

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας κτιρίου σύμφωνα με τις
προδιαγραφές CEN με χρήση του πρωτοκόλλου KNX / EIB

Μήτσιος Ιωάννης

Εξεταστική Επιτροπή:

Σταυρακάκης Γεώργιος (επιβλέπων)

Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Πουλιέζος Αναστάσιος (Μ.Π.Δ)

Χανιά 2008

Ευχαριστώ τον Καθηγητή μου κ. Σταυρακάκη Γεώργιο καθώς και την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Κολοκοτσά Διονυσία που με βοήθησαν να ολοκληρώσω αυτή την εργασία.

Επίσης ευχαριστώ τον Καθηγητή Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο και τον Καθηγητή του τμήματος Μ.Π.Δ. Πουλιέζο Αναστάσιο για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή. Επιπροσθέτως, ευχαριστώ τον κ. Πουλιέζο για τη δυνατότητα που μου έδωσε να χρησιμοποιήσω τον εξοπλισμό του εργαστηρίου το οποίο διευθύνει (Εργαστήριο Ελέγχου Βιομηχανικών Συστημάτων του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης).

Περίληψη

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη και υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας σε κτίρια ακολουθώντας τις οδηγίες CEN για θερμική και οπτική άνεση, καθώς και για καλή ποιότητα αέρα (ως προς τη συγκέντρωση CO₂). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί στο έπακρον τεχνικές παθητικής ψύξης και θέρμανσης καθώς και το φυσικό φωτισμό του χώρου με απώτερο σκοπό τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας.

Η σχεδίαση περιλαμβάνει τη χρήση της τεχνολογίας των διαύλων δικτύωσης κτιρίων και συγκεκριμένα το πρωτόκολλο KNX / EIB. Το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο αισθητήρων, ενεργοποιητών καθώς και από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που αναλαμβάνει το ρόλο του ελεγκτή.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση ενός αυτόνομου συστήματος ελέγχου τόσο για τη ρύθμιση των κατά CEN κλιματικών συνθηκών όσο και για τη βέλτιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Πρόκειται για δύο παράγοντες οι οποίοι ναι μεν είναι αντικρουόμενοι (μιας και πρέπει πολλές φορές να «θυσιάσουμε» λίγο από το πρώτο εις βάρος του δεύτερου και αντίστροφα), είναι όμως εξίσου σημαντικοί.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	9
1. Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Κτίρια.....	11
1.1 Γενικά	11
1.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας	11
1.2.1 Γενικά	11
1.2.2 Κατανάλωση Ενέργειας	12
1.2.3 Κοινοτική Οδηγία	13
1.2.4 Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης σε Κτίρια	15
1.3 Έξυπνα Κτίρια και Διαχείριση Ενέργειας	16
1.3.1 Γενικά	16
1.3.2 Η Ανάπτυξη των BEMS (Buildind Energy Management Systems)	17
1.3.3 Κατανεμημένα Συστήματα Δικτύων Ελέγχου	20
1.3.4 Έξυπνες Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις	23
2. Το πρωτόκολλο KNX/EIB	25
2.1 Γενικά	25
2.2 Στοιχεία της Αρχιτεκτονικής του KNX.....	26
2.3 Τρόποι Μετάδοσης	27
2.3.1 Μετάδοση μέσω συνεστραμμένου ζεύγους	28
2.3.2 Ασύρματη Μετάδοση	30
2.3.3 Μετάδοση με χρήση γραμμής ισχύος	31
2.2.4 Μετάδοση μέσω Ethernet	32

2.4	Τοπολογία και Οργάνωση Διαύλου	33
2.5	Μετάδοση Πληροφορίας – Τηλεγραφήματα.....	35
2.6	Συνδρομητές Διαύλου.....	36
3.	Εγκατάσταση KNX / EIB στο Πολυτεχνείο Κρήτης.....	38
3.1	Εγκατάσταση στο Ε.Η.Κ.Α.Π.Ε.....	38
3.2	Εγκατάσταση στο Εργαστήριο Ελέγχου Βιομηχανικών Συστημάτων.....	38
3.2.1	Αισθητήρες	41
3.2.2	Ενεργοποιητές.....	47
3.2.3	Άλλες συσκευές	54
3.2.4	Κόστος εγκατάστασης	57
3.3	Εργαλεία λογισμικού.....	59
3.3.1	Το λογισμικό ETS (EIB Tool Software).....	59
3.3.2	EIB OPC Server	64
3.3.3	Matlab.....	65
4.	Οι Οδηγίες CEN για Διαχείριση Ενέργειας σε Κτίρια	67
4.1	Γενικά	67
4.2	Σκοπός	68
4.3	Προτεινόμενα Κριτήρια για Θερμική Άνεση.....	70
4.3.1	Αποδεκτές Εσωτερικές Θερμοκρασίες	70
4.3.2	Προτεινόμενες Εσωτερικές Θερμοκρασίες για Ενεργειακούς Υπολογισμούς	73
4.4	Αρχές Κριτηρίων για Ροή και Ποιότητα Αέρα	74
4.4.1	Μέθοδος Αερισμού Βασισμένη στον Παράγοντα «Άτομο-Κτίριο»....	74
4.4.2	Μέθοδος Βασισμένη στον Αερισμό «Ανά Άτομο» και «Ανά m ² ».....	78

4.4.3	Προτεινόμενες Τιμές Συγκέντρωσης CO ₂	78
4.4.4	Προτεινόμενοι Παράγοντες Σχεδίασης για Οικίες	79
4.5	Προτεινόμενα Κριτήρια για Ύγρανση / Ξήρανση	81
4.6	Προτεινόμενα Κριτήρια για Οπτική Άνεση.....	81
4.7	Προτεινόμενα Κριτήρια για Ακουστική Άνεση	83
4.8	Κριτήρια Καθορισμού Κτιρίου ως «Χαμηλής» και «Πολύ Χαμηλής» Ρύπανσης	85
5.	Έλεγχος Οπτικής Άνεσης.....	86
5.1	Γενικά	86
5.2	Έλεγχος Σκιάστρων	88
5.3	Έλεγχος Φωτιστικών	90
6.	Έλεγχος Θερμικής Άνεσης και Ποιότητας Αέρα.....	92
6.1	Γενικά	92
6.2	Έλεγχος Εσωτερικής Θερμοκρασίας	93
6.2.1	Παρουσίαση Ελεγκτή για τα Κριτήρια CEN.....	93
6.2.2	Παρουσίαση Ελεγκτή για τους Ενεργειακούς Υπολογισμούς.....	96
6.2.3	Σύγκριση Ελεγκτών ως προς την Κατανάλωση Ενέργειας	98
6.3	Έλεγχος Εσωτερικής Θερμοκρασίας και Ποιότητας Αέρα.....	98
7.	Πειραματικές Μετρήσεις.....	101
7.1	Γενικά	101
7.2	Θερμική Άνεση και Ποιότητα Αέρα.....	101
7.2.1	Μετρήσεις από 22-08-08 23.00μμ έως 23-08-08 23.00μμ.....	103
7.2.2	Μετρήσεις από 27-08-08 19.30μμ έως 28-08-08 15.15μμ.....	105

7.2.3	Μετρήσεις από 28-08-08 15.30μμ έως 29-08-08 15.30μμ.....	107
7.2.4	Μετρήσεις από 29-08-08 16.30μμ έως 30-08-08 16.30μμ (2ος Ελεγκτής).....	109
7.3	Οπτική Άνεση	111
7.3.1	Μετρήσεις από 11-09-08 20.30μμ έως 12-09-08 20.30μμ.....	112
7.3.2	Μετρήσεις από 14-09-08 20.30μμ έως 15-09-08 20.30μμ.....	114
8.	Αξιολόγηση του Συστήματος.....	116
8.1	Ερωτηματολόγιο	116
8.2	Στατιστική Ανάλυση των Αποτελεσμάτων	118
8.3	Πιθανές Βελτιώσεις του Τρέχοντος Συστήματος	123
9.	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	125
9.1	Συμπεράσματα	125
9.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις	125
	Βιβλιογραφία.....	127

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μια συνεχή προσπάθεια για εύρεση νέων λύσεων πάνω σε ζητήματα ενέργειας. Η προσπάθεια αυτή, υποκινούμενη από παράγοντες όπως η αύξηση του κόστους των ενεργειακών πόρων, η διαρκής μείωση των αποθεμάτων τους, η ανεξέλεγκτη ρύπανση του περιβάλλοντος αλλά και οι παγκόσμιες κλιματολογικές αλλαγές, στρέφεται κυρίως στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ή/και άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. πυρηνική ενέργεια) και στην αποδοτικότερη χρήση της κατανάλωσης ενέργειας.

Η ραγδαία ανάπτυξη στους τομείς της Πληροφορικής και της Ηλεκτρονικής είναι ένας πολύ μεγάλος σύμμαχος όλης της επιστημονικής κοινότητας που έρχεται αντιμέτωπη με ενεργειακά ζητήματα. Από τη μία, η ανάπτυξη της Πληροφορικής και της Τεχνητής Νοημοσύνης μας έχουν εφοδιάσει με ένα πλήθος αλγορίθμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα αυτοματισμού. Από την άλλη, η ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής μας εφοδίασε με αξιόπιστα και κυρίως φθηνά ηλεκτρονικά εξαρτήματα όπως αισθητήρες, μικροελεγκτές/μικροεπεξεργαστές. Ο συνδυασμός των δυο παραπάνω οδήγησε στην ιδέα αλλά και υλοποίηση των λεγόμενων «έξυπνων κτιρίων». Πρόκειται για κτίρια τα οποία εξασφαλίζουν αυτόνομα θερμική και οπτική άνεση, καλή ποιότητα και ροή αέρα με τη βέλτιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Ο έλεγχος του μικροκλίματος του κάθε κτιρίου σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε είτε να «υπακούει» σε διεθνής προδιαγραφές (π.χ. ASHRAE, CEN, κτλ) είτε να καλύπτει τις απαιτήσεις των ανθρώπων που ζούν ή/και εργάζονται σε αυτά.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια γενική παρουσίαση του προβλήματος της εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και μια σύντομη παρουσίαση των BEMS (Building Energy Management System – Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου). Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική περιγραφή του πρωτοκόλλου επικοινωνίας KNX/EIB ενώ στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εγκατάσταση του δικτύου KNX/EIB που υπάρχει στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Έπειτα, στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι οδηγίες CEN για σχεδίαση και βέλτιστη ενεργειακή απόδοση.

Στη συνέχεια ακολουθεί το πειραματικό κομμάτι της εργασίας αυτής. Τα κεφάλαια 5 και 6 παρουσιάζουν τους ελεγκτές που σχεδιάστηκαν για οπτική άνεση και θερμική άνεση/ποιότητα αέρα αντίστοιχα ενώ στο 7^ο κεφάλαιο επαληθεύουμε τη σωστή λειτουργία του όλου συστήματος μέσα από πολλαπλές πειραματικές μετρήσεις.

Κλείνοντας, ακολουθεί μια αξιολόγηση του συστήματος καθώς και του μικροκλίματος του χώρου και τέλος στο 9^ο κεφάλαιο συνοψίζουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη δουλειά και προτείνουμε κάποιες πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις. Ακολουθεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

1. Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Κτίρια

1.1 Γενικά

Η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στην εποχή μας, η οποία χαρακτηρίζεται ενεργειακά πεινασμένη, πολύ δύσκολα πια φαντάζει σαν κάτι ανάξιο λόγου. Η κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται τόσο για τη διαμόρφωση του εσωτερικού περιβάλλοντος του χώρου (θερμοκρασία, αερισμός, φωτεινότητα) όσο και από το κτίριο αυτό καθ' αυτό (συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων που υπάρχουν) [1]. Επιπροσθέτως, οι εσωτερικές συνθήκες ενός κτιρίου επιρρεάζουν την υγεία, την αποδοτικότητα αλλά και την άνεση των ατόμων που το απαρτίζουν.

Η ενέργεια είναι πολύτιμη, ακόμη και σε εποχές που είναι φθηνή, επειδή είναι πεπερασμένη και η χρήση της επιβαρύνει το περιβάλλον. Η τρομακτική εξέλιξη των ενεργειακών συστημάτων επέτρεψε τη χρήση ασύλληπτων ποσοτήτων ενέργειας από όλους μας, διασφαλίζοντας μία πρωτόγνωρη ποιότητα ζωής.

Αποστολή του μηχανικού που έρχεται σε επαφή με ενεργειακά συστήματα, είναι να μεριμνά ώστε αυτά να αξιοποιούν την καταναλισκόμενη ενέργεια με τον πλέον ορθολογικό και οικονομικό τρόπο, προκειμένου να διατηρηθεί, στο βαθμό του δυνατού, αδιατάρακτη αυτή η εξελικτική πορεία, προς όφελος του μεμονωμένου ανθρώπου και του κοινωνικού συνόλου.

1.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας

1.2.1 Γενικά

Η ενεργειακή κρίση των τελευταίων χρόνων είναι λίγο πολύ γνωστή σε όλους μας. Η συνεχής μείωση ορυκτών πόρων όπως το πετρέλαιο, ο λιγνίτης, το φυσικό αέριο κ.α σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι πόροι αυτοί αποτελούν τη βάση για την παραγωγή του μεγαλύτερου μέρους της ενέργειας παγκοσμίως κάνουν το πρόβλημα ακόμα πιο κατανοητό. Ταυτόχρονα υπάρχει

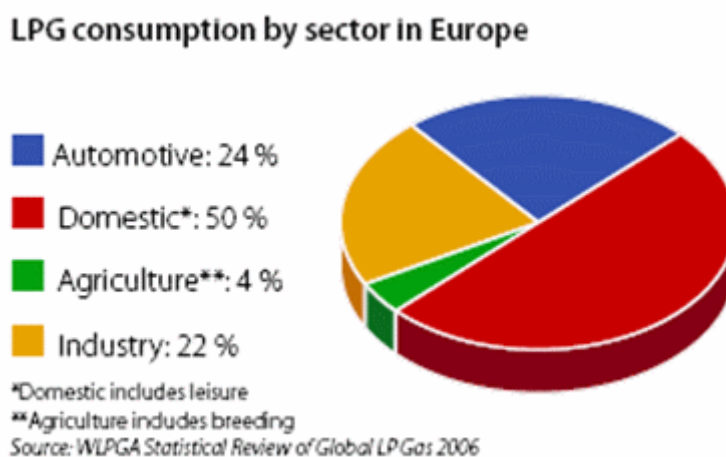
μία συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Σαν αποτέλεσμα, αύξηση του κόστους αγοράς της ενέργειας με το πέρασμα των χρόνων.

Πέραν όμως του οικονομικού παράγοντα, δεν πρέπει και να αμελούμε τον σημαντικότερο : την υγεία και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η καύση κάποιων ορυκτών πόρων (όπως ο λιγνίτης) που οδηγεί στην παραγωγή ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Το τελευταίο με τη σειρά του ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου με τις γνωστές σε όλους συνέπειες για την υγεία μας όσο και για το περιβάλλον.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν παράλληλα για την καταπολέμηση αυτού του φαινομένου. Η πρώτη είναι να στραφούμε στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) και η δεύτερη είναι να περιορίσουμε την περιττή κατανάλωση ενέργειας.

1.2.2 Κατανάλωση Ενέργειας

Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.1 Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση

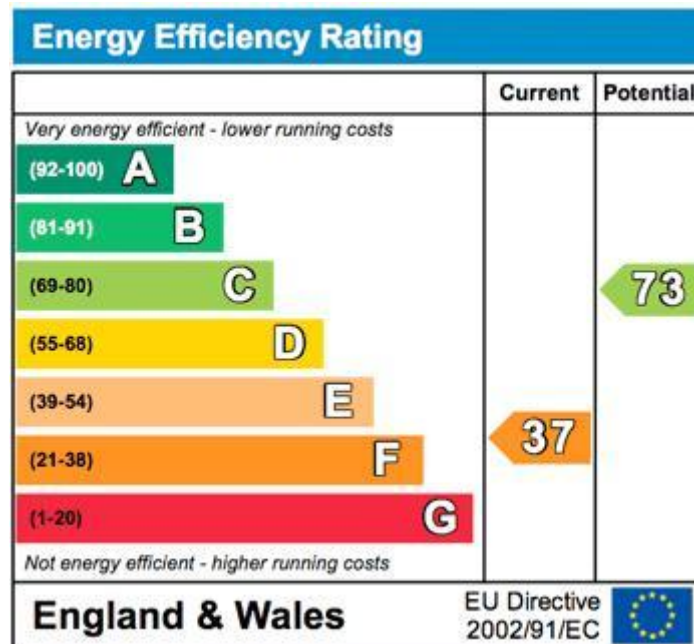
Στην κατηγορία των κτιρίων, το 30% περίπου της κατανάλωσης οφείλεται στις οικίες ενώ το υπόλοιπο 20% στα γραφεία [2].

Όσον αφορά τις οικίες, το 77% της ενέργειας καταναλώνεται για θέρμανση, ψύξη, και φωτισμό ενώ κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τα γραφεία [3]. Δεδομένου ότι δεν είναι όλα τα κτίρια φτιαγμένα με το βέλτιστο ενεργειακό τρόπο (π.χ σωστή μόνωση) και θεωρώντας πως οι περισσότεροι χρήστες των κτιρίων δεν κάνουν σωστή διαχείριση (π.χ ρύθμιση του θερμοστάτη της συσκευής θέρμανσης/ψύξης πολύ υψηλά το χειμώνα/πολύ χαμηλά το καλοκαίρι αντίστοιχα, άνοιγμα παραθύρων και κλιματιστικού ταυτόχρονα κτλ) μας κάνουν ξεκάθαρη πια τη σπατάλη ενέργειας που υπάρχει.

1.2.3 Κοινοτική Οδηγία

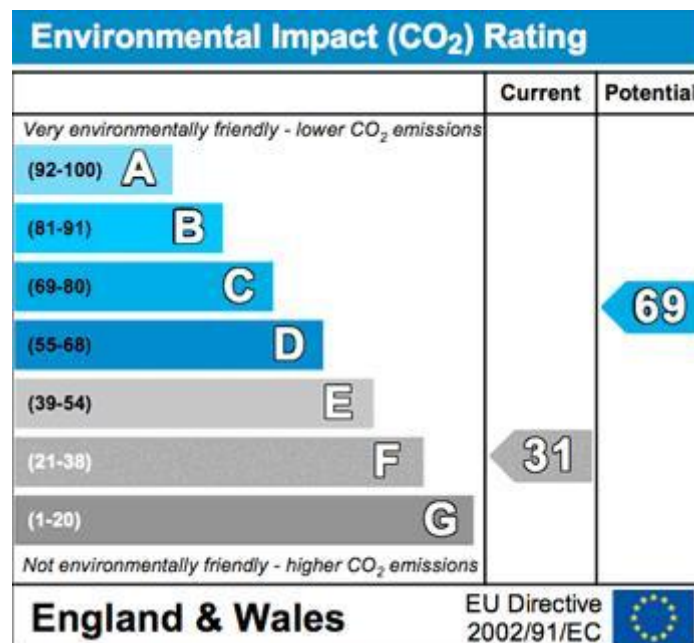
Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλοντας να τηρήσει το πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο αναφέρεται στην μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 5% (σε σχέση με τις εκπομπές του 1990) μέχρι το 2010, θέσπισε το 2006 μια νέα κοινοτική οδηγία προς τα κράτη μέλη [4][5]. Αυτή η οδηγία αναφέρεται στην απόδοση ενεργειακής ταυτότητας σε όλα τα κτίρια. Η κατάταξη που θα παίρνει το κάθε κτίριο θα αποδίδεται μετά από ενεργειακή μελέτη και θα εξαρτάται από την κανονικοποιημένη κατανάλωση, από το αν αξιοποιεί σωστά την ενέργεια, από το αν χρησιμοποιεί ΑΠΕ κ.α.

Πέρα από το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης υπάρχει και το πιστοποιητικό εκπομπών CO₂ το οποίο προφανώς βαθμολογεί τις επιπτώσεις του τρέχοντος κτιρίου προς το περιβάλλον.



Σχήμα 1.2 Μορφή Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, όσο ψηλότερη είναι η βαθμολογία του κτιρίου τόσο πιο βέλτιστα ενεργειακά αποδίδει το συγκεκριμένο κτίριο.



Σχήμα 1.3 Μορφή Πιστοποιητικού Εκπομπών CO₂

Ομοίως με πριν, όσο ψηλότερη είναι η βαθμολογία του κτιρίου τόσο μικρότερη είναι η επίδραση του συγκεκριμένου κτιρίου στο περιβάλλον.

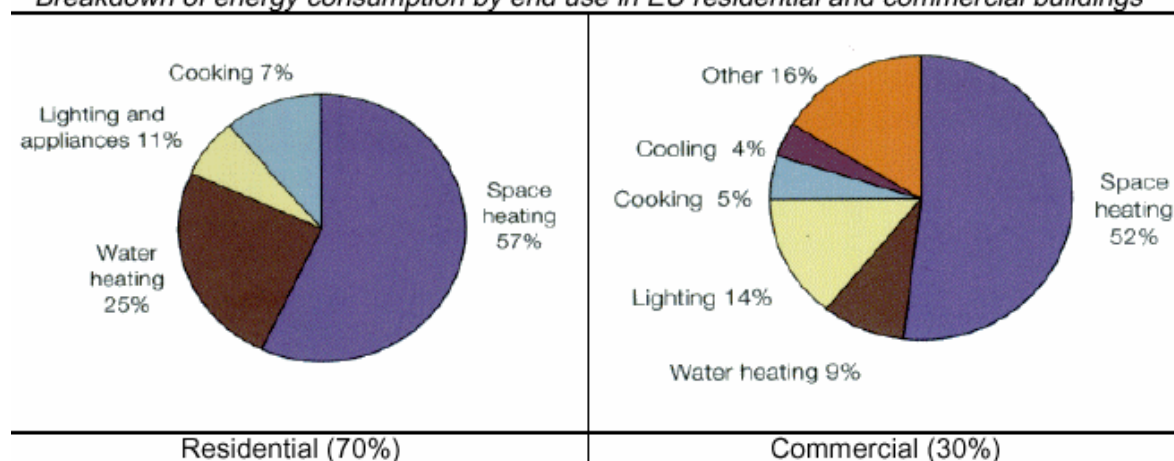
1.2.4 Βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης σε Κτίρια

Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα ανήλθε το 1998 σε 384 Mtoe που αντιστοιχεί στο 40% περίπου της συνολικής ετήσιας τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ. Ως το έτος 2020 προβλέπεται να αυξηθεί στα 457 Mtoe. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας ανέρχεται σε 10,5% και 27,5% αντίστοιχα. Το υπόλοιπο 2,5% αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που κυρίως χρησιμοποιούνται στις κατοικίες και είναι ένα ποσοστό που μπορεί να αυξηθεί δραματικά με τα κατάλληλα κίνητρα.

Η οικιακή χρήση αποτελεί το 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του κτιριακού τομέα. Στα νοικοκυριά η κατανάλωση ανέρχεται σε 252 Mtoe και στα εμπορικά και δημόσια κτίρια σε 108 Mtoe ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0,25 και 0,68 αντίστοιχα. Η μέση κατανάλωση ανά τετραγωνικό μέτρο αυξάνεται κατά 1,3% ετησίως στον τομέα των υπηρεσιών.

Building sector accounts for 40% of total EU energy consumption

Breakdown of energy consumption by end use in EU residential and commercial buildings



Σχήμα 1.4 Η Κατανάλωση Ενέργειας στα Κτίρια

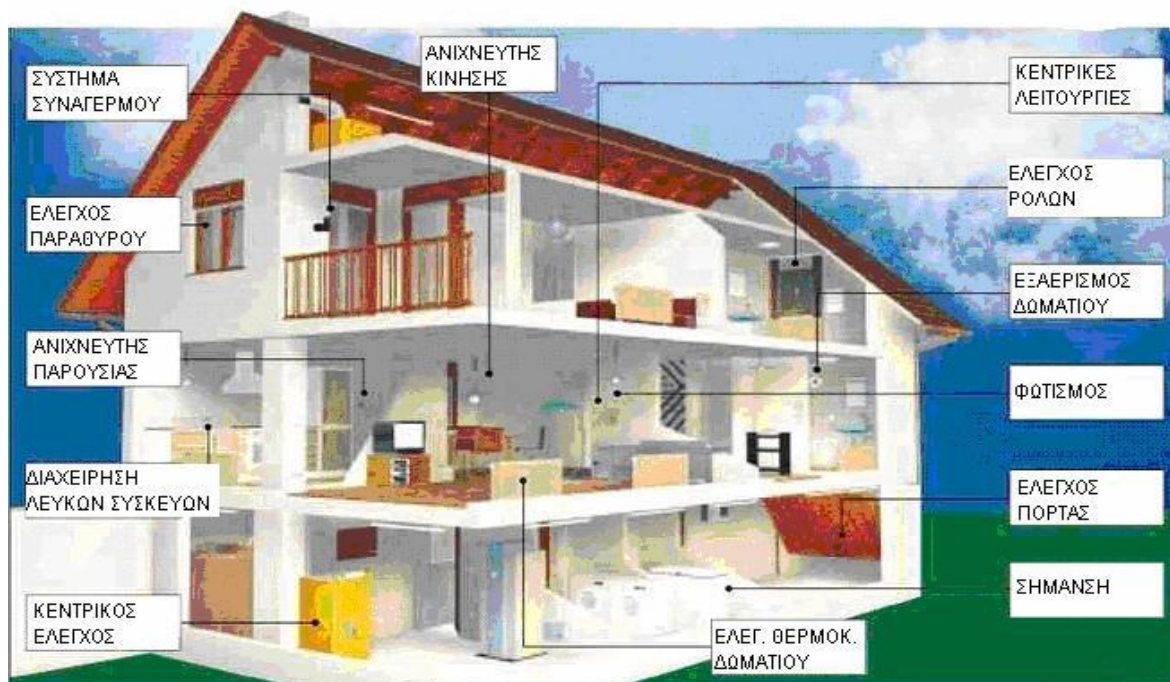
Στον κτιριακό τομέα η νομοθεσία αποδείχτηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια και ιδιαίτερα στη μείωση της ενεργειακής έντασης στις νέες κατασκευές, με κλασικό παράδειγμα τους αυστηρότερους κανονισμούς θερμομόνωσης. Επιπρόσθετα, προγράμματα επίδειξης και διάχυσης της τεχνολογίας, όπως προγράμματα προώθησης ηλιακών συλλεκτών, έχουν αυξήσει τη χρήση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας στα κτίρια. Μονάδες μικρής κλίμακας με τεχνολογίες συμπαραγωγής έχουν επιτυχώς εφαρμοστεί σε αρκετά κράτη μέλη. Σημαντικό δυναμικό εξακολουθεί να υπάρχει στην ενεργειακή ανακαίνιση του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος, με παρεμβάσεις στο κέλυφος και τα Η-Μ συστήματα, επενδύσεις σε συσκευές μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης και, τέλος, με την εκπαίδευση για την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας. Είναι γενικά παραδεκτό ότι το 20% της σήμερα χρησιμοποιούμενης ενέργειας θα μπορούσε να εξοικονομηθεί με άμεσα μέτρα, οδηγώντας στην μη εκπομπή 430 εκ. τόνων CO₂ ετησίως. Εφαρμόζοντας μεγαλύτερης έκτασης μέτρα, το σημερινό επίπεδο τεχνολογίας είναι ικανό να μειώσει την κατανάλωση στα νοικοκυριά και τα γραφεία έως και 60% [6].

1.3 Έξυπνα Κτίρια και Διαχείριση Ενέργειας

1.3.1 Γενικά

Η νοημοσύνη είναι μια λέξη που χρησιμοποιείται για να υπονοήσει ότι ένας μικροεπεξεργαστής έχει ενσωματωθεί στην «ευφυή» συσκευή. Εντούτοις, εφαρμόζεται επίσης στα κτίρια, όπου δεν υπάρχει κάποιος απλός ορισμός. Ένας ορισμός είναι ένα κτίριο που παρέχει ένα παραγωγικό και οικονομικώς αποδοτικό περιβάλλον μέσω της βελτιστοποίησης τεσσάρων βασικών στοιχείων του: δομή, υπηρεσίες, διαχείριση και τις μεταξύ τους αλληλεξαρτήσεις. Η νοημοσύνη ενός κτιρίου εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των, ελεγχόμενων από μικροεπεξεργαστές, συστημάτων που μπορούν να υπάρξουν σε αυτό, όπως ένα δίκτυο υπολογιστών με τον κεντρικό υπολογιστή του (server), ή το σύστημα ασφάλειας με τον επικεφαλής ηλεκτρονικό υπολογιστή του. Όσο μεγαλύτερη γίνεται αυτή η αλληλεπίδραση,

για παράδειγμα η διανομή των συστημάτων διαύλων και των επικοινωνιών, τόσο ευφύστερο γίνεται το κτίριο [7].



Σχήμα 1.5 Παράδειγμα Έξυπνου Κτιρίου

1.3.2 Η Ανάπτυξη των BEMS (Building Energy Management Systems)

Τα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας κτιρίων έχουν αναπτυχθεί παράλληλα με την επανάσταση της μικροηλεκτρονικής και της επιστήμης υπολογιστών των πρόσφατων ετών. Αυτό συμβαίνει επειδή τα BEMSs είναι στην ουσία συστήματα μικροϋπολογιστών που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις ελέγχου των κτιριακών λειτουργιών.

Ο πρώτος πρόγονος των BEMS ήταν το «σκληρά-καλωδιωμένο» κεντρικό σύστημα. Πρωτοεμφανίστηκε στη δεκαετία του '60 και υιοθετήθηκε στα μεγάλα κτίρια. Το σύστημα ήταν βασικά μια επέκταση των συμβατικών καλωδίων ελέγχου σε μια κεντρική κονσόλα, με πίνακες, φώτα δεικτών και ένα όργανο καταγραφής διαγραμμάτων, που επέτρεπε σε έναν χειριστή στην κονσόλα να παρακολουθεί τις απομακρυσμένες εγκαταστάσεις και να βλέπει

τις θερμοκρασίες που εμφανίζονταν. Κανένας υπολογιστής ή μικροηλεκτρονική δεν περιλήφθηκε, και στηρίχθηκε στο χειριστή για να αλλάζει τις ρυθμίσεις και τους χρόνους ελέγχου.

Αυτά τα «σκληρά-καλωδιωμένα» συστήματα βελτιώθηκαν στη συνέχεια με την τηλεφωνική τεχνολογία της εποχής, που επέτρεψε στα μεμονωμένα στοιχεία των εγκαταστάσεων να συνδεθούν, μέσω πάνελ συλλογής δεδομένων τοπικών στις εγκαταστάσεις, σε ένα κεντρικό καλώδιο-κορμό που περνά γύρω από το κτίριο και από την κεντρική κονσόλα. Αυτή η πολυπλεξία, ελάττωσε την καλωδίωση με τη χρησιμοποίηση του ίδιου καλωδίου-κορμό για διάφορα πάνελ συλλογής δεδομένων.

Με τις ταχείες προόδους της μικροηλεκτρονικής, και τις εκατοντάδες τρανζίστορ που ενσωματώνονται σε ένα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης (Large Scale Integration - LSI) τσιπ πυριτίου, με επιφάνεια περίπου 5 mm², προέκυψαν τα πρώτα βασισμένα σε υπολογιστή συστήματα ελέγχου. Αυτά τα πρώτα BEMS ήταν συγκεντρωτικά συστήματα διαχείρισης της ενέργειας και εμφανίστηκαν αρχικά στη δεκαετία του '70, αναπτυσσόμενα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο κεντρικός σταθμός βασιζόταν σε έναν μίνι-υπολογιστή, ο οποίος περιείχε όλη την υπολογιστική ισχύ ή 'νοημοσύνη' στο σύστημα, με τους 'χωρίς-νοημοσύνη' απομακρυσμένους σταθμούς, οι οποίοι ήταν κουτιά για ρελέ και συνδέσεις με αισθητήρες και ενεργοποιητές, παρόμοια με τα προηγούμενα πάνελ συλλογής δεδομένων. Ο όρος 'ευφυής' χρησιμοποιείται επειδή ο κεντρικός σταθμός (ο μινι-υπολογιστής) είχε τη δυνατότητα να υπολογίζει και να λαμβάνει τις αποφάσεις χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που λάμβανε από τους απομακρυσμένους σταθμούς.

Τα συστήματα αυτά ήταν πολύ ακριβά, και έτσι ήταν προσιτά μόνο για τα μεγάλα κτίρια. Αν και αφορούσαν αρχικά τον έλεγχο και την παρακολούθηση των εγκαταστάσεων κλιματισμού-εξαερισμού (HVAC) και ήταν επομένως συστήματα διαχείρισης της ενέργειας, ήταν επίσης σε θέση να ελέγχουν το φωτισμό, τους ανελκυστήρες και τους συναγερμούς ασφάλειας και πυρκαγιάς. Στην πραγματικότητα, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως συστήματα διαχείρισης κτιρίων για να βοηθήσουν στη διαχείριση των μεγάλων και σύνθετων κτιρίων, χωρίς απαραίτητα να εξοικονομούν ενέργεια. Αυτά τα

πρώτα συστήματα διαχείρισης της ενέργειας κτιρίων εμφανίστηκαν πριν από την ενεργειακή κρίση του 1973/74.

Αν και αυτά τα πρώτα BEMS ήταν σε θέση να παρακολουθούν και να ελέγχουν τα συστήματα πυρκαγιάς και ασφάλειας, σπάνια εφαρμόζονταν για αυτό το σκοπό. Ακόμη και σήμερα υπάρχουν προβλήματα στην ενσωμάτωση συστημάτων όπως τα συστήματα συναγερμών πυρκαγιάς και ασφάλειας σε BEMS, συνήθως λόγω των διαφορετικών προτύπων που χρησιμοποιούνται και των διαφορετικών εμπλεκόμενων κατασκευαστών.

Η γρήγορη ανάπτυξη της LSI και της VLSI (Very Large Scale Integration - πολύ μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωση), περίπου το 1980, οδήγησε σε χιλιάδες τρανζίστορ τοποθετημένα σε ένα τσιπ (στο τσιπ του Pentium υπάρχουν σήμερα εκατομμύρια τρανζίστορ). Ως εκ τούτου οι μικροϋπολογιστές, ή οι προσωπικοί υπολογιστές (PCs), έγιναν πολύ πιο ισχυροί. Και οι απομακρυσμένοι σταθμοί, μικροί μικροϋπολογιστές οι ίδιοι, αφού περιέχουν τσιπ μικροελεγκτή, κέρδισαν αρκετά σε δύναμη επεξεργασίας, αποκτώντας 'νοημοσύνη'. Αυτό τους επέτρεψε να λειτουργούν από μόνοι τους, ή να γίνουν αυτόνομοι απομακρυσμένοι σταθμοί, εξαρτώμενοι από τον κεντρικό σταθμό μόνο για ένα μικρό ποσοστό του χρόνου της λειτουργίας τους. Αυτοί οι απομακρυσμένοι σταθμοί έχουν αρκετά περισσότερες λειτουργίες ελέγχου σε σχέση με τους παλαιότερους, μη ευφυείς σταθμούς, οι οποίοι έτειναν να έχουν περισσότερο ένα ρόλο παρακολούθησης παρά ελέγχου. Πράγματι, κάθε ευφυής απομακρυσμένος σταθμός μπορεί να ελέγξει ένα μικρό κτίριο από μόνος του, και η εγκατάσταση αυτών των ευφύων απομακρυσμένων σταθμών είναι οικονομική για τα μικρού και μεσαίου μεγέθους κτίρια.

Ο κεντρικός σταθμός μπορεί να επικοινωνήσει με πολλούς απομακρυσμένους σταθμούς όταν χρειάζεται, είτε σε ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνιών είτε μέσω άλλων δικτύων όπως το Διαδίκτυο.

Δεδομένου ότι οι μικροεπεξεργαστές έχουν γίνει ισχυρότεροι και λιγότερο ακριβοί, οι απομακρυσμένοι σταθμοί γίνονται επίσης πολύ μικρότεροι και φτηνότεροι, έτσι ώστε να μπορούν τώρα να ελέγξουν μεμονωμένα στοιχεία των εγκαταστάσεων. Οι εγκαταστάσεις γίνονται ευφυείς. Οι κατασκευαστές των BEMS παρέχουν αυτούς τους μικρούς απομακρυσμένους σταθμούς

στους κατασκευαστές εξοπλισμού, έτσι ώστε οι εγκαταστάσεις τους να μπορούν να ανατεθούν στο εργοστάσιο και να συνδεθούν απλά με το σύστημα επικοινωνιών BEMS όταν αυτό παραδίδεται.

Τα δίκτυα επικοινωνίας και τα συστήματα διαύλων έχουν αναπτυχθεί για να επιτρέψουν στον εξοπλισμό του κτηρίου να επικοινωνήσει, ακόμη και με τους διακόπτες φωτισμού.

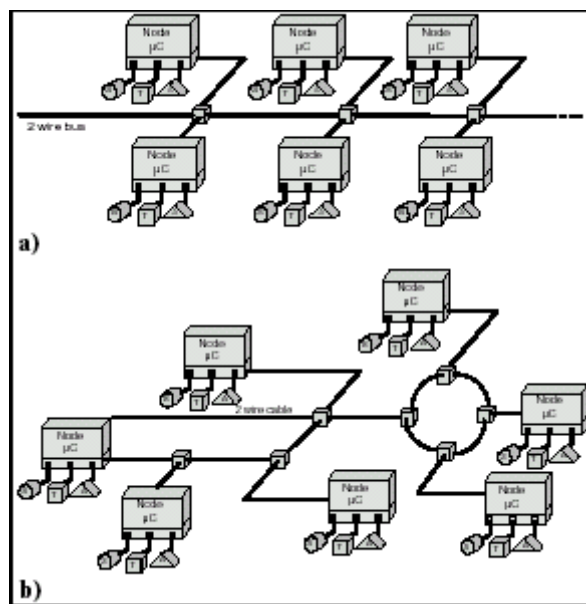
1.3.3 Κατανεμημένα Συστήματα Δικτύων Ελέγχου

Η βιομηχανική πρόοδος στην ανάπτυξη ημιαγωγών και οι αυξανόμενες απαιτήσεις από τον τελικό χρήστη, π.χ. καλύτερη απόδοση ελέγχου, έχει οδηγήσει στα προηγμένα συστήματα ελέγχου, γνωστά ως, **σειριακά συστήματα δικτύων ελέγχου**, σχ. 1.5(a). Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτών των συστημάτων ελέγχου είναι:

- Κατανεμημένη νοημοσύνη, με τη χρήση μικροελεγκτών.
- Δυνατότητα λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο
- Ισότιμη (peer-to-peer) αρχιτεκτονική.
- Η μνήμη και τα προγράμματα λογισμικού παρέχονται σε επίπεδο κόμβων.
- Το λογισμικό εφαρμόζεται σε επίπεδα πρωτοκόλλου (protocol layers).

Οι περιορισμοί των σειριακών συστημάτων δικτύων ελέγχου συναντιόνται κυρίως στην επεκτασιμότητα των δικτύων, καθώς υποστηρίζουν μια περιορισμένη ποικιλία τοπολογιών και μέσων μετάδοσης. Αυτοί οι περιορισμοί υπερνικούνται από τη νέα γενεά των **κατανεμημένων συστημάτων δικτύων ελέγχου**, σχ. 1.5(b), που συμπεριλαμβάνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μίξη των μέσων επικοινωνιών (συνεστραμμένο ζεύγος, γραμμές ισχύος, ραδιοσυχνότητες, υπέρυθρες ακτίνες, οπτικές ίνες, ομοαξονικό καλώδιο).
- Μια καλύτερη, ή πληρέστερη, εφαρμογή του προτύπου της OSI, η οποία συμβάλλει στην υψηλότερη αξιοπιστία του (αναπτυσσόμενου) δικτύου.
- Ελεύθερη τοπολογία.
- Φιλικό προς το χρήστη λογισμικό και διαθέσιμα εργαλεία ανάπτυξης.
- Μονάδες διεπικοινωνίας, πύλες, γέφυρες, δρομολογητές και επαναλήπτες.



