

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ-
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ
ΑΕΜ: 638**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α. ΤΟΥΡΛΙΔΑΚΗΣ**

ΚΟΖΑΝΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η προσομοίωση ενός υπαρκτού κτιρίου, και η μελέτη των θερμικών και ψυκτικών του φορτίων όπως και οι ανάγκες αερισμού. Στο τέλος αυτής της μελέτης γίνεται μια προσπάθεια διαστασιολόγησης ενός συστήματος κλιματισμού ικανό να καλύψει τις υπολογισθείσες ανάγκες.

Αρχικά περιγράφεται με συνοπτικό τρόπο η γενική θεωρία που καλύπτει τους υπολογισμούς των θερμικών και ψυκτικών φορτίων στα κτίρια.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης και την πραγματοποίηση της προσομοίωσης.

Σε επόμενη ενότητα, περιγράφεται το κτίριο από κάθε άποψη προκειμένου να κατασκευαστεί το μοντέλο προσομοίωσης. Γίνεται χωροθέτηση του κτιρίου και παρουσιάζεται το εξωτερικό του περιβάλλον, και εν συνεχεία περιγράφονται οι εσωτερικοί του χώροι. Καταγράφονται και μοντελοποιούνται τα υλικά και τα δομικά στοιχεία που αποτελούν το κτιριακό του κέλυφος. Περιγράφονται τα στοιχεία που συνθέτουν και αποτελούν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη του κτιρίου, όπως η ανθρώπινη παρουσία στους χώρους, ο φωτισμός, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και το είδος χρήσης των χώρων. Παρουσιάζεται η διαδικασία διαμόρφωσης των πραγματικών δεδομένων ώστε αυτά να αποτελέσουν στοιχεία εισόδου για τη δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης.

Τέλος, παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν, η πρώτη για τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων καθώς και των φορτίων αερισμού, και η δεύτερη για να προσδιοριστεί το μέγεθος ενός συστήματος κλιματισμού που θα επαρκούσε να καλύψει τις ανάγκες του κτιρίου.

Ευχαριστίες

Στο τελείωμα της διαδικασίας μελέτης και εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρώην αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΠΔΜ κ. Μπούρη Δημήτριο, ο οποίος με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την δυνατότητα να εκπονήσω το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του, στο ξεκίνημα της εργασίας μου και την από απόσταση, βοήθειά του αργότερα.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Ορδουμποζάνη Κωνσταντίνο, Μηχανολόγο Μηχανικό και υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος, ο οποίος μου έδωσε απλόχερα βοήθεια και πρακτικές συμβουλές όποτε τα ζήτησα.

Τέλος, να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τμήματος κ. Τουρλιδάκη Αντώνιο, ο οποίος υπό πιεσμένες χρονικές συγκυρίες δέχθηκε να επιβλέψει την εργασία μου και να με συμβουλευσει.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	6
1.1 Σκοπός εργασίας	6
1.2 Ανασκόπηση	6
Κεφάλαιο 2: Θεωρία υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών φορτίων	8
2.1 Μετάδοση θερμότητας στα κτίρια	8
2.2 Ηλιακή ακτινοβολία	10
2.2.1 Θερμική ακτινοβολία	10
2.2.2 Θέση ηλίου στον ουρανό	11
2.2.3 Ηλιακή προσπίπτουσα ακτινοβολία	13
2.3 Θερμικό κέρδος	13
2.4 Θερμικό φορτίο	14
2.5 Ψυκτικό φορτίο	15
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή λογισμικού προσομοίωσης	18
3.1 Σχεδιαστικό πρόγραμμα Google SketchUp	18
3.1.1 Γενικά	18
3.1.2 Δημιουργία προσομοιωτικού μοντέλου με χρήση του εργαλείου OpenStudio	19
3.2 Πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων EnergyPlus	19
3.2.1 Γενικά	20
3.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά προγράμματος	20
3.2.3 Προσομοίωση στο EnergyPlus	21
Κεφάλαιο 4: Δεδομένα για την ενεργειακή προσομοίωση	24
4.1 Χωροθέτηση και περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου	24
4.2 Χαρακτηριστικά αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου	28
4.3 Χρήση και λειτουργία του κτιρίου	35
4.4 Ορισμός θερμικών ζωνών για την προσομοίωση του κτιρίου	38
4.5 Σκιασμός του κτιρίου	41
4.6 Γενικές παραδοχές για την προσομοίωση του κτιρίου	43
4.7 Κλιματικά δεδομένα	44
4.8 Θερμική μελέτη	46
4.8.1 Συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικών χώρων	46
4.8.2 Συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος	47
4.8.3 Υπολογισμός αερισμού, θερμικών και ψυκτικών φορτίων	48

4.9 Υπολογισμό συστήματος κλιματισμού	49
4.9.1 Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα-All air systems	49
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης	51
5.1 Αποτελέσματα μελέτης υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών φορτίων κτιρίου	51
5.1.1 Αποτελέσματα θερμικών κερδών	51
5.1.2 Αποτελέσματα θερμικών και ψυκτικών φορτίων	62
5.1.3 Αποτελέσματα υπολογισμού αναγκών σε αερισμό	83
5.2 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης συστήματος κλιματισμού	87
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	89
Βιβλιογραφία	90

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να χρησιμοποιηθεί ένα αξιόπιστο λογισμικό προσομοίωσης κτιρίων στην εφαρμογή ενός ιδιαίτερου κτιρίου, για την υπολογισμό των αναγκών του σε θέρμανση, ψύξη και αερισμό.

Το λογισμικό προσομοίωσης το οποίο επιλέχθηκε, πλεονεκτεί έναντι άλλων, λόγω της δυνατότητάς του για πλήρη και λεπτομερή περιγραφή όλων των μεταβλητών που επηρεάζουν τον υπολογισμό φορτίων, της ευελιξίας του ως προς τις μεθόδους υπολογισμού που διαθέτει και της αξιοπιστίας του στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, όλων των παραπάνω αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα το οποίο εξελίσσεται συνεχώς προκειμένου να συμπεριλάβει περισσότερα ενεργειακά συστήματα.

Το κτίριο του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση κτιρίου. Παρ' ότι χρησιμοποιείται ως κτίριο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά διαφέρουν από τα τυπικά χαρακτηριστικά των κτιρίων της ίδιας χρήσης. Παρουσιάζει την αναμενόμενη ποικιλία στη χρήση των εσωτερικών χώρων, η οποία σε συνδυασμό με το συνεχώς εναλλασσόμενο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας του, το καθιστούν μια ενδιαφέρουσα περίπτωση προσομοίωσης.

1.2 Ανασκόπηση

Η συγκεκριμένη εργασία περιλαμβάνει 6 κεφάλαια. Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη εισαγωγή στους σκοπούς και το αντικείμενο της εργασίας, με στόχο να δοθεί μια αιτιολόγηση της επιλογής του θέματός της. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο βασικά στοιχεία από την ιδιαίτερα μεγάλη και πλούσια θεωρία που διέπει την μεταφορά θερμότητας στα κτίρια, ενώ δίνονται και οι γενικές αρχές υπολογισμού των φορτίων θέρμανσης στα κτίρια. Όσον αφορά τα ψυκτικά φορτία, γίνεται μια επισκόπηση της μεθοδολογίας υπολογισμού η οποία χρησιμοποιήθηκε από το EnergyPlus. Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, το Google SketchUp για την δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου, η χρήση του OpenStudio μέσα από το Google SketchUp για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης του κτιρίου και το EnergyPlus, για καθ' αυτή προσομοίωση και υπολογισμό των φορτίων. Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται αναλυτικά η συλλογή δεδομένων που απαιτούνται για την προσομοίωση. Γίνεται παρουσίαση αυτών με τον τρόπο που χρησιμοποιήθηκαν σαν

δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Περιγράφεται το κτίριο συνολικά, από το εξωτερικό κτιριακό του περιβάλλον, το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται και τις φυσικές ιδιότητες του κτιριακού του κελύφους, μέχρι τον κάθε εσωτερικό χώρο, τη χρήση του, την ωριαία λειτουργία, τους ανθρώπους και τα θερμικά κέρδη. Ακόμη, γίνεται επιλογή των συνθηκών που θα εφαρμοστούν βάσει κανονισμών για τον υπολογισμό των φορτίων αλλά και περιγραφή του συστήματος κλιματισμού το οποίο χρησιμοποιήθηκε. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και γίνεται σχολιασμός τους, με σκοπό να αιτιολογηθεί αν οι τιμές που προκύπτουν είναι αναμενόμενες. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε.

Κεφάλαιο 2: Θεωρία υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών φορτίων

2.1 Μετάδοση θερμότητας στα κτίρια

Ο επιτυχημένος σχεδιασμός ενός συστήματος κλιματισμού εξαρτάται από μια καλή εκτίμηση του κέρδους ή της απώλειας σε ένα χώρο που κλιματίζεται. Ο υπολογισμός της μετάδοσης θερμότητας σε ένα κτίριο είναι μια χρονοβόρα εργασία και δύσκολα επιτυγχάνεται ακρίβεια στα αποτελέσματα. Συνήθως, και για λόγους απλοποίησης, χρησιμοποιούνται εμπειρικές πινακοποιημένες τιμές για μια πληθώρα συντελεστών και ιδιοτήτων που περιγράφουν τις διάφορες καταστάσεις και φαινόμενα που συμβαίνουν σε ένα κτίριο κατά της μεταφορά θερμότητας από και προς αυτό.

Γενικά, η θερμότητα στα κτίρια μεταφέρεται με τρεις τρόπους: αγωγιμότητα, συναγωγή και θερμική ακτινοβολία ενώ και οι τρεις συνεισφέρουν σημαντικά στην εκτίμηση του θερμικού κέρδους ή της θερμικής απώλειας. Συνήθως, πραγματοποιούνται και οι τρεις ταυτόχρονα.

Θερμική αγωγή, είναι ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα στα μέρη ενός συνεχούς και ομογενούς μέσου εξαιτίας της μεταφοράς ενέργειας ανάμεσα στα μόρια ή τις ομάδες μορίων σε ατομικό επίπεδο. Περιγράφεται από την εξίσωση Fourier, σε μόνιμη κατάσταση και σε μια διάσταση [1]:

$$\dot{q} = -kA \frac{dt}{dx}$$

Όπου,

\dot{q} , είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, (W)

k , είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, (W/m°C)

A , είναι η κάθετη στη ροή θερμότητας επιφάνεια, (m²)

$\frac{dt}{dx}$, είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας ανά μονάδα μήκους, (°C/m)

Συνήθως, στην περιγραφή της μετάδοσης θερμότητας με αγωγή χρησιμοποιείται η έννοια της θερμικής αντίστασης, ή οποία είναι ένα ηλεκτρικό ανάλογο, το οποίο πολύ εύκολα περιγράφει την μετάδοση θερμότητας μεταξύ των στρωμάτων ενός υλικού του δομικού στοιχείου. Ισχύει [1]:

$$R = \frac{\Delta x}{kA}$$

Όπου,

R , είναι η θερμική αντίσταση, ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

Δx , είναι η μεταβολή στη μονάδα μήκους, (m)

Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, περιγράφεται ως ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας και του γειτονικού υγρού ή αερίου που βρίσκεται σε κίνηση, και περιλαμβάνει τη συνδυασμένη επίδραση της αγωγής και της κίνησης του ρευστού. Είναι πιο πολύπλοκος τρόπος μεταφοράς θερμότητας και εξαρτάται από μια σειρά χαρακτηριστικών της ροής του ρευστού αλλά και της επιφάνειας. Η συναγωγή εμφανίζεται με δύο τρόπους, εξαναγκασμένη και ελεύθερη ή φυσική. Η διαφορά τους έγκειται στο αν υπάρχει κίνηση του ρευστού που συμβαίνει από κάποιον μηχανισμό, π.χ. ανεμιστήρας, ή συμβαίνει με φυσικό τρόπο [2]. Η παρακάτω εξίσωση περιγράφει την μετάδοση θερμότητας με αυτόν τον τρόπο:

$$\dot{q} = hA(t - t_w)$$

Όπου,

h , είναι ο συντελεστής συναγωγής, ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

t , είναι η θερμοκρασία του όγκου του υγρού, ($^{\circ}\text{C}$)

t_w , είναι η θερμοκρασία του τοίχου ή της επιφάνειας, ($^{\circ}\text{C}$)

Με όμοιο τρόπο ορίζεται και η θερμική αντίσταση για τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στην περιγραφή φαινομένων μεταφοράς στα κτίρια. Η εξαναγκασμένη συναγωγή στα κτίρια, συμβαίνει κατά μήκος των εξωτερικών τοίχων ή των οροφών, ενώ η ελεύθερη συναγωγή συμβαίνει στους εσωτερικούς περιορισμένους χώρους αέρα και στους ενδότερους τοίχους [1].

Τέλος, η θερμική ακτινοβολία είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και αποτελεί τη μορφή ενέργειας που εκπέμπουν τα σώματα λόγω της θερμοκρασίας τους [2]. Η άμεση μεταφορά ενέργειας μεταξύ δύο επιφανειών που βλέπουν μόνο η μία την άλλη και δεν παρεμβάλλεται ανάμεσά τους απορροφητικό μέσο, περιγράφεται ως [1]:

$$q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2}}$$

Όπου,

σ , είναι η σταθερά Boltzmann 5.673×10^{-8} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

T , είναι η απόλυτη θερμοκρασία, (K)

ε , είναι ο παράγοντας εκπομπής κάθε επιφάνειας

A , είναι η περιοχή της επιφάνειας, (m^2)

F , είναι ο παράγοντας γεωμετρικής διαμόρφωσης της επιφάνειας

Η έννοια της θερμικής αντίστασης εφαρμόζεται και στην θερμική ακτινοβολία, ωστόσο λόγω της τέταρτης δύναμης στη διαφορά θερμοκρασίας είναι δύσκολος ο υπολογισμός της. Πρακτικά, στους υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας στα κτίρια, χρησιμοποιείται η θερμική αντίσταση σαν συνδυασμένος συντελεστής των τριών τρόπων μεταφοράς θερμότητας.

2.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει σημαντική επίδραση στο θερμικό κέρδος και στις θερμικές απώλειες ενός κτιρίου. Η επίδραση αυτή, εξαρτάται από τη θέση του ήλιου στον ουρανό, την καθαρότητα της ατμόσφαιρας και την φύση και τον προσανατολισμό του κτιρίου.

2.2.1 Θερμική ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπου συνυπάρχουν ακτινοβολίες διαφόρων μηκών κύματος. Το μεγαλύτερο μέρος του υπέρυθρου φάσματος, ολόκληρο το ορατό και μέρος του υπεριώδους φάσματος φωτός, αποτελούν τη θερμική ηλιακή ακτινοβολία, με μήκος κύματος από $0,1 \times 10^{-6}$ m έως περίπου 100×10^{-6} m, η οποία παράγει θέρμανση.

Η θερμική ακτινοβολία η οποία προσπίπτει επάνω σε μία επιφάνεια υπόκειται σε τρεις επιδράσεις, την απορρόφηση την ανάκλαση και την μετάδοση. Η απορρόφηση, θα μετατρέψει την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια που θα αποθηκευτεί στα μόρια του υλικού. Η ανάκλαση, θα εκπέμψει την ακτινοβολία από την επιφάνεια χωρίς να αλλάξει τη συχνότητά της, σχήμα 2.1. Ενώ, η μετάδοση ενός διαφανούς υλικού θα επιτρέψει στο υλικό την διέλευση της ακτινοβολίας μέσω αυτού χωρίς αλλαγή συχνότητας [3]. Ισχύει:

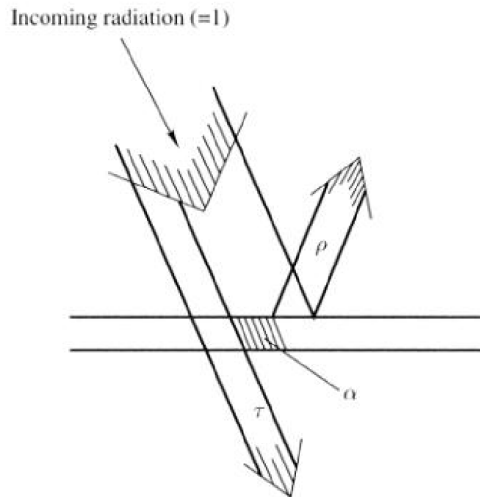
$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Όπου,

α , είναι το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται

ρ , είναι το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που ανακλάται

τ , είναι το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που μεταδίδεται μέσω του υλικού σώματος.

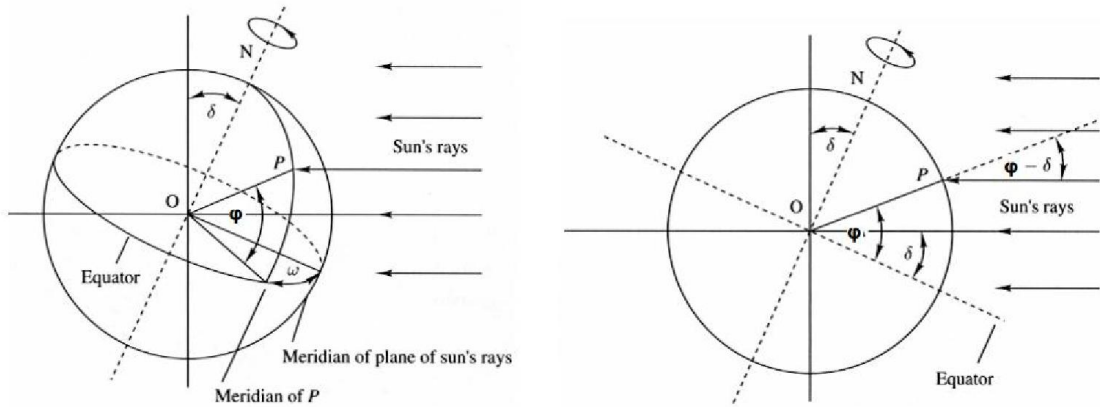


Σχήμα 2.1: Σχηματική περιγραφή της επίδρασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε επιφάνεια [3].

2.2.2 Θέση ηλίου στον ουρανό

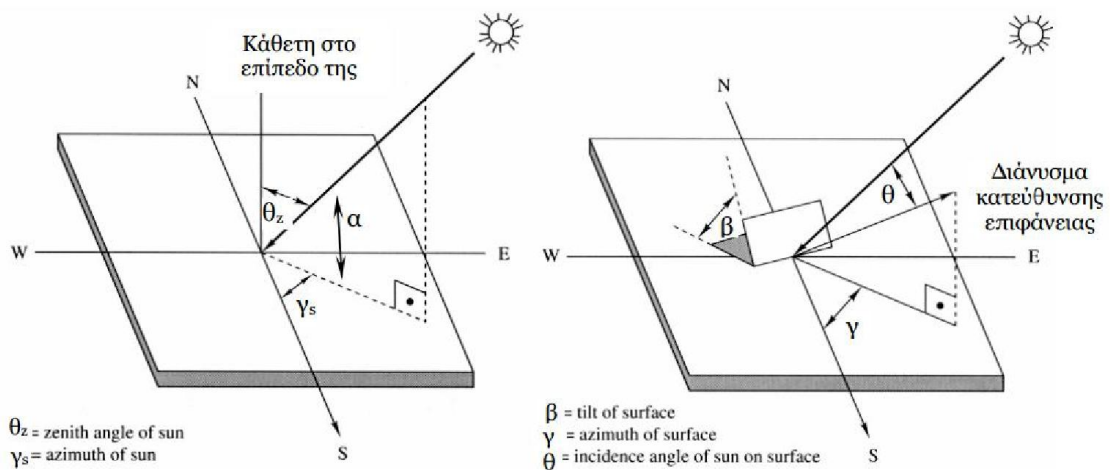
Ο κύριος παράγοντας που επιδρά στην ηλιακή ενέργεια στα κτίρια είναι η θέση του ηλίου στον ουρανό. Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο, ταυτόχρονα με την ιδιοπεριστροφή της και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται οι εναλλαγές εποχών αλλά και η ύπαρξη των ημερών και του χρόνου. Η κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων μπορεί να περιγραφεί με χρήση των βασικών παραμέτρων: τοποθεσία επάνω στη γη, ώρα της ημέρας και ημέρα του έτους.

Η τοποθεσία επάνω στη γη καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 2.2 ως η γωνία που σχηματίζει η προβολή της OP , η θέση του σημείου επάνω στη γη, στο ισημερινό επίπεδο με την OP . Η ωρική γωνία ω , είναι η γωνία μεταξύ της προβολής του P στο ισημερινό επίπεδο και της προβολής στο επίπεδο αυτό μια γραμμής από το κέντρο του ηλίου προς το κέντρο της γης. Δεκαπέντε μοίρες ωρικής γωνίας ορίζουν σε χρόνο μία ώρα. Η απόκλιση του ηλίου φ , ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της γραμμής που ενώνει τα κέντρα ήλιου και γης, και της προβολής της γραμμής αυτής επάνω στο ισημερινό επίπεδο ενώ είναι διαφορετική για κάθε ημέρα του έτους.



Σχήμα 2.2: Γεωγραφικό πλάτος, ωρική γωνία και απόκλιση του ηλίου [3]

Τα μεγέθη αυτά χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των πιο χρήσιμων για τους υπολογισμούς συστημάτων κλιματισμού, ηλιακού ύψους και ηλιακού αζιμουθίου, σχήμα 2.3:



Σχήμα 2.3: Ορισμός θέσης ηλίου και γωνίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [3].

Το ηλιακό ύψος α ορίζεται ως η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της προβολής αυτών επάνω στην οριζόντια επιφάνεια. Η γωνία ηλιακού αζιμουθίου, γ_s , είναι η γωνία στο οριζόντιο επίπεδο μεταξύ του νότου και της προβολής των ηλιακών ακτίνων στο επίπεδο αυτό. Ενώ σε περίπτωση κατακόρυφης επιφάνειας, π.χ. τοίχος, η γωνία αζιμουθίου της επιφάνειας, γ , ορίζεται ως η γωνία επάνω στο οριζόντιο επίπεδο μεταξύ της προβολής των ηλιακών ακτίνων επάνω στο επίπεδο αυτό και της καθέτου στην κατακόρυφη επιφάνεια. Τέλος, η γωνία πρόσπτωσης, θ , είναι η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στην οριζόντια επιφάνεια [1].

2.2.3 Ηλιακή προσπίπτουσα ακτινοβολία

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία επάνω σε μια επιφάνεια ενός κτιρίου στην γη, είναι μόνο ένα ποσοστό της ακτινοβολία του ήλιου. Εκτός από τις γωνίες θέσης του ηλίου που περιγράφηκαν παραπάνω, η απόσταση ηλίου-γης μεταβάλλει την ακτινοβολία που φτάνει στην γη. Η ατμοσφαιρική απορρόφηση, η σκέδαση από τα μόρια αέρα και υδρατμών από τα νέφη και τα σωματίδια σκόνη της ατμόσφαιρας μειώνει κατά ένα σημαντικό ποσοστό την ακτινοβολία που τελικά φτάνει επάνω στην επιφάνεια της γης. Η προσπίπτουσα στην γήινη επιφάνεια ακτινοβολία που δεν έχει σκεδαστεί η διαχυθεί λέγεται άμεση ακτινοβολία. Αντίστοιχα, στην επιφάνεια της γης οι ιδιότητες ανάκλασης και εκπομπής των υλικών διαχέουν εκ νέου την άμεση ακτινοβολία, ώστε τελικά η ακτινοβολία που φτάνει σε μια επιφάνεια να αποτελεί μια συνιστώσα μόνο της άμεσης ακτινοβολίας [1].

2.3 Θερμικό κέρδος

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της εξεταζόμενης τοποθεσίας, της εποχής και την ώρα της ημέρας είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί προκειμένου να προσδιοριστεί η ενέργεια που δέχονται οι επιφάνειες του κτιρίου. Το ζητούμενο είναι η εισερχόμενη στη θερμική ζώνη του κτιρίου ενέργεια από τον ήλιο και παράμετροι του υπολογισμού είναι η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, αλλά και η διεύθυνσή της (προσανατολισμός), η διείσδυση της μέσω των ανοιγμάτων και η επίδραση των μέσων σκίασης.

Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται τα θερμικά κέρδη ανάλογα με το είδος του δομικού στοιχείου διαφέρει. Στα αδιαφανή δομικά στοιχεία επηρεάζει τη θερμοκρασία τους αλλά και τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος κοντά σε αυτά, μεταβάλλοντας έτσι τους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας και κατά συνέπεια και την ίδια την θερμότητα που μεταφέρεται διαμέσου αυτών. Στα διαφανή δομικά στοιχεία, η ακτινοβολία όχι μόνο απορροφάται από το ίδιο το υλικό και μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο, αλλά διαπερνά το ίδιο το δομικό στοιχείο και εισέρχεται στο χώρο ως ηλιακή ακτινοβολία. Εκεί υφίσταται περαιτέρω απορρόφηση ή ανάκλαση από τα εσωτερικά δομικά στοιχεία του χώρου και εν συνεχεία μεταβάλλει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα.

Ο ρόλος του σκιασμού, εξωτερικού ή εσωτερικού, είναι ιδιαίτερα σημαντικός στον έλεγχο του θερμικού κέρδους. Ένα εξωτερικό σκίαστρο αποτρέπει την άμεση ακτινοβολία να εισέλθει από ένα διαφανές δομικό στοιχείο στην ζώνη, αλλά μειώνει και τη θερμοκρασία της σκιαζόμενης επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Αντίστοιχα, ένα εσωτερικό μέσο σκιασμού, θα αποτρέψει την είσοδο της ακτινοβολίας στο χώρο και ταυτόχρονα θα δράσει

ως εμπόδιο στην ανταλλαγή θερμότητας διαμέσου του ανοίγματος εγκλωβίζοντας θερμότητα στον χώρο και αποτρέποντας την απώλεια.

Η περιγραφή του ηλιακού κέρδους ενός διαφανούς δομικού στοιχείου, εκφράζεται με τη μορφή των συντελεστών σκίασης, SC , και του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους $SHGC$ οι οποίοι αποτελούν χαρακτηριστικό του υλικού του υαλοπίνακα, της μορφής του, των επιδράσεων μηχανισμών σκίασης επάνω σε αυτόν.

2.4 Θερμικό φορτίο

Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων για συστήματα θέρμανσης συνήθως περιλαμβάνει τις θερμικές απώλειες του χώρου ενώ τα ηλιακά θερμικά κέρδη ή τα εσωτερικά θερμικά κέρδη αγνοούνται. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που τα θερμικά κέρδη είναι σημαντικά, αυτά λαμβάνονται υπόψη για να αποφευχθεί η υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης.

2.4.1 Θερμικές απώλειες από θερμοπερατότητα

Οι απώλειες μέσω του κτιριακού κελύφους αποτελούν τον σημαντικότερο παράγοντα στον υπολογισμό των θερμικών απωλειών. Πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας και με τους τρεις μηχανισμούς, και εξαρτάται κυρίως από το είδος και τα χαρακτηριστικά των υλικών του κελύφους. Η συνολική απώλεια θερμότητας εκφράζεται ως [3]:

$$\dot{q} = \sum_k U_k A_k (T_i - T_o)_k$$

Όπου,

το άθροισμα αφορά όλες τις επιμέρους ροές διαμέσου των διαφορετικών δομικών στοιχείων, k .

U_k , ο συντελεστής θερμοπερατότητας του κάθε δομικού στοιχείου, ($W/m^2\text{C}$)

$T_i - T_o$, η διαφορά των θερμοκρασιών εκατέρωθεν του δομικού στοιχείου, ($^{\circ}\text{C}$)

Στα δομικά στοιχεία ως εσωτερική νοείται η θερμοκρασία σχεδιασμού του εσωτερικού χώρου, ενώ ως εξωτερική λαμβάνεται η θερμοκρασία σχεδιασμού του περιβάλλοντος για την συγκεκριμένη περιοχή και εποχή.

2.4.2 Θερμικές απώλειες από αερισμό

Η άλλη μεγάλη κατηγορία των θερμικών απωλειών περιλαμβάνει τα ποσά θερμότητας που χάνονται από το κτίριο μέσω του ελεγχόμενου ή μη-ελεγχόμενου αερισμού. Με ελεγχόμενος αερισμός, είναι η διείσδυση κρύου εξωτερικού αέρα από τις χαραμάδες του κτιρίου και αντίστοιχα η διαφυγή θερμού αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου στο εξωτερικό. Ως ελεγχόμενος αερισμός ορίζεται οποιαδήποτε μορφή εξαερισμού μέσω φυσικού αερισμού, άνοιγμα παραθύρων, ή μηχανικού αερισμού, εφαρμογές με συστήματα ανεμιστήρων. Ο αερισμός υπολογίζεται συνήθως με την κατ' όγκο παροχή του αέρα που εισέρχεται στο κτίριο, \dot{V} (m³/s), ή σε αδιάστατη μορφή με τη χρήση των εναλλαγών ανά ώρα, ACH, διαιρώντας την παροχή αέρα με τον όγκο του κτιρίου, V :

$$\frac{\dot{V}}{V}$$

Ο παροχή αέρα με μη-ελεγχόμενο τρόπο γενικά είναι δύσκολο να υπολογιστεί ακριβώς. Η εκτίμηση του βασίζεται στην χρήση της εξίσωσης:

$$\dot{V} = \sum_k [A_k c_k (\Delta p)_k^{n_k}]^+$$

Όπου,

c_k , είναι μια σταθερά ροής, (m/sPaⁿ)

Δp , είναι η διαφορά πίεσης εκατέρωθεν του δομικού στοιχείου.

Ο παραπάνω υπολογισμός αφορά όλα τα ανοίγματα από τα οποία πραγματοποιείται εισροή αέρα.

Εάν υπάρχει μηχανικός αερισμός ο υπολογισμός γίνεται από:

$$\dot{q} = \dot{V} \rho c_p (\dot{T}_i - T_o)$$

Όπου,

c_p , η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα, (J/kgK)

ρ , η πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα, (kg/m³)

Εάν η εναλλαγή αέρα πραγματοποιείται μόνο μέσω του μηχανισμού της διείσδυσης, η απώλεια θερμότητα υπολογίζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανοίγματος και μια σειρά από αδιάστατες παραμέτρους. Ο τρόπος υπολογισμού διαφέρει ανάλογα με την μεθοδολογία ή πρότυπο που χρησιμοποιείται [3].

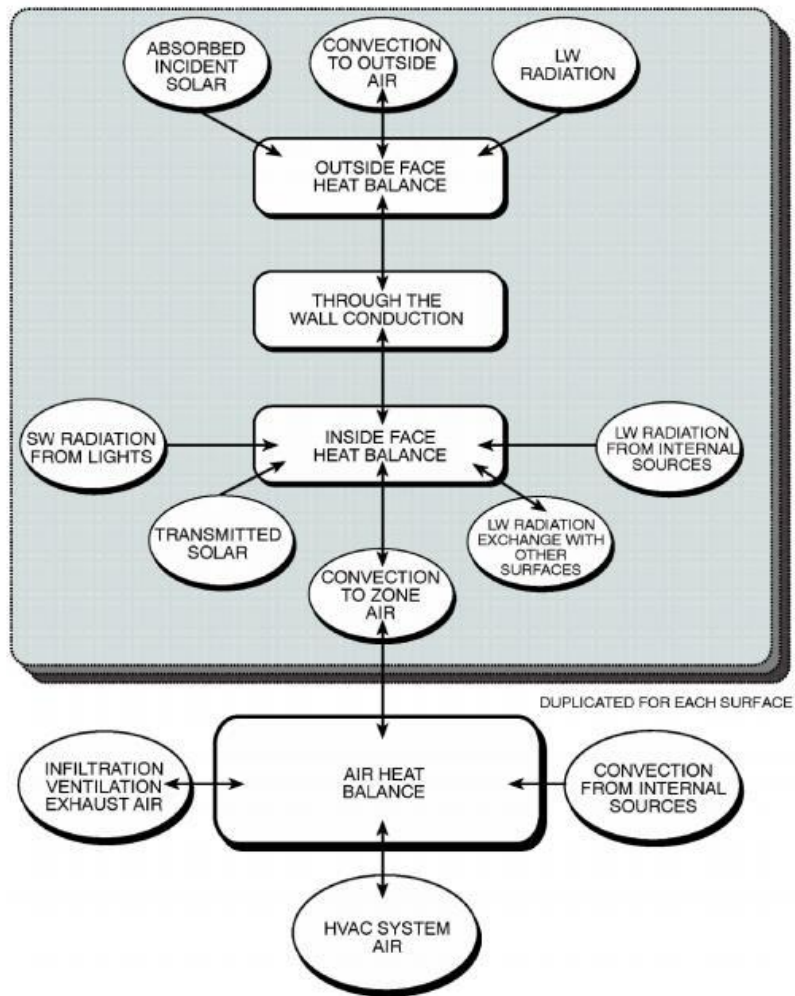
2.5 Ψυκτικό φορτίο

Το ψυκτικό φορτίο ενός χώρου ορίζεται ως το ποσό της θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί από αυτόν τον χώρο προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Η σχέση του με το θερμικό κέρδος είναι άμεση, ωστόσο δεν ταυτίζονται. Το ψυκτικό φορτίο είναι το θερμικό κέρδος συν ο χρόνος από την εμφάνιση του θερμικού κέρδους μέχρι τον χρόνο υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου. Η έννοια του χρόνου εμπεριέχεται λόγω της αδράνειας των δομικών στοιχείων του κελύφους, τα οποία επανεκπέμπουν το ποσό θερμότητας το οποίο απορρόφησαν κατά την εμφάνιση του θερμικού φορτίου σε μεταγενέστερο χρόνο αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία το χώρου [3].

Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση το μοντέλο Heat Balance Method, HBM. Η εκτίμηση του ψυκτικού φορτίου, περιλαμβάνει τον ισολογισμό ενέργειας σε κάθε επιφάνεια του κτιρίου και μια εξίσωση συναγωγής για τον αέρα του χώρου. Η HBM επιλύει αυτές τις εξισώσεις ταυτόχρονα σε αντίθεση με άλλες μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούν μετασχηματισμούς των εξισώσεων. Το πλεονέκτημα είναι ότι δεν χρησιμοποιεί κανένα σετ βοηθητικών παραμέτρων.

Η μέθοδος περιορίζεται από μερικές υποθέσεις όπως, ομοιόμορφες θερμοκρασίες επιφανειών και εσωτερικού αέρα ζώνης, επιφάνειες που διαχέουν την ακτινοβολία, μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας. Εστιάζει σε τέσσερις διαδικασίες, το ισοζύγιο ενέργειας στις εξωτερικές επιφάνειες, την αγωγή θερμότητας στους τοίχους, το ισοζύγιο ενέργειας στις εσωτερικές επιφάνειες, και το ισοζύγιο ενέργειας στον αέρα. Στο σχήμα 2.4, που ακολουθεί παρουσιάζεται ο ισολογισμός των ενεργειακών ροών σε ένα κτίριο με η μέθοδο HB.

Για την χρήση της μεθόδου απαιτούνται μια σειρά από δεδομένα για την θέση του κτιρίου, όπως ηλιακή θέση, γεωγραφικό πλάτος και μήκος, γωνίες πρόσπτωσης, προσανατολισμός θερμικών ζωνών και επιφανειών, ύψος ορόφων. Για τα δομικά στοιχεία απαιτείται η γνώση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με την συμπεριφορά του υλικού στην ακτινοβολία, η τραχύτητα των επιφανειών, οι εξωτερικές συνθήκες στην επιφάνεια, τα υλικά κατασκευής της επιφάνειας ενώ αν πρόκειται για διαφανές δομικό στοιχείο, απαιτούνται οι συντελεστές θερμικού ηλιακού κέρδους, σκιασμού, απορροφητικότητας, εκπομπής, και οι διαστάσεις των σκιάστρων αν υπάρχουν. Η μέθοδος αυτή συν υπολογίζει επιπλέον και την επίδραση της θερμικής μάζας των δομικών στοιχείων στην ανταλλαγή θερμότητας. Απαραίτητος είναι ο υπολογισμός του εσωτερικού θερμικού κέρδους από συσκευές, ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, φωτισμό, ανθρώπους και διείσδυση αέρα. Τέλος, γίνεται χρήση των εξισώσεων διάχυσης ακτινοβολίας στις μεν εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου, από τον φωτισμό, στις εξωτερικές επιφάνειες, από τον ήλιο [4].



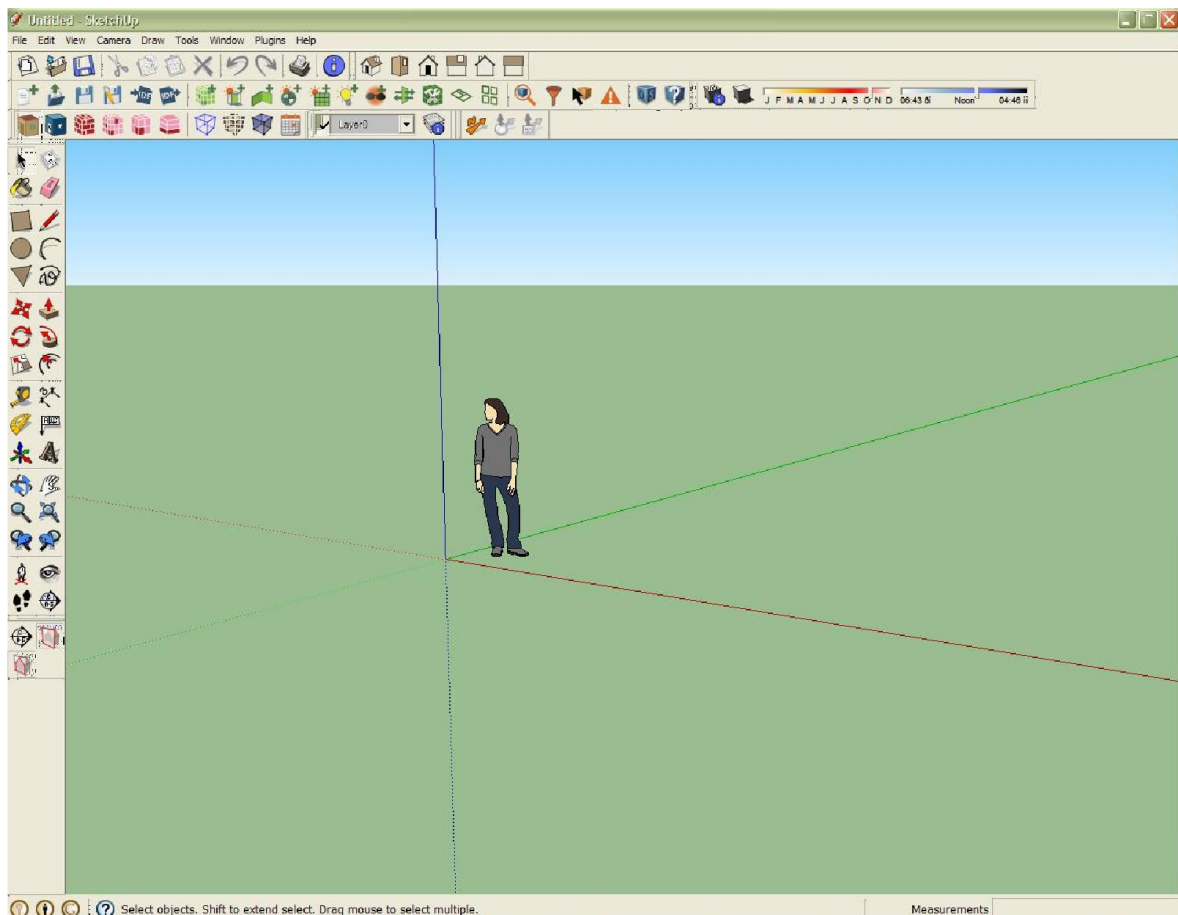
Σχήμα 2.4: Σχηματική απεικόνιση των ενεργειακών ροών του κτιρίου με τη μέθοδο Heat Balance [4].

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή λογισμικού προσομοίωσης

3.1 Σχεδιαστικό πρόγραμμα Google SketchUp

3.1.1 Γενικά

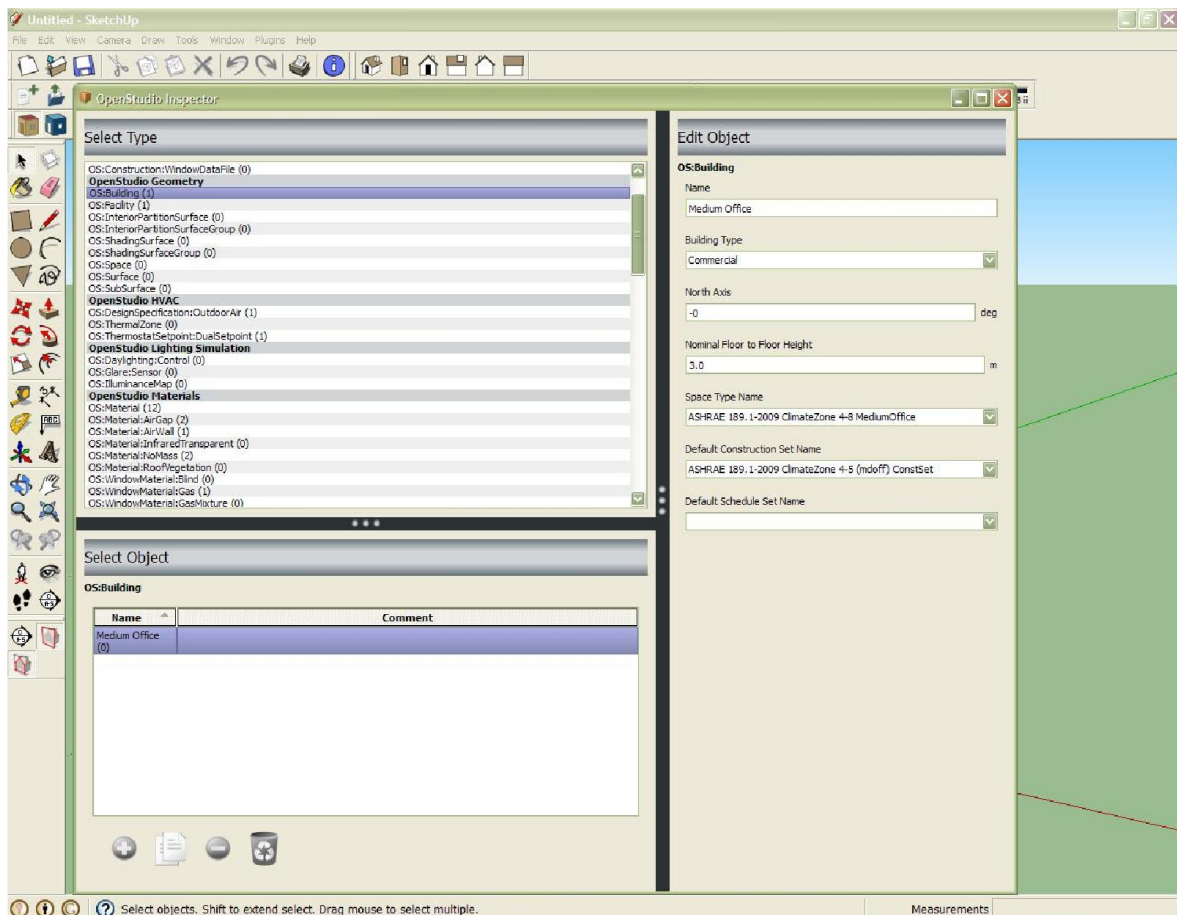
Το Google SketchUp αποτελεί ένα κατά βάση σχεδιαστικό πρόγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης. Είναι εφαρμογή ελεύθερη για τους χρήστες και μόνο η επαγγελματική έκδοσή του πωλείται. Στο SketchUp, μπορεί κανείς με πολύ εύκολο τρόπο να σχεδιάσει σε δύο διαστάσεις και με το πάτημα ενός κουμπιού να δημιουργήσει τρισδιάστατο αντικείμενο. Διαθέτει πληθώρα εργαλείων για το σχεδιασμό αλλά όχι μόνο. Μπορεί να λάβει επεκτάσεις με τη μορφή plugin, οι οποίες παρέχουν εργαλεία για τον σχεδιασμό μοντέλων ή ακόμα και για την προσομοίωση διαδικασιών. Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 8.0.



