



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ BMS ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Διπλωματική Εργασία

Κατσανάκης Απόστολος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

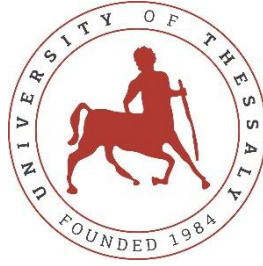
**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ BMS ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Διπλωματική Εργασία

Κατσανάκης Απόστολος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2021



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**ENERGY UPGRADE OF ELECTROMECHANICAL
INSTALLATION USING BMS SYSTEM**

Diploma Thesis

Katsanakis Apostolos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

Volos 2021

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων	Μπαργιώτας Δημήτριος Μπαργιώτας Δημήτριος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Μέλος	Περαντζάκης Γεώργιος Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών/ Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Μέλος	Λουτρίδης Σπυρίδων Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών / Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ημερομηνία έγκρισης: Φεβρουάριος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ όλους όσους συναίνεσαν στην σύνθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας από καθηγητές, συμφοιτητές και το γραφείο στο οποίο έκανα την πρακτική μου άσκηση. Η διπλωματική αυτή είναι αφιερωμένη στους κοντινούς μου ανθρώπους που με στήριξαν στα φοιτητικά μου χρόνια. Ευχαριστώ τον κύριο Ζημέρη για τη συμβολή του στο κομμάτι των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων μέσω των μαθημάτων του και τον κύριο Στέφανο Παπαδόπουλο που με βοήθησε για την διεξαγωγή της μελέτης. Επίσης, να ευχαριστήσω τον κύριο Περαντζάκη και τον κύριο Μπαργιώτα για τις διορθώσεις που μου υπέδειξαν για την επίτευξη ενός άρτιου αποτελέσματος.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο/Η Δηλών/ούσα

(Υπογραφή)

Κατσανάκης Απόστολος

Ημερομηνία: Φεβρουάριος 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζεται η αναβάθμιση ενός χώρου αποθηκών σε χώρο γραφείων με την υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας κτηρίου (Building Management System ή αλλιώς BMS). Στόχος είναι η παρουσίαση των χαρακτηριστικών και λειτουργιών του BMS συστήματος σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο και η συνεισφορά τους στην κτηριακή του βιωσιμότητα. Πρέπει να σημειωθεί πως για τη σχεδίαση και τη μελέτη του παρόντος κτηρίου έχουν ληφθεί υπόψιν στοιχεία και παράμετροι της ελληνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας (ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ) που αφορούν τις εσωτερικές ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Αρχικά, να σημειωθεί πως για την προβολή και την επεξεργασία του σχεδίου χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πακέτο AUTOCAD. Η σχεδίαση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων περιλαμβάνει τα παρακάτω:

1. Σχεδίαση κάτοψης με τις ακριβείς θέσεις των ρευματοδοτών.
2. Σχεδίαση κάτοψης με τις θέσεις των φωτιστικών σημείων, των διακοπών και των φωτιστικών σωμάτων.
3. Σχεδίαση κάτοψης με τις θέσεις των ηλεκτρικών πινάκων – υποπινάκων του κτηρίου.
4. Σχεδίαση κάτοψης με όλες τις ηλεκτρολογικές παροχές για την κάλυψη των φορτίων κλιματισμού – αερισμού.

Αφού έχουν τοποθετηθεί τα απαραίτητα ηλεκτρικά στοιχεία στο σχέδιο θα ακολουθήσει η μελέτη της ηλεκτρομηχανολογικής εγκατάστασης με σκοπό την εύρεση των απαιτήσεων της με τη χρήση των πιστοποιημένων λογισμικών 4M FINE – ELEC 19, 4M FINE – HVAC 19, ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ βάσει των τεχνικών οδηγιών της ευρωπαϊκής ένωσης.

Στη συνέχεια, θα γίνει περιγραφή κάποιων βασικών εννοιών όπως μηχανήματα που θα αναβαθμίσουν την εγκατάσταση και θα αναλυθεί η έννοια του BMS συστήματος και κάποιων χαρακτηριστικών αυτού στους εξής τομείς:

1. Φωτισμός του κτηρίου
2. Κλιματισμός του κτηρίου
3. Αερισμός – Εξαερισμός του κτηρίου

Εν συνεχεία, θα προταθεί η υλοποίηση υποθετικού σεναρίου πάνω στη μελέτη κάποιων

τεχνικών του BMS συστήματος που θα έχουν αναφερθεί θεωρητικά και μέσω των τεχνικών οδηγιών θα πιστοποιηθεί η νέα ενεργειακή κατηγορία της εγκατάστασης.

Στο τέλος θα γίνει μια συνοπτική σύνοψη όλων των κεφαλαίων που αναλύθηκαν και θα αποδοθεί η σημαντικότητα εγκατάστασης ενός συστήματος διαχείρισης κτηρίου για το ίδιο το κτήριο αυτό καθ' αυτό αλλά και το περιβάλλον.

ABSTRACT

This thesis presents the upgrading of a warehouse space into an office with the implementation of a building energy system (Building Management System or BMS). The aim is to present the characteristics and functions of the BMS system theoretically and practically and its contribution to building viability. It must be noted that element and parameters of Greek and European legislation (KENAK) concerning internal engineering have been taken into account for the design and study of this building. Initially, it should be mentioned that the view and edit to the design was held using the design package called AUTOCAD. The design of the electrical installation includes the following:

1. Floor plan design of the exact position of the sockets.
2. Floor plan design of the exact position of luminaires spots, switches and luminaires.
3. Floor plan design of the exact position of the electrical panels – sub tables of the building.
4. Floor plan design of all electrical supplies to cover air conditioning – ventilation loads.

Following the placement of the necessary electrical elements in the design stands the study of the electromechanical installation so that its energy demands should be found using the certified software 4M FINE – ELEC 19, 4M FINE – HVAC 19, TEE KENAK according to the technical instructions of the European Union.

Then, some basic concepts such as machines that will upgrade the installation will be described and moreover the concept of the BMS system and some of its features will be analyzed in the following areas:

1. Lighting of the building.
2. Air conditioning of the building.
3. Aeration - Ventilation of the building.

Last but not least, hypothetical scenarios of some technics of the BMS system that were mentioned theoretically before will be applied on the study using the technical instructions to detect the new category of the installation.

In the end, a summary of all the chapters analysed will be made and the importance of installing a building management system for the building itself and the environment will be attributed.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xiii
ABSTRACT	xv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	xvii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	5
ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ	5
2.1 Εισαγωγή	5
2.2 Μελέτη Κτηρίου	6
2.2.1 Εισαγωγή στο Κτήριο	6
2.2.2 Μελέτη ηλεκτρικών φορτίων ρευματοδοτών	9
2.2.3 Μελέτη ηλεκτρικών φορτίων φωτισμού	11
2.2.4 Μελέτη θερμικών – ψυκτικών φορτίων	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	27
ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ	27
3.1 Ορισμός συστήματος διαχείρισης κτηρίου	27
3.2 Δομή συστήματος διαχείρισης ενέργειας κτηρίου	29
3.3 Σημερινή κατάσταση BMS συστημάτων.	37
3.4 Μηχανισμός λήψης και διάγνωσης σφαλμάτων ενός BMS συστήματος	39
3.4.1 Βασικά στοιχεία για την επίτευξη ακριβών συστημάτων ανίχνευσης και διάγνωσης σφαλμάτων ενός BMS συστήματος.	40
3.4.2 Ανίχνευση σφαλμάτων στο σύστημα της θέρμανσης	41
3.4.3 Ανίχνευση σφαλμάτων στο σύστημα της ψύξης	47
3.5 Παράδειγμα ενός ολοκληρωμένου BMS συστήματος για την κάλυψη του φωτισμού	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	69
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ BMS ΣΕ ΧΩΡΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ	69
4.1 Αναβάθμιση και έλεγχος του φωτισμού	69
4.1.1 Αισθητήρες φωτός και παρουσίας	71
4.1.2 Σχεδιασμός έξυπνου συστήματος φωτισμού βασισμένο στον Arduino	73
4.1.3 Φωτοτεχνική μελέτη με εισαγωγή LED φωτιστικών και BMS	75
4.2 Εισαγωγή VRV συστήματος και αυτοματισμός ΚΚΜ	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	91

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιστορία των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και του επαγγέλματος του ηλεκτρολόγου και μηχανολόγου μελετητή και κατασκευαστή αντίστοιχα χρονολογείται λίγο πριν την έναρξη του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου γύρω στο 1934 με μικρές εγκαταστάσεις όπως σπίτια αλλά και μεγαλύτερες όπως τις πρώτες μεγάλες βιομηχανίες. Έως και σήμερα ο κλάδος της μηχανολογίας και των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων εξελίσσεται με τη φιλοδοξία της ταυτόχρονης δημιουργίας αποτελεσματικότερων ενεργειακά εγκαταστάσεων μέσω νέου αναβαθμισμένου εξοπλισμού και της εξοικονόμησης της ενέργειας σε καθημερινό επίπεδο. Αναφερόμενος σε κάποιους σημαντικούς ιστορικούς σταθμούς, σύμφωνα με το **ΦΕΚ 412/A`/28.11.1934** την άδεια περί άσκησης του επαγγέλματος μηχανολόγου, ηλεκτρολόγου μέχρι και ναυπηγού μπορούσε να την ασκήσει ο καθένας. Με την πάροδο του χρόνου ο μεγάλος αυτός κλάδος άρχισε να διαιρείται σταδιακά και να χορηγούνται περισσότερες ασφάλειες περί άσκησης του επαγγέλματος όπως αυτή του βοηθητικού προσωπικού κατασκευής και επίβλεψης ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Σημαντικές ειδικότητες που δημιουργήθηκαν σε αυτό το χρονικό διάστημα ήταν η ειδικότητα του ηλεκτρολόγου παραγωγής, μετατροπής, μεταφοράς μετασχηματισμού και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και του ηλεκτρολόγου συντήρησης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανελκυστήρων και ηλεκτροκίνητων μηχανημάτων ανυψώσεων και μεταφοράς. Σημαντικός σταθμός αποτελεί το 1955 όπου σύμφωνα με το **ΦΕΚ 59/B`/11.4.1955** εγκρίθηκαν για πρώτη φορά κανονισμοί κατασκευής εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Για την άσκηση του επαγγέλματος πλέον απαιτούταν πτυχίο σε κάθε ειδικότητα που είχε δημιουργηθεί μέχρι τότε ξεχωριστά ενώ ορίστηκαν ποινές για όσους εξασκούσαν το επάγγελμα χωρίς τη σχετική άδεια. Τα μέτρα και οι ποινές συνέχισαν από τότε να γίνονται όλο και περισσότερα. Το 1971 βάσει του **ΦΕΚ 233/A`/17.11.1971** δόθηκαν άδειες περί ασκήσεως του επαγγέλματος σε ανθρώπους απόφοιτους ανωτέρων τεχνικών σχολών ως ηλεκτρολόγοι υπομηχανικοί. Στα ναυτιλιακά έγινε για πρώτη φορά σύσταση διπλώματος ηλεκτρολόγου εμπορικού ναυτικού το 1986 σύμφωνα με το **ΦΕΚ 214/A`/31.12.1986**. Ο σημαντικότερος σταθμός για τις εσωτερικές ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις χρονολογείται στις 05/03/2006 όπου

δημοσιεύθηκε και τέθηκε σε ισχύ το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 σύμφωνα με το **ΦΕΚ 470 / 05.03.2004** . Η απόφαση αυτή έχει 6 άρθρα:

1. Ορίζει την αντικατάσταση των ισχυόντων ΚΕΗΕ από το ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 και καθιερώνει την συστηματική επικαιροποίησή του.
2. Ορίζει σαν βασική γείωση την θεμελιακή.
3. Κάνει αναφορά για προστασία από υπερτάσεις.
4. Αναφέρει το νέο πρότυπο για τους χρωματισμούς των καλωδίων.
5. Δίδει κατευθύνσεις και ορίζει βασικά σημεία για τον αρχικό έλεγχο και για τους επανελέγχους των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.
6. Ορίζει μεταβατικό στάδιο για την εφαρμογή του νέου προτύπου 2 έτη.

Έπειτα, έρχεται απόφαση σε συνέχεια της ΚΥΑ (Κοινή Υπουργική Απόφαση) με αριθ. ΦΑ' 50/12081/642 της 26/07/2006. Η απόφαση αυτή βρίσκεται στο δεύτερο τεύχος του ΦΕΚ 57 της 24 / 1 / 2007. Με την απόφαση αυτήν, ως συνέχεια της προηγούμενης ΚΥΑ, τροποποιείται ο Κτιριοδομικός Κανονισμός (ΓΟΚ) και συγκεκριμένα αντικαθίσταται η παράγραφος 1.2 του άρθρου 30 της απόφασης 3046/304/3.2.1989 του ΦΕΚ 59 Δ /1989. Με την αντικατάσταση αυτή:

1. Γίνεται υποχρεωτική η κατασκευή των Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.
2. Καθιερώνεται η θεμελιακή γείωση σαν υποχρεωτική.
3. Καθιερώνεται η υποχρέωση εγκατάστασης διατάξεων διαφορικού ρεύματος.

Η ΥΔΕ δεν προσαρμόστηκε ούτε σε αυτά τα νέα αυτά δεδομένα επομένως το 2011 σύμφωνα με το **ΦΕΚ 844B / 16.05.2011** καθιερώνεται η τροποποίηση της υπ' αριθ. 115239/25702/3627 της 21 Δεκεμβρίου 1965/11 Ιανουαρίου. 1966 (ΦΕΚ Β'8) Απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας «Περί ερμηνείας των διατάξεων του Νόμου 4483/65». Η απόφαση αυτή ορίζει την αντικατάσταση της παλαιάς Υπεύθυνης Δήλωσης Εγκαταστάτη (ΥΔΕ) με νέα, στην οποία περιλαμβάνονται όλα τα νέα δεδομένα που έχουν προκύψει στην ελληνική ηλεκτρολογική νομοθεσία.

Τέλος, είναι μείζον να αναφερθεί η ίδρυση του ΚΕΝΑΚ. Στο πλαίσιο της Κοινοτικής Οδηγίας 91/2002/ΕΚ «για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων», η χώρα μας είχε την υποχρέωση να εναρμονιστεί μέχρι τον Ιανουάριο του 2006 με την έκδοση και την εφαρμογή σχετικών

νομοθετικών διατάξεων. Το πρώτο βήμα για την εναρμόνισή με την Κοινοτική Οδηγία αυτή ήταν η έκδοση του ν. 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89) «Μέτρα για τη μείωση της Ενεργειακής Κατανάλωσης των Κτιρίων και άλλες διατάξεις». Βάσει του νόμου υπήρχε η υποχρέωση έκδοσης σχετικού «Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης κτηρίων» (ΚΕΝΑΚ) στον οποίο, μεταξύ άλλων, θα πρέπει να καθορίζονται οι ελάχιστες τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των νέων και ριζικά ανακαινιζόμενων, καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Η οδηγία 91/2002/ΕΚ τροποποιήθηκε από την οδηγία 31/2010/ΕΚ και η εναρμόνισή μας με τη νέα οδηγία έγινε με την έκδοση του νέου νόμου 4122/2013 (ΦΕΚ Α' 42) «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις». Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων αποτελεί υποχρέωση της χώρας τόσο προς τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κοινοτική Οδηγία), αλλά περισσότερο προς τους πολίτες της. Ο κτιριακός πλούτος της χώρας πρέπει, σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις διαβίωσης, να αποκτήσει καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά μέσω της σωστής διαχείρισης και εξοικονόμησης ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από την ασφάλεια και την αισθητική που μέχρι σήμερα ήταν τα κυριότερα στοιχεία ενός κτηρίου, προστίθεται και η μέριμνα, έτσι ώστε η κατανάλωση ενέργειας να είναι κατά το δυνατόν χαμηλότερη, με ταυτόχρονη εξασφάλιση άριστων συνθηκών για τους χρήστες. Ο ΚΕΝΑΚ σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 23, παράγραφο 2, του νόμου 4122/2013, εξακολουθεί να ισχύει ελαφρώς παραλλαγμένος λόγω της έκδοσης νέας απόφασης για αναθεώρηση του Κανονισμού το 2017.

Εφόσον έγινε συνοπτική αναφορά στην ιστορική αναδρομή και τα σημαντικότερα σημεία της, έγινε λοιπόν κατανοητή η πορεία της ενέργειας στον κλάδο των μηχανολογικών εγκαταστάσεων αλλά και η οπτική των ανθρώπων ως προς την αξιοποίησή της. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η μελέτη ενός χώρου αποθηκών. Ο χώρος αυτός αποτελεί χώρο ενός παλαιού κτηρίου ο οποίος πρόκειται να αναβαθμιστεί με κάθε δυνατό κόστος ώστε να επαναλειτουργήσει ως χώρος γραφείων πλέον. Η λογική αυτού του κεφαλαίου είναι να βρεθεί το ενεργειακό αποτύπωμα της παρούσας κατάστασης δηλαδή η ενεργειακή κατηγορία του κτηρίου βάσει ΚΕΝΑΚ και το ενεργειακό φορτίο που καταναλώνει ο χώρος σε ημερήσια βάση εφόσον αυτός είναι σε λειτουργία.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αρχικά μια εισαγωγή στην έννοια του συστήματος διαχείρισης κτηρίου (Building Management System - BMS) σε θεωρητικό – βιβλιογραφικό επίπεδο. Τα σημεία στα οποία θα επικεντρωθεί αυτή η εργασία είναι τα φορτία φωτισμού και κλιματισμού καθώς αποτελούν τις σημαντικότερες παραμέτρους για την ενεργειακή κατηγοριοποίηση του κτηρίου. Παρόλα αυτά θα γίνει μια επιγραμματική αναφορά και σε κάποιους άλλους τομείς που μπορεί και αξίζει να εφαρμοστεί αυτό το σύστημα με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 4 θα εφαρμοστούν κάποιες γενικές τεχνικές για την ενεργειακή αναβάθμιση του ήδη υπάρχοντος χώρου. Ύστερα θα εφαρμοστούν κάποιες τεχνικές BMS συστήματος εφόσον είναι αυτές δυνατές στον χώρο των αποθηκών κυρίως στο επίπεδο του φωτισμού και του κλιματισμού όπως προαναφέρθηκε. Τα σενάρια τα οποία θα προταθούν για την εγκατάσταση θα αποτελούν θεωρητικά σενάρια καθώς ενώ μπορούν να εφαρμοστούν και να λειτουργήσουν διατυπώνονται από την πλευρά του μελετητή και όχι του κατασκευαστή που θα έρθει σε τελική απόφαση με τον πελάτη. Επομένως, στο σημείο αυτό θα γίνει εκ νέου μελέτη του πλέον αναβαθμισμένου κτηρίου με σκοπό την αποτύπωση του νέου ενεργειακού αποτυπώματός του.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται σύνοψη του BMS συστήματος και τονίζεται ο σκοπός εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος σε μια εγκατάσταση καθώς επίσης και οι απαραίτητες απαιτήσεις για την σωστή εγκατάσταση και λειτουργία του. Επιπλέον, παρουσιάζεται πέρα από τον αντίκτυπο στο κτήριο και η επιρροή στο περιβάλλον ύστερα από την εφαρμογή του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Ο μελετητής όταν επεξεργάζεται μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση διαιρεί το κτήριο σε επιμέρους ενεργειακές κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα, προσπαθεί να εντοπίσει της πιο ενεργοβόρες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο και να της αποτυπώσει. Η υπερκατανάλωση της ενέργειας της σημερινής εποχής επηρεάζει αρνητικά την οικονομία και την ποιότητα ζωής αλλά και το περιβάλλον κρίνοντας την ανάγκη για εξοικονόμηση της πλέον επιτακτική. Σκοπός της μελέτης αναβάθμισης του κτηρίου λοιπόν είναι η εύρεση των επιμέρους ενεργειακών απαιτήσεων της κτηρίου που το καθιστούν αυτό λειτουργικό και η κάλυψη της με εξυπνότερους τρόπους, λιγότερο κόστος και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Υπάρχουν πτυχές του κτηρίου που χρειάζονται παροχή ηλεκτρικές ενέργειας, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα την λειτουργικότητα του κτηρίου ή αλλιώς κτηριακό τομέα, το μέγεθός του (σε τετραγωνικά μέτρα), το σύνολο των χρηστών του και τον αριθμό των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται. Εν παραδείγματι, μια κατοικία ενώ δεν έχει συνήθως μεγάλες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια χρειάζεται ρεύμα στις πρίζες, στα φώτα και σε οικιακές συσκευές για να λειτουργήσει. Παράλληλα, ένα μεγαλύτερο κτήριο όπως ένα κτήριο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης που έχει σαφώς μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια λόγω περισσότερων τετραγωνικών, περισσότερων χρηστών που συνεπάγονται περισσότερα κυκλώματα αλλά και ανήκει σε μεγαλύτερο κτηριακό τομέα χρειάζεται παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε πρίζες, σε φώτα, σε υπολογιστές στα εργαστήρια υπολογιστών. [1]

Οι γενικές κατηγορίες που μια ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση μπορεί να χωριστεί είναι στα ηλεκτρικά, στην ύδρευση, στην αποχέτευση, στην πυρασφάλεια – πυρανίχνευση και της εγκαταστάσεις ασθενών ρευμάτων. Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί το κομμάτι των ηλεκτρικών καθώς αυτό είναι το πιο ευέλικτο στην εξοικονόμηση ενέργειας. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις του κτηρίου με τη σειρά τους χωρίζονται από την πλευρά του μελετητή της ρευματοδότες κοινώς πρίζες, τον φωτισμό, τα ψυκτικά – θερμικά φορτία και της λοιπές παροχές.

2.2 Μελέτη Κτηρίου

2.2.1 Εισαγωγή στο Κτήριο

Εξ' ορισμού ως κτήριο αναφοράς ορίζεται ένα κτήριο με το ίδιο προφίλ και με της συνθήκες λειτουργίας με το υπό μελέτη κτήριο. Για χάρη απλότητας το κτήριο αναφοράς θα αναφέρεται συνοπτικά ως κτήριο. [2]

Το κτήριο το οποίο θα αναλυθεί και θα γίνει μελέτη είναι μια βιοτεχνία. Αποτελεί μια παλαιά κατασκευή που χρονολογείται στα τέλη του 90' – αρχές του 2000 η οποία βρίσκεται στην Μεταμόρφωση Αθηνών. Η αποτύπωση της τοποθεσίας είναι σημαντική για να ληφθούν υπόψιν τα στοιχεία κλιματικής ζώνης ενώ η χρονολογία κατασκευής για την εύρεση της κατηγορίας του κτηρίου καθώς δεν έχει γίνει μελέτη επιθεώρησης στο παρόν κτήριο. Το κτήριο λοιπόν βρίσκεται στη ζώνη Β' σύμφωνα με τον Πίνακα 1. [2]

Πίνακας 1: Διαχωρισμός νομών σε κλιματικές ζώνες.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Εύβοιας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος).

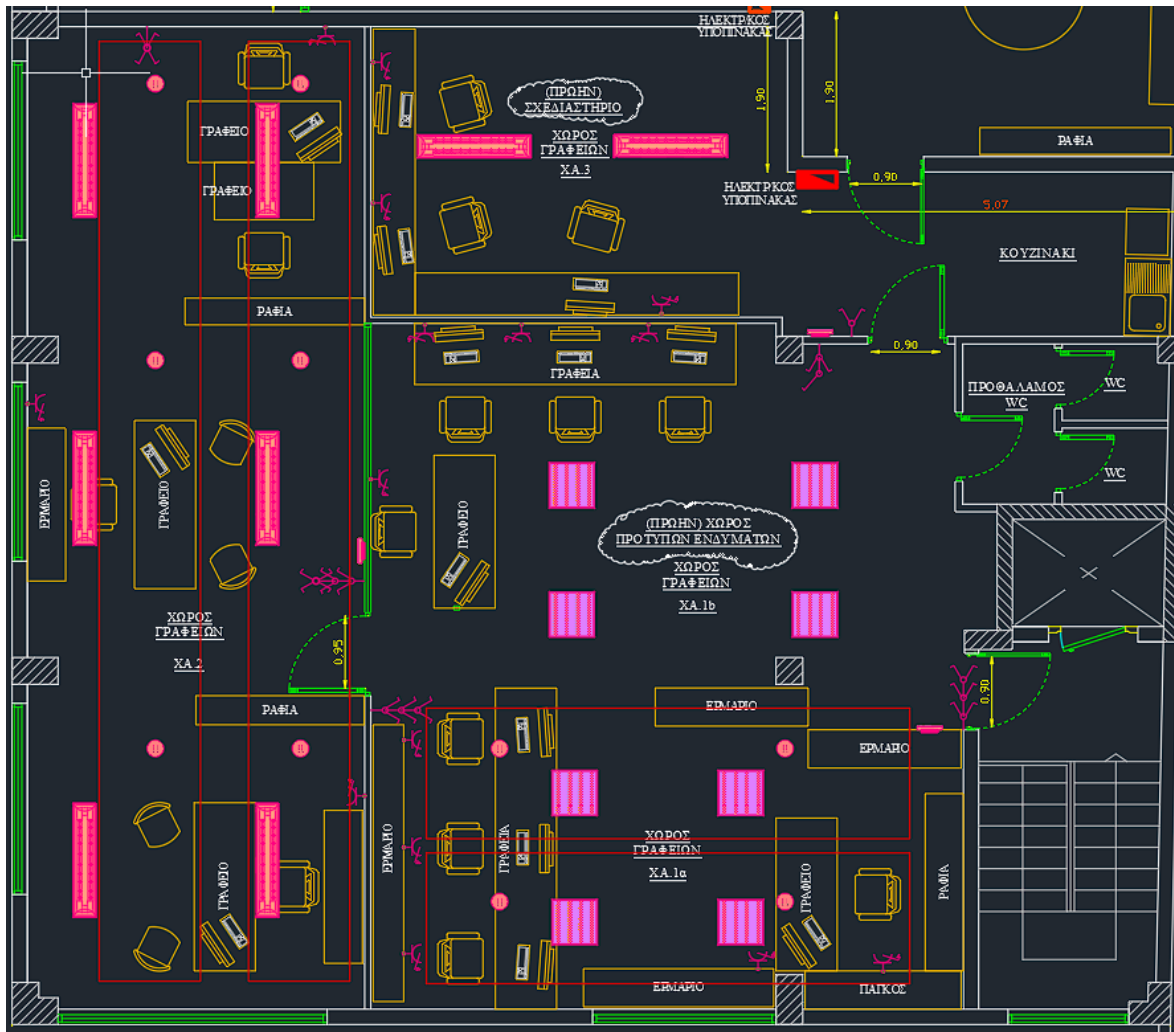
Ο πελάτης θέλει να μετατρέψει τον πρώτο όροφο του κτηρίου από χώρο αποθηκών σε χώρο γραφείων.

Η κατασκευή του κτηρίου αυτού πραγματοποιήθηκε χρονικά πριν την έκδοση του τελευταίου τεύχους της τεχνικής οδηγίας του ΚΕΝΑΚ του 2017. Σύμφωνα με το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης κτηρίου για την ενεργειακή κατηγοριοποίηση του κτηρίου χρειάζεται να υπολογιστεί το πηλίκο δυο δεικτών. Ο δείκτης R_R αποτελεί την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς, ενώ ο δείκτης EP αποτελεί την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτηρίου. Το πηλίκο EP/R_R που ορίζεται ως T κατατάσσει το κτήριο στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης της της φαίνεται στον Πίνακα 2. [2]

Πίνακας 2: Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτηρίου.

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33R_R$	$T \leq 0.33$
A	$0.33 < EP \leq 0.50R_R$	$0.33 < T \leq 0.50$
B+	$0.50R_R < EP \leq 0.75R_R$	$0.50 < T \leq 0.75$
B	$0.75R_R < EP \leq 1.00R_R$	$0.75 < T \leq 1.00$
Γ	$1.00R_R < EP \leq 1.41R_R$	$1.00 < T \leq 1.41$
Δ	$1.41R_R < EP \leq 1.82R_R$	$1.41 < T \leq 1.82$
E	$1.82R_R < EP \leq 2.27R_R$	$1.82 < T \leq 2.27$
Z	$2.27R_R < EP \leq 2.73R_R$	$2.27 < T \leq 2.73$
H	$2.73R_R < EP$	$2.73 < T$

Για την εύρεση της κατηγορίας του κτηρίου θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ενεργειακή μελέτη. Η πρώτη προσέγγιση στο κτήριο απεικονίζεται στην Εικόνα 1 που αποτελεί την κάτοψη του χώρου που θα μελετηθεί από το σχεδιαστικό πρόγραμμα AUTOCAD.



Εικόνα 1 : Κάτοψη χώρου γραφείων.

Στο παραπάνω στιγμιότυπο παρατηρείται η κάτοψη του κτηρίου. Τα στοιχεία που θα αναφερθούν περί κτηρίου είναι αποφασισμένα σε συνεννόηση με τον πελάτη. Όσον αφορά τους χώρους γραφείων αυτοί είναι τρεις στον αριθμό και θα ονομαστούν για χάρη της μελέτης ως ΧΑ.1, ΧΑ.2 και ΧΑ.3. Εκτός των χώρων αυτών προβλέπεται ένας χώρος κουζίνας καθώς και ένας προθάλαμος που οδηγεί στον ανελκυστήρα για την επικοινωνία με το υπόλοιπο κτήριο. Πάνω από τους χώρους γραφείων βρίσκεται ένας αποθηκευτικός χώρος του οποίου μελλοντική χρήση είναι αβέβαιη και δεν έχει ζητηθεί να ενταχθεί στην μελέτη.

Εφόσον έγινε η εισαγωγή στο σχέδιο του κτηρίου που επρόκειτο να μελετηθεί θα πρέπει αρχικά να αποτυπωθούν οι ηλεκτρικές απαιτήσεις του χώρου. Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις του κτηρίου χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. Θέσεις και ηλεκτρικό φορτίο ρευματοδοτών (πριζών).
2. Θέσεις και ηλεκτρικό φορτίο φωτιστικών σωμάτων.
3. Υπολογισμός θερμικών και ψυκτικών απωλειών και τοποθέτηση αντίστοιχων μηχανημάτων για την κάλυψη της.

Οι υπολογισμοί των παραπάνω αποτελούν τη βάση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης και καθορίζουν της διατομές των αγωγών τροφοδοσίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα του αγωγού προστασίας. Επιπλέον, προσδιορίζουν τις ονομαστικές τιμές των τάσεων και ρεύματος των διακοπών ελέγχου και των ασφαλειών προστασίας των διαφόρων ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

2.2.2 Μελέτη ηλεκτρικών φορτίων ρευματοδοτών

Οι θέσεις των ρευματοδοτών και η επιλογή του είδους του ρευματοδότη που χρησιμοποιήθηκαν είναι προκαθορισμένες από την πρώτη στιγμή που κατασκευάστηκε ο χώρος. Οι ρευματοδότες αποτελούν ίσως το μικρότερο φορτίο σε μια εγκατάσταση. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση έχουν χρησιμοποιηθεί ενισχυμένοι, μονοφασικοί ρευματοδότες schuko ισχύος 500 Watt όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



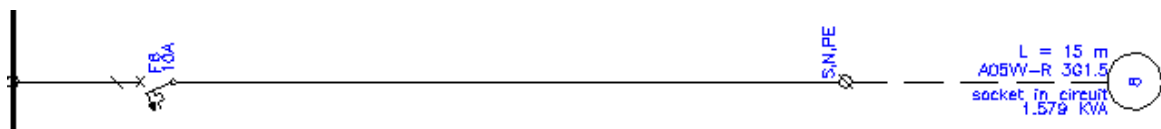
Εικόνα 2: Ενισχυμένος μονοφασικός ρευματοδότης schuko.

Συνήθως στις σύγχρονες εγκαταστάσεις σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο DIN 18015 οι ρευματοδότες τροφοδοτούνται από ανεξάρτητα κυκλώματα. Κάθε κύκλωμα θα περιέχει βάσει προτύπου μέχρι πέντε ρευματοδότες των 500 Watt και ελάχιστης απόστασης από το δάπεδο τα τριάντα εκατοστά (30 cm).

Σύμφωνα με την κάτοψη της Εικόνας 1 και ξεκινώντας από τον χώρο ΧΑ.2 προβλέπεται ένα κύκλωμα ρευματοδοτών που θα περιέχει έναν μονοφασικό ρευματοδότη ισχύος 500

Watt ανά γραφείο. Αντίστοιχα στον χώρο ΧΑ.3 προβλέπεται ένα κύκλωμα ρευματοδοτών με μονοφασικό ρευματοδότη ισχύος 500 Watt ανά γραφείο. Για χάρη ευκολίας ο χώρος ΧΑ.1 έχει χωριστεί σε δύο υπό χώρους κάθε ένας εκ των οποίων θα έχουν από ένα κύκλωμα ρευματοδοτών με μονοφασικό ρευματοδότη ισχύος 500 Watt ανά γραφείο. Το συνολικό φορτίο των κυκλωμάτων των ρευματοδοτών θα είναι 5.5 kW. Σε αυτό το σημείο πρέπει να συμπεριληφθεί η έννοια του ετεροχρονισμού και ταυτοχρονισμού. Μια εγκατάσταση σπάνια λειτουργεί με το ολικό της φορτίο ταυτόχρονα σε λειτουργία. Ηλεκτρικά στοιχεία όπως τα φώτα, οι κουζίνες, τα κλιματιστικά συνήθως δεν λειτουργούν ταυτόχρονα για όλη τη διάρκεια της μέρας. Ως ετεροχρονισμός λοιπόν ορίζεται ένα μέγεθος που προσπαθεί να προσομοιάσει όσο το δυνατόν πιο αντικειμενικά την πραγματική λειτουργία των στοιχείων του κτηρίου σε ημερήσια βάση. Ο συντελεστής ετεροχρονισμού εκφράζει δηλαδή το ποσοστό του λειτουργικού χρόνου του κτηρίου κατά τον οποίο τα εσωτερικά κέρδη υπάρχουν. Εφόσον οι χώροι αυτοί προορίζονται για χρήση γραφείων με ωράριο λειτουργίας της μέσου εργαζόμενο γραφείου δηλαδή τις 8 ώρες, ο ετεροχρονισμός προβλέπεται ως τιμή στο 0.8, τιμή που προέρχεται από τα πρότυπα της 1^{ης} τεχνικής οδηγίας. [2]

Επιπλέον, σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο DIN 18015 κάθε ανεξάρτητο κύκλωμα ρευματοδοτών θα έχει διατομή αγωγού στα 2,5 mm². Για την κατασκευή των αγωγών χρησιμοποιείται στην προκείμενη εγκατάσταση ο χαλκός. Οι αγωγοί αποτελούν πολύκλινα καλώδια τύπου A05W-R τα οποία είναι κατάλληλα για εγκατάσταση πάνω ή μέσα σε σουβά όπως προβλέπεται και στην εγκατάσταση αυτή. Η προστασία του καλωδίου του κυκλώματος ρευματοδοτών από υπερφορτίσεις και βραχυκυκλώματα εξασφαλίζεται από μικροαυτόματο διακόπτη κατηγορίας Β', ονομαστικής έντασης 16Α. Η σχεδιαστική απεικόνιση του κυκλώματος από το σχεδιαστικό λογισμικό της 4M παρατίθεται στο Διάγραμμα 1.



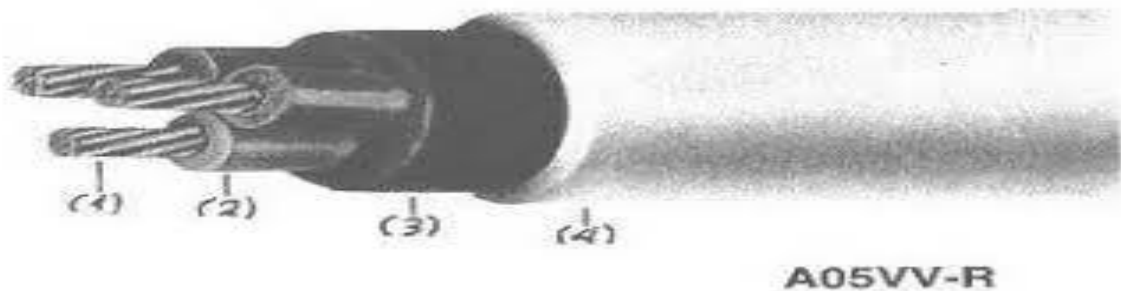
Διάγραμμα 1: Κύκλωμα Ρευματοδότη

Το εξωτερικό του καλωδίου και η μόνωση του είναι από PVC λόγω του ότι είναι ελαφρύ, έχει ωραία εμφάνιση, μεγάλη μηχανική αντοχή και αντέχει μέχρι και της 75 °C [3].

Η δομή ενός καλωδίου A05VV-R αποτελείται από:

1. Αγωγό χαλκού ή πολύκλωνος.
2. Μόνωση PVC.
3. Γέμιση.
4. Μανδύας PVC.

Η μορφή αυτού του τύπου καλωδίου από το εξωτερικό του (μόνωση) έως το εσωτερικό του (κλώνοι) αποτυπώνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Πολύκλωνο καλώδιο τύπου A05VV-R.

Η απαίτηση του κάθε κυκλώματος σε ηλεκτρική ισχύ υπολογίζεται ανάλογα τον αριθμό των ρευματοδοτών που αυτή περιέχει και ονομάζεται εγκατεστημένη ισχύς με μονάδα μέτρησης τα KVA. Συνήθως αναγράφεται στην αναλυτική δήλωση από τον ηλεκτρολόγο εγκαταστάτη ή σε καταλόγους κατασκευαστών με μονάδα μέτρησης της ίππους ή τα Watt (HP ή Watt) δηλαδή την πραγματική ισχύ και πολλαπλασιάζονται με της συντελεστές 1.16 και 0.86, αντίστοιχα με αποτέλεσμα τα KVA δηλαδή την φαινόμενη ισχύ. ($P = S \cdot \cos\phi$).

