



**Τ. Ε. Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ενεργειακή ανάλυση κτιρίου και αξιολόγηση σεναρίων
μείωσης των ενεργειακών του απαιτήσεων με το
λογισμικό EnergyPlus**



Επιμέλεια: Προεστάκης Εμμανουήλ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Κολοκοτσά Διονυσία

ΧΑΝΙΑ 2008



**Technological Educational Institute of Crete – Branch of Chania
Department of Natural Resources and Environment**

**Building energy analysis and scenarios evaluation for
reducing its energy demands using Energy Plus
software**



Proestakis Manolis

Supervisor: Kolokotsa Dionisia

Chania 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Κεφάλαιο 1. Περί εργαλείων ενεργειακής ανάλυσης	8
Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus	15
2.1. Τι είναι το EnergyPlus και από πού προήλθε;.....	15
2.2. Τα προτερήματα του EnergyPlus.....	17
2.3. Κατηγορίες δεδομένων – αποτελεσμάτων	22
2.3.1. Κατηγορίες δεδομένων.....	22
2.3.2. Κατηγορίες αποτελεσμάτων	25
Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου	28
3.1. Κτίριο αναφοράς	28
3.2. Περιγραφή συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού	30
3.3. Αποτελέσματα κτιρίου αναφοράς.....	32
Κεφάλαιο 4. Αξιολόγηση σεναρίων	40
4.1. Σενάριο 1	40
4.1.1. Αποτελέσματα σεναρίου 1	40
4.2. Σενάριο 2	50
4.2.1. Αποτελέσματα σεναρίου 2	50
4.3. Σενάριο 3	59
4.3.1. Αποτελέσματα σεναρίου 3	59
4.4. Παρατηρήσεις και συμπεράσματα αξιολόγησης	69
Κεφάλαιο 5. Επίλογος	71
Βιβλιογραφικές αναφορές και δικτυακές πηγές	72

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μελέτη που αφορά την πρόβλεψη των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου, για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών του αναγκών, χρησιμοποιώντας το λογισμικό EnergyPlus.

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης και ενεργειακής ανάλυσης θερμικών φορτίων. Βασιζόμενο στην φυσική περιγραφή του κτιρίου, των ενεργειακών συστημάτων που διαθέτει, του περιβάλλοντος που το περικλείει κ.λπ, το EnergyPlus υπολογίζει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται ώστε να καλυφθούν οι θερμικές και ψυκτικές του απαιτήσεις καθώς και διάφορες άλλες παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητες στο να επιβεβαιώσουν ότι η προσομοίωση αναπαριστά την λειτουργία του κτιρίου υπό πραγματικές συνθήκες.

Επιπλέον, αναπτύσσεται μία αξιολόγηση τριών σεναρίων αναφορικά με αλλαγές στην δομή του κτιρίου που είχαν ως στόχο την μείωση των προβλεπόμενων ενεργειακών του απαιτήσεων.

Τέλος, διατυπώνονται συμπεράσματα και παρατηρήσεις που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της κάθε αξιολόγησης, ενώ διατυπώνονται επιπλέον παρατηρήσεις σχετικά με το λογισμικό EnergyPlus.

ABSTRACT

This work deals with energy demands prediction of a building for its thermal and cooling requirements using the EnergyPlus software.

EnergyPlus is an energy analysis and thermal load simulation software. Based on a user's physical description of a building, its energy systems, its environment that surrounds it, etc., it can calculate the energy consumption, the heating and cooling loads necessary to maintain thermal control setpoints, as well as many other simulation details that are necessary to verify that the simulation is performing as the actual building would.

Adittionally, in the present study an evaluation of three scenarios is presented concerning some structural changes on the same building, which aim to reduce its energy demands. The objective of this study is to gain hands-on experience with the EnergyPlus software.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας στην Ευρώπη καθώς αντιστοιχεί στο 40% περίπου της συνολικά καταναλωμένης ενέργειας. Η συνεχιζόμενη, όμως, καταστροφή του περιβάλλοντος που προκαλείται από αυτή την κατανάλωση ενέργειας, η αβεβαιότητα της ενεργειακής επάρκειας λόγω των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων ενέργειας, το υψηλό κόστος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, και γενικότερα προβλήματα τα οποία φέρνουν αναπόφευκτα στη μνήμη προηγούμενες περιόδους πετρελαϊκών κρίσεων και τις συνέπειές τους, έχουν καταστήσει επιτακτική ανάγκη την καθιέρωση ενεργειακού σχεδιασμού σε νέα κτίρια αλλά και την εφαρμογή τεχνικών σε υφιστάμενα κτίρια με στόχο να επιτευχθεί κάποια εξοικονόμηση ενέργειας από τον συγκεκριμένο τομέα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας έχουν συμβάλει αρκετά στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος που παρουσιάζει ο κτιριακός τομέας. Μέρος αυτών των εξελίξεων αποτελεί και η ανάπτυξη λογισμικών τα οποία με τη χρήση κατάλληλων δεδομένων και μαθηματικών μοντέλων μπορούν να αναλύσουν ενεργειακά κάποιο κτίριο, όπως για παράδειγμα να προβλέψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις που θα έχει κάποιο κτίριο πριν αυτό δομηθεί, να προβλέψουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα υπάρξουν από τις προβλεπόμενες ενεργειακές απαιτήσεις του υπό μελέτη κτιρίου, καθώς και την οικονομική επιβάρυνση που θα έχει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου από τις προβλεπόμενες ενεργειακές απαιτήσεις αυτού. Όλες αυτές οι προβλέψεις αποτελούν αξιόλογες συμβουλές για τον κατάλληλο σχεδιασμό ενός κτιρίου ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικός μειώνοντας την οικολογική επιβάρυνση από μέρους του.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η εξοικείωση του φοιτητή με ένα τέτοιου είδους λογισμικό. Το λογισμικό το οποίο επιλέχθηκε είναι το EnergyPlus του τμήματος ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών, της έκδοσης 1.3.018 .

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την επίτευξη αυτού του στόχου ήταν η εξής:

Αρχικώς αντλήθηκαν πληροφορίες από τα εγχειρίδια του λογισμικού αναφερόμενες στην χρήση του, στις κατηγορίες των δεδομένων που μπορεί να δεχτεί καθώς και στις κατηγορίες των αποτελεσμάτων που μπορεί να παράξει. Επίσης, αντλήθηκαν πληροφορίες για την χρήση βοηθητικών εφαρμογών, οι οποίες συνοδεύουν το λογισμικό, μέσω των οποίων ο χρήστης μπορεί να προεπεξεργαστεί τα δεδομένα του, να τα εισάγει, να εκτελέσει την εφαρμογή Energy Plus, να εξάγει τα αποτελέσματα του και τέλος να τα επεξεργαστεί.

Έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα δεδομένα, που υπήρχανε στον φάκελο του EnergyPlus, για την περιγραφή ενός φαινομενικού κτιρίου το οποίο θα αναλυόταν ενεργειακά από το λογισμικό.

Καθορίστηκαν τα κύρια αποτελέσματα τα οποία θα εμφανιζόντουσαν μετά το τέλος της μοντελοποίησης ενώ στη συνέχεια προσδιορίστηκε και η τοποθεσία (δηλαδή το περιβάλλον) για την οποία θα προσομοιώνονταν το κτίριο, εισάγοντας κλιματολογικά δεδομένα της τοποθεσίας αυτής.

Τα δεδομένα τα οποία περιγράφουν το κτίριο καθώς και το περιβάλλον της τοποθεσίας, περιέχονται ξεχωριστά σε αρχεία κατάλληλου τύπου που υπέστησαν επεξεργασία από το λογισμικό.

Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μετά το τέλος της μοντελοποίησης εισήχθησαν σε φύλλο υπολογισμού με τη βοήθεια του οποίου δημιουργήθηκαν γραφήματα για την καλύτερη απεικόνιση και κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Εισαγωγή

Στη συνέχεια, με τη συμμετοχή του λογισμικού EnergyPlus, ακολούθησαν τρεις αξιολογήσεις σεναρίων, αναφερόμενες σε συγκεκριμένες δομικές αλλαγές του μοντελοποιημένου κτιρίου που αποσκοπούσαν στην μείωση ενός μέρους των ενεργειακών του απαιτήσεων. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την κάθε αξιολόγηση συγκρίθηκαν με αυτά της πρώτης μοντελοποίησης και οι διαφορές που σημειώθηκαν απεικονίστηκαν πάλι σε γραφήματα.

Καταγράφηκαν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτές τις αξιολογήσεις καθώς και διάφορες παρατηρήσεις ενώ τέλος διατυπώθηκαν και παρατηρήσεις σχετικά με το λογισμικό EnergyPlus.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια, από τα οποία στο πρώτο γίνεται μία αναφορά σε εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή ανάλυση του κτιριακού τομέα.

Το δεύτερο ασχολείται με το λογισμικό EnergyPlus, όπως το τι είναι αυτό, από πού προήλθε, ποια χαρακτηριστικά διαθέτει αυτό, ποια είναι τα προτερήματα του έναντι “συγγενικών” του λογισμικών καθώς και ποιες είναι οι κατηγορίες των δεδομένων που μπορεί να δεχτεί και οι κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα αποτελέσματα που παράγει.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή ενός μοντελοποιημένου κτιρίου. Επίσης, γίνεται η έκθεση αποτελεσμάτων, της ενεργειακής ανάλυσης του κτιρίου, τα οποία σχετίζονται με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου από πλευράς θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται μία αξιολόγηση τριών σεναρίων σχετικά με την μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου, συνοδευόμενη από παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Ενώ τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παραθέτονται κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με το λογισμικό EnergyPlus.

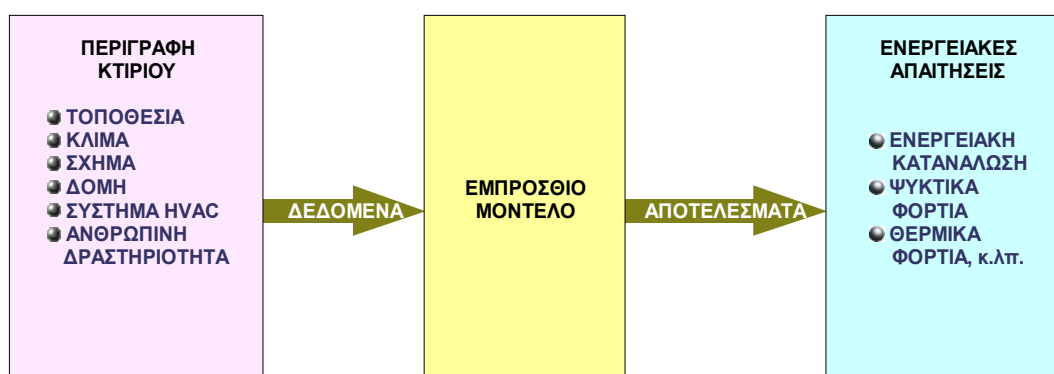
Κεφάλαιο 1. Περί εργαλείων ενεργειακής ανάλυσης

Για τον κτιριακό τομέα η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης και η εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας, από την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης αυτής, μπορούν να πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας αναρίθμητα εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης. Τέτοια εργαλεία αποτελούν διάφορες μέθοδοι ενεργειακής ανάλυσης καθώς και λογισμικά μοντελοποίησης κτιρίων τα οποία εφαρμόζουν αυτές τις μεθόδους (μάλιστα στις Η.Π.Α. η DOE - Department Of Energy - παρέχει μια ενημερωτική λίστα με λογισμικά τα οποία ειδικεύονται στην ενεργειακή ανάλυση του κτιριακού τομέα, όπου ανανεώνεται τακτικά).

Οι υπάρχουσες αυτές μέθοδοι ποικίλουν ευρέως σε πολυπλοκότητα και ακρίβεια. Επομένως, για να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να λάβει υπόψιν του μερικούς παράγοντες όπως είναι η ταχύτητα, το κόστος, η προσαρμοστικότητα, η απόκριση, η ακρίβεια και η χρηστικότητα.

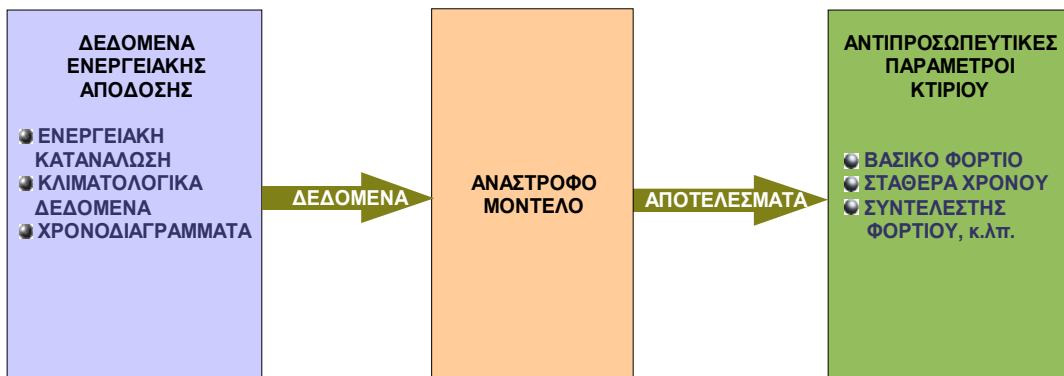
Η ταξινόμηση των εργαλείων ενεργειακής ανάλυσης γίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η μία κατηγορία είναι της εμπρόσθιας προσέγγισης, όπου ανήκουν αντίστοιχα οι εμπρόσθιες μέθοδοι, και η άλλη κατηγορία είναι της ανάστροφης προσέγγισης όπου ανήκουν αντίστοιχα οι ανάστροφες μέθοδοι.

Στην κατηγορία της εμπρόσθιας προσέγγισης η ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου βασίζεται στην φυσική περιγραφή του (π.χ. σχήμα, τοποθεσία, δομή, σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού κ.λπ. - Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση της εμπρόσθιας μοντελοποίησης.

Στην κατηγορία της ανάστροφης προσέγγισης η ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου πραγματοποιείται έμμεσα με την χρήση αντιπροσωπευτικών παραμέτρων αυτού (Σχήμα 2). Η εξαγωγή των αντιπροσωπευτικών παραμέτρων πραγματοποιείται διαμέσου γραμμικών εμπειρικών αναλύσεων ή διασυνδετικών προσεγγίσεων (connectionist approaches) χρησιμοποιώντας μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης, κλιματολογικά δεδομένα καθώς και οτιδήποτε δεδομένα που αφορούν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Τέτοιοι παράμετροι είναι για παράδειγμα ο συντελεστής φορτίου του κτιρίου (Building Load Coefficient), το βασικό φορτίο του κτιρίου (Building Base Load), η σταθερά χρόνου του κτιρίου (Building Time Constant), η απόδοση ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης κ.λπ.

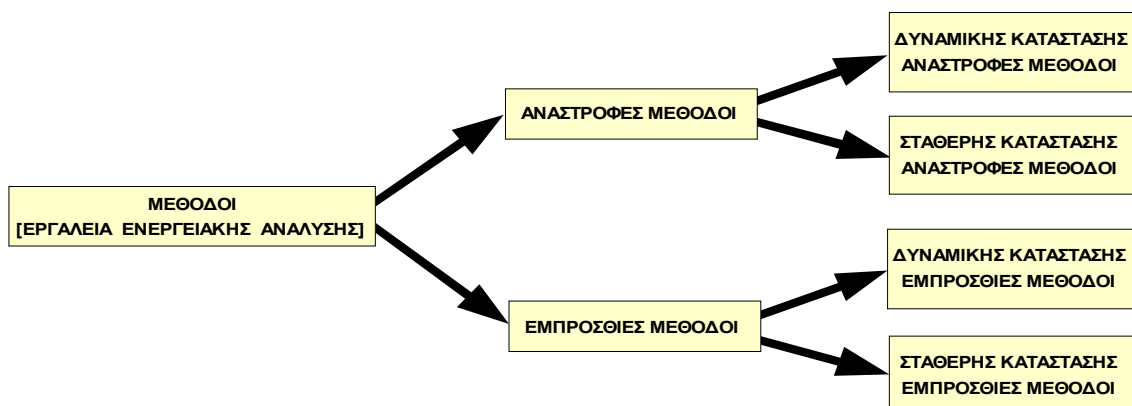


Σχήμα 2: Σχηματική αναπαράσταση της ανάστροφης μοντελοποίησης.

Σε γενικές γραμμές τα ανάστροφα μαθηματικά μοντέλα είναι πιο απλά στην διατύπωσή τους από ότι τα εμπρόσθια. Εντούτοις, η χρησιμότητα των ανάστροφων μοντέλων δεσμεύεται από τη διατύπωση των αντιπροσωπευτικών παραμέτρων του κτιρίου καθώς και από την ακρίβεια που έχουν τα δεδομένα εκείνα που αφορούν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

Θα πρέπει, πάντως, να τονιστεί ότι η εφαρμογή των εμπρόσθιων και ανάστροφων μεθόδων δεν περιορίζεται απλώς στην ενεργειακή ανάλυση και στην εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας. Είναι επίσης κατάλληλες και για άλλες εφαρμογές, όπως είναι για παράδειγμα η επιβεβαίωση της εξοικονόμησης ενέργειας η οποία επιτεύχθηκε από την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης αυτής, η διάγνωση των δυσλειτουργιών που μπορεί να παρουσιάσει ο εξοπλισμός ενός ενεργειακού συστήματος, και ο έλεγχος της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων που διαθέτει το κτίριο.

Οι κύριες κατηγορίες ταξινόμησης των εργαλείων ενεργειακής ανάλυσης, χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο υποκατηγορίες. Οι δύο αυτές υποκατηγορίες έχουν να κάνουν με την ικανότητα των εργαλείων ενεργειακής ανάλυσης να συλλάβουν τη δυναμική συμπεριφορά των ενεργειακών συστημάτων του κτιρίου. Η μία υποκατηγορία είναι της σταθερής προσέγγισης και η άλλη υποκατηγορία είναι της δυναμικής προσέγγισης (Σχήμα 3). Γενικά τα σταθερής προσέγγισης μοντέλα είναι επαρκής για την εποχιακή ή την ετήσια ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ενώ τα δυναμικής προσέγγισης μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη των μεταβατικών φαινομένων που παρουσιάζουν ενεργειακά συστήματα (όπως αυτά που αντιμετωπίζονται σε συστήματα θερμικής αποθήκευσης καθώς και από τον έλεγχο του βέλτιστου χρόνου έναρξης λειτουργίας ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού).



Σχήμα 3: Εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης.

Πλην των προαναφερθέντων μεθόδων υπάρχουν ακόμη και κάποιες άλλες μέθοδοι οι οποίες δεν αποτελούν εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης αλλά προσεγγίσεις αυτής. Αυτές οι μέθοδοι είναι οι αναλογικές και χρησιμεύουν στο να καθορίζουν συγκεκριμένους ενεργειακούς ή οικονομικούς δείκτες του κτιρίου.

Παρακάτω ακολουθεί μια περιγραφή των προαναφερόμενων μεθόδων, οι οποίες είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες τόσο στις Η.Π.Α. όσο και στην Ευρώπη.

A. Αναλογικές μέθοδοι

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι αναλογικές μέθοδοι δεν αποτελούν εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης αλλά αντιθέτως είναι προσεγγίσεις αυτής οι οποίες χρησιμεύουν στο να προσδιορίσουν συγκεκριμένους ενεργειακούς ή οικονομικούς δείκτες ενός κτιρίου. Γενικά αυτοί οι δείκτες έχουν την δυνατότητα να παρέχουν μια επίγνωση για ενδεχόμενα προβλήματα που παρουσιάζει ένα κτίριο, όπως είναι για παράδειγμα οι διαρροές δικτύων διανομής ρευστών, η αναποτελεσματικότητα των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού, η κατάχρηση νερού κ.α. Συγκεκριμένα αυτοί οι δείκτες χρησιμεύουν:

- Στο να προσδιορίσουν εάν ένα κτίριο έχει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και στο να αποτιμήσουν εάν ένας ενεργειακός έλεγχος του κτιρίου θα ήταν ωφέλιμος.
- Στο να αποτιμήσουν εάν ένας προκαθορισμένος στόχος, ο οποίος αφορά την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, έχει επιτευχθεί. Στην περίπτωση που αυτός δεν έχει επιτευχθεί εφαρμόζοντας έναν κατάλληλο ενεργειακό δείκτη μπορεί να καθοριστεί το μέγεθος της ενέργειας που απαιτείται να μειωθεί ώστε να επιτευχθεί τελικά αυτός ο στόχος.
- Στο να εκτιμήσουν ποια θα είναι τα επίπεδα κατανάλωσης για καύσιμα, ηλεκτρισμό και νερό, σε καινούργια κτίρια.
- Στο να παρακολουθούν την εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και να εκτιμήσουν την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα οποιουδήποτε προγράμματος διαχείρισης ενέργειας το οποίο εφαρμόζεται και παρακολουθείται.

Για να μπορέσουν, όμως, να συμβούν αυτές οι εκτιμήσεις θα πρέπει πρώτα να συγκεντρωθούν χιλιάδες δεδομένα από κτίρια και κτιριακές εγκαταστάσεις με κοινά χαρακτηριστικά. Τα δεδομένα αυτά θα περάσουν στη συνέχεια από στατιστικές αναλύσεις ώστε να εξαλειφθούν τυχόν εσφαλμένα ή παράλογα δεδομένα και να εκτιμηθούν οι δείκτες αναφοράς με τους οποίους θα συγκριθούν οι ενεργειακοί ή οι οικονομικοί δείκτες του υπό μελέτη κτιρίου.

Οι δείκτες αυτοί συνίσταται από αριθμητή και παρανομαστή. Συγκεκριμένα οι ενεργειακοί δείκτες χρησιμοποιούν ως αριθμητή μεταβλητές του τύπου “Ολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου (KWh ή MBtu)”, “ Απαιτήση ισχύος (kW)” κ.λπ. ενώ οι οικονομικοί δείκτες χρησιμοποιούν ως αριθμητή μια νομισματική μονάδα. Όσον αφορά τον παρανομαστή, οι μεταβλητές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τους οικονομικούς όσο και για τους ενεργειακούς δείκτες, μπορεί να είναι η επιφάνεια του υπό μελέτη κτιρίου (m^2), η χωρητικότητα του (m^3), οι κάτοικοι-εργαζόμενοι ενός κτιρίου-εργοστασίου, οι μονάδες παραγωγής (σε εργοστάσια), κ.λπ. Οι μεταβλητές αυτές μπορεί να είναι ετήσιες, εποχιακές, μηνιαίες, ακόμη και ημερήσιες.

B. Ανάστροφες μέθοδοι

Όπως επισημάνθηκε και παραπάνω, τα μοντέλα της ανάστροφης προσέγγισης βασίζονται σε υπάρχοντα δεδομένα τα οποία αφορούν την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ώστε να εξάγουν αντιπροσωπευτικές παραμέτρους για το κτίριο ή ακόμη και για τα ενεργειακά του συστήματα. Γενικά οι ανάστροφες μέθοδοι αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου. Συγκεκριμένα οι ανάστροφες μέθοδοι μπορούν να χρησιμεύσουν:

- Στο να εντοπιστούν δυσλειτουργίες σε χρονικές περιόδους ή σε συγκεκριμένα ενεργειακά συστήματα τα οποία παρουσιάζουν αντικανονική-αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση.
- Στο να παρέχουν εκτιμήσεις για το πόση ενέργεια μπορεί να εξοικονομηθεί από την εφαρμογή μιας προκαθορισμένης ομάδας μέτρων βελτίωσης αυτής για κάποιο κτίριο.
- Καθώς και στο να πιστοποιούν την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτεύχθηκε για ένα κτίριο, πάλι από την εφαρμογή μιας προκαθορισμένης ομάδας μέτρων βελτίωσης ενέργειας.

Οι ανάστροφες μέθοδοι χωρίζονται με τη σειρά τους σε σταθερής κατάστασης μέθοδοι και σε δυναμικής κατάστασης μέθοδοι.

i. Σταθερής κατάστασης ανάστροφες μέθοδοι

Οι σταθερής κατάστασης ανάστροφες μέθοδοι χρησιμοποιούνται στο να προσδιορίσουν την σχέση μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου και επιλεγμένων κλιματολογικών παραμέτρων, όπως είναι για παράδειγμα η μέση μηνιαία ή ημερήσια θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος, οι βαθμοημέρες ή οι βαθμοώρες κ.α. Τα κύρια πλεονεκτήματα των ανάστροφων μεθόδων είναι:

- Η απλότητα: δηλαδή μπορούν να σχηματισθούν μοντέλα βασισμένα σε μια μικρή ομάδα δεδομένων (όπως δεδομένα από λογαριασμούς μιας υπηρεσίας ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. ΔΕΗ).
- Η ευρύτητα: δηλαδή έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών ενώ είναι και πολύτιμες στο να προβλέπουν την κατανάλωση θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας για κατοικίες και μικρά εμπορικά καταστήματα.

Παρ' όλα αυτά και αυτές οι μέθοδοι έχουν τους περιορισμούς τους αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη των μεταβατικών φαινομένων, όπως είναι για παράδειγμα οι επιδράσεις των θερμικών μαζών και των εποχιακών αλλαγών στην αποδοτικότητα ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Τέτοιου είδους μέθοδοι είναι κατάλληλες για μακροπρόθεσμη πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης, χρησιμοποιώντας δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί για μια μεγάλη χρονική περίοδο (π.χ. δεδομένα τουλάχιστον μιας εποχής ή ενός έτους), καθώς επίσης για τη μέτρηση και την επιβεβαίωση της εξοικονομημένης ενέργειας η οποία επιτεύχθηκε από την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης ενέργειας του κτιρίου. Ενδεικτικά κάποιες σταθερής κατάστασης ανάστροφες μέθοδοι είναι η ANAGRAM, η PRISM κ.α.

ii. Δυναμικής κατάστασης ανάστροφες μέθοδοι

Οι δυναμικής κατάστασης ανάστροφες μέθοδοι, σε αντίθεση με τις σταθερής κατάστασης ανάστροφες μεθόδους, μπορούν να εφαρμοσθούν για βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης, χρησιμοποιώντας δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί για μια μικρή χρονική περίοδο (π.χ. δεδομένα μιας εβδομάδας).

Η διατύπωση γενικότερα ενός δυναμικής κατάστασης ανάστροφου μοντέλου βασίζεται σ' ένα θερμικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη ομάδα παραμέτρων. Ο προσδιορισμός αυτών των παραμέτρων γίνεται χρησιμοποιώντας συνήθως κάποιας μορφής γραμμική εμπειρική ανάλυση. Κύριο πλεονέκτημα των δυναμικής κατάστασης ανάστροφων μοντέλων είναι η δυνατότητα να προσομοιώνουν πολύπλοκα ενεργειακά συστήματα τα οποία εξαρτώνται από μερικές ανεξάρτητες παραμέτρους. Από την άλλη μειονεκτήματα αυτών των μοντέλων είναι η πολυπλοκότητα τους και η ανάγκη για περισσότερες, λεπτομερείς μετρήσεις ώστε να βαθμονομούνται. Αντίθετα από τα σταθερής κατάστασης ανάστροφα μοντέλα τα δυναμικής κατάστασης ανάστροφα μοντέλα απαιτούν υψηλού βαθμού ανταπόκριση από τον χρήστη καθώς και γνώση του μοντελοποιημένου κτιρίου ή συστήματος.

Γ. Εμπρόσθιες μέθοδοι

Μέθοδοι της εμπρόσθιας προσέγγισης βασίζονται στην φυσική περιγραφή του κτιρίου καθώς και των ενεργειακών συστημάτων που διαθέτει αυτό. Συνήθως τα εμπρόσθια μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο να προσδιορίσουν την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου καθώς και για την πρόβλεψη της εξοικονόμησης ενέργειας η οποία μπορεί να επιτευχθεί από την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης αυτής. Οι εμπρόσθιες μέθοδοι, όπως και οι ανάστροφες, διακρίνονται σε σταθερής κατάστασης εμπρόσθιες μέθοδοι και δυναμικής κατάστασης εμπρόσθιες μέθοδοι.

i. Σταθερής κατάστασης εμπρόσθιες μέθοδοι

Οι σταθερής κατάστασης εμπρόσθιες μέθοδοι είναι γενικά εύκολοι στην χρήση τους αφού οι περισσότεροι υπολογισμοί μπορούν να εκτελεστούν με το χέρι ή ακόμη και μέσω ενός φύλλου υπολογισμού. Διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο τύπους μεθόδων. Στις μεθόδους βαθμοημερών (degree day methods) και στις μεθόδους των διακριτών τιμών (bin methods).

α) Μέθοδοι βαθμοημερών

Οι μέθοδοι βαθμοημερών ενδείκνυνται για την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται ώστε να θερμανθεί ένα κτίριο. Αντιθέτως, αντενδείκνυνται για την ίδια πρόβλεψη στην περίπτωση της ψύξης ενός κτιρίου. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν εποχιακές βαθμοημέρες υπολογισμένες σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία αναφοράς εξωτερικού περιβάλλοντος για να κάνουν την παραπάνω πρόβλεψη. Αναλόγως, δηλαδή, την μεταβολή της θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος υπολογίζεται και το ανάλογο θερμικό ή ψυκτικό φορτίο που απαιτείται από το κτίριο. Οι πιο ευρέως εφαρμοσμένοι είναι η παραδοσιακή μέθοδος βαθμοημερών, όπου ως θερμοκρασία αναφοράς είναι οι 18 °C, και η μέθοδος βαθμοημερών μεταβλητής βάσης, όπου ως θερμοκρασία αναφοράς ορίζεται εκείνη στην οποία το κτίριο είναι θερμικά άνετο για τον ανθρώπινο παράγοντα.

Η μέθοδος βαθμοημερών μεταβλητής βάσης παρέχει καλές προβλέψεις της κατανάλωσης καυσίμου από κτίρια τα οποία καταλαμβάνονται από μεταδιδόμενα

φορτία, ενώ αντενδείκνυται για κτίρια τα οποία καταλαμβάνονται από εσωτερικά φορτία ή για στρατηγικές λειτουργίας συστημάτων θέρμανσης- ψύξης και κλιματισμού.

β) Μέθοδοι των διακριτών τιμών

Οι μέθοδοι των διακριτών τιμών είναι παρόμοιες με την μεταβλητής βάσης μέθοδος βαθμομέρας, μόνο που οι μέθοδοι των διακριτών τιμών βασίζονται σε μεμονωμένα κλιματολογικά δεδομένα για να εκτιμήσουν την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την θέρμανση ή την ψύξη ενός κτιρίου.

