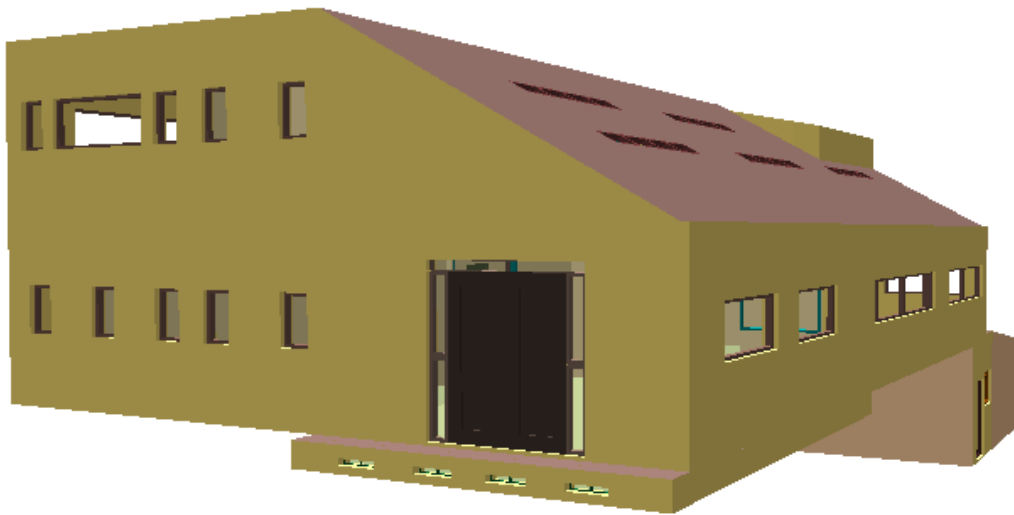


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Βελτιστοποίηση κτηριακού κελύφους μέσω
δυναμικής προσομοίωσης με το λογισμικό TAS



Ελ Καμμούνι Νόρα

Επιβλέπων: Χ. Τζιβανίδης

Αθήνα, 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η θερμική συμπεριφορά κτηρίου γραφείων μέσω δυναμικής προσομοίωσης του κελύφους του. Αρχικά, γίνεται αναφορά στις υλοποιημένες από τα λογισμικά προσομοίωσης μεθοδολογίες και –στα πλαίσια της βιοκλιματικής λογικής– παρατίθενται στρατηγικές παθητικού σχεδιασμού και φυσικού αερισμού. Εν συνεχεία, διερευνώνται δημοφιλείς πλατφόρμες κτηριακής προσομοίωσης και επιλέγεται το TAS. Η κτηριακή εγκατάσταση μοντελοποιείται, εισάγονται ιδιότητες δομικών υλικών, καθορίζονται οι εσωτερικές συνθήκες και τέλος προσομοιώνεται. Πραγματοποιούνται πέντε κύκλοι προσομοιώσεων με στόχο τη μελέτη:

- ☞ της επίδρασης του αρχείου καιρού στα αποτελέσματα
- ☞ της θερμικής συμπεριφοράς του κλειστού κελύφους
- ☞ της επιρροής της θερμομόνωσης στο κέλυφος
- ☞ της συμβολής της σκίασης και του νυχτερινού αερισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη.

Τα κτηριακά μοντέλα ελέγχονται ως προς την θερμομονωτική τους επάρκεια με βάση των εγχώριο κανονισμό.

ABSTRACT

This thesis investigates the thermal behavior of an office building via dynamic simulation of its building cell. At first, the methods implemented by simulation software are being addressed with respect to passive design and natural ventilation strategies, through a bioclimatic scope. Popular building simulation platforms are being discussed, resulting to TAS. A building cell model is created, building elements' properties imported, internal conditions specified and finally simulations are performed. Five simulation cycles were carried out in order to study:

- ☞ the effect of the weather file
- ☞ the thermal behaviour of the unoccupied building cell
- ☞ the influence of thermal insulation
- ☞ the contribution of shading and natural ventilation to the energy consumption for HVAC

The thermal insulation efficiency is being examined with reference to local energy performance standardization.

Οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την ευκαιρία, τη συνεργασία και τις συμβουλές! Ακόμα ευχαριστώ τον Αλέξη για όλα, την οικογένειά μου για την υπομονή και την στήριξη, τη Βίβιαν και το Θοδωρή.
Αφιερώνω την εργασία μου στα ανιψάκια μου!

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 1 |
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 1.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 2 |
| 1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ | 2 |
| 1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ - RESPONSE FUNCTION METHOD | 3 |
| 1.5 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ | 5 |
| 1.6 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ | 10 |
| 1.7 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 11 |
| 1.7.1 Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς - TFM | 11 |
| 1.7.2 Μέθοδος Ισοδύναμης Θερμοκρασιακής Διαφοράς - TETD Method..... | 12 |
| 1.7.3 Μέθοδος Θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου - CLTD..... | 12 |
| 1.8 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ | 12 |
| 1.8.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕΣΩ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΩΝ TAYLOR | 13 |
| 1.8.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕΣΩ ΟΓΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ | 15 |
| 1.9 ΕΠΙΛΟΓΟΣ..... | 16 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 18 |
| 2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (αντί προλόγου)..... | 18 |
| 2.2 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ..... | 19 |
| 2.3 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 20 |
| 2.3.1 Εξωτερικά σκίαστρα - Ενετικά σκίαστρα..... | 20 |
| 2.3.2 Πράσινη οροφή - Προστασία οροφής..... | 21 |
| 2.3.3 Τοίχος Trombe-Michel..... | 24 |
| 2.3.4 Υλικά Αλλαγής φάσης (Phase Changing Materials)..... | 25 |
| 2.4 ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ..... | 29 |
| 2.4.1 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΣΜΟ..... | 29 |
| 2.4.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ..... | 34 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 37 |
| 3.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ..... | 37 |
| 3.1.1 DOE-2..... | 37 |
| 3.1.2 BLAST..... | 38 |
| 3.1.3 ENERGY PLUS | 38 |

| | |
|---|-----|
| 3.1.4 ECOTECT | 38 |
| 3.1.5 TRNSYS | 38 |
| 3.1.6 TAS | 39 |
| 3.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ | 44 |
| 3.3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ | 44 |
| 3.4 1 ^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Επικύρωση αρχείου καιρού | 49 |
| 3.5 2 ^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Διερεύνηση επικρατουσών συνθηκών κελύφους άνευ θερμικών κερδών και ορίων θερμικής άνεσης | 65 |
| 3.6 3 ^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Μελέτη σκοπιμότητας θερμομόνωσης .. | 80 |
| 3.6.1 1 ^ο Μοντέλο - Άνευ Μόνωσης..... | 81 |
| 3.6.2 2 ^ο Μοντέλο - Με μόνωση | 97 |
| 3.6.3 3 ^ο Μοντέλο - Με επιπρόσθετη μόνωση | 114 |
| 3.6.4 4 ^ο Μοντέλο - Με μόνωση aerogel | 131 |
| 3.7 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτηριακών μοντέλων με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. | 148 |
| 3.8 4 ^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Σκίαση | 151 |
| 3.9 5 ^{ος} Κύκλος προσομοιώσεων: Νυχτερινός αερισμός | 155 |
| 3.10 Σχολιασμός | 159 |
| ΕΠΙΛΟΓΟΣ | 162 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 164 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργειακή κατανάλωση των υφιστάμενων κτηριακών εγκαταστάσεων –οικιστικών, επαγγελματικών, εμπορικών και δημόσιων- αποτελεί κατά προσέγγιση το σαράντα τοις εκατό της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας. Από περιβαλλοντική σκοπιά, τα κτήρια συνεισφέρουν δραστικά στην εκπομπή αέριων ρύπων και κατ' επέκταση στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Ο μεγαλύτερος όγκος αυτού του ποσοστού καταναλώνεται στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, άμεση απόρροια των μεθοδολογιών του κτηριακού σχεδιασμού που επικρατούσε για πολλές δεκαετίες, τον κλιματισμό.

Η διατήρηση της ενέργειας, με την έννοια της αποτελεσματικής και έλλογης χρήσης της, βρέθηκε στο προσκήνιο λόγω των περιβαλλοντικών ζητημάτων, τα οποία αποτέλεσαν τη βάση για την προσαρμογή του σχεδιασμού των κτηρίων στις νέες απαιτήσεις. Η βελτιστοποίηση των συστημάτων κλιματισμού, αερισμού και φωτισμού και η εδραίωση της χρήσης παθητικών συστημάτων διαχείρισης της ενέργειας εκτιμάται ότι θα συμβάλλουν στην αισθητή ελάττωση του ρυθμού εκμετάλλευσης της πρωτογενούς ενέργειας. Όμως το κατά πόσο ένα κτήριο είναι «πράσινο», δηλαδή έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τη μεμονωμένη απόδοση των επιμέρους συστημάτων κλιματισμού και φωτισμού και των δομικών και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών. Μια κτηριακή εγκατάσταση είναι και πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο σύστημα που χαρακτηρίζεται από την ενεργειακή συνολική «επίδοση» των υποσυστημάτων του. [1, 2, 3, 4]

Για την αντιμετώπιση αυτών των σύνθετων και δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός κτηριακού κελύφους και του περιβάλλοντος ακολουθείται η διαδικασία της μοντελοποίησης και εν συνεχεία της προσομοίωσης με σαφή στόχο τη θερμική ανάλυση της κατασκευής.

Στο παρελθόν, πριν εδραιωθεί η προσομοίωση με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι μηχανικοί βασίζονταν σε βαρείς αναλυτικούς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας προεπιλεγμένες συνθήκες σημείου σχεδίασης, εμπειρικές μεθοδολογίες και κατά προσέγγιση υπολογισμούς για κατασκευαστικά εγχειρήματα πέραν του τετριμμένου. Μια τέτοιου είδους αντιμετώπιση οδηγούσε συχνά σε υπερδιαστασιολόγηση των χαρακτηριστικών των εγκαταστάσεων και χαμηλή ενεργειακή απόδοση λόγω της εκτεταμένης λειτουργίας σε μερικό φορτίο. Για μεγάλες ή πολύπλοκες κατασκευές είναι πλέον μη ρεαλιστική η προσδοκία ότι μπορεί να είναι ενεργειακά αποδοτικές χωρίς την αρωγή ολοκληρωμένου λογισμικού προσομοίωσης.

Σήμερα αυτού του είδους το λογισμικό επέτρεψε στους μηχανικούς να δοκιμάζουν νέα σχέδια χωρίς να φτάσουν στο στάδιο της κατασκευής και εγκατάστασης. Ακόμα μέσω της παραμετρικής ανάλυσης των υποσυστημάτων του κτηριακού κελύφους μπορούν ενσωματωθούν νέες τεχνολογίες και καινοτομίες που υποβοηθούν την αύξηση του ενεργειακού κέρδους. [1, 4]

1.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η προσομοίωση κτηρίων είναι μια τεχνική που προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλων υπολογιστικών, μηχανολογικών εργαλείων, που υπολογίζουν τα θερμικά κέρδη του κτηριακού φακέλου, προβλέπουν την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και διαθέτουν διαγνωστική για τα ενεργητικά συστήματα και τους αυτοματισμούς των εγκαταστάσεων.

Η προσομοίωση ήρθε στο προσκήνιο τη δεκαετία του '60 και αποτέλεσε μείζον ζήτημα και κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '70. Αυτή την περίοδο η πλειονότητα των ερευνών επικεντρωνόταν στη μελέτη της βασικής θεωρίας και των αλγορίθμων πρόβλεψης των θερμικών φορτίων και της ενέργειας. Οι μελέτες αυτές οδήγησαν σε πολλαπλές βελτιώσεις της τεχνικής της Συνάρτησης Μεταφοράς (Transfer Function) και σε διαδοχόμενες απλοποιημένες μεθόδους, όπως τη μέθοδο Ισοδύναμης Θερμοκρασιακής Διαφοράς (Total Equivalent Temperature Differential) και τη μέθοδο Θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου (Cooling Load Temperature Difference) με στόχο την πρόβλεψη της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου. Η πεποίθηση που κυριαρχεί αυτές τις δύο δεκαετίες είναι ότι η κτηριακή προσομοίωση είναι το κλειδί για τη μετατροπή των κτηρίων από ενεργοβόρα σε ισορροπημένες κατασκευές.

Την αιχμή της μελέτης και ανάπτυξης της κτηριακής προσομοίωσης αποτέλεσε η επανάσταση στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών στα τέλη του '70 αρχές του '80 όπου εγκαθιδρύθηκαν οι υπολογιστές και συντέθηκε πληθώρα λογισμικών προσομοίωσης. Όμως ούτε αυτή η εκτενής διαθεσιμότητα δε στάθηκε επαρκής για να εφαρμοστεί η προσομοίωση από τους κλάδους των μηχανικών, λόγω της υψηλής δυσκολίας στο χειρισμό του λογισμικού αλλά και του υψηλού κόστους αγοράς αυτών.

Η δυσμενής κατάσταση ανατράπηκε κατά τη διάρκεια του '90 όπου ο σεβασμός προς το περιβάλλον κατέστη προαπαιτούμενος εξαιτίας της παρελθοντικής υπερκατανάλωσης και η προσομοίωση των κτηρίων εδραιώθηκε και εκτός των εργαστηρίων. Μέχρι και σήμερα, παράλληλα με την εξέλιξη-αναβάθμιση των προγραμματιστικών εργαλείων, αυτή η απαίτηση για «πράσινα» κτήρια που αντικατοπτρίζουν τη νέα τάση για προστασία του φυσικού κόσμου, καθιστά την προσομοίωση τον κεντρικό άξονα στο σχεδιασμό των κτηρίων και ένα αναντικατάστατο εργαλείο με αδιαμφισβήτητη ποιότητα και προοπτικές εξέλιξης. [1, 4]

1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Είναι γεγονός ότι τα οφέλη της κτηριακής μοντελοποίησης και θερμικής ανάλυσης δε θα μπορούσαν να υφίστανται χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι περισσότερες εφαρμογές προσομοίωσης εμπεριέχουν μεθοδολογίες συνήθεις με γνωστή συμπεριφορά και διαδικασία επίλυσης αλλά και διαφορετικό τρόπο προσέγγισης του αποτελέσματος. Τα πιο διαδεδομένα εργαλεία υπολογισμών χρησιμοποιούν είτε μεθόδους με συνάρτηση απόκρισης (response function method) είτε αριθμητικές μεθόδους πεπερασμένων διαφορών (numerical finite difference method) ή ακόμα και αριθμητικές μεθόδους πεπερασμένων όγκων (finite volume method).

Η πρώτη κατηγορία των υπολογιστικών εργαλείων που στηρίζεται στη μέθοδο απόκρισης, ενδείκνυται για την επίλυση συστημάτων γραμμικών διαφορικών εξισώσεων με χρήση

χρονικώς αμετάβλητων παραμέτρων με ισχύουσα τάση την κατά το δυνατόν κατάργηση της αλληλεξάρτησης των συστημάτων των εξισώσεων.

Όσον αφορά τη δεύτερη κατηγορία, οι αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την επίλυση χρονικώς μεταβαλλόμενων, μη γραμμικών συστημάτων εξισώσεων χωρίς την υπολογιστική διευκόλυνση της απόζευξής τους. [1, 5]

1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ – RESPONSE FUNCTION METHOD

Η μέθοδος συνάρτησης απόκρισης αποτελείται από δύο βασικές υποκατηγορίες, την συνάρτηση απόκρισης στο πεδίο του χρόνου και την απόκριση στο πεδίο συχνότητας με βάση την αγωγή για πεπερασμένο χρονικό διάστημα.

ΓΕΝΙΚΑ

Έστω ένα ομογενές ιστροπικό στοιχείο με πάχος ορισμένο στο διάστημα $0 < x < l$, για το οποίο ισχύουν οι εξισώσεις της μεταβολής της θερμοκρασίας και της ροής θερμότητας συναρτήσει της απόστασης:

$$\frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} = -\frac{1}{k} q(x,t) \quad (1.1) [6]$$

$$\frac{\partial q(x,t)}{\partial x} = -\rho C \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} \quad (1.2) [6]$$

Όπου t ο χρόνος, $\theta(x,t)$ η θερμοκρασία και $q(x,t)$ η ροή θερμότητας.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο εξισώσεων δίνει την εξίσωση Fourier, τη βασική μερική διαφορική εξίσωση μετάδοσης θερμότητας με α : το συντελεστή διάχυσης:

$$\frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} \quad (1.3) [6]$$

Μια προσέγγιση για τη λύση των παραπάνω εξισώσεων σε αναλυτικό επίπεδο, περιλαμβάνει χρήση μετασχηματισμών Laplace και αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά στάδια: Μετασχηματισμός της δοθείσας εξίσωσης στο πεδίο του χρόνου σε δευτερεύουσα εξίσωση με πεδίο φανταστικό χώρο. Εν συνεχεία, επίλυση της προκύπτουσας εξίσωσης με καθαρά αλγεβρικές μεθόδους-τεχνάσματα. Τελικά, αντίστροφος μετασχηματισμός του αποτελέσματος του τελευταίου βήματος οδηγεί στην εύρεση της λύσης στο πεδίο του χρόνου.

Αυτοί οι μετασχηματισμοί αποτελούν και το βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου, αφού πολλές συνήθεις διαφορικές εξισώσεις μετατρέπονται σε καθαρά αλγεβρικές και οι μερικές διαφορικές εξισώσεις σε συνήθεις διαφορικές.

Στην εφαρμογή της μεθόδου, στο πρώτο βήμα, οι μετασχηματισμοί Laplace ανακαλούνται από πίνακες αλλά ο μετασχηματισμός για τη θερμοκρασία δίνεται από την σχέση:

$$L[\theta(x,t)] = \theta(x,p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} \theta(x,t) dt \quad (1.4) [1]$$

όπου p ένας μιγαδικός αριθμός του οποίου το πραγματικό μέρος είναι θετικό και ικανά μεγάλο έτσι ώστε να προξενήσει τη σύγκλιση της μεθόδου.

Στην εν λόγω περίπτωση δύο είναι τα βασικά θεωρήματα των μετασχηματισμών Laplace, τα ακόλουθα:

$$L\left[\frac{\partial\theta(x,t)}{\partial t}\right] = pL[\theta(x,t)] - \theta(x,0) \quad (1.5) [1]$$

$$L\left[\frac{\partial^n\theta(x,t)}{\partial x^n}\right] = \frac{\partial^n L[\theta(x,t)]}{\partial x^n} \quad (1.6) [1]$$

Εφαρμόζοντας αυτές τις σχέσεις στις εξισώσεις (1.1), (1.2), (1.3) θα παραχθούν οι δευτερευούσες εξισώσεις που θα δώσουν τον μετασχηματισμό Laplace $\theta(x,p)$:

$$\frac{\partial\theta(x,p)}{\partial x} = -\frac{1}{k}q(x,p) \quad (1.7) [1]$$

$$\frac{\partial q(x,p)}{\partial x} = -\rho Cp\theta(x,p) + \rho C\theta(x,0) \quad (1.8) [1]$$

$$\frac{\partial^2\theta(x,p)}{\partial x^2} = \frac{p}{a}\theta(x,0) - \frac{1}{\alpha}\theta(x,0) \quad (1.9) [1]$$

Προχωρώντας στα επόμενα βήματα, εφόσον η $\theta(x,p)$ υπάρχει διαθέσιμη στους πίνακες των μετασχηματισμών Laplace, η λύση της $\theta(x,t)$ μπορεί να προσδιοριστεί αμέσως. Στην αντίθετη περίπτωση εφαρμόζεται αντίστροφος μετασχηματισμός:

$$\theta(x,t) = L^{-1}[\theta(x,p)] = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} e^{pt} \theta(x,p) dp \quad (1.10) [1]$$

με γ αριθμό τέτοιο ώστε όλες οι ιδιομορφίες της συνάρτησης $\theta(x,p)$ να βρίσκονται αριστερά της γραμμής $(\gamma-i\infty, \gamma+i\infty)$.

Η λύση των δευτερευουσών εξισώσεων προκύπτει από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\theta(x,p) = \cosh\left[(p/\alpha)^{1/2} x\right] \theta(x,0) - \frac{\sinh\left[(p/\alpha)^{1/2} x\right] q(0,p)}{k(p/\alpha)^{1/2}} \quad (1.11) [1]$$

$$q(x,p) = -k(p/\alpha)^{1/2} \sinh\left[(p/\alpha)^{1/2} x\right] \theta(0,p) + \cosh\left[(p/\alpha)^{1/2} x\right] q(0,p) \quad (1.12) [1]$$

Η πινακοποιημένη μορφή των εξισώσεων της θερμοκρασίας και της ροής θερμότητας:

$$\begin{bmatrix} \theta(l,p) \\ q(l,p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}(p) & m_{12}(p) \\ m_{21}(p) & m_{22}(p) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta(0,p) \\ q(0,p) \end{bmatrix} = M \quad (1.13) [1]$$

Ο πίνακας M καλείται μεταβατικός και για τα στοιχεία του –συναρτήσεις μεταφοράς– ισχύει:

$$m_{11}(p) = m_{22}(p) = \cosh\left[(p/\alpha)^{1/2} l\right] \quad (1.14) [1]$$

$$m_{12}(p) = -\frac{\sinh\left[(p/\alpha)^{1/2} l\right]}{k(p/\alpha)^{1/2}} \quad (1.15) [1]$$

$$m_{21}(p) = -k(p/\alpha)^{1/2} \sinh\left[(p/\alpha)^{1/2} l\right] \quad (1.16) [1]$$

$$\text{Η ορίζουσά του είναι: } m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21} = l \quad (1.17) [1]$$

Εάν η κατασκευή προς μελέτη είναι σύνθετη με πληθώρα κατασκευαστικών στοιχείων σε άμεση επαφή, όπου $0 < x < L$, εφαρμόζοντας τεχνικές από τη θεωρία των πινάκων η σχέση (1.13) θα λάβει την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{bmatrix} \theta(L, p) \\ q(L, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(p) & B(p) \\ C(p) & D(p) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta(0, p) \\ q(0, p) \end{bmatrix} \quad (1.18) [1]$$

Τα στοιχεία $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$, $D(p)$ αποτελούν τον συνολικό μεταβατικό πίνακα και οι τιμές τους εξαρτώνται τόσο από τις ιδιότητες του κάθε κατασκευαστικού παράγοντα, όσο και από τη σειρά με την οποία συνδυάζονται οι μεταβατικοί πίνακες που αντιστοιχούν σε αυτούς τους παράγοντες.

Συμβολίζοντας τα κατασκευαστικά στοιχεία με ε_i ($i=1 \div n$) και τον αντίστοιχο πίνακα με M_{ε_i} , ο συνολικός μεταβατικός πίνακας M από την εξωτερική επιφάνεια προς την εσωτερική

$$(0 < x < L) \text{ θα είναι: } \begin{bmatrix} A(p) & B(p) \\ C(p) & D(p) \end{bmatrix} = M_{\varepsilon_1} \times M_{\varepsilon_2} \times M_{\varepsilon_3} \times M_{\varepsilon_4} \dots \times M_{\varepsilon_{n-1}} \times M_{\varepsilon_n} \quad (1.19) [1]$$

με $A(p) \neq D(p)$ και $m_{11} = m_{22}$.

Είναι σύνηθες η σχέση (1.18) να μετασχηματίζεται έτσι ώστε να συνδέει τη ροή της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες και αποτελεί τη βασική σχέση των μεθοδολογιών, δηλαδή:

$$\begin{bmatrix} q(0, p) \\ q(L, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D(p)}{B(p)} & -\frac{1}{B(p)} \\ \frac{1}{B(p)} & -\frac{A(p)}{B(p)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta(0, p) \\ \theta(L, p) \end{bmatrix} \quad (1.20) [1]$$

1.5 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Η μέθοδος απόκριση στο πεδίο του χρόνου ή απλά μέθοδος απόκρισης, τυγχάνει ευρείας εφαρμογής σε σύγκριση με την έτερη, την απόκριση συχνότητας. Πρόκειται για μια μεθοδολογία που απαιτεί σύστημα εξισώσεων γραμμικό και αμετάβλητο, αλλά είναι ικανή να χειριστεί τόσο περιοδικές όσο και μη περιοδικές δυναμοσειρές θερμικής ροής και θερμοκρασίας.

Βάση της μεθοδολογίας αποτελεί ο συσχετισμός της απόκρισης του συστήματος με μια προεπιλεγμένη μονάδα διέγερσης (π.χ. ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία ξηρής σφαίρας) μέσω της χρήσης προκαθορισμένων οριακών συνθηκών, τέτοιων που αναμένονται στην εφαρμογή. Καλούμε ως συνάρτηση μονάδας διέγερσης την συνάρτηση που λαμβάνει αρχική τιμή τη μονάδα και εν συνεχεία μηδενικά (π.χ. 1,0,0,0,0...). Η απόκριση ενός γραμμικού, αμετάβλητου συστήματος σε σχέση με τη συνάρτηση μονάδας διέγερσης, ορίζεται ως συνάρτηση απόκρισης της μονάδας διέγερσης (unit response function) URF και οι όροι της αντίστοιχης δυναμοσειράς, παράγοντες απόκρισης (response factors). Είναι σαφές ότι ο αριθμός των συναρτήσεων απόκρισης που διέπουν ένα σύστημα εξαρτάται άμεσα όχι μόνο από το πλήθος των συναρτήσεων διέγερσης – δηλαδή των περιβαλλοντικών δεδομένων και των επιλεγμένων κατασκευαστικών στοιχείων, αλλά και από το πλήθος των αποκρίσεων που ενδιαφέρουν (ψυκτικά και θερμικά φορτία, θερμοκρασία εσωτερικού χώρου κτλ). [1, 8]

Η επίλυση της μεθόδου αρχικά προβλέπει τον ορισμό των συναρτήσεων απόκρισης της μονάδας διέγερσης (URFs) με τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως και εν συνεχεία περιλαμβάνει τρία ευδιάκριτα στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω τριγωνικής ή τετραγωνικής σύγκλισης, επιλύονται οι συναρτήσεις μονάδας διέγερσης στην ισοδύναμη δυναμοσειρά.

Ακολούθως, οι προκύπτουσες διεγέρσεις συνδυάζονται με τις συναρτήσεις απόκρισης μονάδας, έτσι ώστε να προκύψει η απόκριση του συστήματος. Ο συγκεκρισμός των παραπάνω στοιχείων επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του θεωρήματος της συνέλιξης (convolution), το οποίο δηλώνει ότι: Η απόκριση ενός γραμμικού και αμετάβλητου συστήματος δίνεται από το άθροισμα των παραγώγων του συνδυασμού συναρτήσεων απόκρισης-διέγερσης και τη διεγερση αυτή καθ' αυτή, προσαρμόζοντας κατάλληλα το χρόνο [1]. Δηλαδή:

$$R(t)_i = \sum_{n=0}^{\infty} RF(n\Delta t)E(t - n\Delta t)_i \quad (1.21) [1]$$

Όπου $E(t)_i$: η συνάρτηση μονάδας διέγερσης i

$R(t)$: η απόκριση του συστήματος για την εν λόγω διέγερση i

$RF(n\Delta t)$: οι παράγοντες απόκρισης (response factors) της δυναμοσειράς της URF

t : ο χρόνος

n : ακέραιος αριθμός

Δt : το χρονικό βήμα της URF.

Το τρίτο βήμα της μεθόδου, αφού εφαρμοστεί η σχέση (1.21) για τις μελετώμενες παραμέτρους και τις διεγέρσεις, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της ολικής απόκρισης του συστήματος μέσω του θεωρήματος superimposition.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συναρτήσεις απόκρισης μονάδας διέγερσης URFs χρειάζεται να καθοριστούν μία φορά στην αρχή της μεθόδου. Αυτό συμβαίνει επειδή εξαρτώνται εξ' ολοκλήρου από τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά που επέλεξε ο μελετητής, αλλά και τις υποθέσεις για χρονική μη μεταβλητότητα που θεωρήθηκε ότι χαρακτηρίζουν το σύστημα και δηλώθηκαν a priori. Το γεγονός αυτό αποτελεί και το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου συγκριτικά με τις πιο γενικευμένες αριθμητικές. Χαρακτηριστικά, για την επίλυση ενός ζητήματος αντίστοιχο με την εύρεση των URFs, για κάθε χρονικό βήμα απαιτούνται εκ νέου υπολογισμοί, αυξάνοντας σημαντικά τις προς επίλυση εξισώσεις.

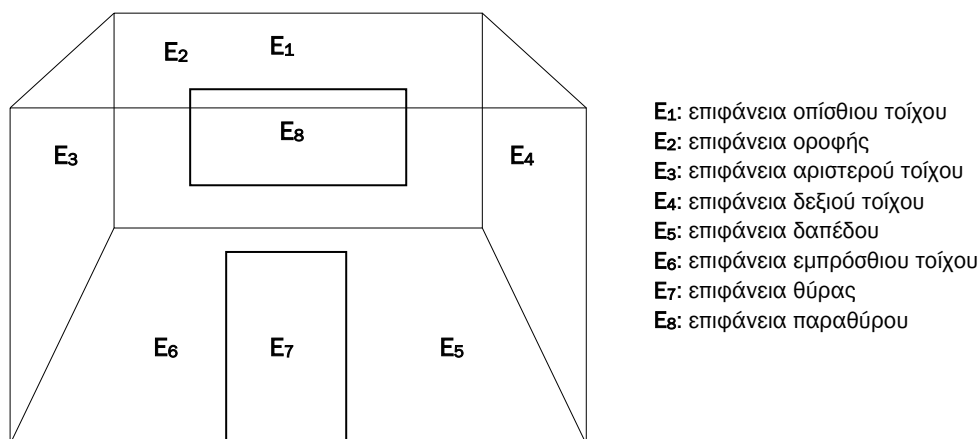
Τελικά, στην εφαρμογή της μεθόδου απόκρισης διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, προσδιορίζονται οι παράγοντες απόκρισης κάθε ζώνης του συστήματος προς μελέτη. Αυτό επιτυγχάνεται με μια αλληλουχία βημάτων μεταξύ διεγέρσεων και αποκρίσεων. Τα προφίλ των θερμικών φορτίων που προέκυψαν σε σχέση με μια θερμοκρασία αναφοράς καθορίζουν τις απαιτήσεις αερισμού και τα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων και στο δεύτερο βήμα της μεθόδου επιλέγεται η στρατηγική λειτουργίας που θα εφαρμοστεί. [1, 8]

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΖΩΝΗΣ

Σύνθετες ή πολυεπίπεδες κατασκευές είναι απαραίτητο να χωριστούν σε ιδεατά τμήματα συνδεδεμένα μεταξύ τους με όμοια χαρακτηριστικά, όπως κοινά ανοίγματα αερισμού και συνάμα θερμικές ροές. Αυτά τα τμήματα ορίζονται ως ζώνες της κατασκευής και για κάθε μία από αυτές απαιτούνται ενεργειακοί υπολογισμοί. Λόγω των πλείστων θερμικών ροών που αλληλεπιδρούν, για να υπολογιστεί η συνολική απόκριση για κάθε μονάδα διέγερσης της ζώνης, θεωρούμε ενιαίο το πεδίο ενέργειας. Εν γένει, χωρίζουμε τη ζώνη σε περιοχές στις οποίες εφαρμόζουμε τις εξισώσεις διατήρησης ενέργειας, με τρόπο τέτοιο ώστε να συνδέονται μεταξύ τους χωρικά και χρονικά. Η επίλυση αυτού του συνόλου εξισώσεων υπό την επίδραση μίας μονάδας διέγερσης σε κάθε κύκλο υπολογισμών, παρέχει την αντίστοιχη

συνάρτηση απόκρισης διέγερσης της μονάδας. Ο συγκερασμός των λύσεων κάθε κύκλου, δηλαδή όλων των μονάδων διέγερσης, δίνει τη συνολική απόκριση της ζώνης.

Λεπτομερώς, έστω μία απλή κατασκευή που αποτελείται από μία ζώνη με τα εξής χαρακτηριστικά: έξι αδιαφανή πολυεπίπεδα τμήματα –τοιχοί-, ένα παράθυρο και μία θύρα και ένα όγκο ρευστού που αντιπροσωπεύει τον πλήρως αναμεμειγμένο αέρα εντός της ζώνης (εικόνα 1-1).



Εικόνα 1- 1 Σχηματική απεικόνιση ζώνης για ενεργειακό ισολογισμό

Για τις παραπάνω επιφάνειες θεωρούνται δύο θερμοκρασίες, η εσωτερική θ_{Ei} και η εξωτερική θ_{Ee} και κάθε μία από τις $E_2 - E_5$ συνορεύουν με γειτονικές ζώνες γνωστών θερμοκρασιών $\theta_{Γκ}$ με $k=2 \rightarrow 5$. Για τις επιφάνειες E_2 και E_8 , λόγω τις μικρής συνεισφοράς τους στη θερμική αποθήκευση και τη μεγάλη θερμική αγωγιμότητα που εμφανίζουν θεωρούνται μία επιφάνεια E_1 και E_6 με ενιαία εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία.

Από την ενεργειακή ισορροπία του συστήματος προκύπτει η σχέση:

$$q_C(t) + q_{LR}(t) + q_K(t) + q_{SR}(t) + q_{\Delta}(t) = 0 \quad (1.22) [1]$$

Όπου:

q_C : η θερμική συναγωγή [W/m^2]

$q_{LR}(t)$: η ακτινοβολία μακρού κύματος [W/m^2]

$q_K(t)$: η θερμική αγωγή [W/m^2]

$q_{SR}(t)$: η ακτινοβολία βραχέος κύματος [W/m^2]

$q_{\Delta}(t)$: ποσό θερμότητας από διάφορες πηγές (φωτισμός, συσκευές, άνθρωποι) [W/m^2]

t : ο χρόνος

Για τις εσωτερικές επιφάνειες οι συνιστώσες της σχέσης (1.22) είναι αναλυτικά:

Η θερμική ροή λόγω συναγωγής προκύπτει από την σχέση:

$$q_C^i(t) = h_{CE} [\theta_{Ej}(t) - \theta_E(t)] \quad (1.23) [1]$$

Όπου

h_{CE} : ο χρονικά αμετάβλητος ή μέσος συντελεστής συναγωγιμότητας [W/m^2C°]

$\theta_{Ej}(t)$: η θερμοκρασία της γειτονικής επιφάνειας [$^\circ C$]

$\theta_E(t)$: η θερμοκρασία της επιφάνειας που μελετάται [$^\circ C$]

Η θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας μακρού κύματος:

$$q_{LR}^i(t) = \sum_{j=1}^N \{h_{LR(E_j, E)} [\theta_{E_j}(t) - \theta_E(t)]\} \quad (1.24) [1]$$

$h_{LR(E_j, E)}$: Τ γραμμικός συντελεστής μετάδοσης λόγω ακτινοβολίας, μεταξύ των επιφανειών E_j και E [W/m^2C°]

N : ο αριθμός των επιφανειών που επικοινωνούν θερμικά στο σύνολο.

Η θερμική ροή λόγω αγωγής εξαρτάται τόσο από το ιστορικό των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και των θερμικών ροών όσο και από τα φυσικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστικών υλικών. Είναι:

$$q_K^i(t) = -\sum_{m=0}^{\infty} \theta_E^i(t - m\Delta t)Z(m\Delta t) + \sum_{m=0}^{\infty} \theta_E^e(t - m\Delta t)Y(m\Delta t) \quad (1.25) [1]$$

Όπου

m : φυσικός αριθμός, αθροιστής

Δt : το χρονικό βήμα [s]

θ_E^i : η εσωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας [$^\circ C$]

θ_E^e : η εξωτερική θερμοκρασία της επιφάνειας [$^\circ C$]

Z : οι παράγοντες απόκρισης της URF της εσωτερικής επιφάνειας λόγω θερμοκρασιακής διέγερσης της εσωτερικής επιφάνειας [W/m^2C°]

Y : οι παράγοντες απόκρισης της URF της εσωτερικής επιφάνειας λόγω θερμοκρασιακής διέγερσης της εξωτερικής επιφάνειας [W/m^2C°]

Για τις εξωτερικές επιφάνειες, οι σχέσεις συναγωγής και ακτινοβολίας συνδυάζονται για να παράξουν μία συνολική. Με αυτό τον τρόπο υποσκελίζεται η άγνοια των θερμοκρασιών των γειτονικών ζωνών.

$$q_C^e(t) + q_{LR}^e(t) = h_{TE} [\theta_{E_j}(t) - \theta_E(t)] \quad (1.26) [1]$$

h_{TE} : ο συνδυασμένος συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για συναγωγή και ακτινοβολία [W/m^2C°]

Ομοίως με προηγουμένως, η θερμική ροή λόγω αγωγής:

$$q_K^i(t) = \sum_{m=0}^{\infty} \theta_E^e(t - m\Delta t)X(m\Delta t) - \sum_{m=0}^{\infty} \theta_E^i(t - m\Delta t)Y(m\Delta t) \quad (1.27) [1]$$

X : οι παράγοντες απόκρισης της URF της εξωτερικής επιφάνειας λόγω θερμοκρασιακής διέγερσης της εξωτερικής επιφάνειας [W/m^2C°]

Y : οι παράγοντες απόκρισης της URF της εξωτερικής επιφάνειας λόγω θερμοκρασιακής διέγερσης της εσωτερικής επιφάνειας [W/m^2C°]

Η θερμική ροή λόγω φωτισμού, συσκευών και ανθρώπινου δυναμικού, προσδιορίζεται μέσω προσεγγιστικών συντελεστών αγωγιμότητας που διατίθενται πινακοποιημένοι .

Η ακτινοβολία βραχέος κύματος μερικώς θα απορροφηθεί από τα δομικά υλικά και μερικώς θα ανακλαστεί. Αυτό το θερμικό ποσό εν τέλει θα μεταδοθεί μέσω αγωγής στο εσωτερικό του κτηρίου.

Αντικαθιστώντας όσα προαναφέρθηκαν στην αρχική σχέση ενεργειακής ισορροπίας και διατηρώντας το διαχωρισμό εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, θα συντεθούν δύο νέες εξισώσεις ισορροπίας ενέργειας:

Εσωτερικές επιφάνειες

$$\begin{aligned} & - \left(h_{CE} + \sum_{j=1}^N h_{LR(E_j, E)} + Z(0) \right) \theta_E^i(t) + Y(0) \theta_E^e(t) + \sum_{j=1}^N h_{LR(E_j, E)} \theta_{E_j}(t) = \\ & = -h_{CE} \theta_E(t) - q_{\Delta}(t) - q_{SR}(t) + \sum_{m=1}^{\infty} \theta_E^i(t - m\Delta t) Z(m\Delta t) - \sum_{m=1}^{\infty} \theta_E^e(t - m\Delta t) Y(m\Delta t) \end{aligned} \quad (1.28) [1]$$

Εξωτερικές επιφάνειες

$$\begin{aligned} & - [h_{TE} + X(0)] \theta_E^e(t) - Y(0) \theta_E^i(t) = \\ & = -h_{TE} \theta_E(t) - q_{\Delta}(t) - q_{SR}(t) - \sum_{m=1}^{\infty} \theta_E^e(t - m\Delta t) X(m\Delta t) + \sum_{m=1}^{\infty} \theta_E^i(t - m\Delta t) Y(m\Delta t) \end{aligned} \quad (1.29) [1]$$

Η εφαρμογή των δύο εξισώσεων θερμικής ισορροπίας για τις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες του μελετώμενου συστήματος θα αποδώσει ένα σύστημα εξισώσεων. Η πινακοποιημένη μορφή του συστήματος αυτού θα ήταν ως εξής:

$$A \times \theta = B \quad (1.30) [1]$$

Ο πίνακας A, μη ομογενής, έχει ως στοιχεία τη μελλοντική δυναμοσειρά των συντελεστών μετάδοσης των όρων της θερμοκρασίας, όπως αναγράφονται στα αριστερά μέλη των εξισώσεων (1.28), (1.29). Ο πίνακας στήλη B περιέχει τους όρους των δεξιών μελών των εξισώσεων, οι οποίοι είναι εξαρτημένοι από την επιλεγμένη διέγερση και το θερμοκρασιακό ιστορικό των επιφανειών. Το διάλυσμα θα παριστά τις μελλοντικές τιμές των θερμοκρασιών των επιφανειών. Αντιστρέφοντας τον πίνακα A και εισάγοντας νέες τιμές για κάθε χρονικό βήμα μόνο στον πίνακα B, η εξίσωση (1.30) θα δώσει τη θερμοκρασιακή απόκριση.

$$\theta = A^{-1} \times B \quad (1.31) [1]$$

Η προκύπτουσα απόκριση θα τροφοδοτηθεί στην εξίσωση διατήρησης ενέργειας εφαρμοσμένη στον όγκο του αέρα εντός του χώρου, έτσι ώστε να ληφθούν οι URFs για θέρμανση και ψύξη. Η εξίσωση είναι της μορφής:

$$\sum_{j=1}^N E_j h_{CE_j} [\theta_{E_j}(t) - \theta_E(t)] + \frac{\rho CV}{\Delta t} [\theta_E(t) - \theta_E(t - \Delta t)] + q_P(t) + q_L(t) + q_I(t) \quad (1.32) [1]$$

Όπου

E: η επιφάνεια [m²]

Δt: το χρονικό βήμα [s]

C: η ειδική θερμότητα του αέρα [J/kgC]

V: ο όγκος του εσωτερικού αέρα [m³]

q_p: η θερμική απαίτηση των εγκαταστάσεων για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στην τιμή σημείου σχεδίασης [W]

q_l: το θερμικό κέρδος λόγω φωτισμού εξοπλισμού κ.α. [W]

q_i: το κέρδος λόγω φιλτραρίσματος του αέρα και των κοινών ρών μεταξύ ζωνών [W].

Ομοίως και στο παράδειγμα που προαναφέρθηκε, ορίζουμε τους πίνακες A , θ , B και επιλύουμε την εξίσωση (1.31). Σε κάθε χρονικό βήμα, οι τιμές του πίνακα B διορθώνονται με βάση τις θερμοκρασίες που προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα, επιτρέποντας τον υπολογισμό των αποκρίσεων των θερμοκρασιών για τις επιφάνειες, υπό οποιοδήποτε καθεστώς διέγερσης. Έτσι, διατηρώντας την εσωτερική θερμοκρασία της ζώνης σταθερή και ίση με τη θερμοκρασία αναφοράς καθώς και τον αντίστροφο πίνακα A^{-1} , υπολογίζουμε την απόκριση με μία διέγερση σε ισχύ $(1,0,0,0,\dots)$ και τις υπόλοιπες μηδενικές $(0,0,0,0,\dots)$ για χρόνο $t=0$. Οι προκύπτουσες τιμές του πίνακα B για το χρονικό βήμα $t=0$ θα χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστούν οι επικρατούσες θερμοκρασίες για το ακόλουθο χρονικό βήμα $t=1$ και ούτω ο καθ' εξής. Η διαδικασία σταματά όταν ο λόγος των διαδοχικών όρων στην αντίστοιχη δυναμοσειρά της θερμοκρασίας της επιφάνειας καταστεί σταθερός και αποτέλεσμα αυτής η URF της επιφάνειας για την ισχύουσα όμως διέγερση. Η συνολική URF της επιφάνειας παράγεται μετά από επανάληψη της διαδικασίας με εναλλαγή της διέγερσης που βρίσκεται σε ισχύ. [1]

1.6 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της μεθόδου απόκρισης συχνότητας ή αλλιώς αρμονικής μεθόδου, είναι η υπόθεση ότι τα καιρικά δεδομένα μπορούν να παρασταθούν ως μια σειρά περιοδικών κύκλων. Έτσι η επιρροή του καιρού μπορεί να ενσωματωθεί στους υπολογισμούς με τη μορφή σταθερού όρου συνοδευόμενου από πλήθος αρμονικών ημιτονοειδούς κύματος με εν γένει αυξανόμενη συχνότητα και μειούμενο πλάτος. Η υποδιαίρεση της δυναμοσειράς του καιρού σε συνιστώσες κυμαινόμενων ημιτονοειδών για μέσες συνθήκες επιτυγχάνεται μέσω απεικόνισης με σειρές Fourier. Πρόκειται για τη διαδικασία μέσω της οποίας μια συνεχής συνάρτηση $F(t)$ μπορεί να προσεγγιστεί με μια σειρά από ημιτονοειδείς και συνημιτονοειδείς συναρτήσεις, δηλαδή:

$$F(t) = a_0 + \sum_{m=1}^k a_m \sin\left(2\pi m t / L\right) + \sum_{m=1}^k b_m \cos\left(2\pi m t / L\right) \quad (1.33) [1]$$

$1/L$: η βασική συχνότητα [Hz]

Κάθε επιλεγμένη αρμονική μπορεί να επεξεργαστεί ξεχωριστά και να εισαχθούν οι κατάλληλοι για την συχνότητά της θερμοκοί παράγοντες απόκρισης. Ο μαθηματικός προσδιορισμός των αποκρίσεων θα προκύψει από την εξίσωση (1.18), με αρχική οριακή συνθήκη ορισμένη εξ αρχής ως ημιτονοειδές κύμα. Εν συνεχεία, εφαρμόζεται η αρχή superimposition έτσι ώστε από την άθροιση των επί μέρους αρμονικών να ληφθεί η ολική απόκριση του συστήματος.

Για λόγους διευκόλυνσης, η συχνότητα της βασικής αρμονικής είναι συχνά εικοσιτέσσερις ώρες, με τις υπολείπουσες αρμονικές να έχουν μειούμενες συνήθως των δώδεκα, έξι, τριών και μιάμισης ώρας. Οι παράγοντες απόκρισης που αποτελούν το ζητούμενο, μπορούν να προσδιοριστούν ως συναρτήσεις αρμονικής συχνότητας και να εφαρμοστούν στους συγκεκριμένους όρους της αντίστοιχης αρμονικής των καιρικών συνθηκών.

Η μέθοδος δύναται να αντιμετωπίσει την πλειοψηφία των ενδοκτηριακών μεταφορών ενέργειας, αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι η προσέγγιση μερικών θα είναι φτωχή.

Ομοίως με την ομόρριζη μέθοδο απόκρισης, η εισαγωγή του θεωρήματος superimposition που οδηγεί στην απόξευση πεδίων άρρηκτα συνδεδεμένων, αποτελεί διττό στοιχείο.

Διευκολύνει στην ολοκλήρωση της μεθόδου και τη λήψη αποτελέσματος με τη σκιά όμως της προαναφερθείσας προσέγγισης.

Συγκεντρωτικά, η μέθοδος έγκειται στην εκτίμηση των ροών θερμότητας του κελύφους υπό την υπόθεση σταθερών εσωτερικών θερμοκρασιών. Οι θερμοκρασίες εξωτερικού αέρα συνδυασμένες με την ακτινοβολία μικρού κύματος, παράγουν έναν κοινό όρο, την θερμοκρασία ηλίου-αέρος. Στο παρελθόν, τα εσωτερικά φορτία λόγω ακτινοβολίας θεωρούνταν ταυτόχρονες ροές. Μια τέτοιου είδους υπόθεση, αγνοεί την αλληλεπίδραση των φορτίων με τη θερμική ικανότητα του φακέλου. Πλέον, η ακρίβεια της μεθόδου σε σχέση με τη μοντελοποίηση των εσωτερικών επιφανειών έχει αυξηθεί αφού λαμβάνεται υπόψη η έντονη εξάρτηση των προειρημένων συνιστωσών όσον αφορά τη ροή της ακτινοβολίας και της συναγωγής εντός του κελύφους. [1]

1.7 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

1.7.1 Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς - TFM

Η εν λόγω μέθοδος εφαρμόζει μια σειρά σταθμισμένων παραγόντων, των συντελεστών αγωγής συνάρτησης μεταφοράς (CTF), στις εξωτερικές αδιαφανείς επιφάνειες και στις θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ηλίου-αέρα και χώρου. Στόχος αυτού του σταδίου είναι ο προσδιορισμός του θερμικού κέρδους προσμετρώντας όμως και τη θερμική αδράνεια των επιφανειών. Το ηλιακό θερμικό κέρδος διαμέσου υαλοπινάκων όπως και τα κέρδη λόγω εξοπλισμού και ανθρώπινου δυναμικού υπολογίζονται άμεσα για το φορτίο της τρέχουσας ώρας.

Στο δεύτερο στάδιο της μεθόδου εφαρμόζονται συγγενείς σταθμισμένοι συντελεστές, οι συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς δωματίου (RTF), στα θερμικά κέρδη και τα ψυκτικά φορτία των συνιστωσών με ακτινοβολούνται τμήματα. Ομοίως με το πρώτο στάδιο, οι συντελεστές στοχεύουν στο να ληφθεί υπόψη το καθόλα σημαντικό φαινόμενο της θερμικής αποθήκευσης στη μετατροπή του θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για εύλογο αριθμό παρελθοντικών ωρών αλλά και της τρέχουσας. Οι συντελεστές RTF εξαρτώνται από τη γεωμετρία του χώρου, τη διάταξη και τη μάζα των χαρακτηριστικών, με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι εμφανής η διαφορετικότητα του φαινομένου θερμικής αποθήκευσης για το κάθε τμήμα με διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά.

Οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στην TFM επιδιώκουν στο συσχετισμό μιας συνάρτησης εξόδου για συγκεκριμένο χρόνο με την τιμή οδηγών συναρτήσεων σε αυτό το χρόνο και μια περίοδο που έπεται. Οι CTF δεν είναι άλλοι από τους παράγοντες απόκρισης λόγω θερμικής αγωγής τοίχων και οροφών της μεθόδου απόκρισης και οι RTF οι παράγοντες για την προσέγγιση των ψυκτικών φορτίων.

Τέλος, ενώ η TFM είναι επιστημονικά εμπειριστατωμένη και τεχνικά πλήρης για την εκτίμηση των ψυκτικών φορτίων, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά διάρκεια των υπολογισμών μεγάλο πλήθος προηγηθεισών ωρών θεωρείται ίσου φορτίου με της τρέχουσας ώρας. [5, 9]

1.7.2 Μέθοδος Ισοδύναμης Θερμοκρασιακής Διαφοράς - TETD Method

Για την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας θεσπίζονται οι συντελεστές TETD. Από τη χρήση της τεχνικής της απόκρισης εκτιμάται η απόκριση μιας σειράς συναρμογών τοίχων και οροφών με βάση τις οποίες προσδιορίζονται οι TETD, ως συνάρτηση των θερμοκρασιών ηλίου-αέρος και των επικρατουσών θερμοκρασιών στο χώρο. Οι συνιστώσες που συμβάλλουν στο θερμικό κέρδος του χώρου συνυπολογίζονται με συνδεδεμένους συντελεστές TETD και τα αποτελέσματα προστίθενται στα θερμικά κέρδη των εσωτερικών στοιχείων. Έτσι προκύπτει ο ολικός στιγμιαίος ρυθμός θερμικού κέρδους του χώρου. Σε αυτό το σημείο καλείται η τεχνική εξαγωγής χρονικού μέσου όρου Time Averaging για τη μετατροπή του θερμικού κέρδους σε ψυκτικό φορτίο. Η υλοποίησή της έγκειται στην εξαγωγή του μέσου όρου των φορτίων των θερμικών κερδών των ακτινοβολούντων τμημάτων για την τρέχουσα ώρα και για μια κατάλληλη περίοδο επερχόμενων ωρών. Η τεχνική TETD αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στην ποσοτικοποίηση της θερμικής αποθήκευσης αλλά αυτό το προσόν αυξάνει την πολυπλοκότητά της. Μειονέκτημά της η υποκειμενικότητα της επιλογής κατάλληλης περιόδου για την εξαγωγή του μέσου όρου που επαφίεται στην εμπειρία του χρήστη όπως και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. [9]

1.7.3 Μέθοδος Θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου - CLTD

Αυτή η απλουστευμένη τεχνική μπορεί να χαρακτηριστεί ως η επικρατέστερη διαδικασία για την εκτίμηση των θερμικών κερδών και των ψυκτικών φορτίων. Αποτελεί στην ουσία την σύμπραξη των δύο προρρηθέντων μεθόδων και διαφέρει στο ότι υπολογίζει αμεσότερα το ψυκτικό φορτίο. Στην εξέλιξη της μεθόδου, δεδομένα από την εφαρμογή της TFM για αντιπροσωπευτική ομάδα συνιστωσών χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή συντελεστών CLTD. Αυτοί οι συντελεστές εντάσσονται στους άμεσους, ενός βήματος υπολογισμούς των φορτίων ψύξης των θερμικών κερδών λόγω αγωγής διαμέσου τοίχων, οροφών και υαλοπινάκων. Στο δεύτερο στάδιο, αναπτύχθηκε έτερη ομάδα συντελεστών, των CLF, για όμοιους υπολογισμούς του ηλιακού θερμικού φορτίου μέσω υαλοπινάκων και φορτίων λόγω εσωτερικών πηγών. Τελευταία εισήχθη βελτιωμένος συντελεστής για το ηλιακό θερμικό φορτίο μέσω υαλοπινάκων, ο SCL, ο οποίος αυξάνει την ακρίβεια της μεθόδου εισάγοντας περισσότερες παραμέτρους που επηρεάζουν.

Και οι τρεις ομάδες συντελεστών που αναφέρονται στην CLTD μέθοδο εμπεριέχουν τόσο το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης στο θερμικό κέρδος λόγω αγωγής των αδιαφανών επιφανειών, όσο και στη μετατροπή του θερμικού κέρδους λόγω ακτινοβολίας σε ψυκτικό φορτίο, που οφείλεται στη θερμική αποθήκευση.

Η μέθοδος είναι εξαιρετικά δημοφιλής, αφού επιτρέπει τον υπολογισμό των φορτίων άνευ υπολογιστή, παρέχει αποτελέσματα συνεπή με αυτά της TFM και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο επικύρωσης των εκτιμήσεων. [5, 9]

1.8 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Με βάση τα προειρημένα, οι μέθοδοι απόκρισης εφαρμόζονται σε συστήματα γραμμικά και αμετάβλητα αλλά δύναται να παράσχουν πληροφορίες για τη θερμική ροή και τη θερμοκρασία σε κάθε σημείο του μοντέλου και μάλιστα με χαμηλές υπολογιστικές απαιτήσεις. Στον αντίποδα, οι αριθμητικές μέθοδοι δεν εμπεριέχουν περιορισμούς όσον

αφορά τη μορφή των εξισώσεων, αντιμετωπίζουν οποιοδήποτε βαθμό πολυπλοκότητας όμως απαιτούν μεγάλο όγκο υπολογισμών και επιστρέφουν δεδομένα για προκαθορισμένες θέσεις του συστήματος, με ιδιότητες αντιπροσωπευτικές για μικρές ορισμένες περιοχές. Μια αριθμητική διαδικασία περιλαμβάνει τρία στάδια. Η διακριτοποίηση του συστήματος ακολουθείται από την κατασκευή συστήματος των ενεργειακών εξισώσεων για τους κόμβους. Αυτές μπορεί να είναι η εξίσωση Fourier για την μετάδοση θερμότητας ή οι εξισώσεις Navier-Stokes της ροής των ρευστών. Στο τρίτο βήμα οι εξισώσεις επιλύονται και παρέχουν την κατανομή των μεταβλητών που μελετώνται. Είναι σαφές ότι ο αριθμός των εξισώσεων είναι ανάλογος της πολυπλοκότητας του κτηρίου και των ζητούμενων στοιχείων. Στην πράξη, η μεθοδολογία βασίζεται είτε στην ανάπτυξη των σειρών Taylor, είτε στην εφαρμογή των αρχών διατήρησης σε μικρούς όγκους ελέγχου.

1.8.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕΣΩ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΩΝ TAYLOR

Έστω μια συνεχής συνάρτηση $f(x)$ ορισμένη στο διάστημα $x_0 - \Delta x \leq x \leq x_0 + \Delta x$. Για την αντικατάσταση των παραγώγων της $f(x)$ από πεπερασμένες διαφορές, θα την εκφράσουμε σε όρους αναπτύγματος Taylor. Δηλαδή:

$$f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \Delta x \frac{df(x)}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{d^2 f(x)}{dx^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{d^3 f(x)}{dx^3} + \dots + \frac{(\Delta x)^n}{n!} \frac{d^n f(x)}{dx^n} \quad (1.34) [7]$$

$$f(x_0 - \Delta x) = f(x_0) - \Delta x \frac{df(x)}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{d^2 f(x)}{dx^2} - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{d^3 f(x)}{dx^3} + \dots + \frac{(\Delta x)^n}{n!} \frac{d^n f(x)}{dx^n} \quad (1.35) [7]$$

Αθροίζοντας κατά μέλη τις εξισώσεις και αποκόπτοντας τους όρους μεγαλύτερης τάξης από την τρίτη, προκύπτει η εξίσωση:

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - 2f(x_0) + f(x_0 - \Delta x)}{(\Delta x)^2} + \varepsilon [(\Delta x)^2] \quad (1.36) [7]$$

Όπου $\varepsilon(\Delta x)$, πρόκειται για το σφάλμα αποκοπής. Σφάλμα αποκοπής σε μια εξίσωση ορίζεται ως το σφάλμα που προκύπτει από τη μετατροπή της διαφορικής εξίσωσης σε εξίσωση πεπερασμένων διαφορών. Όσο μικρότερο το σφάλμα αποκοπής, τόσο πιο κοντά η λύση στην πραγματική λύση της διαφορικής εξίσωσης.

Αφαιρώντας κατά μέλη τις εξισώσεις και αγνοώντας τους όρους μεγαλύτερης τάξης από τη δεύτερη, προκύπτει η εξίσωση:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x)}{2\Delta x} + \varepsilon [(\Delta x)^2] \quad (1.37) [7]$$

Οι εξισώσεις (1.36) και (1.37) καλούνται κεντρική διαφορά δεύτερης και πρώτης τάξης αντίστοιχα.

Οι εξισώσεις (1.34) και (1.35) θα παράξουν την μπροστά και πίσω διαφορά πρώτης τάξης αντίστοιχα, αν αγνοηθούν οι όροι που είναι μεγαλύτεροι της πρώτης τάξης. Δηλαδή:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} + \varepsilon[(\Delta x)] \quad (1.38) [7]$$

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{f(x_0) - f(x_0 - \Delta x)}{\Delta x} + \varepsilon[(\Delta x)] \quad (1.39) [7]$$

Το σφάλμα αποκοπής και των δύο εξισώσεων είναι της τάξης $[\Delta x]$ ενώ στις εξισώσεις (1.36), (1.37) $[\Delta x^2]$. Πρακτικά, η σημασία αυτής της παρατήρησης έγκειται στο ότι αν μειωθεί το βήμα διακριτοποίησης στο μισό, στην πρώτη περίπτωση το σφάλμα αποκοπής θα υποδιπλασιαστεί, ενώ στη δεύτερη θα υποτετραπλασιαστεί. Με βάση τις σχέσεις των διαφορών προκύπτουν πεπερασμένες διαφορές δύο ειδών: αναλυτικής και πεπλεγμένης μορφής. [7]

Έστω ομογενές υλικό, τμήμα ευρύτερης ομογενούς περιοχής. Ισχύει η εξίσωση Fourier για τη μονοδιάστατη ροή θερμότητας με παραγωγή ενέργειας:

$$\frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} - \frac{q}{k} \quad (1.40) [1]$$

Η αναλυτική απεικόνιση της παραπάνω σχέσης θα προκύψει αντικαθιστώντας τη δεύτερη παράγωγο της σχέσης (1.40) με τη κεντρική διαφορά της σχέσης (1.36) και την πρώτη παράγωγο με τη πρώτη προς διαφορά της σχέσης (1.38). Έτσι, αγνοώντας το σφάλμα, για έναν κόμβο I για χρόνο t η αναλυτική εξίσωση Fourier είναι:

$$\frac{\theta(I+1,t) - 2\theta(I,t) + \theta(I-1,t))}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\theta(I,t + \Delta t) - \theta(I,t)}{\Delta t} - \frac{q(I,t)}{k} \quad (1.41) [1]$$

Αλλάζοντας τη σειρά των όρων και αντικαθιστώντας το συντελεστή διάχυσης με το ισοδύναμό του, θα προκύψει η τελική μορφή της αναλυτικής σχέσης:

$$\theta(I,t + \Delta t) = \frac{k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2} \theta(I+1,t) + \left(1 - \frac{2k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2}\right) \theta(I,t) + \frac{k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2} \theta(I-1,t) + \frac{q(I,t)\Delta t}{\rho C} \quad (1.42) [1]$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το άθροισμα της δυναμοσειράς των συντελεστών των θερμοκρασιακών όρων είναι μονάδα. Η σημασία αυτής της παρατήρησης είναι ότι χωρίς την παρουσία του όρου παραγωγής ενέργειας, η μελλοντική δυναμοσειρά της θερμοκρασίας του κόμβου οποιασδήποτε περιοχής θα είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των δυναμοσειρών της θερμοκρασίας στο παρόν της περιοχής που μελετάται και των γειτνιαζουσών σε αυτή περιοχών με θερμική επαφή. Αν για κάθε περιοχή εντός του συστήματος εκφραστεί μια σχέση αυτής της μορφής, δύναται να προσδιορίσουμε το θερμοκρασιακό ιστορικό των περιοχών για επιθυμητά χρονικά διαστήματα, δεδομένων αρχικών και οριακών συνθηκών.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητο να εισαχθεί κατάλληλο κριτήριο ευστάθειας, για την αποφυγή προφανούς άτοπου. Με μια καθαρά μαθηματική προσέγγιση, αν ο συντελεστής της παρούσης δυναμοσειράς της θερμοκρασίας για την περιοχή I λάβει αρνητική τιμή, όσο πιο θερμή είναι η περιοχή στο παρόν τόσο πιο ψυχρή θα γίνει μετά την πάροδο χρόνου Δt . Με βάση τη μαθηματική φράση εισάγουμε τη φυσική σημασία του κριτηρίου ευστάθειας:

$$1 - \frac{2k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2} \leq 0 \Rightarrow \frac{2k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2} \leq 1 \Rightarrow \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \Rightarrow F \leq \frac{1}{2} \quad (1.43) [1]$$

Όπου F , ο αριθμός Fourier που καθορίζει το λόγο του ρυθμού θερμικής αγωγής προς το ρυθμό θερμικής αποθήκευσης. Μεγάλες τιμές του αριθμού αντιπροσωπεύουν καλούς θερμικούς αγωγούς με φτωχή ικανότητα θερμικής αποθήκευσης.

Στην πεπλεγμένη απεικόνιση της εξίσωσης Fourier, άγνωστη θερμοκρασία $\theta(I, t + \Delta t)$ είναι εκφρασμένη με όρους τόσο παροντικών όσο και μελλοντικών δυναμοσειρών για θερμοκρασίες που επικρατούν στις περιοχές με θερμική επαφή. Παράγεται έτσι μια αλληλουχία αλγεβρικών εξισώσεων άρρηκτα συνδεδεμένων, οι οποίες πρέπει να επιλυθούν ταυτόχρονα για κάθε χρονικό βήμα. Ομοίως με την αναλυτική προσέγγιση, η δεύτερη παράγωγος της σχέσης (1.40) θα αντικατασταθεί με την κεντρική διαφορά της σχέσης (1.36), χρησιμοποιώντας όμως τις άγνωστες τιμές των μελλοντικών δυναμοσειρών της θερμοκρασίας αντί για τις γνωστές παροντικές. Η πρώτη παράγωγος θα εκφραστεί από την πίσω διαφορά της σχέσης (1.39).

$$\frac{\theta(I+1, t + \Delta t) - 2\theta(I, t + \Delta t) + \theta(I-1, t + \Delta t)}{(\Delta x)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\theta(I, t + \Delta t) - \theta(I, t)}{\Delta t} - \frac{q(I, t + \Delta t)}{k} \quad (1.44) [1]$$

Αλλάζοντας τη σειρά των όρων και αντικαθιστώντας το συντελεστή διάχυσης με το ισοδύναμό του, θα προκύψει η τελική μορφή της πεπλεγμένης απεικόνισης:

$$\left(1 + \frac{2k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2}\right) \theta(I, t + \Delta t) = \theta(I, t) + \frac{k\Delta t}{\rho C(\Delta x)^2} [\theta(I+1, t + \Delta t) + \theta(I-1, t + \Delta t)] + \frac{q(I, t + \Delta t)\Delta t}{\rho C} \quad (1.45) [1]$$

Η πεπλεγμένη απεικόνιση δεν εμφανίζει το άτοπο της αναλυτικής. Είναι ευσταθής για όλες τις χρονικές και χωρικές μορφές διακριτοποίησης, αλλά τα μεγάλα βήματα διακριτοποίησης μεγιστοποιούν το σφάλμα.

Από τις εξισώσεις (1.42) και (1.44) μπορεί να παραχθεί η γενικευμένη έκφραση, αν πολλαπλασιάσουμε την πρώτη με $(1-W)$, αθροίσουμε το αποτέλεσμα με την (1.44) και πολλαπλασιάσουμε με W . Δηλαδή:

$$(1 + 2WF)\theta(I, t + \Delta t) = WF[\theta(I+1, t + \Delta t) + \theta(I-1, t + \Delta t)] + [1 - 2F(1-W)]\theta(I, t) + (1-W)F[\theta(I+1, t) + \theta(I-1, t)] + \frac{\Delta t}{\rho C} [Wq(I, t + \Delta t) + (1-W)q(I, t)] \quad (1.46) [1]$$

Θέτοντας $W < 0,5$ λαμβάνουμε την αναλυτική έκφραση με κριτήριο ευστάθειας $F \leq 1/2(1-W)$ και για $W \geq 0,5$ την πεπλεγμένη. Η συνθετότερη σχέση, με αυξημένη ακρίβεια και ευστάθεια προκύπτει αν θεωρήσουμε $W=0,5$. [1]

1.8.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΜΕΣΩ ΟΓΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Είναι γεγονός ότι η εφαρμογή του αναπτύγματος Taylor για τις ενεργειακές εκτιμήσεις είναι πολύπλοκη και απαιτεί πολυπληθείς και περιπλεγμένους υπολογισμούς, τόσο λόγω ύπαρξης πολλαπλών θερμικών ροών ταυτόχρονα, όσο και λόγω της εκάστοτε επιλεγμένης

διακριτοποίησης. Μια έτερη αντιμετώπιση περιλαμβάνει την εφαρμογή των αρχών διατήρησης σε μικρούς όγκους ελέγχου, τέτοιους ώστε να αναπαριστάται το σύστημα προς μελέτη. Αποτέλεσμα αυτής, η λύση να ικανοποιεί τις αρχές διατήρησης ανεξάρτητα από το πλήθος των όγκων.

Έστω ένας όγκος ελέγχου I , με εσωτερική παραγωγή ενέργειας, που γειτνιάζει θερμοδυναμικά με τέσσερις περιοχές μέσω αγωγής, συναγωγής, ακτινοβολίας και μεταφοράς μάζας. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των περιοχών και του όγκου ελέγχου μπορεί να θεωρηθεί ως γραμμική συνάρτηση των θερμοκρασιακών διαφορών για κάθε ροή, μαθηματικά εκφρασμένη ως:

$$Q_{j,1} = K_{j,1}(\theta_j - \theta_1) \quad \text{για } j=1,2,3,4 \quad (1.47) [1]$$

Όπου $K_{j,1}$: ο γραμμικοποιημένος συντελεστής αγωγιμότητας [$W/^\circ C$]

Ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας εντός της περιοχής I , στην παρούσα έκφραση, θεωρείται ανεξάρτητος κατά μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία εντός της περιοχής και συμβολίζεται με Q_1 [W].

Ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας, σε W , εντός της περιοχής για ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα Δt , προκύπτει από την σχέση:

$$Q_s = \frac{\rho_1(t_0)C_1(t_0)V_1(t_0)}{\Delta t} [\theta(I, t + \Delta t) - \theta(I, t)] \quad (1.48) [1]$$

$\rho_1(t_0)$: η χαρακτηριστική πυκνότητα της περιοχής I για χρόνο t_0 [kg/m^3]

$C_1(t_0)$: η χαρακτηριστική ειδική θερμική ικανότητα της περιοχής I για χρόνο t_0 [$J/ kg^\circ C$]

$V_1(t_0)$: ο όγκος της περιοχής I [m^3]

Εφαρμόζοντας την αρχή θερμικής ισορροπίας και εξισώνοντας τη ροή θερμότητας που παράγεται εντός της περιοχής με τη ροή που εισέρχεται σε αυτή, θα παραχθεί η ακόλουθη έκφραση:

$$\frac{\rho_1(t_0)C_1(t_0)V_1(t_0)}{\Delta t} [\theta(I, t + \Delta t) - \theta(I, t)] = \sum_{j=1}^4 K_{j,1}(\theta_j - \theta_1) \Big|_{t=t_0} + Q_1 \Big|_{t=t_0} \quad (1.49) [1]$$

Ομοίως με την υποκατηγορία του αναπτύγματος σειρών Taylor, δύναται να παραχθεί αναλυτική και πεπλεγμένη έκφραση, χρησιμοποιώντας στις σχέσεις την παρούσα δυναμοσειρά για $t_0=t$ και τη μελλοντική για $t_0=t+\Delta t$ αντίστοιχα. [1]

1.9 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

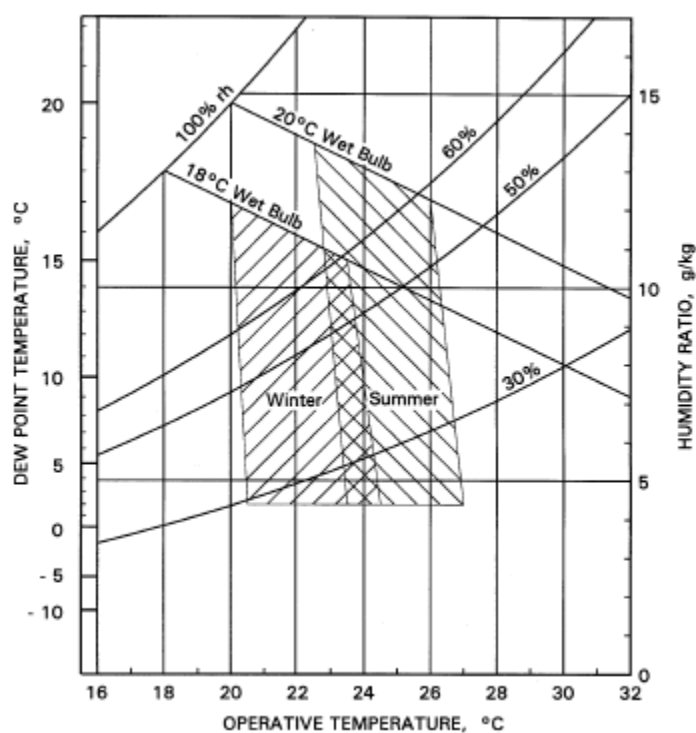
Εν κατακλείδι, το ποια μέθοδος θα επιλεγεί και συγκεκριμένα ποια μεθοδολογία παράγωγη αυτής θα εφαρμοστεί, είναι ζήτημα που σχετίζεται άρρηκτα με το διαθέσιμο υπολογιστικό λογισμικό. Στις μεθόδους απόκρισης οι διαθέσιμες μεταβλητές στο μηχανικό είναι συγκεκριμένες και ελεγχόμενες και κατ' επέκταση περισσότερο κατανοητές όσον αφορά το πως επηρεάζουν τη διαδικασία. Η πρόσβαση σε μετατροπές του συστήματος είναι αμεσότερη, όπως και η εκτίμηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων. Οι αριθμητικές μέθοδοι όμως παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και ευρύτητα αποτελεσμάτων. Εμπεριέχουν λιγότερες υποθέσεις απλούστευσης αλλά εμφανίζουν αυξημένη πολυπλοκότητα και πλήθος υπολογισμών. Κανείς δε δύναται να ισχυριστεί ότι μεταξύ των αριθμητικών και των μεθόδων απόκρισης υπερτερεί μία εξ αυτών. Αυτό γιατί η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια της εκάστοτε μεθόδου εξαρτώνται μεν από τις υποθέσεις και τις παραδοχές κατά

την υλοποίησή της, κατά το πλείστο δε, αποτελούν θέμα κατανόησης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Αξίζει να δοθεί έμφαση, όπως θα επεξηγηθεί και σε επόμενο κεφάλαιο, στο γεγονός ότι το λογισμικό που θα επιλεγεί πρέπει να φέρει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τμήμα αυτών ορισμένο από πρότυπα σε ισχύ και άλλο με βάση τις ανάγκες του χρήστη. Η πλειοψηφία των διαθέσιμων εργαλείων που έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά, εφαρμόζει την τεχνική απόκρισης, με αποτέλεσμα να τυγχάνει της ευρύτερης εφαρμογής. Στο μέλλον, αναμένεται ανάπτυξη υπολογιστικών πακέτων βασισμένων στη μέθοδο πεπερασμένων όγκων, της οποίας η περιορισμένη χρήση αιτιάζεται στην μειωμένη διαθεσιμότητα εργαλείων που θα διευκολύνουν την επίλυσή της. [1, 4, 9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (αντί προλόγου)

Πρωταρχική αιτία κατασκευής ενός κτηρίου του είναι η χρήση του από μια ομάδα ανθρώπων για ένα σκοπό. Πρέπει να πληροί προϋποθέσεις τέτοιες ώστε να παρέχει στους χρήστες ικανοποιητικές συνθήκες του θερμικού περιβάλλοντος, απουσία αισθήματος δυσφορίας να παρέχει δηλαδή θερμική άνεση. Ο όρος θερμική άνεση δεν είναι δυνατό να οριστεί ακριβώς. Είναι μια κατάσταση που βιώνει ο χρήστης εκτελώντας την εργασία του κατά την οποία δε λαμβάνουν χώρα δυσμενείς συνθήκες οποιασδήποτε μορφής. Τα όρια εντός των οποίων χαρακτηρίζεται το εργασιακό ή οικιστικό περιβάλλον «άνετο» θερμικά δεν είναι σταθερά διαμορφωμένα. Πρόκειται για μια υποκειμενική μεταβλητή συνισταμένη που περιλαμβάνει ξεκάθαρα εύρη θερμοκρασιών και υγρασίας αλλά και συνιστώσες που σχετίζονται με την ψυχολογία, την φυσιολογία, την κουλτούρα και το είδος εργασίας που εκτελείται εντός του κτηρίου. Είναι αναγκαίο να εισαχθεί στους ενεργειακούς υπολογισμούς αυτή η υποκειμενική διάσταση της θερμικής άνεσης και αυτό πραγματοποιείται με μια ορισμένη διακριτή περιοχή στον ψυχομετρικό χάρτη.



Εικόνα 2-1 Περιοχή θερμικής άνεσης στον ψυχομετρικό χάρτη [9]

Για κάθε απόκλιση από τα παραπάνω όρια του ψυχομετρικού χάρτη πρέπει κατά κανόνα το καλοκαίρι να προσάγεται ικανή ποσότητα ψυχρού, υγρού αέρα για να απορροφήσει

θερμότητα και να αποδώσει υγρασία, ενώ το χειμώνα θερμού αέρα που έχει υποστεί αφύγρανση έτσι ώστε να αποδοθεί θερμότητα και να απορροφηθεί υγρασία. [5, 9, 10, 11, 12]

Στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι η κατασκευή όχι απλώς ενός κτηρίου, αλλά ενός κτηριακού περιβάλλοντος, δηλαδή ενός συστήματος προσαρμοσμένου στο φυσικό περιβάλλον με σεβασμό προς αυτό. Έτσι κτήριο και περιβάλλον θεωρούνται πλέον στο στάδιο του σχεδιασμού ενιαία έννοια, με αποτέλεσμα να υιοθετηθεί μια νέα λογική στη διαμόρφωση μιας κατασκευής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας.

Συνεπώς εξ ορισμού ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει σαν άξονα την ικανοποίηση των θερμικών, ακουστικών και αναγκών φωτισμού, μέσω της εκμετάλλευσης των κλιματολογικών συνθηκών, του προσανατολισμού σε σχέση με τον άνεμο και τον ήλιο, της διαμόρφωσης των χώρων και των ανοιγμάτων αερισμού αλλά και μέσω των κατασκευαστικών υλικών που θα επιλεγούν για το κέλυφος.

Η υλοποίηση ενός τέτοιου «πράσινου» σχεδιασμού οδηγεί σε μια κατασκευή φιλική προς το περιβάλλον, με μειωμένα λειτουργικά κόστη, που εκμεταλλεύεται κατά το δυνατόν την ηλιακή και αιολική ενέργεια και έχει ως αρχή τη διατήρηση της θερμικής άνεσης. Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή διαφαίνεται στη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων και του φυσικού αερισμού. [3, 10, 13]

2.2 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα κέρδη θερμότητας που αφορούν τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και την διατήρηση της θερμικής άνεσης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες : το αισθητό και το λανθάνον. Το αισθητό θερμικό κέρδος αφορά στην άμεση προσθήκη θερμότητας* αγωγή διαμέσου εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων και οροφών, ακτινοβολία μέσω διαφανών επιφανειών και συναγωγή. Το λανθάνον κέρδος οφείλεται στην προσθήκη υδρατμών, όπως διείσδυση και ανανέωση αέρα στο χώρο ή και την παραγωγή από πηγές εντός αυτού. Κατά την θέρμανση το αισθητό κέρδος επηρεάζει περισσότερο την αίσθηση της θερμικής άνεσης αφού η υγρασία είναι επιθυμητή -εντός ορίων- ενώ κατά την ψύξη είναι ήσσονος σημασίας με το λανθάνον. Αυτό είναι εμφανές και από την κλίμακα της θερμικής αίσθησης της ASHRAE (πίνακας 2-1), όπου για τη μετάβαση σε διαφορετικό επίπεδο αρκεί μεταβολή θερμοκρασίας 3K ή μερικής πίεσης υγρού ατμού κατά 3KPa. [5, 9]

Πίνακας 2- 1 Κλίμακα Θερμικής Αίσθησης κατά ASHRAE [9]

| Υ | Thermal Sensation |
|----|-------------------|
| +3 | Hot |
| +2 | Warm |
| +1 | Slightly warm |
| 0 | Neutral |
| -1 | Slightly cool |
| -2 | Cool |
| -3 | Cold |

Μια κτηριακή κατασκευή χαρακτηρίζεται ως ηλιακά παθητική όταν πληροί δύο προϋποθέσεις: η ροή θερμότητας στα δομικά στοιχεία της κατασκευής να οφείλεται σε αγωγή, συναγωγή ή ακτινοβολία και η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας στην συνολικά απαιτούμενη για θέρμανση να είναι τουλάχιστον 50%.

Η παθητική θέρμανση του κτηρίου βασίζεται στην αποθήκευση της θερμότητας στα δομικά στοιχεία με αποτέλεσμα την έκλυσή της με χρονική υστέρηση αλλά και στο κατά πόσο η αρχιτεκτονική διαρρύθμιση επιτρέπει την είσοδο και τη διέλευση της ακτινοβολίας στους εσωτερικούς χώρους. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός όμως συμπεριλαμβάνει και την παθητική ψύξη με ορισμένα όρια θερμικής άνεσης που πρέπει να ικανοποιηθούν. Το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης στην αποβολή θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τους θερινούς μήνες μην επιτρέποντας στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στους χώρους και εν συνεχεία να εκπεμφθεί ξανά στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ο νότιος προσανατολισμός σε συνδυασμό με ανοιχτά χρώματα στην κατασκευή διευκολύνουν την αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και τα σκίαστρα στους υαλοπίνακες. Βασικός παράγοντας στην παθητική ψύξη είναι ο φυσικός αερισμός-δρροσισμός, αρωγός στην απομάκρυνση θερμικών φορτίων και άκρως απαραίτητος στην βιοκλιματική κατασκευή ιδιαίτερος για εύκρατα κλίματα. [5, 10, 14, 15]

2.3 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ-ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

2.3.1 Εξωτερικά σκίαστρα – Ενετικά σκίαστρα

Η μείωση των θερμικών κερδών του κελύφους μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή κατάλληλης σκίασης των υαλοπινάκων ελέγχοντας την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο. Η σωστή χρήση και η προγραμματισμένη λειτουργία των σκιάστρων βελτιστοποιούν την αποτελεσματικότητα μιας απλής αλλά αποδοτικής μεθόδου αντιμετώπισης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Τα σκίαστρα χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα χειροκίνητα, τα μηχανοκίνητα και τα αυτοματοποιημένα.

✎ Χειροκίνητα σκίαστρα

Πρόκειται για την απλούστερη μορφή σκιάστρων και δεν απαιτεί την εγκατάσταση ή χρήση συσκευής, άρα έχει μειωμένα κόστη αγοράς και τοποθέτησης. Το πλεονέκτημα της χειροκίνητης χρήσης αποτελεί ταυτόχρονα και το μειονέκτημα της μεθόδου. Η υποκειμενική διάσταση στη λειτουργία τους έχει ως συνέπεια την τάση των χρηστών της κατασκευής να αφήνουν ανεκμετάλλευτη τη δυναμική τους, είτε προτιμώντας τον τεχνητό φωτισμό αφήνοντας κλειστά τα σκίαστρα, είτε κλείνοντάς τα μόνο όταν οι συνθήκες είναι ανυπόφορες.

✎ Μηχανοκίνητα σκίαστρα

Σε σύγκριση με τα χειροκίνητα, η δυνατότητα της εξ αποστάσεως ή της κεντρικής λειτουργίας καθιστά τα μηχανοκίνητα σκίαστρα πιο εύχρηστα. Βέβαια οι οικονομικές απαιτήσεις για αγορά, εγκατάσταση και συντήρηση σε συνδυασμό με τη μη συνειδητή προσαρμογή τους με τις περιβαλλοντικές συνθήκες υποδεικνύουν ότι δεν υπερέχουν απαραίτητα των χειροκίνητων.

✎ Αυτοματοποιημένα σκίαστρα

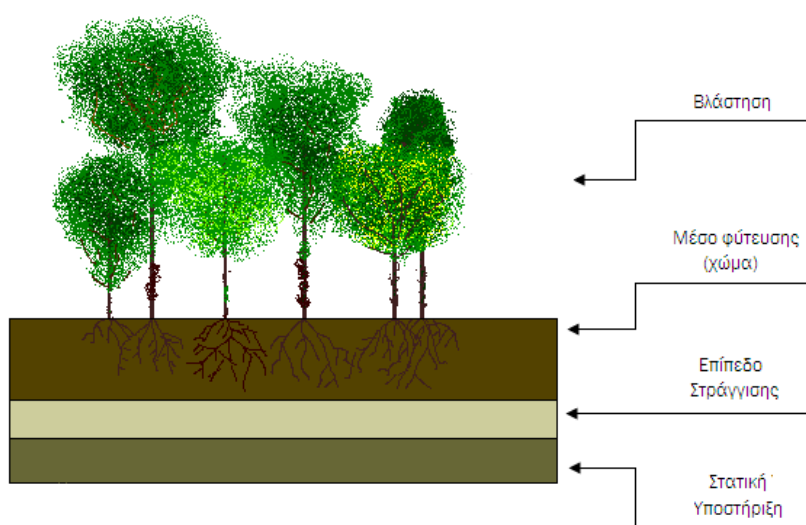
Αυτού του είδους τα σκίαστρα ελέγχονται αυτόματα από αισθητήρες ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες έτσι ώστε να βελτιστοποιούν την περιβαλλοντική απόδοση. Με βάση τη διατήρηση των ορίων της θερμικής άνεσης, το σύστημα υλοποιεί έναν αλγόριθμο ελέγχει συνεχώς τις κλιματικές μεταβολές προσαρμόζοντας ανάλογα τα σκίαστρα. Αυτή η αποδέσμευση της λειτουργίας των σκιάστρων από τους χρήστες του κτηρίου και η

αναπροσαρμογή τους ανάλογα με τα καιρικά δεδομένα μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητά τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην συγκεκριμένη κατηγορία τα κόστη είναι ακόμη μεγαλύτερα, σημαντικός παράγων στην τελική επιλογή.

Συνολικά, όσο αφορά το κέρδος στην ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη η απόδοση των αυτοματοποιημένων σκιάστρων δεν υπερέρχει ξεκάθαρα των δύο απλούστερων κατηγοριών. Αν συνυπολογιστεί η κατανάλωση για τις ανάγκες φωτισμού λόγω της αναπόφευκτα μη βέλτιστης χρήσης των χειροκίνητων και μηχανοκίνητων σκιάστρων και τα τρία είδη εμφανίζουν παρόμοιο ενεργειακό ισοζύγιο. Από την πλευρά της άνεσης, τα αυτομάτως ρυθμιζόμενα σκιάστρα ελέγχουν αποτελεσματικότερα τις εξωτερικές συνθήκες. Παρέχουν φυσικό φωτισμό όταν είναι δυνατό ή προστασία όταν είναι απαραίτητο, χωρίς να είναι απαραίτητη η συμβολή και η συνεργασία των εργαζομένων, μειώνοντας τον υποκειμενικό παράγοντα της χρήσης. [5, 16]

2.3.2 Πράσινη οροφή - Προστασία οροφής

Σε περιοχές όπου το καλοκαίρι είναι εντόνως θερμό, μια μέθοδος υλοποίησης της παθητικής ψύξης και μείωσης των υψηλών ψυκτικών φορτίων είναι η αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης της οροφής. Η εφαρμογή κατάλληλης μόνωσης αποτελεί το πρώτο επίπεδο για την παροχή θερμικής προστασίας και δευτερευόντως η κάλυψή της με επαρκώς παχύ στρώμα χώματος αυξάνει την θερμική της μάζα εμποδίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει εντός του κτηρίου. Τις πολύ θερμές μέρες η θερμοκρασία του χώματος είναι δυνατό να αυξηθεί τόσο ώστε να ξεπερνά αυτή του αέρα. Η προσθήκη υγρασίας στο χώμα ευνοεί την εκπομπή θερμότητας μέσω της εξάτμισης και η σκίαση της οροφής υποβοηθά το μηχανισμό βελτιώνοντας τα αποτελέσματα μιας τέτοιας εφαρμογής. Η πράσινη οροφή αποτελεί ένα συνδυασμό διεργασιών, συμπεριλαμβανομένων και των ανωτέρω, όπου η σκίαση παρέχεται από την φύτευση της οροφής και η εξάτμιση ενισχύεται. Τρία είναι τα βασικά επίπεδα μιας πράσινης οροφής: η βλάστηση, το φυτρωτικό μέσο και το τμήμα στατικής στήριξης της όλης κατασκευής.