2.2.3 Μελέτη ηλεκτρικών φορτίων φωτισμού

Ο υπολογισμός των ηλεκτρικών φορτίων του φωτισμού καθώς και ο προσδιορισμός του αριθμού, ο τύπος και τα τεχνικά της χαρακτηριστικά αποτελούν μέρη της φωτοτεχνικής μελέτης.

Αρχικά, πρέπει να επεξηγηθούν κάποιοι βασικοί όροι για την μελέτη φωτισμού. Η φωτοτεχνική μελέτη είτε αυτή πραγματοποιείται στο χαρτί είτε με τη χρήση λογισμικού όπως σε αυτήν την εργασία έχει σαν αντικείμενο της την απόδοση της φωτεινής ροής. Ως φωτεινή ροή (luminous flux) ορίζεται το φως (ακτινοβολούμενη ενέργεια) που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή ή λαμβάνει μια επιφάνεια ανεξαρτήτου της διεύθυνσής του. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm) και ορίζεται ως η ροή που εκπέμπεται

από μια σταθερή γωνία 1 steradian από μια σημειακή πηγή, η οποία έχει ομοιόμορφη φωτεινή ένταση 1 candela. Επιπλέον, στην φωτοτεχνία υπολογίζεται ο αριθμός των τεμαχίων του προτεινόμενου φωτιστικού ώστε να επιτυγχάνεται η απαραίτητη ένταση φωτισμού σύμφωνα με της σχετικές περιγραφές του ΚΕΝΑΚ. Ως ένταση φωτισμού ή ισχύ φωτισμού ορίζεται ως πυκνότητα του φωτός (φωτεινής ροής) που ακτινοβολεί από ένα φωτιστικό σώμα ανά μονάδα επιφάνειας. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης είναι το lux = lumen / m².

Εφόσον το κριτήριο της έντασης φωτεινής ροής έχει καλυφθεί σε lux βάσει των προδιαγραφών του ΚΕΝΑΚ επιτυγχάνεται φωτοτεχνικά έπειτα ελέγχεται το κριτήριο της ομοιομορφίας του φωτισμού. Πιο συγκεκριμένα ως ομοιομορφία του φωτισμού ορίζεται ένα μέγεθος που εκφράζει τη διεύθυνση της φωτεινής ροής μέσα σε ένα χώρο. Εάν η διεύθυνση του φωτός είναι κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή τότε η ομοιομορφία ορίζεται ως εγκάρδια ειδάλλως εάν είναι παράλληλη στη διεύθυνση του παρατηρητή ορίζεται ως διαμήκης ομοιομορφία. Η ομοιομορφία ανεξαρτήτου είδους απεικονίζεται με το γράμμα U (Uniformity) και διακρίνεται σε τρεις επιμέρους συντελεστές. Στην παρούσα εργασία θα ληφθεί υπόψιν μόνο ο πρώτος και σημαντικότερος συντελεστής που ονομάζεται ως γενικός συντελεστής (U₀). Εξ' ορισμού ο γενικός συντελεστής αποτελεί ένα από τα εξής πηλίκια L_{min} / L_{med} ή L_{min} / L_{max}, όπου L_{min}, L_{max}, L_{med} η ελάχιστη, μέγιστη, μέση αντίστοιχα λαμπρότητα ανά την επιφάνεια που ακτινοβολεί το φως. Η τιμή του ορίζεται από τα παραπάνω πηλίκια και πρέπει να συμφωνεί με το πρότυπο του ΚΕΝΑΚ ανάλογα τη χρήση του κτηρίου. [4]

Ο χώρος που αναλύεται σε αυτήν την εργασία αποτελεί χώρο γραφείου επομένως οι απαιτήσεις του φωτισμού είναι τα 500 lx φωτεινής ισχύος και ομοιομορφίας 0.6 της παρουσιάζεται στον Πίνακα 3. [2]

Πίνακας 3: Στάθμη γενικού φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου σύμφωνα με το EN 12464-1 2011.

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Στάθμη φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR	Ομοιομορφία φωτισμού U₀ (min/μέση τιμή)
---	-----------------------------	--------------------------------------	-----------------------------	---

Γραφείο	500	0,8	19	0,6
---------	-----	-----	----	-----

Η φωτοτεχνική μελέτη της συγκεκριμένης εγκατάστασης πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού DIALux.

Πριν την μελέτη πρέπει να σημειωθούν κάποιοι παράμετροι ώστε η μελέτη να γίνει σύμφωνα με το πρότυπο του ΚΕΝΑΚ. Σύμφωνα με την παράγραφο 4.2.5 (σελ. 81 / 188) οι συντελεστές ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας μιας επιφάνειας δηλαδή η ικανότητα της επιφάνειας να ανακλά ή να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία λιγότερο ή περισσότερο εξαρτάται καθαρά από τη διαμόρφωση της επιφάνειας. [2]

Τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίθετα μεταξύ τους καθώς όταν το ένα από αυτά τείνει από εύρος τιμών 0 – 1 πιο κοντά στην μονάδα τόσο το δεύτερο έχει την τάση να μειώνεται. Όσο μια επιφάνεια ή ένα αδιαφανές υλικό τείνει ως μορφή σε πιο στυλπνή ή λεία επιφάνεια τόσο και ο δείκτης ανάκλασης τείνει προς τη μονάδα και επομένως η απορροφητικότητα της επιφάνειας μειώνεται. Αντίθετα, μια πιο τραχιά και σκουρόχρωμη επιφάνεια έχει την τάση να απορροφά πιο εύκολα την ηλιακή ακτινοβολία και επομένως όσο αυξάνει ο δείκτης απορροφητικότητας τόσο μειώνει ο δείκτης ανάκλασης. Ανοίγοντας το πρόγραμμα (DIALUX) από προεπιλογή οι τιμές που είναι καταχωρημένες για το βαθμό ανάκλασης της οροφής, των τοίχων και του δαπέδου είναι 70%, 50% και 20%, αντίστοιχα με χαρακτηριστικό χρώμα το λευκό της φαίνεται στην Εικόνα 4.

Βαθμός ανάκλασης	Υλικό	Χρώμα:
Οροφή: 70 %	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Τοίχοι: 50 %	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Δάπεδο: 20 %	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Εικόνα 4: Βαθμοί ανάκλασης DIALux.

Το χρώμα της επιφάνειας επηρεάζει την τιμή του δείκτη ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας. Οι σχετικές τιμές που αρμόζουν στην παρούσα εγκατάσταση περιγράφονται στον Πίνακα 4. [2]

Πίνακας 4: Τυπικές τιμές ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία – Κατακόρυφα δομικά υλικά – Οριζόντια δομικά στοιχεία (οροφές).

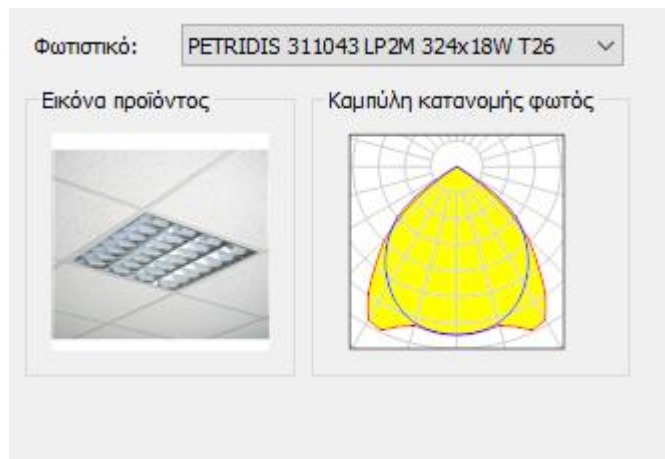
Περιγραφή επιφάνειας	Ανακλαστικότητα	Απορροφητικότητα
Κατακόρυφα δομικά στοιχεία		
Επίχρισμα λευκό, λεία επιφάνεια (σπατουλαριστό)	0,70	0,30
Επίχρισμα ανοιχτόχρωμο (π.χ. ανοιχτό γκρι, μπεζ, κίτρινο, ροζ ή γαλάζιο)	0,60	0,40
Επίχρισμα μέτριας απόχρωσης (π.χ. γκρι, μπεζ, σκούρη ώχρα, σομόν)	0,40	0,60
Επίχρισμα σκουρόχρωμο (π.χ. σκούρο λαδί, καφέ, γκρι)	0,20	0,80
Εμφανής οπτολιθοδομή ή λιθοδομή	0,20	0,80
Εμφανής ανοιχτόχρωμη οπτολιθοδομή ή λιθοδομή	0,40	0,60
Στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. φύλλα αλουμινίου)	0,80	0,20
Αδιαφανές τμήμα γυάλινης πρόσοψης (π.χ. πάνελ με επικάλυψη γυαλιού)	0,40	0,60
Φυτεμένη όψη (με αειθαλή φυτά)	0,30	0,70
Οριζόντια δομικά στοιχεία (οροφές)		
Κόκκινο κεραμίδι	0,40	0,60
Πολύ σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (ασφαλτόπανα)	0,10	0,90
Σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με σχιστολιθικές πλάκες, ασφαλτικά κεραμίδια)	0,20	0,80

Ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με πλάκες πεζοδρομίου, ασφαλτόπανα με χαλαζιακή ψηφίδα)	0,35	0,65
Στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. ανακλαστικές μεμβράνες)	0,80	0,20
Γαρμπίλι	0,70	0,30
Φυτεμένο δώμα	0,30	0,70

Επιπλέον, το επίπεδο εργασίας ειδικά στους χώρους που είναι γραφεία είναι κοντά στα 80 – 85 cm από την επιφάνεια του δαπέδου. Αυτό το νούμερο είναι σημαντικό καθώς το φωτιστικό σώμα που θα αποφασιστεί από την μελέτη θα πρέπει να παρέχει αρκετή φωτεινή ροή ώστε να φτάνει στο επίπεδο εργασίας. Επιπλέον σημαντική παράμετρος είναι το καθαρό ύψος του ορόφου δηλαδή το ύψος μεταξύ του δαπέδου και της οροφής. Στην προκείμενη περίπτωση το καθαρό ύψος είναι 3m.

Πέρα από το χρώμα του δομικού στοιχείου, για την επιλογή του σωστού φωτιστικού σώματος σημαντική είναι η θερμοκρασία χρώματος της φωτεινής ροής μετρούμενη σε Kelvin (K) που ακτινοβολεί. Η θερμοκρασία του χρώματος είναι η αίσθηση του “θερμού” ή “ψυχρού” φωτός όπως κοινώς αποκαλείται και επηρεάζει έμμεσα την φωτεινή απόδοση του φωτιστικού σώματος αλλά και το φάσμα εκπομπής της ακτινοβολίας. Τιμές διαφορετικές από αυτές που προτείνονται στην τεχνική οδηγία του KENAK μπορούν να επηρεάσουν τον ημερήσιο βιορυθμό των χρηστών. Για τα γραφεία συγκεκριμένα συνίσταται φωτιστικά σώματα με θερμοκρασίες χρώματος <4200K.

Εφόσον, έγινε μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες του φωτισμού μπορεί να ξεκινήσει η φωτοτεχνική μελέτη. Στον όροφο αυτό έχει γίνει εισαγωγή φωτιστικών λαμπτήρων φθορίου. Λόγω ανακρίβειας στον τύπο λαμπτήρα φθορισμού που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση λόγω φθοράς θα γίνει μια παραδοχή και θα χρησιμοποιηθούν φωτιστικά φθορισμού ορθογωνικής διατομής δηλαδή σκαφάκια λαμπτήρων 4x18 Watt έκαστος λαμπτήρας. Το είδος του λαμπτήρα όπως αυτό περιγράφεται από το λογισμικό απεικονίζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Φωτιστικό φθορίου PETRIDIS 311043 LP2M 32 4x18W T26.

Ξεκινώντας από τον χώρο ΧΑ.2, προβλέπεται κύκλωμα φωτιστικών 3 σειρών με 2 φωτιστικά ανά σειρά (3x2). Η επιλογή αυτής της διάταξης είναι άμεσα συνδεδεμένη με την διαμόρφωση του χώρου, ο οποίος έχει μήκος – πλάτος 4.4 – 12.35m, αντίστοιχα. Με την διαμόρφωση αυτή επιτυγχάνεται πρωταρχικά η απαίτηση σε lux καθώς αυτά είναι 610 σε αριθμό. Η τεχνική οδηγία του KENAK αναγράφει πως η παροχή σε lux θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση των 500 lux, συνθήκη η οποία ικανοποιείται. Η επόμενη συνθήκη η οποία πρέπει να καλυφθεί είναι η ομοιομορφία του χώρου. Σε αυτό το σημείο είναι πιθανό η ομοιομορφία της μελέτης να μην καλύπτει την τιμή 0.6 που απαιτείται βάσει KENAK. Σε τέτοια περίπτωση προτιμάται να υπάρχει μια πολύ μικρή απόκλιση ελάχιστα κάτω του 0.6 από το να τοποθετηθεί παραπάνω φωτιστικό σώμα που συνεπάγεται ότι το κύκλωμα γίνεται πιο απαιτητικό σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η παραδοχή πραγματοποιείται μόνο εάν και εφόσον η απαίτηση σε lux έχει καλυφθεί. Στο λογισμικό οι δυο αυτές παράμετροι βρίσκονται στο κομμάτι έξοδος που υπάρχει σχετική περίληψη με τα στοιχεία της μελέτης για κάθε χώρο ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, η απαίτηση σε lux εκφράζεται στο επίπεδο εργασίας, στην οροφή και το δάπεδο. Το μέγεθος E_m [lx] προσδιορίζει την απαίτηση σε lux και η ομοιομορφία προσδιορίζεται από το πηλίκο E_{min} / E_m όπως ορίζεται εξ' ορισμού. Εφόσον οι δύο αυτές συνθήκες είναι ικανοποιητικές βάσει της τεχνικής οδηγίας, βγαίνει η συνολική πραγματική ισχύς που χρειάζεται το κύκλωμα για να λειτουργήσει σε Watt. Συνήθης πρακτική που ακολουθείται είναι πως κάθε κύκλωμα φωτισμού περιέχει έως 8 φωτιστικά σώματα στον αριθμό. Στην προκείμενη εγκατάσταση εφόσον είναι μικρός ο χώρος σε τετραγωνικά μέτρα και η απαίτηση σε φωτισμό δεν είναι εξαιρετικά μεγάλη κάθε χώρος θα έχει το δικό του κύκλωμα φωτισμού. Με αυτόν τον

τρόπο επιτυγχάνεται και αυτονομία ανά το χώρο. Η περίληψη του χώρου ΧΑ.2 απεικονίζεται στην Εικόνα 6. [2]

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80 Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:49

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	533	373	637	0.701
Floor	20	384	248	463	0.646
Ceiling	70	81	61	95	0.750
Τοίχοι (4)	50	186	58	409	/

Workplane:		UGR	Κατά μήκος-	Εγκάρσια	προς τον άξονα φωτιστικών
Ύψος:	0.850 m	Αριστερός τοίχος	15	16	
Κάναβος:	32 x 32 Σημεία	Κάτω τοίχος	15	16	
Περιφερική ζώνη:	0.500 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.342, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.153.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	4	PETRIDIS 311043 LP2M 324x18W T26 (1.000)	3573	5400	86.0
			Συνολικά: 14291	Συνολικά: 21600	344.0

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $17.72 \text{ W/m}^2 = 3.33 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 19.41 m^2)

Εικόνα 6: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.2.

Αντίστοιχα για τον χώρο ΧΑ.3. Οι διαστάσεις του χώρου είναι $5,15 \times 3,77$ με ύψος ορόφου τα τρία μέτρα. Το επίπεδο εργασίας παραμένει $0,8 - 0,85$ εκατοστά από την επιφάνεια του δαπέδου. Για το χώρο αυτό προβλέπεται ένα κύκλωμα φωτιστικών με 2 σειρές και 2 φωτιστικά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 7.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80 Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:159

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	610	398	764	0.653
Floor	20	496	274	641	0.552
Ceiling	70	101	67	115	0.663
Τοίχοι (4)	50	217	70	720	/

Workplane:		UGR	Κατά μήκος-	Εγκάρσια	προς τον άξονα φωτιστικών
Ύψος:	0.799 m	Αριστερός τοίχος	15	16	
Κάναβος:	64 x 32 Σημεία	Κάτω τοίχος	15	16	
Περιφερική ζώνη:	0.500 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.344, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.166.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	12	PETRIDIS 311043 LP2M 324x18W T26 (1.000)	3573	5400	86.0
			Συνολικά: 42872	Συνολικά: 64800	1032.0

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $18.95 \text{ W/m}^2 = 3.10 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 54.47 m^2)

Εικόνα 7: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.3.

Η παροχή σε lux είναι 533 που καλύπτει την τιμή που αναφέρει το πρότυπο της τεχνικής οδηγίας (500 lux). Το ίδιο ισχύει και για την ομοιομορφία της οποίας η τιμή είναι 0.701.

Ο χώρος ΧΑ.1 έχει χωριστεί για λόγους ευκολίας σε δύο κυκλώματα φωτισμού. Ο χώρος ΧΑ.1β έχει διαστάσεις 7.648 x 4.721 m και καθαρό ύψος τα 3 μέτρα. Προβλέπεται κύκλωμα φωτισμού με 3 σειρές και 3 φωτιστικά σώματα ανά σειρά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 8.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80 Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:61

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	689	477	839	0.693
Floor	20	541	318	721	0.589
Ceiling	70	110	85	122	0.773
Τοίχοι (4)	50	237	81	560	/

Workplane:
 Ύψος: 0.850 m
 Κάναβος: 32 x 32 Σημεία
 Περιφερική ζώνη: 0.500 m

UGR Κατά μήκος- Εγκάρσια προς τον άξονα φωτιστικών
 Αριστερός τοίχος 15 16
 Κάτω τοίχος 15 16
 (CIE, SHR = 0.25.)

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.339, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.160.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	9	PETRIDIS 311043 LP2M 324x18W T26 (1.000)	3573	5400	86.0
			Συνολικά: 32154	Συνολικά: 48600	774.0

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: 21.44 W/m² = 3.11 W/m²/100 lx (Βασική επιφάνεια: 36.11 m²)

Εικόνα 8: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.1β.

Η παροχή σε lux είναι 689 που καλύπτει την τιμή που αναφέρει το πρότυπο της τεχνικής οδηγίας. Το ίδιο ισχύει και για την ομοιομορφία της οποίας η τιμή είναι 0,693.

Ο χώρος ΧΑ.1α έχει διαστάσεις 7.949 x 4.2 m και καθαρό ύψος τα 3m. Προβλέπεται ένα κύκλωμα φωτισμού με 2 σειρές και 2 φωτιστικά σώματα ανά σειρά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 9.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80 Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:57

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	492	352	558	0.716
Floor	20	381	225	482	0.590
Ceiling	70	77	53	88	0.686
Τοίχοι (4)	50	169	55	327	/

Workplane:
 Ύψος: 0.850 m
 Κάναβος: 64 x 32 Σημεία
 Περιφερική ζώνη: 0.500 m

UGR Κατά μήκος- Εγκάρσια προς τον άξονα φωτιστικών
 Αριστερός τοίχος 15 16
 Κάτω τοίχος 15 16
 (CIE, SHR = 0.25.)

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.327, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.156.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	6	PETRIDIS 311043 LP2M 324x18W T26 (1.000)	3573	5400	86.0
			Συνολικά: 21436	Συνολικά: 32400	516.0

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: 15.46 W/m² = 3.14 W/m²/100 lx (Βασική επιφάνεια: 33.39 m²)

Εικόνα 9: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.1α.

Η παροχή σε lux είναι 492 που καλύπτει την τιμή που αναφέρει το πρότυπο της τεχνικής οδηγίας. Το ίδιο ισχύει και για την ομοιομορφία της οποίας η τιμή είναι 0.716.

Στη συνέχεια, όσον αφορά δεν χρειάζεται να γίνει μελέτη με τη χρήση του λογισμικού καθώς αποτελεί πολύ μικρό χώρο. Για την κουζίνα προβλέπεται ένα φωτιστικό ισχύος 86 Watt το οποίο θα συμπεριληφθεί ως τιμή στην ισχύ του κυκλώματος του χώρου ΧΑ.3.

Εφόσον κάθε βασικός χώρος έχει προσδιοριστεί φωτοτεχνικά οι τιμές αυτές πρέπει να περαστούν στο λογισμικό της 4M. Λόγω της χρήσης λαμπτήρων φθορισμού η τελική τιμή που θα περαστεί στο λογισμικό υπολογίζεται από το γινόμενο των τεμαχίων επί την ισχύ του κάθε λαμπτήρα με μια προσαύξηση 25% λόγω της λειτουργίας του ηλεκτρικού εκκινητή όπως αναφέρεται στην παράγραφο 6.1.3 (παράμετροι φωτισμού). [2]

Το τελικό φορτίο που καλύπτει μόνο ο φωτισμός στην εγκατάσταση θα είναι συνολικά $2.666 \times 1.25 = 3,332.5 \text{ kW}$.

2.2.4 Μελέτη θερμικών – ψυκτικών φορτίων

Σε οποιαδήποτε εγκατάσταση η μελέτη για την εύρεση των θερμικών και ψυκτικών της φορτίων είναι υψίστης σημασίας για την εύρεση του ενεργειακού αποτυπώματος της εγκατάστασης. Τα θερμικά και ψυκτικά φορτία κοινώς αποτελούν την ενέργεια που καταναλώνει ένα κτήριο με σκοπό την επίτευξη της έννοιας της θερμικής άνεσης. Η θερμική άνεση είναι ένας όρος καθαρά υποκειμενικός και επιστημονικά ορίζεται ως η κατάσταση του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον. [5]

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.4 (επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες χώρων) η έννοια της θερμικής άνεσης όντας μια υποκειμενική έννοια εξαρτάται από ένα μεγάλο πλήθος παραμέτρων και συνθηκών μερικές εκ των οποίων είναι [2]:

- η θερμοκρασία του αέρα,
- η υγρασία του αέρα,
- η ένδυση των χρηστών,
- το πλήθος και η δραστηριότητα των χρηστών,
- η μεταφερόμενη θερμοκρασία από θερμαινόμενους σε μη θερμαινόμενους χώρους μέσω περιβαλλουσών επιφανειών.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι είναι κατανοητό ότι διαφέρουν ανάλογα τη χρήση του κτηρίου καθώς επίσης και την κατάσταση της κατασκευής εφόσον αυτή τηρεί τα επιβαλλόμενα πρότυπα θερμομόνωσης. Όσον αφορά τον όρο της θερμομόνωσης, αυτός συνδέεται με τον όρο της θερμοπερατότητας, ο οποίος εν τέλει συνδέεται με τον όρο κέλυφος του κτηρίου. Ως θερμοπερατότητα ορίζεται η μεταφορά μιας ποσότητας θερμότητας στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας ενός δομικού στοιχείου όταν η διαφορά της θερμοκρασίας στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με τη μονάδα. (TOTEE_20701-1_2017_TEE_2nd_Edition σελ. 14 / 90).

Η μελέτη της θέρμανσης και της ψύξης ενός κτηρίου χωρίζεται σε δύο ξεχωριστές μελέτες. Η πρώτη μελέτη και σημαντικότερη είναι η μελέτη του κελύφους του κτηρίου. Ως κέλυφος του κτηρίου ορίζεται η τοιχοποιία του κτηρίου δηλαδή τα δομικά υλικά από το εσωτερικό του έως και το εξωτερικό του. Η κύρια έννοια στην μελέτη του κελύφους ενός κτηρίου είναι η θερμομονωτική επάρκεια του κτηρίου δηλαδή ο προσδιορισμός των θερμοφυσικών ιδιοτήτων των δομικών στοιχείων καθώς και ο προσδιορισμός συγκεκριμένης επεξεργασίας τους με σκοπό τη θερμική επάρκεια του κτηρίου. Μελετώντας τις ιδιότητες των δομικών υλικών και καθορίζοντας τον τρόπο που θα τοποθετηθούν μέσα στην εγκατάσταση το κτήριο θωρακίζεται από το εσωτερικό του έως και το εξωτερικό του και επομένως αποτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το κτήριο. Διατηρώντας την εσωτερική θερμοκρασία σε κάποια συγκεκριμένη τιμή επιτυγχάνεται η θερμική άνεση και επιπλέον καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια. Έτσι, την χειμερινή περίοδο περιορίζονται οι θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον ενώ αντίστοιχα το καλοκαίρι περιορίζεται η υπερθέρμανση λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το δεύτερο κομμάτι της μελέτης των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ενός κτηρίου είναι η εύρεση των ακριβών φορτίων θέρμανσης και ψύξης και ο τρόπος κάλυψής τους με τα σχετικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Κάθε σύστημα παραγωγής θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το σύστημα παραγωγής της ενέργειας. Σε αυτό το στάδιο ανήκουν όλα τα μηχανήματα που παράγουν θερμική ή ψυκτική ενέργεια με σκοπό την προσαγωγή της ή την απαγωγή της μέσα στο κτήριο. Τέτοια μηχανήματα είναι ο λέβητας, η αντλία θερμότητας κλπ. Το στάδιο που ακολουθεί μετά την παραγωγή της ενέργειας είναι η διανομή της στο χώρο μέσω του

δικτύου διανομής. Το δίκτυο διανομής αποτελεί μια κατασκευή δικτύου σωληνώσεων διαφορετική για κάθε εγκατάσταση που έχει σαν σκοπό την μεταφορά της θερμότητας από την μονάδα παραγωγής προς το χώρο με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες. Σημαντικοί παράγοντες για την καλή απόδοση του δικτύου διανομής είναι η μόνωση του κτηρίου αναφοράς καθώς και το μήκος του δικτύου. Το δίκτυο διανομής εμπλέκεται επιπλέον πέρα από τη θέρμανση – ψύξη και στην διανομή του ζεστού νερού χρήσης του κτηρίου. Το τελευταίο στάδιο αποτελούν οι τερματικές μονάδες. Οι τερματικές μονάδες αποτελούν μηχανήματα που προσάγουν ή απαγάγουν τη θερμότητα μέσα και έξω από το χώρο. Γνωστές τερματικές μονάδες είναι τα καλοριφέρ που μέσω ακτινοβολίας ακτινοβολούν ενέργεια στο χώρο για τη θέρμανση καθώς και τα κοινά κλιματιστικά που διοχετεύουν το φορτίο μέσα στο χώρο για τη ψύξη του. Σε αυτό το σημείο σκοπός είναι να αποτυπωθεί το αντίστοιχο ψυκτικό και θερμικό φορτίο που απαιτεί η εγκατάσταση.

Πιο συγκεκριμένα πρέπει να προσδιοριστούν οι τοιχοποιίες που δεν έρχονται σε επαφή με θερμαινόμενους χώρους. Σε συνεννόηση με τον κάτοχο του κτηρίου όλοι οι όροφοι έχουν θέρμανση και ψύξη επομένως οι εξωτερικοί τοίχοι περιμετρικά του κτηρίου πρέπει να αποδοθούν στο σύστημα. Για την μελέτη των ψυκτικών και θερμικών απωλειών χρησιμοποιείται το λογισμικό της 4M FINE – HVAC 19. Αρχικά, πρέπει να ρυθμιστούν κάποιες παράμετροι όπως της κλιματικής ζώνης στην οποία ανήκει η εγκατάσταση καθώς αυτές ποικίλουν ανάλογα την περιοχή. Στην συγκεκριμένη μελέτη τα δεδομένα είναι συγκεκριμένα από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού της 4M και απεικονίζονται στην Εικόνα 10.

Climatological Data

Country: All the Countries

City: 5. Athens

	Months	Mean Max Temper.	DAILY RANGE Temper.	Humidity: %
1	April	21.30	9.00	48.30
2	May	26.90	10.30	41.30
3	June	32.00	10.30	34.50
4	July	34.10	10.50	31.30
5	August	34.10	10.20	30.50
6	September	29.90	9.50	42.60

Latitude: 37.90

Longitude: 23.73

Altitude (m): 15.00

Time Zone: UTC+2

Exit

Εικόνα 10: Κλιματικά δεδομένα Αθήνας.

Οι καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. [2]

Πίνακας 5: Οι καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας εσωτερικών χώρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Θερμοκρασία [°C]		Σχετική Υγρασία	
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	19	25	35	45
Κατάστημα, φαρμακείο	20	26	35	45
Ινστιτούτο γυμναστικής	20	26	35	45
Κουρείο, κομμωτήριο	20	26	35	45

Γραφείο	20	26	35	45
Βιβλιοθήκη	20	26	35	50

Ως καθαρό ύψος του ορόφου είναι δεδομένο τα τρία μέτρα. Η πλάκα ορόφου έχει μήκος 0,5 μέτρα.

Στο συγκεκριμένο σημείο θα παρουσιαστεί η μελέτη των ψυκτικών φορτίων του χώρου καθώς αυτά αποτελούν τη μεγαλύτερη απαίτηση σε kW/h μέσα στο πέρας του χρόνου.

Τα ψυκτικά φορτία μιας εγκατάστασης χωρίζονται στα φορτία που απαιτεί ο χώρος από επιφάνειες σε επαφή με υπαιθρο ή μη θερμαινόμενους χώρους, ανοίγματα και στα εσωτερικά κέρδη από τους χρήστες, τον εξοπλισμό και τα φωτιστικά σώματα. Με δεδομένο προσανατολισμό του κτηρίου τον βορρά, στον χώρο ΧΑ.2, η δυτική τοιχοποιία έρχεται σε επαφή με το υπαιθρο. Επιπλέον, στον χώρο υπάρχουν τρία ανοίγματα που προσφέρουν επίσης ψυκτικό φορτίο στο χώρο. Επίσης στο χώρο ΧΑ.2 η νότια πλευρά του έρχεται σε επαφή με το υπαιθρο και υπάρχει και ένα παράθυρο δημιουργώντας έτσι ψυκτικό φορτίο στο χώρο. Αντίστοιχα, ο χώρος ΧΑ1.α έχει την νότια τοιχοποιία σε επαφή με το υπαιθρο και έχει και ένα παράθυρο δημιουργώντας ένα αντίστοιχο ψυκτικό φορτίο του χώρου. Στη συνέχεια, η βόρεια τοιχοποιία του ΧΑ.3 έρχεται σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο προκαλώντας νέο ψυκτικό φορτίο ενώ τέλος ο ΧΑ1.β δεν έχει κάποια τοιχοποιία σε επαφή με το υπαιθρο ή μη θερμαινόμενο χώρο. Αφού έχουν υπολογιστεί τα φορτία των χώρων από τοιχοποιίες, το επόμενο βήμα αποτελεί ο υπολογισμός των εσωτερικών κερδών από χρήστες και συσκευές δηλαδή η παραγόμενη / εκλυόμενη θερμότητα στο εσωτερικό των κτηρίων από τους χρήστες και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούν, τα οποία πρέπει αν συνυπολογίζονται καθώς είναι μόνιμα για το χρονικό διάστημα λειτουργία του κτηρίου ανεξαρτήτου εποχής. Συγκεκριμένα, στον χώρο ΧΑ.2 από το λογισμικό της 4M υπολογίζεται πως για 8 χρήστες στον χώρο, 3 υπολογιστές με οθόνες, 1 σκάνερ, 1 φωτοτυπικό και 6 φώτα 71.1 Watt έκαστο (από φωτοτεχνική μελέτη) τα εσωτερικά κέρδη που απαιτεί ο χώρος από χρήστες, εξοπλισμό και φώτα είναι 1040 Watt, 1131 Watt και 533,3 Watt, αντίστοιχα. Ο χώρος ΧΑ.3 στον οποίο προβλέπεται χρήση από 3 χρήστες, 3 υπολογιστές μαζί με οθόνη, 2 φωτιστικά σώματα των 71.1 Watt έκαστο τα εσωτερικά κέρδη θα είναι 390 Watt, 315 Watt και 177.8 Watt, αντίστοιχα. Ο χώρος

ΧΑ1.α και ΧΑ1.β προβλέπεται να χρησιμοποιούνται από 4 άτομα με 4 υπολογιστές και οθόνες και 4 φωτιστικά σώματα των 71.1 Watt έκαστο, έκαστος χώρος, ενώ στον χώρο ΧΑ1.β θα συμπεριληφθούν και 1 φούρνος μικροκυμάτων, 1 καφετιέρα και 1 φωτιστικό των 71.1 Watt της κουζίνας. Βάζοντας τις παραμέτρους στο πρόγραμμα τα αποτελέσματα των φορτίων είναι απαίτηση 520 Watt από χρήστες και στους δυο χώρους, 420 Watt και 10275 Watt για ΧΑ1.α και ΧΑ1.β από εξοπλισμό και 355.5 Watt και 444.4 Watt φωτισμού για ΧΑ1.α και ΧΑ1.β, αντίστοιχα. Ως αποτέλεσμα, το συνολικό ψυκτικό φορτίο που απαιτεί ο κάθε χώρος ξεχωριστά είναι 13.306 Watt, 989 Watt, 11150 Watt και 1599 Watt για τους χώρους ΧΑ.2, ΧΑ.3 ΧΑ1.β και ΧΑ1.α, αντίστοιχα. Το συνολικό ψυκτικό φορτίο που απαιτεί λοιπόν η εγκατάσταση τους μήνες Απρίλιο, Μάη, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβρη και Οκτώβρη είναι 27044 Watt ή 27 kW σε καθημερινή βάση για 8 ώρες λειτουργίας του κτηρίου. Η απεικόνιση των συνολικών φορτίων περιέχονται στον πίνακα της Εικόνας 11.

ΧΩΡΟΙ	ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ	Ψ.Φ.Χ	Ψ.Φ.ΑΕΡ.	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ(m ³ /h)	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ(m ³ /s)
ΧΑ.2	62.275	13306	2347	3	186.825	0.051895833
ΧΑ.3	25	989	942.1	3	75	0.020833333
ΧΑ1.β	38.75	11150	1314	3	116.25	0.032291667
ΧΑ1.α	34.875	1599	1460	3	104.625	0.0290625
ΣΥΝΟΛΟ		27044	6063.1			

Εικόνα 11: Ψυκτικά φορτία όλων των χώρων.

Εν συνεχεία, τα φορτία του αερισμού – εξαερισμού ενός κτηρίου υπολογίζονται ως το πηλίκο του μήκους x το πλάτος του χώρου x συντελεστή α / τον όγκο του κτηρίου. Ο συντελεστής α συνιστά τον απαιτούμενο νωπό αέρα που απαιτείται στους εσωτερικούς χώρους (εναλλαγές του αέρα στο χώρο) και ποικίλει ανάλογα τη χρήση του κτηρίου μετρούμενος σε $m^3/h/m^2$. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6 για χρήση χώρων γραφείων ο συντελεστής α έχει τιμή ίση με 3.

Πίνακας 6 : Απαιτούμενος νωπός αέρας ανά χρήση κτηρίου (για χώρους μη καπνιζόντων).

Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Άτομα / 100 m ² επιφ. δαπέδου	Νωπός αέρας [m ³ /h/άτομο]	Νωπός αέρας [m ³ /h/m ²]
Αίθουσες αναμονής	55	45	24,75

Αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	15	50	7,50
Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομεία	15	25	3,75
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	25	45	11,25
Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	20	22	4,40
Αστυνομική διεύθυνση	10	30	3,00
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	30	22	6,60
Κατάστημα, φαρμακείο	14	22	3,08
Ινστιτούτο γυμναστικής	15	45	6,75
Κουρείο, κομμωτήριο	15	30	4,50
Γραφείο	10	30	3,00
Βιβλιοθήκη	22	30	6,60

Κάνοντας τους υπολογισμούς για κάθε χώρο ξεχωριστά με αριθμητή το γινόμενο των διαστάσεων x 3 και παρονομαστή το γινόμενο των διαστάσεων x το ύψος (3m) προκύπτουν για τους χώρους ΧΑ.2, ΧΑ.3, ΧΑ1.α και ΧΑ1.β οι απαιτήσεις σε αερισμό του χώρου δηλαδή 2347, 942.1, 1314, 1460 Watt, αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο ορίζεται η έννοια του συστήματος διαχείρισης κτηρίου και παρουσιάζονται η δομή και τα κύρια χαρακτηριστικά του. Για την ανάδειξη του συστήματος θα παρουσιαστούν αποσπάσματα από σχετικές μελέτες που το καθιστούν το πλέον σημαντικό για τη βιωσιμότητα ενός κτηρίου. Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού.