Σχήμα 1.5 Δομές καλωδίωσης συστημάτων δικτύων ελέγχου

Η κατανομή νοημοσύνης και η παροχή λειτουργιών δικτύων, σημαίνουν αξιοπιστία μέσων και καλύτερη απόδοση των συστημάτων ελέγχου. Κατά συνέπεια, η ενσωματωμένη τεχνολογία αυτοματοποίησης εισήχθη όπου επιδιώχτηκε πολύ, π.χ. αυτοματισμοί κτιρίων. Με τα κατακεκομμένα συστήματα δικτύων ελέγχου έχει γίνει ένα σημαντικό βήμα προς τα ευφυή συστήματα αυτοματοποίησης κτηρίων, με συνέπεια:

- Χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες
- Βελτίωση του ανθρώπινου περιβάλλοντος, ειδικά του χώρου εργασίας
- Μεγαλύτερη κτιριακή λειτουργικότητα και οικονομία

Παρόμοια με τις εγκαταστάσεις εργοστασίων, ένα δημόσιο κτίριο περιλαμβάνει διάφορους τύπους συστημάτων δικτύων, όπως:

- Συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίου: έλεγχος του εσωτερικού περιβάλλοντος ή ενεργοποίηση των συναγερμών.
- Συστήματα διαχείρισης κτιρίου: έλεγχος, διαχείριση και αποθήκευση των δεδομένων ελέγχου.
- Συστήματα LAN : διαχειριζόμενη ανταλλαγή πληροφοριών μέσα σε μια επιχείρηση.
- Συστήματα επικοινωνιών: παροχή των συνδέσεων για παγκόσμια επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων.

Τα συστήματα αυτοματοποίησης κτιρίου χρησιμοποιούνται για τις ακόλουθες υπηρεσίες αυτοματισμού και λειτουργίες ελέγχου:

- Θέρμανση, ψύξη, αερισμός, κλιματισμός (HVAC)
- Φωτισμός και φωτισμός έκτακτης ανάγκης
- Διαχείριση ενέργειας
- Ασφάλεια και προστασία
- Μεταφορά (ανεγκυστήρες)

Αυτές οι υπηρεσίες αυτοματοποίησης υποστηρίζονται σήμερα από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως: BACNET, ARCNET, BitBus, CAN, EIBUS, LonWorks, PROFIBUS, και πολλά άλλα συστήματα βασισμένα στα πρότυπα επικοινωνίας, RS- 232, RS- 422, ή RS- 485.

1.3.4 Έξυπνες Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις

Η εγκατάσταση κάποιου συστήματος αυτοματοποίησης κτιρίου, ο προγραμματισμός του και εν τέλει η λειτουργία του συνθέτουν αυτό που λέμε Έξυπνη Ηλεκτρική Εγκατάσταση Κτιρίου. Το πρωτόκολλο δικτύωσης, ο εξοπλισμός καθώς και οι προσφερόμενες από το σύστημα υπηρεσίες προκρίπτονται μετά από προσεκτική μελέτη του ευθύνοντα μηχανικού πάνω στις απαιτήσεις του εκάστοτε πελάτη.

Τα πλεονεκτήματα των Έξυπνων Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων είναι πολλά, με σημαντικότερα τα εξής [8]:

- Ευελιξία

Προσαρμόζονται εύκολα στις απαιτήσεις του πελάτη και όχι ο πελάτης στις απαιτήσεις της εγκατάστασης

- Ευκολία Χρήσης

Δίνουν τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν πολλές λειτουργίες εύκολα και απλά (ακόμη και με το πάτημα ενός μόνο κουμπιού).

- Εξοικονόμηση Ενέργειας

Αποφασίζουν για λειτουργίες και εντολές με λογική και τάξη.

- Πλήθος Δυνατοτήτων και Ευκολιών

Μπορούν να λειτουργήσουν με τηλεχειρισμό, είτε τοπικό είτε μέσω τηλεφώνου, προσφέρουν πληθώρα ενδείξεων, πληροφοριών κτλ.

- Εμφάνιση

Όλα τα υλικά και οι συσκευές τοποθετούνται προσεκτικά στο χώρο με αποτέλεσμα να δίνουν μια αρμονική εικόνα.

Οι Έξυπνες Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις δεν ανταγωνίζονται ούτε έρχονται να καταργήσουν τις Συμβατικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις. Απευθύνονται σε απαιτητικούς χρήστες (γραφεία, κατοικίες) με αυξημένες ανάγκες αυτοματισμών και σύνθετων λειτουργιών.

2. Το πρωτόκολλο KNX/EIB

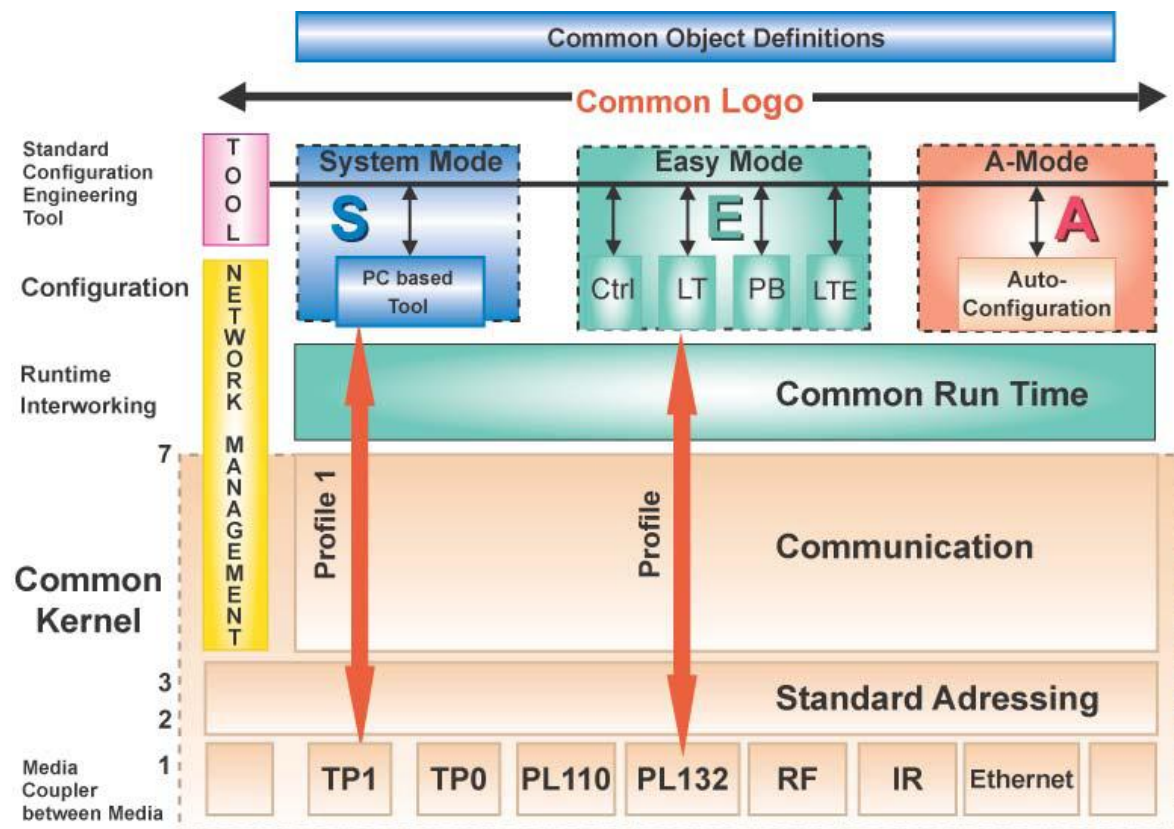
2.1 Γενικά

Το KNX/EIB (European Installation Bus) αποτελεί ένα πρότυπο δικτύωσης κτηρίων βασισμένο σε ένα ή περισσότερους διαύλους (buses)[2]. Πρόκειται για ένα βιομηχανικό πρότυπο, το οποίο προτάθηκε από ένα σύνολο εταιριών ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, οι οποίες συνέστησαν τον ανεξάρτητο επιστημονικό φορέα EIBA (EIB Association, www.eiba.org). Στην συνέχεια, το 1999 δημιουργήθηκε η Konnex Association (www.konnex.org) ως συνένωση τριών αυτόνομων ενώσεων δικτύων διαχείρισης κτιρίων, της EIBA, της BCI και της EHSΑ. Έδρα της έγινε το Βέλγιο και τα αντίστοιχα δίκτυα των ενώσεων αυτών ήταν τα EIB, Batibus και EHS. Σήμερα η Konnex Association αποτελείται από περισσότερες από 110 ευρωπαϊκές εταιρίες που ασχολούνται με την ηλεκτρονική, τους αυτοματισμούς, τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, τον κλιματισμό, τις λευκές ηλεκτρικές οικιακές συσκευές κ.α. Επίσης υποστηρίζεται από πολλά πανεπιστήμια και τεχνικά εκπαιδευτήρια σε όλη την Ευρώπη (το **Πολυτεχνείο Κρήτης** είναι το μοναδικό ελληνικό πανεπιστημιακό ίδρυμα που επισήμως θεωρείται ως επιστημονικός συνεργάτης της Konnex Association).

Το παλιό πρωτόκολλο EIB και το νέο KNX είναι αμφίδρομα συμβατά γι' αυτό και αναφέρονται με το κοινό όνομα KNX/EIB (στην πραγματικότητα το KNX/EIB είναι στην ουσία το EIB με την δυνατότητα επικοινωνίας με όλες τις KNX συσκευές). Το KNX/EIB λοιπόν, είναι μία σύγχρονη μέθοδος ηλεκτρικών εγκαταστάσεων για κτιριακό αυτοματισμό. Πολλοί αναφέρουν τον όρο “έξυπνο σπίτι” για να περιγράψουν τέτοια συστήματα. Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής: υπάρχουν σε όλο το κτίριο διάφοροι αισθητήρες (θερμοκρασίας, φωτισμού, παρουσίας ανθρώπων), ένας ή περισσότεροι ελεγκτές (PLC, PC) και διάφοροι ενεργοποιητές (φώτα, ηλεκτρικά ρολά, συστήματα θέρμανσης/ψύξης). Όλα αυτά διαθέτουν κάποιον ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή και όταν συνδέονται σε κάποιο δίκτυο KNX/EIB μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους με σκοπό να δημιουργηθεί ένα έξυπνο σύστημα κτιριακού αυτοματισμού το οποίο θα μετατρέψει ένα απλό σπίτι σε ένα “έξυπνο σπίτι”.

2.2 Στοιχεία της Αρχιτεκτονικής του KNX

Το KNX προσδιορίζει πολλούς μηχανισμούς και τεχνικές ώστε να φέρει το όλο δίκτυο σε λειτουργία, επιτρέποντας παράλληλα στους μηχανικούς να διαλέξουν την πιο ταιριαστή ρύθμιση για τη σχεδιάσή τους[9]. Στο σχ. 2.1 παρουσιάζει μια σύνοψη του μοντέλου KNX, δίνοντας έμφαση στις ανοιχτές επιλογές που προσφέρονται. Πέρα από μια κλασσική περιγραφή του πρωτοκόλλου, το παρακάτω σχήμα εμβαθύνει στα «συνθετικά» που μπορούν να επιλεγούν ώστε να σχεδιαστεί, σε κάποια συσκευή ή σε άλλα «συνθετικά», ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα.



Ctrl = Controller Approach LT = Logical Tag (e.g Code Wheel) PB = Push Button approach LTE = Logical Tag extended

Σχήμα 2.1 Το μοντέλο KNX

Οι βασικές λειτουργίες που μπορούμε να βρούμε στο KNX είναι οι εξής :

- Αλληλεπιδρώντα και Κατανεμημένα Μοντέλα Εφαρμογών (Interworking and Distributed Application Models) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλές περιπτώσεις κτιριακού αυτοματισμού. Πρόκειται για το βασικό σκοπό του συστήματος.
- Σχηματικά για Ρύθμιση και Διαχείριση (Schemes for Configuration and Management) ώστε να διαχειρίζονται σωστά όλοι οι πόροι στο δίκτυο και να επιτρέπουν λογική διασύνδεση τμημάτων, μιας κατανεμημένης εφαρμογής, που τρέχουν σε διαφορετικούς κόμβους.
- Σύστημα Επικοινωνίας (Communication System) για την επικοινωνία των στοιβών κάθε κόμβου. Το Σύστημα Επικοινωνίας πρέπει να υποστηρίζει όλες τις απαιτήσεις δικτυακής επικοινωνίας για τη ρύθμιση και τη διαχείριση μιας εγκατάστασης, καθώς επίσης και να «φιλοξενεί» κατανεμημένες εφαρμογές. Κάτι τέτοιο υλοποιείται στο πεδίο KNX Common Kernel.
- Ειδικά Μοντέλα Συσκευών (Concrete Device Models) τα οποία συνοψίζονται στα Profiles για την αποτελεσματική πραγματοποίηση και συνδυασμό των προαναφερθέντων στοιχείων κατά την ανάπτυξη πραγματικών προϊόντων ή συσκευών που τελικά θα ενσωματωθούν σε μια εγκατάσταση.

2.3 Τρόποι Μετάδοσης

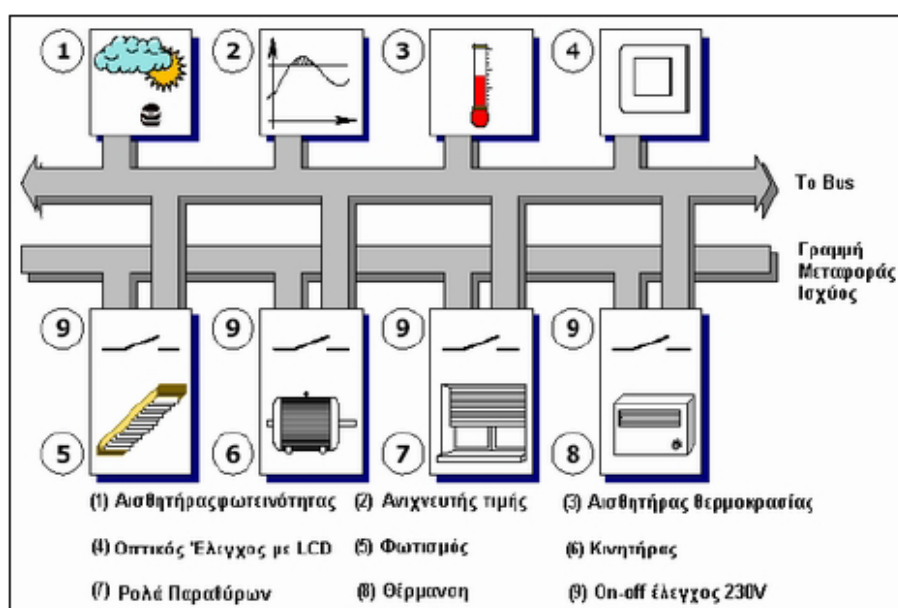
Οι κυριότερες υλοποιήσεις εγκατάστασης με το πρότυπο KNX/EIB γίνονται με τη χρήση τεσσάρων αρκετά διαδεδομένων φυσικών μέσων :

- Συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων (twisted pair).
- Ασύρματη μετάδοση (Radio Transmission).
- Γραμμής ισχύος (Power Line Transmission).
- Ethernet (KNX over IP).

Η πρώτη υλοποίηση θα περιγραφεί αναλυτικά, εφόσον είναι αυτή που χρησιμοποιείται ευρέως (επίσης χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία), ενώ οι άλλες τρεις συνοπτικά.

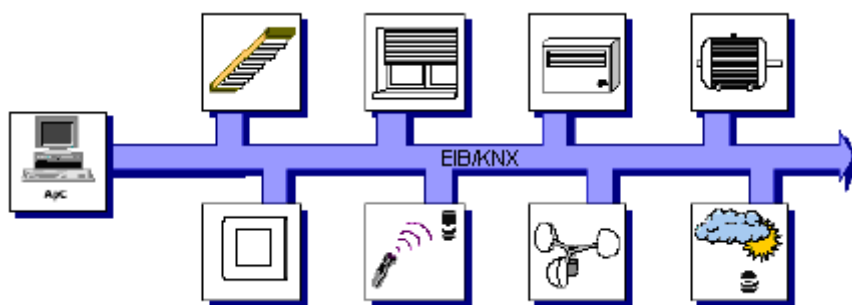
2.3.1 Μετάδοση μέσω συνεστραμμένου ζεύγους

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο διαδεδομένη για την υλοποίηση εγκαταστάσεων βασισμένων στο πρότυπο KNX/EIB. Το κόστος χρήσης συνεστραμμένου ζεύγους είναι αρκετά χαμηλό και πληρεί όλες τις προδιαγραφές για ανάπτυξη κτιριακών εγκαταστάσεων. Προσφέρει αναισθησία στο θόρυβο και στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και δεν επηρεάζει την γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος του κτηρίου, εφόσον τοποθετείται παράλληλα με αυτήν. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα της απευθείας τροφοδοσίας των συσκευών από το bus με την προϋπόθεση ότι καταναλώνουν λιγότερο από 100mW. Για τους παραπάνω λόγους, το συνεστραμμένο ζεύγος προτιμάται για καλωδίωση κτιρίων μεγάλου μήκους όταν η εγκατάσταση γίνεται κατά την διάρκεια κατασκευής του κτηρίου. Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται ένα παράδειγμα εγκατάστασης με συνεστραμμένο ζεύγος.



Σχήμα 2.2 KNX/EIB με συνεστραμμένο ζεύγος

Οι συσκευές που είναι συμβατές με το πρότυπο KNX/EIB, επικοινωνούν μέσω του διαύλου και ονομάζονται συνδρομητές. Το KNX/EIB εξασφαλίζει στον σχεδιαστή, αλλά και στον τελικό καταναλωτή, το πλεονέκτημα της συμβατότητας των παρερχομένων προϊόντων, τώρα, αλλά και στο μέλλον. Μπορούν να τοποθετηθούν σε ράγα ηλεκτρολογικού πίνακα ή χωνευτές στον τοίχο, εφόσον επιτρέπεται. Οι συνδρομητές μπορούν να έχουν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ τους μέσω μηνυμάτων. Οι προδιαγραφές του διαύλου ορίζουν ένα ανοιχτό σύστημα, στο οποίο κάθε συνδρομητής μπορεί να επικοινωνήσει με οποιοδήποτε άλλο, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ο έλεγχος της εγκατάστασης να είναι αποκεντρωμένος και μοιρασμένος στους συνδρομητές που την αποτελούν, ή κεντρικός με την ύπαρξη ενός κεντρικού συνδρομητή-ελεγκτή. Στην περίπτωση κεντρικού ελέγχου, ο κύριος συνδρομητής αναλαμβάνει τον έλεγχο της εγκατάστασης και συχνά είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή ένα PLC. Στο επόμενο σχήμα, δίνεται ένα παράδειγμα κεντρικού ελέγχου, όπου κύριος συνδρομητής είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, στον οποίο είναι συνδεδεμένα τα αισθητήρια και οι ενεργοποιητές (actuators) μέσω του KNX/EIB διαύλου. Αυτή η δομημένη προσέγγιση χρησιμοποιείται για την τοπολογία της εγκατάστασης, κάνοντας εύκολη τη διαχείριση των συνδεδεμένων στον δίαυλο συσκευών.



Σχήμα 2.3 Κεντρικός έλεγχος από PC

Υπάρχουν δύο είδη συνεστραμμένων ζευγών στο KNX, το TP-0 το οποίο έχει ρυθμό μετάδοσης 4800bits/s και είναι κατάλοιπο του παλιού Batibus και το TP-1 το οποίο έχει ρυθμό μετάδοσης 9600bits/s. Το TP-1 χρησιμοποιείται ευρέως και στην ουσία είναι το παλιό EIB συνεστραμμένου ζεύγους. Το TP-0

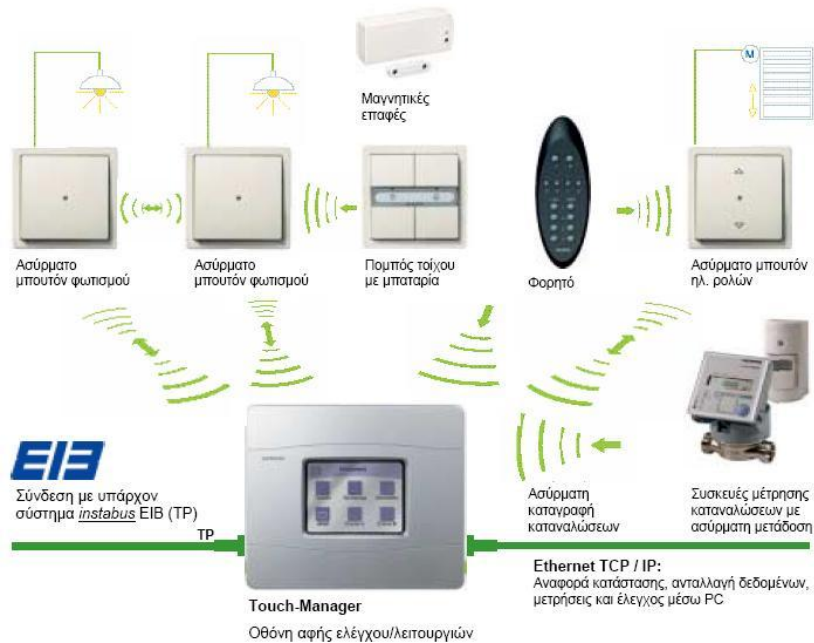
και το TP-1 είναι ασύμβατα μεταξύ τους και για ενωθούν χρειάζονται συγκεκριμένη συνδεσμολογία. Για τους περισσότερους ηλεκτρολόγους εγκαταστάτες και μελετητές το TP-1 είναι συνώνυμο του KNX/EIB.

Μέσω της τεχνολογίας KNX/EIB γίνεται δυνατός ο έλεγχος μίας συσκευής από πολλαπλά σημεία της εγκατάστασης ενώ παράλληλα, δεν υφίσταται πρόβλημα στη λειτουργία της εγκατάστασης αν ένας κόμβος παρουσιάσει βλάβη. Είναι εύκολος ο εντοπισμός βλαβών, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα δυναμικής επέμβασης στην εγκατάσταση με τη χρήση διαφόρων εργαλείων, αλλά και η πρόσθεση, αφαίρεση ή αλλαγή ενός συνδρομητή.

Με τη χρήση του λογισμικού ETS είναι εύκολος ο επαναπρογραμματισμός και η αλλαγή της τοπολογίας της εγκατάστασης, αν αυτό είναι απαραίτητο να γίνει. Το ETS είναι ένα εργαλείο λογισμικού, που λειτουργεί τόσο σε επίπεδο προγραμματισμού και οργάνωσης της εγκατάστασης, όσο και σε επίπεδο διαχείρισης έργου (Project Management). Βασικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι ότι μπορεί να δεχθεί την βάση δεδομένων συνδρομητών οποιουδήποτε συμβατού κατασκευαστή με το πρότυπο EIB. Αυτό επιτρέπει στο σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει συσκευές (συνδρομητές) διαφορετικών κατασκευαστών στον σχεδιασμό της εγκατάστασης του.

2.3.2 Ασύρματη Μετάδοση

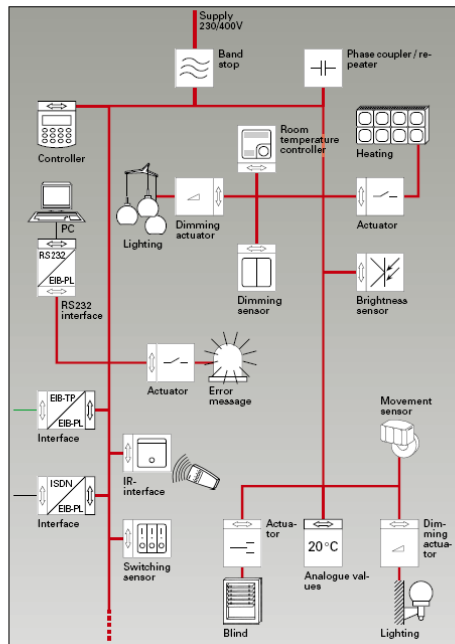
Είναι γνωστή σαν τεχνολογία EIB-RF και σύμφωνα με αυτή δεν είναι απαραίτητη η εγκατάσταση καινούργιων γραμμών Bus. Χρησιμοποιείται ραδιοκανάλι (868 MHz), ώστε να μεταδοθούν τα δεδομένα με ασύρματο τρόπο και τόσο τα αισθητήρια, όσο και οι τελικοί αποδέκτες, μπορούν να λειτουργούν με μπαταρίες. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 38,4kbits/s και η κάθε συσκευή μπορεί να απέχει περίπου 300m ελευθέρου χώρου. Εάν απαιτείται μεγαλύτερη απόσταση, τότε επαναλήπτες αναλαμβάνουν την επανάληψη των ράδιο-τηλεγραφημάτων. Η τεχνική αυτή είναι εξαιρετικά κατάλληλη για επέκταση ήδη υπαρχόντων εγκαταστάσεων που έχουν υλοποιηθεί με διαφορετική τεχνολογία. Επίσης μήκος καλωδίων είναι μικρό έως μηδαμινό. Το κύριο μειονέκτημα της είναι η ανάγκη χρήσης μπαταριών καθώς και η έλλειψη τέτοιων συσκευών στην αγορά.



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα Εγκατάστασης Βασισμένης σε Ασύρματη Μετάδοση

2.3.3 Μετάδοση με χρήση γραμμής ισχύος

Είναι μία τεχνική στην οποία η μεταφορά δεδομένων, αλλά και η τροφοδοσία γίνεται, χρησιμοποιώντας μία διαθέσιμη τροφοδοσία 230/400V (Γραμμή ισχύος). Με αυτή την τεχνολογία δεν είναι πλέον απαραίτητο να απλώνονται παράλληλα οι γραμμές του Bus με τις γραμμές ισχύος και είναι η πιο κατάλληλη για την αναβάθμιση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων παλαιού τύπου χωρίς να χρειάζονται νέα καλώδια. Υπάρχουν δύο είδη αυτής της τεχνικής στο KNX, το PL-110 και το PL-132kHz. Το πρώτο με ρυθμό μετάδοσης 1200bits/s χρησιμοποιεί μετάδοση στα 110kHz και είναι στην ουσία το EIB Powerline. Το δεύτερο με ρυθμό μετάδοσης 2400bits/s χρησιμοποιεί μετάδοση στα 132kHz και είναι στην ουσία το πρωτόκολλο EHS. Το PL-110 και το PL-132 είναι ασύμβατα μεταξύ τους και για ενωθούν χρειάζονται συγκεκριμένη συνδεσμολογία. Το κύριο μειονέκτημα και της τεχνικής αυτής είναι η έλλειψη τέτοιων συσκευών στην αγορά καθώς κάθε χώρα ενδέχεται να έχει διαφορετικής μορφής και αξιοπιστίας παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.



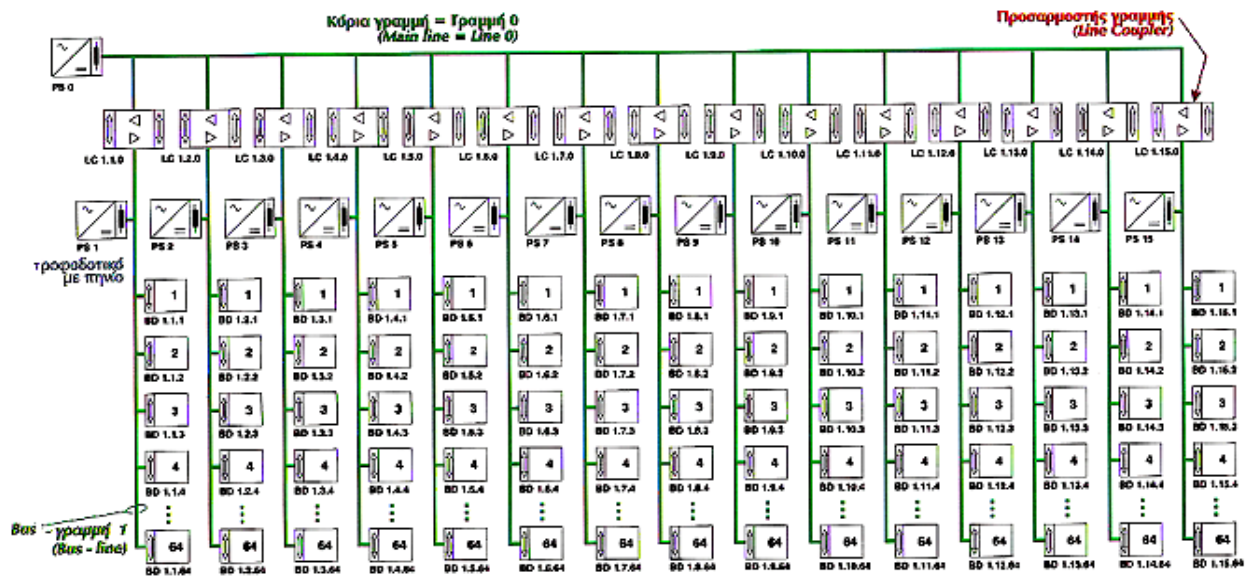
Σχήμα 2.5 Τοπολογία Συστήματος με Μετάδοση Δεδομένων μέσω Γραμμής Ισχύος

2.2.4 Μετάδοση μέσω Ethernet

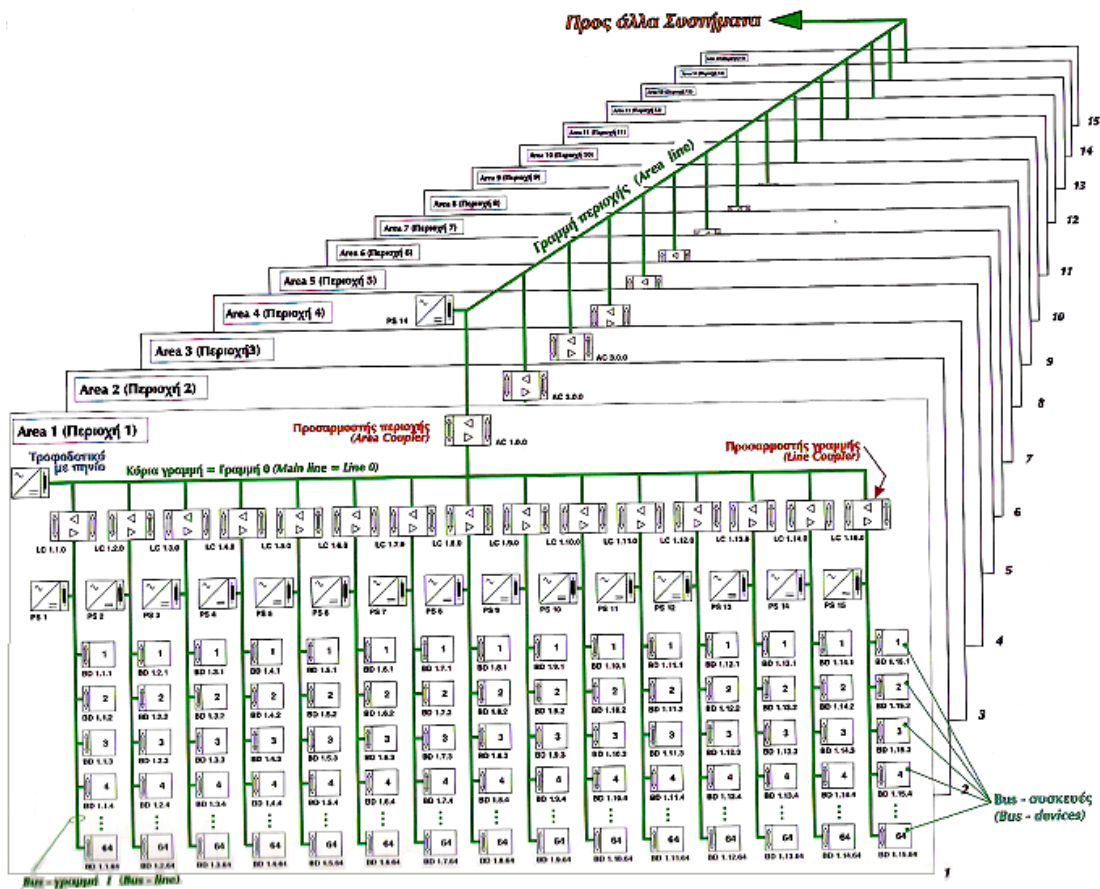
Αυτή η τεχνική, γνωστή και ως KNX-over-IP, είναι η πιο πρόσφατη προσθήκη. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι ο ρυθμός μετάδοσης του Ethernet ο οποίος συνήθως είναι της τάξης του Mbit. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι το υψηλό της κόστος αφού ένας προσαρμοστής δικτύου Ethernet π.χ. στα 10Mbit/s είναι ακριβότερος από έναν απλό προσαρμοστή για συνεστραμμένο ζεύγος στα 9,6Kbit/s. Γι' αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε αισθητήρα και ενεργοποιητή αλλά κυρίως μόνο για την επικοινωνία μιας συμβατικής KNX/EIB εγκατάστασης με υπολογιστές ενός δικτύου Ethernet (ίσως και Internet) ή για την επικοινωνία μεταξύ συμβατικών KNX/EIB εγκαταστάσεων με σκοπό να δημιουργηθεί μια μεγαλύτερη εγκατάσταση.

2.4 Τοπολογία και Οργάνωση Διαύλου

Σημαντική παράμετρος στη σχεδίαση και δημιουργία εγκαταστάσεων που βασίζονται σε τεχνολογία KNX/EIB, είναι η ιεράρχηση και η οργάνωση της τοπολογίας της. Αυτό που έχει προταθεί για το σχεδιασμό της καλωδίωσης είναι μία ιεραρχική δένδροειδής δομή. Η γραμμή (line) αποτελεί τη μικρότερη και απλούστερη μονάδα διαύλου σε όλο το σύστημα KNX/EIB. Ο μέγιστος αριθμός συνδρομητών διαύλου που μπορούν να εγκατασταθούν σε μία γραμμή είναι 64. Σε περίπτωση που απαιτείται εγκατάσταση περισσότερων από 64, τότε θα πρέπει να γίνει η χρήση επαναληπτών (repeaters), τότε ο μέγιστος αριθμός των συνδρομητών γίνεται 255. Η μέγιστη απόσταση συσκευών σε γραμμή με χρήση συνεστραμμένου ζεύγους είναι 700 μέτρα με ταχύτητα 9600bps. Η αμέσως μεγαλύτερη δομική μονάδα στην ιεραρχία είναι περιοχή (area). Σε μία περιοχή με τη χρήση ειδικών συσκευών, που λέγονται προσαρμοστές γραμμής (line couplers), μπορούν να συνδεθούν έως 15 γραμμές. Ο συνολικός αριθμός συνδρομητών που μπορούν να φιλοξενηθούν χωρίς επαναλήπτες φτάνει τους 960. Για τη λειτουργία κάθε γραμμής απαιτείται ένα πιστοποιημένο KNX/EIB τροφοδοτικό. Το κάθε τροφοδοτικό αναλαμβάνει την τροφοδοσία των συνδρομητών, που είναι συνδεδεμένοι στην εν λόγω γραμμή. Τέλος, με τη χρήση προσαρμοστών περιοχών (area couplers) μπορούν να συνδεθούν μέχρι και 15 περιοχές μαζί. Έτσι ο συνολικός αριθμός συνδρομητών που μπορούν να φιλοξενηθούν είναι 14400. Κάθε γραμμή λειτουργεί ανεξάρτητα από τις άλλες, έτσι αν συμβεί οποιοδήποτε πρόβλημα σε μια γραμμή (δυσλειτουργία τροφοδοτικού ή συσκευής, βραχυκύκλωμα, προσθήκη νέων συσκευών) τότε δεν θα επηρεαστούν οι υπόλοιπες. Επίσης ο διαχωρισμός του διαύλου σε περιοχές και γραμμές, παρέχει το πλεονέκτημα ότι η κίνηση δεδομένων, σε μία γραμμή ή περιοχή, είναι απομονωμένη και δεν επηρεάζει τη ροή των πληροφοριών στις υπόλοιπες γραμμές και περιοχές, έτσι αυξάνεται η φαινομενική ταχύτητα του δικτύου. Γι' αυτό, όταν οι συσκευές είναι περισσότερες από 64, είναι προτιμότερο να τοποθετούνται σε πολλές γραμμές και όχι σε μόνο μία με την χρήση επαναληπτών. Ακολουθούν δύο σχήματα που αναπαριστούν την παραπάνω τοπολογία του KNX/EIB.



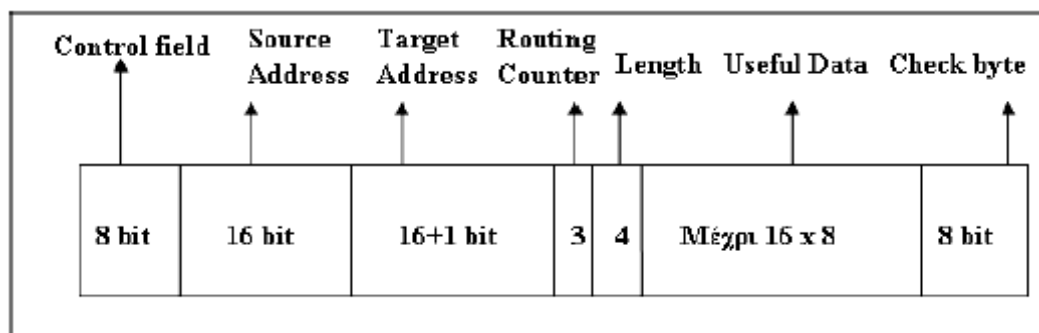
Σχήμα 2.6 Μία περιοχή με 15 γραμμές



Σχήμα 2.7 Ένα σύστημα με 15 περιοχές

2.5 Μετάδοση Πληροφορίας – Τηλεγραφήματα

Οι πληροφορίες ανταλλάσσονται μεταξύ των συνδρομητών του διαύλου με τη μορφή τηλεγραφημάτων. Οι πληροφορίες μεταδίδονται συμμετρικά στη γραμμή του Bus με ρυθμό μετάδοσης 9600bits/sec καθορίζοντας έτσι το μέσο χρόνο μετάδοσης ενός τηλεγραφήματος στα 25 msec. Για λόγους ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης χρησιμοποιείται, για τη μετάδοση, διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο γραμμών και όχι διαφορά δυναμικού σε σχέση με το δυναμικό της γης. Το πρωτόκολλο KNX/EIB επιβάλλει τα ξεχωριστά μηνύματα πληροφορίας να μεταδίδονται στη γραμμή του διαύλου ακολουθώντας συγκεκριμένη σειρά. Επιπλέον, επιβάλλεται κάθε χρονική στιγμή, ο δίαυλος να χρησιμοποιείται για εκπομπή πληροφορίας από ένα μόνο συνδρομητή. Ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης που χρησιμοποιείται, είναι ο CSMA/CA, μία παραλλαγή του CSMA/CD του Ethernet. Υπάρχει βέβαια πρόβλεψη για τα επείγοντα τηλεγραφήματα, σύμφωνα με την οποία δίνεται υψηλή προτεραιότητα σε αυτά έναντι άλλων συμβατικών.