Εικόνα 2- 2 Σχηματική αναπαράσταση επιπέδων πράσινης οροφής

Στήριξη κατασκευής

Οι ανάγκες στήριξης μιας πράσινης οροφής είναι αυξημένες σε σύγκριση με μια συμβατική οροφή. Τα επιπλέον επίπεδα αυξάνουν τα στατικά φορτία λόγω του βάρους καθιστώντας απαραίτητη την μέριμνα για επιπρόσθετα στηρίγματα. Αυτό το επίπεδο αντιμετωπίζεται στους υπολογισμούς ως ένα ομογενές στρώμα συμπαγούς υλικού με σταθερές θερμοφυσικές ιδιότητες με τον εξής ενεργειακό ισολογισμό:

$$\rho c_p \frac{\partial T_\sigma(z,t)}{\partial t} = k_\sigma \frac{\partial T_\sigma(z,t)}{\partial z^2} \quad (2.1) [6]$$

όπου:

ρ : πυκνότητα του υλικού [kg/m³]

c_p : ειδική θερμοχωρητικότητα [J/kjK]

$T_\sigma(z,t)$: θερμοκρασιακό πεδίο επιπέδου στήριξης συναρτήσεως του πάχους και του χρόνου [K]

k_σ : ειδική θερμική αγωγιμότητα [W/mK]

Και οι οριακές συνθήκες αυτής για $z=0$ στο άνω άκρο που γειτνιάζει με την υπόλοιπη οροφή και $z=L$ στο κατώτερο άκρο που έρχεται σε επαφή με τον εσωτερικό αέρα:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_\sigma(z=0,t) = T_{\sigma,ανω}(t) \\ -k_\sigma \left. \frac{\partial T_\sigma(z,t)}{\partial z} \right|_{z=L} = h(T_{\sigma,κίτω} - T_{in}) \end{array} \right\} \quad (2.2) [6]$$

h η ειδική συναγωγιμότητα [W/m²K]

T_{in} η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα.

Μέσο Φύτευσης

Το επίπεδο αυτό αποτελείται από τρία υποεπίπεδα: το χώμα, τη βαθμίδα στράγγισης και την βαθμίδα προστασίας. Εν γένει, το χώμα δύναται να χαρακτηριστεί ως πορώδες μέσο που αποτελείται από στερεά υλικά (οργανικά και μεταλλικά στοιχεία), νερό και αέρια (αέρα και υδρατμούς). Και οι τρεις προαναφερθείσες φάσεις συνεισφέρουν στη μετάδοση της θερμότητας διαμέσου του χώματος με τους εξής μηχανισμούς: αγωγή στα στερεά, συναγωγή στο υγρό και τα αέρια και μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας μέσω της διάχυσης των υδρατμών. Η αλληλεξάρτηση της περιεχομένου σε υγρασία και της θερμοκρασίας επηρεάζουν τη μετάδοση της θερμότητας και αιτιολογούν τη συνεχή αναδιανομή της υγρασίας με βάση τη θερμοκρασία. Οι εξισώσεις ενεργειακής ισορροπίας αναπτύσσονται υπό τις ακόλουθες παραδοχές: η μετάδοση θεωρείται μονοδιάστατη, το χώμα ομογενές και ιστροπικό, η υγρή και η αέρια φάση βρίσκονται σε ισορροπία και τέλος η πίεση θεωρείται σταθερή. Οι εξισώσεις ισορροπίας είναι:

$$\rho c_p(\omega, T) \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ [k(\omega, t) + \Lambda D_{vT}(\omega, T)] \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} + \Lambda D_{v\omega}(\omega, T) \frac{\partial \omega(z,t)}{\partial z} \right\} \quad (2.3) [17]$$

$$\frac{\partial \omega(z,t)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ D_\omega(\omega, T) \frac{\partial \omega(z,t)}{\partial z} + D_T(\omega, T) \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} \right\} - \frac{\partial K(z,t)}{\partial z} + \phi(z,t) \quad (2.4) [17]$$

Όπου:

$T(z,t)$: τοπική θερμοκρασία του πορώδους μέσου [°C]

$\omega(z,t)$: τοπική ογκομετρική περιεκτικότητα σε υγρασία

$\rho c_p(\omega, t)$: σταθμισμένη θερμοχωρητικότητα [J/kg K]

$k(\omega, t)$: ενεργή θερμική αγωγιμότητα [W/mK]

Λ : αισθητή θερμότητα ατμοποίησης [J/kg]

$D_{\nu}(\omega, t)$: μη ισοθερμικός συντελεστής διάχυσης των υδρατμών [$\text{kg m}^2/\text{s}$]

$D_{\omega}(\omega, t)$: ισοθερμικός συντελεστής διάχυσης των υδρατμών [$\text{kg m}^2/\text{s}$]

$D_{\omega}(\omega, t)$: ισοθερμικός μαζικός (υδρατμών και υγρού) συντελεστής διάχυσης των υδρατμών [$\text{kg m}^2/\text{s}$]

$D_{\tau}(\omega, t)$: μη ισοθερμικός μαζικός (υδρατμών και υγρού) συντελεστής διάχυσης των υδρατμών [$\text{kg m}^2/\text{s}$]

$K(z, t)$: υδραυλική αγωγιμότητα [m/s]

$\phi(z, t)$: η ικανότητα του ριζικού συστήματος για απορρόφηση του νερού [$1/\text{s}$]

Και οι οριακές συνθήκες αυτής για $z=0$ στο άνω άκρο και $z=L$ στο κάτω άκρο του μελετώμενου φυτρωτικού μέσου:

$$\left\{ \begin{array}{l} T(z=0, t) = T_{\phi\mu, \alpha\nu\omega}(t) \\ T(z=L, t) = T_{\phi\mu, \kappa\acute{\iota}\tau\omega}(t) \end{array} \right\} \quad (2.5) [17]$$

Ακριβώς κάτω από το χώμα βρίσκεται το επίπεδο στράγγισης και περιλαμβάνει στρώματα άμμου, χαλικιών και οργανικών συστατικών έτσι ώστε να επιτρέπεται η διέλευση του νερού είτε προς αποθήκευση και χρήση ξανά, είτε προς απόρριψη. Η τελευταία βαθμίδα στοχεύει στην προστασία της οροφής από την υγρασία και αποτελείται από ένα συνδυασμό αδιάβροχων μεμβρανών και υλικών προστασίας διάβρωσης κατά των ριζικών των φυτών.

Βλάστηση

Τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, από την σκοπιά της μετάδοσης θερμότητας, είναι τα πιο σημαντικά αλλά και τα πιο δύσκολα στον προσδιορισμό. Τα κυριότερα μεγέθη είναι το ύψος των φυτών, η επιφάνεια του φυλλώματος, η ανακλαστικότητα της επιφάνειας και οι βιοχημικές ιδιότητες της αναπνοής και της εξάτμισης, μεταβλητά για διαφορετικού είδους φυτά. Στη θερμική μελέτη ως βλάστηση θεωρείται το φύλλωμα και ο αέρας που εμπεριέχει. Οι βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη μεταφορά ενέργειας είναι:

- ☉ Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φύλλα
- ☉ Ανταλλαγή ακτινοβολίας μακρού κύματος μεταξύ φύλλων-ουρανού, φύλλων-εδάφους και των φύλλων μεταξύ τους
- ☉ Μεταφορά θερμότητας λόγω συναγωγής μεταξύ των φύλλων και του αέρα που εμπεριέχει η βλάστηση και μεταξύ του εδάφους και του εν λόγω αέρα
- ☉ Εξατμισοδιαπνοή στα φύλλα που περιλαμβάνει τα επιμέρους φαινόμενα: την διαπνοή των φυτών και την απώλεια νερού μέσω της εξάτμισης από τα στόματα των φύλλων αλλά και την συναγωγή μεταξύ αέρα και φύλλων
- ☉ Συμπύκνωση των υδρατμών στην επιφάνεια του χώματος και συναγωγή αυτών με τον αέρα.
- ☉ Μεταφορά θερμότητας και υδρατμών μεταξύ του αέρα και του αέρα του φυλλώματος

Η πολυπλοκότητα των παραπάνω μηχανισμών οδηγεί στην ανάπτυξη μονοδιάστατου μοντέλου για τις ροές θερμότητας με τις ακόλουθες εξισώσεις ισορροπίας:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\rho c)_{veg} dLAI \frac{dT_v}{dt} = \phi_{rad, solar} + \phi_{rad, veg} + \phi_{conv, v-ca} + \phi_{trans, v-ca} \\ (\rho c)_a dLAI \frac{dT_a}{dt} = \phi_{conv, ca-v} + \phi_{conv, ca-g} + \phi_{conv, ca-\infty} \\ \rho_a L \frac{d\theta_a}{dt} = \phi_{vap, ca-v} + \phi_{vap, ca-g} + \phi_{vap, ca-\infty} \end{array} \right\} \quad (2.6) [17]$$

T_v : θερμοκρασία φυλλώματος (κατά μέσο όρο στον όγκο ελέγχου) [$^{\circ}\text{C}$]
 T_a : θερμοκρασία αέρα (κατά μέσο όρο στον όγκο ελέγχου) [$^{\circ}\text{C}$]
 $(\rho c)_{\text{veg}}$: ειδική θερμοχωρητικότητα φύλλων [$\text{J}/\text{m}^3\text{K}$]
 $(\rho c)_a$: ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα [$\text{J}/\text{m}^3\text{K}$]
 ρ_a : πυκνότητα αέρα [kg/m^3]
 θ_a : ειδική υγρασία αέρα (κατά μέσο όρο στον όγκο ελέγχου) [kg/kg]
 d : μέσο πάχος φύλλων [m]
 L : συνολικό μήκος του επιπέδου [m]
 LAI : συνολική επιφάνεια φύλλων (στον όγκο ελέγχου) [m^2/m^2]
 $\phi_{\text{rad,solar}}$: ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από τα φύλλα [W/m^2]
 $\phi_{\text{rad,veg}}$: ροή θερμότητας λόγω ανταλλαγής ακτινοβολίας των φύλλων μεταξύ τους [W/m^2]
 $\phi_{\text{conv,v-ca}}$: ροή αισθητής θερμότητας μεταξύ φυλλώματος και του αέρα που περιέχει [W/m^2]
 $\phi_{\text{trans,v-ca}}$: ροή αισθητής θερμότητας λόγω της διαπνοής των φύλλων [W/m^2]
 $\phi_{\text{conv,ca-v}}$: ροή αισθητής θερμότητας μεταξύ του αέρα που περιέχει το φύλλωμα και του φυλλώματος [W/m^2]
 $\phi_{\text{conv,ca-g}}$: ροή αισθητής θερμότητας μεταξύ του αέρα που περιέχει το φύλλωμα και του εδάφους [W/m^2]
 $\phi_{\text{conv,ca-}\infty}$: ροή αισθητής θερμότητας μεταξύ του αέρα που περιέχει το φύλλωμα και του εξωτερικού αέρα [W/m^2]

Κατά τη μελέτη για την χρήση μιας πράσινης οροφής πρέπει να δοθεί βάση στην επιλογή των φυτών για να ενισχυθούν οι μηχανισμοί πρέπει η βλάστηση να παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη και οριζόντια κατανομή φύλλων για να εγγυάται τη χαμηλή μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας. Βασικότερη συμβολή της όμως είναι η σκίαση.

Η βελτιστοποίηση της πράσινης οροφής για τις θερμές μέρες του καλοκαιριού –όπως και του οποιοδήποτε μέσου παθητικής ψύξης– αποτελεί εσφαλμένη αντιμετώπιση και πιθανή αιτία αύξησης των θερμικών φορτίων κατά την χειμερινή περίοδο. [17, 18, 19, 20]

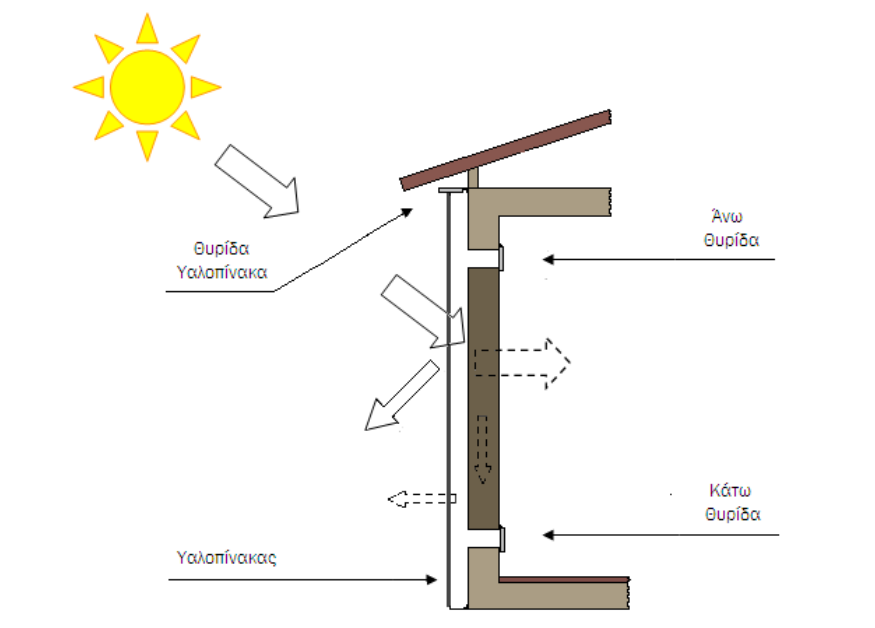
2.3.3 Τοίχος Trombe-Michel

Οι παθητικοί ηλιακοί τοίχοι εσωκλείονται στο κτηριακό κέλυφος. Η λειτουργία τους βασίζεται στο ότι ευνοούν την συλλογή ηλιακής ενέργειας με στόχο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση τον χειμώνα και μείωση των θερμικών κερδών το καλοκαίρι. Αυτό επιτυγχάνεται με την αρωγή ενός τοίχου μεγάλης μάζας –κοινό στοιχείο των ηλιακών τοίχων-, ρόλος του οποίου είναι η θερμική αποθήκευση.

Χαρακτηριστικότερος εκπρόσωπος των ηλιακών τοίχων είναι ο τοίχος Trombe-Michel. Πρόκειται για μια κατασκευή από συμπαγές σκυρόδεμα ή τοιχοποιία ύψους 1-2m, πάχους 0,20-0,40m, εξωτερικής επιφάνειας σκούρου χρώματος που φέρει σε απόσταση 1-3cm υαλοπίνακα. Το σύστημα συμπληρώνουν θυρίδες στο άνω και κάτω τμήμα του τοίχου και στην κορυφή του υαλοπίνακα, ρυθμίζοντας έτσι την εισροή και την εκροή του αέρα στον χώρο.

Τον χειμώνα, κατά τη διάρκεια της ημέρας η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον τοίχο θερμικής μάζας διαμέσου του υαλοπίνακα. Τμήμα της θερμότητας μεταφέρεται λόγω αγωγής στο εσωτερικό, ενώ παράλληλα θερμαίνεται και ο αέρας στο κανάλι τοίχου και υαλοπίνακα. Μέσω της κάτω θυρίδας, ψυχρός αέρας από τον χώρο αντικαθιστά τον αέρα του καναλιού, θερμαίνεται, γίνεται ελαφρύτερος και λόγω άνωσης ανέρχεται και επιστρέφει θερμός πλέον στο εσωτερικό από την άνω θυρίδα. Τη νύχτα, κλείνουν οι αεραγωγοί του

τοίχου και η αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχου ακτινοβολείται με χρονική υστέρηση στο χώρο.



Εικόνα 2-3 Σχηματική απεικόνιση τοίχου Trombe

Το καλοκαίρι η λειτουργία του τοίχου αντιστρέφεται. Ανοίγει η θυρίδα του υαλοπίνακα ενώ κλείνει η άνω θυρίδα του τοίχου. Ο αέρας στο κανάλι θερμαίνεται, λόγω του stack effect δημιουργεί ροή προς τον αεραγωγό εξόδου του υαλοπίνακα, αναρροφώντας παράλληλα θερμό αέρα από το εσωτερικό του χώρου. Εν συνεχεία, εισέρχεται εξωτερικός αέρας στο χώρο από άνοιγμα σε άλλο τοίχο του δωματίου. Τη νύχτα, ο τοίχος ακτινοβολεί την αποθηκευμένη θερμότητα μέσω του υαλοπίνακα ξανά στο περιβάλλον. Η σκίαση της κατασκευής αποτελεί βασικό παράγοντα για την πρόληψη της υπερθέρμανσης.

Το χαμηλό κόστος των υλικών κατασκευής, η απλότητα και η ενεργειακή απόδοση είναι τα πλεονεκτήματα αυτού του παθητικού συστήματος. Η υψηλή πιθανότητα υπερθέρμανσης του τοίχου κατά το καλοκαίρι και η εκπομπή θερμότητας από το εσωτερικό προς το εξωτερικό κατά τον χειμώνα τις μέρες χωρίς ηλιοφάνεια και η χαμηλή αισθητική είναι τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να συυπολογιστούν πριν την απόφαση υλοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί η πληθώρα μελετών και παραλλαγών αυτής της κλασσικής παθητικής πρακτικής, με στόχο την βελτιστοποίηση της απόδοσής τους. Αναφέρονται ενδεικτικά ο τοίχος Trombe με ενσωματωμένα PCM και με φωτοβολταϊκές κυψέλες. [10, 21, 22, 23]

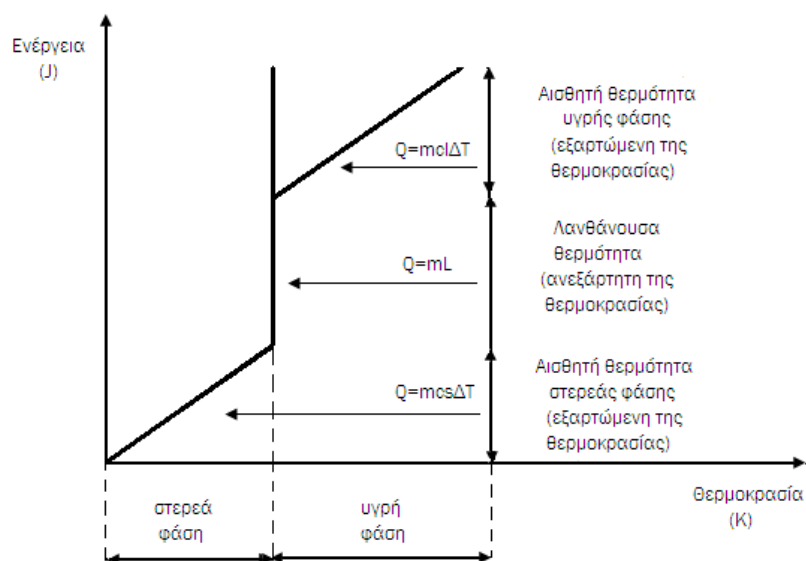
2.3.4 Υλικά Αλλαγής φάσης (Phase Changing Materials)

Τα PCMs είναι υλικά με δυνατότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Το ποσό της θερμότητας που λαμβάνουν ή απορρίπτουν μέσω των χημικών δεσμών, η λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης, είναι η ενέργεια που απαιτείται έτσι ώστε το υλικό να μεταβεί από υγρή σε στερεή φάση ή το αντίστροφο (διάγραμμα αλλαγής φάσης, γράφημα 2-1)).

Τα περισσότερα PCMs έχουν σημείο τήξεως εντός του εύρους 20-32°C και χρησιμοποιούνται για τη θερμική αποθήκευση για παθητική θέρμανση ή ψύξη. Πρέπει να συγκεντρώνουν πληθώρα θερμοδυναμικών, κινητικών και χημικών ιδιοτήτων με σημαίνουσες την καταλληλότητα της θερμοκρασίας τήξεως, την υψηλή λανθάνουσα

θερμότητα υγροποίησης και την υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα για την αποθήκευση και απόδοση του αισθητού θερμικού κέρδους.

Χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες - οργανικά, ανόργανα και εύτηκτα- με τα εξής χαρακτηριστικά:



Γράφημα 2- 1 Διάγραμμα αλλαγής φάσης των PCM

Οργανικά

Κυριότεροι εκπρόσωποι είναι οι παραφίνες και τα λιπαρά οξέα. Πρόκειται για υλικά με ευρεία περιοχή σημείου τήξεως για τις εφαρμογές, self-nucleation, χαμηλή αντιδραστικότητα με τα υλικά συσκευασίας, αρκετά υψηλή τιμή λανθάνουσας ενέργειας υγροποίησης και αμελητέα εμφάνιση του φαινομένου supercooling. Ακόμα, είναι χημικώς σταθερά αλλά και ανακυκλώσιμα. Βασικά μειονεκτήματά τους αποτελούν η χαμηλή θερμική αγωγιμότητά και η υψηλή ευφλεκτότητά τους. Ο παρακάτω πίνακας εμπεριέχει ενδεικτικά οργανικά PCMs.

Πίνακας 2- 2 Ιδιότητες οργανικών PCM [10, 24]

| Υλικό | Σημείο Τήξεως [°C] | Λανθάνουσα Θερμότητα Υγροποίησης [KJ/kg] |
|-----------------------|--------------------|--|
| Παραφίνη C16-C18 | 20-22 | 152 |
| Παραφίνη C18 (45-55%) | 28 | 244 |
| Παραφίνη C13-C24 | 22-24 | 189 |
| Πολυγλυκόλη E400 | 8 | 99,6 |
| Πολυγλυκόλη E600 | 22 | 127,2 |

| | | |
|------------------|------|--------|
| 1- Δωδεκανόλη | 26 | 200,0 |
| Στεαρικό Οξύ | 69,6 | 198,9 |
| Παλμιτικό Οξύ | 64 | 163,93 |
| Καπρικό Οξύ | 32 | 152,7 |
| Καπρυλικό Οξύ | 16 | 148,5 |

Ανόργανα

Τα ανόργανα PCMs και ιδιαίτερα τα ένυδρα άλατα, εμφανίζουν υψηλές τιμές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου σε σχέση με τις παραφίνες. Είναι χημικώς ασταθείς ενώσεις που περιέχουν μόρια νερού σε μορφή κρυστάλλων ενσωματωμένων στα άλατα με τρόπο τέτοιο που αποβάλλουν ή προσδίδουν θερμότητα προσλαμβάνοντας ή αποδίδοντας μόρια νερού. Παρουσιάζουν αστάθεια ιδιοτήτων καθιστώντας απαραίτητη τη χρήση σταθεροποιητικών προσθέτων αλλά και εκφυλισμό αυτών μετά από επαναλαμβανόμενους κύκλους αλλαγής φάσης. Η υψηλή πυκνότητά τους συμβάλλει στην εξοικονόμηση χώρου χωρίς έκπτωση στην ικανότητα θερμικής αποθήκευσης και σε συνδυασμό με τη μη αναφλεξιμότητα καθιστούν τα ένυδρα άλατα ιδανικά για τις κτηριακές εφαρμογές. Αξίζει να σημειωθεί ότι το αυξημένο κόστος αγοράς και το φαινόμενο supercooling συνυπολογίζονται για την τελική επιλογή. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι το άλας του Glauber ($\text{Na}_2\text{SO}_4\text{B}10\text{H}_2\text{O}$), ευρείας χρήσης λόγω του μικρού κόστους αλλά και της ερευνημένης συμπεριφοράς.

Πίνακας 2- 3 Ιδιότητες ανόργανων PCM [10, 24]

| Υλικό | Σημείο Τήξεως [°C] | Λανθάνουσα Θερμότητα Υγροποίησης [KJ/kg] |
|--|-----------------------|--|
| H ₂ O | 0 | 333,0 |
| MgCl ₂ B6H ₂ O | 117 | 168,6 |
| Mg(NO ₃) ₂ B6H ₂ O | 89 | 162,8 |
| Zn(NO ₃) ₂ B6H ₂ O | 36 | 146,9 |
| CaCl ₂ B6H ₂ O | 29 | 190,8 |
| Na ₂ SO ₄ B10H ₂ O | 32 | 254,0 |
| LiNO ₃ B3H ₂ O | 30 | 296,0 |

Εύτηκτα

Πρόκειται για μίγματα δύο ή περισσότερων συστατικών (οργανικών ή/και ανόργανων) εκ των οποίων έκαστο τήκεται και στερεοποιείται σε κατάλληλη θερμοκρασία δημιουργώντας κατά την κρυσταλλοποίηση μια σύνθεση κρυστάλλων των επιμέρους συστατικών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εύτηκτων PCMs στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2- 4 Ιδιότητες εύτηκτων PCM [10, 24]

| Υλικό | Σημείο Τήξεως [°C] | Λανθάνουσα Θερμότητα Υγροποίησης [KJ/kg] |
|---|--------------------|--|
| 66,6% CaCl ₂ ·6H ₂ O+33,3% MgCl ₂ ·6H ₂ O | 25 | 127 |
| 48% CaCl ₂ +4,3%NaCl+0,4%KCl+47,3%H ₂ O | 26,8 | 188 |
| 47%Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O+53%Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O | 30 | 136 |
| 60%Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O+40%CO(NH ₂) ₂ | 30 | 200,5 |

PCMs και Κτήρια

Τα PCMs λόγω της ικανότητάς τους για θερμική αποθήκευση βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις κτηριακές κατασκευές. Μπορεί να είναι τμήματα ενεργητικών συστημάτων αποθηκεύοντας παραχθείσα με μηχανικά μέσα θερμότητα, ή παθητικών συστημάτων, απορροφώντας θερμότητα προερχόμενη από την ηλιακή ακτινοβολία. Στην περίπτωση των παθητικών συστημάτων τα PCMs ενσωματώνονται στα δομικά στοιχεία ή τοποθετούνται ως ξεχωριστό τμήμα υλικού συμβάλλοντας στην θερμική θωράκιση της κατασκευής. Οι συχνότερα εφαρμοζόμενες στρατηγικές είναι οι:

- ✦ PCM wallboards: Αυτή ίσως είναι η πιο διαδεδομένη μορφή χρήσης των υλικών αλλαγής φάσης, όπου ενσωματώνονται σε δομικές επιφάνειες και επενδύουν την τοιχοποιία. Τα οργανικά υλικά και κυρίως οι παραφίνες παρουσιάζουν κατάλληλη συμπεριφορά αναμεμιγμένες με γύψο και τσιμέντο, αυξάνοντας όμως την ανάγκη πυρασφάλειας. Ένυδρα άλατα και λιπαρά οξέα απαιτητικώς συσκευάζονται πριν την ενσωμάτωση λόγω της αντιδραστικότητάς τους. Μελέτες καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της στρατηγικής στη συμβολή της στην θερμική μόνωση και την διατήρηση της θερμικής μάζας σε μικρότερα επίπεδα,
- ✦ Τοίχος Trombe με PCM: Σε σύγκριση με τον συμβατικό τοίχο Trombe θερμικής μάζας ή νερού, η διάταξη έχει την ίδια μορφή. Υπερέχει στο ότι για δοθέν ποσό αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας απαιτεί μικρότερη επιφάνεια και λιγότερο βάρος. Παρόλα τα θετικά πειραματικά αποτελέσματα ο τοίχος PCM Trombe δεν τυγχάνει ευρείας εφαρμογής και ίσως επειδή δεν υλοποιείται συχνά ως στρατηγική ούτε ο συμβατικός τοίχος Trombe.
- ✦ Παραθυρόφυλλα PCM: Οι υαλοπίνακες μιας κατασκευής αποτελούν τα πιο ευαίσθητα τμήματα αυτής από την οπτική της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του θέρους και για την εκπομπή θερμότητας προς το περιβάλλον τον χειμώνα. Τα παραθυρόφυλλα με PCM είναι μια στρατηγική παθητικής θέρμανσης, όπου την ημέρα ανοίγονται και ακτινοβολούνται από τον ήλιο και τη νύχτα κλείνουν μπροστά από τα παράθυρα εκπέμποντας την θερμότητα προς το εσωτερικό του χώρου.
- ✦ PCM building blocks: Μια τέτοια μορφή ενσωμάτωσης των PCM στα δομικά υλικά έχει σαν αποτέλεσμα την αυξημένη θερμική αδράνεια του κτηριακού κελύφους χωρίς την συνακόλουθα μεγάλη μάζα που συνεπάγεται των συμβατικών δομικών στοιχείων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην πυρασφάλεια της κατασκευής αφού πολλά PCM είναι εξαιρετικά εύφλεκτα και σε αυτή την περίπτωση σε υψηλή συγκέντρωση. [10, 24, 25]

2.4 ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Οι θερμοκρασιακές διαφορές που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια ενός έτους στην Ελλάδα είναι μεγέθους απαγορευτικού για την κατασκευή ενός κτηριακού συγκροτήματος αποκλειστικά με παθητικά συστήματα ψύξης. Η βέλτιστη λύση για την ψύξη μιας κατασκευής είναι ένας συνδυασμός παθητικών-ενεργητικών μέσων σε αναλογία τέτοια ώστε να εκμεταλλευόμαστε στο έπακρο τις ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες με τα παθητικά και να περιορίζουμε τις ακραίες κλιματικές επιρροές με την αρωγή των ενεργητικών. Στόχος των κτηρίων με φυσικό αερισμό δεν είναι να επιτευχθεί σταθερό εσωτερικό κλίμα, αλλά να αξιοποιούνται οι δυναμικές του για να παρέχονται ελεγχόμενες και άνετες συνθήκες για τους χρήστες. Είναι σαφές ότι καμία στρατηγική σχεδιασμού ενός συστήματος φυσικού αερισμού δεν επαρκεί για την επίτευξη και διατήρηση της θερμικής άνεσης. Αναμφισβήτητα η επιλογή ενός κατάλληλου συστήματος, λειτουργικού και όσο το δυνατόν προσαρμοσμένου, αποτελεί εργαλείο μείωσης των θερμικών κερδών και συνακόλουθα της ενεργειακής κατανάλωσης. Παρόλο που τα κτήρια με κλιματισμό έχουν την ικανότητα να διατηρούν ένα αντικειμενικά πιο υγιές εσωτερικό κλίμα, έχει παρατηρηθεί προτίμηση σε κτήρια με φυσικό αερισμό και παθητικά συστήματα ψύξης, με βασικό κριτήριο το βαθμό μέχρι τον οποίο μπορεί κανείς να καθορίσει τις συνθήκες υπό τις οποίες θα εργάζεται. [2, 3, 9, 11, 12, 26]

2.4.1 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΙΕΠΟΥΝ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΣΜΟ

Ο φυσικός αερισμός ως διαδικασία θεωρείται ότι αποτελείται από δύο διακριτές ταυτόχρονες διεργασίες, τη ροή του αέρα διαμέσου των ανοιγμάτων του φακέλου και των εσωτερικών τμημάτων και την κίνηση του αέρα εντός του προς μελέτη χώρου. Ο διαχωρισμός αυτός είναι απαραίτητος για την απλούστευση της υπολογιστικής διαδικασίας, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις η αλληλεπίδραση των διεργασιών αμελείται.

Η ροή διαμέσου των εσωτερικών τμημάτων του κτηρίου οφείλεται στο συνδυασμό των εξής μηχανισμών: την διαφορά πυκνότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασιών, την διαφορά πίεσης λόγω ανέμου ή μηχανικών μέσων, το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρών και το πέρασμα των ανθρώπων. Στα ηλιακά παθητικά κτήρια η διανομή της θερμότητας δια μέσου των ζωνών και των δωματίων με φυσική συναγωγή αποτελεί κρίσιμο σημείο του σχεδιασμού. Η ροή ακολουθεί προδιαγεγραμμένα μονοπάτια βοηθούμενη από την άνωση.

Οι δύο βασικές κινητήριες δυνάμεις για τη ροή διαμέσου των ανοιγμάτων του κελύφους είναι ο άνεμος και η θερμοκρασιακή διαφορά του εσωτερικού του κτηρίου με το εξωτερικό. Αποτέλεσμα και των δύο είναι η δημιουργία διαφορών πίεσης οι οποίες είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση των επιδιωκόμενων ροών. Αν από αυτές τις χρονικά μεταβαλλόμενες πιέσεις προκύψουν μέσες τιμές για επαρκώς μεγάλες χρονικές περιόδους αυτές θα είναι ανεξάρτητες του χρόνου. Με βάση τα προειρημένα, αυτή η κατάσταση χαρακτηρίζεται ως σταθερή (steady state) και είναι απαραίτητη για την διεκπεραίωση των υπολογισμών. [12, 26, 27]

Οι παρακάτω εξισώσεις χαρακτηρίζουν τη ροή για κάθε άνοιγμα.

Μέση διαφορά πίεσης διαμέσου ανοίγματος:

$$\Delta p_i = P_{E0} - P_{I0} - \frac{gz_i P_{E0}}{R} \left(\frac{1}{T_{E0}} - \frac{1}{T_{I0}} \right) + p_{wi} \quad (2.7) [27]$$

Αντικαθιστώντας με τις μέσες τιμές

$$\overline{\Delta p_i} = \overline{P_{E0}} - \overline{P_{I0}} - \frac{gz_i \overline{P_{E0}}}{R} \left(\frac{1}{\overline{T_{E0}}} - \frac{1}{\overline{T_{I0}}} \right) + \overline{p_{wi}} \quad (2.8) [27]$$

Ρυθμός ροής:

$$\overline{q_i} = f_i \{ \overline{\Delta p_i} \} \quad (2.9) [27]$$

Διατήρηση μάζας:

$$\sum_i \overline{q_i} + \sum_j \overline{q_j} + 0 \quad (2.10) [27]$$

Οι μεταβλητές χωρίς j μπορούν να προσεγγισθούν ως σταθερές με το χρόνο. Η ποσότητα της εξίσωσης (2.7) δεν είναι κατάλληλη για να περιγράψει τη μέση ροή διαμέσου ανοίγματος με μη μόνιμη ροή, είναι όμως ένα από τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό του ρυθμού της όπως διαφαίνεται από την εξίσωση (2.9). Στην πράξη όπου οι ροές είναι σαφώς μη μόνιμες, τα αποτελέσματα των υπολογισμών αποτελούν προσεγγίσεις των πραγματικών τιμών αλλά αποδεκτής ακρίβειας. [27]

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ

Στις μελέτες φυσικού αερισμού η πίεση του ανέμου που οφείλεται η ροή προκύπτει είτε από άμεσες μετρήσεις ή κυρίως από έμμεσες μετρήσεις της πίεσης επιφανείας κοντά στο μελετώμενο άνοιγμα σε σχέση με μια πίεση αναφοράς της ροής. Οι συνεχείς μεταβολές της πίεσης είναι χρονικές και χωρικές, δηλαδή μεταβάλλονται επί της επιφανείας και με τον χρόνο. Για αυτό το λόγο στη μελέτη ενδιαφέρουν οι διαφορές πίεσης μεταξύ δύο δεδομένων σημείων πάνω στην επιφάνεια· έστω $p_1\{t\}$ η πίεση στην πλευρά που «βλέπει» ο άνεμος και $p_2\{t\}$ η πίεση της αντίθετης πλευράς τότε:

$$\Delta p\{t\} = p_1\{t\} - p_2\{t\} \quad (2.11) [27]$$

Αν αντικατασταθούν οι πιέσεις από το άθροισμα ενός μέσου όρου στο πεδίου του χρόνου και μιας μεταβλητής ποσότητας θα είναι:

$$\Delta p\{t\} = \overline{\Delta p} + \Delta p'\{t\} \quad (2.12) [27]$$

Μεγαλύτερη βάση δίνεται στο χρονικά ανεξάρτητο πρώτο σκέλος του δεύτερου μέλους, γιατί οι στιγμιαίοι ρυθμοί αερισμού σπανίως είναι εξέχουσας σημασίας αλλά και γιατί είναι ευκολότερα αντιμετώπισιμο στους υπολογισμούς. Τα χρονικά διαστήματα που επηρεάζουν τον αερισμό και συνεπώς είναι και κατάλληλα βήματα για την εύρεση των μέσων όρων βρίσκονται εντός του εύρους 15-60'. Το μεταβλητό τμήμα της εξίσωσης οφείλεται κυρίως στις αναταράξεις της ροής λόγω της επίδρασης της αεροδυναμικής του κτηρίου σε αυτή αλλά και στις παραδοχές που σχετίζονται με τη θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων. Εν γένει, πρόκειται για μια «επίπονη» διαδικασία, με δυσεπίλυτες μεθόδους πρόβλεψης και υψηλό βαθμό δυσκολίας επί τόπου μετρήσεων, λόγω της αλληλεπίδρασης των μηχανισμών και της άστατης ροής.

Ο υποβοηθούμενος από τον άνεμο αερισμός βασίζεται στα ίδια φυσικά φαινόμενα με τον παραχθέντα από την θερμοκρασιακή διαφορά, με τη διαφορά ότι οι πιέσεις -η κινητήριος

δύναμη- παράγονται από τις κυμαινόμενες πιέσεις επιφανείας και όχι από τις υδροστατικές. Έτσι για παράδειγμα για τον εξωτερικό αέρα η πίεση σε ένα ύψος z είναι:

$$P_E = P_{E0} - \rho_0 g z + p_w \quad (2.13) [27]$$

Οι δύο πρώτοι όροι του δεύτερου μέλους αφορούν στην υδροστατική πίεση και το επόμενο κεφάλαιο ενώ η πίεση του ανέμου p_w είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση του εν λόγω μηχανισμού αερισμού. Αναλυτικά, ο αέρας προσεγγίζει το κτηριακό κέλυφος επιβραδύνεται και αυξάνεται η πίεσή του. Καθώς ρέει γύρω από το κτήριο επιταχύνεται στην οροφή και την απέναντι πλευρά με αποτέλεσμα την πτώση της τοπικής επιφανειακής πίεσης και την αποκόλληση της ροής δημιουργώντας μια ζώνη ανακυκλοφορίας χαμηλής πίεσης. Η διανομή της πίεσης πάνω στην επιφάνεια του κτηρίου εξαρτάται από:

- ☞ Την ταχύτητα του ανέμου και την διεύθυνσή του σχετικά με το κτήριο: Ανάλογα με το είδος της περιβάλλουσας περιοχής -κέντρο πόλης, προάστια, βιομηχανική ζώνη- επηρεάζεται και η τιμή της τοπικής ταχύτητας του ανέμου. Όσο πιο πυκνή η δόμηση τόσο μικρότερη η ταχύτητα. Οι συνθήκες μπορούν να βελτιωθούν με διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων με στόχο την σκίαση αλλά και τον προσανατολισμό σε σχέση με τα γειτνιάζοντα κτήρια.
- ☞ Το σχήμα του κτηρίου: Παρέχει τη δυνατότητα αύξησης της δυναμικής για φυσικό αερισμό μέσω της προσαρμογής της αρχιτεκτονικής μορφής και των λεπτομερειών και βελτιστοποίηση των αεροδυναμικών προοπτικών.

Ο αέρας διατρέχει το κτήριο από περιοχές χαμηλής πίεσης επιφανείας σε περιοχές υψηλής πίεσης. Εν γένει, θετικές πιέσεις θα εμφανιστούν στις επιφάνειες που βλέπουν προς την κατεύθυνση του ανέμου ενώ στις υπόλοιπες θα εμφανιστεί αναρρόφηση. Η επιφανειακή πίεση που δρα σε ένα κτήριο σχετίζεται με την πίεση της ταχύτητας του ανέμου μέσω του συντελεστή πίεσης του ανέμου, μεταβλητό μέγεθος για κάθε όψη του κτηρίου αλλά και καθ' ύψος της κάθε όψης. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος και οι πιέσεις με το τετράγωνο της ταχύτητας, παράγων πολύ σημαντικός για πολυώροφα κτήρια. Αφού ο άνεμος δημιουργεί διαφορά πίεσης κατά πλάτος του κτηρίου, η κατάλληλη προσέγγιση για τον μηχανισμό αερισμού είναι ο σχεδιασμός οριζόντιων διαδρομών της ροής διαμέσου του κτηρίου με τον αέρα να εισέρχεται και να εξέρχεται από τον ίδιο καθ' ύψος επίπεδο. Προσεκτικός σχεδιασμός δύναται να δημιουργήσει κάθετη ροή υποβοηθώντας το φαινόμενο της καμινάδας που θα αναφερθεί παρακάτω. [12, 26, 27]

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΕΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Αυτός ο μηχανισμός δημιουργίας ροών αερισμού μπορεί να παράξει διαφορές πίεσης συγκρινόμενης κλίμακας με αυτές του ανέμου. Συχνά καλείται και ως φαινόμενο καμινάδας -stack effect- λόγω του ότι οι εμφανιζόμενες ροές βασίζονται στις διαφορές πυκνότητας όπως και οι ροές στις καμινάδες. Έτσι για μια ομοιόμορφη εσωτερική θερμοκρασία και ύψος z η σχέση

$$P_E = P_{E0} - \rho_0 g z + p_w \quad (2.14) [27]$$

θα δώσει την αντίστοιχη της διαφοράς:

$$\Delta p = P_{E0} + P_{I0} - (\rho_E - \rho_I) g z + p_w \quad (2.15) [27]$$

με E οι εξωτερικές και I οι εσωτερικές τιμές.

Αν δε ληφθεί υπόψη η επίπτωση του ανέμου θα μετασχηματιστεί σε:

$$\Delta p = P_{E0} + P_{I0} - (\rho_E - \rho_I) g z \quad (2.16) [27]$$

Η οποία αποτελεί την κινητήριο δύναμη του μηχανισμού. Ορίζουμε ως ουδέτερο επίπεδο το ύψος z_n στο οποίο η διαφορά πίεσης θα μηδενιστεί• αν η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής, πάνω από αυτό παρουσιάζεται εκροή αέρα και κάτω από αυτό εισροή. Για μια υψομετρική διαφορά μεταξύ οροφής και εδάφους h η διαφορά πίεσης θα είναι:

$$\Delta p_h = (\rho_E - \rho_I)gh \quad (2.17) [27]$$

Η συσχέτιση θερμοκρασιών και πυκνοτήτων προκύπτει:

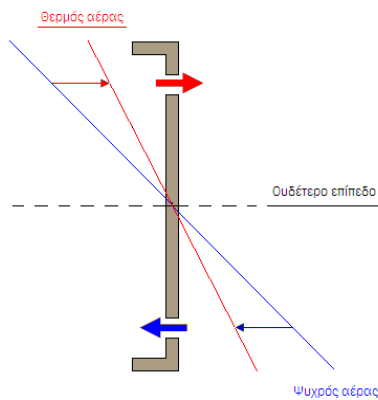
$$\frac{\rho_E - \rho_I}{\rho_I} \approx \frac{T_E - T_I}{T_I} = \frac{\Delta T}{T_I} \text{ για } \Delta T < 10\text{K} \quad (2.18) [27]$$

Αν δύο στήλες αέρα διαφορετικής πυκνότητας ενωθούν, ο ψυχρότερος και πυκνότερος αέρας θα κινηθεί σε χαμηλότερη στάθμη και θα μετατοπίσει τον πιο θερμό και αραιό αέρα προς τα πάνω, Σε ένα κτηριακό κέλυφος σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ο εσωτερικός αέρας λόγω των θερμικών κερδών είναι θερμότερος του εξωτερικού. Ακόμα σε σύγκριση με τον εσωτερικό αέρα, η υδροστατική πίεση του εξωτερικού αέρα είναι μεγαλύτερη, γεγονός που δηλώνει την ότι η πίεσή του θα μειώνεται με το ύψος ταχύτερα από αυτή του εσωτερικού. Αυτές οι καθ' ύψος μεταβολές των πιέσεων εμφανίζονται εκατέρωθεν της τοιχοποιίας. Τοποθετώντας ανοίγματα στους τοίχους θα λάβει χώρα ανταλλαγή αέρα σε βαθμό ανάλογο της διαφοράς πίεσης πριν και μετά τον τοίχο. Οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τις εμφανιζόμενες ροές είναι οι εξής:

- ☛ Διατήρηση μάζας: η ροή του αέρα που εισέρχεται πρέπει να είναι ίση με την εξερχόμενη.
- ☛ Υδροστατικές πιέσεις: η κλίση της παραγώγου της πίεσης είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα. Για ομοιόμορφη θερμοκρασία, η πυκνότητα είναι σταθερή και η παράγωγος ευθεία γραμμή. Αν η θερμοκρασία είναι μεταβαλλόμενη με το ύψος, τότε θα μεταβληθεί και η παράγωγος της πυκνότητας σε καμπύλη.
- ☛ Εξίσωση της ροής: Η ροή διαμέσου των ανοιγμάτων και των ροών εξαρτάται από την επιφάνεια, αλλά και τη διαφορά των πιέσεων• όσο μεγαλύτερο το άνοιγμα ή/και η διαφορά πίεσης, τόσο μεγαλύτερη και η ροή.

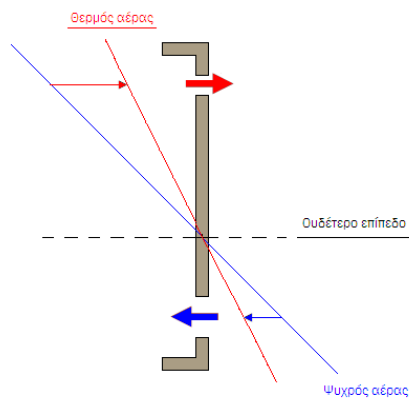
Επιστρέφοντας στο ουδέτερο επίπεδο z_n διακρίνουμε τις δύο βασικές περιπτώσεις των ίσων ανοιγμάτων και των άνισων. Για να ικανοποιηθεί η εξίσωση διατήρησης μάζας θα πρέπει η ροή αέρα που θα δημιουργηθεί να εξισώνεται με τη ροή διαμέσου των ανοιγμάτων.

Στην περίπτωση των ανοιγμάτων ίσου μεγέθους η πτώση πίεσης σε αυτά είναι ίδιου μεγέθους αντίθετης κατεύθυνσης. Το σημείο τομής των παραγώγων είναι το ουδέτερο επίπεδο πίεσης και βρίσκεται στο μέσο της απόστασης των ανοιγμάτων.



Εικόνα 2- 4 Περίπτωση ίσων ανοιγμάτων

Στην περίπτωση όπου το κάτω άνοιγμα είναι διπλάσιο του άνω, για να ικανοποιείται και πάλι η διατήρηση της μάζας, θα δημιουργηθεί αντίσταση στη δημιουργία ροής μικρότερη του άνω ανοίγματος με αποτέλεσμα η πτώση πίεσής του να μειωθεί και ταυτόχρονα να αυξηθεί αυτή του κάτω. Το ουδέτερο σημείο πίεσης, όπου εξισορροπούνται οι πιέσεις, βρίσκεται χαμηλότερα προς στο κάτω άνοιγμα



Εικόνα 2- 5 Περίπτωση άνισων ανοιγμάτων

Σε όλες τις περιπτώσεις, κάτωθεν του ουδέτερου επιπέδου ο αέρας ρέει από την ψυχρή προς την θερμή πλευρά, ενώ άνωθεν του ουδέτερου επιπέδου από την θερμή προς την ψυχρή. Αξίζει να αναφερθεί ότι έχει υποτεθεί θερμοκρασία εσωτερικού χώρου υψηλότερη της εξωτερικής· τις πολύ ζεστές μέρες του θέρους η διεργασία μπορεί να αντιστραφεί.

Ο βαθμός επηρεασμού της θέσης του ουδέτερου σημείου από το μέγεθος των ανοιγμάτων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των στρατηγικών αερισμού. Για να επιτευχθεί η κατάλληλη διανομή της ροής για την απομάκρυνση των θερμικών φορτίων σε μια πολυώροφη κατασκευή, θα πρέπει η θέση του ουδέτερου επιπέδου να βρίσκεται υψηλότερα από τον τελευταίο όροφο. Ειδάλλως, θα αποτελέσει τμήμα της διαδρομής εξόδου του θερμού αέρα, δυσχεραίνοντας τις εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης. Έτσι τα ανοίγματα είνισται να αυξάνονται από το ισόγειο προς την οροφή, ωθώντας ταυτόχρονα και το ουδέτερο επίπεδο προς τα πάνω. Το μικρό μέγεθος των ανοιγμάτων στο ισόγειο ευνοεί την στρατηγική του νυχτερινού αερισμού αφού αυξάνεται η ασφάλεια του κτηρίου. Τέλος, ο μηχανισμός του stack effect εμφανίζεται σε κάθετη διάταξη ανοιγμάτων συνδεδεμένων χώρων και οι διαφορές πίεσης δημιουργούν αντίστοιχα μονοπάτια για τη ροή. [12, 26, 27]

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Στην πραγματικότητα άνεμος και stack effect δε δρουν ποτέ ανεξάρτητα. Ο τελικός ρυθμός φυσικού αερισμού που θα εμφανιστεί θα είναι συνδυασμός του ανέμου και των θερμοκρασιακών διαφορών. Έτσι, μπορεί με βάση τη χωροταξία να υπερέχει ένας εκ των δύο μηχανισμών ανάπτυξης των διαφορών πίεσης, αλλά δε γίνεται να αγνοηθεί η επιρροή του άλλου. Η σύμπραξη των δύο μηχανισμών στον ρυθμό αερισμού δε μπορεί να υπολογιστεί προσθέτοντας τις παραχθείσες ροές του κάθε ενός λόγω του ότι η ροή διαμέσου ενός ανοίγματος δεν είναι γραμμική. Αρχικά υπολογίζεται η συνισταμένη των δύο μηχανισμών πίεση και εν συνεχεία αυτή χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς της ροής. [12, 26, 27]

2.4.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

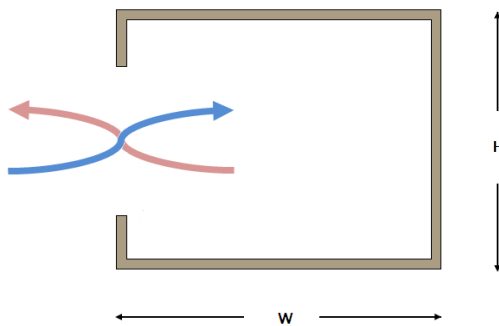
Στο τελικό στάδιο του σχεδιασμού όπου έχουν καθοριστεί τα βασικά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της κατασκευής μελετάται και η εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών φυσικού αερισμού. Η ιδιαιτερότητα κάθε στρατηγικής σχετίζεται με το ποια «δυναμική» υλοποιεί και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Η επιλογή συνακλόουθα θα γίνει με βάση τη διάταξη των ανοιγμάτων στο σχέδιο και τους μηχανισμούς που αναμένεται να εμφανιστούν. Σε αυτό το σημείο στη διαδικασία του σχεδιασμού προτείνονται και προσαρμογές στη χωροθέτηση για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των επιλεχθέντων στρατηγικών.

ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΣΤΗ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ - SINGLE SIDED VENTILATION

Αυτή η στρατηγική αερισμού βασίζεται στην ύπαρξη ανοιγμάτων μόνο στη μία πλευρά του αεριζόμενου χώρου. Είναι η απλούστερη και λιγότερο αποδοτική σε σχέση με το βάθος διείσδυσης του αέρα στο χώρο. Βασικές δύο υποκατηγορίες αυτής είναι οι:

Μοναδικό άνοιγμα

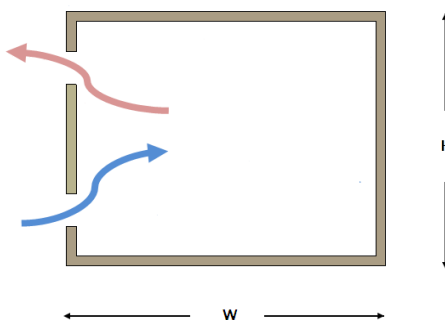
Σε αυτή τη διάταξη υπάρχει μοναδικό άνοιγμα αερισμού στο χώρο. Οι εμφανιζόμενες ροές οφείλονται τόσο στον άνεμο όσο και στην κατανομή της πίεσης καθ' ύψος του ανοίγματος, ιδιαίτερος αν είναι επαρκώς μεγάλο. Ο αέρας τείνει να ρέει εντός από το κάτω τμήμα και εκτός από το άνω. Συγκριτικά με άλλες στρατηγικές έχουμε μικρότερους ρυθμούς αερισμού και ο εισαγόμενος αέρας διεισδύει εντός του χώρου σε μικρότερο βάθος. Εμπειρικά, αυτό το βάθος είναι διπλάσιο περίπου της απόστασης οροφής-δαπέδου.



Εικόνα 2-6 Φυσικός αερισμός με μοναδικό άνοιγμα στη μία πλευρά

Διπλό άνοιγμα

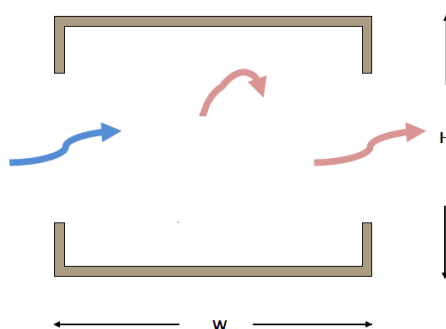
Ο μηχανισμός που κυριαρχεί σε αυτή την στρατηγική αερισμού είναι το stack effect. Δύο ανοίγματα στον ίδιο τοίχο και σε διαφορετικά ύψη του κελύφους ευνοούν τη δημιουργία ροών. Αύξηση της κάθετης απόστασης αλλά και της θερμοκρασιακής διαφοράς του εσωτερικού με το περιβάλλον συνεπάγονται με παράλληλη αύξηση της ποσότητας του εισερχόμενου αέρα. Εμπειρικά, το βάθος στο οποίο εισχωρεί ο αέρας είναι 2,5 φορές η απόσταση οροφής-δαπέδου.



Εικόνα 2- 7 Φυσικός αερισμός με δύο ανοίγματα στη μία πλευρά

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ - CROSS VENTILATION

Στην περίπτωση του διαμήκη αερισμού υπάρχουν ανοίγματα σε δύο απέναντι πλευρές του αεριζόμενου χώρου. Ο αέρας ρέει εντός του χώρου από τη μία πλευρά και εξέρχεται από την άλλη. Η κινητήριος δύναμη συνήθως είναι ο άνεμος, αλλά είναι δυνατό να εκμεταλλευθεί και η διαφορά πίεσης σε μια εφαιπτόμενη καμινάδα. Καθώς ο αέρας διατρέχει τη ζώνη παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της ποιότητάς του ο οποίος συγκεντρώνει θερμότητα και μολυντές. Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων για την οποία ο διαμήκης αερισμός είναι αποτελεσματικός, είναι πέντε φορές η απόσταση οροφής-δαπέδου, γεγονός που καθορίζει την τελική χωροταξική επιλογή. [26]



Εικόνα 2- 8 Διαμήκης φυσικός αερισμός

ΝΥΧΤΕΡΙΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο νυχτερινός αερισμός στοχεύει στην απομάκρυνση των θερμικών κερδών του κτηρίου, τις ώρες που δεν καταλαμβάνεται από χρήστες, εκμεταλλευόμενος την φυσική πτώση της θερμοκρασίας τη νύχτα. Ψύχοντας με αυτό τον τρόπο το κέλυφος παρέχεται στα δομικά υλικά πλήρης η ικανότητα θερμικής αποθήκευσης και συνακόλουθα, αν όχι η κατάργηση του μηχανικού αερισμού (ίσως για ψυχρά κλίματα), η μείωση των αιχμών των ψυκτικών φορτίων. Παρόλο που συχνά θεωρείται ως επιπρόσθετη μέθοδος φυσικού αερισμού, αποτελεί ανεξάρτητη στρατηγική που η αποτελεσματικότητά της αξιώνει προσεκτικό σχεδιασμό. Συγκριτικά με τις έτερες στρατηγικές πλεονεκτεί στα εξής:

- ☞ Οι θερμοκρασιακές διαφορές εσωτερικού – εξωτερικού είναι αισθητά μεγαλύτερες τη νύχτα, με συνέπεια την ενίσχυση τόσο του φαινομένου της καμινάδας, όσο και της ψυκτικής ικανότητας του εξωτερικού αέρα.
- ☞ Με την ψύξη του κελύφους τη νύχτα, παρατηρείται μείωση στη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία του χώρου, γεγονός που επηρεάζει θετικά την αίσθηση της θερμικής άνεσης κατά την επόμενη χρήση.
- ☞ Πιθανά προβλήματα θορύβου και ρευμάτων ανέμου εξαλείφονται, αφού εφαρμόζεται ώρες όπου το κτήριο δεν είναι κατειλημμένο.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει να δοθεί βάση στα ζητήματα ασφάλειας του κτηρίου από κακόβουλες ενέργειες, δεδομένου ότι θα παρέχεται πρόσβαση από τα ανοίγματα αερισμού. Χρήση ειδικών συσκευών ή προστατευτικών εξωτερικών διατάξεων βοηθούν στην πρόληψη, όπως επίσης και ξεχωριστά ανοίγματα αερισμού συγκεκριμένης γεωμετρίας.

Πρόβλεψη πρέπει να υπάρχει και για την υπερβολική ψύξη του κελύφους -με αποτέλεσμα αίσθημα δυσφορίας των χρηστών την επόμενη μέρα- μέσω συστήματος αυτομάτου ελέγχου των ανοιγμάτων με κριτήριο την εσωτερική θερμοκρασία.

Η απόδοση του νυχτερινού αερισμού εξαρτάται άμεσα από τις κλιματικές συνθήκες και είναι ανάλογη της διαφοράς της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος και κελύφους. Όταν παράλληλα εξασφαλίζεται καλή θερμική επαφή μεταξύ αέρα και δομικών στοιχείων, όσο μεγαλύτερη αυτή η διαφορά τόσο αποδοτικότερη η συναγωγή μεταξύ αέρα-θερμικής μάζας και συνακόλουθα υψηλός ρυθμός απομάκρυνσης της θερμότητας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου για κλίματα όπως της Ελλάδας, βέλτιστη λύση ίσως να αποτελεί ένα υβριδικό σύστημα, φυσικού νυχτερινού αερισμού με την αρωγή μηχανικού αερισμού μέσω ανεμιστήρων, τους μήνες που η εξωτερική θερμοκρασία δεν μειώνεται επαρκώς έτσι ώστε να ευνοεί την στρατηγική. [26, 28]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Τα επικουρικά λογισμικά για τις κτηριακές κατασκευές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα αρχιτεκτονικά εργαλεία που στοχεύουν κυρίως στο σχεδιασμό και την χωροταξική διαμόρφωση και σε αυτά που πραγματοποιούν προσομοιώσεις της θερμικής τους συμπεριφοράς. Αυτή η δεύτερη κατηγορία δίνει και τη δυνατότητα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των υπό μελέτη συστημάτων. Τα υπολογιστικά εργαλεία δύναται να προβλέψουν θερμικά κέρδη, ροές αερισμού, φωτισμού, κόστη λειτουργίας αλλά και να υλοποιήσουν διαγνωστική αυτοματισμών και διαστασιολογήσεις κλιματιστικών στοιχείων.

Η διαδικασία επιλογής λογισμικού προσομοίωσης είναι τόσο περίπλοκη όσο και σημαντική. Κάθε εργαλείο είναι ιδανικό για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών και κανένα δεν είναι άριστο αυτόνομα. Η ορθότερη αντιμετώπιση είναι η παράλληλη χρήση λογισμικών, όχι μόνο για την εξάλειψη αδυναμιών, αλλά και για την επικύρωση των αποτελεσμάτων. Στις περιπτώσεις όπου το κόστος αγοράς και ο βαθμός δυσκολίας των εφαρμογών είναι απαγορευτικά, τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται είναι τα εξής:

- ❖ Η εφαρμογή να περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία από τα επιθυμητά. Να παρέχει δηλαδή στο χρήστη τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει πληθώρα κατασκευαστικών σεναρίων.
- ❖ Να φέρει πιστοποιήσεις για την ακρίβεια των υπολογισμών. Ειδικά λογισμικά εμπεριέχουν αναλυτικές λύσεις εμπεριστατωμένης διαδικασίας που διευκολύνουν την σύγκριση των εργαλείων προσομοίωσης ή ελέγχουν την ορθότητα της επιλογής.
- ❖ Να είναι διαδεδομένη στον επαγγελματικό κλάδο με αποτέλεσμα διαθεσιμότητα μεγάλου όγκου πληροφοριών και προοπτικές βελτίωσης.
- ❖ Τα κόστη αγοράς, ενημερώσεων του λογισμικού και τεχνικών οδηγιών αλλά και οι απαιτήσεις σε υπολογιστική δύναμη να αιτιώνται από τις ανάγκες.
- ❖ Η εμπειρία του χειριστή και το κατά πόσο είναι εύχρηστη η εφαρμογή είναι παράγοντες που πρέπει να συνυπολογιστούν για την τελική επιλογή. [4, 29, 30, 31]

Έπεται γενική αναφορά στις δημοφιλέστερες εφαρμογές.

3.1.1 DOE-2

Το DOE-2 είναι ένα ευρέως διαδεδομένο, ελεύθερης διάθεσης πρόγραμμα με στόχο την ενεργειακή ανάλυση και την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης και του κόστους κτηριακών εγκαταστάσεων. Εισάγοντας δεδομένα όπως η διάταξη των χώρων, τα κατασκευαστικά στοιχεία, τα προγράμματα λειτουργίας κλιματισμού, φωτισμού, μηχανημάτων και ανθρώπων, η εφαρμογή παράγει ωριαίες προσομοιώσεις της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους. Η βασική έκδοση απαιτεί γνωστικό υπόβαθρο και εμπειρία αφού εκτελείται σε λειτουργικό DOS, ενώ υπάρχει διαθέσιμη έκδοση με βοηθητικούς οδηγούς και γραφικές απεικονίσεις (e-Quest). Ο πηγαίος κώδικας της εφαρμογής, ελεγμένος για την εγκυρότητα των υπολογισμών, έχει ενσωματωθεί σε υπολογιστικές σουίτες, όπως π.χ. στο COMBINE, περιβαλλοντικό, αναπτυξιακό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. [4, 30, 32]

3.1.2 BLAST

Ομοίως με προηγούμενα, το BLAST (Building Load Analysis and System Thermodynamics) είναι ένα σετ προγραμμάτων για την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης ψύξης-θέρμανσης και ανάλυσης του κόστους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της ενεργειακής επίδοσης κτηρίων με σχεδιαστικές επιλογές οποιουδήποτε τύπου και μεγέθους. Επιπρόσθετα με την εκτέλεση ωριαίων υπολογισμών μέγιστου φορτίου της ημέρας σχεδίασης (peak load design day), το BLAST εκτιμά και την ετήσια ενεργειακή απόδοση της κατασκευής, απαραίτητη για την τελική επιλογή των ηλιακών συστημάτων και τον καθορισμό των συμφερούσών στρατηγικών. [4, 30, 33]

3.1.3 ENERGY PLUS

Το Energy Plus αποτελεί ένα συγκερασμό των δύο προειρημένων λογισμικών. Βασίζεται στις πιο διαδεδομένες λειτουργίες και δυνατότητες των DOE-2 και BLAST, αλλά εμπεριέχει και καινοτόμες προδιαγραφές προσομοίωσης, όπως υπολογισμοί για χρονικά διαστήματα μικρότερα της ώρας, ροές φυσικού αερισμού, μελέτη φωτοβολταϊκών, πολυζωνικές ροές κ.α. Πρόκειται για μια εφαρμογή διαθέσιμη δωρεάν, χωρίς γραφικές διευκολύνσεις, που απαιτεί προγραμματιστικές γνώσεις. Τόσο τα αρχεία με τα δεδομένα όσο και τα αποτελέσματα είναι σε μορφή .txt. Οι κώδικες είναι ανεπτυγμένοι σε Fortran 90 και προσβάσιμοι για προσθήκες ή αλλαγές. Η δωρεάν διαθεσιμότητα σε συνδυασμό με τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών, οι μικρές απαιτήσεις σε υπολογιστική δύναμη και η πιστοποιημένη εγκυρότητα των αποτελεσμάτων είναι τα βασικότερα πλεονεκτήματα της εφαρμογής. [4, 30, 34]

3.1.4 ECOTECT

Το Ecotect είναι ένα αρχιτεκτονικό εργαλείο σχεδίασης και ανάλυσης κτηριακών εγκαταστάσεων. Εκτελεί υπολογισμούς συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών CO₂, με βάση το αναπτυσσόμενο μοντέλο, σε ωριαία, ημερήσια, μηνιαία ή ετήσια βάση, χρησιμοποιώντας μια διεθνή βάση δεδομένων για τις καιρικές συνθήκες. Προβλέπει θερμικά και ψυκτικά φορτία και πραγματοποιεί ανάλυση της επίδρασης λόγω χρήσης, εσωτερικών κερδών, εξοπλισμού και φιλτραρίσματος, αλλά και υπολογισμούς φωτισμού, σκιάσεων και αντανάκλασεων. Το βασικότερο πλεονέκτημα του Ecotect είναι η μοντελοποίηση με λεπτομέρειες και εξαιρετικά γραφικά και η δυνατότητα εκ νέου επέμβασης στο σχεδιασμό σε πρώιμο στάδιο για βελτιώσεις. [4, 30, 35]

3.1.5 TRNSYS

Μία από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές προσομοίωσης θερμικής ενέργειας, που υλοποιεί τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών, είναι το TRNSYS. Κάθε φυσικό κομμάτι του μελετώμενου συστήματος όπως υαλοπίνακας, αντλία, ηλιακός συλλέκτης, ζώνη, πολυζωνικό τμήμα κ.α. αντιστοιχούν σε μία υπορουτίνα της Fortran. Αυτές οι υπορουτίνες των στοιχείων της κατασκευής συνδέονται με το αρχείο που καθορίζει τις συνθήκες αλληλεπίδρασης αυτών, μέσω ενός εργαλείου που οπτικοποιεί την «συναρμολόγηση» του συστήματος και εν συνεχεία με το εκτελέσιμο αρχείο που πραγματοποιεί την προσομοίωση. Ο προσομοιωτής εκτελεί τους υπολογισμούς, επιλύοντας τις διαφορικές εξισώσεις που δημιουργήθηκαν κατά τη φάση της μοντελοποίησης. Η χαρακτηριστικότερη ιδιότητα του TRNSYS και ταυτόχρονα το σημαντικότερο προσόν της εφαρμογής, είναι ότι το σύστημα χωρίζεται στις απλούστερες επιμέρους συνιστώσες, των οποίων η θερμική συμπεριφορά μελετάται χωριστά πριν

αντιμετωπιστούν ως σύνολο, δίνοντας τη δυνατότητα εντοπισμού λαθών και διόρθωσης αυτών. Ακόμα, περιέχει βιβλιοθήκες με τα πιο δημοφιλή στοιχεία που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν από τον χειριστή, μειώνοντας τον χρόνο εκπόνησης της μελέτης. [4, 30, 36]

3.1.6 TAS

Το TAS είναι ένα πακέτο εφαρμογών που μέσω της μοντελοποίησης εκτελεί δυναμική θερμική προσομοίωση του κτηριακού κελύφους. Εκτιμά την ενεργειακή κατανάλωση, τις εκπομπές CO₂, τα κόστη λόγω χρήσης και το αν ικανοποιούνται οι συνθήκες θερμικής άνεσης. Υλοποιεί τη μέθοδο παράγοντα απόκρισης για τα κατασκευαστικά στοιχεία του κελύφους, για χρονικά διαστήματα ημερών, εβδομάδων και μηνών, απαιτώντας λιγότερο υπολογιστικό χρόνο από τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών με αποτελέσματα εφάμιλλης ακρίβειας. Ένα από τα πλεονεκτήματα της δυναμικής προσομοίωσης του TAS είναι η δυνατότητα αντιμετώπισης παθητικών ηλιακών συστημάτων, σε συνδυασμό με τους υπολογισμούς θερμικών κερδών και κλιματισμού. Ακόμα, συμπεριλαμβάνει υπολογισμούς σκίασης, αναγνωρίζει διαδρομές της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου των εσωτερικών χώρων αλλά και της διάχυτης ακτινοβολίας που δύναται να προσθέσουν έως 2K στις προβλεπόμενες εσωτερικές θερμοκρασίες. Με βάση τα ωριαία καιρικά δεδομένα που περιλαμβάνουν τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, η εφαρμογή επιλύει εξισώσεις ενεργειακής ισορροπίας και διατήρησης των ροών του αέρα για ωριαία χρονικά βήματα. Για τον φυσικό αερισμό συγκεκριμένα, στις ροές του αέρα συνυπολογίζονται οι παραχθείσες από τον άνεμο αλλά και από τη θερμοκρασιακή διαφορά ροές, ανάλογα με τις -αναφερθείσες σε προηγούμενο κεφάλαιο- στρατηγικές που διαφαίνονται κατά τη μοντελοποίηση. Μέσω της εισαγωγής προγραμμάτων λειτουργίας για τα ανοίγματα, δίνεται δυνατότητα εφαρμογής της στρατηγικής νυχτερινού αερισμού, σημαντική για τις βιοκλιματικές κατασκευές. [4, 30, 37]

3.1.6.1 Γιατί το TAS

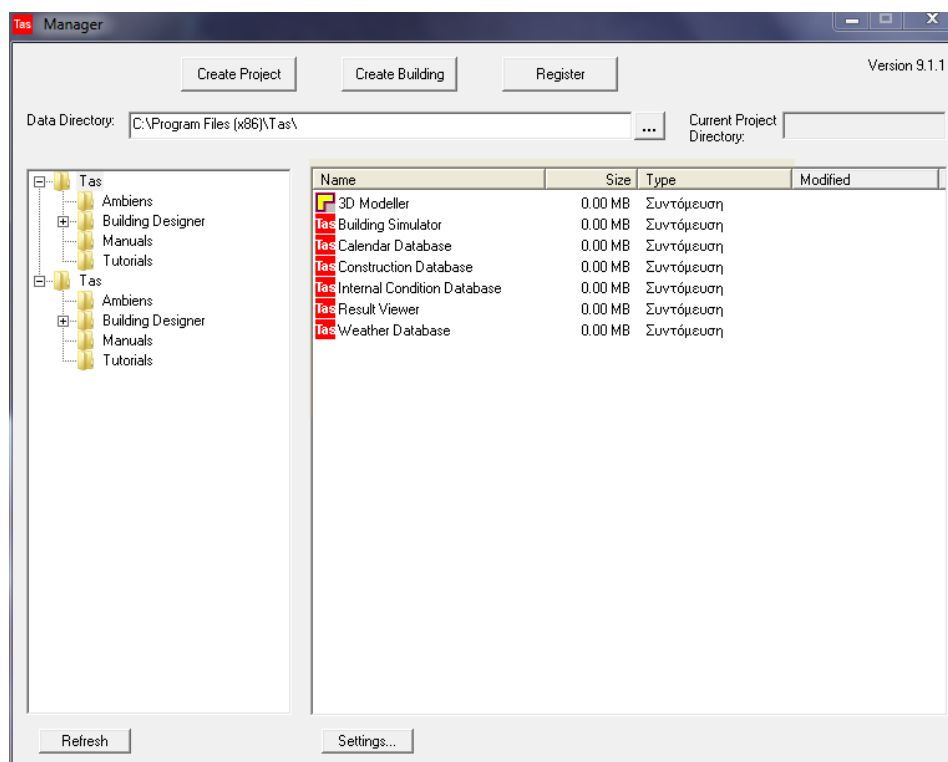
Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε το TAS για την παρούσα εργασία συνοψίζονται ακολούθως:

- ☞ Μοντελοποίηση-τριδιάστατη αναπαράσταση του κτηρίου με αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και όχι με σχεδιάγραμμα των στοιχείων. Δυνατότητα για άμεση επέμβαση στο μοντέλο και προσομοίωση εκ νέου με οπτικοποιημένες τις αλλαγές. Εύκολη εποπτεία της κατασκευής για λόγους λειτουργικότητας αλλά και αισθητικής.
- ☞ Επικυρωμένη μέθοδος επίλυσης των προκυπτουσών εξισώσεων και πιστοποιήσεις φορέων.
- ☞ Παρέχει επιλογές παθητικών ηλιακών συστημάτων και αξιολογεί στρατηγικές φυσικού αερισμού
- ☞ Διαδραστικό εύχρηστο περιβάλλον εργαλείων, πλήρες λογισμικό για τα πλαίσια της παρούσης εργασίας, ικανοποιητικό για αρχάριο χρήστη
- ☞ Δεν έχει εκπονηθεί ανάλογη εργασία με το συγκεκριμένο λογισμικό.

3.1.6.2 Εργαλεία του TAS

TAS Manager

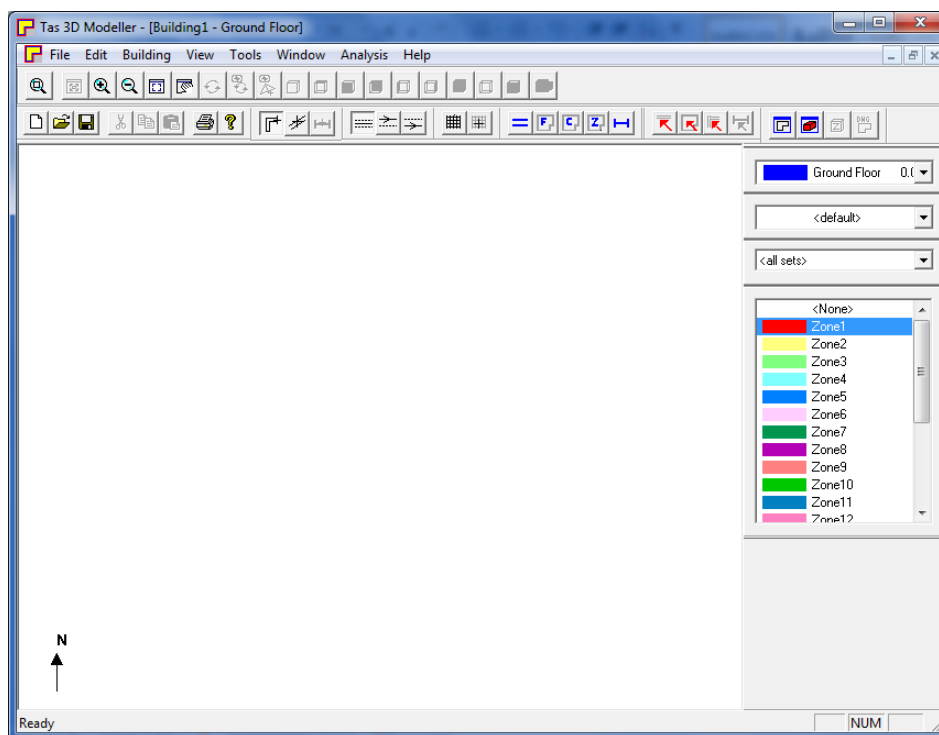
Η αρχική πλατφόρμα που αντιμετωπίζει ο χειριστής του TAS είναι ο TAS Manager (εικόνα 3-1). Πρόκειται για ένα βοηθητικό παράθυρο διαχείρισης αρχείων, όπου στο αριστερό τμήμα εμφανίζονται όλοι οι βασικοί φάκελοι του TAS και στη δεξιά οι εφαρμογές που συμπεριλαμβάνονται σε αυτούς. Ο Building Designer αποτελεί τον πυρήνα του TAS και περιλαμβάνει τις εφαρμογές 3D Modeller, Building Simulator και Result Viewer αλλά και τις βάσεις δεδομένων για τις εσωτερικές συνθήκες, τις κατασκευές, τα προγράμματα λειτουργίας και τις κλιματολογικές συνθήκες.



Εικόνα 3-1 Αρχική πλατφόρμα υποδοχής του λογισμικού - TAS Manager

3D Modeller

Ο 3D Modeller (εικόνα 3-2) είναι το εργαλείο τρισδιάστατης μοντελοποίησης της προς μελέτη κτηριακής κατασκευής. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει ολοκληρωμένα σχέδια CAD ή να δημιουργήσει από την αρχή το σκαρίφημα που θα παράξει την 3D απεικόνιση. Εισάγονται ιδιότητες των οικοδομικών στοιχείων (τοιχών, οροφών και δαπέδων), αλλά και των παραθύρων και θυρών, όπως πάχος (για γεωμετρικούς υπολογισμούς), αδιαφάνεια του στοιχείου (για αισθητικούς σκοπούς), εσωτερική σκίαση (για το αν θα ακολουθηθεί ή όχι η πορεία της σκιάς). Μετά την ολοκλήρωση του σκαριφήματος ορίζονται ζώνες στους διαμορφωμένους εσωτερικούς χώρους. Στο τελευταίο βήμα της μοντελοποίησης, δίνεται η επιλογή εξαγωγής των ζωνών στον προσομοιωτή αλλά και των υπολογισμών σκίασης για ορισμένο βήμα ημερών.



Εικόνα 3- 2 Εφαρμογή δημιουργίας τρισδιάστατης μοντελοποίησης - TAS 3D Modeller

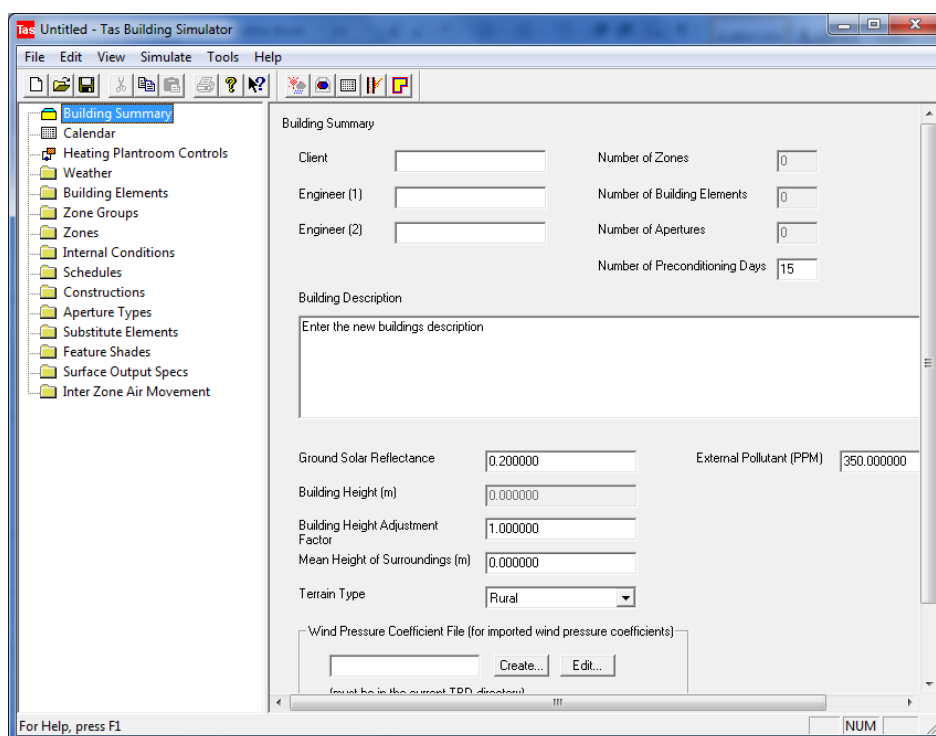
BUILDING SIMULATOR

Ακολούθως της εξαγωγής του 3D μοντέλου από τον Building Designer και προτού της προσομοίωσης, ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις παραμέτρους με βάση τις οποίες θα προσδιοριστεί η θερμική συμπεριφορά της κατασκευής. Οι βασικότερες αυτών είναι οι ακόλουθες: (εικόνα 3-3)

- ☞ Calendar: Πρόκειται για μια μορφή ημερολογίου-προγράμματος χρήσης της εγκατάστασης. Δίνεται δυνατότητα δημιουργίας τύπων ημερών (εργάσιμες ή μη, κτλ) και απόδοσης αυτών για όλες τις ημέρες ενός έτους. Στη συνέχεια ανάλογα με τους τύπους θα αποδοθούν επικρατούσες εσωτερικές συνθήκες.
- ☞ Weather: Ορίζεται το αρχείο που θα χρησιμοποιηθεί για τις καιρικές συνθήκες. Περιλαμβάνει ωριαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, συννεφιάς, θερμοκρασίας ξηρού βολβού, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου.
- ☞ Building Elements: Τα κατασκευαστικά στοιχεία όπως έχουν δημιουργηθεί στον 3D Modeller εξάγονται σε λίστα έτσι ώστε να οριστούν οι φυσικές τους ιδιότητες.
- ☞ Zones: Στις ορισμένες ζώνες των εσωτερικών χώρων αποδίδονται οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες.
- ☞ Internal Condition: Σε αυτό το τμήμα καθορίζονται οι -ανάλογα με το πρόγραμμα λειτουργίας- πιθανές περιπτώσεις των εσωτερικών συνθηκών. Εισάγονται τιμές για τα θερμικά κέρδη (λόγω φωτισμού, αερισμού, συσκευών και ανθρώπων) ανάλογα με την χρήση των καθορισμένων ζωνών των χώρων.
- ☞ Schedules: Τα ωριαία προγράμματα λειτουργίας είναι μιας παράμετρος που αποδίδεται στα αισθητά θερμικά κέρδη των εσωτερικών συνθηκών. Έτσι, με ωριαίο βήμα

προσδιορίζεται η προσθήκη των αισθητών κερδών στις εσωτερικές συνθήκες, μόνο για τη διάρκεια χρήσης των χώρων και των μηχανημάτων.

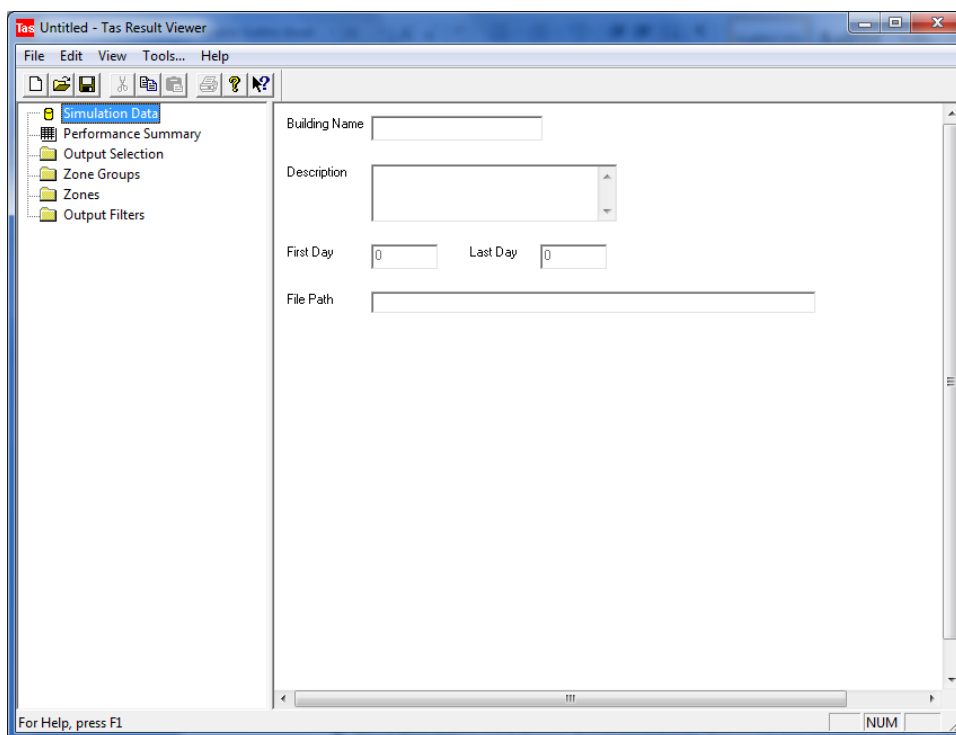
- ↪ **Constructions:** Δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής των φυσικών ιδιοτήτων των επιλεγμένων οικοδομικών υλικών ή ανάκλησης αυτών από τη βάση δεδομένων. Εν συνεχεία, τα υλικά συνδέονται μεταξύ τους σε κατασκευές τις οποίες τελικά θα αποδώσει ο χρήστης στα Building Elements προηγούμενου βήματος.
- ↪ **Aperture types:** Ορίζονται οι τύποι των ανοιγμάτων καθώς και το ωράριο λειτουργίας τους. Ανάλογα με τον τύπο της ημέρας (εργάσιμη, αργία κτλ) καθορίζεται το ποσοστό επί της επιφανείας που παραμένει ανοιχτό και το χρονικό διάστημα με βάση τα προηγούμενα schedules.
- ↪ **Feature shades:** Σε αυτό το στάδιο μοντελοποιούνται τα εξωτερικά σκίαστρα με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και τους αποδίδεται ωράριο λειτουργίας.



Εικόνα 3- 3 Μηχανή προσομοίωσης - TAS Building Simulator

RESULT VIEWER

Μετά το πέρας της προσομοίωσης τα αποτελέσματα αυτής παρουσιάζονται σε μια βοηθητική εφαρμογή, τον Result Viewer (εικόνα 3-4). Με την επιλογή Output Selection, ο χρήστης μπορεί να ομαδοποιήσει τις ζώνες ενδιαφέροντος και με την Output Filters να επιλέξει τις κατηγορίες των αποτελεσμάτων που θα εμφανιστούν για αυτές τις ζώνες.