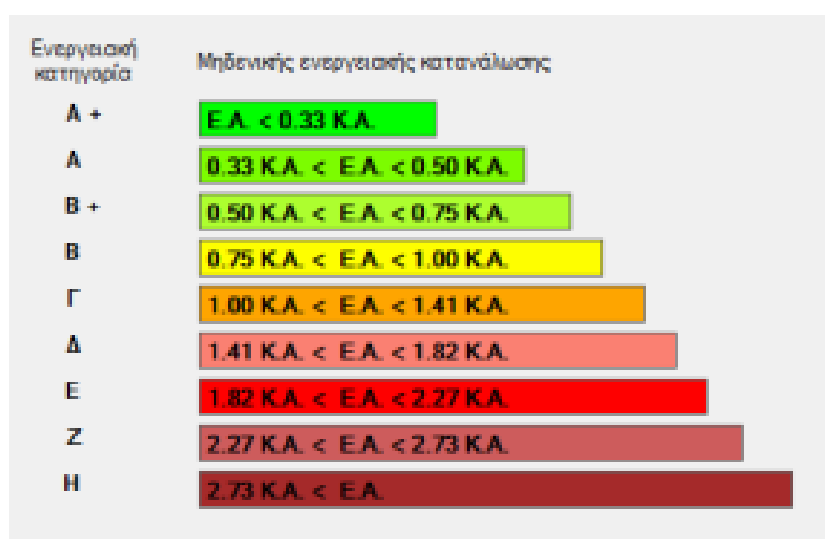
3.1 Ορισμός συστήματος διαχείρισης κτηρίου

Το σύστημα διαχείρισης κτηρίου γνωστό και ως Building Management System (BMS systems) αποτελεί ένα σύστημα που εγκαθίστανται σε ένα κτήριο με απώτερο σκοπό την διαχείριση των ηλεκτρικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων του κτηρίου, εγκατεστημένο και επιβλεπόμενο μέσω υπολογιστή. Το σύστημα αυτό επιτρέπει την έγκαιρη διάγνωση βλαβών και φθορών στον εξοπλισμό μιας εγκατάστασης όσον αφορά τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού και ασφάλειας. Οι ονομασίες του BMS συστήματος στη σύγχρονη εποχή ποικίλουν. Αποκαλείται εναλλακτικά ως (Building Energy Management System) BEMS σύστημα δηλαδή ως Σύστημα Διαχείρισης της Ενέργειας του Κτηρίου ενώ είναι γνωστό και ως Σύστημα Αυτοματισμού του Κτηρίου (Building Automation System - BAS) αφού αυτοματοποιεί τις λειτουργίες του κτηρίου μέσω λογισμικού και πρωτοκόλλων αποκλείοντας τον ανθρώπινο παράγοντα. Οποιαδήποτε ονομασία και εάν χρησιμοποιηθεί όλοι απευθύνονται σε αυτό στον κτηριακό τομέα καθώς στοχεύει στην κατανάλωση της ενέργειας και την εξοικονόμηση της. [6]

Η βάση του BMS συστήματος είναι η κεντρική μονάδα ελέγχου. Στην κεντρική μονάδα ελέγχου συνδέεται ο ψηφιακός ελεγκτής (controller) ή ένα σύστημα ελεγκτών, ο οποίος λαμβάνει όλες τις ενδείξεις των μετρητών και αισθητηρίων της εγκατάστασης του κτηρίου όπως τους μετρητές κατανάλωσης, τις ενδείξεις των θερμοστατών και εκτελεί ανάλογα βάσει συγκεκριμένου αλγορίθμου που έχει προγραμματιστεί. Η εποπτεία του συστήματος γίνεται μέσω του υπολογιστή από όπου ρυθμίζονται και οι παράμετροι της εγκατάστασης βάσει των επιθυμιών του κάθε χρήστη. Κατ' αυτόν τον τρόπο ελέγχονται οι ενδείξεις τόσο της λειτουργίας των ηλεκτρικών αισθητηρίων και μετρητών της εγκατάστασης όσο και της λειτουργίας των ηλεκτρονόμων (relay) και των ηλεκτροβανών – τρίοδων βανών του

κτηρίου. Εφόσον απώτερος σκοπός της εγκατάστασης ενός BMS συστήματος είναι η δημιουργία συνθηκών άνεσης και ασφάλειας στο κτήριο και πάνω από όλα εξοικονόμησης ενέργειας κατά το δυνατόν, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και παράμετροι εξωτερικού περιβάλλοντος. Με τη χρήση του συστήματος διαχείρισης κτηρίου τα συστήματα της ψύξης – θέρμανσης, αερισμού – εξαερισμού και φωτισμού αντί να λειτουργούν συνεχώς μέχρι ο χρήστης να τα απενεργοποιήσει θα λειτουργούν όπως έχει οριστεί από το λογισμικό του υπολογιστή και θα σταματούν αυτόματα από το ίδιο το σύστημα εφόσον η λειτουργία τους δεν είναι απαραίτητη. Για την συλλογή των δεδομένων και την κατηγοριοποίηση τους το BMS σύστημα χωρίζεται σε τρία επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο συμπεριλαμβάνονται οι ενδείξεις από τους αισθητήρες, τους μετρητές και τα συστήματα φωτισμού. Στο δεύτερο επίπεδο συμπεριλαμβάνονται οι ελεγκτές, ενώ το επίπεδο τρία περιλαμβάνει τη διοίκηση. Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επικοινωνίας ανοιχτού κώδικα όπως BACnet, ModBus, Ethernet, Internet που για την ανταλλαγή δεδομένων. Τόσο σε ευρωπαϊκές χώρες όσο και στην Αμερική τα κτήρια ως επί τω πλείστον κατέχουν σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτηρίου όπως απαιτούν τα πρότυπα. Στην Ελλάδα βάσει των προτύπων του KENAK που ακολουθούν τα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης η εγκατάσταση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου είναι υποχρεωτική εάν και οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις και επιθεωρήσεις που πραγματοποιούνται καθιστούν απαραίτητο για ένα κτήριο να κατατάσσεται ενεργειακά σε κατηγορία Α δηλαδή πλήρους εξοικονόμησης ενέργειας όπως φαίνεται στην Εικόνα 12.

[6][7]



Εικόνα 12: Κατηγοριοποίηση εγκατάστασης βάσει KENAK.

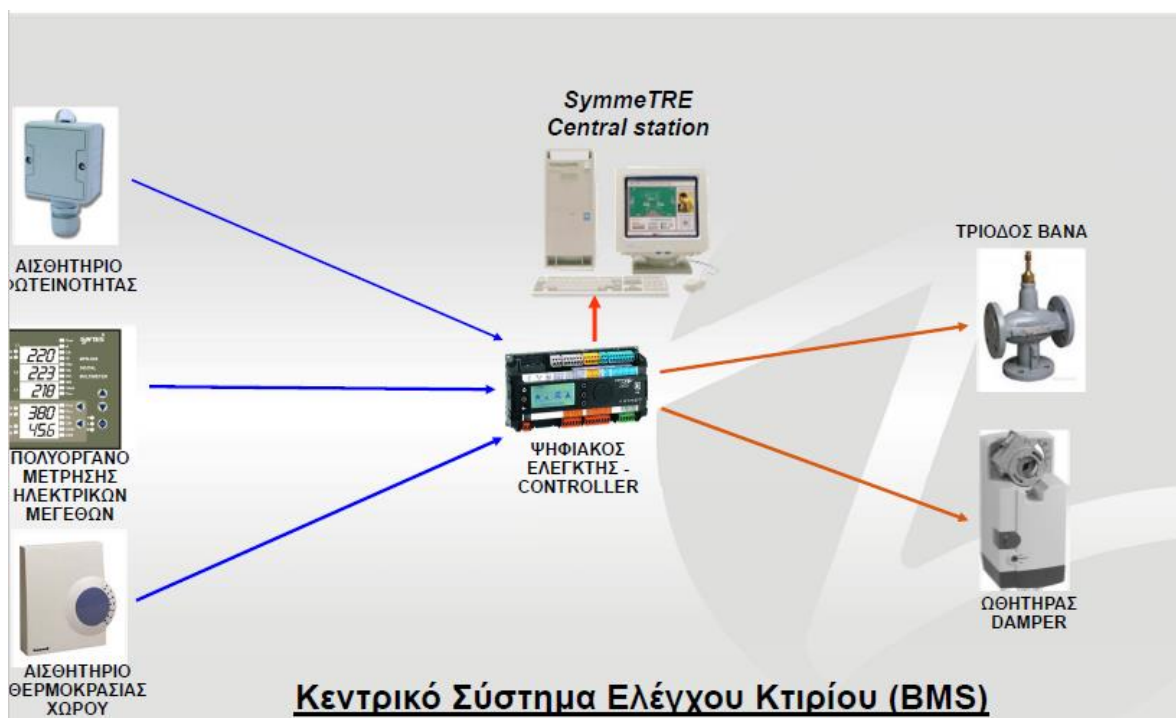
Το σύστημα διαχείρισης δικτύου χρησιμοποιείται ως επί τω πλείστων σε εγκαταστάσεις με μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια και ελέγχει τον τομέα της θέρμανσης, του αερισμού και του κλιματισμού γνωστός και ως HVAC (Heating, ventilation and air conditioning) και τα ηλεκτρικά συστήματα όπως τα κυκλώματα του φωτισμού. Προβλέπεται πως ένα σύστημα bms πλήρες λειτουργικό μπορεί να εξοικονομήσει σε μια εγκατάσταση από 10% έως και 35% ενέργεια ανάλογα βέβαια και τη χρήση του χώρου.

3.2 Δομή συστήματος διαχείρισης ενέργειας κτηρίου

Το BMS σύστημα χωρίζεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε επίπεδα. Τα βασικά χαρακτηριστικά από τα οποία αποτελείται ένα τέτοιο σύστημα είναι τα εξής:

- Αισθητήρια όργανα (μετρούν τις τιμές των παραμέτρων ελέγχου – όπως τη θερμοκρασία, υγρασία, στάθμη φωτισμού)
- Όργανα αυτοματισμού
- Ελεγκτές (καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας και συντονίζουν όλες τις εγκαταστάσεις)
- Κεντρικό σταθμό παρακολούθησης και ελέγχου (επιτελεί τον προγραμματισμό και το χειρισμό του συστήματος).

Η σύνοψή τους φαίνεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Βασική δομή BMS συστήματος.

Ξεκινώντας από τα αισθητήρια όργανα, ως αισθητήρας ορίζεται το όργανο το οποίο μπορεί να παραλάβει και να αντιληφθεί αλλαγές του περιβάλλοντος. Ως είσοδος του αισθητήρα ορίζεται συνήθως ένα φυσικό μέγεθος ενώ στην έξοδό του παράγεται ένα ηλεκτρικό σήμα που προσδιορίζει απόλυτα σε τιμή το φυσικό μέγεθος της εισόδου. Πιο συγκεκριμένα σε μια εγκατάσταση στην οποία εφαρμόζεται σύστημα bms οι αισθητήρες θα έχουν σαν είσοδο για τη θέρμανση και την ψύξη την θερμοκρασία του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος της εγκατάστασης. Άλλο φυσικό μέγεθος που μπορεί να αποτυπωθεί από τους αισθητήρες είναι η υγρασία του χώρου. Τέτοιο είδος αισθητηρίων οργάνων χρησιμοποιείται για την θέρμανση – ψύξη και αερισμό του κτηρίου. Συχνό είδος αισθητήρα που χρησιμοποιείται και για την ψύξη αλλά και την θέρμανση του κτηρίου καθώς επίσης και το φωτισμό του κτηρίου είναι οι αισθητήρες κίνησης.

Οι πιο κοινοί αισθητήρες κίνησης γνωστοί και ως αισθητήρες κίνησης παθητικών υπέρυθρων αποτελούν είδος αισθητήρα με την ικανότητα αναγνώρισης της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος. Όταν οι αισθητήρες ανιχνεύσουν παρουσία κάποιου ανθρώπου σε μια συγκεκριμένη εμβέλεια ανάλογα τον αισθητήρα τότε ενεργοποιείται το εκάστοτε σύστημα για το οποίο είναι υπεύθυνοι. Πολλή μεγάλη πρακτική αυτού του είδους του αισθητήρα σε ένα σύστημα διαχείρισης κτηρίου είναι για το φωτισμό του κτηρίου. Στα κτήρια, ο φωτισμός φτάνει απαιτήσεις της τάξεως του 25 – 35% της συνολικής κατανάλωσής του σε ενέργεια όπως φαίνεται και στο Γράφημα 1. [8]



Γράφημα 1: Συμμετοχή του φωτισμού στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε δημόσια κτήρια γραφείων και κατοικίες.

Τα όργανα αυτοματισμού τα οποία χρησιμοποιούνται σε κτήρια του τριτογενούς τομέα όπως γραφεία και καταστήματα είναι συνήθως απλά. Βασική παράμετρος που καθορίζει τις διατάξεις και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι το είδος της εγκατάστασης θέρμανσης δηλαδή αν είναι μονοσωλήνιο ή δισωλήνιο σύστημα διανομής ζεστού νερού καθώς και η παροχή θερμότητας που θα διαχειριστούν. Όταν σε μια εγκατάσταση η θέρμανση και η ψύξη του κτηρίου πραγματοποιείται από τοπικές μονάδες τότε όλοι οι αυτοματισμοί λειτουργίας είναι αναπόσπαστο κομμάτι της μονάδας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου είδους αυτοματισμού είναι ο θερμοστάτης. Ο θερμοστάτης αποτελεί τη βασική διάταξη ελέγχου ενός χώρου ή μιας θερμικής ζώνης. Για τη λειτουργία τους γίνεται έναρξη της θέρμανσης ή ψύξης της ζώνης ή του χώρου όταν υπάρχει σχετική ανάγκη, ενώ όταν ο χώρος είναι επαρκώς ζεστός ή ψυχρός σταματά η λειτουργία του συστήματος. Αποτελούν διατάξεις αυτοματισμού που μπορούν να επιφέρουν μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας όταν ρυθμιστούν σωστά ώστε να καλύπτουν και την επιθυμία του χρήστη για θερμική άνεση αλλά και τα δεδομένα του ΚΕΝΑΚ. Στον τριτογενή τομέα συνήθως τοποθετείται ένας θερμοστάτης ανά θερμική ζώνη και ένας ανά όροφο κτηρίου. Για τη σωστή λειτουργία ενός θερμοστάτη απαιτούνται αισθητήρες θερμότητας που ανιχνεύουν τη θερμότητα στο χώρο και την συγκρίνουν με την επιθυμητή. Ανάλογα την εποχή η εγκατάσταση έχει διαφορετικές παραμέτρους όσον αφορά την θερμική άνεση μέσα στο χώρο καθώς εφαρμόζεται ο νόμος της θερμοδυναμικής περί μεταφοράς θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέσο δηλαδή από τον χώρο στο εξωτερικό περιβάλλον ή το αντίστροφο. Η δουλειά του θερμοστάτη είναι να ελέγχει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου και να ενεργοποιεί τα συστήματα με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας σε μια συγκεκριμένη τιμή. [9]

Οι θερμοστάτες είναι διακόπτες που ενεργοποιούνται από ένα αισθητήριο θερμοκρασίας και με βάση τη λειτουργία τους είναι μηχανικοί – ηλεκτρομηχανικοί ή ηλεκτρονικοί – ψηφιακοί. Οι ψηφιακοί θερμοστάτες βασίζονται στη λειτουργία τους στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης κάποιων υλικών (thermistors) ανάλογα με τη θερμοκρασία τους και επιφέρουν ακρίβεια της τάξης του 0,1 – 0,3 °C. Σε συνδυασμό με ψηφιακούς χρονοδιακόπτες αποκαλούνται χρονοθερμοστάτες και ελέγχουν μια εγκατάσταση ταυτόχρονα με τη θερμοκρασία (λειτουργία ηλεκτρονικού θερμοστάτη) και το χρόνο αφής/σβέσης. Η ένδειξη του αισθητήρα αποτυπώνεται σε οθόνη και είναι εύκολα

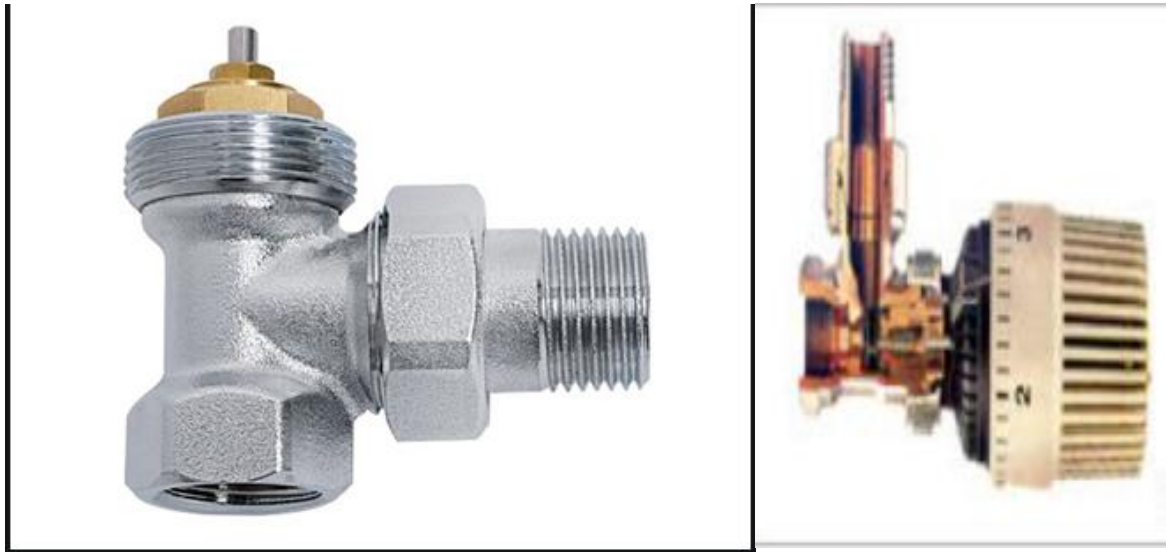
διαχειρίσιμη είτε αυτόματα από ένα σύστημα BMS μέσω προγράμματος, είτε μέσω χρονοδιακόπτη είτε χειροκίνητα από τον ίδιο το χρήστη. Ένα είδος θερμοστάτη απεικονίζεται στην Εικόνα 14. [10]



Εικόνα 14: Ψηφιακός θερμοστάτης χώρου.

Άλλη διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται ο έλεγχος της εγκατάστασης είναι ο θερμοστατικός διακόπτης. Ο θερμοστατικός διακόπτης αποτελεί μια μηχανοκίνητη βαλβίδα που ελέγχεται από θερμοστατική κεφαλή. Χρησιμοποιούνται ως επί τω πλείστον για τον τοπικό έλεγχο της θερμοκρασίας των θερμαντικών σωμάτων (καλοριφέρ). Η λειτουργία τους είναι να ελέγχουν την θερμοκρασία του σώματος μέσω αισθητηρίων της κεφαλής ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία του χώρου δηλαδή. Όταν η θερμοκρασία στο χώρο πέσει τότε ενεργοποιείται η βάννα και επιτρέπει στο θερμό νερό να περάσει στο σύστημα και το σώμα να αρχίσει να ακτινοβολεί θερμότητα στο χώρο. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του χώρου ανεβαίνει τότε η κεφαλή ενεργοποιείται αναγκάζοντας τη βάννα να είναι συνεχώς κλειστή με τη δίοδο του ζεστού νερού αδύνατη

και έτσι η απόδοση του σώματος να μειώνεται. Ένα είδος θερμοστατικού διακόπτη φαίνεται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15: Θερμοστατικός διακόπτης.

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.5 (κατηγορίες αυτοματισμού εγκατάστασης) κάθε σύστημα κατατάσσεται σε κάποια κατηγορία ανάλογα το είδος αυτοματισμού που κατέχει. Σε αυτή την εργασία θεωρείται η κατηγορία Γ ως η κατώτερη κατηγορία αυτοματισμού, η οποία είναι και η κατηγορία του κτηρίου γραφείων. [2]

Ο θερμοστάτης επίσης παίζει και τον ρόλο του ελεγκτή καθώς αποτελεί την ένδειξη για την εκκίνηση ενός συστήματος αυτοματισμού του κτηρίου. Στα νέα κτήρια έχει δοθεί η δυνατότητα επέμβασης στην παροχή του νερού στα θερμαντικά σώματα σε τοπικό επίπεδο προσφέροντας αυτονομία σε επίπεδο ορόφου, διαμερίσματος ή ξεχωριστής ιδιοκτησίας με τη χρήση ηλεκτροκίνητων βαλβίδων – ηλεκτροβανών. Η ενεργοποίηση μιας ηλεκτροβάνας σε ένα κύκλωμα παροχής ζεστού νερού σε ένα χώρο ελέγχεται από θερμοστάτη ή από συστήματα αφής / σβέσης. Επέμβαση μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμα και σε επίπεδο τερματικών μονάδων όπως fan coils με τη χρήση θερμοστατικών βαλβίδων ή ηλεκτρονικών ελεγκτών. Οι τρίοδες βάνες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού προσαρμογής στα θερμαντικά σώματα και επιτυγχάνουν σταθερή ροή του κυκλοφορητή στο δίκτυο μεταβάλλοντας την παροχή μέσα στο θερμαντικό σώμα. Έτσι επιτυγχάνουν μια ικανοποιητική διανομή της θερμότητας καθώς ελαχιστοποιούν τις μεταβολές στην αντίσταση του συστήματος και στην πίεση που

ο κυκλοφορητής παρέχει στο δίκτυο. Σε συνδυασμό με τις βάνες χρησιμοποιούνται αυτόματες βαλβίδες ελέγχου που έχουν σκοπό να ελέγχουν την ποσότητα του υγρού με τη βοήθεια μεταβλητού στομίου. Η μεταβολή της διατομής επιτυγχάνεται με κινητήρα και κινητήριο μηχανισμό που ενεργοποιείται από το σήμα της αντίστοιχης μονάδας ελέγχου. Εκτός της θερμοκρασίας μέσα στο χώρο που ποικίλει ανάλογα τις επιθυμίες του καταναλωτή σημαντική είναι και η υγρασία του χώρου ειδικότερα σε θερμικές ζώνες με κλίμα υγρό όπως το κλίμα του Βόλου. Για την μέτρηση της υγρασίας χρησιμοποιούνται αισθητήρια όργανα που διαφέρουν στην κατασκευή τους ανάλογα τη χρήση τους. Πιο κοινοί αισθητήρες υγρασίας στο χώρο παρουσιάζονται στην Εικόνα 16.



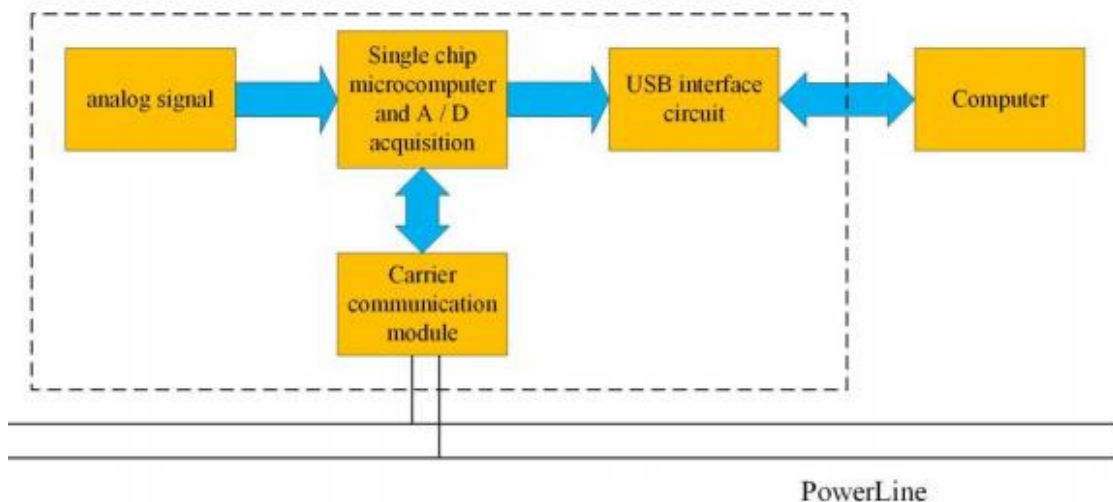
Εικόνα 16: Αισθητήρια όργανα υγρασίας χώρου.

Το πλέον σημαντικό κομμάτι ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας κτηρίου είναι οι ελεγκτές πιο κοινός εκ των οποίων είναι ο PLC – Programmable Logic Controller. Αποτελεί ένα ψηφιακό σύστημα συλλογής δεδομένων από αισθητήρες και εκτέλεσης σύνθετων λογικών συναρτήσεων και λειτουργιών ελέγχου μέσω μικροεπεξεργαστών. Η δουλειά αυτού του ελεγκτή είναι να λειτουργεί ως ο εγκέφαλος των επιμέρους μηχανικών εξαρτημάτων όπως ηλεκτροκινητήρες και βαλβίδες. Η πληροφορία που κατέχει στο εσωτερικό του μπορεί να τη μοιραστεί με το κεντρικό σύστημα ελέγχου ενός BMS συστήματος όπως και γίνεται μέσω διαφόρων πρωτοκόλλων. Ένας PLC Controller απεικονίζεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17: PLC S7 – 1200 ελεγκτής της Siemens.

Η λογική του PLC ελεγκτή βασίζεται στην συλλογή πληροφορίας στις εισόδους του όπως αναλογικά ή ψηφιακά σήματα από τα επιμέρους μηχανικά όργανα. Η συσσωρευμένη πληροφορία μετατρέπεται εάν είναι απαραίτητο από μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα και φιλτράρεται. Έπειτα, με συγκεκριμένα πρωτόκολλα η πληροφορία μεταφέρεται στον υπολογιστή από όπου μπορεί να την επεξεργαστεί και χειροκίνητα ο χρήστης. Βασισμένο στη θεωρία του PLC ελεγκτή είναι ένα σύστημα BMS στην Κίνα με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας καθημερινά. Η αποτύπωση του συστήματος του ελεγκτή βρίσκεται στην Εικόνα 18. [11] [12]

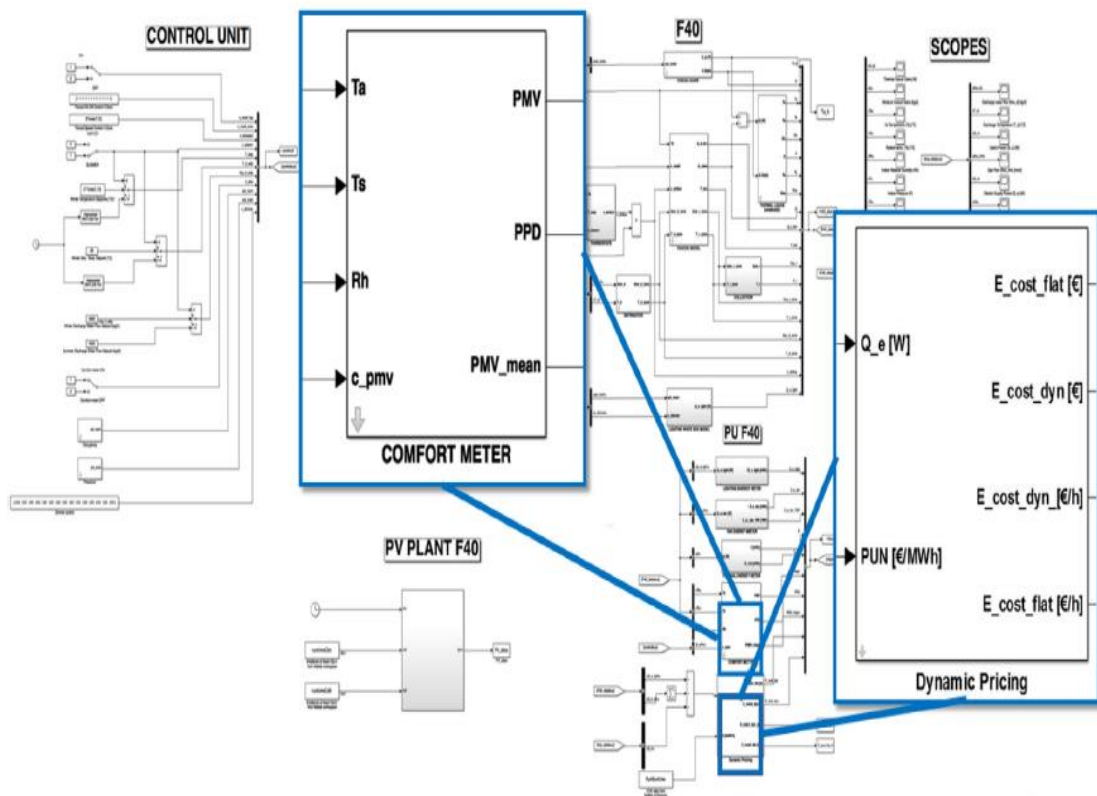


Εικόνα 18: Κύκλωμα PLC ελεγκτή.

Το επόμενο κομμάτι ενός BMS συστήματος είναι το κεντρικό σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης. Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- Τον κεντρικό υπολογιστή σε σύνδεση με τον απαραίτητο εξοπλισμό όπως οθόνη, όργανα καταγραφής εισόδου εξόδου, σήμανση σε περιπτώσεις βλαβών.
- Τις γραμμές μεταφοράς προς τους πίνακες συλλογής στοιχείων.
- Τους πίνακες συλλογής στοιχείων από ενδείξεις αισθητηρίων οργάνων.

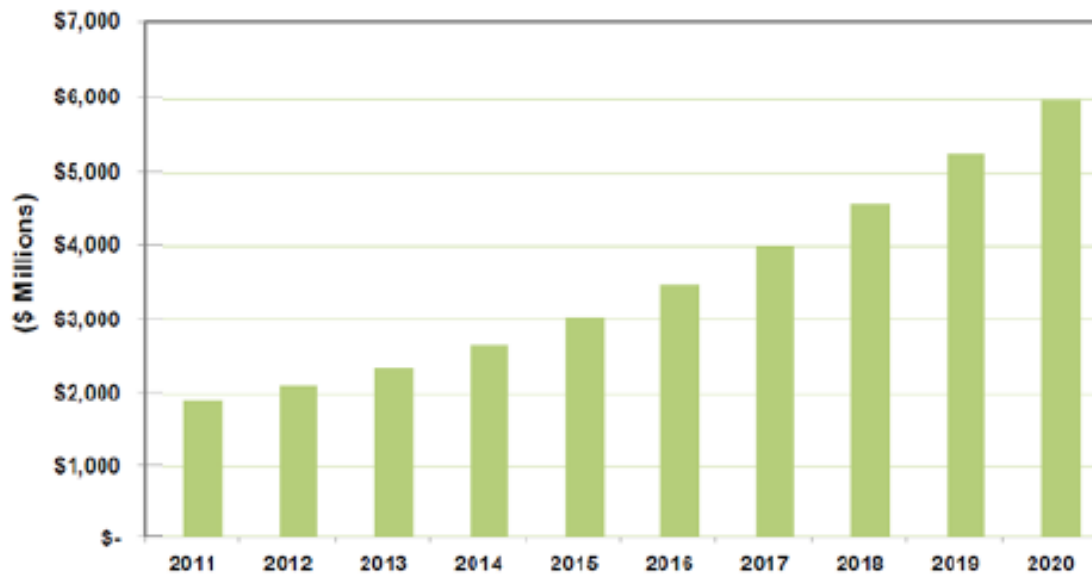
Τα συστήματα αυτά αναλαμβάνουν την αφή και τη σβέση του φωτισμού, ρυθμίζουν τη λειτουργία του κλιματισμού, τη διανομή του ηλεκτρισμού, των αντλιοστασίων, των ανελκυστήρων, της πυρόσβεσης – πυρασφάλειας κλπ. ενώ ταυτόχρονα μπορούν να παρουσιάσουν βλάβες εφόσον υπάρχουν στο σύστημα για την έγκαιρη επέμβαση της βλάβης από το σύστημα. Στο Διάγραμμα 2 απεικονίζεται ένα BMS σύστημα από την πλευρά του μετρητή θερμικής άνεσης.



Διάγραμμα 2: Ολοκληρωμένο σύστημα BMS συστήματος από προσομοίωση με έμφαση στον μετρητή θερμικής άνεσης και δυναμική κοστολόγηση του υποσυστήματος.

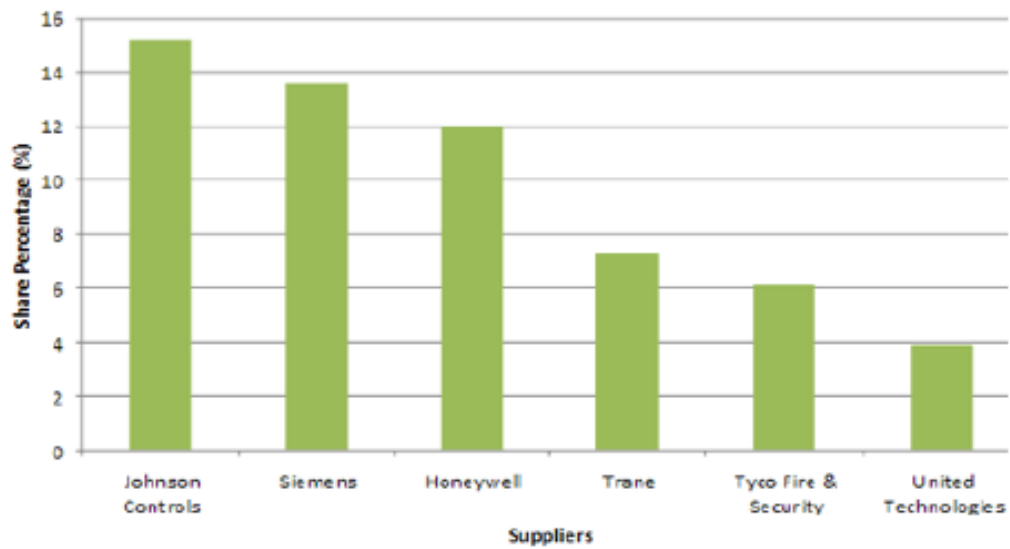
3.3 Σημερινή κατάσταση BMS συστημάτων.

Με την συνεχόμενη ανάγκη στην σημερινή εποχή για ενέργεια και την σωστή αξιοποίηση της, η χρήση των BMS συστημάτων βρίσκει όλο και μεγαλύτερο κοινό. Η αγορά λοιπόν για τα BMS ανθίζει ολοένα και περισσότερο την σήμερον ημέρα. Η λογική για την αυτοματοποίηση στα κτήρια και την αυτονομία εμφανίστηκε από παλαιότερα με τη χρήση απλών διακοπών, χρονομέτρων και συναγερμών στα συστήματα. Η διαφορά με την τεχνολογία του σήμερα είναι πως παλαιότερα δεν υπήρχε η λογική του υπολογιστή και της χρήσης του για τον έλεγχο της λειτουργίας όλων των συστημάτων που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια καθώς όλοι χειρισμοί γινόντουσαν χειροκίνητα. Τα σημερινά μηχανήματα έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν πολύπλοκες εντολές αυτοματοποιημένα και με μεγάλη μείωση στην ενέργεια του κτηρίου με την παρουσία του χρήστη πλέον μη αναγκαία. Τα συστήματα BMS σήμερα εξελίσσονται καθημερινά και μπορούν να εξοικονομήσουν από 5 – 25% της ενέργειας που απαιτεί ένα κτήριο. Ενώ όλες οι πτυχές σε ένα κτήριο μπορούν αν επιφέρουν μείωση στην ενέργεια που χρησιμοποιείται, οι δυο σημαντικότερες είναι ο κλιματισμός και ο αερισμός του κτηρίου. Μελέτη σύγκρινε τα δεδομένα ενός κτηρίου. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν τοπικοί ελεγκτές για τη συλλογή δεδομένων του συστήματος κλιματισμού, αερισμού, πυρανίχνευσης και πυρασφάλειας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν συγκρίθηκαν στους ελεγκτές και εάν υπήρχε απόκλιση με τα δεδομένα του ελεγκτή ενεργοποιούνταν οι χειριστές. Οι χειριστές δεν ενημερώθηκαν σχετικά με το ποιον του προβλήματος συνεπώς κάθε φορά που υπήρχε διάγνωση σφαλμάτων η διαδικασία που ακολουθούσε ήταν μακρά και κουραστική. Για την επίλυση του προβλήματος ακολούθησε νέα καλωδίωση η οποία στη θεωρία θα μπορούσε να επιφέρει έως και 70% μείωση της ενέργειας στο κτήριο. Επιπλέον, η σημερινή τεχνολογία των BMS βασίζεται στην τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών στους ελεγκτές. Οι ελεγκτές έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορία και να την αναλύουν στατιστικά με σκοπό την αποστολή της σωστής πληροφορίας στα κεντρικά συστήματα. Έτσι, επιτυγχάνεται μεγαλύτερος έλεγχος, καλύτεροι χειρισμοί του συστήματος και συλλογής δεδομένων και πιθανή ανίχνευση λαθών βάσει παλαιότερων γεγονότων. Η πορεία της αγοράς αυτής παρουσιάζεται στο Γράφημα 2. [7]



Γράφημα 2: Η αγορά του BMS έως και σήμερα.

Το μέλλον της τεχνολογίας των BMS είναι η χρήση ανοικτών πρωτοκόλλων επικοινωνίας τα οποία βοηθούν στην ανίχνευση λαθών στο σύστημα και προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία. Κάποιες γνωστές εταιρείες φαίνονται στο Γράφημα 3.



Γράφημα 3: Πάροχοι BMS συστημάτων.

3.4 Μηχανισμός λήψης και διάγνωσης σφαλμάτων ενός BMS συστήματος.

Ένας υπολογιστής που επιβλέπεται από τον χρήστη και είναι εξοπλισμένος με το λογισμικό του BMS συστήματος έχει τη δυνατότητα να δίνει feedback σχετικά με τη λειτουργικότητα του BMS συστήματος, την ενεργειακή του κατανάλωση καθώς επίσης να ανιχνεύει δυσλειτουργίες του συστήματος ή πιθανά λάθη στα επιμέρους στοιχεία του συστήματος.

