



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Μελέτη της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίου με τη χρήση του Λογισμικού eQUEST

Διπλωματική Εργασία

Αλεξάνδρα Κούβαρη

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αυτής της διπλωματικής εργασίας, κ. Χρήστο Τζιβανίδη, Επίκουρο Καθηγητή του ΕΜΠ για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα καθώς και για την καθοδήγηση που μου πρόσφερε.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα Ευάγγελο Μπέλλο για τη συνεχή επίβλεψη και άριστη συνεργασία σε όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου, Αναστάσιο και Αικατερίνη και τα αδέρφια μου Ευθύμιο και Ελένη, για την υποστήριξη και το κουράγιο που μου παρείχαν σε κάθε μου βήμα, καθώς και την υπομονή που έχουν δείξει όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, με τους οποίους μοιραστήκαμε και συνεχίζουμε να μοιραζόμαστε στιγμές και κυρίως το συμφοιτητή μου Αθανάσιο Λιατσικούρα για όλη τη βοήθεια και συμπαράσταση που μου έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Μελέτη της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίου με τη χρήση του Λογισμικού eQUEST

Αλεξάνδρα Κούβαρη

Περίληψη

Ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως καταναλώνεται από τα κτήρια, η οποία παρουσιάζει αυξητική τάση λόγω του σύγχρονου τρόπου ζωής. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες συντελούν στη μεταβολή του κλίματος, συμβάλλοντας σημαντικά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ενισχύοντας έτσι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για το λόγο αυτό, είναι επιτακτική η ανάγκη εύρεσης μεθόδων για τη μείωση της καταναλώσιμης ενέργειας από τα κτήρια. Τα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους μηχανικούς, τόσο στο σχεδιασμό του κελύφους και των εσωτερικών εγκαταστάσεων ενός νέου κτηρίου, όσο και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των υπάρχοντων κτηρίων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης την ενεργειακή προσομοίωση ενός πολυζωνικού και μονοζωνικού κτηρίου στην περιοχή της Αθήνας, κάνοντας χρήση του λογισμικού eQUEST. Στην εργασία μελετάται και αξιολογείται η επίδραση που έχουν ορισμένες παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας του κτηρίου στις ενεργειακές απαιτήσεις. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του πολυζωνικού κτηρίου, μελετάται ένα κτήριο έκτασης περίπου 200 m² για χρήση γραφείων, ενώ στη περίπτωση του μονοζωνικού μελετάται ένα απλό κτήριο, οικιακού τύπου, 100 m². Για αυτά τα κτήρια υπολογίζονται οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις, ενώ στην συνέχεια εξετάζεται η επίδραση των υαλοπινάκων, της μόνωσης και του φυσικού αερισμού στα ετήσια ψυκτικά και θερμικά φορτία, καθώς και στην ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση. Ιδιαίτερα, για το πολυζωνικό, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο επιδρά το μέγεθος των υαλοπινάκων, η σκίαση τους (εσωτερική και εξωτερική), καθώς και ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας στα θερμικά και ψυκτικά φορτία, ενώ για το μονοζωνικό κτήριο αξιολογείται η επίδραση του προσανατολισμού στα φορτία του κτηρίου. Από τη μελέτη αυτή, παρατηρείται ότι τα φορτία θέρμανσης είναι αυτά που επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τον κτιριακό σχεδιασμό.

Τέλος, τα αποτελέσματα που εξάγονται από τα διάφορα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης παρουσιάζουν αποκλίσεις λόγω του διαφορετικού τρόπου μοντελοποίησης και προσομοίωσης του κτηρίου. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιείται επίσης, μία σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν για το μονοζωνικό κτήριο, με τη χρήση των προγραμμάτων eQUEST και TRNSYS. Η σύγκριση αυτή είναι σημαντική διότι επαληθεύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτά τα προγράμματα προσομοίωσης.

Energy efficiency analysis of a building by using eQUEST software

Alexandra Kouvari

Abstract

Building account for a significant percentage of the total energy consumption on a global scale. This high amount of energy consumption tends to increase due to modern lifestyle. Human activities cause environmental changes, because of their contribution to the environmental pollution. Mainly, carbon dioxide is produced which amplifies the greenhouse effect. Consequently, it is imperative that solutions be found in order to reduce the above mentioned consumption. Building energy efficiency simulation is a very useful tool used by engineers, not only for the design of a building's shell and interior systems but also for the improvement of energy efficiency of an existing building.

In this diploma thesis an energy simulation of a multi-zone and one-zone building, located in Athens, is presented by using eQUEST software. Furthermore, in this study, the effect of certain design and operation parameters on the yearly energy consumption is analyzed and evaluated. Specifically, in the case of the multi-zone building, the study concerns an office building of 200 m² and in the latter case the study concerns a single-zone building of 100 m². Firstly, the results of the main case are given and afterwards a parametric analysis is presented. The parametric study of those two cases concerns the calculation of the yearly loads by changing the windows properties, the insulation thickness and the infiltration rate in order to calculate the yearly energy consumption. For the multi-zone building we compare the impact of windows area, the shading coefficient (interior and exterior) and the U-value in the heating and cooling loads of the building and for the single-zone building the effect of building orientation is evaluated. The outcome of this study clearly indicates that by choosing appropriate design and operation parameters we can decrease the energy consumption of the building heating loads.

Finally, in order to validate the eQUEST results, a comparison with TRNSYS for the single-zone building is presented. This comparison is essential to the credibility of the results of those two simulation programs.

Περιεχόμενα

| | | |
|------------|---|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | Εισαγωγή..... | 15 |
| 1.1 | Η ενέργεια στα κτήρια | 15 |
| 1.2 | Ενεργειακή απόδοση | 16 |
| 1.3 | Δομή διπλωματικής εργασίας..... | 19 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | Παράγοντες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων | 21 |
| 2.1 | Βασικές έννοιες..... | 22 |
| 2.2 | Ηλιακή ακτινοβολία | 25 |
| 2.3 | Κέλυφος κτηρίου..... | 26 |
| 2.4 | Εσωτερικά θερμικά κέρδη | 34 |
| 2.5 | Αερισμός | 37 |
| 2.6 | Σκίαση..... | 37 |
| 2.7 | Βιοκλιματικός σχεδιασμός..... | 38 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | Περιγραφή του λογισμικού eQUEST..... | 41 |
| 3.1 | Ιστορική αναδρομή | 41 |
| 3.2 | Εισαγωγή στο eQUEST | 41 |
| 3.3 | Λειτουργία Wizards..... | 42 |
| 3.4 | Λειτουργία Detailed Interface..... | 42 |
| 3.5 | Εκκίνηση προγράμματος..... | 43 |
| 3.6 | Γραμμές εργαλείων και μενού..... | 45 |
| 3.7 | Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων | 49 |
| 3.8 | Αποτελέσματα του προγράμματος..... | 50 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | Δεδομένα πολυζωνικού κτηρίου | 53 |
| 4.1 | Γενικά | 53 |
| 4.2 | Εξωτερικοί Τοίχοι | 55 |
| 4.3 | Οροφή | 57 |
| 4.4 | Εσωτερικοί τοίχοι..... | 58 |
| 4.5 | Έδαφος | 59 |
| 4.6 | Δομικά υλικά | 60 |
| 4.7 | Υαλοπίνακες και θύρες | 62 |
| 4.8 | Πλήθος ανθρώπων στο κτήριο | 64 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.9 | Εξοπλισμός..... | 65 |
| 4.10 | Φυσικός Αερισμός..... | 66 |
| 4.11 | Φωτισμός | 67 |
| 4.12 | Σύστημα HVAC και συνθήκες χώρου | 68 |
| 4.13 | Ωράριο και περίοδος λειτουργίας του κτηρίου..... | 70 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Ενεργειακή προσομοίωση και αποτελέσματα του πολυζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα eQUEST. | | |
| 5.1 | Βασικά δεδομένα | 71 |
| 5.2 | Φλοιός και καθορισμός θερμικών ζωνών | 74 |
| 5.3 | Εξωτερικός τοίχος | 81 |
| 5.4 | Οροφή | 83 |
| 5.5 | Εσωτερικός τοίχος..... | 84 |
| 5.6 | Έδαφος | 85 |
| 5.7 | Υαλοπίνακες και θύρες | 86 |
| 5.8 | Πλήθος ανθρώπων στο κτήριο | 90 |
| 5.9 | Εξοπλισμός..... | 93 |
| 5.10 | Φυσικός Αερισμός..... | 94 |
| 5.11 | Φωτισμός | 95 |
| 5.12 | Σύστημα ψύξης και Σύστημα θέρμανσης..... | 96 |
| 5.13 | Συνθήκες χώρου..... | 101 |
| 5.14 | Ωράριο και περίοδος λειτουργίας του κτηρίου..... | 103 |
| 5.15 | Φορτία συμβατικού κτηρίου | 106 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Παραμετρική ανάλυση πολυζωνικού κτηρίου | | |
| 6.1 | Επίδραση της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων στα φορτία του κτηρίου | 111 |
| 6.2 | Επίδραση του εμβαδού των υαλοπινάκων στα φορτία του κτηρίου | 114 |
| 6.3 | Επίδραση της μόνωσης στα φορτία του κτηρίου | 117 |
| 6.4 | Επίδραση της εξωτερική σκίαση στα φορτία του κτηρίου..... | 120 |
| 6.5 | Επίδραση της εσωτερική σκίασης στα φορτία του κτηρίου | 129 |
| 6.6 | Επίδραση του φυσικού αερισμού στα φορτία του κτηρίου | 131 |
| 6.7 | Σύνοψη..... | 133 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Ενεργειακή προσομοίωση μονοζωνικού κτηρίου | | |
| | | 135 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| 7.1 | Χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους | 135 |
| 7.2 | Εσωτερικά θερμικά κέρδη | 137 |
| 7.3 | Αερισμός | 139 |
| 7.4 | Δημιουργώντας το μοντέλο στο πρόγραμμα eQUEST | 139 |
| 7.5 | Συγκριτικός υπολογισμός ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίου με τα προγράμματα eQUEST και TRNSYS..... | 145 |
| 7.6 | Φορτία συμβατικού κτηρίου | 147 |
| 7.7 | Παραμετρική ανάλυση μονοζωνικού κτηρίου | 151 |
| 7.8 | Σύνοψη..... | 160 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 | Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα | 161 |
| 8.1 | Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα για το πολυζωνικό κτήριο | 161 |
| 8.2 | Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα για το μονοζωνικό κτήριο | 165 |
| 8.3 | Μελλοντικοί στόχοι..... | 167 |
| Παράρτημα Α | | 169 |
| Παράρτημα Β | | 171 |
| Βιβλιογραφία | | 183 |

Συμβολισμοί

| Σύμβολο | Ονομασίες | Μονάδες SI | Αγγλικές Μονάδες |
|-----------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|
| A | Εμβαδό | m ² | ft ² |
| C | Ειδική Θερμότητα | J/Kg·K | Btu/lb·F |
| h _{in} | Εσωτερικός Συντελεστής Συναγωγιμότητας | W/m ² ·K | Btu /h·ft ² ·F |
| h _{out} | Εξωτερικός Συντελεστής Συναγωγιμότητας | W/m ² ·K | Btu /h·ft ² ·F |
| L | Μήκος | m | ft |
| q _x | Πυκνότητα Ροής Θερμότητας | W/m ² | Btu /h·ft ² |
| R | Αντίσταση Θερμοπερατότητας | m ² ·K /W | h·ft ² ·F/Btu |
| U | Θερμική Διαπερατότητα | W/m ² ·K | Btu /h·ft ² ·F |
| Ελληνικά Σύμβολα | | | |
| ε | Συντελεστής Εκπομπής του Πραγματικού Σώματος | | |
| λ | Θερμική Αγωγιμότητα | W/m·K | Btu/h·ft·F |
| Λ | Συντελεστής Θερμοδιαφυγής | W/m ² ·K | Btu /h·ft ² ·F |
| 1/Λ | Αντίσταση Θερμοδιαφυγής | m ² ·K /W | h·ft ² ·F/Btu |
| ρ | Πυκνότητα | Kg/m ³ | lb/ft ³ |
| σ | Σταθερά Stefan - Boltzmann | W/m ² ·K ⁴ | |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

1.1 Η ενέργεια στα κτήρια

Η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη, ο σύγχρονος τρόπος ζωής και οι σημερινές ανάγκες του ανθρώπου δημιουργούν ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση σε ενέργεια. Η ενέργεια αυτή παράγεται στο μεγαλύτερο μέρος της με καύση ορυκτών καυσίμων, ενώ τα τελευταία χρόνια μέρος αυτής της ενέργειας παράγεται από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Όσον αφορά την Ελλάδα, ο λιγνίτης είναι από τις πιο σημαντικές πηγές για την παραγωγή ενέργειας συνεισφέροντας το 53% της εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.[1]

Σήμερα κατά κύριο λόγο, στις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται ως καύσιμα ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τα ορυκτά καύσιμα όμως χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι, τα αποθέματα τους εξαντλούνται με ταχύτερο ρυθμό από το ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται. Εκτιμάται πως το 86% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως μέχρι το 2007 καλυπτόταν από την καύση ορυκτών καυσίμων (36% πετρέλαιο, 27,4% κάρβουνο και 23% φυσικό αέριο).

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι ως ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας ορίζεται η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για να ικανοποιήσει την εσωτερική ζήτηση μιας χώρας. Η τελική κατανάλωση ενέργειας είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται από το χρήστη μειωμένη κατά τις απώλειες από τις διάφορες χρήσεις και μετατροπές, η οποία προορίζεται για να καταναλωθεί στην βιομηχανία, στις μεταφορές, στις τριτογενείς υπηρεσίες και στις οικίες. Με το πέρασμα των χρόνων, οι απαιτήσεις για τελική κατανάλωση ενέργειας συνεχώς αυξάνονται. Ειδικότερα, η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 50% στη διάρκεια της περιόδου 1990-2006. [2] Στον Πίνακα 1.1 δίνονται οι καταναλώσεις τελικής ενέργειας της Ελλάδας έως το 2011 καθώς και οι εκτιμήσεις για την κατανάλωση της το 2020. [3]

Πίνακας 1.1: Εξέλιξη της Ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας, τελική κατανάλωση ενέργειας και ενδεικτικός στόχος για το 2020 στην Ελλάδα.

| Χρονολογία | 2007 | 2009 | 2011 | 2020 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας (TWh) | 366.35 | 354.72 | 323.31 | 295.40 |
| Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας (TWh) | 257.02 | 238.42 | 219.81 | 213.99 |

Ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ευρωπαϊκής ένωσης, περίπου το 40%, καταναλώνεται από τα κτήρια και τις κτιριακές μονάδες. [4] Αξίζει να αναφερθεί ότι στην Ευρώπη η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα 3.037 TWh ετησίως, ενώ στην Ελλάδα καταναλώνονται 60 TWh ετησίως. [5] Τα κτήρια, λοιπόν, απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας για τη λειτουργία τους με τη θέρμανση να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό από όλες τις επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις των κτηρίων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε, [6] παρατηρήθηκε ότι οι ανάγκες ενός νοικοκυριού για θέρμανση των χώρων αποτελούν το 63,7% της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειάς του. Άλλες χρήσεις που απαιτούν την κατανάλωση ενέργειας σε ένα κτήριο αποτελεί η ψύξη των χώρων, το ζεστό νερό χρήσης, ο φωτισμός, τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά μηχανήματα κ.λπ.

Πολλές όμως, είναι οι αιτίες, οι οποίες συντελούν στην αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις, με σημαντικότερες να αποτελούν τη συνεχή αύξηση τόσο σε αριθμό, όσο και σε εγκατεστημένη ισχύ, των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών στα κτήρια. Κάποιοι ενδεικτικοί επιπλέον λόγοι οι οποίοι οδηγούν στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτήρια είναι η συνεχόμενη κατασκευή νέων κτηρίων και η ανακαίνιση των υπαρχόντων. Ένας επιπλέον λόγος που συντελεί στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτήρια αποτελεί η μέτρια κατάσταση των υπαρχόντων συστημάτων θέρμανσης που οδηγεί σε μειωμένους βαθμούς απόδοσης και επομένως σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας.

Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και οικονομικά αποτελεσματικών τεχνολογιών, είναι εφικτή η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Στόχος της επιστημονικής κοινότητας είναι η εύρεση μεθόδων ελαχιστοποίησης των ενεργειακών απαιτήσεων. Με τον σωστό σχεδιασμό και τη βελτίωση παραγόντων που συμμετέχουν στο θερμικό ισοζύγιο των κτηρίων, επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου.

1.2 Ενεργειακή απόδοση

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων αποτελεί επίκεντρο της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, καθώς επιφέρει εξοικονόμησης ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος. Έχει τεθεί ως στόχος για το 2020, η υλοποίηση του προγράμματος με την ονομασία «Πακέτο 2020». Σύμφωνα με αυτό το πακέτο, προβλέπεται ή παραγωγή του 20% της ενέργειας από τις ΑΠΕ, η μείωση κατά 20% των εκλυόμενων ρύπων και η μείωση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά 20%. [7]

Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να υιοθετήσουν μία μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων, η οποία να λαμβάνει υπόψη ορισμένους παράγοντες. Σε κάθε νέο κτήριο, καθώς και σε κάθε υφιστάμενο που ανακαινίζεται, απαιτείται μελέτη ενεργειακής απόδοσης στην οποία μελετώνται παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι οι εξής: [3]

- τα θερμικά χαρακτηριστικά του κτηρίου.
- η εγκατάσταση θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού.
- οι εγκαταστάσεις κλιματισμού.
- η ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού.
- οι κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου.

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου προσδιορίζεται βάσει της υπολογιζόμενης ετήσιας ενέργειας που καταναλώνει, προκειμένου να καλυφθούν οι διάφορες ανάγκες του, ώστε να διατηρούνται οι επιθυμητές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εντός αυτού.

Ο ρόλος της ενεργειακής προσομοίωσης είναι σημαντικός και για την πραγματοποίηση της έχουν αναπτυχθεί διάφορα λογισμικά προσομοίωσης κτηρίων, τα οποία συνεχώς βελτιώνονται. Στόχος λοιπόν, είναι αφενός η διευκόλυνση στο σχεδιασμό ενός κτηρίου και η επίτευξη της θερμικής άνεσης και αφετέρου η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας του κτηρίου. Ορισμένα από αυτά τα προγράμματα, τα οποία είναι διαδεδομένα ευρέως, και προσφέρονται είτε ελεύθερα είτε επί πληρωμής, είναι [8], [9]:

| | | |
|------------|----------------|----------|
| DOE-2 | BLAST | DeST |
| eQUEST | TRACE | TRNSYS |
| EnergyPlus | HEED | BSim |
| ESP-r | Hap | Ener-Win |
| ECOTECT | Energy Express | |

Στο παρελθόν πραγματοποιήθηκαν διάφορες δημοσιεύσεις και διπλωματικές εργασίες στις οποίες χρησιμοποιείται ένα πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης με σκοπό την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου. Επιπλέον, υπάρχουν δημοσιεύσεις που αφορούν την σύγκριση μεταξύ δύο ή περισσότερων προγραμμάτων που επιτελούν τον ίδιο σκοπό. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες μελέτες:

- Χρήση του προγράμματος eQUEST με σκοπό την προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός υπάρχοντος ξενοδοχείου στην περιοχή Tianjin της Κίνας. [10]
- Επίσης, οι Terziotti, Sweet και McLeskey μοντελοποίησαν ένα εποχιακό ηλιακό κτήριο με το πρόγραμμα TRNSYS. [11]

- Στην Διπλωματική εργασία της Valade E. R. επιλέχθηκε ένα τυπικό μοντέρνο κτήριο στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής για τη σύγκριση μεταξύ δυο προγραμμάτων του DOE-2 και του eQUEST. [12]
- Σύγκριση μεταξύ του TRNSYS και του Energy Plus για ένα απλό τυπικό κτήριο 100 m² σε δύο περιπτώσεις κλιματικών συνθηκών στην Ιταλία. Από τη δημοσίευση αυτή προέκυψε ότι τα αποτελέσματα έχουν μία διαφορά της τάξης του 10%. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε μεταξύ των μηνιαίων θερμικά και ψυκτικά φορτίων που προέκυψαν με τη χρήση του κάθε προγράμματος. [13]
- Μία ακόμα έρευνα αφορά τη σύγκριση μεταξύ του προγράμματος eQUEST και της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας, για ένα υπαρκτό κτήριο στην Ταϊβάν, με τα τελικά αποτελέσματα να παρουσιάζουν αποκλίσεις από 0,5% έως 27%. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη της ακρίβειας του προγράμματος eQUEST. [14]
- Στη μία άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, συγκρίνονται τα προγράμματα EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E και προκύπτει ότι στα ψυκτικά φορτία η απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ 10% και 35% ενώ στα θερμικά είναι της τάξης 20%. [15]
- Τέλος, μία ακόμα μελέτη η οποία αφορά τη σύγκριση των προγραμμάτων πραγματοποιήθηκε από τον Brahme et al. ο οποίος σύγκρινε μεταξύ τους το eQUEST, το Energy Plus και το TRNSYS. [16] Σύμφωνα με αυτή, το eQUEST αποτελεί το πιο εύκολο εργαλείο αλλά παρουσιάζει περιορισμένη ευελιξία στον τρόπο προσομοίωσης, το EnergyPlus δεν παρουσιάζει φιλικό προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον και το TRNSYS προσφέρει μεγαλύτερη ποικιλία ως εργαλείο προσομοίωσης αλλά το έχοντας το μειονέκτημα ότι είναι δυσκολότερη η εκμάθησή του.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ενεργειακή προσομοίωση ενός πολυζωνικού κτηρίου στην περιοχή της Αθήνας, με τη χρήση του προγράμματος eQUEST, με σκοπό την εύρεση των καταναλισκόμενων φορτίων στη διάρκεια ενός έτους. Στη συνέχεια πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση του πολυζωνικού κτηρίου. Οι παράμετροι οι οποίοι εξετάζονται είναι οι εξής:

1. Η θερμική διαπερατότητα και το εμβαδό των υαλοπινάκων.
2. Το πάχος της μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας και της οροφής.
3. Ο φυσικός αερισμός του κτηρίου.
4. Η εξωτερική σκίαση και η εσωτερική σκίαση.

Επίσης, πραγματεύεται τη μελέτη ενός μονοζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα eQUEST και στη συνέχεια την σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με αυτά που προέκυψαν με τη χρήση του προγράμματος TRNSYS. Για να πραγματοποιηθεί αυτό διεξάγεται μία παραμετρική ανάλυση του κτηρίου αυτού, μεταβάλλοντας κάθε φορά μία παράμετρο. Οι παράμετροι που μεταβάλλονται είναι:

1. Ο φυσικός αερισμός του κτηρίου.
2. Ο προσανατολισμός του κτηρίου.
3. Το πάχος της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου.
4. Το εμβαδό των υαλοπινάκων του κτηρίου.

1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου με τη χρήση του προγράμματος eQUEST.

❖ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια της ενέργειας όσον αφορά τα κτήρια και στα διάφορα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης.

❖ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Παράγοντες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων

Πραγματοποιείται μία θεωρητική περιγραφή των παραγόντων τους οποίους πρέπει να εξετάσει ο μελετητής για τη σχεδίαση ενός κτηρίου.

❖ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Περιγραφή του λογισμικού eQUEST

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μία σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας και του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος eQUEST.

❖ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Δεδομένα πολυζωνικού κτηρίου

Δίνονται λεπτομερώς όλα τα στοιχεία και οι τιμές τους, τα οποία θα δηλωθούν στο πρόγραμμα για το σχεδιασμό του κτηρίου.

❖ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ενεργειακή προσομοίωση και αποτελέσματα του πολυζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα eQUEST.

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μία πιο εκτενής περιγραφή του προγράμματος, η διαδικασία εισαγωγής των μεγεθών στο πρόγραμμα και τα αποτελέσματα που εξάγονται από την ενεργειακή προσομοίωση του πολυζωνικού κτηρίου.

❖ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Παραμετρική ανάλυση πολυζωνικού κτηρίου

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η παραμετρική ανάλυση του πολυζωνικού κτηρίου και υπολογίζονται τα ετήσια ψυκτικά και θερμικά φορτία, καθώς και η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για κάθε περίπτωση.

❖ **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Ενεργειακή προσομοίωση μονοζωνικού κτηρίου**

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται ενεργειακή προσομοίωση και παραμετρική ανάλυση ενός μονοζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα eQUEST. Στη συνέχεια, τα εξαγόμενα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά που εξάγονται από την αντίστοιχη ενεργειακή προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα TRNSYS.

❖ **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα**

Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται μία σύνοψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τα συμπεράσματα που εξάγονται και οι μελλοντικοί στόχοι.

❖ **Παράρτημα Α**

Διαστάσεις και μονάδες.

❖ **Παράρτημα Β**

Πίνακες αποτελεσμάτων από την παραμετρική ανάλυση του πολυζωνικού κτηρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Παράγοντες ενεργειακής απόδοσης κτηρίων

Η ύπαρξη κτηρίων, είτε αυτά εξυπηρετούν ως χώροι διαβίωσης είτε ως χώροι εργασίας, αποσκοπεί στην κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών και στην προστασία από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Μερικά παραδείγματα χρήσης κτηρίων είναι τα κτήρια κατοικίας, τα δημόσια κτήρια, οι οίκοι ευγηρίας, τα κτήρια γραφείων, τα σχολεία, τα ξενοδοχεία και τα νοσοκομεία. Ορισμένα από αυτά λειτουργούν συγκεκριμένες εποχές και ώρες του χρόνου, ενώ κάποια άλλα λειτουργούν όλο το χρόνο, ακόμη και όλη τη διάρκεια της ημέρας. Σε κάθε περίπτωση είναι θεμιτό να πληρούνται οι εκάστοτε συνθήκες άνεσης. Η άνεση μπορεί να οριστεί ως η αίσθηση απόλυτης φυσικής και πνευματικής ευημερίας όλων των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο.

Η εξασφάλιση της άνεσης ορίζεται από ένα πλήθος παραγόντων που πρέπει να πληρούνται. Τέτοιοι παράγοντες λόγου χάρη είναι, ο φυσικός ή μηχανικός αερισμός του κτηρίου, ώστε να εξασφαλίζονται οι απαραίτητες αλλαγές αέρα και να διατηρείται ο χώρος μόνιμα υγιεινός, η εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης και ψύξης και η επίτευξη του επιθυμητού εσωτερικού φωτισμού, που καλύπτει τις συνθήκες ικανοποιητικής οπτικής άνεσης.

Τα κτήρια γραφείων αποτελούν μία ειδική κατηγορία κτηρίου με πολλαπλές απαιτήσεις. Λόγου χάρη απαιτείται:

- Οπτική και ακουστική άνεση
- Θερμική άνεση
- Αυξημένες εναλλαγές αέρα

Με κύριο στόχο την εφαρμογή του ενεργειακού και βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτηρίων, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το συμβούλιο της Ε.Ε. εξέδωσαν το 2002 την οδηγία 91/2002/ΕΚ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων, με την οποία έπρεπε όλα τα κράτη μέλη να συμμορφωθούν μέχρι τον Ιανουάριο του 2006. Η οδηγία αυτή αποσκοπεί στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων, λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές και τοπικές συνθήκες.

Προκειμένου να εναρμονιστεί η ελληνική νομοθεσία με την κοινοτική αυτή οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσπίστηκε ο νόμος Ν.3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89) που προβλέπει την υποχρέωση έκδοσης σχετικού «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων» (Κ.Ε.ν.Α.Κ) στον οποίο, μεταξύ άλλων, θα πρέπει να καθορίζονται οι ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων, καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων.

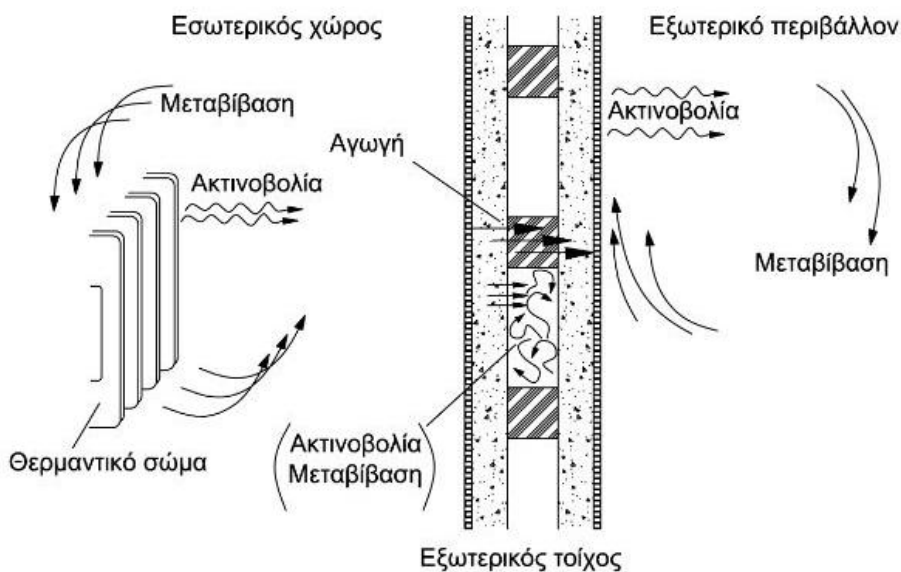
Η οδηγία 91/2002/ΕΚ τροποποιήθηκε από την οδηγία 31/2010/ΕΚ και η εναρμόνισή μας με τη νέα οδηγία έγινε με την έκδοση του νέου νόμου 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42) «Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.

Το ΤΕΕ, ως τεχνικός σύμβουλος της πολιτείας, αλλά και εκπροσωπώντας τα Μέλη του, τους Διπλωματούχους Μηχανικούς, στηρίζει την αποτελεσματική εφαρμογή του Κ.Εν.Α.Κ. Παράλληλα, το ΤΕΕ ανέπτυξε ειδικό λογισμικό για την καταχώρηση των απαραίτητων στοιχείων για τις ενεργειακές επιθεωρήσεις και το αντίστοιχο λογισμικό για την ενεργειακή κατάταξη των κτηρίων με σκοπό την έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης - ΠΕΑ. Επίσης, χρησιμοποιείται στο στάδιο σύνταξης και υποβολής Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης και μόνο για τους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης και ενεργειακής κατάταξης του κτηρίου, προκειμένου να υπάρχει κοινή μεθοδολογία και αντιστοιχία των αποτελεσμάτων της μελέτης με εκείνα της ενεργειακής επιθεώρησης μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του κτηρίου.

Το ειδικό λογισμικό ΤΕΕ-KENAK αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στο πλαίσιο του προγράμματος συνεργασίας με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). [17]

2.1 Βασικές έννοιες

Μετάδοση θερμότητας: η θερμότητα μεταδίδεται στο χώρο με τρεις διαφορετικούς τρόπους, με αγωγή, με μεταφορά ή/και με ακτινοβολία. [18]



Σχήμα 2.1: Τρόποι μετάδοσης της θερμότητας στο χώρο. [19]

Μεταφορά θερμότητας με αγωγή

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή αναφέρεται σε μακροσκοπικώς ακίνητα σώματα (στερεά ή ρευστά σε ακινησία) και συνδέεται με τη μεταφορά ενέργειας μεταξύ των ατόμων ή των μορίων στα στερεά, υγρά και αέρια σώματα. Βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των σωμάτων να προλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασίας και να μεταδίδουν τη θερμότητά τους σε γειτονικά μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Ο ρυθμός μεταβολής της θερμικής αγωγιμότητας μέσω ενός μέσου εξαρτάται από τη γεωμετρία του μέσου, το πάχος του, τα υλικά του και από την θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα όριά του.

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή μακροσκοπικά περιγράφεται (σε μία διάσταση) από τον Νόμο του Fourier.

$$q_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \text{Εξ. 2.1}$$

Για ένα επίπεδο σώμα πάχους L , με τις άλλες δύο διαστάσεις να εκτείνονται στο άπειρο, όπου στη μία πλευρά επικρατεί θερμοκρασία T_1 ενώ, στην άλλη πλευρά θερμοκρασία T_2 , με $T_2 < T_1$ και όταν η κλίση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του είναι σταθερή τότε:

$$q_x = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{Εξ. 2.2}$$

όπου,

- $q_x \left[\frac{W}{m^2} \right]$: Πυκνότητα ροής θερμότητας
- $\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- $L [m]$: Πάχος υλικού
- $T_2 - T_1 [^\circ C]$: Θερμοκρασιακή διαφορά

Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Στη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή συνυπάρχουν δύο μηχανισμοί μετάδοσης ενέργειας και η συνολική μετάδοση θερμικής ενέργειας είναι το άθροισμα τους. Ο πρώτος είναι η διάχυση ενέργειας μέσω των σωματιδιακών αλληλεπιδράσεων (όπως και στην περίπτωση της αγωγής), ενώ ο δεύτερος μηχανισμός συνδέεται με τη μακροσκοπική κίνηση του ρευστού. Η κύρια περιοχή εφαρμογής της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή είναι η μετάδοση από στερεή επιφάνεια προς κινούμενο

ρευστό σε επαφή με την επιφάνεια, ή το αντίθετο. Το φαινόμενο της συναγωγής εξαρτάται από τη ροή του ρευστού και τα χαρακτηριστικά της και από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού και της στερεής επιφάνειας.

Μία γενική σχέση που περιγράφει τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι ο νόμος του Newton για τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή:

$$q = h(T_s - T_o) \quad \text{Εξ. 2.3}$$

όπου,

- $q \left[\frac{W}{m^2} \right]$: Πυκνότητα ροής θερμότητας
- $h \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$: Συντελεστής συναγωγιμότητας
- $T_s [^\circ C]$: Θερμοκρασία επιφάνειας
- $T_o [^\circ C]$: Θερμοκρασία ρευστού

Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία

Στη θερμική ακτινοβολία η θερμότητα μεταφέρεται μεταξύ των σωμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα στερεά σώματα, τα περισσότερα υγρά και αρκετά αέρια ακτινοβολούν θερμότητα συγχρόνως όμως απορροφούν και μέρος της ακτινοβολίας την οποία εκπέμπουν άλλα σώματα. Η μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας δεν απαιτεί την ύπαρξη ύλης, αλλά μπορεί να πραγματοποιείται και εν κενώ. Συγκεκριμένα, η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία πραγματοποιείται πιο αποδοτικά εν κενώ.

Η μέγιστη πυκνότητα παροχής θερμότητας η οποία ακτινοβολείται από ένα σώμα υπολογίζεται με την σχέση Stefan – Boltzmann:

$$q = \sigma T_s^4 \quad \text{Εξ. 2.4}$$

Ενώ η ακτινοβολούμενη θερμότητα από ένα πραγματικό μη μέλαν σώμα υπολογίζεται από την σχέση:

$$q = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad \text{Εξ. 2.5}$$

όπου,

- $q \left[\frac{W}{m^2} \right]$: Πυκνότητα ροής θερμότητας
- $\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$: Σταθερά ακτινοβολίας του μέλαν σώματος ή η σταθερά Stefan - Boltzmann
- $T_s [^\circ K]$: Θερμοκρασία σώματος

- ε : Συντελεστής εκπομπής του πραγματικού σώματος και οι τιμές του κυμαίνονται από 0 έως και 1 για το μέλαν σώμα.

2.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης είναι ανάλογη με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Παρουσιάζει μέγιστες τιμές το καλοκαίρι και ελάχιστες το χειμώνα. Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα στοιχεία της ατμόσφαιρας έχει ως αποτέλεσμα σε κάθε τόπο της επιφάνειας της γης να φτάνουν δύο συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτές είναι:

- **Άμεση ηλιακή ακτινοβολία:** Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας και είναι το μέρος εκείνο το οποίο φθάνει στη γη κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Επομένως, σε αυτήν εκτίθενται τα δομικά υλικά του κτηρίου και επηρεάζει τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτηρίων. Η στιγμιαία άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας συμβολίζεται με G_b .
- **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία:** Προέρχεται από διασκορπισμό και αλλαγή κατεύθυνσης κατά τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα και δεν έχει καθορισμένη διεύθυνση. Είναι δηλαδή, η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης και προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού εκτός όμως άμεσα από τον ίδιο τον ήλιο. Η στιγμιαία διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας συμβολίζεται με G_d .

Το σύνολο της άμεσης και της διάχυτης στιγμιαίας ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης, ονομάζεται ολική ακτινοβολία και συμβολίζεται με G .

Από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης:

- Ένα μέρος απορροφάται και εκπέμπεται ως θερμική ακτινοβολία και είναι η γήινη ακτινοβολία.
- Ένα μέρος ανακλάται ως ακτινοβολία από το έδαφος και ονομάζεται ανακλώμενη ακτινοβολία από παρακείμενες επιφάνειες.

Επομένως, η ακτινοβολία που δέχεται μία κεκλιμένη επιφάνεια αποτελείται από την άμεση ακτινοβολία, τη διάχυτη ακτινοβολία και τη διάχυτα ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία. [20]

2.3 Κέλυφος κτηρίου

Υπάρχουν δύο τύποι εξωτερικών περιβλημάτων στις κτιριακές εγκαταστάσεις. Ο πρώτος είναι ο συμπαγής τύπος, όπου το περίβλημα αποτελεί φυσικό φραγμό στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Ο δεύτερος τύπος είναι ο ελαφρύς τύπος. Τα στοιχεία που απαρτίζουν το περίβλημα του κτηρίου συμβάλλουν με τη θέση τους ή με τη μορφή τους στην επιλογή επιθυμητών για το εσωτερικό περιβάλλον συνθηκών.[21]

Σημαντικός στόχος κατά τη διάρκεια σχεδιασμού κάθε κτηρίου είναι η μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων, η άνετη και η ευχάριστη υγιεινή διαβίωση των ατόμων στο χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων υλικών. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από ορισμένους συντελεστές, οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω.[19]

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία ρέει σε 1 h μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1 m^2 και πάχος 1 m , όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας είναι ένας βαθμός Κέλβιν και όταν το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Μονάδα μέτρησης του συντελεστή είναι $\frac{W}{m} \cdot K$.

Συντελεστής θερμοδιαφυγής, Λ

Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία ρέει σε 1 h μέσα από στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1 m^2 και πάχος $d \text{ m}$, όταν μεταξύ των δύο επιφανειών υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ενός βαθμού Κέλβιν και όταν το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Μονάδα μέτρησης του συντελεστή είναι $\frac{W}{m^2} \cdot K$.

Για ομοιογενή υλικά είναι:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d} \quad \text{Εξ. 2.6}$$

Αντίσταση θερμοδιαφυγής $1/\Lambda$

Ως αντίσταση θερμοδιαφυγής ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοδιαφυγής. Μονάδα μέτρησης είναι το $m^2 \cdot \frac{K}{W}$.

Συντελεστής θερμοπερατότητας U

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία διέρχεται σε 1 h μέσα από επιφάνεια 1 m^2 και πάχος $d \text{ m}$, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα, που βρίσκεται στην μία ή στην άλλη πλευρά της κατασκευής, είναι ένας βαθμός Κέλβιν και όταν το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Μονάδα μέτρησης του συντελεστή είναι $\frac{W}{m^2} \cdot K$.

Αντίσταση θερμοπερατότητας R

Ως αντίσταση θερμοδιαφυγής ορίζεται το αντίστροφο του συντελεστή θερμοπερατότητας. Μονάδα μέτρησης είναι το $m^2 \cdot \frac{K}{W}$.

$$R = \frac{1}{U} \quad \text{Εξ. 2.7}$$

Ειδική θερμότητα C.

Ως ειδική θερμότητα ενός υλικού ορίζεται η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας. Μονάδα μέτρησης είναι το $\frac{J}{Kg} \cdot K$.

Πυκνότητα, ρ

Η πυκνότητα εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου. Μονάδα μέτρησης είναι το $\frac{kg}{m^3}$.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Εξ. 2.8}$$

2.3.1 Υαλοπίνακες

Η θέση, το μέγεθος και το είδος των υαλοπινάκων καθορίζουν σημαντικά το φυσικό φωτισμό και αερισμό του εσωτερικού χώρου. Επίσης, η ανάγκη οπτικής επαφής με τον εξωτερικό χώρο δημιουργεί συγκεκριμένες απαιτήσεις μεγέθους για τα ανοίγματα των χώρων του κτηρίου. Επιπλέον, η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από τους υαλοπίνακες στο κτήριο, έχει ως αποτέλεσμα την θέρμανσή του. Παράλληλα όμως, η ύπαρξη υαλοπινάκων στο κτιριακό κέλυφος προκαλεί μεγάλες θερμικές απώλειες, λόγω της υψηλής θερμικής διαπερατότητας που έχουν οι

υαλοπίνακες. Η σωστή επιλογή της θέσης και των διαστάσεών τους συμβάλει στην επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος ως προς την ποσότητα και την διάχυση του εισερχόμενου φωτός και ως προς την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων ανάλογα με τον προσανατολισμό του παραθύρου. Επομένως, οι υαλοπίνακες διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου.

Τα παράθυρα κατανέμονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο των φύλλων και τον τύπο του πλαισίου. Διαχωρίζονται σε:

1. Μονούς, διπλούς και τριπλούς.
2. Υαλοπίνακες με επιστρώσεις χαμηλού συντελεστή (Low-E).
3. Υαλοπίνακες που χρησιμοποιούν το διάκενο αέριο χαμηλότερης θερμικής αγωγιμότητας από αυτήν του ξηρού αέρα.
4. Υαλοπίνακες με διάκενο αέρα υπό συνθήκες κενού.

Πίνακας 2.1: Κατηγορίες υαλοπινάκων.[22]

| Τύπος Υαλοπίνακα | Πάχος (mm) | Αέριο διακένου | Συντελεστής Θερμικής Διαπερατότητας |
|----------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|
| Μονός | 6 | - | 5.7 |
| Μονός | 8 | - | 5 |
| Διπλός | 4-6-4 | Αέρας | 3.4 |
| Διπλός | 4-12-4 | Αέρας | 2.9 |
| Διπλός – χαμηλής εκπομπής | 4-10-4 | Αέρας | 2.0-2.4 |
| Διπλός – χαμηλής εκπομπής | 4-12-4 | Αέρας | 1.7-2.4 |
| Διπλός – χαμηλής εκπομπής | 4-6-4 | Αργό | 2.1-2.6 |
| Διπλός – χαμηλής εκπομπής | 4-12-4 | Αργό | 1.3-1.7 |
| Τριπλός | - | Αέρας | 1.8-2.5 |
| Τριπλός – χαμηλής εκπομπής | - | Αργό | 0.8 |

2.3.2 Οικοδομικά υλικά

Η προσεκτική επιλογή των υλικών κατασκευής αποτελεί βασικό παράγοντα που συντελεί στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ , είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού. Τα δομικά υλικά ανάλογα με την τιμή του συντελεστή λ , διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες που δίνονται στον παρακάτω Πίνακα. Στη συνέχεια, στον Πίνακα 2.3 δίνονται οι τιμές του συντελεστή λ ορισμένων υλικών.

Πίνακας 2.2: Κατηγορίες δομικών υλικών ανάλογα με την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ.[19]

| | |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Φυσικοί λίθοι | $\lambda = 2.7$ μέχρι 4.1 (W/m·K) |
| Κάθε φύσης δομικό υλικό | $\lambda = 0.1$ μέχρι 2.7 (W/m·K) |
| Θερμομονωτικό υλικό | $\lambda = 0.04$ μέχρι 0.1 (W/m·K) |

Πίνακας 2.3: Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ ορισμένων υλικών. [19]

| Υλικά | Πυκνότητα ρ (Kg/m ³) | Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (W/m·K) |
|---|--|---|
| Δομικά υλικά | | |
| Συμπαγείς λίθοι (ασβεστόλιθος, μάρμαρο, γρανίτης κτλ) | | 3.49 |
| Πυρώδεις λίθοι | | 2.33 |
| Άμμος φυσικής προέλευσης με φυσική υγρασία | | 1.4 |
| Ασβεστοκονίαμα | | 0.87 |
| Τσιμεντοκονίαμα | | 1.39 |
| Γυψοσανίδες | 1200 | 0.58 |
| Οπτόπλινθοι πλήρεις | 1000 | 0.46 |
| | 1200 | 0.52 |
| | 1400 | 0.60 |
| Οπτόπλινθοι διάτρητοι | 1000 | 0.46 |
| | 1200 | 0.52 |
| | 1400 | 0.60 |
| Ξύλα | | |
| Δρυς | | 0.21 |
| Οξυά | | 0.17 |
| Κωνοφόρα | | 0.14 |
| Μέταλλα-Γυαλί | | |
| Γυαλί | | 0.81 |
| Χυτοσίδηρος και χάλυβας | | 58.15 |
| Χαλκός | | 283.79 |
| Ορείχαλκος | | 53.96 |
| Αλουμίνιο | | 203.53 |
| Θερμομονωτικά υλικά | | |
| Πλάκες από υαλοβάμβακα με βακελίτη ή και λιθοβάμβακα | | 0.041 |
| Υαλοβάμβακας μη μορφοποιημένος | 50 | 0.041 |
| Πλάκες από διογκωμένο φελλό | 120 | 0.041 |
| | 160 | 0.044 |
| | 200 | 0.046 |
| Διογκωμένα συνθετικά υλικά | | 0.041 |

Η μόνωση, ως οικοδομικό υλικό, συμβάλει στη μείωση της ταχύτητας μετάδοσης της θερμότητας από τον εσωτερικό στον εξωτερικό χώρο ή αντίστροφα. Με τη χρήση της θερμομόνωσης επιτυγχάνεται μείωση του κόστους εγκατάστασης θέρμανσης καθώς και του κόστους λειτουργίας της, επειδή ελαττώνονται οι απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας. Το χειμώνα μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα χάνεται από το κτήριο, ενώ το καλοκαίρι ελαττώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισάγεται σε αυτό. Η μείωση των θερμικών διαφυγών από και προς τους εσωτερικούς χώρους που επιτυγχάνεται με τη χρήση της μόνωσης είναι σημαντική, αρκεί όμως να εφαρμόζεται σύμφωνα με τις ανάγκες του εκάστοτε κτηρίου. Μία τεχνοοικονομικά σωστή θερμομόνωση ορίζεται αυτή που για να γίνει δεν απαιτεί υπερβολικά μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης και ταυτόχρονα εξασφαλίζει μακροχρόνια οικονομία στη χρήση του κτηρίου.

Τα υλικά θερμομόνωσης έχουν υψηλό συντελεστή R και ταυτόχρονα χαμηλή θερμική διαπερατότητα U. Η θερμομονωτική ικανότητα το υλικού εξαρτάται από το πορώδες του και είναι μεγαλύτερη όσο περισσότεροι είναι οι πόροι του και όσο το μέγεθος τους μικραίνει. Τα μονωτικά υλικά εμφανίζουν μεγάλη θερμική αντίσταση λόγω του εγκλωβισμένου αέρα στους πόρους τους. Εάν οι πόροι του υλικού γεμίσουν με νερό τότε μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα τους, γιατί η θερμότητα μεταφέρεται πολύ πιο εύκολα μέσω του νερού από ότι μέσω του αέρα. Η ικανότητα των υλικών να προσλαμβάνουν νερό με τη μορφή υγρασία εξαρτάται από τις ιδιότητες τους.

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης από τη χρήση θερμομόνωσης σε ένα κτήριο δεν είναι ανάλογη με το πάχος της στρώσης της μόνωσης. Συγκεκριμένα, από μία τιμή πάχους και έπειτα η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται με ελάχιστο ρυθμό.

Τα θερμομονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην εξωτερική τοιχοποιία ενός κτηρίου και στις οροφές. Ωστόσο εφαρμόζονται και σε δάπεδα εκτεθειμένα στο εξωτερικό περιβάλλον, σε εσωτερικούς τοίχους αν αυτοί συνορεύουν με μη θερμαινόμενος χώρους καθώς και σε κουφώματα. Η θερμομόνωση των κτηρίων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Στη συνέχεια αναφέρονται τρόποι μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, της οροφής και του δαπέδου.[23]

Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας

1. Θερμομόνωση στην εσωτερική επιφάνεια

Το μονωτικό υλικό τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά του τοίχου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε κτήρια στα οποία απαιτείται η άμεση απόδοση του συστήματος θέρμανσης/ ψύξης χωρίς χρονική καθυστέρηση. Με άλλα λόγια, δεν απαιτείται απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία

μετά την διακοπή του κλιματισμού, διότι χρησιμοποιείται σε κτήρια με περιοδική λειτουργία όπως εκκλησίες, σχολεία κ.α. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει αυτή η μέθοδος είναι η γρήγορη θέρμανση του χώρου, απλή, γρήγορη και οικονομική κατασκευή και τα μονωτικά υλικά δεν χρειάζονται προστασία από τις εξωτερικές επιδράσεις. Τα μειονεκτήματα αυτής της εφαρμογής είναι η γρήγορη ψύξη του χώρου μετά τη διακοπή θέρμανσης, η μείωση του ωφέλιμου χώρου, η δυσκολία στην τοποθέτηση ραφιών και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, ο κίνδυνος επιφανειακής συμπύκνωσης ατμών και η έλλειψη προστασία των δομικών στοιχείων από συστολές-διαστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών μεταβολών.

2. Θερμομόνωση στην εξωτερική επιφάνεια

Σε αυτή την περίπτωση το μονωτικό υλικό τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του τοίχου. Τοποθετείται σε κτήρια στα οποία απαιτείται η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά την διακοπή του κλιματισμού. Εφαρμόζεται δηλαδή σε κτήρια μόνιμης διαμονής, νοσοκομεία κ.α Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδους είναι η διατήρηση της θερμότητας στο χώρο μετά τη διακοπή της θέρμανσης και επομένως η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, η προστασία των εξωτερικών επιφανειών των τοίχων από τις διαστολές και συστολές λόγω εξωτερικών θερμοκρασιακών διαφορών και η κάλυψη των θερμογεφυρών. Ωστόσο, η κατασκευή αυτή έχει υψηλό κόστος κατασκευής και παρουσιάζει αργή θέρμανση του εσωτερικού του χώρου.

3. Θερμομόνωση στον πυρήνα

Το μονωτικό υλικό τοποθετείται στο μέσο διπλού τοίχου. Ο εξωτερικός και εσωτερικός τοίχος είναι συνήθως από τούβλο. Αυτή η μέθοδος αποτελεί την πιο ισόρροπη μορφή θερμικής προστασίας έναντι του ψύχους το χειμώνα και της ζέστης το καλοκαίρι και αποτελεί την πιο εύκολη τοποθέτηση των θερμομονωτικών υλικών. Από την άλλη μεριά, το κτήριο δεν έχει καλή αντισεισμική συμπεριφορά.

4. Χρήση θερμομονωτικών τούβλων

Στην περίπτωση αυτή ολόκληρη η τοιχοποιία χτίζεται με ειδικά τούβλα. Τα τούβλα αυτά έχουν θερμομονωτικές ιδιότητες ή έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να περιλαμβάνουν θερμομονωτικά υλικά. Η κατασκευή αυτή είναι ιδιαίτερα εύκολη και ταυτόχρονα υπάρχει εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ελαφριές κατασκευές και σε κατασκευές που απαιτούν χαμηλή θερμοχωρητικότητα. Επίσης σε αυτή την τοιχοποιία υπάρχει δυσκολία κρεμάσματος πινάκων, ραφιών.

Θερμομόνωση στις οροφές

Η θερμομόνωση στις οροφές τοποθετείται είτε κάτω από την πλευρά της πλάκας είτε πάνω. Η θερμομόνωση κάτω από την πλάκα χρησιμοποιείται σε κτήρια στα οποία απαιτείται η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού. Σε αυτή την περίπτωση τα υλικά δεν χρειάζονται προστασία από τις εσωτερικές επιδράσεις. Ωστόσο, ο χώρος ψύχεται γρήγορα με την διακοπή του συστήματος κλιματισμού και είναι έντονη η πιθανότητα δημιουργίας υγρασίας και μούχλας. Η θερμομόνωση της οροφής στην άνω πλευρά της πλάκας χρησιμοποιείται σε κτήρια, στα οποία είναι αναγκαία η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού.

Θερμομόνωση δαπέδων

Η θερμομόνωση των δαπέδων τοποθετείται είτε κάτω από την πλευρά της πλάκας είτε πάνω. Η θερμομόνωση στην κάτω πλευρά της πλάκας χρησιμοποιείται σε κτήρια στα οποία απαιτείται η απόδοση θερμότητας από τα δομικά στοιχεία και μετά τη διακοπή του κλιματισμού. Η θερμομόνωση στην άνω πλευρά της πλάκας χρησιμοποιείται σε κτήρια στα οποία απαιτείται η άμεση απόδοση του συστήματος κλιματισμού.

2.3.3 Υλικά αλλαγής φάσης

Όλα τα υλικά μπορεί να βρίσκονται σε τρεις φάσεις, τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας τους.

Τα υλικά, αν ταξινομηθούν με βάση το μηχανισμό αποθήκευσης ενέργειας μέσα στο υλικό διαχωρίζονται σε αυτά που αποθηκεύουν αισθητή και σε αυτά που αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα.

1. Η αισθητή θερμότητα: Σε αυτήν, τα υλικά παρουσιάζουν θερμική συμπεριφορά λόγω της θερμοχωρητικότητας που έχουν κατά τη χρήση τους υπό συνθήκες με σταθερή πίεση ή όγκο.
2. Η λανθάνουσα θερμότητα: Σε αυτήν, τα υλικά παρουσιάζουν λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας, η οποία είναι απαραίτητη για την αλλαγή φάσης. Κύριος παράγοντας είναι το υλικό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αλλαγή φάσης, της οποίας βασική προϋπόθεση είναι και το πλαίσιο της θερμοκρασίας που θα πρέπει να κυμαίνεται.

Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής τους ονομάζονται PCMs (Phase Change Materials). Η μεγάλη θερμοαποθηκευτική

ικανότητα των PCM οφείλεται στα επιπλέον ποσά θερμότητας που απορροφούνται ή αποδίδονται κατά τη μετατροπή τους από την στερεά στην υγρή φάση, ή αντιστρόφως.

Θεωρούνται αποδεκτά PCMs, όλα τα υλικά των οποίων αλλάζει η φυσική τους κατάσταση. Ως υποψήφια θεωρούνται συνήθως υλικά που αλλάζουν μεταξύ στερεής και υγρής φάσης, ενώ δεν προτιμάται ιδιαίτερα η μετάβαση ενός υλικού σε αέρια μορφή. Αυτό συμβαίνει επειδή, όταν ένα υλικό παίρνει αέρια μορφή, αποκτά «νέες» ιδιότητες οι οποίες έχουν μεγάλη απόκλιση από τις αρχικές όπως για παράδειγμα η πυκνότητα του. Κατάλληλο PCMs θεωρείται το υλικό που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Υψηλή τιμή λανθάνουσας θερμότητας.
2. Υψηλή αγωγιμότητα.
3. Χημική σταθερότητα.
4. Θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής.
5. Μικρό κόστος παραγωγής.
6. Μικρή τοξικότητα.
7. Να μην είναι διαβρωτικό και εύφλεκτο.

Το πιο διαδεδομένο PCM είναι το νερό, του οποίου ιδιότητα είναι η αποθήκευση μεγάλων ποσών θερμότητας κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο. Όμως με τη χρήση του πάγου ως PCM δημιουργήθηκαν ορισμένα προβλήματα, κάτι το οποίο δεν λειτουργούσε ως υπέρ, γι' αυτό και προτιμήθηκε η χρήση του νερού ως βάση των υλικών, ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματά του (λόγω της μεγάλης τιμής του συντελεστή αγωγιμότητας και της λανθασμένης θερμότητας αντίστοιχα) και να μην παρουσιάζουν τα υπόλοιπα προβλήματα της χρήσης του πάγου και κυρίως τη θερμοκρασία τήξης.

Έτσι λοιπόν, δημιουργήθηκαν τα πρώτα PCMs που είναι τα ένυδρα άλατα, τα οποία συνεχίζουν να εξελίσσονται ακόμη και σήμερα. Είναι σχετικά αδρανείς ενώσεις αλάτων με μόρια νερού, οι οποίες ανάλογα με την πρόσδοση ή την απορρόφηση θερμότητας από το σύστημα αποβάλλουν ή προσλαμβάνουν μόρια νερού.

Τα PCMs χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές ως μέσο για άμεση ή έμμεση αποθήκευση θερμότητας αλλά και ως αντί-μόνωση σε πολλές εφαρμογές, διότι αποθηκεύουν θερμότητα την οποία μπορούν και εκλύουν αργότερα. [24]

2.4 Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Είναι γεγονός, ότι οι άνθρωποι και οι δραστηριότητες τους αποτελούν πηγή θερμότητας στα κτήρια. Τα θερμικά φορτία που προκύπτουν σε ένα χώρο εξαρτώνται από τον αριθμό των ατόμων μέσα σε αυτό, το ωράριο παραμονής τους στο χώρο και το είδος της δραστηριότητας τους. Επίσης, εξαρτώνται από τη χρήση και το είδος του κτηρίου, καθώς και από τον αριθμό των ηλεκτρικών συσκευών και το χρόνο λειτουργίας τους. Με τον όρο εσωτερικά θερμικά κέρδη εννοούνται τα κέρδη που παράγονται από ενδογενείς δραστηριότητες του κτηρίου. Για τον υπολογισμό της ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτηρίου λαμβάνονται υπόψη τα εσωτερικά κέρδη του κτηρίου, τα οποία συνεισφέρουν στα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Συγκεκριμένα, στον όρο αυτό περιλαμβάνεται:

1. Η εκλυόμενη θερμότητα από τα ηλεκτρικά συστήματα φωτισμού.
2. Η έκλυση θερμότητας από τους ανθρώπους (αισθητό και λανθάνον κέρδος, ανάλογα με την δραστηριότητα των ανθρώπων)
3. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός και οι συσκευές του κτηρίου.

Φωτισμός κτηρίου

Σε κάθε χώρο είναι απαραίτητο να παρέχεται ο φωτισμός που εξασφαλίζει στους χρήστες οπτική άνεση και ευχάριστη διαμονή. Για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργεια για φωτισμό έχουν καθοριστεί κάποια πρότυπα ως ελάχιστη φωτιστική απόδοση. Στον Πίνακα 2.4 δίνονται ενδεικτικά για κάποιους χώρους τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού ανά χρήση χώρου. [25]

Πίνακας 2.4: Στάθμη φωτισμού και εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (W/m^2) κτηρίου ανά χρήση κτηρίου.[25]

| Χρήση κτηρίων | Στάθμη φωτισμού [Lux] | Ισχύς για κτήριο αναφοράς [W/m^2] |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Μονοκατοικία, πολυκατοικία | 200 | 6.4 |
| Γραφεία | 300 | 30 |
| Αίθουσα συνεδριάσεων | 300 | 25 |
| Διάδρομος | 300/800 | 25 |
| Καφετέρια | 400 | 5 |
| Εστιατόριο | 400 | 5 |
| Καθιστικό | 400 | 5 |
| Τουαλέτες | 250 | 5 |
| Βεστιάριο | 250 | 5 |
| Δρόμοι/πεζόδρομοι | 100 | 3 |
| Παρκινγκ αυτοκινήτων | 150 | 2 |
| Βοηθητικοί χώροι | 200 | 2 |
| Βιβλιοθήκη | 500 | 16 |

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι φωτισμού των εσωτερικών χώρων ενός κτηρίου. Αυτοί μπορεί να είναι οι εξής:

1. Άμεσος συμμετρικός φωτισμός.
2. Προβολείς τοίχου και φωτιστικά με σχάρα περσίδων.
3. Προβολείς τοίχου σε ράγα .
4. Ενσωματωμένος στη στέγη προβολέας τοίχου.
5. Σποτ οροφής.
6. Έμμεσος φωτισμός.
7. Άμεσος-έμμεσος φωτισμός.
8. Προβολείς οροφής.
9. Προβολείς δαπέδου.
10. Φωτιστικά τοίχου.
11. Προβολείς τοίχου σε ράγες.
12. Σποτ σε ράγες.

