



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών

και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού μέσω συστήματος KNX και βελτιστοποιημένη σχεδίαση εγκατάστασης φωτισμού σε κτίριο γραφείων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευάγγελος Ζάχος

Επιβλέπων: Χρήστος Α. Χριστοδούλου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών

και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

**Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού μέσω συστήματος KNX και βελτιστοποιημένη σχεδίαση
εγκατάστασης φωτισμού σε κτίριο γραφείων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ευάγγελος Ζάχος

Επιβλέπων : Χρήστος Α. Χριστοδούλου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Ημέρα Μήνας (17^η Μαρτίου 2025)

Χρήστος Χριστοδούλου Ιωάννης Γκόνος
Επίκουρος Καθηγητής, Καθηγητής Ε.Μ.Π
Ε.Μ.Π

Αντώνιος Αντωνόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής,
Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος, 2025

Ευάγγελος Ζάχος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © **Ευάγγελος Ζάχος, 2025**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η ενδεδειγμένη μελέτη των στοιχείων και των στατιστικών που αφορούν την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, την τιμή αυτής, αλλά και την ανάγκη για περαιτέρω μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθιστά αναγκαία την εφαρμογή μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας. Τα δεδομένα επιδεικνύουν τον τριτογενή τομέα ως σημαντικό καταναλωτή και το φωτισμό ως κύριο μέτρο εξοικονόμησης, με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε συνδυασμό με τη χρήση του χώρου να παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Για την εφαρμογή τους, αναγκαία είναι η εγκατάσταση συστημάτων αυτοματισμού. Τα συστήματα αυτοματισμού, ειδικά στον κτιριακό τομέα, διαφοροποιούνται ανάλογα το πρωτόκολλο ή και το μέσο που χρησιμοποιείται και το κάθε ένα, έχει διαφορετική χρήση ανάλογα τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Ένα ανοικτό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον τα τελευταία χρόνια είναι το KNX. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η περίπτωση ενός κτιρίου γραφείων, στο οποίο εν όψει ανακαίνισης, θα γίνει προσπάθεια εφαρμογής μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό. Πρωτίστως, θα πραγματοποιηθεί μελέτη φωτισμού, ώστε να αντικατασταθούν τα, παλιάς τεχνολογίας, ενεργοβόρα φωτιστικά σώματα με νέα φωτιστικά LED, τα οποία έχουν μικρότερη κατανάλωση και καλύτερη απόδοση. Ύστερα, εφόσον στο κτίριο προϋπάρχει σύστημα αυτοματισμού KNX, θα πραγματοποιηθεί εγκατάσταση κατάλληλων αισθητήρων φωτισμού και κίνησης σε κάθε χώρο εργασίας, ώστε να αξιοποιηθεί ο φυσικός φωτισμός, ο οποίος είναι άπλετος, λόγω των μεγάλων παραθύρων και γυάλινων επιφανειών περιμετρικά του κτιρίου. Τα υπάρχοντα φωτιστικά σώματα, είναι ήδη συνδεδεμένα με μηχανισμούς ενεργοποίησης KNX και όλα έχουν τη δυνατότητα μείωσης της φωτεινής τους ροής. Η παραμετροποίηση και ο προγραμματισμός πραγματοποιείται μέσω του ειδικού λογισμικού ETS, το οποίο για μεγάλα έργα απαιτεί ειδική άδεια, την οποία και μας δάνεισε η εταιρεία για την οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη.

Λέξεις Κλειδιά: Μελέτη φωτισμού, Πολυκριτηριακή ανάλυση, KNX, Εξοικονόμηση ενέργειας, Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού

Abstract

A thorough study of the data and statistics concerning the increase in energy consumption, its price, and the need to further reduce carbon dioxide emissions, makes it necessary to implement energy saving measures. The data show the building sector as a major consumer and lighting as the main energy saving measure, with the use of natural lighting combined with the occupancy giving the best results. To achieve this, it is necessary to install automation systems. Automation systems, especially in the building sector, are differentiated according to the protocol or the medium used and each one has a different use depending on the characteristics of the installation. An open protocol that has been mostly used in recent years is KNX. In this paper, the case of an office building is considered, in which, in view of renovation, an attempt will be made to implement energy saving measures in lighting. First, a lighting study will be carried out in order to replace the old, energy-intensive luminaires with new LED luminaires, which have lower consumption and better performance. Then, since the building already has a KNX automation system, appropriate lighting and motion sensors will be installed in each work area in order to make use of the natural lighting, which is abundant due to the large windows and glass surfaces around the perimeter of the building. The existing luminaires are already connected to KNX actuators and all have the possibility of reducing their luminous flux (dimming). The configuration and programming are carried out through the special ETS software, which for large projects requires a special license, which was lent to us by the company for which the study was carried out.