Σχήμα 3.1: Επιφάνεια εργασίας SketchUp.

3.1.2 Δημιουργία προσομοιωτικού μοντέλου με τη χρήση του εργαλείου OpenStudio

Για τη δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου του κτιρίου αλλά και τη φυσική περιγραφή του κτιριακού του κελύφους, χρησιμοποιήθηκε το Plugin OpenStudio έκδοση 1.0.0. Το OpenStudio αποτελεί μια ελεύθερη εφαρμογή που κατά τη σχεδίαση της γεωμετρίας στο SketchUp μεταφράζει τα δεδομένα σε μεταβλητές εισόδου για το EnergyPlus. Υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ενός πλήρους μοντέλου με ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, φωτισμό και καθορισμό χρήσης χώρων, ενώ μπορούν να προσομοιωθούν και μερικά απλά συστήματα κλιματισμού. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία του μοντέλου του κτιρίου εξ' ολοκλήρου στην εύχρηστη επιφάνεια εργασίας του SketchUp. Η αντίστοιχη διαδικασία στο EnergyPlus είναι αρκετά χρονοβόρα και επίπονη. Στο σχήμα 3.2, απεικονίζεται η φόρμα εισαγωγής δεδομένων του OpenStudio.



Σχήμα 3.2: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων του OpenStudio

3.2 Πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων EnergyPlus

3.2.1 Γενικά

Το EnergyPlus αποτελεί ένα ανοιχτού κώδικα λογισμικό, ενεργειακής ανάλυσης και προσομοίωσης θερμικών φορτίων και ενεργειακών ροών. Οι ρίζες του βρίσκονται στα προγράμματα BLAST και DOE-2 τα οποία αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν κατά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 σαν εργαλεία ενεργειακής προσομοίωσης και υπολογισμού φορτίων. Στη διάρκεια εκείνης της δεκαετίας, η οποία ακολούθησε την ενεργειακή κρίση των αρχών του 1970 στις ΗΠΑ, εμποδίστηκε το μέγεθος της συνιστώσας της ενέργειας που αφορά τον κτιριακό τομέα και υπήρξε έντονο ενδιαφέρον για τον προσδιορισμό των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων. Οι δύο προκάτοχοι του Energy Plus προσέγγισαν το ίδιο πρόβλημα της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια από ελαφρώς διαφορετικές οπτικές πετυχαίνοντας πολυάριθμους χρήστες εθνικά και διεθνώς.

Η διαδικασία υπολογισμού του Energy Plus βασίζεται στην περιγραφή από τον χρήστη ενός κτιρίου με την έννοια της φυσικής του υπόστασης και των μηχανολογικών του συστημάτων. Στη συνέχεια το πρόγραμμα, θα υπολογίσει τα απαραίτητα φορτία θέρμανσης ή ψύξης προκειμένου να διατηρηθούν τα σημεία ρύθμισης του θερμικού του περιβάλλοντος, τις συνθήκες των δευτερευόντων συστημάτων κλιματισμού και τα φορτία των εναλλακτών, τις απαιτήσεις του εξοπλισμού σε πρωτογενή ενέργεια καθώς και άλλα στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για να λειτουργήσει η προσομοίωση με τον ίδιο τρόπο που θα λειτουργούσε το πραγματικό κτίριο [5].

3.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά προγράμματος

Πολλά από τα στοιχεία που χρησιμοποιεί το Energy Plus, έχουν κληροδοτηθεί από τα προγράμματα προγόνους του. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν το Energy Plus είναι:

- Ολοκληρωμένη ταυτόχρονη επίλυση όπου η απόκριση του κτιρίου και η τα πρωτογενή και δευτερογενή συστήματα είναι στενά συνδεδεμένα, με επαναλήψεις να πραγματοποιούνται όπου απαιτείται.
- Υπο-ωριαία, καθοριζόμενα από το χρήστη χρονικά βήματα, για την αλληλεπίδραση μεταξύ των θερμικών ζωνών και του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενα χρονικά βήματα για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ θερμικών ζωνών και των συστημάτων κλιματισμού, αυτόματα μεταβαλλόμενα ενίοτε προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταθερότητα της επίλυσης.
- Αρχεία εισόδου, εξόδου και μετεωρολογικών δεδομένων σε μορφή ASCII, τα οποία

περιλαμβάνουν ωριαία ή υπο-ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς και αντίστοιχες τυπικές εκθέσεις ή καθοριζόμενες από το χρήστη.

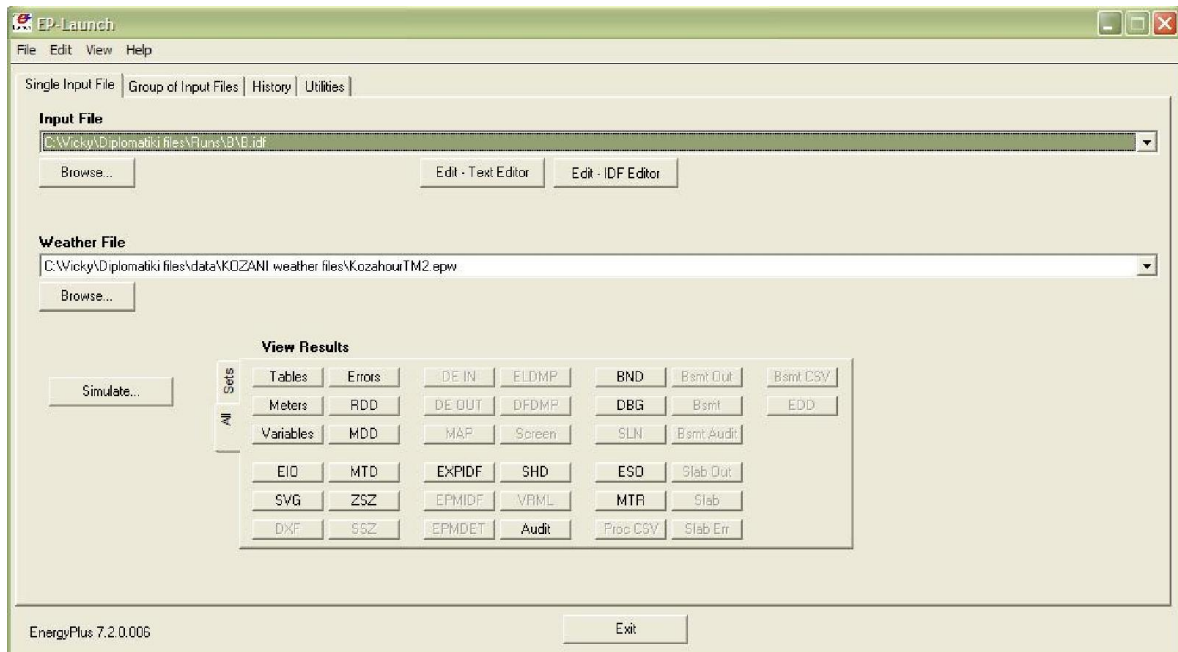
- Επίλυση βασισμένη σε θερμική ισορροπία, μια τεχνική που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της θερμικής ακτινοβολίας και της συναγωγής στο εσωτερικό και εξωτερικό των δομικών στοιχείων κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος.
- Υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας μέσω δομικών στοιχείων όπως τοίχοι, στέγες, δάπεδα, κλπ. χρησιμοποιώντας συναρτήσεις αγωγιμότητας.
- Μοντελοποίηση μετάδοση της θερμότητας στο έδαφος με τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους πεπερασμένων διαφορών και απλοποιημένων αναλυτικών τεχνικών.
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που λογίζεται για την προσρόφηση και εκρόφηση της υγρασίας, είτε ως ένταξη στρώσης με στρώσης στην συνάρτηση αγωγιμότητας ή ως ένα αποτελεσματικό μοντέλο διείσδυσης βάθους υγρασίας.
- Ανισότροπο μοντέλο ατμόσφαιρας για βελτιωμένο υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες.
- Σύνθετους υπολογισμούς κουφωμάτων που επιτρέπουν τον κατάλληλο υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τους υαλοπίνακες των παραθύρων.
- Έλεγχος του φυσικού φωτισμού, που περιλαμβάνει υπολογισμό της εσωτερικής φωτεινότητας, προσομοίωση της θάμβωσης και την επίδραση του τεχνητού φωτισμού στη θέρμανση και την ψύξη.
- Υπολογισμοί της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προβλέπουν CO₂, SOX, NOX, CO που υπολογίζονται τόσο στο κτίριο όσο και στις μονάδες παραγωγής ενέργειας.
- Συνεργασία με προγράμματα όπως WINDOW5, WINDOW6 και Delight, που επιτρέπουν τον αναλυτικότερο και λεπτομερή υπολογισμό των δομικών στοιχείων [5].

3.2.3 Προσομοίωση στο EnergyPlus

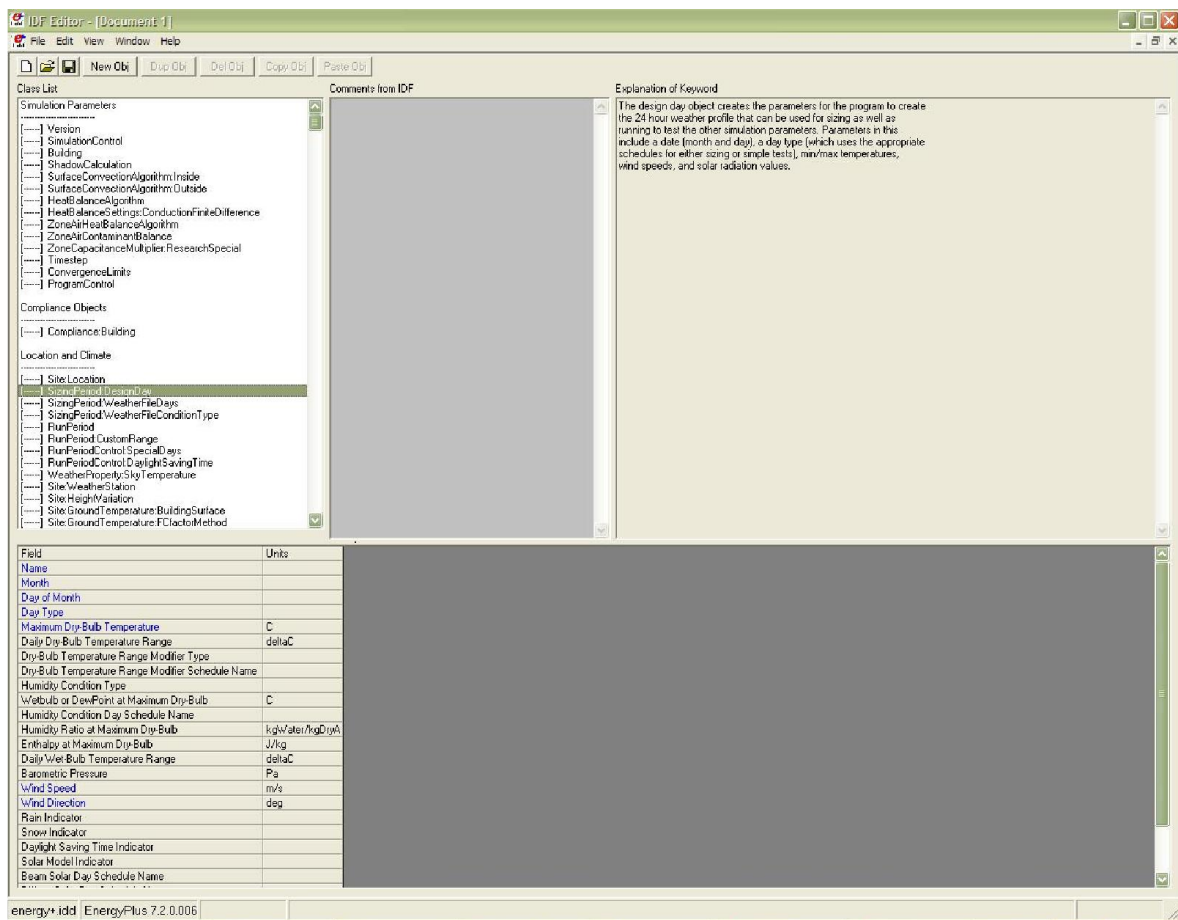
Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 7.2 του προγράμματος. Η διαδικασία προσομοίωσης στο EnergyPlus, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Εισαγωγή κλιματικού αρχείου στο EP-Launch, το πρόγραμμα το οποίο συγκεντρώνει τα ανεξάρτητα εξωτερικά αρχεία προκειμένου να εκτελεστεί μια προσομοίωση, σχήμα 3.3.
- Εισαγωγή δεδομένων στο IDF-Editor, τη φόρμα εισαγωγής δεδομένων του EnergyPlus, σχήμα 3.4. Αναλυτικά τα στοιχεία που εισάγονται είναι:
 - 1) Χωροθέτηση του μοντέλου και καθορισμός εξωτερικών παραγόντων της τοποθεσίας και της θέσης του κτιρίου, όπως προσανατολισμός, περιγραφή του ανάγλυφου της γύρω περιοχής.
 - 2) Εισαγωγή των στοιχείων που περιγράφουν πλήρως το μοντέλο του κτιρίου γεωμετρικά και φυσικά. Πλήρης διαστασιολόγηση όλων των επιφανειών, προσανατολισμός τους, θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής των δομικών στοιχείων και συγκρότηση του κάθε δομικού στοιχείου σε κάθε επιφάνεια.
 - 3) Διαχωρισμός θερμικών ζωνών του κτιρίου.
 - 4) Περιγραφή λειτουργιών και χρήσης της κάθε θερμικής ζώνης με καθορισμό των ωραρίων λειτουργίας και περιγραφή των εσωτερικών φορτίων.
 - 5) Εισαγωγή των συνθηκών σχεδιασμού, όπως θερμοστατικές ρυθμίσεις, συνθήκες αερισμού κλπ.
 - 6) Καθορισμός και εφαρμογή των μοντέλων συστημάτων κλιματισμού που εξυπηρετούν το κτίριο.
 - 7) Επιλογή των μοντέλων προσομοίωσης για τους διάφορους υπολογισμούς.
 - 8) Επιλογή των επιθυμητών δεδομένων και αρχείων εξόδου.
- Επιλογή στο EP-Launch όποιου άλλου αρχείου που συμμετέχει στην προσομοίωση, π.χ. αρχείο τιμών θερμοκρασίας για υπόγειους χώρους
- Έναρξη προσομοίωσης.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εξάγονται σε μια σειρά αρχείων, μεταξύ των οποίων αρχεία html, csv, txt αλλά και αρχεία σχεδιασμού και απεικόνισης του κτιρίου ή των συστημάτων του, η επιλογή του είδους ,και του πλήθους επαφίεται στο χρήστη. Η περαιτέρω επεξεργασία και η εξαγωγή συμπερασμάτων από τα αρχεία εξόδου πραγματοποιείται σε άλλα προγράμματα, όπως το EP-Compare για άμεση απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε γράφημα, ή τύπου λογιστικών φύλλων για εξαγωγή γραφημάτων κλπ.



Σχήμα 3.3: Η κεντρική κοσμάλα προσομοιώσεων του EnergyPlus, EP-Launch



Σχήμα 3.4: Η εφαρμογή εισαγωγής δεδομένων στο EnergyPlus, IDF-editor

Κεφάλαιο 4: Δεδομένα για την ενεργειακή προσομοίωση

4.1 Χωροθέτηση και περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου

Το κτίριο το οποίο επιλέχθηκε για την προσομοιωτική μελέτη των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του, είναι το κτίριο του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας (Τ.Μ.Μ. του Π.Δ.Μ.), το οποίο βρίσκεται στη διασταύρωση των οδών Μπακόλα και Σιαλβέρα στην Κοζάνη, σχήμα 4.1. Ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι νοτιοανατολικός όπως φαίνεται και στην εικόνα. Το παρόν κτίριο αποτελείται από ισόγειο,



Σχήμα 4.1: Αεροφωτογραφία με δορυφορική λήψη του κτιρίου [6].

πρώτο και δεύτερο όροφο. Οι όψεις του φαίνονται στο σχήμα 4.2. Το κτίριο διαθέτει υπόγειο το οποίο χρησιμοποιείται ως εργαστηριακός χώρος, ωστόσο επειδή δεν συμμετείχε στην μελέτη προσομοίωσης δεν σχεδιάστηκε και στο μοντέλο προσομοίωσης. Ο τελευταίος όροφος του κτιρίου διαθέτει επικάλυψη με κεραμοσκεπή.

Το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το κτίριο περιγράφεται ως αστικό με την έννοια των περιχώρων μια πόλης. Υπάρχουν γειτονικά κτίρια, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1, τα οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση ως επιφάνειες σκιασμού για το υπό μελέτη κτίριο. Επομένως, το κτίριο θεωρήθηκε περιμετρικά πανταχόθεν ελεύθερο με δυνατότητα ανεμπόδιστου ηλιασμού καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Η συγκεκριμένη επιλογή κτιρίου έγινε εσκεμμένα. Ο στόχος ήταν η μελέτη των φορτίων σε

ένα ιδιαίτερο και πολύπλοκο κτίριο το οποίο εμφανισιακά και δομικά μοιάζει με κτίριο κατοικιών, ωστόσο αποτελεί κτίριο που ανήκει στον τριτογενή τομέα, συνδυάζοντας διαφορετικούς χώρους και λειτουργίες. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κτιρίου είναι πολλά, καθώς συνδυάζει τις λειτουργίες

των αιθουσών διδασκαλίας, των χώρων συνάθροισης κοινού, των γραφείων, των εργαστηρίων με ηλεκτρονικό εξοπλισμό και των κοινόχρηστων διαδρόμων και χώρων. Το αποτέλεσμα είναι ένα σχεδόν πολυμορφικό κτίριο με μεγάλο όγκο και πολλές απαιτήσεις.



α. Νότια-ανατολική όψη κτιρίου



β. Ανατολική όψη κτιρίου



γ. Δυτική όψη κτιρίου

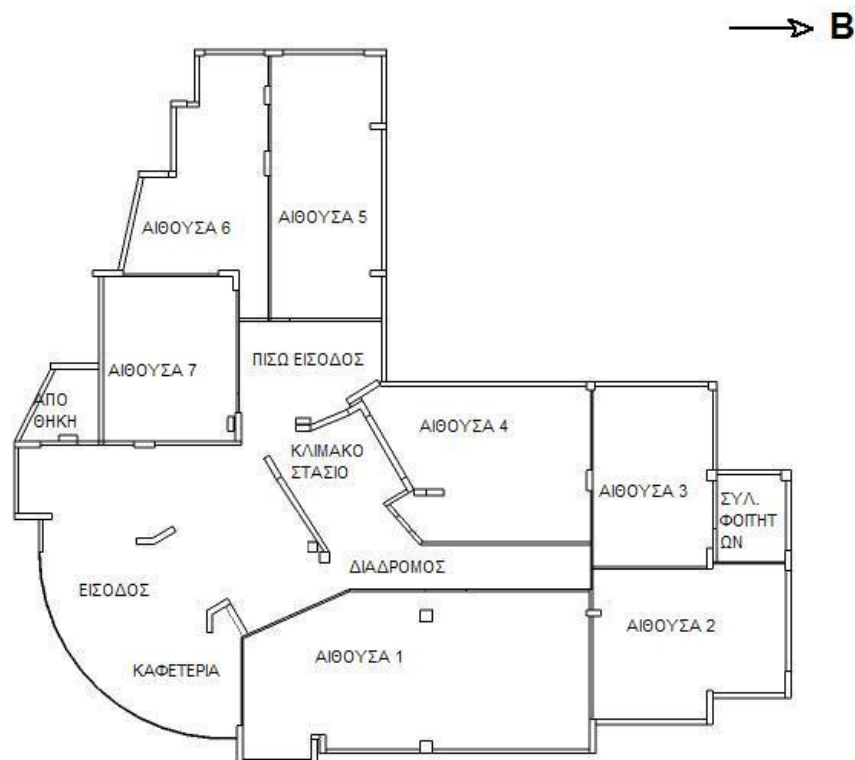


δ. Νότια όψη κτιρίου

Σχήμα 4.2: Όψεις κτιρίου [7].

Στο ισόγειο του κτιρίου, υπάρχει ένας ενιαίος μεγάλος χώρος ο οποίος χρησιμοποιείται ως είσοδος και διαχωρίζεται σε δύο διαδρόμους. Στην είσοδο στεγάζεται και η καφετέρια της σχολής, ενώ στο κέντρο βρίσκονται δύο WC, τα οποία περικλείονται από τοιχοποιία. Περιμετρικά του κοινόχρηστου χώρου, βρίσκονται οι αίθουσες διδασκαλίας 1 έως 7. Η αίθουσα 1 αποτελεί τον μεγαλύτερο χώρο διδασκαλίας του κτιρίου, ενώ η αίθουσα 6 διαφέρει από τις υπόλοιπες στα χαρακτηριστικά της και χρησιμοποιείται ως εργαστήριο

πληροφορικής. Επιπλέον των αιθουσών διδασκαλίας, υπάρχει το γραφείο του συλλόγου φοιτητών και ένα αποθηκευτικός χώρος. Όλο το ισόγειο διαθέτει δύο εισόδους, μια στην μπροστινή πλευρά του κτιρίου, κύρια είσοδος, και μια στην πίσω πλευρά η οποία γεινιάζει με το χώρο στάθμευσης. Εσωτερικό κλιμακοστάσιο και παραπλεύρως σε αυτό ανελκυστήρας, συνδέουν το ισόγειο με τον πρώτο όροφο. Η κάτοψη του ισογείου η οποία φαίνεται στο σχήμα 4.3 δίνει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την διάταξη του χώρου.

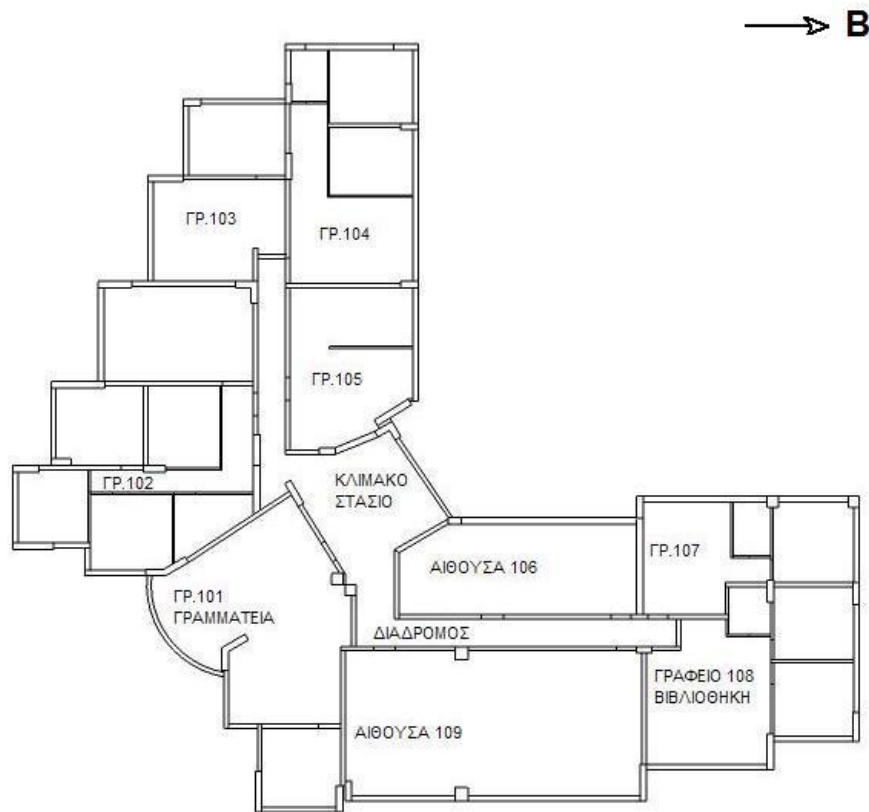


Σχήμα 4.3: Κάτοψη ισογείου [8]

Η μορφολογία των χώρων και της διάταξής τους, αλλάζει στον πρώτο όροφο. Ο κοινόχρηστος διάδρομος είναι μακρόστενος και χωρίς μεγάλο πλάτος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4, η κάτοψη του ορόφου δείχνει ξεκάθαρα ότι ο πρώτος όροφος έχει μια μάλλον τυπική διάταξη ενός κτιρίου γραφείων. Περιμετρικά του κεντρικού εσωτερικού διαδρόμου βρίσκονται τα γραφεία τα οποία εξυπηρετούν τις ανάγκες του διδακτικού προσωπικού και της γραμματείας κυρίως, ενώ υπάρχει το γραφείο 108 το οποίο έχει διαμορφωθεί ως χώρος βιβλιοθήκης και η αίθουσα 109 η οποία χρησιμοποιείται σαν αίθουσα διδασκαλίας.

Τέλος, ο δεύτερος όροφος του κτιρίου, δεν παρουσιάζει μεταβολή στη διάταξη των χώρων σε σύγκριση με τον πρώτο όροφο. Επαναλαμβάνεται η δομή του κεντρικού εσωτερικού

διαδρόμου ο οποίος περιτριγυρίζεται από δωμάτια γραφείων. Το σχήμα 4.5 δείχνει την

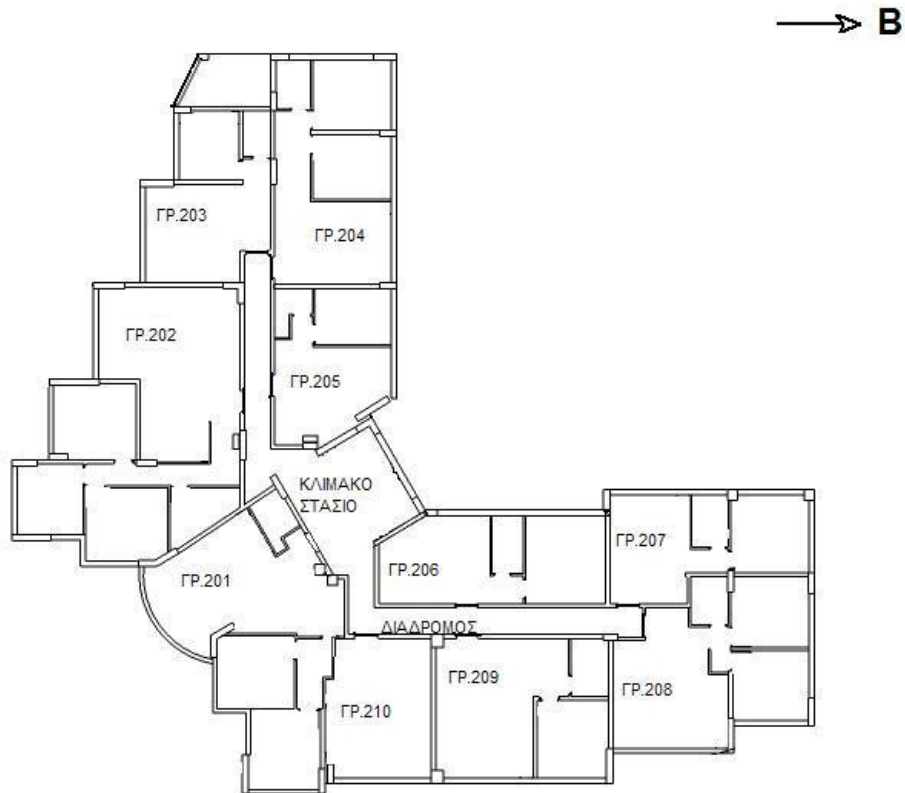


Σχήμα 4.4: Κάτοψη πρώτου ορόφου [8].

κάτοψη του ορόφου αυτού. Ο πρώτος με τον δεύτερο όροφο συνδέονται επίσης με εσωτερικό κλιμακοστάσιο και ανελκυστήρα όπως και στο ισόγειο.

Ο ισόγειος χώρος παρουσιάζει ενιαίο ύψος 4,90 μέτρων, ενώ οι όροφοι έχουν ύψος 3 μέτρων έκαστος. Συνολικά, από δάπεδο ισογείου μέχρι την οροφή 2^{ου} ορόφου το κτίριο έχει ύψος 10,90 μέτρων, ενώ η οροφή του 2^{ου} επικαλύπτεται με κεραμοσκεπή. Λόγω έλλειψης δεδομένων κατά την δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου του κτιρίου, αγνοήθηκε η κεντρική ανύψωση της κεραμοσκεπής όπως και η κλίση της σε διάφορα σημεία. Επομένως, αναπαριστάται ως επίπεδη με επικάλυψη κεραμιδιού.

Το κτίριο περιμετρικά διαθέτει βεράντες σε όλα τα δωμάτια εκτός του ισογείου. Όπως φαίνεται στα σχήματα 4.2α, 4.2β, 4.2γ, 4.2δ, στο ισόγειο τα παράθυρα είναι σε μεγάλο ύψος και είναι τύπου φεγγίτη με περιορισμένο άνοιγμα. Στους ορόφους λόγω των βεραντών, υπάρχουν ανοιγόμενες μπαλκονόπορτες και κανονικά παράθυρα.



Σχήμα 4.5: Κάτοψη δεύτερου ορόφου [8].

4.2 Χαρακτηριστικά αδιαφανών και διαφανών δομικών στοιχείων του κτιρίου

Το παρόν κτίριο θεωρείται κατασκευασμένο από φέροντα οργανισμό και στοιχεία πλήρωσης εξωτερικά ενώ επικαλύπτεται με κεραμοσκεπή και εδράζεται επί φυσικού εδάφους. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι κατασκευασμένος από σπλισμένο σκυρόδεμα ενώ τα στοιχεία πλήρωσης αποτελούνται από διπλή δομική τοιχοποιία διάτρητων σπτόπλινθων. Το κτίριο είναι μονωμένο, με την μόνωση να βρίσκεται στο εσωτερικό των στοιχείων πλήρωσης, ενώ καλύπτει εξωτερικά τον φέροντα οργανισμό. Στην παρούσα μελέτη έγινε η σύμβαση ότι το εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου είναι κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από τον τοίχο πλήρωσης. Η απλούστευση αυτή θεωρήθηκε αναγκαία λόγω της πολυπλοκότητας και του όγκου του κτιρίου κατά την διάρκεια της κατασκευής του γεωμετρικού μοντέλου. Θεωρείται πλήρως μονωμένη η οροφή του δευτέρου ορόφου, κάτω από την επίστρωση κεραμιδιών. Αντίστοιχα, θεωρείται πλήρως μονωμένο και συνορεύον με το έδαφος, το δάπεδο του ισογείου. Τα ενδιάμεσα φέροντα στοιχεία, οροφή ισογείου-δάπεδο πρώτου ορόφου και οροφή πρώτου-δάπεδο

δευτέρου θεωρούνται πλήρως αμόνωτα. Οι εσωτερικοί τοίχοι του κτιρίου αποτελούνται από μονή οπτοπλινθοδομή στο ισόγειο, με την εξαίρεση χρήσης χωρίσματος γυψοσανίδας στον διαχωριστικό τοίχο μεταξύ των αιθουσών 3 και 4. Στον πρώτο και δεύτερο όροφο και πάλι, η τοιχοποιία μεταξύ των δωματίων είναι μονή οπτοπλινθοδομή χωρίς μόνωση. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο διαχωριστικός τοίχος μεταξύ των γραφείων 210 και 209 ο οποίος είναι χώρισμα γυψοσανίδας. Εσωτερικά σε κάθε γραφείο στην πραγματικότητα υπάρχουν χωρίσματα, διαμορφώνοντας ανεξάρτητους εργασιακούς χώρους και δωμάτια. Χάριν απλοποίησης του γεωμετρικού μοντέλου, όλα τα εσωτερικά χωρίσματα συνοψίζονται σε ένα για κάθε γραφείο, με επιφάνεια όση η συνολική επιφάνεια όλων. Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούν παρακάτω στο διαχωρισμό των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Η πλήρης περιγραφή των στρώσεων υλικού και των διατομών του κάθε δομικού στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε δίνονται στους πίνακες 4.1-4.9, που ακολουθούν. Οι ιδιότητες των υλικών ελήφθησαν από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 ενώ οι υπολογισμοί για τον συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου και τα όρια του επιτρεπόμενου συντελεστή αφορούν στη χρήση του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (Φ.Ε.Κ. 362Δ'4-7-1979), εφόσον το κτίριο κατά την κατασκευή του πληρούσε τις προϋποθέσεις αυτού του κανονισμού.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΚΕΛΥΦΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΑ (ΤΟΙΧΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ)					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
(εσωτ.->έξωτ.)	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017
Διάτρητη οπτοπλινθοδομή	1000,000	1200,000	0,090	0,450	0,200
Εξηλασμένη πολυστερίνη	1450,000	30,000	0,040	0,031	1,290
Διάτρητη οπτοπλινθοδομή	1000,000	1200,000	0,090	0,450	0,200
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017

Πάχος διατομής Σ_d (m)	0,250		
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερική πλευρά)		$1/a_i$ (m ² K/W)	0,120
Αντίσταση θερμοδιαφυγής		R_i (m ² K/W)	1,720
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερική πλευρά)		$1/a_o$ (m ² K/W)	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας		R_{tot} (m ² K/W)	1,880
Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου		U (W/m ² K)	0,530
Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Γ)		U_{max} (W/m ² K)	0,700

Πίνακας4. 2: Χαρακτηριστικές ιδιότητες δαπέδου επί φυσικού εδάφους του κτιρίου.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΔΑΠΕΔΟ ΕΠΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
(εσωτ.->έξωτ.)	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	840,000	2000,000	0,015	1,840	0,008
Τσιμεντοκονίαμα	1100,000	2000,000	0,010	1,400	0,007
Γαρμπιλοσκυρόδεμα	1000,000	1200,000	0,070	0,460	0,152
Εξηλασμένη πολυστερίνη	1450,000	30,000	0,040	0,031	1,290
Σκυρόδεμα οπλισμένο	1000,000	2400,000	0,150	2,000	0,075
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,285		
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερική πλευρά)				$1/a_i$ (m ² K/W)	0,170
Αντίσταση θερμοδιαφυγής				R_{tot} (m ² K/W)	1,533
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερική πλευρά)				$1/a_o$ (m ² K/W)	0,000
Αντίσταση θερμοπερατότητας				$1/U$ (m ² K/W)	1.703
Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου				U (W/m ² K)	0,587
Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Γ)				U_{max} (W/m ² K)	0,700

Πίνακας 4. 3: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών ενδιάμεσου δαπέδου ή οροφής μεταξύ ορόφων.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΔΑΠΕΔΟ Ή ΟΡΟΦΗ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	840,000	2000,000	0,015	1,840	0,008
Τσιμεντοκονίαμα	1100,000	2000,000	0,030	1,400	0,021
Σκυρόδεμα οπλισμένο	1000,000	2400,000	0,150	2,000	0,075
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,210		
Αντίσταση θερμοδιαφυγής *				R_{tot} (m ² K/W)	0,121

* Δεν υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, εφόσον αυτό βρίσκεται μεταξύ θερμαινόμενων ζωνών της ίδιας ή παρόμοιας θερμοκρασίας.

Πίνακας 4. 4 : Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών οροφής κάτω από βεράντα.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΟΡΟΦΗ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΒΕΡΑΝΤΑ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
(εσωτ.->εξωτ.)	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017
Σκυρόδεμα οπλισμένο	1000,000	2400,000	0,150	2,000	0,075
Εξηλασμένη πολυστερίνη-xps	1450,000	30,000	0,060	0,031	1,935
Τσιμεντοκονίαμα	1100,000	2000,000	0,030	1,400	0,021
Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	840,000	2000,000	0,015	1,840	0,008
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,270		

Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερική πλευρά)	$1/a_i$ (m ² K/W)	0,120
Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_i (m ² K/W)	2,057
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερική πλευρά)	$1/a_o$ (m ² K/W)	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας	R_{tot} (m ² K/W)	2,217
Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου	U (W/m ² K)	0,451
Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Γ)	U_{max} (W/m ² K)	0,500

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών οροφής-κεραμοσκεπής.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΟΡΟΦΗ ΜΕ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
(εσωτ.->εξωτ.)	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017
Σκυρόδεμα οπλισμένο	1000,000	2400,000	0,150	2,000	0,075
Εξηλασμένη πολυστερίνη-xps	1450,000	30,000	0,060	0,031	1,935
Τσιμεντοκονίαμα	1100,000	2000,000	0,030	1,400	0,021
Κεραμίδια			0,020	0,400	0,050
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,275		
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερική πλευρά)				$1/a_i$ (m ² K/W)	0,120
Αντίσταση θερμοδιαφυγής				R_i (m ² K/W)	2,099
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερική πλευρά)				$1/a_o$ (m ² K/W)	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας				R_{tot} (m ² K/W)	2,259
Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου				U (W/m ² K)	0,443
Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (Ζώνη Γ)				U_{max} (W/m ² K)	0,500

Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών εσωτερικών τοίχων με οπτοπλινθοδομή.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΟΝΗΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗΣ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017
Διάτρητη οπτοπλινθοδομή	1000,000	1200,000	0,090	0,450	0,200
Ασβεστοκονίαμα	1000,000	1800,000	0,015	0,870	0,017
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,120		
Αντίσταση θερμοδιαφυγής *				R_{tot} (m ² K/W)	0,234

* Δεν υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, εφόσον αυτό βρίσκεται μεταξύ θερμαινόμενων ζωνών της ίδιας ή παρόμοιας θερμοκρασίας.

Πίνακας 4.7: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών εσωτερικών χωσιμάτων γυψοσανίδας.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΧΩΡΙΣΜΑ ΓΥΨΟΣΑΝΙΔΑΣ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Γυψοσανίδα	1000,000	700,000	0,010	0,210	0,048
Αέρας	1000,000		0,050		3,200
Γυψοσανίδα		700,000	0,010	0,210	0,048
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,070		
Αντίσταση θερμοδιαφυγής *				R_{tot} (m ² K/W)	3,296

* Δεν υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, εφόσον αυτό βρίσκεται μεταξύ θερμαινόμενων ζωνών της ίδιας ή παρόμοιας θερμοκρασίας.

Όσον αφορά τα διαφανή δομικά στοιχεία του κτιρίου, το σύνολο των ανοιγμάτων του κτιρίου, αποτελείται από διπλό υαλοπίνακα με μεταλλικό κούφωμα χωρίς θερμοδιακοπή. Κατά την λήψη τιμών για τις ιδιότητες των υαλοστασίων και κουφωμάτων, έγινε η υπόθεση ενός ενιαίου συστήματος κουφώματος, και ο συντελεστής θερμοπερατότητας περιγράφει το συνδυασμό κουφώματος και υαλοστασίου. Οι λίγες εξωτερικές πόρτες που υπάρχουν και δεν είναι διαφανείς, αποτελούνται από ξύλο. Τέλος, ξύλινες θεωρούνται και όλες οι εσωτερικές πόρτες. Και πάλι, τα χαρακτηριστικά των υλικών τους ελήφθησαν από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-2/2010 και φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 4.8-4.9.]

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών διαφανών εξωτερικών ανοιγμάτων.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΑΦΑΝΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ U (W/m ² K)	ΣΥΝΤ.ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
Διπλός υαλοπίνακας 12mm με μεταλλικό πλαίσιο	3,200	0,530

Πίνακας 4.9: Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών αδιαφανών ανοιγμάτων

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ-ΠΟΡΤΕΣ					
ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΠΑΧΟΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗ ΤΑΣ	ΣΥΝΤ. ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑ ΣΗΣ
	C_p (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	λ (W/mK)	$R_i=d/\lambda$ (m ² K/W)
Ξύλινη θύρα	1630,000	608,000	0,025	0,150	0,167
Πάχος διατομής Σ_d (m)			0,025		
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εσωτερική πλευρά)				$1/a_i$ (m ² K/W)	0,120
Αντίσταση θερμοδιαφυγής				R_i (m ² K/W)	0,167
Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερική πλευρά)				$1/a_o$ (m ² K/W)	0,040
Αντίσταση θερμοπερατότητας				R_{tot} (m ² K/W)	0,327
Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου				U (W/m ² K)	3,058

4.3 Χρήση και λειτουργία του κτιρίου

Το παρόν κτίριο χρησιμοποιείται ως κτίριο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Ως εκ τούτου περιλαμβάνει αίθουσες διδασκαλίας μικρές και μεγάλες, εργαστήρια πληροφορικής, γραφεία, βιβλιοθήκη, καφετέρια, διαδρόμους και κοινόχρηστους χώρους. Το ωράριο λειτουργίας και η χρήση των διαφορετικών αυτών χώρων, διαφέρουν σε κάποιο βαθμό. Αυτό καθορίζει τόσο την επιβάρυνση του κάθε χώρου με εσωτερικά φορτία όσο και τις συνθήκες σχεδιασμού που θα εφαρμοστούν προκειμένου να υπολογιστούν τα φορτία θέρμανσης και ψύξης. Ο πίνακας 4.10, παρέχει μια συγκεντρωμένη παρουσίαση των παραπάνω πληροφοριών.