Στην κλασσική μέθοδο των διακριτών τιμών (γνωστή και ως μονοδιάστατη μέθοδος) οι θερμοκρασίες ξηρού θερμομέτρου, του εξωτερικού περιβάλλοντος, ομαδοποιούνται ανά μέσο όρο ίδιου μεγέθους - συνήθως των 5° F (π.χ. 5° F, 10° F, 15° F κ.λπ.) - ενώ οι ώρες κατά τις οποίες παρουσιάζεται κάθε μέσος όρος καταγράφονται. Για άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές (π.χ. σημείο δρόσου, σχετική υγρασία κ.α.) μόνο οι μέσες τιμές αυτών οι οποίες συμπίπτουν σε κάποια μέση θερμοκρασία προσδιορίζονται. Τα προκύπτοντα κλιματολογικά δεδομένα από την κλασσική μέθοδο των διακριτών τιμών αναφέρονται ως μονοδιάστατα ενώ εάν αναφέρονται και σε μία δεύτερη μεταβλητή (π.χ. σχετική υγρασία) αναφέρονται ως διδιάστατα.

Η κλασσική μέθοδος των διακριτών τιμών ενδείκνυται για κτίρια τα οποία καταλαμβάνονται από ειδικά θερμικά φορτία (sensible heat loads) και χωρίς αξιοσημείωτες επιδράσεις θερμικών μαζών ενώ αντενδείκνυται να παρέχει ακριβείς προβλέψεις για κτίρια τα οποία καταλαμβάνονται από υψηλά λανθάνοντα θερμικά φορτία. Σε αυτή την περίπτωση, όπου τα κτίρια καταλαμβάνονται από αξιοσημείωτα λανθάνοντα θερμικά φορτία, η ακρίβεια των προβλέψεων μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας διδιάστατα κλιματολογικά δεδομένα.

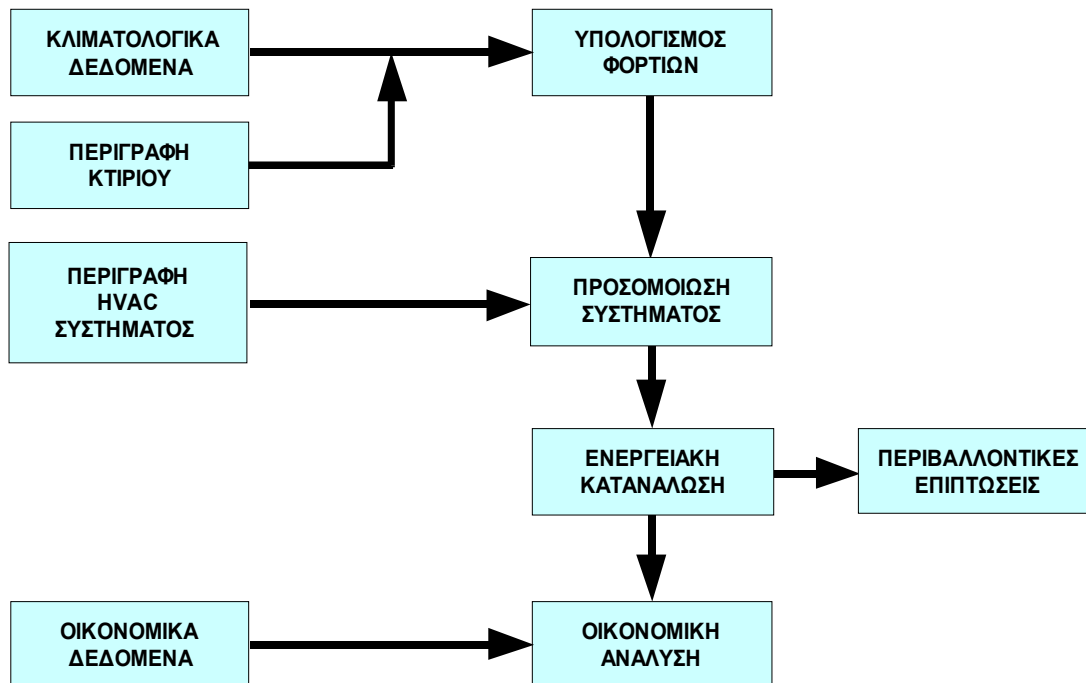
ii. Δυναμικής κατάστασης εμπρόσθιες μέθοδοι

Οι δυναμικές μέθοδοι χρησιμοποιούν αριθμητικές ή αναλυτικές μεθόδους ώστε να προσδιορίσουν την μεταφορά ενέργειας μεταξύ διαφόρων ενεργειακών συστημάτων τα οποία διαθέτει ένα κτίριο. Από αυτές τις μεθόδους συνίστανται και τα περισσότερα λογισμικά ενεργειακής ανάλυσης, με ωριαίους ή υπό-ωριαίους υπολογισμούς για την εκτίμηση των επιδράσεων της θερμικής αδράνειας του κτιρίου, εξαιτίας της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στα τοιχώματα του ή εξαιτίας και του συστήματος θέρμανσης που διαθέτει το κτίριο. Σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των λογισμικών είναι ικανότητά τους να υπολογίζουν κρίσιμες παραμέτρους για την κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια με αξιοσημείωτες θερμικές μάζες, με θερμοστατικούς ελέγχους, με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ή με προβλεπόμενες στρατηγικές ελέγχου.

Λογισμικά υψηλής ανάλυσης απαιτούν αντίστοιχα ειδικούς χρήστες και γενικώς είναι κατάλληλα για μεγάλα κτίρια με πολύπλοκα συστήματα θέρμανσης- ψύξης και κλιματισμού και με στρατηγικές ελέγχου οι οποίες είναι δύσκολες στο να μοντελοποιηθούν από απλά εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης.

Γενικά τα λογισμικά αυτά απαιτούν λεπτομερή περιγραφή του κτιρίου (όπως το σχήμα του, τα υλικά κατασκευής του, τον εξοπλισμό του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού από το οποίο συνοδεύεται, τα άτομα τα οποία το καταλαμβάνουν κ.λπ. – Σχήμα 4), ενώ οι υπολογισμοί των θερμικών φορτίων βασίζονται σ' ένα μεγάλο εύρος αλγορίθμων αναλόγως την πολυπλοκότητα και την προσαρμοστικότητα του λογισμικού. Επιπλέον, για να πραγματοποιηθεί μία επαρκής εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας θα πρέπει πρώτα τα λογισμικά αυτά να βαθμονομηθούν από υπάρχοντα δεδομένα (όπως δεδομένα από λογαριασμούς μιας υπηρεσίας ηλεκτρικής ενέργειας).

Για την επιλογή του κατάλληλου λογισμικού ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να είναι ενημερωμένος με τις ικανότητές αυτού. Κάποια από τα ευρέως γνωστά λογισμικά είναι το DOE -2, το BLAST, το HAP, το TRNSYS και το EnergyPlus.



Σχήμα 4: Λεπτομερής περιγραφή κτιρίου.

Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus

2.1. Τι είναι το EnergyPlus και από πού προήλθε;

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης το οποίο αναλύει ενεργειακά τον κτιριακό χώρο. Εξαρτώμενο από τον χρήστη του στην αναλυτική και φυσική περιγραφή του κτιρίου, του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που αυτό διαθέτει καθώς και των κλιματολογικών συνθηκών που περιβάλλουν το ίδιο το κτίριο, το EnergyPlus θα υπολογίσει την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου καθώς επίσης τα θερμικά και ψυκτικά φορτία τα οποία απαιτούνται ώστε να καλυφθούν οι θερμικές και ψυκτικές του απαιτήσεις. Επιπλέον, θα υπολογίσει και άλλες παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητες για να επιβεβαιώσουν ό,τι η προσομοίωση ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, δηλαδή το πως ένα αληθινό κτίριο θα συμπεριφερόταν υπό πραγματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα τα οποία παράγει αποτελούν για τον χρήστη του λογισμικού αυτού μία αξιόλογη συμβουλή, όσον αφορά τις αποφάσεις που θα πάρει, ώστε να βελτιώσει ενεργειακά έναν κτιριακό χώρο αποτρέποντας την άσκοπη σπατάλη ενέργειας γι' αυτόν.

Το EnergyPlus έχει τις "ρίζες" του στα λογισμικά BLAST (Building Loads and System Thermodynamics) και DOE-2 (Department Of Energy-2), που κατασκευάστηκαν και απελευθερώθηκαν στην αγορά από τα τέλη της δεκαετίας του '70 με αρχές της δεκαετίας του '80 ως εργαλεία ενεργειακής ανάλυσης. Το κοινό στο οποίο απευθύνονται είναι κυρίως ενεργειακοί μηχανικοί και αρχιτέκτονες οι οποίοι επιθυμούν να προσαρμόσουν κατάλληλα, συστήματα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (HVAC systems-Heating Ventilation and Air Condition Systems), να εκτιμήσουν το κόστος κύκλου ζωής ενός κτιρίου, να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση αυτού, κ.λπ. Γενικά είναι πολλά τα χαρακτηριστικά τα οποία το EnergyPlus έχει κληρονομήσει από τα προγράμματα BLAST και DOE-2.

Παρακάτω ακολουθεί μία λίστα με τα χαρακτηριστικά της πρώτης έκδοσης του Energy Plus. Η λίστα αυτή σκοπεύει να δώσει στον αναγνώστη μια ιδέα για την ακρίβεια και την εφαρμοσιμότητα του Energy Plus σε διάφορες καταστάσεις προσομοίωσης.

- Η ολοκληρωμένη προσομοίωση. Δηλαδή τα τρία κύρια μέρη της προσομοίωσης, το κτίριο, το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και οι μηχανολογικές του εγκαταστάσεις, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αποδίδοντας έτσι ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα. Η προσομοίωση μπορεί να επαναληφθεί, εάν κριθεί απαραίτητο, από το πρόγραμμα.
- Τα χρονικά βήματα (timesteps), καθορισμένα από τον χρήστη, σχετικά με την αλληλεπίδραση των θερμικών ζωνών¹ του κτιρίου με το περιβάλλον, και τα μεταβαλλόμενα από το EnergyPlus χρονικά βήματα τα οποία καθορίζουν την αλληλεπίδραση των θερμικών ζωνών με τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (η τελευταία διαδικασία πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό ώστε να επιτευχθεί μια σταθερότητα στους υπολογισμούς).
- Η μορφή ASCII σε αρχεία κλιματολογικών, εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων τα οποία περιέχουν περιβαλλοντικούς παράγοντες σε ωριαία και υποωριαία χρονική κλίμακα, καθώς και σε αναφορές οι οποίες είτε είναι βασικές είτε έχουν οριστεί από τον χρήστη.
- Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων από ακτινοβολία ή και μεταφορά θερμότητας, που επικρατούν στις διάφορες θερμικές ζώνες του κτιρίου μεταξύ

¹Ο όρος "θερμική ζώνη" είναι θερμική έννοια και αναφέρεται στον όγκο του αέρα ο οποίος βρίσκεται σε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία, μαζί με τις επιφάνειες που τον περικλείουν ή και περικλείονται από αυτόν, έχοντας την δυνατότητα να μεταφέρουν και να αποθηκεύουν θερμότητα.

Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus

των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου χρησιμοποιώντας μια τεχνική επίλυσης βασισμένη στην θερμική ισορροπία.

- Οι συναρτήσεις θερμικής αγωγιμότητας για τον υπολογισμό αυτής στα διάφορα μέρη του κτιρίου (δηλαδή σε τοίχους, τζάμια, ορόφους, πατώματα κ.α.).
- Το βελτιωμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας μέσω εδάφους, βασισμένο σε απλές αναλυτικές τεχνικές και τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους.
- Το συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό της απορρόφησης-αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα επιφάνειας του κτιρίου, μέσω των συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή του μοντέλου EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model). Το μοντέλο EMPD αποτελεί μία συσσωρευμένη προσέγγιση (lumped approach) για την προσομοίωση της απορρόφησης-αποβολής υγρασίας από κάθε επιφάνεια σώματος (έπιπλα, τοιχοποιίες κ.λπ.). Το μοντέλο αυτό υποθέτει ότι κάθε σώμα περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα το οποίο αντιπροσωπεύει τη συνολική υγρασία που περιέχει το σώμα, συμπεριφέρεται δυναμικά και ανταλλάσσει υγρασία με τον αέρα.
- Μοντέλα θερμικής άνεσης βασισμένα στη θερμοκρασία, την υγρασία, την ανθρώπινη δραστηριότητα μέσα στο κτίριο κ.λπ.
- Το μοντέλο ανισοτροπικής εκπομπής για τον υπολογισμό της διάχυσης της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει πάνω στις επιφάνειες του κτιρίου.
- Οι υπολογισμοί που αφορούν τα ανοίγματα που υπάρχουν στις επιφάνειες του κτιρίου (όπως παράθυρα και φεγγίτες), για το μέγεθος, τον τύπο υαλοπίνακα που αυτές διαθέτουν και για τυχόν επιφάνειες σκίασης (είτε τεχνητές, είτε φυσικές) με τις οποίες τα ανοίγματα συνοδεύονται.
- Οι έλεγχοι του ηλεκτρικού φωτισμού στο κτίριο, βασισμένοι στον υπολογισμό της ημερήσιας ηλιακής φωτεινότητας και τους παράγοντες που την επηρεάζουν (π.χ. καιρικές συνθήκες, σκιάσεις από γειτονικά κτίρια, γωνία ύψους του ήλιου κ.λπ.). Επίσης, το πως επιδρά η μείωση του ηλεκτρικού φωτισμού στα ψυκτικά και θερμικά φορτία του κτιρίου.
- Ο σχηματισμός διάταξης των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (συμβατικά και ακτινωτά), τα οποία δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να μοντελοποιήσει τυπικές διατάξεις τέτοιων συστημάτων ή να μοντελοποιήσει ελαφρώς διαφορετικές διατάξεις χωρίς να χρειαστεί να ανασυνθέτει τον κώδικα του προγράμματος.
- Οι υπολογισμοί που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση οι οποίοι προβλέπουν τις εκπομπές αέριων ρύπων (δηλαδή CO_x, SO_x, NO_x, HC_s, σωματιδιακής ύλης κ.λπ.) λόγω της μετατροπής της ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη για να μπορέσει να καταναλωθεί από το κτίριο ή το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που το κτίριο διαθέτει.
- Η δυνατότητα συνεργασίας με άλλα λογισμικά προσομοίωσης, όπως τα WINDOW5, DElight, και SPARK, για περισσότερη ανάλυση των διαφόρων στοιχείων που το κτίριο διαθέτει.

Κανένα πρόγραμμα δεν είναι ικανό να χειρίζεται την προσομοίωση οποιασδήποτε κατάστασης. Ωστόσο, είναι η πρόθεση του EnergyPlus να χειρίζεται όσο το δυνατόν περισσότερες επιλογές, είτε άμεσα είτε έμμεσα μέσω συνεργασίας άλλων προγραμμάτων, για τον υπολογισμό των φορτίων ή και της ενεργειακής κατανάλωσης,

τόσο για μία μέρα όσο και για μια μακροπρόθεσμη χρονική περίοδο. Αν και οι πρόσφατες εκδόσεις του EnergyPlus αναφέρονται στα παραπάνω χαρακτηριστικά τα οποία είναι κυρίως συνδεδεμένα με τις θερμικές έννοιες του κτιρίου, στο μέλλον οι επόμενες εκδόσεις του EnergyPlus θα περιέχουν επιπρόσθετα χαρακτηριστικά για το κτίριο, όπως συστήματα ηλεκτρισμού, συστήματα νερού κ.λπ.

Αν και είναι σημαντικό να κατανοηθεί τι είναι το EnergyPlus, είναι επίσης σημαντικό να κατανοηθεί και τι δεν είναι αυτό.

- Το EnergyPlus δεν αποτελεί περιβάλλον διεπαφής χρήστη (user interface). Αντιθέτως αποτελεί μια μηχανή προσομοίωσης γύρω από την οποία ένα τέτοιο περιβάλλον θα συνεργασθεί μαζί της για να υπάρχει η επικοινωνία χρήστη-μηχανής. Αν και τα δεδομένα που δέχεται και παράγει βρίσκονται σε μορφή ASCII, η οποία όμως είναι αποκρυπτογραφημένη και επομένως κατανοητή από τον χρήστη, είναι καλύτερα η διαχείριση αυτών να γίνεται μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI-Graphical User Interface). Επομένως, αυτή η προσέγγιση μέσω ενός GUI δίνει την δυνατότητα στον επαγγελματία χρήστη να εκμεταλλευτεί τους πόρους του προγράμματος και να τους συνθέτει όπως θέλει αυτός προσαρμόζοντας έτσι το πρόγραμμα στα "μέτρα του" και γενικότερα στις απαιτήσεις του.
- Το EnergyPlus δεν είναι εργαλείο ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής. Παράγει όμως αποτελέσματα τα οποία μπορούν να διοχετευτούν σε προγράμματα όπου ασχολούνται με την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής και αποκρίνονται πιο γρήγορα στις αλλαγές του ρυθμού και τις μεθοδολογίας τις οποίες θέτει μια υπηρεσία ενός κράτους, μια ομοσπονδία κ.λπ.
- Και τέλος, το EnergyPlus δεν αντικαθιστά τον αρχιτέκτονα ή τον μηχανικό. Δεν ελέγχει εάν τα δεδομένα, κατά της διάρκειας εισαγωγής αυτών, πληρούν κάποιες προϋποθέσεις ή βρίσκονται ανάμεσα σε κάποια όρια, και γενικότερα δεν ελέγχει τον ορθό τρόπο εισαγωγής αυτών. Αν και μερικά προγράμματα υποδεικνύουν στον χρήστη πώς θα εισάγει τα δεδομένα ή για τυχόν λάθη που κάνει κατά τη διάρκεια εισαγωγής αυτών, το EnergyPlus είναι της φιλοσοφίας "ότι δώσεις θα πάρεις". Οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί θα αποτελούν αξιόλογους συντελεστές σε κάθε διαδικασία μοντελοποίησης.

2.2. Τα προτερήματα του EnergyPlus

Η ύπαρξη του EnergyPlus συνδέεται με μερικά από τα ολοένα αυξανόμενα εμφανή ελαττώματα των λογισμικών BLAST και DOE-2. Παρόλο που και τα δύο αυτά προγράμματα θεωρούνται ισχυρά εργαλεία τα οποία και συνεχίζουν να βρίσκουν εφαρμογή, άρχισαν να εμφανίζουν σημάδια "γήρανσης" από μέρους τους.

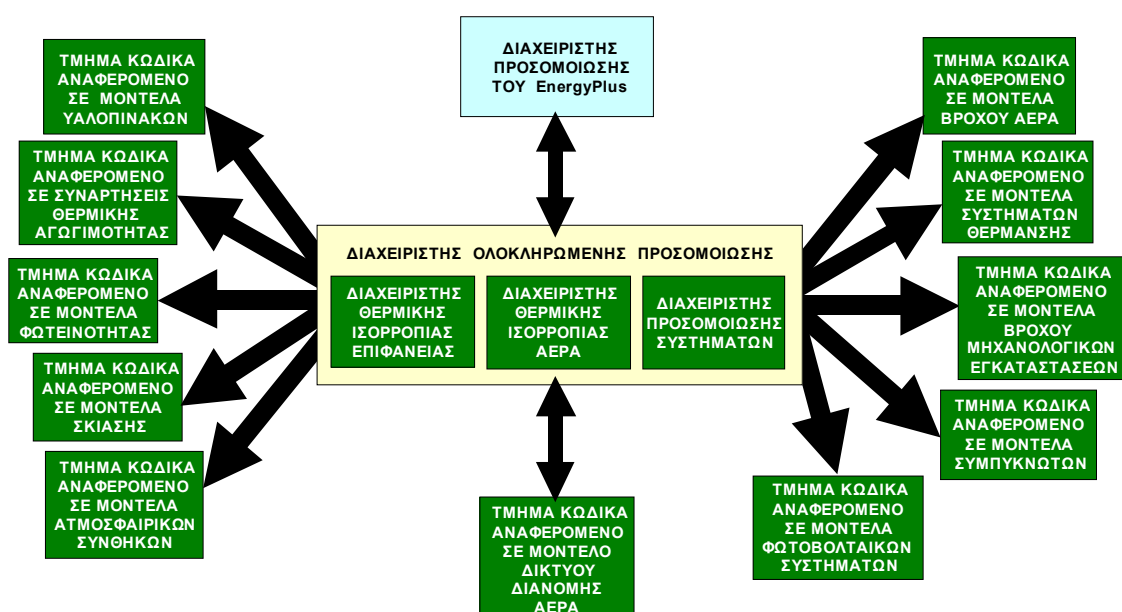
Τα δύο προγράμματα BLAST και DOE-2 έχουν γραφτεί σε παλιά έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου FORTRAN (FORmula TRANslation) και επομένως τα χαρακτηριστικά αυτής της γλώσσας θεωρούνται πλέον ξεπερασμένα από τους νέους μεταγλωττιστές. Επίσης, περιέχουν σημαντική ποσότητα από κώδικα "σπαγγέτι" ενώ και η δομή του κώδικα τους θεωρείται ξεπερασμένη καθιστώντας τον δύσκολο στο να διατηρηθεί, να ενισχυθεί και να εξελιχθεί. Επιπλέον, ούτε το BLAST ούτε το DOE-2 είναι ικανά να προσομοιώσουν την αλληλεπίδραση μεταξύ συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Τέλος, η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού έχει καταστήσει τις ομάδες υποστήριξης και ανάπτυξης αυτών των

προγραμμάτων ανίκανες να τα κρατήσουν βιώσιμα και εν ενεργεία. Αυτή βασικά είναι και η κυρίως αιτία της ύπαρξης του EnergyPlus. Δηλαδή δεν υπάρχουν αρκετοί ερευνητές οι οποίοι να έχουν την εμπειρία με τον σύνθετο κώδικα των προγραμμάτων έτσι ώστε να τα διατηρήσουν στους ρυθμούς της νέας τεχνολογίας. Και εκτός αυτού θα ήταν τρομερά δαπανηρή και χάσιμο χρόνου η διαδικασία της εκμάθησης του πολύπλοκου αυτού κώδικα από ένα ή περισσότερα φυσικά πρόσωπα ώστε να μπορέσουν να κάνουν τις μετατροπές που απαιτούν και τα δύο προγράμματα.

Τα προτερήματα που δόθηκαν στο EnergyPlus ώστε να λύσουν τα προβλήματα που εμφάνισαν οι προκάτοχοί του, ήταν τα εξής: η δομή, η τμηματικότητα, οι εγκατεστημένοι σύνδεσμοι, η ολοκληρωμένη προσομοίωση και ο ανοιχτός πηγαίος κώδικας. Αμέσως παρακάτω ακολουθεί μία αναφορά σε αυτά τα προτερήματα.

ι. Η δομή του EnergyPlus

Ο κώδικας "σπαγγέτι" των BLAST και DOE-2 οδήγησε σε μεγάλη σύγχυση της κατανόησης του τρόπου με τον οποίο τα δεδομένα διοχετεύονται μέσα στο κάθε πρόγραμμα, όταν δηλαδή τα δεδομένα είναι διαμορφωμένα ή όταν πρέπει να διαμορφωθούν και τι συμβαίνει σε αυτές τις περιπτώσεις. Έτσι λοιπόν ένας από τους στόχους για την ανάπτυξη του EnergyPlus ήταν να εξαλειφθούν οι αλληλοσυνδέσεις μεταξύ διαφόρων τμημάτων του προγράμματος καθώς επίσης να εξαληφθεί και η ανάγκη κατανόησης ολόκληρου του κώδικα του μόνο και μόνο για την προσθήκη επιπλέον στοιχείων σ' ένα μέρος του προγράμματος. Αυτός ο στόχος επιτεύχθηκε μέσω της δομής του EnergyPlus η οποία ενεργεί ως διαχειριστής (Σχήμα 5), αποτελούμενη από πολλά τμήματα κώδικα (modules). Αντί, λοιπόν, το κάθε τμήμα κώδικα χαμηλού επιπέδου προσομοίωσης να διεισδύει στο υψηλότερο επίπεδο της προσομοίωσης, το κάθε τμήμα ασκεί έλεγχο στον εαυτό του όταν κληθούν κάποια στοιχεία από αυτό. Αυτή η δομή μοιάζει σαν ένα οργανόγραμμα όπου η διαχείριση των στελεχών γίνεται ιεραρχικά ξεκινώντας από ψηλά από τον γενικό εκτελεστικό διευθυντή.



Σχήμα 5: Σχηματική απεικόνιση της δομής του EnergyPlus.

Στο EnergyPlus η υπορουτίνα ManageSimulation αναλαμβάνει αυτόν τον ρόλο του γενικού εκτελεστικού διευθυντή. Αυτή ελέγχει τέσσερις από τους πέντε βρόχους της προσομοίωσης οι οποίοι είναι: το περιβάλλον, η ημέρα, η ώρα και τα χρονικά υποωριαία βήματα που έχει θέσει ο χρήστης (ο πέμπτος παράγοντας είναι τα χρονικά υποωριαία βήματα του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού τα οποία θέτει ο HVAC διαχειριστής). Επιπροσθέτως, η συγκεκριμένη υπορουτίνα θέτει "σημάδια" τα οποία χρησιμοποιούνται από άλλες υπορουτίνες και τα υπόλοιπα επιμέρους τμήματα κώδικα, ώστε να προσδιορίσουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η προσομοίωση και ούτως ώστε κάθε μέρος του προγράμματος να γνωρίζει εάν πρέπει να "διαβάσει" τα δεδομένα, να προσομοιώσει, να αναφέρει τα αποτελέσματα κ.λπ. Η φιλοσοφία της διαχείρισης κάνει την συνεργασία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων κώδικα του προγράμματος πιο απλή και κατανοητή.

Τυπικά η κλήση κάθε επιμέρους τμήματος κώδικα γίνεται μέσω της υπορουτίνας του διαχειριστή τους. Έτσι, δεν υπάρχει πια η ανησυχία των απρόσμενων και κρυμμένων διασυνδέσεων μεταξύ υπορουτίνων σε διάφορα σημεία του προγράμματος.

ii. Η τμηματικότητα (Modularity).

Ένα από τα χαρακτηριστικά προσόντα της βελτιωμένης δομής του EnergyPlus έναντι των προκατόχων του, είναι πως ο κώδικας του είναι αντικειμενοστρεφής (αντικειμενοστρεφής προγραμματισμός) και τμηματικός. Αυτό το προσόν παρέχει την δυνατότητα προσθήκης επιπλέον χαρακτηριστικών στο EnergyPlus καθώς και συνδέσμων (links) στα διάφορα τμήματα του προγράμματος.

Η γλώσσα προγραμματισμού που επιλέχθηκε για την κατασκευή του EnergyPlus ήταν η FORTRAN 90/95 και αυτό επειδή:

- Είναι μία γλώσσα με καλούς μεταγλωττιστές, ενώ υποστηρίζει την τμηματικότητα.
- Έχει τη δυνατότητα να συνδυαστεί με τη γλώσσα προγραμματισμού C.
- Παρέχει μια δομή η οποία πρωταρχικά βασίζεται στο αντικείμενο το οποίο αυτή περιγράφει.
- Επιτρέπει μεγάλες, σε έκταση, ονομασίες μεταβλητών (μέχρι και 32 χαρακτήρες)
- Και τέλος, παρέχει συμβατότητα με τον κώδικα των BLAST και DOE-2 + η οποία βοηθά στην περαιτέρω ανάπτυξη του EnergyPlus.

"Το κλειδί" στον τμηματικό προγραμματισμό είναι ότι κάθε προγραμματιστής μπορεί να κατασκευάσει το δικό του τμήμα-κώδικα παράλληλα με έναν άλλο χωρίς να χρειάζεται να παρεμβαίνει ο ένας στο τμήμα-κώδικα του άλλου. Επιπλέον, δεν χρειάζεται να έχουν μεγάλη γνώση της δομής του προγράμματος. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι κρίσιμο για την ευρεία χρήση και ανάπτυξη των μοντέλων των προγραμμάτων γενικά. Το EnergyPlus θα έχει επιτυχία μόνο εάν ο αριθμός των κατασκευαστών μοντέλων αυξηθεί, ούτως ώστε οικονομικοί και ερευνητικοί παράγοντες να τους οδηγήσουν στην προσθήκη επιπλέον μοντέλων σε αυτό. Επομένως η τμηματικότητα και η βελτιωμένη δομή του EnergyPlus λύνει το πρόβλημα της ανεπάρκειας ειδικών για να συνεχίσουν με τους ρυθμούς της τεχνολογίας. Δεν υπάρχει χάσιμο χρόνου ούτε χρειάζεται καμία δαπάνη για να μάθει κάποιος όλο τον

κώδικα του EnergyPlus ώστε να μπορέσει να κάνει επιπλέον προσθήκες σε αυτόν, αν χρειαστεί.

iii. Οι εγκατεστημένοι σύνδεσμοι (Links).

Η τμηματικότητα του EnergyPlus παρέχει την δυνατότητα προσθήκης επιπλέον τμημάτων κώδικα. Με άλλα λόγια παρέχει συνδέσμους (links).

Υπάρχουν πολλά σημεία μέσα στο HVAC τμήμα κώδικα όπου μπορούν να εγκατασταθούν σύνδεσμοι, όπως και στον κώδικα που αναφέρεται στην ισορροπία θερμότητας και μάζας. Μάλιστα ο κώδικας της θερμικής ισορροπίας παρέχει συνδέσμους οι οποίοι απευθύνονται σε τμήματα τα οποία μπορεί να είναι μη αντικειμενοστρεφή ή και πολύπλοκα ακόμη. Και εδώ ως κύριο μέλημα εμφανίζεται η αύξηση του αριθμού των κατασκευαστών μοντέλων οι οποίοι θα μπορούν να συνεισφέρουν στην ολοκλήρωση του EnergyPlus προσφέροντας το ελάχιστο δυνατό. Στο σχήμα 6 απεικονίζεται η γενική ιδέα του EnergyPlus.



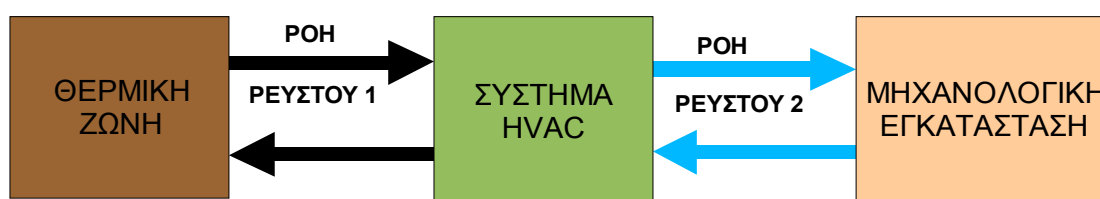
Σχήμα 6: Η γενική ιδέα του EnergyPlus.

iv. Η ολοκληρωμένη προσομοίωση.

Ένα από τα δυνατά σημεία του EnergyPlus είναι η ολοκληρωμένη προσομοίωση την οποία διαθέτει, βασισμένη στο πρόγραμμα IBLAST (Integrated Building Loads Analysis and System Thermodynamics). Δηλαδή τα κύρια μέρη της προσομοίωσης, κτίριο, σύστημα, και μηχανολογική εγκατάσταση, αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα μεταξύ τους σε

κάθε υποωριαίο χρονικό βήμα (sub-hourly time step) το οποίο έχει θέσει ο χρήστης, σε συνδυασμό με κάθε υποωριαίο χρονικό βήμα το οποίο θέτει ο HVAC διαχειριστής.