Η ανίχνευση των σφαλμάτων σε ένα σύστημα BMS ξεκινάει αρχικά από την συλλογή των ίδιων των δεδομένων του συστήματος. Τα δεδομένα καταγράφονται καθημερινά εν ώρα λειτουργίας του συστήματος και αποθηκεύονται στον υπολογιστή. Η διαδικασία αυτή γνωστή και ως data logging (συλλογή δεδομένων) αποσκοπεί στην ανάλυση των κινήσεων του BMS συστήματος και την εύρεση μοτίβων τιμών στο πέρας της μέρας, της βδομάδας ή ακόμα και του μήνα όσον αφορά τα συστήματα και τα επιμέρους στοιχεία τα οποία ελέγχονται. Με αυτόν τον τρόπο ο διαχειριστής μπορεί μέσω του λογισμικού να δημιουργήσει χρονοδιάγραμμα των δεδομένων και να συγκρίνει τυχόν μεταβολές στα φορτία του χώρου και στο πως αυτά καλύπτονται. Το ίδιο το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο συλλέγει θεμελιώδη δεδομένα του χώρου. Συγκεκριμένα μπορεί να συλλέγει πληροφορία για απότομες αλλαγές στην θερμοκρασία του χώρου, τα επίπεδα της υγρασίας και την ενέργεια που χρειάζεται για την κάλυψή τους. Επίσης, πολλά συστήματα μαζεύουν πληροφορία σχετικά με την ποιότητα του αέρα και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στο χώρο. Η ποιότητα του αέρα θα πρέπει να ακολουθεί τα πρότυπα που αναγράφονται στην TOTE 20701-1_2017_TEE_1st_Edition. [2] Όπως αυτά αναγράφονται παραπάνω με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας του κτηρίου. Επίσης, το λογισμικό ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε καθημερινή, εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση ακολουθεί μια ρουτίνα κατά την οποία φτιάχνει reports των δεδομένων που εμφανίζονται στον υπολογιστή τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στην ανίχνευση λαθών ή δυσλειτουργίας του συστήματος. Επιπροσθέτως, υπάρχουν λογισμικά που βασίζονται σε πρωτόκολλα όπως το BACnet και το LonWorks τα οποία έχουν τη δυνατότητα απεικόνισης όλων των χαρακτηριστικών του συστήματος με αρίθμηση. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο διαχειριστής μπορεί να παρακολουθεί την λειτουργία του εξ' ολοκλήρου συστήματος από τον υπολογιστή και να απομονώσει οποιοδήποτε στοιχείο θεωρεί ότι μπορεί να έχει κάποια δυσλειτουργία στο σύστημα σε συνδυασμό πάντα με τα reports των δεδομένων που έχει καταγράψει το λογισμικό. Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω ο χρήστης αλλά και

το λογισμικό μπορούν να χρησιμοποιήσουν στρατηγικές για τη διαχείριση του εκάστοτε συστήματος BMS και του ρεύματος που θα περνούν ως παροχή στα συστήματα που αναζητούν ενέργεια από τον πίνακα. [7]

3.4.1 Βασικά στοιχεία για την επίτευξη ακριβών συστημάτων ανίχνευσης και διάγνωσης σφαλμάτων ενός BMS συστήματος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ένα BMS σύστημα για να μπορεί να λειτουργήσει χρειάζεται να έχει τον κατάλληλο εξοπλισμό δηλαδή αισθητήρια όργανα, ελεγκτές, λογισμικό και υπολογιστή για την επίβλεψη του όλου συστήματος. Επομένως, για τη σωστή λειτουργικότητα ενός ολοκληρωμένου BMS συστήματος τίθενται ορισμένα ζητήματα όπως η ποιότητα των μετρήσεων, η απεικόνιση και η ανάλυση από το λογισμικό, η ποιότητα των δεδομένων στους ελεγκτές καθώς επίσης και το επίπεδο γνώσεων του ίδιου του χρήστη. Ακόμα και με την επίλυση όλων των ζητημάτων που τίθενται και σε συνδυασμό με τα στάνταρ και τις οδηγίες για την επίτευξη ενός λειτουργικού συστήματος BMS είναι ορατό πως η θεωρία και οι δυνατότητες ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμες. Συνήθως τα συστήματα σπάνια αποδίδουν όπως λέει η θεωρία. Οι διαφορές που εμφανίζονται στην απόδοση ποικίλουν και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Αρχικά, εξίσου σημαντικός παράγοντας όπως η επιλογή του σωστού εξοπλισμού όπως τους σωστούς αισθητήρες για παράδειγμα είναι η σωστή εγκατάσταση στο σύστημα. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας που ανιχνεύει τη φωτεινή ροή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο θα λειτουργήσει διαφορετικά εάν βλέπει ολόκληρο το χώρο καθώς προγραμματίζονται να έχουν χωρική τοπικότητα σε σχήμα ημισφαιρίου παρά όταν βλέπει σε ένα μικρότερο κομμάτι του χώρου ακόμα και εάν η θέση του είναι σταθερή στο ίδιο σημείο. Επίσης, αναφερόμενοι στον ίδιο τύπο αισθητήρα, εάν η τοποθέτηση του είναι τέτοια ώστε να βρίσκεται μακριά από απευθείας επαφή με τις ηλιακές ακτίνες τότε η ένδειξη του θα είναι πολύ διαφορετική από μια ένδειξη που προέρχεται όταν αυτός τοποθετείται σε μία σκοτεινή σχετικά γωνία. Ακόμη και εάν ο εξοπλισμός και η εγκατάστασή του είναι ιδανική τότε απαραίτητη είναι η σωστή λειτουργία και συντήρηση του μηχανισμού. Σε περίπτωση κακής ή πιθανόν μηδενικής συντήρησης του εξοπλισμού τότε η απόδοση του συστήματος θα πέφτει ραγδαία με αποτέλεσμα το σύστημα να υπολειτουργεί και ο μηχανισμός να υποστεί εν τέλει ζημιά. Η απόδοση του συστήματος αρχίζει να μειώνεται επίσης όσο ο μηχανισμός λειτουργεί υπό αντίξοες συνθήκες. Η βλάβη

σε κάποιο αισθητήριο όργανο ή γενικώς στον εξοπλισμό μπορεί να δημιουργήσει λανθασμένες τιμές στο feedback που εμφανίζεται στον υπολογιστή που συνεπάγεται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας στιγμιαία ενώ μπορεί ένα κακό feedback να μην ερμηνευτεί σωστά από τον διαχειριστή λόγω έλλειψης γνωστικού επιπέδου και το πρόβλημα της παραπλήσιας ενέργειας να συνεχιστεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα κρίνοντας τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος άσκοπη.

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν παραπάνω και με δεδομένο την παροχή σωστού εξοπλισμού και ακριβούς τοποθέτησης στο χώρο συζητιέται η λογική αξιοποίησης της τεχνητής νοημοσύνης. Η λογική αυτή βασίζεται στην αποτύπωση της γνώσης των ειδικών στο λογισμικό και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στο BMS σύστημα αποκλείοντας τον ανθρώπινο παράγοντα άρα και την πιθανότητα του λάθους. Τα συστήματα αυτά γνωστά και ως Knowledge – based systems (KBS) έχουν τη δυνατότητα ανίχνευσης προβλήματος στο σύστημα, πρότασης τρόπου επίλυσής του και άμεσης επίλυσης του μέσω πρακτικών που είναι αποθηκευμένες μέσα σε αυτό. Κατ' αυτόν τον τρόπο στην λειτουργία ενός συστήματος BMS αυτού καθ' αυτού προστίθεται η λογική ενός KBS συστήματος ελέγχου που επιδρά σε πληροφορίες διαφόρων αισθητήρων στο κτήριο και εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του. [7]

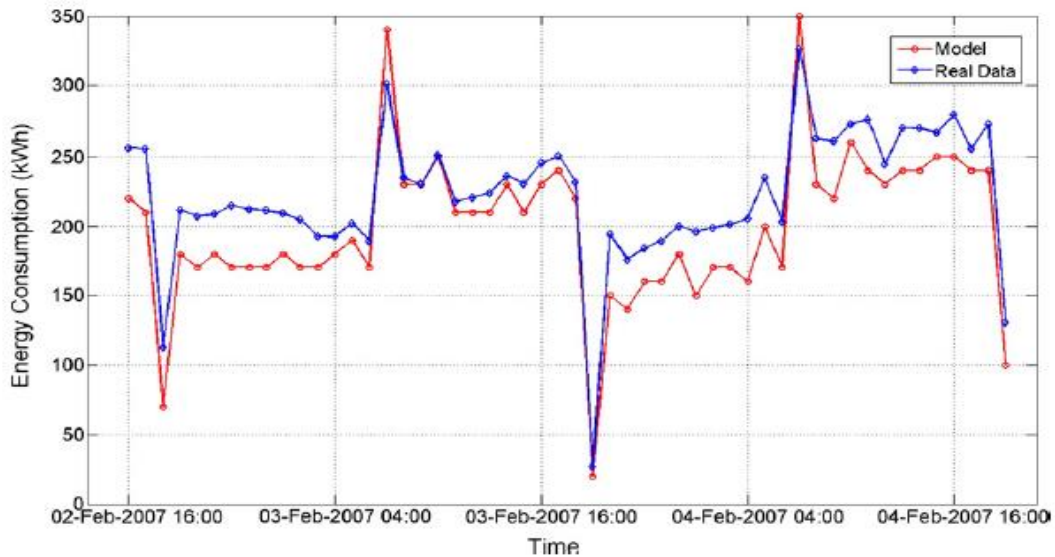
3.4.2 Ανίχνευση σφαλμάτων στο σύστημα της θέρμανσης

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναλύσουμε ένα σύστημα ανίχνευσης λαθών ενός BMS συστήματος για τη θέρμανση μιας εγκατάστασης εφόσον οι θερμικές – ψυκτικές απαιτήσεις αποτελούν και τα μεγαλύτερα φορτία της βασισμένα σε μια πραγματική μελέτη. Ως κτήριο ορίστηκε ένα τριώροφο κτήριο στη Νορβηγία με τους χώρους ως επί τω πλείστον να είναι χώροι γραφείων και εργαστηρίων χωρισμένοι σε τέσσερις θερμικές ζώνες. Τα δεδομένα που συλλέγονται και μελετώνται σε περίπτωση λάθους είναι η εσωτερική θερμοκρασία των γραφείων, η θερμοκρασία στο ύπαιθρο (θερμοκρασία εξωτερικού αέρα) και η κατανάλωση της ενέργειας για τη μεταφορά του θερμού μέσου (νερό) του συστήματος. Σύμφωνα με τη μελέτη τα λάθη που ανιχνεύτηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Αποσυνδεδεμένος αισθητήρας ανίχνευσης της εξωτερικής θερμοκρασίας.
- Λάθος ένδειξη του αισθητήρα εξωτερικής θερμοκρασίας.

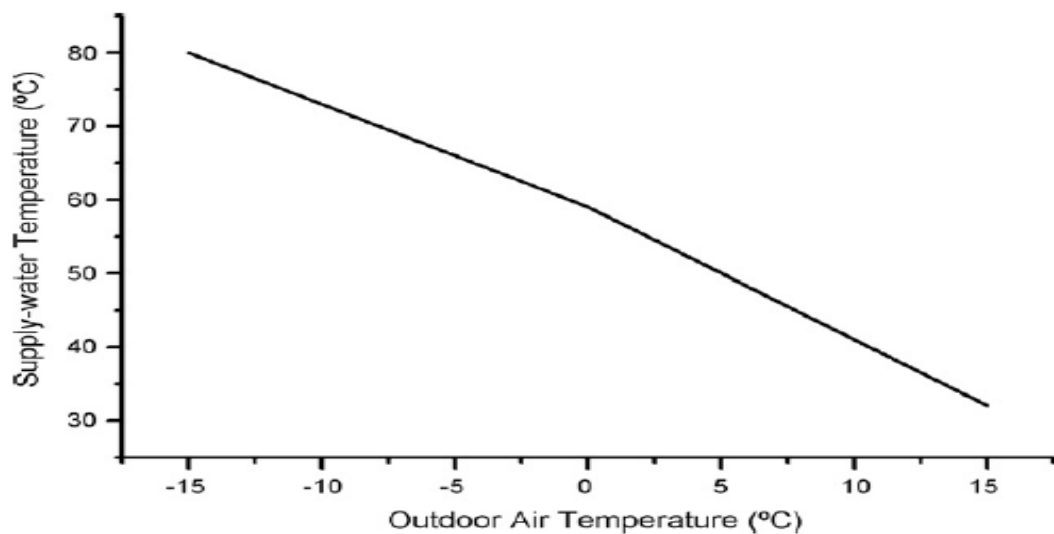
- Βλάβη στο χρονοδιάγραμμα.
- Έλλειψη σταθερότητας στη ροή του νερού στο σύστημα.

Τα παραπάνω λάθη στο σύστημα οδήγησαν σε διαφορές στην κατανάλωση της ενέργειας στη μονάδα του χρόνου σε σχέση με το μοντέλο στη θεωρία και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Γράφημα 4.



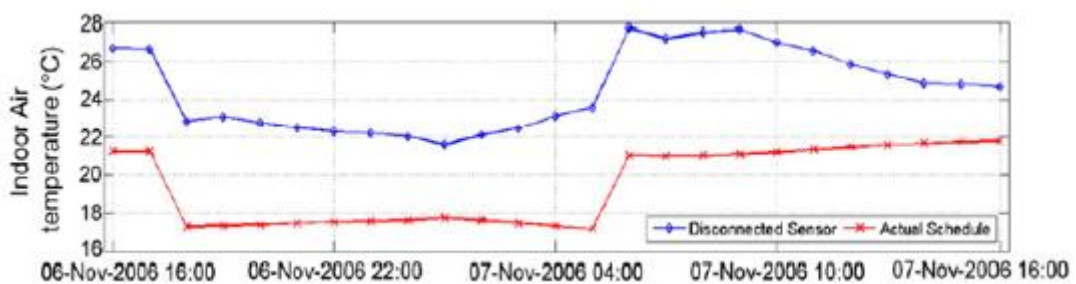
Γράφημα 4 : Αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας της εγκατάστασης.

Σύμφωνα με το πείραμα στην περίπτωση του αποσυνδεδεμένου αισθητήρα, ο αισθητήρας αδυνατεί να λάβει σωστές τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού που παρέχεται στο σύστημα και επομένως αποκλίνει πολύ από την καμπύλη της θερμοκρασίας του Γραφήματος 5.

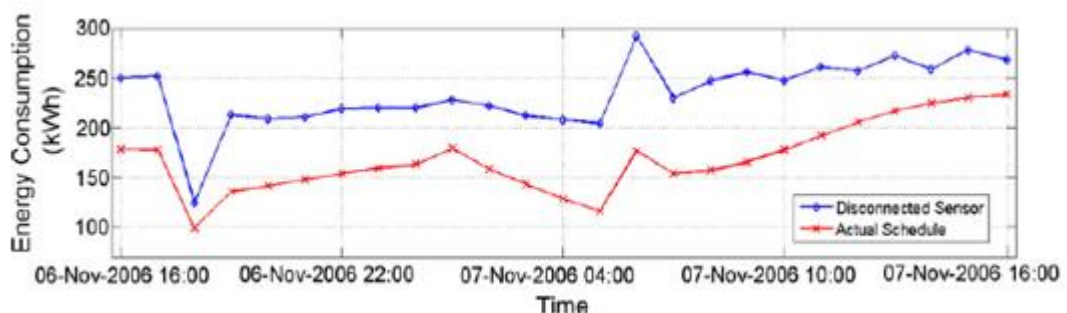


Γράφημα 5 : Καμπύλη διαστασιολόγησης εξωτερικής θερμοκρασίας.

Στο παρόν σύστημα BMS έχει αποφασιστεί πως σε περίπτωση αποσύνδεσης του αισθητήρα εξωτερικής θερμοκρασίας τότε ως θερμοκρασία παροχής του υγρού μέσου θα θεωρηθούν οι 60 - 65 °C δηλαδή για θερμοκρασία εξωτερικού αέρα ίση με 0 η οποία παραμένει πάνω κάτω σε αυτό το εύρος τιμών για τις ώρες εργασίας του κτηρίου. Για όσο ο αισθητήρας της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι εκτός λειτουργίας η θερμοκρασία της παροχής του υγρού μέσου επηρεάζεται άμεσα και διοχετεύεται επομένως νερό μέσα στο σύστημα χωρίς να έχει την επιθυμητή θερμοκρασία. Η αυξημένη θερμοκρασία στο νερό συνεπάγεται και αυξημένο θερμικό φορτίο που προσλαμβάνει ο χώρος. Συνεπώς, η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του χώρου αποκλίνει από το αρχικό πλάνο που είναι προγραμματισμένο από το BMS σύστημα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την “δαπάνη” ενέργειας σε βάθος χρόνου όπως απεικονίζεται στα Γραφήματα 6 και 7 από την συλλογή των αποτελεσμάτων ανεξαρτήτου μεταβολών στην εξωτερική θερμοκρασία.



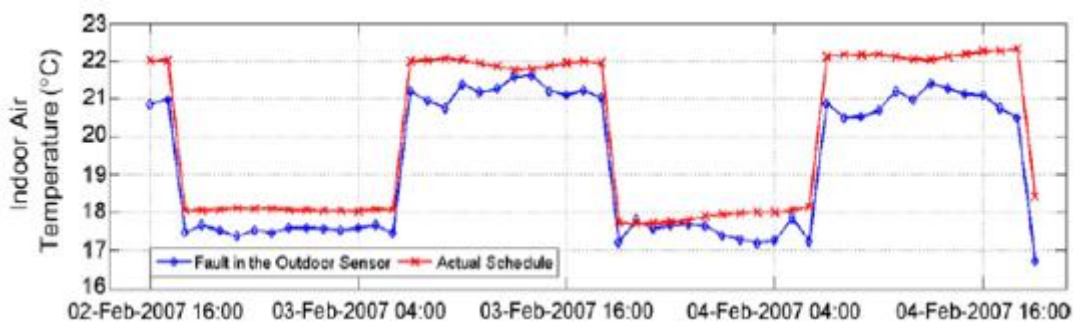
Γράφημα 6: Τιμές εσωτερικής θερμοκρασίας όταν ο αισθητήρας εξωτερικής θερμοκρασίας είναι εκτός λειτουργίας.



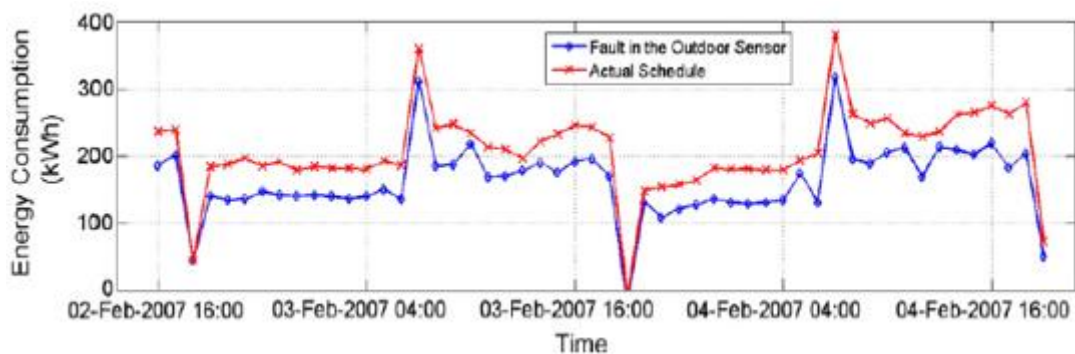
Γράφημα 7: Τιμές ενεργειακής κατανάλωσης όταν ο αισθητήρας εξωτερικής θερμοκρασίας είναι εκτός λειτουργίας.

Η επόμενη δυσλειτουργία στο σύστημα αφορά πάλι τον αισθητήρα της εξωτερικής θερμοκρασίας, ο οποίος είναι σε λειτουργία αλλά η ένδειξή του είναι λανθασμένη. Η διαφορά με το προηγούμενο σενάριο είναι ότι η εσωτερική θερμοκρασία του εσωτερικού

αέρα δεν μπορεί να είναι η επιθυμητή ακόμα και αν η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου είναι σωστή. Συγκεκριμένα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία που ανιχνεύει ο αισθητήρας είναι μεγαλύτερη από την πραγματική εξωτερική θερμοκρασία στο ύπαιθρο τότε το θερμαντικό μέσο που διοχετεύεται στο σύστημα θα έχει θερμοκρασία μικρότερη σε τιμή από την επιθυμητή μέσα στο σύστημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στον χώρο να διοχετεύεται ενέργεια με θερμοκρασία χαμηλότερη από την επιθυμητή ακόμα και εάν η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου θεωρητικά επιτυγχάνεται όπως φαίνεται στα Γραφήματα 8 και 9.



Γράφημα 8: Τιμές εσωτερικής θερμοκρασίας όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει λάθος την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος.

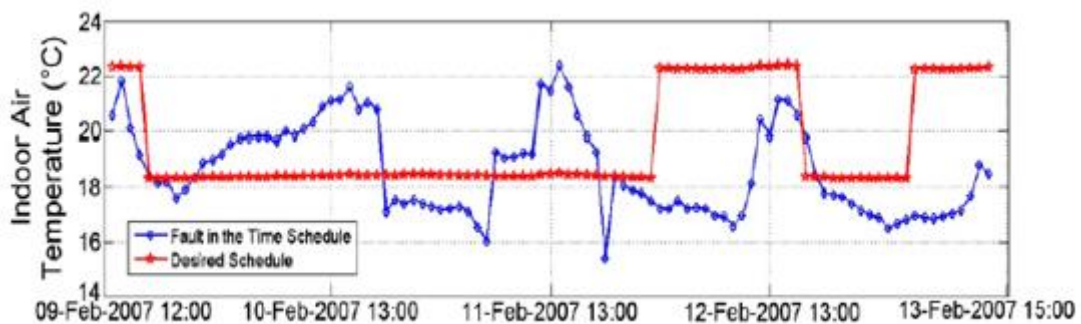


Γράφημα 9: Τιμές ενεργειακής κατανάλωσης όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει λάθος την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος.

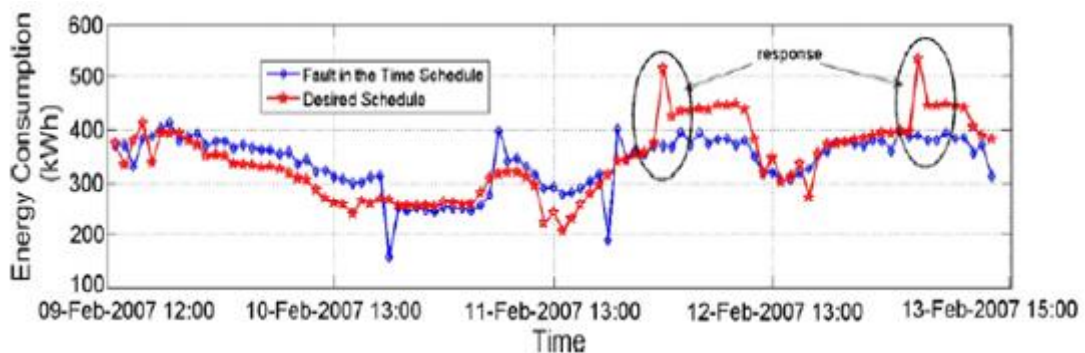
Αιτία για λάθος ένδειξη αισθητήρα θερμοκρασίας θα μπορούσε να είναι είτε κακή τοποθέτηση του αισθητήρα κατά την συναρμολόγηση του BMS συστήματος, είτε τοποθέτηση παλαιού αισθητήρα με μειωμένη ικανότητα.

Σημαντική βλάβη αποτελεί αυτή στο χρονοδιάγραμμα δηλαδή στο ενεργειακό αποτύπωμα χρονικά στο σύστημα. Αυτό το κομμάτι στρατηγικής σε ένα BMS σύστημα αποσκοπεί στην αποτύπωση της μείωσης της κατανάλωσης. Εάν με ωριαίο βήμα δεν

σημειωθεί μεταβολή στην θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου αυτό σημαίνει πως το σύστημα υπολειτουργεί ή λειτουργεί λανθασμένα. Τέτοιο λάθος στο σύστημα μπορεί να εντοπιστεί ελέγχοντας ωριαία λυπόν την ενεργειακή κατανάλωση. Τα Γραφήματα 10 και 11 απεικονίζουν αυτή τη βλάβη η οποία σύμφωνα με το γράφημα ανιχνεύτηκε σε περίοδο που δεν πραγματοποιείται εργασία στους χώρους. Σύμφωνα με τη μελέτη τις μέρες που το κτήριο δεν χρησιμοποιείται η θερμοκρασία του νερού παροχής θα πρέπει να είναι δέκα βαθμούς χαμηλότερη από τις μέρες που το κτήριο είναι σε πλήρη λειτουργία βάσει προγράμματος. Φαίνεται πως την περίοδο αυτή η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου που διοχετεύεται στο κτήριο είναι ακριβώς η ίδια είτε το κτήριο δουλεύει είτε όχι. Η μεταβολή που έπρεπε να πραγματοποιηθεί εμφανίζεται ως response στο σχήμα. Έτσι, η ενεργειακή κατανάλωση που σημειώθηκε είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή. Η σύγκριση γίνεται στα Γραφήματα 10 και 11.



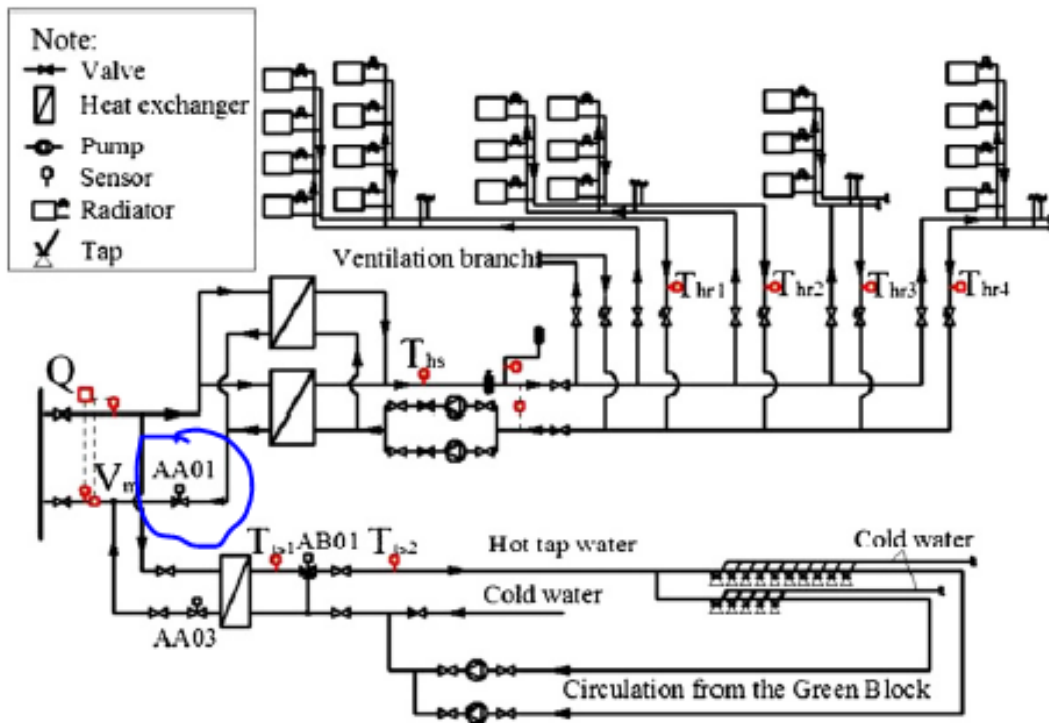
Γράφημα 10: Τιμές εσωτερικής θερμοκρασίας για βλάβη στο χρονοδιάγραμμα.



Γράφημα 11: Τιμές ενεργειακής κατανάλωσης για βλάβη στο χρονοδιάγραμμα.

Το τελευταίο σφάλμα που ανιχνεύτηκε στο σύστημα αποτελεί βλάβη στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του συστήματος τα οποία μπορούν να ποικίλουν ανάλογα την συναρμολόγηση του συστήματος, την κατάσταση στην οποία βρίσκονται και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργούν. Ένα παράδειγμα βλάβης αποτελεί βλάβη στην βαλβίδα

AA01 του συγκεκριμένου κτηρίου. Συγκεκριμένα, ακόμα και εάν τα δεδομένα του BMS συστήματος δείχνουν ότι η βαλβίδα είναι κλειστή στην πραγματικότητα η βαλβίδα θα μπορούσε να μην έχει κλείσει ακριβώς προκαλώντας μηχανικά πλέον βλάβη στο σύστημα αφού μεταφέρεται θερμική ενέργεια στο χώρο. Για την ανίχνευση αυτού του προβλήματος στο σύστημα συγκρίνονται η συχνότητα κατανάλωσης ζεστού νερού και η τελική κατανάλωση ενέργειας. Τη στιγμή που η θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας είναι δέκα βαθμούς λιγότερη η αναλογία είναι υψηλή. Εάν ταυτόχρονα αυξάνεται το θερμικό φορτίο στο κύκλωμα με το άνοιγμα της βαλβίδας, η θερμοκρασία του νερού παροχής για το ζεστό νερό χρήσης θα ήταν χαμηλότερη από την επιθυμητή αφού το θερμικό κύκλωμα θα έπρεπε να παραλάβει μεγαλύτερο ποσοστό. Σε περιόδους λοιπόν που δεν πραγματοποιείται χρήση ζεστού νερού υπάρχει πιθανότητα τα θερμικά σώματα να λειτουργούν ακόμα και εάν το σύστημα της θέρμανσης είναι κλειστό εφόσον δεν χρειάζεται λόγω φυσιολογικής εξωτερικής θερμοκρασίας δηλαδή σωστής λειτουργίας του αισθητήρα εξωτερικής θερμοκρασίας. Έτσι, η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται ακόμα και εάν όλο το υπόλοιπο σύστημα λειτουργεί σωστά. Το υδραυλικό σύστημα αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 3. [13]

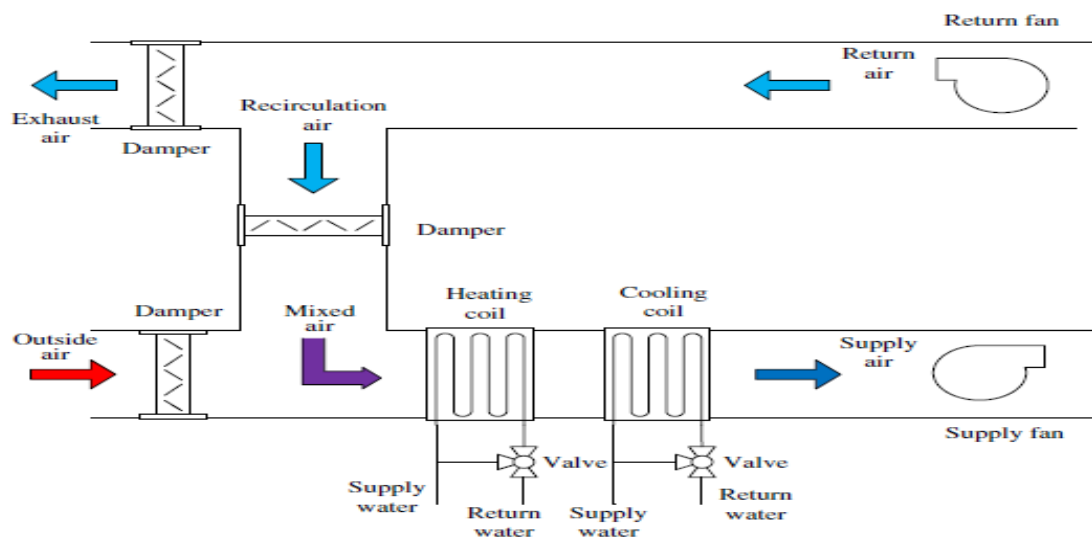


Διάγραμμα 3: Σχηματικό διάγραμμα του υδραυλικού συστήματος.

3.4.3 Ανίχνευση σφαλμάτων στο σύστημα της ψύξης

Εφόσον αναλύθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διάγνωσης σφαλμάτων στο επίπεδο της θέρμανσης μια εγκατάστασης σε αυτό το σημείο θα αναλυθεί και το κομμάτι της ψύξης στο κτήριο και της ανίχνευσης σφαλμάτων σε αυτό. Η σωστή λειτουργία ενός συστήματος κλιματισμού είτε αποτελείται από μια τερματική μονάδα fan coil τοπικού χαρακτήρα γνωστή και ως τοπική μονάδα διαιρούμενου χαρακτήρα (η ψυκτική μονάδα αποτελείται από την εσωτερική μονάδα και το εξωτερικό μηχάνημα) είτε από ένα μεγαλύτερο εξ' ολοκλήρου σύστημα είναι σημαντική και είναι υποχρεωτικό να είναι ποιοτικά αποτελεσματική. Για την ορθή λειτουργία ενός κλιματιστικού συστήματος θα πρέπει να καλύπτονται τόσο οι επιθυμίες του εκάστοτε πελάτη αλλά και η λειτουργία του σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Κατά τη λειτουργία του συστήματος θα πρέπει να καταγράφονται τα αποτελέσματα λειτουργίας ώστε να καλύπτονται και τα δυο ζητούμενα με όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος. Επίσης, για την αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος θα πρέπει να υλοποιηθούν μηχανισμοί ανίχνευσης και διάγνωσης σφαλμάτων (Fault detection and diagnosis - FDD). Όπως ακριβώς και με τη θέρμανση παραπάνω έτσι και στην παρακάτω μελέτη πραγματοποιείται ανίχνευση και διάγνωση λαθών με αισθητήρια όργανα. Στην προκείμενη εγκατάσταση εφαρμόστηκε προσομοίωση για την καταγραφή των αποτελεσμάτων σε περίπτωση ανίχνευσης λάθους. Για την κάλυψη του ψυκτικού φορτίου στο κτήριο χρησιμοποιήθηκε ένας αερόψυκτος ψύκτης (HPC – heat pump chiller) και μια κεντρική κλιματιστική μονάδα (Air handling unit - AHU). Η κεντρική κλιματιστική μονάδα αποτελεί μια μονάδα που αποσκοπεί στο να καλύψει τα φορτία αερισμού μιας εγκατάστασης και να διατηρήσει τα επίπεδα της υγρασίας στο εσωτερικού του χώρου σε φυσιολογικά επίπεδα. Εκτός αυτής της λειτουργίας έχει τη δυνατότητα να καλύπτει και μέρος ή και ολόκληρο το ψυκτικό φορτίο μιας εγκατάστασης. Στο εσωτερικό μιας κλιματιστικής μονάδας τοποθετείται εναλλάκτης αέρα – αέρα ανάκτησης 68 – 73 % όπως αναγράφουν οι διεθνείς κανονισμοί της ΕΕ αριθ. 1254/2014 για τις απαιτήσεις του οικολογικού σχεδιασμού μονάδων εξαερισμού ή μηχανικού αερισμού. Η λειτουργία του εναλλάκτη είναι να προθερμάνει ουσιαστικά τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος στο εσωτερικό της κλιματιστικής μονάδας ώστε το θερμαντικό μέσο δηλαδή ο αέρας να έχει ήδη αποκτήσει μια θερμοκρασία πριν το παραλάβει ο ψύκτης. Έτσι, ο ψύκτης θα χρειαστεί να λειτουργήσει λιγότερο και επομένως θα

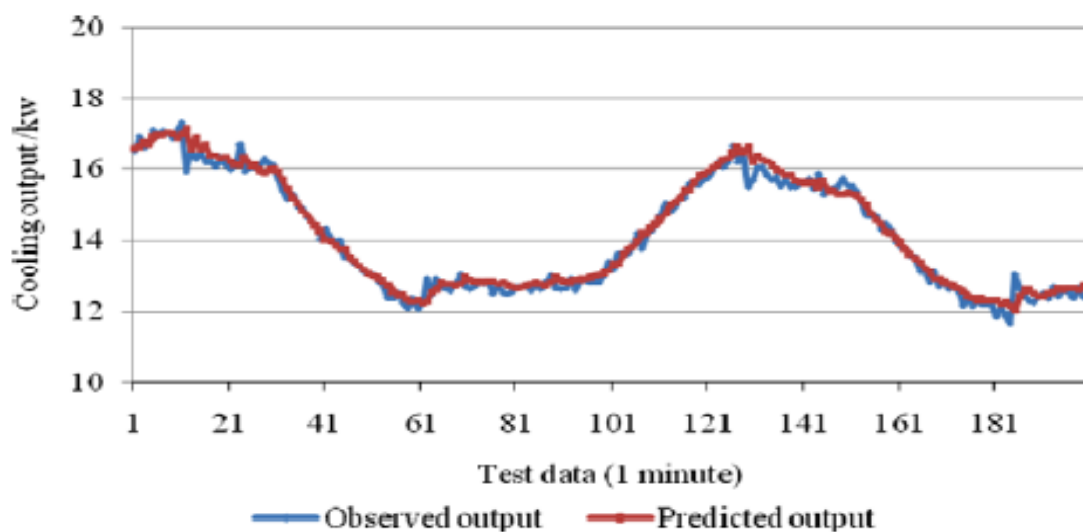
δαπανηθεί λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για την δημιουργία της απαραίτητης θερμοκρασίας αέρα που θα διοχετευτεί στο χώρο μέσω του δικτύου διανομής. Ειδικότερα, στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες νωπού προ κλιματισμένου αέρα η μονάδα προσλαμβάνει στο εσωτερικό της αέρα από το ύπαιθρο, ο οποίος αρχικά φιλτράρεται και ύστερα θερμαίνεται με σκοπό την προσαγωγή του στο δίκτυο διανομής μέσω ανεμιστήρα και εν τέλει στο χώρο. Η ποσότητα αέρα που εισέρχεται στο εσωτερικό του χώρου μετράται σε m^3/h . Ταυτόχρονα, απάγεται από τον χώρο αέρας συγκεκριμένης θερμοκρασίας και αποβάλλεται στο ύπαιθρο. Με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας ο αέρας που απάγει ο χώρος μπορεί να προσληφθεί από την κεντρική κλιματιστική μονάδα και να αναμιχθεί με τον νωπό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος στην είσοδο της κλιματιστικής μονάδας. Η λογική αυτή στηρίζεται στην αρχή διατήρησης της ενέργειας καθώς ο αέρας που απάγεται από τον χώρο έχει την επιθυμητή θερμοκρασία του χρήστη. Όταν θα πραγματοποιηθεί πρόσμιξη με τον εξωτερικό αέρα το αποτέλεσμα της μίξης θα έχει μια θερμοκρασία με Δt μικρότερο από αυτό που θα υπήρχε αν ο αέρας είχε την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Εφόσον η διαφορά θερμοκρασίας είναι μικρότερη η κεντρική κλιματιστική μονάδα θα χρειαστεί να λειτουργήσει λιγότερο για να θερμάνει τον αέρα και επομένως θα εξοικονομηθεί ενέργεια. Αυτού του είδους οι μονάδες αποκαλούνται κεντρικές κλιματιστικές μονάδες προ κλιματισμένου αέρα ανάκτησης Χ% ανάλογα την ανάκτηση θερμότητας που μπορούν να επιτύχουν. Στο πείραμα που ακολουθεί, η κεντρική κλιματιστική μονάδα που επιλέχθηκε απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.