Εικόνα 3- 4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων - TAS Result Viewer

MACROS

Τα Macros είναι φύλλα του Excel με υλοποιημένους αλγόριθμους σε Visual Basic που παρέχουν επιπρόσθετες δυνατότητες (διαχωρισμός των αποτελεσμάτων και επίβλεψη των στοιχείων σε γραφική ή πινακοποιημένη μορφή για επιπρόσθετους υπολογισμούς). Τα βασικότερα αυτών είναι:

- 🔗 Weather Utility: μετατρέπει διαδεδομένες μορφές αρχείων καιρού, σε συμβατή για το TAS
- 🔗 Plant Simulation and Sizing: διαστασιολόγηση θερμικών και ψυκτικών συστημάτων, μέσω της κατασκευής του μονογραμμικού διαγράμματος και απόδοσης των χαρακτηριστικών των συσκευών
- 🔗 Thermal Comfort Prediction: υπολογίζει την τιμή του PMV (predicted mean vote) και του PPD (percentage of persons dissatisfied), εισάγοντας τιμές για τον μεταβολικό ρυθμό των χρηστών του χώρου, για τα θερμικά κέρδη λόγω της εργασίας που εκτελούν, για τον ρουχισμό και όρια για την ταχύτητα της ροής του αέρα στο χώρο.

AMBIENS

Το Ambiens είναι μια διδιάστατη CFD εφαρμογή που βοηθά στην αξιολόγηση των σεναρίων ψύξης –θέρμανσης. Εμπεριέχεται στο λογισμικό TAS και στοχεύει στη μοντελοποίηση των ροών αέρα στην κατασκευή και την κατανομή της θερμοκρασίας για τμήματα πλέγματος της επιφάνειας ενός m². Τα κελιά χαρακτηρίζονται ως εισοδοί ή έξοδοι των ροών, για τις οποίες πρέπει να ισχύουν η διατήρηση μάζας και η ισορροπία ταχυτήτων• εν συνεχεία ορίζονται οι οριακές συνθήκες του μοντέλου.

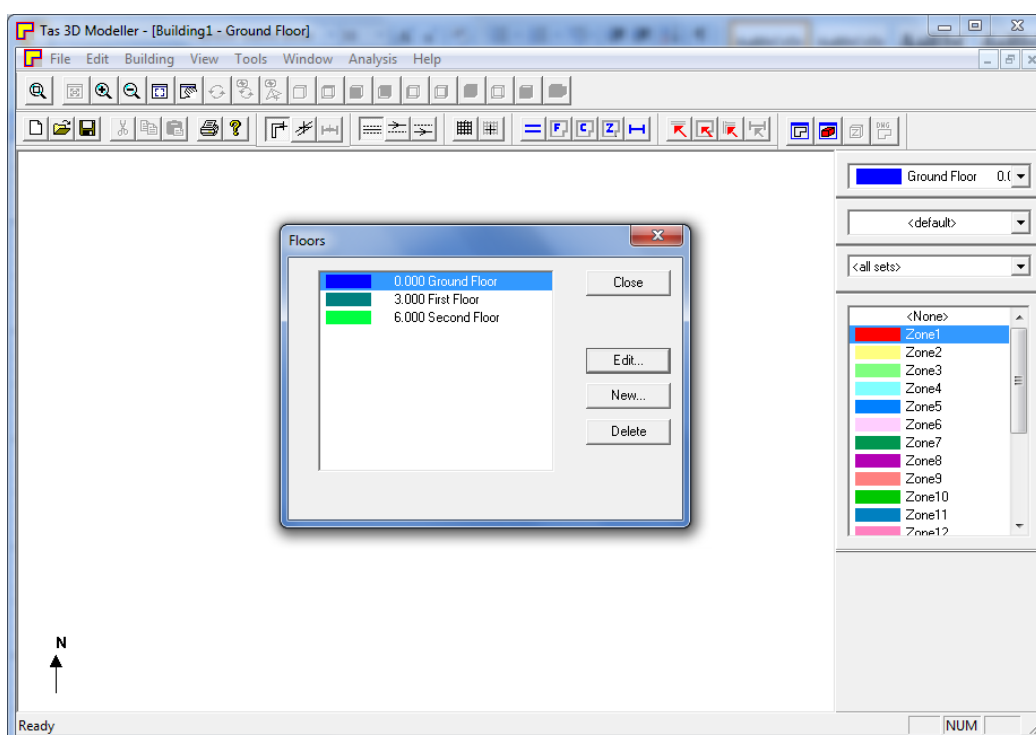
3.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η μελετώμενη εγκατάσταση στην παρούσα εργασία είναι ένα κτήριο γραφείων δικής μου επινοήσης. Από την αρχιτεκτονική σκοπιά, κατά τη χάραξη του σκαριφήματος δόθηκε σημασία στην λειτουργικότητα της κατασκευής και την αισθητική –στο δυνατό βαθμό-, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να αντιστοιχίζονται σε μια πιθανή, υπαρκτή περίπτωση προς διερεύνηση. Πρόκειται για διώροφη κατασκευή εμβαδού 170m², που στεγάζει μια κατασκευαστική εταιρεία με ανθρώπινο δυναμικό και τον αντίστοιχο εξοπλισμό. Επιλέχθηκε τοποθεσία για το κτήριο στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, με γεωγραφικά χαρακτηριστικά Αθηνών 37,9 πλάτος και 23,73 μήκος .

Οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες των Αθηνών παρέχονται μέσω του αρχείου καιρού (weather file), που περιέχει ωριαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, νέφωσης, θερμοκρασίας ξηρού βολβού, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου. Το αρχείο λήφθηκε από τη βάση δεδομένων στην ιστοσελίδα της ASHRAE που είναι ελεύθερης διάθεσης και μετατράπηκε από τη μορφή .erw σε μορφή .twd που μπορεί να διαβάσει το TAS, μέσω του macro που εμπεριέχεται στην εφαρμογή.

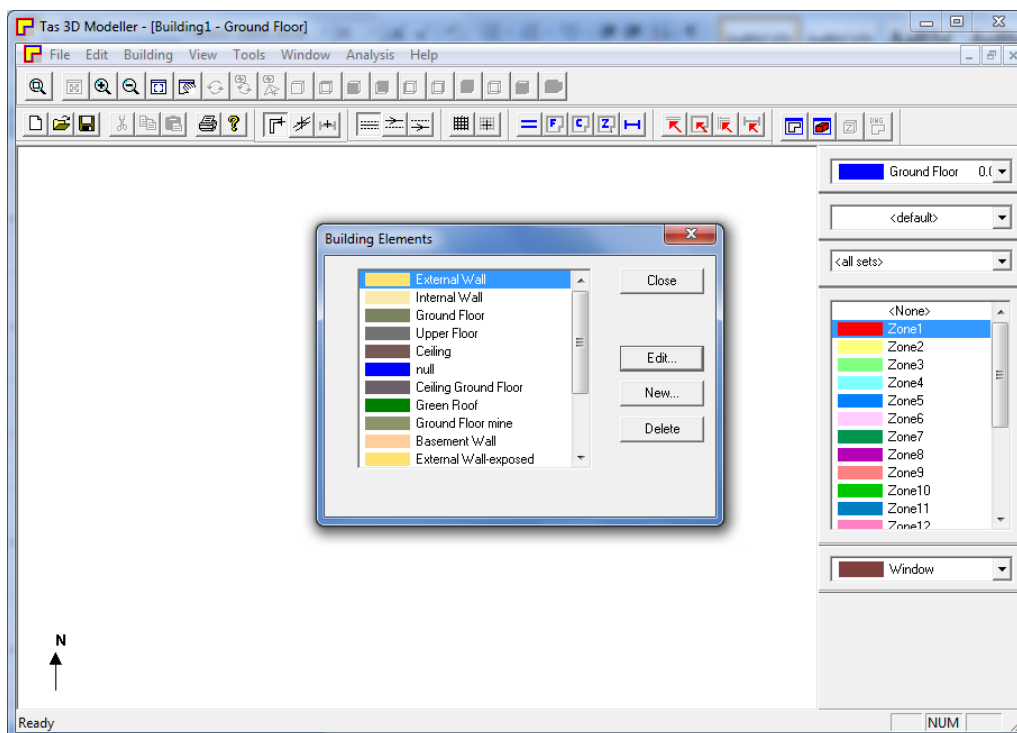
3.3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Στο πρώτο στάδιο της μοντελοποίησης μέσω της εφαρμογής 3D Modeller, με γνώμονα τις αρχιτεκτονικές κατόψεις της κτηριακής εγκατάστασης, ορίζονται τα δομικά στοιχεία και προσδιορίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Αρχικά δημιουργούνται οι όροφοι και τους αποδίδεται επίπεδο σε σχέση με την γη. Η συγκεκριμένη κατασκευή αποτελείται από δύο ορόφους, ισόγειο και πρώτο όροφο, με ύψη τοίχων 3m.

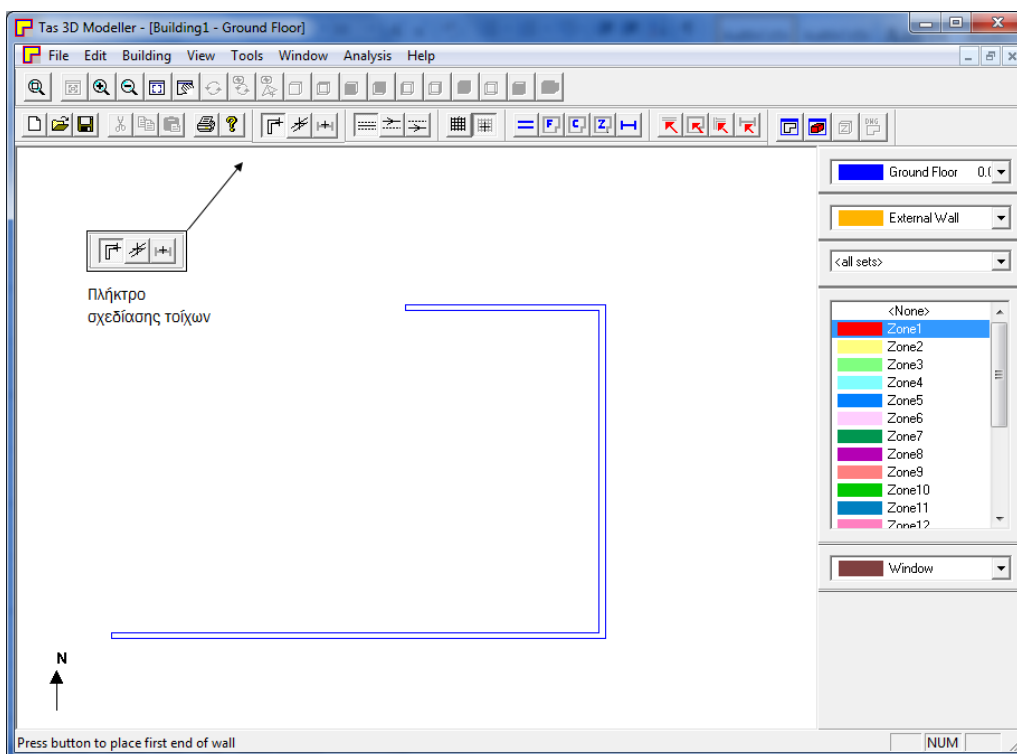


Εικόνα 3- 5 Ορισμός ορόφων στον TAS 3D Modeller

Εν συνεχεία, ορίζονται τα δομικά στοιχεία της κατασκευής εξωτερικοί, εσωτερικοί τοίχοι, δάπεδα και οροφές, και οι ιδιότητες αυτών όπως πάχος για γεωμετρικούς υπολογισμούς και αδιαφάνεια για υπολογισμούς σκίασης αλλά και χρώματα για την αισθητική της τρισδιάστατης απεικόνισης. (εικόνα 3-6) Για την σχεδίασή των τοίχων επιλέγεται το αντίστοιχο δομικό στοιχείο από τη λίστα στα δεξιά καθώς και το αντίστοιχο πλήκτρο . (εικόνα 3-7)

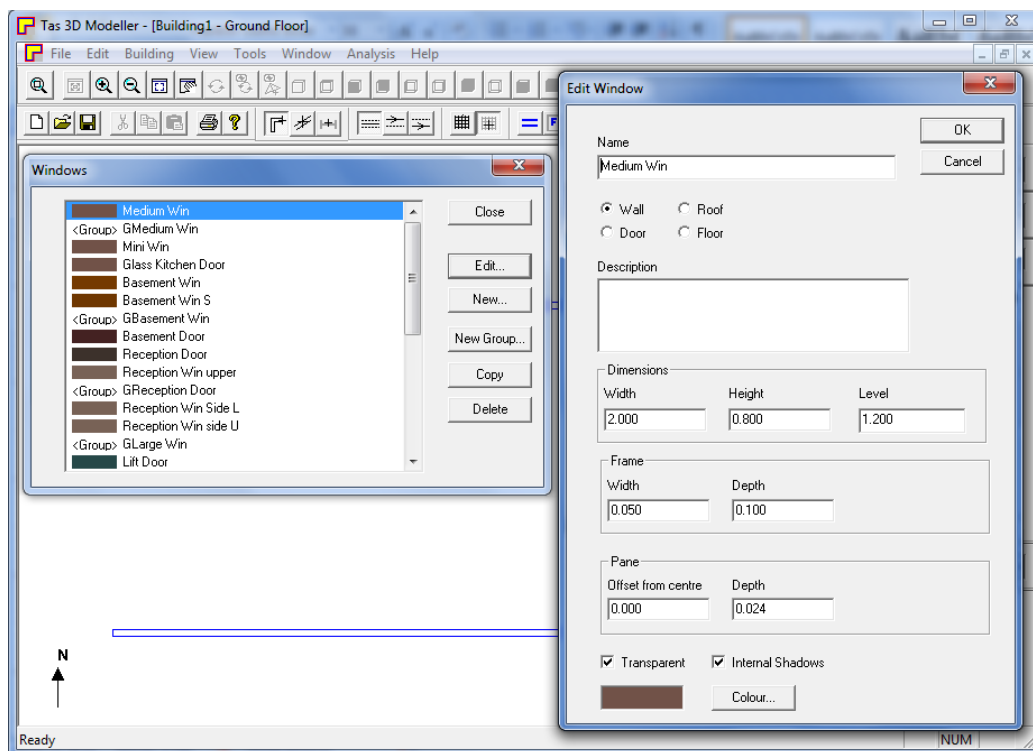


Εικόνα 3- 6 Ορισμός δομικών στοιχείων στον 3D Modeller

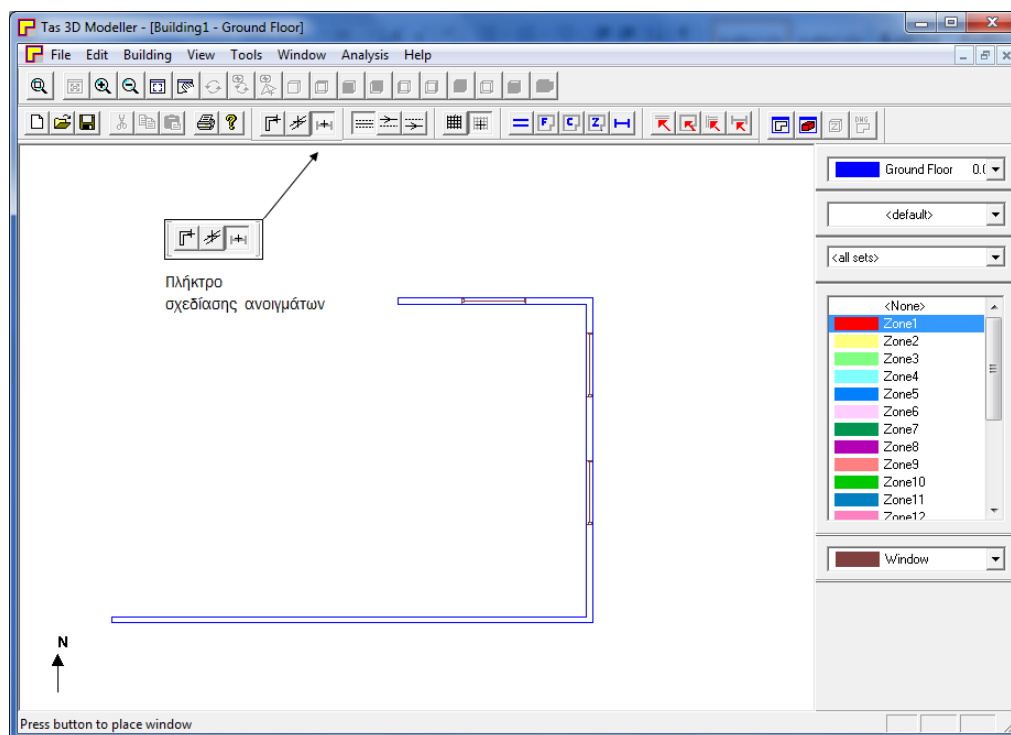


Εικόνα 3- 7 Σχεδίαση τοίχων στον 3D Modeller

Ανοίγματα όλων των τύπων, παράθυρα, θύρες, ανοίγματα αερισμού, αλλά και τα πλαίσιά τους μοντελοποιούνται εισάγοντας τα γεωμετρικά τους στοιχεία, ύψος, πλάτος, μήκος. Ορίζεται η αδιαφάνειά τους και το αν το λογισμικό θα υπολογίσει την πορεία του φωτός μέσω αυτών και την σκίαση στους εσωτερικούς χώρους (εικόνα 3-8). Ομοίως με προηγουμένως, οι τιμές καθορίζουν την γεωμετρία και τα χρώματα δεν επηρεάζουν τις θερμικές ιδιότητες των ανοιγμάτων και των πλαισίων.

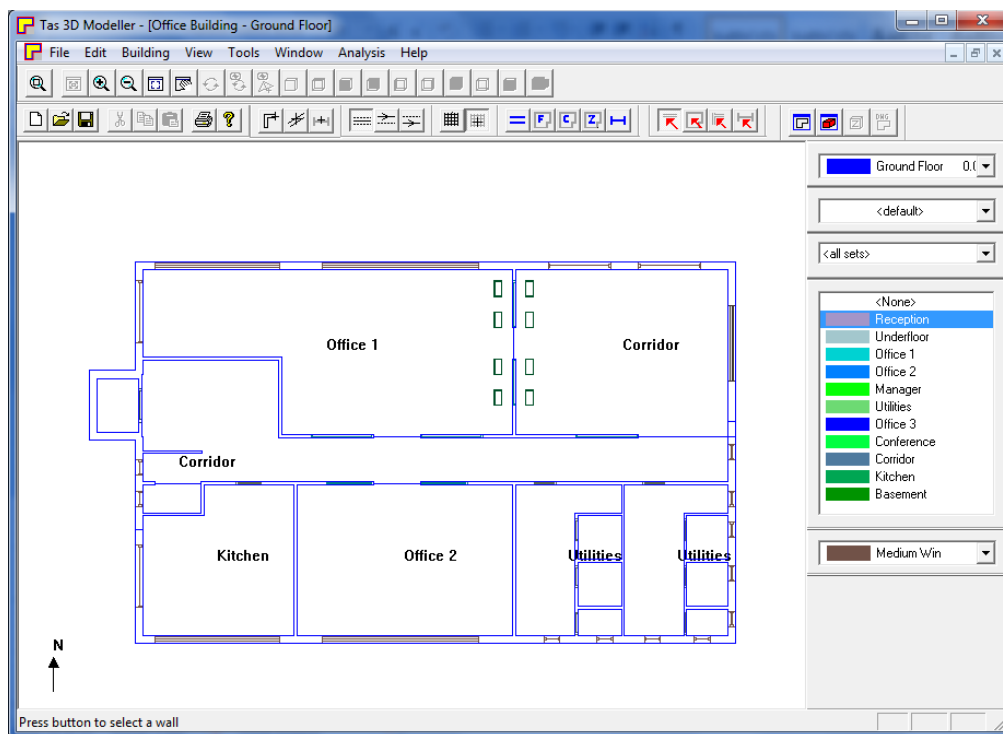


Εικόνα 3- 8 Δημιουργία ανοιγμάτων στον 3D Modeller

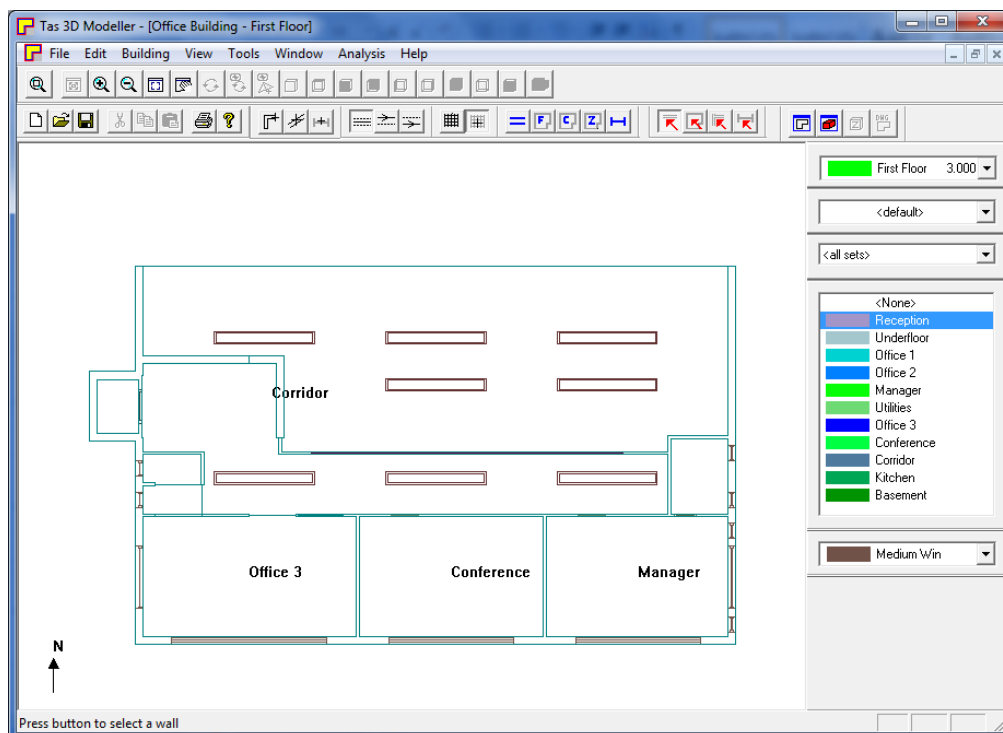


Εικόνα 3- 9 Σχεδίαση ανοιγμάτων στον 3D Modeller

Αντιστοίχως με τους τοίχους, για την σχεδίαση των ανοιγμάτων επιλέγεται το κατάλληλο από την λίστα στα δεξιά και με το πλήκτρο σχεδίασης ανοιγμάτων ενεργοποιημένο τοποθετούνται στους τοίχους, στις οροφές ή στα δάπεδα, ανάλογα με τον τύπο τους (εικόνα 3-9). Μετά το πέρας της σχεδίασης, αποδίδονται ζώνες στους εσωτερικούς χώρους και το τρισδιάστατο ολοκληρωμένο μοντέλο ελέγχεται για προειδοποιήσεις και σφάλματα (warnings and errors). Η πρώτη κατηγορία προβλημάτων οδηγεί σε λάθη στους υπολογισμούς και για την δεύτερη απαιτείται επίλυση πριν το επόμενο βήμα.

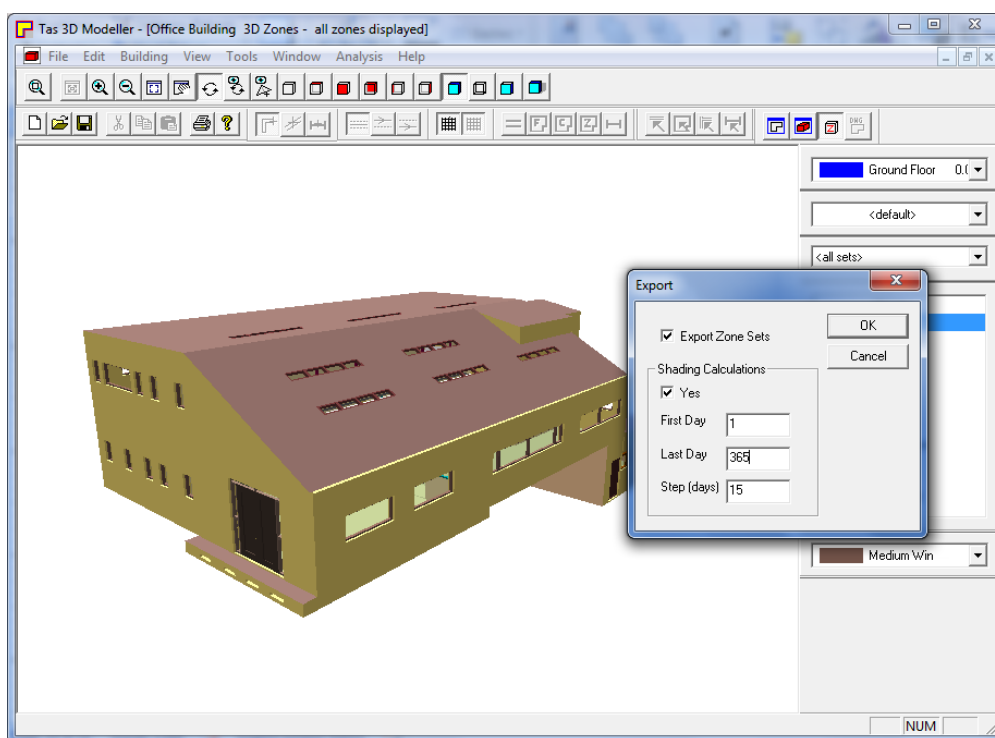


Εικόνα 3- 10 Κάτοψη ισογείου στον 3D Modeller



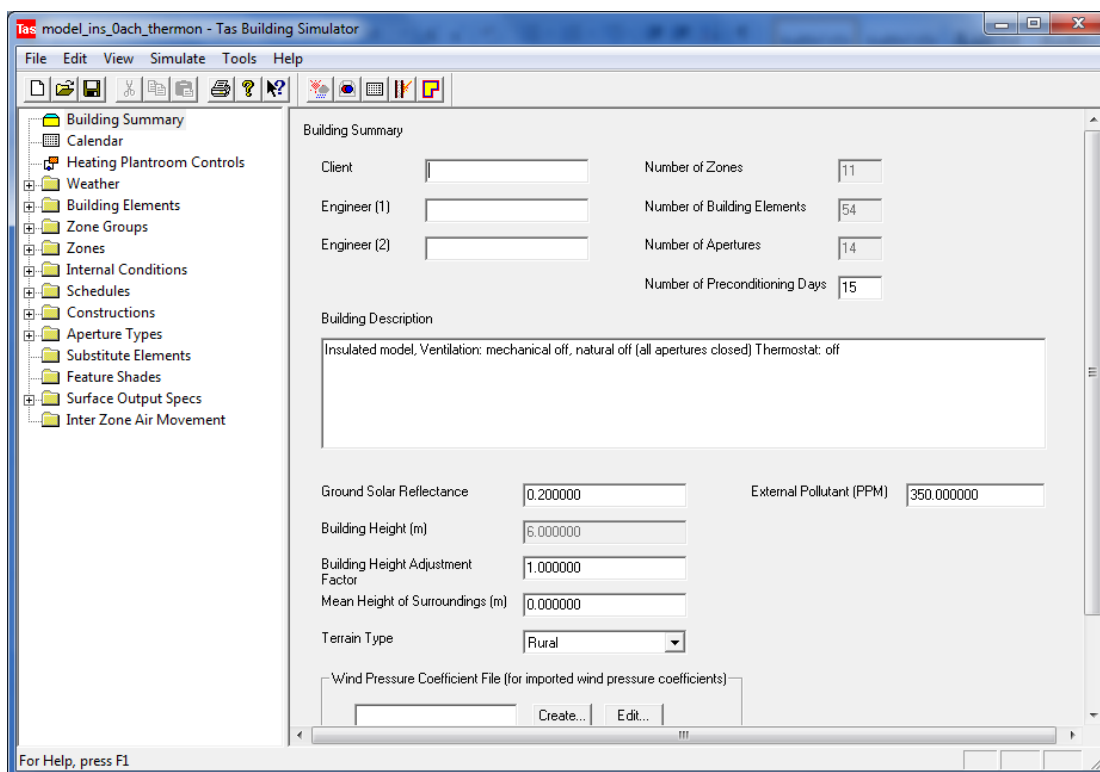
Εικόνα 3- 11 Κάτοψη 1^{ου} ορόφου στον 3D Modeller

Τέλος, το μοντέλο εξάγεται στην επόμενη εφαρμογή του λογισμικού για την προσομοίωση, αφού πρώτα προσδιοριστούν το εύρος των ημερών για τους υπολογισμούς σκίασης καθώς και το βήμα τους (εικόνα 3-12).



Εικόνα 3- 12 Εξαγωγή μοντέλου και ορισμός ημερών για τους υπολογισμούς σκίασης

Στην εφαρμογή Building Simulator καθορίζονται οι ιδιότητες των δομικών στοιχείων και οι επικρατούσες συνθήκες των ζωνών που έχουν εξαχθεί από το στάδιο της μοντελοποίησης (εικόνα 3-13).



Εικόνα 3- 13 Αρχική Οθόνη μετά το πέρας της εξαγωγής - Building Simulator

3.4 1^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Επικύρωση αρχείου καιρού

Στα δομικά στοιχεία της κατασκευής ορίστηκαν τα ακόλουθα δομικά υλικά αφού ομαδοποιήθηκαν σε κατασκευές. Ο ακόλουθος πίνακας περιέχει τις τιμές της θερμοπερατότητας και περιγραφή.

Πίνακας 3- 1 Δομικά Υλικά και συντελεστές θερμοπερατότητας 1^{ου} μοντέλου [38]

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ | U-Value [W/m ² C] |
|---|---------------------------------|
| Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 0,579 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | |
| Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 0,664 |
| Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | |
| Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (ισόγειου) | 3,276 |
| Γυψοσανίδα 9,5mm | |
| Δάπεδο ισόγειου | 0,460 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | |
| Διπλός υαλοπίνακας με αργό | 3,027 |
| Υαλοπίνακας 4mm Αργό 9mm Υαλοπίνακας 4mm | |
| Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 3,870 |
| Φύλλο αλουμινίου 15mm PVC 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | |
| Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 |
| Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 |

Στόχος αυτού του κύκλου των προσομοιώσεων είναι η επικύρωση της εγκυρότητας του αρχείου καιρού. Για αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά αρχεία, της ASHRAE, το περιεχόμενο στο λογισμικό TRNSYS και ένα αυτοσχέδιο αρχείο καιρού με εξισώσεις και δεδομένα από το βιβλίο Ηλιακά - Θερμικά Συστήματα [39]. Απαιτούμενες για την διεξαγωγή προσομοίωσης είναι οι ωριαίες τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού βολβού, της υγρασίας, της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου, της συννεφιάς, αλλά και της ηλιακής ακτινοβολίας, ολικής και διάχυτης οριζοντίου επιπέδου, καθόλη τη διάρκεια ενός έτους. Η άμεση ακτινοβολία υπολογίζεται από το λογισμικό από την σχέση:

$$I_{hor}^{dir} = I_{hor}^{tot} - I_{hor}^{dif} \quad (3.1) [8]$$

όπου:

I_{hor}^{dir} η άμεση ακτινοβολία [W/m²]

I_{hor}^{tot} η ολική ακτινοβολία [W/m²]

I_{hor}^{dif} η διάχυτη ακτινοβολία [W/m²]

Για τον υπολογισμό της πραγματικής τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου απαιτείται γνώση της θέσης του ηλίου. Αυτή προκύπτει στη μορφή μοναδιαίου διανύσματος, μέσω αλγόριθμου πρόβλεψης παγκόσμιας βάσης δεδομένων. [8]

Για το τρίτο- αυτοσχέδιο αρχείο χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του αρχείου της ASHRAE για την θερμοκρασία, την υγρασία, τη νέφωση και τον άνεμο, ενώ η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίστηκε από τις σχέσεις του βιβλίου «Ηλιακά Θερμικά Συστήματα» [39]:

Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου:

$$I_{hor}^{tot} = a_t + b_t \sin\left(\frac{360}{365} D - f_t\right) \quad [W/m^2] \quad (3.2) [39]$$

όπου:

$$a_t = 2,556658 - 1,26097t + 0,202873t^2 - 0,012257t^3 + 0,000247t^4 \quad (3.3) [39]$$

$$b_t = -0,349143 + 0,101153t - 0,004045t^2 \quad (3.4)$$

[39]

$$f_t = 48,039515 + 7,360165t - 0,401357t^2 + 0,005558t^3 \quad (3.5) [39]$$

$$D = 1 \div 365 \text{ οι ημέρες του έτους} \quad (3.6) [39]$$

$$t = 7 \div 18 \text{ οι ώρες κάθε ημέρας}$$

Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου:

$$I_{hor}^{dif} = m_t + a_t \sin\left(\frac{360}{365} D - p_t\right) [W/m^2] \quad (3.7) [39]$$

όπου:

$$D = 1 \div 365 \text{ οι ημέρες του έτους}$$

Οι συντελεστές m_t , a_t , p_t για κάθε ώρα της ημέρας δίνονται στον πίνακα:

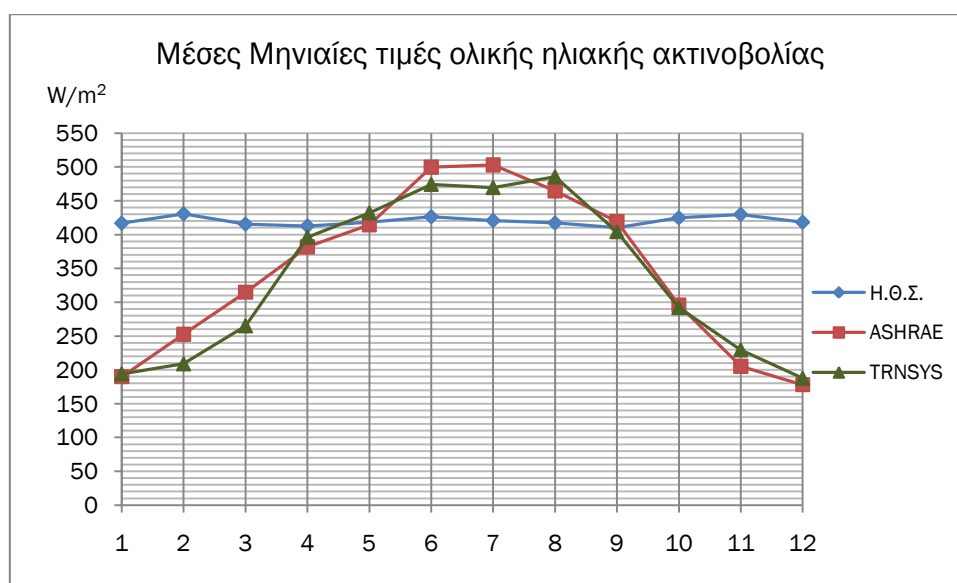
Πίνακας 3- 2 Συντελεστές m_t , a_t , p_t της εξίσωσης (3.7) [39]

| Ωρα t | m_t [W/m ²] | a_t [W/m ²] | p_t [°] |
|-------|------------------------------|------------------------------|--------------|
| 7:00 | 48 | 111 | 81,23 |
| 8:00 | 134 | 122 | 82,45 |
| 9:00 | 208 | 133 | 83,94 |

| | | | |
|-------|-----|-----|--------|
| 10:00 | 261 | 129 | 85,6 |
| 11:00 | 283 | 117 | 86,05 |
| 12:00 | 271 | 99 | 82,71 |
| 13:00 | 243 | 81 | 81,95 |
| 14:00 | 210 | 83 | 87,23 |
| 15:00 | 176 | 87 | 89,53 |
| 16:00 | 141 | -85 | -88,19 |
| 17:00 | 104 | -79 | -88,97 |
| 18:00 | 51 | 91 | 86,79 |

Πίνακας 3- 3 Μέσες μηνιαίες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ολικής ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

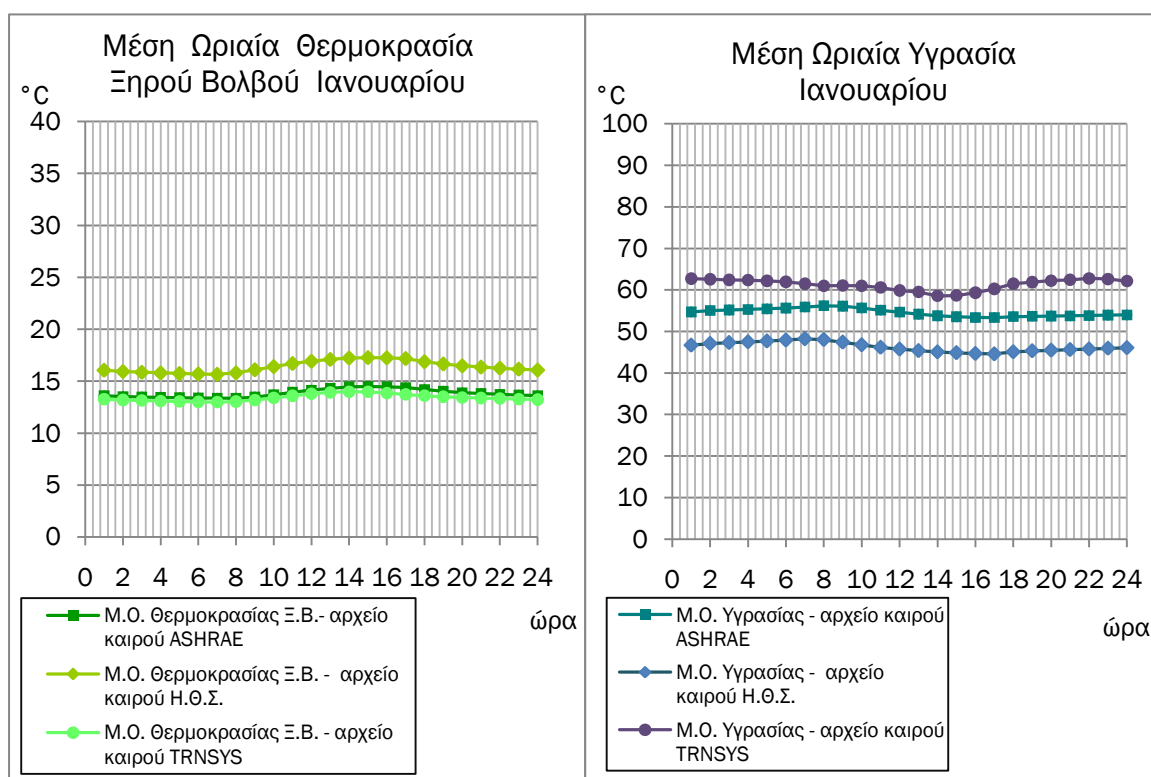
| Μήνας | Μέση τιμή [W/m ²] | | |
|-------------|-------------------------------|--------|--------|
| | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
| Ιανουάριος | 189,85 | 193,87 | 416,88 |
| Φεβρουάριος | 252,62 | 208,84 | 430,73 |
| Μάρτιος | 314,84 | 265,07 | 415,5 |
| Απρίλιος | 381,89 | 396,15 | 412,76 |
| Μάιος | 414,34 | 432,15 | 418,19 |
| Ιούνιος | 499,69 | 474,14 | 426,43 |
| Ιούλιος | 503,03 | 469,43 | 420,78 |
| Αύγουστος | 464,74 | 485,39 | 417,13 |
| Σεπτέμβριος | 419,14 | 404,2 | 410,13 |
| Οκτώβριος | 295,91 | 292,08 | 424,86 |
| Νοέμβριος | 205,25 | 229,51 | 429,83 |
| Δεκέμβριος | 178,03 | 187,62 | 418,31 |



Γράφημα 3- 1 Μέσες Μηνιαίες τιμές ολικής ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για τα τρία διαφορετικά αρχεία καιρού

Η συμπεριφορά των μηνιαίων μέσων όρων της ηλιακής ακτινοβολίας συμπίπτει για τα αρχεία της ASHRAE και του TRNSYS. Έχει παραβολική μορφή, εμφανίζοντας μέγιστο τους θερινούς μήνες. Στο αυτοσχέδιο αρχείο παρατηρείται γραμμικότητα με κλίση μηδενική.

Σε αυτές τις προσομοιώσεις το κτήριο θεωρήθηκε κλειστό. Δεν αποδόθηκαν θερμικά κέρδη από συσκευές και ανθρώπους, θερμοκρασιακά όρια και όρια υγρασίας (θερμοστάτης) στις θερμικές ζώνες. Η ανανέωση νωπού αέρα τέθηκε στις μηδέν ach (αλλαγές του πλήρους όγκου αέρα την ώρα) και η διείσδυση λόγω ελλιπούς στεγανότητας στις 0,90ach [9, 12]. Όλα τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κλειστά. Η ζώνη που επιλέχθηκε για μελέτη και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εσωτερικών θερμοκρασιών και υγρασιών είναι η δυσμενέστερη και με τον μεγαλύτερο όγκο.

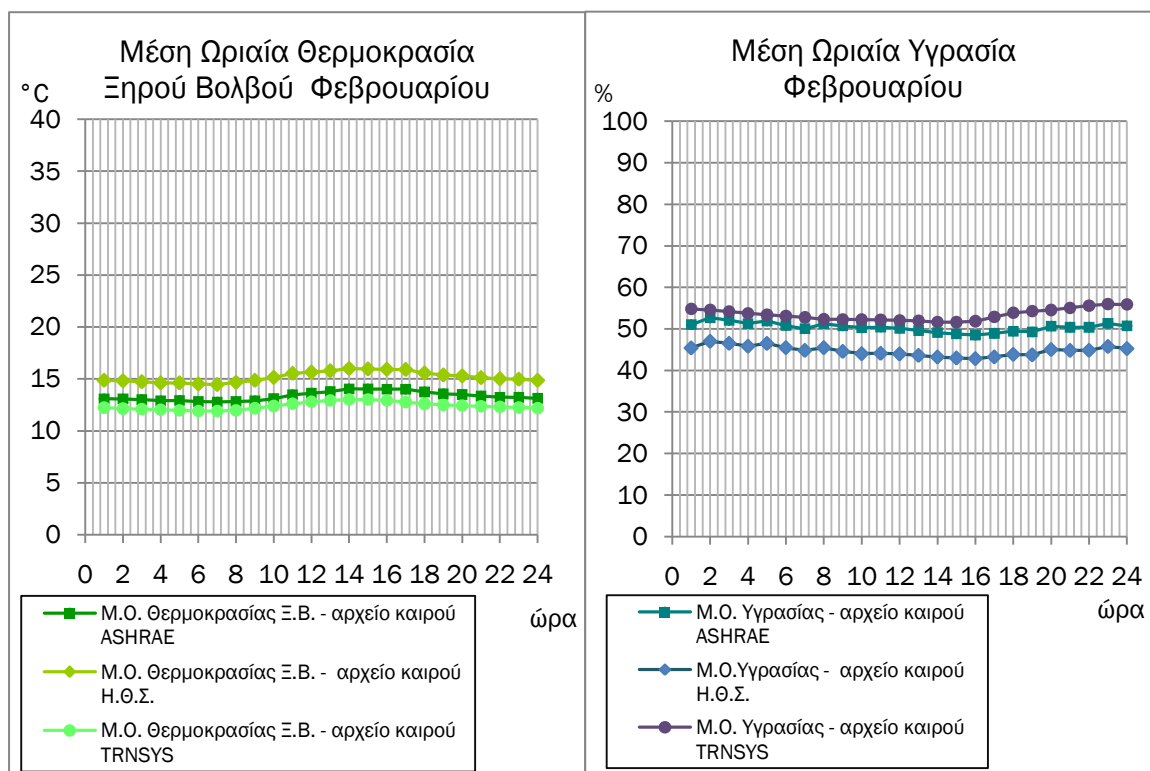


Γράφημα 3- 2 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιανουαρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Η ημερήσια διακύμανση των μέσων όρων της θερμοκρασίας που διακρίνεται στο γράφημα 3-2 και τον πίνακα 3-4, απέχει από την αναμενόμενη θερμοκρασιακή διαφορά για τις ώρες με και χωρίς ηλιοφάνεια. Η εξομάλυνση προκύπτει από την εξαγωγή των ωριαίων μέσων όρων για όλη την διάρκεια του μήνα που στοχεύει στην παρατήρηση της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο αρχείο καιρού και συνακόλουθα στους υπολογισμούς του κελύφους. Παρατηρείται ταύτιση της συμπεριφοράς και των τριών αρχείων, με τα αρχεία της ASHRAE και του TRNSYS να εμφανίζουν μικρότερες αποκλίσεις. Μικρή ημερήσια διακύμανση παρουσιάζει και η υγρασία, αλλά παρά την ταύτιση της συμπεριφοράς τρία διαφορετικά πεδία τιμών.

Πίνακας 3- 4 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιανουαρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

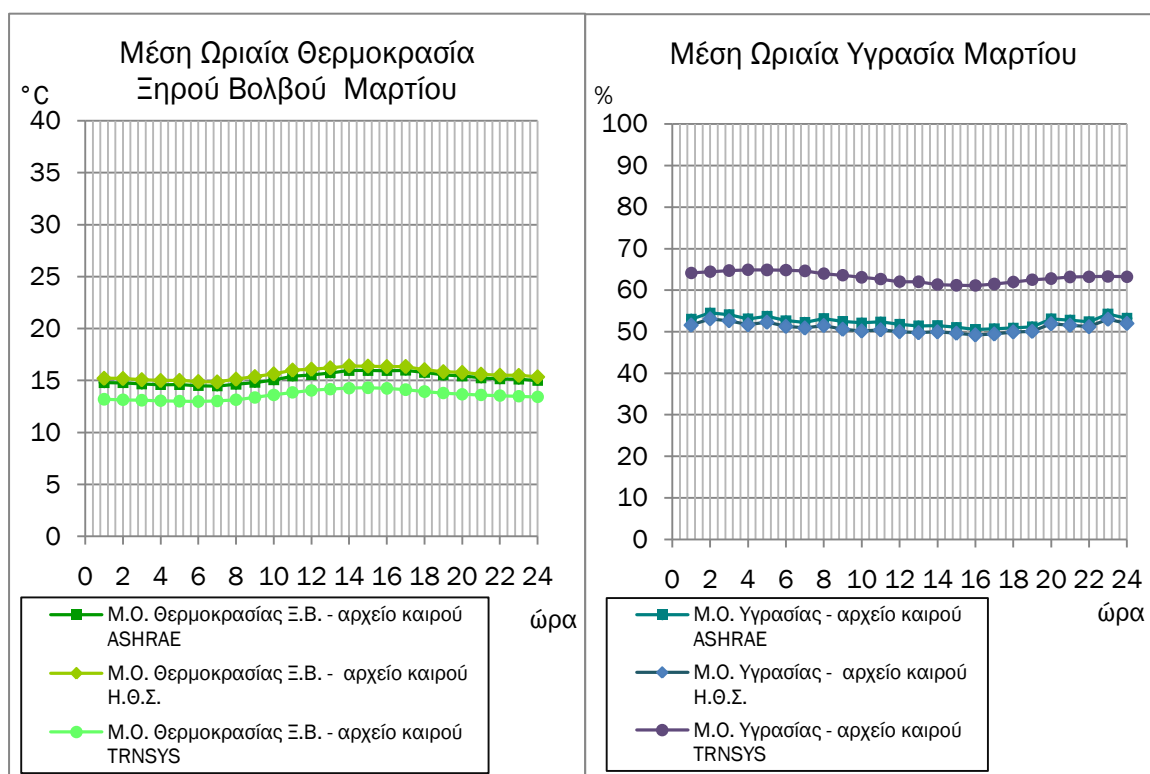
| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 13,6 | 13,3 | 16,1 | 54,7 | 62,7 | 46,7 |
| 2 | 13,5 | 13,2 | 15,9 | 55,0 | 62,6 | 47,1 |
| 3 | 13,5 | 13,1 | 15,9 | 55,2 | 62,4 | 47,3 |
| 4 | 13,4 | 13,1 | 15,8 | 55,3 | 62,4 | 47,5 |
| 5 | 13,4 | 13,1 | 15,7 | 55,4 | 62,2 | 47,7 |
| 6 | 13,4 | 13,0 | 15,7 | 55,6 | 62,0 | 47,9 |
| 7 | 13,4 | 13,0 | 15,7 | 55,9 | 61,5 | 48,2 |
| 8 | 13,4 | 13,0 | 15,8 | 56,2 | 61,0 | 48,0 |
| 9 | 13,5 | 13,2 | 16,1 | 56,1 | 61,1 | 47,4 |
| 10 | 13,7 | 13,4 | 16,4 | 55,7 | 61,0 | 46,8 |
| 11 | 13,9 | 13,6 | 16,7 | 55,1 | 60,6 | 46,2 |
| 12 | 14,1 | 13,8 | 16,9 | 54,6 | 59,9 | 45,7 |
| 13 | 14,3 | 13,9 | 17,1 | 54,2 | 59,5 | 45,4 |
| 14 | 14,5 | 14,0 | 17,2 | 53,8 | 58,6 | 45,1 |
| 15 | 14,5 | 14,0 | 17,3 | 53,6 | 58,7 | 44,9 |
| 16 | 14,5 | 13,9 | 17,3 | 53,4 | 59,3 | 44,7 |
| 17 | 14,4 | 13,7 | 17,2 | 53,3 | 60,2 | 44,6 |
| 18 | 14,2 | 13,6 | 16,9 | 53,6 | 61,5 | 45,1 |
| 19 | 14,0 | 13,5 | 16,7 | 53,7 | 61,9 | 45,3 |
| 20 | 13,9 | 13,4 | 16,5 | 53,7 | 62,2 | 45,5 |
| 21 | 13,8 | 13,4 | 16,4 | 53,8 | 62,5 | 45,6 |
| 22 | 13,7 | 13,3 | 16,3 | 53,8 | 62,8 | 45,8 |
| 23 | 13,7 | 13,3 | 16,2 | 53,9 | 62,6 | 45,9 |
| 24 | 13,6 | 13,2 | 16,1 | 54,0 | 62,1 | 46,1 |



Γράφημα 3- 3 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Φεβρουαρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 5 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Φεβρουαρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 13,1 | 12,2 | 14,9 | 51,0 | 54,8 | 45,4 |
| 2 | 13,1 | 12,2 | 14,8 | 52,7 | 54,6 | 47,0 |
| 3 | 13,0 | 12,1 | 14,7 | 52,1 | 54,2 | 46,5 |
| 4 | 12,9 | 12,0 | 14,6 | 51,3 | 53,8 | 45,8 |
| 5 | 12,9 | 12,0 | 14,6 | 51,9 | 53,4 | 46,5 |
| 6 | 12,8 | 11,9 | 14,5 | 50,8 | 53,1 | 45,5 |
| 7 | 12,8 | 11,9 | 14,5 | 50,0 | 52,8 | 44,8 |
| 8 | 12,8 | 12,0 | 14,7 | 51,3 | 52,3 | 45,5 |
| 9 | 12,9 | 12,2 | 14,9 | 50,7 | 52,3 | 44,6 |
| 10 | 13,1 | 12,4 | 15,1 | 50,3 | 52,2 | 44,0 |
| 11 | 13,5 | 12,6 | 15,5 | 50,4 | 52,2 | 44,1 |
| 12 | 13,6 | 12,8 | 15,7 | 50,2 | 52,0 | 44,0 |
| 13 | 13,8 | 12,9 | 15,8 | 49,6 | 52,0 | 43,6 |
| 14 | 14,0 | 13,0 | 16,0 | 49,1 | 51,7 | 43,3 |
| 15 | 14,0 | 13,0 | 16,0 | 48,8 | 51,6 | 43,0 |
| 16 | 14,0 | 12,9 | 15,9 | 48,5 | 51,9 | 42,8 |
| 17 | 14,0 | 12,8 | 15,9 | 48,9 | 52,9 | 43,3 |
| 18 | 13,8 | 12,6 | 15,6 | 49,4 | 53,9 | 43,9 |
| 19 | 13,6 | 12,5 | 15,4 | 49,3 | 54,3 | 43,8 |
| 20 | 13,5 | 12,4 | 15,3 | 50,7 | 54,6 | 45,0 |
| 21 | 13,3 | 12,4 | 15,1 | 50,4 | 55,1 | 44,8 |
| 22 | 13,3 | 12,3 | 15,0 | 50,4 | 55,6 | 44,9 |
| 23 | 13,2 | 12,3 | 15,0 | 51,3 | 56,0 | 45,8 |
| 24 | 13,1 | 12,2 | 14,9 | 50,7 | 55,9 | 45,3 |

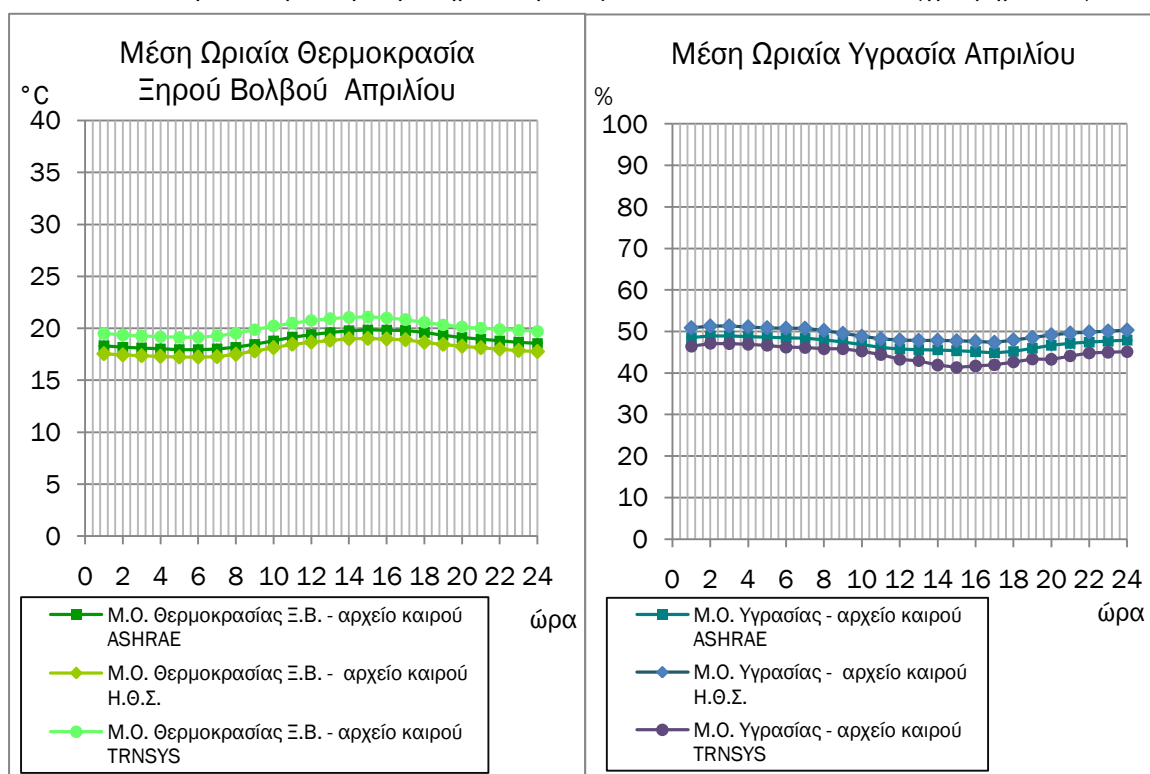


Γράφημα 3- 4 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαρτίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 6 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαρτίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 14,8 | 13,2 | 15,2 | 53,0 | 64,2 | 51,6 |
| 2 | 14,8 | 13,1 | 15,2 | 54,5 | 64,4 | 53,1 |
| 3 | 14,7 | 13,1 | 15,1 | 54,1 | 64,7 | 52,6 |
| 4 | 14,6 | 13,1 | 15,0 | 53,1 | 64,9 | 51,7 |
| 5 | 14,6 | 13,0 | 15,0 | 53,7 | 64,9 | 52,3 |
| 6 | 14,5 | 13,0 | 14,9 | 52,7 | 64,8 | 51,3 |
| 7 | 14,5 | 13,0 | 14,9 | 52,2 | 64,7 | 50,9 |
| 8 | 14,6 | 13,1 | 15,1 | 53,2 | 64,0 | 51,5 |
| 9 | 14,8 | 13,4 | 15,4 | 52,5 | 63,6 | 50,6 |
| 10 | 15,1 | 13,6 | 15,6 | 52,1 | 63,1 | 50,2 |
| 11 | 15,4 | 13,9 | 16,0 | 52,4 | 62,7 | 50,4 |
| 12 | 15,5 | 14,0 | 16,1 | 51,8 | 62,1 | 50,0 |
| 13 | 15,7 | 14,2 | 16,2 | 51,4 | 62,0 | 49,8 |
| 14 | 16,0 | 14,3 | 16,4 | 51,5 | 61,4 | 50,0 |
| 15 | 16,0 | 14,3 | 16,4 | 51,1 | 61,2 | 49,7 |
| 16 | 16,0 | 14,2 | 16,3 | 50,5 | 61,1 | 49,3 |
| 17 | 16,0 | 14,1 | 16,4 | 50,7 | 61,5 | 49,5 |
| 18 | 15,8 | 13,9 | 16,0 | 50,9 | 62,0 | 50,0 |
| 19 | 15,5 | 13,8 | 15,9 | 51,2 | 62,5 | 50,1 |
| 20 | 15,4 | 13,7 | 15,8 | 53,1 | 62,8 | 51,9 |
| 21 | 15,3 | 13,6 | 15,6 | 52,8 | 63,2 | 51,6 |
| 22 | 15,2 | 13,5 | 15,5 | 52,4 | 63,2 | 51,2 |
| 23 | 15,1 | 13,5 | 15,5 | 54,3 | 63,3 | 53,0 |
| 24 | 15,0 | 13,4 | 15,4 | 53,3 | 63,2 | 52,0 |

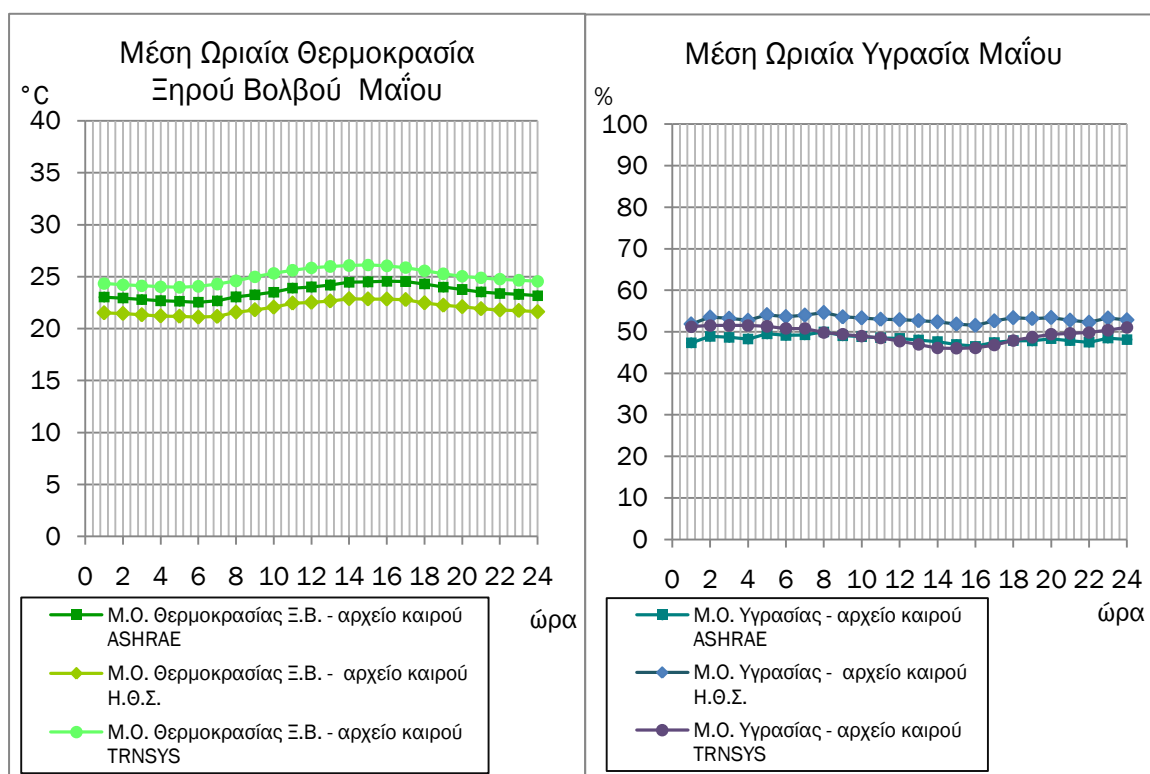
Τον Φεβρουάριο η υγρασία των αρχείων ASHRAE και TRNSYS συγκλίνει (γράφημα 3-3), ενώ τον Μάρτιο σύγκλιση παρατηρείται μεταξύ των ASHRAE και Η.Θ.Σ. (γράφημα 3-4).



Γράφημα 3- 5 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Απριλίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 7 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Απριλίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

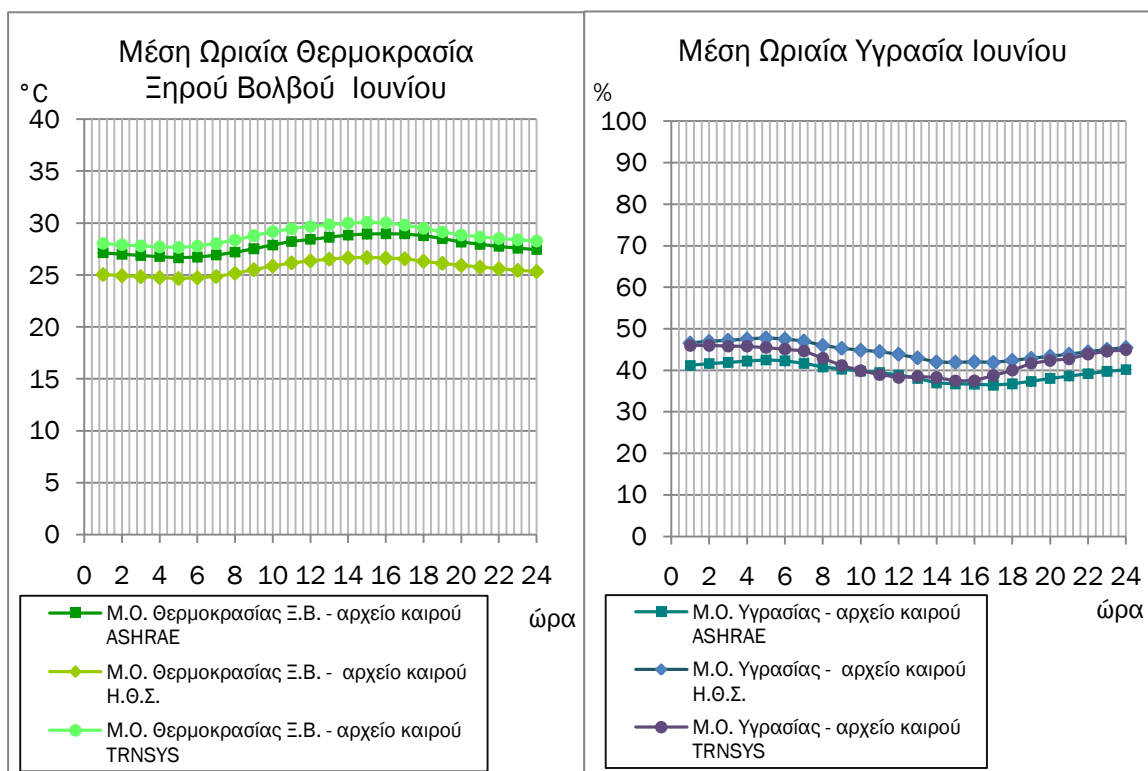
| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 18,3 | 19,5 | 17,6 | 48,5 | 46,4 | 50,9 |
| 2 | 18,2 | 19,4 | 17,4 | 48,9 | 47,1 | 51,3 |
| 3 | 18,1 | 19,3 | 17,4 | 49,0 | 47,1 | 51,3 |
| 4 | 18,0 | 19,2 | 17,3 | 48,8 | 46,9 | 51,1 |
| 5 | 17,9 | 19,1 | 17,2 | 48,6 | 46,6 | 50,9 |
| 6 | 17,9 | 19,1 | 17,2 | 48,5 | 46,2 | 50,7 |
| 7 | 18,0 | 19,3 | 17,3 | 48,4 | 46,1 | 50,7 |
| 8 | 18,2 | 19,5 | 17,5 | 48,0 | 45,8 | 50,2 |
| 9 | 18,5 | 19,9 | 17,8 | 47,5 | 45,8 | 49,5 |
| 10 | 18,8 | 20,2 | 18,1 | 46,8 | 45,3 | 48,8 |
| 11 | 19,1 | 20,5 | 18,5 | 46,2 | 44,5 | 48,2 |
| 12 | 19,4 | 20,8 | 18,7 | 45,8 | 43,3 | 47,9 |
| 13 | 19,6 | 20,9 | 18,8 | 45,6 | 42,9 | 47,8 |
| 14 | 19,8 | 21,0 | 19,0 | 45,6 | 41,9 | 47,9 |
| 15 | 19,8 | 21,1 | 19,0 | 45,4 | 41,4 | 47,7 |
| 16 | 19,8 | 21,0 | 19,0 | 45,1 | 41,7 | 47,6 |
| 17 | 19,8 | 20,8 | 18,9 | 44,9 | 42,0 | 47,4 |
| 18 | 19,6 | 20,6 | 18,6 | 45,2 | 42,6 | 47,9 |
| 19 | 19,3 | 20,3 | 18,4 | 45,9 | 43,3 | 48,5 |
| 20 | 19,1 | 20,1 | 18,3 | 46,7 | 43,3 | 49,2 |
| 21 | 18,9 | 20,0 | 18,1 | 47,1 | 44,1 | 49,6 |
| 22 | 18,8 | 19,9 | 18,0 | 47,4 | 44,8 | 49,9 |
| 23 | 18,6 | 19,8 | 17,9 | 47,7 | 45,0 | 50,1 |
| 24 | 18,5 | 19,7 | 17,8 | 47,9 | 45,1 | 50,3 |



Γράφημα 3- 6 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαΐου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 8 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαΐου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

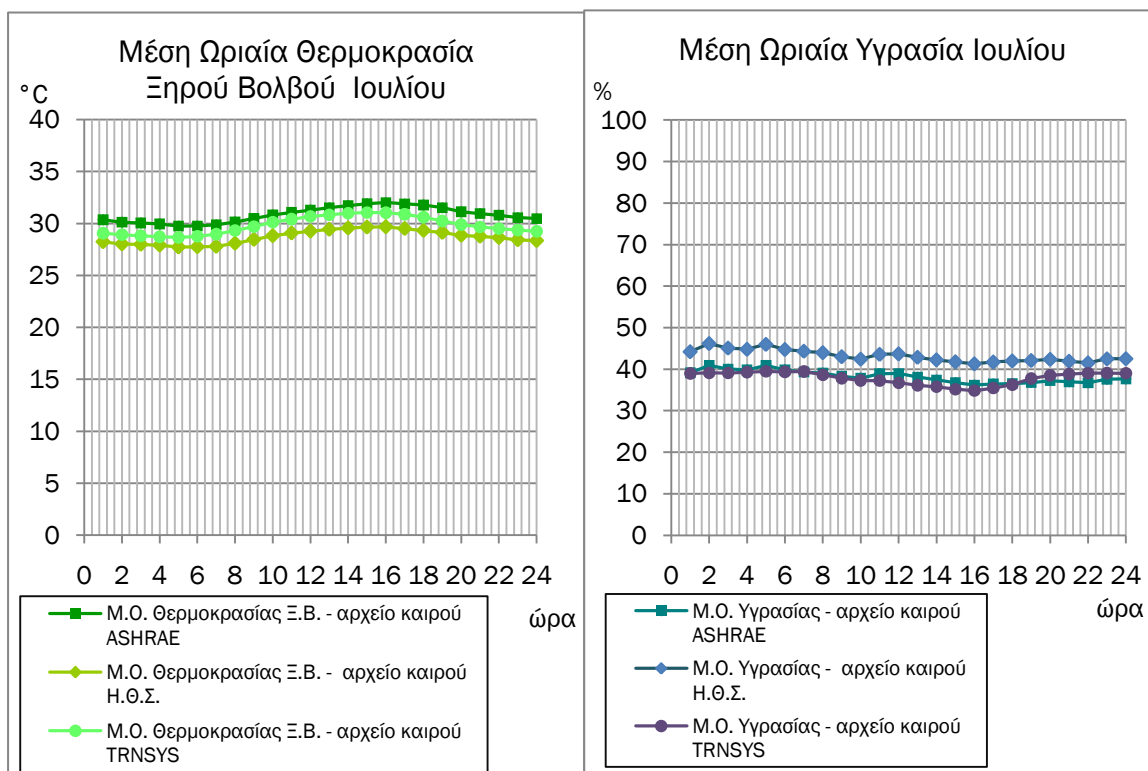
| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 23,0 | 24,3 | 21,5 | 47,3 | 51,2 | 51,9 |
| 2 | 22,9 | 24,2 | 21,5 | 48,9 | 51,5 | 53,5 |
| 3 | 22,8 | 24,1 | 21,3 | 48,7 | 51,5 | 53,2 |
| 4 | 22,7 | 24,0 | 21,2 | 48,3 | 51,5 | 52,8 |
| 5 | 22,6 | 24,0 | 21,2 | 49,5 | 51,3 | 54,1 |
| 6 | 22,5 | 24,1 | 21,1 | 49,1 | 50,8 | 53,6 |
| 7 | 22,7 | 24,3 | 21,2 | 49,3 | 50,8 | 54,0 |
| 8 | 23,1 | 24,6 | 21,6 | 50,0 | 49,8 | 54,6 |
| 9 | 23,3 | 25,0 | 21,8 | 49,1 | 49,4 | 53,6 |
| 10 | 23,5 | 25,3 | 22,1 | 48,9 | 49,0 | 53,3 |
| 11 | 23,9 | 25,6 | 22,5 | 48,6 | 48,5 | 53,0 |
| 12 | 24,0 | 25,9 | 22,5 | 48,4 | 47,7 | 52,9 |
| 13 | 24,2 | 26,0 | 22,7 | 48,0 | 46,9 | 52,7 |
| 14 | 24,5 | 26,1 | 22,9 | 47,6 | 46,1 | 52,4 |
| 15 | 24,5 | 26,1 | 22,9 | 47,0 | 46,0 | 51,9 |
| 16 | 24,6 | 26,0 | 22,8 | 46,5 | 46,1 | 51,5 |
| 17 | 24,5 | 25,9 | 22,8 | 47,4 | 46,8 | 52,6 |
| 18 | 24,3 | 25,6 | 22,5 | 47,9 | 47,9 | 53,4 |
| 19 | 24,0 | 25,3 | 22,2 | 47,9 | 48,7 | 53,2 |
| 20 | 23,8 | 25,0 | 22,1 | 48,3 | 49,4 | 53,4 |
| 21 | 23,5 | 24,9 | 21,9 | 47,9 | 49,6 | 52,8 |
| 22 | 23,4 | 24,8 | 21,8 | 47,5 | 49,8 | 52,3 |
| 23 | 23,3 | 24,7 | 21,7 | 48,5 | 50,4 | 53,3 |
| 24 | 23,2 | 24,6 | 21,6 | 48,1 | 51,1 | 52,9 |



Γράφημα 3- 7 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουνίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 9 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουλίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 27,1 | 28,0 | 25,0 | 41,2 | 46,0 | 46,6 |
| 2 | 27,0 | 27,9 | 24,9 | 41,6 | 46,0 | 47,0 |
| 3 | 26,9 | 27,8 | 24,8 | 41,9 | 45,8 | 47,3 |
| 4 | 26,8 | 27,7 | 24,8 | 42,2 | 45,8 | 47,6 |
| 5 | 26,7 | 27,6 | 24,7 | 42,5 | 45,5 | 47,8 |
| 6 | 26,7 | 27,8 | 24,7 | 42,3 | 45,1 | 47,5 |
| 7 | 26,9 | 28,0 | 24,9 | 41,7 | 44,7 | 47,1 |
| 8 | 27,2 | 28,4 | 25,2 | 40,8 | 42,9 | 46,0 |
| 9 | 27,5 | 28,8 | 25,5 | 40,3 | 41,2 | 45,3 |
| 10 | 27,9 | 29,2 | 25,9 | 39,8 | 39,9 | 44,8 |
| 11 | 28,2 | 29,5 | 26,2 | 39,5 | 38,9 | 44,5 |
| 12 | 28,4 | 29,7 | 26,4 | 38,9 | 38,3 | 43,9 |
| 13 | 28,6 | 29,8 | 26,5 | 38,0 | 38,5 | 43,0 |
| 14 | 28,8 | 30,0 | 26,7 | 37,0 | 38,3 | 42,0 |
| 15 | 28,9 | 30,1 | 26,7 | 36,7 | 37,5 | 41,9 |
| 16 | 29,0 | 30,0 | 26,6 | 36,7 | 37,5 | 42,0 |
| 17 | 29,0 | 29,8 | 26,6 | 36,4 | 38,8 | 41,9 |
| 18 | 28,8 | 29,5 | 26,3 | 36,7 | 40,0 | 42,4 |
| 19 | 28,5 | 29,1 | 26,1 | 37,3 | 41,7 | 42,9 |
| 20 | 28,2 | 28,8 | 25,9 | 38,0 | 42,4 | 43,4 |
| 21 | 27,9 | 28,7 | 25,8 | 38,6 | 42,7 | 43,9 |
| 22 | 27,8 | 28,5 | 25,6 | 39,2 | 43,9 | 44,5 |
| 23 | 27,6 | 28,4 | 25,5 | 39,7 | 44,6 | 45,0 |
| 24 | 27,4 | 28,3 | 25,3 | 40,2 | 44,9 | 45,5 |



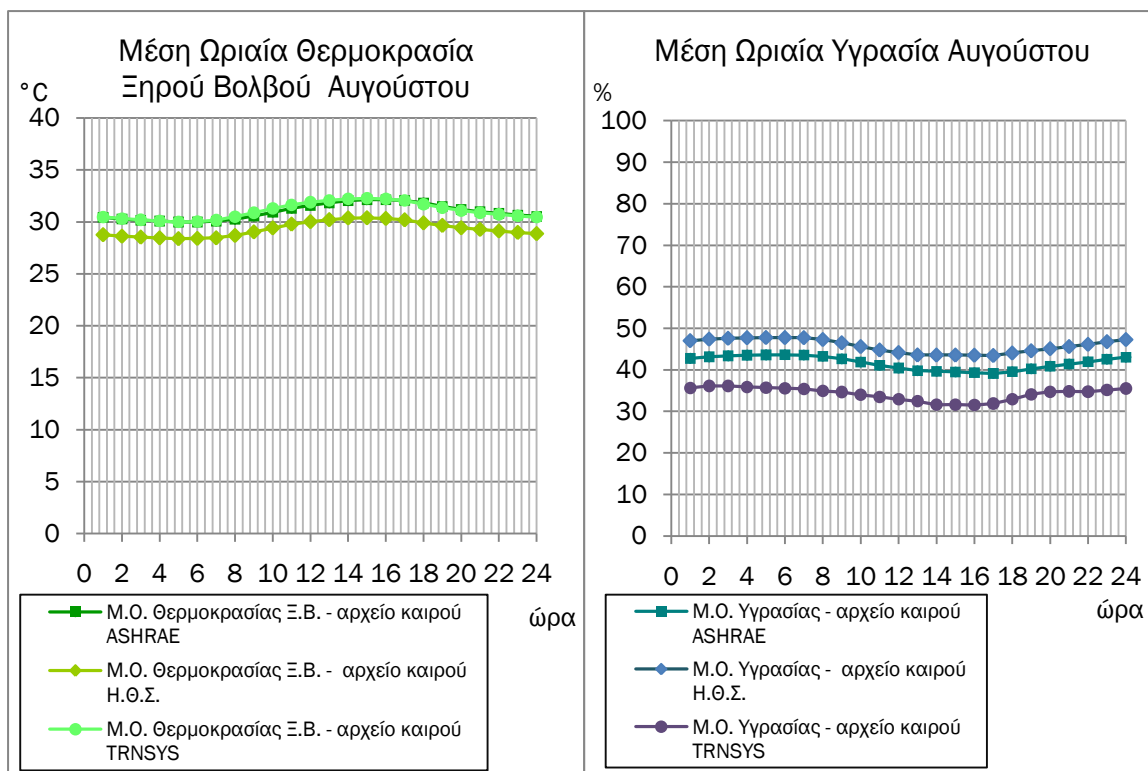
Γράφημα 3- 8 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουλίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 10 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουλίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 30,4 | 29,1 | 28,2 | | 39,1 | 39,0 | 44,2 |
| 2 | 30,1 | 28,9 | 28,0 | | 40,9 | 39,1 | 46,2 |
| 3 | 30,1 | 28,8 | 28,0 | | 40,0 | 39,1 | 45,1 |
| 4 | 30,0 | 28,7 | 27,9 | | 39,8 | 39,3 | 44,8 |
| 5 | 29,8 | 28,7 | 27,7 | | 40,9 | 39,5 | 46,0 |
| 6 | 29,8 | 28,8 | 27,8 | | 39,8 | 39,4 | 44,8 |
| 7 | 29,9 | 29,0 | 27,8 | | 39,3 | 39,4 | 44,3 |
| 8 | 30,2 | 29,3 | 28,1 | | 39,1 | 38,6 | 44,0 |
| 9 | 30,5 | 29,7 | 28,5 | | 38,3 | 37,8 | 43,0 |
| 10 | 30,8 | 30,1 | 28,8 | | 37,8 | 37,3 | 42,4 |
| 11 | 31,1 | 30,4 | 29,1 | | 38,9 | 37,2 | 43,6 |
| 12 | 31,3 | 30,7 | 29,3 | | 39,0 | 36,7 | 43,7 |
| 13 | 31,5 | 30,8 | 29,4 | | 38,1 | 36,1 | 42,9 |
| 14 | 31,7 | 31,0 | 29,6 | | 37,4 | 35,8 | 42,3 |
| 15 | 31,9 | 31,1 | 29,6 | | 36,8 | 35,2 | 41,8 |
| 16 | 32,0 | 31,0 | 29,7 | | 36,2 | 34,8 | 41,3 |
| 17 | 31,9 | 30,9 | 29,5 | | 36,4 | 35,5 | 41,7 |
| 18 | 31,8 | 30,6 | 29,3 | | 36,5 | 36,3 | 42,0 |
| 19 | 31,5 | 30,2 | 29,1 | | 36,8 | 37,7 | 42,1 |
| 20 | 31,1 | 29,9 | 28,9 | | 37,2 | 38,5 | 42,4 |
| 21 | 31,0 | 29,7 | 28,8 | | 37,0 | 38,8 | 41,9 |
| 22 | 30,8 | 29,5 | 28,6 | | 36,7 | 39,0 | 41,5 |
| 23 | 30,6 | 29,4 | 28,4 | | 37,6 | 39,0 | 42,5 |
| 24 | 30,5 | 29,2 | 28,3 | | 37,6 | 39,0 | 42,5 |

Από τον Απρίλιο έως τον Ιούλιο η υγρασία και των τριών αρχείων συγκλίνει ικανοποιητικά, εμφανίζοντας παράλληλα κάθε μήνα πτώση δικαιολογούμενη από τις πραγματικές εγχώριες συνθήκες (γραφήματα 3-5:3-8). Η παραχθείσα από το TRNSYS θερμοκρασία είναι υψηλότερη από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο· τον Ιούλιο υπερέχει αυτή της ASHRAE. Το αρχείο Η.Θ.Σ. παράγει όλους τους προηγθέντες μήνες σταθερά χαμηλότερη θερμοκρασία. Ικανοποιητικές είναι οι μηνιαίες αυξήσεις της θερμοκρασίας με την πρόοδο του έτους μέχρι τον μήνα Ιούλιο (γραφήματα 3-5:3-8).

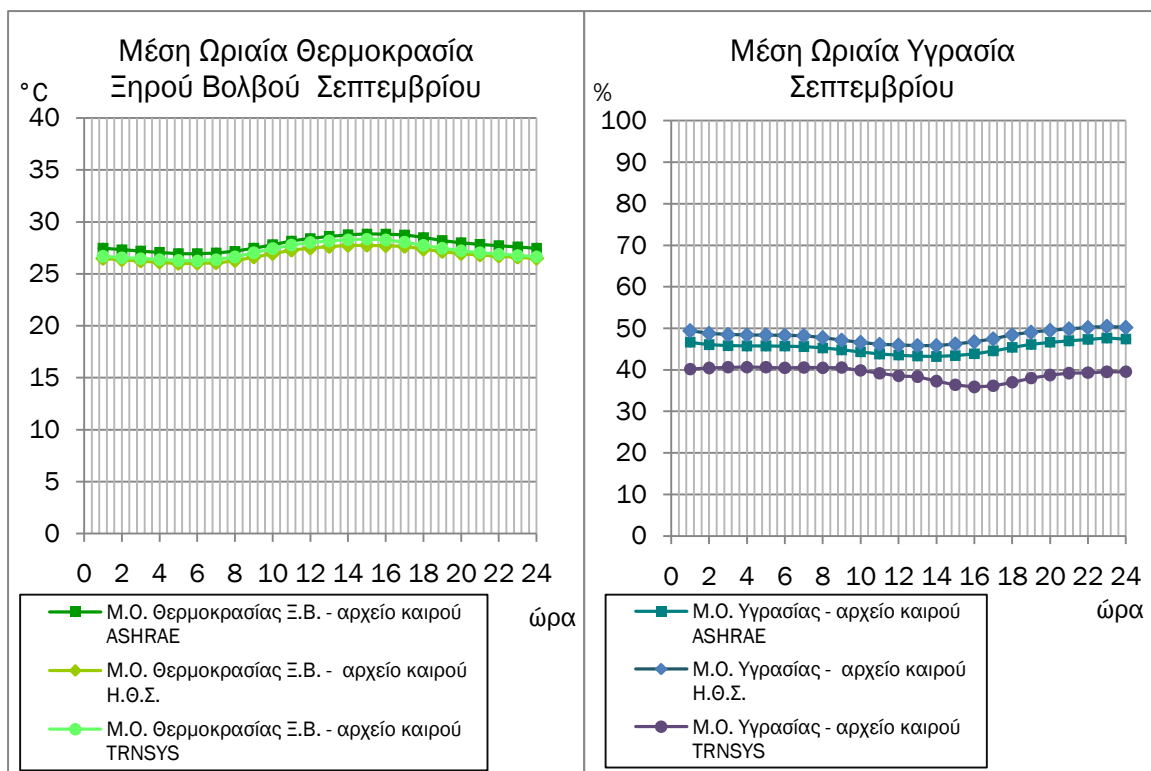
Τον Αύγουστο η απόκλιση της υγρασίας επανέρχεται με το αρχείο του TRNSYS να αποκλίνει στο μεγαλύτερο βαθμό, ενώ η θερμοκρασία δεν αυξάνεται όσο θα αναμενόταν (γράφημα 3-9). Τον Σεπτέμβριο παρατηρείται η βέλτιστη σύγκλιση της θερμοκρασίας και από τα τρία αρχεία, ενώ η υγρασία διατηρεί όμοια συμπεριφορά με αυτή του Αυγούστου (γράφημα 3-10).



Γράφημα 3- 9 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Αυγούστου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 11 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Αυγούστου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

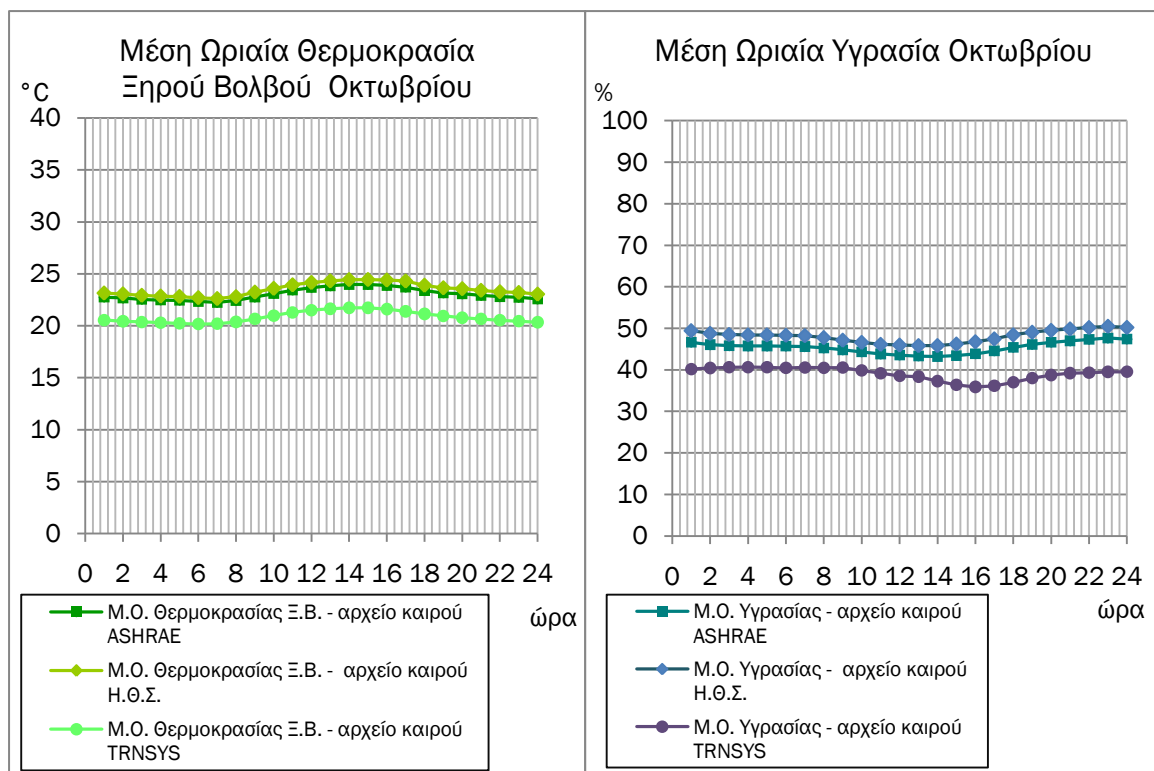
| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 30,4 | 30,5 | 28,8 | 42,8 | 35,7 | 47,0 |
| 2 | 30,3 | 30,3 | 28,6 | 43,1 | 36,1 | 47,4 |
| 3 | 30,2 | 30,2 | 28,5 | 43,4 | 36,1 | 47,6 |
| 4 | 30,1 | 30,1 | 28,5 | 43,5 | 35,9 | 47,7 |
| 5 | 30,0 | 30,0 | 28,4 | 43,6 | 35,7 | 47,8 |
| 6 | 30,0 | 30,0 | 28,4 | 43,6 | 35,6 | 47,8 |
| 7 | 30,1 | 30,2 | 28,5 | 43,6 | 35,4 | 47,7 |
| 8 | 30,3 | 30,5 | 28,7 | 43,3 | 34,9 | 47,3 |
| 9 | 30,6 | 30,9 | 29,0 | 42,6 | 34,7 | 46,5 |
| 10 | 30,9 | 31,3 | 29,4 | 41,9 | 34,0 | 45,6 |
| 11 | 31,3 | 31,6 | 29,8 | 41,1 | 33,5 | 44,8 |
| 12 | 31,6 | 31,9 | 30,0 | 40,4 | 32,9 | 44,2 |
| 13 | 31,8 | 32,1 | 30,2 | 39,8 | 32,5 | 43,6 |
| 14 | 32,1 | 32,2 | 30,4 | 39,7 | 31,6 | 43,6 |
| 15 | 32,1 | 32,3 | 30,4 | 39,5 | 31,6 | 43,6 |
| 16 | 32,1 | 32,2 | 30,3 | 39,3 | 31,5 | 43,5 |
| 17 | 32,1 | 32,1 | 30,2 | 39,1 | 31,9 | 43,5 |
| 18 | 31,8 | 31,7 | 29,9 | 39,5 | 32,9 | 44,1 |
| 19 | 31,5 | 31,4 | 29,7 | 40,2 | 34,1 | 44,6 |
| 20 | 31,2 | 31,1 | 29,4 | 40,8 | 34,7 | 45,1 |
| 21 | 31,0 | 30,9 | 29,3 | 41,4 | 34,8 | 45,6 |
| 22 | 30,8 | 30,7 | 29,1 | 41,9 | 34,7 | 46,1 |
| 23 | 30,7 | 30,6 | 29,0 | 42,5 | 35,1 | 46,8 |
| 24 | 30,5 | 30,5 | 28,9 | 43,0 | 35,5 | 47,3 |



Γράφημα 3- 10 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Σεπτεμβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 12 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Σεπτεμβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

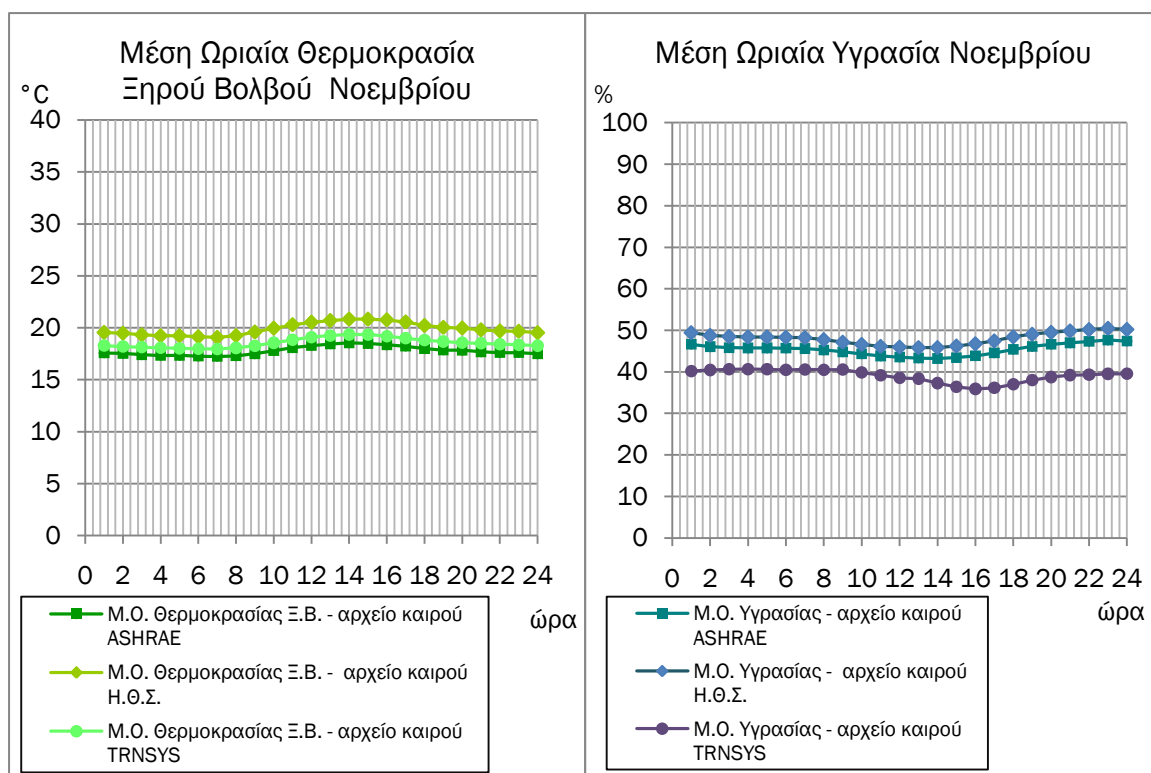
| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 27,5 | 26,7 | 26,5 | 46,6 | 40,2 | 49,4 |
| 2 | 27,3 | 26,6 | 26,3 | 46,1 | 40,4 | 48,8 |
| 3 | 27,2 | 26,5 | 26,2 | 45,8 | 40,6 | 48,5 |
| 4 | 27,1 | 26,4 | 26,1 | 45,8 | 40,6 | 48,4 |
| 5 | 26,9 | 26,3 | 26,0 | 45,8 | 40,6 | 48,4 |
| 6 | 27,0 | 26,2 | 26,0 | 45,7 | 40,5 | 48,3 |
| 7 | 27,0 | 26,4 | 26,1 | 45,6 | 40,6 | 48,2 |
| 8 | 27,2 | 26,6 | 26,3 | 45,3 | 40,5 | 47,8 |
| 9 | 27,5 | 27,0 | 26,6 | 44,8 | 40,6 | 47,2 |
| 10 | 27,8 | 27,4 | 26,9 | 44,3 | 39,9 | 46,6 |
| 11 | 28,2 | 27,8 | 27,3 | 43,8 | 39,2 | 46,2 |
| 12 | 28,4 | 28,0 | 27,5 | 43,6 | 38,5 | 46,0 |
| 13 | 28,6 | 28,2 | 27,6 | 43,3 | 38,4 | 45,8 |
| 14 | 28,8 | 28,3 | 27,7 | 43,2 | 37,3 | 45,9 |
| 15 | 28,8 | 28,3 | 27,8 | 43,4 | 36,4 | 46,2 |
| 16 | 28,8 | 28,3 | 27,7 | 43,9 | 35,9 | 46,8 |
| 17 | 28,7 | 28,1 | 27,6 | 44,5 | 36,2 | 47,5 |
| 18 | 28,5 | 27,7 | 27,4 | 45,4 | 37,0 | 48,4 |
| 19 | 28,2 | 27,5 | 27,1 | 46,1 | 38,0 | 49,1 |
| 20 | 28,0 | 27,2 | 26,9 | 46,6 | 38,7 | 49,5 |
| 21 | 27,8 | 27,0 | 26,8 | 47,0 | 39,2 | 49,9 |
| 22 | 27,7 | 26,9 | 26,7 | 47,3 | 39,3 | 50,2 |
| 23 | 27,6 | 26,8 | 26,6 | 47,7 | 39,5 | 50,5 |
| 24 | 27,5 | 26,6 | 26,5 | 47,4 | 39,5 | 50,2 |



Γράφημα 3- 11 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Οκτωβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 13 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Οκτωβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

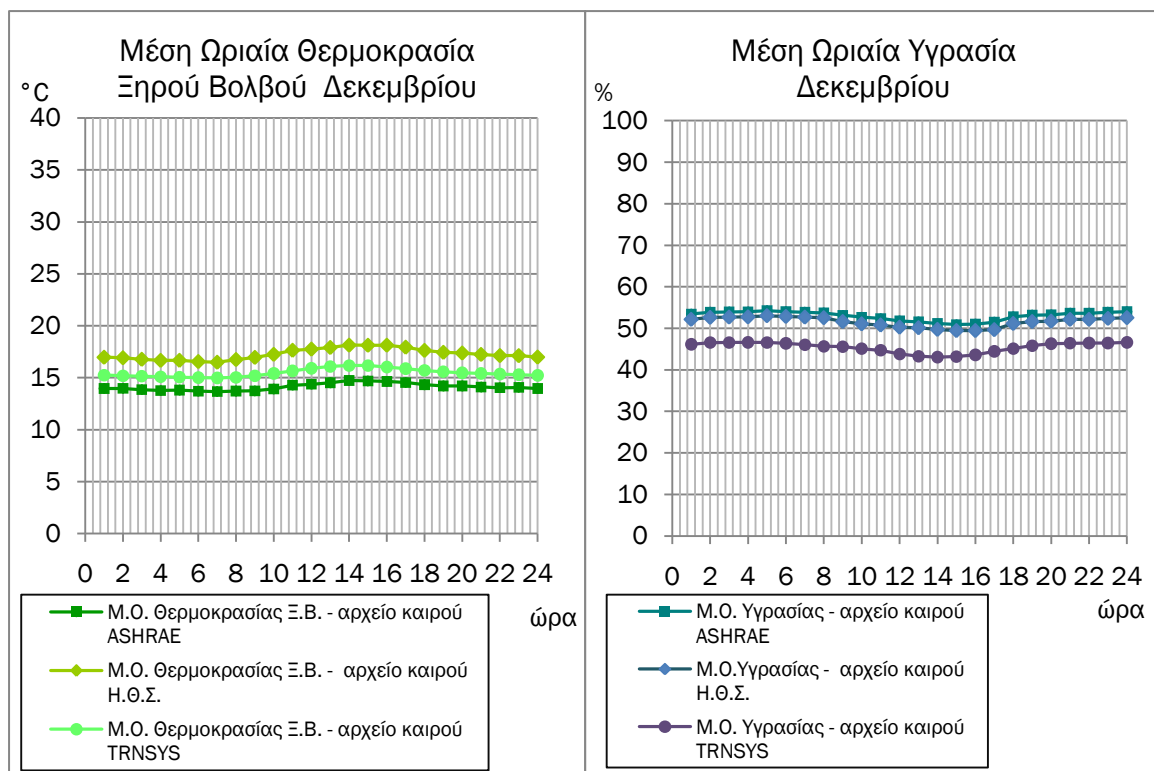
| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 22,8 | 20,5 | 23,1 | 53,4 | 46,2 | 52,2 |
| 2 | 22,7 | 20,4 | 23,1 | 53,9 | 46,6 | 52,6 |
| 3 | 22,5 | 20,4 | 22,9 | 54,0 | 46,6 | 52,7 |
| 4 | 22,5 | 20,3 | 22,9 | 54,0 | 46,6 | 52,7 |
| 5 | 22,4 | 20,2 | 22,8 | 54,3 | 46,6 | 53,0 |
| 6 | 22,3 | 20,2 | 22,7 | 54,1 | 46,4 | 52,9 |
| 7 | 22,3 | 20,2 | 22,6 | 53,9 | 46,0 | 52,7 |
| 8 | 22,4 | 20,4 | 22,8 | 53,7 | 45,7 | 52,6 |
| 9 | 22,8 | 20,7 | 23,2 | 53,1 | 45,6 | 51,6 |
| 10 | 23,1 | 21,0 | 23,6 | 52,7 | 45,1 | 51,1 |
| 11 | 23,4 | 21,3 | 23,9 | 52,4 | 44,7 | 50,8 |
| 12 | 23,7 | 21,5 | 24,2 | 51,8 | 43,8 | 50,3 |
| 13 | 23,8 | 21,6 | 24,3 | 51,6 | 43,3 | 50,1 |
| 14 | 24,0 | 21,7 | 24,4 | 51,1 | 43,1 | 49,7 |
| 15 | 24,0 | 21,7 | 24,4 | 50,9 | 43,2 | 49,5 |
| 16 | 23,9 | 21,6 | 24,4 | 51,0 | 43,6 | 49,5 |
| 17 | 23,7 | 21,4 | 24,3 | 51,5 | 44,5 | 49,7 |
| 18 | 23,4 | 21,1 | 23,9 | 52,8 | 45,1 | 51,2 |
| 19 | 23,2 | 20,9 | 23,7 | 53,2 | 45,8 | 51,6 |
| 20 | 23,1 | 20,8 | 23,6 | 53,3 | 46,3 | 51,7 |
| 21 | 22,9 | 20,7 | 23,4 | 53,7 | 46,4 | 52,1 |
| 22 | 22,8 | 20,5 | 23,3 | 53,6 | 46,5 | 52,2 |
| 23 | 22,7 | 20,4 | 23,2 | 53,9 | 46,5 | 52,4 |
| 24 | 22,6 | 20,3 | 23,0 | 54,0 | 46,6 | 52,6 |



Γράφημα 3- 12 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Νοεμβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 14 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Νοεμβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 17,6 | 18,3 | 19,6 | 57,3 | 63,5 | 50,7 |
| 2 | 17,5 | 18,2 | 19,5 | 58,2 | 63,3 | 51,6 |
| 3 | 17,4 | 18,1 | 19,3 | 58,3 | 63,1 | 51,8 |
| 4 | 17,3 | 18,1 | 19,2 | 58,3 | 62,9 | 51,7 |
| 5 | 17,4 | 18,0 | 19,2 | 58,2 | 63,0 | 51,8 |
| 6 | 17,3 | 18,0 | 19,1 | 58,3 | 62,8 | 51,8 |
| 7 | 17,2 | 18,0 | 19,1 | 58,3 | 62,6 | 51,9 |
| 8 | 17,3 | 18,1 | 19,2 | 58,7 | 62,2 | 52,0 |
| 9 | 17,5 | 18,3 | 19,6 | 58,5 | 61,9 | 51,3 |
| 10 | 17,8 | 18,6 | 20,0 | 57,9 | 61,6 | 50,6 |
| 11 | 18,1 | 18,8 | 20,3 | 57,0 | 61,0 | 49,7 |
| 12 | 18,3 | 19,1 | 20,5 | 56,5 | 59,5 | 49,3 |
| 13 | 18,4 | 19,3 | 20,7 | 56,0 | 59,2 | 48,7 |
| 14 | 18,5 | 19,4 | 20,8 | 55,5 | 58,9 | 48,2 |
| 15 | 18,5 | 19,3 | 20,8 | 55,3 | 58,9 | 47,9 |
| 16 | 18,4 | 19,2 | 20,8 | 55,4 | 59,7 | 47,8 |
| 17 | 18,2 | 19,0 | 20,6 | 55,4 | 61,2 | 48,0 |
| 18 | 18,0 | 18,8 | 20,2 | 55,9 | 62,1 | 48,7 |
| 19 | 17,9 | 18,7 | 20,0 | 55,8 | 62,6 | 48,8 |
| 20 | 17,8 | 18,6 | 20,0 | 56,6 | 62,7 | 49,6 |
| 21 | 17,7 | 18,5 | 19,8 | 56,9 | 63,3 | 50,0 |
| 22 | 17,6 | 18,4 | 19,7 | 56,6 | 63,5 | 49,8 |
| 23 | 17,6 | 18,4 | 19,7 | 57,1 | 63,4 | 50,3 |
| 24 | 17,5 | 18,3 | 19,5 | 57,2 | 63,1 | 50,5 |



Γράφημα 3- 13 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Δεκεμβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

Πίνακας 3- 15 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Δεκεμβρίου για τα διαφορετικά αρχεία καιρού

| Αρχείο καιρού | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. | ASHRAE | TRNSYS | Η.Θ.Σ. |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Ωρα | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] |
| 1 | 14,0 | 15,2 | 17,0 | 53,1 | 58,7 | 43,8 |
| 2 | 14,0 | 15,2 | 16,9 | 55,3 | 59,0 | 45,7 |
| 3 | 13,9 | 15,1 | 16,8 | 54,7 | 59,1 | 45,3 |
| 4 | 13,8 | 15,1 | 16,7 | 54,0 | 59,0 | 44,7 |
| 5 | 13,8 | 15,1 | 16,7 | 55,8 | 59,0 | 46,4 |
| 6 | 13,7 | 15,0 | 16,6 | 54,7 | 59,1 | 45,5 |
| 7 | 13,7 | 15,0 | 16,5 | 53,8 | 59,3 | 44,9 |
| 8 | 13,7 | 15,0 | 16,8 | 55,3 | 59,1 | 45,4 |
| 9 | 13,7 | 15,2 | 17,0 | 54,4 | 59,1 | 44,1 |
| 10 | 13,9 | 15,4 | 17,3 | 53,8 | 58,8 | 43,4 |
| 11 | 14,3 | 15,7 | 17,6 | 55,0 | 58,4 | 44,3 |
| 12 | 14,4 | 15,9 | 17,8 | 53,9 | 58,1 | 43,4 |
| 13 | 14,5 | 16,1 | 17,9 | 53,1 | 58,3 | 42,8 |
| 14 | 14,7 | 16,2 | 18,1 | 53,9 | 58,1 | 43,4 |
| 15 | 14,7 | 16,2 | 18,1 | 53,1 | 57,8 | 42,7 |
| 16 | 14,6 | 16,0 | 18,1 | 52,8 | 58,2 | 42,2 |
| 17 | 14,5 | 15,9 | 17,9 | 54,7 | 59,0 | 44,0 |
| 18 | 14,3 | 15,7 | 17,6 | 53,8 | 59,2 | 43,5 |
| 19 | 14,2 | 15,6 | 17,4 | 53,0 | 59,5 | 43,1 |
| 20 | 14,2 | 15,5 | 17,4 | 54,5 | 59,6 | 44,4 |
| 21 | 14,1 | 15,4 | 17,2 | 53,4 | 59,7 | 43,6 |
| 22 | 14,0 | 15,3 | 17,1 | 52,7 | 59,8 | 43,2 |
| 23 | 14,1 | 15,3 | 17,1 | 54,3 | 59,8 | 44,6 |
| 24 | 14,0 | 15,2 | 17,0 | 53,7 | 59,7 | 44,2 |

Τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο (γραφήματα 3-11, 3-12, 3-13) το αρχείο του TRNSYS παράγει τιμές υγρασίας μικρότερες από αυτές των άλλων αρχείων που συγκλίνουν. Η θερμοκρασία παρουσιάζει πτώση κατά τον χειμώνα και ικανή απόκλιση με μεγαλύτερη αυτή του Δεκεμβρίου (γράφημα 3-13).

Συμπερασματικά, η εξαγωγή των μέσων ωριαίων τιμών για την θερμοκρασία και την υγρασία εξαλείφει τις ακραίες πραγματικές τιμές που παράγει το λογισμικό για τις 8760 ώρες του έτους. Παρόλα αυτά, η επίδραση του αρχείου καιρού στις υπολογιζόμενες εσωτερικές συνθήκες είναι φανερή. Οι καμπύλες εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με μεταβλητές αποκλίσεις ανάλογα με το μήνα. Οι μεγαλύτερες διαφορές υγρασίας εντοπίζονται στο TRNSYS όλους τους μήνες πλην των Μαΐου, Ιουνίου, Ιουλίου και θερμοκρασίας τον Ιανουάριο και τον Δεκέμβριο για το αρχείο Η.Θ.Σ. Για την συνέχεια των προσομοιώσεων θα επιλεγεί το αρχείο της ASHRAE γιατί παρουσιάζει τις μικρότερες αποκλίσεις σε σχέση με τα έτερα αρχεία, αλλά και γιατί είναι το προτεινόμενο αρχείο από το λογισμικό.

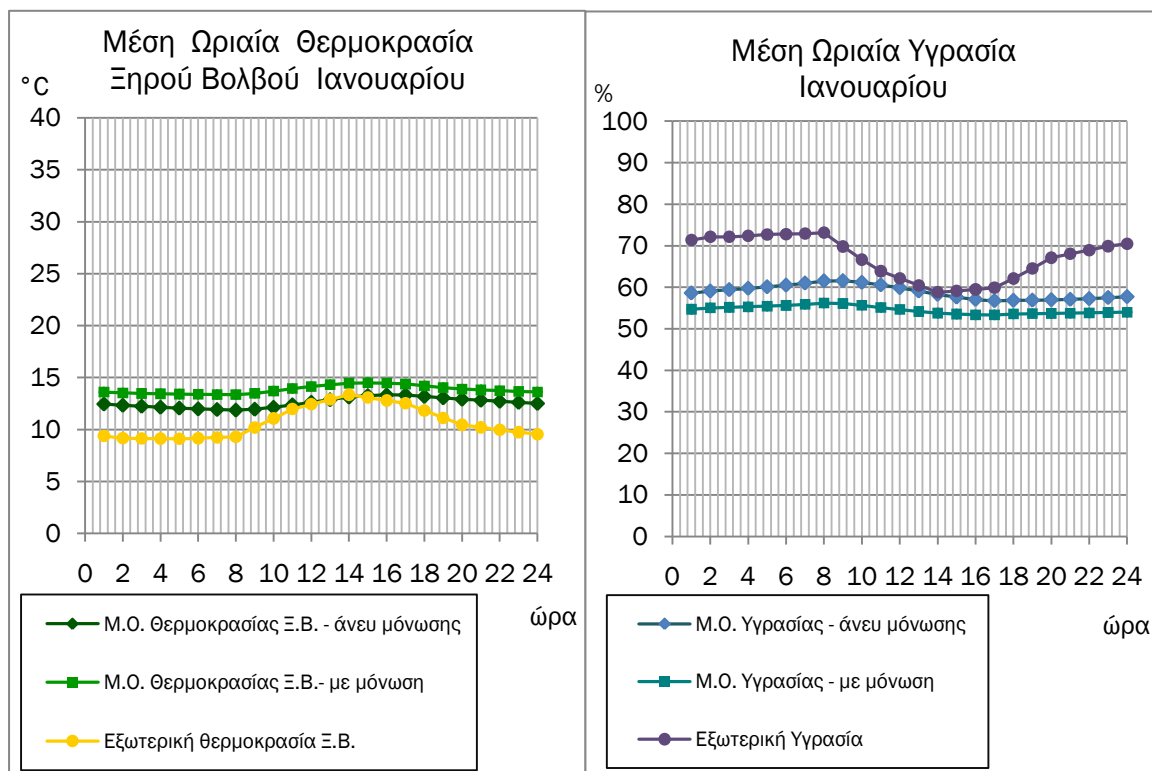
3.5 2^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Διερεύνηση επικρατούσων συνθηκών κελύφους άνευ θερμικών κερδών και ορίων θερμικής άνεσης

Σε αυτό τον κύκλο προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα του κελύφους: άνευ μόνωσης και με μόνωση. Στο μοντέλο άνευ μόνωσης χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά όπως στον πίνακα 3-16. Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο δεύτερο μοντέλο είναι όμοια με αυτά του προηγούμενου κύκλου (πίνακας 3-1)(για λόγους πληρότητας παρατίθενται και στον πίνακα 3-16). Στόχος των προσομοιώσεων είναι ο προσδιορισμός των καθαρών εποχών θέρμανσης-ψύξης, προσδιορίζοντας τους μήνες με ικανοποιητικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας της δυσμενέστερης ζώνης, αλλά και η μελέτη της συμπεριφοράς του κλειστού κελύφους, χωρίς θερμικά κέρδη λόγω χρήσης και συσκευών, θερμοκρασιακά όρια και όρια υγρασίας, σε σχέση με τις εξωτερικά επικρατούσες συνθήκες. Η ανανέωση νωπού αέρα τέθηκε στις μηδέν ach (αλλαγές του πλήρους όγκου αέρα την ώρα) και η διείσδυση λόγω ελλιπούς στεγανότητας στις 0,90ach [9, 12]. Όλα τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κλειστά.

Πίνακας 3- 16 Δομικά υλικά και συντελεστής θερμοπερατότητας

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – άνευ μόνωσης | U-Value [W/m ² C] | ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – με μόνωση | U-Value [W/m ² C] |
|--|------------------------------|---|------------------------------|
| Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 2,090 | Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 0,579 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | |
| Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 | Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 3,919 | Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 0,664 |
| Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm | | Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm | |

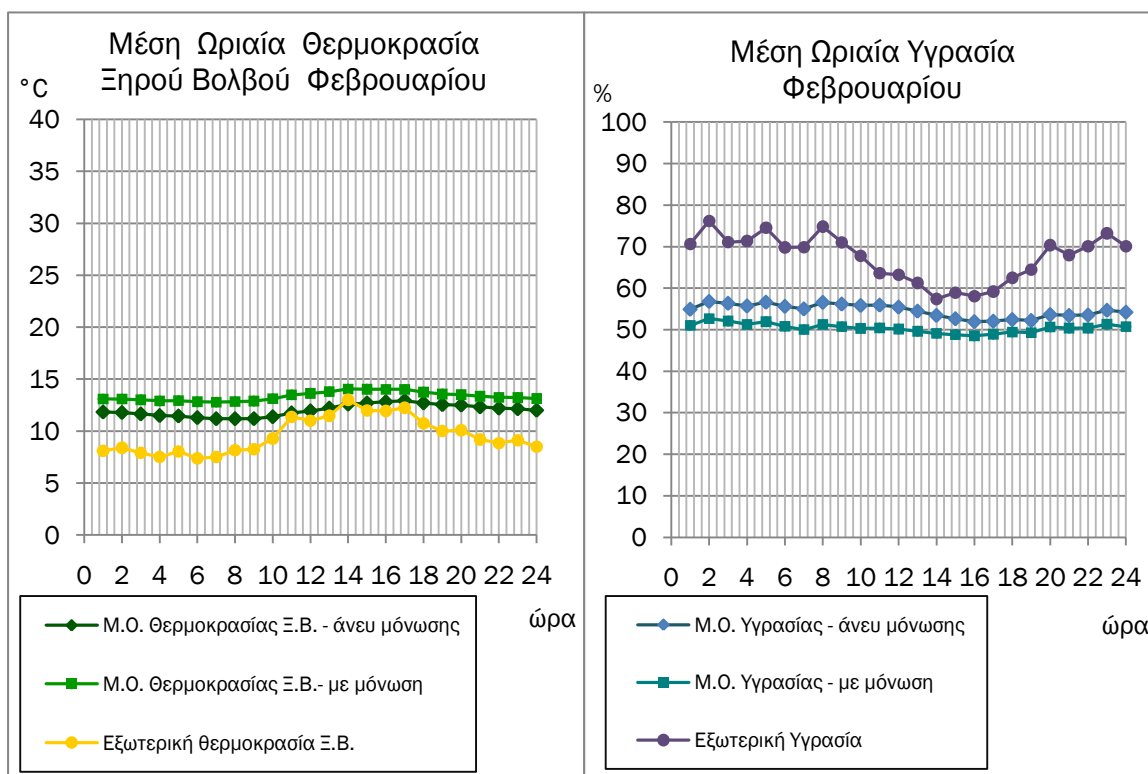
| | | | |
|--|--------------|---|--------------|
| Σοβάς 18mm | | Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm | |
| Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 | Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | | Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (ισόγειο) | 3,276 | Οροφή (ισόγειο) | 3,276 |
| Γυψοσανίδα 9,5mm | | Γυψοσανίδα 9,5mm | |
| Δάπεδο ισογείου | 1,080 | Δάπεδο ισογείου | 0,460 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | | Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | |
| Υαλοπίνακας 4mm | 5,798 | Διπλός υαλοπίνακας με αργό | 3,027 |
| | | Υαλοπίνακας 4mm Αργό 9mm Υαλοπίνακας 4mm | |
| Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 5,876 | Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 3,870 |
| Φύλλο αλουμινίου 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | | Φύλλο αλουμινίου 15mm PVC 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | |
| Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 | Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 |
| Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 | Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 |



Γράφημα 3- 14 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιανουαρίου

Πίνακας 3- 17 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιανουαρίου

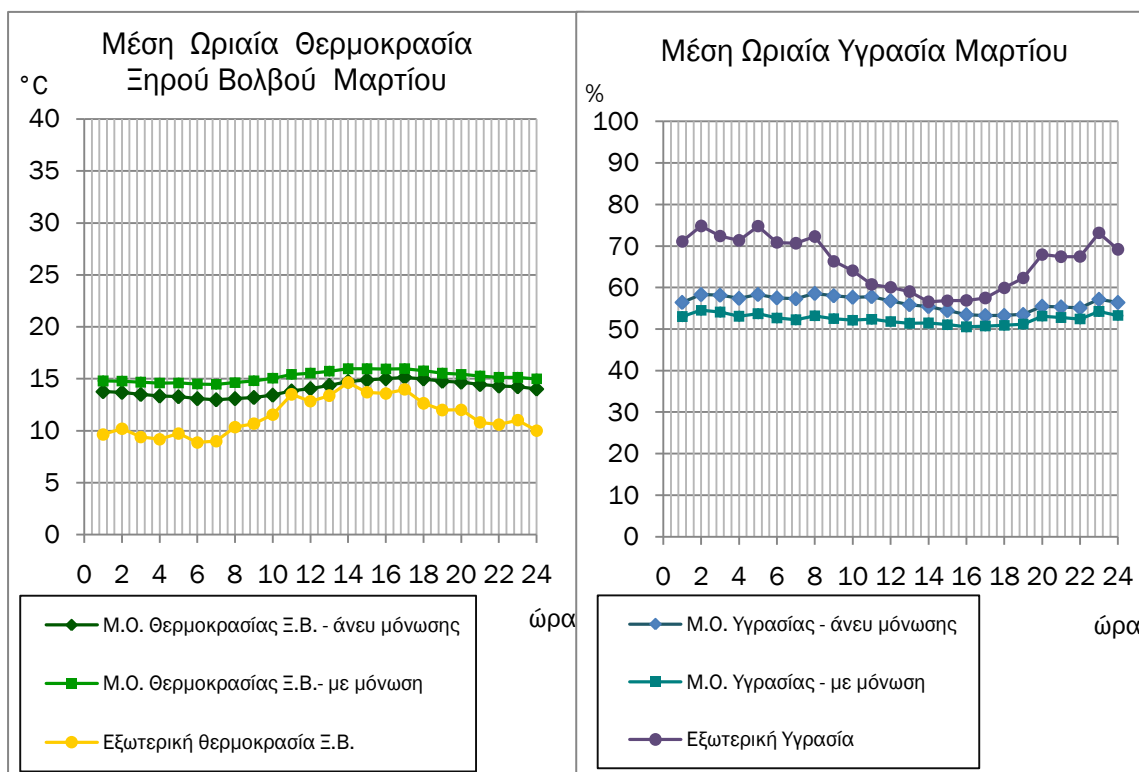
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|----------------|-----------------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 12,5 | 13,6 | 9,4 | 58,6 | 54,7 | 71,4 |
| 2 | 12,3 | 13,5 | 9,2 | 59,1 | 55,0 | 72,2 |
| 3 | 12,2 | 13,5 | 9,1 | 59,4 | 55,2 | 72,2 |
| 4 | 12,2 | 13,4 | 9,1 | 59,7 | 55,3 | 72,4 |
| 5 | 12,1 | 13,4 | 9,1 | 60,1 | 55,4 | 72,7 |
| 6 | 12,0 | 13,4 | 9,2 | 60,5 | 55,6 | 72,8 |
| 7 | 11,9 | 13,4 | 9,2 | 61,0 | 55,9 | 72,9 |
| 8 | 11,9 | 13,4 | 9,3 | 61,5 | 56,2 | 73,2 |
| 9 | 12,0 | 13,5 | 10,2 | 61,5 | 56,1 | 69,8 |
| 10 | 12,1 | 13,7 | 11,1 | 61,1 | 55,7 | 66,6 |
| 11 | 12,4 | 13,9 | 12,0 | 60,6 | 55,1 | 63,9 |
| 12 | 12,6 | 14,1 | 12,4 | 59,9 | 54,6 | 62,2 |
| 13 | 12,9 | 14,3 | 12,9 | 59,1 | 54,2 | 60,5 |
| 14 | 13,1 | 14,5 | 13,4 | 58,3 | 53,8 | 58,8 |
| 15 | 13,3 | 14,5 | 13,1 | 57,6 | 53,6 | 59,1 |
| 16 | 13,3 | 14,5 | 12,8 | 57,0 | 53,4 | 59,5 |
| 17 | 13,3 | 14,4 | 12,5 | 56,7 | 53,3 | 59,9 |
| 18 | 13,2 | 14,2 | 11,8 | 56,8 | 53,6 | 62,1 |
| 19 | 13,1 | 14,0 | 11,1 | 56,9 | 53,7 | 64,5 |
| 20 | 12,9 | 13,9 | 10,5 | 57,0 | 53,7 | 67,1 |
| 21 | 12,8 | 13,8 | 10,2 | 57,1 | 53,8 | 68,1 |
| 22 | 12,7 | 13,7 | 10,0 | 57,2 | 53,8 | 68,9 |
| 23 | 12,6 | 13,7 | 9,7 | 57,5 | 53,9 | 69,9 |
| 24 | 12,5 | 13,6 | 9,5 | 57,7 | 54,0 | 70,5 |



Γράφημα 3- 15 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Φεβρουαρίου

Πίνακας 3- 18 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Φεβρουαρίου

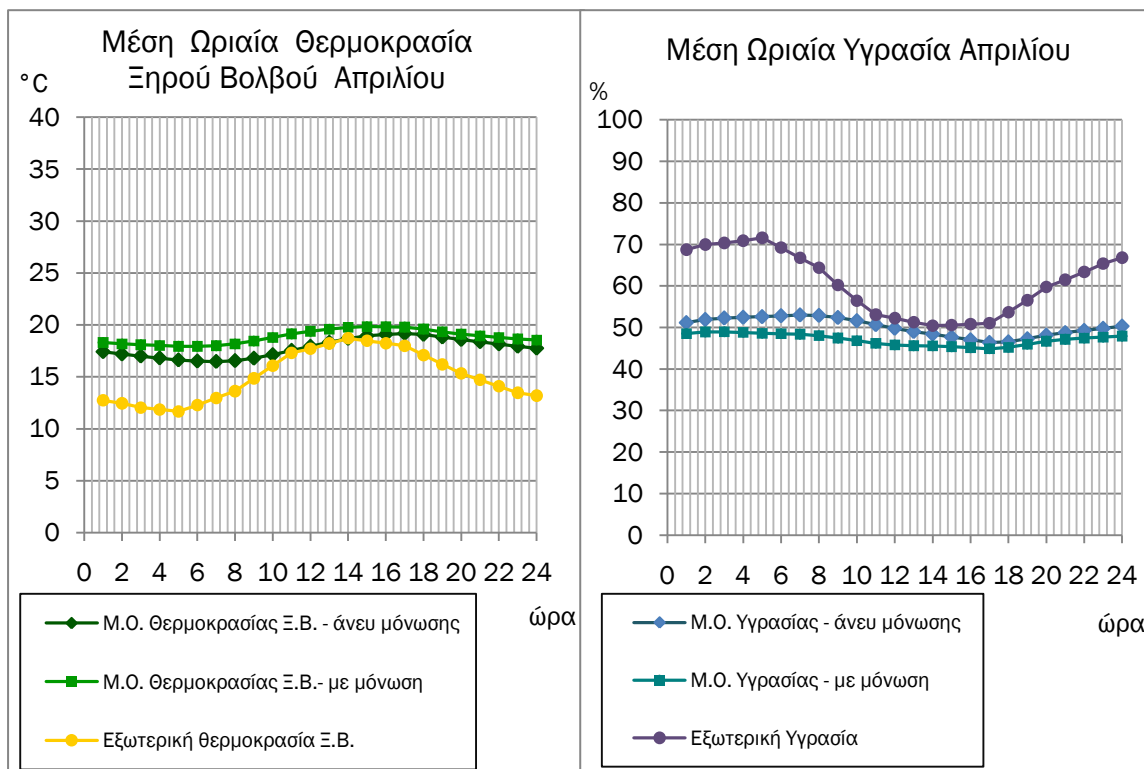
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|----------------|-----------------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 11,8 | 13,1 | 8,1 | 54,9 | 51,0 | 70,6 |
| 2 | 11,8 | 13,1 | 8,4 | 56,8 | 52,7 | 76,2 |
| 3 | 11,6 | 13,0 | 7,9 | 56,4 | 52,1 | 71,1 |
| 4 | 11,5 | 12,9 | 7,5 | 55,7 | 51,3 | 71,4 |
| 5 | 11,4 | 12,9 | 8,0 | 56,6 | 51,9 | 74,5 |
| 6 | 11,3 | 12,8 | 7,4 | 55,6 | 50,8 | 69,8 |
| 7 | 11,2 | 12,8 | 7,5 | 55,0 | 50,0 | 69,9 |
| 8 | 11,2 | 12,8 | 8,2 | 56,6 | 51,3 | 74,8 |
| 9 | 11,2 | 12,9 | 8,3 | 56,2 | 50,7 | 71,0 |
| 10 | 11,4 | 13,1 | 9,3 | 55,8 | 50,3 | 67,8 |
| 11 | 11,7 | 13,5 | 11,4 | 55,9 | 50,4 | 63,6 |
| 12 | 11,9 | 13,6 | 11,0 | 55,4 | 50,2 | 63,3 |
| 13 | 12,2 | 13,8 | 11,5 | 54,5 | 49,6 | 61,3 |
| 14 | 12,6 | 14,0 | 13,0 | 53,5 | 49,1 | 57,4 |
| 15 | 12,7 | 14,0 | 12,0 | 52,6 | 48,8 | 58,9 |
| 16 | 12,8 | 14,0 | 11,9 | 52,0 | 48,5 | 58,1 |
| 17 | 12,9 | 14,0 | 12,2 | 52,1 | 48,9 | 59,2 |
| 18 | 12,7 | 13,8 | 10,8 | 52,5 | 49,4 | 62,5 |
| 19 | 12,5 | 13,6 | 10,0 | 52,2 | 49,3 | 64,5 |
| 20 | 12,5 | 13,5 | 10,1 | 53,6 | 50,7 | 70,4 |
| 21 | 12,3 | 13,3 | 9,2 | 53,4 | 50,4 | 68,0 |
| 22 | 12,2 | 13,3 | 8,8 | 53,5 | 50,4 | 70,1 |
| 23 | 12,1 | 13,2 | 9,1 | 54,7 | 51,3 | 73,2 |
| 24 | 12,0 | 13,1 | 8,5 | 54,2 | 50,7 | 70,1 |



Γράφημα 3- 16 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαρτίου

Πίνακας 3- 19 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαρτίου

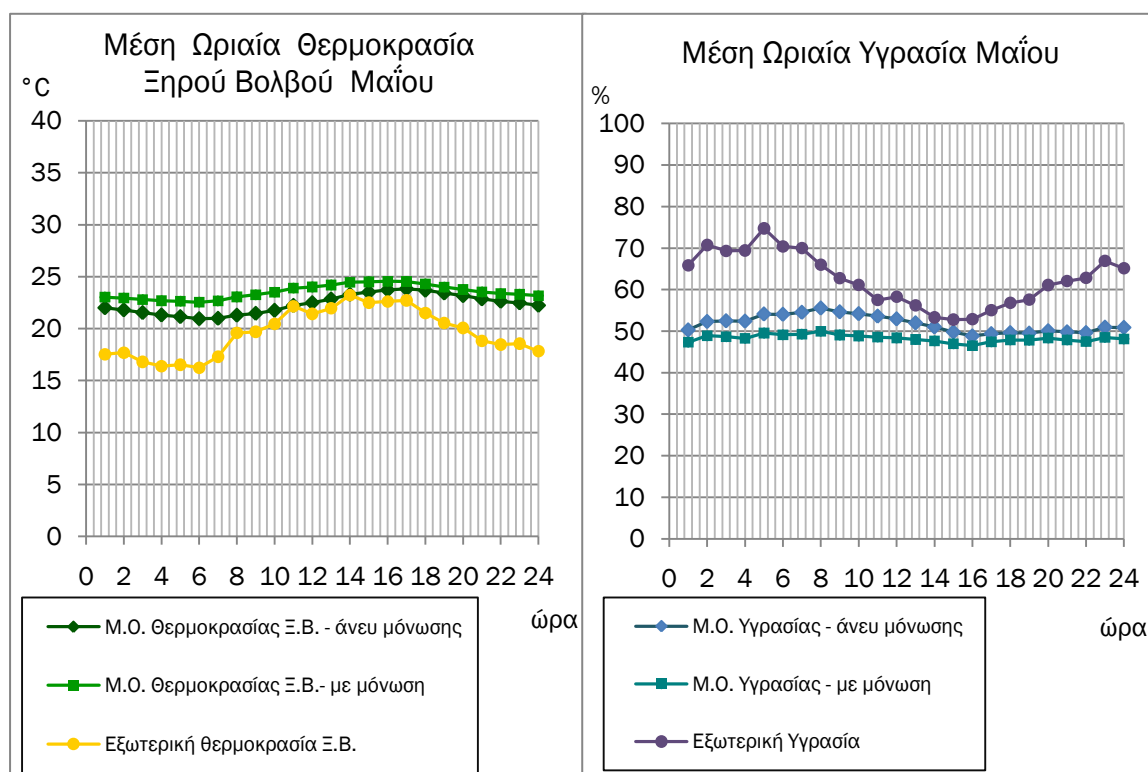
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|----------------|-----------------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 13,8 | 14,8 | 9,6 | 56,4 | 53,0 | 71,1 |
| 2 | 13,7 | 14,8 | 10,2 | 58,3 | 54,5 | 74,8 |
| 3 | 13,5 | 14,7 | 9,4 | 58,1 | 54,1 | 72,4 |
| 4 | 13,3 | 14,6 | 9,2 | 57,4 | 53,1 | 71,4 |
| 5 | 13,3 | 14,6 | 9,7 | 58,3 | 53,7 | 74,8 |
| 6 | 13,1 | 14,5 | 8,9 | 57,5 | 52,7 | 70,8 |
| 7 | 13,0 | 14,5 | 9,0 | 57,3 | 52,2 | 70,7 |
| 8 | 13,1 | 14,6 | 10,3 | 58,6 | 53,2 | 72,3 |
| 9 | 13,2 | 14,8 | 10,7 | 58,0 | 52,5 | 66,3 |
| 10 | 13,4 | 15,1 | 11,5 | 57,6 | 52,1 | 64,1 |
| 11 | 13,8 | 15,4 | 13,5 | 57,8 | 52,4 | 60,7 |
| 12 | 14,0 | 15,5 | 12,8 | 56,8 | 51,8 | 60,1 |
| 13 | 14,4 | 15,7 | 13,4 | 55,9 | 51,4 | 59,0 |
| 14 | 14,7 | 16,0 | 14,6 | 55,4 | 51,5 | 56,5 |
| 15 | 14,9 | 16,0 | 13,7 | 54,4 | 51,1 | 56,8 |
| 16 | 15,0 | 16,0 | 13,6 | 53,5 | 50,5 | 56,9 |
| 17 | 15,1 | 16,0 | 14,0 | 53,3 | 50,7 | 57,5 |
| 18 | 15,0 | 15,8 | 12,6 | 53,3 | 50,9 | 59,9 |
| 19 | 14,8 | 15,5 | 12,0 | 53,5 | 51,2 | 62,3 |
| 20 | 14,7 | 15,4 | 12,0 | 55,5 | 53,1 | 67,9 |
| 21 | 14,4 | 15,3 | 10,8 | 55,3 | 52,8 | 67,4 |
| 22 | 14,3 | 15,2 | 10,6 | 55,1 | 52,4 | 67,5 |
| 23 | 14,2 | 15,1 | 11,0 | 57,2 | 54,3 | 73,2 |
| 24 | 14,0 | 15,0 | 10,0 | 56,4 | 53,3 | 69,2 |



Γράφημα 3- 17 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Απριλίου

Πίνακας 3- 20 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Απριλίου

| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|----------------|-----------------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 17,4 | 18,3 | 12,7 | 51,2 | 48,5 | 68,7 |
| 2 | 17,2 | 18,2 | 12,5 | 51,9 | 48,9 | 70,0 |
| 3 | 17,0 | 18,1 | 12,0 | 52,3 | 49 | 70,4 |
| 4 | 16,8 | 18,0 | 11,9 | 52,4 | 48,8 | 70,9 |
| 5 | 16,6 | 17,9 | 11,7 | 52,6 | 48,6 | 71,6 |
| 6 | 16,5 | 17,9 | 12,3 | 52,8 | 48,5 | 69,2 |
| 7 | 16,5 | 18,0 | 13,0 | 53,0 | 48,4 | 66,8 |
| 8 | 16,6 | 18,2 | 13,6 | 52,9 | 48,0 | 64,4 |
| 9 | 16,8 | 18,5 | 14,9 | 52,4 | 47,5 | 60,2 |
| 10 | 17,1 | 18,8 | 16,1 | 51,6 | 46,8 | 56,5 |
| 11 | 17,5 | 19,1 | 17,3 | 50,7 | 46,2 | 53,1 |
| 12 | 17,9 | 19,4 | 17,7 | 49,8 | 45,8 | 52,2 |
| 13 | 18,3 | 19,6 | 18,2 | 49,0 | 45,6 | 51,3 |
| 14 | 18,7 | 19,8 | 18,7 | 48,4 | 45,6 | 50,4 |
| 15 | 18,9 | 19,8 | 18,5 | 47,7 | 45,4 | 50,6 |
| 16 | 19,1 | 19,8 | 18,2 | 47,0 | 45,1 | 50,8 |
| 17 | 19,2 | 19,8 | 18,0 | 46,4 | 44,9 | 51,0 |
| 18 | 19,1 | 19,6 | 17,1 | 46,6 | 45,2 | 53,7 |
| 19 | 18,8 | 19,3 | 16,2 | 47,3 | 45,9 | 56,6 |
| 20 | 18,6 | 19,1 | 15,3 | 48,1 | 46,7 | 59,7 |
| 21 | 18,4 | 18,9 | 14,7 | 48,8 | 47,1 | 61,5 |
| 22 | 18,2 | 18,8 | 14,1 | 49,3 | 47,4 | 63,4 |
| 23 | 17,9 | 18,6 | 13,5 | 49,8 | 47,7 | 65,4 |
| 24 | 17,8 | 18,5 | 13,2 | 50,3 | 47,9 | 66,8 |



Γράφημα 3- 18 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαΐου

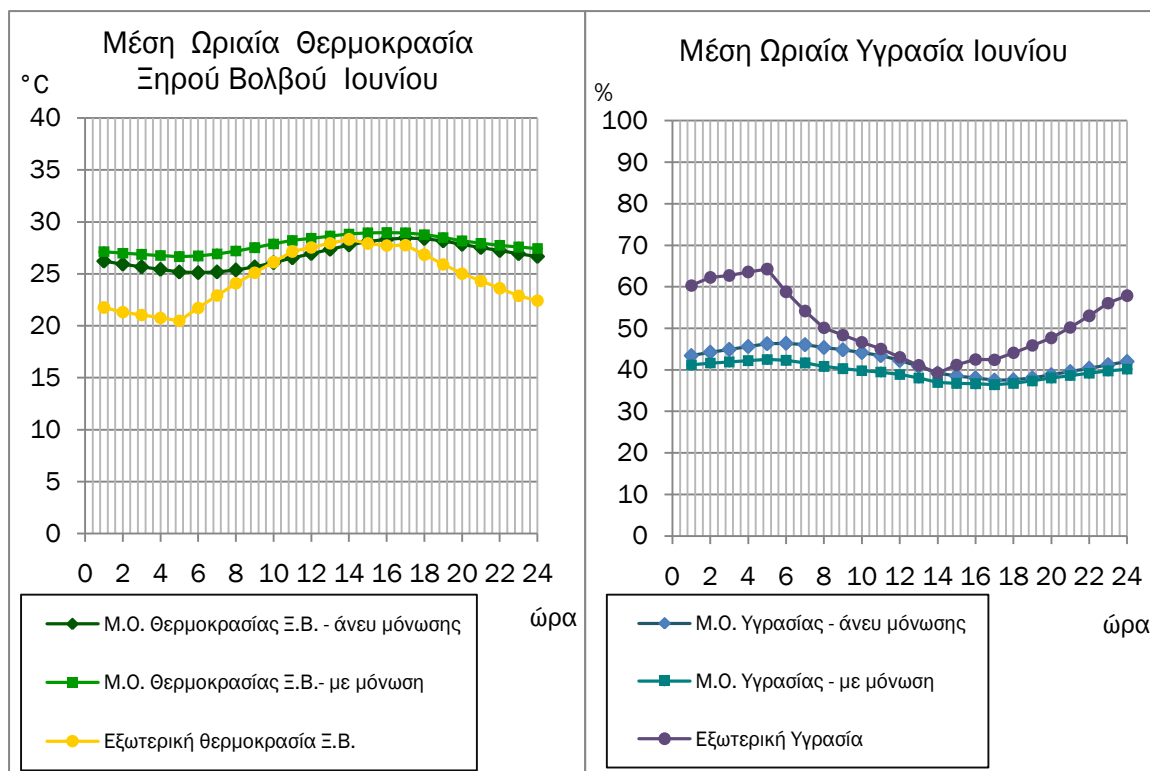
Πίνακας 3- 21. Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Μαΐου

| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|----------------|-----------------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 22,0 | 23,0 | 17,5 | 50,3 | 47,3 | 65,9 |
| 2 | 21,8 | 22,9 | 17,7 | 52,3 | 48,9 | 70,7 |
| 3 | 21,5 | 22,8 | 16,8 | 52,5 | 48,7 | 69,3 |
| 4 | 21,3 | 22,7 | 16,4 | 52,4 | 48,3 | 69,4 |
| 5 | 21,1 | 22,6 | 16,5 | 54,1 | 49,5 | 74,7 |
| 6 | 20,9 | 22,5 | 16,2 | 54,0 | 49,1 | 70,4 |
| 7 | 21,0 | 22,7 | 17,3 | 54,5 | 49,3 | 70,0 |
| 8 | 21,3 | 23,1 | 19,6 | 55,5 | 50,0 | 66,0 |
| 9 | 21,5 | 23,3 | 19,7 | 54,6 | 49,1 | 62,7 |
| 10 | 21,8 | 23,5 | 20,5 | 54,2 | 48,9 | 61,1 |
| 11 | 22,2 | 23,9 | 22,1 | 53,6 | 48,6 | 57,5 |
| 12 | 22,5 | 24,0 | 21,4 | 52,9 | 48,4 | 58,3 |
| 13 | 22,9 | 24,2 | 22,0 | 52,0 | 48,0 | 56,2 |
| 14 | 23,3 | 24,5 | 23,2 | 51,0 | 47,6 | 53,3 |
| 15 | 23,5 | 24,5 | 22,5 | 49,8 | 47,0 | 52,8 |
| 16 | 23,7 | 24,6 | 22,6 | 48,8 | 46,5 | 52,9 |
| 17 | 23,8 | 24,5 | 22,7 | 49,4 | 47,4 | 55,0 |
| 18 | 23,7 | 24,3 | 21,5 | 49,6 | 47,9 | 56,8 |
| 19 | 23,4 | 24,0 | 20,5 | 49,5 | 47,9 | 57,6 |
| 20 | 23,2 | 23,8 | 20,1 | 50,1 | 48,3 | 61,1 |
| 21 | 22,9 | 23,5 | 18,8 | 49,8 | 47,9 | 62,1 |
| 22 | 22,6 | 23,4 | 18,5 | 49,6 | 47,5 | 62,8 |
| 23 | 22,5 | 23,3 | 18,6 | 50,9 | 48,5 | 66,9 |
| 24 | 22,2 | 23,2 | 17,8 | 50,9 | 48,1 | 65,1 |

Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο με βάση τα γραφήματα 3-14 έως 3-16 (πίνακες 3-17 έως 3-19) απαιτείται θέρμανση. Παρατηρείται όμοια συμπεριφορά με αυτή του προηγούμενου κύκλου προσομοιώσεων, δηλαδή μικρή ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας και της υγρασίας (πρόκειται άλλωστε για τα ίδια δεδομένα).

Τον Απρίλιο, για το μοντέλο με μόνωση, οι τιμές τόσο της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας είναι οριακά εκτός των ορίων που θα τίθενται για την θερμική άνεση, ενώ στο άνευ μόνωσης μοντέλο ελαφρώς περισσότερο (γράφημα 3-17, πίνακας 3-20). Σε πραγματικές συνθήκες -και με την προσθήκη των θερμικών κερδών- αυτές οι μικρές αποκλίσεις δε δικαιολογούν την χρήση της θέρμανσης.

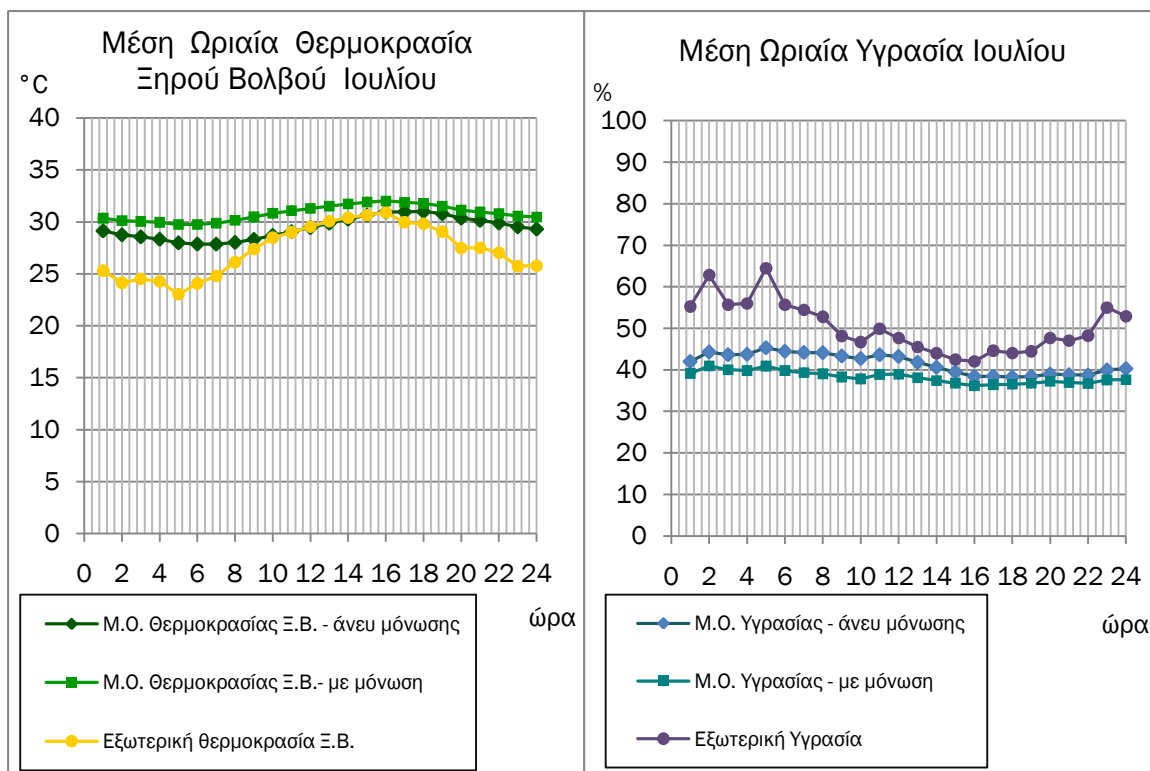
Εντός των ορίων της θερμικής άνεσης βρίσκονται και τα δύο μοντέλα για το μήνα Μάιο (γράφημα 3-18, πίνακας 3-21), επομένως μαζί με τον Απρίλιο ανήκουν στην ουδέτερη περίοδο όπου δεν απαιτείται θέρμανση ή κλιματισμός. Στην περίπτωση που ξεπεραστούν τα όρια και προκύψει δυσανεμία είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί με λιγότερο δραστήριους μεθόδους (π.χ. ελαφρύτερο ρουχισμό ή άνοιγμα παραθύρου).



Γράφημα 3- 19 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουνίου

Πίνακας 3- 22 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουνίου

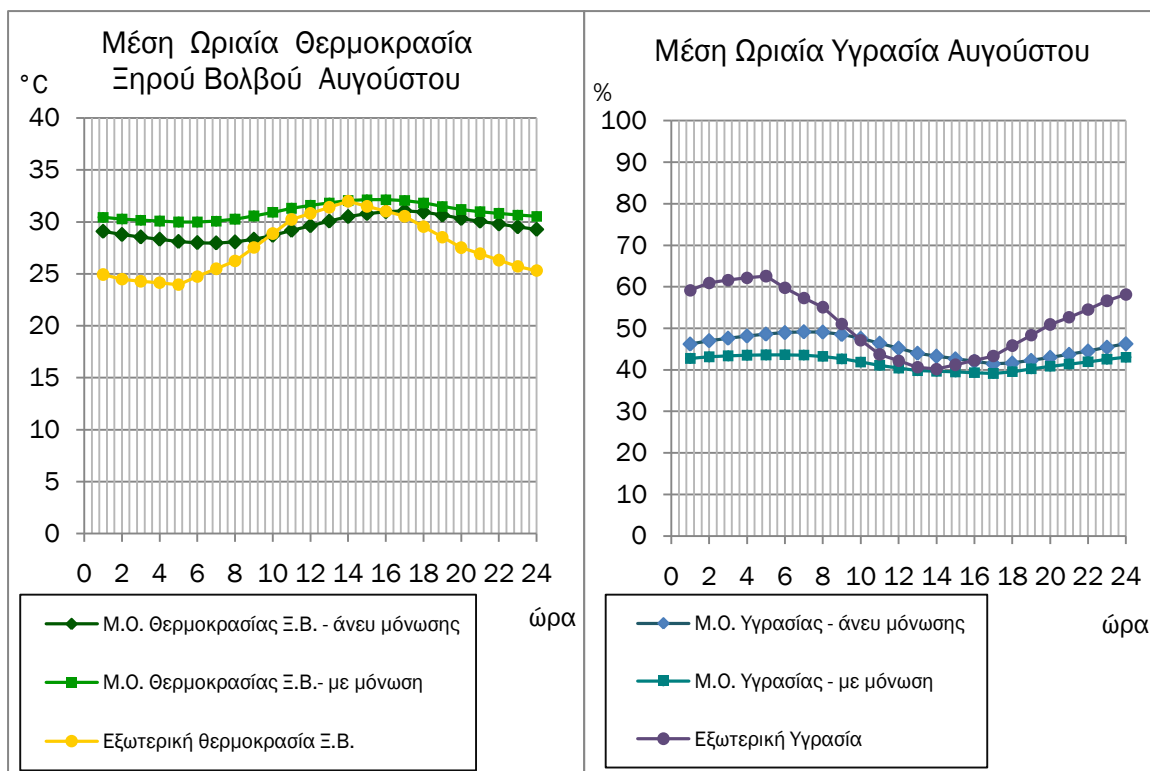
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 26,2 | 27,1 | 21,8 | 43,4 | 41,2 | 60,3 |
| 2 | 25,9 | 27,0 | 21,3 | 44,3 | 41,6 | 62,3 |
| 3 | 25,7 | 26,9 | 21,0 | 44,9 | 41,9 | 62,7 |
| 4 | 25,4 | 26,8 | 20,8 | 45,6 | 42,2 | 63,6 |
| 5 | 25,2 | 26,7 | 20,5 | 46,3 | 42,5 | 64,3 |
| 6 | 25,1 | 26,7 | 21,7 | 46,4 | 42,3 | 58,8 |
| 7 | 25,2 | 26,9 | 22,9 | 46,1 | 41,7 | 54,2 |
| 8 | 25,4 | 27,2 | 24,1 | 45,4 | 40,8 | 50,1 |
| 9 | 25,7 | 27,5 | 25,1 | 44,8 | 40,3 | 48,4 |
| 10 | 26,1 | 27,9 | 26,1 | 44,2 | 39,8 | 46,6 |
| 11 | 26,5 | 28,2 | 27,2 | 43,4 | 39,5 | 45,0 |
| 12 | 27,0 | 28,4 | 27,5 | 42,3 | 38,9 | 43,0 |
| 13 | 27,4 | 28,6 | 27,9 | 40,8 | 38,0 | 41,1 |
| 14 | 27,8 | 28,8 | 28,3 | 39,2 | 37,0 | 39,2 |
| 15 | 28,1 | 28,9 | 27,9 | 38,5 | 36,7 | 41,2 |
| 16 | 28,3 | 29,0 | 27,7 | 38,1 | 36,7 | 42,5 |
| 17 | 28,5 | 29,0 | 27,8 | 37,5 | 36,4 | 42,4 |
| 18 | 28,4 | 28,8 | 26,8 | 37,6 | 36,7 | 44,1 |
| 19 | 28,2 | 28,5 | 25,9 | 38,1 | 37,3 | 45,9 |
| 20 | 27,8 | 28,2 | 25,0 | 38,8 | 38,0 | 47,7 |
| 21 | 27,5 | 27,9 | 24,3 | 39,6 | 38,6 | 50,2 |
| 22 | 27,2 | 27,8 | 23,6 | 40,4 | 39,2 | 53,0 |
| 23 | 26,9 | 27,6 | 22,9 | 41,3 | 39,7 | 56,1 |
| 24 | 26,7 | 27,4 | 22,4 | 42,0 | 40,2 | 57,9 |



Γράφημα 3- 20 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουλίου

Πίνακας 3- 23 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Ιουλίου

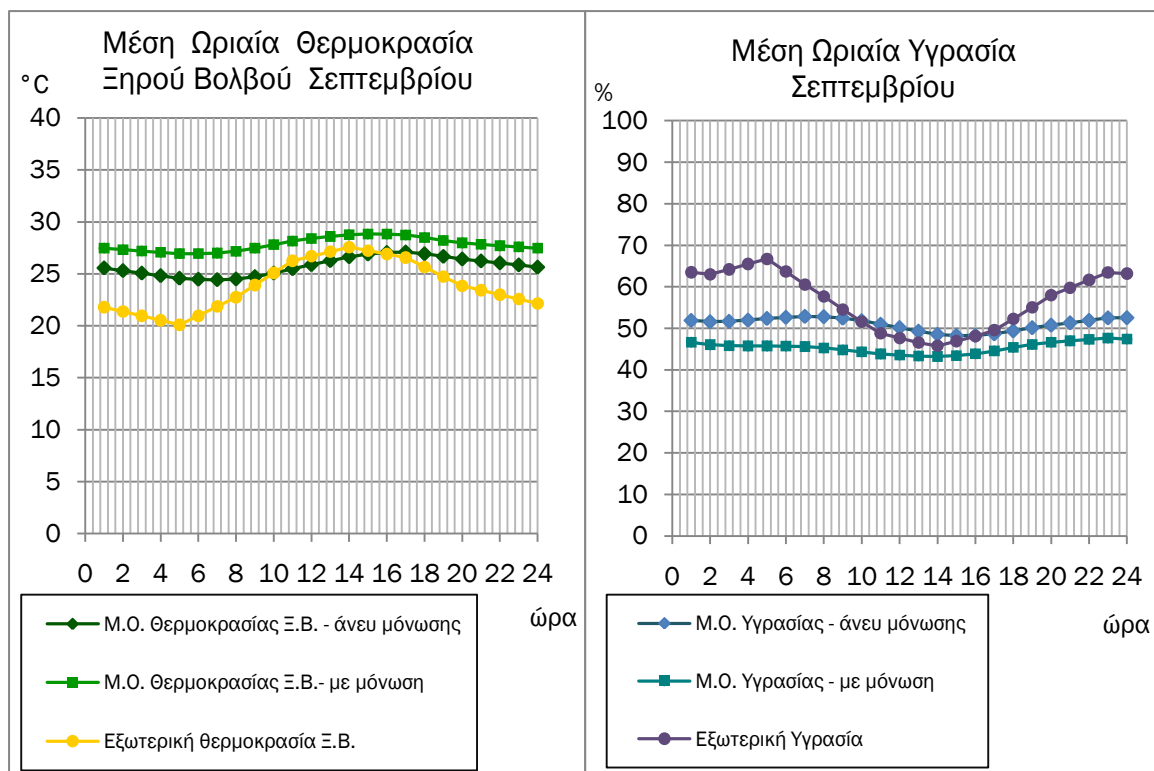
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 29,1 | 30,4 | 25,3 | 42,0 | 39,1 | 55,3 |
| 2 | 28,8 | 30,1 | 24,1 | 44,3 | 40,9 | 62,8 |
| 3 | 28,6 | 30,1 | 24,5 | 43,6 | 40,0 | 55,7 |
| 4 | 28,3 | 30,0 | 24,3 | 43,7 | 39,8 | 56,0 |
| 5 | 28 | 29,8 | 23,0 | 45,3 | 40,9 | 64,5 |
| 6 | 27,9 | 29,8 | 24,1 | 44,5 | 39,8 | 55,6 |
| 7 | 27,9 | 29,9 | 24,8 | 44,2 | 39,3 | 54,4 |
| 8 | 28,0 | 30,2 | 26,1 | 44,1 | 39,1 | 52,8 |
| 9 | 28,3 | 30,5 | 27,4 | 43,3 | 38,3 | 48,2 |
| 10 | 28,7 | 30,8 | 28,5 | 42,7 | 37,8 | 46,7 |
| 11 | 29,1 | 31,1 | 29,0 | 43,6 | 38,9 | 49,9 |
| 12 | 29,5 | 31,3 | 29,5 | 43,2 | 39,0 | 47,6 |
| 13 | 29,9 | 31,5 | 30,1 | 41,8 | 38,1 | 45,5 |
| 14 | 30,3 | 31,7 | 30,4 | 40,6 | 37,4 | 44,0 |
| 15 | 30,7 | 31,9 | 30,7 | 39,5 | 36,8 | 42,5 |
| 16 | 31,0 | 32,0 | 30,9 | 38,4 | 36,2 | 42,0 |
| 17 | 31,0 | 31,9 | 30,0 | 38,4 | 36,4 | 44,6 |
| 18 | 31,0 | 31,8 | 29,8 | 38,3 | 36,5 | 44,0 |
| 19 | 30,8 | 31,5 | 29,1 | 38,4 | 36,8 | 44,5 |
| 20 | 30,4 | 31,1 | 27,5 | 39,0 | 37,2 | 47,7 |
| 21 | 30,1 | 31,0 | 27,5 | 38,8 | 37,0 | 47,0 |
| 22 | 29,9 | 30,8 | 27,0 | 38,7 | 36,7 | 48,2 |
| 23 | 29,5 | 30,6 | 25,7 | 40,0 | 37,6 | 55,0 |
| 24 | 29,3 | 30,5 | 25,8 | 40,3 | 37,6 | 52,9 |



Γράφημα 3- 21 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Αυγούστου

Πίνακας 3- 24 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Αυγούστου

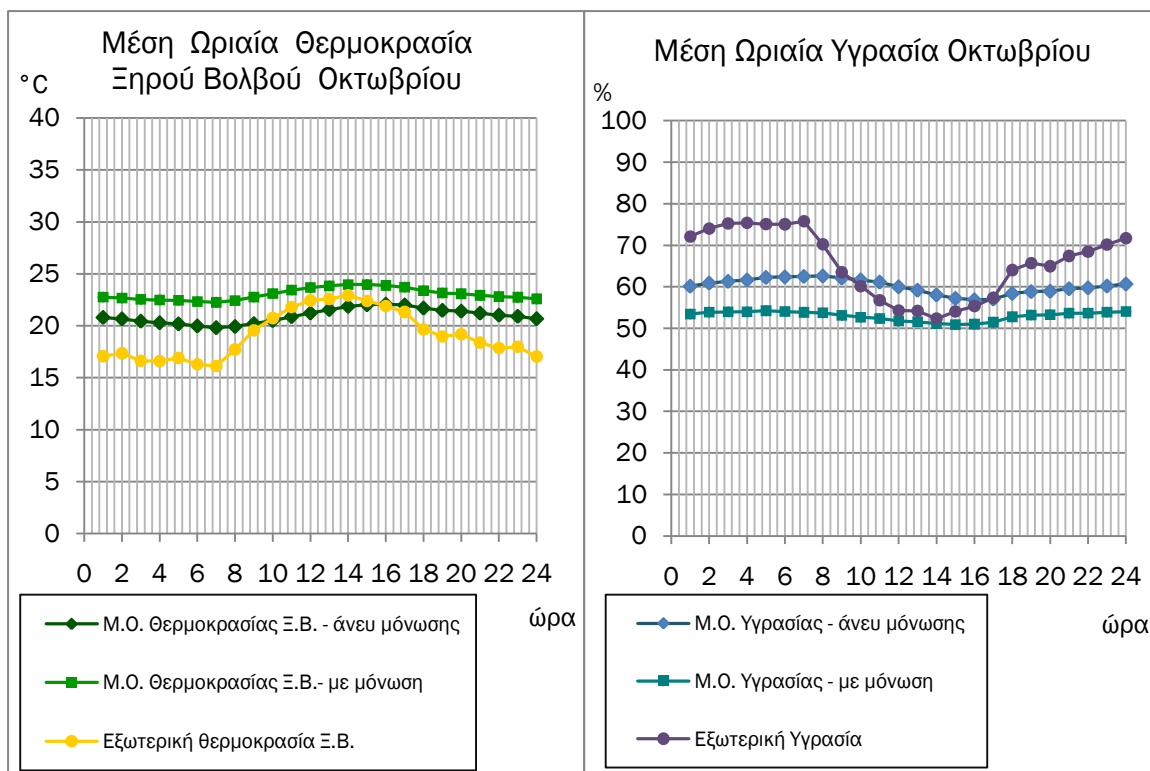
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 29,1 | 30,4 | 24,9 | 46,2 | 42,8 | 59,2 |
| 2 | 28,8 | 30,3 | 24,5 | 47,0 | 43,1 | 60,9 |
| 3 | 28,5 | 30,2 | 24,3 | 47,6 | 43,4 | 61,6 |
| 4 | 28,3 | 30,1 | 24,1 | 48,2 | 43,5 | 62,2 |
| 5 | 28,1 | 30,0 | 24,0 | 48,6 | 43,6 | 62,6 |
| 6 | 28,0 | 30,0 | 24,7 | 49,0 | 43,6 | 59,7 |
| 7 | 28,0 | 30,1 | 25,5 | 49,2 | 43,6 | 57,3 |
| 8 | 28,1 | 30,3 | 26,2 | 49,1 | 43,3 | 55,1 |
| 9 | 28,3 | 30,6 | 27,5 | 48,5 | 42,6 | 51,0 |
| 10 | 28,7 | 30,9 | 28,9 | 47,6 | 41,9 | 47,1 |
| 11 | 29,2 | 31,3 | 30,2 | 46,4 | 41,1 | 43,7 |
| 12 | 29,6 | 31,6 | 30,8 | 45,2 | 40,4 | 42,2 |
| 13 | 30,1 | 31,8 | 31,4 | 44,0 | 39,8 | 40,6 |
| 14 | 30,5 | 32,1 | 32,0 | 43,3 | 39,7 | 40,2 |
| 15 | 30,8 | 32,1 | 31,5 | 42,7 | 39,5 | 41,2 |
| 16 | 31,0 | 32,1 | 31,0 | 42,0 | 39,3 | 42,3 |
| 17 | 31,1 | 32,1 | 30,5 | 41,5 | 39,1 | 43,3 |
| 18 | 31,0 | 31,8 | 29,5 | 41,6 | 39,5 | 45,8 |
| 19 | 30,7 | 31,5 | 28,5 | 42,3 | 40,2 | 48,3 |
| 20 | 30,3 | 31,2 | 27,5 | 43,0 | 40,8 | 50,9 |
| 21 | 30,1 | 31,0 | 26,9 | 43,7 | 41,4 | 52,6 |
| 22 | 29,8 | 30,8 | 26,3 | 44,5 | 41,9 | 54,5 |
| 23 | 29,5 | 30,7 | 25,7 | 45,5 | 42,5 | 56,6 |
| 24 | 29,3 | 30,5 | 25,3 | 46,3 | 43 | 58,2 |



Γράφημα 3- 22 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Σεπτεμβρίου

Πίνακας 3- 25 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Σεπτεμβρίου

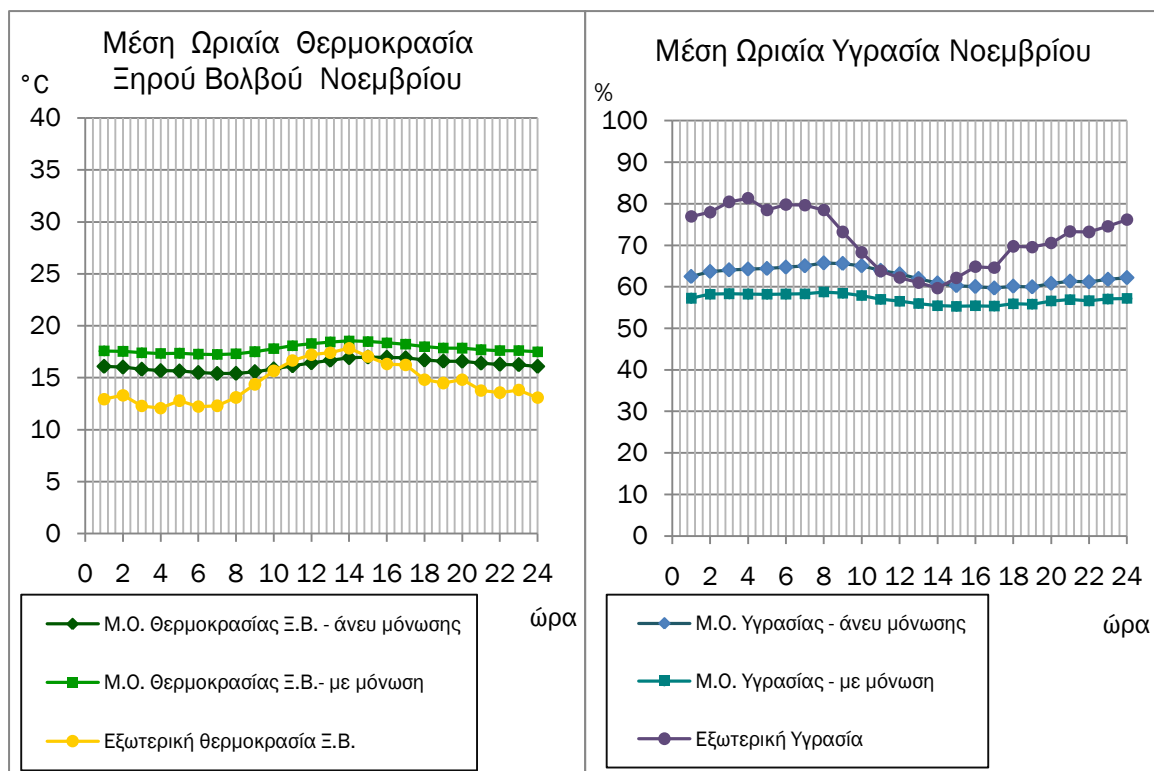
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 25,6 | 27,5 | 21,8 | 51,9 | 46,6 | 63,5 |
| 2 | 25,3 | 27,3 | 21,4 | 51,6 | 46,1 | 63,0 |
| 3 | 25,1 | 27,2 | 21,0 | 51,7 | 45,8 | 64,2 |
| 4 | 24,8 | 27,1 | 20,5 | 52,0 | 45,8 | 65,5 |
| 5 | 24,6 | 26,9 | 20,1 | 52,4 | 45,8 | 66,7 |
| 6 | 24,5 | 27,0 | 21,0 | 52,7 | 45,7 | 63,7 |
| 7 | 24,4 | 27,0 | 21,9 | 52,9 | 45,6 | 60,5 |
| 8 | 24,5 | 27,2 | 22,7 | 52,8 | 45,3 | 57,7 |
| 9 | 24,7 | 27,5 | 23,9 | 52,4 | 44,8 | 54,5 |
| 10 | 25,1 | 27,8 | 25,1 | 51,8 | 44,3 | 51,6 |
| 11 | 25,5 | 28,2 | 26,3 | 51,0 | 43,8 | 48,8 |
| 12 | 25,9 | 28,4 | 26,7 | 50,2 | 43,6 | 47,7 |
| 13 | 26,3 | 28,6 | 27,1 | 49,3 | 43,3 | 46,6 |
| 14 | 26,6 | 28,8 | 27,6 | 48,6 | 43,2 | 45,8 |
| 15 | 26,9 | 28,8 | 27,2 | 48,3 | 43,4 | 46,9 |
| 16 | 27,1 | 28,8 | 26,9 | 48,3 | 43,9 | 48,1 |
| 17 | 27,1 | 28,7 | 26,6 | 48,7 | 44,5 | 49,6 |
| 18 | 26,9 | 28,5 | 25,7 | 49,4 | 45,4 | 52,3 |
| 19 | 26,7 | 28,2 | 24,7 | 50,2 | 46,1 | 55,0 |
| 20 | 26,4 | 28,0 | 23,8 | 50,8 | 46,6 | 58,0 |
| 21 | 26,2 | 27,8 | 23,4 | 51,3 | 47,0 | 59,8 |
| 22 | 26,1 | 27,7 | 23,0 | 51,9 | 47,3 | 61,6 |
| 23 | 25,9 | 27,6 | 22,6 | 52,5 | 47,7 | 63,4 |
| 24 | 25,6 | 27,5 | 22,2 | 52,6 | 47,4 | 63,2 |



Γράφημα 3- 23 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Οκτωβρίου

Πίνακας 3- 26 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Οκτωβρίου

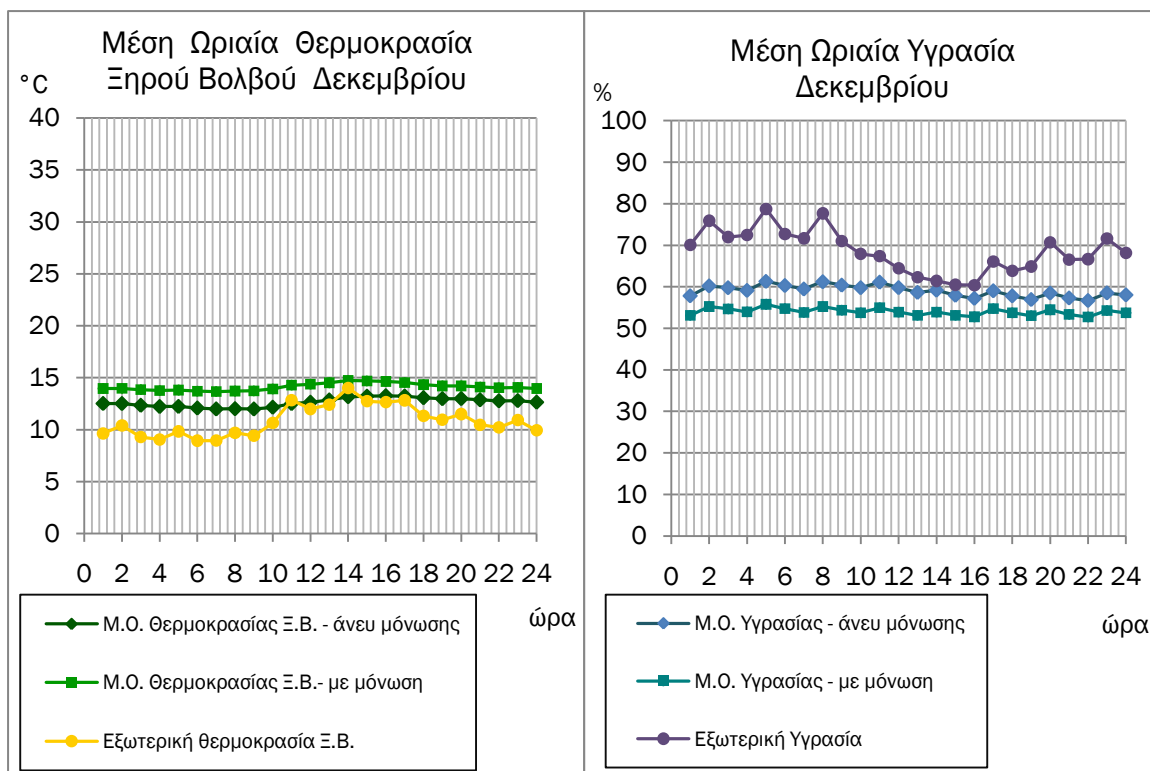
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 20,8 | 22,8 | 17,1 | 60,1 | 53,4 | 72,1 |
| 2 | 20,7 | 22,7 | 17,4 | 60,9 | 53,9 | 74,0 |
| 3 | 20,4 | 22,5 | 16,6 | 61,3 | 54,0 | 75,3 |
| 4 | 20,3 | 22,5 | 16,6 | 61,7 | 54,0 | 75,4 |
| 5 | 20,2 | 22,4 | 16,9 | 62,3 | 54,3 | 75,1 |
| 6 | 20,0 | 22,3 | 16,3 | 62,4 | 54,1 | 75,1 |
| 7 | 19,8 | 22,3 | 16,1 | 62,5 | 53,9 | 75,8 |
| 8 | 19,9 | 22,4 | 17,7 | 62,6 | 53,7 | 70,2 |
| 9 | 20,2 | 22,8 | 19,6 | 62,1 | 53,1 | 63,5 |
| 10 | 20,5 | 23,1 | 20,7 | 61,7 | 52,7 | 60,2 |
| 11 | 20,9 | 23,4 | 21,8 | 61,1 | 52,4 | 56,7 |
| 12 | 21,2 | 23,7 | 22,4 | 60,0 | 51,8 | 54,3 |
| 13 | 21,6 | 23,8 | 22,6 | 59,2 | 51,6 | 54,2 |
| 14 | 21,9 | 24,0 | 22,9 | 58,1 | 51,1 | 52,4 |
| 15 | 22,0 | 24,0 | 22,4 | 57,2 | 50,9 | 54,1 |
| 16 | 22,1 | 23,9 | 21,9 | 56,9 | 51,0 | 55,4 |
| 17 | 22,0 | 23,7 | 21,3 | 57,0 | 51,5 | 57,3 |
| 18 | 21,7 | 23,4 | 19,7 | 58,4 | 52,8 | 64,0 |
| 19 | 21,5 | 23,2 | 19,0 | 58,8 | 53,2 | 65,7 |
| 20 | 21,4 | 23,1 | 19,2 | 58,9 | 53,3 | 65,0 |
| 21 | 21,2 | 22,9 | 18,4 | 59,5 | 53,7 | 67,4 |
| 22 | 21,0 | 22,8 | 17,9 | 59,8 | 53,6 | 68,5 |
| 23 | 20,9 | 22,7 | 18,0 | 60,2 | 53,9 | 70,2 |
| 24 | 20,7 | 22,6 | 17,1 | 60,7 | 54,0 | 71,7 |



Γράφημα 3- 24 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Νοεμβρίου

Πίνακας 3- 27 Μέση Ημερήσια Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Νοεμβρίου

| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 16,1 | 17,6 | 12,9 | 62,5 | 57,3 | 76,9 |
| 2 | 16,0 | 17,5 | 13,3 | 63,7 | 58,2 | 78,0 |
| 3 | 15,8 | 17,4 | 12,3 | 64,1 | 58,3 | 80,5 |
| 4 | 15,7 | 17,3 | 12,1 | 64,3 | 58,3 | 81,3 |
| 5 | 15,6 | 17,4 | 12,8 | 64,4 | 58,2 | 78,5 |
| 6 | 15,5 | 17,3 | 12,2 | 64,7 | 58,3 | 79,8 |
| 7 | 15,4 | 17,2 | 12,3 | 65 | 58,3 | 79,7 |
| 8 | 15,4 | 17,3 | 13,1 | 65,7 | 58,7 | 78,5 |
| 9 | 15,6 | 17,5 | 14,4 | 65,6 | 58,5 | 73,2 |
| 10 | 15,8 | 17,8 | 15,7 | 65,1 | 57,9 | 68,3 |
| 11 | 16,1 | 18,1 | 16,7 | 63,9 | 57,0 | 63,8 |
| 12 | 16,4 | 18,3 | 17,2 | 63,1 | 56,5 | 62,2 |
| 13 | 16,7 | 18,4 | 17,4 | 62,0 | 56,0 | 61,0 |
| 14 | 16,9 | 18,5 | 17,8 | 60,9 | 55,5 | 59,7 |
| 15 | 17,0 | 18,5 | 17,0 | 60,3 | 55,3 | 62,2 |
| 16 | 17,0 | 18,4 | 16,3 | 60 | 55,4 | 64,8 |
| 17 | 16,9 | 18,2 | 16,2 | 59,7 | 55,4 | 64,6 |
| 18 | 16,7 | 18,0 | 14,8 | 60,1 | 55,9 | 69,7 |
| 19 | 16,6 | 17,9 | 14,5 | 60,0 | 55,8 | 69,6 |
| 20 | 16,6 | 17,8 | 14,8 | 60,8 | 56,6 | 70,5 |
| 21 | 16,4 | 17,7 | 13,8 | 61,3 | 56,9 | 73,3 |
| 22 | 16,3 | 17,6 | 13,6 | 61,2 | 56,6 | 73,2 |
| 23 | 16,3 | 17,6 | 13,8 | 61,8 | 57,1 | 74,6 |
| 24 | 16,1 | 17,5 | 13,1 | 62,2 | 57,2 | 76,2 |



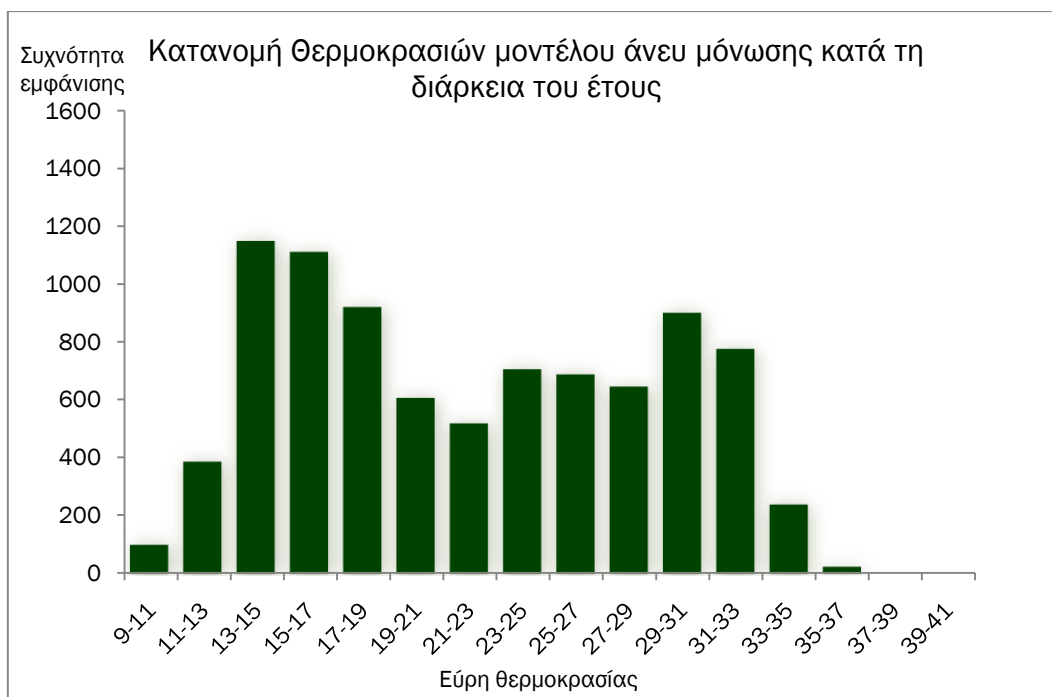
Γράφημα 3- 25 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Δεκεμβρίου

Πίνακας 3- 28 Μέση Ωριαία Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού και Υγρασία Δεκεμβρίου

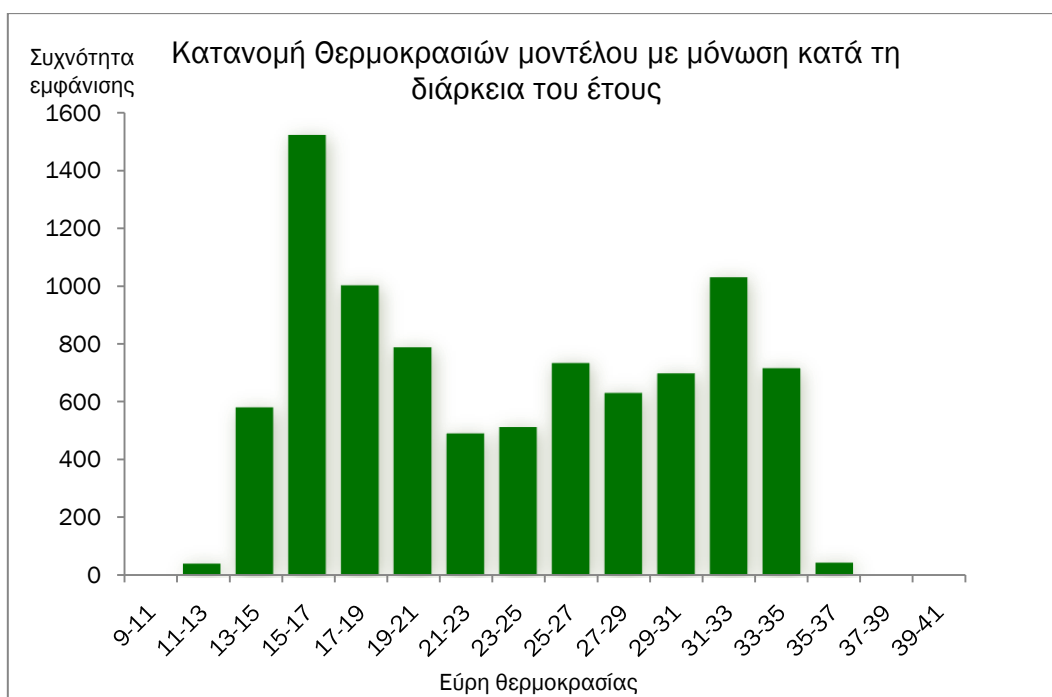
| Μοντέλο | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Άνευ μόνωσης | Με μόνωση | Εξωτερική Υγρασία [%] |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------|-------------|-----------------------|
| | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού [°C] | | Υγρασία [%] | Υγρασία [%] | |
| 1 | 12,5 | 14,0 | 9,6 | 57,8 | 53,1 | 70,1 |
| 2 | 12,5 | 14,0 | 10,4 | 60,2 | 55,3 | 75,9 |
| 3 | 12,3 | 13,9 | 9,3 | 59,8 | 54,7 | 72,0 |
| 4 | 12,2 | 13,8 | 9,1 | 59,1 | 54,0 | 72,5 |
| 5 | 12,2 | 13,8 | 9,8 | 61,3 | 55,8 | 78,7 |
| 6 | 12,1 | 13,7 | 8,9 | 60,3 | 54,7 | 72,7 |
| 7 | 12,0 | 13,7 | 9,0 | 59,5 | 53,8 | 71,7 |
| 8 | 12,0 | 13,7 | 9,7 | 61,2 | 55,3 | 77,7 |
| 9 | 12,0 | 13,7 | 9,4 | 60,4 | 54,4 | 71,0 |
| 10 | 12,2 | 13,9 | 10,6 | 59,8 | 53,8 | 67,9 |
| 11 | 12,5 | 14,3 | 12,9 | 61,1 | 55,0 | 67,4 |
| 12 | 12,6 | 14,4 | 12,0 | 59,8 | 53,9 | 64,5 |
| 13 | 12,9 | 14,5 | 12,4 | 58,6 | 53,1 | 62,3 |
| 14 | 13,2 | 14,7 | 14,0 | 59,2 | 53,9 | 61,4 |
| 15 | 13,2 | 14,7 | 12,7 | 57,9 | 53,1 | 60,5 |
| 16 | 13,3 | 14,6 | 12,7 | 57,2 | 52,8 | 60,4 |
| 17 | 13,2 | 14,5 | 12,8 | 59,0 | 54,7 | 66,1 |
| 18 | 13,1 | 14,3 | 11,3 | 57,8 | 53,8 | 63,8 |
| 19 | 13,0 | 14,2 | 11,0 | 56,9 | 53,0 | 64,9 |
| 20 | 13,0 | 14,2 | 11,5 | 58,5 | 54,5 | 70,7 |
| 21 | 12,9 | 14,1 | 10,5 | 57,3 | 53,4 | 66,5 |
| 22 | 12,8 | 14,0 | 10,2 | 56,7 | 52,7 | 66,6 |
| 23 | 12,8 | 14,1 | 10,9 | 58,5 | 54,3 | 71,6 |
| 24 | 12,6 | 14,0 | 9,9 | 58,0 | 53,7 | 68,2 |

Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο απαιτείται κλιματισμός (γραφήματα 3-19 έως 3-22 και πίνακες 3-22 έως 3-25). Ο Οκτώβριος ανήκει στην ουδέτερη περίοδο (γράφημα 3-23, πίνακας 3- 26) μαζί με τον Απρίλιο και τον Μάιο. Τον Νοέμβριο αναμένονται θερμικά φορτία (γράφημα 3-24, πίνακας 3-27) τα οποία θα αυξηθούν τον Δεκέμβριο (γράφημα 3-25, πίνακας 3-28).