Σχήμα 2.8 Δομή τηλεγραφήματος

Αποτελείται από μία σειρά από χαρακτήρες, οργανωμένους σε πεδία. Η χρήσιμη πληροφορία βρίσκεται στο πεδίο των δεδομένων. Το τηλεγράφημα ελέγχεται για την ορθότητα του μέσω του πεδίου Check byte (checksum). Τα πεδία διεύθυνσης περιλαμβάνουν την διεύθυνση του αποστολέα (source address) και την διεύθυνση των παραληπτών (target address).

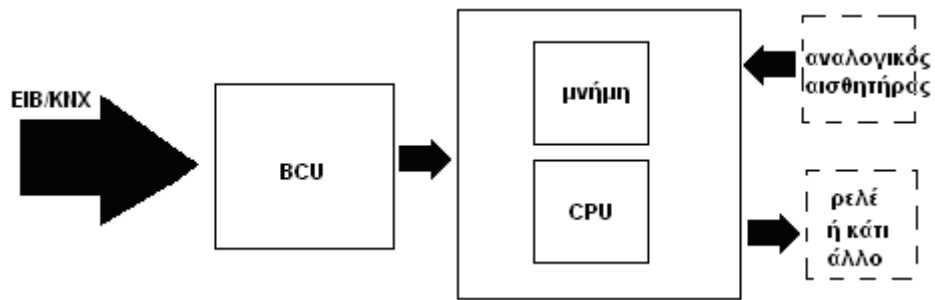
Η διεύθυνση της πηγής είναι πάντα η φυσική διεύθυνση (physical address), η οποία είναι μοναδική για κάθε συνδρομητή. Αυτή καθορίζει την περιοχή και τη

γραμμή που βρίσκεται ο κάθε συνδρομητής. Η διεύθυνση προορισμού καθορίζει τη συσκευή ή τις συσκευές, οι οποίες είναι δέκτες του τηλεγραφήματος. Για τη διεύθυνση προορισμού χρησιμοποιούνται διευθύνσεις ομάδας (group address), οι οποίες επιτρέπουν μία ή περισσότερες συσκευές, να παίρνουν μέρος στην ίδια λήψη, ανεξαρτήτως της τοποθεσίας τους στο δίαυλο.

Οι συνδρομητές διαύλου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τους αισθητήρες, τους ελεγκτές και τους ενεργοποιητές. Οι αισθητήρες δίνουν εντολές ή πληροφορίες στο σύστημα (μπορεί να είναι και απλά button), οι ελεγκτές αξιοποιώντας τις πληροφορίες δίνουν εντολές (PC, PLC, θερμοστάτες, χρονοδιακόπτες κτλ.) ενώ οι ενεργοποιητές (ηλ. κινητήρες, καλοριφέρ, κλιματιστικά) τις εκτελούν. Η διασύνδεση αυτών γίνεται με την αντιστοίχιση της ίδιας διεύθυνσης ομάδας στα αντικείμενα επικοινωνίας τους κάνοντας έτσι δυνατή την αποκατάσταση της μεταξύ τους επικοινωνίας.

2.6 Συνδρομητές Διαύλου

Ο κάθε συνδρομητής διαύλου αποτελείται από το υποσύστημα προσαρμογής διαύλου (BCU – bus coupling unit) το οποίο αναλαμβάνει την αποστολή και την λήψη των τηλεγραφημάτων στον δίαυλο και το υποσύστημα εφαρμογής. Το υποσύστημα εφαρμογής διαθέτει επεξεργαστή και αξιοποιεί την επικοινωνία με τις άλλες συσκευές μέσω του δικτύου για να κάνει κάτι χρήσιμο. Αν η συσκευή είναι τύπου αισθητήρα αναλαμβάνει να δειγματοληπτεί τον αναλογικό αισθητήρα που διαθέτει και να στέλνει το σήμα του περιοδικά (ή όχι) στο δίκτυο. Αν είναι συσκευή τύπου ενεργοποιητή τότε για παράδειγμα αναλαμβάνει να ανοίγει και να κλείνει τα ρελέ που διαθέτει με βάση τα μηνύματα που δέχεται και ένα πρόγραμμα που τρέχει στον επεξεργαστή του. Ένας προσωπικός υπολογιστής μπορεί να γίνει ελεγκτής ή απλά επόπτης του δικτύου με την προσθήκη ειδικής συσκευής σε θύρα RS-232 ή USB και με την χρήση λογισμικού όπως OPC server και Etec Falcon. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται PC και το λογισμικό EIB-OPC server συνεργασία με το MATLAB με σκοπό να παρθούν πειραματικές μετρήσεις από την λειτουργία του συστήματος που υλοποιήθηκε.



Σχήμα 2.9 Συνδρομητής διαύλου

Κάθε συσκευή KNX/EIB μπορεί να προγραμματιστεί με σκοπό να αλλάζουν οι επιμέρους παράμετροι της (πόσο συχνά να στέλνει μηνύματα, τι τύπο δεδομένων να χρησιμοποιεί για την αποστολή, που να στέλνει τα μηνύματα κτλ.). Αυτό γίνεται με το λογισμικό ETS με το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί μια οποιαδήποτε μεγάλη εγκατάσταση KNX/EIB.

3. Εγκατάσταση KNX / EIB στο Πολυτεχνείο Κρήτης

3.1 Εγκατάσταση στο Ε.Η.Κ.Α.Π.Ε

Υπάρχουν δύο εργαστήρια στο Πολυτεχνείο Κρήτης στα οποία έχει γίνει εγκατάσταση KNX/EIB, το Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του τμήματος ΗΜΜΥ (Ε.Η.Κ.Α.Π.Ε, <http://www.elci.tuc.gr>) και το Εργαστήριο Ελέγχου Βιομηχανικών Συστημάτων του τμήματος ΜΠΔ. Στο πρώτο η εγκατάσταση υπάρχει από το 2004 και έγινε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας του Ευάγγελου Τριπολιτάκη η οποία είχε ως θέμα “Τεχνικές και αλγόριθμοι ελέγχου άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια με τη χρήση διαύλων δικτύωσης” [3]. Στην συγκεκριμένη εργασία υλοποιήθηκε ένα δίκτυο EIB και συνδέθηκαν σε αυτό συνολικά 9 αισθητήρες (φωτεινότητας, θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου, υγρασίας, CO₂, ροής αέρα, MRT) και 7 ενεργοποιητές (3 για έλεγχο on/off για τα φώτα, 2 για έλεγχο on/off για κλιματιστικά, 2 ηλεκτρικά μοτέρ για τα παράθυρα και 1 για τα σκίαστρα). Χρησιμοποιήθηκε επίσης ένας υπολογιστής σε λειτουργία ελεγκτή βασισμένου σε Ασαφή Λογική (Fuzzy Logic). Από τότε στο συγκεκριμένο εργαστήριο έχουν υλοποιηθεί και άλλοι αλγόριθμοι βασισμένοι σε ασαφή λογική και σε έλεγχο τύπου PI, PD και PID [11].

3.2 Εγκατάσταση στο Εργαστήριο Ελέγχου Βιομηχανικών Συστημάτων

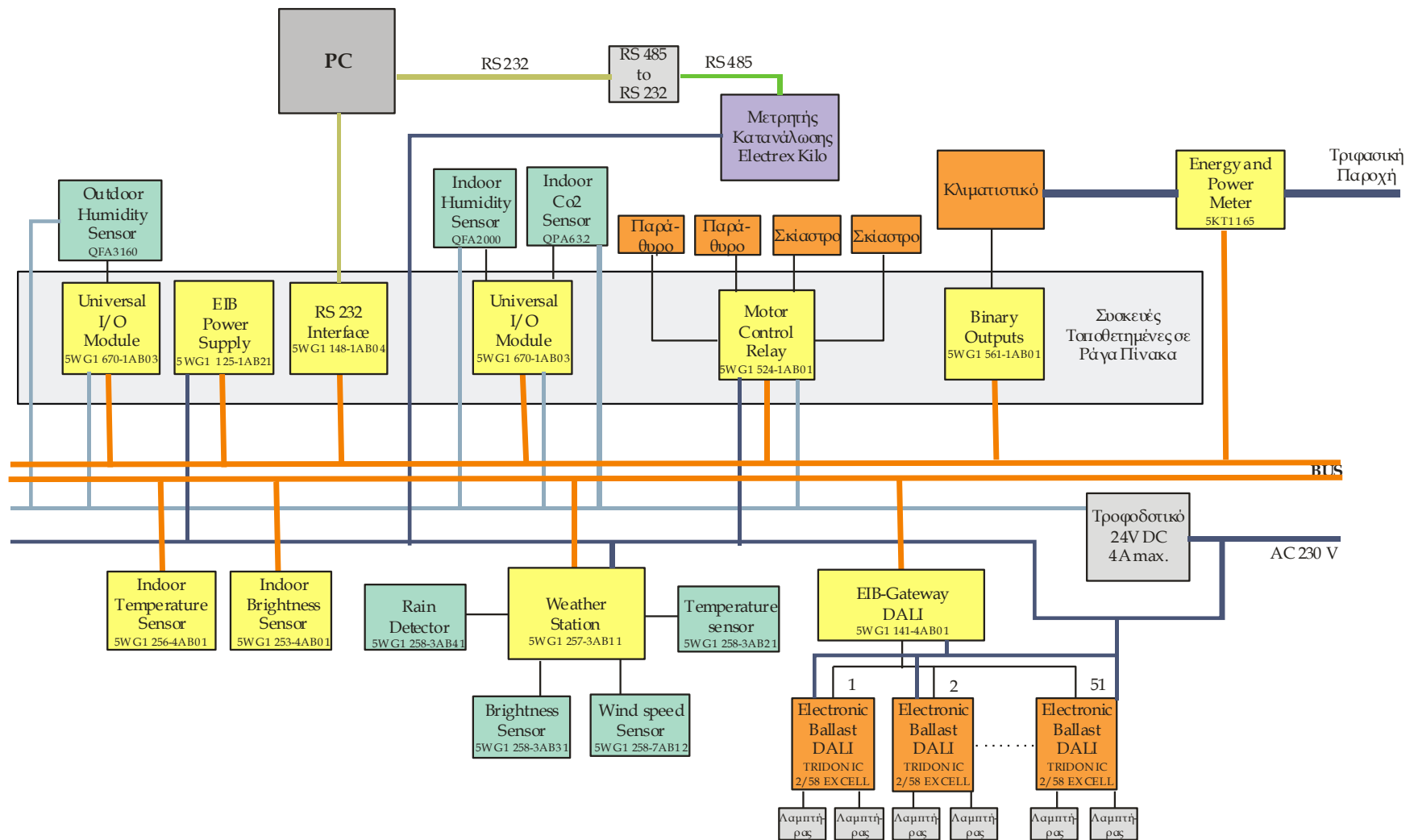
Η εγκατάσταση αυτή υπάρχει από το 2007 και έγινε στα πλαίσια της μεταπτυχιακής διατριβής του φοιτητή Χρήστου Λάζου και της συγκεκριμένης εργασίας. Όλες οι συσκευές συνδέθηκαν σε μία γραμμή του δικτύου KNX/EIB, έτσι το όλο δίκτυο εκφυλίστηκε σε απλό δίαυλο (bus). Η εγκατάσταση περιλαμβάνει συνολικά 9 αισθητήρες και 6 ενεργοποιητές. Ο αριθμός των συσκευών KNX/EIB είναι όμως διαφορετικός επειδή υπάρχουν συσκευές οι οποίες για παράδειγμα ελέγχουν ταυτόχρονα δύο ενεργοποιητές ή είναι συνδεδεμένες με περισσότερους από έναν αισθητήρες. Η συνολική

εγκατάσταση φαίνεται στο σχήμα 3.1. Με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι συσκευές ΕΙΒ, με πράσινο οι αισθητήρες και με πορτοκαλί οι ενεργοποιητές.

Ο χώρος του εργαστηρίου στον οποίο έγινε η εγκατάσταση είναι περίπου 125m^2 και το ύψος είναι περίπου $3,5\text{m}$, άρα ο όγκος είναι περίπου $437,5\text{m}^3$.



Εικόνα 3.1 Πανοραμική άποψη του εργαστηρίου Ελέγχου Βιομηχανικών Συστημάτων



Σχήμα 3.1 Το «υλικό» του συστήματος και οι συνδεσμολογίες[7]

3.2.1 Αισθητήρες

Εσωτερικός αισθητήρας φωτεινότητας

Ο αισθητήρας αυτός (Siemens 5WG1 252-4AB02) συνδέεται απευθείας στο δίκτυο KNX/EIB, έχει εύρος μέτρησης 200-1900 lux και ανάλυση 7,68 lux. Τοποθετήθηκε ψηλά στο κέντρο του εργαστηρίου με κατεύθυνση προς τα κάτω έτσι ώστε να μετράει σωστά την εσωτερική φωτεινότητα του εργαστηρίου. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από το bus [10].

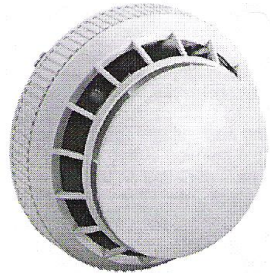


Εικόνα 3.2 Εσωτερικός αισθητήρας φωτεινότητας

Εσωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή KNX/EIB η οποία λέγεται Combined Fire Alarm. Αυτή η συσκευή (Siemens 5WG1 256-4AB01) ειδικεύεται στην μέτρηση της θερμοκρασίας και του καπνού με σκοπό την αναγνώριση ύπαρξης φωτιάς. Οι έξοδοι της (οι οποίες είναι είσοδοι στο σύστημα μας) μπορεί να είναι η τιμή της θερμοκρασίας, με εύρος τιμών -25 έως 70 °C και ανάλυση 0.5 °C, και η τιμή της μέτρησης του καπνού. Αν και η μέτρηση της θερμοκρασίας δεν είναι καθόλου ακριβής, μπορεί να μας οδηγήσει σε ένα σύστημα που δουλεύει χρησιμοποιώντας λογική τύπου θερμοστάτη όπως στις συμβατικές. Η μέτρηση του καπνού γίνεται μετρώντας την οπτική καθαρότητα του αέρα και για αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ (το CO₂ είναι διάφανο). Η μέτρηση του καπνού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση φωτιάς ως ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του συστήματος μας. Επίσης η συσκευή αυτή διαθέτει για είσοδο μία σειρήνα η οποία ενεργοποιείται από μόνη της όταν αναγνωριστεί φωτιά αλλά μπορεί να ενεργοποιηθεί και από οποιαδήποτε άλλη συσκευή μέσω του δικτύου. Μια καλή ιδέα είναι να ενεργοποιείται για λίγο όταν ο χρήστης έχει ρυθμίσει το σύστημα στο χειροκίνητο και κάνει οποιαδήποτε ενέργεια η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα σπατάλη ενέργειας π.χ. να ανοίγει

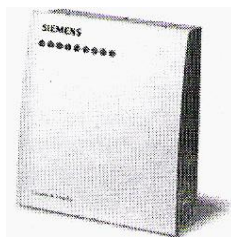
παράθυρο ενώ δουλεύει το κλιματιστικό. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από το bus [10].



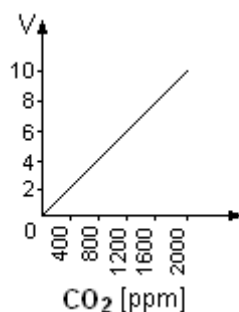
Εικόνα 3.3 Combined fire alarm

Αισθητήρας συγκέντρωσης CO₂

Ο αισθητήρας αυτός (Siemens QPA63.2) μπορεί να μετράει δύο μεγέθη, την συγκέντρωση του CO₂ με εύρος μέτρησης 0 - 2000 ppm και ανάλυση 20 ppm, και την συγκέντρωση VOC σε κάποιο σχετικό σύστημα μέτρησης (το VOC είναι η μέτρηση πολλών πτητικών ουσιών και γι' αυτό δεν υπάρχει απόλυτη μονάδα μέτρησης). Αυτός ο αισθητήρας δεν συνδέεται απευθείας στο δίκτυο, αλλά έχει ως έξοδο δύο καλώδια (ένα για το CO₂ και ένα για το VOC) με τιμές 0-10V για την αναπαράσταση των τιμών που μετράει. Επίσης τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό "LOGO! Power".



Εικόνα 3.4 Αισθητήρας CO₂



Σχήμα 3.2 Η έξοδος του αισθητήρα CO₂

Εσωτερικός αισθητήρας σχετικής υγρασίας

Ο αισθητήρας αυτός (Siemens QFA2000) μπορεί να μετράει τη σχετική υγρασία εσωτερικού χώρου με εύρος μέτρησης 0 – 100% και ανάλυση 1%. Αυτός ο αισθητήρας δεν συνδέεται απευθείας στο δίκτυο, αλλά έχει ως έξοδο ένα καλώδιο με τιμές 0-10V για την αναπαράσταση των τιμών που μετράει. Επίσης τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό “LOGO! Power”.

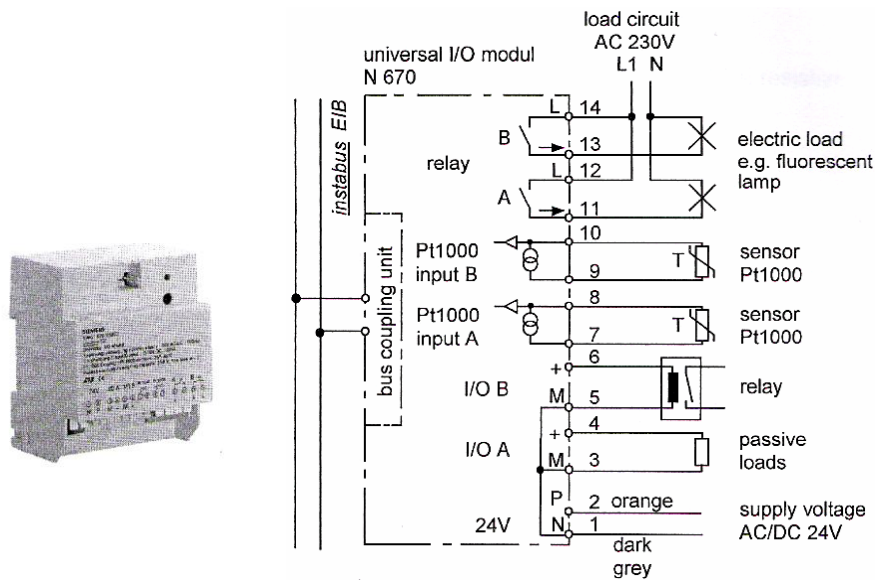


Εικόνα 3.5 Εσωτερικός αισθητήρας σχετικής υγρασίας

Universal I/O module

Για να σταλούν η τιμή του CO₂ και της σχετικής υγρασίας στο δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια συσκευή η οποία θα έχει δύο αναλογικές εισόδους τάσης DC 0-10V και η οποία θα συνδέεται στο δίκτυο KNX/EIB με σκοπό να στέλνει την τιμή αυτή στις υπόλοιπες συσκευές. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το Universal I/O Module N670 (Siemens 5WG1 670-1AB03) το οποίο διαθέτει 2 θύρες που μπορούν να προγραμματιστούν ως εισοδοί ή ως έξοδοι (είτε αναλογικές είτε

ψηφιακές), 2 εισόδους για αισθητήρες τύπου Pt1000 και 2 εξόδους τύπου ρελέ. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από το bus.



Σχήμα 3.3 Τρόποι λειτουργίας του Universal I/O Module

Οι έξοδοι του αισθητήρων CO₂ και σχετικής υγρασίας συνδέονται ως εισοδοι στις θύρες I/O A και B που φαίνονται στο σχήμα 3.6 [10].

Εξωτερικοί αισθητήρες του weather station

Το weather station (Siemens 5WG1 257-3AB11) είναι μια KNX/EIB συσκευή η οποία μπορεί να συνδεθεί με πολλούς και διαφορετικούς αισθητήρες με σκοπό να μετρηθούν διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές. Έχει εγκατασταθεί στην ταράτσα ακριβώς πάνω από το εργαστήριο με σκοπό να παρθούν μετρήσεις για το εξωτερικό περιβάλλον του εργαστηρίου. Η συγκεκριμένη συσκευή διαθέτει 4 εισόδους, στις εισόδους αυτές έχουν συνδεθεί ένας αισθητήρας βροχής, ένας φωτεινότητας, ένας θερμοκρασίας και ένας ταχύτητας του αέρα. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από την συμβατική παροχή ηλ. ενέργειας (230V AC, 50 hertz) και η οποία στην συνέχεια μετασχηματίζεται και τροφοδοτεί τους αισθητήρες.



Σχήμα 3.4 Το weather station χωρίς και με τους αισθητήρες



Εικόνα 3.6 Αισθητήρες που συνδέονται στο weather station (βροχής, φωτεινότητας, θερμοκρασίας, ταχύτητας του αέρα)



Εικόνα 3.7 Οι αισθητήρες του weather station τοποθετημένοι στην τάρτασα του εργαστηρίου

Ο αισθητήρας βροχής (Siemens 5WG1 258-3AB41) μπορεί να δώσει μόνο δύο τιμές 1 όταν βρέχει και 0 όταν δεν βρέχει, έτσι είναι μια ψηφιακή είσοδος στο σύστημα μας. Ο αισθητήρας φωτεινότητας (Siemens 5WG1 258-3AB31) έχει εύρος μέτρησης 0 - 40.000 lux με ανάλυση 156,24 lux και είναι ιδανικός για μέτρηση της εξωτερικής φωτεινότητας. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας (Siemens 5WG1 258-3AB21) έχει εύρος μέτρησης -20 έως +40 βαθμούς κελσίου και ανάλυση 0,24 °C. Τέλος ο αισθητήρας ταχύτητας ανέμου (Siemens 5WG1 258-7AB12) έχει εύρος μέτρησης 0– 35 m/s και ανάλυση 0,27m/s [10].

Εξωτερικός αισθητήρας σχετικής υγρασίας

Ο αισθητήρας αυτός (Siemens QFA3160) μπορεί να μετράει τη σχετική υγρασία u με εύρος μέτρησης 0 – 100% και ανάλυση 1%. Αυτός ο αισθητήρας δεν συνδέεται απευθείας στο δίκτυο, αλλά έχει ως έξοδο ένα καλώδιο με τιμές 0-10V για την αναπαράσταση των τιμών που μετράει. Επίσης τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό “LOGO! Power”.

Για να σταλεί η τιμή της εξωτερικής σχετικής υγρασίας στο δίκτυο χρησιμοποιείται ένα Universal I/O Module ίδιο με αυτό αναφέρθηκε και για τη σύνδεση των εσωτερικών αισθητήρων CO₂ και σχετικής υγρασίας [7].

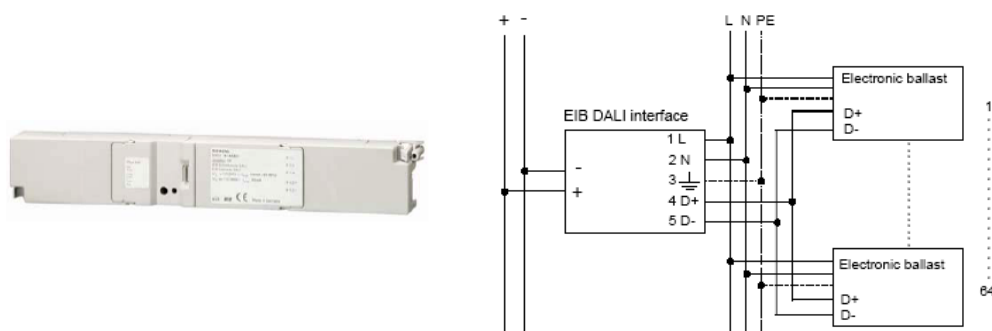


Εικόνα 3.8 Εξωτερικός αισθητήρας σχετικής υγρασίας

3.2.2 Ενεργοποιητές

Οι συσκευές ελέγχου ενεργοποιητών είναι 3 και ελέγχουν τα φώτα, το σύστημα θέρμανσης ψύξης, τα παράθυρα και τα σκίαστρα.

Ενεργοποιητής φωτισμού: Η συσκευή αυτή με όνομα EIB DALI Interface (Siemens 5WG1 141-4AB01) είναι στην ουσία μια γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ ενός δικτύου EIB με ένα σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface – ψηφιακή διευθυνσιοδοτούμενη διεπαφή φωτισμού). Το DALI είναι ένα σύστημα το οποίο μπορεί να ελέγξει μέχρι 64 διαφορετικές ομάδες φωτιστικών σωμάτων. Στην ουσία τα φωτιστικά σώματα του εργαστηρίου (51 συνολικά χωρισμένα σε 10 ομάδες) είναι συνδεδεμένα σε ένα σύστημα DALI και μέσω της συσκευής DALI Interface μπορούν να ελεγχθούν μέσω του δικτύου KNX/EIB. Τα φώτα ελέγχονται μέσω του KNX/EIB από κοινού ως μία ομάδα και μπορούν είτε απλά να ανοίγουν και να κλείνουν (έλεγχος on/off) είτε να ρυθμίζεται η φωτεινότητά τους σε 256 διακριτές στάθμες. Στην περίπτωση που είναι νύκτα (άρα ο φυσικός/εξωτερικός φωτισμός είναι 0) και αν όλα τα φώτα είναι ανοικτά τότε ο εσωτερικός φωτισμός μπορεί να φτάσει μέχρι 400 lux. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από την συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.5 EIB DALI Interface

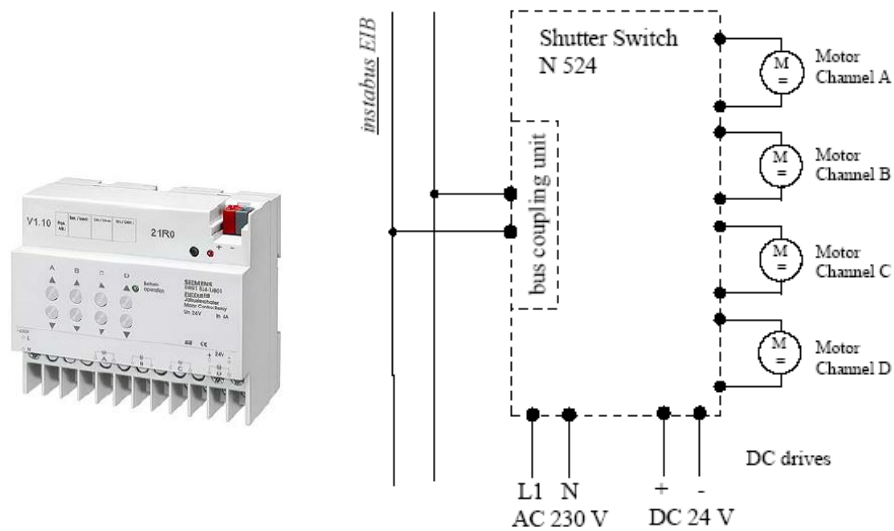
Στο εργαστήριο υπάρχουν συνολικά 102 λαμπτήρες φθορισμού τύπου T8, οι 94 είναι ονομαστικής ισχύος 58W και οι 8 ονομαστικής ισχύος 18W. Ανά 2 συνδέονται σε μια συσκευή electronic ballast DALI. Συνολικά εγκαταστάθηκαν 47 συσκευές

TRIDONIC pca excel one4all 2×58 W και 4 συσκευές TRIDONIC pca excel one4all 2×18 W.



Εικόνα 3.9 Electronic ballast DALI, Tridonic pca excel one4all

Ενεργοποιητές παραθύρων και σκιάστρων: Η συσκευή Shutter switch N524 N561 (Siemens 5WG1 524-1AB01) συνδέεται με τους ηλεκτρικούς κινητήρες που είναι εγκατεστημένοι σε δύο παράθυρα και σε δύο ηλεκτρικά σκιάστρα στο εργαστήριο [10]. Η συσκευή αυτή προορίζεται για τον έλεγχο ηλεκτρικών κινητήρων για σκιάστρα. Η κίνηση του κάθε παραθύρου και του κάθε σκιάστρου γίνεται με έναν DC ηλ. κινητήρα ενώ η πολικότητα της DC τάσης είναι αυτή που καθορίζει το αν θα γίνει άνοιγμα ή κλείσιμο. Επίσης το πόσο θα ανοίξει ή το πόσο θα κλείσει εξαρτώνται από το πόσο χρόνο εφαρμόζεται τάση στον κινητήρα. Η συσκευή αυτή με την κατάλληλη συνδεσμολογία μπορεί να δέχεται ως είσοδο από το KNX/EIB μια τιμή για την θέση των σκιάστρων και αυτόματα να ανοίγει και να κλείνει τα κατάλληλα ρελέ για τον χρόνο που χρειάζεται με σκοπό τα σκιάστρα να έρθουν στην επιθυμητή θέση. Με παρόμοιο τρόπο μπορεί να ελέγχεται ακόμα και η θέση των περσίδων. Ακόμα, σε αυτήν την συσκευή μπορεί να συνδεθεί ακόμα και κινητήρας για άνοιγμα και για κλείσιμο παραθύρων (αν και το όνομα της συσκευής περιγράφει ότι προορίζεται μόνο για σκιάστρα) αφού τα παράθυρα ελέγχονται με τον ίδιο τρόπο που ελέγχονται τα σκιάστρα. Η συσκευή Shutter switch μπορεί να ελέγξει μέχρι 4 ηλεκτρικούς κινητήρες, έτσι σε αυτήν έχουν συνδεθεί οι κινητήρες από δύο παράθυρα και από δύο σκιάστρα. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από την συμβατική παροχή ηλ. ενέργειας για να λειτουργήσει και από το τροφοδοτικό “LOGO! Power” για λειτουργήσουν οι κινητήρες.



Σχήμα 3.6 Shutter switch

Παράθυρα: Τα δύο υπό έλεγχο παράθυρα είναι διαστάσεων 80×30 cm το καθένα. Σε κάθε παράθυρο τοποθετήθηκε ο ηλεκτρικός μηχανισμός ανοίγματος, Turning Sash Drive SHD 50/450 της εταιρίας D+H. Οι κινητήρες λειτουργούν με τάση 24V DC και έχουν μέγιστη ένταση ρεύματος 1A.



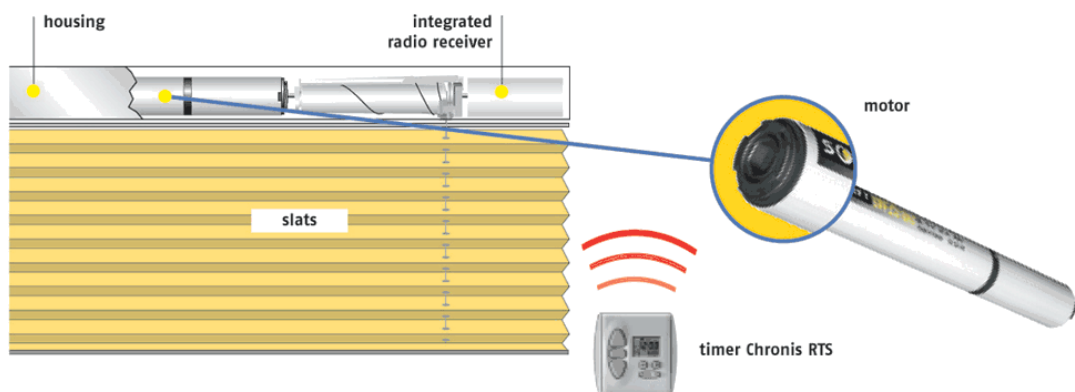
Εικόνα 3.10 Ο μηχανισμός που τοποθετήθηκε στα παράθυρα



Εικόνα 3.11 Παράθυρο με μηχανισμό ανοίγματος στο εργαστήριο

Σκίαστρα: Υπάρχουν δυο υπό έλεγχο σκίαστρα. Το ένα καλύπτει παράθυρο διαστάσεων 175×125 cm και το άλλο παράθυρο διαστάσεων 175×85 cm.

Τα σκίαστρα που τοποθετήθηκαν (Somfy Concept 25) λειτουργούν με τάση 24V DC και έχουν μέγιστη ένταση ρεύματος 0,5A.



Εικόνα 3.12 Τα ηλεκτρικά σκίαστρα που τοποθετήθηκαν



Εικόνα 3.13 Ηλεκτρικό σκίαστρο εγκατεστημένο στο εργαστήριο

Το σύστημα θέρμανσης/ψύξης: Το κλιματιστικό Fyrogenis MFS D12 ήταν ήδη εγκατεστημένο στο χώρο του εργαστηρίου. Δεν είναι διαθέσιμα τα πλήρη και ακριβή χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου συστήματος (BTU κτλ.). Αυτά τα οποία γνωρίζουμε είναι τα εξής: λειτουργεί με τριφασική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και καταναλώνει συνολικά περίπου 30KW όταν λειτουργεί. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η δυνατότητα ψύξης που έχει είναι 38400 kcal/h (η δυνατότητα θέρμανσης δεν είναι γνωστή). Ο χώρος του εργαστηρίου στον οποίο και είναι εγκατεστημένο είναι περίπου 125 τετραγωνικά μέτρα και το ύψος είναι περίπου 3,5 μέτρα, άρα ο όγκος είναι περίπου 437,5 κυβικά μέτρα [10].

Το συγκεκριμένο σύστημα θέρμανσης/ψύξης είχε και ένα χειριστήριο/ελεγκτή από το οποίο ο χρήστης μπορούσε να ενεργοποιήσει το όλο σύστημα στο ζεστό ή στο κρύο καθώς και να ενεργοποιήσει την ανακύκλωση του αέρα για να έχει όλος ο χώρος ομοιόμορφη θερμοκρασία. Δεν υπήρχε η δυνατότητα επιλογής της

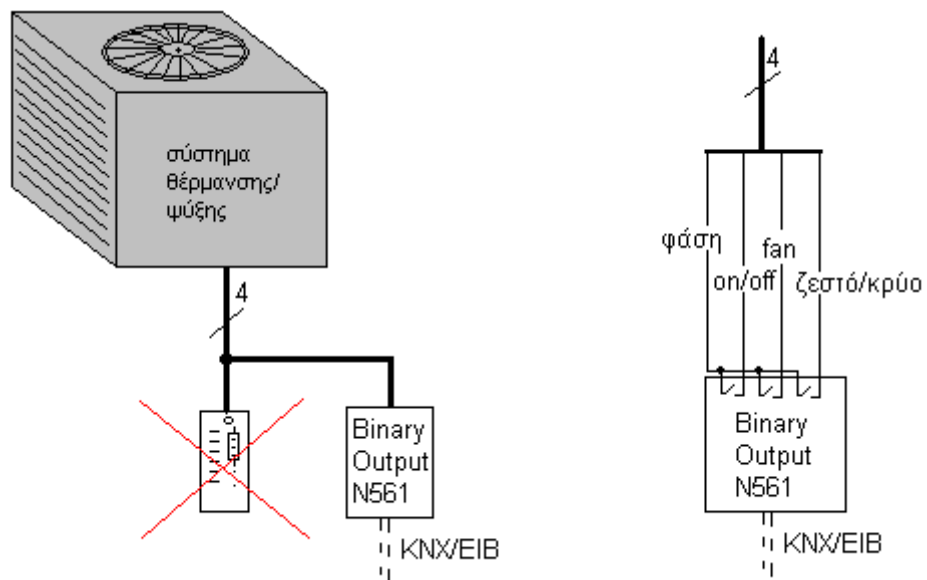
επιθυμητής θερμοκρασίας (καθώς το σύστημα είναι παλιό, 1995) ούτε η δυνατότητα να ρυθμιστεί η ισχύς θέρμανσης/ψύξης (π.χ. το πλήθος των αντιστάσεων σε περίπτωση θέρμανσης ή οι στροφές του κινητήρα του συμπιεστή σε περίπτωση ψύξης). Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας αποσυνδέθηκε το παραπάνω χειριστήριο και στην θέση του συνδέθηκε η KNX/EIB συσκευή όνομα Binary Output N561 η οποία περιγράφεται παρακάτω. Το σύστημα θέρμανσης/ψύξης ελέγχεται με 4 καλώδια, την φάση (230V 50hertz), το on/off, το heat/cool και το out. Βραχυκυκλώνοντας κάποιο από τα καλώδια on/off, heat/cool ή out με την φάση τότε παίρνει την λογική τιμή 1, αλλιώς παίρνει την τιμή 0. Όταν το on/off είναι 0 τότε δεν λειτουργεί τίποτα, όταν είναι 1 τότε λειτουργεί ο κινητήρας ανακύκλωσης του αέρα, όταν είναι και το out ανοικτό τότε το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία θέρμανσης ή ψύξης ανάλογα με την τιμή του heat/cool. Η ανακύκλωση του αέρα είναι αναγκαία μετά από την λειτουργία στο κρύο για να μην βγει εκτός λειτουργίας το σύστημα θέρμανσης/ψύξης λόγω δημιουργίας πάγου σύμφωνα με τον κατασκευαστή.

on / off	Heat / cool	out	λειτουργία
0	0	0	εκτός λειτουργίας
0	0	1	εκτός λειτουργίας
0	1	0	εκτός λειτουργίας
0	1	1	εκτός λειτουργίας
1	0	0	ανακύκλωση αέρα
1	0	1	λειτουργία στο κρύο
1	1	0	ανακύκλωση αέρα
1	1	1	λειτουργία στο ζεστό

Πίνακας 3.1 Λειτουργία του συστήματος θέρμανσης/ψύξης σε σχέση με τις λογικές τιμές των καλωδίων ελέγχου

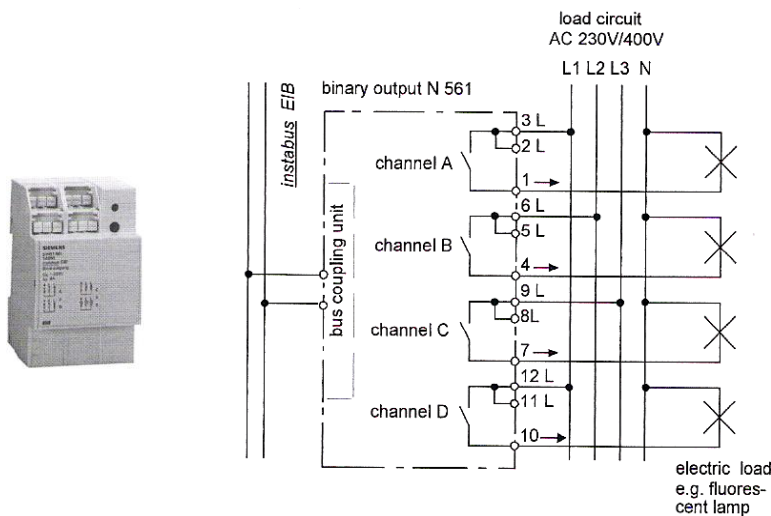


Εικόνα 3.14 Το κλιματιστικό που χρησιμοποιήθηκε



Σχήμα 3.7 Συνδεσμολογία του Binary Output N561 με το σύστημα θέρμανσης/ψύξης

Ενεργοποιητής συστήματος θέρμανσης/ψύξης: Στον χώρο του εργαστηρίου υπάρχει εγκατεστημένο ένα σύστημα θέρμανσης/ψύξης. Αυτό όταν αγοράστηκε ήταν συνδεδεμένο με έναν απλό ελεγκτή τύπου θερμοστάτη ο οποίος αποσυνδέθηκε και την θέση του πήρε η συσκευή KNX/EIB με όνομα Binary Output N561 (Siemens 5WG1 561-1AB01). Αυτή η συσκευή είναι στην ουσία 4 έξοδοι τύπου ρελέ οι οποίες μπορούν να ελεγχθούν μέσω του δικτύου KNX/EIB και τροφοδοτείται από το bus.