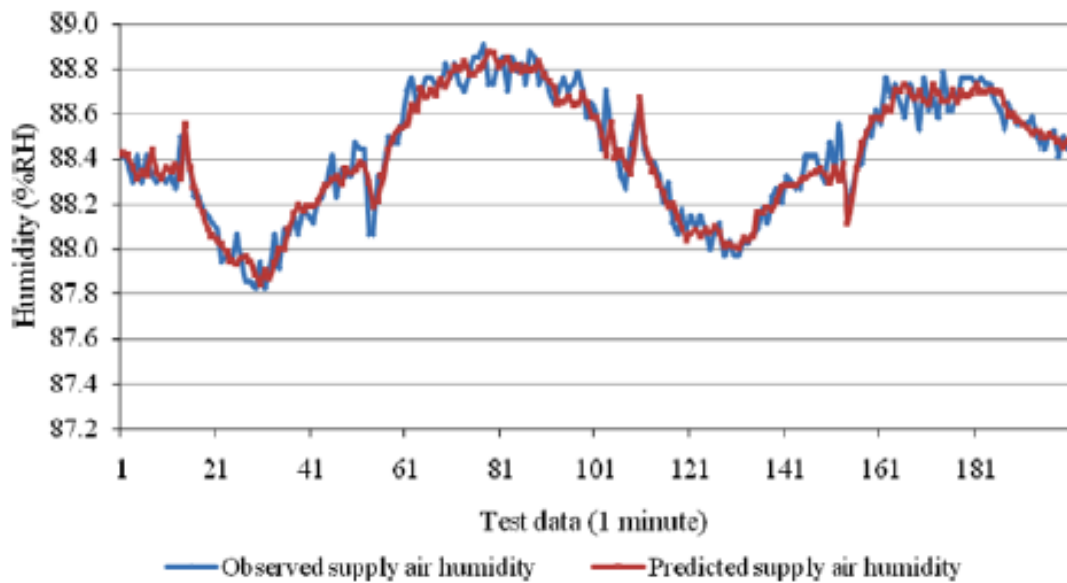
Διάγραμμα 4: Σχηματικό διάγραμμα κεντρικής κλιματιστικής μονάδας.

Για την προσομοίωση και τη συλλογή των δεδομένων του συστήματος κλιματισμού χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τεχνικές. Η πρώτη αποτελεί ένα νευρωνικό δίκτυο που ονομάζεται MLP (multi – layer perceptron). Αποτελεί μια σειρά αλγορίθμων με σκοπό να αναγνωρίσει συσχετίσεις των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα όπως θα τις πραγματοποιούσε ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Το θετικό είναι πως ανάλογα τις παραμέτρους που εισάγονται και τους επιθυμητούς στόχους, τα δεδομένα εναλλάσσονται και έτσι μπορούν να ανιχνευτούν και να αποθηκευτούν διάφορα μοτίβα. Η δεύτερη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα boosting δέντρο δηλαδή ένα σύνολο αλγορίθμων boosting με αποτύπωση των δεδομένων σε δενδροδιάγραμμα. Η τρίτη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε είναι ο αλγόριθμος random forest που αποσκοπεί στην ταξινόμηση δεδομένων και των μεταξύ τους συσχετίσεων επιλέγοντας το βέλτιστο σενάριο ενός υποσυνόλου τυχαίων επιλεγμένων προβλέψεων ενός κόμβου. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος support vector machine που αποτελεί μια μέθοδο machine learning με σκοπό την ταξινόμηση δεδομένων και των μεταξύ τους συσχετίσεων.

Σε ένα τυπικό μοντέλο συστήματος κλιματισμού η θερμοκρασία του αέρα μετά από την επεξεργασία της ΚΚΜ προς διοχέτευση στο δίκτυο διανομής διατηρείται στην θερμοκρασία των 12.8 °C. Με τη χρήση των μεθόδων που αποτυπώθηκαν παραπάνω και ειδικά του νευρωνικού δικτύου και με δεδομένες τις παραμέτρους της βαλβίδας του αερόψυκτου ψύκτη και της ταχύτητας λειτουργίας του ανεμιστήρα της ΚΚΜ αποτυπώθηκαν τα αποτελέσματα ψύξης και υγρασίας του συστήματος όπως αυτά απεικονίζονται στα Γραφήματα 12 και 13. [14]

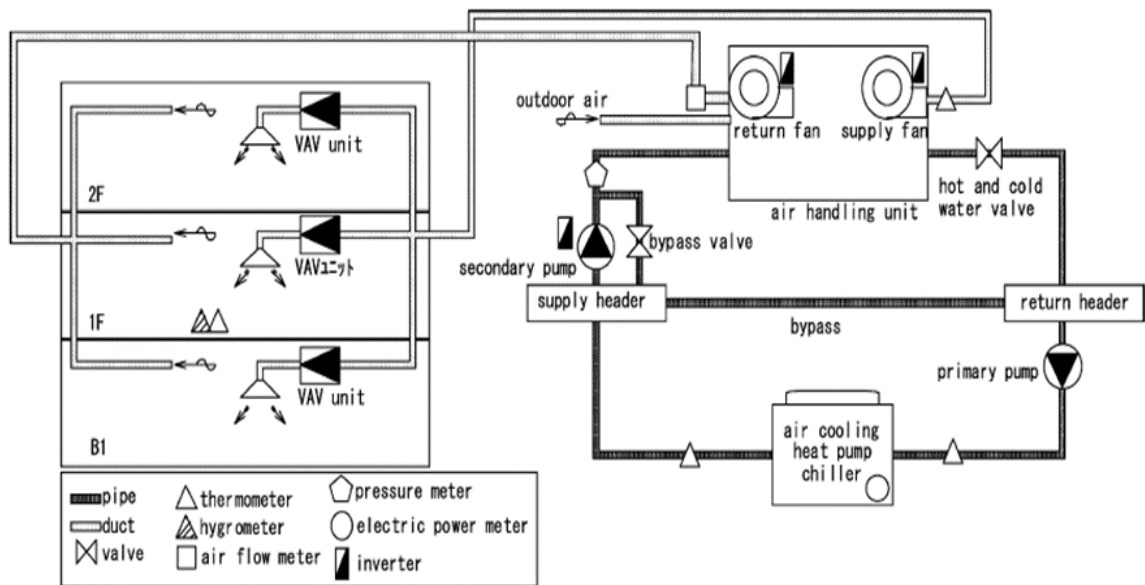


Γράφημα 12: Ψυκτική απόδοση συστήματος κλιματισμού.



Γράφημα 13 : Αποτέλεσμα υγρασίας συστήματος κλιματισμού.

Επιστρέφοντας στην μελέτη, το σύστημα κλιματισμού που χρησιμοποιήθηκε πέρα του αερόψυκτου ψύκτη και της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας περιλαμβάνει δύο αντλίες. Προσαρμόζοντας την θερμοκρασία του νερού στο ψύκτη η λειτουργία του ψύκτη ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται, αντίστοιχα. Ο έλεγχος των ηλεκτροβανών πραγματοποιείται με λογικούς ελεγκτές (PI controllers) για την δίοδο του ζεστού και κρύου νερού χρήσης στο σύστημα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία αέρα στην κλιματιστική μονάδα και πίεση στο σύστημα. Σε επόμενο επίπεδο εφόσον έχει παραχθεί ο θερμαινόμενος αέρας που διοχετεύεται στους αεραγωγούς με τη χρήση λογικών ελεγκτών ελέγχεται τόσο τα κυβικά του αέρα που εισέρχονται στον χώρο με την επιθυμητή θερμοκρασία. Για την αφύγρανση του αέρα χρησιμοποιείται αφυγραντήρας στο εσωτερικό της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας, ώστε πέρα από την επιθυμητή υγρασία να καλυφθεί και η επιθυμητή υγρασία του αέρα. Το ολοκληρωμένο σύστημα του κλιματισμού εμφανίζεται στο Διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 5 : Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος κλιματισμού.

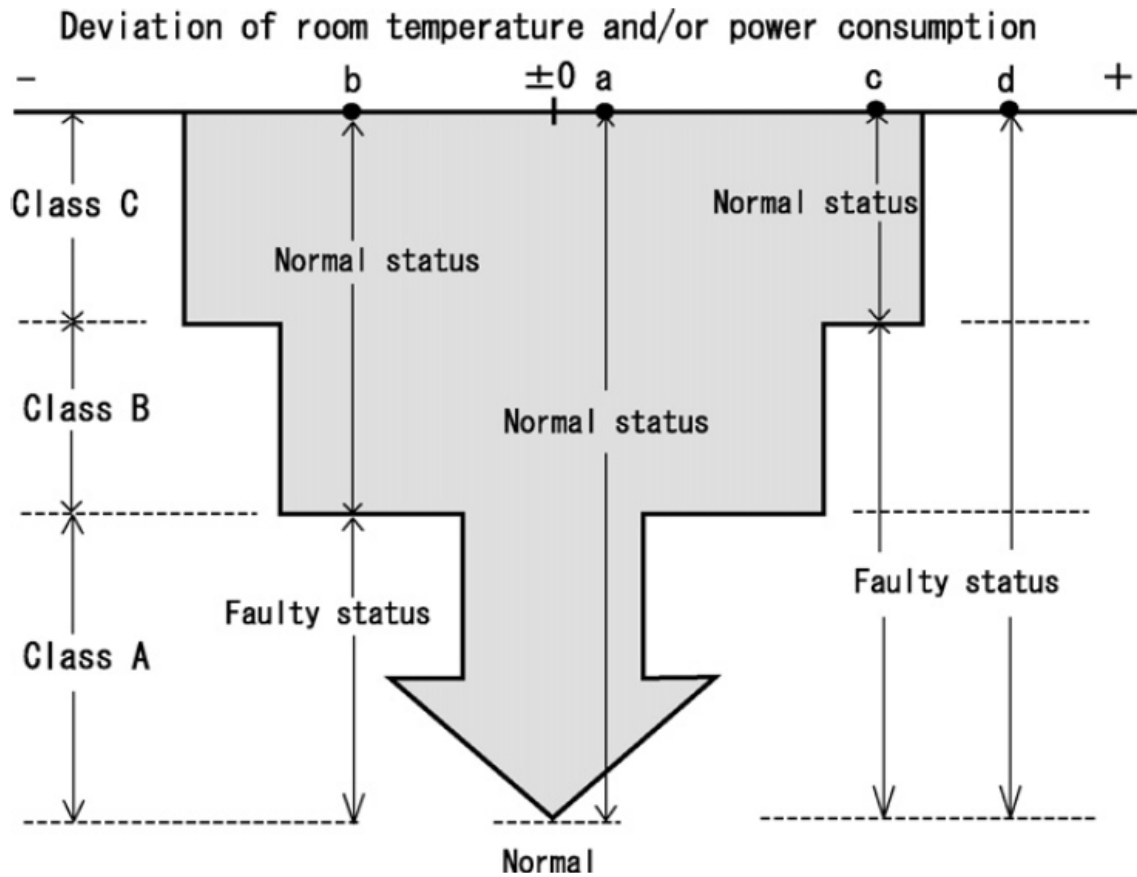
Τα πιθανά προβλήματα τα οποία μπορούν να εμφανιστούν στο σύστημα σύμφωνα με την μελέτη είναι τα εξής:

- Αύξηση της θερμοκρασίας στον αερόψυκτο ψύκτη (λόγω υψηλής θερμοκρασίας στην είσοδο του ψύκτη η απόδοση του μπορεί να μειωθεί).
- Παραγωγή εσφαλμένης θερμοκρασίας ζεστού – κρύου νερού από τον ψύκτη (μπορεί να οφείλεται σε δυσλειτουργία του ελεγκτή είτε λόγω λάθος χειρισμού στον προγραμματισμό του στην εποχιακή αλλαγή είτε λόγω λάθος τιμών εισαγωγής σε αυτόν).
- Μειωμένη απόδοση του ψύκτη (δεν μπορεί να παραχθεί επιθυμητή ποσότητα ζεστού – κρύου νερού ή δεν μπορεί να αυξηθεί η ενεργειακή κατανάλωση του ψύκτη).
- Μειωμένη απόδοση της πρωτογενούς αντλίας (μπορεί όταν η βλάβη είναι σοβαρή να μειώσει την ροή του νερού από την αντλία και να προκαλέσει προβλήματα κυκλοφορίας του νερού, διαρροή νερού ή αυξημένη αντίσταση στο δίκτυο).
- Μειωμένη απόδοση δευτερογενούς αντλίας (η ποσότητα του κρύου νερού που εισάγεται για κλιματισμό είναι μειωμένη για παρόμοιες αιτίες με το παραπάνω).
- Μείωση της ροής στην βαλβίδα παράκαμψης (λόγω μολυσμένου νερού και μικρότερης ροής μπορεί να προκληθεί βλάβη στις παλινδρομικές κεφαλές της βάνας).
- Μολυσμένο coil στην κεντρική κλιματιστική (σφάλμα λόγω πιθανής έλλειψης συντήρησης που μπορεί να προκαλέσει μειωμένη απόδοση στο σύστημα με υποβαθμισμένη λειτουργία ανταλλαγής θερμότητας).

- Μειωμένη προσαγωγή αέρα στο χώρο (μπορεί να οφείλεται σε κακή απόδοση του ανεμιστήρα).
- Σφάλμα στην ρύθμιση της θερμοκρασίας του αέρα που προσάγει ο ανεμιστήρας (πιθανή αιτία η λάθος ρύθμιση της θερμοκρασίας είτε γενικώς είτε λόγω εποχιακών αλλαγών).
- Σφάλμα στην ελεγχόμενη δίοδο του αέρα στον αεραγωγό (οφείλεται είτε σε βλάβη των ελεγκτών είτε σε σκουριά ή ζημιά των περσίδων).
- Μειωμένη ποσότητα αέρα από το κλιματιστικό σώμα (μπορεί να οφείλεται σε μειωμένη λειτουργία του ανεμιστήρα που προκαλεί τον κλιματισμό).
- Σφάλμα στην ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας (μπορεί να οφείλεται σε εποχιακές αλλαγές η έλλειψη της ρύθμισης ή σε σφάλμα τιμής στον ελεγκτή).

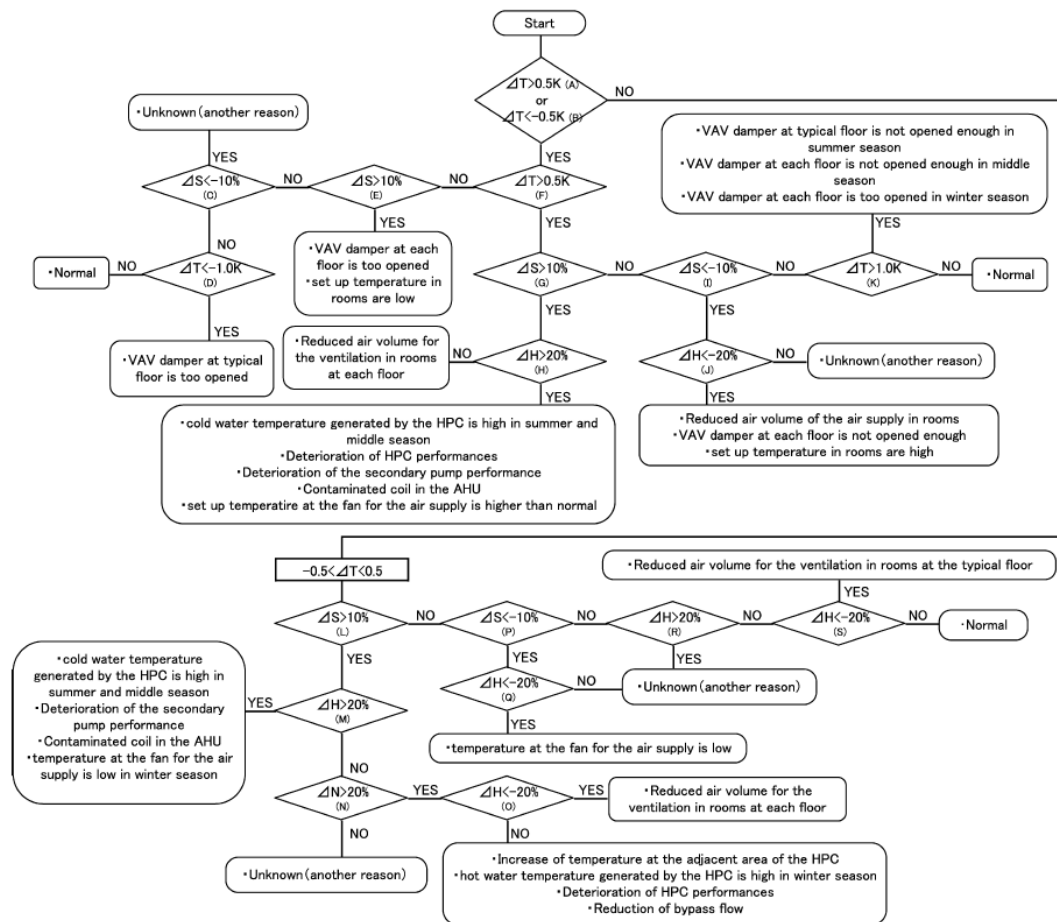
Τα παραπάνω θέματα στο σύστημα του κλιματισμού ανιχνεύτηκαν από την μελέτη των ενδείξεων των αισθητήριων οργάνων του συστήματος. Συγκεκριμένα, τα αισθητήρια όργανα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν μετρητής θερμοκρασίας για την θερμοκρασία του νερού από τον ψύκτη στο δίκτυο, μετρητής πίεσης για το δίκτυο, θερμόμετρο για την θερμοκρασία του νερού στον ψύκτη και την κλιματιστική, μετρητής για την παροχή αέρα στους αεραγωγούς και ηλεκτρικός μετρητής για την απόδοση της κατανάλωσης. Τα προβλήματα που αναγράφηκαν παραπάνω κατηγοριοποιήθηκαν για χάριν ευκολίας σε ομάδες κοινών χαρακτηριστικών προβλημάτων. Για παράδειγμα η πρώτη ομάδα συλλέγει μετρήσεις του χώρου σε ημερήσια βάση που αφορούν αύξηση της θερμοκρασίας του ψύκτη, μειωμένη απόδοση του ψύκτη, μειωμένη ροή νερού από την βαλβίδα παράκαμψης και μειωμένη ποσότητα αέρα προς κλιματισμό. Η δημιουργία αυτής της ομάδας χαρακτηρίζει τη σχέση λαθών που μπορούν να πραγματοποιηθούν στην περιοχή μεταξύ ψύκτη και κεντρικής κλιματιστικής. Με παρόμοιο γνώμονα κατηγοριοποιήθηκαν και τα υπόλοιπα προβλήματα παραπάνω σε γκρουπ. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από τις μετρήσεις αποθηκεύτηκαν σε υπολογιστή και συγκρίθηκαν με βασικά μοντέλα συστημάτων κλιματισμού. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν τρεις κλάσεις σφαλμάτων ανάλογα την σοβαρότητα τους ώστε να ανιχνευτεί αρχικά η κλάση του

σφάλματος και μετά ανακαλώντας της ομάδες σφαλμάτων να εμφανιστεί το ακριβές πρόβλημα. Τα τρία στάδια ανίχνευσης σφαλμάτων φαίνονται στο Γράφημα 14.



Γράφημα 14: Σενάρια ανίχνευσης σφαλμάτων.

Όταν εμφανίζεται απόκλιση στις τιμές της κατανάλωσης ενέργειας ή θερμοκρασίας στο χώρο και η απόκλιση είναι κατηγορίας 'α' τότε όλες οι τιμές της κλάσης θεωρούνται φυσιολογικές. Αντίθετα, όταν τα επίπεδα ανίχνευσης είναι 'γ', η κλάση α και β θεωρούνται λανθασμένες και μπορεί να ανιχνευτεί πρόβλημα στο σύστημα. Επειδή το εύρος κατωφλίου είναι μικρό στην κλάση 'α' το σφάλμα μπορεί να ανιχνευτεί αρκετά γρήγορα εφόσον πραγματοποιηθεί στο σύστημα. Όσο μεγαλώνουν οι κλάσεις όλο και περισσότερα σφάλματα ελέγχονται συνολικά και η διαδικασία μπορεί να πάρει περισσότερο χρόνο. Ο όλος μηχανισμός απεικονίζεται με τη μορφή διαγράμματος συσχετίσεων στο Διάγραμμα 6 για την κλάση 'β'. [15]



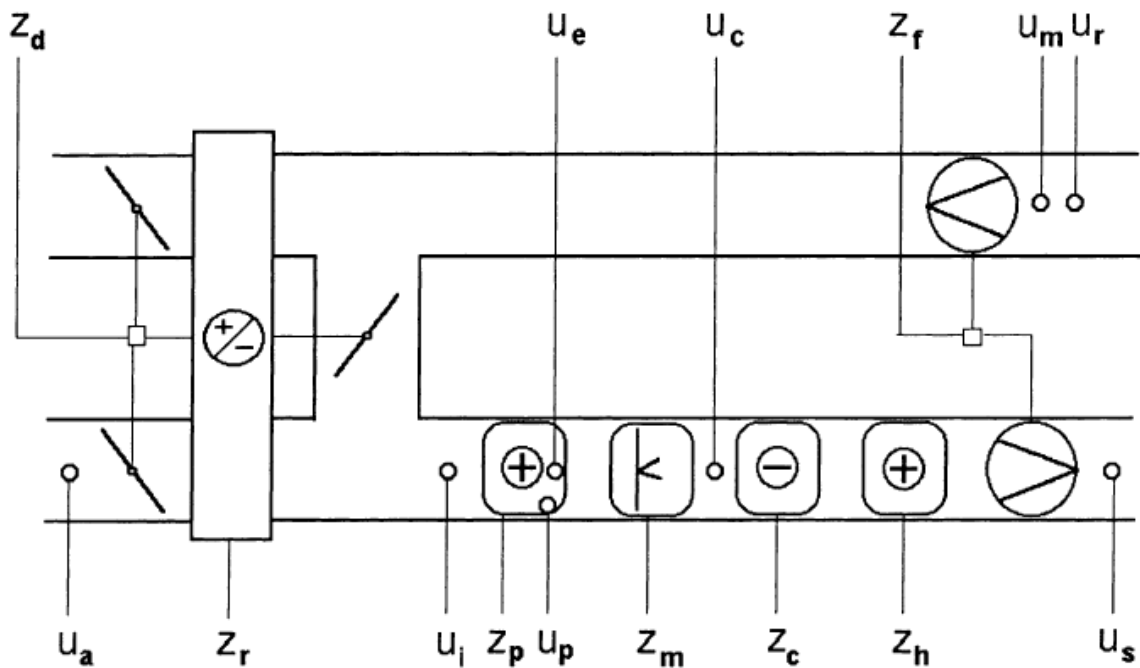
ΔT : Deviation of average daily room temperature at the typical floor [K]
 ΔS : Deviation of daily-accumulated power consumptions in entire air-conditioning system [%]
 ΔN : Deviation of daily-accumulated power consumptions in HPC [%]
 ΔH : Deviation of daily-accumulated power consumptions in transportation system [%]

Διάγραμμα 6 : FDD για την κλάση 'β'.

3.4.4 Ανίχνευση σφαλμάτων στο σύστημα του αερισμού με προσομοίωση

Στην συγκεκριμένη μελέτη που θα αναλυθεί σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστεί μια προσομοίωση ενός μηχανισμού ανίχνευσης σφαλμάτων στο σύστημα του αερισμού - εξαερισμού μιας εγκατάστασης. Η προσομοίωση πραγματοποιείται σε ένα κολλέγιο στη Φινλανδία όγκου 60 m³ το οποίο χωρίζεται σε δύο ζώνες, μια των εργαστηρίων και η δεύτερη για εγκαταστάσεις ανθρώπινου δυναμικού. Για την κάλυψη των φορτίων αερισμού της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε κλιματιστική μονάδα με δυνατότητα προ κλιματισμού του αέρα, ρύθμισης της υγρασίας του αέρα που θα προσάγεται στο χώρο και κάλυψης φορτίων ψύξης και θέρμανσης. Στο σχηματικό διάγραμμα της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας όπου οι παράμετροι που παρουσιάζονται με γράμματα αποτελούν

συνεχή σήματα για να εξεταστεί η λειτουργία της μονάδας. Τα σήματα που χρησιμοποιούνται αφορούν την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα που προσάγεται στην κλιματιστική, τον αέρα που απάγεται από τον χώρο, την θερμοκρασία του αέρα αφού προ κλιματιστεί, την θερμοκρασία του νερού στο δοχείο προ κλιματισμού, την υγρασία του αέρα που απάγεται από τον χώρο καθώς και άλλες παραμέτρους που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7: Σχηματική απεικόνιση κεντρικής κλιματιστικής μονάδας.

Η σύνοψη όλων των σημάτων και των παραμέτρων που τις αντιπροσωπεύουν φαίνονται στην Εικόνα 19.

Measurements	Variable
Outdoor air temperature	u_a
Supply air temperature	u_s
Return air temperature	u_r
Channel air temperature after preheating coil	u_c
Leaving water temperature of the preheating coil	u_p
Water temperature entering the heating processes	u_e
Mixed air temperature	u_i
Return air humidity	u_m

Control signals	Variable
Preheating valve control	z_p
Heating valve control	z_h
On-off cooling control	z_c
On-off humidity control	z_m
Mixing damper control	z_d
Heat recovery control	z_r
Two-stage supply fan control	z_f

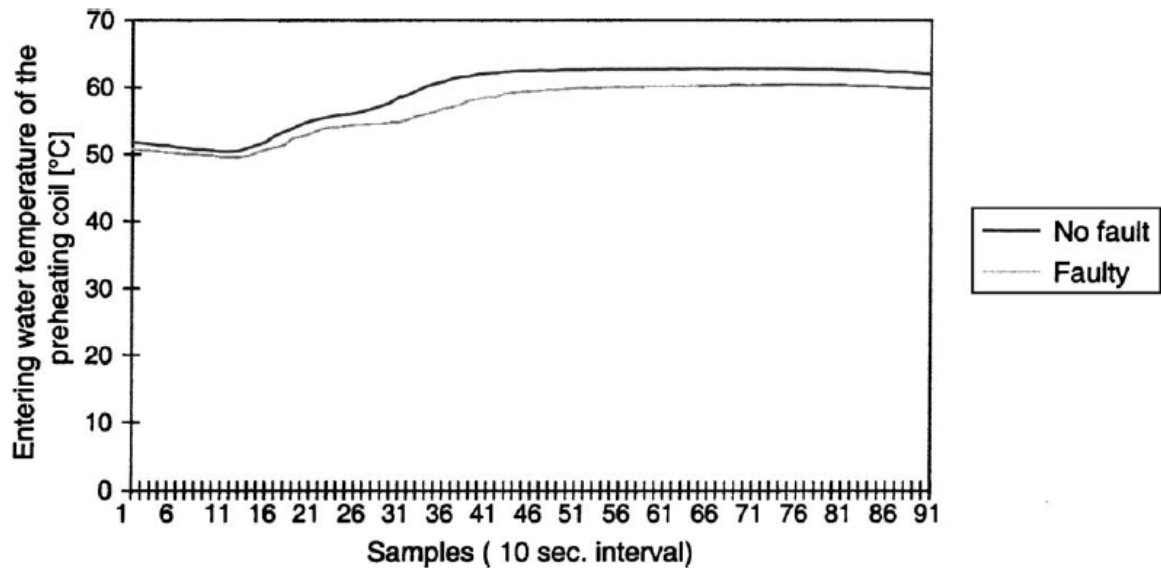
Εικόνα 19: Σήματα ελέγχου της προσομοίωσης.

Η προσομοίωση και τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν αφορούν τη λειτουργία του προ κλιματισμού το αέρα της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας η οποία πραγματοποιείται με το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας ελέγχου Z_p . Η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής:

- Προετοιμασία κλιματιστικής : Αρχικά, η κανονική λειτουργία της κλιματιστικής τερματίζεται. Στην συνέχεια, η λειτουργία των ανεμιστήρων της κλιματιστικής ενεργοποιείται με σκοπό λειτουργίας της κλιματιστικής τέτοια ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία των αγωγών της κλιματιστικής σταθερή για χρονική περίοδο 4 - 5 λεπτά. Στο σημείο αυτό η βαλβίδα κοντεύει να κλείσει ενώ ταυτόχρονα ο έλεγχος της θερμοκρασίας αέρα αναχώρησης αποσυνδέεται και τα κλαπέτα των αγωγών του αέρα τίθενται σε πλήρη κυκλοφορία.
- Φάση ελέγχου της κλιματιστικής : Αρχικά, η βαλβίδα ελέγχου παραμένει ανοικτή για 4 – 5 λεπτά και έπειτα κλείνει. Σε αυτό το χρονικό διάστημα η θερμοκρασία του νερού που θερμαίνει τον αέρα θα πρέπει να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από την επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα, περίπου 10 – 15 °C. Τα σήματα ελέγχου ελέγχονται σε αυτό το διάστημα μέσω υπολογιστή μέχρι να εγκαθιδρυθούν οι επιθυμητές καταστάσεις ή να τελειώσει ο χρόνος. Σε περίπτωση μη επίτευξης της επιθυμητής κατάστασης ο χρήστης ενημερώνεται.

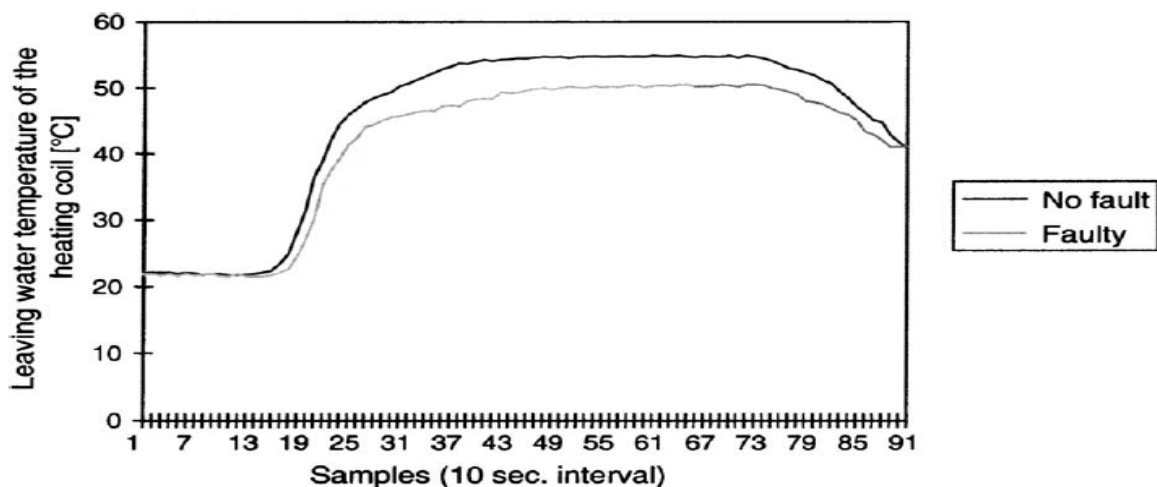
Έπειτα από αυτήν τη διαδικασία οι ενδείξεις των σημάτων ελέγχου έδειξαν τρία είδη σφάλματος.

- Κατά τη διάρκεια του προ κλιματισμού του αέρα οι αγωγοί από τους οποίους περνά το θερμαντικό μέσο αποτρέπουν κατά 30% την ροή του νερού στο σύστημα. Το σφάλμα δημιουργήθηκε από χειροκίνητο κλείσιμο της βαλβίδας ελέγχου και απεικονίζεται στο Γράφημα 15.



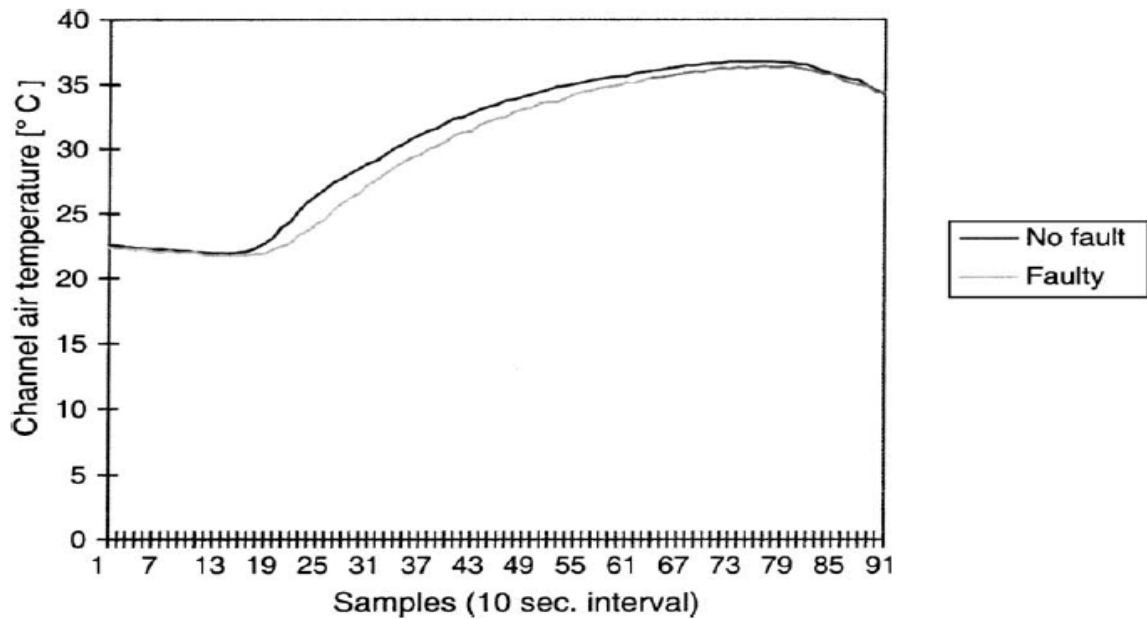
Γράφημα 15: Στιγμιότυπο της γραφικής παράστασης για $t = 2.69$ με μερικό κλείσιμο των αγωγών.

Σύμφωνα με τα στατιστικά αποτελέσματα η θερμοκρασία του νερού που περνά μέσα στην κλιματιστική με σκοπό της θέρμανση του αέρα δεν εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις για μικρά χρονικά διαστήματα της προσομοίωσης. Σύμφωνα με τη μελέτη για το χρονικό διάστημα $t < 4.303$ η γραφική παράσταση δεν πρόκειται να εμφανίσει μεγάλες αποκλίσεις. Αντιθέτως, από εκείνη τη χρονική στιγμή και πάνω σύμφωνα με το Γράφημα 16 οι αποκλίσεις στην θερμοκρασία του νερού αρχίζουν να γίνονται κατανοητές.



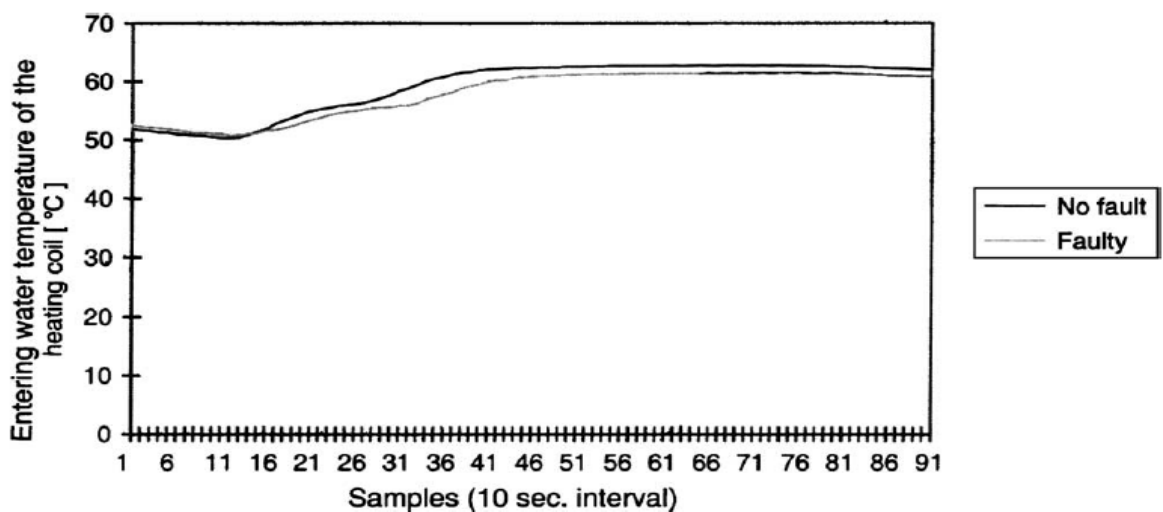
Γράφημα 16: Στιγμιότυπο της γραφικής παράστασης για $t = 12.74$ με μερικό κλείσιμο των αγωγών.

2. Ο ελεγκτής που είναι υπεύθυνος για το άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου ανοίγει τη βαλβίδα αλλά με καθυστέρηση. Το σφάλμα δημιουργήθηκε από μηχανική παρέμβαση στο άνοιγμα της βαλβίδας. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο Γράφημα 17.



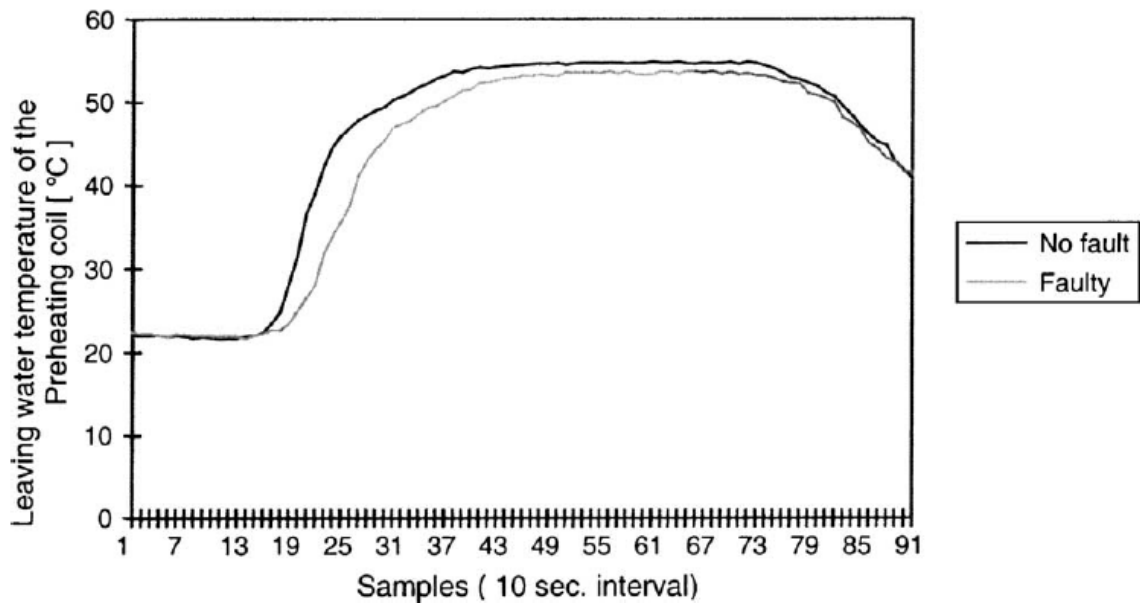
Γράφημα 17: Στιγμιότυπο της γραφικής παράστασης για $t = 1.33$ με καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 18 θερμοκρασίας αέρα – χρόνου η απόκλιση της θερμοκρασίας που περνά δεν εμφανίζει αποκλίσεις. Στο Γράφημα 18, θερμοκρασίας νερού προσαγωγής – χρόνου η θερμοκρασία του νερού που πρόκειται να θερμάνει τον αέρα στην κλιματιστική δεν έχει απόκλιση με αποτέλεσμα το σφάλμα να μην εμφανίζεται ούτε σε αυτό το σημείο.



