



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ Η.Μ.Μ.Υ.
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ Η/Υ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σύστημα ελέγχου οπτικής/θερμικής άνεσης
και ποιότητας αέρα ζώνης κτιρίου με την
χρήση PLC και του δικτύου KNX/EIB

Χατζηλάμπρος Πέτρος



Εξεταστική επιτροπή:
Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος (επιβλέπων)
Καθηγητής Μ.Π.Δ. Πουλιέζος Αναστάσιος
Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Χανιά 2007

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κ. Σταυρακάκη Γεώργιο και τον μεταπτυχιακό φοιτητή Λάζο Χρήστο 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 κύριο 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

Αυτή η εργασία περιλαμβάνει την μελέτη και την υλοποίηση ενός αυτόματου συστήματος το οποίο θα μπορεί να εγκατασταθεί σε έναν εσωτερικό χώρο και να εξασφαλίζει ένα άνετο περιβάλλον για τους χρήστες (θερμική/οπτική άνεση και αέρα καλής ποιότητας). Το σύστημα αυτό αποφεύγει την σπατάλη ενέργειας εκμεταλλεύοντας τον φυσικό φωτισμό και χρησιμοποιώντας τεχνικές παθητικής θέρμανσης και ψύξης. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται αισθητήρες (θερμοκρασίας, φωτεινότητας, CO₂ κ.α.), ενεργοποιητές (σύστημα θέρμανσης/ψύξης, ηλεκτρικά ρολά, ηλεκτρικά παράθυρα, λαμπτήρες), το δίκτυο KNX/EIB και στον ρόλο του ελεγκτή το PLC “LOGO!” της εταιρίας Siemens. Το σύστημα έχει φτιαχτεί ώστε να είναι φιλικό προς το χρήστη και εύκολο να εγκατασταθεί σε πολλούς διαφορετικούς χώρους. Επίσης προτείνεται μια αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική για ένα σύστημα διαχείρισης κτιρίου βασισμένη στο παραπάνω σύστημα αυτοματισμού και στο δίκτυο KNX/EIB.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	8
Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή του προβλήματος και τρόπος επίλυσης.....	10
1.1 Γενικά.....	10
1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας.....	10
1.2.1 Γενικά.....	10
1.2.2 Κατανάλωση ενέργειας.....	11
1.2.3 Κοινοτική οδηγία.....	11
1.2.4 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας.....	12
1.3 Οπτική άνεση.....	13
1.4 Θερμική άνεση.....	15
1.4.1 PMV.....	15
1.4.2 Συμβατικές εγκαταστάσεις.....	16
1.4.3 Προτεινόμενο σύστημα.....	17
1.5 Έλεγχος ποιότητας αέρα.....	18
Κεφάλαιο 2 – PLC.....	20
2.1 Γενικά.....	20
2.2 Το PLC “LOGO!”	24
2.3 Οι περιορισμοί του “LOGO!”	27
Κεφάλαιο 3 – Περιγραφή του συστήματος KNX/EIB	29
3.1 Γενικά.....	29
3.2 Τρόποι μετάδοσης.....	30
3.2.1 Μετάδοση μέσω συνεστραμμένου ζεύγους.....	30
3.2.2 Ασύρματη Μετάδοση.....	32
3.2.3 Μετάδοση με χρήση γραμμής ισχύος.....	33
3.2.4 Μετάδοση μέσω Ethernet.....	33
3.3 Τοπολογία και Οργάνωση διαύλου.....	34
3.4 Μετάδοση πληροφορίας – τηλεγραφήματα.....	36
3.5 Συνδρομητές διαύλου.....	37

Κεφάλαιο 4 - Εγκατάσταση KNX/EIB στο Πολυτεχνείο Κρήτης.....	39
4.1 Εγκατάσταση στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων.....	39
4.2 Εγκατάσταση στο εργαστήριο Ελέγχου Βιομηχανικών Διεργασιών.....	39
4.2.1 Αισθητήρες.....	40
4.2.2 Ενεργοποιητές.....	44
4.2.3 Άλλες συσκευές.....	46
 Κεφάλαιο 5 – Έλεγχος οπτικής άνεσης.....	52
5.1 Γενικά.....	52
5.2 Έλεγχος φωτιστικών σωμάτων.....	53
5.2.1 Ο PI ελεγκτής.....	54
5.2.2 Ιδιαιτερότητες του συστήματος.....	55
5.3 Έλεγχος σκιάστρων.....	57
 Κεφάλαιο 6 – Έλεγχος θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα.....	60
6.1 Έλεγχος μόνο θερμικής άνεσης	60
6.1.1 Επιθυμητή θερμοκρασία.....	60
6.1.2 Ενεργητική θέρμανση / ψύξη.....	62
6.1.3 Παθητική θέρμανση / ψύξη.....	63
6.1.4 Επιλογή παθητικής ή ενεργητικής θέρμανσης και ψύξης.....	64
6.2 Έλεγχος μόνο ποιότητας αέρα.....	64
6.2.1 Γενικά.....	64
6.2.2 Μέτρηση της ποιότητας του αέρα.....	65
6.2.3 Έλεγχος της ποιότητας του αέρα.....	66
6.3 Έλεγχος από κοινού θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα.....	67
 Κεφάλαιο 7 – Πειραματικές μετρήσεις.....	70
7.1 Γενικά.....	70
7.2 Οπτική άνεση.....	71
7.3 Θερμική άνεση και ποιότητα αέρα.....	73
 Κεφάλαιο 8 – Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	79
8.1 Συμπεράσματα	79
8.2 Μελλοντικές επεκτάσεις	80

Βιβλιογραφία.....	82
Ακρωνύμια.....	83
Παράρτημα Α - Σύστημα BMS βασισμένο στο παρόν σύστημα αυτοματισμού...84	
A.1 Γενικά.....	84
A.2 Αρχιτεκτονική των BMS.....	86
A.3 Προτεινόμενο σύστημα.....	88
Παράρτημα Β - Η γλώσσα προγραμματισμού FBD.....	93
B.1 Blocks.....	93
B.2 Παράδειγμα.....	99

Πρόλογος

Τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξε μία ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα της Ηλεκτρονικής και της Πληροφορικής. Η ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής μας επέτρεψε σήμερα να έχουμε φθηνούς, αξιόπιστους και γρήγορους μικροεπεξεργαστές καθώς και φθηνούς και αξιόπιστους αισθητήρες. Παράλληλα, η ανάπτυξη της Πληροφορικής, της Τεχνητής Νοημοσύνης και τον Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου μας επέτρεψε σήμερα να διαθέτουμε πλήθος αλγορίθμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα σύστημα αυτοματισμού. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία των λεγόμενων “έξυπνων κτιρίων” δηλαδή κτιρίων τα οποία από μόνα τους μπορούν να εξασφαλίσουν οπτική, θερμική/κλιματική άνεση και καλή ποιότητα αέρα για τους ανθρώπους που ζουν ή εργάζονται σε αυτά.

Επιπροσθέτως, τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια παγκόσμια αφύπνιση όσον αφορά την κατασπατάληση των ενεργειακών και άλλων πόρων αλλά και όσον αφορά την μόλυνση του περιβάλλοντος λόγω των αυξημένων εκπομπών CO₂ που οφείλεται στην παραγωγή ενέργειας από ορυκτούς πόρους. Επίσης παρατηρείται ότι οι ενεργειακές ανάγκες αλλά και το κόστος της παραγωγής ενέργειας όλο και αυξάνει. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία συστημάτων BMS (Building Management System – Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίων) τα οποία προσφέρουν άνεση στους χρήστες και παράλληλα κάνουν αποδοτικότερη χρήση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό γίνεται με τη χρήση αισθητήρων που μετρούν τη φωτεινότητα, την θερμοκρασία κ.α. και με την χρήση αλγορίθμων και ενεργοποιητών οι οποίοι μπορούν να ελέγχουν σκίαστρα, παράθυρα, φώτα καθώς και τα συστήματα θέρμανσης / ψύξης.

Στο 1^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το θέμα αυτής της εργασίας, περιγράφεται ποιο είναι το πρόβλημα και με ποιον τρόπο το λύνουμε. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα PLC καθώς και το “LOGO!” με τους περιορισμούς του. Στην συνέχεια το 3^ο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο δίκτυο KNX/EIB ενώ στο 4^ο περιγράφεται αναλυτικά η εγκατάσταση KNX/EIB και “LOGO!” που έγινε στα πλαίσια αυτής της εργασίας στο Πολυτεχνείο Κρήτης .

Στη συνέχεια ακολουθεί το πειραματικό κομμάτι της εργασίας αυτής. Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο έλεγχος της οπτικής άνεσης με χρήση τεχνητού φωτισμού και σκιάστρων, ενώ στο 6^ο κεφάλαιο ο έλεγχος θερμικής άνεσης και ποιότητας του αέρα με χρήση συστήματος θέρμανσης / ψύξης και ηλεκτρικά κινουμένων παραθύρων. Ακολουθεί το 7^ο κεφάλαιο με τις αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις για την λειτουργία του όλου συστήματος. Το 8^ο και τελευταίο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν την εργασία καθώς σε διάφορες μελλοντικές επεκτάσεις.

Ακολουθεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε, η επεξήγηση των διαφόρων ακρωνυμίων που υπάρχουν διάσπαρτα στο κείμενο καθώς και τα Παραρτήματα Α και Β. Στο Α υπάρχει μια πρόταση για ένα σύστημα BMS βασισμένο στο παρόν σύστημα αυτοματισμού ενώ στο Β υπάρχει η περιγραφή της γλώσσας προγραμματισμού FBD για τον προγραμματισμό του PLC

Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή του προβλήματος και τρόπος επίλυσης

1.1 Γενικά

Ο άνθρωπος για να ζει άνετα και να αποδίδει καλά στην εργασία του πρέπει να ζει σε ένα άνετο περιβάλλον. Ο όρος άνετο περιβάλλον αναφέρεται στις συνθήκες που εξασφαλίζουν στον άνθρωπο οπτική και θερμική άνεση καθώς και αέρα καλής ποιότητας. Παράλληλα όμως, αυτή η άνεση πρέπει να μπορεί να εξασφαλιστεί καταναλώνοντας την λιγότερη δυνατή ενέργεια.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και η υλοποίηση ενός αυτόματου συστήματος το οποίο θα μπορεί να εγκατασταθεί σε έναν εσωτερικό χώρο και να εξασφαλίζει ένα άνετο περιβάλλον για τους χρήστες του καταναλώνοντας μικρή ποσότητα ενέργειας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται αισθητήρες (θερμοκρασίας, φωτεινότητας, CO₂), ενεργοποιητές (σύστημα θέρμανσης/ψύξης, ηλεκτρικά ρολά, ηλεκτρικά παράθυρα, λάμπες), το δίκτυο KNX/EIB και στον ρόλο του ελεγκτή το PLC “LOGO!” της εταιρίας Siemens.

1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας

1.2.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια παγκόσμια κρίση στον τομέα της ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας παράγεται από ορυκτούς πόρους (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, λιγνίτης) και δυστυχώς αυτοί οι πόροι μειώνονται συνεχώς. Ταυτόχρονα υπάρχει μια παγκόσμια αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση του κόστους αγοράς της ενέργειας σήμερα. Παράλληλα, η παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης των ορυκτών καυσίμων συνεπάγεται την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) το οποίο οφείλεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου με τις γνωστές σε όλους μας συνέπειες τόσο για εμάς όσο και για το περιβάλλον.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν παράλληλα για την καταπολέμηση αυτού του φαινομένου. Ο πρώτος είναι να στραφούμε στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) όπως η αιολική και

η ηλιακή ενώ ο άλλος τρόπος είναι να περιορίσουμε την περιττή κατανάλωση ενέργειας.

1.2.2 Κατανάλωση ενέργειας

Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι:

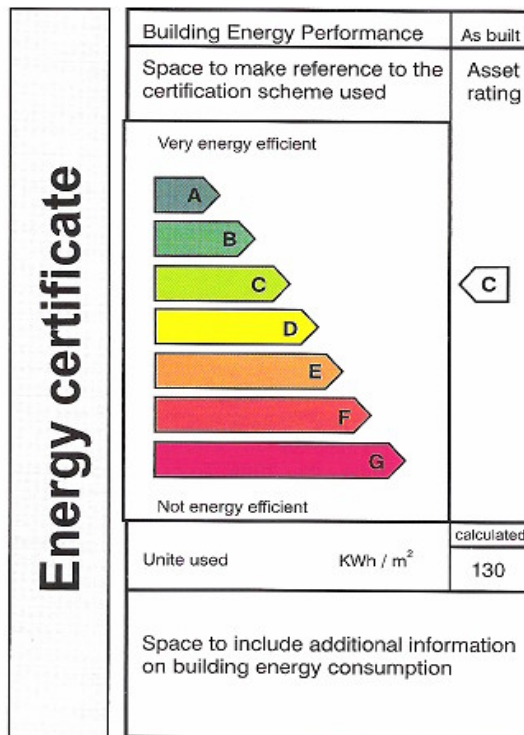


Σχήμα 1.1 Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην κατηγορία κτίρια τα 2/3 της ενέργειας οφείλεται στις οικίες (26% επί του συνόλου) και το υπόλοιπο 1/3 οφείλεται στα γραφεία (14% επί του συνόλου)[1]. Ενδεικτικά όσον αφορά τις οικίες, το 77% της ενέργειας καταναλώνεται για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό[2] ενώ κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τα γραφεία. Δεδομένου ότι δεν είναι όλα τα κτίρια φτιαγμένα με τον ενεργειακά βέλτιστο τρόπο (σωστή μόνωση κ.λ.π.) και δεδομένου ότι οι περισσότεροι χρήστες των κτιρίων δεν κάνουν σωστή διαχείριση της ενέργειας (ανοίγουν παράθυρα και κλιματιστικό ταυτόχρονα, αφήνουν ανοικτά τα φώτα και φεύγουν κ.α.), είναι φανερό πως υπάρχει περιττή σπατάλη ενέργειας .

1.2.3 Κοινοτική οδηγία

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλοντας να τηρήσει το πρωτόκολλο του Κιότο[3], 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]. Αυτή η οδηγία αναφέρεται στην απόδοση ενεργειακής ταυτότητας σε όλα τα κτίρια. Η βαθμολογία που θα παίρνει το κάθε κτίριο θα αποδίδεται μετά από ενεργειακή μελέτη και θα εξαρτάται από την ενέργεια που καταναλώνει, από την έκταση του σε τετραγωνικά μέτρα, από το αν αξιοποιεί σωστά την ενέργεια, από το αν χρησιμοποιεί ΑΠΕ, από το αν μολύνει το περιβάλλον κ.α.



Σχήμα 1.2 Μορφή πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου κατηγορίας C [1]

1.2.4 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να γίνει εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο. Στην συνέχεια παρουσιάζονται αυτοί οι τρόποι με σειρά σπουδαιότητας.

- Να μην ρυθμίζονται τα κλιματιστικά σε πολύ χαμηλές και τα καλοριφέρ σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες
- Πόρτες και παράθυρα να παραμένουν κλειστά όταν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης / ψύξης
- Να λειτουργούν οι συσκευές θέρμανσης και ψύξης μόνο όταν υπάρχουν άτομα στον χώρο
- Να μην λειτουργούν ταυτόχρονα συσκευές θέρμανσης και ψύξης
- Να υπάρχει σωστή μόνωση
- Να γίνεται παθητική θέρμανση και ψύξη ανοίγοντας τα παράθυρα αν το επιτρέπει ο καιρός
- Να χρησιμοποιούνται ηλιακοί θερμοσίφωνες
- Να ελέγχεται η θερμοκρασία του κάθε δωματίου από ξεχωριστό θερμοστάτη
- Να χρησιμοποιούνται λάμπες υψηλής ενεργειακής απόδοσης (όχι λάμπες πυρακτώσεως)
- Να κλείνουν τα φώτα όταν δεν χρειάζονται

- Να αξιοποιείται το ηλιακό φως για φωτισμό
- Να ρυθμίζεται η ένταση των φωτιστικών σωμάτων ακριβώς στο επίπεδο που χρειάζεται
- Να χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές συσκευές ενεργειακής κλάσης A (χαμηλή κατανάλωση ενέργειας)
- Να βγαίνουν εκτός λειτουργίας όσες ηλεκτρικές συσκευές δεν χρειάζονται
- Τον χειμώνα να ανοίγουν τα σκίαστρα για να μπαίνει ηλιακό φως και να θερμαίνεται ο χώρος και τον χειμώνα να κλείνουν

Από τους παραπάνω τρόπους όσοι είναι υπογραμισμένοι μπορούν να ελέγχονται από ένα σύστημα αυτοματισμού στα πλαίσια ενός συστήματος διαχείρισης κτιρίου (ή αλλιώς BMS).

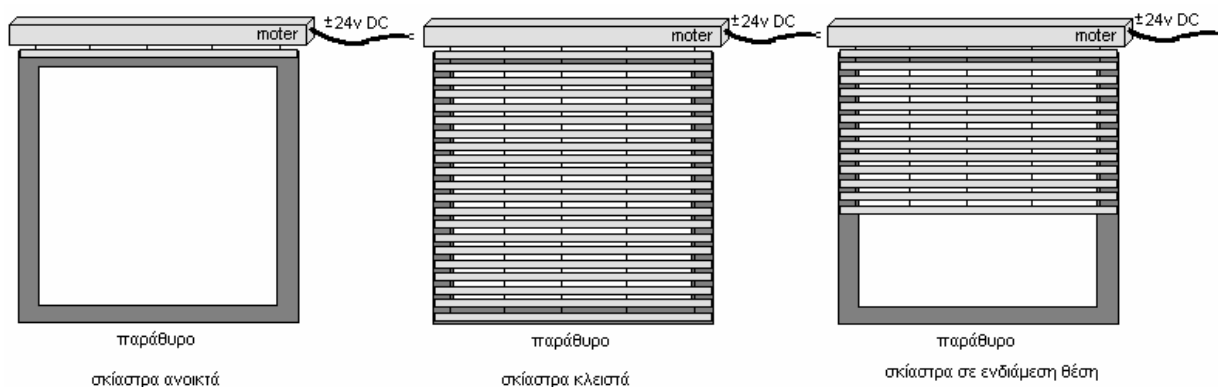
1.3 Οπτική άνεση

Η οπτική άνεση εξασφαλίζεται με το να ρυθμίζεται η εσωτερική φωτεινότητα του χώρου στο επίπεδο που επιθυμεί ο χρήστης. Η φωτεινότητα μετριέται σε lux και τα επιθυμητά επίπεδά της ποικίλουν ανάλογα τον χώρο και και την εργασία.

χώρος/εργασία	φωτεινότητα (lux)
Σπίτι (χώρος υποδοχής)	150
Χώρος μελέτης	800
Κουζίνα	250-500
Σχολείο	500
Γραφείο	500

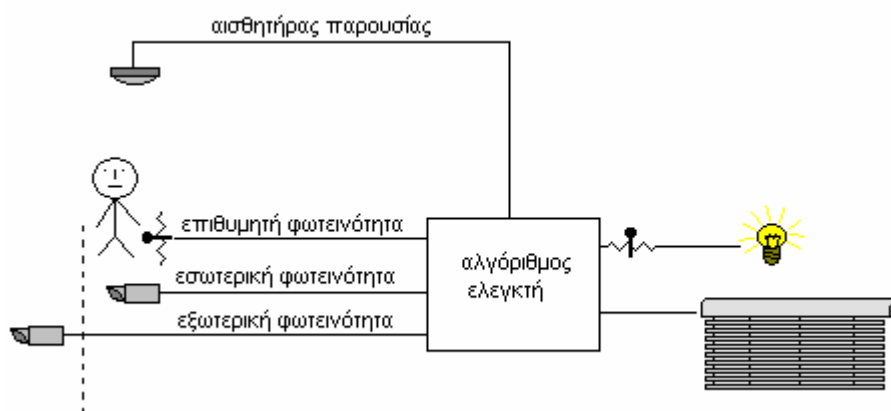
Πίνακας 1.1 Ενδεικτικές τιμές για την επιθυμητή φωτεινότητα [5]

Η ρύθμιση της φωτεινότητας γίνεται με δύο τρόπους, με δημιουργία τεχνητού φωτισμού με λαμπτήρες και με σκίαστρα (ηλεκτρικά ρολά). Χρησιμοποιώντας λαμπτήρες μπορεί μόνο να αυξηθεί η φωτεινότητα ενός χώρου, ενώ χρησιμοποιώντας σκίαστρα μπορώ μόνο να μειωθεί. Τα σκίαστρα μπορούν να επηρεάσουν την τιμή της εσωτερικής φωτεινότητας μόνο την ημέρα, όταν η εξωτερική φωτεινότητα δεν είναι μηδενική. Οι λαμπτήρες μπορούν είτε απλά να ανοίγουν και να κλείνουν (έλεγχος on/off) είτε να ρυθμίζεται η ένταση τους με ηλεκτρονικό ποτενσιόμετρο (dimming). Επίσης και τα σκίαστρα μπορούν είτε απλά να ανοίγουν και να κλείνουν, είτε να τίθενται σε οποιαδήποτε ενδιάμεση κατάσταση.



Σχήμα 1.3 Θέσεις των σκιάστρων

Το προτεινόμενο σύστημα για τον έλεγχο της οπτικής άνεσης θα έχει τέσσερις εισόδους και 2 εξόδους. Είσοδοι θα είναι τα σήματα του εσωτερικού και του εξωτερικού αισθητήρα φωτεινότητας, η επιθυμητή φωτεινότητα και ένα σήμα που θα δείχνει αν υπάρχει κάποιο άτομο στον χώρο.



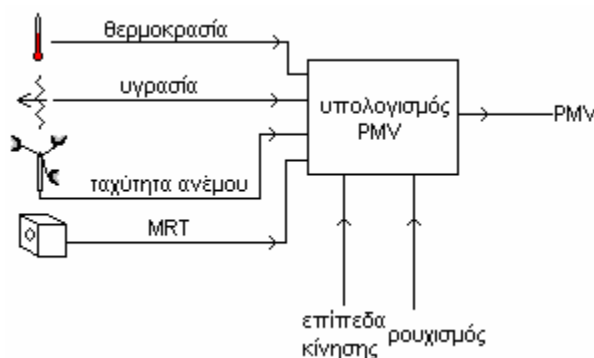
Σχήμα 1.4 Έλεγχος οπτικής άνεσης

Στον αλγόριθμο του ελεγκτή πρώτα θα ρυθμίζονται τα σκίαστρα ενώ τα φώτα θα ενεργοποιούνται μόνο όταν το άνοιγμα των σκιάστρων δεν αρκεί για να φτάσει η εσωτερική φωτεινότητα το επιθυμητό επίπεδο. Έτσι θα γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας χρησιμοποιώντας τον εξωτερικό φωτισμό. Το επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας θα μπορεί να αλλάζει από τον χρήστη κατά βούληση. Επίσης ο αισθητήρας παρουσίας θα κάνει τα φώτα να σβήνουν αυτόματα όταν δεν υπάρχει κάποιος χρήστης στον χώρο για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Η ένταση του τεχνητού φωτισμού με τις λάμπες μπορεί να πάρει 256 διακριτές τιμές όπου το 0 αντιστοιχεί σε φώτα κλειστά και το 255 σε φώτα ανοικτά (ή αλλιώς 0-100%).

1.4 Θερμική άνεση

1.4.1 PMV

Η θερμική άνεση μετριέται με την συνάρτηση PMV [6] (Predicted Mean Vote - πρόγνωση μέσης ψήφου) η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την MRT (μέση εκπεμπόμενη θερμοκρασία), τα επίπεδα κίνησης στον χώρο και μία παράμετρο ρουχισμού.



Σχήμα 1.5 Υπολογισμός PMV

Συνεπώς, για να φτιαχτεί ένα σύστημα το οποίο θα εξασφαλίζει θερμική άνεση με ακρίβεια θα πρέπει να διαθέτει αισθητήρες για όλα τα παραπάνω. Αυτό θα οδηγούσε σε ένα ακριβό και πολύπλοκο σύστημα λόγω του πλήθους των αισθητήρων και της ενδεχομένης πολυπλοκότητας του αλγορίθμου ελέγχου. Ευτυχώς, είναι γνωστό ότι ο κάθε άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κοντά στην επιθυμητή (θερμοκρασία δωματίου) και οι υπόλοιπες μεταβλητές δεν παίρνουν ακραίες τιμές. Η θερμοκρασία μπορεί να ελεγχθεί με έναν απλό θερμοστάτη χρησιμοποιώντας μια συσκευή θέρμανσης / ψύξης ανάλογα την περίπτωση ή και με το άνοιγμα και κλείσιμο των παραθύρων. Η σχετική υγρασία εξαρτάται από την θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση ενώ η ταχύτητα του ανέμου σε έναν κλειστό χώρο εξαρτάται από αν υπάρχουν ή όχι ανοικτά παράθυρα (και που βρίσκονται και πόσο ανοικτά είναι) και την εξωτερική ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου. Η γνώση της εξωτερικής ταχύτητας του ανέμου και της ύπαρξης ή όχι ανοικτών παραθύρων αρκεί για να γίνει μια εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου στον εσωτερικό χώρο. Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους που επηρεάζουν την PMV, τα επίπεδα κίνησης στον χώρο θεωρούνται μηδέν καθώς θεωρείται ότι οι χρήστες τον περισσότερο χρόνο κάνουν μικρές κινήσεις και δεν μετακινούνται συνεχώς από τις θέσεις τους. Η παράμετρος ρουχισμού εξαρτάται από τα ρούχα που φοράει ο κάθε χρήστης και δεν μπορεί να μετρηθεί από κανέναν αισθητήρα, μπορεί όμως να εκτιμηθεί από την αντίστοιχη

εποχή του χρόνου. Επίσης η παράμετρος MRT δεν μπορεί να μετρηθεί επειδή δεν υπάρχει ο αντίστοιχος αισθητήρας στον εξοπλισμό του εργαστηρίου.

Στην πράξη αυτό που επηρεάζει περισσότερο την PMV και κατά συνέπεια την θερμική άνεση είναι η θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία είναι πολύ κοντά στην επιθυμητή τότε ο μέσος άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα αρκεί οι υπόλοιποι παραμέτροι να είναι σε φυσιολογικά επίπεδα.

1.4.2 Συμβατικές εγκαταστάσεις

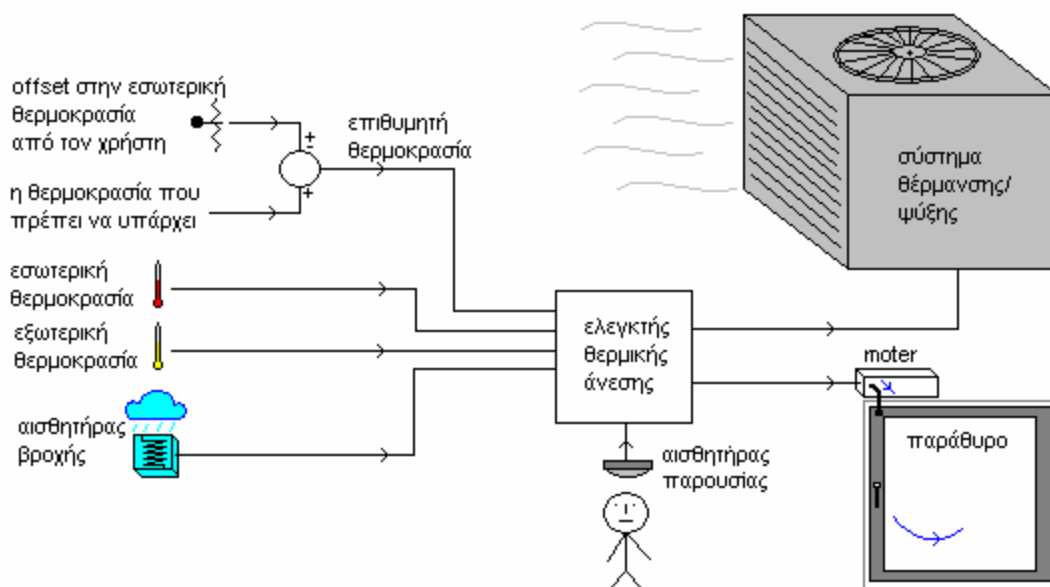
Στις συμβατικές εγκαταστάσεις θέρμανσης/ψύξης υπάρχει συνήθως διαφορετικό σύστημα θέρμανσης (καλοριφέρ) και διαφορετικό σύστημα ψύξης (κλιματιστικό) ενώ σε άλλες εγκαταστάσεις υπάρχει μία συσκευή και για θέρμανση αλλά και για ψύξη. Σε όλες τις συμβατικές εγκαταστάσεις οι ελεγκτές είναι απλοί θερμοστάτες (με ή χωρίς ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας). Άλλες φορές υπάρχει μόνο ένας ελεγκτής και άλλες φορές υπάρχει ένας ελεγκτής ανά κάθε όροφο ή ανά κάθε μεγάλο χώρο.

Αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις έχουν τα εξής προβλήματα:

- α) υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν κάποιοι χώροι οι οποίοι ελέγχονται από τον ίδιο ελεγκτή και κάπου υπάρχει ένα ανοικτό παράθυρο. Επειδή υπάρχει μόνο ένας αισθητήρας θερμοκρασίας για όλους τους χώρους αυτούς ενδέχεται να αποκτήσουν διαφορετική διαφορετική θερμοκρασία και συνεπώς να μην υπάρχει παντού θερμική άνεση
- β) λόγω του παραπάνω προβλήματος οι χρήστες παρακινούνται να αφήνουν ανοικτές τις εσωτερικές πόρτες του σπιτιού για την εξισορρόπηση της θερμοκρασίας, αυτό οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας για την θέρμανση/ψύξη χώρων που δεν χρησιμοποιούνται
- γ) οι συσκευές θέρμανσης/ψύξης συνεχίζουν να λειτουργούν ακόμα και με ανοικτά παράθυρα το οποίο οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας
- δ) δεν υπάρχει πρόβλεψη για παθητική θέρμανση και ψύξη με το άνοιγμα παραθύρων

1.4.3 Προτεινόμενο σύστημα

Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να ελέγχει το σύστημα θέρμανσης/ψύξης αλλά και 2 παράθυρα. Δέχεται ως εισόδους την επιθυμητή θερμοκρασία η οποία ρυθμίζεται από τον χρήστη καθώς και την εσωτερική και την εξωτερική τιμή της θερμοκρασίας.



Σχήμα 1.6 Έλεγχος θερμικής άνεσης

Ο ελεγκτής ανοίγει τα παράθυρα όταν το επιθυμητό επίπεδο θερμοκρασίας μπορεί να επιτευχθεί με αυτόν τον τρόπο. Αυτό θα συμβαίνει όταν:

(εσωτερική θερμ. < εξωτερική θερμ. < επιθυμητή θερμ.)

Ή

(εσωτερική. θερμ.< επιθυμητή θερμ.< εξωτερική. θερμ.)

όπου έχουμε παθητική θέρμανση

και όταν

(εσωτερική θερμ. > εξωτερική θερμ. > επιθυμητή. Θερμ.)

Ή

(εσωτερική. θερμ. > επιθυμητή θερμ. > εξωτερική θερμ.)

όπου έχουμε παθητική ψύξη.

Το σύστημα θέρμανσης θέρμανσης/ψύξης θα λειτουργεί στο ζεστό όταν

επιθυμητή θερμ. > εσωτερική θερμ. > εξωτερική θερμ.

(ενεργή θέρμανση)

και στο κρύο όταν
επιθυμητή θερμ. < εσωτερική θερμ. < εξωτερική θερμ.
(ενεργή ψύξη).

Στον αλγόριθμο του ελεγκτή δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή ταυτόχρονης ή εν'αλλάξ (περίπτωση ταλάντωσης) λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/ψύξης και στο άνοιγμα παραθύρων. Το σύστημα απενεργοποιεί το σύστημα θέρμανσης/ψύξης όταν ο αισθητήρας παρουσιάσει δείξει ότι δεν υπάρχει κάποιος άνθρωπος στον χώρο. Επίσης τα παράθυρα δεν ανοίγουν όταν βρέχει ή όταν η ταχύτητα του αέρα είναι πάρα πολύ μεγάλη ή όταν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης / ψύξης. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να εγκαθίσταται σε κάθε κλειστό χώρο του κτιρίου και να προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες του π.χ. στον διαφορετικό αριθμό των παραθύρων, θερμαντικών σωμάτων, έκτασης χώρου κτλ..