Σχήμα 3.8 Binary Output N561

Ανοίγοντας και κλείνοντας αυτά τα ρελέ μπορεί να ελεγχθεί το σύστημα θέρμανσης/ψύξης ρυθμίζοντας έτσι αν και για πόσο θα λειτουργεί ή αν θα λειτουργεί στην κατάσταση θέρμανση ή στην κατάσταση ψύξη[7].

3.2.3 Άλλες συσκευές

Διασύνδεση με PC : Η συσκευή αυτή (Siemens 5WG1 148-1AB04) είναι η διεπαφή μεταξύ του KNX/EIB και ενός PC μέσω της σειριακής θύρας RS-232. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιείται για την ρύθμιση του δικτύου (δηλαδή για τον προγραμματισμό των συσκευών) μέσω του λογισμικού ETS και για την παρακολούθησή του. Επίσης το PC μπορεί μέσω αυτής της συσκευής και του λογισμικού OPC server ή Etec Falcon ή άλλου να μετατραπεί σε ελεγκτή του δικτύου. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από bus.

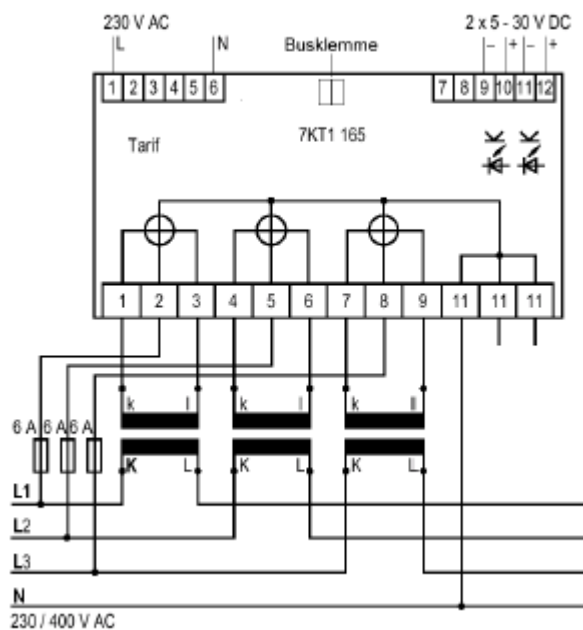
Τροφοδοτικά : Εκτός από την τροφοδοσία των συσκευών ισχύος μέσω της συμβατικής παροχής ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά τροφοδοτικά για τις συσκευές χαμηλής ισχύος. Μέσω της συμβατικής παροχής τροφοδοτούνται τα φώτα, το σύστημα θέρμανσης/ψύξης κάποιες KNX/EIB συσκευές και προφανώς τα υπόλοιπα τροφοδοτικά καθώς και ο υπολογιστής. Χρησιμοποιήθηκε το πιστοποιημένο KNX/EIB τροφοδοτικό EIB power supply (Siemens 5WG1 125-1AB21) για να τροφοδοτήσει με συνεχή τάση 24V (πρακτικά 29V) τον δίαυλο. Το μέγιστο ρεύμα του τροφοδοτικού αυτού είναι 640mA και είναι υπεραρκετό για το σύστημα αυτό. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το τροφοδοτικό “LOGO! Power” για την τροφοδοσία των κινητήρων στα παράθυρα και στα σκίαστρα, καθώς και για τους αισθητήρες CO₂ και υγρασίας. Η τάση αυτού του τροφοδοτικού είναι 24V DC και το μέγιστο ρεύμα είναι 4A.

Τριφασικοί μετρητές ισχύος και κατανάλωσης ενέργειας : Δύο τέτοιοι μετρητές τοποθετήθηκαν, ένας για το κλιματιστικό και ένας για την υπόλοιπη εγκατάσταση.

Για την καταγραφή της κατανάλωσης του κλιματιστικού χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Energy and Power Meter N165 (Siemens 7KT1 165). Ο μετρητής αυτός είναι Συσκευή EIB. Καταγράφει την συνολική κατανάλωση σε Wh ή VAh και την τιμή της ισχύος σε W σε κάθε φάση. Η συνδεσμολογία γίνεται με τη χρήση μετασχηματιστών έντασης ρεύματος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν 3 μετασχηματιστές 100/5 A.



Εικόνα 3.15 Energy and Power Meter 7KT1 165

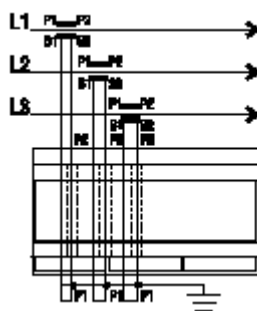


Σχήμα 3.9 Συνδεσμολογία του Energy and Power Meter 7KT1 165

Για την καταγραφή της κατανάλωσης στο υπόλοιπο σύστημα χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Electrex Kilo. Καταγράφει την κατανάλωση σε Wh ή VAh και την τιμή της ισχύος σε W για κάθε φάση χωριστά ή για τις τρεις φάσεις συνολικά. Η συνδεσμολογία γίνεται με τη χρήση μετασχηματιστών έντασης ρεύματος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν 3 μετασχηματιστές 50/5 A. Ο μετρητής αυτός συνδέεται με τον υπολογιστή του συστήματος μέσω σειριακής θύρας RS 485, η οποία μετατρέπεται σε RS 232, με τη χρήση κατάλληλου μετατροπέα [7].



Εικόνα 3.16 Electrex Kilo power and energy meter



Σχήμα 3.10 Η συνδεσμολογία του Electrex Kilo

3.2.4 Κόστος εγκατάστασης

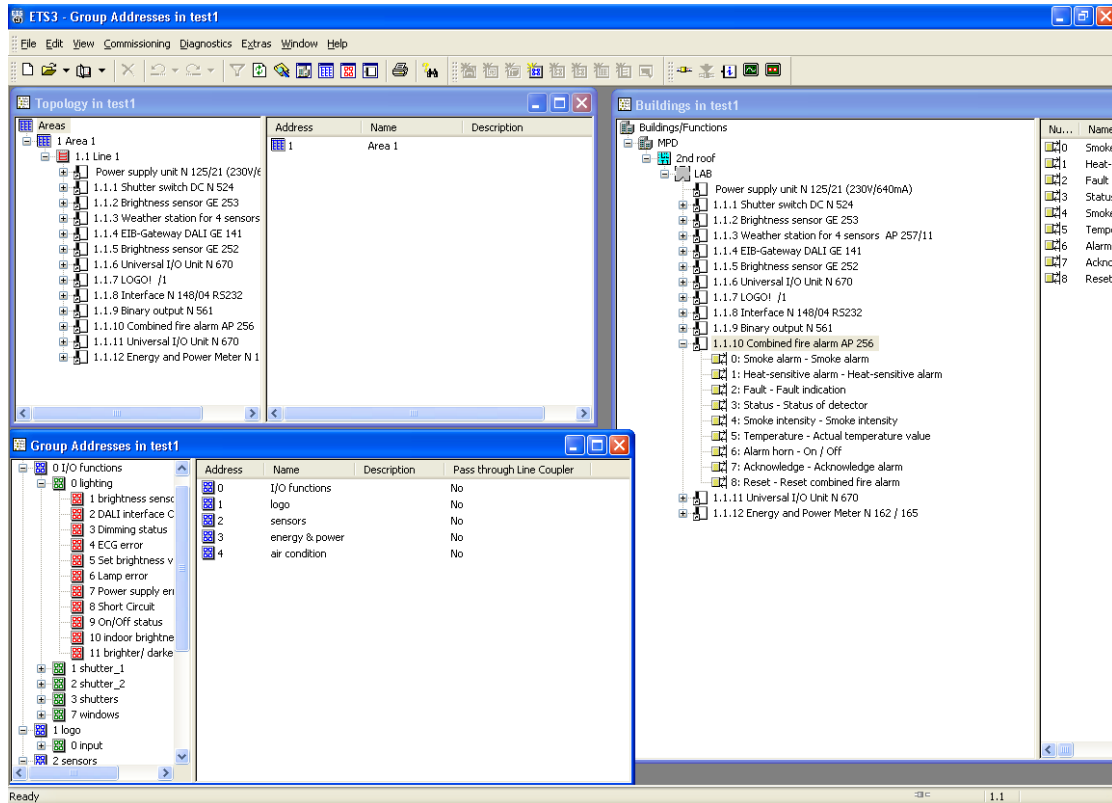
Είδος	Ποσ.	Τιμή (€)
Αισθητήρας Φωτεινότητας 5WG1 152-4AB02	1	143,17
Binary output 5WG1 561-1AB01	1	129,12
Motor Control Relay 5WG1 524-1AB01	1	198,65
Universal I/O Module 5WG1 670-1AB03	2	344,96
EIB Gateway DALI 5WG1 141-4AB01	1	319,97
Μετρητής Ενέργειας και Ισχύος 7KT1 165	1	422,97
El. Ballast TRIDONIC PCA one4all 2×58W	47	2726,00
El. Ballast TRIDONIC PCA one4all 2×18W	4	232,00
Τροφοδοτικό LOGO! Power 24V DC/4A	1	71,14
Αισθητήριο CO ₂ QPA63.2	1	261,82
Αισθητήριο Θερμοκρασίας 5WG1 256-3AB01	1	124,42
Μηχανισμός παραθύρων SHD 50/450-V	2	1241,10
Ηλεκτρικά στόρια Somfy (Concept 25)	2	1134,45
Αισθητήρας Υγρασίας QFA3160 + kit τοποθέτ.	1	326,29

Αισθητήρας Υγρασίας QFA2000	1	138,09
Μετασχηματιστής Έντασης Ρεύματος 50/5 A	3	23,59
Τροφοδοτικό EIB 5WG1 125-1AB21	1	226,80
Interface RS 232 5WG1 148-1AB04	1	173,52
Data Rail 5WG1 190-8AB52	1	19,73
Weather Station 5WG1 257-3AB11	1	398,88
Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου 5WG1 258-7AB02	1	236,16
Αισθητήρας θερμοκρασίας 5WG1 258-3AB21	1	70,13
Αισθητήρας φωτεινότητας 5WG1 258-3AB31	1	66,46
Αισθητήρας βροχής 5WG1 258-3AB41	1	146,88
Hating Transformer for W. St. 5WG1 258-8AB01	1	41,04
Mast Mounting for W. St. 5WG1 258-8AB21	1	31,38
Ηλεκτρολογικό Υλικό (εκτίμηση)	1	150,00
Λοιπά έξοδα (εκτίμηση)	1	100,00
Μερικό Σύνολο		9208,72
Φ.Π.Α. (19%)		1749,66
Σύνολο		10958,38

Πίνακας 3.2 Το κόστος της εγκατάστασης

3.3 Εργαλεία λογισμικού

3.3.1 Το λογισμικό ETS (EIB Tool Software)



Εικόνα 3.17 Ο προγραμματισμός του συστήματος στο ETS

Για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο λογισμικού ETS (EIB Tool Software), το οποίο λειτουργεί τόσο σε επίπεδο προγραμματισμού και οργάνωσης αυτής όσο και σε επίπεδο διαχείρισης έργου.

Το ETS (EIB Tool Software) είναι ένα πρόγραμμα το οποίο έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την ευελιξία και την επεκτασιμότητα, έχοντας τέτοια δομή ώστε υποστηρίζει μελλοντικές υλοποιήσεις στην τεχνολογία EIB. Βασικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι ότι μπορεί να δεχτεί την βάση δεδομένων συνδρομητών οποιουδήποτε κατασκευαστή επιτρέποντας στο σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει σε μια εγκατάσταση συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών συμβατές με το πρότυπο EIB, οι οποίες θα διαχειρίζονται με ενιαία διεπαφή (*interface*).

Για να μπορεί να επικοινωνήσει το πρόγραμμα με την εγκατάσταση πρέπει να υπάρχει φυσική διασύνδεση του Η/Υ που έχει εγκατεστημένο το ETS με το N-148 Interface του Bus με μια RS-232 θύρα του υπολογιστή, μέσω σειριακού καλωδίου [3].

Ένα από τα σπουδαιότερα τμήματα του ETS είναι η επιλογή σχεδιασμού έργου (*project design*). Από εκεί ξεκινά η δημιουργία κάθε νέου έργου και μπορούν να γίνουν όλες οι αλλαγές και οι τροποποιήσεις ενός υπάρχοντος. Επιπλέον στο τμήμα αυτό δημιουργούνται οι διευθύνσεις ομάδας όπως επίσης δηλώνεται η τοπολογία των συσκευών και ορίζονται οι σχέσεις των αντικειμένων επικοινωνίας με τις διευθύνσεις ομάδας. Παράλληλα, μπορεί κανείς να δει σε πιο σημείο του κτιρίου βρίσκεται κάποια συσκευή και να του παρουσιαστούν οι σχέσεις στοιχείων επικοινωνίας με διευθύνσεις ομάδας.

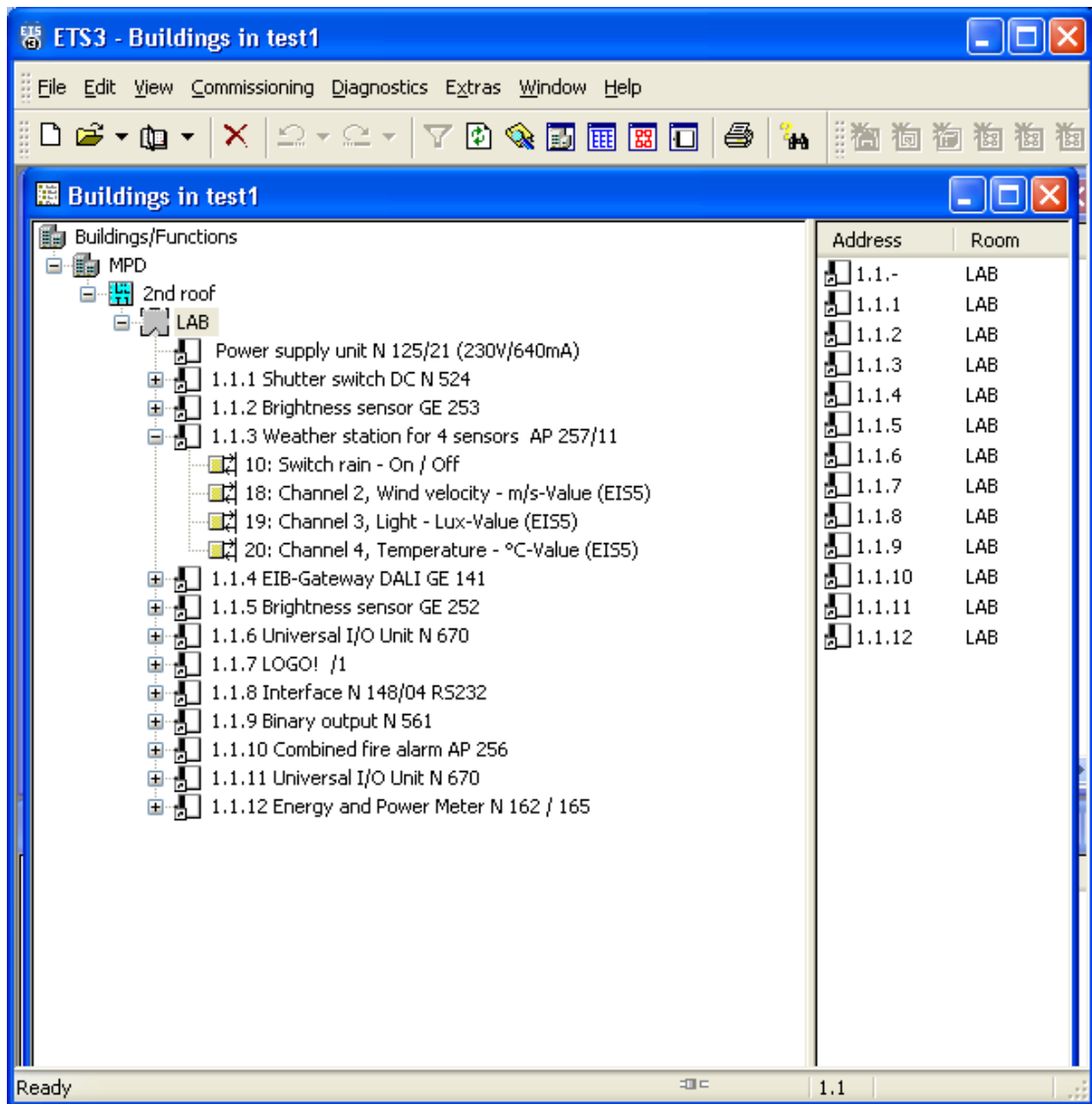
Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι δεν είναι αναγκαίο να γίνει η όλη σχεδίαση στον υπολογιστή όταν αυτός είναι συνδεδεμένος στην εγκατάσταση, αλλά κάπου αλλού και στο τέλος να γίνει η μεταφορά του προγράμματος σε κάθε μια συσκευή μεταφέροντας τον φορητό υπολογιστή στο χώρο εγκατάστασης [2].

Πρέπει να τονιστεί ότι το ETS χρησιμοποιείται μόνο κατά την εγκατάσταση ή την αναβάθμιση του συστήματος και δεν είναι απαραίτητο και τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο.

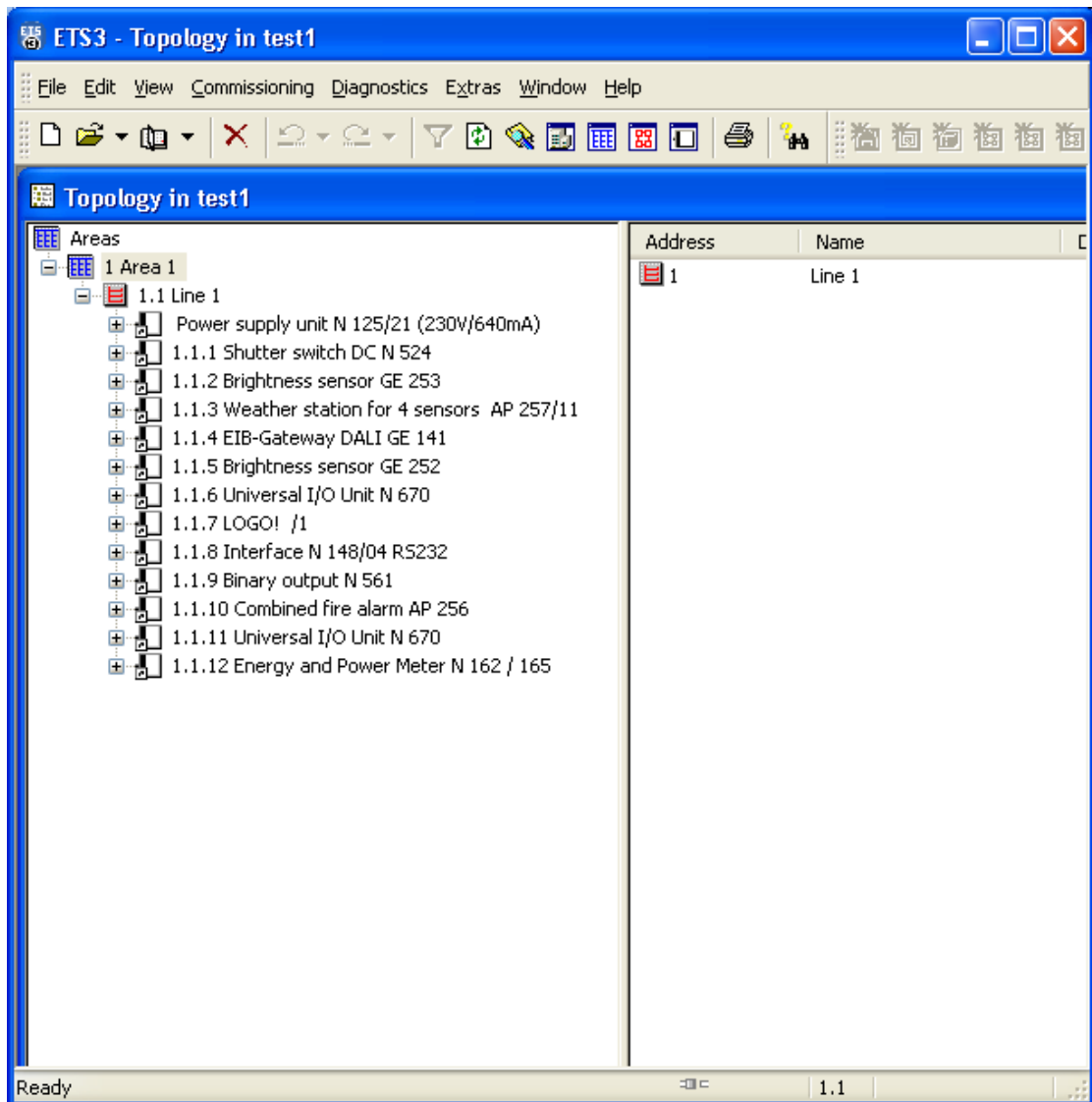
Ο προγραμματισμός στο ETS συνολικά συνίσταται σε:

- Προσδιορισμό των συσκευών,
- Καθορισμό της τοπολογίας,
- Διευθυνσιοδότηση των συσκευών,
- Καθορισμό των παραμέτρων λειτουργίας των συσκευών
- Καθορισμό των διευθύνσεων ομάδας (group addresses) και της ιεραρχίας τους.

Για κάθε συσκευή EIB αντλούμε το πρόγραμμά της από μια βάση δεδομένων, καθορίζουμε τις παραμέτρους, δίνουμε διεύθυνση και προσδιορίζουμε την τοπολογία, όπως φαίνεται στις εικόνες 3.18 και 3.19 [7].



Εικόνα 3.18 Προσδιορισμός των συσκευών και καθορισμός των φυσικών διευθύνσεών τους.



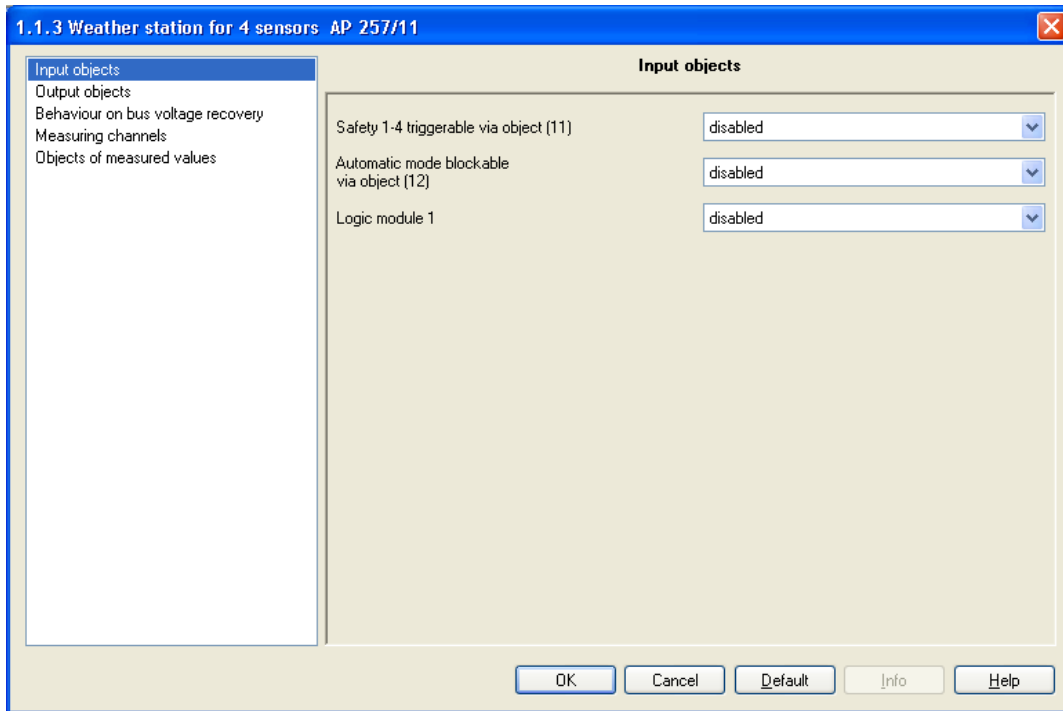
Εικόνα 3.19 Καθορισμός της τοπολογίας.

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των παραμέτρων για κάθε συσκευή, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.20 για την περίπτωση weather station.

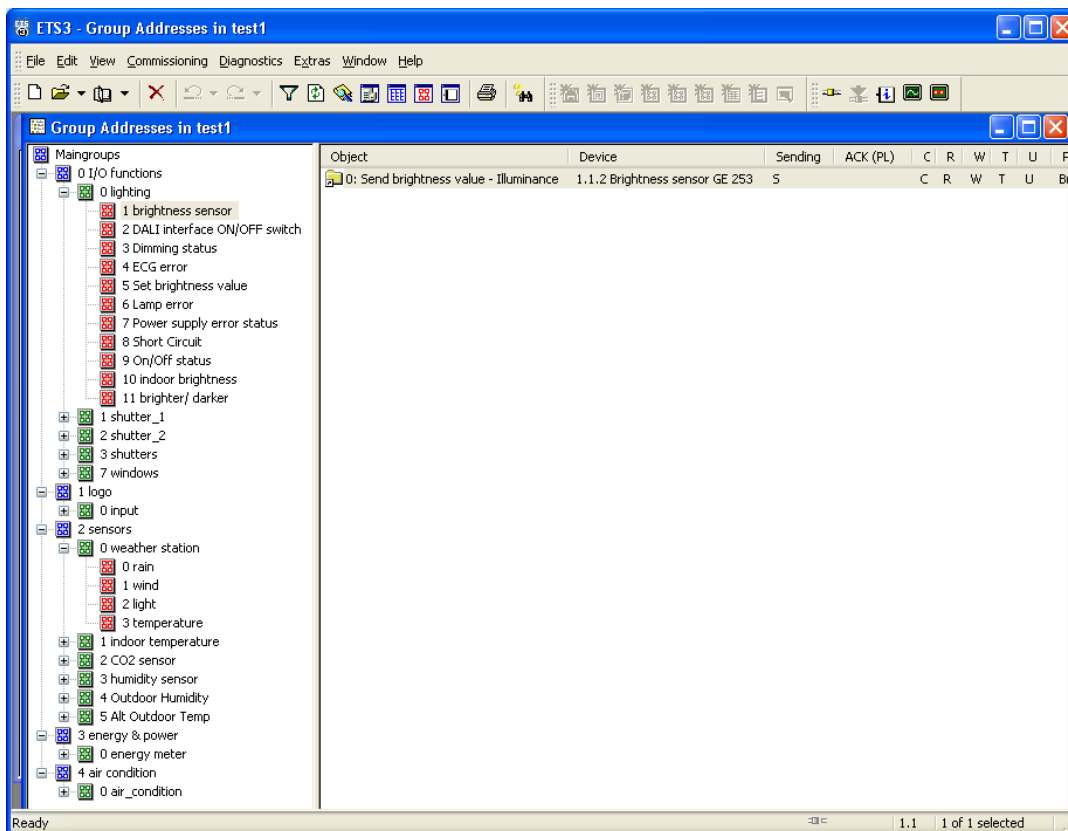
Στη συνέχεια γίνεται ο καθορισμός των διευθύνσεων ομάδας και της ιεραρχίας τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.21.

Ακολουθεί ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή κάθε συσκευής, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.22 για την περίπτωση του Universal I/O Unit.

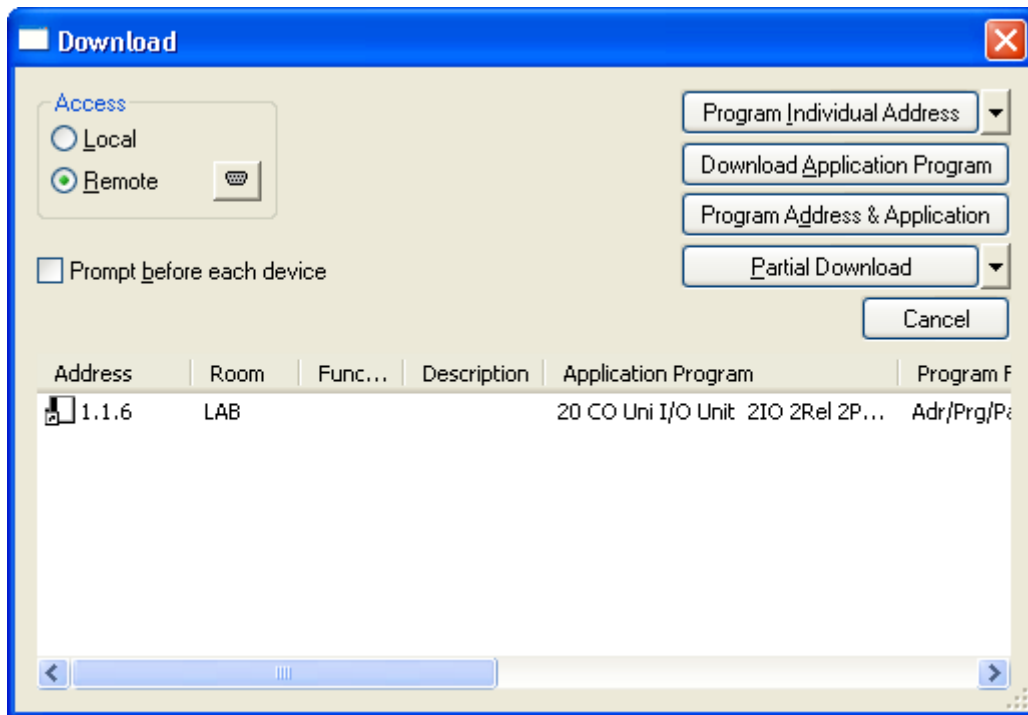
Τέλος εξάγεται ένα αρχείο με τις διευθύνσεις ομάδας το οποίο εν συνεχεία «φορτώνεται» στον EIB OPC server.



Εικόνα 3.20 Καθορισμός των παραμέτρων του weather station



Εικόνα 3.21 Καθορισμός των διευθύνσεων ομάδας



Εικόνα 3.22 Προγραμματισμός της συσκευής Universal I/O Module

3.3.2 EIB OPC Server

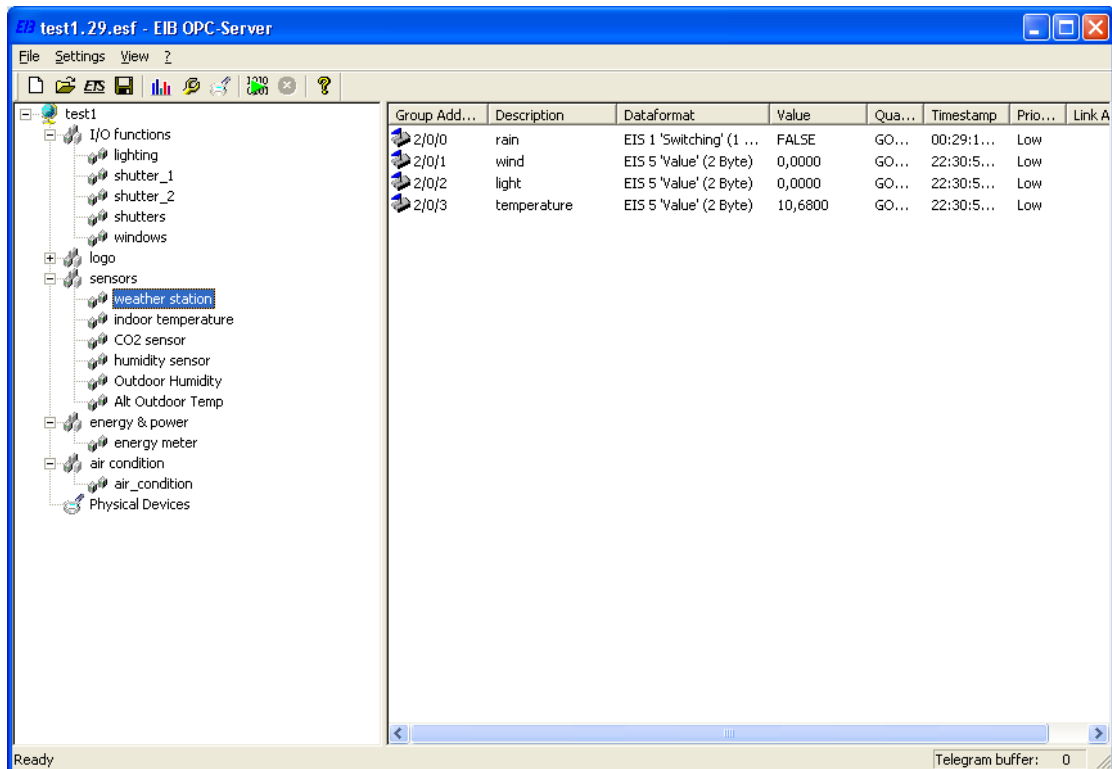
Ο EIB OPC Server, είναι μια 32-bit εφαρμογή για λειτουργικά συστήματα Windows η οποία κάνει χρήση της τεχνολογίας OLE for Process Control και παρέχει στις εφαρμογές Windows που την υποστηρίζουν, πρόσβαση στον δίαυλο για επικοινωνία εισόδου/ εξόδου.

Μέσω του OPC server και των σχετικών clients ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στους συνδρομητές μέσω μεταβλητών από τις οποίες διαβάζει και στις οποίες γράφει τιμές οι οποίες μπορούν να μεταφερθούν σε άλλους αποδέκτες στον δίαυλο.

Μέσω του OPC server η διαδικασία επικοινωνίας με το δίαυλο και η ανάπτυξη δοκιμαστικών εφαρμογών είναι αρκετά γρήγορη και εύκολη διαδικασία. Ο χρήσης δεν ενδιαφέρεται για την τοπολογία και την λειτουργία του διαύλου. Αντίθετα, έχει ως προγραμματιστική διεπαφή τις μεταβλητές που παρέχονται από τον server.

Το αρχείο με τις διευθύνσεις ομάδας που παράχθηκε στο ETS, εισάγεται στον EIB OPC server. Αυτές οι διευθύνσεις ομάδας αποτελούν τις μεταβλητές στις οποίες αποκτά πρόσβαση ο OPC client, που θα δούμε στη συνέχεια.

Χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2.0 του EIB OPC server [7].



Εικόνα 3.23 Ο EIB OPC server με τις διευθύνσεις ομάδας του συστήματος

3.3.3 Matlab

Η ανάπτυξη του υπόλοιπου λογισμικού έγινε σε περιβάλλον Matlab, κάνοντας χρήση των εργαλείων που παρέχει το πακέτο Matlab R2006b.

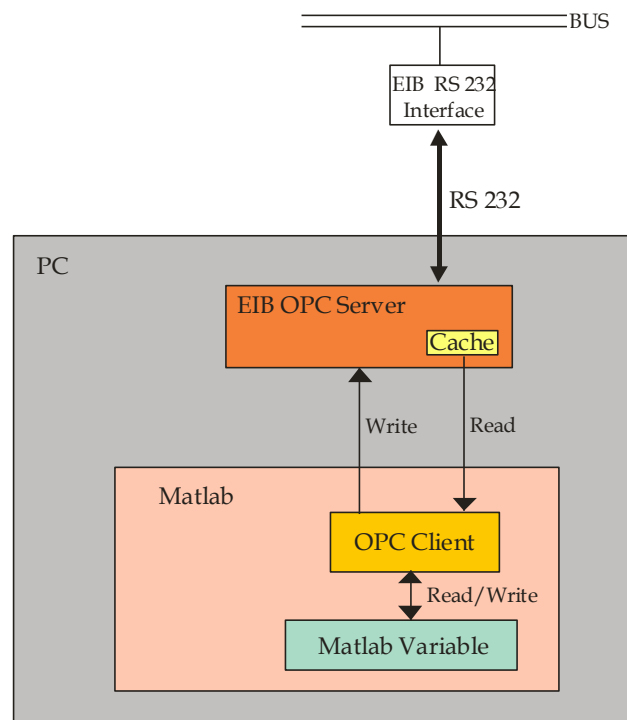
Το OPC toolbox του πακέτου Matlab παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας clients για την επικοινωνία με τους OPC servers που είναι ήδη εγκατεστημένοι στο υπολογιστή. Χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2.0.3 του εν λόγω toolbox που υπάρχει στην έκδοση R2006b της Matlab.

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε εκτελεί διαδοχικά τις εξής λειτουργίες:

- δημιουργεί, με εντολή του χρήστη, έναν OPC client, μέσω του OPC toolbox,
- συνδέεται με τον EIB OPC server,

και ανά 10 λεπτά:

- διαβάζει τις τιμές των αισθητήρων,
- εκτελεί τον αλγόριθμο ελέγχου
- στένει τιμές στους ενεργοποιητές



Σχήμα 3.11 Το «λογισμικό» του συστήματος

4. Οι Οδηγίες CEN για Διαχείριση Ενέργειας σε Κτίρια

4.1 Γενικά

Η κατανάλωση ενέργειας ενός κτιρίου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται τόσο για τη διαμόρφωση του εσωτερικού περιβάλλοντος του χώρου (θερμοκρασία, αερισμός, φωτεινότητα) όσο και από το κτίριο αυτό καθ' αυτό (συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων που υπάρχουν) [1]. Επιπροσθέτως, οι εσωτερικές συνθήκες ενός κτιρίου επιρρεάζουν την υγεία, την αποδοτικότητα αλλά και την άνεση των ατόμων που το απαρτίζουν. Πρόσφατες μελέτες έχουν αποδείξει ότι το κόστος ενός «φτωχού» εσωτερικού περιβάλλοντος για τους εργαζόμενους, τους ιδιοκτήτες των κτιρίων και γενικότερα για την κοινωνία είναι τις περισσότερες φορές πολύ μεγαλύτερο από την ενέργεια που χρησιμοποιείται στα συγκεκριμένα κτίρια. Οι μελέτες αυτές έχουν αποδείξει επίσης ότι ένα καλό περιβάλλον στο εσωτερικό ενός κτιρίου μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη απόδοση τόσο των εργαζομένων (όταν πρόκειται για χώρους εργασίας) όσο και των μαθητευόμενων (όταν πρόκειται για σχολεία, πανεπιστήμια κτλ). Αντιθέτως, χρήστες οι οποίοι δεν αισθάνονται άνετα στο περιβάλλον που βρίσκονται τείνουν να παίρνουν πρωτοβουλίες ώστε να βελτιώσουν τις εσωτερικές συνθήκες του χώρου κάτι το οποίο, όμως, τις περισσότερες φορές οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας.

Γενικά υπάρχουν πολλά εθνικά και υπερ-εθνικά standards, καθώς και πληθώρα άλλων μελετών, τα οποία προσδιορίζουν κριτήρια για θερμική άνεση και ποιότητα αέρα (πχ. EN ISO 7730, CR1752 κτλ). Αυτές οι δημοσιεύσεις προσδιορίζουν διαφορετικές κατηγορίες και μορφές κριτηρίων, οι οποίες μπορεί να έχουν σημαντική επιρροή στη ζήτηση ενέργειας. Για τη θερμική άνεση υπάρχουν διαφορετικά κριτήρια για τις εποχές ψύξης και θέρμανσης (cooling season -> warm/summer, heating season -> cold/winter). Τα κριτήρια όμως αυτά επικεντρώνονται, κυρίως, στη διαστασιολόγηση του κτιρίου, της ψύξης, της θέρμανσης και των συστημάτων αερισμού. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για ενεργειακούς υπολογισμούς καθώς και αξιολόγηση της συνολικής θερμικής άνεσης για μια περίοδο πχ. 1 έτους. Νέα αποτελέσματα έχουν αποδείξει ότι οι απαιτήσεις των χρηστών σε ένα κτίριο φυσικά αεριζόμενο (natural ventilated building) είναι πολύ διαφορετικές από αυτές χρηστών σε ένα μηχανικά αεριζόμενο

κτίριο (conditioned building). Όλα αυτά τα θέματα δεν καλύπτονται από τα προαναφερθέντα έγγραφα.