KeyWords: Lighting Design, Multicriteria analysis, KNX, Energy saving, Daylight harvesting

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον Καθηγητή μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα του Πολυτεχνείου κ. Φραγκίσκο Β. Τοπαλή και το «Εργαστήριο Φωτοτεχνίας για την ευκαιρία που μου έδωσαν να εντρυφήσω σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα ο οποίο ενισχύει τις γνώσεις μου σε ακαδημαϊκό και επαγγελματικό επίπεδο. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Ευάγγελο – Νικόλαο Δ. Μαδιά, Υ.Δ. Ε.Μ.Π για την πολύτιμη βοήθεια κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα φυσικά, να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, οι οποίοι με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου σπουδών μου ως Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Θανάση Κανέλλια, ο οποίος μου παραχώρησε το χώρο και απαραίτητο εξοπλισμό για την εκπόνηση ενός μέρους της διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Κεφάλαιο 1 Ενεργειακός Τομέας	15
1.1 Εισαγωγή	15
1.2 Μοντέλα GEC	15
1.3 Ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο	16
1.4 Ευρωπαϊκός τομέας ενέργειας	20
1.5 Ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα	25
1.6 Τριτογενής Τομέας	29
1.7 Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης (nZEB)	38
Κεφάλαιο 2 Έλεγχος Τεχνητού Φωτισμού	43
2.1 Εισαγωγή	43
2.1.1 Θερμική Άνεση	43
2.1.2 Οπτική Άνεση	44
2.2 Ενεργειακή Διαχείριση Φωτισμού	44
2.3 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού	45
2.3.1 Στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης παρουσίας (predicted occupancy control strategy)	46
2.3.2 Στρατηγική ελέγχου πραγματικής χρήσης (real occupancy control strategy)	47
2.3.3 Στρατηγική ελέγχου σταθερής φωτεινότητας (constant illuminance control strategy) ..	47
2.3.4 Στρατηγική αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (daylight harvesting control strategy)	48
2.4 Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού (Daylight Harvesting)	52
Κεφάλαιο 3 Συστήματα αυτόματου ελέγχου κτιρίων	56
3.1 Δομή συστήματος αυτόματου ελέγχου κτιρίου	56
3.1.1 Επίπεδο Πεδίου	56
3.1.2 Δίκτυο Πεδίου	57
3.1.3 Επίπεδο Αυτοματισμού	58
3.1.4 Πρωτεύον Δίκτυο	59
3.1.5 Επίπεδο Διαχείρισης	60
3.2 Πρωτόκολλα αυτοματισμού κτιρίων	60
3.2.1 Μοντέλο OSI	61
3.2.2 Διαδοσμένα πρωτόκολλα κτιριακού αυτοματισμού	62
3.3 Αρχιτεκτονικές ελέγχου τεχνητού φωτισμού	73

3.3.1 Αρχιτεκτονική Ελέγχου Εγκατάστασης	73
3.3.2 Αρχιτεκτονική Ελέγχου Ζώνης	74
3.3.3 Αρχιτεκτονική Ελέγχου Καλωδίωσης Συσκευών	74
3.3.4 Αρχιτεκτονική Ελέγχου με Ενσωματωμένα Εξαρτήματα	75
3.5 Πρωτόκολλο KNX	76
3.5.1 Επίπεδα και μέσα επικοινωνίας	77
3.5.2 KNX TP-1 Τοπολογία	78
3.5.3 Διευθύνσεις ομάδας και ανταλλαγή πληροφοριών	83
3.5.4 Συσκευές KNX	86
3.5.5 KNX συσκευές ελέγχου φωτισμού	87
3.5.6 Λογισμικό Προγραμματισμού ETS	91
3.5.7 Έλεγχος σταθερής φωτεινότητας με KNX	92
Κεφάλαιο 4 Μελέτη Φωτισμού στο χώρο γραφείων	96
Χώρος Μελέτης	96
4.1 Ισόγειο	98
4.1.1 Γραφείο εξυπηρέτησης	98
4.1.2 Γραφείο Υπηρεσιών	99
4.2 Πρώτος Όροφος	107
4.2.1 Γραφεία ανοικτού πλάνου	107
4.2.2 Γραφείο Λογιστηρίου	115
4.2.3 Γραφείο υποδιευθυντή	123
4.2.4 Γραφείο Διευθυντή	131
Κεφάλαιο 5 Πολυκριτήρια ανάλυση	139
5.1.1 Δέντρα αποφάσεων	139
5.1.2 Δυναμικός Προγραμματισμός	140
5.1.3 Γραμμικός Προγραμματισμός	140
5.1.4 Προσομοίωση	140
5.1.5 Ορισμός Κριτηρίων	141
5.1.6 Οικογένεια Μεθόδων ELECTRE	143
5.1.7 ELECTRE I	144
5.2 Εφαρμογή Μεθόδου ELECTRE I προς αξιολόγηση των φωτομετρικών αποτελεσμάτων	145
5.2.1 Καθορισμός κριτηρίων ELECTRE I	145