Πίνακας 4.10: Λεπτομέρειες χρήσης, εσωτερικών φορτίων και ωραρίου λειτουργίας για τους χώρους του κτιρίου

ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	ΧΡΗΣΗ	ΩΡΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
		ημέρες, ώρες	άτομα	είδος, met	W/m ²	W
ΙΣΟΓΕΙΟ						
ΕΙΣΟΔΟΣ	ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20 ή 09-17	80	Αναμονή, ήπια μετακίνηση: 126met	10	5557
ΚΑΦΕΤΕΡΙΑ						1237
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ ΙΣΟΓΕΙΟΥ	ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20 ή 09-17	-	-	10	-
ΑΙΘΟΥΣΑ 1	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	120	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
ΑΙΘΟΥΣΑ 2	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	65	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
ΑΙΘΟΥΣΑ 3	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	36	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΦΟΙΤΗΤΩΝ	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	5	Αναμονή σε κάθισμα: 99met	10	-
ΑΙΘΟΥΣΑ 4	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	50	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
ΑΙΘΟΥΣΑ 5	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	74	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
ΑΙΘΟΥΣΑ 6	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ-ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	22	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	2200
ΑΙΘΟΥΣΑ 7	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	48	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
ΑΠΟΘΗΚΗ	ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	-	-	-	10	-
Α' ΟΡΟΦΟΣ						
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ-	-	-	10	-

Α' ΟΡΟΦΟΥ	Σ ΧΩΡΟΣ	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20 ή 09-17				
ΓΡΑΦΕΙΟ 101	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	5	Εργασία γραφείου, ήπια μετακίνηση: 126met	10	825
ΓΡΑΦΕΙΟ 102						
ΓΡΑΦΕΙΟ 103	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	36
ΓΡΑΦΕΙΟ 104	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	2	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	72
ΓΡΑΦΕΙΟ 105	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	2	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	775
ΓΡΑΦΕΙΟ 106	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	10	Διάβασμα, γράψιμο: 99met	10	-
ΓΡΑΦΕΙΟ 107	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	3	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	395
ΓΡΑΦΕΙΟ 108	ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	95
ΑΙΘΟΥΣΑ 109	ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20	85	Διάβασμα, γράψιμο: 108met	10	810
Β' ΟΡΟΦΟΣ						
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ Β' ΟΡΟΦΟΥ	ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟ Σ ΧΩΡΟΣ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-20 ή 09-17	-	-	10	220
ΓΡΑΦΕΙΟ 201	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	3	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	1309
ΓΡΑΦΕΙΟ 202	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	6	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	1984
ΓΡΑΦΕΙΟ 203	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	95
ΓΡΑΦΕΙΟ 204	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	3	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	512
ΓΡΑΦΕΙΟ 205	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	95
ΓΡΑΦΕΙΟ 206	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	95
ΓΡΑΦΕΙΟ 207	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	2	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	190
ΓΡΑΦΕΙΟ 208	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	4	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	870
ΓΡΑΦΕΙΟ 209	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	475
ΓΡΑΦΕΙΟ 210	ΓΡΑΦΕΙΟ	ΔΕΥΤΕΡΑ- ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 09-17	1	Εργασία σε Η/Υ: 117met	10	95

Ωστόσο, τα παραπάνω φορτία δεν εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα τις ώρες λειτουργίας του κάθε χώρου. Μια πιο αναλυτική προσέγγιση, θα καθόριζε διαφορετικά προγράμματα εμφάνισης της ανθρώπινης παρουσίας μέσα στη διάρκεια του έτους, διαφορετικά επίπεδα φωτισμού στη διάρκεια της ημέρας, διαφορετικά είδη δραστηριότητας να συνυπάρχουν σε κάθε χώρο, κ.ο.κ. Με στόχο την απλοποίηση του προσομοιωτικού μοντέλου του κτιρίου, έγινε μια ομαδοποίηση όλων των δεδομένων της πραγματικής χρήσης του κτιρίου.

Συγκεκριμένα, το ωράριο λειτουργίας κάθε χώρου καθορίζεται από το είδος της λειτουργίας του, ενώ στην περίπτωση που ένας χώρος εμφανίζει μεγάλη διαφοροποίηση στο ωράριο λειτουργίας του για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε στο ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας του ορίζεται τοιούτοτρόπως. Έτσι, ο χώρος της κεντρικής εισόδου η οποία συνυπάρχει με την καφετέρια σε ενιαίο χώρο, συνήθως λειτουργεί τις ώρες διδασκαλίας, Δευτέρα έως Παρασκευή 9π.μ. μέχρι 8 μ.μ. εκτός από τις περιόδους του έτους στις οποίες δεν γίνονται μαθήματα αλλά λειτουργούν τα γραφεία του κτιρίου, οπότε οι ώρες λειτουργίας διαμορφώνονται ως εξής, Δευτέρα έως Παρασκευή 9 π.μ. έως 5 μ.μ. Το ίδιο ισχύει και για τους κοινόχρηστους χώρους, τους διαδρόμους. Ορισμένα γραφεία, τυχαίνει κάποιες φορές να λειτουργούν περισσότερες από τις καθορισμένες ώρες λόγω ύπαρξης μεταπτυχιακών φοιτητών σε αυτά ή λόγω χρήσης τους από τους καθηγητές κατά τα απογευματινά μαθήματα. Θα ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκο ένα πρόγραμμα εμφάνισης φορτίων στα γραφεία που θα ακολουθούσε αυτό το μοτίβο και θα προσέφερε πολύ λίγο στο συνολικό θερμικό κέρδος, επομένως, έγινε χρήση του τυπικού ωραρίου.

Με παρόμοιο τρόπο έγινε η απλοποίηση στο ωράριο λειτουργίας των αιθουσών διδασκαλίας. Δεν λειτουργούν όλες οι αίθουσες με καθημερινό πλήρες ωράριο. Μια προσπάθεια καταγραφής του πραγματικού ωραρίου όμως, θα εξαρτούσε τα αποτελέσματα της μελέτης, από το συγκεκριμένο ετήσιο ωρολόγιο πρόγραμμα που θα εφαρμοζόταν. Επίσης, το ποσοστό των φοιτητών που παρακολουθεί τις διαλέξεις δεν είναι σταθερό. Εκφράστηκε ως ένα τυπικό ποσοστό, 25% με αποκορύφωμα συμμετοχής, 100% στη διάρκεια των εξεταστικών περιόδων. Ομοίως, δεν είναι σταθερή η ανθρώπινη παρουσία στα γραφεία τις ώρες λειτουργίας αυτών στη διάρκεια του έτους. Έγινε η παραδοχή ότι το προσωπικό που αντιστοιχεί σε κάθε γραφείο, παραμένει σταθερό τις ώρες λειτουργίας του κάθε γραφείου.

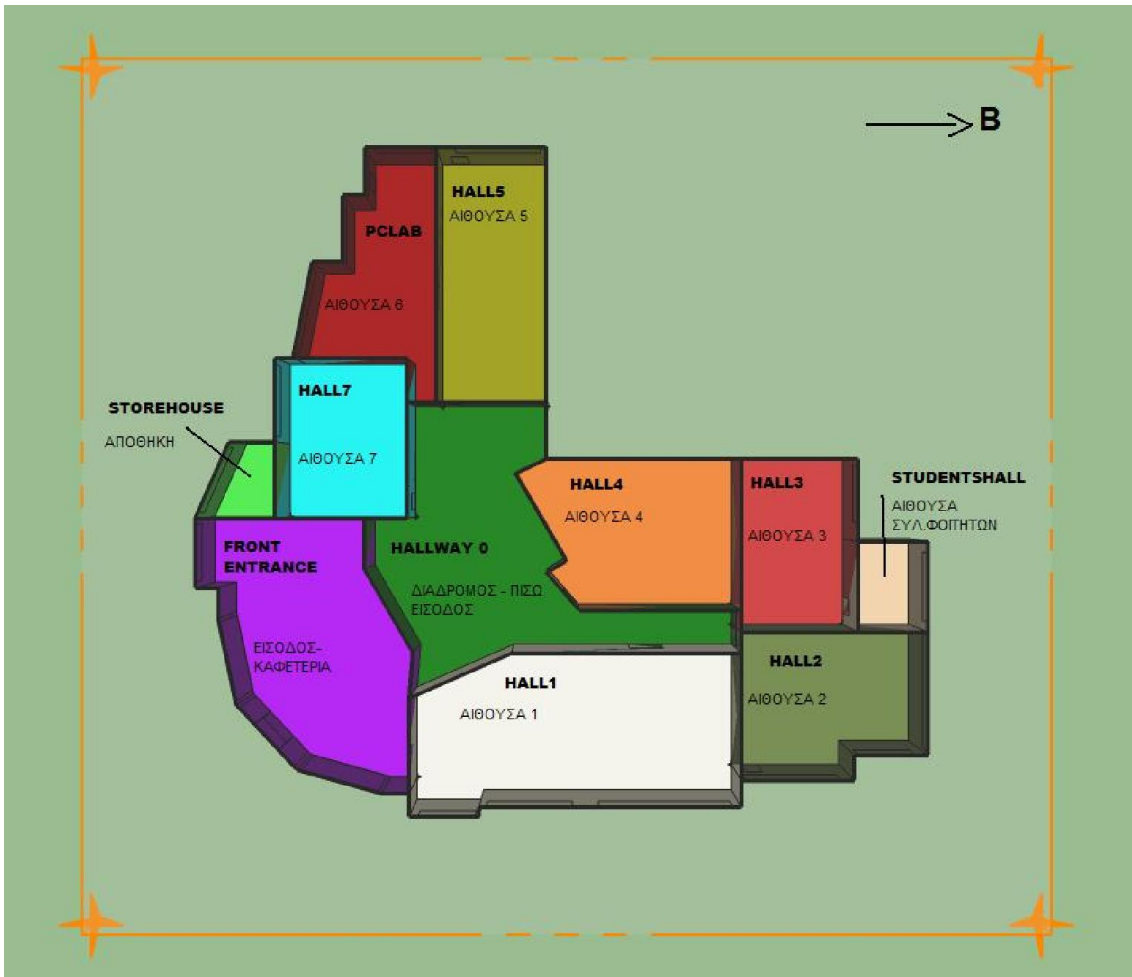
Με ανάλογο τρόπο έγιναν γενικεύσεις ως προς το είδος της εργασίας το οποίο επιτελείται σε κάθε χώρο. Η εργασία η οποία εμφανίζεται στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, αυτή θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική του κάθε χώρου.

Ο υπολογισμός των θερμικών κερδών από ηλεκτρικές συσκευές και εξοπλισμό,

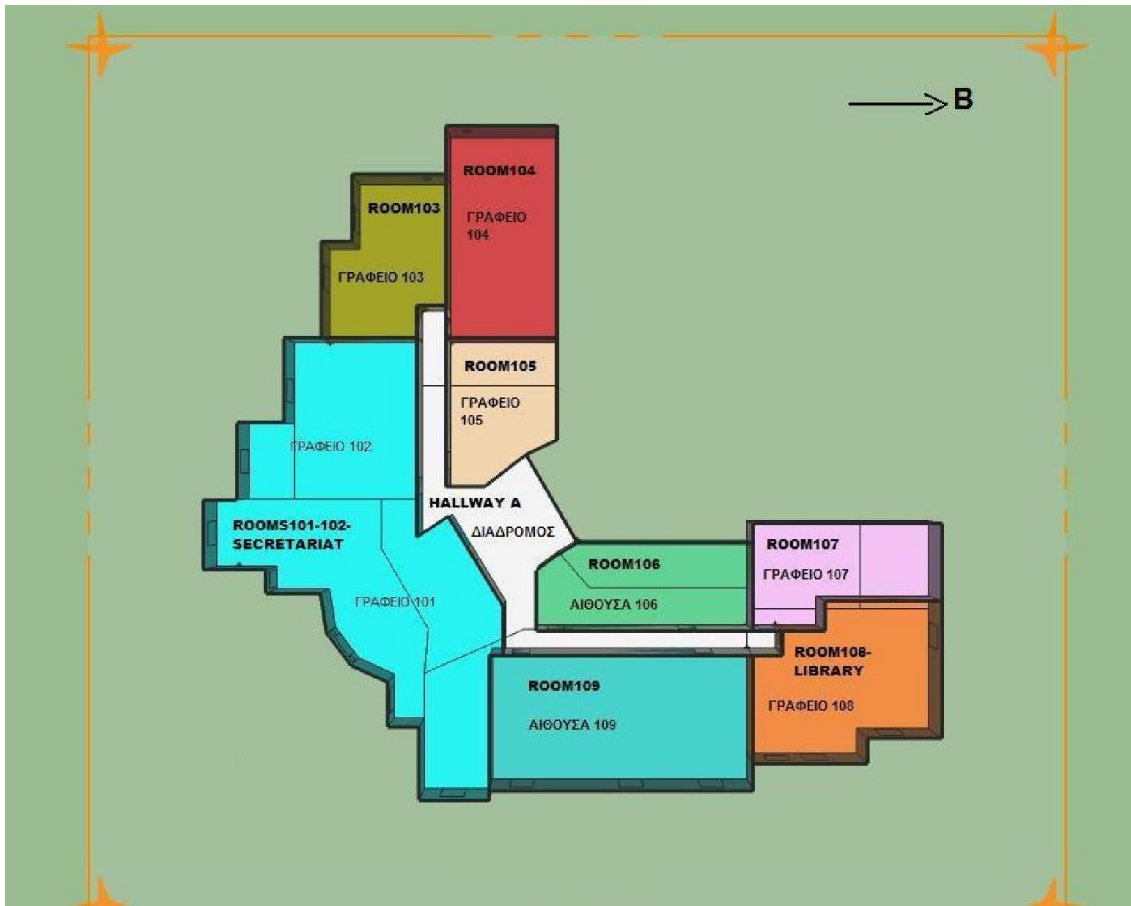
πραγματοποιήθηκε με καταμέτρηση αυτών σε κάθε χώρο, και την υπόθεση ότι αυτές χρησιμοποιούνται τις ώρες λειτουργίας του χώρου. Ενδεικτικά, στις αίθουσες διδασκαλίας γίνεται χρήση διαφανοσκοπίου και προβολέα, στα γραφεία υπάρχουν Η/Υ, εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα-φαξ και καφετιέρες, ενώ στην καφετέρια υπάρχουν ψυγεία, καταψύκτης, φούρνος, καφετιέρα, μηχανή για ζεστά ροφήματα και γίνεται η υπόθεση ότι τα ψυγεία παραμένουν σε συνεχή λειτουργία.

4.4 Ορισμός θερμικών ζωνών για την προσομοίωση του κτιρίου

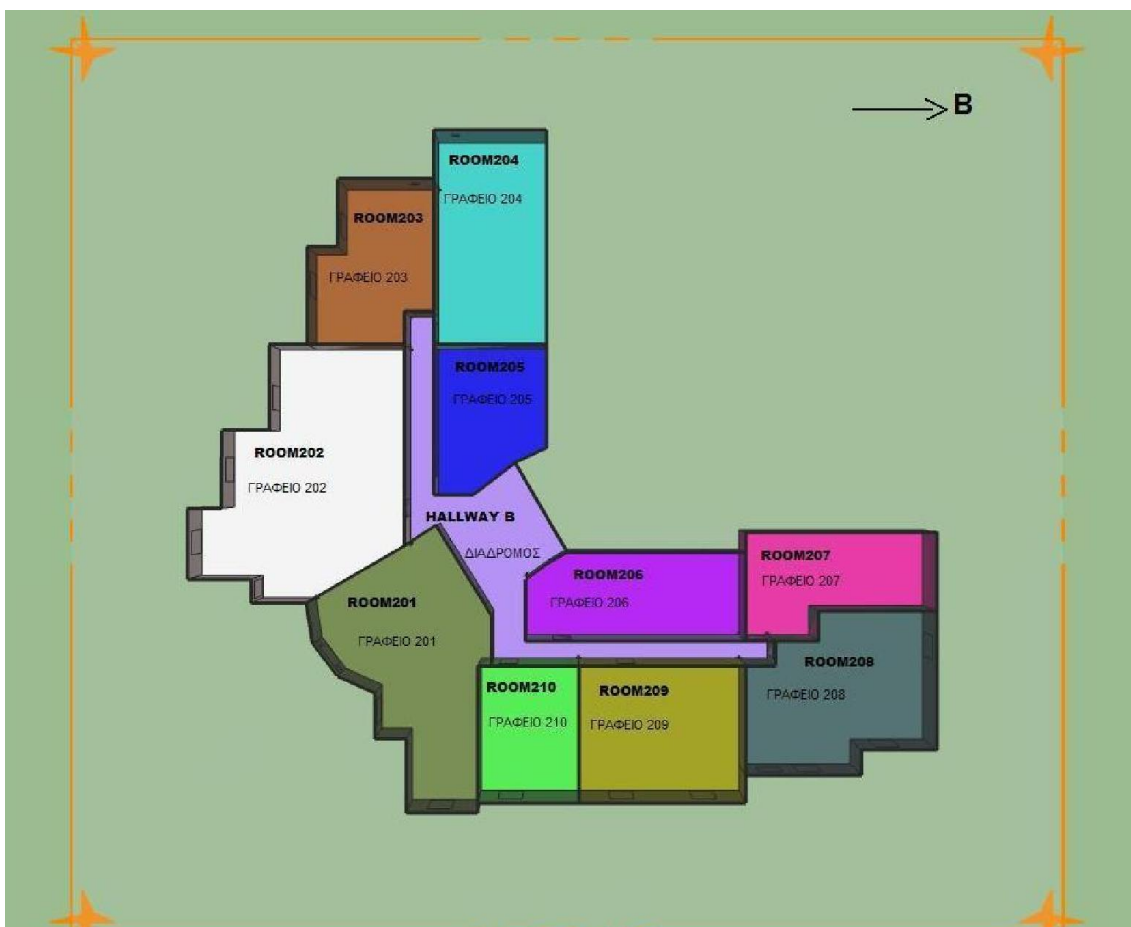
Κατά την διαδικασία διαχωρισμού του κτιρίου σε θερμικές ζώνες, υπήρξαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις που ήταν επιστημονικά ορθές. Η πρώτη περίπτωση περιελάμβανε το διαχωρισμό με χρήση του κριτηρίου της ομοιογένειας της χρήσης του χώρου και των συνθηκών θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού που επικρατούν σε αυτό. Αυτή η περίπτωση οδηγούσε σε μικρότερο αριθμό ανεξάρτητων θερμικών ζωνών που περιελάμβαναν χώρους με κοινά χαρακτηριστικά. Ενδεικτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία θερμική ζώνη για τους χώρους γραφείων του δευτέρου ορόφου οι οποίοι έχουν πρόσοψη στην δυτική πλευρά του κτιρίου. Ωστόσο, η επικρατέστερη ήταν η δεύτερη περίπτωση, κατά την οποία ο διαχωρισμός σε θερμικές ζώνες έγινε αγνοώντας τους κανόνες περί απλοποίησης του γεωμετρικού μοντέλου. Το αποτέλεσμα ήταν 31 θερμικές ζώνες οι οποίες περιλαμβάνουν μία θερμική ζώνη για κάθε γραφείο, αίθουσα διδασκαλίας, διάδρομο, χωριστή ζώνη για το χώρο της εισόδου μαζί με την καφετέρια και χωριστή ζώνη για τον αποθηκευτικό χώρο, σχήματα 4.6, 4.7, 4.8. Ο σκοπός ήταν η ευκρίνεια στα αποτελέσματα της προσομοίωσης και η δυνατότητα ελέγχου των εσωτερικών φορτίων ή συνθηκών λειτουργίας σε κάθε χώρο ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους. Όλες οι θερμικές ζώνες θεωρούνται θερμαινόμενες ή ψυχόμενες εκτός από τον αποθηκευτικό χώρο. Το κλιμακοστάσιο, ο ανελκυστήρας και οι χώροι WC του ισόγειου, δεν συμπεριελήφθησαν στον διαχωρισμό θερμικών ζωνών για λόγους απλοποίησης του γεωμετρικού μοντέλου.



Σχήμα 4.6. :Κάτοψη του ισογείου με εμφανείς τις διαφορετικές θερμικές ζώνες.



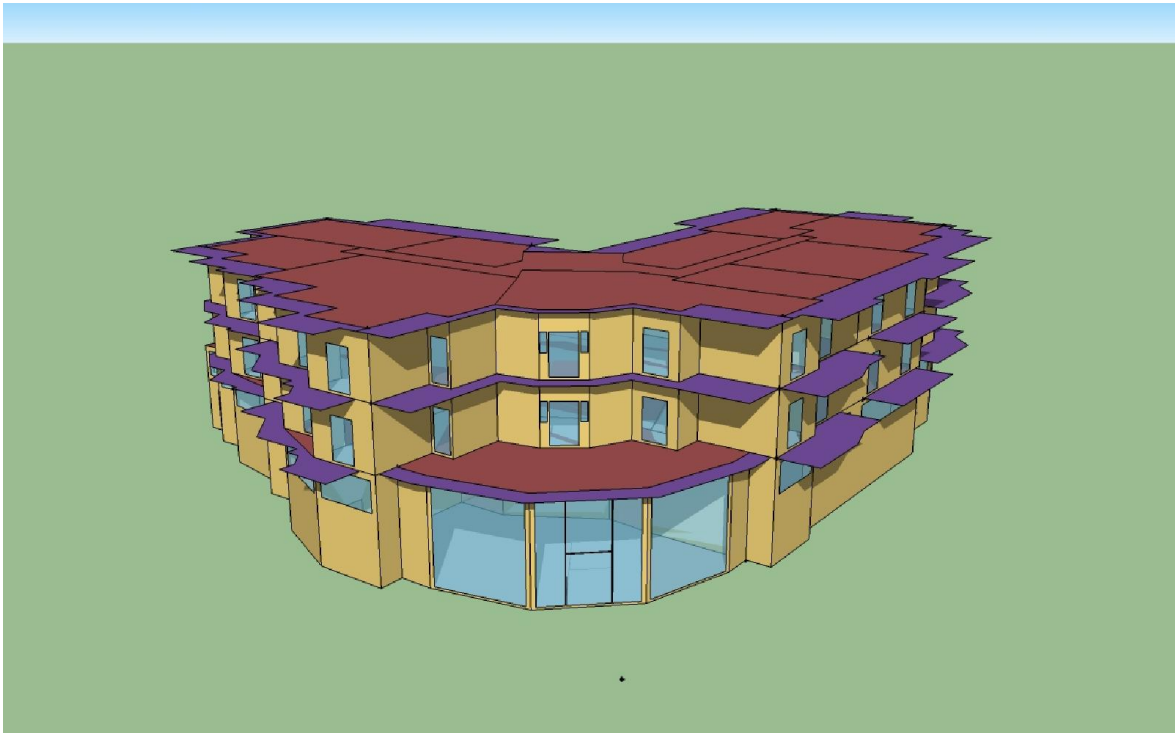
Σχήμα 4.7 :Κάτοψη πρώτου ορόφου με εμφανείς τις διαφορετικές θερμικές ζώνες.



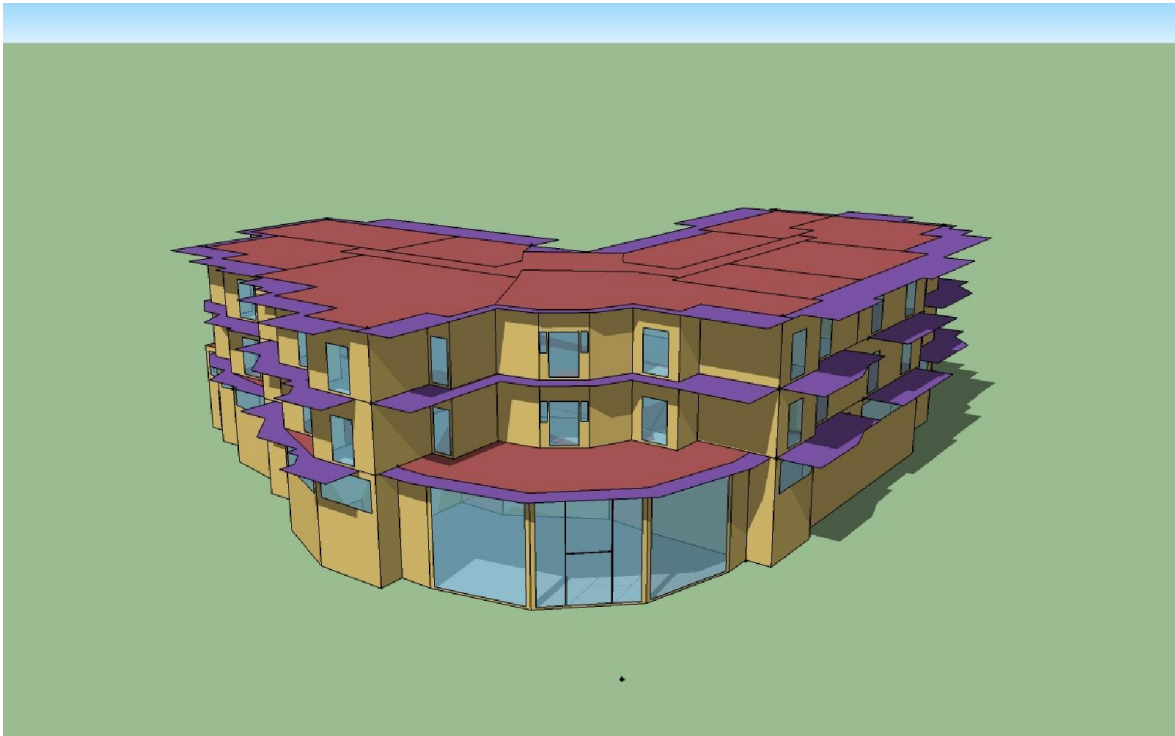
Σχήμα 4.8 : Κάτοψη δεύτερου ορόφου με εμφανείς τις διαφορετικές θερμικές ζώνες.

4.5 Σκιασμός του κτιρίου

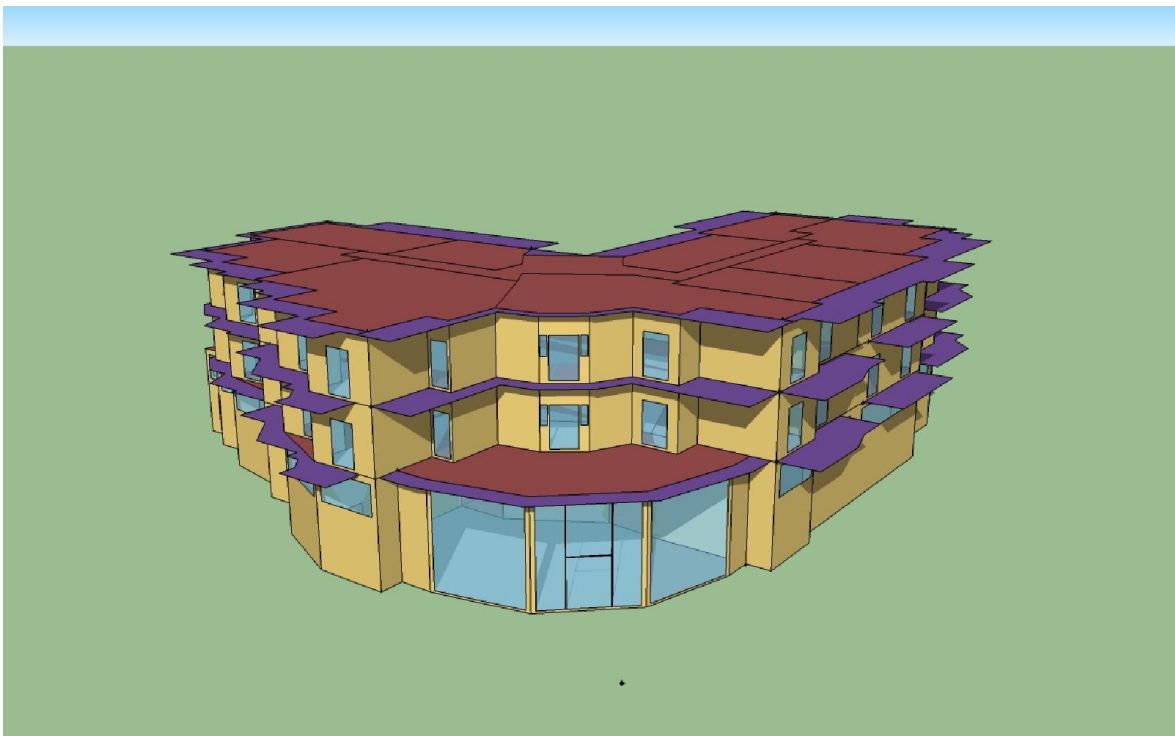
Η σκίαση των εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου, πραγματοποιείται από δύο ειδών εμπόδια. Τα γειτονικά κτίρια τα οποία υπάρχουν σκιάζουν μερικές επιφάνειες, κυρίως στο ισόγειο, του υπό μελέτη κτιρίου σε κάποιες ώρες της ημέρας. Επιπλέον, κυρίως οροφές του ισόγειου και του πρώτου ορόφου σκιάζονται από τις βεράντες του πρώτου και δεύτερου ορόφου αντίστοιχα. Για την μεν πρώτη περίπτωση των γειτονικών κτιρίων, σκόπιμα δεν ελήφθησαν υπόψη οι σκιάσεις προς τις επιφάνειες του υπό μελέτη κτιρίου, κυρίως λόγω έλλειψης στοιχείων που θα οδηγούσε σε υπερεκτίμηση ή συντηρητική εκτίμηση του καθαρού ύψους των εμποδίων και θα οδηγούσε σε εσφαλμένους υπολογισμούς σκιασμού. Ο σκιασμός από τους άνω ορόφους αναπαρίσταται στο μοντέλο του Google SketchUp με οριζόντιους προβόλους και υπολογίστηκε από το Energy Plus κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων για όλη τη διάρκεια του έτους. Στα σχήματα 4.10-4.13 που ακολουθούν φαίνονται οι οριζόντιοι πρόβολοι σκίασης του μοντέλου στο Google SketchUp και οι χαρακτηριστικές σκιάσεις που παρέχουν σε χαρακτηριστικές ημέρες του έτους.



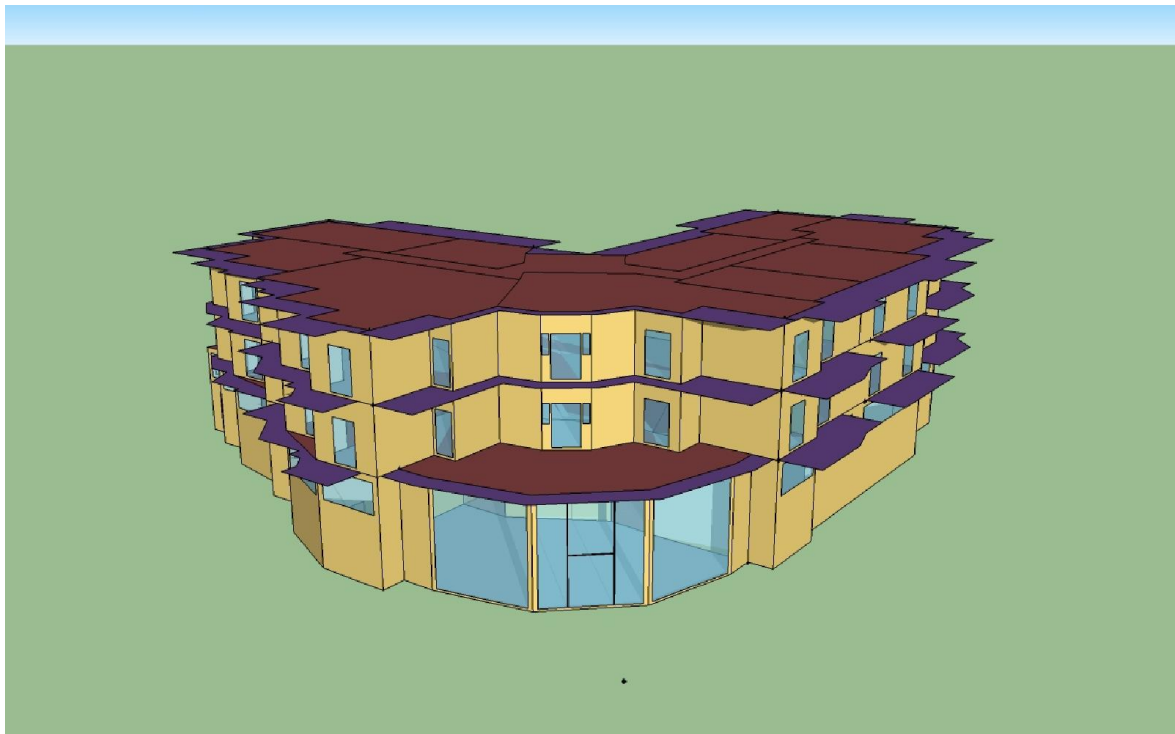
Σχήμα 4.10: Απεικόνιση σκιασμού της νοτιοανατολικής όψης στις 21 Μαρτίου στις 12:00



Σχήμα 4.11: Απεικόνιση σκιασμού της νοτιοανατολικής όψης στις 21 Ιουνίου στις 12:00.



Σχήμα 4.12: Απεικόνιση σκιασμού της νοτιοανατολικής όψη στις 21 Σεπτεμβρίου στις 12:00.



Σχήμα 4.13: Απεικόνιση σκιασμού της νοτιοανατολικής όψης στις 21 Δεκεμβρίου στις 12:00.

4.6 Γενικές παραδοχές για την προσομοίωση του κτιρίου

Οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου μπορούν να υπολογιστούν με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Τις απλουστευτικές μεθόδους υπολογισμού
- Τις προσομοιωτικές μεθόδους υπολογισμού

Στις μεν πρώτες με δεδομένη την απλότητα των υπολογισμών, είναι περιορισμένη η ακρίβεια των αποτελεσμάτων και για να αντισταθμιστεί αυτό βασίζονται σε μια σειρά ασφαλών παραδοχών για να διασφαλιστεί ότι το ενεργειακό αποτέλεσμα δεν θα είναι μικρότερο των πραγματικών αναγκών του κτιρίου. Στις προσομοιωτικές μεθόδους, υπάρχει η δυνατότητα λεπτομερούς ανάλυσης ανά ώρα της πραγματικής ενεργειακής ανάγκης του κτιρίου. Ο ρόλος της προσομοίωσης είναι να προσεγγίσει όσο το δυνατόν την πραγματική λειτουργία του κτιρίου και προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, γίνεται χρήση μιας σειράς από αλγόριθμους με λιγότερο ή περισσότερο απαιτητικό μαθηματικό υπόβαθρο το οποίο όμως είναι σε θέση να περιγράψει τα φαινόμενα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες κοντά στην πραγματικότητα [9].

Η προσομοίωση του υφιστάμενου κτιρίου στο EnergyPlus, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των παρακάτω μοντέλων και αλγορίθμων υπολογισμού:

- Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο κέλυφος του κτιρίου, περιγράφεται με τον αλγόριθμο FullExterior. Ο αλγόριθμος υπολογίζει τους σκιασμούς από τους οριζόντιους προβόλους του κτιρίου όπως επίσης και την ακτινοβολία που εισέρχεται από τα διαφανή στοιχεία μέσα στο κτίριο, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη η ανακλαστικότητα του εδάφους. Το σύνολο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο δάπεδο της κάθε θερμικής ζώνης, απορροφάται από αυτό σύμφωνα με τον συντελεστή απορρόφησης του υλικού, και η ανακλώμενη ακτινοβολία προσμετράται στη διάχυτη ακτινοβολία από τους γύρω τοίχους. [10]
- Οι σκιάσεις του κτιρίου που προκύπτουν από την αλλαγή της θέσης του ήλιου υπολογίζονται εκ νέου κάθε 20 ημέρες.
- Ο αλγόριθμος υπολογισμού της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή στο εσωτερικό του κτιρίου είναι ο TARP. Ο αλγόριθμος συσχετίζει τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας με την θερμοκρασιακή διαφορά για διάφορους προσανατολισμούς [10].
- Ο αλγόριθμος υπολογισμού της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιριακού κελύφους είναι ο DOE-2. Ο αλγόριθμος αυτός έχει προκύψει από μελέτες πεδίου και χρησιμοποιεί μια συσχέτιση από τις μετρήσεις των Klems και Yazdaniian για επιφάνειες με κάποια τραχύτητα [10].
- Η μέθοδος συνολικής επίλυσης της προσομοίωσης, βασίζεται στον αλγόριθμο θερμικού ισοζυγίου Heat Balance Algorithm [10].
- Ο αλγόριθμος Conduction Transfer Function, χρησιμοποιείται για να υπολογίζει την μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα στις επιφάνειες του κτιρίου. Οι λύσεις που προκύπτουν έχουν βασιστεί στην αισθητή θερμότητα μόνο, μη λαμβάνοντας υπόψη τη συγκέντρωση ή την διάχυση της υγρασίας στα δομικά στοιχεία [10].
- Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης ορίστηκε στον αριθμό 6, δηλαδή πραγματοποιείται νέος υπολογισμός μεταφοράς θερμότητας κάθε 10 λεπτά της ώρας.

4.7 Κλιματικά δεδομένα

Το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, αναπαρίσταται στην προσομοίωση με τη χρήση του κλιματικού αρχείου της περιοχής. Το Energy Plus διαθέτει κλιματικά αρχεία για πολλές πόλεις σε παγκόσμιο επίπεδο, τα οποία έχουν προκύψει από μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών στις διάφορες περιοχές. Για την περιοχή της Κοζάνης δεν υπάρχει διαθέσιμο

αρχείο, και η πλησιέστερη επιλογή είναι το κλιματικό αρχείο της Θεσσαλονίκης με μετρήσεις στον μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου «Μακεδονία». Ωστόσο, λόγω μεγάλης διαφοράς στο υψόμετρο της περιοχής του μετεωρολογικού σταθμού, η Κοζάνη βρίσκεται σε υψόμετρο 620m από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ το αεροδρόμιο «Μακεδονία» στα 4m, θεωρήθηκε προτιμότερο να μην χρησιμοποιηθεί. Το κλιματικό αρχείο το οποίο τελικά χρησιμοποιήθηκε αποτελεί προϊόν προσωπικής εργασίας του υποψήφιου διδάκτορα του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, κ. Κωνσταντίνου Ορδουμποζάνη και παραχωρήθηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Τα δεδομένα του αρχείου έχουν καταγραφεί στον μετεωρολογικό σταθμό Κοζάνης, πίνακας 4.11, ενώ οι χαρακτηριστικές τιμές για την περιοχή φαίνονται στον πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.11: Χαρακτηριστικά στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού Κοζάνης [11]

Τοποθεσία	Κοζάνη
Γεωγραφικό πλάτος	N 40° 30'
Γεωγραφικό μήκος	E 22° 0'
Υψόμετρο	620m επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
Ατμοσφαιρική πίεση στο υψόμετρο	94095 Pa

Πίνακας 4.12: Μέσες μηνιαίες τιμές χαρακτηριστικών μεταβλητών του κλίματος της περιοχής

Μήνας	Θερμ. ξηρού βολβού (°C)	Θερμ. υγρού βολβού (°C)	Θερμ. σημείου δρόσου (°C)	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Επικρατ έστερη διεύθυνση ανέμου	Θερμ. εδάφους (C)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)
Ιανουάριος	2,51	0,3	-3	0,58	Δ	11,17	23,62	62,26
Φεβρουάριος	3,15	1,29	-1,2	0,98	Δ-ΒΔ	9,84	36,42	71,59
Μάρτιος	6,8	4,51	1,93	1,89	Δ	9,3	60,1	89,77
Απρίλιος	11,79	8,51	5,44	1,87	Δ	9,7	85,6	121,01
Μάιος	17,01	12,89	10,06	1,12	Δ	10,96	93,88	159,15
Ιούνιος	20,61	15,39	12,09	1,5	Δ	12,76	103,45	181,67
Ιούλιος	23,14	16,75	13,02	1,51	Δ	14,6	97,53	193,85
Αύγουστος	22,52	16,44	12,83	1,27	Δ	16,01	79,71	189,05
Σεπτέμβριος	18,23	13,73	10,77	1,21	ΒΔ	16,57	59,56	157,89
Οκτώβριος	13,42	10,08	7,1	0,75	Δ	16,14	43	95,19
Νοέμβριος	7,89	5,69	3,37	0,8	Δ	14,86	30,1	58,8
Δεκέμβριος	4,07	1,88	-1,1	0,92	Δ	13,05	23,37	55,8

Τέλος, το κλιματικό αρχείο με μια σύντομη επεξεργασία, μπορεί να δώσει πολύτιμα στατιστικά στοιχεία για τη γενική περιγραφή της περιοχής την οποία αφορά. Από τέτοια επεξεργασία του κλιματικού αρχείου της Κοζάνης προέκυψαν οι παρακάτω πληροφορίες, οι οποίες δίνουν ένα στίγμα για την εποχική μεταβολή της θερμοκρασίας στην περιοχή,

πίνακας 4.13

Πίνακας 4.13: Προσδιορισμός εποχών και ακραίων περιόδων

Ψυχρότερος μήνας	Φεβρουάριος
Θερμότερος μήνας	Ιούλιος
Προσδιορισμός καλοκαιριού	Ιούνιος - Αύγουστος
Ακραία καλοκαιρινή εβδομάδα	17 – 23 Αυγούστου $T_{max}=35.10^{\circ}\text{C}$
Τυπική θερινή εβδομάδα	29 Ιουνίου - 5 Ιουλίου $T_{average}=22.10^{\circ}\text{C}$
Προσδιορισμός φθινοπώρου	Σεπτέμβριος - Νοέμβριος
Τυπική εβδομάδα φθινοπώρου	29 Σεπτεμβρίου-5 Οκτωβρίου $T_{average}=13.18^{\circ}\text{C}$
Προσδιορισμός χειμώνα	Δεκέμβριος - Φεβρουάριος
Ακραία χειμερινή εβδομάδα	22 – 28 Δεκεμβρίου $T_{min}=-7.70^{\circ}\text{C}$
Τυπική χειμερινή εβδομάδα	8 – 14 Δεκεμβρίου $T_{average}=3.24^{\circ}\text{C}$
Προσδιορισμός άνοιξης	Μάρτιος-Μάιος
Τυπική εαρινή εβδομάδα	12 -18 Απριλίου $T_{average}=11.87^{\circ}\text{C}$

4.8 Θερμική μελέτη

4.8.1 Συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικών χώρων

Έπειτα από τη συλλογή όλων των δεδομένων που περιγράφουν το κτιριακό κέλυφος, την χρήση και την λειτουργία των χώρων του κτιρίου, καθώς και το εξωτερικό ατμοσφαιρικό περιβάλλον, όλα αυτά τα στοιχεία εισήχθησαν στο γεωμετρικό μοντέλο του κτιρίου και το αποτέλεσμα είναι το πλήρες μοντέλο προσομοίωσης του κτιρίου.

Η προσομοίωση έχει σκοπό τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτιρίου στην διάρκεια του έτους. Η θερμική μελέτη που πραγματοποιήθηκε, έλαβε υπόψη της όλα τα δεδομένα εισαγωγής που περιγράφηκαν έως τώρα και επιπλέον καθορίστηκαν τα δεδομένα σχεδιασμού του κτιρίου με βάση τα οποία θα προκύψουν οι τιμές των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Οι συνθήκες σχεδιασμού για τους υπολογισμούς προκύπτουν από τους πίνακες της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2010 [12] και παρουσιάζονται στον πίνακα 4.14:

Πίνακας 4.14: Συνθήκες σχεδιασμού των εσωτερικών χώρων

ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)		ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)		ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΝΩΠΟΣ ΑΕΡΑΣ	
	ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	(m ³ /h/ άτομο)	(m ³ /h/m ²)
ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ	20	26	35	45	22	11,00
ΓΡΑΦΕΙΟ	20	26	35	45	30	4,50
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	20	26	35	45	30	6,60
ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤ ΟΣ ΧΩΡΟΣ	18	26	35	50	-	2,6
ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ Σ ΧΩΡΟΣ	18	26			-	2,6

Κατά την προσομοίωση υπολογισμού των θερμικών και ψυκτικών φορτίων θεωρήθηκε ότι η θερμοκρασία στους χώρους του κτιρίου παραμένει σταθερή για την ψύξη ή τη θέρμανση σε όλη τη διάρκεια του έτους και συμπίπτει με τις παραπάνω τιμές. Η ίδια υπόθεση έγινε και για την παροχή νωπού αέρα στους χώρους, ωστόσο στο εφαρμόστηκε πρόγραμμα On off για τον αερισμό τις ώρες που δεν λειτουργεί το κτίριο. Η διακοπτόμενη λειτουργία του κτιρίου λήφθηκε υπόψη μόνο στην εμφάνιση των εσωτερικών θερμικών κερδών.