Το συγκεκριμένο standard που θα μελετήσουμε αναφέρει λεπτομερώς πώς κριτήρια σχεδιασμού μπορούν να υλοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν στη διαστασιολόγηση των συστημάτων. Καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να σχεδιαστούν οι κύριες παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι στους ενεργειακούς υπολογισμούς ενός κτιρίου καθώς και στην μακράς διάρκειας αποτίμηση της θερμικής άνεσης. Τέλος, σε αυτό το standard αναφέρονται οι παράμετροι για έλεγχο και καταγραφή του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου έτσι όπως προτίθενται από την Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Energy Performance of Buildings Directive).

Βάσει του είδους των κτιρίων, των χρηστών και του κλίματος μιας χώρας/ηπείρου είναι πιθανό να χρησιμοποιούνται διαφορετικές κατηγορίες κριτηρίων. Σε αυτό το standard καθορίζονται αρκετές κατηγορίες που μπορούν να επιλεγούν ανάλογα με το χώρο στον οποίο θέλουμε να γίνει η μελέτη.

4.2 Σκοπός

Το συγκεκριμένο Ευρωπαϊκό Standard [1] :

- Καθορίζει τις εσωτερικές περιβαλλοντικές παραμέτρους που έχουν αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.
- Καθορίζει πως να υπολογίσουμε τις εσωτερικές περιβαλλοντικές παραμέτρους για το σχεδιασμό συστημάτων κτιρίων αλλά και για τους ενεργειακούς υπολογισμούς.
- Καθορίζει μεθόδους για μακράς διάρκειας αποτίμηση του κλίματος ενός χώρου κτιρίου έτσι όπως καθορίζεται από υπολογισμούς και μετρήσεις.
- Καθορίζει κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αν χρειαστεί, για να μετρήσουμε τη συμμόρφωση του συστήματος κάτω από παρακολούθηση.
- Καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικές κατηγορίες κριτηρίων για το εσωτερικό μικροκλίμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όμως, δεν

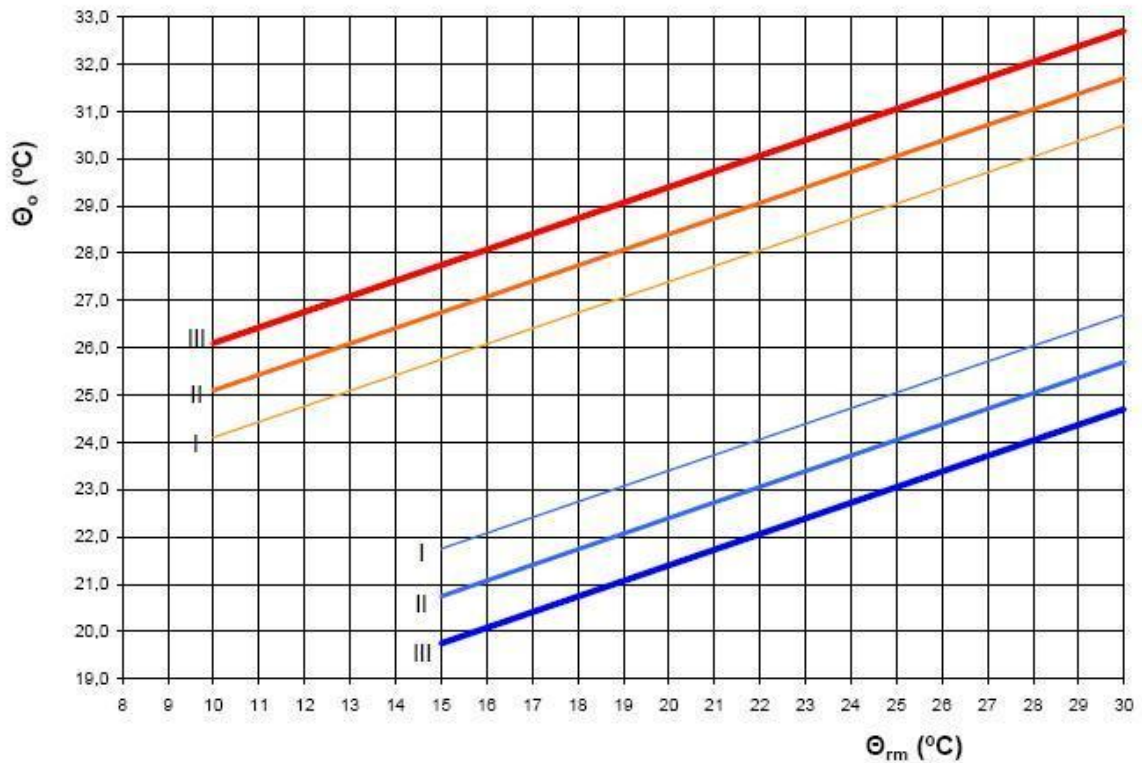
υποχρεώνει τη χρήση συγκεκριμένων κριτηρίων. Αυτό καθορίζεται από εθνικούς κανονισμούς ή συγκεκριμένες προδιαγραφές του έργου.

- Αναγνωρίζει τις παραμέτρους που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μέσω παρακολούθησης και εμφάνισης του εσωτερικού περιβάλλοντος υπαρχόντων κτιρίων.
- Είναι εφαρμόσιμο κυρίως σε μή – βιομηχανικά κτίρια όπου τα κριτήρια καθορίζονται από την ανθρώπινη παρουσία και όπου η διαδικασία παραγωγής δεν επιρρεάζει το εσωτερικό κλίμα. Το standard αυτό είναι βασικά εφαρμόσιμο στα εξής : κατοικίες, διαμερίσματα, γραφεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εστιατόρια και κτίρια αθλητικών δραστηριοτήτων.
- Μπορεί να εφαρμοστεί και σε εθνικές υπολογιστικές μεθόδους, πέρα από αυτές που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα.
- Δεν περιγράφει μεθόδους σχεδιασμού παρά μόνο παραμέτρους εισόδου για μια υπάρχουσα σχεδίαση συστημάτων κτιρίου, ψύξης, θέρμανσης, αερισμού και φωτισμού.
- Δεν καλύπτει τοπικές κλιματολογικές ιδιαιτερότητες όπως ισχυρά ρεύματα αέρα, θερμοκρασιακές ασυμμετρίες και κάθετες θερμοκρασιακές αλλαγές του αέρα.

4.3 Προτεινόμενα Κριτήρια για Θερμική Άνεση

4.3.1 Αποδεκτές Εσωτερικές Θερμοκρασίες

Στο σχ. 4.1 παρουσιάζονται οι αποδεκτές θερμοκρασίες κατά την εποχή ψύξης (cooling season = καλοκαίρι) για το εσωτερικό ενός κτιρίου :



Σχήμα 4.1 Επιτρεπτές τιμές εσωτερικής θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το εκθετικά βεβαρυμένο θερμοκρασιακό μέσο όρο εξωτερικής θερμοκρασίας

- Ο εκθετικά βεβαρυμένος θερμοκρασιακός μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας παράγεται από την παρακάτω σειρά :

$$\Theta_{rm} = (1 - a) \cdot \{ \Theta_{ed-1} + a \cdot \Theta_{ed-2} + a^2 \cdot \Theta_{ed-3} \dots \} \quad (1)$$

Η εξίσωση μπορεί να απλουστευτεί σε :

$$\Theta_{rm} = (1 - a) \cdot \Theta_{ed} + a \cdot \Theta_{rm-1} \quad (2)$$

Όπου :

- Θ_{rm} = Κυμαινόμενος Μέσος Όρος Εξωτερικής Θερμοκρασίας για τη σημερινή μέρα
- Θ_{rm-1} = Κυμαινόμενος Μέσος Όρος Εξωτερικής Θερμοκρασίας για τη χθεσινή μέρα
- Θ_{ed-1} = Μέσος Όρος Εξωτερικής Θερμοκρασίας για τη χθεσινή μέρα
- Θ_{ed-2} = Μέσος Όρος Εξωτερικής Θερμοκρασίας για την προχθεσινή μέρα κ.ο.κ
- a = Σταθερά μεταξύ 0 και 1. Προτείνεται η χρήση της τιμής 0.8

Μία άλλη προσεγγιστική εξίσωση που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό του κυμαινόμενου μέσου όρου, και που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι η εξής :

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed-1} + 0.8 \cdot \Theta_{ed-2} + 0.6 \cdot \Theta_{ed-3} + 0.5 \cdot \Theta_{ed-4} + 0.4 \cdot \Theta_{ed-5} + 0.3 \cdot \Theta_{ed-6} + 0.2 \cdot \Theta_{ed-7}) / 3.8 \quad (3)$$

➤ Οι εξισώσεις που παρουσιάζονται στο σχ. 4.1 είναι οι εξής (4) :

Κατηγορία Κτιρίου I άνω όριο : $\Theta_{i \max} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 + 2$

κάτω όριο : $\Theta_{i \min} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 - 2$

***Κατηγορία Κτιρίου II άνω όριο : $\Theta_{i \max} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 + 3$**

κάτω όριο : $\Theta_{i \min} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 - 3$

Κατηγορία Κτιρίου III άνω όριο : $\Theta_{i \max} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 + 4$

κάτω όριο : $\Theta_{i \min} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 - 4$

όπου Θ_i = οριακή τιμή εσωτερικής θερμοκρασίας (°C)

*Κατηγορία Κτιρίου που επιλέχθηκε στο σχεδιασμό του συστήματος της παρούσας εργασίας

Η σχέση μεταξύ εσωτερικής θερμοκρασίας και εκθετικώς βεβαρυμένου θερμοκρασιακού μέσου όρου εξωτερικής θερμοκρασίας που παρουσιάστηκε έχει ισχύ για γραφεία και παρόμοιους χώρους κτιρίων όπου η ανθρώπινη παρουσία προβαίνει σε καθιστικές δραστηριότητες και που είναι εύκολη και άμεση η έκθεση σε παράθυρα ή συστήματα ψύξης / θέρμανσης ώστε οι χρήστες να μπορούν να προσαρμόσουν το ρουχισμό τους στις εσωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες.

Η συγκεκριμένη μέθοδος για υπολογισμό εσωτερικής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται μόνο σε χώρους όπου οι στεγαζόμενοι περιορίζονται σε καθιστική δραστηριότητα, με το μεταβολικό ρυθμό να κυμαίνεται από 1.0 μέχρι 1.3 met*. Επίσης, θα πρέπει να μην υπάρχουν από το συγκεκριμένο κτίριο υποχρεωτικοί αυστηροί κανόνες ρουχισμού έτσι ώστε να μπορούν οι χρήστες να προσαρμόζουν το ρουχισμό τους όταν το θεωρούν σκόπιμο.

Τα παραπάνω όρια εσωτερικής θερμοκρασίας που παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο βασίζονται σε μακρόχρονες μελέτες σε χώρους γραφείων. Παρ' όλα αυτά, βασιζόμενοι σε γενικές γνώσεις για θερμική άνεση και για τις αντιδράσεις των ανθρώπων, μπορούμε να γενικεύσουμε τα συγκεκριμένα όρια και σε άλλα (συγκρίσιμα) κτίρια με καθιστική, κυρίως, και πάλι δραστηριότητα των ανθρώπων μέσα σε αυτά, όπως πχ σε οικίες.

(* met = 1 kcal / kg·h)

4.3.2 Προτεινόμενες Εσωτερικές Θερμοκρασίες για Ενεργειακούς Υπολογισμούς

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες εσωτερικές θερμοκρασίες για ενεργειακούς υπολογισμούς (με περίοδο 1 ώρα). Καλύπτονται περιπτώσεις ψύξης και θέρμανσης για 3 κατηγορίες εσωτερικού περιβάλλοντος.

Type of building or space	Category	Temperature range for heating, °C	Temperature range for cooling, °C
		Clothing ~ 1,0 clo	Clothing ~ 0,5 clo
Residential buildings, living spaces (bed room's living rooms etc.) Sedentary activity ~1,2 met	I	21,0 -25,0	23,5 - 25,5
	II	20,0-25,0	23,0 - 26,0
	III	18,0- 25,0	22,0 - 27,0
Residential buildings , other spaces (kitchens, storages etc.) Standing-walking activity ~1,5 met	I	18,0-25,0	
	II	16,0-25,0	
	III	14,0-25,0	
Offices and spaces with similar activity (single offices, open plan offices, conference rooms, auditorium, cafeteria, restaurants, class rooms, Sedentary activity ~1,2 met	I	21,0 – 23,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 – 24,0	23,0 - 26,0
	III	19,0 – 25,0	22,0 - 27,0
Kindergarten Standing-walking activity ~1,4 met	I	19,0 – 21,0	22,5 - 24,5
	II	17,5 – 22,5	21,5 – 25,5
	III	16,5 – 23,5	21,0 - 26,0
Department store Standing-walking activity ~1,6 met	I	17,5 – 20,5	22,0 - 24,0
	II	16,0 – 22,0	21,0– 25,0
	III	15,0 – 23,0	20,0 - 26,0

Πίνακας 4.1 Εύρος Επιτρεπόμενων Θερμοκρασιών για Ενεργειακούς Υπολογισμούς

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.3.1 η μέση θερμοκρασία σχεδιασμού μπορεί να διαφοροποιηθεί λίγο από τις τιμές γύρω από τις οποίες φτιάχνουμε το σύστημά μας αν λάβουμε υπ' όψην πχ. προσωπική επιθυμία του πελάτη για τον

οποίο σχεδιάζουμε το σύστημα ή πρωτοβουλία του σχεδιαστή για εξοικονόμηση ενέργειας κτλ αλλά τελικά η ημερήσια απόκλιση από τη θερμοκρασία σχεδιασμού θα πρέπει να είναι μέσα στο δεδομένο εύρος. Επίσης, θα πρέπει να δίνεται στους χρήστες ο χρόνος και η ευκαιρία να προσαρμοστούν στη διαφοροποιημένη θερμοκρασία σχεδιασμού.

4.4 Αρχές Κριτηρίων για Ροή και Ποιότητα Αέρα

Σε περιπτώσεις που μιλάμε για μή – κατοικίσιμα είδη κτιρίων μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει κάποιο κοινό standard που να καθορίζει την εσωτερική ποιότητα αέρα. Η ποιότητα αυτή εκφράζεται κυρίως από τα απαιτούμενα επίπεδα α) συγκέντρωσης του CO₂ και β) αερισμού του χώρου. Είναι κατανοητό και αποδεκτό από όλους ότι ο αέρας στο εσωτερικό ενός χώρου επηρεάζεται από τις εκπομπές των ανθρώπων, των δραστηριοτήτων τους (πχ. κάπνισμα) και από αυτές του συστήματος/συστημάτων ψύξης και θέρμανσης. Συνήθως, οι δύο τελευταίοι παράγοντες καλούνται «παράγοντες κτιρίου» (“building components”).

Ο απαιτούμενος αερισμός ενός χώρου καθορίζεται από δύο πολύ σημαντικούς παράγοντες : την υγεία και τα κριτήρια άνεσης. Συνήθως το πρώτο, λόγω της υψίστης σημασίας του, επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό και το δεύτερο. Ο παράγων «Υγεία» μπορεί να αποδοθεί κυρίως σε διάφορα στοιχεία συγκέντρωσης, οπότε μειώνοντας τη συγκέντρωση ενός στοιχείου τότε αυτομάτως μειώνουμε και τη συγκέντρωση άλλων. Ο παράγων «Άνεση» έχει να κάνει με την ποιότητα έτσι όπως την αντιλαμβάνεται ένας απλός χρήστης (πχ. άσημη μυρωδιά, «θωλή» ατμόσφαιρα κτλ).

4.4.1 Μέθοδος Αερισμού Βασισμένη στον Παράγοντα «Άτομο-Κτίριο»

Η σχεδίαση του συστήματός μας και ο υπολογισμός του απαιτούμενου επιπέδου αερισμού έχει να κάνει με δύο παράγοντες : α) τον αερισμό λόγω των εκπομπών από τα ίδια τα άτομα και β) τον αερισμό λόγω της ρύπανσης από το κτίριο και τα συστήματα μέσα σ' αυτό. Ο συνολικός ρυθμός αερισμού θα είναι το άθροισμα των δύο παραπάνω ρυθμών αερισμού.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικοί ρυθμοί αερισμού (q_p) για τις εκπομπές από τους ανθρώπους :

Category	Expected Percentage Dissatisfied	Airflow per person l/s/pers
I	15	10
II	20	7
III	30	
IV	> 30	< 4

Πίνακας 4.2 Επίπεδα Αερισμού λόγω του παράγοντα «άτομο»

Ο πίνακας που ακολουθεί μας δίνει τους ρυθμούς αερισμού (q_b) λόγω της ρύπανσης από το ίδιο το κτίριο :

	Very low polluting building	Low polluting building	Non low-polluting building
Category I:	0,5 l/s, m ²	1,0 l/s, m ²	2,0 l/s, m ²
Category II:	0,35 l/s, m²	0,7 l/s, m²	1,4 l/s, m²
Category III:	0,3 l/s, m ²	0,4 l/s, m ²	0,8 l/s, m ²

Πίνακας 4.3 Επίπεδα Αερισμού λόγω του παράγοντα «κτίριο»

Ο συνολικός ρυθμός αερισμού για ένα χώρο δίνεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A \cdot q_b \quad (4)$$

Όπου,

- q_{tot} = ο συνολικός ρυθμός αερισμού του χώρου (l / s)
- n = σχεδιαστική σταθερά που έχει να κάνει με τον αριθμό των ατόμων στο χώρο
- q_p = ο ρυθμός αερισμού που οφείλεται στον παράγοντα «άτομο» (l / s)
- A = το εμβαδό του δαπέδου του χώρου (m^2)
- q_b = ο ρυθμός αερισμού που οφείλεται στον παράγοντα «κτίριο» (l / s)

Παραδείγματα συνολικών ρυθμών αερισμού για μή – κατοικίσια κτίρια βασιζόμενοι στην εξίσωση (4) δίνονται στον Πίνακα 4.4. Οι τιμές αυτές μπορούν να διαφοροποιηθούν, αν θεωρηθεί απαραίτητο, λόγω του μή – αποδοτικού αερισμού στο συγκεκριμένο χώρο που θα έχει ως αποτέλεσμα κακή κατανομή αέρα. Ο αερισμός που απαιτείται λόγω του καπνίσματος έχει υπολογιστεί θεωρώντας ότι το 20% των χρηστών του χώρου είναι καπνιστές και ότι καπνίζουν 1,2 τσιγάρα την ώρα. Για μεγαλύτερους ρυθμούς καπνίσματος θα πρέπει να αυξήσουμε τον αερισμό κατάλληλα. Επίσης, οι ρυθμοί αερισμού λόγω του καπνίσματος βασίζονται στην άνεση και όχι την υγεία.

Ένα κτίριο χαρακτηρίζεται «χαμηλής» ή «πολύ χαμηλής» ρύπανσης όταν τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επένδυση των εσωτερικών επιφανειών είναι συμμορφωμένα με τοπικούς ή διεθνείς κανονισμούς υλικών, αντίστοιχα. Περισσότερα όμως θα αναφέρουμε στην παράγραφο 4.8.

Type of building or space	Category	Floor area m ² /person	q_p	q_s	q_{tot}	q_s	q_{tot}	q_s	q_{tot}	Add when smoking
			l/s, m ² for occupancy	l/s, m ² for very low-polluted building	l/s, m ² for low-polluted building	l/s, m ² for non-low polluted building	l/s, m ²			
Single office	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Landscaped office	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7	0,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9	0,5
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1	0,3
Conference room	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	5,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	3,6
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	2,0
Auditorium	I	0,75	15	0,5	15,5	1,0	16	2,0	17	
	II	0,75	10,5	0,3	10,8	0,7	11,2	1,4	11,9	
	III	0,75	6,0	0,2	0,8	0,4	6,4	0,8	6,8	
Restaurant	I	1,5	7,0	0,5	7,5	1,0	8,0	2,0	9,0	
	II	1,5	4,9	0,3	5,2	0,7	5,6	1,4	6,3	5,0
	III	1,5	2,8	0,2	3,0	0,4	3,2	0,8	3,6	2,8
Class room	I	2,0	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	
	II	2,0	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	
	III	2,0	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	
Kindergarten	I	2,0	6,0	0,5	6,5	1,0	7,0	2,0	8,0	
	II	2,0	4,2	0,3	4,5	0,7	4,9	1,4	5,8	
	III	2,0	2,4	0,2	2,6	0,4	2,8	0,8	3,2	
Department store	I	7	2,1	1,0	3,1	2,0	4,1	3,0	5,1	
	II	7	1,5	0,7	2,2	1,4	2,9	2,1	3,6	
	III	7	0,9	0,4	1,3	0,8	1,7	1,2	2,1	

Πίνακας 4.4 Παραδείγματα Συνολικών Ρυθμών Αερισμού

4.4.2 Μέθοδος Βασισμένη στον Αερισμό «Ανά Άτομο» και «Ανά m²»

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται κάποιοι ενδεικτικοί ρυθμοί αερισμού για διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων βασισμένοι στην «ανά άτομο» ή «ανά m²».

Στην κατηγορία «ανά άτομο» θεωρούμε πως οι χρήστες είναι η μοναδική πηγή που προκαλεί ρύπανση του αέρα. Στην κατηγορία «ανά m²» επιφάνεια θεωρούμε πως η αιτία της μόλυνσης του αέρα είναι τα υλικά και οι εκπομπές τους. Γενικά, ο σωστός τρόπος σχεδίασης ενός συστήματος αερισμού θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψην όλες τις πηγές που μπορεί να μολύνουν τον αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου.

Category	Airflow per person l/s/pers	Airflow for building emissions pollutions (l/s/m ²)		
		Very low polluting building	Low polluting building	Non low polluting building
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

Πίνακας 4.5 Προτεινόμενοι Ρυθμοί Αερισμού για την «ανά άτομο» και «ανά m²» επιφάνεια

4.4.3 Προτεινόμενες Τιμές Συγκέντρωσης CO₂

Ο ρυθμός αερισμού μπορεί επίσης να επηρεαστεί και να βασιστεί στη συγκέντρωση του CO₂ του εσωτερικού σε συνάρτηση με το εξωτερικό του χώρου.

Ενδεικτικές τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Category	Corresponding CO ₂ above outdoors in PPM for energy calculations
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

Πίνακας 4.6 Προτεινόμενες Τιμές Εσωτερικής Συγκέντρωσης CO₂ κάτω από την Εξωτερική

4.4.4 Προτεινόμενοι Παράγοντες Σχεδίασης για Οικίες

Η εσωτερική ποιότητα αέρα που θα πετύχουμε σε μία οικία εξαρτάται κυρίως από 3 κριτήρια :

- την εκπομπή καυσαερίων στα «με αυξημένη υγρασία» δωμάτια (πχ. κουζίνα, μπάνιο κτλ)
- το γενικό αερισμό όλων των δωματίων στην κατοικία
- τον αερισμό με φρέσκο αέρα των «κύριων» δωματίων (κρεβατοκάμαρες, σαλόνια)

Είναι παραδεκτό, ωστόσο, ότι υπάρχουν κάποιοι παράγοντες στα παραπάνω κριτήρια που έχουν αντίκτυπο στην ποιότητα αέρα. Για παράδειγμα, τα κριτήρια μπορούν να εκφραστούν με 3 διαφορετικές μεθόδους :

- Πρέπει να υπάρχει τρόπος στα «με αυξημένη υγρασία» δωμάτια να απομακρύνονται οι όποιες εκπομπές ρυπαίνουν το αέρα στα δωμάτια αυτά.

- Πρέπει να υπάρχει ένα κεντρικό σύστημα αερισμού (δηλαδή να αερίζονται όλα τα δωμάτια). Κάτι τέτοιο σημαίνει πως υπάρχει μια μετάδοση αέρα από τα «κύρια» δωμάτια, μέσω διαδρόμων, στα «υγρά» δωμάτια.
- Πολλοί κανονισμοί δίνουν το συνολικό ρυθμό αερισμού σε ένα κτίριο ενώ άλλοι εμβαθύνουν στον ελάχιστο αερισμό ανά κρεβάτι ή ανά δωμάτιο. Αυτή η αντίθεση επιτρέπει για το ίδιο συνολικό επίπεδο αερισμού καλύτερη ποιότητα αέρα διότι τα συστήματα προσαρμόζονται στο να διανέμουν αέρα στο κατάλληλο δωμάτιο, όπου βρίσκονται και οι χρήστες.

Η εσωτερική ποιότητα αέρα σε κατοικίες εκφράζεται ως το ζητούμενο επίπεδο αερισμού. Τα κριτήρια αερισμού από εδώ και στο εξής θα εκφράζονται με διαφορετικούς τρόπους ξεχωριστά για δωμάτια και σαλόνια και ξεχωριστά για κουζίνα και μπάνιο.

Η ροή αέρα στα «κύρια» δωμάτια εκφράζεται ως :

- η αλλαγή του αέρα ανά ώρα για κάθε δωμάτιο ή / και η εξωτερική τροφοδοσία έτσι ώστε να επετευχθεί η απαίτηση στα δωμάτια. Επιλέγοντας κάτι από τα παραπάνω δύο είναι επίσης αναγκαίο να πετύχουμε και ένα από τα δύο κριτήρια που έχουν να κάνουν με τη μόλυνση των «υγρών» δωματίων
- ο ρυθμός αποβολής των ρύπων από τα «με αυξημένη υγρασία» δωμάτια

Η τροφοδοσία αέρα στα «με αυξημένη υγρασία» δωμάτια είναι η διανομή αέρα από τα «κύρια» δωμάτια.

Category	Air change rate ¹⁾		Living room and bedrooms, mainly outdoor air flow		Exhaust air flow, l/s		
	l/s,m ²	ach	l/s, pers ²⁾	l/s,m ²	Kitchen	Bathrooms	Toilets
	(1)		(2)	(3)	(4a)	(4b)	(4)
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

Πίνακας 4.7 Προτεινόμενες Τιμές Αερισμού για Κατοικίες

4.5 Προτεινόμενα Κριτήρια για Ύγρανση / Αφύγρανση

Γενικά, η σχεδίαση ενός συστήματος για ρύθμιση της σχετικής υγρασίας ενός χώρου δεν είναι απαραίτητη. Η υγρασία έχει πολύ μικρή επιρροή στη θερμική άνεση και στην ποιότητα του αέρα σε χώρους με καθιστικές δραστηριότητες. Παρ' όλα αυτά, μεγάλη (χρονική) έκθεση σε υψηλές τιμές υγρασίας μπορούν να προκαλέσουν ανάπτυξη μικροοργανισμών, ενώ αντίθετα πολύ χαμηλές τιμές (< 15 - 20%) προκαλούν ξηρασία καθώς και ερεθισμό στα μάτια των χρηστών. Οι απαιτήσεις για τη σχεδίαση ενός συστήματος ύγρανσης / αφύγρανσης του αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την επιπλέον κατανάλωση ενέργειας, όπως είναι φυσικό.

Στον Πίνακα 4.8 φαίνονται οι προτεινόμενες τιμές για ύγρανση και αφύγρανση ενός χώρου. Συνήθως, συστήματα που ρυθμίζουν ύγρανση και ξήρανση σχεδιάζονται μόνο σε συγκεκριμένους τύπους κτιρίων όπως μουσεία, νοσοκομεία, βιομηχανίες χαρτιού κτλ. Ούτως ή άλλως προτείνεται η οριοθέτηση της απόλυτης υγρασίας σε 12 g/kg.

Type of building/space	Category	Design humidity relative for dehumidification, %	Design humidity relative for humidification, %
Spaces where humidity criteria are set by human occupancy. Special spaces (museums, churches etc) may require other limits	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20
	IV	> 70	< 20

Πίνακας 4.8 Κριτήρια Σχεδιασμού για Υγρασία

4.6 Προτεινόμενα Κριτήρια για Οπτική Άνεση

Για να μπορούν οι χρήστες ενός χώρου να εκτελέσουν ενέργειες, που απαιτούν φωτισμό, με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα, είναι απαραίτητη η σχεδίαση ενός συστήματος που θα διαχειρίζεται σωστά τις διαθέσιμες πηγές φωτός. Οι επιθυμητές στάθμες φωτισμού παρέχονται από αξιοποίηση πηγών όπως φυσικός φωτισμός (ήλιος), τεχνητός φωτισμός (φωτιστικά) ή ένας συνδυασμός και των δύο.

Για λόγους υγείας και άνεσης προτιμάται, στις περισσότερες περιπτώσεις, η χρήση του φωτός της ημέρας έναντι του τεχνητού φωτισμού.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα προτεινόμενα επίπεδα φωτισμού για διαφορετικές κατηγορίες και είδη κτιρίων. Παρατηρούμε την πολύ μεγάλη ευελιξία, ως προς τις διάφορες κατηγορίες, που μας προσφέρει το συγκεκριμένο standard.

Type of building	Space	Maintained luminance, \dot{E}_m , at working areas, lx	UGR	Ra	Remarks
Office buildings	Single offices	500	19	80	at 0,8 m
	Open plan offices	500	19	80	at 0,8 m
	Conference rooms	500	19	80	at 0,8 m
Educational buildings	Classrooms	300	19	80	at 0,8 m
	Classrooms for adult education	500	19	80	at 0,8 m
	Lecture hall	500	19	80	at 0,8 m
Hospitals	General ward lighting	100	19	80	at 0,8 m
	Simple examination	300	19	80	at 0,8 m
	Examination and treatment	1000	19	90	at 0,8 m
Hotels and restaurants	Restaurant, dining room	-	-	80	at 0,8 m
Sport facilities	Sports halls	300	22	80	at 0,1 m
Wholesale and retail premises	Sales area	300	22	80	at 0,8 m
	Till area	500	19	80	at 0,8 m
Circulation areas	Corridor	100	28	40	at 0,1 m
	Stairs	150	25	40	at 0,1 m
Other buildings	See EN 12464-1				

Πίνακας 4.9 Προτεινόμενα Επίπεδα Φωτισμού

4.7 Προτεινόμενα Κριτήρια για Ακουστική Άνεση

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος για αερισμό του χώρου, πρέπει να καθοριστούν τα επιτρεπτά επίπεδα θορύβου για το κτίριο. Ο θόρυβος που προκαλείται από τις συσκευές ψύξης / θέρμανσης μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να ενοχλήσουν τους εργαζόμενους με αποτέλεσμα να κάνουν απαγορευτική τη χρήση του χώρου για την επίτευξη της εργασίας τους.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα προτεινόμενα επίπεδα ηχητικής πίεσης για διαφορετικές κατηγορίες και είδη κτιρίων. Τα κριτήρια αυτά δίνουν ένα συνολικά επιτρεπτό επίπεδο θορύβου τόσο λόγω των εσωτερικών αιτιών (πχ. συστήματα αερισμού) όσο και των εξωτερικών. Σε κτίρια με υψηλές στάθμες εξωτερικού θορύβου θα πρέπει να επανασχεδιάζονται τα συστήματα αερισμού των χώρων ώστε να μην επιτρέπεται το άνοιγμα των παραθύρων, κάτι που θα προκαλέσει υπέρβαση των ορίων ηχητικής πίεσης. Παρατηρούμε και πάλι την πολύ μεγάλη ευελιξία, ως προς τις διάφορες κατηγορίες, που μας προσφέρει το συγκεκριμένο standard.

Building	Type of space	Sound pressure level [dB(A)]	
		Typical range	Default design value
Residential	Living room	25 to 40	32
	Bed room	20 to 35	26
Child care institutions	Nursery schools	30 to 45	40
	Day nurseries	30 to 45	40
Places of assembly	Auditoriums	30 to 35	33
	Libraries	28 to 35	30
	Cinemas	30 to 35	33
	Court rooms	30 to 40	35
	Museums	28 to 35	30
Commercial	Retail shops	35 to 50	40
	Department stores	40 to 50	45
	Supermarkets	40 to 50	45
	Computer rooms, large	40 to 60	50
	Computer rooms, small	40 to 50	45
Hospitals	Corridors	35 to 45	40
	Operating theatres	30 to 48	40
	Wards	25 to 35	30
	Bedrooms night-time	20 to 35	30
	Bedrooms daytime	25 to 40	30
Hotels	Lobbies	35 to 45	40
	Reception rooms	35 to 45	40
	Hotel rooms (during night-time)	25 to 35	30
	Hotel rooms (during daytime)	30 to 40	35
Offices	Small offices	30 to 40	35
	Conference rooms	30 to 40	35
	Landscaped offices	35 to 45	40
	Office cubicles	35 to 45	40
Restaurants	Cafeterias	35 to 50	40
	Restaurants	35 to 50	45
	Kitchens	40 to 60	55
Schools	Classrooms	30 to 40	35
	Corridors	35 to 50	40
	Gymnasiums	35 to 45	40
	Teacher rooms	30 to 40	35
Sport	Covered sports stadiums	35 to 50	45
	Swimming baths	40 to 50	45
General	Toilets	40 to 50	45
	Cloakrooms	40 to 50	45

Πίνακας 4.10 Προτεινόμενα Επίπεδα Ηχητικής Πίεσης

4.8 Κριτήρια Καθορισμού Κτιρίου ως «Χαμηλής» και «Πολύ Χαμηλής» Ρύπανσης

Ένα κτίριο χαρακτηρίζεται ως «χαμηλής» ρύπανσης εφόσον η πλειοψηφία των υλικών του είναι χαμηλής ρύπανσης. Χαμηλής ρύπανσης υλικά είναι φυσικά παραδοσιακά υλικά όπως πέτρα και γυαλί τα οποία ταυτόχρονα χαρακτηρίζονται ασφαλή και με σεβασμό ως προς τις εκπομπές στο περιβάλλον. Επίσης, χαμηλής ρύπανσης χαρακτηρίζονται τα υλικά που τηρούν τις παρακάτω προδιαγραφές :

- Η συνολική εκπομπή ασταθών οργανικών συνθετικών (TVOC) είναι κάτω του 0.2 mg/m²h.
- Η συνολική εκπομπή φορμαλδεύδης είναι κάτω του 0.05 mg/m²h.
- Η συνολική εκπομπή αμμωνίας είναι κάτω του 0.03 mg/m²h.
- Η συνολική εκπομπή καρκινογενετικών συνθετικών (IARC) είναι κάτω του 0.005 mg/m²h.
- Τα υλικά είναι άοσμα (το ποσοστό δυσαρέσκειας είναι κάτω του 15%).

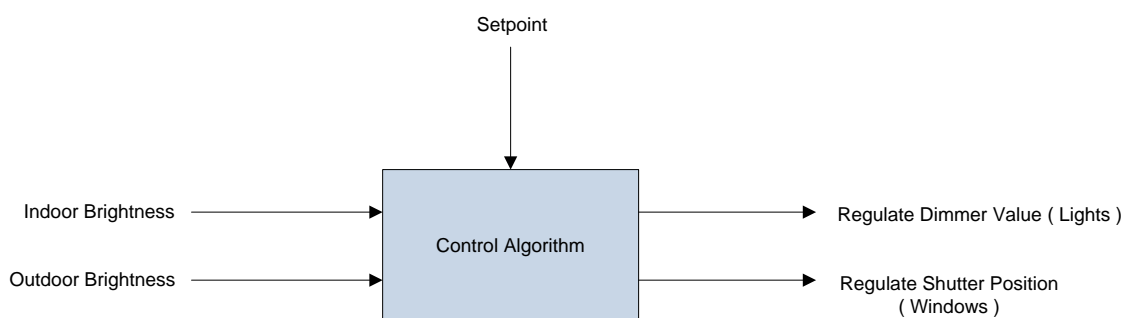
Ένα κτίριο χαρακτηρίζεται ως «πολύ χαμηλής» ρύπανσης εφόσον όλα τα υλικά του είναι πολύ χαμηλής ρύπανσης. Πολύ χαμηλής ρύπανσης είναι φυσικά υλικά όπως πέτρα, γυαλί και μέταλλο τα οποία ταυτόχρονα χαρακτηρίζονται ασφαλή και με σεβασμό ως προς τις εκπομπές στο περιβάλλον. Επίσης, πολύ χαμηλής ρύπανσης χαρακτηρίζονται υλικά με τις παρακάτω προδιαγραφές :

- Η συνολική εκπομπή ασταθών οργανικών συνθετικών (TVOC) είναι κάτω του 0.1 mg/m²h.
- Η συνολική εκπομπή φορμαλδεύδης είναι κάτω του 0.02 mg/m²h.
- Η συνολική εκπομπή αμμωνίας είναι κάτω του 0.01 mg/m²h.
- Η συνολική εκπομπή καρκινογενετικών συνθετικών (IARC) είναι κάτω του 0.002 mg/m²h.
- Τα υλικά είναι άοσμα (το ποσοστό δυσαρέσκειας είναι κάτω του 10%).

5. Έλεγχος Οπτικής Άνεσης

5.1 Γενικά

Για να ελέγξουμε τη φωτεινότητα του Εργαστηρίου Ελέγχου Βιομηχανικών Συστημάτων, στο οποίο έγινε όλο το πειραματικό κομμάτι της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήσαμε κριτήρια από το CEN όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 4 και συγκεκριμένα στην ενότητα 4.6. Το σύστημα ελέγχου που σχεδιάσαμε έχει 3 εισόδους (επιθυμητή, εσωτερική και εξωτερική φωτεινότητα) και 2 εξόδους (νέα θέση για τα στόρια των παραθύρων, νέα τιμή έντασης τεχνητού φωτισμού).



Σχήμα 5.1 Σύστημα Ελέγχου Οπτικής Άνεσης

Η εσωτερική φωτεινότητα μετριέται από ένα αισθητήρα φωτεινότητας που βρίσκεται τοποθετημένος ψηλά στο κέντρο του εργαστηρίου και είναι KNX / EIB συσκευή. Η εξωτερική φωτεινότητα μετριέται από ένα αισθητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος στην KNX / EIB συσκευή Weather Station και βρίσκεται στην ταράτσα του εργαστηρίου ενώ η επιθυμητή φωτεινότητα είναι μία παράμετρος η οποία προκύπτει από τις απαιτήσεις του προβλήματος.

Οι έξοδοί μας είναι η νέα τιμή της έντασης του τεχνητού φωτισμού, η οποία παίρνει τιμές 0 – 100% με βήμα $\pm 5\%$ και η νέα τιμή της θέσης των σκιάστρων που παίρνει τιμές 0 – 100% με βήμα $\pm 10\%$. Να προσθέσουμε ότι για τα σκιάστρα 100% σημαίνει πλήρως κλειστά ενώ για τα φωτιστικά σημαίνει ανοιχτά σε πλήρη ένταση. Τέλος, να συμπληρώσουμε ότι τα φωτιστικά ελέγχονται από κοινού (δηλαδή έχουν όλα την ίδια τιμή φωτεινότητας) μέσω της συσκευής DALI ενώ τα σκιάστρα ελέγχονται μέσω της KNX / EIB συσκευής Shutter Switch (3.2.2).

Στη εργασία μας οι προδιαγραφές που ακολουθήθηκαν είναι τα κριτήρια άνεσης του CEN και συγκεκριμένα για την οπτική άνεση προβλέπουν τιμή επιθυμητής φωτεινότητας ίση με 500 lux. Το πρόβλημα που προέκυψε, όμως, είναι το εξής : με τον υπάρχοντα εξοπλισμό του εργαστηρίου (μέγεθος και αριθμός φωτιστικών, μέγεθος και τοπολογία παραθύρων) η μέγιστη τιμή εσωτερικής φωτεινότητας σε μία ηλιόλουστη μέρα, με τα στόρια των παραθύρων ανοιχτά στο 100% και τα φωτιστικά σώματα να λειτουργούν στο 100%, δεν ξεπερνά τα 400 lux. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι πρέπει να αποκλίνουμε από τις προδιαγραφές του CEN μιας και δεν είναι εφικτό να τις πετύχουμε.