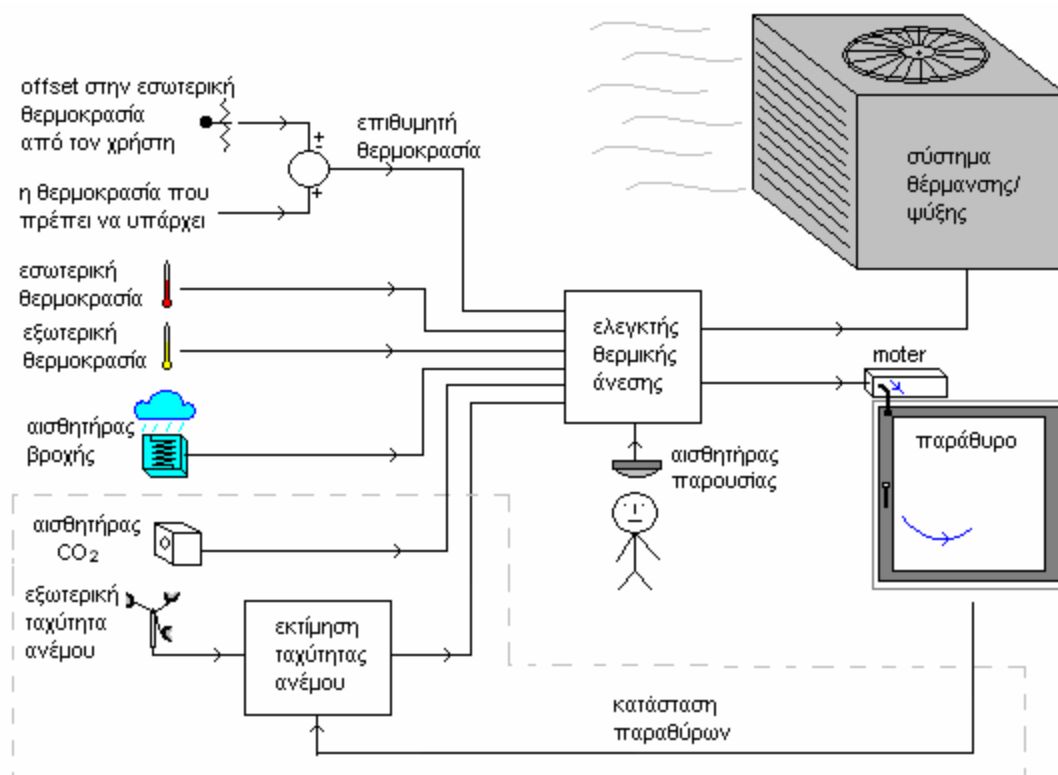
1.5 Έλεγχος ποιότητας αέρα

Η μέτρηση της ποιότητας του αέρα γίνεται με έναν αισθητήρα CO₂. Επίσης συμπληρωματικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένας αισθητήρας VOC (Volatile Organic Compounds – πτητικές οργανικές ενώσεις) για να μετράει διάφορες άλλες ουσίες που υποβιβάζουν την ποιότητα του αέρα όπως ο καπνός του τσιγάρου, οσμές από το μαγείρεμα κ.α.

Η ποιότητα του αέρα βελτιώνεται ανοίγοντας τα παράθυρα. Όμως το αυθαίρετο άνοιγμα των παραθύρων επιδρά στην θερμική άνεση αφού ενδέχεται να αλλάξει η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου το οποίο θα οδηγήσει σε επιπλέον κατανάλωση ενέργειας για να επανέλθει η θερμική άνεση. Επίσης όταν ανοίγουν τα παράθυρα δεν πρέπει να υπάρχει βροχή ούτε η εσωτερική ταχύτητα του ανέμου να μεγάλη επειδή αυτό είναι δυσάρεστο για τον χρήστη ο οποίος ενδέχεται να μην αισθάνεται θερμικά άνετα. Επίσης ίσως προκληθεί πρόβλημα π.χ. από τα χαρτιά που θα φύγουν από την θέση τους και θα πέσουν στο πάτωμα. Η εσωτερική ταχύτητα του ανέμου δεν χρειάζεται να μετριέται με ακρίβεια. Αρκεί μία εκτίμηση της αν είναι μεγάλη ή μικρή. Αυτή η εκτίμηση θα προκύπτει από τον αισθητήρα εξωτερικής ταχύτητας ανέμου και από την κατάσταση (άνοιγμα/κλείσιμο) των

παραθύρων αφού δεν υπάρχει διαθέσιμος αισθητήρας μέτρησης ταχύτητας αέρα για την τοποθέτηση του σε εσωτερικό χώρο.

Αφού ο έλεγχος της ποιότητας του αέρα επηρεάζει την θερμική άνεση, θα πρέπει να γίνεται ο έλεγχος και των δύο να γίνεται **από κοινού**. Έτσι όταν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης / ψύξης, τα παράθυρα δεν θα ανοίγουν για να καθαρίσει ο αέρας παρά μόνο στην περίπτωση που η ποιότητα του αέρα είναι πάρα πολύ κακή.



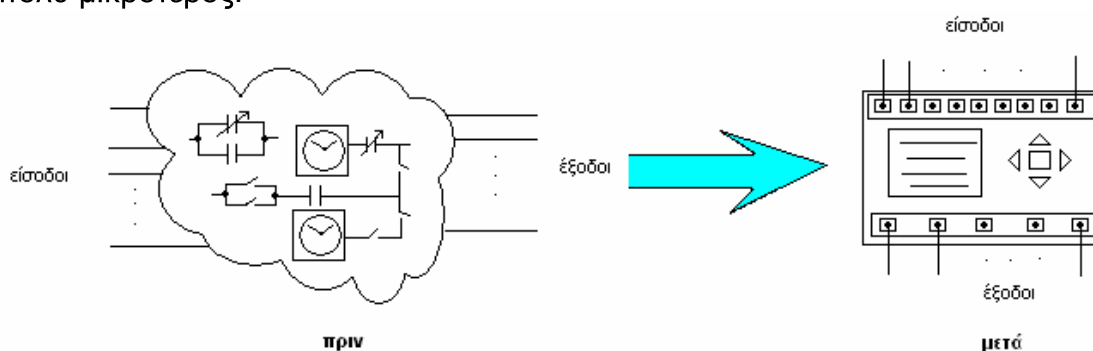
Σχήμα 1.7 Έλεγχος από κοινού θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα

Κεφάλαιο 2 – PLC

2.1 – Γενικά

Τα PLC (Programmable Logic Controller – Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές) είναι ηλεκτρονικές συσκευές που ειδικεύονται στον έλεγχο συστημάτων αυτοματισμού[7]. Σε αντίθεση με τους υπολογιστές γενικού σκοπού, τα PLCs σχεδιάζονται να έχουν πάρα πολλές εισόδους-εξόδους, να λειτουργούν σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, να έχουν ανθεκτικότητα σε ηλεκτρικό θόρυβο, υπερτάσεις, σκόνη, υγρασία, δονήσεις και γενικά να λειτουργούν στα πιο δυσμενή περιβάλλοντα. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην βιομηχανία για έλεγχο συστημάτων αυτοματιστού.

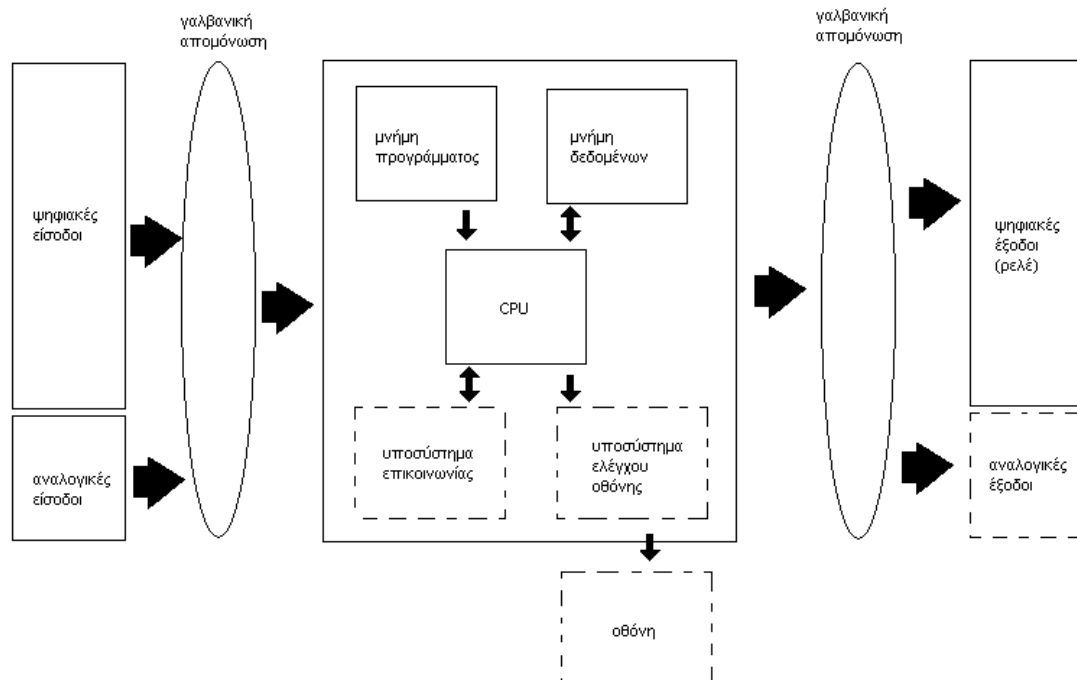
Τα PLCs αρχικά δημιουργήθηκαν για να αντικαταστήσουν τα αρχικά συστήματα αυτοματισμού τα οποία αποτελούνταν από εκατοντάδες καλώδια, ρελέ και χρονοδιακόπτες (hardware λύση του προβλήματος). Τα αρχικά συστήματα αυτοματισμού ήταν πάρα πολύ περίπλοκα, μη εύκολα επεκτάσιμα . Σε αντίθεση με αυτήν την hardware προσέγγιση φτιάχτηκαν τα PLCs τα οποία στηρίζονται στο λογισμικό τους (software). Ένα μόνο PLC μπορεί να αντικαταστήσει εκατοντάδες ισοδύναμα διακριτά ηλεκτρολογικά στοιχεία και ο χώρος που καταλαμβάνει είναι πολύ μικρότερος.



Σχήμα 2.1 Συστήματα αυτοματισμού πριν και μετά

Τα PLCs είναι ένα κλασσικό παράδειγμα ενός συστήματος πραγματικού χρόνου δηλαδή ενός συστήματος που πρέπει να παράγει τις εξόδους σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Πολλές φορές έχουν την δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές μέσω δικτύου. Η κύρια διαφορά από τους υπολογιστές γενικού σκοπού είναι η δυνατότητα για απ'ευθείας σύνδεση

αισθητήρων και επενεργητών και για τον έλεγχο τους χωρίς την ανάγκη χρησιμοποίησης κάποιου ειδικού ηλεκτρικού interface όπως π.χ. μιας PCI κάρτας.



Σχήμα 2.2 Δομή ενός PLC

Το ηλεκτρονικό σύστημα των PLC είναι γαλβανικά απομονωνόμενο από τις εισόδους και τις εξόδους με σκοπό την αποφυγή καταστροφής του από υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα. Το ηλεκτρονικό σύστημα αποτελείται από τον επεξεργαστή και την μνήμη. Στην μη πτητική μνήμη (non-volatile) είναι αποθηκευμένο το πρόγραμμα που εκτελεί. Επίσης συνήθως υπάρχει και χώρος μνήμης για την αποθήκευση των διαφόρων μεταβλητών. Προαιρετικά υπάρχει και ενσωματωμένη οθόνη και δυνατότητα επικοινωνίας μέσω σειριακής ή μέσω διαύλου επικοινωνίας με άλλα ηλεκτρονικά συστήματα.

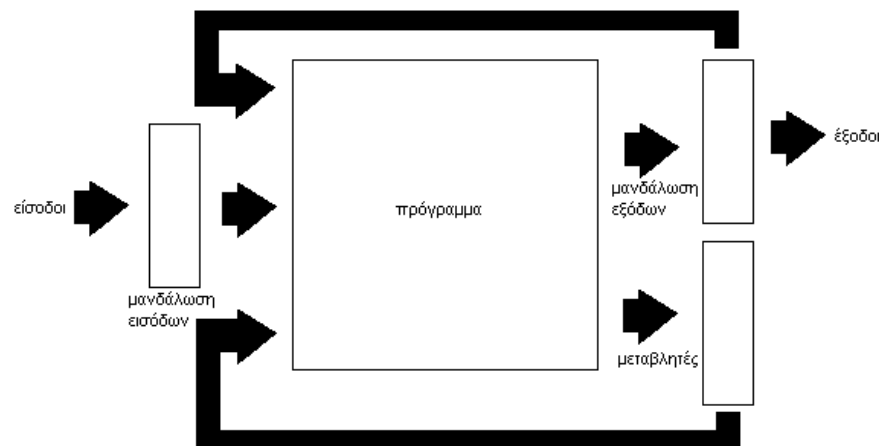
Το λογισμικό είναι το σημαντικότερο κομμάτι του PLC. Με το λογισμικό εκτελούνται όλοι οι υπολογισμοί, υλοποιούνται οι λειτουργίες των χρονικών (χρονοδιακόπτες, timers) και παίρνουν τιμές οι εξοδοι. Το λογισμικό γράφεται είτε κατευθείαν στο PLC, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει διαθέσιμη οθόνη και πλητρολόγιο, είτε σε κάποιο PC όπου μπορεί να γίνει και προσομοίωση. Υπάρχει πληθώρα γλωσσών που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των PLC και χωρίζονται σε γραφικές και μη γραφικές. Οι γραφικές είναι η γλώσσα Ladder η οποία μοιάζει με την καλωδίωση ενός συμβατικού συστήματος αυτοματισμού, η

FBD (functional block diagram) και άλλες. Οι μη γραφικές είναι περισσότερες και είναι οι ST (structured text), IL (instruction list), C, assembly και άλλες.

Ο παρακάτω τύπος περιγράφει από τι εξαρτώνται οι τιμές των εξόδων κάθε χρονική στιγμή:

$$\text{έξοδοι}(k+1) = f(\text{έξοδοι}(k), \text{είσοδοι}(k), \text{μεταβλητές}(k))$$

όπου k είναι ο αύξων αριθμός του κύκλου λειτουργίας



Σχημα 2.3 Υπολογισμός των εξόδων

Δηλαδή, οι τιμές που θα πάρουν οι έξοδοι σε κάθε κύκλο λειτουργίας εξαρτώνται από τις τιμές που έχουν, από τις τιμές των εισόδων και από τις τιμές των μεταβλητών. Ο χρόνος που διαρκεί ένας κύκλος λειτουργίας είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο επεξεργαστής για να εκτελέσει μία φορά όλο το πρόγραμμα. Το πρόγραμμα που εκτελείται δεν έχει διακλαδώσεις για να παράγονται τα σήματα των εξόδων πάντα στον ίδιο χρόνο και συνεπώς ο χρόνος που διαρκεί κάθε κύκλος λειτουργίας σε ένα πρόγραμμα να είναι ο ίδιος. Ο χρόνος του κύκλου λειτουργίας εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας του επεξεργαστή του κάθε PLC και από το πλήθος των εντολών από το οποίο αποτελείται το κάθε πρόγραμμα (συνήθως είναι της τάξης του ms).

Ο τρόπος λειτουργίας των PLC είναι ο εξής: οι είσοδοι δειγματοληπτούνται στην αρχή του κάθε κύκλου λειτουργίας, στην συνέχεια εκτελούνται ακολουθιακά οι εντολές που υπάρχουν στην μνήμη και στο τέλος του κύκλου λειτουργίας παίρνουν τιμές οι έξοδοι.



Σχήμα 2.4 Λειτουργία ενός PLC

Οι είσοδοι στα PLCs μπορεί να είναι κουμπιά (buttons), διακόπτες και όλων των ειδών οι αισθητήρες. Η πλειοψηφία των εξόδων των PLCs είναι συνήθως τύπου ρελέ οι οποίοι με κατάλληλη ηλεκτρική συνδεσμολογία μπορούν να ελέγξουν πλήθος ενεργοποιητών όπως ηλεκτρικοί κινητήρες, φώτα, καλοριφέρ, κλιματιστικά, ηλεκτρομαγνήτες κ.τ.λ. Οι αναλογικές έξοδοι είναι περιορισμένες και συνήθως υπάρχουν με την μορφή μονάδων επέκτασης (modules). Επίσης μιας και τα PLCs συνήθως μπορούν να συνδέονται σε δίκτυο, οι είσοδοι και οι έξοδοί τους μπορεί να είναι στο δίκτυο αυτό.

Σύμφωνα με την ορολογία των PLCs, τα σήματα εισόδου/εξόδου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα ψηφιακά και τα αναλογικά. Τα ψηφιακά είναι τα σήματα αυτά που μπορούν να πάρουν μόνο δύο τιμές, 0 και 1 ή on και off, ενώ τα αναλογικά είναι αυτά τα μπορούν να πάρουν πολλές τιμές και συνήθως έχουν εύρος 0-10 V DC και αναπαρίστανται εσωτερικά στα PLC σε συνήθως σε ανάλυση 10 bits. Τα PLCs, όπως περιγράφεται από το όνομά τους, είναι ελεγκτές που ειδικεύονται σε λογικό έλεγχο ο οποίος έχει νόημα μόνο σε ψηφιακά σήματα. Οι αναλογικές λειτουργίες που υποστηρίζουν είναι πολύ λιγότερες, συνήθως είναι απλά εντολές για PID έλεγχο ή εντολές που μετατρέπουν ένα αναλογικό σήμα σε ένα ψηφιακό πχ. 0 όταν το αναλογικό σήμα είναι μικρότερο του 650 και 1 όταν είναι μεγαλύτερο.

Για κάθε εφαρμογή υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τις δυνατότητες που πρέπει να έχει το PLC. Γι' αυτό, πολλές φορές μαζί με τα PLCs

πωλούνται και υπομονάδες επέκτασης (modules). Αυτά τα modules δίνουν την δυνατότητα στο PLC να αποκτήσει περισσότερες εισόδους/εξόδους, να επικοινωνήσει μέσω διαύλου με άλλα συστήματα, να αποκτήσει οθόνη, πληκτρολόγιο, γρήγορο PID ελεγκτή κ.α. Επίσης τα PLCs μπορούν να συνδεόνται με συστήματα HMI (human-machine interface - διεπαφή μεταξύ ανθρώπων και μηχανών) και SCADA (supervisory control and data acquisition - εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων).

2.2 Το PLC “LOGO!”

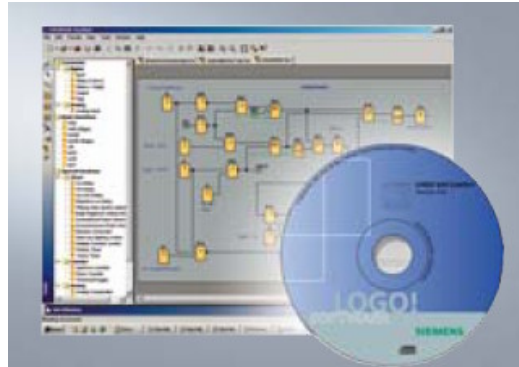
Το PLC που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία είναι το “LOGO!” της εταιρίας Siemens. Το “LOGO!” είναι ένα μικρό PLC που αρχικά φτιάχτηκε για τον έλεγχο μικρών απλών συστημάτων αυτοματισμού όπως γκαραζόπορτες, πότισμα φυτών, κήπου, έλεγχο απλών μηχανών κ.τ.λ.



Σχήμα2.5 Το “LOGO!” με και χωρίς οθόνη

Αφού επέτυχε εμπορικά, σήμερα αισίως κυκλοφορεί στην αγορά η πέμπτη του αναβαθμισμένη έκδοση η οποία έχει πραγματικά πολύ περισσότερες δυνατότητες από τις προηγούμενες εκδόσεις. Μπορεί να έχει μέχρι 24 ψηφιακές εισόδους από τις οποίες οι 8 μπορούν προαιρετικά να είναι αναλογικές, 16 ψηφιακές εισόδους από τις οποίες οι 8 μπορούν προαιρετικά να είναι αναλογικές, οθόνη, μικρό πληκτρολόγιο, δυνατότητα σύνδεσης με PC για προγραμματισμό, σύνδεση με το δίκτυο KNX/EIB, επικοινωνία με το ASi bus, έξοδοι τύπου ρελέ. Επίσης διαθέτει και τα εξής χαρακτηριστικά : μικρό μέγεθος, τοποθέτηση σε ηλεκτρολογικό πίνακα σε DIN rail (ράγα), ρολόι πραγματικού χρόνου, ανθεκτικότητα σε ακραία θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, δόνηση κ.τ.λ.[8] Προγραμματίζεται μέσω υπολογιστή με το

πρόγραμμα “LOGO! Soft comfort” χρησιμοποιώντας τις γλώσσες **FDL** και Ladder. Δυστυχώς ο προγραμματισμός με αυτές τις γλώσσες έχει προβλήματα τα οποία περιγράφονται παρακάτω.



Σχήμα2.6 Το λογισμικό “LOGO! Soft comfort V.5”

Το “LOGO!” δομείται από πολλά κομμάτια (modules). Το βασικό module στο οποίο βρίσκεται ο επεξεργαστής και στο οποίο συνδέονται τα υπόλοιπα modules φαίνεται στο σχήμα 2.5. Διαθέτει 8 ενσωματωμένες ψηφιακές εισόδους από τις οποίες οι 2 μπορούν προαιρετικά να χρησιμοποιηθούν ως αναλογικές (ανάλογα το μοντέλο) και 4 ψηφιακές εξόδους. Η οθόνη και το υποτυπώδες πληκτρολόγιο είναι προαιρετικά. Οι 4 εξοδοί είναι τύπου ρελέ αλλά υπάρχει και πιο οικονομικό μοντέλο το οποίο έχει στο στάδιο εξόδου transistor και μπορεί να οδηγήσει φορτία μικρότερης ισχύος. Επίσης έχει δυνατότητα προγραμματισμού μέσω PC ή τον απ’ευθείας προγραμματισμό μέσω του προαιρετικού υποτυπώδους πληκτρολογίου. Όσον αφορά την τροφοδοσία του, υπάρχουν μοντέλα που λειτουργούν σε 230 V AC και άλλα σε 24V DC. Το “LOGO!” μπορεί να επεκταθεί προσθέτοντας και άλλα modules. Έτσι υπάρχουν modules για επιπλέον ψηφιακές ή αναλογικές εισόδους και εξόδους και για επικοινωνία με δίκτυα KNX/EIB και ASi. Δεν μπορεί όμως να συνδεθεί απεριόριστος αριθμός από modules γιατί πρέπει ο συνολικός αριθμός εισόδων να είναι το πολύ 24 εκ των οποίων το πολύ 8 να είναι αναλογικές και ο αριθμός των εξόδων να είναι το πολύ 16 των οποίων το πολύ 2 να είναι αναλογικές.



Σχήμα2.7 Επέκταση του “LOGO!” με modules

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο LOGO! 12/24 RC (κωδικός 6ED 1052-1MB00-0BA5) το οποίο έχει 8 ψηφιακές εισόδους (από τις οποίες οι 2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αναλογικές) και 4 ψηφιακές εξόδους. Έχει ενσωματωμένη την οθόνη και το μικρό πληκτρολόγιο, οι εξοδοι που έχει είναι τύπου ρελέ, λειτουργεί με τροφοδοσία 24V DC και οι είσοδοι πρέπει να είναι στο εύρος 0-10 V DC. Επίσης υπάρχει καλώδιο που συνδέεται με PC σε σειριακή θύρα (RS-232) ή θύρα USB για να προγραμματίζεται. Η μνήμη προγράμματος είναι 2Kbytes και αντιστοιχεί σε μόλις 130 blocks της γλώσσας FBD. Τα αναλογικά σήματα δειγματοληπτούνται με ακρίβεια 10bits και μπορούν για απλοποίηση να πάρουν τιμές 0 -1000 αντί για 0-1023 (όπου το 0 είναι 0V το 500 είναι 5V και το 1000 είναι 10V). Επίσης υπάρχει ειδική εντολή που εφαρμόζεται σε αναλογικά σήματα και κάνει PI έλεγχο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο χρόνος του κύκλου λειτουργίας είναι της τάξης του ms, όμως στον PI έλεγχο η έξοδος του ελεγκτή ανανεώνεται μόλις κάθε 500ms.

Το μοναδικό module που χρησιμοποιήθηκε είναι το KNX/EIB communication module (6BK1 700-0BA00-0AA1) το οποίο χρησιμοποιείται για να γίνει το “LOGO!” ένας κόμβος του δικτύου **KNX/EIB**. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το “LOGO!” να αποκτά εικονικές εισόδους και εξόδους οι οποίες οφείλονται στο δίκτυο και να γίνεται ένας ελεγκτής του. Δηλαδή, αντί οι είσοδοι και οι εξοδοι να συνδέονται απ’ευθείας στο PLC, να μπορούν να επικοινωνούν μαζί του μέσω του δικτύου. Αυτό οδηγεί σε μικρότερο μήκος καλωδίων, ευελιξία στην σχεδίαση του συστήματος και στην επέκτασή του και γενικά σε όλα τα πλεονεκτήματα που έχει μια εγκατάσταση KNX/EIB.



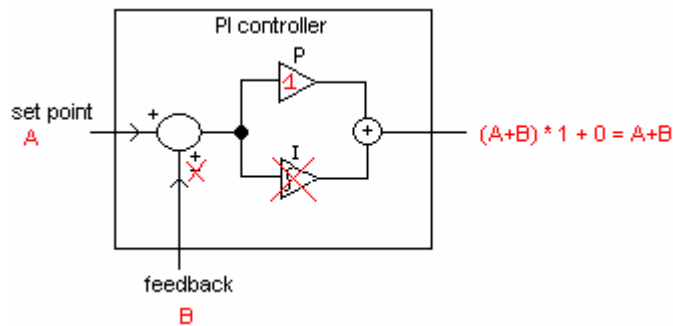
Σχήμα 2.8 Το “LOGO!” με το KNX/EIB communication module

2.3 Οι περιορισμοί του “LOGO!”

Η σχηματική γλώσσα FBD είναι η κύρια γλώσσα προγραμματισμού του “LOGO!”. Η γλώσσα αυτή βασίζεται στα blocks, κάθε block είναι στην ουσία μία λειτουργική μονάδα με μία έξοδο και μία ή περισσότερες εισόδους. Το κάθε block μπορεί να αντιστοιχεί σε μία απλή δυαδική πύλη (AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR) ή σε κάτι πιο πολύπλοκο όπως πχ. χρονοδιακόπτης, rs flip-flop κ.α. Επίσης υπάρχουν blocks που έχουν εφαρμογή μόνο σε αναλογικά σήματα όπως συγκριτής, ενισχυτής, PI ελεγκτής. Το σύνολο των εντολών αυτής της γλώσσας είναι το σύνολο των block που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (περισσότερα στο Παράρτημα Α).

Όπως φαίνεται και από το Παράρτημα Α, οι λειτουργίες που αφορούν τα ψηφιακά σήματα είναι πολύ περισσότερες από τις λειτουργίες των αναλογικών σημάτων, αυτό γίνεται επειδή όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα PLC ειδικεύονται στον λογικό(ψηφιακό) έλεγχο και στα χρονικά και όχι στα αναλογικά σήματα. Πρόβλημα αποτελεί η απουσία διάφορων φαινομενικά απλών αναλογικών λειτουργιών όπως η πρόσθεση και ο πολλαπλασιασμός δύο αναλογικών σημάτων. Με την FBD υπάρχει μόνο η δυνατότητα να προστεθεί ένα αναλογικό σήμα μόνο με έναν σταθερό αριθμό και όχι με κάποιο άλλο αναλογικό σήμα (με το function block που λέγεται analog amplifier). Το ίδιο ισχύει και για την πράξη του πολλαπλασιασμού.

Υπάρχει όμως τρόπος να γίνει έμμεσα η πράξη της προσθαφαίρεσης με την χρησιμοποίηση του function block με το όνομα PI controller.



Σχήμα 2.9 υλοποίηση προσθεσης/αφαίρεσης σε FDL

Αν θέλω να προσθέσω τα δύο αναλογικά σήματα A και B τότε πρέπει το A να συνδεθεί με την είσοδο set point και το B με την είσοδο feedback του PI controller. Επίσης πρέπει ο συντελεστής του αναλογικού όρου (P) να πάρει την τιμή 1 και ο συντελεστής του ολοκληρωτικού όρου (I) να πάρει την τιμή 0 (αυτό αντιστοιχεί στις τιμές $K_c=1$ και $T_I = 99\text{min}$ και 59sec στις παραμέτρους του PI controller στην FBD). Τέλος πρέπει στην περίπτωση της πρόσθεσης να ρυθμιστεί ότι το feedback θα προστίθεται στο set point και στην αφαίρεση να αφαιρείται (παραμέτρος direction στο function block).

Δυστυχώς δεν υπάρχει κανένας τρόπος για να γίνει πολλαπλασιασμός μεταξύ δύο αναλογικών σημάτων. Αυτό οδηγεί στην αδυναμία του PLC "LOGO" να κάνει έλεγχο τύπου fuzzy logic (ασαφής λογική) επειδή στους fuzzy αλγορίθμους η πράξη του πολλαπλασιασμού είναι αναγκαία. Επίσης δεν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέων block έτσι ώστε να καλυφθεί αυτό το κενό στην FBD.

Τέλος το μέγεθος του εκτελέσιμου κώδικα μηχανής που παράγεται από την FBD εξαρτάται από πόσα block είναι φτιαγμένο το πρόγραμμα. Όμως η μνήμη προγράμματος του "LOGO!" είναι μικρή (2KB) με αποτέλεσμα όλα τα προγράμματα σε FBD τα οποία προορίζονται να εκτελεστούν σε PLC "LOGO!" πρέπει να είναι το πολύ μεγέθους 130 block.

Επίσης τα ίδια προβλήματα υπάρχουν αν χρησιμοποιηθεί η γλώσσα Ladder αντί της FDL. Έτσι αφού τα 130 block είναι σχετικά λίγα και γενικά οι δυνατότητες του "LOGO!" είναι μικρές, θα χρησιμοποιηθούν απλοποιημένες εκδοχές των αλγορίθμων ελέγχου για την εργασία αυτή.

Κεφάλαιο 3 – Περιγραφή του συστήματος KNX/EIB

3.1 Γενικά

Το KNX/EIB (European Installation Bus) αποτελεί ένα πρότυπο δικτύωσης κτιρίων βασισμένο σε ένα ή περισσότερους διαύλους (buses)[1]. 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 EHSA. 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).



Σχήμα 3.1 Το λογότυπο του EIB και του KNX

Το παλιό πρωτόκολλο EIB και το νέο KNX είναι αμφίδρομα συμβατά γι' αυτό θα αναφέρομαι σε αυτά 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 κτηριακό αυτοματισμό. Πολλοί ανεφέρουν 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 επενεργητές (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 μετατρέπει ένα απλό σπίτι σε ένα “έξυπνο σπίτι”.

3.2 Τρόποι μετάδοσης

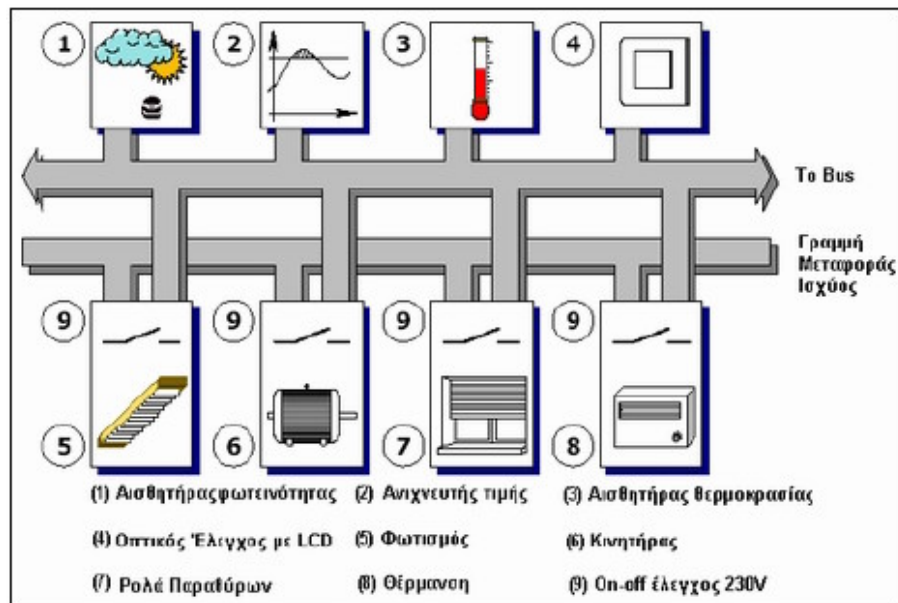
Οι κυριότερες υλοποιήσεις εγκατάστασης με το πρότυπο KNX/EIB γίνονται με τη χρήση τεσσάρων αρκετά διαδεδομένων φυσικών μέσων :

- 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.

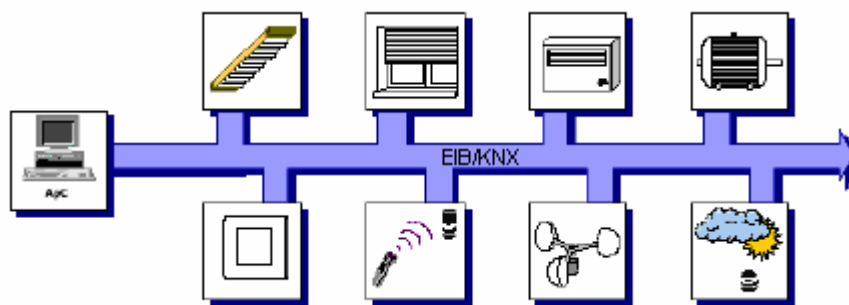
3.2.1 Μετάδοση μέσω συνεστραμμένου ζεύγους

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 κτιρίου, εφόσον τοποθετείται παράλληλα με αυτήν. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα της απ'ευθείας 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 κτιρίου. Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται ένα παράδειγμα εγκατάστασης με συνεστραμμένο ζεύγος.