Πιο συγκεκριμένα η θερμική κατάσταση στην οποία θα βρεθεί μία ελεγχόμενη θερμική ζώνη καθορίζει τα θερμικά ή και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται. Αυτή η πληροφορία διοχετεύεται με τη σειρά της στο σύστημα το οποίο θα ανταποκριθεί τόσο το ίδιο όσο και η μηχανολογική εγκατάσταση με την οποία συνοδεύεται αυτό (Σχήμα 7). Αυτή η ανταπόκριση με τη σειρά της θα εφαρμοστεί στην θερμική ζώνη με συνέπεια την αλλαγή της κατάστασης αυτής στο επιθυμητό επίπεδο. Επομένως η όλη αυτή διαδικασία καταλήγει σε μια ενημέρωση της θερμικής ζώνης για την προκύπτουσα κατάσταση αυτής.



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση της ολοκληρωμένης προσομοίωσης.

v. Ο "ανοιχτός" πηγαίος κώδικας.

Αυτό το χαρακτηριστικό το οποίο διαθέτουν επίσης τα προγράμματα BLAST και DOE-2, είναι σπουδαίο πλεονέκτημα για το EnergyPlus. Το πρόγραμμα δεν σκοπεύει να είναι ένα "μαύρο κουτί" το οποίο θα είναι ακατανόητο για τους χρήστες και τους προκύπτοντες προγραμματιστές του. Αυτή η πρόσβαση στον κώδικα βοηθά το EnergyPlus στο να γίνει πιο χρήσιμο και να διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια στους τομείς με τους οποίους ασχολείται. Ενώ τέλος θα το διατηρήσει ενεργό στην εξέλιξη της τεχνολογίας.

Συνοψίζοντας θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το EnergyPlus στοχεύει στο να είναι απλό τόσο από τη μεριά του χρήστη όσο και από τη μεριά του προγραμματιστή. Οι κατασκευαστές του πραγματοποίησαν τρομερές προσπάθειες για να κρατήσουν τον κώδικα και τους αλγόριθμους του όσο το δυνατόν πιο ξεχωριστά και όσο το δυνατόν πιο τμηματικά.

Το ταίριασμα του κτιρίου με το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού και τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις, παρέχει μια ξεκάθαρη ιδέα ως προς τον τρόπο ανταπόκρισης του κτιρίου όχι μόνο από την άποψη των περιβαλλοντικών παραγόντων αλλά και από την άποψη του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού το οποίο θα προσπαθήσει να καλύψει τις θερμικές ή και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου ανάλογα.

Θα πρέπει να τονιστεί, βέβαια, και το γεγονός της σωρείας των δοκιμασιών κάτω από τις οποίες τέθηκε το EnergyPlus για να επιβεβαιώσουν οι κατασκευαστές του την ορθότητα αυτού και να του προσάψουν μεγάλη εμπιστοσύνη.

2.3. Κατηγορίες δεδομένων – αποτελεσμάτων

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται και περιγράφονται συνοπτικά οι διάφορες κατηγορίες δεδομένων που μπορεί να δεχτεί το λογισμικό Energy Plus προς επεξεργασία. Κάθε κατηγορία διαθέτει μία λίστα από διαθέσιμα αντικείμενα. Ο χρήστης θα επιλέξει από τις διάφορες κατηγορίες τα κατάλληλα αντικείμενα και θα τα περιγράψει. Μέσω αυτής της περιγραφής ο χρήστης περιγράφει το κτίριο (διαστάσεις, δομή, ενεργειακά συστήματα κ.λπ.) που πρόκειται να μοντελοποιηθεί ενώ θα ασκήσει και έλεγχο και στην διαδικασία της μοντελοποίησης και στην παρουσία αποτελεσμάτων που επιθυμεί να δει μετά το πέρας αυτής.

Επίσης, σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται και περιγράφονται συνοπτικά οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται τα αποτελέσματα τα οποία παράγονται μετά το τέλος μίας μοντελοποίησης.

2.3.1. Κατηγορίες δεδομένων

Αναφορικά με τις κατηγορίες δεδομένων από τις οποίες ο χρήστης θα κάνει τις επιλογές του, αυτές είναι οι εξής:

- **Simulation parameters:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει διάφορες παραμέτρους (π.χ. αλγόριθμους, τραχύτητα του εδάφους, προσανατολισμός κτιρίου κ.λπ.) οι οποίες επηρεάζουν την διαδικασία της μοντελοποίησης.
- **Location-Climate-Weather File Access:** Μέσω αυτής της κατηγορίας ο χρήστης θα ασκήσει έλεγχο στις περιβάλλουσες συνθήκες του κτιρίου - η κατηγορία αυτή συνδέεται με το αρχείο κλιματολογικών δεδομένων το οποίο και θα επισημανθεί παρακάτω.
- **Surface construction Elements:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τα δομικά στοιχεία (π.χ. υαλοπίνακες, δομικά υλικά κ.λπ.) που συνθέτουν το κτίριο.
- **Thermal Zone Description/Geometry:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τις διαστάσεις κάθε επιφάνειας του κτιρίου, την δομή αυτής, τον προσανατολισμό της και γενικότερα τις διαστάσεις όλου του κτιρίου.
- **Advanced surface Concepts:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει τις περιβάλλουσες συνθήκες κάθε επιφάνειας του κτιρίου.
- **RoomAir Models:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα επιλέξει κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του αέρα σε κάποια ζώνη, στην περίπτωση που αυτή είναι ανομοιομορφη (λόγω π.χ. ενδοδαπέδιας θέρμανσης κ.λπ.).
- **Schedules:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα συντάξει χρονοδιαγράμματα για τα περισσότερα αντικείμενα που θα επιλέξει (όπως π.χ. το πώς θα μεταβάλλεται η ωριαία μεταβολή θερμοκρασίας από έναν θερμοστάτη κατά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, το πώς θα μεταβάλλεται η ενεργειακή κατανάλωση του ηλεκτροφωτισμού κ.λπ.).
- **Internal Gains:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει διάφορους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τα εσωτερικά θερμικά κέρδη ενός κτιρίου (π.χ. ηλεκτρικός εξοπλισμός, ανθρώπινη δραστηριότητα κ.λπ.).

Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus

- **ExteriorEnergyUse Equipment:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει αντικείμενα τα οποία καταναλώνουν ενέργεια ενώ βρίσκονται έξω από το κτίριο και δεν επηρεάζουν θερμικά κάποια ζώνη (π.χ. εξωτερικός φωτισμός κ.λπ.).
- **Daylighting:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει τον έλεγχο που θα ασκηθεί στα επίπεδα ηλεκτροφωτισμού κάποιας ζώνης αναλόγως τα επίπεδα της ηλιακής φωτεινότητας.
- **AirFlow:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον φυσικό τρόπο αερισμού κάποιας ζώνης (π.χ. με ανοιχτά παράθυρα κ.λπ.).
- **Design Object:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να αυτοματοποιήσει μερικούς υπολογισμούς για συγκεκριμένα δεδομένα που του λείπουν.
- **Performance Curves:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει πολυωνυμικές εξισώσεις η οποίες περιγράφουν το πώς μεταβάλλεται η απόδοση διαφόρων εξαρτημάτων, από τα οποία απαρτίζεται ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού (όπως π.χ. θερμοσυσσωρευτές), σε συνάρτηση με κάποιες μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία, ροή ρευστού κ.λπ.).
- **Node-Branch Management:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τα κομβικά σημεία για την σύνθεση ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού καθώς και τις διακλαδώσεις αυτού.
- **Plant-Condenser Loops:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει την μηχανολογική εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Plant-Condenser Flow Control:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο διανέμονται τα ρευστά που περιέχει το κλειστό κύκλωμα (ο βρόχος δηλαδή) της μηχανολογικής εγκατάστασης.
- **Air Distribution:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει την διαδρομή του αέρα ο οποίος διανέμεται από ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού σε κάποια ζώνη και επιστρέφει πάλι πίσω στο σύστημα.
- **Airflow Network System:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τον μηχανικό τρόπο αερισμού κάποιας ζώνης (π.χ. με κάποιον ανεμιστήρα) σε συνδυασμό με ή χωρίς φυσικό τρόπο.
- **System Availability Managers:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ασκήσει έλεγχο στην λειτουργία ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Set Point Managers:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ασκήσει έλεγχο στην λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού - αυτή η κατηγορία συνδέεται με την κατηγορία Controllers.
- **Controllers:** Η κατηγορία αυτή συνδυάζεται με την κατηγορία Set Point Managers ώστε ο χρήστης να ασκήσει έλεγχο στην λειτουργία της μηχανολογικής εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Zone Equipment:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα ορίσει το μέρος του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού το οποίο συνδέεται μέσω μιας συγκεκριμένης διαδρομής σε κάποια θερμική ζώνη καθώς και τα εξαρτήματα από τα οποία απαρτίζεται.

Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus

- **Zone Forced Air Units, Unitary Equipment, Air Distribution Equipment, Radiative/Convective Units:** Από τις κατηγορίες αυτές ο χρήστης θα περιγράψει το μέρος του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που όρισε στην κατηγορία Zone Equipment.
- **Refrigeration:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει το σύστημα ψύξης που μπορεί να διαθέτει το κτίριο.
- **Zone Controls and Thermostats:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον θερμοστατικό ή και υγροστατικό έλεγχο που θα ασκηθεί σε κάποια συγκεκριμένη ζώνη.
- **Air Path:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει την διαδρομή που διανύει ο αέρας όταν διανέμεται μέσω του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού σε κάθε θερμική ζώνη και επιστρέφει πάλι πίσω στο σύστημα.
- **None-Zone Equipment:** Την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να την χρησιμοποιήσει ώστε να διαπιστώσει τις αποδόσεις που παρουσιάζουν διάφορες μηχανολογικές διατάξεις.
- **Solar Collectors:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τον τύπο του ηλιακού θερμοσίφωνα που διαθέτει το κτίριο.
- **Plant Equipment, Condenser Equipment:** Από τις κατηγορίες αυτές ο χρήστης θα περιγράψει τα εξαρτήματα που συνθέτουν μία μηχανολογική εγκατάσταση (π.χ. πύργους ψύξης, συμπυκνωτές κ.λπ.)
- **Water Heaters:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει κάποιον τύπο δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού.
- **Pumps:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον τύπο αντλίας που διαθέτει μία μηχανολογική εγκατάσταση.
- **Coils:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τους θερμοσυσσωρευτές που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Fans:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον ανεμιστήρα που διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Evaporative Coolers:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει ένα σύστημα ψύξης που μπορεί να διαθέτει το κτίριο – διαφορετικό από αυτό της κατηγορίας Refrigeration.
- **Humidifiers:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον υγραντήρα που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Desiccant Dehumidifiers:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον αφυγραντήρα που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Heat Recovery:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τον εναλλάκτη θερμότητας που μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- **Demand Limiting Controls:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει έναν έλεγχο στις ενεργειακές απαιτήσεις που έχει το κτίριο για κάποια συγκεκριμένη περίοδο - όπως π.χ. σε περιόδους αιχμής.
- **Electric Load Center Generators-Specifications:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει συστήματα τα οποία παράγουν ενέργεια (όπως π.χ. φωτοβολταϊκά συστήματα κ.λπ.).

Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus

- **Fluid Properties:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα περιγράψει τις ιδιότητες που μπορεί να έχει κάποιο υγρό το οποίο χρησιμοποιείται από κάποια μηχανολογική εγκατάσταση ή και από κάποιο σύστημα ψύξης (π.χ. κάποιο αντιψυκτικό υγρό κ.λπ.).
- **Compact HVAC:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να βοηθηθεί στο λάβει μια πλήρης σύνθεση ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού, μετά το πέρας της μοντελοποίησης, εισάγοντας ελάχιστα δεδομένα.
- **Economics:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης μπορεί να περιγράψει διάφορα οικονομικά στοιχεία τα οποία αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (όπως π.χ. το κόστος μίας κιλοβατώρας, το πάγιο που θέτει μία επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.).
- **Report:** Από την κατηγορία αυτή ο χρήστης θα επιλέξει το είδος των αποτελεσμάτων που επιθυμεί να δει μετά το τέλος της μοντελοποίησης και την χρονική συχνότητα την οποία θα εμφανίζονται (π.χ. σε ωριαία βάση, σε μηνιαία βάση κ.λπ.). Η διαθέσιμες επιλογές που του εμφανίζονται εξαρτώνται από τον είδος των αντικειμένων τα οποία έχει πρωτίστως περιγράψει.

Εφόσον ο χρήστης τελειώσει με την εισαγωγή των δεδομένων και τα έχει αποθηκεύσει ως αρχείο, θα πρέπει να περιγράψει και το περιβάλλον το οποίο περικλείει το κτίριο. Αυτή η περιγραφή θα γίνει με την επιλογή ενός ξεχωριστού αρχείου (κατάλληλου τύπου), το οποίο περιέχει κλιματολογικά δεδομένα της γεωγραφικής θέσης για την οποία θα μοντελοποιηθεί το κτίριο. Εφόσον ο χρήστης τελειώσει και με αυτή την επιλογή, το κτίριο είναι σε θέση να μοντελοποιηθεί από το Energy Plus μέσω της επεξεργασίας των δύο αυτών αρχείων.

2.3.2. Κατηγορίες αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα τα οποία παράγονται μετά το τέλος της μοντελοποίησης αναφέρονται στις επιλογές αποτελεσμάτων που έκανε ο χρήστης κατά την εισαγωγή των δεδομένων (κατηγορία Report), αναφέρονται σε δεδομένα που επεξεργάστηκε το λογισμικό καθώς και σε συγκεκριμένα αντικείμενα τα οποία περιέγραψε ο χρήστης. Για την καλύτερη διάκριση αυτών των αποτελεσμάτων, μία βοηθητική εφαρμογή αναλαμβάνει αυτόματα να τα εισάγει σε αρχεία κειμένου (text files) με ξεχωριστές επεκτάσεις το καθένα. Κάθε επέκταση του αρχείου υποδηλώνει και κάποια κατηγορία στην οποία κατατάσσονται τα αποτελέσματα. Παρακάτω παρουσιάζονται και περιγράφονται συνοπτικά αυτά τα αρχεία.

- **Αρχείο ERR:** Το αρχείο err περιέχει πολύ σημαντικές πληροφορίες οι οποίες αφορούν την διαδικασία της μοντελοποίησης. Είναι ένα πολύ σημαντικό αρχείο και το πρώτο που πρέπει να δει ο χρήστης.
- **Αρχείο ESO:** Το αρχείο eso περιέχει τα αποτελέσματα που επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report, να δει.
- **Αρχείο MTR:** Το αρχείο mtr περιέχει αποτελέσματα που επίσης επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report, να δει. Η διαφορά αυτού του αρχείου με το αρχείο eso είναι ότι τα αποτελέσματά του αρχείου mtr αναφέρονται στην μεταβλητή της ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. ενεργειακή κατανάλωση συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού, ηλεκτροφωτισμού, ηλεκτρικών

συσκευών κ.λπ) και σε παράγοντες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. CO₂, NO_x κ.λπ.)

Τα αρχεία err, eso και mtr που περιγράφηκαν είναι αυτά που ενδιαφέρουν άμεσα τον χρήστη. Όσον αφορά τα υπόλοιπα αρχεία, αυτά είναι τα εξής:

- **Αρχείο RDD:** Το αρχείο rdd περιέχει μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα είδη αποτελεσμάτων τα οποία θα μπορούσε ο χρήστης να επιλέξει ώστε να εμφανισθούν στο αρχείο eso.
- **Αρχείο MTD:** Το αρχείο mtd δείχνει ποιες μεταβλητές αντιστοιχούν σε κάποιο συγκεκριμένο είδος μεταβλητών καθώς και ποιες μεταβλητές περιέχονται σε ένα είδος μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση επομένως το αρχείο αυτό σχετίζεται με το αρχείο mtr.
- **Αρχείο AUDIT :** Το αρχείο audit αποτελεί ένα αντίγραφο των δεδομένων που επεξεργάστηκε το λογισμικό EnergyPlus.
- **Αρχείο BND:** Το αρχείο bnd περιέχει πληροφορίες αναφορικά με τους κόμβους και τις διακλαδώσεις ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού. Από το αρχείο αυτό ο χρήστης μπορεί να διαπιστώσει εάν η συνδεσμολογία ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που περιέγραψε είναι σωστή ή λάθος.
- **Αρχείο DBG:** Το αρχείο dbg μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιον κατασκευαστή προγράμματος κατά τη διάρκεια εντοπισμού σφαλμάτων (debugging) σε κάποιο τμήμα κώδικα που προσέθεσε στο λογισμικό EnergyPlus. Το αρχείο αυτό μπορεί να το στείλει στην ομάδα τεχνικής υποστήριξης του EnergyPlus. Για να εμφανισθεί αυτό το αρχείο θα πρέπει ο χρήστης να δώσει εντολή από την κατηγορία simulation parameters.
- **Αρχείο DXF:** Το αρχείο αυτό ανοίγει με μία εφαρμογή προβολής (π.χ. Quickview Plus). Με τη βοήθεια αυτής της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να δει το σχήμα του κτιρίου που μοντελοποιήθηκε από το λογισμικό EnergyPlus.
- **Αρχείο EIO:** Το αρχείο eio περιέχει αναφορές σε κάποια δεδομένα που εισήχθησαν από τον χρήστη.
- **Αρχείο EPMIDF:** Το αρχείο epmidf περιέχει αποτελέσματα από την επεξεργασία μακροεντολών που εισήγαγε ο χρήστης μαζί με τα δεδομένα του. Το αρχείο αυτό θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία από το λογισμικό EnergyPlus.
- **Αρχείο EPMDET:** Το αρχείο epmdet περιέχει πληροφορίες σχετικά με την επεξεργασία μακροεντολών.
- **Αρχείο LOG:** Το αρχείο log περιγράφει όλες τις ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Το αρχείο αυτό εμφανίζεται όταν το λογισμικό EnergyPlus εκτελείται από παράθυρο γραμμής εντολών.
- **Αρχείο SLN:** Το αρχείο sln περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις επιφάνειες του κτιρίου που μοντελοποιήθηκε. Για να εμφανισθεί αυτό το αρχείο ο χρήστης θα πρέπει να δώσει εντολή από την κατηγορία Report.
- **Αρχείο SSZ:** Το αρχείο ssz περιέχει αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία Design object. Το αρχείο αυτό ανοίγει ως φύλλο υπολογισμού.

Κεφάλαιο 2. Το λογισμικό EnergyPlus

- **Αρχείο ZSZ:** Το αρχείο zsz περιέχει αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία Design object. Το αρχείο αυτό ανοίγει ως φύλλο υπολογισμού.
- **Αρχείο MAP :** Το αρχείο map περιέχει αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία Daylighting.
- **Αρχείο TABLE:** Το αρχείο table (ή tbl) περιέχει αποτελέσματα που επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report, να δει. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτού του αρχείου είναι διαφορετική από αυτή των αρχείων mtr και eso.
- **Αρχείο CIF:** Το αρχείο cif (sci) περιέχει αποτελέσματα σχετικά με την κατηγορία Economics.
- **Αρχείο METER:** Το αρχείο Meter είναι παρόμοιο με το αρχείο mtr μόνο που το πρώτο ανοίγει ως φύλλο υπολογισμού.
- **Αρχείο SVG:** Το αρχείο αυτό ανοίγει με μία εφαρμογή προβολής. Με τη βοήθεια αυτής της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να δει τη διάταξη του συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που μοντελοποιήθηκε από το λογισμικό EnergyPlus.
- **Αρχείο Delight IN:** Το αρχείο delightin περιέχει πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting.
- **Αρχείο Delight OUT:** Το αρχείο delightiout περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting.
- **Αρχείο Delight DFDMP:** Το αρχείο delightdfdmp περιέχει προειδοποιητικά μηνύματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα δεδομένα της κατηγορίας Daylighting ή και μηνύματα σχετικά με σφάλματα τα οποία εντοπίστηκαν κατά την επεξεργασία συγκεκριμένων δεδομένων της κατηγορίας Daylighting. Συνήθως αυτό το αρχείο θα πρέπει να είναι άδειο.
- **Αρχείο Delight ELDMP:** Το αρχείο delighteldmp περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting. Τα αποτελέσματα αυτά εμφανίζονται σε μία συγκεκριμένη χρονική συχνότητα (π.χ. σε ωριαία βάση, σε μηνιαία βάση κ.λπ)
- **Αρχείο EXPIDF:** Το αρχείο expidf περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με την κατηγορία Compact HVAC.
- **Αρχείο errgrp:** Το αρχείο errgrp είναι παρόμοιο με το αρχείο err μόνο που το πρώτο παράγεται μετά από ομαδικές προσομοιώσεις.
- **Αρχείο VCpErr:** Το αρχείο VCpErr περιγράφει τα τυχόν σφάλματα τα οποία προέκυψαν κατά τη διαδικασία μετάβασης ενός αρχείου IDF από παλαιότερη έκδοση στην τρέχουσα που χρησιμοποιεί ο χρήστης.

Τα περισσότερα αρχεία από τα παραπάνω είναι της μορφής CSV (Comma Separated Values). Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να εισάγει το περιεχόμενο τους σε κάποιο φύλλο υπολογισμού. Υπάρχουν, βέβαια, και βοηθητικές εφαρμογές (οι οποίες συνοδεύουν το λογισμικό) όπου εισάγουν αυτόματα, μετά το πέρας μίας μοντελοποίησης, τα αποτελέσματα των αρχείων eso, mtr, ssz και zsz, σε φύλλα υπολογισμού.

Τέλος, να επισημανθεί ότι η εμφάνιση των παραπάνω αρχείων εξαρτάται από τα δεδομένα τα οποία ο χρήστης είχε πρωτίστως εισάγει. Επομένως δεν είναι απαραίτητο να εμφανισθούν όλα τα παραπάνω αρχεία.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

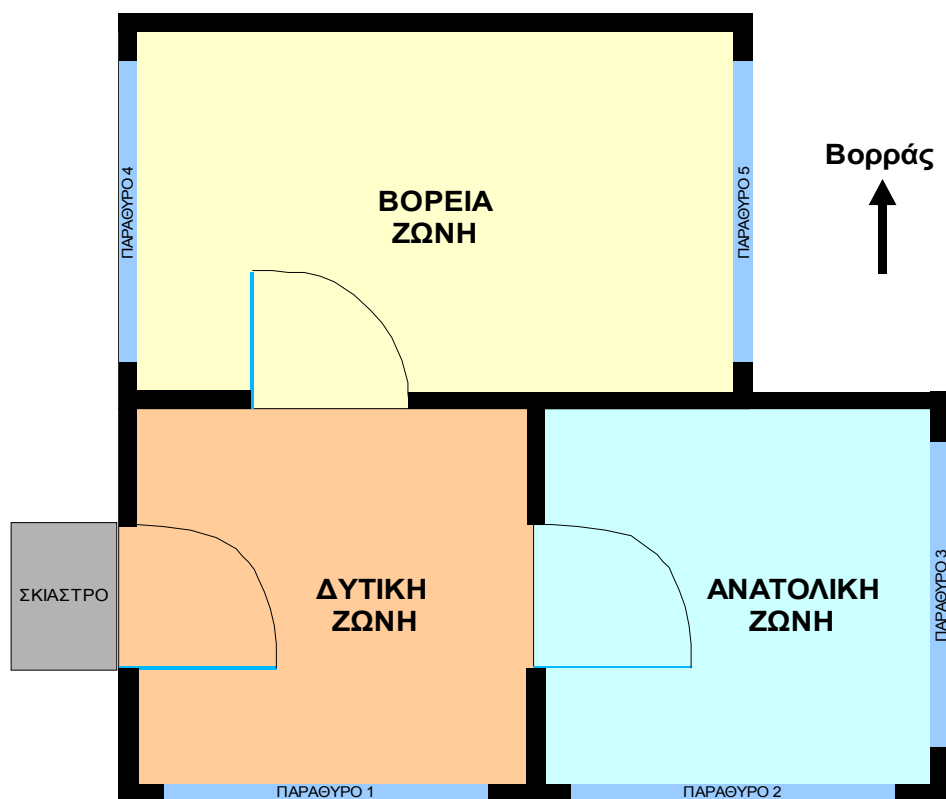
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η περιγραφή ενός μοντελοποιημένου κτιρίου. Το κτίριο αυτό αποτελεί την βάση πάνω στην οποία θα εφαρμοστούν κάποιες συγκεκριμένες δομικές αλλαγές, όπου και θα περιγραφούν στο επόμενο κεφάλαιο, με στόχο να εξοικονομηθεί ενέργεια κυρίως από το σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που διαθέτει το κτίριο.

3.1. Κτίριο αναφοράς

Ο χώρος ο οποίος μοντελοποιήθηκε είναι ένα μονώροφο κτίριο το οποίο στεγάζει γραφεία σε προάστιο της πόλης του Ηρακλείου. Το κτίριο είναι σε σχήμα L (Σχήμα 8) με προσανατολισμό μηδέν μοίρες ως προς το βορρά. Η συνολική του κατοικήσιμη επιφάνεια είναι 130.19 m^2 ενώ ο συνολικός κατοικήσιμος όγκος του είναι 397.08 m^3 .

Το κτίριο εσωτερικά είναι χωρισμένο σε τρεις ζώνες: την βόρεια, την δυτική ζώνη και την ανατολική. Η δυτική και ανατολική ζώνη έχουν μήκος και πλάτος περίπου 6.1 m έκαστη, το ύψος της καθεμιάς είναι 3.05 m ενώ η επιφάνεια της καθεμιάς είναι 37.21 m^2 . Η βόρεια ζώνη έχει μήκος 9.144 m, πλάτος 6.1 m, ύψος 3.05 m και επιφάνεια 55.77 m^2 .

Οι τοιχοποιίες του κτιρίου (εσωτερικές και εξωτερικές) είναι κατασκευασμένες από τούβλα επιστρωμένες με σοβά, ο οποίος σοβάς με τη σειρά του είναι επιστρωμένος με ασβεστοκονίαμα. Το ταβάνι του κτιρίου είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα το οποίο εσωτερικά του κτιρίου είναι επιστρωμένο πάλι με σοβά και ασβεστοκονίαμα ενώ το πάτωμα είναι κατασκευασμένο μόνο από σκυρόδεμα.



Σχήμα 8: Κάτοψη κτιρίου.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Ο πίνακας 1 που ακολουθεί περιγράφει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε δομικού υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το κτίριο.

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά δομικών υλικών.

Δομικό υλικό	U (W/m ² -K)	Πάχος (m)
Ασβεστοκονίαμα	114.15	0.005
Σοβάς	46.12	0.015
Τούβλο	4.84	0.15
Σκυρόδεμα	17.29	0.1

Το κτίριο διαθέτει συνολικά 8 ανοίγματα (Σχήμα 8) εκ των οποίων τα τρία είναι πόρτες και τα υπόλοιπα πέντε είναι παράθυρα χωρίς παραθυρόφυλλα, αποτελούμενα το καθένα από μονό υαλοπίνακα πάχους 3 mm χωρίς σκελετό. Οι πίνακες 2 και 3 περιγράφουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις οπτικές ιδιότητες, αντίστοιχα, του υαλοπίνακα που χρησιμοποιεί το κάθε παράθυρο και η κάθε πόρτα.

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοπίνακα.

Ανοιγμα	Τύπος υαλοπίνακα	Πάχος (m)	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Επιφάνεια (m ²)	U (W/m ² -K)
Παράθυρο	Μονός	0.003	5	1.9	9.5	300
Πόρτα	Μονός	0.003	2	2	4	300

Πίνακας 3: Οπτικές ιδιότητες υαλοπίνακα.

Συντελεστής εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας	Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας (για όλο το φάσμα)	Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας (για το ορατό φάσμα)	Συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας
0.837	0.075	0.081	0.84

Αναφορικά με το φωτισμό η δυτική και ανατολική ζώνη διαθέτουν φωτισμό συνολικής ισχύος 878.625 Watt έκαστη, ενώ η βόρεια ζώνη διαθέτει φωτισμό συνολικής ισχύος 1464.375 Watt. Επίσης, όσον αφορά τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, η βόρεια και δυτική ζώνη διαθέτουν ηλεκτρικό εξοπλισμό συνολικής ισχύος 2928.751 Watt έκαστη, ενώ η ανατολική ζώνη διαθέτει ηλεκτρικό εξοπλισμό συνολικής ισχύος 1464.375 Watt.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Το κτίριο καταλαμβάνεται από 10 άτομα τα οποία και είναι κατανεμημένα σε κάθε ζώνη. Τα άτομα αυτά δραστηριοποιούνται τις καθημερινές μέρες καθώς και το Σάββατο από τις 8:00 π.μ. έως και τις 17:00 μ.μ. ενώ ο αριθμός αυτών μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια κάθε ώρας. Κατά τη διάρκεια εορτών και διακοπών το κτίριο δεν καταλαμβάνεται από άτομα.

Ο πίνακας 4 που ακολουθεί περιγράφει χαρακτηριστικά που αφορούν την ανθρώπινη δραστηριότητα σε κάθε ζώνη.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ανθρώπινης δραστηριότητας για κάθε ζώνη.

Ζώνη	Αριθμός Ανθρώπων	Επίπεδο Δραστη/τας (W/Ατομο)	Θερμική Αντίσταση Χειμων/κης Ενδυμ/ίας (Clo)	Θερμική Αντίσταση Καλοκ/νής Ενδυμ/ίας (Clo)	Ταχύτητα Αέρα (m/sec)
Βόρεια	4	131.8	1	0.5	0.137
Δυτική	3	131.8	1	0.5	0.137
Ανατολική	3	131.8	1	0.5	0.137

3.2. Περιγραφή συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού

Το κτίριο διαθέτει κεντρικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης το οποίο απαρτίζεται από ένα ανεμιστήρα κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, ένα θερμοσυσσωρευτή ψύξης και δύο θερμοσυσσωρευτές θέρμανσης, οι οποίοι επίσης καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Το σύστημα έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί κατά τη διάρκεια της δραστηριοποίησής των ατόμων στο κτίριο. Η λειτουργία του συστήματος ρυθμίζεται από θερμοστάτη που ελέγχει τη θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης ώστε να βρίσκεται αυτή στους 25 °C για όλο το χρόνο, καθώς και από υγροστάτη που ρυθμίζει τη σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης ώστε να μην ξεπεράσει το 35% για όλο το χρόνο. Παράλληλα, βέβαια, διαμορφώνονται η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία των υπολοίπων θερμικών ζωνών, από το σύστημα.