Τελικά, για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας κρίθηκε προτιμότερο, αφού ούτως ή άλλως ξεφεύγουμε από τις αρχικές απαιτήσεις, να μειώσουμε ακόμα περισσότερο την τιμή της επιθυμητής φωτεινότητας στα 300 lux. Αυτό έγινε για τον εξής λόγο : θα ήταν ανούσιο, από τη στιγμή που δεν μπορούμε να πετύχουμε το setpoint που ορίζεται από το CEN, να φτιάξουμε ένα σύστημα το οποίο απλώς θα έχει συνεχώς (κυριολεκτικά 24 ώρες/ημέρα και κάθε μέρα) όλα τα στόρια ανοιχτά και τα φωτιστικά σώματα να λειτουργούν στο 100% (για να μπορούμε να πετύχουμε τα 400 lux). Χάνεται κάθε μορφή και έννοια ενός συστήματος αυτοματισμού με αυτό τον τρόπο μιας και δεν υπάρχει κανένας έλεγχος και καμία απολύτως φιλοσοφία στη σχεδίαση. Μειώνοντας, όμως, την επιθυμητή τιμή στα 300 lux μπορούμε να φτιάξουμε έναν ολοκληρωμένο ελεγκτή ο οποίος θα κάνει ενέργειες με κάποια λογική (πχ. θα ανοίγει τα φώτα μόνο όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, θα ενισχύει / μειώνει την ένταση των φωτιστικών σωμάτων όποτε κριθεί απαραίτητο κτλ). Είναι προφανές ότι τα 300 lux είναι σημαντικά μικρότερη τιμή σε σχέση με την αρχική προδιαγραφή, είναι όμως μια τιμή που από τη στιγμή που δεν μπορούμε να πετύχουμε το ιδανικό (= 500 lux) μας επιτρέπει να φτιάξουμε μια ολοκληρωμένη σχεδίαση η οποία θα μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα άλλο χώρο που θα διαθέτει εξοπλισμό περισσότερων δυνατοτήτων.

5.2 Έλεγχος Σκιάστρων

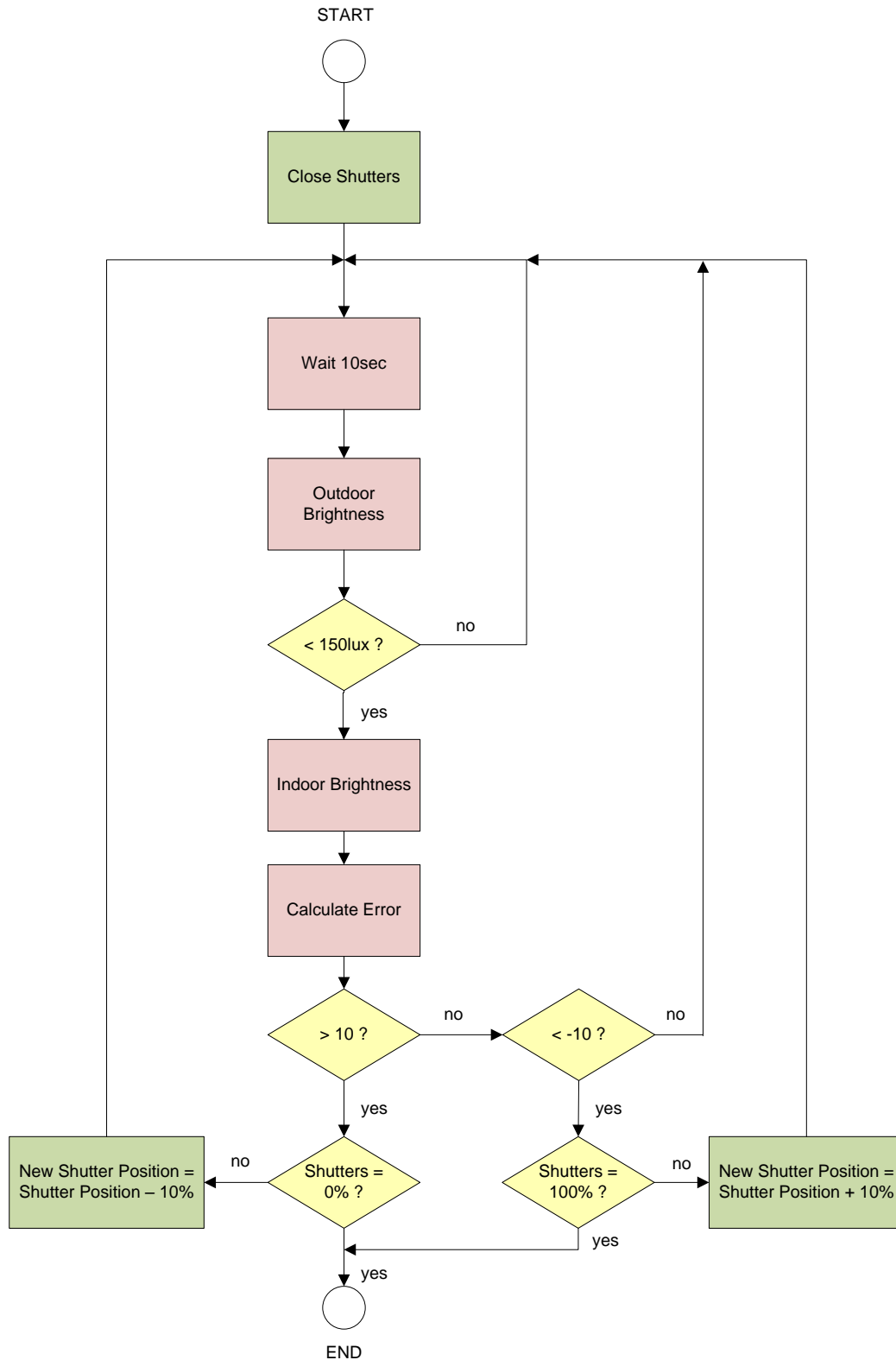
Χρησιμοποιώντας τα σκιάστρα των παραθύρων μπορούμε να κάνουμε το χώρο του εργαστηρίου να φωτίζεται ή όχι με φυσικό τρόπο. Αυτού του είδους ο φωτισμός ονομάζεται φυσικός φωτισμός και προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας. Στον αλγόριθμο ελέγχου για την οπτική άνεση δίνουμε προτεραιότητα στο φυσικό φωτισμό έναντι των φωτιστικών. Αυτό σημαίνει ότι τα φώτα ανάβουν μόνο όταν δεν επαρκεί το φως της ημέρας (με τα στόρια ανοιχτά στο 100%, φυσικά) και χρειαζόμαστε επιπλέον φωτισμό για να φτάσουμε το setpoint που έχουμε ορίσει, δηλαδή τα 300 lux.

Τα σκιάστρα ρυθμίστηκαν ώστε όταν χρειαστεί να προβούν σε κάποια ενέργεια (ανέβασμα / κατέβασμα) αυτή να γίνεται σε ποσοστό 10% σε σχέση με την πλήρη διαδρομή που μπορούν να διανύσουν (συνολικά έχουμε 10 θέσεις από τις οποίες μπορούν να περάσουν). Έτσι, αν για παράδειγμα βρίσκονται μισοανοιχτά (50%) τότε οι επόμενες πιθανές θέσεις που μπορούν να πάνε είναι ή στο 40% (αν χρειαστεί να αυξήσουμε τη φωτεινότητα του χώρου) ή στο 60% (αν χρειαστεί να μειώσουμε τη φωτεινότητα του χώρου). Θυμίζουμε ότι τα στόρια στο 100% είναι πλήρως κλειστά ενώ στο 0% πλήρως ανοιχτά.

Στο σχ. 5.2 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ελέγχου του συστήματος φωτισμού χρησιμοποιώντας μόνο φυσικό φωτισμό. Ο αλγόριθμος αυτός δεν είναι πλήρης εφόσον περιλαμβάνει μόνο τις αποφάσεις για την αξιοποίηση του παθητικού φωτισμού. Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιάσουμε την τελική μορφή που θα έχει ο αλγόριθμος ελέγχου εσωτερικής φωτεινότητας ο οποίος θα εμπλουτιστεί και με τη συνεισφορά του ηλεκτρικού φωτισμού.

Κάτι που αξίζει να αναφερθεί και παρατηρήθηκε μετά από πολλαπλές πειραματικές μετρήσεις είναι το εξής: περίπου μεταξύ 17.00 και 19.00 το απόγευμα ο ήλιος είναι σε τέτοια γωνία που χτυπάει με αντανάκλαση κατ' ευθείαν πάνω στον αισθητήρα εσωτερικής φωτεινότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πέρνουμε μία τεράστια ένδειξη για τη φωτεινότητα του χώρου (πχ. 1500 lux) κάτι που είναι λάθος και επηρέαζε αρνητικά τον όλο έλεγχο της οπτικής άνεσης. Η απόφαση που πάρθηκε για να διορθωθεί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι να διατηρούνται κλειστά τα στόρια των παραθύρων από τις 17.00 μέχρι τις 07.00 το πρωί την επόμενη μέρα (ούτως η άλλως μετά τις 19.00 η εξωτερική φωτεινότητα

είναι σχεδόν μηδενική οπότε επιρραάζει ελάχιστα εως καθόλου την εσωτερική φωτεινότητα).

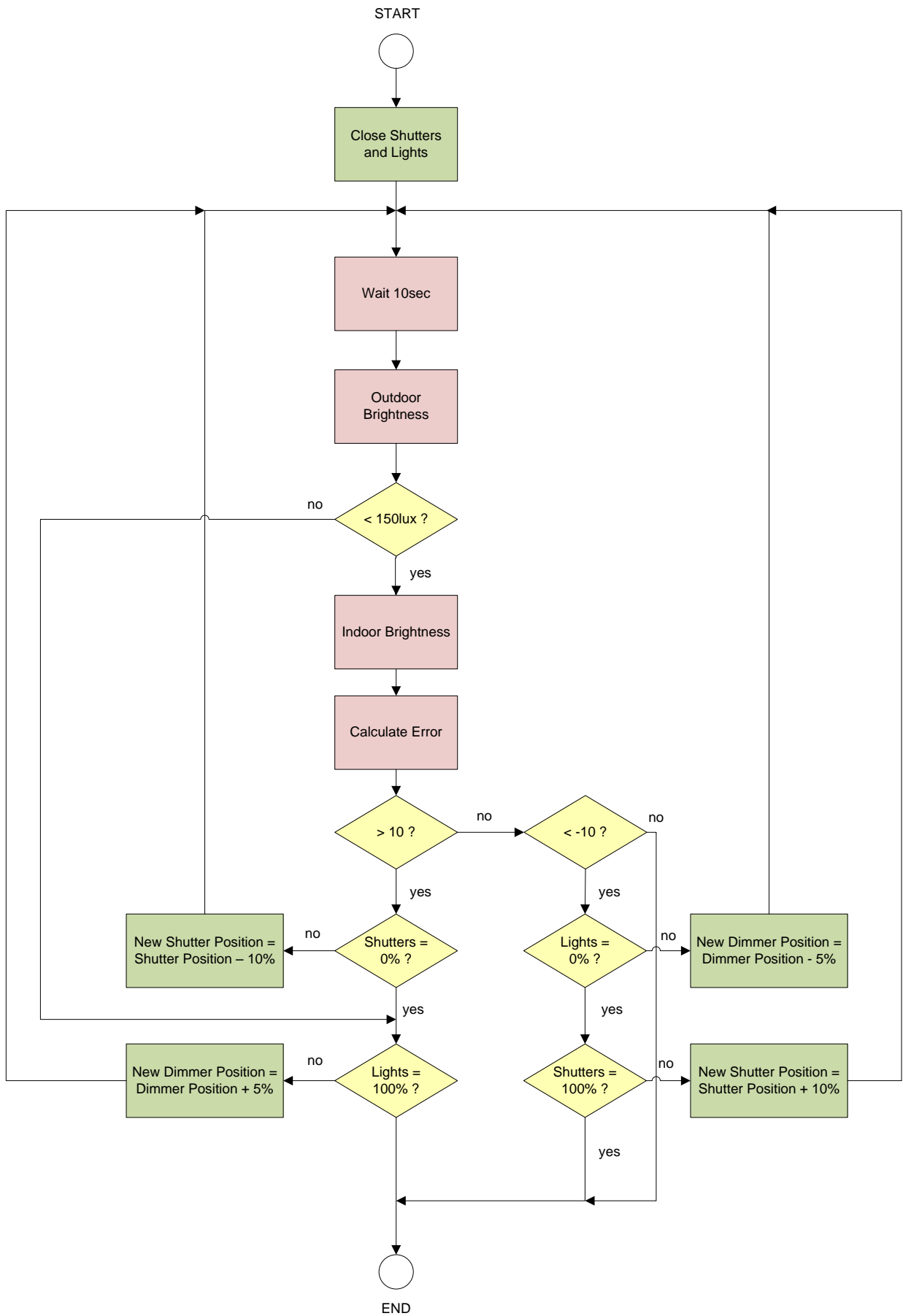


Σχήμα 5.2 Έλεγχος Οπτικής Άνεσης με χρήση μόνο των σκιάστρων

5.3 Έλεγχος Φωτιστικών

Ο φυσικός φωτισμός ναι μεν προσφέρει καλύτερη ποιότητα φωτός αλλά και εξοικονόμηση ενέργειας, δεν επαρκεί όμως, παρά πολύ λίγες ώρες που έχουμε έντονη ηλιοφάνεια, ώστε να πετύχουμε φωτεινότητα ίση με 300 lux που είναι ο στόχος μας. Για το λόγο αυτό, και αφού έχουμε ανοίξει τα σκίαστρα στο 100% (για να είμαστε ακριβείς, όταν τα σκίαστρα βρίσκονται στη θέση 0%), αρχίζουμε να ανοίγουμε σιγά σιγά τον ηλεκτρικό φωτισμό. Αυτό γίνεται με βήματα της τάξεως του 5% (20 δυνατές θέσεις από τις οποίες περνάει το dimmer) μέχρις ότου φτάσουμε την επιθυμητή τιμή εσωτερικής φωτεινότητας.

Ο τελικός αλγόριθμος ελέγχου οπτικής άνεσης είναι αυτός που παρουσιάζεται στο σχ. 5.3. Πρόκειται για τον προηγούμενο αλγόριθμο του σχήματος 5.2 με προσθήκες για το άνοιγμα / κλείσιμο των φωτιστικών σωμάτων. Στη διαδικασία φαίνεται η προτεραιότητα που έχει ο φυσικός φωτισμός έναντι του τεχνητού. Οι αποφάσεις λαμβάνονται κάθε 10 δευτερόλεπτα, το οποίο σημαίνει όλες οι ενέργειες γίνονται με χρονική διαφορά ακέραια πολλαπλάσια των 10sec.

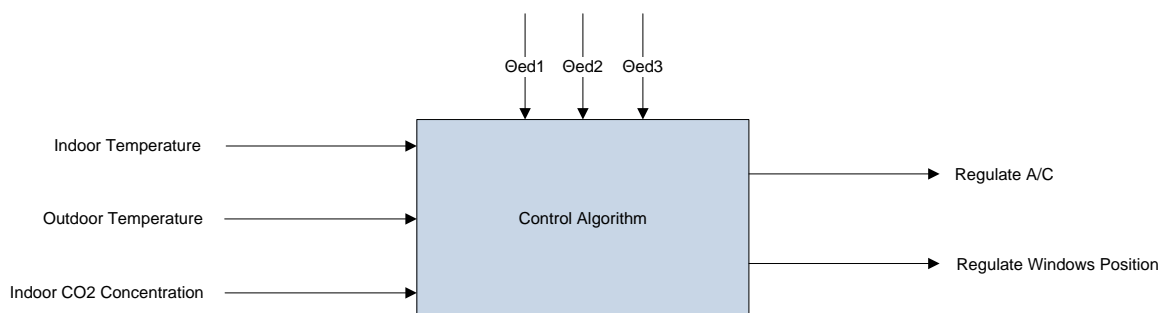


Σχήμα 5.3 Έλεγχος Οπτικής Άνεσης

6. Έλεγχος Θερμικής Άνεσης και Ποιότητας Αέρα

6.1 Γενικά

Το σύστημα ελέγχου θερμικής άνεσης σχεδιάστηκε βάσει των κριτηρίων που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.3.1. Το σύστημα αυτό έχει 6 εισόδους (μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας για 1 μέρα πριν τη σημερινή, μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας για 2 μέρες πριν, μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας για 3 μέρες πριν, εσωτερική θερμοκρασία, εξωτερική θερμοκρασία, εσωτερική συγκέντρωση CO₂) και 2 εξόδους (άνοιγμα / κλείσιμο μονάδας A/C , άνοιγμα / κλείσιμο παραθύρων).



Σχήμα 5.4 Σύστημα Ελέγχου Θερμικής Άνεσης και Ποιότητας Αέρα

Τα δεδομένα για τους μέσους όρους της εξωτερικής θερμοκρασίας (Θ_{ed1} , Θ_{ed2} , Θ_{ed3}) βρίσκονται από τον μετεωρολογικό σταθμό Χανίων – Περιοχή Πολυτεχνείου (<http://www.meteo.gr/stations/chania>). Η εσωτερική θερμοκρασία μετρείται από την KNX / EIB συσκευή Combined Fire Alarm. Η εξωτερική θερμοκρασία μετρείται από ένα αισθητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος στην KNX / EIB συσκευή Weather Station και βρίσκεται στην ταράτσα του εργαστηρίου. Τέλος, η τιμή εσωτερικής συγκέντρωσης CO₂ δίνεται από ένα αισθητήρα μέτρησης συγκέντρωσης CO₂ ο οποίος βγάζει μία έξοδο 0-10V που αντιστοιχούν σε 0-2000ppm.

Οι έξοδοι του συστήματός μας είναι ρύθμιση είτε του κλιματιστικού για θέρμανση ή ψύξη (τεχνητή θέρμανση / ψύξη) είτε ρύθμιση των παραθύρων για θέρμανση, ψύξη (φυσική θέρμανση / ψύξη) ή αερισμό του χώρου (λόγω υψηλής συγκέντρωσης

CO₂). Όσον αφορά το κλιματιστικό που χρησιμοποιήσαμε θα πρέπει να τονίσουμε ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα για ρύθμιση της έντασης ή της θερμοκρασίας. Οι μόνες ενέργειες που μπορούμε να κάνουμε στη συγκεκριμένη μονάδα είναι :

- Άνοιγμα / Κλείσιμο Εσωτερικής Μονάδας
- Άνοιγμα / Κλείσιμο Εξωτερικής Μονάδας
- Θέρμανση / Ψύξη

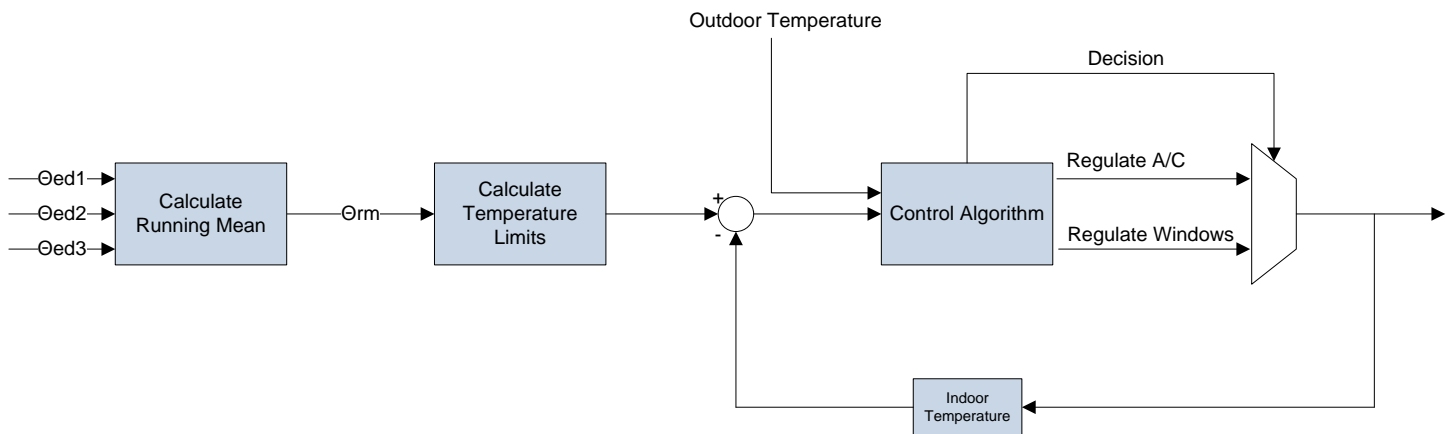
Κάτι τέτοιο ναί μεν περιορίζει τις δυνατότητες που έχει συνολικά το σύστημά μας, κάνει όμως πιο εύκολη τη σχεδίασή του.

Από την άλλη, τα παράθυρα ρυθμίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε είτε να ανοίγουν πλήρως είτε να κλείνουν πλήρως (2 δυνατές θέσεις). Αυτό έγινε μετά από πειραματικές μετρήσεις κατά τις οποίες παρατηρήσαμε ότι ενδιάμεσες θέσεις επιρρεάζουν από ελάχιστα έως καθόλου την εσωτερική θερμοκρασία αλλά και τη συγκέντρωση του CO₂.

6.2 Έλεγχος Εσωτερικής Θερμοκρασίας

6.2.1 Παρουσίαση Ελεγκτή για τα Κριτήρια CEN

Ο βασικός ελεγκτής για τη θερμική άνεση στην παρούσα εργασία είναι αυτός ο οποίος ικανοποιεί τις απαιτήσεις CEN για τις επιτρεπτές ζώνες θερμοκρασίας. Το σύστημα έχει την παρακάτω μορφή (αναλυτικότερα από αυτή του σχ. 5.4 χωρίς όμως να λαμβάνουμε υπ' όψη τη συγκέντρωση του CO₂) :



Σχήμα 5.5 Σύστημα Ρύθμισης Θερμικής Άνεσης κατά CEN

Ο κυμαινόμενος θερμοκρασιακός μέσος όρος εξωτερικής θερμοκρασίας για μία δεδομένη ημέρα δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed-1} + 0.8 \cdot \Theta_{ed-2} + 0.6 \cdot \Theta_{ed-3} + 0.5 \cdot \Theta_{ed-4} + 0.4 \cdot \Theta_{ed-5} + 0.3 \cdot \Theta_{ed-6} + 0.2 \cdot \Theta_{ed-7}) / 3.8$$

Μετά από πειραματικές μετρήσεις διαπιστώσαμε ότι η ακρίβεια 7 ημερών πριν τη μέρα για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε το Θ_{rm} είναι περιττή και δεν επιρραάζει σχεδόν καθόλου την παραπάνω σχέση. Για το λόγο αυτό, απλοποιούμε την εξίσωση ως εξής :

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed-1} + 0.8 \cdot \Theta_{ed-2} + 0.6 \cdot \Theta_{ed-3}) / 2.4$$

Έχοντας υπολογίσει τον κυμαινόμενο θερμοκρασιακό μέσο όρο εξωτερικής θερμοκρασίας πρέπει να βρούμε τα όρια που παρουσιάζονται στο σχ. 4.1 για δεδομένο Θ_{rm} . Κάτι τέτοιο υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$\Theta_{i \max} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 + 3 \quad (4)$$

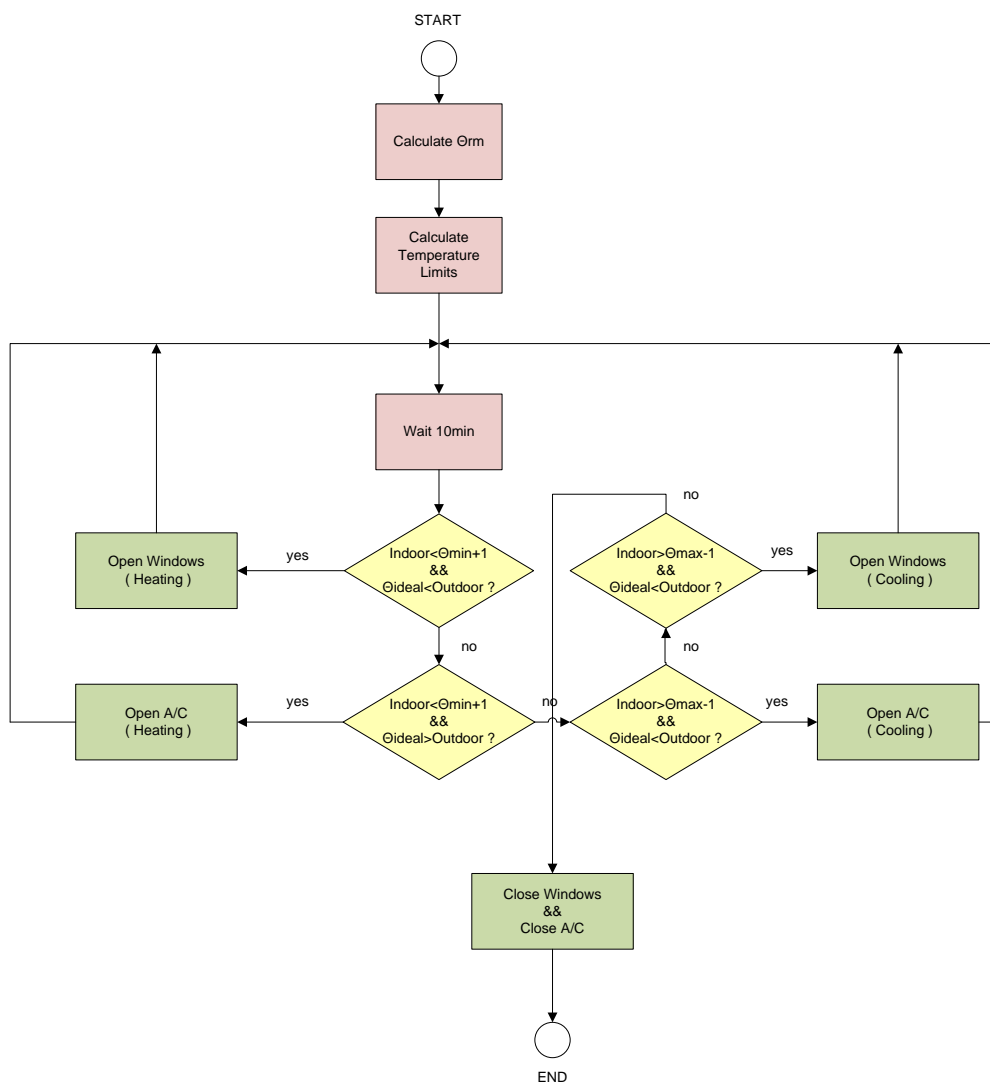
$$\Theta_{i \min} = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8 - 3 \quad (5)$$

Υπενθυμίζουμε πως οι σχέσεις αυτές για τον υπολογισμό των $\Theta_{i \max}$ και $\Theta_{i \min}$ είναι για κτίρια κατηγορίας II.

Στον αλγόριθμο ελέγχου χρησιμοποιούμε και άλλη μια τιμή θερμοκρασίας η οποία προκύπτει από τα παραπάνω όρια. Αυτή την ονομάζουμε Θ_{ideal} και η σχέση που τη συνδέει με τις $\Theta_{i \max}$ και $\Theta_{i \min}$ είναι :

$$\Theta_{ideal} = \Theta_{i \max} - 3 = \Theta_{i \min} + 3 = 0.33 \cdot \Theta_{rm} + 18.8$$

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο αλγόριθμος θερμικής άνεσης για τα κριτήρια CEN χωρίς να λαμβάνουμε υπ' όψην έλεγχο για συγκέντρωση του CO_2 :



Σχήμα 5.6 Έλεγχος Θερμικής Άνεσης για κριτήρια CEN (χωρίς CO_2)

6.2.2 Παρουσίαση Ελεγκτή για τους Ενεργειακούς Υπολογισμούς

Όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.3.2, πέρα από τις επιτρεπτές εσωτερικές θερμοκρασίες, το CEN δίνει και κάποιες άλλες προδιαγραφές θερμικής άνεσης, κυρίως για ενεργειακούς υπολογισμούς. Οι προδιαγραφές αυτές είναι πολύ κοντά σε άλλα γνωστά ευρωπαϊκά και αμερικανικά standards και ο βασικός λόγος για τον οποίο το CEN μας τις επισημαίνει είναι για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας. Σε αυτή την παράγραφο κάνουμε μια παρουσίαση του ελεγκτή που σχεδιάσαμε για να λειτουργεί σε αυτά τα κριτήρια. Να υπενθυμίσουμε ότι οι απαιτήσεις που έχει το συγκεκριμένο σύστημα θερμικής άνεσης είναι :

- Καλοκαιρινή Περίοδος : $23^{\circ}\text{C} \leq \Theta_{\text{indoor}} \leq 26^{\circ}\text{C}$
- Χειμερινή Περίοδος : $20^{\circ}\text{C} \leq \Theta_{\text{indoor}} \leq 24^{\circ}\text{C}$

Οι παραπάνω θερμοκρασίες για το εσωτερικό του χώρου θα πρέπει να ικανοποιούνται ανεξαρτήτως της εξωτερικής θερμοκρασίας.

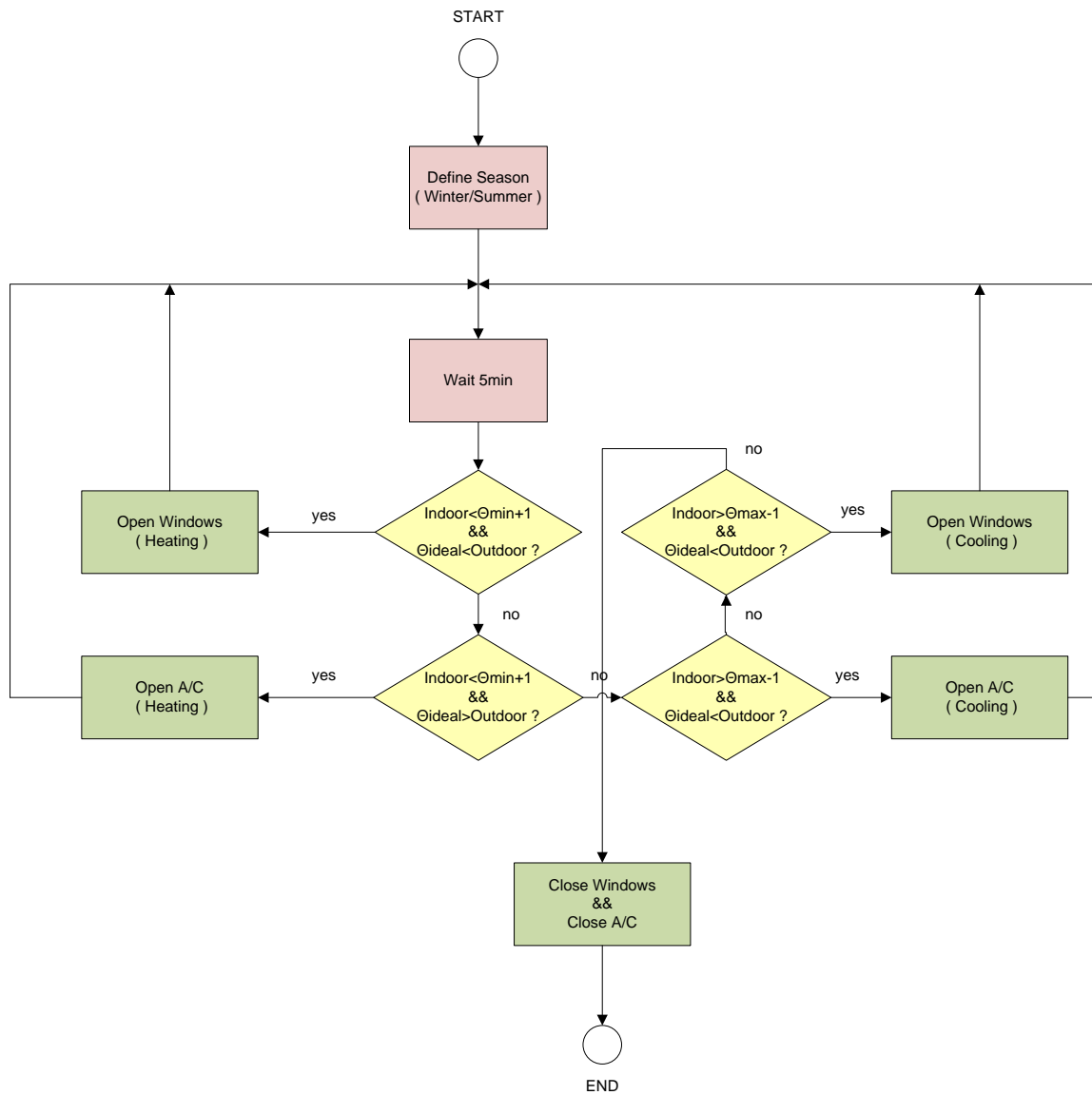
Στο σύστημα αυτό αντί για τα όρια $\Theta_{i \max}$ και $\Theta_{i \min}$, που είχαμε στην προηγούμενη σχεδίαση, έχουμε ξεχωριστά όρια για το χειμώνα και για το καλοκαίρι. Και αυτό διότι σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουμε θα πρέπει να έχουμε άλλη εσωτερική θερμοκρασία το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι. Έτσι λοιπόν, τα όριά μας για το συγκεκριμένο σύστημα τα ονομάζουμε ως εξής :

- $\Theta_{i \max_winter}$, $\Theta_{i \min_winter}$, και $\Theta_{\text{ideal_winter}}$
- $\Theta_{i \max_summer}$, $\Theta_{i \min_summer}$, και $\Theta_{\text{ideal_summer}}$

όπου

$$\Theta_{\text{ideal_winter}} = \Theta_{i \max_winter} - 2 = \Theta_{i \min_winter} + 2 = 22^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta_{\text{ideal_summer}} = \Theta_{i \max_summer} - 1.5 = \Theta_{i \min_summer} + 1.5 = 24.5^{\circ}\text{C}$$



Σχήμα 5.6 Έλεγχος Θερμικής Άνεσης για Ενεργειακούς Υπολογισμούς (χωρίς CO_2)

Είναι πολύ εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι αυτός ο ελεγκτής μοιάζει πολύ (για την ακρίβεια είναι ακριβώς ίδια η φιλοσοφία ελέγχου) με τον ελεγκτή που ικανοποιεί τα κριτήρια CEN έτσι όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 6.2.1. Η βασική διαφορά είναι τα θερμοκρασιακά όρια για το εσωτερικό του χώρου τα οποία σε αυτή την περίπτωση είναι σταθερά ανά εποχή (ενώ στο προηγούμενο σύστημα τα όρια μπορούσαν να αλλάζουν από μέρα σε μέρα).

6.2.3 Σύγκριση Ελεγκτών ως προς την Κατανάλωση Ενέργειας

Ο κύριος λόγος για τον οποίο φτιάξαμε τον ελεγκτή για τους ενεργειακούς υπολογισμούς είναι για να τον συγκρίνουμε με τον ελεγκτή για τα κριτήρια CEN ως προς την κατανάλωση ενέργειας.

Το αναμενόμενο είναι ο ελεγκτής CEN να λειτουργεί με σημαντικά μικρότερη κατανάλωση ενέργειας μιας και είναι αρκετά μεγαλύτερο το εύρος των επιτρεπτών θερμοκρασιών. Επιπροσθέτως, τα θερμοκρασιακά όρια, έτσι όπως υπολογίζονται από τις (4) και (5), είναι συνήθως υψηλά (για τις θερμές ημέρες όπου συνήθως έχουμε την περισσότερη κατανάλωση), σε αντίθεση με τον 2^ο ελεγκτή όπου είναι σχετικά χαμηλά (23-26°C).

Ο κάθε ελεγκτής δοκιμάστηκε για 10 μέρες (εναλλάξ από μέρα σε μέρα), κάτι που σημαίνει ότι οι συνθήκες κάτω από τις οποίες δοκιμάστηκαν ήταν σχεδόν ίδιες. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής :

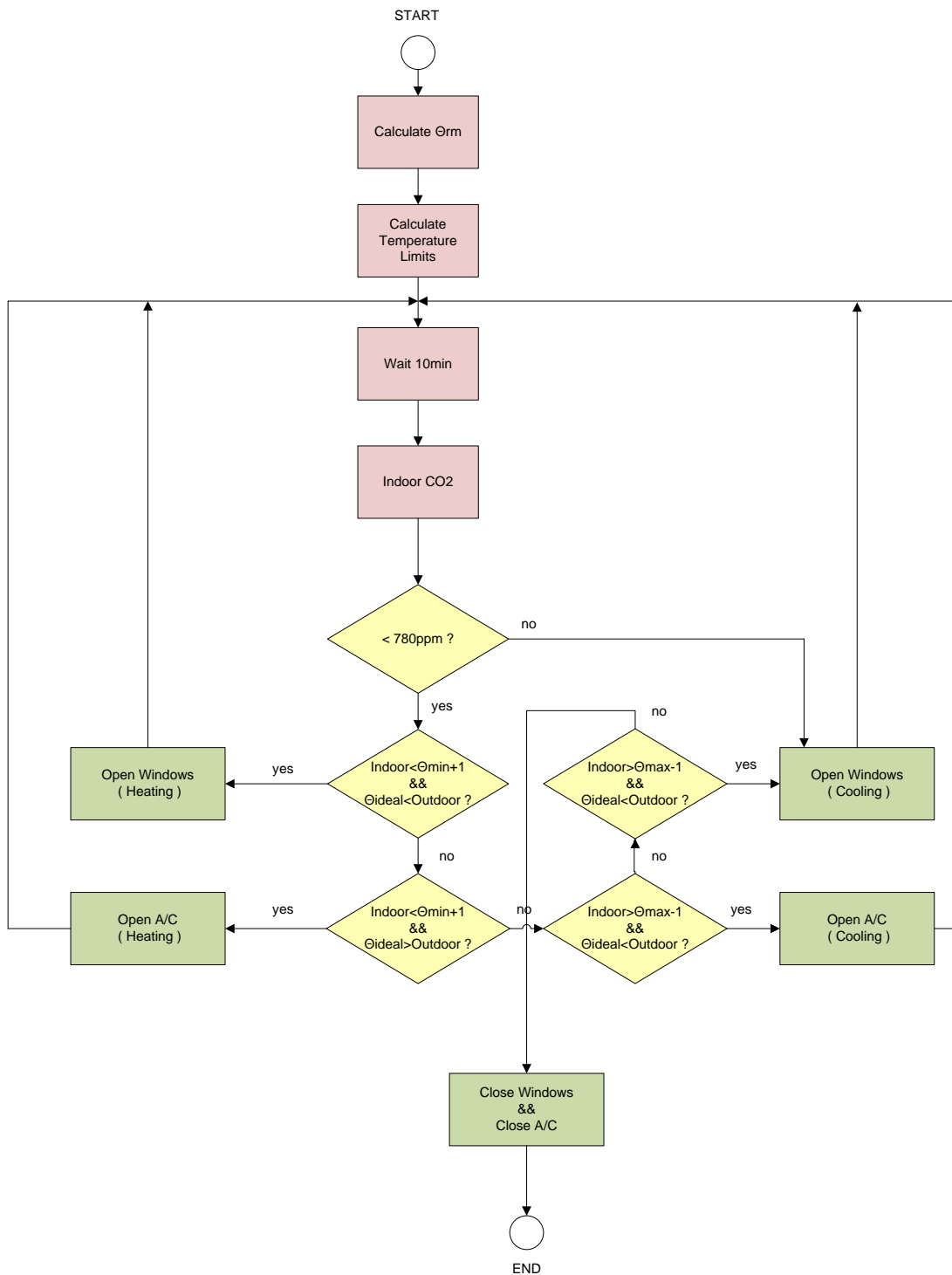
- 1^{ος} (CEN) : 386.530 Wh / 10 μέρες
- 2^{ος} : 1.208.915 Wh / 10 μέρες

Παρατηρούμε ότι επαληθεύεται αυτό που είπαμε και προηγουμένως, ότι δηλαδή ο ελεγκτής CEN έχει πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας (περίπου 68%).