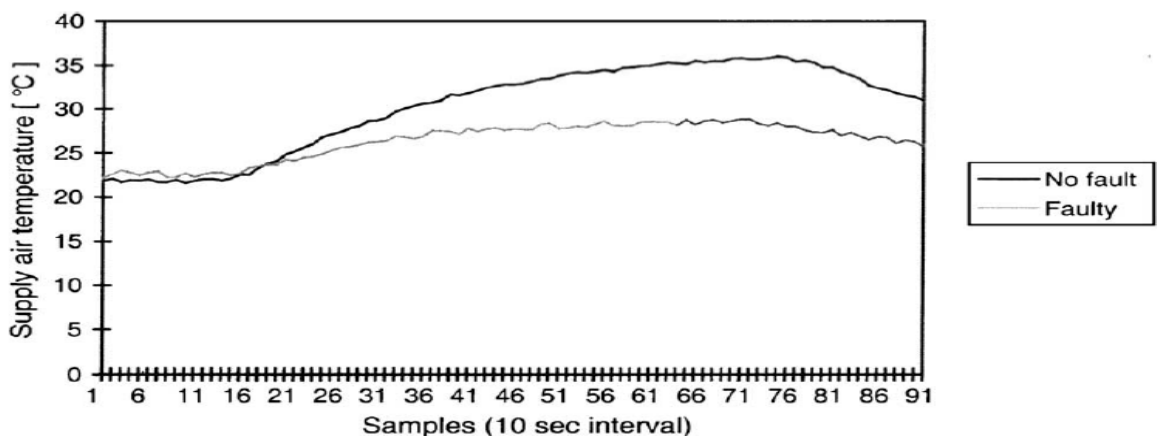
Γράφημα 18: Στιγμιότυπο της γραφικής παράστασης για $t = 1.38$ με καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου.

Σε αυτό το σημείο παρατηρείται στην γραφική παράσταση του νερού επιστροφής – χρόνου πως η θερμοκρασία του νερού επιστροφής για ένα χρονικό διάστημα εμφανίζει απόκλιση. Αυτό σημαίνει πως το σφάλμα εμφανίστηκε και ο χρήστης ενημερώθηκε από το αντίστοιχο σήμα ελέγχου (Up). Η βαλβίδα αδυνατεί να ανοίξει πλήρως. Το σφάλμα πραγματοποιήθηκε μηχανικά ελέγχοντας την θερμοκρασία του αέρα παροχής στην κλιματιστική σύμφωνα με τη μελέτη. Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στο Γράφημα 19.



Γράφημα 19: Στιγμιότυπο της γραφικής παράστασης για $t=7.24$ με καθυστερημένο άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου.

3. Στην γραφική παράσταση στο Γράφημα 20 εμφανίζεται πολύ μεγάλη απόκλιση, το σφάλμα έχει ανιχνευτεί και το σήμα ελέγχου έχει ειδοποιήσει τον χρήστη.



Γράφημα 20: Στιγμιότυπο της γραφικής παράστασης για $t=7.97$ με την βαλβίδα ελέγχου να μην έχει φτάσει ποτέ πλήρως ανοικτή.

Το παραπάνω σύστημα ανίχνευσης σφαλμάτων λειτουργεί με τη χρήση αισθητήρων για την ένδειξη όλων των παραμέτρων και αποτελούν κομμάτι ενός BEMS συστήματος. Επιπλέον, για την βεβαίωση των παραπάνω αποτελεσμάτων θα πρέπει η εγκατάσταση και η κατάσταση των ελεγκτών να είναι άρτια όπως τονίζει η μελέτη. Η προσομοίωση ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να εμφανίσει προβλήματα όταν το σύστημα αυτό πάει να τεθεί στην πράξη ενώ επίσης αδυνατεί σε περιπτώσεις που υπάρχουν αλλαγές στο περιβάλλον. Σε πρώτο επίπεδο όμως μπορεί να ανιχνεύσει και να απομονώσει θεωρητικά προβλήματα πριν καν πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση της κεντρικής κλιματιστικής μονάδας και η σύνδεση της με ένα σύστημα αυτοματισμού. [16]

3.5 Παράδειγμα ενός ολοκληρωμένου BMS συστήματος για την κάλυψη του φωτισμού

Ο έλεγχος λοιπόν της λειτουργίας των φωτιστικών κυκλωμάτων είναι ζωτικός για μια εγκατάσταση γραφείων. Σε αυτό το σημείο χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων με δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης του φωτισμού γνωστά και ως Electronic Dimmable Ballasts που αποσκοπούν καθαρά και μόνο στην εξοικονόμηση της ενέργειας κατανάλωσης και την σωστή αξιοποίησή της μόνο και όταν αυτή είναι αναγκαία. Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν αυτά τα συστήματα απαραίτητη είναι η χρήση αισθητήρων όπως αισθητήρες κίνησης ή παρουσίας και ρυθμιστών φωτισμού. Η λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρα με δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης του φωτισμού ποικίλει ανάλογα το χώρο και τη χρήση τους. Η βασική λειτουργία των ballasts είναι να ρυθμίζουν την ένταση του φωτισμού του λαμπτήρα αυτόματα ή ακόμα και χειροκίνητα αν χρειαστεί (automatic and manual dimmers). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός. Συγκεκριμένα, μέσω της χρήσης αισθητήρων φωτισμού (photosensors) ανιχνεύουν την ποσότητα του φυσικού φωτός μέσα στον χώρο και αναλόγως αυξάνουν ή μειώνουν την ένταση της χρήσης του λαμπτήρα. [17]

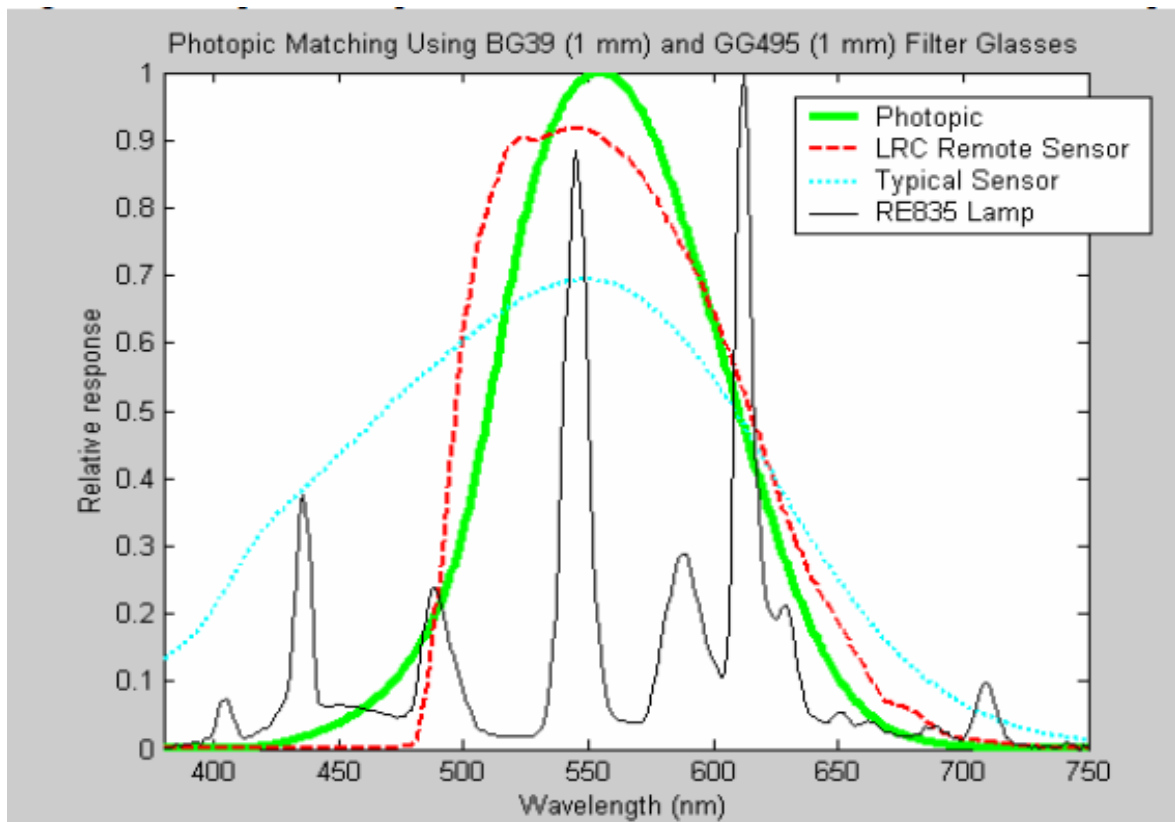
Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν απέδειξαν πως ένα τέτοιο σύστημα που εκμεταλλεύεται την ενέργεια του φωτός μέσα στο χώρο μπορεί να εξοικονομήσει το 77% της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί ένας χώρος και το 14% του κτηρίου συνολικά. [17][18]

Εκτός της εξοικονόμησης της ενέργειας που επιτυγχάνεται με τα ballasts συστήματα η οποία κυμαίνεται άνω του 50% χάρη και στη χρήση του φωτός της ημέρας, μελέτες προσπαθούν να αποδείξουν όχι μόνο την αποδοτικότητα τους αλλά το κατά πόσο αυτά τα συστήματα είναι οικονομικώς αποτελεσματικά. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες LRC (LRC photosensors) που αποτελούνται από έναν επίτοιχο διακόπτη ελέγχου και έναν ασύρματο αισθητήρα. Ο διακόπτης ελέγχου λειτουργεί ταυτόχρονα ως απλός διακόπτης on/off σε περίπτωση χρήσης απευθείας από τον χρήστη αλλά και ως διακόπτης για τη ρύθμιση της φωτεινότητας των λαμπτήρων (dimming) αφού είναι συνδεδεμένος και με τα ballasts μέσα στο χώρο μέσω καλωδίων που διαρρέονται από ρεύμα. Ο ασύρματος αισθητήρας μεταφέρει πληροφορία σχετικά με την ποσότητα του φωτός μέσα στον χώρο στον διακόπτη ελέγχου μέσω αναμεταδότη με τη μορφή ηλεκτρικού σήματος. Εφόσον ο διακόπτης ελέγχου παραλάβει το ηλεκτρικό σήμα τότε επεξεργάζεται την πληροφορία σύμφωνα με το λογισμικό προγραμματισμένο στον υπολογιστή το οποίο χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο BMS σύστημα και ρυθμίζει αναλόγως την φωτεινή ροή των λαμπτήρων. Η χρήση του ασύρματος αισθητήρα επιλέχθηκε για δυο συγκεκριμένους λόγους. Πρώτον, η τοποθέτηση του αισθητήρα λόγω του ότι είναι ασύρματος είναι ευέλικτη μέσα στο χώρο δηλαδή δεν χρειάζεται η εγκατάσταση περισσότερων καλωδίων στην εγκατάσταση για την παροχή ενέργειας. Δεύτερον, όταν ο αισθητήρας είναι σε λειτουργία μπορεί να παρέχει ακριβή μέτρηση των επιπέδων φωτός μέσα στο χώρο εργασίας χωρίς να απαιτείται να υπάρχει φωτισμός ή επιπλέον αισθητήρες για να τον υποβοηθήσουν. Ο διακόπτης ελέγχου και ο ασύρματος αισθητήρας απεικονίζονται στην Εικόνα 20.



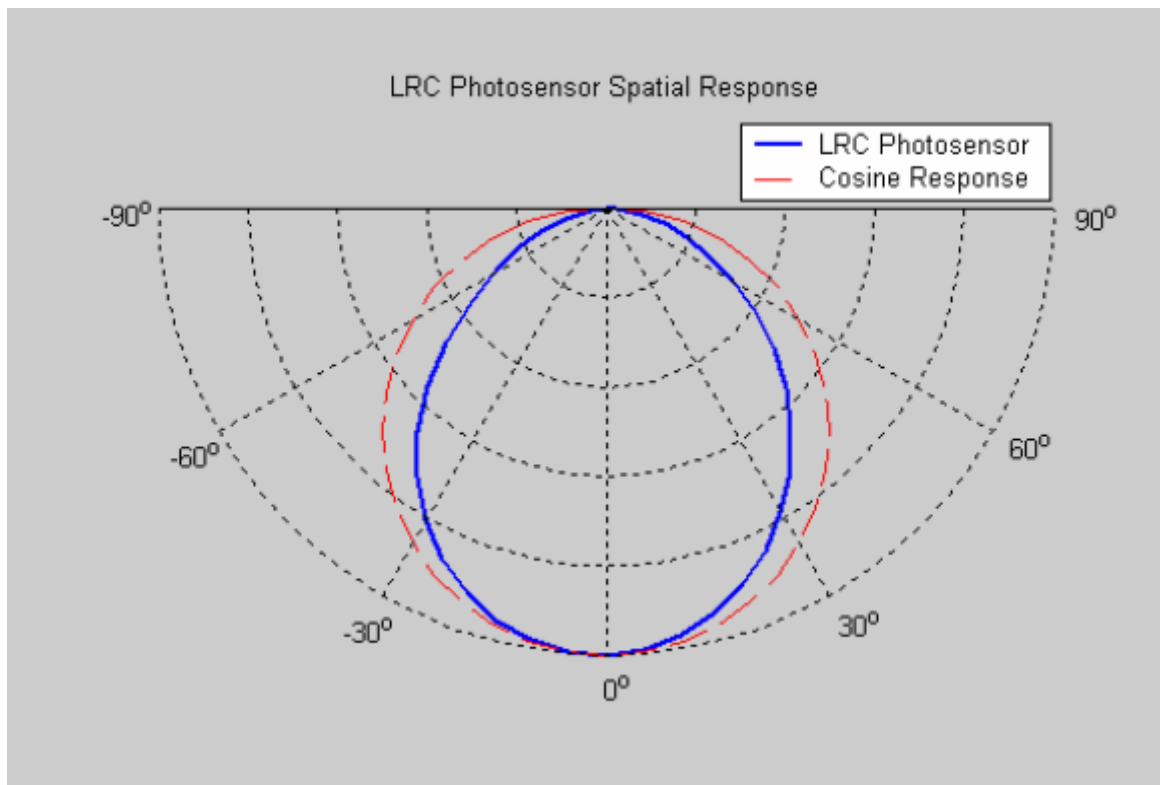
Εικόνα 20: LRC photosensor.

Όσον αφορά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα, ο τελευταίος παρέχει ακριβή φασματική και χωρική απόκριση καθώς και μεγάλο εύρος απόκρισης δημιουργώντας έτσι μια πληροφορία αρκετά καλή για να παραλάβει ο διακόπτης ελέγχου και να επεξεργαστεί το λογισμικό του BMS συστήματος. Η φασματική απόκριση του αισθητήρα επιτυγχάνεται με τη χρήση φωτοδιοδίων σιλικόνης τα οποία φιλτράρονται με αποτέλεσμα την ακριβή αποτύπωση του ορατού φωτός από το ανθρώπινο μάτι. Στο Γράφημα 21 φαίνεται η φασματική απόκριση του αισθητήρα σε σχέση με το ορατό φως και έναν τυπικό αισθητήρα.



Γράφημα 21: Φασματική απόκριση αισθητήρα LRC.

Γενικώς ένας αισθητήρας από μόνος του έχει περιορισμένη εμβέλεια όταν βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία, η οποία ποικίλει ανάλογα την θέση του αισθητήρα και την γωνία στην οποία έχει τοποθετηθεί. Επίσης, η τοποθέτηση ενός αισθητήρα απέναντι από ένα παράθυρο σε κοινή θέα από τον ήλιο ή τον ουρανό επηρεάζουν πολύ την λειτουργία του αισθητήρα. Μια ιδανική τοποθέτηση οποιουδήποτε αισθητήρα ειδικά του αισθητήρα LRC μακριά από παράθυρο και σε σημείο που προβάλλει ως προς το χώρο μπορεί να επιφέρει χωρική απόκριση όπως φαίνεται στο Γράφημα 22 . [19]



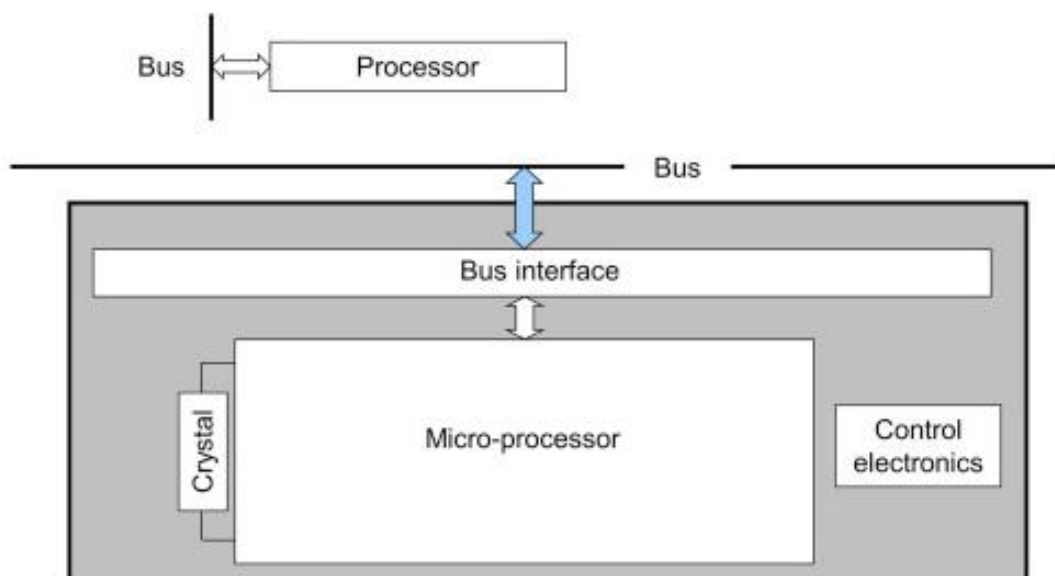
Γράφημα 22: Χωρική απόκριση LRC αισθητήρα.

Σε αυτό το σημείο ακόμα και αν η τοποθέτηση του αισθητήρα είναι ιδανική το εύρος στο οποίο βλέπει και αντιλαμβάνεται το φως ο αισθητήρας ποικίλει ανάλογα τη γεωμετρία του χώρου και των αντικειμένων που προσπίπτει το φως. Συγκεκριμένα ο αισθητήρας LRC χρησιμοποιεί έναν ενισχυτή (transimpedance amplifier) για να μετατρέψει το ρεύμα του φωτοδιοδίου σε τάση και μέσω τεσσάρων αντιστάσεων που εναλλάσσονται στο κύκλωμα να επιτύχει ένα εύρος τιμών της τάξης των τεσσάρων δεκάδων. Έτσι δημιουργείται ένα 12 – bit σήμα το οποίο φιλτράρεται από έναν μετατροπέα με αποτέλεσμα την 10 – bit αναπαράσταση του σήματος που θα μεταφέρει την πληροφορία στον διακόπτη ελέγχου. [19] [20].

Αφού πραγματοποιηθεί η λειτουργία του αισθητήρα το επόμενο στάδιο του BMS συστήματος είναι η μεταφορά της πληροφορίας. Η πληροφορία του αισθητήρα μεταφράζεται σε ένα 16 – bit μπλοκ. Κάθε μπλοκ πληροφορίας αποτελείται από μια 2- bit διεύθυνση, ένα 2 – bit κωδικό για το mode της πληροφορίας, ένα 2 – bit κωδικό για την περιγραφή των τεσσάρων πιθανών ρυθμίσεων εύρους του αισθητήρα και ένα 10 – bit μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό για το διάβασμα του σήματος (ADC). Ύστερα από πολλές τεχνικές επικοινωνίας του μετρητή με το σύστημα των ballasts αποφασίστηκε ότι

η μεταφορά της πληροφορίας θα γίνει με τη χρήση οπτικής επικοινωνίας και η απόδοσή της από ένα σύστημα διαμόρφωσης παλμού καθώς μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα από την τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών. Τα ρεύματα που μελετήθηκαν ως παράμετροι ήταν συχνότητας μεταξύ 30 – 40 kHz με προτεινόμενη συχνότητα τα 33 kHz. Όλη η πληροφορία αναπαρίσταται σε δυαδική μορφή. Στον παλμογράφο τα 0 και 1 αναπαριστούν δυο διαφορετικές χρονικές περιόδους μεταξύ παλμών της συχνότητας του ρεύματος. Κάθε παλμός αποτελείται από 20 on/off κύκλους της συχνότητας του ρεύματος με τα 1 και τα 0 να αποκωδικοποιούνται σε χρόνο 2.4 ms και 1.2 ms, αντίστοιχα από τον μικροεπεξεργαστή.

Ο ασύρματος αισθητήρας διαθέτει μια 8 – bit μονάδα επεξεργαστή για τον έλεγχο των πράξεων του αισθητήρα και την αξιολόγηση των μετρήσεων του φωτός για μεταφορά. Η μονάδα του επεξεργαστή αποτελεί τον πυρήνα του μικροεπεξεργαστή και είναι υπεύθυνη να εκτελεί εντολές που είναι γραμμένες και αποθηκευμένες στη μνήμη του μικροεπεξεργαστή μέσω γλώσσας προγραμματισμού. Στο εσωτερικό της μονάδας του επεξεργαστή υπάρχει ενσωματωμένο ρολόι για την οργανωμένη και συγχρονισμένη εκτέλεση των εντολών. Επίσης, ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιεί χρονικά σήματα για τη ταυτόχρονη μεταφορά της πληροφορίας εξωτερικά στο bus με τις λοιπές λειτουργίες που πραγματοποιούνται στο bus όπως φαίνεται στην Εικόνα 21. [21]



Εικόνα 21: Λειτουργία μικροεπεξεργαστή.

Στην προκείμενη μελέτη το module που χρησιμοποιείται αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή 8 bit, ένα 2K EEPROM, αντηχείο ρολογιού, μια σειριακή διεπαφή επικοινωνιών και ρυθμιστή χαμηλής τάσης όλα εγκατεστημένο σε ένα 24-pin κύκλωμα σε επιφάνεια περίπου όσο το μέγεθος ενός γραμματοσήμου.

Για την εξοικονόμηση χρόνου το αισθητήριο στέλνει στο διακόπτη ελέγχου σήμα για την έναρξη του. Ύστερα, ο αισθητήρας “διαβάζει” το χώρο κάθε 2.3 δευτερόλεπτα και μεταφέρει πληροφορία κάθε μήνυμα ανά 5 λεπτά για την περίοδο που θα λειτουργήσει πρώτη φορά. Από εκεί και πέρα ο αισθητήρας μπαίνει σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας – sleep mode και πραγματοποιεί μετρήσεις μεν ανά 2.3 δευτερόλεπτα χωρίς να τις μεταφέρει όλες όμως στο σύστημα εξοικονομώντας έτσι ενέργεια για κάθε οπτική μεταφορά. Τα δεδομένα αλλάζουν όταν ο αισθητήρας μαζεύει πληροφορία διαφορετική για το χώρο από αυτή που είχε παραδώσει της τάξης του 1%. Για παράδειγμα, σε μια ηλιόλουστη μέρα με σταθερά δεδομένα φωτεινής ροής εάν γίνει μια απότομη αλλαγή στο περιβάλλον και ο ήλιος καλυφθεί προκαλώντας έτσι αλλαγή των δεδομένων, ο αισθητήρας θα διαβάσει και θα μεταφέρει την ακραία αλλαγή στον διακόπτη ελέγχου χρονικά σε λιγότερο από 2.3 δεύτερα ώστε να πράξει ο τελευταίος και να αυξήσει την στάθμη των φωτιστικών. Αντιθέτως, εάν η στάθμη του φωτός παραμένει η ίδια για ένα χρονικό διάστημα δέκα λεπτών τότε ο διακόπτης ελέγχου θα παραμείνει στην τελευταία ενημέρωση πληροφορίας που του έδωσε ο αισθητήρας και ο τελευταίος θα είναι σε sleep mode έως ότου βρεθεί κάποια αλλαγή στο περιβάλλον της τάξης του 1%. [19]

Το επόμενο σημαντικό σημείο μετά τα αισθητήρια όργανα όπως αναγράφεται παραπάνω είναι τα όργανα αυτοματισμού. Στην προκείμενη μελέτη αυτό το όργανο είναι ο διακόπτης ελέγχου, του οποίου η δουλειά είναι να λαμβάνει τα δεδομένα του φωτισμού του χώρου από τον αισθητήρα και να τα προωθεί σύμφωνα με τον αλγόριθμο που είναι εγκατεστημένος για τον έλεγχο της πληροφορίας στα ballasts για τη ρύθμιση του φωτισμού. Η επικοινωνία με τον ασύρματο αισθητήρα επιτυγχάνεται με έναν δέκτη υπέρυθρων ακτινών που λαμβάνει και αποδιαμορφώνει το οπτικό σήμα του αισθητήρα. Η έξοδος του είναι ένα 5 – volt αποκωδικοποιημένο σήμα σε μορφή παλμού το οποίο μπορεί να διαβαστεί από τον μηχανισμό του μικροεπεξεργαστή. Ο δέκτης του σήματος είναι εξοπλισμένος με κατάλληλες οπτικές εισόδους με αποτέλεσμα ένα μεγάλο εύρος χωρικής απόκρισης (σε σχήμα ημισφαιρίου) δηλαδή μπορεί να καλύψει και να διαβάσει

δεδομένα από όλο το χώρο εφόσον υπάρχουν σταλμένα σήματα επικοινωνίας από τον αισθητήρα. Εκτός της αυτόματης λειτουργίας του διακόπτη ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στον διακόπτη και να αλλάξει χειροκίνητα τα δεδομένα. Ο χρήστης επίσης έχει τη δυνατότητα να ανοιγοκλείσει τη λειτουργία του διακόπτη, να αλλάξει τις ρυθμίσεις ανάλογα με τις επιθυμίες του ή ακόμα και να παραβλέψει τις ενδείξεις του συστήματος και να θέσει τη φωτεινότητα σε άλλα επίπεδα lux. Ο έλεγχος των φωτιστικών ballasts πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτρονόμου μανδάλωσης (latching relay) με δυνατότητα διακοπής παροχής του φορτίου (on/off). Ταυτόχρονα ο μικροεπεξεργαστής ελέγχει ένα κύκλωμα με σκοπό την αποστολή σωστών παλμών ρεύματος άρα και απενεργοποίησης ή ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου. Τα δεδομένα και οι μετρήσεις από τη λειτουργία του συστήματος αποτυπώνονται στις Εικόνες 22 και 23.

Table 1. Control Algorithm Assumptions and Equations

	ASSUMPTIONS	EQUATIONS
1	Light due to Daylight & Electric components is additive.	$LightAtTask_{DE} = LightAtTask_D + LightAtTask_E$ $LightAtCeiling_{DE} = LightAtCeiling_D + LightAtCeiling_E$
2	Since the light sensor unit cannot be conveniently located in the task area, it is placed on the ceiling, with the assumption that the ratio of light at the task area to light at the ceiling is a constant. Two ratios ("D" for Daylight, "E" for Electric) are calculated as part of a calibration done when the system is installed; this requires that the remote sensor be positioned first at the task, then on the ceiling. The D ratio requires two daylight-only measurements. The E ratio could be made with electric-only measurements, but this would require nighttime measurements. Therefore the relationships above are used to convert to an equation that requires daylight-only & daylight-electric measurements.	$LightAtTask / LightAtCeiling = \text{Constant}$ $D = LightAtTask_{D_{cal}} / LightAtCeiling_{D_{cal}}$ $E = LightAtTask_{E_{cal}} / LightAtCeiling_{E_{cal}}$ $E = (LightAtTask_{DE_{cal}} - LightAtTask_{D_{cal}}) / (LightAtCeiling_{DE_{cal}} - LightAtCeiling_{D_{cal}})$
3	The goal is to keep $LightAtTask_{DE}$ constant (\geq that produced with electric lights at full brightness).	$LightAtTask_{DE} = LightAtTask_{E_{cal}}$
4	Use the above equations to solve for $LightAtCeiling_E$ as a function of $LightAtCeiling_{DE}$. In operation, $LightAtCeiling_{DE}$ is measured by the photoelectric sensor/electronics in the remote sensor and transmitted to the wall-box unit. The wall-box unit then adjusts $LightAtCeiling_E$ to keep $LightAtTask_{DE}$ constant (for instance, an increase in $LightAtCeiling_{DE}$ will result in a decrease in $LightAtCeiling_E$). This is a feedback process.	$LightAtTask_{DE} = LightAtTask_{E_{cal}} = (LightAtTask_D + LightAtTask_E)$ $= (D * LightAtCeiling_D) + (E * LightAtCeiling_E)$ $= D * (LightAtCeiling_{DE} - LightAtCeiling_E) + E * LightAtCeiling_E$ $= (D * LightAtCeiling_{DE}) + (E - D) * LightAtCeiling_E$ $LightAtCeiling_E = \frac{LightAtTask_{E_{cal}} - (D * LightAtCeiling_{DE})}{(E - D)}$
5	It is desirable to give the user some control over the degree of "aggressiveness" of the system. Introducing an "alpha" term into the equation accomplishes this (increasing alpha decreases aggressiveness). The user controls alpha, in three steps (low, medium, high) via a button on the wall-box unit, and can even override the entire system by holding down the button for at least 2 seconds.	$LightAtCeiling_E = \frac{LightAtTask_{E_{cal}} - D * (1 - \alpha) * LightAtCeiling_{DE}}{(E - D)}$ $0 \leq \alpha \leq 1$

Εικόνα 22: Υπολογισμοί του αλγορίθμου ελέγχου.

	Remote Sensor	Wall-switch Controller	Elapsed Time (s)
Step 1		Normal operation	
	Commissioning button pressed		
	Transmit commissioning mode	Receive transmission with commissioning mode	0.0
	Continually read photocell and transmit data	Turn on Commissioning LED indicator	
	Continue this sequence for 5 minutes, or until commissioning button is pressed again	Turn electric lights on full power	
		Wait 20 s (warm-up and stabilize light output)	20.0
		Wait for updated light level reading	22.3
		Light level reading = LightATaskDEcal	
		Turn off electric lights	
		Wait 5 s (to ensure lights are off)	27.5
		Wait for updated light level reading	29.8
		Light level reading = LightATaskDcal	
		Turn electric light on full power	
	Commissioner sees commissioning LED turn off	Turn off commissioning LED indicator	
	Commissioner moves remote sensor to ceiling position	Wait for next transmission of commissioning mode data from remote sensor, t(move)	
		...	
Step 2	Commissioning button pressed	Still waiting for commissioning mode data	
	Transmit commissioning mode	Receive transmission with commissioning mode	t(move) + 29.8
	Continue this sequence for 5 minutes, or until commissioning button is pressed again	Continually blink commissioning LED indicator	
		Wait 20 s (time for commissioner to move away from remote sensor)	t(move) + 49.8
		Turn off electric lights	
		Wait 5 s (to insure lights are off)	t(move) + 54.8
		Wait for updated light level reading	t(move) + 57.1
		Light level reading = LightATCeilingDcal	
		Turn electric light on full power	
		Wait 5 s (stabilize light output)	t(move) + 62.1
		Loop for i = 1 to 15	
		Start on highest 0-10V control resistance setting, step down 6% each loop iteration	
	After 5 minutes without a commissioning button press,	Wait for updated light level reading	
	transmit data every 10 minutes,	Light level reading = lookup table value	
	or whenever reading changes by more than 1%	Next	t(move) + 98.9
		Turn off electric lights	
		Wait 5 s (to insure lights are off)	t(move) + 103.9
		Wait for updated light level reading	
		Check that daylight did not change by more than 15% from LightATCeilingDcal measurement	
		Resume normal operation	~t(move) + 104

Εικόνα 23: Δεδομένα LRC αισθητήρα σε λειτουργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ BMS ΣΕ ΧΩΡΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης κτηρίου στον χώρο γραφείων του κεφαλαίου 2. Οτιδήποτε περιγραφεί ή προταθεί στο παρόν κεφάλαιο θα είναι σε θεωρητικό επίπεδο καθώς για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος απαραίτητη είναι τόσο η συνεννόηση με τον πελάτη όσο και ένα κεφάλαιο για την εγκατάσταση των απαραίτητων εξαρτημάτων και συστημάτων. Εκτός της πρότασης του συστήματος σε αυτό το κεφάλαιο συμπεριλαμβάνονται και μια swot ανάλυση δηλαδή περιγραφή των πλεονεκτημάτων και των δυσκολιών που εμφανίζονται για την υλοποίησή του. Το σύστημα BMS που θα προταθεί αποσκοπεί στην ρύθμιση των φορτίων στο σύστημα του κλιματισμού των χώρων, της θέρμανσης, της υγρασίας, του αερισμού και του φωτισμού που αποτελούν και τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια στο κτήριο όπως φάνηκε και από το κομμάτι της μελέτης στο Κεφάλαιο 2. Σκοπός είναι η κάλυψη αφενός μεν των συνθηκών περιβαλλοντικής άνεσης προς το εργατικό δυναμικό του κτηρίου, αφετέρου δε η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και η αναβάθμιση του κτηρίου στην κατηγορία A σύμφωνα με τα πρότυπα του ευρωπαϊκού οργανισμού του KENAK. Οι κοινές ικανότητες ενός συστήματος διαχείρισης κτηρίου συμπεριλαμβάνουν χρονοδιάγραμμα εξοπλισμού, βελτιστοποιητές έναρξης και τέλους για την θέρμανση και τη ψύξη, λειτουργική ρύθμιση, παρακολούθηση θερμοκρασίας – χρόνων – ενέργειας έναρξης και πρόσβασης, αναφορά συναγερμού, για προβληματικό εξοπλισμό και όρια θερμοκρασίας και πίεσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο έλεγχος και η σωστή λειτουργία όλων των συστημάτων στο κτήριο.

4.1 Αναβάθμιση και έλεγχος του φωτισμού

Ένα συμβατικό γραφείο όπως και αυτό στο οποίο πραγματοποιήθηκε μελέτη στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζει προβλήματα στο κομμάτι του φωτισμού σημαντικότερα εκ των οποίων είναι η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων και η επιλογή των σωστών φωτιστικών. Συγκεκριμένα, για τους χώρους γραφείων η κάλυψη των απαιτήσεων του φωτισμού πραγματοποιείται από λαμπτήρες φθορίου. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.1 TOTEΕ_20701-1_2017_TEE_1st_Edition (σελ. 152 / 188) τα πλέον αποδοτικότερα φωτιστικά με τη μεγαλύτερη προσφορά φωτεινής ροής αλλά και το

χαμηλότερο κόστος αποτελούν οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ή αλλιώς φωτοδιόδοι κοινώς φωτιστικά LED. Το φως που εκπέμπεται από τους ημιαγωγούς εκτείνεται σε μια ευρεία περιοχή του φάσματος, από το χαμηλό όριο ορατής ακτινοβολίας (ιώδες) έως και πολύ μεγάλα μήκη υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από το συνδυασμό των ημιαγώγιμων υλικών. Μέχρι στιγμής έχουν αναδειχθεί φωτοδιόδοι με απόδοση που φτάνει τα 180 lm/W. Να επισημανθεί ότι η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων εξαρτάται όχι μόνο από τη φωτεινή ροή τους αλλά και από τη συνολική ισχύ λαμπτήρα και εξοπλισμού για τη λειτουργία τους όπου είναι ενσωματωμένος.

Πίνακας 7: Φωτεινή απόδοση λαμπτήρων βάσει του ευρωπαϊκού πρότυπου.

Τύπος λαμπτήρα	Φωτεινή απόδοση [lm/W]
Απλός πυράκτωσης (έχει καταργηθεί)	10-15
Πυράκτωσης αλογόνου	15-25
Ατμών υδραργύρου (έχει καταργηθεί)	40-60
Συμπαγής φθορισμού (συμπεριλαμβανομένου του ενσωματωμένου ballast)	50-70
Γραμμικός φθορισμού (T8 ή T5)	60-100
Ατμών μεταλλικών αλογονιδίων	65-100
Ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	70-110
Φωτοδιόδοι (LED) (Chip όχι φωτιστικό σώμα)	90-160

Εκτός λοιπόν της εγκατάστασης φωτιστικών LED, σημαντικοί παράγοντες για την εξοικονόμηση του φωτισμού είναι ο φυσικός φωτισμός και η επέμβαση των χρηστών. Ο συντελεστής επίδρασης φυσικού φωτισμού (Fd) είναι ο συντελεστής μείωσης της αρχικά υπολογιζόμενης κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό λόγω της χρήσης διατάξεων αυτομάτου ελέγχου που παρέχουν τη δυνατότητα αξιοποίησης φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο ή θερμική ζώνη. Όταν ο φωτισμός του χώρου ή της θερμικής ζώνης δεν έχει τη δυνατότητα ρύθμισης της έντασης του φωτισμού (dimming) τότε η τιμή του συντελεστή

είναι ίσος με το 1, ενώ αν διατίθεται τέτοιος μηχανισμός η τιμή τείνει στο 0. Παράλληλα, ο συντελεστής επίδρασης χρηστών είναι ο συντελεστής μείωσης της αρχικά καταναλισκόμενης κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό λόγω της χρήσης διατάξεων αυτοματισμών ανίχνευσης κίνησης ή παρουσίας. Όταν στο χώρο δεν υπάρχει καμία μείωση στην χρήση του φωτισμού κατά της απουσία των χρηστών ο συντελεστής έχει την τιμή 1 ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση τείνει προς το 0. Προτείνεται για τον χώρο γραφείων λοιπόν οποιαδήποτε επέμβαση αφορά τον φωτισμό να πραγματοποιηθεί σε τοπικό επίπεδο.

4.1.1 Αισθητήρες φωτός και παρουσίας

Αρχικά, σημαντικό ρόλο για τον έλεγχο του φωτισμού θα αποτελέσει η χρήση αισθητηρίων οργάνων. Τα αισθητήρια θα είναι δύο ειδών και θα ελέγχουν το φυσικό φωτισμό του χώρου και την κίνηση – παρουσία χρηστών στο χώρο. Οι αισθητήρες φωτισμού (photosensors) ρυθμίζουν αυτόματα το επίπεδο φωτισμού που παράγεται από το σύστημα τεχνητού φωτισμού με βάση την ποσότητα του φυσικού φωτισμού που ανιχνεύεται στο χώρο. Η ανίχνευση του φυσικού φωτισμού στο χώρο επιτυγχάνεται από φωτοκύτταρο. Προτείνεται να τοποθετηθούν σε σημείο τέτοιο ώστε να μην έρχονται σε άμεση επαφή με το φως ή κοντά σε παράθυρο καθώς αυτό θα οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα των μετρητών με αποτέλεσμα το overdimming, όπως για παράδειγμα στο ταβάνι ανάμεσα από τα φωτιστικά σώματα τόσο χάριν ευκολίας όσο για να υπάρχουν πιο ακριβής μετρήσεις, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να έχουν χωρική απόκριση δηλαδή να “βλέπουν” το 60+% του χώρου (αφού ο κατασκευαστής συνήθως δεν αναγράφει την χωρική απόκριση του αισθητήρα). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται έλεγχος κλειστού βρόγχου και αντικαθιστά ή συμπληρώνει τον χειροκίνητο έλεγχο στα κτήρια. Όταν δεν απαιτείται η πλήρης λειτουργία του τεχνητού φωτισμού δεδομένου ότι υπάρχει ποσότητα φυσικού φωτισμού τότε προσαρμόζεται η στάθμη των φωτιστικών σωμάτων στο χώρο και εξοικονομείται ενέργεια. Εκτός της εξοικονόμησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα φωτισμού, η μείωση των επιπέδων του τεχνητού φωτισμού μειώνει επίσης και τα θερμικά κέρδη που προέρχονται από τα φωτιστικά σώματα ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού κατά την ψύξη του κτηρίου. [22]

Στο ίδιο πνεύμα κινείται και ο υπέρυθρος αισθητήρας ανίχνευσης της κίνησης – παρουσίας. Ο αισθητήρας παρουσίας – κίνησης ανιχνεύει την κίνηση οποιουδήποτε εισέρχεται στο χώρο. Σκοπός του είναι να αντικαταστήσει τη χειροκίνητη κίνηση του διακόπτη για το άνοιγμα και το κλείσιμο των φωτιστικών. Με την ανίχνευση παρουσίας ο φωτισμός τίθεται σε λειτουργία και μόλις ανιχνευτεί απουσία για κάποιο χρονικό διάστημα εντός του χώρου ο φωτισμός σβήνει. Η εγκατάσταση αυτών των αισθητήρων θα πραγματοποιηθεί στο 1 μέτρο από το έδαφος και ακριβώς στην είσοδο για κάθε χώρο. Ως αισθητήρας δεν έχει τη δυνατότητα dimming. Στο εμπόριο κυκλοφορούν ανιχνευτές με ταυτόχρονη δυνατότητα παρουσίας με ενσωματωμένο αισθητήρα φωτεινότητας και ως εκ τούτου είναι δυνατός ο έλεγχος και των δύο παραμέτρων. Στην Εικόνα 24α και 24β παρουσιάζονται τυπικοί αισθητήρες κίνησης και φωτεινότητας, αντίστοιχα.

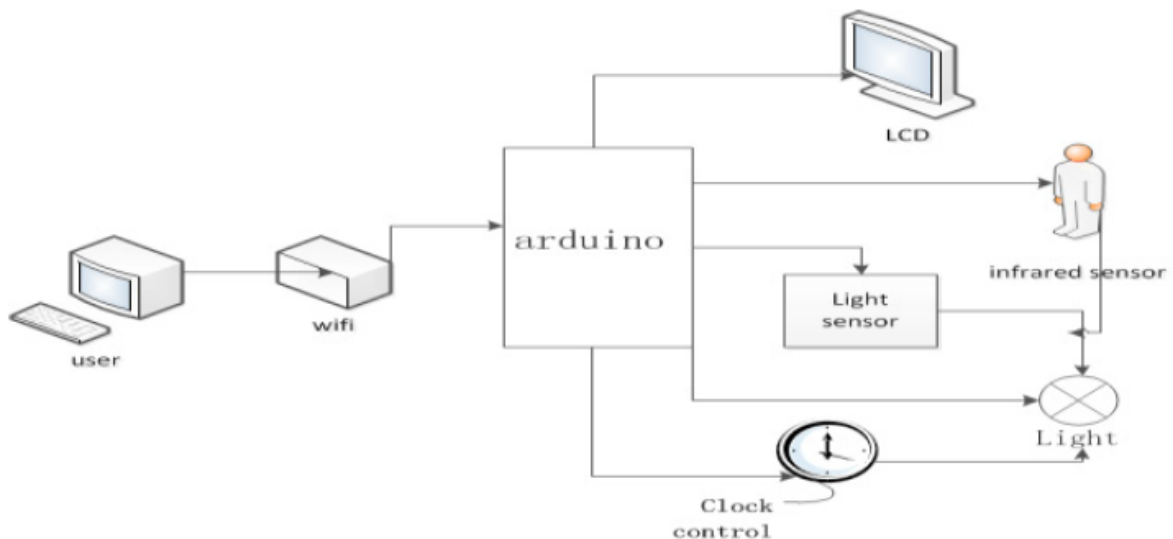


Εικόνα 24: α) Τυπικός αισθητήρας κίνησης – παρουσίας, β) Τυπικός αισθητήρας φωτός.

Εφόσον παρουσιάστηκε ο συνδυασμός των αισθητηρίων οργάνων πρέπει να επιλεχθεί και η στρατηγική με την οποία θα χρησιμοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την πλήρη αυτοματοποιημένη στρατηγική κατά την οποία ο ανθρώπινος παράγοντας για το άνοιγμα / κλείσιμο και ρύθμιση του φωτός είναι προαιρετικός ή την πιο κοινή στρατηγική της ανίχνευσης με χειροκίνητη έναυση / αυτόματη σβέση. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης επιλέγει μέσω χειροκίνητου διακόπτη την έναυση του φωτισμού και αν δεν ανιχνευτεί παρουσία μετά από χρονικό διάστημα, ο φωτισμός σβήνει. Όταν ο χρήστης επανέλθει στον χώρο θα πρέπει να ξαναανάψει το φωτισμό από τον διακόπτη.

4.1.2 Σχεδιασμός έξυπνου συστήματος φωτισμού βασισμένο στον Arduino

Το θεωρητικό μοντέλο που θα αναλυθεί παρακάτω βασίζεται στο σύστημα Arduino. Σύμφωνα με αυτό μέσω της προηγμένης ρύθμισης της ηλεκτρομαγνητικής τάσης και της τεχνολογίας ηλεκτρονικής ανίχνευσης ρυθμίζεται και παρακολουθείται η παροχή ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, προσαρμόζεται αυτόματα η τάση και το ρεύμα του κυκλώματος και μειώνεται η κατανάλωση της ενέργειας που απαιτεί το φορτίο του φωτισμού στο χώρο. Επιπλέον, βελτιώνεται ο συντελεστής απόδοσης (power factor), μειώνεται η θερμοκρασία λειτουργίας των λαμπτήρων και επιτυγχάνεται ο έλεγχος του συστήματος του φωτισμού βάσει της παροχής. Η δομή του παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 8.



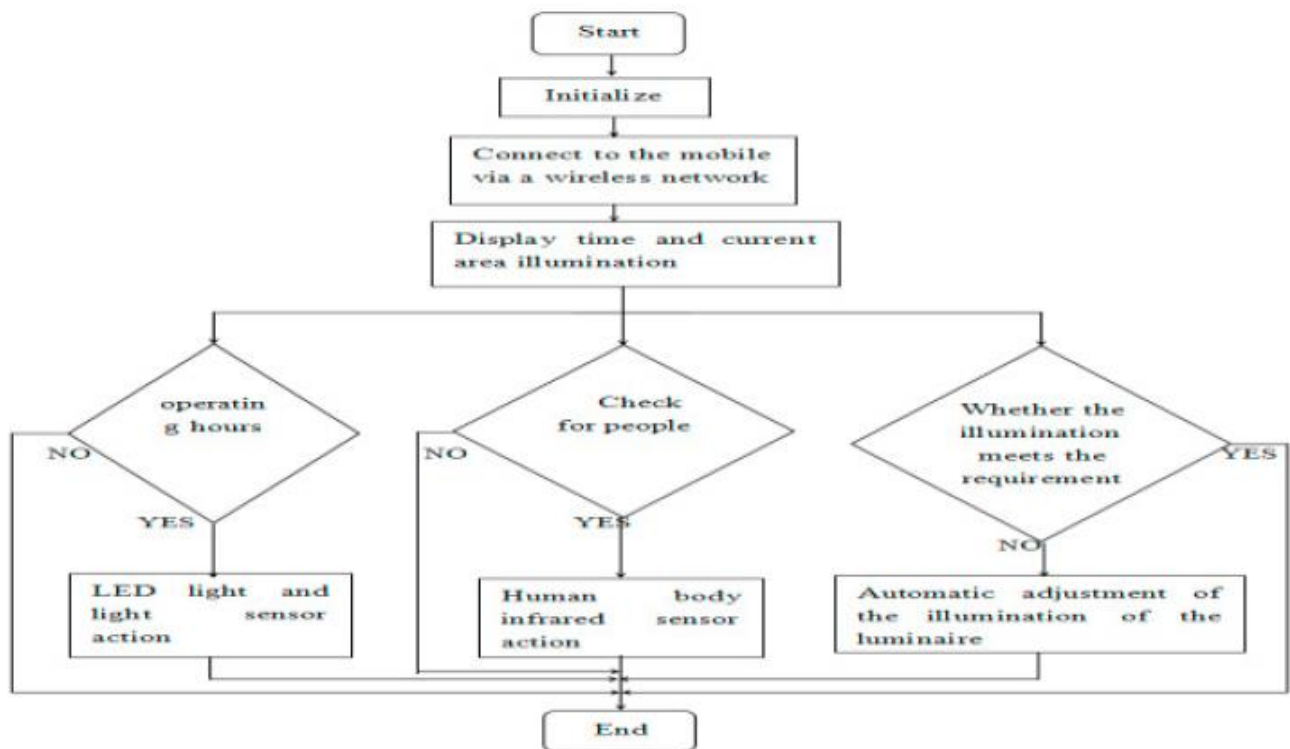
Διάγραμμα 8 : Δομή του συστήματος.

Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιούνται οι δύο τύποι αισθητήρων που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οποίοι συνδέονται με τον ελεγκτή της στάθμης του φωτισμού του κάθε χώρου. Η πληροφορία για τη στάθμη του φυσικού φωτισμού ή για την ανίχνευση παρουσίας μεταφέρονται στον χρήστη μέσω του ελεγκτή Arduino. Ο Arduino είναι υπεύθυνος για την αποδοχή και την επεξεργασία των δεδομένων και την μεταφορά τους αρχικά στην οθόνη LCD ώστε να υπάρχει εικόνα των δεδομένων στο χώρο και έπειτα μέσω του δικτύου επικοινωνίας στο κέντρο δεδομένων για τους χρήστες. Το σύστημα περιέχει μηχανισμό για την αυτόματη ρύθμιση της στάθμης του φωτός στο εσωτερικό του χώρου, ενώ ο χρήστης μπορεί να επέμβει από τον υπολογιστή και να σβήσει τον λαμπτήρα ή να

προσαρμόσει την φωτεινότητά του στο επιθυμητό. Εσωτερικά, το σύστημα αποτελείται από :

- ένα ρολόι
- ένα μόντουλο επικοινωνίας
- ένα μόντουλο για την ανίχνευση της φωτεινής ροής
- ένα μόντουλο για την ανίχνευση της παρουσίας
- την LCD απεικόνιση.

Τα στοιχεία έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους, συνεργάζονται και πράττουν τις αντίστοιχες εντολές του συστήματος. Το διάγραμμα συσχετίσεων του όλου συστήματος φαίνεται στο Διάγραμμα 9.



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα συσχετίσεων συστήματος Arduino.

Επίσης ο ελεγκτής Arduino χρησιμοποιείται ως το κέντρο ελέγχου από το οποίο πραγματοποιούνται είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα εντολές. Οι εισοδοί του είναι συνδεδεμένοι στους αισθητήρες και οι τιμές των εισόδων συγκεκριμένα για την κίνηση έχουν δύο επίπεδα το ψηλό και το χαμηλό (HC – SR501 τσιπ). Όταν το επίπεδο είναι χαμηλό σημαίνει πως είτε στον χώρο δεν υπάρχει απαίτηση φωτισμού λόγω απουσίας χρηστών την παρούσα στιγμή είτε χρησιμοποιείται ο χώρος απλά δεν ανιχνεύεται κίνηση.

Αντιθέτως, όταν το επίπεδο είναι ψηλό, το σύστημα του φωτισμού ενεργοποιείται και οι λαμπτήρες ανάβουν με φωτεινότητα ρυθμιζόμενη ανάλογα τις απαιτήσεις στο χώρο για όσο χρονικό διάστημα ο χρήστης είναι στην εμβέλεια του αισθητήρα.

Τα παραπάνω μπορούν να γίνουν είτε αυτόματα από ένα BMS σύστημα είτε και από τον χρήστη εφόσον αυτός παραλάβει δεδομένα και δώσει εντολή ο ίδιος μέσω του ασύρματου wifi για το άνοιγμα των φωτιστικών σωμάτων στην επιθυμητή φωτεινότητα.

Ο αισθητήρας φωτεινότητας έχει ενσωματωμένο τσιπ (BH1750FVI) με 16-bit μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα. Αρχικά, ο αισθητήρας ανιχνεύει το φως του χώρου το οποίο περνά από το φωτοδιόδιο και το ορατό φως μετατρέπεται σε σήμα. Με τη σειρά του το σήμα περνά μέσα στο σύστημα του αισθητήρα και επικοινωνεί με τον ελεγκτή μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας I2C. Ουσιαστικά, ο αισθητήρας στέλνει μέσω ενός καλωδίου την πληροφορία σε σήμα στον ελεγκτή (master reader) και ο ελεγκτής ο οποίος συνδέεται με τον υπολογιστή και επομένως το πρόγραμμα των εντολών για την ρύθμιση του φωτισμού (slave sender) του επιστρέφει πληροφορία με την εντολή που πρέπει να εκτελέσει. Η ένδειξη απεικονίζεται στην LCD απεικόνιση και είναι η ένδειξη σε lux του φωτός στο χώρο. Ο έλεγχος της στάθμης του φωτισμού να μην ανιχνεύεται από τους αισθητήρες αλλά διατηρείται από το πρόγραμμα που είναι γραμμένο στον υπολογιστή και μεταφέρεται μέσω του ελεγκτή. [23]

4.1.3 Φωτοτεχνική μελέτη με εισαγωγή LED φωτιστικών και BMS

Σε αυτήν την ενότητα θα ακολουθηθεί η ίδια λογική φωτοτεχνικής μελέτης όπως του κεφαλαίου 2 στον χώρο γραφείων με τις εξής αναβαθμίσεις που αποσκοπούν στην ταυτόχρονη χρήση αποδοτικών φωτιστικών σωμάτων και ανάπτυξη έξυπνων τεχνικών φωτισμού:

1. Χρήση λαμπτήρων LED.
2. Χρήση αισθητήρων κίνησης και ανίχνευσης παρουσίας εγκατεστημένου στο ταβάνι (3m) και στο 1m από το έδαφος, αντίστοιχα.

Τα φωτιστικά LED που θα χρησιμοποιηθούν για την αναβάθμιση των φωτιστικών σωμάτων είναι τα BRIGHT SPECIAL LIGHTING S.A. DOUBLE LOUVRE 1D PARABOLIC 4 x LINEAR LED 16W και BRIGHT SPECIAL LIGHTING - E.U. DOUBLE LOUVRE 2X32W του κατασκευαστή BRIGHT SPECIAL LIGHTING SA με κατανάλωση 71.1 kW έκαστο φωτιστικό των Εικόνων 25 και 26 και δυνατότητα προσαρμογής της φωτεινότητάς τους (dimming).



Εικόνα 25: Φωτιστικό DOUBLE LOUVRE 1D PARABOLIC 4 x LINEAR LED 16W.



Εικόνα 26: Φωτιστικό DOUBLE LOUVRE 2X32W.

Για τον χώρο ΧΑ.2 θα χρησιμοποιηθούν τα φωτιστικά DOUBLE LOUVRE 2x32W. Με επίπεδο εργασίας τα 0.8 – 0.85 εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους για το χώρο προβλέπεται ένα κύκλωμα φωτιστικών με 3 σειρές και 2 φωτιστικά ανά σειρά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 27.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80 Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:159

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	594	379	779	0.638
Floor	20	474	279	610	0.590
Ceiling	70	119	86	158	0.720
Τοίχοι (4)	50	280	111	595	/

Workplane:

Ύψος:	0.799 m	UGR	Κατά μήκος-	Εγκάρσια	προς τον άξονα φωτιστικών
Κάναβος:	64 x 32 Σημεία	Αριστερός τοίχος	22	22	
Περιφερική ζώνη:	0.500 m	Κάτω τοίχος	21	21	
		(CIE, SHR = 0.25.)			

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.480, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.200.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	6	BRIGHT SPECIAL LIGHTING - E.U. DOUBLE LOUVRE 2X32W (1.000)	7687	10680	71.1
			Συνολικά: 46125	Συνολικά: 64080	426.6

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $7.83 \text{ W/m}^2 = 1.32 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 54.47 m^2)

Εικόνα 27 : Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.2.

Στον χώρο καλύπτεται ύστερα από την εγκατάσταση των φωτιστικών η απαιτούμενη απαίτηση σε lux (E_m) βάσει της TOTE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition (500 lx) καθώς επίσης και η ομοιομορφία του χώρου (E_{min} / E_m) που θα πρέπει να είναι 0.6 βάσει της τεχνικής οδηγίας. Η συνολική κατανάλωση του κυκλώματος των φωτιστικών σωμάτων είναι 426.6 Watt.

Αντίστοιχα για τον χώρο ΧΑ.3. Οι διαστάσεις του χώρου είναι 5,15 x 3.77 με ύψος ορόφου τα τρία μέτρα. Το επίπεδο εργασίας παραμένει 0.8 – 0.85 εκατοστά από την επιφάνεια του δαπέδου. Για το χώρο αυτό προβλέπεται ένα κύκλωμα φωτιστικών με 1 σειρές και 2 φωτιστικά ανά σειρά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 28.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:49

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	542	337	692	0.621
Floor	20	368	229	470	0.623
Ceiling	70	98	74	133	0.752
Τοίχοι (4)	50	224	87	555	/

Workplane:		UGR	Κατά μήκος-	Εγκάρσια	προς τον άξονα φωτιστικών
Ύψος:	0.850 m	Αριστερός τοίχος	20	20	
Κάναβος:	32 x 32 Σημεία	Κάτω τοίχος	19	19	
Περιφερική ζώνη:	0.500 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.430, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.181.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	2	BRIGHT SPECIAL LIGHTING - E.U. DOUBLE LOUVRE 2X32W (1.000)	7687	10680	71.1
			Συνολικά: 15375	Συνολικά: 21360	142.2

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $7.32 \text{ W/m}^2 = 1.35 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 19.41 m^2)

Εικόνα 28: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.3.

Η απαίτηση σε lux είναι 542 lx που καλύπτει την τιμή που αναφέρει το πρότυπο της τεχνικής οδηγίας. Το ίδιο ισχύει και για την ομοιομορφία της οποίας η τιμή είναι 0.621. Η συνολική κατανάλωση του κυκλώματος των φωτιστικών σωμάτων είναι 142.2 Watt.

Ο χώρος ΧΑ.1 έχει χωριστεί για λόγους ευκολίας σε δύο (2) κυκλώματα φωτισμού. Τα φωτιστικά που θα τοποθετηθούν της χώρους ΧΑ.1β και ΧΑ.1^α θα είναι τα DOUBLE LOUVRE 1D PARABOLIC 4x LINEAR LED 16W ανεξαρτήτου του ότι αποτελούν δύο κυκλώματα φωτισμού. Ο χώρος ΧΑ.1β έχει διαστάσεις 7.648 x 4.721 m και καθαρό ύψος τα τρία μέτρα (3). Προβλέπεται ένα κύκλωμα φωτισμού με 2 σειρές και 2 φωτιστικά σώματα ανά σειρά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 29.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:61

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	679	361	1040	0.531
Floor	20	518	239	698	0.461
Ceiling	70	89	63	104	0.706
Τοίχοι (4)	50	175	61	359	/

Workplane:		UGR	Κατά μήκος-	Εγκάρσια	προς τον άξονα φωτιστικών
Ύψος:	0.850 m	Αριστερός τοίχος	15	18	
Κάναβος:	64 x 64 Σημεία	Κάτω τοίχος	15	18	
Περιφερική ζώνη:	0.500 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.233, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.132.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	4	BRIGHT SPECIAL LIGHTING S.A. DOUBLE LOUVRE 1D PARABOLIC 4 x LINEAR LED 16W (1.000)	7043	7049	71.1
			Συνολικά: 28171	Συνολικά: 28196	284.4

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $7.88 \text{ W/m}^2 = 1.16 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 36.11 m^2)

Εικόνα 29: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.1β.

Η απαίτηση σε lux είναι 679 lx που καλύπτει την τιμή που αναφέρει το πρότυπο της τεχνικής οδηγίας. Για την ομοιομορφία του χώρου η τιμή είναι 0.531 τιμή πολύ κοντινή στη ζητούμενη προτιμητέα αφού σε περίπτωση που τοποθετηθεί επιπλέον φωτιστικό η παροχή σε lux θα μεγαλώσει υπερβολικά πολύ, πράγμα που δεν είναι ζητούμενο. Η συνολική κατανάλωση του κυκλώματος των φωτιστικών σωμάτων είναι 284.4 Watt.

Ο χώρος ΧΑ.1α έχει διαστάσεις 7.949 x 4.2 m και καθαρό ύψος τα 3m. Προβλέπεται ένα κύκλωμα φωτισμού με 2 σειρές και 2 φωτιστικά σώματα ανά σειρά. Το αποτέλεσμα της φωτοτεχνικής μελέτης του χώρου απεικονίζεται στην Εικόνα 30.

Ύψος χώρου: 2.999 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.999 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80 Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:57

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	721	394	1089	0.546
Floor	20	546	269	728	0.492
Ceiling	70	95	63	110	0.660
Τοίχοι (4)	50	190	65	434	/

Workplane:		UGR	Κατά μήκος-	Εγκάρσια	προς τον άξονα φωτιστικών
Ύψος:	0.850 m	Αριστερός τοίχος	15	18	
Κάναβος:	64 x 32 Σημεία	Κάτω τοίχος	15	18	
Περιφερική ζώνη:	0.500 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Δείκτης έντασης φωτισμού (σύμφωνα με το LG7): Τοίχοι / επίπεδο εργασίας: 0.242, Οροφή / επίπεδο εργασίας: 0.132.

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

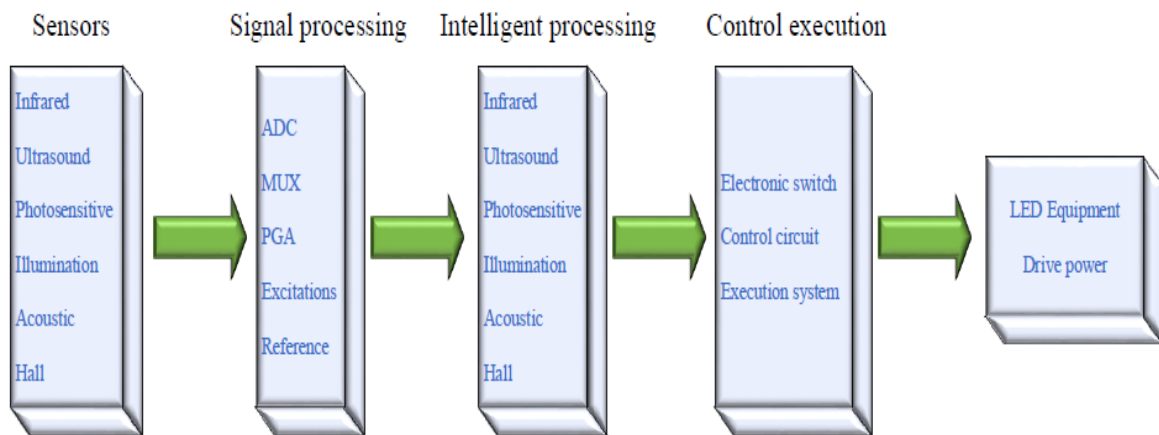
Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	4	BRIGHT SPECIAL LIGHTING S.A. DOUBLE LOUVRE 1D PARABOLIC 4 x LINEAR LED 16W (1.000)	7043	7049	71.1
			Συνολικά: 28171	Συνολικά: 28196	284.4

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: 8.52 W/m² = 1.18 W/m²/100 lx (Βασική επιφάνεια: 33.39 m²)

Εικόνα 30: Περίληψη φωτοτεχνίας χώρου ΧΑ.1α.

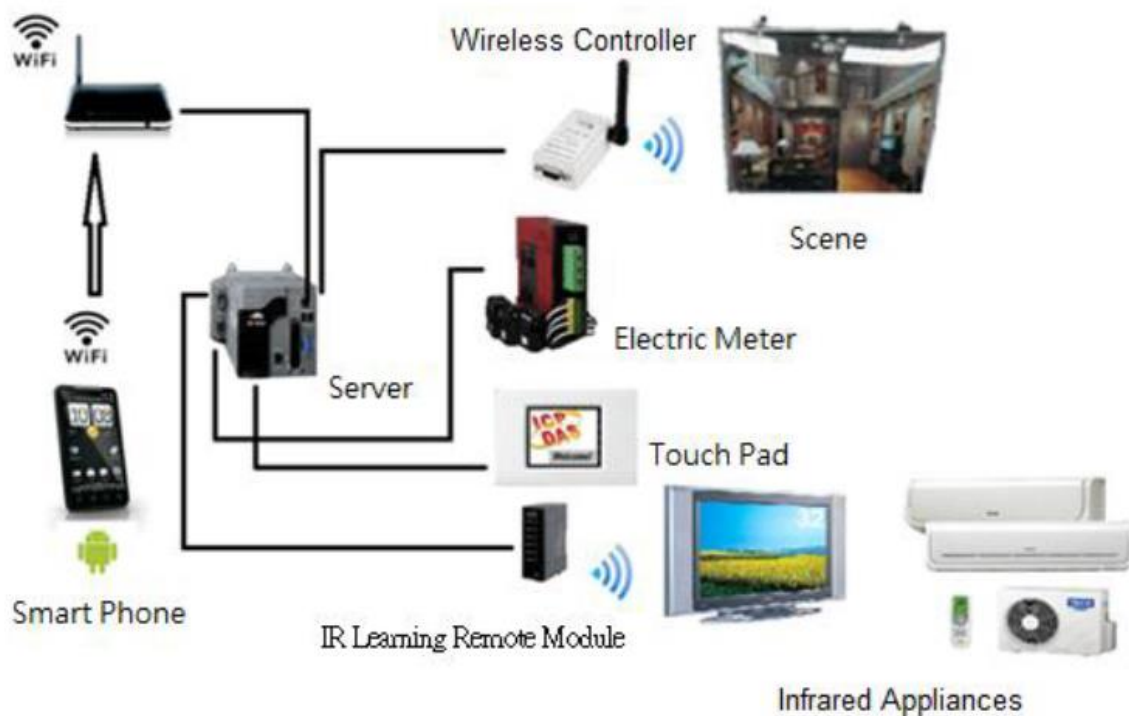
Η απαίτηση σε lux είναι 721 lx που καλύπτει την τιμή που αναφέρει το πρότυπο της τεχνικής οδηγίας. Για την ομοιομορφία του χώρου η τιμή είναι 0.546 τιμή πολύ κοντινή στη ζητούμενη προτιμητέα αφού σε περίπτωση που τοποθετηθεί επιπλέον φωτιστικό η παροχή σε lux θα μεγαλώσει υπερβολικά πολύ, πράγμα που δεν είναι ζητούμενο. Η συνολική κατανάλωση του κυκλώματος των φωτιστικών σωμάτων είναι 284.4 Watt.

Η συνολική κατανάλωση του κτηρίου για το φωτισμό είναι τα 1.137,6 Watt. Στην περίπτωση λοιπόν που ο όροφος αυτός χρησιμοποιείται για μέσο όρο 8 ώρες ως χώρος γραφείων και με ετεροχρονισμό 1 δηλαδή πλήρη ισχύ των φωτιστικών για όσο παραμένουν σε λειτουργία αυτό σημαίνει κατανάλωση 1.137,6 kW επί την τιμή της kw/h x 8h απαίτηση τη μέρα. Για τον λόγο αυτό ακολουθείται η παρακάτω λογική εφαρμογή ενός θεωρητικού συστήματος BMS όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31: Σειρά διεργασιών έξυπνου LED συστήματος.

Η δομή του BMS που θα υλοποιηθεί βασίζεται σε έναν server τον XP – 8000 ο οποίος προσφέρει πρόσβαση στα δεδομένα και συνδέεται με ένα πολύμετρο, έναν ασύρματο ελεγκτή, την οθόνη παρακολούθησης του χώρου, ένα IR learning module με εντολές για τη ρύθμιση των φωτιστικών μέσω κώδικα, αισθητήρες παρουσίας και φυσικού φωτισμού και έναν υπολογιστή ή smart phone – touchpad. Η υλοποίηση αυτού του μοντέλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 32.

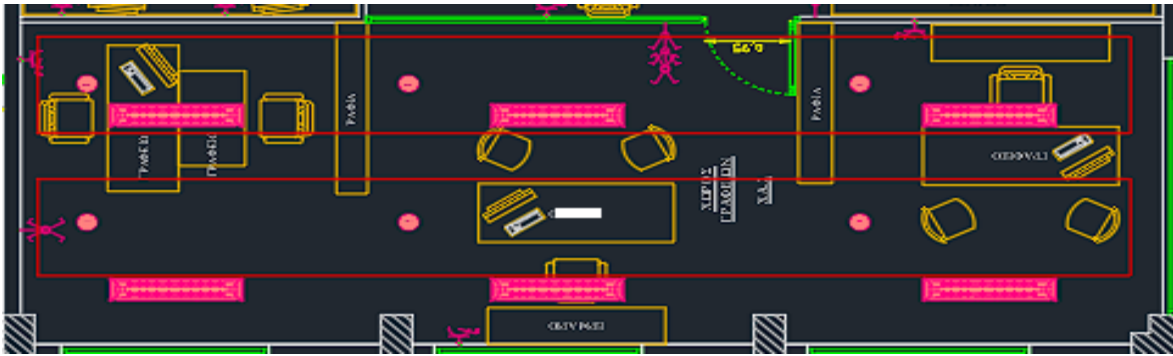


Εικόνα 32: Συνδεσμολογία συστήματος.

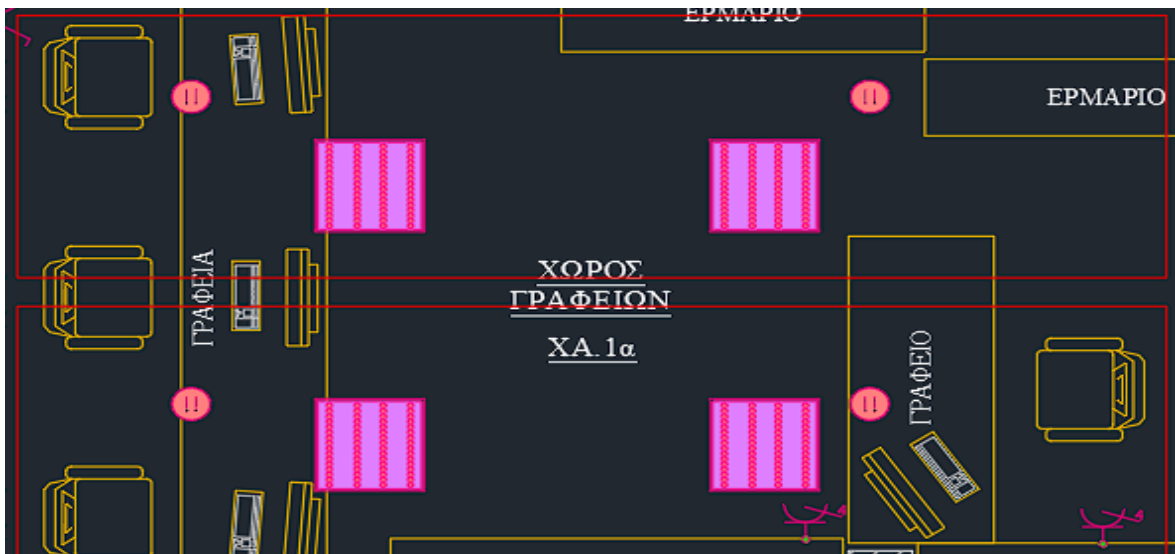
Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του server XP – 8000 αποσκοπεί στο να λαμβάνει μετρήσεις από το πολύμετρο και τους αισθητήρες του χώρου και να στέλνει εντολές στο IR module ή απευθείας στον έλεγχο του φωτισμού μέσω κώδικα C. Εφόσον το σύστημα BMS διαθέτει interface για τον χειρισμό των παραμέτρων από τον ίδιο το χρήστη έτσι και σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί μέσω είτε υπολογιστή είτε smart phone είτε touchpad να επέμβει στο σύστημα ρυθμίζοντας την επιθυμητή φωτεινότητα του χώρου και τη λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων.

Σύμφωνα με την ΚΕΝΑΚ και το πρότυπο του ΕΛΟΤ EN 15193:2008, οι αισθητήρες που απαιτείται να χρησιμοποιούνται στον χώρο θα πρέπει να είναι αισθητήρες κίνησης / παρουσίας με έναν αισθητήρα ανά δωμάτιο ή έναν αισθητήρα ανά 15 m² σε μεγάλους χώρους. Επιπλέον, για χρήσεις όπως ατομικά γραφεία ή γραφεία 2-4 ατόμων στις κατόψεις του κτηρίου θα πρέπει να προβλέπονται ξεχωριστοί διακόπτες για τους αισθητήρες παρουσίας. [2]

Σε αρχικό στάδιο λοιπόν επιλέγονται αισθητήρες ανίχνευσης παρουσίας για τον χώρο οι οποίοι θα τοποθετηθούν ακριβώς στην είσοδο του κάθε χώρου στο 1m από το επίπεδο του πατώματος. Με την είσοδο κάποιου χρήστη στον χώρο ο αισθητήρας ανιχνεύει την παρουσία του και έτσι ενεργοποιείται το σύστημα του φωτισμού στα συγκεκριμένα lux φωτεινής ροής που είναι προγραμματισμένο. Σε επόμενο στάδιο στο εσωτερικό του χώρου στο επίπεδο του ταβανιού προβλέπεται η εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού σε δύο στάθμες. Εφόσον ο κατασκευαστής δεν έχει την δυνατότητα αποτύπωσης της χωρικής τοπικότητας ενός αισθητήρα όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, για τους χώρους ΧΑ.2, ΧΑ.1α οι οποίοι έχουν παράθυρα και επομένως ο φυσικός φωτισμός είναι εφικτός, μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες φωτισμού στο ταβάνι στο κέντρο και στην απέναντι πλευρά του δωματίου χωρίζοντας έτσι το χώρο σε δύο φωτεινές ζώνες. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται ενδείξεις φωτεινής ροής τόσο στο κέντρο του χώρου (1^η ζώνη φωτισμού) όπου ο τεχνητός και ο φυσικός φωτισμός αλληλοεπιδρούν όσο και στο τέλος του χώρου (2^η ζώνη φωτισμού) όπου ο φυσικός φωτισμός επιδρά πολύ λιγότερο και ο τεχνητός θα πρέπει να λειτουργεί περισσότερο. Η τοποθέτηση των αισθητηρίων οργάνων για τους χώρους ΧΑ.2 και ΧΑ.1α απεικονίζονται στις Εικόνες 33 και 34 των κατόψεων του κτηρίου.



Εικόνα 33: Αισθητήρια όργανα ανίχνευσης φυσικού φωτισμού για τον χώρο ΧΑ.2.



Εικόνα 34 : Αισθητήρια όργανα ανίχνευσης φυσικού φωτισμού για τον χώρο ΧΑ1.α.

Για τους χώρους ΧΑ.3 και ΧΑ.1β που δεν έχουν παράθυρα και επομένως ο φυσικός φωτισμός δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί προβλέπεται η εγκατάσταση μόνο αισθητηρίων οργάνων ανίχνευσης παρουσίας έναν σε κάθε χώρο αντίστοιχα με ξεχωριστό διακόπτη το καθένα.

Το επόμενο εξάρτημα του συστήματος είναι το IR – 210 Universal Infrared Learning Remote Module. Αποτελείται από έναν πομπό ο οποίος εκπέμπει ένα σήμα, συγκεκριμένα την πληροφορία της φωτεινότητας από τους αισθητήρες και έναν αποκωδικοποιητή που λαμβάνει την πληροφορία και την αποκρυπτογραφεί σε lux. Η χρήση του πραγματοποιείται με τηλεχειριστήριο με δυνατότητα 176 εντολών και 6 διαφορετικά κανάλια εξόδου για ταυτόχρονη χρήση και αυτοματοποίηση των φωτιστικών αλλά και διαφόρων άλλων ηλεκτρικών συσκευών όπως οθόνες κλιματιστικά κλπ.