Σχήμα 3.2 KNX/EIB με συνεσταμμένο 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 παρεχόμενων 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 3.3 Κεντρικός έλεγχος από PC

Υπάρχουν δύο είδη συνεστραμένων 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 συνεστραμένου 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.

3.2.2 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.

3.2.3 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

3.2.4 Μετάδοση μέσω Ethernet

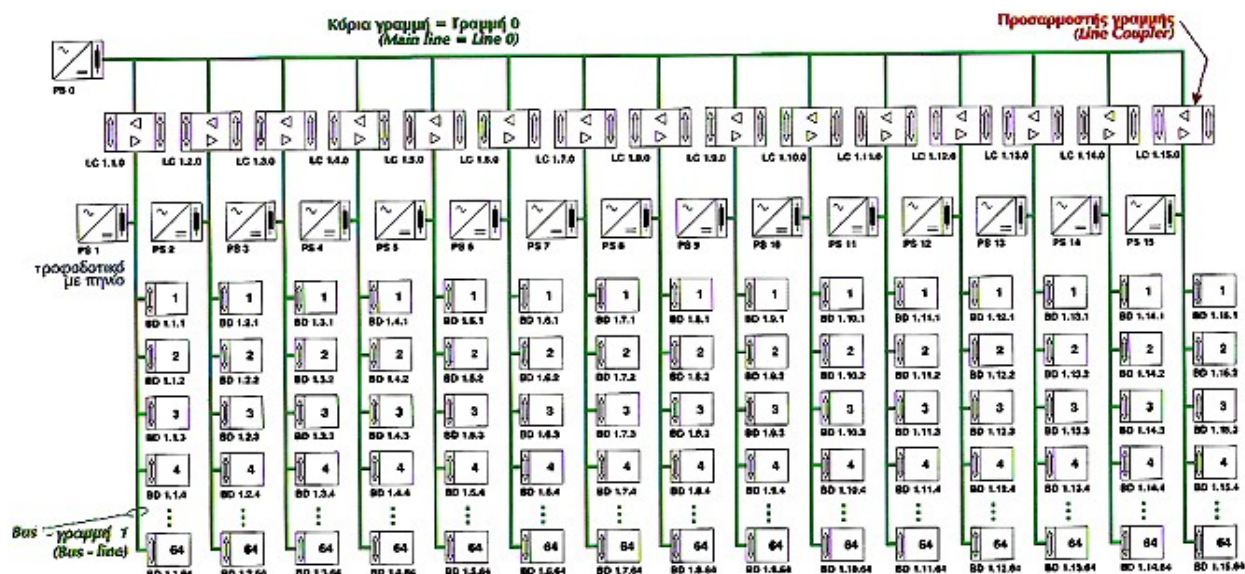
Αυτή η τεχνική, γνωστή και ως KNX-over-IP, είναι η πιο πρόσφατη προσθήκη. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι ο ρυθμός μετάδοσης του Ethernet ο οποίος συνήθως είναι της τάξης του Mbit. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι το υψηλό της κόστος αφού ένας προσαρμοστής δικτύου Ethernet π.χ στα 10Mbit/s είναι ακριβότερος από έναν απλό προσαρμοστή για συνεστραμένο 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.

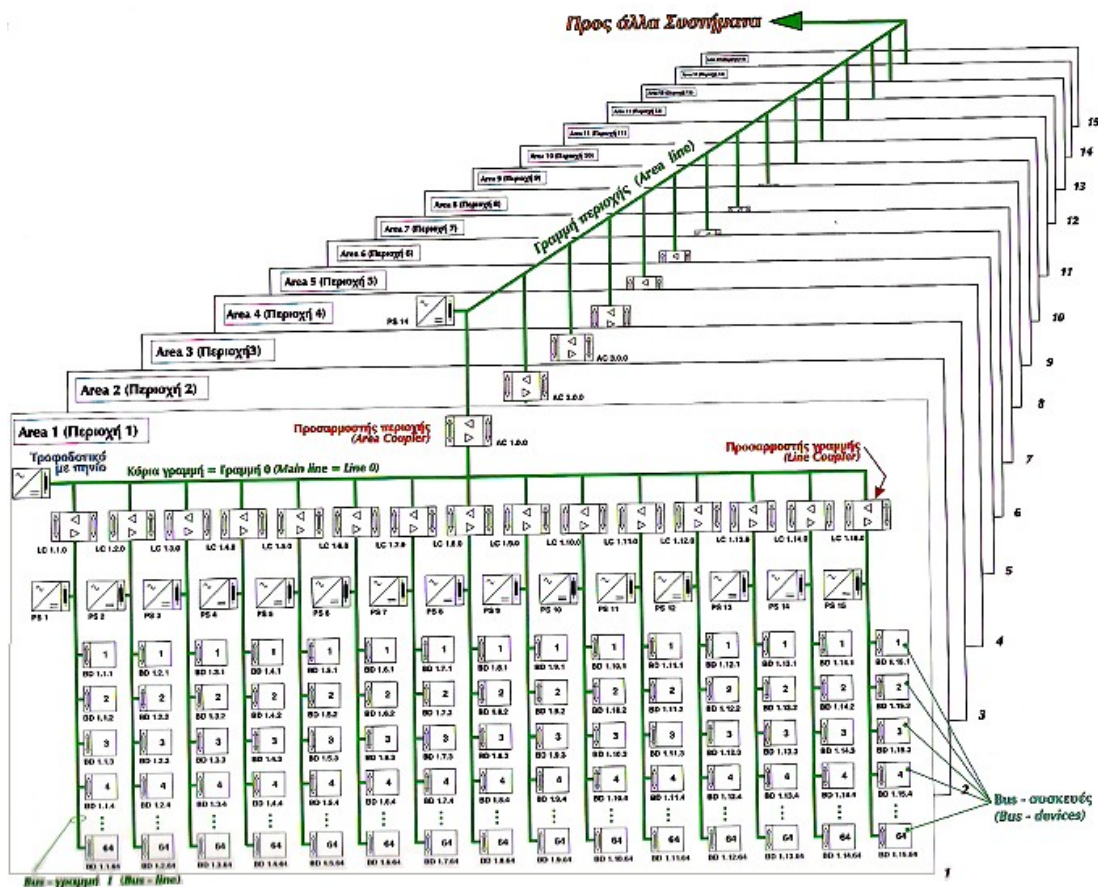
3.3 Τοπολογία και Οργάνωση διαύλου

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 δενδροειδής 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 γραμμής 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 επαναληπτές 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.



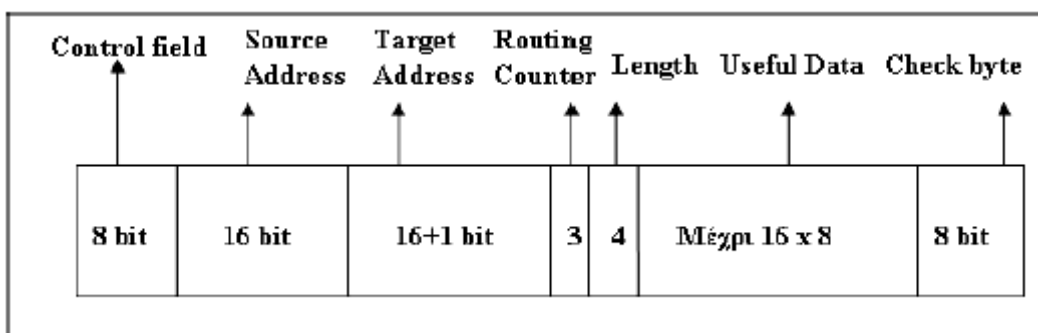
Σχήμα 3.4 Μία περιοχή με 15 γραμμές



Σχήμα 3.5 Ένα σύστημα με 15 περιοχές

3.4 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 3.6 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).

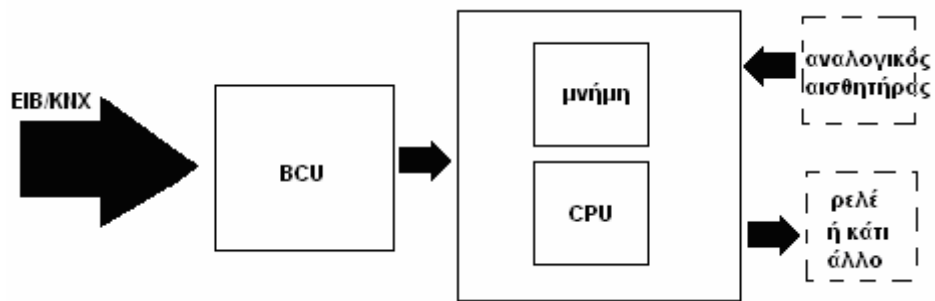
Η διεύθυνση της πηγής είναι πάντα η φυσική διεύθυνση (physical address), η οποία είναι μοναδική για κάθε συνδρομητή. Αυτή καθορίζει την περιοχή και τη γραμμή που βρίσκεται ο κάθε συνδρομητής. Η διεύθυνση προορισμού καθορίζει τη συσκευή ή τις συσκευές, οι οποίες είναι δέκτες του τηλεγραφήματος. Για τη 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.

3.5 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 3.7 Συνδρομητής διαύλου

Κάθε συσκευή KNX/EIB μπορεί να προγραμματιστεί με σκοπό να αλλάζουν οι επιμέρους παράμετροι της (πόσο συχνά να στέλνει μηνυματα, 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.

Κεφάλαιο 4 - Εγκατάσταση KNX/EIB στο Πολυτεχνείο Κρήτης

4.1 Εγκατάσταση στο εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων

Υπάρχουν δύο εργαστήρια στο Πολυτεχνείο Κρήτης στα οποία έχει γίνει εγκατάσταση KNX/EIB, το εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του τμήματος ΗΜΜΥ (ΕΗΚΑΠΕ, 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[2] η οποία είχε ως θέμα “Τεχνικές και αλγόριθμοι ελέγχου άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια με τη χρήση διαύλων δικτύωσης”. 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][12].

4.2 Εγκατάσταση στο εργαστήριο Ελέγχου Βιομηχανικών Διεργασιών

Η εγκατάσταση αυτή υπάρχει από φέτος (2007) και έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και της μεταπτυχιακής διατριβής του φοιτητή ΗΜΜΥ Λάζου Χρήστου ο οποίος και ευθύνεται για το μεγαλύτερο τμήμα αυτής. Όλες οι συσκευές συνδέθηκαν σε μία γραμμή του δικτύου KNX/EIB, έτσι το όλο δίκτυο εκφυλίστηκε σε απλό δίαυλο (bus). Η εγκατάσταση περιλαμβάνει συνολικά 8 αισθητήρες, ένα PLC “LOGO!” με το KNX/EIB communication module, και συνολικά 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.

4.2.1 Συσκευές τύπου αισθητήρα

Εσωτερικός αισθητήρας φωτεινότητας: ο αισθητήρας αυτός (Siemens 5WG1 252-4AB02) συνδέεται απ'θείας στο δίκτυο KNX/EIB, έχει εύρος μέτρησης 200-1900 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.

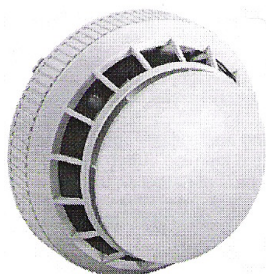
Εξωτερικός αισθητήρας φωτεινότητας: ο αισθητήρας αυτός (Siemens 5WG1 253-4AB01) συνδέεται απ'θείας στο δίκτυο KNX/EIB, έχει εύρος μέτρησης 0-40 klux (1000 lux). Το μεγάλο του εύρος είναι αυτό που το κάνει ιδανικό για την μέτρηση της εξωτερικής φωτεινότητας η οποία μπορεί να πάρει πολύ μεγαλύτερες τιμές από την τιμή της εσωτερικής. Ο αισθητήρας αυτός πρέπει προφανώς να είτε να τοποθετηθεί σε εξωτερικό χώρο, είτε να είναι στο παράθυρο με κατεύθυνση προς τα έξω. Τελικά αυτή η συσκευή δεν χρησιμοποιήθηκε επειδή η μέτρηση της εξωτερικής φωτεινότητας μετριέται από το weather station που είναι στην ταράτσα. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από το bus.



Σχήμα 4.1 Μορφή των αισθητήρων φωτεινότητας

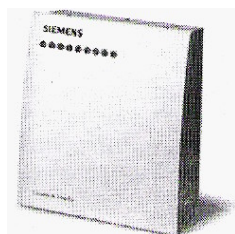
Εσωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας: Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή KNX/EIB η οποία λέγεται Combined Fire Alarm. Αυτή η συσκευή (Siemens 5WG1 256-4AB01) ειδικεύεται στην μέτρηση της θερμοκρασίας και του καπνού με σκοπό την αναγνώριση υπάρξης φωτιάς. Οι εξόδοι της (οι οποίες είναι είσοδοι στο σύστημα μας) μπορεί να είναι η τιμή της θερμοκρασίας με ακρίβεια 0.5 K 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.

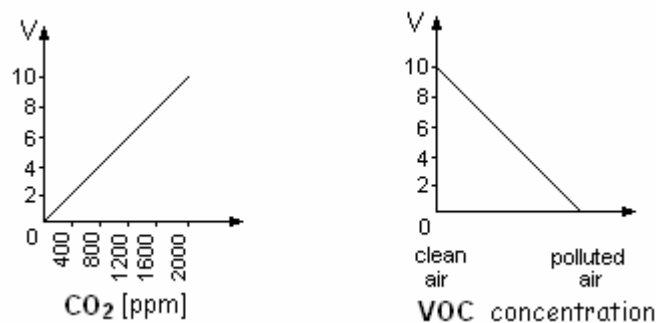


Σχήμα 4.2 Combined fire alarm

Αισθητήρας ποιότητας αέρα: ο αισθητήρας αυτός (Siemens QPA63.2) μπορεί να μετράει δύο μεγέθη, την συγκέντρωση του CO₂ με εύρος μέτρησης 0 - 2000 ppm και ακρίβεια 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 απ'ευθείας 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".

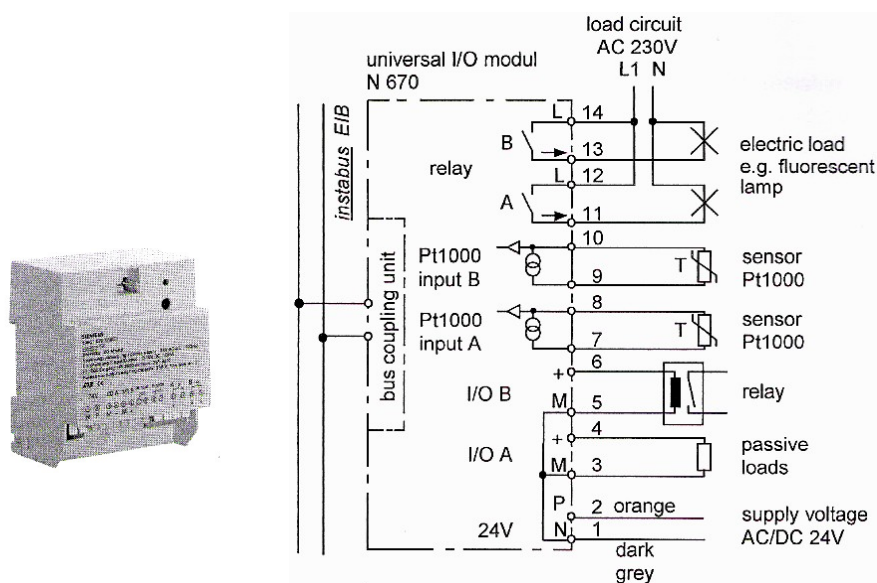


Σχήμα 4.3 Αισθητήρας CO₂ / VOC



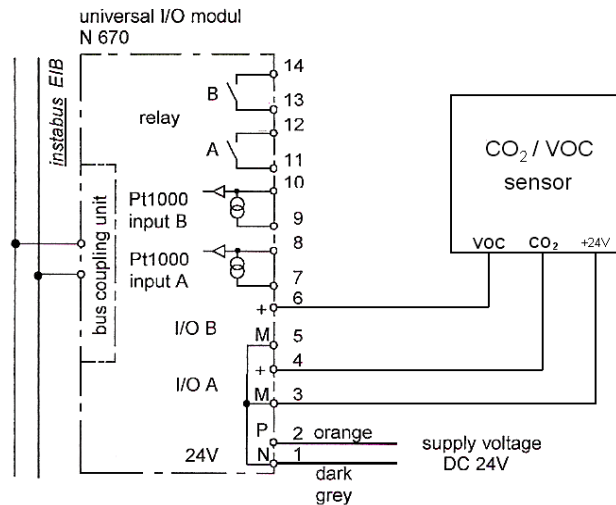
Σχήμα 4.4 Οι έξοδοι του αισθητήρα CO₂ / VOC

Για να σταλούν οι τιμές των CO₂ και VOC στο δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια συσκευή η οποία θα έχει ως εισόδους τάσεις DC 0-10V και η οποία θα συνδέεται στο δίκτυο KNX/EIB με σκοπό να στέλνει τις τιμές αυτές 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 εισόδοι 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 4.5 Παράδειγμα λειτουργίας του Universal I/O Module

Οι δύο έξοδοι του αισθητήρα CO₂/VOC συνδέονται ως εισόδοι στις θύρες I/O A και B σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.6 Συνδεσμολογία του Universal I/O Module με τον αισθητήρα CO₂/VOC

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 4.7 Το weather station χωρίς και με τους αισθητήρες



*Σχήμα 4.8 Αισθητήρες που συνδέονται στο weather station
(βροχής, φωτεινότητας, θερμοκρασίας, ταχύτητας του αέρα)*

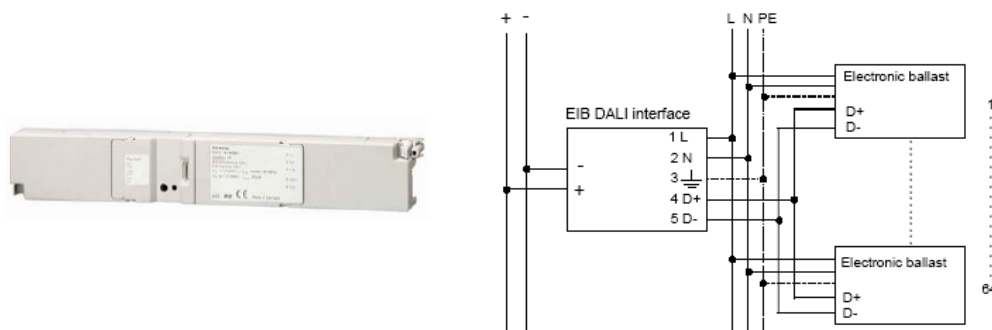
Ο αισθητήρας βροχής (Siemens 5WG1 258-3AB41) μπορεί να δώσει μόνο δύο τιμές 1 όταν βρέχει και 0 όταν δεν βρέχει, έτσι είναι μια ψηφιακή είσοδος στο σύστημα μας. Ο αισθητήρας φωτεινότητας (Siemens 5WG1 258-3AB31) έχει εύρος μέτρησης 0 - 40.000 lux με ακρίβεια 5% και είναι ιδανικός για μέτρηση της εξωτερικής φωτεινότητας. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας (Siemens 5WG1 258-3AB21) έχει εύρος μέτρησης -20 - +40 βαθμούς κελσίου και ακρίβεια -0,1...+0,1 K. Τέλος ο αισθητήρας ταχύτητας ανέμου (Siemens 5WG1 258-7AB12) έχει εύρος μέτρησης 2 – 35 m/s και ακρίβεια 0,1m/s.

4.2.2 Συσσκευές τύπου ενεργοποιητή

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

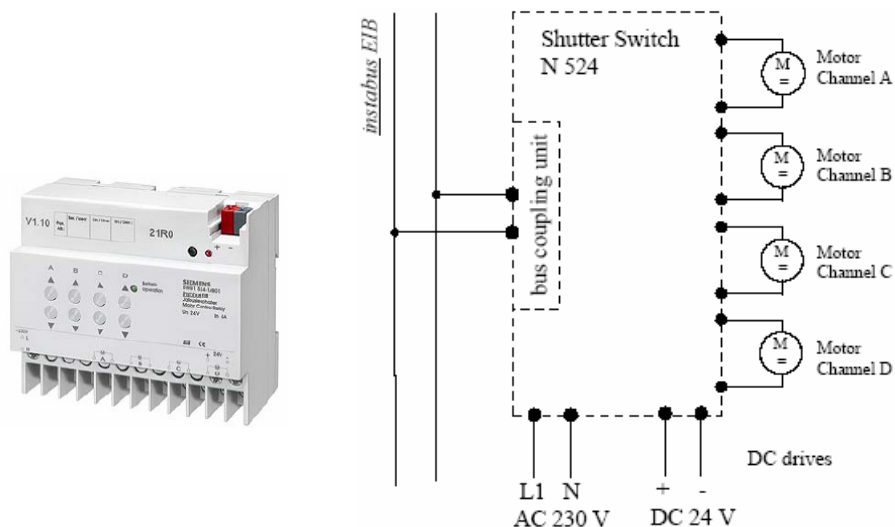
Ενεργοποιητής φωτισμού: Η συσκευή αυτή με όνομα EIB DALI Interface (Siemens 5WG1 141-4AB01) είναι στην ουσία μια γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ ενός δικτύου EIB με ένα σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface – ψηφιακή διευθυνσιοδοτούμενη διεπαφή φωτισμού). Το DALI είναι ένα σύστημα το οποίο 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 φωτεινότητα 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 4.9 EIB DALI Interface

Ενεργοποιητής 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 ρολά στο εργαστήριο. Η συσκευή αυτή ειδικεύεται στον έλεγχο ηλεκτρικών κινητήρων για σκίαστρα. 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 σκίαστρα 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 σύσκευής περιγράφει ότι προορίζεται μόνο για σκίαστρα) αφού τα παράθυρα ελέγχονται με τον ίδιο τρόπο που ελέγχονται τα σκίαστρα. Η συσκευή Shutter switch μπορεί να ελέγξει μέχρι 4 ηλεκτρικούς κινητήρες, έτσι σε αυτήν έχουν συνδεθεί οι κινητήρες από δύο παράθυρα και από δύο σκίαστρα. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από την συμβατική παροχή ηλ.ενέργειας για να λειτουργήσει και από το τροφοδοτικό “LOGO! Power” για λειτουργήσουν οι κινητήρες (οι κινητήρες λειτουργούν με τάση 24VDC και με 1A ρεύμα ο κάθε ένας).



Σχήμα 4.10 Shutter switch

4.2.3 Άλλες συσκευές

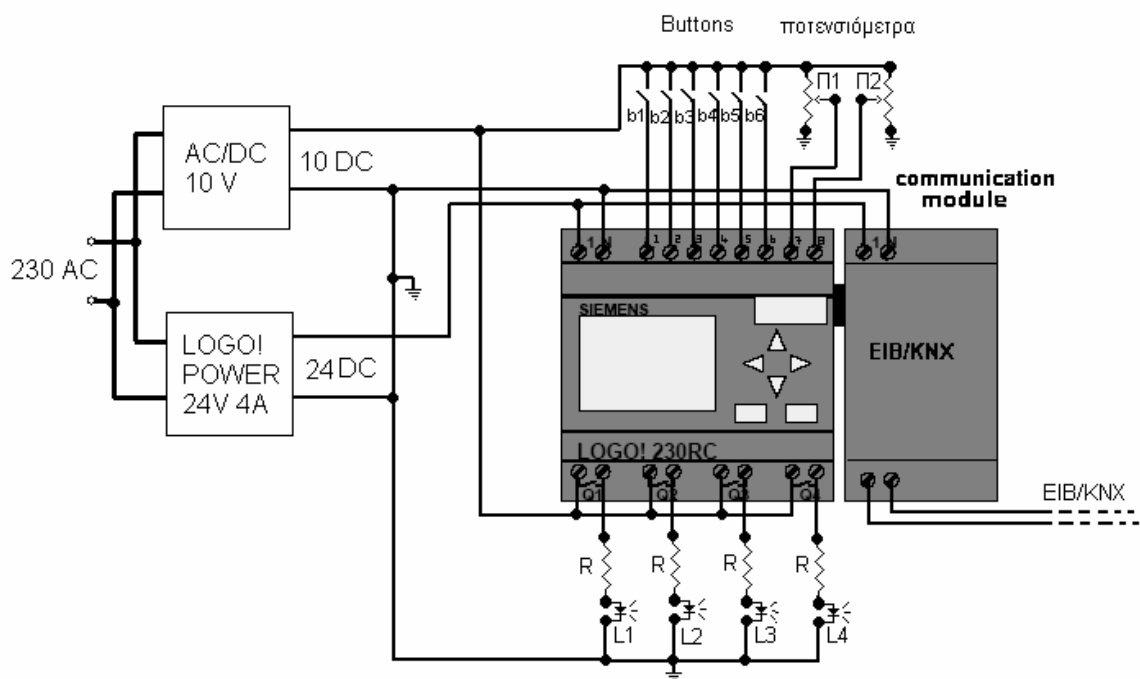
PLC “LOGO!” : Όπως έχει αναφερθεί και πριν, το PLC “LOGO!” μετατρέπεται σε συσκευή KNX/EIB με την προσθήκη του KNX/EIB communication module. Όλοι οι αισθητήρες δίνουν το σήμα τους στο PLC μέσω του δικτύου και αυτό τρέχει το πρόγραμμα ελέγχου και δίνει το κατάλληλο σήμα σε όλους τους ενεργοποιητές. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό “LOGO! Power”.

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 παρακολούθηση 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 [2],[11],[12]. Η συσκευή αυτή τροφοδοτείται από bus.

Χειριστήριο ελέγχου : Για την λειτουργία του όλου συστήματος δημιουργήθηκε σε breadboard ένα απλό χειριστήριο ελέγχου από 5 buttons, 2 ποτενσιόμετρα και 4 Leds το οποίο συνδέθηκε άμεσα με το “LOGO!” (δηλαδή δεν είναι συσκευή KNX/EIB). Αυτό το χειριστήριο σε συνδιασμό με την ενσωματωμένη οθόνη του “LOGO!” αποτελούν την διεπαφή μεταξύ του όλου συστήματος και του ανθρώπου-χρήστη. Ο χρήστης μπορεί μέσω αυτού να θέσει είτε όλο το σύστημα είτε επιμέρους τμήματα του σε κατάσταση λειτουργίας (auto) ή σε κατάσταση μη

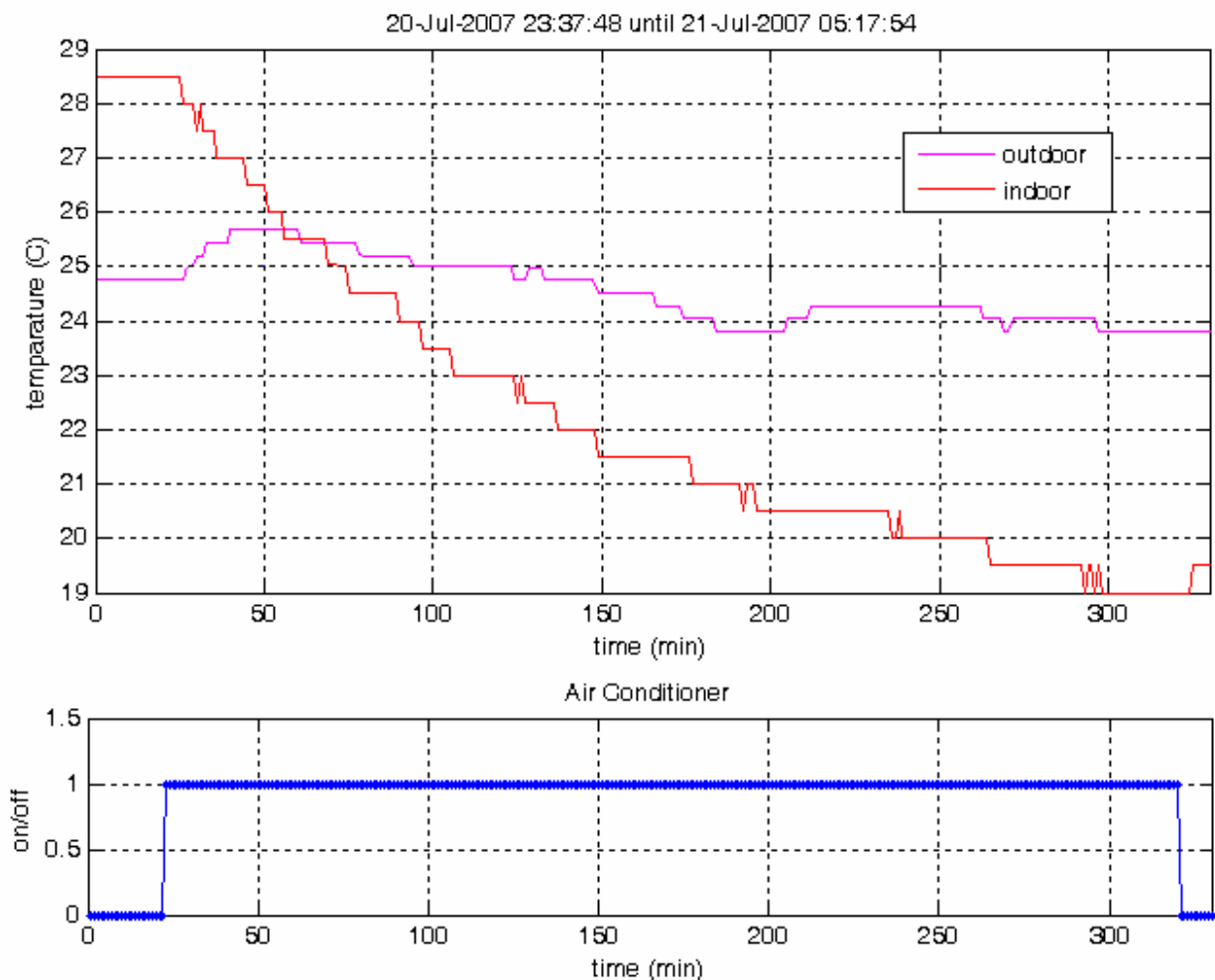
Λειτουργίας (manual). Επίσης μέσω των Leds μπορεί να πληροφορηθεί για την κατάσταση λειτουργίας και μέσω των ποτενσιομέτρων να επηρεάσει τα επιθυμητά επίπεδα (set points) της φωτεινότητας και της θερμοκρασίας. Το χειριστήριο τροφοδοτείται από ένα ανεξάρτητο τροφοδοτικό με 10V DC.

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 του PLC “LOGO!”, των κινητήρων στα παράθυρα και στα σκίαστρα και για τον αισθητήρα CO₂/VOC. Η τάση αυτού του τροφοδοτικού είναι 24V DC και το μέγιστο ρεύμα είναι 4Amp. Τέλος για την τροφοδοσία του χειριστηρίου ελέγχου χρησιμοποιήθηκε ένα απλό τροφοδοτικό χαμηλής τάσης 10 V DC τόσο για λόγους ασφαλείας όσο και για την γαλβανική απομόνωση μεταξύ του (μη αξιόπιστου ιδιοκατασκευαζόμενου) χειριστηρίου και του υπολοίπου συστήματος.

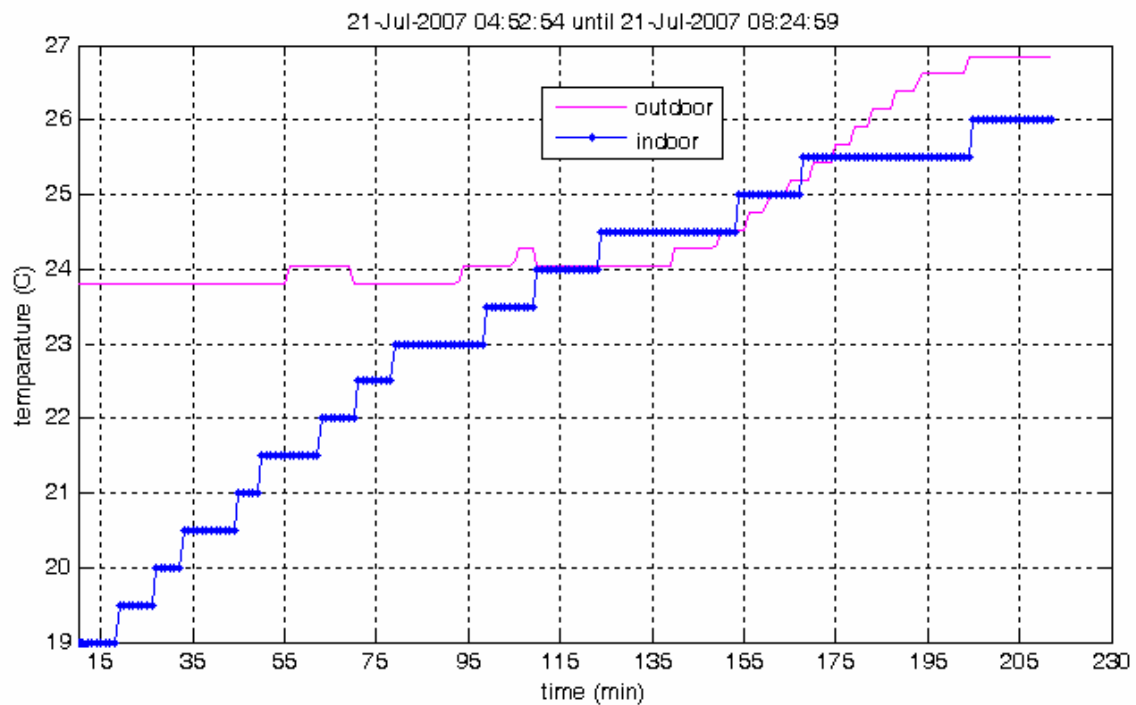


Σχήμα 4.11 Η συνδεσμολογία του χειριστηρίου ελέγχου και του PLC “LOGO!”