Ο άμεσος συμμετρικός φωτισμός προτιμάται για το γενικό φωτισμό χώρων εργασίας και χώρων συγκέντρωσης κοινού. [26]

Χρήστες κτηρίου

Κάθε άτομο ανάλογα με το είδος της δραστηριότητάς του, το είδος της ενδυμασίας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος εκλύει θερμότητα υπό την μορφή αισθητού και λανθάνοντος φορτίου. Στον Πίνακα 2.5 δίνεται το αισθητό και το λανθάνον θερμικό κέρδος ανά άτομο για διάφορες συνήθειες δραστηριότητες και εργασίες των ανθρώπων.[27]

Πίνακας 2.5: Τιμές για το αισθητό, το λανθάνον και το ολικό φορτίο που εκλύονται από τους ανθρώπους, ανάλογα με το είδος εργασίας τους.[27]

| Είδος εργασίας | Αισθητό | | Λανθάνον | | Ολικό | |
|---|---------|-----------------|----------|-----------------|-------|-----------------|
| | Watt | $\frac{Btu}{h}$ | Watt | $\frac{Btu}{h}$ | Watt | $\frac{Btu}{h}$ |
| Ξεκούραση | 62 | 210 | 41 | 140 | 103 | 350 |
| Καθιστική εργασία με λίγο σωματικό φόρτο εργασίας | 67 | 230 | 56 | 190 | 123 | 420 |
| Φαγητό | 75 | 255 | 95 | 325 | 170 | 580 |
| Καθιστική εργασία με κύρια απασχόληση τη χρήση υπολογιστή | 75 | 255 | 75 | 255 | 149 | 510 |
| Μη καθιστική εργασία με λίγο σωματικό φόρτο εργασίας | 92 | 315 | 95 | 325 | 188 | 640 |
| Εργασία σε πάγκο μέτριας κούρασης | 101 | 345 | 127 | 435 | 229 | 780 |
| Εργασία με χρήση μηχανών και μέση απόσταση περπατήματος 3 μίλια | 101 | 345 | 204 | 695 | 305 | 1040 |
| Χορός | 119 | 405 | 256 | 875 | 375 | 1280 |
| Χειρωνακτική εργασία με έντονη σωματική κούραση | 166 | 565 | 303 | 1035 | 469 | 1600 |
| Αθλητισμός | 186 | 635 | 341 | 1165 | 528 | 1800 |

Συσκευές και εργαστηριακός εξοπλισμός

Η εκλυόμενη θερμότητα από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό του κτηρίου είναι η τρίτη κατηγορία εσωτερικών θερμικών κερδών στα κτήρια. Αυτή η θερμότητα εκλύεται με ακτινοβολία και με μεταφορά και εξαρτάται από το είδος της συσκευής. Λόγω της αυξανόμενης χρήσης των ηλεκτρικών συσκευών, τα εσωτερικά θερμικά κέρδη από συσκευές είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε χώρους όπως γραφεία και υπηρεσίες. Στον παρακάτω Πίνακα δίνονται οι τιμές των ηλεκτρικών συσκευών που βρίσκονται σε ένα γραφείο ανάλογα με το είδος της εργασίας.[28]

Πίνακας 2.6: Είδος και πλήθος συσκευών που υπάρχουν σε χώρους γραφείων, και η ισχύς που καταναλώνουν.

| Απαιτήσεις γραφείου | Υπολογιστής | Οθόνη | Εκτυπωτής/ Σκάνερ | Φαξ |
|---------------------|-------------|--------|-------------------|--------|
| Χαμηλές | 55 [W] | 55 [W] | 130 [W] | 15 [W] |
| Μέτριες | 65 [W] | 70 [W] | 215 [W] | 15 [W] |
| Μέτριες-Αρκετές | 65 [W] | 70 [W] | 320 [W] | 30 [W] |
| Αρκετές | 75 [W] | 80 [W] | 320 [W] | 30 [W] |

2.5 Αερισμός

Ο αερισμός του χώρου έχει καίρια σημασία, καθώς συμβάλει στην επίτευξη άνετων και υγιεινών συνθηκών διαβίωσης. Συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις αερισμού των χώρων συμβάλλουν στην επίτευξη των εξής λειτουργιών:

1. Απομάκρυνση βλαβερών στοιχείων του αέρα.
2. Απομάκρυνση επιβαρυντικών θερμικών φορτίων.
3. Απομάκρυνση βλαβερών θερμικών φορτίων από το χώρο
4. Διατήρηση ισορροπίας πίεσης.

Ο αερισμός διαχωρίζεται στις διαφυγές αέρα λόγω αεροστεγανότητας του κτηρίου, στο φυσικό αερισμό (infiltration) και στο μηχανικό αερισμό (ventilation). Οι διαφυγές αέρα λόγω αεροστεγανότητας συμπεριλαμβάνει τις διαφυγές από τα κουφώματα και από άλλες διόδους του κελύφους όπως είναι οι αρμοί. Ο φυσικός και μηχανικός αερισμός πραγματοποιούνται με την ανανέωση του εσωτερικού αέρα από νωπό αέρα περιβάλλοντος για την επίτευξη αποδεχτών συνθηκών εντός του κτηρίου. Ο φυσικός αερισμός δηλώνει τη ροή του αέρα από έξω προς τα μέσα, ενώ ο μηχανικός αερισμός δηλώνει την εισροή αέρα μέσω οποιασδήποτε πηγής, όπως λόγου χάρη μέσω κλιματιστικής μονάδας.

Κατά τη διαδικασία του αερισμού απαιτείται ενέργεια για τη μεταφορά του αέρα. Τη χειμερινή περίοδο, το εξωτερικό περιβάλλον έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από το εσωτερικό περιβάλλον του κτηρίου, επομένως χρειάζεται ενέργεια για τη θέρμανση του αέρα. Ωστόσο, για την καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας είναι απαραίτητο να ελέγχονται οι τιμές του αερισμού και να εξασφαλίζεται ο σωστός αερισμός.

2.6 Σκίαση

Τόσο τα συστήματα εξωτερικής σκίασης, όσο και τα συστήματα εσωτερικής σκίασης έχουν ως στόχο τον έλεγχο των θερμικών κερδών και τον έλεγχο του φυσικού φωτισμού. Αυτό οδηγεί στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης του ανθρώπου στο εσωτερικό του κτηρίου και στην οπτική άνεση αντίστοιχα.

Η σωστή χρήση ηλιοπροστασίας είναι βασική προϋπόθεση για την αποδοτική εφαρμογή της. Το χειμώνα, είναι αναγκαίο να παραμένουν ανοιχτά τα συστήματα σκίασης κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας με σκοπό τη φυσική θέρμανση του χώρου. Την καλοκαιρινή περίοδο τα συστήματα σκίασης πρέπει να παραμένουν

κλειστά κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας, εμποδίζοντας της είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ανάλογα με τον προσανατολισμό του κτηρίου, τοποθετούνται και τα κατάλληλα σκίαστρα. Υπενθυμίζεται ότι, ο νότιος προσανατολισμός δέχεται τη μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ ο βόρειος προσανατολισμός δέχεται την ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία. Όσον αφορά τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα, αυτά δέχονται μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι ενώ το χειμώνα μικρά. Για τα ανοίγματα αυτά στα οποία οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν από χαμηλά απαιτείται σκίαση κατακόρυφου τύπου.

Εσωτερική σκίαση

Στόχος των συστημάτων εσωτερικής σκίασης είναι η ανάκλαση της εισερχόμενης ακτινοβολίας προς τον υαλοπίνακα, έτσι ώστε αυτή να εξέρχεται από το χώρο πριν απορροφηθεί και μετατραπεί σε θερμότητα εντός του χώρου. Επομένως, οι διατάξεις εσωτερικής σκίασης προστατεύουν τους χρήστες των κτηρίων από τις επιδράσεις της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και από την έντονη θάμβωση που αυτή μπορεί να προκαλέσει. Άλλοι λόγοι για τους οποίους, χρησιμοποιούνται οι συσκευές εσωτερικής σκίασης, είναι η αισθητική του χώρου και η απομόνωση από το εξωτερικό περιβάλλον. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων εσωτερικής σκίασης, όπως για παράδειγμα κουρτίνες, ενετικά στορ, εσωτερικά ρολά κ.λπ.

Εξωτερική σκίαση

Τα συστήματα εξωτερικής σκίασης έχουν ως στόχο τη διακοπή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας πριν αυτή φτάσει στον υαλοπίνακα. Ο τρόπος αυτός είναι ο αποτελεσματικότερος για τη μείωση του ηλιακού θερμικού κέρδους. Ωστόσο, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα καλής κυκλοφορίας του αέρα μεταξύ του υαλοπίνακα και του εξωτερικού μέσου σκίασης, ώστε να απάγεται η θερμότητα που απορροφάται. Υπάρχουν διάφορα συστήματα εξωτερικής σκίασης, όπως για παράδειγμα οι τέντες, οι προεξοχές της στέγης, οι κατακόρυφες ή οριζόντιες προεξοχές δομικών στοιχείων, τα γειτονικά κτήρια, η βλάστηση κ.α. [29]

2.7 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων είναι ο σχεδιασμός ο οποίος λαμβάνει υπόψη το κλίμα κάθε περιοχής και στοχεύει την επίτευξη μεγαλύτερης άνεσης με ελάχιστη υποστήριξη από βοηθητικές πηγές ενέργειας, με τον ήλιο να είναι ο κύριος φορέας παροχής ενέργειας στο βιοκλιματικό σχεδιασμό. Με άλλα λόγια, είναι ο τρόπος σχεδιασμού κτηρίων μέσα σε ρεαλιστικά οικονομικά πλαίσια, ο οποίος παρέχει

κατάλληλες συνθήκες διαβίωσης στους χώρους δίνοντας σημασία στις αρχές βιώσιμης ανάπτυξης, σέβεται το φυσικό περιβάλλον, ελαχιστοποιεί τις ενεργειακές απαιτήσεις και χρησιμοποιεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η ανάπτυξη και ενσωμάτωση βιοκλιματικών συστημάτων είναι σημαντική διότι:

1. Μειώνει το κόστος λειτουργίας των κτηρίων λόγω υποκατάστασης συμβατικών καυσίμων.
2. Επιφέρει σημαντικές θετικές επιπτώσεις στο ενεργειακό σύστημα παραγωγής της περιοχής λόγω υποκατάστασης σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας.
3. Μειώνει την έκλυση ποσοτήτων CO₂, NO_x, SO_x και άλλων ρύπων που θα προκαλούσε η χρήση συμβατικών καυσίμων.

Τα βασικά συστήματα που επηρεάζουν και ελαχιστοποιούν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου είναι:

1. Τα μη ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, δηλαδή το κέλυφος και το εσωτερικό του κτηρίου.
2. Τα συστήματα του περιβάλλοντος χώρου του κτηρίου, όπως η βλάστηση, υπαίθρια σκίαστρα, ρεύματα αέρα κ.α.
3. Τα ενεργειακά συστήματα του κτηρίου, δηλαδή αυτά που απαιτούνται για τη θέρμανση, τον κλιματισμό, τον αερισμό των χώρων κ.λπ.
4. Τα ανθρώπινα συστήματα που περιλαμβάνουν προσωπικό για τη διαχείριση, λειτουργία και συντήρηση του κτηρίου.

Ορισμένα παραδείγματα που συντελούν στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου είναι η βελτίωση του φυσικού φωτισμού των χώρων, η χρησιμοποίηση ηλιοπροστασίας, η τοποθέτηση θερμομονωτικών – αεροστεγών κουφωμάτων, η πρόβλεψη του νυχτερινού αερισμού των χώρων το καλοκαίρι, η επιλογή μηχανημάτων και συσκευών μεγάλου βαθμού απόδοσης και άλλα πολλά. Εκτός αυτού, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός περιλαμβάνει και τα παθητικά ηλιακά συστήματα τα οποία λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν και κλιματίζουν τα κτήρια. [30]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Περιγραφή του λογισμικού eQUEST

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα eQUEST, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, το γραφικό του περιβάλλον και ο τρόπος με τον οποίο εξάγονται τα αποτελέσματα.

3.1 Ιστορική αναδρομή

Το λογισμικό eQUEST είναι ένα πρόγραμμα το οποίο παρέχει την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου, ή συγκροτημάτων κτηρίων και ταυτόχρονα παρέχει κατάλληλο γραφικό περιβάλλον για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται κλπ. Στηρίζεται στο DOE-2 το οποίο είναι ουσιαστικά μια γραμμή εντολών απ' όπου εισάγονται τα δεδομένα του κτηρίου και στη συνέχεια πραγματοποιείται η ανάλυσή του. Το DOE-2 είναι ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε από τους James J. Hirsch & Associates (JH) σε συνεργασία με το Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) και χρηματοδοτήθηκε κυρίως από το United States Department of Energy (USDOE). Σε γενικές γραμμές ήταν πολύ δύσκολο να το χειριστεί κάποιος και απαιτούσε πολύ εξάσκηση μέχρι να επιτευχθεί η μάθηση του σε ικανοποιητικό βαθμό. Στη συνέχεια, εξελίχθηκε στο DOE-2.1, στο DOE-2.2 και έπειτα στο DOE-2.3. Το λογισμικό eQUEST αποτελεί τη ναυαρχίδα του DOE-2.2 επειδή είναι μια βελτιωμένη έκδοση αυτού, αλλά ταυτόχρονα παρέχει τη λειτουργία των «Wizards», που το καθιστά πιο εύκολο στη χρήση, καθώς και γραφικό περιβάλλον για την οπτικοποίηση του κτηρίου, των αποτελεσμάτων κτλ. Η πρώτη έκδοση πραγματοποιήθηκε το 2009 και η τελευταία πιο αναβαθμισμένη έκδοση είναι η 3.65.[31]

3.2 Εισαγωγή στο eQUEST

Το πρόγραμμα eQUEST είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης κτηρίων που χρησιμοποιείται σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Είναι σχεδιασμένο να παρέχει ολοκληρωμένη ανάλυση ενός κτηρίου, με την έννοια ότι θεωρείται πως το σύστημα προς προσομοίωση αποτελείται από επιμέρους υποσυστήματα τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, οι ενεργειακές απαιτήσεις κάθε υποσυστήματος εξαρτώνται από τον φωτισμό, το σύστημα κλιματισμού κτλ. Το λογισμικό αυτό μελετά απλά μονοζωνικά κτήρια, πολυζωνικά κτήρια αλλά και συγκροτήματα κτηρίων. Το όνομά του προέρχεται από τα αρχικά της αγγλικής φράσης «Quick Energy Simulation Tool».

Υπάρχουν δύο βασικά στάδια εκτέλεσης του προγράμματος. Κατά την εκκίνηση του προγράμματος ο χρήστης αυτόματα βρίσκεται στην πρώτη κατηγορία, τη λειτουργία των «Wizards», η οποία κατά κύριο λόγο είναι για αρχάριους χρήστες, ενώ υπάρχει και η δεύτερη λειτουργία του προγράμματος, η επιλογή «Detailed Interface», στην οποία είναι δυνατός ο χειρισμός περισσότερων δεδομένων και μεταβλητών. Η λειτουργία αυτή απευθύνεται κυρίως σε πιο έμπειρους χρήστες και περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου, είτε αυτή γίνει στη λειτουργία των «Wizards», είτε στη λειτουργία «Detailed Interface».[32]

3.3 Λειτουργία Wizards

Η λειτουργία αυτή είναι η πιο απλή επιλογή για το χρήστη. Στη λειτουργία αυτή πραγματοποιείται η γρηγορότερη προετοιμασία του μοντέλου για την προσομοίωσή του, καθώς απαιτείται ο ορισμός βασικών παραμέτρων για την προσομοίωση των αποτελεσμάτων. Το eQUEST αποτελείται από τρεις διαφορετικούς τύπους Wizards, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Schematic Design Wizard (SD Wizard)
- Design Development Wizard (DD Wizard)
- Energy Efficiency Measures Wizard (EEM Wizard)

Οι λειτουργίες SD Wizard και DD Wizard χρησιμοποιούνται με σκοπό την κατασκευή του μοντέλου ενός κτηρίου. Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι ότι στο SD Wizard είναι δυνατόν να δημιουργηθούν έως δύο στο πλήθος συστήματα HVAC για κάθε κτήριο ενώ στη λειτουργία DD Wizard δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός, γεγονός που το καθιστά πιο ευέλικτο. Επιπλέον, στη λειτουργία DD Wizard υπάρχει η δυνατότητα πολλαπλασιασμού του φλοιού με την έννοια ότι αντιγράφεται το κτήριο και πολλαπλασιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Από την άλλη μεριά, η επιλογή EEM Wizard χρησιμοποιείται με σκοπό την προσομοίωση και σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων του κτηρίου, τα οποία μπορεί να είναι ως δέκα, το πολύ, διαφορετικά σενάρια.

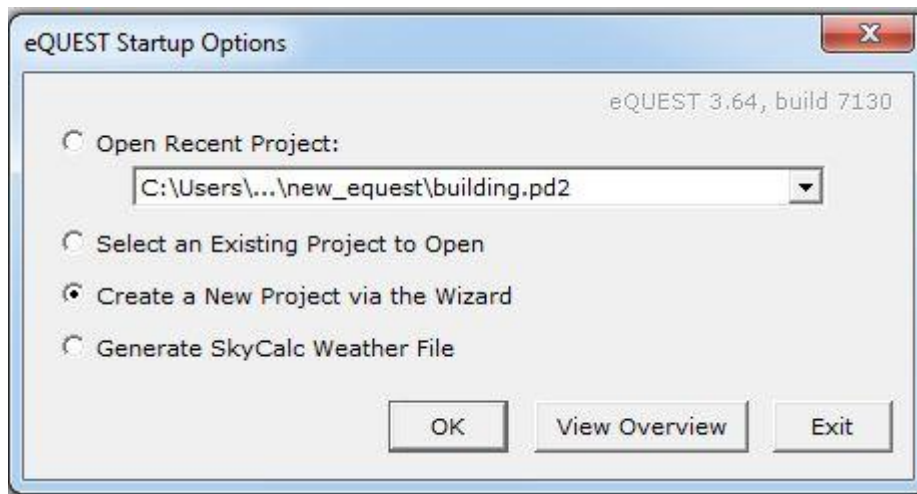
3.4 Λειτουργία Detailed Interface

Είναι μία λειτουργία η οποία αναφέρεται κυρίως σε πιο έμπειρους χρήστες, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή των παραμέτρων κατά το σχεδιασμό ενός κτηρίου και στην επιλογή των συστημάτων HVAC. Επίσης, σε αυτή τη λειτουργία του eQUEST είναι δυνατή η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της

προσομοίωσης ενός κτηρίου, γεγονός που το καθιστά φιλικό με το χρήστη. Για παράδειγμα, σε αυτή τη λειτουργία είναι εφικτή η απεικόνιση διαγραμμάτων με τα αποτελέσματα (λ.χ. μηνιαία και ετήσια κατανάλωση ενέργειας, μηνιαία κόστος την καταναλισκόμενης ενέργειας κ.λπ.). Επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα ανάγνωσης του αρχείου στο οποίο έχουν καταγραφεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

3.5 Εκκίνηση προγράμματος

Το πρώτο παράθυρο που εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη, από τη στιγμή της εκκίνησης του προγράμματος, δίνει την επιλογή της δημιουργίας ενός καινούργιου αρχείου ή τη δυνατότητα επεξεργασίας υπάρχοντος αρχείου.



Σχήμα 3.1: Παράθυρο επιλογών φόρτωσης ή δημιουργίας νέου αρχείου eQUEST.

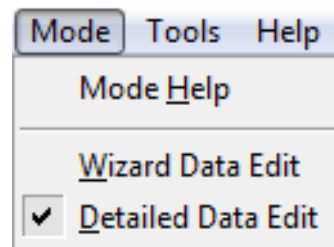
Αφού γίνει η επιλογή της δημιουργίας νέου αρχείου, εμφανίζεται στην οθόνη ένα παράθυρο στο οποίο ορίζεται η επιλογή λειτουργίας του προγράμματος μεταξύ Schematic Design Wizard (SD Wizard) και Design Development Wizard (DD Wizard). Η διαφορά των δύο επιλογών έχει αναφερθεί παραπάνω. Ανάλογά με την επιλογή αυτή, θα ανοίξει το αντίστοιχο παράθυρο λειτουργίας για την εισαγωγή των δεδομένων του κτηρίου.



Σχήμα 3.2: Αρχικό παράθυρο επιλογής μεταξύ της λειτουργίας SD Wizard και DD Wizard.

Από την στιγμή που έχουν εισαχθεί τα δεδομένα, επιλέγοντας το κουμπί «Finish» στο αντίστοιχο παράθυρο, αποθηκεύονται όλες αλλαγές έχουν πραγματοποιηθεί στα παράθυρα εισαγωγής και επεξεργασίας των δεδομένων και έπειτα το πρόγραμμα συνεχίζει με στην επιλογή των Detailed Interface, με σκοπό την παρουσίαση των αποτελεσμάτων του προγράμματος. Επιλέγοντας μία από τις δύο επιλογές της γραμμής εργαλείων, το πρόγραμμα επιστρέφει στα παράθυρα λειτουργίας των Schematic Design Wizard ή Design Development Wizard.

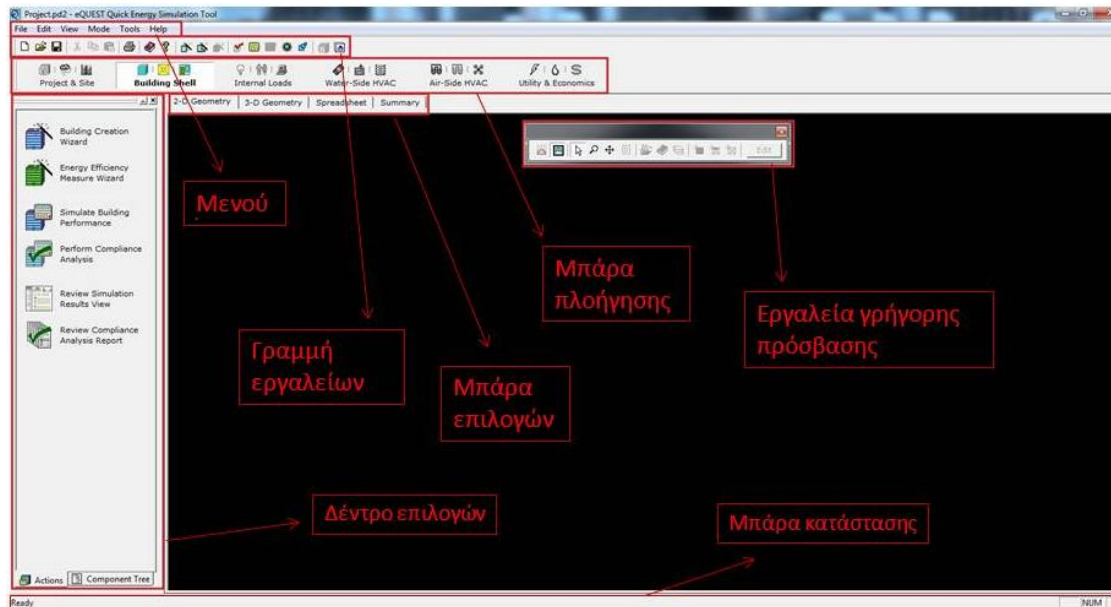
Όπως αναφέρθηκε, υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας του μοντέλου του κτηρίου και από την επιλογή Detailed Interface. Για να πραγματοποιηθούν αλλαγές στο μοντέλο του κτηρίου από αυτή τη λειτουργία, είναι απαραίτητη η αλλαγή της επιλογής «Mode» από «Wizard Data Edit» σε «Detailed Data Edit». Με την επιλογή αυτής της λειτουργίας του προγράμματος οποιαδήποτε αλλαγή πραγματοποιηθεί δεν θα αποθηκευτεί εάν ο χρήστης επιθυμεί να επιστρέψει στην επιλογή των Wizard. Αυτή η αλλαγή γίνεται από την καρτέλα του μενού Mode.



Σχήμα 3.3: Οι δύο επιλογές για τον τρόπο επεξεργασίας του κτηρίου.

3.6 Γραμμές εργαλείων και μενού

Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος eQUEST και αναγράφεται η ονομασία των διαφόρων τμημάτων που το απαρτίζουν.



Σχήμα 3.4: Βασικές επιλογές και γραφικό περιβάλλον του προγράμματος eQUEST

3.6.1 Γραμμή εργαλείων

Η γραμμή εργαλείων παρέχει άμεση πρόσβαση σε πολλές από τις βασικές ενέργειες του προγράμματος. Τα κουμπιά στην γραμμή εργαλείων είναι αόρατα ή ανενεργά όταν οι λειτουργίες τους δεν είναι διαθέσιμες.



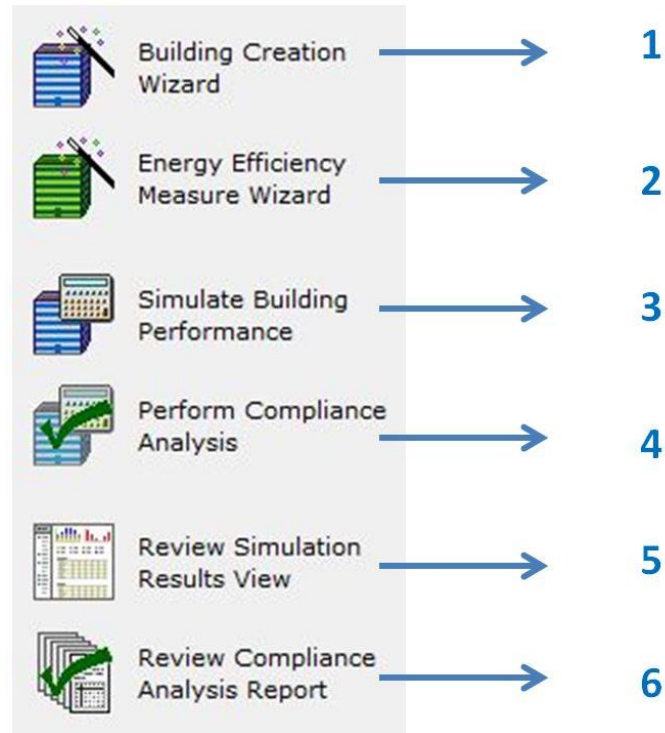
Σχήμα 3.5: Γραμμή εργαλείων.

Κατά σειρά έχουμε:

- New: Δημιουργείται ένα νέο έγγραφο στο eQUEST.
- Open: Ανοίγει ένα υπάρχον αρχείο του προγράμματος.
- Save: Αποθηκεύεται το τρέχον έργο του προγράμματος με το υπάρχον όνομα του έργου.
- Cut/Copy/Paste: Αποκοπή/Αντιγραφή/Επικόλληση.
- Print: Πραγματοποιείται η εκτύπωση της εικόνας που απεικονίζεται στο παράθυρο λειτουργίας του προγράμματος.

- Help Topics: Παραπέμπει το χρήστη στη βιβλιοθήκη του προγράμματος, όπου εξηγούνται οι διάφορες επιλογές του προγράμματος.
- About: Δίνονται πληροφορίες για την έκδοση του προγράμματος.
- Schematic Design Wizard: Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του τρέχοντος έργου στη λειτουργία SD Wizard.
- Design Development Wizard: Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του τρέχοντος έργου στη λειτουργία DD Wizard.
- Energy Efficiency Measure Wizard: Ενεργοποίηση της λειτουργίας EEM για τη σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων του κτηρίου.
- Check Building Description: Ελέγχεται το τρέχον έργο για τυχόν σφάλματα.
- Perform Simulation: Πραγματοποίηση εκκίνησης της διαδικασίας προσομοίωσης του τρέχοντος μοντέλου.
- Compliance Analysis: Πραγματοποιεί την εκτέλεση όταν έχει ενεργοποιηθεί η περιβαλλοντική αξιολόγηση με κάποιο από τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης.
- Skylight Parametric Analysis: Εκτελεί την προσομοίωση όταν στο κτήριο έχουν τοποθετηθεί φεγγίτες στην οροφή.
- Project View: Ενεργοποιείται όταν είναι ανοιχτό το παράθυρο των αποτελεσμάτων με σκοπό την ανασκόπηση ή/και επεξεργασία του τρέχοντος έργου.
- Results View: Ανοίγει τα γραφικά αποτελέσματα όλων των αρχείων που έχουν δημιουργηθεί και αποθηκευτεί στο πρόγραμμα.

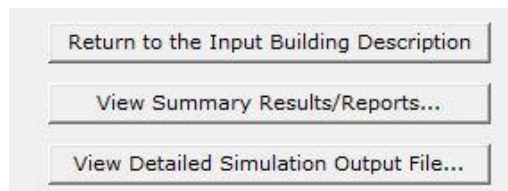
3.6.2 Δέντρο επιλογών



Σχήμα 3.6: Δένδρο επιλογών.

Επεξηγηματικά οι επιλογές αυτές είναι:

1. Επεξεργασία του υπάρχοντος κτηρίου οδηγώντας το χρήστη στα Wizard παράθυρα.
2. Άνοιγμα των παραθύρων, όπου είναι εφικτή η σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων ενός καινούργιου ή ενός υπάρχοντος αρχείου.
3. Πραγματοποίηση προσομοίωσης του υπάρχοντος κτηρίου για τη διάρκεια ενός έτους. Με το πάτημα του κουμπιού ζητείται από το χρήστη η αποθήκευση του έργου και στη συνέχεια εμφανίζονται τρεις επιλογές που απεικονίζονται στο Σχήμα 3.7. Η πρώτη επιλογή αυτού του σχήματος επιστρέφει στο σχέδιο, χωρίς την ανασκόπηση των αποτελεσμάτων, η δεύτερη οδηγεί στα αποτελέσματα, ενώ η τρίτη ανοίγει το αρχείο εξόδου με τα αναλυτικά αποτελέσματα.[33]



Σχήμα 3.7: Επιλογές για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

4. Πραγματοποιεί την εκτέλεση όταν έχει ενεργοποιηθεί η περιβαλλοντική αξιολόγηση με κάποιο από τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης.

5. Ο χρήστης μπορεί να ανατρέξει ξανά στα διαγράμματα χωρίς την επανεκτέλεση του προγράμματος.
6. Ο χρήστης μπορεί να ανατρέξει ξανά στα διαγράμματα χωρίς την επανεκτέλεση του προγράμματος όταν έχει ενεργοποιηθεί η περιβαλλοντική αξιολόγηση με κάποιο από τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης.

3.6.3 Μπάρα πλοήγησης

Κατά τη λειτουργία «Detailed Data Edit», υπάρχει η καρτέλα άμεσης πρόσβασης στις διάφορες κατηγορίες του προγράμματος που απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα. Στην συνέχεια παρατίθεται η λειτουργία που επιτελεί κάθε επιλογή.



Γενικές πληροφορίες όπως καιρικά δεδομένα, πρόγραμμα λειτουργίας κ.α.



Κατασκευή και γεωμετρία του κτηρίου, θερμικές ζώνες, υλικά κατασκευής, τοίχοι, παράθυρα και πόρτες.



Φορτία από ανθρώπους, εξοπλισμός και φώτα.



Σύστημα νερού θέρμανσης και εξοπλισμός.



Σύστημα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού. (HVAC)



Κοστολόγηση.

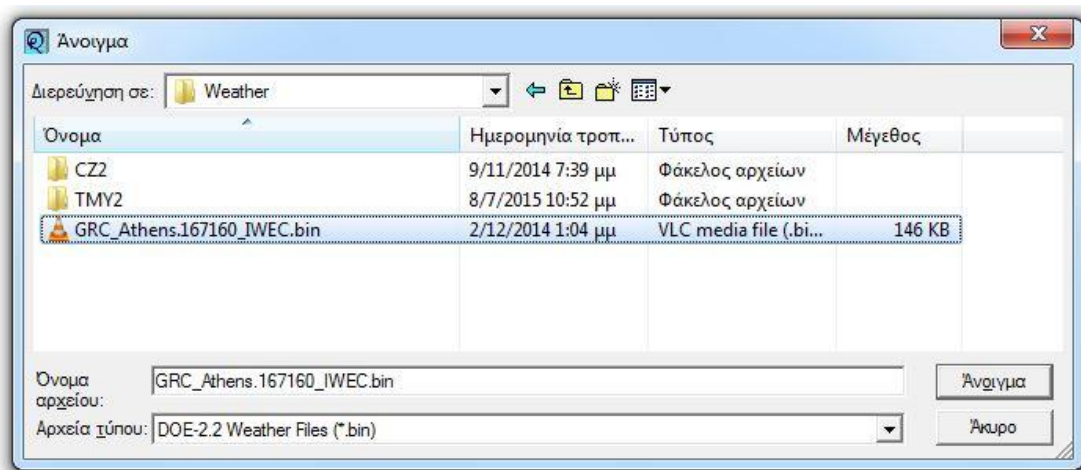
3.7 Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων

Για την ενεργειακή προσομοίωση του κτηρίου στο πρόγραμμα eQUEST η εισαγωγή του αρχείου των τυπικών μετεωρολογικών δεδομένων είναι απαραίτητη, ώστε ο υπολογισμός να γίνει με βάση την χώρα της Ελλάδας. Το πρόγραμμα περιέχει τα μετεωρολογικά δεδομένα για περιοχές του Καναδά, της Καλιφόρνιας και κάποιες άλλες περιοχές. Επομένως, τα μετεωρολογικά δεδομένα που απαιτούνται για τη χώρα της Ελλάδας και συγκεκριμένα για την περιοχή της Αθήνας, εισάγονται εκ νέου στο πρόγραμμα.

Για την εισαγωγή του αρχείου στο πρόγραμμα στο πρώτο παράθυρο λειτουργίας είτε στη λειτουργία Schematic Design Wizard (SD Wizard) είτε στη λειτουργία Design Development Wizard (DD Wizard) ορίζεται ως «Location Set: User Selected» και στη συνέχεια εισάγεται στο πρόγραμμα το αρχείο του καιρού. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το αρχείο αυτό να βρίσκεται μέσα στο φάκελο με την ονομασία «Weather», ο οποίος βρίσκεται μέσα στο φάκελο με ονομασία «eQUEST 3-64 Data» που δημιουργούνται με την εγκατάσταση του προγράμματος στον υπολογιστή. Τέλος το αρχείο αυτό πρέπει να είναι σε επέκταση .bin για να είναι αποδεχτό από το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

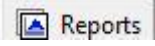


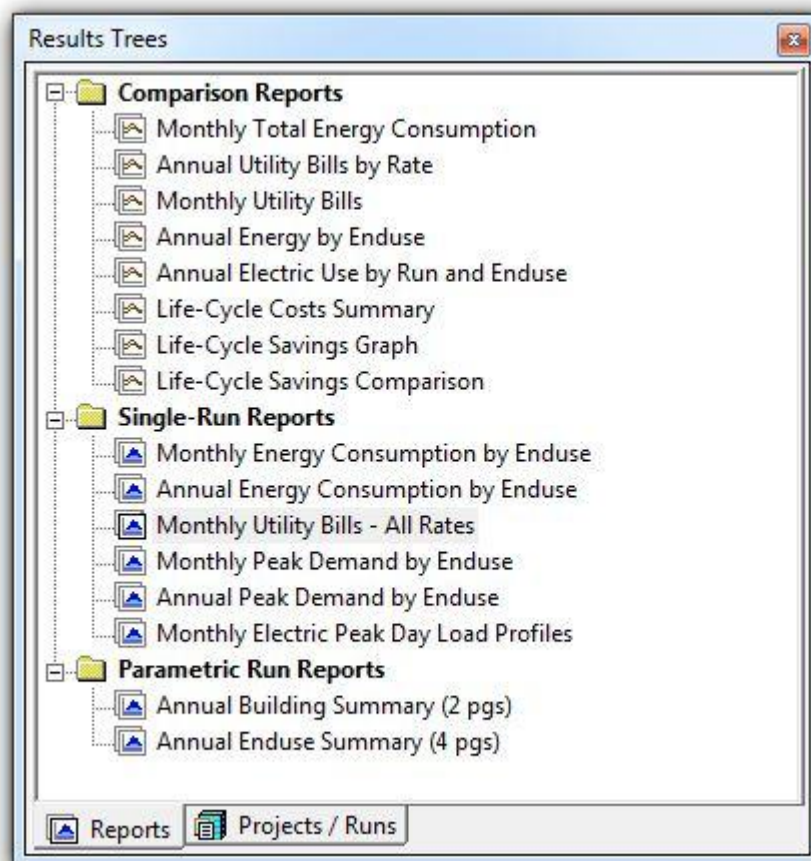
Σχήμα 3.9: Ορισμός της επιλογής εισαγωγής δεδομένων από το χρήστη στο πρόγραμμα eQUEST.



Σχήμα 3.10: Εισαγωγή καιρικών δεδομένων στο πρόγραμμα eQUEST.

3.8 Αποτελέσματα του προγράμματος

Το πρόγραμμα eQUEST προσφέρει δύο επιλογές για την παράθεση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται είτε στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος, είτε εξάγονται σε ένα αρχείο επέκτασης .SIM. Για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος, αρκεί να ορισθεί η επιλογή «View Summary Results/Reports». Με αυτή την εντολή παρουσιάζονται στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος τα αποτελέσματα σε συγκεντρωτική μορφή μέσω πινάκων και διαγραμμάτων. Αρχικά παρουσιάζεται το διάγραμμα της μηνιαίας ηλεκτρικής κατανάλωσης του κτηρίου και αν επιλεγθεί το κουμπί  τότε ο χρήστης μπορεί να ανατρέξει στα υπόλοιπα διαγράμματα που δημιουργούνται από το πρόγραμμα, εφόσον έχουν εισαχθεί σε αυτό τα απαραίτητα δεδομένα. Στο Σχήμα 3.11 απεικονίζεται το δένδρο επιλογών για τα αποτελέσματα στα οποία μπορεί να ανατρέξει ο χρήστης.



Σχήμα 3.11: Δένδρο επιλογών για τα αποτελέσματα.

Στην δεύτερη περίπτωση, στην οποία έχουν εξαχθεί τα αποτελέσματα σε ένα αρχείο επέκτασης .SIM, πρέπει να επιλεγθεί το «View Detailed Simulation Output File» με

σκοπό την ανάγνωση του αρχείου αυτού. Σε αυτό βρίσκονται όλα τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα, καθώς και όλες οι πληροφορίες για τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, δίνονται σε αυτό πληροφορίες για τα μέγιστα φορτία του κτηρίου καθώς και η μέρα και η ώρα που επιτυγχάνεται. Επίσης, δίνονται οι ακριβείς τιμές όλων των φορτίων ανά ώρα για όλες τις ημέρες του έτους. [34]

Με πιο απλά λόγια στο αρχείο .SIM περιέχονται περισσότερα αποτελέσματα σε σχέση με τα αποτελέσματα που εξάγονται στο γραφικό περιβάλλον. Επίσης, στο αρχείο αυτό παρουσιάζονται και τα δεδομένα, κάτι που δεν παρουσιάζεται στα αποτελέσματα στο γραφικό περιβάλλον.

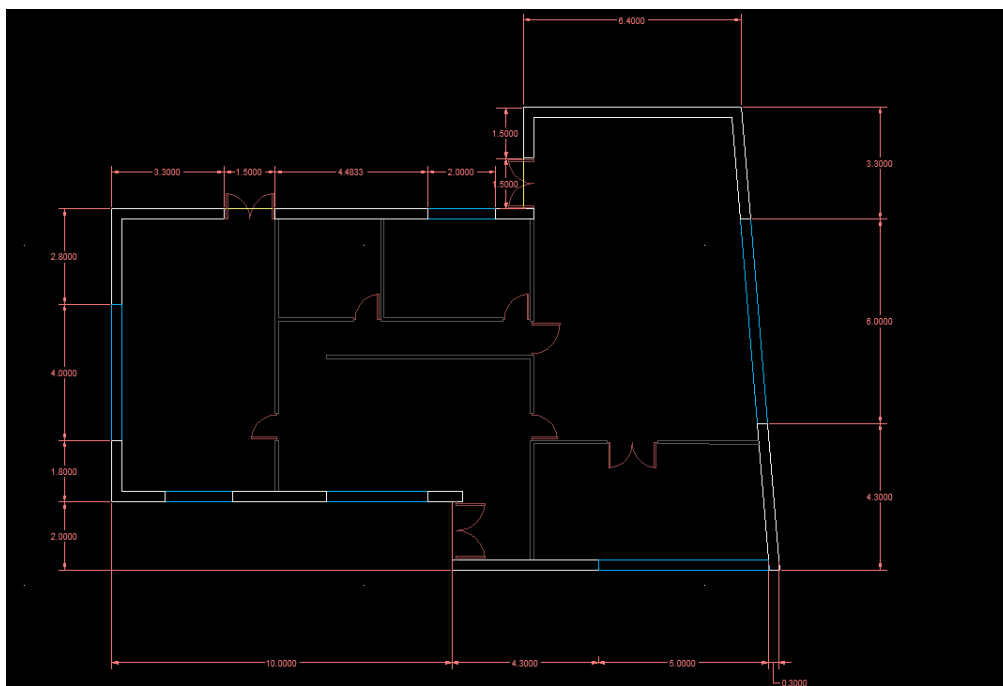
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Δεδομένα πολυζωνικού κτηρίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του κτηρίου με το λογισμικό eQUEST. Συγκεκριμένα γίνεται μία περιγραφή του κτηρίου όσον αφορά το αρχιτεκτονικό σχέδιο και το διαχωρισμό σε θερμικές ζώνες. Επίσης αναφέρονται τα δομικά υλικά του εξωτερικού και εσωτερικού τοίχου, της οροφής και τους εδάφους. Επίσης δίνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τα εσωτερικά φορτία και για τα συστήματα HVAC που έχει το κτήριο.

4.1 Γενικά

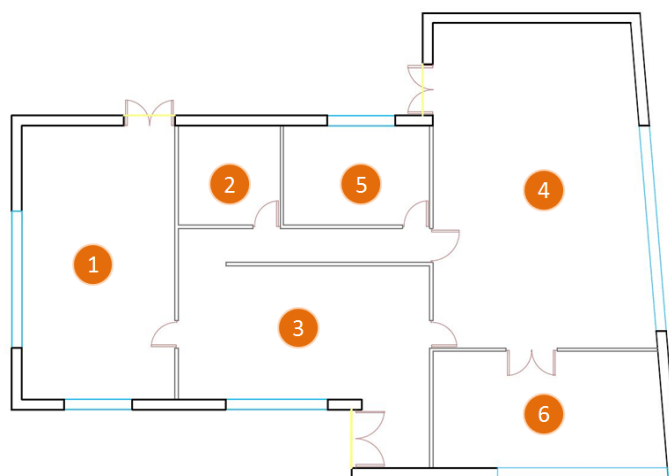
Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα eQUEST πραγματοποιείται προσομοίωση ενός κτηρίου έκτασης 202.8 τετραγωνικών μέτρων (square meters) και ύψους τριών μέτρων (meters) για χρήση γραφείων. Το αρχιτεκτονικό σχέδιο κατασκευάστηκε με τη χρήση του προγράμματος AutoCAD, και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε μέσω του προγράμματος eQUEST με σκοπό την ενεργειακή προσομοίωση για τη μελέτη των φορτίων της εγκατάστασης καθώς και της επίδρασης βασικών παραμέτρων στην ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Το υπό μελέτη κτήριο τοποθετείται στην περιοχή της Αθήνας, στην Ελλάδα και με βάση την τοποθεσία γίνεται η επιλογή για τα μετεωρολογικά δεδομένα. Η κάτοψη του κτηρίου σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής αυτής εργασίας με το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD και αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1. Επισημαίνεται ότι το υπό μελέτη κτήριο δεν είναι υπαρκτό, αλλά σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια, στο Σχήμα 4.2 απεικονίζεται η αρίθμηση των χώρων που έχει χρησιμοποιηθεί στην εργασία για λόγους ευχρηστίας.



Σχήμα 4.1: Κάτοψη κτηρίου στο πρόγραμμα AutoCAD.

Το κτήριο αποτελείται από έξι διαφορετικούς χώρους, κάθε ένας από τους οποίους αποτελεί μία θερμική ζώνη. Αυτό για το πρόγραμμα eQUEST ουσιαστικά σημαίνει ότι σε κάθε χώρο υπάρχει η δυνατότητα να επικρατούν διαφορετικές συνθήκες και κάθε χώρος να έχει ξεχωριστό σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Επίσης, σχεδιάστηκε για κάθε χώρο ένα σύστημα αντλιών για τη ψύξη και θέρμανση, ενώ ο χώρος υγιεινής είναι μη θερμαινόμενος. Στον Πίνακα 4.1 δίνεται η χρήση του κάθε χώρου και στον Πίνακα 4.2 αναγράφεται το εμβαδό και ο όγκος τους. Επιπροσθέτως, έχουν σχεδιαστεί έξι υαλοπίνακες, μία κεντρική είσοδος, καθώς και δύο έξοδοι κινδύνου. Το ωράριο λειτουργίας των γραφείων είναι καθημερινά από τις 7:00 πμ έως τις 17:00 μμ. Η προσομοίωση πραγματοποιείται για ολόκληρο το έτος, δηλαδή για 8760 ώρες.



Σχήμα 4.2: Κάτοψη του κτηρίου και αρίθμηση των χώρων.

Πίνακας 4.1 Αρίθμηση των χώρων και ιδιότητα χρήσης κάθε χώρου.

| A/A Χώρου | Ιδιότητα χρήσης |
|-----------|----------------------|
| Χώρος 1 | Αίθουσα συνεδριάσεων |
| Χώρος 2 | Χώρος υγιεινής |
| Χώρος 3 | Καθιστικό-ρεσεψιόν |
| Χώρος 4 | Γραφεία |
| Χώρος 5 | Κουζίνα |
| Χώρος 6 | Γραφείο διευθυντή |

Πίνακας 4.2: Εμβαδό και όγκος κάθε χώρου του κτηρίου σε μονάδες στο Διεθνές Σύστημα (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα (IP-Imperial Units).

| A/A Χώρου | Εμβαδό | | Όγκος | |
|-----------|--------|--------|-------|--------|
| | m^2 | ft^2 | m^3 | ft^3 |
| Χώρος 1 | 41.3 | 444.2 | 123.3 | 4353 |
| Χώρος 2 | 10.2 | 109.6 | 30.4 | 1074 |
| Χώρος 3 | 45 | 484.6 | 134.5 | 4749 |
| Χώρος 4 | 64.9 | 698.7 | 193.9 | 6847 |
| Χώρος 5 | 14.8 | 159.3 | 44.2 | 1561 |
| Χώρος 6 | 27 | 290.1 | 80.5 | 2843 |

4.2 Εξωτερικοί Τοίχοι

Η εξωτερική τοιχοποιία αποτελείται από πέντε στρώματα δομικών στοιχείων. Για αυτά τα στοιχεία δίνεται το πάχος του υλικού και στη συνέχεια αναφέρονται οι ιδιότητες αυτών των υλικών, όπως αυτές αναγράφονται στη βιβλιοθήκη του eQUEST. Συγκεκριμένα, δίνονται η θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) για κάθε διαφορετικό υλικό του εξωτερικού τοίχου. Για λόγους πληρότητας επειδή οι μονάδες μέτρησης στο eQUEST είναι στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units) το μέγεθος που δηλώνει ο χρήστης, δηλαδή το πάχος του υλικού δίνεται στον Πίνακα 4.3 στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units). Επίσης, στους Πίνακες 4.4 και 4.5 δίνονται οι ιδιότητες των υλικών.

Πίνακας 4.3: Πάχος δομικών υλικών του εξωτερικού τοίχου.

| Δομικό υλικό | Πάχος υλικού L (m) | Πάχος υλικού L (ft) |
|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Finish (HF-A6) | 0.015 | 0.050 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.101 | 0.333 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.076 | 0.250 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.101 | 0.333 |
| Finish (HF-A6) | 0.012 | 0.040 |

Πίνακας 4.4: Θερμική αγωγιμότητα (λ), πυκνότητα (ρ) και ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών του εξωτερικού τοίχου.

| Δομικό Υλικό | Θερμική αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{J}{Kg \cdot K} \right)$ |
|--------------------------|---|---|---|
| Finish (HF-A6) | 0.415 | 1249.388 | 1088.516 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.721 | 1922.135 | 837.320 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.035 | 28.832 | 1214.114 |

Πίνακας 4.5: Θερμική αγωγιμότητα (λ), πυκνότητα (ρ) και ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών του εξωτερικού τοίχου. (IP-Imperial Units)

| Δομικό Υλικό | Θερμική αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot F} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{lb}{ft^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{Btu}{lb \cdot F} \right)$ |
|--------------------------|--|--|---|
| Finish (HF-A6) | 0.24 | 78 | 0.26 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.4167 | 120 | 0.2 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.02 | 1.8 | 0.29 |

Επιπλέον, στην εσωτερική μεριά της εξωτερικής τοιχοποιίας υπάρχει μία εσωτερική επιπλέον επίστρωση με συντελεστή θερμικής αντίστασης:

$$R = 0.11976 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right) = 0.68 \left(\frac{h \cdot ft^2 \cdot F}{Btu} \right)$$

4.3 Οροφή

Όσον αφορά την οροφή του κτηρίου, αποτελείται από τέσσερα δομικά στοιχεία. Για αυτά τα στοιχεία δίνεται το πάχος του υλικού όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.6 και στη συνέχεια αναφέρονται οι ιδιότητες των δομικών αυτών στοιχείων, όπως αυτές αναγράφονται στη βιβλιοθήκη του eQUEST. Συγκεκριμένα, δίνονται η θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) για τα τρία διαφορετικά υλικά της οροφής. Επειδή ο χρήστης δηλώνει στο πρόγραμμα το πάχος του υλικού στον Πίνακα 4.6 δίνεται το μέγεθος αυτό σε μονάδες στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units). Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι τιμές των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των υλικών της οροφής.

Πίνακας 4.6: Πάχος δομικών υλικών οροφής.

| Δομικό υλικό | Πάχος υλικού (m) | Πάχος υλικού (ft) |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Conc LW 30 lb 2in (CC33) | 0.051 | 0.167 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.076 | 0.250 |
| Blt-Up Roof 3/8 in (BR01) | 0.009 | 0.031 |
| Finish (HF-A6) | 0.012 | 0.040 |

Πίνακας 4.7: Θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών της οροφής.

| Δομικό Υλικό | Θερμική Αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right)$ |
|---------------------------|---|---|---|
| Conc LW 30 lb 2in (CC33) | 0.130 | 480.534 | 837.320 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.035 | 28.832 | 1214.114 |
| Blt-Up Roof 3/8 in (BR01) | 0.163 | 1121.246 | 1465.310 |
| Finish (HF-A6) | 0.415 | 1249.388 | 1088.516 |

Πίνακας 4.8: Θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών της οροφής. (IP-Imperial Units)

| Δομικό Υλικό | Θερμική Αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot F} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{lb}{ft^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{Btu}{lb \cdot F} \right)$ |
|---------------------------|--|--|---|
| Conc LW 30 lb 2in (CC33) | 0.075 | 30 | 0.2 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.02 | 1.8 | 0.29 |
| Blt-Up Roof 3/8 in (BR01) | 0.094 | 70 | 0.35 |
| Finish (HF-A6) | 0.2 | 78 | 0.26 |

Επιπλέον στην οροφή υπάρχει μία εσωτερική επιπλέον επίστρωση με συντελεστή:

$$R = 0.11976 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right) = 0.68 \left(\frac{h \cdot ft^2 \cdot F}{Btu} \right)$$

4.4 Εσωτερικοί τοίχοι

Όσον αφορά την οροφή του κτηρίου, αποτελείται από τέσσερα δομικά στοιχεία. Για αυτά τα στοιχεία δίνεται το πάχος του υλικού όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.6 και στη συνέχεια αναφέρονται οι ιδιότητες των δομικών αυτών στοιχείων, όπως αυτές αναγράφονται στη βιβλιοθήκη του eQUEST. Συγκεκριμένα, δίνονται η θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) για τα τρία διαφορετικά υλικά της οροφής. Επειδή ο χρήστης δηλώνει στο πρόγραμμα το πάχος του υλικού στον Πίνακα 4.6 δίνεται το μέγεθος αυτό σε μονάδες στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units).

Οι εσωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από τρία δομικά στοιχεία. Για αυτά τα στοιχεία δίνονται το πάχος του υλικού και στη συνέχεια αναφέρονται οι ιδιότητες των δομικών αυτών στοιχείων όπως αυτές αναγράφονται στη βιβλιοθήκη του eQUEST. Συγκεκριμένα, οι ιδιότητες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1, ενώ στον Πίνακα 4.9 δίνεται το πάχος του εσωτερικού τοίχου σε μονάδες στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units).

Πίνακας 4.9: Πάχος δομικών υλικών του εσωτερικού τοίχου.

| Δομικό υλικό | Πάχος υλικού (m) | Πάχος υλικού (ft) |
|----------------------|------------------|-------------------|
| Finish (HF-A6) | 0.012 | 0.040 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.101 | 0.333 |
| Finish (HF-A6) | 0.012 | 0.040 |

Πίνακας 4.10: Θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών του εσωτερικού τοίχου.

| Δομικό Υλικό | Θερμική αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{J}{Kg \cdot K} \right)$ |
|----------------------|---|---|---|
| Finish (HF-A6) | 0.415 | 1249.388 | 1088.516 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.721 | 1922.135 | 837.320 |

Πίνακας 4.11: Θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών του εσωτερικού τοίχου. (IP-Imperial Units)

| Δομικό Υλικό | Θερμική αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot F} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{lb}{ft^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C_p \left(\frac{Btu}{lb \cdot F} \right)$ |
|----------------------|--|--|---|
| Finish (HF-A6) | 0.24 | 78 | 0.26 |
| Com Brick 4in (BK01) | 0.416 | 120 | 0.2 |

Επιπλέον στον εσωτερικό τοίχο υπάρχει μία εσωτερική επιπλέον επίστρωση με συντελεστή:

$$R = 0.11976 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right) = 0.68 \left(\frac{h \cdot ft^2 \cdot F}{Btu} \right)$$

4.5 Έδαφος

Το έδαφος του κτηρίου αποτελείται από τρία δομικά στοιχεία. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, για αυτά τα στοιχεία δίνονται το πάχος του υλικού και στη συνέχεια αναφέρονται οι ιδιότητες των δομικών αυτών στοιχείων όπως αυτές αναγράφονται στη βιβλιοθήκη του eQUEST.

Πίνακας 4.12: Πάχος δομικών υλικών του εδάφους.

| Δομικό υλικό | Πάχος υλικού (m) | Πάχος υλικού (ft) |
|----------------------------|------------------|-------------------|
| Light Soil, Damp 12 in | 0.305 | 1.000 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.076 | 0.250 |
| Conc HW 140 lb 4in (HF-C5) | 0.101 | 0.333 |

Πίνακας 4.13: Θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών του εδάφους.

| Δομικό Υλικό | Θερμική Αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{J}{Kg \cdot K} \right)$ |
|----------------------------|---|---|---|
| Light Soil, Damp 12 in | 0.865 | 1601.780 | 1046.650 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.035 | 28.832 | 1214.114 |
| Conc HW 140 lb 4in (HF-C5) | 1.731 | 2242.491 | 837.320 |

Πίνακας 4.14: Θερμική αγωγιμότητα (λ), η πυκνότητα (ρ) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C) των δομικών υλικών του εδάφους. (IP-Imperial Units).

| Δομικό Υλικό | Θερμική Αγωγιμότητα $\lambda \left(\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot F} \right)$ | Πυκνότητα $\rho \left(\frac{lb}{ft^3} \right)$ | Ειδική Θερμότητα $C \left(\frac{Btu}{lb \cdot F} \right)$ |
|----------------------------|--|--|---|
| Light Soil, Damp 12 in | 0.5 | 100 | 0.25 |
| Polystyrene 3in (IN36) | 0.02 | 1.8 | 0.29 |
| Conc HW 140 lb 4in (HF-C5) | 1 | 140 | 0.2 |

Στο έδαφος, όπως και στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία υπάρχει μία επιπλέον εσωτερική επίστρωση με συντελεστή:

$$R = 0.11976 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right) = 0.68 \left(\frac{h \cdot ft^2 \cdot F}{Btu} \right)$$

4.6 Δομικά υλικά

Η θερμική διαπερατότητα (U) είναι μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο με τη θερμική αντίσταση (R). Για κάθε νέο στρώμα υλικού του τοίχου η θερμική αντίσταση

αυξάνεται κατά $\frac{L}{\lambda}$, ενώ η θερμική διαπερατότητα μειώνεται. Από τις παρακάτω σχέσεις [35] δίνεται ο τρόπος υπολογισμού για μία σειρά από δομικά στοιχεία.

$$U = \frac{1}{R_{o\lambda}} \quad \text{Εξ. 4.1}$$

$$R = \sum_{i=1}^N \left(\frac{L}{\lambda} \right) + \frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}} \quad \text{Εξ. 4.2}$$

Όπου,

- L [m]: Το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου.
- λ [W/mK]: Η θερμική αγωγιμότητα του υλικού της κάθε στρώσης.
- h_{in} [W/m²K]: Ο συντελεστής συναγωγιμότητας τοίχου και εσωτερικού αέρα.
- h_{out} [W/m²K]: Ο συντελεστής συναγωγιμότητας περιβάλλοντος και τοίχου.
- N το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου.

Με τη βοήθεια του λογισμικού eQUEST υπολογίζεται ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη οι συντελεστές h_{in} και h_{out} . Για λόγους πληρότητας, στον Πίνακα 4.15 παρουσιάζεται ο συντελεστής διαπερατότητας υπολογισμένος λαμβάνοντας μία μέση τιμή για τη συναγωγιμότητα. Η συναγωγιμότητα εντός του κτηρίου είναι $8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, ενώ η εξωτερική είναι $16 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Πίνακας 4.15: Θερμική διαπερατότητα των στοιχείων του κτιριακού κελύφους, λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές h_{in} και h_{out} .

| Δομικά υλικά | Θερμική Διαπερατότητα | |
|-------------------|--|---|
| | $U \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ | $U \left(\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F} \right)$ |
| Εξωτερικός τοίχος | 0.350 | 0.062 |
| Οροφή | 0.335 | 0.059 |
| Εσωτερικός τοίχος | 1.973 | 0.348 |
| Έδαφος | 0.343 | 0.060 |

Πίνακας 4.16: Θερμική διαπερατότητα των στοιχείων του κτιριακού κελύφους υπολογισμένη από το πρόγραμμα.

| Δομικά υλικά | Θερμική Διαπερατότητα | |
|-------------------|--|---|
| | $U \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ | $U \left(\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F} \right)$ |
| Εξωτερικός τοίχος | 0.375 | 0.066 |
| Οροφή | 0.358 | 0.063 |
| Εσωτερικός τοίχος | 3.134 | 0.552 |
| Έδαφος | 0.363 | 0.064 |

4.7 Υαλοπίνακες και θύρες

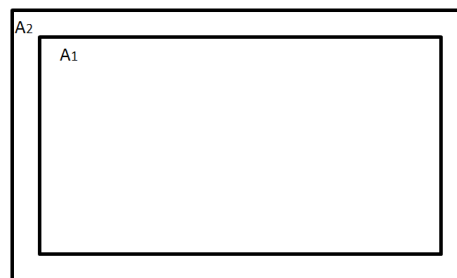
Το τυπικό κτήριο αποτελείται από υαλοπίνακες με συντελεστή θερμικής διαπερατότητας ίσο με:

$$U_1 = 2.67 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ως πλαίσιο για τα παράθυρα επιλέγεται αλουμίνιο πάχους 5 cm με συντελεστή απορροφητικότητας ίσο με 0.7 και συντελεστή θερμικής διαπερατότητας ίσο με:

$$U_2 = 2.7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Αν θεωρηθεί ότι A_1 είναι το εμβαδό του υαλοπίνακα και A_2 το εμβαδό του πλαισίου τότε, για τον υπολογισμό του συνολικού συντελεστή θερμικής διαπερατότητας ισχύουν σχέσεις οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω, με την Εξίσωση 4.5 να δίνει τον ολικό συντελεστή θερμικής διαπερατότητας του υαλοπίνακα.



$$Q = Q_1 + Q_2 = A_1 \cdot U_1 \cdot \Delta T + A_2 \cdot U_2 \cdot \Delta T \quad \text{Εξ. 4.3}$$

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad \text{Εξ. 4.4}$$

$$U = \frac{A_1 \cdot U_1 + A_2 \cdot U_2}{A} \quad \text{Εξ. 4.5}$$

$$A = A_1 + A_2 \quad \text{Εξ. 4.6}$$

Πίνακας 4.17: Προσανατολισμός, εμβαδό και συνολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας για κάθε χώρο του κτηρίου προς μελέτη.

| α/α Χώρου | Χώρος 1 | | Χώρος 3 | Χώρος 4 | Χώρος 5 | Χώρος 6 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|
| Θέση υαλοπίνακα | Νότος | Δύση | Νότος | Ανατολή | Βορράς | Νότος |
| Εμβαδό υαλοπίνακα | 3 m ² | 7.5 m ² | 3 m ² | 9.03 m ² | 3 m ² | 7.5 m ² |
| | 32.28ft ² | 64.58ft ² | 32.28 ft ² | 32.28ft ² | 32.28ft ² | 80.73 ft ² |
| Εμβαδό πλαισίου | 0.16 m ² | 0.25 m ² | 0.16 m ² | 0.35 m ² | 0.16 m ² | 0.30 m ² |
| | 1.74ft ² | 2.73 ft ² | 1.74 ft ² | 3.72 ft ² | 1.74 ft ² | 3.22 ft ² |
| Θερμική διαπερατότητα | 3.32 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 3.18 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 3.32 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 3.98 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 3.32 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 3.15 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ |
| | 0.58 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ | 0.56 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ | 0.58 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ | 0.70 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ | 0.58 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ | 0.56 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ |

Η θέση των υαλοπινάκων στο κτήριο, λαμβάνεται από την κάτοψη που σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα AutoCAD. Όσον αφορά την θέση ως προς το ύψος, για το εκάστοτε παράθυρο, αν Y_1 το ύψος του παραθύρου και Y_2 το ύψος του κτηρίου, τότε:

$$\text{Θέση } Y = \frac{Y_2 - Y_1}{2} + 0.25 \text{ (m)} \quad \text{Εξ. 4.7}$$

Όσον αφορά τις θύρες, το κτήριο αναφοράς έχει μία κεντρική είσοδο διαστάσεων 2.2x1.7 τετραγωνικών μέτρων στο χώρο νούμερο 3 και δύο εξόδους ασφαλείας, μία στο χώρο 1 και μία στο χώρο 4 διαστάσεων 2.2x1.5 τετραγωνικών μέτρων η καθεμία. Ο συντελεστής απορροφητικότητας κάθε πόρτας είναι ίσος με 0.7.

Πίνακας 4.18: Εμβαδό και συντελεστής θερμικής διαπερατότητας των θυρών.

| Θύρα | Εισόδου | | Ασφαλείας 1 & 2 | |
|-----------------------|------------------------------|---|------------------------------|---|
| Εμβαδό θύρας | 3.74 m ² | 40.26 ft ² | 3.3 m ² | 35.52 ft ² |
| Θερμική διαπερατότητα | 4.66 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 0.82 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ | 4.66 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | 0.82 $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ |

4.8 Πλήθος ανθρώπων στο κτήριο

Η θερμότητα που εκλύεται από τους ανθρώπους, χωρίζεται στο αισθητό και στο λανθάνον φορτίο, η αναλογία του οποίου είναι συναρτημένη της δραστηριότητας των ατόμων. Το πλήθος των ατόμων που παρευρίσκονται σε ένα χώρο επηρεάζει τη θερμότητα αυτή. Συγκεκριμένα, το αισθητό φορτίο οφείλεται στην ακτινοβολία του σώματος και την μεταφορά θερμότητας από το σώμα στον αέρα, ενώ το λανθάνον φορτίο οφείλεται στην αναπνοή και στην εφίδρωση κάθε ανθρώπου και είναι μέγεθος ανάλογο της δραστηριότητας του ατόμου. Επομένως, ο προσδιορισμός των τιμών του αισθητού και του λανθάνοντος φορτίου πραγματοποιήθηκε ανάλογα με τη χρήση του κάθε χώρου. Στον Πίνακα 4.19 δίνεται το εμβαδό που καταλαμβάνει κάθε άτομο σε κάθε χώρο και στον Πίνακα 4.20 παρουσιάζονται οι εργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε χώρο. Σε κάθε είδος εργασίας αντιστοιχεί μία τιμή για το αισθητό και μία τιμή για το λανθάνον φορτίο, το άθροισμα των οποίων ισούται με το ολικό φορτίο.