Ακριβώς όπως και στον προηγούμενο κύκλο προσομοιώσεων, η αναμενόμενη ημερήσια διακύμανση τόσο της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας για όλους τους μήνες είναι μικρή, γεγονός που επεξηγείται από τις μέσες ωραίες τιμές κάθε μήνα που απαλείφουν την επίδραση των ακραίων τιμών.



Γράφημα 3- 26 Κατανομή Θερμοκρασιών μοντέλου άνευ μόνωσης κατά τη διάρκεια του έτους



Γράφημα 3- 27 Κατανομή Θερμοκρασιών μοντέλου με μόνωση κατά τη διάρκεια του έτους



Γράφημα 3- 28 Κατανομή Θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του έτους για τα δύο μοντέλα

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα (γραφήματα 3-26, 3-27, 3-28), η προσθήκη της μόνωσης μειώνει την συχνότητα εμφάνισης χαμηλών θερμοκρασιών, γεγονός που δηλώνει επακόλουθη πτώση όχι μόνο στις αιχμές του απαιτούμενου θερμικού φορτίου, αλλά και στο συνολικό. Επισημαίνεται η αύξηση της συχνότητας των θερινών υψηλών θερμοκρασιών, στην αντιμετώπιση της οποίας θα συμβάλλει η σκίαση και ο αερισμός.

Προέκυψαν οι μέσοι μήνες του έτους που δεν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη, οι Απρίλιος, Μάιος και Οκτώβριος.

Η μείωση της συχνότητας των χαμηλών θερμοκρασιών και η παράλληλη αύξηση των μέσων και υψηλών τιμών σηματοδοτούν την αναγκαιότητα για προσανατολισμό στην ψύξη του κελύφους, αφού η μόνωση επηρεάζει θετικά την εμφάνιση των ελάχιστων τιμών θερμοκρασίας.

3.6 3^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Μελέτη σκοπιμότητας θερμομόνωσης

Στόχο αυτής της ενότητας αποτελεί η μελέτη της συμπεριφοράς του κτηριακού κελύφους σε διαφορετικές στρατηγικές θερμομόνωσης και αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών και την βελτιστοποίηση του κελύφους . [14] Δημιουργήθηκαν τέσσερα διαφορετικά μοντέλα – ένα για κάθε στρατηγική, με μειούμενο συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων έτσι ώστε να παρατηρηθεί η επίδραση της θερμομόνωσης στο απαιτούμενο θερμικό και ψυκτικό φορτίο για την διατήρηση της θερμικής άνεσης. Ορίστηκαν θερμικά κέρδη στις ζώνες με βάση την χρήση (πίνακας 3-29) και ωράριο λειτουργίας των χώρων 7:00-21:00. Θερμοκρασιακές απαιτήσεις και απαιτήσεις υγρασίας για τις ώρες λειτουργίας όπως στον πίνακα 3-30.

Πίνακας 3- 29 Θερμικά κέρδη λόγω συσκευών [5, 9, 12]

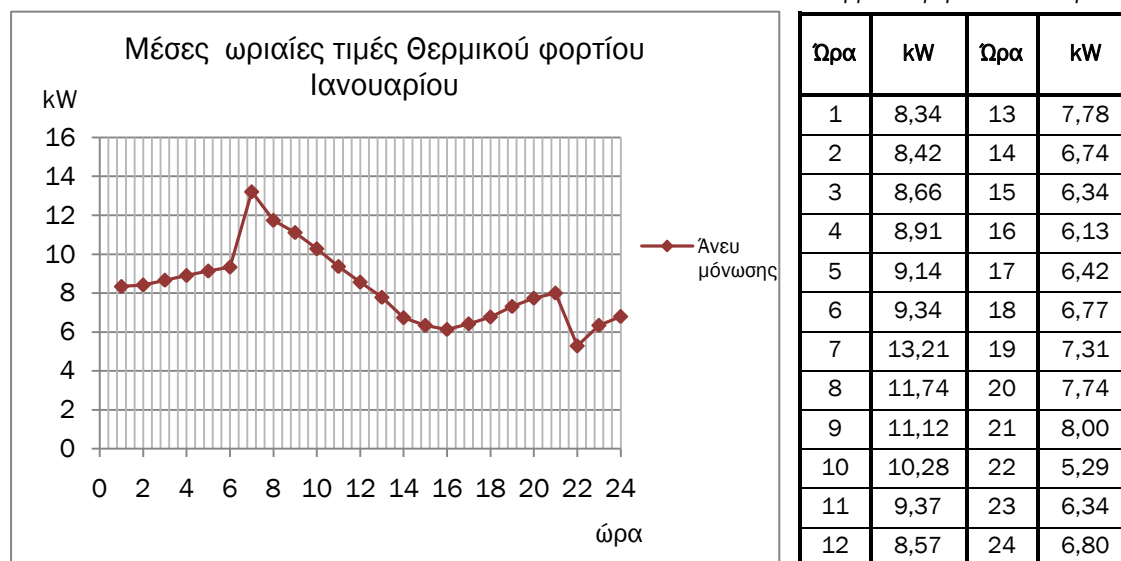
| Πηγή | Θερμικό κέρδος [W] | | |
|------------------------------------|--------------------------|----------|--------------------------|
| | Αισθητό | Λανθάνον | Συνολικό |
| Ανθρώπινη δραστηριότητα | | | |
| Εργασίες γραφείου, μέτριας έντασης | 75 | 55 | 130 |
| Ηλεκτρονικές συσκευές | | | |
| Επιτραπέζιος Η/Υ | 55 | 0 | 55 |
| Οθόνη 13-15 “ | 55 | 0 | 55 |
| Οθόνη 16-18 “ | 70 | 0 | 70 |
| Οθόνη 19-20 “ | 80 | 0 | 80 |
| Εκτυπωτής laser | 50 | 0 | 50 |
| Plotter | 63 | 0 | 63 |
| Fax | 15 | 0 | 15 |
| Scanner | 15 | 0 | 15 |
| Ηλεκτρικές συσκευές | | | |
| Καφετιέρα | 66 | 34 | 100 |
| Φούρνος μικροκυμάτων | 600 | 0 | 600 |
| Ψυγείο | 690 | 0 | 690 |
| Φωτισμός | | | |
| Λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας | 7-17 [W/m ²] | 0 | 7-17 [W/m ²] |

Πίνακας 3- 30 Απαιτούμενες εσωτερικές συνθήκες [5, 29]

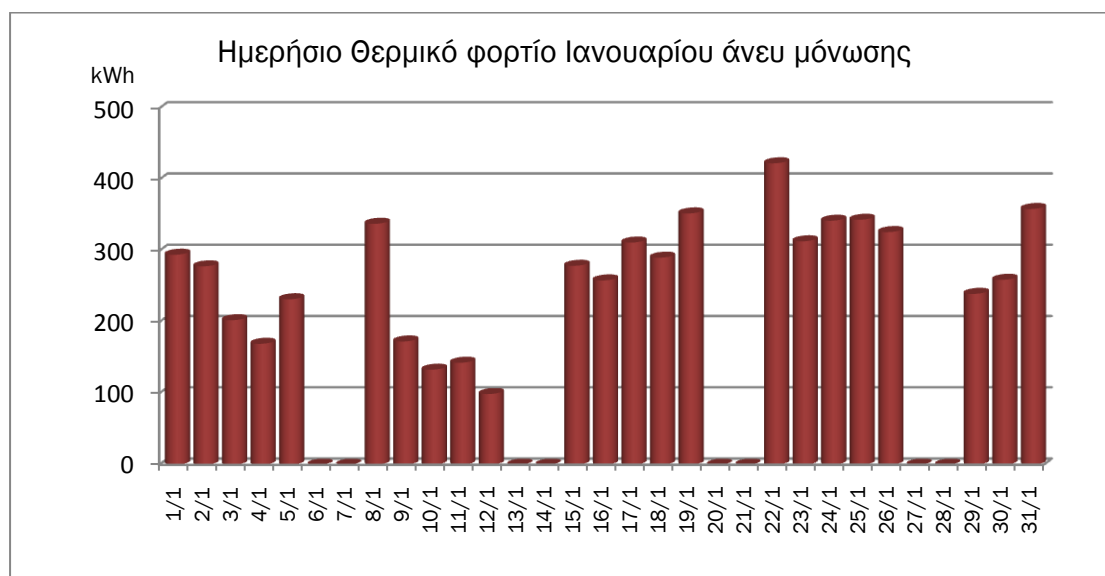
| Όριο | Όριο Θερμοκρασίας [°C] | | Όριο Υγρασίας [%] | |
|-----------------|------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | Εντός ωραρίου | Εκτός ωραρίου | Εντός ωραρίου | Εκτός ωραρίου |
| Ανώτατο | 25 | 28 | 55 | 100 |
| | | | | |
| Κατώτατο | 21 | 19 | 45 | 0 |
| | | | | |

3.6.1 1^ο Μοντέλο – Άνευ Μόνωσης

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του κτηριακού κελύφους παρατίθενται στον πίνακα 3-16. Κατά την προσομοίωση το κτήριο θεωρήθηκε κλειστό. Η ανανέωση νωπού αέρα τέθηκε στις μηδέν ach (αλλαγές του πλήρους όγκου αέρα την ώρα) και η διείσδυση λόγω ελλιπούς στεγανότητας στις 0,90ach. Όλα τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κλειστά. Απαιτούμενη ποσότητα εξωτερικού αέρα (παράμετρος του συστήματος για το TAS) 10l/s/person [5, 26].

Πίνακας 3- 31 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου

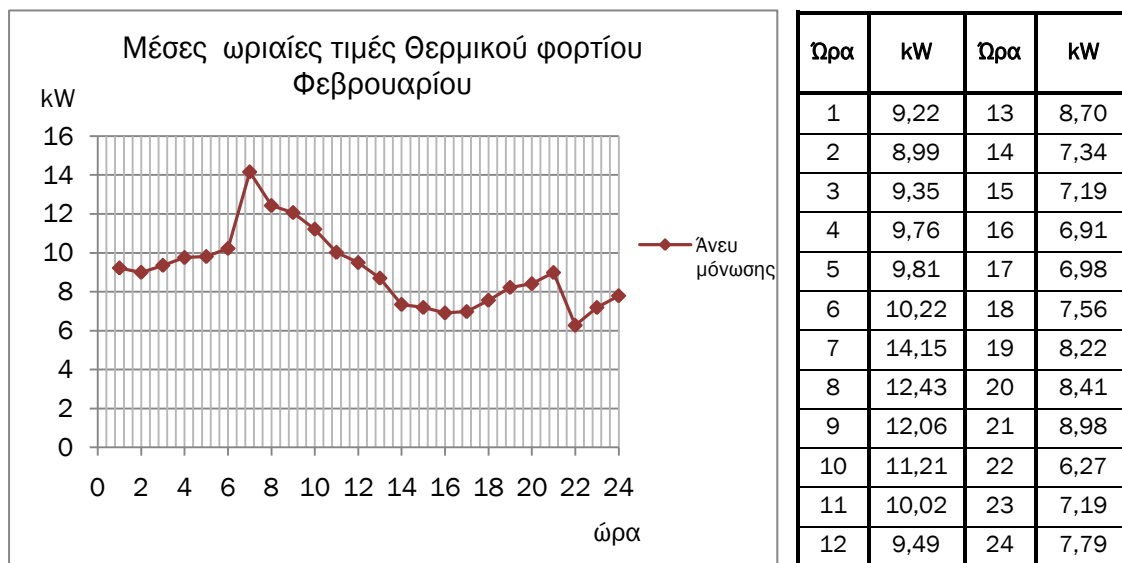
Γράφημα 3- 29 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου



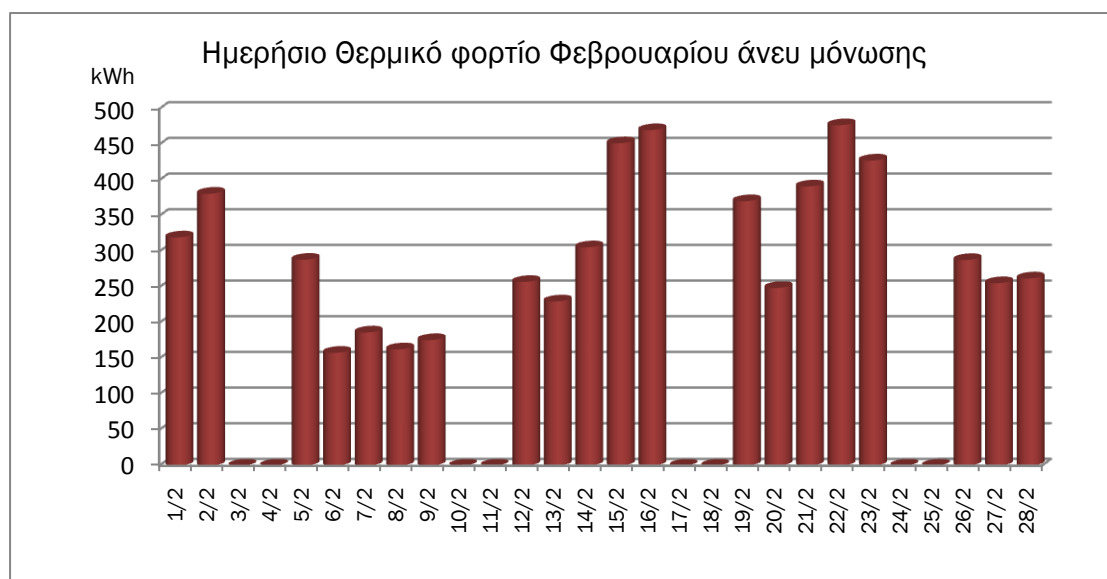
Γράφημα 3- 30 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Ιανουαρίου άνευ μόνωσης

Στο γράφημα 3-29 διαφαίνεται η ημερήσια συμπεριφορά της θέρμανσης για τον Ιανουάριο. Στις 7:00 παρατηρείται η αιχμή του θερμικού φορτίου γεγονός που δικαιολογείται από την είσοδο στο πρόγραμμα λειτουργίας και στις 21:00 η ανάλογη πτώση του λόγω της λήξης της χρήσης. Τις ώρες εκτός προγράμματος το φορτίο οφείλεται στο όριο που έχει τεθεί (19°C) με στόχο τη μείωση της αιχμής κατά την έναρξη της χρήσης. Η μηνιαία συμπεριφορά της θέρμανση του γραφήματος 3-30 είναι δικαιολογημένη, με υψηλότερη την απόκλιση που εμφανίζεται την 2^η εβδομάδα, όπου την Δεύτερα απαιτούνται περίπου τριπλάσιες kWh από ότι την Παρασκευή.

Οι μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στο Σαββατοκύριακο, που το κτήριο παραμένει κλειστό.

Πίνακας 3- 32 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου

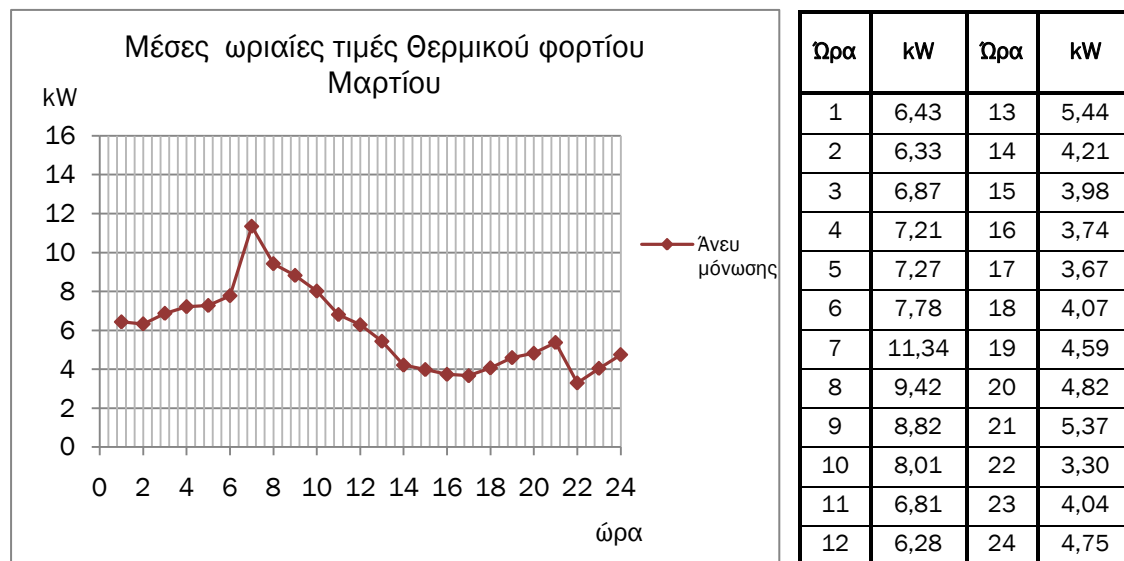
Γράφημα 3- 31 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου



Γράφημα 3- 32 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Φεβρουαρίου άνευ μόνωσης

Η ημερήσια συμπεριφορά του Φεβρουαρίου (γράφημα 3-31) είναι όμοια με αυτή του Ιανουαρίου, μετατοπισμένη προς τα πάνω στον άξονα των y · δηλαδή αυξημένα φορτία για κάθε ώρα σε σύγκριση με αυτά του Ιανουαρίου.

Το απαιτούμενο ημερήσιο φορτίο (γράφημα 3-32) σε σχέση με τον Ιανουάριο είναι αυξημένο την 3^η και 4^η εβδομάδα, αλλά με μεγαλύτερες αποκλίσεις.

Πίνακας 3- 33 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Μαρτίου

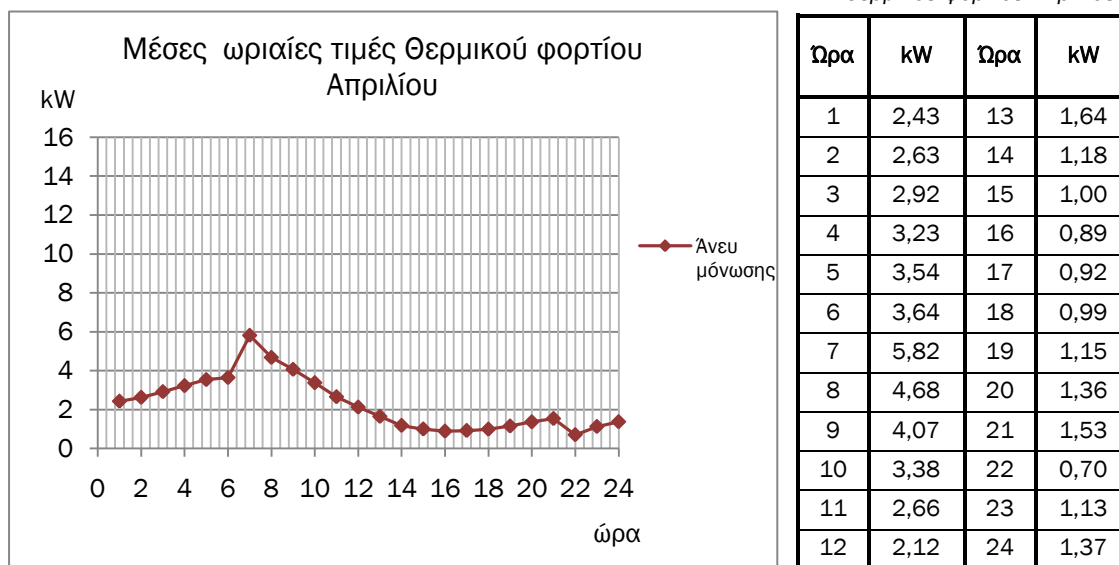
Γράφημα 3- 33 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Μαρτίου



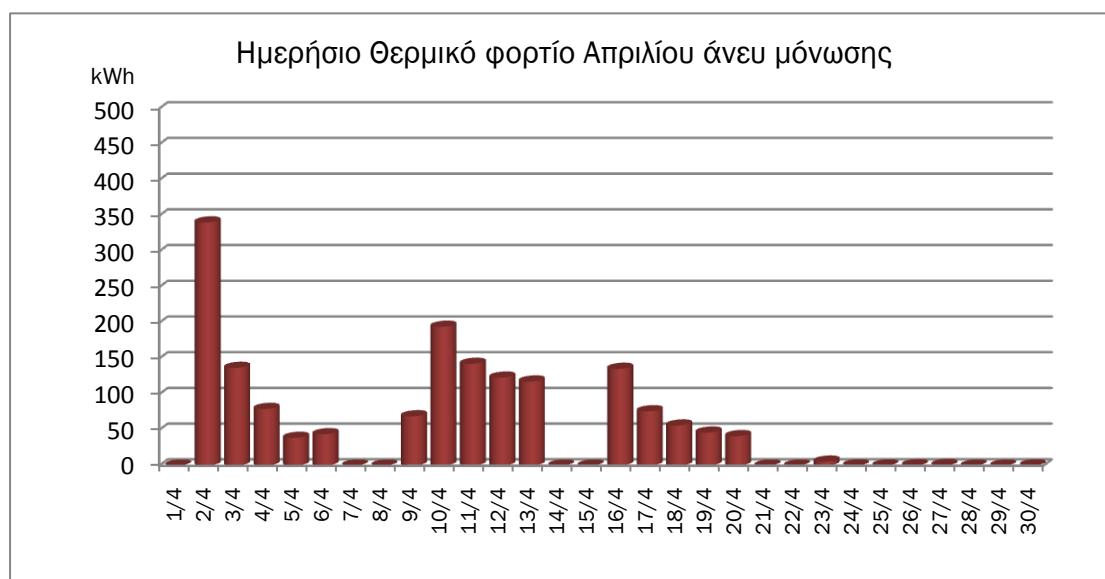
Γράφημα 3- 34 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Μαρτίου άνευ μόνωσης

Τον Μάρτιο η καμπύλη του θερμικού φορτίου (γράφημα 3-33) μετατοπίζεται προς τα κάτω, γεγονός που υποδηλώνει μείωση της απαίτησης σε θέρμανση και δικαιολογείται από την αυξανόμενη θερμοκρασία (αποτελέσματα προηγούμενου κύκλου).

Η συμπεριφορά του μηνιαίου φορτίου (γράφημα 3-34) είναι παρόμοια με τον προηγούμενων μηνών αλλά με μειωμένες τιμές και η διακύμανσή του μεταξύ των εβδομάδων σημαντική.

Πίνακας 3- 34 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Απριλίου

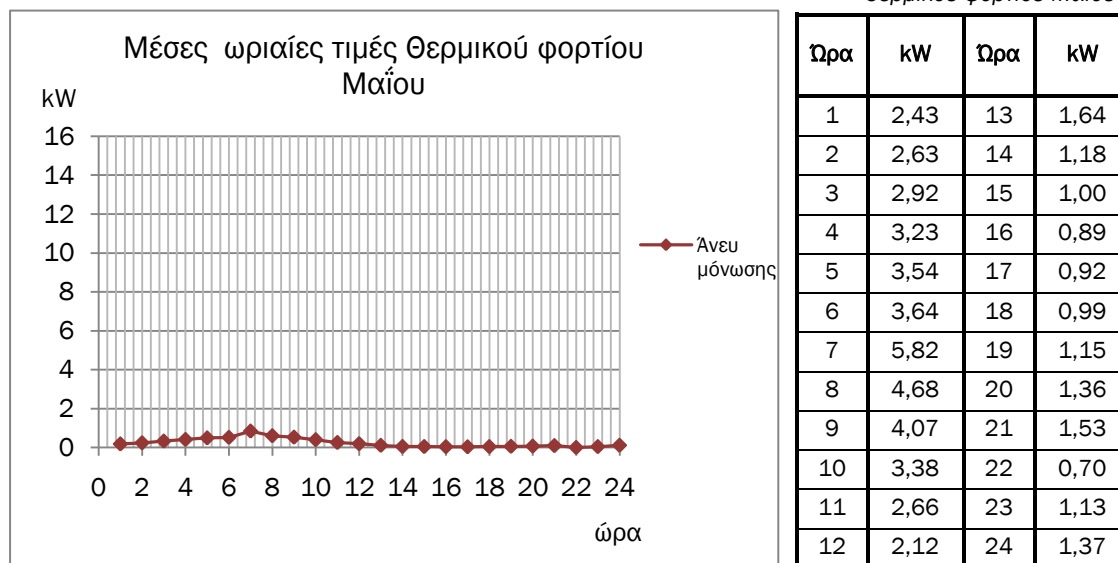
Γράφημα 3- 35 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Απριλίου



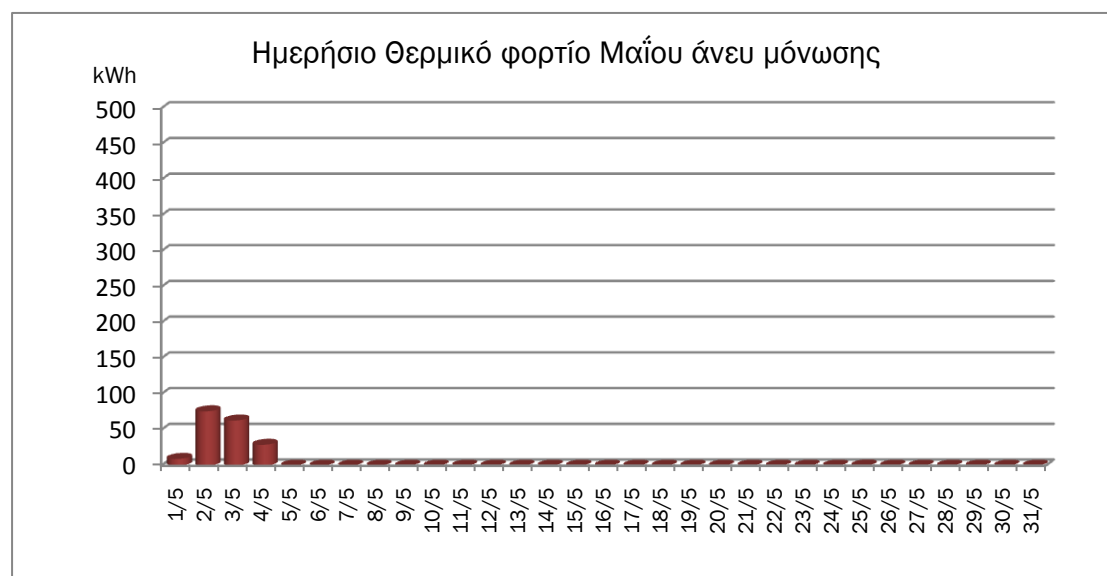
Γράφημα 3- 36 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Απριλίου άνευ μόνωσης

Η πτώση της αιχμής που εμφανίζεται τον Απρίλιο (γράφημα 3-35) δικαιολογείται απόλυτα από τον προηγούμενο κύκλο προσομοιώσεων, όπου το μοντέλο άνευ μόνωσης βρίσκεται οριακά εκτός των συνθηκών θερμικής άνεσης.

Σε μηνιαία βάση, το κτήριο θα θερμανθεί τις πρώτες εβδομάδες, ενώ στο τέλος του μήνα δεν υπάρχει απαίτηση σε θέρμανση ούτε ψύξη (γράφημα 3-36).

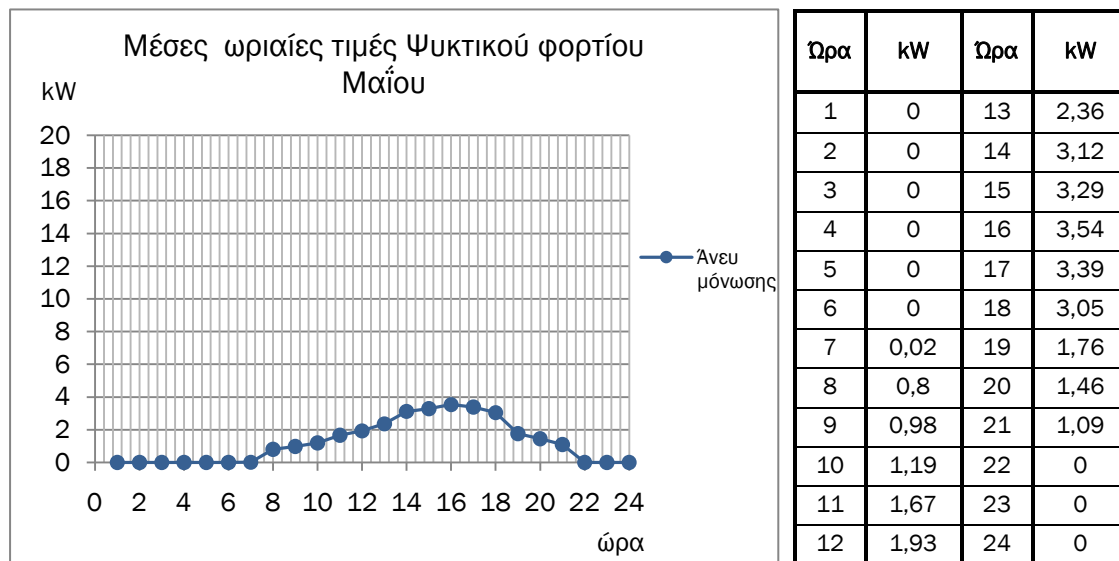
Πίνακας 3- 35 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Μαΐου

Γράφημα 3- 37 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Μαΐου



Γράφημα 3- 38 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Μαΐου άνευ μόνωσης

Τον Μάιο οι επικρατούσες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας δικαιολογούν τόσο το διάγραμμα 3-37 όσο και το 3-38. Η αιχμή του φορτίου της ωριαίας συμπεριφοράς εξαλείφεται και η θέρμανση θα τεθεί σε λειτουργία σε πολύ μικρό βαθμό. Αυτές οι μικρές αποκλίσεις από τα όρια του πίνακα 3-30 (21-25°C και 45-55%) που εμφανίζονται, εκκινούν την θέρμανση. Στην πραγματικότητα, τον μήνα Μάιο η θέρμανση έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

Πίνακας 3- 36 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

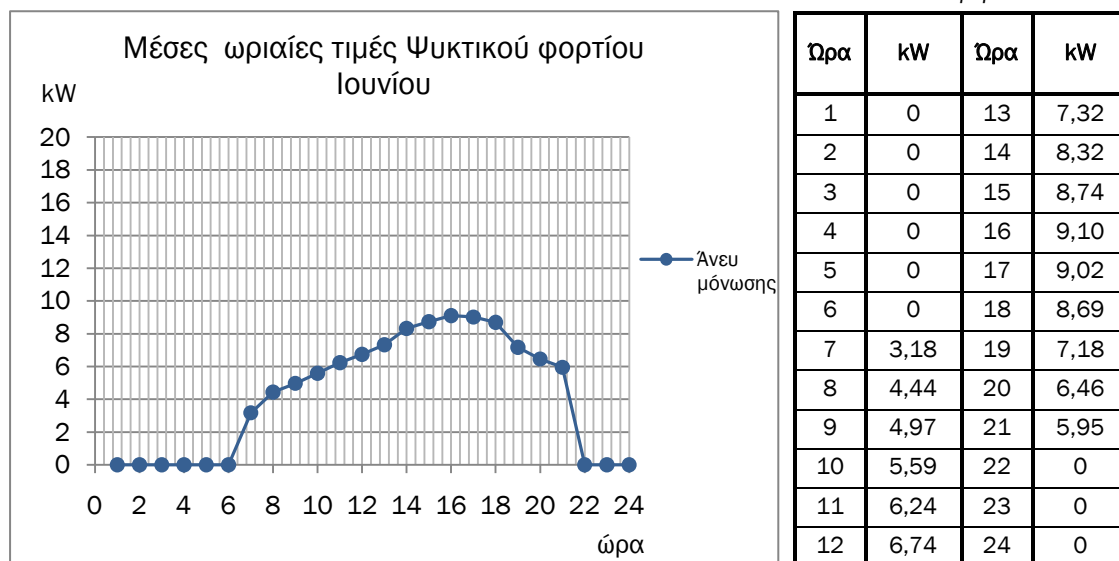
Γράφημα 3- 39 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου



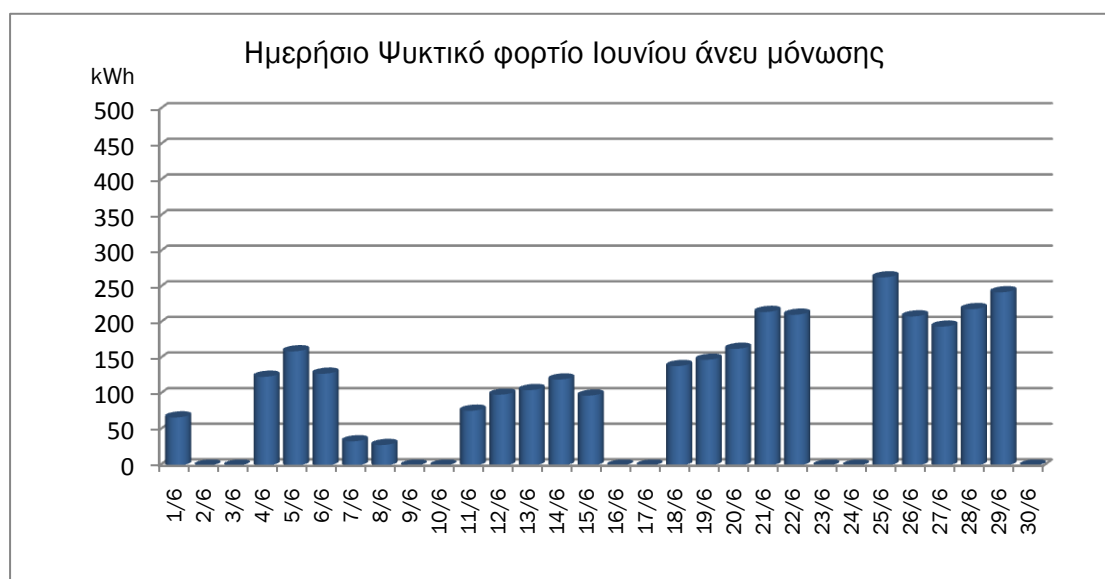
Γράφημα 3- 40 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Μαΐου άνευ μόνωσης

Η ωριαία συμπεριφορά του ψυκτικού φορτίου διαφέρει από αυτή του θερμικού. Η αιχμή δεν εμφανίζεται στην εκκίνηση της χρήσης αλλά τις ώρες που η θερμοκρασία είναι μέγιστη, με μια μικρή διαφορά φάσης (γράφημα 3-39).

Την πρώτη εβδομάδα του Μαΐου η ψύξη δεν είναι απαραίτητη και τις υπόλοιπες η ζήτηση είναι μικρή, αλλά σχετικά σταθερή (γράφημα 3-40)

Πίνακας 3- 37 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου

Γράφημα 3- 41 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου



Γράφημα 3- 42 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουνίου άνευ μόνωσης

Το γράφημα 3-41 εμφανίζει την αναμενόμενη αύξηση του ψυκτικού φορτίου τον Ιούνιο και την ίδια συμπεριφορά με αυτή του Μαΐου.

Από την μηνιαία κατανομή του φορτίου (γράφημα 3-42) διακρίνεται η αυξανόμενη απαίτηση σε ψύξη, η οποία δικαιολογείται από το θέρους.

Πίνακας 3- 38 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

Γράφημα 3- 43 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-------|-----|-------|
| 1 | 0 | 13 | 11,01 |
| 2 | 0 | 14 | 12,03 |
| 3 | 0 | 15 | 12,69 |
| 4 | 0 | 16 | 13,17 |
| 5 | 0 | 17 | 12,69 |
| 6 | 0 | 18 | 12,56 |
| 7 | 7,25 | 19 | 10,94 |
| 8 | 8,13 | 20 | 9,87 |
| 9 | 8,7 | 21 | 9,44 |
| 10 | 9,29 | 22 | 0 |
| 11 | 9,75 | 23 | 0 |
| 12 | 10,29 | 24 | 0 |

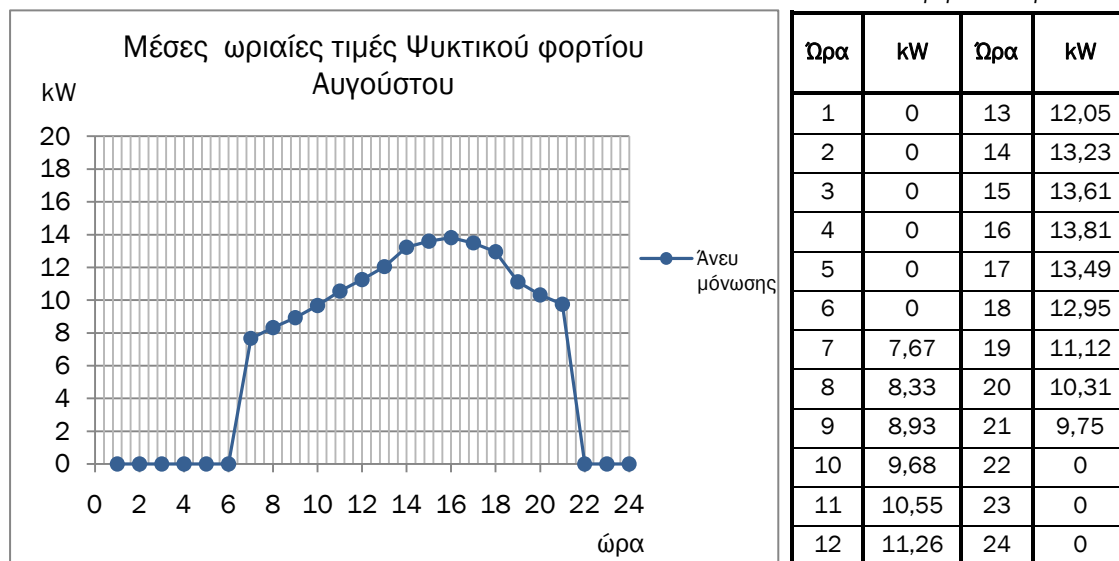


Γράφημα 3- 44 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουλίου άνευ μόνωσης

Ομοίως για τον Ιούλιο με τον Ιούνιο, όπου η παραβολική μορφή του ψυκτικού φορτίου εμφανίζει ακόμα πιο αυξημένη αιχμή (γράφημα 3-43).

Η συνολική εμφανώς μεγαλύτερη απαίτηση σε ψυκτικό φορτίο (γράφημα 3-44) δικαιολογείται από τις υψηλές τιμές θερμοκρασίας του προηγούμενου κύκλου, αν συνυπολογιστεί η προσθήκη των θερμικών κερδών.

Πίνακας 3- 39 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου

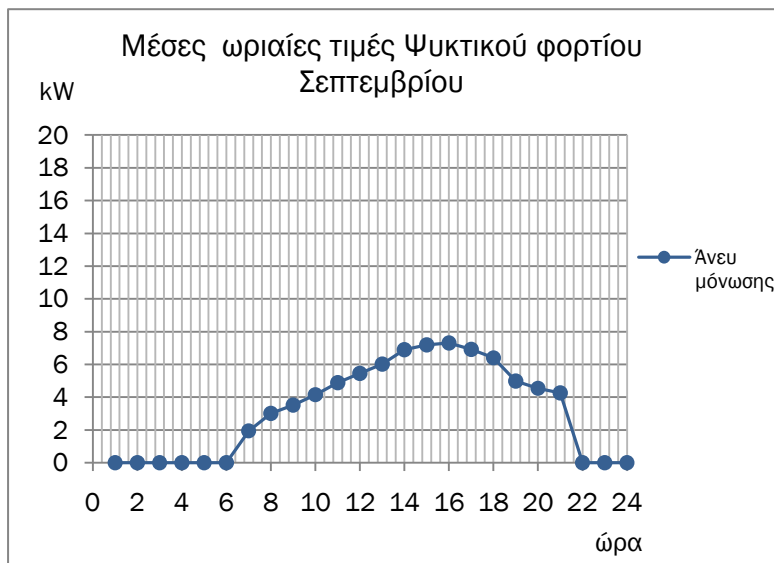


Γράφημα 3- 45 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



Γράφημα 3- 46 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Αυγούστου άνευ μόνωσης

Ο Αύγουστος εμφανίζει τη μέγιστη τιμή μέσου ωριαίου φορτίου (γράφημα 3-45). Η μηνιαία συμπεριφορά του γραφήματος 3-46 είναι σχετικά σταθερή με μέγιστη τιμή την 6^η Αυγούστου, μέρα σχεδιασμού όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενο γράφημα.

Πίνακας 3- 40 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου

| Ωρα | κW | Ωρα | κW |
|-----|------|-----|------|
| 1 | 0 | 13 | 6,02 |
| 2 | 0 | 14 | 6,90 |
| 3 | 0 | 15 | 7,2 |
| 4 | 0 | 16 | 7,31 |
| 5 | 0 | 17 | 6,92 |
| 6 | 0 | 18 | 6,40 |
| 7 | 1,94 | 19 | 4,99 |
| 8 | 3,01 | 20 | 4,54 |
| 9 | 3,52 | 21 | 4,26 |
| 10 | 4,15 | 22 | 0 |
| 11 | 4,89 | 23 | 0 |
| 12 | 5,46 | 24 | 0 |

Γράφημα 3- 47 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου



Γράφημα 3- 48 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Σεπτεμβρίου άνευ μόνωσης

Τον Σεπτέμβριο παρατηρείται πτώση του μέσου μέγιστου φορτίου (γράφημα 3-47) αλλά και του ημερήσιου (γράφημα 3-48). Συγκεκριμένα η μηνιαία διακύμανση του φορτίου είναι όμοια με του Αυγούστου αλλά με χαμηλότερη απόλυτη τιμή.

Πίνακας 3- 41 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

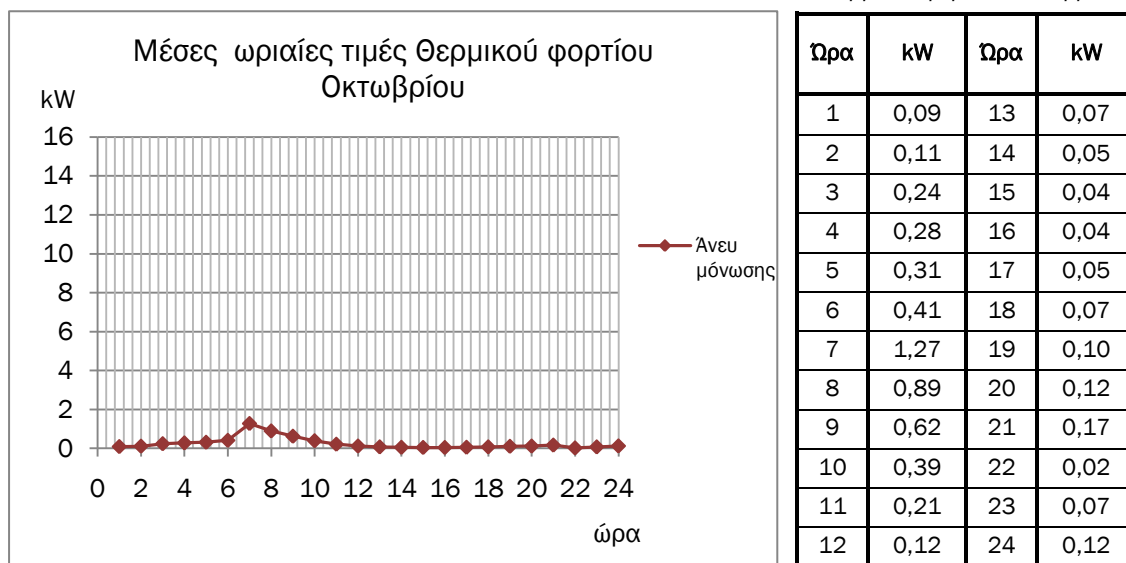
| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|------|-----|------|
| 1 | 0 | 13 | 1,26 |
| 2 | 0 | 14 | 1,57 |
| 3 | 0 | 15 | 1,63 |
| 4 | 0 | 16 | 1,61 |
| 5 | 0 | 17 | 1,43 |
| 6 | 0 | 18 | 1,15 |
| 7 | 0,02 | 19 | 0,63 |
| 8 | 0,38 | 20 | 0,62 |
| 9 | 0,5 | 21 | 0,52 |
| 10 | 0,65 | 22 | 0 |
| 11 | 0,84 | 23 | 0 |
| 12 | 1,06 | 24 | 0 |

Γράφημα 3- 49 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

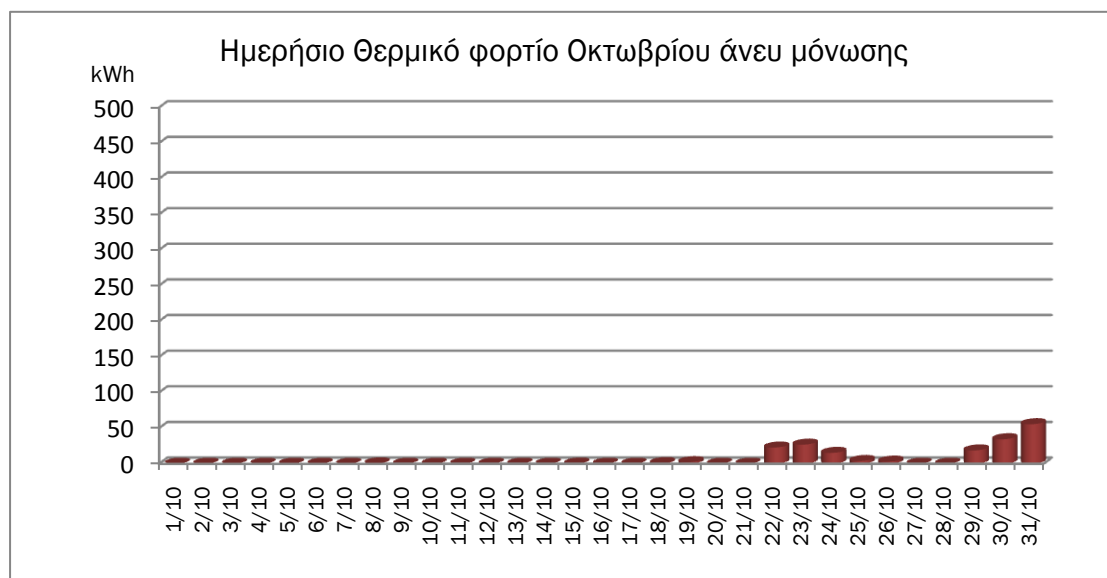


Γράφημα 3- 50 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Οκτωβρίου άνευ μόνωσης

Ο Οκτώβριος ανήκει στους μέσους μήνες, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στο απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο (γραφήματα 3-49, 3-50). Ομοίως με τον Απρίλιο και τον Μάιο όπου η θέρμανση δε λειτουργεί, έτσι και τον Οκτώβριο ο κλιματισμός είναι απενεργοποιημένος.

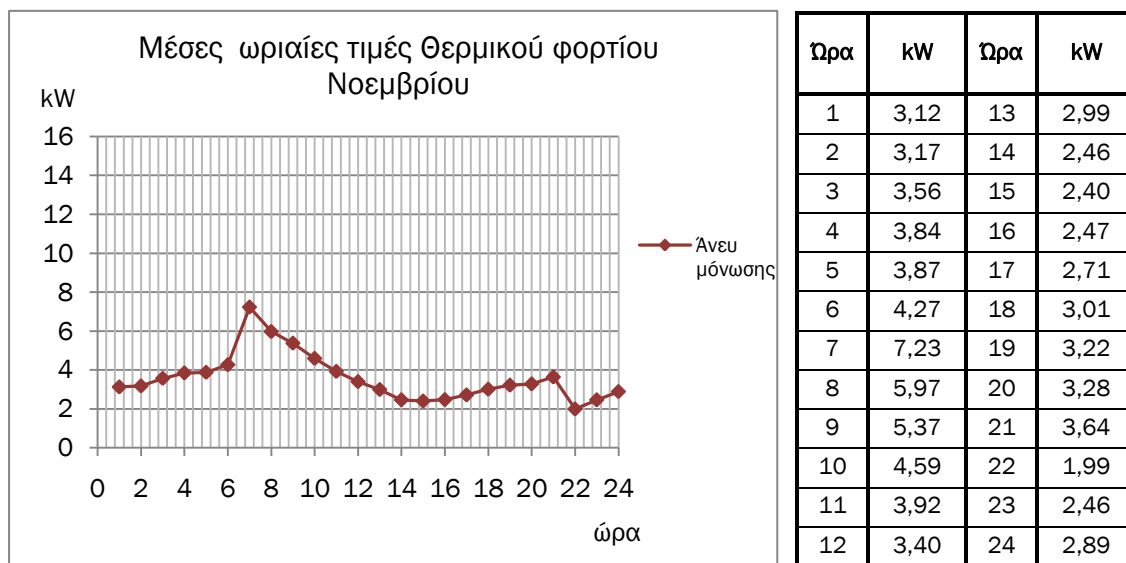
Πίνακας 3- 42 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Οκτωβρίου

Γράφημα 3- 51 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Οκτωβρίου



Γράφημα 3- 52 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Οκτωβρίου άνευ μόνωσης

Ομοίως με το ψυκτικό φορτίο του Οκτωβρίου και για το θερμικό (γραφήματα 3-51, 3-52). Η διαφορά έγκειται στην συμπεριφορά της καμπύλης της ημερήσιας διακύμανσης όπου επανήλθε η μορφή του θερμικού φορτίου των πρώτων μηνών. Ο Οκτώβρης σύμφωνα με τα παραπάνω εμφάνίζει μικτό φορτίο (ψυκτικό και θερμικό). Σε αληθινές συνθήκες οι πιθανότητες χρήσης θέρμανσης ή/και κλιματισμού είναι μηδαμινές.

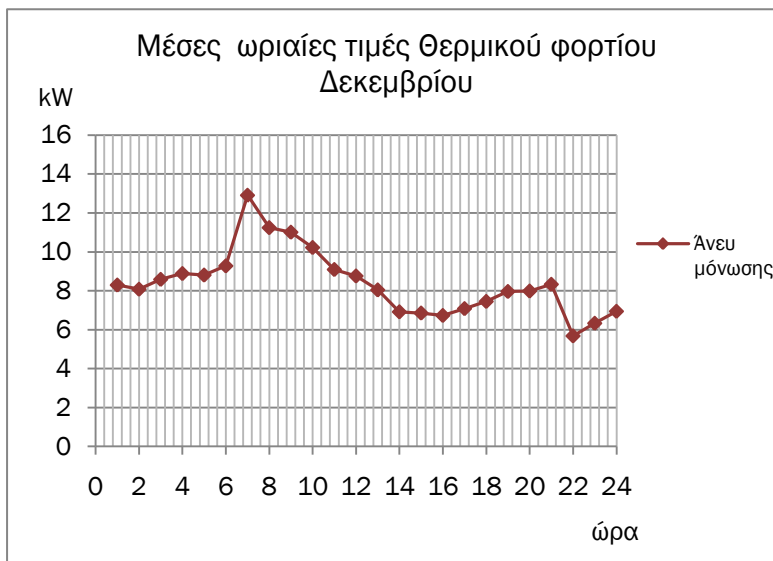
Πίνακας 3- 43 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

Γράφημα 3- 53 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

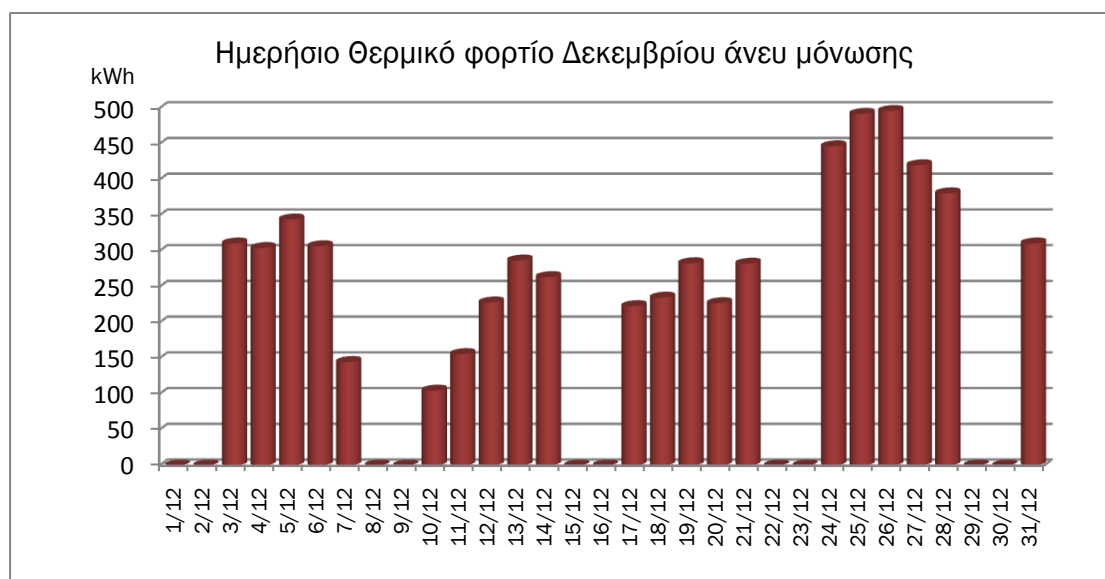


Γράφημα 3- 54 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Νοεμβρίου άνευ μόνωσης

Τον Νοέμβριο το γράφημα 3-53 εμφανίζει ίδια συμπεριφορά με αυτή των χειμερινών μηνών, με χαμηλότερες μέγιστες τιμές. Η διακύμανση της ημερήσιας απαίτησης διαφέρει σημαντικά τόσο από εβδομάδα σε εβδομάδα, όσο και μεταξύ των ημερών της ίδιας εβδομάδας. Μεγαλύτερη απόκλιση εμφανίζεται την τελευταία εβδομάδα όπου στις 27/11 απαιτούνται λιγότερες από 50kWh ενώ στις 30/11 λιγότερες από 300kWh.

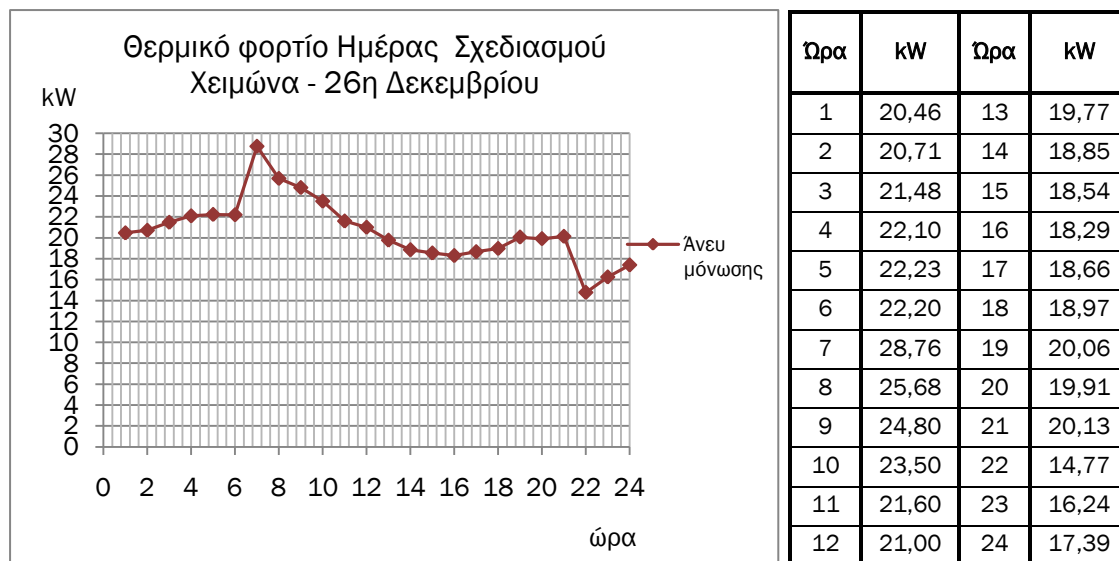
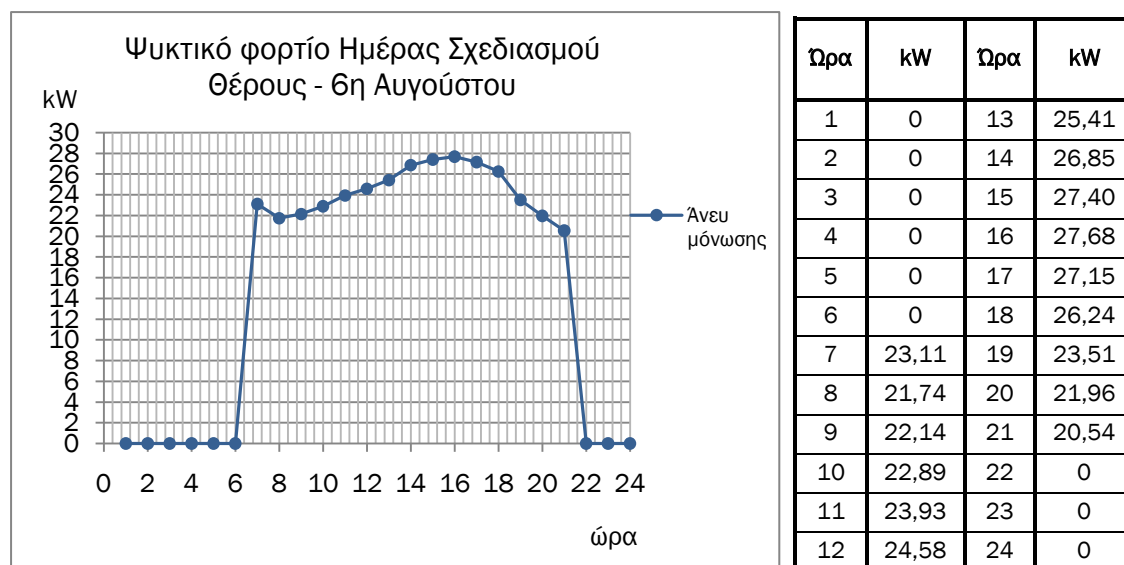
Πίνακας 3- 44 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου

Γράφημα 3- 55 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου



Γράφημα 3- 56 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Δεκεμβρίου άνευ μόνωσης

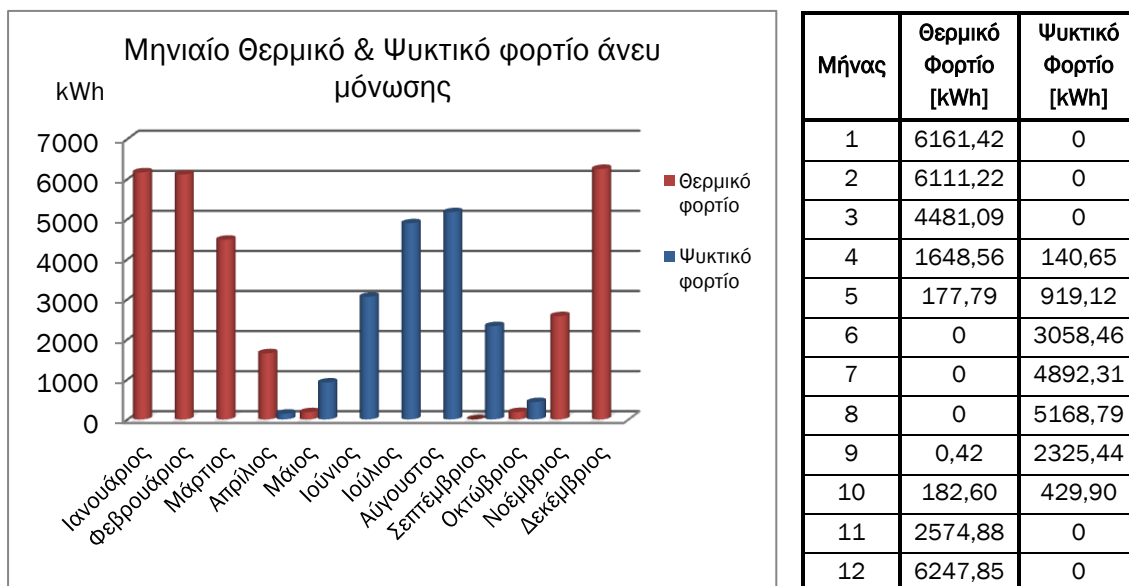
Ο Δεκέμβριος δεν εμφανίζει τη μέγιστη αιχμή μέσου ωριαίου φορτίου (γράφημα 3-55), αλλά εμφανίζει τις μέγιστες ημερήσιες τιμές, με ουσιαστικότερη αυτή στις 26, όπου όπως αναφέρθηκε στην αρχή των αποτελεσμάτων είναι η ημέρα σχεδιασμού του χειμώνα (γράφημα 3-56).

Πίνακας 3- 45 Θερμικό φορτίο Ημέρας
Σχεδιασμού Χειμώνα – 26^η ΔεκεμβρίουΓράφημα 3- 57 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα – 26^η ΔεκεμβρίουΠίνακας 3- 46 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας
Σχεδιασμού Θέρους – 6^η ΑυγούστουΓράφημα 3- 58 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους – 6^η Αυγούστου

Οι ημέρες σχεδιασμού είναι εξ ορισμού αυτές κατά τις οποίες εμφανίζεται η μέγιστη στιγμιαία τιμή του φορτίου και με βάση αυτές γίνεται η διαστασιολόγηση του μηχανοστασίου για την θέρμανση και την ψύξη.

Με βάση τις ωριαίες τιμές προέκυψε ημέρα σχεδιασμού χειμώνα η 26^η Δεκεμβρίου με μέγιστη τιμή θερμικού φορτίου 28,76kW (γράφημα 3-57, πίνακας 3-45) και ημέρα σχεδιασμού θέρους η 6^η Αυγούστου (γράφημα 3-58, πίνακας 3-46), με μέγιστη τιμή ψυκτικού φορτίου 27,68kW. Οι μέγιστες τιμές θερμικού και ψυκτικού φορτίου διαφέρουν ελάχιστα, μόνο κατά περίπου 1kW.

Πίνακας 3- 47 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο άνευ μόνωσης



Γράφημα 3- 59 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο άνευ μόνωσης

Πίνακας 3- 48 Συνολικό φορτίο χειμερινής και θερινής περιόδου

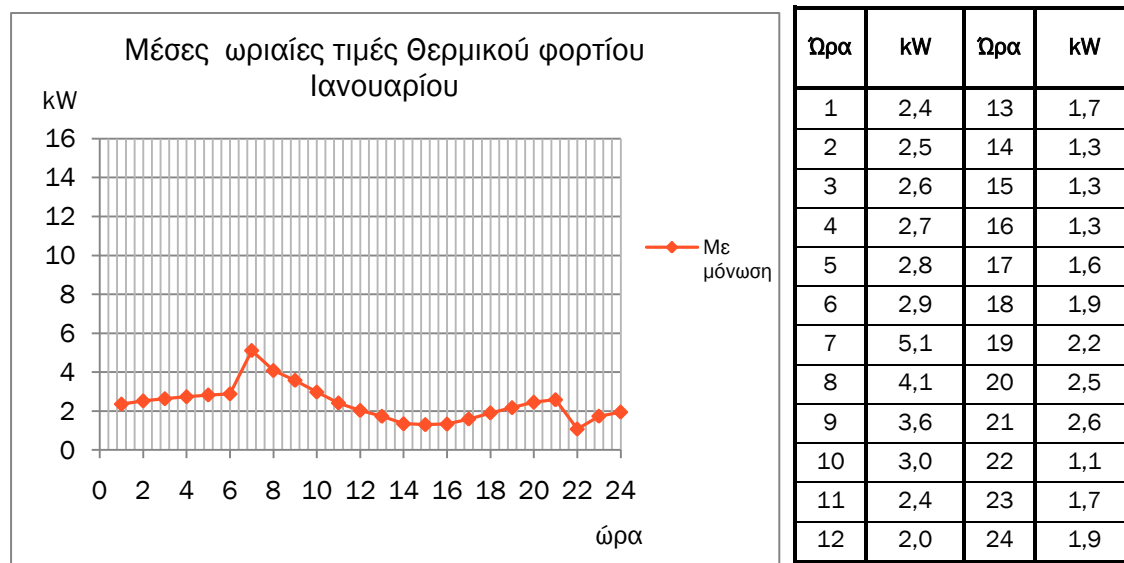
| Συνολικό Φορτίο | kWh |
|---------------------|----------|
| Χειμερινής περιόδου | 27585,83 |
| Θερινής περιόδου | 16934,67 |

Η ετήσια συμπεριφορά του κτηριακού κελύφους σχετικά με το συνολικό θερμικό και ψυκτικό φορτίο εμφανίζεται ως αναμενόμενα· τους πρώτους μήνες η απαίτηση σε θέρμανση είναι αυξημένη με μειούμενη πορεία μέχρι τον Απρίλιο όπου αρχίζει η εμφάνιση του ψυκτικού φορτίου με αιχμή τον Αύγουστο. Ο Οκτώβριος όπως και ο Μάιος εμφανίζουν μικτά φορτία αντιμετωπίσιμα χωρίς την χρήση των ενεργητικών συστημάτων. Η αύξηση του θερμικού φορτίου του Νοεμβρίου κορυφώνεται τον Δεκέμβρη, μήνα που εμφανίζεται και το μέγιστο φορτίο.

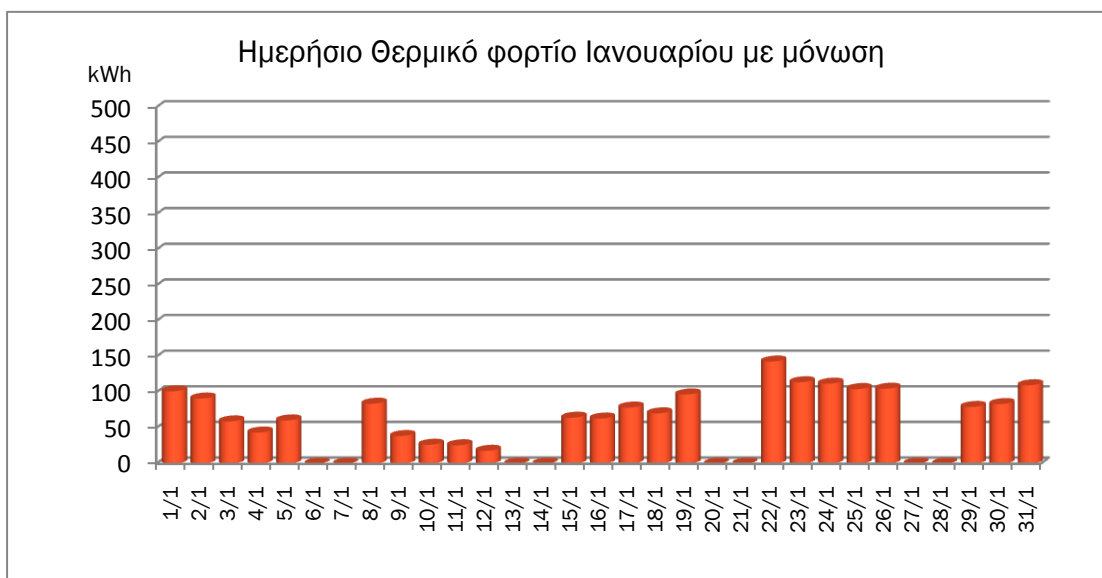
Από τον πίνακα 3-48 εξάγεται το συμπέρασμα ότι το κτηριακό κέλυφος χωρίς μόνωση έχει μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση από ότι για ψύξη. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι μια κτηριακή κατασκευή χωρίς μόνωση, είναι μη πραγματοποιήσιμη και εξαιρετικά ενεργοβόρα.

3.6.2 2^ο Μοντέλο – Με μόνωση

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του κτηριακού κελύφους είναι όμοια με αυτά του πρώτου κύκλου προσομοιώσεων (πίνακας 3-1). Κατά την προσομοίωση το κτήριο θεωρήθηκε κλειστό. Η ανανέωση νωπού αέρα τέθηκε στις μηδέν ach (αλλαγές του πλήρους όγκου αέρα την ώρα) και η διείσδυση λόγω ελλιπούς στεγανότητας στις 0,90ach. Όλα τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κλειστά. Απαιτούμενη ποσότητα εξωτερικού αέρα (παράμετρος του συστήματος για το TAS) 10l/s/person [5, 26].

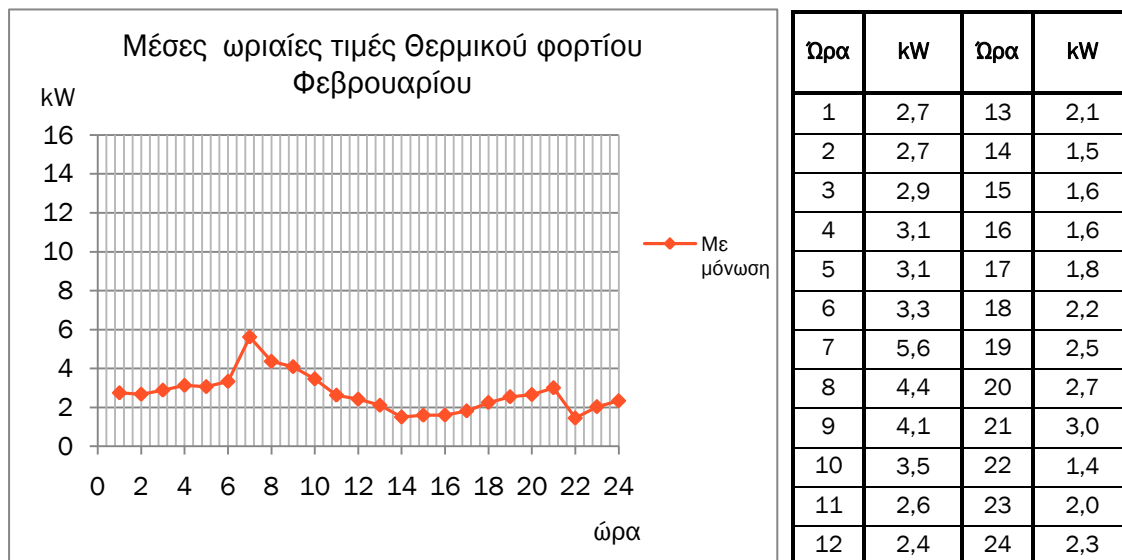
Πίνακας 3- 49 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου

Γράφημα 3- 60 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου

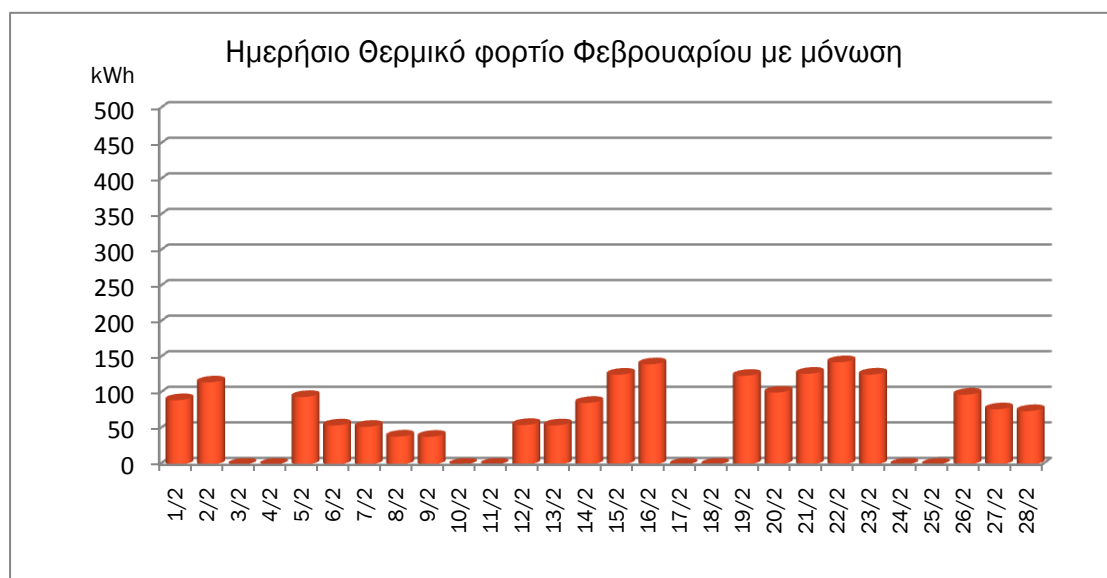


Γράφημα 3- 61 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Ιανουαρίου με μόνωση

Η συμπεριφορά του θερμικού φορτίου με μόνωση είναι ανάλογη αυτής του άνευ μόνωσης μοντέλου. Η αιχμή που οφείλεται στην έναρξη της λειτουργίας του κτηρίου στις 7:00 παρατηρείται και στο γράφημα 3-60, καθώς και η πτώση του φορτίου στις 21:00. Τα ημερήσια φορτία για το μήνα (γράφημα 3-61) παρουσιάζονται εντόνως μειωμένα, με σημαντικότερες αποκλίσεις αυτές της 2^{ης} εβδομάδας.

Πίνακας 3- 50 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου

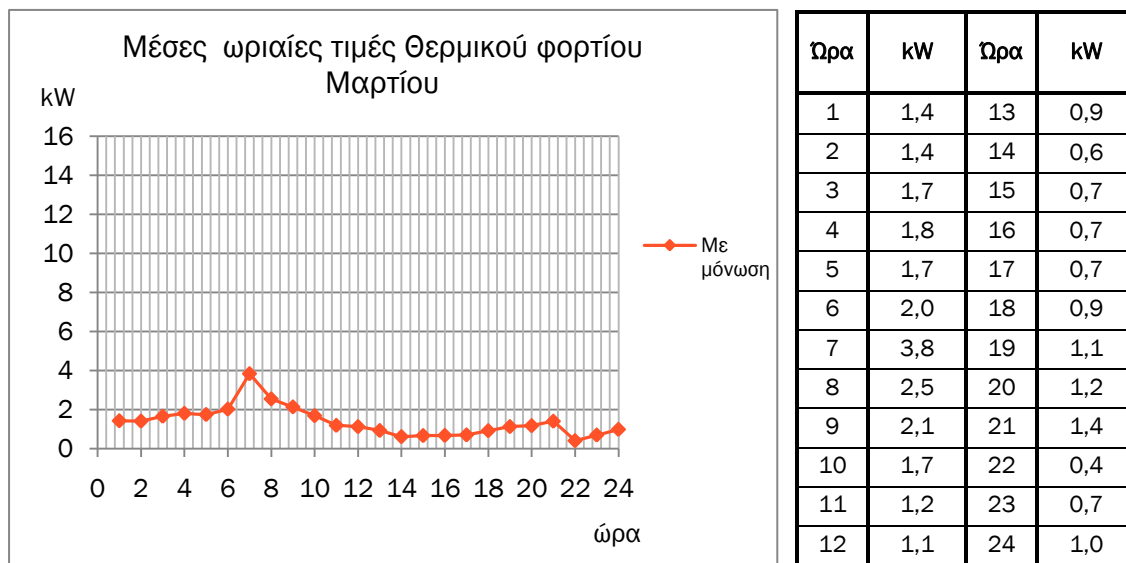
Γράφημα 3- 62 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου



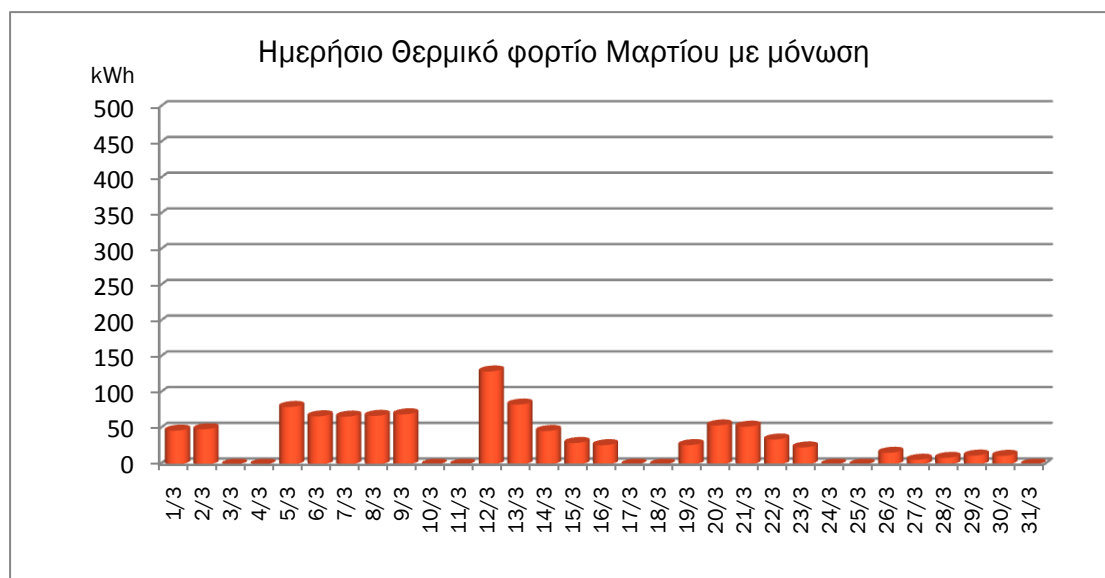
Γράφημα 3- 63 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Φεβρουαρίου με μόνωση

Η ημερήσια συμπεριφορά του Φεβρουαρίου (γράφημα 3-62) είναι όμοια με αυτή του Ιανουαρίου, μετατοπισμένη προς τα πάνω στον άξονα των y · δηλαδή αυξημένα φορτία για κάθε ώρα .

Οι αποκλίσεις του γραφήματος 3-63 διατηρούνται σε σχέση με το αντίστοιχο γράφημα του μοντέλου χωρίς μόνωση (γράφημα 3-31), αλλά κατά απόλυτη τιμή η απαίτηση σε θέρμανση είναι αισθητά μειωμένη.