Το σύστημα θέρμανσης/ψύξης: 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. Το παρακάτω σχήμα δείχνει πως το συγκεκριμένο σύστημα επιδρά στην εσωτερική θερμοκρασία του χώρου όταν είναι συνεχώς ενεργοποιημένο στην λειτουργία ψύξης ενώ τα παράθυρα είναι κλειστά. Το σύστημα καταφέρνει και μειώνει την θερμοκρασία του χώρου κατά 1,5 – 2,5 βαθμούς Κελσίου την ώρα (πιθανόν να μείωνε την θερμοκρασία ακόμα περισσότερο αν λειτουργούσε για περισσότερο χρόνο).



Σχήμα 4.12 Επίδραση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης στην εσωτερική θερμοκρασία του χώρου όταν είναι συνεχώς ενεργοποιημένο στην λειτουργία ψύξης



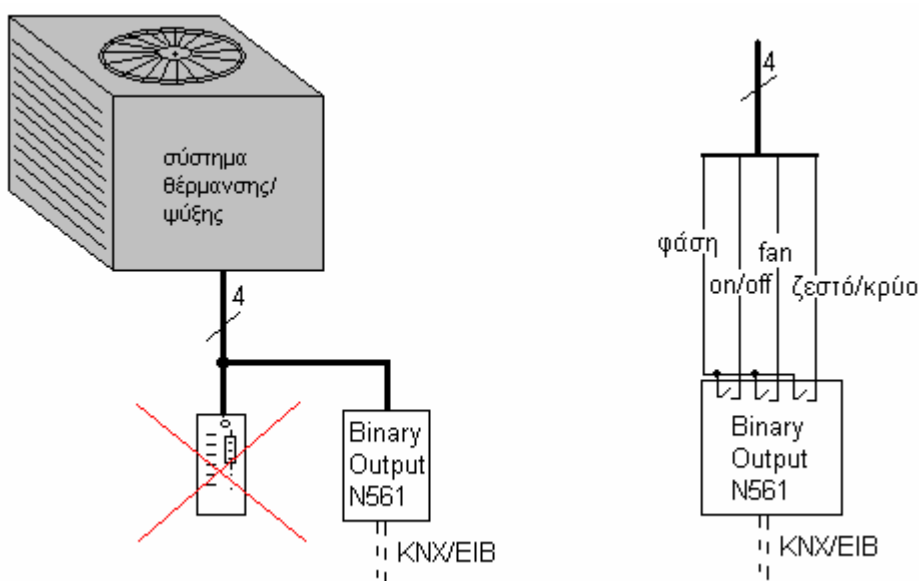
Σχήμα 4.13 Αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου όταν δεν δουλεύει το σύστημα θέρμανσης / ψύξης (παράθυρα κλειστά)

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.

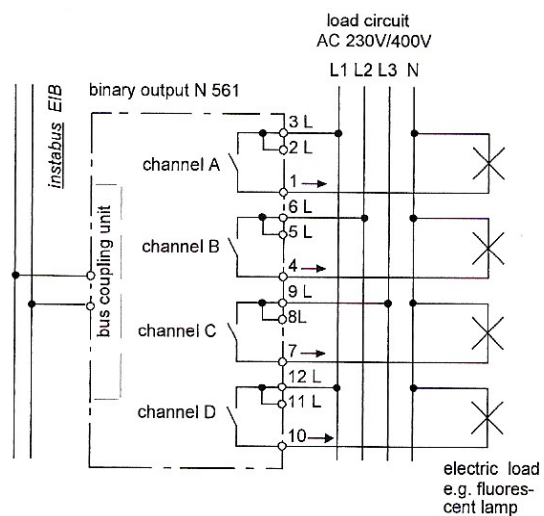
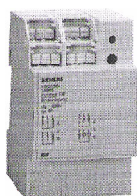
on / off	Heat / cool	out	Λειτουργία
0	0	0	εκτός λειτουργίας
0	0	1	εκτός λειτουργίας
0	1	0	εκτός λειτουργίας
0	1	1	εκτός λειτουργίας
1	0	0	ανακύκλωση αέρα
1	0	1	λειτουργία στο κρύο
1	1	0	ανακύκλωση αέρα
1	1	1	λειτουργία στο ζεστό

Πίνακας 2. Λειτουργία του συστήματος θέρμανσης/ψύξης σε σχέση με τις λογικές τιμές των καλωδίων ελέγχου



Σχήμα 4.14 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.



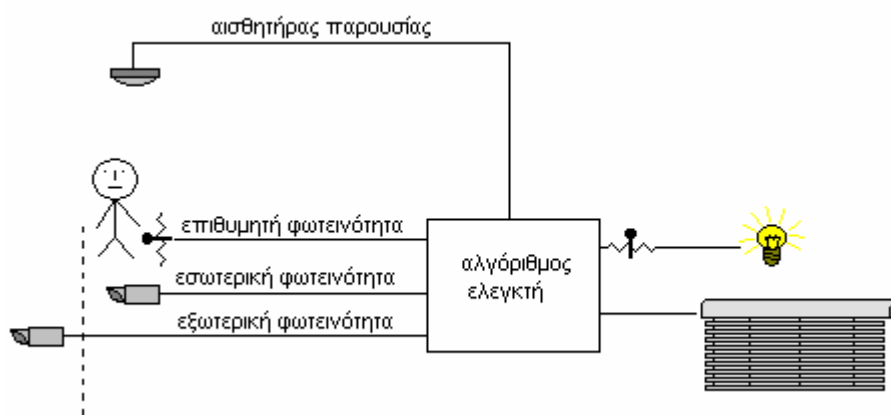
Σχήμα 5.15 Binary Output N561

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

Κεφάλαιο 5 – Έλεγχος οπτικής άνεσης

5.1 Γενικά

Στον έλεγχο οπτικής άνεσης υπάρχουν 4 είσοδοι και 2 έξοδοι. Οι είσοδοι είναι το σήμα του εσωτερικού και του εξωτερικού αισθητήρα φωτεινότητας, η τιμή της επιθυμητής φωτεινότητας και ο αισθητήρας παρουσίας.

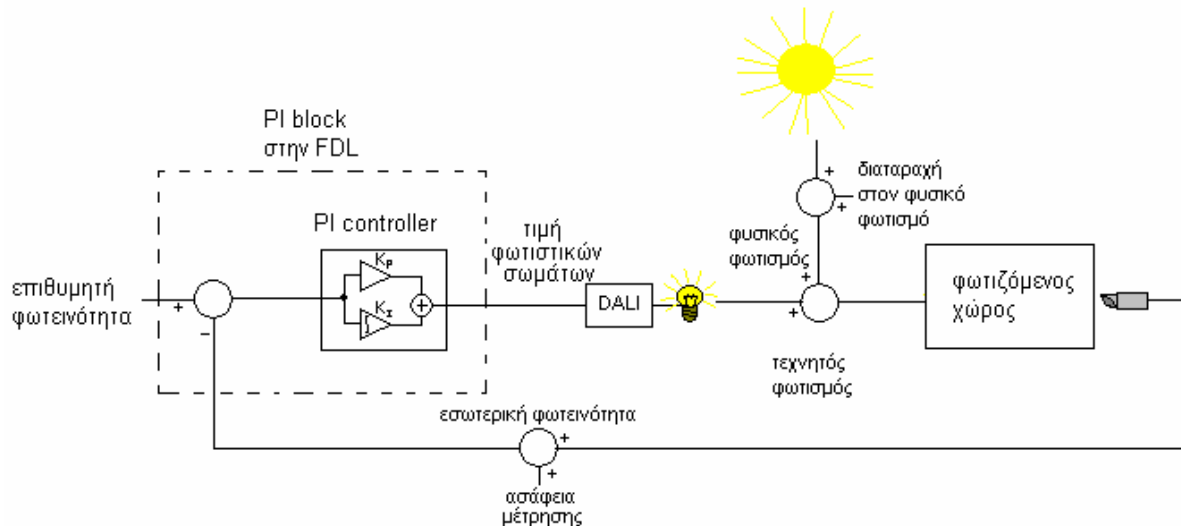


Σχήμα 5.1 Έλεγχος οπτικής άνεσης

Ο πρώτος αισθητήρας είναι συσκευή KNX/EIB, ο δεύτερος είναι αισθητήρας συνδεδεμένος στην KNX/EIB συσκευή weather station ενώ η τιμή της επιθυμητής φωτεινότητας εισάγεται από τον χρήστη μέσω του χειριστηρίου ελέγχου με ποτενσιόμετρο. Ο αισθητήρας παρουσίας δεν υπάρχει στον εξοπλισμό του εργαστηρίου αλλά θα ήταν καλό να υπήρχε. Η λειτουργία του θα ήταν απλά να απενεργοποιεί τα φώτα όταν δεν υπάρχει κάποιος άνθρωπος στον χώρο. Αυτοί οι αισθητήρες δίνουν σήμα στο PLC “LOGO!” το οποίο αποφασίζει τις τιμές που θα πάρουν οι έξοδοι. Οι έξοδοι του συστήματος είναι η τιμή που θα πάρουν τα φωτιστικά σώματα (εύρος τιμών 0-255, ή αλλιώς 0-100%) και η θέση των σκιάστρων. Τα φωτιστικά σώματα ελέγχονται όλα από κοινού (δηλαδή έχουν όλα την ίδια τιμή φωτεινότητας) μέσω της συσκευής DALI ενώ τα σκιάστρα ελέγχονται μέσω της KNX/EIB συσκευής shutter switch.

5.2 Έλεγχος φωτιστικών σωμάτων

Για τον έλεγχο των φωτιστικών σωμάτων χρησιμοποιήθηκε PI control μέσω του ομώνυμου block σε FDL του PLC.



Σχήμα 5.2 Έλεγχος φωτιστικών σωμάτων

Η τιμή της επιθυμητής φωτεινότητας εισάγεται από τον χρήστη με ένα ποτενσιόμετρο από το χειριστήριο ελέγχου. Ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακού (A/D) του “LOGO!” έχει ανάλυση 10 bit και για λόγους στρογγυλοποίησης μπορεί να δώσει τμές 0 - 1000 (αντί 0 – 1023 που είναι κανονικά). Αυτή η τιμή διαιρείται με το 2,2 έτσι ώστε να συμπίπτει με το εύρος της φωτεινότητας που μπορεί να επιτευχθεί μέσα στο εργαστήριο. Έτσι 0 - 454 είναι το εύρος της τιμής της επιθυμητής φωτεινότητας σε Lux. Ο διαθέσιμος PI ελεγκτής, ο οποίος υλοποιείται με ένα block στην γλώσσα FDL, παίρνει ως είσοδο την τιμή της επιθυμητής φωτεινότητας και το σήμα ανάδρασης που είναι το σήμα του αισθητήρα φωτισμού εσωτερικού χώρου. Ο PI ελεγκτής του PLC δίνει τιμή 0-255 (0-100%) στον ενεργοποιητή φωτισμού (συσκευή DALI) με αποτέλεσμα να φωτίζεται ο χώρος. Επίσης ο χώρος φωτίζεται και με φυσικό τρόπο από τον ήλιο η φωτεινότητα του οποίου δεν είναι σταθερή (εναλλαγή μέρας-νύχτας, σύννεφα κτλ.). Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η εσωτερική φωτεινότητα όταν δεν υπάρχει φυσικός φωτισμός είναι περίπου 400 lux. Ο αισθητήρας φωτισμού μετράει την τιμή της φωτεινότητας και την στέλνει στο PLC και συγκεκριμένα στον PI ελεγκτή.

5.2.1 Ο PI ελεγκτής

Οι κάθε είδους ελεγκτές αναλαμβάνουν να δίνουν κάθε χρονική στιγμή σήμα στο ελεγχόμενο σύστημα (plant) έτσι ώστε να πετυχαίνεται γρήγορη απόκριση, μικρό σφάλμα μόνιμης κατάστασης, ευστάθεια, μικρή υπερύψωση, ανοσία στον θόρυβο, στις διαταράξεις του συστήματος κ.α. [13][14]. Οι PI ελεγκτές λαμβάνουν στην είσοδο τους την διαφορά της επιθυμητής τιμής με την πραγματική τιμή από τον αισθητήρα ανάδρασης.

είσοδος στο PI = επιθυμητή τιμή – πραγματική τιμή

ή με άλλα λόγια

$$\mathbf{input(t) = set_point(t) - feedback(t)}$$

Η έξοδος τους είναι το άθροισμα ενός αναλογικού και ενός διαφορικού όρου

$$\mathbf{output(t) = K_p * input(t) + K_i * \int input(t)}$$

όπου το K_p και K_i είναι οι παράμετροι του ελεγκτή. Όσο πιο μεγάλο είναι το K_p και το K_i τόσο πιο γρήγορη είναι η απόκριση του συστήματος αλλά τόσο πιο ασταθές και με μεγαλύτερη υπερύψωση γίνεται. Επίσης το K_i εκμηδενίζει το τελικό σφάλμα (σφάλμα μόνιμης κατάστασης) ενώ ένας τρίτος διαφορικός όρος (K_d) θα βελτίωνε την ευστάθεια. Πρέπει ανάλογα με την εφαρμογή να ρυθμιστούν οι όροι K_p και K_i έτσι ώστε να έχουμε την επιθυμητή απόκριση (ο αγγλικός όρος για αυτήν την διαδικασία είναι tuning).

Δύστυχώς η μαθηματική περιγραφή του συγκεκριμένου συστήματος δεν υπάρχει γι' αυτό η ρύθμιση πρέπει να γίνει με κάποια εμπειρική μέθοδο. Στην αρχή δοκιμάστηκε να γίνει με την μέθοδο *trial and error* δηλαδή χωρίς την χρήση κάποιας γνωστής αξιόπιστης μεθόδου, το αποτέλεσμα δεν ήταν αποδεκτό καθώς το σύστημα είτε οδηγούνταν σε μόνιμη ταλάντωση είτε είχε πολύ αργή απόκριση.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος *Ziegler-Nichols* [13][15]. Στην μέθοδο αυτή απενεργοποιείται ο ολοκληρωτικός όρος ($K_i=0$) και αυξάνεται η τιμή του K_p μέχρι το σύστημα να οδηγηθεί σε ταλάντωση αλλά όχι σε κορεσμό της εξόδου. Η συγκεκριμένη τιμή του K_p ονομάζεται $K_{critical}$ και η αντίστοιχη περίοδος της ταλάντωσης ονομάζεται $P_{critical}$. Στην συνέχεια υπολογίζεται ότι ο PI ελεγκτής θα πρέπει να έχει $K_p=0,45*K_{critical}$ και $K_i=1,2*K_p/P_{critical}$. Στην συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκε ότι **$K_p=0,5$** και **$K_i=0,25$** . Στην FDL οι ρυθμίσεις του PI ελεγκτή γίνονται με τις παραμέτρους K_c το οποίο αντιστοιχεί στο K_p και με το T_i το οποίο ισούται με $1/K_i$. Έτσι το K_c επιλέχθηκε να είναι 0,5 και το T_i έγινε 4 sec.

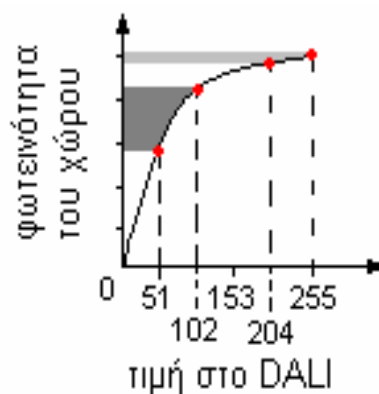
Χρησιμοποιήθηκε ανάδραση επειδή η φωτεινότητα ρυθμίζεται έτσι με μεγαλύτερη ακρίβεια χωρίς να υπάρχει περιττή σπατάλη ενέργειας. Επίσης το σύστημα παρέχει την σωστή φωτεινότητα ακόμα και όταν για οποιοδήποτε λόγο το σύστημα διαταραχθεί όπως για παράδειγμα επειδή ένα σύννεφο έκρυψε τον ήλιο ή κάποιος άλλαξε την θέση της κουρτίνας ή σταμάτησε να λειτουργεί κάποιο από τα πολλά φωτιστικά σώματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο PI ελεγκτής αντισταθμίζει τις οποιεσδήποτε διαταραχές.

Επίσης θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί έλεγχος on/off αντί για PI control, δηλαδή οι 10 ομάδες φωτιστικών σωμάτων θα μπορούσαν είτε να ενεργοποιούνται είτε να απενεργοποιούνται. Αυτό όμως θα ήταν πολύ πιο πολύπλοκο, λιγότερο ακριβές και θα χρησιμοποιούσε πολλά blocks στην FDL (το PI χρησιμοποιεί μόλις 1)

5.2.2 Ιδιαιτερότητες του συστήματος

Το παραπάνω σύστημα έχει τις εξής ιδιαιτερότητες:

- α) δεν υπάρχει μαθηματική περιγραφή και γι' αυτό δεν μπορεί να βρεθεί για αυτό ο βέλτιστος ελεγκτής
- β) ο φυσικός φωτισμός αλλάζει αργά και έτσι ο PI ελεγκτής μπορεί να αντισταθμίζει
- γ) ο ενεργοποιητής φωτισμού DALI δεν είναι γραμμικός δηλαδή η φωτεινότητα που προκαλεί δεν εξαρτάται γραμμικά από την τιμή 0-255 που του δίνεται ως είσοδο από το PLC. Η σχέση εισόδου/εξόδου περιγράφεται στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3 Μη γραμμικότητα της συσκευής DALI

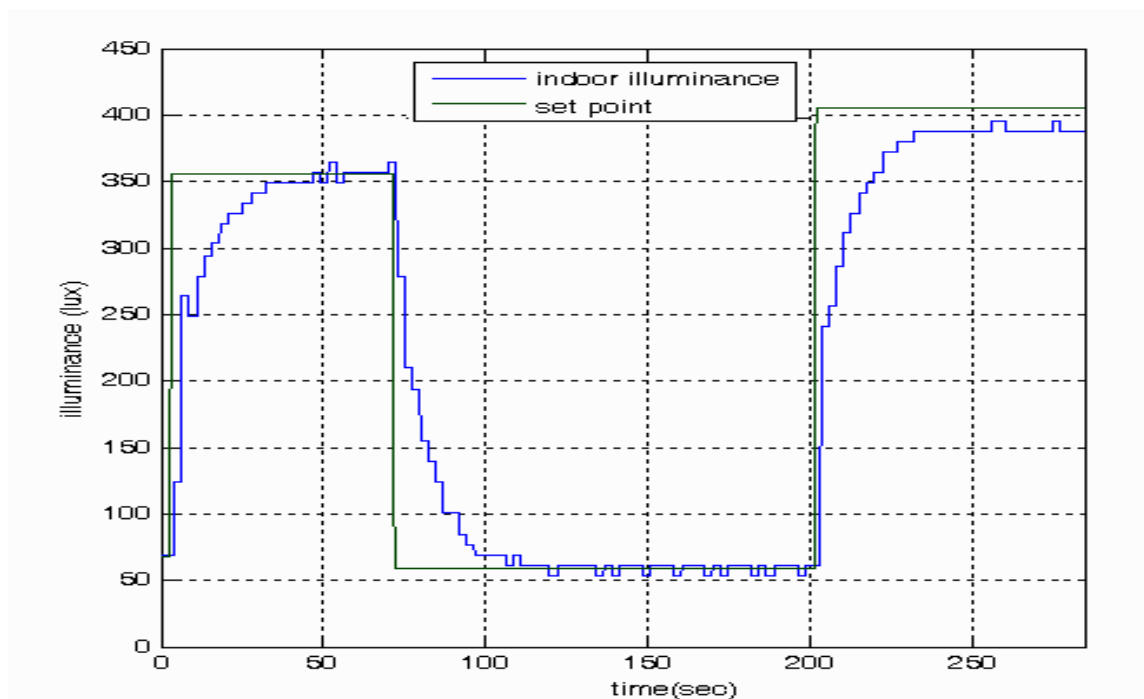
- δ) όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο PI ελεγκτής έχει έναν πολύ σημαντικό περιορισμό, η τιμή εξόδου του αλλάζει κάθε 500ms, αυτό τον κάνει ακατάλληλο για να ελέγξει συστήματα που αλλάζουν γρήγορα.

ε) το όλο σύστημα εκτός από μη γραμμικό είναι και διακριτό με αποτέλεσμα να χάνει σε ακρίβεια.

στ) ο αισθητήρας φωτισμού είναι συνδεδεμένος στο bus KNX/EIB όπως και όλες οι άλλες συσκευές, συνεπώς δεν μπορεί να χρησιμοποιεί όλη την χωρητικότητα του διαύλου. Γι 'αυτό έχει ρυθμιστεί να στέλνει το σήμα του μόνο όταν αλλάζει η φωτεινότητα κατά 8 lux έτσι ώστε να απασχολεί τον δίαυλο μόνο το 1-2% σε κατάσταση ισορροπίας και το 5-6% σε κατάσταση αλλαγής της φωτεινότητας. Αυτό οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της ακρίβειας και της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος

ζ) η τιμή της φωτεινότητας δεν είναι κάτι που πρέπει να χρειάζεται να ελεγχθεί με ακρίβεια αφού μια διακύμανση ± 30 lux γύρω από το επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας είναι αποδεκτή.

Ο ελεγκτής PI αν και είναι απλός, αργός και καλείται να ελέγξει ένα μη γραμμικό σύστημα το οποίο έχει περιορισμούς λόγω της ταχύτητας του διαύλου καταφέρνει να το ελέγχει ικανοποιητικά.



Σχήμα 5.4 Έλεγχος φωτισμού με PI ελεγκτή όταν δεν υπάρχει φυσικός φωτισμός

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι το set point προσεγγίζεται με ακρίβεια 3% σε περίπου 35 δευτερόλεπτα.

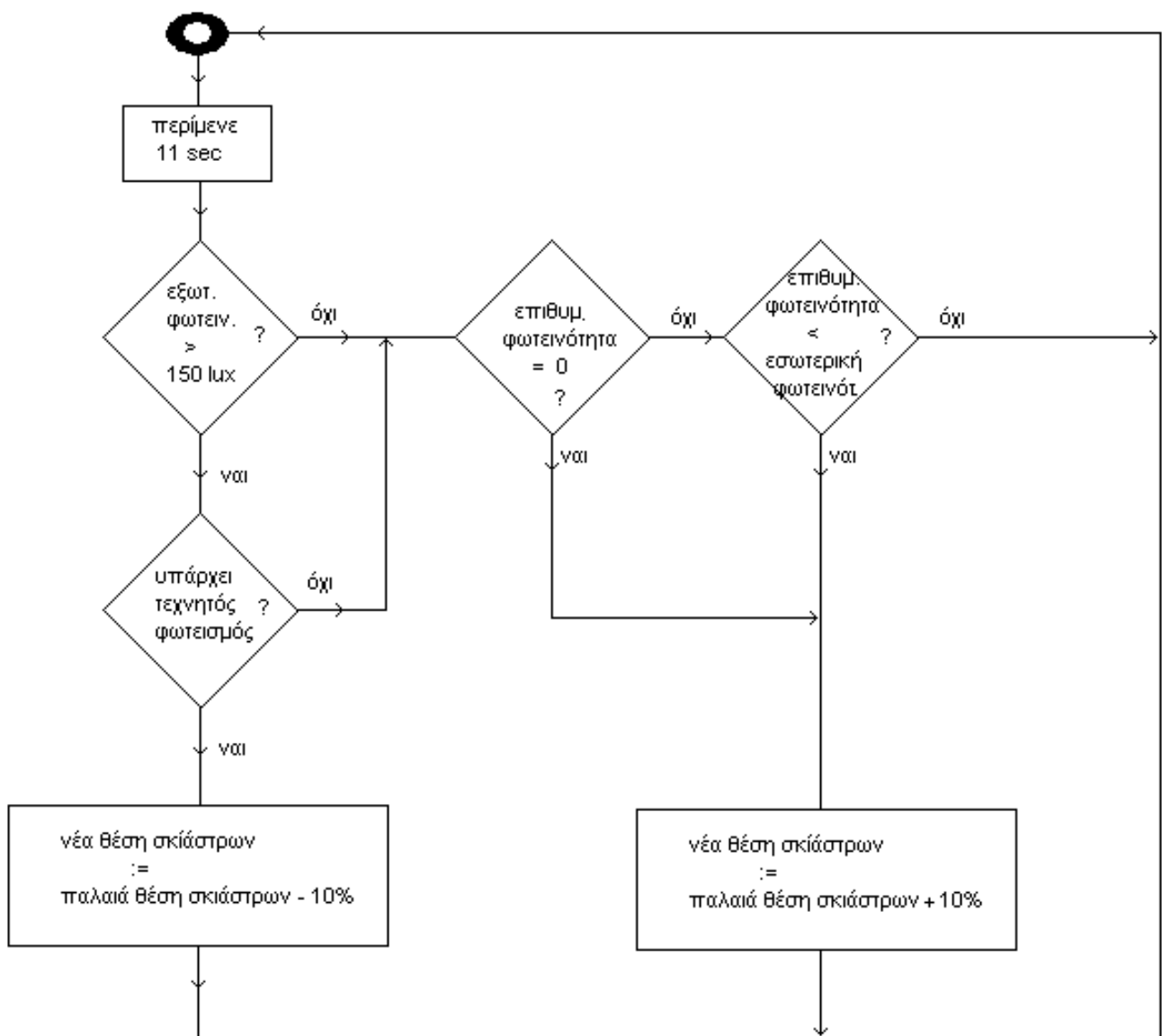
5.3 Έλεγχος σκιάστρων

Υπάρχουν περιπτώσεις που ο χρήστης ζητάει πολύ μεγάλη τιμή για την φωτεινότητα και το σύστημα δεν μπορεί να του την προσφέρει ακόμα και αν όλα τα φωτιστικά σώματα πάρουν την μέγιστη τιμή 100%. Επίσης υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες ο χρήστης ζητάει λιγότερη φωτεινότητα από αυτήν που αποκτάει ο χώρος όταν όλα τα φωτιστικά σώματα πάρουν την τιμή 0 (είναι δηλαδή κλειστά). Χρησιμοποιώντας σκίαστρα μπορούμε να κάνουμε τον χώρο να φωτίζεται ή όχι με φυσικό τρόπο. Αυτός ο τρόπος φωτισμού ονομάζεται παθητικός φωτισμός και με αυτόν μπορούμε να κάνουμε εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης με τα σκίαστρα μπορούμε να δημιουργήσουμε τεχνητή συσκότιση εφ' όσον το επιθυμούμε. Ένας άλλος τρόπος να κάνουμε εξοικονόμηση ενέργειας με τα σκίαστρα είναι να τα ανοίγουμε τον χειμώνα για να μπαίνει φως και να θερμαίνεται ο χώρος και να τα κλείνουμε το καλοκαίρι για τον ίδιο λόγο.

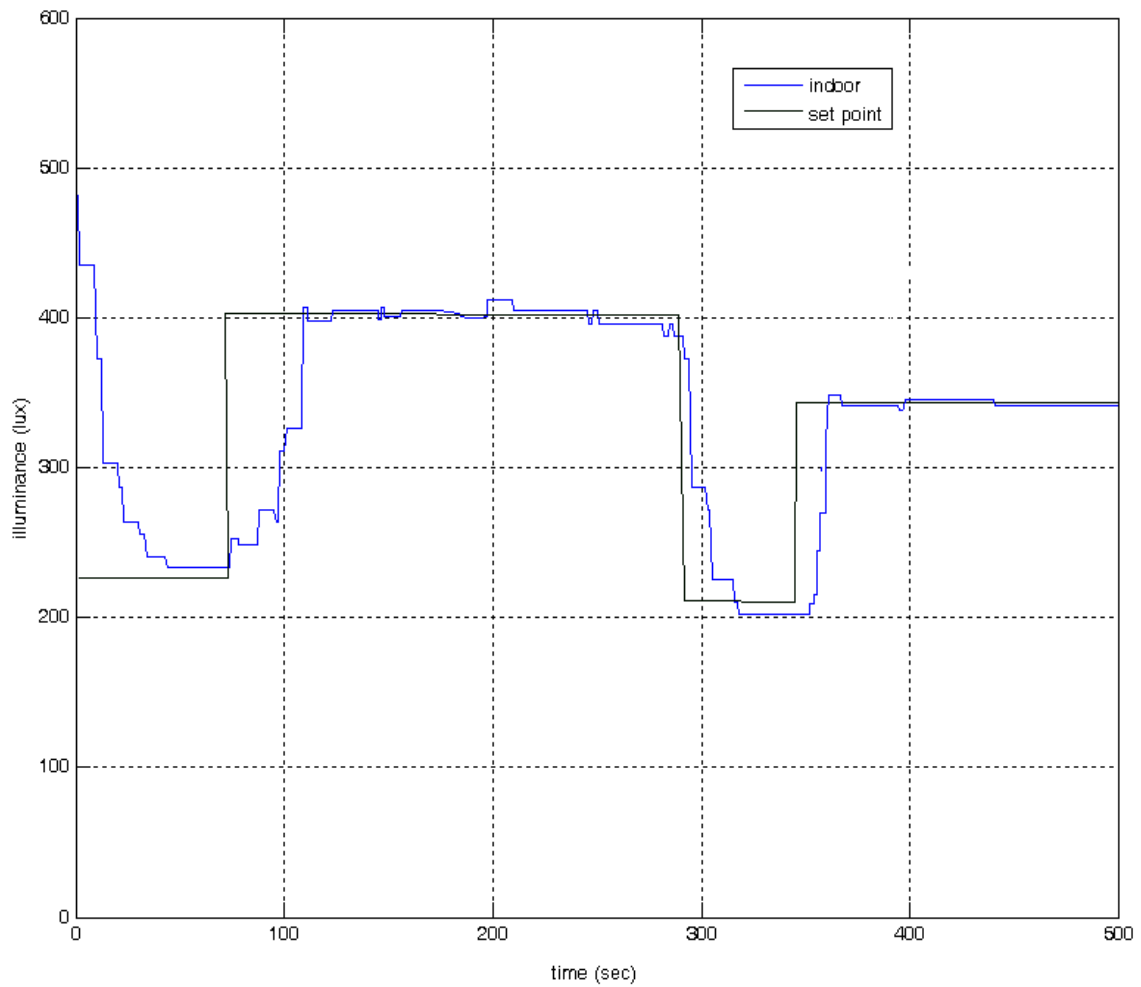
Τα σκίαστρα ρυθμίστηκαν έτσι ώστε να μπορούν να πάρουν 10 διαφορετικές τιμές σε ποσοστιαία κλίμακα επί τοις εκατό όπου το 0% αντιστοιχεί σε σκίαστρα ανοικτά και το 100% σε σκίαστρα κλειστά. Κάθε φορά τα σκίαστρα μπορούν να πηγαίνουν σε κάποια γειτονική θέση ή να παραμένουν στην ίδια, έτσι αν για παράδειγμα βρίσκονται στην θέση 50% τότε μπορούν να πάνε στην θέση 40% (πιο ανοικτά), στην θέση 60% (πιο κλειστά) ή να παραμείνουν στην ίδια θέση. Το κριτήριο για να πάνε τα σκίαστρα στην γειτονική θέση που αντιστοιχεί σε “πιο ανοικτά” είναι να είναι μέρα (ο αισθητήρας εξωτερικής φωτεινότητας να έχει τιμή μεγαλύτερη από 150 lux) και να υπάρχει τεχνητός φωτισμός (να έχουν ενεργοποιηθεί τα φωτιστικά σώματα). Σε αντίθεση το κριτήριο για να πάνε τα σκίαστρα στην γειτονική θέση που αντιστοιχεί σε “πιο κλειστά” είναι το επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας να είναι 0 ή να είναι μικρότερο από την εσωτερική φωτεινότητα. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις τα σκίαστρα παραμένουν στην ίδια θέση. Τα σκίαστρα μπορούν να αλλάξουν θέση 1 φορά ανά 11 δευτερόλεπτα, αυτό οδηγεί σε συνολικό χρόνο περίπου 2 λεπτά από για να μεταβούν τα σκίαστρα από την θέση 0% στην θέση 100%.