4.8.2 Συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος

Για την περιγραφή των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος, έγινε χρήση μεγαλύτερων της μιας ημέρας χρονικών περιόδων για τις ημέρες σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, έπειτα από στατιστική επεξεργασία του κλιματικού αρχείου της Κοζάνης, διαπιστώθηκε ότι προκύπτουν ακραία χειμερινή και ακραία θερινή εβδομάδα αντί των ακραίων ημερών. Ωστόσο, και οι δύο ακραίες εβδομάδες συμπίπτουν με περίοδο διακοπών για το Πανεπιστήμιο, πίνακας 4.13. Το εμπόδιο αυτό ξεπεράστηκε στη χειμερινή περίοδο κάνοντας χρήση του μήνα Φεβρουαρίου, ως πιο ψυχρού μήνα, ως μήνα σχεδιασμού για τις ανάγκες του κτιρίου σε θέρμανση, πίνακας 4.12. Ο Ιούλιος ως ο θερμότερος καλοκαιρινός μήνας ωστόσο, συμπίπτει και πάλι με περίοδο διακοπών για τους φοιτητές. Επειδή η χρήση του δεν έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα λόγω της μη ανάγκης σε ψύξη στις αίθουσες διδασκαλίας, αποφασίστηκε η χρήση του Ιουνίου ως μήνα σχεδιασμού για τα ψυκτικά φορτία, πίνακας 4.15. Η επιλογή αιτιολογείται πλήρως κυρίως

λόγω του ιδιαίτερα επιβαρυσμένου προγράμματος των αιθουσών στην εξεταστική περίοδο του Ιουνίου.

Εκτός των υπολογισμών στις χρονικές περιόδους σχεδιασμού, πραγματοποιήθηκε και ετήσιος υπολογισμός, ώστε να προκύψουν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία του χώρου ανά μήνα του έτους.

Πίνακας 4.15: Συγκριτικός πίνακας τιμών για την περιόδους σχεδιασμού

Μήνας	Θερμ. ξηρού βολβού max-min (°C)	Θερμ. υγρού βολβού, avg (°C)	Θερμ. σημείου δρόσου max-min (°C)	Ταχύτητα ανέμου, avg (m/s)	Επικρατ έστερη διεύθυνση ανέμου	Θερμ. εδάφους, avg (C)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, avg (W/m2)	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία, avg (W/m2)
Φεβρουάριος	14,8 ~ -7,7	1,29	7,9 ~ -11,6	0,98	Δ-ΒΔ	9,84	36,42	71,59
Ιούνιος	31,9 ~ 7,2	15,39	19,6 ~ -3,4	1,5	Δ	12,76	103,45	181,67
Ιούλιος	35,1 ~ 11,6	16,75	22,7 ~ 0,9	1,51	Δ	14,6	97,53	193,85
Δεκέμβριος	14,0 ~ -6,4	1,88	7,8 ~ -10,5	0,92	Δ	13,05	23,37	55,8
Αύγουστος	33,3 ~ 7,8	16,44	19,8 ~ -3,4	1,27	Δ	16,01	79,71	189,05

4.8.3 Υπολογισμός αερισμού, θερμικών και ψυκτικών φορτίων

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στο Energy Plus, με χρήση του μοντέλου: Ideal Loads Air System. Το συγκεκριμένο μοντέλο εκτελεί τον υπολογισμό των απαραίτητων ενεργειακών αναγκών για κάλυψη των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου δίχως να περιορίζεται από την εφαρμογή κάποιου συγκεκριμένου συστήματος κλιματισμού. Θεωρεί ότι υπάρχει απεριόριστη δυνατότητα παροχής αέρα στις επιθυμητές συνθήκες σχεδιασμού του κτιρίου, ο οποίος θα καλύψει τις ανάγκες του [10]. Το σύστημα αερισμού το οποίο αρχικά υποτέθηκε, είναι φυσικός αερισμός μέχρι του σημείου κάλυψης των απαιτούμενων αναγκών.

Στις μεταβλητές εισόδου του μοντέλου τέθηκαν οι τιμές του πίνακα 4.14 για τις συνθήκες σχεδιασμού, θερμοκρασίες και συνθήκες αερισμού, και εκτελέστηκε ο υπολογισμός των φορτίων για τις χρονικές περιόδους σχεδιασμού του πίνακα 4.15. Για τις συνθήκες θέρμανσης έγινε χρήση του μήνα Φεβρουαρίου και για τις συνθήκες ψύξης

χρησιμοποιήθηκε ο Ιούνιος και ετήσιος υπολογισμός για αποτελέσματα ανά μήνα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.9 Υπολογισμός συστήματος κλιματισμού

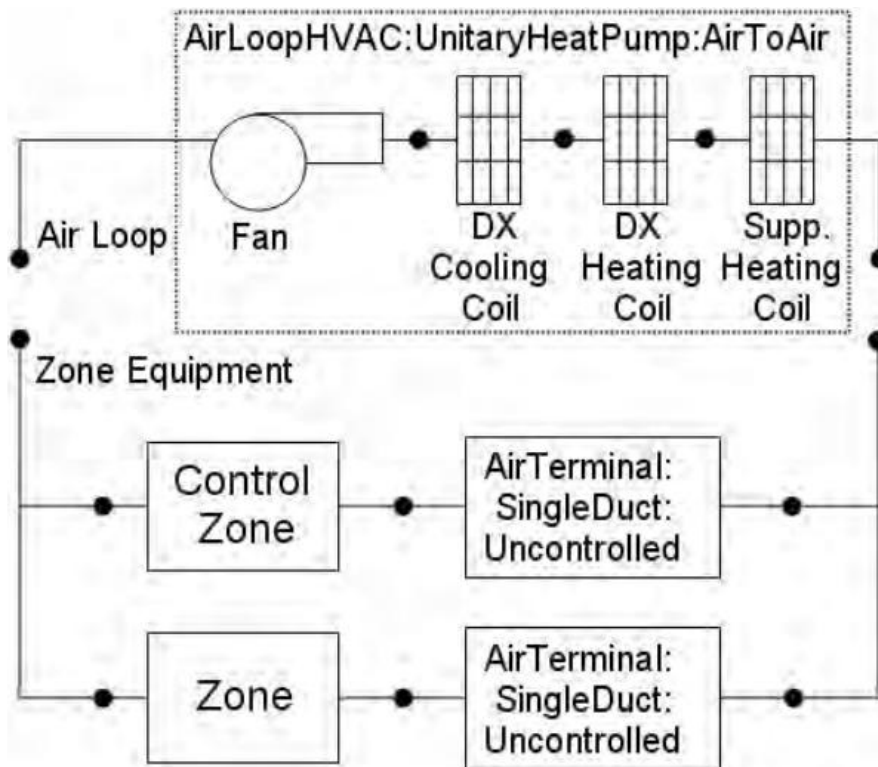
Η ενότητα που ακολουθεί περιγράφει μια πρώτη διαστασιολόγηση ενός ή περισσότερων συστημάτων κλιματισμού-αερισμού, τα οποία θα καλύψουν τις ανάγκες του κτιρίου σε θερμικά, ψυκτικά φορτία και αερισμό όπως αυτές μελετήθηκαν και υπολογίστηκαν στην προσομοίωση των φορτίων. Η τελική επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων ή κατάλληλων συστημάτων, για ένα κτίριο όπως το υπό μελέτη, θα πρέπει να προέλθει έπειτα από διεξοδική μελέτη διαφόρων παραγόντων, όπως η αυτονομία του συστήματος, οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης, το μέγεθος της εγκατάστασης, η δυνατότητα εγκατάστασης λόγω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κτιρίου κ.ά. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, έγινε μια προσπάθεια διαστασιολόγησης ενός συστήματος τύπου all air.

4.9.1 Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα - All air systems

Τα συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα, αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία συστημάτων κλιματισμού και είναι ιδιαίτερα δημοφιλή σε εμπορικά κτίρια. Το υπό μελέτη κτίριο, συνδυάζει εμπορικού τύπου χαρακτηριστικά όπως είναι τα γραφεία, αλλά και χαρακτηριστικά κτιρίου εκπαίδευσης λόγω των αιθουσών διδασκαλίας, με αποτέλεσμα να θεωρείται κατάλληλο για μια εφαρμογή με σύστημα all air.

Μια περιγραφή των συστημάτων all air, θα τα καθόριζε ως το σύστημα κλιματισμού το οποίο λειτουργεί μόνο με αέρα, παρέχει πλήρη αισθητή θέρμανση και ύγρανση καθώς και πλήρη αισθητή και λανθάνουσα ψύξη μέσω της παροχής αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο [1]. Περιλαμβάνουν μια σειρά από διατάξεις οι οποίες κλιματίζουν τον αέρα ανάλογα με τις επιθυμητές συνθήκες ενώ μπορούν να εξυπηρετήσουν μία ή περισσότερες θερμικές ζώνες. Ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετούν μπορούν να διαφοροποιηθούν αρκετά στην τελική τους μορφή.

Η επιλογή σε αυτήν την μελέτη, είναι σύστημα τύπου packaged αντλίας θερμότητας. Μια τυπική διάταξη του συστήματος όπως αυτή περιγράφεται στο μοντέλο προσομοίωσης φαίνεται στο σχήμα,



Σχήμα 4.14: Διάταξη συστήματος τύπου αντλίας θερμότητας με packaged κατασκευή.

Η αντλία θερμότητας όπως εφαρμόζεται στα συστήματα κλιματισμού, αποτελεί ένα σύστημα στο οποίο ο εξοπλισμός ψύξης χρησιμοποιείται έτσι ώστε η θερμότητα να λαμβάνεται από τον συμπυκνωτή και να παρέχεται στον κλιματιζόμενο χώρο όταν απαιτείται θέρμανση και αφαιρείται από τον αέρα μέσω του ατμοποιητή όταν επιδιώκονται η ψύξη και η αφύγρανση [1]. Όπως φαίνεται στο σχήμα περιλαμβάνεται πλέον των εναλλακτών για ψύξη ή θέρμανση του αέρα και ένα θερμαντικό στοιχείο το οποίο αναθερμαίνει τον αέρα στην κατάλληλη θερμοκρασία προτού αυτός εισέλθει τον χώρο.

Η διανομή του αέρα στις θερμικές ζώνες πραγματοποιείται μέσω αεραγωγών, μερικές φορές ιδιαίτερου όγκου, οι οποίοι αναλαμβάνουν να διανείμουν τον αέρα σε κάθε ζώνη ανάλογα με το φορτίο της. Οι αεραγωγοί συνδέονται απευθείας επάνω στην μονάδα κλιματισμού, και στο τελείωμά τους διαθέτουν στόμια κλιματισμού για να διαχέουν ομοιόμορφα τον αέρα εντός της ζώνης στα σημεία όπου αυτό είναι επιθυμητό. Στην παρούσα μελέτη δεν έγινε διαστασιολόγηση του συστήματος διανομής, καθώς απαιτείται περαιτέρω μελέτη.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα ενεργειακής προσομοίωσης

Παρακάτω παρατίθενται με τη μορφή γραφημάτων τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις δύο μελέτες που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, και γίνεται σχολιασμός τους. Κρίθηκε σκόπιμη η παρουσίασή τους με γραφήματα καθώς λόγω του όγκου των δεδομένων, δεν θα ήταν εύχρηστη η πινακοποιημένη μορφή τους.

5.1 Αποτελέσματα μελέτης υπολογισμού θερμικών και ψυκτικών φορτίων κτιρίου

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις του μοντέλου του κτιρίου για τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης και ψύξης.

5.1.1 Αποτελέσματα θερμικών κερδών

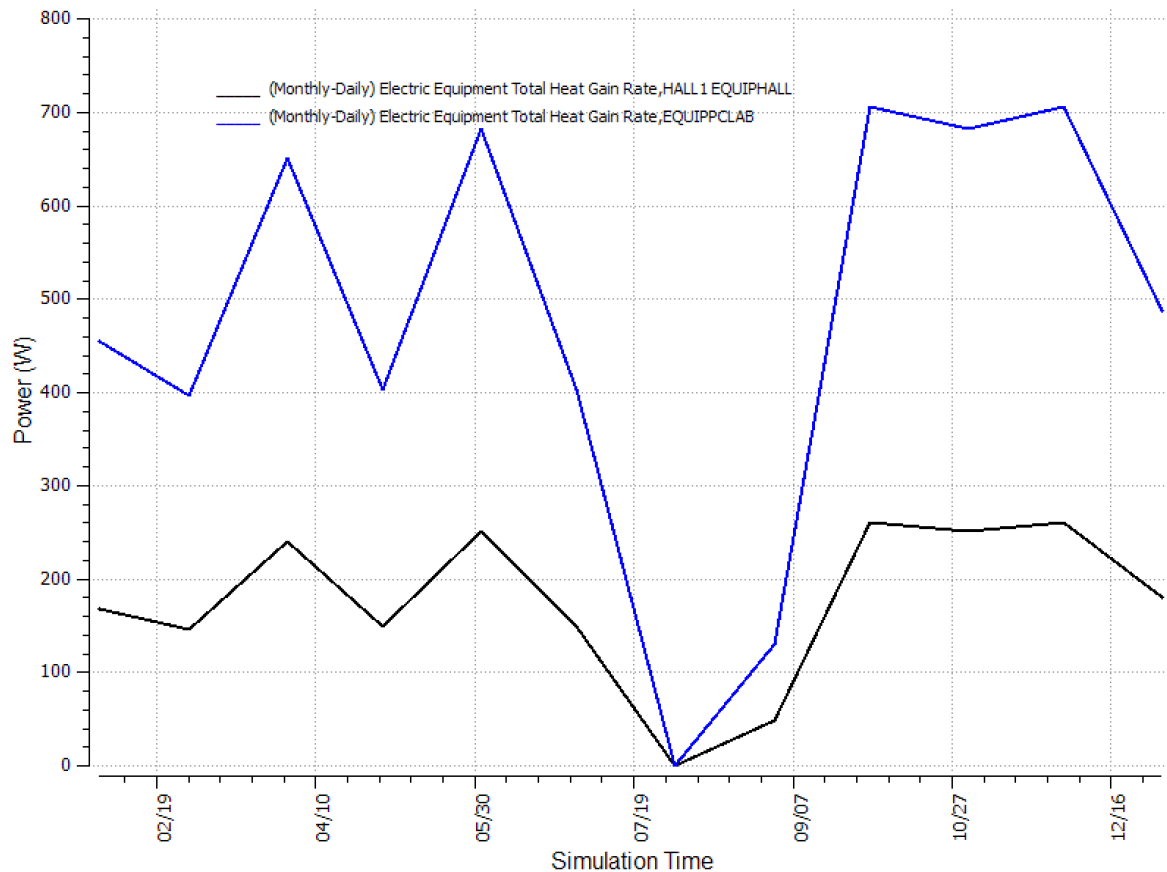
Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης των εσωτερικών θερμικών κερδών από εξοπλισμό, φωτισμό και ανθρώπους. Στα τυπικά στοιχεία των θερμικών ζωνών που παρουσιάζονται, περιλαμβάνονται οι επιφάνειες των θερμικών ζωνών που κλιματίζονται ή όχι, ο όγκος και το σύνολο των εφαρμοζόμενων φορτίων.

Πίνακας 5.1: Στοιχεία θερμικών ζωνών

Θερμική ζώνη	Επιφάνεια [m ²]	Κλιματιζόμενη	Όγκος ζώνης [m ³]	Καθαρή επιφ, τοίχου [m ²]	Επιφ, Υαλοπι νάκων [m ²]	Φωτισμός [W/m ²]	Ανθρωποι [m ² per person]	Ηλ, εξοπλισμός [W/m ²]
FRONTENTRANCE	117,38	Ναι	575,16	105,85	59,16	10	1,47	57,8804
HALL1	133,76	Ναι	655,43	99,97	20,3	10	1,11	6,0555
HALL2	69,94	Ναι	342,73	85,43	17,2	10	1,08	11,5807
HALL3	54,8	Ναι	268,53	50,91	11,2	10	1,52	14,7807
HALL4	79,7	Ναι	390,51	49,69	12,6	10	1,59	10,1637
HALL5	76,05	Ναι	372,65	93,02	23,1	10	1,03	10,6508
HALL7	57,42	Ναι	281,37	25,89	5,25	10	1,2	14,1061
HALLWAY0	133,08	Ναι	652,1	14,44	2,8	10	0	0
HALLWAYA	66,82	Ναι	200,47	15,82	0	10	0	0
HALLWAYB	66,82	Ναι	200,47	15,82	0,67	10	0	3,2922
PCLAB	64,11	Ναι	314,15	85,7	17,49	10	2,91	34,3143
ROOM101-102-SECRETARIAT	190,5	Ναι	571,51	130,1	16,92	10	38,1	4,3306
ROOM103	46,4	Ναι	139,21	44,68	5,04	10	46,4	0,7758
ROOM104	62,82	Ναι	188,47	57,53	6,79	10	31,41	1,1461
ROOM105	38,93	Ναι	116,79	21,1	4,88	10	19,46	19,9081
ROOM106	49,48	Ναι	148,43	27,29	4,87	10	4,95	0

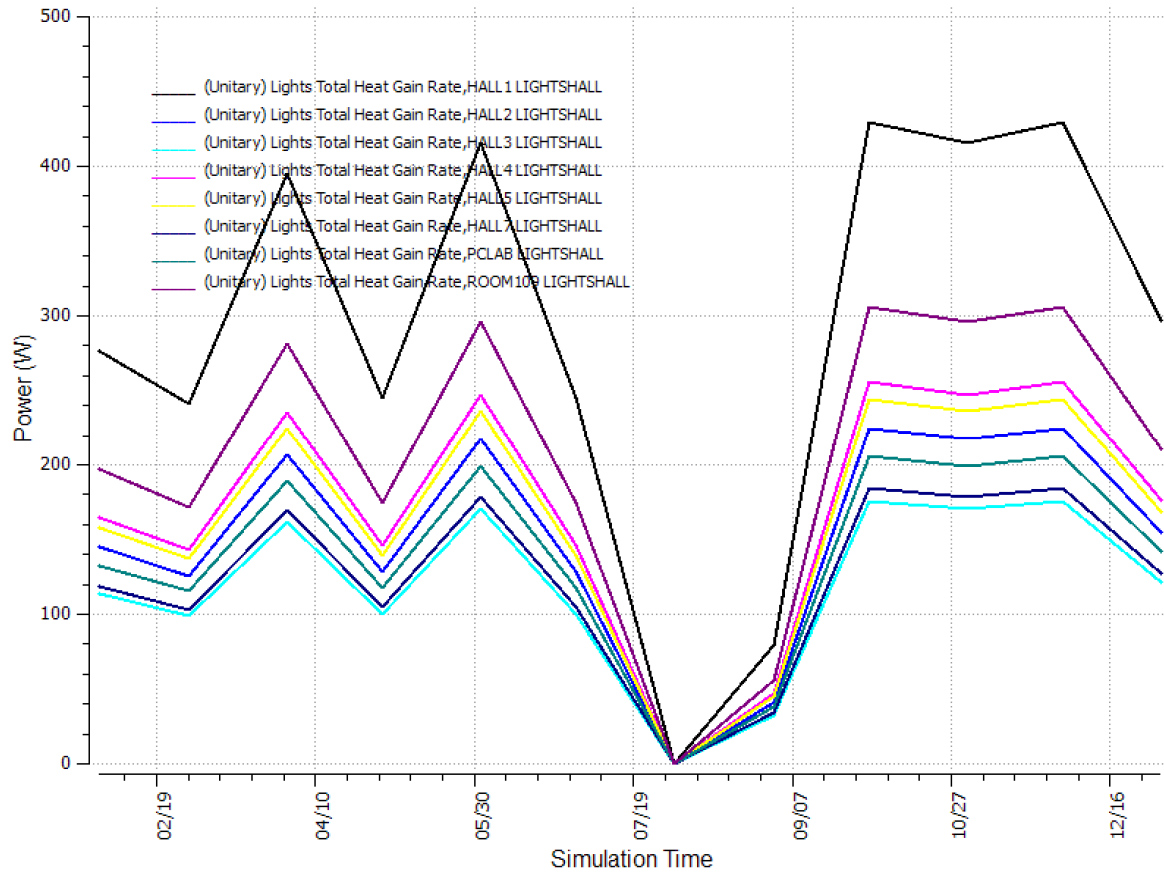
ROOM107	44,75	Ναι	134,26	44,28	5,03	10	14,92	8,8265
ROOM108-LIBRARY	69,05	Ναι	207,14	54,38	8,87	10	69,05	1,3758
ROOM109	95,26	Ναι	285,79	45,12	7,31	10	1,12	8,5027
ROOM201	81,55	Ναι	244,65	54,32	7,85	10	27,18	16,0518
ROOM202	108,96	Ναι	326,87	75,78	9,07	10	18,16	18,2091
ROOM203	46,4	Ναι	139,21	44,68	5,04	10	46,4	2,0473
ROOM204	62,82	Ναι	188,47	57,53	6,79	10	20,94	8,15
ROOM205	38,93	Ναι	116,79	21,1	4,88	10	38,93	2,4403
ROOM206	49,48	Ναι	148,43	27,29	4,88	10	49,48	1,9201
ROOM207	44,75	Ναι	134,26	44,28	5,03	10	22,38	4,2456
ROOM208	69,05	Ναι	207,14	54,38	8,87	10	17,26	12,5999
ROOM209	59,3	Ναι	177,89	29,67	4,87	10	59,3	8,0104
ROOM210	35,97	Ναι	107,9	15,45	2,44	10	35,97	2,6414
STOREHOUSE	13,1	Όχι	64,18	33,14	7,35	10	0	0
STUDENTSHALL	17,12	Ναι	83,91	40,88	7,8	10	3,42	0
Συνολικό	2144,52		7984,85	1565,53	304,36	7,912	3,39	10,6327
Κλιματιζόμενο συνολικό	2131,42		7920,67	1532,39	297,01	7,9606	3,37	10,698
Συνολικό χωρίς κλιματισμό	13,1		64,18	33,14	7,35	0		0

Στα σχήματα 5.1, 5.2, και 5.3 που ακολουθούν παρουσιάζονται για τις θερμικές ζώνες των αιθουσών διδασκαλίας του κτιρίου, το σύνολο των θερμικών τους κερδών από τα εσωτερικά φορτία του χώρου.

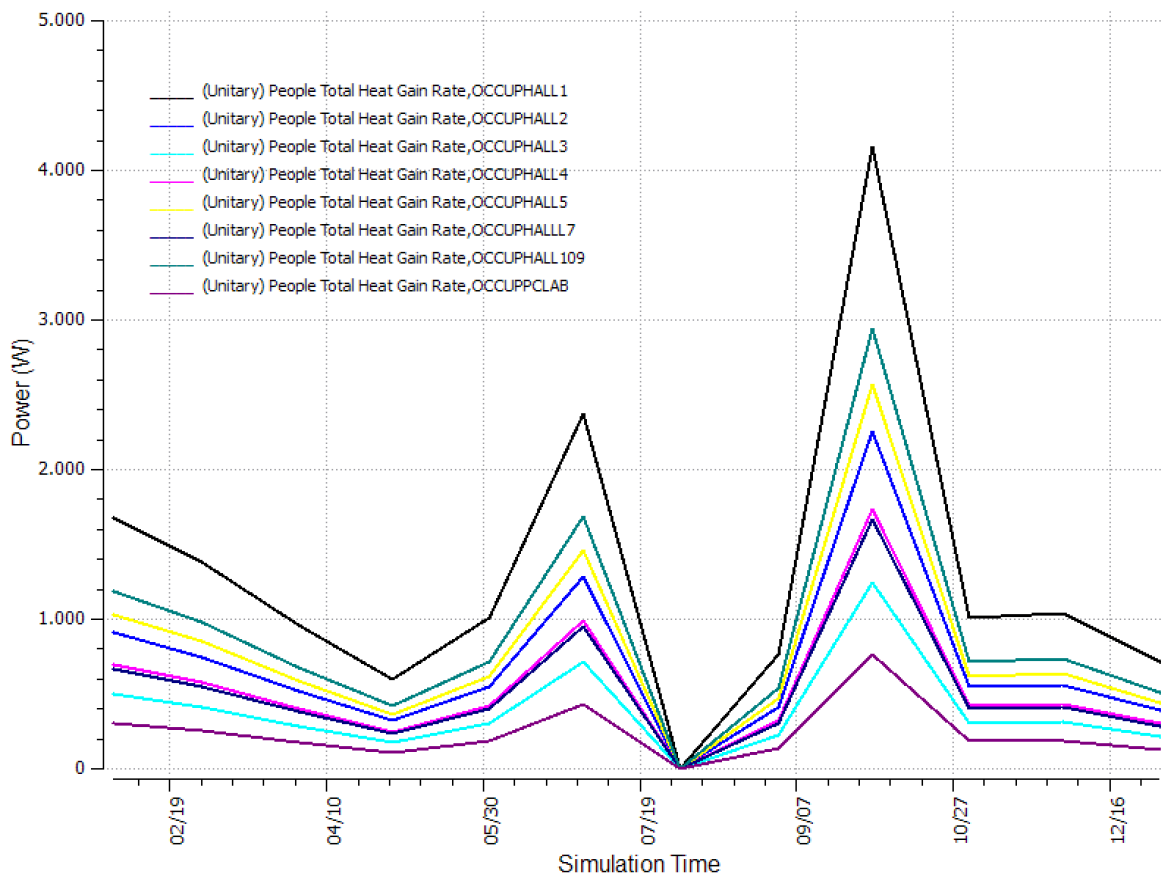


Σχήμα 5.1: Ετήσια διακύμανση του θερμικού κέρδους στις αίθουσες από τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, όπου HALL1, HALL2, HALL3, HALL4, HALL5, HALL7, ROOM109 ταυτίζονται.

Τα θερμικά κέρδη τα οποία προέρχονται από ηλεκτρολογικό εξοπλισμό στις αίθουσες διδασκαλίας, αφορούν όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.3, διαφανοσκόπια και προβολείς παρουσιάσεων τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται στις αίθουσες την ώρα του μαθήματος. Αυτό εξηγεί την ταύτιση των γραμμών των αιθουσών, με εξαίρεση την γραμμή του εργαστηρίου πληροφορικής, αίθουσα 6, στην οποία υπάρχουν κυρίως Η/Υ και εκτυπωτής οπότε το θερμικό κέρδος αλλάζει. Η μεγάλη πτώση της διακύμανσης συμβαίνει την χρονική περίοδο του καλοκαιριού, μεταξύ 21/6 έως 25/8 οπότε και οι αίθουσες παραμένουν άδειες για μεγάλο χρονικό διάστημα και η επίδραση των εσωτερικών θερμικών κερδών μηδενίζεται. Οι υπόλοιπες διακυμάνσεις εξηγούνται και αυτές από το ωρολόγιο πρόγραμμα λειτουργίας των αιθουσών.

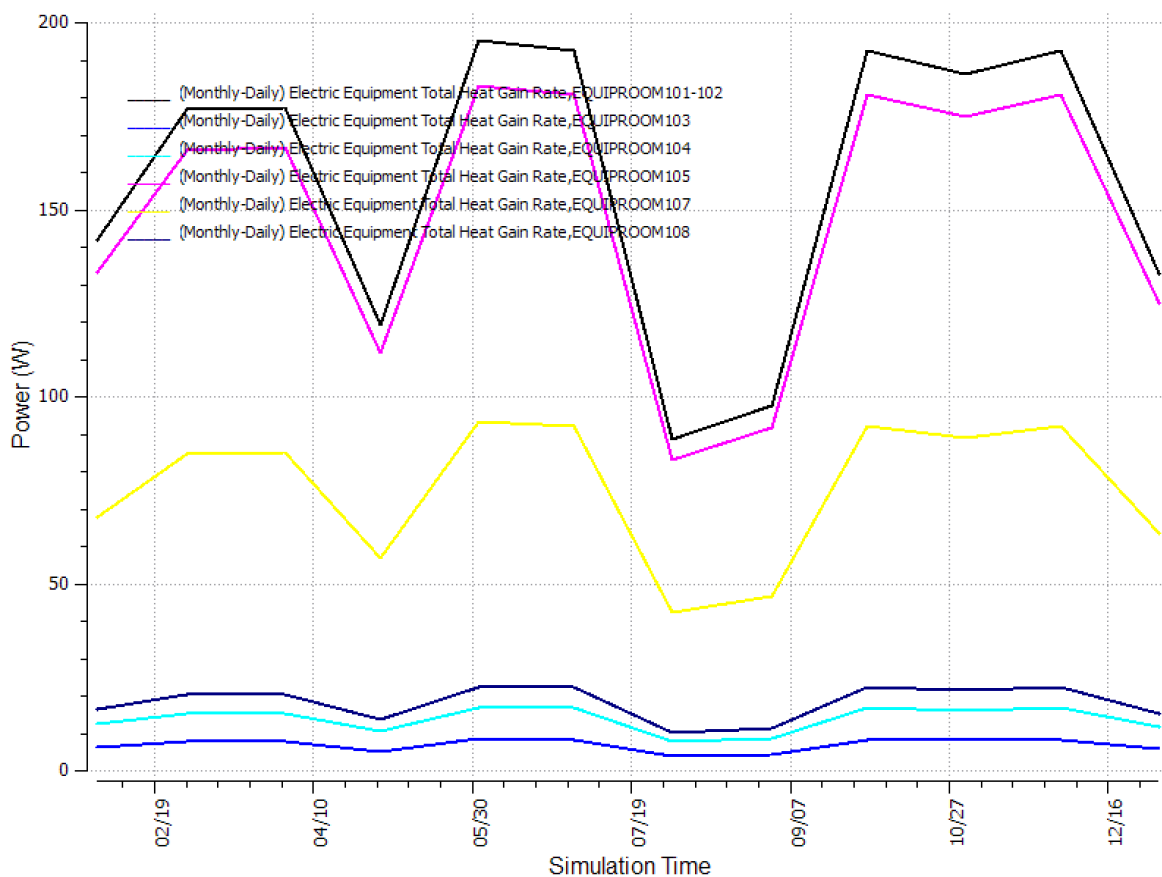


Σχήμα 5.2: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από φωτισμό στις αίθουσες διδασκαλίας.



Σχήμα 5.3: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από ανθρώπους στις αίθουσες διδασκαλίας.

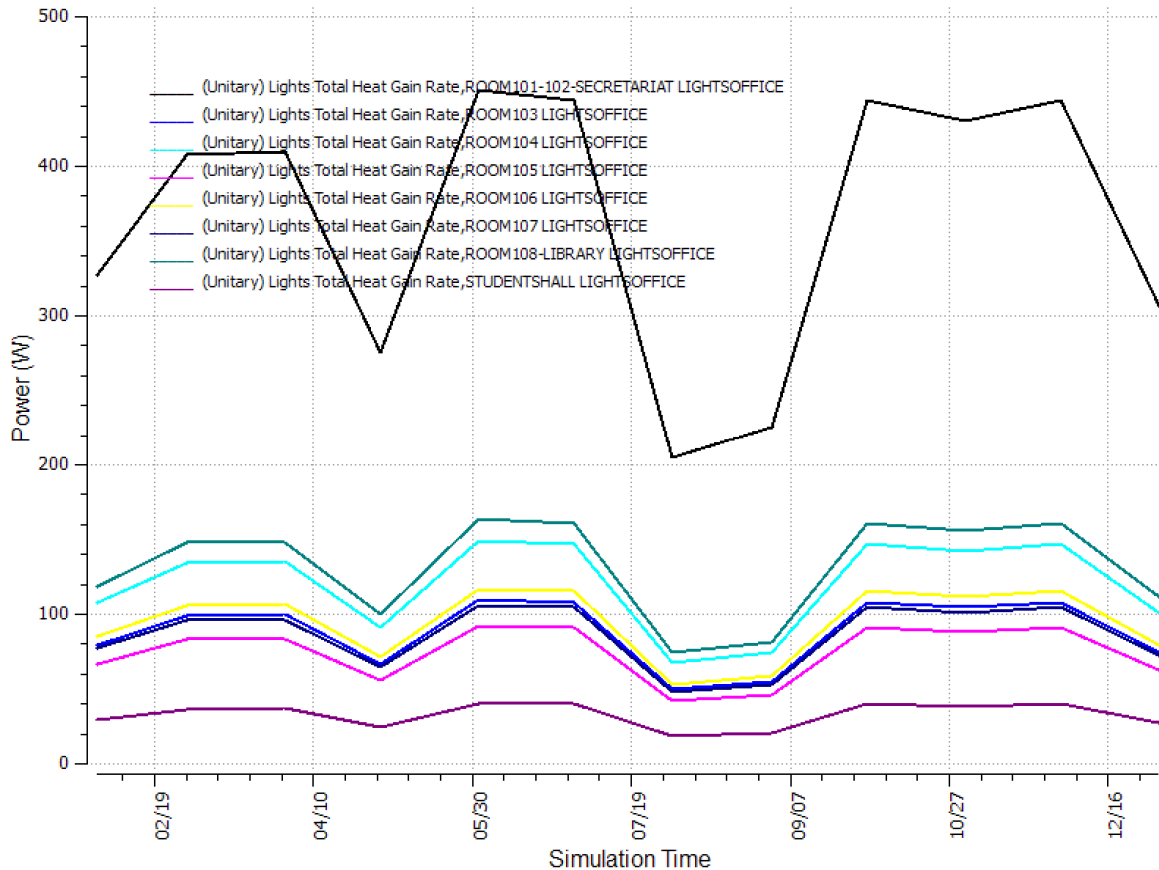
Στα σχήματα 5.2 και 5.3, απεικονίζεται το θερμικό κέρδος των αιθουσών διδασκαλίας από φωτισμό και ανθρώπινη παρουσία. Το θερμικό κέρδος από ανθρώπους, εκτός περιλαμβάνει το είδος της δραστηριότητας που πραγματοποιείται στην συγκεκριμένη θερμική ζώνη. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν μια ρεαλιστική εικόνα της πραγματικότητας του κτιρίου, με τις έντονες διακυμάνσεις να περιγράφουν τις περιόδους όπου οι αίθουσες διδασκαλίας δεν χρησιμοποιούνται. Χαρακτηριστικές περίοδοι με έντονες κορυφώσεις του θερμικού κέρδους, είναι η εξεταστική περίοδος του Ιουνίου, 2/6-20/6 και η παρατεταμένη εξεταστική περίοδος Αυγούστου-Σεπτεμβρίου, 26/8-30/9, όπου η πληρότητα των αιθουσών είναι 100%.



Σχήμα 5.4: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από ηλ. εξοπλισμό και συσκευές, για τα γραφεία του πρώτου ορόφου.

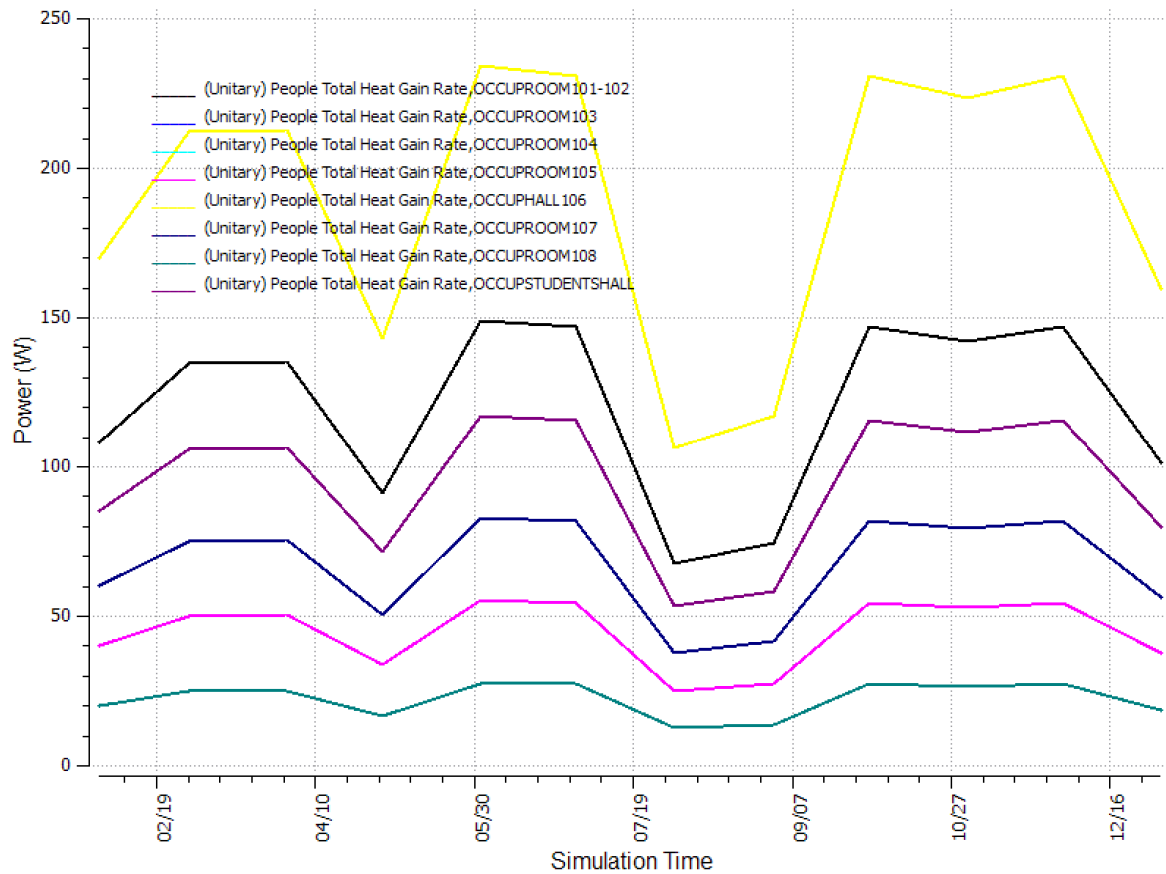
Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ο οποίος συνεισφέρει στην εμφάνιση θερμικού κέρδους στα γραφεία, περιλαμβάνει συνήθως υπολογιστές και εκτυπωτές, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3. Στο σχήμα 5.4, όπως και στα σχήματα 5.5 και 5.6 όπου απεικονίζεται το θερμικό κέρδος από φωτισμό και ανθρώπους αντίστοιχα, παρατηρείται το ίδιο μοτίβο εναλλαγής του φορτίου. Η αυξομείωση αποδίδεται στις χρονικές περιόδους λειτουργίας και αργίας των γραφείων, ενώ παρατηρείται μια πιο ομαλή πτώση στην θερινή περίοδο

διακοπών, λόγω της μικρότερης διάρκειάς της για τα γραφεία. Οι θερινές διακοπές υπολογίζονται 16/7-16/8, διάρκειας 30 ημερών έναντι των 65 που υπολογίστηκαν για τις αίθουσες διδασκαλίας. Αυτό εξηγεί την ελάττωση του θερμικού κέρδους αλλά όχι το μηδενισμό του σε αυτήν την χρονική περίοδο.

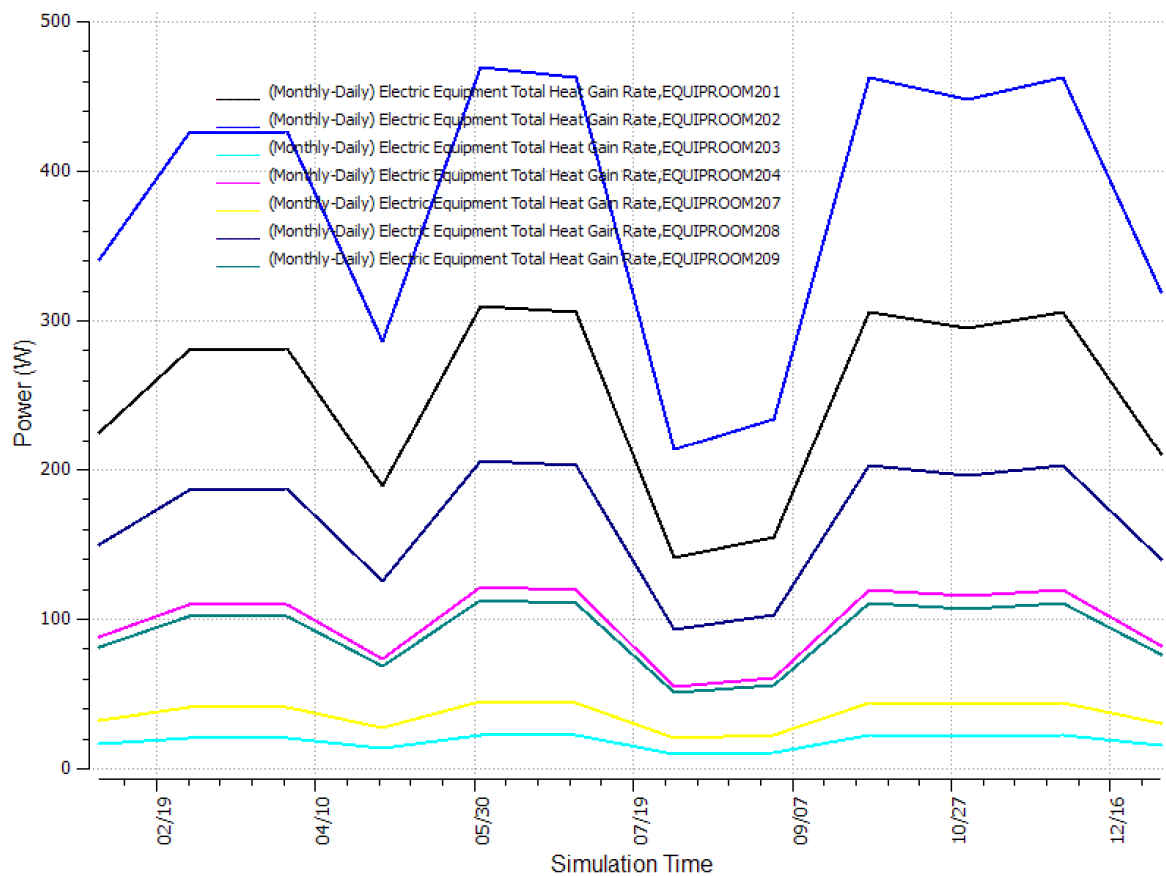


Σχήμα 5.5: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από φωτισμό στα γραφεία του πρώτου ορόφου.

Στο σχήμα 5.5, παρατηρείται ευκρινώς ότι ενώ ο πληθυσμός στα γραφεία εκτελεί το ίδιο είδος εργασίας, η μεταβολή των γραμμών διακύμανσης οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται μέσα στο χώρο. Οι γραμμές για τα γραφεία 104 και 105, ταυτίζονται.

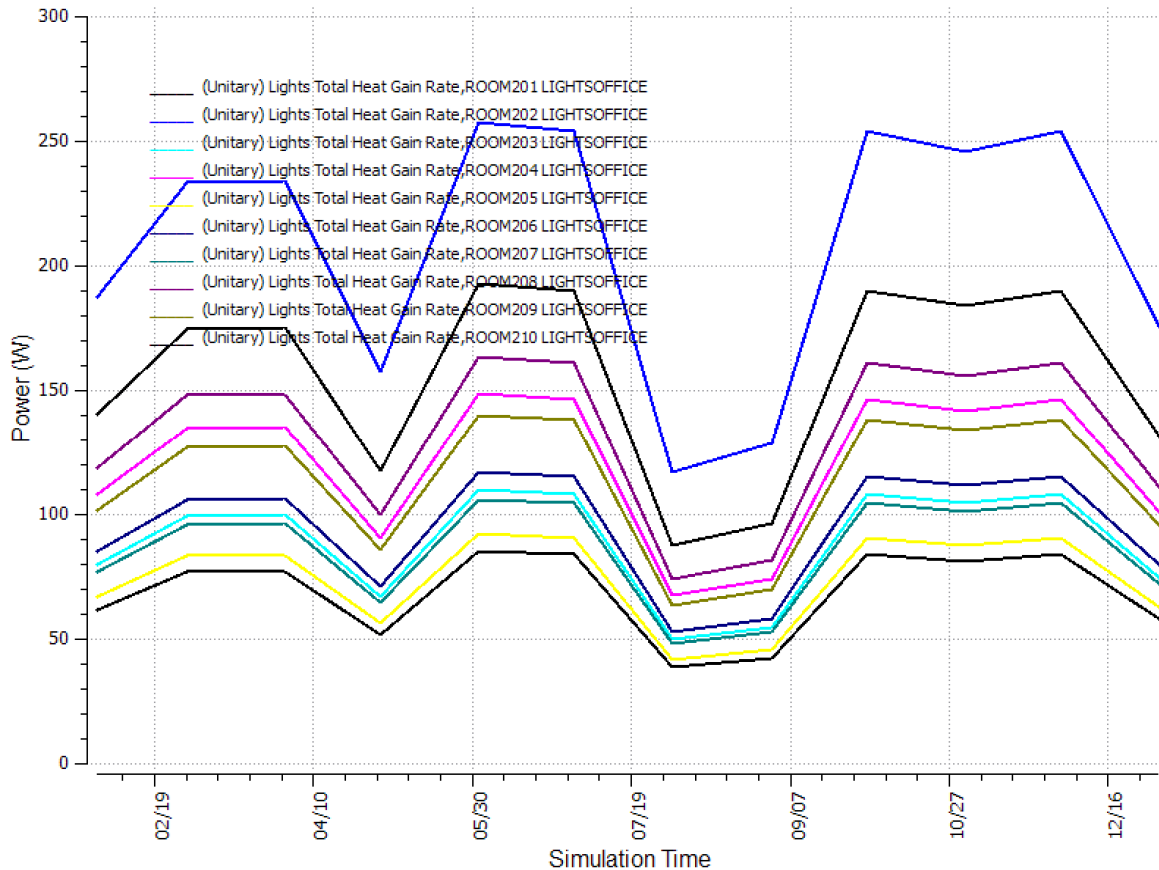


Σχήμα 5.5: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από ανθρώπινη παρουσία στα γραφεία του πρώτου ορόφου.



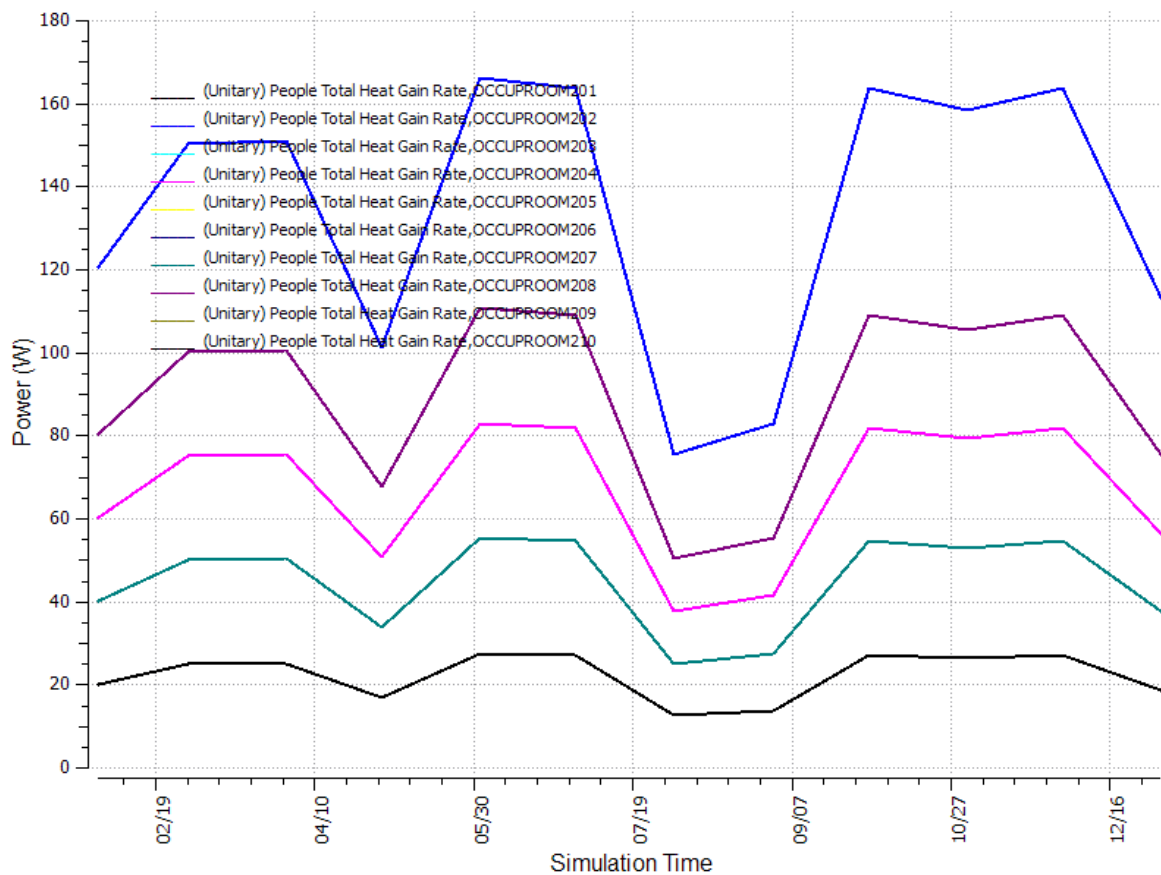
Σχήμα 5.6: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από ηλ. εξοπλισμό στα γραφεία του δεύτερου ορόφου.

Και πάλι, το χαρακτηριστικό στοιχείο των διακυμάνσεων είναι το επαναλαμβανόμενο μοτίβο των κορυφών το ύψος των οποίων καθορίζεται από το πλήθος των συσκευών στην περίπτωση του σχήματος 5.6 και από τα τετραγωνικά του χώρου, καθώς ο φωτισμός δίνεται σε W/m^2 , στην περίπτωση του σχήματος 5.7.



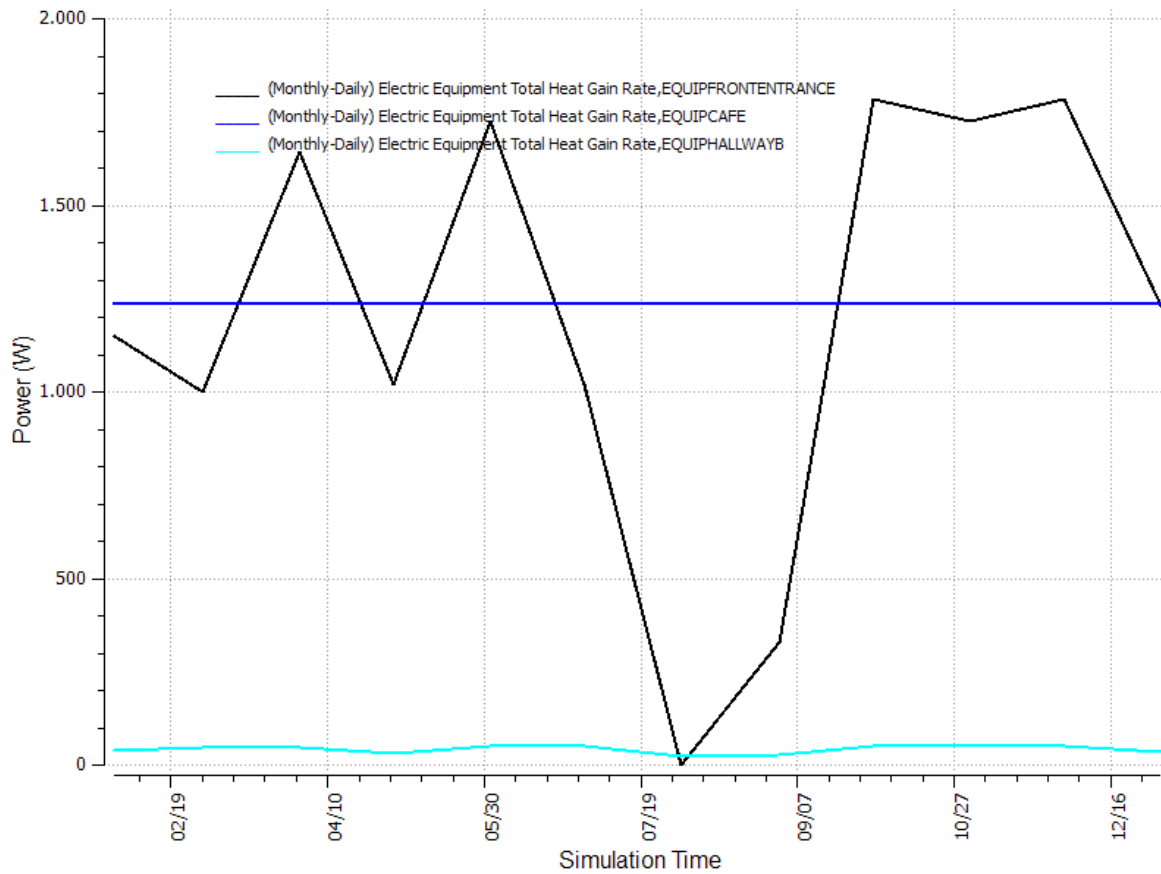
Σχήμα 5.7: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από φωτισμό στα γραφεία του δεύτερου ορόφου.

Στο σχήμα 5.8, που ακολουθεί παρατηρείται ότι οι γραμμές των γραφείων 203 και 204 ταυτίζονται. Ομοίως, οι γραμμές των γραφείων 201,205,206,209 και 210. Η ταύτιση των γραμμών και του θερμικού κέρδους σε δεύτερη ανάλυση, οφείλεται στην ύπαρξη μικρού αριθμού ατόμων στα περισσότερα γραφεία που εκτελεί την ίδια εργασία.

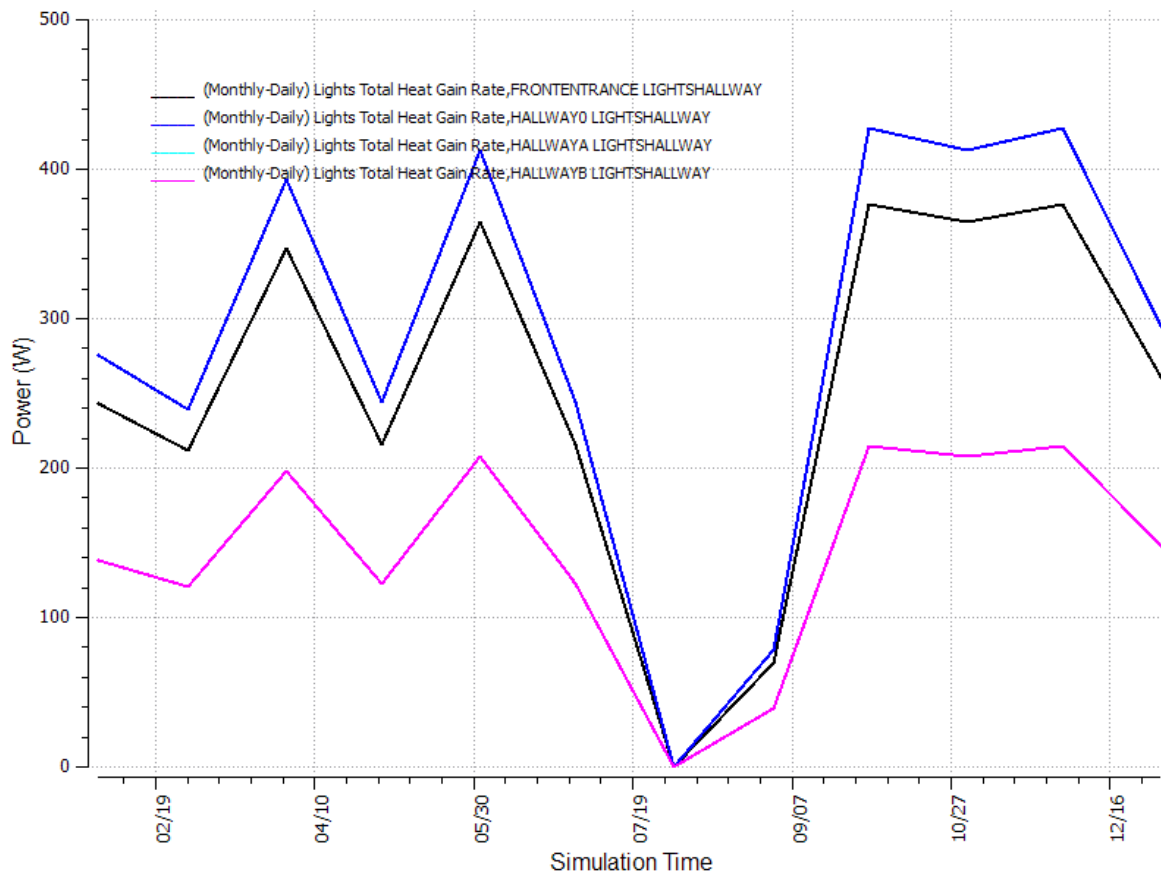


Σχήμα 5.8: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από την παρουσία ανθρώπων στα γραφεία του δεύτερου ορόφου.

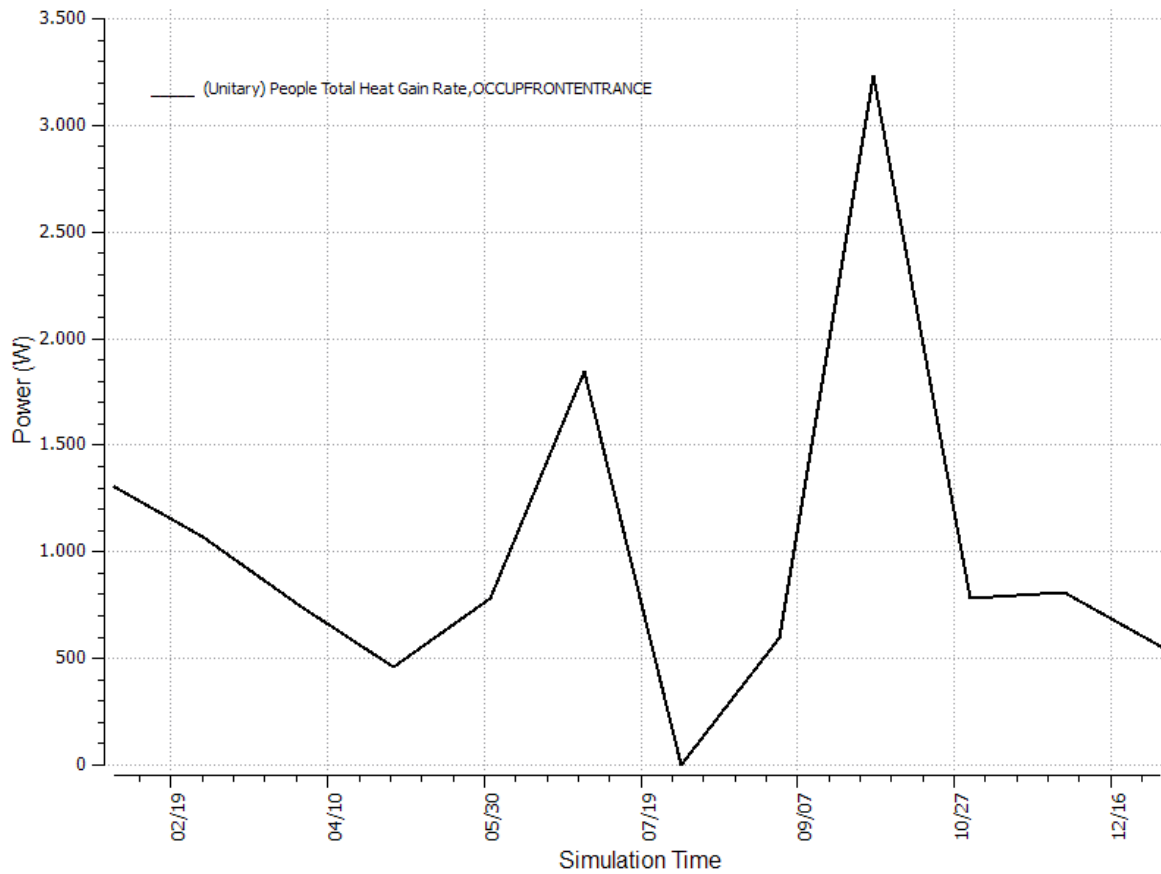
Στα σχήματα 5.9, 5.10 και 5.11, παρουσιάζονται οι αντίστοιχες διακυμάνσεις για τα θερμικά κέρδη στους κοινόχρηστους χώρους. Στο σχήμα 5.9, απουσιάζει η γραμμή του διαδρόμου του πρώτου ορόφου, επειδή δεν υπάρχουν συσκευές ή ηλ. εξοπλισμό στο χώρο αυτό. Στο σχήμα 5.10, οι γραμμές των διαδρόμων του πρώτου και δεύτερου ορόφου ταυτίζονται λόγω της όμοιας γεωμετρίας τους. Τέλος, στο σχήμα 5.11, δεν παρουσιάζεται άλλη γραμμή πέρα από την γραμμή του χώρου της εισόδου επειδή δεν προσομοιώθηκε ανθρώπινη παρουσία στους διαδρόμους. Η παραμονή των ανθρώπων εκεί είναι ελάχιστη χρονικά σε σύγκριση με τους άλλους χώρους, οπότε αγνοήθηκε εντελώς στο μοντέλο προσομοίωσης. Σε αυτήν την θερμική ζώνη που περιλαμβάνει την είσοδο του κτιρίου και την καφετέρια, είναι αξιοσημείωτη η τιμή του θερμικού κέρδους που προκύπτει για τις ημέρες των εξεταστικών περιόδων όπου ο χώρος θεωρείται κατάμεστος για αρκετές ώρες στη διάρκεια της ημέρας. Υπολογίζεται περίπου στα 3200W. Τέλος, στο σχήμα 5.12, απεικονίζεται η συνεισφορά σε θερμικό κέρδος από την εκτεταμένη επιφάνεια υαλοπινάκων της θερμικής ζώνης που περιλαμβάνει την είσοδο.



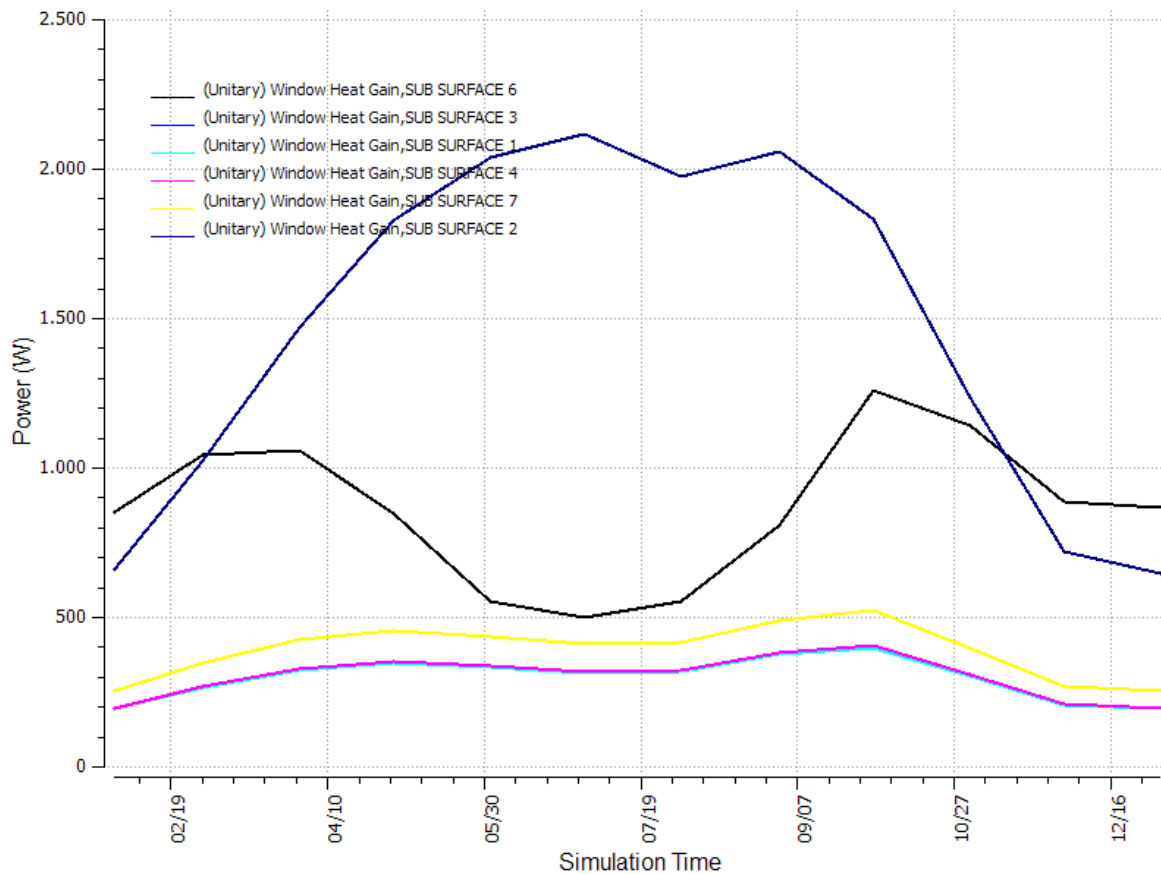
Σχήμα 5.9: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από εξοπλισμό στους κοινόχρηστους χώρους.



Σχήμα 5.10: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από φωτισμό στους κοινόχρηστους χώρους.



Σχήμα 5.11: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους από ανθρώπους στους κοινόχρηστους χώρους.

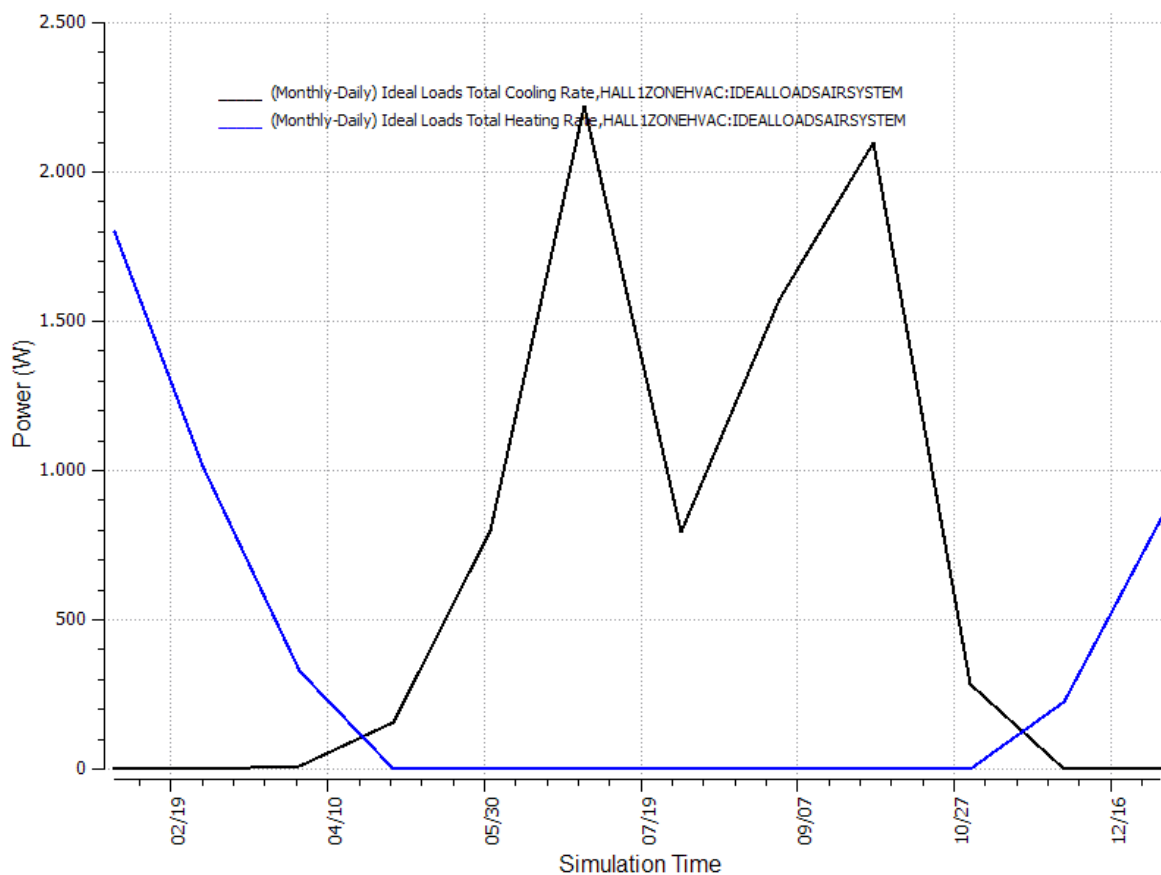


Σχήμα 5.12: Ετήσια διακύμανση θερμικού κέρδους ανά υαλοπίνακα στην ζώνη FRONTENTRANCE.

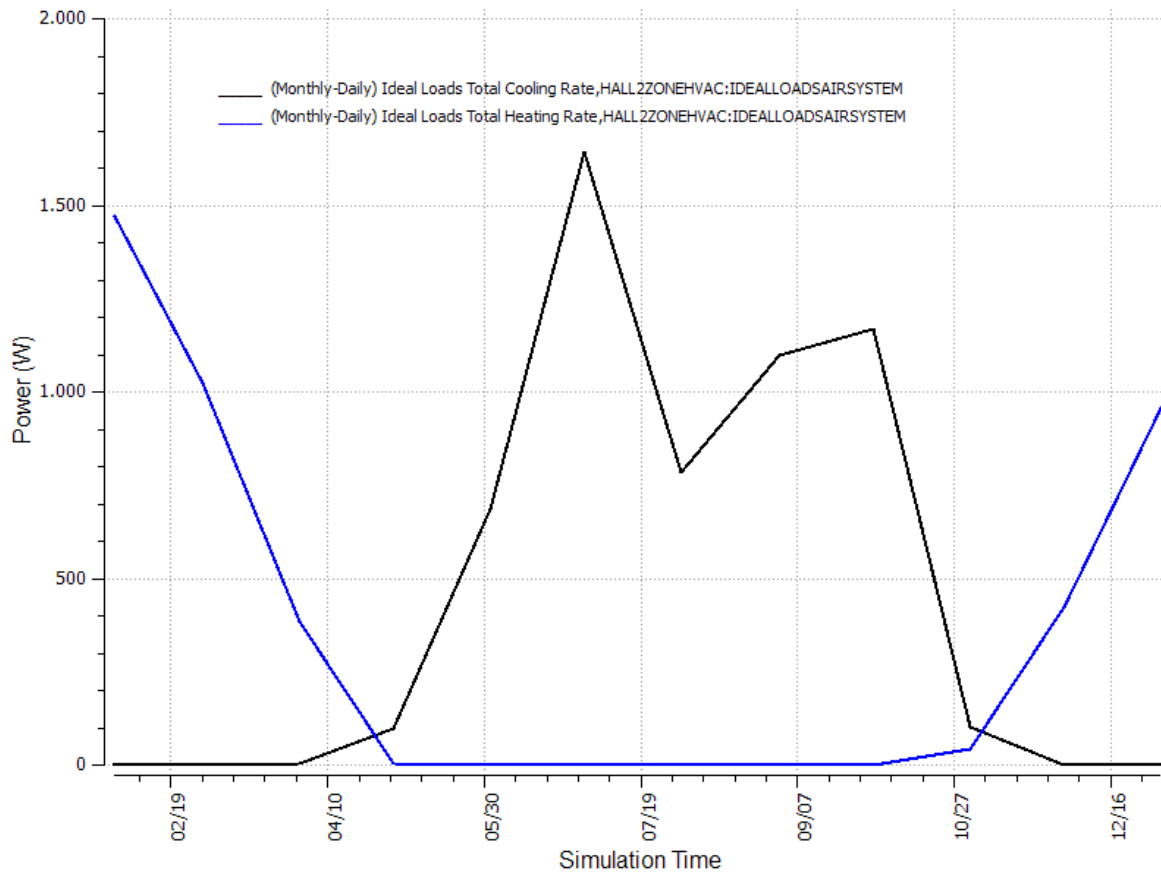
Το συγκεκριμένο σχήμα συμπεριλήφθηκε για λόγους σύγκρισης, αφού η μέγιστη τιμή από έναν και μόνο υαλοπίνακα φτάνει τα 2000W, σε μια μέρα καλοκαιρινή καθιστώντας αυτήν τη ζώνη, την ζώνη με το πιο μεγάλο θερμικό κέρδος από θερμική ακτινοβολία. Η παρουσίαση των επιφανειών όπως φαίνονται στο υπόμνημα, πραγματοποιείται από την επιφάνεια με νότιο προσανατολισμό προς αυτήν με ανατολικό προσανατολισμό. Η ανατολική επιφάνεια παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή.

5.1.2 Αποτελέσματα θερμικού και ψυκτικού φορτίου

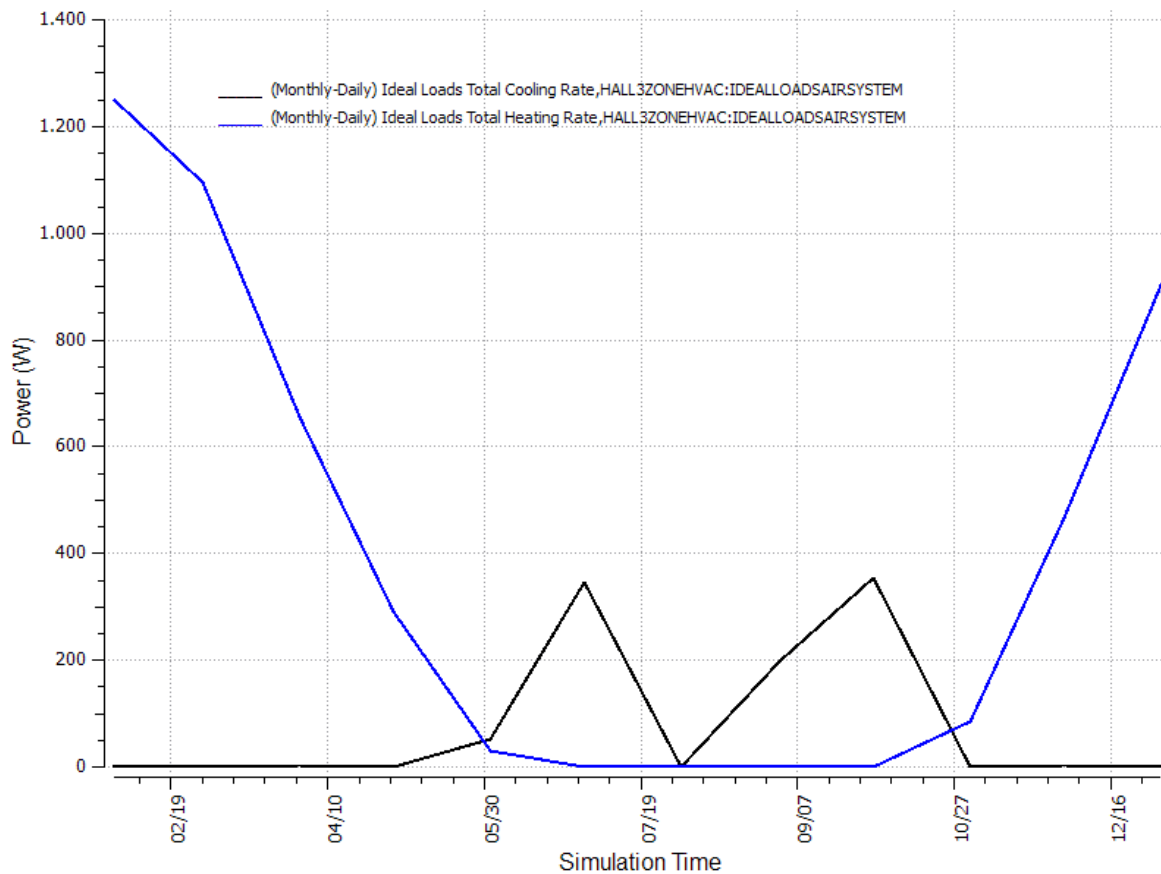
Στα σχήματα 5.13 έως 5.43 που ακολουθούν γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων θερμικών και ψυκτικών φορτίων για κάθε ζώνη όπως αυτά υπολογίστηκαν από την προσομοίωση. Στο τέλος των σχημάτων γίνεται ο σχολιασμός τους.



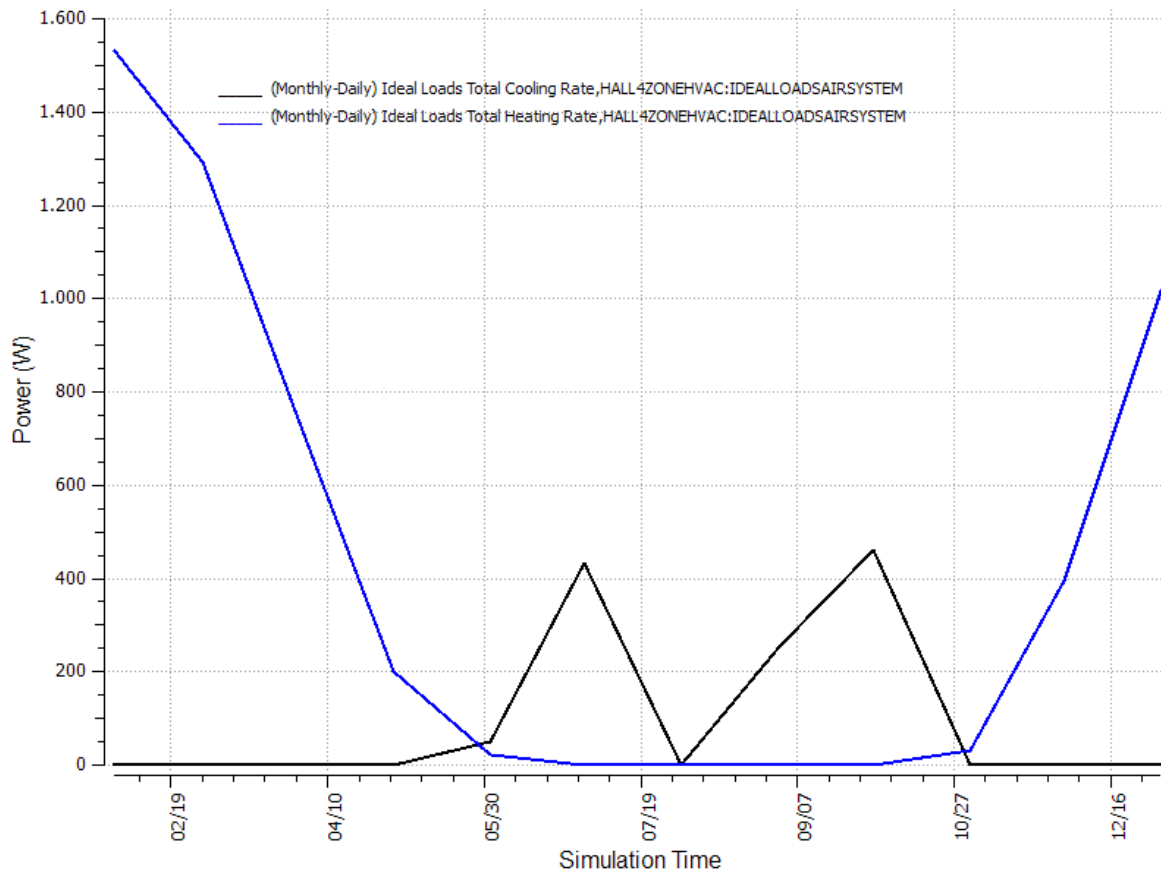
Σχήμα 5.13: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALL 1.



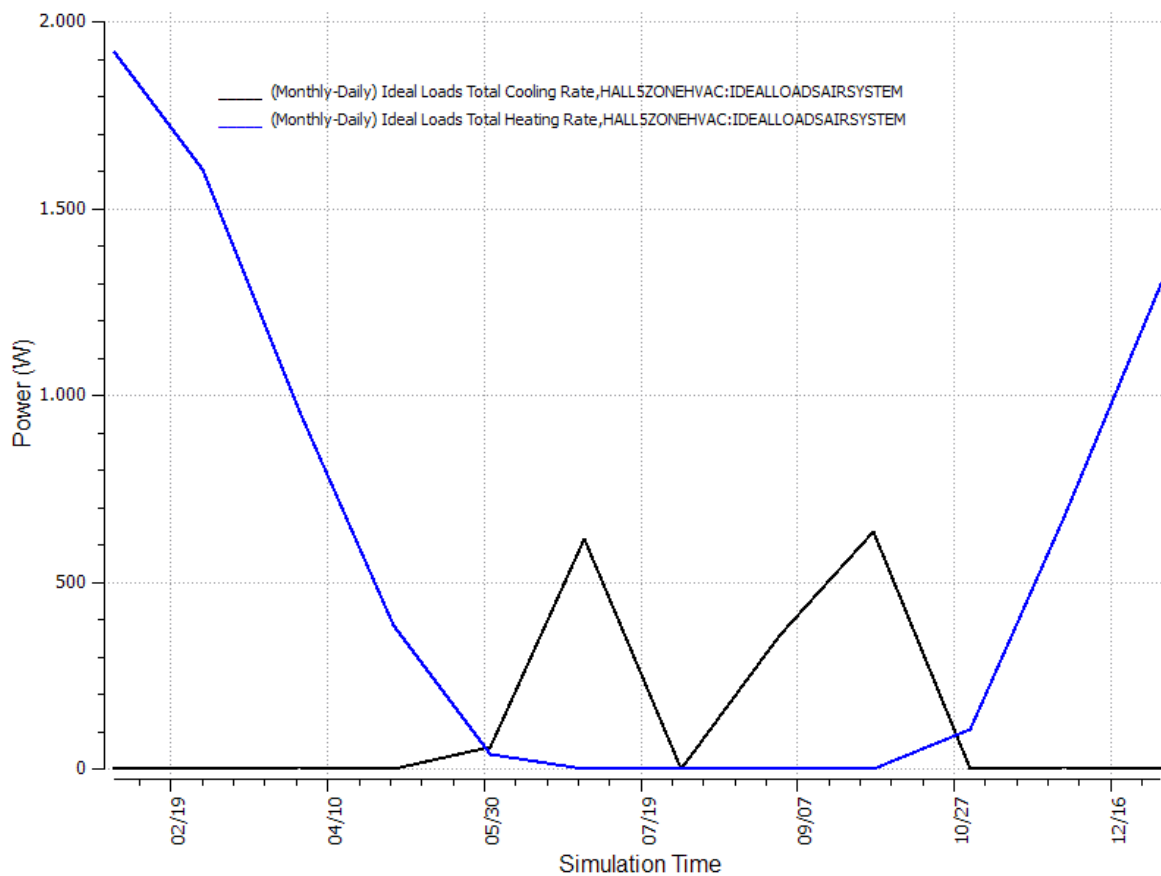
Σχήμα 5.14: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALL 2.



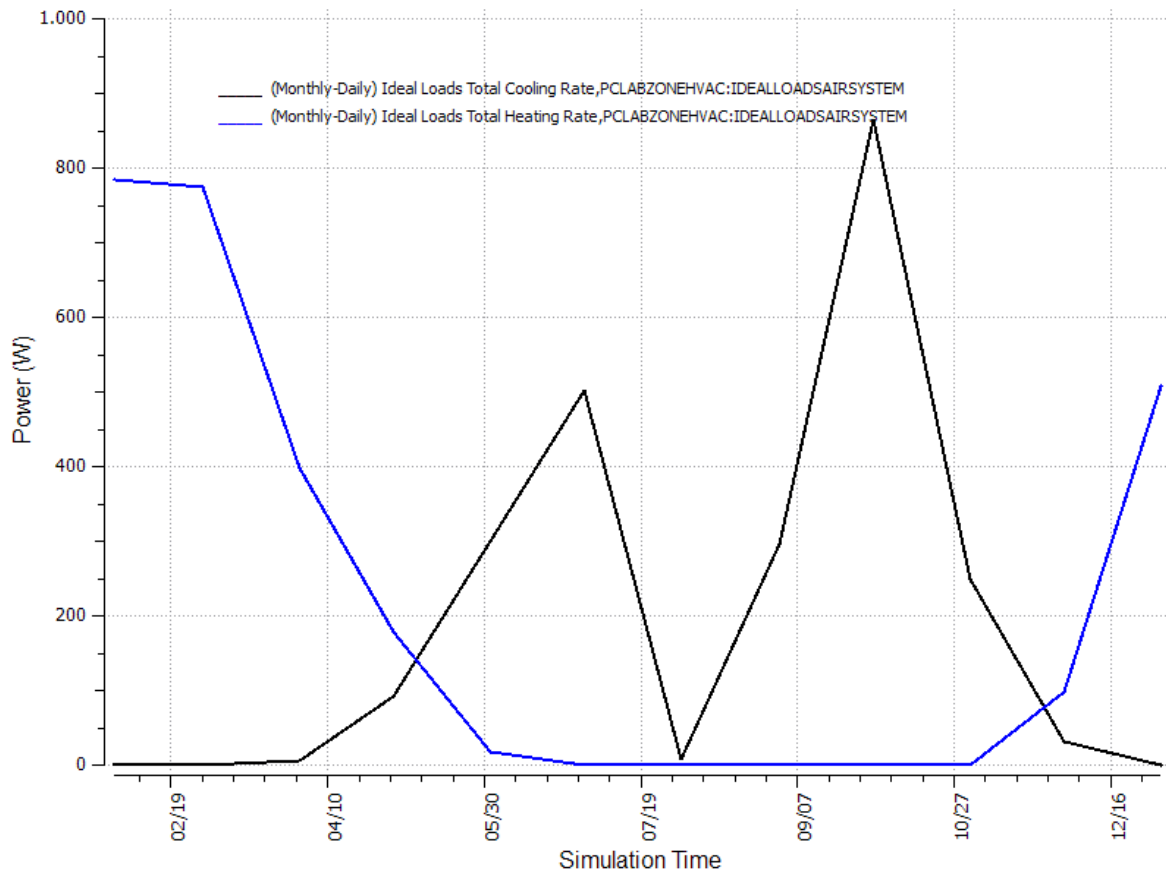
Σχήμα 5.15: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALL 3.