Η θερμοκρασία διαμορφώνεται συνήθως από τον ένα θερμοσυσσωρευτή θέρμανσης ο οποίος έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί από τις 1/10 έως τις 31/5 και από τον θερμοσυσσωρευτή ψύξης ο οποίος έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί από τις 1/6 έως τις 30/9.

Η ρύθμιση της σχετικής υγρασίας διαμορφώνεται επίσης από το θερμοσυσσωρευτή ψύξης σε συνεργασία με το δεύτερο θερμοσυσσωρευτή θέρμανσης. Επομένως σε αυτή την περίπτωση ο θερμοσυσσωρευτής ψύξης μπορεί να λειτουργήσει και πέρα από την προγραμματιζόμενη περίοδο (δηλαδή και από 1/10 έως 31/5). Ενίοτε ο δεύτερος θερμοσυσσωρευτής θέρμανσης μπορεί να αντικαταστήσει τη λειτουργία του κύριου θερμοσυσσωρευτή θέρμανσης ώστε σε συνδυασμό με το θερμοσυσσωρευτή ψύξης να διαμορφώσουν και τη θερμοκρασία του κτιρίου.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Ο πίνακας 5 που ακολουθεί περιγράφει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης.

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης.

Ονομαστική θερμική ισχύς που αποδίδει ο κάθε θερμοσυσσωρευτής θέρμανσης (W)	25000
Συντελεστής απόδοσης του κάθε θερμοσυσσωρευτή θέρμανσης	0.8
Μέγιστη θερμοκρασία παροχής αέρα (°C)	80
Ονομαστική ψυκτική ισχύς που αποδίδει ο θερμοσυσσωρευτής ψύξης (W)	25000
Συντελεστής απόδοσης του θερμοσυσσωρευτή ψύξης	3
Ονομαστική ροή αέρα {m ³ /s}	1.3
Συνολική απόδοση ανεμιστήρα	0.7
Μέγιστη ροή αέρα σε πρότυπες συνθήκες ² (m ³ /s)	1.3
Μέγιστη πίεση που αποδίδει ο ανεμιστήρας στην μέγιστη ροή του αέρα, σε πρότυπες συνθήκες ² (Pa)	600.0
Απόδοση ηλεκτροκινητήρα του ανεμιστήρα	0.9

Η κατανομή του θερμικού ή ψυκτικού φορτίου που αποδίδεται από το σύστημα στην κάθε ζώνη, ελέγχεται από μονάδες διανομής αέρα με βάση τη μέγιστη ροή αέρα για την οποία έχουν ρυθμιστεί αυτές (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Μέγιστη ροή αέρα που παρέχεται στην κάθε ζώνη.

Ζώνη	Δυτική	Ανατολική	Βόρεια
Μέγιστη ροή αέρα (m ³ /sec)	0.47	0.36	0.47

Τέλος, να επισημανθεί ότι το κτίριο μοντελοποιήθηκε για ένα έτος.

² Θερμοκρασία ξηρού αέρα στους 20 °C ξηρού θερμομέτρου και ατμοσφαιρική πίεση στα 101325 Pa

3.3. Αποτελέσματα κτιρίου αναφοράς

Από τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μετά το τέλος της μοντελοποίησης του κτιρίου αναφοράς, παρουσιάζονται τα παρακάτω τα οποία και σχετίζονται με τις θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου.

Πιο συγκεκριμένα ο πίνακας 7 που ακολουθεί περιέχει αποτελέσματα τα οποία αφορούν τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου από πλευράς φορτίων και τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος του, για την απόδοση αυτών των φορτίων. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης αναφέρεται στο άθροισμα των ετήσιων καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας των ανεμιστήρα, θερμοσυσσωρευτών θέρμανσης και θερμοσυσσωρευτή ψύξης μαζί. Οι συνολικές παροχές θερμικής και ψυκτικής ενέργειας αναφέρονται στην ετήσια θερμική και ψυκτική ενέργεια που απέδωσαν οι θερμοσυσσωρευτές θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, ώστε να καλυφθούν οι θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου. Οι συνολικές καταναλώσεις των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης αναφέρονται στην ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτήσαν οι θερμοσυσσωρευτές θέρμανσης και ψύξης, αντίστοιχα, ώστε να αποδώσουν την ανάλογη θερμική και ψυκτική ενέργεια.

Πίνακας 7: Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου-συστήματος.

Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης [KJ]	Συνολική παροχή θερμικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστημάτων θέρμανσης [KJ]	Συνολική παροχή ψυκτικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος ψύξης [KJ]
260,202,810.9	145,464,963.8	181,831,204.7	237,316,311.8	67,071,411.9

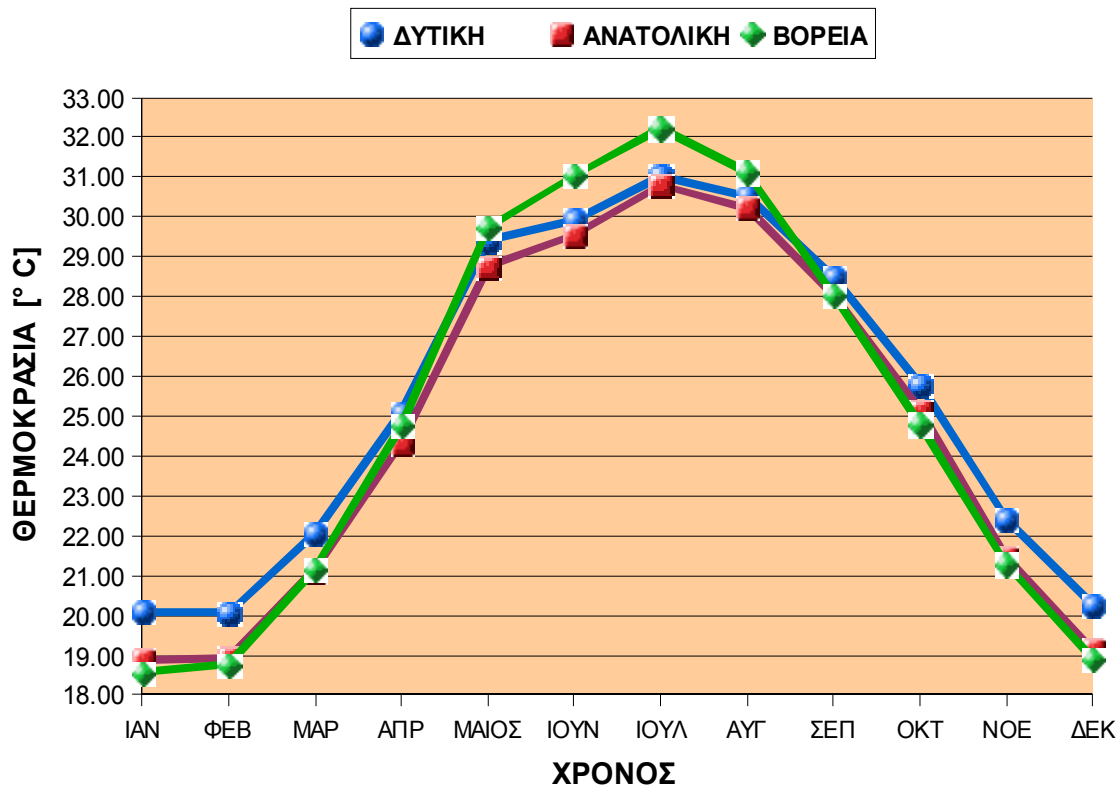
Στη συνέχεια ακολουθούν μια σειρά από χρονοδιαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την μηνιαία μεταβολή έξι μεταβλητών. Οι μεταβλητές που επιλέχτηκαν σχετίζονται με τις θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του κτιρίου. Αυτές οι μεταβλητές είναι οι εξής:

Η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, οι θερμικές απώλειες από τους υαλοπίνακες, η απαιτούμενη ειδική θερμική ισχύς, η απαιτούμενη ειδική ψυκτική ισχύς και η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος από κάθε θερμοσυσσωρευτή η οποία αναφέρεται ως κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος από κύριο σύστημα θέρμανσης, από δεύτερο σύστημα θέρμανσης καθώς και από σύστημα ψύξης αντίστοιχα.

Οι τιμές αυτών των μεταβλητών είναι διατυπωμένες κατά μέσο όρο και αφορούν όλο το 24ωρο της ημέρας.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Το διάγραμμα του σχήματος 9 που ακολουθεί απεικονίζει την μεταβολή της μηνιαίας θερμοκρασίας για την κάθε ζώνη.

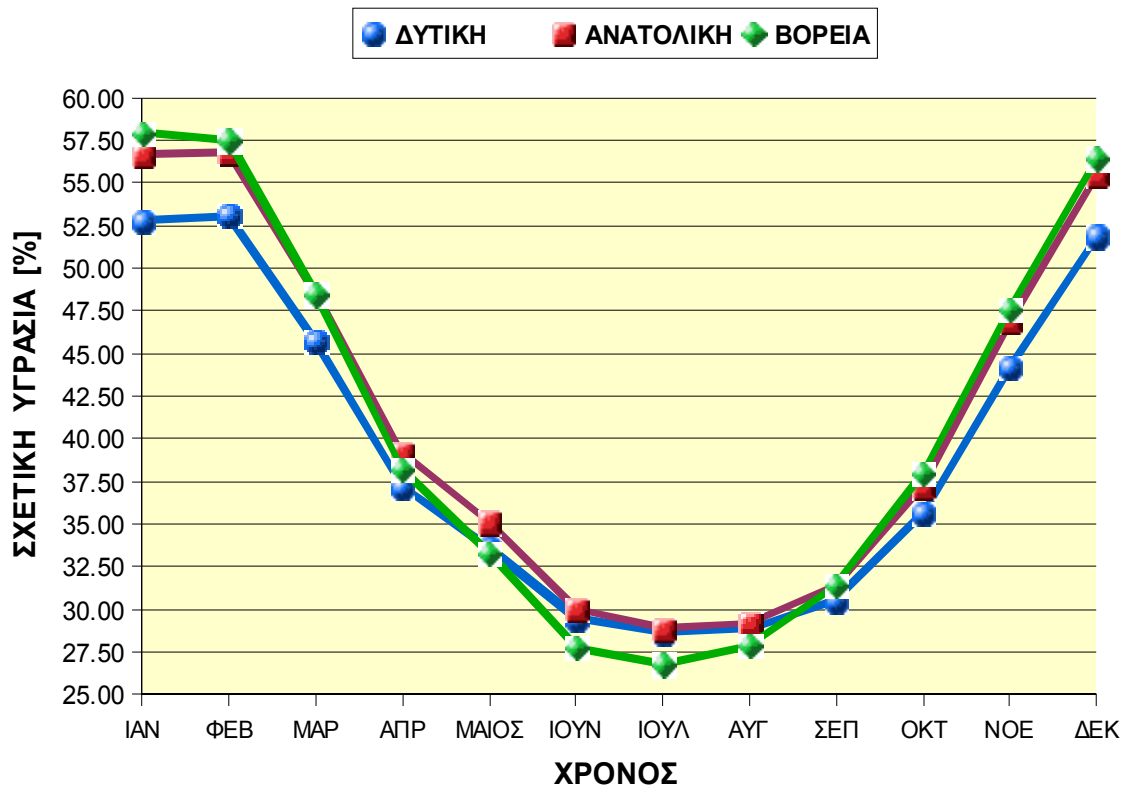


Σχήμα 9: Μεταβολή της μηνιαίας θερμοκρασίας για την κάθε ζώνη.

Όπως απεικονίζεται από το παραπάνω διάγραμμα, οι μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές που έχουν σημειωθεί μέσα στο έτος για κάθε ζώνη δεν αποκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους. Οι ελάχιστες θερμοκρασιακές τιμές που έχουν καταγραφεί για τις ζώνες βρίσκονται ανάμεσα στους 18.5 °C με 20 °C και παρουσιάζονται τον μήνα Ιανουάριο. Αντιθέτως οι μέγιστες θερμοκρασιακές τιμές που έχουν καταγραφεί για τις ζώνες, βρίσκονται ανάμεσα στους 30.5 °C με 32 °C και παρουσιάζονται τον μήνα Ιούλιο.

Επίσης, κατά την περίοδο Ιούνιος-Αύγουστος παρατηρείται ότι η βόρεια ζώνη παρουσιάζει αυξημένη θερμοκρασία σε σύγκριση με τις υπόλοιπες δύο ζώνες, παρόλο που αποτελεί το βόρειο τμήμα του κτιρίου. Εδώ επισημαίνεται ότι κατά την καλοκαιρινή περίοδο η ανατολική και δυτική πλευρά του κτιρίου επιβαρύνονται ιδιαίτερα από το ηλιακό θερμικό κέρδος από ότι η νότια. Λαμβάνοντας, επομένως, υπόψιν τα ανοίγματα που διαθέτει η βόρεια ζώνη από αυτές τις πλευρές, τότε διαπιστώνεται μια εύκολη διείσδυση του ηλιακού θερμικού κέρδους μέσα σε αυτήν. Αυτό το ηλιακό θερμικό κέρδος συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της όταν το σύστημα ψύξης βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Στο διάγραμμα του σχήματος 10 που ακολουθεί απεικονίζεται η μεταβολή της μηνιαίας σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη.



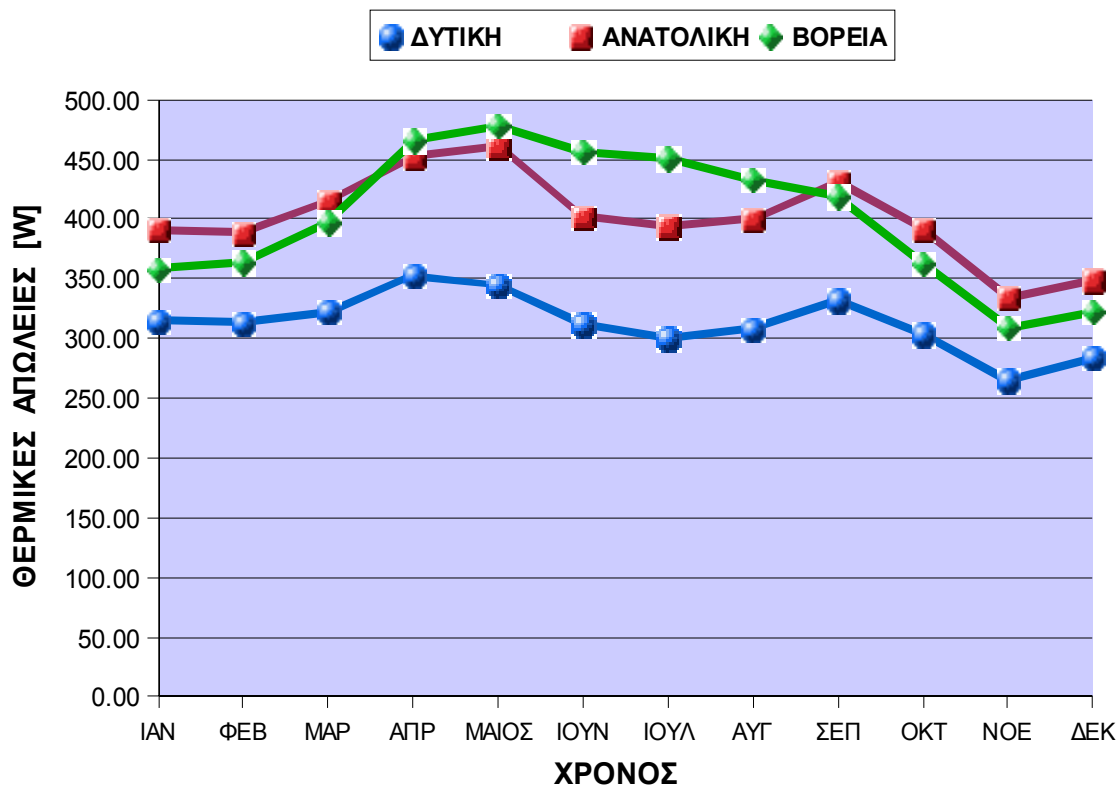
Σχήμα 10: Μεταβολή της μηνιαίας σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, οι μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη παρουσιάζονται κατά τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος). Καθώς όμως πλησιάζει η καλοκαιρινή περίοδος, οι τιμές σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη αρχίζουν να μειώνονται, με τις ελάχιστες τιμές να σημειώνονται τον μήνα Ιούλιο.

Επίσης, συγκρίνοντας το γράφημα της μέσης θερμοκρασίας με αυτό της σχετικής υγρασίας παρατηρείται ότι η πορεία των μεταβολών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, για την κάθε ζώνη, είναι αντιστρόφως ανάλογες. Από αυτή τη σύγκριση συμπεραίνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του κτιρίου συντελεί στο να μειωθεί η σχετική του υγρασία.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Το διάγραμμα του σχήματος 11 που ακολουθεί απεικονίζει την μεταβολή των μηνιαίων θερμικών απωλειών που υφίστανται μέσω των υαλοπινάκων κάθε παραθύρου και πόρτας μαζί, για την κάθε ζώνη.



Σχήμα 11: Μεταβολή των μηνιαίων θερμικών απωλειών που υφίστανται από τους υαλοπίνακες κάθε ζώνης.

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, η δυτική ζώνη παρουσιάζει τις λιγότερες θερμικές απώλειες μέσω υαλοπινάκων σε σύγκριση με τις υπόλοιπες δύο. Πράγμα πολύ λογικό αφού η συγκεκριμένη ζώνη διαθέτει μόνο ένα παράθυρο ενώ οι υπόλοιπες ζώνες δύο παράθυρα.

Βέβαια, θερμικές απώλειες υφίστανται και από τους υαλοπίνακες κάθε πόρτας, όμως από τις τρεις πόρτες η εξώπορτα της δυτικής ζώνης αναμένεται να εμφανίζει σημαντικές θερμικές απώλειες λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς που δημιουργείται ανάμεσα στη θερμοκρασία της δυτικής ζώνης και τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι υπόλοιπες δύο βρίσκονται εσωτερικά του κτιρίου και δεν αναμένεται να έχουν σημαντικές θερμικές απώλειες.

Αν και οι θερμικές απώλειες μέσω της εξώπορτας είναι σημαντικές, εντούτοις το συνολικό μέγεθος των θερμικών απωλειών από τους υαλοπίνακες της δυτικής ζώνης είναι μικρότερο από ότι των άλλων δύο και αυτό επειδή η συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων για την ανατολική και βόρεια ζώνη είναι μεγαλύτερο από αυτό της δυτικής ζώνης.

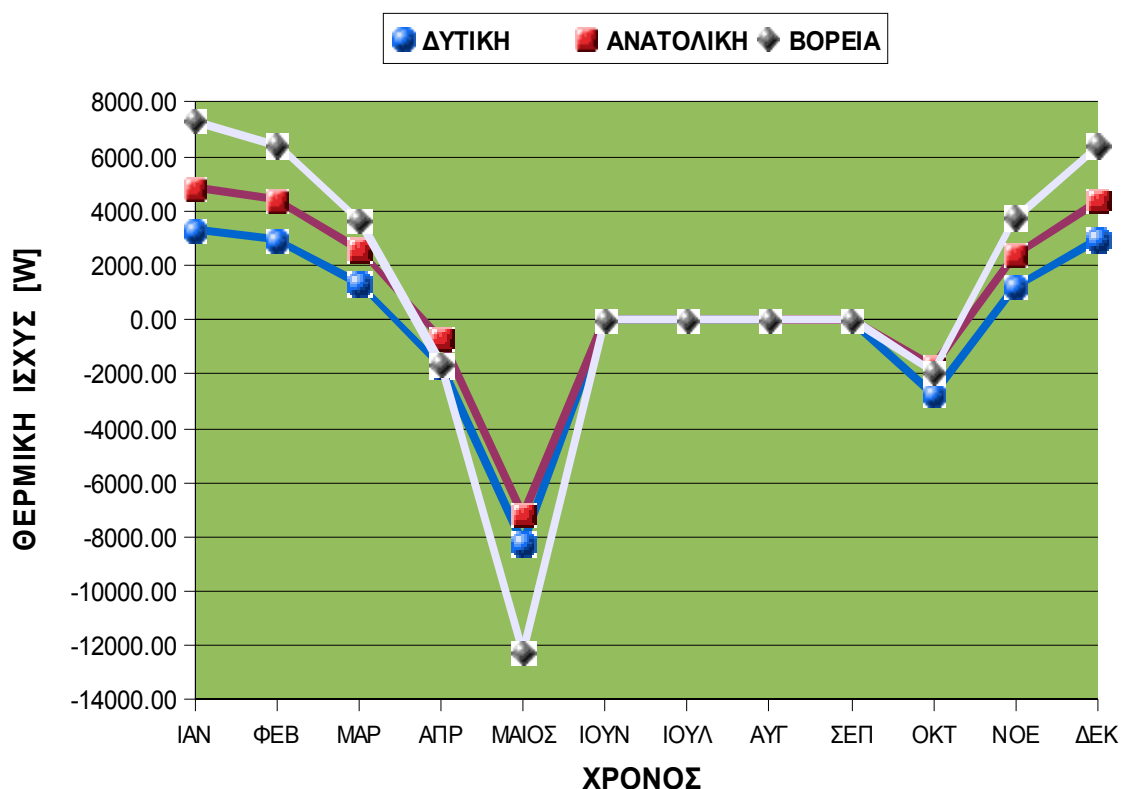
Αυτό που παρατηρείται, επίσης, είναι ότι κατά τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος) η βόρεια ζώνη παρουσιάζει λιγότερες θερμικές απώλειες σε σύγκριση με την ανατολική ζώνη. Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμοκρασία της βόρειας ζώνης έχει

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

μικρότερη διαφορά με τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος από ότι η ανατολική ζώνη.

Κατά την περίοδο Ιούνιος-Αύγουστος η βόρεια ζώνη διατηρεί σε υψηλά επίπεδα τις θερμικές της απώλειες, λόγω της αυξημένης θερμοκρασία της, ενώ αντιθέτως οι δύο υπόλοιπες ζώνες παρουσιάζουν μειωμένες θερμικές απώλειες. Εδώ επισημαίνεται ότι θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια παροχής ψύξης δεν υφίστανται. Στην περίπτωση αυτή οι θερμικές απώλειες εμφανίζονται κατά τη διάρκεια που δεν λειτουργεί το σύστημα ψύξης και ειδικότερα κατά τις βραδινές ώρες όπου η θερμοκρασία του κτιρίου αρχίζει να ανεβαίνει λόγω της θερμικής του αδράνειας ενώ παράλληλα η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος μειώνεται.

Στο διάγραμμα του σχήματος 12 που ακολουθεί απεικονίζεται η μεταβολή της μηνιαίας ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτείται από την κάθε ζώνη ώστε να προσεγγίσει η καθεμιά τους 25 °C.



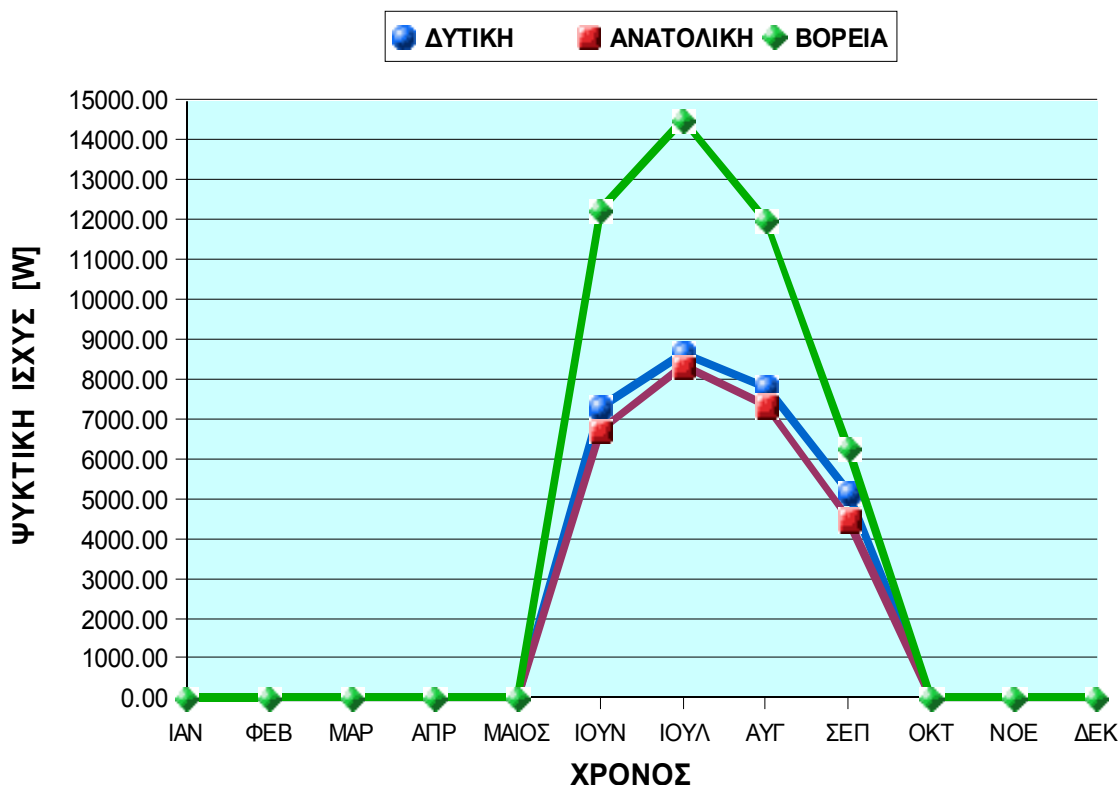
Σχήμα 12: Μεταβολή της μηνιαίας ειδικής θερμική ισχύος που απαιτείται από κάθε ζώνη.

Όπως απεικονίζεται από το παραπάνω διάγραμμα, έχουν καταγραφεί κάποιες αρνητικές τιμές τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο για την κάθε ζώνη. Αυτή η ένδειξη αρνητικών τιμών δηλώνει πως οι θερμικές ζώνες απαιτούν στην πραγματικότητα ψυκτικό φορτίο και όχι θερμικό ούτως ώστε να προσεγγίσουν τους 25 °C. Αρνητικές τιμές έχουν καταγραφεί και για τον μήνα Απρίλιο αλλά δεν θεωρούνται αρκετά σημαντικές, με βάση την μέση θερμοκρασία που έχει καταγραφεί για κάθε ζώνη.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Επίσης, κατά την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος οι τιμές της απαιτούμενης θερμικής ισχύος για την κάθε ζώνη είναι μηδέν επειδή έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί μόνο το σύστημα ψύξης για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας.

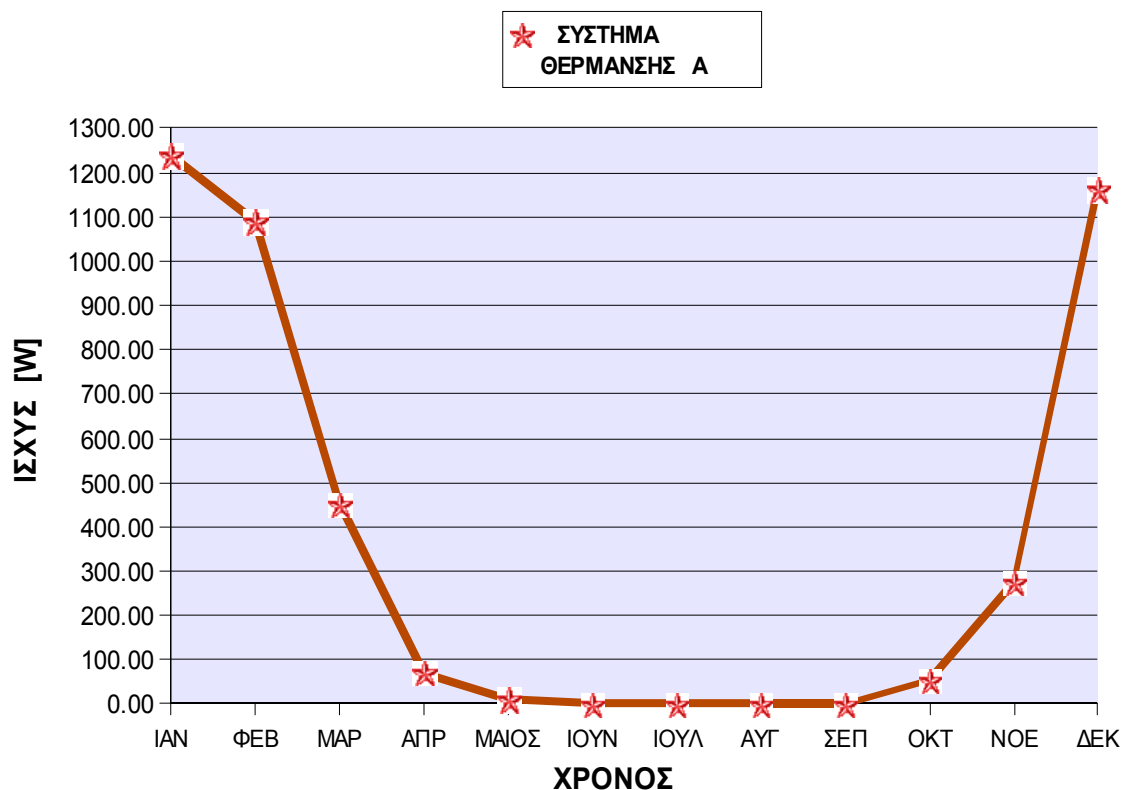
Το διάγραμμα του σχήματος 13 απεικονίζει την μεταβολή της μηνιαίας ειδικής ψυκτικής ισχύος που απαιτείται από την κάθε ζώνη ώστε να προσεγγίσει η καθεμιά τους 25 °C.



Σχήμα 13: Μεταβολή της μηνιαίας ειδικής ψυκτικής ισχύος που απαιτείται από κάθε ζώνη.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η βόρεια ζώνη απαιτεί περισσότερη ψυκτική ισχύ από τις άλλες δύο. Πράγμα πολύ λογικό αν παρατηρηθεί το διάγραμμα του σχήματος 9 όπου οι μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές της βόρειας ζώνης, κατά την περίοδο Ιούνιος-Αύγουστος, είναι υψηλότερες από ότι των άλλων δύο με συνέπεια να απαιτείται αντίστοιχα μεγάλο ψυκτικό φορτίο ώστε να πλησιάσει η θερμοκρασία της συγκεκριμένης ζώνης κοντά στους 25 °C. Ανάλογα, βέβαια, ακολουθούν και οι υπόλοιπες ζώνες.

Στο διάγραμμα του σχήματος 14 που ακολουθεί απεικονίζεται η μεταβολή της μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης.



Σχήμα 14: Μεταβολή της μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης.