Σχήμα 5.5 Υπολογισμός θέσης σκιάστρων



Σχήμα 5.6 Υπολογισμός θέσης σκιάστρων

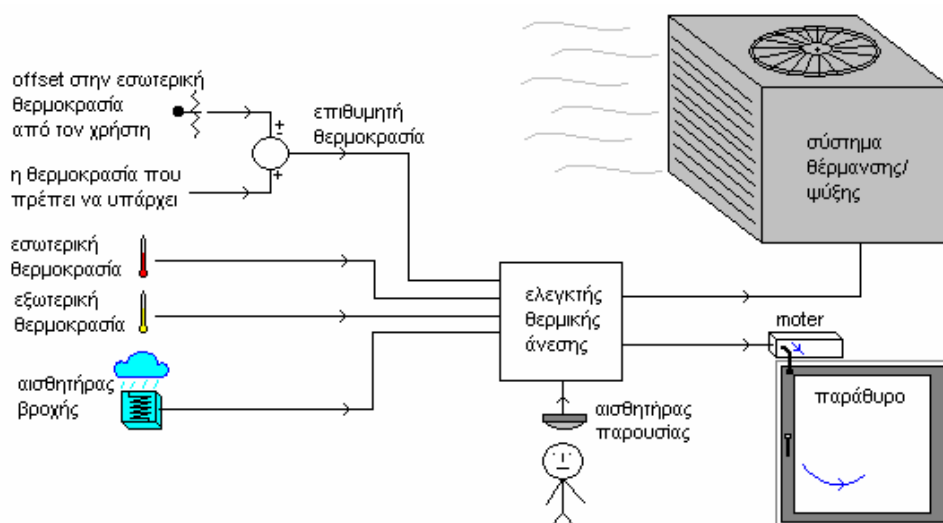


Σχήμα 5.7 Πειραματικές μετρήσεις για τις θέσεις των σκιάστρων όταν δεν υπάρχει τεχνητός φωτισμός

Κεφάλαιο 6 – Έλεγχος θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα

6.1 Έλεγχος μόνο θερμικής άνεσης

Η μεταβλητή η οποία επηρεάζει περισσότερο την τιμή της συνάρτησης PMV και κατ' επέκταση την θερμική άνεση είναι η θερμοκρασία. Οι υπόλοιπες μεταβλητές την επηρεάζουν μόνο εφόσον παίρνουν ακραίες τιμές. Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να διατηρείται η θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα χρησιμοποιώντας μεθόδους ενεργητικής (σύστημα θέρμανσης / ψύξης) και παθητικής (άνοιγμα παραθύρων).



Σχήμα 6.1 Έλεγχος θερμικής άνεσης

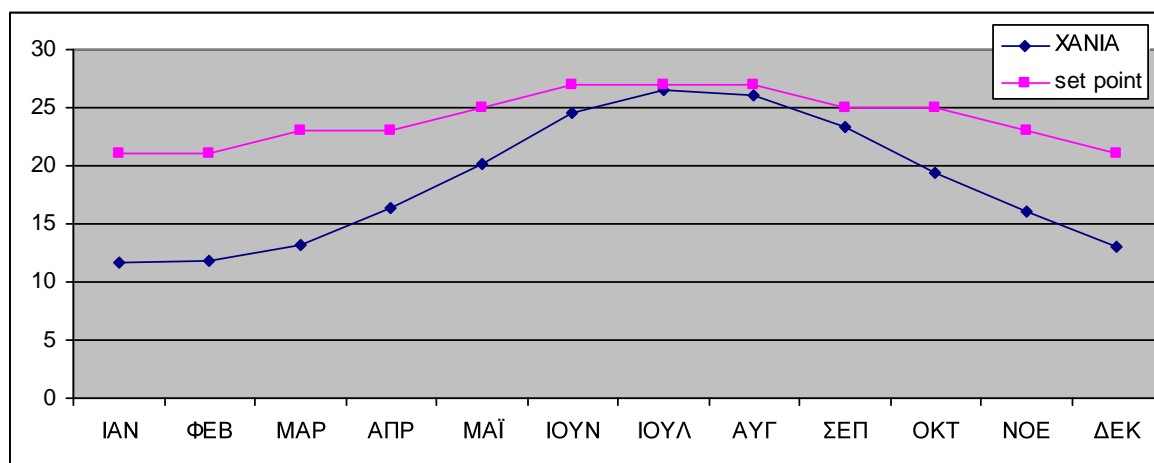
6.1.1 Επιθυμητή θερμοκρασία

Για να κάνει παράλληλα το σύστημα εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να ρυθμίζεται στην κατάλληλη επιθυμητή θερμοκρασία. Πολλοί άνθρωποι δεν γνωρίζουν ποια είναι η κατάλληλη θερμοκρασία ανά εποχή του χρόνου, έτσι πολλές φορές βλέπουμε συστήματα ψύξης (air conditioners) να είναι ρυθμισμένα το καλοκαίρι στους 20°C ή συστήματα θέρμανσης να είναι το καλοκαίρι ρυθμισμένα στους 27°C. Αυτό όχι μόνο οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας, αλλά είναι και επικίνδυνο για την υγεία. Επίσης, ο ρουχισμός των ανθρώπων είναι διαφορετικός από εποχή σε εποχή. Έτσι για παράδειγμα, κάποια θερμοκρασία που τον χειμώνα θεωρείται ιδανική (21-23°C), το καλοκαίρι θα θεωρείται χαμηλή. Για αυτό, το παρόν σύστημα

φτιάχτηκε έτσι ώστε να αποφασίζει αυτόματα ποια θα είναι η επιθυμητή θερμοκρασία λαμβάνοντας υπ' όψιν την ημερομηνία. Έτσι οι μήνες χωρίστηκαν σε 4 ομάδες, τους *πολύ καλοκαιρινούς*, τους *λίγο καλοκαιρινούς*, τους *λίγο χειμερινούς* και τους *πολύ χειμερινούς*. Σε κάθε μία από αυτές τις ομάδες αντιστοιχεί σε μία επιθυμητή θερμοκρασία. Επίσης ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αυξομειώσει την τιμή της επιθυμητής θερμοκρασίας που αποφασίζει το σύστημα για αυτόν κατά $2,5^{\circ}\text{C}$, αυτό γίνεται για να μπορούν να αντιμετωπιστούν οι περιπτώσεις που το σύστημα κάνει λάθος επιλογή στην επιθυμητή θερμοκρασία (π.χ. ο Μάιος που ανήκει στους *λίγο καλοκαιρινούς* μήνες να έχει θερμοκρασίες που παραπέμπουν σε *πολύ καλοκαιρινό* μήνα όπως ο Ιούλιος) αλλά και για να μπορεί να ικανοποιηθεί ο κάθε απαιτητικός χρήστης.

	Μήνες	θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
Πολύ καλοκαιρινοί	Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος	27
λίγο καλοκαιρινοί	Μάιος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος	25
λίγο χειμερινοί	Μάρτιος, Απρίλιος, Νοέμβριος	23
πολύ χειμερινοί	Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος	21

Πίνακας 6.1 Ομαδοποίηση των μηνών και αντίστοιχη επιθυμητή θερμοκρασία

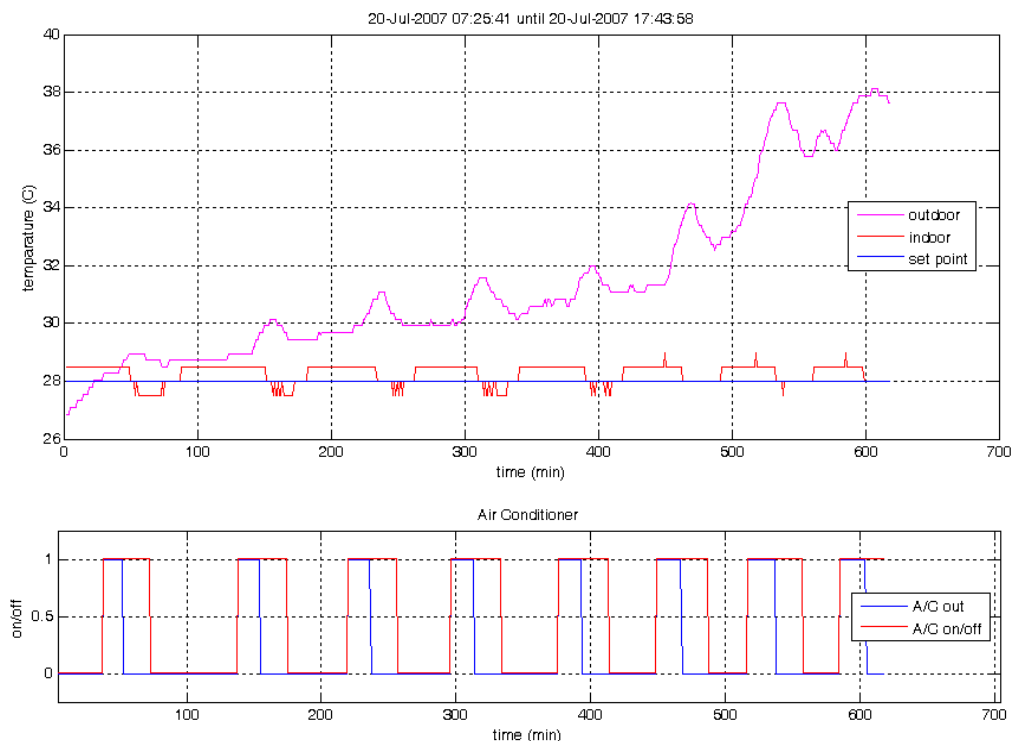


Σχήμα 6.2 Μέση θερμοκρασία στα Χανιά[13] και προτεινόμενη επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας ανά μήνα

Στο παραπάνω σχήμα (με μπλε χρώμα) φαίνεται η μέση θερμοκρασία ανά μήνα στα Χανιά. Ημέρα με νύχτα μπορεί να υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας ακόμα και 15°C , γι' αυτό η αντίστοιχη καμπύλη μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά την διάρκεια μόνο της ημέρας θα ήταν πιο ψηλά.

6.1.2 Ενεργητική θέρμανση / ψύξη

Η ενεργητική θέρμανση / ψύξη είναι η διαδικασία κατά την οποία ξοδεύεται ενέργεια από κάποιο σύστημα θέρμανσης / ψύξης με σκοπό την αλλαγή της θερμοκρασίας του χώρου. Η ενεργητική θέρμανση εφαρμόζεται όταν η επιθυμητή θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική και η εξωτερική είναι μικρότερη από την εσωτερική. Ενώ η ενεργητική ψύξη εφαρμόζεται όταν η επιθυμητή θερμοκρασία είναι μικρότερη από την εσωτερική και η εξωτερική είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική. Η μέθοδος που ακολουθείται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η απλή και αξιόπιστη μέθοδος του θερμοστάτη. Για να μην ανοίγει και κλείνει συνεχώς το κύκλωμα του θερμοστάτη γύρω από το σημείο ισορροπίας (επιθυμητή θερμοκρασία) υπάρχει ένας τεχνητός βρόγχος υστέρησης (deadband). Έτσι, το σύστημα θέρμανσης / ψύξης σταματάει την λειτουργία του μόνο όταν ξεπεραστεί η επιθυμητή θερμοκρασία κατά $0,5^{\circ}\text{C}$ και όχι όταν εξισωθεί η εσωτερική με την επιθυμητή θερμοκρασία και αρχίζει πάλι να λειτουργεί όταν η διαφορά των δύο θερμοκρασιών είναι 1°C . Στον αλγόριθμο του ελεγκτή έχει απενεργοποιηθεί η δυνατότητα θέρμανσης τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και η δυνατότητα ψύξης τους χειμερινούς. Οι μετρήσεις που ακολουθούν έγιναν όλες σε καλοκαιρινούς μήνες γι' αυτό και δεν υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία.



Σχήμα 6.3 Ενδεικτική λειτουργία ενεργητικής ψύξης

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ενδεικτικά η λειτουργία της ενεργητικής ψύξης. Παρατηρείται ότι η επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας διατηρείται με ακρίβεια 0,5°C όσο είναι δηλαδή η ακρίβεια του αισθητήρα εσωτερικής θερμοκρασίας και το deadband. Υπενθυμίζεται ότι όταν σήμα *A/C out* καθώς και το σήμα *A/C on/off* είναι στο on, τότε είναι ενεργοποιημένο το σύστημα θέρμανσης / ψύξης ενώ όταν είναι μόνο το σήμα *A/C on/off* στο on τότε είναι ενεργοποιημένη ανακύκλωση του αέρα έτσι ώστε να μην βγει εκτός λειτουργίας το σύστημα θέρμανσης / ψύξης λόγω δημιουργίας πάγου (σύμφωνα με τον κατασκευαστή).

	Μήνες	ενεργ. ψύξη	ενεργ. θέρμ.
πολύ καλοκαιρινοί	Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος	ναι	x
λίγο καλοκαιρινοί	Μάιος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος	ναι	x
λίγο χειμερινοί	Μάρτιος, Απρίλιος, Νοέμβριος	x	ναι
πολύ χειμερινοί	Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος	x	ναι

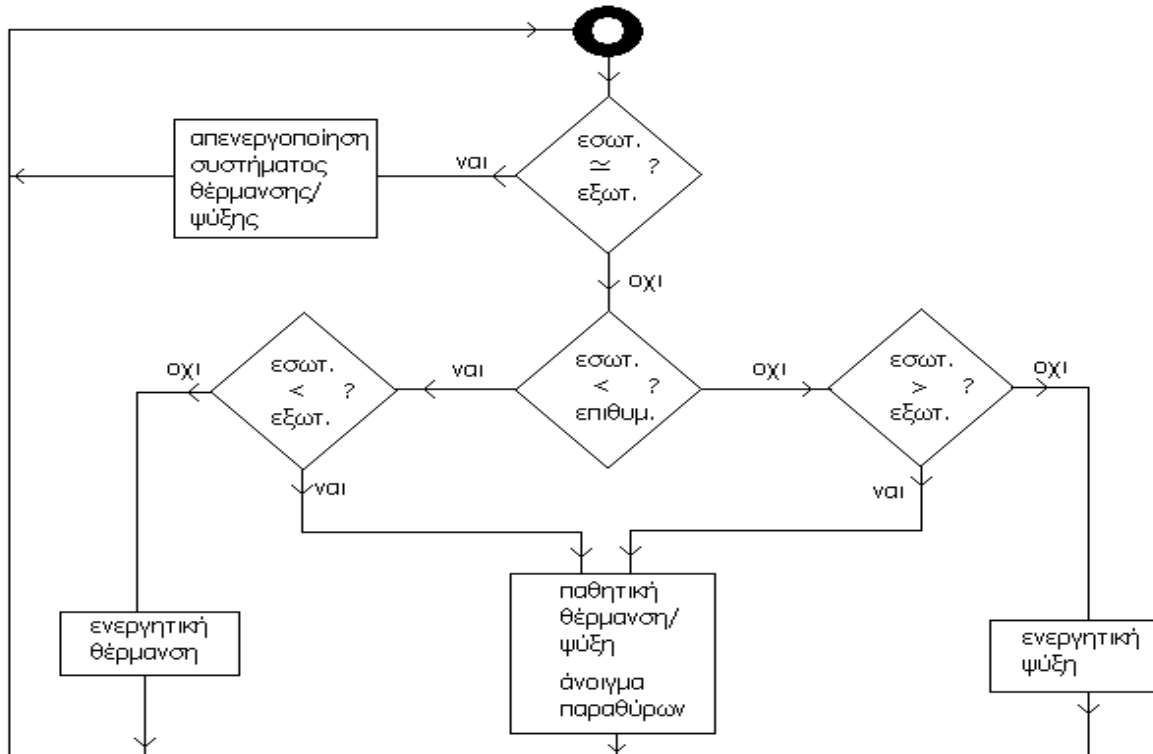
Πίνακας 6.2 Δυνατότητες ενεργητικής θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα

6.1.3 Παθητική θέρμανση / ψύξη

Η παθητική θέρμανση / ψύξη είναι η διαδικασία κατά την οποία αλλάζει η θερμοκρασία του χώρου χωρίς κατανάλωση ενέργειας (π.χ. με το άνοιγμα παραθύρων, πόρτας και σκιάστρων). Σε αντίθεση με την ενεργητική θέρμανση / ψύξη όπου μπορεί να εφαρμόζεται πάντα εφόσον υπάρχει σύστημα θέρμανσης / ψύξης, η παθητική θέρμανση / ψύξη δεν μπορεί να εφαρμόζεται το ίδιο συχνά αφού εξαρτάται από την εξωτερική θερμοκρασία, από την ύπαρξη ηλιακού φωτός, από την ταχύτητα του ανέμου και από την ύπαρξη βροχής. Έχει όμως το πλεονέκτημα ότι δεν καταναλώνει καθόλου ενέργεια (η ενέργεια για την κίνηση των κινητήρων που ανοίγουν παράθυρα και σκιάστρα θεωρείται αμελητέα). Έτσι τους καλοκαιρινούς μήνες προτιμάται τα σκιάστρα να είναι κλειστά ενώ τους χειμερινούς προτιμάται να είναι ανοικτά. Επίσης αποφεύγεται να ανοίγουν τα παράθυρα όταν βρέχει ή όταν η ταχύτητα του αέρα είναι πολύ μεγάλη. Και πάλι υπάρχει η μέθοδος του θερμοστάτη με deadband έτσι ώστε να ανοίγουν τα παράθυρα όταν πρέπει και να μην εμφανίζονται ταλαντώσεις (συνεχές άνοιγμα – κλείσιμο παραθύρων).

6.1.4 Επιλογή παθητικής ή ενεργητικής θέρμανσης και ψύξης

Το ακόλουθο σχήμα περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο αποφασίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία



Σχήμα 6.4 Επιλογή παθητικής ή ενεργητικής θέρμανσης και ψύξης

6.2 Έλεγχος μόνο ποιότητας αέρα

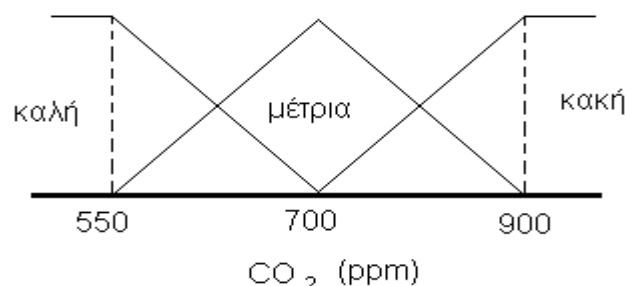
6.2.1 Γενικά

Η ποιότητα του αέρα εξαρτάται από πλήθος από παράγοντες όπως το CO₂, τα VOC (CO, καπνός τσιγάρου, όζον, NO₂, hydrogen sulfide, particulates κ.α.) και την σχετική υγρασία[17]. Από όλους αυτούς τους παράγοντες ο πιο σημαντικός είναι το CO₂. Στον εξοπλισμό του εργαστηρίου υπάρχει αισθητήρας CO₂ και VOC (ο τελευταίος δίνει μία τιμή 0-10V για όλα τα VOC). Αν και το CO₂ πολλές φορές δεν είναι υπεύθυνο από μόνο του για την κακή ποιότητα του αέρα, εν τούτοις μια υψηλή συγκέντρωση CO₂ πολλές φορές υποδεικνύει ότι υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις από ουσίες VOC. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως η ένδειξη του αισθητήρα CO₂ ενώ η ένδειξη του αισθητήρα VOC χρησιμοποιείται συμπληρωματικά. Η συγκέντρωση του CO₂ μετράται σε ppm (parts per million) και

τα φυσιολογικά επίπεδα σε εξωτερικό χώρο είναι 300-400 ppm ενώ σε εσωτερικό χώρο είναι συνήθως μεγαλύτερα. Οι καλώς αεριζόμενοι εσωτερικοί χώροι έχουν συγκέντρωση CO₂ 600 – 1000 ppm ενώ καλό είναι η συγκέντρωση αυτή να διατηρείται κάτω από 800 ppm. Σε περιπτώσεις που η συγκέντρωση ξεπεράσει τα 1000 ppm τότε οι χρήστες δεν θα αισθάνονται άνετα σε αυτόν τον χώρο χωρίς αυτό να σημαίνει πως η ποιότητα του αέρα είναι επικίνδυνη για την υγεία τους.

6.2.2 Μέτρηση της ποιότητας του αέρα

Για την μέτρηση της ποιότητας του αέρα προφανώς χρησιμοποιείται ο αισθητήρας *Siemens QPA63.2* ο οποίος μετράει την συγκέντρωση του CO₂ και δίνει μια εκτίμηση για τα VOC. Με βάση τα δύο παραπάνω σήματα το σύστημα κατατάσσει την ποιότητα αέρα σε 3 επίπεδα, στο *καλή*, *μέτρια* και *κακή*. Όταν CO₂<550 τότε η ποιότητα είναι σίγουρα *καλή*, όταν CO₂>900 τότε είναι σίγουρα *κακή*, όταν 550<CO₂<700 τότε η ποιότητα του αέρα είναι είτε *καλή* είτε *μέτρια* ενώ όταν 700<CO₂<900 τότε είναι είτε *μέτρια* είτε *κακή*.



Σχήμα 6.5 Ποιότητα του αέρα (προσοχή, δεν έχει σχέση με fuzzy logic)

Οι περιοχές ασάφειας 550-700 και 700-900 υπάρχουν λόγω των deadband. Για παράδειγμα η ποιότητα του αέρα θα θεωρείται *καλή* εφόσον η συγκέντρωση είναι μικρότερη από 550, καθώς η συγκέντρωση αυξάνεται θα θεωρείται *καλή* μέχρι να ξεπεράσει το 700, από τότε και μετά θα θεωρείται *μέτρια* μέχρι να γίνει μικρότερη από 550 και γίνει πάλι *καλή* ή ξεπεράσει το 900 οπότε θα θεωρείται *κακή*. Αν λοιπόν ξεπεράσει το 900 και θεωρείται *κακή* τότε θα ξαναγίνει *μέτρια* μόνο όταν γίνει μικρότερη από 700. Άρα όταν η συγκέντρωση είναι στην περιοχή ασάφειας τότε το αν θα θεωρείται *καλή* ή *μέτρια* ή *κακή* εξαρτάται από το τι ήταν τις προηγούμενες στιγμές.

Το σήμα VOC λειτουργεί συμπληρωματικά στο σήμα του CO₂. Όταν το VOC μετρήσει χαμηλή συγκέντρωση από VOC τότε το επίπεδο της ποιότητας του αέρα

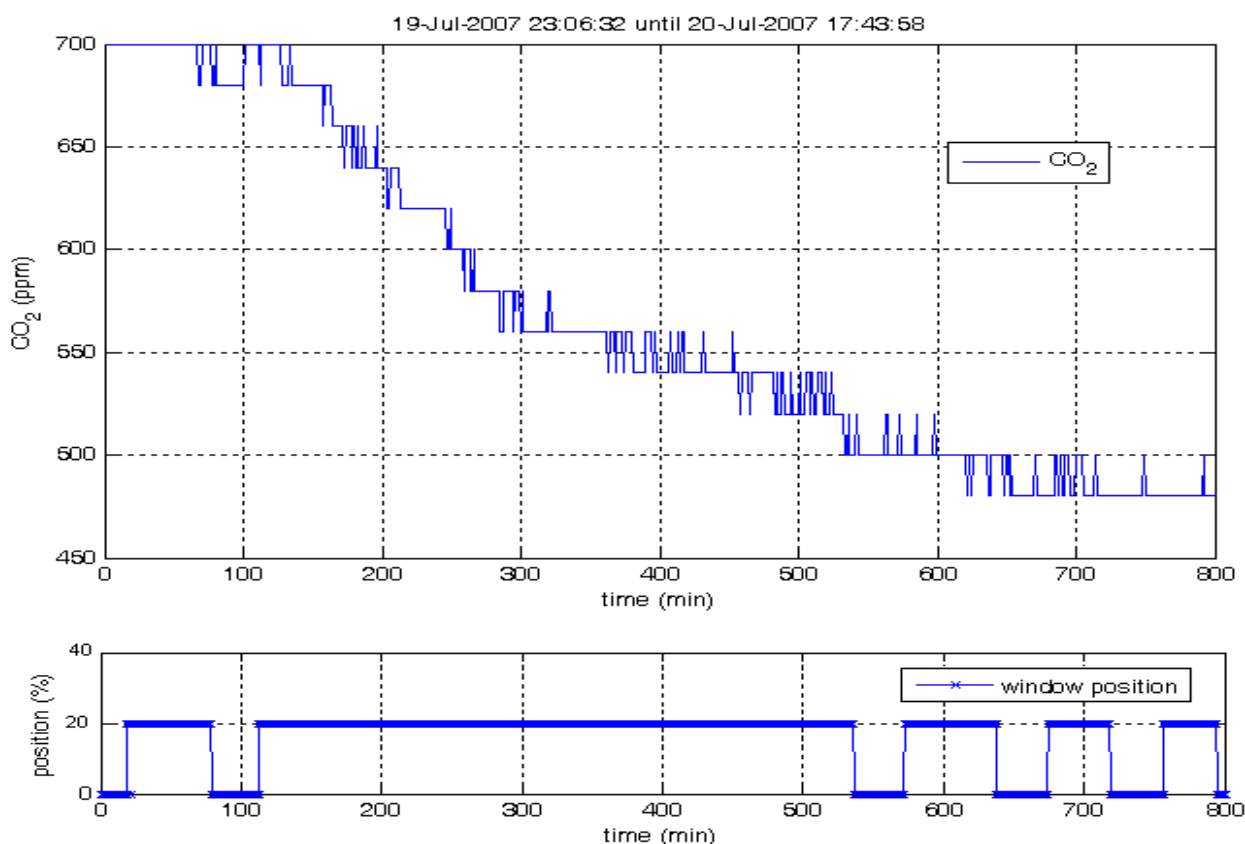
εξαρτάται από το CO₂ ενώ όταν μετρήσει υψηλή συγκέντρωση τότε το επίπεδο της ποιότητας θα γίνει τουλάχιστον μέτριο.

ποιότητα του αέρα σύμφωνα με την μέτρηση CO ₂	συγκέντρωση VOC	τελική απόφαση για την ποιότητα του αέρα
καλή	χαμηλή	καλή
μέτρια	χαμηλή	μέτρια
κακή	χαμηλή	κακή
καλή	υψηλή	μέτρια
μέτρια	υψηλή	μέτρια
κακή	υψηλή	κακή

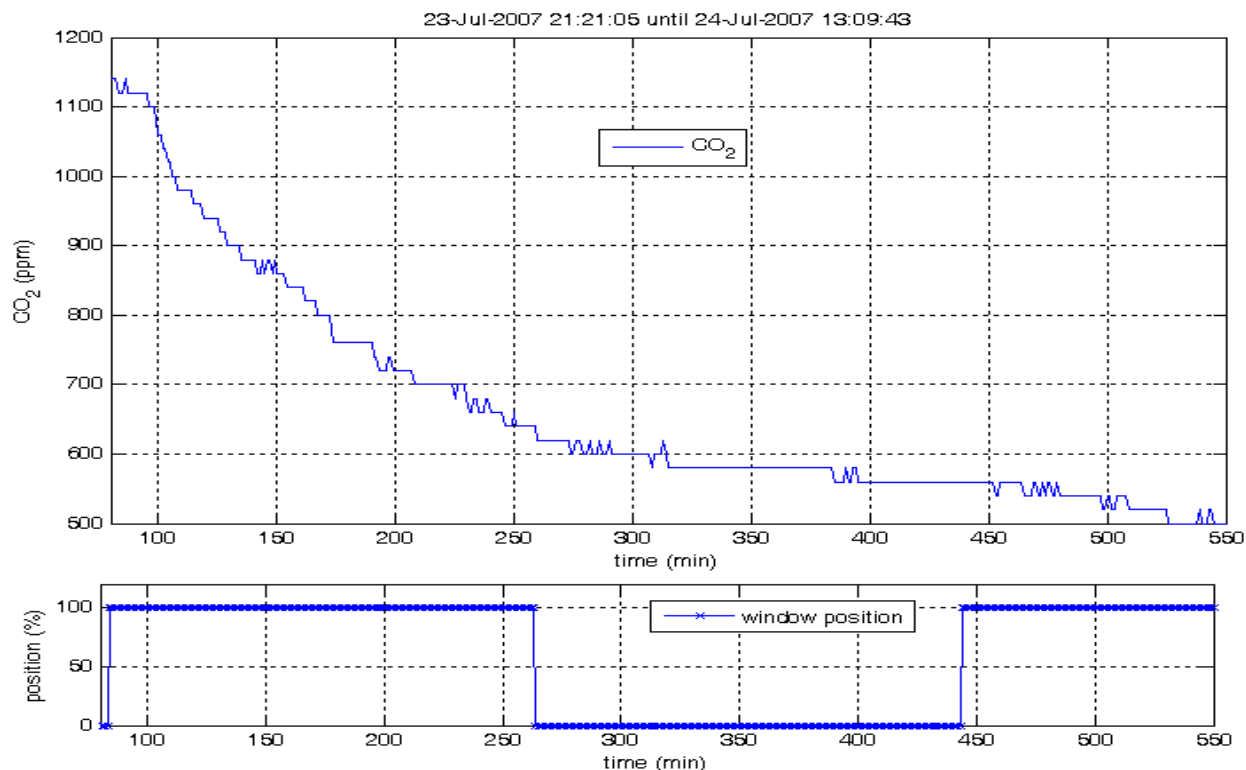
Πίνακας 6.3 Εκτίμηση ποιότητας αέρα

6.2.3 Έλεγχος της ποιότητας του αέρα

Για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα γίνεται το αυτονόητο, ανοίγουν τα παράθυρα για να μπει μέσα καθαρός αέρας. Τα παράθυρα θα ανοίγουν όταν η ποιότητα του αέρα δεν είναι καλή. Ο ρυθμός με τον οποίο χαμηλώνει η συγκέντρωση CO₂ εξαρτάται από το πόσο ανοικτά είναι τα παράθυρα αλλά και από



Σχήμα 6.6 Βελτίωση ποιότητας αέρα με το άνοιγμα παραθύρων στην θέση “λίγο ανοικτά” (20%)



Σχήμα 6.7 Βελτίωση ποιότητας αέρα με το άνοιγμα παραθύρων στην θέση “ανοικτά” (100%)

6.3 Έλεγχος από κοινού θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα

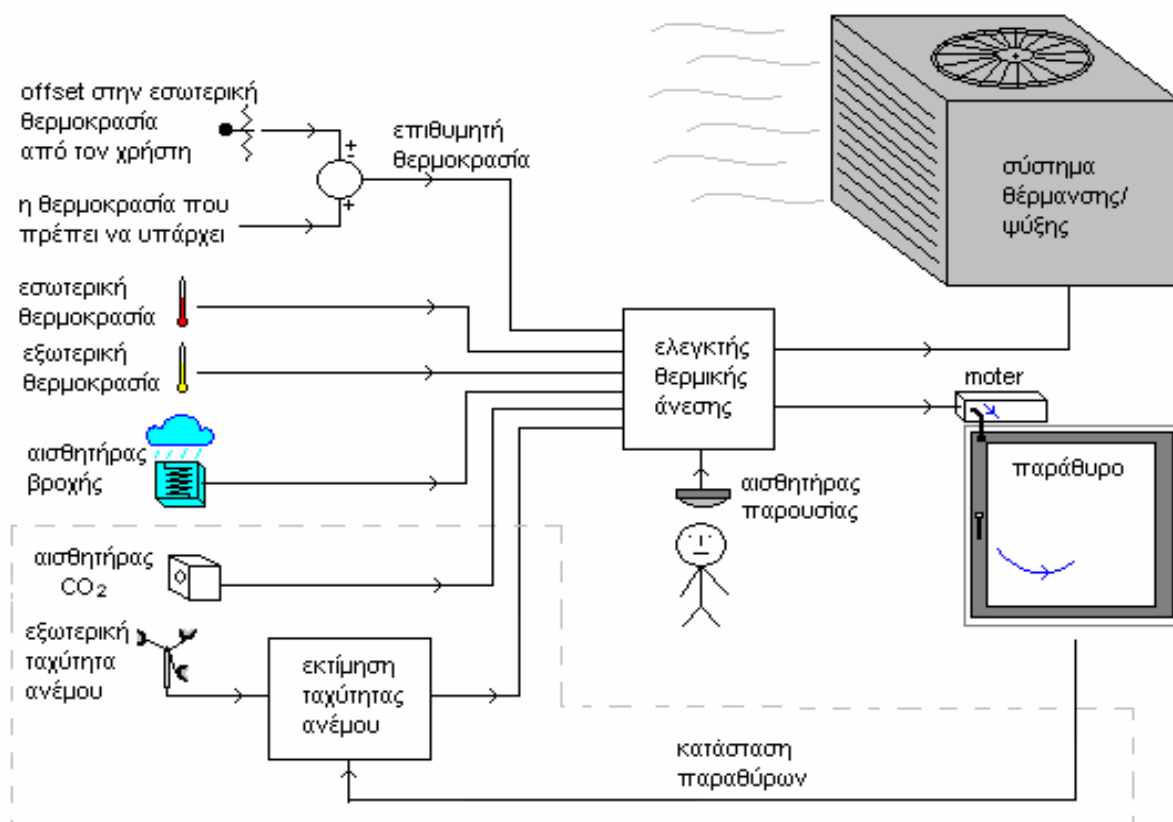
Ενώ ο έλεγχος της οπτικής άνεσης είναι ανεξάρτητος από τους άλλους, δεν συμβαίνει το ίδιο και για τον έλεγχο θερμικής άνεσης με την ποιότητα αέρα. Πρόβλημα υπάρχει όταν για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα πρέπει να ανοίξουν τα παράθυρα, αυτό επηρεάζει την θερμική ισορροπία του χώρου και κάνει το σύστημα θέρμανσης / ψύξης να καταναλώνει περισσότερη ενέργεια για την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας.

Γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται να ανοίγουν τα παράθυρα όταν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης / ψύξης όπως επίσης και όταν βρέχει ή η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μεγάλη. Άρα υπάρχουν δύο αντίρροπες τάσεις όσον αφορά τα παράθυρα, η μία τα θέλει κλειστά (περίπτωση λειτουργίας συστήματος θέρμανσης / ψύξης, βροχής και δυνατού ανέμου) ενώ η άλλη τα θέλει ανοικτά (περίπτωση κακής ποιότητας αέρα). Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν όλες οι πιθανές περιπτώσεις που μπορούν να εμφανιστούν κατά την λειτουργία του συστήματος καθώς και η θέση που αποφασίζεται από σύστημα ότι πρέπει να αποκτήσουν τα παράθυρα.

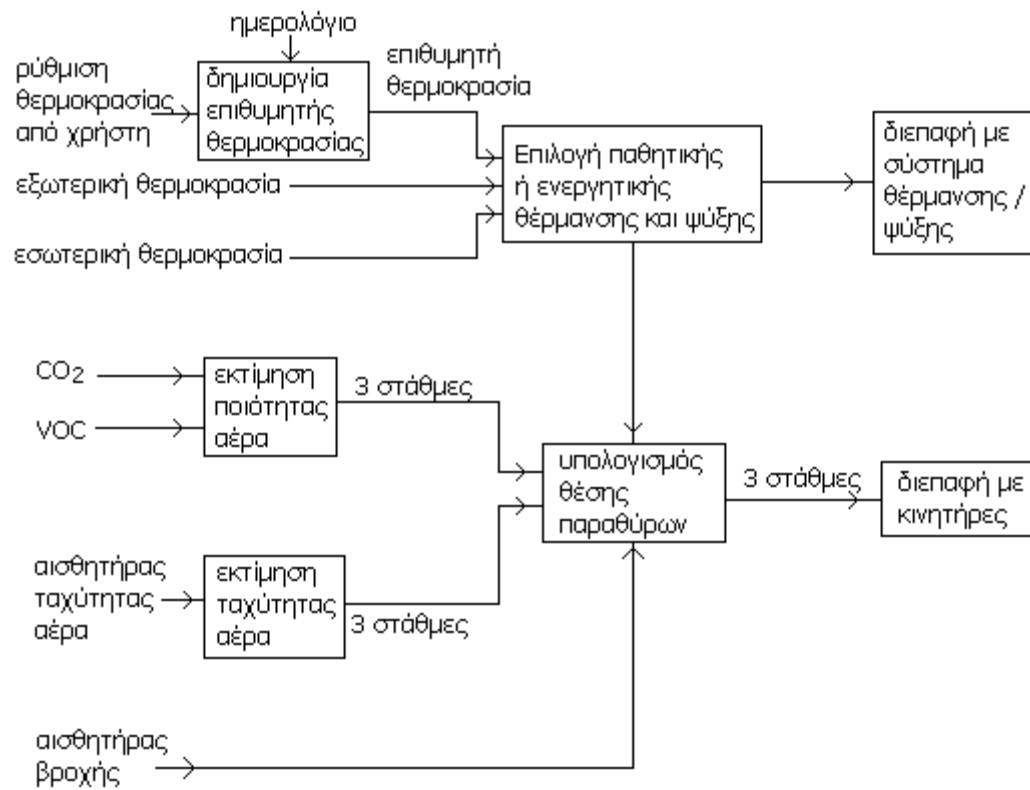
βρέχει ή λειτουργεί το σύστημα Θέρμανσης / ψύξης ή η ταχύτητα του αέρα είναι πολύ μεγάλη	ποιότητα του αέρα κακή	ποιότητα του αέρα μέτρια ή κακή	να γίνει παθητική θέρμανση / ψύξη (άνοιγμα παραθύρων)	θέση παραθύρων
όχι	όχι	όχι	όχι	κλειστά
όχι	όχι	όχι	ναι	ανοικτά
όχι	όχι	ναι	όχι	λίγο ανοικτά
όχι	όχι	ναι	ναι	ανοικτά
όχι	ναι	όχι	όχι	ανοικτά
όχι	ναι	όχι	ναι	ανοικτά
όχι	ναι	ναι	όχι	ανοικτά
όχι	ναι	ναι	ναι	ανοικτά
ναι	όχι	όχι	όχι	κλειστά
ναι	όχι	όχι	ναι	κλειστά
ναι	όχι	ναι	όχι	κλειστά
ναι	όχι	ναι	ναι	λίγο ανοικτά
ναι	ναι	όχι	όχι	λίγο ανοικτά
ναι	ναι	όχι	ναι	λίγο ανοικτά
ναι	ναι	ναι	όχι	λίγο ανοικτά
ναι	ναι	ναι	ναι	λίγο ανοικτά

Πίνακας 6.4 Υπολογισμός θέσης παραθύρων

Όπως φαίνεται τα παράθυρα μπορούν να βρίσκονται σε τρεις διαφορετικές θέσεις, κλειστά (0%), λίγο ανοικτά (20%) και ανοικτά (100%). Η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης / ψύξης δεν επηρεάζεται από του άλλους παράγοντες.



Σχήμα 6.8 Έλεγχος από κοινού θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα



Σχήμα 6.9 Ελεγκτής θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα

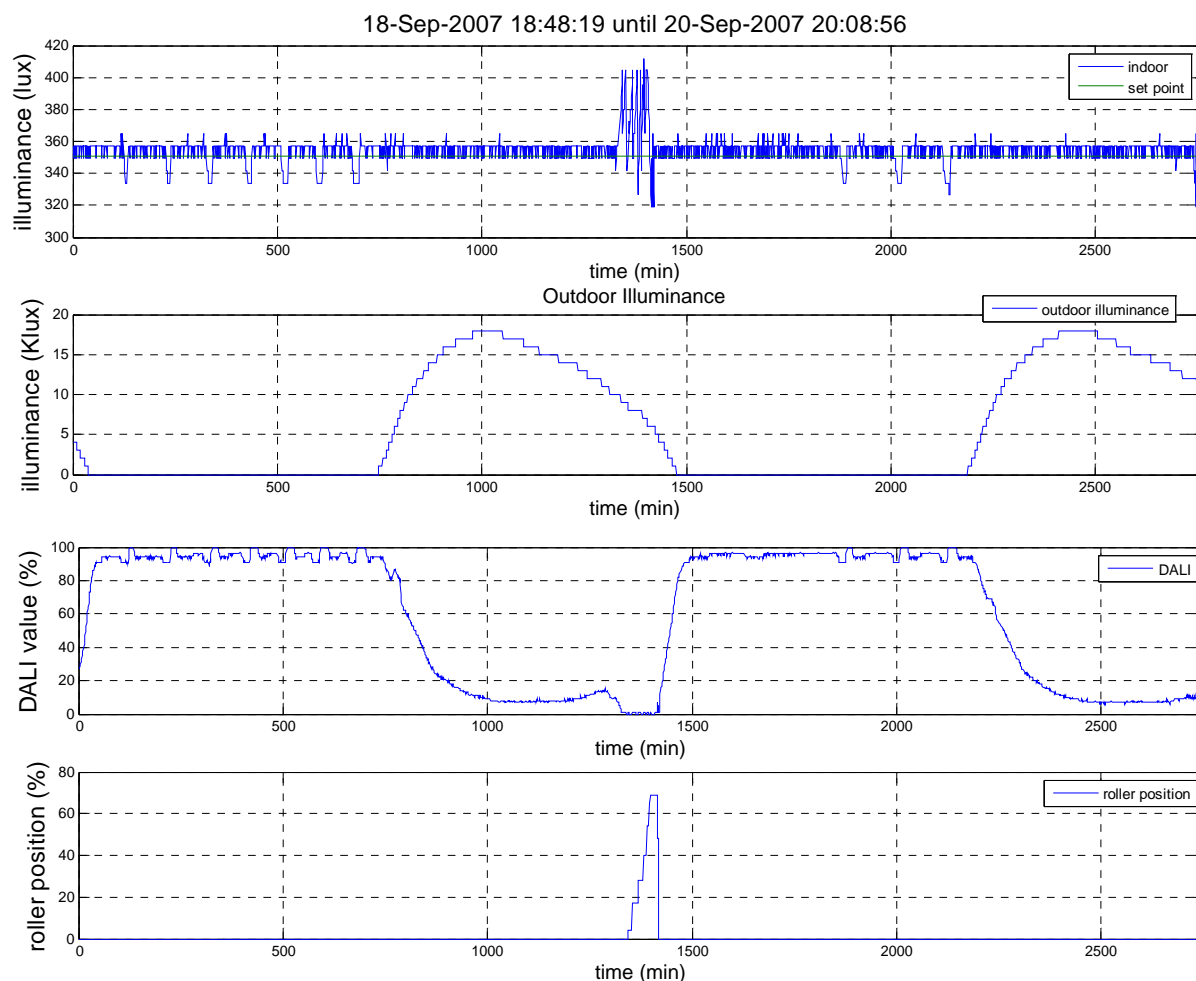
Κεφάλαιο 7 – Πειραματικές μετρήσεις

7.1 Γενικά

Οι πειραματικές μετρήσεις που ακολουθούν πάρθηκαν με το MATLAB 7.3.0, το OPC server toolbox και το EIB – OPC SERVER version 2.0. Το EIB – OPC SERVER είναι ένα πρόγραμμα κατασκευασμένο από την EIBA (KNX association σήμερα) το οποίο μετατρέπει ένα PC σε έναν κόμβο του δικτύου KNX/EIB παρέχοντας την κατάλληλη διεπαφή σε κάποιες γλώσσες προγραμματισμού. Έτσι μπορεί να γίνει πρόσβαση στο δίκτυο με MATLAB scripts χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο toolbox. Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκε MATLAB script το οποίο μία φορά κάθε δευτερόλεπτο διαβάζει τις τιμές όλων των αισθητήρων και των ενεργοποιητών και τις αποθηκεύει σε αρχείο.

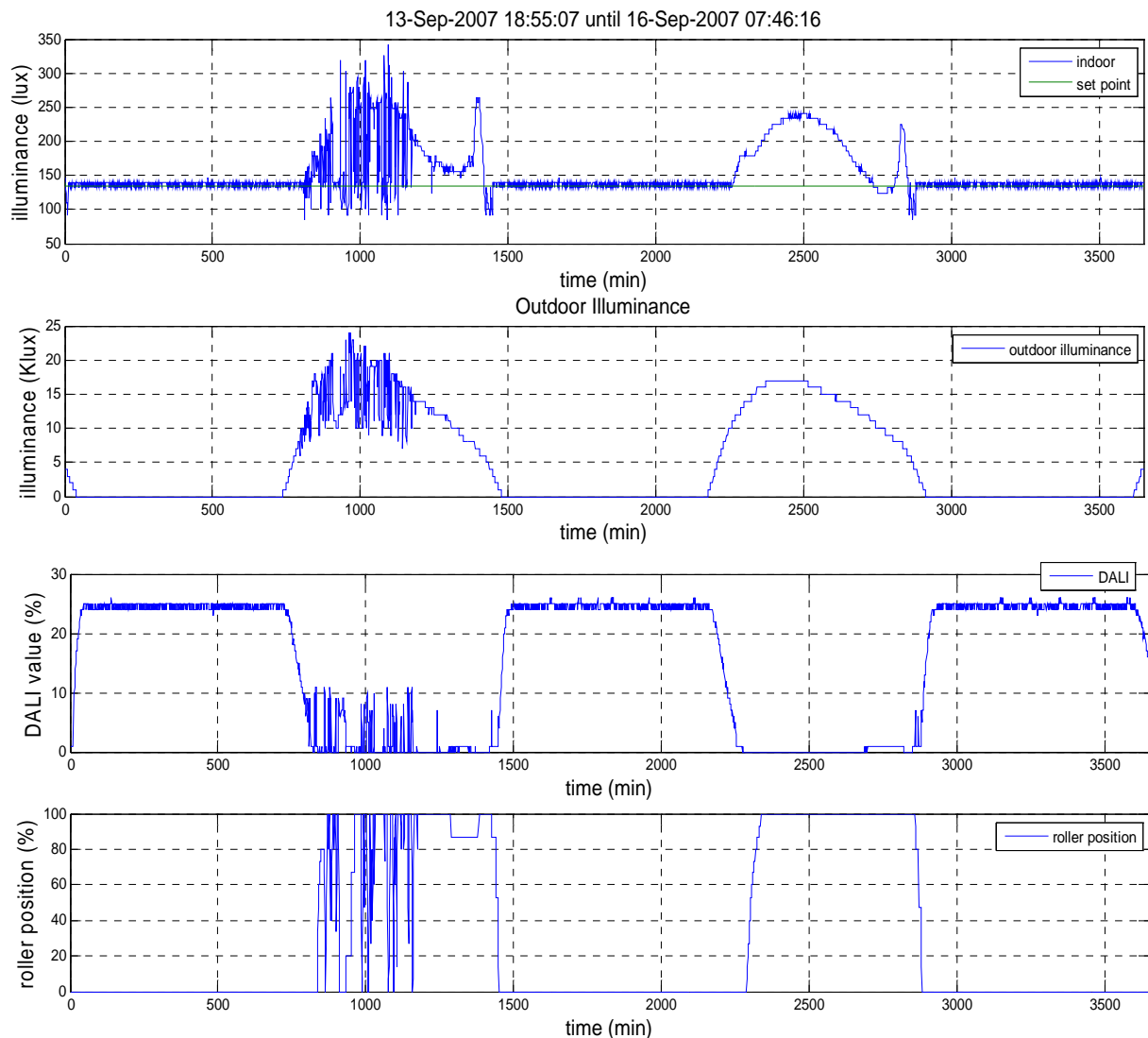
Επίσης από το πρόγραμμα ETS 3 Professional (το πρόγραμμα με το οποίο γίνεται η ρύθμιση του δικτύου) μετρήθηκε το ποσοστό χρήσης του δικτύου για την συγκεκριμένη εφαρμογή το οποίο είναι 6% σε συνθήκες αδράνειας και μέχρι 15% όταν γίνεται προσπάθεια να επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές. Το συμπέρασμα είναι το γενικώς αργό δίκτυο KNX/EIB των 9600 bits/sec είναι υπεραρκετό για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

7.2 Οπτική άνεση



Σχήμα 7.1 Πειραματικές μετρήσεις για την οπτική άνεση
(υψηλό επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας)

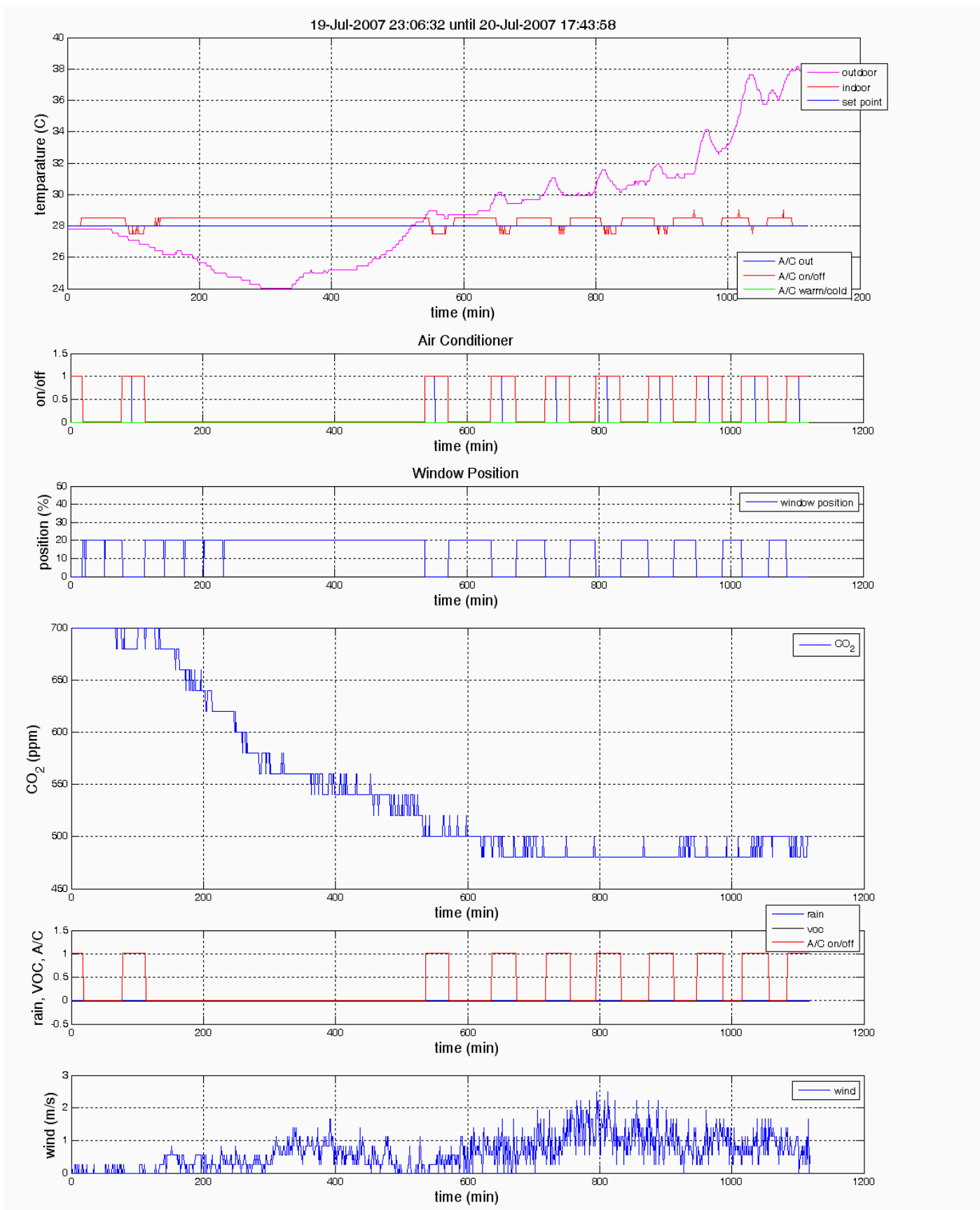
Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πάρθηκαν κατά την διάρκεια 2 ημερών. Το επιθυμητό επίπεδο έχει τεθεί σχετικά ψηλά (350 lux) και για αυτό τα σκίαστρα είναι ανοικτά σχεδόν σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Η μη γραμμικότητα του ενεργοποιητή τεχνητού φωτισμού DALI εισάγει μια αστάθεια στο σύστημα όταν νυχτώνει την πρώτη μέρα των μετρήσεων (μετρήσεις από 1350 min έως 1450 min) καθώς είναι πολύ ευαίσθητο όταν η τιμή του είναι μικρή (κοίτα σχήμα 5.3). Παρ' όλα αυτά η εσωτερική φωτεινότητα διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα καθώς η μέση τιμή της είναι 355 lux. Η απόκλιση από την επιθυμητή τιμή είναι κατά μέσο όρο 5 lux ενώ η μεγαλύτερη απόκλιση που καταγράφηκε ήταν περίπου 50 lux κατά την διάρκεια της αστάθειας το οποίο είναι ικανοποιητικό.



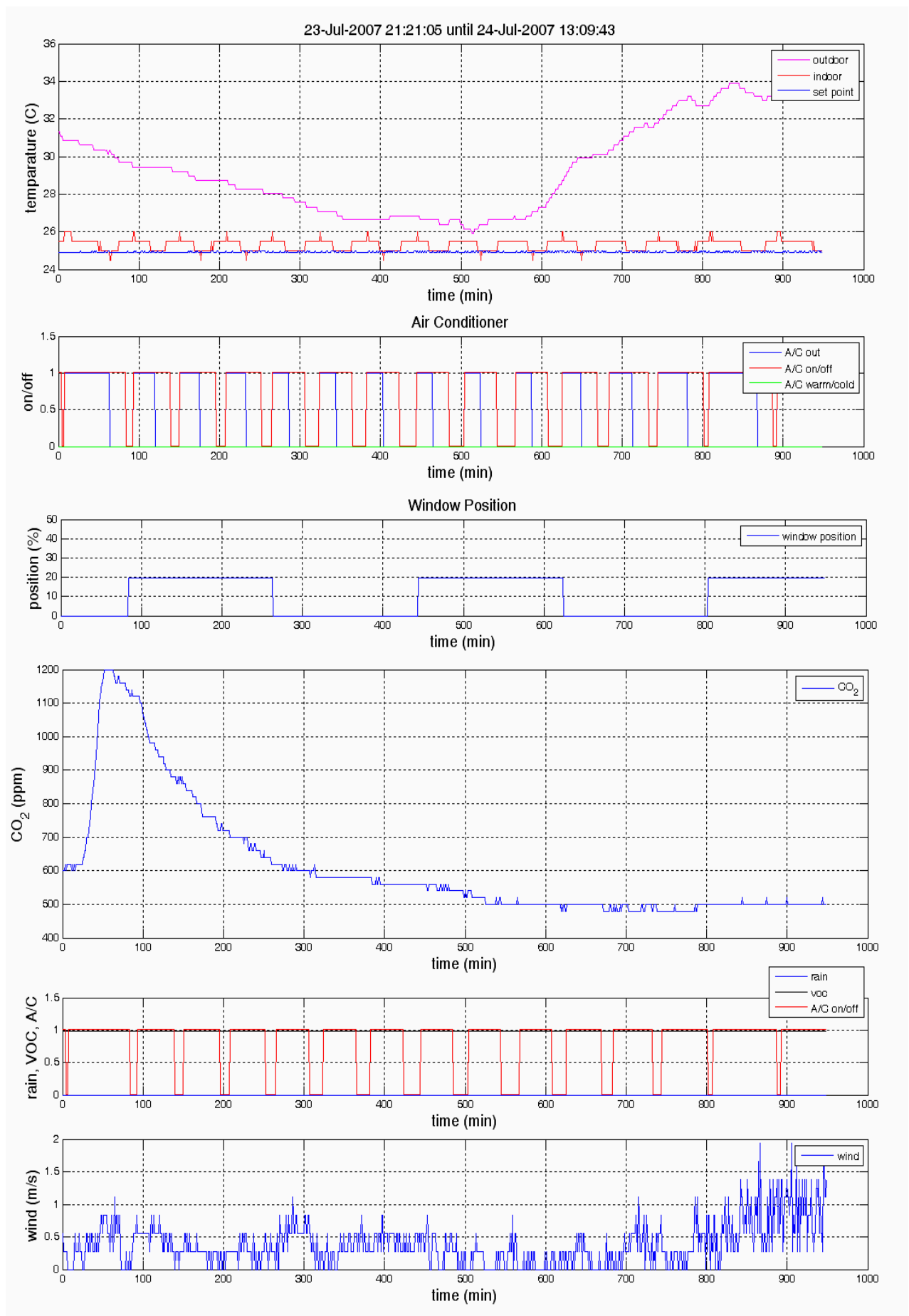
*Σχήμα 7.2 Πειραματικές μετρήσεις για την οπτική άνεση
(χαμηλό επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας)*

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πάρθηκαν κατά την διάρκεια 60 ωρών ενώ το επιθυμητό επίπεδο έχει τεθεί σχετικά χαμηλά (135 lux). Καθ' όλη την διάρκεια της νύχτας το επίπεδο της φωτεινότητας συμπίπτει πρακτικά με το επιθυμητό ενώ κατά την διάρκεια της ημέρας δεν συμβαίνει το ίδιο. Σε αυτήν την περίπτωση το επιθυμητό επίπεδο της φωτεινότητας είναι τόσο μικρό που το επίπεδο της εσωτερικής φωτεινότητας δεν μπορεί να το προσεγγίσει ακόμα και όταν τα σκιάστρα είναι εντελώς κλειστά (θέση σκιάστρων 100%). Τότε η εσωτερική φωτεινότητα εξαρτάται άμεσα από την εξωτερική. Κατά την διάρκεια όμως της πρώτης ημέρας (μετρήσεις από 750 min έως 1400 min) η εξωτερική φωτεινότητα δεν είναι σταθερή επειδή την συγκεκριμένη ημέρα υπήρχαν κάποια σύννεφα τα οποία άλλαζαν απότομα την τιμή της εξωτερικής φωτεινότητας.

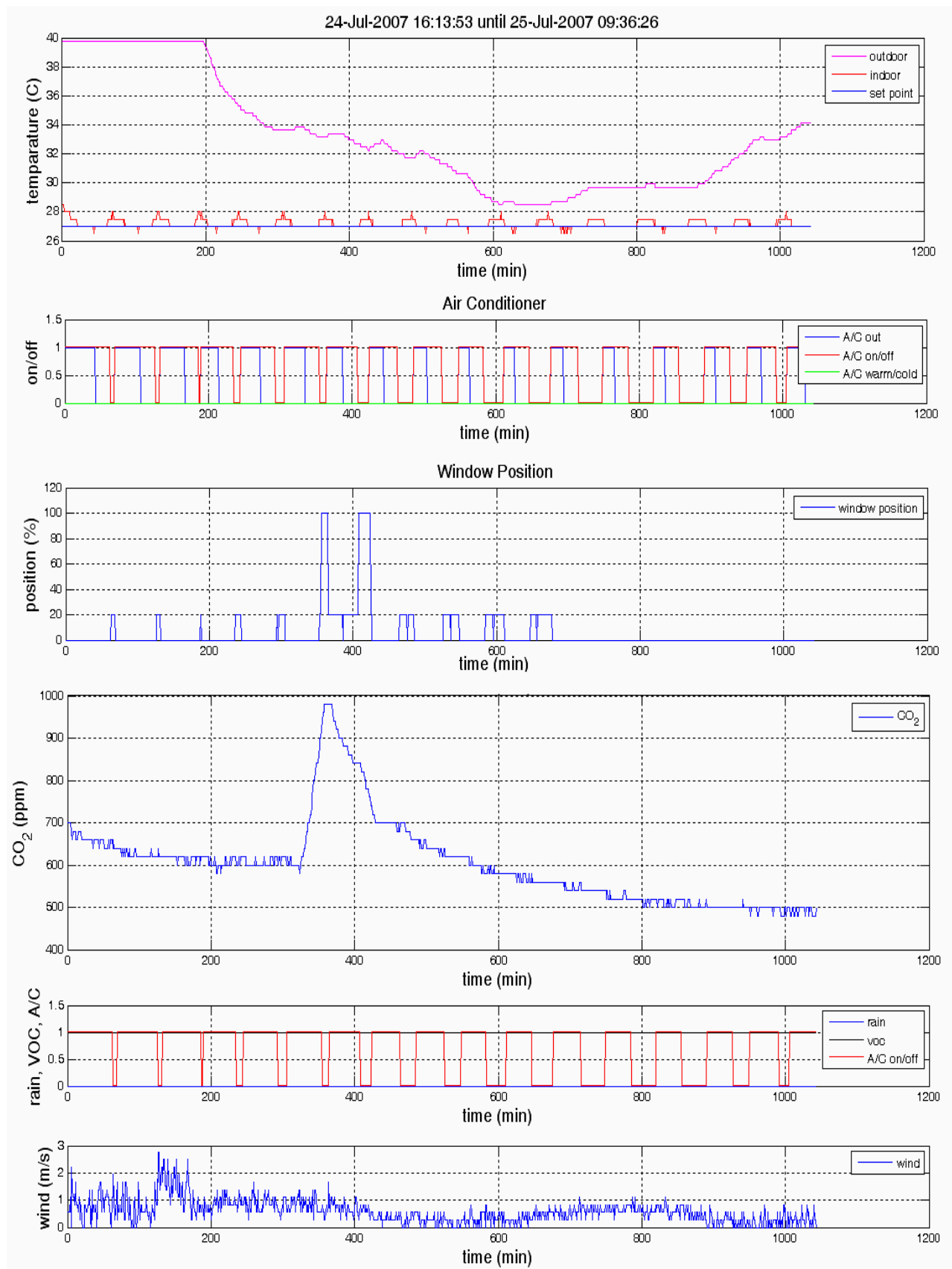
7.3 Θερμική άνεση και ποιότητα αέρα



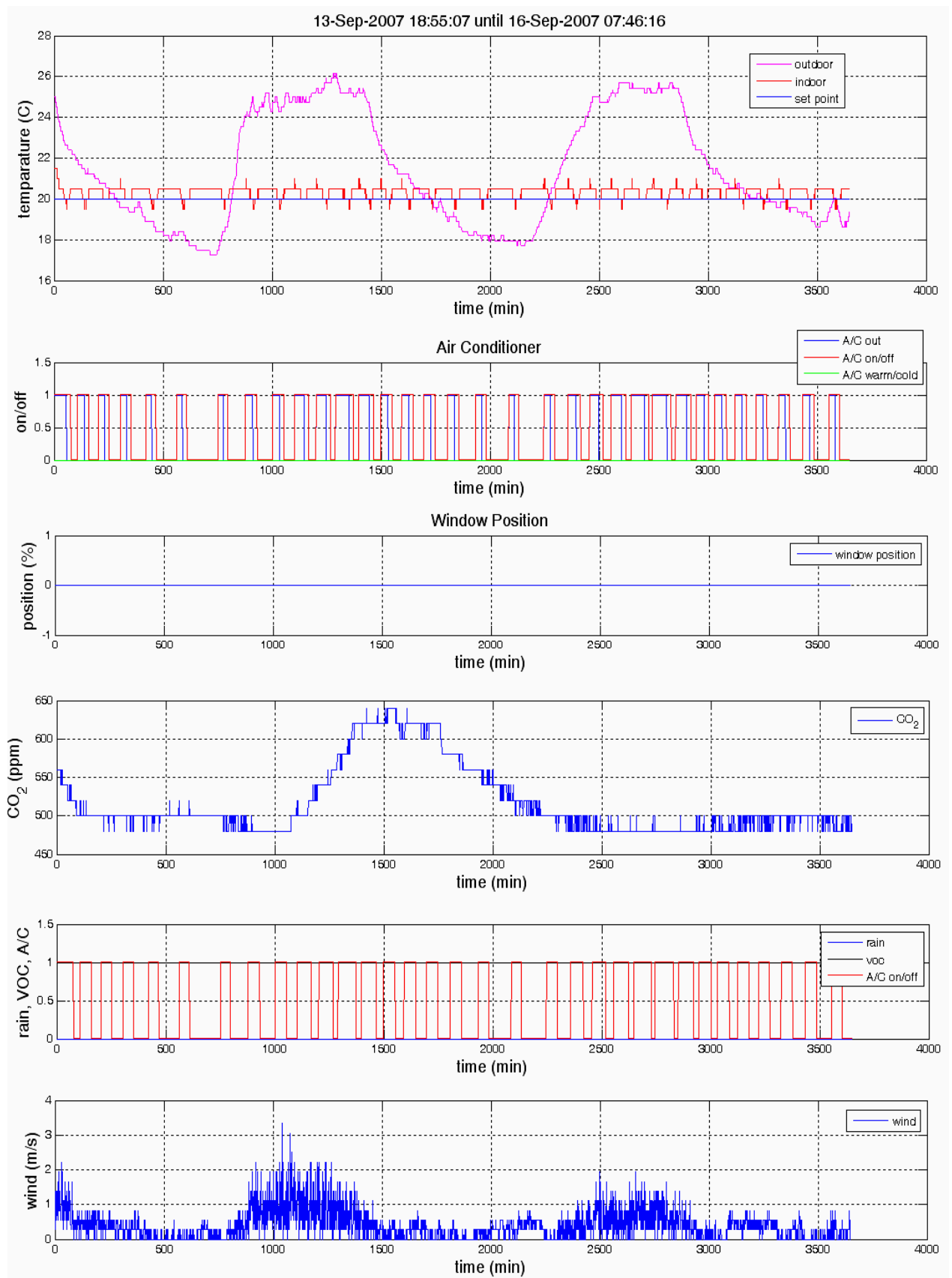
Σχήμα 7.3 Πειραματικές μετρήσεις για την θερμική άνεση



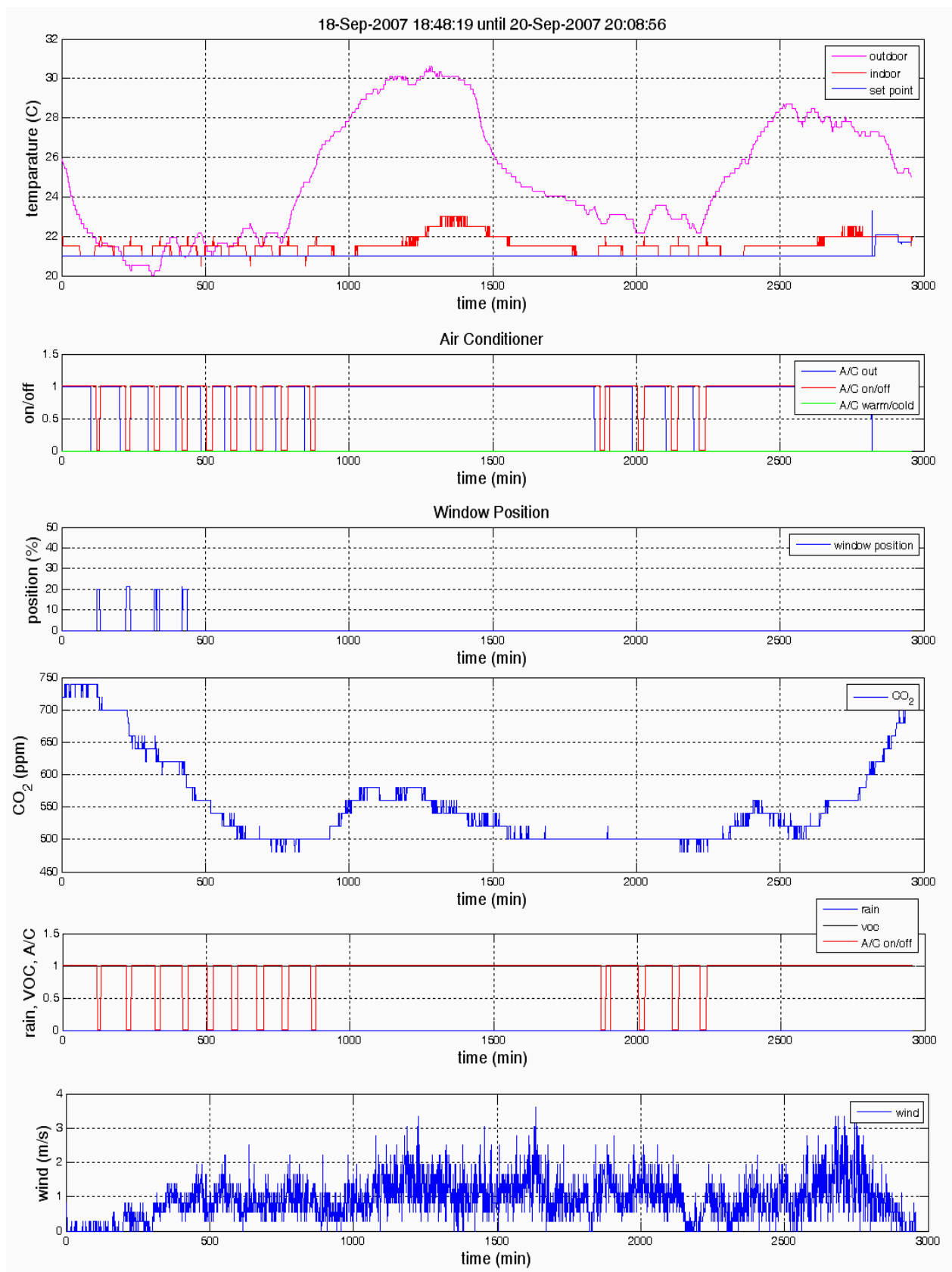
Σχήμα 7.4 Πειραματικές μετρήσεις για την θερμική άνεση



Σχήμα 7.5 Πειραματικές μετρήσεις για την θερμική άνεση



Σχήμα 7.6 Πειραματικές μετρήσεις για την θερμική άνεση



Σχήμα 7.7 Πειραματικές μετρήσεις για την θερμική άνεση

Από τις παραπάνω μετρήσεις φαίνεται ότι το σύστημα λειτουργεί πάρα πολύ καλά αφού καταφέρνει και ρυθμίζει το επίπεδο της θερμοκρασίας με μόλις 0,5 -1 βαθμό Κελσίου απόκλιση από το επιθυμητό διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα του αέρα στα επιθυμητά επίπεδα.