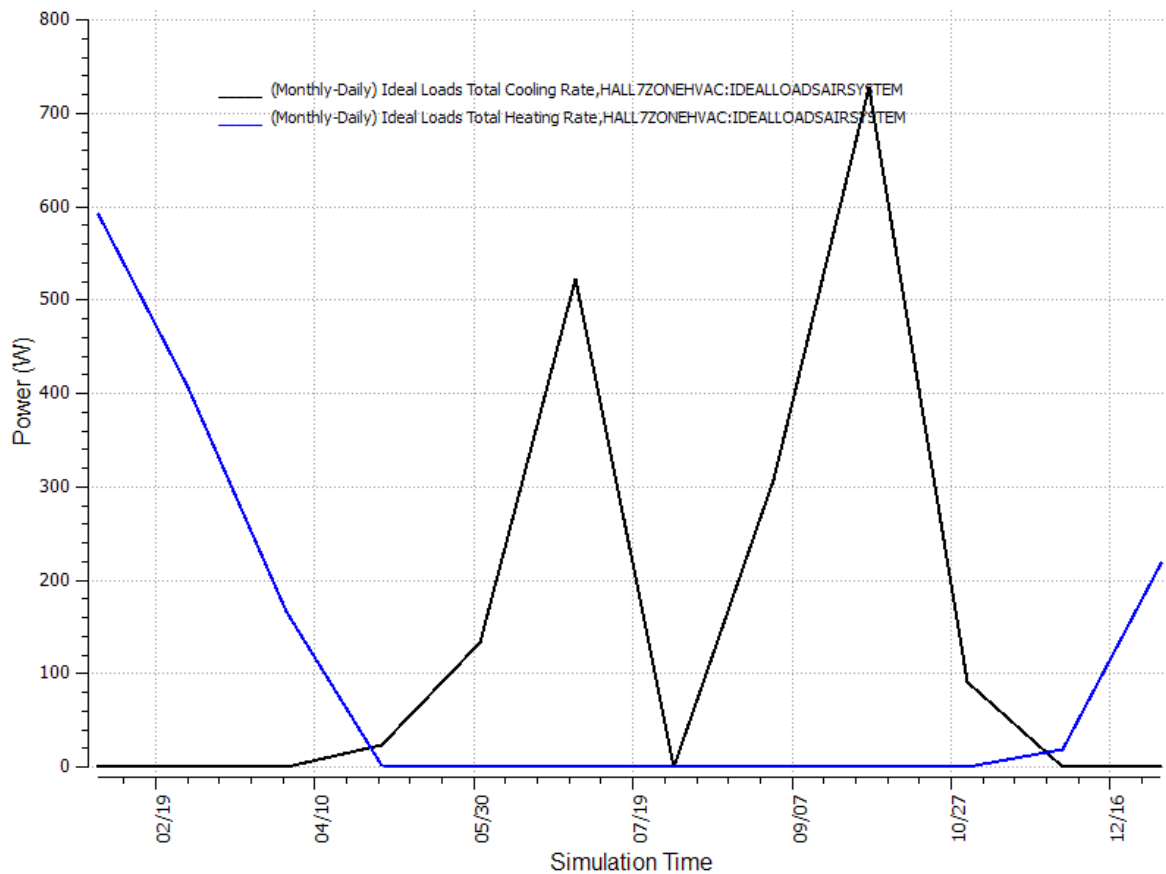
Σχήμα 5.16: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALL4.



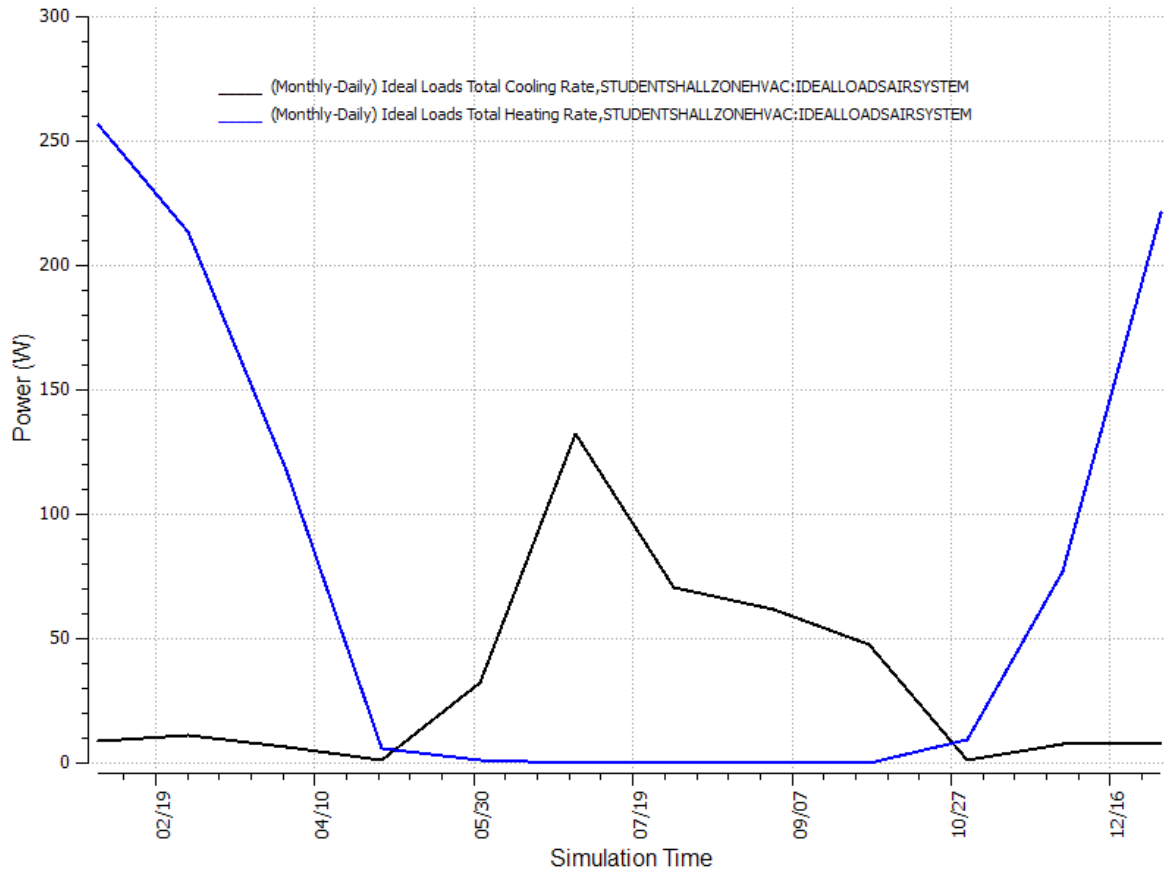
Σχήμα 5.17: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALL5.



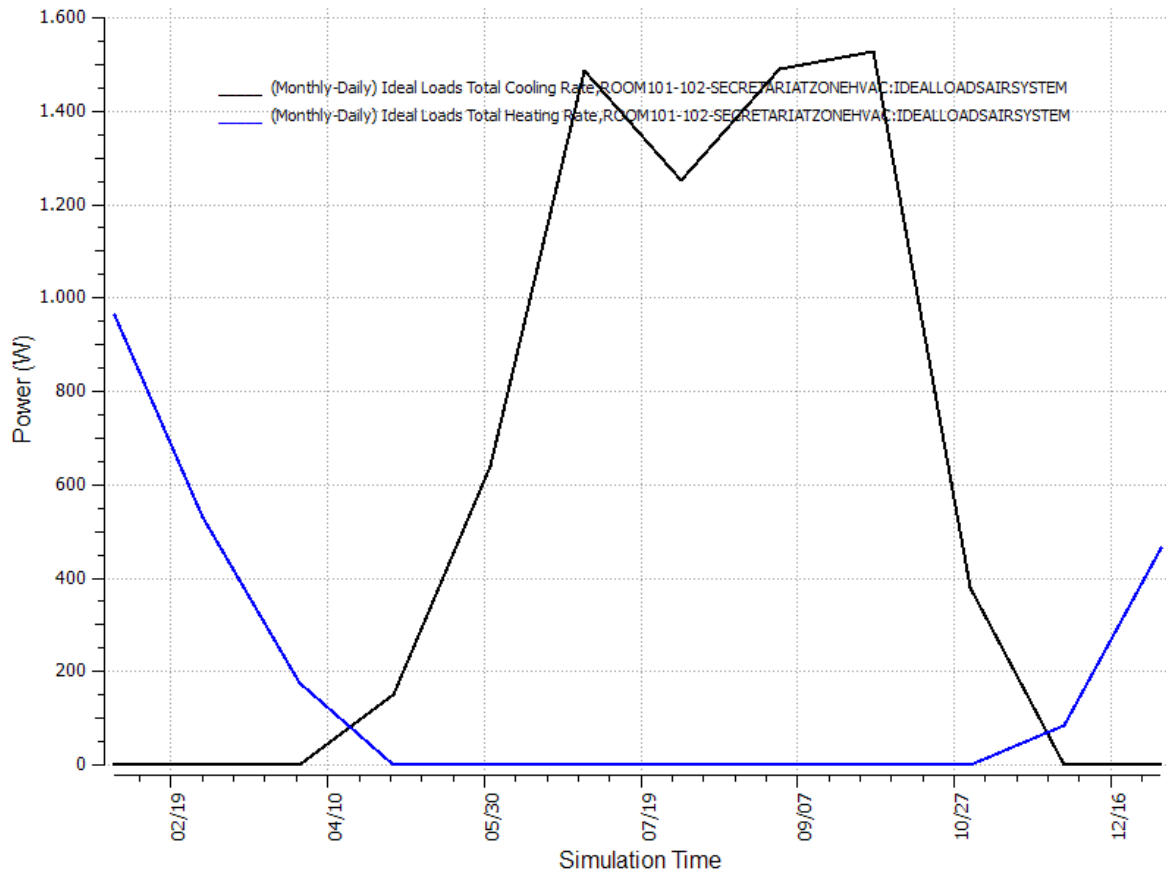
Σχήμα 5.18: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την PCLAB.



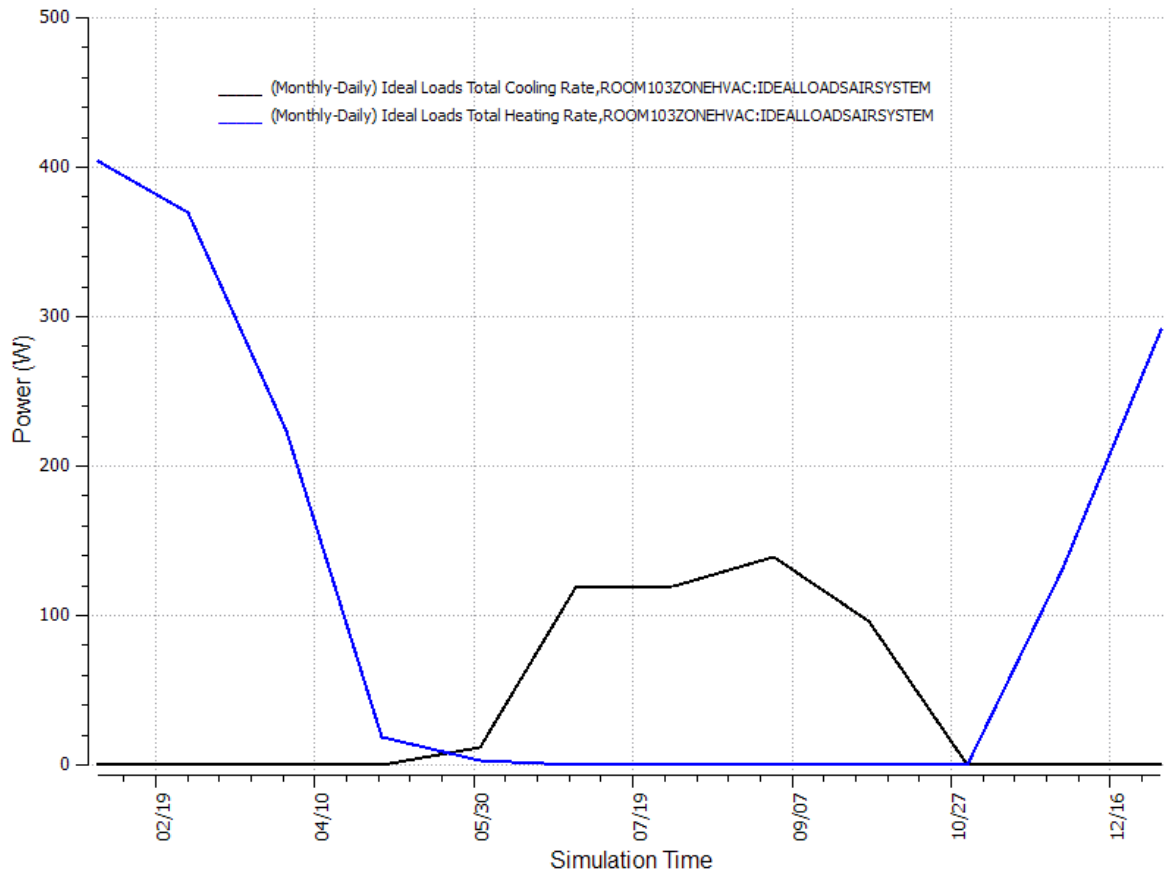
Σχήμα 5.19: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALL7.



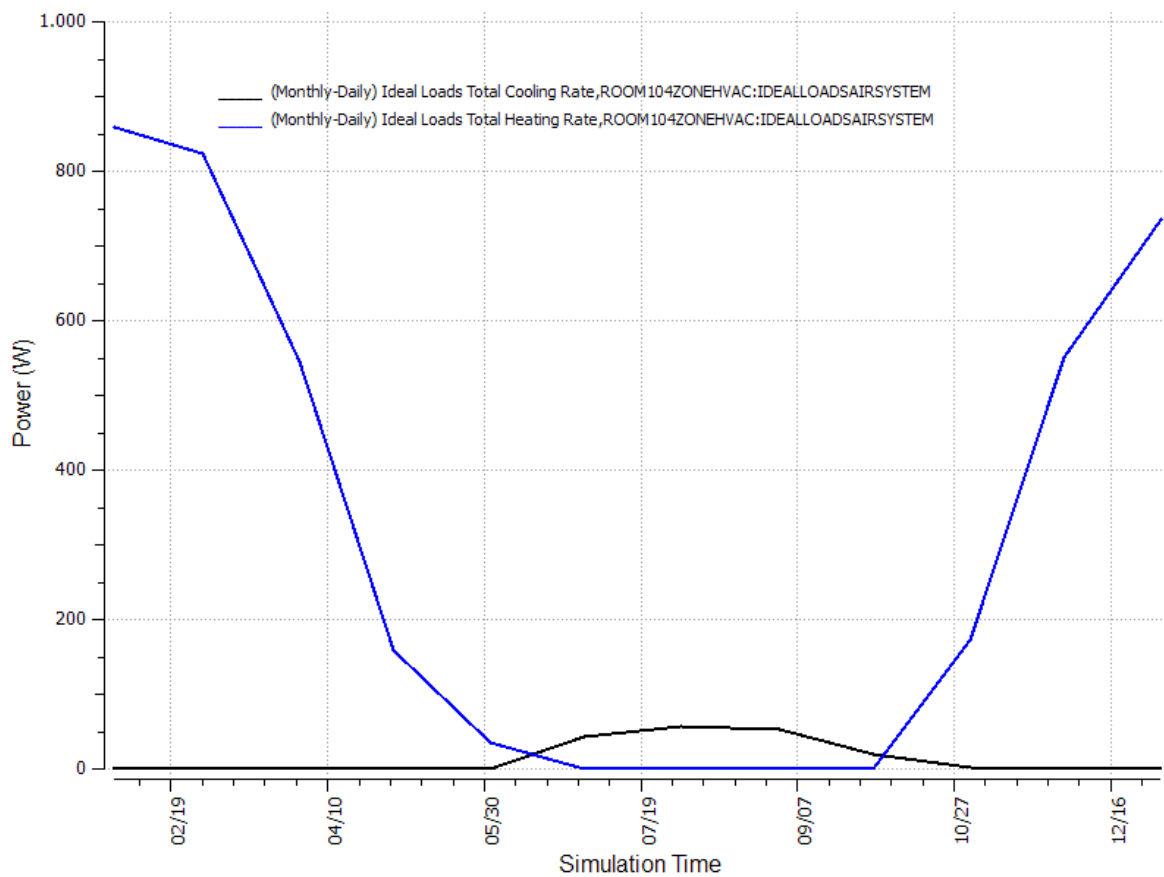
Σχήμα 5.20: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την STUDENTSHALL.



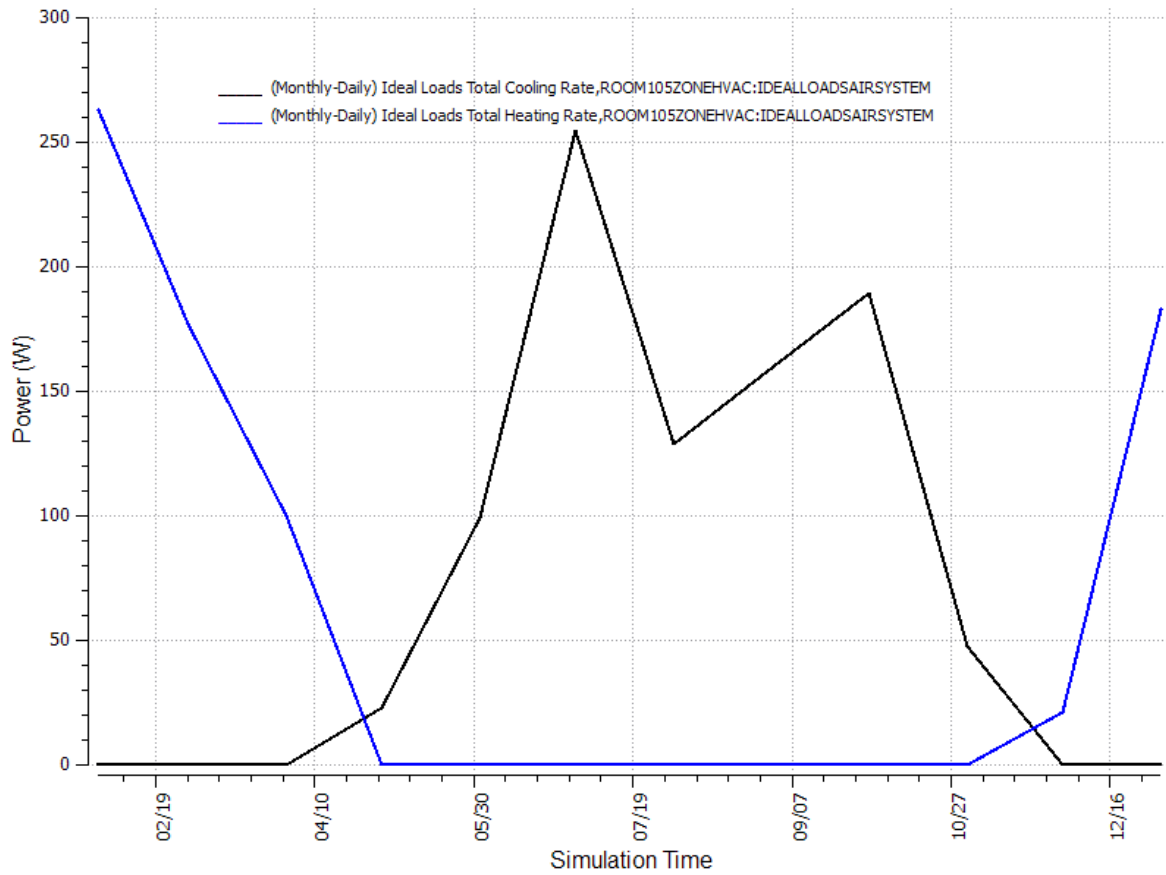
Σχήμα 5.21: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM101-102.



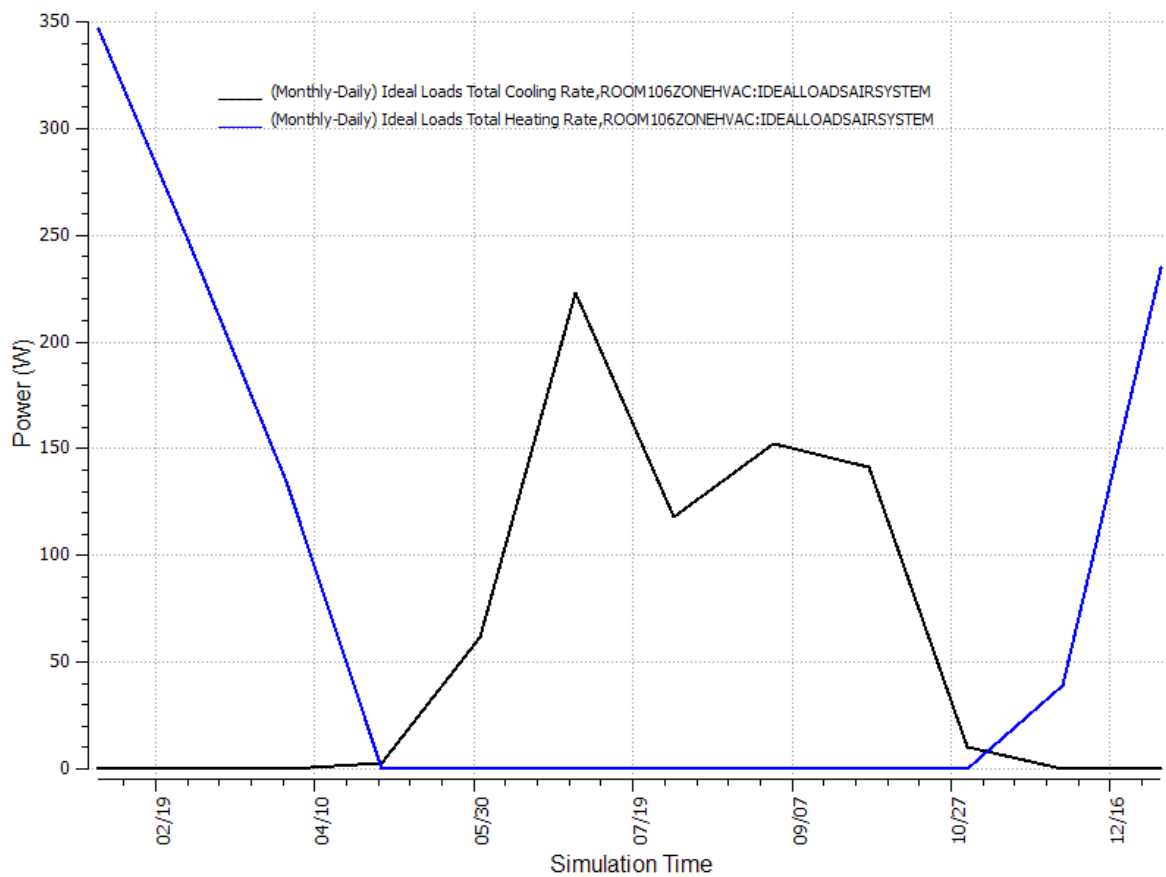
Σχήμα 5.22: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM103.



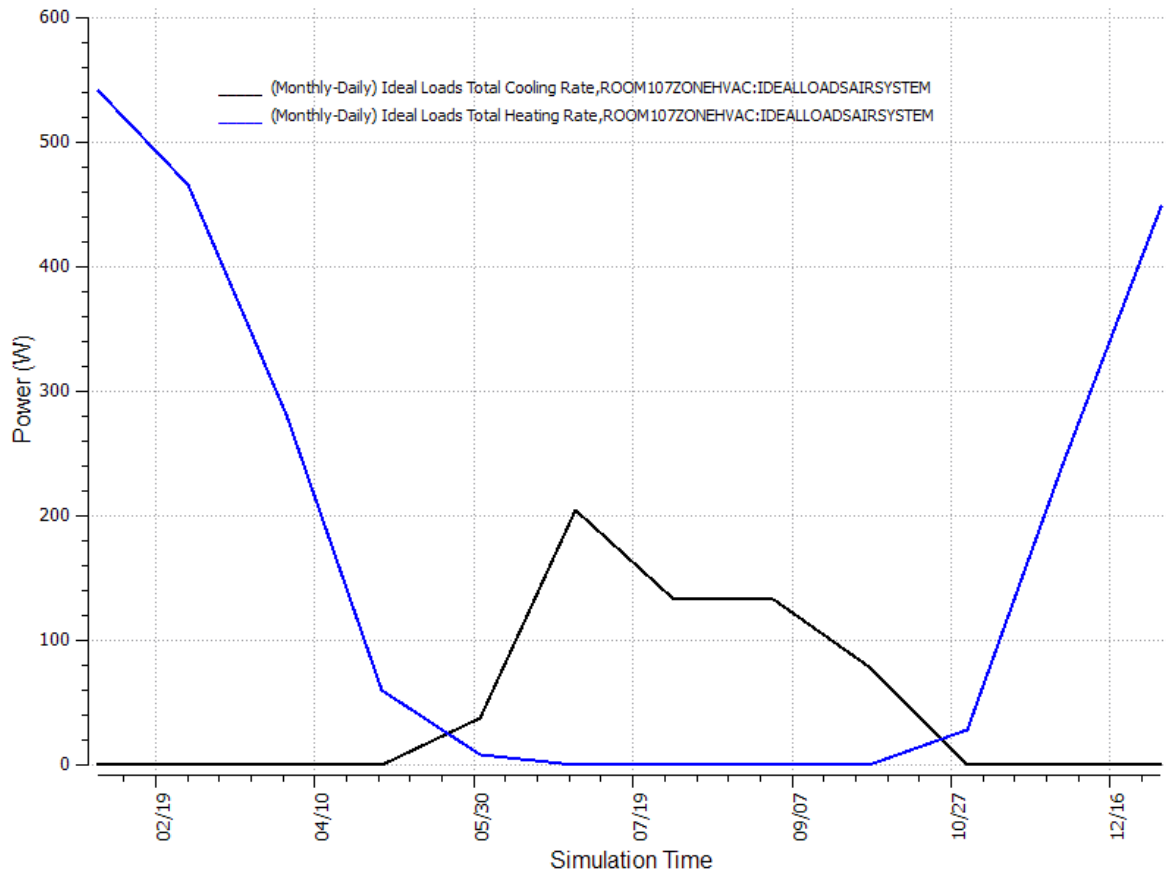
Σχήμα 5.23: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM104.



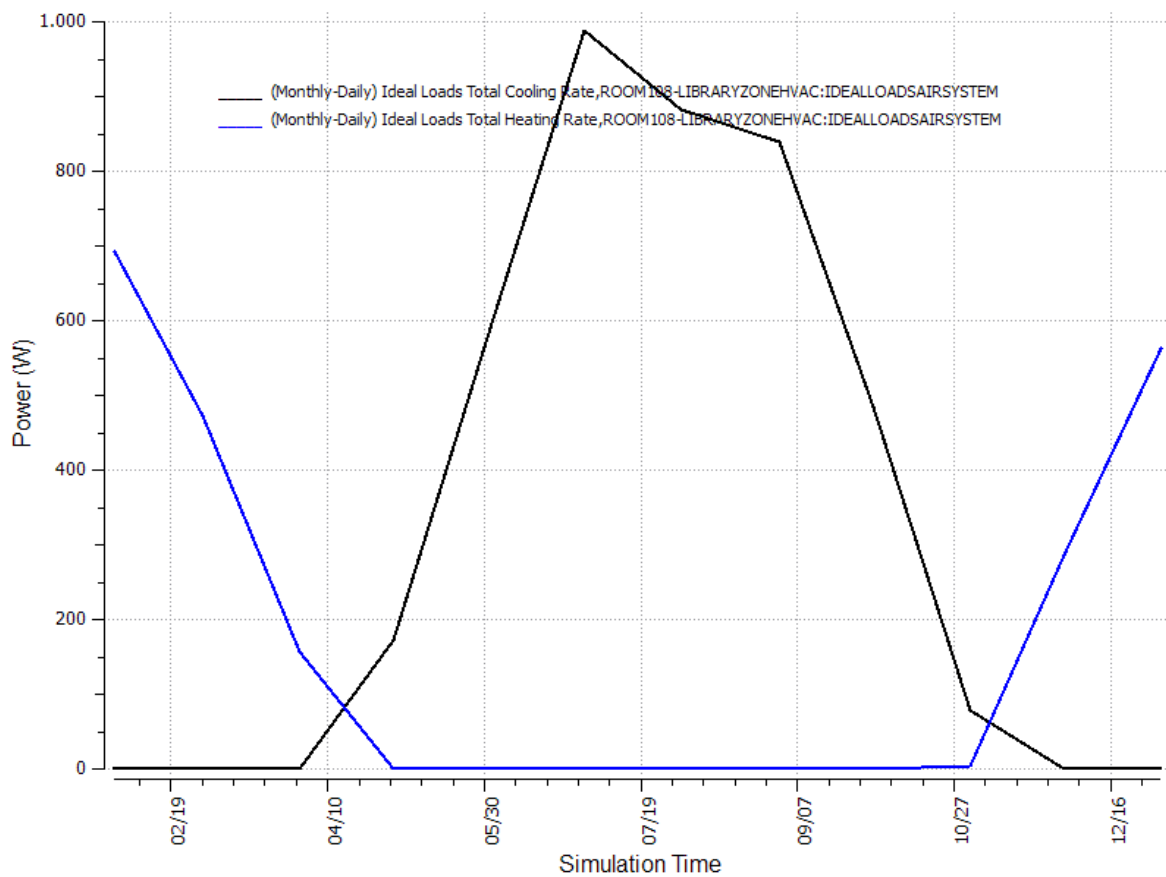
Σχήμα 5.23: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM105.



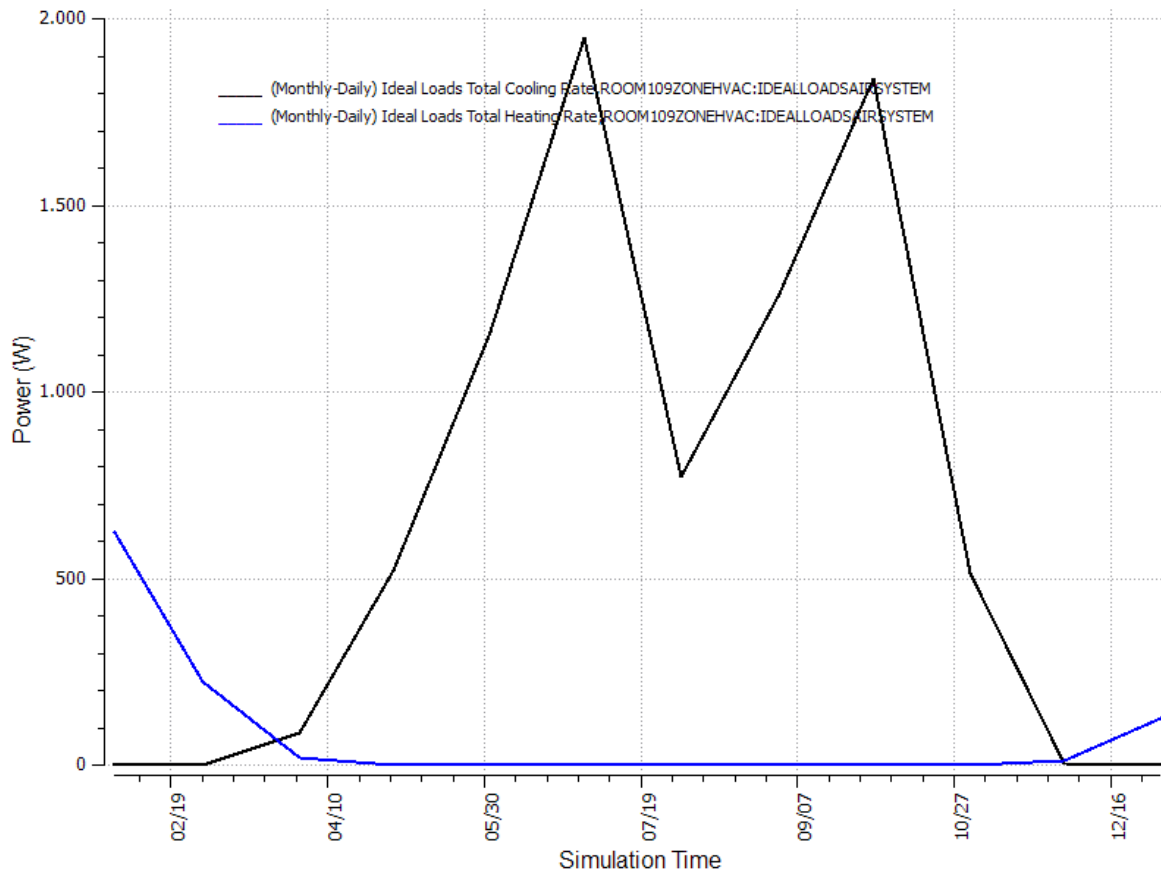
Σχήμα 5.24: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM106.



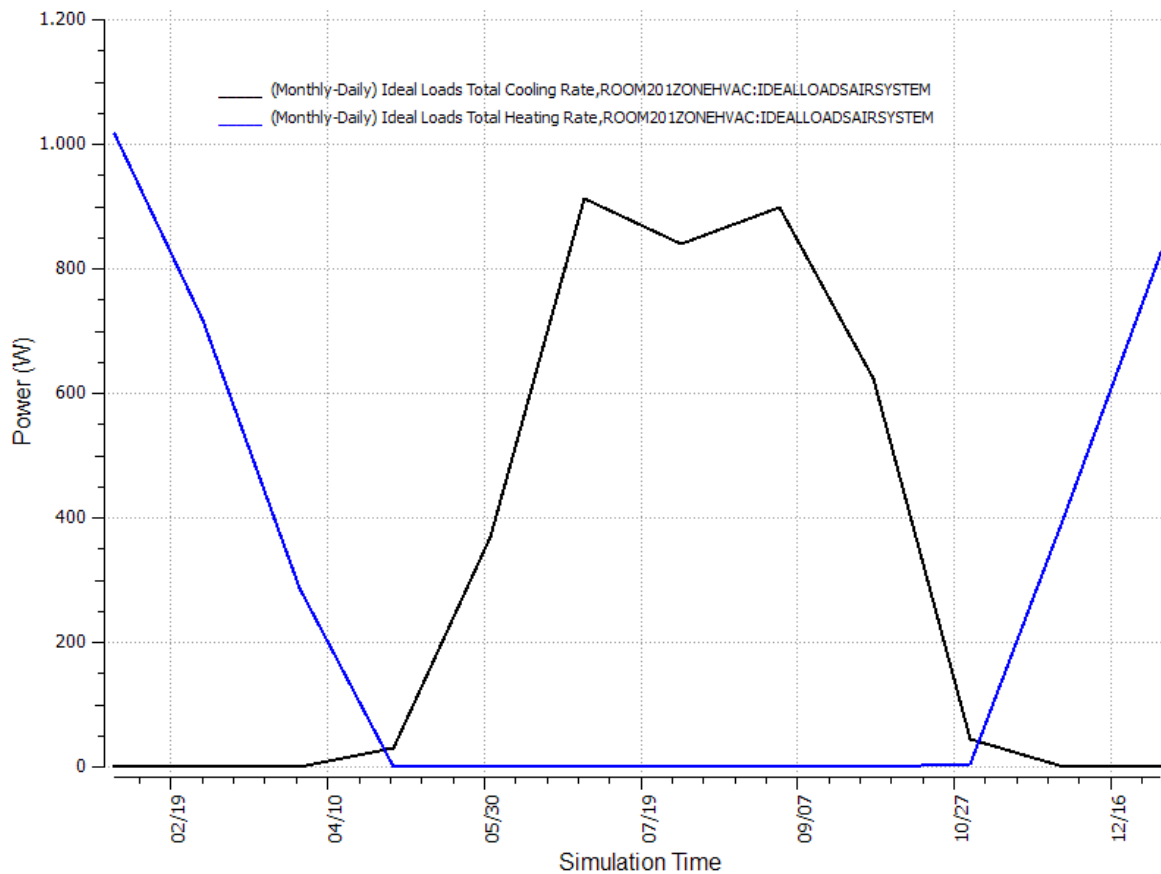
Σχήμα 5.27: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM107.



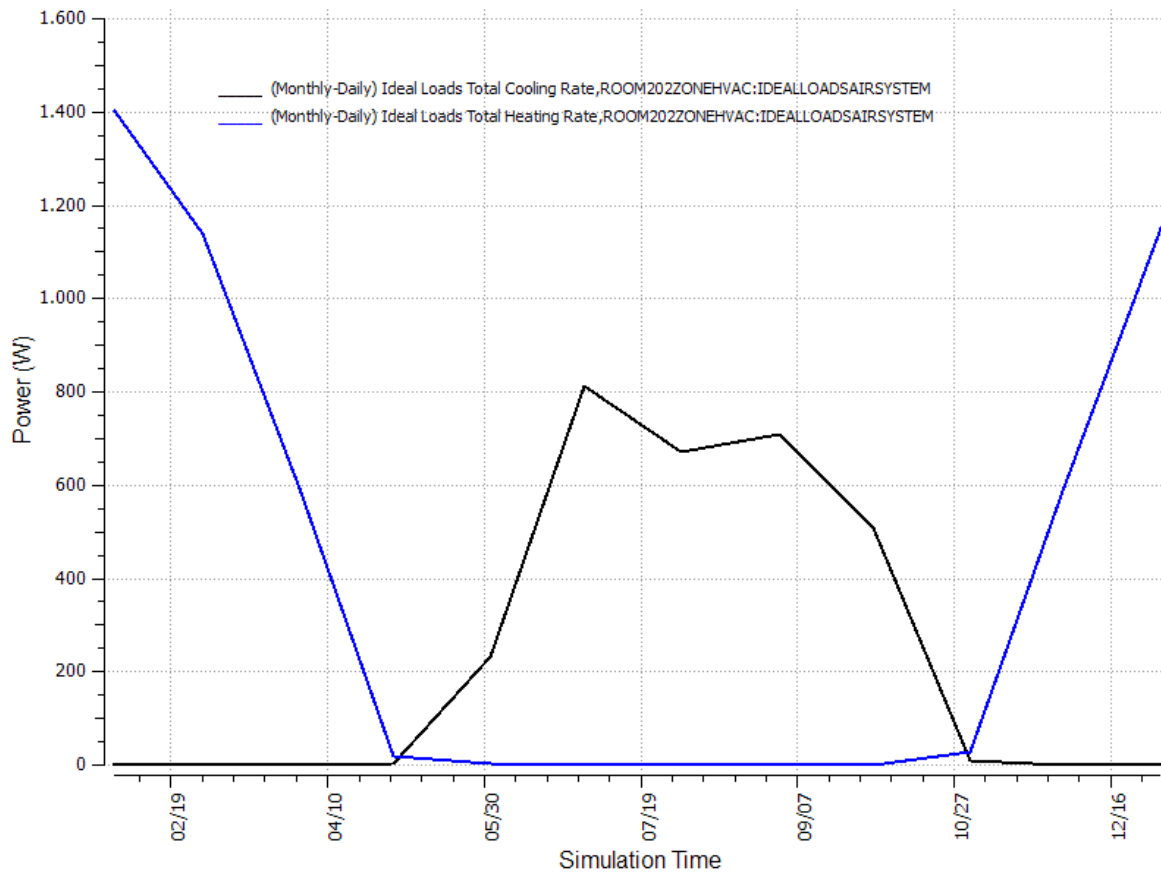
Σχήμα 5.28: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM108.



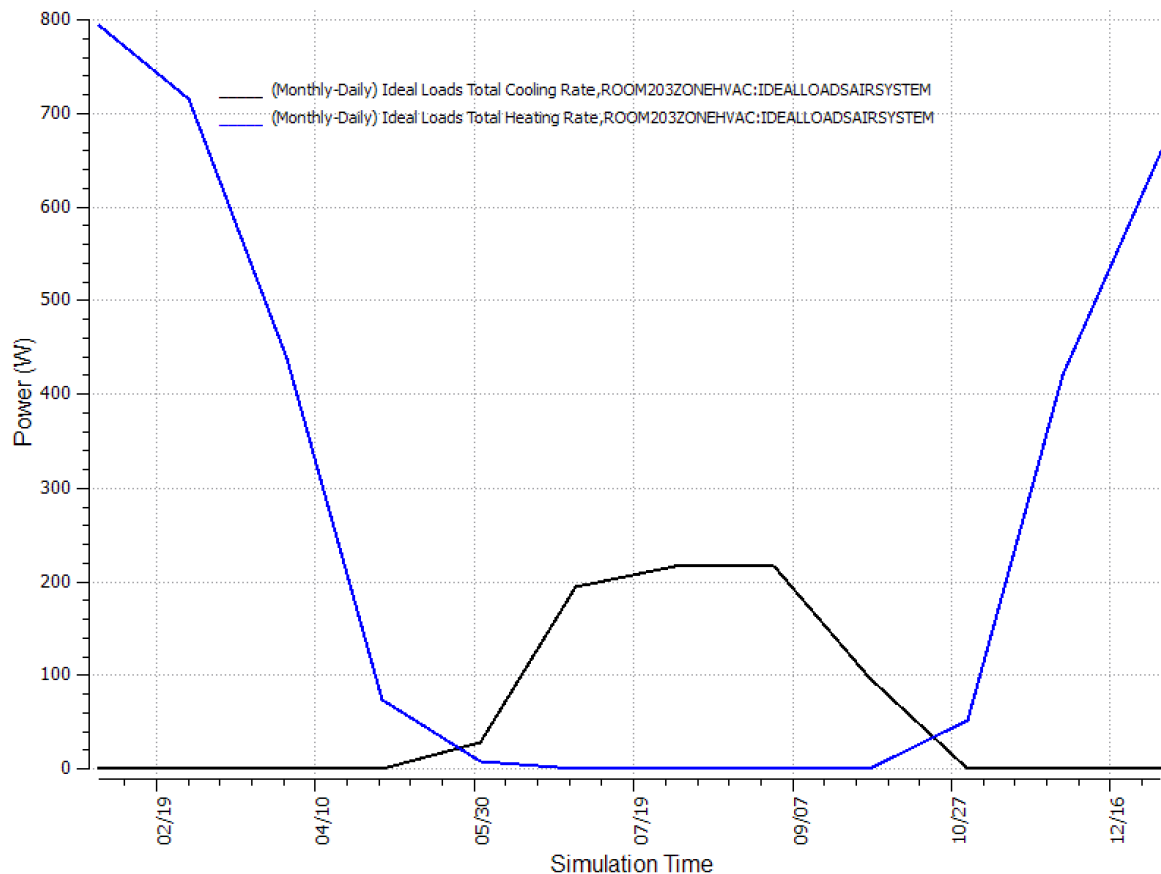
Σχήμα 5.29: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM109.