Το επόμενο και ίσως το σημαντικότερο κομμάτι του συστήματος είναι ο ασύρματος ελεγκτής σε συνδυασμό με τα αισθητήρια όργανα μέσω του συστήματος επικοινωνίας

Zigbee. Το Zigbee αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, χαμηλής ισχύος με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής ή αφαίρεσης από το δίκτυο τόσο των ελεγκτών όσο και κυκλωμάτων φωτισμού ανά πάσα στιγμή. Ο ελεγκτής συνδέεται με τους ρυθμιστές του φωτός (dimming ballasts) που αυτά με τη σειρά τους συνδέονται με τα LED. Με την ένδειξη των αισθητήρων δεδομένη η πληροφορία μεταφέρεται στον server και από εκεί στον ελεγκτή και στον υπολογιστή προς ενημέρωση του χρήστη μέσω του wifi για παράδειγμα. Ο ελεγκτής με τη σειρά του έχει αποθηκευμένες εντολές από κώδικα C όπως ακριβώς και στο παράδειγμα του Arduino (κώδικα Arduino) που αναφέρθηκε παραπάνω, οι οποίες συμφωνούν με τις ανάγκες του χρήστη. Ο ασύρματος ελεγκτής στο κύκλωμα απεικονίζεται στην Εικόνα 35.

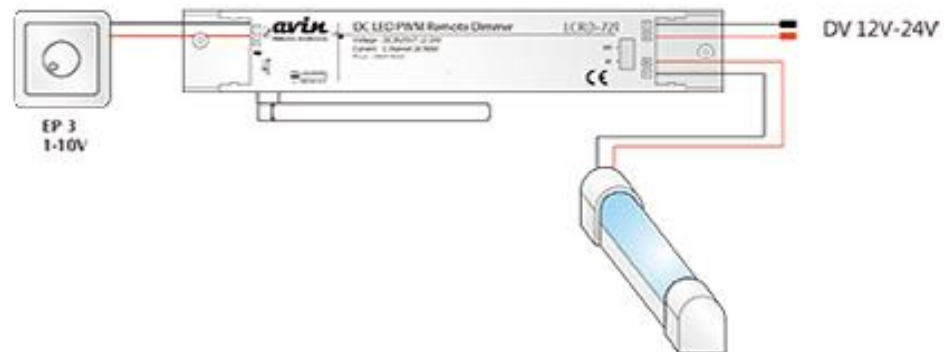


RS-232 Wireless Controller

Εικόνα 35: Ασύρματος ελεγκτής.

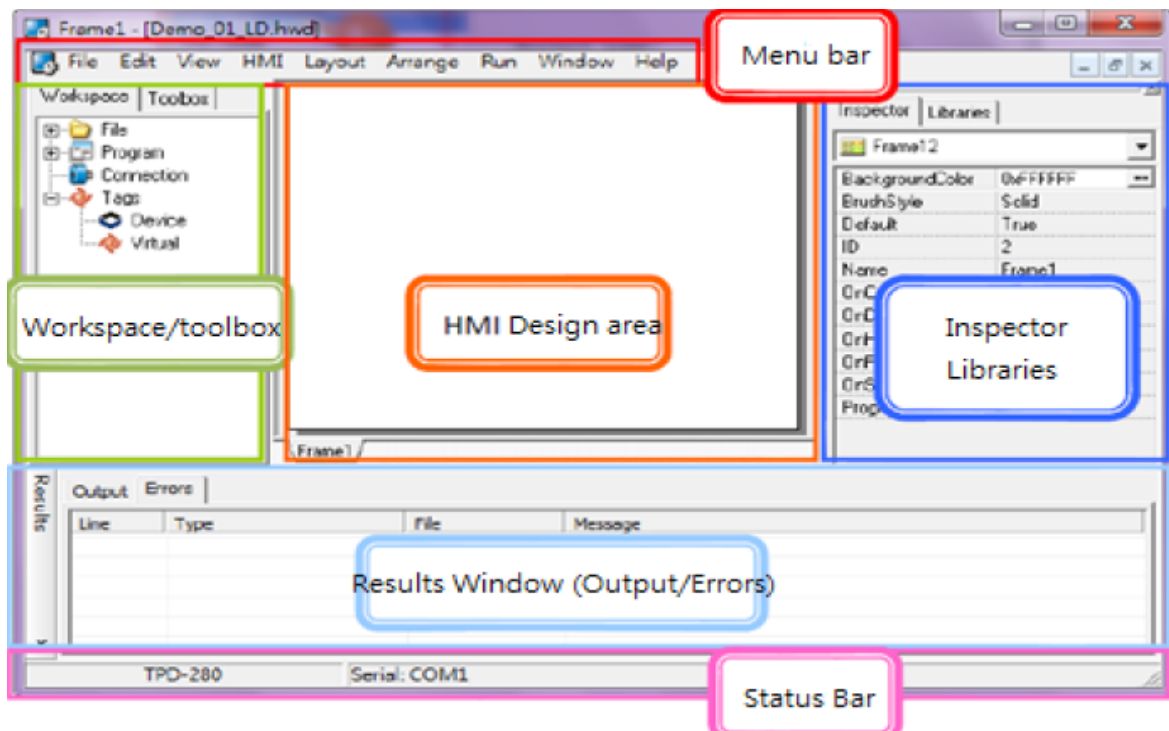
Έτσι ο ελεγκτής δεδομένων των παραμέτρων φωτεινότητας στο χώρο στέλνει εντολή για αύξηση ή μείωση του φωτισμού επικοινωνώντας με τα dimming ballasts και εκείνα με τη σειρά τους την εκτελούν στα φωτιστικά σώματα ρυθμίζοντας το ποσοστό του τεχνητού φωτισμού που απαιτείται. Το κύκλωμα του dimming ballasts φαίνεται στην Εικόνα 36.[23]

PWM LED Remote Dimmer



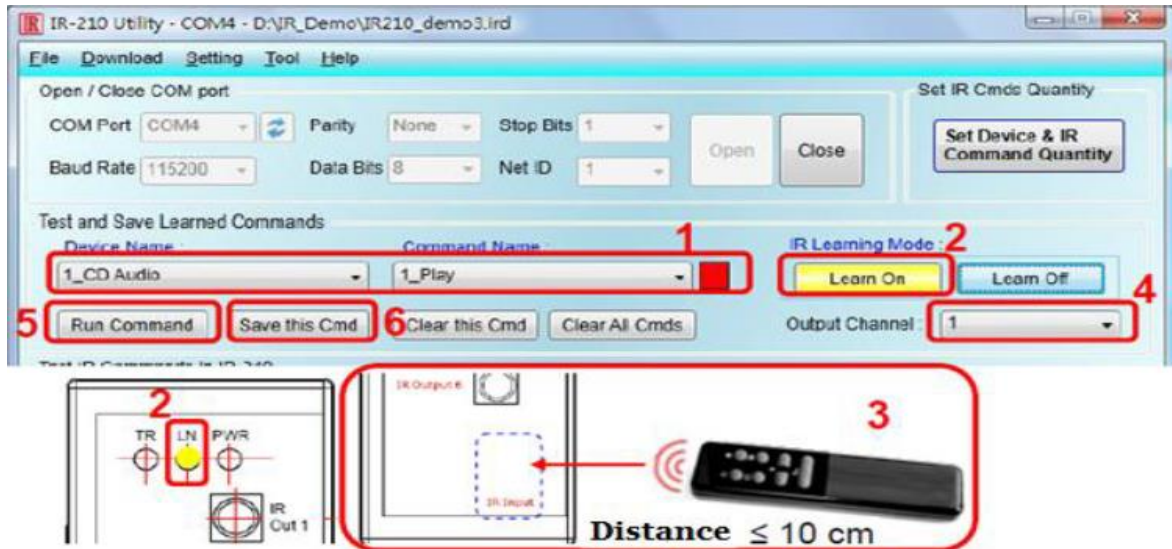
Εικόνα 36: Κύκλωμα ρυθμιστή φωτεινότητας.

Το όλο κύκλωμα επιβλέπεται από τον υπολογιστή ή το smart phone – touchpad. Η μελέτη των δεδομένων και η πιθανή εύρεση λαθών πραγματοποιείται με το λογισμικό HMIWorks, το μέσο από το οποίο ο χρήστης μπορεί να έρθει σε επαφή με το σύστημα BMS και πιθανόν να αλλάξει δεδομένα ανάλογα τις επιθυμίες του. Στο επίπεδο αυτό δημιουργείται ο κώδικας C για τη λειτουργία τόσο του server και του ελεγκτή καθώς επίσης πραγματοποιείται η απεικόνιση των δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα και οι κινήσεις του ελεγκτή σε μορφή διαγράμματος. Το λογισμικό HMIWorks απεικονίζεται στην Εικόνα 37.



Εικόνα 37: Παρουσίαση του HMIWorks λογισμικού.

Τέλος, χρησιμοποιείται στο κύκλωμα ένα IR learning module του οποίου ο χειρισμός γίνεται από τηλεχειριστήριο. Χρησιμοποιώντας τα RS – 232 / RS – 485 interfaces μπορεί ο χρήστης να χειριστεί τις παραμέτρους του module όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 38. [24]



Εικόνα 38: Παράθυρο χειρισμού IR learning module.

4.2 Εισαγωγή VRV συστήματος και αυτοματισμός ΚΚΜ

Στον παρόν υποκεφάλαιο θα προταθεί ένα σενάριο μονάδων παραγωγής ενέργειας για την κάλυψη των απαιτήσεων της εγκατάστασης των χώρων γραφείων. Ο στόχος είναι η υλοποίηση ενός συστήματος που συνδέει τα VRV συστήματα και την κεντρική κλιματιστική μονάδα (ΚΚΜ) που ήδη υπάρχει, οι οποίες λειτουργούν συνδυαστικά για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων, θερμικών φορτίων και φορτίων αερισμού που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Βασική προτεραιότητα του συστήματος θα είναι ανάλογα την απαίτηση φορτίου που είναι υπολογισμένη να τίθενται σε λειτουργία τόσο τα VRV όσο και η ΚΚΜ που καλύπτουν την απαίτηση φορτίου αλλά με τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης ώστε στο σύνολο της η διάταξη ελέγχου με το BMS σύστημα να πληροί η εγκατάσταση την κατηγορία Α όπως αυτή αναγράφεται στο ΚΕΝΑΚ.

Τα συστήματα VRV είναι συστήματα κλιματισμού μεταβλητού όγκου ψυκτικού μέσου freon για θέρμανση και ψύξη χώρων. Μια εγκατάσταση θέρμανσης – ψύξης χώρων με VRV αποτελείται από :

- Αντλία θερμότητας με συμπιεστή τεχνολογίας inverter.
- Εσωτερικές μονάδες χώρων.

- Δίκτυο σωληνώσεων χαλκού για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου freon.
- Δίκτυο απορρόφησης των συμπυκνωμάτων των εσωτερικών μηχανημάτων.

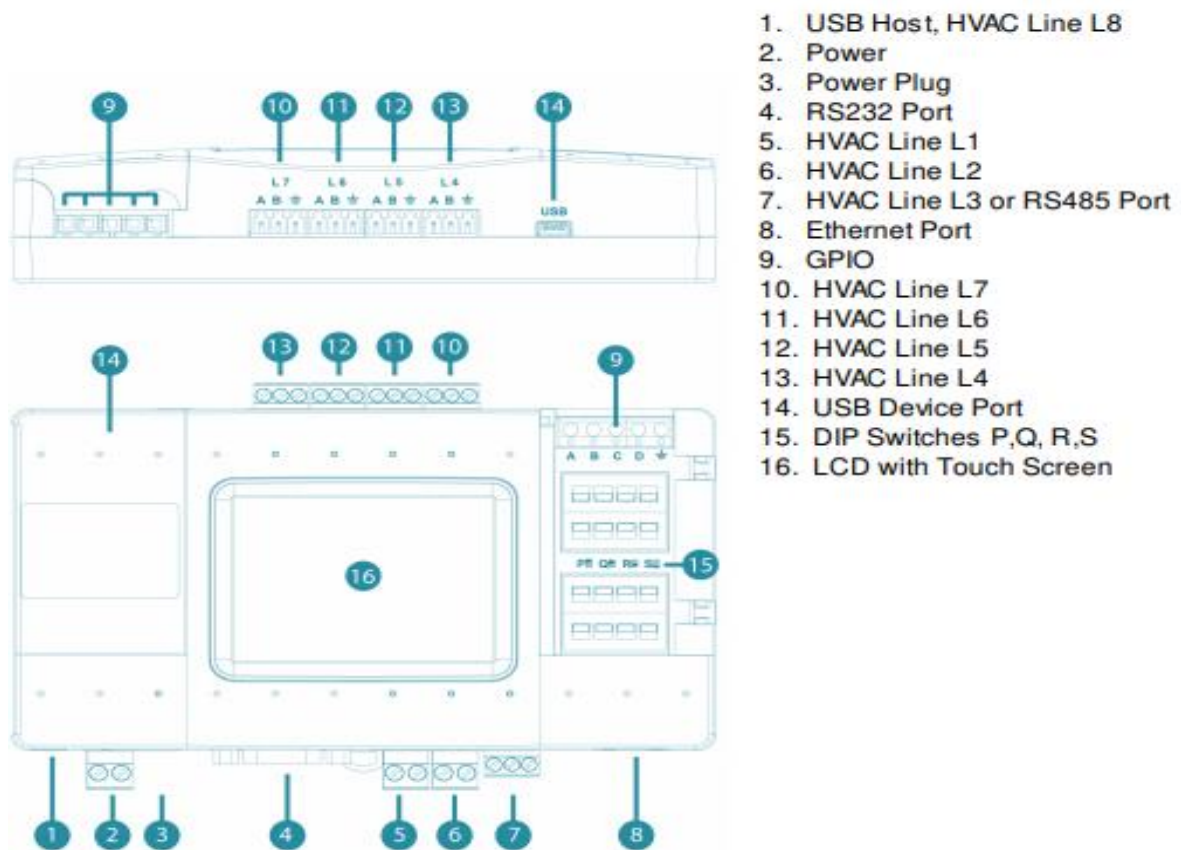
Ο συμπιεστής inverter έχει τη δυνατότητα λειτουργίας με μεταβαλλόμενο αριθμό στροφών, ανάλογα με τη συχνότητα που δέχεται ο κινητήρας του, μεταβάλλοντας έτσι τη ροή του ψυκτικού μέσου freon. Το αισθητήριο που είναι ενσωματωμένο στην εσωτερική μονάδα του συστήματος ανιχνεύει τη θερμοκρασία του δωματίου και τη διαβιβάζει στο σύστημα ελέγχου – αυτοματισμού της μονάδας που δίνει οδηγίες στο σύστημα inverter με την επιλογή της κατάλληλης συχνότητας περιστροφής. Το σύστημα inverter επιλέγει την κατάλληλη συχνότητα λειτουργίας του συμπιεστή του κλιματιστικού μηχανήματος μεταβάλλοντας την ψυκτική – θερμική απόδοση αντίστοιχα του κλιματιστικού μηχανήματος βάσει των φορτίων του χώρου. Η μονάδα λειτουργεί σε υψηλά rpm (στροφές συμπιεστή) σε μεγάλες διαφορές εσωτερικής θερμοκρασίας και επιθυμητής, ενώ σε μικρές διαφορές θερμοκρασίας αντί να λειτουργεί σε πλήρη ισχύ ρυθμίζει την λειτουργία του συμπιεστή σε συγκεκριμένες στροφές μεταβάλλοντας έτσι τη ροή το ψυκτικού μέσου freon. Με την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας το inverter ελαττώνει σταδιακά την ισχύ του. Η επιλογή των VRV γίνεται λόγω του ότι σε λειτουργία χαμηλής ισχύος κλιματιστικού 30 Hz συχνότητας επιτυγχάνεται εύκολα η επιθυμητή θερμοκρασία στο χώρο σε αντίθεση με τα κοινά κλιματιστικά FCU που λειτουργούν στα 50 Hz ξοδεύοντας πρόσθετη ισχύ κιάλας με την επαναλαμβανόμενη λειτουργία on – off. Επιπλέον, είναι προτιμητέα καθώς σημαντική διαφορά με ένα κοινό κλιματιστικό είναι η διαφορά στην ισχύ και την κατανάλωση ενέργειας κατά την εκκίνηση του συστήματος. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση λοιπόν, εκμεταλλευόμενοι την δυνατότητα σύνδεσης πολλών εσωτερικών μονάδων σε μια εξωτερική, προτείνεται στην εγκατάσταση μια εξωτερική μονάδα και 4 εσωτερικές όσοι είναι και οι χώροι του ορόφου με δυνατότητα inverter. Η λειτουργία των VRV αποσκοπεί στην κάλυψη του 50% των ψυκτικών – θερμικών απαιτήσεων του κτηρίου καθώς το υπόλοιπο 50% θα καλυφθεί από την ΚΚΜ, η οποία έχει τη δυνατότητα προσαγωγής στο χώρο ψυχρού ή θερμού αέρα. Από μόνο του ένα σύστημα VRV με δυνατότητα inverter και έλεγχο ανά χώρο ανήκει στην κατηγορία Β βάσει των δεδομένων της τεχνικής οδηγίας όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Κατάταξη συστήματος VRV με μηχανισμό inverter.

Κριτήριο	Περιγραφή	Κατηγορία
1B	Έλεγχος ανά χώρο	B
2	Αντιστάθμιση (για μονάδες inverter)	B
3	Συμπιεστής inverter	B
4	Δεν εξετάζεται	-
Τελική κατάταξη		B

Προκειμένου η εγκατάσταση να ανέβει κατηγορία αυτοματισμού (κατηγορία αυτοματισμού A) θα πρέπει να εγκατασταθούν ανιχνευτές παρουσίας σε κάθε χώρο που να ελέγχουν την αντίστοιχη τοπική μονάδα του χώρου και επιπλέον να έχει το σύστημα διατάξεις ελέγχου της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου ανάλογα με το φορτίο του χώρου (με έλεγχο του ρυθμού μεταβολής της θερμοκρασίας του χώρου). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αυτονομία ανά το χώρο και ταυτόχρονα επίβλεψη του κάθε χώρου. Σε αυτό το σημείο γίνεται χρήση του συστήματος BMS. Οι ανιχνευτές παρουσίας που χρησιμοποιήθηκαν για το φωτισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την έναρξη του συστήματος του VRV. Η πληροφορία για την είσοδο κάποιου στο χώρο σε συνδυασμό με την θερμοκρασία του χώρου που λαμβάνεται από αισθητήρα θερμοκρασίας στο χώρο ή τον θερμοστάτη, μεταφέρονται στον ασύρματο ελεγκτή. Στον ασύρματο ελεγκτή περιέχεται η πληροφορία των αισθητηρίων οργάνων καθώς και γραμμένος κώδικας για τη λειτουργία του συστήματος. Ταυτόχρονα, πρόσβαση στα δεδομένα του συστήματος έχει και ο χρήστης από υπολογιστή όπως αναφέρεται και παραπάνω είτε ακόμα και από smart phone – tablet. Από το λογισμικό μπορεί επίσης να ανιχνευτεί με βάσει τις μετρήσεις και τη λειτουργία του συστήματος πιθανά προβλήματα του συστήματος ώστε να υπάρξει άμεση επέμβαση.

Για το BMS που θα χρησιμοποιηθεί η συσκευή CoolMasterNet, η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 39.

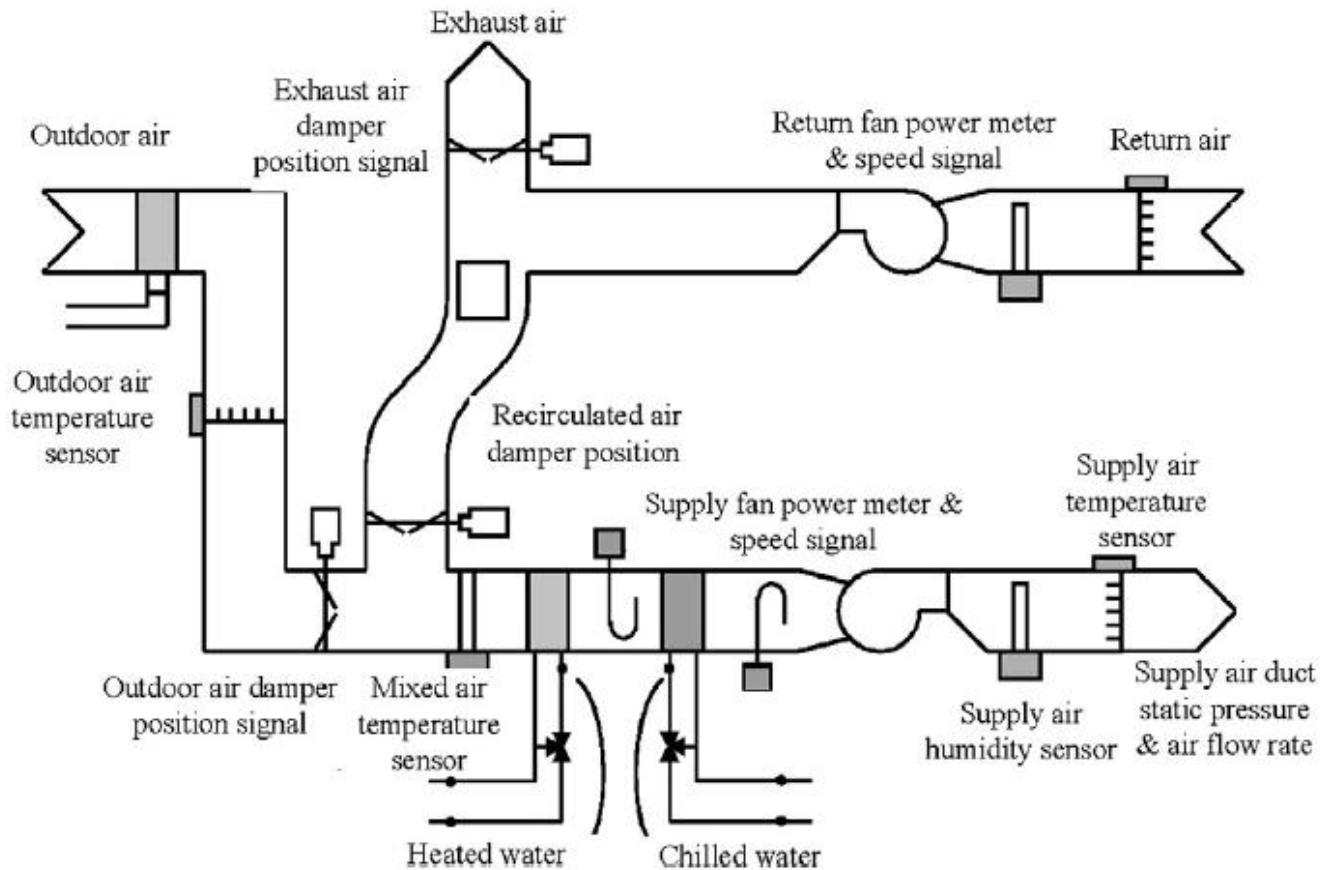


1. USB Host, HVAC Line L8
2. Power
3. Power Plug
4. RS232 Port
5. HVAC Line L1
6. HVAC Line L2
7. HVAC Line L3 or RS485 Port
8. Ethernet Port
9. GPIO
10. HVAC Line L7
11. HVAC Line L6
12. HVAC Line L5
13. HVAC Line L4
14. USB Device Port
15. DIP Switches P,Q, R,S
16. LCD with Touch Screen

Εικόνα 39: Συσκευή CoolMasterNet.

Έχει πρόσβαση στα περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός BMS συστήματος, με δυνατότητα σύνδεσης σε RS232 / RS485 interfaces και γλώσσα κώδικα για τον server, ο οποίος είναι η βάση του συστήματος, βασισμένη στον ASCII κώδικα. Συνοπτικά η πληροφορία από τα αισθητήρια όργανα που αφορά την θερμοκρασία του χώρου και την υγρασία του αέρα θα περνούν στον server και από εκεί στην LCD απεικόνιση για τον χρήστη. Από τον server η πληροφορία περνά ταυτόχρονα και στον ελεγκτή ο οποίος δρα ενεργοποιώντας το σύστημα βάσει του κώδικα που είναι προγραμματισμένος να κάνει εκτός αν χρήστης αλλάξει τις επιθυμητές παραμέτρους.

Το υπόλοιπο 50% των ψυκτικών φορτίων της εγκατάστασης θα καλυφθεί από την κεντρική κλιματιστική που υπάρχει στο κτήριο. Η ΚΚΜ όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω έχει την δυνατότητα να καλύπτει και φορτία ψύξης και θέρμανσης με προ κλιματισμό του αέρα του χώρου. Η κεντρική κλιματιστική μονάδα που θα χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση απεικονίζεται στο Διάγραμμα 10.



Διάγραμμα 10: Σχηματικό διάγραμμα κεντρικής κλιματιστικής μονάδας.

Το προϊόν της κλιματιστικής μονάδας είναι θερμαινόμενος ή ψυχρός αέρας που αποσκοπεί στην κάλυψη των ψυκτικών – θερμικών απαιτήσεων στο χώρο καθώς και τον αερισμό εξ' ολοκλήρου του χώρου. Η λειτουργία της συγκεκριμένης κεντρικής κλιματιστικής μονάδας ξεκινάει με την προσαγωγή στην κλιματιστική μονάδα του εξωτερικού αέρα συγκεκριμένης θερμοκρασίας που ελέγχεται από αισθητήριο όργανο θερμοκρασίας. Στη συνέχεια, ο αέρας περνά στη διαδικασία θέρμανσης ή ψύξης του μέσω δικτύου ζεστού - κρύου νερού, του οποίου η θερμοκρασία ελέγχεται από αισθητήρια όργανα θερμοκρασίας. Όταν η θερμοκρασία του νερού φτάσει στην επιθυμητή (setpoint), οι τρίοδες βάνες λαμβάνουν σήμα από τον ελεγκτή και κλείνουν αποτρέποντας την δίοδο νερού. Σε επόμενο στάδιο, ο θερμός – ψυχρός αέρας μεταφέρεται μέσω ανεμιστήρα στο

δίκτυο των αεραγωγών. Ο ανεμιστήρας ελέγχεται από μια παράμετρο που μεταβάλλει τις στροφές και την συχνότητα του ανεμιστήρα ανάλογα τον αέρα που πρέπει να προσαχθεί στο χώρο (Variable Frequency Driver - VFD). Σε τελικό στάδιο, ο αέρας του χώρου εισέρχεται στην κεντρική κλιματιστική από τον αεραγωγό απαγωγής, η θερμοκρασία του οποίου προσμετράτε. Ο αέρας απαγωγής περνά από ανεμιστήρα στο δοχείο πρόσμιξης με τον εξωτερικό αέρα. Ο σκοπός της ανακυκλοφορίας του αέρα είναι η μεταφορά θερμότητας του ήδη θερμού – ψυχρού αέρα στον εξωτερικό αέρα που προσάγεται στην κλιματιστική, ώστε να μην απαιτείται η ίδια κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση ή την ψύξη του αέρα από την κλιματιστική μονάδα.

Για τον έλεγχο της λειτουργίας της κεντρικής κλιματιστικής και την σύνδεση της με το σύστημα BMS χρησιμοποιούνται αισθητήρια όργανα θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και PI ελεγκτές για την ρύθμιση της ταχύτητας των ανεμιστήρων της ΚΚΜ. Η συλλογή των δεδομένων από τα αισθητήρια όργανα αποτυπώνεται σε υπολογιστή και αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων με μετρήσεις να πραγματοποιούνται ανά 5 λεπτά. Οι καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία της κεντρικής κλιματιστικής όπως τη διάρκεια λειτουργίας της ή το άνοιγμα των περσίδων που επιτρέπουν τη ροή του αέρα. Οι ηλεκτροβάνες που χρησιμοποιούνται επίσης μπορούν να μεταβάλλουν τη λειτουργία τους και επομένως την ροή του θερμαινόμενου – ψυχρού μέσου ανάλογα τις καιρικές συνθήκες. Στο BMS σύστημα που υλοποιείται οι PI λογικοί ελεγκτές που χρησιμοποιούνται είναι υπεύθυνοι μέσω αλγόριθμου που είναι προγραμματισμένοι να προσαρμόζουν τη λειτουργία των ανεμιστήρων και των αγωγών αέρα βάσει των δεδομένων που λαμβάνουν από τα αισθητήρια όργανα. Το BMS σύστημα που υλοποιήθηκε για τον έλεγχο της ψύξης και της θέρμανσης της εγκατάστασης καθώς και ο συνδυασμός του συστήματος VRV και ΚΚΜ με 50% λειτουργία έκαστο σύστημα μπορεί να αποφέρει έως 60% εξοικονόμηση ενέργειας στην εγκατάσταση (40% εξοικονόμηση από το σύστημα VRV καθώς και 20% εξοικονόμηση από την ΚΚΜ αθροιστικά). [25]

Τέλος, η ΚΚΜ έχει τη δυνατότητα να ενεργοποιείται, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες για δροσισμό του κτηρίου, δηλαδή εάν ανιχνευτεί στον θερμοστάτη πως η θερμοκρασία του χώρου είναι μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος τις ώρες που ο χώρος γραφείων δεν χρησιμοποιείται, τότε η κεντρική κλιματιστική μονάδα αερίζει τον χώρο ώστε το επόμενο πρωί να υπάρχει άνεση στον χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η παρουσίαση κάποιων στοιχειωδών εννοιών του BMS συστήματος και η προσπάθεια υλοποίησής τους σε μια παρούσα εγκατάσταση ώστε να αναβαθμιστεί σε κατηγορία αυτοματισμού A όπως αυτή αποδίδεται από το πρότυπο του KENAK στους τομείς του φωτισμού, ψύξης – θέρμανσης, αερισμού του κτηρίου. Απαραίτητα για τη δομή ενός BMS συστήματος είναι τα αισθητήρια όργανα, οι ελεγκτές που καθοδηγούνται από κώδικα, ένας υπολογιστής που συλλέγονται και επιβλέπονται τα δεδομένα και οι ενεργοποιητές για την έναρξη των συστημάτων καθοδηγούμενα από τον ελεγκτή ή τον χρήστη. Στον κτηριακό τομέα σήμερα εμφανίζεται μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση, η οποία επηρεάζει το βιοτικό και εργασιακό επίπεδο του χρήστη και επηρεάζει άμεσα και το περιβάλλον. Για αυτόν τον λόγο η αναβάθμιση των κτηρίων ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα σύμφωνα με τα πρότυπα του KENAK αλλά και η εφαρμογή τεχνικών αυτοματισμού συμβάλλουν στην μικρότερη κατανάλωση των κτηρίων. Για την υλοποίηση ενός αποδοτικού συστήματος πέρα από την αναβάθμιση του εξοπλισμού όπως φωτιστικά, κλιματιστικά σώματα σημαντική είναι και η σωστή τοποθέτηση τους αλλά και συντήρησή τους. Σε αυτό το σημείο, η εφαρμογή ενός BMS συστήματος μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο με την επίβλεψη και την μελέτη των αποτελεσμάτων που καταγράφονται καθημερινά από τα αισθητήρια όργανα δίνοντας τη δυνατότητα για έγκαιρη και αποτελεσματική παρέμβαση στο σύστημα από τον χρήστη. Η συγκεκριμένη διπλωματική αποτελεί μια πρόταση ενός συστήματος διαχείρισης κτηρίου σε θεωρητικό επίπεδο. Τα σενάρια που αποτυπώθηκαν είναι βασισμένα στην μελέτη ενός κτηρίου και τις απαιτήσεις του και αποτελούν πάνω από όλα πρόταση. Θα μπορούσαν να παρουσιαστούν και διαφορετικά ίσως με διαφορετικό εξοπλισμό πιο εξελιγμένο ή πιο οικονομικό. Το σίγουρο είναι πως στο κομμάτι του αυτοματισμού το κτήριο απέκτησε αυτονομία ανά το χώρο, οι μεταβλητές της θερμοκρασίας – υγρασίας, αέρα στο εσωτερικό του χώρου και φωτεινότητας επιβλέπονται και το κτήριο ανήκει στην κατηγορία A αυτοματισμού. Επιπλέον, με τον έλεγχο όλης της εγκατάστασης αποτρέπεται η περιττή λειτουργία των μηχανημάτων και εξοικονομείται ενέργεια που μπορεί να αναβαθμίσει δραστικά τις συνθήκες ποιότητας ζωής των πολιτών τουλάχιστον σε θεωρητικό επίπεδο. Για την αποτελεσματική απόδοση ενός τέτοιου συστήματος σημαντική είναι η εμπειρία, η

εκπαίδευση και η τεχνογνωσία αφού οι δυσκολίες δόμησης ενός τέτοιου συστήματος είναι πολλές, ποικίλουν και επηρεάζονται από αλλαγές των καιρικών συνθηκών. Ο κλάδος των αυτοματισμών στα κτήρια είναι ακόμα στην αρχή και εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς με σκοπό την προσφορά τόσο άνεσης και διευκόλυνσης με όσο το δυνατότερο χαμηλότερο κόστος και επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Παπαδόπουλος Δ., “Διερεύνηση ενεργειακών απαιτήσεων και θερμογραφικός έλεγχος διατηρητέου κτηρίου για ενεργειακή αναβάθμιση”, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λεμεσός, 2013.
- [2] “ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ”, Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γενική γραμματεία ενέργειας και ορυκτών πόρων, Α΄ έκδοση.
- [3] Ιγνάτιος - Δημήτριος Κ., “Καλώδια Μέσης Τάσης”, ΤΕΙ Καβάλας, Καβάλα, 2000.
- [4] Χατζηθανάσης Γ., “Μελέτη φωτισμού δρόμου υπό το πρίσμα της μεσοπικής όρασης”, Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, Φεβρουάριος 2003.
- [5] Καμπίτσης Κ., “Θερμική άνεση σε κτίρια γραφείων”, Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2010.
- [6] ΚΑΠΕ, “ΕΡΓΟ «Ανέγερση κτιριακού συγκροτήματος της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας»”, Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, 2013.
- [7] Costa A., Raymond S., Blanes L., Howley M., Keane M.M., “A SWOT FRAMEWORK TO INVESTIGATE THE INTERGRATION BETWEEN BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS AND FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS TOOLS”, International Conference on Applied Energy ICAE, Pretoria, South Africa, Jul 1-4, 2013, Paper ID : ICAE2013-199.
- [8] Καλοβρέκτης Κ., Κατέβας Ν., “Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου”, Δεύτερη έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, 2013.
- [9] Davies M. G., “Definitions of Room Temperature”, Building and Environment, Great Britain, 1993, vol. 28, no. 4 ,pp. 383-398.
- [10] Ραφτοπούλου Μ. “Internet of Things: Έξυπνος θερμοστάτης”, Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, Ιούνιος , 2016.
- [11] Ding Z., Zhang Z., Luu V.H., “Designing og Programmable Logic Controller for Intelligent Power Saving System”, Bozhou Vocational and Technical College, Hefei Juhui Information Technology, Maritime College No 1, Haiphong, China, Vietnam, pp 118 - 126.

- [12] Κουλός Α., “Αυτοματισμός παρακολούθησης διεργασιών εργαστηρίου κατασκευής πλαστικών ειδών”, Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2020.
- [13] Djuric N., Novakovic V., Frydenlund F., “Heating system performance estimation using optimization tool and BEMS data”, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1367 - 1376, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of Energy and Process Technology, Kolbjorn Hejes v. IB, NO – 7491 Trondheim, Norway, SINTEF Energy Research, NO – 7465 Trondheim, Norway, December 23, 2007.
- [14] Kusiak A., Li M., “Cooling output optimization of an air handling unit”, *Applied Energy* 87, Department of Mechanical and Industrial Engineering, The university of Iowa, United States, 2010, pp 901 – 909.
- [15] Song Y., Akashi Y., Yee J., “A development of easy-to-use tool for fault detection and diagnosis in building air-conditioning systems”, *Energy and Buildings* 40, Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University, Japan, Faculty of Architectural Design & Engineering, Dong-A University, Republic of Korea, 2008, pp 71-82.
- [16] Pakanen J. E., Sundquist T., “Automation – assisted fault detection of an air – handling unit; implementing the method in a real building”, *Energy and Buildings* 35, VTT Building and transport Oulu, Finland, 2003, pp 193 – 202.
- [17] Doulos L., Tsangrassoulis A., Topalis F., “Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts.”, *Energy and Buildings* 40, National University of Athens, January 22, 2007, pp. 36-50.
- [18] Mistrick R., Chen C.H., Bierman A., Felts D., “A comparison of Photosensors – Controlled Electronic Dimming Systems in a Small Office”, in *Journal of the Illuminating Engineering Society* 19, September 2013, pp 66-80.
- [19] Bierman A., Pysar R., Figueiro M., “Development and Demonstration of an Improved, Energy – Efficient, Photosensor Lightning Control”, New York, March 31, 2003
- [20] Orozco L., “Programmable – Gain Transimpedance Amplifiers Maximize Dynamic Range in Spectroscopy Systems”, May, 2013.
- [21] Sharma K.L.S., “Data Acquisition and Control Unit”, in *Overview of Industrial Process Automation (Second Edition)*, 2017.

- [22] Li Z., Li J., Yang Y., Xiao J., Xu B., "Design of Office Intelligent System Based on Arduino", 3rd International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics (ICMIR - 2019), Procedia Computer Science 166, Kunming University of Science & Technology, Xidian University, China, 2020, pp 134 – 138.
- [23] Mistrick R., Casey C., Chen I., Subramaniam S., "Computer Modeling of Daylight – Integrated Photocontrol of Electric Lighting Systems", Buildings, Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, USA, 2015, May, vol 5., pp 449 – 466.
- [24] Yanfei L., Cheng W., Xiaojun Q., Yunhe Z., Chengbo y., "An improved design of ZigBee Wireless Sensor Network," 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, Beijing, 2009, pp. 515-518, doi: 10.1109/ICCSIT.2009.5234655.
- [25] Sung W.T., Lin J.S., "Design and Implementation of a Smart LED Lightning System Using a Self Adaptive Data Fusion Algorithm", Sensors 2013, Department of Electrical Engineering, National Chin – Yi University of Technology, Taiwan, 2013, December, vol 13., pp 16915 – 16939.
- [26] Li S., Wen J., "Application of pattern matching method for detecting faults in air handling unit system", Automation in Construction 43, School of Marine and Civil Engineering, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, Philadelphia, USA – China, 2014, pp 49 – 58.