Στο σχήμα 7.3 το σύστημα ρυθμίζει τα παράθυρα στην θέση “λίγο ανοικτά” έτσι ώστε η ποιότητα του αέρα να γίνει από “μέτρια” “καλή”. Τα παράθυρα ανοίγουν μόνο όταν το σύστημα θέρμανσης / ψύξης σταματάει να λειτουργεί έτσι ώστε να υπάρχει καλή ποιότητα αέρα και παράλληλα θερμική άνεση χωρίς να ξοδεύεται περιττή ενέργεια.

Στο σχήμα 7.4 και 7.5 γίνεται τεχνητή αύξηση του CO₂ στον χώρο του εργαστηρίου με την καύση χαρτικής ύλης έτσι ώστε να εξομοιωθεί η παρουσία πολλών ατόμων (που παράγουν CO₂) και η ποιότητα του αέρα να γίνει “κακή”. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα παράθυρα ανοίγουν για περισσότερο χρόνο ακόμα και αν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης / ψύξης. Και πάλι εξασφαλίζεται πολύ καλή θερμική άνεση.

Στο σχήμα 7.6 και 7.7 παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πάρθηκαν κατά τον Σεπτέμβριο. Τα ποσοστά CO₂ είναι σχετικά μικρά αφού τις συγκεκριμένες ημέρες υπήρχαν μόνο ένα ή δύο άτομα στον χώρο του εργαστηρίου. Επίσης παρατηρείται μείωση των ποσοστών CO₂ ακόμα και όταν τα παράθυρα είναι κλειστά, αυτό συμβαίνει επειδή ίσως το σύστημα θέρμανσης / ψύξης επικοινωνεί μέσω εξαερισμού και με άλλους χώρους του Πολυτεχνείου. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρυθμός με τον οποίο μειώνεται το CO₂ είναι πολύ μικρός.

Οι μετρήσεις που πάρθηκαν δείχνουν απλά ότι το σύστημα λειτουργεί, αυτό όμως που έχει σημασία είναι το πόσο αποδοτικά λειτουργεί. Δυστυχώς δεν υπάρχουν μετρήσεις από υλοποιήσεις άλλων ελεγκτών έτσι ώστε να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης. Επίσης το σύστημα δεν έχει δοκιμαστεί για την καλή λειτουργία κατά τους χειμωνικούς μήνες.

Κεφάλαιο 8 – Συμπεράσματα, μελλοντικές επεκτάσεις

8.1 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την εργασία παρουσιάστηκε ένα σύστημα αυτοματισμού το οποίο μπορεί να ελέγχει ικανοποιητικά την θερμική και οπτική άνεση καθώς και την ποιότητα του αέρα ενός κλειστού χώρου εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί απλό (αλλά όχι απλοϊκό) αλγόριθμο ελέγχου ο οποίος εκτελείται σε ένα PLC το οποίο είναι ένα από τα μικρότερα αλλά και φθηνότερα που κυκλοφορούν στην αγορά. Έτσι αποδείχθη ότι δεν χρειάζονται ούτε πολύπλοκοι αλγόριθμοι αλλά ούτε και ακριβά συστήματα με μεγάλη επεξεργαστική ισχύ (όπως για παράδειγμα ένα PC) για να ελέγξουν τους κλιματικούς παράγοντες σε έναν χώρο. Αυτό που χρειάζεται είναι οι κατάλληλοι αισθητήρες και ενεργοποιητές καθώς και ένας αξιόπιστος ελεγκτής. Επίσης ο απλός αλγόριθμος του θερμοστάτη (αν μπορεί να ειπωθεί ότι είναι αλγόριθμος) που ελέγχει το σύστημα θέρμανσης / ψύξης αποδείχθηκε ότι μπορεί να διατηρεί την θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα και έχει την ίδια απόδοση με αλγορίθμους τύπου PID [11][12] για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπροσθέτως, δεν είναι απόλυτα αναγκαίος ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού σε 256 διακριτές στάθμες αφού τον περισσότερο χρόνο τα φώτα είναι είτε κλειστά (0) είτε εντελώς ανοικτά (255).

Το σύστημα που υλοποιήθηκε είναι σταθερό και αξιόπιστο (τα PLC είναι γνωστά για την αξιοπιστία τους και όλες οι συσκευές κάνουν επανεκκίνηση αυτόματα μετά από πτώσεις τάσεις) καθώς και φιλικό προς τον χρήστη. Επίσης όλες οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν έχουν τυποποιημένες προδιαγραφές (εισόδους, εξόδους, μεγέθη, βύσματα κτλ) και βρίσκονται εύκολα στην αγορά. Άρα το σύστημα αυτό είναι ιδανικό για να χρησιμοποιηθεί σε κτίρια (γραφεία, κατοικίες κτλ) τόσο για να παρέχει άνεση στους χρήστες όσο και για να γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας. Έτσι, μια εγκατάσταση αυτού του συστήματος μπορεί να γλιτώσει τους χρήστες όχι μόνο από περιττά έξοδα, αλλά επίσης μπορεί και να είναι ο μοναδικός τρόπος για να καταφέρουν να τηρήσουν τις προϋποθέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια[4].

8.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Το παρόν σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί με την προσθήκη διάφορων επιπλέον συσκευών και αισθητήρων. Ένας αφυγραντήρας/υγραντήρας θα μπορούσε να ελέγχει τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας. Ένας ανεμιστήρας οροφής θα δημιουργούσε ακόμα καλύτερη ανακύκλωση του αέρα ενώ ένας αισθητήρας παρουσίας θα έκανε το σύστημα να ξέρει αν υπάρχει κάποιος στον χώρο (κοίτα κεφάλαιο 5^ο και 6^ο) και να πράττει ανάλογα. Επιπρόσθετα θα μπορούσε να ενσωματωθεί το σύστημα ασφαλείας για κλοπή αλλά και για φωτιά χρησιμοποιώντας τους ήδη εγκατεστημένους αισθητήρες. Επίσης θα μπορούσε να εγκατασταθεί ένα σύστημα ψύξης το οποίο θα υποστήριζε κάποιον πιο προχωρημένο και ακριβή έλεγχο αντί για το απλό on-off (όπως για παράδειγμα ρύθμιση των στροφών του κινητήρα) και ένας αισθητήρας θερμοκρασίας που να έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και διακριτικότητα. Θα μπορούσαν όμως να συνδεθούν και άλλες οικιακές συσκευές (σε περίπτωση που γινόταν η εγκατάσταση σε οικία) με το δίκτυο KNX/EIB όπως ο θερμοσίφωνας και η καφετιέρα (για να έχουμε κάθε πρωί ζεστό καφέ) στα πλαίσια ενός “έξυπνου σπιτιού”. Επίσης θα μπορούσε να υπήρχε και δυνατότητα τηλεχειρισμού και τηλεπαρακολούθησης του συστήματος μέσω γραπτού μηνύματος με κινητό τηλέφωνο ή με κλήση σε σταθερό τηλέφωνο ή μέσω του Ίντερνετ (υπάρχουν οι αντίστοιχες συσκευές KNX/EIB). Συμπληρωματικά θα ήταν δυνατό να εγκατασταθεί και κάποια οθόνη (απλή ή αφής) ή οποία θα παρείχε μία καλύτερη και φιλικότερη διεπαφή με τους χρήστες. Ίσως όμως οι περισσότερες από τις παραπάνω συσκευές να ήταν περιττές και το μόνο που θα έκαναν θα ήταν να αυξάνουν το κόστος της όλης εγκατάστασης.

Επίσης θα μπορούσε να είχε αλλάξει η αρχιτεκτονική του συστήματος έτσι ώστε να μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλους χώρους (κοίτα παράρτημα Α, σχήμα Α.4), όπως επίσης να μην χρησιμοποιούνταν κανένα δίκτυο (κοίτα παράρτημα Α, σχήμα Α.1) για περαιτέρω μείωση του κόστους σε περιπτώσεις μικρών εγκαταστάσεων. Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί και κάποιο άλλο PLC έτσι ώστε να ξεπεραστούν οι περιορισμοί του “LOGO!” (κοίτα κεφάλαιο 2.3) και να μπορούν να υλοποιηθούν και άλλοι αλγόριθμοι (fuzzy logic κτλ). Τα σκίαστρα θα μπορούσαν επίσης να χρησιμεύσουν σαν ένα εναλλακτικό ξυπνητήρι για το πρωί ανοίγοντας έτσι ώστε να μπαίνει φυσικό φως και να ξυπνάει ο χρήστης με πιο φυσικό τρόπο.

Καλό θα ήταν επίσης να παρθούν μετρήσεις και άλλες εποχές του χρόνου πλην του καλοκαιριού έτσι ώστε να γίνει καλύτερη ρύθμιση των διαφόρων παραμέτρων του συστήματος για να βεβαιωθεί η ορθή του λειτουργία αλλά και για αποκτήσουμε μια πιο σφαιρική άποψη για την απόδοση του. Επίσης καλό θα ήταν να γίνει μια μελέτη σφαλμάτων, να εξεταστούν δηλαδή οι επιπτώσεις όταν οι αισθητήρες για οποιοδήποτε λόγο δίνουν λάθος τιμές και να εξεταστεί το κατά πόσον καλά (robust) μπορεί να δουλέψει το σύστημα σε αυτές τις περιπτώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τούλογλου Σ., KNX/EIB Τεχνική Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων, Αθήνα 2006
 - [2] Τριπολιτάκης Ε., Τεχνικές και Αλγόριθμοι Ελέγχου Άνεσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια με τη χρήση Διαύλων Δικτύωσης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά 2004
 - [3] www.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol
 - [4] Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16/12/2002 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
 - [5] ΥΠΕΠΘ, Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Υποσταθμοί, Αΐτεύχος, Βιβλίο Τ.Ε.Ε., Αθήνα 2001
 - [6] Kolokotsa D. , Design and implementation of an Integrated intelligence Building Indoor Environment Management System using Fuzzy Logic, Advanced Decision Support techniques, Local Opening Network Capabilities and Smart Card Technology, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά 2001
 - [7] www.wikipedia.org/wiki/Programmable_Logic_Controller
 - [8] Εγχειρίδιο λειτουργίας του “LOGO!” από την Siemens, Έκδοση 2005
 - [9] http://www.wikipedia.org/wiki/Building_Automation
 - [10] www.wikipedia.org/wiki/Building_Management_System
 - [11] Καφετζής Γ. Υλοποίηση και Σύγκριση Αλγορίθμων Ελέγχου PD, PI και Fuzzy PD σε Διαχείριση Ενέργειας σε Υπάρχοντα Κτίρια, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά 2005
 - [12] Πατέλης Π. Υλοποίηση και Σύγκριση Αλγορίθμων Ελέγχου Fuzzy PID και PID σε Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας σε Υπάρχοντα Κτίρια, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά 2005
 - [13] Παρασκευαστούλου Π.Ν., Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο, Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Αθήνα 1991
 - [14] Dorf R., Bishop R., Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη 2003
 - [15] www.wikipedia.org/wiki/PID_control
 - [16] http://geogr.eduportal.gr/docs/gr_therm_vrox_22.xls
 - [17] Illinois Department of Public Health, Guidelines for Indoor Air Quality www.idph.state.il.us/envhealth/factsheets/indoorairqualityguide_fs.htm
-

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

BCU	B us C oupling U nit (μονάδα προσαρμογής δικτύου)
BEMS	B uilding E nergy M anagement S ystem (σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου)
BMS	B uilding M anagement S ystem (σύστημα διαχείρισης κτιρίου)
EIB	E uropean I nstallation B us (ευρωπαϊκός δίαυλος εγκατάστασης)
PLC	P rogrammable L ogic C ontroller (προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής)
FBD	F unctional B lock D iagram (είναι γραφική γλώσσα προγραμματισμού)
HMI	H uman- M achine I nterface (διεπαφή μεταξύ ανθρώπων και μηχανών)
KNX	K onnex (πρωτόκολλο επικοινωνίας και οργανισμός)
PID	P roportional I ntegral D erivative (αναλογικός ολοκληρωτικός διαφορικός – είναι τύπος ελεγκτή)
PMV	P redicted M ean V ote (πρόγνωση μέσης ψήφου – μονάδα μέτρησης θερμικής άνεσης)
SCADA	S upervisory C ontrol A nd D ata A cquisition (εποπτικός έλεγχος και συλλογή δεδομένων)
TP	T wisted P air (συνεστραμένο ζεύγος καλωδίων)
VOC	V olatile O rganic C ompounds (πτητικές οργανικές ενώσεις)

Παράρτημα Α – BMS βασισμένο στο παρόν σύστημα αυτοματισμού

A.1 Γενικά

Τα BMS (Building Management System - σύστημα διαχείρισης κτιρίου) ή αλλιώς BEMS (Building Energy Management System - σύστημα διαχείρισης ενέργειας κτιρίου) είναι συστήματα τα οποία εγκαθίστανται σε ένα κτίριο με σκοπό να ελέγξουν και να εποπτεύσουν όλον τον εξοπλισμό που υπάρχει οσόν αφορά θέρμανση, κλιματισμό, φωτισμό, ποιότητα αέρα, συναγερμό, ανελκυστήρες κτλ.[9][10] Πρέπει να προσφέρουν άνεση στους χρήστες των κτιρίων, να δίνουν χρήσιμες πληροφορίες στους διαχειριστές και να κάνουν καλή αξιοποίηση της ενέργειας για θέρμανση/ψύξη και φωτισμό.

Τα BMS έχουν ως βάση τους συνήθως ένα δίκτυο στο οποίο συνδέονται οι διάφοροι αισθητήρες, οι επενεργητές οι ελεγκτές και τα διάφορα περιφερειακά συστήματα (συστήματα εποπτείας, συναγερμού, μέτρησης κατανάλωσης κλπ.). Οι αισθητήρες είναι συνήθως θερμοκρασίας, φωτεινότητας, υγρασίας, CO₂ , καπνού, φωτιάς καθώς και φυσικής κίνησης, παρουσίας ανθρώπων κ.α. Οι επενεργητές είναι συνήθως κινητήρες (έλεγχος παραθύρων / σκιάστρων), ρελέ/ηλεκτρονόμοι (on/off έλεγχος για συστήματα θέρμανσης / ψύξης και για φώτα), dimmers (αναλογικός έλεγχος για φώτα και για στροφές κινητήρων). Οι ελεγκτές μπορεί να είναι απλά κυκλώματα λογικού ελέγχου (AND, OR, NOT), χρονοδιακόπτες ή κυκλώματα που κάνουν π.χ. PID έλεγχο. Επίσης οι ελεγκτές μπορεί να είναι πιο πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα όπως τα PLCs (Programmable Logic Controllers – Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές) ή προσωπικοί υπολογιστές. Από την άλλη, οι προσωπικοί υπολογιστές μπορούν να μετατραπούν σε ελεγκτή ενός BMS με την προσθήκη κάποιας συσκευής για να εξασφαλίσει επικοινωνία με το δίκτυο του BMS . Επίσης στο δίκτυο υπάρχουν συσκευές HMI (human-machine interface - διεπαφή μεταξύ ανθρώπων και μηχανών) όπως ποτενσιόμετρα, διακόπτες, κουμπιά, πληκτρολόγια και οθόνες. Αυτά χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή των προτιμήσεων του χρήστη (π.χ. επιθυμητό επίπεδο θερμοκρασίας) αλλά και για την μετάδοση πληροφορίας προς τον χρήστη (π.χ. ένδειξη εσωτερικής θερμοκρασίας κτιρίου).

Οι ελεγκτές υλοποιούν διάφορους αλγόριθμους ελέγχου λαμβάνοντας υπόψη τους την τωρινή κατάσταση του κτιρίου και των σημάτων των αισθητήρων. Τέτοιοι αλγόριθμοι μπορεί να είναι έλεγχος κατωφλίων π.χ. θερμοστάτης και αλγόριθμοι PID.

Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν (κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο) και προχωρημένοι αλγόριθμοι όπως Έμπειρου Συστήματος, Ασαφούς Λογικής, Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων κ.α. Οι αλγόριθμοι ελέγχου σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτυγχάνουν γρήγορη σύγκλιση στα επιθυμητα επίπεδα (Set Point – S.P.) των μεταβλητών που ευθύνονται για την οπτική θερμική και κλιματική άνεση των χρηστών και της καλής ποιότητας του αέρα. Επίσης δεν πρέπει να ξεπερνούν κατά πολύ τα S.P.s (overshooting) και στο τέλος της σύγκλισης να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά με τα S.P.s (σφάλμα μόνιμης κατάστασης). Επίσης οι αλγόριθμοι αυτοί δεν πρέπει να έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Για παράδειγμα, δεν πρέπει ποτέ να μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα ψύξης τον χειμώνα ή τα σκίαστρα πρέπει να ανοίγουν όταν οι χρήστες του κτιρίου χρειάζονται περισσότερο φως και όχι τα φώτα.

Τα BMS πρέπει να είναι αξιόπιστα, επεκτάσιμα, συμβατά με συσκευές πολλών κατασκευαστών, να είναι ευέλικτα, φθηνά, να καταναλώνουν λίγη ενέργεια, να είναι φιλικά προς το χρήστη, να επιδιορθώνονται εύκολα, να είναι μικρά σε μέγεθος και να μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιαδήποτε κτίρια. Επίσης, θα πρέπει να μπορούν να ελέγξουν τις εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του κτιρίου (αν υπάρχουν) όπως το σύστημα θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά και να συνεργάζονται (ή ακόμα και να ενσωματώνουν) το σύστημα συναγερμού για φωτιά και για διάρρηξη.

Ο κορμός ενός BMS είναι το δίκτυο πάνω στο οποίο υλοποιείται. Το δίκτυο μπορεί να είναι KNX/EIB, Lonworks, BACnet, Bitbus, Profibus, ZigBee, CANbus, X10 κ.α. (ακόμα και το Ethernet). Σε αυτήν την εργασία προτείνεται η δημιουργία ενός BMS με την εγκατάσταση συστήματος KNX/EIB. Το KNX/EIB, το οποίο ειδικεύεται για Το ίδιο ισχύει αυτοματισμούς κτιρίων, έχει όλα τα προσόντα που πρέπει να έχει ένα σύγχρονο BMS τα οποία αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο.

A.2 Αρχιτεκτονική των BMS

Η αρχιτεκτονική των BMS έχει ως εξής :

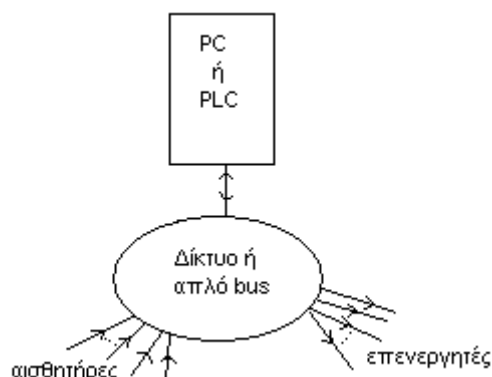
α) Κεντρικός απευθείας Έλεγχος

Υπάρχει μόνο ένας κεντρικός ελεγκτής ο οποίος λαμβάνει τα σήματα από όλους τους αισθητήρες και δίνει εντολές σε όλους τους ενεργοποιητές. Χρησιμοποιείται μόνο σε μικρά συστήματα με λίγους αισθητήρες και ενεργοποιητές. Σε μεγάλα συστήματα το πρόγραμμα του ελεγκτή γίνεται πολύπλοκο και ενδέχεται ο ελεγκτής να μην έχει την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ ή να μην διαθέτει τον απαιτούμενο αριθμο εισόδων και εξόδων. Επίσης το συνολικό μήκος των καλωδίων μπορεί να είναι μεγάλο.

Σχήμα A.1 Κεντρικός απ'ευθείας έλεγχος

β) Κεντρικός Έλεγχος μέσω Δικτύου

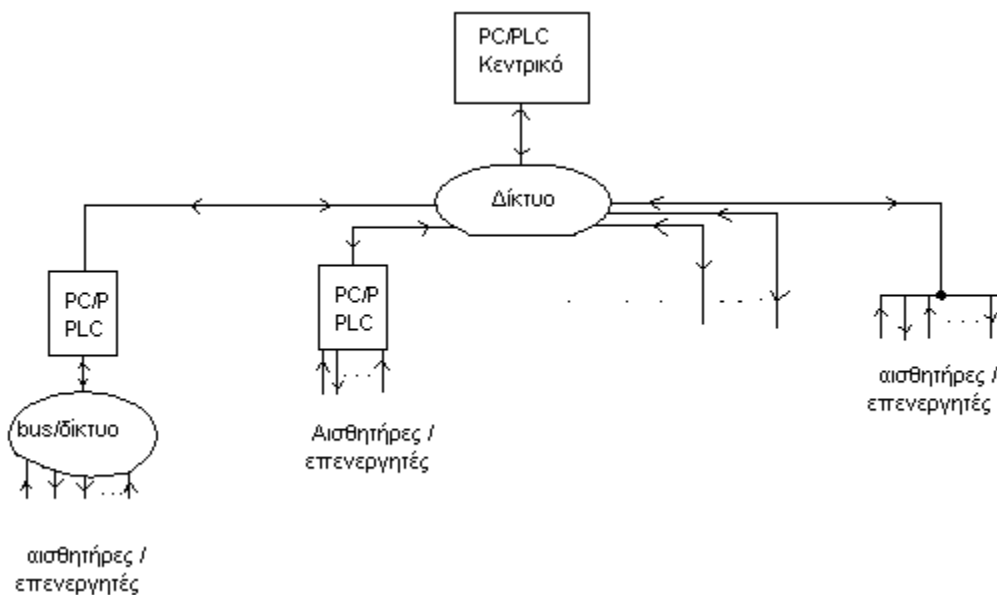
Εδώ και πάλι υπάρχει μόνο ένας κεντρικός ελεγκτής αλλά οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές επικοινωνούν μαζί του μέσω δικτύου. Χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερα συστήματα και το μήκος των καλωδίων είναι σαφώς μικρότερο. Όμως, όσο πιο μεγάλο είναι το σύστημα, τόσο πιο πολύπλοκο είναι το πρόγραμμα του ελεγκτή (PC/PLC) και τόσο πιο δύσκολο είναι να επεκταθεί. Επίσης τα πάντα εξαρτώνται από μόνο ένα ελεγκτή και αν αυτός βγει εκτός λειτουργίας τότε όλο το σύστημα δεν δουλεύει.



Σχήμα A.2 Κεντρικός έλεγχος μέσω δικτύου

γ) Αποκεντρωμένος Έλεγχος

Σε αυτόν τον τρόπο ελέγχου υπάρχει ένας ελεγκτής ανά ομάδα αισθητήρων / επενεργητών και ελέγχει μια συγκεκριμένη εργασία ανεξάρτητα από τους άλλους ελεγκτές. Η κάθε ομάδα των αισθητήρων / επενεργητών επικοινωνεί με τον αντίστοιχο ελεγκτή είτε μέσω δικτύου είτε άμεσα. Υπάρχει ένας κεντρικός ελεγκτής (συνήθως PC) που εποπτεύει τη λειτουργία του όλου συστήματος. Επίσης ίσως να υπάρχουν και κάποιοι αισθητήρες / επενεργητές που να μην επικοινωνούν μόνο με έναν συγκεκριμένο ελεγκτή αλλά με όλο το σύστημα.



Σχήμα Α.3 Αποκεντρωμένος έλεγχος

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα σε αυτή την τοπολογία:

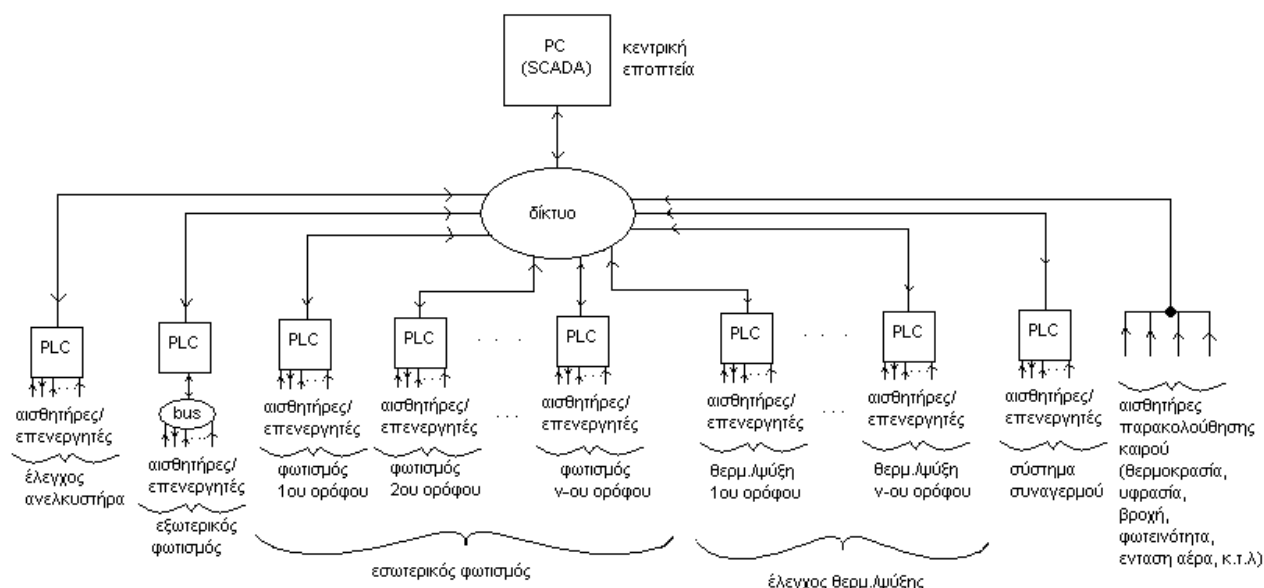
- i. Στον προγραμματισμό, το πρόγραμμα χωρίζεται σε ανεξάρτητα υποπρογράμματα όπου το κάθε υποπρόγραμμα αντιστοιχεί σε κάθε ένα ελεγκτή.
- ii. Στην αξιοπιστία, η λανθασμένη λειτουργία ενός από τα υποσυστήματα δεν επηρεάζει το συνολικό σύστημα. Τα σφάλματα ανιχνεύονται μέσω του κεντρικού PC/PLC.
- iii. Στο κόστος, είναι πιο οικονομικό να υπάρχουν πολλοί φθηνοί ελεγκτές παρά ένας και ακριβός.

Στην επεκτασιμότητα, νέες λειτουργίες προστίθενται σε κάθε υποσύστημα χωριστά χωρίς να βγαίνει εκτός λειτουργίας όλο το σύστημα κατά τη διάρκεια της αναβάθμισης και έχοντας τη σιγουριά ότι οποιοδήποτε λάθος

στον προγραμματισμό του ελεγκτή ή στο hardware θα επηρεάσει μόνο το συγκεκριμένο υποσύστημα.

Παράδειγμα ενός BMS με αποκεντρωμένο έλεγχο:

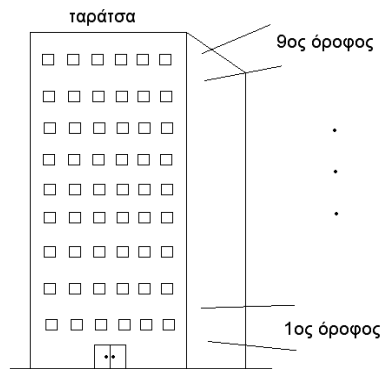
Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε άλλον ελεγκτή για τον ανελκυστήρα, άλλο για κάθε ομάδα φώτων (ανά όροφο), άλλο για τη θέρμανση / ψύξη του κάθε ορόφου και άλλο για το σύστημα συναγερμού. Επίσης υπάρχουν διάφοροι αισθητήρες παρακολούθησης καιρού εγκατεστημένοι στην ταράτσα και ένα κεντρικό PC σε λειτουργία εποπτείας SCADA (Supervisory Control and data Acquisition – Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων). Μια επέκταση του συστήματος π.χ. για την μελλοντική αναβάθμιση του συστήματος προσθέτοντας φωτοβολταϊκά, θα μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα.



Σχήμα Α.4 Παράδειγμα αποκεντρωμένου ελέγχου

Α.3 Προτεινόμενο σύστημα

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί ένα BMS αποκεντρωμένου ελέγχου βασισμένο στο δίκτυο KNX/EIB. Ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί ένα κτίριο πολλών ορόφων όπου σε κάθε όροφο υπάρχουν πολλοί χώροι (διαμερίσματα, αίθουσες, γραφεία, δωμάτια).