6.3 Έλεγχος Εσωτερικής Θερμοκρασίας και Ποιότητας Αέρα

Στα μέχρι τώρα συστήματα που παρουσιάσαμε δε λαμβάνουμε υπ' όψην έλεγχο για τη συγκέντρωση του CO₂ στο εσωτερικό του χώρου. Στο τελικό μας σύστημα πρέπει να προσέχουμε την τιμή για το CO₂ σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Σε αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι έχουμε κάνει μια μικρή παράβαση από τις δεδομένες απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια για την ποιότητα αέρα από το CEN μας λένε ότι η τιμή συγκέντρωσης του CO₂ θα πρέπει να είναι 500 ppm πάνω από την τιμή της εξωτερικής συγκέντρωσης του CO₂. Ο εξοπλισμός του εργαστηρίου βιομηχανικού ελέγχου και συστημάτων, στο οποίο έγινε όλο το πειραματικό κομμάτι της παρούσας εργασίας, δεν περιλαμβάνει αισθητήρα

μέτρησης του CO₂ συνδεδεμένο στο Weather Station (που βρίσκεται στην ταράτσα) ώστε να μπορούμε να μετρήσουμε την τιμή της εξωτερικής συγκέντρωσης του CO₂. Για το λόγο αυτό ανατρέξαμε σε διεθνή επιστημονικά άρθρα στα οποία βρήκαμε ότι η συγκέντρωση του CO₂ σε ανοιχτό χώρο είναι 300-400 ppm. Έτσι, και σε συνδυασμό με τον περιορισμό του CEN ορίσαμε ως setpoint στο σύστημά μας τα 800 ppm.



Σχήμα 5.7 Έλεγχος Θερμικής Άνεσης για κριτήρια CEN (με έλεγχο για CO₂)

Το αντίστοιχο σύστημα για έλεγχο θερμικής άνεσης για ενεργειακούς υπολογισμούς συμπεριλαμβανομένου και ελέγχου για CO₂ προκύπτει με εντελώς όμοιο τρόπο με το παραπάνω σχήμα.

7. Πειραματικές Μετρήσεις

7.1 Γενικά

Όπως αναφέραμε και στο Κεφ. 3 και συγκεκριμένα στην ενότητα 3.3 το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε για το σχεδιασμό, τον έλεγχο ορθής λειτουργίας καθώς και τη συλλογή δεδομένων για τους ελεγκτές είναι το Matlab R2006b. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τα δεδομένα τα οποία προσκομήσαμε και τα οποία θα μας «αποδείξουν» ότι το σύστημά μας δουλεύει ικανοποιητικά.

Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τιμές αισθητήρων, ενεργοποιητών καθώς και την τιμή της κατανάλωσης ενέργειας από το μετρητή κατανάλωσης Electrex Kilo (τον χρησιμοποιούμε μόνο στην περίπτωση της θερμικής άνεσης όπου και θέλουμε να δούμε πόση ενέργεια καταναλώνει το κλιματιστικό σώμα). Όλα τα γραφήματα που θα παρουσιάσουμε είναι από τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο 2008, κάτι που σημαίνει ότι δεν έχουμε και πολύ μεγάλη ποικιλία όσον αφορά θερμοκρασιακές αλλαγές (υψηλές θερμοκρασίες) και επίπεδα φυσικού φωτισμού (αρκετά έντονη ηλιοφάνεια). Παρ' όλα αυτά, το σύστημα έχει δοκιμαστεί αρκετά και κατά την περίοδο της άνοιξης ώστε να μπορούμε να πούμε ότι λειτουργεί ικανοποιητικά.

7.2 Θερμική Άνεση και Ποιότητα Αέρα

Παρακάτω παρουσιάζουμε τις πειραματικές μετρήσεις για θερμική άνεση αλλά και ποιότητα αέρα για τις εκάστοτε ημέρες. Χωρίς να χωράνε ιδιαίτερα σχόλια για τα γραφήματα αυτά, να πούμε ότι περιλαμβάνουν :

- Τιμές αισθητήρων για εσωτερική / εξωτερική θερμοκρασία καθώς και τα όρια έτσι όπως υπολογίστηκαν από την εξίσωση (4).
- Τιμή ενεργοποιητή για σύστημα θέρμανσης / ψύξης (0:κλειστό , 1:ζεστό , -1:κρύο).
- Τιμή ενεργοποιητή για παράθυρα (0:κλειστά , 1:ανοιχτά).
- Τιμή αισθητήρα για μέτρηση συγκέντρωσης CO₂ και το επιτρεπτό όριο (setpoint).

Συγκεκριμένα, τα γραφήματα στα οποία παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για τη θερμική άνεση του χώρου είναι 4 και αποτυπώνουν τα εξής :

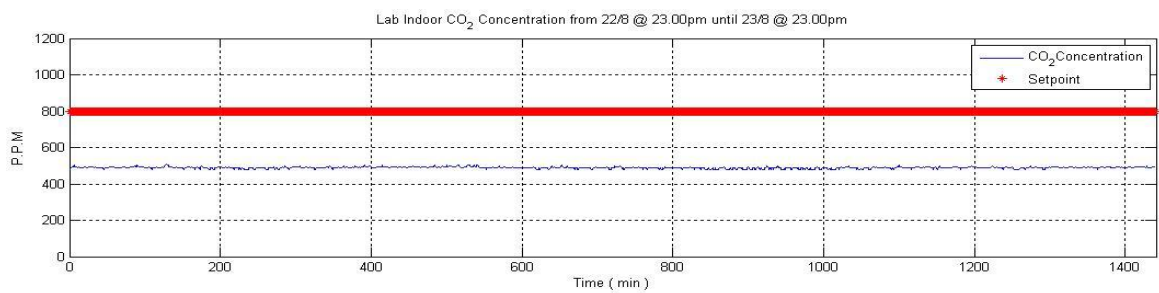
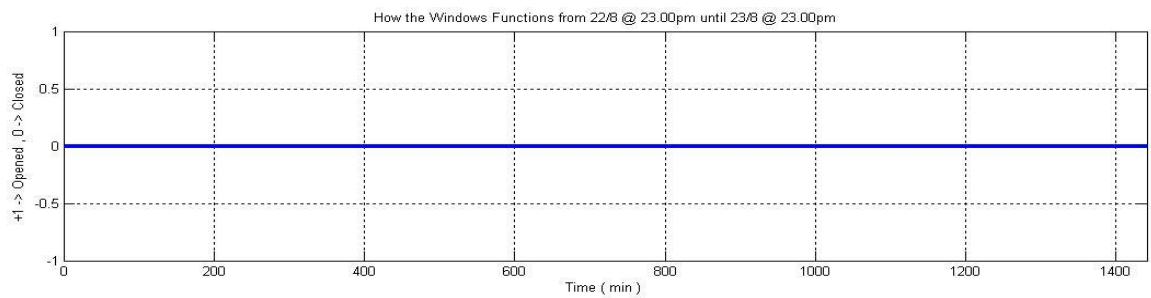
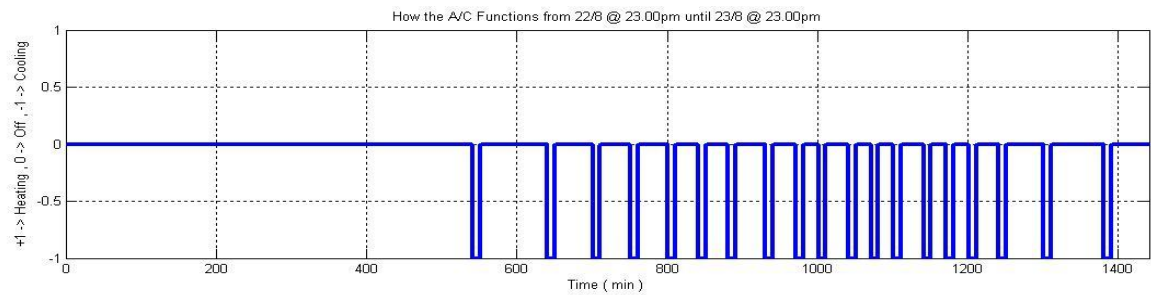
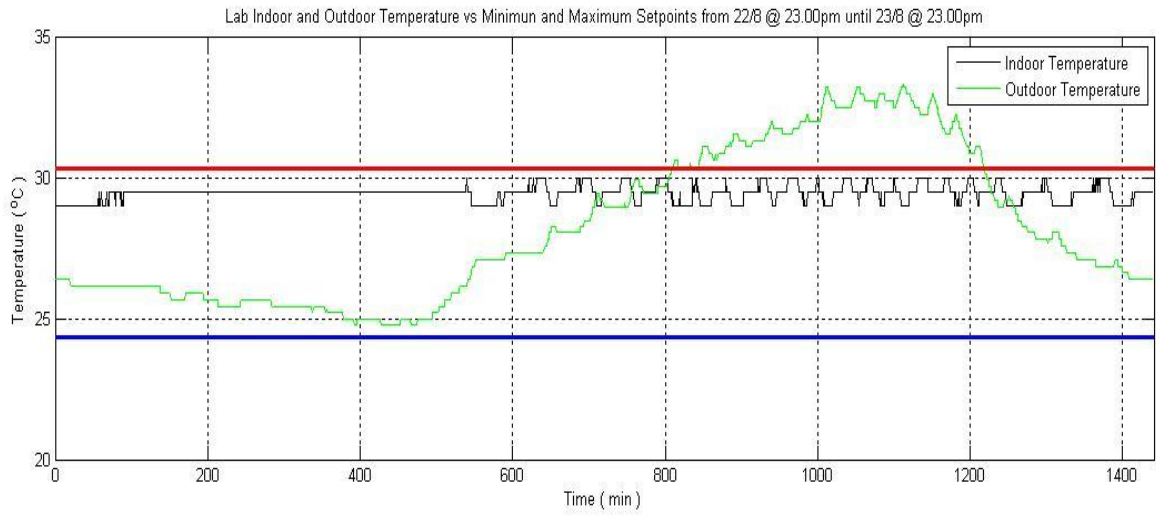
- 1) Θερμοκρασίας : το συγκεκριμένο γράφημα παρουσιάζει το πως κυμαίνεται η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου του εργαστηρίου κατά τη διάρκεια μιας ολόκληρης μέρας. Φαίνεται επίσης η εξωτερική θερμοκρασία έτσι όπως μετρείται από το Weather Station καθώς και τα επιτρεπτά όρια θερμοκρασιών έτσι όπως υπολογίζονται από τις εξισώσεις (4) και (5).

- 2) Λειτουργία Κλιματιστικού : σε αυτό το γράφημα φαίνεται η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης / ψύξης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Να τονίσουμε ότι έχουμε 3 δυνατές τιμές :
 - + 1 → Λειτουργία στο ζεστό (θέρμανση)
 - 0 → Κλειστό
 - - 1 → Λειτουργία στο κρύο (ψύξη)

- 3) Θέση Παραθύρων : εδώ παρουσιάζεται η θέση ανά χρονική στιγμή στην οποία βρίσκονται τα παράθυρα. Όπως έχουμε παρουσιάσει στο κεφάλαιο 6, τα παράθυρα μπορούν να πάρουν 2 δυνατές τιμές :
 - + 1 → Ανοιχτά
 - 0 → Κλειστά

- 4) Συγκέντρωση CO₂ : στο τελευταίο αυτό γράφημα παρουσιάζεται η συγκέντρωση του CO₂ στο εσωτερικό του χώρου καθώς και το setpoint που έχουμε ορίσει (800ppm)

7.2.1 Μετρήσεις από 22-08-08 23.00μμ έως 23-08-08 23.00μμ



Σχήμα 7.1 Πειραματικές Μετρήσεις για Θερμική Ανεση

Σχολιασμός Γραφημάτων :

1) Θερμοκρασίας : μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου είναι καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου μέσα στα επιτρεπτά όρια. Για τη συγκεκριμένη μέρα, έχουμε :

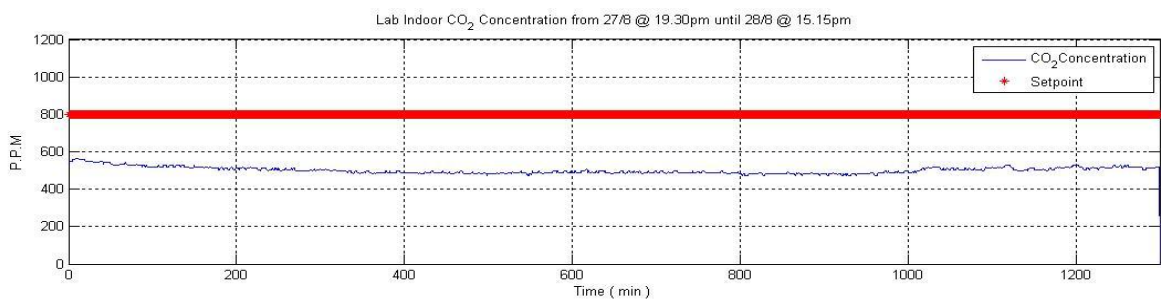
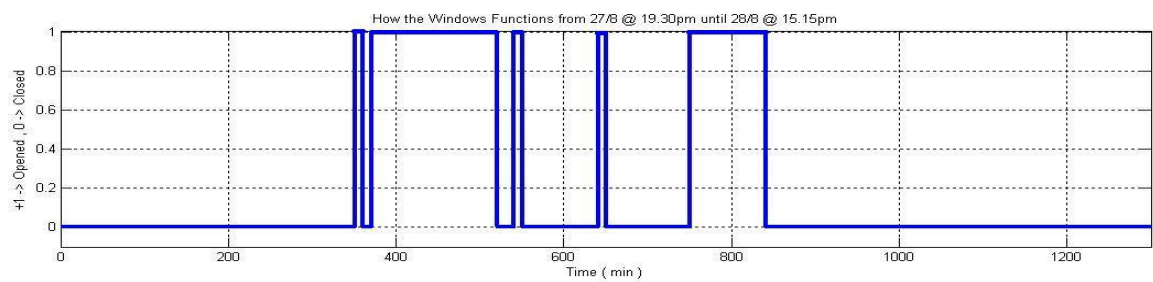
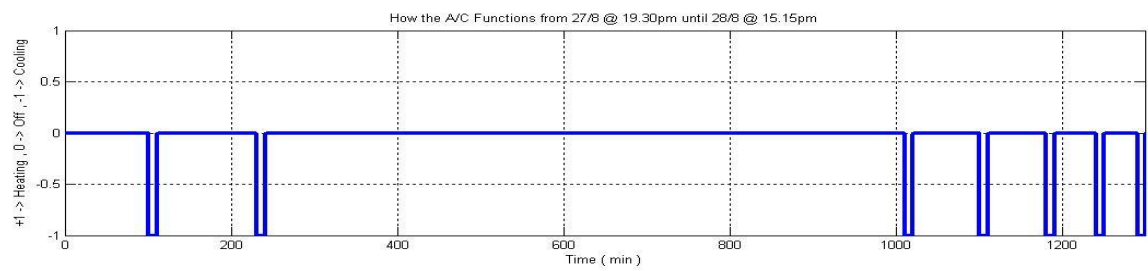
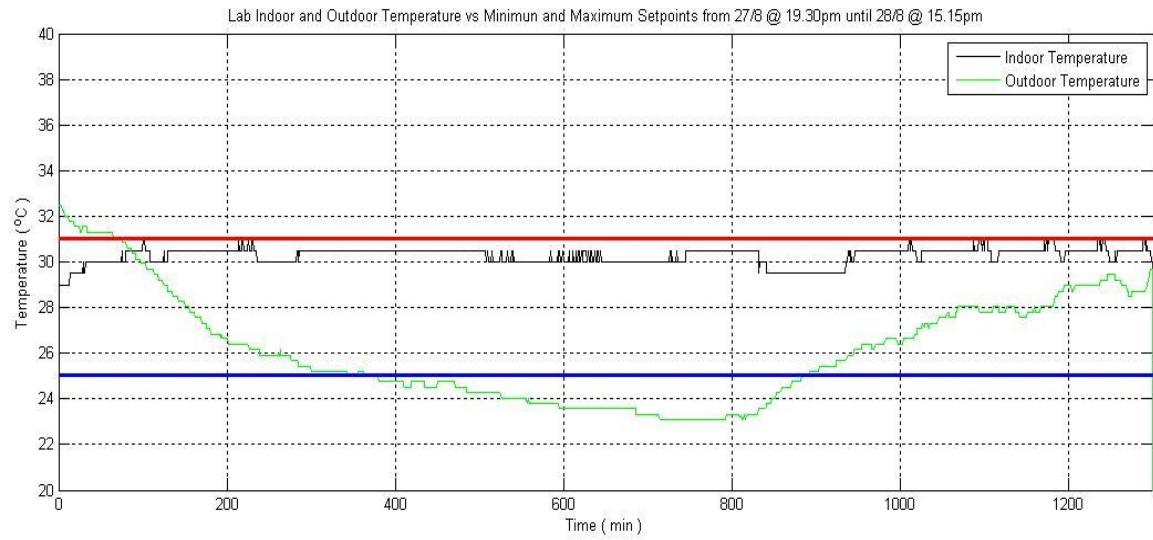
- $\Theta_{ed1} = 25.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{ed2} = 25.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{ed3} = 26.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \max} = 30.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \min} = 24.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2) Λειτουργία Κλιματιστικού : το κλιματιστικό δούλεψε σε λειτουργία ψύξης για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 24ωρο. Αυτό έγινε κυρίως τις ώρες τις ημέρας, εκεί όπου η εξωτερική θερμοκρασία ήταν σχετικά υψηλή. Η κατανάλωση ενέργειας για αυτό το 24ωρο ήταν 41343 Wh.

3) Θέση Παραθύρων : βλέπουμε ότι τα παράθυρα έμειναν κλειστά σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εξωτερική θερμοκρασία δεν ήταν σε επίπεδα που θα επέτρεπαν την ψύξη του χώρου με παθητικό τρόπο.

4) Συγκέντρωση CO₂ : παρ' ότι τα παράθυρα ήταν διαρκώς κλειστά, η συγκέντρωση του CO₂ ήταν συνεχώς σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στην πολύ μικρή (χρονικά και ποσοτικά) ανθρώπινη παρουσία στο χώρο.

7.2.2 Μετρήσεις από 27-08-08 19.30μμ έως 28-08-08 15.15μμ



Σχήμα 7.2 Πειραματικές Μετρήσεις για Θερμική Άνεση

Σχολιασμός Γραφημάτων :

1) Θερμοκρασίας : μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου είναι καθ' όλη τη διάρκεια του 21ώρου μέσα στα επιτρεπτά όρια. Για τη συγκεκριμένη μέρα, έχουμε :

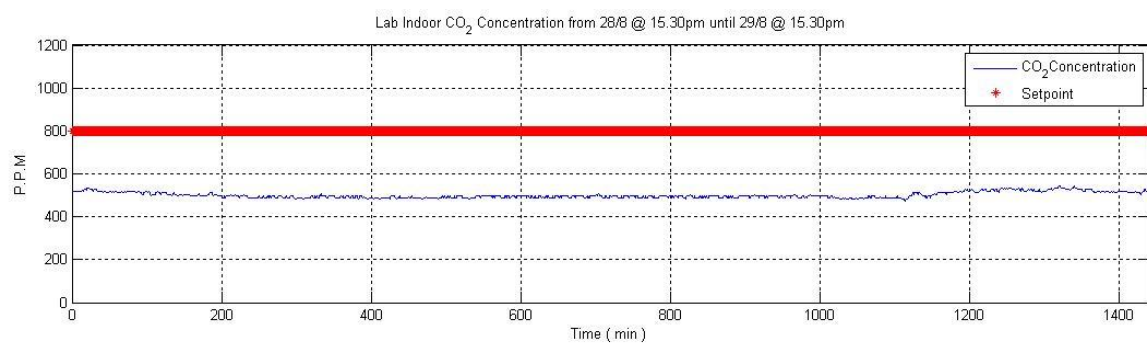
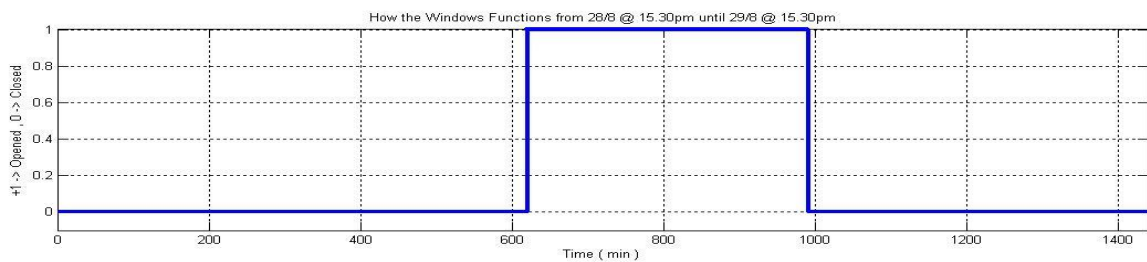
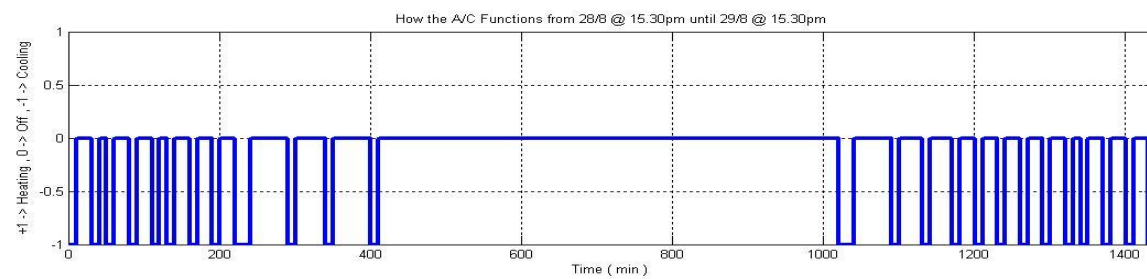
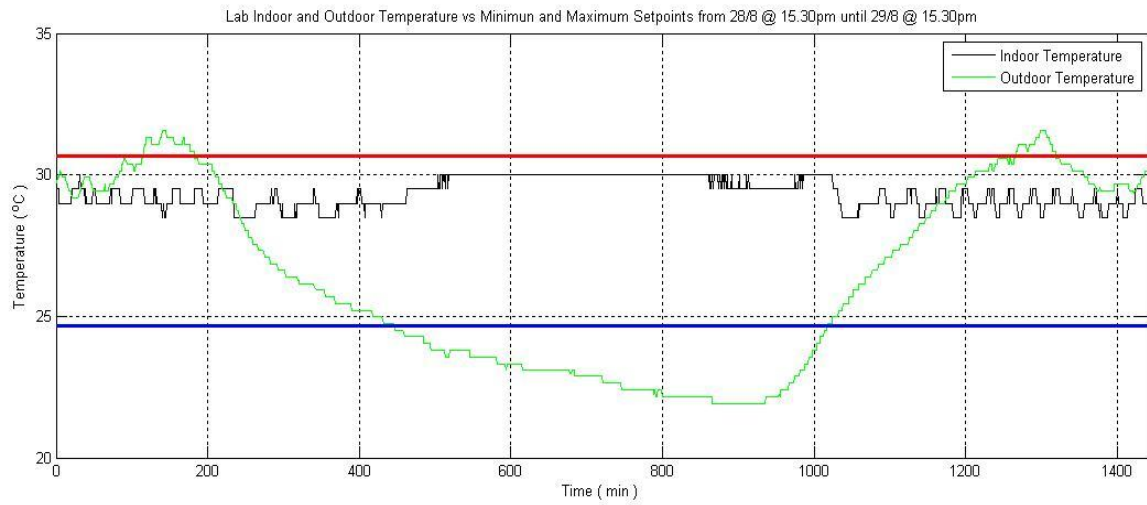
- $\Theta_{ed1} = 28.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{ed2} = 28.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{ed3} = 26.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \max} = 30.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \min} = 24.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2) Λειτουργία Κλιματιστικού : το κλιματιστικό δούλεψε σε λειτουργία ψύξης για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 21ωρο. Η εξωτερική θερμοκρασία δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλή, και έτσι δεν ήταν απαραίτητη η εκτεταμένη χρήση ενεργητικής ψύξης. Η κατανάλωση ενέργειας για αυτό το 21ωρο ήταν 15086 Wh.

3) Θέση Παραθύρων : βλέπουμε ότι τα παράθυρα άνοιξαν για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 21ωρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εξωτερική θερμοκρασία ήταν σε επίπεδα που επέτρεπαν την ψύξη του χώρου με παθητικό τρόπο, χωρίς περιττή σπατάλη ενέργειας που θα προκαλούσε το κλιματιστικό σώμα.

4) Συγκέντρωση CO₂ : η συγκέντρωση του CO₂ ήταν συνεχώς σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στην πολύ μικρή (χρονικά και ποσοτικά) ανθρώπινη παρουσία στο χώρο αλλά και στο γεγονός ότι το άνοιγμα των παραθύρων ανανέωνε τον εσωτερικό αέρα.

7.2.3 Μετρήσεις από 28-08-08 15.30μμ έως 29-08-08 15.30μμ



Σχήμα 7.3 Πειραματικές Μετρήσεις για Θερμική Ανεση

Σχολιασμός Γραφημάτων :

1) Θερμοκρασίας : μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου είναι καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου μέσα στα επιτρεπτά όρια. Για τη συγκεκριμένη μέρα, έχουμε :

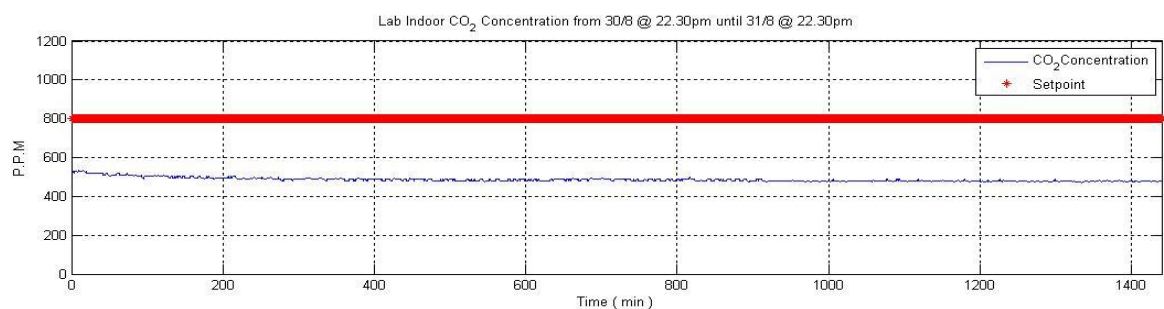
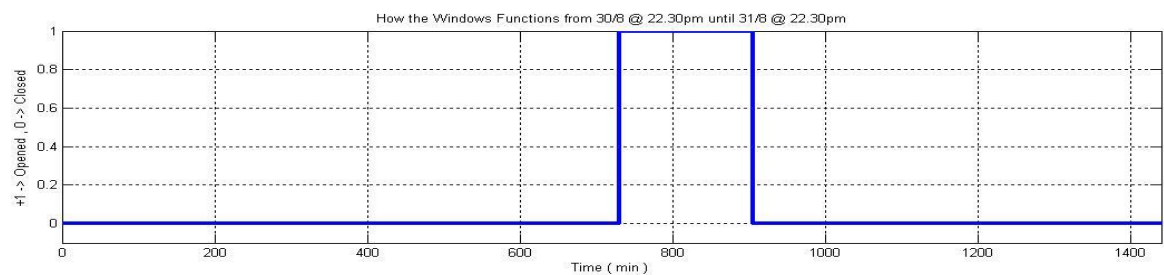
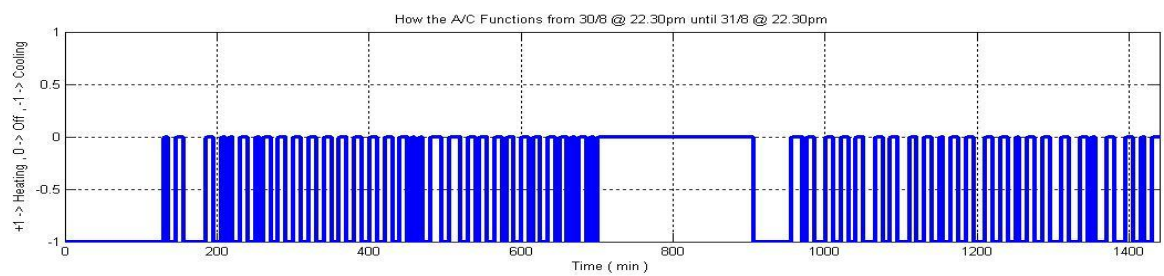
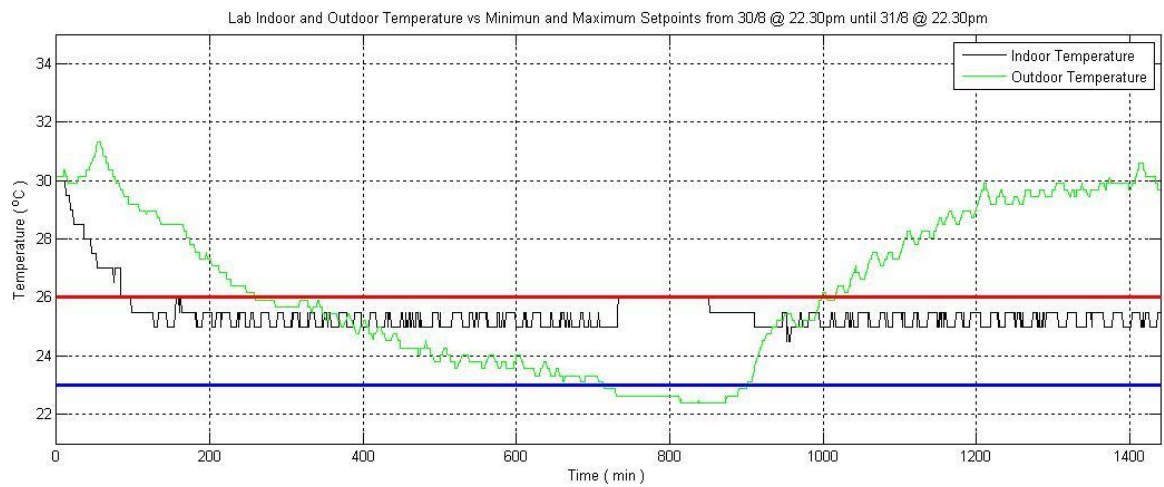
- $\Theta_{ed1} = 28.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{ed2} = 26.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{ed3} = 25.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \max} = 30.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \min} = 24.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2) Λειτουργία Κλιματιστικού : το κλιματιστικό δούλεψε σε λειτουργία ψύξης για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 24ωρο. Η εξωτερική θερμοκρασία ήταν σχετικά υψηλή τις ώρες της ημέρας, και έτσι ήταν απαραίτητη η εκτεταμένη χρήση ενεργητικής ψύξης. Η κατανάλωση ενέργειας για αυτό το 24ωρο ήταν 57375 Wh.

3) Θέση Παραθύρων : βλέπουμε ότι τα παράθυρα άνοιξαν για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 24ωρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εξωτερική θερμοκρασία ήταν σε επίπεδα που επέτρεπαν την ψύξη του χώρου με παθητικό τρόπο, αλλά όχι για πολύ.

4) Συγκέντρωση CO₂ : η συγκέντρωση του CO₂ ήταν συνεχώς σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στην πολύ μικρή (χρονικά και ποσοτικά) ανθρώπινη παρουσία στο χώρο αλλά και στο γεγονός ότι το άνοιγμα των παραθύρων ανανέωνε τον εσωτερικό αέρα.

7.2.4 Μετρήσεις από 29-08-08 16.30μμ έως 30-08-08 16.30μμ (2ος Ελεγκτής)



Σχήμα 7.4 Πειραματικές Μετρήσεις για Θερμική Ανεση

Σχολιασμός Γραφημάτων :

Όπως αναφέρει και ο τίτλος, σε αυτά τα γραφήματα παρουσιάζουμε τον 2^ο ελεγκτή που φτιάξαμε (για τους ενεργειακούς υπολογισμούς) ώστε να δείξουμε την ορθή λειτουργία του. Δε θα παρουσιάσουμε αποτελέσματα άλλων ημερών μιας και ο συγκεκριμένος ελεγκτής λειτουργεί ανεξαρτήτως εξωτερικής θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει και πολύ μεγάλη ποικιλία στα αποτελέσματα.

1) Θερμοκρασίας : μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου είναι καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου μέσα στα επιτρεπτά όρια. Να υπενθυμίσουμε ότι τα επιτρεπτά όρια εσωτερικής θερμοκρασίας για την καλοκαιρινή περίοδο είναι :

- $\Theta_{i \max_summer} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Theta_{i \min_summer} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2) Λειτουργία Κλιματιστικού : το κλιματιστικό δούλεψε σε λειτουργία ψύξης για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 24ωρο. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στη σχετικά υψηλή εξωτερική θερμοκρασία αλλά και στο ότι ο ελεγκτής μας πρέπει να διατηρεί την εσωτερική θερμοκρασία σε χαμηλά επίπεδα. Η κατανάλωση ενέργειας για αυτό το 24ωρο ήταν 148783 Wh.

3) Θέση Παραθύρων : βλέπουμε ότι τα παράθυρα άνοιξαν για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα το συγκεκριμένο 24ωρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εξωτερική θερμοκρασία ήταν σε επίπεδα που επέτρεπαν την ψύξη του χώρου με παθητικό τρόπο, αλλά όχι για πολύ.

4) Συγκέντρωση CO₂ : η συγκέντρωση του CO₂ ήταν συνεχώς σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στην πολύ μικρή (χρονικά και ποσοτικά) ανθρώπινη παρουσία στο χώρο.

7.3 Οπτική Άνεση

Παρακάτω παρουσιάζουμε τις πειραματικές μετρήσεις για οπτική άνεση για τις εκάστοτε ημέρες. Χωρίς να χωράνε ιδιαίτερα σχόλια για τα γραφήματα αυτά, να πούμε ότι περιλαμβάνουν :

- Τιμές αισθητήρων εσωτερικής και εξωτερικής φωτεινότητας.
- Τιμές ενεργοποιητών για τα φώτα (dimmer) και τα σκίαστρα

Συγκεκριμένα, τα γραφήματα στα οποία παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για την οπτική άνεση του χώρου είναι 4 και αποτυπώνουν τα εξής :

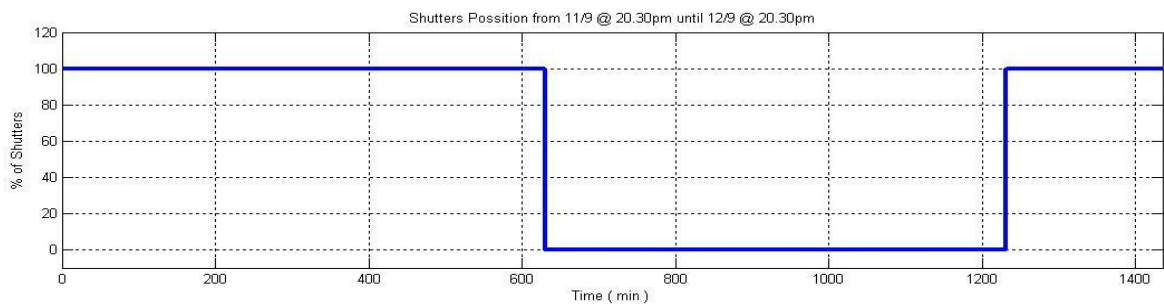
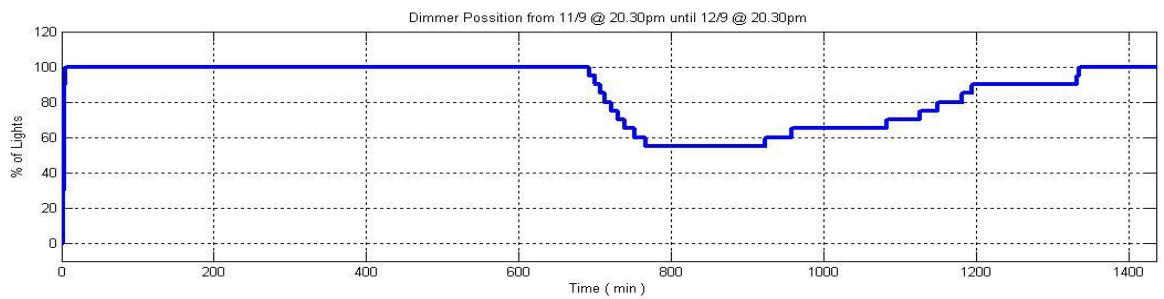
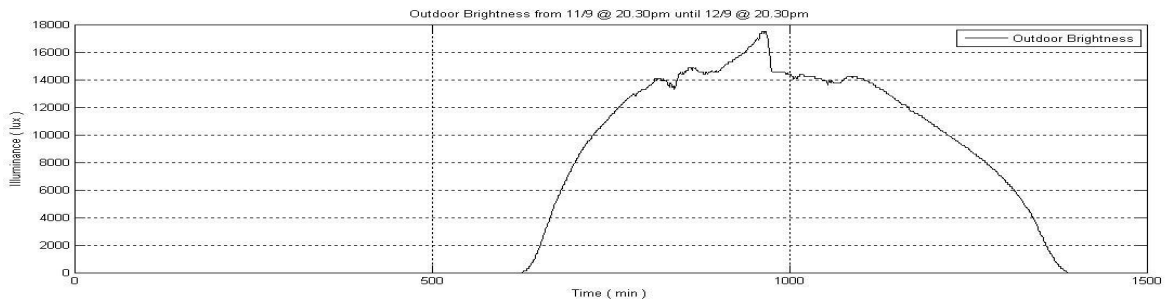
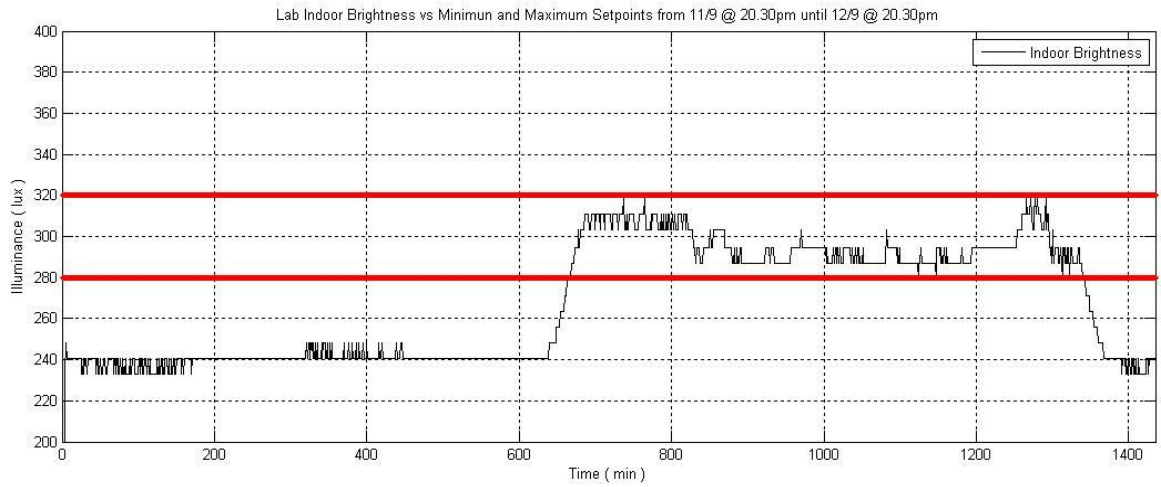
1) Εσωτερικής Φωτεινότητας : το συγκεκριμένο γράφημα παρουσιάζει το πως κυμαίνεται η εσωτερική φωτεινότητα του χώρου του εργαστηρίου κατά τη διάρκεια μιας ολόκληρης μέρας. Φαίνονται επίσης τα επιτρεπτά όρια εσωτερικής φωτεινότητας. Το setpoint είναι ρυθμισμένο στα 300 lux και τα όρια επιτρέπουν ένα σφάλμα της τάξης των ± 20 lux.