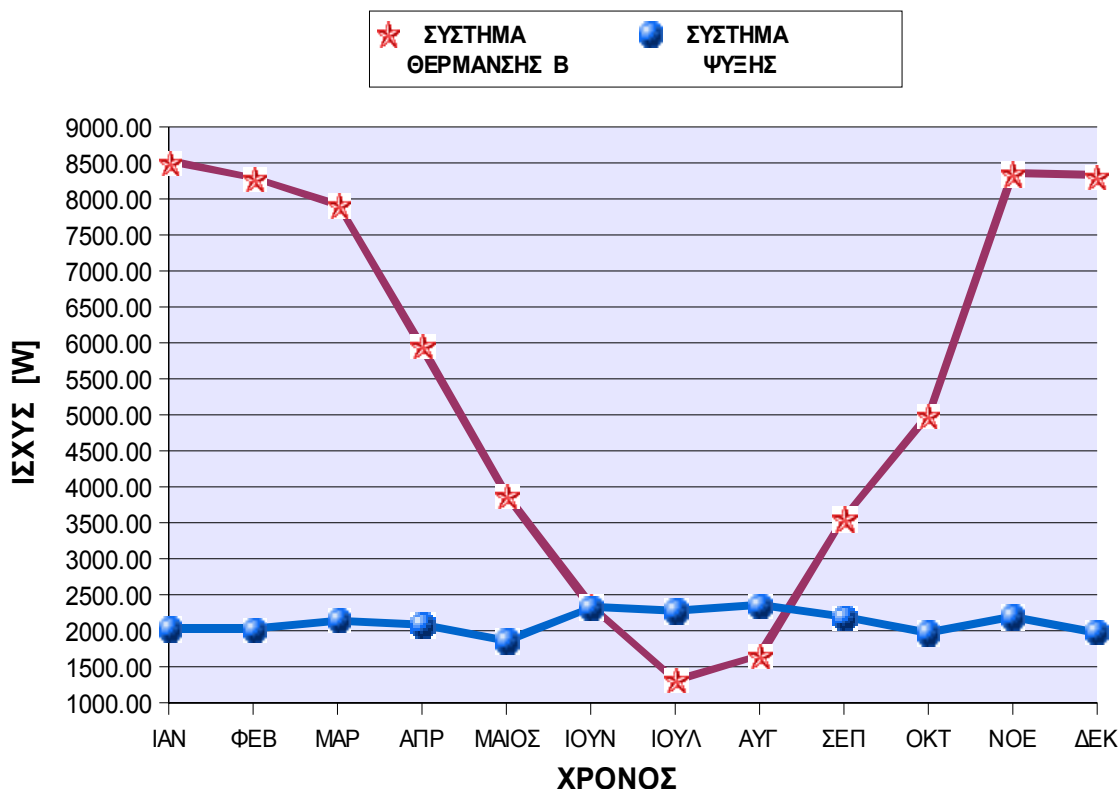
Όπως απεικονίζεται από το παραπάνω διάγραμμα, υψηλές τιμές κατανάλωσης ισχύος παρουσιάζονται πολύ λογικά κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου ενώ καθώς πλησιάζει το καλοκαίρι αυτές οι τιμές ελαττώνονται.

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, η λειτουργία του κύριου συσσωρευτή θέρμανσης ρυθμίζεται από θερμοστάτη που ελέγχει την θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης ώστε να βρίσκεται αυτή στους 25 °C. Επομένως, κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου όπου η θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα από το επιθυμητό, το συγκεκριμένο σύστημα καταναλώνει περισσότερη ισχύς ώστε να ανεβάσει την θερμοκρασία της στους 25 °C. Καθώς όμως πλησιάζει η καλοκαιρινή περίοδος, σημειώνεται άνοδος στη θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης και στην περίπτωση μάλιστα που η θερμοκρασία της ξεπεράσει τους 25 °C τότε περιορίζεται η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος. Σε αυτήν την περίπτωση η διαμόρφωση της θερμοκρασίας γίνεται από το σύστημα ψύξης σε συνδυασμό με το δεύτερο σύστημα θέρμανσης, διαμορφώνοντας ταυτόχρονα και την σχετική υγρασία.

Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις όπως την τελευταία και αναλόγως την άνοδο της θερμοκρασίας, θα πρέπει να επανακαθοριστεί ο ρόλος του συστήματος ψύξης ώστε να διαμορφώνει εξαρχής την θερμοκρασία.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή κτιρίου

Στο διάγραμμα του σχήματος 15 που ακολουθεί απεικονίζονται οι μεταβολές των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης.



Σχήμα 15: Μεταβολές των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το σύστημα ψύξης παρουσιάζει μια σταθερότητα στην κατανάλωση της ηλεκτρικής του ισχύος, μέσα στο έτος, με μια εξαίρεση κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου πολύ λογικά παρουσιάζεται κάποια αύξηση αυτής.

Επίσης, το δεύτερο σύστημα θέρμανσης παρουσιάζει υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος κατά τη χειμερινή περίοδο ενώ καθώς πλησιάζει η καλοκαιρινή περίοδος παρατηρείται μείωση αυτής.

Πιο συγκεκριμένα κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου η ανατολική ζώνη παρουσιάζει υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας, το σύστημα ψύξης θα αποδώσει ένα χαμηλό ποσό ψυκτικού φορτίου σε συνδυασμό με ένα υψηλό ποσό θερμικού φορτίου ώστε να διαμορφώσει την σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης στο επιθυμητό επίπεδο (δηλαδή στο 35%). Αντιθέτως, κατά την καλοκαιρινή περίοδο η λειτουργία του δεύτερου συστήματος θέρμανσης αποσκοπεί στο να μην αφήσει την παρεχόμενη ψύξη να αυξήσει την σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης πάνω από το όριο του 35%, ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία της να βρίσκεται στους 25 °C.

Κεφάλαιο 4. Αξιολόγηση σεναρίων

Στο κεφάλαιο αυτό αξιολογούνται τρία σενάρια αναφερόμενα σε συγκεκριμένες αλλαγές στη δομή του κτιρίου. Οι αλλαγές αυτές είχαν ως στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, κυρίως από την μεριά του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης. Μετά από την περιγραφή κάθε σεναρίου απεικονίζονται σε μορφή γραφημάτων οι διαφορές που σημειώθηκαν, στα αποτελέσματα που εξετάζονται, μεταξύ του κάθε σεναρίου με το κτίριο αναφοράς ώστε να γίνεται αντιληπτή η οποιαδήποτε μεταβολή που προκλήθηκε σε αυτά εξαιτίας της συγκεκριμένης δομικής αλλαγής που εφαρμόστηκε στο κτίριο.

4.1. Σενάριο 1

Προστέθηκε μονωτικό υλικό σε κάθε εξωτερική πλευρά του κτιρίου καθώς και διαφορετικό μονωτικό υλικό στο πάτωμα και στο ταβάνι. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε μονωτικού περιγράφονται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού.

Δομικό υλικό	U (W/m ² -K)	Πάχος (m)
Μόνωση τοίχου	0.43	0.1
Μόνωση πατώματος και οροφής	0.46	0.05

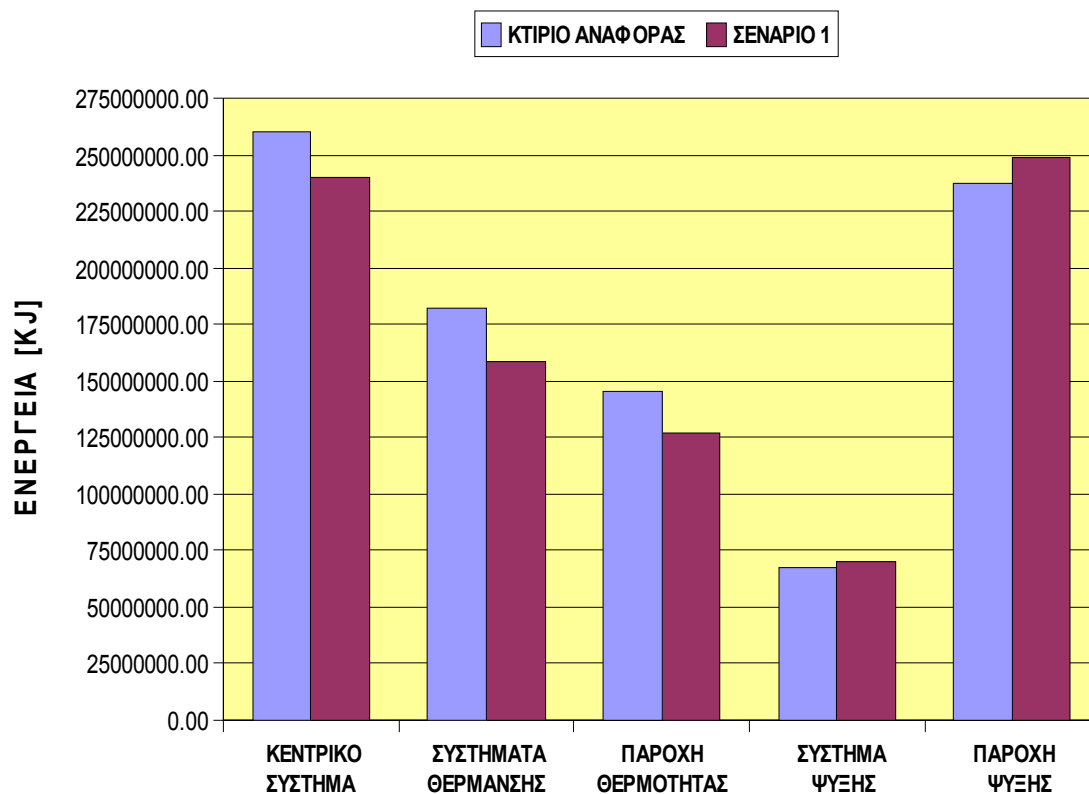
Επίσης επαναπρογραμματίστηκε, για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας, το κύριο σύστημα θέρμανσης να λειτουργεί από τις 1/11 έως τις 30/4 ενώ το σύστημα ψύξης από τις 1/5 έως τις 31/10.

4.1.1. Αποτελέσματα σεναρίου 1

Πίνακας 9: Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου-συστήματος.

Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης [KJ]	Συνολική παροχή θερμικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστημάτων θέρμανσης [KJ]	Συνολική παροχή ψυκτικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος ψύξης [KJ]
239,988,996.7	126,889,105.9	158,611,382.3	248,352,324.4	70,077,420.1

Το διάγραμμα του σχήματος 16 που ακολουθεί συγκρίνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 1 (Πίνακας 9) με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου αναφοράς (Πίνακας 7).



Σχήμα 16: Σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων του σεναρίου 1 με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου αναφοράς.

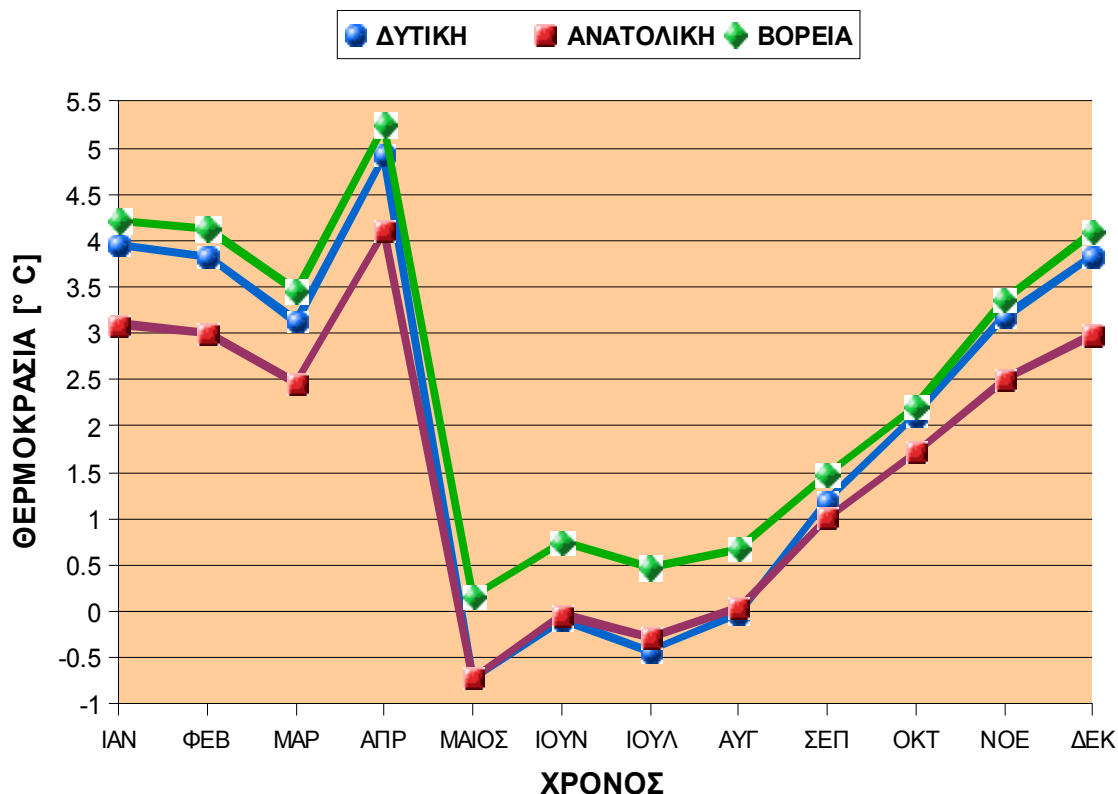
Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως έχει σημειωθεί κάποια πτώση στην ενεργειακή κατανάλωση του κεντρικού συστήματος καθώς επίσης και στην κατανάλωση των συστημάτων θέρμανσης. Αντιθέτως, έχει σημειωθεί άνοδος στην ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος ψύξης.

Η μόνωση του κτιρίου βοήθησε στο να μειωθούν οι θερμικές του απώλειες με επακόλουθο την μείωση των θερμικών του απαιτήσεων και κατά συνέπεια την μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων θέρμανσης. Επιπλέον, ένας ακόμη παράγοντας στην μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων θέρμανσης είναι και η μείωση της περιόδου λειτουργίας του κύριου συστήματος θέρμανσης.

Μπορεί, βέβαια, να μειώθηκε η περίοδος λειτουργίας του κύριου συστήματος θέρμανσης αυξήθηκε όμως η περίοδος λειτουργίας του συστήματος ψύξης, για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας, και αυτό εξαιτίας των ενδείξεων του σχήματος 12 όπου κατά τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο το κτίριο απαιτεί ψύξη. Φυσικά η αλλαγή αυτή είχε ως αποτέλεσμα να αυξήσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος ψύξης.

Συνολικά, πάντως, έχει επιτευχθεί μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση του κεντρικού συστήματος.

Το διάγραμμα του σχήματος 17 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta T = T_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - T_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



Σχήμα 17: Μεταβολή των μηνιαίων θερμοκρασιακών διαφορών κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

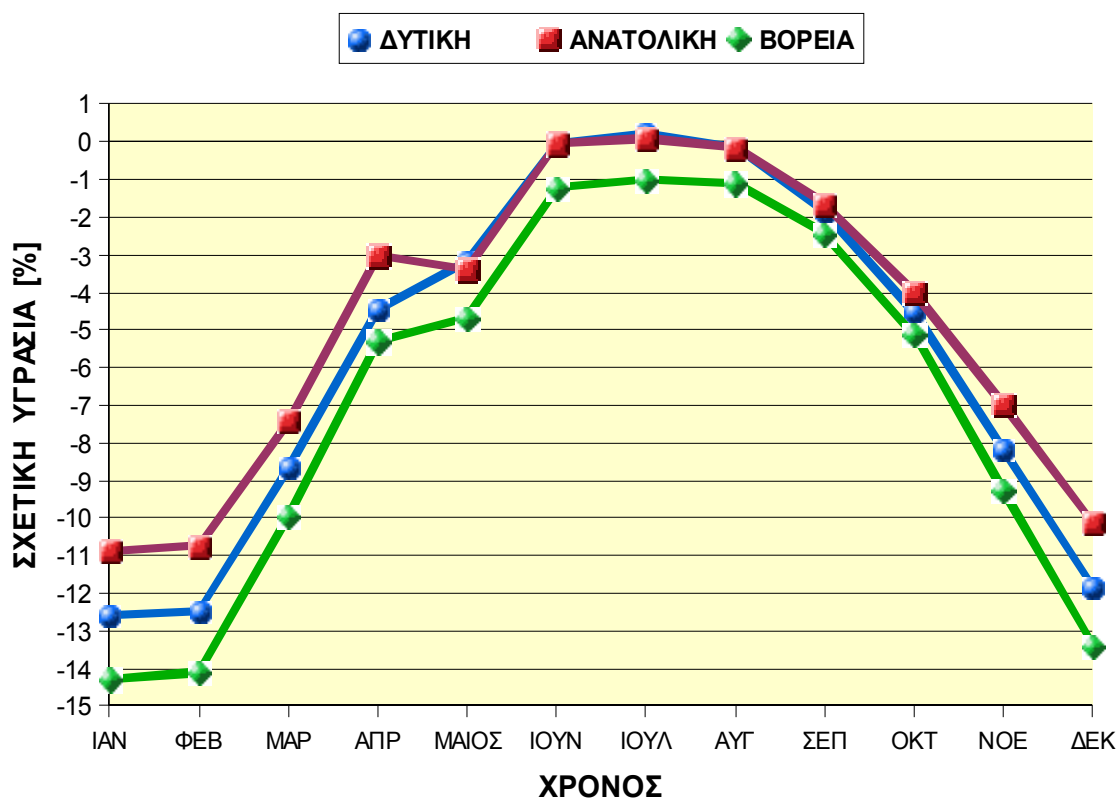
Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, οι μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές κάθε ζώνης έχουν σημειώσει άνοδο κατά την περίοδο Σεπτέμβριος-Απρίλιος, η οποία οφείλεται στην μείωση των θερμικών απωλειών του κτιρίου εξαιτίας της μόνωσης του.

Όσον αφορά την περίοδο Μάιος-Αύγουστος, οι μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές της δυτικής και ανατολικής ζώνης έχουν σημειώσει πτώση ενώ αντίθετως για τη βόρεια ζώνη εξακολουθούν να παρουσιάζουν άνοδο. Αυτό συνέβη επειδή, όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την καλοκαιρινή περίοδο η ανατολική και δυτική πλευρά του κτιρίου επιβαρύνονται περισσότερο από το ηλιακό θερμικό κέρδος από ότι η νότια πλευρά. Επομένως για την δυτική και ανατολική ζώνη τα χαμηλά ηλιακά θερμικά κέρδη τους και η μόνωση του κτιρίου σε συνδυασμό με την παροχή ψύξης βοήθησαν στο να διατηρηθεί η θερμοκρασία τους σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με αυτά του εξωτερικού περιβάλλοντος. Για τη βόρεια ζώνη, όμως, τα μεγάλα ηλιακά θερμικά κέρδη που δέχεται, λόγω των ανοιγμάτων που διαθέτει, σε συνδυασμό με τη μόνωση την επιβαρύνουν θερμικά, ιδιαίτερα όταν το σύστημα ψύξης παύει να λειτουργεί ενώ ο ήλιος βρίσκεται ακόμη ψηλά.

Μία ακόμη ένδειξη που παρατηρείται από το παραπάνω γράφημα είναι ότι οι θερμοκρασιακές τιμές της δυτικής, ανατολικής και βόρειας ζώνης για τον μήνα Απρίλιο, παρουσιάζουν ασυνήθιστα μεγάλη άνοδο. Αυτή η άνοδος οφείλεται στο ότι κατά τον

μήνα Απρίλιο το κτίριο επηρεάζεται από τα ηλιακά θερμικά κέρδη τα οποία μαζί με την μόνωση και την παροχή θέρμανσης συντελούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του.

Στο παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 18 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta RH = RH_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - RH_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



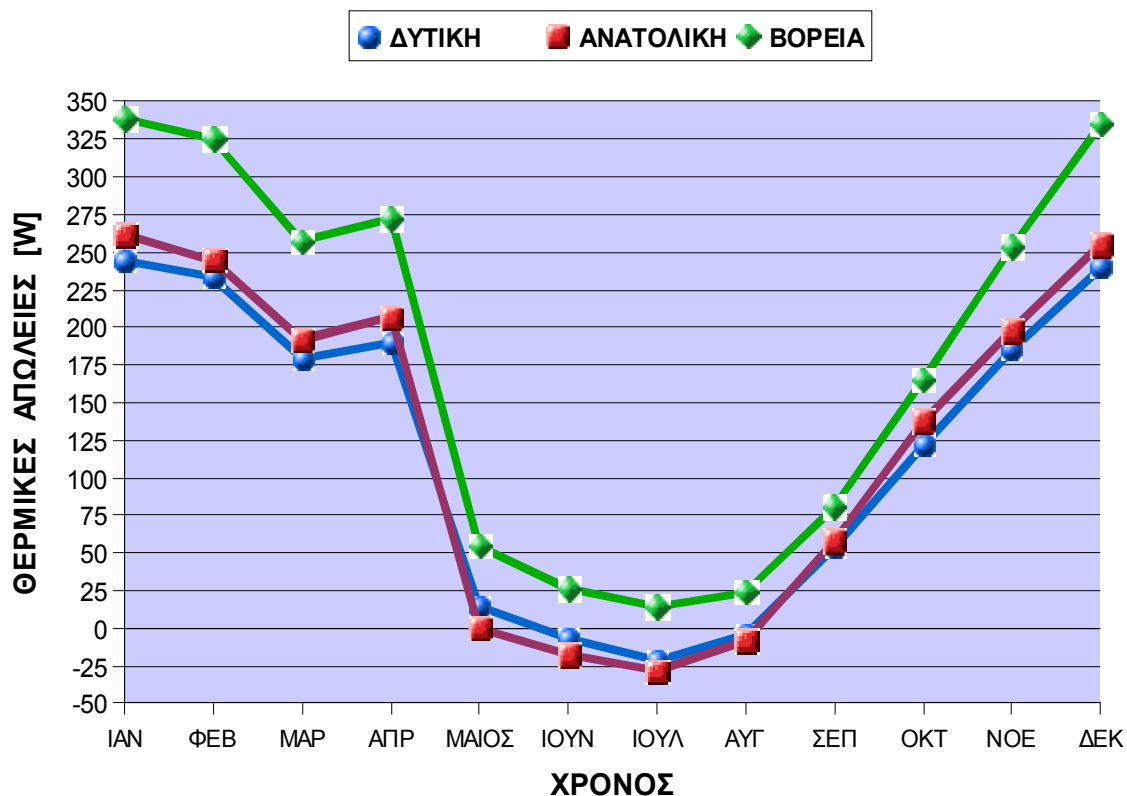
Σχήμα 18: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι κατά την περίοδο Σεπτέμβριος-Μάιος οι μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας κάθε ζώνης έχουν σημειώσει πτώση, με τις μεγαλύτερες πτώσεις να σημειώνονται κατά τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Ιανουάριος). Αυτή η πτώση είναι ένα άμεσο επακόλουθο της αύξησης της θερμοκρασίας που σημειώθηκε σε κάθε ζώνη, για την ίδια χρονική περίοδο.

Κατά την περίοδο Ιούνιος-Αύγουστος μόνο η βόρεια ζώνη εξακολουθεί να σημειώνει πτώση στην σχετική της υγρασία ενώ οι υπόλοιπες δύο ζώνες δεν παρουσιάζουν κάποια μεταβολή. Αυτό συνέβη επειδή μόνο η βόρεια ζώνη παρουσιάζει αυξημένη θερμοκρασία κατά την ίδια χρονική περίοδο (Σχήμα 17) ενώ αντιθέτως οι υπόλοιπες δύο ζώνες παρουσιάζουν αμελητέα πτώση σε αυτήν.

Επίσης, για τον μήνα Απρίλιο αν και αναμενόταν να σημειωθεί μεγαλύτερη πτώση στη σχετική υγρασία κάθε ζώνης από την αναγραφόμενη, αυτή δε συνέβη επειδή στην προσπάθεια του δεύτερου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης να μειώσουν την θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης στους 25 °C προκάλεσαν αύξηση στην σχετική υγρασία κάθε ζώνης. Σταδιακά, βέβαια, ρυθμίζουν και την σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης μέχρις ωσότου να προσεγγιστεί το όριο του 35 %, επηρεάζοντας φυσικά και τις υπόλοιπες ζώνες.

Το διάγραμμα του σχήματος 19 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές των θερμικών απωλειών διαμέσου των υαλοπινάκων κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta L = L_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - L_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

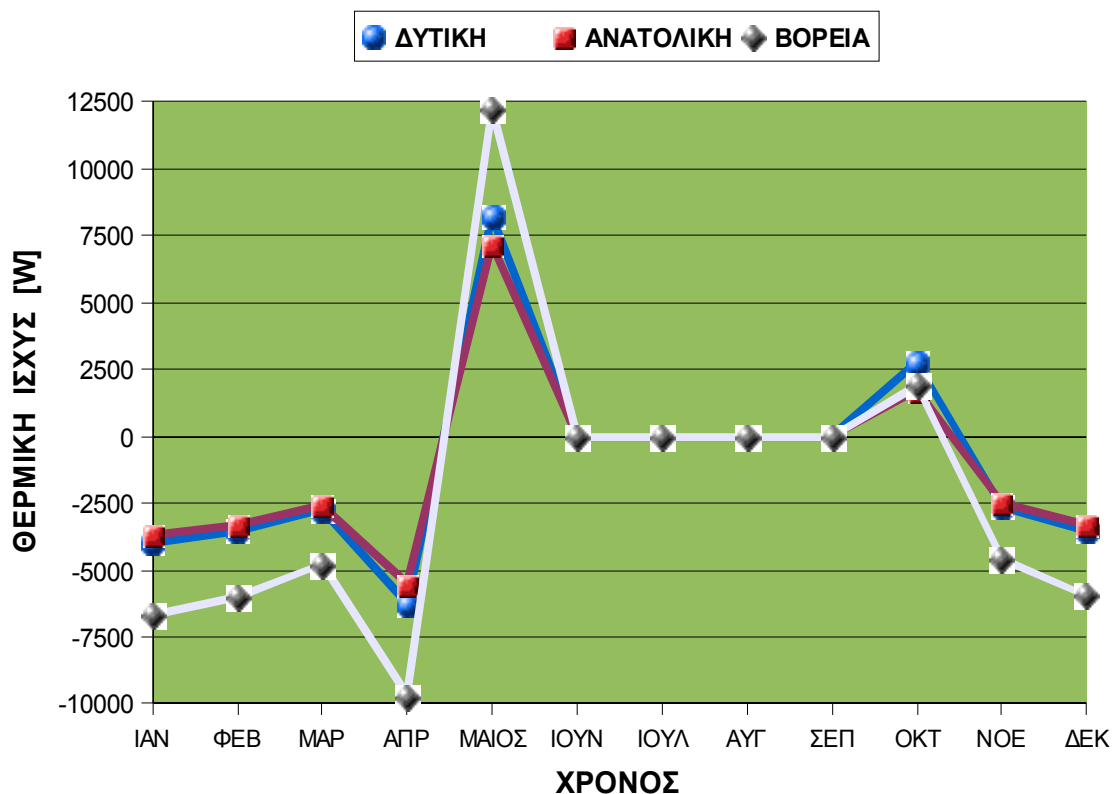


Σχήμα 19: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων θερμικών απωλειών που καταγράφηκαν για τους υαλοπίνακες κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

Αυτό που παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι κατά την περίοδο Σεπτέμβριος-Απρίλιος έχει καταγραφεί άνοδος στις θερμικές απώλειες που υπάρχουν από τους υαλοπίνακες κάθε ζώνης. Αυτή η άνοδος οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της κάθε ζώνης και του εξωτερικού περιβάλλοντος, η οποία προκλήθηκε από την άνοδο της θερμοκρασίας τους.

Αντιθέτως κατά τη περίοδο Μάιος-Αύγουστος οι θερμικές απώλειες από τους υαλοπίνακες της δυτικής και ανατολικής ζώνης παρουσιάζουν πτώση διότι οι συγκεκριμένες ζώνες βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασιακή κατάσταση από ότι πριν εφαρμοστεί η μόνωση. Όσον αφορά την βόρεια ζώνη, οι υαλοπίνακες της παρουσιάζουν αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω του ότι η θερμοκρασία έχει σημειώσει άνοδο για την ίδια περίοδο.

Το διάγραμμα του σχήματος 20 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta L = L_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - L_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

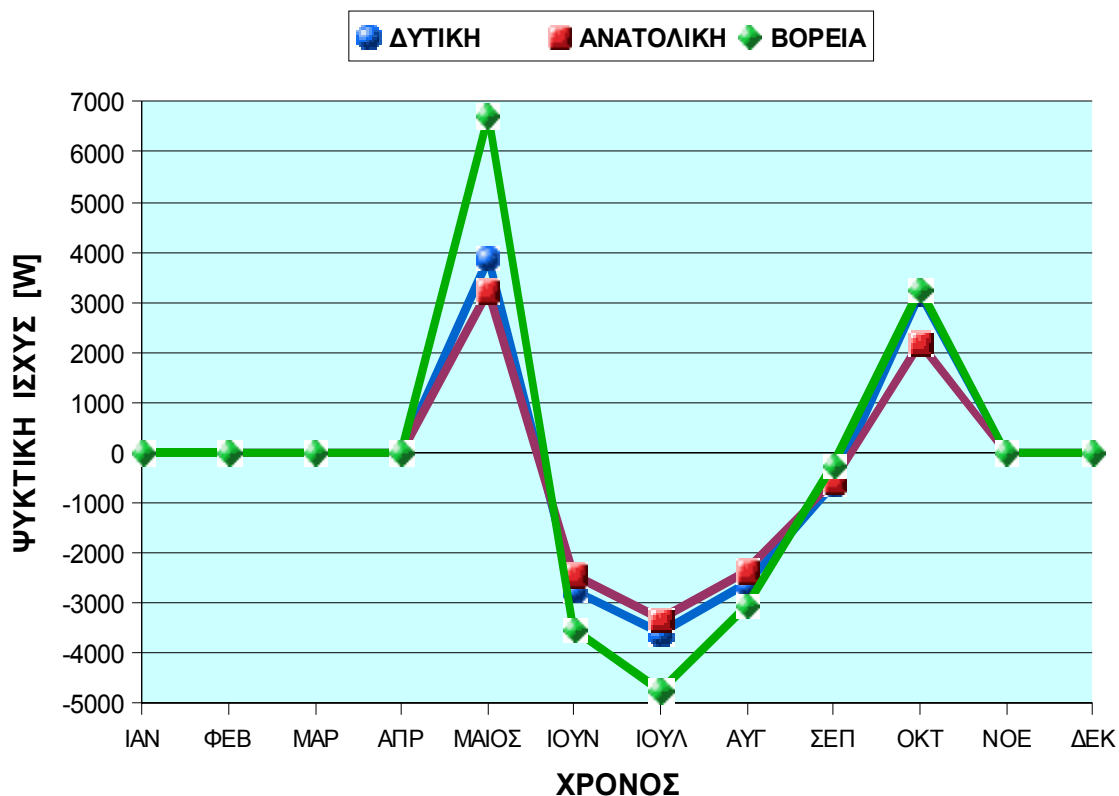


Σχήμα 20: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

Σύμφωνα με τις ενδείξεις του παραπάνω διαγράμματος προκύπτει ότι το κτίριο απαιτεί ψύξη τον μήνα Απρίλιο αντί για θέρμανση. Αυτή η απαίτηση είναι πολύ λογική αν παρατηρηθεί η άνοδος της θερμοκρασίας που έχει σημειωθεί για κάθε ζώνη τον συγκεκριμένο μήνα (βλέπε σχήμα 17).

Επίσης, οι ενδείξεις θετικών τιμών κάθε ζώνης για τους μήνες Μάιος και Οκτώβριος δεν λαμβάνονται υπόψιν αφού έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί μόνο το σύστημα ψύξης κατά την περίοδο Μάιος-Οκτώβριος, για τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας.

Το παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 21 απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές ειδικής ψυκτικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta D = D_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - D_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



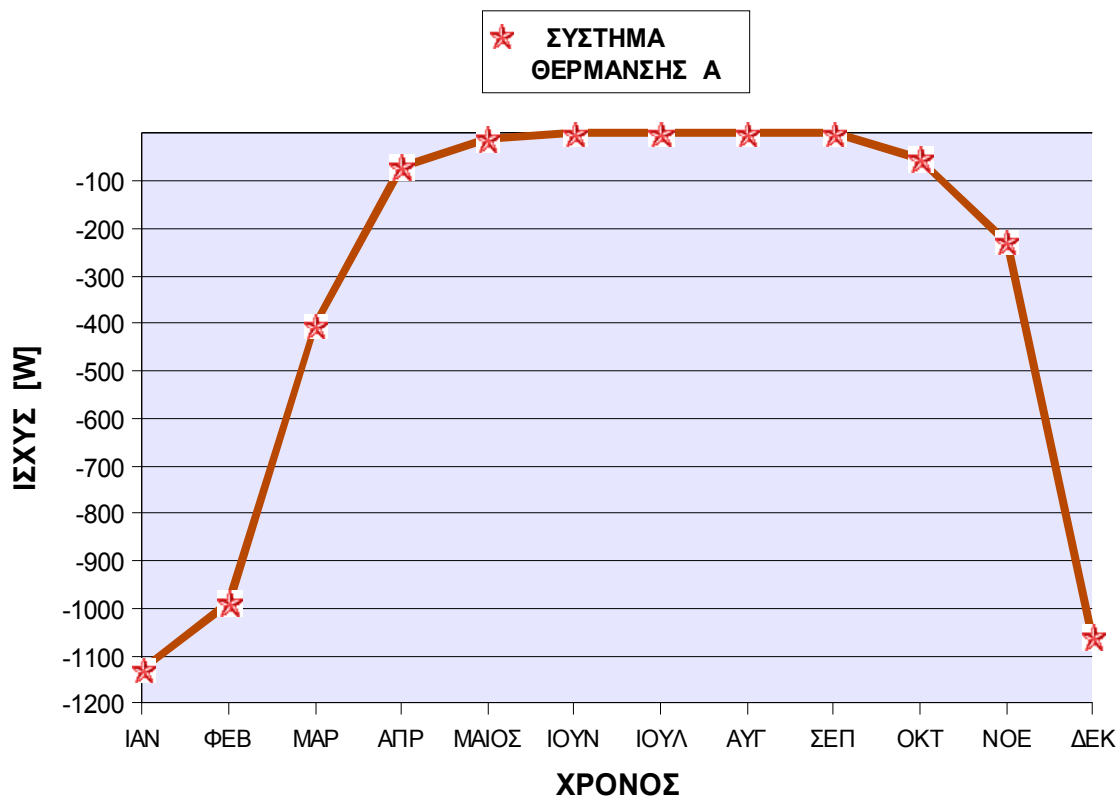
Σχήμα 21: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών ειδικής ψυκτικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι έχουν μειωθεί οι ψυκτικές απαιτήσεις κάθε ζώνης για την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος.

Επίσης, οι ενδείξεις θετικών τιμών για τους μήνες Μάιος και Οκτώβριος δηλώνουν τις πραγματικές ψυκτικές απαιτήσεις κάθε ζώνης και όχι απλώς μια διαφορά ψυκτικών απαιτήσεων μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς. Από τις συγκεκριμένες ενδείξεις γίνεται αντιληπτό ότι το κτίριο έχει υψηλές ψυκτικές απαιτήσεις τον μήνα Μάιο. Αυτές οι ενδείξεις είναι λογικές αν ληφθούν υπόψιν οι θερμοκρασιακές τιμές του σχήματος 9, που έχουν καταγραφεί τον μήνα Μάιο, οι οποίες δείχνουν πόσο υψηλές είναι αυτές οι τιμές πριν αλλάξει το πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος ψύξης.

Η μόνωση του κτιρίου έχει βοηθήσει αρκετά στο να μειωθούν οι ψυκτικές του απώλειες. Το μόνο μειονέκτημα που παρουσιάζεται, από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας, κατά την αξιολόγηση αυτού του σεναρίου είναι η αυξημένη περίοδος λειτουργίας του συστήματος ψύξης για τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας.

Το διάγραμμα του σχήματος 22 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το κύριο σύστημα θέρμανσης, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta\text{Watt} = \text{Watt}_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - \text{Watt}_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

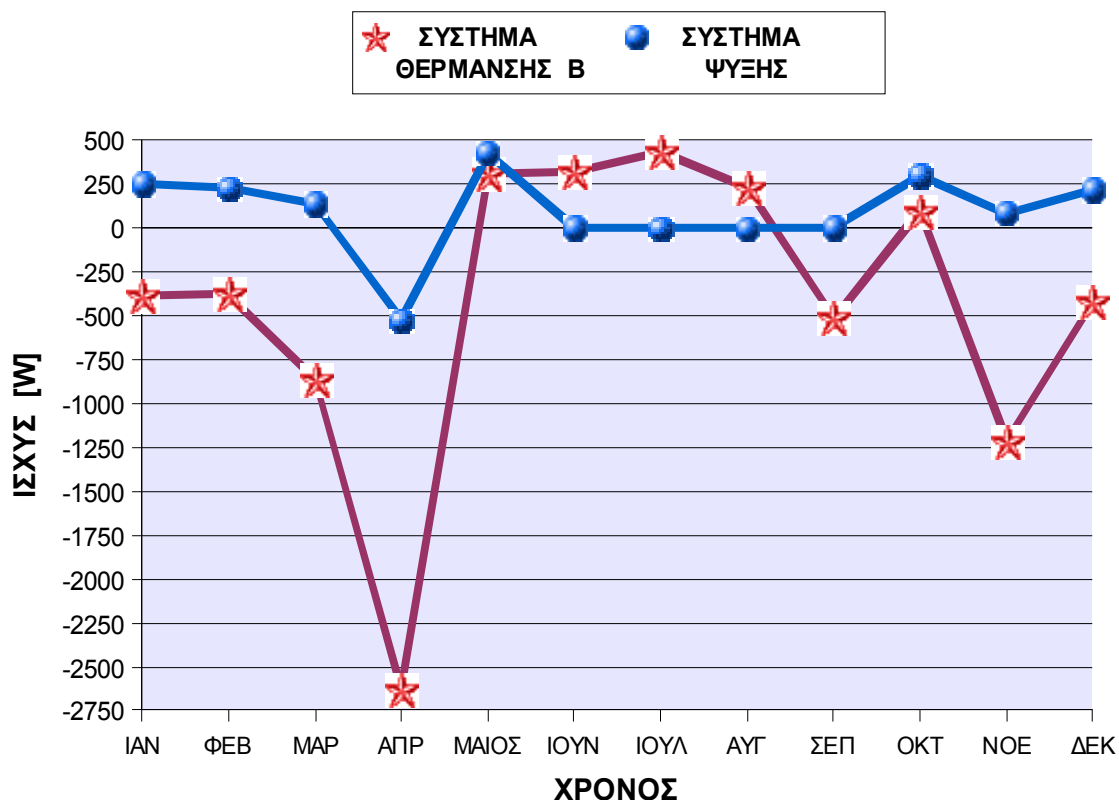


Σχήμα 22: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι οι μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης, έχουν σημειώσει πτώση για την περίοδο Νοέμβριος-Απρίλιος, με τις σημαντικότερες πτώσεις να καταγράφονται κατά τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος). Φυσικά αυτό είναι επακόλουθο των μειωμένων θερμικών απαιτήσεων που έχει η ανατολική ζώνη, εξαιτίας της μόνωσης του κτιρίου, με συνέπεια είτε να απαιτείται κάθε φορά μικρό ποσό θερμικής ενέργειας ώστε η θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης να προσεγγίσει τους 25 °C, είτε να παύει η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος στην περίπτωση που η θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης έχει ξεπεράσει τους 25 °C.

Επίσης, οι ενδείξεις καταναλώσεων κατά την περίοδο Μάιος-Οκτώβριος δεν λαμβάνονται υπόψιν αφού έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί μόνο το σύστημα ψύξης για τη συγκεκριμένη περίοδο.

Το διάγραμμα του σχήματος 23 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το δεύτερο σύστημα θέρμανσης καθώς και για το σύστημα ψύξης, μεταξύ του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta\text{Watt} = \text{Watt}_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 1}} - \text{Watt}_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



Σχήμα 23: Μεταβολές των διαφορών των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης, μεταξύ σεναρίου 1 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι έχουν σημειώσει πτώση οι μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το δεύτερο σύστημα θέρμανσης κατά την περίοδο Σεπτέμβριος-Απρίλιος, με εξαίρεση τον μήνα Οκτώβριο όπου παρουσιάζεται μικρή άνοδος σε αυτήν.

Επίσης, για το σύστημα ψύξης παρατηρείται άνοδος στις τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος, με εξαίρεση τον μήνα Απρίλιο όπου είναι ο μοναδικός στον οποίο έχει καταγραφεί πτώση, ενώ για την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος δεν παρουσιάζεται γενικότερα κάποια μεταβολή σε αυτές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύστημα ψύξης σε συνδυασμό με το δεύτερο σύστημα θέρμανσης είναι ικανά να διαμορφώνουν τη θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης και ταυτόχρονα την σχετική της υγρασία. Το θερμικό όφελος που αποκομίστηκε για το κτίριο, από την μόνωση του, κατά την περίοδο Νοέμβριος-Μάρτιος συνετέλεσε στο να μειωθεί η σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης κοντά στο όριο του 35%. Επιπλέον, εξαιτίας της μόνωσης καθώς και των εσωτερικών θερμικών κερδών, η θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης παρουσιάζει άνοδο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κύριου συστήματος θέρμανσης προκαλώντας την παύση της λειτουργίας του. Επομένως σε αυτή την περίπτωση η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης διαμορφώνονται από το σύστημα ψύξης σε συνδυασμό με το δεύτερο σύστημα

θέρμανσης. Αυτή η άνοδος της θερμοκρασίας είχε ως αποτέλεσμα να απαιτηθεί κάποιο αυξημένο ποσό ψυκτικής ενέργεια σε συνδυασμό με ένα χαμηλό ποσό θερμικής ενέργειας ώστε να διαμορφωθούν ταυτόχρονα η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης στους 25 °C και 35 % αντίστοιχα, προκαλώντας τις ανάλογες καταναλώσεις στα αντίστοιχα συστήματα.

Όσον αφορά τον μήνα Απρίλιο, λόγω του ότι έχει σημειωθεί υψηλή θερμοκρασία για την ανατολική ζώνη, το σύστημα ψύξης μαζί με το δεύτερο σύστημα θέρμανσης προσπαθούν να διαμορφώσουν πρώτα τη θερμοκρασία αυτής και κατόπιν τη σχετική της υγρασία. Αυτό όμως δεν είναι άμεσα εφικτό επειδή μειώνοντας την υψηλή θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης αυξάνεται απότομα η σχετική υγρασία αυτής. Επομένως στη συγκεκριμένη περίπτωση τα δύο αυτά συστήματα δεν λειτουργούν ή υπολειτουργεί σε μερικές περιπτώσεις μόνο το σύστημα ψύξης. Έτσι και καταγράφονται μειωμένες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το κάθε σύστημα.

Για την περίοδο Μάιος-Αύγουστος καθώς και για τον μήνα Οκτώβριο η παροχή ψυκτικής ενέργειας έχει αυξήσει την σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης πάνω από το όριο του 35%. Επομένως το δεύτερο σύστημα θέρμανσης θα έπρεπε να δώσει ένα κατάλληλο ποσό θερμικής ενέργειας ώστε να μειώσει την σχετική υγρασία της ανατολικής κάτω από αυτό το όριο, ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία της διατηρείται στους 25 °C, με επακόλουθο την αύξηση στη κατανάλωση της ηλεκτρικής του ισχύος.

4.2. Σενάριο 2

Αντικαταστάθηκαν οι υαλοπίνακες σε κάθε παράθυρο και πόρτα. Επιλέχτηκε διπλός υαλοπίνακας συνολικού πάχους 9 mm, που στο εσωτερικό του έχει διάκενο 3 mm συμπληρωμένο με αέρα. Ο πίνακας 10 που ακολουθεί περιγράφει τα τεχνικά και οπτικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα που επιλέχτηκε.

Πίνακας 10: Τεχνικά και οπτικά χαρακτηριστικά ανά υαλοπίνακα.

Πάχος (m)	U (W/m ² -k)	Συντελεστής εκπομπής της ηλιακής ακτιν/λίας	Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτιν/λίας (για όλο το φάσμα)	Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτιν/λίας (για το ορατό φάσμα)	Συντελεστής εκπομπής υπέρυθρης ακτιν/λίας
0.003	300	0.9	0.031	0.05	0.84

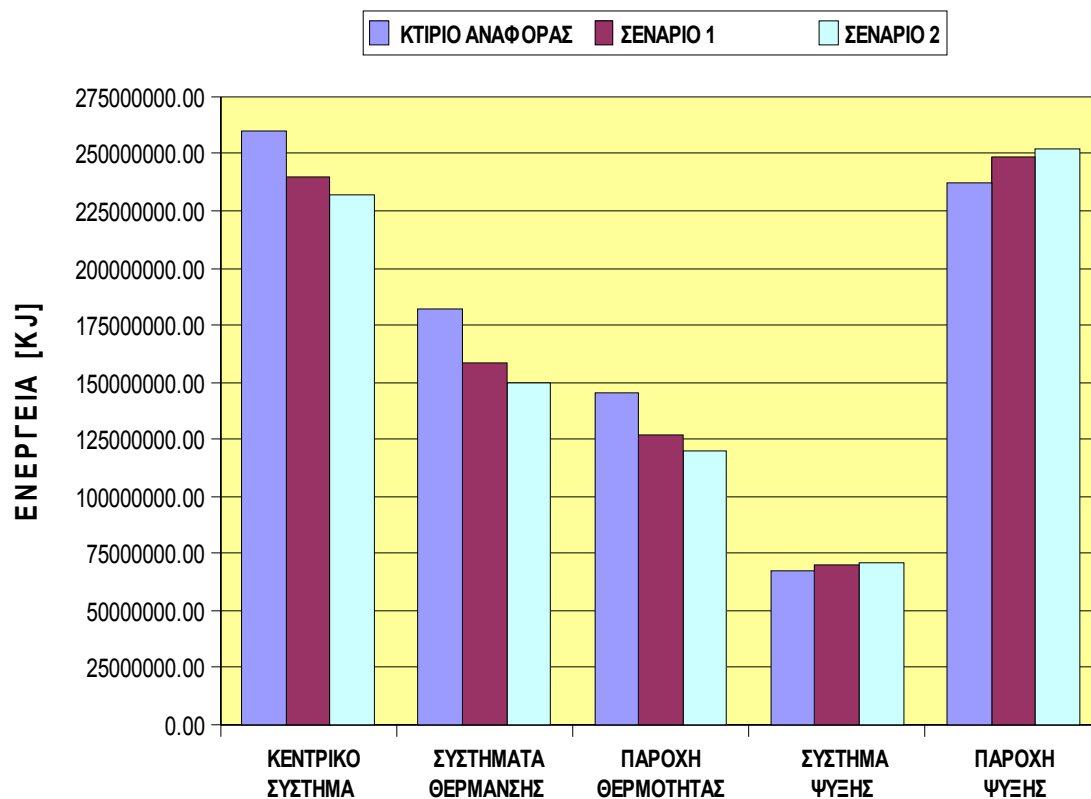
Επίσης επαναπρογραμματίστηκε, για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας, το σύστημα θέρμανσης να λειτουργεί από τις 1/11 έως τις 31/3 ενώ το σύστημα ψύξης από τις 1/4 έως τις 31/10.

4.2.1. Αποτελέσματα σεναρίου 2

Πίνακας 11: Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου-συστήματος.

Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος Furnace [KJ]	Συνολική παροχή θερμικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστημάτων θέρμανσης [KJ]	Συνολική παροχή ψυκτικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος ψύξης [KJ]
232,030,978.3	119.645.951.5	149,557,439.3	252,202,266.7	71,173,344.7

Το διάγραμμα του σχήματος 24 που ακολουθεί συγκρίνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 2 (Πίνακας 11) με τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 1 (Πίνακας 9) και τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου αναφοράς (Πίνακας 7).



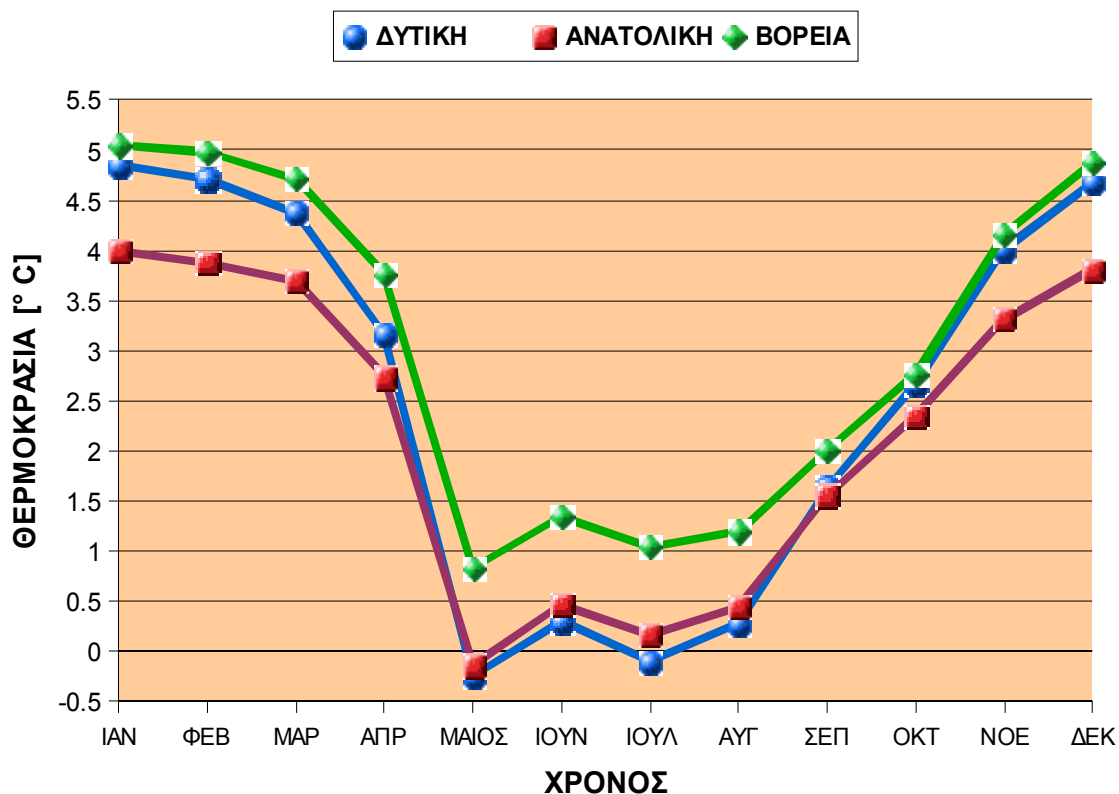
Σχήμα 24: Σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων του σεναρίου 2 με τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, έχει σημειωθεί μία περαιτέρω πτώση στην ενεργειακή κατανάλωση του κεντρικού συστήματος όπως επίσης και για τα συστήματα θέρμανσης. Επίσης, παρατηρείται και μια περαιτέρω μικρή άνοδος στην ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος ψύξης.

Οι περαιτέρω πτώσεις στις ενεργειακές καταναλώσεις των συστημάτων θέρμανσης είναι ένα επακόλουθο του θερμικού οφέλους που αποκομίσθηκε για το κτίριο από την επιλογή του διπλού υαλοπίνακα. Ο νέος υαλοπίνακας εκτός του ότι διαθέτει καλύτερα οπτικά χαρακτηριστικά, από την άποψη ότι εκμεταλλεύονται αποδοτικότερα τα άμεσα και έμμεσα ηλιακά θερμικά κέρδη, αποτελεί και μια καλή μόνωση για τα ανοίγματα του κτιρίου στα οποία παρατηρούνται μεγάλες θερμικές ή ψυκτικές απώλειες. Φυσικά θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η μείωση της περιόδου λειτουργίας του κύριου συστήματος θέρμανσης.

Όσον αφορά, τώρα, την περαιτέρω άνοδος στην ενεργειακή κατανάλωση που παρουσιάζει το σύστημα ψύξης αυτή οφείλεται στην αύξηση της περιόδου λειτουργίας του, για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας.

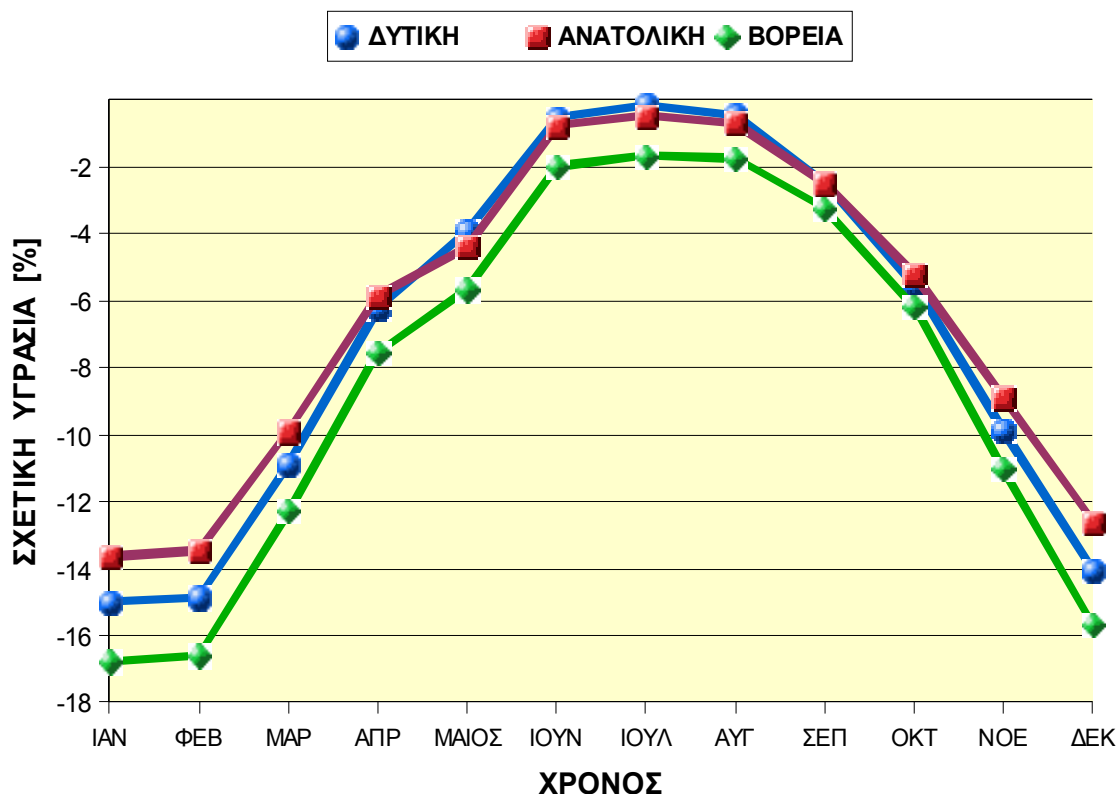
Το διάγραμμα του σχήματος 25 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta T = T_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - T_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



Σχήμα 25: Μεταβολή των μηνιαίων θερμοκρασιακών διαφορών κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, έχει σημειωθεί γενικότερα μια άνοδο στις μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές κάθε ζώνης μέσα στο έτος. Αυτή η άνοδος οφείλεται στο θερμικό όφελος που αποκομίσθηκε κυρίως λόγω των οπτικών χαρακτηριστικών που διαθέτει ο υαλοπίνακας καθώς και από την μόνωση που έχει εφαρμοσθεί στις τοιχοποιίες του κτιρίου. Επίσης, παρατηρείται και κάποια μικρή εξομάλυνση στην μεταβολή των μηνιαίων θερμοκρασιακών τιμών.

Το διάγραμμα του σχήματος 26 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta RH = RH_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - RH_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

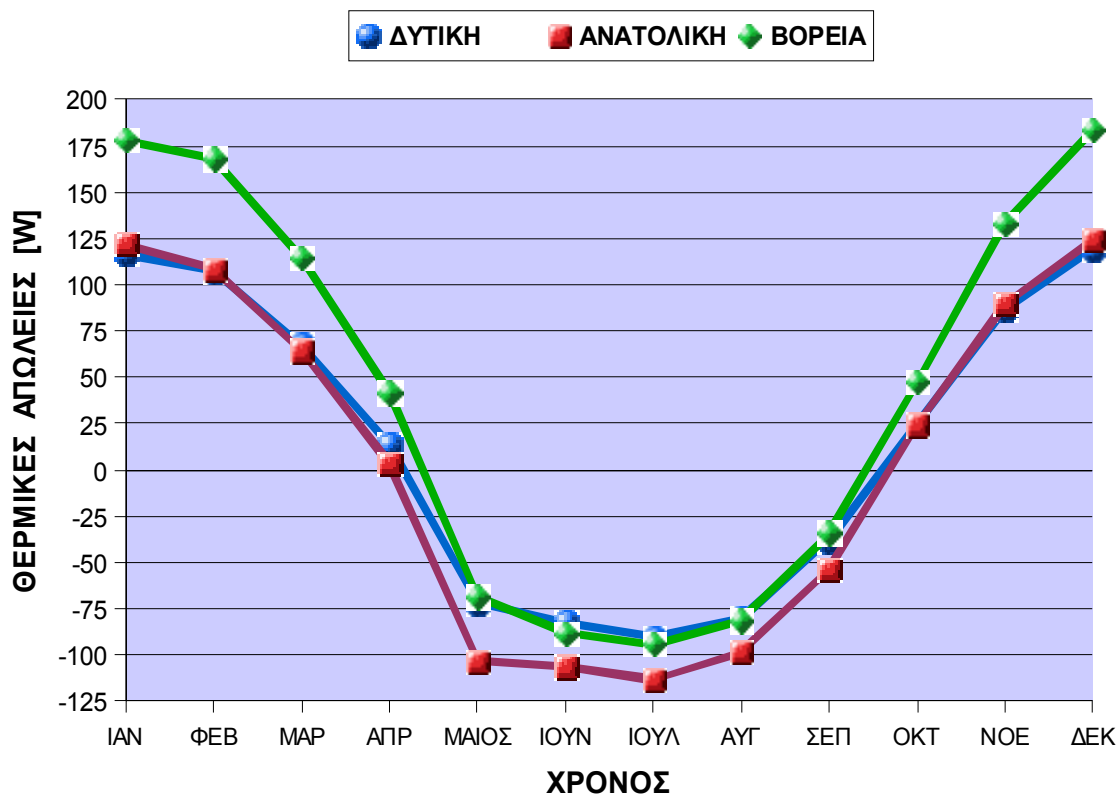


Σχήμα 26: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται σημαντική πτώση για τις μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας κάθε ζώνης, με τις μεγαλύτερες πτώσεις να καταγράφονται κατά τη χειμερινή περίοδο. Επίσης, παρατηρείται ότι κατά την περίοδο Ιούνιος-Αύγουστος η πτώση στις τιμές σχετικής υγρασίας για την δυτική και ανατολική ζώνη είναι μικρή ενώ αντίθετως η μόνη ζώνη που εξακολουθεί να παρουσιάζει σημαντική πτώση στην σχετική της υγρασία είναι η βόρεια ζώνη.

Αυτό που μπορεί να επισημανθεί είναι ότι η αύξηση στη θερμοκρασία του κτιρίου έχει συντελέσει στην μείωση της σχετικής του υγρασία.

Το διάγραμμα του σχήματος 27 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές των θερμικών απωλειών διαμέσου των υαλοπινάκων κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta L = L_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - L_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

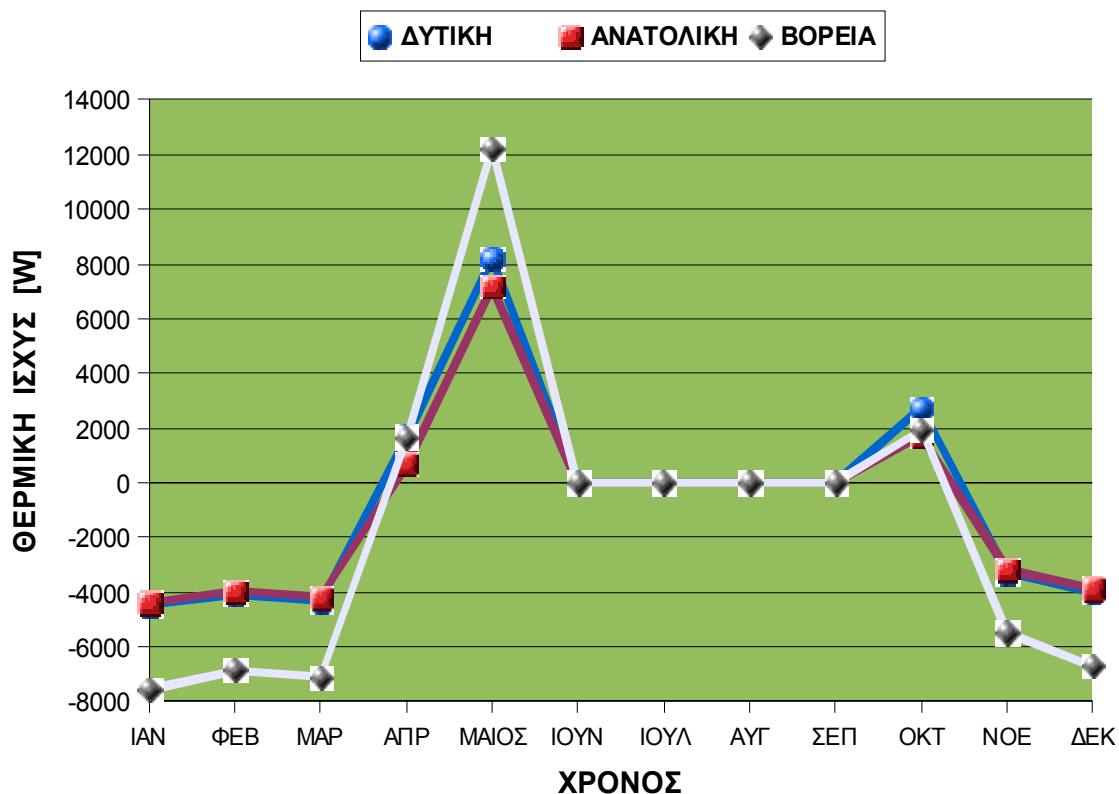


Σχήμα 27: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων θερμικών απωλειών που καταγράφηκαν για τους υαλοπίνακες κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι οι θερμικές απώλειες που υφίστανται από τους υαλοπίνακες κάθε ζώνης κατά την περίοδο Νοέμβριος-Μάρτιος έχουν αυξηθεί. Λογικό είναι κάθε φορά που μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος να μεγαλώνουν και οι θερμικές απώλειες κάθε ζώνης διαμέσου των υαλοπινάκων της. Οι απώλειες, όμως, αυτές δεν είναι σημαντικά μεγάλες στο να διαστρεβλώσουν τον μονωτικό χαρακτήρα που έχει ο νέος υαλοπίνακας και αυτό φαίνεται άλλωστε από την άνοδο της θερμοκρασίας που έχει καταγραφεί για κάθε ζώνη την συγκεκριμένη περίοδο.

Όσον αφορά, τώρα, την πτώση των θερμικών απωλειών κατά την περίοδο Μάιος-Αύγουστος, αποτελεί μια θετική ένδειξη στο ότι το κτίριο διατηρεί τη θερμοκρασία, που του έχει προσδώσει το σύστημα ψύξης, σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον εξαιτίας του μονωτικού χαρακτήρα που έχουν οι καινούργιοι υαλοπίνακες καθώς και της μόνωσης που έχει εφαρμοστεί στις τοιχοποιίες του κτιρίου.

Στο διάγραμμα του σχήματος 28 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta L = L_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - L_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

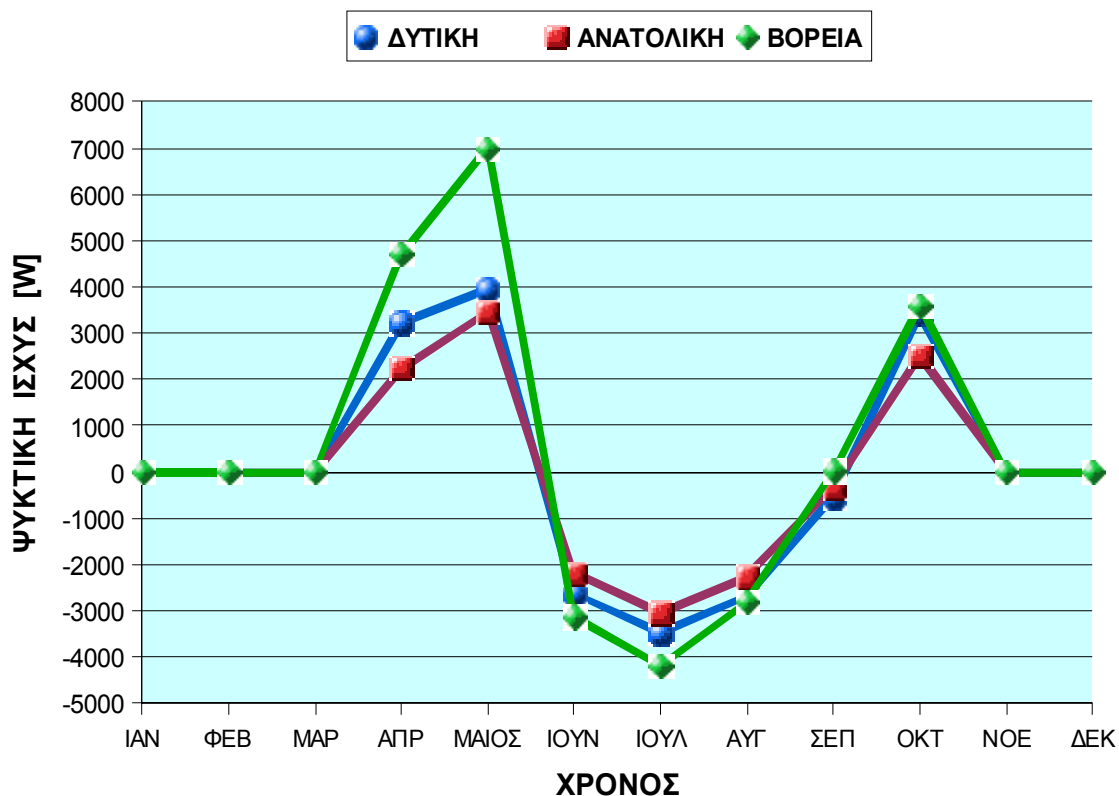


Σχήμα 28: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Από τις ενδείξεις του παραπάνω διαγράμματος προκύπτει ότι οι θερμικές απαιτήσεις κάθε ζώνης έχουν μειωθεί αρκετά σημαντικά για την περίοδο Νοέμβριος-Μάρτιος. Η μείωση, μάλιστα, των θερμικών απαιτήσεων είναι τέτοια που το κτίριο αρχίζει να απαιτεί ψύξη για τους μήνες Μάρτιο και Νοέμβριο ώστε η θερμοκρασία του να προσεγγίσει τους 25 °C.

Επίσης, οι ενδείξεις θετικών τιμών κάθε ζώνης για τους μήνες Απρίλιος, Μάιος και Οκτώβριος δεν λαμβάνονται υπόψιν αφού έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί το σύστημα ψύξης κατά την περίοδο Απρίλιος-Οκτώβριος για τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας.

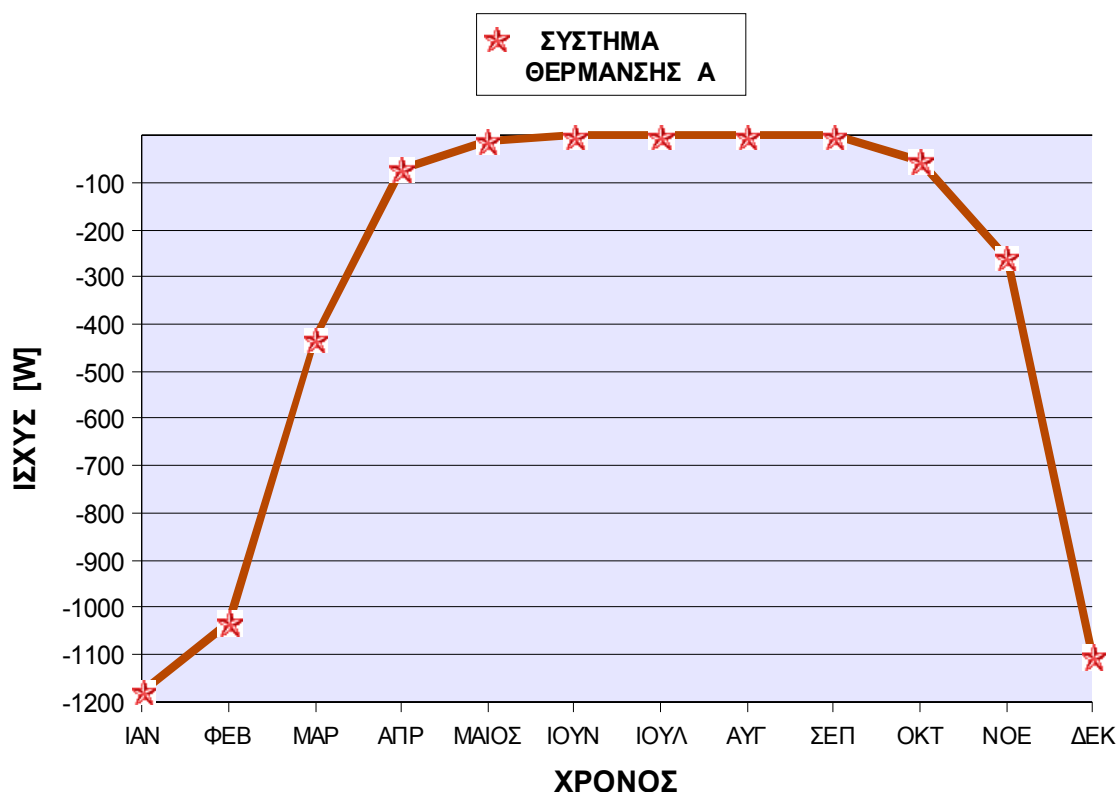
Το παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 29 απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές ειδικής ψυκτικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta D = D_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - D_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



Σχήμα 29: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών ειδικής ψυκτικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως οι ψυκτικές απαιτήσεις κάθε ζώνης οι οποίες έχουν καταγραφεί κατά την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος, έχουν μειωθεί σημαντικά. Βέβαια, αν και παρατηρείται αυτή η μείωση, ταυτόχρονα παρατηρείται και μία αύξηση στις ψυκτικές απαιτήσεις που παρουσιάζουν και οι τρεις ζώνες για τους μήνες Απρίλιος, Μάιος και Οκτώβριος (ενδείξεις θετικών τιμών), η οποία συντελεί σημαντικά στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωση του συστήματος ψύξης.

Στο διάγραμμα του σχήματος 30 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το κύριο σύστημα θέρμανσης, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta\text{Watt} = \text{Watt}_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - \text{Watt}_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



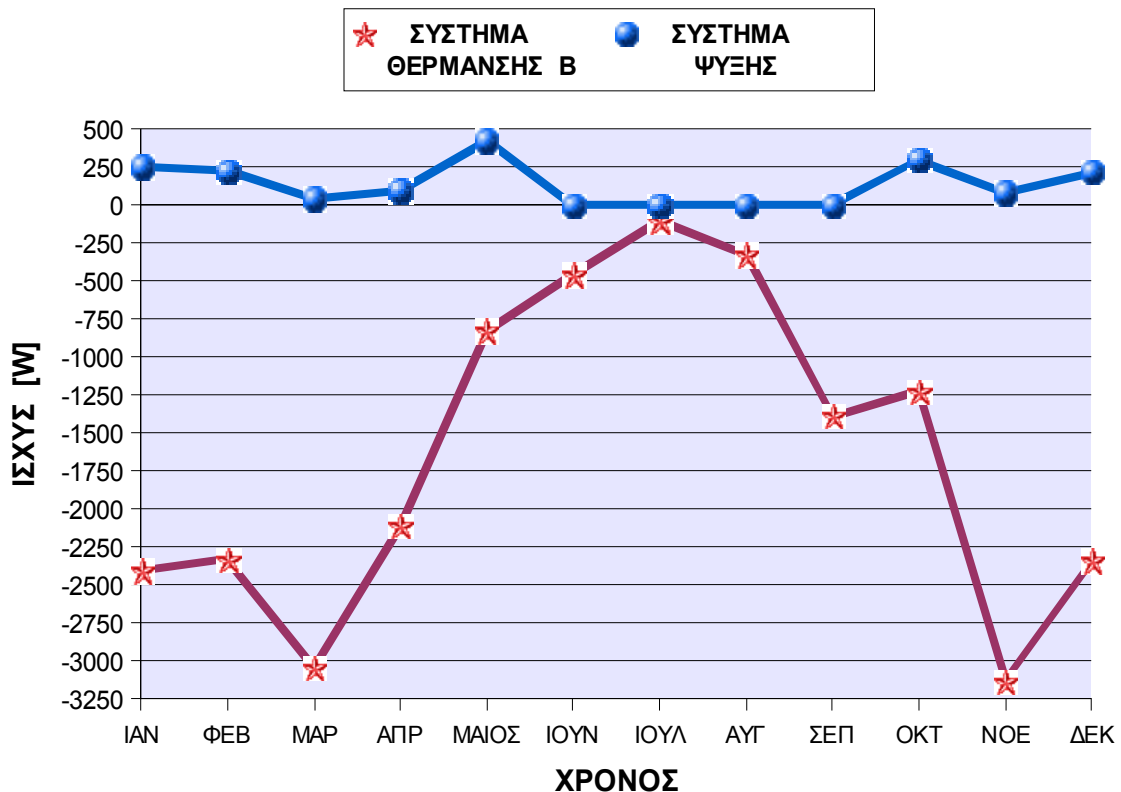
Σχήμα 30: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, έχει σημειωθεί πτώση στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ισχύος για το κύριο σύστημα θέρμανσης κατά την περίοδο Νοέμβριος-Μάρτιος, με τη σημαντικότερη να καταγράφεται τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μόνωση στις τοιχοποιίες του κτιρίου και ο μονωτικός ρόλος του υαλοπίνακα που επιλέχτηκε βοήθησαν στο να μειωθούν σημαντικά οι θερμικές απώλειες του κτιρίου, και φυσικά της ανατολικής ζώνης, διατηρώντας την θερμοκρασία του σε υψηλά επίπεδα. Αυτή, όμως, η αύξηση θερμοκρασίας περιορίζει τη λειτουργία αυτού του συστήματος και πλέον η διαμόρφωση της θερμοκρασίας της ανατολικής ζώνης γίνεται από το σύστημα ψύξης σε συνδυασμό με το δεύτερο σύστημα θέρμανσης.

Επίσης, οι ενδείξεις καταναλώσεων κατά την περίοδο Απρίλιος-Οκτώβριος δεν λαμβάνονται υπόψιν αφού έχει προγραμματιστεί να λειτουργεί μόνο το σύστημα ψύξης τη συγκεκριμένη περίοδο.

Το διάγραμμα του σχήματος 31 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το δεύτερο σύστημα θέρμανσης καθώς και για το σύστημα ψύξης, μεταξύ του σεναρίου 2 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta\text{Watt} = \text{Watt}_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 2}} - \text{Watt}_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



Σχήμα 31: Μεταβολές των διαφορών των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης, μεταξύ σεναρίου 2 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται γενικώς μία σημαντική πτώση στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης. Αντιθέτως για το σύστημα ψύξης παρατηρείται άλλοτε μικρή άνοδος στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος αυτού και άλλοτε καμία μεταβολή σε αυτές.

Πιο συγκεκριμένα για την περίοδο Νοέμβριος-Μάρτιος η θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης έχει σημειώσει τέτοια άνοδο η οποία, αν και έχει συντελέσει στην μείωση της σχετικής της υγρασίας κοντά στο 35%, έχει ξεπεράσει τους 25 °C. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται κάποιο αυξημένο ποσό ψυκτικής ενέργειας το οποίο σε συνδυασμό με ένα μικρό ποσό θερμικής ενέργειας θα διαμορφώσουν τις τιμές των δύο αυτών μεταβλητών στα επιθυμητά επίπεδα.

Κατά την περίοδο Απρίλιος-Οκτώβριος αυξημένη κατανάλωση για το σύστημα ψύξης εμφανίζουν οι μήνες Απρίλιος και Οκτώβριος, η οποία οφείλεται στο ότι η ανατολική ζώνη επιβαρύνεται θερμικά τους συγκεκριμένους μήνες. Όσον αφορά το δεύτερο σύστημα θέρμανσης, για την ίδια περίοδο πάλι, οι ενδείξεις των μειωμένων τιμών κατανάλωσης ισχύος δηλώνουν ότι απαιτείται μικρό ποσό θερμότητας ώστε η σχετική υγρασία της ανατολικής ζώνης να μην ξεπεράσει το 35%.

4.3. Σενάριο 3

Προστέθηκε φωτοβολταϊκό πάνελ στην ταράτσα του κτιρίου, πάνω από την ανατολική ζώνη. Τοποθετήθηκε σε πλαίσιο πάχους 5 εκατοστών το οποίο διαθέτει ανοίγματα από πάνω ώστε να υφίσταται φυσικός αερισμός από κάτω του. Ο πίνακας 12 που ακολουθεί περιγράφει τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Πίνακας 12: Τεχνικά χαρακτηριστικά φ/β εγκατάστασης.

Απόδοση μετατροπέα DC/AC	Επιφάνεια φ/β πάνελ (m ²)	Απόδοση φ/β κυττάρου
0.9	36.67	0.12

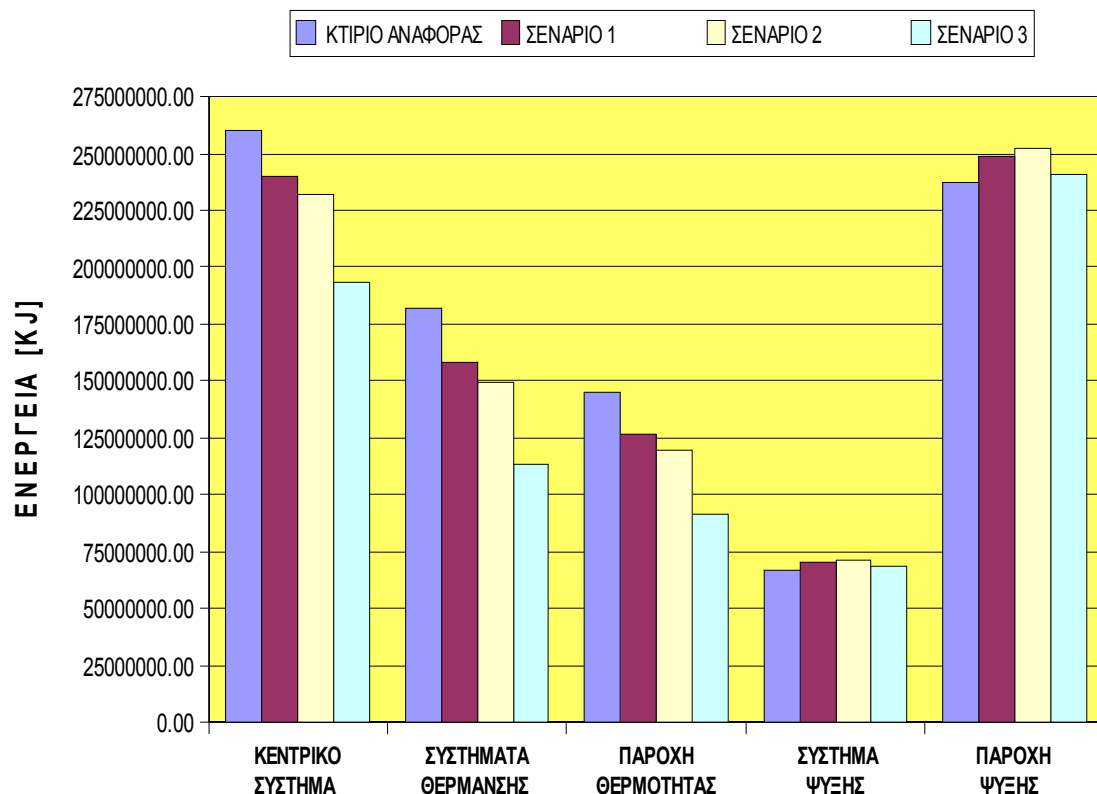
Επίσης επαναπρογραμματίστηκε, για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας, το κύριο σύστημα θέρμανσης να λειτουργεί από τις 1/12 έως τις 28/2 ενώ το σύστημα ψύξης από τις 1/3 έως τις 30/11.

4.3.1. Αποτελέσματα σεναρίου 3

Πίνακας 13: Ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίου-συστήματος.

Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης [KJ]	Συνολική παροχή θερμικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστημάτων θέρμανσης [KJ]	Συνολική παροχή ψυκτικής ενέργειας [KJ]	Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος ψύξης [KJ]
193,663,494.1	91,054,916.75	113,818,645.9	241,026,224.9	68,544,653.85
Συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια φ/β συστήματος [KJ]	Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια φ/β συστήματος [KJ]			
21,587,802.5	17,870,111.3			

Το διάγραμμα του σχήματος 32 που ακολουθεί συγκρίνει τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 3 (Πίνακας 13), με τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 2 (Πίνακας 11) , του σεναρίου 1 (Πίνακας 9) και του κτιρίου αναφοράς (Πίνακας 7).

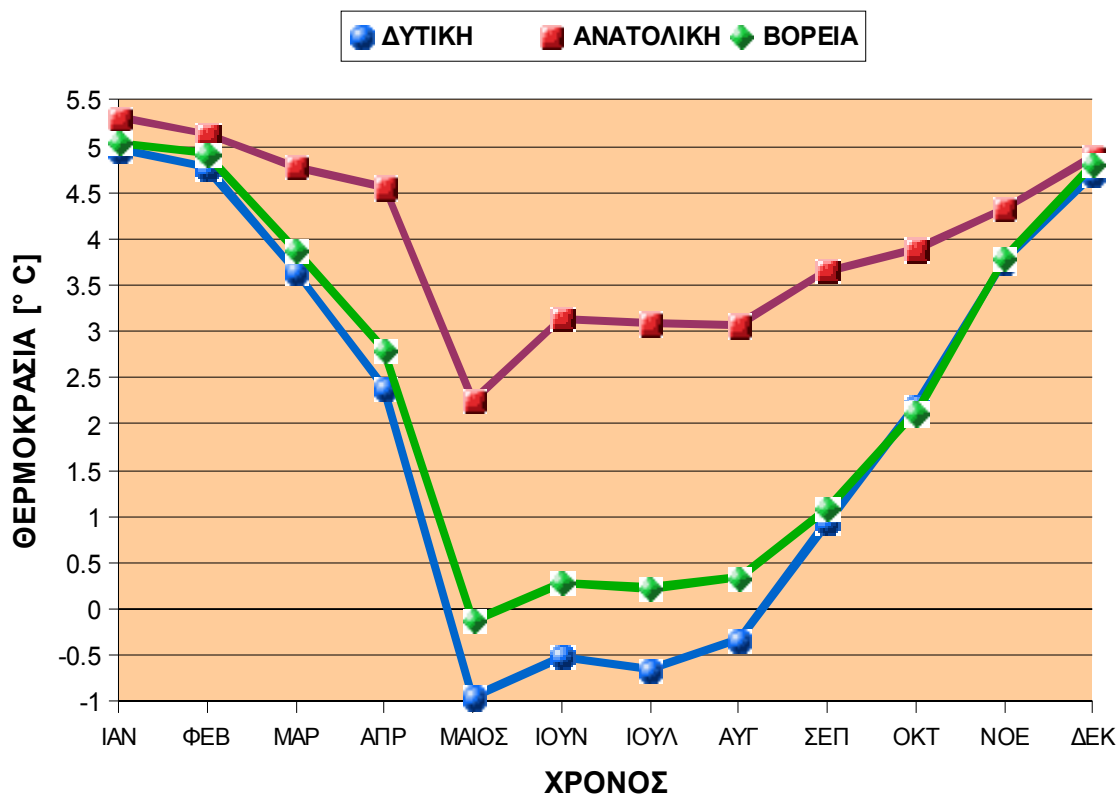


Σχήμα 32: Σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων του σεναρίου 3 με τις ενεργειακές απαιτήσεις του σεναρίου 2, του σεναρίου 1 και του κτιρίου αναφοράς.

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα, η ενεργειακή κατανάλωση του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης έχει μειωθεί αρκετά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σενάρια και το κτίριο αναφοράς. Σημαντική μείωση στην ενεργειακή του κατανάλωση παρουσιάζει και το κύριο σύστημα θέρμανσης τόσο λόγω της περαιτέρω μείωσης του χρόνου λειτουργίας του όσο και για την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας της ανατολικής ζώνης, η οποία και θα εξετασθεί αναλυτικότερα παρακάτω. Επιπλέον, μειώνει στην ενεργειακή του κατανάλωση παρουσιάζει και το σύστημα ψύξης έστω και μικρή σε σύγκριση με τα πρώτα δύο σενάρια.

Θα πρέπει, βέβαια, να ληφθεί υπόψιν και η παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση από την οποία, όμως, ένα μέρος καταναλώνεται από το κτίριο (“διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια φ/β συστήματος”) ενώ το υπόλοιπο παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Έστω όμως και με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται ένα μέρος της ενέργειας που καταναλώνει το κτίριο από το δίκτυο.

Το διάγραμμα του σχήματος 33 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta T = T_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - T_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

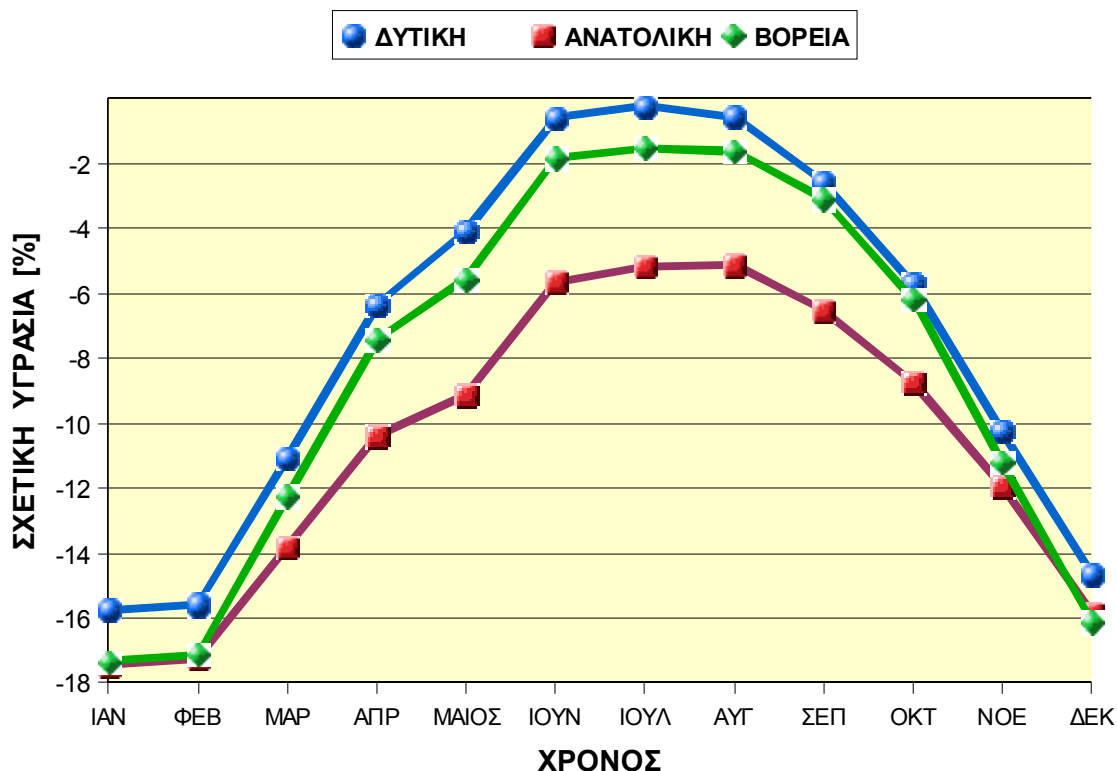


Σχήμα 33: Μεταβολή των μηνιαίων θερμοκρασιακών διαφορών κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα ιδιαίτερη εντύπωση προκαλείται από τις μηνιαίες θερμοκρασιακές τιμές της ανατολικής ζώνης οι οποίες έχουν σημειώσει σημαντική άνοδο μέσα στο έτος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η τοποθέτηση του φ/β πάνελ πάνω από την ανατολική ζώνη επέδρασε θερμικά σε αυτήν με αποτέλεσμα να αυξηθεί σημαντικά η θερμοκρασία της παρόλο που τοποθετήθηκε το φωτοβολταϊκό πάνελ σε μία απόσταση 5 cm από την ταράτσα του κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση τα ανοίγματα που διαθέτει το πλαίσιο, στο οποίο είναι προσαρτημένο το φωτοβολταϊκό πάνελ, δεν είναι αποδοτικά ώστε να διαφύγει η θερμότητα που δημιουργείται από κάτω από το πάνελ προκαλώντας με αυτό τον τρόπο μία αύξηση στη θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης.

Επίσης, παρόλο που παρέχεται μόνο ψύξη στο κτίριο από τον μήνα Μάρτιο έως και τον μήνα Νοέμβριο, πτώση της θερμοκρασίας παρουσιάζει μόνο η δυτική ζώνη και αυτή καταγράφεται κατά την περίοδο Μάιος-Αύγουστος. Αυτό συμβαίνει επειδή μόνο η δυτική ζώνη, για την περίοδο Μάιος-Αύγουστος, παραμένει λιγότερο επηρεασμένη από τα άμεσα ή και έμμεσα ηλιακά θερμικά κέρδη σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο ζώνες.

Το διάγραμμα του σχήματος 34 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta RH = RH_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - RH_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

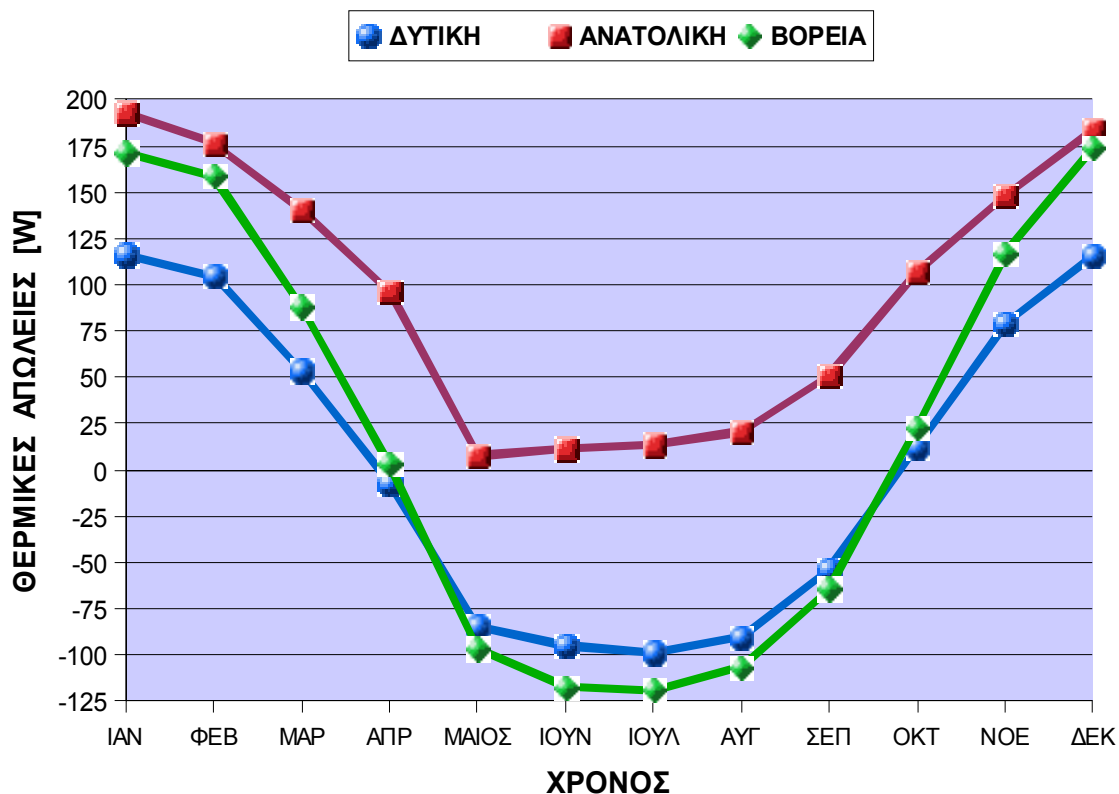


Σχήμα 34: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας για την κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η αξιοσημείωτη πτώση των μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας της ανατολικής ζώνης που έχει καταγραφεί μέσα στο έτος. Αυτή η πτώση οφείλεται, φυσικά, στην άνοδο που έχει σημειώσει η θερμοκρασία της μέσα στο έτος.

Σημαντική πτώση στην σχετική τους υγρασία παρουσιάζουν και οι υπόλοιπες δύο ζώνες, μέσα στο έτος, οι οποίες έχουν επίσης επηρεαστεί από την αυξημένη θερμοκρασία της ανατολικής ζώνης. Εξαιρεση αποτελεί η δυτική ζώνη κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου η σχετική της υγρασία παρουσιάζει αμελητέα πτώση, εξαιτίας του ότι η θερμοκρασία της βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο ζώνες.

Το διάγραμμα του σχήματος 35 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές των θερμικών απωλειών διαμέσου των υαλοπινάκων κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta L = L_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - L_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

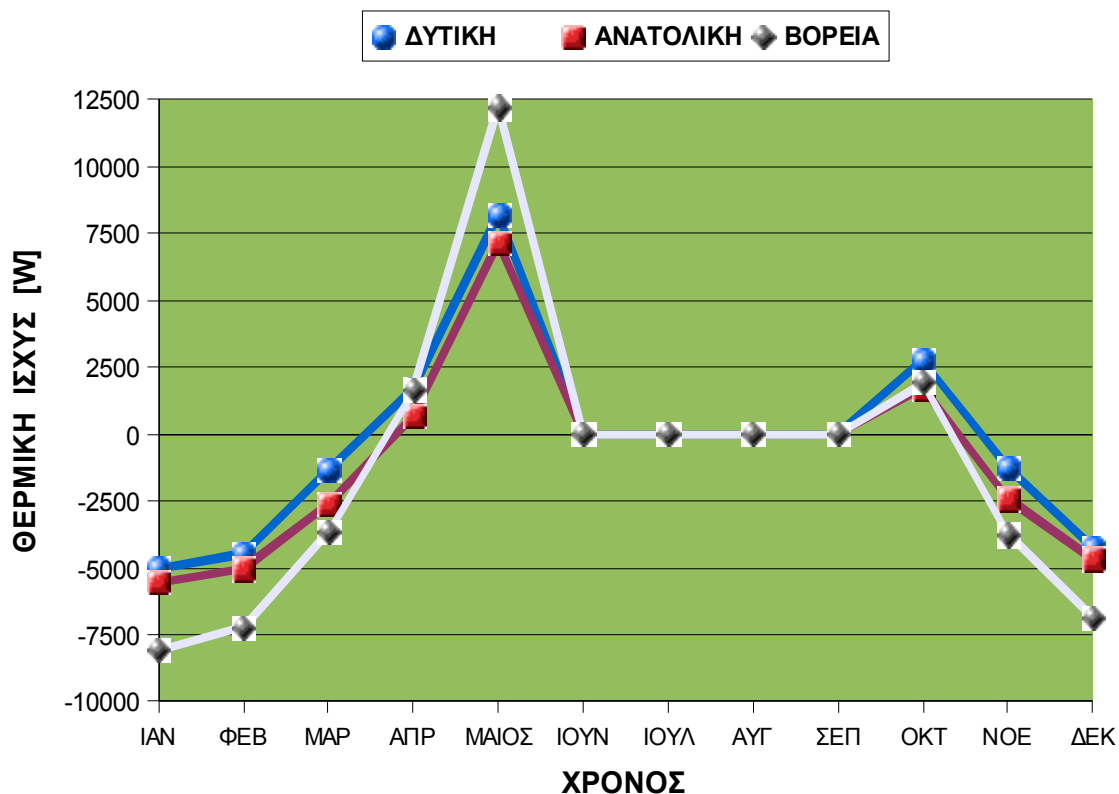


Σχήμα 35: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων θερμικών απωλειών που καταγράφηκαν για τους υαλοπίνακες κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι η ανατολική ζώνη είναι αυτή που καθόλη τη διάρκεια του έτους παρουσιάζει αυξημένες θερμικές απώλειες διαμέσου των υαλοπινάκων σε σύγκριση με τις υπόλοιπες δύο ζώνες. Αίτιο αυτής της αύξησης είναι η υψηλή της θερμοκρασιακή διαφορά με το εξωτερικό περιβάλλον η οποία και προκλήθηκε από την άνοδο της θερμοκρασίας της.

Για τις υπόλοιπες δύο ζώνες αυξημένες θερμικές απώλειες παρουσιάζονται από τον μήνα Νοέμβριο μέχρι και τον μήνα Μάρτιο, όπου και παρουσιάζουν αυξημένη θερμοκρασία στο εσωτερικό τους. Από τον μήνα Απρίλιο μέχρι και τον μήνα Οκτώβριο καταγράφονται μειωμένες θερμικές απώλειες λόγω του ότι η θερμοκρασία τους βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Το διάγραμμα του σχήματος 36 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta L = L_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - L_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

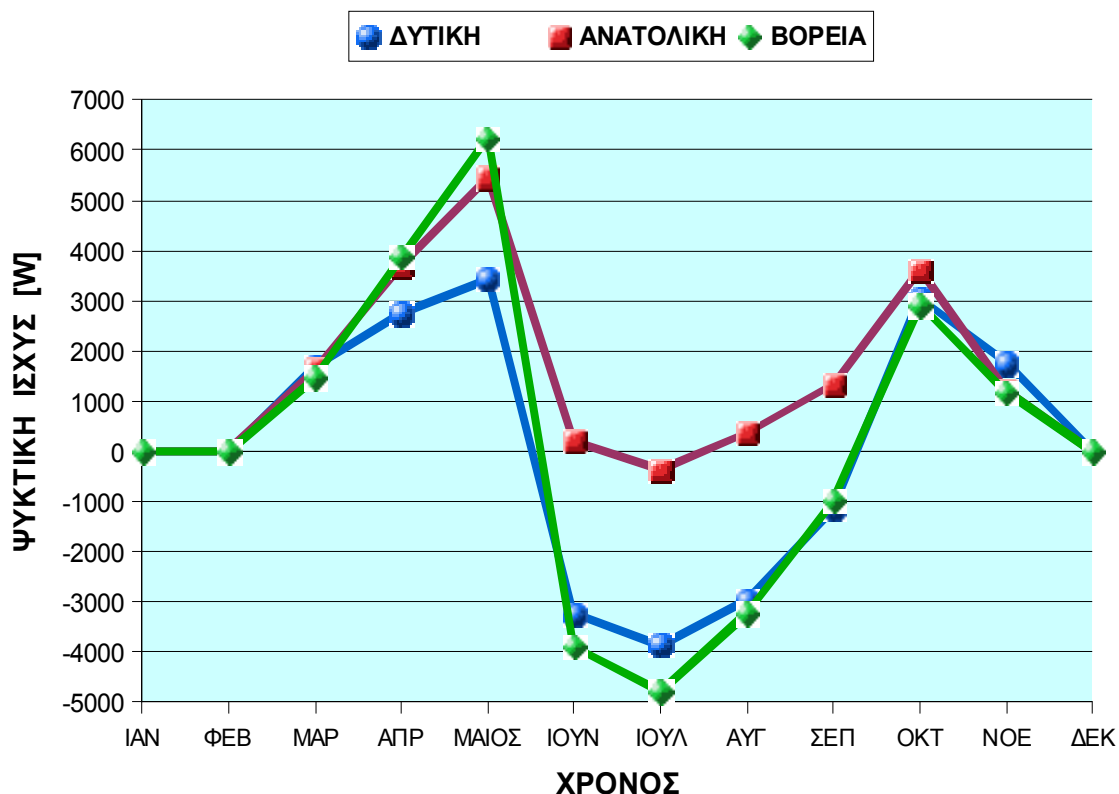


Σχήμα 36: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών ειδικής θερμικής ισχύος που απαιτεί κάθε ζώνη, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από τις ενδείξεις του παραπάνω διαγράμματος προκύπτει πως για την χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος) οι θερμικές απαιτήσεις κάθε ζώνης έχουν μειωθεί κατά πολύ, σε σημείο που να μην απαιτείται πια θέρμανση για την διαμόρφωση της θερμοκρασία αλλά ούτε και ψύξη. Επομένως αυτό σημαίνει ότι κάθε ζώνη έχει προσεγγίσει τους 25 °C χωρίς να απαιτείται αυτή τη φορά κάποιος επαναπρογραμματισμός στο κύριο σύστημα θέρμανσης και στο σύστημα ψύξης.

Όσον αφορά την περίοδο Μάρτιο-Νοέμβριο θεωρείται ότι δεν υπάρχουν θερμικές απαιτήσεις, άλλωστε βρίσκεται σε λειτουργία μόνο το σύστημα ψύξης για τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας.

Το παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 37 απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές ειδικής ψυκτικής ισχύος κάθε ζώνης, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta D = D_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - D_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).

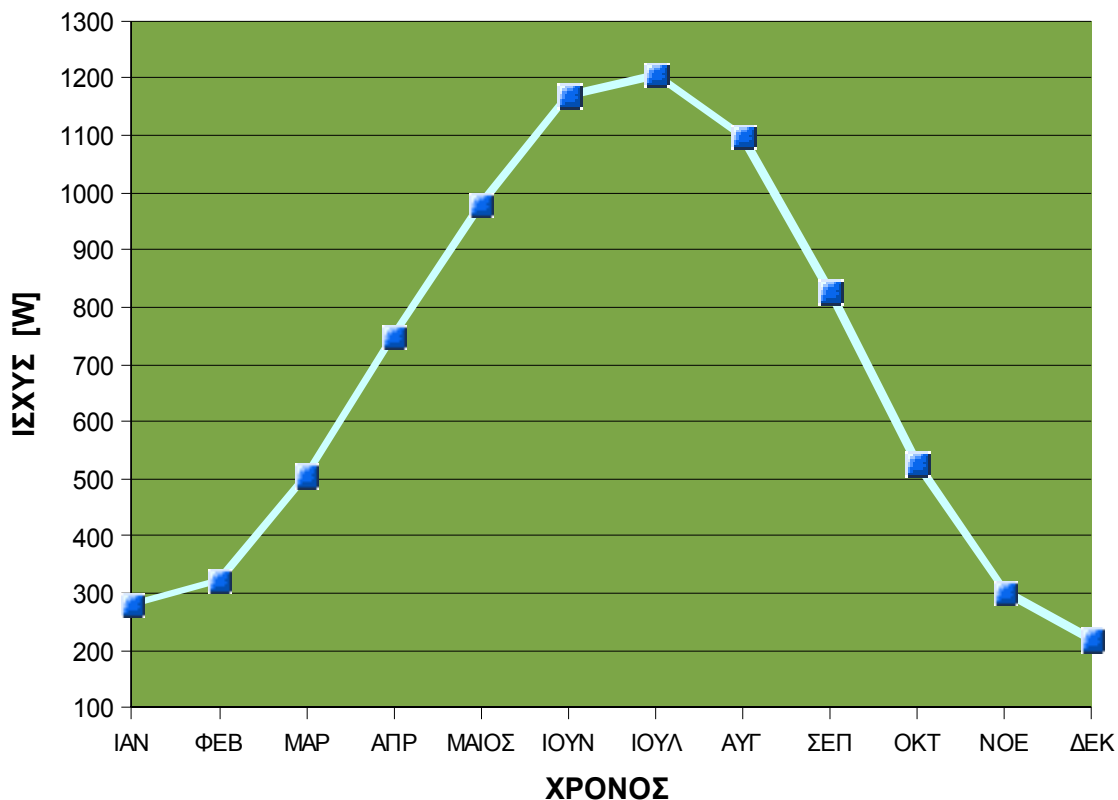


Σχήμα 37: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων τιμών ειδικής ψυκτικής ισχύος κάθε ζώνης, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι σημαντική μείωση στις ψυκτικές απαιτήσεις παρουσιάζουν η δυτική και βόρεια ζώνη κατά την περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος. Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσό ψυκτικής ισχύος που παρέχεται από το αντίστοιχο σύστημα, διατηρεί την θερμοκρασία τους κάτω από τους 25 °C.

Επίσης, οι ενδείξεις θετικών τιμών για τους μήνες Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος, Οκτώβριος και Νοέμβριος, εκτός του ότι δηλώνουν τη διαφορά σε ψυκτική απαίτηση μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς, δηλώνουν επίσης και το πραγματικό ποσό της ψυκτικής ισχύος που απαιτείται από κάθε ζώνη ώστε να διαμορφωθεί η θερμοκρασία τους στους 25 °C.

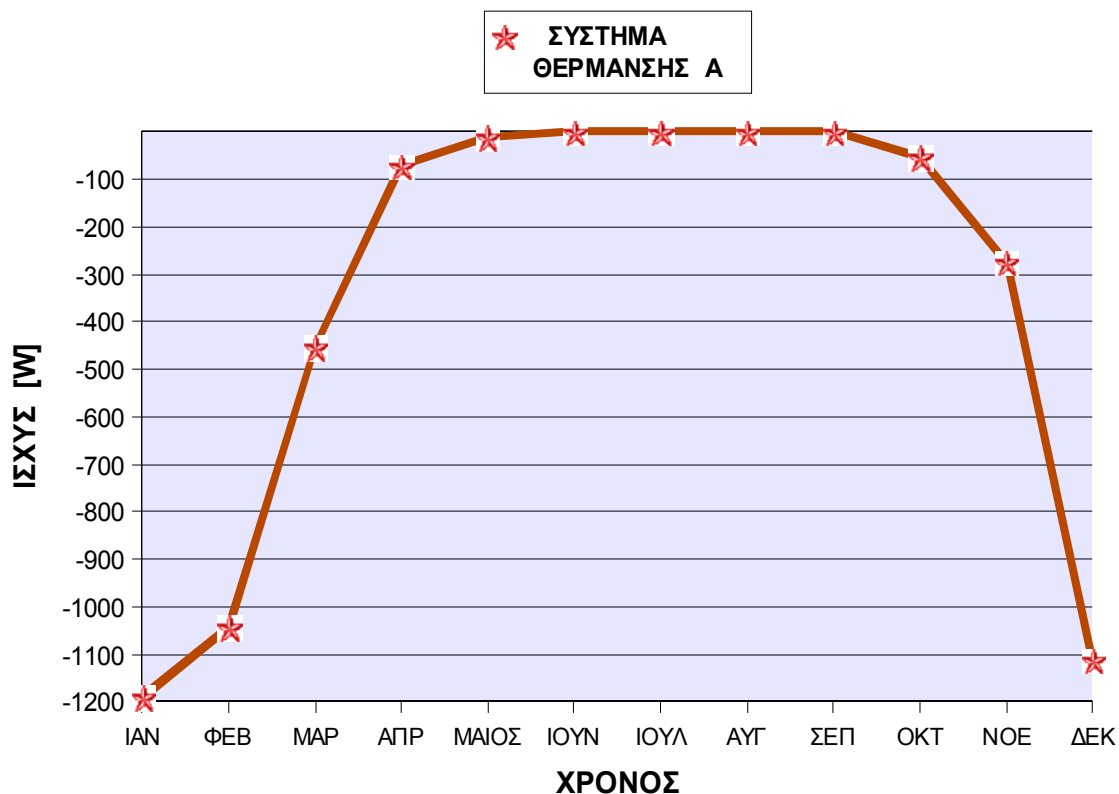
Στο διάγραμμα του σχήματος 38 που ακολουθεί απεικονίζεται η μηνιαία μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα.



Σχήμα 38: Μεταβολή της μηνιαίας ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η μέγιστη ισχύς που παράγει το φ/β σύστημα είναι κατά την καλοκαιρινή περίοδο και πιο συγκεκριμένα τον μήνα Ιούλιο. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την καλοκαιρινή περίοδο οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν σχεδόν κάθετα στην οριζόντια επιφάνεια του φ/β πάνελ με συνέπεια αυτό να αποδίδει μεγάλη ισχύ. Αντιθέτως, όσο πλησιάζει ο χειμώνας ο ήλιος χαμηλώνει την θέση του με αποτέλεσμα η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας να αποδίδει χαμηλή ένταση για το φ/β πάνελ το οποίο με τη σειρά του παράγει μικρή ισχύ.

Το διάγραμμα του σχήματος 39 που ακολουθεί απεικονίζει τις διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta W = W_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - W_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



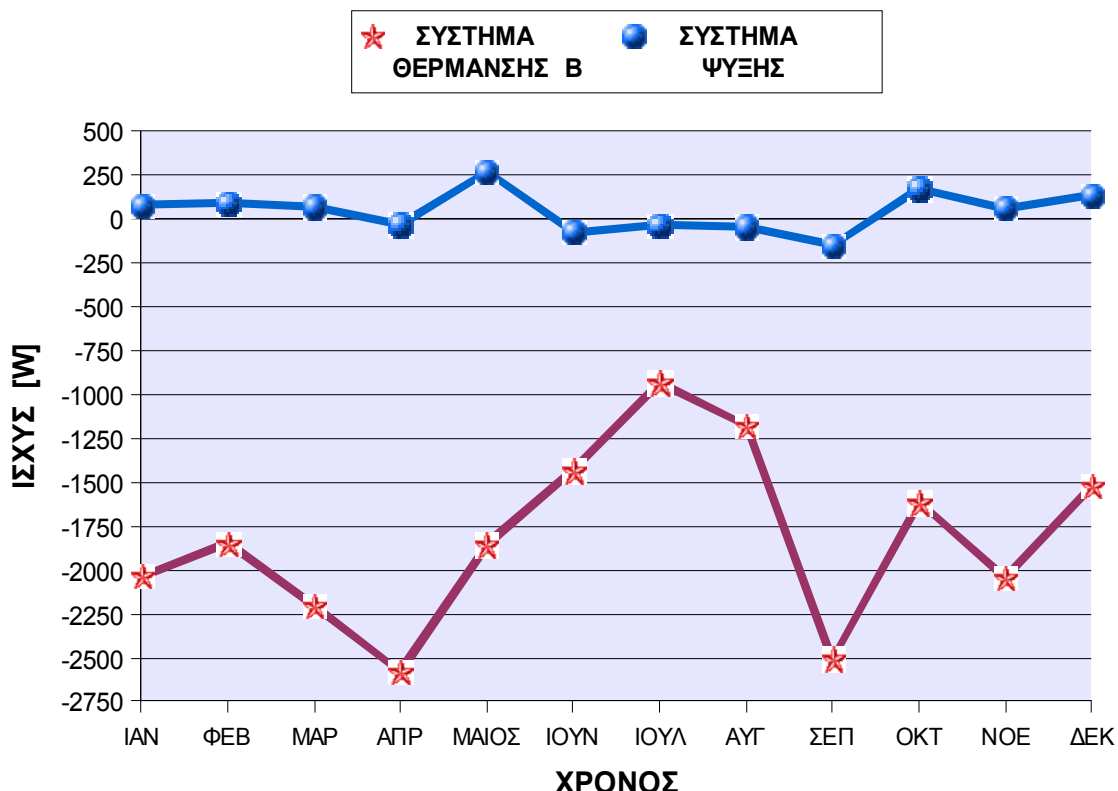
Σχήμα 39: Μεταβολή των διαφορών των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι έχει σημειωθεί πτώση στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος του κύριου συστήματος θέρμανσης για την χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος). Αυτή η πτώση οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας της ανατολικής ζώνης η οποία περιορίζει κατά πολύ τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος και επομένως η διαμόρφωση της θερμοκρασίας της ανατολικής ζώνης, και φυσικά όλου του κτιρίου, γίνεται από το σύστημα ψύξης σε συνδυασμό με το δεύτερο σύστημα θέρμανσης.

Όσον αφορά τις διαφορές που καταγράφονται κατά την περίοδο Μάρτιος-Νοέμβριος δεν λαμβάνονται υπόψιν αφού για την συγκεκριμένη περίοδο η διαμόρφωση της θερμοκρασίας γίνεται μόνο από το σύστημα ψύξης.

Κεφάλαιο 4. Αξιολόγηση σεναρίων

Στο διάγραμμα του σχήματος 40 που ακολουθεί απεικονίζονται οι διαφορές που σημειώθηκαν στις μηνιαίες τιμές κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος για το δεύτερο σύστημα θέρμανσης καθώς και για το σύστημα ψύξης, μεταξύ του σεναρίου 3 και του κτιρίου αναφοράς ($\Delta W = W_{\text{ΣΕΝΑΡΙΟ 3}} - W_{\text{ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}$).



Σχήμα 40: Μεταβολές των διαφορών των μηνιαίων καταναλώσεων ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης, μεταξύ σεναρίου 3 και κτιρίου αναφοράς.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του δεύτερου συστήματος θέρμανσης έχει σημειώσει μεγάλη πτώση μέσα στο έτος. Αυτή η ένδειξη υποδηλώνει ότι το ποσοστό σχετικής υγρασίας της ανατολικής ζώνης είτε μπορεί να βρίσκεται αρκετά κοντά στο 35 % είτε και κάτω από αυτό το όριο με συνέπεια να περιορίζεται κατά πολύ η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος.

Όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος ψύξης, οι μηνιαίες τιμές που καταγράφονται είτε παρουσιάζουν κάποια μικρή άνοδο είτε μικρή πτώση. Αυτό συμβαίνει επειδή γενικότερα η θερμοκρασία του κτιρίου βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, με αποτέλεσμα το σύστημα ψύξης να μην χρειάζεται να καταναλώσει πολύ ισχύς ώστε να μειώσει την θερμοκρασία του αέρα στα επίπεδα που απαιτούνται.

4.4. Παρατηρήσεις και συμπεράσματα αξιολόγησης

Παρατέθηκαν τρεις αξιολογήσεις σεναρίων οι οποίες αφορούσαν την θεωρητική εφαρμογή συγκεκριμένων δομικών αλλαγών σε υπό μελέτη κτιριακό χώρο, με στόχο την μείωση των ενεργειακών του απαιτήσεων για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών του αναγκών.

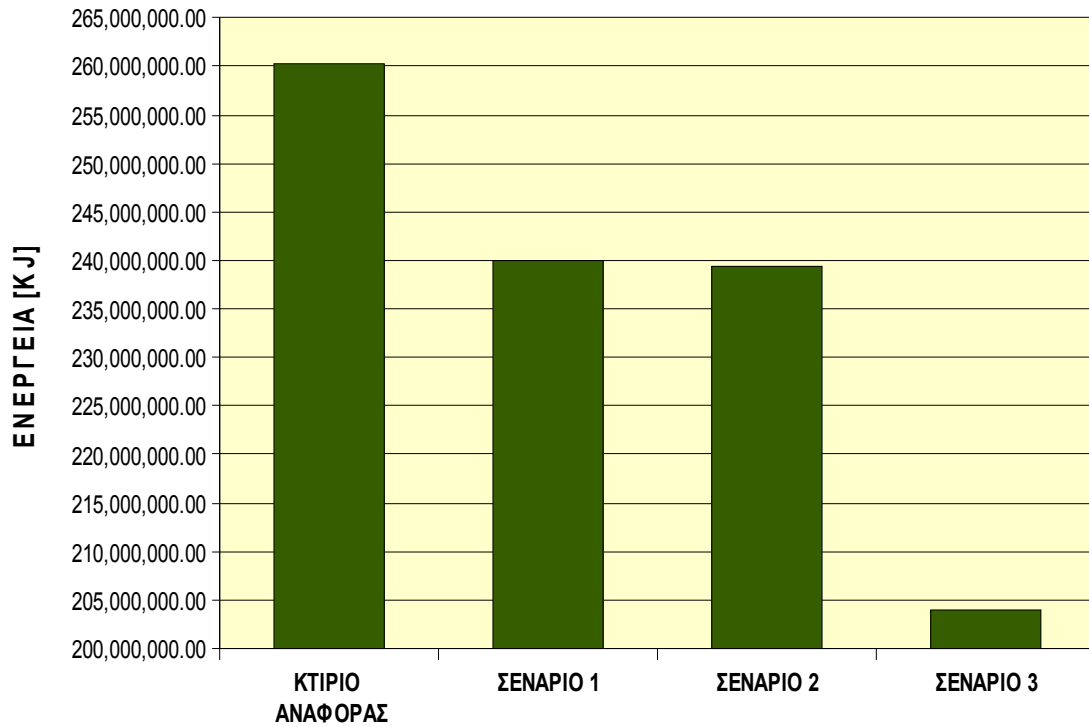
Από την αξιολόγηση αυτών των σεναρίων προκύπτει πως η εφαρμογή της κάθε δομικής αλλαγής που περιγράφηκε, συντελεί στο να αυξηθεί η θερμοκρασία του κτιρίου. Μάλιστα για κάθε δομική αλλαγή που εφαρμόζονταν στο κτίριο, το θερμικό του όφελος ήταν τέτοιο που έπρεπε σε κάθε σενάριο να επανακαθοριστεί η χρονική περίοδος λειτουργίας του κύριου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης, για την διαμόρφωση της θερμοκρασίας, ώστε η θερμοκρασία του κτιρίου να βρίσκεται κοντά στους 25 °C. Βέβαια αυτό το θερμικό κέρδος εκτός του ότι βοήθησε στο να αυξηθεί σημαντικά η θερμοκρασία του κτιρίου, βοήθησε επίσης και στο να μειωθεί η σχετική του υγρασία κατά πολύ.

Αυτές οι θερμοκρασιακές αλλαγές του κτιρίου και λειτουργικές αλλαγές του κύριου συστήματος θέρμανσης και του συστήματος ψύξης, σε κάθε σενάριο, επηρέαζαν την συνολική κατανάλωση του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης. Συγκεκριμένα μειώνονταν οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ισχύος των δύο συστημάτων θέρμανσης ενώ ταυτόχρονα αυξάνονταν η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος ψύξης. Εξάριση, βέβαια, αποτελεί το σενάριο 3 όπου καταγράφηκε μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος ψύξης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δύο σενάρια. Συνολικά, πάντως, μειώνονταν η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης σε κάθε σενάριο (βλέπε σχήμα 41).

Βέβαια, θα μπορούσε να επιτευχθεί περισσότερη μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος ψύξης, για τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιώντας φυσική ψύξη. Δηλαδή θα μπορούσε τα παράθυρα του κτιρίου να είναι ανοιχτά ώστε να υφίσταται φυσικός αερισμός κατά τη διάρκεια της δραστηριοποίησης των ατόμων στο κτίριο και να επιτευχθεί κάποια ψύξη στο κτίριο, παράγοντας ο οποίος δεν ορίστηκε κατά την εισαγωγή των δεδομένων.

Όσον αφορά την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, το 83% της ενέργειας το οποίο παρήγαγε χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου ενώ το υπόλοιπο 17% τροφοδοτήθηκε στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η τακτική ακολουθείται από το λογισμικό λόγω του ότι στην πραγματικότητα μία φ/β εγκατάσταση μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Επομένως αυτή η τακτική είναι ένα προληπτικό μέτρο ώστε η πρόβλεψη για την χρήση της παραγόμενης ενέργειας να μην είναι εντελώς εσφαλμένη.

Κεφάλαιο 4. Αξιολόγηση σεναρίων



Σχήμα 41: Μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του κεντρικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης, ανά σενάριο.

Κεφάλαιο 5. Επίλογος

Αρχικά στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μία θεωρητική αναφορά σε εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή ανάλυση του κτιριακού τομέα. Αναφέρθηκαν οι κατηγορίες και υποκατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα εργαλεία αυτά καθώς και οι δυνατότητες και αδυναμίες που παρουσιάζει το καθένα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ακολούθησε μία παρουσίαση του λογισμικού Energy Plus. Επιστημάνθηκε το αντικείμενο το οποίο πραγματεύεται αυτό, η προέλευση του λογισμικού και ο λόγος για τον οποίο δημιουργήθηκε. Επιστημάνθηκαν, επίσης, μερικά χαρακτηριστικά που διαθέτει και τα προτερήματα τα οποία παρουσιάζει έναντι των “συγγενικών” του λογισμικών Blast και DOE-2. Έγινε μία αναφορά στο είδος των δεδομένων που μπορεί να δεχτεί όπως και στις κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα αποτελέσματα που παράγει.

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε η περιγραφή ενός μοντελοποιημένου κτιρίου, συνοδευόμενη από την έκθεση αποτελεσμάτων που σχετίζονταν με τις θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του.

Και τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο περιελάμβανε την αξιολόγηση τριών σεναρίων αναφερόμενα κυρίως σε συγκεκριμένες δομικές αλλαγές τις οποίες θεωρητικά υπέστη το κτίριο που μοντελοποιήθηκε, με στόχο την μείωση των ενεργειακών του απαιτήσεων.

Σαν τελικό συμπέρασμα σημειώνεται ότι το λογισμικό Energy Plus, της έκδοσης 1.3.018, περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος αντικειμένων ώστε η περιγραφή του κτιρίου να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβής από τον χρήστη, καθώς και μεγάλο πλήθος αποτελεσμάτων.

Υπάρχουν επιλογές με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να μελετήσει την ενεργειακή απόδοση ενός υπό μελέτη κτιρίου, χρησιμοποιώντας ένα ιδανικό σύστημα, ή ακόμη και των μηχανολογικών εγκαταστάσεων ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.

Οι συνθέσεις συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού που μπορούν να περιγραφούν, αρμόζουν περισσότερο με μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις (π.χ. γραφεία, εμπορικά καταστήματα κ.α.) από ότι με απλές κατοικίες.

Επίσης, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιγράψει μόνο φωτοβολταϊκά συστήματα. Μάλιστα οι συνθέσεις που μπορούν να περιγραφούν για αυτά τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως απλές όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται απευθείας, χωρίς να παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης μέρους αυτής σε μπαταρίες.

Να επισημανθεί, τέλος, ότι μερικά αντικείμενα παρόλο που περιλαμβάνονται σε κάποιες κατηγορίες, δεν είναι διαθέσιμα προς χρήση. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα πρέπει να περιμένει την μελλοντική έκδοση του λογισμικού ώστε να τα χρησιμοποιήσει.

Βιβλιογραφικές αναφορές και δικτυακές πηγές

- [1] Ε. Ανδρεαδάκη, Βιοκλιματική αρχιτεκτονική παθητικά-ηλιακά συστήματα, Πρώτη έκδοση: Θεσσαλονίκη, 1985.
- [2] EnergyPlus Manual. Available from:
<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.html>
[accessed 12/5/2006].
- [3] Moncef Krarti, Energy Audit of Building Systems, CRS Press, 2000.