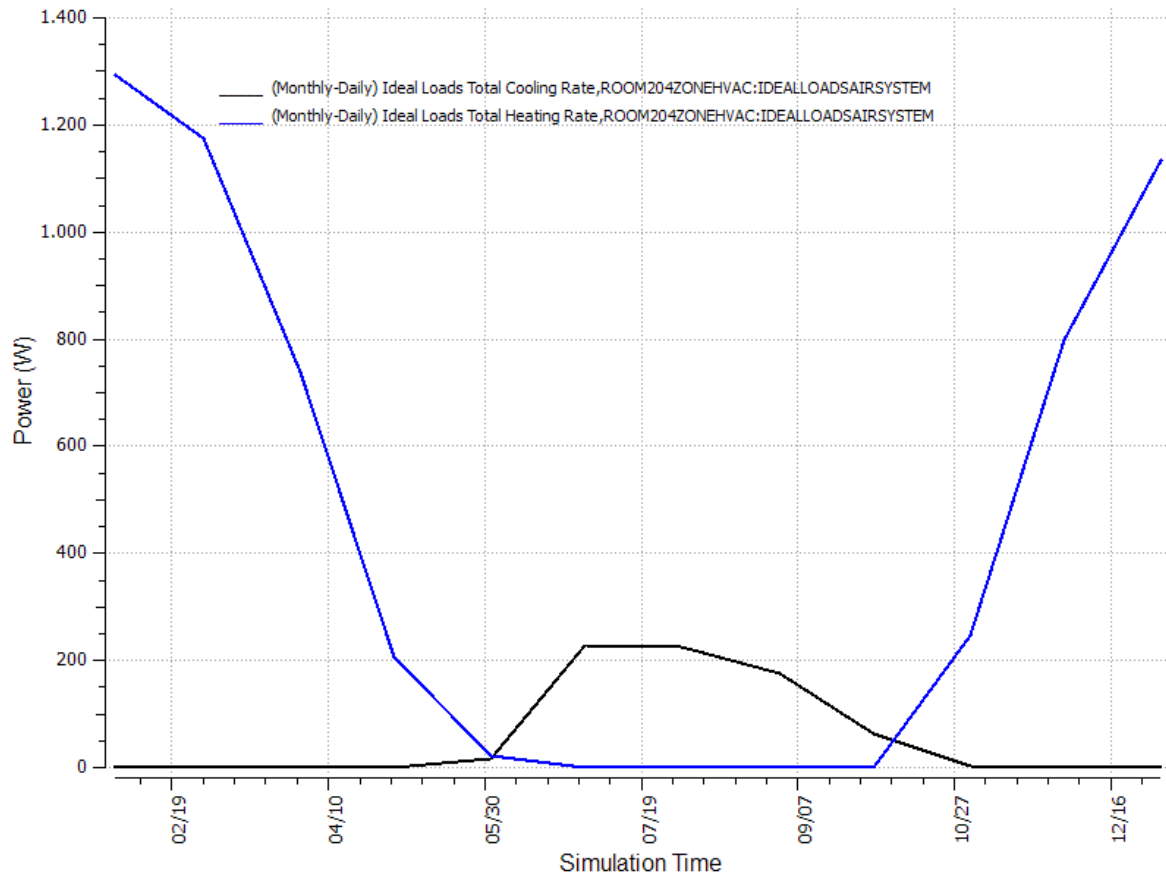
Σχήμα 5.30: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM201.



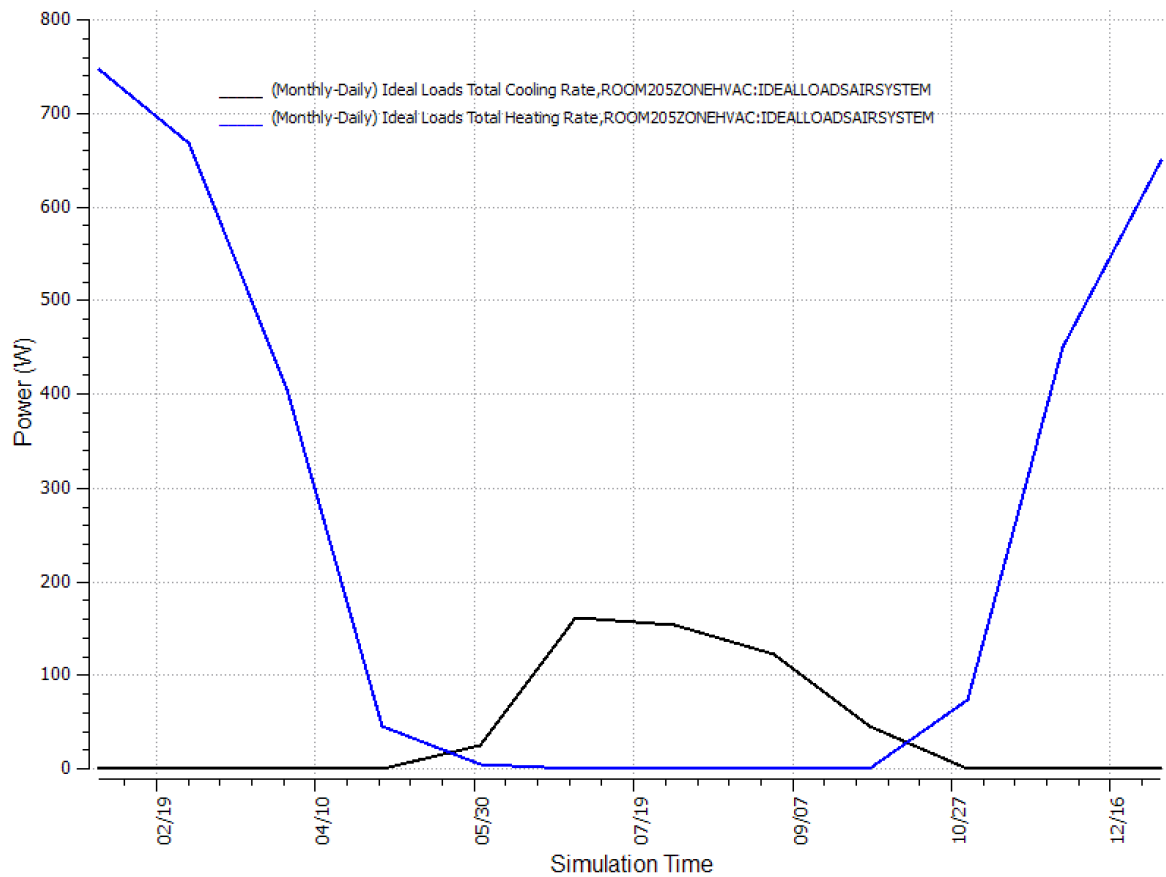
Σχήμα 5.31: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM202.



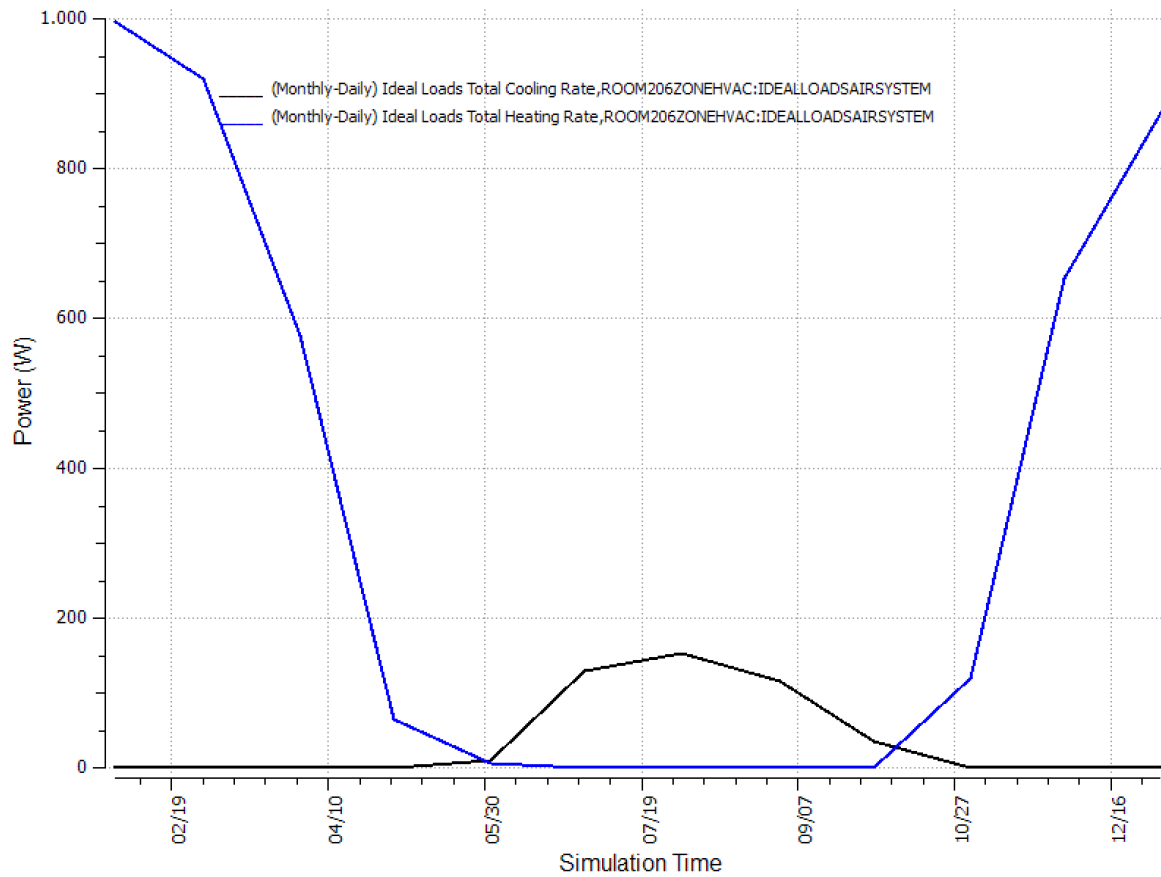
Σχήμα 5.32: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM203.



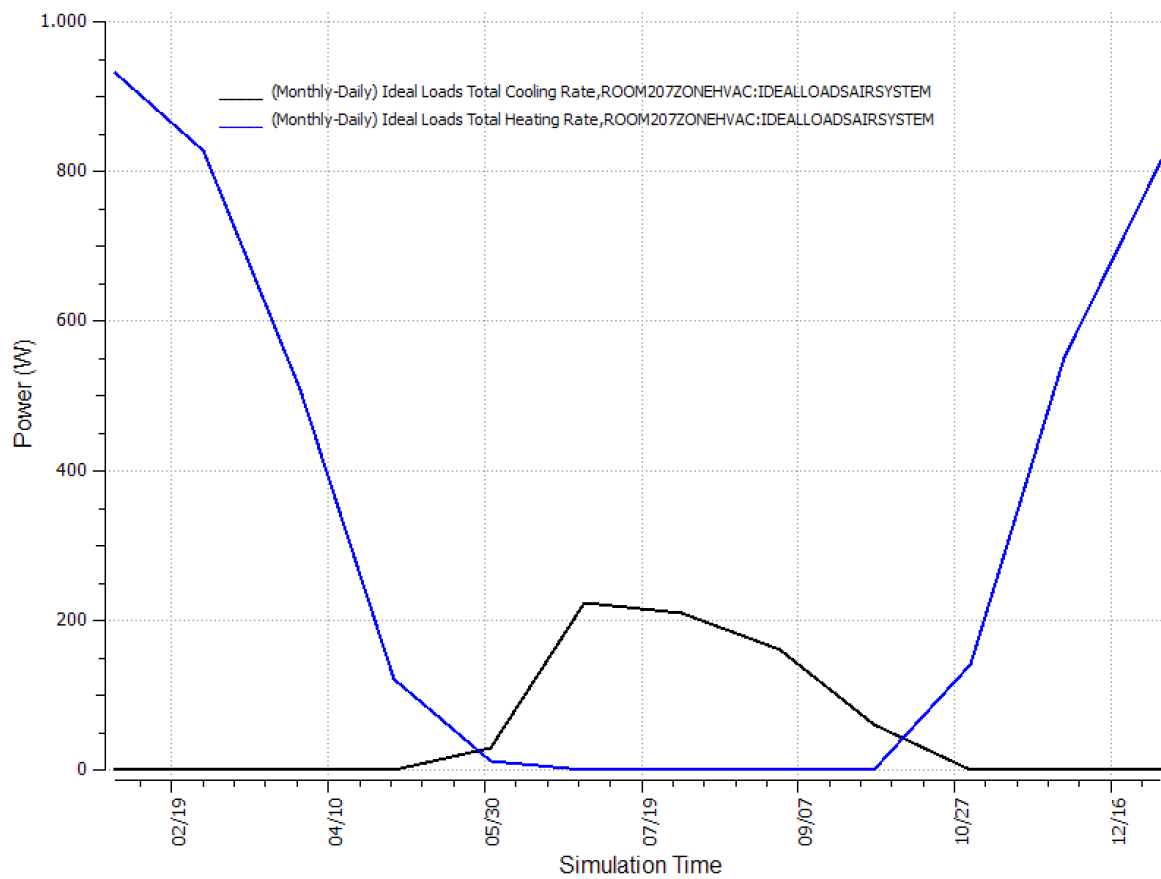
Σχήμα 5.33: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM204.



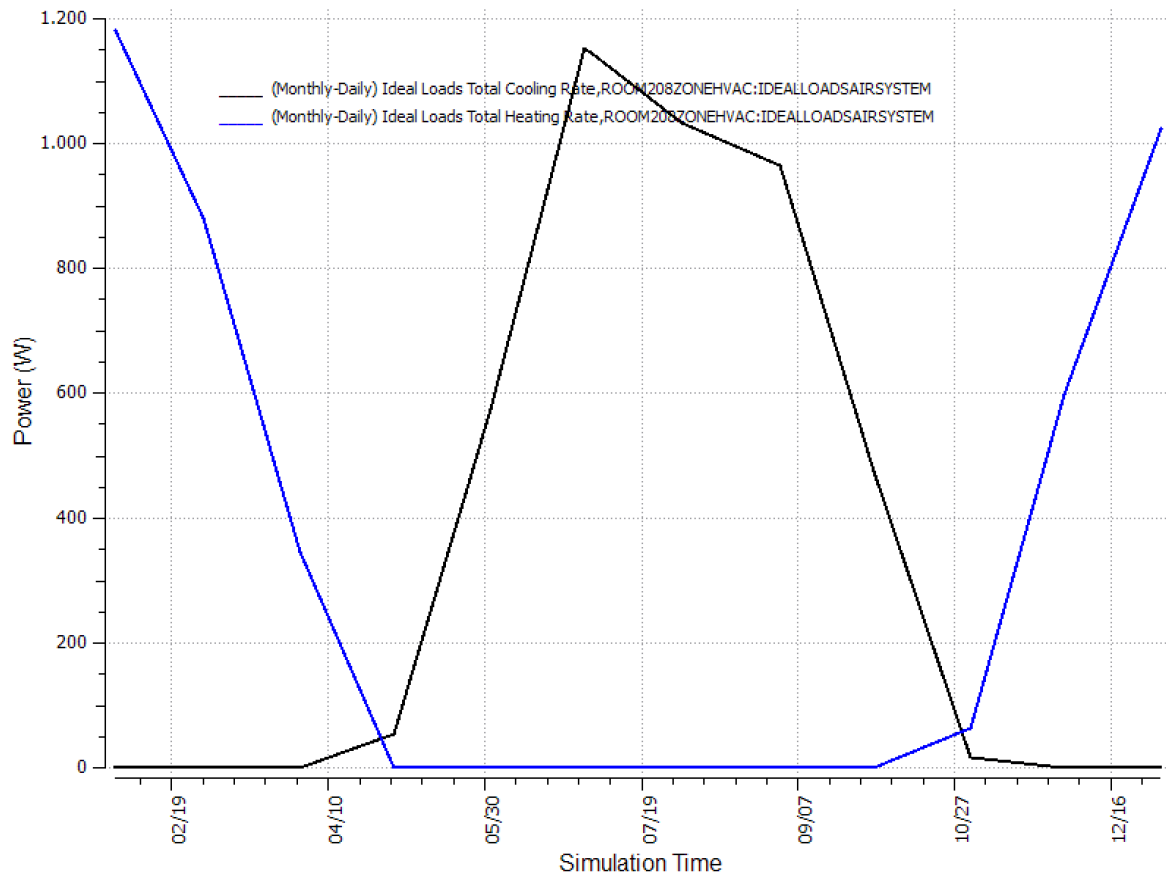
Σχήμα 5.34: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM205.



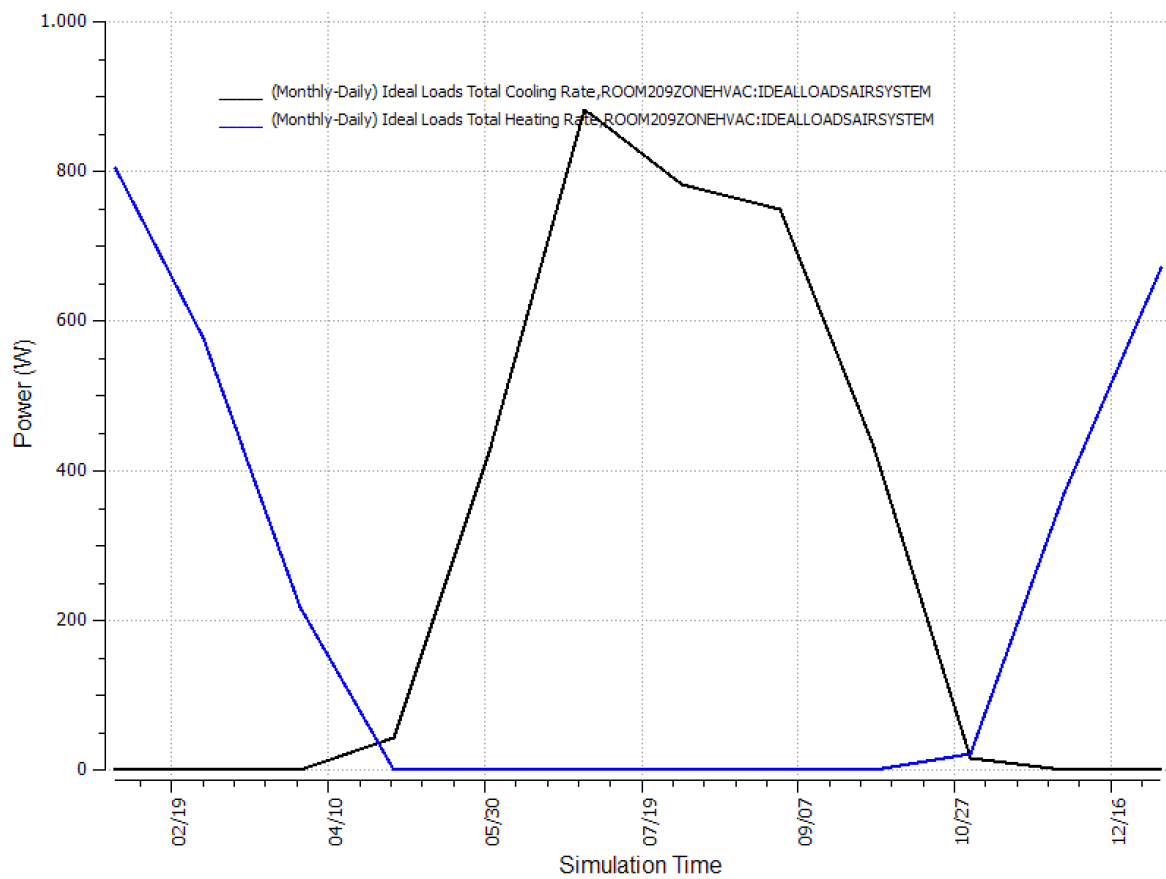
Σχήμα 5.35: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM206.



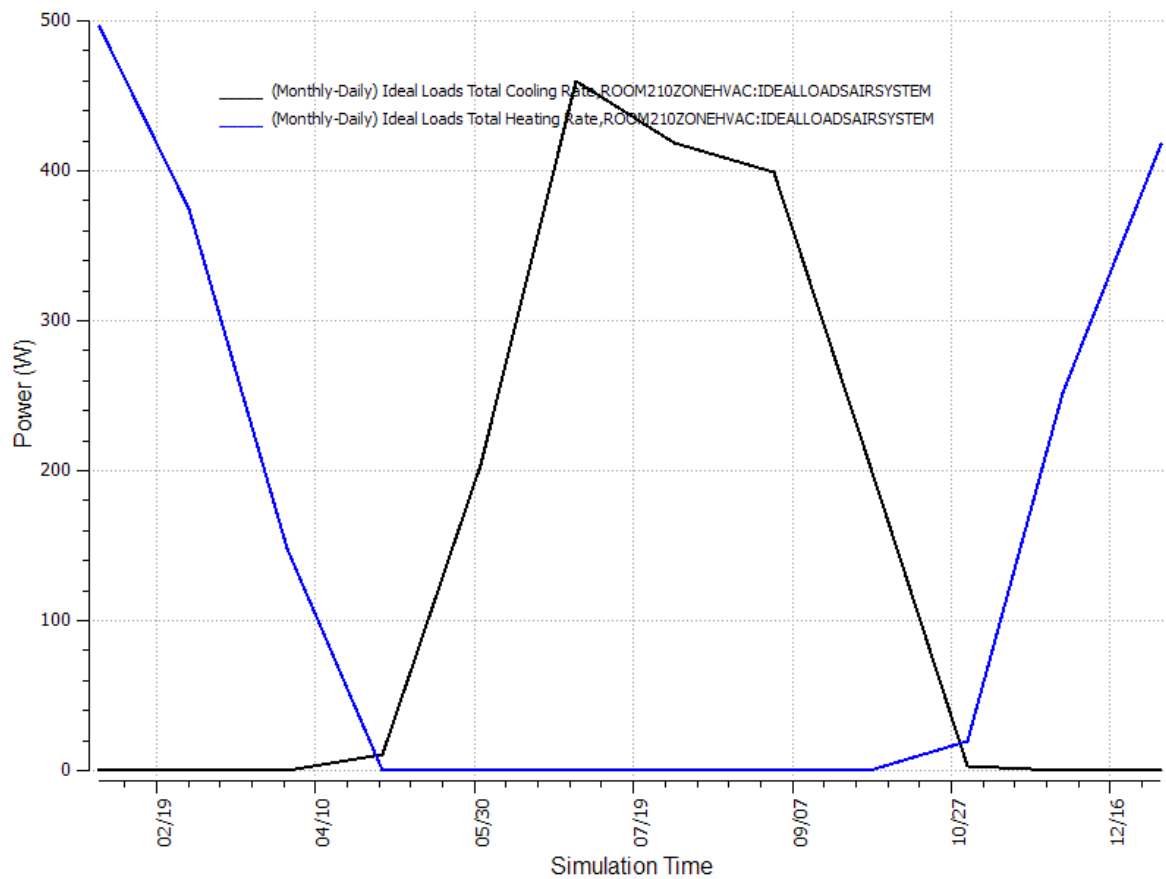
Σχήμα 5.36: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM207.



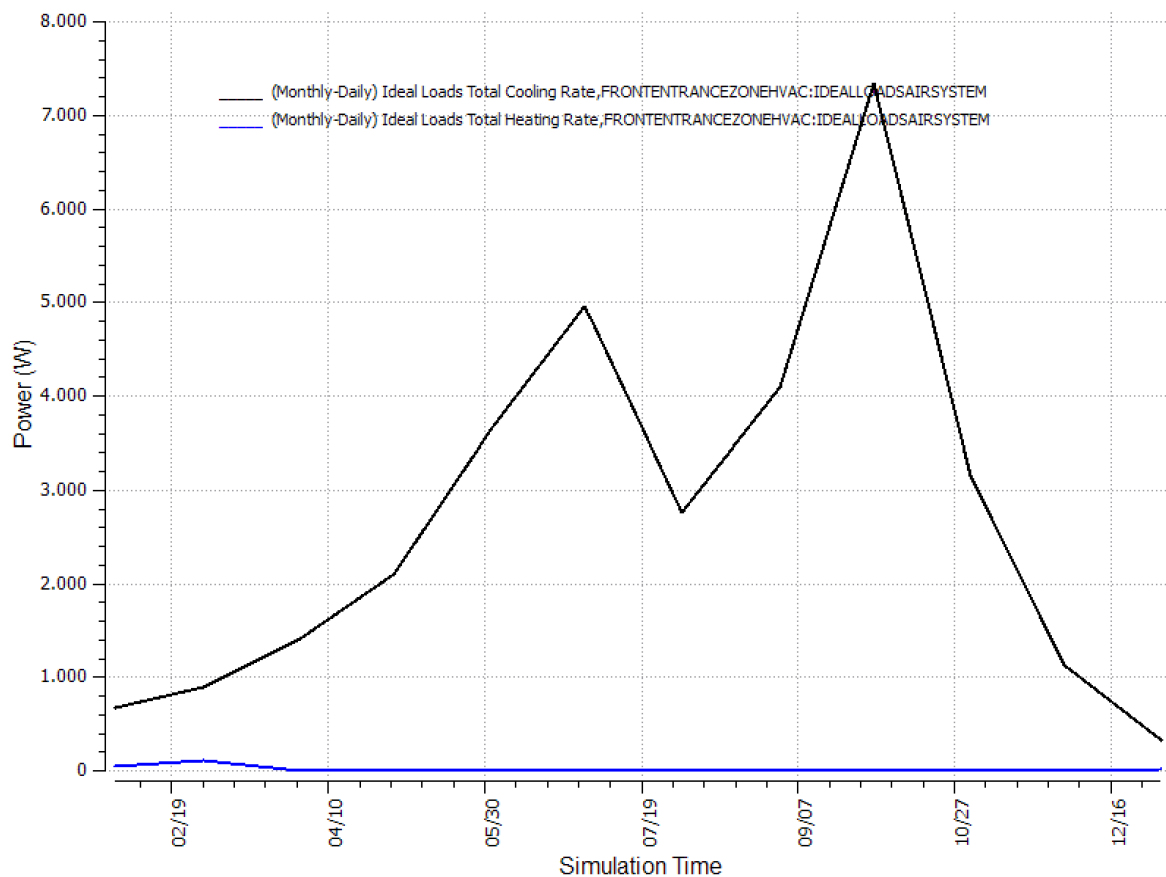
Σχήμα 5.37: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM208.



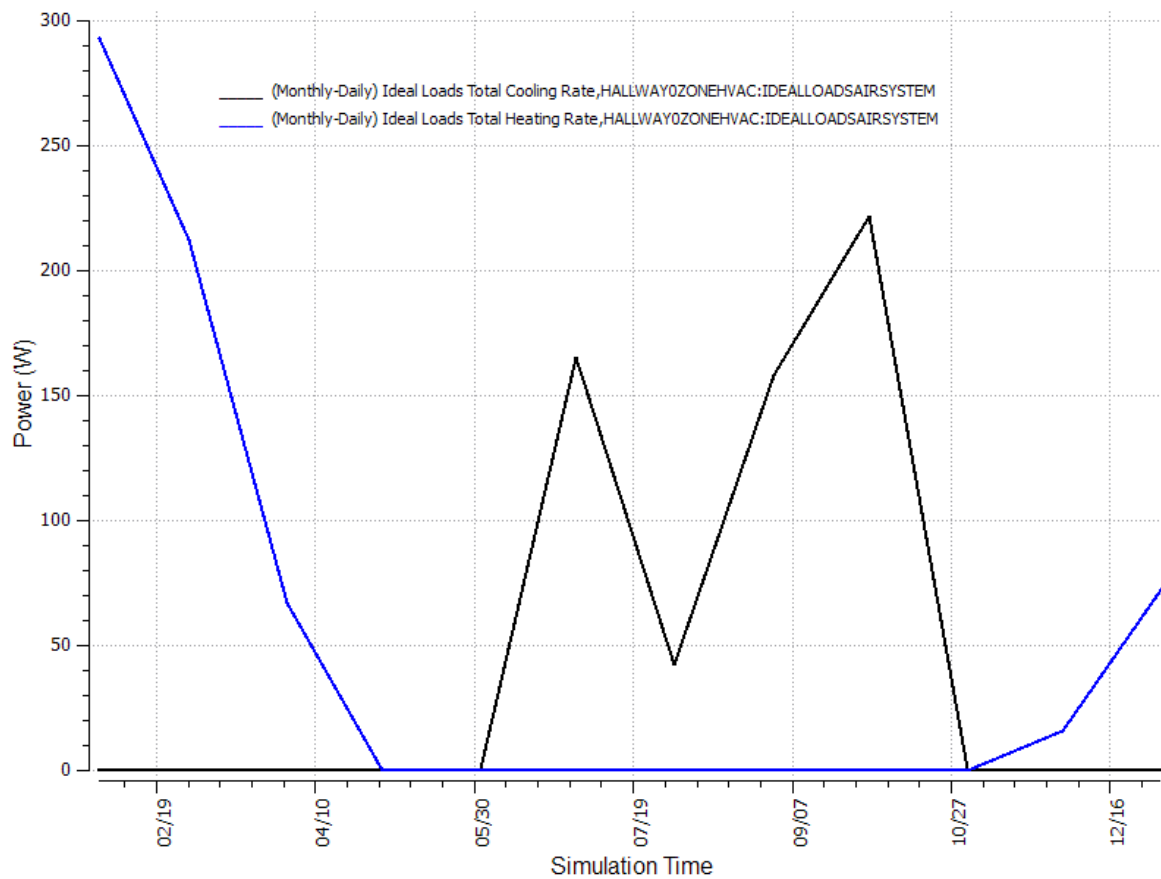
Σχήμα 5.38: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM209.



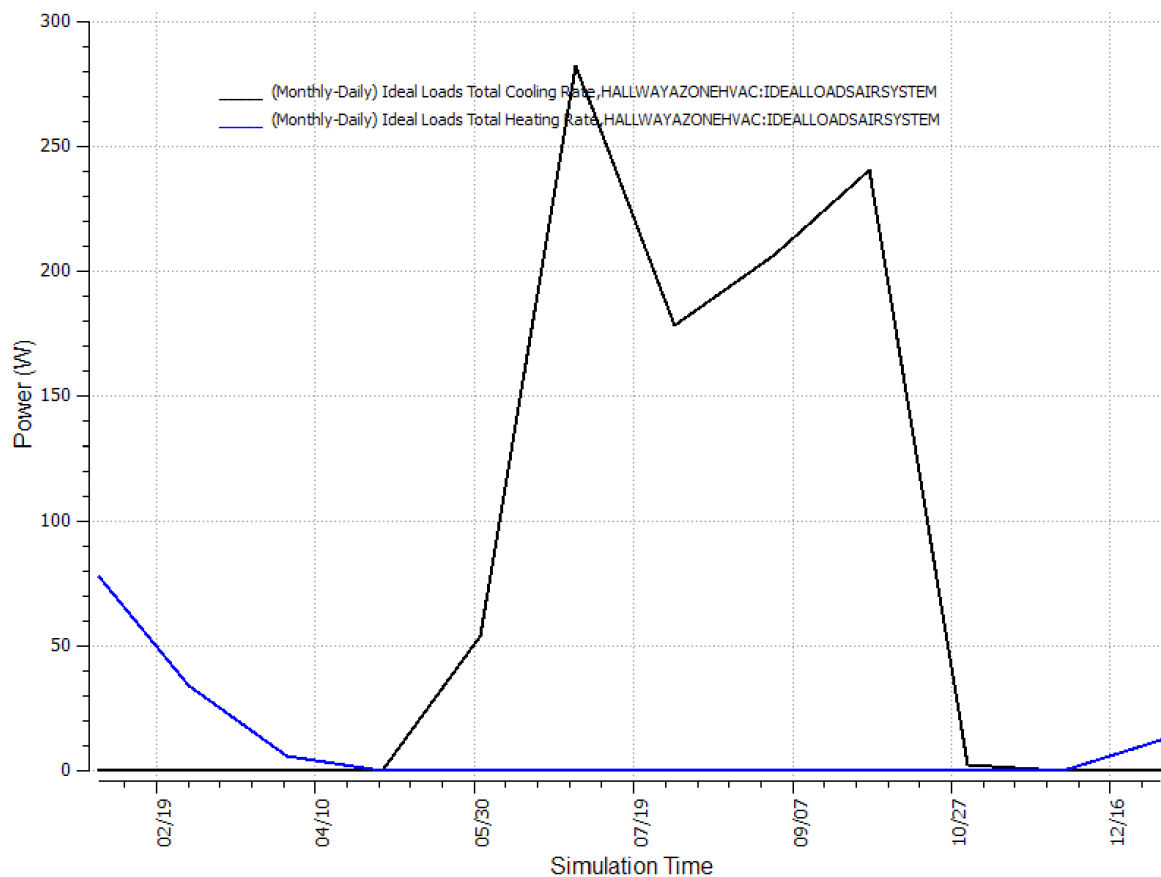
Σχήμα 5.39: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την ROOM210.



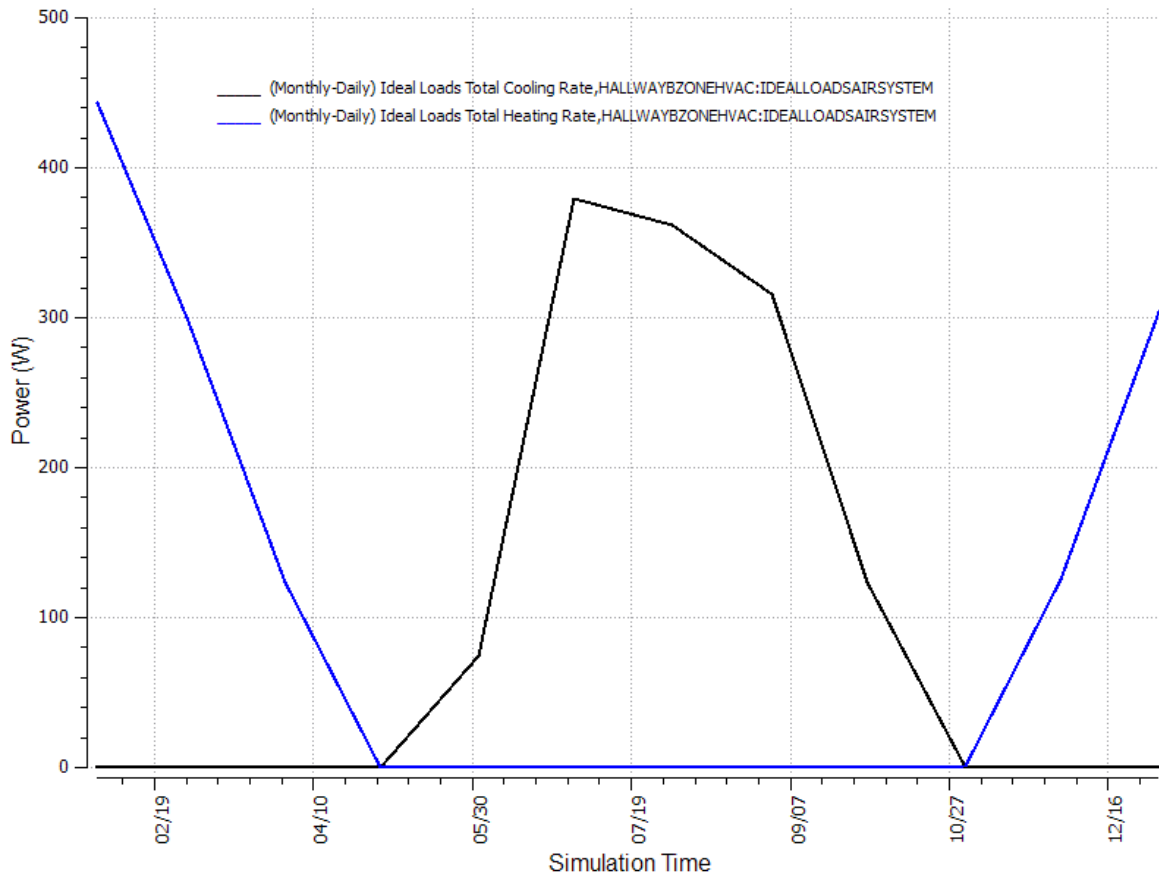
Σχήμα 5.40: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την FRONTENTRANCE.



Σχήμα 5.41: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALLWAY0.



Σχήμα 5.42: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALLWAY A.



Σχήμα 5.43: Υπολογισμένο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την HALLWAY B.

Για το σχήμα 5.13, και της υπολογισμένες τιμές της θερμικής ζώνης HALL1, παρατηρείται το επαναλαμβανόμενο μέχρι τώρα μοτίβο με την μεγάλη πτώση του θερμικού κέρδους την χρονική περίοδο των θερινών διακοπών, να έχει άμεσο αντίκτυπο στις τιμές του υπολογισμένο ψυκτικού φορτίου. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, εφόσον το αυξημένο μέγεθος του θερμικού κέρδους από ανθρώπους κυρίως, δεν θα μπορούσε παρά να επηρεάζει άμεσα το αλληλένδετο με αυτό, ψυκτικό φορτίο. Ωστόσο, αυτό το οποίο είναι αξιοσημείωτο είναι ότι η βύθιση της καμπύλης δεν φτάνει μέχρι το μηδέν αλλά μέχρι μια κατώτατη τιμή περίπου στα 800W. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν υπάρχει μεν το θερμικό κέρδος από ανθρώπινη παρουσία, ωστόσο το θερμικό κέρδος από τα ανοίγματα της αίθουσας στο κτιριακό κέλυφος και από την ίδια τη θερμική μάζα του κτιριακού κελύφους, εμφανίζουν μια ανάγκη της αίθουσας σε ψύξη προκειμένου να διατηρηθεί σε σταθερή θερμοκρασία σχεδιασμού. Ο περιορισμός του υπολογισμού των φορτίων για την θερινή περίοδο, δηλαδή μια τιμή σχεδιασμού στις διακοπές η οποία θα ήταν μεγαλύτερη αυτής, θα έδινε μεγαλύτερη βύθιση τιμών φορτίου. Γενικά, παρατηρείται ότι οι τιμές κυρίως στο θερμικό φορτίο αλλά και στο ψυκτικό φορτίο, αναμενόταν να είναι ελαφρώς αυξημένες. Ωστόσο, λόγω απλοποιήσεων και παραδοχών στις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών

των δομικών στοιχείων και στην κατασκευή του κτιριακού κελύφους κατά την προσομοίωση, πιθανόν η πραγματική απόκριση του κτιρίου να διαφέρει ελαφρώς από την προσομοιωμένη.

Όμοιες παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν και για τα σχήματα 5.14 έως 5.17, των ζωνών HALL2, HALL3, HALL4, και HALL5.

Στο σχήμα 5.18, και την ζώνη PCLAB, εμφανίζεται μια μεγάλη κορύφωση του φορτίου ψύξης, κατά τον μήνα Σεπτέμβριο. Είναι φυσιολογική απόκριση, αφού έχει υποτεθεί πληρότητα 100% για περίπου ένα μήνα, διάρκεια εξεταστικής περιόδου Σεπτεμβρίου, με αποτέλεσμα το θερμικό κέρδος από τους υπολογιστές της αίθουσας, να αυξάνεται κατακόρυφα. Αντίστοιχα, η καμπύλη θερμικού φορτίου, παρουσιάζει μέγιστο στην χρονική περίοδο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου όπου και πάλι λόγω της εξεταστικής περιόδου και της πληρότητας 100% η ζήτηση σε θέρμανση είναι μεγάλη. Σε αυτήν την χρονική περίοδο το θερμικό φορτίο από Η/Υ είναι αντίστοιχα αυξημένο όπως και στην θερινή, ωστόσο ο Φεβρουάριος είναι ο πιο ψυχρός μήνας οπότε υπάρχουν αυξημένες θερμικές απώλειες μέσω του κτιριακού κελύφους, ο αερισμός της αίθουσας έχει ρυθμιστεί σε ανάγκη παροχής νωπού αέρα κατ' άτομο, και η πληρότητα ατόμων αυξάνει κατακόρυφα την ζήτηση σε νωπό αέρα ο οποίος πρέπει να κλιματιστεί στις συνθήκες σχεδιασμού του χώρου.

Όμοιες παρατηρήσεις ισχύουν και για την HALL7, στο σχήμα 5.19.

Η ζώνη STUDENTSHALL η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 5.20, εμφανίζει μια ελαφρώς διαφορετική συμπεριφορά. Η συγκεκριμένη ζώνη έχει βόρειο προσανατολισμό και το ωράριο λειτουργίας της ακολουθεί το ωράριο γραφείων και όχι των αιθουσών. Η κορυφή της καμπύλης εξηγείται με όσα σχολιάστηκαν νωρίτερα για την εξεταστική περίοδο του Ιουνίου. Η απουσία έντονης κορυφής τον Σεπτέμβριο, δικαιολογείται από το χαμηλό θερμικό κέρδος από το κτιριακό κέλυφος. Είναι μια αίθουσα μικρή, βόρεια όπου το Σεπτέμβριο έχει χαμηλό ποσοστό προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας επάνω σε αυτήν. Τα μικρά νούμερα των φορτίων της εξηγούνται λόγω του μεγέθους της και της απουσίας ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Στα γραφεία του πρώτου ορόφου κυριαρχούν τα γραφεία 101 και 102, όπου προσομοιώνονται με την θερμική ζώνη ROOM101-102-SECRETARIAT, σχήμα 5.21. Η αυξημένη τιμή του φορτίου σε σύγκριση με τα υπόλοιπα γραφεία του ίδιου ορόφου, εξηγείται από τον μεγαλύτερο όγκο της θερμικής ζώνης, την ύπαρξη περισσότερου ηλ. εξοπλισμού (Η/Υ, εκτυπωτές), και κυρίως από τον έντονο ηλιασμό της ζώνης σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η πρόσοψή της έχει ανοίγματα προς Νότο και Νότια-νοτιοδυτικά τα οποία επιβαρύνονται αρκετά από την ηλιακή ακτινοβολία.

Στα σχήματα 5.22 έως 5.27, όπου παρουσιάζονται οι καμπύλες φορτίου για τις ζώνες ROOM103, ROOM104, ROOM105, ROOM106 και ROOM107 δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή με εξαίρεση ίσως το γραφείο 104, όπου το φορτίο ψύξης είναι σχεδόν μηδενικό. Ο βορειοδυτικός προσανατολισμός της σε συνάρτηση με τις λίγες εκτεθειμένες επιφάνειες στο εξωτερικό περιβάλλον εξηγεί γιατί δεν υπάρχει μεγάλη ανάγκη σε ψύξη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γραφείο 108, η βιβλιοθήκη, όπου σε σύγκριση μετά υπόλοιπα γραφεία του ίδιου ορόφου, το αυξημένο φορτίο αποδίδεται στον προσανατολισμό της, βορειοανατολικός με τα ανοίγματα όμως στην ανατολή.

Στην θερμική ζώνη 109, σχήμα 5.29, οι καμπύλες είναι οι αναμενόμενες λόγω του ωραρίου λειτουργίας του χώρου αλλά και της συγκέντρωσης ανθρώπων που παρατηρείται στις εξεταστικές περιόδους. Εκτιμάται, ότι οι τιμές στην ψύξη και στην θέρμανση, αν ληφθεί υπόψη και ο προσανατολισμός και τα ανοίγματα της αίθουσας, είναι μικρές. Η διαφοροποίηση αυτή αποδίδεται στο κτιριακό κέλυφος και την υπερεκτίμηση ίσως της μόνωσής του.

Τα σχήματα 5.30 έως 5.39, παρουσιάζουν τις καμπύλες φορτίου για τα γραφεία του δεύτερου ορόφου. Αναμενόμενες μεταβολές στις περισσότερες περιπτώσεις, με την επίδραση του προσανατολισμού να εξηγεί τα υψηλότερα φορτία στα γραφεία 201 και 202 και χαμηλά φορτία ψύξης στους βόρειους προσανατολισμούς. Τα γραφεία 201 και 202 παρουσιάζουν αυξημένα θερμικά κέρδη επίσης από συγκέντρωση ατόμων και ηλ. εξοπλισμού.

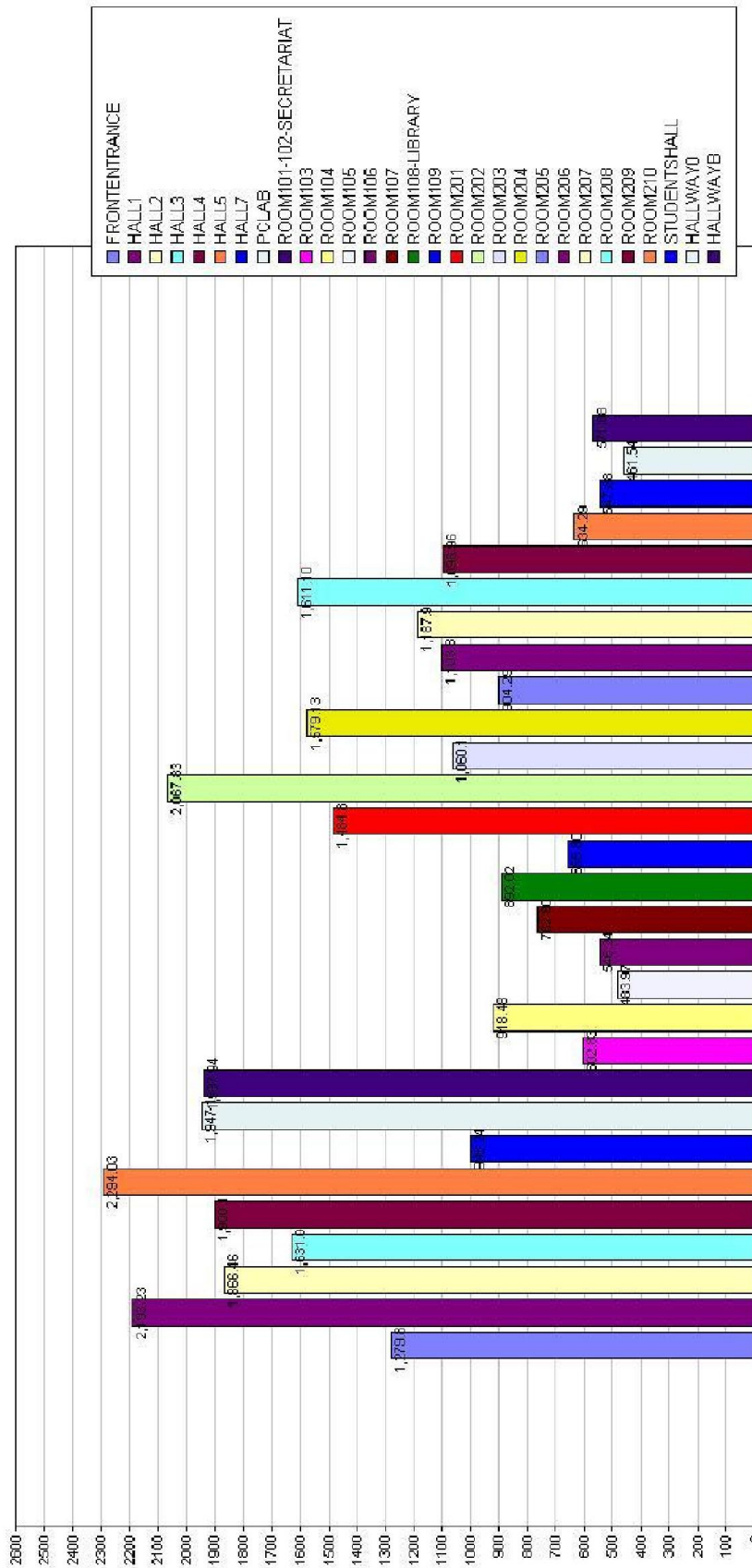
Στο σχήμα 5.40, η απεικόνιση της καμπύλης φορτίων της θερμικής ζώνης της εισόδου να εμφανίζει μέγιστο στα φορτία ψύξης τον Σεπτέμβριο, έχει σχολιαστεί νωρίτερα με την πληρότητα φοιτητών τις ημέρες της εξεταστικής περιόδου του Σεπτεμβρίου. Ωστόσο, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο σε αυτό το μέγιστο φορτίο παίζει η μεγάλη εκτεθειμένη στο νότο, επιφάνεια υαλοπινάκων της ζώνης η οποία αυξάνει ιδιαίτερα το θερμικό κέρδος από ηλιακή ακτινοβολία. Λεπτομέρειες δόθηκαν στην ενότητα 5.1.1 με το σχήμα 5.12. Η ίδια επιφάνεια ρυθμίζει και την ανάγκη σε θέρμανση της ζώνης, αφού τα θερμικά κέρδη το χειμώνα λόγω ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με τα θερμικά κέρδη από τη λειτουργία των συσκευών της καφετέριας, καθιστούν την ανάγκη σε θέρμανση σχεδόν ανύπαρκτη σε αυτή τη ζώνη. Υπολογίζεται ότι το συνολικό θερμικό κέρδος ξεπερνά τα 10KW.

Τέλος, μικρή απαίτηση σε θέρμανση και ψύξη εμφανίζεται για τον διάδρομο του ισόγειου, σχήμα 5.41 όπως και τον διάδρομο του πρώτου ορόφου, σχήμα 5.42. Αναμενόμενη αύξηση του ψυκτικού φορτίου στον διάδρομο του δεύτερου ορόφου, σχήμα 5.43, λόγω των θερμικών κερδών τους καλοκαιρινούς μήνες από τη θερμική μάζα της οροφής του κτιρίου. Γενικά, τα φορτία στους διαδρόμους δεν αναμένονται ιδιαίτερα υψηλά, δεδομένης

της προστατευμένης διάταξής τους και της χαμηλότερης απαίτησης σε θερμοκρασία θέρμανσης, 18°C έναντι των 20°C που σχεδιάζονται οι υπόλοιποι χώροι.

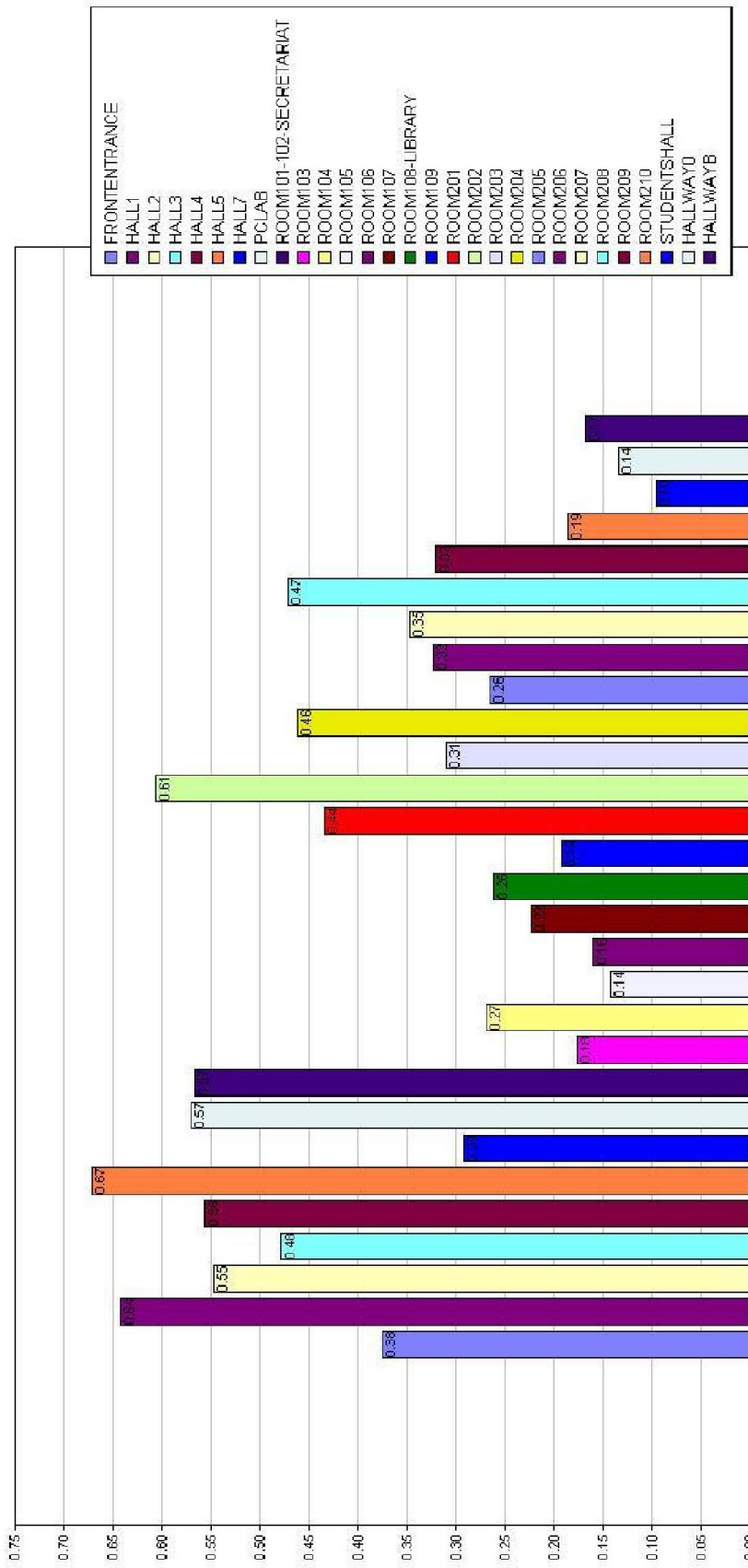
Στα σχήματα 5.44 έως 5.47, που ακολουθούν παρουσιάζεται σε μορφή γραφήματος με στήλες το θερμικό και ψυκτικό φορτίο ανά θερμική ζώνη καθώς και η παροχή αέρα σχεδιασμού για την επίτευξη των επιθυμητών εσωτερικών συνθηκών στους χώρους του κτιρίου. Στα διαγράμματα θερμικού φορτίου υπολείπεται η θερμική ζώνη HALLWAY A επειδή παρουσιάζει σχεδόν μηδενικό φορτίο θέρμανσης.

HVAC String Summary --- Zone Heating --- Calculated Design Load [W] --- Side-by-side Bar



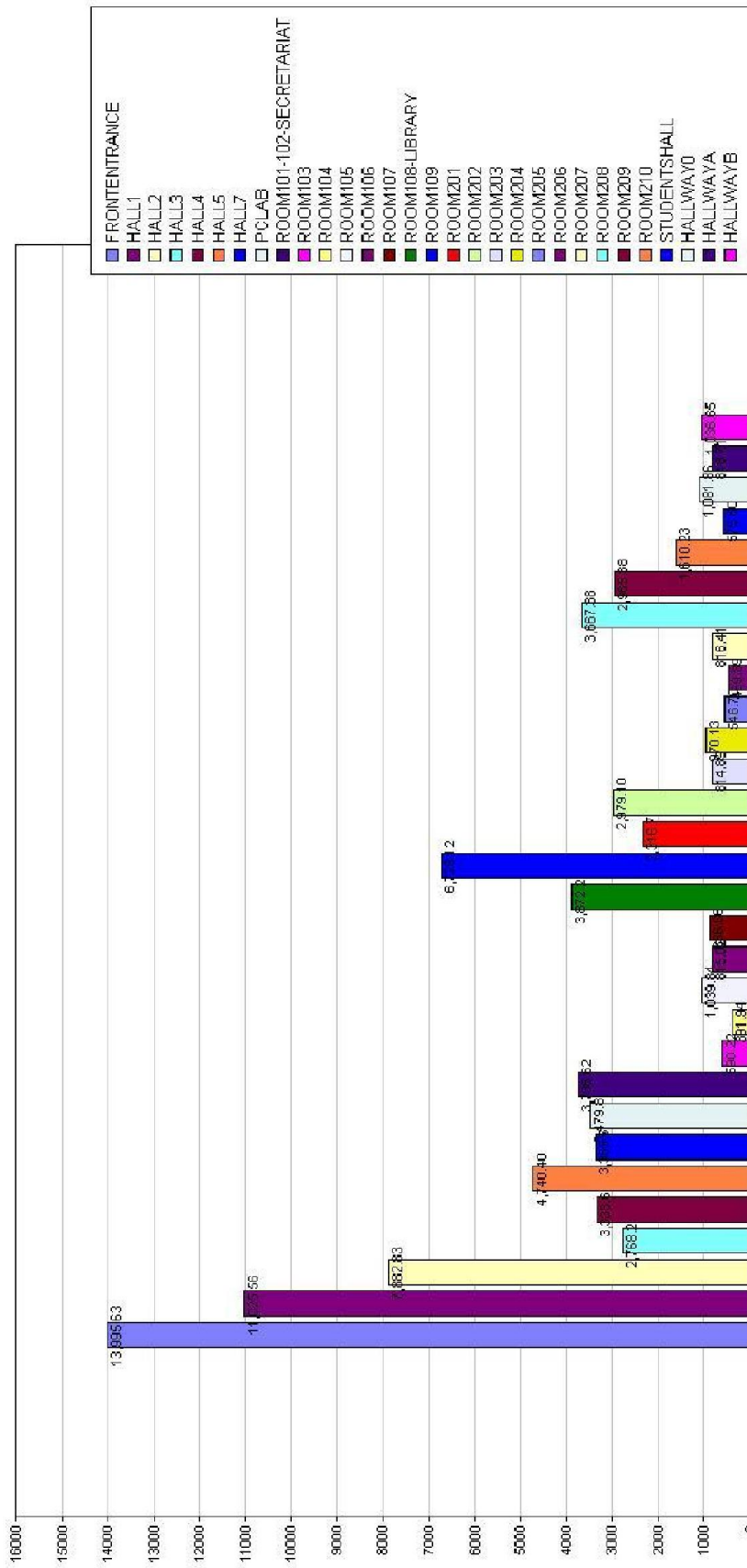
Σχήμα 5.44: Φορτίο θέρμανσης για όλες τις θερμικές ζώνες του κτιρίου.

HVAC Sizing Summary --- Zone Heating --- Calculated Design Air Flow [m³/s] --- Side-by-side Bar



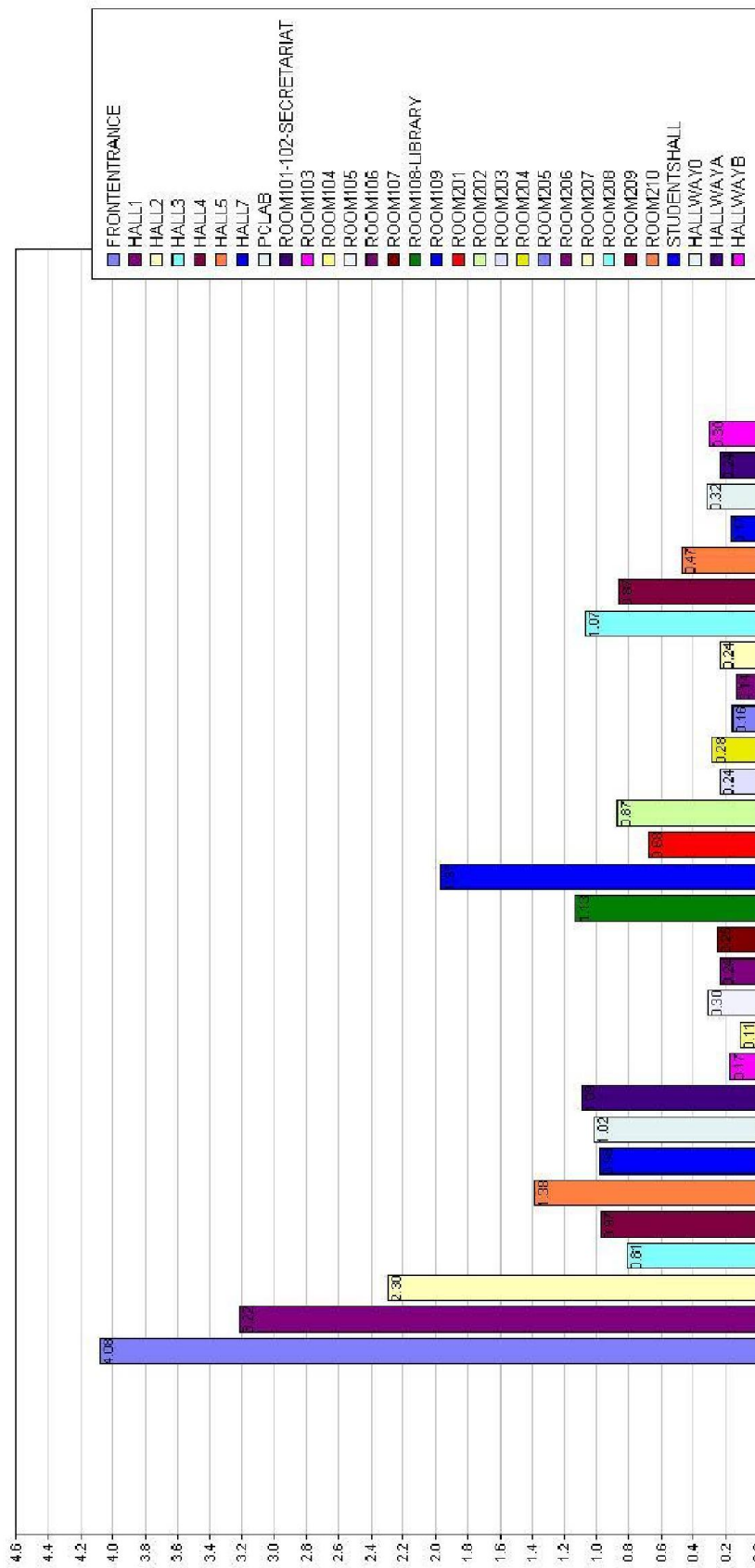
Σχήμα 5.45. Υπολογισμένη παροχή σχεδίασμού για το θερμικό φορτίο.

HVAC Sizing Summary --- Zone Cooling --- Calculated Design Load [W] --- Side-by-side Bar



Σχήμα 5.46: Υπολογιζόμενο ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού ανά θερμική ζώνη.

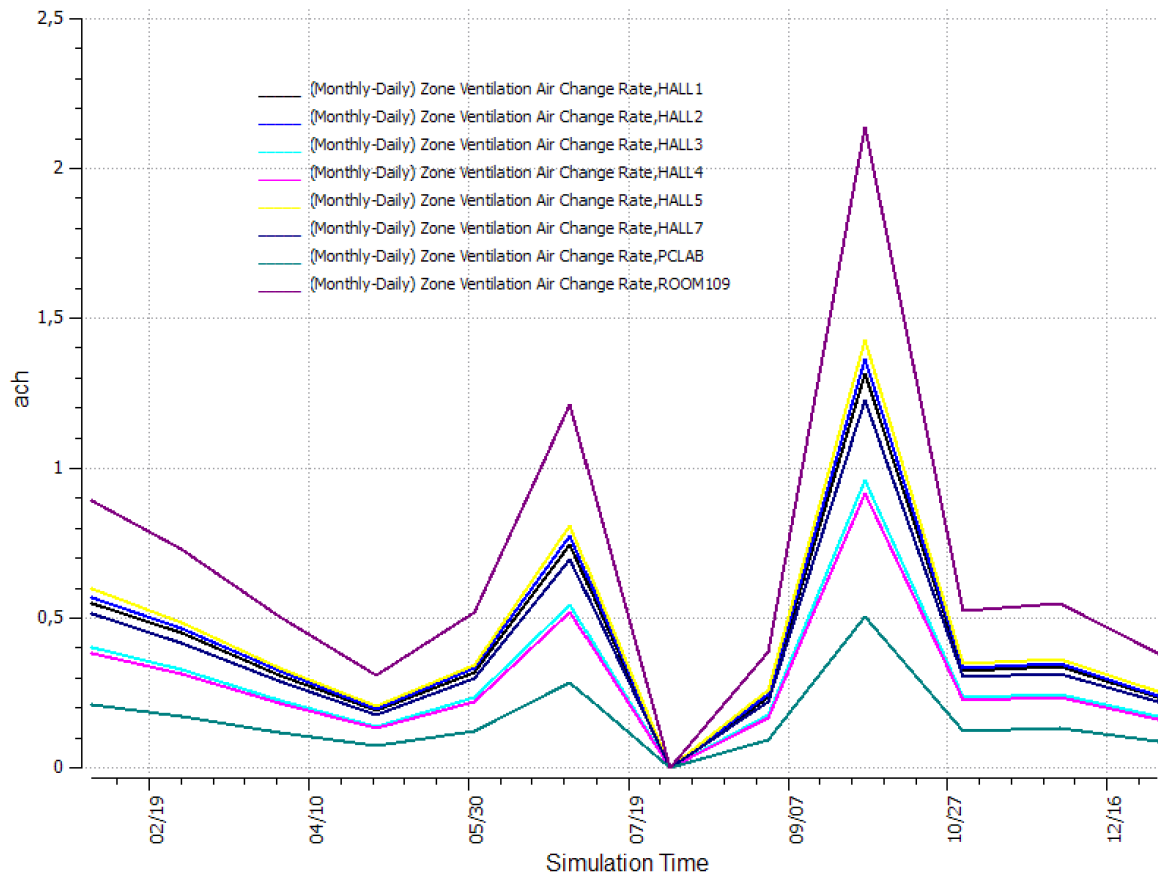
HVAC Sizing Summary --- Zone Cooling --- Calculated Design Air Flow [m³/s] --- Side-by-side Bar



Σχήμα 5.47: Υπολογιζόμενη παροχή αέρα σχεδιασμού για την ψύξη των θερμικών ζωνών.

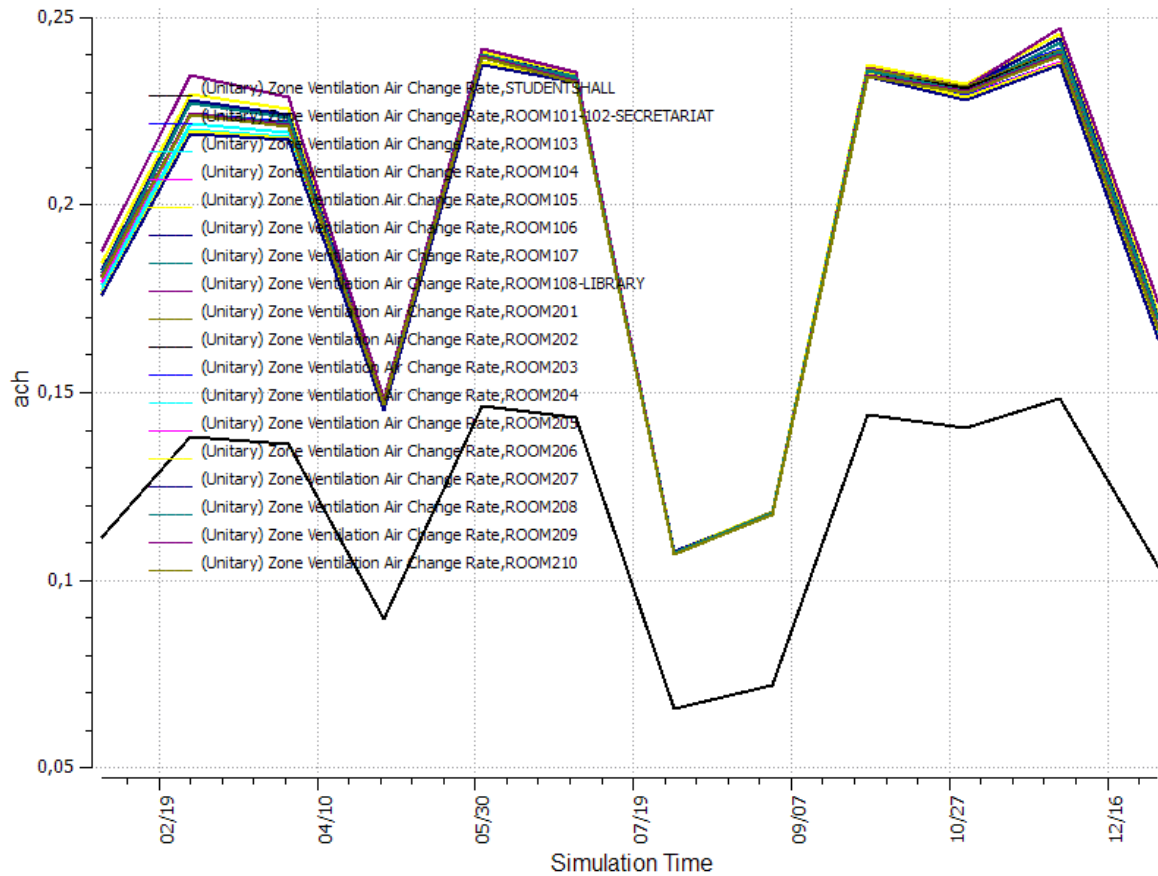
5.1.3 Αποτελέσματα υπολογισμού αναγκών σε αερισμό

Ακολουθούν τα σχήματα 5.48 έως 5.50 στα οποία απεικονίζεται ο υπολογισμός των απαιτούμενων εναλλαγών αέρα στις θερμικές ζώνες προκειμένου να επιτευχθούν οι συνθήκες σχεδιασμού για νωπό αέρα στους χώρους.

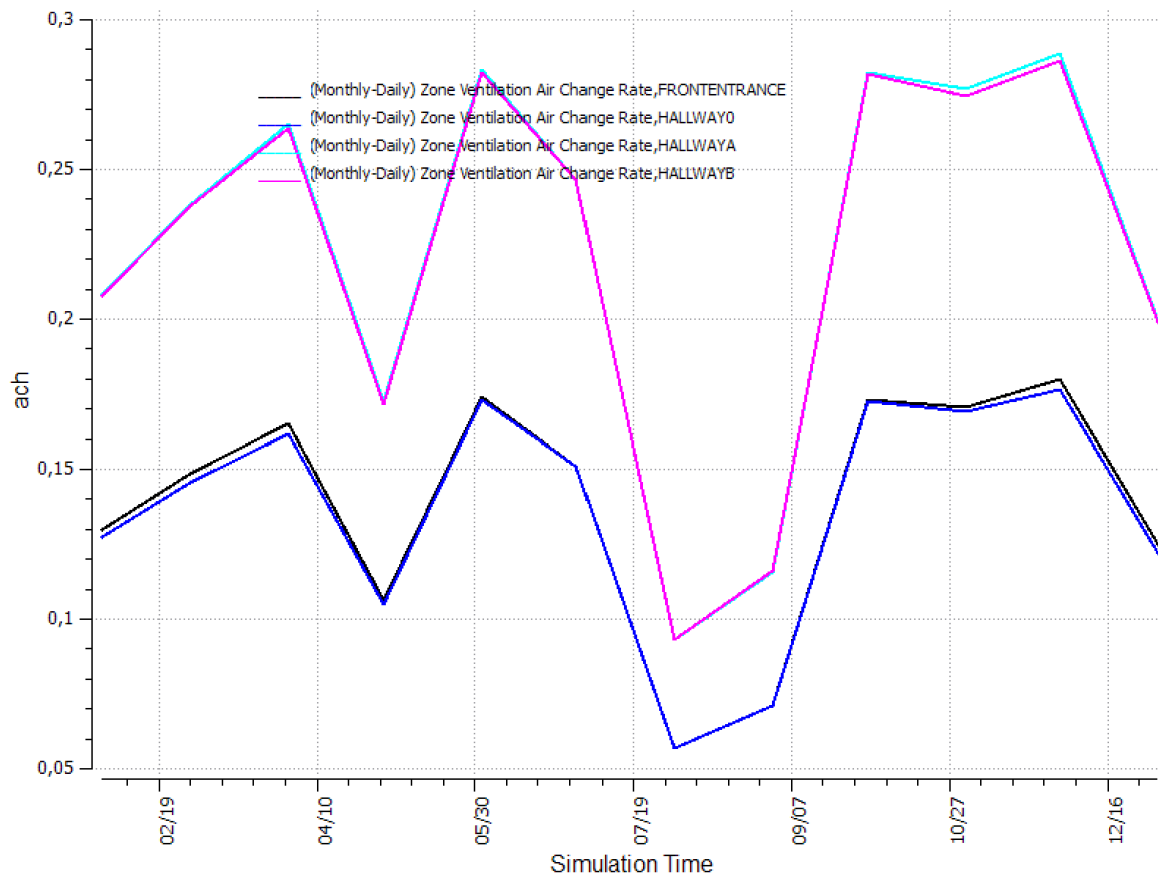


Σχήμα 5.48: Υπολογισμένες ανάγκες εναλλαγών ανά ώρα, ACH, σε νωπό αέρα για τις αίθουσες διδασκαλίας.

Οι καμπύλες που αφορούν τις αίθουσες διδασκαλίας, προκύπτουν από ζήτηση παροχής αέρα ανά άτομο. Οπότε και εμφανίζεται η παραπάνω καμπύλη που εξαρτάται από τη συγκέντρωση φοιτητών στις αίθουσες. Αντίστοιχα, στα σχήματα 5.49 και 5.50, η συνθήκη σχεδιασμού, είναι παροχή αέρα ανά τετραγωνικό χώρο. Οπότε και εξηγείται η ταύτιση σχεδόν, των καμπυλών στα γραφεία, και η μεγάλη διαφοροποίηση της μικρής αίθουσας φοιτητών. Και αντίστοιχα, στο σχήμα 5.50, οι διάδρομοι του πρώτου και δεύτερου ορόφου συμπίπτουν, ενώ ο διάδρομος του ισογείου ο οποίος περιλαμβάνει και την πίσω είσοδο του κτιρίου, συμπίπτει με την κύρια είσοδο του κτιρίου.



Σχήμα 5.49: Υπολογισμένες ανάγκες εναλλαγών ανά ώρα, ACH, σε νωπό αέρα για τα γραφεία.



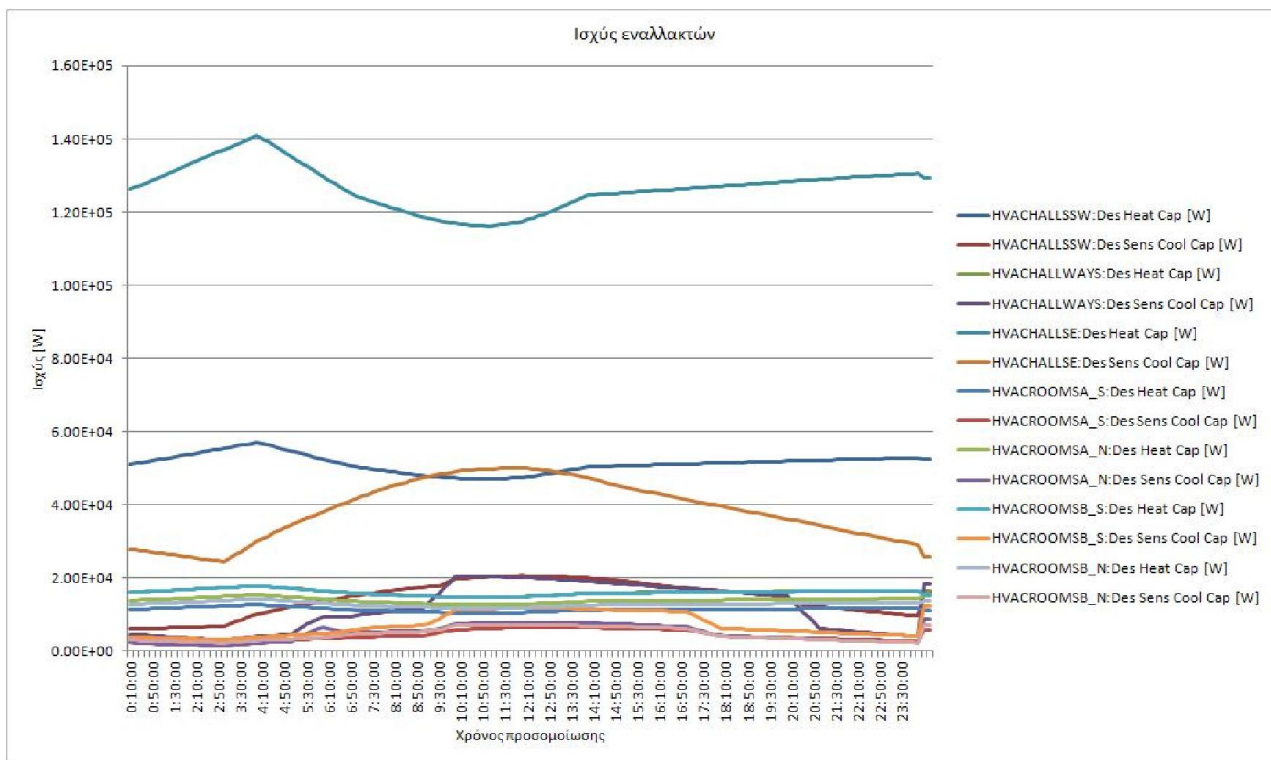
Σχήμα 5.50: Υπολογισμένες ανάγκες εναλλαγών ανά ώρα, ach, σε νωπό αέρα για τους 6 κοινόχρηστους χώρους.

5.2 Αποτελέσματα διαστασιολόγησης συστήματος κλιματισμού.

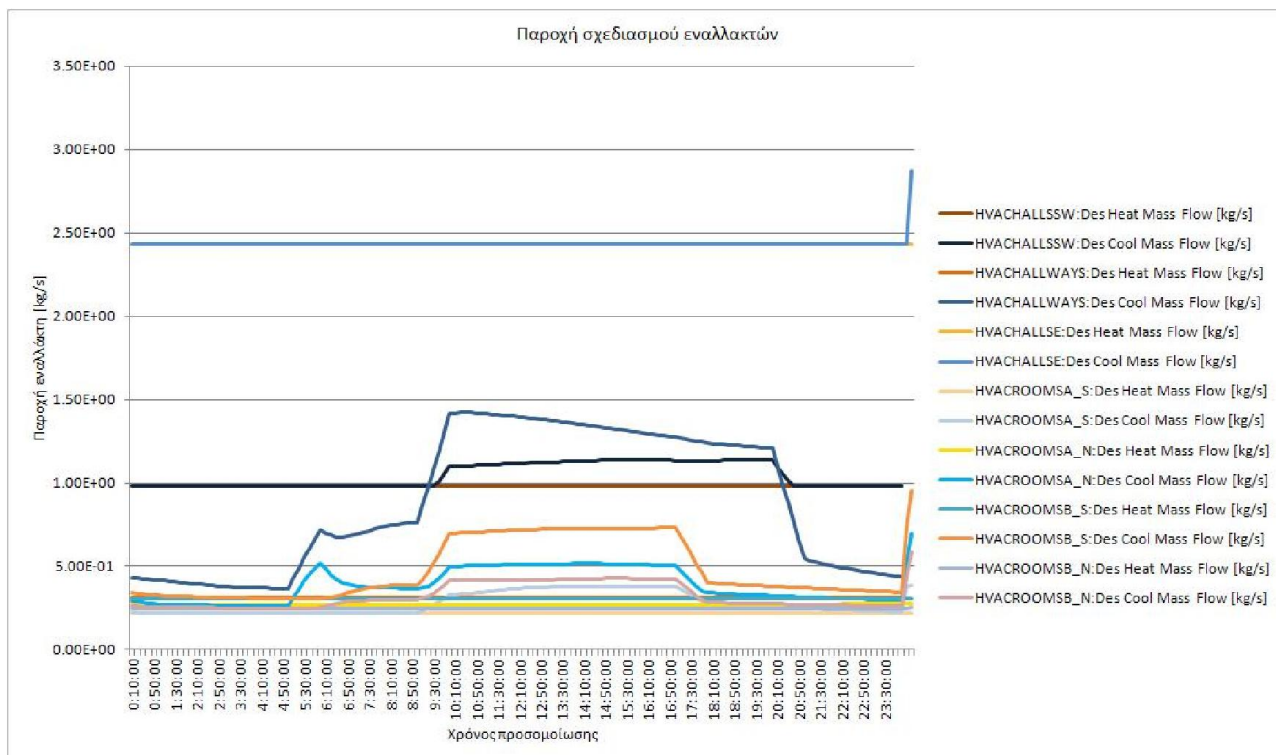
Τα σχήματα 5.51 και 5.52 που ακολουθούν παρέχουν μια ένδειξη του μεγέθους του συστήματος κλιματισμού που θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες του κτιρίου όπως αυτές παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Δεν θεωρούνται ακριβή στοιχεία υπολογισμού, δεδομένου ότι πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω ένα σύστημα κλιματισμού το οποίο πρόκειται να καλύψει ένα κτίριο του όγκου του παρόντος.

Τα συνολικό φορτίο του κτιρίου μοιράστηκε σε 7 μικρότερα συστήματα κλιματισμού τα οποία εξυπηρετούν τις εξής ζώνες:

- Σύστημα HVACHallsSW: HALL5, HALL7, PCLAB
- Σύστημα HVACHallsE: HALL1, HALL2, HALL3, HALL4, HALL109
- Σύστημα HVACHallways: FRONTENTRANCE, HALLWAY0, HALLWAYA, HALLWAYB
- Σύστημα HVACRoomsA_S:ROOM101-102,ROOM103
- Σύστημα HVACRoomsA_N:ROOM104, ROOM105, ROOM106, ROOM107,ROOM108, STUDENTSHALL
- Σύστημα HVACRoomsB_S:ROOM201, ROOM202, ROOM203, ROOM209, ROOM210
- Σύστημα HVACRoomB_N:ROOM204,ROOM205, ROOM206, ROOM207, ROOM2085



Σχήμα 5.51: Υπολογισμένη ισχύς εναλλακτών για τα συστήματα κλιματισμού.



Σχήμα 5.52: Υπολογισμένη παροχή ανά εναλλάκτη για τα συστήματα κλιματισμού.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από την παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων, αφορούν στην συνολική αξιολόγηση της προσομοιωτικής διαδικασίας υπολογισμού που εφαρμόστηκε σε αυτήν την περίπτωση. Τα αποτελέσματα γενικά κρίνονται ως ικανοποιητικά ωστόσο το συνολικό μοντέλο προσομοίωσης χρήζει περαιτέρω μελέτης. Από τα διαγράμματα που προκύπτουν δίνεται μια σχετικά ακριβής εικόνα, για τις θερμικές ζώνες και τις ανάγκες τους σε θέρμανση, ψύξη και αερισμό, για τα εσωτερικά θερμικά κέρδη που προκύπτουν από τη χρήση του κτιρίου, και για το εύρος των εξωτερικών συνθηκών στις οποίες υπόκειται η τοποθεσία του κτιρίου.

Αν και η γενική τάση των καμπυλών στα σχήματα είναι σωστή και αναμενόμενη, τα φορτία θεωρείται ότι υπολογίσθηκαν προς το κάτω όριο τους. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε μια υπερεκτίμηση της θερμομόνωσης του κτιριακού κελύφους σε συνδυασμό με την απλοποίηση στην κατασκευή των δομικών στοιχείων. Η απουσία φέροντος οργανισμού στις κάθετες επιφάνειες, ένα δομικό στοιχείο που συνήθως μονώνεται ελλιπώς, οδήγησε σε καλύτερες τιμές θερμομόνωσης του συνόλου του κτιρίου. Επίσης, θεωρείται ότι εξαιτίας αυτού, η θερμική μάζα του κτιρίου πιθανόν να μην αποτυπώνεται με ακρίβεια στα τελικά αποτελέσματα.

Τα θερμικά κέρδη από εξοπλισμό, συσκευές και ανθρώπινη παρουσία, θεωρείται ότι είναι γενικά σωστά υπολογισμένα δεδομένης της πολυπλοκότητας την οποία εμφανίζουν.

Αναφορικά με την εφαρμογή συστήματος κλιματισμού για τις ανάγκες του κτιρίου, αυτή η προσπάθεια πρώτης διαστασιολόγησής του έγινε για λόγους πληρότητας της εργασίας. Η πλήρης διαστασιολόγηση ενός συστήματος τέτοιου όγκου, της μονάδας κλιματισμού, των αναγκών σε πρωτογενή ενέργεια, των τερματικών μονάδων και του τρόπου μετάδοσης της θερμότητας στη θέρμανση ή της απαγωγής αυτής στην ψύξη, και η εφαρμογή του σε ένα κτίριο αντίστοιχο του όγκου και της πολυπλοκότητας του παρόντος, απαιτεί περαιτέρω χρόνο και μελέτη. Οι ενδεικτικές τιμές που παρουσιάζονται, δίνουν μια πρώτη εικόνα ενός τέτοιου συστήματος.

Τέλος, εάν ληφθεί υπόψη η απουσία της μελέτης θερμομόνωσης του κτιρίου, καθώς και η απουσία σχεδίων αποτύπωσης των διαστάσεων των πλαγίων όψεων του κτιρίου, η προσομοίωση θεωρείται επιτυχημένη. Με περισσότερα δεδομένα και λεπτομέρειες που απαιτούνται για τέτοιου είδους προσομοιώσεις και μελέτες, το αποτέλεσμα σίγουρα θα ήταν το πλέον ρεαλιστικό.

Βιβλιογραφία

- [1] McQuiston F.C., Parker J.D., “Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός”, Πρώτη Ελληνική έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ (2008)
- [2] Cengel Y.A., “Μεταφορά θερμότητας-Μια πρακτική προσέγγιση», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ (2005)
- [3] Μπούρης Δ., “Βασικές αρχές ρύθμισης θερμικού περιβάλλοντος», Σημειώσεις για το μάθημα του 8^{ου} εξαμήνου «Θέρμανση-Ψύξη-Κλιματισμός», ΜΜ, ΠΔΜ (2008)
- [4] ASHRAE, “Handbook of fundamentals”, ASHRAE (2009)
- [5] ENERGYPLUS, “Getting started with energyplus”, ENERGY PLUS (2012)
- [6] www.bing.com/maps
- [7] Προσωπικό αρχείο
- [8] Ταταζικίδης Χρήστος, Μηχανολόγος Μηχανικός, προσωπικό αρχείο (2008)
- [9] Θεοδοσίου Θ.Γ., “Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων ΙΙ”, Σημειώσεις για το μάθημα του 10^{ου} εξαμήνου «Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων 2», ΤΜΜ, ΠΔΜ (2006)
- [10] ENERGYPLUS, “Engineering reference”, ENERGYPLUS (2012)
- [11] Ορδουμποζάνης Κωνσταντίνος, Μηχανολόγος Μηχανικός, προσωπικό αρχείο (2008)
- [12] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1/2010, “Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Β' έκδοση (2012)