Πίνακας 4.19: Εμβαδό ανά άτομο στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units).[25]

| Χώρος 1 | Χώρος 2 | Χώρος 3 | Χώρος 4 | Χώρος 5 | Χώρος 6 |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 2,5 m ² ανά άτομο | 1 m ² ανά άτομο | 1.5 m ² ανά άτομο | 8 m ² ανά άτομο | 2 m ² ανά άτομο | 10 m ² ανά άτομο |
| 27 ft ² ανά άτομο | 11 ft ² ανά άτομο | 16 ft ² ανά άτομο | 86 ft ² ανά άτομο | 22 ft ² ανά άτομο | 108 ft ² ανά άτομο |
| 17 άτομα | 10 άτομα | 30 άτομα | 8 άτομα | 7 άτομα | 3 άτομα |

Πίνακας 4.20: Είδος εργασίας κάθε χώρου ανάλογα με τη χρήση.

| A/A Χώρου | Ιδιότητα χρήσης | Εργασία |
|-----------|----------------------|---|
| Χώρος 1 | Αίθουσα συνεδριάσεων | Καθιστική εργασία με λίγο σωματικό φόρτο εργασίας |
| Χώρος 2 | Χώρος υγιεινής | Μη καθιστική εργασία με λίγο σωματικό φόρτο εργασίας |
| Χώρος 3 | Καθιστικό-ρεσεψιόν | Ξεκούραση |
| Χώρος 4 | Γραφεία | Καθιστική εργασία με κύρια απασχόληση τη χρήση υπολογιστή |
| Χώρος 5 | Κουζίνα | Φαγητό |
| Χώρος 6 | Γραφείο διευθυντή | Καθιστική εργασία με κύρια απασχόληση τη χρήση υπολογιστή |

Πίνακας 4.21: Τιμές αισθητού, λανθάνον και ολικού φορτίου για κάθε χώρο ανάλογα με την εργασία που λαμβάνει χώρα σε κάθε χώρο του κτηρίου.[27]

| Α/Α Χώρου | Αισθητό φορτίο | | Λανθάνον | | Ολικό | |
|-----------|----------------|-----------------|----------|-----------------|-------|-----------------|
| | Watt | $\frac{Btu}{h}$ | Watt | $\frac{Btu}{h}$ | Watt | $\frac{Btu}{h}$ |
| Χώρος 1 | 67 | 230 | 56 | 190 | 123 | 420 |
| Χώρος 2 | 92 | 315 | 95 | 325 | 188 | 640 |
| Χώρος 3 | 62 | 210 | 41 | 140 | 103 | 350 |
| Χώρος 4 | 75 | 255 | 75 | 255 | 149 | 510 |
| Χώρος 5 | 75 | 255 | 95 | 325 | 170 | 580 |
| Χώρος 6 | 75 | 255 | 75 | 255 | 149 | 510 |

4.9 Εξοπλισμός

Σε μία εποχή όπως η σημερινή, σε χώρους όπως είναι τα γραφεία, στους οποίους οι υπολογιστές και τα περιφερειακά τους χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, είναι λογικό να καταναλώνουν υψηλό ποσό ισχύος εκλύοντας θερμότητα η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς που απαιτούνται για τη μοντελοποίηση ενός κτηρίου. Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνεται το είδος και το πλήθος των ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών συσκευών που υπάρχει σε κάθε χώρο του κτηρίου, όπως επίσης και τα Watt που αντιστοιχούν ανά μηχανήμα. Ο αριθμός των Watt αλλάζει για το ίδιο μηχανήμα από χώρο σε χώρο, αφού διαφέρει και η χρήση του. Η συνολική ισχύς των μηχανημάτων του κτηρίου ισούται με 8770 Watt.

Πίνακας 4.22 Πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών και αριθμός Watt σε κάθε χώρο του κτηρίου.[28]

| Εξοπλισμός | Χώρος 1 | | Χώρος 2 | | Χώρος 3 | |
|--------------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| | Πλήθος | Watt Συσκευής | Πλήθος | Watt Συσκευής | Πλήθος | Watt Συσκευής |
| Υπολογιστές | 2 | 55 | - | - | 3 | 65 |
| Οθόνες | 4 | 55 | - | - | 6 | 70 |
| Εκτυπωτές | 1 | 130 | - | - | 3 | 215 |
| Φαξ | 1 | 15 | - | - | 3 | 15 |
| Τηλέφωνο | 2 | 5 | - | - | 3 | 5 |
| Ανεμιστήρες οροφής | - | - | 3 | 200 | - | - |
| Ψυγείο | - | - | - | - | - | - |
| Microwave | - | - | - | - | - | - |
| Καφετιέρα | - | - | - | - | - | - |
| Μίξερ | - | - | - | - | - | - |
| Τηλέφωνο | - | - | - | - | - | - |
| Λοιπά εξαρτήματα | - | 30 | - | 30 | - | 30 |

Πίνακας 4.22 (β): Πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών και αριθμός Watt σε κάθε χώρο του κτηρίου.[28] (συνέχεια)

| Εξοπλισμός | Χώρος 4 | | Χώρος 5 | | Χώρος 6 | |
|--------------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| | Πλήθος | Watt Συσκευής | Πλήθος | Watt Συσκευής | Πλήθος | Watt Συσκευής |
| Υπολογιστές | 8 | 65 | - | - | 2 | 65 |
| Οθόνες | 10 | 70 | - | - | 4 | 70 |
| Εκτυπωτές | 4 | 215 | - | - | 2 | 215 |
| Φαξ | 8 | 15 | - | - | 2 | 15 |
| Τηλέφωνο | 10 | 5 | - | - | 2 | 5 |
| Ανεμιστήρες οροφής | - | - | - | - | - | - |
| Ψυγείο | - | - | 1 | 120 | - | - |
| Microwave | - | - | 1 | 1500 | - | - |
| Καφετιέρα | - | - | 2 | 500 | - | - |
| Μίξερ | - | - | 2 | 200 | - | - |
| Τηλέφωνο | - | - | 1 | 5 | - | - |
| Λοιπά εξαρτήματα | - | 60 | - | 30 | - | - |

Πίνακας 4.23: Συνολικά Watt κάθε χώρου που καταναλώνονται από τις ηλεκτρικές συσκευές.

| A/A Χώρου | Συνολικά Watt |
|-----------|---------------|
| Χώρος 1 | 515 |
| Χώρος 2 | 630 |
| Χώρος 3 | 1350 |
| Χώρος 4 | 2310 |
| Χώρος 5 | 3055 |
| Χώρος 6 | 910 |

4.10 Φυσικός Αερισμός

Με τον όρο φυσικό αερισμό εννοείται η ροή του αέρα που εισέρχεται μέσα σε ένα χώρο, η οποία είναι απαραίτητη ακόμη και στην περίπτωση όπου τα παράθυρα του κτηρίου είναι κλειστά. Ο φυσικός αερισμός προσδιορίζεται από τον ρυθμό εναλλαγής του αέρα (infiltration). Στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι τιμές του φυσικού αερισμού δίνονται με βάση τον αριθμό ατόμων που υπάρχουν στην ζώνη του κάθε χώρου. Συγκεκριμένα δίνεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα σε $\frac{m^3}{h}$ ανά άτομο όπως απεικονίζεται παρακάτω πίνακα. Στον πίνακα αυτό, παρουσιάζονται οι τιμές του αερισμού του κάθε χώρου στις κατάλληλες μονάδες που είναι αποδεκτές από

το πρόγραμμα. Για τη μετατροπή από $\frac{m^3}{h}$ ανά άτομο σε $\frac{cfm}{sqft}$, χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Αν θεωρηθεί ότι N είναι οι εναλλαγές αέρα σε $\frac{m^3}{h}$ ανά άτομο, P το πλήθος των ατόμων στο χώρο και επειδή $1 (h) = 60 (min)$ προκύπτει ότι οι εναλλαγές αέρα I που απαιτούνται σε $\frac{m^3}{min}$ είναι:

$$I \left[\frac{m^3}{min} \right] = \frac{N \cdot P}{60} \quad \text{Εξ. 4.8}$$

Επίσης, επειδή $1 (m^3) = 35.31 (ft^3)$

$$I \left[\frac{ft^3}{min} \right] = \frac{N \cdot P \cdot 35.31}{60} \quad \text{Εξ. 4.9}$$

και διαιρώντας με το εμβαδό του χώρου A υπολογισμένο σε ft^2 προκύπτει ο ρυθμός εναλλαγών αέρα σε $\frac{ft^3}{ft^2 \cdot min}$ (το οποίο εναλλακτικά για λόγους συντομίας γράφεται $\frac{cfm}{sqft}$)

$$I \left[\frac{ft^3}{ft^2 \cdot min} \right] = \frac{N \cdot P \cdot 35.31}{A \cdot 60} \quad \text{Εξ. 4.10}$$

Πίνακας 4.24: Φυσικός αερισμός κάθε χώρου.[25]

| Χώρος 1 | Χώρος 2 | Χώρος 3 | Χώρος 4 | Χώρος 5 | Χώρος 6 |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| $30 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | $50 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | $40 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | $30 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | $30 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | $30 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο |
| $0.66 \frac{cfm}{sqft}$ | $2.73 \frac{cfm}{sqft}$ | $1.46 \frac{cfm}{sqft}$ | $0.21 \frac{cfm}{sqft}$ | $0.82 \frac{cfm}{sqft}$ | $0.16 \frac{cfm}{sqft}$ |

4.11 Φωτισμός

Σε κάθε χώρο του κτηρίου πρέπει να παρέχεται επαρκής φωτισμός με σκοπό να εξασφαλίζεται στους εργαζόμενους οπτική άνεση. Στον Πίνακα 4.25 δίνονται, για το τυπικό κτήριο, οι τιμές της ισχύος των εγκατεστημένων φωτιστικών ανά μονάδα επιφάνειας του κτηρίου αναφοράς σε μονάδες $\frac{W}{m^2}$ και σε $\frac{W}{ft^2}$. Στους χώρους 1, 4 και 6 οι τιμές της ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας είναι υψηλότερες έναντι των

υπολοίπων, γιατί εκεί υπάρχει έντονη εργασία και απαιτείται ευχάριστη διαμονή και δραστηριότητα των εργαζομένων.

Πίνακας 4.25: Ισχύς εγκατεστημένων φωτιστικών ανά μονάδα επιφάνειας σε κάθε χώρο στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units).[25]

| Χώρος 1 | Χώρος 2 | Χώρος 3 | Χώρος 4 | Χώρος 5 | Χώρος 6 |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $25 \frac{W}{m^2}$ | $5 \frac{W}{m^2}$ | $5 \frac{W}{m^2}$ | $30 \frac{W}{m^2}$ | $5 \frac{W}{m^2}$ | $30 \frac{W}{m^2}$ |
| $2.3 \frac{W}{ft^2}$ | $0.46 \frac{W}{ft^2}$ | $0.46 \frac{W}{ft^2}$ | $2.76 \frac{W}{ft^2}$ | $0.46 \frac{W}{ft^2}$ | $2.76 \frac{W}{ft^2}$ |

4.12 Σύστημα HVAC και συνθήκες χώρου

Το HVAC είναι ένα σύστημα που αντιπροσωπεύει τη θέρμανση (Heating), τον εξαερισμό (Ventilation) και τον κλιματισμό (Air-Conditioning) και περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις που απαιτούνται για να περιοριστούν το περισσότερο δυνατό τα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Για κάθε σύστημα του κτηρίου πρέπει να προσδιορίζονται τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά που εισάγονται ως δεδομένα όπως λόγου χάρη οι αποδόσεις των μονάδων παραγωγής θερμότητας και ψύξης.

Το σύστημα ή τα συστήματα θέρμανσης σχεδιάζονται και διαστασιολογούνται έτσι, ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις θέρμανσης στις δυσμενέστερες συνθήκες σχεδιασμού του κτηρίου. Ένα σύστημα θέρμανσης σχεδιάζεται για να προσθέτει θερμική ενέργεια σε ένα χώρο ή κτήριο προκειμένου να διατηρούνται οι επιλεγμένες θερμοκρασίες αέρα.

Ένα σύστημα μηχανικού αερισμού ανανεώνει τον αέρα σε ένα χώρο με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής στο εσωτερικό κάθε κτηρίου και οι απαιτήσεις του καθορίζονται ανάλογα με την χρήση του κτηρίου, τον πληθυσμό και τον όγκο. Ένα σύστημα κλιματισμού σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτήριο προκειμένου ο αέρας του χώρου αυτού να διατηρείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Για το συγκεκριμένο κτήριο έχει σχεδιαστεί ένα σύστημα HVAC για κάθε κλιματιζόμενη ζώνη του κτηρίου. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε χώρο του κτηρίου μπορούν να δοθούν διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων.

Έχουν επιλεγεί αντλίες θερμότητας για την θέρμανση και την ψύξη με συντελεστή απόδοσης, Coefficient of performance (COP) ίσο με 3.1. [36] Στο λογισμικό eQUEST, εισάγεται ο συντελεστής αναλογίας Electric Input Ratio (EIR) ο οποίος ισοδυναμεί με το αντίστροφο κλάσμα του συντελεστή απόδοσης (COP). Επομένως, στο πρόγραμμα

εισάγεται ο συντελεστής EIR ίσος με 0.3300. Ο συντελεστής αυτός, δίνεται για την μονάδα ψύξης και για την μονάδα θέρμανσης.

$$EIR = \frac{1}{COP} \quad \text{Εξ. 4.11}$$

Συγκεκριμένα, δίνεται ο απαιτούμενος νωπός αέρας $\left(\frac{m^3}{h}\right)$ ανά άτομο και ο απαιτούμενος νωπός αέρα ανά επιφάνεια δαπέδου $\left(\frac{m^3}{h \cdot m^2}\right)$ για την συγκεκριμένη κατηγορία του κτηρίου.[36] Η εισαγωγή αυτών των δεδομένων στο πρόγραμμα eQUEST απαιτεί την μετατροπή τους σε cfm ανά άτομο και σε $\frac{cfm}{ft^2}$ αντίστοιχα.

Αν θεωρηθεί ότι:

- N_1 είναι ο απαιτούμενος νωπός αέρας $\left(\frac{m^3}{h}\right)$ ανά άτομο
- $1 (m^3) = 35.31 (ft^3)$
- $1 (h) = 60 (min)$

προκύπτει ότι οι ο απαιτούμενος νωπός αέρας σε cfm ανά άτομο είναι:

$$I_1 [cfm \text{ ανά άτομο}] = \frac{N_1 \cdot 35.31}{60} \quad \text{Εξ. 4.12}$$

Αν θεωρηθεί ότι:

- N_2 είναι ο απαιτούμενος νωπός αέρα ανά επιφάνεια δαπέδου $\left(\frac{m^3}{h \cdot m^2}\right)$
- $1 (m^3) = 35.31 (ft^3)$
- $1 (m^2) = 10.76 (ft^2)$
- $1 (h) = 60 (min)$

προκύπτει ότι ο απαιτούμενος νωπός αέρα ανά επιφάνεια δαπέδου σε $\frac{cfm}{ft^2}$ είναι:

$$I_2 \left[\frac{cfm}{ft^2} \right] = \frac{N_2 \cdot 35.31}{60 \cdot 10.76} \quad \text{Εξ. 4.13}$$

Πίνακας 4.26: Τιμές μηχανικού αερισμού του κτηρίου.[36]

| | | |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Αέρας ανά άτομο | $30 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | $17.66 cfm$ ανά άτομο |
| Αέρας ανά επιφάνεια δαπέδου | $3 \frac{m^3}{h \cdot m^2}$ | $0.16 \frac{cfm}{ft^2}$ |

Η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα είναι η βασικότερη παράμετρος διαμόρφωσης της θερμικής άνεσης σε ένα χώρο. Δεδομένης της υποκειμενικότητας

του επιπέδου θερμικής άνεσης, η θερμοκρασία αυτή μπορεί να ποικίλλει αλλά για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτηρίου λήφθηκαν κάποια επιθυμητά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας. Με βάση αυτά τα πρότυπα δίνεται για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο η τιμή της θερμοκρασίας του εσωτερικού του κτηρίου στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.27: Θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου.[36]

| Χειμερινή περίοδος | Θερινή περίοδος |
|--------------------|-----------------|
| 20 °C | 26 °C |
| 68 °F | 78.8 °F |

4.13 Ωράριο και περίοδος λειτουργίας του κτηρίου

Το ωράριο λειτουργίας ενός κτηρίου ποικίλει ανάλογα με τις υπηρεσίες που παρέχει το εκάστοτε κτήριο. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθορίστηκε ένα τυπικό ωράριο λειτουργίας του κτηρίου από τις 7:00 - 17:00, πέντε ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα και δώδεκα μήνες ετησίως.[36] Ως είσοδος για τις αργίες διατηρήθηκε η προεπιλογή του προγράμματος και συγκεκριμένα, οι διακοπές και οι αργίες που ισχύουν για τα γραφεία στην Αμερική .

Για κάθε θερμική ζώνη το πρόγραμμα eQUEST παρέχει την δυνατότητα να οριστεί το ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας για την παρουσία των ανθρώπων στους χώρους, τη λειτουργία του εξοπλισμού, του αερισμού, του φωτισμού και των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Το ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας απαρτίζεται από το εβδομαδιαίο πρόγραμμα λειτουργίας με ισχύ 31 ημέρες και δώδεκα μήνες. Στη συνέχεια το εβδομαδιαίο πρόγραμμα απαρτίζεται από το ημερήσιο πρόγραμμα για τις ημέρες όλης της εβδομάδας και ένα ημερήσιο πρόγραμμα που θα ισχύει στις αργίες.

Όσον αφορά το ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας για την παρουσία των ανθρώπων στους χώρους, τη λειτουργία του εξοπλισμού, του αερισμού και του φωτισμού ορίζεται για τις 24 ώρες τις ημέρας ένας συντελεστής (ratio), όπου η τιμή 1 αντιστοιχεί στο 100% της λειτουργίας. Για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης ορίζονται οι θερμοκρασίες έναρξης λειτουργίας των συστημάτων. Επομένως για κάθε κατηγορία, δημιουργήθηκε ένα ημερήσιο πρόγραμμα που αφορά τις εργάσιμες μέρες και ένα ημερήσιο πρόγραμμα που αφορά τις αργίες και τα σαββατοκύριακα και για κάποιους χώρους τα προγράμματα αυτά είναι κοινά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Ενεργειακή προσομοίωση και αποτελέσματα του πολυζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα eQUEST.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται το λογισμικό eQUEST για την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου για χρήση γραφείων στην περιοχή της Αθήνας, Ελλάδας. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή της δημιουργίας του μοντέλου στο πρόγραμμα. Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά τα ψυκτικά και θερμικά φορτία, τα φορτία λόγω του εξοπλισμού, του αερισμού και του φωτισμού ενός τυπικού κτηρίου γραφείων στην περιοχή της Αθήνας.

5.1 Βασικά δεδομένα

Για να κατασκευαστεί το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου, ο χρήστης αφού εκκινήσει το πρόγραμμα βρίσκεται στην επιλογή των «Wizards» και συγκεκριμένα επιλέγεται από το χρήστη η λειτουργία «Design Development Wizard». Έτσι, δημιουργείται ένα νέο αρχείο στο eQUEST και ο χρήστης βρίσκεται στο πρώτο παράθυρο γενικές πληροφορίες: «General Information». Με χρώμα κόκκινο είναι τα δεδομένα που εισάγονται από το χρήστη σε αυτό το παράθυρο, ενώ με την απόχρωση του πράσινου απεικονίζονται οι προεπιλογές του προγράμματος. Εάν δηλαδή μία επιλογή δεν τροποποιηθεί από το χρήστη παραμένει στο χρώμα του πράσινου. Σε αυτό το παράθυρο, εμφανίζονται μία σειρά από μεγέθη που αφορούν γενικά χαρακτηριστικά του κτηρίου. Τα μεγέθη αυτά δίνονται με την σειρά που φαίνονται στο αντίστοιχο παράθυρο.

Project Name: Δίνεται η ονομασία του αρχείου, γραμμένη σε λατινικούς χαρακτήρες

Building Type: Ορίζεται το είδος του κτηρίου (σχολείο, θέατρο, μουσείο, χώρος γραφείων κτλ.) με σκοπό ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του προς σχεδιασμό κτηρίου να οριστούν σαν προεπιλογή από το πρόγραμμα. Σε περίπτωση που το προς μελέτη κτήριο δεν αντιπροσωπεύεται από κάποια από τις επιλογές ως είδος κτηρίου να επιλέγεται «Unknown, Custom or Mixed Use», όπως ακριβώς επιλέχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Code Analysis: Επιλέγεται το εργαλείο περιβαλλοντικής αξιολόγησης του κτηρίου.

Location Set: Ορίζεται η περιοχή που βρίσκεται το κτήριο. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα στην Καλιφόρνια, τον Καναδά, άλλες περιοχές της Αμερικής και στην επιλογή όπου ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα. Το κτήριο που μελετάται βρίσκεται στην Αθήνα και για αυτό στο πλαίσιο αυτό διαλέγεται «User Selected» με σκοπό να εμφανιστεί το πλαίσιο «Weather File», στο οποίο και εισάγονται τα

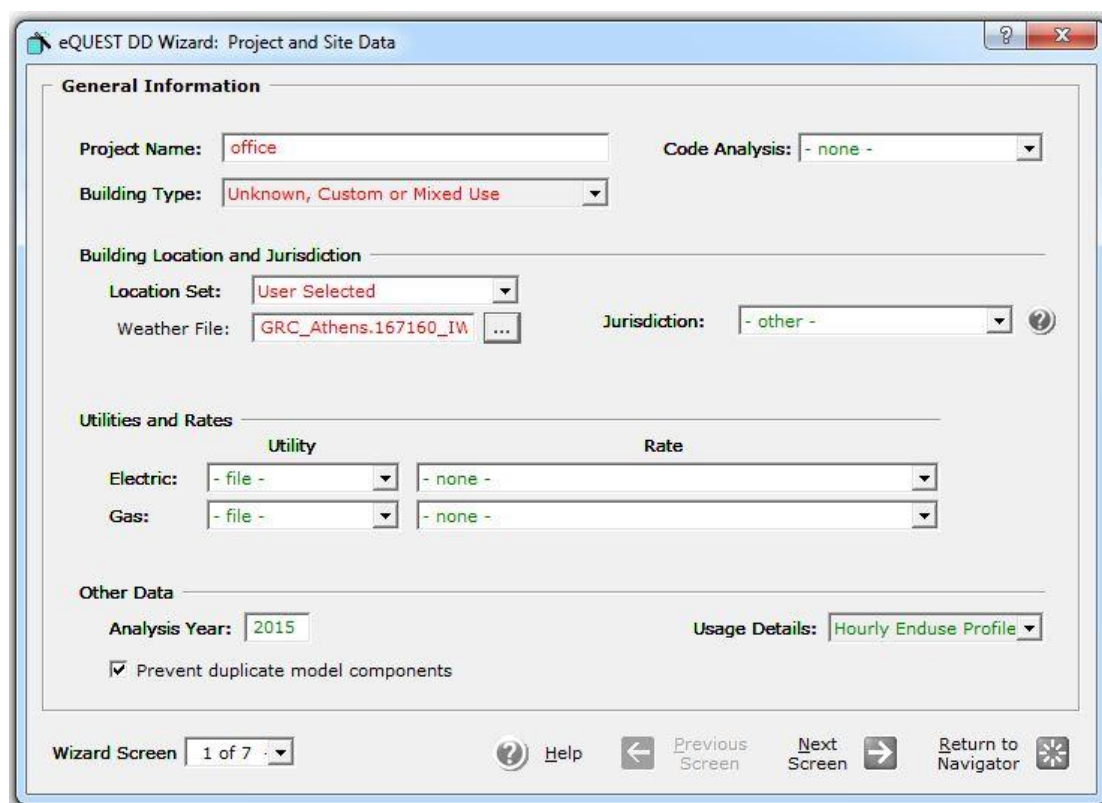
μετεωρολογικά δεδομένα σύμφωνα με την περιοχή σχεδίασης του κτηρίου, δηλαδή την Ελλάδα. Σε αντίθετη περίπτωση εμφανίζονται οι επιλογές «Region/State and City» όπου δηλώνονται οι αντίστοιχες τοποθεσίες.

Jurisdiction: Σε αυτό το πλαίσιο διαλέγεται μία από τις επιλογές που θα καθορίζει την προέλευση των προεπιλογών. Για παράδειγμα μπορεί να οριστεί η επιλογή «CA Title24» η οποία αφορά τις προεπιλογές της Καλιφόρνιας. Το πρόγραμμα όμως τρέχει στην Ελλάδα γι αυτό και διατηρείται η επιλογή «other»

Electric and Gas: Ορίζονται την οποία ο χρήστης επιθυμεί το πρόγραμμα να δίνει τις χρεώσεις για την κατανάλωση του φορτίου.

Analysis Year: Δηλώνεται η ημερομηνία δημιουργίας του αρχείου.

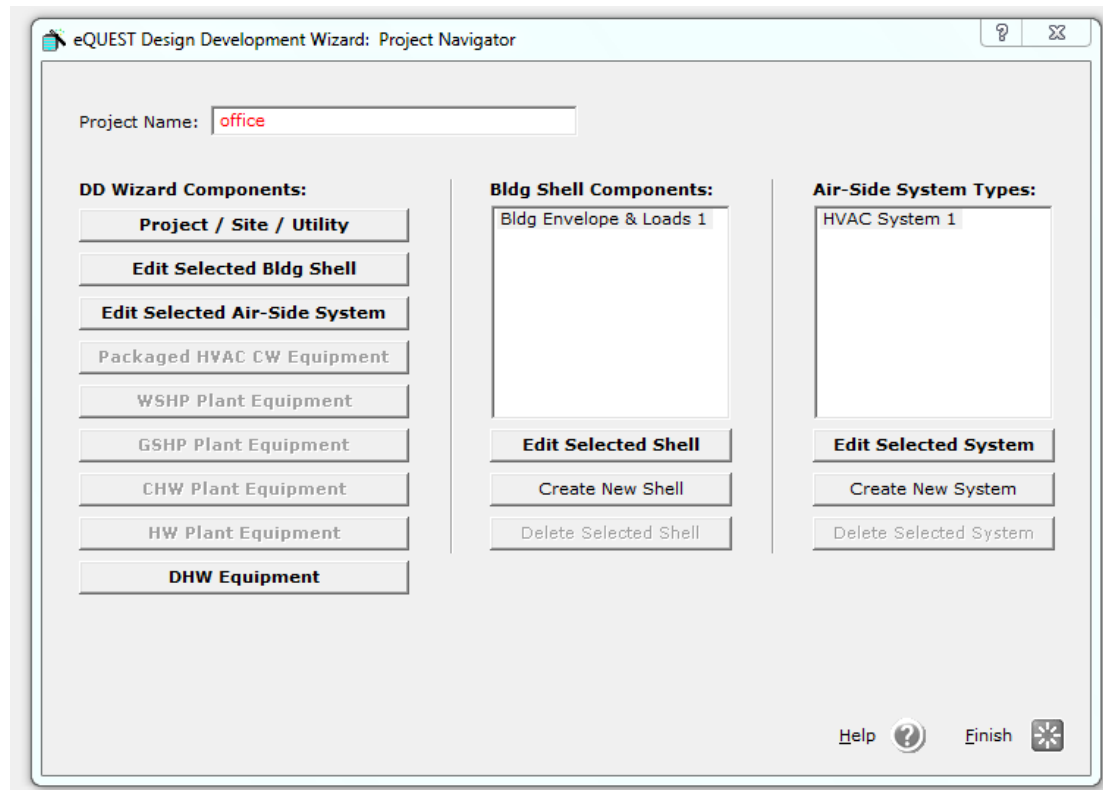
Usage Details: Σημαίνει ότι το φορτίο του κτηρίου υπολογίζεται με χρονικό βήμα μίας ώρας.



Σχήμα 5.1: Πρώτο παράθυρο λειτουργίας του προγράμματος eQUEST στη λειτουργία Design Development Wizard στην επιλογή Project/Site/Utility.

Με την επιλογή «Next Screen» εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο για την εισαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων, ενώ με το κουμπί «Return to Navigator» ο χρήστης επιστρέφει στο βασικό παράθυρο πλοήγησης όπως παρουσιάζεται το Σχήμα 5.2. Στο βασικό αυτό παράθυρο πλοήγησης ο χρήστης επιλέγει εάν θα επεξεργαστεί τις βασικές πληροφορίες (Project/Site/Utility), αν θα επεξεργαστεί τον εξωτερικό φλοιό

του κτηρίου (Edit Selected Bldg Shell) ή το σύστημα θέρμανσης και ψύξης (Edit Selected Air-Side System).



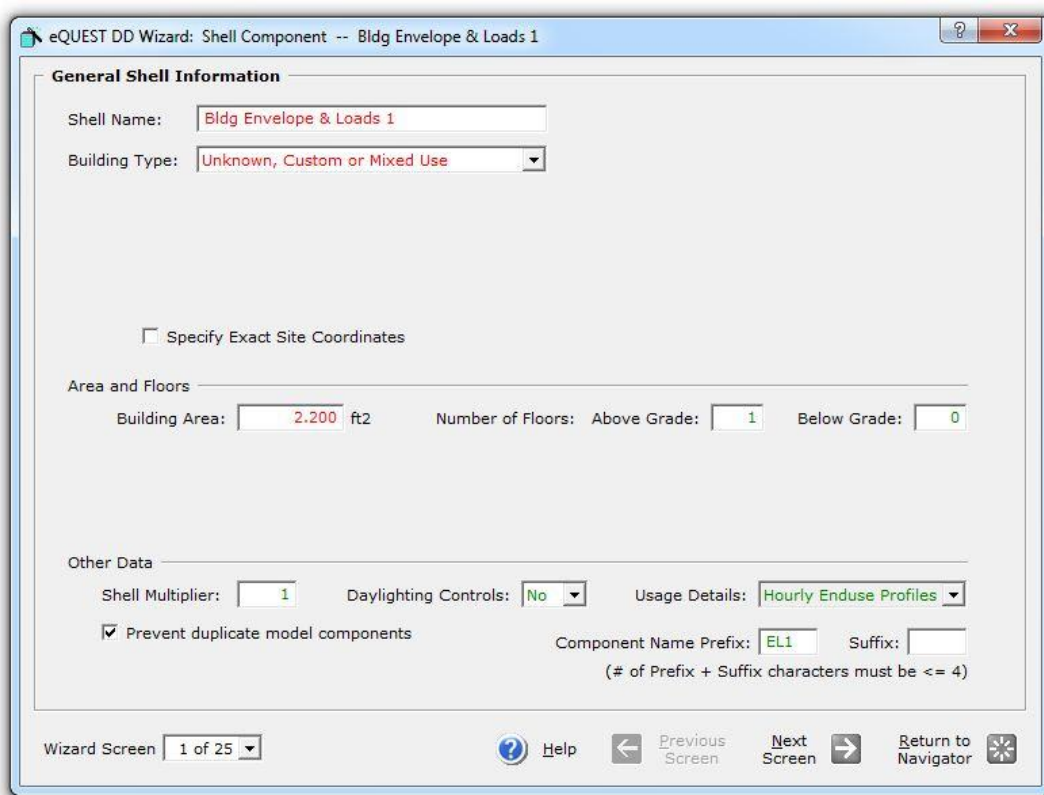
Σχήμα 5.2: Βασικό παράθυρο του προγράμματος eQUEST στη λειτουργία Design Development Wizard κατά το οποίο ο χρήστης επιλέγει αν θα επεξεργαστεί τις βασικές πληροφορίες, τον φλοιό ή το σύστημα HVAC.

Στην περίπτωση όπου επιθυμείται η σχεδίαση ενός ακόμη κτηρίου στο ίδιο αρχείο επιλέγεται το κουμπί «Create New Shell». Για την επεξεργασία ή διαγραφή του κάθε κτηρίου επιλέγονται τα κουμπιά «Edit Selected Shell» και «Delete Selected Shell». Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται στην περίπτωση της δημιουργίας ενός νέου συστήματος HVAC.

5.2 Φλοιός και καθορισμός θερμικών ζωνών

Για τη δημιουργία και επεξεργασία του φλοιού του κτηρίου επιλέγεται το «Edit Selected Bldg Shell» από το παράθυρο πλοήγησης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.2. Με την επιλογή αυτή, ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο αναγράφεται η ονομασία και το είδος του κτηρίου, όπως αυτό δηλώθηκε σε προηγούμενο στάδιο. Επίσης, δηλώνεται από το χρήστη το εμβαδό του χώρου, βάσει του σχεδίου που κατασκευάστηκε με τη χρήση του προγράμματος AutoCAD και ο αριθμός των ορόφων ή υπογείων που έχει το κτήριο.

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί τα προσομοιωμένα αποτελέσματα να πολλαπλασιαστούν με κάποια συντελεστή ορίζεται ο αντίστοιχος αριθμός στην επιλογή Shell Multiplier. Επίσης επιλέγοντας «ναι» στο πλαίσιο «Daylighting Controls» εμφανίζονται στο χρήστη τα παράθυρα 9 και 11 όπου μπορούν να δοθούν στοιχεία για τον έλεγχο του εσωτερικού φωτισμού ως επίδραση του εξωτερικού. Η προσομοίωση όμως του κτηρίου γίνεται με σταθερή τιμή του ηλεκτρικού φωτισμού, γι αυτό και σε αυτή την επιλογή ορίζεται «όχι». Εάν επιθυμείται δίνεται στο κελί «Component Name Prefix or Suffix» το πρόθεμα ή το επίθεμα που θα έχει κάθε συστατικό στοιχείο για το συγκεκριμένο κέλυφος.

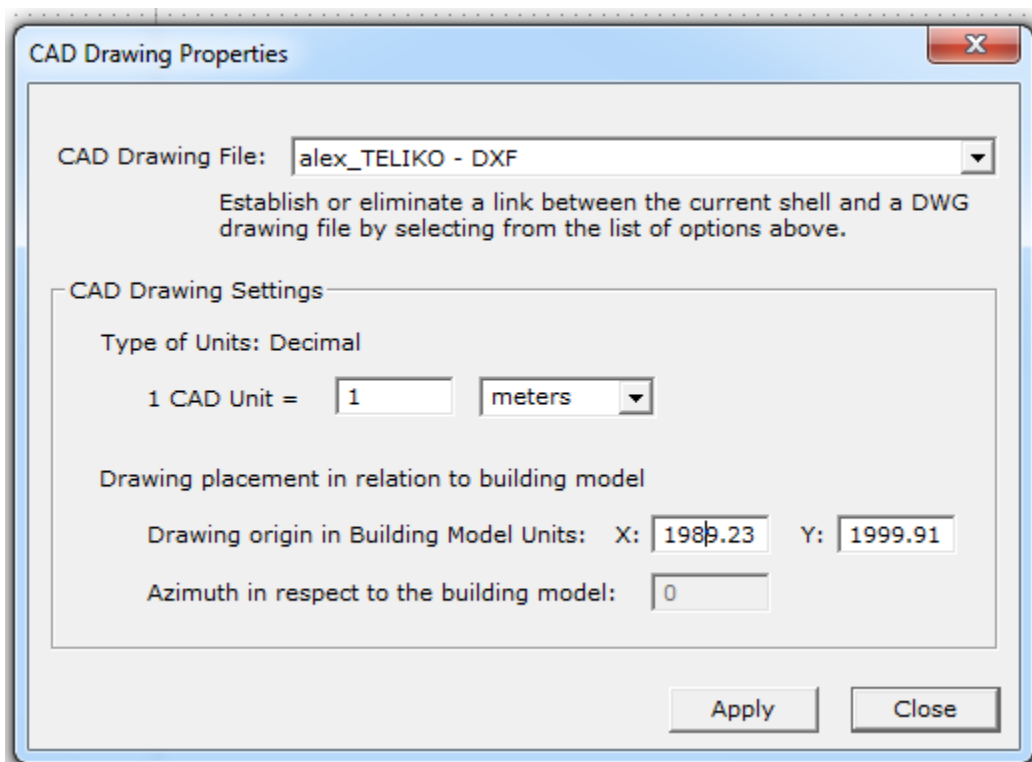


Σχήμα 5.3: Πρώτο παράθυρο λειτουργίας του προγράμματος eQUEST στη λειτουργία Design Development Wizard στην επιλογή Edit Selected Bldg Shell.

Στο επόμενο παράθυρο (βλέπε Σχήμα 5.11) ορίζεται από το χρήστη στο πλαίσιο «Footprint Shape» η επιλογή «Custom», με σκοπό να υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας της κάτοψης που απαιτείται κάθε φορά, χωρίς να γίνεται χρήση των προτεινόμενων από το eQUEST (λ.χ. τετραγωνική, ορθογώνια κτλ) κατόψεων. Έπειτα, εισάγεται η κάτοψη του προς μελέτη κτηρίου που δημιουργήθηκε στο AutoCAD. Το αρχείο αυτό μπορεί να είναι είτε επέκτασης .dxf είτε .dwg. Επιπλέον καθώς το κτήριο αφορά ένα γραφείο στην Ελλάδα, ως αντιστοιχία στην μονάδα μέτρησης επιλέγεται ότι μία μονάδα CAD αντιστοιχεί σε ένα μέτρο, σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα Μονάδων.







Σχήμα 5.4:Ορίζοντας στην επιλογή «Footprint Shape : Custom», υπάρχει η δυνατότητα να οριστεί η κάτοψη που επιθυμεί ο χρήστης.

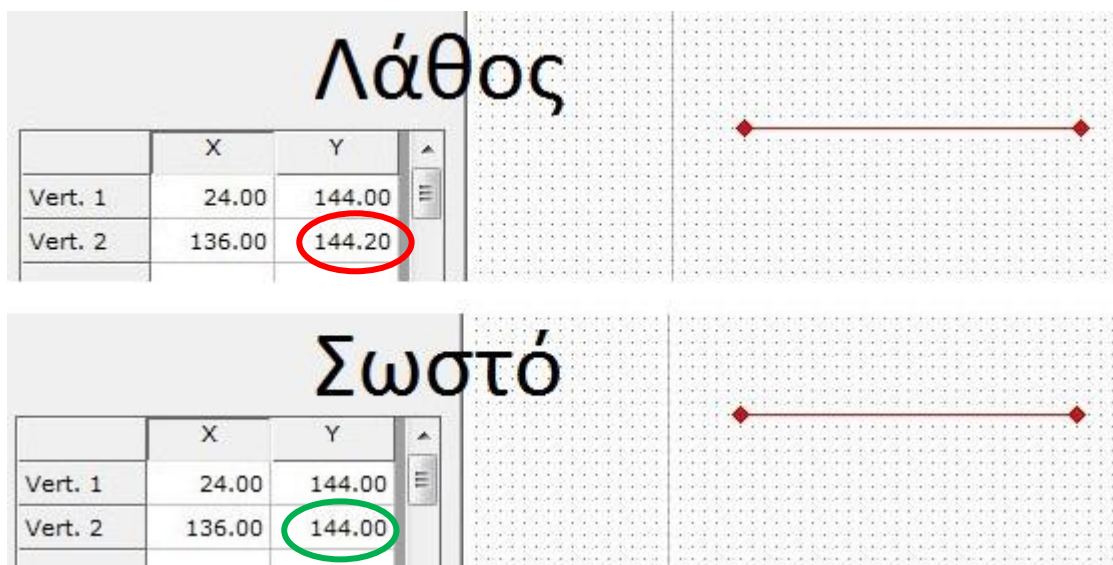


Σχήμα 5.5. Εισαγωγή του αρχείου.dxf και αντιστοιχία των μονάδων.

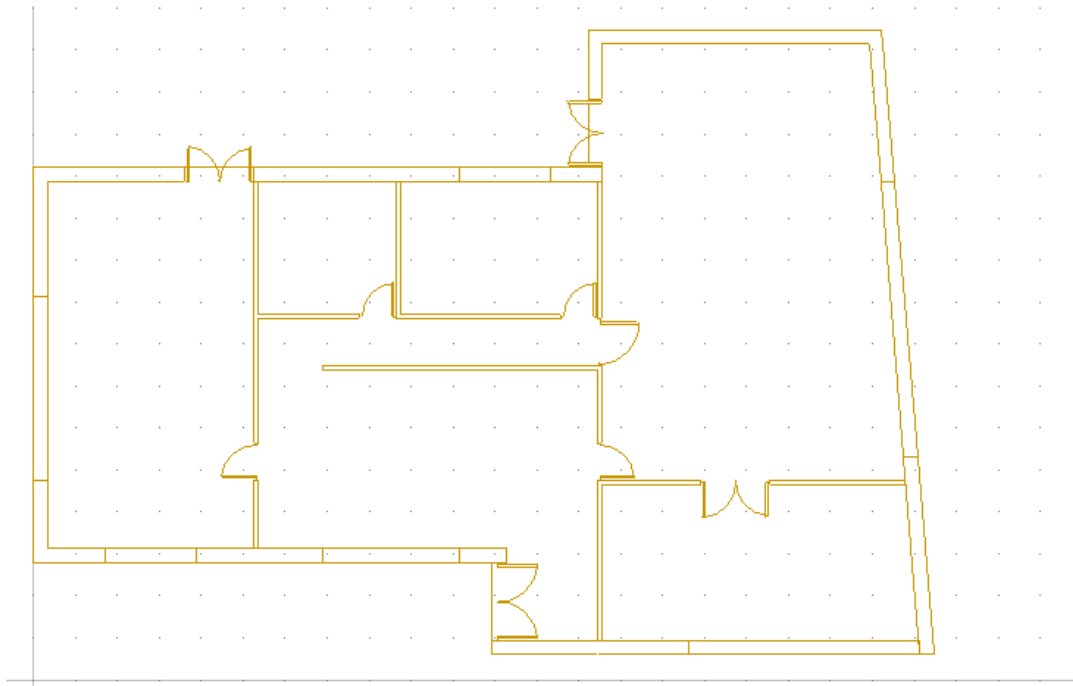
Μετά τη εισαγωγή του αρχείου .dxf στο eQUEST, η κάτοψη του κτηρίου έχει τη μορφή που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.7. Στη συνέχεια, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός του περιγράμματος του κτηρίου, είτε χειροκίνητα, είτε δηλώνοντας συντεταγμένες.

Για να ξεκινήσει η σχεδίαση της κάτοψης του κτηρίου, επιλέγεται το εικονίδιο  (Shape segment/ vertex selection mode). Επιλέγοντας ένα σημείο στην άσπρη επιφάνεια σχεδίασης, εμφανίζεται μία κουκίδα, χρώματος γαλάζιο.  Επιλέγοντας αυτή την κουκίδα χαράσσετε με αριστερόστροφη κίνηση το πρώτο διάνυσμα. Επιλέγοντας και επεκτείνοντας την νέα κουκίδα που εμφανίζεται στο πέρας του διανύσματος που μόλις σχεδιάστηκε, χαράσσετε το δεύτερο διάνυσμα. Κάνοντας κλικ πάνω στην γαλάζια κουκίδα χωρίς να επεκταθεί το διάνυσμα, αλλάζει το χρώμα της σε κίτρινο.  Αυτό συνεπάγεται την επεξεργασία του μεγέθους και του προσανατολισμού του διανύσματος που καταλήγει σε αυτή την κουκίδα. Για τη διαγραφή ενός διανύσματος επιλέγεται το αντίστοιχο διάνυσμα και από τη γραμμή εργαλείων επιλέγεται από την εργαλειοθήκη το εικονίδιο της διαγραφής.  (Delete Vertex)

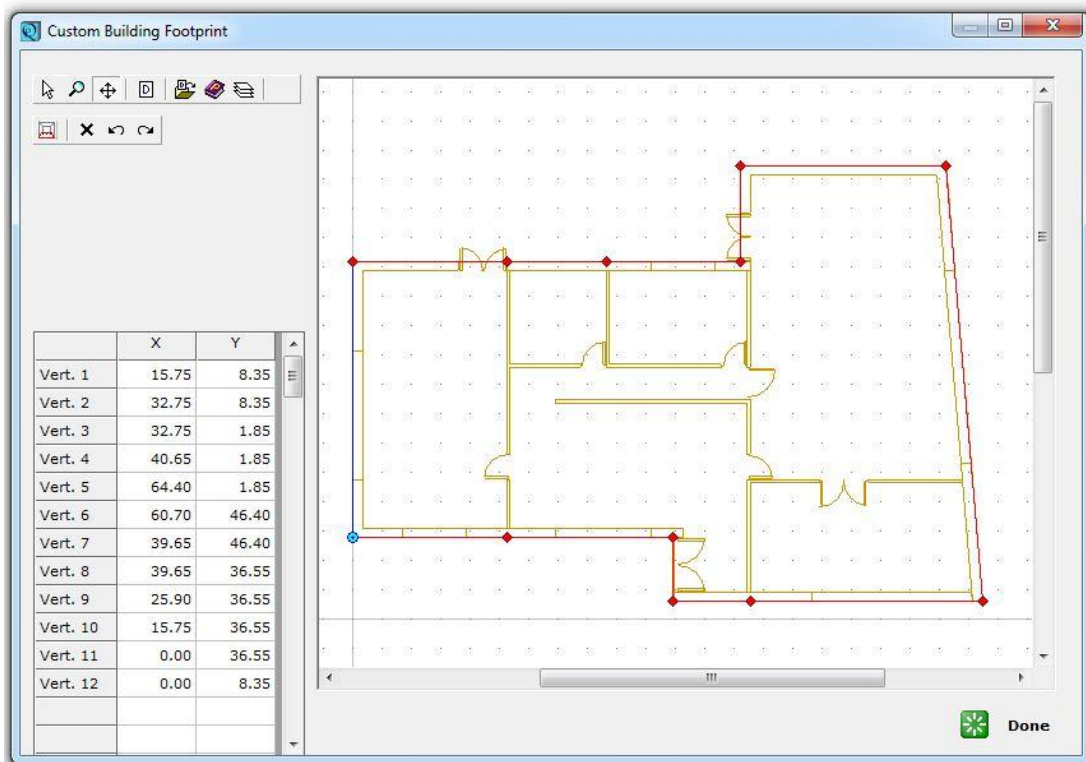
Μετά τη χειροκίνητη σχεδίαση της κάτοψης, είναι απαραίτητος ο έλεγχος και ίσως η διόρθωση των συντεταγμένων της κάτοψης, διότι κατά την ελεύθερη σχεδίαση, χωρίς δηλαδή τη χρήση συντεταγμένων είναι συχνή η περίπτωση λαθών, με τα οποία δεν λειτουργεί σωστά το πρόγραμμα. Εάν για παράδειγμα ο χρήστης επιθυμεί να σχεδιάσει μία οριζόντια γραμμή πρέπει να βεβαιωθεί ότι οι συντεταγμένες της γ κατεύθυνσης, της αρχής και του πέρατος του διανύσματος να είναι ακριβώς οι ίδιες, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 Ελεύθερη σχεδίαση της κάτοψης του κτηρίου και σχεδίαση με ορισμό συντεταγμένων.



Σχήμα 5.7: Κάτοψη κτηρίου που έχει δημιουργηθεί με το λογισμικό AutoCAD.



Σχήμα 5.8: Επεξεργασία κάτοψης του κτηρίου από το χρήστη στο eQUEST, με σκοπό τη δημιουργία του φλοιού.

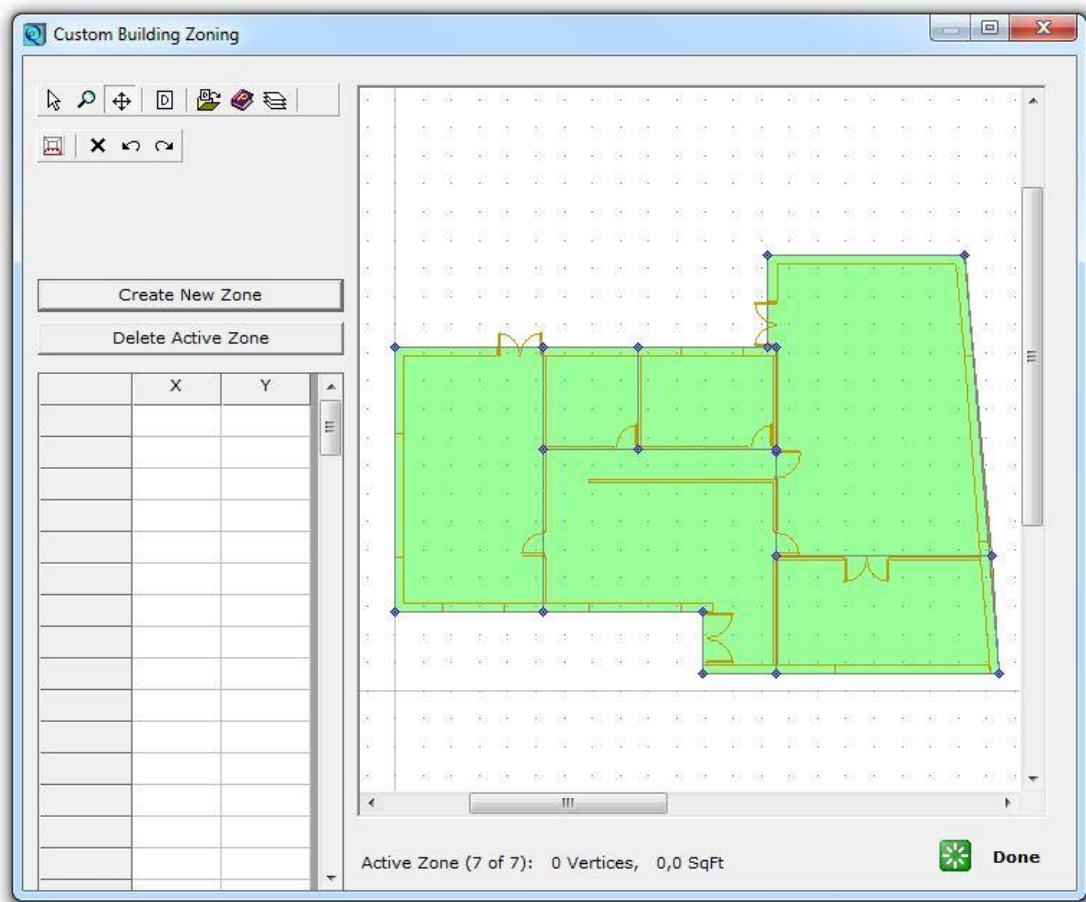
Στο Σχήμα 5.7 απεικονίζεται η κάτοψη του κτηρίου ενώ έχει εισαχθεί σαν αρχείο .dxf στο πρόγραμμα ενώ το αποτέλεσμα της εφαρμογής της παραπάνω διαδικασίας

στο παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8. Πατώντας το κουμπί «Done» ο χρήστης επιστρέφει στο παράθυρο που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.11.

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας του φλοιού, είναι απαραίτητη η δημιουργία των θερμικών ζωνών του κτηρίου με σκοπό το κτήριο να χωριστεί σε χώρους με παρόμοια χρήση, ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας και κοινά συστήματα και προγράμματα λειτουργίας. Για να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας και επεξεργασίας των θερμικών ζωνών, πρέπει πρώτα να οριστεί στο πλαίσιο «Zoning Pattern» η επιλογή «Custom». Στο συγκεκριμένο κτήριο κάθε χώρος αποτελεί μία θερμική ζώνη και στο Σχήμα 5.9 απεικονίζονται οι 6 θερμικές ζώνες, οι οποίες σχεδιάστηκαν με βάση τους 6 υπάρχοντες χώρους. Η διαδικασία σχεδιασμού των θερμικών ζωνών στο συγκεκριμένο πρόγραμμα απαιτεί το σχεδιασμό τους ξεχωριστά. Επομένως πρώτα δημιουργήθηκε η θερμική ζώνη του χώρου 1 και στη συνέχεια με την επιλογή «Create New Zone» σχεδιάστηκε η θερμική ζώνη του χώρου 2 κ.ο.κ. Για να είναι ο σχεδιασμός της θερμικής ζώνης αποδεχτός από το πρόγραμμα πρέπει να ακολουθεί την αριστερόστροφη φορά σχεδιασμού. Όταν ο χρήστης δουλεύει μία ζώνη έχει χρώμα μπλε, ενώ οι υπόλοιπες έχουν κίτρινο. Ομοίως, οι συντεταγμένες των σημείων μπορούν να επεξεργασθούν και σε αριθμητική μορφή από τον πλευρικό πίνακα. Με την εντολή «Delete Active Zone» διαγράφεται εξολοκλήρου από το σχέδιο μία ζώνη.

Πίνακας 5.1: Χρώματα θερμικών ζωνών κατά την διαδικασία σχεδίασής τους στο πρόγραμμα eQUEST.

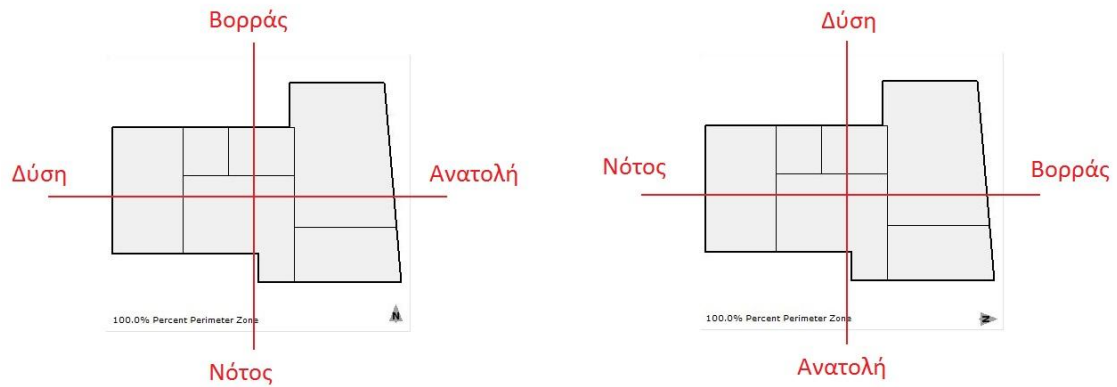
| | |
|---------------------|---------|
| Ολοκληρωμένη Ζώνη | Πράσινο |
| Ενεργή Ζώνη | Μπλε |
| Περίγραμμα κελύφους | Κίτρινο |



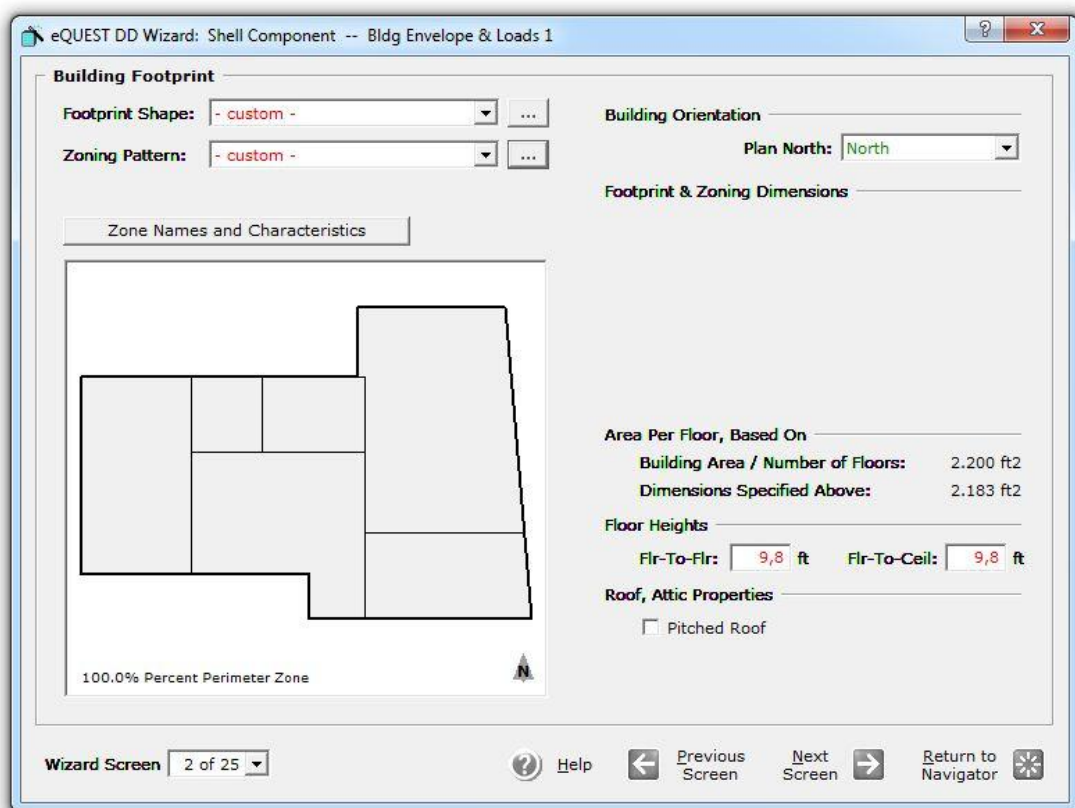
Σχήμα 5.9: Παράθυρο δημιουργίας των θερμικών ζωνών.

Η διαδικασία δημιουργίας των ζωνών ολοκληρώνονται πατώντας το κουμπί «done», όπου πραγματοποιείται επιστροφή στο δεύτερο παράθυρο λειτουργίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.11. Σε αυτό το παράθυρο απεικονίζεται η κάτοψη του κτηρίου και οι θερμικές ζώνες.

Επιλέγοντας μία από τις επιλογές στο πλαίσιο «Plan North» υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του προσανατολισμού του κτηρίου. Η αυτόματη επιλογή, «Plan North», σημαίνει ότι ο προσανατολισμός βρίσκεται στην κορυφή του φύλλου του σχεδίου με βάση την κάτοψη που φαίνεται σε αυτό το φύλλο. Αν για παράδειγμα περιστραφεί το εικονίδιο που προσδιορίζει τον βορρά κατά 90 μοίρες δεξιόστροφα τότε το πάνω μέρος του σχεδίου θα αντιστοιχεί στην δύση.



Σχήμα 5.10: Παράδειγμα του προσανατολισμού του κτηρίου.



Σχήμα 5.11: Δεύτερο παράθυρο λειτουργίας του προγράμματος eQUEST στη λειτουργία Design Development Wizard στην επιλογή Edit Selected Bldg Shell στο οποίο απεικονίζεται η κάτοψη του κτηρίου και οι θερμικές ζώνες.

Σε αυτό το παράθυρο δηλώνονται και τα μεγέθη «Flr-To-Flr» και « Flr-To-Cell». Το ύψος « Flr-To-Flr» σε ένα κτήριο ενός ορόφου δηλώνει την απόσταση του δαπέδου από το πάνω μέρος της οροφής ενώ σε ένα κτήριο με περισσότερους από έναν ορόφους, δηλώνει την απόσταση από το ένα επίπεδο στο άλλο.

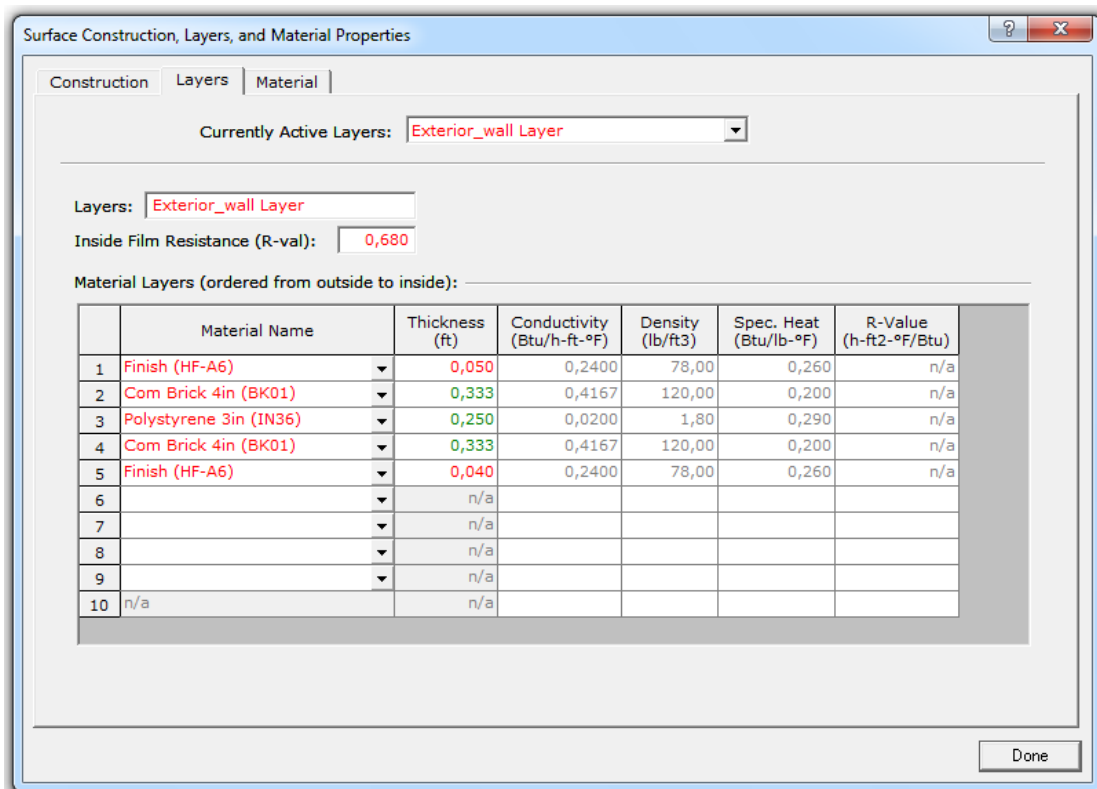
Το ύψος «Flr-To-Cell» ορίζει την απόσταση του δαπέδου από το κάτω μέρος της οροφής. Για τα ύψη αυτά ισχύει ότι:

Floor to Floor Height \geq Floor to Ceiling Height

Όλα τα παραπάνω αφορούν τη λειτουργία του προγράμματος στην επιλογή «Design Development Wizard». Όπως αναφέρθηκε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, η λειτουργία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως, με σκοπό να κατασκευαστεί το αρχιτεκτονικό σχέδιο. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του κτηρίου επεξεργάζονται στη λειτουργία «Detailed Data Edit», η οποία είναι πιο εύχρηστη για το χρήστη.

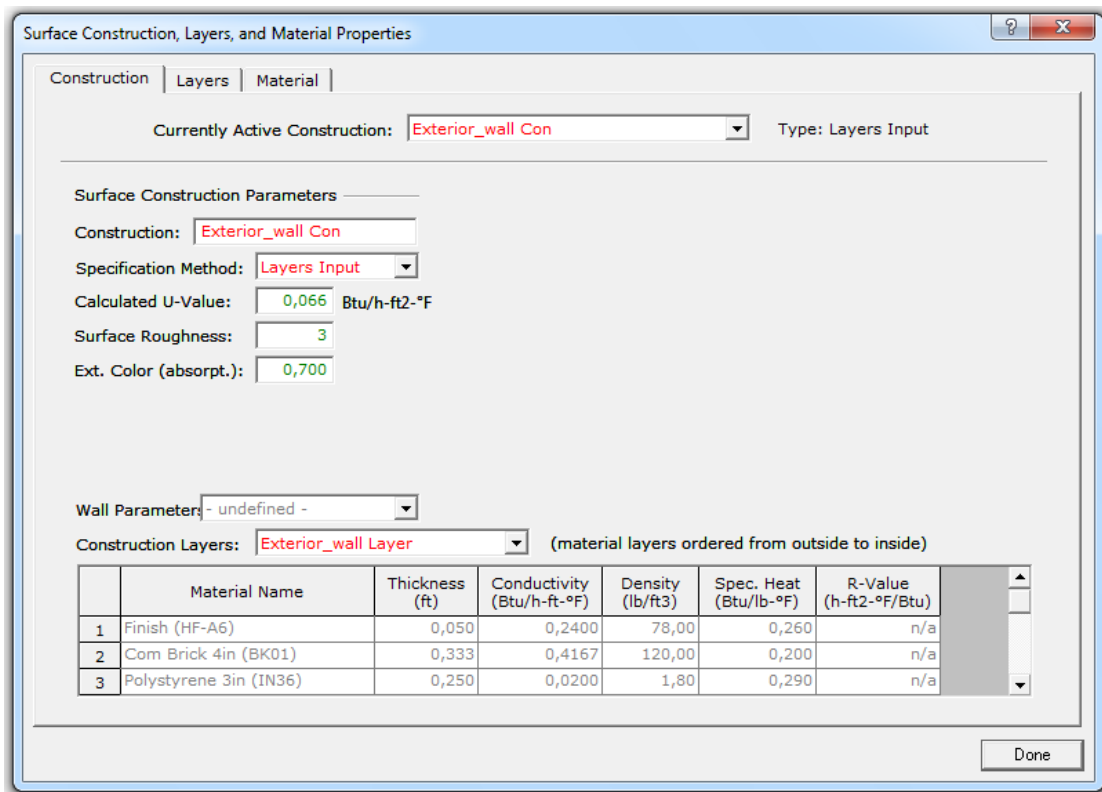
5.3 Εξωτερικός τοίχος

Για τη δημιουργία ενός καινούργιου εξωτερικού τοίχου, με τα κατάλληλα υλικά, από την επιλογή «Building Shell/Layers» υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας της σειράς από δομικά στοιχεία με τα κατάλληλα υλικά, στην οποία είναι απαραίτητο να δοθεί και ένα μοναδικό όνομα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.12. Ο χρήστης εισάγει από την υφιστάμενη βιβλιοθήκη του προγράμματος ένα στοιχείο, το οποίο και αποτελεί την πρώτη στρώση της εξωτερικής τοιχοποιίας. Όταν επιλεγθεί το δομικό στοιχείο είναι εφικτή η αλλαγή του πάχους τους, χωρίς η αλλαγή αυτή να επηρεάζει τα στοιχεία της βιβλιοθήκης, με τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά να δίνονται από το πρόγραμμα. Από το πρόγραμμα δίνονται στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων η θερμική αγωγιμότητα (Conductivity), η πυκνότητα (Density) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (Specific Heat). Επιπλέον, σε ορισμένα υλικά δίνεται και ο συντελεστής θερμικής αντίστασης (R-Value). Στην επιλογή «Inside Film Resistance (R-Value)» ορίζεται η τιμή του συντελεστή R της εσωτερικής επιφάνειας της συγκεκριμένης τοιχοποιίας.



Σχήμα 5.12: Παράθυρο δεδομένων των υλικών κατασκευής του εξωτερικού τοίχου.

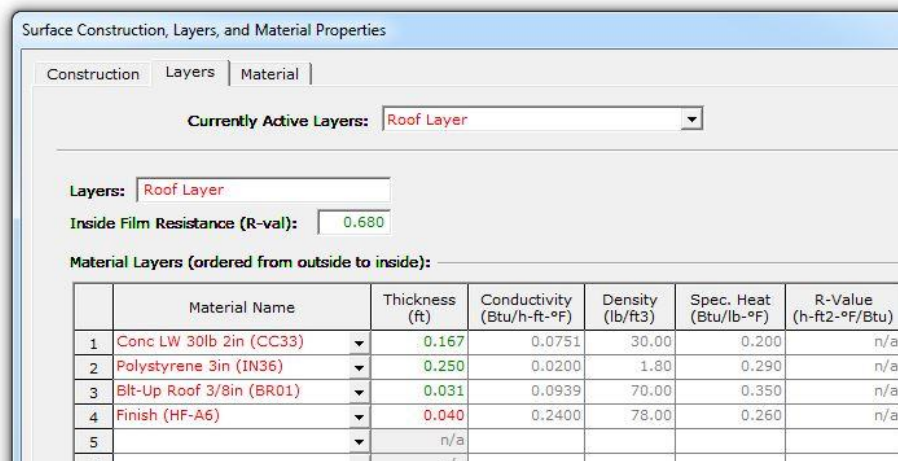
Στη συνέχεια, από την καρτέλα «Construction», αναγράφονται και επεξεργάζονται τα υπόλοιπα στοιχεία της εξωτερικής τοιχοποιίας. Για να υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής της σειράς των δομικών στοιχείων που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα, σε αυτό το παράθυρο ορίζεται ως «Specification Method: Layers Input». Για αυτόν το τοίχο, δίνεται η ονομασία του και έπειτα το πρόγραμμα από μόνο του υπολογίζει την θερμική διαπερατότητα. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα της εισαγωγής της τιμής της επιφανειακής τραχύτητας και του συντελεστή απορροφητικότητας. Για τις τιμές αυτές διατηρήθηκε η προεπιλογή του προγράμματος.



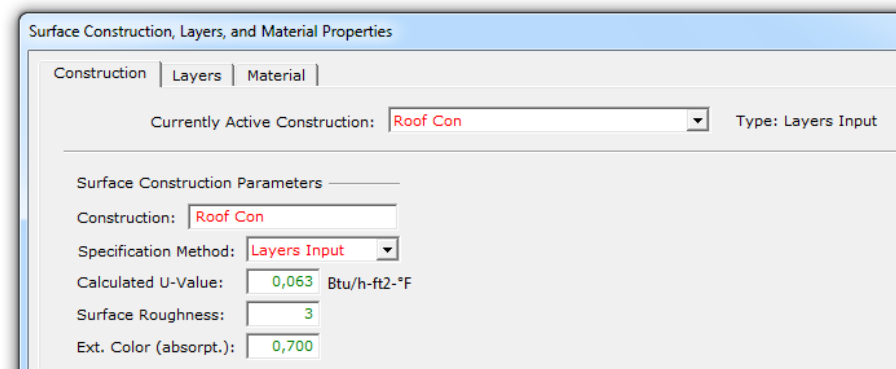
Σχήμα 5.13: Παράθυρο δεδομένων εξωτερικού τοίχου.

5.4 Οροφή

Για τη δημιουργία της σειράς των δομικών στοιχείων της οροφής του κτηρίου, όπως και προηγουμένως, από την επιλογή «Layers» ορίζονται τα δομικά υλικά από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος eQUEST, όπως επίσης ορίζεται και το πάχος τους. Στην σειρά αυτή δίνεται ένα μοναδικό όνομα όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.14. Επιπλέον, και στην οροφή δίνεται ο συντελεστής θερμικής αντίστασης (R-Value) στην επιλογή «Inside Film Resistance (R-Value)». Η εισαγωγή της σειράς των δομικών στοιχείων, στην σύνθεση της οροφής απαιτεί τον ορισμό «Specification Method: Layers Input» στην καρτέλα «Construction».



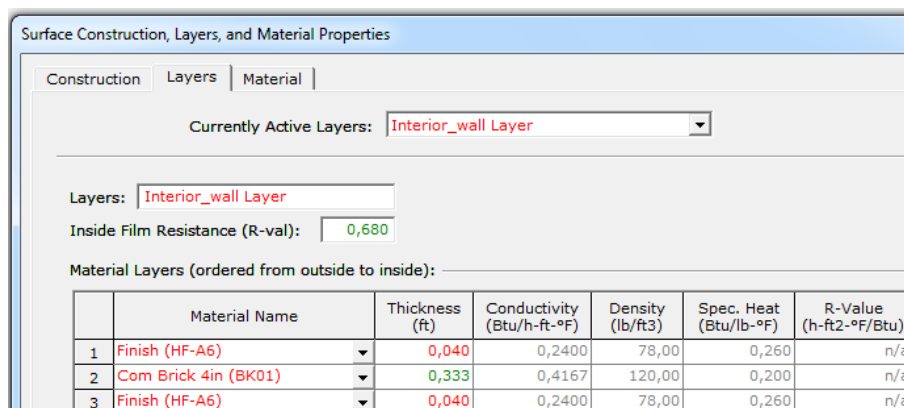
Σχήμα 5.14: Παράθυρο δεδομένων των υλικών κατασκευής της οροφής.



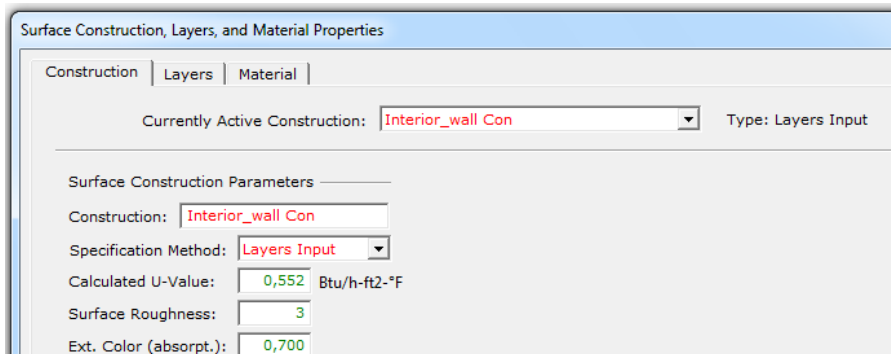
Σχήμα 5.15: Παράθυρο δεδομένων οροφής.

5.5 Εσωτερικός τοίχος

Ο εσωτερικός τοίχος δημιουργείται με τον ίδιο τρόπο, όπως ο εξωτερικός τοίχος και η οροφή. Στην περίπτωση αυτή επιλέγονται τα αντίστοιχα υλικά από τα οποία αποτελείται η σειρά των δομικών στοιχείων του εσωτερικού τοίχου και επιλέγεται κατάλληλα το πάχος του κάθε στοιχείου.



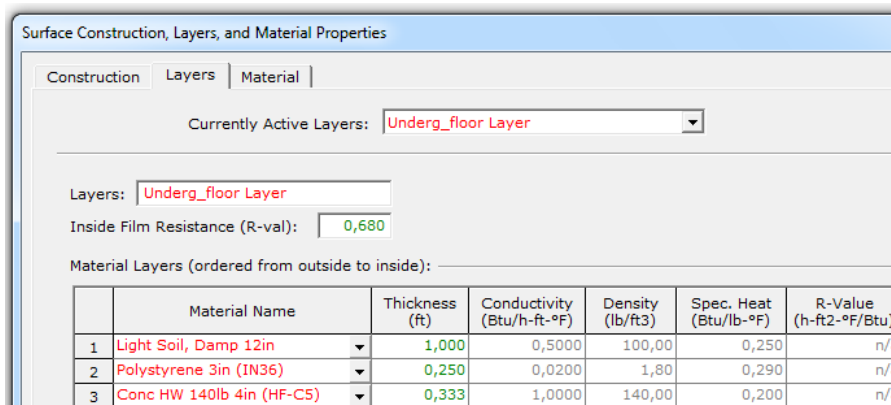
Σχήμα 5.16: Παράθυρο δεδομένων των υλικών κατασκευής του εσωτερικού τοίχου.



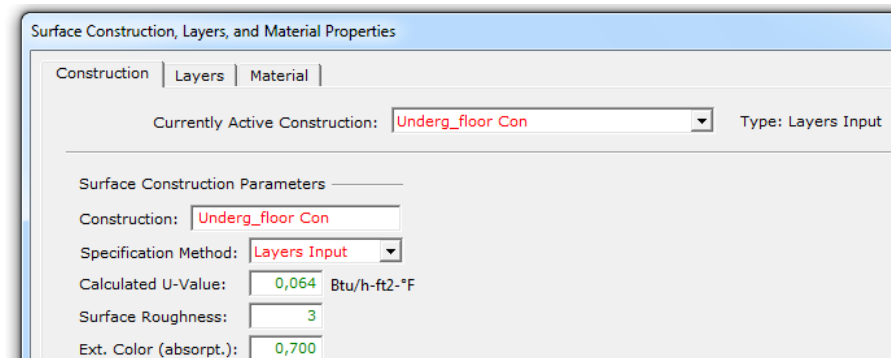
Σχήμα 5.17: Παράθυρο δεδομένων εσωτερικού τοίχου.

5.6 Έδαφος

Για τη δημιουργία του εδάφους πραγματοποιούνται οι ίδιες ενέργειες που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Στο Σχήμα 5.18 παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία του εδάφους ενώ στο Σχήμα 5.19 φαίνονται τα δεδομένα του εδάφους.



Σχήμα 5.18: Παράθυρο δεδομένων δομικών εδάφους.



Σχήμα 5.19: Παράθυρο δεδομένων εδάφους.

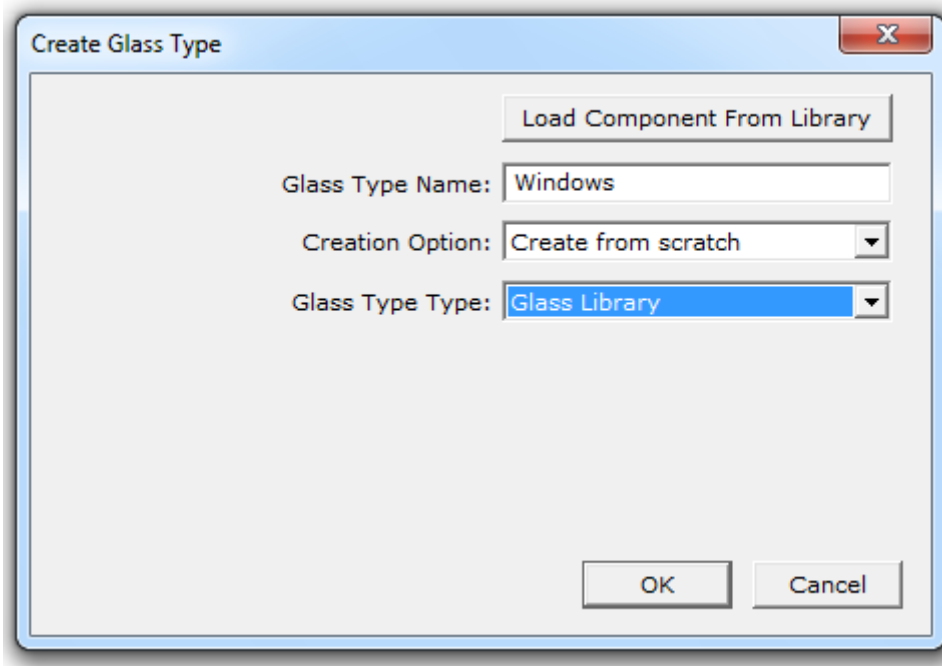
5.7 Υαλοπίνακες και θύρες

Για το σχεδιασμό των υαλοπινάκων στον φλοιό του κτηρίου, ο χρήστης πρέπει αρχικά να δημιουργήσει τον τύπο του υαλοπίνακα που θα χρησιμοποιηθεί. Για τον αυτό τον λόγο, επιλέγεται από την μπάρα πλοήγησης η επιλογή «Building Shell» και στη συνέχεια από το δένδρο επιλογών, η επιλογή «Glass Types». Αυτόματων ανοίγει το παράθυρο «Glass Type Properties».

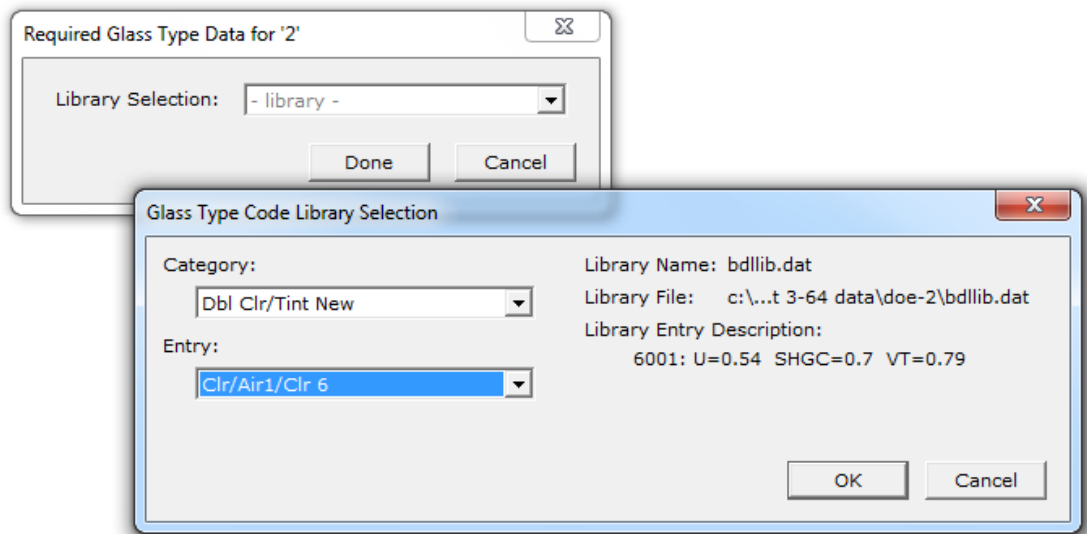
Στο παράθυρο αυτό, από το πλαίσιο «Specification Method» ο χρήστης επιλέγει εάν θα χρησιμοποιήσει ένα τύπο παραθύρου από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος ή εάν θα δημιουργήσει εκείνος ένα, δηλώνοντας τον συντελεστή σκίασης.

Στην συγκεκριμένο κτήριο χρησιμοποιήθηκε ένας τύπος παραθύρου από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος. Για να δημιουργηθεί αυτός ο τύπος, στο παράθυρο «Glass Type Properties» δηλώνεται στην επιλογή «Currently Active Glass Type: create» και έπειτα δίνεται η ονομασία και ο τύπος του παραθύρου που δημιουργείται. Έπειτα επιλέγεται η χρήση της βιβλιοθήκης του eQUEST, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.20.

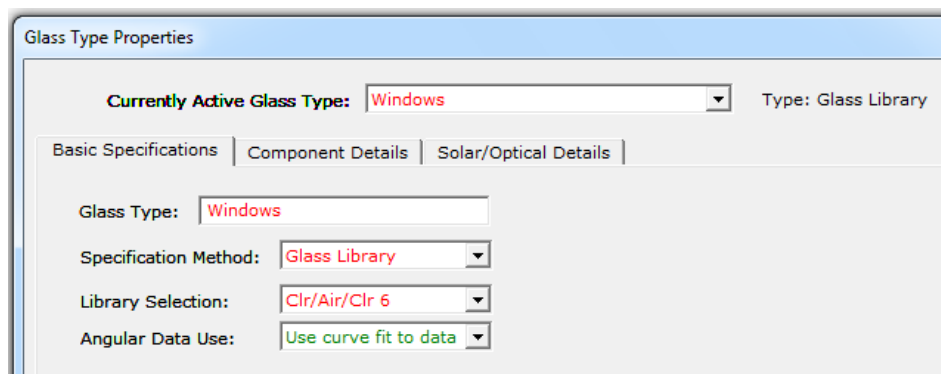
Στο επόμενο στάδιο εμφανίζονται όλες οι δυνατές επιλογές για τον τύπο του υαλοπίνακα. Ο τύπος που επιλέχθηκε απεικονίζεται στο Σχήμα 5.21. Στο Σχήμα 5.22 έχει δημιουργηθεί πλέον ο τύπος του παραθύρου που θα χρησιμοποιηθεί για το κτήριο.



Σχήμα 5.20: Παράθυρο δημιουργίας ενός νέου υαλοπίνακα από τα δεδομένα της βιβλιοθήκης του προγράμματος.



Σχήμα 5.21: Εισαγωγή της κατηγορίας του υαλοπίνακα από τη βιβλιοθήκη του eQUEST.



Σχήμα 5.22: Τύπος υαλοπίνακα εισαγόμενος από τη βιβλιοθήκη του eQUEST.

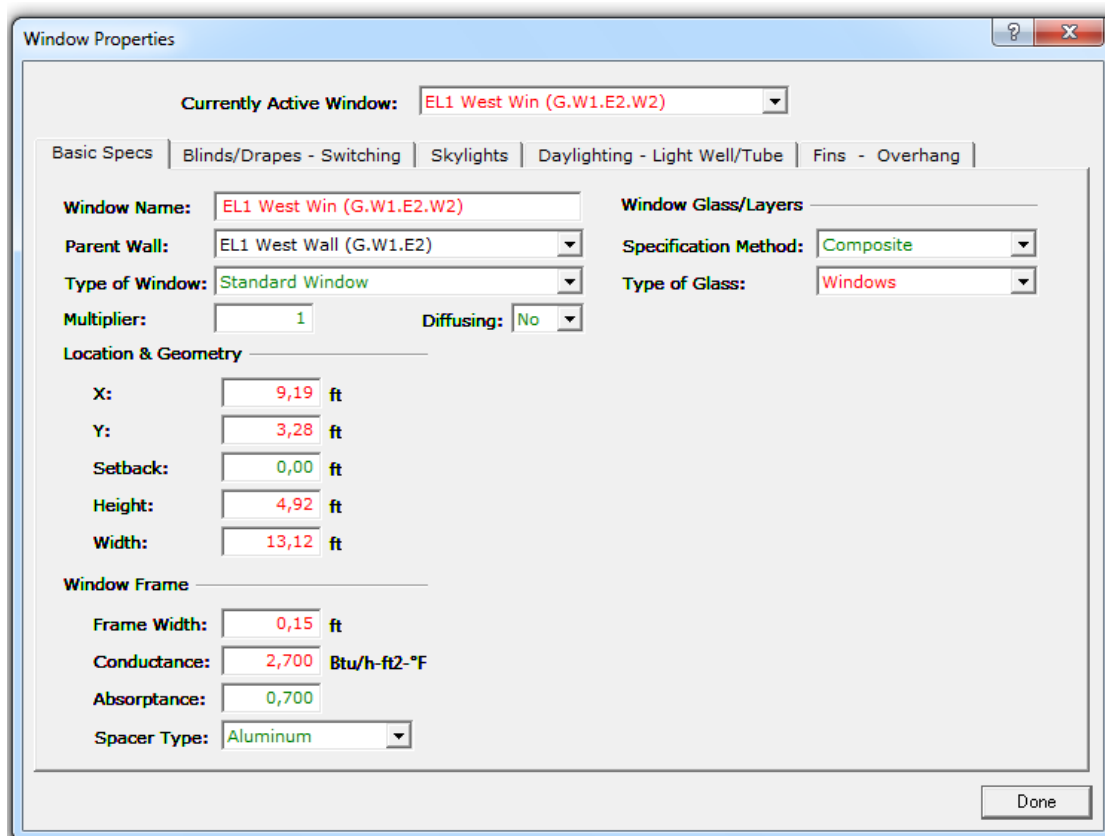
Στη συνέχεια, σε κάθε εξωτερικό τοίχο, ο οποίος έχει υαλοπίνακα πρέπει να δηλωθούν οι διαστάσεις του υαλοπίνακα όπως αυτές δίνονται από το σχέδιο AutoCAD. Για να γίνει αυτό από την μπάρα πλοήγησης «Building Shell» και στη συνέχεια από την επιλογή του δένδρου επιλογών, «EL1 Ground Flr», διαλέγεται ο χώρος και ο τοίχος που περιέχει υαλοπίνακα και πατώντας «δεξί κλικ» εμφανίζεται η επιλογή «Create Child Component» και έπειτα το «Create child Window». Αφού δημιουργηθεί ο υαλοπίνακας, ανοίγει το κεντρικό παράθυρο όπου ο χρήστης επεξεργάζεται τις διαστάσεις στις επιλογές «Height και Width» και δηλώνει τις συντεταγμένες «X και Y». Τόσο οι διαστασιολόγηση, όσο και οι συντεταγμένες του κάθε υαλοπίνακα έχουν ληφθεί από το αρχείο AutoCAD. Επιπλέον στο πλαίσιο «Setback» ορίζεται η απόσταση που το παράθυρο είναι σε εσοχή ως προς τον τοίχο, δηλαδή η απόσταση από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου έως της εξωτερική

επιφάνεια του υαλοπίνακα. Στο συγκεκριμένο κτήριο, θεωρείται ότι το παράθυρο βρίσκεται στην ίδια επιφάνεια με τον τοίχο και γι' αυτό η τιμή αυτού του πλαισίου είναι μηδέν.

Σε αυτό το σημείο δηλώνεται το πάχος του πλαισίου, η θερμική αγωγιμότητα η απορροφητικότητα καθώς και το υλικό κατασκευής του. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα παράθυρα. Ενδεικτικά στο Σχήμα 5.23 παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων για τον υαλοπίνακα του δυτικού τοίχου του χώρου 1. Οι υπόλοιποι υαλοπίνακες εισάγονται στο πρόγραμμα με παρόμοιο τρόπο.

Τέλος είναι απαραίτητη η δήλωση του τύπου του υαλοπίνακα που μόλις δημιουργήθηκε. Στο πλαίσιο «Specification Method» ορίζεται η επιλογή «Composite» με σκοπό να εισαχθεί ο τύπος παραθύρου που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα.

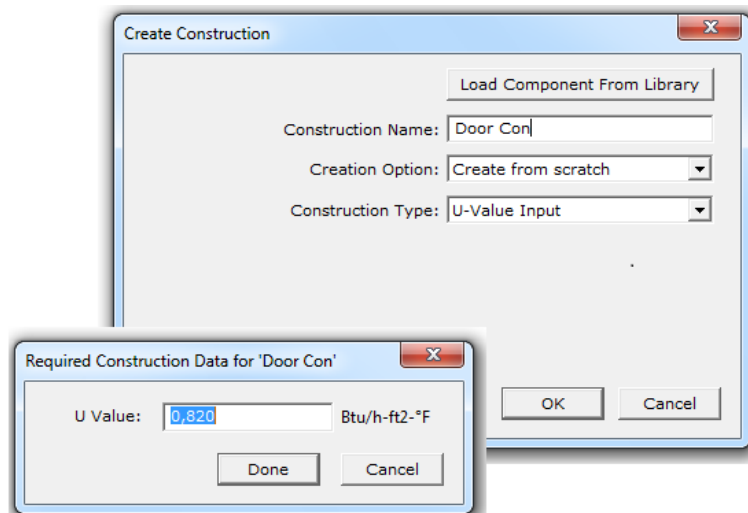
Εναλλακτικά, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα της δημιουργίας ενός παραθύρου με διάφορες στρώσεις. Σε αυτή την περίπτωση παραλείπονται τα βήματα για τη δημιουργία του υαλοπίνακα και στο πλαίσιο «Specification Method» ορίζεται η επιλογή «Composite».



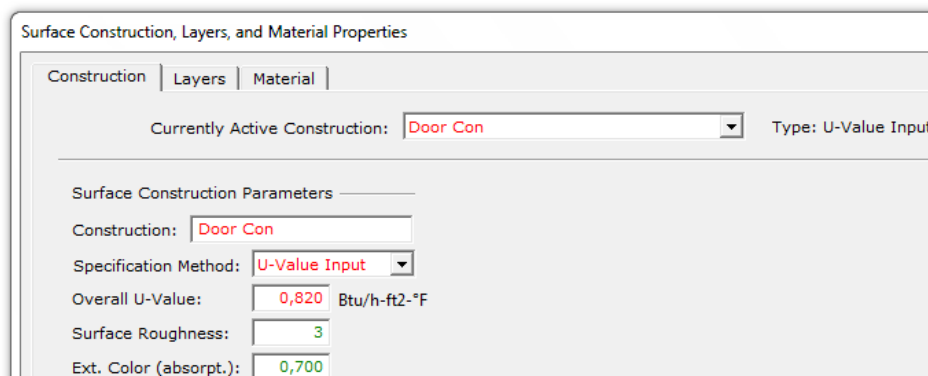
Σχήμα 5.23: Εισαγωγή διαστάσεων, συντεταγμένων και τύπο υαλοπίνακα και πλαισίου για το δυτικό τοίχο του χώρου 1.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες καρτέλες αυτού του παραθύρου, δίνουν την δυνατότητα να οριστούν στοιχεία που αφορούν τις περσίδες και τις κουρτίνες του κτηρίου, τους φεγγίτες, τον έλεγχο του φωτός του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Για τη δημιουργία των θυρών είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί ο τύπος της θύρας, ο οποίος θα δηλωθεί στη συνέχεια με παρόμοιο τρόπο όπως έγινε η δήλωση των υαλοπινάκων. Επιλέγοντας από την βασική μπάρα το «Building Shell» και στη συνέχεια στην επιλογή «Constructions» του δένδρου επιλογών δηλώνεται στο «Currently Active Construction» η επιλογή «create», με σκοπό την εισαγωγή μίας νέας κατασκευής για τις θύρες. Έπειτα, ανοίγει το παράθυρο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.24 στο οποίο δηλώνεται το όνομα της κατασκευής και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.



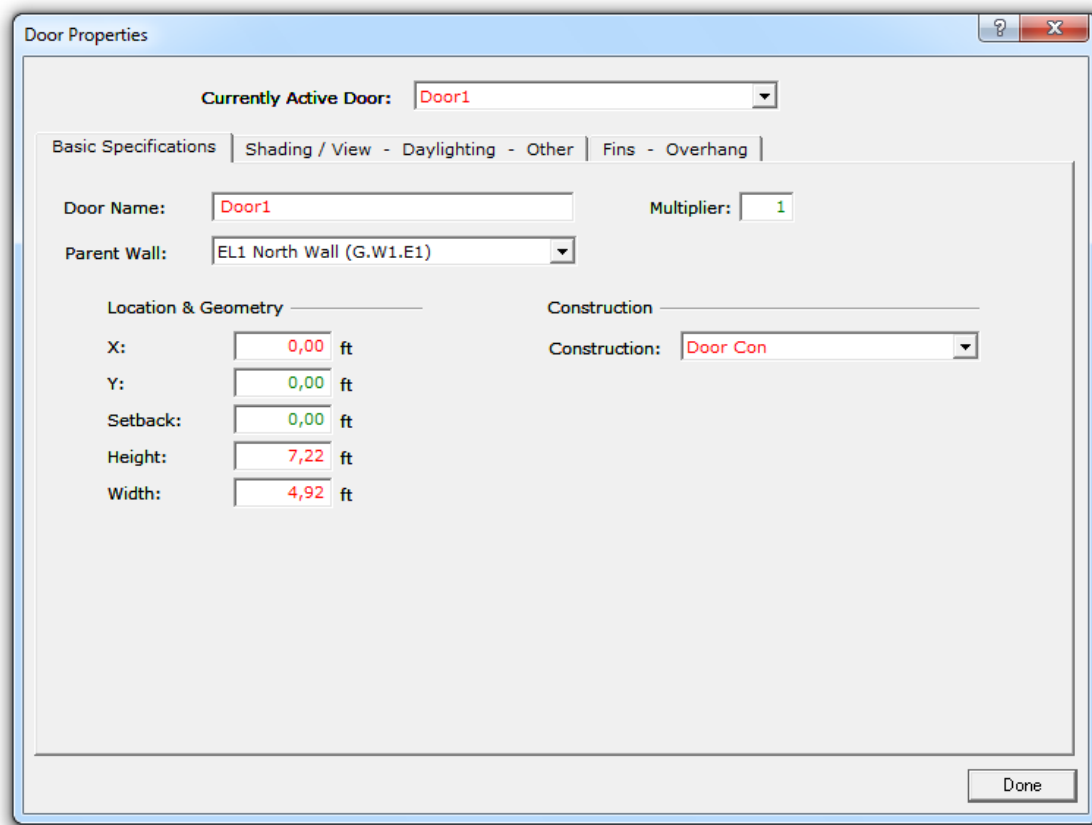
Σχήμα 5.24: Ονομασία της νέας κατασκευής θύρας, ορισμός του τρόπου κατασκευής της και δήλωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας U της.



Σχήμα 5.25: Χαρακτηριστικά της νέας θύρας.

Σαν τελικό βήμα ο χρήστης πρέπει να εισάγει αυτό το είδος της θύρας που δημιουργήθηκε σε κάθε τοίχο. Ανοίγοντας το παράθυρο «Door Properties» με παρόμοιο τρόπο που άνοιξε το αντίστοιχο παράθυρο για του υαλοπίνακες, ο

χρήστης επεξεργάζεται τις διαστάσεις στις επιλογές «Height και Width», δηλώνει τις συντεταγμένες «X και Y», με βάση το πώς αυτές δίνονται στο αρχείο AutoCAD. Στο πλαίσιο «Construction», ορίζεται ο τύπος της πόρτας που δημιουργήθηκε όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στο Σχήμα 5.26 για την θύρα του χώρου 1. Οι υπόλοιπες δύο θύρες εισάγονται με όμοιο τρόπο.

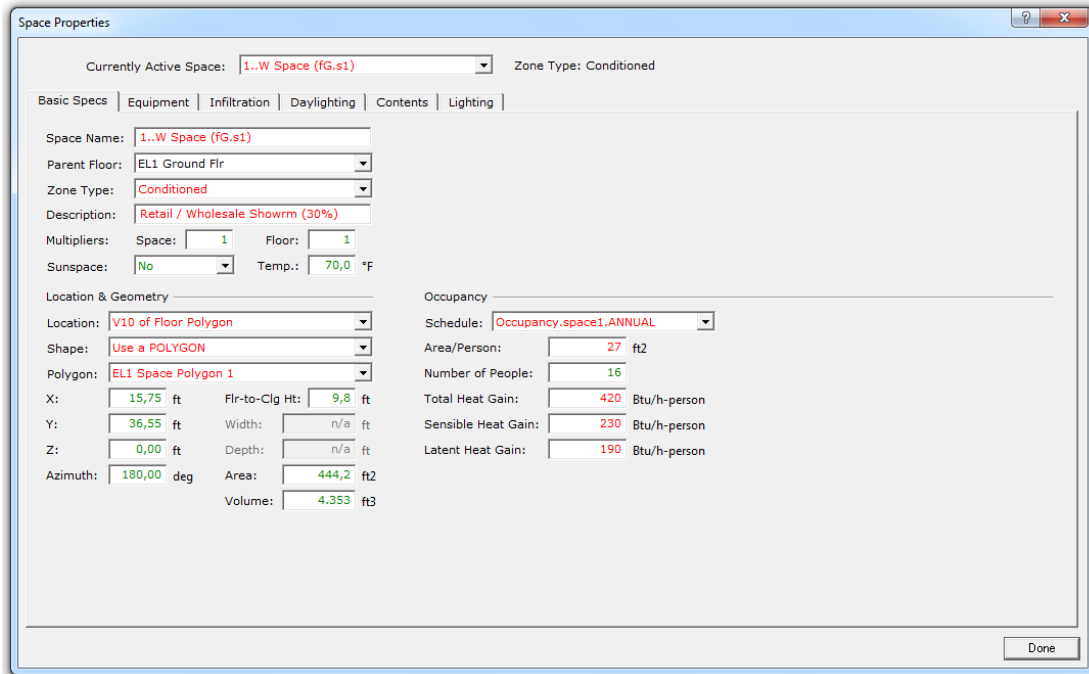


Σχήμα 5.26 Εισαγωγή διαστάσεων, συντεταγμένων και τύπο θύρας για το χώρο 1.

5.8 Πλήθος ανθρώπων στο κτήριο

Στο κεντρικό παράθυρο όπου δηλώνονται οι βασικές προδιαγραφές του κτηρίου ορίζεται η επιφάνεια που αντιστοιχεί στο κάθε άτομο, καθώς και το ολικό, το αισθητό και το λανθάνον φορτίο που εκλύεται ανά άτομο. Οι τιμές αυτές δίνονται αναλυτικά για όλους τους χώρους στον Πίνακα 4.21. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά μόνο στις συγκεκριμένες επιλογές, διότι τα υπόλοιπα στοιχεία αυτού του παραθύρου έχουν δηλωθεί σε προηγούμενο βήμα ή δηλώνονται σε επόμενο βήμα. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα επιστρέφει το πλήθος των ανθρώπων που θα έχει τελικά κάθε χώρος. Από την επιλογή «Building Shell» και στη συνέχεια «EL1 Ground Flr» επιλέγοντας έναν από τους χώρους, ανοίγει το κεντρικό παράθυρο, όπως αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 5.27 με σκοπό να

δηλωθούν τα δεδομένα αυτά. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους χώρους, αφού κάθε χώρος αποτελεί μία θερμική ζώνη και επομένως έχει τα δικά του χαρακτηριστικά. Τέλος, στο πλαίσιο «Schedule», δηλώνεται το πρόγραμμα λειτουργίας αυτής της κατηγορίας.



Σχήμα 5.27: Παράθυρο δήλωσης χαρακτηριστικών σχετικά με τους ανθρώπους του κτηρίου. Συγκεκριμένα δηλώνονται η επιφάνεια που αντιστοιχεί στο κάθε άτομο, καθώς και το ολικό, το αισθητό, το λανθάνον φορτίο που εκλύεται ανά άτομο καθώς και το πρόγραμμα λειτουργίας αυτής της κατηγορίας.

| Occupancy | | Occupancy | |
|---------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Schedule: | Occupancy.space2.3.4.6.ANNUAL | Schedule: | Occupancy.space2.3.4.6.ANNUAL |
| Area/Person: | 11 ft2 | Area/Person: | 16 ft2 |
| Number of People: | 10 | Number of People: | 30 |
| Total Heat Gain: | 640 Btu/h-person | Total Heat Gain: | 350 Btu/h-person |
| Sensible Heat Gain: | 315 Btu/h-person | Sensible Heat Gain: | 210 Btu/h-person |
| Latent Heat Gain: | 325 Btu/h-person | Latent Heat Gain: | 140 Btu/h-person |
| Occupancy | | Occupancy | |
| Schedule: | Occupancy.space2.3.4.6.ANNUAL | Schedule: | Occupancy.space5.ANNUAL |
| Area/Person: | 86 ft2 | Area/Person: | 22 ft2 |
| Number of People: | 8 | Number of People: | 7 |
| Total Heat Gain: | 510 Btu/h-person | Total Heat Gain: | 580 Btu/h-person |
| Sensible Heat Gain: | 255 Btu/h-person | Sensible Heat Gain: | 255 Btu/h-person |
| Latent Heat Gain: | 255 Btu/h-person | Latent Heat Gain: | 325 Btu/h-person |
| Occupancy | | | |
| Schedule: | Occupancy.space2.3.4.6.ANNUAL | | |
| Area/Person: | 108 ft2 | | |
| Number of People: | 3 | | |
| Total Heat Gain: | 510 Btu/h-person | | |
| Sensible Heat Gain: | 255 Btu/h-person | | |
| Latent Heat Gain: | 255 Btu/h-person | | |

Σχήμα 5.28: Παράθυρο δήλωσης χαρακτηριστικών σχετικά με τους ανθρώπους του κτηρίου. Συγκεκριμένα δηλώνονται η επιφάνεια που αντιστοιχεί στο κάθε άτομο, καθώς και το ολικό, το αισθητό, το λανθάνον φορτίο που εκλύεται ανά άτομο καθώς και το πρόγραμμα λειτουργίας αυτής της κατηγορίας. για τους χώρους 2,3,4,5 και 6.

5.9 Εξοπλισμός

Μία άλλη παράμετρος που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ολικό φορτίο του κτηρίου, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι οι ηλεκτρικές - ηλεκτρονικές συσκευές της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, αφού πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της ισχύος που αντιστοιχεί σε κάθε χώρο, ο χρήστης δηλώνει τη συνολική ισχύ που αντιστοιχεί σε κάθε θερμική ζώνη. Από την επιλογή «Building Shell», στη συνέχεια «E1 Ground Flr» επιλέγοντας έναν χώρο και έπειτα επιλέγοντας «Equipment» ανοίγει το παράθυρο όπου δηλώνεται η συνολική ισχύς του κάθε χώρου, η οποία λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.23. Στο κελί κάτω από το πλαίσιο «Equipment Schedule», ορίζεται το πρόγραμμα λειτουργίας του εξοπλισμού που αντιστοιχεί στον τρέχον χώρο.

Εναλλακτικά μπορεί να δηλωθεί η θερμική ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους. Στην περίπτωση που δηλωθούν και τα δύο κελιά τότε οι συνεισφορές προστίθενται.

Επίσης, δηλώνεται προαιρετικά το αισθητό και το λανθάνον φορτίο του εξοπλισμού με έναν συντελεστή αναλογίας, ο οποίος αθροίζοντας τις δύο τιμές είναι μικρότερος ή ίσος του 1. Στην περίπτωση που τα κελιά δεν λάβουν κάποια τιμή, τότε το πρόγραμμα θεωρεί ότι όλο το φορτίο είναι αισθητό. Τα μεγέθη αυτά μπορούν να δοθούν έως 5 διαφορετικές περιπτώσεις σε κάθε χώρο.

Στο Σχήμα 5.29 απεικονίζεται το παράθυρο εισαγωγής των δεδομένων για το χώρο 1. Όσον αφορά τους υπόλοιπους χώρους, τα δεδομένα εισάγονται με τον ίδιο τρόπο και οι τιμές της θερμικής ισχύος λαμβάνονται από τον Πίνακα -2978.55.

| | Equipment Schedule | Input Power Density (W/ft2) | Input Power (kW) | Sensible HG (ratio) | Latent HG (ratio) |
|---|----------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | Miscel.space1.ANNUAL | | 0,52 | 1,00 | 0,00 |
| 2 | - undefined - | n/a | n/a | n/a | n/a |
| 3 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| 4 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |

Σχήμα 5.29: Παράθυρο εισαγωγής του προγράμματος λειτουργίας και της ισχύος για τις ηλεκτρικές - ηλεκτρονικές συσκευές της εγκατάστασης για το χώρο 1.

5.10 Φυσικός Αερισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι μία ακόμη παράμετρος την οποία εισάγει ο χρήστης. Για την επεξεργασία αυτής της παραμέτρου, από την μπάρα πλοήγησης «Building Shell», και στη συνέχεια από το δένδρο επιλογών «EL1 Ground Flr» επιλέγοντας έναν χώρο και έπειτα επιλέγοντας στο παράθυρο την καρτέλα «Infiltration» ανοίγει το παράθυρο όπου μπορεί να δηλωθούν οι ανανεώσεις του κτηρίου.

Αρχικά προσδιορίζεται στο πλαίσιο «Infiltration Method» η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την διείσδυση του αέρα στο χώρο. Ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται ο ρυθμός αυτός είναι ανεξάρτητος ή όχι της τοπικής ταχύτητας του ανέμου και της διαφοράς εσωτερικής με εξωτερικής θερμοκρασίας.

Στο κτήριο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αλλαγής αέρα (Air Change). Σε αυτή την κατηγορία ο χρήστης πρέπει να δηλώσει τις εναλλαγές ανά ώρα (Air Changes/Hour) και τον ρυθμό εναλλαγής αέρα (Infiltration Flow), όπου ο συνολικός αερισμός ισούται με το άθροισμα τους. Συγκεκριμένα στο παράθυρο αυτό συμπληρώνονται οι τιμές του ρυθμού εναλλαγής αέρα για κάθε χώρο σύμφωνα με τον Πίνακα 4.24. Τέλος για κάθε χώρο σε αυτό το παράθυρο δηλώνεται το αντίστοιχο ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας που έχει δημιουργηθεί για τη λειτουργία του αερισμού του κτηρίου.

Ενδεικτικά στο Σχήμα 5.30 απεικονίζεται το παράθυρο λειτουργίας στο οποίο δηλώνονται τα παραπάνω στοιχεία για το χώρο 1. Με παρόμοιο τρόπο δηλώνονται για τους υπολοίπους χώρους.

| | | | |
|--|--------------------|----------------------|------------------------|
| Currently Active Space: | 1..W Space (fG.s1) | Zone Type: | Conditioned |
| Basic Specs Equipment Infiltration Daylighting Contents Lighting | | | |
| Infiltration Method: | Air Change | Schedule: | Inf_Fans.space1.ANNUAL |
| Air Change Method | | Crack Method | |
| Air Changes/Hour: | 0,00 | Neutral Zone Height: | n/a ft |
| Infiltration Flow: | 0,6600 cfm/ft2 | | |

Σχήμα 5.30: Δήλωση δεδομένων φυσικού αερισμού του χώρου 1.

5.11 Φωτισμός

Στο πρόγραμμα eQUEST όσον αφορά τον τρόπο δήλωσης του ηλεκτρικού φωτισμού της εγκατάστασης υπάρχουν τρεις επιλογές .

1. Η επιλογή όπου ορίζεται η ισχύς των εγκατεστημένων φωτιστικών (Power Definition).
2. Η επιλογή στην οποία καθορίζετε από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος ο τύπος του λαμπτήρα, ο τύπος του φωτιστικού και το πλήθος των φωτιστικών σωμάτων (Luminaire Count).
3. Η επιλογή στην οποία ορίζεται ο τύπος του λαμπτήρα ο τύπος του φωτιστικού και η επιθυμητή ένταση φωτισμού όταν τα φωτά είναι πλήρως ανοιχτό.(Illuminance).

Στο κτήριο που μελετάται επιλέχθηκε η πρώτη επιλογή, δηλαδή η δήλωση της ισχύος των εγκατεστημένων φωτιστικών. Για να οριστεί αυτό το μέγεθος από την επιλογή «Building Shell/ EL1 Ground Flr» επιλέγοντας έναν χώρο και έπειτα από την ταμπέλα «Lighting» ανοίγει το παράθυρο δήλωσης των στοιχείων του φωτισμού. Έτσι, ορίζεται σε αυτό το παράθυρο από το χρήστη η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας, η οποία λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.25. Στο ίδιο παράθυρο δηλώνεται το πρόγραμμα λειτουργίας του φωτισμού. Ενδεικτικά στο Σχήμα 5.31 απεικονίζεται το παράθυρο εισαγωγής των δεδομένων για το χώρο 1, ενώ η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για τους υπόλοιπους χώρους.

| | Power Density (W/ft2) | Power (kW) | Lighting Type | Schedule | Light to Space (ratio) | Light to Adj Spc (ratio) | Light to Return (ratio) | Rad F Thi Spa |
|---|-----------------------|------------|---------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| 1 | 2,300 | | Sus Fluor | Lighting.space1.ANNUAL | 1,00 | | 0,00 | |
| 2 | n/a | n/a | Sus Fluor | - undefined - | n/a | n/a | n/a | |

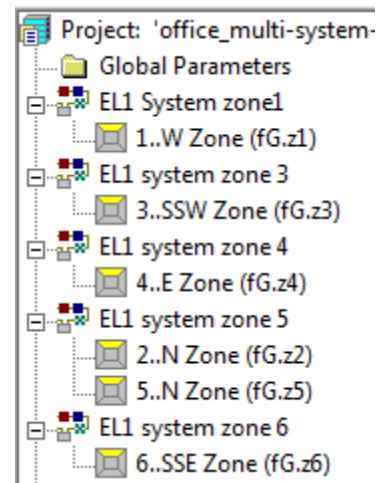
Σχήμα 5.31: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων τεχνητού φωτισμού του χώρου 1.

5.12 Σύστημα ψύξης και Σύστημα θέρμανσης

Για τη δημιουργία και επεξεργασία των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και ψύξης του κτηρίου από την μπάρα πλοήγησης επιλέγεται «Air-Side HVAC» με σκοπό να εμφανιστεί η πλευρική εργαλειοθήκη αυτής της επιλογής, για την δημιουργία και επεξεργασία του συστήματος.

Στο τυπικό κτήριο για κάθε κλιματιζόμενη ζώνη δημιουργήθηκε ένα σύστημα HVAC ενώ, ο μη κλιματιζόμενος χώρος υγιεινής δηλώθηκε στο σύστημα HVAC της κουζίνας, αφού είναι υποχρεωτική η δήλωση κάθε χώρου σε ένα σύστημα, έστω και αν δεν κλιματίζεται. Έτσι για το τυπικό κτήριο δημιουργούνται πέντε συστήματα με τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας. Συγκεκριμένα, δηλώνονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Το είδος του συστήματος.
- Οι διαστάσεις.
- Η ζώνη που θα αντιπροσωπεύει κάθε σύστημα.
- Προαιρετικοί παράμετροι.
- Το πρόγραμμα λειτουργίας.
- Οι θερμοκρασίες λειτουργίας.
- Τα όρια υγρασίας .
- Η ροή του εξωτερικού αέρα.
- Τα χαρακτηριστικά του εξαερισμού.



Σχήμα 5.32: Δένδρο επιλογών για το σύστημα HVAC του κτηρίου.

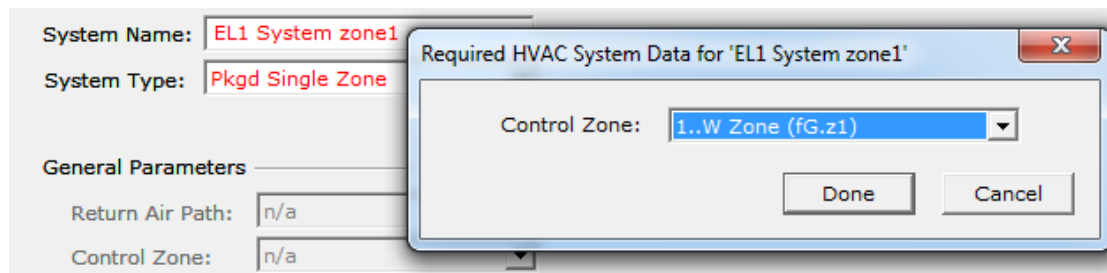
Επιλέγοντας από την πλευρική εργαλειοθήκη το πρώτο σύστημα HVAC, το οποίο έως τώρα έχει οριστεί από την προεπιλογή του προγράμματος eQUEST ανοίγει ένα παράθυρο λειτουργίας το οποίο απαρτίζεται από 8 καρτέλες. Στις καρτέλες των «Basics, Fans, Outdoor Air, Cooling και Heating» εισάγονται τα δεδομένα που αναφέρονται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.



Σχήμα 5.33: Καρτέλες επιλογών από το παράθυρο επεξεργασίας των συστημάτων HVAC.

5.12.1 Καρτέλα Basics

Σε αυτό το παράθυρο δηλώνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Σαν πρώτη επιλογή ορίζεται η ονομασία και το είδος του συστήματος. Για το συγκεκριμένο κτήριο ορίστηκε ως σύστημα η επιλογή «PkgdSingleZone», η οποία σημαίνει ότι το σύστημα που δημιουργείται καλύπτει μία μόνο θερμική ζώνη. Σαφώς υπάρχουν και άλλες επιλογές για το είδος του συστήματος. Λόγου χάρη μία άλλη εναλλακτική επιλογή είναι το «Pkgd Multilevel», το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι το σύστημα HVAC θα λειτουργεί για παραπάνω από μία θερμική ζώνη. Επιλέγοντας όμως κάθε θερμική ζώνη να έχει το δικό της σύστημα δίνεται η ευελιξία στον έλεγχο του κάθε χώρου του κτηρίου. Στη συνέχεια δηλώνεται ο χώρος που θα ελέγχεται από αυτό το σύστημα. Έτσι όλοι οι χώροι εκτός του χώρου 2 έχουν δηλωθεί σε ένα σύστημα HVAC. Στο Σχήμα 5.34 απεικονίζεται ενδεικτικά για το χώρο 1 η ονομασία, το είδος του συστήματος και η δήλωση του χώρου στο σύστημα.



Σχήμα 5.34: Ορισμός θερμικής ζώνης που θα ελέγχει το σύστημα HVAC.

Επιπλέον, το πρόγραμμα eQUEST έχει ως προεπιλογή τη διαστασιολόγηση του εξοπλισμού του συστήματος βάσει του υπολογιζόμενου συνολικού φορτίου που απαιτείται για το σύστημα HVAC. Για λόγους ταχύτητας απόδοσης του φορτίου που απαιτείται, πραγματοποιείται υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος αυτού κατά 15%. Αυτό πραγματοποιείται αλλάζοντας τον συντελεστή «sizing-ratio». Το μέγεθος αυτό είναι ο λόγος της επιθυμητής απόδοσης είτε προς την απόδοση που έχει υπολογιστεί από το πρόγραμμα για τα μέγιστα φορτία, είτε προς την απόδοση του υπάρχοντος εξοπλισμού. Σημειώνεται ότι, αλλαγή στο μέγεθος sizing-ratio, δεν επηρεάζει τις επιθυμητές συνθήκες στον εκάστοτε χώρο, αλλά το μέγεθος του εξοπλισμού. Έτσι, αλλάζει η απόκριση του συστήματος και γίνεται πιο γρήγορο, αφού έχει υπερδιαστασιολογηθεί, όπως επίσης αλλάζει και το συνολικό ετήσιο φορτίο που καταναλώνουν οι μηχανές.

Air-Side HVAC System Parameters

Currently Active System: **EL1 System zone1** System Type: Pkgd Single Zone

Basics | Fans | Outdoor Air | Cooling | Heating | Preconditioner | Meters | Refrigeration

System Name: **EL1 System zone1**
System Type: **Pkgd Single Zone**

General Parameters

Return Air Path: **Duct**
Control Zone: **1..W Zone (fg.z1)**
System Reports: **Yes**
Dual Duct Type: **n/a**
WL/GS Ht Pump: **No**

System Sizing

Sizing Ratio: **1,15** ratio
Sizing Option: **Non Coincident**

Σχήμα 5.35: Καρτέλα Basics: Βασικά δεδομένα εισαγωγής του συστήματος HVAC.

5.12.2 Καρτέλα Fans

Ο εξαερισμός του κτηρίου επιτυγχάνεται μέσω ανεμιστήρων για τους οποίους πρέπει να προσδιοριστεί η απόδοση τους. Για να επιτευχθεί αυτό το πρόγραμμα προσφέρει δύο επιλογές. Με πιο απλά λόγια, δηλώνεται είτε η μέγιστη ισχύς που αποδίδει ο ανεμιστήρας προς την παροχή αέρα ανά λεπτό και η επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας, είτε η ολική πίεση του παρεχόμενου αέρα στο σημείο σχεδιασμού και ο ολικός βαθμός απόδοσης της μηχανής. Στην τελευταία περίπτωση προσδιορίζεται επίσης και ο μηχανικός βαθμός απόδοσης.

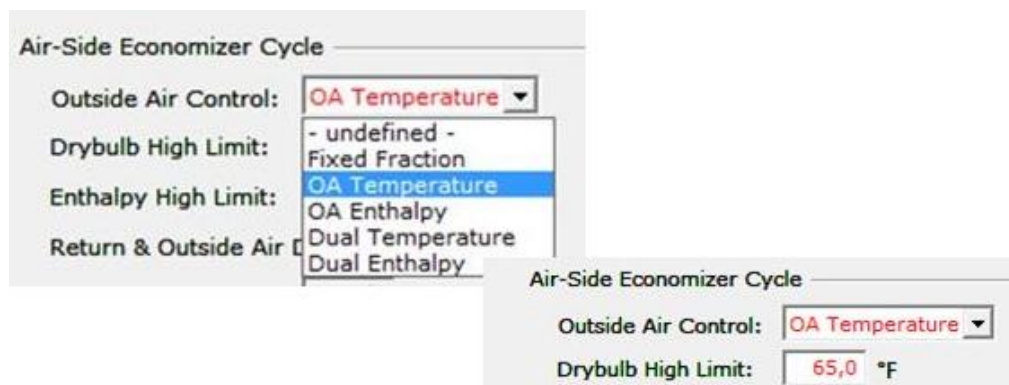
| | Design kW/cfm | Delta T °F | Static in WG | Tot Eff Frac | Mech Eff Frac |
|---------|------------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Supply: | n/a | n/a | 1,15 | 0,53 | 0,62 |

Σχήμα 5.36: Δεδομένα εισαγωγής στην καρτέλα Fans.

5.12.3 Καρτέλα Outdoor Air

Μία άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη ώστε να λειτουργήσει το σύστημα HVAC, είναι τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού αέρα, του αέρα δηλαδή που αναρροφάται από τους ανεμιστήρες. Υπάρχουν πέντε δυνατές επιλογές βάσει των οποίων καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού αέρα, οι οποίες είναι οι εξής:

- Fixed: Καθορίζεται συγκεκριμένη παροχή αέρα, η οποία είναι ανεξάρτητη της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα.
- OA-TEMP: Καθορίζεται η μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα κάτω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα αερισμού.
- OA-ENTHALPY: Προσδιορίζεται η μέγιστη ενθαλπία του εξωτερικού αέρα κάτω από την οποία ενεργοποιείται το σύστημα αερισμού.
- DUAL-TEMP: Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από την θερμοκρασία του επιστρεφόμενου αέρα.
- DUAL-ENTHALPY: Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα ενεργοποιείται όταν η ενθαλπία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από την ενθαλπία του επιστρεφόμενου αέρα.



Σχήμα 5.37: Δεδομένα εισαγωγής στην καρτέλα Outdoor Air.

5.12.4 Καρτέλα Cooling

Στην καρτέλα Cooling υπάρχουν αρκετές επιλογές στις υποκαρτέλες, τις οποίες το πρόγραμμα τις έχει ορίσει με βάση τις default τιμές. Στην πρώτη υποκαρτέλα ορίζεται το σύστημα ψύξης της εγκατάστασης στην επιλογή «Cool Source». Το πρόγραμμα δίνει τις εξής επιλογές :

- Ψύκτης νερού (CHILLED-WATER)
- ELEC-DX
- n/a

Η τρίτη επιλογή ορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα στην περίπτωση όπου ως σύστημα θέρμανσης έχουν επιλεγεί αντλίες θερμότητας, όπως ακριβώς έχει επιλεγεί και για το συγκεκριμένο κτήριο. Με αυτή την επιλογή δηλαδή, θα οριστεί αυτόματα σε αντλία θερμότητας και το κελί έχει την επιλογή n/a.

Η επόμενη είσοδος που δίνεται από το χρήστη είναι η τιμή του Coil Design Bypass Factor, δηλαδή η τιμή του συντελεστή παράκαμψης. Ο συντελεστής αυτός δηλώνει την ποσότητα του αέρα που παρακάμπτεται σε σχέση με τον ολικό αέρα προσαγωγής στο στοιχείο με αποτέλεσμα ο αέρας αυτός να παραμένει ακατέργαστος από το στοιχείο και να εξέρχεται με τις συνθήκες που εισήλθε. Έπειτα ορίζεται η τιμή της επιλογής «Zone Entering Min Supply Temp». Η τιμή αυτή, χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα ως το τελευταίο σημείο ελέγχου του αέρα καθώς μπαίνει στο δωμάτιο και αναμιγνύεται με τα υπόλοιπα στοιχεία του δωματίου. Η θερμοκρασία αυτή ορίζεται να είναι χαμηλότερη από την εσωτερική θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο κατά τη θερινή περίοδο, δηλαδή ορίζεται στους 65 Fahrenheit δηλαδή 18.3 Celsius.

The image shows two panels of a software interface. The left panel, titled 'Cooling Capacity', contains the following fields: Cool Source (n/a), Total Cooling Capacity (empty), Sensible Cooling Capacity (empty), Cool Sizing Ratio (1,00 ratio), RPM Limits, Max & Min (n/a, n/a rpm), Min Cycling Part Load Ratio (0,80 ratio), CHW Coil Head (n/a ft), CHW Coil Delta T (n/a °F (delta)), CHW Valve Type (n/a), CHW Loop (n/a), and Coil Design Bypass Factor (0,24 ratio). The right panel, titled 'Cooling Control and Reset', contains: Zone Entering Min Supply Temp (65,0 °F), Cold Deck Min Leaving Temp (n/a °F), Cool Control Range (4,0 °R), Min Supply Sch (- undefined -), Cold Deck Sch (n/a), Availability Sch (- undefined -), Cool Control (n/a), Reset Priority (n/a), Cool Reset Sch (n/a), Maximum Cooling Reset Temp (n/a °F), Minimum Cooling Reset Temp (n/a °F), and Minimum Reset Flow (n/a ratio).

Σχήμα 5.38: Δεδομένα εισαγωγής στην καρτέλα Cooling.

The image shows a window titled 'Air-Side HVAC System Parameters'. The 'Currently Active System' is 'EL1 System zone1'. The 'Cooling' tab is selected. Under 'Cooling Power', the 'Cooling Electric Input Ratio' is set to 0,3300 Btu/Btu.

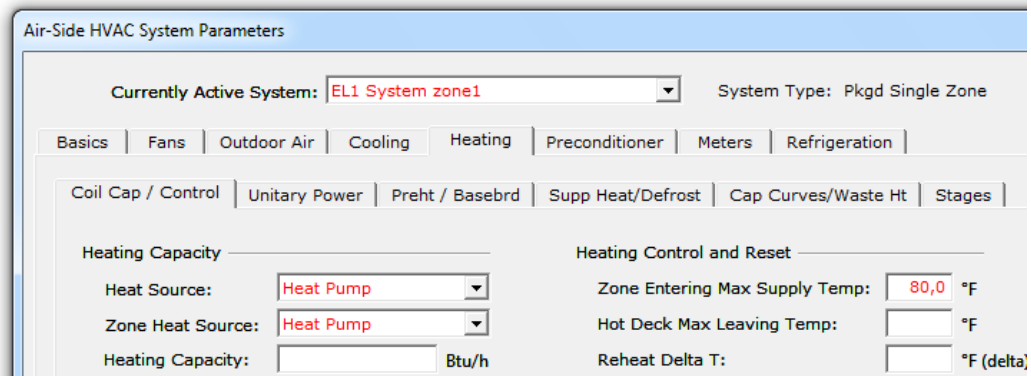
Σχήμα 5.39: Ορισμός του συντελεστή αναλογίας της αντλίας θερμότητας.

Επιπλέον, στο επόμενο παράθυρο λειτουργίας της ταμπέλας «Cooling, Unitary Power», εισάγεται στο κελί η τιμή του συντελεστή αναλογίας Electric Input Ratio (EIR).

5.12.5 Ταμπέλα Heating

Προσδιορίζεται η πηγή θερμότητας για την θέρμανση του χώρου. Ορισμένες επιτρεπόμενες πηγές θερμότητας που διατίθενται από το συγκεκριμένο λογισμικό είναι:

- Electric: Με ηλεκτρικό ρεύμα
- Furnace: Με καύση.
- Heat Pump: Αντλίες θερμότητας
- Gas Heat Pump: Αντλία θερμότητας με φυσικό αέριο
- None: Κανένα είδος θέρμανσης



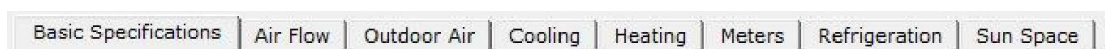
Σχήμα 5.40: Δεδομένα εισαγωγής της καρτέλας Heating.

Η επόμενη είσοδος που ορίζεται είναι η τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας που παρέχεται στις ζώνες από το σύστημα. Ορίζεται στο κελί « Zone Entering Max Supply Temp» μετρημένη στην κλίμακα Fahrenheit. Η θερμοκρασία αυτή ορίζεται να είναι υψηλότερη από την εσωτερική θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο κατά τη χειμερινή περίοδο, και ορίζεται στους 80 Fahrenheit δηλαδή, 26.6 Celsius.

Επιπλέον, στο το επόμενο παράθυρο λειτουργίας της ταμπέλας «Heating, Unitary Power», εισάγεται στο κελί «Heating Electric Input Ration», η τιμή του συντελεστή αναλογίας Electric Input Ratio (EIR).

5.13 Συνθήκες χώρου

Αφού δημιουργηθούν τα πέντε συστήματα, επόμενο βήμα είναι ο ορισμός των συνθηκών που επικρατούν στους εσωτερικούς χώρους. Από την πλευρική εργαλειοθήκη επιλέγοντας έναν χώρο την φορά ορίζονται οι συνθήκες που επικρατούν στο χώρο. Επιλέγοντας το χώρο ανοίγει ένα παράθυρο με την δυνατότητα επεξεργασίας πολλών πεδίων. Οι συνθήκες όμως που έχουν επιλεγεί να δοθούν συνοψίζονται στην πρώτη επιλογή, «Basic Specifications».



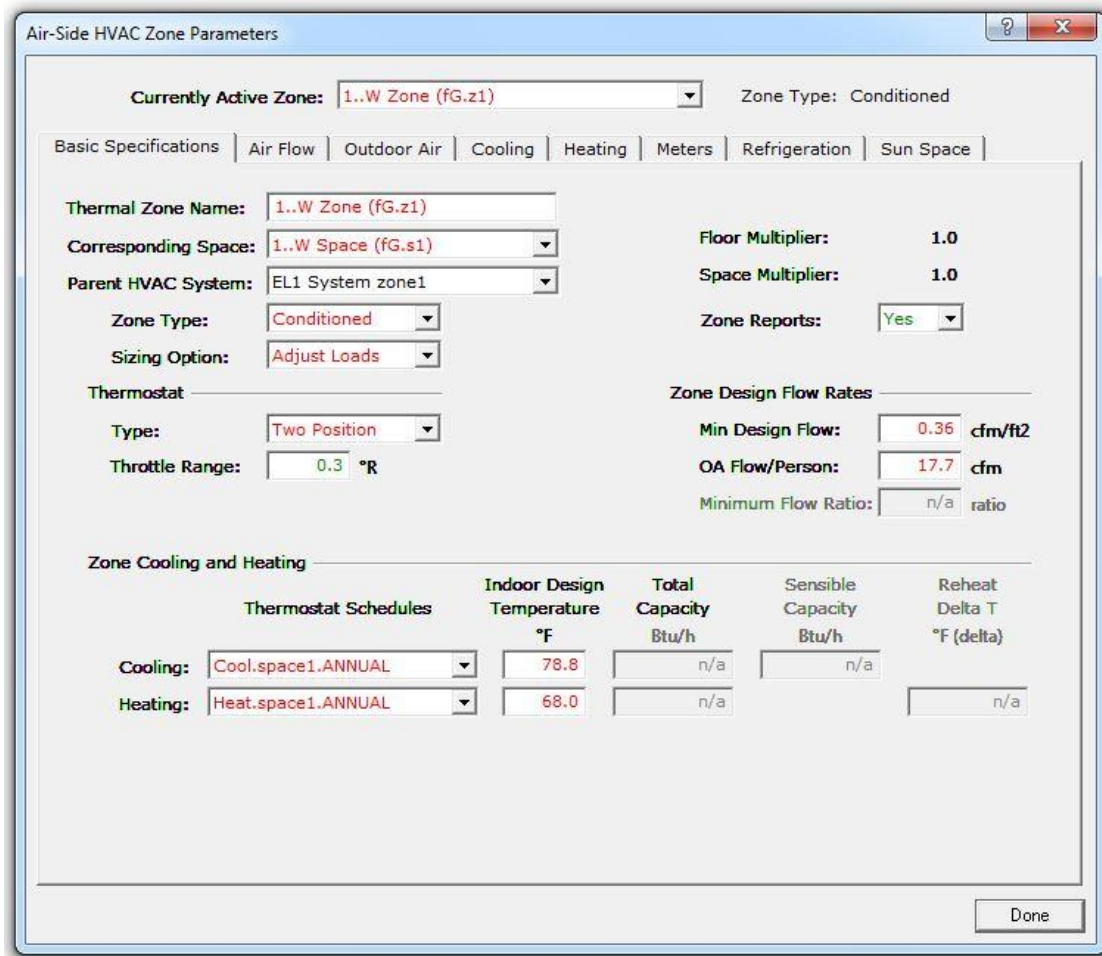
Σχήμα 5.41: Καρτέλες επιλογών από το παράθυρο επεξεργασίας των χώρων των συστημάτων HVAC.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.42, για το χώρο 1 λόγω χάρη, παρουσιάζεται η ονομασία της θερμικής ζώνης και του χώρου όπως αυτά έχουν δηλωθεί σε προηγούμενο βήμα. Σε αυτό το βήμα, ο χρήστης στην επιλογή : «Parent HVAC System» δηλώνει το σύστημα που θα αντιστοιχεί σε αυτόν το χώρο.

Επιπλέον δηλώνεται εάν ο χώρος είναι ή όχι κλιματιζόμενος και αυτό διότι όλοι οι χώροι, κλιματιζόμενοι και μη πρέπει να δηλωθούν σε ένα σύστημα. Επισημαίνεται ότι ο μη κλιματιζόμενος χώρος 2, δηλώνει ως σύστημα το σύστημα του χώρου 5 αλλά σε αυτό το πεδίο δηλώνεται ότι είναι μη κλιματιζόμενος.

Στη συνέχεια, στην επιλογή «Min Design Flow» δηλώνεται ο απαιτούμενος νωπός αέρας ανά επιφάνεια δαπέδου $\left(\frac{cfm}{t^2}\right)$ και στην επιλογή «OA Flow/Person» ορίζεται ο απαιτούμενος νωπός αέρας (cfm) ανά άτομο οι τιμές των οποίων δίνονται στον Πίνακα 4.26.

Επίσης, για κάθε χώρο δηλώνονται τα προγράμματα λειτουργίας που δημιουργήθηκαν για την ψύξη και την θέρμανση στο αντίστοιχο κελί του προγράμματος. Τέλος, σε αυτό το παράθυρο ορίζονται οι τιμές της θερμοκρασίας που θα επικρατούν στο εσωτερικού κάθε χώρου για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο μετρημένες στην κλίμακα Φαρενάιτ. Οι τιμές αυτές αναγράφονται στον Πίνακα 4.27.



Σχήμα 5.42: Καρτέλα βασικών επιλογών από το παράθυρο επεξεργασίας των χώρων των συστημάτων HVAC.

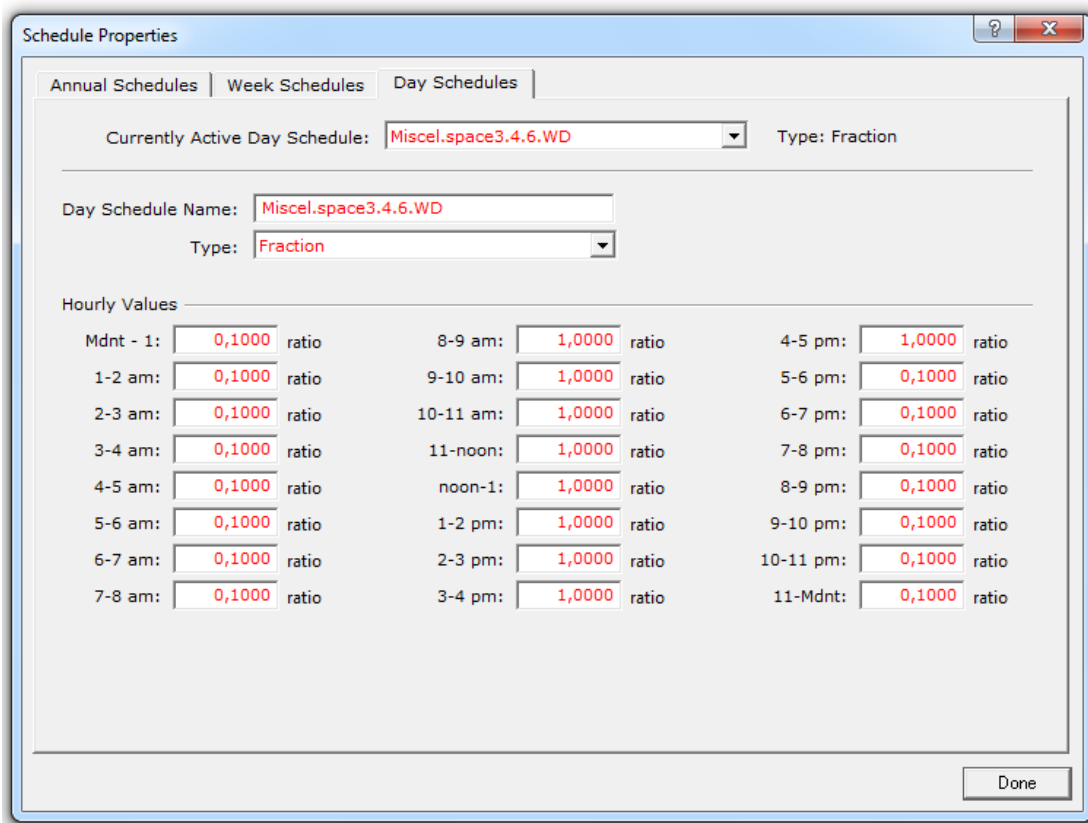
5.14 Ωράριο και περίοδος λειτουργίας του κτηρίου

Για τη δημιουργία του εβδομαδιαίου προγράμματος λειτουργίας των ανθρώπων, του εξοπλισμού κτλ, απαιτείται η δημιουργία των δύο ημερησίων προγραμμάτων λειτουργίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Στη συνέχεια, δημιουργείται το εβδομαδιαίο και τέλος το ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας. Το ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας είναι αυτό το οποίο θα δηλωθεί στα παράθυρα του προγράμματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη δημιουργία των προγραμμάτων λειτουργίας, ορίζεται το είδος του προγράμματος. Για παράδειγμα, όσον αφορά το είδος του προγράμματος μπορεί να ορισθεί ο συντελεστής αναλογίας, ο συντελεστής πολλαπλασιασμού, τα όρια των θερμοκρασιών κ.α.

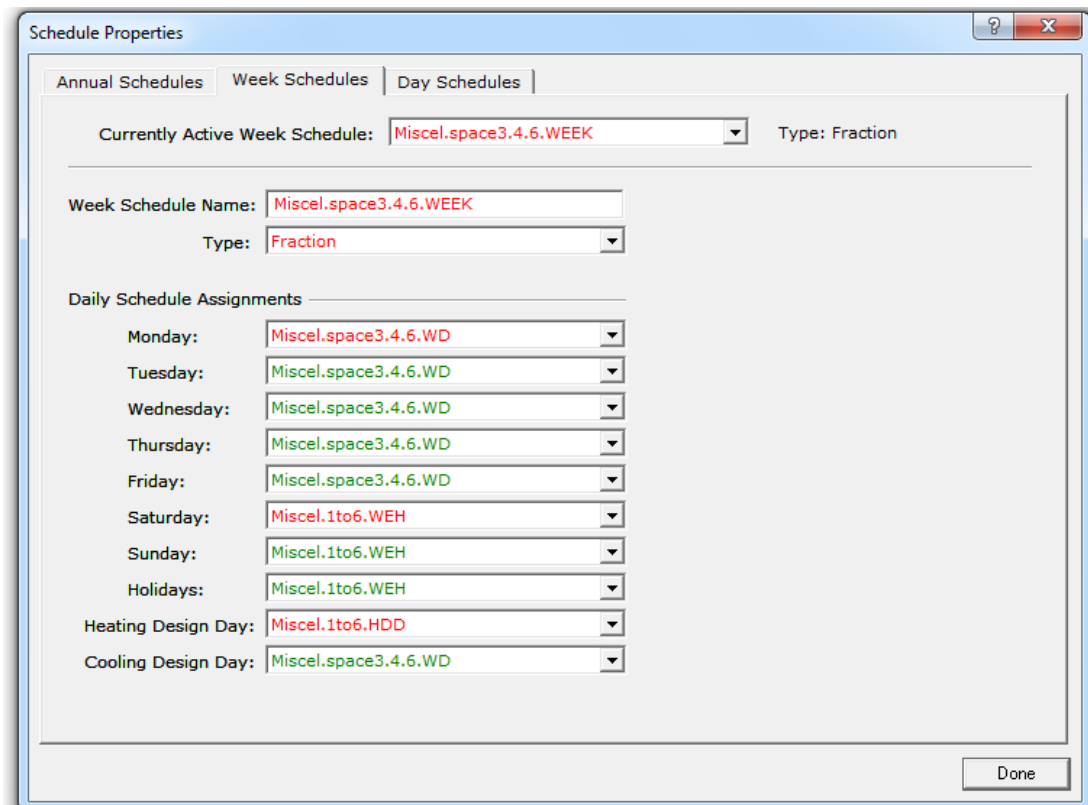
| | |
|--------------------|---|
| Day Schedule Name: | Miscel.space3.4.6.WD |
| Type: | Fraction |
| Hourly Values | <ul style="list-style-type: none"> On/Off Fraction Multiplier Temperature Radiation On/Off Temp On/Off Flag Frac/Design Exp Fraction Flag Reset Temp Reset Ratio |
| Mdnt - 1: | 0,10 |
| 1-2 am: | 0,10 |
| 2-3 am: | 0,10 |
| 3-4 am: | 0,10 |
| 4-5 am: | 0,10 |

Σχήμα 5.43: Ορισμός του είδους του προγράμματος για το χώρο 3 του κτηρίου.

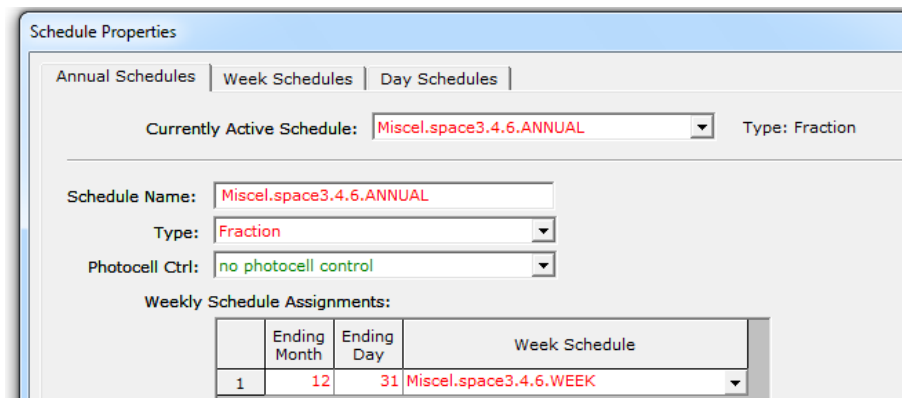
Λόγου χάρη, για τον εξοπλισμό του χώρου 3, αρχικά επιλέγεται το είδος του προγράμματος λειτουργίας να είναι «fraction», ένας συντελεστής που δηλώνει το ποσοστό λειτουργίας επί της λειτουργίας του εξοπλισμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.43. Στη συνέχεια, δημιουργείται το ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας, το πρόγραμμα των σαββατοκύριακων και των αργιών. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.45, αυτά τα δύο προγράμματα χρησιμοποιούνται με σκοπό να δημιουργηθεί το εβδομαδιαίο πρόγραμμα λειτουργίας. Στο εβδομαδιαίο πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα της δήλωσης της επιλογής «Heating and Cooling Design Day», εφόσον έχει δημιουργηθεί κατάλληλο ημερήσιο πρόγραμμα. Αυτή η επιλογή συμπληρώνεται και επηρεάζει την διαστασιολόγηση του συστήματος HVAC, ύστερα από την ενεργοποίηση κάποιας επιλογής, η οποία όμως δεν χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό αυτό. Στο επόμενο βήμα, ορίζεται ο ακριβής αριθμός ημερών και μηνών λειτουργίας του κτηρίου, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας. Το πρόγραμμα αυτό δηλώνεται στο κατάλληλο κελί, για κάθε θερμική ζώνη του κτηρίου. Για τον εξοπλισμό του χώρου 3 η δήλωση του προγράμματος απεικονίζεται στο Σχήμα 5.47. Σημαντική προϋπόθεση είναι κάθε πρόγραμμα λειτουργίας (ημερήσιο, εβδομαδιαίο και ετήσιο) να έχουν μοναδική ονομασία. Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται τα στάδια δημιουργίας του προγράμματος λειτουργίας του χώρου 3.



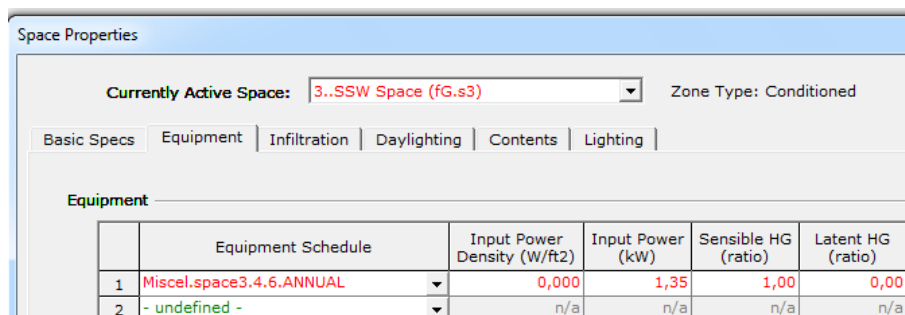
Σχήμα 5.44: Ημερήσιο πρόγραμμα λειτουργίας του χώρου 3.



Σχήμα 5.45: Εβδομαδιαίο πρόγραμμα λειτουργίας του χώρου 3.



Σχήμα 5.46: Ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας για τον εξοπλισμό του χώρου 3.



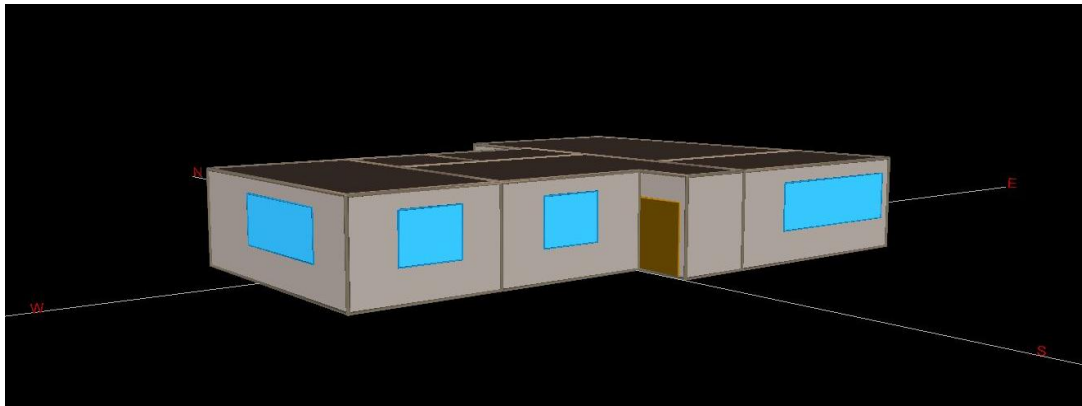
Σχήμα 5.47: Δήλωση του προγράμματος λειτουργίας του χώρου 3.

5.15 Φορτία συμβατικού κτηρίου

Αφού έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα στο πρόγραμμα, μέσω του προγράμματος eQUEST πραγματοποιείται η προσομοίωση και ο υπολογισμός των φορτίων του κτηρίου. Τα ηλεκτρικά φορτία τα οποία υπολογίζονται είναι: το ψυκτικό φορτίο, το θερμικό φορτίο, το φορτίο λόγω του εξαερισμού, το φορτίο λόγω των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, το φορτίο λόγω του φωτισμού καθώς και τα φορτία που προέκυψαν από τις υπόλοιπες καταναλώσεις. Τα φορτία αυτά υπολογίστηκαν για κάθε ένα μήνα του έτους και δίνονται στον Πίνακα 5.2. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι ετήσιες ηλεκτρικές απαιτήσεις όλου του κτηρίου ανέρχεται στις 69710 KWh_{el}.

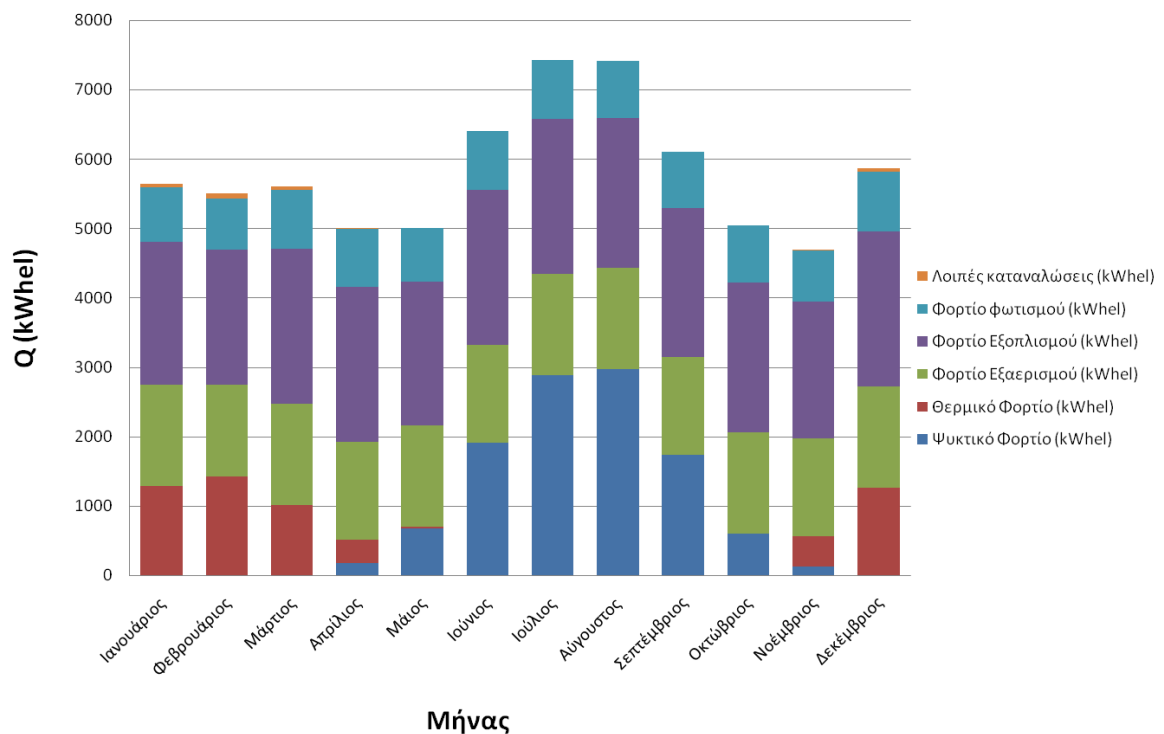
Όπως φαίνεται η ανάγκη για θέρμανση υπάρχει τους χειμερινούς μήνες και την άνοιξη ενώ την καλοκαιρινή περίοδο είναι έντονη η ανάγκη για κλιματισμό. Επίσης, οι μήνες που απαιτείται μέγιστη θέρμανση και ψύξη είναι ο Φεβρουάριος και ο Αύγουστος με φορτίο 1420 KWh_{el} και 2970 KWh_{el} αντίστοιχα. Από τα εσωτερικά φορτία, τα φορτία φωτισμού και εξοπλισμού είναι σχεδόν σταθερά για κάθε μήνα και είναι μεγέθη τα οποία δε μπορούμε να επέμβουμε άμεσα διότι για την αλλαγή τους είναι απαραίτητη η αλλαγή των παραμέτρων που έχουν οριστεί σύμφωνα με

κάποιες προδιαγραφές. Στο Σχήμα 5.48 απεικονίζεται η μορφολογία του κτηρίου, όπως αυτή έχει σχεδιαστεί και προσομοιωθεί με τη χρήση του λογισμικού eQUEST.



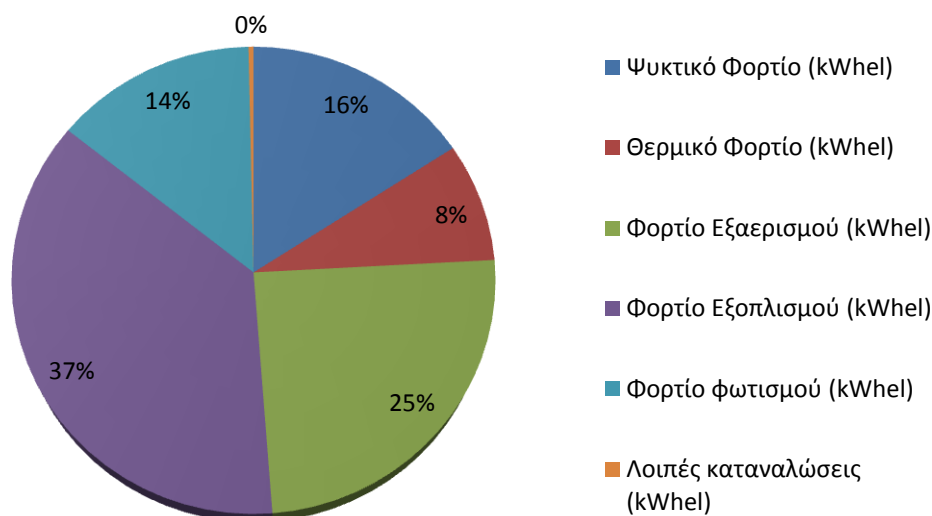
Σχήμα 5.48: Μορφολογία του πολυζωνικού κτηρίου.

Στο Σχήμα 5.49 παρουσιάζεται η τιμή του μηνιαίου ηλεκτρικού φορτίου για κάθε μία συνιστώσα που προαναφέρθηκε για τη διάρκεια ενός έτους, ενώ στο Σχήμα 5.50 δίνεται η τιμή του ετήσιου φορτίου για κάθε μία συνιστώσα και το ποσοστό σε σχέση με το ολικό φορτίο.



Σχήμα 5.49: Ηλεκτρική κατανάλωση τυπικού κτηρίου για τη διάρκεια ενός έτους.

Ετήσια Ηλεκτρική Κατανάλωση



Σχήμα 5.50: Ποσοστό ετήσιου φορτίου κάθε συνιστώσας του κτηρίου.

Πίνακας 5.2: Τιμές μηνιαίας και ετήσιας ηλεκτρικής κατανάλωσης της εγκατάστασης.

| Μήνας | Ψυκτικό Φορτίο (kWh _{el}) | Θερμικό Φορτίο (kWh _{el}) | Φορτίο Εξαερισμού (kWh _{el}) | Φορτίο Εξοπλισμού (kWh _{el}) | Φορτίο Φωτισμού (kWh _{el}) | Λοιπές καταναλώσεις (kWh _{el}) | Ολικό Φορτίο (kWh _{el}) |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Ιαν. | - | 1280 | 1460 | 2070 | 780 | 50 | 5640 |
| Φεβ. | - | 1420 | 1320 | 1950 | 740 | 70 | 5500 |
| Μάρ. | - | 1010 | 1460 | 2240 | 850 | 40 | 5600 |
| Απρ. | 170 | 340 | 1410 | 2230 | 850 | 10 | 5010 |
| Μάι. | 670 | 30 | 1460 | 2070 | 780 | - | 5010 |
| Ιούν. | 1910 | - | 1410 | 2230 | 850 | - | 6400 |
| Ιούλ. | 2880 | - | 1460 | 2240 | 850 | - | 7430 |
| Αύγ. | 2970 | - | 1460 | 2160 | 820 | - | 7410 |
| Σεπτ. | 1730 | - | 1410 | 2150 | 810 | - | 6100 |
| Οκτ. | 600 | - | 1460 | 2160 | 820 | - | 5040 |
| Νοέμ. | 130 | 430 | 1410 | 1970 | 740 | 10 | 4690 |
| Δεκ. | - | 1260 | 1460 | 2240 | 850 | 60 | 5870 |
| Ετήσιο | 11060 | 5770 | 17180 | 25710 | 9740 | 240 | 69710 |

Στη συνέχεια, με βάση το συντελεστή απόδοσης, Coefficient of performance (COP) που έχει ληφθεί για την εγκατάσταση υπολογίζεται το θεωρητικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο που απαιτείται. Συγκεκριμένα, με βάση την Εξίσωση 4.11 και

δεδομένου ότι για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης $COP = 3.1$ υπολογίστηκαν τα θεωρητικά φορτία τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

$$COP = \frac{Q_{\text{θερμικ ή Ενέργεια}}}{Q_{\text{ηλεκτρικ ή Ενέργεια}}} \quad \text{Εξ. 5.1}$$

Πίνακας 5.3: Θερμική και ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει η αντλία θερμότητας για την ψύξη και θέρμανση του χώρου.

| Μήνας | Ψυκτικό Φορτίο (kWh _{el}) | Ψυκτικό Φορτίο (kWh _{th}) | Θερμικό Φορτίο (kWh _{el}) | Θερμικό Φορτίο (kWh _{th}) |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Ιανουάριος | - | - | 1280 | 3968 |
| Φεβρουάριος | - | - | 1420 | 4402 |
| Μάρτιος | - | - | 1010 | 3131 |
| Απρίλιος | 170 | 527 | 340 | 1054 |
| Μάιος | 670 | 2077 | 30 | 93 |
| Ιούνιος | 1910 | 5921 | - | - |
| Ιούλιος | 2880 | 8928 | - | - |
| Αύγουστος | 2970 | 9207 | - | - |
| Σεπτέμβριος | 1730 | 5363 | - | - |
| Οκτώβριος | 600 | 1860 | - | - |
| Νοέμβριος | 130 | 403 | 430 | 1333 |
| Δεκέμβριος | - | - | 1260 | 3906 |
| Ετήσιο | 11060 | 34286 | 5770 | 17887 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Παραμετρική ανάλυση πολυζωνικού κτηρίου

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η εύρεση της επίδρασης που έχουν ορισμένες παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας στην ενεργειακή ανάλυση ενός πολυζωνικού κτηρίου. Αλλάζοντας τις παρακάτω παραμέτρους στο πρόγραμμα eQUEST, υπολογίζεται η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση, που απαιτείται για την κάλυψη των ετήσιων ψυκτικών, θερμικών και ολικών φορτίων του κτηρίου. Σημειώνεται ότι η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση αποτελείται από το άθροισμα των ψυκτικών και θερμικών φορτίων, των φορτίων εξαερισμού, εξοπλισμού και φωτισμού καθώς και το φορτίο και τις υπόλοιπες ιδιοκαταναλώσεις του κτηρίου. Μετά τον υπολογισμό των φορτίων που αναφέρθηκαν, εξάγονται τα διαγράμματα των φορτίων αυτών συναρτήσει της εκάστοτε παραμέτρου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι παράμετροι που επιλέχθηκαν να μεταβάλλονται είναι οι εξής:

1. Η θερμική διαπερατότητα των υαλοπινάκων.
2. Το εμβαδό των υαλοπινάκων.
3. Το πάχος της μόνωσης:
 - 3.1. της εξωτερικής τοιχοποιίας.
 - 3.2. της οροφής.
 - 3.3. της εξωτερικής τοιχοποιίας και της οροφής.
4. Ο φυσικός αερισμός του κτηρίου.
5. Η εξωτερική σκίαση.
6. Η εσωτερική σκίαση.

6.1 Επίδραση της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων στα φορτία του κτηρίου

Στην ενότητα αυτή υπολογίζονται η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για το ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου όπως και η συνολική κατανάλωση του κτηρίου για διάφορες τιμές της θερμικής διαπερατότητας. Οι τιμές της θερμικής διαπερατότητας, για τις οποίες υπολογίστηκαν τα φορτία, δίνονται στον Πίνακα 6.1, ενώ οι αναλυτικές τιμές των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

Επιπλέον, σε κάθε περίπτωση διατηρούνται σταθεροί οι εξής συντελεστές.

1. Συντελεστής σκίασης (Shading Coefficient) ίσος με 0.81
2. Συντελεστής ορατής διαπερατότητας (Visible Transmittance) ίσος με 0.90
3. Συντελεστής εκπομπής (Outside Emissivity) ίσος με 0.84

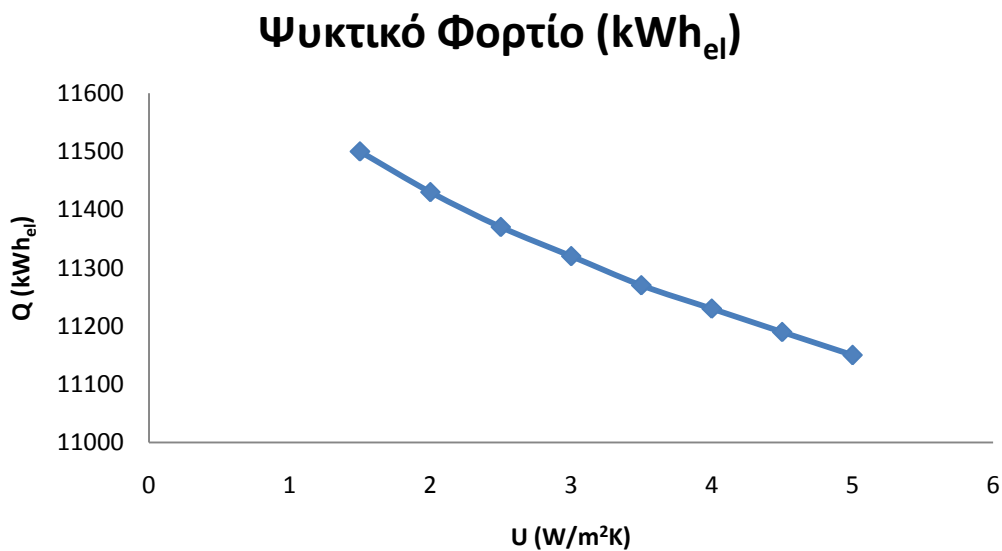
Όσον αφορά το πλαίσιο των υαλοπινάκων διατηρείται η επιλογή που έχει οριστεί και στο συμβατικό κτήριο, δηλαδή αλουμίνιο πάχους 5 cm με συντελεστή απορροφητικότητας ίσο με 0.7 και συντελεστή θερμικής διαπερατότητας ίσο με:

$$U_{\text{Πλαισίου}} = 2.7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Πίνακας 6.1: Τιμές της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων που επιλέχθηκαν για την εύρεση της επίδρασής της στα φορτία του κτηρίου.

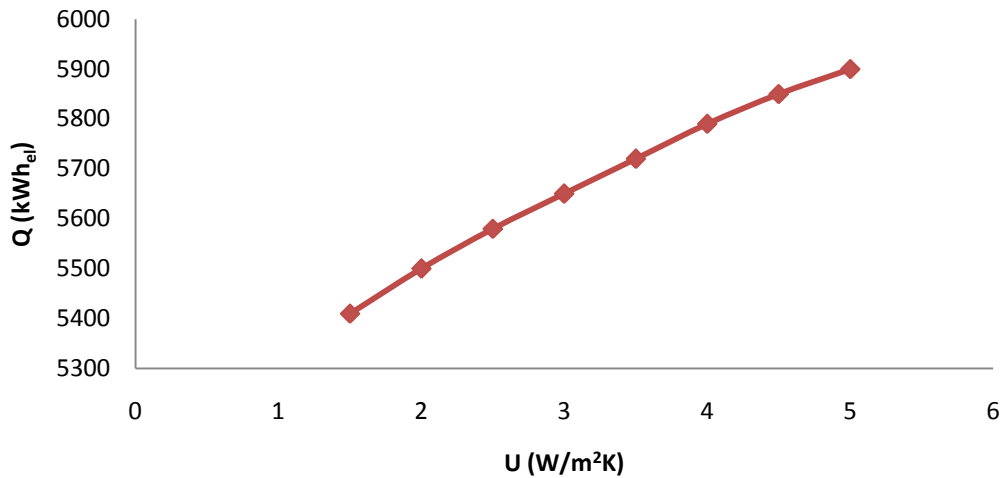
| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Θερμική Διαπερατότητα | $U \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$ | 5 | 4.5 | 4 | 3.5 | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 |
| | $U \left(\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F} \right)$ | 0.88 | 0.79 | 0.70 | 0.62 | 0.53 | 0.44 | 0.35 | 0.26 |

Στα ακόλουθα Σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ψυκτικών, των θερμικών και της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης του κτηρίου συναρτήσει της θερμικής διαπερατότητας.



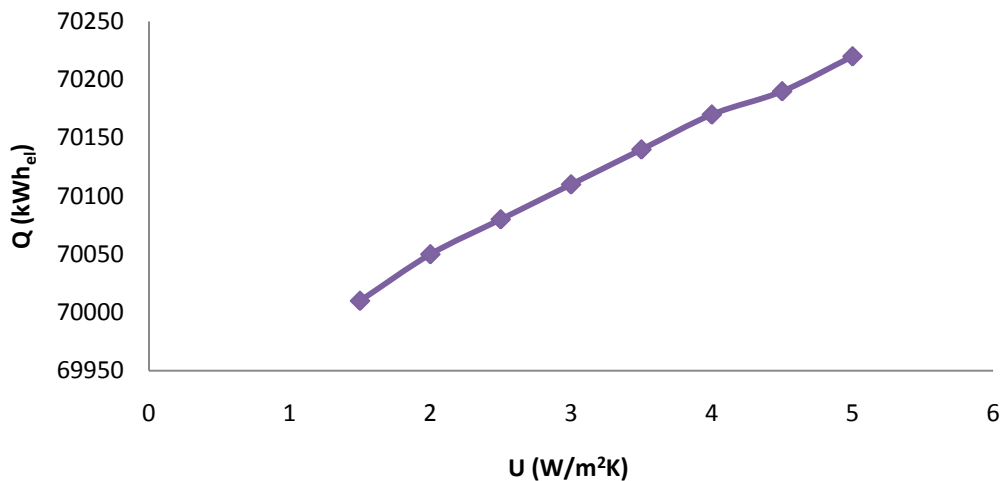
Σχήμα 6.1: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων.

Θερμικό Φορτίο (kWh_{el})



Σχήμα 6.2: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων.

Συνολική Κατανάλωση (kWh_{el})



Σχήμα 6.3: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων.

Όσο ο συντελεστής διαπερατότητας των υαλοπινάκων μεγαλώνει τόσο αυξάνονται οι θερμικές απώλειες του κτηρίου. Κατά τη χειμερινή περίοδο αναμένεται αύξηση του θερμικού φορτίου, καθώς η αύξηση του συντελεστή U συνεπάγεται την εκροή θερμότητας με μεγαλύτερο ρυθμό από το εσωτερικό του κτηρίου προς το ψυχρό περιβάλλον. Από την άλλη μεριά, στη διάρκεια μίας καλοκαιρινής ημέρας, η αύξηση του συντελεστή U ενισχύει την είσοδο της θερμότητας στο κτήριο, ενώ την νύχτα διευκολύνει την ροή της θερμότητας που συσσωρεύεται εντός του δωματίου προς

το εξωτερικό περιβάλλον. Από το Σχήμα 6.1, παρατηρείται τελικά, ότι όσο μεγαλώνει ο συντελεστής U τόσο μειώνεται το ψυκτικό φορτίο του κτηρίου.

Συγκρίνοντας τις τιμές των ψυκτικών, θερμικών και ολικών φορτίων του κτηρίου για τις περιπτώσεις όπου, $U_1 = 5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ και $U_8 = 1.5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ προκύπτουν οι ποσοστιαίες διαφορές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τιμές των U που επιλέχθηκαν δεν είναι τυχαίες, αλλά είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για τις οποίες πραγματοποιήθηκε η παραμετρική ανάλυση.

Πίνακας 6.2: Ποσοστιαία απόκλιση για το ψυκτικό και θερμικό φορτίο και για την ηλεκτρική κατανάλωση μεταξύ των περιπτώσεων 1 και 6.

| Φορτίο | Ψυκτικό φορτίο | Θερμικό φορτίο | Ηλεκτρική κατανάλωση |
|--------------------|----------------|----------------|----------------------|
| Ποσοστιαία διαφορά | 3.14% | 8.31% | 0.3% |

Είναι εμφανές, ότι η επίδραση της μεταβολής του συντελεστή U στα θερμικά φορτία του κτηρίου είναι και η πιο σημαντική. Συμπερασματικά, όσο αυξάνεται ο συντελεστής U τόσο συναλλάσσονται μεγαλύτερα ποσά θερμικής ενέργειας με το περιβάλλον.

6.2 Επίδραση του εμβαδού των υαλοπινάκων στα φορτία του κτηρίου

Στο υπό μελέτη κτήριο υπάρχουν σύνολο τρεις νότιοι υαλοπίνακες, ένας ανατολικός, ένας δυτικός και ένας βορινός υαλοπίνακας, με τους νότιους υαλοπίνακες να αποτελούν περίπου το 40% του συνολικού εμβαδού όλων των υαλοπινάκων του κτηρίου. Οι νότιοι υαλοπίνακες έχουν την σημαντικότερη επίδραση στα φορτία του κτηρίου, επειδή δέχονται την μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τους υπόλοιπους. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η παραμετροποίηση του εμβαδού των νότιων υαλοπινάκων. Οι διαστάσεις των υπόλοιπων υαλοπινάκων διατηρούνται όπως έχουν οριστεί στο συμβατικό κτήριο.

Οι νότιοι υαλοπίνακες βρίσκονται στους χώρους 1,2 και 6 και έχουν συνολικό άθροισμα εμβαδού 13.50 τετραγωνικά μέτρα (m^2). Σε κάθε μία από τις έξι περιπτώσεις, επιλέχθηκε να πολλαπλασιάζεται το εμβαδό του υαλοπίνακα του συμβατικού κτηρίου με έναν σταθερό συντελεστή, τον οποίο συμβολίζουμε ως " w ". Για την εύρεση των διαστάσεων των υαλοπινάκων, οι οποίες ορίστηκαν στο πρόγραμμα eQUEST, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής σχέσεις:

$$\text{Εμβαδό} = \text{Μήκος} \cdot \text{Ύψος} \quad \text{Εξ. 6.1}$$

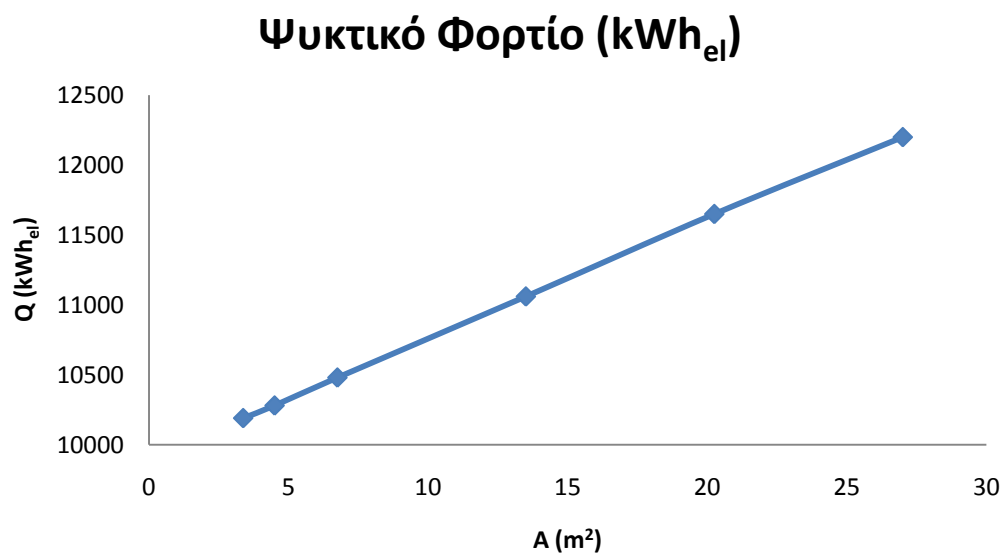
$$\text{Μήκος} = 2 \cdot \text{Ύψος} \quad \text{Εξ. 6.2}$$

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται ο συντελεστή πολλαπλασιασμού και το συνολικό εμβαδό που καταλαμβάνουν οι νότιοι υαλοπίνακες σε κάθε περίπτωση. Οι ακριβείς διαστάσεις κάθε περίπτωσης από τις παρακάτω δίνονται στο Παράρτημα Β.

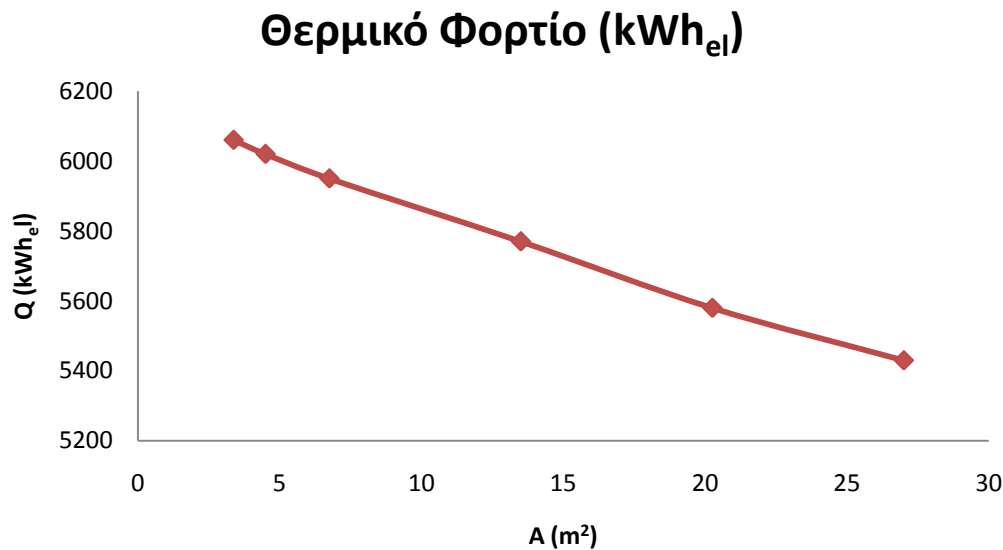
Πίνακας 6.3: Τιμές του εμβαδού των υαλοπινάκων που επιλέχθηκαν για την εύρεση της επίδρασής του στα φορτία του κτηρίου.

| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------------|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| w | | 0.25 | 0.33 | 0.50 | 1 | 1.5 | 2 |
| Συνολικό Εμβαδό Νότιων Υαλοπινάκων | $A (m^2)$ | 3.38 | 4.5 | 6.75 | 13.5 | 20.25 | 27 |
| | $A (ft^2)$ | 36.33 | 48.44 | 72.65 | 145.31 | 217.96 | 290.62 |

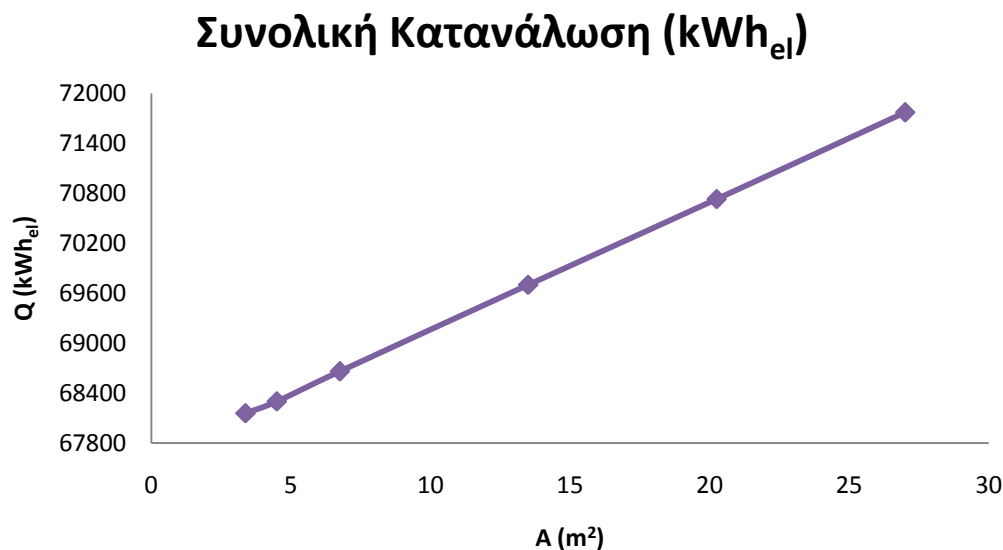
Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι επειδή, η θέση του υαλοπίνακα στον τοίχο επηρεάζει τα φορτία που εξαγονται από το πρόγραμμα eQUEST, επιλέχθηκε σε κάθε περίπτωση οι υαλοπίνακες να είναι κεντραρισμένοι ως προς την επιφάνεια του τοίχου.



Σχήμα 6.4: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικό εμβαδό των νότιων υαλοπινάκων.



Σχήμα 6.5: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικό εμβαδό των νότιων υαλοπινάκων.



Σχήμα 6.6: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικό εμβαδό των νότιων υαλοπινάκων.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο μπορεί να έχει σημαντική συμβολή στη μείωση της απαιτούμενης ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση και στην αύξηση της απαιτούμενης ενεργειακής κατανάλωσης για κλιματισμό. Η αύξηση του εμβαδού των υαλοπινάκων οδηγεί σε μεγαλύτερη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο.

Συγκρίνοντας τα φορτία του συμβατικού κτηρίου με αυτά των περιπτώσεων 1 και 6 προκύπτουν οι ποσοστιαίες διαφορές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Διευκρινίζεται ότι το αρνητικό πρόσημο σημαίνει μείωση του φορτίου σε σχέση με το φορτίο του συμβατικού κτηρίου ενώ αντίστοιχα, το θετικό πρόσημο σημαίνει αύξηση του φορτίου.

Πίνακας 6.4: Ποσοστιαία απόκλιση για το ψυκτικό και θερμικό φορτίο και για την ηλεκτρική κατανάλωση για τις περιπτώσεις 1 και 6 σε σχέση με τα φορτία του συμβατικού κτηρίου (περίπτωση 4).

| Φορτίο | | Ψυκτικό φορτίο | Θερμικό φορτίο | Ηλεκτρική κατανάλωση |
|-----------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------------|
| Ποσοστιαία διαφορά | Περιπτώσεις 1 και 4 | -9.34% | 6.26% | -2.88% |
| | Περιπτώσεις 4 και 6 | 8.54% | -4.79% | 2.26% |

Ως αποτέλεσμα της αύξησης του εμβαδού των υαλοπινάκων είναι η αύξηση του ψυκτικού φορτίου κατά του θερινούς μήνες, διότι εισρέουν μεγαλύτερα ποσά θερμότητας εντός του κτηρίου. Η τοποθέτηση ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι θα βοηθούσε στον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο με αποτέλεσμα την μείωση του ψυκτικού φορτίου που απαιτείται.

Αντιθέτως, κατά τη χειμερινή περίοδο η εισροή θερμότητας στο χώρο είναι επιθυμητή, διότι μειώνεται το θερμικό φορτίο. Συγκριτικά με το συμβατικό κτήριο, το οποίο μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία το θερμικό φορτίο μειώνεται έως και 4.79%. Όσον αφορά την ολική ηλεκτρική κατανάλωση του κτηρίου, παρατηρούμε ότι αυξάνεται καθώς αυξάνεται το εμβαδό των υαλοπινάκων.

Ένα ακόμη όφελος της αύξησης της επιφάνειας των υαλοπινάκων είναι η βελτίωση στην ένταση και στην ποιότητα του φυσικού φωτισμού. Ως εκ τούτου, μειώνονται και τα φορτία του φωτισμού. Επομένως, θεμιτό είναι σε ένα κτήριο να υπάρχουν μεγάλοι υαλοπίνακες, αλλά απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εσωτερική ή/και εξωτερική σκίαση, ώστε να αποφεύγεται η αύξηση των ψυκτικών φορτίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

6.3 Επίδραση της μόνωσης στα φορτία του κτηρίου

Η μόνωση είναι ένας ιδιαίτερα σπουδαίος παράγοντας που επηρεάζει την εισροή και εκροή θερμότητας σε ένα κτήριο και συνεπώς τα φορτία ενός κτηρίου. Σε αυτή την ενότητα μελετάται η επίδραση της μόνωσης ενός κτηρίου όσον αφορά τους

εξωτερικούς τοίχους και την οροφή. Το υλικό της μόνωσης που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται στο συμβατικό κτήριο.

Για τη μελέτη αυτή, μεταβάλλεται το πάχος της μόνωσης του υλικού αυτού και εξετάζονται τα εξής τρία σενάρια:

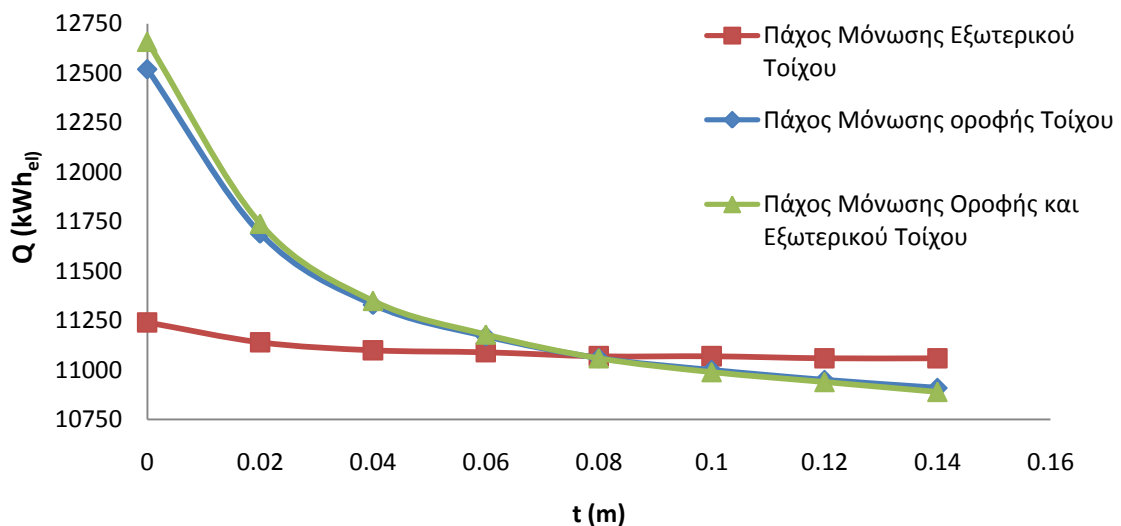
1. Μεταβολή του πάχους της μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας.
2. Μεταβολή του πάχους της μόνωσης της οροφής.
3. Μεταβολή του πάχους της μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας και της οροφής.

Πίνακας 6.5: Τιμές του πάχους της μόνωσης που επιλέχθηκαν για την εύρεση της επίδρασής της στα φορτία του κτηρίου.

| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Πάχος Μόνωσης | $t (m)$ | 0 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.1 | 0.12 | 0.14 |
| | $t (ft)$ | 0 | 0.06 | 0.13 | 0.19 | 0.26 | 0.32 | 0.38 | 0.45 |

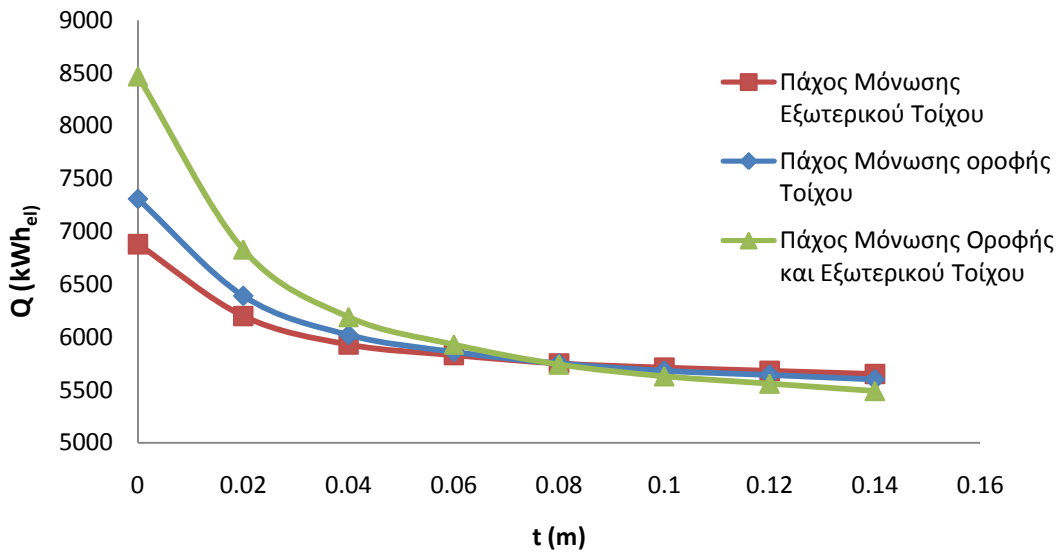
Τα αναλυτικά φορτία κάθε περίπτωσης παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β, ενώ παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν από αυτή τη μελέτη.

Ψυκτικό Φορτίο (kWh_{el})



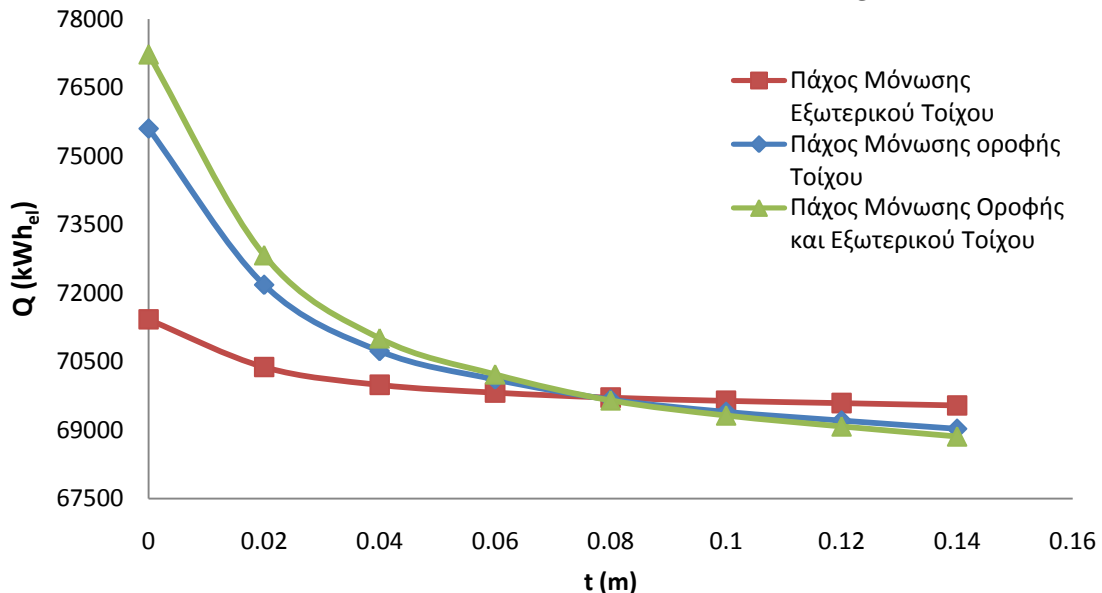
Σχήμα 6.7: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικό πάχος μόνωσης α) του εξωτερικού τοίχου β) της οροφής γ) της οροφής και του εξωτερικού τοίχου.

Θερμικό Φορτίο (kWh_{el})



Σχήμα 6.8: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικό πάχος μόνωσης α) του εξωτερικού τοίχου β) της οροφής γ) της οροφής και του εξωτερικού τοίχου.

Συνολική Κατανάλωση (kWh_{el})



Σχήμα 6.9: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικό πάχος μόνωσης α) του εξωτερικού τοίχου β) της οροφής γ) της οροφής και του εξωτερικού τοίχου.

Κατά την περίοδο του καλοκαιριού ένα καλά μονωμένο κτήριο μειώνει την εισροή της θερμότητας από το θερμό εξωτερικό χώρο προς το δροσερό εσωτερικό του

κτηρίου, με αποτέλεσμα την μείωση του ψυκτικού φορτίου της εγκατάστασης. Αντίθετα, κατά τη χειμερινή περίοδο μειώνεται η ροή της θερμότητας από το θερμότερο εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον με αποτέλεσμα την μείωση του θερμικού φορτίου του κτηρίου. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι η αλλαγή της μόνωσης επηρεάζει περισσότερο τα θερμικά φορτία και λιγότερο τα ψυκτικά φορτία.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω διαγράμματα, φαίνεται η σπουδαιότητα της μόνωσης καθώς το τελικό φορτίο του κτηρίου μπορεί να μειωθεί έως 12.16% σε σχέση με το την ηλεκτρική κατανάλωση ενός κτηρίου χωρίς της χρήση μονωτικού υλικού.

Επίσης παρατηρείται ότι, για πάχος μόνωσης οροφής 0.076 m και εξωτερικού τοίχου 0.14 m η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση είναι 69540 ενώ, για πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου 0.076 m και οροφής 0.14 m η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση είναι 69030. Αυτό σημαίνει ότι, η διαφορά που παρουσιάζεται είναι 0.74%, γεγονός που καθιστά την μόνωση της οροφής πιο σημαντική.

Ωστόσο σε όλες τις περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι η συνεχής αύξηση του πάχους επιδρά σημαντικά στην μείωση των φορτίων του κτηρίου έως ένα σημείο και η επίδραση αυτή είναι αμελητέα σε σχέση με την αρχική. Μετά από μία τιμή του πάχους δηλαδή, η επιπλέον αλλαγή δεν μεταβάλλει τα φορτία σε σημαντικό βαθμό.

6.4 Επίδραση της εξωτερική σκίαση στα φορτία του κτηρίου

Μελετάται η επίδραση που έχει στα φορτία του κτηρίου η εξωτερική σκίαση στους νότιους και δυτικούς υαλοπίνακες.

6.4.1 Εξωτερική σκίαση στους νότιους υαλοπίνακες

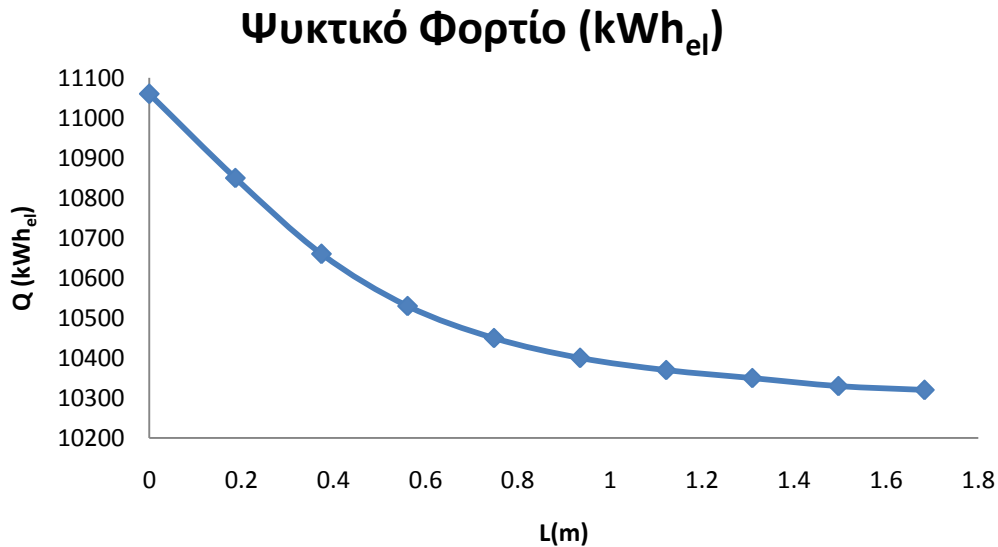
Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η επίδραση της εξωτερικής σταθερής σκίασης των νότιων υαλοπινάκων στα φορτία του κτηρίου. Για τον προσδιορισμό της επίδρασης της σκίασης πραγματοποιείται παραμετρική εκτέλεση του προγράμματος με τις εξής παραμέτρους με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης τιμής τους.

1. Το μήκος του σκιάστρου L .
2. Την απόσταση των σκιάστρων από το άνω μέρος του υαλοπίνακα d .
3. Την κλίση του σκιάστρου φ .

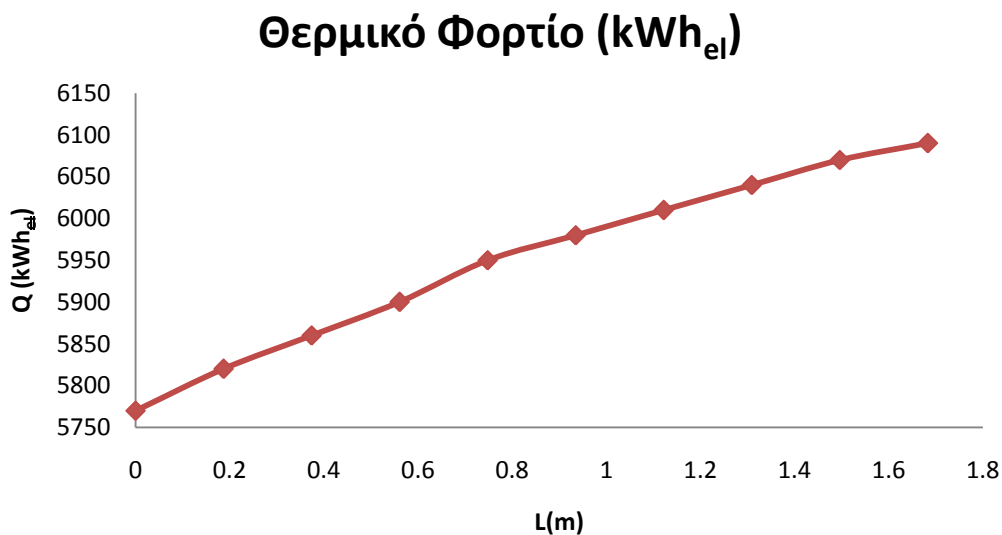
Στο πρώτο σενάριο μεταβάλλεται το μήκος των σκιάστρων, L υπό σταθερή απόσταση των σκιάστρων από το άνω μέρος του υαλοπίνακα, $d = 0 \text{ m}$ και γωνία κλίσης $\varphi = 90^\circ$. Το μήκος μεταβάλλεται με βάση τις τιμές που δίνονται στον 6.6 με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου μήκους.

Πίνακας 6.6: Τιμές του μήκους του σκιάστρου στην παραμετρική ανάλυση των νότιων οριζοντίων σκιάστρων για απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ m, για την εύρεση της επίδρασής της στα φορτία του κτηρίου.

| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|----------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Μήκος σκιάστρου | L (m) | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 |
| | L (ft) | 0 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 3 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.4 |

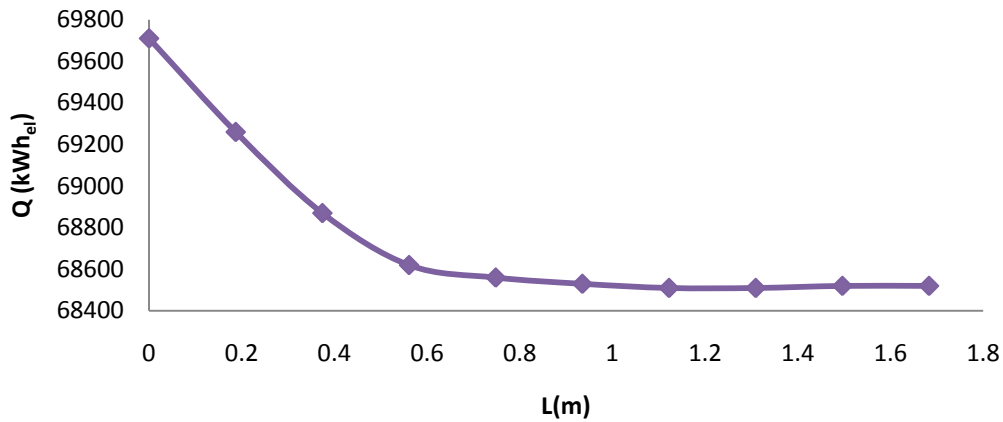


Σχήμα 6.10: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του μήκους των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες, για οριζόντιο σκίαστρο και απόσταση σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα ίση με το μηδέν.



Σχήμα 6.11: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του μήκους των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες, για οριζόντιο σκίαστρο και απόσταση σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα ίση με το μηδέν.

Συνολική Κατανάλωση (kWh_{el})



Σχήμα 6.12: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του μήκους των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες, για οριζόντιο σκίαστρο και απόσταση σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα ίση με το μηδέν.

Η εξωτερική σκίαση σταματά την προσπίπτουσα ακτινοβολία πριν φτάσει στο άνοιγμα και διεισδύσει στο εσωτερικό του χώρου. Καθώς η εξωτερική σκίαση μειώνει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο, αναμένεται να μειώνονται οι απαιτήσεις σε κλιματισμό του χώρου κατά την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ το χειμώνα αυξάνονται οι απαιτήσεις για θέρμανση. Αυτό είναι εμφανές από την κλίση της καμπύλης των Σχημάτων 6.10 και 6.11. Επομένως, το ιδανικό σενάριο είναι να χρησιμοποιούνται τα σκιάστρα το καλοκαίρι και να αποφεύγονται το χειμώνα.

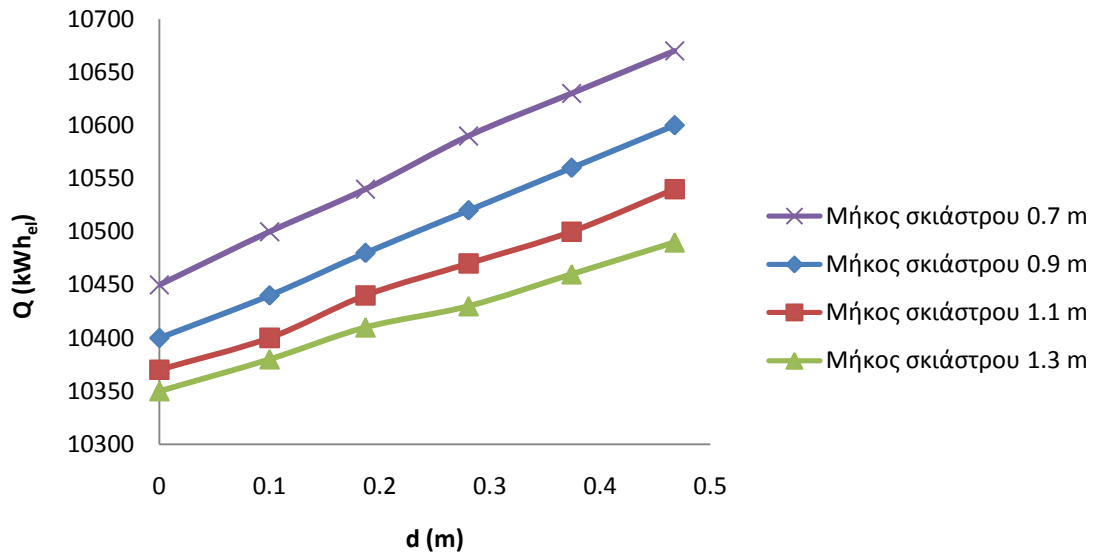
Αξιολογώντας λοιπόν την καμπύλη της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσεως του μήκους των σκιάστρων, λαμβάνεται ότι τα μήκη $L = 0.7 \text{ m}$, $L = 0.9 \text{ m}$, $L = 1.1 \text{ m}$ και $L = 1.3 \text{ m}$ είναι ικανοποιητικές τιμές, καθώς η τιμή του φορτίου είναι περίπου σταθερή και ίση με 68500 kWh_{el}.

Για τις τέσσερις αυτές τιμές του μήκους του σκιάστρου, μεταβάλλεται στη συνέχεια η απόσταση του σκιάστρου από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα με σκοπό να βρεθεί το βέλτιστο μήκος και η βέλτιστη απόσταση.

Πίνακας 6.7: Τιμές που μεταβάλλεται η απόσταση του σκιάστρου από τον άνω υαλοπίνακα στην παραμετρική ανάλυση των νότιων οριζοντίων σκιάστρων.

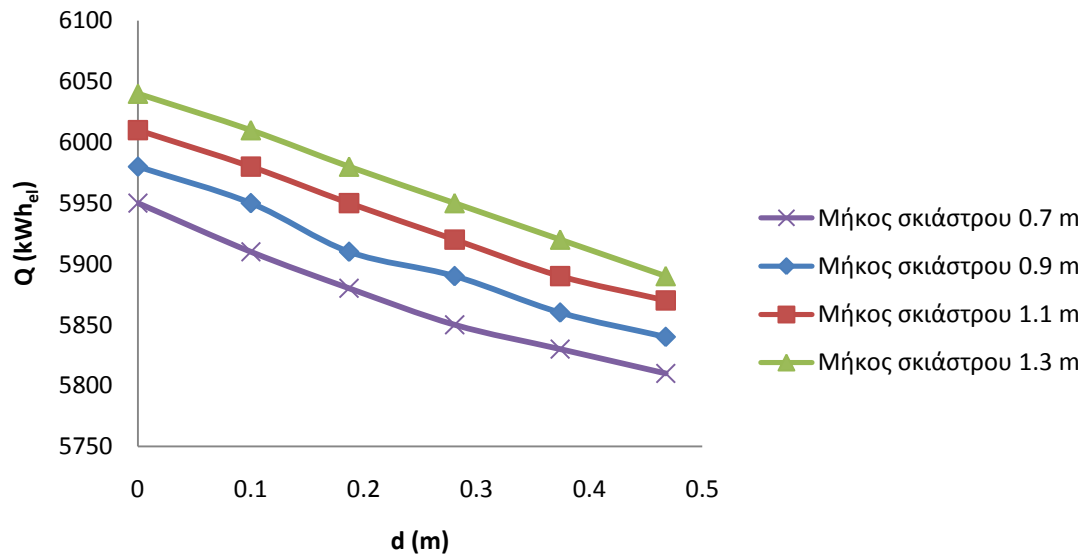
| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------|------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα | $d \text{ (m)}$ | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| | $d \text{ (ft)}$ | 0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 |

Ψυκτικό Φορτίο (kWh_{el})

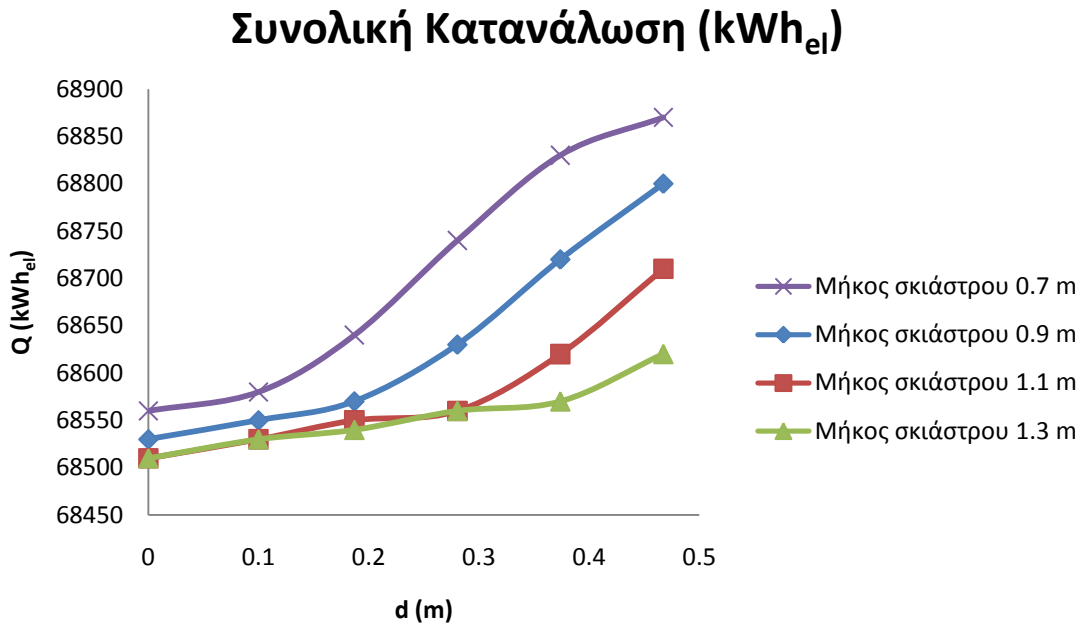


Σχήμα 6.13: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές της απόστασης του σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα για οριζόντια σκιάστρα στους νότιους υαλοπίνακες μήκους L=0.7 m, L=0.9 m, L=1.1 m και L=1.3 m.

Θερμικό Φορτίο (kWh_{el})



Σχήμα 6.14: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές της απόστασης του σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα για οριζόντια σκιάστρα στους νότιους υαλοπίνακες μήκους L=0.7 m, L=0.9 m, L=1.1 m και L=1.3 m.



Σχήμα 6.15: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές της απόστασης του σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα για οριζόντια σκιάστρα στους νότιους υαλοπίνακες μήκους $L=0.7\text{ m}$, $L=0.9\text{ m}$, $L=1.1\text{ m}$ και $L=1.3\text{ m}$.

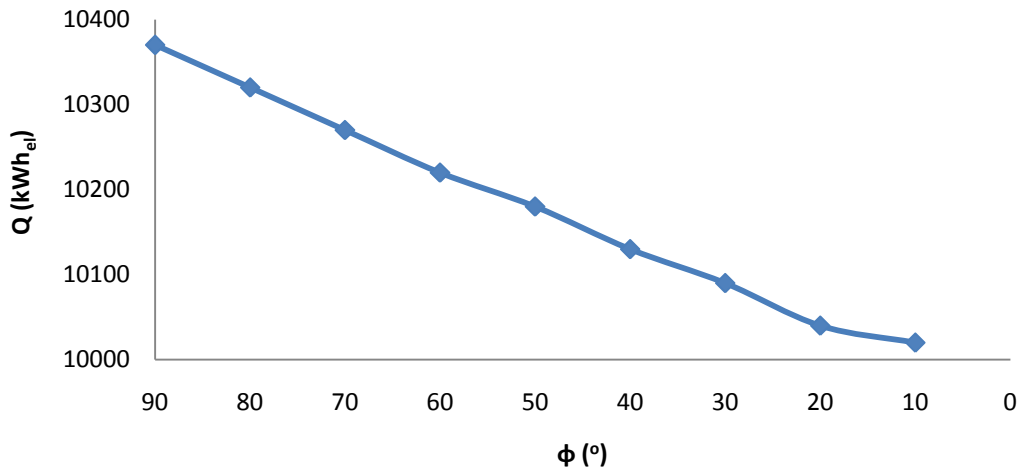
Παρατηρώντας την καμπύλη της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης του κτηρίου καταλήγουμε ότι και για τις τέσσερις περιπτώσεις μήκους L , η αύξηση της απόστασης των σκιάστρων από τον άνω μέρος του υαλοπίνακα συνεπάγεται και αύξηση του φορτίου. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε μηδενική απόσταση ως βέλτιστη απόσταση του σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα. Μεταξύ των δύο τιμών μήκους $L = 1.1\text{ m}$ και $L = 1.3\text{ m}$, τα οποία δίνουν το ελάχιστο φορτίο, επιλέγεται ως βέλτιστη λύση το μήκος σκιάστρου να είναι $L = 1.1\text{ m}$.

Στη συνέχεια, απαιτείται ο προσδιορισμός της γωνίας σκίασης του ανοίγματος. Για μήκος σκιάστρου $L = 1.1\text{ m}$ και απόστασης $d = 0\text{ m}$, πραγματοποιήθηκαν διάφορες μεταβολές στην γωνία κλίσης των σκιάστρων. Η γωνία κλίσης μεταβάλλεται ανά δέκα μοίρες, ξεκινώντας από την οριζόντια σκίαση $\varphi = 90^\circ$ έως γωνία κλίσης $\varphi = 10^\circ$.

Πίνακας 6.8: Τιμές της γωνίας της κλίσης των σκιάστρων στην παραμετρική ανάλυση των νότιων σκιάστρων μήκους $L=1\text{ m}$ και απόστασης από τον άνω υαλοπίνακα $d=0\text{ m}$.

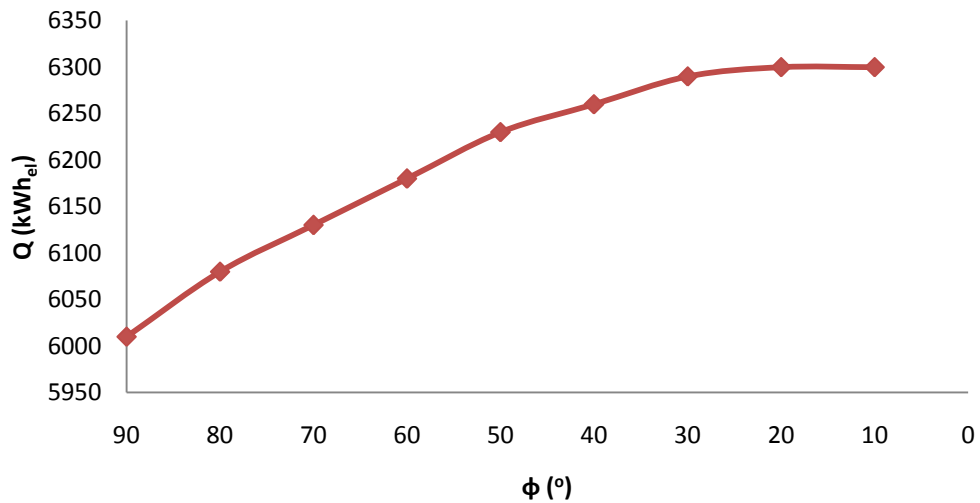
| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Κλίση Σκιάστρου | $\varphi (^{\circ})$ | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0 |

Ψυκτικό Φορτίο (kWh_{el})

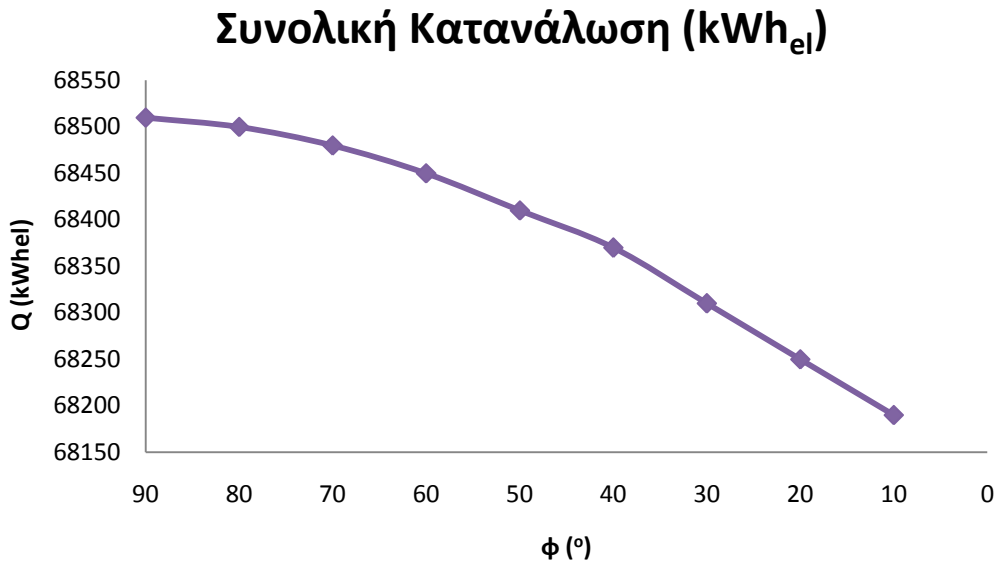


Σχήμα 6.16: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές κλίσης των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες, μήκους L=1.1 m και μηδενικής απόστασης από το άνω μέρος του υαλοπίνακα.

Θερμικό Φορτίο (kWh_{el})



Σχήμα 6.17: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές κλίσης των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες, μήκους L=1.1 m και μηδενικής απόστασης από το άνω μέρος του υαλοπίνακα.



Σχήμα 6.18: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές κλίσης των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες, μήκους $L=1.1\text{ m}$ και μηδενικής απόστασης από το άνω μέρος του υαλοπίνακα.

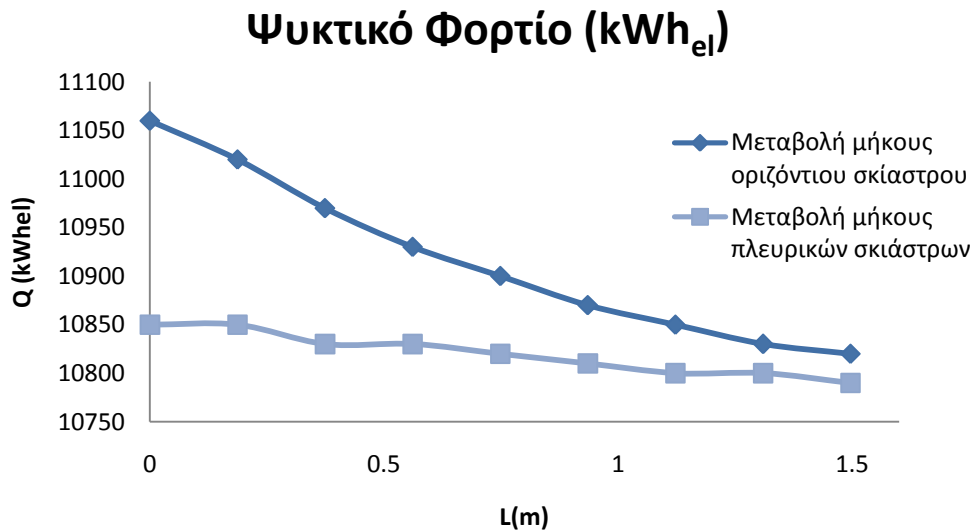
Όσο η γωνία κλίσης των σκιάστρων μειώνεται τόσο καλύτερη σκίαση δίνεται στο κτήριο με αποτέλεσμα τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτήριο. Ως εκ τούτου το ψυκτικό φορτίο μειώνεται ενώ το θερμικό αυξάνεται. Η βέλτιστη κλίση αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της γωνία ϕ αλλά αυτό πρακτικά είναι αδύνατο καθώς για λόγους αισθητικής τόσο μικρές τιμές γωνιών δεν προτιμώνται.

6.4.1 Εξωτερική σκίαση στους δυτικούς υαλοπίνακες

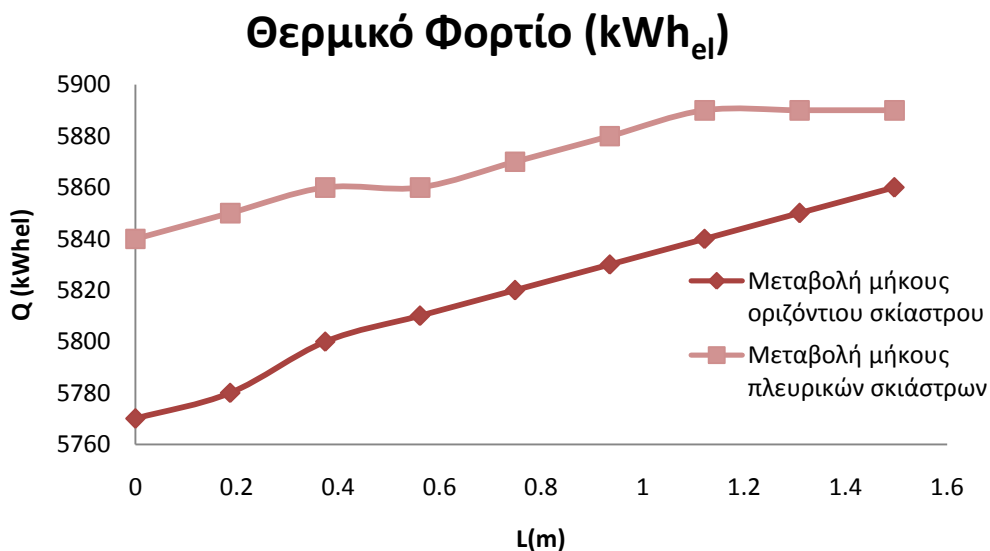
Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης της εξωτερικής σταθερής σκίασης του δυτικού υαλοπίνακα στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Συγκεκριμένα, μελετάται η οριζόντια και η πλευρική σκίαση. Για τον προσδιορισμό της επίδρασης της σκίασης πραγματοποιείται παραμετρική εκτέλεση του προγράμματος μεταβάλλοντας αρχικά το μήκος του οριζόντιου σκιάστρου L για απόσταση των σκιάστρων από το άνω μέρος του υαλοπίνακα $d = 0\text{ m}$ και στη συνέχεια, για το βέλτιστο αυτό μήκος μεταβάλλεται το μήκος των πλευρικών σκιάστρων. Οι τιμές του μήκους των σκιάστρων σε κάθε περίπτωση δίνονται στον Πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9: Τιμές για το μήκος σκιάστρου στην παραμετρική ανάλυση του δυτικού οριζόντιου σκιάστρου για απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ καθώς και των δύο πλευρικών σκιάστρων.

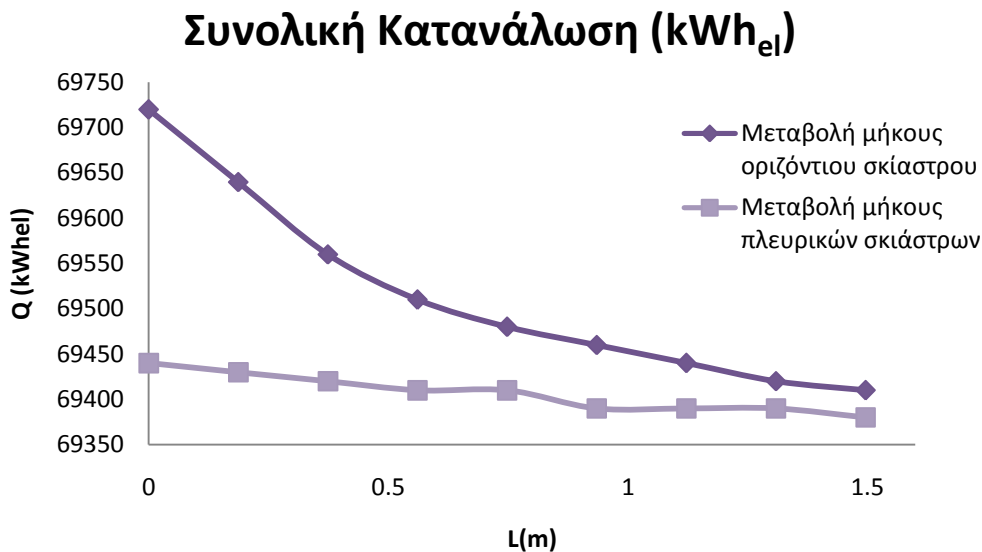
| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|---------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Μήκος σκιάστρου | $L (m)$ | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.5 |
| | $L(ft)$ | 0 | 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 3 | 3.6 | 4.2 | 4.8 |



Σχήμα 6.19: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές α) του μήκους οριζόντιου σκιάστρου στον δυτικό υαλοπίνακα και απόσταση σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα ίση με το μηδέν β) του μήκους των πλευρικών σκιάστρων στο δυτικό υαλοπίνακα.



Σχήμα 6.20: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές α) του μήκους οριζόντιου σκιάστρου στον δυτικό υαλοπίνακα και απόσταση σκιάστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα ίση με το μηδέν β) του μήκους των πλευρικών σκιάστρων στο δυτικό υαλοπίνακα .



Σχήμα 6.21: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές α) του μήκους οριζόντιου σκίαστρου στον δυτικό υαλοπίνακα και απόσταση σκίαστρου από το άνω μέρος του υαλοπίνακα ίση με το μηδέν β) του μήκους των πλευρικών σκιάστρων στο δυτικό υαλοπίνακα.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η τιμή του μήκους των πλευρικών σκιάστρων για την οποία σταθεροποιούνται τα φορτία είναι $L = 1.1 \text{ m}$. Συγκρίνοντας την τιμή των για οριζόντιο σκίαστρο μήκους $L = 1.1 \text{ m}$, χωρίς πλευρικά σκιάστρα με την τιμή των φορτίων με τη χρήση πλευρικών σκιάστρων μήκους $L = 1.1 \text{ m}$ προκύπτουν ότι η τοποθέτηση πλευρικών σκιάστρων δεν μειώνει σε σημαντικό βαθμό τα φορτία. Συγκεκριμένα, η χρήση πλευρικών σκιάστρων στους δυτικούς υαλοπίνακες μειώνει το ψυκτικό φορτίο κατά 0.46%, αυξάνει το θερμικό φορτίο κατά 85% και μειώνει τελικά την ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας κατά 0.24%.

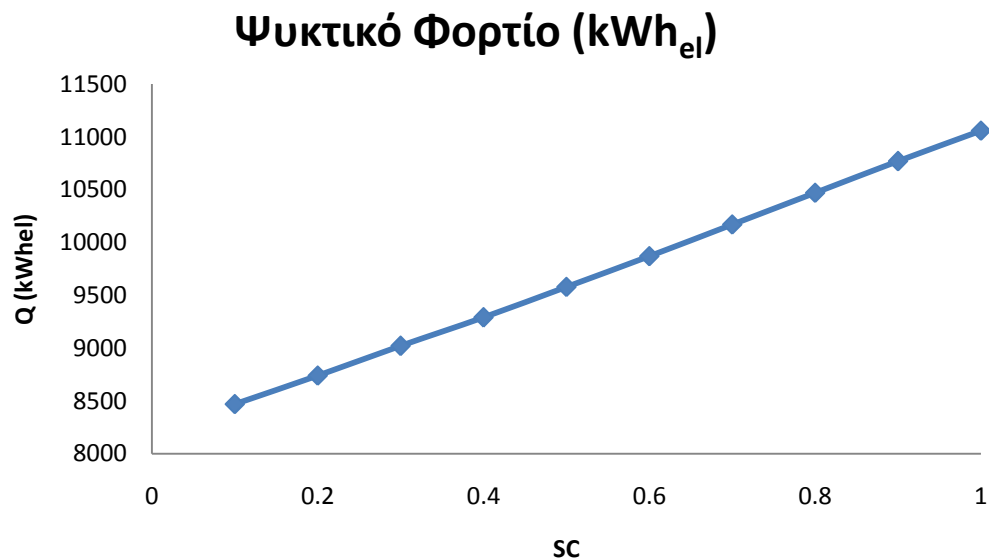
Σε κάθε περίπτωση, η χρήση εξωτερικής σκίασης μειώνει τα ψυκτικά φορτία και αυξάνει τα θερμικά φορτία. Έτσι το σύστημα σκίασης είναι θεμιτό να παραμένει κλειστό κατά τους χειμερινούς μήνες. Βασικό λοιπόν, κριτήριο αξιολόγησης των συστημάτων σκίασης αποτελεί η μείωση της εισερχόμενης θερμότητας στο κτήριο κατά τους θερινούς μήνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα συστήματα σκίασης, πρέπει να παρέχουν καλή ηλιακή προστασία το καλοκαίρι, αλλά δεν πρέπει να περιορίζουν την ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, να εμποδίζουν το φυσικό φωτισμό ή/και το φυσικό αερισμό του κτηρίου.

6.5 Επίδραση της εσωτερικής σκίασης στα φορτία του κτηρίου

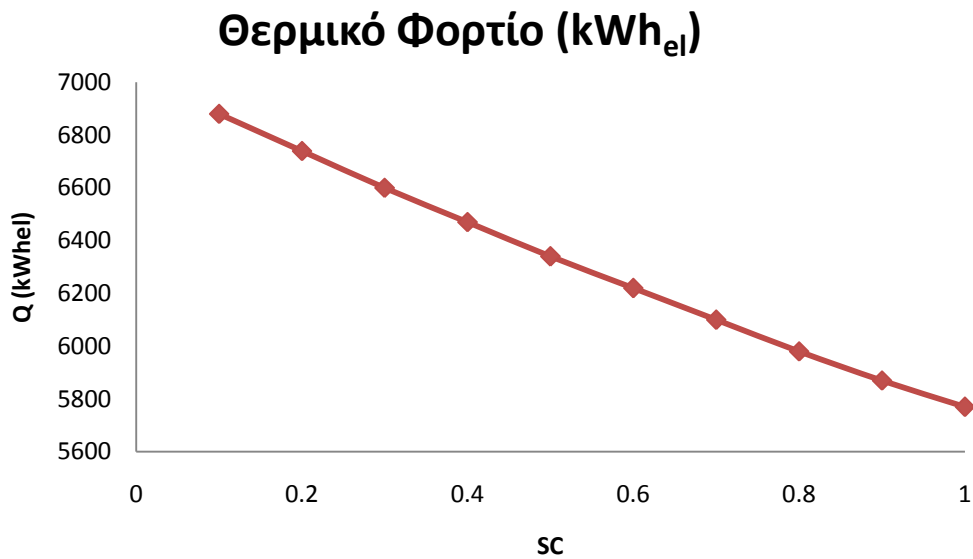
Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της εσωτερικής σκίασης στα φορτία του κτηρίου. Για την ανάλυση αυτή, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί εσωτερική σταθερή σκίαση σε όλους τους υαλοπίνακες του κτηρίου της οποία μεταβάλλεται ο συντελεστής σκίασης για τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.10: : Τιμές του συντελεστή σκίασης που επιλέχθηκαν για την εσωτερική σκίαση του κτηρίου με σκοπό την εύρεση της επίδρασής του στα φορτία του κτηρίου.

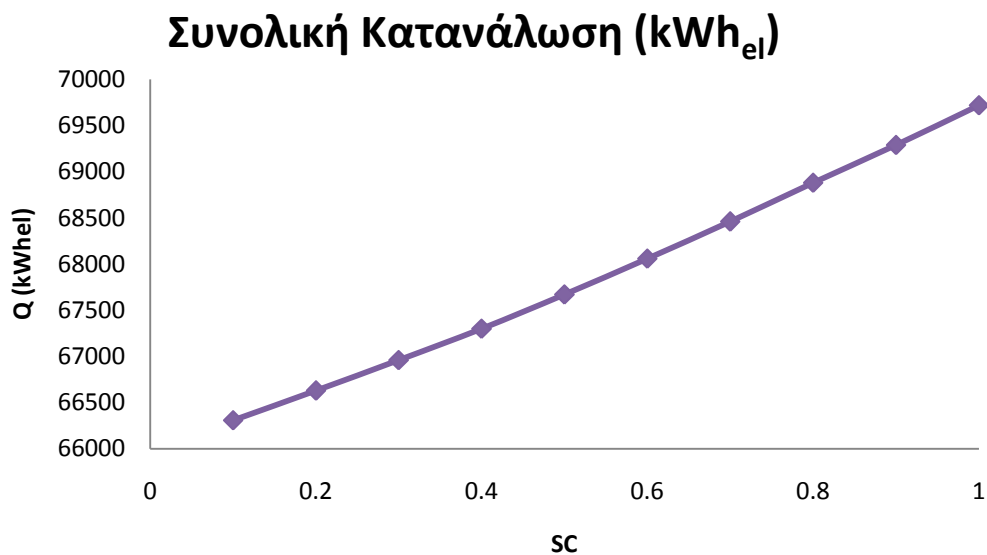
| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Συντελεστής σκίασης | SC | 1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |



Σχήμα 6.22: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του συντελεστή σκίασης.



Σχήμα 6.23: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του συντελεστή σκίασης.



Σχήμα 6.24: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του συντελεστή σκίασης.

Ομοίως με την εξωτερική σκίαση έτσι και η εσωτερική σκίαση μειώνει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι απαιτήσεις σε κλιματισμό του χώρου κατά την καλοκαιρινή περίοδο, και να αυξάνονται οι απαιτήσεις για θέρμανση τη χειμερινή περίοδο. Όσο μειώνεται ο συντελεστής σκίασης τόσο καλύτερη είναι η σκίαση του κτηρίου με αποτέλεσμα να μειώνονται

τα ψυκτικά φορτία και να αυξάνονται τα θερμικά φορτία του κτηρίου. Για το λόγο αυτό, το ιδανικό σενάριο είναι να χρησιμοποιούνται τα σκίαστρα το καλοκαίρι και να αποφεύγονται το χειμώνα.

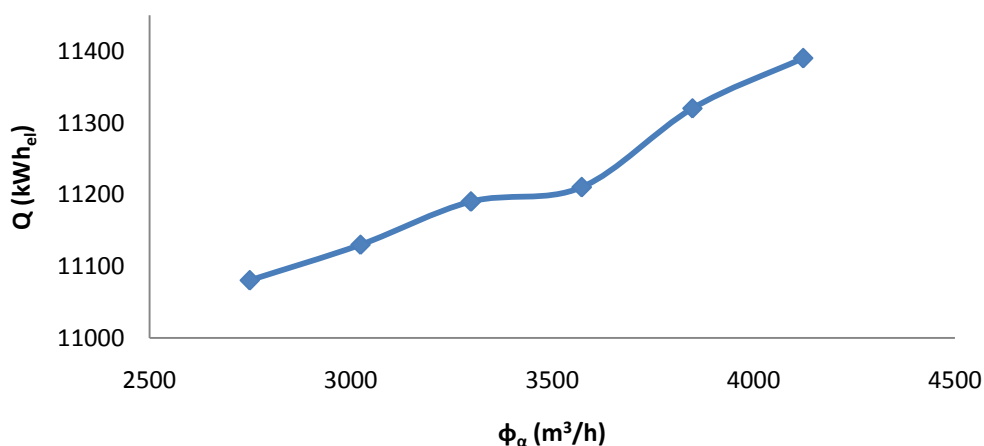
6.6 Επίδραση του φυσικού αερισμού στα φορτία του κτηρίου

Το κτήριο που μελετάται είναι κτήριο γραφείων και αποτελεί μία ειδική κατηγορία κτηρίου με πολλαπλές απαιτήσεις όπως για παράδειγμα, οπτική και ακουστική άνεση, θερμική άνεση με έμφαση στο δροσισμό λόγω των υψηλών εσωτερικών θερμικών φορτίων, κ.α. Οι τιμές του φυσικού δροσισμού του συμβατικού κτηρίου, έχουν επιλεγεί από ορισμένα πρότυπα. [25] Για την παραμετροποίηση της τιμής του αερισμού, επιλέχθηκε η αύξηση του αερισμού κατά 10%, 20%, 30%, 40% και 50%, σε κάθε χώρο ως προς την τιμή του αερισμού του συμβατικού κτηρίου.

Πίνακας 6.11: Τιμές του φυσικού αερισμού του κτηρίου που επιλέχθηκαν για την εύρεση της επίδρασής του στα φορτία του κτηρίου.

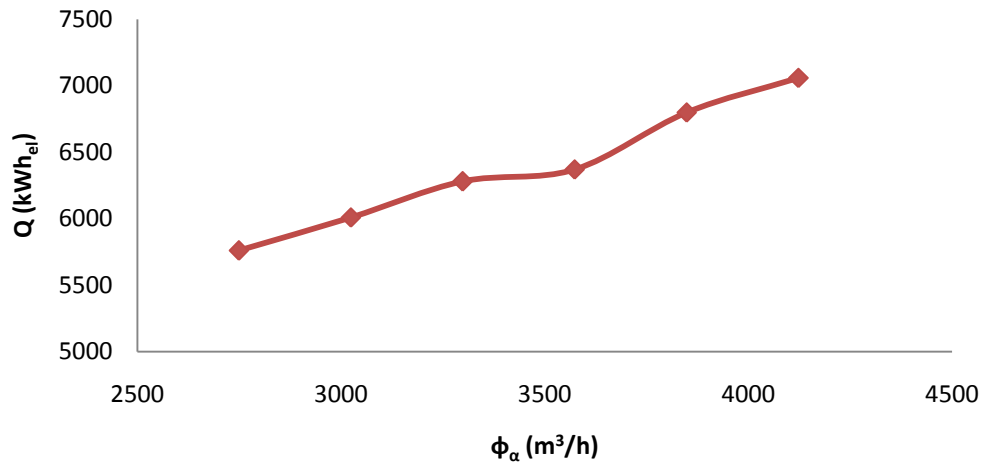
| α/α | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Ποσοστό επί της ονομαστικής | 100% | 110% | 120% | 130% | 140% | 150% |
| Συνολικός Αερισμός | m ³ /h | 2748.85 | 3023.73 | 3298.62 | 3573.50 | 3848.38 | 4123.27 |
| | cfm/sqft | 6.04 | 6.64 | 7.25 | 7.85 | 8.45 | 9.06 |

Ψυκτικό Φορτίο (kWh_{el})



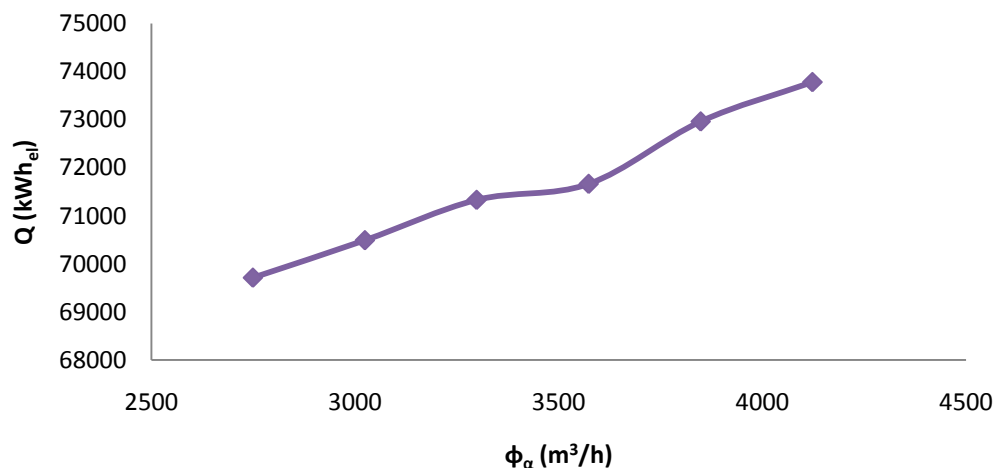
Σχήμα 6.25: Ψυκτικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του φυσικού αερισμού του κτηρίου.

Θερμικό Φορτίο (kWh_{el})



Σχήμα 6.26: Θερμικό φορτίο του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του φυσικού αερισμού του κτηρίου.

Συνολική Κατανάλωση (kWh_{el})



Σχήμα 6.27: Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση του πολυζωνικού κτηρίου για διαφορετικές τιμές του φυσικού αερισμού του κτηρίου.

Όπως αναφέρθηκε, ο φυσικός αερισμός των εσωτερικών χώρων ενός κτηρίου είναι ο βασικότερος τρόπος απομάκρυνσης αερίων και επιβλαβών για την υγεία ουσιών στους χώρους. Παράλληλα ο φυσικός αερισμός συνεισφέρει στην αποβολή της υγρασίας από τους χώρους κατά τους χειμερινούς μήνες.

Την καλοκαιρινή περίοδο ο εξωτερικός αέρας που συμβάλει στον αερισμό του χώρου έχει υψηλή θερμοκρασία με αποτέλεσμα να αυξάνει τις απαιτήσεις για

κλιματισμό του χώρου. Παράλληλα όμως, προσφέρεται η δυνατότητα απόρριψης της θερμότητας από το εσωτερικό του κτηρίου με φυσικό τρόπο. Συγκεκριμένα, ο φυσικός αερισμός κατά τη διάρκεια της νύχτας τους θερινούς μήνες συνεισφέρει στην μείωση της θερμότητας που επιβαρύνει το κτήριο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με αυτό τον τρόπο αντισταθμίζονται οι απαιτήσεις για ψυκτικό φορτίο, με αποτέλεσμα το ψυκτικό φορτίο του κτηρίου να διατηρείται σταθερό για τις διάφορες περιπτώσεις του φυσικού αερισμού. Συγκρίνοντας την ποσοστιαία διαφορά στο ψυκτικό φορτίο για τα διάφορα σενάρια που μελετώνται στην παρούσα ενότητα, κυμαίνεται από 0.45% έως 2.8%, στο σύνολο δηλαδή αυξάνει τα θερμικά κέρδη.

Κατά τη χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία του φρέσκου αέρα που διοχετεύεται στο χώρο προσδίδει σε αυτόν αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι ανάγκες για θέρμανσης του χώρου. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης για το θερμικό φορτίο με αυτά του συμβατικού κτηρίου, υπολογίζεται ότι με την αύξηση του φυσικού αερισμού το θερμικό φορτίο αυξάνεται από 4.34% έως και 22.57%.

Αντίστοιχα, η ολική ηλεκτρική κατανάλωση του κτηρίου, κυμαίνεται σε αύξηση από 1.11% έως και 5.82%. Όπως αναφέρθηκε, ο φυσικός αερισμός των εσωτερικών χώρων ενός κτηρίου έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει στη βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών και της ποιότητας του αέρα του χώρου. Ωστόσο, η τιμή πρέπει να μην υπερβαίνει την προβλεπόμενη διότι η αύξηση του αερισμού αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου.

6.7 Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε ενεργειακή προσομοίωση ενός κτηρίου στην περιοχή της Αθήνας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση του κτηρίου αυτού και εξετάστηκε το πώς επηρεάζουν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία η αλλαγή των παραμέτρων αυτών. Συγκεκριμένα εξετάζεται η επίδραση των υαλοπινάκων, η επίδραση της μόνωσης, η επιρροή του φυσικού αερισμού και η σκίαση του κτηρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Ενεργειακή προσομοίωση μονοζωνικού κτηρίου

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται ενεργειακή προσομοίωση ενός μονοζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα eQUEST και σκοπός είναι ο υπολογισμός των φορτίων που προκύπτουν σε ένα τυπικό κτήριο, στην περιοχή της Αθήνας, καθώς και σε διάφορα εναλλακτικά σενάρια. Στη συνέχεια, παρατίθεται η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τη χρήση του προγράμματος eQUEST, με αυτά που προέκυψαν με τη χρήση του προγράμματος TRNSYS, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο συνέδριο Global Conference on Global Warming (GCGW).

7.1 Χαρακτηριστικά του κτιριακού κελύφους

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη κτηρίου. Πρόκειται για ένα τυπικό κτήριο έτσι ώστε τα συμπεράσματα να είναι όσο το δυνατόν γενικότερα. Είναι ένα κτήριο τετραγωνικής βάσης, έκτασης 100 τετραγωνικών μέτρων (square meters) και ύψους 3 μέτρων (meters) με προσανατολισμό των τοίχων στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα. Αναλυτικότερα οι διαστάσεις του τυπικού αυτού κτηρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1. Το κτήριο αυτό βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας και με βάση αυτή την τοποθεσία έγινε η επιλογή των μετεωρολογικών δεδομένων. Το κτήριο αποτελείται από τέσσερις εξωτερικούς τοίχους, την οροφή και το δάπεδο, ενώ ο εσωτερικός χώρος είναι ενιαίος, χωρίς την ύπαρξη εσωτερικών τοίχων. Έτσι λοιπόν, το κτήριο αυτό έχει σχεδιαστεί ως μία θερμική ζώνη.

Πίνακας 7.1: Βασικές διαστάσεις του κτηρίου.

| Μέγεθος | Τιμή | |
|---------|-----------------------|---------------------------|
| Μήκος | 10 (m) | 32.8 (ft) |
| Πλάτος | 10 (m) | 32.8 (ft) |
| Ύψος | 3 (m) | 9.8 (ft) |
| Εμβαδόν | 100 (m ²) | 1076.4 (ft ²) |
| Όγκος | 300 (m ³) | 10594 (ft ³) |

Στον Νότιο, τον Ανατολικό και Δυτικό τοίχο υπάρχουν διπλοί υαλοπίνακες, ενώ στον βόρειο τοίχο δεν επιλέγεται να τοποθετηθεί υαλοπίνακας λόγω της χαμηλότερης εκπομπής ηλιακής ακτινοβολίας στην βορινή μεριά. Οι διαστάσεις των υαλοπινάκων δίνονται στους Πίνακες 7.2 και 7.3.

Πίνακας 7.2: Διαστάσεις υαλοπινάκων στον νότιο τοίχο.

| Μέγεθος | Τιμή | |
|---------|---------------------|--------------------------|
| Μήκος | 2.83 (m) | 9.28 (ft) |
| Ύψος | 1.41 (m) | 4.64 (ft) |
| Εμβαδόν | 4 (m ²) | 43.05 (ft ²) |

Πίνακας 7.3: Διαστάσεις υαλοπινάκων στον ανατολικό και δυτικό τοίχο.

| Μέγεθος | Τιμή | |
|---------|---------------------|--------------------------|
| Μήκος | 2 (m) | 6.56 (ft) |
| Ύψος | 1 (m) | 3.28 (ft) |
| Εμβαδόν | 2 (m ²) | 21.53 (ft ²) |

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα υλικά κατασκευής του κελύφους. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 7.4 δίνεται το είδος και το πάχος κάθε δομικού υλικού που απαρτίζει την σύνθεση των εξωτερικών τοίχων, της οροφής και του δαπέδου.

Πίνακας 7.4: Πάχος των δομικών υλικών του εξωτερικού τοίχου, της οροφής και του δαπέδου.

| Εξωτερικός τοίχος | Πάχος | | Οροφή | Πάχος | | Δάπεδο | Πάχος (cm) | |
|-------------------|-------|------|---------------------------------|-------|------|--------------------|------------|------|
| | cm | ft | | cm | ft | | cm | ft |
| ComBrick | 10.15 | 0.33 | Conc LW 30 lb | 5.09 | 0.17 | LightSoil, Damp | 0.31 | 0.01 |
| Polystyrene | 7.62 | 0.25 | Blt-UpRoof | 0.95 | 0.03 | Conc HW 140 lb | 3.05 | 0.1 |
| ComBrick | 10.15 | 0.33 | Polystyrene Conc HW 140lb | 7.62 | 0.25 | Polystyrene | 12.19 | 0.4 |
| | | | | 15.24 | 0.5 | El1 Ufmat | - | |

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά κάθε υλικού των δομικών στοιχείων. Εκτός από τα υλικά αυτά, σε κάθε τοιχοποιία (εξωτερικός τοίχος, οροφή και δάπεδο) υπάρχει επιπλέον μία επίστρωση από την εσωτερική μεριά του κτηρίου. Για την επίστρωση αυτή η τιμή του συντελεστή θερμική αντίστασης ισούται με:

$$R = 0.11976 \frac{m^2 \cdot K}{W} = 0.68 \frac{h \cdot ft^2 \cdot F}{Btu}$$

Επιπλέον, στο έδαφος υπάρχει μία επίστρωση με συντελεστή θερμικής αντίστασης:

$$R = 1130.539 \frac{m^2 \cdot K}{W} = 6.419 \frac{h \cdot ft^2 \cdot F}{Btu}$$

Πίνακας 7.5: Τιμές της αγωγιμότητας (λ), της πυκνότητας (ρ) και της ειδικής αντίστασης των διαφόρων δομικών υλικών του κτηρίου.

| Δομικό Υλικό | Αγωγιμότητα | | Πυκνότητα | | Ειδική Θερμότητα | |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| | $\frac{W}{m \cdot K}$ | $\frac{Btu}{h \cdot ft \cdot F}$ | $\frac{kg}{m^3}$ | $\frac{lb}{ft^3}$ | $\frac{J}{Kg \cdot K}$ | $\frac{Btu}{lb \cdot F}$ |
| Εξωτερικός τοίχος | | | | | | |
| ComBrick | 0.721 | 0.417 | 1922.135 | 120 | 837.32 | 0.2 |
| Polystyrene | 0.035 | 0.02 | 28.832 | 1.8 | 1214.114 | 0.29 |
| ComBrick | 0.721 | 0.417 | 1922.135 | 120 | 837.32 | 0.2 |
| Οροφή | | | | | | |
| Conc LW 30 lb | 0.130 | 0.075 | 480.534 | 30 | 837.320 | 0.2 |
| Blt-UpRoof | 0.163 | 0.094 | 1121.246 | 70 | 1465.310 | 0.35 |
| Polystyrene | 0.035 | 0.02 | 28.832 | 1.8 | 1214.114 | 0.29 |
| Conc HW 140lb (CC04) | 1.311 | 0.758 | 2242.491 | 140 | 837.32 | 0.2 |
| Δάπεδο | | | | | | |
| LightSoil, Damp | 0.865 | 0.500 | 1601.780 | 100 | 1046.65 | 0.25 |
| Conc HW 140 lb (HF-C10) | 1.731 | 1.000 | 2242.491 | 140 | 837.32 | 0.2 |
| Polystyrene | 0.035 | 0.02 | 28.832 | 1.800 | 1214.114 | 0.29 |

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η τιμή της θερμικής διαπερατότητας U, με βάση τις Εξισώσεις 4.1 και 4.2, οι τιμές των οποίων δίνονται στον Πίνακα 7.6.

Πίνακας 7.6: Θερμική διαπερατότητα εξωτερικού τοίχου, οροφή και δαπέδου.

| Δομικά υλικά | Θερμική Διαπερατότητα U | |
|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ | $\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$ |
| Εξωτερικός τοίχος | 0.39 | 0.068 |
| Οροφή | 0.37 | 0.065 |
| Δάπεδο | 0.30 | 0.053 |

7.2 Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Σημαντική πηγή θερμότητας στο εσωτερικό των κτηρίων είναι οι άνθρωποι και οι δραστηριότητές τους. Ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων μέσα στο κτήριο, το είδος

της δραστηριότητάς τους και τον χρόνο παραμονής τους στο κτήριο διαμορφώνονται τα εσωτερικά θερμικά κέρδη. Για τον υπολογισμό της ενεργειακής προσομοίωσης ενός κτηρίου λαμβάνονται υπόψη τα εσωτερικά κέρδη του κτηρίου, τα οποία συνεισφέρουν στα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Με τον όρο εσωτερικά κέρδη εννοούνται:

1. Η εκλυόμενη θερμότητα από τα ηλεκτρικά συστήματα φωτισμού.

Όσον αφορά την τιμή που λαμβάνεται για την ισχύς των εγκατεστημένων φωτιστικών στο χώρο αντιστοιχεί στα:

$$10 \frac{W}{m^2} = 0.92 \frac{W}{ft^2}$$

2. Η έκλυση θερμότητας από τους ανθρώπους (αισθητό και λανθάνον κέρδος, ανάλογα με τη δραστηριότητα των ανθρώπων) .

Θεωρείται ότι η πυκνότητα των ανθρώπων ανά τετραγωνικό μέτρο είναι 0.1 ή αλλιώς ότι στα 100 m² παρευρίσκονται 10 άτομα. Επίσης η χρήση του χώρου θεωρείται οικιακή και οι τιμές για το αισθητό και λανθάνον φορτίο κυμαίνονται στα 73 W και στα 59 W, αντίστοιχα.

$$0.1 \frac{person}{m^2} = \frac{0.1 person}{10.72 ft^2} \approx 110 \frac{ft^2}{person}$$

3. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός και οι συσκευές του κτηρίου.

Τέλος, η συνολική ισχύς των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών είναι 14 $\frac{W}{m^2}$.

Οι τιμές των παραπάνω μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 7.7.

Πίνακας 7.7: Τιμές για τα εσωτερικά κέρδη του κτηρίου.[37]

| Ισχύς Φωτιστικών | | Πυκνότητα Ανθρώπων | | Φορτίο Ανθρώπων | | | | Ισχύς Συσκευών | |
|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | | | Αισθητό | | Λανθάνον | | | |
| $\frac{W}{m^2}$ | $\frac{W}{ft^2}$ | $\frac{person}{m^2}$ | $\frac{ft^2}{person}$ | W | $\frac{Btu}{h}$ | W | $\frac{Btu}{h}$ | $\frac{W}{m^2}$ | $\frac{W}{ft^2}$ |
| 10 | 0.92 | 0.1 | 110 | 73 | 250 | 59 | 200 | 14 | 1290 |

7.3 Αερισμός

Ο απαιτούμενος αέρας για το φυσικό αερισμό ενός χώρου, μετριέται, στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI), σε εναλλαγές αέρα ανά ώρα. Για το υπό μελέτη κτήριο, όγκου 300 m^3 , οι απαιτούμενες εναλλαγές αέρα ανά ώρα είναι 1,12. Δεδομένου ότι το πρόγραμμα eQUEST λαμβάνει τιμές στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων, απαραίτητη είναι η μετατροπή των μονάδων, ώστε να είναι συμβατή με τα δεδομένα του προγράμματος και να ληφθούν σωστά αποτελέσματα. Στο eQUEST, λοιπόν οι μονάδες μέτρησης του φυσικού αερισμού του κτηρίου είναι $\frac{cfm}{sqft}$.

Αν υποθεθεί ότι απαιτούνται $x \frac{cfm}{sqft}$ αέρα ή αλλιώς $x \frac{ft^3}{ft^2 \cdot min}$, το οποίο είναι το αντίστοιχο 1.12 εναλλαγές ανά ώρα, τότε σε χώρο 1076 Ft^2 απαιτούνται $1076 \cdot x \frac{ft^3}{min}$

Επίσης,

- $1 \text{ ft}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$
- $1 \text{ min} = 0.1667 \text{ h}$

Άρα, ο απαιτούμενος αέρας είναι:

$$1076 \cdot x \frac{ft^3}{min} = 1828.1356 \cdot x \frac{m^3}{h} \quad \text{Εξ. 7.1}$$

Συνεπώς, προκύπτει ότι ο απαιτούμενος φρέσκος αέρας που δηλώνεται στο πρόγραμμα eQUEST είναι:

$$0.18 \frac{cfm}{sqft}$$

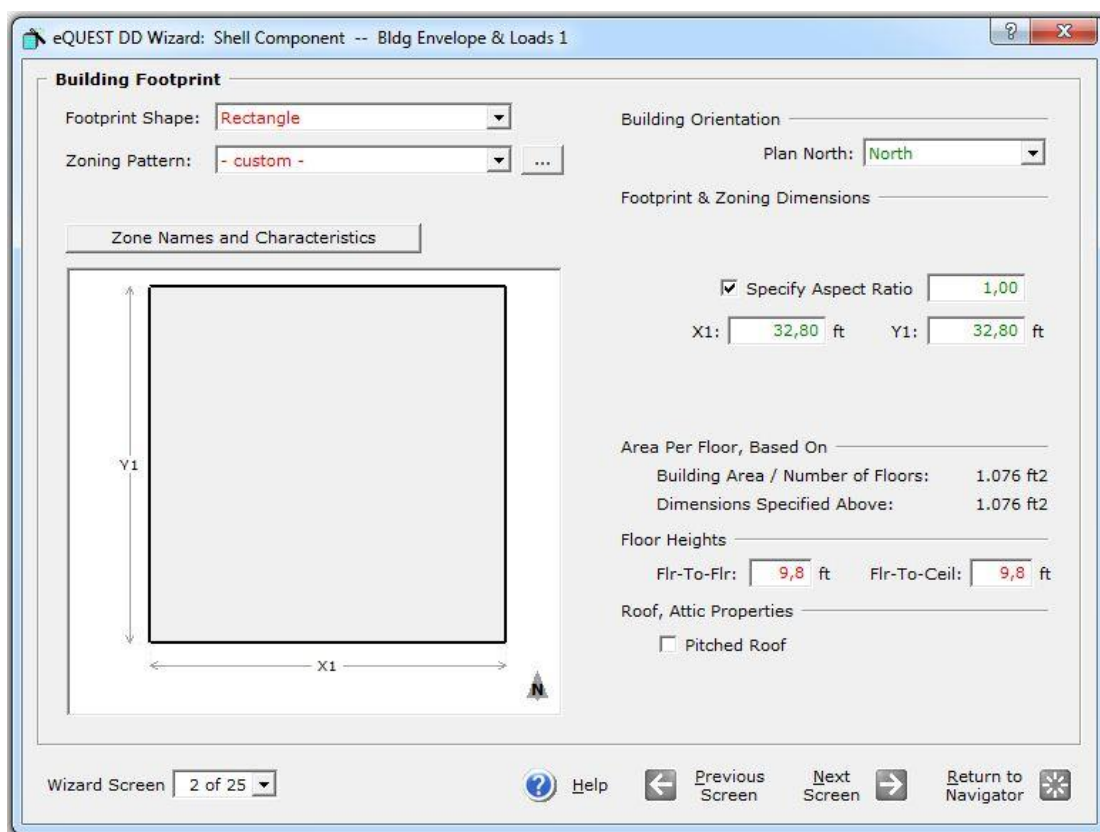
7.4 Δημιουργώντας το μοντέλο στο πρόγραμμα eQUEST

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκτέλεσης του προγράμματος. Για να κατασκευαστεί το κτήριο στο πρόγραμμα eQUEST, χρησιμοποιείται σε πρώτο στάδιο η λειτουργία «Wizard Data Edit» και συγκεκριμένα η «Design Development Wizard», ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία «Detailed Data Edit» για περαιτέρω επεξεργασία του κτηρίου και

εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, καθώς η διαδικασία εισαγωγής των περισσότερων δεδομένων είναι όμοια με αυτή για το πολυζωνικό κτήριο που έχει αναφερθεί στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Σε αυτό το στάδιο θα αναφερθεί ο τρόπος εισαγωγής όσων δεδομένων εισάχθηκαν με διαφορετικό τρόπο.

Στο νέο αρχείο που δημιουργείται στο πρόγραμμα, στο πρώτο παράθυρο λειτουργίας, δηλώνεται η ονομασία του αρχείου και ως είδος κτηρίου επιλέχθηκε «Unknown, Custom or Mixed Use». Επίσης, εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα σύμφωνα με την περιοχή σχεδίασης του κτηρίου, δηλαδή την Αθήνα. Τέλος, επιλέγοντας «ναι» στο πλαίσιο «Daylighting Controls» υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας του παραθύρου 11, σύμφωνα με την αρίθμηση του προγράμματος eQUEST, στο οποίο μπορεί να δοθούν στοιχεία για τον έλεγχο του εσωτερικού φωτισμού, το οποίο αναφέρεται παρακάτω.

Για τη δημιουργία του φλοιού, εισάγεται η επιλογή «Rectangle» στο κελί «Footprint Shape» καθώς το κτήριο είναι τετραγωνικής κάτοψης και το πρόγραμμα διαθέτει μία έτοιμη επιλογή. Ο χρήστης ορίζει τις διαστάσεις των μεγεθών X1 και Y1, δηλαδή του μήκους και του πλάτους του κτηρίου, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1: Παράθυρο δημιουργίας και επεξεργασίας της μορφολογίας του κτηρίου.

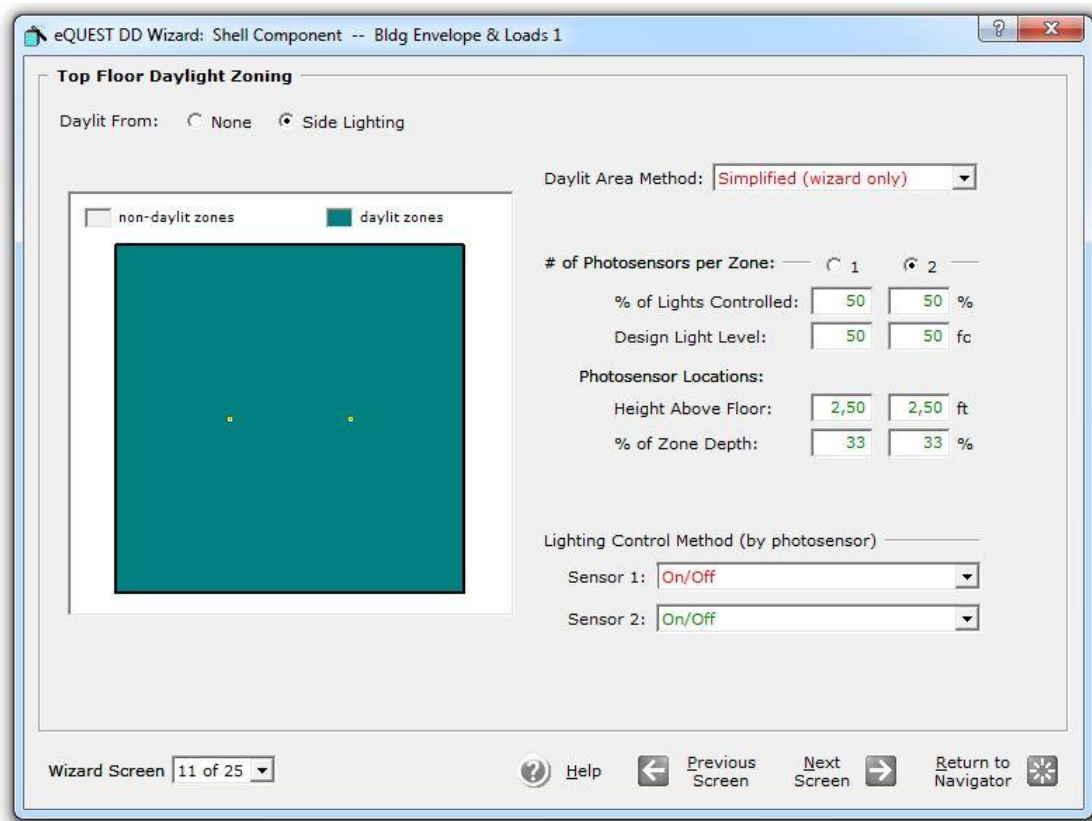
Προσπερνώντας τα επόμενα παράθυρα και πηγαίνοντας στο παράθυρο νούμερο 11, ορίζεται η μέθοδος η οποία θα την ένταση του φωτισμού που επικρατεί μέσα στο κτήριο. Σύμφωνα με το πρόγραμμα, είτε θα οριστεί μία επιλογή η οποία θα επιβάλει καθορισμένο ποσοστό φωτισμού εντός του κτηρίου, σύμφωνα με ορισμένες προδιαγραφές, είτε θα επιλεχθεί η απλουστευμένη μέθοδος, στην οποία δηλώνονται έως δύο στο πλήθος αισθητήρες κάθε ένας από τους οποίους ελέγχει ένα μέρος του φωτισμού. Το πλήθος των αισθητήρων είναι έως δύο, με μέγιστο συνολικό άθροισμα το 100% του φωτισμού.

Οι αισθητήρες φωτισμού μετρούν την ένταση φωτισμού σε μία επιφάνεια και ρυθμίζουν την ένταση του τεχνητού φωτισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου. Στο κτήριο αυτό, επιλέγονται δύο αισθητήρες, και κάθε ένας ελέγχει το 50% των λαμπτήρων του χώρου. Η φωτεινότητα μιας περιοχής δηλώνεται με τον αριθμό lux στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων και αντίστοιχα με τον αριθμό footcandle στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων. Όσον αφορά την φωτεινότητα της περιοχής αυτής, διατηρείται η προεπιλογή του προγράμματος, ίση με 50 footcandle (fc) ή αλλιώς 538.20 lux, όπως υπολογίστηκε σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις.

$$1 \text{ fc} = 1 \frac{\text{lumen}}{\text{ft}^2} \quad \text{Εξ. 7.2}$$

$$1 \text{ lux} = 1 \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2} \quad \text{Εξ. 7.3}$$

Οι αισθητήρες αυτοί έχουν τοποθετηθεί σε ύψος 0.76 μέτρα (2.5 ft) και σε 33 % βάθος. Το ποσοστό 33 % δηλώνει την απόσταση των αισθητήρων από τον ανατολικό και δυτικό τοίχο. Συγκεκριμένα, το ποσοστό που αντιστοιχεί στον αισθητήρα 1 ορίζει την απόσταση του από το δυτικό τοίχο ενώ το αντίστοιχο ποσοστό του δεύτερου ορίζει την απόσταση από τον ανατολικό τοίχο. Στο Σχήμα 7.2 παρουσιάζεται η εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων.



Σχήμα 7.2: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων για τον έλεγχο του φωτισμού του κτηρίου.

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του κτηρίου επεξεργάζονται στη λειτουργία «Detailed Data Edit», η οποία είναι πιο εύχρηστη και δίνει περισσότερες επιλογές στο χρήστη. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα για τη δημιουργία των εξωτερικών τοίχων, της οροφής, του δαπέδου και των υαλοπινάκων εισάγονται στο πρόγραμμα με τον ίδιο τρόπο όπως για το πολυζωνικό κτήριο και οι τιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται λαμβάνονται από τους Πίνακες 7.3 και 7.4. Στη συνέχεια, στα κατάλληλα παράθυρα εισάγονται στο πρόγραμμα τα μεγέθη του Πίνακα 7.7.

Επίσης δημιουργείται ένα σύστημα HVAC στο οποίο έχουν επιλεγεί αντλίες θερμότητας για την θέρμανση και την ψύξη. Όσον αφορά τον τύπο του συστήματος επιλέχθηκε ένα σύστημα από τις προεπιλογές του προγράμματος, τύπου «Residential System» με σκοπό να ελέγχει όλο το χώρο, το οποίο είναι υπερδιαστασιολογημένο κατά 15%. Οι αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη ορίστηκαν να έχουν συντελεστή απόδοσης, Coefficient of performance (COP), ίσο με 1. Στο πρόγραμμα όμως, εισάγεται ο συντελεστής αναλογίας Electric Input Ratio (EIR), ο οποίος ισούται με τον αντίστροφο του συντελεστή COP.

Αφού δημιουργηθεί το σύστημα, ορίζονται οι συνθήκες που επικρατούν στον εσωτερικό χώρο του κτηρίου όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.3. Σε αυτό το παράθυρο, δηλώνονται οι τιμές για τον μηχανικό αερισμό του κτηρίου. Ειδικότερα,

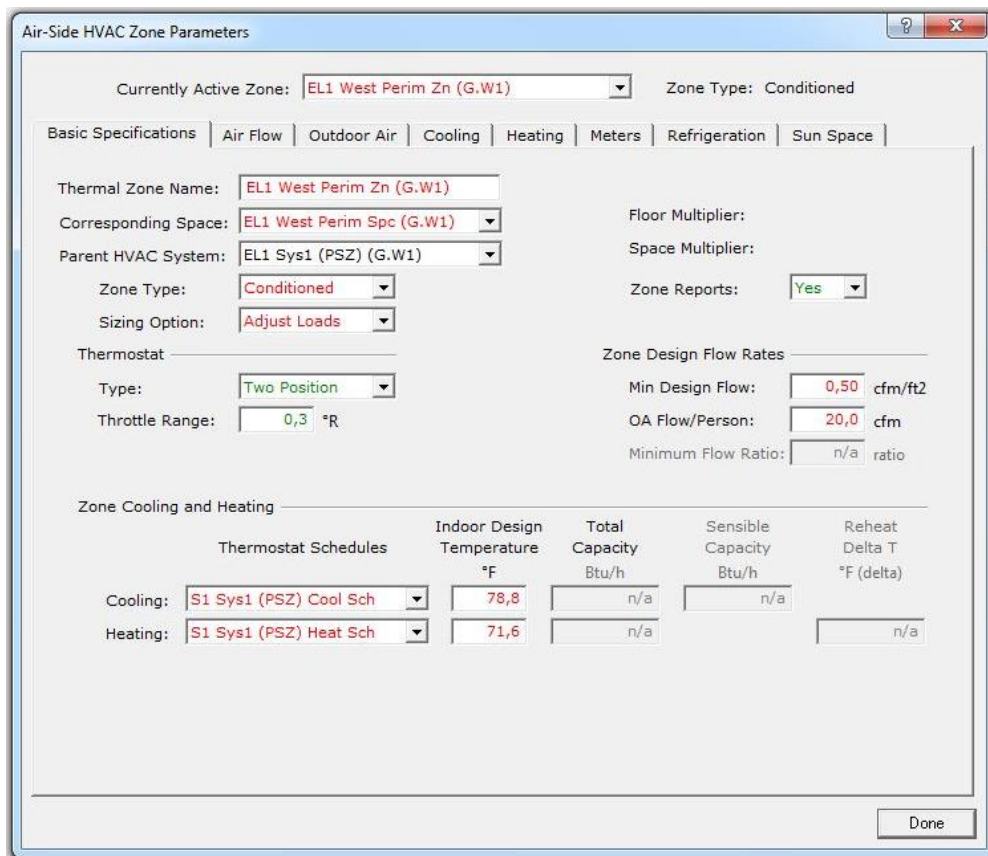
στην επιλογή «Min Design Flow» δηλώνεται ο απαιτούμενος νωπός αέρας ανά επιφάνεια δαπέδου $\left(\frac{cfm}{ft^2}\right)$ και στην επιλογή «OA Flow/Person» ορίζεται ο απαιτούμενος νωπός αέρας (cfm) ανά άτομο. Σύμφωνα με τις σχέσεις Εξισώσεις 4.12 και 4.13 γίνεται η μετατροπή των μεγεθών στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων, οι τιμές των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 7.8. Τέλος, ορίζονται οι τιμές της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο μετρημένες στην κλίμακα Φαρενάιτ, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.9.

Πίνακας 7.8: Μηχανικός αερισμός κτηρίου.

| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| $33.98 \frac{m^3}{h}$ ανά άτομο | 20 cfm ανά άτομο |
| $9.14 \frac{m^3}{h \cdot m^2}$ | $0.50 \frac{cfm}{ft^2}$ |

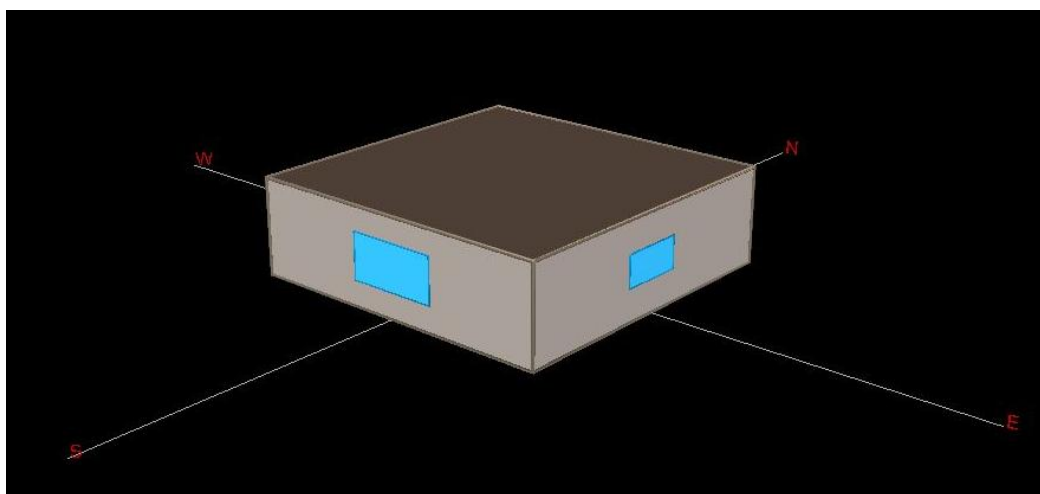
Πίνακας 7.9: Θερμοκρασίες του κτηρίου κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο.

| | |
|--------------------|-----------------|
| Χειμερινή περίοδος | Θερινή περίοδος |
| 22 °C | 26 °C |
| 71.6 °F | 78.8 °F |



Σχήμα 7.3: Παράθυρο εισαγωγής των συνθηκών του χώρου κατά τη λειτουργία του HVAC συστήματος.

Με την ολοκλήρωση της δημιουργίας του κτηρίου, το πρόγραμμα προσομοιώνει το κτήριο όπως αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 7.4. Στο σχήμα αυτό φαίνεται το τριδιάστατο σχέδιο του κτηρίου, καθώς και ο προσανατολισμός του στον ορίζοντα. Για την προσομοίωση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, από το δένδρο επιλογών, επιλέγεται η εντολή «Simulate Building Performance».



Σχήμα 7.4:Μορφολογία του μονοζωνικού κτηρίου.

7.5 Συγκριτικός υπολογισμός ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίου με τα προγράμματα eQUEST και TRNSYS

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η αναφορά στην δημοσίευση που δημιουργήθηκε από τα αποτελέσματα του προγράμματος eQUEST σε σύγκριση με αυτά του TRNSYS και η παρουσίαση των βασικών διαφορών που υπάρχουν μεταξύ των δύο προγραμμάτων. Το πρόγραμμα TRNSYS έχει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής, ενώ το eQUEST απευθύνεται κυρίως σε κτήρια, γεγονός που αποτέλεσε το έναυσμα για την σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε αλλάζοντας τις εξής παραμέτρους του τυπικού κτηρίου:

1. Το φυσικό αερισμό του κτηρίου.
2. Τον προσανατολισμό του κτηρίου, στρέφοντας το κτήριο ανά 15 ° και μέχρι να στραφεί κατά 360 ° σε σχέση με το αρχικό.
3. Το πάχος της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου.
4. Το εμβαδό των υαλοπινάκων του κτηρίου.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι τα χαρακτηριστικά του κτηρίου και για τα δύο προγράμματα λαμβάνονται από τους πίνακες των υποκεφαλαίων 7.1 και 7.2. Κατά την διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων στα δύο προγράμματα, παρατηρήθηκαν ορισμένες διαφορές.

Αρχικά, τα υλικά κατασκευής της εξωτερικής τοιχοποιίας, της οροφής και του εδάφους εισάγονται από τη βιβλιοθήκη των προγραμμάτων. Για τη μελέτη αυτή, αρχικά εισήχθησαν στο eQUEST οι στρώσεις των δομικών στοιχείων από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος και η τιμή του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας U υπολογίζεται και δίνεται από το πρόγραμμα. Καθώς η βιβλιοθήκη των δύο προγραμμάτων διαφέρει, στο TRNSYS επιλέχθηκαν υλικά ώστε να έχουν παρόμοιους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας με αυτούς που επιλέχθηκαν στο eQUEST. Οι τιμές όμως, όπως ήταν αναμενόμενο, διαφέρουν γιατί, κάθε πρόγραμμα προσομοίωσης έχει τα δικά του δεδομένα στη βιβλιοθήκη. Οι τιμές της θερμικής διαπερατότητας (U) δίνονται στον Πίνακα 7.10.

Πίνακας 7.10: Θερμική διαπερατότητα εξωτερικού τοίχου, οροφής και δαπέδου από το πρόγραμμα eQUEST και TRNSYS.

| U-value (W/m ² ·K) | Εξωτερικοί Τοίχοι | Οροφή | Δάπεδο |
|-------------------------------|-------------------|-------|--------|
| eQUEST | 0.39 | 0.37 | 0.30 |
| TRNSYS | 0.38 | 0.39 | 0.29 |

Ένα άλλο σημείο στο οποίο τα δύο προγράμματα παρουσίαζαν διαφορές ήταν η στρατηγική για τον φωτισμό του κτηρίου. Στο TRNSYS, το σύστημα φωτισμού

ενεργοποιείται όταν η εξωτερική ακτινοβολία είναι μικρότερη από μία συγκεκριμένη τιμή. Για την καλύτερη προσέγγιση αυτής της λειτουργίας στο πρόγραμμα eQUEST, δηλώνεται η φωτεινή ισχύς των φωτιστικών του κτηρίου και εισάγονται δύο αισθητήρες κάθε ένας εκ των οποίων ελέγχει το 50% του φωτισμού. Επομένως αυξομειώνει την ένταση του φωτισμού ανάλογα με τον εσωτερικό φωτισμό του χώρου.

Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι στο eQUEST, η γεωμετρική θέση του υαλοπίνακα στον τοίχο επηρεάζει το φορτίο του κτηρίου, σε αντίθεση με το TRNSYS που η θέση αυτή δεν επηρεάζει σε τα αποτελέσματα. Έτσι, στο eQUEST επιλέχθηκε τα παράθυρα να βρίσκονται στο κέντρο κάθε τοίχου σε κάθε περίπτωση.

Επίσης, στο πρόγραμμα eQUEST υπολογίζεται η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στο TRNSYS επιστρέφεται η θερμική ενέργεια. Όπως είναι γνωστό, ο συντελεστής απόδοσης, Coefficient of performance (COP) εκφράζει τον λόγο της αποδιδόμενης από το σύστημα θερμότητας προς την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται το σύστημα για να δουλέψει.

$$COP = \frac{Q_{\text{θερμική ή Ενέργεια}}}{Q_{\text{Ηλεκτρική ή Ενέργεια}}} \quad \text{Εξ. 7.4}$$

Επομένως, για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο προγραμμάτων τέθηκε ο συντελεστής COP ίσος με τη μονάδα στο πρόγραμμα eQUEST με σκοπό η θερμική ενέργεια να ισούται με την ηλεκτρική ενέργεια.

Τέλος, μία σημαντική διαφορά, αλλά όχι καθοριστική είναι ότι οι μονάδες μέτρησης στο eQUEST είναι στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων (IP-Imperial Units) ενώ στο TRNSYS οι μονάδες μέτρησης των μεγεθών είναι εκφρασμένες στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.)

7.6 Φορτία συμβατικού κτηρίου

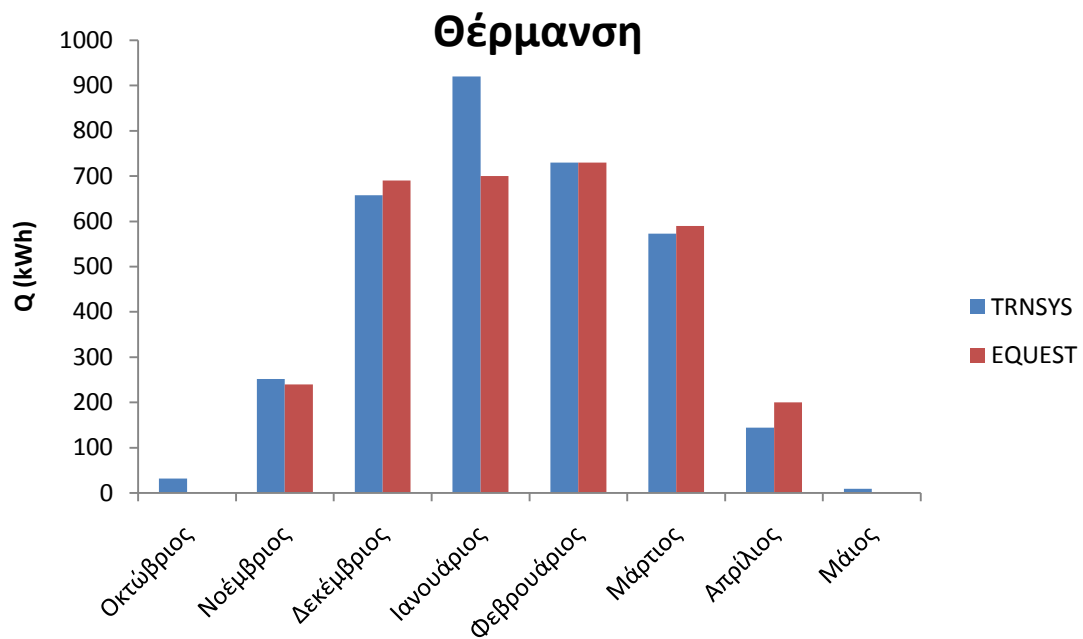
Με τα δύο προγράμματα γίνεται προσδιορισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του συμβατικού κτηρίου. Το θερμικό φορτίο ορίζει την απαίτηση του χώρου σε θερμική ενέργεια ενώ το ψυκτικό φορτίο ορίζει αφαιρούμενη ποσότητα θερμότητας από το χώρο προκειμένου ο αέρας του χώρου να διατηρείται σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα φορτία αυτά υπολογίζονται από τα δύο προγράμματα για κάθε μήνα και οι τιμές τους δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 7.11.

Πίνακας 7.11: Μηνιαίες τιμές θερμικών και ψυκτικών φορτίων που υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα TRNSYS και eQUEST.

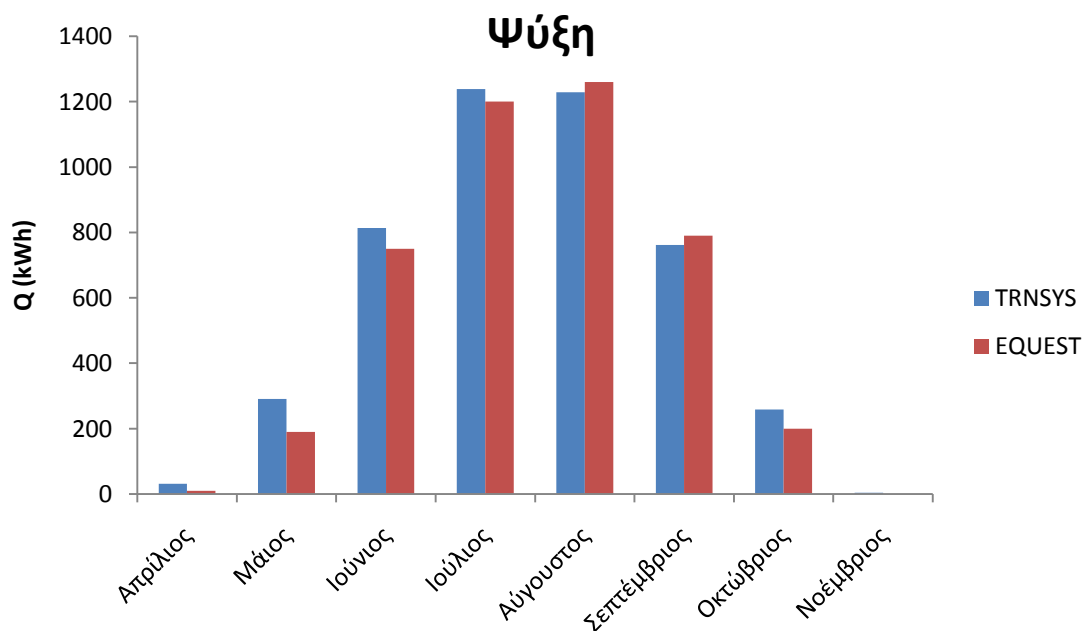
| Μήνας | Θερμικό Φορτίο (kWh) | | Ψυκτικό Φορτίο (kWh) | |
|---------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | TRNSYS | eQUEST | TRNSYS | eQUEST |
| Ιανουάριος | 920 | 700 | - | - |
| Φεβρουάριος | 730 | 730 | - | - |
| Μάρτιος | 573 | 590 | - | - |
| Απρίλιος | 144 | 200 | 31 | 10 |
| Μάιος | 9 | 0 | 291 | 190 |
| Ιούνιος | - | - | 814 | 750 |
| Ιούλιος | - | - | 1238 | 1200 |
| Αύγουστος | - | - | 1229 | 1260 |
| Σεπτέμβριος | - | - | 762 | 790 |
| Οκτώβριος | 32 | 0 | 258 | 200 |
| Νοέμβριος | 252 | 240 | 4 | 0 |
| Δεκέμβριος | 658 | 690 | - | - |
| Ετήσιο Φορτίο | 3318 | 3150 | 4627 | 4400 |

Χρησιμοποιώντας τις αναλυτικές τιμές του Πίνακα 7.11 που προέκυψαν από την προσομοίωση του κτηρίου με τα δύο προγράμματα δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα των θερμικών και ψυκτικών φορτίων συναρτήσει των μηνών, όπως απεικονίζεται στα Σχήματα 7.5 και 7.6. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι τα δυο προγράμματα παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις. Συγκεκριμένα η ποσοστιαία διαφορά για το ετήσιο θερμικό φορτίο ανέρχεται στο 5.33 % ενώ για το ετήσιο ψυκτικό στο 5.16 %, με το πρόγραμμα TRNSYS να υπερδιαστασιολογεί τους περισσότερους μήνες τα μεγέθη σε σχέση με το eQUEST. Παρατηρείται ότι τον μήνα Ιανουάριο το θερμικό φορτίο το οποίο υπολογίζεται από το πρόγραμμα TRNSYS είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο που υπολογίστηκε από το eQUEST. Επίσης, παρατηρείται ότι το eQUEST δεν δίνει αποτέλεσμα για τον μήνα Οκτώβριο και Μάιο κάτι το οποίο είναι λογικό γιατί

εκείνους τους μήνες τα φορτία είναι χαμηλά και το eQUEST δίνει χαμηλότερα φορτία. Αντίστοιχα στα ψυκτικά φορτία τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά.



Σχήμα 7.5: Μηνιαίο θερμικό φορτίο του μονοζωνικού κτηρίου υπολογισμένο στο πρόγραμμα TRNSYS και eQUEST.



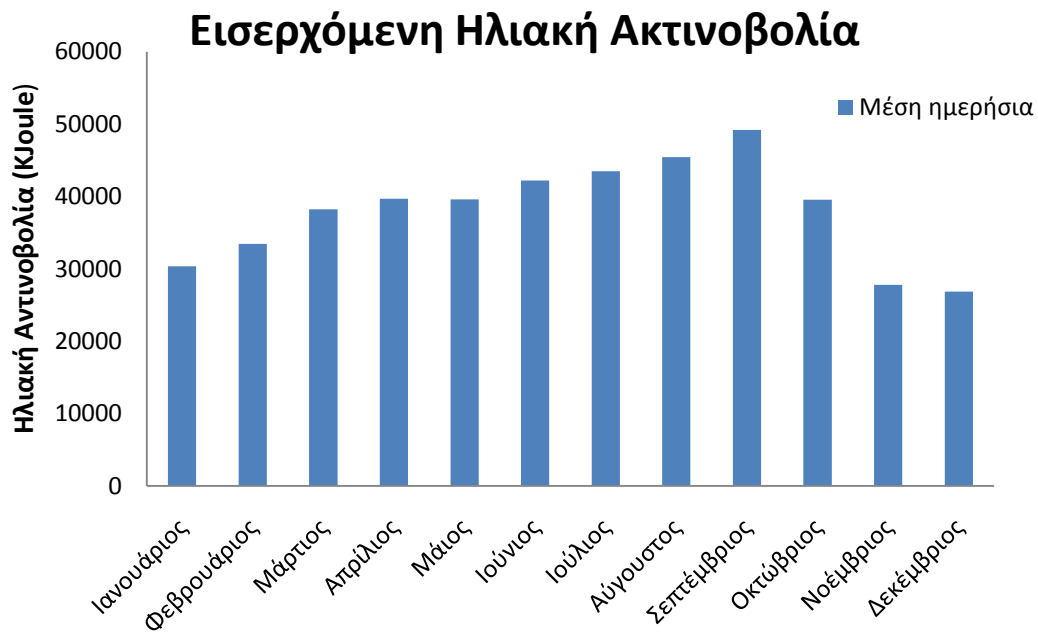
Σχήμα 7.6: Μηνιαίο ψυκτικό φορτίο του μονοζωνικού κτηρίου υπολογισμένο στο πρόγραμμα TRNSYS και eQUEST.

Επιπλέον, για την ενεργειακή προσομοίωση που πραγματοποιείται με το πρόγραμμα eQUEST, δίνονται οι τιμές της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και της μέγιστης ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτήριο για κάθε μήνα, καθώς και οι συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.

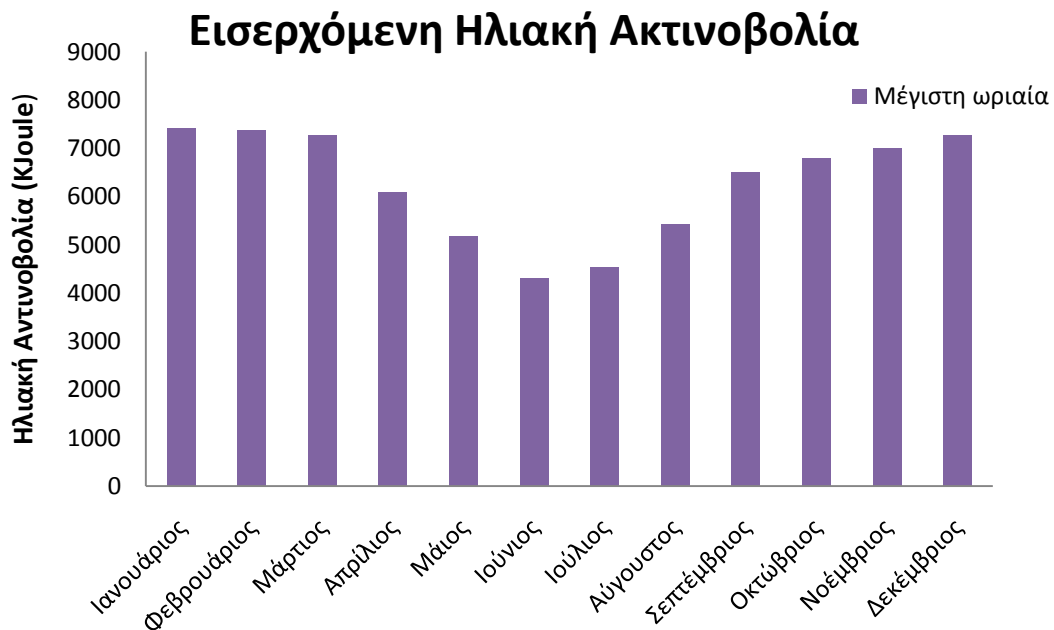
Πίνακας 7.12: Μηνιαίες τιμές μέσης ημερήσιας και μέγιστης ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτήριο.

| Μήνας | Εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία | | Ώρες Ηλιοφάνειας |
|-------------|---|----------------------------------|------------------|
| | Μέση ημερήσια | Μέγιστη ωριαία | |
| | $\left(\frac{kJoule}{\eta\mu\epsilon\rho\alpha}\right)$ | $\left(\frac{kJoule}{hr}\right)$ | |
| Ιανουάριος | 30371.82 | 7415.66 | 341 |
| Φεβρουάριος | 33447.38 | 7369.48 | 320 |
| Μάρτιος | 38238.64 | 7257.06 | 401 |
| Απρίλιος | 39701.48 | 6083 | 417 |
| Μάιος | 39613.73 | 5174.51 | 465 |
| Ιούνιος | 42215.92 | 4301.53 | 450 |
| Ιούλιος | 43494.67 | 4523.51 | 465 |
| Αύγουστος | 45460.96 | 5424.58 | 459 |
| Σεπτέμβριος | 49209.08 | 6492.47 | 390 |
| Οκτώβριος | 39554.36 | 6795.42 | 375 |
| Νοέμβριος | 27795.79 | 7007.06 | 335 |
| Δεκέμβριος | 26868.61 | 7268.81 | 341 |

Από τα παρακάτω διαγράμματα είναι εμφανές ότι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο κτήριο και οι ώρες ηλιοφάνειας αυξάνονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες η μέση ημερήσια ακτινοβολία και οι ώρες ηλιοφάνειας ελαττώνονται. Από το Σχήμα 7.8 παρατηρούμε ότι η τιμή της μέγιστης ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτήριο ελαττώνεται κατά τους θερινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει διότι, η μέγιστη ωριαία ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζεται από την σχετική αυτή θέση ηλίου-γης. Έτσι, επειδή το καλοκαίρι ο ήλιος βρίσκεται πιο ψηλά σε σχέση με το χειμώνα ελαττώνεται η ακτινοβολία που προσπίπτει στην παράπλευρη επιφάνεια του κτηρίου.



Σχήμα 7.7: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτήριο.



Σχήμα 7.8: Μέγιστη ωριαία ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτήριο για κάθε μήνα.

7.7 Παραμετρική ανάλυση μονοζωνικού κτηρίου

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η επίδραση κάποιων παραμέτρων στην ενεργειακή ανάλυση ενός κτηρίου. Για τον λόγο αυτό προγράμματα που επιτελούν ενεργειακή προσομοίωση προσφέρουν την δυνατότητα παραμετρικής ανάλυσης ενός κτηρίου μεταβάλλοντας μία ή περισσότερες παραμέτρους και εξετάζοντας στη συνέχεια την επίδραση τους στην ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι παράμετροι που μεταβάλλονται είναι οι εξής:

1. Ο φυσικός αερισμός του κτηρίου.
2. Ο προσανατολισμός του κτηρίου.
3. Το πάχος της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου.
4. Το εμβαδό των υαλοπινάκων του κτηρίου.

Η παραμετρική αυτή ανάλυση πραγματοποιείται για ένα κτήριο στην περιοχή της Αθήνας με τη χρήση δύο προγραμμάτων, του eQUEST και του TRNSYS, με σκοπό να συγκριθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση κάθε προγράμματος. Τέλος παρατίθενται σχόλια και συμπεράσματα από τη μελέτη αυτή.

7.7.1 Επίδραση του φυσικού αερισμού στο κτήριο

Ο φυσικός αερισμός επιτρέπει την ανανέωση του αέρα του χώρου απομακρύνοντας την πλεονάζουσα θερμότητα του χώρου και ανανεώνοντας τον εσωτερικό αέρα με φρέσκο αέρα. Σε αυτή την ενότητα μελετάται η επίδραση που έχει ο φυσικός αερισμός του κτηρίου στα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Λαμβάνονται δέκα σενάρια για τις εναλλαγές αέρα ανά ώρα του κτηρίου και υπολογίζονται τα μηνιαία ψυκτικά και θερμικά φορτία. Υπενθυμίζεται ότι, αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση των προγραμμάτων eQUEST και TRNSYS.

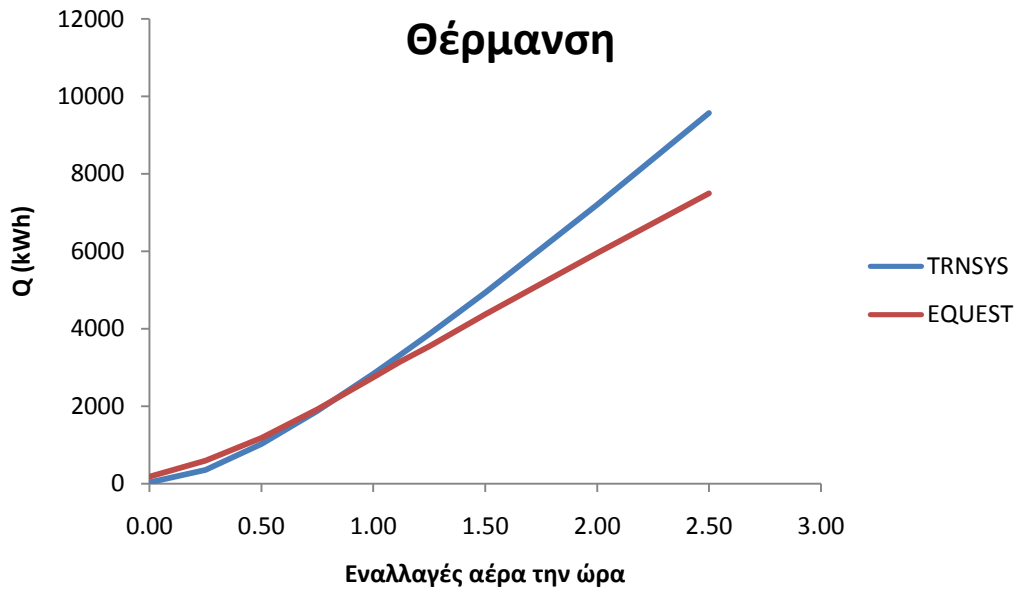
Πίνακας 7.13: Θερμικό και ψυκτικό φορτίο, υπολογισμένα στο πρόγραμμα eQUEST και TRNSYS για διαφορετικές εναλλαγές αέρα την ώρα.

| Εναλλαγές αέρα ανά ώρα | $\frac{cfm}{sqft}$ | Θερμικό Φορτίο (kWh) | | Ψυκτικό Φορτίο (kWh) | |
|---------------------------|--------------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | | TRNSYS | eQUEST | TRNSYS | eQUEST |
| 0.00 | 0.00 | 30 | 180 | 6479 | 5110 |
| 0.25 | 0.04 | 351 | 590 | 5677 | 4890 |
| 0.50 | 0.08 | 1022 | 1180 | 5176 | 4680 |
| 0.75 | 0.12 | 1872 | 1920 | 4889 | 4530 |
| 1.00 | 0.16 | 2831 | 2740 | 4692 | 4440 |
| 1.12 | 0.18 | 3318 | 3150 | 4626 | 4390 |
| 1.25 | 0.21 | 3855 | 3550 | 4563 | 4360 |
| 1.50 | 0.25 | 4931 | 4370 | 4480 | 4310 |
| 2.00 | 0.33 | 7199 | 5950 | 4398 | 4250 |
| 2.50 | 0.41 | 9568 | 7500 | 4400 | 4260 |

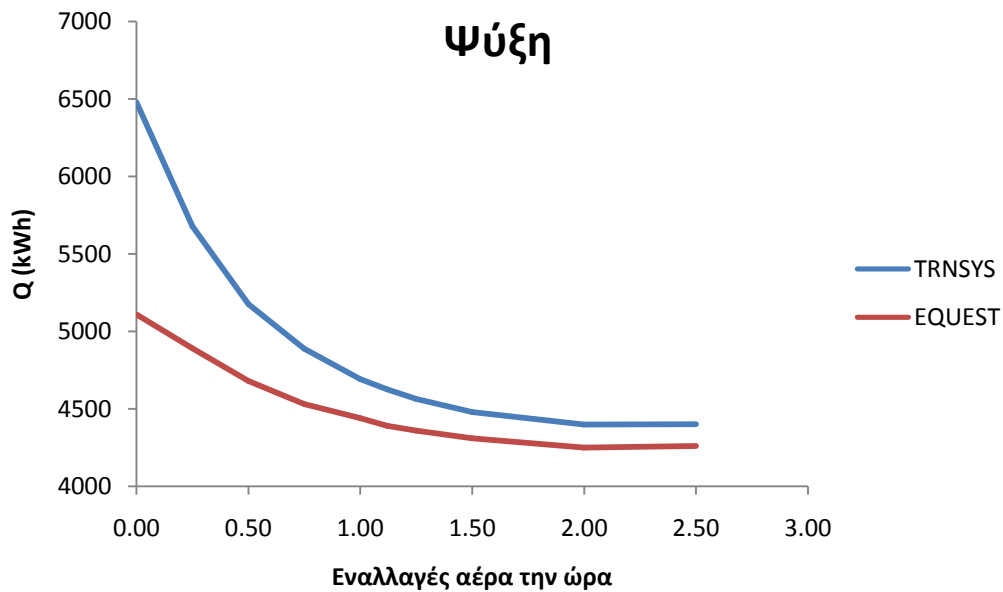
Ο αέρας που εισχωρεί στο χώρο, λαμβάνεται από τον εξωτερικό περιβάλλον. Το χειμώνα ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία ως προς τον εσωτερικό και η αύξηση του φυσικού αερισμού του κτηρίου έχει πολύ σημαντική επίπτωση στην επιβάρυνση των ετησίων θερμικών φορτίων. Παρατηρώντας το Σχήμα 7.9 η σημαντική επίδραση που έχει ο αερισμός του χώρου στα θερμικά φορτία διαπιστώνεται από την απότομη κλίση του διαγράμματος.

Το καλοκαίρι λόγω της μικρότερης μέσης διαφοράς εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με τη χειμερινή περίοδο, η επίδραση του αερισμού στα ψυκτικά φορτία είναι μικρότερη σε αντίθεση με την επίδραση στα θερμικά φορτία, και αυτό γίνεται αντιληπτό από την μικρότερη κλίση της καμπύλης, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.10. Είναι προφανές, ότι η διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα δύο προγράμματα είναι μικρή.

Τα θερμικά φορτία που υπολογίστηκαν με τα δύο προγράμματα παρουσιάζουν έντονες αποκλίσεις σε χαμηλές εναλλαγές αέρα, με αποτέλεσμα η μέση ποσοστιαία διαφορά των περιπτώσεων να ανεβαίνει στο 21.84%. Δεν συμβαίνει όμως, το ίδιο στα ψυκτικά φορτία, όπου η ποσοστιαία διαφορά κυμαίνεται στο 8.78%.



Σχήμα 7.9: Θερμικό φορτίο για διαφορετικές τιμές φυσικού αερισμού.



Σχήμα 7.10: Ψυκτικό φορτίο για διαφορετικές τιμές φυσικού αερισμού.

7.7.2 Επίδραση Του προσανατολισμού του κτηρίου

Ο προσανατολισμός του κτηρίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτήριο. Μια νότια όψη δέχεται την μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας από οποιαδήποτε άλλη διαφορετικά προσανατολισμένη επιφάνεια του κτηρίου. Για τον λόγο αυτό επιλέγονται οι

μεγαλύτερες διαφανείς επιφάνειες να βρίσκονται στην νότια πλευρά του κτηρίου. Με αρχικό σημείο τον νότιο προσανατολισμό του κτηρίου έγινε ο υπολογισμός των ψυκτικών και θερμικών φορτίων και στη συνέχεια μεταβάλλοντας το αζιμούθιο κατά 15 μοίρες την φορά, έως μία ολόκληρη περιστροφή. Τα αποτελέσματα από αυτή την εφαρμογή με τη χρήση των δύο προγραμμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.14.

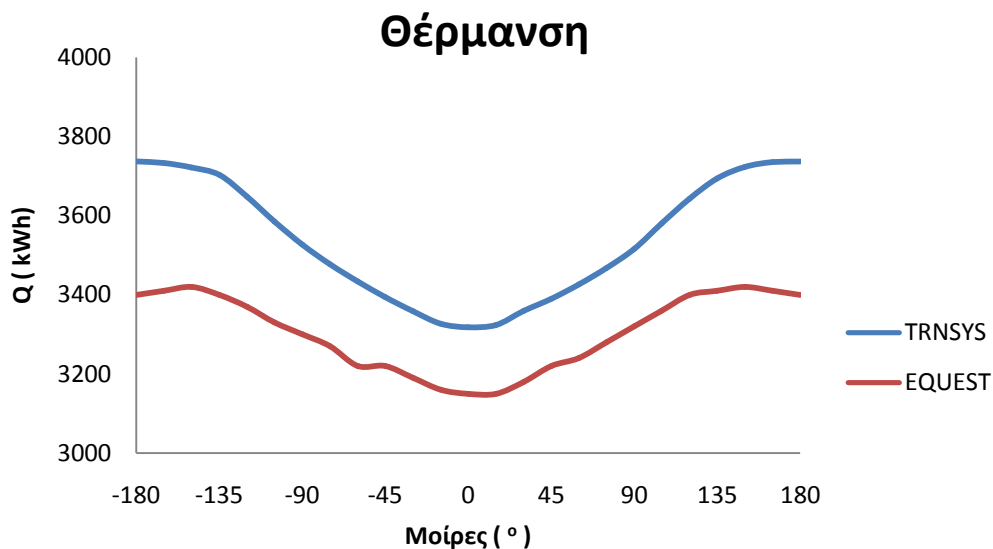
Πίνακας 7.14: Θερμικό και ψυκτικό φορτίο, υπολογισμένα στο πρόγραμμα eQUEST και TRNSYS για διαφορετικές γωνίες αζιμούθιου.

| Μοίρες | Θερμικό Φορτίο (kWh) | | Ψυκτικό Φορτίο (kWh) | |
|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | TRNSYS | eQUEST | TRNSYS | eQUEST |
| -165 | 3733 | 3410 | 4249 | 4130 |
| -150 | 3722 | 3420 | 4286 | 4180 |
| -135 | 3703 | 3400 | 4319 | 4230 |
| -120 | 3648 | 3370 | 4346 | 4280 |
| -105 | 3585 | 3330 | 4363 | 4240 |
| -90 | 3527 | 3300 | 4409 | 4310 |
| -75 | 3477 | 3270 | 4477 | 4370 |
| -60 | 3434 | 3220 | 4567 | 4430 |
| -45 | 3394 | 3220 | 4623 | 4470 |
| -30 | 3358 | 3190 | 4624 | 4460 |
| -15 | 3327 | 3160 | 4632 | 4420 |
| 0 | 3318 | 3150 | 4626 | 4390 |
| 15 | 3324 | 3150 | 4658 | 4400 |
| 30 | 3359 | 3180 | 4671 | 4400 |
| 45 | 3390 | 3220 | 4660 | 4400 |
| 60 | 3426 | 3240 | 4609 | 4430 |
| 75 | 3468 | 3280 | 4529 | 4370 |
| 90 | 3516 | 3320 | 4460 | 4280 |
| 105 | 3581 | 3360 | 4414 | 4220 |
| 120 | 3643 | 3400 | 4387 | 4280 |
| 135 | 3694 | 3410 | 4356 | 4210 |
| 150 | 3723 | 3420 | 4311 | 4120 |
| 165 | 3735 | 3410 | 4262 | 4110 |
| 180 | 3737 | 3400 | 4241 | 4110 |

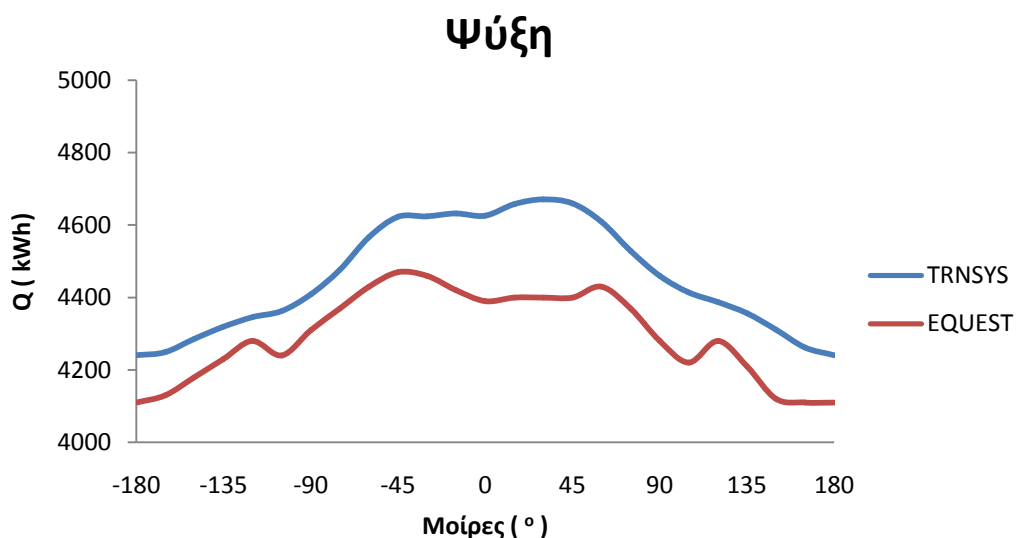
Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι καμπύλες των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ως προς τη γωνία στροφής. Από το Σχήμα 7.11 είναι εμφανές ότι για νότιο προσανατολισμό του κτηρίου, όπως αναμενόταν, τα θερμικά φορτία ελαχιστοποιούνται, καθώς τη χειμερινή περίοδο το κτήριο δέχεται την μέγιστη

ηλιακή ακτινοβολία. Αντίστοιχα, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται καθώς περιστρέφεται το κτήριο γι αυτό και οι ανάγκες για θέρμανση αυξάνονται, με την μέγιστη ζήτηση να παρουσιάζεται όταν το αζιμούθιο έχει τιμή $\pm 180^\circ$.

Αντίστοιχα, τη θερινή περίοδο κατά την περιστροφή του κτηρίου οι ανάγκες για ψυκτικό φορτίο μειώνονται, καθώς μειώνεται η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, με μέγιστο φορτίο να παρουσιάζεται όταν το κτήριο έχει νότιο προσανατολισμό. Από τα Σχήματα 7.1 και 7.12 γίνεται αντιληπτό ότι η ηλιακή ακτινοβολία σε ανατολικό προσανατολισμό είναι διαφορετική από ότι σε δυτικό προσανατολισμό, επειδή οι καμπύλες δεν είναι συμμετρικές. Όσον αφορά τις ποσοστιαίες διαφορές στα θερμικά φορτία ανέρχονται στο 6.95% ενώ για τα ψυκτικά είναι σημαντικά μικρές και ανέρχονται στο 3.77%.



Σχήμα 7.11: Θερμικό φορτίο για διαφορετικές τιμές της περιστροφής του κτηρίου.



Σχήμα 7.12: Ψυκτικό φορτίο για διαφορετικές τιμές της περιστροφής του κτηρίου.

7.7.3 Επίδραση του πάχους της μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτηρίου.

Το κατάλληλο είδος και πάχος θερμομονωτικού υλικού στα κτήρια παίζει σημαντικό ρόλο καθώς μειώνει την μετάδοση θερμότητας από και προς το εσωτερικό του. Ως θερμομονωτικό υλικό, τόσο στην εξωτερική τοιχοποιία, όσο και στην οροφή και στο δάπεδο, χρησιμοποιήθηκε πολυστυρένιο. Σε αυτή την ενότητα μελετήθηκε η επίδραση της αλλαγής του πάχους της μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας σε εννιά διαφορετικές τιμές του πάχους. Τα αποτελέσματα της ενεργειακής προσομοίωσης που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.15.

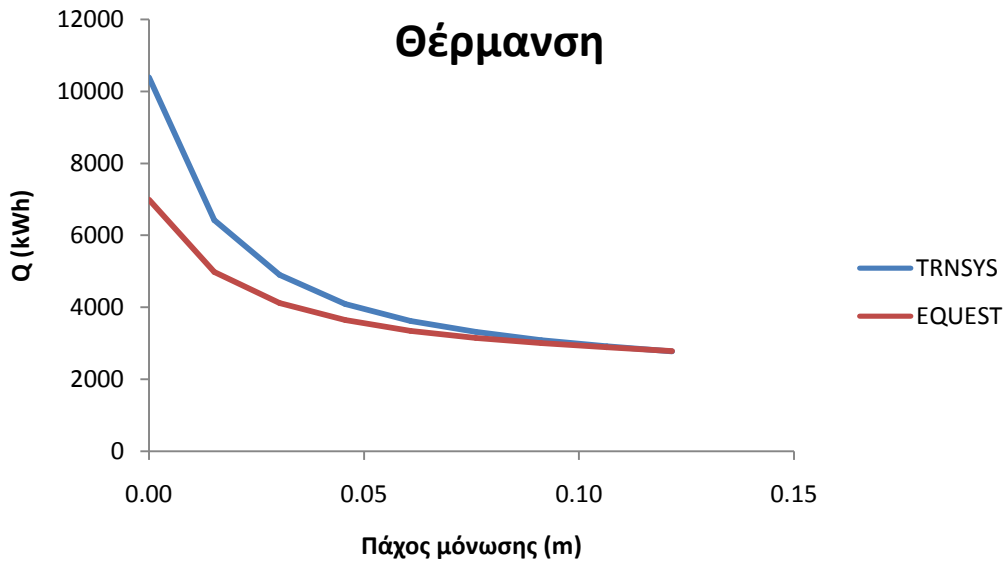
Πίνακας 7.15: Θερμικό και ψυκτικό φορτίο, υπολογισμένα στο πρόγραμμα eQUEST και TRNSYS για διαφορετικές τιμές πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων.

| L (m) | L (Ft) | Θερμικό Φορτίο (kWh) | | Ψυκτικό Φορτίο (kWh) | |
|-------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | | TRNSYS | eQUEST | TRNSYS | eQUEST |
| 0.000 | 0 | 10390 | 6990 | 3769 | 4910 |
| 0.015 | 0.050 | 6419 | 4980 | 4123 | 4610 |
| 0.030 | 0.100 | 4906 | 4120 | 4315 | 4490 |
| 0.046 | 0.150 | 4089 | 3650 | 4459 | 4420 |
| 0.061 | 0.200 | 3619 | 3350 | 4555 | 4430 |
| 0.076 | 0.250 | 3318 | 3150 | 4626 | 4390 |
| 0.091 | 0.300 | 3087 | 3010 | 4698 | 4370 |
| 0.106 | 0.350 | 2920 | 2890 | 4722 | 4350 |
| 0.122 | 0.400 | 2779 | 2790 | 4763 | 4330 |

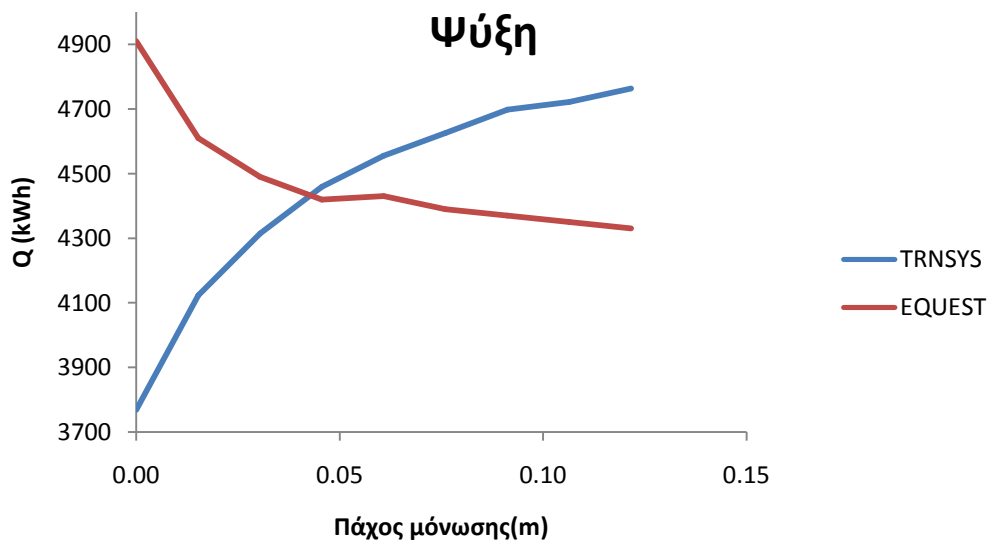
Τα θερμικά φορτία μειώνονται αισθητά με την αύξηση του πάχους της μόνωσης καθώς μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα χάνεται από το κτήριο, κάτι το οποίο είναι αντιληπτό από το Σχήμα 7.13.

Ωστόσο, τα δύο προγράμματα παρουσιάζουν απόκλιση στα αποτελέσματα των ψυκτικών φορτίων. Στο eQUEST τα φορτία ελαττώνονται, σε αντίθεση με το πρόγραμμα TRNSYS, στο οποίο τα ψυκτικά φορτία αυξάνονται. Οι τιμές των φορτίων από ένα σημείο και μετά δεν διαφέρουν σημαντικά σε μέτρο, αλλά το πρόσημο της κλίσης τους είναι αντίθετο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα δύο προγράμματα παρουσιάζουν διαφορές στον τρόπο μοντελοποίησης του κτηρίου. Καθώς με την αύξηση του πάχους της μόνωσης στο πρόγραμμα TRNSYS αυξάνονται τα ψυκτικά φορτία, συμπεραίνουμε, ότι η ύπαρξη της μόνωσης δυσκολεύει της εκροή της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτήριο μέσω των υαλοπινάκων

Για τις διαφορετικές τιμές του πάχους της μόνωσης τα δύο προγράμματα παρουσιάζουν αποδεχτές αποκλίσεις. Συγκεκριμένα, για το θερμικό φορτίο η ποσοστιαία διαφορά ανέρχεται στο 14% ενώ για το ψυκτικό στο 8,09%. Παρατηρείται ότι για μικρό πάχος μόνωσης παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των δύο προγραμμάτων, ενώ για μεγαλύτερα πάχη οι διαφορές είναι αμελητέες.



Σχήμα 7.13: Θερμικό φορτίο για διάφορες τιμές του πάχους της μόνωσης.



Σχήμα 7.14: Ψυκτικό φορτίο για διάφορες τιμές του πάχους της μόνωσης.

7.7.4 Επίδραση του εμβαδού των υαλοπινάκων στο κτήριο.

Οι υαλοπίνακες είναι πολύ σημαντικά στοιχεία του κελύφους γιατί επιτρέπουν την άμεση είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο. Με την είσοδο αυτής της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτηρίου, αναγκάζει το κτήριο να θερμαίνεται ως ένα βαθμό κατά τους χειμερινούς μήνες, τις ώρες μεγάλης ηλιοφάνειας, ενώ τις βραδινές ώρες δρουν ως μέσο για απώλεια θερμότητας. Το πρόβλημα όμως υπάρχει κατά τη θερινή περίοδο, όπου τα φορτία κλιματισμού αυξάνονται σημαντικά διότι η έντονη ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται εύκολα εντός του κτηρίου σε χώρες με θερμά κλίματα όπως η Ελλάδα. Επομένως η αύξηση της επιφάνειας των υαλοπινάκων, αναμένεται να επιβαρύνει τη θερινή περίοδο τα συνολικά ετήσια ψυκτικά φορτία, ενώ αναμένεται μικρή μείωση των ετήσιων θερμικών φορτίων κατά τη χειμερινή περίοδο.

Στον Πίνακα 7.16 δίνονται οι 6 διαφορετικές περιπτώσεις για τις οποίες συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων. Συγκεκριμένα, δίνονται το συνολικό εμβαδό που καταλαμβάνουν όλοι οι υαλοπίνακες του κτηρίου, καθώς και το επιμέρους εμβαδό κάθε υαλοπίνακα σε κάθε περίπτωση. Διευκρινίζεται ότι η αύξηση που εξετάζεται εδώ αφορά το συνολικό εμβαδό των υαλοπινάκων διατηρώντας την αναλογία ότι το 50 % των παραθύρων βρίσκεται στον νότιο τοίχο ενώ το 25 % στην ανατολή και το 25 % στην δύση. Επίσης, για κάθε υαλοπίνακα εφαρμόζεται η σχέση ότι το μήκος του παραθύρου είναι το διπλάσιο του ύψους. Στον Πίνακα 7.17 δίνονται τα αποτελέσματα που εξάγονται από τα δύο προγράμματα.

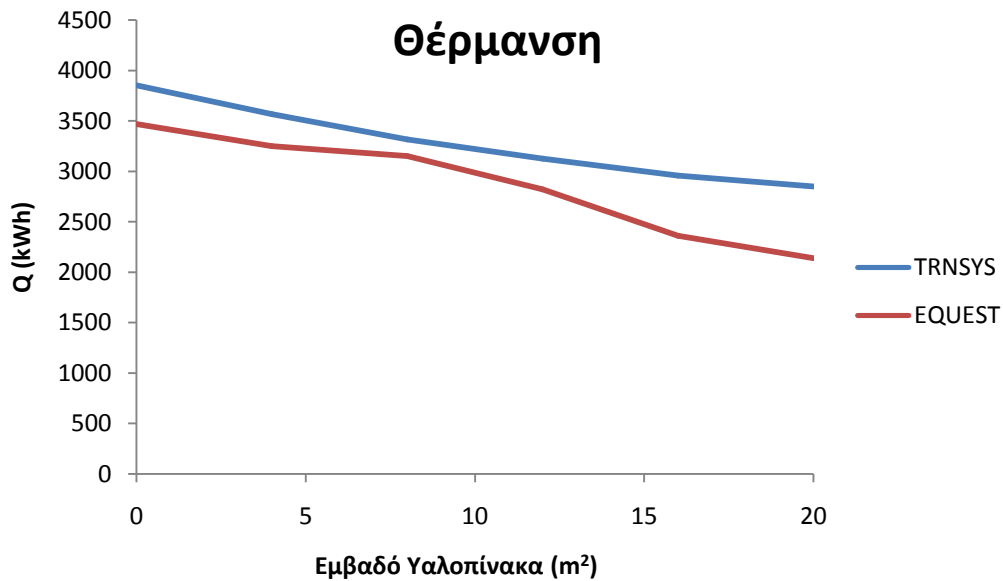
Πίνακας 7.16: Επιφάνεια υαλοπινάκων σε κάθε τοίχο.

| Συνολικό Εμβαδό | Νότιος Υαλοπίνακας | | Ανατολικός Υαλοπίνακας | | Δυτικός Υαλοπίνακας | |
|-----------------|--------------------|-----------------|------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | m ² | ft ² | m ² | ft ² | m ² | ft ² |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0.100 | 0 | 0.10 |
| 4 | 2 | 21.53 | 1 | 10.764 | 1 | 10.76 |
| 8 | 4 | 43.05 | 2 | 21.527 | 2 | 21.53 |
| 12 | 6 | 64.58 | 3 | 32.291 | 3 | 32.29 |
| 16 | 8 | 86.11 | 4 | 43.055 | 4 | 43.06 |
| 20 | 10 | 107.64 | 5 | 53.818 | 5 | 53.82 |

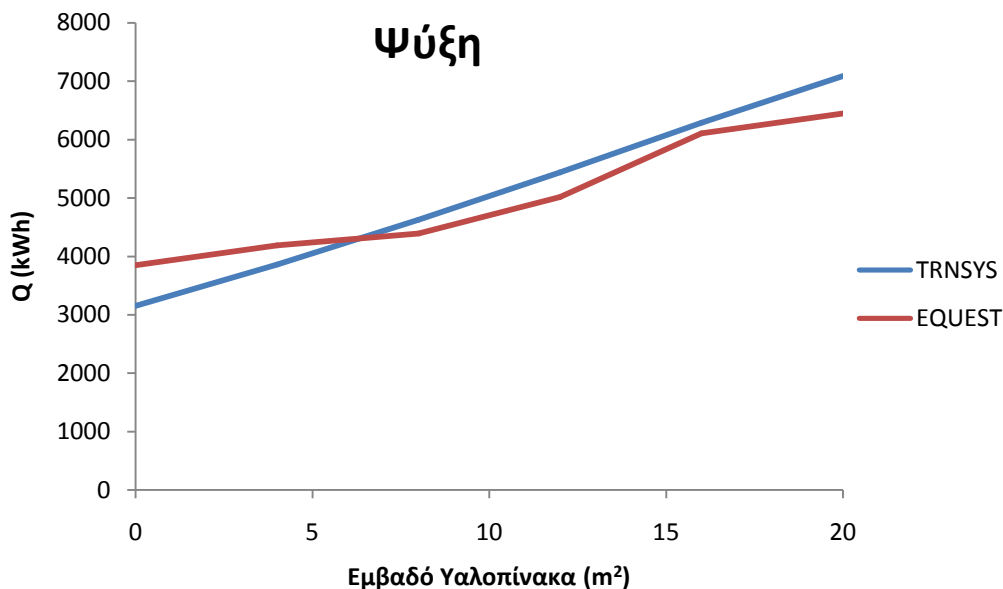
Πίνακας 7.17: Θερμικό και ψυκτικό φορτίο, υπολογισμένα στο πρόγραμμα eQUEST και TRNSYS για διαφορετική επιφάνεια υαλοπινάκων.

| Συνολικό Εμβαδό (m ²) | Θερμικό Φορτίο (kWh) | | Ψυκτικό Φορτίο (kWh) | |
|-----------------------------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | TRNSYS | eQUEST | TRNSYS | eQUEST |
| 0 | 3854 | 3470 | 3151 | 3850 |
| 4 | 3566 | 3250 | 3861 | 4190 |
| 8 | 3318 | 3150 | 4626 | 4390 |
| 12 | 3125 | 2820 | 5441 | 5020 |
| 16 | 2958 | 2360 | 6291 | 6110 |
| 20 | 2850 | 2140 | 7090 | 6450 |

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η κλίση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων για διαφορετικό συνολικό εμβαδό υαλοπινάκων. Τα διαγράμματα δείχνουν ότι τα δύο προγράμματα δίνουν παρόμοια αποτελέσματα και όπως ήταν αναμενόμενο το θερμικό φορτίο να μειώνεται με την αύξηση του εμβαδού των υαλοπινάκων ενώ το ψυκτικό να αυξάνεται.



Σχήμα 7.15: Θερμικό φορτίο για διάφορες τιμές του εμβαδού των υαλοπινάκων.



Σχήμα 7.16: Ψυκτικό φορτίο για διάφορες τιμές του εμβαδού των υαλοπινάκων.

7.8 Σύνοψη

Σε αυτή την ενότητα της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση, μεταξύ των αποτελεσμάτων που εξάγονται από δύο προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης με σκοπό να βρεθούν οι αποκλίσεις που παρουσιάζουν αυτά τα προγράμματα. Το μοντέλο προσομοίωσης είναι ένα τυπικό κτήριο το οποίο σχεδιάστηκε αρχικά στο πρόγραμμα eQUEST και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα TRNSYS. Τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που υπολογίστηκαν με τα δύο αυτά προγράμματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε παραμετρική μελέτη, μεταβάλλοντας το φυσικό αερισμό του κτηρίου, τον προσανατολισμό του κτηρίου, το πάχος της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων και το εμβαδό των υαλοπινάκων. Ομοίως, συγκρίθηκαν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία για τις παραπάνω περιπτώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ενεργειακή προσομοίωση ενός πολυζωνικού και ενός μονοζωνικού κτηρίου με τη χρήση του λογισμικού eQUEST. Τα δύο αυτά κτήρια σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και τοποθετούνται στην περιοχή της Αθήνας, Ελλάδα. Το πολυζωνικό κτήριο αποτελεί ένα τυπικό κτήριο γραφείων, ενώ το μονοζωνικό κτήριο προσομοιάζει κάποιο οικιακό κτήριο.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση με σκοπό την εύρεση της επίδρασης που έχουν ορισμένες παράμετροι σχεδιασμού και λειτουργίας στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Από την ανάλυση αυτή γίνεται κατανοητή η σημασία της ορθής επιλογή των παραμέτρων ενός κτηρίου στην ενεργειακή απόδοση.

Σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι και στις δύο προσομοιώσεις που μελετήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι η παραμετρική ανάλυση επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τα θερμικά φορτία του κτηρίου και σε λιγότερο βαθμό τα ψυκτικά. Άρα μεγαλύτερη έμφαση κατά το σχεδιασμό ενός κτηρίου πρέπει να δοθεί στην μείωση των θερμικών φορτίων, καθώς αυτά επηρεάζονται πιο εύκολα.

8.1 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα για το πολυζωνικό κτήριο

Από τη μελέτη της ενεργειακής προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για το πολυζωνικό κτήριο μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για τα φορτία του κτηρίου και για την επίδραση των παραμέτρων λειτουργίας και σχεδιασμού του κτηρίου στα θερμικά και ψυκτικά φορτία, καθώς και στη συνολική ηλεκτρική κατανάλωση. Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζονται οι τιμές ανάμεσα στις οποίες κυμαίνονται οι ποσοστιαίες διαφορές για τις διάφορες περιπτώσεις που μελετήθηκαν, ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου. (Σημειώνεται ότι, το αρνητικό πρόσημο σημαίνει μείωση του φορτίου, ενώ το θετικό σε αύξηση)

Πίνακας 8.1: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου.

| Μεταβαλλόμενο Μέγεθος | Ποσοστιαία διαφορά επί τοις % | | |
|--|-------------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολικής Ηλεκτρικής Κατανάλωσης |
| Θερμική διαπερατότητα υαλοπινάκων | -1.93÷1.14 | -3.05÷5.73 | -0.1÷0.2 |
| Εμβαδό υαλοπινάκων | -7.87÷10.31 | -5.89÷5.03 | -2.22÷2.96 |
| Πάχος μόνωσης των εξωτερικών τοίχων | 0.09÷1.63 | -2.08÷19.24 | -0.24÷2.45 |
| Πάχος μόνωσης της οροφής | -.136÷13.20 | -2.95÷26.69 | -0.98÷8.45 |
| Πάχος μόνωσης των εξωτερικών τοίχων και της οροφής | -1.54÷14.47 | -4.85÷46.79 | -1.22÷10.79 |
| Φυσικός αερισμός | 0÷2.8 | 0÷22.57 | 0÷5.84 |
| Μήκος του σκιάστρου στους νότιους υαλοπίνακες | -6.69÷0 | 0÷5.55 | -1.71÷0 |
| Μήκος του σκιάστρου στους δυτικούς υαλοπίνακες | -2.17÷0 | 0÷1.56 | -0.44÷0 |
| Εσωτερική σκίαση | -23.42÷0 | 0÷19.24 | -4.89÷0 |

Υαλοπίνακες

Η ύπαρξη υαλοπινάκων σε ένα κτήριο μειώνει τα θερμικά φορτία, ενώ αυξάνει τα φορτία κλιματισμού επιτρέποντας την είσοδο την ηλιακής ακτινοβολίας εντός του κτηρίου και δρώντας ως μέσο θερμικών απωλειών. Μεταβάλλοντας λοιπόν, τον συντελεστή θερμικής διαπερατότητας των νότιων υαλοπινάκων παρατηρήθηκε αύξηση των θερμικών φορτίων και μείωση των ψυκτικών φορτίων του κτηρίου. Αυτό συμβαίνει διότι, η αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας οδηγεί και σε αύξηση των θερμικών απωλειών του κτηρίου. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που εξάγονται από τη χρήση υαλοπίνακα με υψηλό και χαμηλό συντελεστή θερμικής διαπερατότητας παρατηρείται ότι, ο υαλοπίνακας με χαμηλό συντελεστή U αυξάνει τα ψυκτικά φορτία κατά 3.14% ενώ παράλληλα μειώνει τα θερμικά φορτία κατά 8.31%. Αυτό συμβαίνει διότι, ο μικρότερος συντελεστής διαπερατότητας οδηγεί σε λιγότερες θερμικές απώλειες με αποτέλεσμα την υψηλότερη θερμοκρασία του υαλοπίνακα. Για το λόγο αυτό, προτιμάται ένας υαλοπίνακας με χαμηλό συντελεστή διαπερατότητας, καθώς η μείωση των θερμικών φορτίων είναι σημαντικότερη σε σχέση με την άνοδο των ψυκτικών φορτίων, η οποία μπορεί να μειωθεί με την κατάλληλη σκίαση.

Στη συνέχεια, μεταβάλλοντας το εμβαδό των υαλοπινάκων παρατηρείται ότι η αύξηση του εμβαδού οδηγεί σε σημαντική άνοδο των ψυκτικών φορτίων και μείωση των θερμικών φορτίων του κτηρίου και έτσι η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται. Η μείωση του θερμικού φορτίου είναι πολύ σημαντική αφού συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που εξάγονται για το μέγιστο εμβαδό και για το εμβαδό που χρησιμοποιείται στο συμβατικό κτήριο προκύπτει ότι, οι απαιτήσεις για θέρμανση το χειμώνα ελαττώνονται κατά 5.89%. Από την άλλη μεριά, το ψυκτικό φορτίο αυξάνεται κατά 10.89%, αλλά η αύξηση αυτή θα μπορούσε να περιοριστεί με την τοποθέτηση κατάλληλης σκίασης. Δηλαδή, η επίδραση του εμβαδού των υαλοπινάκων στα φορτία του κτηρίου είναι πολύ σημαντική και θεμιτή στην περίπτωση όμως που συνδυάζεται με κατάλληλη σκίαση.

Συνοψίζοντας, είναι προτιμότερο να επιλεχτεί εκείνος ο συντελεστής U και εκείνο το εμβαδό που θα επιφέρει σημαντική μείωση των θερμικών φορτίων έστω και αν οδηγήσει σε αύξηση των ψυκτικών φορτίων. Η αύξηση αυτή των ψυκτικών φορτίων μπορεί να περιοριστεί με διάφορες μεθόδους, όπως για παράδειγμα με σκίαση τους θερινούς μήνες. Για τον λόγο αυτό, επιλέγονται μεγάλα ανοίγματα με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαπερατότητας.

Πάχος Μόνωσης

Όσο αυξάνεται το πάχος των δομικών υλικών τόσο αυξάνεται η θερμική αντίσταση και μειώνεται ο συντελεστής U, γεγονός που οδηγεί σε μείωση των θερμικών απωλειών. Από τα διαγράμματα των φορτίων που προέκυψαν συναρτήσει του πάχους της μόνωσης, παρατηρείται ότι η αύξηση του πάχους της μόνωσης συντελεί στη μείωση των ψυκτικών και θερμικών φορτίων καθώς και στη μείωση της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας του κτηρίου, το οποίο είναι και το ζητούμενο κατά την σχεδίαση ενός κτηρίου. Επίσης, παρατηρείται ότι η αύξηση του πάχους επιδρά σημαντικά στη μείωση των φορτίων έως ένα σημείου και από εκείνο το σημείο και μετά ο ρυθμός μείωσης των φορτίων ελαττώνεται. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό, ανάλογα με την περίπτωση να βρεθεί το βέλτιστο πάχος στο οποίο η μεταβλητότητα των φορτίων τείνει να σταθεροποιηθεί. Η τιμή αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, γιατί η αύξηση του πάχους της μόνωσης είναι οικονομικά ζημιογόνα και όχι πάντα εφικτή.

Συγκρίνοντας τα φορτία για τη μεγαλύτερη τιμή πάχους μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, παρατηρείται ότι η ποσοστιαία διαφορά των ψυκτικών και θερμικών φορτίων ανηγμένη ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου είναι 0% και -2.08% αντίστοιχα. Ομοίως, στην περίπτωση υπολογισμού των φορτίων για την μεγαλύτερη τιμή πάχους μόνωσης στην οροφή η ποσοστιαία διαφορά των ψυκτικών και θερμικών φορτίων ανηγμένη ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου είναι -1.36% και -2.95%. Από αυτά τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι η μόνωση της

οροφής έχει μεγαλύτερη επιρροή στα φορτία του κτηρίου από τη μόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας, αφού τα φορτία ελαττώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό.

Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι η μεταβολή που παρουσιάζουν τα θερμικά φορτία του κτηρίου είναι μεγαλύτερη σε κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις σε σχέση με αυτή των ψυκτικών. Αυτό είναι εμφανές, τόσο από τα διαγράμματα όσο και από τους πίνακες στους οποίους δίνονται τα αποτελέσματα και οι ποσοστιαίες διαφορές.

Εξωτερική και εσωτερική σκίαση

Τόσο τα συστήματα εξωτερικής σκίασης όσο και τα συστήματα εσωτερικής σκίασης έχουν ως στόχο τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το κτήριο και συνεπώς, τον έλεγχο των θερμικών κερδών του κτηρίου. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των θερμικών και ψυκτικών φορτίων με ή χωρίς εξωτερική σκίαση συμπεραίνουμε ότι με τη χρήση σκίασης μειώνεται το ψυκτικό και αυξάνεται το θερμικό φορτίο.

Όσον αφορά την εξωτερική σκίαση, παρατηρήθηκε ότι το κατάλληλο μήκος σκίασης είναι $L=1.1$ m και η απόσταση από το άνω μέρος του υαλοπίνακα να είναι $d=0$ m. Συγκεκριμένα, τοποθετώντας σκιάστρο μήκους 1.1 m στους νότιους και δυτικούς υαλοπίνακες του κτηρίου παρατηρείται μείωση του ψυκτικού φορτίου κατά 6.69% και 2.17% αντίστοιχα. Επομένως, η τοποθέτηση σκίασης στους νότιους υαλοπίνακες είναι και η πιο σπουδαία. Επίσης, συνηθίζεται στους δυτικούς υαλοπίνακες να τοποθετούνται πλαϊνά σκιάστρα, αλλά τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης έδειξαν ότι δεν επιφέρει ιδιαίτερη μείωση στα φορτία του κτηρίου. Όσον αφορά την εσωτερική σκίαση, όσο μειώνεται ο συντελεστής σκίασης τόσο μειώνονται τα ψυκτικά φορτία του κτηρίου και αυξάνονται τα θερμικά φορτία.

Συμπερασματικά τόσο για την εξωτερική σκίαση όσο και για την εσωτερική είναι απαραίτητος ο έλεγχος της λειτουργίας της, ώστε να περιορίζεται η άνοδος που παρουσιάζει το θερμικό φορτίο με τη χρήση σκιάστρων. Τα συστήματα σκίασης δηλαδή, είναι θεμιτό να παραμείνουν ανοιχτά τη χειμερινή περίοδο, ενώ την καλοκαιρινή περίοδο να παραμένουν κλειστά κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας.

Αερισμός

Όσον αφορά το φυσικό αερισμό του κτηρίου, είναι πολύ σημαντικό να μην ξεπερνάει η τιμή του την αναγκαία ποσότητα που απαιτείται ανάλογα με τη χρήση του χώρου, διότι με την αύξησή της αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου. Παρατηρείται ότι το καλοκαίρι η αύξηση του φυσικού αερισμού αυξάνει τα ψυκτικά φορτία έως και 2.8% σε σχέση με τα αποτελέσματα του συμβατικού κτηρίου, ενώ το χειμώνα αυξάνονται οι θερμικές απώλειες του κτηρίου και παρατηρείται άνοδος έως και 22.57% στα θερμικά φορτία.

8.2 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα για το μονοζωνικό κτήριο

Από τα δύο αυτά προγράμματα εξάγονται παρόμοια αποτελέσματα και παρουσιάζουν μικρές διαφορές. Για τη σύγκρισή τους υπολογίστηκε ο μέσος όρος των ποσοστιαίων αποκλίσεων για το θερμικό και το ψυκτικό φορτίο, ανοιγμένη ως προς το eQUEST για κάθε μία από τις παραμετρικές προσομοιώσεις και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων που υπολογίστηκαν με τα προγράμματα eQUEST και TRNSYS για την παραμετρική μελέτη του κτηρίου.

| Μεταβαλλόμενο Μέγεθος | Ποσοστιαία διαφορά θερμικών φορτίων επί τοις % | Ποσοστιαία διαφορά ψυκτικών φορτίων επί τοις % |
|---------------------------------|--|--|
| Εμβαδό υαλοπινάκων | 15.91 | 8.78 |
| Πάχος μόνωσης εξωτερικών τοίχων | 14.00 | 8.09 |
| Προσανατολισμός κτηρίου | 6.95 | 3.77 |
| Φυσικός αερισμός | 21.84 | 8.78 |
| Ετήσιο | 5.33 | 5.16 |
| Μέσος Όρος | 12.81 | 6.92 |

Μία από τις βασικές διαφορές των δύο προγραμμάτων έγκειται στη βιβλιοθήκη από την οποία αντλούνται τα υλικά κατασκευής του κτηρίου. Τα δύο αυτά προγράμματα δεν παρέχουν ακριβώς τα ίδια υλικά κατασκευής, με την έννοια ότι δεν έχουν τις ίδιες ιδιότητες, αλλά παρόλα αυτά στην τρέχουσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκαν υλικά με όσον το δυνατόν πιο κοντινές ιδιότητες.

Η επόμενη διαφορά παρουσιάζεται στο γεγονός ότι τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα eQUEST, διατίθενται στο διαδίκτυο, ενώ αυτά που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα TRNSYS, διατίθενται στη βιβλιοθήκη του.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι μία από τις πιο σημαντικές διαφορές των δύο προγραμμάτων είναι ο τρόπος υπολογισμού των φορτίων. Το πρόγραμμα eQUEST είναι σχεδιασμένο ώστε να υπολογίζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ορίζοντας ένα σύστημα θέρμανσης και ψύξης με σκοπό την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών. Σε αντίθεση στο πρόγραμμα TRNSYS, υπολογίζεται η απαραίτητη θερμική ενεργεία με σκοπό τη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση του κτηρίου με τη χρήση των δύο προγραμμάτων, παρατηρήθηκαν τα εξής:

1. Στην πλειοψηφία των υπολογισμών τα αποτελέσματα του προγράμματος eQUEST είναι μικρότερα από αυτά του προγράμματος TRNSYS. Εξάριεση αποτελεί η σύγκριση στα ψυκτικά φορτία του κτηρίου κατά την μεταβολή του πάχους της μόνωσης. Συγκεκριμένα, η αύξηση του πάχους της μόνωσης οδηγούσε σε μείωση του ψυκτικού φορτίου στο πρόγραμμα eQUEST και σε αύξηση στο πρόγραμμα TRNSYS. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι, τα δύο προγράμματα διαφέρουν στον τρόπο μοντελοποίησης του κτηρίου. Στο TRNSYS δηλαδή, η ύπαρξη της μόνωσης δυσκολεύει της εκροή της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτήριο μέσω των υαλοπινάκων.
2. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στα θερμικά φορτία είναι πιο μεγάλες σε σχέση με αυτές των ψυκτικών φορτίων. Υπολογίζοντας το μέσο όρο των ποσοστιαίων διαφορών όλων των περιπτώσεων όλων των περιπτώσεων, για τα θερμικά φορτία η διαφορά των δυο προγραμμάτων είναι 12,81% ενώ για τα ψυκτικά 6.92%. Επομένως, η παραμετρική ανάλυση του κτηρίου επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την διαφορά που παρουσιάζουν τα δύο προγράμματα στα θερμικά φορτία σε σχέση με τα ψυκτικά φορτία.
3. Στην βασική περίπτωση όμως, οι αποκλίσεις των ετησίων φορτίων είναι πολύ κοντινές, περίπου 5%, τόσο για τα θερμικά, όσο και για τα ψυκτικά φορτία. Επίσης, λόγω του ότι τα υλικά που απαρτίζουν το κτήριο είναι διαφορετικά σε κάθε πρόγραμμα, η επιρροή της μεταβολής μία από τις παραμέτρους στο θερμικό και ψυκτικό φορτίο είναι διαφορετική σε κάθε πρόγραμμα. Αυτός είναι ένας από τους λόγους της μεγαλύτερης διαφοράς που παρουσιάζεται μεταξύ των δύο προγραμμάτων σε σχέση με την βασική περίπτωση. Δηλαδή, όσον αφορά τις υπόλοιπες περιπτώσεις, οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες και κυμαίνονται στο 8% με 15%.
4. Παρατηρήθηκε ότι στην παραμετρική μελέτη ως προς μόνωση και τις εναλλαγές του αέρα, οι μεγαλύτερες διαφορές των θερμικών και ψυκτικών φορτίων που προέκυψαν με τη χρήση των δύο προγραμμάτων, παρουσιάζονται στις μικρές τιμές μόνωσης και εναλλαγών αέρα.
5. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι όσο πιο μεγάλο είναι το εμβαδό των υαλοπινάκων τόσο πιο μεγάλη διαφορά παρουσιάζουν τα θερμικά φορτία, ενώ όσο πιο μικρό είναι τόσο μεγαλώνει η διαφορά στα ψυκτικά φορτία. Η διαφορά αυτή οφείλεται στον διαφορετικό τρόπο με τον οποίο αυτά τα δύο προγράμματα διαχειρίζονται την ηλιακή ακτινοβολία.

Συνοψίζοντας, η ενεργειακή προσομοίωση του τυπικού αυτού κτηρίου με τη χρήση των δύο προγραμμάτων παρουσιάζει αποτελέσματα με μικρές διαφορές μεταξύ

τους και οι αποκλίσεις τους είναι λογικές, καθώς διαφέρουν στον τρόπο δημιουργίας του μοντέλου και στον τρόπο προσομοίωσης του κτηρίου. Τόσο το πρόγραμμα eQUEST όσο και το πρόγραμμα TRNSYS είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τους μηχανικούς στην προσπάθεια τους να υπολογίσουν τα φορτία ενός κτηρίου. Ωστόσο, το eQUEST είναι ένα πρόγραμμα με το οποίο μελετάται η ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, ενώ το πρόγραμμα TRNSYS έχει μεγαλύτερο πεδίο δράσης, διότι μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες μηχανολογικές εγκαταστάσεις, τις οποίες έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί εκτός των όσων διαθέτει η βιβλιοθήκη του προγράμματος.

Η σύγκριση του μονοζωνικού κτηρίου, με τη χρήση των προγραμμάτων eQUEST και TRNSYS, έλαβε μέρος στο συνέδριο: «Global Conference on Global Warming» (GCGW) που πραγματοποιήθηκε στις 24-27 Μαΐου, 2015 στην Αθήνα. Στη δημοσίευση αυτή, με τίτλο «**COMPARISON OF HEATING AND COOLING LOADS OF A TYPICAL BUILDING WITH TRNSYS AND eQUEST**», έλαβαν μέρος ο Ε. Μπέλλος, ο Χ. Τζιβανίδης, η Α. Κούβαρη και ο Α. Αντωνόπουλος. [37]

8.3 Μελλοντικοί στόχοι

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ένα μέρος παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας ενός κτηρίου από το σύνολο αυτών που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση ενός κτηρίου. Για παράδειγμα, μία νέα μελέτη θα μπορούσε να αφορά τη σύγκριση μεταξύ διάφορων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με σκοπό την επιλογή του βέλτιστου για το συγκεκριμένο κτήριο. Επίσης, μία άλλη μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αφορά ένα κτήριο το οποίο θα αποτελείται από περισσότερους ορόφους. Επιπροσθέτως, μία οικονομική αξιολόγηση των παραμέτρων που εξετάστηκαν είναι αναγκαία, έτσι ώστε να υπάρχει σωστό συμπέρασμα για την κάθε περίπτωση με στόχο τη μείωση των καταναλώσεων βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Επιπλέον, μία ενδιαφέρουσα παραμετρική ανάλυση που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί είναι η μελέτη της θερμικής μάζας του κτηρίου, όπως επίσης και η σύγκριση των φορτίων ενός πραγματικού κτηρίου με αυτά που εξάγονται από την πειραματική μελέτη. Εκτός αυτού, σαν μελλοντικός στόχος θα μπορούσε να τεθεί η σύγκριση του eQUEST και με άλλα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης.

Συμπερασματικά, η ενεργειακή προσομοίωση είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για το μηχανικό κατά το σχεδιασμό του κελύφους και των εσωτερικών εγκαταστάσεων του κτηρίου, όπως φαίνεται και από την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς επιτρέπει την σύγκριση διαφορετικών τρόπων σχεδιασμού που αναμένεται να οδηγήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Το πρόγραμμα eQUEST είναι ένα

αξιόπιστο εργαλείο, το οποίο εξάγει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην προσπάθεια του μηχανικού να μελετήσει την ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου.

Παράρτημα Α

Διαστάσεις και Μονάδες

Πίνακας Α. 1: Χρησιμοποιούμενοι Συντελεστές Μετατροπής.

| Διάσταση | Συντελεστής Μετατροπής | Συντελεστής Μετατροπής |
|--------------------------|--|--|
| Μήκος | 1 m = 3.2808 ft 1 m = 39.370 in | 1 Ft = 0.3048 m 1 in = 0.0254 m |
| Εμβαδό | 1 m ² = 10.7636 ft ² | 1 ft ² = 0.0929 m ² |
| Όγκος | 1 m ³ = 35.3134 ft ³ | 1 ft ³ = 2.8317 x 10 ⁻² m ³ |
| Θερμοκρασία | K = °C + 273.15 | F = 1.8 (°C) + 32 |
| Ενέργεια | 1 Joule = 0.000948 Btu | 1 Btu = 1055 Joule |
| Ισχύς | 1 W = 3.4129 Btu/h | 1Btu/h = 0.293 W |
| Θερμική αγωγιμότητα | 1 W/m·K = 0.5778 Btu/(h·ft·F | 1 Btu/h·ft·F = 1.7306 W/m·K |
| Θερμική διαπερατότητα | 1 W/m ² K = 0.1761 Btu/h·ft ² ·F | 1 Btu/h·ft ² ·F = 5.6778 W/m ² K |
| Ειδική θερμοχωρητικότητα | 1 J/kg·K = 0.0002 Btu/lb·F | 1 Btu/lb·F = 4186.60 J/kg·K |
| Μάζα | 1 kg = 2.2046 lb | 1 lb = 0.4536 |
| Πυκνότητα | 1 kg/m ³ = 0.0624 lb/ft ³ | 1 lb/Ft ³ = 16.1778 kg/m ³ |
| Φωτισμός επιφάνειας | 1 Lux = 0.09290 Footcandles | Footcandles = 10.7639 Lux |
| Πυκνότητα ροή θερμότητας | 1 W/m ² = 0.09290 W/ft ² | 1 W/ft ² = 10.7639 W/m ² |

Πίνακας Α. 2: Προθέματα.

| 10 ⁿ | Prefix | Σύμβολο |
|-------------------|--------|---------|
| 10 ¹² | Tera | T |
| 10 ⁹ | Giga | G |
| 10 ⁶ | Mega | M |
| 10 ³ | Kilo | k |
| 10 ² | Hecto | h |
| 10 ¹ | Deca | da |
| 10 ⁻¹ | Deci | d |
| 10 ⁻² | Centi | c |
| 10 ⁻³ | Milli | m |
| 10 ⁻⁶ | Micro | μ |
| 10 ⁻⁹ | Nano | n |
| 10 ⁻¹² | Pico | p |

Παράρτημα Β

Αποτελέσματα από την παραμετρική ανάλυση του πολυζωνικού κτηρίου

Πίνακας Β. 1: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων.

| α/α | Θερμική Διαπερατότητα | | Ψυκτικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Θερμικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Συνολική Κατανάλωση Q (kWh_{el}) |
|-----|---------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| | U ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$) | U ($\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$) | | | |
| 1 | 5 | 0.88 | 11150 | 5900 | 70220 |
| 2 | 4.5 | 0.79 | 11190 | 5850 | 70190 |
| 3 | 4 | 0.70 | 11230 | 5790 | 70170 |
| 4 | 3.5 | 0.62 | 11270 | 5720 | 70140 |
| 5 | 3 | 0.53 | 11320 | 5650 | 70110 |
| 6 | 2.5 | 0.44 | 11370 | 5580 | 70080 |
| 7 | 2 | 0.35 | 11430 | 5500 | 70050 |
| 8 | 1.5 | 0.26 | 11500 | 5410 | 70010 |

Πίνακας Β. 2: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση της θερμικής διαπερατότητας των υαλοπινάκων.

| α/α | Θερμική Διαπερατότητα | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|---------------------------------|--|-------------------------------|------------------|---------------------|
| | U ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$) | U ($\frac{Btu}{h \cdot ft^2 \cdot F}$) | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 5 | 0.88 | -1.93 | 5.73 | 0.20 |
| 2 | 4.5 | 0.79 | -1.58 | 4.84 | 0.16 |
| 3 | 4 | 0.70 | -1.23 | 3.76 | 0.13 |
| 4 | 3.5 | 0.62 | -0.88 | 2.51 | 0.09 |
| 5 | 3 | 0.53 | -0.44 | 1.25 | 0.04 |
| 6 | 2.5 | 0.44 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 2 | 0.35 | 0.53 | -1.43 | -0.04 |
| 8 | 1.5 | 0.26 | 1.14 | -3.05 | -0.10 |

Πίνακας Β. 3: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του εμβαδού των νότιων υαλοπινάκων.

| α/α | Συνολικό Εμβαδό Υαλοπινάκων | | Ψυκτικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Θερμικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Συνολική Κατανάλωση Q (kWh_{el}) |
|-----|-----------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | A (m^2) | A (ft^2) | | | |
| 1 | 3.38 | 36.33 | 10190 | 6060 | 68160 |
| 2 | 4.50 | 48.44 | 10280 | 6020 | 68300 |
| 3 | 6.75 | 72.65 | 10480 | 5950 | 68660 |
| 4 | 13.50 | 145.31 | 11060 | 5770 | 69700 |
| 5 | 20.25 | 217.96 | 11650 | 5580 | 70730 |
| 6 | 27.00 | 290.62 | 12200 | 5430 | 71770 |

Πίνακας Β. 4: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του εμβαδού των νότιων υαλοπινάκων.

| α/α | Συνολικό Εμβαδό Υαλοπινάκων | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|-----------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|---------------------|
| | A (m^2) | A (ft^2) | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 3.38 | 36.33 | -7.87 | 5.03 | -2.22 |
| 2 | 4.50 | 48.44 | -7.05 | 4.33 | -2.02 |
| 3 | 6.75 | 72.65 | -5.24 | 3.12 | -1.51 |
| 4 | 13.50 | 145.31 | 0.00 | 0.00 | -0.01 |
| 5 | 20.25 | 217.96 | 5.33 | -3.29 | 1.46 |
| 6 | 27.00 | 290.62 | 10.31 | -5.89 | 2.96 |

Πίνακας Β. 5: Δεδομένα εισαγωγής στο πρόγραμμα για την παραμετρική ανάλυση του εμβαδού των υαλοπινάκων.

| Περίπτωση 1 (25%) | Εμβαδό | | Μήκος | | Ύψος | |
|-----------------------|-----------|------------|---------|----------|---------|----------|
| | $A (m^2)$ | $A (ft^2)$ | $L (m)$ | $L (ft)$ | $Y (m)$ | $Y (ft)$ |
| Χώρος 1 | 0.75 | 8.07 | 1.22 | 4.02 | 0.61 | 2.01 |
| Χώρος 3 | 0.75 | 8.07 | 1.22 | 4.02 | 0.61 | 2.01 |
| Χώρος 6 | 1.88 | 20.18 | 1.94 | 6.35 | 0.97 | 3.18 |
| Περίπτωση 2 (33%) | Εμβαδό | | Μήκος | | Ύψος | |
| | $A (m^2)$ | $A (ft^2)$ | $L (m)$ | $L (ft)$ | $Y (m)$ | $Y (ft)$ |
| Χώρος 1 | 1 | 10.76 | 1.41 | 4.64 | 0.71 | 2.32 |
| Χώρος 3 | 1 | 10.76 | 1.41 | 4.64 | 0.71 | 2.32 |
| Χώρος 6 | 2.50 | 26.91 | 2.24 | 7.34 | 1.12 | 3.67 |
| Περίπτωση 3 (50%) | Εμβαδό | | Μήκος | | Ύψος | |
| | $A (m^2)$ | $A (ft^2)$ | $L (m)$ | $L (ft)$ | $Y (m)$ | $Y (ft)$ |
| Χώρος 1 | 1.50 | 16.15 | 1.73 | 5.68 | 0.87 | 2.84 |
| Χώρος 3 | 1.50 | 16.15 | 1.73 | 5.68 | 0.87 | 2.84 |
| Χώρος 6 | 3.75 | 40.36 | 2.74 | 8.98 | 1.37 | 4.49 |
| Περίπτωση 4 (100%) | Εμβαδό | | Μήκος | | Ύψος | |
| | $A (m^2)$ | $A (ft^2)$ | $L (m)$ | $L (ft)$ | $Y (m)$ | $Y (ft)$ |
| Χώρος 1 | 3.00 | 32.29 | 2.45 | 8.04 | 1.22 | 4.02 |
| Χώρος 3 | 3.00 | 32.29 | 2.45 | 8.04 | 1.22 | 4.02 |
| Χώρος 6 | 7.50 | 80.73 | 3.87 | 12.71 | 1.94 | 6.35 |
| Περίπτωση 5 (150%) | Εμβαδό | | Μήκος | | Ύψος | |
| | $A (m^2)$ | $A (ft^2)$ | $L (m)$ | $L (ft)$ | $Y (m)$ | $Y (ft)$ |
| Χώρος 1 | 4.50 | 48.44 | 3.00 | 9.84 | 1.50 | 4.92 |
| Χώρος 3 | 4.50 | 48.44 | 3.00 | 9.84 | 1.50 | 4.92 |
| Χώρος 6 | 11.25 | 121.09 | 4.74 | 15.56 | 2.37 | 7.78 |
| Περίπτωση 6 (200%) | Εμβαδό | | Μήκος | | Ύψος | |
| | $A (m^2)$ | $A (ft^2)$ | $L (m)$ | $L (ft)$ | $Y (m)$ | $Y (ft)$ |
| Χώρος 1 | 6.00 | 64.58 | 3.46 | 11.37 | 1.73 | 5.68 |
| Χώρος 3 | 6.00 | 64.58 | 3.46 | 11.37 | 1.73 | 5.68 |
| Χώρος 6 | 15.00 | 161.45 | 5.48 | 17.97 | 2.74 | 8.98 |

Πίνακας Β. 6: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου.

| α/α | Πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου | | Ψυκτικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
|-----|---------------------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| | $t (m)$ | $t (ft)$ | | | |
| 1 | 0 | 0.00 | 11240 | 6880 | 71420 |
| 2 | 0.02 | 0.06 | 11140 | 6200 | 70380 |
| 3 | 0.04 | 0.13 | 11100 | 5930 | 69990 |
| 4 | 0.06 | 0.19 | 11090 | 5830 | 69820 |
| 5 | 0.08 | 0.26 | 11070 | 5750 | 69710 |
| 6 | 0.1 | 0.32 | 11070 | 5710 | 69640 |
| 7 | 0.12 | 0.38 | 11060 | 5680 | 69590 |
| 8 | 0.14 | 0.45 | 11060 | 5650 | 69540 |

Πίνακας Β. 7: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου.

| α/α | Πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|---------------------------------|----------|-------------------------------|------------------|---------------------|
| | $t (m)$ | $t (ft)$ | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 0 | 0.00 | 1.63 | 19.24 | 2.45 |
| 2 | 0.02 | 0.06 | 0.72 | 7.45 | 0.96 |
| 3 | 0.04 | 0.13 | 0.36 | 2.77 | 0.40 |
| 4 | 0.06 | 0.19 | 0.27 | 1.04 | 0.16 |
| 5 | 0.08 | 0.26 | 0.09 | -0.35 | 0.00 |
| 6 | 0.1 | 0.32 | 0.09 | -1.04 | -0.10 |
| 7 | 0.12 | 0.38 | 0.00 | -1.56 | -0.17 |
| 8 | 0.14 | 0.45 | 0.00 | -2.08 | -0.24 |

Πίνακας Β. 8: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του πάχους της μόνωσης της οροφής του κτηρίου.

| α/α | Πάχος μόνωσης οροφής | | Ψυκτικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
|-----|----------------------|----------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| | $t (m)$ | $t (ft)$ | | | |
| 1 | 0 | 0.00 | 12520 | 7310 | 75600 |
| 2 | 0.02 | 0.06 | 11690 | 6390 | 72180 |
| 3 | 0.04 | 0.13 | 11330 | 6020 | 70730 |
| 4 | 0.06 | 0.19 | 11170 | 5860 | 70110 |
| 5 | 0.08 | 0.26 | 11060 | 5750 | 69670 |
| 6 | 0.1 | 0.32 | 11000 | 5680 | 69400 |
| 7 | 0.12 | 0.38 | 10950 | 5640 | 69210 |
| 8 | 0.14 | 0.45 | 10910 | 5600 | 69030 |

Πίνακας Β. 9: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του πάχους της μόνωσης της οροφής του κτηρίου.

| α/α | Πάχος μόνωσης οροφής | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|----------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | $t (m)$ | $t (ft)$ | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
| 1 | 0 | 0.00 | 13.20 | 26.69 | 8.45 |
| 2 | 0.02 | 0.06 | 5.70 | 10.75 | 3.54 |
| 3 | 0.04 | 0.13 | 2.44 | 4.33 | 1.46 |
| 4 | 0.06 | 0.19 | 0.99 | 1.56 | 0.57 |
| 5 | 0.08 | 0.26 | 0.00 | -0.35 | -0.06 |
| 6 | 0.1 | 0.32 | -0.54 | -1.56 | -0.44 |
| 7 | 0.12 | 0.38 | -0.99 | -2.25 | -0.72 |
| 8 | 0.14 | 0.45 | -1.36 | -2.95 | -0.98 |

Πίνακας Β. 10: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων και της οροφής του κτηρίου.

| α/α | Πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου και οροφής | | Ψυκτικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
|-----|--|----------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | $t (m)$ | $t (ft)$ | | | |
| 1 | 0 | 0.00 | 12660 | 8470 | 77230 |
| 2 | 0.02 | 0.06 | 11740 | 6830 | 72830 |
| 3 | 0.04 | 0.13 | 11350 | 6190 | 71010 |
| 4 | 0.06 | 0.19 | 11180 | 5930 | 70220 |
| 5 | 0.08 | 0.26 | 11060 | 5740 | 69650 |
| 6 | 0.1 | 0.32 | 10990 | 5630 | 69320 |
| 7 | 0.12 | 0.38 | 10940 | 5560 | 69080 |
| 8 | 0.14 | 0.45 | 10890 | 5490 | 68860 |

Πίνακας Β. 11: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του πάχους της μόνωσης των εξωτερικών τοίχων και της οροφής του κτηρίου.

| α/α | Πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου και οροφής | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|--|----------|-------------------------------|----------------|---------------------|
| | $t (m)$ | $t (ft)$ | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικό Φορτίο | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 0 | 0.00 | 14.47 | 46.79 | 10.79 |
| 2 | 0.02 | 0.06 | 6.15 | 18.37 | 4.48 |
| 3 | 0.04 | 0.13 | 2.62 | 7.28 | 1.86 |
| 4 | 0.06 | 0.19 | 1.08 | 2.77 | 0.73 |
| 5 | 0.08 | 0.26 | 0.00 | -0.52 | -0.09 |
| 6 | 0.10 | 0.32 | -0.63 | -2.43 | -0.56 |
| 7 | 0.12 | 0.38 | -1.08 | -3.64 | -0.90 |
| 8 | 0.14 | 0.45 | -1.54 | -4.85 | -1.22 |

Πίνακας Β. 12: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του μήκους των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες για απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| α/α | Μήκος του σκιάστρου | | Ψυκτικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
|-----|---------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | $L (m)$ | $L(ft)$ | | | |
| 1 | 0 | 0 | 11060 | 5770 | 69720 |
| 2 | 0.2 | 0.6 | 10850 | 5820 | 69260 |
| 3 | 0.4 | 1.2 | 10660 | 5860 | 68870 |
| 4 | 0.6 | 1.8 | 10530 | 5900 | 68620 |
| 5 | 0.7 | 2.4 | 10450 | 5950 | 68560 |
| 6 | 0.9 | 3.0 | 10400 | 5980 | 68530 |
| 7 | 1.1 | 3.6 | 10370 | 6010 | 68510 |
| 8 | 1.3 | 4.2 | 10350 | 6040 | 68510 |
| 9 | 1.5 | 4.8 | 10330 | 6070 | 68520 |
| 10 | 1.7 | 5.4 | 10320 | 6090 | 68520 |

Πίνακας Β. 13: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του μήκους των σκιάστρων στους νότιους υαλοπίνακες για απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90$

| α/α | Μήκος του σκιάστρου | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|---------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | $L (m)$ | $L(ft)$ | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
| 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.2 | 0.6 | -1.90 | 0.87 | -0.65 |
| 3 | 0.4 | 1.2 | -3.62 | 1.56 | -1.20 |
| 4 | 0.6 | 1.8 | -4.79 | 2.25 | -1.56 |
| 5 | 0.7 | 2.4 | -5.52 | 3.12 | -1.65 |
| 6 | 0.9 | 3 | -5.97 | 3.64 | -1.69 |
| 7 | 1.1 | 3.6 | -6.24 | 4.16 | -1.72 |
| 8 | 1.3 | 4.2 | -6.42 | 4.68 | -1.72 |
| 9 | 1.5 | 4.8 | -6.60 | 5.20 | -1.71 |
| 10 | 1.7 | 5.4 | -6.69 | 5.55 | -1.71 |

Πίνακας Β. 14: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση της απόστασης των σκιάστρων από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα στους νότιους υαλοπίνακες για μήκος σκιάστρου $L=0.7$ m και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| Για μήκος σκιάστρου $L = 0.7$ m | | | | | |
|---------------------------------|--|---------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| α/α | Απόσταση σκιάστρου από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα | | Ψυκτικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
| | $d (m)$ | $d(ft)$ | | | |
| 1 | 0 | 0 | 10450 | 5950 | 68560 |
| 2 | 0.1 | 0.3 | 10500 | 5910 | 68580 |
| 3 | 0.2 | 0.6 | 10540 | 5880 | 68640 |
| 4 | 0.3 | 0.9 | 10590 | 5850 | 68740 |
| 5 | 0.4 | 1.2 | 10630 | 5830 | 68830 |
| 6 | 0.5 | 1.5 | 10670 | 5810 | 68870 |

Πίνακας Β. 15: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση της απόστασης των σκιάστρων από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα στους νότιους υαλοπίνακες για μήκος σκιάστρου $L=0.9\text{ m}$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| Για μήκος σκιάστρου $L = 0.9\text{ m}$ | | | | | |
|--|--|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| α/α | Απόσταση σκιάστρου από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα | | Ψυκτικό Φορτίο $Q\text{ (kWh}_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q\text{ (kWh}_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q\text{ (kWh}_{el})$ |
| | $d\text{ (m)}$ | $d\text{ (ft)}$ | | | |
| 1 | 0 | 0 | 10400 | 5980 | 68530 |
| 2 | 0.1 | 0.3 | 10440 | 5950 | 68550 |
| 3 | 0.2 | 0.6 | 10480 | 5910 | 68570 |
| 4 | 0.3 | 0.9 | 10520 | 5890 | 68630 |
| 5 | 0.4 | 1.2 | 10560 | 5860 | 68720 |
| 6 | 0.5 | 1.5 | 10600 | 5840 | 68800 |

Πίνακας Β. 16: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση της απόστασης των σκιάστρων από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα στους νότιους υαλοπίνακες για μήκος σκιάστρου $L=1.1\text{ m}$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| Για μήκος σκιάστρου $L = 1.1\text{ m}$ | | | | | |
|--|--|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| α/α | Απόσταση σκιάστρου από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα | | Ψυκτικό Φορτίο $Q\text{ (kWh}_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q\text{ (kWh}_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q\text{ (kWh}_{el})$ |
| | $d\text{ (m)}$ | $d\text{ (ft)}$ | | | |
| 1 | 0 | 0 | 10370 | 6010 | 68510 |
| 2 | 0.1 | 0.3 | 10400 | 5980 | 68530 |
| 3 | 0.2 | 0.6 | 10440 | 5950 | 68550 |
| 4 | 0.3 | 0.9 | 10470 | 5920 | 68560 |
| 5 | 0.4 | 1.2 | 10500 | 5890 | 68620 |
| 6 | 0.5 | 1.5 | 10540 | 5870 | 68710 |

Πίνακας Β. 17: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση της απόστασης των σκιάστρων από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα στους νότιους υαλοπίνακες για μήκος σκιάστρου $L=1.3\text{ m}$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| Για μήκος σκιάστρου $L = 1.3\text{ m}$ | | | | | |
|--|--|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| α/α | Απόσταση σκιάστρου από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα | | Ψυκτικό Φορτίο $Q\text{ (kWh}_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q\text{ (kWh}_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q\text{ (kWh}_{el})$ |
| | $d\text{ (m)}$ | $d\text{ (ft)}$ | | | |
| 1 | 0 | 0 | 10350 | 6040 | 68510 |
| 2 | 0.1 | 0.3 | 10380 | 6010 | 68530 |
| 3 | 0.2 | 0.6 | 10410 | 5980 | 68540 |
| 4 | 0.3 | 0.9 | 10430 | 5950 | 68560 |
| 5 | 0.4 | 1.2 | 10460 | 5920 | 68570 |
| 6 | 0.5 | 1.5 | 10490 | 5890 | 68620 |

Πίνακας Β. 18: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση της κλίσης των σκιάστρων για μηδενική απόσταση από την άνω πλευρά του υαλοπίνακα στους νότιους υαλοπίνακες και μήκος σκιάστρου $L=1.3$ m.

| Για μήκος σκιάστρου $L = 1.1$ m και $d = 0$ m | | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| α/α | Κλίση σκιάστρου φ (°) | Ψυκτικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Θερμικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Συνολική Κατανάλωση Q (kWh_{el}) |
| 1 | 90 | 10370 | 6010 | 68510 |
| 2 | 80 | 10320 | 6080 | 68500 |
| 3 | 70 | 10270 | 6130 | 68480 |
| 4 | 60 | 10220 | 6180 | 68450 |
| 5 | 50 | 10180 | 6230 | 68410 |
| 6 | 40 | 10130 | 6260 | 68370 |
| 7 | 30 | 10090 | 6290 | 68310 |
| 8 | 20 | 10040 | 6300 | 68250 |
| 9 | 10 | 10020 | 6300 | 68190 |

Πίνακας Β. 19: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του μήκους των σκιάστρων στους δυτικούς υαλοπίνακες για απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ και κλίση σκιάστρου $\varphi=90$ °.

| α/α | Μήκος του σκιάστρου | | Ψυκτικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Θερμικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Συνολική Κατανάλωση Q (kWh_{el}) |
|-----|---------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| | L (m) | L (ft) | | | |
| 1 | 0 | 0 | 11060 | 5770 | 69720 |
| 2 | 0.2 | 0.6 | 11020 | 5780 | 69640 |
| 3 | 0.4 | 1.2 | 10970 | 5800 | 69560 |
| 4 | 0.6 | 1.8 | 10930 | 5810 | 69510 |
| 5 | 0.7 | 2.4 | 10900 | 5820 | 69480 |
| 6 | 0.9 | 3 | 10870 | 5830 | 69460 |
| 7 | 1.1 | 3.6 | 10850 | 5840 | 69440 |
| 8 | 1.3 | 4.2 | 10830 | 5850 | 69420 |
| 9 | 1.5 | 4.8 | 10820 | 5860 | 69410 |

Πίνακας Β. 20: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του μήκους των σκιάστρων στους δυτικούς υαλοπίνακες για απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| α/α | Μήκος του σκιάστρου | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|---------------------|---------|-------------------------------|------------------|---------------------|
| | $L (m)$ | $L(ft)$ | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.2 | 0.6 | -0.36 | 0.17 | -0.11 |
| 3 | 0.4 | 1.2 | -0.81 | 0.52 | -0.23 |
| 4 | 0.6 | 1.8 | -1.18 | 0.69 | -0.30 |
| 5 | 0.7 | 2.4 | -1.45 | 0.87 | -0.34 |
| 6 | 0.9 | 3 | -1.72 | 1.04 | -0.37 |
| 7 | 1.1 | 3.6 | -1.90 | 1.21 | -0.40 |
| 8 | 1.3 | 4.2 | -2.08 | 1.39 | -0.43 |
| 9 | 1.5 | 4.8 | -2.17 | 1.56 | -0.44 |

Πίνακας Β. 21: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του μήκους των πλευρικών σκιάστρων στους δυτικούς υαλοπίνακες για μήκος οριζόντιου σκιάστρου $L = 1.1$ m και απόσταση από τον άνω υαλοπίνακα $d=0$ και κλίση σκιάστρου $\phi=90^\circ$.

| α/α | Μήκος του σκιάστρου | | Ψυκτικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Θερμικό Φορτίο $Q (kWh_{el})$ | Συνολική Κατανάλωση $Q (kWh_{el})$ |
|-----|---------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| | $L (m)$ | $L(ft)$ | | | |
| 1 | 0 | 0 | 10850 | 5840 | 69440 |
| 2 | 0.2 | 0.6 | 10850 | 5850 | 69430 |
| 3 | 0.4 | 1.2 | 10830 | 5860 | 69420 |
| 4 | 0.6 | 1.8 | 10830 | 5860 | 69410 |
| 5 | 0.7 | 2.4 | 10820 | 5870 | 69410 |
| 6 | 0.9 | 3 | 10810 | 5880 | 69390 |
| 7 | 1.1 | 3.6 | 10800 | 5890 | 69390 |
| 8 | 1.3 | 4.2 | 10800 | 5890 | 69390 |
| 9 | 1.5 | 4.8 | 10790 | 5890 | 69380 |

Πίνακας Β. 22: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του συντελεστή σκίασης.

| α/α | Συντελεστής Σκίασης | Ψυκτικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Θερμικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Συνολική Κατανάλωση Q (kWh_{el}) |
|-----|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 1 | 11060 | 5770 | 69720 |
| 2 | 0.9 | 10770 | 5870 | 69290 |
| 3 | 0.8 | 10470 | 5980 | 68880 |
| 4 | 0.7 | 10170 | 6100 | 68460 |
| 5 | 0.6 | 9870 | 6220 | 68060 |
| 6 | 0.5 | 9580 | 6340 | 67670 |
| 7 | 0.4 | 9290 | 6470 | 67300 |
| 8 | 0.3 | 9020 | 6600 | 66960 |
| 9 | 0.2 | 8740 | 6740 | 66630 |
| 10 | 0.1 | 8470 | 6880 | 66310 |

Πίνακας Β. 23: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του συντελεστή σκίασης.

| α/α | Συντελεστής Σκίασης | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|---------------------|-------------------------------|------------------|---------------------|
| | | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.9 | -2.62 | 1.73 | 1.73 |
| 3 | 0.8 | -5.33 | 3.64 | 3.64 |
| 4 | 0.7 | -8.05 | 5.72 | 5.72 |
| 5 | 0.6 | -10.76 | 7.80 | 7.80 |
| 6 | 0.5 | -13.38 | 9.88 | 9.88 |
| 7 | 0.4 | -16.00 | 12.13 | 12.13 |
| 8 | 0.3 | -18.44 | 14.38 | 14.38 |
| 9 | 0.2 | -20.98 | 16.81 | 16.81 |
| 10 | 0.1 | -23.42 | 19.24 | -4.89 |

Πίνακας Β. 24: Αποτελέσματα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό μελέτη κτήριο κατά την παραμετροποίηση του φυσικού αερισμού του κτηρίου.

| α/α | Συνολικός αερισμός | | Ψυκτικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Θερμικό Φορτίο Q (kWh_{el}) | Συνολική Κατανάλωση Q (kWh_{el}) |
|-----|------------------------------|---------------------------------|---|---|--|
| | $\left(\frac{m^3}{h}\right)$ | $\left(\frac{cfm}{sqft}\right)$ | | | |
| 1 | 2748.85 | 6.04 | 11080 | 5760 | 69720 |
| 2 | 3023.73 | 6.64 | 11130 | 6010 | 70490 |
| 3 | 3298.61 | 7.25 | 11190 | 6280 | 71330 |
| 4 | 3573.50 | 7.85 | 11210 | 6370 | 71660 |
| 5 | 3848.38 | 8.45 | 11320 | 6800 | 72960 |
| 6 | 4123.27 | 9.06 | 11390 | 7060 | 73780 |

Πίνακας Β. 25: Ποσοστιαίες διαφορές των ετήσιων θερμικών και ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ανηγμένες ως προς τα φορτία του συμβατικού κτηρίου κατά την παραμετροποίηση του φυσικού αερισμού του κτηρίου.

| α/α | Συνολικός αερισμός | | Ποσοστιαία Διαφορά επί τοις % | | |
|-----|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------|
| | $\left(\frac{m^3}{h}\right)$ | $\left(\frac{cfm}{sqft}\right)$ | Ψυκτικών Φορτίων | Θερμικών Φορτίων | Συνολική Κατανάλωση |
| 1 | 2748.85 | 6.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 3023.73 | 6.64 | 0.45 | 4.34 | 1.12 |
| 3 | 3298.61 | 7.25 | 0.99 | 9.03 | 2.32 |
| 4 | 3573.50 | 7.85 | 1.17 | 10.59 | 2.80 |
| 5 | 3848.38 | 8.45 | 2.17 | 18.06 | 4.66 |
| 6 | 4123.27 | 9.06 | 2.80 | 22.57 | 5.84 |

Βιβλιογραφία

- [1] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. < <http://www.rae.gr> > [Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2015]
- [2] Υπουργείο Ανάπτυξης., 2009. *Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα.*
- [3] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας., 2014. *Εθνικό Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης*, Αθήνα.
- [4] EUR-Lex. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=URISERV:en0021>> [Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2015]
- [5] *List of countries by electricity consumption.*
<https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_electricity_consumption> [Ανακτήθηκε 10 Μαρτίου 2015]
- [6] Ελληνική Στατιστική Αρχή., 2013. *ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ, 2011-2012*, Πειραιάς.
- [7] ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ., 2011. *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*, Α΄ Έκδοση, Αθήνα.
- [8] Ying, Han., et al.. 2014., Comparison of software for building energy simulation. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research.* <www.jocpr.com>
- [9] Crawley, D., et al. 2005. *Contrasting the capabilities of building performance simulation programs.*
- [10] Jincheng, Xing., et al. 2014. Analysis of energy efficiency retrofit scheme for hotel buildings using eQuest software: A case study from Tianjin, China. *Energy and Buildings*. Volume 87, Pages 14-24.
- [11] Terziotti, L.T., et al. 2012. Modeling seasonal solar thermal energy storage in a large urban residential building using TRNSYS 16. *Energy and Buildings*, Volume 45, Pages 28-31, ISSN 0378-7788.
- [12] Valade, E., R., 2009. *Development and verification of a simplified building energy model. Thesis.* Georgia Institute of Technology.
- [13] Gasparella, A. & Pernigotto, G., 2012. *Extensive Comparative Analysis Of Two Building Energy Simulation Codes For Southern Europe Climates: Heating And Cooling Energy Needs and Peak Loads Calculation In TRNSYS And EnergyPlus.*
- [14] Ming-Tsun Ke, et al. 2013. Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software, *Energy and Buildings*, Volume 61, Pages 100-107, ISSN 0378-7788
- [15] Dandan Zhu, et al., 2013. *A detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE 2.1E.*

- [16] Brahme R., et al., 2009. Using existing whole building energy tools for designing net-zero energy buildings – challenges and workarounds. *Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland*.
- [17] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak> [Ανακτήθηκε 10 Δεκεμβρίου 2014]
- [18] Κακάτσιος, Ξ., 2006. *Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης*. Αθήνα: Συμεών.
- [19] Κορωναίος, Αιμ.Γ. & Πουλάκος, Γ.Ι., 2005. *Τεχνικά Υλικά Τόμος 2*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [20] Αντωνόπουλος, Κ. Α., 2011. *Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα Μέρος Πρώτο*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [21] Καλογέρας, Ν., κ.α., 1999. *Θέματα Οικοδομικής*. Αθήνα: Συμμετρία.
- [22] Τζανακάκη, Ε. & Κορωνάκη, Ε., 2001. Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια μέσω ενεργειακά αποδοτικών παραθύρων. *Αλουμίνιο & σύγχρονη δόμηση*, σ. 60-64.
- [23] Υπηρεσία Ενέργειας., 2010. *Οδηγός Θερμομόνωσης Κτηρίων*. 2^η Έκδοση.
- [24] Τζιβανίδης, Χ., Αντωνόπουλος, Κ.Α. & Κραββαρίτης, Ε.Δ., *Ενεργειακή απόδοση παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης κτηρίων με μείγματα υλικών αλλαγής φάσης (PCM) στην Β κλιματική ζώνη*. Αθήνα.
- [25] European Commission., 2011. *Manual of standard building specifications*.
- [26] Neufert, E., 2010. *Οικοδομική & Αρχιτεκτονική Σύνοψη*. Αθήνα: Μ. Γκιούρδας.
- [27] Bhatia, A., 2012. *HVAC Refresher – Facilities Standard for the Building Services (Part 2)*.
- [28] Wilkins, C. & Hosni, M.H., 2000. Heat Gain From Office Equipment. *ASHRAE Journal*. Pages 33-39.
- [29] Αντωνόπουλος, Κ.Α., 2011. *Κλιματισμός*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [30] Κοντορούπης, Γ.Μ., 2005. *Ενεργειακός Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων και Οικισμών*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [31] The Home of DOE-2 based Building Energy Use and Cost Analysis Software.
<<http://www.doe2.com/>>
- [32] Hirsch, J.J. & Associates., 2010. *Introductory Tutorial*. Camarillo, CA.
- [33] Hirsch, J.J. & Associates., 2009. *Modeling Procedures Quick Reference Guide*. Camarillo, CA.
- [34] Hirsch, J.J. & Associates., 2009. *Detailed Simulation Reports Summary*. Camarillo, CA.
- [35] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010, 2010. *Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτηρίων*. Α' Έκδοση. Αθήνα.

- [36] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010., 2012. *Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης*. Β' Έκδοση. Αθήνα.
- [37] Μπέλλος, Ε., Τζιβανίδης, Χ., Κούβαρη, Α. & Αντωνόπουλος, Κ.Α., 2015. *Comparison of heating and cooling loads of a typical building with TRNSYS and eQUEST*. Αθήνα.