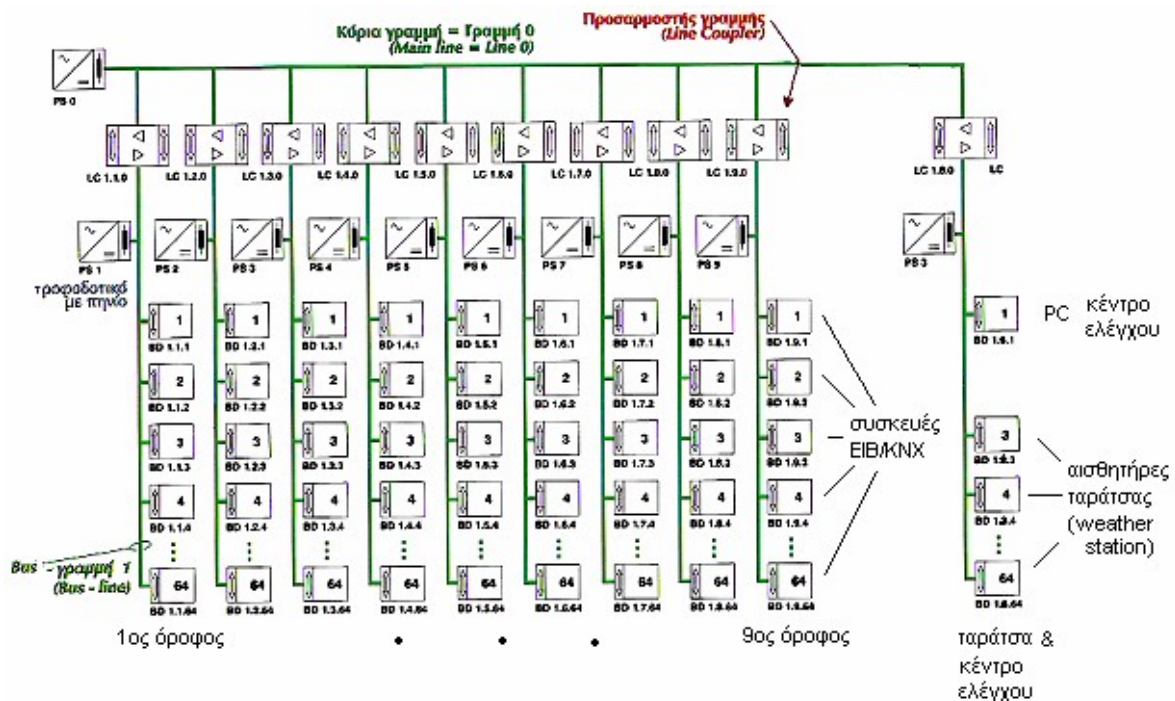
Σχήμα Α.5 Το κτίριο του παραδείγματος

Η βασική ιδέα είναι ότι σε κάθε διακριτό χώρο θα υπάρχουν αισθητήρες και ένα PLC το οποίο θα εξασφαλίζει στον χώρο αυτό θερμική/οπτική άνεση και καλής ποιότητας αέρα. Στην ταράτσα θα υπάρχουν αισθητήρες παρακολούθησης καιρού ενώ κάπου στο κτίριο θα υπάρχει ένας υπολογιστής ο οποίος θα τρέχει ένα πρόγραμμα SCADA για να εποπτεύει όλο το κτίριο. Τόσο ο κεντρικός υπολογιστής όσο και οι αισθητήρες της ταράτσας και το κάθε PLC θα συνδέονται μέσω του δικτύου KNX/EIB (με συνεστραμμένο ζεύγος TP-1).

Η τοπολογία θα είναι η εξής:

- θα υπάρχουν απλοί (όχι KNX/EIB) αισθητήρες σε κάθε χώρο απ'ευθείας συνδεδεμένοι στο αντίστοιχο PLC (ο λόγος που δεν χρησιμοποιούνται KNX/EIB αισθητήρες είναι επειδή είναι πολύ ακριβότεροι από τους συμβατικούς).
- το κάθε PLC θα είναι ένας κόμβος του δικτύου
- όλα τα PLC ενός ορόφου (μαζί και ότι άλλη KNX/EIB συσκευή υπάρχει προαιρετικά σε αυτόν τον όροφο) θα συνδέονται σε μια γραμμή bus του δικτύου KNX/EIB.
- θα υπάρχει μια ακόμα γραμμή του δικτύου στην οποία θα συνδέεται το weather station (αισθητήρες παρακολούθησης καιρού) και ο κεντρικός υπολογιστής
- ο,τιδήποτε άλλο όπως το PLC του ανελκυστήρα ή το σύστημα συναγερμού ή οι ελεγκτές φωτισμού διαδρόμων μπορούν να συνδεθούν σε οποιαδήποτε γραμμή (ενθαρρύνεται η σύνδεση σε ξεχωριστές γραμμές για λόγους αξιοπιστίας του συστήματος)

- αν οι όροφοι είναι περισσότεροι από 14 τότε είτε θα πρέπει να δημιουργηθούν περισσότερες από μία περιοχές στο δίκτυο, είτε να αντιστοιχεί μία γραμμή σε περισσότερους από έναν ορόφους. Εξαρτάται από το πλήθος των KNX/EIB συσκευών, την ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει να μεταδίδεται σε κάθε γραμμή και το μέγεθος του κτιρίου (η μέγιστη απόσταση μεταξύ οποιονδήποτε συσκευών στην ίδια γραμμή πρέπει να είναι μικρότερη από 700 μέτρα).



Σχήμα A.6 Τοπολογία του δικτύου του παραδείγματος

Σε κάθε χώρο θα υπάρχουν:

- PLC με δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο (το PLC “LOGO!” για παράδειγμα το οποίο είναι αρκετά φθηνό και αρκετά γρήγορο για τέτοιες εφαρμογές)
- δυνατότητα αυτόνομης ρύθμισης των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και δυνατότητα ελέγχου από το PLC
- ηλεκτρικά ρολά (σκίαστρα) στα παράθυρα συνδεδεμένα στο PLC
- κινητήρες για άνοιγμα/κλείσιμο παραθύρων συνδεδεμένοι στο PLC
- έλεγχος των φώτων από το PLC (on/off ή dimming έλεγχος) από το PLC
- αισθητήρας θερμοκρασίας
- αισθητήρας φωτεινότητας

- αισθητήρας CO₂
- αισθητήρας παρουσίας ανθρώπων
- διακόπτες, buttons, αισθητήρες του συστήματος συναγερμού οθόνες, HMI κτλ.

Οι αισθητήρες δεν θα είναι τύπου KNX/EIB και θα συνδέονται κατευθείαν στο PLC για μείωση του κόστους.

Η λειτουργία όλου του συστήματος θα είναι η εξής:

- οι αισθητήρες παρακολούθησης καιρού του weather station στέλνουν τα σήματα τους μέσω του δικτύου σε όλους τους συνδρομητές του δικτύου
- τα PLC δέχονται τα σήματα των αισθητήρων παρακολούθησης καιρού καθώς και τα σήματα των αισθητήρων και των διακοπών που είναι συνδεδεμένα σε αυτά. Με βάση αυτές τις πληροφορίες και το αντίστοιχο πρόγραμμα που εκτελείται ελέγχονται τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης, τα σκίαστρα, τα φώτα και τα παράθυρα
- τα PLC στέλνουν στο δίκτυο πληροφορίες για τον χώρο που ελέγχουν
- ο κεντρικός υπολογιστής εποπτεύει όλο το σύστημα καταγράφοντας όλες τις πληροφορίες που προέρχονται από το κάθε PLC, το weather station καθώς και ο,τι άλλη συσκευή χρειάζεται να εποπτευθεί (ανελκυστήρες, σύστημα συναγερμού κ.α.).

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου δικτύωσης είναι:

- το σύστημα είναι αποκεντρωμένο με όλα τα πλεονεκτήματα που συνεπάγεται αυτό
- το σύστημα είναι αξιόπιστο καθώς ο,τιδήποτε πρόβλημα υπάρξει απομονώνεται στην αντίστοιχο χώρο ή στην αντίστοιχη γραμμή και δεν επεκτείνεται σε όλο το σύστημα. Επίσης ανιχνεύεται γρήγορα από τον κεντρικό υπολογιστή.
- οι περισσότεροι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι συμβατικοί και αυτό μειώνει το κόστος
- το κάθε PLC μπορεί να προγραμματιστεί διαφορετικά λόγω των ιδιοτήτων του κάθε χώρου
- το σύστημα είναι εύκολο να εγκατασταθεί και να ρυθμιστεί
- με μικρές αλλαγές μπορεί να εγκατασταθεί σε κάθε είδους κτίριο

Οι λόγοι που επιλέχθηκε το δίκτυο KNX/EIB και όχι κάποιο άλλο είναι:

- ειδικεύεται σε κτιριακές εφαρμογές
- είναι αξιόπιστο, επεκτάσιμο, υποστηρίζεται από πολλές εταιρίες
- αν και είναι αργό (9,6 kbit/s) είναι υπεραρκετό για τέτοιου είδους εφαρμογές
- συνεργάζεται με PLC
- είναι εύκολος ο εποπτικός έλεγχος από κάποιο PC

Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί δίκτυο LonWorks όμως δυστυχώς δεν υποστηρίζεται από πολλές ευρωπαϊκές εταιρίες.

Στον ρόλο του του ελεγκτή επιλέχθηκε PLC επειδή

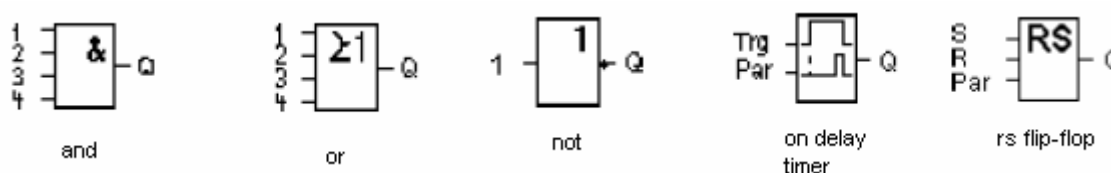
- ο συμβατικός αυτοματισμός με ρελέ και χρονοδιακόπτες δεν αρκεί
- οι απλοί ελεγκτές που κυκλοφορούν για KNX/EIB είναι ακριβοί και δεν έχουν πολλές δυνατότητες (θερμοστάτες, χρονοδιακόπτες, AND/OR ελεγκτές κτλ.)
- τα PC παραείναι ακριβά και ογκώδη. Τα μικρά PLC είναι φθηνά και χωρούν άνετα σε έναν μικρό ηλεκτρολογικό πίνακα
- τα PLC διαθέτουν εισόδους για συμβατικούς αισθητήρες, έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν φθηνοί συμβατικοί αντί για ακριβούς αισθητήρες τύπου KNX/EIB
- τα PLC είναι συστήματα πραγματικού χρόνου και αντέχουν σε ακραίες συνθήκες σε αντίθεση με τα PC

Το PLC που επιλέχθηκε ήταν το “LOGO!” επειδή ήταν ένας από τους ελάχιστους (αν όχι ο μοναδικός) ελεγκτές που συνδέονται με το KNX/EIB απλά με την προσθήκη μιας μονάδας επέκτασης.

Παράρτημα Β - Η γλώσσα προγραμματισμού FBD

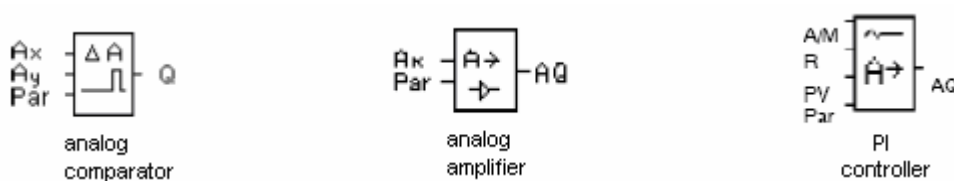
B.1 Blocks

Η σχηματική γλώσσα FBD είναι η κύρια γλώσσα προγραμματισμού του “LOGO!”. Η γλώσσα αυτή βασίζεται στα blocks, κάθε block είναι στην ουσία μία λειτουργική μονάδα με μία έξοδο και μία ή περισσότερες εισόδους. Το κάθε block μπορεί να αντιστοιχεί σε μία απλή δυαδική πύλη (AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR) ή σε κάτι πιο πολύπλοκο όπως πχ. χρονοδιακόπτης, rs flip-flop κ.α[8].



Σχήμα B.1 Block απλών λειτουργιών

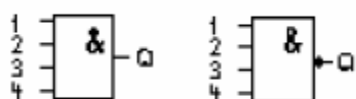
Επίσης υπάρχουν blocks που έχουν εφαρμογή μόνο σε αναλογικά σήματα όπως συγκριτής, ενισχυτής, PI ελεγκτής



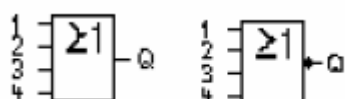
Σχήμα B.2 Block ειδικών αναλογικών λειτουργιών

Το σύνολο των εντολών αυτής της γλώσσας είναι το σύνολο των block που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα block χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

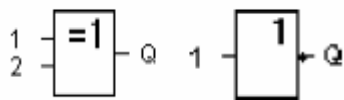
Απλές λειτουργίες



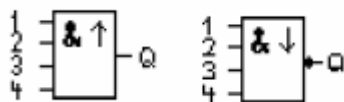
Η λογική πράξη **AND** και **NAND** αντίστοιχα



Η λογική πράξη **OR** και **NOR** αντίστοιχα

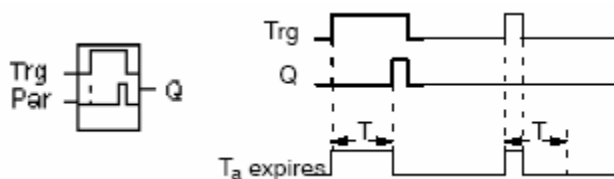


Η λογική πράξη **XOR** και **NOT** αντίστοιχα

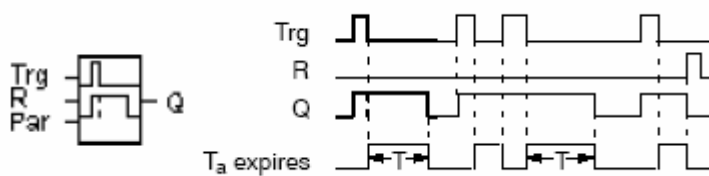


NAND με αναγνώριση θετικής και αρνητικής ακμής αντίστοιχα

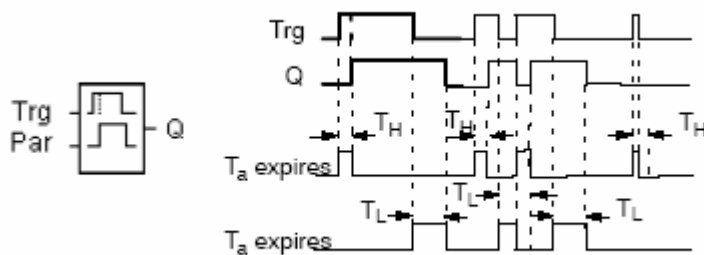
Ειδικές λειτουργίες (χρονικά)



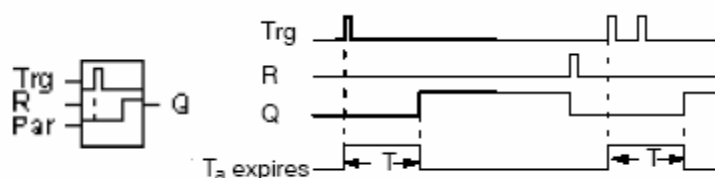
On-delay: η έξοδος ενεργοποιείται με καθυστέρηση σε σχέση με την είσοδο



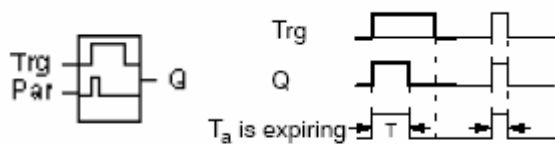
Off-delay: η έξοδος γίνεται 1 όταν η είσοδος γίνει 1, αλλά γίνεται 0 με καθυστέρηση σε σχέση με την είσοδο



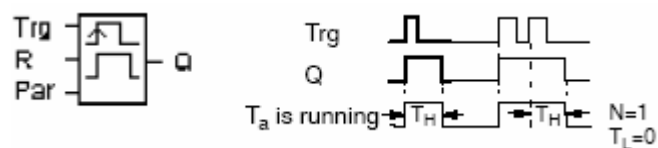
On/off-delay: είναι ο συνδυασμός των δύο παραπάνω καθώς υπάρχει καθυστέρηση και στο 0 και στο 1



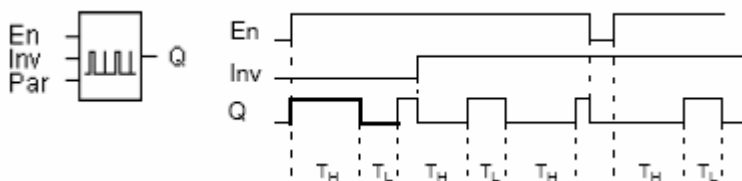
Retentive on-delay: η έξοδος ενεργοποιείται με καθυστέρηση σε σχέση με την είσοδο και παραμένει ενεργοποιημένη



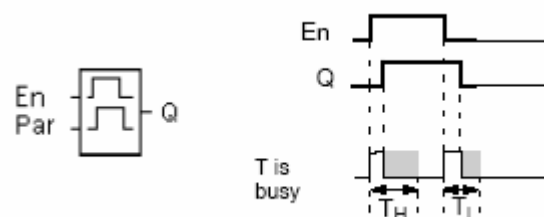
Wiping relay (pulse output): η έξοδος γίνεται 1 όταν η είσοδος γίνει 1 αλλά γίνεται 0 μετά από κάποιο διάστημα ακόμα και αν η είσοδος είναι ακόμα 1



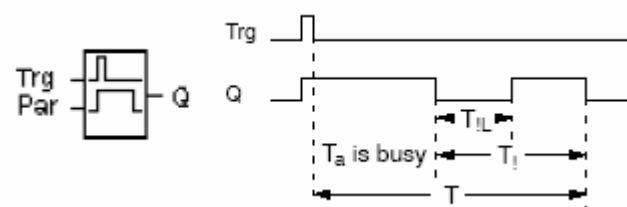
Edge triggered wiping relay: η έξοδος γίνεται 1 όταν η είσοδος γίνει 1 αλλά γίνεται 0 μετά από κάποιο διάστημα



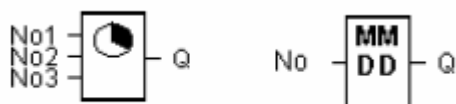
Asynchronous pulse generator: όταν είναι το σήμα εισόδου *inv* σταθερό τότε είναι μία παλμογεννήτρια



Random generator: είναι ένα On/off-delay του οποίου οι τιμές των καθυστερήσεων είναι τυχαίες

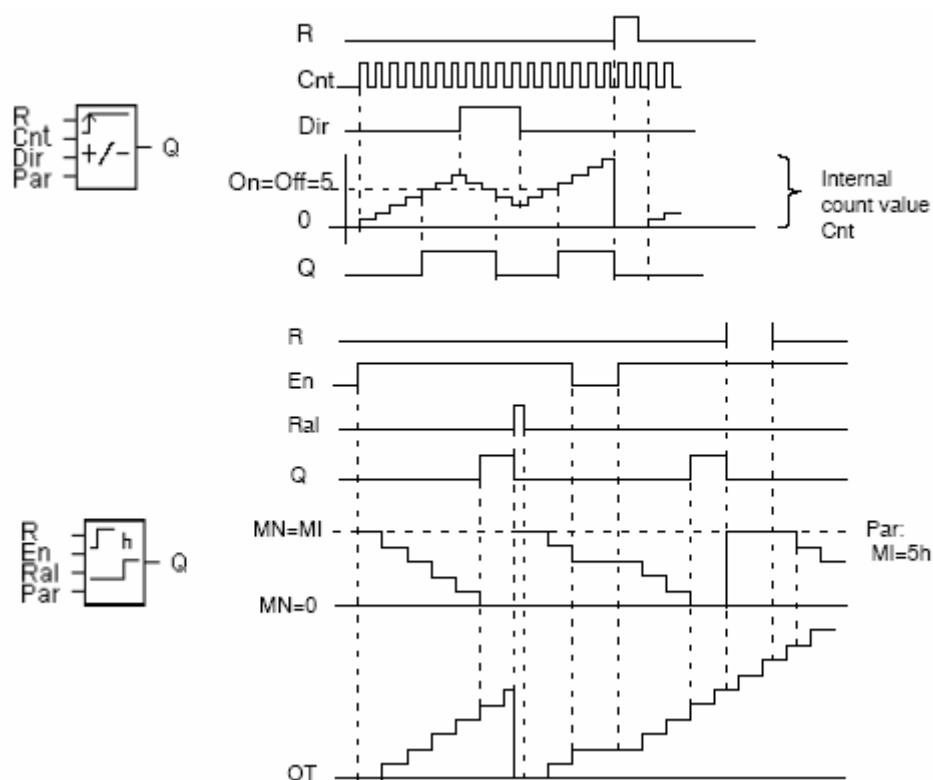


Stairway lighting switch: είναι ένα off-delay του οποίου η έξοδος πριν πάει μόνιμα στο 0 προειδοποιεί με μια προσωρινή μετάβαση στο 0.

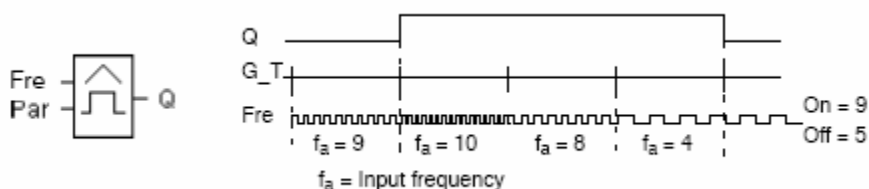


Weekly και yearly timer: η έξοδος είναι 1 μόνο σε συσχετισμένες χρονικές στιγμές. Ο weekly timer μπορεί να ενεργοποιείται κάθε εβδομάδα ενώ ο yearly timer κάθε χρόνο.

Ειδικές λειτουργίες (μετρητές)

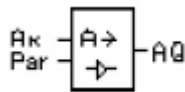


Up/down counter και hours counter: κάθε παλμός στην είσοδο αυξάνει (ή μειώνει) την τιμή του μετρητή, όταν η τιμή αυτή έχει συγκεκριμένες τιμές τότε ενεργοποιείται η έξοδος

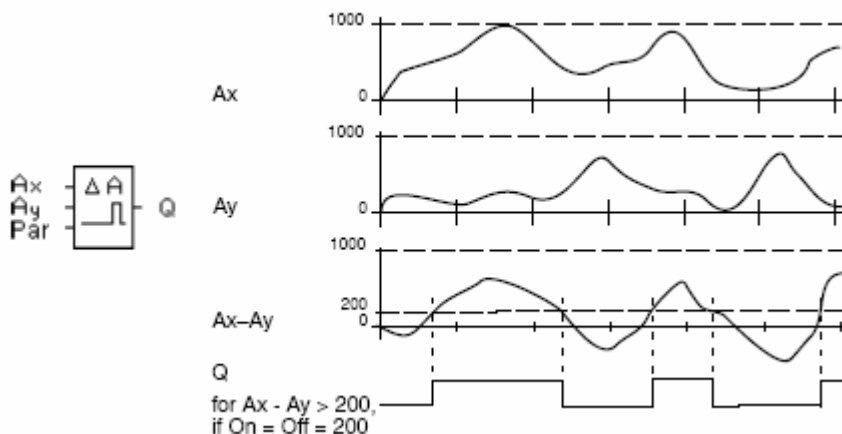


Threshold trigger: αν η συχνότητα του σήματος εισόδου(παλμοί ανά δευτερόλεπτο) έχει συγκεκριμένες τιμές τότε ενεργοποιείται η έξοδος

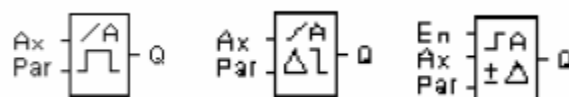
Ειδικές λειτουργίες (αναλογικές)



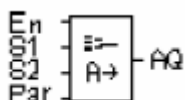
Amplifier: Το αναλογικό σήμα εισόδου ενισχύεται και του προστίθεται ένα offset. ($\text{output} = \text{gain} * \text{input} + \text{offset}$)



Analog comparator: η ψηφιακή έξοδος ενεργοποιείται όταν η διαφορά των δύο αναλογικών σημάτων εισόδου έχει συγκεκριμένες τιμές



Analog threshold trigger, Analog differential trigger, analog watchdog: η ψηφιακή έξοδος ενεργοποιείται όταν το αναλογικό σήμα εισόδου έχει συγκεκριμένες τιμές

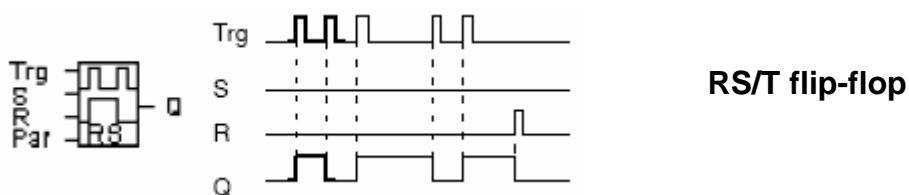
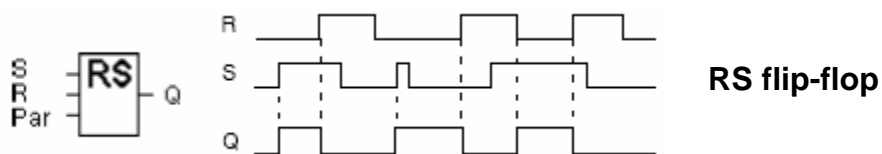


Analog multiplexer: η αναλογική είσοδος παίρνει την τιμή ενός από τα τέσσερα αναλογικά σήματα εισόδου



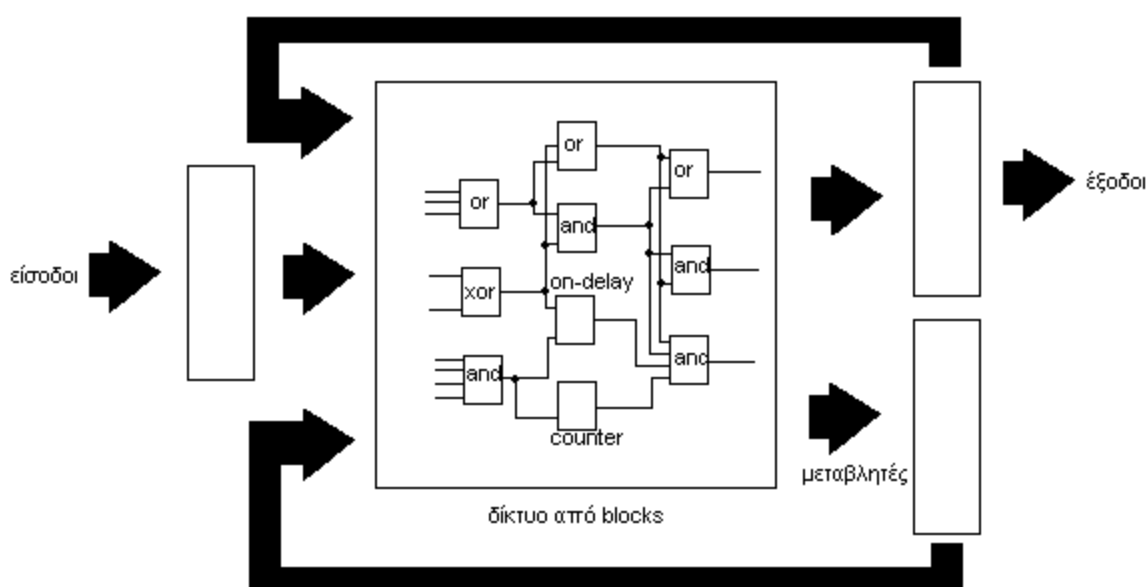
PI controller: είναι ένας κλασσικός PI ελεγκτής, έχει είσοδο ένα set point και το σήμα της ανάδρασης και ανάλογα με την ρύθμιση που του γίνεται παράγεται το σήμα εξόδου. Προσοχή είναι το μοναδικό block που ανανεώνει την έξοδο του κάθε 500ms.

Άλλες λειτουργίες



Message: Όταν η είσοδος ενεργοποιείται τότε εμφανίζεται κάποιο μήνυμα στην οθόνη του PLC.

Υπάρχουν και μερικά άλλα block τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις και δεν αξίζουν τον κόπο να περιγραφούν. Σε όλα τα παραπάνω block υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων τους (par όπως εμφανίζεται στα σχήματα) όπως για παράδειγμα οι τιμές των καθυστερήσεων στα χρονικά ή η ρύθμιση του PI controller.



Σχήμα A3 Μορφή προγράμματος σε FBD

B.2 Παράδειγμα

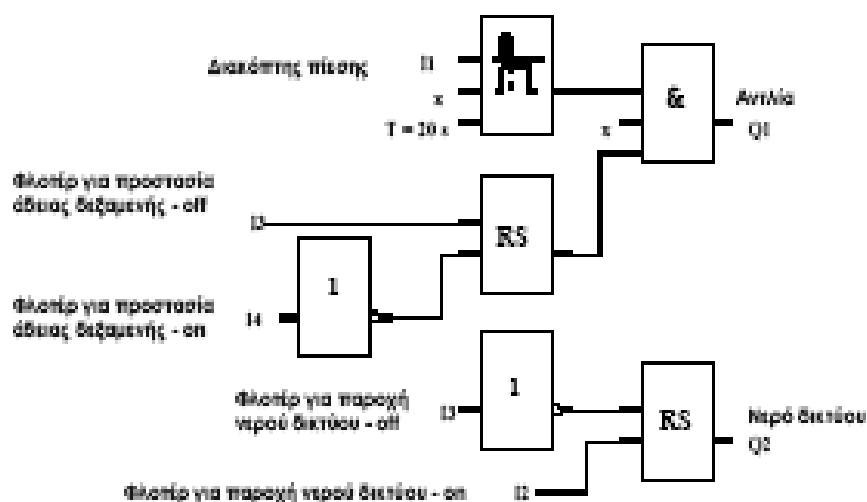
Το βρόχινο νερό συλλέγεται σε μία μεγάλη δεξαμενή. Από εκεί αντλείται, έσω του σταθμού άντλησης, μέσα στο σύστημα σωληνώσεων απ'όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως ακριβώς το νερό του δικτύου ύδρευσης. Εάν η δεξαμενή νερού αδειάσει μπορεί να γεμίσει από την κεντρική παροχή του δικτύου.

Το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να παρέχει νερό οποιαδήποτε στιγμή. Εάν χρειάζεται, το σύστημα ελέγχου πρέπει να μεταβαίνει σε διαμόρφωση πλήρωσης νερού από το δίκτυο σε περίπτωση που αδειάσει η δεξαμενή. Το σύστημα δεν πρέπει να επιτρέπει στο βρόχινο νερό να εισέρχεται στις σωληνώσεις του δικτύου

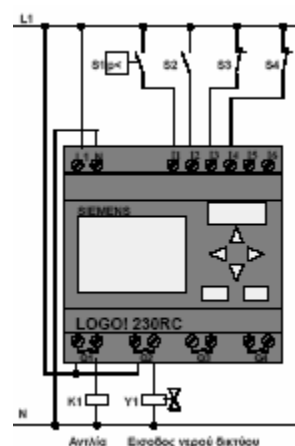
ύδρευσης όταν μεταβαίνει η παροχή από το ένα σύστημα στο άλλο. Η αντλία δεν πρέπει να τίθεται σε λειτουργία εάν δεν υπάρχει αρκετό νερό στη δεξαμενή (πρόληψη άδειας δεξαμενής).

Η αντλία και μία σωληνοειδής βαλβίδα ελέγχονται μέσω ενός διακόπτη πίεσης και τρία φλοτέρ που προσαρμόζονται στη δεξαμενή. Η αντλία πρέπει να τίθεται σε λειτουργία όταν η πίεση στον κύλινδρο πέφτει κάτω από ένα ελάχιστο όριο. Όταν επιτευχθεί η πίεση λειτουργίας, η αντλία απενεργοποιείται ξανά για λίγα δευτερόλεπτα. Ο χρόνος υπέρβασης αποτρέπει την αντλία από το να κόβει και να δίνει συνεχώς νερό όταν αυτό αντλείται από τη δεξαμενή.

Εκτός από το “LOGO!”, χρειάζονται μόνο τα φλοτέρ και ο διακόπτης πίεσης για τον έλεγχο της αντλίας. Εάν χρησιμοποιούμε τριφασικό κινητήρα AC πρέπει να βάλουμε ένα ρελέ ισχύος για να ανοιγοκλείνουμε την αντλία. Σε συστήματα που χρησιμοποιούν μονοφασικές AC αντλίες, πρέπει να προσαρμόσουμε ρελέ εάν η αντλία απαιτεί περισσότερο ρεύμα από αυτό που μπορεί να δώσει η έξοδος Q1 του “LOGO!”. Η ισχύς της σωληνοειδούς βαλβίδας είναι τόσο μικρή που συνήθως μπορεί να ελεγχθεί κατευθείαν από τη συσκευή του “LOGO!”.



Σχήμα B.4 Το πρόγραμμα σε FBD



Σχήμα B.5

Η συνδεσμολογία στο “LOGO!”

- Όπου • K1 Ρελέ ισχύος
 • Y1 Σωληνοειδής βαλβίδα
 • S1 (NO) Διακόπτης πίεσης
 • S2 (NO) Φλοτέρ
 • S3 (NC) Φλοτέρ
 • S4 (NC) Φλοτέρ

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.