Πίνακας 3- 51 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Μαρτίου

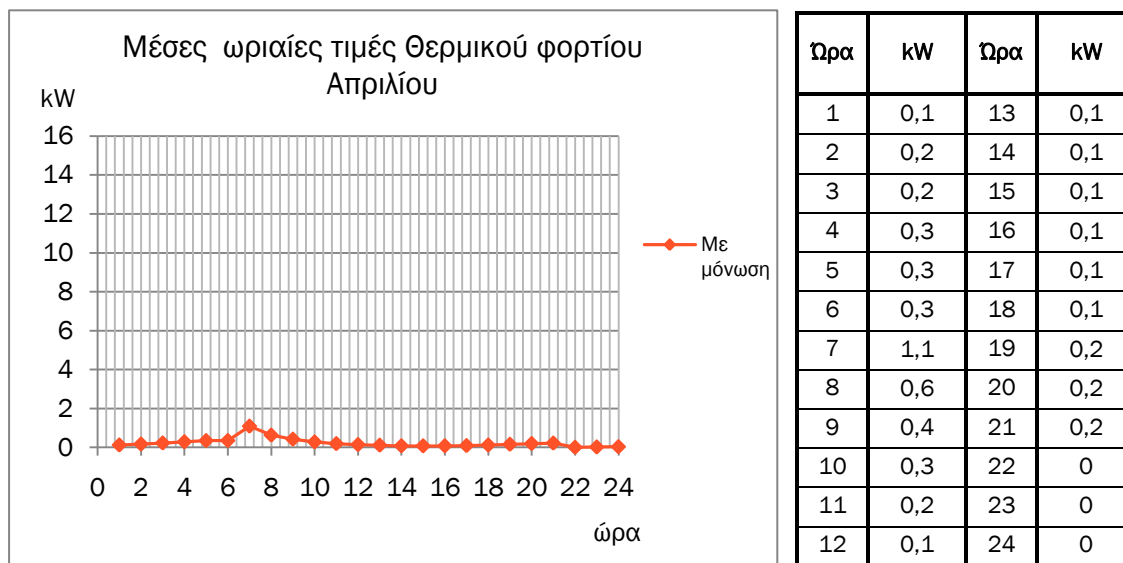
Γράφημα 3- 64 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Μαρτίου



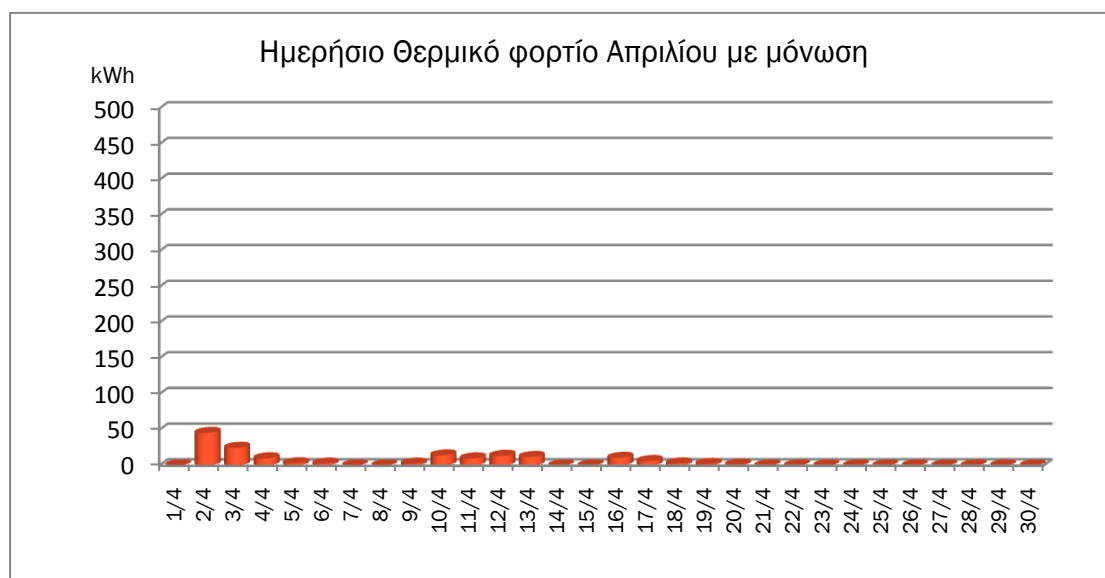
Γράφημα 3- 65 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Μαρτίου με μόνωση

Τον Μάρτιο, οι μέσες ωριαίες τιμές του φορτίου είναι μειωμένες τόσο σε σχέση με τον Φεβρουάριο, όσο και με τον Μάρτιο του προηγούμενου μοντέλου (γράφημα 3-64).

Αυτή η εξοικονόμηση σε θερμικό φορτίο είναι εμφανής και στο μηνιαίο γράφημα (3-65), όπου παρατηρείται ραγδαία πτώση της απαίτησης σε θέρμανση τις πρώτες εβδομάδες και ελαχιστοποίηση την τελευταία.

Πίνακας 3- 52 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Απριλίου

Γράφημα 3- 66 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Απριλίου



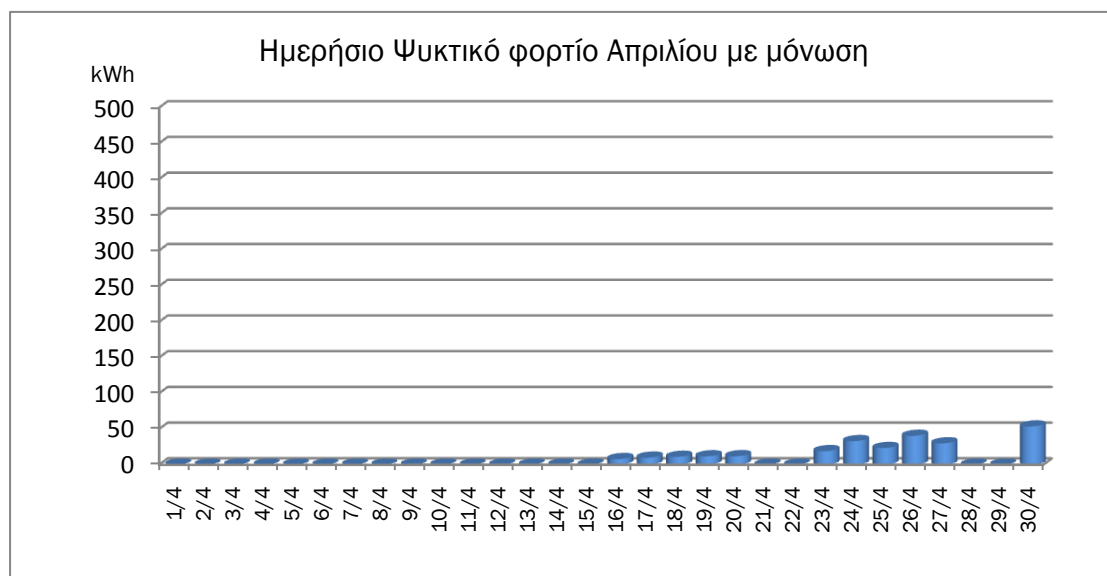
Γράφημα 3- 67 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Απριλίου με μόνωση

Τον Απρίλιο για το μονωμένο μοντέλο το θερμικό φορτίο εκμηδενίζεται (γράφημα 3-66), γεγονός που αιτιολογείται από τις τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας του 2^{ου} κύκλου προσομοιώσεων. Σε αντίθεση με το μοντέλο άνευ μόνωσης που θα τεθεί σε λειτουργία η θέρμανση τον Απρίλιο, στο εν λόγω μονωμένο μοντέλο αυτό το ελάχιστο φορτίο των πρώτων εβδομάδων θα εξοικονομηθεί (γράφημα 3-67).

Πίνακας 3- 53 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Απριλίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 0,8 |
| 2 | 0 | 14 | 0,9 |
| 3 | 0 | 15 | 0,9 |
| 4 | 0 | 16 | 1,0 |
| 5 | 0 | 17 | 0,9 |
| 6 | 0 | 18 | 0,8 |
| 7 | 0 | 19 | 0,3 |
| 8 | 0,3 | 20 | 0,2 |
| 9 | 0,4 | 21 | 0,2 |
| 10 | 0,5 | 22 | 0 |
| 11 | 0,6 | 23 | 0 |
| 12 | 0,7 | 24 | 0 |

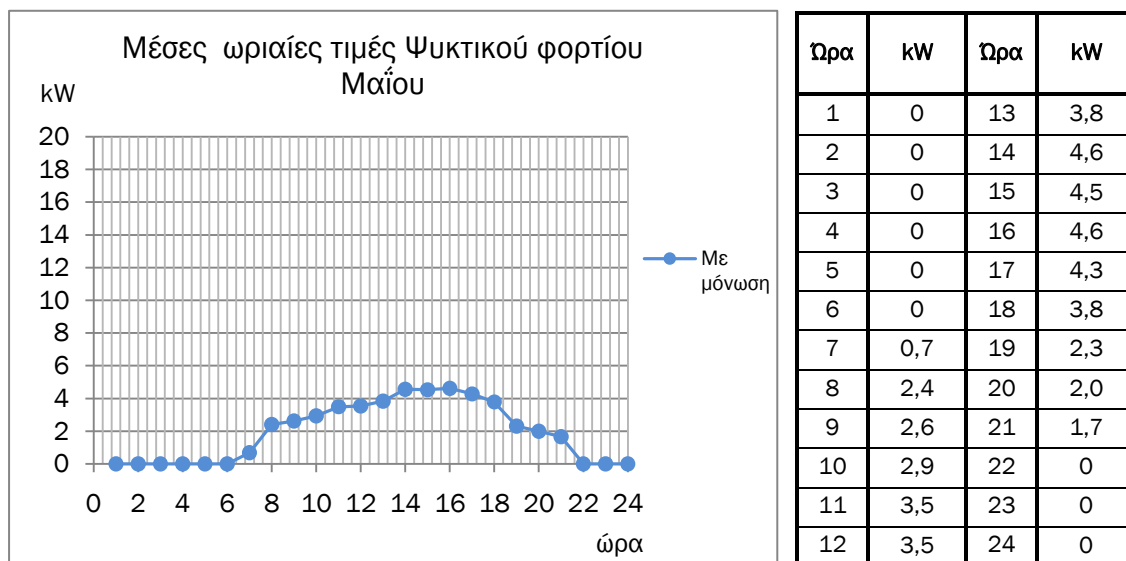
Γράφημα 3- 68 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Απριλίου



Γράφημα 3- 69 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Απριλίου με μόνωση

Το ενδιαφέρον σε αυτή την περίπτωση είναι η εμφάνιση του ψυκτικού φορτίου. Ο Απρίλιος στο προηγούμενο άνευ μόνωσης μοντέλο, δεν ανήκε στους μήνες με μικτό φορτίο. Συγκριτικά με το γράφημα του θερμικού φορτίου του Απριλίου (3-67), παρατηρείται ότι η απαίτηση για ψύξη εμφανίζεται στο τέλος του μήνα, περίοδο που σταματά το θερμικό φορτίο. Ομοίως με την θέρμανση, η απόκλιση από τα όρια της άνεσης είναι τέτοια και το φορτίο τόσο μειωμένο που δε θα τεθεί σε λειτουργία ο κλιματισμός.

Πίνακας 3- 54 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

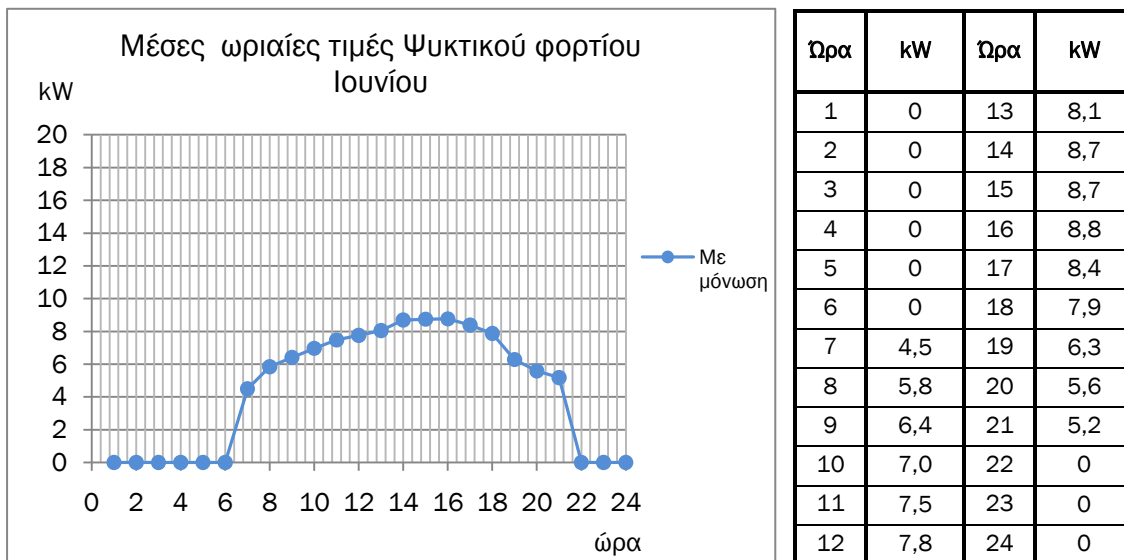


Γράφημα 3- 70 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

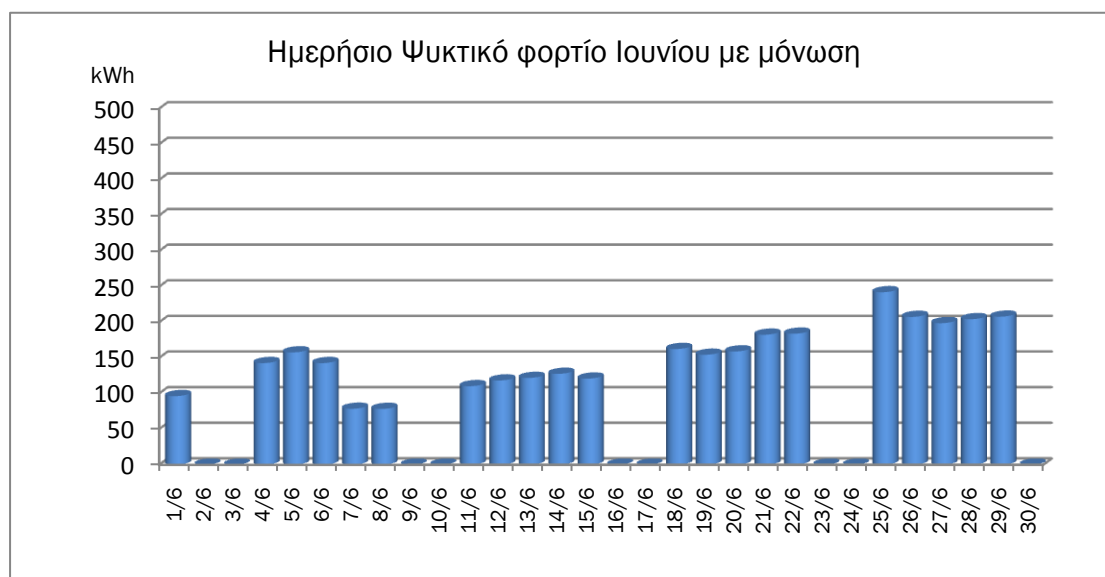


Γράφημα 3- 71 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Μαΐου με μόνωση

Η μορφή της ωριαίας ημερήσιας κατανομής του ψυκτικού φορτίου είναι όμοια για τα μοντέλα άνευ και με μόνωση. Η ειδοποιός διαφορά σε σύγκριση με το άνευ μόνωσης μοντέλο, είναι η εξάλειψη του θερμικού φορτίου για το Μάιο. Αντιθέτως, στο γράφημα 3-70 είναι εμφανής μια ελαφριά μετατόπιση της καμπύλης προς τα άνω, που ερμηνεύεται ως αύξηση του φορτίου. Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από το γράφημα 3-71, όπου οι ημερήσιες τιμές είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του άνευ μόνωσης Μαΐου (γράφημα 3-40).

Πίνακας 3- 55 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου

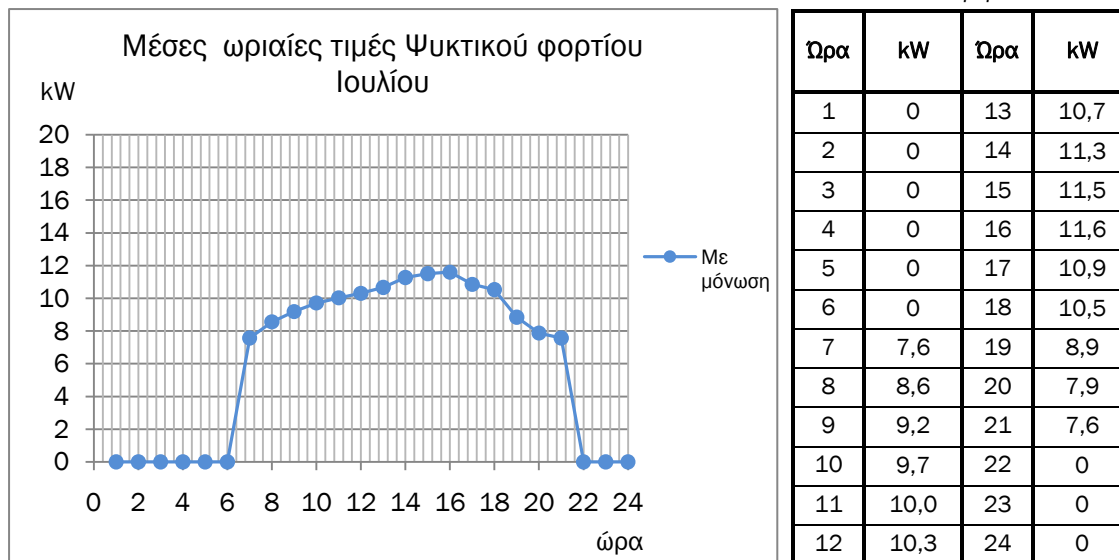
Γράφημα 3- 72 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου



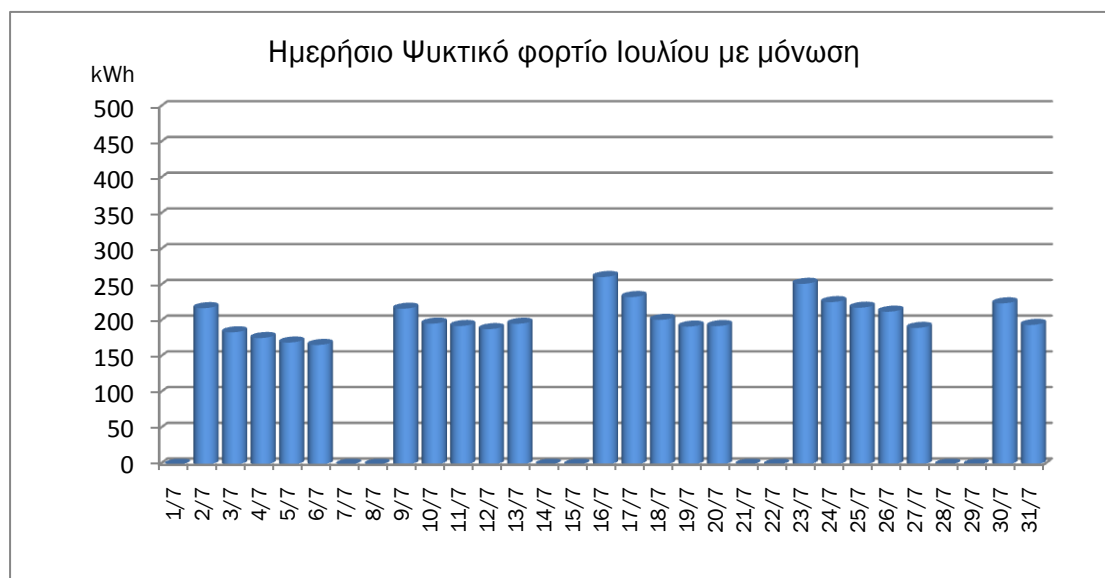
Γράφημα 3- 73 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουνίου με μόνωση

Η συμπεριφορά του Ιουνίου είναι αναμενόμενη και όμοια με αυτή του άνευ μόνωσης μοντέλου τόσο σε ωριαία όσο και σε ημερήσια βάση (γραφήματα 3-72, 3-73). Το φορτίο είναι ελαφρώς αυξημένο, φαινόμενο που ίσως δικαιολογείται από την προσθήκη της μόνωσης και την επίδραση της στην ικανότητα του κελύφους να αποδώσει την θερμότητα που απορροφήθηκε την ημέρα ξανά στο περιβάλλον.

Πίνακας 3- 56 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου



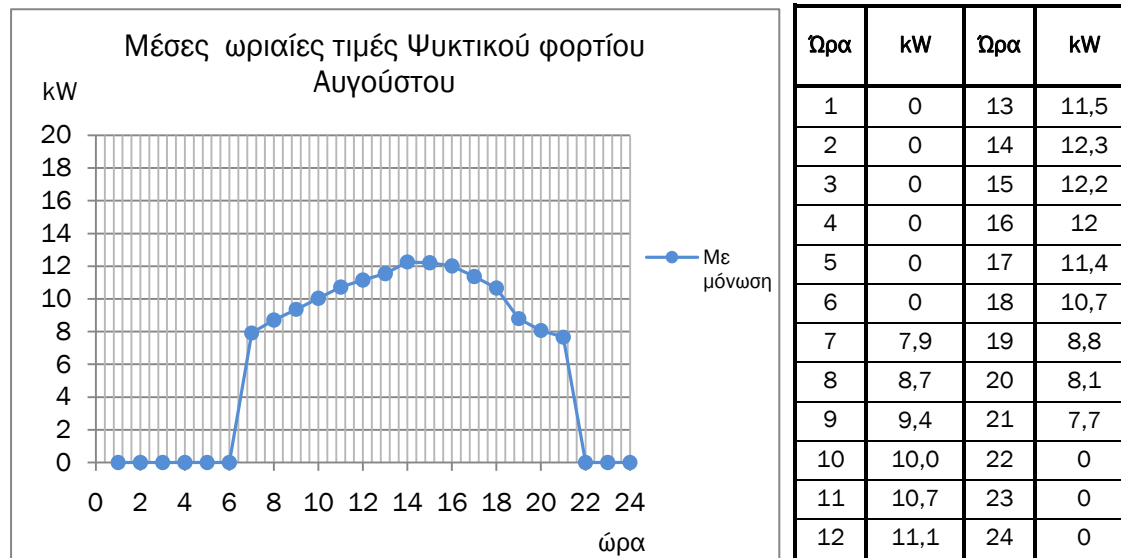
Γράφημα 3- 74 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου



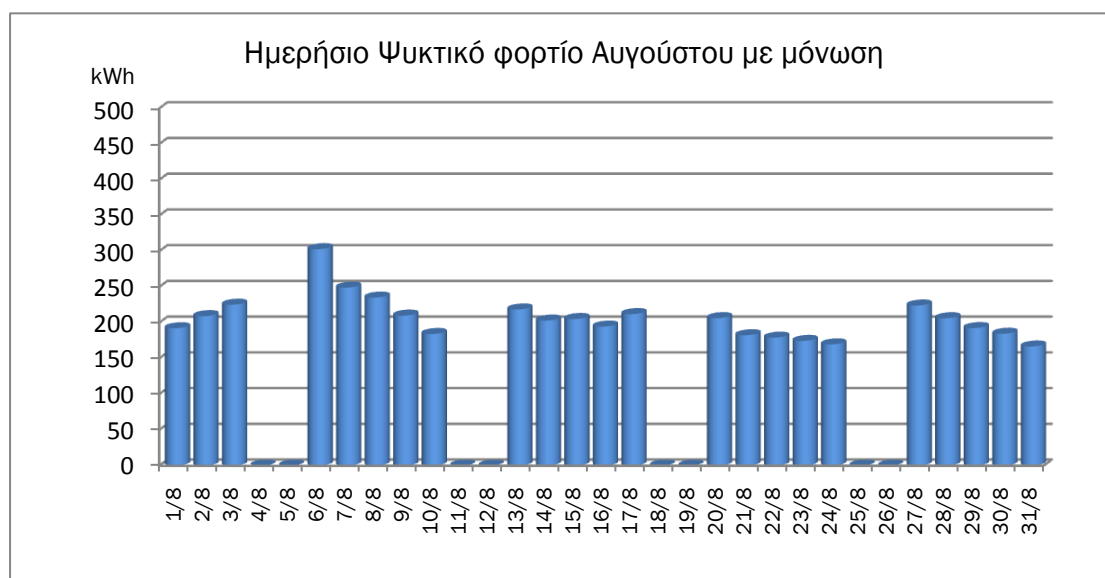
Γράφημα 3- 75 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουλίου με μόνωση

Τον Ιούλιο (γράφημα 3-74) παρατηρείται πτώση του μέγιστου της παραβολής σε σύγκριση με το άνευ μόνωσης μοντέλο. Στο γράφημα 3-75, διαφαίνεται η συμβολή της μόνωσης στη μείωση των ημερήσιων συνολικών απαιτήσεων σε ψύξη, αλλά και η μικρή διακύμανσή τους με τον πάροδο του μήνα.

Πίνακας 3- 57 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



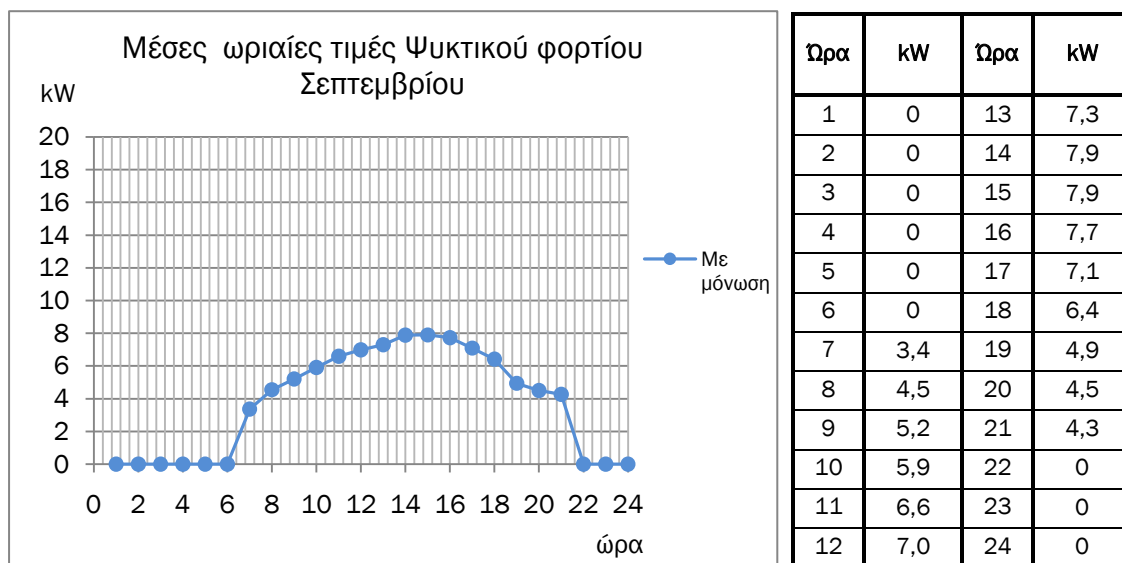
Γράφημα 3- 76 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



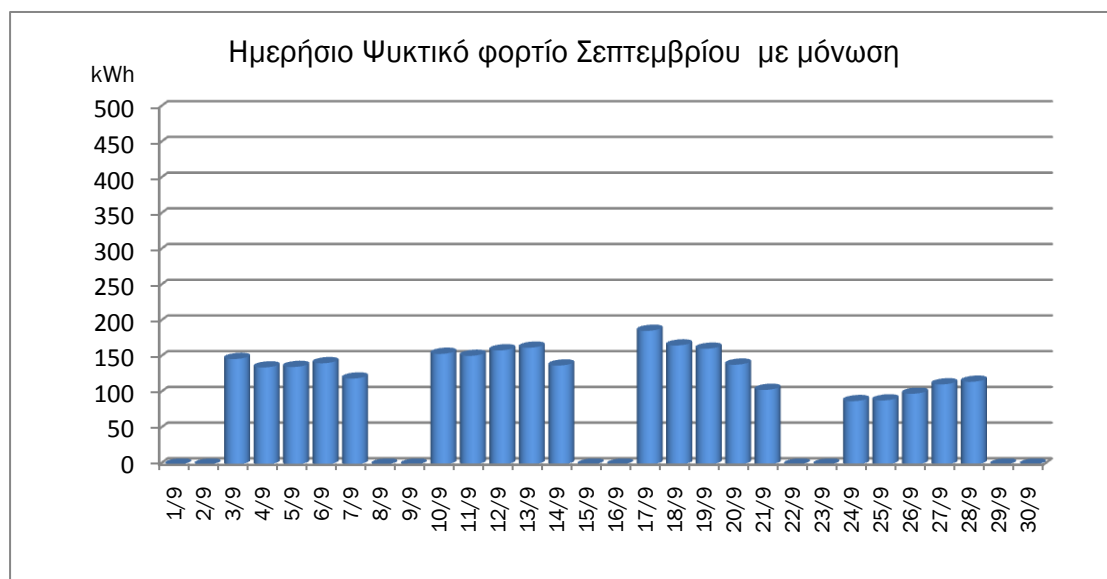
Γράφημα 3- 77 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Αυγούστου με μόνωση

Η συμπεριφορά της καμπύλης των μέσων όρων είναι ίδια με του Ιουλίου, μετατοπισμένη προς τα πάνω στον άξονα των y (γράφημα 3-76). Ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τα μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία (γράφημα 3-77), με μέγιστο αυτό της 6^{ης} Αυγούστου -ημέρας σχεδιασμού-. Τις υπόλοιπες ημέρες του μήνα οι διακυμάνσεις είναι μικρές και η απαίτηση σε ψύξη σχεδόν σταθερή και μειωμένη, σε σύγκριση με το άνευ μόνωσης μοντέλο.

Πίνακας 3- 58 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου



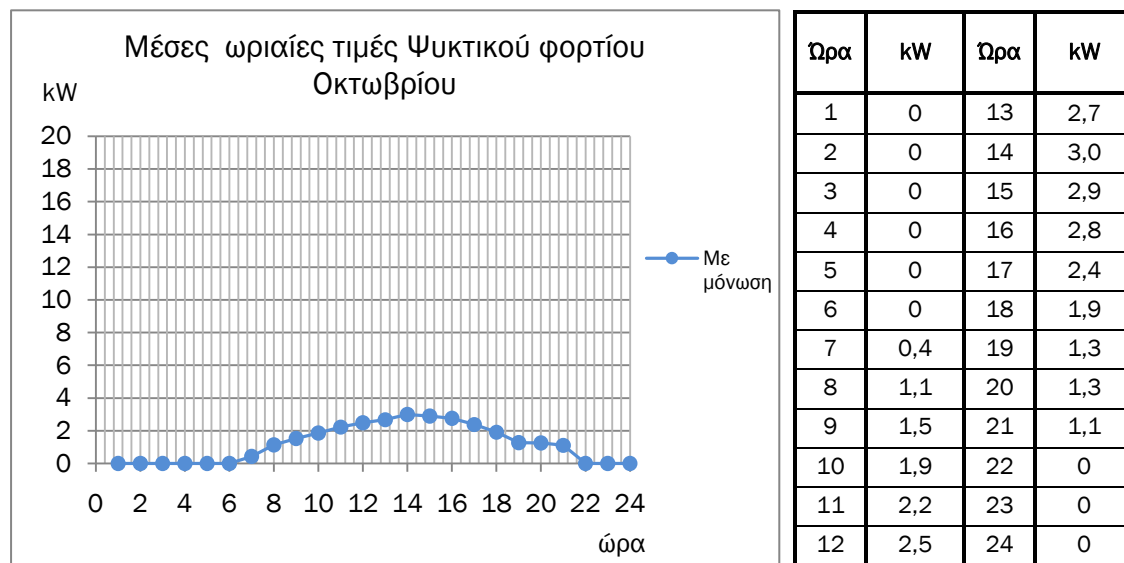
Γράφημα 3- 78 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου



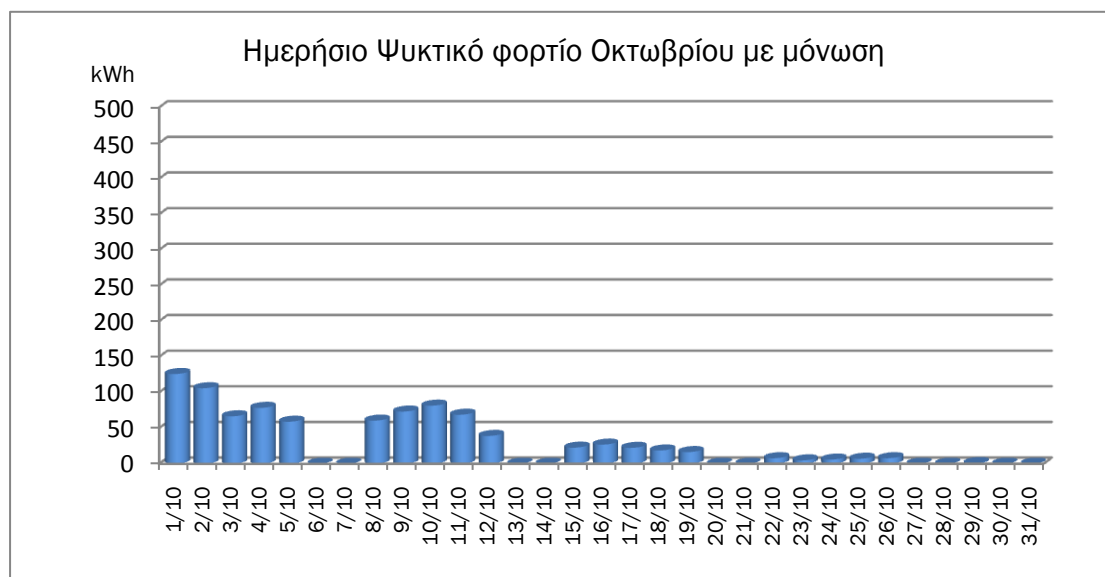
Γράφημα 3- 79 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Σεπτεμβρίου με μόνωση

Τον Σεπτέμβριο παρατηρείται πτώση του μέσου μέγιστου φορτίου αλλά και του ημερήσιου (γραφήματα 3-78, 3-79) σε σχέση με τον Αύγουστο, αφού οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες είναι ηπιότερες. Παρατηρείται όμως το ίδιο φαινόμενο με τον Ιούνιο, δηλαδή αυξημένο φορτίο σε σύγκριση με αυτό του μοντέλου χωρίς μόνωση.

Πίνακας 3- 59 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

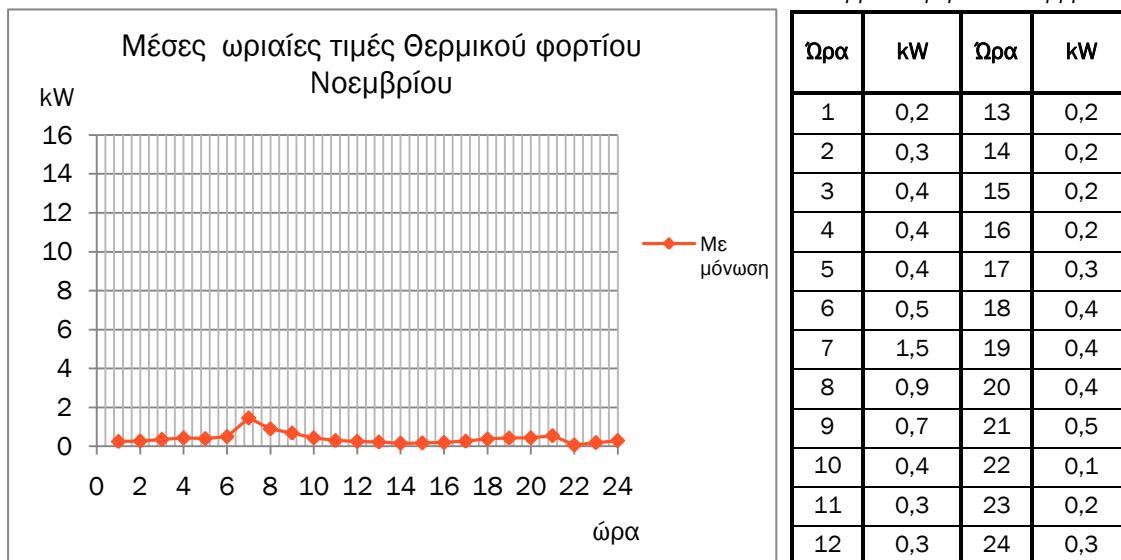


Γράφημα 3- 80 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

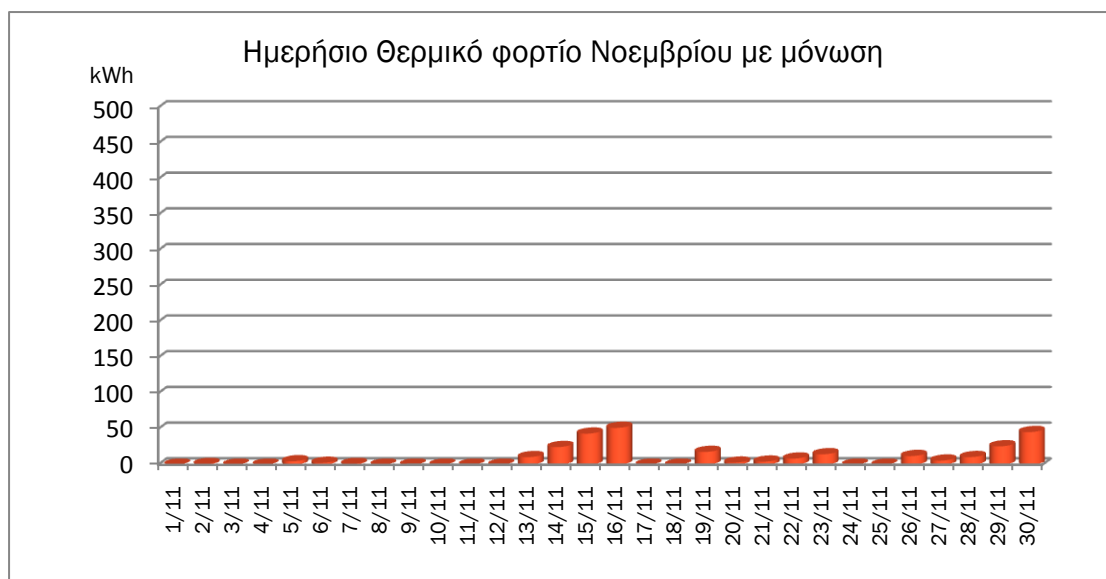


Γράφημα 3- 81 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Οκτωβρίου με μόνωση

Όπως προαναφέρθηκε, ο Οκτώβριος ανήκει στους μέσους μήνες -δηλαδή σε πραγματικές συνθήκες δε θα λειτουργήσει ο κλιματισμός- αφού από τον 2^ο κύκλο προσομοιώσεων προέκυψαν θερμοκρασίες και υγρασίες κοντά στα όρια της θερμικής άνεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ στο μοντέλο άνευ μόνωσης παρουσιάστηκε μικτό φορτίο για τον Οκτώβριο (θερμικό και ψυκτικό), η προσθήκη της μόνωσης εξάλειψε πλήρως το θερμικό φορτίο.

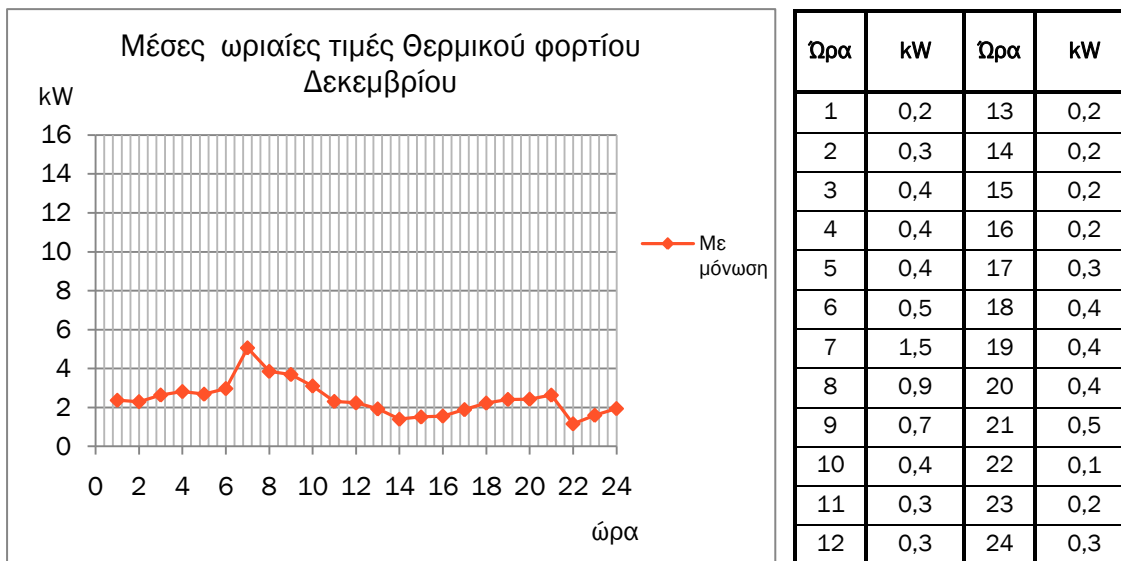
Πίνακας 3- 60 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

Γράφημα 3- 82 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

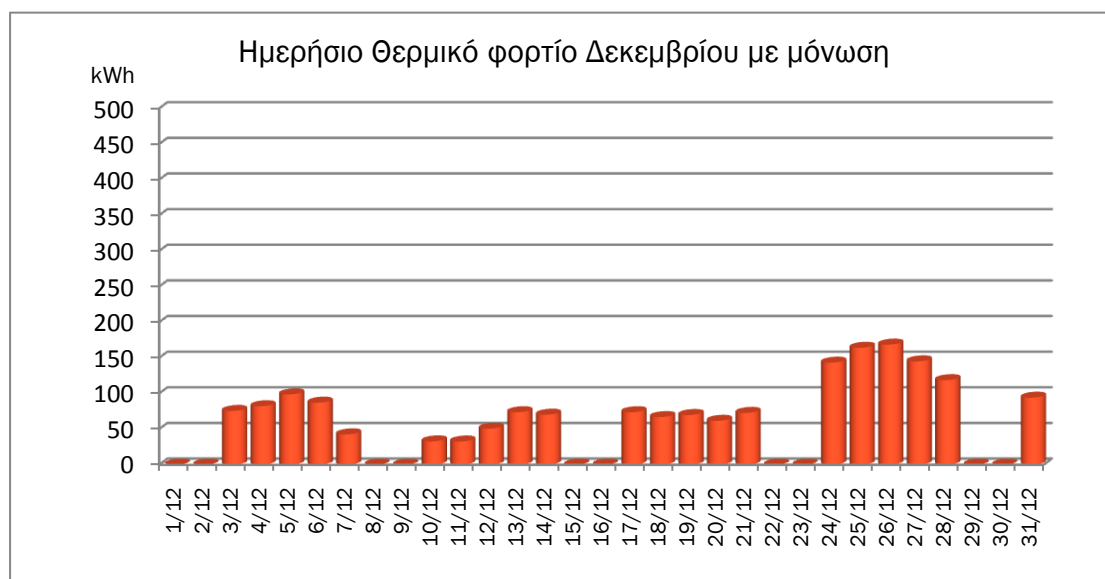


Γράφημα 3- 83 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Νοεμβρίου με μόνωση

Η συμβολή της μόνωσης στη μείωση του θερμικού φορτίου διαφαίνεται και από το μήνα Νοέμβριο (γράφημα 3-82, 3-83). Η απαίτηση σε θέρμανση είναι σχεδόν μηδενική και σίγουρα όχι συγκρίσιμη με αυτή του άνευ μόνωσης μοντέλου.

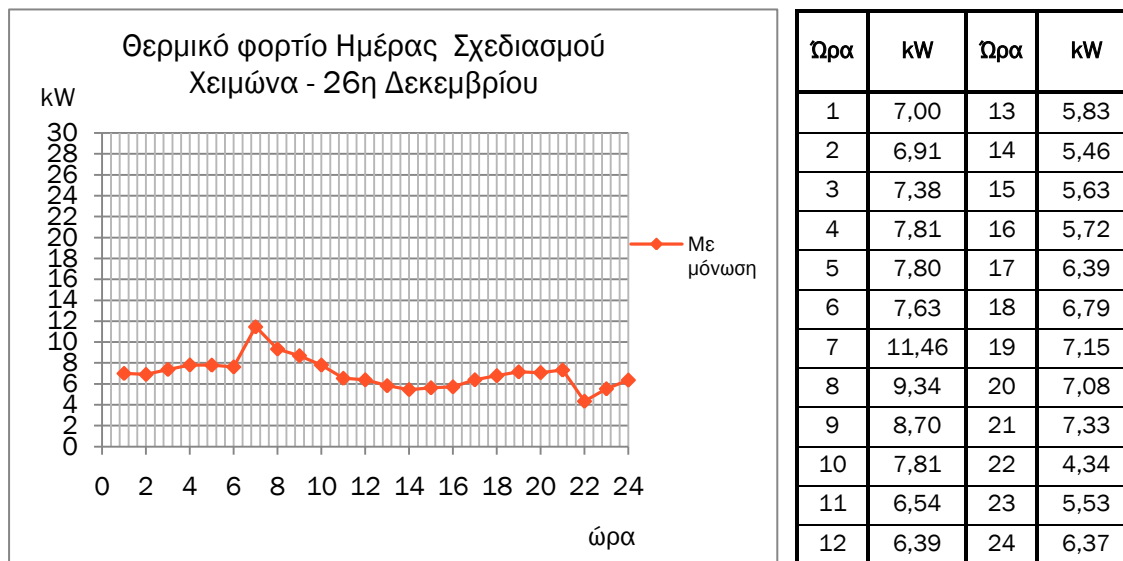
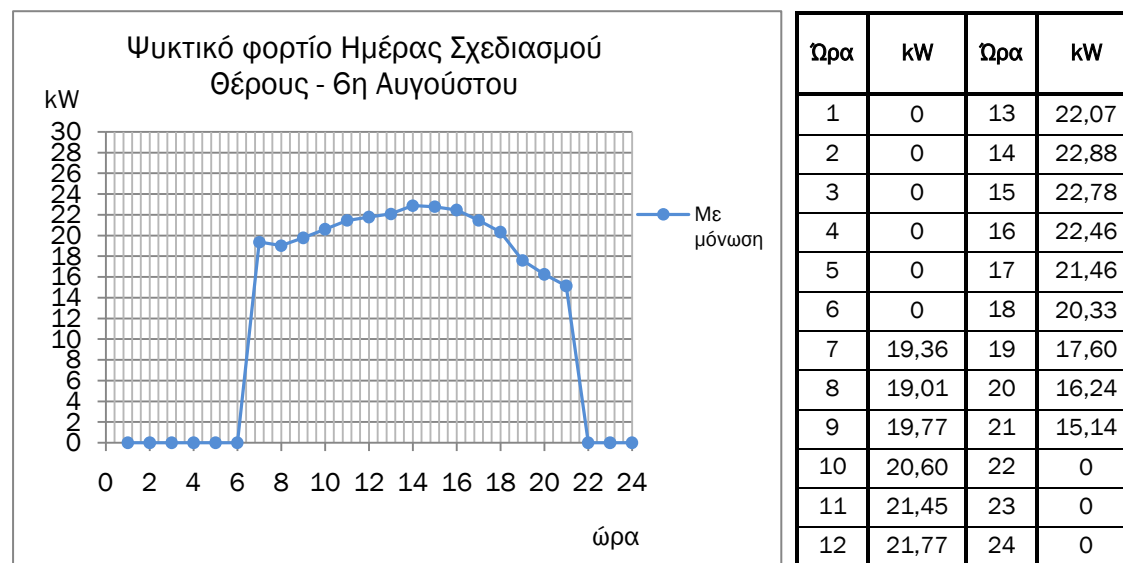
Πίνακας 3- 61 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου

Γράφημα 3- 84 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου



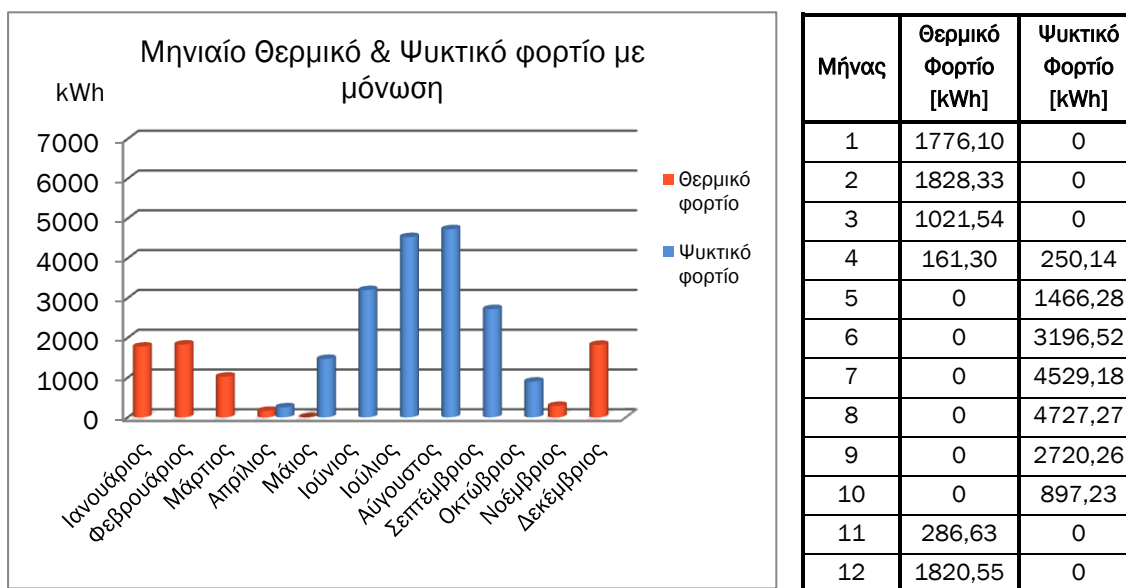
Γράφημα 3- 85 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Δεκεμβρίου με μόνωση

Αναμενόμενη είναι η αύξηση των μέσων όρων του φορτίου για το μήνα Δεκέμβριο (γράφημα 3-84) σε σχέση με τον Νοέμβριο. Συγκριτικά με το μοντέλο άνευ μόνωσης, λόγω των αποτελεσμάτων του 2^{ου} κύκλου προσομοιώσεων όπου οι τιμές θερμοκρασίας είναι μικρότερες αυτών του μοντέλου με μόνωση, παρατηρείται πτώση της απαίτησης για θέρμανση αφού οι συνθήκες πλησιάζουν περισσότερο τις ορισμένες στον πίνακα 3-30 τιμές.

Πίνακας 3- 62 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26^η ΔεκεμβρίουΓράφημα 3- 86 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26^η ΔεκεμβρίουΠίνακας 3- 63 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6^η ΑυγούστουΓράφημα 3- 87 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6^η Αυγούστου

Η μέγιστη τιμή του θερμικού φορτίου για την ημέρα σχεδιασμού του χειμώνα (26^η Δεκεμβρίου) προέκυψε 11,46kW (γράφημα 3-86, πίνακας 3-62), ενώ στο άνευ μόνωσης μοντέλο 28,76kW (γράφημα 3-57, πίνακας 3-45). Η μέγιστη τιμή του ψυκτικού φορτίου για την 6^η Αυγούστου προέκυψε 22,88kW (γράφημα 3-87, πίνακας 3-63) και στο άνευ μόνωσης μοντέλο 27,68kW (γράφημα 3-58, πίνακας 3-46). Παρατηρείται σημαντική πτώση στη μέγιστη τιμή του θερμικού φορτίου, γεγονός που θα επηρεάσει τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ του μηχανολογικού εξοπλισμού για θέρμανση. Η μείωση της μέγιστης τιμής του ψυκτικού φορτίου δεν είναι ανάλογη του θερμικού και διαφέρει μόνο περίπου 5kW.

Πίνακας 3- 64 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο με μόνωση

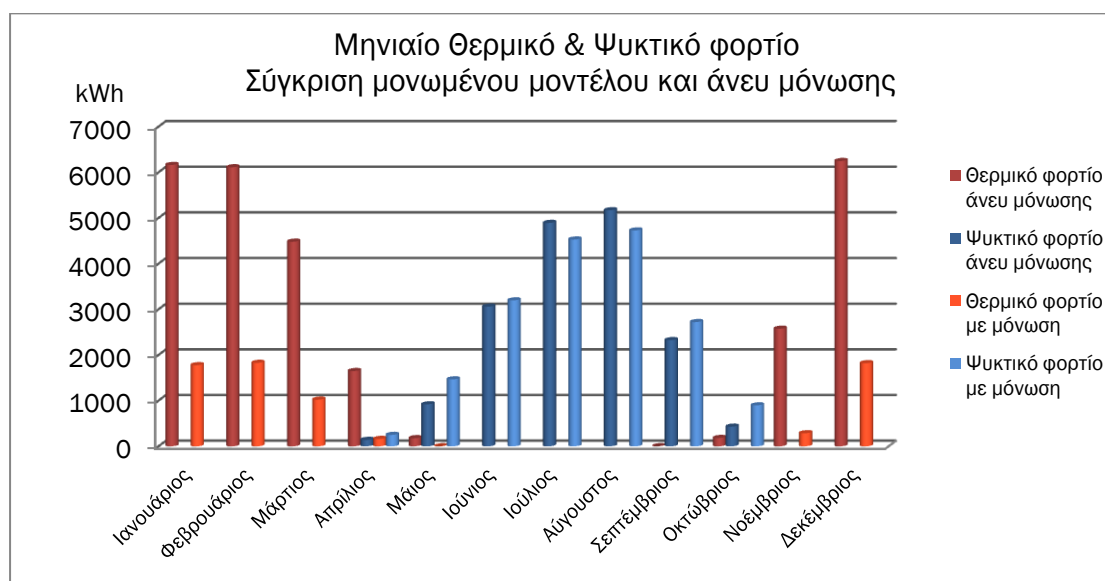


Γράφημα 3- 88 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο με μόνωση

Πίνακας 3- 65 Συνολικό φορτίο χειμερινής και θερινής περιόδου

| Συνολικό Φορτίο | kWh |
|---------------------|----------|
| Χειμερινής περιόδου | 6894,45 |
| Θερινής περιόδου | 17786,88 |

Το μονωμένο κτηριακό κέλυφος εμφανίζει το χειμώνα περίπου σταθερά φορτία θέρμανσης, ενώ το θέρος η ψύξη είναι κλιμακούμενη (γράφημα 3-88, πίνακας 3-64). Τον Απρίλιο παρατηρείται μικτό φορτίο, το οποίο αμελείται στην πραγματικότητα αφού οφείλεται σε μικρές θερμοκρασιακές αποκλίσεις από τα όρια, που λίγο επηρεάζουν την αίσθηση της άνεσης. Από τον πίνακα 3-65 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η βελτιστοποίηση του κελύφους πρέπει να είναι προσανατολισμένη στην αρωγή της ψύξης, αφού το συνολικό ψυκτικό φορτίο είναι μεγαλύτερο του θερμικού κατά περίπου 11000kWh.



Γράφημα 3- 89 Συνολικό Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο μονωμένου μοντέλου και άνευ μόνωσης

Πίνακας 3- 66 Μεταβολή Θερμικού και Ψυκτικού Φορτίου (αλγεβρικές τιμές) με την προσθήκη της μόνωσης¹

| Μήνας | Θερμικό Φορτίο Άνευ μόνωσης [kWh] | Θερμικό Φορτίο Με μόνωση [kWh] | Μεταβολή Θερμικού Φορτίου [kWh] | Μεταβολή Θερμικού Φορτίου [%] | Ψυκτικό Φορτίο Άνευ μόνωσης [kWh] | Ψυκτικό Φορτίο Με μόνωση [kWh] | Μεταβολή Ψυκτικού Φορτίου [kWh] | Μεταβολή Ψυκτικού Φορτίου [%] |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 6161,42 | 1776,10 | 4385,32 | 71,17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 6111,22 | 1828,33 | 4282,89 | 70,08 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 4481,09 | 1021,54 | 3459,55 | 77,20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1648,56 | 161,30 | 1487,26 | 90,22 | 140,65 | 250,14 | -109,49 | -77,85 |
| 5 | 177,79 | 0 | 177,79 | 100 | 919,12 | 1466,28 | -547,16 | -59,53 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3058,46 | 3196,52 | -138,06 | -4,51 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4892,31 | 4529,18 | 363,13 | 7,42 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5168,79 | 4727,27 | 441,52 | 8,54 |
| 9 | 0,42 | 0 | 0,42 | 100 | 2325,44 | 2720,26 | -394,82 | -16,98 |
| 10 | 182,60 | 0 | 182,6 | 100 | 429,90 | 897,23 | -467,33 | -108,71 |
| 11 | 2574,88 | 286,63 | 2288,25 | 88,87 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 6247,85 | 1820,55 | 4427,3 | 70,86 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 3- 67 Συνολική διαφορά (αλγεβρική) φορτίου ανά περίοδο έτους¹

| Συνολική διαφορά Φορτίου | kWh | % |
|--------------------------|----------|------|
| Χειμερινής περιόδου | 20691,38 | 75,0 |
| Θερινής περιόδου | -852,21 | -5,0 |

Το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης του Ιανουαρίου και του Φεβρουαρίου παρουσιάζει πτώση σε σχέση με το άνευ μόνωσης μοντέλο κοντά στο 70%, ποσοστό χαρακτηριστικό για την σημασία της μόνωσης των δομικών στοιχείων. Η εξοικονόμηση της ενέργειας συνεχίζεται και τον Μάρτιο, όπου το φορτίο μειώνεται κατά 77%, ενώ τον Απρίλιο το θερμικό φορτίο σχεδόν εκμηδενίζεται (90% μείωση). Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση του ψυκτικού φορτίου του Απριλίου κατά περίπου 110kWh (78%), η οποία εύκολα αμελείται γιατί, όπως προαναφέρθηκε, ο Απρίλιος ανήκει στους ουδέτερους μήνες όπου θέρμανση και ψύξη βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Η αύξηση του ψυκτικού φορτίου συνεχίζεται τον Μάιο και τον Ιούνιο, 547kWh (59%) και 138kWh (4,5%) αντίστοιχα. Η αναμενόμενη πτώση του ψυκτικού φορτίου με τη μόνωση εμφανίζεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, όπου το ψυκτικό φορτίο παρουσιάζει μείωση 363kWh (7,4%) και 441kWh (8,54%) αντίστοιχα. Τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο η αύξηση της απαίτησης σε ψύξη επανέρχεται. Ταυτόχρονα εξαλείφεται το θερμικό φορτίο του Οκτωβρίου (μείωση 100% σε σχέση με αυτό του μη μονωμένου μοντέλου), γεγονός που επιβεβαιώνει την κατάταξή του στους ουδέτερους μήνες. Η ραγδαία πτώση στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση που παρατηρήθηκε τους πρώτους μήνες του έτους συνεχίζεται τόσο τον Νοέμβριο όσο και τον Δεκέμβριο. (γράφημα 3-89, πίνακας 3-66).

Στα παραπάνω αποτελέσματα είναι εμφανής η επίδραση της μόνωσης στη συμπεριφορά του κελύφους. Στο άνευ μόνωσης μοντέλο το θερμικό φορτίο υπερέιχε του ψυκτικού, ένδειξη της αναγκαιότητας της θερμικής θωράκισης, η οποία τελικά οδήγησε στον περιορισμό κατά 75% του φορτίου θέρμανσης για το μονωμένο μοντέλο. Παράλληλα, η αναμενόμενη συμβολή της μόνωσης κατά το θέρρος –περίοδο υψηλής σημασίας για την

¹ Οι αρνητικές τιμές του πίνακα αντιστοιχούν σε αύξηση του φορτίου

Αττική- ανατράπηκε από μια μικρή αύξηση 5% στο ψυκτικό φορτίο (πίνακας 3-67). Εντοπίζεται τους μήνες με ήπιο καιρό και μειωμένες απαιτήσεις σε ψύξη. Αιτία αυτού του φαινομένου η αύξηση της ικανότητας θερμικής αποθήκευσης του κελύφους με την προσθήκη του μονωτικού υλικού χωρίς την ταυτόχρονη αρωγή μεθόδου αποβολής της θερμότητας.

3.6.3 3^ο Μοντέλο - Με επιπρόσθετη μόνωση

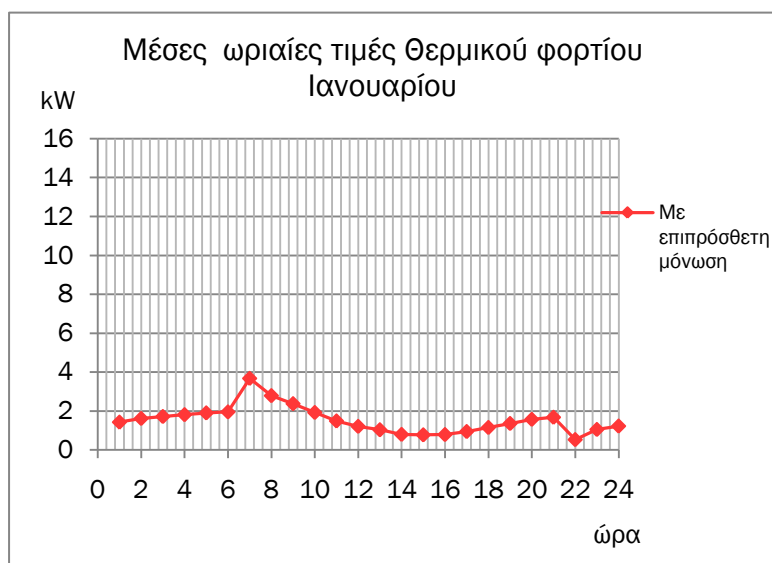
Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του κτηριακού κελύφους παρατίθενται στον πίνακα 3-68, μαζί με τα υλικά του προηγούμενου μοντέλου για καλύτερη εποπτεία. Κατά την προσομοίωση το κτήριο θεωρήθηκε κλειστό. Η ανανέωση νωπού αέρα τέθηκε στις μηδέν ach (αλλαγές του πλήρους όγκου αέρα την ώρα) και η διείσδυση λόγω ελλιπούς στεγανότητας στις 0,90ach [9, 12]. Όλα τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κλειστά. Απαιτούμενη ποσότητα εξωτερικού αέρα (παράμετρος του συστήματος για το TAS) 10l/s/person [5, 26].

Πίνακας 3- 68 Δομικά υλικά και συντελεστής θερμοπερατότητας

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – με μόνωση | U-Value [W/m ² C] | ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – με επιπρόσθετη μόνωση | U-Value [W/m ² C] |
|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
| Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 0,579 | Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 0,336 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Διογκωμένη πολυστερίνη 100mm Σοβάς 18mm | |
| Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 | Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 0,664 | Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 0,363 |
| Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 100mm Σοβάς 18mm | |
| Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 | Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | | Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (ισόγειου) | 3,276 | Οροφή (ισόγειου) | 3,276 |
| Γυψοσανίδα 9,5mm | | Γυψοσανίδα 9,5mm | |
| Δάπεδο ισόγειου | 0,460 | Δάπεδο ισόγειου | 0,292 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | | Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 100mm Σοβάς 18mm | |

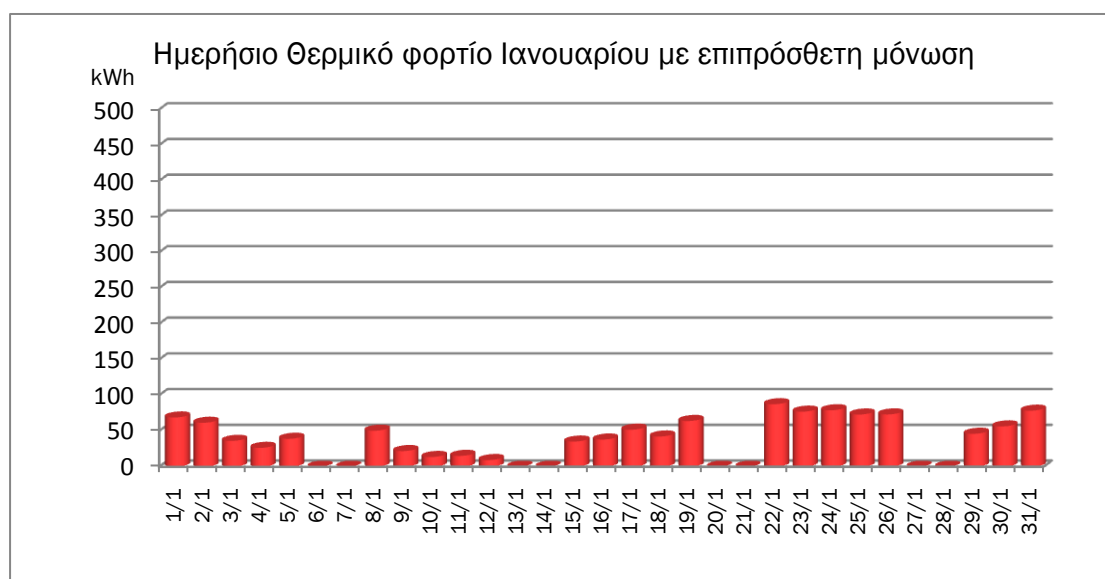
| | | | |
|--|--------------|---|--------------|
| Διπλός υαλοπίνακας με αργό | 3,027 | Διπλός υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής με αργό | 2,078 |
| Υαλοπίνακας 4mm Αργό 9mm Υαλοπίνακας 4mm | | Υαλοπίνακας 4mm Αργό 9mm Υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής 4mm | |
| Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 3,870 | Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 3,870 |
| Φύλλο αλουμινίου 15mm PVC 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | | Φύλλο αλουμινίου 15mm PVC 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | |
| Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 | Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 |
| Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 | Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 |

Πίνακας 3- 69 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου

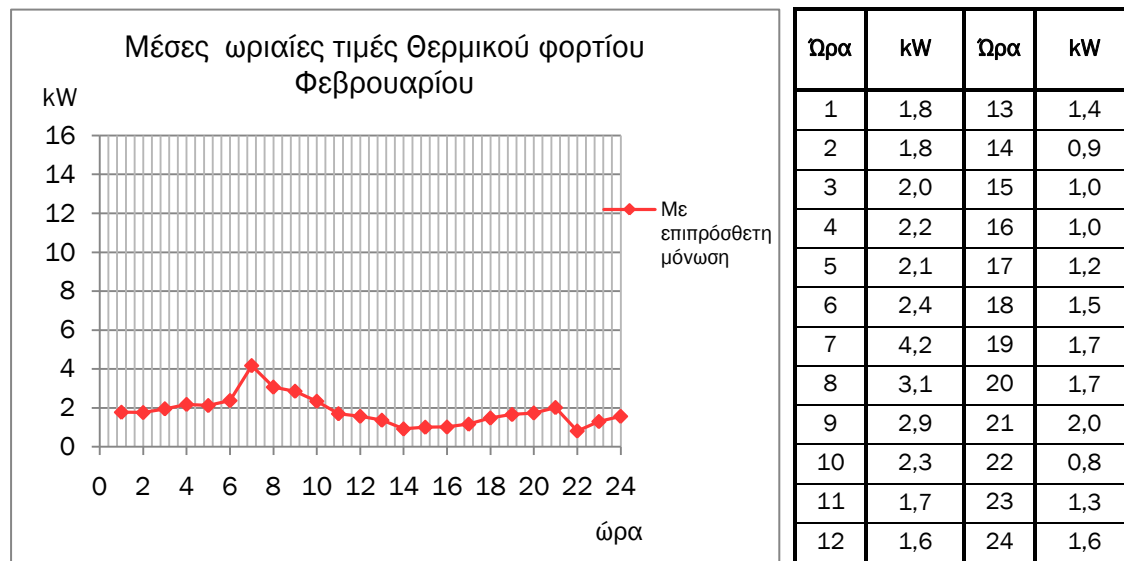


| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 1,4 | 13 | 1,0 |
| 2 | 1,6 | 14 | 0,8 |
| 3 | 1,7 | 15 | 0,8 |
| 4 | 1,8 | 16 | 0,8 |
| 5 | 1,9 | 17 | 0,9 |
| 6 | 2,0 | 18 | 1,2 |
| 7 | 3,7 | 19 | 1,4 |
| 8 | 2,8 | 20 | 1,6 |
| 9 | 2,4 | 21 | 1,7 |
| 10 | 1,9 | 22 | 0,5 |
| 11 | 1,5 | 23 | 1,1 |
| 12 | 1,2 | 24 | 1,2 |

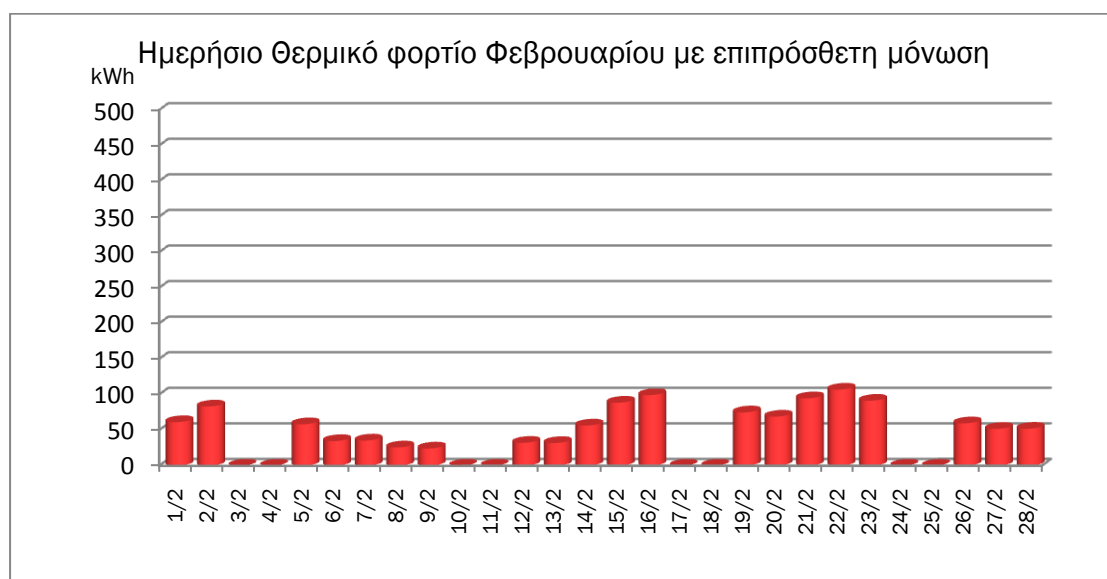
Γράφημα 3- 90 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου



Γράφημα 3- 91 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Ιανουαρίου με επιπρόσθετη μόνωση

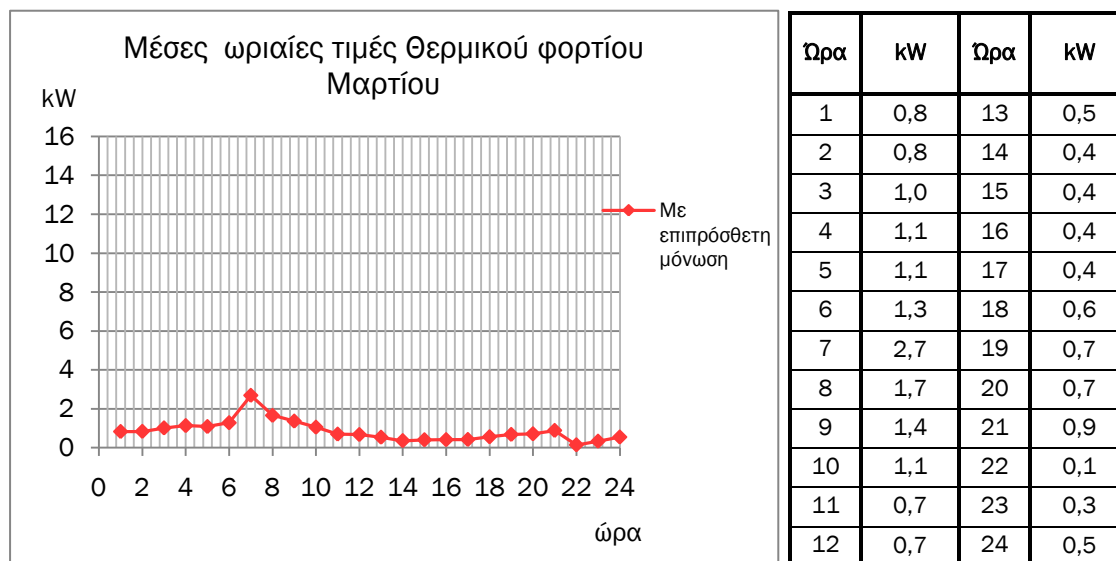
Πίνακας 3- 70 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου

Γράφημα 3-92 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου

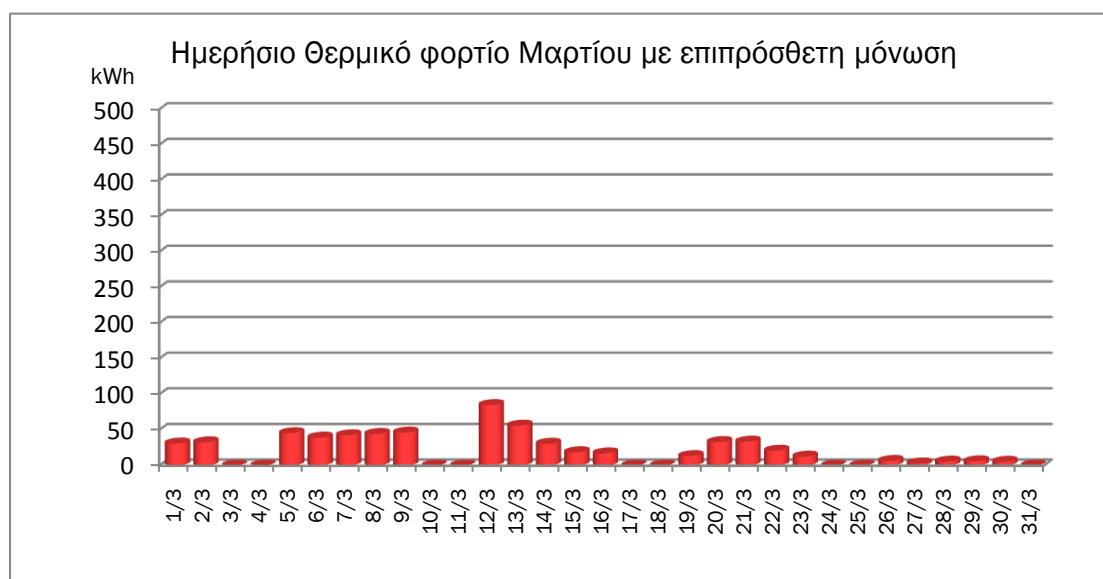


Γράφημα 3- 93 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Φεβρουαρίου με επιπρόσθετη μόνωση

Στα διαγράμματα των ωριαίων τιμών του φορτίου Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου (3-90, 3-92) παρατηρείται όμοια συμπεριφορά με αυτή του μονωμένου μοντέλου, η οποία οφείλεται στο πρόγραμμα λειτουργίας του κτηρίου (7:00-21:00). Η επιπρόσθετη μόνωση επηρεάζει τη μηνιαία κατανομή του φορτίου, μειώνοντας τις μέγιστες ημερήσιες τιμές (γράφημα 3-91, 3-93).

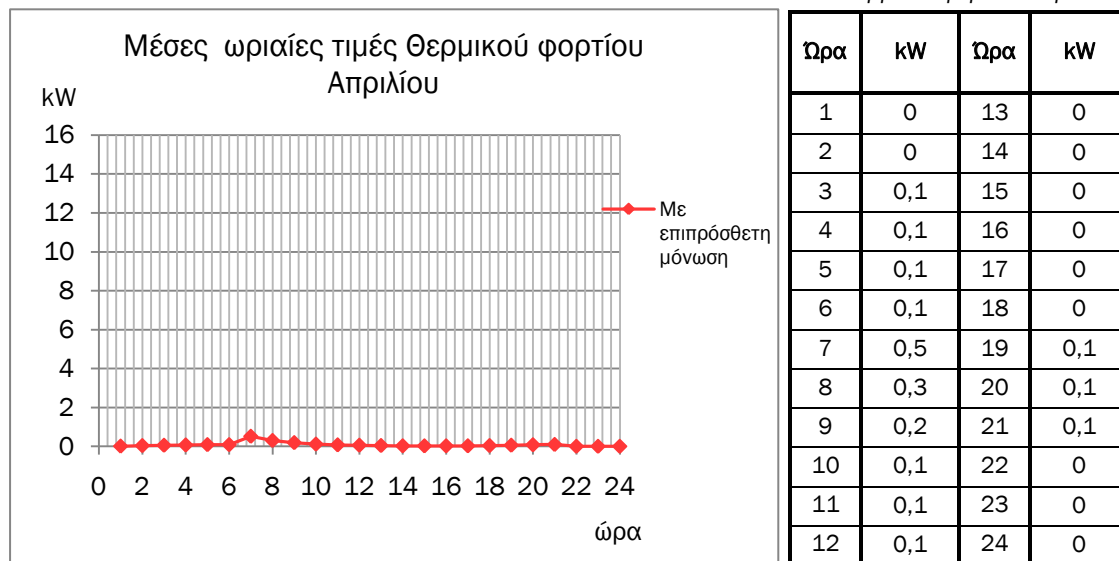
Πίνακας 3- 71 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Μαρτίου

Γράφημα 3- 94 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Μαρτίου



Γράφημα 3- 95 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Μαρτίου με επιπρόσθετη μόνωση

Η συμβολή της μόνωσης στην ελαχιστοποίηση των θερμικών φορτίων του Μαρτίου που παρατηρήθηκε στο προηγούμενο μοντέλο, ενισχύεται στο επιπροσθέτως μονωμένο μοντέλο. Με βάση τις μέσες ωριαίες τιμές, η θέρμανση θα λειτουργήσει τις πρώτες ώρες χρήσης αλλά κατά τη διάρκεια της ημέρας το φορτίο θα συρρικνωθεί (γράφημα 3-94). Τις τρεις τελευταίες εβδομάδες του μήνα το φορτίο είναι μειούμενο, σε βαθμό τέτοιο ώστε την τελευταία να μην απαιτείται ουσιαστικά καθόλου θέρμανση.

Πίνακας 3- 72 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Απριλίου

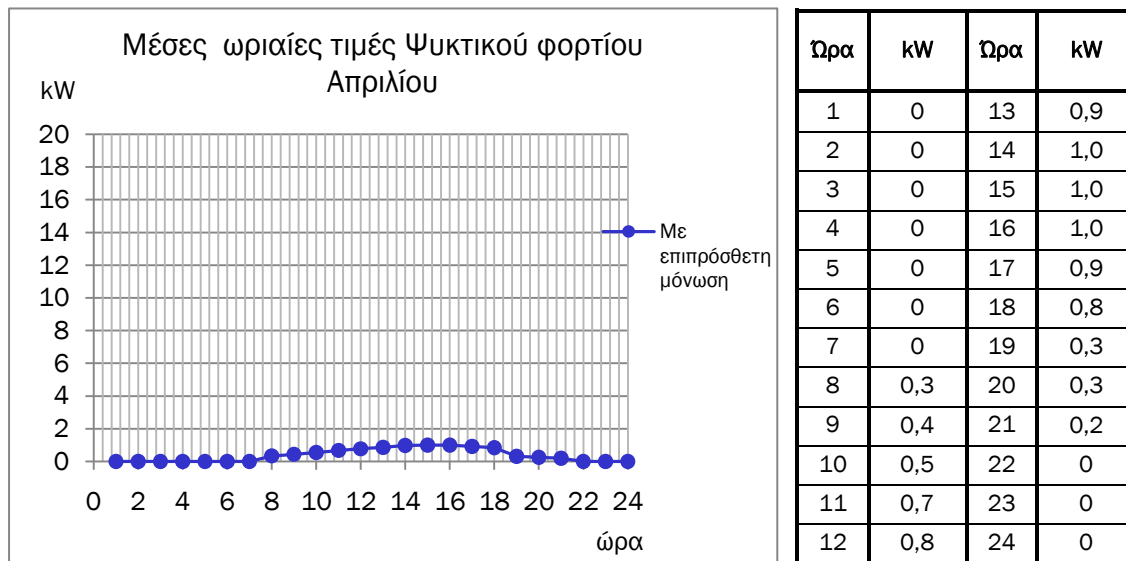
Γράφημα 3- 96 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Απριλίου



Γράφημα 3- 97 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Απριλίου με επιπρόσθετη μόνωση

Σε αυτή την περίπτωση το φορτίο είναι πρακτικά μηδενικό. Παρατίθεται για λόγους πληρότητας και σύγκρισης με τα έτερα μοντέλα, αφού ο Απρίλιος κατατάχθηκε στους ουδέτερους μήνες.

Πίνακας 3- 73 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Απριλίου



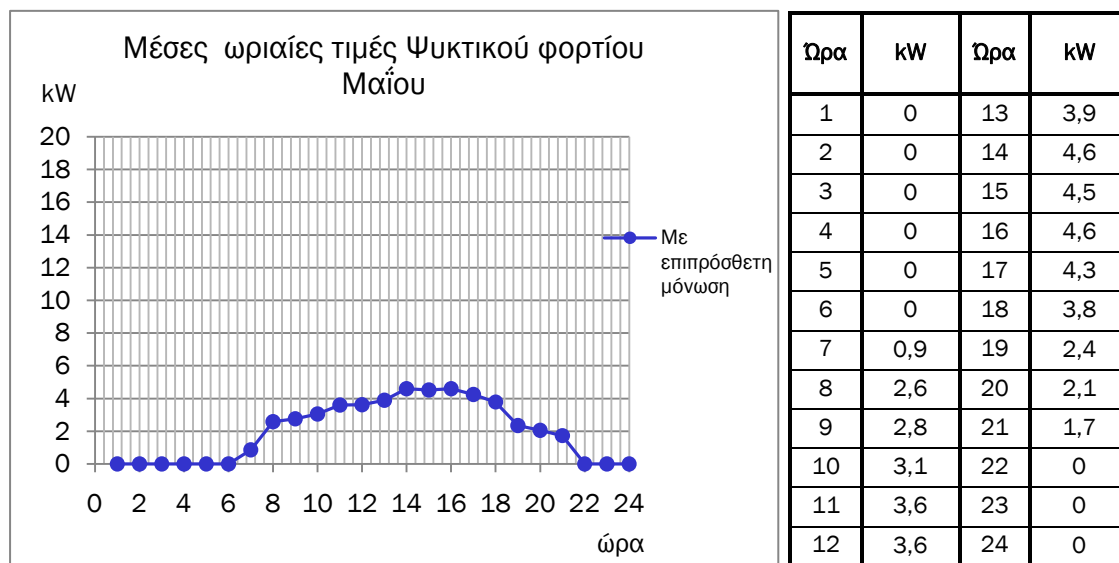
Γράφημα 3- 98 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Απριλίου



Γράφημα 3- 99 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Απριλίου με επιπρόσθετη μόνωση

Ομοίως με το απλώς μονωμένο μοντέλο παρατηρείται ότι απαίτηση για ψύξη εμφανίζεται στο τέλος του μήνα. Η τιμή του φορτίου είναι τέτοια που συμπεραίνεται μικρή απόκλιση από τα ορισμένα αποδεκτά εύρη θερμοκρασίας και υγρασίας. Τέτοιες μικρές αποκλίσεις δε δικαιολογούν τη λειτουργία του κλιματισμού.

Πίνακας 3- 74 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

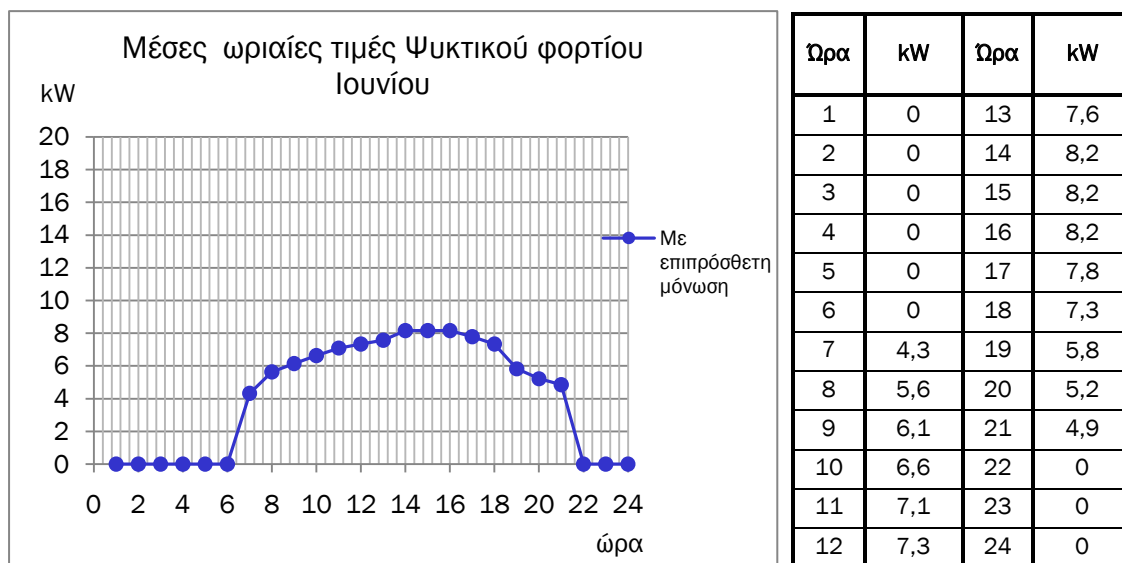


Γράφημα 3- 100 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

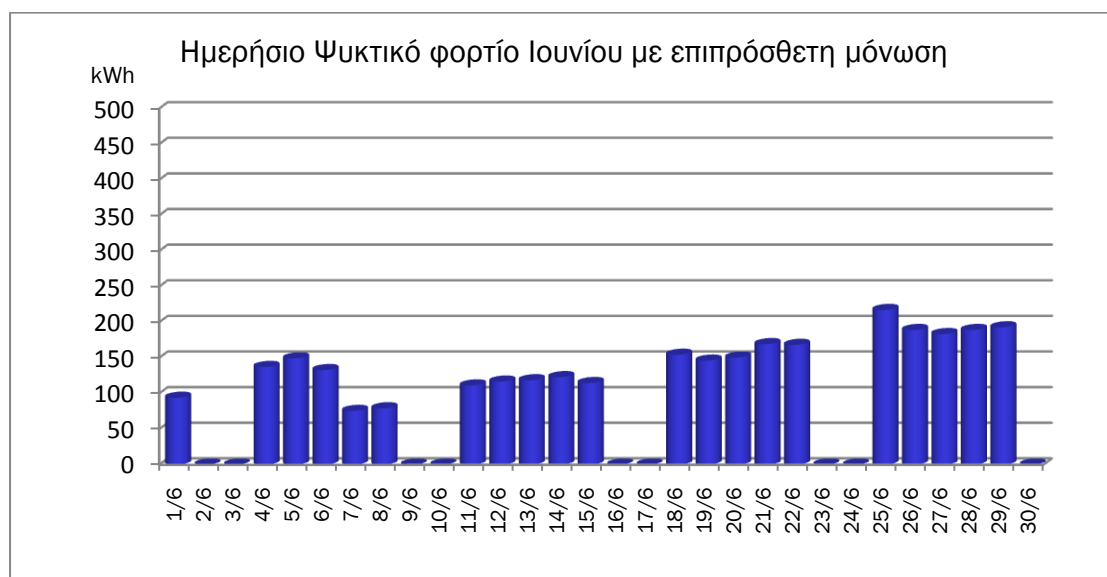


Γράφημα 3- 101 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Μαΐου με επιπρόσθετη μόνωση

Η συμπεριφορά που παρατηρήθηκε στο προηγούμενο μοντέλο, δηλαδή η αύξηση του ψυκτικού φορτίου με την προσθήκη της μόνωσης επαναλαμβάνεται και σε αυτή την περίπτωση, σε πλέον μικρότερο βαθμό. Η διακύμανση του φορτίου κατά τη διάρκεια του μήνα συμβαδίζει επίσης με αυτή του απλώς μονωμένου μοντέλου.

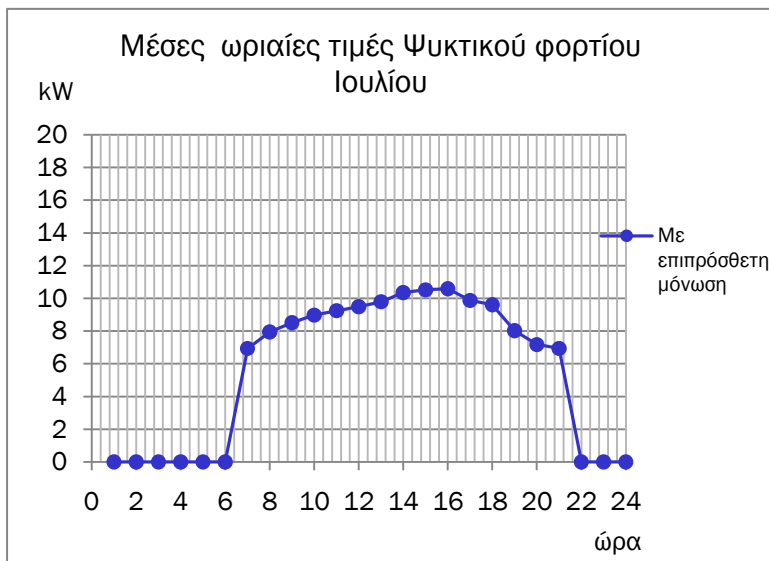
Πίνακας 3- 75 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου

Γράφημα 3- 102 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου



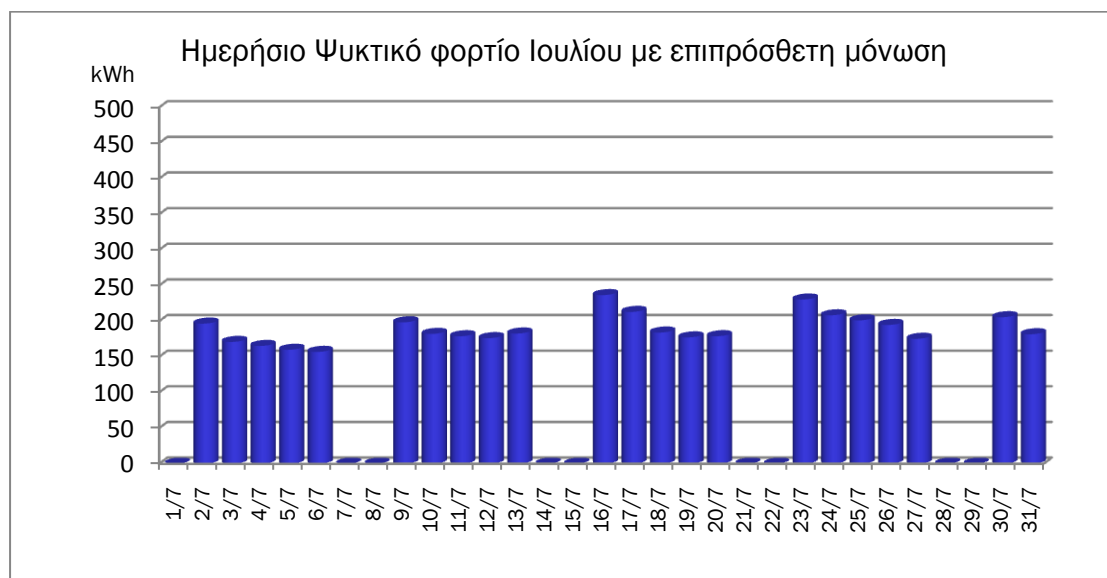
Γράφημα 3- 103 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουνίου με επιπρόσθετη μόνωση

Η αναμενόμενη μείωση του ψυκτικού φορτίου σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο, παρατηρείται τόσο στην ωριαία τόσο και στην ημερήσια διακύμανση του φορτίου. Στο γράφημα 3-103 διαφαίνεται η σταδιακή αύξηση του φορτίου κάθε εβδομάδα, λόγω των αυξανόμενων θερμοκρασιών του θέρους.

Πίνακας 3- 76 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|------|
| 1 | 0 | 13 | 9,8 |
| 2 | 0 | 14 | 10,3 |
| 3 | 0 | 15 | 10,5 |
| 4 | 0 | 16 | 10,6 |
| 5 | 0 | 17 | 9,9 |
| 6 | 0 | 18 | 9,6 |
| 7 | 6,9 | 19 | 8,0 |
| 8 | 7,9 | 20 | 7,2 |
| 9 | 8,5 | 21 | 6,9 |
| 10 | 9,0 | 22 | 0 |
| 11 | 9,2 | 23 | 0 |
| 12 | 9,5 | 24 | 0 |

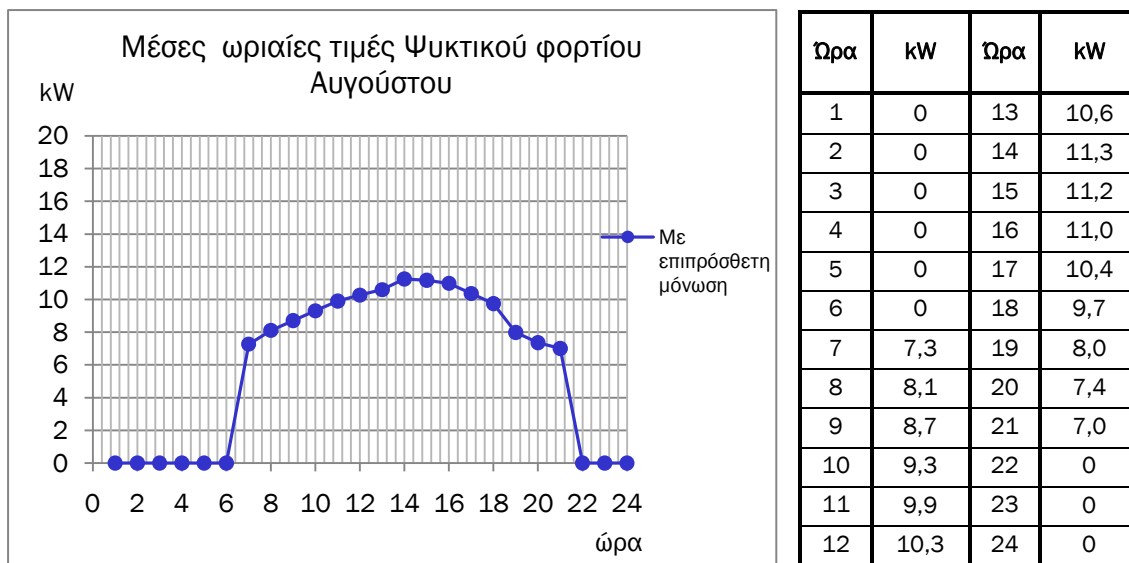
Γράφημα 3- 104 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου



Γράφημα 3- 105 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουλίου με επιπρόσθετη μόνωση

Τον Ιούλιο η συμπεριφορά του φορτίου (γράφημα 3-104, 3-105) είναι αναμενόμενη, με μικρές ημερήσιες διακυμάνσεις. Σε σχέση με τον Ιούνιο, οι μέσες ωριαίες τιμές είναι αυξημένες, μετατοπίζοντας την καμπύλη προς τα πάνω.

Πίνακας 3- 77 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



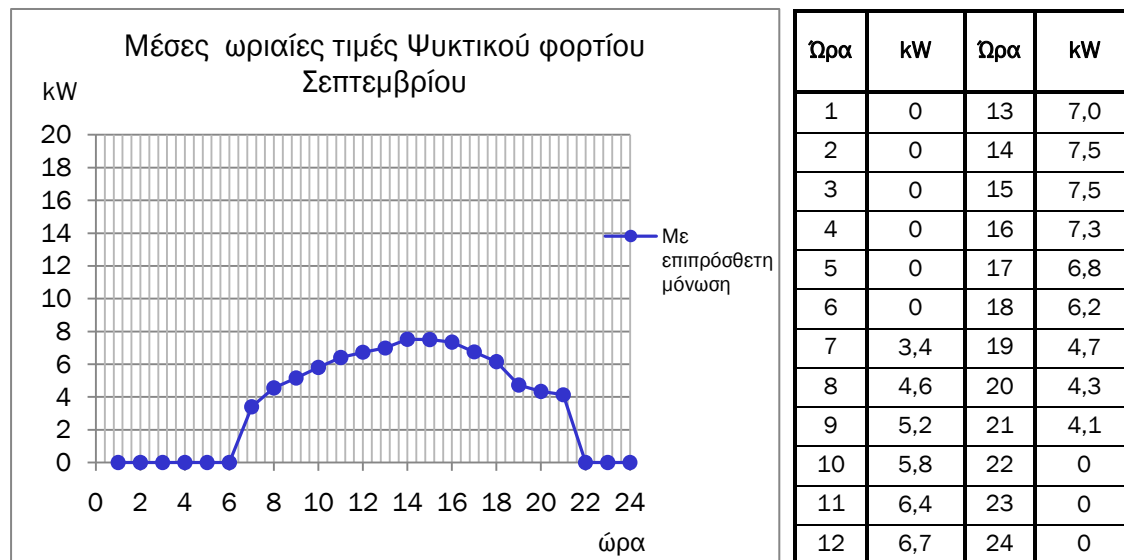
Γράφημα 3- 106 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



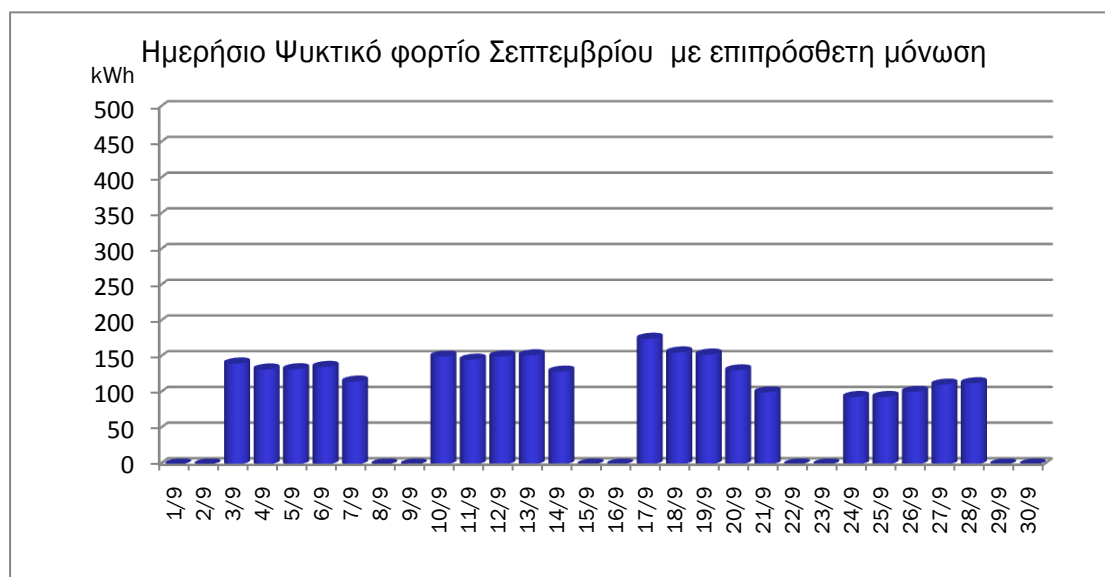
Γράφημα 3- 107 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Αυγούστου με επιπρόσθετη μόνωση

Η συμπεριφορά της καμπύλης των μέσων όρων είναι ίδια με του Ιουλίου, μετατοπισμένη προς τα πάνω στον άξονα των y (γράφημα 3-106). Την 6^η Αυγούστου –ημέρα σχεδιασμού– εμφανίζεται η μέγιστη ημερήσια τιμή· τις υπόλοιπες ημέρες του μήνα οι διακυμάνσεις είναι μικρές και η απαίτηση σε ψύξη σχεδόν σταθερή και μειωμένη, σε σύγκριση με το απλώς μονωμένο μοντέλο (γράφημα 3-107).

Πίνακας 3- 78 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου



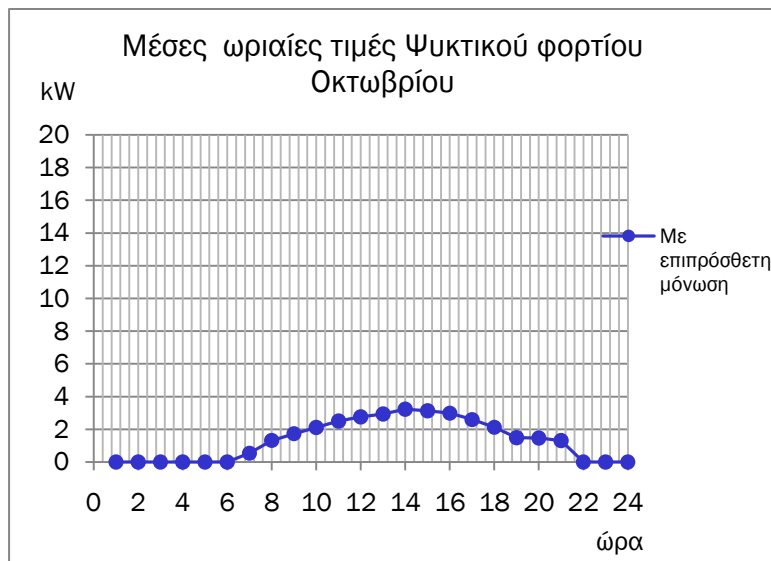
Γράφημα 3- 108 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου



Γράφημα 3- 109 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Σεπτεμβρίου με επιπρόσθετη μόνωση

Η προσθήκη της επιπρόσθετης μόνωσης συμβάλλει στη μείωση των ωριαίων μέσων φορτίων για τον Σεπτέμβριο, σε σύγκριση με το προηγούμενο μοντέλο (γράφημα 3-108). Η απαίτηση σε ψύξη είναι σχεδόν σταθερή τις δύο πρώτες εβδομάδες του μήνα και μειούμενη τις δύο τελευταίες (γράφημα 3-109).

Πίνακας 3- 79 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου



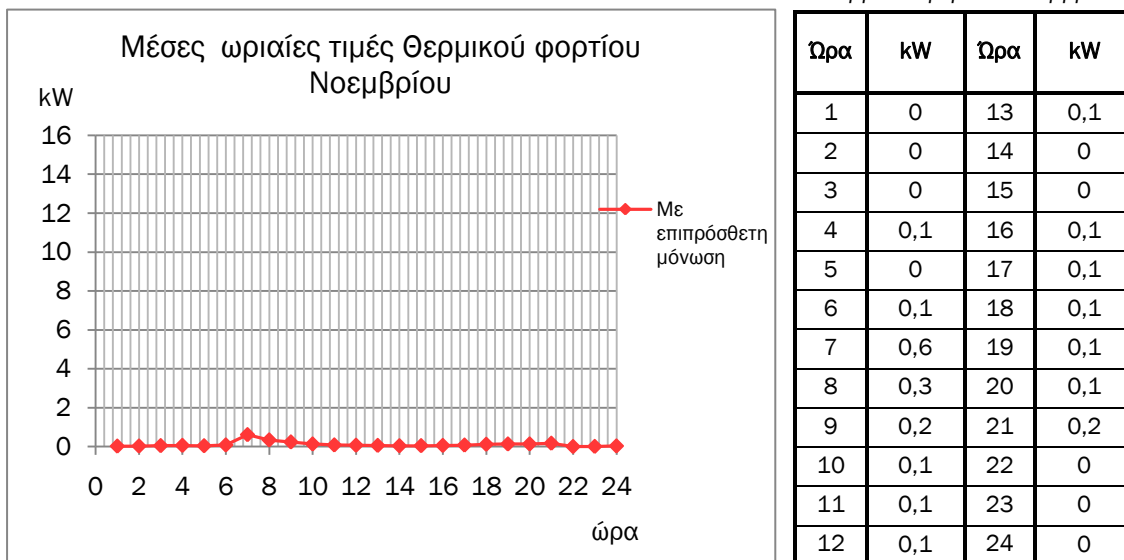
| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 2,9 |
| 2 | 0 | 14 | 3,2 |
| 3 | 0 | 15 | 3,1 |
| 4 | 0 | 16 | 3,0 |
| 5 | 0 | 17 | 2,6 |
| 6 | 0 | 18 | 2,1 |
| 7 | 0,5 | 19 | 1,5 |
| 8 | 1,3 | 20 | 1,5 |
| 9 | 1,7 | 21 | 1,3 |
| 10 | 2,1 | 22 | 0 |
| 11 | 2,5 | 23 | 0 |
| 12 | 2,8 | 24 | 0 |

Γράφημα 3- 110 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

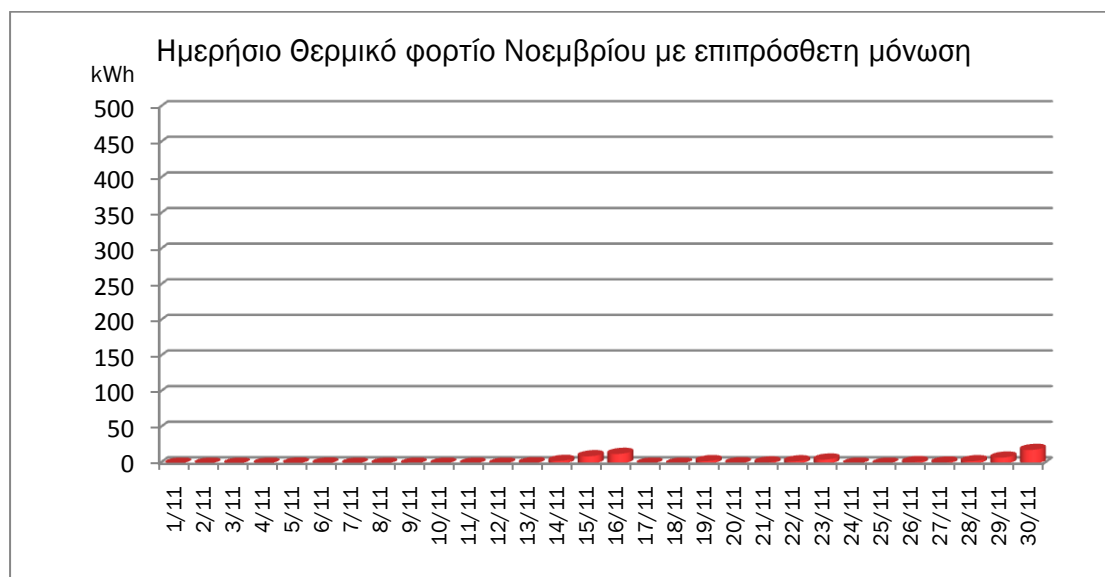


Γράφημα 3- 111 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Οκτωβρίου με επιπρόσθετη μόνωση

Ομοίως με τον Μάιο, τον Οκτώβριο παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο: της αύξησης του ψυκτικού φορτίου σε σχέση με το προηγούμενο, απλώς μονωμένο μοντέλο. Όπως προαναφέρθηκε, ο Οκτώβριος ανήκει στους μέσους μήνες, δηλαδή σε πραγματικές συνθήκες δε θα λειτουργήσει ο κλιματισμός.

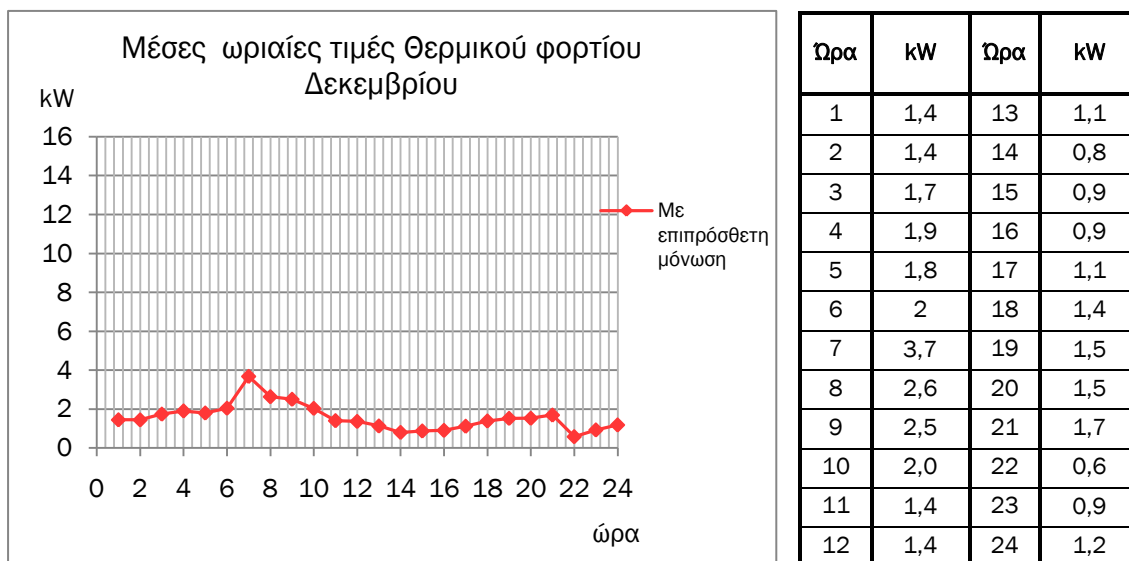
Πίνακας 3- 80 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

Γράφημα 3- 112 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

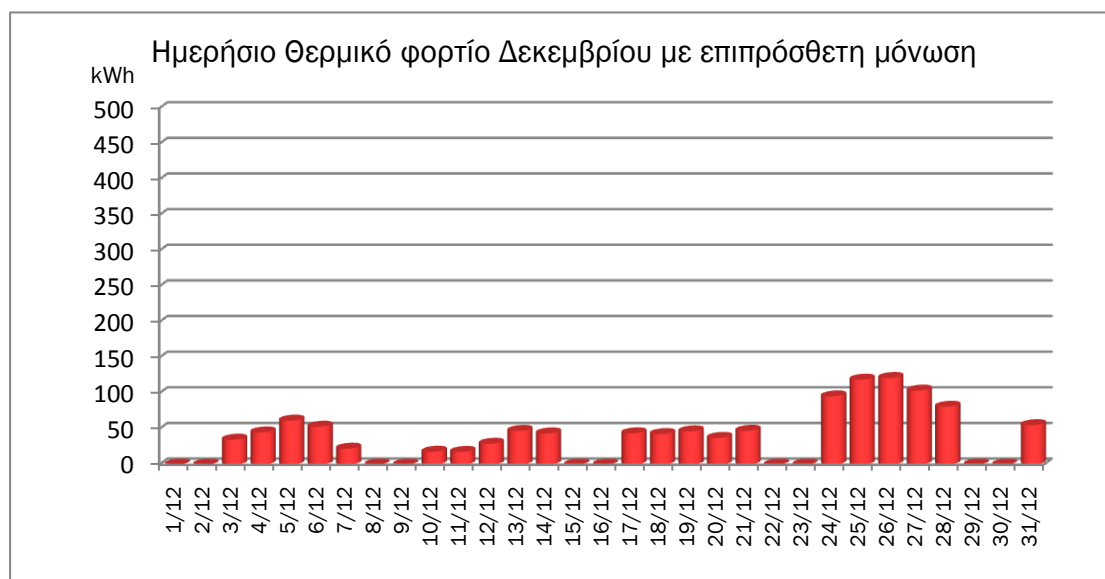


Γράφημα 3- 113 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Νοεμβρίου με επιπρόσθετη μόνωση

Το θερμικό φορτίο εξαλείφεται πλήρως τον Νοέμβριο, όπως φαίνεται στα γραφήματα 3-112 και 3-113. Η αιχμή της εκκίνησης της χρήσης του κτηρίου στην ωριαία διακύμανση του φορτίου ελαχιστοποιήθηκε και η μορφή της καμπύλης σχεδόν ταυτίζεται με τον άξονα των x. Σε πραγματικές συνθήκες δεν θα χρειαστούσε θέρμανση.

Πίνακας 3- 81 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου

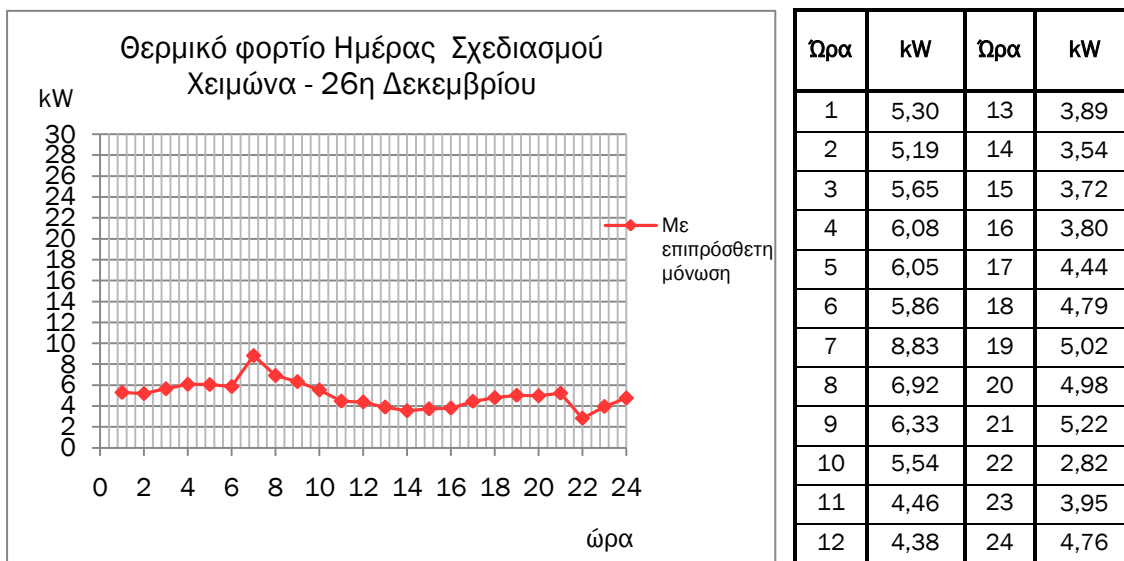
Γράφημα 3- 114 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου



Γράφημα 3- 115 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Δεκεμβρίου με επιπρόσθετη μόνωση

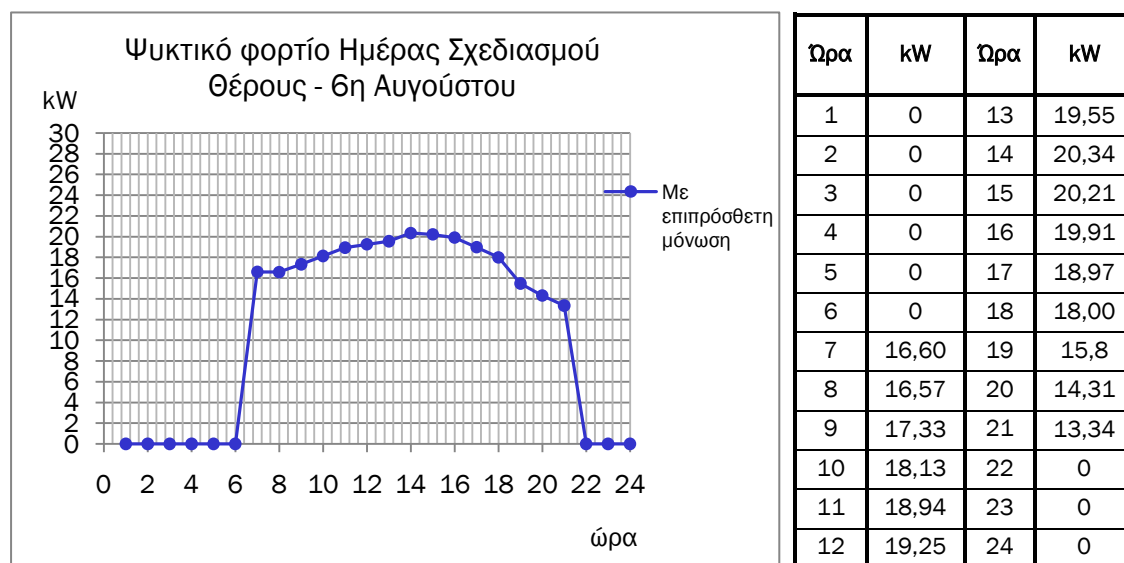
Τον Δεκέμβριο η απαίτηση για θέρμανση αυξάνεται σε σύγκριση με τον Νοέμβριο, αλλά παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με το μοντέλο της προηγούμενης προσομοίωσης. Η ημέρα σχεδιασμού -26^η Αυγούστου- εμφανίζει μικρή ημερήσια διακύμανση συγκριτικά με τις υπόλοιπες μέρες τις τελευταίες εβδομάδες του μήνα.

Πίνακας 3- 82 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26η Δεκεμβρίου



Γράφημα 3- 116 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26η Δεκεμβρίου

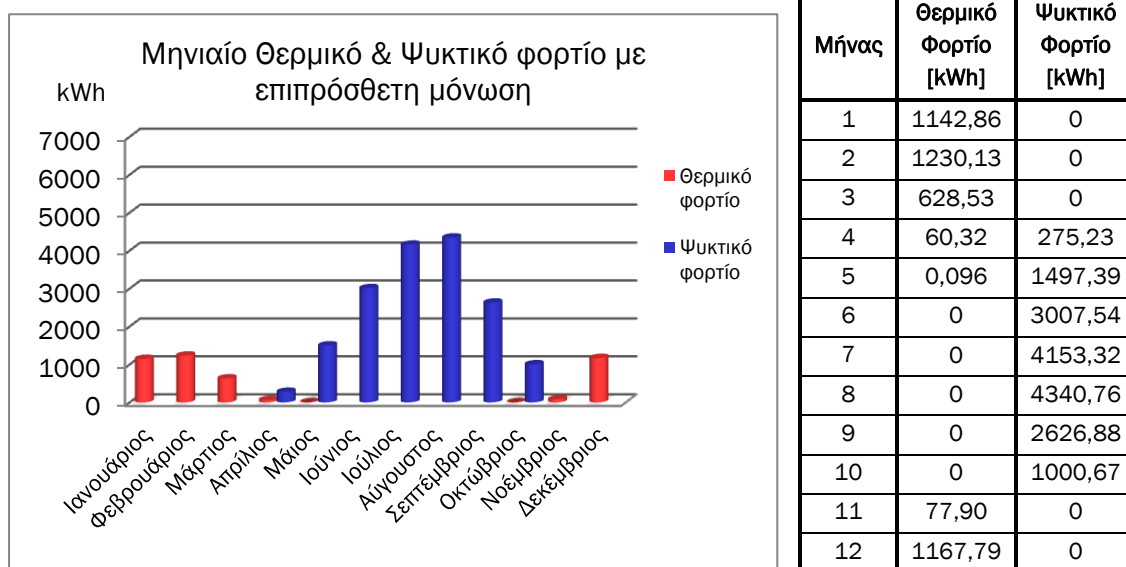
Πίνακας 3- 83 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου



Γράφημα 3- 117 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου

Η μέγιστη τιμή του θερμικού φορτίου για την ημέρα σχεδιασμού του χειμώνα (26^η Δεκεμβρίου) προέκυψε 8,83kW (γράφημα 3-116, πίνακας 3-82), ενώ στο απλώς μονωμένο μοντέλο 11,46kW (γράφημα 3-86, πίνακας 3-62). Η μέγιστη τιμή του ψυκτικού φορτίου για την 6^η Αυγούστου προέκυψε 20,34kW (γράφημα 3-117, πίνακας 3-83) και στο προηγούμενο μοντέλο 22,88kW (γράφημα 3-87, πίνακας 3-63). Παρατηρείται πτώση στις μέγιστες στιγμιαίες τιμές και των δύο φορτίων, γεγονός που θα επηρεάσει την διαστασιολόγηση του μηχανοστασίου.

Πίνακας 3- 84 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο με επιπρόσθετη μόνωση

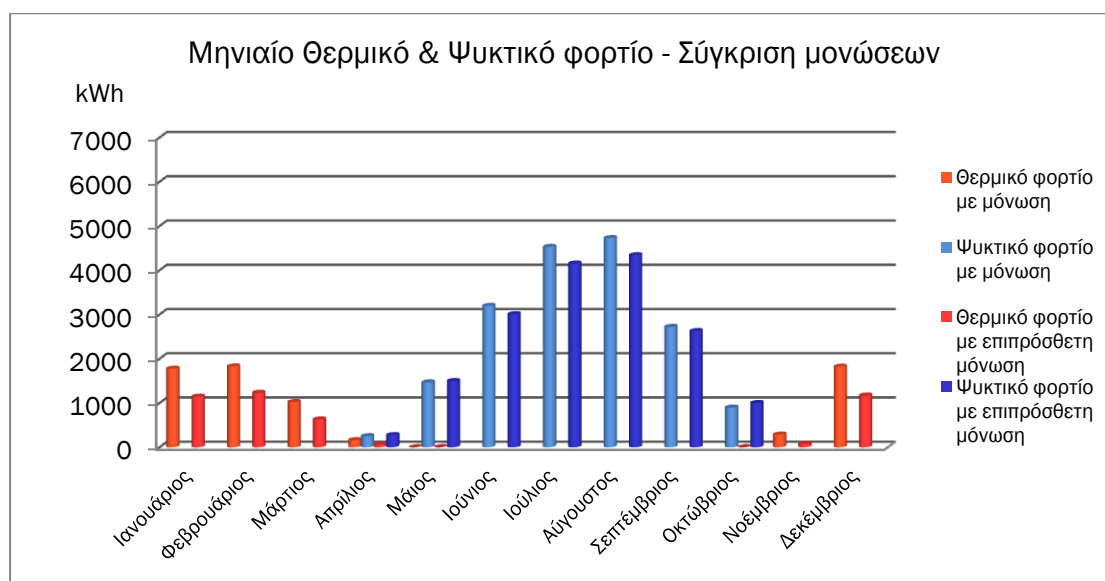


Γράφημα 3- 118 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο με επιπρόσθετη

Πίνακας 3- 85 Συνολικό φορτίο χειμερινής και θερινής περιόδου

| Συνολικό Φορτίο | kWh |
|---------------------|----------|
| Χειμερινής περιόδου | 4307,62 |
| Θερινής περιόδου | 16901,79 |

Η ετήσια συμπεριφορά του επιπροσθέτως μονωμένου κελύφους είναι όμοια με αυτή του απλώς μονωμένου. Τον χειμώνα τα φορτία είναι σταθερά και μικρότερης κλίμακας από αυτά του θέρους. Τον Απρίλιο εμφανίζεται μικτό φορτίο, μικρής ενεργειακής απαίτησης, το οποίο σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας θα είχε εξαλειφθεί. Από τον πίνακα 3-85, ομοίως με το προηγούμενο μοντέλο εξάγεται το συμπέρασμα ότι η βελτιστοποίηση του κελύφους πρέπει να είναι προσανατολισμένη στην αρωγή της ψύξης, αφού το συνολικό ψυκτικό φορτίο είναι μεγαλύτερο του θερμικού κατά περίπου 12500kWh.



Γράφημα 3- 119 Συνολικό Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο μονωμένου μοντέλου και επιπρόσθετα μονωμένου

Πίνακας 3- 86 Μεταβολή Θερμικού και Ψυκτικού Φορτίου (αλγεβρικές τιμές) με την προσθήκη επιπλέον μόνωσης²

| Μήνας | Θερμικό Φορτίο Με μόνωση [kWh] | Θερμικό Φορτίο Με επιπλέον μόνωση [kWh] | Μεταβολή Θερμικού Φορτίου [kWh] | Μεταβολή Θερμικού Φορτίου [%] | Ψυκτικό Φορτίο Με μόνωση [kWh] | Ψυκτικό Φορτίο Με επιπλέον μόνωση [kWh] | Μεταβολή Ψυκτικού Φορτίου [kWh] | Μεταβολή Ψυκτικού Φορτίου [%] |
|-------|--------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1776,10 | 1142,86 | 633,24 | 35,65 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1828,33 | 1230,13 | 598,2 | 32,72 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1021,54 | 628,53 | 393,01 | 38,47 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 161,30 | 60,32 | 100,98 | 62,60 | 250,14 | 275,23 | -25,09 | -10,03 |
| 5 | 0 | 0,096 | -0,096 | 0 | 1466,28 | 1497,39 | -31,11 | -2,12 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3196,52 | 3007,54 | 188,98 | 5,91 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4529,18 | 4153,32 | 375,86 | 8,30 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4727,27 | 4340,76 | 386,51 | 8,18 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2720,26 | 2626,88 | 93,38 | 3,43 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 897,23 | 1000,67 | -103,44 | -11,53 |
| 11 | 286,63 | 77,9 | 208,73 | 72,82 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 1820,55 | 1167,79 | 652,76 | 35,86 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 3- 87 Συνολική διαφορά (αλγεβρική) φορτίου ανά περίοδο έτους²

| Συνολική διαφορά Φορτίου | kWh | % |
|--------------------------|---------|------|
| Χειμερινής περιόδου | 2586,82 | 37,5 |
| Θερινής περιόδου | 885,09 | 5,0 |

Από τον Ιανουάριο μέχρι τον Απρίλιο παρατηρείται μείωση του απαιτούμενου φορτίου θέρμανσης, ενισχύοντας την εξοικονόμηση της ενέργειας με την αντικατάσταση των δομικών υλικών από τα στοιχειώδη του προηγούμενου μοντέλου σε αυτά του παρόντος. Το ψυκτικό φορτίο του Απριλίου αυξήθηκε 25kWh (10%), η οποία εύκολα αμελείται γιατί, όπως προαναφέρθηκε, ο Απρίλιος ανήκει στους ουδέτερους μήνες όπου θέρμανση και ψύξη βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Η αύξηση του ψυκτικού φορτίου συνεχίζεται τον Μάιο σε ποσοστό 2% (31kWh). Από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο μειώνεται η απαίτηση σε ψύξη, με μέγιστη μείωση τον Ιούλιο και τον Αύγουστο κοντά στο 8%. Τον Οκτώβριο η αύξηση του ψυκτικού φορτίου επανέρχεται σε ποσοστό 11,5% (103kWh). Τον Νοέμβριο η επίδραση της μόνωσης στη μείωση του θερμικού φορτίου είναι τέτοια, που πρακτικά αναλογεί σε καθόλου χρήση της θέρμανσης. Η πτώση στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση που παρατηρήθηκε τους πρώτους μήνες του έτους συνεχίζεται και για τον Δεκέμβριο. (γράφημα 3-119, πίνακας 3-86).

Η ενίσχυση της μόνωσης εξοικονομεί 37,5% του συνολικού θερμικού φορτίου (2600kWh λιγότερες σε σύγκριση με την απλή μόνωση) και 5% (890kWh) του συνολικού ψυκτικού (πίνακας 3-87).

² Οι αρνητικές τιμές του πίνακα αντιστοιχούν σε αύξηση του φορτίου

3.6.4 4^ο Μοντέλο – Με μόνωση aerogel

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του κτηριακού κελύφους παρατίθενται στον πίνακα 3- 88 μαζί με τα υλικά του προηγούμενου μοντέλου. Η ειδοποιός διαφορά αυτού του μοντέλου είναι η χρήση του aerogel στη μόνωση των εξωτερικών δομικών στοιχείων (τοίχους, οροφή και δάπεδο). Ιδιαιτερότητα του aerogel ως υλικό είναι το ότι αποτελείται κατά συντριπτικό ποσοστό από αέρα. Πρόκειται για συνθετικά παραγόμενο silica gel εμποτισμένο σε ύφασμα και κατασκευασμένο κατάλληλα έτσι ώστε να εγκλωβίζει ποσότητα αέρα. Ιδιότητες του aerogel: χαμηλός συντελεστής θερμοπερατότητας και μειωμένη αναφλεξιμότητα, αντοχή στο χρόνο και ηχομόνωση, φιλικό προς το περιβάλλον με μειωμένες απαιτήσεις σε ενέργεια για την παραγωγή του. [40]

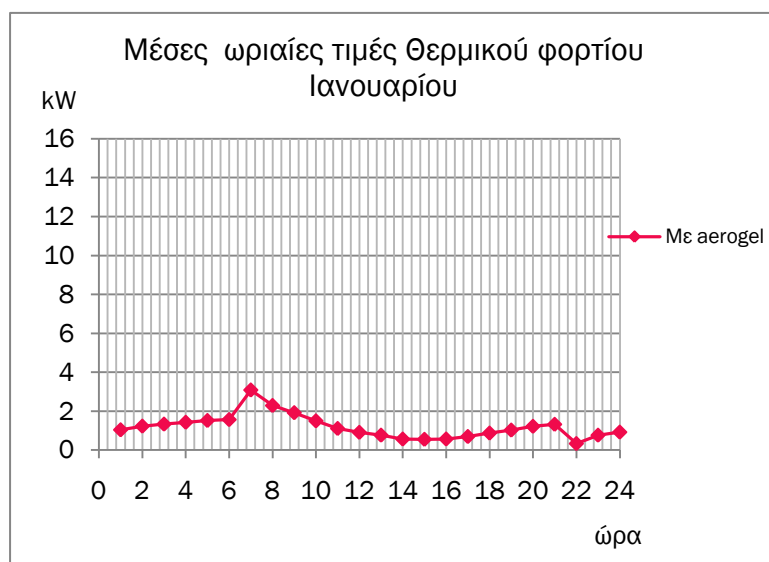
Κατά την προσομοίωση το κτήριο θεωρήθηκε κλειστό. Η ανανέωση νωπού αέρα τέθηκε στις μηδέν ach (αλλαγές του πλήρους όγκου αέρα την ώρα) και η διείσδυση λόγω ελλειπούς στεγανότητας στις 0,90ach [9, 12]. Όλα τα ανοίγματα θεωρήθηκαν κλειστά. Απαιτούμενη ποσότητα εξωτερικού αέρα (παράμετρος του συστήματος για το TAS) 10l/s/person [5, 26].

Πίνακας 3- 88 Δομικά υλικά και συντελεστής θερμοπερατότητας

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – με επιπρόσθετη μόνωση | U-Value [W/m ² C] | ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – με aerogel μόνωση | U-Value [W/m ² C] |
|---|------------------------------|---|------------------------------|
| Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 0,336 | Πλίνθινος διπλός τοίχος (εξωτερικός) | 0,241 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Αέρας 20mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Aerogel Σοβάς 18mm | |
| Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 | Πλίνθινος τοίχος (εσωτερικός) | 3,076 |
| Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Εξάοποι κεραμικοί πλίνθοι 90mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 0,363 | Οροφή (1^{ου} ορόφου) | 0,254 |
| Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | | Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Aerogel Σοβάς 18mm | |
| Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 | Δάπεδο (1^{ου} ορόφου) | 2,865 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | | Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm Σοβάς 18mm | |
| Οροφή (ισόγειου) | 3,276 | Οροφή (ισόγειου) | 3,276 |
| Γυψοσανίδα 9,5mm | | Γυψοσανίδα 9,5mm | |
| Δάπεδο ισογείου | 0,292 | Δάπεδο ισογείου | 0,217 |
| Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm | | Πλακάκια 5mm Σοβάς 18mm Σκυρόδεμα 2% ατσάλι 20mm | |

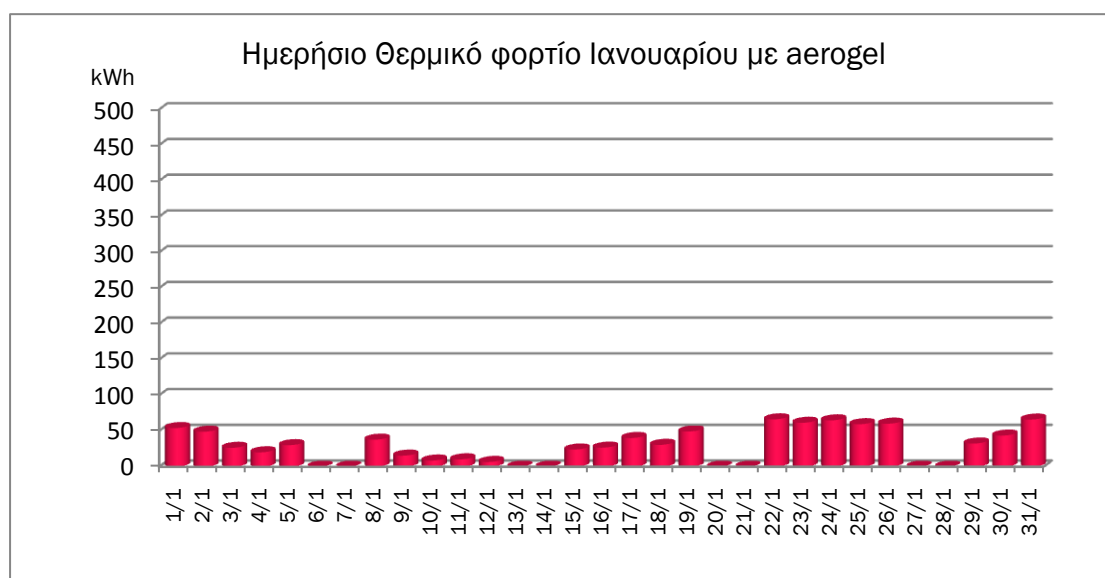
| | | | |
|---|--------------|---|--------------|
| Διογκωμένη πολυστερίνη 50mm Σοβάς 18mm | | Aerogel Σοβάς 18mm | |
| Διπλός υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής με αργό | 2,078 | Διπλός υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής με αργό | 2,078 |
| Υαλοπίνακας 4mm Αργό 9mm Υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής 4mm | | Υαλοπίνακας 4mm Αργό 9mm Υαλοπίνακας χαμηλής εκπομπής 4mm | |
| Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 3,870 | Πλαίσια παραθύρων αλουμινίου | 3,870 |
| Φύλλο αλουμινίου 15mm PVC 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | | Φύλλο αλουμινίου 15mm PVC 15mm Φύλλο αλουμινίου 15mm | |
| Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 | Πλαίσια θυρών ξύλου 65mm | 1,493 |
| Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 | Θύρες ξύλου 45mm | 1,650 |

Πίνακας 3- 89 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου

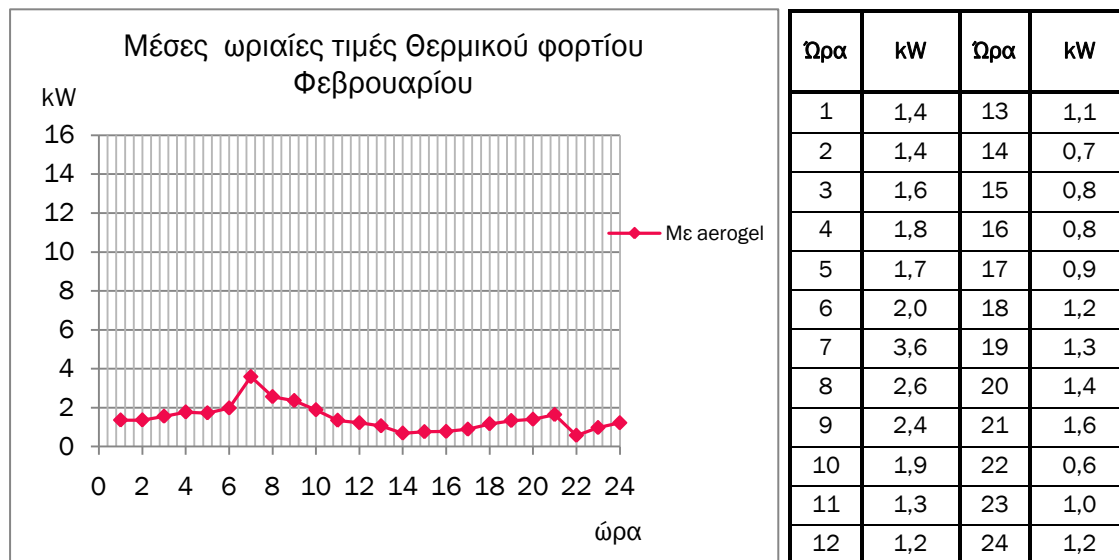


| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 1,0 | 13 | 0,8 |
| 2 | 1,2 | 14 | 0,6 |
| 3 | 1,3 | 15 | 0,5 |
| 4 | 1,4 | 16 | 0,6 |
| 5 | 1,5 | 17 | 0,7 |
| 6 | 1,6 | 18 | 0,9 |
| 7 | 3,1 | 19 | 1,0 |
| 8 | 2,3 | 20 | 1,2 |
| 9 | 1,9 | 21 | 1,3 |
| 10 | 1,5 | 22 | 0,3 |
| 11 | 1,1 | 23 | 0,8 |
| 12 | 0,9 | 24 | 0,9 |

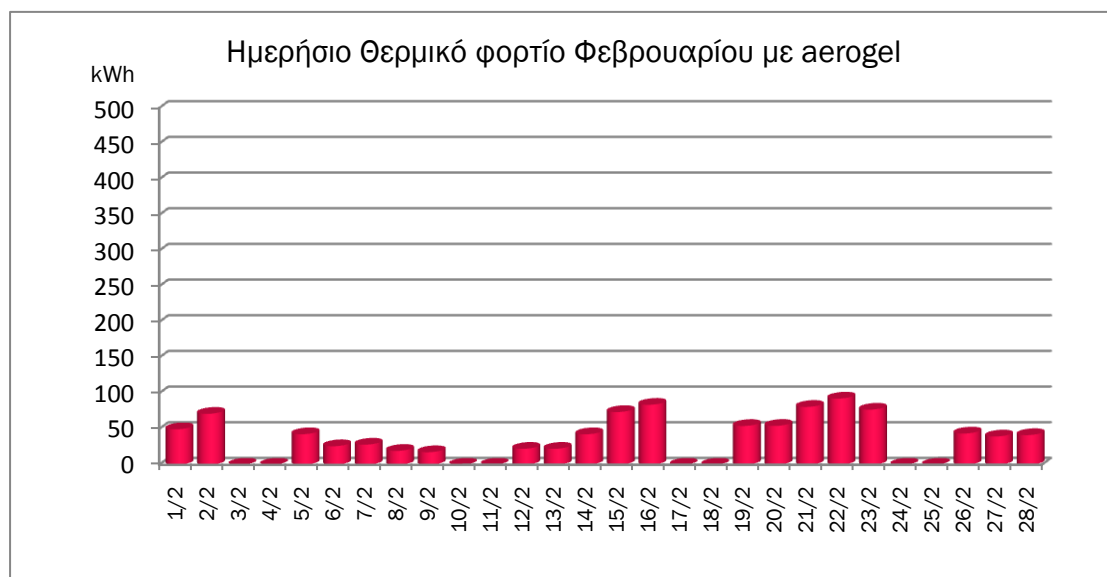
Γράφημα 3- 120 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Ιανουαρίου



Γράφημα 3- 121 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Ιανουαρίου με aerogel

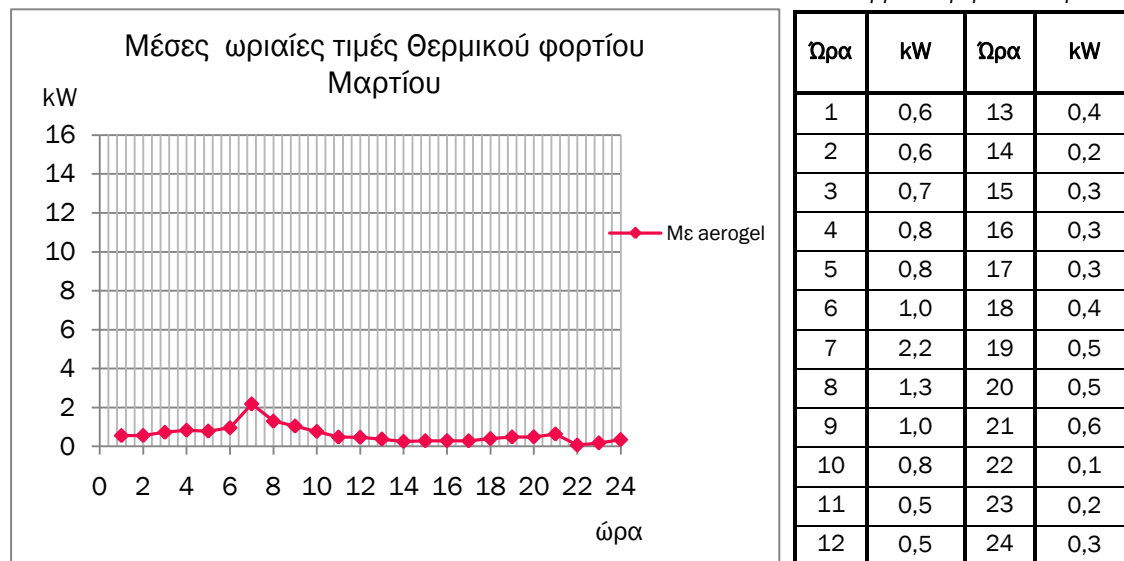
Πίνακας 3- 90 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου

Γράφημα 3- 122 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Φεβρουαρίου

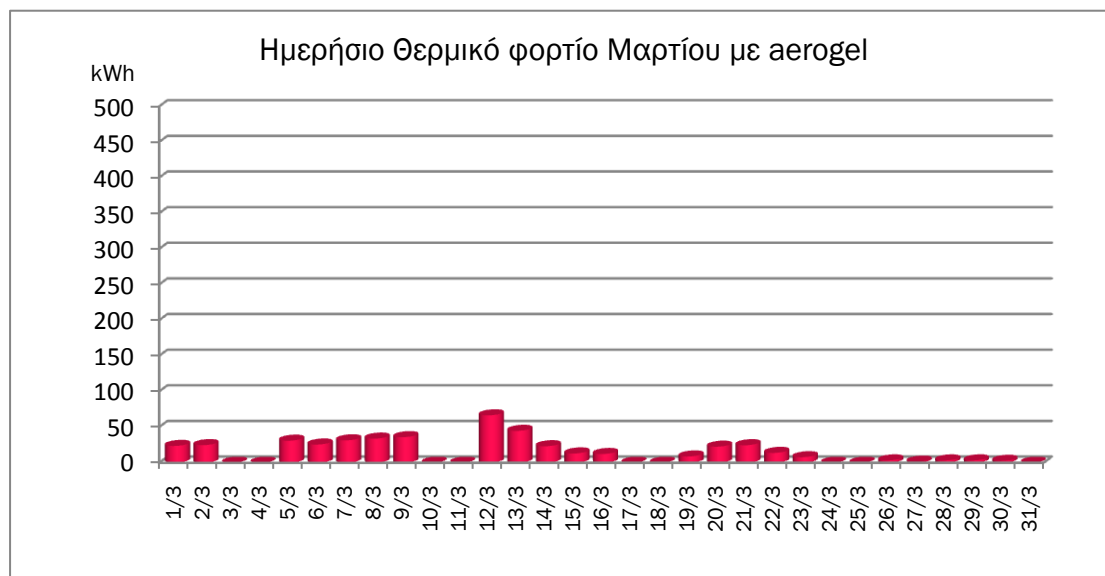


Γράφημα 3- 123 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Φεβρουαρίου με aerogel

Η συμπεριφορά του φορτίου που διαφαίνεται στα γραφήματα 3-120 έως 3-123 για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο είναι αναμενόμενη και όμοια με αυτή των προηγούμενων μοντέλων. Το aerogel επηρέασε τόσο την ωριαία διακύμανση τόσο και την ημερήσια, μειώνοντας τις μέγιστες ωριαίες και ημερήσιες τιμές.

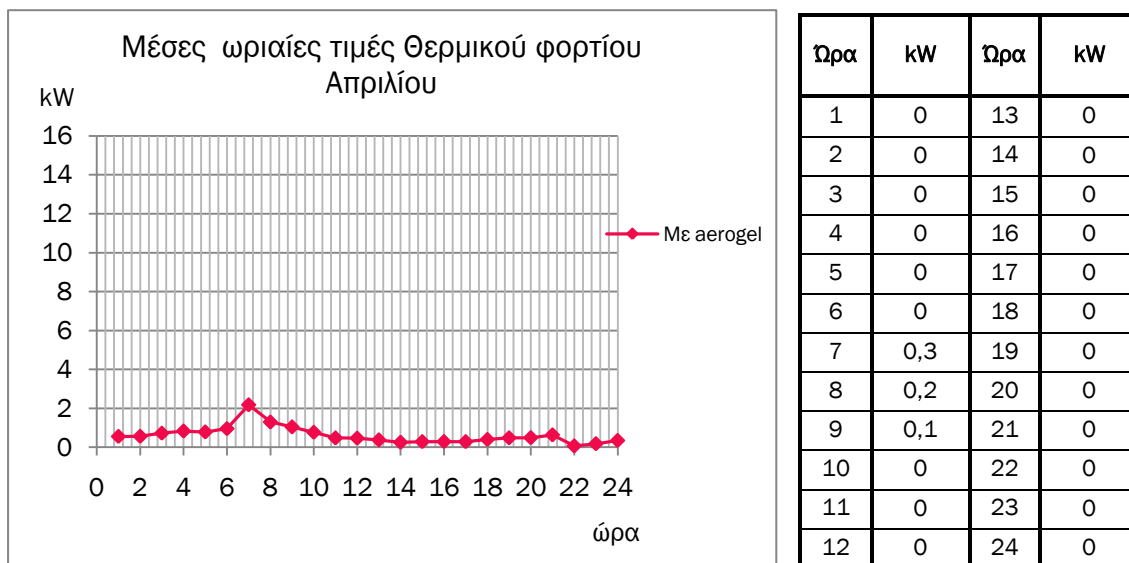
Πίνακας 3- 91 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Μαρτίου

Γράφημα 3- 124 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Μαρτίου



Γράφημα 3- 125 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Μαρτίου με aerogel

Η συμβολή της μόνωσης στην ελαχιστοποίηση των θερμικών φορτίων του Μαρτίου που παρατηρήθηκε στο προηγούμενο μοντέλο, ενισχύεται με το aerogel.

Πίνακας 3- 92 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Απριλίου

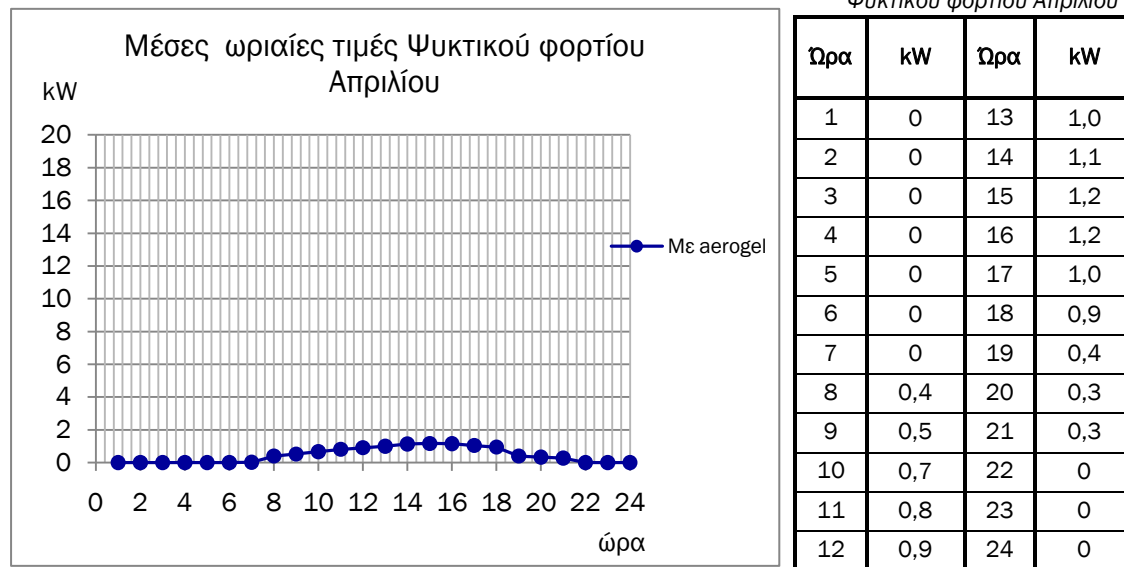
Γράφημα 3- 126 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Απριλίου



Γράφημα 3- 127 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Απριλίου με aerogel

Ήδη από το προηγούμενο επίπεδο μόνωσης το θερμικό φορτίο του Απριλίου είχε εξαλειφθεί. Η επίδραση του aerogel στο θερμικό φορτίο δε διαφέρει από αυτή της πολυστερίνης του επιπροσθέτως μονωμένου μοντέλου.

Πίνακας 3- 93 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Απριλίου

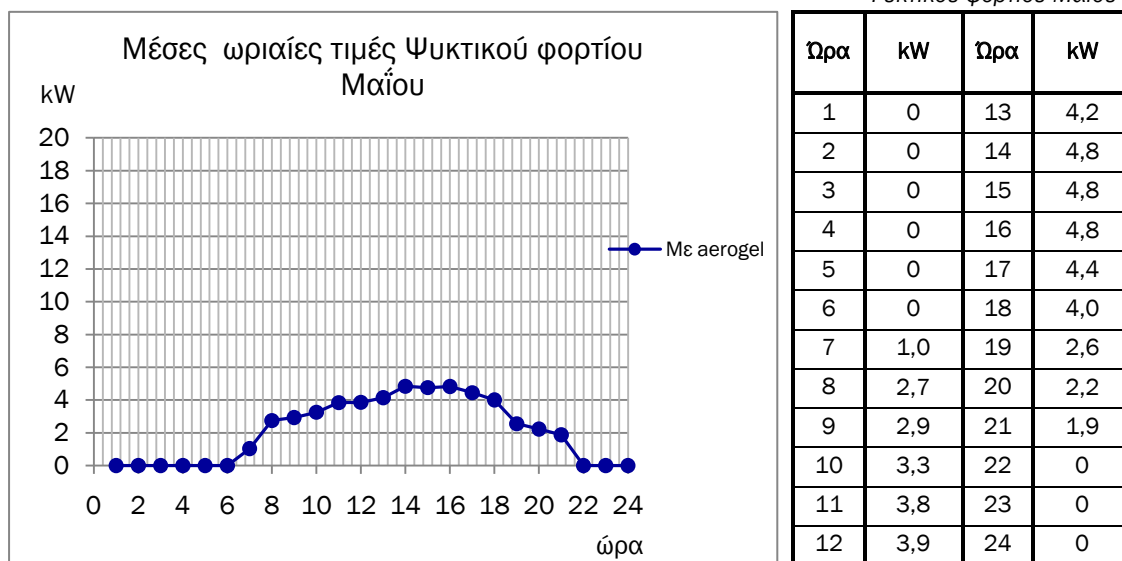


Γράφημα 3- 128 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Απριλίου



Γράφημα 3- 129 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Απριλίου με aerogel

Ήδη από τις προηγούμενες περιπτώσεις, Ο Απρίλιος έχει καταταχθεί στους ουδέτερα χαρακτηρισμένους μήνες, όπου δεν θα γίνει χρήση ενεργητικών μέσων για την τήρηση της θερμικής άνεσης. Ομοίως και με το aerogel, παρατηρούνται ελάχιστα φορτία ψύξης, τόσο σε ημερήσιο επίπεδο, όσο και σε μηνιαίο (γράφημα 3-128, 3-129).

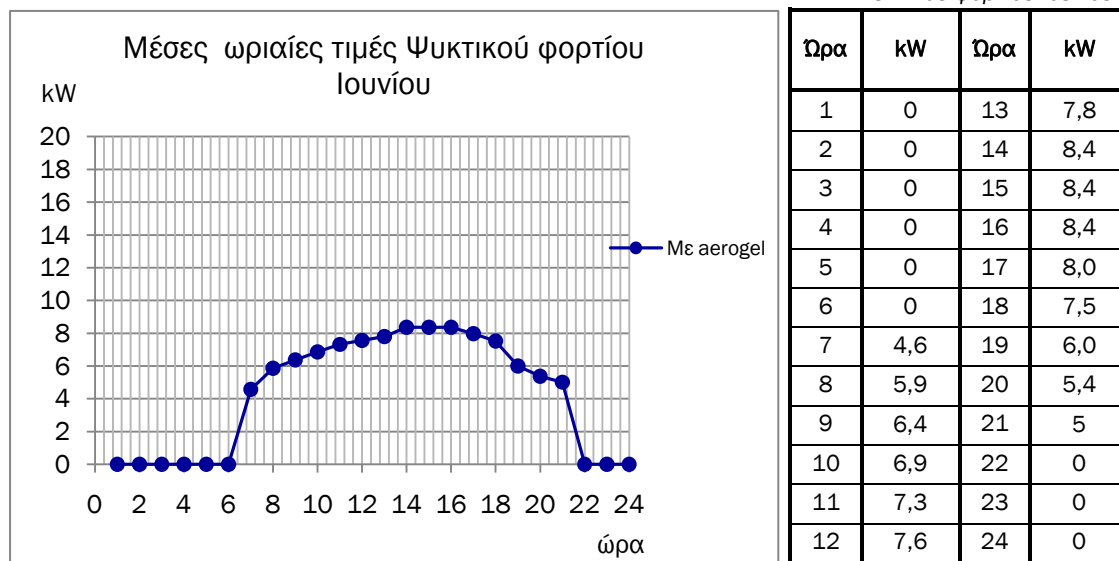
Πίνακας 3- 94 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

Γράφημα 3- 130 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου



Γράφημα 3- 131 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Μαΐου με aerogel

Η συμπεριφορά του Μαΐου είναι αναμενόμενη· το aerogel δε δημιούργησε μεγάλες αποκλίσεις σε σχέση με το μοντέλο με την πολυστερίνη.

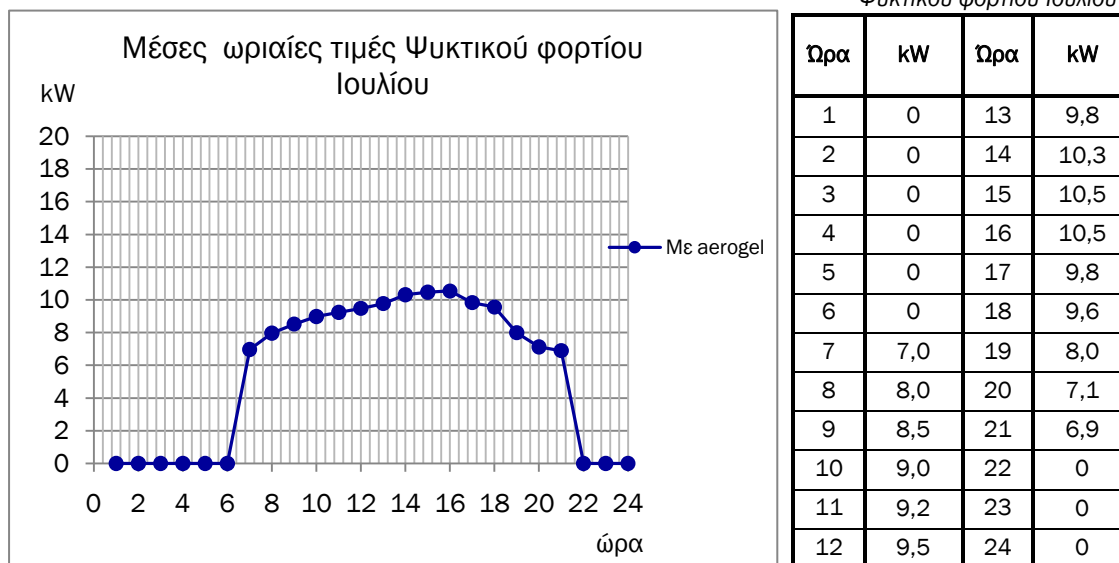
Πίνακας 3- 95 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου

Γράφημα 3- 132 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου



Γράφημα 3- 133 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουνίου με aerogel

Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του γραφήματος 3-132 αυξήθηκε σε σχέση με τον Μάιο. Τον Ιούνιο, λόγω των αυξανόμενων θερμοκρασιών, το ημερήσιο φορτίο ενισχύεται. Για κάθε εβδομάδα, η απόκλιση μεταξύ των ημερών είναι μικρή, με εξαίρεση την 1^η. Μέγιστες τιμές εμφανίζονται την τελευταία εβδομάδα, που οι κλιματολογικές συνθήκες γίνονται οξύτερες. (γράφημα 3-133)

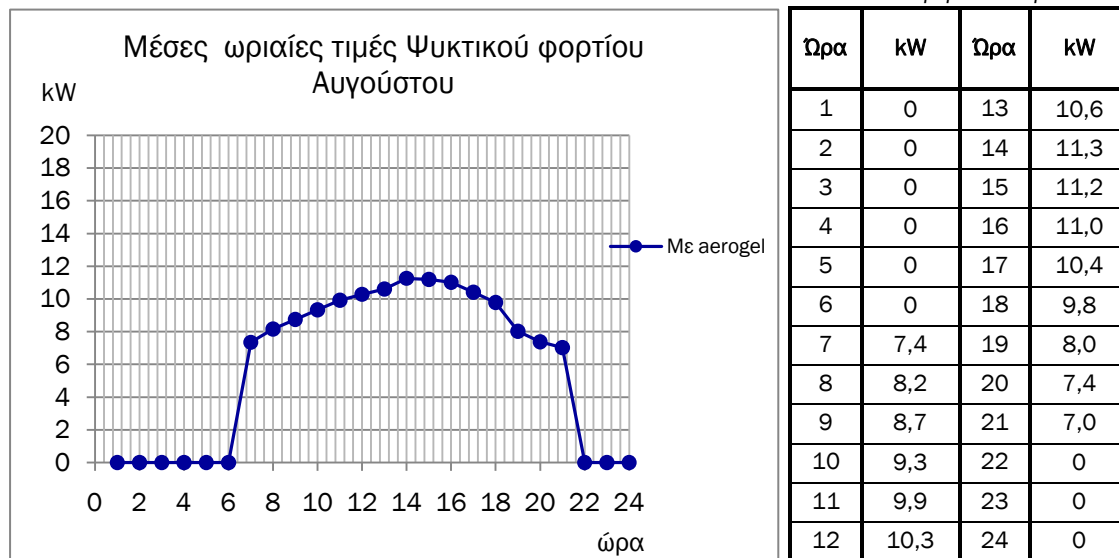
Πίνακας 3- 96 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

Γράφημα 3- 134 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου



Γράφημα 3- 135 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Ιουλίου με aerogel

Σε σχέση με τον Ιούνιο, τα αποτελέσματα του Ιουλίου είναι συνεπή. Το μέσο ωριαίο φορτίο αυξήθηκε και παράλληλα αυξήθηκε και η ημερήσια απαίτηση σε ψύξη. Μικρές διακυμάνσεις παρουσιάζονται και σε αυτή την περίπτωση μεταξύ των ημερών. (γραφήματα 3-134, 3-135)

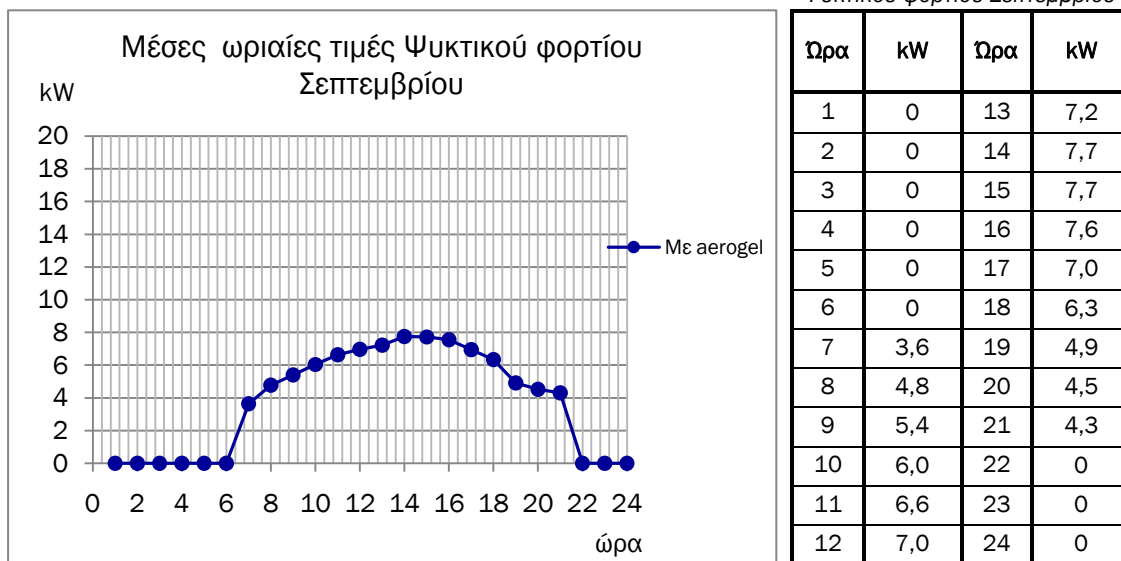
Πίνακας 3- 97 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου

Γράφημα 3- 136 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



Γράφημα 3- 137 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Αυγούστου με aerogel

Τον Αύγουστο, ως μήνα σχεδιασμού, εμφανίζονται οι μέγιστες ωριαίες τιμές φορτίου (μέγιστη επιφάνεια κάτω από την καμπύλη, γράφημα 3-136), αλλά και οι ημερήσιες μέγιστες τιμές. Οι διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του μήνα μικρές, με σημαντικότερες αυτές των πρώτων ημερών και κυρίως της ημέρας σχεδιασμού (6^η Αυγούστου).

Πίνακας 3- 98 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου

Γράφημα 3- 138 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου

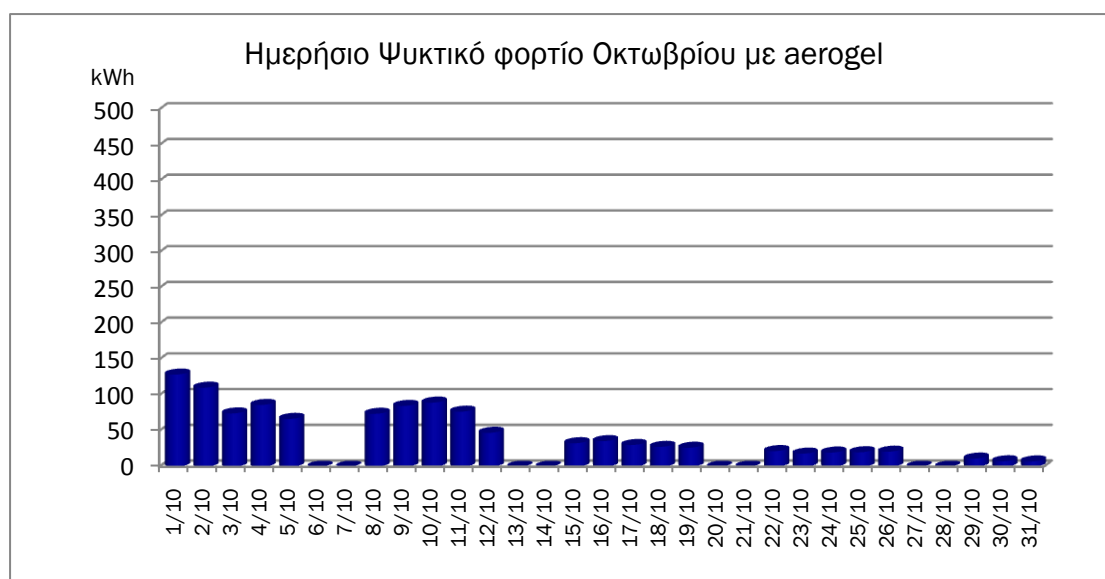


Γράφημα 3- 139 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Σεπτεμβρίου με aerogel

Παρατηρείται μείωση των μέσων όρων του φορτίου του Σεπτεμβρίου σε σχέση με τον Αύγουστο, όπως επιβάλλεται λόγω των επικρατούσων συνθηκών. Τις δύο πρώτες εβδομάδες η ζήτηση της ψύξης είναι σχεδόν σταθερή, μειούμενη την τρίτη εβδομάδα και την τέταρτη σχεδόν σταθερή. (γραφήματα 3-138, 3-139)

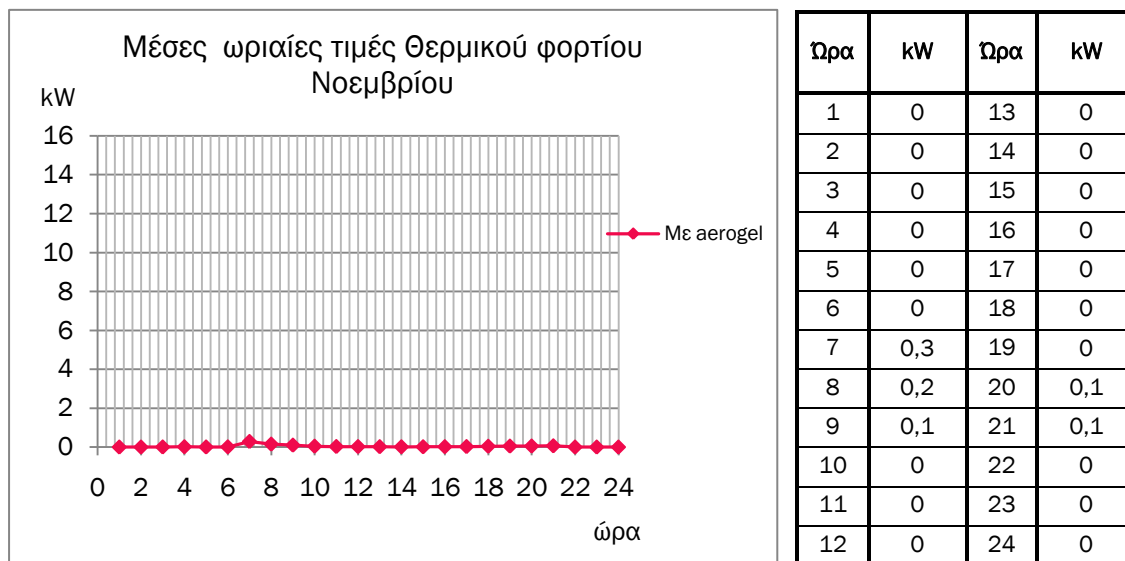
Πίνακας 3- 99 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

Γράφημα 3- 140 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Οκτωβρίου

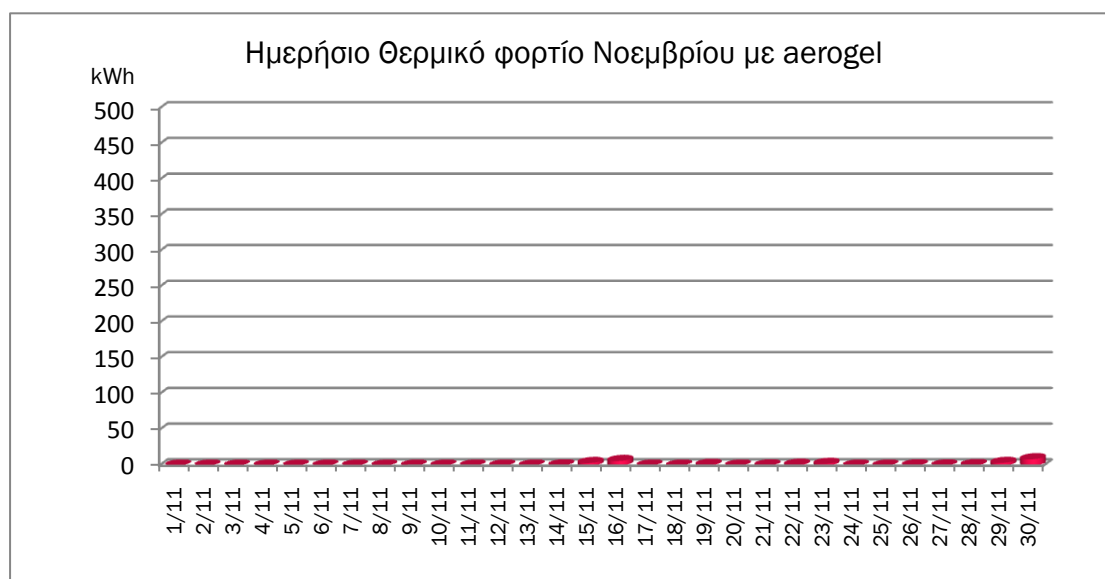


Γράφημα 3- 141 Ημερήσιο Ψυκτικό φορτίο Οκτωβρίου με aerogel

Το ωριαίο φορτίο του Οκτωβρίου μετατοπίστηκε προς τα κάτω στον άξονα των y, σε σχέση με τον Σεπτέμβριο, όπως αναμενόταν (γράφημα 3-140). Τις δύο πρώτες εβδομάδες του μήνα παρατηρείται απαίτηση σε ψύξη, αμελούμενη λόγω της κατάταξης του Οκτωβρίου στους μήνες με μη ενεργό κλιματισμό. Τις τελευταίες εβδομάδες αυτή η απαίτηση ελαχιστοποιείται.

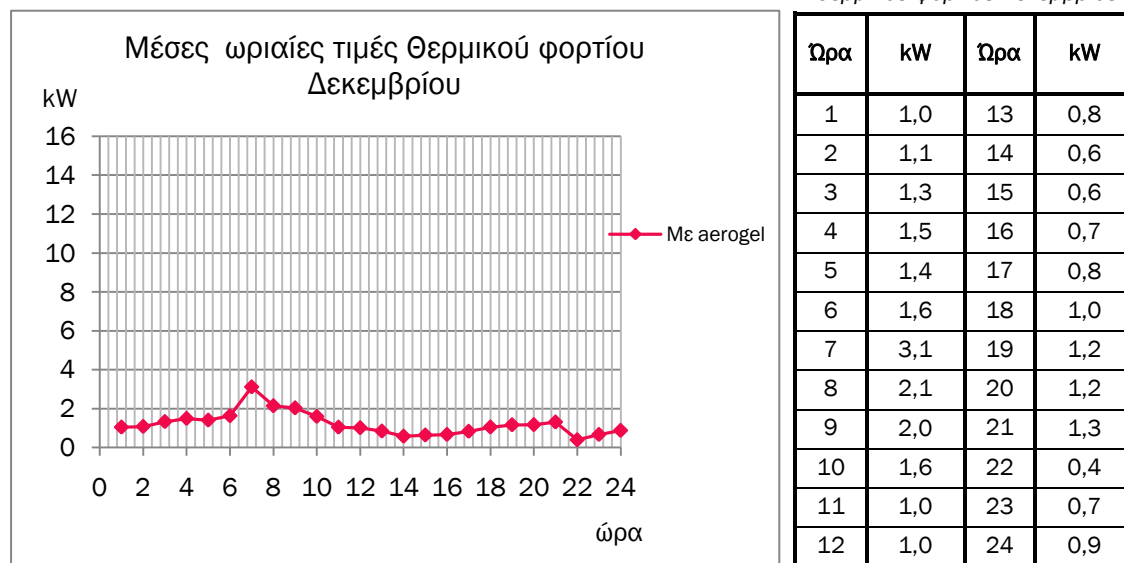
Πίνακας 3- 100 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

Γράφημα 3- 142 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Νοεμβρίου

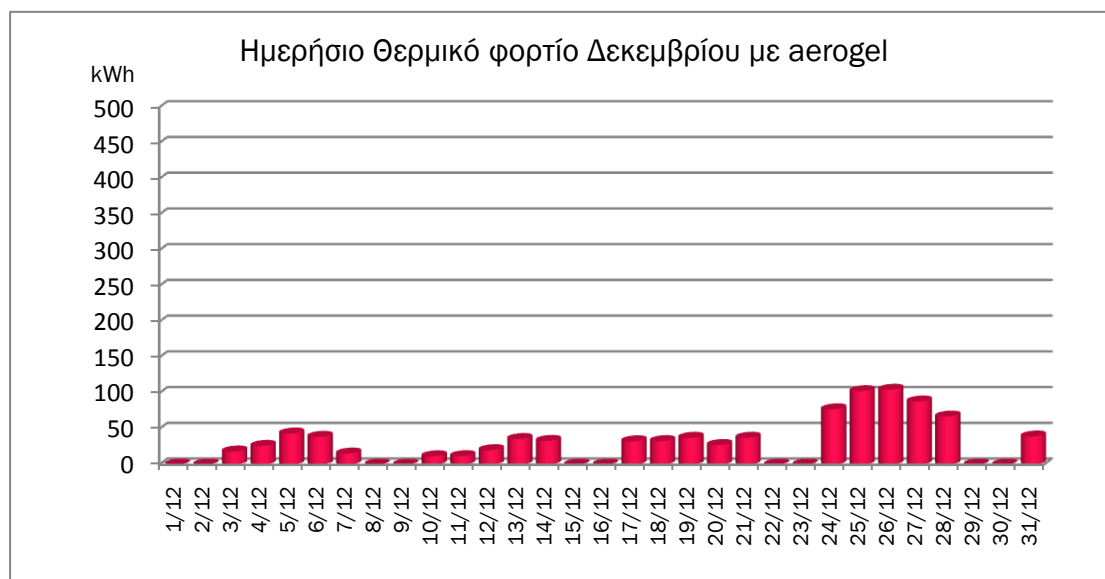


Γράφημα 3- 143 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Νοεμβρίου με aerogel

Το Νοέμβριο το μοντέλο με aerogel –όμοια με αυτό με πολυστερίνη- δεν απαιτεί καθόλου θέρμανση.

