Tzeiranaki, S. T., Zangheri, P., & Bertoldi, P. (2021). Assessing Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) development in Europe. *Energy Strategy Reviews*, 36, 100680. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2021.100680>
- Electricity price statistics - Statistics Explained.* (2023). [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics#Electricity\\_prices\\_for\\_non-household\\_consumers](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_non-household_consumers)
- Energy statistics - an overview - Statistics Explained.* (2021). [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_statistics\\_-\\_an\\_overview#Final\\_energy\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption)
- Energy statistics - an overview - Statistics Explained.* (2023, May). [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_statistics\\_-\\_an\\_overview#Final\\_energy\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption)
- EUR-Lex - 02010L0031-20181224 - EN - EUR-Lex.* (2010, May). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02010L0031-20181224>
- European Climate Law.* (2021). [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en)
- Gärtner, J. A., Massa Gray, F., & Auer, T. (2020). Assessment of the impact of HVAC system configuration and control zoning on thermal comfort and energy efficiency in flexible office spaces. *Energy and Buildings*, 212, 109785. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.109785>
- Greenhouse gas emission statistics - air emissions accounts - Statistics Explained.* (2021). <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/>



- explained/index.php?title=Greenhouse\_gas\_emission\_statistics\_-\_air\_emissions\_accounts#Greenhouse\_gas\_emissions
- Kyritsis, A., Mathas, E., Antonucci, D., Grottke, & Tselepis, S. (2016). Energy improvement of office buildings in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 123, 17–33. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.04.032>
- Low probabilities, large consequences - PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*. (2021). <https://themasites.pbl.nl/o/flood-risks/>
- Mavrigiannaki, A., Gobakis, K., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., Pisello, A. L., Piselli, C., Laskari, M., Saliari, M., Assimakopoulos, M.-N., Pignatta, G., Synnefa, A., & Santamouris, M. (2021). Zero energy concept at neighborhood level: A case study analysis. *Solar Energy Advances*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/J.SEJA.2021.100002>
- Michelakis Andreas. (2023). *Michelakis\_Andreas\_Dip\_2023.pdf - Ιδρυματικό Αποθετήριο*. <https://dias.library.tuc.gr/view/96222>
- Nearly zero-energy buildings*. (2021a). [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en)
- Nearly zero-energy buildings*. (2021b, December). [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings\\_el](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_el)
- Pallis, P., Braimakis, K., Roumpedakis, T. C., Varvagiannis, E., Karellas, S., Doulos, L., Katsaros, M., & Vourliotis, P. (2021). Energy and economic performance assessment of efficiency measures in zero-energy office buildings in Greece. *Building and Environment*, 206, 108378. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108378>
- Petidis, I., Arybli, M., Daras, T., & Tsoutsos, T. (2018). Energy saving and thermal comfort interventions based on occupants' needs: A students' residence building case. *Energy and Buildings*, 174, 347–364. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.05.057>
- Souda climate: Average Temperature, weather by month, Souda water temperature - Climate-Data.org*. (2021). <https://en.climate-data.org/europe/greece/souda/souda-54515/>
- Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA*. (2023). <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#commercial-and-residential>
- Tsilikas Ioannis. (2019). *Απεξάρτηση κτηρίων οικιακής χρήσης από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα - Ιδρυματικό Αποθετήριο*. <https://dias.library.tuc.gr/view/83588>
- U.S. energy facts explained - consumption and production - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. (2022). <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>

*Use of energy explained-Energy use in commercial buildings.* (2018, September). <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/commercial-buildings-in-depth.php>

*Use of energy in commercial buildings in depth - U.S. Energy Information Administration (EIA).* (2018). <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/commercial-buildings-in-depth.php>

*World electricity final consumption by sector, 2018 – Charts – Data & Statistics - IEA.* (2020). <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-final-consumption-by-sector-2018>

*Απογραφή Κτιρίων 2011 - ELSTAT.* (n.d.). Retrieved 26 June 2023, from <https://www.statistics.gr/census-buildings-2011>

*Ενέργεια-Στατιστικά στοιχεία -.* (2021). <https://ypen.gov.gr/energeia/statistika-stoicheia/>

*Κείμενα που εγκρίθηκαν - Ενεργειακή απόδοση κτιρίων (αναδιατύπωση) - Τρίτη 14 Μαρτίου 2023.* (2023, March 14). [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0068\\_EL.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0068_EL.html)

*ΝΟΜΟΣ 4122/2013 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 42/19.02.2013.* (2013). <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/70937/nomos-4122-2013>

*Νόμος 4936/2022 , κωδικοποιημένος με τον 4986/2022 ΦΕΚ Α 105/27.5.2022.* (2022, May 27). ΦΕΚ Α' 105/. <https://www.taxheaven.gr/law/4936/2022>

*Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.* (2023). [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_el](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_el)

*ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ.* (2017). *Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017* (1η).