2) Εξωτερικής Φωτεινότητας : το συγκεκριμένο γράφημα παρουσιάζει το πως κυμαίνεται η εξωτερική φωτεινότητα κατά τη διάρκεια μιας ολόκληρης μέρας. Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τον αισθητήρα φωτεινότητας που είναι εγκατεστημένος στο Weather Station στην ταράτσα του εργαστηρίου.

3) Θέση Dimmer : εδώ παρουσιάζεται η θέση στην οποία βρίσκεται το ρελέ που ελέγχει τα φωτιστικά σώματα. Οι δυνατές τιμές που μπορεί να πάρει είναι 0–100% με μετακινήσεις της τάξης του $\pm 5\%$.

4) Θέση Σκιάστρων : εδώ παρουσιάζεται η θέση στην οποία βρίσκονται τα σκίαστρα των παραθύρων. Οι δυνατές τιμές που μπορούν να πάρουν είναι 0–100% με μετακινήσεις της τάξης του $\pm 10\%$.

7.3.1 Μετρήσεις από 11-09-08 20.30μμ έως 12-09-08 20.30μμ



Σχήμα 7.5 Πειραματικές Μετρήσεις για Οπτική Άνεση

Σχολιασμός Γραφημάτων :

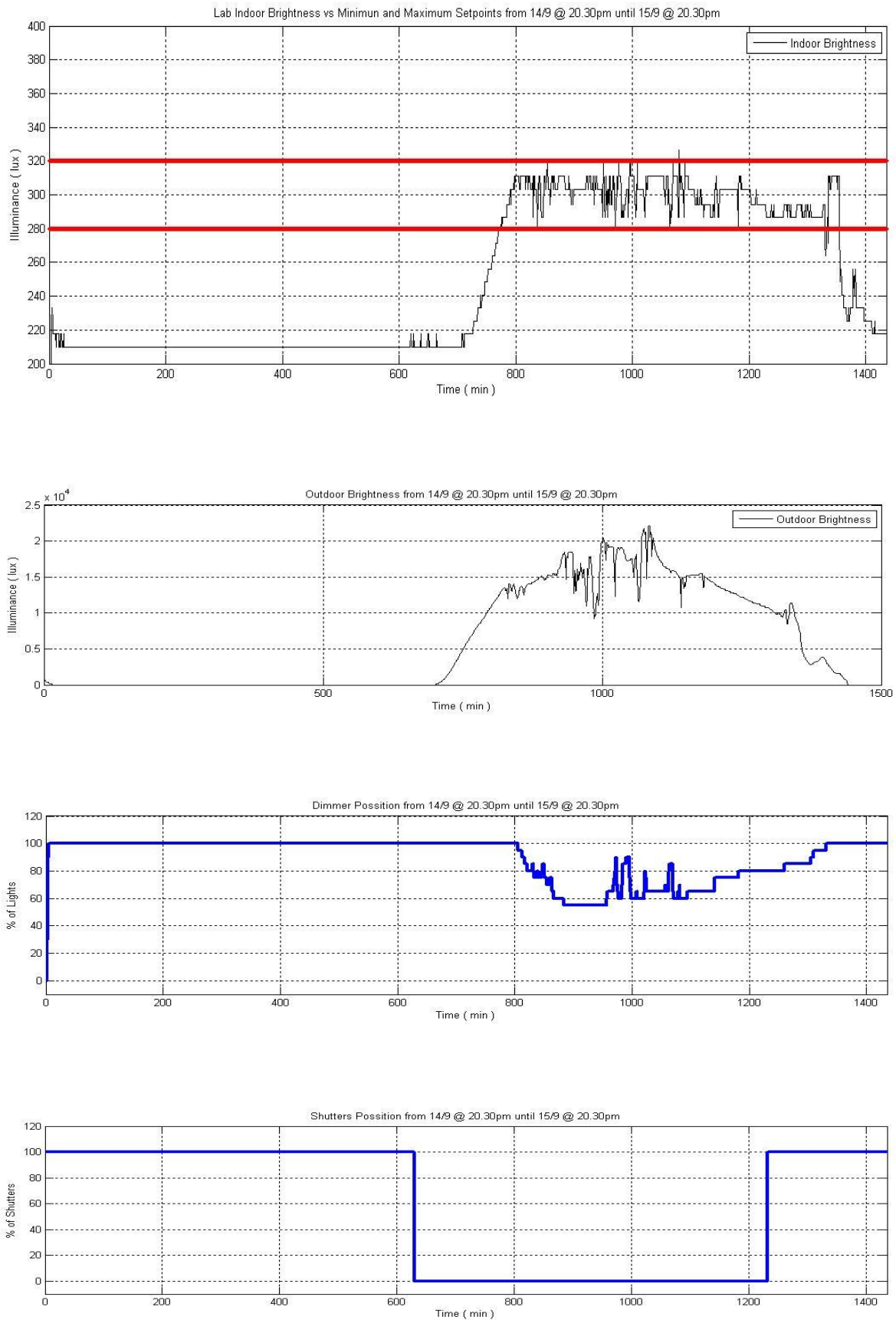
1) Εσωτερικής Φωτεινότητας : παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια νυκτερινών ωρών, όπου η εξωτερική φωτεινότητα είναι ελάχιστη έως μηδενική, δεν μπορούμε να πετύχουμε το επιθυμητό setpoint που έχουμε ορίσει (ακόμα και με τα φώτα αναμμένα στο 100%). Αυτό οφείλεται στον ανεπαρκή παθητικό φωτισμό του χώρου του εργαστηρίου που δε μας επιτρέπει να «αγγίξουμε» τα 300 lux. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όμως, βλέπουμε ότι η εσωτερική φωτεινότητα του χώρου είναι μέσα στο επιθυμητό εύρος.

2) Εξωτερικής Φωτεινότητας : φαίνεται η εξωτερική φωτεινότητα κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου. Παρατηρούμε πως η εξέλιξη είναι αρκετά ομαλή, χωρίς ιδιαίτερα απότομες αυξομειώσεις.

3) Θέση Dimmer : βλέπουμε τις αυξομειώσεις στο ρελέ των φωτιστικών σωμάτων κατά τη διάρκεια μια ημέρας. Παρατηρούμε πως κατά τη διάρκεια που τα στόρια διατηρούνται κλειστά (17.00 – 07.00) και που η εξωτερική φωτεινότητα είναι ελάχιστη τα φώτα λειτουργούν στο 100%. Όταν, όμως, ξημερώσει και ο χώρος αρχίζει να φωτίζεται φυσικά, η στάθμη του dimmer μειώνεται κατάλληλα (με λίγα λόγια, τα φώτα λειτουργούν συμπληρωματικά στο φυσικό φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας).

4) Θέση Σκιάστρων : εδώ παρουσιάζεται η θέση στην οποία βρίσκονται τα σκιάστρα των παραθύρων. Βλέπουμε πως στις 07.00 το πρωί τα στόρια ανοίγουν τελείως (τέρμα ανοιχτά → 0%) ενώ στις 17.00 το απόγευμα κλείνουν τελείως (τέρμα κλειστά → 100%).

7.3.2 Μετρήσεις από 14-09-08 20.30μμ έως 15-09-08 20.30μμ



Σχήμα 7.6 Πειραματικές Μετρήσεις για Οπτική Άνεση

Σχολιασμός Γραφημάτων :

1) Εσωτερικής Φωτεινότητας : παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια νυκτερινών ωρών, όπου η εξωτερική φωτεινότητα είναι ελάχιστη έως μηδενική, δεν μπορούμε να πετύχουμε το επιθυμητό setpoint που έχουμε ορίσει (ακόμα και με τα φώτα αναμμένα στο 100%). Αυτό οφείλεται στον ανεπαρκή παθητικό φωτισμό του χώρου του εργαστηρίου που δε μας επιτρέπει να «αγγίξουμε» τα 300 lux. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όμως, βλέπουμε ότι η εσωτερική φωτεινότητα του χώρου είναι μέσα στο επιθυμητό εύρος.

2) Εξωτερικής Φωτεινότητας : φαίνεται η εξωτερική φωτεινότητα κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου. Παρατηρούμε πως η εξέλιξη δεν είναι καθόλου ομαλή και έχουμε ιδιαίτερα απότομες αυξομειώσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τη συγκεκριμένη ημέρα η ηλιοφάνεια διαδεχόταν από συννεφιά και αντίστροφα για σημαντικά μεγάλο χρονικό διάστημα.

3) Θέση Dimmer : βλέπουμε τις αυξομειώσεις στο ρελέ των φωτιστικών σωμάτων κατά τη διάρκεια μια ημέρας. Παρατηρούμε πως κατά τη διάρκεια που τα στόρια διατηρούνται κλειστά (17.00 – 07.00) και που η εξωτερική φωτεινότητα είναι ελάχιστη τα φώτα λειτουργούν στο 100%. Όταν, όμως, ξημερώσει και ο χώρος αρχίζει να φωτίζεται φυσικά, η στάθμη του dimmer μειώνεται κατάλληλα (με λίγα λόγια, τα φώτα λειτουργούν συμπληρωματικά στο φυσικό φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας). Λόγω της απότομης αυξομείωσης της εξωτερικής φωτεινότητας τη συγκεκριμένη μέρα, παρατηρούμε κάποιες απότομες αυξομειώσεις στο dimmer. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνεται η ένταση των φωτιστικών σωμάτων όταν ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί και μειώνεται για εξοικονόμηση ενέργειας μιας και δίνουμε προτεραιότητα στο φως του ήλιου.

4) Θέση Σκιάστρων : εδώ παρουσιάζεται η θέση στην οποία βρίσκονται τα σκιάστρα των παραθύρων. Βλέπουμε πως στις 07.00 το πρωί τα στόρια ανοίγουν τελείως (τέρμα ανοιχτά → 0%) ενώ στις 17.00 το απόγευμα κλείνουν τελείως (τέρμα κλειστά → 100%).

8. Αξιολόγηση του Συστήματος

Όπως έχουμε προαναφέρει τα κριτήρια CEN δεν έχουν εφαρμοστεί στην πράξη από το 2007 που δημοσιεύτηκαν (τουλάχιστον, δεν υπάρχουν κάποιες σαφείς αναφορές). Έτσι, πέρα από τη σχεδίαση συστημάτων τα οποία θα καλύπτουν τις αντίστοιχες προδιαγραφές σκοπός της παρούσας εργασίας είναι και η αξιολόγησή τους ώστε να κάνουμε μια ανάλυση του κατά πόσο είναι εφαρμόσιμα, δηλαδή του κατά πόσο ο άνθρωπος αισθάνεται άνετα στο χώρο αυτό.

8.1 Ερωτηματολόγιο

Το ερωτηματολόγιο που φτιάξαμε για την αξιολόγηση του συστήματός μας είναι το ακόλουθο :

1. Επιλέξτε το φύλο σας :

- *Αντρας*
- *Γυναίκα*

2. Επιλέξτε την ηλικία σας :

- *Κάτω των 20 ετών*
- *21 – 30 ετών*
- *31 – 40 ετών*
- *41 – 50 ετών*
- *Πάνω των 50 ετών*

3. Πώς αισθάνεστε καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας στο χώρο του εργαστηρίου ως προς τη θερμοκρασία (θερμική άνεση) ?

- *Πολύ Ζέστη*
- *Ζέστη*
- *Ελαφρώς Ζεστά*
- *Φυσιολογικά / Ουδέτερα*
- *Ελαφρώς Δροσερά*
- *Δροσερά*

- Πολύ Δροσερά

4. Πώς αντιλαμβάνεστε τη θερμοκρασία του χώρου ?

- Καταπληκτική
- Καλή
- Κακή
- Κάκιστη

5. Θα θέλατε η θερμοκρασία του χώρου να ήταν :

- Υψηλότερη
- Χωρίς αλλαγή
- Χαμηλότερη

6. Πώς αισθάνεστε καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας στο χώρο του εργαστηρίου ως προς τη φωτεινότητα (οπτική άνεση) ?

- Πολύ Έντονος Φωτισμός
- Έντονος Φωτισμός
- Ελαφρώς Φωτεινά
- Φυσιολογικά / Ουδέτερα
- Ελαφρώς Σκοτεινά
- Σκοτεινά
- Πολύ Σκοτεινά

7. Πώς αντιλαμβάνεστε τη φωτεινότητα του χώρου ?

- Καταπληκτική
- Καλή
- Κακή
- Κάκιστη

8. Θα θέλατε η φωτεινότητα του χώρου να ήταν :

- Υψηλότερη (πιο φωτεινά)
- Χωρίς αλλαγή
- Χαμηλότερη (πιο σκοτεινά)

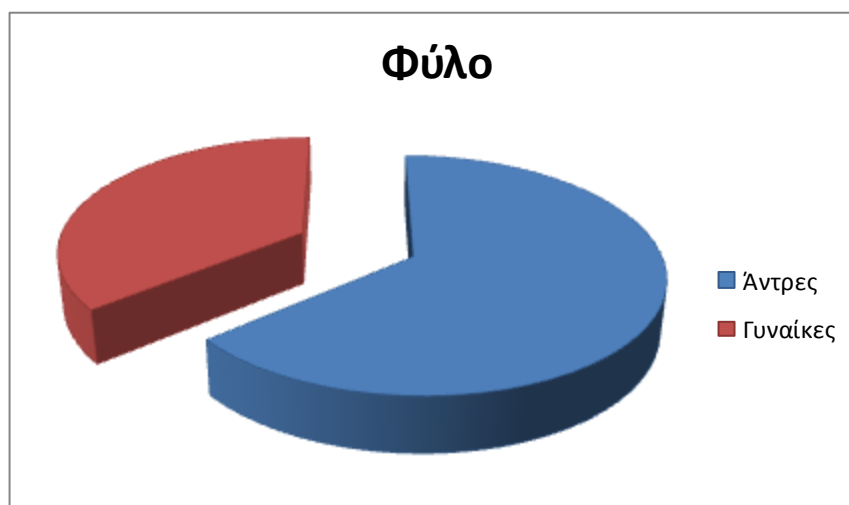
9. Πώς αντιλαμβάνεστε την ποιότητα αέρα του χώρου (ως προς τη συγκέντρωση του CO₂) ?

- Καταπληκτική
- Καλή
- Κακή
- Κάκιστη

8.2 Στατιστική Ανάλυση των Αποτελεσμάτων

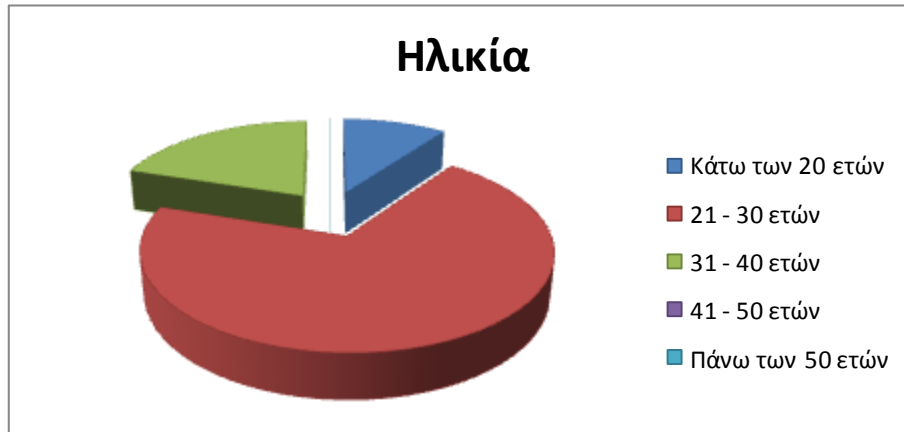
Το μέγεθος του δείγματος για την αξιολόγηση του συστήματος ήταν 54 άτομα. Η χρονική διάρκεια έκθεσης στο χώρο (εν ώρα λειτουργίας του συστήματος φυσικά) καθώς η περίοδος της ημέρας κατά την οποία οι ερωτηθέντες / ερωτηθείσες συμπλήρωσαν το αντίστοιχο ερωτηματολόγιο ήταν ποικίλες. Έτσι, κάποιοι / κάποιες ρωτήθηκαν πρωινές, άλλοι μεσημεριανές και μια μερίδα ατόμων απογευματινές ώρες. Και αυτό διότι θέλουμε η αξιολόγηση να μας δώσει συμπεράσματα για όσο το δυνατόν γίνεται πιο 24ωρη βάση και όχι μόνο για συγκεκριμένες ώρες (πχ. μόνο τα πρωινά).

- Η αναλογία ανδρών και γυναικών στο δείγμα των 54 ατόμων ήταν : 35 άνδρες και 19 γυναίκες.



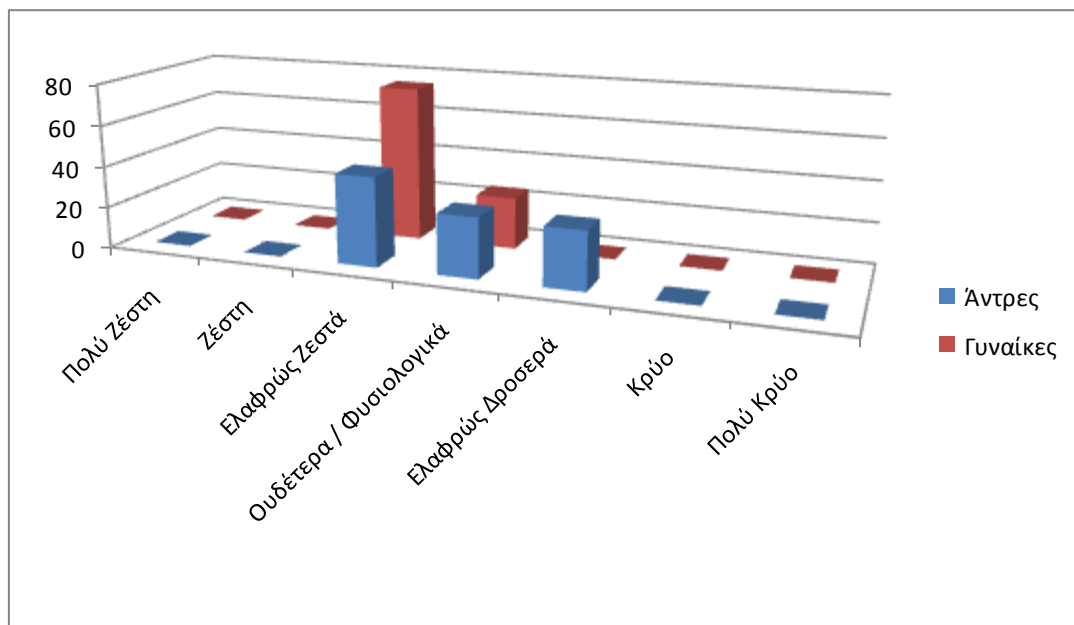
Σχήμα 8.1 Φύλο Δείγματος

- Η κατανομή των ηλικιών ήταν : 5 κάτω των 20, 38 μεταξύ 21-30 ετών και 11 μεταξύ 31-40 ετών.



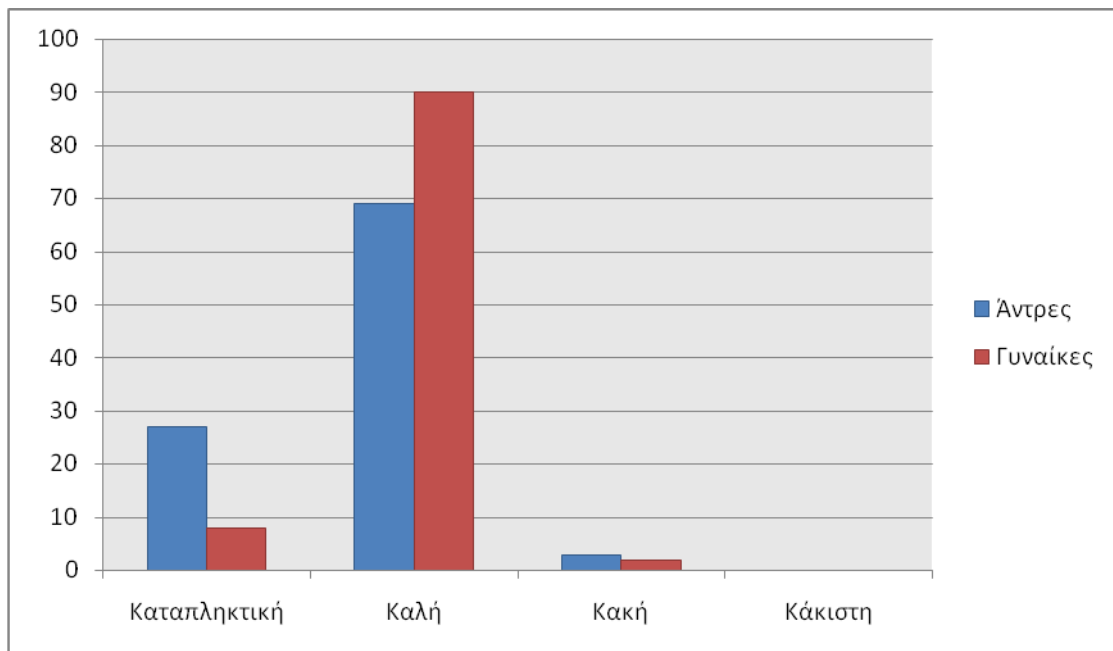
Σχήμα 8.2 Ηλικία Δείγματος

- Η αίσθηση ως προς τη θερμοκρασία έδειξε τα εξής :



Σχήμα 8.3 Θερμική Άνεση

- Η αντίληψη της θερμοκρασίας έδειξε τα εξής :



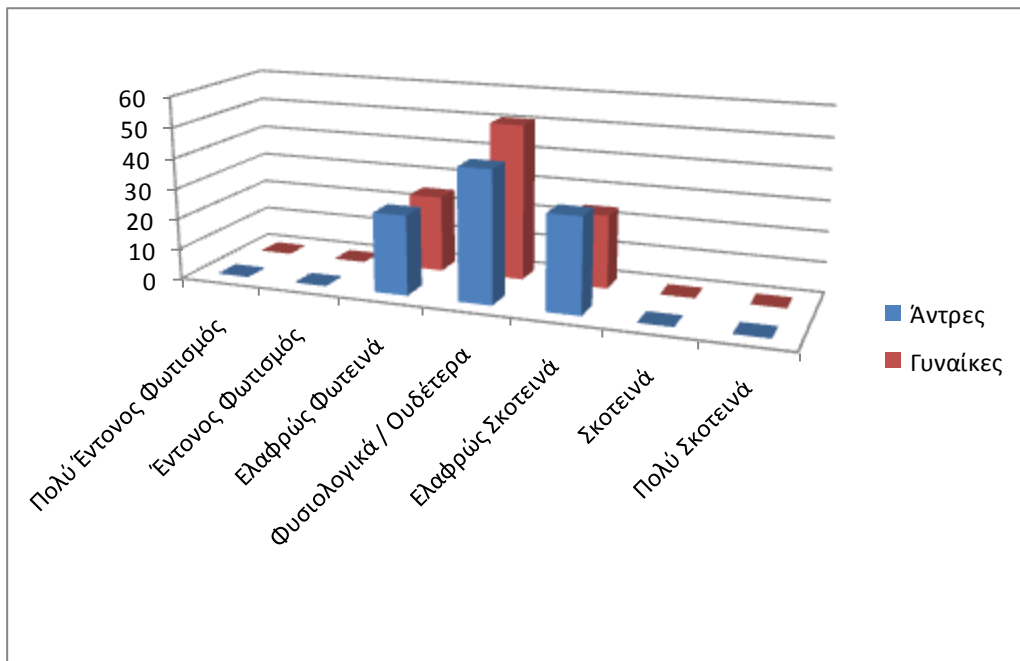
Σχήμα 8.4 Θερμική Αξιολόγηση

- Στην ερώτηση για το πως θα ήθελαν να μεταβληθεί η εσωτερική θερμοκρασία, οι ερωτηθέντες απάντησαν ως εξής :



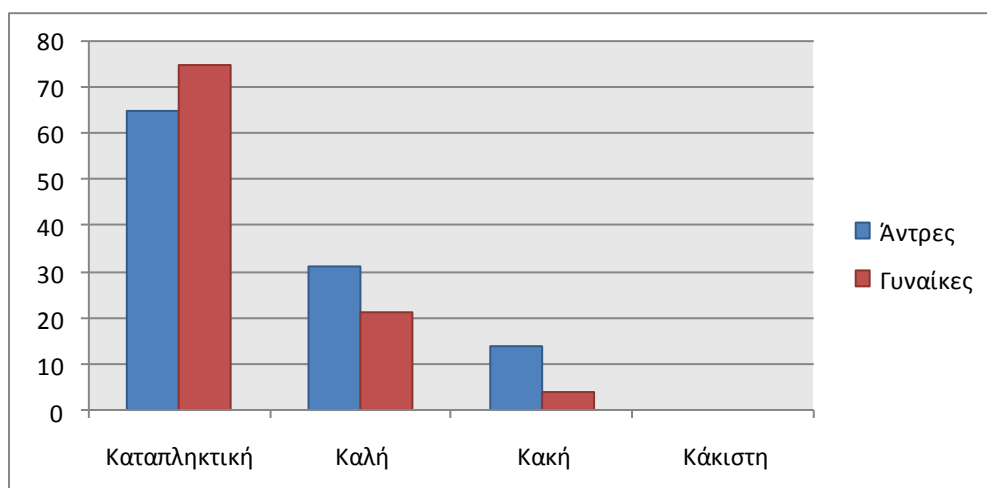
Σχήμα 8.5 Μεταβολή Θερμοκρασίας

- Η αίσθηση ως προς τη φωτεινότητα έδειξε τα εξής :



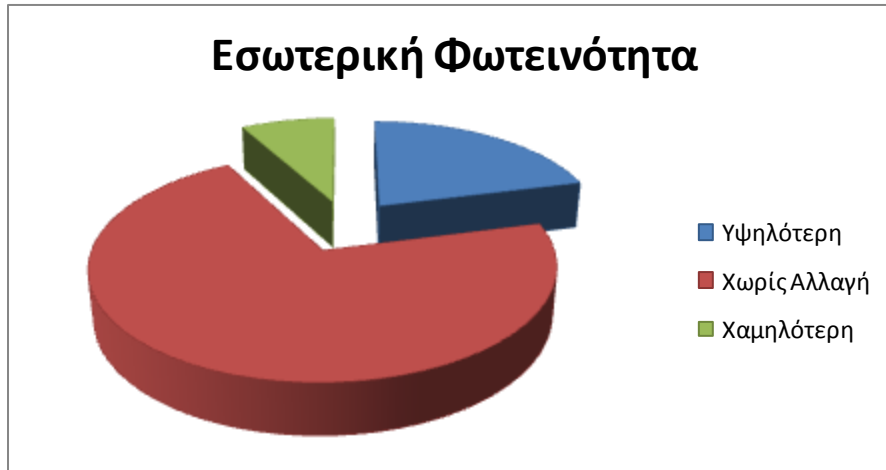
Σχήμα 8.6 Οπτική Άνεση

- Η αντίληψη της φωτεινότητας έδειξε τα εξής :



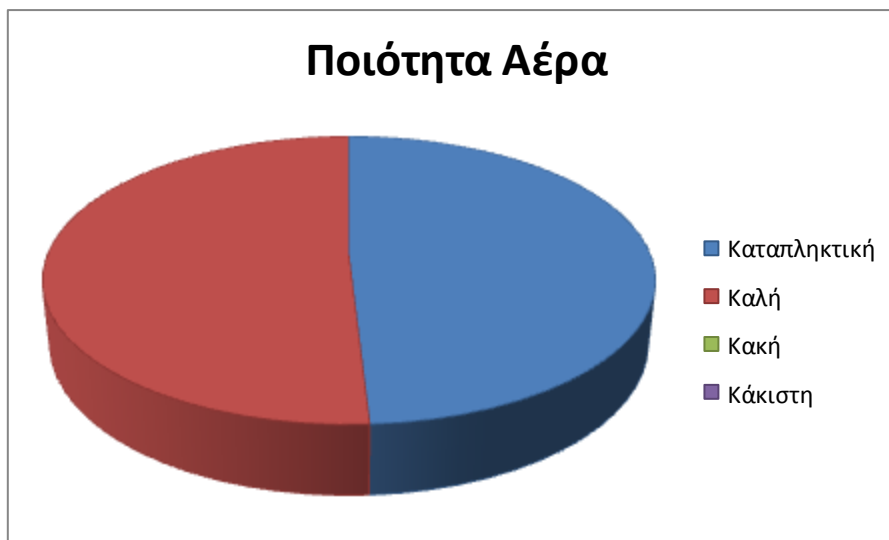
Σχήμα 8.7 Οπτική Αξιολόγηση

- Στην ερώτηση για το πως θα ήθελαν να μεταβληθεί η φωτεινότητα, οι ερωτηθέντες απάντησαν ως εξής :



Σχήμα 8.8 Μεταβολή Φωτεινότητας

- Τέλος, η αντίληψη ως προς την ποιότητα αέρα έδειξε τα εξής :



Σχήμα 8.9 Αξιολόγηση Ποιότητας Αέρα

8.3 Πιθανές Βελτιώσεις του Τρέχοντος Συστήματος

Οι πληροφορίες που πήραμε από τα 54 ερωτηματολόγια ήταν πάρα πολύ σημαντικές. Κατ' αρχάς είδαμε ότι το μεγάλο ποσοστό του δείγματος είναι απολύτως ικανοποιημένο από το μικροκλίμα του χώρου. Πέρα όμως από την πλειοψηφία αξίζει να σταθούμε και στις υπόλοιπες γνώμες οι οποίες θα πρέπει να μας προβληματίσουν. Τα σημεία που πρέπει να σταθούμε είναι 2 : η ένταση της φωτεινότητας και η θερμοκρασία του χώρου.

Για το πρώτο, βλέπουμε ότι υπάρχουν ερωτηθέντες που βρίσκουν ελαφρώς σκοτεινό το περιβάλλον και κάποιοι που το βρίσκουν ελαφρώς φωτεινό. Κάτι τέτοιο οφείλεται κυρίως στο ότι η 1^η ομάδα ατόμων (ελαφρώς σκοτεινό) ρωτήθηκε απογευματινές προς βραδυνές ώρες όπου η εξωτερική φωτεινότητα δεν επηρέαζε σχεδόν καθόλου την εσωτερική ενώ η 2^η ομάδα (ελαφρώς φωτεινό) πρωινές ώρες και μάλιστα με έντονη ηλιοφάνεια. Έτσι, στην 1^η περίπτωση τα επίπεδα φωτεινότητας ήταν 220 – 240 lux (λόγω του ανεπαρκούς παθητικού φωτισμού) ενώ στη 2^η περίπτωση τα επίπεδα φωτεινότητας ήταν 290 – 310 lux. Η μεγάλη πλειοψηφία, όμως, θεώρησε πως η φωτεινότητα του χώρου ήταν καταπληκτική – καλή.

Για το δεύτερο, πέρα πάλι από την πλειοψηφία που έκρινε καλή τη θερμοκρασία του χώρου, υπήρξαν κάποιες εξαιρέσεις (αρκετά πιο έντονες σε σχέση με αυτές του φωτισμού). Συγκεκριμένα, η μεγάλη πλειοψηφία των γυναικών που ερωτήθισαν αισθάνονταν ελαφρώς ζεστά, όπως φαίνεται και στο σχ. 8.3. Το ίδιο πίστευε και η πλειοψηφία των ανδρών, όχι όμως στο ίδιο μεγάλο ποσοστό σε σχέση με τις γυναίκες. Αυτό είναι αρκετά λογικό αν κρίνει κανείς ότι τα setpoint εσωτερικής θερμοκρασίας έχουν άμεση σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία. Έτσι σε μια ζεστή μέρα, για παράδειγμα, το setpoint είναι σε υψηλό επίπεδο το οποίο μπορεί να φτάνει και τους 30°C. Αν κρίνουμε από το 2^ο ελεγκτή θερμικής άνεσης που υλοποιήσαμε αλλά και από άλλα διεθνή standards όπου κατά την καλοκαιρινή περίοδο η εσωτερική θερμοκρασία ρυθμίζεται περίπου στους 23-26°C, βλέπουμε ότι υπάρχει μια πολύ σημαντική θερμοκρασιακή διαφορά. Αυτό είναι κάτι που πρέπει να προβληματίσει τους σχεδιαστές για το κατά πόσο τα κριτήρια CEN για θερμική άνεση μπορούν να καλύψουν όλες τις προσδοκίες. Μιας και υπάρχει τόσο μεγάλη διαφοροποίηση στις απόψεις για τη θερμική αίσθηση, θα ήταν ασφαλέστερο να γίνουν εκτενέστερες μελέτες, με ένα σημαντικά μεγαλύτερο

δείγμα (πχ. 1000 – 2000 άτομα) και για ένα σημαντικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (πχ. 6 μήνες), προτού προβούμε σε συμπεράσματα του κατά πόσο τα κριτήρια CEN είναι εφαρμόσιμα. Αυτό είναι κάτι που το προτείνουμε και στις μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας εργασίας.

9. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

9.1 Συμπεράσματα

Το σύστημά μας ικανοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τις αρχικές σχεδιαστικές επιλογές. Ανταποκρίνεται άμεσα στις περιβαλλοντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια του χρόνου ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει ευσταθή συμπεριφορά για όσο διάστημα δοκιμάστηκε. Παράλληλα, μετά από μεγάλο διάστημα συνεχούς λειτουργίας παρατηρήθηκε εξαιρετική σταθερότητα τόσο του υλικού, όσο και του λογισμικού.

Σε επίπεδο ελεγκτή τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται με επιτυχία και επιλέγει πραγματικά πολύ καλές λύσεις με γνώμονα πάντα την προσέγγιση στο setpoint και την εξοικονόμηση ενέργειας. Το σύστημα χρησιμοποιεί απλό (όχι απλοϊκό) αλγόριθμο ελέγχου ο οποίος εκτελείται σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή (PC).

Εκεί που παρατηρούνται κάποιες σημαντικές αμφιβολίες είναι στο κατά πόσο μπορούμε να εισάγουμε τις συγκεκριμένες προδιαγραφές στη σχεδίαση συστημάτων σε πραγματικούς χώρους (και όχι μόνο σε ερευνητικούς όπως το εργαστήριό μας) και γιατί να τις προτιμήσουμε σε σχέση με τα ήδη δοκιμασμένα διεθνή standards. Μια καλή απάντηση βρίσκεται στη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρουν (είδαμε ότι στη ρύθμιση της θερμικής άνεσης προσφέρουν έως και 68% λιγότερη κατανάλωση). Από την άλλη, όμως, υπάρχει και η άνεση η οποία φαίνεται να προβληματίζει σε κάποιο βαθμό.

9.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η ελεύθερη τοπολογία δικτύωσης του συστήματος αφήνει περιθώρια για την προσθήκη περισσότερων αισθητήρων και ενεργοποιητών χωρίς σημαντικές αλλαγές.

Για την περίπτωση του CO₂ η προσθήκη εξωτερικού αισθητήρα CO₂, αλλά και περισσότερων παραθύρων προς έλεγχο μπορεί να βελτιώσει αισθητά το αποτέλεσμα. Και αυτό, διότι το άνοιγμα των παραθύρων θα καθαρίζει πιο αποτελεσματικά τον αέρα του χώρου και το setpoint για τη συγκέντρωση του CO₂

θα καθορίζεται πιο δυναμικά με βάση την εξωτερική συγκέντρωση (όπως άλλωστε προτείνεται και από το CEN) .

Στην περίπτωση του φωτισμού προτείνεται η εγκατάσταση περισσότερων ελεγχόμενων σκιάστρων ώστε να υπάρχει η δυνατότητα για περισσότερο ηλιακό φως, το οποίο είναι καλύτερο ποιοτικά σε σχέση με το τεχνητό και δεν κοστίζει. Επίσης προτείνεται η εγκατάσταση περισσότερων λαμπτήρων και η αντικατάσταση των καμμένων ώστε να μπορούμε να πετύχουμε πιο υψηλά setpoints εσωτερικής φωτεινότητας (πχ. 500 lux).

Στην περίπτωση της ψύξης / θέρμανσης, απαιτείται η αντικατάσταση του κλιματιστικού με άλλο, που να παρέχει την δυνατότητα κλιμακωτής λειτουργίας, για λόγους έχουν ήδη αναφερθεί. Ακόμη θα μπορούσε να αντικατασταθεί ο αισθητήρας θερμοκρασίας με άλλον μεγαλύτερης ανάλυσης σε σχέση με την ανάλυση του υπάρχοντα αισθητήρα, που είναι 0.5 °C.

Ακόμη, προτείνεται η εγκατάσταση ενός υγραντήρα / αφυγραντήρα για τον έλεγχο της σχετικής υγρασίας του χώρου.

Επίσης περισσότερες δοκιμές και μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου μπορούν να οδηγήσουν στην βελτίωση του αλγορίθμου ελέγχου ή την επιλογή ενδεχομένως πιο κατάλληλων αλγορίθμων ελέγχου. Κάτι τέτοιο θα μας δώσει και πιο ασφαλή συμπεράσματα για τις προδιαγραφές του CEN και κατά πόσο μπορούν να αντικαταστήσουν τα υπάρχοντα standards.

Τέλος, με την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού και χρήση του διαδικτύου είναι εφικτή η τηλεμέτρηση και ο απομακρυσμένος έλεγχος της εγκατάστασης.

Βιβλιογραφία

- [1] CEN/TC156 European Standard, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lightning and Acoustics, 31/7/2006
- [2] Τούλογλου Σ., KNX/EIB Τεχνική Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων, Αθήνα
- [3] Τριπολιτάκης Ε., 2004, Τεχνικές και Αλγόριθμοι Ελέγχου Άνεσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια με τη χρήση Διαύλων Δικτύωσης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά
- [4] http://www.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol
- [5] Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16/12/2002 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
- [6] Παπαδόπουλος Α., 2002, Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων, Α.Π.Θ – Πολυτεχνική Σχολή, Θεσσαλονίκη
- [7] Λάζος Χ., 2008, Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας Κτιρίου με χρήση του Πρωτοκόλλου KNX/EIB και Αλγόριθμο Προβλεπτικού Ελέγχου, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [8] Έξυπνες Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις με τεχνική KNX/EIB : παρελθόν, παρόν, μέλλον, Θεσσαλονίκη 2006
- [9] KNX System Architecture : The World's First Open Standard for Home and Building Control, Konnex Association, 2006
- [10] Χατζηλάμπρος Π., 2007, Σύστημα Ελέγχου Οπτικής/Θερμικής Άνεσης και Ποιότητας Αέρα Ζώνης Κτιρίου με τη χρήση PLC και του δικτύου KNX / EIB, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [11] Καφετζής Γ. Πατέλης Π., 2005, Υλοποίηση και Σύγκριση Αλγορίθμων Ελέγχου PD, PI και Fuzzy PD σε Διαχείριση Ενέργειας σε Υπάρχοντα Κτίρια, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά