



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών
Σπουδών
Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Έλεγχος Τεχνητού Φωτισμού μέσω KNX»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Σωτηρίου Αναστάσιου

Επιβλέπων

Φραγκίσκος Β, Τοπαλής, Καθηγητής, Τομέας Ηλεκτρικής
Ισχύος

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον καθηγητή μου στο προπτυχιακό και μεταπτυχιακό πρόγραμμα του Πολυτεχνείου κ. Φραγκίσκο Β. Τοπαλή για την ευκαιρία που μου έδωσε να εντρυφήσω σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, το οποίο ενισχύει τις γνώσεις μου σε ακαδημαϊκό και επαγγελματικό επίπεδο. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα διδακτορικό μου κ. Παναγιώτη Κονταξή για την στήριξη και την βοήθεια κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Φυσικά θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη τους ,χάρη στην οποία κλείνει ο δύσκολος αλλά συνάμα ευχάριστος και δημιουργικός κύκλος των σπουδών μου ως Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στον παππού μου Τάσο για την διαρκή εμπύχωση και την παρακολούθηση της προόδου μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την κοπέλα μου Μαρία για την υπομονή και το κουράγιο που έδειξε στην διάρκεια της εκπλήρωσης των στόχων αυτών.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Έλεγχος Τεχνητού Φωτισμού Μέσω KNX»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Σωτηρίου Αναστάσιος
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2015-2016

Περίληψη

Η προσεκτική μελέτη των στοιχείων και των στατιστικών όσον αφορά την αύξηση κατανάλωσης ενέργειας, την αύξηση της τιμής της ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Η ανάλυση φανερώνει το μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα και ιδιαίτερα στον φωτισμό μέσω της αξιοποίησης του φυσικού φωτός. Για να επιτευχθεί η αξιοποίηση αυτή είναι αναγκαία η εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμών που θα επιτρέπουν την αξιοποίηση του φυσικού φωτός και την επίτευξη σταθερού επιπέδου φωτισμού στην επιφάνεια του χώρου, ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του αυτού. Για τον λόγο αυτό αναλύονται λεπτομερώς όλες οι στρατηγικές έλεγχου φωτισμού από το πιο απλό μέχρι το πιο σύνθετο επίπεδο. Ο έλεγχος αυτός δεν πρέπει να πραγματοποιείται μόνο σε επίπεδο συσκευών αλλά σε ολοκληρωμένο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου και για τον λόγο αυτόν αναλύονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αυτοματισμών για κτιριακό έλεγχο (BMS) , ιδιωτικά και ανοικτά. Ένα ανοικτό πρωτόκολλο που επιτρέπει τον ολοκληρωμένο έλεγχο ενός κτιρίου είναι το KNX το οποίο και μελετάται αναλυτικά. Μέσω του πρωτοκόλλου αυτού και των συσκευών του μπορεί να επιτευχθεί ο έλεγχος φωτισμού μέσω κλειστού βρόγχου. Για τον λόγο αυτό γίνεται αναλυτική μελέτη της λειτουργία του KNX όσον αφορά τον έλεγχο φωτισμού αλλά εκτελείται και μια πραγματική εφαρμογή για τον έλεγχο του φωτισμού σε ένα δωμάτιο, με την επιλογή των κατάλληλων συσκευών, τον προγραμματισμό και την παραμετροποίηση τους μέσω του ειδικού λογισμικού ETS και την κοστολόγηση τους. Μέσω του προγράμματος Electrical Design της Tl soft επιτυγχάνεται η σύνδεση του κυκλώματος KNX με το κύκλωμα τροφοδοσίας των συσκευών και τον υπολογισμό όλων των διατάξεων προστασίας για το υπό μελέτη σύστημα, σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ HD 384.

POST-GRADUATE THESIS: **«Control of Artificial Lighting with KNX»**

STUDENT: **Sotiriou Anastasios**

SUPERVISOR: **Fragkiskos V. Topalis, Professor, Divison of Electric Power**

ACADEMIC YEAR: **2015-2016**

Summary

The detailed examination of the statistics about energy consumption increase, energy prices increase and carbon dioxide emissions increase set as necessary the implementation of energy saving meters. The analysis of the statistics indicates the great energy saving potential of building section by daylight exploitation. In order to achieve this exploitation, automation systems must be implemented by not only taking advantage of daylighting but also to enhancing a constant lighting level, depending to the room requirements. For this reason all the control strategies of automation applications for lighting control are analyzed, from the more simple technique to most complex. This control must not refers only to devices level but to a complete energy building management system (BMS) and for this reason all the propriety and not propriety automation protocols are analyzed. One open protocol that allows, due to its specifications, the complete building management is KNX, which is thoroughly exanimated. With KNX and its devices a constant lightning control with closed loop technique can be achieved. So the KNX operation as about the lighting control is analyzed and a real application program about the constant lighting control of a room is executed by selecting the appropriate devices, by programming and setting the parameters of them with ETS and by economically evaluating the complete system. Also with Ti Soft electrical design program the connection of the KNX System with the main power supply system is archived and the calculation of all the necessary protection devices according to ELOT HD 384 are represented.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο	
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο	9
1.3 Ενεργειακά δεδομένα Ευρώπης και Ευρωπαϊκή πολιτική	14
1.4 Δεδομένα Ελλάδας και η πρόοδος στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης Κτιρίων.	18
1.5 “Εξυπνα” Κτίρια σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	
ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	39
2.1 Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού (Daylighting Harvesting)	39
2.2 Στρατηγικές Ελέγχου Φωτισμού	43
2.2.1 Εισαγωγή	43
2.2.2 Προσδιορισμός των αναγκών για ενεργειακό έλεγχο	45
2.2.4 Σύστημα ελέγχου φωτισμού και BMS	53
2.3 Αρχιτεκτονικές Ελέγχου Φωτισμού	58
2.3.1 Εισαγωγή	58
2.3.2 Επίπεδα αρχιτεκτονικής ελέγχου φωτισμού	59
2.4 Στοιχεία ελέγχου φωτισμού	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο	
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	68
3.1 Εισαγωγή	68
3.2 Πρωτόκολλα ελέγχου φωτισμού	71
3.2.1 0-10VDC	71
3.2.2 DMX512	72
3.2.3 DALI	74
3.2.4 BACnet	76
3.2.5 LonWorks	79
3.2.6 EnOcean	81
3.2.7 Zigbee	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο	
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ KNX	86
4.1 Εισαγωγή	86
4.2 KNX επίπεδα και μέσα επικοινωνίας	87
4.3 Ανάλυση επιπέδων	90
4.3.1 Φυσικό επίπεδο	90
4.3.2 Επίπεδο Διασύνδεσης (Data link layer)	91
4.4 Μετάδοση σήματος και ανάλυση πακέτου δεδομένων TP1	92

4.5 Τοπολογία συστήματος και αρχή λειτουργίας bus συσκευής.	96
4.6 Bus Συσκευές για έλεγχο φωτισμού	106
4.7 Λογισμικό Προγραμματισμού ETS	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX	111
5.1 Εισαγωγή	111
5.2 Έλεγχος σταθερού επιπέδου φωτισμού μέσω KNX (Constant Lighting Control)	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX – ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	126
6.1 Πραγματική περίπτωση προγραμματισμού εγκατάστασης για έλεγχο φωτισμού μέσω KNX	126
6.2 Συμπεράσματα - Επίλογος	143
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	146
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	150
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

1.1 Εισαγωγή

Αναμφίβολα η κατανάλωση ενέργειας και οι τρόποι ελαχιστοποίησης της αποτελούν θέμα εξαιρετικής σημασίας και οι μελέτες που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο είναι διαρκώς αυξανόμενες. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και η ανάγκη για μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, σε επίπεδο οικιακό, βιομηχανικό αλλά και γενικότερα σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας έχουν οδηγήσει σε πληθώρα λύσεων και επιλογών.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον όσον αφορά τις κτιριακές υποδομές και την δυνατότητα μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας έχει η μελέτη συστημάτων με αυτοματισμούς και ο τρόπος με τον οποίον μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο καθίσταται απαραίτητο να αναλυθούν οι συγκυρίες οι οποίες οδήγησαν στην εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής και πλέον αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής και της λειτουργίας κάθε κτιρίου.

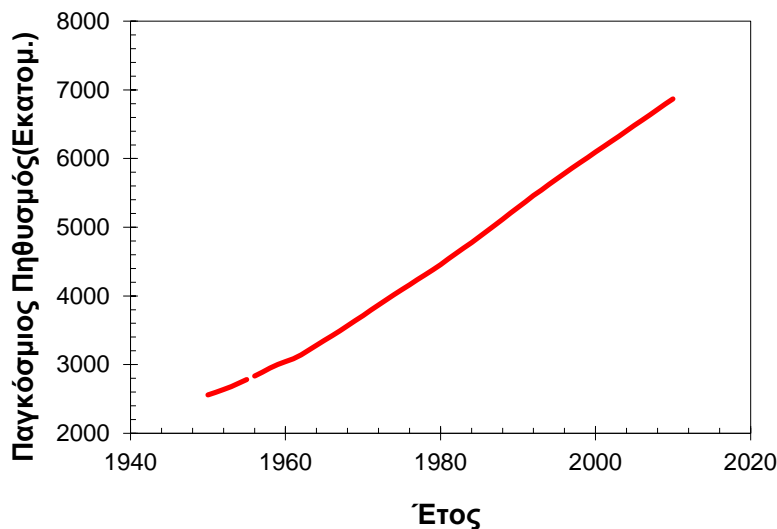
1.2 Στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο

Τα στοιχεία που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ξεκαθαρίζουν αρκετά πράγματα όσον αφορά το πόσο σημαντικό να επηρεάσουμε με την βοήθεια της τεχνολογίας την εξοικονόμηση ενέργειας και να συμβάλουμε τόσο στην προστασία του πλανήτη όσο και να εξοικονομήσουμε ενεργειακούς πόρους που διαρκώς μειώνονται. Η αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη τα τελευταία χρόνια αλλά και η διαρκώς μεγαλύτερη απαίτηση για κατανάλωση ενέργειας στις διάφορες δραστηριότητες αποτυπώνονται σε σχετικά διαγράμματα από διεθνείς φορείς που στόχο έχουν να καταγράψουν την κατανάλωση ενέργειας και τους ρυθμούς με τους οποίους αυτή μεταβάλλεται.

Ο ρυθμός αυτός έχει οδηγήσει τόσο την Παγκόσμια κοινότητα όσο και την Ευρωπαϊκή, ανάμεσα της και η Ελλάδα, σε πληθώρα δράσεων αλλά και νομοθετικών διατάξεων που σαν στόχο έχουν την μείωση των καταναλώσεων.

Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αλλά και ο ρυθμός με τον οποίο αυτός εξελίσσεται. Ενδεικτικά κατά το έτος 1980 ο παγκόσμιος πληθυσμός ήταν 4,697,565,583 άνθρωποι ενώ το έτος 2010 έχει καταγραφεί σε 6,868,528,206 ανθρώπους. Είναι σημαντικό να σημειωθεί και ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται ο πληθυσμός. Ο μέσος όρος στην διάρκεια 1980-2010 είναι 1,45% όταν στην διάρκεια 1750-1900 το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 0,51%. [1]

Γίνεται λοιπόν κατανοητό το ότι η επιστημονική κοινότητα έχει καταβάλλει προσπάθειες περισσότερο από ποτέ για τεχνολογίες και τρόπους εξοικονόμησης πόρων και ενέργειας.



Πίνακας 1.1: Στοιχεία για την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού[1]

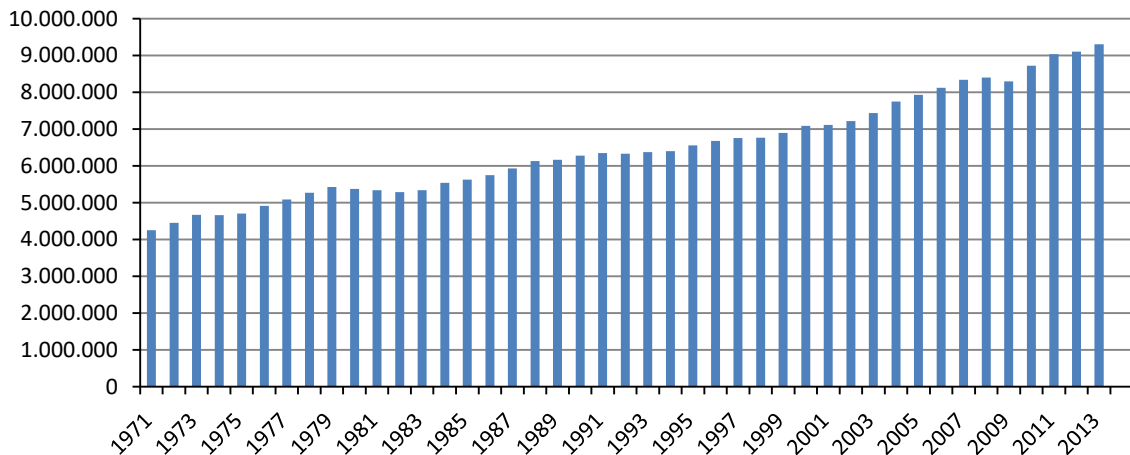
Η διαρκώς αυξανόμενος πληθυσμός του πλανήτη έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο τα στατιστικά δείχνουν πόσο έχει αυξηθεί η κατανάλωση ενέργειας ώστε να καλυφθούν οι ολοένα και μεγαλύτερες ανάγκες.

Τόσο η τελική κατανάλωση ενέργειας εκφρασμένη σε ισοδύναμους τόνους πετρελαίου αλλά και η τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με μελέτες και στοιχεία έχουν αυξηθεί ιδιαίτερα.

Σε στοιχεία που παρατίθενται και έχουν καταγράψει από το Διεθνές Πρακτορείο Ενέργειας (IEA) το 1971 η τελική κατανάλωση ενέργειας για όλους τους κλάδους ήταν 4.248.765 Ktoe , το 6.281.002

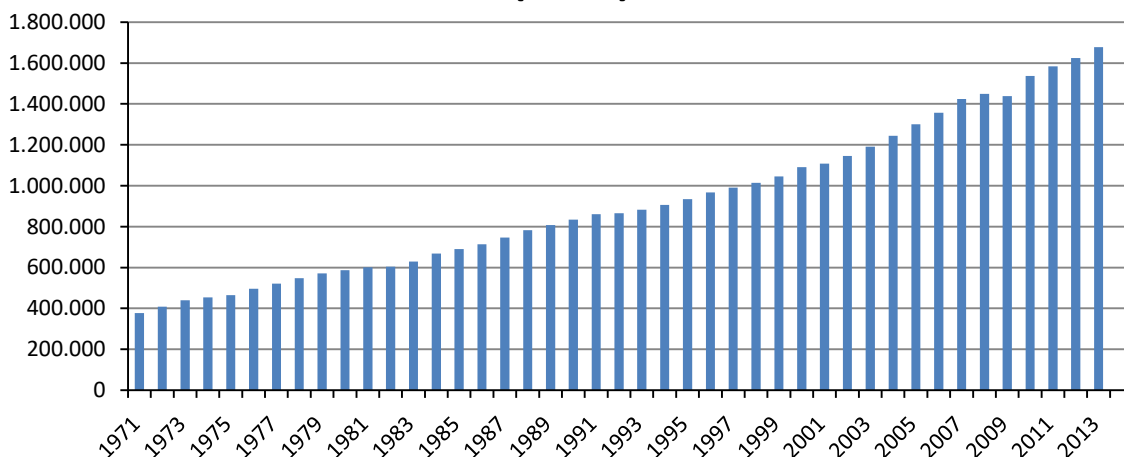
Κtoe ενώ το 2014 έχει καταγραφεί έως 9.301.060 Κtoe. [1] Στα επόμενα διαγράμματα αποτυπώνεται η τελική κατανάλωση ενέργειας για την περίοδο 1971-2014 αλλά και η τελική κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (Κtoe)



Πίνακας 1.2: Καταγραφή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο[1]

Τελική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (Κtoe)



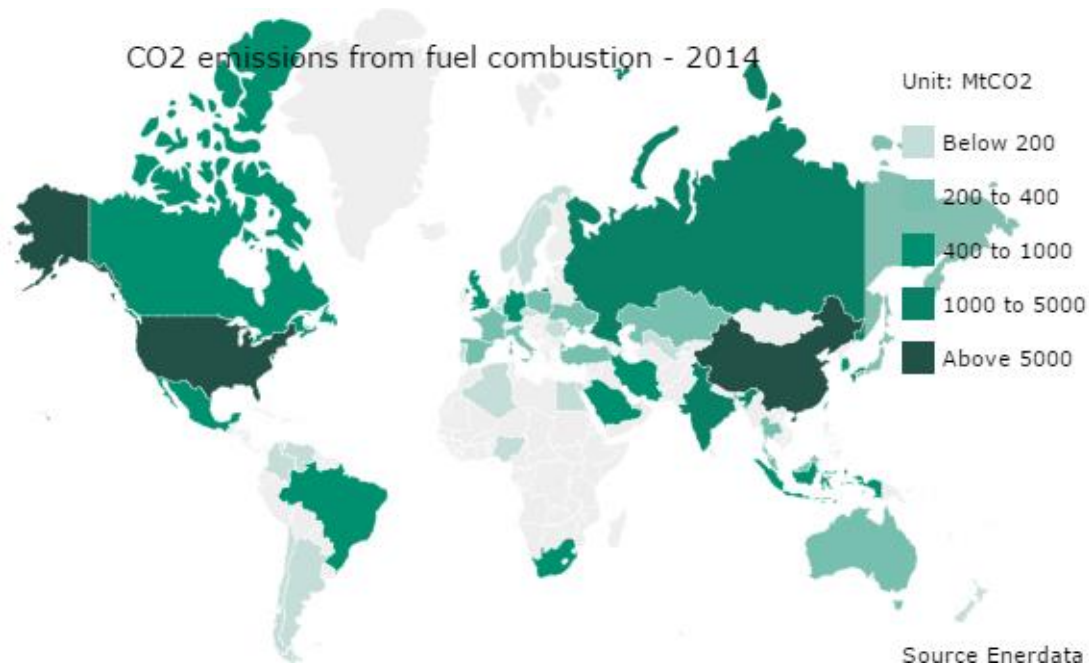
Πίνακας 1.3: Καταγραφή της τελικής Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο[1]

Άμεσο αποτέλεσμα από την αύξηση αυτήν της τελικής κατανάλωσης ενέργειας είναι και η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι επιστήμονες ανά τον κόσμο έχουν καταγράψει την

ανοδική αυτή τάση που έχει φτάσει σε ιστορικά υψηλά. Έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους σε αυτές τις μετρήσεις για να γίνει αντιληπτό το πόσο επηρεάζει η αλόγιστη σπατάλη ενέργειας την καταστροφή του πλανήτη.

Όπως είναι γνωστό η επιστημονική κοινότητα έχει επισημάνει το πρόβλημα και έχει κατ'επανάληψη καταστήσει σαφές ότι πρέπει να προχωρήσουμε σε σημαντικές αλλαγές για να περιορίσουμε την καταστροφή αυτή.

Στα επόμενα διαγράμματα αποτυπώνεται αυτή ακριβώς η αύξηση των εκπομπών CO_2 . Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι τεράστια επίδραση έχει συντελέσει η ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας της Κίνας τα τελευταία χρόνια. Στην επόμενη εικόνα αποτυπώνεται το πόσο έντονα συμμετέχουν οι δύο μεγάλοι παίκτες της παγκόσμιας τεχνολογίας Αμερική και Κίνα.

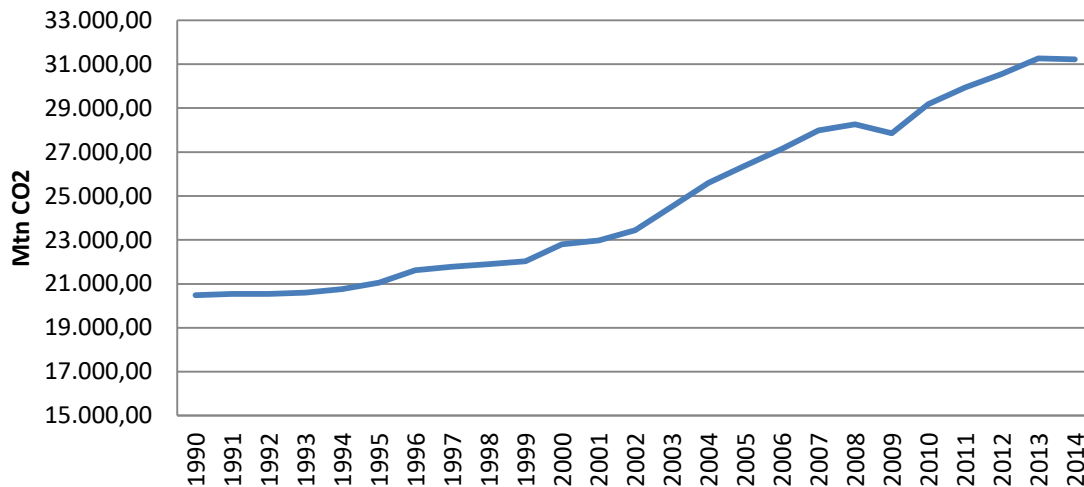


Εικόνα 1.1: Παγκόσμια κατανομή εκπομπών CO_2 έτους 2014. [2]

Σύμφωνα με τα στοιχεία για το έτος 2014 η παραγωγή της Κίνας κατέγραψε ιστορικό ρεκόρ 9.680 MtCO₂ και οι ΗΠΑ 5.561 MtCO₂. Το μερίδιό τους είναι εξαιρετικά μεγάλο και οι τρόποι ώστε να μειωθεί αυτό το ποσοστό ολοένα και αυξάνονται. [2]

Στο επόμενο διάγραμμα αποτυπώνεται η ραγδαία αύξηση των εκπομπών σε καταγεγραμμένη περίοδο 1990-2014. Στην διάρκεια 2000-2014 ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνονται οι εκπομπές είναι 2,3 %.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ (Mtn)



Πίνακας 1.4: Εκπομπές CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο. [2]

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποδεικνύουν με τον καλύτερο τρόπο γιατί η επιστήμη της Εξοικονόμησης ενέργειας έχει κάνει μεγάλες προσπάθειες τόσο με ειδική νομοθεσία και διεθνείς οδηγίες όσο και με αξιόλογη τεχνολογική πρόοδο ώστε να γίνει σαφέστατη αλλά και υποχρεωτική η προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας.

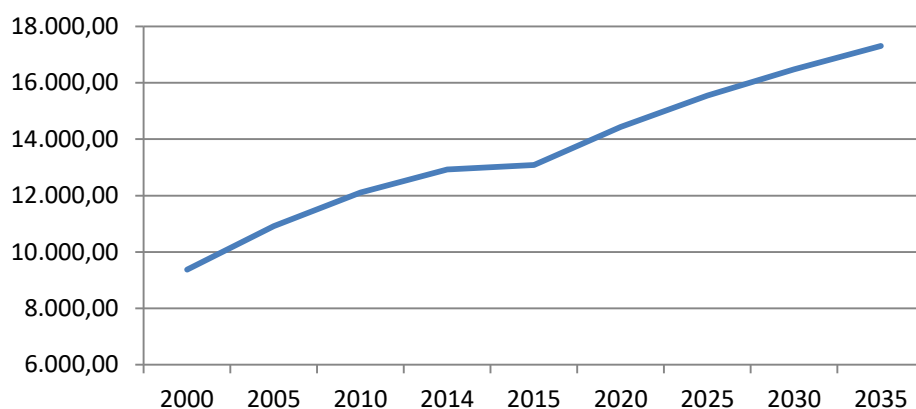
Μια ευρέως γνωστή οδηγία περί εξοικονόμησης ενέργειας και επικίνδυνων για το περιβάλλον εκπομπών αποτελεί η σύμβαση του Κιότο, με την ονομασία **Πρωτόκολλο του Κιότο**, με το οποίο τίθενται νομικά, δεσμευτικά όρια στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανεπτυγμένες χώρες και προβλέπονται καινοτόμοι μηχανισμοί υλοποίησης με βάση τις δυνάμεις της αγοράς. Ο αντικειμενικός στόχος είναι να μειωθούν οι εκπομπές του συνόλου των έξι αερίων από τις ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, ώστε κατά τη διάρκεια της περιόδου 2008-2012 να βρίσκονται 5% χαμηλότερα από το επίπεδο του 1990. Τελικά, το Πρωτόκολλο του Κιότο μπήκε σε πλήρη εφαρμογή στις 16 Φεβρουαρίου του 2005 και παρά το γεγονός ότι δεν έχει ακόμα υπογραφεί από τις Η.Π.Α., η έναρξή του σηματοδοτεί το ξεκίνημα μιας νέας εποχής για τον αγώνα ενάντια στην κλιματική αλλαγή. [4]

Στην 18^η συνεδρίαση των μελών στην Doha του Κατάρ αποφασίστηκε η δέσμευση για συνέχιση της προσπάθειας για μείωση των εκπομπών. Η λεγόμενη ως Doha Amendment θέτει μια δεύτερη δέσμευση για την περίοδο 2013-2020, επεκτείνει τους αρχικούς τύπους εκπομπών και ενισχύει την ατομική προσπάθεια των κρατών μελών της σύμβασης. [4]

Δυστυχώς η δεύτερη αυτή συμφωνία έχει αντίκτυπο μόνο στο 14% των παγκόσμιων εκπομπών καθώς μόνο τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης και η Αυστραλία συναινούν σε αυτήν την δεύτερη συμφωνία. Για την περίοδο μετά το 2020 αναμένεται εκ νέου συμφωνία στο Παρίσι.

Η δεύτερη αυτή συμφωνία ουσιαστικά επεκτείνει την αρχική συμφωνία για μείωση των εκπομπών έως το 2020 πάντα με έτος βάσης το 1990. Τον Ιανουάριο του 2015 το συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποδέχτηκε την συμφωνία της Doha και έθεσε το ζήτημα στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Το πόσο επιτακτική είναι η εύρεση λύσεων για αποδοτική εξοικονόμηση ενέργειας γίνεται αντιληπτό στο παρακάτω διάγραμμα στο οποίο αποτυπώνονται οι προβλέψεις για την ζήτηση ενέργειας στο διάστημα 2000-2035.

Αναμενόμενη Κατανάλωση Ενέργειας(Mtoe)

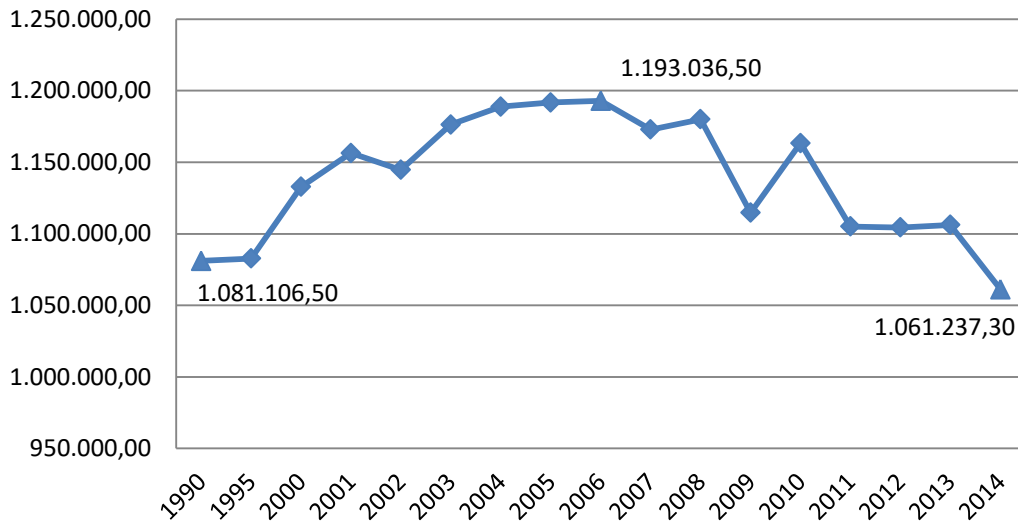


Πίνακας 1.5: Αναμενόμενη Εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας εκφρασμένη σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. [2]

1.3 Ενεργειακά δεδομένα Ευρώπης και Ευρωπαϊκή πολιτική

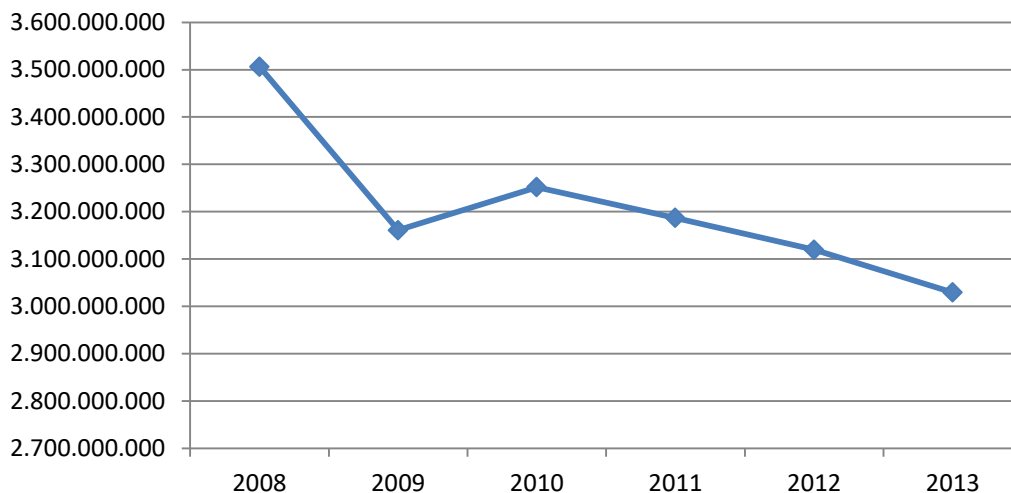
Στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για να περιοριστεί η σπατάλη ενέργειας και τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερος ικανοποιητικά. Τα αποτελέσματα δείχνουν σταθερότητα και μικρή πτώση στην τελική κατανάλωση ενέργειας τα τελευταία χρόνια. [5] Σε αυτό αναμφίβολα έχει συμβάλει η αυστηρή νομοθεσία, η οργάνωση επιστημονικών φορέων που εκδίδουν οδηγίες, και γενικότερα η οργάνωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η συνεχής ενημέρωση και η έκδοση υποχρεωτικών οδηγιών και κατευθύνσεων θέτει την Ευρωπαϊκή ένωση ως πρότυπο ενεργειακής κατανάλωσης εν αντιθέσει με την πορεία και τις προσδοκίες που αφορούν το σύνολο της παγκόσμιας κατανάλωσης. Σίγουρα μεγάλο ρόλο έχει συντελέσει σε αυτό και η οικονομική ύφεση των τελευταίων ετών. [6]

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (ktoe)



Πίνακας 1.6: Τελική Κατανάλωση Ενέργειας για την EU-28 εκφρασμένη σε ktoe. [1]

Εκπομπές CO₂ (tn)



Πίνακας 1.7: Εκπομπή CO₂ στην EU-28 (tn CO₂) [1]

Ο κύριος άξονας αναφοράς της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής πολιτικής είναι η σταθερή προσήλωση για την ανάγκη αύξησης της ενεργειακής απόδοσης. Βασικός στόχος αποτελεί η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020, σε σύγκριση με τις προβλέψεις του σεναρίου διατήρησης της υφιστάμενης κατάστασης συνέχισης των δρομολογημένων πολιτικών (business as usual – BAU). [6]

Στο πλαίσιο αυτό η στρατηγική «Ευρώπη 2020» περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση στους πρωταρχικούς της στόχους, διασφαλίζοντας και δημιουργώντας θέσεις απασχόλησης και εξασφαλίζοντας την έξυπνη, βιώσιμη και χωρίς αποκλεισμούς ανάπτυξη. Η ενεργειακή απόδοση βρίσκεται υψηλά στις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και δύναται να συμβάλει στην αντιμετώπιση της τριπλής πρόκλησης, η οποία συνίσταται από την τρέχουσα οικονομική ύφεση, την ενεργειακή εξάρτηση και την κλιματική αλλαγή.

Κατά την παρακολούθηση της πορείας επίτευξης αυτού του κεντρικού στόχου εντοπίστηκαν ουσιαστικές αποκλίσεις και κρίθηκε σκόπιμο να υπάρξει επικαιροποίηση τόσο των δεσμεύσεων όσο και των μηχανισμών που θα πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, τον Οκτώβριο του 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή να θεσπίσει τη νέα Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση με σαφή προσανατολισμό στην επίτευξη του συνολικού στόχου ενεργειακής απόδοσης για τη μείωση κατά 20% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας έως το 2020.

Η απαίτηση για την τροποποίηση της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ για τις ενεργειακές υπηρεσίες και η υιοθέτηση της νέας Οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση προήλθε ως αποτέλεσμα των ενδείξεων απόκλισης της επίτευξης του στόχου της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ, σύμφωνα με τα ήδη υποβληθέντα εθνικά Σχέδια Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης (ΣΔΕΑ I & II) από τα κράτη μέλη, καθώς και της ανάγκης επικαιροποίησης του νομικού πλαισίου για την ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ.

Το άμεσο κόστος της αδυναμίας μας να χρησιμοποιούμε αποδοτικά την ενέργεια ανέρχεται σε άνω των 150 δις ευρώ ετησίως μέχρι το 2020. Η αξιοποίηση του δυναμικού εξοικονόμησης κατά βιώσιμο τρόπο αποτελεί καίριο στοιχείο της κοινοτικής ενεργειακής πολιτικής. Αποτελεί τον πλέον αποτελεσματικό, με μεγάλη διαφορά, τρόπο ώστε ταυτοχρόνως να βελτιωθεί η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, να μειωθούν οι εκπομπές άνθρακα, να καλλιεργηθεί η ανταγωνιστικότητα και να τονωθεί η ανάπτυξη μιας μεγάλης πρωτοποριακής αγοράς τεχνολογιών και προϊόντων υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

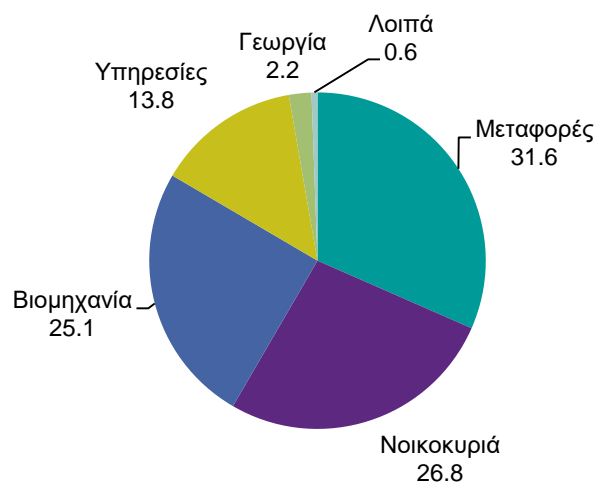
Η άντληση του δυναμικού εξοικονόμησης του 20% μέχρι το έτος 2020, που ισοδυναμεί με 390 Mtoe (εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου), θα αποφέρει τεράστια ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη. Συνεπάγεται μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 780 εκατομμύρια τόνους CO₂ σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς, μείωση διπλάσια και πλέον εκείνης που χρειάζεται η ΕΕ μέχρι το 2012 με βάση το πρωτόκολλο του Κιότο. Οι πρόσθετες δαπάνες για επενδύσεις σε πλέον αποδοτικές και καινοτόμες τεχνολογίες θα αντισταθμιστούν και πλέον από την ετήσια εξοικονόμηση καυσίμων η οποία θα υπερβεί τα 100 δις €. [6]

Σύμφωνα με τις μελέτες το μεγαλύτερο, οικονομικώς συμφέρον δυναμικό εξοικονόμησης υπάρχει στον οικιστικό (νοικοκυριά) τομέα και τον τομέα των εμπορικών κτιρίων (τριτογενή τομέα), όπου το πλήρες δυναμικό εκτιμάται τώρα γύρω στο 27% και 30% της χρήσης ενέργειας, αντίστοιχα. [8]

Προς αυτήν την κατεύθυνση, ο κτιριακός τομέας αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι έρευνας καθώς σύμφωνα με τις μελέτες ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% της κατανάλωσης ενέργειας, ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό, και οι επιστήμονες βλέπουν το μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης σε αυτόν τον κλάδο. Οι σχετικές με τον τομέα των κτηρίων δραστηριότητες αποτελούν σημαντικό μέρος της οικονομίας της ΕΕ, περίπου το 9% του ΑΕΠ της ΕΕ και το 7-8%

της απασχόλησης στην ΕΕ αντιστοίχως. Υπάρχουν σημαντικές, οικονομικώς συμφέρουσες, δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, που μπορούν να οδηγήσουν σε αξιόλογα οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Ως εκ τούτου, ο κοινοτικός κτηριακός τομέας μπορεί να διαδραματίσει καίριο ρόλο στην επίτευξη των πολιτικών στόχων της ΕΕ όσον αφορά την ανάπτυξη, την ενέργεια και το κλίμα, συμβάλλοντας παράλληλα στη βελτίωση του επιπέδου ανέσεων και στη μείωση των δαπανών για κατανάλωση ενέργειας των πολιτών. Η ενεργειακή απόδοση των κτηρίων αποτελεί επίσης σημαντικό μέρος των ευρύτερων πρωτοβουλιών για την επίτευξη των στόχων της ΕΕ όσον αφορά την ενέργεια και την αλλαγή του κλίματος, όπως αναφέρεται στην ανακοίνωση της Επιτροπής «Ενεργειακή Πολιτική για την Ευρώπη»

Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα η κατανάλωση που αφορά τα νοικοκυριά και τις υπηρεσίες και εντάσσεται στον κτιριακό τομέα είναι υπεύθυνη για ένα μεγάλο ποσοστό από την ζητούμενη ενέργεια. [1]



Σχήμα 1.1: Κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας για την Ευρωπαϊκή Ένωση (2013) [5]

Στα πλαίσια αυτών των δεδομένων η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει νομοθετήσει και έχει κατευθύνει τα κράτη μέλη με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. [8]

Οι **Ευρωπαϊκές Οδηγίες** που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αφορούν στην ενεργειακή απόδοση είναι:

- **Οδηγία 2002/91:** για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων

- **Οδηγία 2006/32/ΕΚ:** για την ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες
- **Οδηγία 2010/31/ΕΕ:** για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση της Οδηγίας 2002/91/ΕΚ)
- **Οδηγία 2012/27/ΕΚ:** για την ενεργειακή αποδοτικότητα

Επιπλέον η Ευρωπαϊκή νομοθεσία προωθεί την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, με τον υπέρτατο στόχο όλα τα νέα κτίρια να είναι μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (Nearly zero energy buildings). [8]

Και ενώ γίνεται μεγάλη προσπάθεια για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης τα στοιχεία δείχνουν ότι η τιμή της KWh για ηλεκτρική ενέργεια έχει αυξανόμενο ρυθμό στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στον παρακάτω Πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα αυτά σε οικιακό και βιομηχανικό επίπεδο για τα έτη 2012-2014 χωρίς να συμπεριλαμβάνονται οι φόροι πρόσθετης αξίας.

	Οικιακός Τομέας			Βιομηχανικός Τομέας		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
EU-28	0.195	0.202	0.208	0.116	0.118	0.12

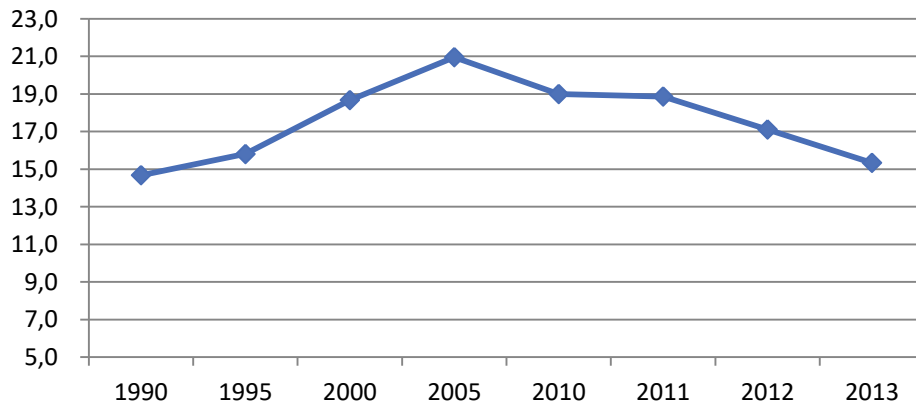
Πίνακας 1.8: Τιμή Ηλεκτρικής ενέργειας για την EU-28 σε €/KWh [1]

1.4 Δεδομένα Ελλάδας και η πρόοδος στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης Κτιρίων.

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης , γεγονός που συνδέεται άμεσα με την οικονομική κρίση των τελευταίων ετών αλλά και με την προσπάθεια για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε συμμόρφωση με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες. Σύμφωνα με τα στοιχεία η Ελλάδα είναι υπεύθυνη για το 1,6% της κατανάλωσης ενέργειας σε Ευρωπαϊκό

επίπεδο. Οι εκπομπές CO2 επίσης έχουν πτωτική τάση και για την περίοδο 2000-2012 υπολογίζονται σε -11,8%. [10]

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (Mtoe)

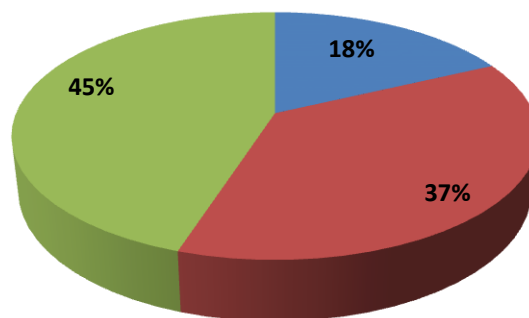


Πίνακας 1.9: Τελική κατανάλωση Ενέργειας (Mtoe) για την Ελλάδα. [1]

Ανά τομέα η κατανάλωση ενέργειας για την Ελλάδα συνοψίζεται στο παρακάτω σχήμα, όπου και αποτυπώνεται η μεγάλη επίδραση του οικιακού-κτιριακού τομέα στην κατανάλωση ενέργειας (45%)

Κατανάλωση Ενέργειας ανα Τομέα

■ Βιομηχανικός Τομέας ■ Μεταφορές ■ Κτιριακός Τομέας

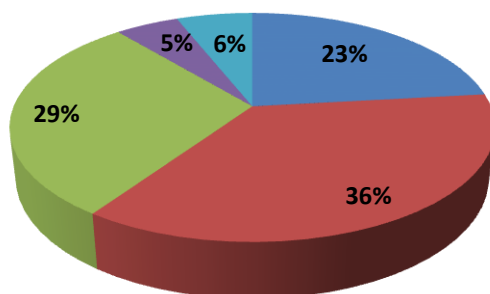


Σχήμα 1.2: Κατανάλωση Ενέργειας Ανά Τομέα για την Ελλάδα (2012) [1]

Ακόμα μεγαλύτερη είναι η επίδραση του κτιριακού τομέα όσον αφορά την τελική κατανάλωση ενέργειας. Σύμφωνα με τις στατιστικές και τις καταγραφές της ΔΕΗ είναι υπεύθυνος (οικιακός και τριτογενής τομέας) για το 65% της τελικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (Σε σύνολο 51,946 Gwh). [10]

Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανα Τομέα

■ Βιομηχανία ■ Οικιακός ■ Εμπορική-Τριτογενής ■ Αγροτικός ■ Λοιπές



Σχήμα 1.3: Κατανάλωση Ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα για την Ελλάδα (2012) [1]

Σύμφωνα με τα στοιχεία της EUROSTAT , το 2012 τα ελληνικά νοικοκυριά κατανάλωσαν 5,042 ΜΤΠΠ έναντι 3,058 το 1990 που αντιστοιχεί σε μια συνολική αύξηση κατά 64,8% στην κατανάλωση ενέργειας. Ο τριτογενής τομέας αποτελεί τον πιο ταχύτερα αναπτυσσόμενο κλάδο όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας , καθώς η κατανάλωση ενέργειας που τον χαρακτηρίζει έχει σχεδόν τριπλασιαστεί από το 1990, ακολουθώντας μια μέση αυξητική τάση της τάξης του 6,7% ανά έτος. Το 1990 παρουσίαζε κατανάλωση 0.652 ΜΤΠΠ ενώ το 2012 έφτασε τα 2,223 ΜΤΠΠ. Είναι χαρακτηριστικό ότι κατά την περίοδο 2000-2005 αυξήθηκε η ενεργειακή κατανάλωση του κτιριακού τομέα (κατοικίες και τριτογενής) κατά 24% φθάνοντας τα 8,607 ΜΤΠΠ , μια από τις μεγαλύτερες αυξήσεις της Ευρώπης. [13]

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω η συμμετοχή του κτιριακού τομέα είναι πολύ σημαντική στην κατανάλωση ενέργειας και είναι κρίσιμη η αντιμετώπιση τους για να επιτευχθούν οι ενεργειακοί στόχοι για το 2020 με το κυρίως νόημα της πολιτικής αυτής να συνοψίζεται στην έκφραση το 2020 όλα τα νέα κτίρια να αποτελούν κτίρια με μηδενική σχεδόν κατανάλωση ενέργειας. Με γνώμονα τα παραπάνω η Ελλάδα συμμετέχει στο όραμα ενός Αειφόρου Κτιριακού Αποθέματος , με χρονικό ορίζοντα το έτος 2050. Δηλαδή ο στόχος είναι η σταδιακή και συντονισμένη αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος , ώστε το 2050 όλα τα κτίρια να έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και

ιδανικά , μηδενική ή/και την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας σε συνδυασμό με την μέγιστη αξιοποίηση και ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ο κύριος άξονας αναφοράς της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής πολιτικής είναι η σταθερή προσήλωση για την ανάγκη αύξησης της ενεργειακής απόδοσης. Βασικός στόχος αποτελεί η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020, σε σύγκριση με τις προβλέψεις του σεναρίου διατήρησης της υφιστάμενης κατάστασης συνέχισης των δρομολογημένων πολιτικών (business as usual – BAU).

Στο πλαίσιο αυτό η στρατηγική «Ευρώπη 2020» περιλαμβάνει την ενεργειακή απόδοση στους πρωταρχικούς της στόχους, διασφαλίζοντας και δημιουργώντας θέσεις απασχόλησης και εξασφαλίζοντας την έξυπνη, βιώσιμη και χωρίς αποκλεισμούς ανάπτυξη. Η ενεργειακή απόδοση βρίσκεται υψηλά στις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και δύναται να συμβάλλει στην αντιμετώπιση της τριπλής πρόκλησης, η οποία συνίσταται από την τρέχουσα οικονομική ύφεση, την ενεργειακή εξάρτηση και την κλιματική αλλαγή.

Κατά την παρακολούθηση της πορείας επίτευξης αυτού του κεντρικού στόχου εντοπίστηκαν ουσιαστικές αποκλίσεις και κρίθηκε σκόπιμο να υπάρξει επικαιροποίηση τόσο των δεσμεύσεων όσο και των μηχανισμών που θα πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, τον Οκτώβριο του 2012, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή να θεσπίσει τη νέα Οδηγία 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση με σαφή προσανατολισμό στην επίτευξη του συνολικού στόχου ενεργειακής απόδοσης για τη μείωση κατά 20% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας έως το 2020. Η απαίτηση για την τροποποίηση της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ για τις ενεργειακές υπηρεσίες και η υιοθέτηση της νέας Οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση προήλθε ως αποτέλεσμα των ενδείξεων απόκλισης της επίτευξης του στόχου της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ, σύμφωνα με τα ήδη υποβληθέντα εθνικά Σχέδια Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης (ΣΔΕΑ I & II) από τα κράτη μέλη, καθώς και της ανάγκης επικαιροποίησης του νομικού πλαισίου για την ενεργειακή απόδοση στην ΕΕ. Η Οδηγία 2012/27/ΕΕ τέθηκε σε ισχύ στις 4 Δεκεμβρίου 2012, καταργώντας την Οδηγία 2006/32/ΕΚ και την Οδηγία 2004/8/ΕΚ για τη συμπαραγωγή, με προθεσμία συμμόρφωσης έως τις 5 Ιουνίου 2014. Η πρόοδος στην πορεία προς τον ενδεικτικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας κατά 9% έως το 2016 βάσει της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ αποτελεί σημείο αναφοράς στο πλαίσιο της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ και μέρος του παρόντος Εθνικού Σχεδίου Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης (ΕΣΔΕΑ).

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης θα συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη των στόχων που τίθενται σε εθνικό επίπεδο και αναφέρεται σε μέτρα και επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης στον κτιριακό τομέα, τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Τα μέτρα αυτά στο σύνολο τους επιτυγχάνουν συγκριτικά την πιο γρήγορη απόσβεση σε σχέση με άλλα μέτρα μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης και εμφανίζουν τον καλύτερο δείκτη που εκφράζει την επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας ανά μονάδα επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη και το συνολικό κόστος κύκλου ζωής των παρεμβάσεων. [8]

Σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των τεχνολογικών παρεμβάσεων αποτελεί και το γεγονός ότι μια ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση του κόστους των συμβατικών καυσίμων απορροφάται από τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και επομένως δεν έχει αντίκτυπο στον προϋπολογισμό του τελικού χρήστη. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή επιτυχημένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε επίπεδο τελικής χρήσης μειώνει συνολικά και τη ζήτηση ενέργειας, με πολλαπλασιαστικά οφέλη σε τοπικό και εθνικό επίπεδο.

Ταυτόχρονα, η αγορά των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, αναμένεται να παρουσιάσει υψηλό ρυθμό ανάπτυξης μέχρι το 2020, καθώς προβλέπεται η θέσπιση μέτρων και υποχρεώσεων για τις κτιριακές εγκαταστάσεις του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Παράλληλα, η ενεργοποίηση νέων μηχανισμών της αγοράς όπως συμβάσεις ενεργειακής απόδοσης μέσω επιχειρήσεων ενεργειακών υπηρεσιών και εθελοντικές συμφωνίες, θα διαμορφώσουν ένα νέο επιχειρηματικό τομέα δραστηριοποίησης ικανό να αντισταθμίσει τις επιπτώσεις της υφιστάμενης ύφεσης και την πτώση της οικοδομικής δραστηριότητας.

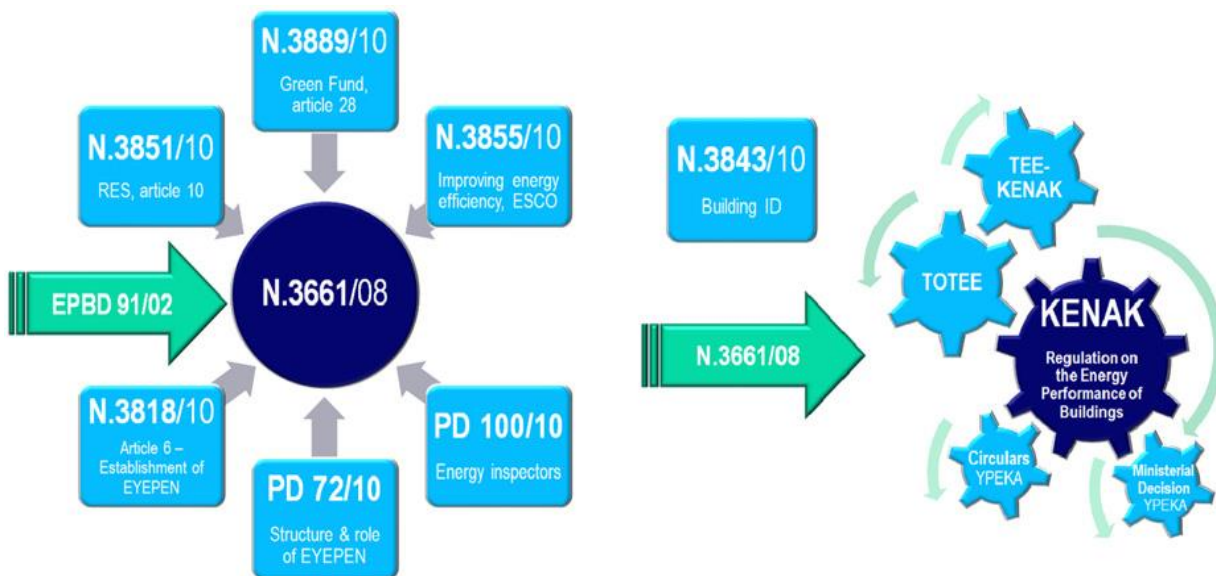
Για την Ελλάδα ως στόχος ενεργειακής απόδοσης για το 2020 τίθεται η επίτευξη τελικής κατανάλωσης ενέργειας στα επίπεδα των 18,4 Μtoe. Ο καθορισμός του στόχου επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί βάσει της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτή καθορίζει τις απαιτήσεις και τη ζήτηση ενέργειας, ενώ παράλληλα για την πρόβλεψη εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος τα μοντέλα υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώνουν αποτελεσματικότερα την τελική κατανάλωση ενέργειας.

Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου εναρμονίστηκε στο Εθνικό δίκαιο με τον Ν. 4122/2013 «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις»

Στον εν λόγω νόμο, στο Άρθρο 9, παρ. 2 προβλέπεται ο καθορισμός Εθνικού Σχεδίου για την αύξηση του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, το οποίο δύναται να περιλαμβάνει διαφορετικούς στόχους ανάλογα με την κατηγορία χρήσης του κτιρίου και κοινοποιείται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Επίσης στο Άρθρο 10, παρ. 2 του Νόμου 4122/2013 προβλέπεται η θέσπιση μέτρων, χρηματοδοτικών προγραμμάτων και άλλων μέσων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης νέων και υφιστάμενων κτιρίων. Για τη θέσπιση κινήτρων λαμβάνονται υπόψη τα βέλτιστα από πλευράς κόστους επίπεδα ενεργειακής απόδοσης με συνεκτίμηση του κόστους και του οφέλους που έχουν για το κοινωνικό σύνολο οι επενδύσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης ενώ η συνέχεια έχει γίνει με τον νόμο 4342/2015 που είναι η εφαρμογή της Ευρωπαϊκής διάταξης 2012/27/ΕΕ.

Η Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων πήρε οριστική μορφή στην Ελληνική Επικράτεια με τον νόμο 3661/08 που δημοσιεύτηκε τον Μάιο του 2008. Ο νόμος αυτός είναι ουσιαστικά η μετάφραση της Ευρωπαϊκής οδηγίας για την Ενεργειακή απόδοση κτιρίων, παρέχοντας το γενικό υπόβαθρο αλλά και όλες τις παραμέτρους που υιοθετήθηκαν από αυτήν την οδηγία. [8]



Σχήμα 1.4: Διαγραμματική Περίληψη των κύριων νομοθεσιών για την εφαρμογή της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων στην Ελλάδα. [11]

Οι ευρωπαϊκές οδηγίες οδήγησαν στην εφαρμογή του KENAK και στην έκδοση ενεργειακών πιστοποιητικών, ένα εργαλείο ώστε να κερδίσουμε καλύτερη εικόνα στην ενεργειακή απόδοση των υφιστάμενων κτιρίων αλλά και να βελτιώσουμε την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων. Σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες, Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης εκδίδεται όταν τα κτίρια κατασκευάζονται, πωλούνται ή νοικιάζονται και έχουν ισχύ για 10 χρόνια. Τα πιστοποιητικά αυτά είναι εκφρασμένα σε όρους ενεργειακής κατανάλωσης, εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακό κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ κτιρίων αλλά και να εκδοθεί η ενεργειακή κλάση αυτών.

Ο KENAK οριοθετεί την γενική μέθοδο υπολογισμών και την συνολική προσέγγιση για την έκδοση ενεργειακών πιστοποιητικών, σύμφωνα πάντα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες, με την κύρια διαδικασία υπολογισμού για ενεργειακή ζήτηση σύμφωνα με το EN 13790. Εισάγει την χρήση ενός πρότυπου κτιρίου ως κτίριο αναφοράς για να μπορεί να γίνει η σύγκριση με το εξεταζόμενο κτίριο και τον υπολογισμό παραμέτρων όσον αφορά την ψύξη, την θέρμανση, τον αερισμό και τον φωτισμό.

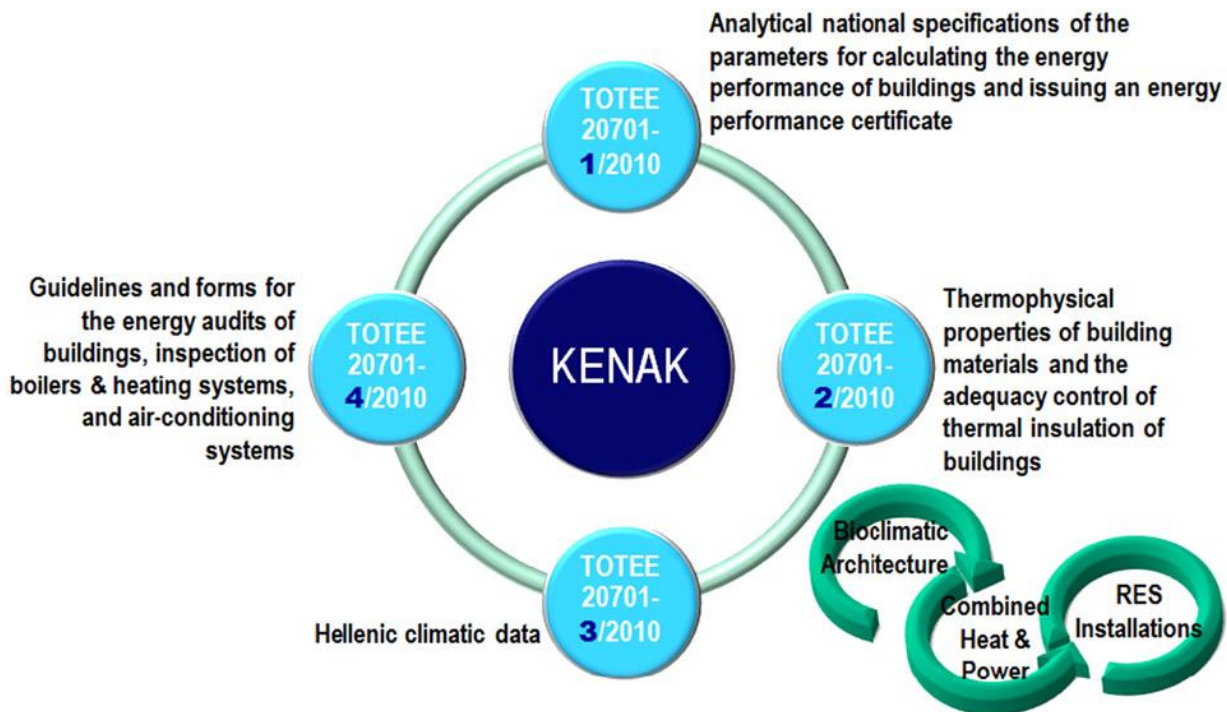
Σύμφωνα με τις αλλαγές αυτές η Ελληνική Επικράτεια διαιρέθηκε πλέον σε 4 κλιματικές ζώνες ώστε να μπορούν να πληρούνται οι απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση σύμφωνα με τια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε ζώνης.



ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρέθυμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκάνησου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθέρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Εύβοιας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Πίνακας 1.10: Διαχωρισμός της Ελληνικής Επικράτειας σε Κλιματικές ζώνες [11]

Ακολουθώντας την έκδοση του ΚΕΝΑΚ το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) κινητοποίησε το τεχνικό δυναμικό και τους πόρους του ώστε να εκδώσει μια σειρά από τεχνικές οδηγίες- 4 στον αριθμό- με την ονομασία ΤΟΤΕΕ. Στις συνολικά 482 σελίδες των οδηγιών αυτών αποτυπώνονται οι τεχνικές οδηγίες για την εφαρμογή του ΚΕΝΑΚ στην Ελλάδα..



Σχήμα 1.5: Διαγραμματική περίληψη των 4 οδηγιών του ΤΕΕ για την τεχνική υποστήριξη της εφαρμογής του ΚΕΝΑΚ. [11]

Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ η ενεργειακή μελέτη σχεδιασμού νέων κτιρίων αναμειγνύει τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, την επάρκεια θερμομόνωσης, σχεδιασμό των Ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και των συστημάτων αυτοματισμού και τελικά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Το κτίριο αναφοράς είναι αντίγραφο πραγματικής μελέτης κτιρίου αλλά γίνεται πάντα προσαρμογή των σχεδιαστικών του παραμέτρων ώστε να καλύπτει τις ελάχιστες απαιτούμενες προδιαγραφές για την εκάστοτε σύγκριση. Είναι κατηγορίας Β και όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες ενεργειακής κλάσης προκύπτουν ως ποσοστό της συγκρινόμενης ενεργειακής κατανάλωσης σύμφωνα με το κτίριο αναφοράς (kWh/m²).

Τα τελικά περιεχόμενα του δισέλιδου ελληνικού πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ) είναι σύμφωνα με το ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, το **Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ)** περιλαμβάνει:

- Την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας και τιμές αναφοράς, όπως ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, ώστε να επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ή στους ενοικιαστές του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας να συγκρίνουν και να αξιολογούν την ενεργειακή απόδοσή του. Το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m²) του εξεταζόμενου κτιρίου προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (kWh/m²) αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης (A+, A, B+, B, Γ - Η).
- Πρόσθετες πληροφορίες, όπως τα γενικά στοιχεία του κτιρίου, την υπολογιζόμενη ετήσια συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς και του εξεταζόμενου κτιρίου, την ετήσια πραγματική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, και το ποσοστό συμμετοχής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, τις υπολογιζόμενες και πραγματικές ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (kg/m²), την εκτίμηση του ενεργειακού επιθεωρητή σχετικά με την αξιολόγηση της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος.
- Συστάσεις οικονομικά συμφέρουσες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, εκτός εάν δεν υπάρχει εύλογη δυνατότητα σχετικής βελτίωσης σε σύγκριση με τις ισχύουσες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση.

Α.Π.: 1/2011 Α.Α.: Ε005F-ΚΟΜΗΤ-ΕΜΜΗΥ-2

ΧΡΗΣΗ: Πολυκατοικία
Κτίριο Τμήμα κτιρίου
Αριθμός ιδιοκτησίας: Z1H1
Κλιματική Ζώνη: Β
Διεύθυνση: Full Address
Τ.Κ.: 11524
Πόλη: ΝΕΑ ΦΙΛΟΣΟΦΗ ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΩΝ ΑΘΗΝΑ
Έτος κατασκευής: 2009
Συνολική επιφάνεια [m²]: 183.82
Όργανωμένη επιφάνεια [m²]: 152.44
Όνομα ιδιοκτήτη: Name of the owner

ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

ΜΙΣΘΕΝΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
EP ≤ 0.10-R _e	A+
0.10-R _e < EP ≤ 0.50-R _e	A
0.50-R _e < EP ≤ 0.75-R _e	B+
0.75-R _e < EP ≤ 1.00-R _e	B
1.00-R _e < EP ≤ 1.51-R _e	Γ
1.51-R _e < EP ≤ 1.92-R _e	Δ
1.92-R _e < EP ≤ 2.27-R _e	E
2.27-R _e < EP ≤ 2.73-R _e	Z
2.73-R _e < EP	H

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΓΧΟΣΟΤΙΚΟ

Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίου αναφοράς [kWh/m ²]:	104.7
Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²]:	75.5
Υπολογιζόμενες ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kgCO ₂ /m ²]:	19.45

Πραγματική ετήσια κατανάλωση ενέργειας & Εκπομπές CO₂

Ηλεκτρική ενέργεια [kWh/m ²]:----	Κύβισμα [kWh/m ²]:----	Θερμική άνεση <input checked="" type="checkbox"/>
Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²]:----		Οπτική άνεση <input type="checkbox"/>
Συνολικές ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kg/m ²]:----		Ποιότητα αέρα <input type="checkbox"/>

Α.Π.: 1/2011 Α.Α.: Ε005F-ΚΟΜΗΤ-ΕΜΜΗΥ-2

ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Πηγή ενέργειας	Τελική χρήση	Συντελεστής στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου (%)
Ηλεκτρική	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	ZNK <input type="checkbox"/>
	Ψύξη <input checked="" type="checkbox"/>	ZNK <input type="checkbox"/>
		8.82
Οργανικά καύσιμα	Πετρέλαιο	Θέρμανση <input checked="" type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input checked="" type="checkbox"/>
	Φυσικό αέριο	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input type="checkbox"/>
	Άλλο:	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input type="checkbox"/>
ΑΠΕ	Ηλιακή	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input checked="" type="checkbox"/>
	Φωτισμός <input type="checkbox"/>	
	Βιομάζα	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input type="checkbox"/>
	Γεωθερμία	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input type="checkbox"/>
	Άλλο:	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Ψύξη <input type="checkbox"/> ZNK <input type="checkbox"/>
Σύνολο	Φωτισμός <input type="checkbox"/>	22.13

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση [kWh/m²]

Θέρμανση: 49.7 Ψύξη: 9.6
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX): 16.2 Φωτισμός: 0.0
ΑΠΕ & ΣΗΘ: (-): 0.0

ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

-
-
-

Αρ.θμός συστήσης	Εκτιμώμενη ετήσια μείωση κατανάλωσης ενέργειας και τμήμα μόνωσης* [kWh/m ²]	Εκτιμώμενη ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ * [kg/m ²]	Εκτιμώμενη περίοδος αποπληρωμής* [έτη]
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0

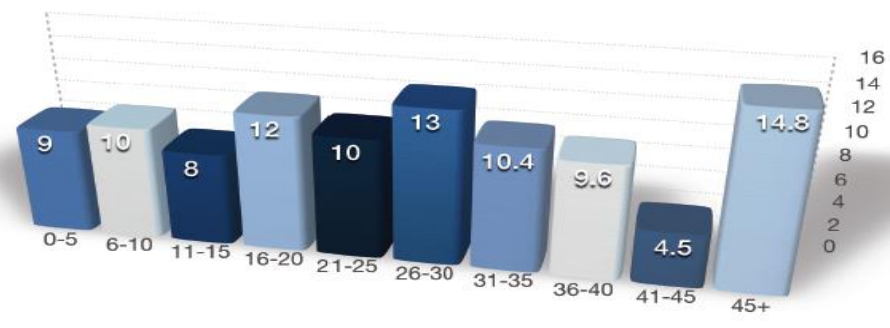
* Η μείωση ενέργειας και των εκπομπών αφορά την κάθε επιμέρους σύνθεση και το ποσό δεν αποκρίνεται. Ο αριθμός και η ετήσια μείωση αποπληρωμής βασίζονται στην τιμή του αποπληρωμής.

Ημερομηνία έκδοσης ΠΕΑ: 12/01/2011
Όνομα επώνυμο Επιθεωρητή: Name of Inspector
Α.Μ. Επιθεωρητή: Registry Number of Inspector

Υπογραφή: _____
Υπογραφή: _____

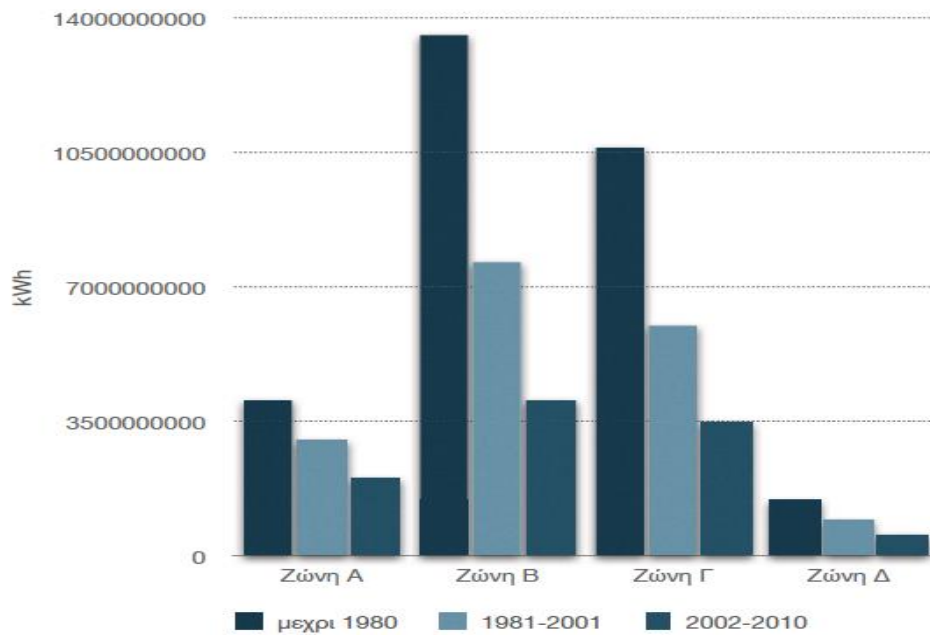
Εικόνα 1.2: Τυπική μορφή ελληνικού πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ) [11]

Η έκδοση ενεργειακών πιστοποιητικών μας έχει δώσει πολύτιμα στοιχεία για την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων μέχρι σήμερα και του μεγάλου δυναμικού εξοικονόμησης που υπάρχει. Σύμφωνα με τις μελέτες το Ελληνικό κτιριακό απόθεμα έχει τα εξής ηλικιακά χαρακτηριστικά:



Σχήμα 1.6: Ηλιακή κατηγοριοποίηση του κτιριακού αποθέματος [3]

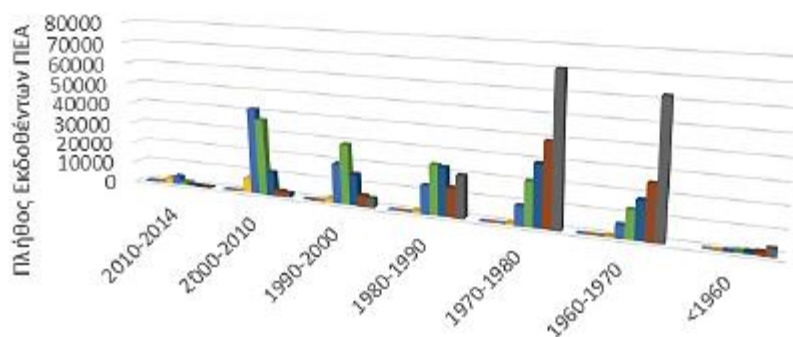
Στους δύο επόμενους Πίνακες αποτυπώνεται η κατηγοριοποίηση των κτιρίων βάση των πιστοποιητικών που έχουν εκδοθεί μέχρι και το 2014 αλλά και ενεργειακές καταναλώσεις βάση κλιματικής ζώνης.



	μεχρι 1980	1981-2001	2002-2010
Ζώνη Α	4.049.410.964	3.038.228.360	2.021.880.786
Ζώνη Β	13.589.727.642	7.641.030.276	4.077.260.969
Ζώνη Γ	10.628.887.361	6.016.367.898	3.520.289.308
Ζώνη Δ	1.450.717.597	935.992.848	585.196.566

Σχήμα 1.7: Κατανάλωση συνολικής πρωτογενούς ενέργειας ανά ηλικιακή κατηγορία και ανά κλιματική ζώνη [12]

Πλήθος ΠΕΑ ανά Δεκαετία Κατασκευής & Ενεργειακή Κατηγορία



	2010-2014	2000-2010	1990-2000	1980-1990	1970-1980	1960-1970	<1960
A+	13	171	5	2	4	6	
A	51	119	20	24	13	12	
B+	595	629	185	159	146	100	3
B	2964	7358	2033	1383	937	612	34
Γ	3996	41652	19193	13630	9151	5921	299
Δ	1471	36830	28727	23794	20801	13278	685
E	331	11522	15071	22881	29034	17841	981
Z	95	2740	5026	13852	39321	25768	1434
H	76	1962	4297	20026	70579	62552	3454

Σχήμα 1.8: Πλήθος ΠΕΑ ανά δεκαετία κατασκευής κτιρίων και ενεργειακή κατηγορία. [12]

Τα νεότερα κτίρια παρουσιάζουν μείωση της ειδικής κατανάλωσης θερμικής ενέργειας, ενώ η ηλεκτρική αυξάνεται κυρίως λόγω της αύξησης των αναγκών κλιματισμού. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας στα ελληνικά κτίρια είναι υψηλότερη από το μέσο όρων των κτιρίων στην Ευρώπη παρά τις ευνοϊκότερες κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδας.

Για την εκτίμηση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας, μελετήθηκε η εφαρμογή διαφόρων ΜΕΕ. Κάθε μέτρο εφαρμόστηκε σε καθορισμένο ποσοστό κτιρίων, με βασικό κριτήριο, το είδος και την υφιστάμενη κατάσταση των κτιρίων, καθώς και την δυνατότητα υλοποίησής του κάθε ΜΕΕ. Επίσης είναι πολύ σημαντικό να παρουσιαστεί η περίοδος αποπληρωμής της κάθε επένδυσης αλλά και το κόστος εγκατάστασης της.

Για τις κατοικίες τα πιο αποδοτικά μέτρα είναι η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων, η αεροστεγάνωση των ανοιγμάτων, η τοποθέτηση διπλών υαλοστασίων και η συστηματική συντήρηση των συστημάτων θέρμανσης.

Για τα κτίρια του τριτογενή τομέα τα πιο αποδοτικά μέτρα είναι η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων για τα σχολικά κτίρια και νοσοκομεία, ενώ για τα γραφεία και τα γραφεία/καταστήματα είναι η εγκατάσταση ενεργειακής διαχείρισης (BMS).

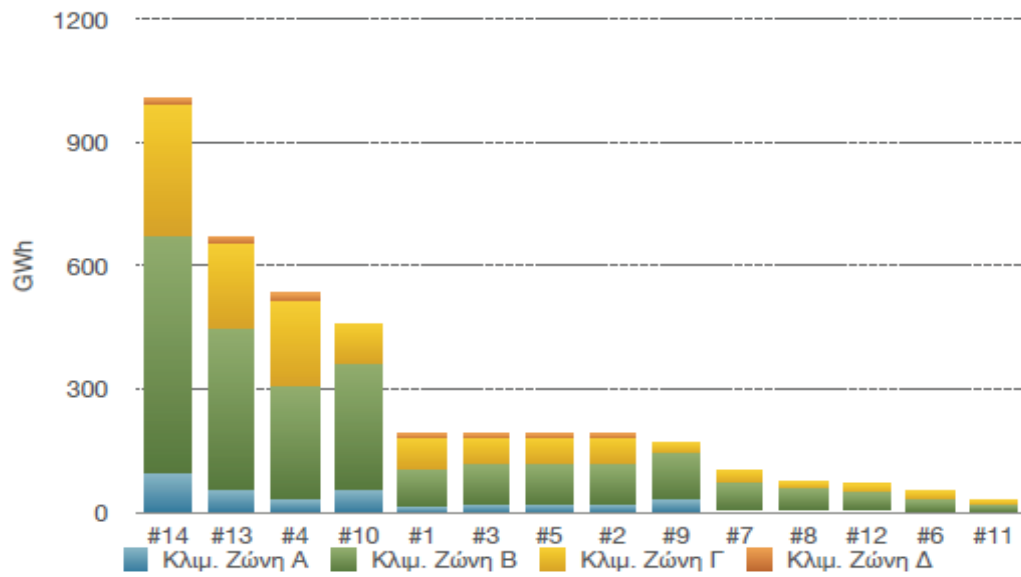
Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (kWh/m ² .a) για τα ελληνικά κτίρια												
	Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh _e /m ² .a)						Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh _{th} /m ² .a)					
	Μονοκατοικίες			Πολυκατοικίες			Μονοκατοικίες			Πολυκατοικίες		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Ελλάδα σύνολο	27.6	38.7	37.5	28.1	40.6	39.2	140	123	92	96	95	75
Ζώνη Α	22.5	29.6	27.3	24.6	31.2	28.5	94	89	67	65	62	52
Ζώνη Β	28.3	42.3	41.7	31.5	46.8	45.8	134	115	88	94	91	71
Ζώνη Γ	24.1	35.0	33.7	25.8	37.0	35.4	159	145	108	111	109	90
Ζώνη Δ	25.4	34.6	32.6	28.1	36.6	34.2	187	176	129	130	125	115
Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh _e /m ² .a)												
	Γραφεία - Καταστήματα			Ξενοδοχεία			Σχολικά κτίρια			Νοσοκομεία		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Ελλάδα σύνολο	42	56	71	70	110	130	20	20	21	90	99	107
Ζώνη Α	48	67	88	77	122	145	23	23	24	102	124	139
Ζώνη Β	43	57	72	66	104	123	21	21	22	92	97	102
Ζώνη Γ	39	51	64	54	86	102	18	19	20	82	94	104
Ζώνη Δ	36	48	63	46	73	87	17	17	18	77	84	91
Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh _{th} /m ² .a)												
	Γραφεία - Καταστήματα			Ξενοδοχεία			Σχολικά κτίρια			Νοσοκομεία		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010	1980	2001	2010
Ελλάδα σύνολο	93	75	70	90	80	75	32	31	31	145	134	129
Ζώνη Α	67	52	48	71	62	58	24	23	23	96	75	69
Ζώνη Β	85	69	65	90	78	73	29	29	28	136	129	126
Ζώνη Γ	107	89	83	113	99	92	37	36	36	188	168	160
Ζώνη Δ	134	110	103	142	124	115	46	46	45	252	237	231

Πίνακας 1.11: Μέση Ετήσια Κατανάλωση ενέργειας για τα ελληνικά κτίρια [12]

α/α	Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας Κτιριακού αποθέματος	Ποσοστό εξοικονόμησης %	
		Θερμική Ενέργεια	Ηλεκτρική Ενέργεια
1	Θερμομόνωση εξωτερικών τοίχων	33-60	
2	Θερμομόνωση οροφής – δαπέδων	2-14	
3	Αντικατάσταση υαλοστασίων (παράθυρα, θύρες και πλαίσια)	14-20	
4	Συντήρηση κεντρικών θερμάνσεων	10-12	
5	Εγκατάσταση νέων κεντρικών θερμάνσεων πετρελαίου υψηλής απόδοσης	έως 17	
6	Εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης Φυσικού Αερίου	έως 21	
7	Τοποθέτηση θερμοστατών αντιστάθμισης	3-6	
8	Τοποθέτηση θερμοστατών χώρων	3-6	
9	Τοποθέτηση εξωτερικής σκίασης	10-20	
10	Τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής		έως 60
11	Νυχτερινός αερισμός		έως 10
12	Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών για Ζεστό Νερό Χρήσης		50-80
13	Τοποθέτηση φωτιστικών συστημάτων υψηλής απόδοσης		έως 60
14	Τοποθέτηση αυτοματισμών – Building Management System (BMS)	έως 20	έως 30
15	Αεροστεγάνωση	16-21	
16	Αντικατάσταση κλιματιστικών με υψηλής απόδοσης – Αντλίες Θερμότητας		65-75
17	Χρήση Γεωθερμικών Αντλιών	έως 20	
18	Εγκατάσταση φυτεμένου δώματος	έως 10	έως 30
19	Χρήση ψυχρών υλικών	έως 15	

Πίνακας 1.12: Πίνακας Μέτρων Εξοικονόμησης ενέργειας για το ελληνικό κτιριακό απόθεμα. [13]

Στον επόμενο Πίνακα φαίνεται το πόσο επηρεάζουν την εξοικονόμηση ενέργειας τα διάφορα Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας για τον τομέα Γραφείων/Καταστημάτων. Στην ζώνη Β όπου ανήκει και η Αθήνα. Ενδεχόμενη εγκατάσταση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης μπορεί να οδηγήσει στην εξοικονόμηση 580 Gwh και 815 ktn CO₂.



Σχήμα 1.9: Εκτίμηση εξοικονόμησης ενέργειας για γραφεία καταστήματα ανά ΜΜΕ και κλιματική ζώνη. [13]

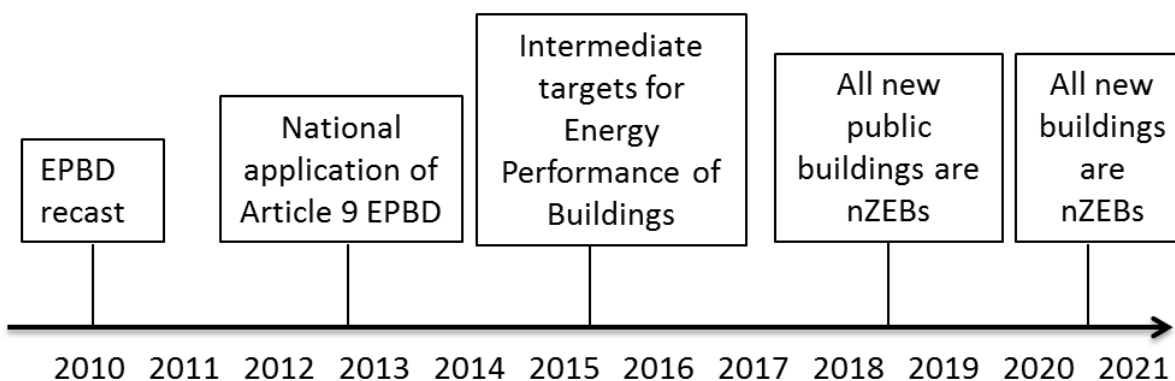
Περίοδος αποπληρωμής και μέσο κόστος των ΜΕΕ στα κτίρια			
Αριθμός Μ.Ε.Ε	Διάρκεια ζωής επένδυσης	Μέσο κόστος επένδυσης στον τριτογενή τομέα	Μέσο κόστος επένδυσης στον οικιακό τομέα
#1	Μόνωση: 30 χρόνια.	31.9 €/m ² μόνωσης	33 €/m ² μόνωσης
#2	Μόνωση: 30 χρόνια.	27.1 €/m ² μόνωσης	28 €/m ² μόνωσης
#3	Διπλά τζάμια: 30 χρόνια.	156 €/m ² υαλοστασίου	160 €/m ² υαλοστασίου
#4		170-500 €/κτίριο (για 1000-5000m ²)	110 €
#5	Λέβητας πετρελαίου: 25 χρόνια.	1700-6000 €/κτίριο (για 1000-5000m ²)	1180 €/Μον. 2935 €/Πολ.
#6	Λέβητας Φ.Α: 25 χρόνια.	1300-6000 €/κτίριο (για 500-5000m ²)	1180 €/Μον. 2935 €/Πολ.
#7	Θερμοστάτες αντιστάθμισης: 20 χρόνια.	800-2600 €/κτίριο (για 1000-5000m ²)	880 €/κτίριο
#8	Θερμοστάτες χώρου: 15 χρόνια.	19.3 €/θερμοστάτη	290 €/Μον. 1500 Euro/Πολ
#9	Εξωτερική σκίαση: 10 χρόνια.	24.2 €/m ² σκιάστρου	20 €/m ² σκιάστρου
#10	Ανεμιστήρα οροφής: 10 χρόνια.	48 €/ανεμιστήρα	20 €/ανεμιστήρα
#11		0.08 €/kWh	
#12	Ηλιακοί συλλέκτες: 10 χρόνια.	290 €/m ² ηλιακό συλλέκτη	740 €/ηλιακό συλλέκτη
#13	Λαμπτήρες υψηλής απόδοσης: 10 χρόνια.	0.6 €/m ² επιφάνειας κτιρίου	1 €/m ² επιφάνειας κτιρίου
#14	BMS: 10 χρόνια.	14.5 €/m ² επιφάνειας κτιρίου	
#15	Αεροστεγάνωση: 2 χρόνια.		20 €/κατοικία
#16	Νέα κλιματιστικά: 10 χρόνια.		700 €/ κλιματιστικό

Πίνακας 1.13: Περίοδος αποπληρωμής και μέσο κόστος των Μέτρων Ενεργειακής εξοικονόμησης στα κτίρια [12]

1.5 “Εξυπνα” Κτίρια σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης

Ο ορισμός των κτιρίων Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (nZEB), όταν υφίσταται, δεν είναι ο ίδιος σε κάθε χώρα. Ελλείπει εθνικών ορισμών αναφέρεται στην Οδηγία 2010/31/EU. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης «θεωρούνται τα κτίρια πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης στα οποία η, σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή, ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών τους απαιτήσεων, καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας».

Σύμφωνα με το άρθρο 9 της οδηγίας αυτής όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής μέχρι τις 31 Δεκέμβρη 2018 πρέπει να εξασφαλίσουν ότι όλα τα δημόσια κτίρια θα είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και μέχρι τις 31 Δεκέμβρη 2020 αυτό θα εξασφαλίζεται για όλα τα νέα κτίρια. [21]



Σχήμα 1.10: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής νομοθεσίας για τα Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης [21]

Στην Ελλάδα, ο νόμος 4122/2013), που αφορά στην εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ ψηφίστηκε το Φεβρουάριο του 2013, αλλά δεν δίνει ακριβέστερο ορισμό των nZEB, απ’ ότι υπάρχει στην Οδηγία. Ο ορισμός των κτιρίων σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης δεν υπάρχει ούτε στον προηγούμενο Νόμο 3661/2008 ούτε στον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ). Σύμφωνα με το Άρθρο 9, παρ 2 του ν. 4122/2013 προβλέπεται εθνικό σχέδιο αύξησης του αριθμού των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Το εθνικό σχέδιο περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών των κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας.

Η εφαρμογή συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (BEMS) στα κτίρια είναι ο κατεξοχήν πιο αποτελεσματικός τρόπος ώστε να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση αυτών. Οι κτιριακοί αυτοματισμοί

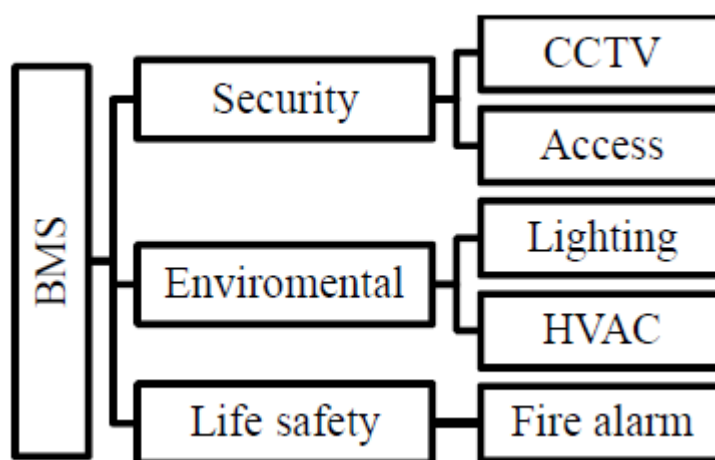
είναι ο συνδυαστικός κρίκος για την επίτευξη όλων των απαιτήσεων ενός κτιρίου Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης.

Ο ορισμός της ενεργειακής διαχείρισης είναι η αξιοποίηση της ενέργειας κατάλληλα και αποδοτικά. Ανάλογα τον τύπο κτιρίου αλλά και την χρήση του, οι συσκευές υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης διαφέρουν. Για παράδειγμα η διαχείριση της ποιότητας του αέρα και ο φωτισμός συμμετέχουν στην κατανάλωση πολύ σημαντικών ποσών ενέργειας στον τομέα των κατοικιών και των δημοσίων κτιρίων.

Από την δεκαετία του 80 έχει γίνει αναφορά σε ψηφιακά συστήματα ενεργειακής διαχείρισης, με τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της ψύξης/θέρμανσης, της φωτεινότητας και των εφαρμογών ασφαλείας. Το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης όχι μόνο ελέγχει όλες τις συσκευές ενός κτιρίου αλλά παρέχει πλήρη προστασία όσον αφορά τις ληστείες, τις πυρκαγιές και τις διαρροές αερίων με τον έλεγχο των συστημάτων ασφαλείας.

Το έξυπνο σπίτι λοιπόν πρέπει να πληροί τις παρακάτω απαιτήσεις σύμφωνα με την επιστημονική έρευνα:

- Να είναι φιλικό προς το περιβάλλον με έμφαση στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης
- Να ενισχύει την λειτουργικότητα των χώρων και να προσαρμόζεται εύκολα στις αλλαγές
- Να είναι αποδοτικό όσον αφορά το κόστος
- Να ενισχύει την άνεση των χρηστών
- Να ενισχύει την εργασιακή αποδοτικότητα
- Να περιλαμβάνει μέτρα ασφαλείας (για πυρκαγιά, διαρροή αερίων κτλ)

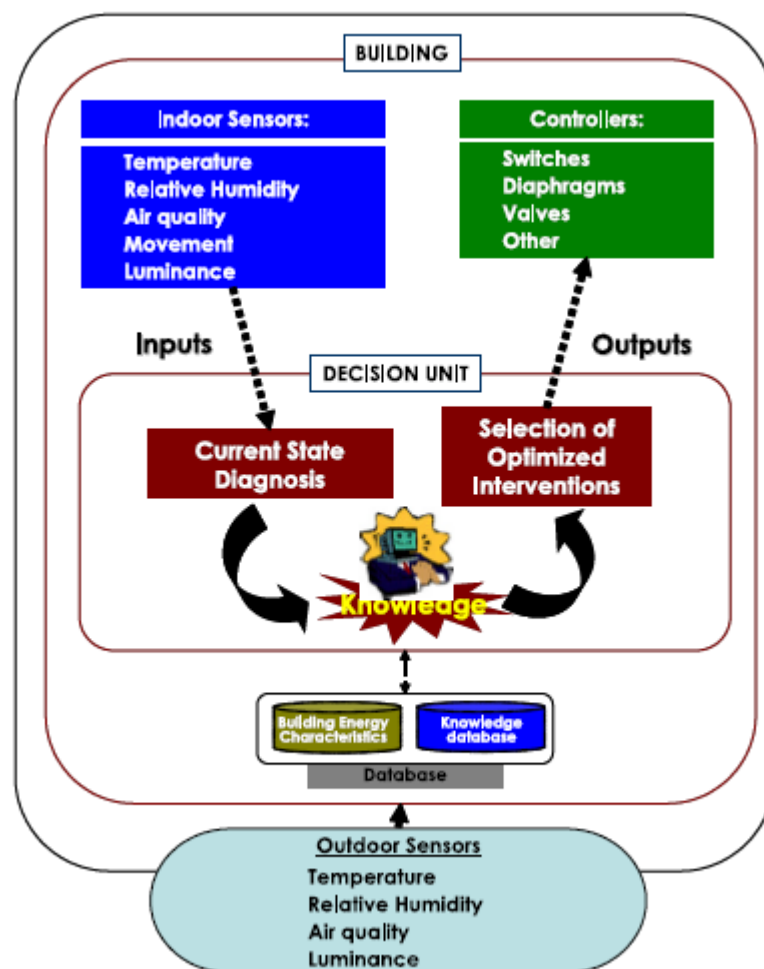


Σχήμα 1.11: Διαργασίες ενός συστήματος Ενεργειακής Διαχείρισης (BMS). [17]

Η εφαρμογή συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης έχει πλεονεκτήματα τα οποία έχουν καταστήσει την τεχνολογία και την μεθοδολογία αυτήν ως έναν από τους πιο αποδοτικούς τρόπους ενεργειακής εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα:

- Παροχή αξιοπιστίας και εξοικονόμησης χρόνου στους χρήστες με την αυτοματοποίηση χρονοβόρων διαδικασιών
- Δημιουργία ιδανικού περιβάλλοντος εργασίας και διαμονής
- Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης συσκευών και επέκταση διάρκειας ζωής τους
- Συνολική ενεργειακή εξοικονόμηση

Η φιλοσοφία και η λογική των συστημάτων αυτών μπορεί να συνοψισθεί στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 1.12: Η λογική των μοντέλων Ενεργειακής Διαχείρισης [18]

Όπως φαίνεται και στην εικόνα το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης πρέπει να παρέχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται στις εκάστοτε απαιτήσεις του κτιρίου. Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου έχουν ως εξής:

- Αισθητήρες εσωτερικού χώρου: Αισθητήρες που μετρούν ή καταγράφουν θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ποιότητα αέρα, ανίχνευση κίνησης και φωτεινότητας στα υφιστάμενα κτίρια.
- Αισθητήρες εξωτερικού χώρου: Αισθητήρες για εξωτερικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία , η σχετική υγρασία και η φωτεινότητα, παράμετροι εξαιρετικά σημαντικές για την λειτουργία του μοντέλου ενεργειακής διαχείρισης.
- Ελεγκτές: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν διακόπτες, βαλβίδες , ενεργοποιητές κτλ.
- Μονάδα απόφασης: Μια μονάδα αποφάσεων πραγματικού χρόνου συμπεριλαμβάνεται με τις παρακάτω δυνατότητες:
 - Επικοινωνία με τους αισθητήρες για την διάγνωση της κατάστασης του κτιρίου και την παρακολούθηση του ενεργειακού προφίλ αυτού.
 - Ενσωμάτωση έξυπνων τεχνικών προκειμένου να επιτυγχάνονται κατάλληλες παρεμβάσεις στο κτίριο , βασιζόμενες στις απαιτήσεις του
 - Επικοινωνία με τους ελεγκτές για υλοποίηση των αποφάσεων
- Βάση Δεδομένων: Προλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και γίνεται η καταγραφή σε αυτήν όλων των κρίσιμων παραμέτρων.

Προκειμένου να οριοθετηθεί η επίδραση συστημάτων αυτοματισμού και ενεργειακής διαχείρισης, τα αποτελέσματα από την χρήση τους, η τεχνική ορολογία των συσκευών και των δράσεων στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στα υφιστάμενα αλλά και στα νέα κτίρια, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε το 2007 την οδηγία **EN 15232** « Ενεργειακή απόδοση κτιρίων- Επίδραση των συστημάτων αυτοματισμών, έλεγχου και διαχείρισης κτιρίων ». Το πρότυπο καθορίζει:

- Μια δομημένη λίστα λειτουργιών αυτοματισμού, ελέγχου και τεχνικής διαχείρισης κτιρίων, που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
- Μια μέθοδο καθορισμού των ελάχιστων απαιτήσεων ελέγχου , αυτοματισμών και τεχνικής διαχείρισης κτιρίων ώστε αυτές οι λειτουργίες να μπορούν να εφαρμόζονται σε κτίρια διαφορετικού βαθμού πολυπλοκότητας.
- Αναλυτικές μεθόδους αξιολόγησης της επίδρασης αυτών των λειτουργιών στην ενεργειακή αποδοτικότητα του δοθέντος κτιρίου.
- Μια απλοποιημένη μέθοδο για την λήψη μιας πρώτης εκτίμησης της επίδρασης των λειτουργιών στην ενεργειακή απόδοση κτιρίων συνήθους τύπου.

Το πρότυπο EN 15232 δείχνει για πρώτη φορά με σαφήνεια τις τεράστιες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας που είναι δυνατόν να προκύψουν με την λειτουργία τεχνικών συστημάτων κτιρίου.

Η τυποποίηση όσον αφορά το επίπεδο αυτοματισμών ορίζεται στον παρακάτω Πίνακα:

ΚΛΑΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Συστήματα Αυτοματισμών και ενεργειακής Διαχείρισης υψηλής απόδοσης
B	Προηγμένα συστήματα αυτοματισμού και μερική χρήση ενεργειακής διαχείρισης
C	Standard συστήματα αυτοματισμού
D	Μη αποδοτικά συστήματα αυτοματισμού

Πίνακας 1.14: Κατηγοριοποίηση επιπέδου Αυτοματισμών και Συστημάτων Ενεργειακής Διαχείρισης σύμφωνα με το πρότυπο EN 15232 [22]

Όσον αφορά το κομμάτι του φωτισμού και την εφαρμογή αυτοματισμών στους παρακάτω Πίνακες αναλύονται οι παρεμβάσεις για την αυτοματοποίηση όσον αφορά τον έλεγχο παρουσίας και τον έλεγχο ηλιακού φωτός.

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ	<u>Ο περιορισμός φωτισμού χώρου στις ώρες που υπάρχει παρουσία ή ανάγκη για φωτισμό συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας</u>
0	<p><u>Χειροκίνητο άνοιγμα/κλείσιμο</u>. Τα φωτιστικά ανάβουν και σβήνουν με χειροκίνητο διακόπτη</p> <p><u>Σε κτίρια κατοικιών</u>. Οι χρήστες ανάβουν και κλείνουν τον φωτισμό ανάλογα με την απαίτηση. Έτσι εξοικονομείται ενέργεια για τον φωτισμό.</p> <p><u>Σε κτίρια με διαφορετική χρήση, εκτός κατοικιών</u>. Ο φωτισμός είναι συνήθως ανοιχτός. Η αιτία είναι ότι πολλοί χρήστες δεν σβήνουν τα φώτα στα διαλείμματα ή στο τέλος εργασίας τους.</p>
1	<p><u>Χειροκίνητο άνοιγμα/κλείσιμο + πρόσθετο σήμα αυτόματου σβήσιματος</u>. Τα φωτιστικά <u>ανάβουν και σβήνουν με χειροκίνητο διακόπτη</u>. Τα φωτιστικά χώρου ανάβουν και σβήνουν με χειροκίνητο διακόπτη. Επιπρόσθετα αυτόματο σήμα σβήνει τα φώτα τουλάχιστον μια φορά την ημέρα, συνήθως βράδυ, για να αποφευχθεί περιττή λειτουργία κατά την διάρκεια της νύκτας.</p> <p>Για τα <u>κτίρια που δεν είναι κατοικίες</u> εξασφαλίζεται ότι τα φώτα θα είναι σβηστά (π.χ. την νύχτα ή τα Σαββ/κα)</p>

2	<p>Αυτόματη Ανίχνευση</p> <p>Αυτόματο On/Dimmed Off: Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί τα φωτιστικά αυτόματα κάθε φορά που ανιχνεύεται παρουσία στη φωτιζόμενη περιοχή και μεταβαίνει αυτόματα σε κατάσταση με μειωμένο φωτισμό όχι αργότερα από 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση παρουσίας στην φωτιζόμενη περιοχή. Επιπρόσθετα όχι περισσότερο από 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση παρουσίας στον συνολικό χώρο, τα φωτιστικά σβήνουν τελείως.</p> <p>Αυτόματο On/Αυτόματο Off: Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί τα φωτιστικά αυτόματα κάθε φορά που ανιχνεύεται παρουσία στην φωτιζόμενη περιοχή και απενεργοποιεί αυτόματα το πολύ 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση παρουσίας.</p> <p>Χειροκίνητο On/Dimmed: Τα φωτιστικά ενεργοποιούνται μόνο χειροκίνητα από διακόπτη που βρίσκεται στον φωτιζόμενο χώρο και εάν δεν σβήσουν χειροκίνητα μεταβαίνουν αυτόματα σε επίπεδο μειωμένου φωτισμού μέσω συστήματος αυτομάτου ελέγχου όχι περισσότερο 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση παρουσίας. Επιπρόσθετα όχι περισσότερο από 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση παρουσίας στον συνολικό χώρο, τα φωτιστικά σβήνουν τελείως.</p> <p>Χειροκίνητο On/Αυτόματο Off. Τα φωτιστικά ενεργοποιούνται μόνο χειροκίνητα μέσω διακόπτη και εάν δεν σβήσουν χειροκίνητα, σβήνουν αυτόματα μέσω συστήματος ελέγχου όχι περισσότερο από 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση παρουσίας</p>	<p>Αυτόματο On/Dimmed Off:</p> <p>Η παρουσία σε κάθε χώρο καταγράφεται, σε μεγάλες αίθουσες, διαδρόμους κλπ. Στην συνέχεια ο αυτόματος έλεγχος:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ενεργοποιεί τον φωτισμό με την ανίχνευση παρουσίας 2. μειώνει τον φωτισμό το πολύ κατά 20% μετά την ανίχνευση. 2. απενεργοποιεί τον φωτισμό 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση. <p>Αυτόματο On/Αυτόματο Off:</p> <p>Οι πραγματικές ώρες που έχουμε παρουσία σε εάν χώρο καταγράφονται. Στην συνέχεια αυτόματος έλεγχος ενεργοποιεί τον φωτισμό για το διάστημα που έχουμε παρουσία και τον απενεργοποιεί 5 λεπτά μετά το τέλος παρουσίας.</p> <p style="text-align: right;">Χειροκίνητο On/Dimmed</p> <p>Ο φωτισμός κάθε περιοχής μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο χειροκίνητα μπορεί να γίνει dimmed και να σβήσει χειροκίνητα</p> <p>Οι πραγματικές ώρες που έχουμε παρουσία σε έναν χώρο καταγράφονται Στην συνέχεια ο αυτόματος έλεγχος:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ενεργοποιεί τον φωτισμό με την ανίχνευση παρουσίας 2. μειώνει τον φωτισμό το πολύ κατά 20% μετά την ανίχνευση. 3. απενεργοποιεί τον φωτισμό 5 λεπτά μετά την τελευταία ανίχνευση <p>Χειροκίνητο On/Αυτόματο Off.</p> <p>Ο φωτισμός κάθε περιοχής: μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο χειροκίνητα μπορεί να απενεργοποιηθεί χειροκίνητα.</p> <p>Οι πραγματικές ώρες που έχουμε παρουσία σε κάθε χώρο καταγράφονται. Στην συνέχεια αυτόματος έλεγχος φωτισμού απενεργοποιεί τον φωτισμό 5 λεπτά μετά το τέλος παρουσίας στον χώρο</p>
---	--	--

Πίνακας 1.15: Επίπεδο αυτοματισμών όσον αφορά τον έλεγχο παρουσίας για τον φωτισμό. [15]

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ		
ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
<u>ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΦΩΤΟΣ</u>	<u>Ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να μειωθεί με αύξηση του εισερχόμενου φυσικού φωτός ημέρας. Έτσι εξοικονομείται ενέργεια</u>	
0	<p style="text-align: center;"><u>Χειροκίνητα.</u></p> <p>Χωρίς αυτόματο έλεγχο που να λαμβάνει υπόψη το φως ημέρας</p>	<p>Ο φωτισμός αυξάνεται χειροκίνητα όταν το φως ημέρας δεν επαρκεί. Ωστόσο ο φωτισμός δεν μειώνεται χειροκίνητα πάντα όταν το φως ημέρας είναι περισσότερο από επαρκές</p>

1	<p><u>Αυτόματα.</u> Αυτόματο σύστημα λαμβάνει υπόψη το φως ημέρας με σχετικό αυτοματισμό</p>	<p>Αυτόματα συμπληρώνεται φωτισμός στο εισερχόμενο φυσικό φως ημέρας , ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής φωτισμός με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας</p>
---	---	--

Πίνακας 1.16: Επίπεδο αυτοματισμών όσον αφορά τον έλεγχο φυσικού φωτός [15]

Η παρουσία αυτοματισμών σε μια εγκατάσταση οδηγεί στην κατηγοριοποίηση της εγκατάστασης σύμφωνα με το πρότυπο EN 15232 όπως αναφέρθηκε στον Πίνακα 20.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

2.1 Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού (Daylighting Harvesting)

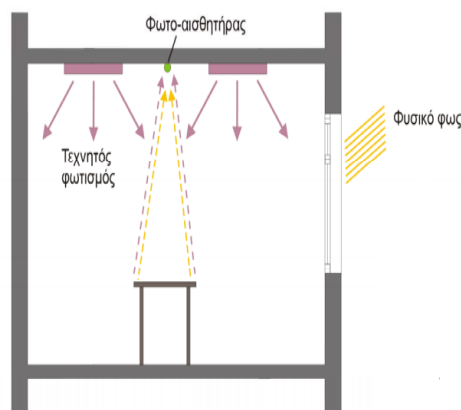
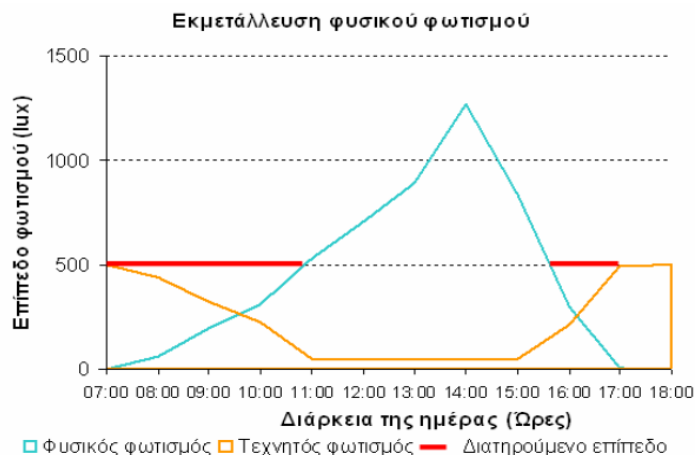
Μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας είναι το φυσικό φως. Οι μελέτες και η έρευνα όσον αφορά την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός για τον περιορισμό του τεχνητού φωτισμού , που συνεπάγεται την σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, έχουν αποδείξει την σημασία που έχει η τεχνική αυτή.

Αυτό που εξετάζεται είναι το πόσο μπορεί να αξιοποιηθούν τα ανοίγματα στο κέλυφος ενός κτιρίου ώστε ο φωτισμός να παρέχεται με φυσικό τρόπο, φυσικά πληρώνοντας κάποιες απαιτήσεις όσον αφορά το επίπεδο φωτισμού ανάλογα με την χρήση του χώρου. Η σύνδεση της τεχνικής αυτής συνδέεται άμεσα με την παρουσία συστημάτων αυτοματισμών για να ικανοποιούνται πάντα οι αναγκαίες συνθήκες για το βέλτιστο αποτέλεσμα που θα ικανοποιεί την ένταση φωτισμού (EN 12464-1) και την ενεργειακή εξοικονόμηση.

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που πραγματοποιείται από την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί είναι:

- Οι κλιματολογικές συνθήκες.
- Ο προσανατολισμός και η αρχιτεκτονική του κτιρίου.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα φωτισμού, ο αλγόριθμος ελέγχου του, η διαδικασία
- εγκατάστασής του και η θέση σε λειτουργία του (commissioning).
- Το είδος χρήσης του κτιρίου

Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας για τις ανάγκες φωτισμού όταν χρησιμοποιούνται αισθητήρες φωτισμού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής όπου υπάρχει μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος της είναι υψηλότερο από εκείνο κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων ωρών. Είναι ουσιαστικό ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού να λαμβάνει υπόψη την κατανομή του φυσικού φωτισμού ώστε να διασφαλίζεται τόσο η επαρκής ποσότητα φωτισμού, όσο και η ποιότητά του στους εσωτερικούς χώρους.

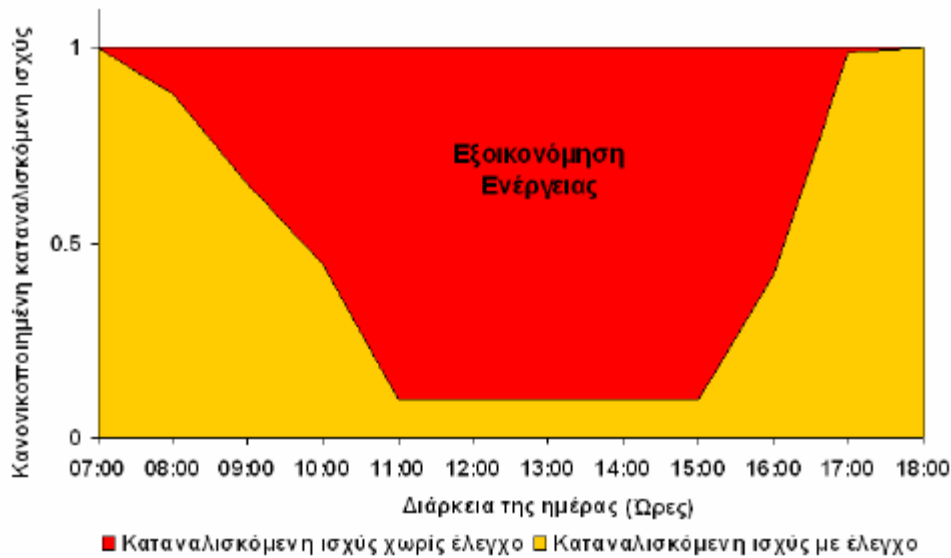


Εικόνα 2.1: Διατήρηση σταθερής φωτεινότητας με την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού. [29]

Τα χαρακτηριστικά των ζωνών ελέγχου των αισθητήρων στο εσωτερικό των κτιρίων, το μέγεθος και η μορφή τους, περιορίζονται συνήθως από την κατανομή της έντασης φωτισμού στο οριζόντιο επίπεδο ξεκινώντας από τον τοίχο με τα εξωτερικά ανοίγματα. Αν και οι ζώνες φωτισμού μπορούν να σχεδιαστούν για να καλύψουν μια ενιαία περιοχή, ένα δωμάτιο ή ένα ολόκληρο κτίριο, στην ουσία οι ζώνες φωτισμού πρέπει να είναι κοντά στα ανοίγματα μέσω των οποίων εισέρχεται ο φυσικός φωτισμός. Σε έναν τυπικό χώρο γραφείων με φυσικό φωτισμό που εισέρχεται μέσω ενός κοινού πλευρικού εξωτερικού ανοίγματος, η ζώνη φωτισμού πρέπει να είναι δίπλα στο εξωτερικό άνοιγμα και να μην είναι μεγαλύτερη από 4 μέτρα σε συνάρτηση με το βάθος του δωματίου. Η σειρά των φωτιστικών σωμάτων που βρίσκεται πιο κοντά στα εξωτερικά ανοίγματα πρέπει να ελέγχεται με ένα ξεχωριστό κύκλωμα από εκείνες τις σειρές που βρίσκονται στο εσωτερικό του χώρου. Εάν υπάρχουν χειροκίνητες συσκευές σκιάστρον στα παράθυρα τότε πρέπει να σχεδιαστούν μικρότερες ζώνες ελέγχου για να είναι αποτελεσματικές. Σήμερα κατασκευάζονται συνήθως αισθητήρες παρουσίας στους οποίους είναι ενσωματωμένοι και αισθητήρες φωτισμού.

Η ρύθμιση της στάθμης φωτισμού (dimming) αλλά και οι διάφορες μέθοδοι έναρξης ή διακοπής λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων (switching) μπορούν να συντελέσουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Όσο αυξάνεται η απόσταση από το εξωτερικό άνοιγμα, μειώνεται ο φυσικός φωτισμός με συνέπεια η ποσότητα του αναγκαίου φωτισμού να συμπληρώνεται αναλόγως από τον τεχνητό φωτισμό με τη ρύθμιση της στάθμης που παράγουν τα φωτιστικά σώματα (dimming). Σε περιοχές με υψηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού και μικρές απαιτήσεις φωτισμού (όπως διάδρομοι με εξωτερικά ανοίγματα) μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού με έναρξη ή διακοπής λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων (switching).



Εικόνα 2.2: Εξοικονόμηση ενέργειας με την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού. [27]

Ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης που αξιοποιεί τον φυσικό φωτισμό αποφέρει σημαντικά ποσά εξοικονόμησης ενέργειας. Για να υπολογιστεί όμως το πόσο μπορεί να επηρεάσει και ανάλογα να εκμεταλλευτεί ο φυσικός φωτισμός υπάρχει μια ακολουθία ελέγχων και υπολογισμού παραμέτρων που αναλύονται σε επιστημονικές οδηγίες και πρότυπα. (EN 12153- Energy Performance of Buildings- Energy Requirements for Lighting).

Κρίσιμη παράμετρος κατά τον σχεδιασμό ενός κτιρίου ή στο πόσο επηρεάζει το φυσικό φως μια υφιστάμενη κατάσταση αποτελεί ο υπολογισμός του Συντελεστής Αξιοποίησης Φυσικού Φωτός (Daylight Factor). Ο συντελεστής υπολογίζεται ως εξής: [26]

$$\text{Daylight factor (DF)} = \frac{E_{in}}{E_{out}} \times 100\%$$

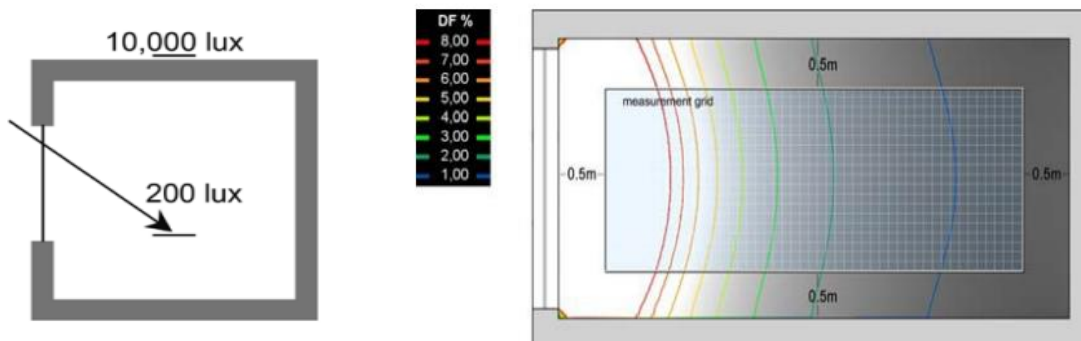
Όπου :

E_{in} : Το επίπεδο φυσικού φωτισμού από μέτρηση στον εσωτερικό χώρο (lux).

E_{out} : Το επίπεδο φυσικού φωτισμού από μέτρηση στον εξωτερικό χώρο (lux).

Για ένα συγκεκριμένο σημείο στον εσωτερικό χώρο, ο DF είναι ένα μονοδιάστατο μέγεθος, το οποίο προκύπτει από μετρήσεις με συγκεκριμένη κατάσταση ουρανού (νεφοσκεπής, αίθριος κατά CIE) και χωρίς οπτικά εμπόδια προς τον ουράνιο θόλο. Αυτό σημαίνει ότι ο υπολογισμός είναι ανεξάρτητος

από το γεωγραφικό πλάτος, ούτε από την ημέρα, την ώρα και την εποχή, ούτε και από τον προσανατολισμό του ανοίγματος. Αντίθετα εξαρτάται από τις διαστάσεις και την θέση του ανοίγματος, τα χαρακτηριστικά της υάλωσης και τις εξωτερικές και εσωτερικές ανακλάσεις άρα τα χαρακτηριστικά του εδάφους και των περιβάλλοντων επιφανειών.



Εικόνα 2.3: Υπολογισμός του DF σε εσωτερική εγκατάσταση. [26]

Σήμερα τα ειδικά λογισμικά μπορούν υπολογίσουν με ακρίβεια τον daylight factor μετά την εισαγωγή όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα (Τοποθεσία, Προσανατολισμός, Εξωτερικά ανοίγματα, Εξωτερικά εμπόδια). Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι τα λογισμικά αυτά υπολογίζουν και τον Μέσο Συντελεστή Αξιοποίησης φυσικού φωτός, ο οποίος εκφράζει τον μέσο όρο σε έναν χώρο κάτω από τις εκάστοτε συνθήκες και από αυτόν εξάγονται πιο χρήσιμα συμπεράσματα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τιμές του Συντελεστή Φυσικού Φωτισμού που προτείνονται από οδηγίες ανάλογα με το είδος και την χρήση του χώρου:

Χρήση	ΣΦΦ (%)
Χώροι ενδιαίτησης, παιδικά δωμάτια	2-3
Υπνοδωμάτια	1-2
Αποθήκες, διάδρομοι	1
Εργοτάξια, απλη χειρονακτική εργασία	2
Γραφεία, χώροι συναρμολόγησης, εργαστήρια	5
Εργασίες ακριβείας, Σχεδιαστήρια, Τυπογραφεία	10

Πίνακας 2.1: Ενδεικτικές τιμές για τον ΣΦΦ ανάλογα με την χρήση του χώρου. [29]

2.2 Στρατηγικές Ελέγχου Φωτισμού

2.2.1 Εισαγωγή

Ένα κτίριο μπορεί να συγκριθεί με μια πληθώρα φυσικών διεργασιών , οι οποίες επιδρούν η μια με την άλλη μεταξύ τους αλλά και με το φυσικό περιβάλλον. Από την πλευρά του ελέγχου του συστήματος αυτού , μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελείται από μια πληθώρα δυναμικών υποσυστημάτων με γραμμική η μη γραμμική συμπεριφορά. Περιβαλλοντολογικές και αλλαγές στην χρήση σε ένα κτίριο αυξάνουν την πολυπλοκότητα των συμπεριφορών αυτών. Οι χρήστες του κτιρίου όχι μόνο θέτουν στόχους όσον αφορά τον έλεγχο για παράδειγμα της θερμικής άνεσης, της οπτικής άνεσης ή της ποιότητας του αέρα, αλλά και παρεμβαίνουν εμμέσως στο σύστημα διαχείρισης καθώς επηρεάζουν τις διάφορες διαδικασίες (HVAC, φωτισμός κλπ)

Λόγω της αύξησης της περιβαλλοντολογικής συνείδησης , τα συστήματα ελέγχου φωτισμού θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, πάντα με την ικανοποίηση της οπτικής άνεσης των χρηστών. Όπως αναφέρεται και στο παράρτημα του Διεθνούς Πρακτορείου Ενέργειας (IEA 2001) η ενέργεια είναι η πιο σημαντική παράμετρος που πρέπει να σκεφτούμε όταν αξιολογούμε την επίδραση τεχνικών συστημάτων όσον αφορά το περιβάλλον. Οι εκπομπές αερίων που συνδέονται με την ενέργεια αποτελούν το 80% των εκπομπών (IEA 2001) και αποτελούν κύριο παράγοντα για άλλους περιβαντολλογικούς κινδύνους όπως η κλιματική αλλαγή ή αύξηση επικίνδυνων σωματιδίων. Ο φωτισμός είναι συχνά το πιο μεγάλο φορτίο σε ένα κτίριο γραφείων, αλλά το κόστος αυτό είναι μικρό εάν συγκριθεί για παράδειγμα με το κόστος για την μισθοδοσία του προσωπικού. Αυτός είναι και ένας λόγος που η εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της ενεργειακής εξοικονόμησης συχνά αμελείται. Σύμφωνα με μελέτες της IEA το 2006 , η παγκόσμια καθαρή ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό ήταν 2650 TWh το 2005, το 19% δηλαδή της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. [28]

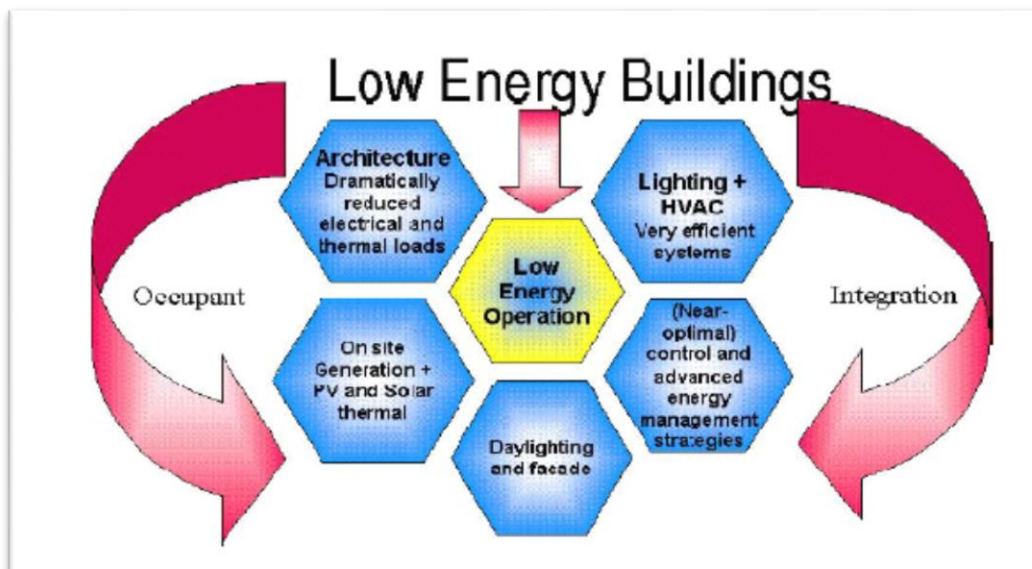
Οι ανθρώπινες απαιτήσεις και η ποιότητα του εργασιακού περιβάλλοντος συχνά εκφράζονται σαν όροι θερμικής και οπτικής άνεσης. Οι ιδανικές συνθήκες όσον αφορά την θερμική άνεση μπορούν εύκολα να περιγραφούν ως η αίσθηση του χρήστη να μην θέλει να επέμβει για αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας. Η οπτική άνεση όμως δεν μπορεί να περιγραφεί το ίδιο εύκολα. Δεν γίνεται αντιληπτή με την ουδετερότητα του χρήστη όπως στο προηγούμενο παράδειγμα , αλλά εκφράζεται ως απόδοση ενός σήματος το οποίο επηρεάζεται από μεταβλητές όπως ο φυσικός φωτισμός, η θάμβωση , η λαμπρότητα, η φωτεινότητα και η επίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Για να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις της άνεσης και της υψηλής ενεργειακής απόδοσης , οι μελετητές εφαρμόζουν προγράμματα για να μειώσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό εγκαθιστώντας πιο αποδοτικές φωτεινές πηγές και φωτιστικά. Ωστόσο αυτό από μόνο του δεν επαρκεί. Η ενεργειακή διαχείριση για φωτισμό πρέπει να παρέχει το βέλτιστο επίπεδο φωτισμού για τις εκάστοτε εργασίες αλλά και να παρέχει το φως όταν και όπου χρειάζεται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω συστημάτων ελέγχου φωτισμού και κατάλληλων στρατηγικών ελέγχου. Ο κύριος ρόλος αυτών των συστημάτων είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης αλλά και ένα ευχάριστο οπτικό περιβάλλον. Δηλαδή:

- Η παροχή του φωτισμού στην κατάλληλη ποσότητα
- Η παροχή του φωτισμού όπου είναι απαραίτητος
- Η παροχή του φωτισμού όταν είναι απαραίτητο

Στην ουσία , ο έλεγχος φωτισμού εξαρτάται από την εκάστοτε ζώνη φωτισμού. Για αυτόν τον λόγο είναι σημαντικό να ορισθούν οι παρακάτω σημαντικοί παράγοντες:

- Η ανάγκη φωτισμού (επίπεδο φωτεινότητας)
- Η ζώνη εργασίας – task zone (θέση, μέγεθος)
- Ο χρόνος χρησιμοποίησης από τους χρήστες- occupation time
- Οι εκάστοτε ανάγκες για έλεγχο από τον χρήστη



Εικόνα 2.4: Η ιδέα του κτιρίου χαμηλής κατανάλωσης [28]

2.2.2 Προσδιορισμός των αναγκών για ενεργειακό έλεγχο

Ο έλεγχος φωτισμού συνεχώς εξελίσσεται λόγω της σταθερής εξέλιξης των απαιτήσεων που σχετίζονται με την οπτική άνεση και την διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για ενεργειακή εξοικονόμηση. Συχνά όμως παρατηρείται έλλειψη όσον αφορά τον προσδιορισμό των αναγκών. Για τον λόγο αυτόν προτείνονται από τον εγκαταστάτη ερωτηματολόγια ώστε να υιοθετηθούν οι βέλτιστες λύσεις ανάλογα με τις ανάγκες. Ο σκοπός του ερωτηματολογίου αυτού είναι ο χρήστης να καταλάβει τις ανάγκες του μέσω των ερωτήσεων. Ο διαχειριστής – εγκαταστάτης δίνει μεγαλύτερη προσοχή στην μείωση της ζητούμενης ενέργειας και στην ενεργειακή εξοικονόμηση από ότι ο χρήστης. Το ερωτηματολόγιο θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες όσον αφορά:

- Τις διαφορετικές πρακτικές μέσα στο κτίριο
- Τα όρια του συστήματος ελέγχου
- Τον βέλτιστο τύπο ελέγχου
- Την περιοχή ελέγχου
- Την προσαρμοστικότητα του συστήματος

Για παράδειγμα , ο προσδιορισμός των χρήσεων βοηθάει τον εγκαταστάτη- σχεδιαστή να καταλάβει τον τρόπο με τον οποίο θα σχεδιάσει το σύστημα. Σε ένα σχολείο για παράδειγμα ένα ON/OFF σύστημα σε συνδυασμό με daylight dimming μπορεί να έχει σημαντικά αποτελέσματα σε κάποια γραφεία , αλλά σε κάποια άλλα είναι πιθανόν να πρέπει να ενσωματωθούν πιο σύνθετα συστήματα.

Μια αντικειμενική αξιολόγηση ενός συστήματος απαιτεί τον καθορισμό παραμέτρων απόδοσης αυτού. Επιπλέον θα πρέπει να συγκρίνεται πάντα με ένα καθορισμένο όριο ώστε να αξιολογείται η επίδοση του συστήματος. Παράμετροι απόδοσης αποτελούν:

- Οπτική απόδοση και άνεση
- Ενεργειακή χρήση κτιρίου
- Ελαχιστοποίηση κόστους
- Ευκολία χρήσης
- Συντήρηση
- Προσαρμοστικότητα
- Υπάρχοντες περιορισμοί
- Σταθερότητα του συστήματος
- Ενσωμάτωση του συστήματος

Ένα βέλτιστο σύστημα μεγάλης απόδοσης πρέπει εκτός από την υψηλή απόδοση να γίνεται αποδεκτό από τον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να ενοχληθεί από την παρουσία του συστήματος και να το απενεργοποιήσει. Μιας υψηλής αποδοχής σύστημα εγγυάται την σταθερή και χωρίς παρενοχλήσεις λειτουργία που συνεπάγεται και την εξοικονόμηση ενέργειας. Τα υπάρχοντα κτίρια έχουν συγκεκριμένους περιορισμούς και απαιτήσεις. Πρέπει να γίνεται ανάλυση του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού και να καθορίζονται οι πιθανότητες αναβάθμισης του λαμβάνοντας υπόψη τους τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Ως εκ τούτου η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης είναι απαραίτητη. Ο προηγμένος έλεγχος απαιτεί διατάξεις όπως ηλεκτρονικά dimmable ballasts εσωτερικά δίκτυα ηλεκτρικής διανομής. Αντίστοιχα η χρήση wireless τεχνολογίας (διακόπτες , αισθητήρες, κλπ) είναι μια κατάλληλη τεχνική για απευθείας αντικατάσταση των υπάρχοντων υλικών έτσι ούτως ώστε να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης.

Μέσα στα όρια της άνεσης είναι δύσκολο να καθοριστούν επακριβώς ποιες είναι οι ανάγκες και οι προτεραιότητες των χρηστών. Ποικίλουν από χρήστη σε χρήστη και από ώρα σε ώρα. Για παράδειγμα μερικοί χρήστες μπορεί να ανησυχούν για την ενεργειακή εξοικονόμηση , και μερικοί να ενδιαφέρονται περισσότερο για το οπτικό αποτέλεσμα σύνθετων σεναρίων φωτισμού που αυξάνει το κόστος και μειώνει την ενεργειακή εξοικονόμηση. Για αυτό προτείνεται το σύστημα να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μπορεί να επέμβει ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις του.

Το σύστημα γίνεται πιο αποδεκτό όταν οι αρχές λειτουργίας του έχουν επεξηγηθεί σε αυτόν. Οι μελέτες δείχνουν ότι το 90% των χρηστών αποδέχεται τα συστήματα όταν γνωρίζουν τους στόχους του και τις αρχές λειτουργίας τους. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι οι χρήστες θα επέμβουν όταν εμφανιστεί μια ανάγκη αλλά δεν θα ξαναεπέμβουν απαραίτητα για την απενεργοποίηση του συστήματος. Για παράδειγμα εάν ένας χρήστης ανάψει τα φώτα σε μια περίπτωση που ο ήλιος δεν παρέχει αρκετό φως υπάρχει μειωμένη πιθανότητα ο να απενεργοποιήσει τον φωτισμό όταν το φυσικό φως θα είναι ξανά αρκετό.

Η χρησιμότητα του κάθε συστήματος πρέπει να είναι καθορισμένη με τέτοιον τρόπο έτσι ώστε να απευθύνεται σε όλους τους διαφορετικούς τύπους χρηστών. (λειτουργοί κτιρίου, facility managers, τεχνικοί εγκατάστασης, εγκαταστάτες συστήματος). Η χρησιμότητα αυτή του συστήματος εκφράζεται σε όρους ποιότητας της εμπειρίας από την χρήση του συστήματος από τον χρήστη και πρέπει πληρούνται οι παρακάτω παράγοντες:

- Ευκολία στην εκμάθηση του
- Αποδοτικότητα από την χρήση του
- Συχνότητα λαθών και εύρος αυτών
- Υποκειμενική ικανοποίηση απαιτήσεων
- Συντήρηση

2.2.3 Σχεδιασμός Τεχνικών Ελέγχου φωτισμού

Προκειμένου να εκτιμηθεί και να υπολογισθεί η κατανάλωση ενέργειας από τον φωτισμό αλλά και ο αντίκτυπος από την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απλουστευμένη εξίσωση που προτείνει η Ευρωπαϊκή οδηγία EN 15193: [24]

$$W = W_{L,t} + W_{P,t} \quad (\text{KWh})$$

Όπου:

W : Συνολική ενέργεια για φωτισμό- η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται σε μια περίοδο t , από τα φωτιστικά όταν λειτουργούν και η κατανάλωση που υπάρχει όταν τα φωτιστικά δεν λειτουργούν, σε έναν χώρο ή μια ζώνη, και μετριέται σε kWh

$W_{L,t}$: Ενέργεια που καταναλώνεται για τον φωτισμό – η ποσότητα που απαιτείται σε μια περίοδο t για να εκπληρωθεί ο στόχος φωτισμού, και μετριέται σε kWh

$W_{P,t}$: Η επιπλέον καταναλώσεις των φωτιστικών για διεργασίες πλην φωτισμού – όπως για παράδειγμα η κατανάλωση charging του φωτισμού ασφαλείας ή η επιπλέον κατανάλωση από λειτουργία φωτιστικών σε κατάσταση stand by.

Ισχύει ότι :

$$W_{L,t} = \sum \frac{\{ (P_n \times F_c \times) \times (t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o) \}}{1000}$$

Όπου:

t_D : Ώρες λειτουργίας με φυσικό φωτισμό

t_N : Ώρες λειτουργίας χωρίς φυσικό φωτισμό

P_n : Συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού, μετρούμενη σε Watts.

F_D : Συντελεστής εξάρτησης από φυσικό φωτισμό- συνδέει την χρήση του εγκατεστημένου φωτισμού με την διάθεση φυσικού φωτισμού στον χώρο

F_o : Συντελεστής εξάρτησης από την χρήση του χώρου – συνδέει την χρήση της συνολικής εγκατεστημένου ισχύος για φωτισμό με την περίοδο χρήσης του χώρου

F_c : Συντελεστής σταθερού επιπέδου φωτισμού – συνδέει την εγκατεστημένη ισχύ για φωτισμό με την χρήση συστήματος για έλεγχο τεχνητού σταθερού φωτισμού στον χώρο

Ο υπολογισμός της επιπλέον κατανάλωσης $W_{P,t}$, που απαιτείται για το charging του φωτισμού ασφαλείας ή και της standby κατανάλωσης του συστήματος ελέγχου φωτισμού υπολογίζεται ως εξής: [24]

$$W_{P,t} = \sum \frac{\{P_{pc} \times |t_y - (t_D + t_N)|\} + (P_{em} + t_e)}{1000} \quad (\text{KWh})$$

Όπου:

t_y : συνολικές ώρες έτους – 8760h

t_D : Ώρες φυσικού φωτισμού στις οποίες η εγκατάσταση λειτουργεί

t_N : Ώρες λειτουργίας της εγκατάστασης χωρίς φυσικό φως

t_e : Χρόνος λειτουργίας charging του φωτισμού ασφαλείας κατά την λειτουργία της εγκατάστασης

P_{pc} : Συνολική εγκατεστημένη ισχύς για τα συστήματα ελέγχου και standby λειτουργία αυτού, μετρημένη σε Watt.

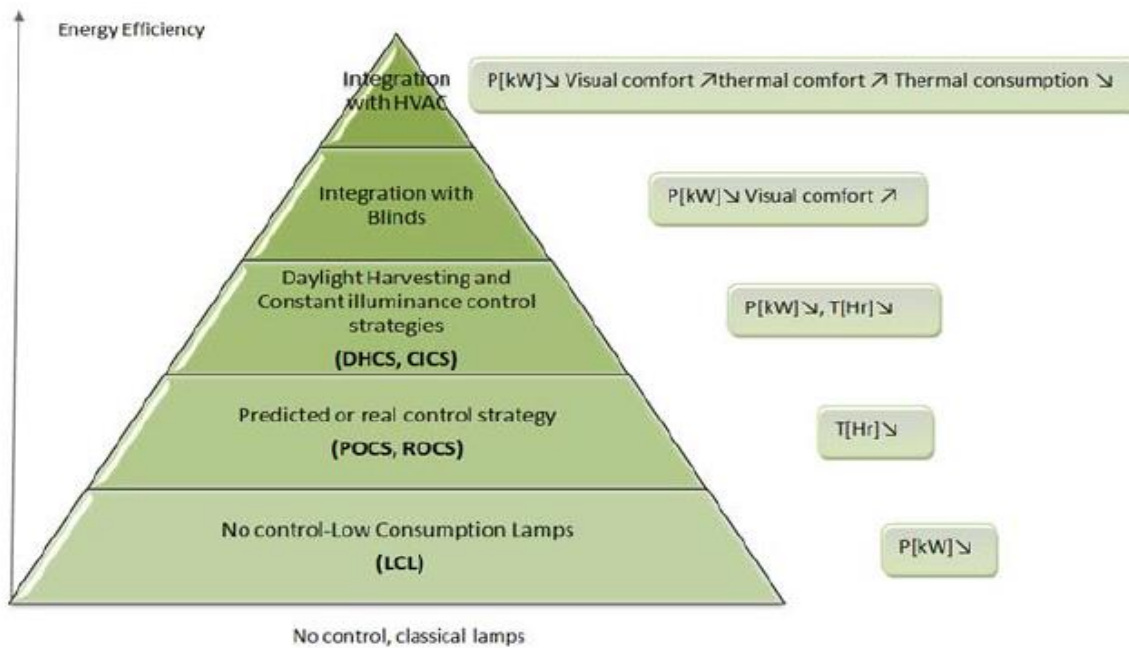
Η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος είναι πιθανή μέσω της αλλαγής των όρων των εξισώσεων όπως:

- Η εγκατεστημένη ισχύς μπορεί να μειωθεί με την χρήση φωτιστικών μικρότερης κατανάλωσης και πιο αποδοτικών συστημάτων ελέγχου των λαμπτήρων (π.χ. ηλεκτρονικά ballasts)
- Η ρύθμιση της έντασης των φωτιστικών αξιοποιώντας τον φυσικό φωτισμό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτό επηρεάζεται από την παράμετρο F_D

- Οι ώρες λειτουργίας του φωτισμού μπορούν να μειωθούν προσαρμόζοντας την λειτουργία τους στην πρόβλεψη ή στις πραγματικές ώρες λειτουργίας του χώρου μέσω της παραμέτρου F_0 και τις ώρες εργασίας (t_N και t_D). Στην πράξη μόνο ένα μέρος της εγκατεστημένης ισχύος για φωτισμό είναι απαραίτητη κάθε φορά. Τα φώτα πολλές φορές παραμένουν ανοιχτά σε χώρους στους οποίους δεν υπάρχει χρήση.

Το πρώτο επίπεδο όσον αφορά τον έλεγχο φωτισμού, και το πιο ευρέως διαδεδομένο, είναι ο χειροκίνητος έλεγχος κάθε φωτιστικού ξεχωριστά ή σε ομάδες. Αυτός ο τύπος ελέγχου δεν θεωρείται τόσο αξιόπιστος καθώς επικείται στην ατομική συμπεριφορά του χρήστη, ο οποίος δεν είναι πάντα τόσο ευαισθητοποιημένος όσον αφορά την ενεργειακή εξοικονόμηση, με αποτέλεσμα να μην καταγράφονται σημαντικές εξοικονομήσεις ενέργειας. Οι στρατηγικές ελέγχου φωτισμού παρέχουν και επιπλέον εξοικονόμηση με την παρακολούθηση του φορτίου και ελέγχου αυτού τις ώρες αιχμής μεγιστοποιώντας τα οικονομικά οφέλη της εξοικονόμησης.

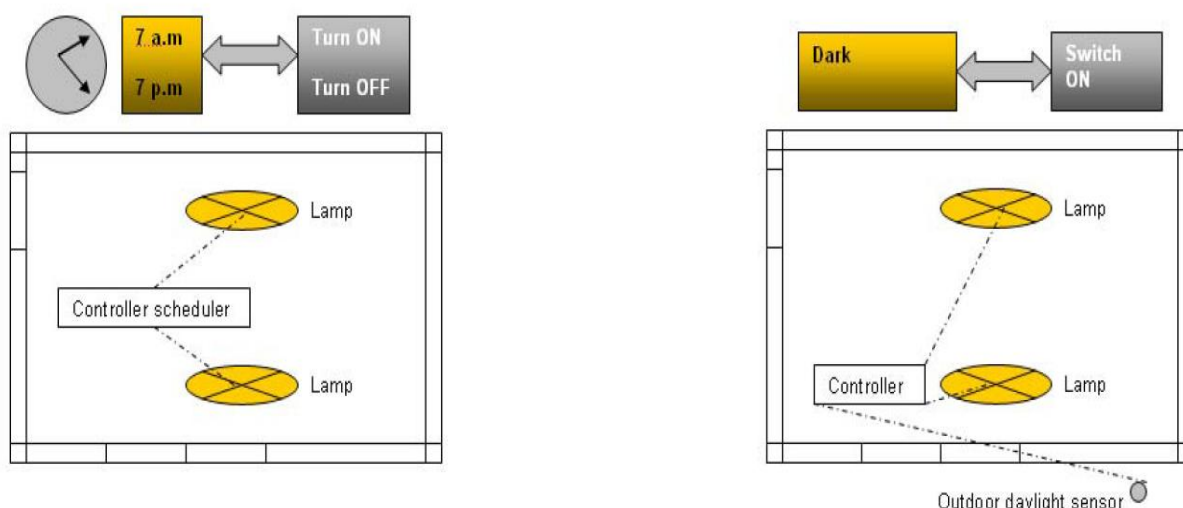
Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού επιτρέπουν στα κτίρια την ενσωμάτωση σε άλλα συστήματα διαχείρισης όπως της ψύξης, της θέρμανσης ή του αερισμού επιτρέποντας την συνολική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και την στροφή σε πιο οικολογική λειτουργία αυτού. Όπως παρουσιάζεται παρακάτω η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων ελέγχου φωτισμού εξαρτάται από τις στρατηγικές που εφαρμόζονται.



Εικόνα 2.5: Σχέση μεταξύ στρατηγικής ελέγχου και ενεργειακής απόδοσης [25]

Στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης παρουσίας (predicted occupancy control strategy)

Η στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης χρησιμοποιείται για να μειωθούν οι ώρες λειτουργίας της υφιστάμενης εγκατάστασης. Δημιουργείται εξοικονόμηση ενέργειας με το να ανάβουν και να κλείνουν τα φώτα αυτόματα σε προκαθορισμένες ώρες. Έτσι σε περιπτώσεις όπου κάποιος χώρος δεν χρησιμοποιείται αλλά τα φώτα παραμένουν ανοιχτά, το σύστημα τα απενεργοποιεί αυτόματα. Τα μεγάλα οφέλη του σεναρίου αυτού παρατηρούνται κατά την διάρκεια της νύχτας ή τα Σαββατοκύριακα σε χώρους κυρίως γραφείων. Διαφορετικοί χρονικοί προγραμματισμοί μπορούν σχεδιασθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις των χώρων.



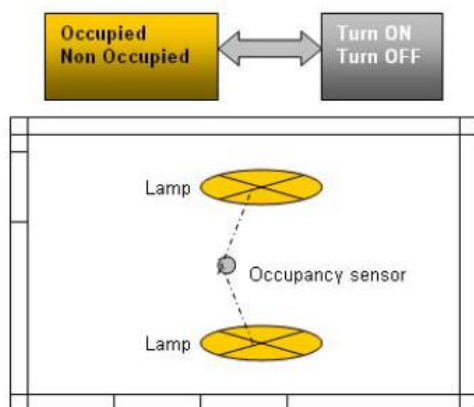
Εικόνα 2.6: Στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης παρουσίας και της πρόβλεψης ημέρας – νύχτας. [28]

Η στρατηγική πρόβλεψης Ανατολής- Δύσης Ηλίου είναι επίσης ένας τύπος στρατηγικής ελέγχου φωτισμού μέσω πρόβλεψης καθώς για κάθε κτίριο προσδιορίζεται η ώρα ανατολής ηλίου και δύσης. Τα φώτα ενεργοποιούνται όταν νυχτώνει και απενεργοποιούνται αυτόματα όπου υπάρχει αρκετό φυσικό φως. Συνήθως η τεχνική αυτή αξιοποιείται σε εξωτερικούς χώρους και μπορεί να γίνει όχι απαραίτητα μέσω αισθητήρα φωτός αλλά και μέσω χρονικού προγραμματισμού της εγκατάστασης.

Στρατηγική ελέγχου πραγματικής χρήσης (real occupancy control strategy)

Η στρατηγική ελέγχου μέσω της πραγματικής χρήσης ενός χώρου βασίζεται όχι στην πρόβλεψη για το πότε χρησιμοποιείται κάποιος χώρος αλλά στην πραγματική χρήση του. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο δηλαδή όπου δινόταν προκαθορισμένες τιμές στο χρονικό πρόγραμμα λειτουργίας. Το σύστημα πλέον ανιχνεύει πότε ο εξεταζόμενος χώρος χρησιμοποιείται και

ενεργοποιεί τα φώτα. Εάν το σύστημα δεν ανιχνεύσει κάποια κίνηση τότε θεωρεί ότι ο χώρος δεν χρησιμοποιείται και τότε απενεργοποιεί τα φώτα. Για να αποφευχθεί η απενεργοποίηση του συστήματος ενώ ο χώρος χρησιμοποιείται ακόμα, συνήθως γίνεται προγραμματισμός μιας χρονικής καθυστέρησης 10 έως 15 λεπτών.



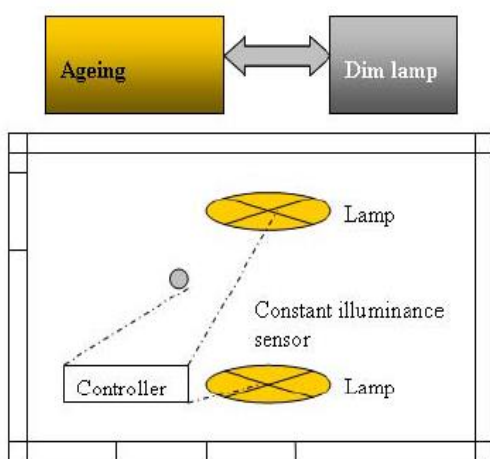
Εικόνα 2.7: Στρατηγική έλεγχου πραγματικής χρήσης. [28]

Ο σχεδιασμός αυτός είναι πολύ πιο αποτελεσματικός σε περιπτώσεις όπου οι χώροι δεν χρησιμοποιούνται βάση ενός σταθερού προγράμματος. Κλασσικές εφαρμογές βρίσκουμε σε γραφεία, διαδρόμους, κλιμακοστάσια, συνεδριακούς χώρους και αποθήκες. Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί κυμαίνεται από 20% έως 50%. Εξαρτάται από το επίπεδο

ανίχνευσης, από την θέση του αισθητήρα, τον συνδυασμό με αξιοποίηση φυσικού φωτός και φυσικά τις κινήσεις των χρηστών..

Στρατηγική ελέγχου σταθερής φωτεινότητας (constant illuminance control strategy)

Η στρατηγική ελέγχου μέσω ελέγχου σταθερής φωτεινότητας λαμβάνει υπόψη τη γήρανση ενός συστήματος φωτισμού στον χώρο. Ενισχύει την αρχική υπερδιασταλότητα του συστήματος κατά τον σχεδιασμό μέσω του συντελεστή συντήρησης. (maintenance factor). Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιεί ένα φωτοκύτταρο ώστε να μετρηθεί η φωτεινότητα σε έναν χώρο η καθορίζει την πτώση απόδοσης του συστήματος. Εάν η φωτεινότητα είναι αρκετά μεγάλη τότε το σύστημα μειώνει την ισχύ άρα και την φωτεινή ροή των φωτιστικών. Εάν όμως είναι πιο χαμηλή τότε την αυξάνει. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα που ελαχιστοποιεί την κατανάλωση για φωτισμό

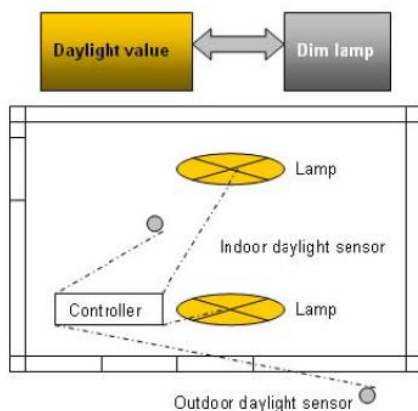


Εικόνα 2.8: Στρατηγική ελέγχου σταθερού φωτισμού. [28]

ενώ διατηρεί την φωτεινότητα και την ομοιομορφία του εκάστοτε χώρου.

Στρατηγική αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (daylight harvesting control strategy)

Η στρατηγική ελέγχου μέσω της αξιοποίησης φυσικού φωτισμού οδηγούν στην εξοικονόμηση ενέργειας των εγκαταστάσεων μέσω του φυσικού φωτός, συμπληρώνοντας με τεχνητό φως όπου και όσο χρειάζεται ώστε να διατηρείται πάντα το αναγκαίο επίπεδο φωτισμού. Για την στρατηγική αυτή χρησιμοποιείται ένας φωτοαισθητήρας για να μετράει το επίπεδο φωτεινότητας σε μια επιφάνεια ή

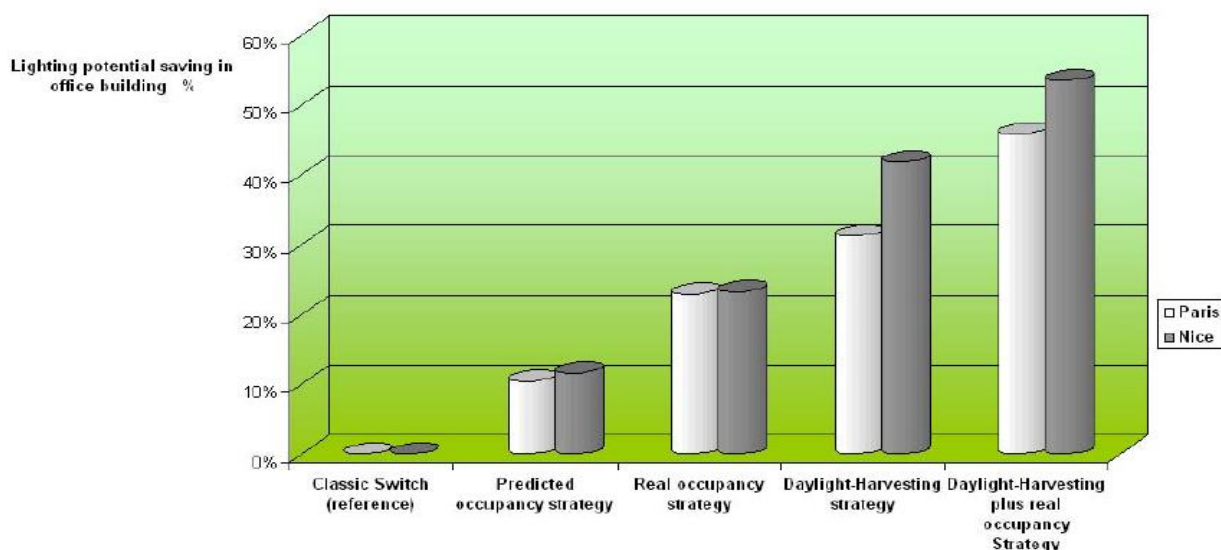


Εικόνα 2.9: Στρατηγική ελέγχου μέσω daylight harvesting[28]

ένα συγκεκριμένο σημείο. Εάν το επίπεδο φωτισμού είναι πολύ μεγάλο τότε ο controller του συστήματος μειώνει την φωτεινή ροή των λαμπτήρων. Εάν είναι πολύ χαμηλό ο controller δίνει εντολή και αυξάνει η φωτεινή ροή των λαμπτήρων. Αισθητήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε μεγάλες περιοχές, και ο καθένας ελέγχει ένα ξεχωριστό κύκλωμα φωτισμού. Το αποτέλεσμα είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης και η διατήρηση σταθερού φωτισμού στο επίπεδο εργασίας.

Τα συστήματα τα οποία αξιοποιούν τον φυσικό φωτισμό συνήθως χρησιμοποιούνται σε χώρους που έχουν αρκετά και χωρίς εμπόδια ανοίγματα.

Τυπικές εφαρμογές αποτελούν τα σχολεία, τα γραφεία, ιδιαίτερα αυτά που βρίσκονται σε πιο μεγάλα ύψη, και σε εμπορικά καταστήματα. Η εξοικονόμηση ποικίλει από 20 % (μόνο daylight harvesting) έως και πάνω από 50% εάν συνδυαστεί με έλεγχο πραγματικής χρήσης του χώρου).



Εικόνα 2.10: Εκτίμηση ενεργειακής εκτίμησης από την εφαρμογή διαφορετικών σεναρίων και την κλιματική ζώνη. [28]

Η αξιοποίηση του φυσικού φωτός εξαρτάται έντονα από την κλιματική ζώνη. Έτσι σε γραφεία η εξοικονόμηση ποικίλει από 30% (Παρίσι) έως 40% (Νις). Ο συνδυασμός διαφορετικών στρατηγικών είναι αυτός που αποφέρει τα μεγαλύτερα κέρδη) έως (50%) . Τα κέρδη αυτά εξαρτώνται από την λειτουργία του χώρου, το μέγεθος των ανοιγμάτων, τον προσανατολισμό του κτιρίου και την θέση των ανιχνευτών.

2.2.4 Σύστημα ελέγχου φωτισμού και BMS

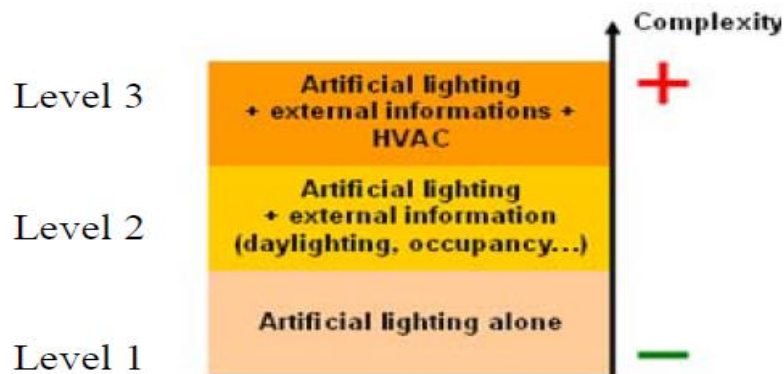
Όλες οι στρατηγικές που περιγράφηκαν μπορούν να εφαρμοστούν σχεδόν σε κάθε κτίριο. Μπορούν να ανήκουν σε ένα σύστημα απομονωμένο η σε ένα διαλειτουργικό σύστημα διαχείρισης του φωτισμού. Με ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να γίνει προγραμματισμός χρονικός των διαδικασιών κάθε χώρου ενός κτιρίου, ή να γίνει καταγραφή των τρόπων χρήσης σε κάθε χώρο και το σύστημα να αναπροσαρμοστεί ανάλογα. Δίνει επίσης την επιλογή για απομακρυσμένη διαχείριση του φωτισμού ή την δυνατότητα για αυξομείωση του ηλεκτρικού φορτίου όταν κρίνεται απαραίτητο όπως σε μια περίοδο αιχμής.

Μια πολύ σημαντική ακόμα παράμετρος που δίνει η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι η καταγραφή σκηνών φωτισμού η προκαθορισμός σεναρίων για φωτεινές σκηνές. Για παράδειγμα το απλό πάτημα ενός μπουτόν θα μπορούσε να μειώσει κατάλληλα τα φώτα για την προβολή ενός βίντεο στην οθόνη. Είναι ο καλύτερος τρόπος επίσης για τον έλεγχο των λαμπτήρων. Μπορεί να γίνει έλεγχος των λαμπτήρων αποκλειστικά σε μια ζώνη. Οι σειρές με τα φωτιστικά που είναι πιο κοντά στα παράθυρα μπορούν να ελέγχονται για να αξιοποιείται ο φυσικός φωτισμός ενώ οι υπόλοιπες σειρές όχι.

Στην περίπτωση που ανήκουν σε ένα ευρύτερο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ενός κτιρίου (BMS) μπορεί να γίνει συνδυασμός του ελέγχου φωτισμού με την διαχείριση της ψύξης , της θέρμανσης, του αερισμού ή της ασφαλείας κτιρίου. Αυτό προϋποθέτει κατάλληλη επικοινωνία και αλληλοεπίδραση διαφόρων υλικών όπως οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές (actuators) .

Ορίζονται 3 επίπεδα αλληλοεπίδρασης για τον έλεγχο του φωτισμού:

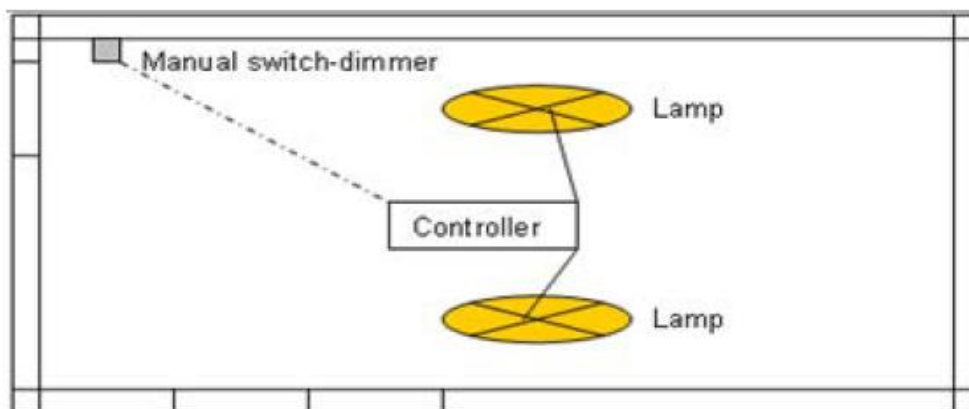
- Το πρώτο επίπεδο λαμβάνει υπόψη όνο τον τεχνικό φωτισμό
- Το δεύτερο επίπεδο εκτός από τον τεχνητό φωτισμό λαμβάνει υπόψη και τον έλεγχο του από εξωτερικές πληροφορίες όπως daylighting . χρήση κλπ
- Το τρίτο επίπεδο λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση του φυσικού με τον τεχνητό φωτισμό αλλά και την εξωτερική αλληλεπίδραση με άλλα συστήματα όπως HVAC ή συστήματα σκίασης.



Εικόνα 2.11: επίπεδα αλληλεπίδρασης των διαφόρων στρατηγικών[28]

Επίπεδο 1 (μόνο τεχνητός φωτισμός)

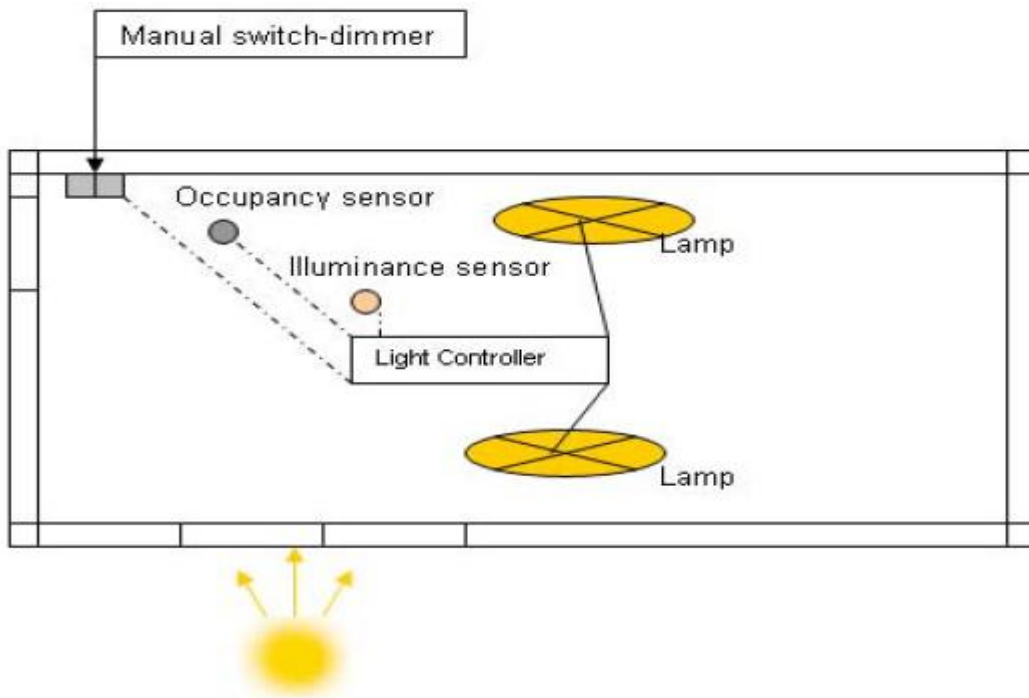
Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης ελέγχει το φως μέσω ενός χειροκίνητου διακόπτη / dimmer. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο του τεχνητού φωτισμού με χειροκίνητο τρόπο (ON/OFF ή dimming). Είναι ο πιο συνηθισμένη λύση στα κτίρια και συνήθως ο διακόπτης ελέγχει μια λάμπα ή μια ομάδα λαμπτήρων.



Εικόνα 2.12: Απλή στρατηγική. [28]

Επίπεδο 2 (έλεγχος τεχνητού φωτισμού με εξωτερική πληροφορία)

Σε αυτό το παράδειγμα αλληλεπίδρασης ένας αισθητήρας φωτισμού και ένας αισθητήρας παρουσίας έχουν συνδυαστεί με τον χειροκίνητο διακόπτη- dimmer προκειμένου να αυξήσουν την οπτική άνεση του χρήστη.



Εικόνα 2.13: Συνδυασμός τεχνητού φωτισμού, φυσικού φωτισμού και ανίχνευσης παρουσίας. [28]

Το σύστημα αυτό επιτρέπει τον έλεγχο του τεχνητού φωτισμού μέσω:

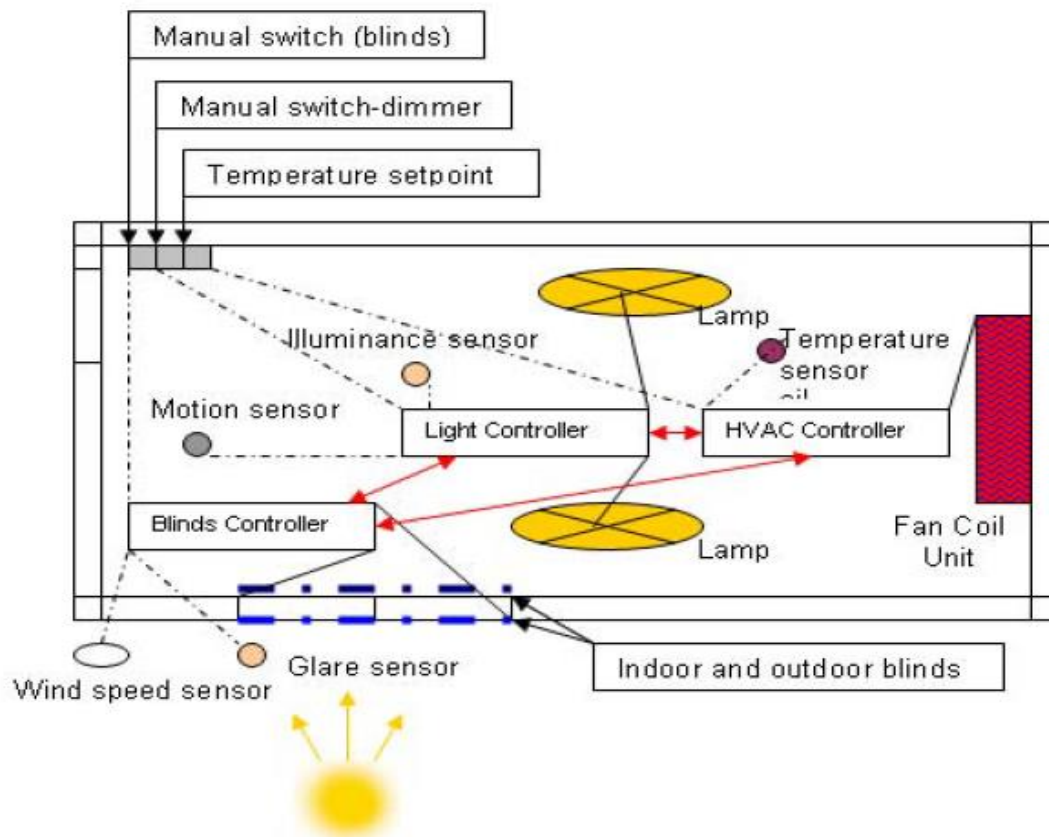
- Χειροκίνητης επιλογής ON/OFF και dimming με επιλογή υψηλής προτεραιότητας
- Με αισθητήρα παρουσίας με ενδιάμεσο επίπεδο προτεραιότητας.
- Με αισθητήρα φωτεινότητας (προκειμένου να επιτευχθεί ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας) με χαμηλό επίπεδο προτεραιότητας.

Είναι εύλογο ότι το επίπεδο της πολυπλοκότητας αυξάνεται αισθητά με την αλληλοεπίδραση των δυο αισθητήρων.

Επίπεδο 3 (έλεγχος τεχνητού φωτισμού και daylighting και HVAC σύστημα)

Σε αυτό το παράδειγμα αλληλεπίδρασης , τα συστήματα έλεγχου φωτισμού, σκίασης και HVAC

αλληλεπιδρούν πλήρως μεταξύ τους προκειμένου να αυξήσουν την θερμική και οπτική άνεση του χρήστη.

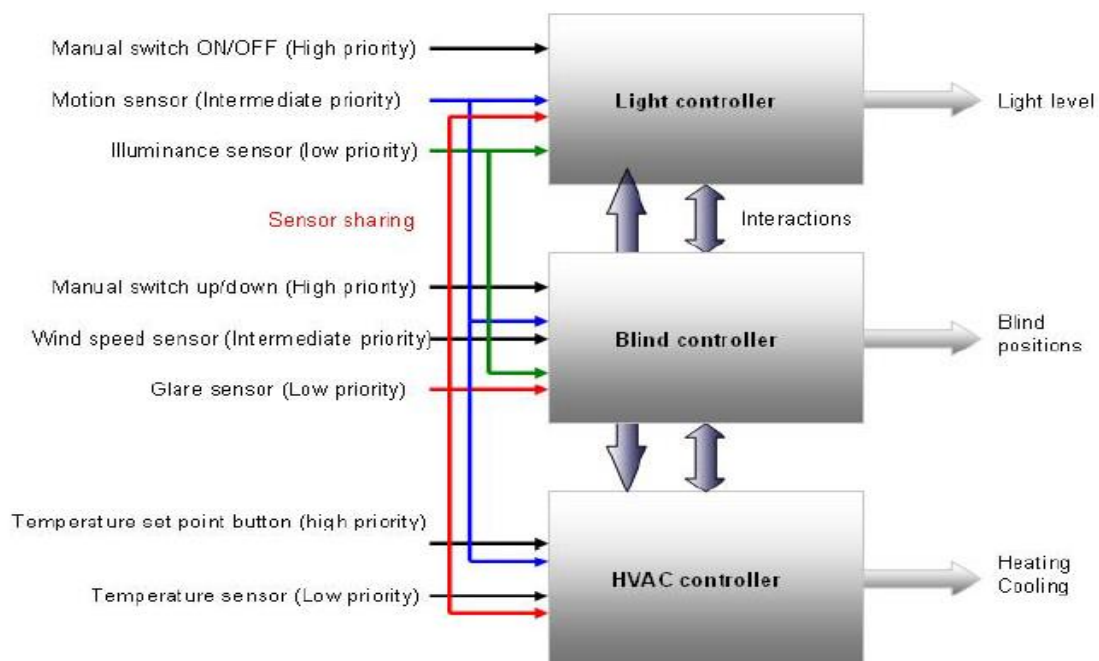


Εικόνα 2.14: Συνδυασμός με έλεγχο τεχνητού φωτισμού, συστήματος σκίασης και HVAC. [28]

Επιπλέον αισθητήρες πρέπει να εγκατασταθούν για τον έλεγχο των συστημάτων με διαφορετικό επίπεδο προτεραιότητας για τον καθένα:

- Ένα χειροκίνητο μπουτόν για τον καθορισμό τιμών της θερμοκρασίας, υψηλής προτεραιότητας
- Διακόπτης μπουτόν για τα σκίαστρα, υψηλής προτεραιότητας
- Εσωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας και αισθητήρας μέτρησης ανέμου, μεσαίας προτεραιότητας
- Αισθητήρας θάμβωσης με χαμηλή προτεραιότητα

Η επικοινωνία των παραπάνω υλικών είναι αρκετά πολύπλοκη λόγω των διαφορετικών διεργασιών μεταξύ των αισθητήριων και των controllers. Η αλληλεπίδραση του συστήματος γίνεται με τον παρακάτω τρόπο:



Εικόνα 2.15: Αλληλεπίδραση των διαφορετικών αισθητήρων και controllers[28]

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα, οι κύριες χρήσεις και τα βασικά συστατικά των στρατηγικών που έχουν αναλυθεί παραπάνω:

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ	ΣΤΑΘΕΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΟΣ
Κύρια Πλεονεκτήματα	-Χαμηλό κόστος -Εύκολη εγκατάσταση και χρήση -κέρδος 10% - 20%	-Σχετικά χαμηλό κόστος -Υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης κυρίως σε χώρους με διακοπτόμενη χρήση (πχ διάδρομοι) 20%-50% κέρδος	-Σταθερό επίπεδο φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη την γήρανση -5%-15% κέρδος	-Σταθερό επίπεδο φωτισμού -Δυνατότητα με συνδυασμό ελέγχου Σκίασης και HVAC - 20%- 50% κέρδος

Κύρια Μειονεκτήματα	-Ο χρονικός προγραμματισμός πρέπει να αλλάξει εάν αλλάξει το ωράριο λειτουργίας	-Οι αισθητήρες είναι πιθανόν να επηρεαστούν από την λειτουργία άλλων συστημάτων -Αισθητήρες χαμηλής ακρίβειας μπορεί να προκαλέσουν δυσφορία στους χρήστες	-Σε μερικές περιπτώσεις το κόστος είναι υψηλό - Δυσκολίες στη παραμετροποίηση	-Σε μερικές περιπτώσεις το κόστος είναι υψηλό - Δυσκολίες στη παραμετροποίηση
Κύρια χρήση	-Σχολικές αίθουσες -Meeting Rooms -Ανοιχτοί χώροι γραφείων -Μουσεία -Σουπερμάρκετ	-Διάδρομοι -Κλιμακοστάσια -Βιβλιοθήκες -Αποθήκες -WC	-Γραφεία -Σχολικές Αίθουσες -Χώροι ανάδειξης προϊόντων	-Γραφεία -Σχολικές Αίθουσες -Χώροι ανάδειξης προϊόντων
Βασικά στοιχεία λειτουργίας	-Controller με χρονική μονάδα και δυνατότητα προγραμματισμού -Διακόπτης	-Αισθητήρας Παρουσίας -Διακόπτης -Dimmer	-Φωτοαισθητήρας -Controller -Dimmer	-Φωτοαισθητήρας -Controller -Dimmer

Πίνακας 2.2: Συνοπτική ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών για τις διάφορες στρατηγικές ελέγχου φωτισμού[25]

2.3 Αρχιτεκτονικές Ελέγχου Φωτισμού

2.3.1 Εισαγωγή

Η αρχιτεκτονική του ελέγχου φωτισμού είναι καθοριστική για την λειτουργία των προαναφερθέντων στρατηγικών ελέγχου. Οργανώνεται σε τέσσερα επίπεδα:

- Υπηρεσίες συστήματος
- Κεντρικός Πίνακας
- Ζωνικές Περιοχές
- Συσκευές Ελέγχου

Οι υπηρεσίες του συστήματος αποτελούν την βάση του σχεδιασμού κάθε συστήματος και συνδέονται άμεσα με το συνολικό σύστημα διαχείρισης του φωτισμού. Η βάση του συστήματος είναι ο κεντρικός τομέας του συστήματος που συνδέεται με τις περιοχές και τις συσκευές. Οι ζώνες έχουν σχέση με τις διαφορετικές λειτουργίες σε κάθε περιοχή του συστήματος. Τέλος οι συσκευές είναι οι τερματικές συσκευές από τις οποίες και γίνεται ο έλεγχος και η βελτίωση της οπτικής άνεσης.

Έλεγχος από Κεντρικό Πίνακα
Έλεγχος από ζώνη
Έλεγχος μέσω ξεχωριστής καλωδίωσης
Ατομικός έλεγχος φωτιστικών

Τα γενικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο φωτισμού παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

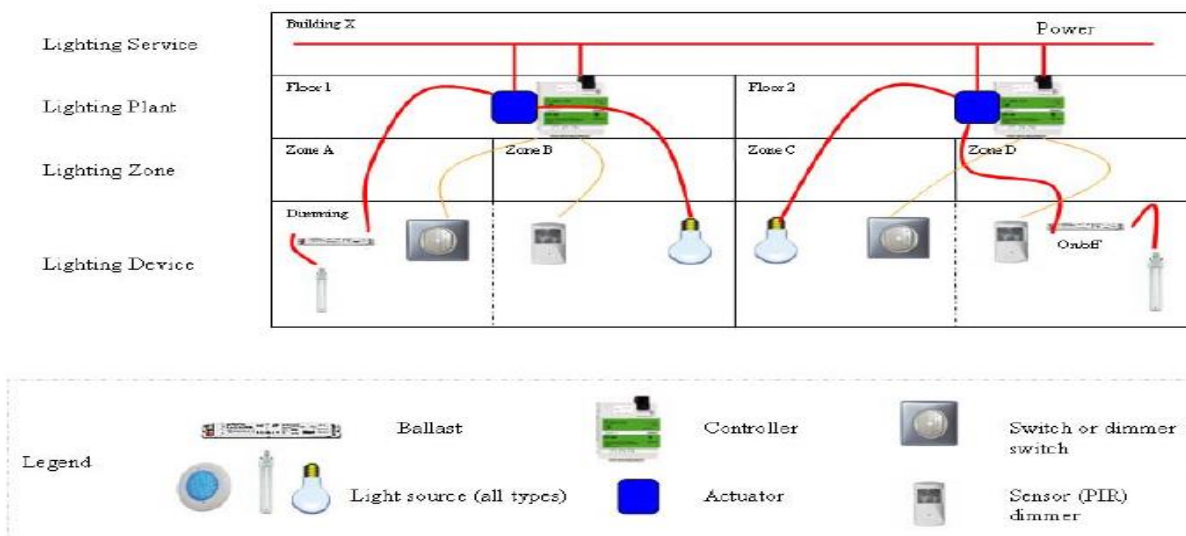
							
Light sources	Ballast	Sensor	Controller	Actuator	Wire Digital	Wire analogic	Wire 230 V

Εικόνα 2.16: Γενικά στοιχεία για τον έλεγχο φωτισμού. [28]

2.3.2 Επίπεδα αρχιτεκτονικής ελέγχου φωτισμού

Έλεγχος μέσω κεντρικού Πίνακα

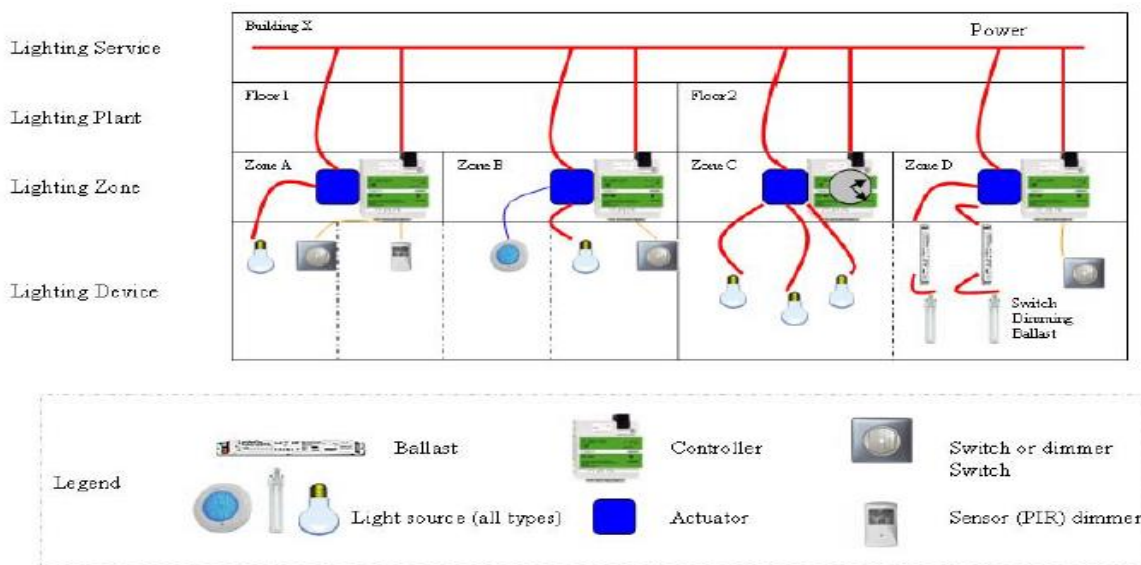
Ο έλεγχος μέσω κεντρικού Πίνακα είναι μια αρχιτεκτονική ελέγχου στην οποία ενεργοποιητές και controllers τοποθετούνται σε έναν κεντρικό πίνακα στην βάση του συστήματος. Χρησιμοποιείται γενικότερα για ON/OFF εφαρμογές σε κτίρια όπως βιομηχανίες και σουπερμάρκετ. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επίσης σε συγκεκριμένες ζώνες φωτισμού όπως διάδρομοι και κλιμακοστάσια. Είναι απλή, αξιόπιστη και ευρέως διαδεδομένη.



Εικόνα 2.17: Κεντρικός έλεγχος[28]

Έλεγχος μέσω ζώνης φωτισμού

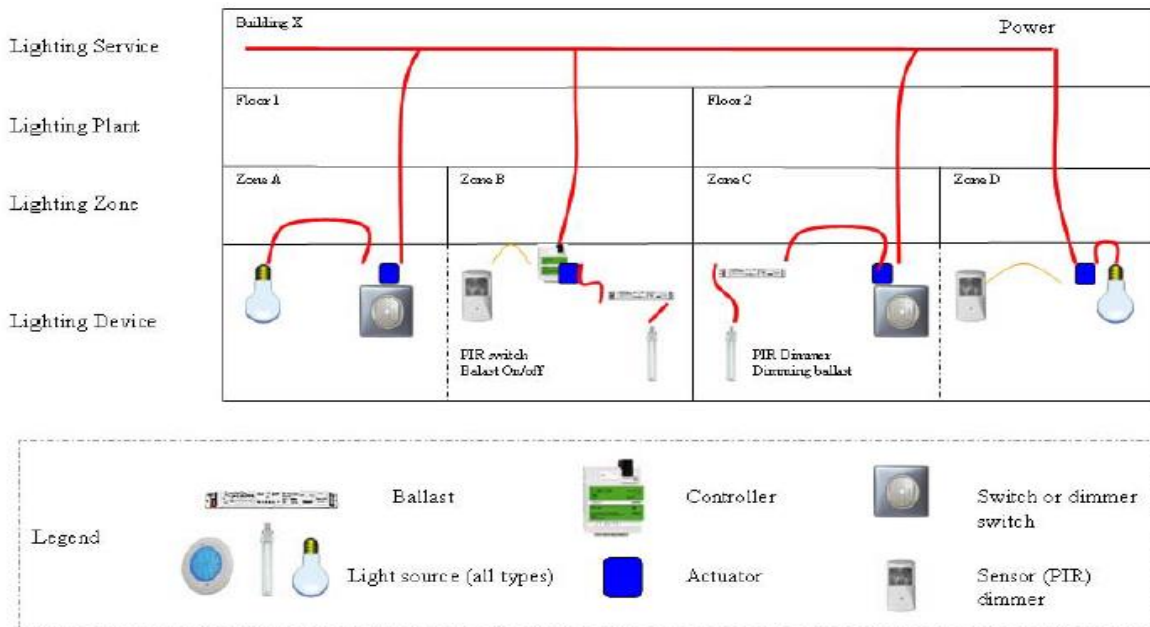
Η αρχιτεκτονική ζώνης βασίζεται στην αρχή ότι ο ενεργοποιητής και ο controller έχουν επίδραση σε μια συγκεκριμένη ζώνη φωτισμού. Η αρχιτεκτονική αυτή έχει εφαρμογές σε γραφεία, σχολεία και νοσοκομεία επειδή εύκολα μπορούν να γίνουν αλλαγές στις ρυθμίσεις του συστήματος.



Εικόνα 2.18: Έλεγχος μέσω ζώνης φωτισμού[28]

Έλεγχος μέσω ξεχωριστής καλωδίωσης

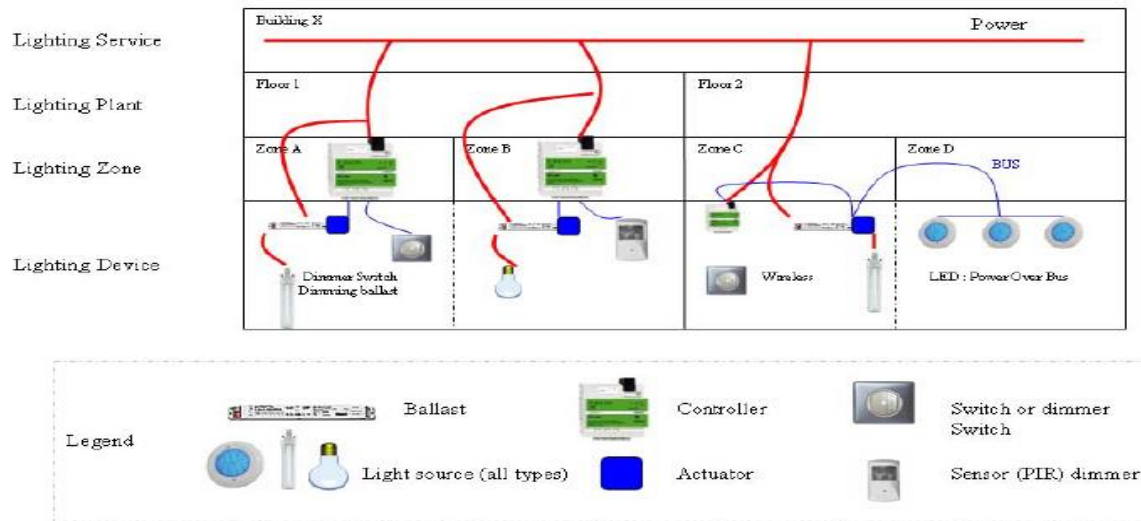
Στην αρχιτεκτονική μέσω καλωδίωσης οι ενεργοποιητές ελέγχουν απευθείας τις τελικές συσκευές μέσω καλωδίωσης σε τοίχους, οροφές ή πατώματα. Ο ενεργοποιητής είναι συνήθως ενσωματωμένος με τον αισθητήρα. Αυτού του τύπου η αρχιτεκτονική είναι πιο διαδεδομένη σε κατοικίες, μικρά γραφεία και ξενοδοχεία επειδή οι εντολές επιτρέπουν στον χρήστη να πετύχει τον έλεγχο. Παρόλα αυτά μπορούν να υπάρχουν και πιο σύνθετες εφαρμογές με αυτήν την τεχνική και επίσης μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με την αρχιτεκτονική κεντρικού ελέγχου μέσω Πίνακα.



Εικόνα 2.19: Αρχιτεκτονική έλεγχου μέσω καλωδίωσης των τελικών συσκευών. [28]

Αρχιτεκτονική έλεγχου μέσω φωτιστικών

Στην αρχιτεκτονική μέσω φωτιστικών οι ενεργοποιητές και οι controllers είναι ενσωματωμένοι στα φωτιστικά, συνήθως στο ballast. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα συνδέουν όλους τους μηχανισμούς έλεγχου μέσω ειδικής καλωδίωσης BUS. Παρέχεται ατομικός ή ευρύτερος έλεγχος μέσω συσκευών που τοποθετούνται στον Πίνακα της κάθε ζώνης ή είναι επίτοιχες. Από την μια πλευρά ο έλεγχος είναι μεταξύ των συσκευών είναι φυσικός μέσω καλωδίωσης. Από την άλλη όμως υπάρχει και λογική σύνδεση των μερών τους συστήματος. Έτσι είναι εύκολος ο προγραμματισμός και η παραμετροποίηση του συστήματος. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το KNX επιτρέπουν και καθορίζουν τον τρόπο επικοινωνία μεταξύ των συσκευών.



Εικόνα 2.20: Αρχιτεκτονική μέσω φωτιστικών και καλωδίωσης BUS. [28]

2.4 Στοιχεία ελέγχου φωτισμού

Controllers (ελεγκτές)

Ένας controller για τον φωτισμό είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία χρησιμοποιείται στον κτιριακό αυτοματισμό ώστε να ελέγχει την λειτουργία μιας ή περισσότερων φωτεινών πηγών. Η πλειοψηφία των ελεγκτών αυτών έχουν την δυνατότητα να ελέγξουν τους αυξομειωτές έντασης των φωτιστικών (dimmers) που με την σειρά τους προκαλούν την αύξηση ή την μείωση στην φωτεινή ροή μιας φωτεινής πηγής, που με την σειρά της σημαίνει την αντίστοιχη αύξηση ή μείωση στην ισχύ της. Οι ελεγκτές επίσης μπορούν να ελέγξουν τον φωτισμό μέσω σεναρίων φωτισμού. Επικοινωνούν με τις υπόλοιπες συσκευές μέσω ειδικών πρωτοκόλλων όπως για παράδειγμα το KNX. Διαφέρουν σε σχήμα και πολυπλοκότητα και γενικότερα ο στόχος τους είναι η οργάνωση, η ευχρηστία και η μείωση της κατανάλωσης από τα συστήματα ελέγχου φωτισμού.



Εικόνα 2.21: Ελεγκτές (Controllers) για έλεγχο τεχνητού φωτισμού[28]

Αισθητήρες (Sensors)

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή η οποία μετράει η ανίχνευση μια πραγματική κατάσταση , όπως κίνηση , επίπεδο φωτισμού και μετατρέπει την κατάσταση αυτήν σε ψηφιακή ή αναλογική αναπαράσταση. Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα περιλαμβάνουν δείκτες απόδοσης (εύρος, ευαισθησία, χρόνο απόκρισης κλπ.) αλλά εξετάζεται και η τεχνική συμπεριφορά όπως και η οικονομική αξιολόγηση τους (κόστος, συντήρηση. Συμβατότητα με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος).

Αισθητήρες Φωτεινότητας

Οι αισθητήρες φωτεινότητας ανιχνεύουν το επίπεδο φωτεινότητας στο εύρος ανίχνευσης του αισθητήρα. Χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν εσωτερική φωτεινότητα (π.χ. σε επιφάνεια εργασίας) ή εξωτερική φωτεινότητα (π.χ. στην στέγη ενός κτιρίου. Οι αισθητήρες φωτεινότητας χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των φωτιστικών και την αυξομείωση της έντασης τους. Μπορούν επίσης να ενσωματωθούν σε ολοκληρωμένα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης όπως για παράδειγμα εάν απαιτείται ηλιακή προστασία.



Εικόνα 2: Αισθητήρας Φωτεινότητας. [28]

Οι αισθητήρες φωτεινότητας δίνουν εντολή στους ελεγκτές για αυξομείωση η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των φωτιστικών ανάλογα με το επίπεδο φωτεινότητας. Είναι χρήσιμο να σημειώνεται η ακριβής θέση τους στο κτίριο ώστε μελλοντικά οι διαχειριστές να μπορούν να γνωρίζουν την θέση αυτή.

Στοιχείο	Πληροφορίες Εισόδου/Εξόδου	Εφαρμογές σε κτίρια
Αισθητήρας φωτεινότητας εσωτερικού χώρου	Είσοδος: Επίπεδο φωτεινότητας σε μια επιφάνεια εργασίας Έξοδος: Αναλογικό ή Ψηφιακό σήμα στον ελεγκτή	-Οπτική άνεση -Εξοικονόμηση Ενέργειας
Αισθητήρας φωτεινότητας εξωτερικού χώρου	Είσοδος: Εξωτερική Φωτεινότητα Έξοδος: Αναλογικό ή Ψηφιακό σήμα στον ελεγκτή	-Εξοικονόμηση Ενέργειας

Πίνακας 1.3: Εφαρμογές και διεργασίες του αισθητήρα φωτεινότητας. [28]

Αισθητήρες Ημέρας/Νύκτας

Οι αισθητήρες αυτοί επιτρέπουν την σύγκριση μιας εξωτερικής φωτεινότητας με ένα προκαθορισμένο όριο έτσι ώστε να ενεργοποιήσουν δράσεις που αφορούν την ενεργοποίηση ή την απενεργοποίηση φωτιστικών (κυρίως φωτιστικών δρόμων) ή να ανοιγοκλείσουν τα σκίαστρα μιας εγκατάστασης.

Στοιχείο	Πληροφορίες Εισόδου/Εξόδου	Εφαρμογές σε κτίρια
Αισθητήρας Ημέρας/Νυκτός	Είσοδος: Μέτρηση Εξωτερικής Φωτεινότητας Έξοδος: Αναλογικό ή Ψηφιακό σήμα στον ελεγκτή	-Οπτική άνεση -Εξοικονόμηση Ενέργειας (σκίαστρα, θέρμανση)

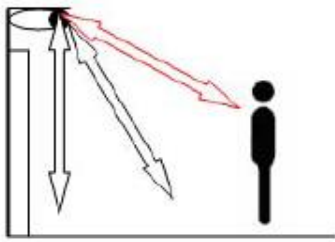
Πίνακας 1.4: Εφαρμογές και διεργασίες του αισθητήρα Ημέρας/Νύκτας. [28]

Αισθητήρες Παρουσίας

Οι αισθητήρες παρουσίας ανιχνεύουν την κίνηση του χρήστη μέσω των κινήσεων τους. Οι πιο συνηθισμένοι αισθητήρες είναι οι παθητικοί αισθητήρες υπέρυθρων που βασίζονται στις μεταβολές της υπέρυθρης ακτινοβολίας, την οποία προκαλεί η κίνηση του χρήστη.

Στοιχείο	Πληροφορίες Εισόδου/Εξόδου	Εφαρμογές σε κτίρια
Αισθητήρας Παρουσίας	Είσοδος: Ανίχνευση Κίνησης Έξοδος: Αναλογικό ή Ψηφιακό σήμα στον ελεγκτή	-Οπτική άνεση -Εξοικονόμηση Ενέργειας (σκίαστρα, θέρμανση) -Ασφάλεια

Πίνακας 1.5: Εφαρμογές και διεργασίες του αισθητήρα Παρουσίας. [28]



Εικόνα 2.23: Αισθητήρας Παρουσίας[28]

Οι αισθητήρες παρουσίας μπορούν να ενσωματώσουν τις παρακάτω λειτουργίες:

- Ανίχνευση παρουσίας
- Εσωτερικό αισθητήρα φωτεινότητας (Επίπεδο φωτεινότητας για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του φωτισμού)
- Χρονική λειτουργία (απενεργοποίηση του φωτισμού μετά από κάποιο χρονικό διάστημα)

Οι αισθητήρες παρουσίας όμως παρουσιάζουν και κάποιες δυσλειτουργίες οι οποίες είναι:

- Κάποιες από τις ανθρώπινες λειτουργίες επιτυγχάνονται χωρίς κίνηση (π.χ. διάβασμα ενός βιβλίου)
- Η θέση τους είναι ευαίσθητη ως προς τις νεκρές ζώνες που δημιουργούνται.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα αισθητήρων παρουσίας όπως ενεργητικής ή παθητικής λειτουργίας, υπερήχων οι οποίες εξυπηρετούν τις ιδιαιτερότητες της κάθε εγκατάστασης.

Θέση του αισθητήρα

Η θέση τοποθέτησης του αισθητήρα δεν πρέπει να αγνοείται. Για παράδειγμα για να πάρουμε μια σχετική ένδειξη του επιπέδου φωτισμού σε μια ζώνη εργασίας , ο αισθητήρας θα έπρεπε να τοποθετηθεί στην επιφάνεια αυτή. Για προφανείς λόγους όμως αυτό δεν γίνεται ποτέ. Αντίστοιχα για να έχουμε μια σωστή αξιολόγηση της θερμικής άνεσης η θερμοκρασίας και η υγρασία θα έπρεπε να καταγράφονται στο κέντρο του δωματίου. Αυτό επίσης δεν μπορεί να γίνει πρακτικά, Θα πρέπει λοιπόν να γίνεται σωστή μελέτη για την τοποθέτηση των αισθητήρων ώστε να αξιοποιούνται τα χαρακτηριστικά τους και το εύρος λειτουργίας τους.

Ενεργοποιητές (Actuators)

Οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται στον αυτοματισμό σε όλων των ειδών τις τεχνικές διεργασίες. Από τον διαφορετικό τύπο παροχής διακρίνονται σε υδραυλικούς και ηλεκτρικούς. Είναι το στοιχείο το οποίο δίνει την εντολή στο σύστημα ελέγχου για να εκκινήσει μια διαδικασία.

Διακόπτης (Switch)

Ο διακόπτης είναι το πιο κοινό στοιχείο ενός συστήματος ελέγχου φωτισμού και επιτρέπει την απευθείας αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα ελέγχου. Μπορεί να διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση φωτισμού
- Απενεργοποίηση μετά από κάποιο χρονικό διάστημα του φωτισμού



Η αρχιτεκτονική είναι απλή και με χαμηλό κόστος. Είναι η κατάλληλη τεχνική σε χώρους με παρουσία όπου οι χρήστες καθορίζουν τις αλλαγές στον φωτισμό. Χρειάζεται προσοχή κατά την εγκατάσταση τους σε χώρους με πολλούς χρήστες καθώς αυτοματοποιημένοι ON/OFF διακόπτες μπορεί να προκαλέσουν απενεργοποίηση του φωτισμού ενώ ο χώρος χρησιμοποιείται ακόμα.

Εικόνα 2.24: Χειροκίνητος διακόπτης. [28] Διακόπτες οι οποίοι αυτόματα προκαλούν μεταβολές στον φωτισμό ανάλογα με το ηλιακό φως, θα έπρεπε να χρησιμοποιούνται μόνο σε χώρους που υπάρχει μεγάλη συμβολή φυσικού φωτός. Έτσι θα παραμένουν απενεργοποιημένα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας χωρίς να επηρεάζονται οι χρήστες.

Αυξομειωτής έντασης (dimmer)

Τα συστήματα που αυξομειώνουν την ένταση των φωτιστικών επηρεάζουν την έξοδο των φωτιστικών σταδιακά και συνεπώς η αλλαγή στην ισχύ και στην φωτεινή ροή γίνεται σταδιακά. Η αλλαγή αυτή προκαλεί και την ενεργειακή εξοικονόμηση. Είναι τεχνολογία πιο υψηλού κόστους από τους διακόπτες καθώς απαιτούν πιο σύνθετες αρχιτεκτονικές.



Εικόνα 3: dimmer χειροκίνητος[28]

Η αυξομείωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω δύο τεχνικών:

- Συνεχής αυξομείωση
- Αυξομείωση με σταθερό βήμα

Η συνεχής αυξομείωση ουσιαστικά προσαρμόζει συνεχώς την φωτεινή ροή των φωτιστικών πηγών συναρτήσει της εξωτερικής πληροφορίας. Αυτό συνήθως γίνεται μέσω DC εντολής ελέγχου στο ballast ή στον μετασχηματιστή του φωτιστικού.

Πρωτόκολλα με αναλογική τεχνική έχουν υιοθετηθεί για να υποστηρίξουν την τεχνική αυτή. Η αυξομείωση σταθερού βήματος είναι ένας τρόπος ώστε να ελεγχθεί η φωτεινή ροή του φωτιστικού μέσω συγκεκριμένων παραμετροποιήσεων και ψηφιακού σήματος. Ο controller παίρνει εντολή από τον actuator και μεταφέρει τη πληροφορία στον dimmer και έτσι αυξομειώνεται η ένταση της φωτεινής πηγής. Τα βήματα καθορίζονται από το εκάστοτε πρωτόκολλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι ένα σύνολο κανόνων - σύνταξης, σημασιολογίας και συγχρονισμού – που καθορίζει την λειτουργία ενός δικτύου με υπολογιστές ή τα διάφορα μέρη που απαιτούνται για τον έλεγχο φωτισμού. Το πρωτόκολλο καθορίζει τις μεθόδους για την αναπαράσταση των δεδομένων, των σημάτων, της αναγνώρισης και της ανίχνευσης λάθους ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος και ή να εκκινήσει η σύνδεση και η μεταφορά δεδομένων μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Τα πρωτόκολλα βασίζονται στον συνδυασμό hardware και software. Το hardware κομμάτι είναι ο καθορισμός της συμπεριφοράς των συσκευών και αποτελεί το πιο χαμηλό επίπεδο ανάλυσης.

Στον φωτισμό, αυτήν την στιγμή έχουν εδραιωθεί δυο τύπου πρωτόκολλα επικοινωνίας:

- Αναλογικά πρωτόκολλα: είναι μιας κατεύθυνσης και δεν επιτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη (φωτιστικό, συσκευές , η περιβάλλον προγραμματισμού).
- Ψηφιακά πρωτόκολλα: Μπορεί να είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης. Τα διπλής κατεύθυνσης επιτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη ώστε να γίνεται ανταλλαγή δεδομένων, να τίθενται κανόνες σταθερότητας και οποιαδήποτε άλλη επικοινωνία.

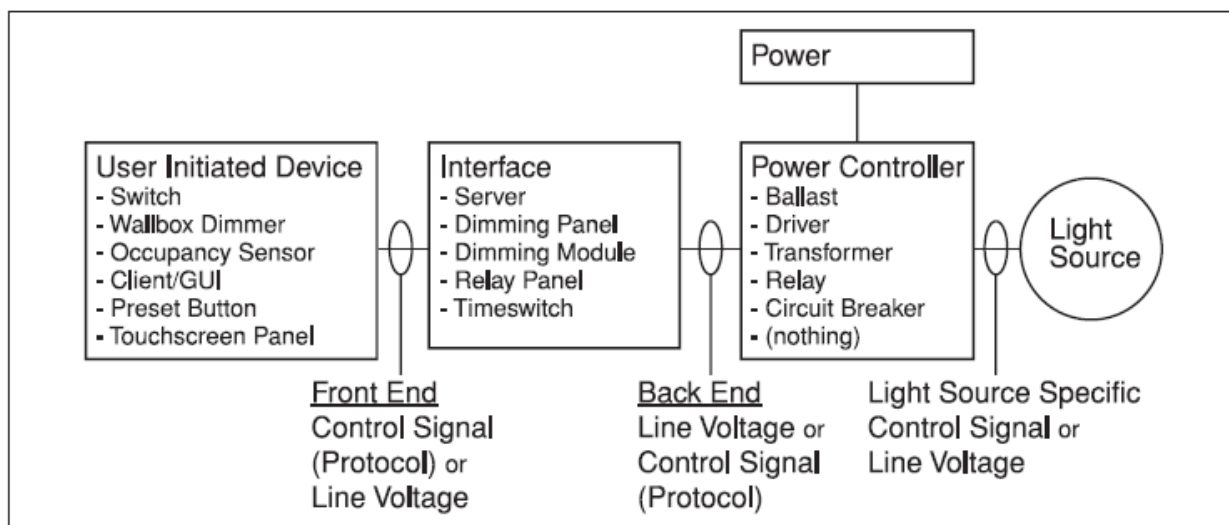
Ένα ακόμα γνώρισμα των πρωτοκόλλων είναι εάν είναι συνεχούς ροής (streaming) ή εντολής-απόκρισης. Τα συνεχούς ροής , υπάρχει αδιάλειπτη αποστολή πληροφορίας είτε απαιτείται είτε όχι κάποια αλλαγή. Σε ένα πρωτόκολλο εντολής απόκρισης τα δεδομένα στέλνονται αλλά αυτό δεν επαναλαμβάνεται έως ότου υπάρχει μια εντολή αλλαγής ή στην περίπτωση διπλής κατεύθυνσης υπάρχει απόκριση από τον παραλήπτη στον αποστολέα.

Πολλές φορές στη διαδικασία αποδοχής της εντολής από τον παραλήπτη εμπλέκονται παραπάνω από ένα πρωτόκολλα. Σε μεγάλης κλίμακας έργα διαφορετικά πρωτόκολλα μπορεί να διαχειρίζονται διαφορετικά κομμάτια του κτιρίου με διαφορετικού είδους λειτουργίες. Για παράδειγμα μπορεί το πρωτόκολλο DALI το οποίο απευθύνεται σε επίπεδο διευθυνσιοδότησης φωτιστικών να συνδυαστεί με το πρωτόκολλο BACnet ώστε να ενσωματωθεί σε άλλα κομμάτια διαχείρισης (πχ HVAC). Για να εγγυηθεί την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης, ο σχεδιαστής οφείλει να ελέγξει την συμβατότητα των διαφόρων υλικών.

Σαν γενικός κανόνας τα πρωτόκολλα ελέγχου μπορεί να διαιρεθούν σε δυο κατηγορίες: Τα άμεσης σύνδεσης (front end), τα οποία έχουν σαν είσοδο το σήμα του χρήστη ή του αισθητήρα και τα παρασκηνίου (back end) τα οποία εκτελούν της εντολές μέσω ηλεκτρισμού.

Στα άμεσης σύνδεσης οι εντολές προέρχονται από τον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί είτε να είναι πραγματικός χρήστης ή κάποιος αισθητήρας είτε και υπολογιστής. Με το πρωτόκολλο αυτό είναι δυνατή η επιστροφή πληροφορίας για να παρουσιαστεί στον χρήστη. Στα παρασκήνιο υπάρχει ένα σύνδεση μεταξύ της πληροφορίας που λαμβάνει ένα πρωτόκολλο άμεσης σύνδεσης μέσω του χρήστη και υλοποιείται από το back end dimmer ή κάποιο άλλο ηλεκτρονικό εξάρτημα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αυξομείωση φωτισμού μέσω ελέγχου φάσης (phase cut dimming).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τον έλεγχο μιας φωτεινής πηγής. Η γενικότερη φιλοσοφία ωστόσο περιγράφεται παρακάτω. Το σύστημα δέχεται μια είσοδο από τον χρήστη. Ως χρήστης εννοείται μια συσκευή ή ένας υπολογιστής που διαχειρίζεται ο χρήστης. Την πληροφορία αυτή διαχειρίζεται ο controller ο οποίος επικοινωνεί με το περιβάλλον τους συστήματος. Το περιβάλλον αυτό μπορεί να αποτελείται από εάν απλό dimmer ή να είναι πιο πολύπλοκο με ταυτόχρονη επικοινωνία ελεγκτών για διαφορετικά φορτία. Οι διάφορες τεχνολογίες απαιτούν διαφορετικούς συνδυασμούς και ο σχεδιαστής πρέπει να έχει πλήρη γνώση των ιδιοτήτων και των απαιτήσεων κάθε τεχνολογίας.

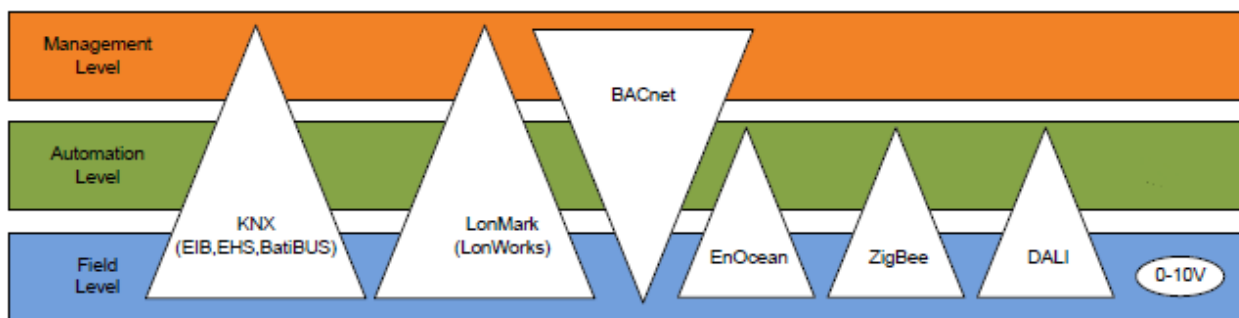


Σχήμα 3.1: Βασική αρχιτεκτονική ελέγχου φωτισμού. [30]

Η εξέλιξη των κτιριακών αυτοματισμών έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία και την ανάπτυξη πρωτοκόλλων για τον καθορισμό της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Γενικότερα η ανάπτυξη αυτή καθόρισε δυο βασικές κατηγορίες πρωτοκόλλων:

1. Ιδιόκτητα συστήματα
2. Ελεύθερα πρωτόκολλα

Τα ιδιόκτητα πρωτόκολλα είναι κλειστά συστήματα που αναπτύχθηκαν από ιδιωτικούς κατασκευαστές. Ο κατασκευαστής διαχειρίζεται την τεχνογνωσία του υπόβαθρου της τεχνολογίας. Συνήθως το αρχικό κόστος είναι μικρό αλλά τίθεται ο περιορισμός της αποκλειστικής χρήσης συσκευών που είναι συμβατές με αυτήν την τεχνολογία. Τα ελεύθερα ή ανοιχτά πρωτόκολλα έχουν αναπτυχθεί από ανεξάρτητους αναγνωρισμένους φορείς (CEN , ISO, ASHRAE/ANSI). Διαφορετικοί κατασκευαστές επιτρέπεται να παρέχουν τα προϊόντα τους τα οποία θα υπακούουν στους κανόνες του εκάστοτε πρωτοκόλλου. Έχουν αναπτυχθεί μέσω συνεργασίας φορέων και κάθε αλλαγή επιδέχεται την σύνεση όλων των εμπλεκομένων. Στα πλαίσια της διπλωματικής θα εξεταστούν τα σημαντικότερα ανοιχτά πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία έχουν δυνατότητα εφαρμογής διαχείρισης και έλεγχου φωτισμού. Αυτά είναι τα:



Σχήμα 3.2: Πρωτόκολλα ελέγχου φωτισμού και ιεράρχηση τους βάση των λειτουργιών τους. [32]

- **0-10 VDC**
- **DMX512**
- **DALI**
- **BACnet**
- **LonWorks**
- **EnOcean**
- **Zigbee**
- **KNX**

Η αρχιτεκτονική των συστημάτων ελέγχου μπορεί να διαιρεθεί σε τρία επίπεδα. Το πιο χαμηλό επίπεδο είναι το field level στο οποίο και γίνεται η επικοινωνία των συσκευών χαμηλού επιπέδου (ενεργοποιητές, μπουτονς κλπ). Το μεσαίο επίπεδο είναι το automation level και σε αυτό πραγματοποιούνται οι μετρήσεις , εκτελούνται οι βρόγχοι και ενεργοποιούνται οι συναγερμοί. Το υψηλότερο επίπεδο είναι το management level όπου εκτελούνται διεργασίες αποθήκευσης, αρχειοθέτησης ή παρουσίασης των δεδομένων. Τα διαφορετικά πρωτόκολλα στοχεύουν και

καλύπτουν διαφορετικά επίπεδα και η εκάστοτε εφαρμογή πολλές φορές καθορίζει την χρήση του πρωτοκόλλου.

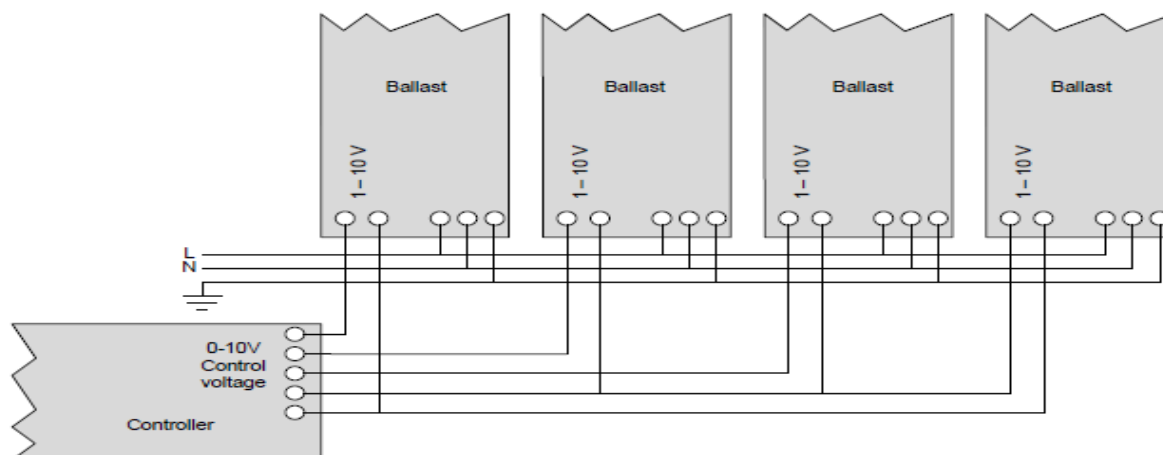
3.2 Πρωτόκολλα ελέγχου φωτισμού

3.2.1 0-10VDC

Το πρωτόκολλο 0-10VDC είναι ένα πρωτόκολλο άμεσης σύνδεσης (front end) για τον έλεγχο του εξοπλισμού χρησιμοποιώντας ως μέσο ελέγχου μια πηγή αναλογικής τάσης. Το εύρος της τάσης ελέγχου είναι από 0 έως +10 Vdc. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο dimmers και ελεγκτών. Το πλήρες όνομα είναι ANSI E1.3 . Αποτελεί αναλογικό τρόπο επικοινωνίας και θεωρείται ο απλούστερος στην χρήση. Η επιλογή των 10V μπορεί να εξηγηθεί ως εξής:

- Είναι αρκετά χαμηλή για να είναι ασφαλής και είναι αρκετά υψηλή για να αποφεύγονται προβλήματα θορύβου
- Είναι εύκολο να εκφραστεί ο έλεγχος σαν ποσοστό της εξόδου (π.χ. 5V = 50% ισχύς εξόδου)
- Υπάρχει ευκολία στην ενσωμάτωση με τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Παρόλο που το πρωτόκολλο αναπτύχτηκε αρχικά για θεατρικές εφαρμογές και σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές ελέγχου συστημάτων με τεχνολογία φθορισμού.



Εικόνα 3.1: Έλεγχος ballast μέσω πρωτοκόλλου 0-10Vdc. [31]

Το πρωτόκολλο απαιτεί την πλήρη έξοδο της φωτεινής πηγής για αναλογικό σήμα 10V. Λόγω της απλότητας του πρωτοκόλλου μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με μεγάλη πληθώρα υλικών και τροφοδοτικών. Το γεγονός όμως ότι το κάθε τροφοδοτικό απαιτεί την δική του ξεχωριστή καλωδίωση από τον ελεγκτή για την μεταφορά του αναλογικού σήματος αυξάνει την πολυπλοκότητα της καλωδίωσης και δυσχεραίνει την μελλοντική παρέμβαση για αλλαγές.

3.2.2 DMX512

Το πλήρες όνομα είναι ANSI E1.11 Entertainment Technology - USITT DMX512-A, Asynchronous Serial Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories. Το πρωτόκολλο αρχικά αναπτύχθηκε το 1986 από την USIT (United States Institute for Theatre Technology) και ως πρότυπο περιγράφει την ψηφιακή μετάδοση δεδομένων μεταξύ ελεγκτών και των διάφορων συσκευών φωτισμού και θεωρείται front end τεχνολογία στις περισσότερες των περιπτώσεων. Τα ηλεκτρικά του χαρακτηριστικά καλύπτονται από το EIA/TIA 485 A πρότυπο, και επίσης καλύπτονται όλες οι παράμετροι που καθορίζουν την μορφή των δεδομένων. Ουσιαστικά σκοπεύει στην λειτουργικότητα των μέσων επικοινωνίας και των τελικών συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Παρέχει και back end μεθοδολογία για κατασκευαστές LED προϊόντων

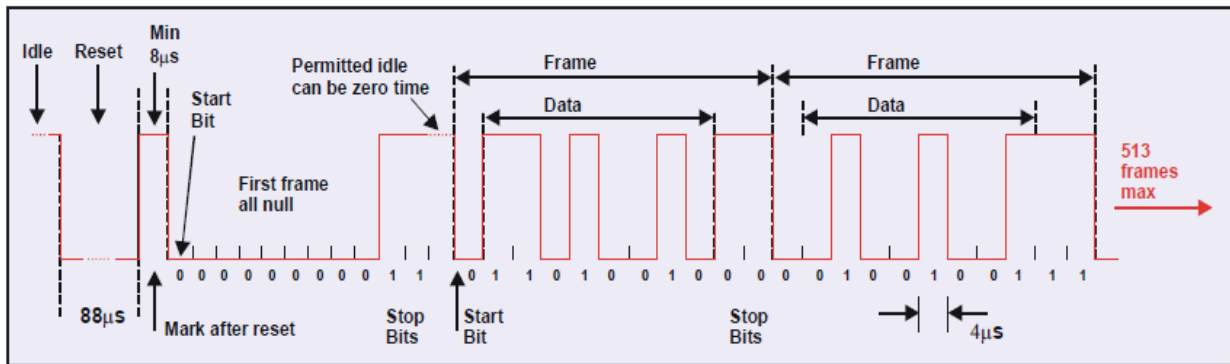
Η επικοινωνία σύμφωνα με το πρωτόκολλο DMX είναι μη αμφίδρομη χωρίς την δυνατότητα ανίχνευσης λάθους. Η αξιοπιστία επιτυγχάνεται από την συνεχή μεταφορά δεδομένων. Ένας ελεγκτής DMX αποστέλλει πακέτα μεταξύ 24 και 512 bytes. Όλες οι συσκευές που συνδέονται με το καλώδιο του DMX λαμβάνουν αυτά τα πακέτα. Για αυτό πρέπει να γίνεται παραμετροποίηση των συσκευών ώστε να αναγνωρίζουν ποια πακέτα απευθύνονται σε αυτές. Υπάρχει όριο 32 μονάδων ανά γραμμή. Η σύνδεση παραπάνω συσκευών θέτει υπό αμφισβήτηση την αξιοπιστία του συστήματος.

Ο ελεγκτής συνδέεται με τις συσκευές μέσω καλωδίου EIA 485 (συνήθως 100-120Ω). Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για χρησιμοποίηση περιστρεφόμενου καλωδίου UTP. Στο τέλος κάθε σύνδεσης υπάρχει αντίσταση που ρυθμίζει την αντίσταση του καλωδίου.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο μέχρι και 512 κανάλια μπορεί να διευθυνσιοδοτηθούν. Ο ελεγκτής ο οποίος συνήθως είναι μια κονσόλα ελέγχει την αποστολή των πακέτων δεδομένων που σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνά τα 513 bytes. (ένα της αρχής και τα υπόλοιπα της επικοινωνίας) και πρέπει να κρατά αυστηρά όρια ως προς τον χρόνο αποστολής.

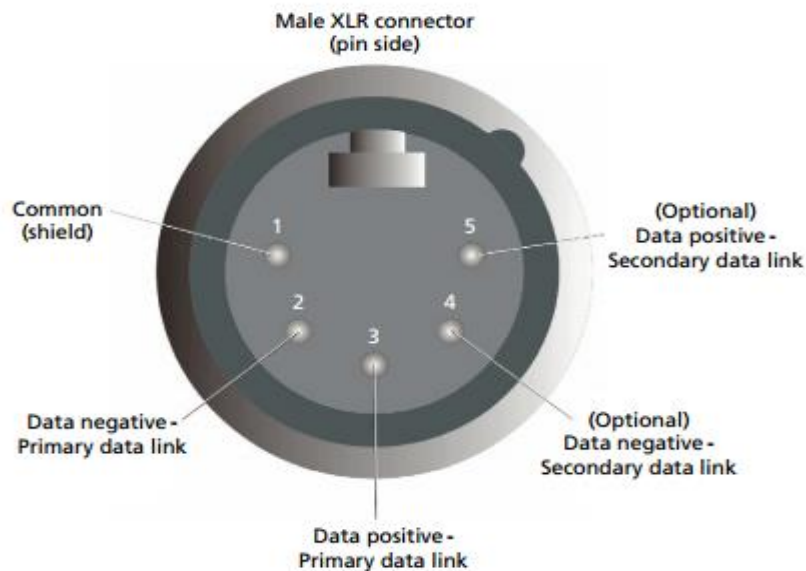
Ο δέκτης που συνήθως είναι ένας dimmer πρέπει να μπορεί να αποδεχθεί το μέγιστο μήκος δεδομένων. Στην περίπτωση αυξομείωσης συνήθως δέχεται το σήμα και αφού εκτελεστεί η εντολή καμία κίνηση δεν γίνεται έως ότου να ξαναδεχτεί δεδομένα.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο το πρώτο καρέ είναι ένα μηδενικό καρέ (null). Τα υπόλοιπα καρέ αφορούν ξεχωριστά τον κάθε δέκτη με πληροφορία ενός byte ή 8 bit.



Εικόνα 3.2: Η ροή δεδομένων του DMX. [31]

Σε κάθε κανάλι που απευθύνεται σε dimmer αντιστοιχούν 8 bit (256 levels) . Το πρότυπο δε καθορίζει όμως την σχέση μεταξύ σήματος και επίπεδο αλλαγής στον φωτισμό. Ο κάθε dimmer ορίζει την αντιστοίχιση αυτή. Ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας είναι 250 kilobits/sec και για την σύνδεση απαιτείται connector 5-pin XLR.



Εικόνα 3.3: 5 pin XLR connector. [31]

Τα συστήματα που εφαρμόζουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας DMX έχουν γίνει με τον καιρό εξαιρετικά επιτυχημένα στον φωτισμό , ιδιαίτερα σε εφαρμογές διασκέδασης (entertainment) υπάρχουν όμως κάποιο περιορισμοί.

Ανάλυση: Τα 256 επίπεδα είναι αρκετά για τον ορισμό του επίπεδου φωτισμού σε μια εφαρμογή. Αλλά σε περιπτώσεις που θα πρέπει για παράδειγμα να γίνει και ο χειρισμός της κίνησης του φωτιστικού σε κάποιο θεατρικό σκηνικό τότε αυτό δεν επαρκεί. Οι κινήσεις αυτές απαιτούν εξολοκλήρου δυο καρέ και πρέπει να γίνονται οι απαραίτητες προσαρμογές στο σύστημα.

Σύνδεση συσκευών: όταν το DMX παρουσιάστηκε η σύνδεση 512 συσκευών θεωρούνταν αρκετή. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας όμως και την κίνηση των φωτιστικών μέχρι και 24 καρέ απαιτούνται από μια συσκευή. Για αυτό πολλές φορές συνδυάζονται κονσόλες με πιο πολλές εξόδους (μέχρι 2048).

Ανίχνευση λάθους: το πρωτόκολλο δεν επιτρέπει την επιστροφή της πληροφορίας. Αυτό όσον αφορά το κομμάτι του ελέγχου φωτισμού δεν αποτελεί τόσο μεγάλο πρόβλημα αλλά το σύστημα υστερεί εφαρμογών προστασίας (πχ την ανίχνευση πυρκαγιάς).

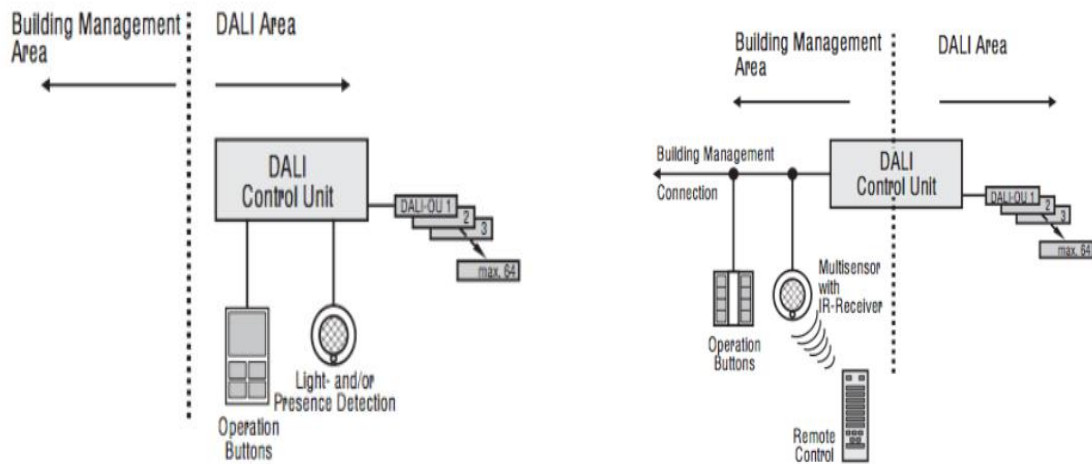
Διευθυνσιοδότηση: Εάν το σύστημα απαιτεί την σύνδεση παραπάνω από 512 συσκευών μέσω πολυκάναλου συστήματος η διαδοχική ροή της πληροφορίας θα προκαλέσει προβλήματα.

3.2.3 DALI

Το πρότυπο επικοινωνίας DALI – Digital Addressable Lighting Interface - είναι ένα πολύ διαδεδομένο πρωτόκολλο πιστοποιημένο από το IEC 60929 Annex E και σύντομα θα αντικατασταθεί από το IEC 62386 parts 101 και 102. Η βασική λειτουργία εκτελείται μέσω δυο καλωδίων που συνδέουν τον Dali controller με τα Dali τροφοδοτικά. Οι ψηφιακές εντολές (όπως ON, OFF , dim up, επιλογή σκηνής) αποστέλλονται από τους ελεγκτές μέσω των καλωδίων στα τροφοδοτικά. Η επικοινωνία αυτή είναι αμφίδρομη και το αίτημα μπορεί να απευθύνεται σε συγκεκριμένη συσκευή η οποία με τη σειρά της λαμβάνει το αίτημα και επιστρέφει την απάντηση. Κάθε τροφοδοτικό διαθέτει τη δική του μνήμη η οποία έχει τις δικές της ξεχωριστές ρυθμίσεις όπως: διεύθυνση, ομάδα, σκηνή. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο η λειτουργία να μην γίνεται αποκλειστικά μέσω μοναδικής κονσόλας- ελεγκτή.

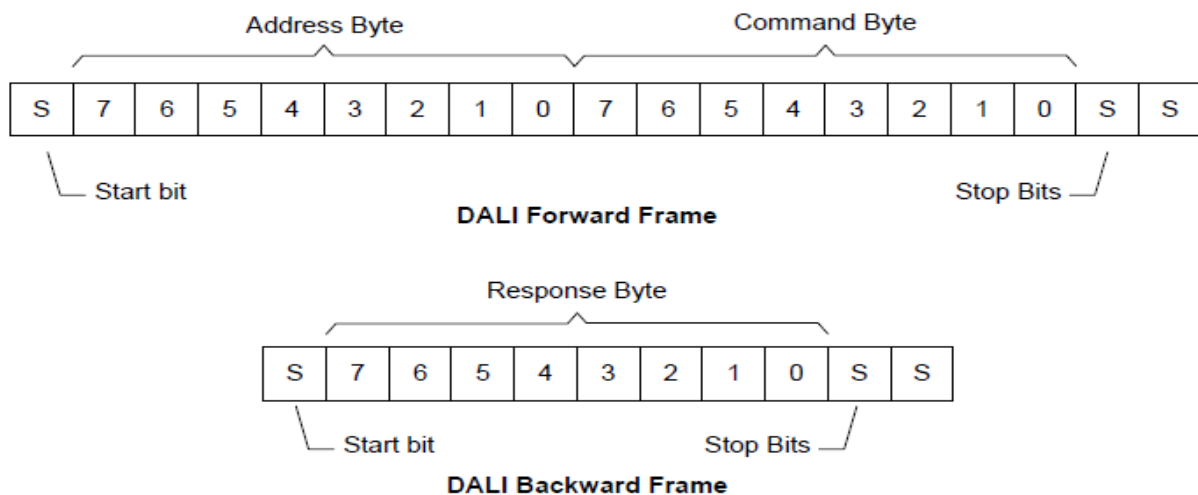
Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα της αμφίδρομης επικοινωνίας αποτελεί η δυνατότητα διαγνωστικού ελέγχου , καθώς πολλά προβλήματα συντήρησης επιλύονται από την απόκριση των τροφοδοτικών στα αιτήματα του ελεγκτή. Το σύστημα DALI επιτρέπει σε κάθε τροφοδοτικό την ταυτόχρονη συμμετοχή σε 16 σκηνές φωτισμού και να έχει μέχρι 16 προκαθορισμένα επίπεδα φωτισμού για συμμετοχή σε αυτές. Διαθέτει όλες τις δυνατές δομές διευθυνσιοδότησης (συνόλου, ομάδας, ατομική).

Η κύρια χρήση του πρωτοκόλλου γίνεται σε εφαρμογές όπου η στρατηγική έλεγχου απαιτεί τα φωτιστικά να ανταποκριθούν σε παραπάνω του ενός ελεγκτές (μπουτόν, αισθητήρα φωτεινότητας) ή όπου τα φώτα πρέπει να συμμετέχουν ταυτόχρονα σε παραπάνω από μια σκηνές φωτισμού ή όπου μελλοντική παραμετροποίηση της στρατηγικής είναι πιθανή. Τα συστήματα με Dali μπορεί να αποτελούν ξεχωριστά συστήματα έλεγχου ή και να ενσωματωθούν σε ολοκληρωμένο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης.



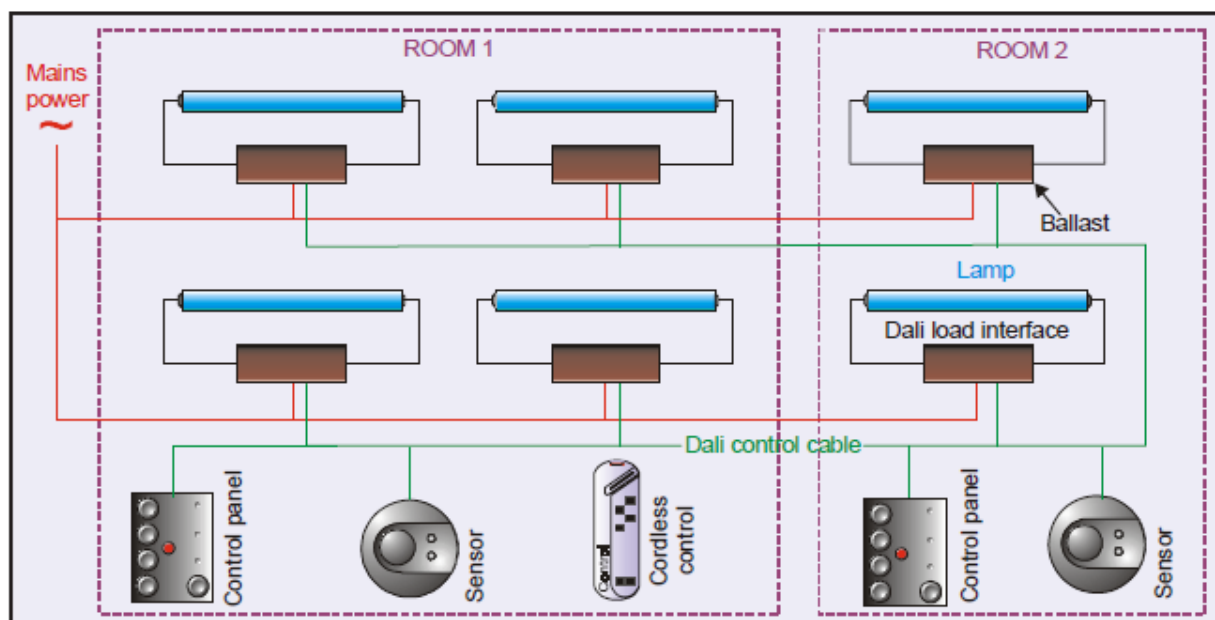
Εικόνα 3.4: Το DALI τόσο ως ξεχωριστό σύστημα ελέγχου(αριστερά) , όσο και μέρος ολοκληρωμένου BMS (δεξιά). [30]

Το πρωτόκολλο DALI ορίζει μέγιστη σύνδεση 64 συσκευών με ξεχωριστή διεύθυνση και η επικοινωνία γίνεται σειριακά μέσω των καλωδίων του συστήματος. Το σύστημα βασίζεται στην λειτουργία master-slave ,όπου ο χειριστής είναι αυτός που θα δώσει την εντολή μέσω του controller. Ο ελεγκτής θα στείλει το αίτημα σε όσες συσκευές έχουν την διεύθυνση και μαζί και την υπό εκτέλεση εντολή. Η συσκευή με την σειρά της ανάλογα αν την αφορά το εισερχόμενο μήνυμα ή όχι θα αποκριθεί.



Σχήμα 1.3: Μορφή αποστολής και απόκρισης μηνυμάτων στο σύστημα DALI. [31]

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 1200 bit/sec και είναι αρκετά χαμηλός. Ο λόγος είναι ότι ενανθίσει με άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας εδώ δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τον τρόπο σύνδεσης των συσκευών για αυτό και ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης. Ο επαναπρογραμματισμός του συστήματος είναι αρκετά απλός σε περίπτωση αλλαγών. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσω ξεχωριστής καλωδίωσης που πολλές φορές κινείται παράλληλα με αυτήν της τάσης παροχής. Η νόμιμη τάση για τα σήματα είναι 0V για το χαμηλό σήμα και 16V για το υψηλό.



Εικόνα 3.5: Σχηματική αναπαράσταση της συνδεσμολογίας των συσκευών σε μια τοπολογία με πρωτόκολλο DALI. [31]

Ο προγραμματισμός της εγκατάστασης μπορεί να γίνει μέσω των συσκευών σε μικρής κλίμακας έργα αλλά σε μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα απαιτείται η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την παραμετροποίηση του συστήματος. Χρειάζεται προσοχή στην πτώση τάσης των καλωδίων και στην μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του ρεύματος ελέγχου που δεν πρέπει να ξεπερνά συνολικά τα 250 ma στο κύκλωμα ελέγχου.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου DALI είναι η σύνδεση του με άλλα πρωτόκολλα μέσω ειδικών θυρών επικοινωνίας. Το γεγονός ότι στοχεύει στον πλήρη έλεγχο του φωτισμού το κάνει ιδιαίτερα αποδεκτό από τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο και το πρωτόκολλο αυτό πλέον συνδέεται απόλυτα με τον αποκλειστικό έλεγχο φωτισμού.

3.2.4 BACnet

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας BACnet είναι ολοκληρωτικά σχεδιασμένο για να καλύψει τις ανάγκες ενός ολοκληρωμένου συστήματος ενεργειακής διαχείρισης με κτιριακούς αυτοματισμούς. Αρχικά αναπτύχθηκε από την ASHRAE και μετέπειτα εκδόθηκε ως CEN πρότυπο και ακολούθως ως διεθνές standard ISO 16484-5. Οι εφαρμογές του καλύπτουν τον έλεγχο HVAC, φωτισμού, συναγερμών και ασφάλειας.

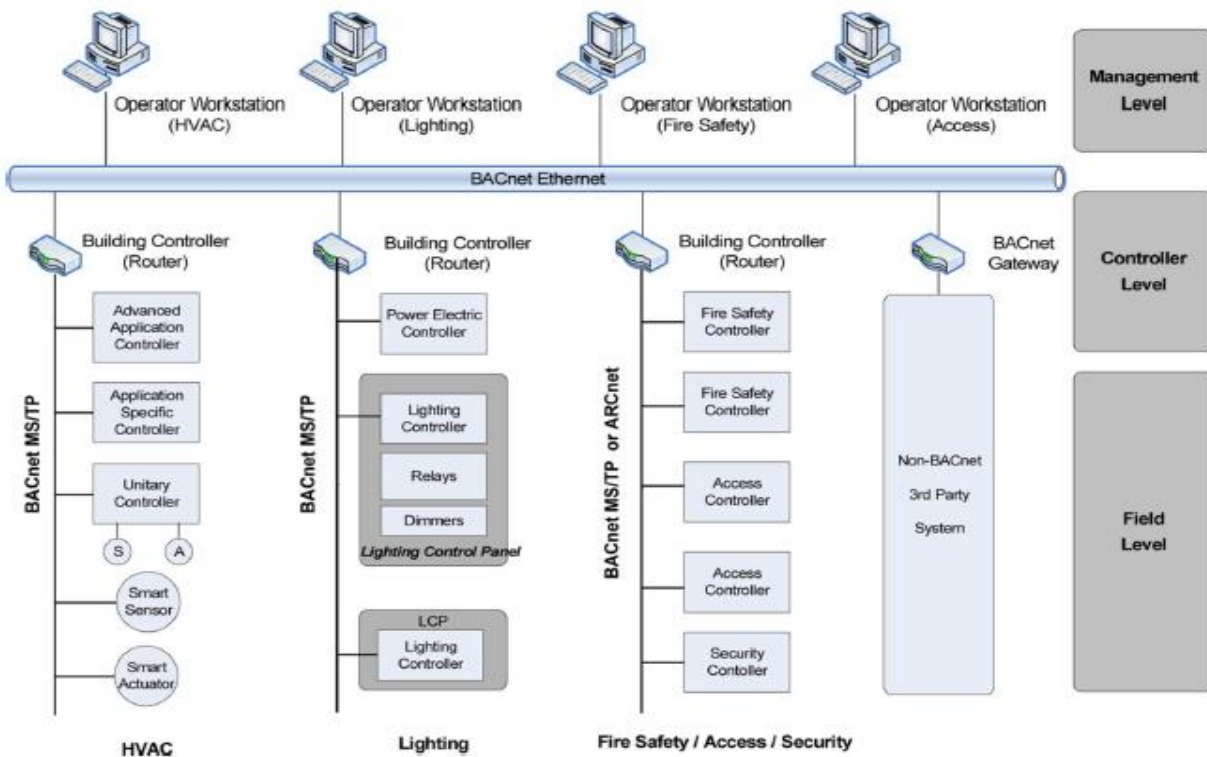
Το πρότυπο BACnet καθορίζει ένα σύνολο αντικειμένων και υπηρεσιών που έχουν σαν στόχο να μοντελοποιήσουν τους κτιριακούς αυτοματισμούς και τα συστήματα ελέγχου. Τα αντικείμενα τα οποία γενικώς χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό είναι η Δυαδική έξοδος(binary output object) που γενικά αναπαριστά τα ρελέ ή μια ομάδα από ρελέ και την δυαδική έξοδο (analog output object) που αναπαριστά την αυξομείωση του φορτίου. Αυτήν την στιγμή η ASHRAE αναπτύσσει νέα αντικείμενα τα οποία θα έχουν ως στόχο την αποκλειστική αξιοποίησης τους για τον έλεγχο φωτισμού.

Τα αντικείμενα του πρωτοκόλλου BACnet διαθέτουν ένα σύνολο από κανόνες που περιγράφουν το σκοπό και την λειτουργία τους. Μια χαρακτηριστική και σημαντική ιδιότητα , η οποία έχει εφαρμογή στον φωτισμό, είναι η περιγραφή κειμένου που επιτρέπει μια ακολουθία χαρακτήρων η οποία έχει την δυνατότητα να αποθηκευτεί μαζί με το αντικείμενο και να περιγράψει τα χαρακτηριστικά του φορτίου, όπως ο αριθμός κυκλώματος στο οποίο ανήκει το φωτιστικό ή το όνομα του δωματίου στο οποίο βρίσκεται. Οι υπηρεσίες του πρωτοκόλλου επιτρέπουν λειτουργίες όπως η ανάγνωση , η τροποποίηση ή τη μεταφορά φακέλων.

Ο φωτισμός τυπικά ελέγχεται και καταγράφεται μέσω διαχείρισης του αντικειμένου που ονομάζεται present value. Με το διάβασμα της τιμής αυτής θα επιστραφεί το ON/OFF κατάσταση του φορτίου που διακόπτεται ή το επίπεδο αυξομείωσης του σε μια αντίστοιχη περίπτωση. Για να γίνει ο έλεγχος του φορτίου πρέπει απλά να τροποποιηθεί η present value που αναπαριστά το συγκεκριμένο φορτίο. Η πιο τυπική εφαρμογή φωτισμού είναι η απλούστευση των κυκλωμάτων ελέγχου για τον φωτισμό μέσω συνδυασμού με το κύκλωμα HCAC μέσω κοινών συνόλων από κανόνες. Η ενσωμάτωση αυτή επίσης επιτρέπει την αξιοποίηση ανιχνευτών για παράδειγμα ώστε να ενεργοποιήσουν με την σειρά τους το κύκλωμα αέρα μειώνοντας έτσι τον περιττό εξοπλισμό και συμβάλλοντας στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

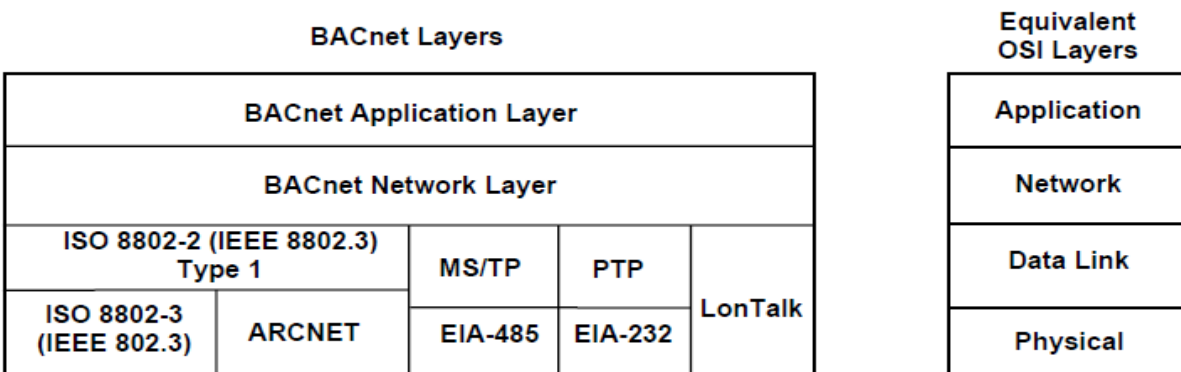
Το πρωτόκολλο καθορίζει ένα σύνολο μέσων , μέσου των οποίων μπορεί να γίνει η μεταφορά της πληροφορίας. Οι πιο κοινές είναι η ETHERNET και MS/TP. Η MS/TP επιτρέπει την λειτουργία master slave και υλοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου RS485. Μέσω Ethernet υλοποιούνται ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα LAN. Η κάθε συσκευή που συνδέεται στο δίκτυο αποκτά την δική της IP ώστε να επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ τους στο δίκτυο.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται με το πρωτόκολλο BACnet αποκτούν μια μοναδική διεύθυνση ID κατά την διάρκεια της εγκατάστασης. Το πρωτόκολλο επιτρέπει μέχρι και 4 εκατομμύρια συσκευές οπότε δεν υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος του έργου. Ωστόσο μέσω Ethernet τίθενται περιορισμοί από τις δυνατότητες του δικτύου ενώ μέσω καλωδίωσης MS/TP πρέπει να τηρείται η μέγιστη σύνδεση συσκευών σε κάθε τμήμα που επιτρέπει δεν ξεπερνά το όριο κατανάλωσης της γραμμής.



Σχήμα 3.6: Τοπολογία συνδεσμολογίας σύμφωνα με το πρωτόκολλο BACnet. [33]

Σε επίπεδο διαχείρισης (management level) το χρησιμοποιείται συνήθως η επιλογή σύνδεσης με Ethernet (IEEE 802.3) λόγω της σταθερότητας που προσφέρει. Σε επίπεδο σύνδεσης συσκευών (actuators, sensors) χρησιμοποιείται η επιλογή καλωδίωσης MS/TP (master slave- token passing). Για την επικοινωνία των δεδομένων μεταξύ των επιπέδων, καθώς το Bacnet , αξιοποιεί όλα τα επίπεδα διαχείρισης χρησιμοποιείται το παρακάτω μοντέλο 4 επιπέδων, και παρουσιάζεται και η αντιστοίχιση με το μοντέλο δικτύων OSI:



Εικόνα 3.7: Μοντέλο BACnet τεσσάρων επιπέδων και η αντιστοίχιση τους με τα μοντέλα του προτύπου OSI. [34]

Σε επίπεδο διαχείρισης φωτισμού είναι τέλος σημαντικό να χρησιμοποιούνται αντικείμενα τα οποία έχουν σχεδιαστεί για τον έλεγχο φωτισμού αποκλειστικά καθώς είναι πιθανό να υπάρχουν σχετικά μεγάλες καθυστερήσεις όσον αφορά τον χρόνο για έλεγχο των φορτίων.

Το πρωτόκολλο BACnet αν και ξεκίνησε από την Αμερική πλέον έχει καθιερωθεί και στην Ευρώπη λόγω της δυνατότητας για ολοκληρωμένη διαχείριση κτιρίων και τις πολλές δυνατότητες που παρέχει ως προς την σύνδεση των συσκευών και των διαφορετικών επιπέδων , μειώνοντας έτσι τα κόστη εγκατάστασης.

3.2.5 LonWorks

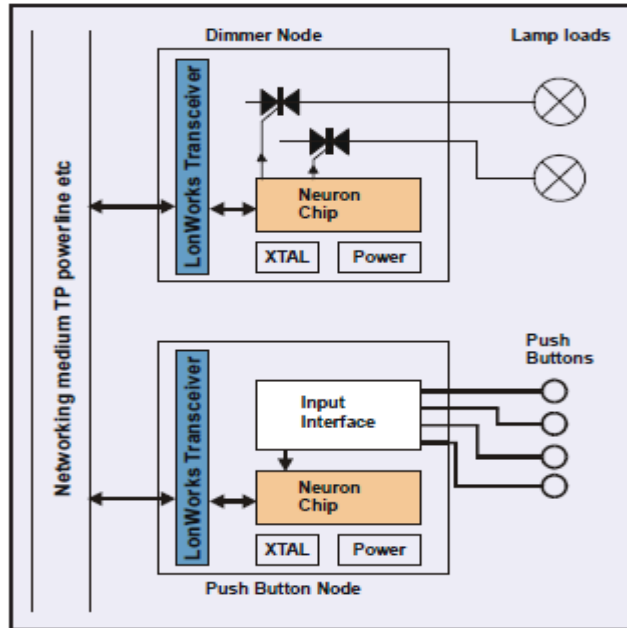
Το Πλήρες όνομα του πρωτοκόλλου είναι ISO/IEC 14908-2 και είναι διεθνές πρότυπο . Αρχικά ως σύστημα σχεδιάστηκε από την Echelon Corporations of USA. Μετέπειτα πιστοποιήθηκε ως διεθνές standard και όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για το πρωτόκολλο πρέπει να έχουν την πιστοποίηση LonMarks. Είναι πρωτόκολλο συνολικής ενεργειακής διαχείρισης και καλύπτει τον έλεγχο HVAC, φωτισμού, συναγερμών κα.

Μπορεί να περιγράψει ως δίκτυο επικοινωνίας κόμβου με κόμβο (peer to peer) στο οποίο όλες οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους. Κάθε συσκευή ή κόμβος διαθέτει έναν μικροεπεξεργαστή για να μπορεί να επιτευχθεί η επικοινωνία βάση του πρωτοκόλλου. Οι μικροεπεξεργαστές αποκαλούνται νευρωνικοί πυρήνες και εκτελούν τρεις επεξεργασίες: δυο για την επικοινωνία και μια για την υλοποίηση του επιπέδου εφαρμογών.

Οι μικροεπεξεργαστές που χρησιμοποιούνται από το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι συνήθως 8-bit. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και μικροεπεξεργαστές 16,32 ή 64 bit για την υλοποίηση πιο σύνθετων εφαρμογών. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σύνδεσης των συσκευών , οι οποίες καλύπτονται από το πρωτόκολλο, όπως με περιστρεφόμενο καλώδιο, Ethernet, την καλωδίωση ισχύος,RF ή TCP/IP.

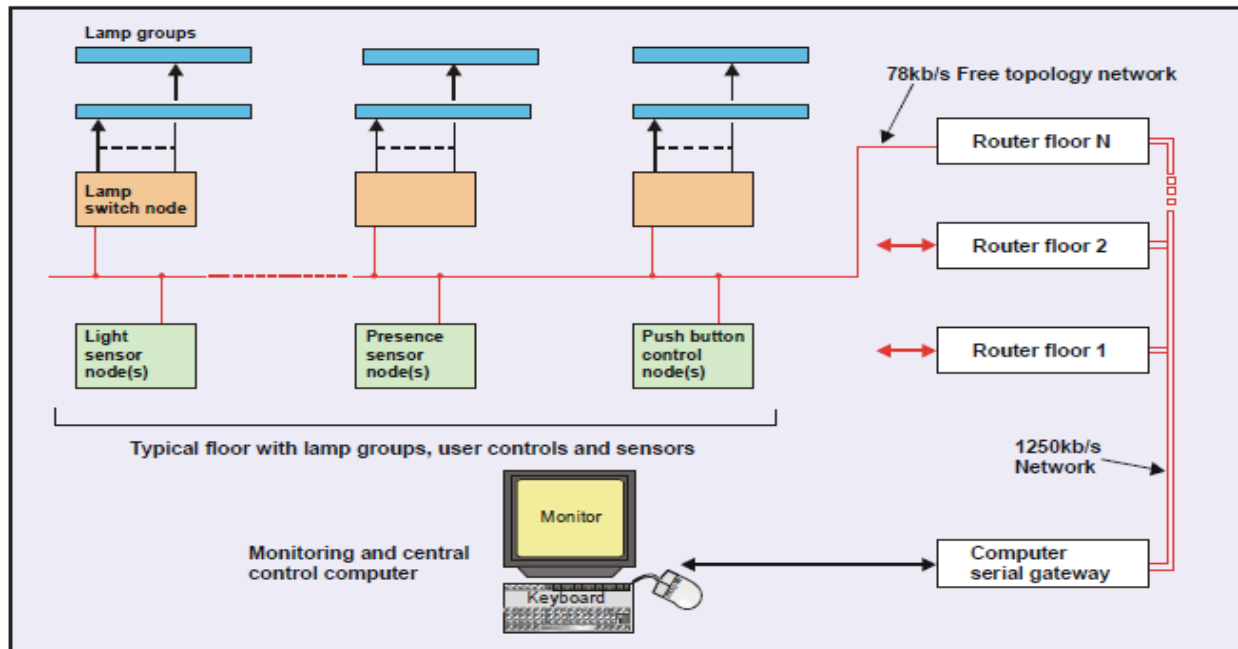
Για την λειτουργία του δημιουργούνται domains από συσκευές τα οποία περιέχουν μέχρι και 256 ομάδες. Οι ομάδες είναι ένα σύνολο από κόμβους και κάθε ομάδα μπορεί να περιέχει μέχρι 64 κόμβους. Ο κάθε κόμβος μπορεί να έχει μέχρι δύο διευθύνσεις που σημαίνει ένα συνολικό 32,000 συσκευών στο δίκτυο.

Είναι πλήρως αποκεντρωμένο που σημαίνει ότι ο κάθε κόμβος μπορεί αν επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλον μέσα στο δίκτυο. Για την υλοποίηση απαιτείται ένας συγκεκριμένο LONworks Neuron chip. Για την μεταφορά των δεδομένων ο πιο αποτελεσματικός τρόπος είναι η σύνδεση των συσκευών μέσω FFT-10 πομποδέκτη που γίνεται με περιστρεφόμενο καλώδιο το οποίο δίνει την δυνατότητα στο σύστημα για αξιοποίηση όλων των τύπων σύνδεσης μεταξύ των κόμβων.



Σχήμα 3.4: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του echelon chip. [31]

Διαθέτοντας και τα 7 επίπεδα του πρωτοκόλλου OSI δίνει την δυνατότητα για πλήρη διαχείριση του κτιρίου και ανάπτυξη υψηλού επιπέδου προγραμμάτων ενώ η λειτουργία του μπορεί να συγκριθεί με αυτήν του Internet λόγω των ελευθεριών που υπάρχουν. Η κάθε συσκευή που διαθέτει το δικό της Echelon chip έχει μοναδικό ID και έτσι διευθυνσιοδοτείται μέσα στο δίκτυο.



Σχήμα 3.5: Σύνδεση των επιμέρους μερών για τον έλεγχο φωτισμού μέσω LonWorks. [31]

Όλοι οι κόμβοι ενός δικτύου LonWorks επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω καναλιών που μεταφέρουν πακέτα δεδομένων. Το κανάλι είναι απλά το μέσον μεταφοράς που περιγράφηκε παραπάνω (πχ περιστρεφόμενο καλώδιο). Τα κανάλια συνδέονται μεταξύ τους μέσω με συσκευές δικτύου που ονομάζονται routers. Το είδος του router καθορίζει και την τοπολογία του συστήματος (διαφορετικά segments) και επιτρέπει την αντίστοιχη επικοινωνία. Ένα παράδειγμα συνδεσμολογίας σχετικά με τον φωτισμό δίνεται παραπάνω.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του LonWorks είναι η διαλειτουργικότητα που προσφέρει ως σύστημα διαχείρισης. Ωστόσο η ιδιαιτερότητα των κόμβων-συσκευών πολλές φορές αυξάνει το κόστος και παρατηρείται συνδυασμός του πρωτόκολλου με άλλα όπως το DALI.

3.2.6 EnOcean

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας EnOcean το οποίο χρησιμοποιεί ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων και των ενεργοποιητών (κάθε κόμβος έχει τον δικό του μικροεπεξεργαστή ώστε το σύστημα να έχει ευφυΐα ως προς τις αποφάσεις). Έχει εφαρμογές τόσο στον κτιριακό αυτοματισμό όσο και στην βιομηχανία. Υπεύθυνη για το πρότυπο είναι η EnOcean Alliance και δεν αποτελεί ελεύθερο πρωτόκολλο. Το 2012 ωστόσο το πρωτόκολλο επικυρώθηκε ως διεθνές πρότυπο ISO 14543-3-10.

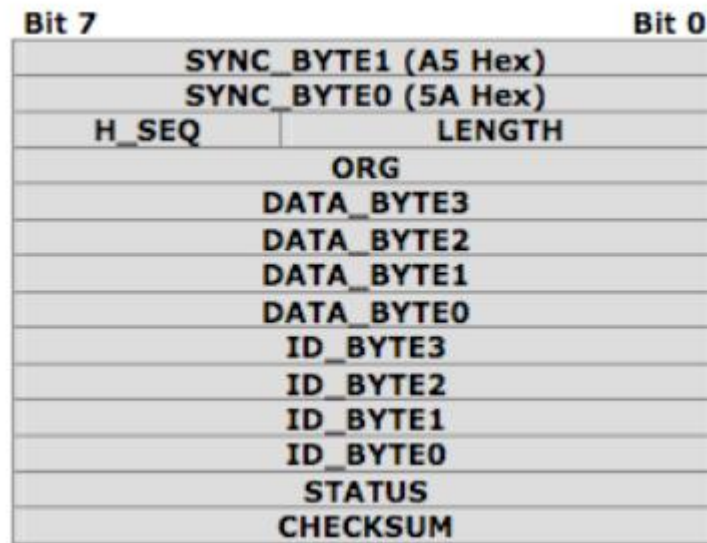
Η βασική λειτουργία είναι η ασύρματη επικοινωνία αυτόνομων συσκευών. Η αυτονομία έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται μετατροπείς ενέργειας για να παράξουν ενέργεια για την μετάδοση του σήματος, απουσία μπαταριών. Η αυτονομία αυτή τη καθιστά τεχνολογία ιδιαίτερα αξιοποιήσιμη σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 3.8: Αυτονομία της ασύρματης επικοινωνίας μέσω του πρωτοκόλλου EnOcean. [31]

Όταν το μπουτόν πιεστεί για παράδειγμα η κίνηση αυτή μπορεί να δώσει την απαραίτητη ενέργεια για την μεταφορά τους σήματος.

Η τεχνολογία απαιτεί την αποστολή των σημάτων σε συχνότητα 868,3 MHz (Ευρώπη). Έτσι εγγυάται η μετάδοση του σήματος έως 30m σε εσωτερικούς χώρους και σε 300m σε ανοιχτούς. Επειδή οι συσκευές κόμβοι είναι αυτόνομοι δεν μπορεί να απαιτηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας από αρκεί για την ενίσχυση του σήματος για αυτό επιλέγεται να τροποποιηθεί ο χρόνος αποστολής. Έτσι τα πακέτα δεδομένων έχουν μέγεθος 112 bit και χρόνο αποστολής το 1ms.

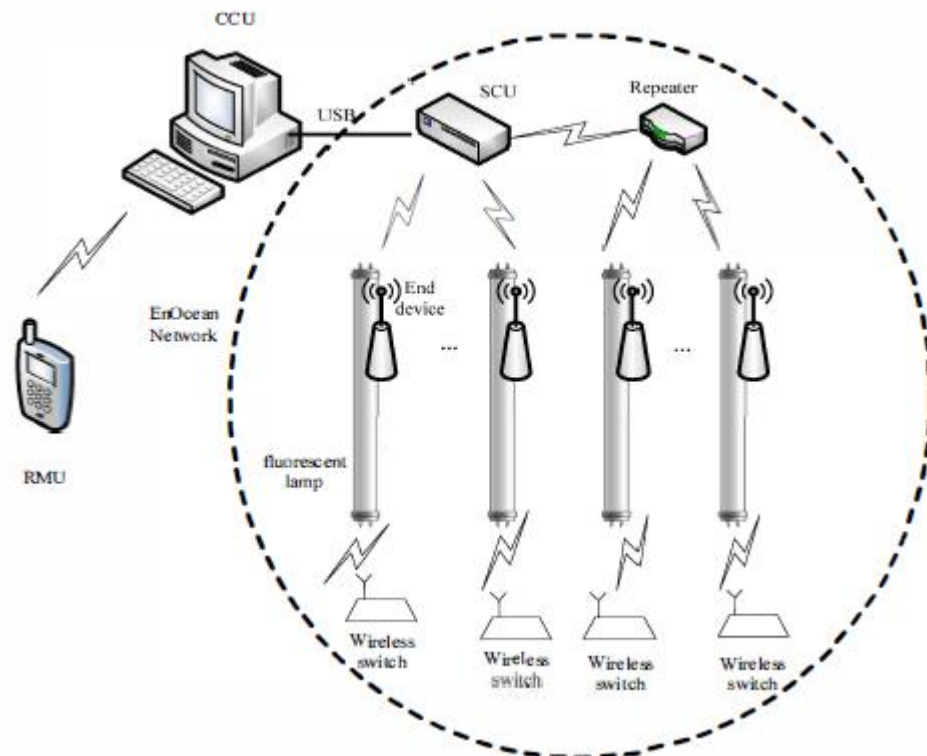


Εικόνα 3.9: Μορφή πακέτου δεδομένων πρωτοκόλλου EnOcean [35]

Το πακέτο δεδομένων ξεκινά με κάποια bytes συγχρονισμού πληροφοριών για το περιεχόμενο και ακολουθεί πληροφορία για το μέγεθος του. Στην συνέχεια ακολουθεί το περιεχόμενο του μηνύματος και η διεύθυνση του παραλήπτη καθώς και έλεγχος της επικοινωνίας.

Ορίζονται 4 επίπεδα : Physical layer, data link layer, network layer και application layer. Τα 3 πρώτα πιστοποιούνται σύμφωνα με το μοντέλο OSI από το πρότυπο ISO/IEC 14543-3-10 σύμφωνα με την ασύρματη μεταφορά δεδομένων. Το επίπεδο εφαρμογών πιστοποιείται από την EnOcean Alliance. Το physical layer καθορίζει την μεταφορά δεδομένων στα 868,3 MHz και τον ρυθμό μετάδοσης σε 125 Kbit/sec. Στο datalink layer η μεταφορά γίνεται απευθείας μέσω τεχνικής MAC (medium access control) που επιτρέπει στην συσκευή να μεταδώσει το πακέτο στιγμιαία και απευθείας και να μπει μετά σε κατάσταση sleep ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για επιπλέον κατανάλωση ενέργειας καθώς το σύστημα όπως έχει αναφερθεί παραπάνω είναι αυτόνομο.

Το πρωτόκολλο παρουσιάζει μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση σε σύγκριση με άλλα ασύρματα δίκτυα ενεργειακής διαχείρισης και η τεχνολογική κοινότητα το έχει αποδεχθεί μέσω εφαρμογών για ψύξη θέρμανση, φωτισμό κα. Πολλές φορές μπορεί να αποτελεί υποσύνολο κάποιου ευρύτερου πρωτοκόλλου και να εστιάζει στο field management level και άλλες φορές να αποτελεί το συνολικό πρωτόκολλο διαχείρισης. Μέσω κατάλληλων εξόδων μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα που έχουν αναλυθεί.



Σχήμα 3.6: Εφαρμογή ελέγχου φωτισμού με το πρωτόκολλο EnOcean. [35]

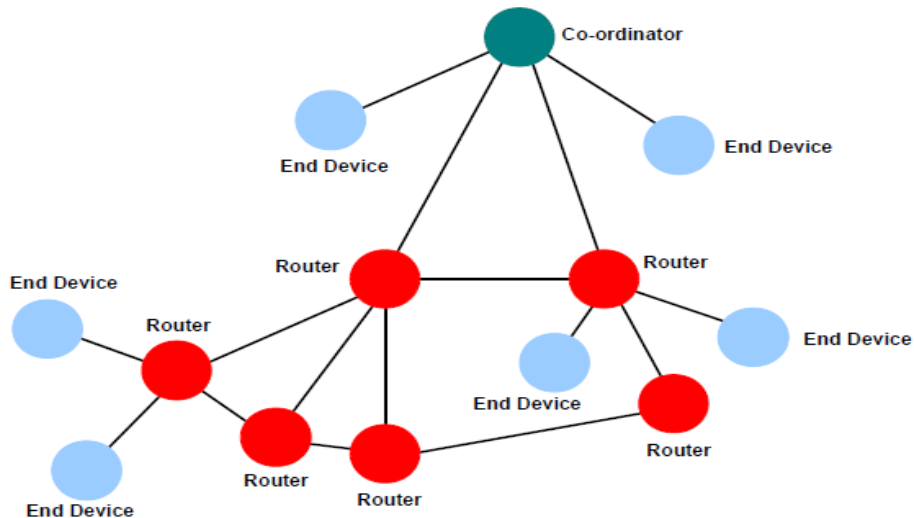
3.2.7 Zigbee

Το Zigbee είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που βασίζεται στο Πρότυπο IEEE. 802.15.4 για ασύρματα δίκτυα (WPANs) και βασίζεται στην λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ασύρματη επικοινωνία. Ο σκοπός της δημιουργίας του πρωτοκόλλου ήταν η ασύρματη επικοινωνία όλων των συσκευών που απαιτούνται για τον έλεγχο φωτισμού χωρίς την ανάγκη για καλωδίωση.

Στοχεύει σε ασύρματες RF εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μεγάλη διάρκεια αυτονομίας μέσω μπαταριών και ασφάλεια της επικοινωνίας. Μπορεί να υποστηρίξει μια σειρά από συνδέσεις όπως είναι από κόμβο σε κόμβο (peer to peer). Λόγο της ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής ισχύος το σήμα δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 75m.

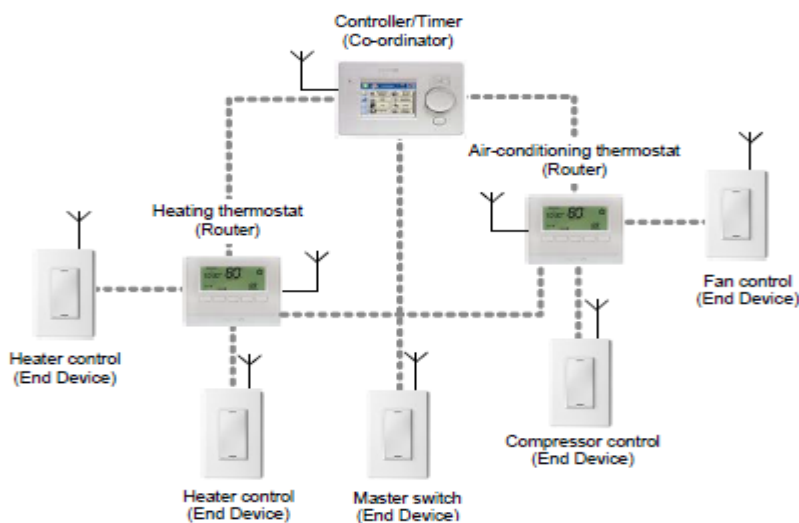
Ορίζονται δυο τύπων συσκευές οι πλήρης λειτουργίας και η μειωμένης λειτουργίας. Οι πλήρης λειτουργίας μπορεί να αξιοποιήσουν οποιαδήποτε συνδεσμολογία και να επικοινωνήσουν με οποιαδήποτε άλλη συσκευή και να αποτελέσουν κόμβους συντονισμού. Οι μειωμένης λειτουργίας

μπορεί να αξιοποιηθούν σε απλές τοπολογίες και να επικοινωνήσουν μόνο με μια συσκευή – κόμβο πλήρους λειτουργίας.



Εικόνα 3.10: Ενδεικτική τοπολογία του δικτύου Zigbee. [31]

Βασίζεται στα επτά επίπεδα του μοντέλου OSI. Τα χαμηλότερα επίπεδα καθορίζονται από το πρότυπο IEE 802.15.4 και τα υψηλότερα επίπεδα (application) από την Zigbee Alliance. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο τρεις λειτουργίες κόμβων μπορεί να υπάρχουν στο δίκτυο: συντονιστή (coordinator), διακομιστή (router) και τελικής συσκευής (end device). Κάθε δίκτυο πρέπει να έχει έναν μοναδικό coordinator , και έναν ή περισσότερους διακομιστές και τελικές συσκευές.



Εικόνα 3.11: Πραγματική συνδεσμολογία συσκευών στο δίκτυο Zigbee. [36]

Για την Ευρώπη το πρωτόκολλο καθορίζει την μετάδοση στα 868 MHz με ρυθμό 20 kbps. Οι μπαταρίες των συσκευών είναι σχεδιασμένες για ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση που συνεπάγεται την μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Θεωρείται πολύ επιτυχημένο μοντέλο όσον αφορά τους αυτοματισμούς, ειδικότερα όταν τίθεται θέμα ασύρματης επικοινωνίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ KNX

4.1 Εισαγωγή

Τον Σεπτέμβριο του 1999 με έδρα τις Βρυξέλλες ιδρύθηκε η Konnex Association , ως συνεργασία των 3 μέχρι τότε αυτόνομων ενώσεων δικτύων διαχείρισης κατοικιών και επαγγελματικών κτιρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. (BCI, EIB, EHSA). Από τα 3 λογότυπα των ενώσεων αυτών προέκυψε και λογότυπο του Konnex (KNX) το οποίο αποτελεί ένα ανοιχτό πρωτόκολλο αποκεντρωμένων εφαρμογών αυτοματισμού σε κατοικίες και επαγγελματικά κτίρια και στην συμβατότητα της τεχνικής EIB – instabus που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις του είδους αυτού. [38]



Εικόνα 4.1: Λογότυπο πρωτοκόλλου Konnex. [38]

Το πρωτόκολλο πιστοποιήθηκε ως Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 50090 και ως διεθνές πρότυπο ISO/IEC 14543 ώστε να περιγραφούν οι στόχοι , οι διαδικασίες του πρωτοκόλλου το οποίο είναι βασισμένο στο μοντέλο επικοινωνίας OSI και εστιάζει στον κτιριακό αυτοματισμό. Αυτή τη στιγμή σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του οργανισμού υπάρχουν:

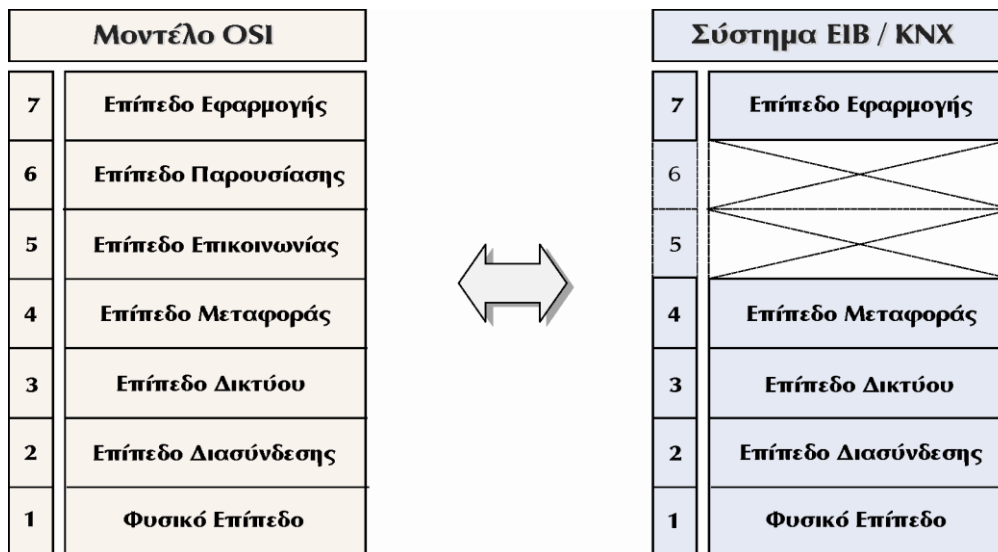
- 419 κατασκευαστές εξοπλισμού KNX σε 39 χώρες.
- 378 πιστοποιημένα εκπαιδευτικά κέντρα σε 62 χώρες.
- 52284 πιστοποιημένοι συνεργάτες σε 143 χώρες.

Το σύστημα διανεμημένης ευφυΐας (distributed intelligence) το οποίο εστιάζει στον κτιριακό αυτοματισμό στοχεύει στην αυτοματοποίηση των παρακάτω λειτουργιών:

- Φωτισμός
- Ψύξη/Θέρμανση
- Ρολά ,τέντες , κουρτίνες
- Συστήματα ασφαλείας
- Έλεγχο από απόσταση
- Ανάλυση συμπεριφοράς κτιρίου

4.2 KNX επίπεδα και μέσα επικοινωνίας

Η επικοινωνία του πρωτόκολλου KNX είναι βασισμένη στο μοντέλο επικοινωνίας OSI το οποίο αποτελεί το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο πρότυπο αναφοράς για τα μετάδοση στοιχείων σε διασυνδεδεμένα ανοιχτά συστήματα. Η αντιστοίχιση μεταξύ των επιπέδου του μοντέλου OSI και των επιπέδων που απαιτούνται από το KNX αποτυπώνεται παρακάτω:



Σχήμα 4.1: παρουσίαση του OSI –based μοντέλου επικοινωνίας του KNX. [38]

Το πρωτόκολλο KNX απαιτεί μόνο τα πέντε από τα επτά επίπεδα του πρωτοκόλλου OSI. Κάθε επίπεδο αλληλεπιδρά με το επίπεδο που βρίσκεται απο κάτω ή από πάνω. Ένα επίπεδο ως πάροχος υπηρεσίας, παρέχει μια υπηρεσία στο επίπεδο που βρίσκεται ακριβώς από πάνω, τον χρήστη

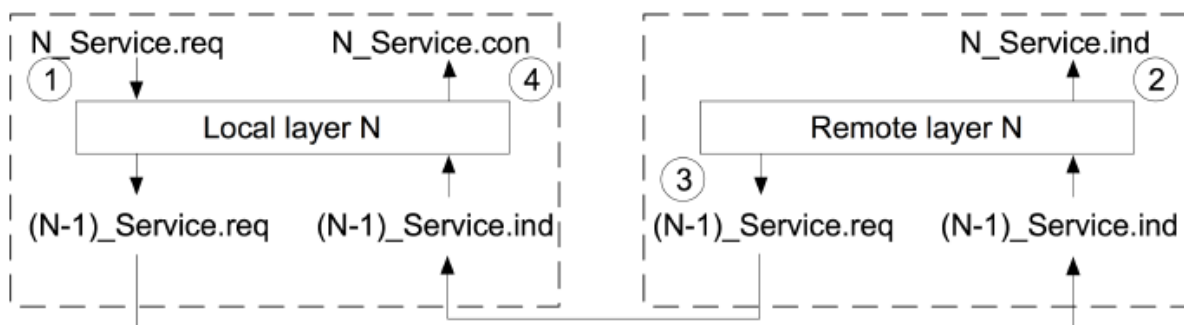
υπηρεσιών. Η διεπαφή (interface) που έχει διαμορφωθεί μεταξύ των δυο επιπέδων καθορίζει πως ο χρήστης υπηρεσίας μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στην υπηρεσία , τις παραμέτρους και τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Το πρωτόκολλο όμως καθορίζει το σύνολο των κανόνων για την επικοινωνία μεταξύ επιπέδων της ίδιας ιεραρχίας, καθορίζοντας έτσι και την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Για να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε διεργασία επικοινωνίας στο σύστημα KNX απαιτούνται οι παρακάτω πρωταρχικές υπηρεσίες:

- Το αίτημα (request)
- Η εκδήλωση της κατάστασης (indication)
- Η επιβεβαίωση του γεγονότος (confirmation)
- Η ανταπόκριση (response)

Για την εκτέλεση μιας διεργασίας δεν είναι πάντα απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλες οι πρωταρχικές υπηρεσίες. Ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. Τοπικά επιβεβαιωμένη υπηρεσία

Σε αυτή τη περίπτωση απαιτείται ένα αίτημα, μια ένδειξη και μια επιβεβαίωση. Το επίπεδο N (πάροχος υπηρεσίας) δημιουργεί αποστέλλει το αίτημα μέσω πρωτοκόλλου διασύνδεσης δεδομένων (PDU) και προωθείται στα χαμηλότερα επίπεδα μέχρι το μέσο μετάδοσης του physical layer. Από την πλευρά του δέκτη το επίπεδο N ενεργοποιείται με ένδειξη , το εισερχόμενο PDU αποκωδικοποιείται και τα δεδομένα προωθούνται στο παραπάνω επίπεδο. Ο αποστολέας λαμβάνει επιβεβαίωση από το τοπικό επίπεδο N-1 που υποδεικνύει εάν το αίτημα έχει προωθηθεί σωστά.

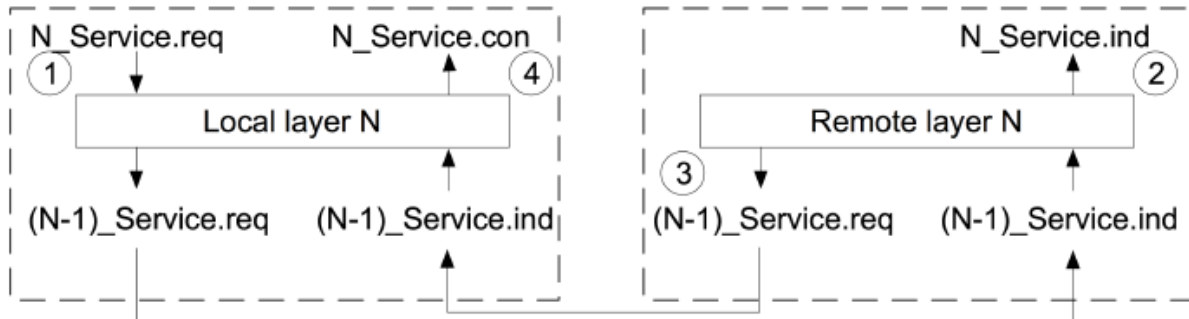


Σχήμα 4.2: Σχηματική αναπαράσταση τοπικά επιβεβαιωμένης υπηρεσίας [40]

2. Επιβεβαιωμένη υπηρεσία

Η επιβεβαιωμένη υπηρεσία περιλαμβάνει επίσης ένα αίτημα , μια ένδειξη και μια επιβεβαίωση. Σε αυτή την περίπτωση μόλις το απομακρυσμένο επίπεδο N του δέκτη λάβει την ένδειξη παράγει

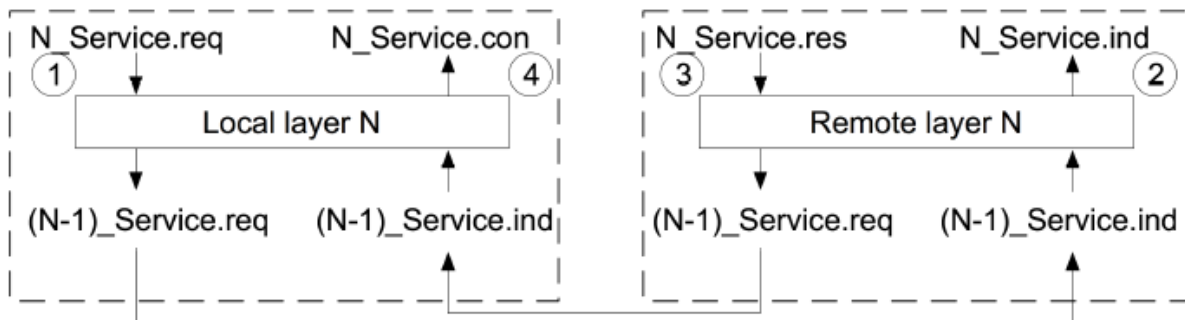
αμέσως μια αναγνώριση. Με τη σειρά του το απομακρυσμένο επίπεδο αποστέλλει το PDU που φτάνει ως ένδειξη στον αποστολέα μέσω του τοπικού επιπέδου N-1.



Σχήμα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση επιβεβαιωμένης υπηρεσίας [40]

3. Απαντημένη υπηρεσία

Η απαντημένη υπηρεσία περιλαμβάνει ένα αίτημα, μια ένδειξη, μια απάντηση και μια επιβεβαίωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το απομακρυσμένο επίπεδο N του δέκτη μόλις λάβει την ένδειξη παράγει μια απάντηση που φτάνει στον δέκτη μέσω του τοπικού επιπέδου N-1. Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει την κυκλοφορία στοιχείων και στις δυο κατευθύνσεις.



Σχήμα 4.4: Σχηματική αναπαράσταση απαντημένης υπηρεσίας [40]

Με την χρησιμοποίηση του μοντέλου OSI επεκτείνεται η ικανότητα επικοινωνίας του προϊόντος που πρόκειται να πραγματοποιήσει μια εφαρμογή στα πλαίσια μιας έξυπνης ηλεκτρικής εγκατάστασης.

4.3 Ανάλυση επιπέδων

4.3.1 Φυσικό επίπεδο

Με το φυσικό επίπεδο καθορίζεται το σύνολο των ηλεκτρικών , μηχανικών λειτουργικών και διαδικαστικών παραμέτρων της φυσικής διασύνδεσης μεταξύ των διαφόρων bus- συσκευών που ανήκουν στο σύστημα KNX. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται όλοι οι τρόποι μέσω των οποίων μπορεί να γίνει η επικοινωνία στο επίπεδο αυτό και θα αναλυθούν οι πιο σημαντικοί:

a/a	Χαρακτηρισμός	Περιγραφή μέσου επικοινωνίας
1	TP – 0 (Twisted pair, type 0)	Συνεστραμμένο ζευγάρι αγωγών – BatiBUS Δυνατότητα ρυθμού μετάδοσης: 4800 bits/s Τα συνδεδεμένα στη γραμμή προϊόντα, λειτουργούν και δεν ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες
2	TP – 1 (Twisted pair, type 1)	Συνεστραμμένο ζευγάρι αγωγών – EIB / KNX Δυνατότητα ρυθμού μετάδοσης: 9600 bits/s Τα συνδεδεμένα στη γραμμή προϊόντα, λειτουργούν και ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες
3	PL – 110 (Power – line, 110 kHz)	Ηλεκτροφόρο καλώδιο – EIB / KNX Δυνατότητα ρυθμού μετάδοσης: 1200 bits/s Τα συνδεδεμένα στη γραμμή προϊόντα, λειτουργούν και ανταλλάσσουν μεταξύ τους στο ίδιο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής
4	PL – 132 (Power – line, 132 kHz)	Ηλεκτροφόρο καλώδιο – EHS Δυνατότητα ρυθμού μετάδοσης: 2400 bits/s Τα συνδεδεμένα στη γραμμή προϊόντα, λειτουργούν και δεν ανταλλάσσουν χωρίς ειδικό μετατροπέα πρωτοκόλλου επικοινωνίας
5	RF (Radio frequency on 868 MHz)	Ραδιοσυχνότητα (<i>ασύρματη λειτουργία</i>) – KNX Δυνατότητα ρυθμού μετάδοσης: 38,4 kbits/s
6	Ethernet (KNX – over – IP)	Επικοινωνία στο Internet

Πίνακας 4.1: Τρόποι επικοινωνίας στο φυσικό επίπεδο του πρωτοκόλλου KNX [38]

Το φυσικό επίπεδο χωρίζεται σε δυο επιμέρους επίπεδα τα οποία είναι αναγκαία για να γίνει η αναγκαία μετατροπή από ψηφιακή μορφή σε αναλογική η οποία και μεταφέρεται μέσω του μέσου επικοινωνίας στο φυσικό επίπεδο. Τα δύο αυτά επίπεδα είναι:

Το ανώτερο στρώμα: χαρακτηρίζεται ως λογική μονάδα (Logical Unit) και απαρτίζεται από τις ψηφιακές λειτουργίες.

Το χαμηλότερο στρώμα: χαρακτηρίζεται ως ενδιάμεση μονάδα σύνδεσης (Medium attachment unit) και απαρτίζεται από την αναλογική πραγματικότητα.

Η λογική μονάδα , από την πλευρά των αποστολέων δέχεται από το υψηλότερο στρώμα συνδέσεων δεδομένα τάξης μεγέθους του ενός Byte, προσθέτει τις επιπλέον πληροφορίες σε αυτό και τις μετατρέπει σε μια ακολουθία μεμονωμένων τμημάτων του ενός Bit. Το 1 Bit καταλαμβάνει την γραμμή για 104μs και αναγνωρίζει τις λογικές καταστάσεις 0 και 1, δηλαδή την ύπαρξη τάσης σήματος στην bus γραμμή.

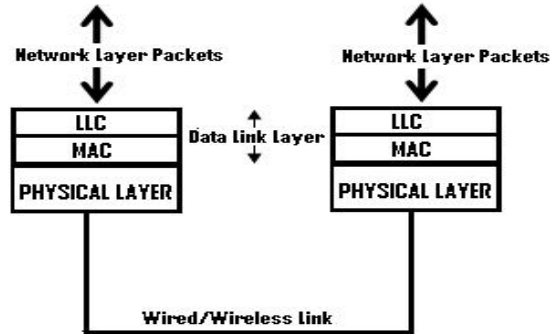
Η ενδιάμεση μονάδα διασύνδεσης κωδικοποιεί τα εμφανιζόμενα σήματα των bus συσκευών και διαμορφώνει την διεπαφή μεταξύ των ψηφιακών πρωτοκόλλων επικοινωνίας και του μέσου μετάδοσης. Από την πλευρά του αποστολέα , έχει ως στόχο να μετατρέπει τα σήματα σε κατάλληλους παλμούς που θα μπορούν να διαβιβαστούν από το μέσο επικοινωνίας. Από την πλευρά του παραλήπτη ο στόχος είναι να μετατρέπει τα αναλογικά σήματα σε αντίστοιχα ψηφιακά προκειμένου να γίνουν διαθέσιμα στα ανώτερα στρώματα στην κατάλληλη ψηφιακή μορφή. Επίσης μέσω της μονάδας αυτής εξασφαλίζεται η απαραίτητη παροχή ενέργειας στις απομακρυσμένες συσκευές μέσω της bus γραμμής.

4.3.2 Επίπεδο Διασύνδεσης (Data link layer)

Με το επίπεδο διασύνδεσης διδόμενων μεταφέρονται δεδομένα που προέρχονται από το επίπεδο δικτύου από μια συσκευή αποστολέα σε μια ή περισσότερες συσκευές που ανήκουν στο κατανομημένο σύστημα. Σύμφωνα με την μοντελοποίηση τύπου OSI αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα:

Το πάνω μισό του επιπέδου συνδέσεων καλείται λογικό επίπεδο ελέγχου συνδέσεων (Logical Link Control Layer) και περιέχει τις υπηρεσίες που προσφέρονται στο επίπεδο δικτύων(επίπεδο 3).

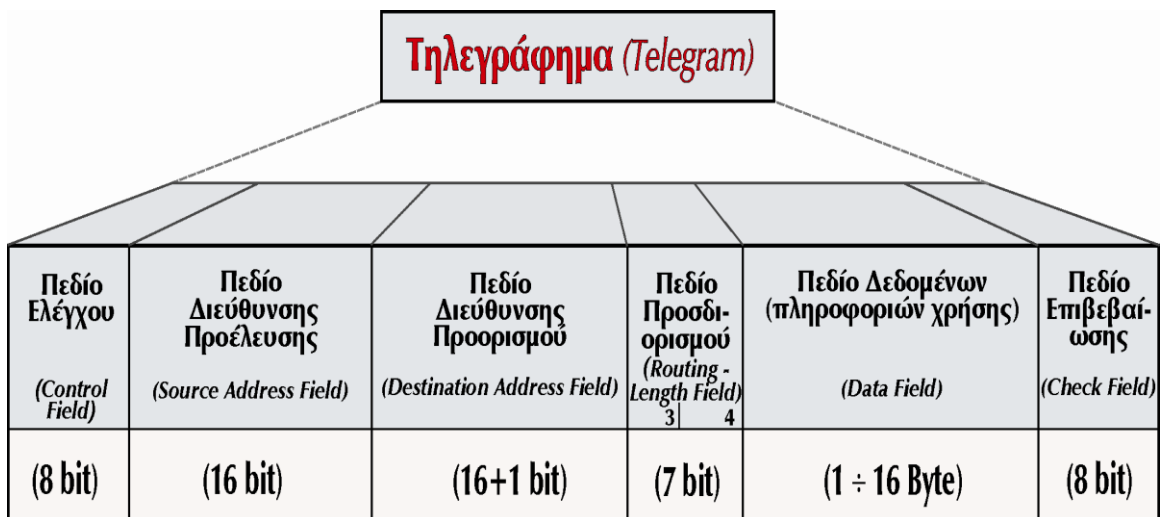
Το κάτω μισό του επιπέδου συνδέσεων καλείται μέσο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης και παραλαμβάνει το πλαίσιο στοιχείων του επιπέδου ελέγχου συνδέσεων το οποίο το προωθεί στο επίπεδο 1 και αφυπνίζει το πιο πάνω επίπεδο ελέγχου συνδέσεων. Ουσιαστικά μετατρέπει τα πλαίσια στοιχείων που παραλαμβάνει η αποστέλλει στην κατάλληλη μορφή για να προωθηθούν στο παρακάτω ή στο παραπάνω επίπεδο αντίστοιχα.



Εικόνα 4.5: Διασύνδεση επιπέδου DATA link layer [41]

4.4 Μετάδοση σήματος και ανάλυση πακέτου δεδομένων TP1

Η μετάδοση των δεδομένων και πιο συγκεκριμένα , η μετάδοση κάθε πληροφορίας ανταλλάσσεται στο σύνολο της μεταξύ των bus συσκευών μέσω του bus καλωδίου με ειδική κωδικοποίηση σε συγκεκριμένες φόρμες δεδομένων. Η κωδικοποίηση αυτή ονομάζεται τηλεγράφημα και έχει συγκεκριμένη δομή και χαρακτηριστικά.



Σχήμα 4.6: Μορφή πακέτου δεδομένων πρωτοκόλλου KNX [38]

Πεδίο ελέγχου: Το πεδίο ελέγχου καθορίζει και εξασφαλίζει την προτεραιότητα και την ομαλή κυκλοφορία τηλεγραφημάτων που μεταδίδονται μέσω των Bus γραμμών.

Πεδίο διεύθυνσης προέλευσης: Το πεδίο διευθύνσεων προέλευσης καθορίζει τις διευθύνσεις μεταξύ των bus συσκευών και είναι πάντα η φυσική διεύθυνση των bus συσκευών (θα αναλυθεί εκτενέστερα στην συνέχεια). Η φυσική διεύθυνση είναι εκείνη που διευκρινίζει την περιοχή και την γραμμή στις οποίες στέλνει τηλεγράφημα η προσδιορισμένη bus συσκευή.

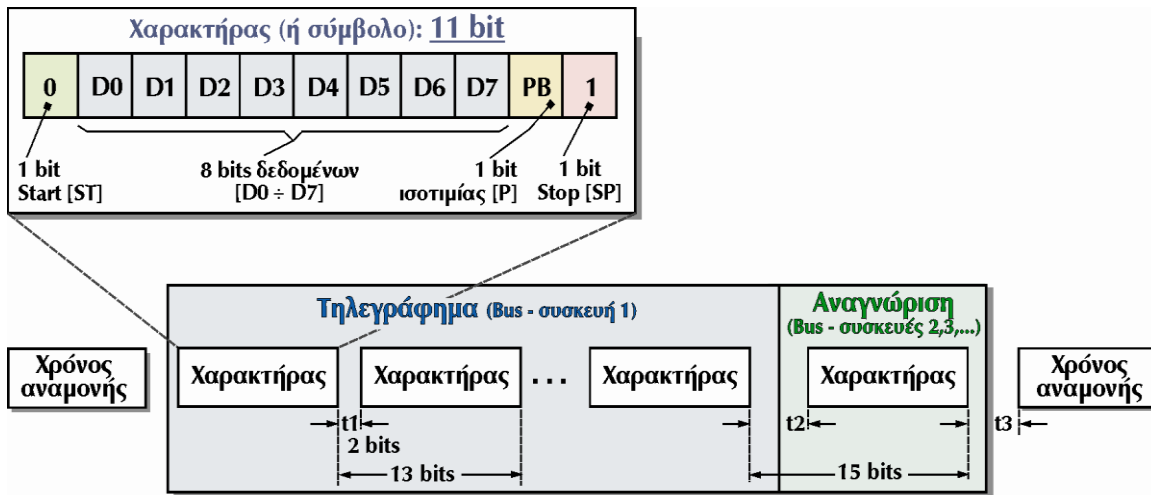
Πεδίο διευθύνσεων προορισμού: Το πεδίο διευθύνσεων προορισμού η ομάδα καθορίζει την συσκευή επικοινωνίας , η οποία μπορεί να περιλαμβάνει μια ενιαία bus συσκευή ή μια ομάδα συσκευών , που συνδέονται με την ίδια γραμμή , σε διαφορετική γραμμή ή διανέμονται μεταξύ των διαφόρων γραμμών. Ουσιαστικά καθορίζει την τη σχέση επικοινωνίας μεταξύ των bus συσκευών.

Πεδίο Διευθύνσεων προορισμού: Το πεδίο διευθύνσεων προορισμού καθορίζει τα χαρακτηριστικά πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των bus συσκευών που χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση KNX, όσον αφορά τον μετρητή δρομολόγησης(ελέγχεται η μεταφορά των πληροφοριών για να διατηρηθεί η επικοινωνία peer to peer) και τον προσδιορισμό του μήκους (ελέγχεται η εφαρμογή των πληροφοριών με κωδικοποιημένες υπηρεσίες τύπου Read- Write – Response).

Πεδίο δεδομένων: Το πεδίο δεδομένων καθορίζει και διευκολύνει την διαβίβαση χρήσιμων στοιχείων που αφορούν την ηλεκτρική εγκατάσταση και πιο συγκεκριμένα εντολές, μηνύματα , καθορισμένες τιμές μεγεθών ή μετρούμενες τιμές μεγεθών. Όπως έχει προαναφερθεί κατά την μετάβαση των τηλεγραφημάτων από το ένα επίπεδο στο άλλο προστίθενται στοιχεία και η διαδικασία αυτή γίνεται σε αυτό το πεδίο.

Πεδίο επιβεβαίωσης: Το πεδίο επιβεβαίωσης καθορίζει και εξασφαλίζει την συνέπεια των στοιχείων των τηλεγραφημάτων. . Ο χαρακτήρας αυτός έλεγχου υπολογίζεται εκ νέου από την πλευρά των παραληπτών. Στη περίπτωση που υπάρχει ανταπόκριση μια θετική επιβεβαίωση επιστρέφεται στον αποστολέα.

Το κάθε τηλεγράφημα αποτελείται από αρκετούς χαρακτήρες ή σύμβολα (τυποποιημένοι χαρακτήρες UART). Κάθε χαρακτήρας αποτελείται από 11 bits. Το πρώτο bit είναι της εκκίνησης , 8 bits δεδομένων και 1 bit σταματημού. Μετά από κάθε χαρακτήρα ακλουθούν 2 bit χρόνου διακοπής. Όπως έχει προαναφερθεί το κάθε bit στο σύστημα KNX καταλαμβάνει χρόνο 104 μs που σημαίνει ότι ο κάθε χαρακτήρας έχει διάρκεια 13,53 ms. Τα πακέτα των μηνυμάτων διαβιβάζονται σε σειρά που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποια πληροφορία που χάνεται , αλλά πρέπει να υπάρχει μηχανισμός για την αποφυγή συγκρούσεων.

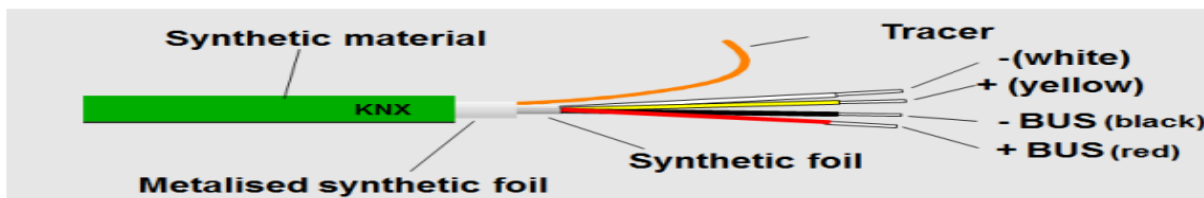


Σχήμα 4.7: Μορφή χαρακτήρα στο πρωτόκολλο KNX [38]

Το ένα bit αναγνωρίζεται ως καταστάσεις του μηδέν και του ένα, δηλαδή την ύπαρξη ή όχι σήματος στην γραμμή bus.

Η γραμμή bus υλοποιείται μέσω καλωδίου YCYM 2x2x0.8 mm ή καλωδίου τηλεφωνικού J-Y(St) Y2 2x2x0.8 mm στην τοπολογία TP1 του Πίνακα 28. Το κύκλωμα στο σύστημα KNX τροφοδοτεί όλες τις Bus συσκευές με 24Vdc. Στην πράξη αυτή η τάση μπορεί να ανέρχεται στα 29Vdc ώστε να αντισταθμιστεί η πτώση τάσης του καλωδίου. Η αντίσταση των καλωδίων είναι 72Ω/Km και η χωρητικότητα της γραμμής 0,12 Mf/km στα 800Hz και για τους δυο τύπους.

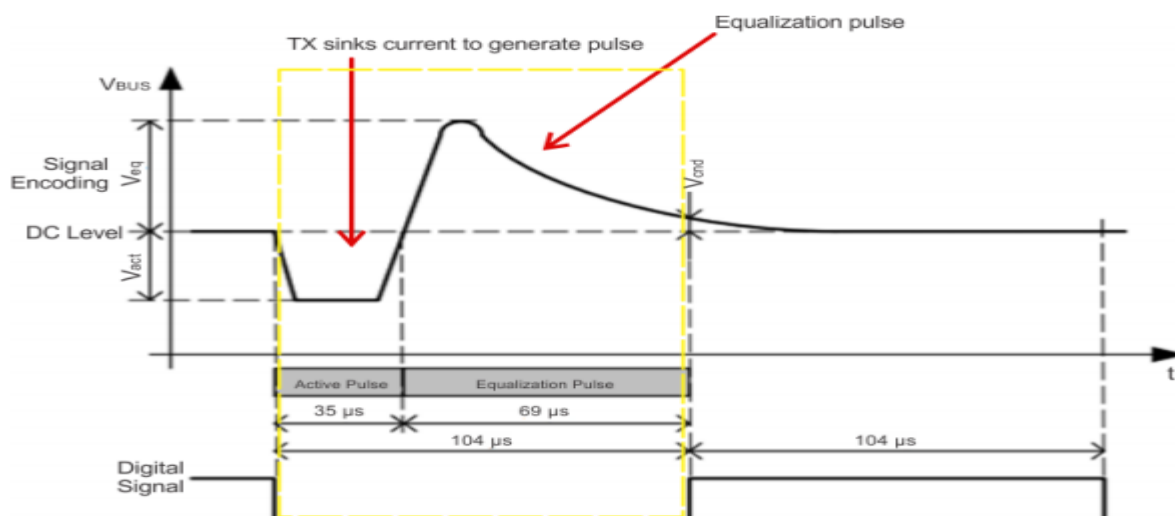
Η τεχνολογία του συστήματος είναι τέτοια ώστε δεν απαιτείται τερματική συσκευή στο τέλος κάθε γραμμής. Οι πληροφορίες διαβιβάζονται συμμετρικά στο ζεύγος των αγωγών (κόκκινο +, μαύρο -) και αξιολογούνται από τις συσκευές ως διαφορά δυναμικού τάσης μεταξύ των δυο αγωγών του καλωδίου και όχι ως πιθανή διαφορά δυναμικού που αφορά τη γη. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα όποια παράσιτα υπάρχουν να κατανέμονται με την ίδια πολικότητα στους δυο αγωγούς και να μην επηρεάζουν την διαδικασία.



Εικόνα 4.2: Συνεστραμμένο καλώδιο τοπολογίας TP1 [45]

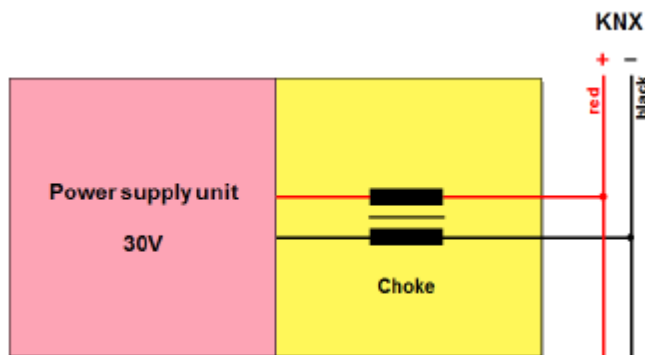
Όπως φαίνεται και παρακάτω το λογικό 1 ανιχνεύεται για μη ανίχνευση σήματος στην γραμμή. Το αντίθετο ισχύει για την ανίχνευση του λογικού 0. Η αποκωδικοποίηση του 0 γίνεται σε δυο στάδια.

Το πρώτο στάδιο ονομάζεται ενεργός παλμός και έχει διάρκεια 35 μ s. Ο ενεργός παλμός δημιουργείται από πτώση τάσης 6-9 V στην γραμμή Bus.



Σχήμα 4.8: Κωδικοποίηση της τάσης και μετατροπή σε ψηφιακό σήμα με το πρωτόκολλο KNX [45]

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την απότομη αύξηση της τάσης πάνω από το επίπεδο της DC τάσης και έχει διάρκεια 69 μ s. Η συμπεριφορά αυτής της τάσης οφείλεται στην παρουσία πηνίου σε κάθε τροφοδοτικό.



Εικόνα 4.3: Τροφοδοτικό γραμμής TP1 με το πρωτόκολλο KNX [46]

Οι πληροφορίες διαβιβάζονται ασύγχρονα , δηλαδή η μια μετά την άλλη. Έτσι στη γραμμή υπάρχουν μόνο πληροφορίες που προέρχονται από μια συσκευή. Εάν όμως πολλές συσκευές επιθυμούν να στείλουν ταυτόχρονα τηλεγραφήματα , προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία και να μην προκύψουν συγκρούσεις χρησιμοποιείται μια αποκεντρωμένη διαδικασία. Ονομάζεται μέθοδος CSMA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Έτσι ενώ όλες οι συσκευές μπορούν να αποστείλουν δεδομένα ταυτόχρονα με την πρώτη ύπαρξη τάσης σήματος ,

δηλαδή λογικό μηδέν, η συσκευή με την λογική τιμή 1 παραχωρεί προτεραιότητα σε αυτήν. Παρακολουθεί την διαδικασία μέχρι την ολοκλήρωση και στη συνέχεια ξαναστέλνει το δικό της τηλεγράφημα.

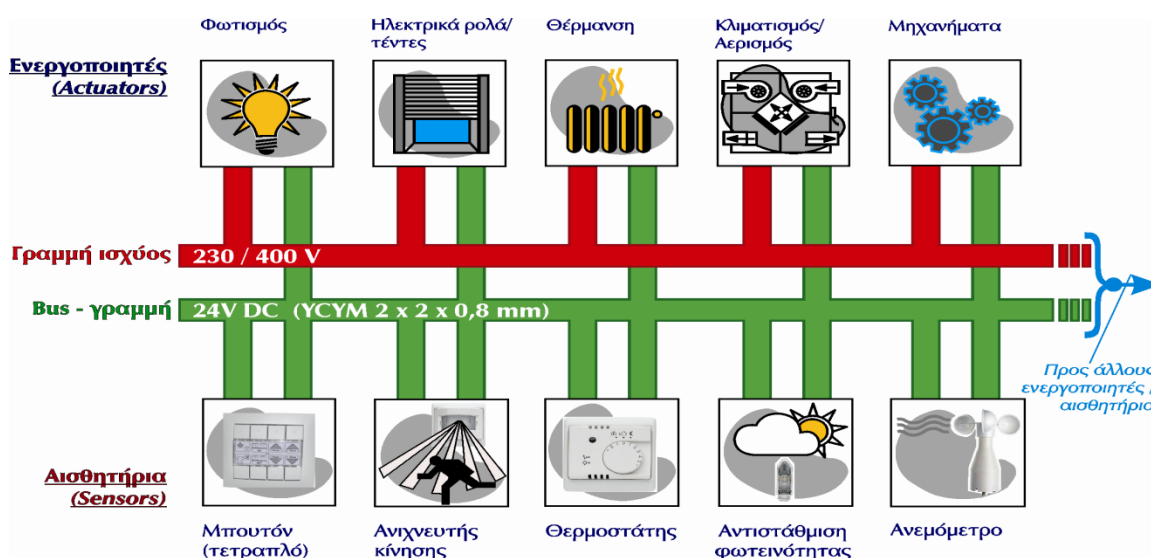
Εκτός από την μετάδοση δεδομένων μέσω συνεστραμμένου καλωδίου TP1 , το πρωτόκολλο KNX μπορεί να υποστηρίξει και την μετάδοση δεδομένων και μέσω άλλων μέσων όπως δείχνει και ο Πίνακας 28. Για τα πλαίσια της διπλωματικής και τον έλεγχο φωτισμού εξετάζεται μόνο αυτή περίπτωση.

4.5 Τοπολογία συστήματος και αρχή λειτουργίας bus συσκευής.

Το πρωτόκολλο KNX επιτρέπει την δημιουργία διανεμημένου συστήματος μέσω της σύνδεσης των bus συσκευών με το bus συνεστραμμένο καλώδιο. Μια σύγχρονη ηλεκτρολογική εγκατάσταση με KNX περιλαμβάνει δυο ανεξάρτητα κυκλώματα:

Κύκλωμα Ισχύος: το οποίο τροφοδοτεί τους καταναλωτές με την τάση και την συχνότητα του παρόχου ηλεκτρικού ρεύματος (230/400 V, 50Hz) με όλες τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του ΕΛΟΤ HD 384.

Κύκλωμα επικοινωνίας (TP1) : αναφέρεται στις συνδέσεις των συσκευών μέσω του καλωδίου YCYM 2x2x0.8 mm. Το κύκλωμα αυτό τροφοδοτεί όλες τις συσκευές με 24 Vdc , στην πράξη όμως η τιμή ανέρχεται σε 29 Vdc.



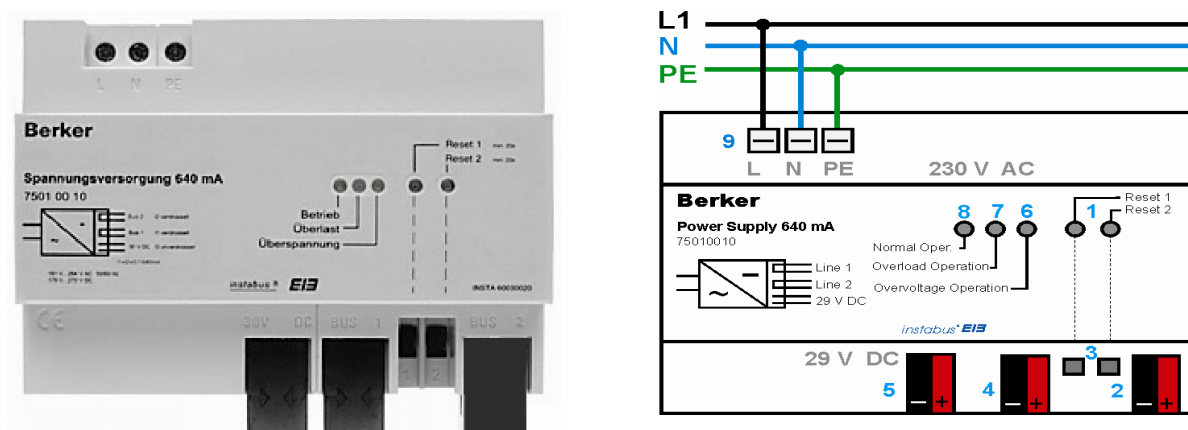
Σχήμα 4.9: Κύκλωμα λειτουργίας βάσει πρωτοκόλλου KNX [38]

Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι με το πρωτόκολλο KNX μπορούν να υλοποιηθούν όλες οι δυνατές συνδέσεις μεταξύ των συσκευών χωρίς περιορισμό ως προς την τοπολογία παρά μόνο στην απόσταση μεταξύ αυτών.

Για την υλοποίηση όμως της αρχιτεκτονικής KNX είναι απαραίτητο να αναλυθούν κάποιες πρωταρχικές συσκευές που καθορίζουν την τοπολογία και εγγυώνται την λειτουργία του δικτύου.

Τροφοδοτικό με πηνίο (Power supply with choke)

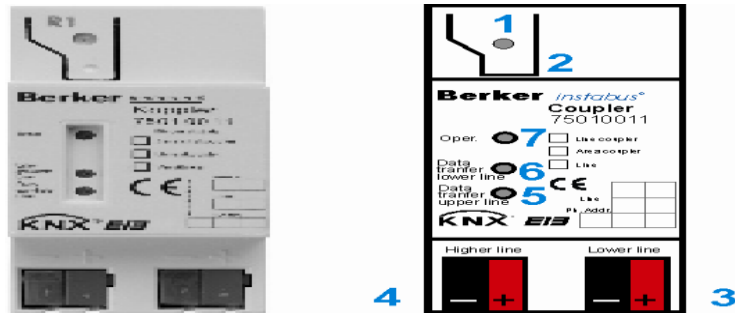
Το τροφοδοτικό τοποθετείται σε ράγα στον Πίνακα της εγκατάστασης ή σε Υποπίνακα και τροφοδοτείται με τάση 230V- 50 Hz του δικτύου. Ο σκοπός του είναι η παροχή και ο έλεγχος συνεχούς DC τάσης 24V (+6 V, -4V) και στην πράξη όπως έχει αναφερθεί 29Vdc. Διαθέτει ενσωματωμένο πηνίο και το ρεύμα εξόδου είναι είτε 640 mA είτε 320 mA ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος. Διαθέτει διατάξεις ελέγχου τάσης και ρεύματος για προστασία από βραχυκυκλώματα.



Εικόνα 4.4: Τροφοδοτικό KNX 640 mA με πηνίο.
[38]

Προσαρμοστής Γραμμής και περιοχής (Coupler)

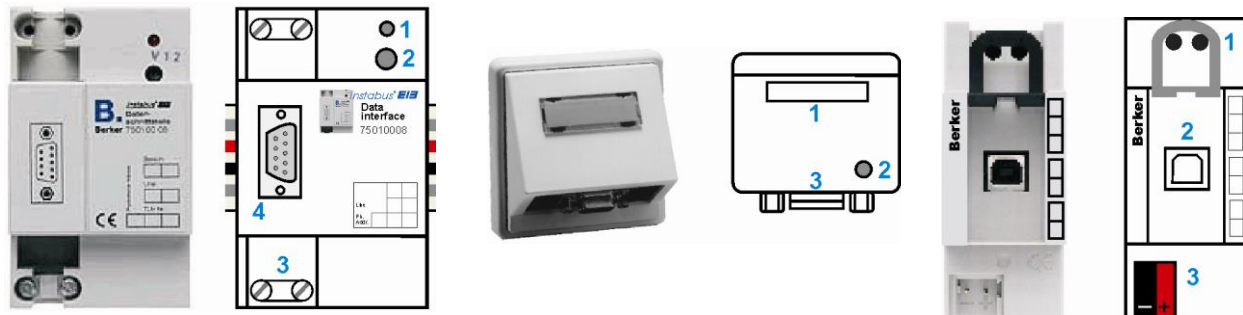
Ο προσαρμοστής ανήκει και αυτός στις μονάδες του Πίνακα της εγκατάστασης. Χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των bus συσκευών που ανήκουν σε διαφορετικές bus γραμμές. Μπορεί να είναι: γραμμής, περιοχής ή ενίσχυσης. Τοποθετούνται απευθείας στην ράγα, διαθέτουν Flash Rom και δεν απαιτούν μπαταρία για την λειτουργία τους. Με την χρησιμοποίηση των προσαρμοστών μπορούν να συνδεθούν μέχρι και 255 συσκευές σε μια γραμμή και έχει την δυνατότητα να προγραμματιστεί. Ο προσαρμοστής γενικότερα προσδίδει τη ευφυΐα στο σύστημα και αποτελεί και κομμάτι των αισθητηρίων ή των ενεργοποιητών.



Εικόνα 4.5: Προσαρμοστής – Coupler πρωτοκόλλου KNX [38]

Θύρα επικοινωνίας RS 232 ή USB (Data Interface)

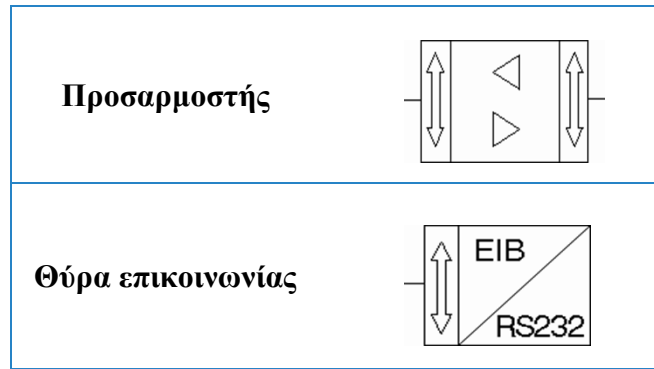
Η θύρα επικοινωνίας είναι η πρώτη συσκευή που αποκτά φυσική διεύθυνση , και μέσω αυτής προγραμματίζονται οι συσκευές του δικτύου KNX. Μέσω αυτής υπάρχει η επικοινωνία με το ειδικό λογισμικό του KNX το οποίο χειρίζεται ο εγκαταστάτης του συστήματος και μπορεί να προγραμματίσει, να τροποποιήσει ή να διαγνώσει προβλήματα στο δίκτυο. Τοποθετείται σε ράγα στον πίνακα η επιτοίχια μαζί με τις συσκευές και αποτελεί την διεπαφή μεταξύ του εγκαταστάτη και του δικτύου. Ανάλογα με το πρωτόκολλο επικοινωνίας μπορεί να διαθέτει θύρα RS 232 ή USB.



Εικόνα 4.6: Θύρα επικοινωνίας πρωτοκόλλου KNX με υποδοχή RS 232 και USB [38]

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται τα ηλεκτρολογικά σύμβολα των παραπάνω συσκευών , οι οποίες έχουν καθοριστικό ρόλο στην τοπολογία και στη επικοινωνία του συστήματος KNX:

Τύπος Συσκευής	Σύμβολο
Τροφοδοτικό με Πηγίο	



Πίνακας 4.2: Παρουσίαση ηλεκτρολογικών συμβόλων δομικής λειτουργίας του πρωτοκόλλου KNX

Η μικρότερη σε κλίμακα τοπολογία σύνδεσης των συσκευών είναι αυτή της γραμμής. Απαιτείται ένα τροφοδοτικό με πηνίο για την παροχή του DC ρεύματος και μπορεί να συμπεριλάβει από 1 έως 63 Bus συσκευές (αισθητήρια και ενεργοποιητές) πέραν του τροφοδοτικού. Είναι η πιο απλή τοπολογία. Στην πράξη δεν τοποθετούνται σε μια τοπολογία γραμμής περισσότερες από 55 – 60 συσκευές για το ενδεχόμενο μελλοντικών επεκτάσεων. Μέσω θύρας επικοινωνίας μπορεί να γίνει ο κατάλληλος προγραμματισμός των συσκευών της γραμμής.

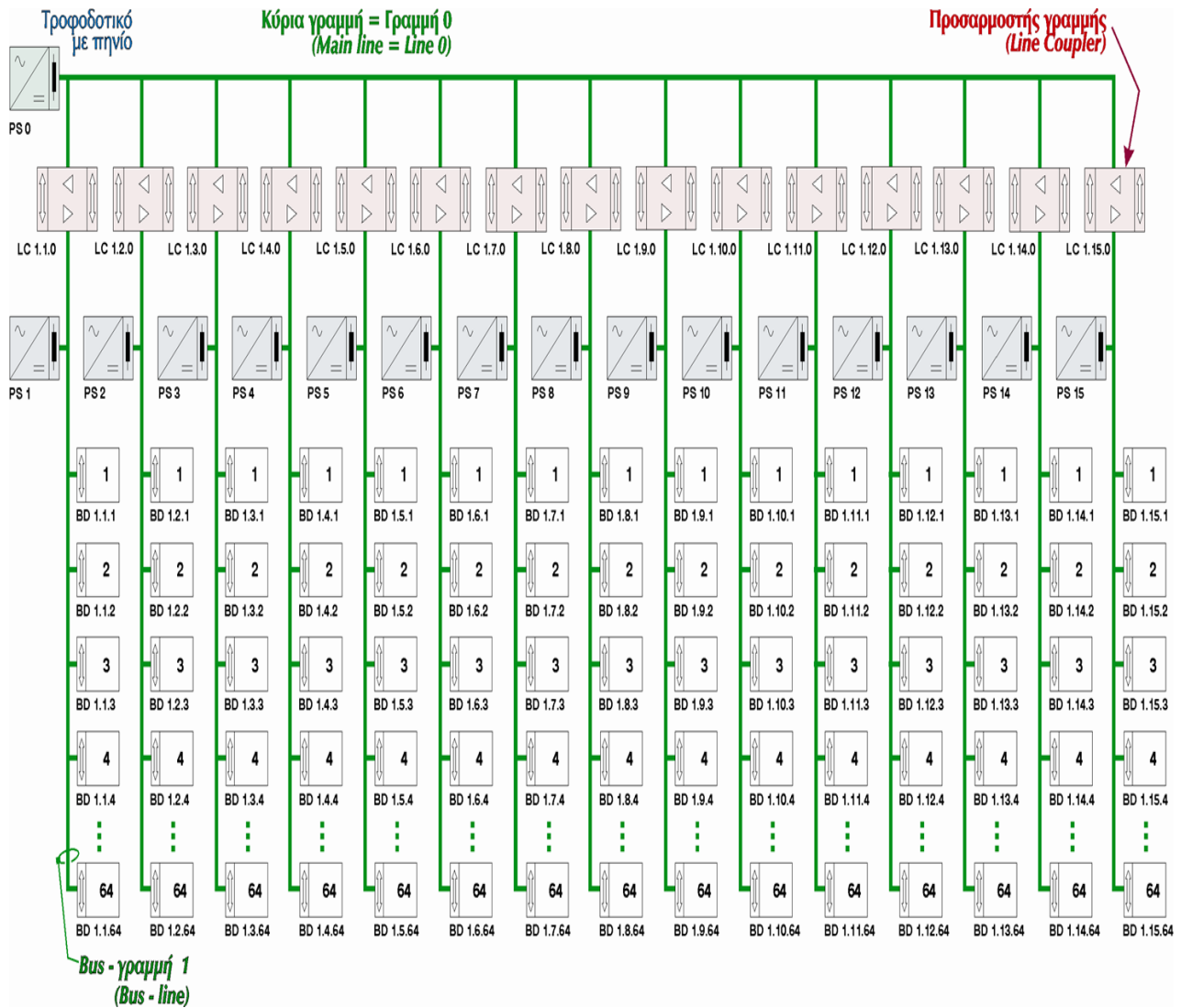
Μια περιοχή μπορεί να υλοποιηθεί μέσω προσαρμοστών γραμμής. Μέχρι και 15 γραμμές μπορεί να αναπτύξουν μια τοπολογία περιοχής. Αυτό σημαίνει $15 \times 64 = 960$ bus συσκευές. Η κάθε γραμμή εκτός του προσαρμοστή απαιτεί και το δικό της τροφοδοτικό με πηνίο.

Στην τεχνική KNX όμως μέχρι και 15 περιοχές μπορεί να συνδεθούν μεταξύ τους μέσω bus προσαρμοστών περιοχής. Η τοπολογία συστήματος έτσι επιτρέπει μέχρι και $15 \times 960 = 14400$ συσκευές.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του KNX είναι ότι δίνει την δυνατότητα και σε συστήματα διαφορετικά μεταξύ τους να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους μέσω θυρών Gateways μέσω IP πρωτοκόλλου για παράδειγμα ή μέσω Ethernet.

Ο ρόλος τω προσαρμοστών γραμμής και περιοχών έχει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο καθώς μέσω αυτών καθορίζεται η διέλευση των τηλεγραφημάτων στις περιοχές , γραμμές που αφορά το συγκεκριμένο τηλεγράφημα, λειτουργούν δηλαδή ως φίλτρα.

Σε περίπτωση που μια γραμμή πρέπει να υποστηρίξει περισσότερες από 64 συσκευές αυτό γίνεται μέσω ενίσχυσης της γραμμής με προσαρμοστή ενίσχυσης σήματος (line repeaters). Μπορούν να διαμορφώσουν ένα μέγιστο 4 τμημάτων γραμμής με 64 συσκευές σε κάθε τμήμα. Το κάθε τμήμα όμως διαθέτει το δικό του τροφοδοτικό. Οι ενισχυτές δεν διαθέτουν φίλτρα και συνδέουν τα τμήματα παράλληλα και έτσι η γραμμή έχει την δυνατότητα για υποστήριξη έως 255 συσκευών , πάντα με τον προσαρμοστή γραμμής της κύριας γραμμής. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί συνδεσμολογία $255 \times 15 \times 15 = 57375$ συσκευών. [38]

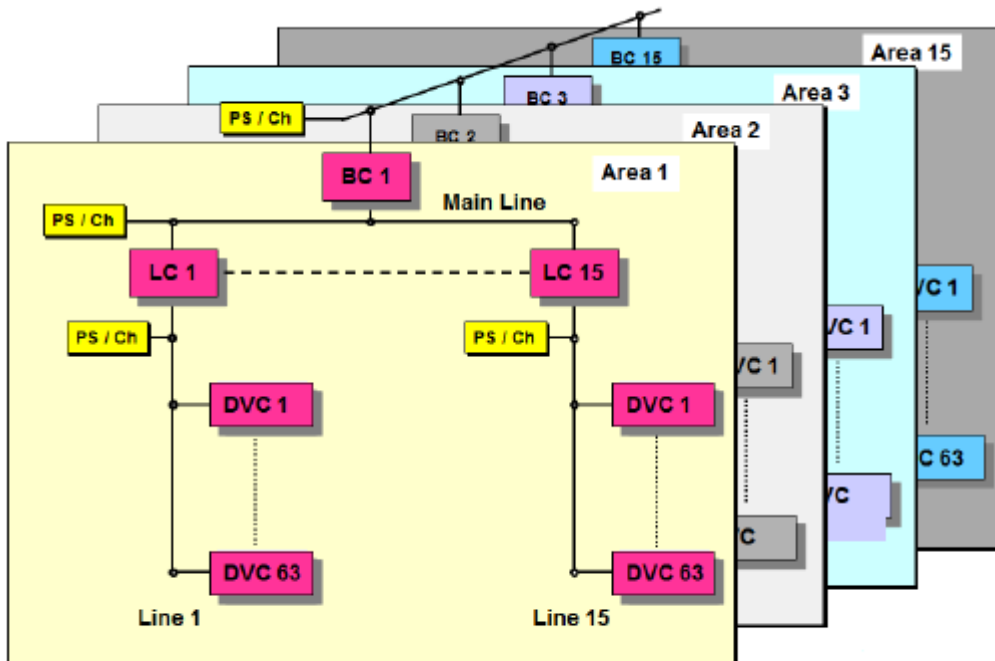


Σχήμα 4.10: Τοπολογία περιοχής στο σύστημα KNX [38]

Παρακάτω παρουσιάζεται η τοπολογία συστήματος του πρωτοκόλλου KNX. Οι συμβολισμοί του σχήματος είναι:

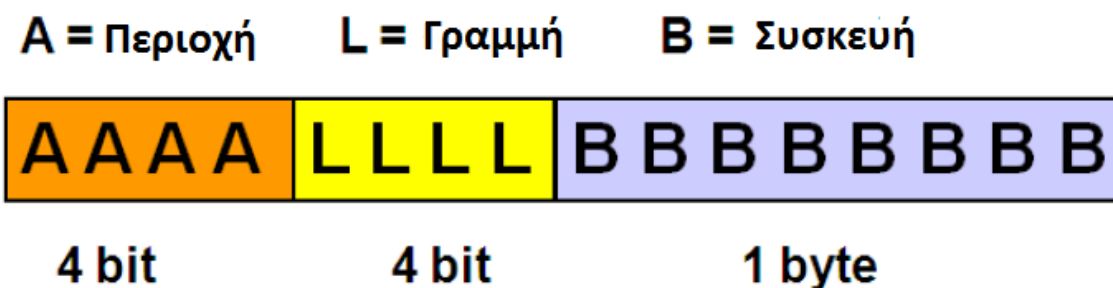
- Ps/ch : Τροφοδοτικό με πηνίο
- BC: bus προσαρμοστής (coupler) περιοχής
- LC: bus προσαρμοστής γραμμής
- DVC: bus συσκευή (device)

Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η διασύνδεση των συσκευών του συστήματος KNX και εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η επιτυχία επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών.



Σχήμα 4.11: Τοπολογία συστήματος πρωτοκόλλου KNX

Κάθε bus συσκευή του δικτύου KNX χαρακτηρίζεται από μια μοναδική φυσική διεύθυνση (physical address) μέσα στο δίκτυο. Καθορίζεται έτσι η θέση της περιοχής και της γραμμής μέσα στο δίκτυο στο οποίο ανήκει. Διέπεται από το δυαδικό σύστημα , δηλαδή από τις λογικές καταστάσεις 0 και 1 του bit. Αποτελείται από τρεις αριθμούς όπως 01.01.005 ή 03.04.047 και αποτελεί την ταυτότητα της συσκευής. Δημιουργείται είτε χειροκίνητα από τον σχεδιαστή είτε λαμβάνεται αυτόματα από το ειδικό λογισμικό του KNX. Μέσω του προσαρμοστή της κάθε συσκευής επιτυγχάνεται ο προγραμματισμός αυτός. Το πρώτο μέρος της φυσικής διεύθυνσης υποδηλώνει την περιοχή στην οποία ανήκει, το δεύτερο μέρος την γραμμή και το τρίτο και τελευταίο τμήμα την σειρά την οποία έχει η συσκευή στην γραμμή αυτή.



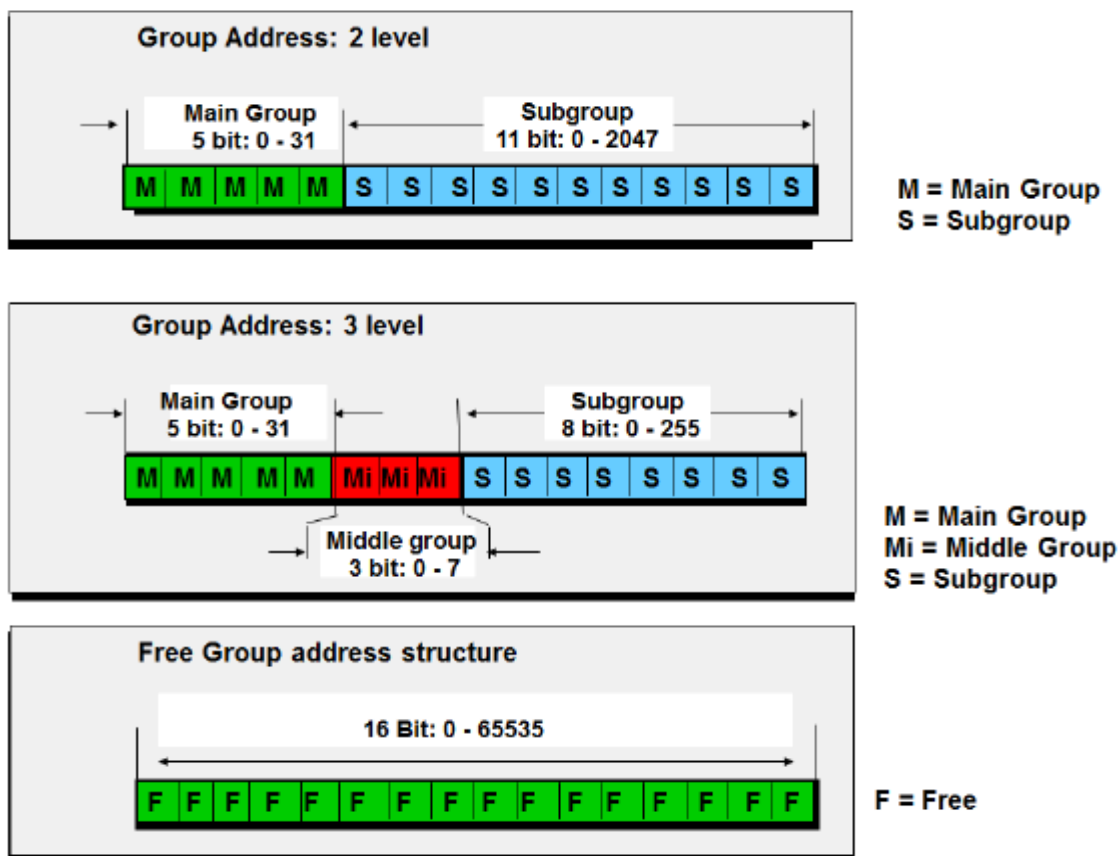
Σχήμα 4.12: Μορφή της φυσικής διεύθυνσης μιας bus συσκευής [45]

Εκτός όμως από την φυσική διεύθυνση, για την επικοινωνία μέσω πρωτοκόλλου KNX εκτός από την μοναδική φυσική διεύθυνση που αναφέρθηκε, καθοριστικό ρόλο έχει και η **διεύθυνση ομάδας**. Υλοποιείται μέσω του ειδικού λογισμικού και σκοπό έχει την επικοινωνία των συσκευών και τον καθορισμό ομάδων ώστε να ομαδοποιηθεί η λειτουργία συσκευών και ζωνών.

Ανάλογα με το είδος, το μέγεθος και την τοπολογία του κάθε έργου παραμετροποιούνται τα εξής επίπεδα τα οποία είναι:

- Δομή 3 επιπέδων: Κύρια ομάδα (Maingroup) και Υποομάδα (Subgroup)
- Δομή 3 επιπέδων Κύρια ομάδα (Maingroup), Μεσαία ομάδα (Middlegroup) και Υποομάδα (Subgroup)
- Ελεύθερη δομή

Οι κύριες ομάδες σε ένα έργο μέσω KNX δεν πρέπει να ξεπερνάνε τις 15. Μέσω των διευθύνσεων ομάδων προδίδεται η λογική σε ένα σύστημα και έτσι είναι προφανές ότι οι ενεργοποιητές μπορεί να ανταποκρίνονται σε πολλές διευθύνσεις ομάδων ταυτόχρονα, ενώ οι αισθητήρες μόνο σε μια. Η διεύθυνση 0/0/0 αποδίδεται σε περιπτώσεις που τα μηνύματα δεν έχουν συγκεκριμένο αποδέκτη αλλά απευθύνονται σε όλες τις συσκευές.



Σχήμα 4.13: Διεύθυνση Ομάδας ελεύθερου, δυο και τριών επιπέδων. [45]

Η κύρια ομάδα καθορίζει το είδος της εγκατάστασης (1^{ος} Όροφος, Υπόγειο, Κήπος κλπ), η μεσαία ομάδα την λειτουργία μέσα στην εγκατάσταση (φωτισμός, ρολά θέρμανση κλπ) και η υποομάδα καθορίζει την εφαρμογή της λειτουργίας (ON/OFF , Dimmer, ρολά UP/DOWN κλπ). Έτσι αποδίδεται η λογική στην λειτουργία μιας εγκατάστασης μέσω του πρωτοκόλλου KNX.

Για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών το πρωτόκολλο KNX χρησιμοποιεί αντικείμενα (objects) τα οποία ουσιαστικά μνήμη της συσκευής με μέγεθος από 1 bit Μέχρι 16 bytes. Το μέγεθος αφορά το είδος της λειτουργίας. Για παράδειγμα μια λειτουργία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των φωτιστικών απαιτεί τις λογικές καταστάσεις 0 και 1 (1bit). Μεταφορά δεδομένων κειμένου όμως μεταξύ των συσκευών απαιτούν πιο πολύπλοκα αντικείμενα μεγέθους έως 16 bytes. Το μέγεθος των αντικειμένων επίσης επιτρέπει την διασύνδεση συσκευών με το ίδιο μήκος εντολών μέσω των διευθύνσεων ομάδων.



Σχήμα 4.14: Επικοινωνία διακόπτη και ενεργοποιητή μέσω διεύθυνσης ομάδας και αντικειμένου. [45]

Εάν για παράδειγμα πιεστεί το αριστερό μπουτόν του διακόπτη , ο διακόπτης γράφει 1 στο αντικείμενο με αριθμό 0. Η συσκευή στέλνει την εντολή write value 1στην διεύθυνση ομάδας 1/1/1. Όλες οι συσκευές με την διεύθυνση ομάδας 1/1/1 θα εκτελέσουν την εντολή στο δικό τους αντικείμενο με αριθμό 0. Το πρωτόκολλο KNX καθορίζει τα παρακάτω flags μέσω του λογισμικού του που επιτρέπουν τον ορισμό ιδιοτήτων στις εντολές (properties): [41]

- Επικοινωνία (Communication)
- Ανάγνωση (Read)
- Καταγραφή (Write)
- Μετάδοση (Transmit)
- Ανανέωση (Update)

Για τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές μέσω KNX στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται το μέγεθος δεδομένων (bits):

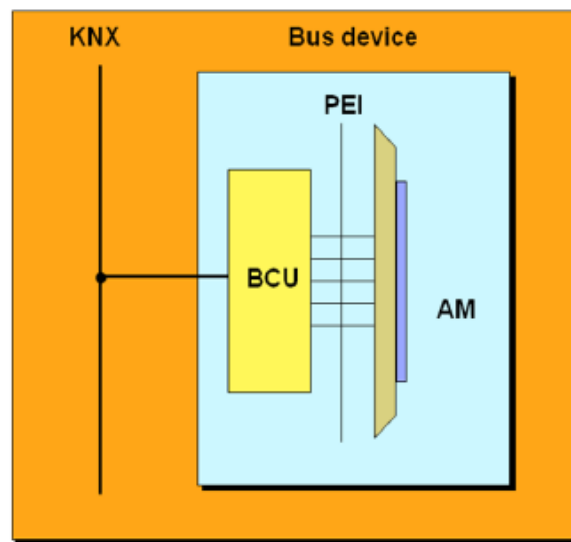
Χαρακτηριστικά μεγέθη δεδομένων εφαρμογών KNX	
Μέγεθος	Λειτουργία
1 bit	Φωτισμός με διακόπτη ON/OFF
1bit	Ρολό (up-down)
2 bit	Προτεραιότητα
4 bit	Φωτισμός με ρύθμιση έντασης
8 bit	Φωτισμός με δημιουργία στάθμης φωτισμού
16 bit	Κινητή υποδιαστολή, μετάδοση αριθμών που εκφράζουν φυσικές τιμές
32 bit	Μετρητής, σύγκριση αριθμών που εκφράζουν τιμές μετρούμενων μεγεθών

Πίνακας 4.3: Μέγεθος δεδομένων για τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές μέσω KNX [38]

Για την υλοποίηση της επικοινωνίας μέσω KNX η κατασκευή των συσκευών απαιτεί συγκεκριμένη μεθοδολογία που θα επιτρέπει την τήρηση των κανόνων της επικοινωνίας και την ασφάλεια μετάδοσης των τηλεγραφημάτων. Η κάθε συσκευή διαθέτει τα:

- Μονάδα bus προσαρμοστή (bus coupling unit)
- Μονάδα εφαρμογής (application module)
- Πρόγραμμα εφαρμογής (application program)

Ο bus προσαρμοστής (BCU) κάθε συσκευής είναι αυτός που προσδίδει την ευφυΐα στην συσκευή και καθιστά το δίκτυο αποκεντρωμένο (decentralized). Η μονάδα εφαρμογής (AM) προσδίδει την επικοινωνία με το φορτίο και τον χρήστη στα πλαίσια της εγκατάστασης. Τέλος το πρόγραμμα εφαρμογής (AP) προσδίδει την επιθυμητή λειτουργία μιας συσκευής μετά τον προγραμματισμό της μέσω του ειδικού λογισμικού.



Εικόνα 4.6: Σχηματική αναπαράσταση Bus συσκευής [46]

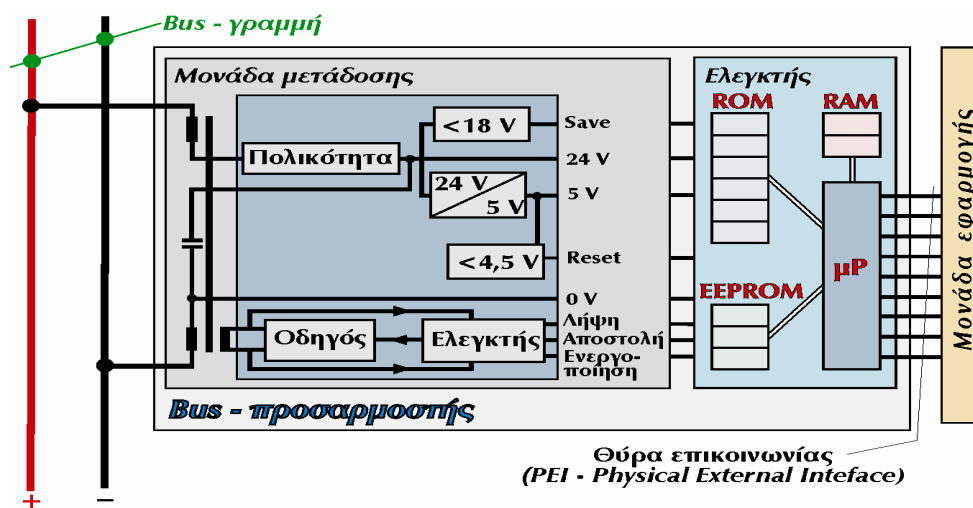
Οι συσκευές φέρουν ενσωματωμένα τόσο την μονάδα του προσαρμοστή όσον και των εφαρμογών και πρέπει να είναι κατασκευασμένα από τον ίδιο κατασκευαστή. Σε περίπτωση που δεν είναι από τον ίδιο κατασκευαστή η σύνδεση γίνεται μέσω ειδικής θύρας επικοινωνίας (PEI). Ανάλογα με την συσκευή εκτελούνται και οι αντίστοιχες διεργασίες. Στην περίπτωση του αισθητήρα η μονάδα εφαρμογής μεταφέρει τα δεδομένα στην μονάδα προσαρμοστή. Μετά την αποκωδικοποίηση αυτά μεταφέρονται μέσω των bus γραμμών. Στην περίπτωση του ενεργοποιητή ο προσαρμοστής μεταφέρει τα δεδομένα στην μονάδα εφαρμογής. Τέλος στην περίπτωση του ελεγκτή επηρεάζεται η επικοινωνία αισθητήρων και ενεργοποιητών (πχ λογική μονάδα).

Οι Bus συσκευές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Τις S mode στις οποίες η λειτουργία της συσκευής ενεργοποιείται αφού φορτωθεί σε αυτήν μέσω του ειδικού λογισμικού το κατάλληλο πρόγραμμα εφαρμογής. Οι E mode συσκευές έχουν ενσωματωμένο και φορτωμένο το πρόγραμμα εφαρμογής μαζί με τον προσαρμοστή.

Η λειτουργία του bus προσαρμοστή της κάθε συσκευής περιλαμβάνει την μονάδα μετάδοσης και τον ελεγκτή. Η μονάδα μετάδοσης:

- Προστατεύει έναντι ανάστροφης πολικότητας
- Μπορεί να διαχωρίσει ή να μίξει την συνεχή τάση με τα δεδομένα
- Σταθεροποιεί την τάση σε 5V ή σε 24V
- Αποθηκεύει δεδομένα με τάση μικρότερη των 18V
- Επαναφέρει (reset) τον επεξεργαστή με τάση μικρότερη των 4,5V
- Είναι οδηγός για την λήψη και την αποστολή των τηλεγραφημάτων
- Καθορίζει την λογική για την αποστολή και την λήψη τηλεγραφημάτων

Ο ελεγκτής περιλαμβάνει τον μικροεπεξεργαστή και ανάλογα με το είδος μετάθεσης μνήμη RAM, ROM, ή EEPROM. Οι προσωρινές μεταβλητές κατά την λειτουργία του συστήματος αποθηκεύονται στην μνήμη RAM ενώ το πρόγραμμα εφαρμογής στην μνήμη RAM (μόνιμη) ή στην EEPROM (μόνιμη με δυνατότητα διαγραφής).



Εικόνα 4.7: Ισοδύναμο κύκλωμα bus συσκευής [38]

4.6 Bus Συσκευές για έλεγχο φωτισμού

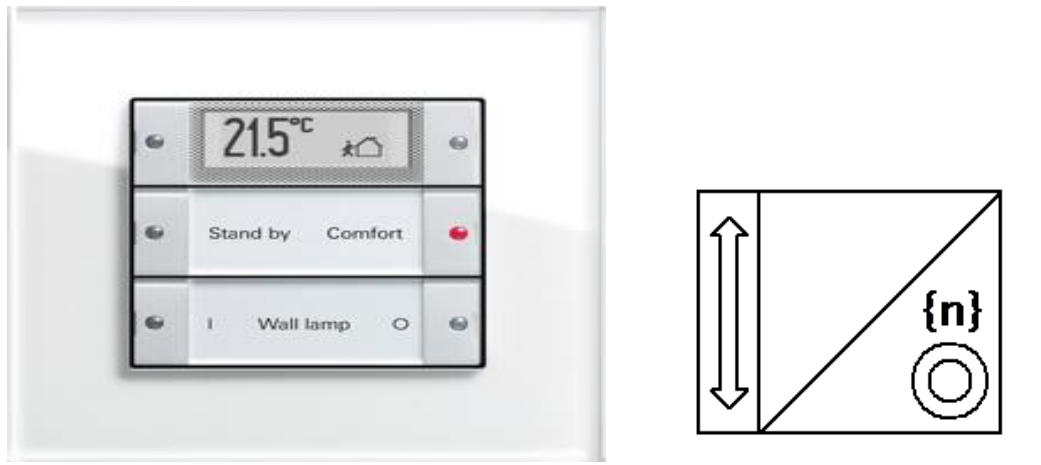
Για τον έλεγχο φωτισμού εκτός από τις συσκευές που προαναφερθήκανε και είναι απαραίτητες για την επικοινωνία του συστήματος με τον χρήστη και τον προγραμματισμό μέσω του ειδικού λογισμικού αλλά και για την διασύνδεση των συσκευών μεταξύ τους και την σωστή μεταφορά των δεδομένων, οι παρακάτω συσκευές είναι απαραίτητες για τον έλεγχο του τεχνητού φωτισμού μέσω πρωτοκόλλου KNX. Απαραίτητα είναι τόσο αισθητήρια όργανα, όπως τα μπουτόνς και ο αισθητήρας φωτεινότητας αλλά και ενεργοποιητές dimmer για τον έλεγχο και την αυξομείωση των φωτιστικών. Υπάρχει πλήθος επιλογών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες , η βασική αρχή ωστόσο παρουσιάζεται παρακάτω

Μπουτόν (Button)

Τα buttons που χρησιμοποιούνται στο KNX έχουν το μέγεθος ενός συμβατικού διακόπτη μιας τυπικής ηλεκτρικής εγκατάστασης. Διαθέτουν πάντα τον δικό τους bus προσαρμοστή και συνδέονται έτσι μέσω TP1 (ή άλλο τρόπο) με την bus γραμμή. Μπορεί να είναι μονά, διπλά ή τετραπλά και έτσι αντιστοιχίζεται ο αριθμός των λειτουργιών. Μέσω ετικέτας αναπαρίστανται οι λειτουργίες για την διευκόλυνση των χρηστών και με ειδικό προγραμματιζόμενο LED το οποίο χρησιμοποιείται ως ένδειξη για να διευκολύνει και αυτό με την σειρά τον χρήστη για τον εντοπισμό της συσκευής

.Τα πλήκτρα χειρισμού είναι αυτά τα οποί παραμετροποιούνται μέσω του ειδικού λογισμικού ώστε να αποδοθούν οι επιθυμητές λειτουργίες. Έτσι για παράδειγμα με το πάτημα του button αποστέλλεται η εντολή ενεργοποίησης του φωτιστικού και με την πίεση ενός άλλου απενεργοποιείται. Υπάρχει όμως και η επιλογή toggling η οποία δίνει την δυνατότητα για ενεργοποίηση του φωτισμού μέσω της πίεσης του button και την απενεργοποίηση του μετά από την επανάληψη της κίνησης στο ίδιο πλήκτρο. Υπάρχει η δυνατότητα για οθόνη ενδείξεων για να διευκολύνει ακόμα περισσότερο την διαδικασία του χρήστη ενώ ο αριθμός των πλήκτρων μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο από τέσσερα για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης.

Ο προγραμματισμός επιτυγχάνεται μέσω του ειδικού λογισμικού και μέσω αυτού ο χρήστης μπορεί να επέμβει στις επιθυμητές λειτουργίες. Όσον αφορά τον φωτισμό μέσω του προγραμματισμού μπορεί να αποδοθεί η ενεργοποίηση η απενεργοποίηση του φωτισμού, η αυξομείωση των φωτιστικών ή να αποδοθεί μια σκηνή φωτισμού. [38]

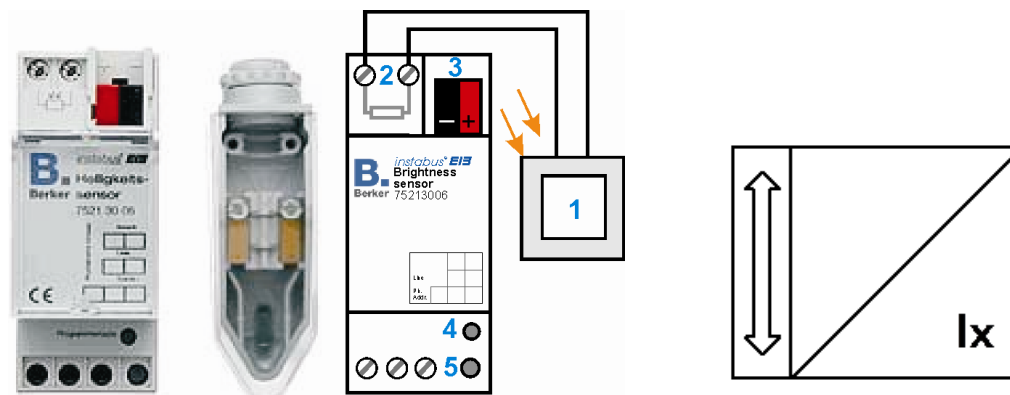


Εικόνα 4.8: Μπουτόν επιτοίχιο KNX και αντίστοιχο ηλεκτρολογικό σύμβολο

Αισθητήρας φωτεινότητας (Light Sensor)

Ο αισθητήρας φωτεινότητας είναι το όργανο το οποίο αντιλαμβάνεται το επίπεδο φωτεινότητας τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό χώρο. Υπάρχει πληθώρα μοντέλων ανάλογα το αποτέλεσμα το οποίο είναι επιθυμητό.

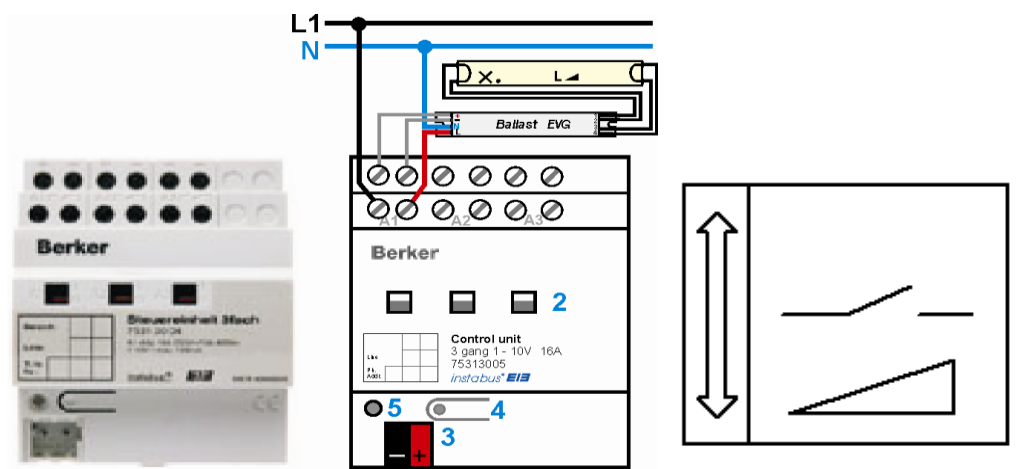
Μπορεί να έχει ενσωματωμένη την μονάδα που μεταφέρει το σήμα και τις κατάλληλες πληροφορίες ή να είναι ξεχωριστό τμήμα του αισθητήρα και να τοποθετείται στον ηλεκτρικό πίνακα της εγκατάστασης. Υπάρχουν περιπτώσεις που μπορεί να υπάρχει ενσωματωμένος και ο ελεγκτής ο οποίος θα δώσει την εντολή απευθείας στο φωτιστικό ή στην ομάδα φωτιστικών. Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός κατά την τοποθέτηση ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του αισθητήρα.



Εικόνα 4.9: Αισθητήρας φωτεινότητας KNX και ηλεκτρολογικό σύμβολο.

Ενεργοποιητής Ελέγχου της Στάθμης Φωτισμού (Dim Actuator)

Ο ενεργοποιητής στο σύστημα KNX τοποθετείται στον Πίνακα της εγκατάστασης και μέσω αυτού δίνεται η εντολή στο τροφοδοτικό του φωτιστικού. Μπορεί να τροφοδοτήσει τόσα κυκλώματα όσα του επιτρέπουν οι έξοδοι του οπότε ανάλογα με το έργο επιλέγεται και ο αντίστοιχος ενεργοποιητής. Ο ενεργοποιητής είναι το όργανο το οποίο θα δεχθεί το σήμα από το Button ή από το αισθητήρα και θα δώσει την κατάλληλη εντολή στο κύκλωμα ισχύος για το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.10: Ενεργοποιητής ελέγχου φωτισμού (Dim Actuator) KNX και ηλεκτρολογικό σύμβολο [38]

Ο dim actuator επιλέγεται επίσης ανάλογα με την τεχνολογία ελέγχου που εφαρμόζεται και το είδος της τεχνολογίας. Λαμπτήρες Πυράκτωσης, Αλογόνου Υψηλής Τάσης, Αλογόνου Χαμηλής Τάσης απαιτούν διαφορετικό είδος ενεργοποιητή από ότι λαμπτήρες φθορισμού υψηλής εκκένωσης. Στους τελευταίους ρόλο παίζει το είδος του ballast ανάλογα με το αν είναι συμβατικό ή ηλεκτρονικό. Το ηλεκτρονικό ballast συνήθως ελέγχεται από ενεργοποιητή που υποστηρίζει την τεχνολογία 1-10V που έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Όσον αφορά την τεχνολογία LED εκτός από την τεχνολογία 1-10V, χρησιμοποιείται τροφοδοτικό του φωτιστικού με ενσωματωμένο ελεγκτή ο οποίος μπορεί να δεχθεί απλά το σήμα από την Bus γραμμή, και φυσικά με κατάλληλη διασύνδεση να ελεγχθεί μέσω συστήματος DALI. Η τελευταία επιλογή μπορεί να αξιοποιηθεί με όλες τις τεχνολογίες φωτισμού και είναι σύνηθες φαινόμενο η θύρα εξόδου από KNX σε Dalí για απομόνωση και έλεγχο του συστήματος φωτισμού.

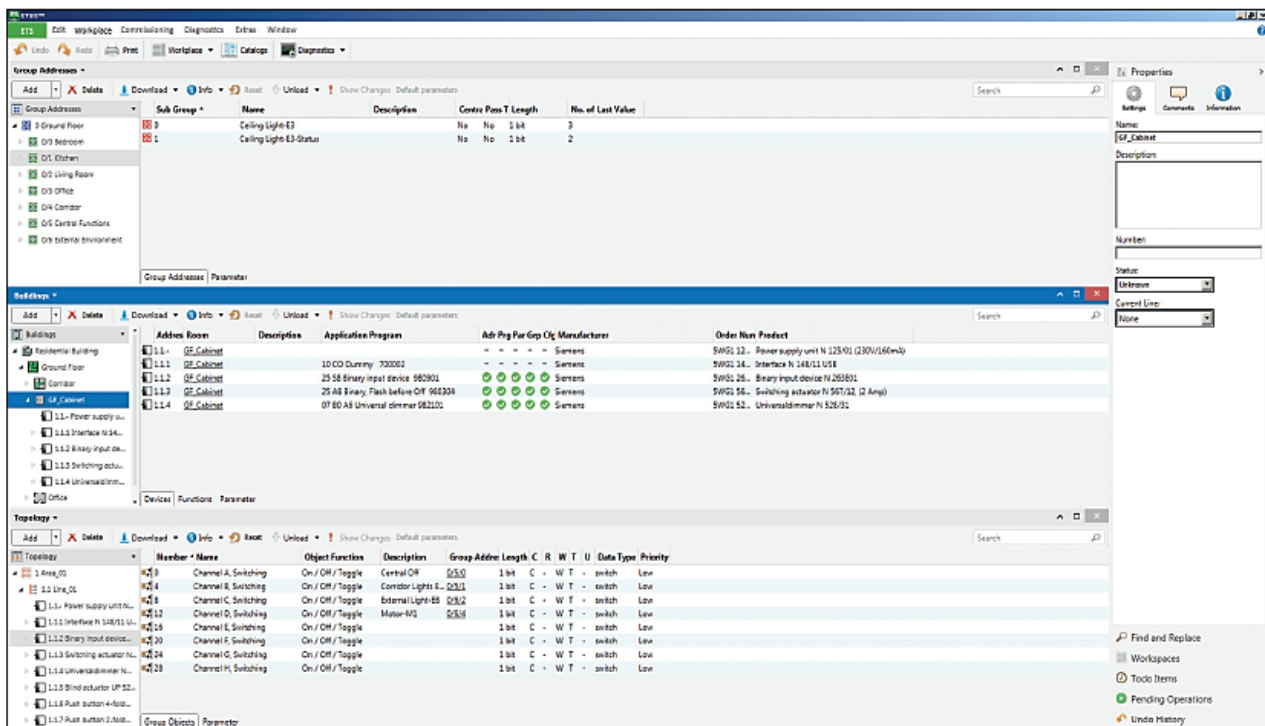
4.7 Λογισμικό Προγραμματισμού ETS

Οι συσκευές που σχετίζονται με το πρωτόκολλο KNX μπορεί να κατασκευάζονται από διάφορους κατασκευαστές, αφού πρόκειται για ανοικτό πρωτόκολλο επικοινωνίας, ωστόσο η παραμετροποίηση του συστήματος γίνεται από το ειδικό λογισμικό με την ονομασία ETS (Engineering Tool Software). Όπως έχει αναφερθεί οι συσκευές στο KNX μπορεί να είναι είτε E-mode, που σημαίνει ότι δεν παραμετροποιούνται μέσω υπολογιστή αλλά μέσω ειδικών buttons των συσκευών και απευθύνονται σε εγκαταστάτες με μικρή εμπειρία σε συστήματα KNX, είτε S-mode συσκευές των οποίων η παραμετροποίηση γίνεται μέσω του ειδικού λογισμικού ETS.

Συνήθως η παραμετροποίηση μιας εγκατάστασης γίνεται μέσω S-mode συσκευών μέσω υπολογιστή στον οποίον είναι εγκατεστημένο το ειδικό λογισμικό και φυσικά υπάρχει η κατάλληλη θύρα επικοινωνίας με το σύστημα, τόσο από την πλευρά του υπολογιστή όσο και από την πλευρά του συστήματος (θύρα USB ή θύρα RS 232 για παράδειγμα). Το λογισμικό ETS είναι υπεύθυνο για τις παρακάτω διεργασίες:

- Φόρτωση του application software του κατασκευαστή από το Internet
- Καθορισμός των παραμέτρων του application software της συσκευής
- Σύνδεση των group addressees με τα group objects
- Φόρτωση του application software στην bus συσκευή

Εκτός από τον σχεδιασμό και την υποστήριξη το λογισμικό ETS προσφέρει και αναλυτικά διαγνωστικά εργαλεία για την ανίχνευση και την επίλυση προβλημάτων.



Εικόνα 4.11: Παράθυρο του λογισμικού ETS [43]

Το πρόγραμμα ETS έχει σχεδιαστεί για είναι συμβατό με τα Windows και τους κανόνες που διέπουν το λειτουργικό τους. Το ETS έχει πλήθος παραθύρων το καθένα από τα οποία αναπαριστά μια εγκατάσταση με διαφορετικό τρόπο. Το κυρίως παράθυρο παρουσιάζει την εγκατάσταση από την σκοπιά του κτιρίου, με την ανάλυση των διαφόρων δωματίων και των πινάκων διανομής. Οι συσκευές συνδέονται με τα δωμάτια του κτιρίου και τους πίνακες διανομής. Το παράθυρο διευθύνσεων ομάδων παρουσιάζει την εγκατάσταση από την πλευρά της λειτουργίας των συσκευών. Έτσι φαίνεται εύκολα ποια συσκευή αλληλεπιδρά με ποια και με τι τρόπο. Τέλος το παράθυρο τοπολογίας παρουσιάζει την δομή του συστήματος με τις φυσικές διευθύνσεις των συσκευών.

Για να σχεδιαστεί ένα έργο KNX εκτός από την εγκατάσταση του λογισμικού πρέπει να γίνει εισαγωγή και των συσκευών στο λογισμικό από την βάση δεδομένων. Τα δεδομένα των συσκευών είναι διαθέσιμα τόσο από τους κατασκευαστές των συσκευών όσο από την ηλεκτρονική βάση δεδομένων του λογισμικού ETS. Για την δημιουργία ενός project πρέπει να υλοποιηθούν τα παρακάτω βήματα:

- Δημιουργία του project Με την κατάλληλη ονομασία. Το project μπορεί να ανοιχθεί ξανά οποιαδήποτε χρονική στιγμή θέλει ο σχεδιαστής.
- Αποτύπωση της δομής του κτιρίου και των συσκευών σε αυτό. Μέσω αυτού του βήματος καθορίζονται και οι φυσικές διευθύνσεις.
- Καθορισμός των παραμέτρων για την κάθε συσκευή. Για παράδειγμα στη περίπτωση του Button Πρέπει να καθοριστεί μέσω του λογισμικού πότε ένα πλήκτρο αντιστοιχεί σε διακόπτη dimmer ή σε έλεγχο ρολών κλπ. Αντίστοιχα στην περίπτωση του ενεργοποιητή μέσω της παραμετροποίησης καθορίζεται για παράδειγμα πόσο γρήγορα μεταβάλλεται η φωτεινότητα.
- Καθορισμός των λειτουργιών του συστήματος μέσω των διευθύνσεων ομάδας. Για παράδειγμα σε ένα γραφείο με δύο φωτιστικά μπορεί να λειτουργεί μόνο το ένα από τα δύο ή και τα δυο μαζί. Έτσι ο ενεργοποιητής προγραμματίζεται μέσω τριών διευθύνσεων ομάδας μια για κάθε λειτουργία.
- Σύνδεση των διευθύνσεων με τα αντικείμενα. Έτσι καθορίζεται ποιοι αισθητήρες επηρεάζουν ποιους ενεργοποιητές.
- Έλεγχος της σύνδεσης των επιμέρους μερών, αποθήκευση του project για μελλοντικές αλλαγές.

Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα του KNX είναι ο έλεγχος και η τροποποίηση των projects. Κάθε συσκευή στο δίκτυο πρώτα πρέπει να ενεργοποιηθεί από το ειδικό Button που διαθέτει και έτσι να αποδοθεί σε αυτήν η μοναδική φυσική διεύθυνση. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην διαδικασία αυτήν καθώς λάθη σε αυτό το στάδιο οδηγούν σε μετέπειτα δυσλειτουργίες του δικτύου. Το λογισμικό ETS προσφέρει μια πληθώρα διαγνωστικών εργαλείων όπως του έλεγχου των φυσικών διευθύνσεων ή τον έλεγχο αποστολής και λήψης τηλεγραφημάτων.

Το ειδικό λογισμικό απαιτεί την αγορά του από την KNX Association και μετά την απόκτηση της άδειας μπορεί να φορτωθεί στον υπολογιστή.

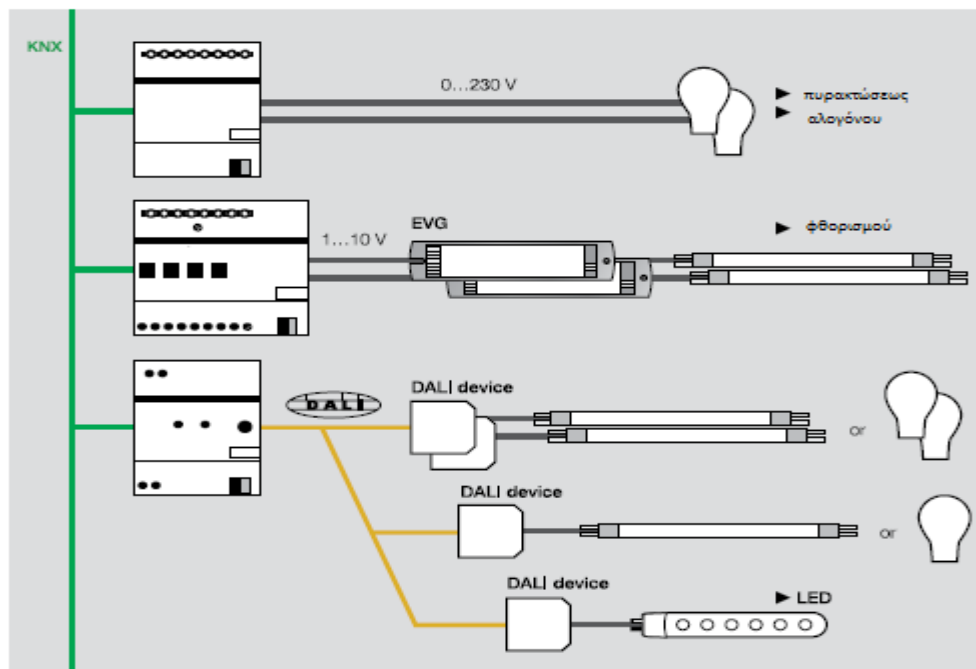
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX

5.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού χωρίζονται σε **κλειστού** και **ανοιχτού βρόγχου** και η διάκριση αυτή εξαρτάται από την μέτρηση είτε του εξωτερικού επιπέδου φωτεινότητας (ανεξάρτητη μεταβλητή) είτε από την μέτρηση και την ανατροφοδότηση του επιπέδου της φωτεινότητας σε εσωτερικό χώρο (εξαρτημένη μεταβλητή) ή οποία περιέχει και ένα μέρος εξωτερικής φωτεινότητας. Και στις δυο περιπτώσεις ο στόχος είναι η διατήρηση ενός συγκεκριμένου επιπέδου φωτισμού όσο πιο σταθερού γίνεται. Ο στόχος ενός συστήματος που υλοποιείται μέσω KNX είναι ο καθορισμός των διεργασιών που θα εκτελούνται από τα συστατικά μέρη , δηλαδή ενεργοποιητές, αισθητήρες και ελεγκτές για να επιτευχθεί ο στόχος.

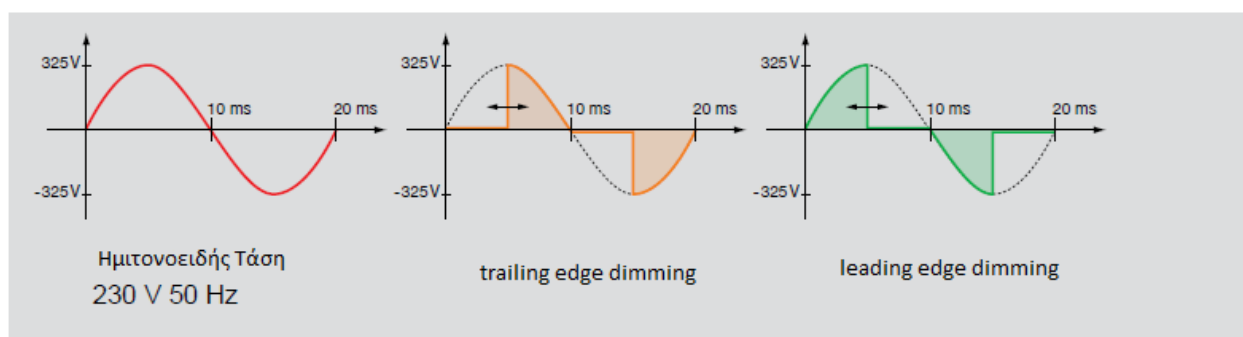
Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ρόλο παίζει το είδος της τεχνολογίας που πρέπει να ελεγχθεί. Ανάλογα με την τεχνολογία του φωτιστικού μπορεί να πραγματοποιηθούν διαφορετικές διατάξεις όσον αφορά την συνδεσμολογία των συσκευών του KNX.



Εικόνα 5.1: Συνοπτική παρουσίαση ελέγχου των διαφορετικών τεχνολογιών λαμπτήρων φωτισμού.

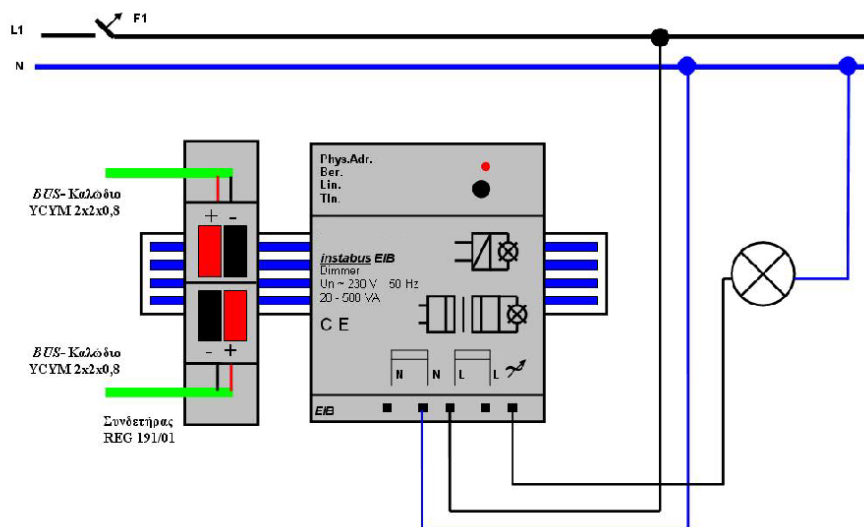
Ανάλογα με την τεχνολογία του λαμπτήρα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη διάταξη η οποία θα επιτρέπει τον έλεγχο του λαμπτήρα. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα υπάρχουν τρεις κατηγορίες ελέγχου ανάλογα με το είδος του φορτίου. Βέβαια η επιλογή της τεχνολογίας πέραν του περιορισμού του φορτίου μπορεί να καθοριστεί και από το ζητούμενο αποτέλεσμα που επιθυμεί ο σχεδιαστής της εγκατάστασης.

Η κατηγορία ενεργοποιητών **Universal dim actuators** είναι σχεδιασμένη για τον έλεγχο φορτίων που υπακούουν σε έλεγχο φάσης (phase control dimming). Με την ορολογία έλεγχος φάσης εννοούμε την αποκοπή φάσης από την ημιτονοειδή της μορφή με σκοπό την μείωση του φορτίου. Ανάλογα με την μορφή της αποκοπής το φορτίο μπορεί να ελέγχεται μέσω trailing edge ή leading edge αυξομείωση. Μέσω της τεχνολογίας αυτής ελέγχονται φορτία πυρακτώσεως, αλογόνου, και αλογόνου χαμηλής τάσης μέσω μετασχηματιστή. Επίσης μπορεί να ελεγχθούν φορτία LED αφού τα στοιχεία του κατασκευαστή επιτρέπουν τον έλεγχο τους μέσω αυτής της τεχνολογίας.



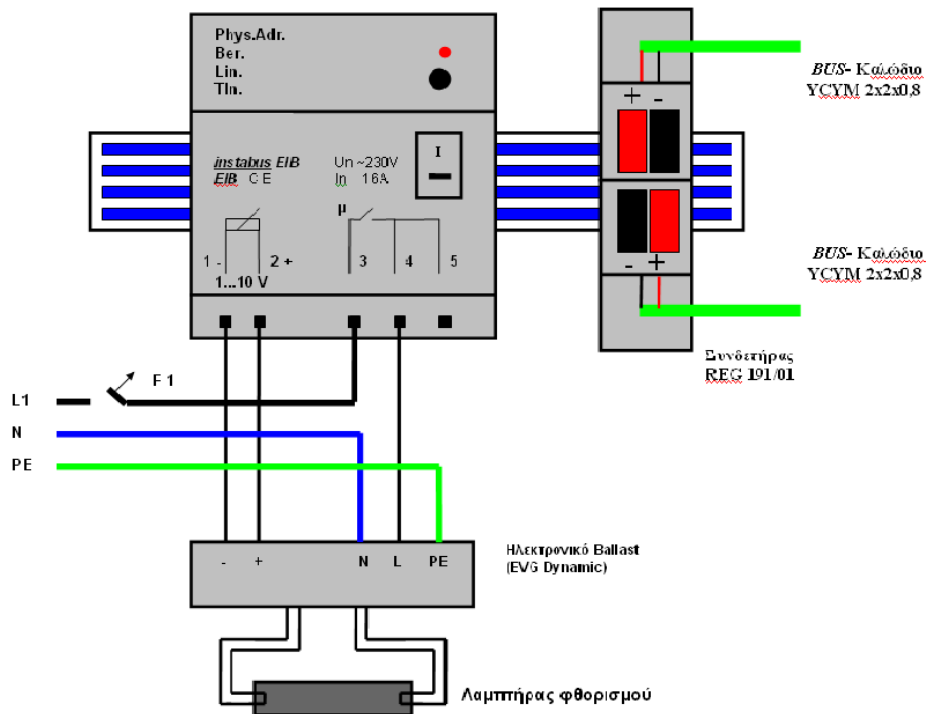
Εικόνα .2: Έλεγχος φορτίου μέσω αποκοπής της ημιτονοειδούς μορφής της τάσης. [48]

Έτσι σε ένα σύστημα KNX υπάρχει ο κατάλληλος ενεργοποιητής που ανάλογα με τον αριθμό των εξόδων που έχει θα ελέγξει και τα αντίστοιχα φορτία. Η συνδεσμολογία παρουσιάζεται παρακάτω:

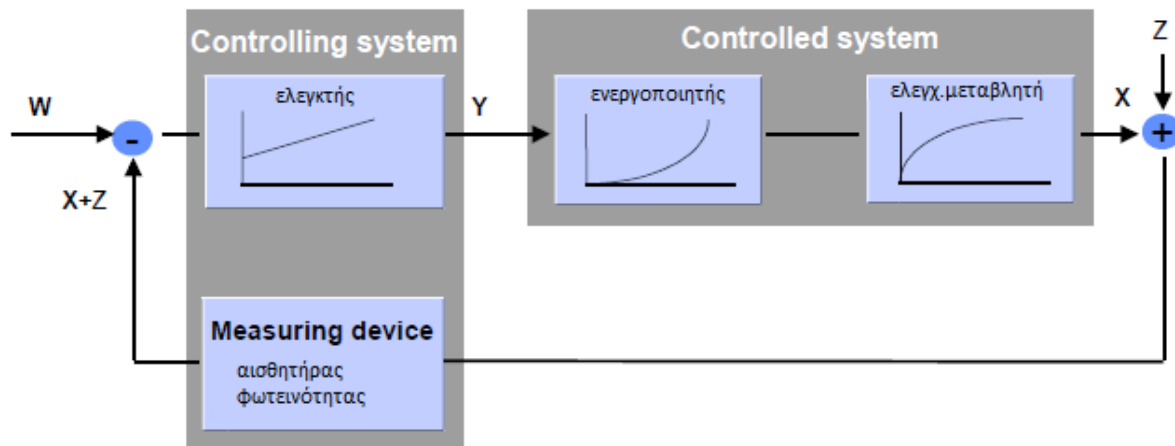


Εικόνα5.3: Συνδεσμολογία Universal Dim ενεργοποιητή για τον έλεγχο φορτίου [50]

Για τον έλεγχο φορτίων φθορισμού μέσω KNX απαιτείται ηλεκτρονικό ballast. Ο ενεργοποιητής σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει την επικοινωνία μέσω πρωτοκόλλου 0-10V για τον έλεγχο των φωτιστικών. Η αυξομείωση μέσω **Switch/dim actuators** δίνει αυτήν την δυνατότητα.



Εικόνα5.4: Συνδεσμολογία Switch/Dim ενεργοποιητή για τον έλεγχο φορτίου [50]



Σχήμα 5.1: Έλεγχος σταθερού επιπέδου φωτεινότητας [47]

Στο παραπάνω σχήμα αναλύονται τα συστατικά μέρη ενός τέτοιου συστήματος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα υπάρχουν κάποιες παράμετροι οι οποίες ελέγχονται από το σύστημα. Αυτές είναι:

W: Προκαθορισμένη τιμή φωτεινότητας (reference, set point value)

Z : Επίπεδο φωτεινότητας που οφείλεται στο φυσικό φως

Y: Τιμή αυξομείωσης μέσω συστήματος ελέγχου (dimming value)

X: Πραγματική τιμή φωτεινότητας στο επίπεδο εργασίας (actual value)

Όσον αφορά το είδος του κλειστού βρόγχου ωστόσο πρέπει να τονιστεί η διαφορά μεταξύ έλεγχου κλειστού βρόγχου και της τεχνικής εσωτερικής αναπροσαρμογής (Integral Reset) που πολλές φορές χρησιμοποιείται. Στην πρώτη περίπτωση η τιμή ελέγχου από τον ελεγκτή επηρεάζεται από την διαφορά πραγματικής τιμής και στο επίπεδο εργασίας που μετρείται και του προκαθορισμένου επιθυμητού επιπέδου φωτεινότητας. Έτσι μια απόλυτη τιμή αυξομείωσης αποστέλλεται μέσω του ελεγκτή στους ενεργοποιητές μέσω μιας λειτουργίας ανατροφοδότησης (feedback function) και η οποία εξαρτάται από την σύγκριση του φωτισμού στο επίπεδο εργασίας(με την συμμετοχή του φυσικού φωτός) και του set point. Μέσω μιας λειτουργίας καλύπτεται τόσο η θετική ή αρνητική ανατροφοδότηση του βρόγχου και έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της διαφοράς αυτής στην τιμή αυξομείωσης από τον ελεγκτή τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα για μεγάλες αποκλίσεις από το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Μέσω της εσωτερικής αναπροσαρμογής το σύστημα λειτουργεί μέσω της αρχής των δύο βημάτων. Έτσι η τιμή ελέγχου που αποστέλλεται στους ενεργοποιητές τροποποιείται σταδιακά μέσω τηλεγραφημάτων αυξομείωσης. Ο αισθητήρας φωτεινότητας αφού μετρήσει το τον φωτισμό στο επίπεδο εργασίας και τον συγκρίνει με το set point αποφασίζει προς ποια κατεύθυνση θα συνεχίσει την διαδικασία. Το πόσο θα αλλάξει η φωτεινότητα όμως είναι προκαθορισμένο μετά από κάθε αλλαγή και δεν εξαρτάται από το πόσο αποκλίνουν οι δυο συγκρινόμενες τιμές.

Για την λειτουργία του κλειστού βρόγχου η τεχνική δυο βημάτων δεν προτείνεται καθώς σπάνια επιτυγχάνεται η επίτευξη σταθερής τιμής. Προτείνεται για την έναρξη του ελέγχου φωτεινότητας καθώς η συνεχής αυξομείωση μέσω αυτής της τεχνικής οδηγεί σε συνεχή αυξομείωση του φωτισμού.

5.2 Έλεγχος σταθερού επιπέδου φωτισμού μέσω KNX (Constant Lighting Control)

Για έλεγχο κλειστού βρόγχου όπως έχει αναφερθεί είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση ενεργοποιητών που επιτρέπουν την μεταβολή της φωτεινότητας των φωτιστικών. Ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα να ελέγχονται μέσω τριών λειτουργιών. Η πρώτη λειτουργία είναι η διαδικασία ON/OFF που είναι απαραίτητη σε κάθε σύστημα φωτισμού, η δεύτερη είναι η σχετική αυξομείωση μέσω 4 –Bit πληροφορίας και η τρίτη είναι η απόλυτη τιμή αυξομείωσης μέσω 8 – bit πληροφορίας. Οι αισθητήρες σε ένα σύστημα κλειστού βρόγχου θα πρέπει να μπορούν να μετρήσουν την πραγματική τιμή φωτεινότητας με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια και συχνότητα. Όσον αφορά την ακρίβεια οι αισθητήρες που δίνουν την δυνατότητα για λογαριθμική ανάλυση είναι αυτοί που προτείνονται. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούν να κάνουν πιο ακριβείς μετρήσεις στο χαμηλό εύρος μεταβολών καθώς το ανθρώπινο μάτι αντιδρά πιο δύσκολα στις μικρές μεταβολές. Το τρίτο κομμάτι του συστήματος είναι ο ελεγκτής ο οποίος εξυπηρετεί την διαδικασία ελέγχου. Λαμβάνει την τιμή της φωτεινότητας ως είσοδο και την συγκρίνει με το set point , η οποία μπορεί να είναι προκαθορισμένη ή να είναι ο στόχος ο οποίος μπορεί να τροποποιηθεί μέσω της bus γραμμής. Μέσω των δυο αυτών τιμών καθορίζει την έξοδο (τιμή αυξομείωσης) , σύμφωνα πάντα με τον αλγόριθμο του ελεγκτή, και στην συνέχεια αποστέλλει την τιμή αυτήν στον ενεργοποιητή.

Στην πράξη για λόγους οικονομίας οι κατασκευαστές ενσωματώνουν τον ελεγκτή στον αισθητήρα φωτεινότητας, ή υπάρχουν και περιπτώσεις που όλες οι μονάδες του συστήματος είναι ενσωματωμένες στον ενεργοποιητή.

Πιο αναλυτικά τα τρία μέρη τους συστήματος πρέπει να σχεδιάζονται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές ώστε το σύστημα να επιτυγχάνει τους στόχους του:

Αισθητήρας φωτεινότητας (Light Sensor)

Οι αισθητήρες φωτεινότητας που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο φωτισμού πρέπει να έχουν τέτοια ανάλυση που να προσαρμόζεται στο επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο καθορίζεται από το set point. Μια απόκλιση του συστήματος περίπου $\pm 15\%$ δεν παρατηρείται από τον χρήστη. Η ακρίβεια του αισθητήρα όπως και οι απώλειες από την μετατροπή του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα πρέπει να προσμετρούνται μαζί. Εάν για παράδειγμα το set point είναι 600 Lux η ανοχή του αισθητήρα πρέπει να είναι ± 90 Lux. Έτσι οι μετρηθείσες τιμές πρέπει να διαχωρίζονται σε τμήματα

μικρότερα της τιμής αυτής (15%). Λόγω όμως ο αισθητήρας δεν ανιχνεύσει το φως που προέρχεται από την έξοδο του φωτιστικού αλλά τις αντανακλάσεις από την επιφάνεια εργασίας δημιουργούνται προβλήματα. Μια σκουρόχρωμη επιφάνεια έχει πιο μικρή ανελαστικότητα από μια ανοιχτόχρωμη. Σημαντικό ρόλο επίσης έχει και η μορφή της επιφάνειας καθώς καθορίζει την διάχυση του φωτός. Λόγω αυτών των παραμέτρων ο αισθητήρας πρέπει να διαθέτει έναν συντελεστή κέρδους ο οποίος θα προσαρμόζεται στις εκάστοτε απαιτήσεις. Έτσι η μετρούμενη τιμή προσαρμόζεται μέσω του συντελεστή αυτού μέσω μιας διαδικασίας ρύθμισης του αισθητήρα και μετατρέπεται σε μια τιμή σε Lux. Η διορθωμένη αυτή τιμή αποστέλλεται κυκλικά από τον αισθητήρα. Οι παράμετροι που αφορούν το εύρος της διαφοράς αλλά και την χρονική διαφορά ανάμεσα στις μετρήσεις μπορούν να καθορίζονται μέσω του αισθητήρα. Εάν υπάρχει απότομη μεταβολή στην φωτεινότητα ο αισθητήρας μπορεί να αντιδράσει γρηγορότερα μέσω ανίχνευσης γεγονότος, δυνατότητα που δίνουν κάποιοι αισθητήρες.

Ελεγκτής Κλειστού Βρόγχου (Closed Loop Controller)

Μέσω ελεγκτή κλειστού βρόγχου καθορίζεται το πόσο πρέπει να τροποποιηθεί η τιμή αυξομείωση που θα αποσταλεί στον ενεργοποιητή ώστε να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ set point και της πραγματικής τιμής στο επίπεδο εργασίας. Για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία διαφορετικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν

- Αναλογική: μια άμεση τιμή y υπολογίζεται και αποστέλλεται στον ενεργοποιητή από την διαφορά πραγματικής τιμής και set point x , σύμφωνα με την γραμμική σχέση $y = a \cdot x$
- Εσωτερική: η έξοδος πραγματοποιείται με έναν συγκεκριμένο ρυθμό. Για παράδειγμα είναι μηδενική στην αρχή και μόνο μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα φτάνει στην υπολογισμένη τιμή $y = a \cdot x \cdot t$
- Διαφορική: η έξοδος καθορίζεται από τον ρυθμό αλλαγής των μετρήσεων, δηλαδή $y = x/t$

Μόνο η αναλογική τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τις παραπάνω. Ωστόσο ένας τέτοιος ελεγκτής δεν μπορεί να ελέγξει μεγάλες αποκλίσεις του συστήματος. Μέσω ελεγκτή με εσωτερική τεχνική θα μπορούσε να επιτευχθεί καλύτερη λειτουργία καθώς οι μεταβολές στην φωτεινότητα σταματάνε μετά από κάποιο χρονικό διάστημα και ο ελεγκτής έχει προσαρμοστεί ανάλογα. Η διαφορική τεχνική είναι βέλτιστη σε περιπτώσεις που υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στην φωτεινότητα.

Είναι πολύ σημαντικό στο σύστημα το επίπεδο φωτεινότητας να αλλάζει ανεπαίσθητα και να μην επηρεάζει τον χρήστη. Οι μεταβολές τις εξωτερικής φωτεινότητας θα πρέπει επίσης να μην οδηγούν το σύστημα σε τέτοιες μεταβολές που να προκαλούν δυσλειτουργία. Έτσι στην πράξη πιο αποδοτικός είναι ο έλεγχος μέσω εσωτερικής τεχνικής. Μέσω της τεχνικής αυτής ο έλεγχος έχει πιο έμμεση επιρροή στην έξοδο προς τον ενεργοποιητή. [47]

Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι ο ελεγκτής μεταβάλλει την έξοδο βηματικά και με την ίδια ποσότητα ανά μονάδα χρόνου. Στο σύστημα KNX τηλεγραφήματα των 4 Bit (DPT 3.007) είναι κατάλληλα για αυτήν την λειτουργία, καθώς μεταφέρουν αυτές τις σταθερές αλλαγές στην τιμή και εκτός από το σήμα αυτό δεν μεταφέρουν άλλες πληροφορίες όπως στην περίπτωση των τηλεγραφημάτων 8-bit. Μεταβολές στην φωτεινότητα αντιμετωπίζονται πάντα με τον ίδιο ρυθμό αλλαγής. Έτσι καθώς βηματικές αλλαγές πραγματοποιούνται προτείνονται βήματα πλάτους 1/64 (1,6%) ή 1/32 (3,2%). Τα τηλεγραφήματα αποστέλλονται συνεχώς και με συγκεκριμένο ρυθμό, προστατεύοντας το σύστημα από το να ξεπεράσει η πραγματική τιμή το set point μέσα στ όρια της καθυστέρησης απόκρισης του συστήματος. Όταν το όριο αυτό ανιχνεύεται τότε ο ελεγκτής σταματά την λειτουργία του.



Number	Name	Object Funct...	Length
0	Presence	On / Off	1 bit
1	Automatic mode	On / Off	1 bit
2	Automatic mode Off via	Switching	1 bit
3	Automatic mode Off via	Dimming	4 bit
4	Automatic mode Off via	Dimming value	1 Byte
5	Setpoint value for constant light...	Value in Lux	2 Byte
8	Setpoint value	calibrate	1 bit
9	Brightness, measured value	Value in Lux	2 Byte
10	Master, dimming value	8-bit value	1 Byte
11	Slave 1, dimming value	8-bit value	1 Byte
12	Slave 2, dimming value	8-bit value	1 Byte
16	Status dimming value of actuator	Dimming value	1 Byte

Εικόνα 5.5: Ελεγκτής κλειστού βρόγχου με ενσωματωμένο αισθητήρα φωτεινότητας [47]

Εκτός από την δυνατότητα έλεγχου της αυξομειώσης του φωτισμού υπάρχουν και άλλες σημαντικές λειτουργίες που μια τέτοια συσκευή του συστήματος KNX παρέχει.

- Αναπροσαρμογή του set point μέσω αποστολής τιμής στο σύστημα ελέγχου
- Λειτουργία Master/slave για τον έλεγχο περισσότερων κυκλωμάτων
- Αλλαγή από χειροκίνητο σε αυτόματη λειτουργία για όλες τις λειτουργίες που είναι υπεύθυνος ο ενεργοποιητής.


Εκτός από τα τηλεγραφήματα των 4 Bit που αναλύθηκαν, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει και με τηλεγραφήματα των 8 Bit (DPT 5.001) με λειτουργία εσωτερικής τεχνικής του ελεγκτή. Έτσι ο ελεγκτής ξεκινά με μια αρχική τιμή 0 ή 255 και στέλνει βηματικά τα επόμενα τηλεγραφήματα τα οποία τώρα περιέχουν 8 bit πληροφοριών και η τιμή μειώνεται η αυξάνεται μέσω σταθερού βήματος και συγκρίνεται με την προηγούμενη τιμή. Το πλεονέκτημα είναι ότι η ανάλυση αυξάνει μέχρι το σύστημα να φτάσει σε βήματα 0,4%. Έτσι επιτυγχάνονται καλύτερες ρυθμίσεις μέσω του ελεγκτή

αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι Bus γραμμές φορτώνονται πολύ περισσότερο σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

Ενεργοποιητές (Actuators)

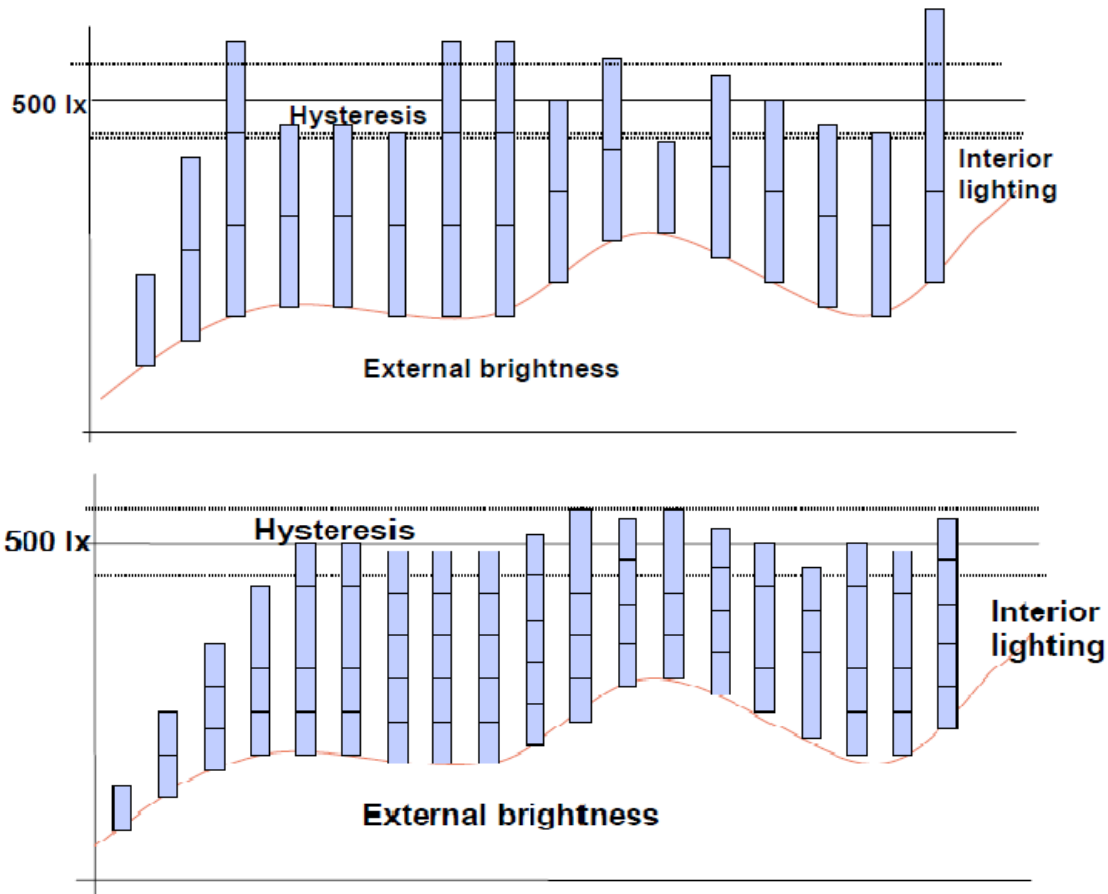
Όσον αφορά τους ενεργοποιητές στον έλεγχο τεχνητού φωτισμού μέσω KNX δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη απαίτηση καθώς αυτό που απαιτείται είναι το 4 bit ή 8 bit τηλεγράφημα- αντικείμενο για να ενεργοποιηθεί η διαδικασία. Θα πρέπει ωστόσο να υπάρχει η δυνατότητα για απενεργοποίηση των φωτιστικών όταν η διαδικασία μείωσης συνεχίζεται διαρκώς. Είναι όπως η περίπτωση που εκτελείται η αντίστροφη διαδικασία. Εάν ο κλειστός βρόγχος ελέγχου ενεργοποιηθεί θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα ενεργοποίησης του φωτισμού με εντολή 4 bit. Η καμπύλη αυξομείωσης θα πρέπει να είναι ενεργή και για αυξομείωση μέσω 8bit αντικειμένου αλλά και 4 Bit αντικειμένου , καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας αλλιώς ο ενεργοποιητής θα αυξομειώνει τα φώτα εντονότερα ή πιο λίγο βήμα με το βήμα. Για να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία η ταχύτητα αυξομείωσης των φωτιστικών και το πλάτος του βήματος συγχρονίζονται με τον ελεγκτή με απόλυτη ακρίβεια. Για παράδειγμα εάν 1/64 τηλεγραφήματα αυξομείωσης αποστέλλονται κάθε 2 δευτερόλεπτα , ο ενεργοποιητής θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να κάνει έναν πλήρη κύκλο 0-100% σε όχι λιγότερο από 128 δευτερόλεπτα. Εάν η αυξομείωση πρέπει να γίνει χειροκίνητα θα πρέπει ο ενεργοποιητής να μειώσει αυτόν τον χρόνο.

Η παραμετροποίηση που αναφέρθηκε (περίοδος αυξομείωσης 128 δευτερόλεπτα) πρέπει να βελτιστοποιηθεί και για χειροκίνητο χειρισμό. Μια θεώρηση πρέπει να γίνει: Ο ενεργοποιητής αυξομειώνει σε λίγο πιο αργό ρυθμό (για παράδειγμα 8 δευτερόλεπτα) και ο ελεγκτής μεταδίδει σε λίγο πιο γρήγορο ρυθμό για να αποφευχθούν οι σταδιακές διαδικασίες φωτεινότητας. Η διαδικασία αυτή ωστόσο αυξάνει το φορτίο στις Bus γραμμές. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τηλεγραφήματα πλάτους 1/32 για να μειωθεί ο όγκος. Αυτό δημιουργεί προβλήματα ωστόσο σε πού φωτεινά φωτιστικά (καινούργια στην εγκατάσταση). Οι αλλαγές στην μεταβολή μπορεί να ξεπεράσουν το όριο ανοχής με ένα απλό βήμα. Έτσι συνεχείς αυξομειώσεις του φωτιστικού συμβαίνουν καθώς το σύστημα προσπαθεί να επιτύχει τον στόχο. Η αύξηση του ορίου ανοχής η μείωση του βήματος θα μπορούσε να δώσει κάποια λύση. Η ιδανική λύση ωστόσο είναι η χρησιμοποίηση dimming actuators με δυο χρονικές βάσεις. Έτσι δυο επιλογές παραμετροποιούνται: μια μεγάλης διάρκειας για την αυξομείωση μέσω κλειστού βρόγχου και μια για χειροκίνητο έλεγχο.



Number	Name	Object Funct...	Length	Description	Data Type
1	Status direct mode	On / Off	1 bit		
5	A, Switching	On / Off	1 bit	manual control	1 bit DPT_Switch
6	A, Dimming	brighter / da...	4 bit	manual control	3 bit controlled D...
7	A, Dimming value 1	8-bit value	1 Byte	manual control	8 bit unsigned val...
8	A, Dimming value 2	8-bit value	1 Byte	automatic control	8 bit unsigned val...

Εικόνα 5.6: Ενεργοποιητής αυξομείωσης με επιλογή για χειροκίνητη και αυτόματη αυξομείωση φωτισμού. [47]



Σχήμα 5.2: Η ρύθμιση του συστήματος πρέπει να γίνεται με τρόπο που οι μεταβολές να μην ξεπερνούν τα όρια ανοχής του συστήματος (hysteresis). [47]

Έτσι σε ένα πραγματικό παράδειγμα ελέγχου φωτισμού με κλειστό βρόγχο η υλοποίηση μπορεί να γίνει με τις παρακάτω συσκευές KNX:

- Αισθητήρας φωτεινότητας με ενσωματωμένο ελεγκτή (εσωτερική ρύθμιση 8 bit)
- Ενεργοποιητής αυξομείωσης φωτιστικών με διπλή χρονική βάση
- Button 3 πλήκτρων με οθόνη ενδείξεων από το οποίο μπορούν να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω διεργασίες με σκοπό τον αποτελεσματικό έλεγχο φωτισμού:

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
Ανοιγοκλείσιμο φωτισμού χειροκίνητα (βασική λειτουργία)	Ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται τα φώτα, διακόπτεται ο αυτόματος έλεγχος
Αυξομείωση έντασης φωτιστικών (βασική λειτουργία)	Αυξομειώνεται η ένταση των φωτιστικών, διακόπτεται ο αυτόματος έλεγχος

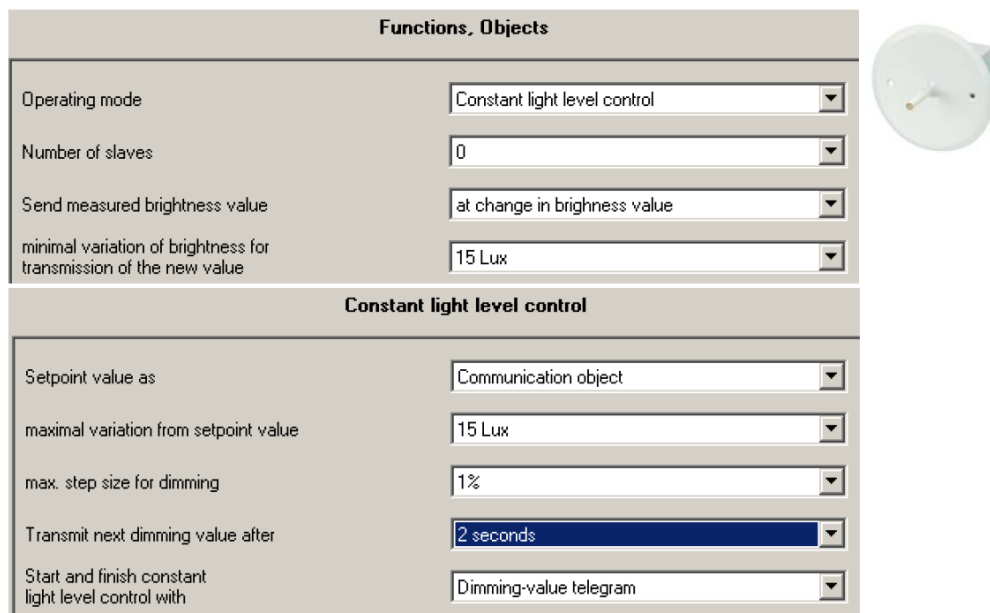
Έναρξη και παύση κλειστού βρόγχου ελέγχου (βασική λειτουργία)	Ενεργοποιείται ο αυτόματος έλεγχος , με τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις ή απενεργοποιείται
Καθορισμός τιμής φωτεινότητας για τον ενεργοποιητή χειροκίνητα (λειτουργία επιλογής)	Καθορίζει χειροκίνητα την έξοδο του ενεργοποιητή μεταξύ 0-100 % , διακόπτεται ο αυτόματος έλεγχος
Ανίχνευση Παρουσίας (λειτουργία επιλογής)	Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιείται από την ανίχνευση κίνησης/παρουσίας
Αλλαγή του set point φωτεινότητας	Αλλαγή του στόχου σε Lux στο κύκλωμα ελέγχου
Παραμετροποίηση (Calibration)	Χρησιμοποιείται μόνο για έλεγχο λειτουργίας του συστήματος (commissioning) και μόνο από έμπειρους χρήστες

Πίνακας 5.1: Λειτουργίες των πλήκτρων του Button σε παράδειγμα ελέγχου φωτισμού [47]

Το σύνηθες εύρος στο οποίο το set point ρυθμίζεται είναι μεταξύ 250 lux (επίπεδο φωτισμού για λιγότερο σημαντικές δραστηριότητες) και 1500 lux (για πολύ απαιτητικές διεργασίες όπως εξειδικευμένες εργαστηριακές εφαρμογές). Ο αισθητήρας πρέπει να μην επιτρέπει στο σύστημα αποκλίσεις μεγαλύτερες από $\pm 15\%$. Μετά την εγκατάσταση του συστήματος δυο διευθύνσεις ομάδων και μεταφοράς αντικειμένων πρέπει να ρυθμιστούν: Η μετρούμενη τιμή φωτεινότητας σε Lux (για να συγκριθεί με το όργανο μέτρησης lux στην επιφάνεια εργασίας) και η έναρξη της παραμετροποίησης (calibration triggering).

Ο αισθητήρας με τον ενσωματωμένο ελεγκτή επιτρέπει την παραμετροποίηση. Η διεύθυνσης ομάδας μετρούμενη τιμή φωτεινότητας δεν είναι πάντα απαραίτητη αλλά προτείνεται για ώστε να υπάρχει ένδειξη του πόσο απέχουν οι μετρήσεις της πραγματικής τιμής και αυτής του KNX αισθητήρα, πριν την έναρξη της διαδικασίας. Η διαδικασία παραμετροποίησης θα καθορίσει και έναν συντελεστή κέρδους μεταξύ της φυσικά μετρούμενης τιμής και του set point.

Έτσι ο αισθητήρας σε μια πραγματική εφαρμογή , μετά την αρχικοποίηση και την παραμετροποίηση μέσω του ETS , θα στείλει την τιμή των 200 lux. Το όργανο μέτρησης ωστόσο θα βλέπει 500 lux.(Αυτός είναι και ο σκοπός της παραμετροποίησης). Έτσι μετά το αρχικό μήνυμα ενεργοποίησης η τιμή που θα επιστραφεί θα είναι πλέον 500 lux. Έτσι ολοκληρώνεται η σύνδεση του αισθητήρα με τον ελεγκτή και μένει η σύνδεση του ελεγκτή με τον ενεργοποιητή. Αυτό γίνεται με το αντικείμενο Αυτόματη τιμή ελέγχου –κύρια τιμή(Automatic control value- master value).



Εικόνα 5.7: Παράμετροι ελέγχου του ελεγκτή στο σύστημα ελέγχου [47]

Στο παραπάνω παράδειγμα αποτυπώνονται οι παράμετροι οι οποίες θα πρέπει να ρυθμιστούν για την αποτελεσματικότητα του συστήματος στον ελεγκτή:

Operating mode:	Η επιλογή τίθεται στην επιθυμητή λειτουργία, δηλαδή έλεγχος σταθερού φωτισμού με κλειστό βρόγχο
Number of slaves:	Μόνο ένα κύκλωμα έλεγχου πρόκειται να ελεγχθεί οπότε τα υποβοηθούμενα συστήματα = 0
Send meas. Bright. :	Αποστολή της τιμής όταν ανιχνευθεί αλλαγή
Minimal variation.. :	Το εύρος αλλαγής που πρόκειται να προκαλέσει την αποστολή τιμής τίθεται στα 15 lux
Set point value:	Επιλέγεται το είδος αντικειμένου το οποίο επιτρέπει στην τιμή και τη εύκολη τροποποίηση της
Max var. from setp. :	Επιλέγεται το μισό από μέγιστο εύρος του ορίου ανοχής του συστήματος
Max step size:	Επιλέγεται μεταξύ 0,5% και 3% και είναι η διαφορά μεταξύ δυο κύριων αποστολών τιμών
Transimt next dim. :	Σε επιλογή 2 sec πραγματοποιείται πλήρης κύκλος 0-100% σε 120 δευτερόλεπτα
Start and finish:	Ο ελεγκτής θα διαβάσει πρώτα την τιμή , θα υπολογίσει την λήψη του επόμενου τηλεγραφήματος και επίσης θα σταματήσει με τηλεγράφημα 0%

Πίνακας 5.2: Ρυθμίσεις του ελεγκτή του συστήματος μέσω του ETS [47]

Από την πλευρά του ενεργοποιητή αυξομείωσης του συστήματος πρέπει να γίνουν οι αντίστοιχες ρυθμίσεις ώστε το σύστημα να συμβαδίσει και να αποδώσει. Με τις ρυθμίσεις που παρουσιάζονται παρακάτω πραγματοποιείται χειροκίνητη αυξομείωση σε πλήρη κύκλο των 5 δευτερολέπτων. Για τον συγχρονισμό της αυξομείωσης μέσω του κλειστού κύκλου επιλέγεται χρονική περίοδος 120 δευτερολέπτων, χρόνος ίσος με τον επιλεγμένο χρόνο του ελεγκτή.

The image shows a screenshot of the ETS configuration interface for Channel A. The window title is "Functions, Objects". Under "Status objects dimming", the dropdown menu is set to "send on change or using read request". The "Channel A" section contains the following parameters:

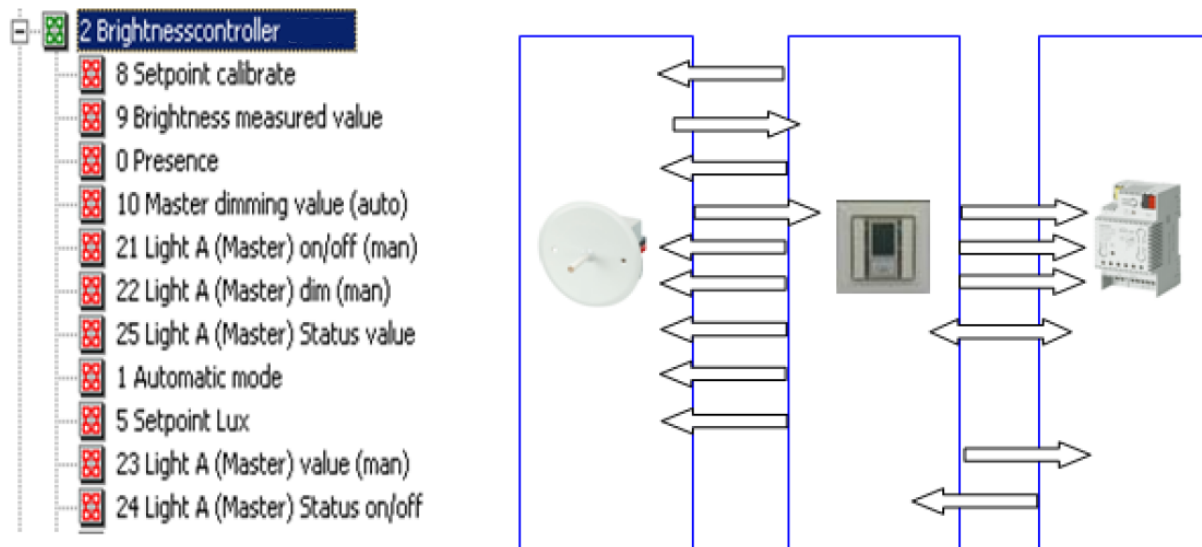
Parameter	Value
Minimum dimming value 1	0,5%
Maximum dimming value 1	100%
Minimum dimming value 2	0,5%
Maximum dimming value 2	100%
Dimming time for switching ON / OFF (in seconds)	0
Dimming time for dimming darker / brighter from 0% to 100% (in seconds)	5
Dimming time 1 from 0% to 100% (in seconds) for dimming value 1	0
Base for dimming time 2	seconds
Factor dimming time 2 from 0% to 100% for dimming value 2	120
Starting value	Maximum dimming value 1
Switching via dimming brighter / darker	switching ON possible
Switching via dimming value 1	switching ON and switching OFF possible
Switching via dimming value 2	ON if dimming value >= min. dimming value

Εικόνα 5.9: Ρυθμίσεις του ενεργοποιητή μέσω του ETS. [47]

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, όπως έχει αναφερθεί ειδικό push button με οθόνη ενδείξεων (LCD) χρησιμοποιείται για να παρουσιαστούν όλες οι ενδείξεις, οι λειτουργίες ελέγχου και οι τιμές φωτεινότητας. Στην πράξη όμως πολλές φορές ο χρήστης δεν θα επιλέξει τέτοιου είδους έλεγχο λόγω υψηλού κόστους και θα προβεί στον έλεγχο μέσω απλού push button ώστε να επιτευχθεί η διακοπτική και η λειτουργία αυξομείωσης. Η αυτόματη ενεργοποίηση του συστήματος μπορεί να γίνει μέσω μονάδας κεντρικού ελέγχου.

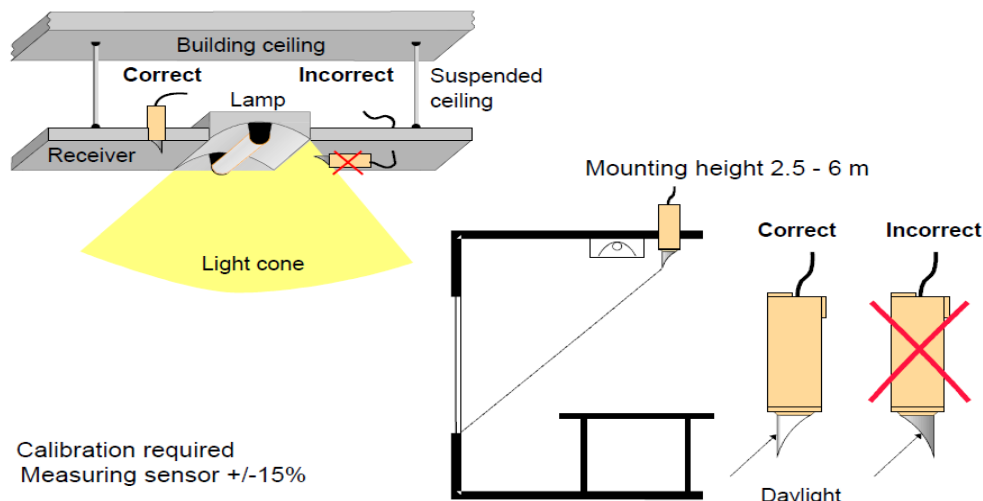
Όσον αφορά την σύνδεση των επιμέρους μονάδων μέσω ομάδων διευθύνσεων ο ενεργοποιητής επίσης διευθυνσιοδοτείται με κεντρικές λειτουργίες οι οποίες ενεργοποιούν/απενεργοποιούν τον φωτισμό με απευθείας εντολή ή επίσης ενεργοποιούν/απενεργοποιούν το σύστημα ελέγχου μέσω χρονικού διακόπτη. Αυτό πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη στον ελεγκτή. Θα πρέπει να σχεδιαστεί διακοπτική λειτουργία και του ελεγκτή ώστε όταν πραγματοποιείται αυτή η λειτουργία ο ελεγκτής

να μην αντιδρά αντίθετα στο σύστημα. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω κατάλληλων διευθύνσεων ομάδων και αντικειμένων.



Εικόνα 5.10: Διευθύνσεις ομάδων για τον έλεγχο φωτισμού μέσω κλειστού βρόγχου [47]

Στην σχεδίαση του συστήματος πολύ βασικό ρόλο παίζει η βελτιστοποίηση της θέσης του αισθητήρα φωτεινότητας. Το πόσο επιτυχημένη είναι η εγκατάσταση του μπορεί να επηρεάσει πολύ την απόδοση του συστήματος.

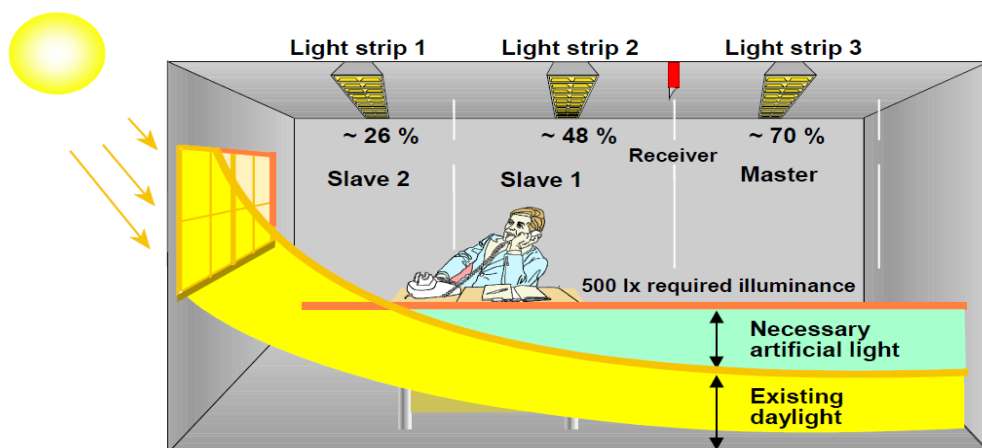


Εικόνα 5.11: Η βέλτιστη θέση του αισθητήρα είναι κρίσιμη για την απόδοση του συστήματος. [48]

Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να παρεμποδίζεται η οπτική επαφή του αισθητήρα με την επιφάνεια υπολογισμών. Επίσης δεν πρέπει η επιφάνεια να διαθέτει υλικά με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η

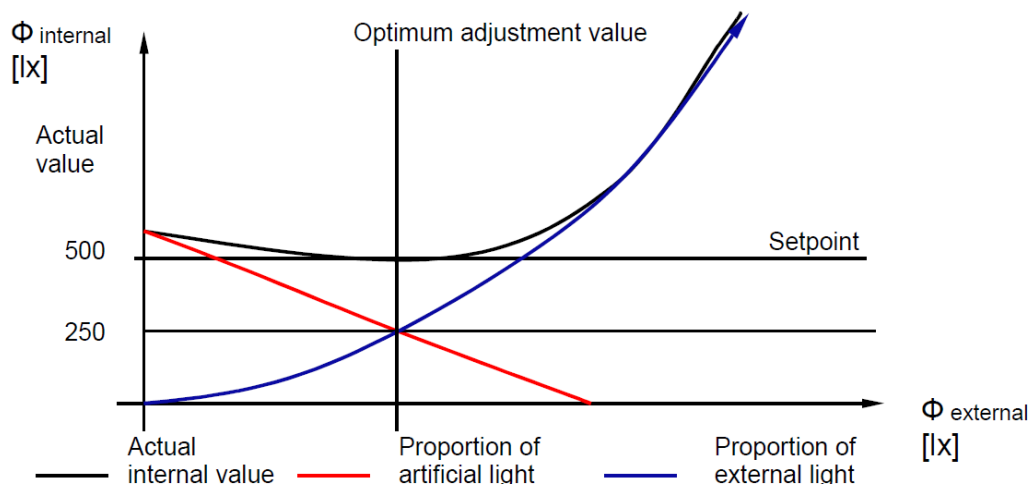
θέση του αισθητήρα ακόμα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην έρχεται σε απευθείας οπτική επαφή με το φυσικό φως αλλά η επαφή να γίνεται έμμεσα, ενώ το ίδιο ισχύει και για το τεχνητό φως.

Στον έλεγχο τεχνητού φωτισμού ένα σενάριο που συχνά συναντάται είναι η περίπτωση που το σύστημα δεν πρέπει να ελέγξει μόνο ένα φωτιστικό όπως έχει περιγράψει έως τώρα, αλλά περισσότερα φωτιστικά και μάλιστα με διαφορετική επιρροή του φυσικού φωτός. Σε αυτή την περίπτωση ο αισθητήρας- ελεγκτής θα πρέπει να δημιουργεί διαφορετικές τιμές ελέγχου, μια για το κάθε κανάλι εξόδου του ενεργοποιητή προς το αντίστοιχο κύκλωμα. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει διαφορετικός αισθητήρας να τοποθετείται σε κάθε κύκλωμα με την διαδικασία που έχει ακολουθηθεί έως τώρα. Το πρόβλημα όμως δημιουργείται από τις επικαλυπτόμενες επιφάνειες όπου ο κάθε αισθητήρας εστιάζει. Θα πρέπει να γίνει σωστός διαχωρισμός των περιοχών όπου ο κάθε αισθητήρας ελέγχει αλλιώς τα σήματα μπορεί να οδηγήσουν σε ταλαντεύσεις του συστήματος. Η τεχνική λύση που συνήθως εφαρμόζεται είναι ο έλεγχος του φωτιστικού (ή των φωτιστικών εάν μιλάμε για μια σειρά φωτιστικών) που είναι πιο κοντά στο άνοιγμα του χώρου και η οποία είναι η πιο ευαίσθητη στις εξωτερικές μεταβολές του φωτός. Τα υπόλοιπα φωτιστικά θα ελέγχονται μέσω κατάλληλης λειτουργίας ελέγχου η αλλιώς με απλή μετατόπισης του σήματος (master/slave circuit).



Εικόνα 5.12: Έλεγχος τεχνητού φωτισμού μέσω μετατόπισης του σήματος (master/slave operation) [47]

Σε κάθε σύστημα που σχεδιάζεται πάντα υπάρχει ένα ποσοστό αστοχίας (mismatch). Αυτό συμβαίνει διότι το φυσικό με το τεχνητό φως έχουν διαφορετικό φάσμα φωτεινότητας αλλά και στις διαφορετικές γωνίες φωτισμού που δημιουργούνται στο σύστημα. Όσο περισσότερο φυσικό φως εισέρχεται στον χώρο τόσο περισσότερο αυξάνει η αστοχία αυτή καθώς ο αισθητήρας λαμβάνει ποσοστό απευθείας λόγω φυσικού φωτός και όχι μόνο από την αντανακλώμενη επιφάνεια όπως και θα έπρεπε. Για τον λόγο αυτόν μια καμπύλη της μεταβλητής ελέγχου η οποία λαμβάνει υπόψη το ποσοστό φυσικού φωτός δημιουργείται και έχει ελάχιστη τιμή για αναλογία 50:50 μεταξύ φυσικού και τεχνητού φωτός.



Σχήμα 5.3: Η αναλογία φυσικού και τεχνητού φωτός επηρεάζει την πραγματική τιμή [47]

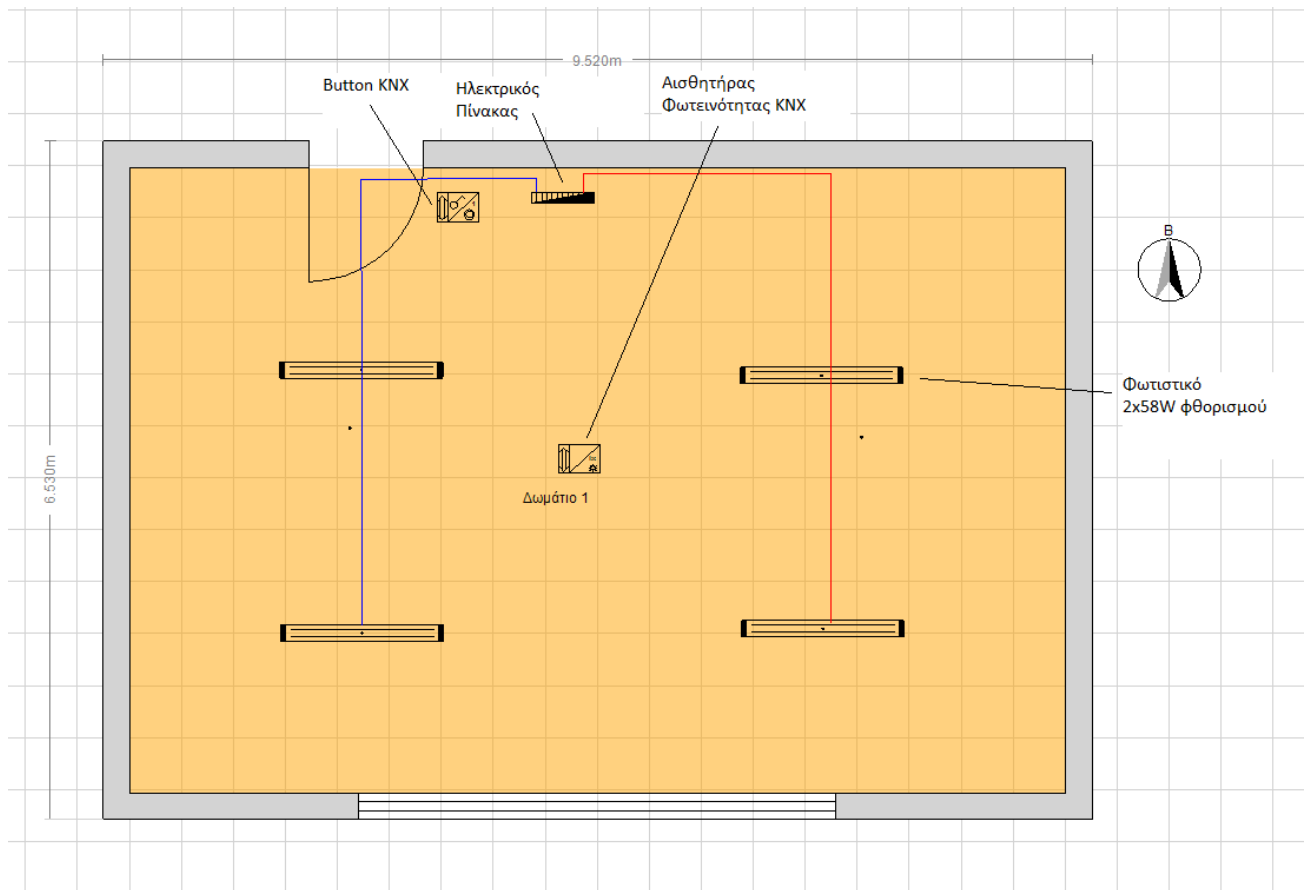
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX – ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

6.1 Πραγματική περίπτωση προγραμματισμού εγκατάστασης για έλεγχο φωτισμού μέσω KNX

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια προσομοίωση πραγματικού προγραμματισμού μέσω του ETS 5 Demo edition, η οποία είναι και η τελευταία έκδοση του προγράμματος. Η έκδοση αυτή δίνει την δυνατότητα για περιορισμένη χρήση συσκευών KNX , πέντε στο σύνολο. Στα πλαίσια της διπλωματικής αλλά και της τεχνικής ελέγχου φωτισμού μέσω KNX το σύστημα αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με πέντε συσκευές , οι οποίες θα ανήκουν στην ίδια γραμμή.

Ως θεωρητικό υπόβαθρο για την μελέτη θα θεωρηθεί ένα δωμάτιο διαστάσεων 6.53 x 9.52 m, το οποίο διαθέτει 4 φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού και φυσικά ηλεκτρονικό ballast , μονάδα απαραίτητη για τον σωστό έλεγχο μέσω του ενεργοποιητή KNX. Τα φωτιστικά θα ανήκουν σε δυο διαφορετικά ηλεκτρικά κυκλώματα , δηλαδή θα ελέγχονται από δυο εξόδους του ενεργοποιητή. Ο σκοπός είναι ο αυτόματος έλεγχος του φωτισμού για σταθερή τιμή φωτεινότητας στον χώρο, αλλά και η δυνατότητα χειροκίνητου ελέγχου από τον χρήστη. Παρακάτω αποτυπώνεται ο χώρος της μελέτης με τις γραμμές τροφοδοσίας μέσω του προγράμματος Electrical Design της TI Soft. Στην κάτοψη αυτή αποτυπώνονται τα φωτιστικά, ο ηλεκτρικός πίνακας στον οποίον θα μπουν εκτός από τα στοιχεία που είναι απαραίτητα σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση και τα δομικά στοιχεία που θα απαιτηθούν για τον έλεγχο KNX. Ο χειροκίνητος έλεγχος θα πραγματοποιείται μέσω ενός διπλού button KNX το οποίο θα δίνει τις κατάλληλες εντολές στον ενεργοποιητή.

Ο **στόχος** της συγκεκριμένης διάταξης που θα εφαρμοστεί είναι το σταθερό επίπεδο φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας στα **500 lux**. Φυσικά ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να παρέμβει χειροκίνητα , να απενεργοποιήσει τον αυτόματο έλεγχο και να αυξομειώσει τα φώτα στο επίπεδο που αυτός επιθυμεί.



Εικόνα 5.13: Κάτοψη υπό μελέτη χώρου με αποτυπωμένα τα ηλεκτρολογικά σύμβολα(Electrical Design-Ti Soft).

Στα πλαίσια του ελέγχου του Δωματίου 1 που φαίνεται στην κάτοψη συνολικά θα απαιτηθούν 5 συσκευές. Προσαρμοστής- Coupler δεν θα χρειαστεί καθώς τα υλικά ανήκουν σε μια γραμμή και δεν υπάρχει ανάγκη φίλτρου για διαχωρισμό γραμμών και περιοχών στο υφιστάμενο σύστημα. Οι συσκευές επιλέχθηκαν από την βιβλιοθήκη της SIEMENS, με την δυνατότητα ωστόσο επιλογής τους από πληθώρα κατασκευαστριών εταιρειών , όπως έχει ήδη αναφερθεί. Παρακάτω θα αναλυθούν τα υλικά που επιλέχθηκαν για τον έλεγχο φωτισμού στο δωμάτιο 1:

1. Power supply unit N 125/11 (230V/320mA)

Ως τροφοδοτικό το οποίο θα παρέχει την χαμηλή τάση στο δίκτυο KNX επιλέγεται η μονάδα N125/11 της SIEMENS. Η μονάδα αυτή η οποία είναι σχεδιασμένη για τοποθέτηση στην ράγα του Πίνακα διαθέτει ενσωματωμένο πηνίο και το ρεύμα εξόδου της είναι στα 320 mA .



Εικόνα 5.14: Power supply unit N 125/11 (230V/320mA) [50]

Να σημειωθεί ότι το ρεύμα εξόδου τη συσκευής είναι το μέγιστο και λόγω του μεγέθους της εφαρμογής δεν επιλέγεται το τροφοδοτικό των 640 mA. Η συσκευή καταλαμβάνει χώρο 4 θέσεων στον Ηλεκτρικό Πίνακα (1 θέση = 18mm), ενώ σύμφωνα με τις προδιαγραφές καμία συσκευή στο σύστημα δεν πρέπει να απέχει περισσότερο από 350m. Διαθέτει προστασία από βραχυκύκλωμα ρεύματος 1.0 A και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της συσκευής αποτυπώνονται παρακάτω:

Technical data:		
Design type		voltage supplies
Type, explanations		N 125/11 voltage supply
Type, explanations / additionally		integrated reactor, 320 mA
Type of mounting		modular installation device
Number of pitch units for width		4
Bus system / can be used / EIB/KNX		Yes
Bus system / usable / RF bus system		No
Bus system / usable / Powernet bus system		No
Bus system / usable / LON bus system		No
Output current		320
Rated operational voltage, AC		120 to 230
Output voltage, DC	V	29
Number of installation bus lines		1
Number of chokes / integrated		1
Output current / maximum	mA	320
Product component / Buffer battery		No
Product component / LED		Yes

Εικόνα 5.15: Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά της μονάδας N 125/11 (230V/320mA) [50]

2. Interface N 148/11 USB

Ως θύρα επικοινωνίας επιλέγεται η συσκευή Interface N 148/11 USB της SIEMENS. Διαθέτει ενσωματωμένη θύρα USB η οποία είναι απαραίτητη για την σύνδεση του υπολογιστή και τον τελικό προγραμματισμό της εγκατάστασης. Είναι συμβατή με σύνδεση USB 1.1 και επιτρέπει μετάδοση δεδομένων έως 12 Mbit/s. Είναι και αυτή ράγας με μέγεθος μιας θέσης.



Εικόνα 5.16: Θύρα επικοινωνίας N 148/11 USB [50]

3. Switching / Dimming actuator N 526/02

Η Τρίτη και τελευταία συσκευή που θα τοποθετηθεί στον Ηλεκτρικό Πίνακα είναι ο ενεργοποιητής Switching / Dimming actuator N 526/02. Ο συγκεκριμένος ενεργοποιητής διαθέτει 3 εξόδους για τον έλεγχο 3 διαφορετικών κυκλωμάτων και διαθέτει ενσωματωμένο ελεγκτή ο οποίος θα δέχεται το σήμα του αισθητήρα φωτεινότητας. Ο συγκεκριμένος ενεργοποιητής δίνει την δυνατότητα για έλεγχο ηλεκτρονικών ballast αυξομείωσης (DIMM-EVG) τα οποία και απαιτούνται για τον έλεγχο λαμπτήρων φθορισμού. Μέσω ελέγχου 1-10V ο ο ενεργοποιητής πετυχαίνει την σωστή αυξομείωση των φορτίων. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές ο ενεργοποιητής μπορεί να ελέγξει μέχρι και:

- 30 ηλεκτρονικά ballast για φωτιστικά με λαμπτήρες 1x36W φθορισμού
- 15 ηλεκτρονικά ballast για φωτιστικά με λαμπτήρες 2x36W φθορισμού
- 20 ηλεκτρονικά ballast για φωτιστικά με λαμπτήρες 1x58W φθορισμού
- 10 ηλεκτρονικά ballast για φωτιστικά με λαμπτήρες 2x58W φθορισμού

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης συσκευής:

Technical data:		
Design type		lighting
Type, explanations		switch/dimming actuators
Type, explanations / additionally		switching/dimming actuator N 526/02
Design, description / additional supplementary		3 x 230V AC, 6A, with constant light control
Design of the product		dimming actuator
Type of mounting		modular installation device
Number of analog outputs		3
Number of pitch units for width		6
Adjustable real power	W	1,380 ... 1,380
Operating voltage		
• rated value	V	230 ... 230
Product component		
• integrated / Bus coupling		Yes
• Extension input		No
• LED		Yes
Bus system / can be used / EIB/KNX		Yes
Bus system / usable / RF bus system		No
Bus system / usable / Powernet bus system		No
Bus system / usable / LON bus system		No
Product function		
• Parallel operation		No
• direct operation		Yes
Extension de produit / en option / puissance additionnelle		No
Dimensions width in mm		108
Operating frequency		
• rated value	Hz	60 ... 50
Type of load		others
Protection class IP		IP20
Design		N
Integrated bus coupling unit		yes

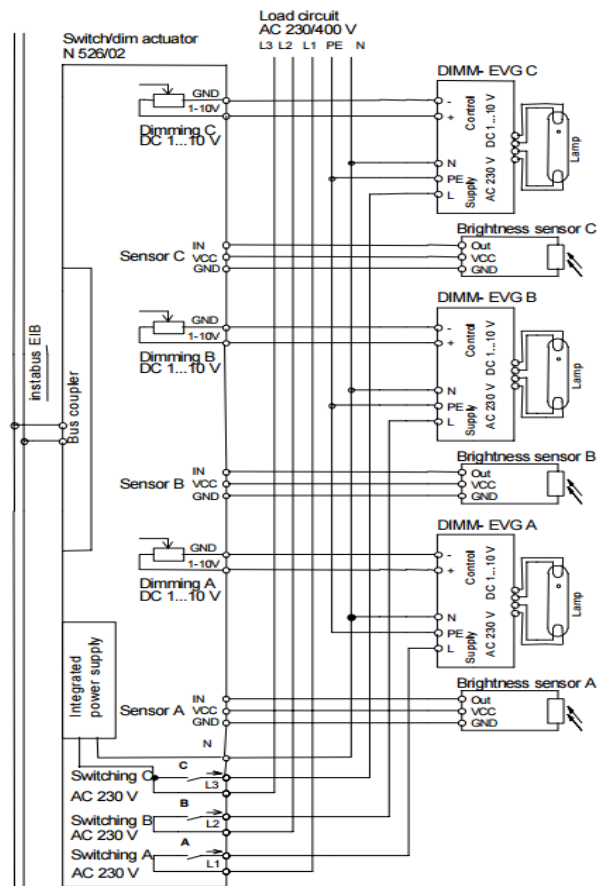
Εικόνα 5.17: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ενεργοποιητή Switching / Dimming actuator N 526/02 [50]

Όπως φαίνεται και στις προδιαγραφές το κάθε κανάλι μπορεί να ελέγξει μέχρι και 1,38 kW και το ρεύμα σε κάθε κανάλι μπορεί να είναι μέχρι και 6A. Η συσκευή καταλαμβάνει χώρο 6 θέσεων κατά DIN στον Ηλεκτρικό Πίνακα.



Εικόνα 4.18: Switching / Dimming actuator N 526/02

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συνδεσμολογία του ενεργοποιητή με τα ηλεκτρονικά ballast και τους αισθητήρες φωτισμού. Ο ενεργοποιητής είναι κατάλληλος για έλεγχο κλειστού βρόγχου όπως ήδη έχει αναλυθεί.



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα συνδέσεων των φωτιστικών και των αισθητήρων στο σύστημα ελέγχου [50]

Στα πλαίσια της εξέτασης του συγκεκριμένου δωματίου, έχουμε δύο κυκλώματα τα L1 και L2. Συνεπώς στο κύκλωμα L1 θα αντιστοιχίσουμε το κανάλι A του ενεργοποιητή ενώ στο κύκλωμα L2 το κανάλι εξόδου B. Το κανάλι Γ δεν θα χρησιμοποιηθεί ωστόσο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως μελλοντική επέκταση.

4. Push button 4-f UP 246 DELTA profil

Για τον χειροκίνητο έλεγχο του συστήματος επιλέγεται το Push button Push button 4-f UP 246 DELTA profil. Η συσκευή αυτή δεν τοποθετείται στον Πίνακα αλλά στην είσοδο του χώρου (όπως φαίνεται και στην κάτοψη του υπό εξέταση χώρου) και συνδέεται μέσω Bus γραμμής στο σύστημα KNX. Φυσικά διαθέτει ενσωματωμένη μονάδα Bus Προσαρμοστή η οποία παρέχει στην μονάδα την ευφυΐα που απαιτείται. Για το συγκεκριμένο project επιλέχθηκε button δυο πλήκτρων στα οποία θα αποδοθούν οι ιδιότητες της ενεργοποίησης/απενεργοποίησης φωτισμού αλλά και αυξομείωσης αυτών. Το γεγονός ότι επιλέχθηκαν τέσσερα πλήκτρα συνδέεται με την παρουσία δυο

διαφορετικών κυκλωμάτων στον χώρο την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση του ελέγχου φωτισμού αλλά και τις πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις στην εγκατάσταση.



Εικόνα 5.19: Push button 4-f UP 246 DELTA profil [50]

Διαθέτει ενδεικτικό led για την ένδειξη της κάθε διεργασίας και led για την υπόδειξη της παρουσίας στον χώρο. Το button μπορεί να εκτελέσει τις παρακάτω διεργασίες:

- Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση Φωτισμού (ON/OFF/Toggling)
- Αυξομείωση έντασης φωτισμού (Dimming)
- Διαχείριση των ρολών (blinds control)

5. Brightness Controller UP 255/11

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για τον χώρο είναι ο Brightness Controller UP 255/11 ο οποίος μπορεί να τοποθετηθεί τόσο χωνευτός σε οροφή όσο και επιτοίχιος. Μέσω του αισθητήρα ουσιαστικά γίνεται ο έλεγχος κλειστού βρόγχου που έχει σαν αποτέλεσμα τόσο την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και της βελτιστοποίησης της οπτικής άνεσης. Έχει ενσωματωμένο Bus Προσαρμοστή ο οποίος συνδέεται μέσω Bus καλωδίου στο σύστημα ενώ η τροφοδοσία του πραγματοποιείται μέσω της DC τάσης. Διαθέτει δύο ειδών επιλογές όσον αφορά την άκρη του αισθητήρα: Παράλληλα ως προς την επιφάνεια εργασίας και με κλίση 30 μοιρών ως προς αυτήν. Η δυνατότητα αυτή εξυπηρετεί την υπό κλίση ανίχνευση του επίπεδου φωτισμού. Το εύρος του αισθητήρα είναι 0 έως 2000Lux και κατά τον προγραμματισμό του ρυθμίζονται τα:

- Το είδος ελέγχου (ON/OFF ή constant level)
- Όταν επιλέγεται σταθερή τιμή φωτεινότητας: το πλήθος των διαφορετικών ομάδων φωτιστικών στα οποία θα γίνει αυξομείωση με διαφορετική τιμή
- Εάν η μετρούμενη τιμή θα αποσταλεί απευθείας μετά την αλλαγή στον φωτισμό η θα αποσταλεί κυκλικά

- Εάν οι εντολές ON/OFF και αυξομείωσης θα αποσταλούν και αυτές κυκλικά
- Εάν το επίπεδο φωτισμού θα καθοριστεί με παράμετρο η μέσω ομάδας αντικειμένων(object value)

Ο αισθητήρας διαθέτει Led που υποδεικνύει την κανονική λειτουργία ή την λειτουργία αρχικοποίησης και το εύρος του είναι περίπου 2 m (σε ύψος τοποθέτησης 3m).



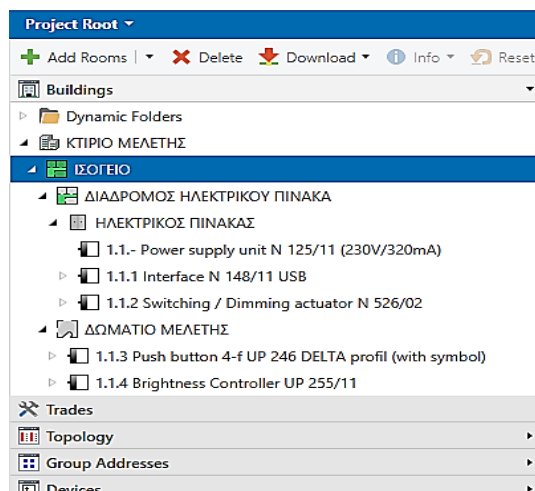
Εικόνα 5.20: Brightness Controller UP 255/11 [50]

Μέσω των 5 μονάδων που παρουσιάστηκαν παραπάνω είναι δυνατόν να γίνει ο έλεγχος φωτισμού στον υπό εξέταση χώρο. Ο προγραμματισμός μέσω KNX έχει ως εξής:

Βήμα 1^ο

Το πρώτο βήμα με το λογισμικό ETS 5 είναι να δημιουργήσουμε την ονομασία του project, στην συγκεκριμένη περίπτωση: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX. Στο project μέσα πλέον πρέπει να δημιουργήσουμε στην καρτέλα Buildings τους χώρους. Εφόσον το project θα εφαρμοστεί στην αίθουσα που ήδη περιγράψαμε θα δημιουργήσουμε το ΚΤΙΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ και σε αυτό τον όροφο ΙΣΟΓΕΙΟ. Στο ισόγειο τώρα θα δημιουργήσουμε τον ΔΙΑΔΡΟΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ στον οποίο θα τοποθετηθεί ο Ηλεκτρικός Πίνακας της εγκατάστασης και μέσα σε αυτόν τα υλικά του KNX τα οποία είναι υλικά ράγας, δηλαδή το τροφοδοτικό της γραμμής, η θύρα επικοινωνίας και ο ενεργοποιητής αυξομείωσης. Εδώ επίσης θα τοποθετηθούν όλα τα υλικά του Πίνακα μιας πραγματικής εγκατάστασης που αφορούν την τροφοδοσία από το ηλεκτρικό δίκτυο , όπως μικροαυτόματοι, αποζεύκτες κλπ Ο επόμενος χώρος είναι το ΔΩΜΑΤΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ στον

οποίο θα τοποθετηθεί ο αισθητήρας αλλά και το button χειροκίνητου χειρισμού.. Πλέον εισάγουμε τις συσκευές στον αντίστοιχο χώρο με την διάκριση εάν είναι συσκευές ράγας ή συσκευές στο δωμάτιο μελέτης και το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω:



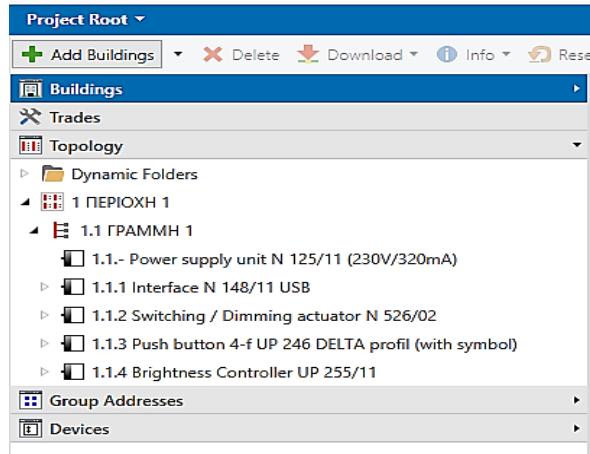
Εικόνα 5.21: Καρτέλα Buildings

Η κάθε συσκευή από αυτές που εισάγαμε και έχουμε ήδη περιγράψει διαθέτει τα αντικείμενα (objects) τα οποία μεταφέρονται μέσω των Bus Γραμμών αλλά και την καρτέλα παραμετροποίησης μέσω της οποίας επιλέγονται οι επιθυμητές επιλογές για την κάθε συσκευή.

Βήμα 2^ο

Στο επόμενο βήμα θα ορίσουμε τις μοναδικές διευθύνσεις για την κάθε συσκευή στην τοπολογία του συστήματος μας. Θα ορίσουμε μια γραμμή στις οποίες θα συνδεθούν όλες οι συσκευές. Το γεγονός ότι υπάρχει μια μόνο γραμμή μας επιτρέπει να μην χρησιμοποιήσουμε προσαρμοστή γραμμής.

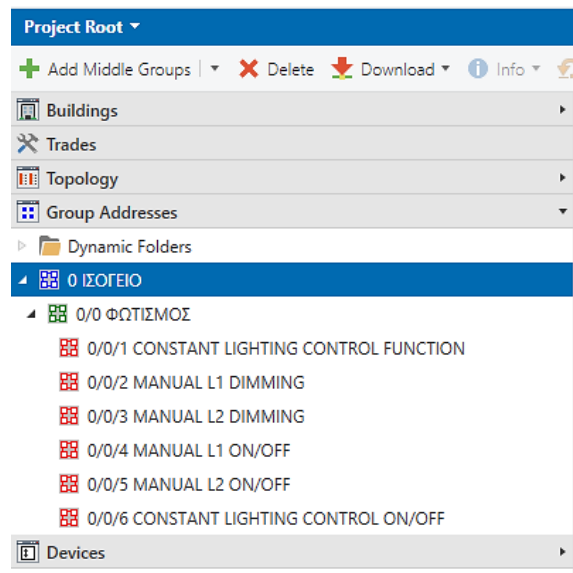
Όπως φαίνεται και στην εικόνα από το πρόγραμμα η μονάδα τροφοδοσίας δεν έχει πλήρη διεύθυνση καθώς αναγνωρίζεται αυτόματα ως μοναδική. Οι υπόλοιπες έχουν λάβει την ατομική διεύθυνση κανονικά μέσα στο δίκτυο.



Εικόνα 5.22: Καρτέλα Topology

Βήμα 3^ο

Στο τρίτο βήμα θα ορίσουμε τις διευθύνσεις ομάδων. Το βήμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς προσθέτει την ευφυΐα στο σύστημα μας. Όπως φαίνεται θα δημιουργήσουμε 6 κατηγορίες μια για κάθε λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 5.23: Καρτέλα Group Addresses

Η κάθε κατηγορία υποδηλώνει την λειτουργία που θέλουμε να επιτύχουμε. Πιο συγκεκριμένα η κάθε διεύθυνση ομάδας είναι υπεύθυνη για τα παρακάτω:

Διεύθυνση ομάδας	Όνομασία	Λειτουργία
0/0/1	CONSTANT LIGHTING CONTROL FUNCTION	Λειτουργία του κλειστού βρόγχου
0/0/2	MANUAL L1 DIMMING	Αυξομείωση φωτισμού για το κύκλωμα L1 μέσω button
0/0/3	MANUAL L2 DIMMING	Αυξομείωση φωτισμού για το κύκλωμα L2 μέσω button
0/0/4	MANUAL L1 ON/OFF	Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση φωτισμού για το κύκλωμα L1 μέσω button
0/0/5	MANUAL L2 ON/OFF	Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση φωτισμού για το κύκλωμα L2 μέσω button
0/0/6	CONSTANT LIGHTING CONTROL ON/OFF	Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση κλειστού βρόγχου

Πίνακας 5.2: Λειτουργίες των Διευθύνσεων ομάδων

Η κάθε διεύθυνση ομάδας με την σειρά τις περιέχει τα αντικείμενα τα οποία θα μεταφερθούν μέσω των Bus Γραμμών. Πιο αναλυτικά η κάθε διεύθυνση ομάδας περιέχει τα εξής αντικείμενα:

0/0/1

Object ^	Device	Sending	Data Type	C	R	W	T	U	Product	Program	Length	Priority	Group Address
10: Master, dimming value - 8-bit value	1.14 Brightness Controller UP 255/11	S		C	R	-	T	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	1 byte	Low	0/0/1
12: Value, Channel A - 8-bit Value	1.12 Switching / Dimming actuator N 5...S	S		C	-	W	-	-	Switching / Dim...	21 A3 Switching / Dimming actuator...	1 byte	Low	0/0/1
13: Value, Channel B - 8-bit Value	1.12 Switching / Dimming actuator N 5...S	S		C	-	W	-	-	Switching / Dim...	21 A3 Switching / Dimming actuator...	1 byte	Low	0/0/1
16: Status dimming value of actuator - Dimming value	1.14 Brightness Controller UP 255/11	S		C	-	W	T	U	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	1 byte	Low	0/0/1

Εικόνα 5.24: Objects της διεύθυνσης ομάδας 0/0/1

Μέσω των αντιστοιχίσεων αυτών ουσιαστικά επιτυγχάνεται ο κλειστός έλεγχος βρόγχου. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί η ακριβής λειτουργία του ελέγχου. Αφού οριστεί στον αισθητήρα φωτισμού μέσω των παραμέτρων το επιθυμητό σταθερό επίπεδο φωτισμού, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 500 lux, ο ελεγκτής του αισθητήρα προσπαθεί να αυξομειώσει την φωτεινότητα με στόχο την διατήρηση του επιπέδου αυτού. Συνεπώς με την αύξηση του φυσικού φωτός στον χώρο μέσω των ανοιγμάτων του δωματίου ο ελεγκτής δίνει εντολή στα δύο κανάλια του ενεργοποιητή για μείωση της φωτεινής ισχύος αυτών. Αντίστοιχα με την μείωση του φυσικού φωτός στον χώρο η φωτεινή ισχύς θα αυξηθεί.

Στην καρτέλα όπως φαίνεται έχουν συνδεθεί αντικείμενα μεγέθους 1 byte, καθώς το KNX ορίζει την λειτουργία αυτή σε μέγεθος 8 bit. Ο ελεγκτής φωτεινότητας έχει προγραμματιστεί μέσω των ρυθμίσεων του, μόλις ανιχνεύσει αλλαγή της φωτεινότητας ± 45 lux να ξεκινήσει η διαδικασία με την αποστολή του αντικειμένου Master Dimming Value, που στην ουσία είναι το σήμα αυξομείωσης, στις δύο εξόδους του ενεργοποιητή. Η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω του Value Channel A, και Value Channel B που θα μεταφέρουν μέσω ελέγχου 1-10V στα τροφοδοτικά των

λαμπτήρων την αντίστοιχη αυξομείωση των φωτιστικών. Φυσικά τα φωτιστικά διαθέτουν ηλεκτρονικό ballast EVG που έχει συνδεθεί κατάλληλα με τον ενεργοποιητή. Παράλληλα ο ενεργοποιητής μέσω του object Status Dimming level of actuator ζητά την κατάσταση των ενεργοποιητών για να ξεκινήσει από το κατάλληλο βήμα. Η παραμετροποίηση του αισθητήρα για έλεγχο κλειστού βρόγχου έχει ως εξής:

1.1.4 Brightness Controller UP 255/11 > Constant light level control

Functions, Objects	Setpoint value as	<input checked="" type="radio"/> Parameter <input type="radio"/> Communication object
Constant light level control	Setpoint value in Lux (250 - 1600)	<input style="width: 100%;" type="text" value="500"/>
	maximal variation from setpoint value	<input style="width: 100%;" type="text" value="30 Lux"/>
	max. step size for dimming	<input style="width: 100%;" type="text" value="2%"/>
	Transmit next dimming value after	<input style="width: 100%;" type="text" value="2 seconds"/>
	Start and finish constant light level control with	<input type="radio"/> Dimming-value telegram <input checked="" type="radio"/> Switching telegram

1.1.4 Brightness Controller UP 255/11 > Functions, Objects

Functions, Objects	Operating mode	<input style="width: 100%;" type="text" value="Constant light level control"/>
Constant light level control	Number of slaves	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
	Send measured brightness value	<input style="width: 100%;" type="text" value="at change in brightness value"/>
	minimal variation of brightness for transmission of the new value	<input style="width: 100%;" type="text" value="45 Lux"/>
	Send switching or dimming command cyclically every	<input style="width: 100%;" type="text" value="No"/>
	Behaviour at bus voltage recovery	<input checked="" type="radio"/> as before bus voltage failure <input type="radio"/> Automatic mode Off

Εικόνα 5.25: Παραμετροποίηση αισθητήρα για σταθερό επίπεδο φωτισμού 500 lux

Μέσω των ρυθμίσεων του αισθητήρα επιλέγουμε χειροκίνητα το σταθερό επίπεδο φωτισμού. Παρόλο που αισθητήρας είναι εργοστασιακά ρυθμισμένος θα πρέπει να γίνει επανααρχικοποίηση είτε μέσω τηλεχειριστηρίου υπερύθρων που διαθέτει είτε μέσω του ETS. Υπάρχει και η επιλογή για αλλαγή του set point μέσω communication object, το οποίο δίνει την δυνατότητα για αλλαγή του set point μέσω αποστολής τιμής στον αισθητήρα. Στο παράδειγμα μας δεν έχουμε ομάδες φωτιστικών που το σήμα θα μεταφέρεται με offset οπότε η επιλογή Number of slaves τίθεται στο 0. Επιλέγουμε την αποστολής τιμής στον ενεργοποιητή όταν ανιχνεύεται αλλαγή μεγαλύτερη από 45 lux , τιμή που αλλάζει ανάλογα με ο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε περίπτωση που έχουμε απώλεια ισχύος μέσω των bus γραμμών κατά την επαναφορά τους συστήματος το σύστημα λειτουργεί από την κατάσταση που βρισκόταν, καθώς η τελευταία κατάσταση έχει αποθηκευτεί.

Όσον αφορά τα όρια ανοχής του συστήματος (hysteresis) επιλέγουμε τα 30 lux. Το βήμα είναι 2% και η αποστολή τιμής γίνεται κάθε 2 δευτερόλεπτα. Αυτό σημαίνει πλήρη κύκλο σε 100 sec.

0/0/2

Object *	Device	Sending	Data Type	C	R	W	T	U	Product	Program	Length	Priority	Group Address
1: Dimming outer left - Brighter / Darker	1.13 Push button 4-f UP 246 DELTA pr...	S		C	-	-	T	U	Push button 4-f...	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301	4 bit	Low	0/0/2
3: Automatic mode Off via - Dimming	1.14 Brightness Controller UP 255/11	S	dimming c...	C	-	W	-	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	4 bit	Low	0/0/2, 0/0/3
9: Dimming, Channel A - Brighter / Darker	1.12 Switching / Dimming actuator N 5...	S		C	-	W	-	-	Switching / Dim...	21 A3 Switching / Dimming actuator...	4 bit	Low	0/0/2

Εικόνα 5.26: Objects της διεύθυνσης ομάδας 0/0/2

Μέσω της διεύθυνσης ομάδας αυτής αυξομειώνεται χειροκίνητα ο φωτισμός της ομάδας φωτιστικών L1. Μέσω του έξω αριστερά πλήκτρου ο χειριστής αυξομειώνει την ένταση των δυο φωτιστικών του κυκλώματος L1 στο σημείο που αυτός επιθυμεί από την έξοδο A του ενεργοποιητή. Παράλληλα μέσω του αντικειμένου Automatic mode OFF via Dimming απενεργοποιείται ο αυτόματος έλεγχος.

0/0/3

Object *	Device	Sending	Data Type	C	R	W	T	U	Product	Program	Length	Priority	Group Address
3: Automatic mode Off via - Dimming	1.14 Brightness Controller UP 255/11	-	dimming c...	C	-	W	-	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	4 bit	Low	0/0/2, 0/0/3
3: Dimming centre left - Brighter / Darker	1.13 Push button 4-f UP 246 DELTA pr...	S		C	-	-	T	U	Push button 4-f...	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301	4 bit	Low	0/0/3
10: Dimming, Channel B - Brighter / Darker	1.12 Switching / Dimming actuator N 5...	S		C	-	W	-	-	Switching / Dim...	21 A3 Switching / Dimming actuator...	4 bit	Low	0/0/3

Εικόνα 5.27: Objects της διεύθυνσης ομάδας 0/0/3

Μέσω της διεύθυνσης ομάδας αυτής αυξομειώνεται χειροκίνητα ο φωτισμός της ομάδας φωτιστικών L2. Μέσω του μέσα αριστερά πλήκτρου ο χειριστής αυξομειώνει την ένταση των δυο φωτιστικών του κυκλώματος L1 στο σημείο που αυτός επιθυμεί από την έξοδο B του ενεργοποιητή. Παράλληλα μέσω του αντικειμένου Automatic mode OFF via Dimming απενεργοποιείται ο αυτόματος έλεγχος.

0/0/4

Object ^	Device	Sending	Data Type	C	R	W	T	U	Product	Program	Length	Priority	Group Address
0: Dimming On / Off outer left - On / Off	1.1.3 Push button 4-f UP 246 DELTA pr...	S		C	-	W	T	U	Push button 4-f...	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301	1 bit	Low	0/0/4
2: Automatic mode Off via - Switching	1.1.4 Brightness Controller UP 255/11	S		C	-	W	-	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	1 bit	Low	0/0/4, 0/0/5
6: Dimming On / Off, Channel A - On / Off	1.1.2 Switching / Dimming actuator N 5...S			C	-	W	-	-	Switching / Dim...	21 A3 Switching / Dimming actuator...1 bit	1 bit	Low	0/0/4

Εικόνα 5.28: Objects της διεύθυνσης ομάδας 0/0/4

Μέσω της διεύθυνσης ομάδας ενεργοποιείται/απενεργοποιείται χειροκίνητα η ομάδα φωτιστικών L1 μέσω του έξω αριστερά πλήκτρου το οποίο συνδέεται με την έξοδο A του ενεργοποιητή. Παράλληλα μέσω του αντικειμένου Automatic mode OFF via Switching απενεργοποιείται ο αυτόματος έλεγχος.

0/0/5

Object ^	Device	Sending	Data Type	C	R	W	T	U	Product	Program	Length	Priority	Group Address
2: Automatic mode Off via - Switching	1.1.4 Brightness Controller UP 255/11	-		C	-	W	-	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	1 bit	Low	0/0/4, 0/0/5
2: Dimming On / Off centre left - On / Off	1.1.3 Push button 4-f UP 246 DELTA pr...	S		C	-	W	T	U	Push button 4-f...	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301	1 bit	Low	0/0/5
7: Dimming On / Off, Channel B - On / Off	1.1.2 Switching / Dimming actuator N 5...S			C	-	W	-	-	Switching / Dim...	21 A3 Switching / Dimming actuator...1 bit	1 bit	Low	0/0/5

Εικόνα 5.29: Objects της διεύθυνσης ομάδας 0/0/5

Μέσω της διεύθυνσης ομάδας ενεργοποιείται/απενεργοποιείται χειροκίνητα η ομάδα φωτιστικών L2 μέσω του μέσα αριστερά πλήκτρου το οποίο συνδέεται με την έξοδο B του ενεργοποιητή. Παράλληλα μέσω του αντικειμένου Automatic mode OFF via Switching απενεργοποιείται ο αυτόματος έλεγχος.

0/0/6

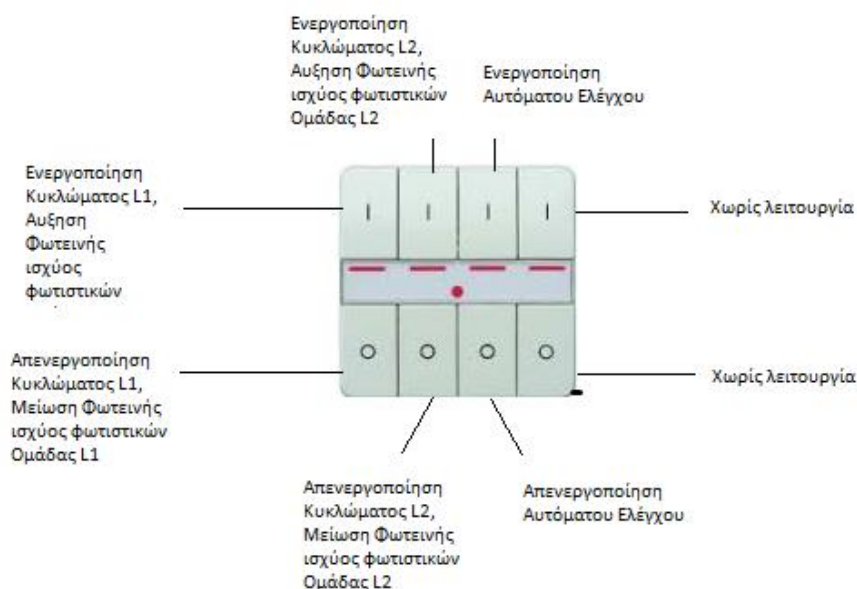
Object ^	Device	Sending	Data Type	C	R	W	T	U	Product	Program	Length	Priority	Group Address
1: Automatic mode - On / Off	1.1.4 Brightness Controller UP 255/11	S		C	R	W	-	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	1 bit	Low	0/0/6
4: Switch centre right - On / Off	1.1.3 Push button 4-f UP 246 DELTA pr...	S		C	-	W	T	U	Push button 4-f...	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301	1 bit	Low	0/0/6
15: Switching - On / Off	1.1.4 Brightness Controller UP 255/11	S		C	-	W	T	-	Brightness Contr...	25 S1 Brightness Controller 909601	1 bit	Low	0/0/6

Εικόνα 5.30: Objects της διεύθυνσης ομάδας 0/0/5

Μέσω της τελευταίας διεύθυνσης ομάδας γίνεται η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση του αυτόματου ελέγχου. Ο χρήστης κατά τη είσοδο του στο δωμάτιο αλλά και όποια χρονική στιγμή επιθυμεί ενεργοποιεί μέσω του μέσα δεξιά πλήκτρου του button τον αυτόματο έλεγχο. Παράλληλα τα φωτιστικά ενεργοποιούνται Μέσω του Switching ON/OFF ώστε ο έλεγχος να ξεκινήσει από το ίδιο επίπεδο και για τις δυο ομάδες φωτιστικών. Αντίστοιχα ο χρήστης όποια στιγμή επιθυμεί απενεργοποιεί τον αυτόματο έλεγχο και τα φωτιστικά απενεργοποιούνται.




Όσον αφορά το button στο τέλος του προγραμματισμού θα έχει τις λειτουργίες της εικόνας 5.31. Μέσω των ενδεικτικών LED αναγνωρίζεται η κατάσταση λειτουργίας του κάθε button ενώ το LED προσανατολισμού υποδηλώνει την παρουσία του button στον χώρο. Η έξω δεξιά θέση του button






δεν έχει αντιστοιχηθεί σε κάποια λειτουργία. Μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά σε κάποια επέκταση όπως θα ήταν ο έλεγχος ρολών , είτε να αξιοποιηθεί για άλλες δυνατότητες όπως είναι η επιλογή Night Mode του ενεργοποιητή κατά την οποία το βράδυ μετά την ενεργοποίηση του φωτισμού από τον χρήστη , ο φωτισμός παραμένει ενεργοποιημένος για συγκεκριμένο χρόνο και έπειτα απενεργοποιείται αυτόματα.



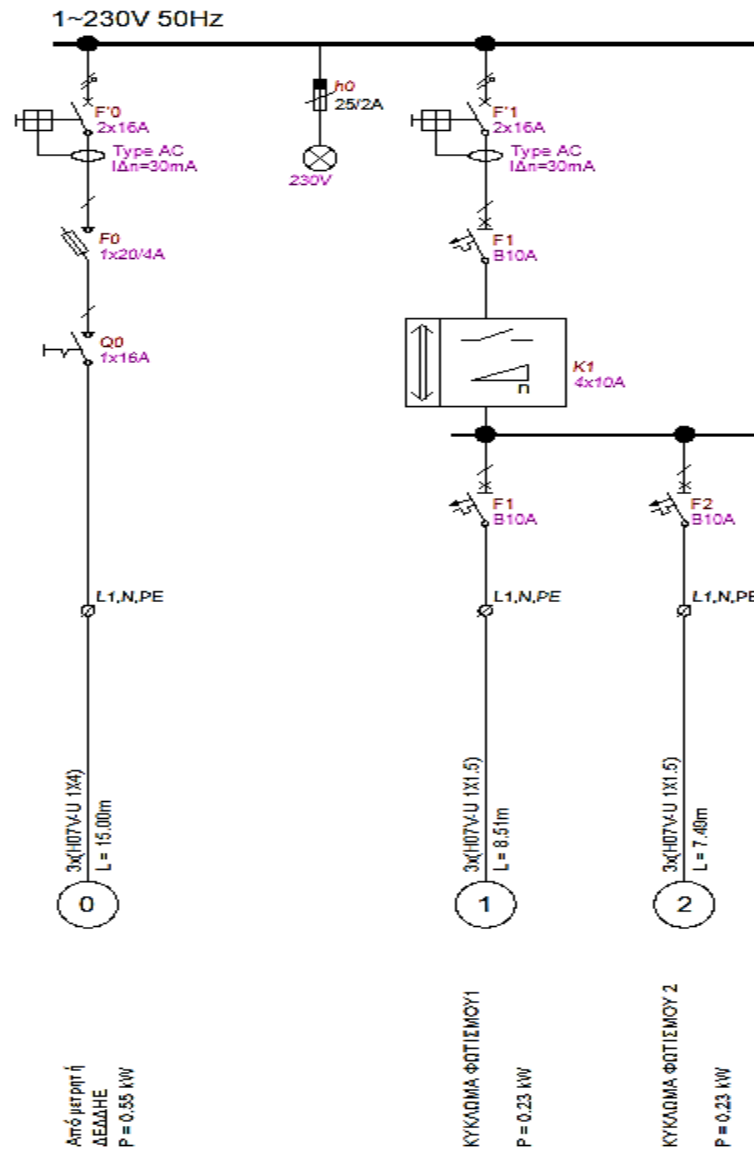
Εικόνα 5.31: Λειτουργίες των πλήκτρων του button μετά το πέρας του προγραμματισμού

Σε μια πραγματική εγκατάσταση το μονογραμμικό διάγραμμα της εγκατάστασης αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.33. Σύμφωνα με τα εισαγόμενα δεδομένα, δηλαδή τα φορτία του χώρου, τις διαστάσεις του δωματίου που εξετάζουμε, τις διαδρομές των καλωδίων από των Ηλεκτρικό Πίνακα το πρόγραμμα της TI soft Electrical Design πραγματοποιεί τους υπολογισμούς σχετικά με το είδος των μικροαυτόματων, των αποζευκτών, των ρελέ διαρροής και όλων των στοιχείων προστασίας. Στο Παράρτημα II παρουσιάζονται αναλυτικά όλοι οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν. Να σημειωθεί ότι στο μονογραμμικό θα έπρεπε να παρουσιάζεται και το τροφοδοτικό που έχουμε επιλέξει, δυνατότητα που αυτήν την στιγμή δεν υποστηρίζεται από το πρόγραμμα.

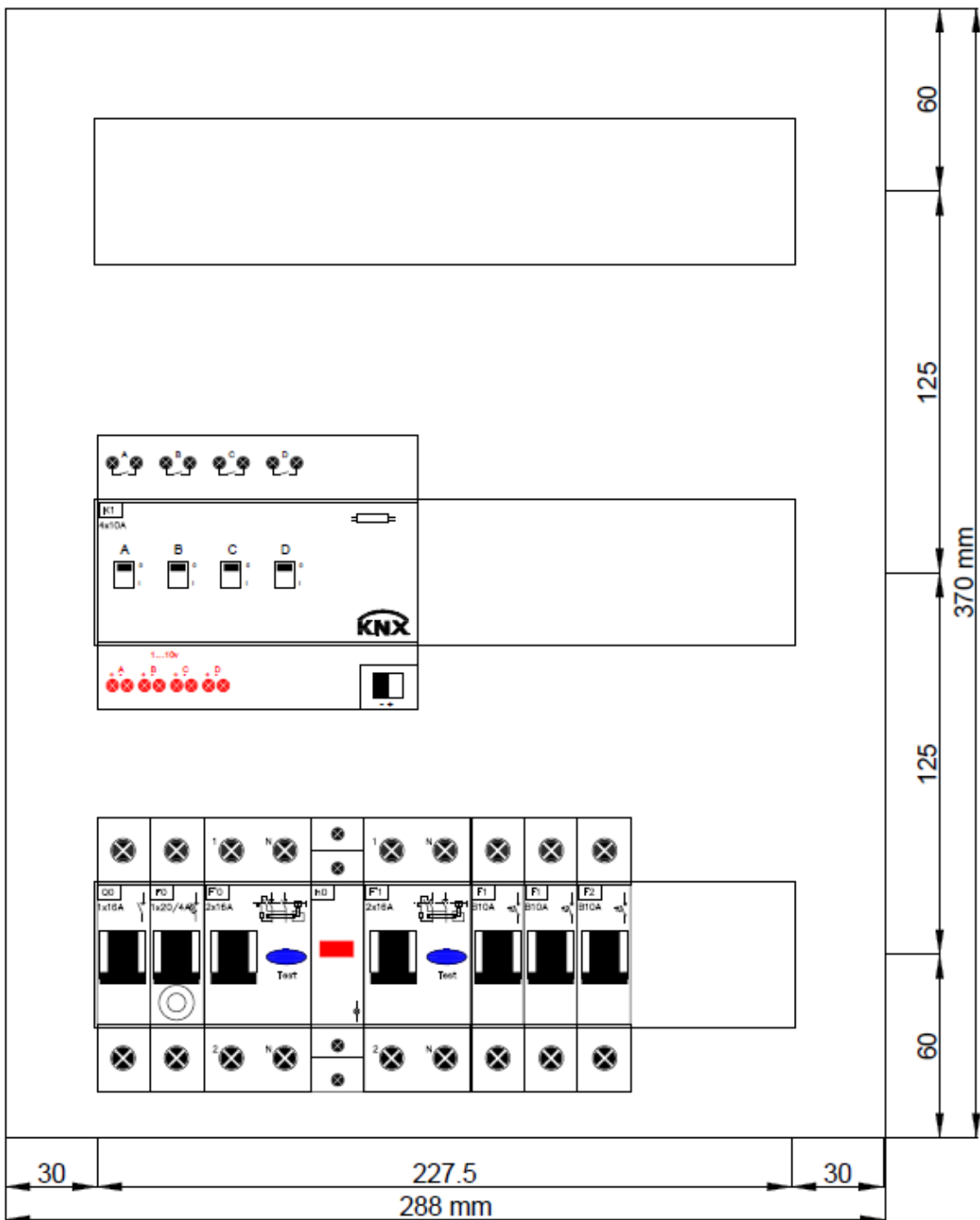
Ενδεικτική εικόνα	Περιγραφή υλικού	Ονομαστική τιμή	Ποσότητα
	Αποζεύκτης φορτίου - ράγας DIN - 1-πολικός	16 A	1 TEM.
	Ασφαλειο-αποζεύκτης φορτίου - κυλινδρικά φυσίγια - 1-πολικός	20 A	1 TEM.
	Διακόπτης διαρροής - Κατηγορία AC - IΔn=30 mA - 2-πολικός	16 A	2 TEM.

	Καλώδιο H07V-U 1X1.5		47.985 m
	Καλώδιο H07V-U 1X4		45 m
	Μία ενδεικτική λυχνία - ασφάλεια 2A - σύνδεση στις μπάρες	500 V	1 TEM.
	Μικροαυτόματος (MCB) - 1P - Καμπύλη B - 10kA	10 A	1 TEM.
	Μικροαυτόματος (MCB) - 1P - Καμπύλη B - 6kA	10 A	2 TEM.

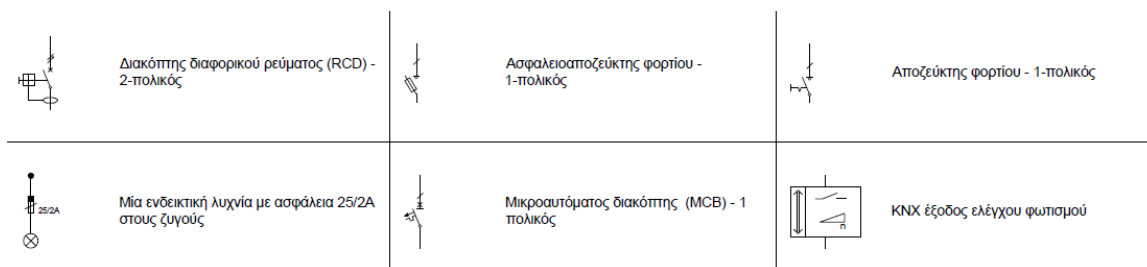
Πίνακας 5.3: Λίστα Υλικών Πίνακα Κύριας Τροφοδοσίας



Εικόνα 5.32: Μονογραμμικό Διάγραμμα της διάταξης



Εικόνα 5.33: Πίνακας Ηλεκτρικής εγκατάστασης με πραγματικές διαστάσεις



Εικόνα 5.34: Υπόμνημα Υλικών Ηλεκτρολογικού Πίνακα Πίνακα Τροφοδοσίας

6.2 Συμπεράσματα - Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε αναλυτικά ο προγραμματισμός μιας εγκατάστασης που ως στόχο έχει τον έλεγχο σταθερού επιπέδου φωτεινότητας στον υπό μελέτη χώρο μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας KNX. Μέσω του λογισμικού ETS, το οποίο είναι το εργαλείο προγραμματισμού της.

Μέσω του έλεγχου αυτού ο σκοπός είναι η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού στον χώρο ώστε να μειωθεί η φωτεινή ισχύς των φωτιστικών κατά τις ώρες που το φυσικό φως επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών σε φωτεινότητα. Η εξοικονόμηση αυτή αναλύθηκε και μελετήθηκε προσεκτικά με πραγματικά στοιχεία που φανερώνουν την μεγάλη ανάγκη για αξιοποίηση και επένδυση σε συστήματα αυτοματισμών. Η ανάλυση ξεκίνησε από παγκόσμιο σε ευρωπαϊκό και τελικά στο εγχώριο επίπεδο. Όπως φάνηκε:

- Η κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου (αύξηση 110% από το 1971 έως το 2014 σε παγκόσμιο επίπεδο)
- Η τιμή της ενέργειας ακολουθεί αυξητική τάση
- Οι εκπομπές CO₂ έχουν αυξηθεί

Παράλληλα η προσεκτική μελέτη των στοιχείων φανερώνει την δυνατότητα εξοικονόμησης που υπάρχει σε κτιριακό επίπεδο. Για τον λόγο αυτό αναλύθηκε η πρωτοβουλία σε παγκόσμιο επίπεδο μέσω του πρωτοκόλλου του Κυότο που σαν στόχο έχει την μείωση των εκπομπών του CO₂. Αναλύθηκαν επίσης οι διατάξεις που κατηγοριοποιούν την ύπαρξη συστημάτων αυτοματισμών και αναλύουν το ενεργειακό όφελος από την εφαρμογή τους. Αυτές είναι:

- Οδηγία **EN 15232** « Ενεργειακή απόδοση κτιρίων- Επίδραση των συστημάτων αυτοματισμών, έλεγχου και διαχείρισης κτιρίων »
- Οδηγία **EN 15193** « Ενεργειακή απόδοση κτιρίων-Ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό »

Συμπερασματικά η ανάγκη για ύπαρξη διατάξεων αυτοματισμών στον κτιριακό τομέα με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας είναι μεγάλη. Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε μια εγκατάσταση μπορεί να πετύχει μεγάλα ποσά εξοικονόμησης για αυτό και η παρούσα διπλωματική εστιάζει στον έλεγχο του φωτισμού μέσω KNX. Φυσικά υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία και αναλύονται, ωστόσο επιλέχθηκε το ανοικτό πρωτόκολλο επικοινωνίας για τους παρακάτω λόγους:

- Ανοικτό πρωτόκολλο, με διεθνές πιστοποιήσεις
- Οι συσκευές πιστοποιούνται ανάλογα ώστε να εξασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα τους μέσα σε ένα σύστημα
- Πλήθος αναγνωριζομένων κατασκευαστών με πληθώρα λύσεων για όλα τα είδη αυτοματισμών
- Κατάλληλο λογισμικό για τον προγραμματισμό των συσκευών (ETS)
- Πληθώρα λύσεων ως προς τον τρόπο εγκατάστασης (με καλωδίωση, υπέρυθρες κλπ)
- Δυνατότητα επικοινωνίας με υπάρχοντα συστήματα αυτοματισμού
- Ολοκληρωμένος έλεγχος εγκατάστασης από επίπεδο συσκευών έως επίπεδο διαχείρισης εφαρμογών

Μέσω της αναλυτικής περιγραφής της λειτουργίας ενός συστήματος ελέγχου φωτισμού με κλειστό βρόγχο για την διατήρηση σταθερού επιπέδου φωτεινότητας, επιλέχθηκαν 5 συσκευές, με την εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους μπορεί να λειτουργήσει ένα τέτοιο σύστημα. Οι συσκευές είναι πραγματικές (κατασκευαστής SIEMENS) και η κοστολόγηση τους έχει ως εξής:

A/A	Συσκευή	Τιμή(€)
1	Power supply unit N 125/11 (230V/320mA)	268
2	Interface N 148/11 USB	264.5
3	Switching / Dimming actuator N 526/02	417
4	Push button 4-f UP 246 DELTA profil	70.9
5	Brightness Controller UP 255/11	168.5
Σύνολο		1188.9

Πίνακας 6.1: Οικονομική Ανάλυση Συστήματος Ελέγχου Φωτισμού KNX [51]

Στο ποσό αυτό θα πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος καλωδιώσεων και εργασίας , που εάν θεωρήσουμε ότι είναι ένα 10% επί του ποσού, το τελικό ποσό ανέρχεται σε **1307,79 €**.

Είναι φανερό ότι το κόστος από την εγκατάσταση και την λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου φωτισμού είναι αρκετά υψηλό. Η εγκατάσταση του με βάση την πραγματική εφαρμογή του Κεφαλαίου 6 κρίνεται μη βιώσιμη καθώς η εκμετάλλευση του φυσικού σε έναν τέτοιο χώρο με εγκατεστημένη ισχύ για φωτισμό 0,472kW δεν θα επιτύχει αποδεκτό χρόνο απόσβεσης της επένδυσης.

Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα υλικά που έχουμε επιλέξει έχουν την δυνατότητα να ελέγξουν έως και 4.14 kW εγκατεστημένης ισχύος σε φωτισμό, ενώ ο ελεγκτής μπορεί να μεταφέρει το σήμα σε άλλες 3 ομάδες φωτιστικών μέσω slave mode , ελέγχοντας όχι κατευθείαν το κανάλι εξόδου του ενεργοποιητή αλλά μεταφέροντας με offset το αρχικό σήμα.

Οι δυνατότητες αυτές που παρέχει το KNX και οι συσκευές που έχουμε επιλέξει, θα μπορούσαν σε μια επόμενη διπλωματική να ερευνηθούν τα:

- Εγκατάσταση του συστήματος σε πραγματικό χώρο, και υπολογισμός της πραγματικής ενεργειακής εξοικονόμησης μέσω της αξιοποίησης του φυσικού φωτός
- Μελέτη τους συστήματος με άλλες δυνατότητες του KNX, όπως ο έλεγχος παρουσίας, ή ο έλεγχος ρολών.
- Διασύνδεση του KNX με άλλα πρωτόκολλα όπως το DALI, το οποίο επικεντρώνεται στον φωτισμό.

Στη παρούσα διπλωματική ωστόσο πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη μελέτη ενός συστήματος ελέγχου φωτεινότητας μέσω KNX με κλειστό βρόγχο σε επίπεδο έρευνας, επιλογής συσκευών, προγραμματισμού και παραμετροποίησης αυτών καθώς και την διάταξη τους σε έναν πραγματικό χώρο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/main-tables>
- [2] <http://www.enerdata.net/>
- [3] <http://www.buildingsdata.eu/>
- [4] Kyoto Protocol Reference Manual- Unites Nations Framework Convention on Climate Change
- [5] European Commission- Eu Energy in Figures- Statistical Pocketbook 2014
- [6] European Commission- EU energy trends to 2030
- [7] Report from the commission to the European Parliament and the Council: Progress towards achieving the Kyoto and EU 2020 objectives
- [8] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων: Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού
- [9] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας - Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων: Στατιστική Ανάλυση για το έτος 2015
- [10] Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας: Ετήσια έκθεση 2009
- [11] E.G. Dascalaki , C.A. Balaras, A.G. Gaglia, K.G. Droutsas, S. Kontoyiannidis - Energy performance of buildings—EPBD in Greece
- [12] Α. Γ. Γαγλία, Κ. Α. Μπαλαράς, Σ. Μοιρασγεντής, Ε. Γεωργοπούλου, Ι.Σαραφίδης, Δ.Λάλας – Κτιριακό Απόθεμα, δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας και μείωση ρύπων στον οικιακό και τριτογενή τομέα στην Ελλάδα – μέτρα αντιμετώπισης
- [13] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας: Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση του αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, εθνικού κτιριακού αποθέματος, Δεκέμβριος 2014
- [14] Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος – Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010

- [15] Siemens – Η επίδραση των αυτοματισμών κτιρίου και των λειτουργιών ελέγχου στην ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων, εφαρμογή κατά EN 15232:2012
- [16] Saeed Kamali, Golrokh Khakzar, Soolmaz Abdali HajiAbadi, Effect of Building Management System on Energy Saving
- [17] J.K.W. Wong, a, H. Lia, S.W. Wangb: Intelligent building research: A review
- [18] H. Doukas, John Psarras, Konstantinos D. Patlitzianas, Konstantinos Iatropoulos: Intelligent building energy management system using rule sets. Build Environ
- [19] Vangelis Marinakis, Haris Doukas, John Psarras : Interactive Software for Building Automation Systems
- [20] D. Kolokotsa , D. Rovas , E. Kosmatopoulos , K. Kalaitzakis : A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings
- [21] European Commission- Synthesis report on the National Plans for Nearly Zero Energy Buildings, 2016
- [22] EN 15232:2012, Energy performance of buildings. Impact of Building Automation, Controls and Building Management, February 2012
- [23] C. Aghemo , L. Blaso, A. Pellegrino: Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices
- [24] EN 15193:2007, Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting, November 2007
- [25] Mohammad Asiful Haq, Mohammad Yusri Hassan, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin, Dalila Mat Said : A review on lighting control technologies in commercial buildings, their performance and affecting factors
- [26] Ian Ashdown, Daylight Factors, March 2014
- [27] Λάμπρου Θ. Δούλου, Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης προσαρμογής του τεχνητού φωτισμού με στόχο τη βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, Διδακτορική Διατριβή. Οκτώβριος 2010
- [28] I. C. Systems, “Chapter 6: Lighting control systems Topics covered,” pp. 137–182.

- [29] Α. Τσαγκρασούλης, ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ, Τμ. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών , Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [30] Lighting Control Protocols, IES TM-23-11
- [31] Robert S. Simpson, Lighting Control – Technology and Applications
- [32] Pedro Domingues, Paulo Jorge Carreira, Renato Vieira: Building Automation Systems: Concepts and Technology Review
- [33] Wong Seok Song, Seung Ho Hong, Steven T. Bushby: A Simulation Analysis of BACnet Local Area Networks
- [34] Tae-Jin Park, Seung-Ho Hong : Experimental Case Study of a BACnet-Based Lighting Control System
- [35] Xiaohui Li, Guang Chen, Bing Zhao, Xiaobing Liang : A Kind of Intelligent Lighting Control System Using the EnOcean Network
- [36] V. I. George, SusanG Varghese, Dr.Ciji Pearl Kurian : A study of communication protocols and wireless networking systems for lighting control application
- [37] F. Ferreira, A. L. Osório, J. M. F. Calado, C. S. Pedro: Building automation interoperability – A review, IWSSIP 2010 - 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing
- [38] Στέφανος Τουλόγλου, EIB/KNX, Τεχνική ηλεκτρικών εγκαταστάσεων
- [39] Γεώργιος Σαρρής, EIB/KNX: Η νέα Τεχνική Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων Κτιρίων στην Πράξη με το ETS Professional
- [40] Thomas Mundt, Andreas D'ahn, and Hans-Walter Glock : Forensic analysis of home automation systems
- [41] Michele Ruta, Floriano Scioscia, Giuseppe Loseto, Eugenio Di Sciascio: KNX: A Worldwide Standard Protocol for Home and Building Automation: State of the Art and Perspectives
- [42] KNX Association: KNX TP1 Topology
- [43] KNX Association: KNX Project Design with ETS: Advanced
- [45] KNX Association: KNX Communication

- [46] KNX Association: KNX Association KNX Bus Devices
- [47] Lighting Control- Knx Advanced Systems
- [48] ABB i-bus: KNX Application Manual Lighting
- [49] ABB i-bus KNX Lighting Constant lighting control
- [50] <http://w3.siemens.com/mcms/automation/en/pages/automation-technology.aspx>
- [51] <http://www.futurasmus-knxgroup.com/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1



Buildings

Project: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ
ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX

Start date: Sunday, September 18, 2016

Import date: Saturday, September 24, 2016

Print date: Sunday, September 25, 2016

Print time: 8:45:03 PM

Buildings ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX

Address	Manufacturer	Order Number	Product	Application	Status	
ΚΤΙΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ						
ΙΣΟΓΕΙΟ						
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ						
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ						
1.1.-	Siemens	5WG1 125-1AB11	Power supply unit N 125/11 (230V/320mA)			
1.1.1	Siemens	5WG1 148-1AB11	Interface N 148/11 USB	10 CO Dummy 700002		
#	Name Description	Object Function	Priority	Flags	Data Type	Group Addresses
0	§Dummy	§Dummy	Low	C-WTU-	1 bit	
1.1.2	Siemens	5WG1 526-1AB02	Switching / Dimming actuator N 526/02	21 A3 Switching / Dimming actuator 905303		
#	Name Description	Object Function	Priority	Flags	Data Type	Group Addresses
3	Night mode, Channel A	On / Off	Low	C-W---	1 bit	
4	Night mode, Channel B	On / Off	Low	C-W---	1 bit	
5	Night mode, Channel C	On / Off	Low	C-W---	1 bit	
6	Dimming On / Off, Channel A	On / Off	Low	C-W---	1 bit	0/0/4 S
7	MANUAL L1 ON/OFF Dimming On / Off, Channel B	On / Off	Low	C-W---	1 bit	0/0/5 S
8	MANUAL L2 ON/OFF Dimming On / Off, Channel C	On / Off	Low	C-W---	1 bit	
9	Dimming, Channel A MANUAL L1 DIMMING	Brighter / Darker	Low	C-W---	4 bit	0/0/2 S
10	Dimming, Channel B MANUAL L2 DIMMING	Brighter / Darker	Low	C-W---	4 bit	0/0/3 S
11	Dimming, Channel C	Brighter / Darker	Low	C-W---	4 bit	
12	Value, Channel A CONSTANT LIGHTING CONTROL FUNCTION	8-bit Value	Low	C-W---	1 byte	0/0/1 S
13	Value, Channel B CONSTANT LIGHTING CONTROL FUNCTION	8-bit Value	Low	C-W---	1 byte	0/0/1 S
14	Value, Channel C	8-bit Value	Low	C-W---	1 byte	
18	Status, Channel A	8-bit Value	Low	CR-T--	1 byte	
19	Status, Channel B	8-bit Value	Low	CR-T--	1 byte	
20	Status, Channel C	8-bit Value	Low	CR-T--	1 byte	
Device parameters						
General, Channel A-C						
Type (device dependent offset down/up)	C- (1/0) Siemens ECG	Behaviour on bus voltage failure	no action			
Behaviour on power or bus voltage recovery	as before power or bus voltage failure	Control voltage in Off state	0%			
Switch-on time during nightmode in minutes (5-60)	30	Switching On/Off of night operation mode via	1 Bit-Object			
Priority of night operation mode	comfort mode overrides night mode	Sending of dimming status object	using read request only			
Channel A						
Operating mode	Switching & dimming enabled	Switching on possible via dimming	enabled			
Switching off possible via dimming	enabled	On value when manually switching on	100%			

Sunday, September 25, 2016

8:45:03 PM

2/4

Buildings ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX

Address	Manufacturer	Order Number	Product	Application	Status	
ΚΤΙΠΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ						
1.1.2	Siemens	SWG1 526-1AB02	Switching / Dimming actuator N 526/02	21 A3 Switching / Dimming actuator 905303		
Device parameters						
Minimum dimming value (On/Off threshold)		5 %	8-bit dimming value	accept immediately		
8-bit dimming value		jump	Dimming time from 0% to 100%	8 seconds		
Channel B						
Operating mode		Switching & dimming	Switching on possible via dimming	enabled		
Switching off possible via dimming		enabled	On value when manually switching on	100%		
Minimum dimming value (On/Off threshold)		5 %	8-bit dimming value	accept immediately		
8-bit dimming value		jump	Dimming time from 0% to 100%	8 seconds		
Channel C						
Operating mode		Switching & dimming	Switching on possible via dimming	enabled		
Switching off possible via dimming		enabled	On value when manually switching on	100%		
Minimum dimming value (On/Off threshold)		0.5% (background brightness)	8-bit dimming value	accept immediately		
8-bit dimming value		jump	Dimming time from 0% to 100%	8 seconds		
Sensor A						
Brightness sensor		not active				
Sensor B						
Brightness sensor		not active				
Sensor C						
Brightness sensor		not active				
ΔΩΜΑΤΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ						
1.1.3	Siemens	SWG1 246-2AB_1	Push button 4-f UP 246 DELTA profil (with symbol)	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301		
#	Name Description	Object Function	Priority	Flags	Data Type	Group Addresses
0	Dimming On / Off outer left	On / Off	Low	C-WTU-	1 bit	0/0/4 S
MANUAL L1 ON/OFF						
1	Dimming outer left	Brighter / Darker	Low	C--TU-	4 bit	0/0/2 S
MANUAL L1 DIMMING						
2	Dimming On / Off centre left	On / Off	Low	C-WTU-	1 bit	0/0/5 S
MANUAL L2 ON/OFF						
3	Dimming centre left	Brighter / Darker	Low	C--TU-	4 bit	0/0/3 S
MANUAL L2 DIMMING						
4	Switch centre right	On / Off	Low	C-WTU-	1 bit	0/0/6 S
CONSTANT LIGHTING CONTROL ON/OFF						
6	Switch outer right	On / Off	Low	C-WTU-	1 bit	
Device parameters						
General						
Long switch operation min. (for dimming or shutter)			0.5 seconds	Orientation light (LED)		On
Sunday, September 25, 2016			8:45:03 PM		3/4	

Buildings ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX

Address	Manufacturer	Order Number	Product	Application	Status	
Description						
Comments						
Installation Notes						
ΚΤΙΠΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ						
ΔΩΜΑΤΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ						
1.1.3	Siemens	SWG1 246-2AB_1	Push button 4-f UP 246 DELTA profil (with symbol)	12 S4 On-off/Dim/Shutter 241301		
Device parameters						
Outer left push buttons						
Function of upper / lower push buttons		Dimming, On/ Off	Function of outer left LED		Status display	
Centre left push buttons						
Function of upper / lower push buttons		Dimming, On/ Off	Function of centre left LED		Status display	
Centre right push buttons						
Function of upper / lower push buttons		On / Off	Function of centre right LED		Status display	
Outer right push buttons						
Function of upper / lower push buttons		On / Off	Function of outer right LED		no display	
1.1.4	Siemens	SWG1 255-4AB11	Brightness Controller UP 255/11	25 S1 Brightness Controller 909601		
#	Name Description	Object Function	Priority	Flags	Data Type	Group Addresses
0	Presence	On / Off	Low	C-WT--	step	
1	Automatic mode	On / Off	Low	CRW---	1 bit	0/0/6 S
CONSTANT LIGHTING CONTROL ON/OFF						
2	Automatic mode Off via	Switching	Low	C-W---	1 bit	0/0/4 S, 0/0/5
MANUAL L1 ON/OFF						
3	Automatic mode Off via	Dimming	Low	C-W---	dimming control	0/0/2 S, 0/0/3
MANUAL L1 DIMMING						
4	Automatic mode Off via	Dimming value	Low	C-W---	1 byte	
8	Setpoint value	calibrate	Low	C-W---	1 bit	
9	Brightness, measured value	Value in Lux	Low	CRWT--	2 bytes	
10	Master, dimming value	8-bit value	Low	CR-T--	1 byte	0/0/1 S
CONSTANT LIGHTING CONTROL FUNCTION						
15	Switching	On / Off	Low	C-WT--	1 bit	0/0/6 S
CONSTANT LIGHTING CONTROL ON/OFF						
16	Status dimming value of actuator	Dimming value	Low	C-WTU-	1 byte	0/0/1 S
CONSTANT LIGHTING CONTROL FUNCTION						
Device parameters						
Functions, Objects						
Operating mode		Constant light level control	Number of slaves		0	
Send measured brightness value		at change in brightness value	minimal variation of brightness for transmission of the new value		45 Lux	
Send switching or dimming command cyclically every		No	Behaviour at bus voltage recovery		as before bus voltage failure	
Constant light level control						
Setpoint value as		Parameter	Setpoint value in Lux (250 - 1600)		500	
maximal variation from setpoint value		30 Lux	max. step size for dimming		2%	
Transmit next dimming value after		2 seconds	Start and finish constant light level control with		Switching telegram	

Sunday, September 25, 2016

8:45:03 PM

4/4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ KNX

Ηλεκτρολογική μελέτη - Αποτελέσματα υπολογισμών

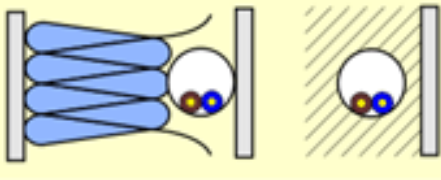
Μελετήθηκε από: Σωτηρίου Αναστάσιος

Κατάσταση Πινάκων Διανομής

Γενικά				Εγκατεστημένη ισχύς					Καλώδιο παροχής							
A/A	Κωδικός	Πίνακας παροχής	Περιγραφή	Τάση λειτουργίας	Φωτισμός	P/Δ	Κινητήρες	Υποπίνακες	Σύνολο	Απορ. ισχύς	συνφ	Ρεύμα	Καλώδιο	Μήκος	Πτώση τάσης	
										P		Ib		L	ΔU_{max}	ΔU_{act}
					(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)		(A)		(m)	(%)	(%)
1	ΓΕΝ.ΠΙΝ	ΔΕΔΔΗΕ	ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ	1~230V 50Hz	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.85	2.8	3x(H07V-U 1X4)	15.0	2.00	0.17

Υπολογισμός παροχικού καλωδίου κατά ΕΛΟΤ HD 384

Γενικά χαρακτηριστικά πίνακα διανομής			
Κωδικός-Όνομα	ΓΕΝ.ΠΙΝ , ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ		
Τύπος	ΜΕΤΑΛΙΚΟΣ ΧΩΝΕΥΤΟΣ ΤΥΠΟΥ STAB		
Πίνακας παροχής	ΔΕΔΔΗΕ	Βαθμός προστασίας	23
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πίνακα διανομής			
Τάση λειτουργίας	U	1~230V 50Hz	
Εγκατεστημένη πραγματική ισχύς	P_{inst}	0.5 kW	
Απορροφούμενη πραγματική ισχύς	P	0.6 kW	
Συντελεστής ισχύος	συνφ	0.85	
Απορροφούμενο ρεύμα	$I_b = P/(U \cdot \text{συνφ})$	2.8 A	
Αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στους ζυγούς	I_k	2.7 kA	
Μέθοδος Εγκατάστασης , Συντελεστές διόρθωσης			
Καλώδιο στον Αέρα			
Θερμοκρασία αέρα = 30°C			
Τα καλώδια είναι σε σωλήνες, οι σωλήνες είναι εντοιχισμένοι (χωνευτοί)			
Ελεύθερα στον αέρα ή επάνω σε δομικό υλικό ή επιτοίχια/εντοιχισμένα γυμνά ή σε σωλήνα			

Πλήθος κυκλωμάτων = 1		
Συντελεστής διόρθωσης για θερμοκρασία αέρα, Πίνακας 52-Δ1	f_{θ}	1.00
Συντελεστής διόρθωσης για ομαδοποίηση, Πίνακας 52-Ε1	f_H	1.00
Διαστασιολόγηση καλωδίου		
Καλώδιο	3x(H07V-U 1X4)	
Υλικό Μόνωσης / Αγωγών	PVC / Copper	
Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία αγωγών	$\theta_{cu,max}$	70 °C
Πίνακας με ονομαστικά ρεύματα σε συνθήκες αναφοράς	Πίνακας 52-K1, Στήλη 3	
Ονομαστικό ρεύμα καλωδίου από τον παραπάνω πίνακα	I_r	26.0 A
Ονομαστικό ρεύμα καλωδίου σε συνθήκες λειτουργίας	$I_z = I_r \cdot f_{\theta} \cdot f_H$	26.0 A
Ανηγμένες απώλειες κατά μήκος του καλωδίου	P_{loss}	0.0 W/m
Θερμοκρασία αγωγών του καλωδίου	θ_{cu}	30.5 °C
Διάμετρος καλωδίου	D	4.2 mm
Βάρος καλωδίου	G	45.0 kg/km
Έλεγχος καλωδίου σε πτώση τάσης		
Αντίσταση στο συνεχές ρεύμα στους 20°C (IEC 60502-1)	R20	4.610 Ohm/k m
Διορθωμένη αντίσταση στο συνεχές ρεύμα στους 70°C	R	5.500 Ohm/k m
Επαγωγική αντίσταση καλωδίου (IEC 60502-1)	X	0.143 Ohm/k m
Μήκος καλωδίου	L	15.0 m
Σύνθετη αντίσταση καλωδίου	$Z = L \cdot (R \cdot \cos\phi + X \cdot \eta\mu\phi)$	0.071 Ohm
Πτώση τάσης στο καλώδιο	$\Delta U = 2 \cdot I_b \cdot Z$	0.40 V
Πτώση τάσης % στο καλώδιο	$\Delta U\% = (\Delta U \cdot 100) / U$	0.17 %
Επιτρεπόμενη πτώση τάσης στο καλώδιο	$\Delta U_{max}\%$	2.00 %
Πτώση τάσης % από την αρχή της ηλ. εγκατάστασης	ΔU_{total}	0.17 %

Φορτία Πίνακα Διανομής

Α. Στοιχεία Πίνακα Διανομής			
Κωδικός	ΓΕΝ.ΠΙΝ	Όνομασία	ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ
Τύπος	ΜΕΤΑΛΙΚΟΣ ΧΩΝΕΥΤΟΣ ΤΥΠΟΥ STAB	Βαθμός προστασίας	23
Τάση λειτουργίας	1~230V 50Hz	Πίνακας Παροχής	ΔΕΔΔΗΕ
Εγκατεστημένη ισχύς	0.5 kW	Απορροφούμενη ισχύς	0.6 kW
συνφ	0.85	Ρεύμα	2.82 A
Καλώδιο παροχής	3x(H07V-U 1X4)	Μήκος	15.00 m

Β. Φορτία Πίνακα Διανομής												
A/A	Ισχύς	Ταυτ	συνφ	Όνομα φορτίου	Ρεύματα				Καλώδιο			
A/A	Ισχύς	Ταυτ		Όνομα φορτίου	Ρεύματα				Όνομασία	Μήκος	Πτώση τάσης	
	P				I _b	I _n	I _z	I _r		L	ΔU _{max}	ΔU _{act}
	(kW)				(A)	(A)	(A)	(A)		(m)	(%)	(%)
1	0.23	1.00	0.85	ΚΥΚΛΩΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ1	1.2	10.0	14.5	14.5	3x(H07V-U 1X1.5)	8.5	2.00	0.11
2	0.23	1.00	0.85	ΚΥΚΛΩΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ 2	1.2	10.0	14.5	14.5	3x(H07V-U 1X1.5)	7.5	2.00	0.09

Γ. Υπολογισμός απορροφούμενης ισχύος						
Είδος φορτίου	Αριθμός γραμμών	Εγκατεστημένη ισχύς		Ταυτοχρονισμός		Απορροφούμενη ισχύς
		(kW)				(kW)
Φωτισμός	2	0.46	x	1.00	=	0.46
Ρευματοδότες	0	0.00	x	1.00	=	0.00
Υποπίνακες	0	0.00	x	1.00	=	0.00
Κινητήρες	0	0.00	x	1.00	=	0.00
Σύνολα		0.46				0.46
Συντελεστής εφεδρείας 0.20x0.46 =						0.09
Τελική απορροφούμενη ισχύς						0.55