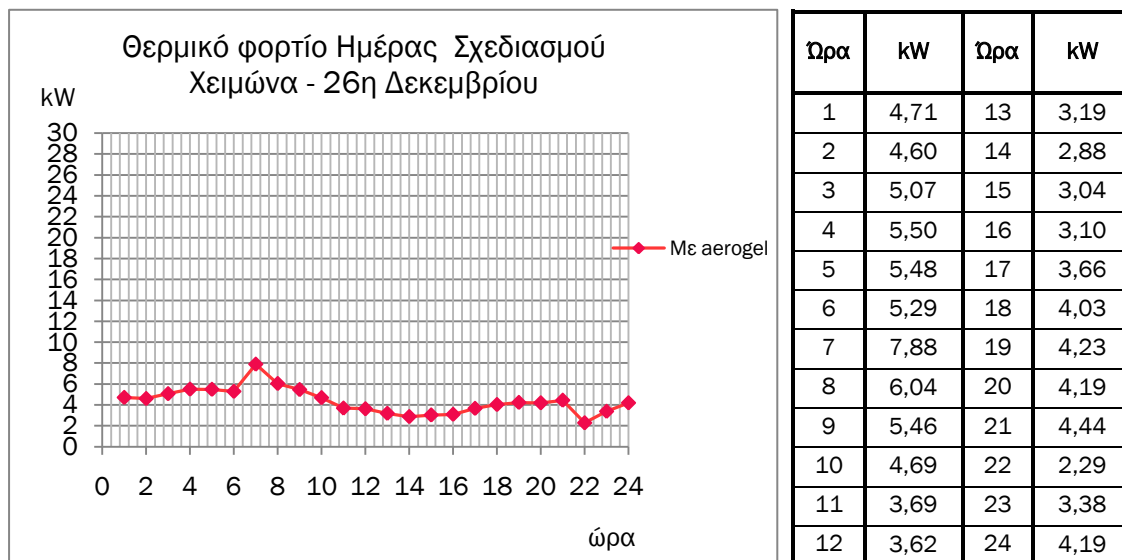
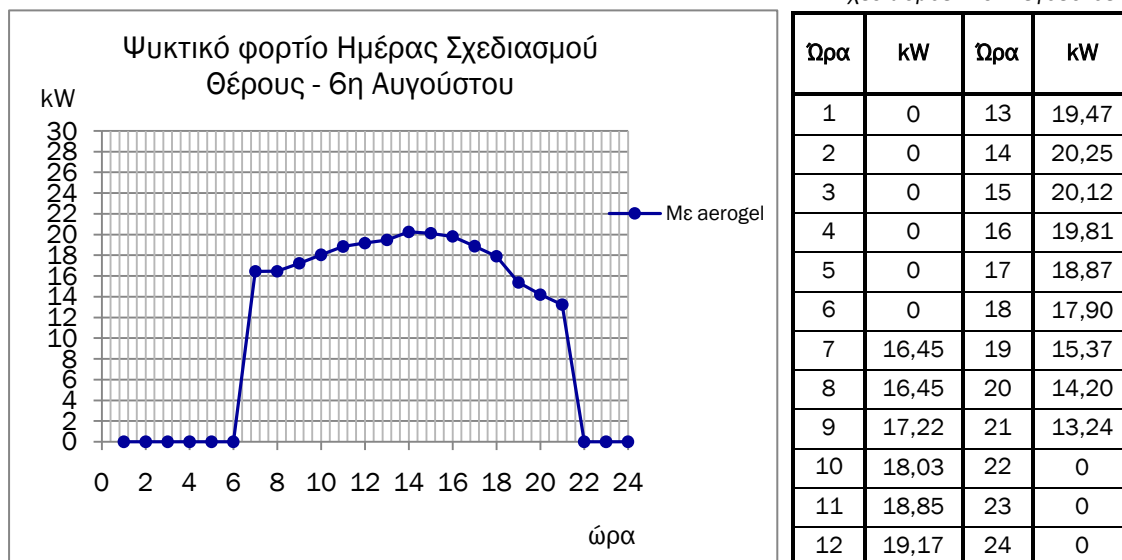
Πίνακας 3- 101 Μέσες ωριαίες τιμές
Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου

Γράφημα 3- 144 Μέσες ωριαίες τιμές Θερμικού φορτίου Δεκεμβρίου



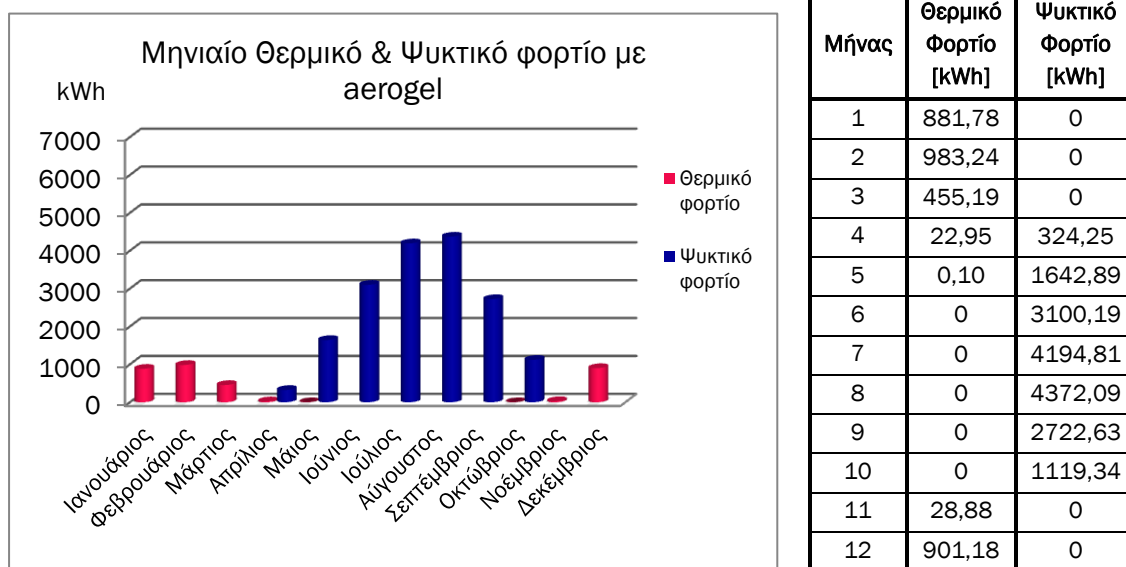
Γράφημα 3- 145 Ημερήσιο Θερμικό φορτίο Δεκεμβρίου με aerogel

Το θερμικό φορτίο επανέρχεται, μειωμένο σε σχέση με αυτό του προηγούμενου μοντέλου. Τις πρώτες εβδομάδες του μήνα η ενέργεια που θα καταναλωθεί για θέρμανση είναι ελάχιστη, ενώ την τελευταία θα αυξηθεί με μέγιστη αυτή της ημέρας σχεδιασμού(26^η Αυγούστου). (γραφήματα 3-144, 3-145)

Πίνακας 3- 102 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26^η ΔεκεμβρίουΓράφημα 3- 146 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26^η ΔεκεμβρίουΠίνακας 3- 103 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού - 6^η ΑυγούστουΓράφημα 3- 147 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού - 6^η Αυγούστου

Η μόνωση με aerogel παρήγαγε μέγιστη ωριαία τιμή του θερμικού φορτίου για την ημέρα σχεδιασμού του χειμώνα (26^η Δεκεμβρίου) 7,88kW (γράφημα 3-146, πίνακας 3-102), ενώ το επιπροσθέτως μονωμένο μοντέλο 8,83kW (γράφημα 3-116, πίνακας 3-82). Η μέγιστη τιμή του ψυκτικού φορτίου για την 6^η Αυγούστου προέκυψε 20,25kW (γράφημα 3-147, πίνακας 3-103) ενώ στο προηγούμενο μοντέλο 20,34kW (γράφημα 3-117, πίνακας 3-83). Και αυτό το επίπεδο μόνωσης συνέβαλλε στην πώση της εγκατεστημένης ισχύος για θέρμανση, αλλά -ομοίως με τα προηγούμενα- η επίδραση στην ψύξη είναι μικρή.

Πίνακας 3- 104 Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο με aerogel

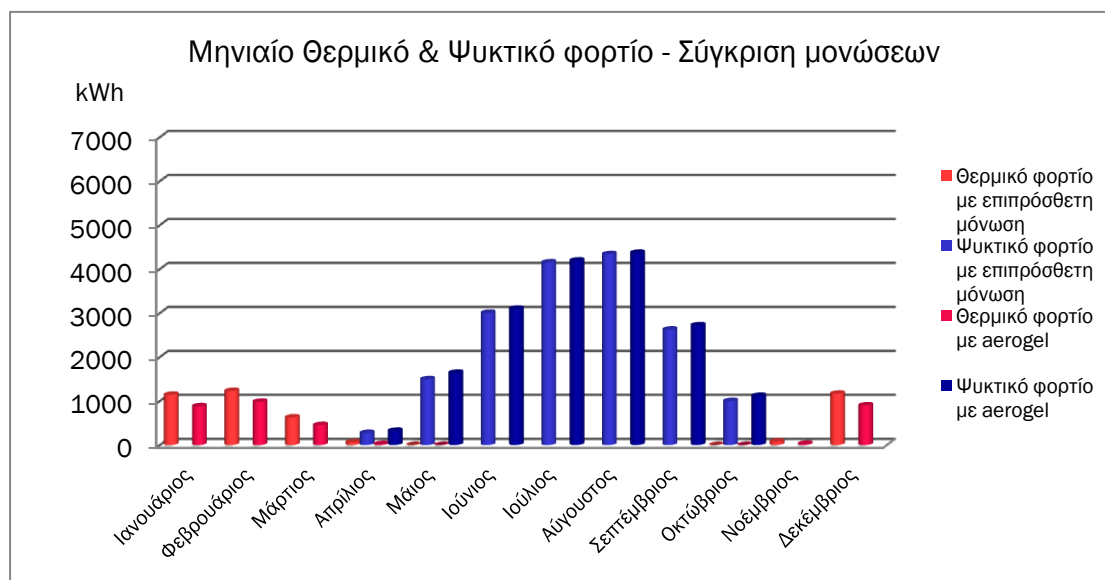


Γράφημα 3- 148 Συνολικό Μηνιαίο Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο – μοντέλο με aerogel

Πίνακας 3- 105 Συνολικό φορτίο χειμερινής και θερινής περιόδου

| Συνολικό Φορτίο | kWh |
|---------------------|---------|
| Χειμερινής περιόδου | 3273,32 |
| Θερινής περιόδου | 17476,2 |

Η ετήσια συμπεριφορά του μονωμένου κελύφους με aerogel ταυτίζεται με αυτή του επιπροσθέτως μονωμένου μοντέλου, δηλαδή σταθερά φορτία τον χειμώνα και μεταβλητά το θέρος. Η προσθήκη του aerogel δε φαίνεται να επηρέασε την κατανομή των ψυκτικών φορτίων για τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά ούτε και -την διαπίστωση των προηγούμενων προσομοιώσεων- την ανάγκη για μεθόδους παθητικής ψύξης. (γραφήματα 3-148, 3-149, πίνακας 3-104)



Γράφημα 3- 149 Συνολικό Θερμικό και Ψυκτικό φορτίο επιπρόσθετα μονωμένου και με aerogel μοντέλου

Πίνακας 3- 106 Μεταβολή Θερμικού και Ψυκτικού Φορτίου (αλγεβρικές τιμές) με την προσθήκη aerogel³

| Μήνας | Θερμικό Φορτίο Με επιπλέον μόνωση [kWh] | Θερμικό Φορτίο Με aerogel μόνωση [kWh] | Μεταβολή Θερμικού Φορτίου [kWh] | Μεταβολή Θερμικού Φορτίου [%] | Ψυκτικό Φορτίο Με επιπλέον μόνωση [kWh] | Ψυκτικό Φορτίο Με aerogel μόνωση [kWh] | Μεταβολή Ψυκτικού Φορτίου [kWh] | Μεταβολή Ψυκτικού Φορτίου [%] |
|-------|---|--|---------------------------------|-------------------------------|---|--|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1142,86 | 881,78 | 261,08 | 22,84 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1230,13 | 983,24 | 246,89 | 20,07 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 628,53 | 455,19 | 173,34 | 27,58 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 60,32 | 22,95 | 37,37 | 61,95 | 275,23 | 324,25 | -49,02 | -17,81 |
| 5 | 0,096 | 0,10 | -0,004 | -4,17 | 1497,39 | 1642,89 | -145,5 | -9,72 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3007,54 | 3100,19 | -92,65 | -3,08 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4153,32 | 4194,81 | -41,49 | -0,10 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4340,76 | 4372,09 | -31,33 | -0,72 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2626,88 | 2722,63 | -95,75 | -3,65 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1000,67 | 1119,34 | -118,67 | -11,86 |
| 11 | 77,9 | 28,88 | 49,02 | 62,93 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 1167,79 | 901,18 | 266,61 | 22,83 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Πίνακας 3- 107 Συνολική διαφορά (αλγεβρική) φορτίου ανά περίοδο έτους³

| Συνολική διαφορά Φορτίου | kWh | % |
|--------------------------|---------|-------|
| Χειμερινής περιόδου | 1034,31 | 24,01 |
| Θερινής περιόδου | -574,41 | -3,40 |

Συγκριτικά με το επιπροσθέτως μονωμένο μοντέλο, το aerogel συνέβαλλε στη εξοικονόμηση της συνολικής ενέργειας για θέρμανση τους πρώτους μήνες του έτους. Τον Απρίλιο τα φορτία θα αγνοηθούν, γιατί προκύπτουν από μικρές αποκλίσεις από τα θερμοκρασιακά όρια, αλλά αξίζει να σημειωθεί η αύξηση στο απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο του μήνα (49kWh, 18%). Συνολικά για όλους τους μήνες που ανήκουν στην περίοδο κλιματισμού, παρατηρείται άνοδος της απαίτησης σε ενέργεια, καθώς επίσης και τον Οκτώβριο που ανήκει στους ουδέτερους μήνες. Η αντίθεση με το προηγούμενο μοντέλο έγκειται στο ότι αυτή η αύξηση ,με βελτιούμενα δομικά στοιχεία, προέκυπτε μόνο τους μήνες με ήπια μετεωρολογικά δεδομένα. Τους υπόλοιπους μήνες του έτους , Νοέμβριο και Δεκέμβριο, το aerogel ελαττώνει την απαίτηση σε θέρμανση. Συγκεντρωτικά, η χρήση του aerogel ευνόησε την εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας του χειμώνα, αποδίδοντας κέρδος 1034kWh (24%). Το θέρος η συμπεριφορά των μονωμένων με aerogel δομικών στοιχείων επηρέασε αρνητικά την συνολική ενέργεια, αυξάνοντάς την κατά 580kWh (3,4%), φαινόμενο που ίσως οφείλεται σε ελλιπή στοιχεία για την προσομοίωση του υλικού. (γράφημα 3-149, πίνακες 3-106, 3-107)

³ Οι αρνητικές τιμές του πίνακα αντιστοιχούν σε αύξηση του φορτίου

3.7 Έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτηριακών μοντέλων με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ.

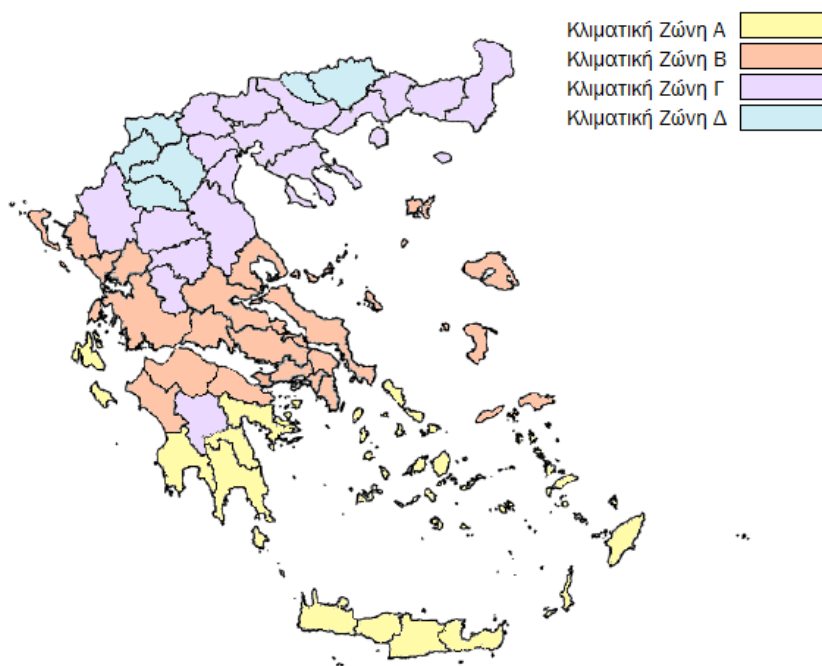
Από τον Απρίλιο του 2010 νομοθετήθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) με στόχο τον προσδιορισμό ελάχιστων απαιτήσεων για την θερμική συμπεριφορά του κτηριακού κελύφους και την συνολική ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Σκοπός του κανονισμού είναι η πλήρωση του κενού στη νομοθεσία και παράλληλα η μείωση της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας από τον κτηριακό τομέα. Η βελτιστοποίηση του κτηριακού κελύφους με χρήση αποδοτικών δομικών υλικών και της διαστασιολόγησης των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων συνεπάγεται με ελάττωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστού νερού χρήσης, χαρακτηρίζοντας μια κατασκευή ως ενεργειακά αποδοτική. [41]

Τμήμα του Κ.Εν.Α.Κ. αποτελεί έλεγχος της θερμικής επάρκειας μέσω της θερμομονωτικής προστασίας, με σαφή στόχο τη μείωση των θερμικών απωλειών τον χειμώνα και της απορρόφησης θερμότητας το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα τον περιορισμό των φορτίων για θέρμανση και ψύξη.

Στα πλαίσια του Κ.Εν.Α.Κ. η θερμομονωτική ικανότητα του κελύφους πρέπει να πληροί δύο προϋποθέσεις:

- Η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας των επιμέρους δομικών στοιχείων της κατασκευής να είναι κατώτερη των ορισμένων μέγιστων ορίων.
- Προσδιορισμό του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας της κατασκευής (δομικών στοιχείων και θερμογεφυρών) και σύγκριση αυτού με τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή.

Για τις ανωτέρω συγκρίσεις η επικράτεια με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης χωρίστηκε σε 4 κλιματικές ζώνες (εικόνα 314).



Εικόνα 3- 14 Κλιματικές ζώνες επικράτειας με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. [41, 42]

Σε κάθε κλιματική ζώνη αντιστοιχούν ανάλογα όρια συντελεστών θερμοπερατότητας. Για την κλιματική ζώνη (ζώνη Β) που ανήκει η Αττική, τα όρια είναι όπως στον πίνακα 3-108. [41, 42, 43]

Πίνακας 3- 108 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας ορισμένες από τον Κ.Εν.Α.Κ [41]

| ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ | U-Value [W/m ² C] |
|---|---------------------------------|
| Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές) | 0,450 |
| Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα | 0,500 |
| Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους | 0,900 |
| Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κ.α.) | 3,000 |

Έπεται ο συγκεντρωτικός πίνακας (πίνακας 3-109) των συντελεστών θερμοπερατότητας των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις του προηγούμενου κύκλου (εκτός του άνευ μόνωσης μοντέλου) σε σύγκριση με τις τιμές του πίνακα 3-108. Η πρώτη προϋπόθεση θερμομονωτικής επάρκειας του Ενεργειακού Κανονισμού πληρείται από τα δύο τελευταία μοντέλα. Σχετικά με το απλώς μονωμένο μοντέλο, η διαφορά από τα όρια είναι τέτοια που πιθανώς να είναι αντιμετωπίσιμη με την επιλογή υλικών καλύτερης ποιότητας ή καλύτερης συμπεριφοράς.

Πίνακας 3- 109 Σύγκριση συντελεστών θερμοπερατότητας μοντέλων

| ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ | Συντελεστής θερμοπερατότητας U[W/m ² C] | | | |
|---|---|--------------|-----------------------------|---------------|
| | Όριο Κ.Εν.Α.Κ. | Με μόνωση | Με επιπρόσθετη μόνωση | Με aerogel |
| Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές) | 0,450 | 0,664 | 0,363 | 0,254 |
| Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα | 0,500 | 0,579 | 0,336 | 0,241 |
| Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους | 0,900 | 0,460 | 0,292 | 0,217 |
| Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κ.α.) | 3,000 | 3,027 | 2,078 | 2,078 |

Για τον έλεγχο της δεύτερης προϋπόθεσης της θερμομονωτικής επάρκειας της κατασκευής απαιτείται ο υπολογισμός του εμβαδού όλων των δομικών στοιχείων χωριστά, της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας του κελύφους και ο όγκος που περικλείεται εντός αυτής της επιφάνειας.

Προκύπτουν η συνολική εξωτερική επιφάνεια $F=771,55\text{m}^2$, ο όγκος $V=1042,10\text{m}^3$ και ο λόγος $F/V=0,74$.

Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους προκύπτει από την σχέση:

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j U_j b + \sum l_i \Psi_i b}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (3.8) [42]$$

A_j : συνολική επιφάνεια δομικού στοιχείου j [m^2]

U_j : συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου j [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]

b : μειωτικός συντελεστής (σε αυτές τις περιπτώσεις είναι 1)

l_i : μήκος τύπου θερμογέφυρας i [m]

Ψ_i : γραμμική θερμοπερατότητα θερμογεφυρών [W/mC]

Η κατασκευή θεωρείται πλήρως εξωτερικά μονωμένη με αποτέλεσμα να αμελούνται οι θερμογέφυρες (γραμμική θερμοπερατότητα $\Psi=0$).

Ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κελύφους συναρτήσει του λόγου F/V για τη ζώνη που ανήκει η Αττική, όπως στον πίνακα 3-110.

Πίνακας 3- 110 Μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κελύφους συναρτήσει του λόγου F/V [41, 42]

| F/V | $U_m[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ για τη ζώνη Β |
|------------|---|
| $\leq 0,2$ | 1,14 |
| 0,3 | 1,09 |
| 0,4 | 1,03 |
| 0,5 | 0,98 |
| 0,6 | 0,93 |
| 0,7 | 0,88 |
| 0,8 | 0,83 |
| 0,9 | 0,78 |
| ≥ 1 | 0,73 |

Με βάση τον πίνακα 3-110 για $F/V=0,74$, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του U_m είναι $0,83 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Ο συγκριτικός πίνακας 3-111 περιέχει τις τιμές των μέσων συντελεστών θερμοπερατότητας των μοντέλων με αυξανόμενη θερμομονωτική ικανότητα.

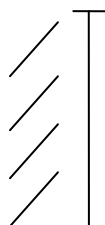
Πίνακας 3- 111 Σύγκριση μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας των μοντέλων

| F/V | Όριο | Με μόνωση | Με επιπρόσθετη μόνωση | Με aerogel |
|-------|------|-----------|-----------------------|------------|
| 0,74 | 0,83 | 0,75 | 0,474 | 0,38 |

Συμπερασματικά, η απαίτηση του Κ.Εν.Α.Κ. σε θερμομονωτική επάρκεια ικανοποιείται πλήρως για τα δύο βέλτιστα μοντέλα (επιπροσθέτως μονωμένο και με aerogel), αλλά η απλή μόνωση πληροί μόνο την δεύτερη προϋπόθεση του κανονισμού και αποτυγχάνει οριακά στην πρώτη. Με βάση τα εγχώρια πρότυπα, το κτηριακό κέλυφος είναι μονωμένο επαρκώς έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τις θερμικές απώλειες και τα θερμικά ηλιακά κέρδη.

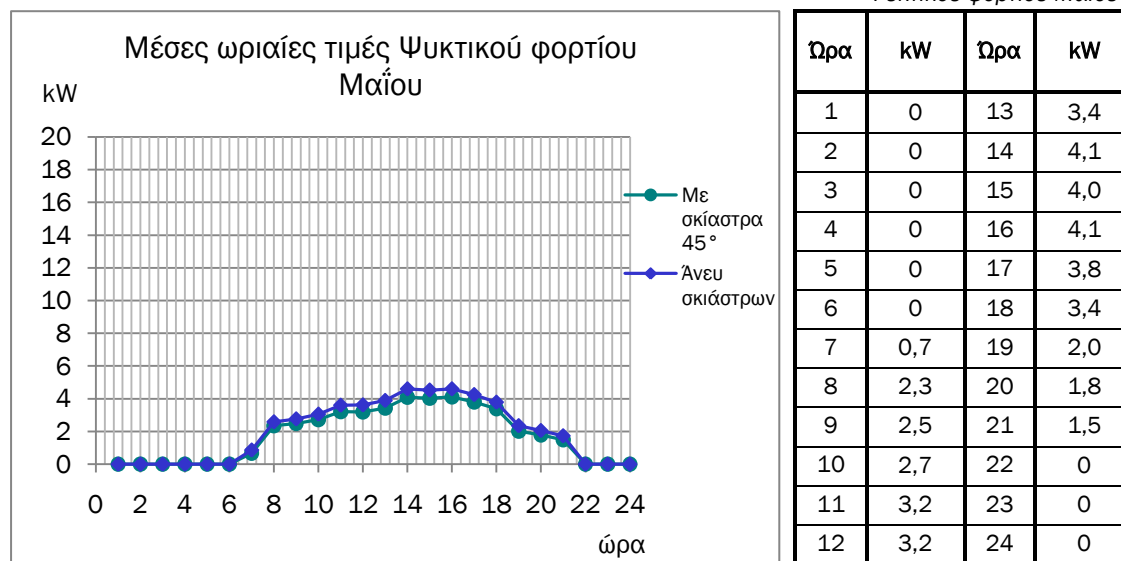
3.8 4^{ος} Κύκλος Προσομοιώσεων: Σκίαση

Σκοπό του κύκλου προσομοιώσεων αποτελεί η μελέτη της συμβολής της σκίασης στη μείωση των ψυκτικών φορτίων και η επίδρασή της στη συμπεριφορά του κελύφους. Το κέλυφος που επιλέχθηκε για τη συνέχεια των προσομοιώσεων είναι αυτό με την επιπρόσθετη μόνωση, με κεκλιμένες οριζόντιες περσίδες 45° (εικόνα 3-15). Τα αποτελέσματα παρατίθενται -μαζί με αυτά του μοντέλου άνευ σκιάστρων- για την θερινή περίοδο (15 Μαΐου-15 Σεπτεμβρίου), διάστημα για το οποίο βρίσκονται τα σκιάστρα σε ισχύ.



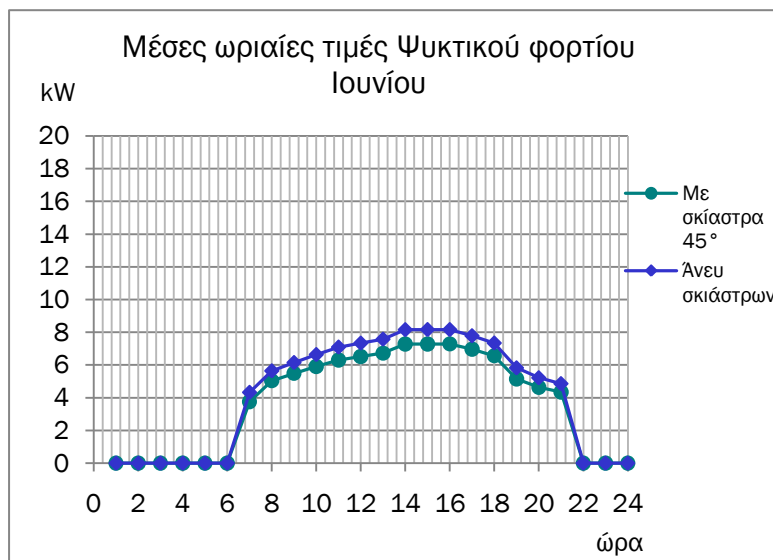
Εικόνα 3- 15 Σχηματική απεικόνιση σκιάστρων

Πίνακας 3- 112 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου



Γράφημα 3- 150 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

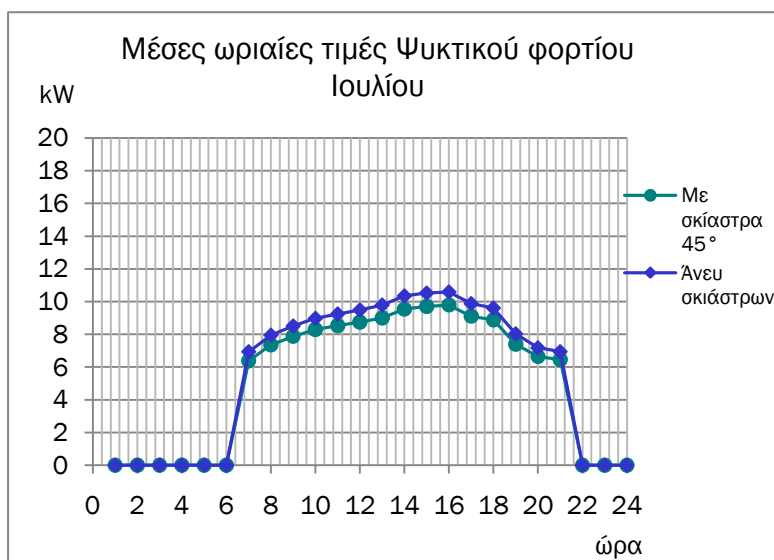
Πίνακας 3- 113 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου



Γράφημα 3- 151 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 6,7 |
| 2 | 0 | 14 | 7,3 |
| 3 | 0 | 15 | 7,3 |
| 4 | 0 | 16 | 7,3 |
| 5 | 0 | 17 | 7,0 |
| 6 | 0 | 18 | 6,6 |
| 7 | 3,8 | 19 | 5,1 |
| 8 | 5,0 | 20 | 4,6 |
| 9 | 5,5 | 21 | 4,3 |
| 10 | 5,9 | 22 | 0 |
| 11 | 6,3 | 23 | 0 |
| 12 | 6,5 | 24 | 0 |

Πίνακας 3- 114 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

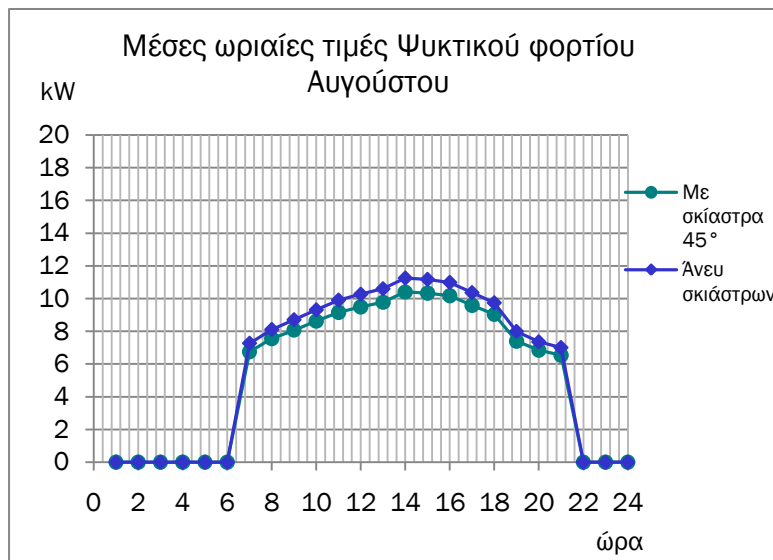


Γράφημα 3- 152 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 9,0 |
| 2 | 0 | 14 | 9,5 |
| 3 | 0 | 15 | 9,7 |
| 4 | 0 | 16 | 9,8 |
| 5 | 0 | 17 | 9,1 |
| 6 | 0 | 18 | 8,9 |
| 7 | 6,4 | 19 | 7,4 |
| 8 | 7,4 | 20 | 6,6 |
| 9 | 7,9 | 21 | 6,5 |
| 10 | 8,3 | 22 | 0 |
| 11 | 8,5 | 23 | 0 |
| 12 | 8,7 | 24 | 0 |

Η τοποθέτηση των σκιάστρων δεν επηρεάζει την ημερήσια συμπεριφορά του κελύφους, όπως διαφαίνεται από την ωριαία διακύμανση του ψυκτικού φορτίου. Η μορφή της καμπύλης σε αυτό τον κύκλο προσομοιώσεων είναι όμοια με αυτή του προηγούμενου κύκλου (καμπύλη άνευ σκιάστρων), παραβολική με μέγιστο τις ώρες των ημερήσιων ακραίων θερμοκρασιών και μηδενικές τιμές για τις ώρες εκτός προγράμματος λειτουργίας. Και για τους τρεις πρώτους μήνες της περιόδου χρήσης των σκιάστρων παρατηρείται μείωση στους μέσους όρους του φορτίου (γραφήματα 3-150, 3-151, 3-152).

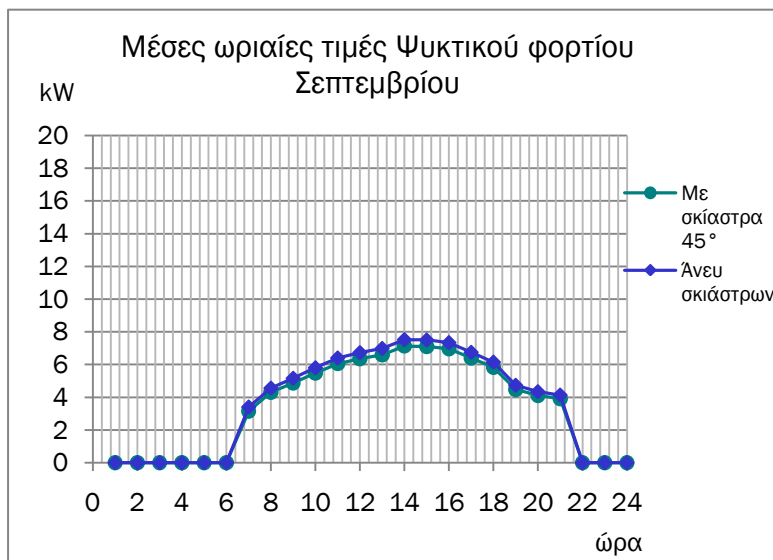
Πίνακας 3- 115 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου



Γράφημα 3- 153 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|------|
| 1 | 0 | 13 | 9,8 |
| 2 | 0 | 14 | 10,4 |
| 3 | 0 | 15 | 10,3 |
| 4 | 0 | 16 | 10,2 |
| 5 | 0 | 17 | 9,6 |
| 6 | 0 | 18 | 9,0 |
| 7 | 6,8 | 19 | 7,4 |
| 8 | 7,6 | 20 | 6,8 |
| 9 | 8,1 | 21 | 6,5 |
| 10 | 8,6 | 22 | 0 |
| 11 | 9,2 | 23 | 0 |
| 12 | 9,5 | 24 | 0 |

Πίνακας 3- 116 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου

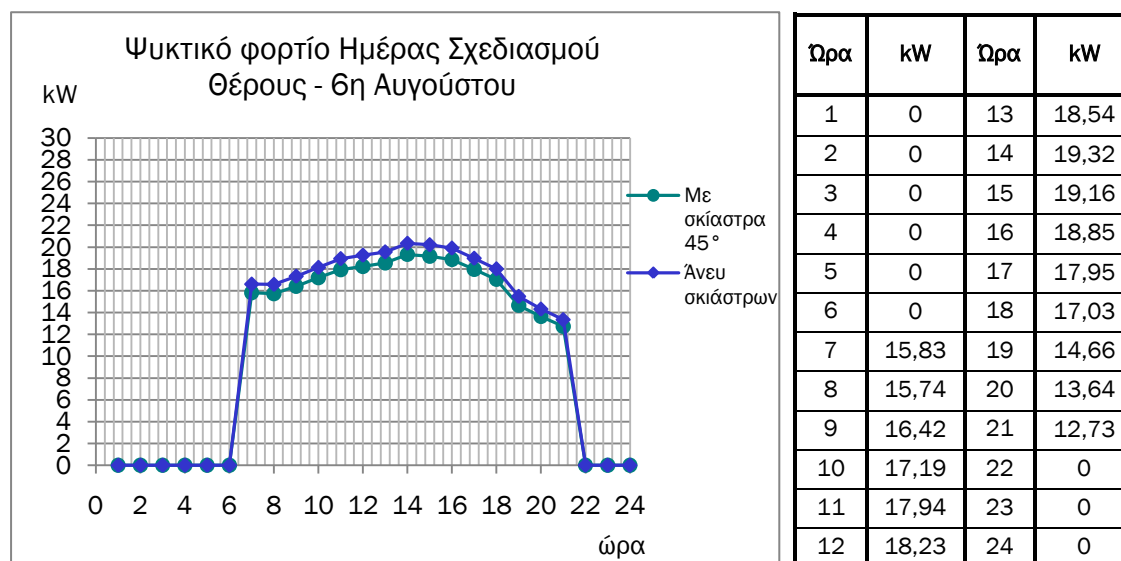


Γράφημα 3- 154 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 6,6 |
| 2 | 0 | 14 | 7,1 |
| 3 | 0 | 15 | 7,1 |
| 4 | 0 | 16 | 7,0 |
| 5 | 0 | 17 | 6,4 |
| 6 | 0 | 18 | 5,8 |
| 7 | 3,2 | 19 | 4,5 |
| 8 | 4,3 | 20 | 4,1 |
| 9 | 4,9 | 21 | 3,9 |
| 10 | 5,5 | 22 | 0 |
| 11 | 6,1 | 23 | 0 |
| 12 | 6,4 | 24 | 0 |

Η συμβολή των σκιάστρων στη μείωση του μέσου ψυκτικού φορτίου μεγιστοποιείται τον Αύγουστο, μήνα με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια. Η μορφή της καμπύλης παραμένει η ίδια, με ευδιάκριτη την απόσταση μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων. Στην περίπτωση του Σεπτεμβρίου οι καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται, γεγονός που χαρακτηρίζει την ελάχιστη επιρροή των σκιάστρων κατά τη διάρκεια αυτού του μήνα. Να σημειωθεί ότι τα σκιάστρα είναι ενεργοποιημένα μόνο για το πρώτο μισό του μήνα που οι εξωτερικές συνθήκες καταδεικνύουν τέτοια αναγκαιότητα. (γραφήματα 3-153, 3-154)

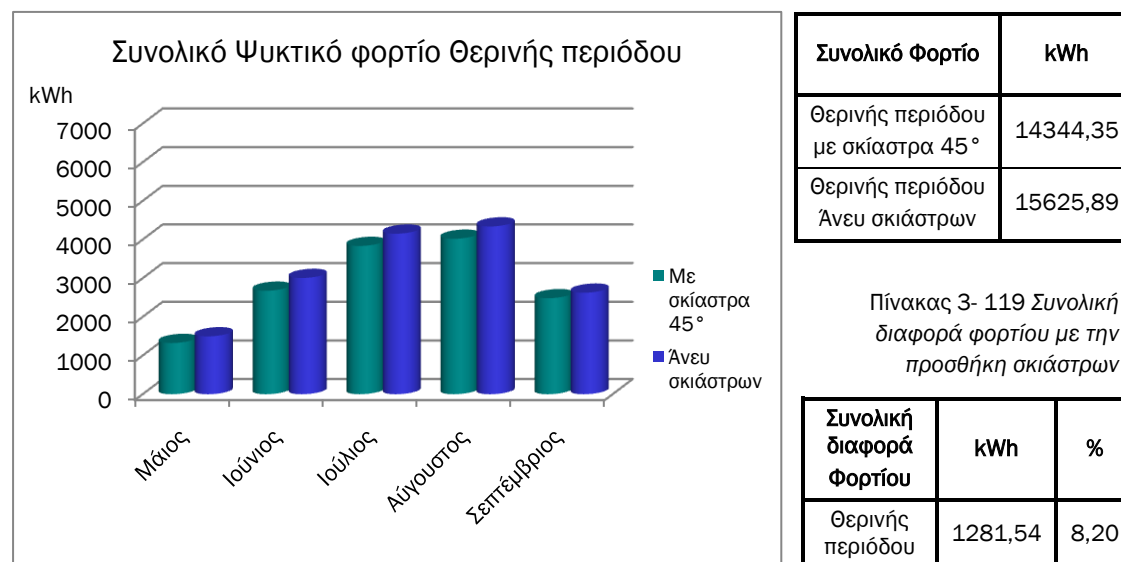
Πίνακας 3- 117 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου



Γράφημα 3- 155 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου

Η τοποθέτηση σκιάστρων επέδρασε θετικά στη μέγιστη τιμή ισχύος την ημέρα σχεδιασμού. Στο μοντέλο άνευ σκιάστρων (επιπροσθέτως μονωμένο) προέκυψε 20,34kW (γράφημα 3-117, πίνακας 3-83), ενώ στο παρόν μοντέλο 19,32kW (γράφημα 3-155, πίνακας 3-117), επηρεάζοντας την διαστασιολόγηση του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Πίνακας 3- 118 Συνολικό Ψυκτικό φορτίο Θερινής περιόδου με και άνευ σκιάστρων



Πίνακας 3- 119 Συνολική διαφορά φορτίου με την προσθήκη σκιάστρων

| Συνολική διαφορά Φορτίου | kWh | % |
|--------------------------|---------|------|
| Θερινής περιόδου | 1281,54 | 8,20 |

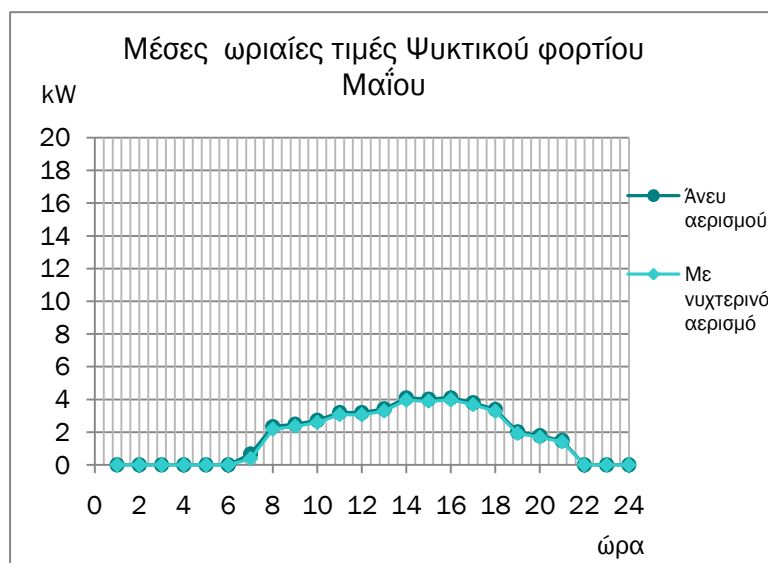
Γράφημα 3- 156 Συνολικό Ψυκτικό φορτίο Θερινής περιόδου με και άνευ σκιάστρων

Τα σκίαστρα βελτίωσαν την ενεργειακή συμπεριφορά του κελύφους όλους τους μήνες που τέθηκαν σε ισχύ. Συνολικά για την περίοδο ψύξης παρατηρείται μείωση 8,2% που αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση ενέργειας 1300kWh (γράφημα 3-156, πίνακες 3-118, 3-119). Η προσθήκη των σκιάστρων κρίνεται ως απαραίτητη, αφού βελτιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση του κελύφους την περίοδο που η θερμομόνωση των προηγούμενων προσομοιώσεων χάλαινε.

3.9 5^{ος} Κύκλος προσομοιώσεων: Νυχτερινός αερισμός

Τελευταίο στάδιο στην βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του κτηρίου αποτελεί η υλοποίηση της στρατηγικής του νυχτερινού αερισμού, με σαφή στόχο την ελαχιστοποίηση κατά το δυνατό του θερινού ψυκτικού φορτίου. Το κέλυφος που επιλέχθηκε για τη συνέχεια των προσομοιώσεων είναι αυτό του προηγούμενου κύκλου (επιπροσθέτως μονωμένο και με σκίαση). Με βάση τα αποτελέσματα των προηγούμενων κύκλων, επιλέχθηκε η περίοδος 15 Μαΐου - 15 Σεπτεμβρίου για την εφαρμογή, με πρόγραμμα λειτουργίας 3:00-6:00.

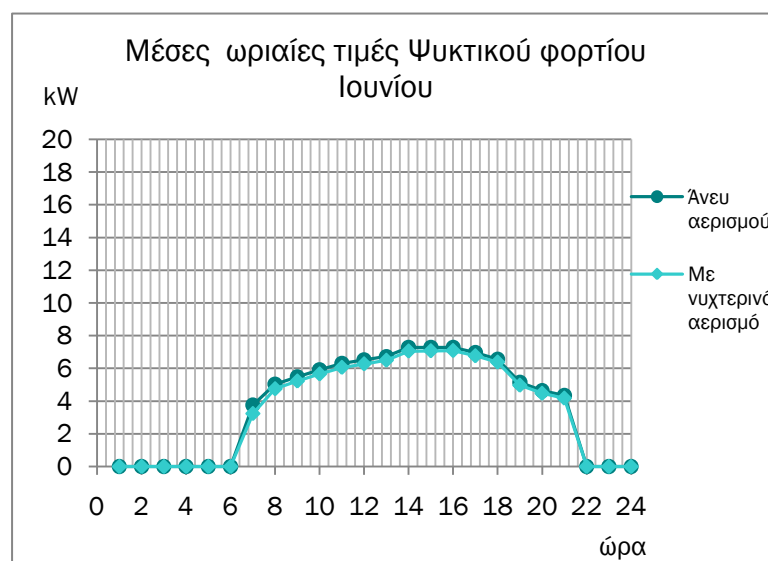
Πίνακας 3- 120 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου



Γράφημα 3- 157 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Μαΐου

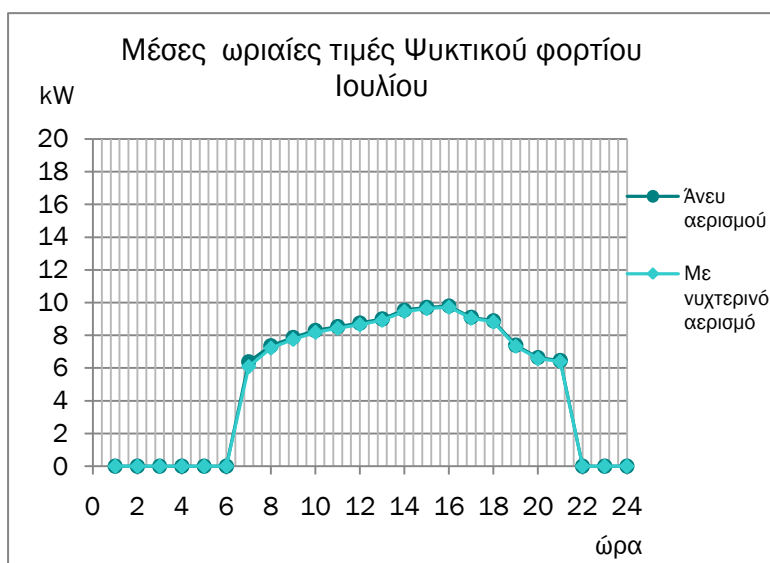
| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 3,3 |
| 2 | 0 | 14 | 3,9 |
| 3 | 0 | 15 | 3,9 |
| 4 | 0 | 16 | 4,0 |
| 5 | 0 | 17 | 3,7 |
| 6 | 0 | 18 | 3,3 |
| 7 | 0,4 | 19 | 1,9 |
| 8 | 2,2 | 20 | 1,7 |
| 9 | 2,4 | 21 | 1,4 |
| 10 | 2,6 | 22 | 0 |
| 11 | 3,1 | 23 | 0 |
| 12 | 3,1 | 24 | 0 |

Πίνακας 3- 121 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου



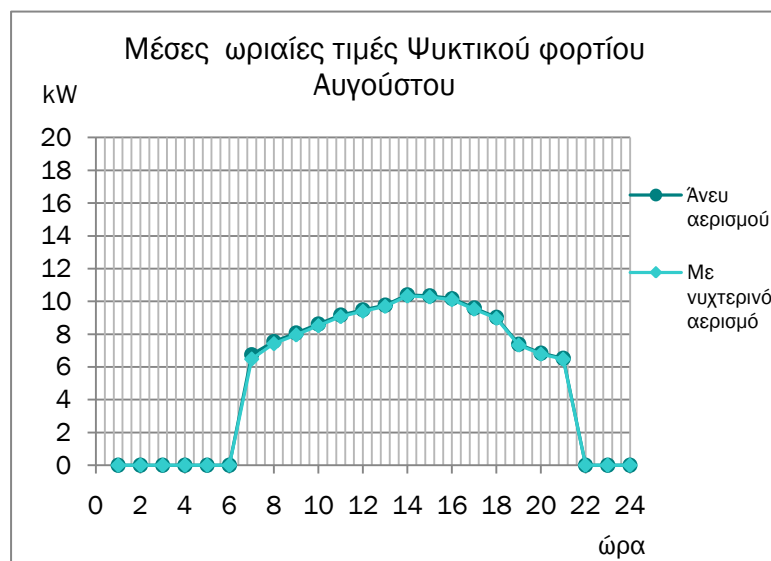
Γράφημα 3- 158 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουνίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 6,5 |
| 2 | 0 | 14 | 7,1 |
| 3 | 0 | 15 | 7,1 |
| 4 | 0 | 16 | 7,1 |
| 5 | 0 | 17 | 6,8 |
| 6 | 0 | 18 | 6,4 |
| 7 | 3,2 | 19 | 5,0 |
| 8 | 4,8 | 20 | 4,5 |
| 9 | 5,2 | 21 | 4,2 |
| 10 | 5,7 | 22 | 0 |
| 11 | 6,1 | 23 | 0 |
| 12 | 6,3 | 24 | 0 |

Πίνακας 3- 122 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 13 | 8,9 |
| 2 | 0 | 14 | 9,5 |
| 3 | 0 | 15 | 9,6 |
| 4 | 0 | 16 | 9,7 |
| 5 | 0 | 17 | 9,0 |
| 6 | 0 | 18 | 8,8 |
| 7 | 6,1 | 19 | 7,3 |
| 8 | 7,2 | 20 | 6,6 |
| 9 | 7,7 | 21 | 6,4 |
| 10 | 8,2 | 22 | 0 |
| 11 | 8,4 | 23 | 0 |
| 12 | 8,7 | 24 | 0 |

Γράφημα 3- 159 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Ιουλίου

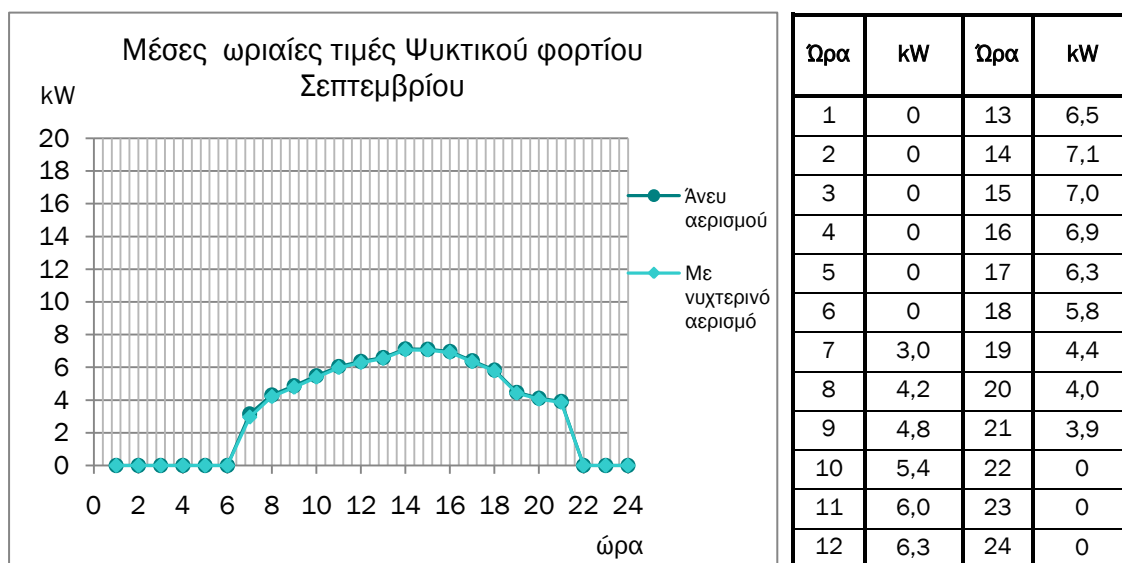
Πίνακας 3- 123 Μέσες ωριαίες τιμές
Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου

| Ωρα | kW | Ωρα | kW |
|-----|-----|-----|------|
| 1 | 0 | 13 | 9,7 |
| 2 | 0 | 14 | 10,3 |
| 3 | 0 | 15 | 10,3 |
| 4 | 0 | 16 | 10,1 |
| 5 | 0 | 17 | 9,5 |
| 6 | 0 | 18 | 9,0 |
| 7 | 6,5 | 19 | 7,3 |
| 8 | 7,4 | 20 | 6,8 |
| 9 | 8,0 | 21 | 6,5 |
| 10 | 8,5 | 22 | 0 |
| 11 | 9,1 | 23 | 0 |
| 12 | 9,4 | 24 | 0 |

Γράφημα 3- 160 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Αυγούστου

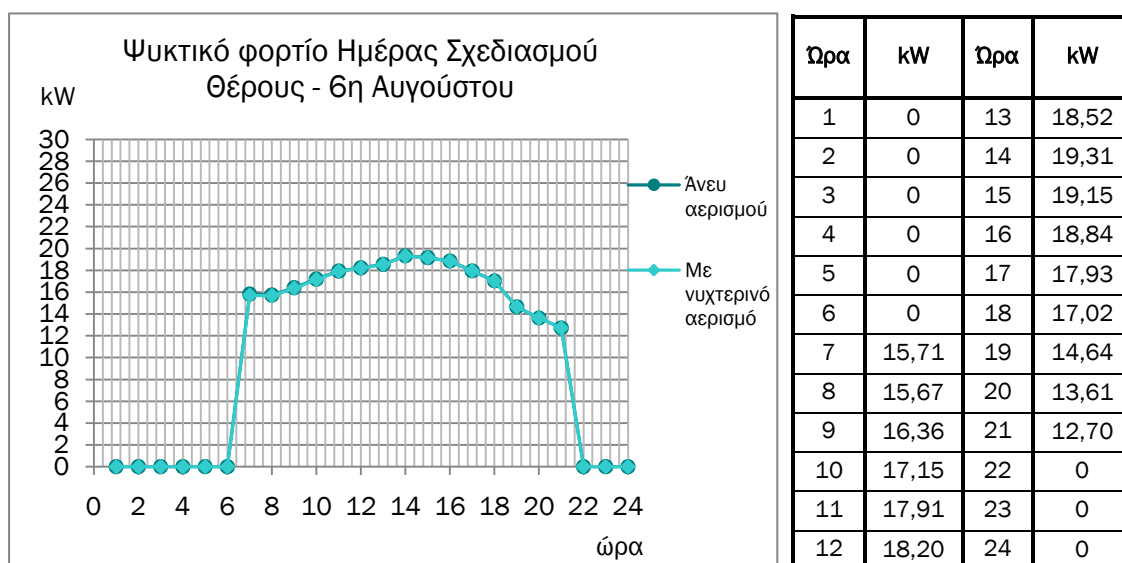
Στα γραφήματα 3-157 έως 3-161 παρατηρείται ταύτιση των καμπυλών με και άνευ νυχτερινού αερισμού, αφού οι διαφορές των φορτίων είναι τέτοιες που εξαλείφονται με την εξαγωγή του μέσου όρου. Αναμενόταν πτώση του απαιτούμενου φορτίου την ώρα έναρξης λειτουργίας του κτηρίου και πριν την εκ νέου θέρμανσή του από πηγές, αφού ο αερισμός στοχεύει στην διευκόλυνση της αποβολής θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Πίνακας 3- 124 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου



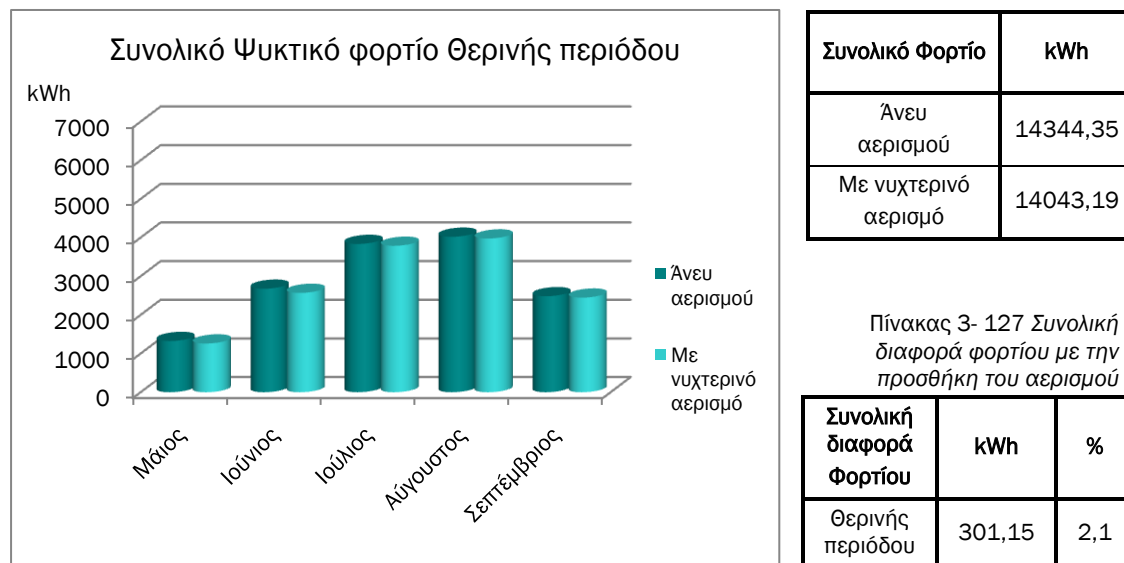
Γράφημα 3- 161 Μέσες ωριαίες τιμές Ψυκτικού φορτίου Σεπτεμβρίου

Πίνακας 3- 125 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου



Γράφημα 3- 162 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου

Ταύτιση παρατηρείται και την ημέρα σχεδιασμού, όπου το μοντέλο άνευ αερισμού (το προηγούμενο με σκίαστρα) απαίτησε 19,32kW (γράφημα 3-155, πίνακας 3-117) ενώ το εν λόγω με τον νυχτερινό αερισμό 19,31kW (γράφημα 3-162, πίνακας 3-125). Συμπερασματικά ο νυχτερινός αερισμός δεν επηρέασε την εγκατεστημένη ισχύ, αφήνοντας αμετάβλητα τα χαρακτηριστικά της αναγκαίας ψυκτικής εγκατάστασης.

Πίνακας 3- 126 Συνολικό Ψυκτικό φορτίο
Θερινής περιόδου με και άνευ αερισμού

Γράφημα 3- 163 Συνολικό Ψυκτικό φορτίο Θερινής περιόδου με και άνευ αερισμού

| Συνολικό Φορτίο | kWh |
|----------------------|----------|
| Άνευ αερισμού | 14344,35 |
| Με νυχτερινό αερισμό | 14043,19 |

Πίνακας 3- 127 Συνολική
διαφορά φορτίου με την
προσθήκη του αερισμού

| Συνολική διαφορά Φορτίου | kWh | % |
|--------------------------|--------|-----|
| Θερινής περιόδου | 301,15 | 2,1 |

Αν και στα παραπάνω αποτελέσματα δεν παρατηρήθηκε μεταβολή των φορτίων, η μηνιαία ενέργεια όπως φαίνεται στο γράφημα 3-163 μειώθηκε για όλους τους μήνες που ο αερισμός είναι σε ισχύ. Η συνολική μείωση κυμαίνεται στο 2% (301kWh) ποσοστό που δικαιολογείται από τις μικρές ημερήσιες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που εισήχθησαν από το αρχείο καιρού. Ο βασικός μηχανισμός και κριτήριο αποδοτικότητας του νυχτερινού αερισμού είναι η πτώση της θερμοκρασίας τη νύχτα, ενισχύοντας την ικανότητα του αέρα για απομάκρυνση θερμότητας.

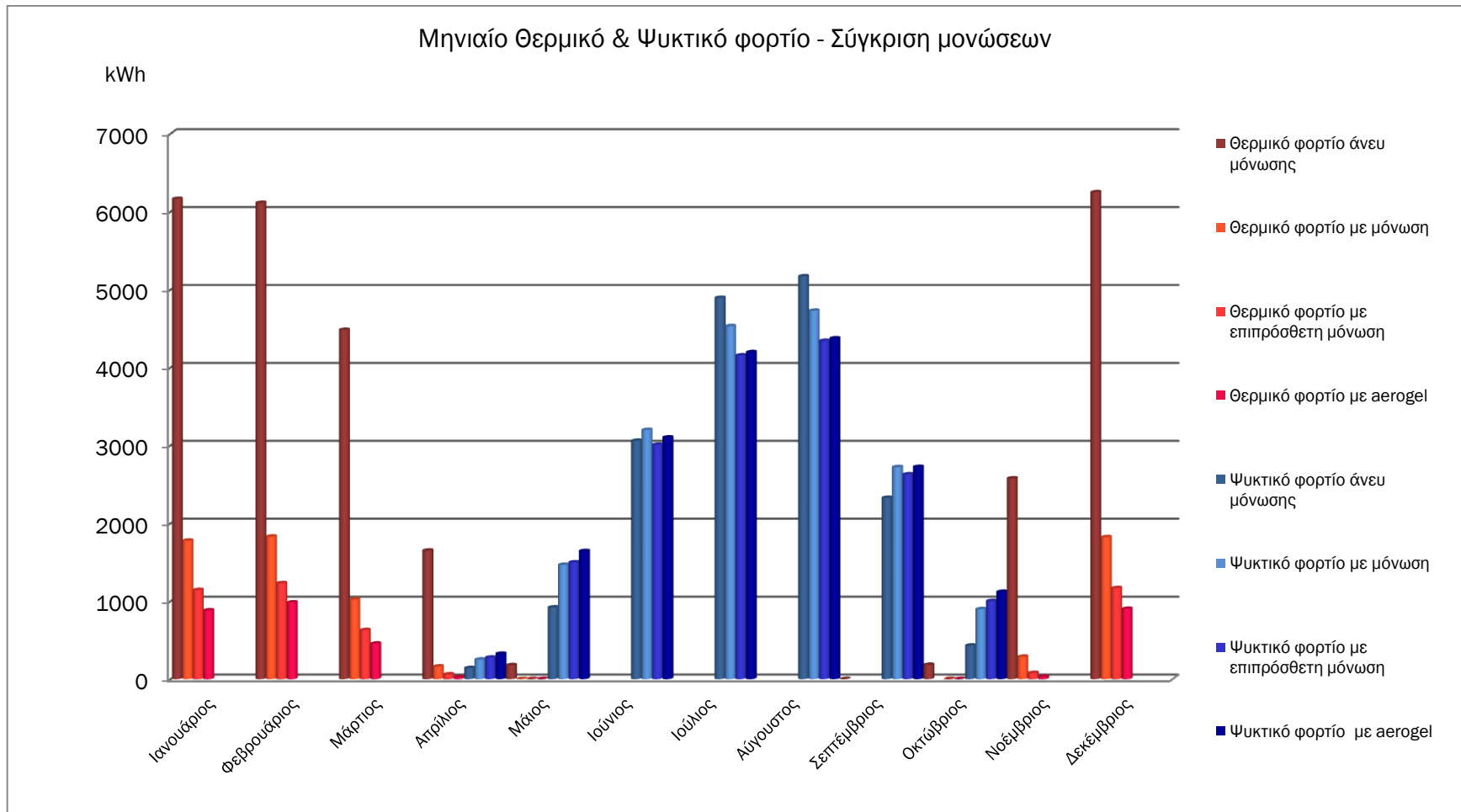
3.10 Σχολιασμός

Στόχο του 1^{ου} κύκλου προσομοιώσεων αποτέλεσε η παρατήρηση της επιρροής της ηλιακής ακτινοβολίας στο αρχείο καιρού και συνακόλουθα στα αποτελέσματα της εσωτερικής θερμοκρασίας και της υγρασίας του κελύφους. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας συνέκλιναν για τα αρχεία καιρού της ASHRAE και του TRNSYS με παραβολικό προφίλ, ενώ για το αυτοσχέδιο αρχείο η συμπεριφορά προέκυψε γραμμική με σχεδόν μηδενική κλίση. Οι μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας εμφάνισαν ίδια συμπεριφορά και για τα τρία αρχεία, με μικρές αποκλίσεις καθόλη την διάρκεια της ημέρας. Η εξάλειψη των διακυμάνσεων αιτιολογείται από την εξαγωγή των μέσων όρων που απαλείφουν τις ακραίες τιμές. Οι αποκλίσεις που εμφάνισαν μεταξύ τους τα αρχεία δεν ήταν σταθερές και στις περισσότερες περιπτώσεις συνέκλιναν ανά δύο. Τέλος, παρατηρήθηκαν οι αναμενόμενες μεταβολές των θερμοκρασιών που δικαιολογούνται από την αλλαγή των μηνών. Για τις υπόλοιπες προσομοιώσεις επιλέχθηκε το αρχείο καιρού της ASHRAE λόγω της μέσης συμπεριφοράς που παρουσίασε.

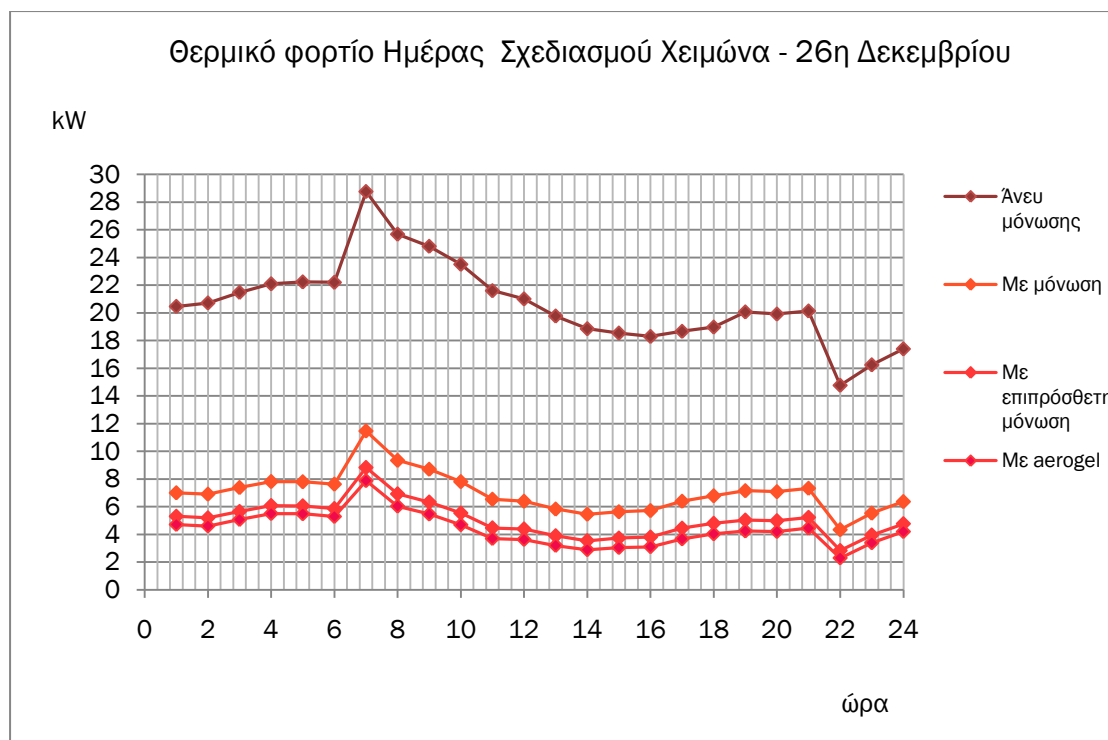
Με βάση τις προσομοιώσεις του 2^{ου} κύκλου επιτεύχθηκε ο προσδιορισμός των μηνών άνευ αναγκών ψύξης ή θέρμανσης. Πρόκειται για μήνες με μικρές αποκλίσεις θερμοκρασίας και υγρασίας από τα καθορισμένα όρια που τελικά θα παράξουν –όπως φάνηκε από τους επόμενους κύκλους προσομοιώσεων- μικρά φορτία. Στην περίοδο που χαρακτηρίστηκε ως ουδέτερη ανήκει ο Απρίλιος και ο Οκτώβριος, αλλά και οι πρώτες 15 ημέρες του Μαΐου. Η προσομοίωση των δύο μοντέλων (άνευ και με μόνωση) συνέβαλλε στην παρατήρηση της συμπεριφοράς του κελύφους, δηλαδή των καμπυλών θερμοκρασίας και υγρασίας. Αυτές παρουσιάστηκαν όμοιες μεταξύ τους, μετατοπισμένες ανάλογα με το μήνα. Οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται στις καμπύλες των εξωτερικών συνθηκών, εξαλείφονται σε αυτές των εσωτερικών, γεγονός που οφείλεται τόσο στα δομικά στοιχεία και στην αντίστασή τους, όσο και όπως προαναφέρθηκε για τον προηγούμενο κύκλο, στην εξαγωγή των μέσων όρων.

Στον 3^ο κύκλο προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικά μοντέλα (άνευ μόνωσης, με μόνωση, με επιπρόσθετη και με aerogel), βελτιούμενης μόνωσης με σκοπό τη μελέτη της επίδρασής της στο απαιτούμενο θερμικό και ψυκτικό φορτίο. Παρατηρήθηκε αναμενόμενη συμπεριφορά των θερμικών φορτίων και ανάλογη ελάττωση με τη βελτίωση των ιδιοτήτων των δομικών στοιχείων. Στην ψύξη, η επιρροή της μόνωσης δεν ήταν η προφανής. Εμφανίστηκε μείωση τους μήνες με την υψηλότερη κατανάλωση σε ενέργεια, αλλά παραδόξως αύξηση του ψυκτικού φορτίου τους μήνες με ηπιότερα μετεωρολογικά δεδομένα. Με βάση τις προσομοιώσεις, αποκλείστηκαν οι Απρίλιος και Οκτώβριος από την θερμαινόμενη και ψυχόμενη περίοδο, τόσο για τα ελάχιστα φορτία που παρουσίασαν, όσο και λόγω των αποτελεσμάτων του 2^{ου} κύκλου. (γράφημα 3-164)

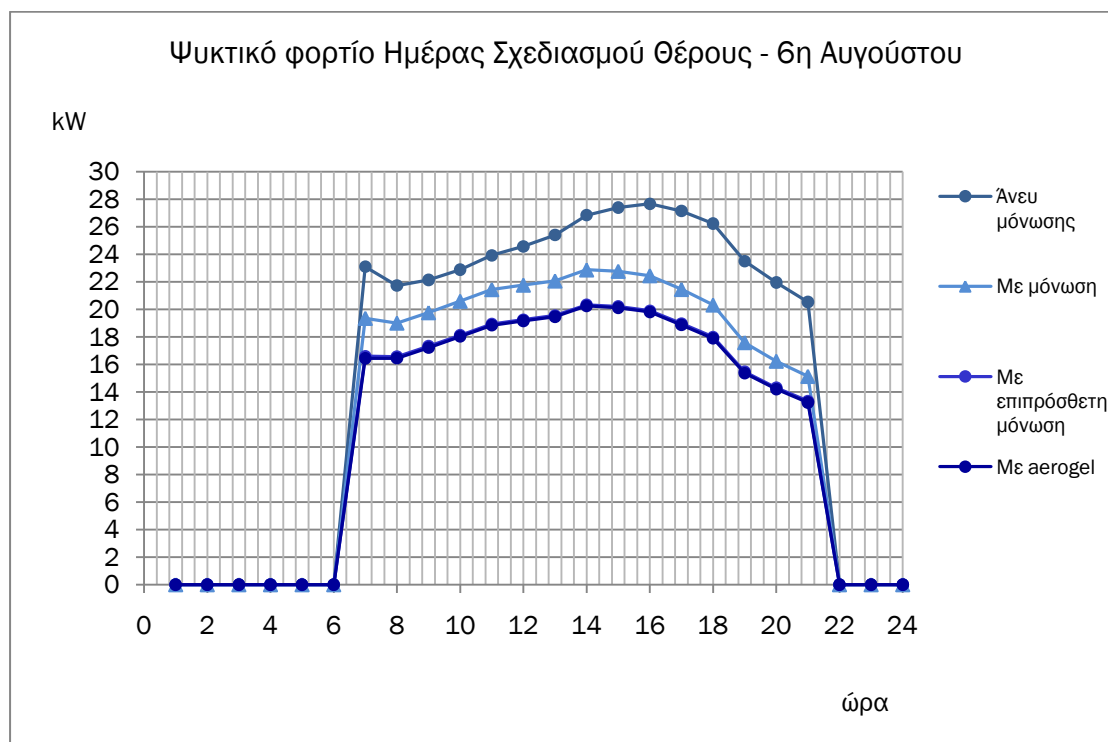
Τις ημέρες σχεδιασμού θέρμανσης η εγκατεστημένη ισχύς είναι συνεπής με τα φορτία και μειούμενη καθώς βελτιώνεται το κέλυφος. Η αύξηση της ενέργειας κλιματισμού που σχολιάστηκε παραπάνω δεν παρατηρείται και στην εγκατεστημένη ισχύ, αφού την ημέρα σχεδιασμού του θέρους το φορτίο προέκυψε μειούμενο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τρόπος που επηρέασαν τα διάφορα επίπεδα μόνωσης συνολικά τις ημέρες σχεδιασμού, ομοιάζει αυτόν των φορτίων. Προέκυψε σημαντική επίδραση όσον αφορά στη θέρμανση, και στην ψύξη οδήγησε μεν η μόνωση σε μείωση της εγκατεστημένης ισχύος, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό. Συγκεκριμένα για τα δύο βέλτιστα μοντέλα η διαφορά είναι αμελητέα και γραφικά ταυτίζονται. (γραφήματα 3-165, 3-166)



Γράφημα 3- 164 Μηνιαίο Θερμικό & Ψυκτικό φορτίο - Σύγκριση των μονώσεων όλων των μοντέλων



Γράφημα 3- 165 Θερμικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Χειμώνα - 26η Δεκεμβρίου Σύγκριση των μονώσεων όλων των μοντέλων



Γράφημα 3- 166 Ψυκτικό φορτίο Ημέρας Σχεδιασμού Θέρους - 6η Αυγούστου Σύγκριση των μονώσεων όλων των μοντέλων

Στο επόμενο βήμα τα μονωμένα μοντέλα του κελύφους ελέγχθηκαν ως προς την θερμομονωτική τους επάρκεια με βάση τα πρότυπα που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ. Δύο είναι οι προϋποθέσεις: τα δομικά στοιχεία να έχουν τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας μικρότερη των καθορισμένων ορίων και ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κελύφους να μην υπερβαίνει τον αντίστοιχο του Κ.Εν.Α.Κ. για την συγκεκριμένη κλιματική ζώνη. Την πρώτη προϋπόθεση του κανονισμού πληρούν τα βέλτιστα μοντέλα (επιπροσθέτως μονωμένο και με aerogel), ενώ το μοντέλο με την στοιχειώδη μόνωση αποτυγχάνει οριακά. Η δεύτερη προϋπόθεση πληρείται και από τα τρία μοντέλα. Επαρκώς μονωμένα για την κλιματική ζώνη που ανήκει η Αττική προέκυψαν τα επιπροσθέτως μονωμένο και με aerogel μοντέλα.

Η σκίαση που προστέθηκε στον 4^ο κύκλο προσομοιώσεων βελτίωσε την συμπεριφορά του κελύφους. Τα σκίαστρα τέθηκαν σε ισχύ 15 Μαΐου-15 Σεπτεμβρίου, με σκοπό τη μείωση του ψυκτικού φορτίου, ανάγκη που ενισχύθηκε από τα αποτελέσματα των προηγούμενων κύκλων. Παρατηρήθηκε πτώση τόσο στο ψυκτικό φορτίο της ημέρας σχεδιασμού, όσο και στη συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ολόκληρης της περιόδου κατά 8% (1281,54kWh).

Ο νυχτερινός αερισμός εφαρμόστηκε την ίδια περίοδο με τα σκίαστρα και με τον ίδιο σκοπό: την αρωγή στην ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για ψύξη. Το αποτέλεσμα δεν ήταν αναμενόμενο. Η μεταβολή που παρουσιάστηκε ήταν ελάχιστη για το φορτίο και μηδενική για την εγκατεστημένη ισχύ. Αιτία αυτής της συμπεριφοράς οι μικρές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που εισήχθησαν από τα μετεωρολογικά δεδομένα, στις οποίες βασίζεται η αποδοτικότητα αυτής της στρατηγικής αερισμού. Πιθανή επίλυση του φαινομένου η επιλογή διαφορετικού αρχείου καιρού με ακριβέστερες θερμοκρασιακές διαφορές.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η δυναμική προσομοίωση ενός κτηριακού κελύφους και η παρατήρηση της συμπεριφοράς του με παρεμβάσεις στη μόνωση και με στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας. Για τον σκοπό αυτό, μετά από διερεύνηση των μεθόδων και των διαθέσιμων λογισμικών, επιλέχθηκε το TAS που παρέχει υπολογισμούς για τις 8760 ώρες του έτους τόσο για τις επικρατούσες συνθήκες όσο και για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Μοντελοποιήθηκε το κέλυφος σε τρισδιάστατη μορφή μέσω των αρχιτεκτονικών κατόψεων και εξήχθη στον προσομοιωτή. Καθορίστηκαν αρχείο καιρού, πρόγραμμα και συνθήκες λειτουργίας, αλλά και χαρακτηριστικά δομικών στοιχείων και προσομοιώθηκε η θερμική συμπεριφορά του κελύφους για ολόκληρο το έτος. Παρατηρήθηκε βραχεία επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην κατανομή των εσωτερικών θερμοκρασιών και μικρές αποκλίσεις μεταξύ των αρχείων καιρού που χρησιμοποιήθηκαν. Σχετικά με τους μήνες με ασήμαντες διαφορές από τις ορισμένες εσωτερικές συνθήκες και ελάχιστα φορτία (συνήθως μικτά), παρόλο που παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα, αξίζει να σημειωθεί ότι σε πραγματικές συνθήκες η συμβολή τους στην κατανάλωση ενέργειας θα αμεληθεί. Η μόνωση επηρέασε το θερμικό φορτίο δραστικά, μειώνοντάς το σε κάθε βελτιωμένο μοντέλο, ενώ το ψυκτικό φορτίο δεν παρουσίασε ανάλογη συμπεριφορά. Όσον αφορά στην ημέρα σχεδιασμού του χειμώνα, παρατηρήθηκε

πτώση της εγκατεστημένης ισχύος στο κάθε αναβαθμισμένο επίπεδο μόνωσης, ομοίως και για το θέρους σε μικρότερη κλίμακα. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν κρίθηκαν με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. επαρκώς μονωμένα, συμβαδίζουν δηλαδή με τα εγχώρια πρότυπα θερμομόνωσης. Η σκίαση αποτελεί την πιο διαδεδομένη παρέμβαση με στόχο τη μείωση των ψυκτικών φορτίων, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και στην παρούσα εργασία αφού συνέβαλε στην πτώση της απαιτούμενης ενέργειας ψύξης για την θερινή περίοδο. Ο νυχτερινός αερισμός εφαρμόστηκε με στόχο την αποβολή θερμότητας όταν το κτήριο είναι κενό, δεν είχε την αναμενόμενη απόδοση, επηρεάζοντας μηδαμινά το φορτίο ψύξης. Πιθανή βελτίωση των αποτελεσμάτων θα επέλθει με ακριβέστερα κλιματολογικά δεδομένα, που θα εμπεριέχουν υψηλότερες θερμοκρασιακές διαφορές ημέρας- νύχτας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Energy Simulation in Building Design*
J.A. Clarke ,Εκδόσεις Butterworth Heinemann, 2001, ISBN 0 7506 5082 6
2. *Τεχνολογίες Εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια*
ΚΑΠΕ, <http://www.cres.gr>, 2008
3. *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα: Ενεργειακή απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής*
ΚΑΠΕ, <http://www.cres.gr>, 2002
4. *Building Simulation: an overview of developments and information sources*
S.K. Tianzhen Hong, Chou, T.Y. Bong
5. *Κλιματισμός*
Κ. Αντωνόπουλος,Εκδόσεις ΕΜΠ, 2004
6. *Μετάδοση Θερμότητας*
Ξ. Κακάτσιος, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2002, ISBN 960 209 555 5
7. *Υπολογιστική Ρευστομηχανική*
Γ. Μπεργελές, Εκδόσεις Συμewών, 2000, ISBN 960-7346-19-x
8. *TAS Theory Manual*
www.edsl.net
9. *ASHRAE HVAC Fundamentals Handbook 1997*
ASHRAE, 1997
10. *Σημειώσεις μαθήματος: Θερμική Συμπεριφορά κτηρίων*
Χ. Τζιβανίδης
11. *A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building*
W.L. Paul, P.A. Taylor
12. *Environmental Design- CIBSE GUIDE A*
CIBSE, 2006
13. *Bioclimatic lessons from James C. Rose's architecture*
A.M. Vassilia , 2008
14. *Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings.*
ASHRAE, 2004, ISBN 1-931862-55-9
15. *Energy efficient office buildings with passive cooling - Results and experiences from a research and demonstration programme.*
K. Voss, S. Herkel, J. Pfaffert, G. Lohnert, A. Wagner, 2006
16. *An experimental study on the environmental performance of the automated blind in summer.*
J. Kim, Y. Park, M. Yeo, K. Kim, 2008

17. *Analysis of the green roof cooling potential in buildings.*
E. Palomo Del Barrio, 1997
18. *Performance analysis of a simple roof cooling system with irrigated soil and two shading alternatives.*
D. Pearlmutter, S. Rosenfeld, 2007
19. *A green roof model for building energy simulation programs.*
D.J. Sailor , 2008
20. *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance.*
A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis, G. Michalakakou, 2001
21. *Natural convection and conduction in Trombe Wall systems.*
R. Benn Yedder, E. Bilgen, 1991
22. *Performance of PV-Trombe wall in winter correlated with south façade design.*
W. Sun, J. Ji, C. Luo, W. He, 2010
23. *Study of solar walls – validating a simulation model.*
L. Zalewska, S. Lassuea, B. Duthoita, M. Butezb, 2000
24. *PCM thermal storage in buildings: A state of the art.*
V.V. Tyagi, D. Buddhi., 2005
25. *Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings.*
M. Koschenz, B. Lehmann, 2004
26. *Natural ventilation in non-domestic buildings- CIBSE Applications Manual AM10.*
CIBSE., 2005
27. *Building Ventilation: Theory and Measurement.*
D. Etheridge, 1996, ISBN-13: 9780471960874
28. *Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe.*
N. Artmann, H. Manz, P. Heiselberg, 2006
29. *ASHRAE 1999 HVAC Applications Handbook.*
ASHRAE, 1999.
30. *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs.*
D. B. Crawleya, J. W. Handb, M. Kummertc, B. T. Griffithd, 2008
31. *Tests for software accreditation and verification.*
CIBSE, 2006, ISBN-10: 1-903287-69-3 |
32. <http://www.doe2.com/>

33.

http://www.erdcl.usace.army.mil/pls/erdcpub/docs/erdcl/images/ERDCFactSheet_Product_BLAST.pdf.

34. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

35. <http://usa.autodesk.com>

36. <http://www.trnsys.com/>

37. <http://edsl.net/main/Software.aspx>

38. *Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values - BS EN 12524:2000*

British Standards Institution, 2000

39. *Θερμικά Ηλιακά Συστήματα*

Κ. Αντωνόπουλος, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2004

40. www.aerogel.com

41. *Εγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων.*

Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 9 Απριλίου 2010, Αρ. Φύλλου 407

42. *Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων.*

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, 2010

43. *Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών.*

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, 2010