5.2.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης Relux και χαρακτηριστικά φωτιστικών ανά διάταξη	147
5.3 Σύνοψη αποτελεσμάτων	157
Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή KNX	158
6.1 Εγκατάσταση αισθητήρων	158
6.2 Προγραμματισμός αισθητήρων	159
6.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων	163
6.4 Αλλαγή φωτιστικών σωμάτων	164
6.5 Θέρμανση – Ψύξη	165
Συμπεράσματα	167
Βιβλιογραφία	171

Κεφάλαιο 1^ο

Ενεργειακός Τομέας

1.1 Εισαγωγή

Ο τομέας της ενέργειας, είναι αναμφίβολα κομβικής σημασίας για την παγκόσμια ανάπτυξη. Στηρίζει και υποστηρίζει την οικονομία, εξασφαλίζοντας τις απαραίτητες ενεργειακές ροές για την λειτουργία της, ενώ ταυτόχρονα, δημιουργεί προστιθέμενη αξία, θέσεις εργασίας και προσελκύει επενδύσεις.

Το παγκόσμιο, όμως, ενεργειακό σύστημα βρίσκεται σε αναταραχή τα τελευταία έτη με βασικούς παράγοντες τις γεωπολιτικές ανακατατάξεις που προκλήθηκαν στο μέτωπο Ρωσία – Ουκρανία και την κρίση που δημιουργήθηκε λόγω του Covid-19. Θέματα όπως η ενεργειακή ασφάλεια, το αβέβαιο μέλλον και οι, ολοένα αυξανόμενες, τιμές της ενέργειας δημιουργούν συνθήκες που αποτελούν τροχοπέδη στην οικονομική ανάπτυξη, πλήττοντας έτσι τομείς όπως το εμπόριο, η βιομηχανία, τα νοικοκυριά, οι υπηρεσίες και η εφοδιαστική αλυσίδα [1]. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, στην προσπάθεια να αντιμετωπίσει τόσο τα παραπάνω, όσο και την συνεχόμενη αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας έχει ήδη εισάγει νέες πολιτικές και μέτρα, όπως τα Inflation Reduction Act (Η.Π.Α), Fit for 55 (Ευρωπαϊκή Ένωση), Climate Change Bill (Αυστραλία), and GX Green Transformation (Ιαπωνία) [2]. Κοινά σημεία αποτελούν η στροφή προς την καθαρή ενέργεια, δηλαδή ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μηδενικών εκπομπών, αλλά και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Σημαντικό ρόλο προς την επίτευξη των στόχων αυτών, έχει διαδραματίσει η εξέλιξη της τεχνολογίας, μέσω της οποίας δίνονται συνεχώς νέες λύσεις και επιλογές.

1.2 Μοντέλα GEC

Από το 1993, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (Δ.Ο.Ε) παρέχει μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες ενεργειακές προβλέψεις χρησιμοποιώντας ένα διαρκώς εξελισσόμενο σύνολο λεπτομερών, κορυφαίων παγκοσμίως εργαλείων μοντελοποίησης. Αρχικά, αναπτύχθηκε το Παγκόσμιο Ενεργειακό Μοντέλο (WEM) - ένα μοντέλο προσομοίωσης μεγάλης κλίμακας σχεδιασμένο να αναπαράγει τον τρόπο λειτουργίας των ενεργειακών αγορών. Μια δεκαετία αργότερα, αναπτύχθηκε το μοντέλο Energy Technology Perspectives (ETP) - ένα πλούσιο σε τεχνολογία bottom-up μοντέλο - για παράλληλη χρήση με το WEM. Το 2021, ο Δ.Ο.Ε υιοθέτησε για πρώτη φορά μια νέα υβριδική προσέγγιση μοντελοποίησης που βασίζεται στα πλεονεκτήματα και των δύο μοντέλων για να αναπτύξει την πρώτη παγκοσμίως ολοκληρωμένη μελέτη για τον τρόπο μετάβασης σε ένα ενεργειακό σύστημα με μηδενικές εκπομπές CO² έως το 2050. Το ολοκληρωμένο πλαίσιο του Παγκόσμιου Μοντέλου Ενέργειας και Κλίματος (GEC Model) του Δ.Ο.Ε είναι πλέον το κύριο εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία λεπτομερών μακροπρόθεσμων σεναρίων ανά τομέα και ανά περιοχή σε όλες τις δημοσιεύσεις του Δ.Ο.Ε [2].

Πιο συγκεκριμένα, η Παγκόσμια Ενεργειακή Επισκόπηση, διερευνά τρία σενάρια που παρέχουν το πλαίσιο διαμόρφωσης του μέλλοντος της ενέργειας, καθοδηγώντας τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων του τομέα προς μεταβάσεις ταχείες, ασφαλείς, οικονομικά προσιτές και χωρίς αποκλεισμούς. Δεν πρόκειται για μία ενιαία οπτική για το μέλλον, αλλά κάθε σενάριο προσεγγίζει διαφορετικά τον τρόπο που οι ιθύνοντες διαμόρφωσης πολιτικής θα ανταποκριθούν στη σημερινή κρίση με το καθένα να ανταποκρίνεται στις σημερινές προκλήσεις με διαφορετικούς τρόπους και διαφορετικό βαθμό.

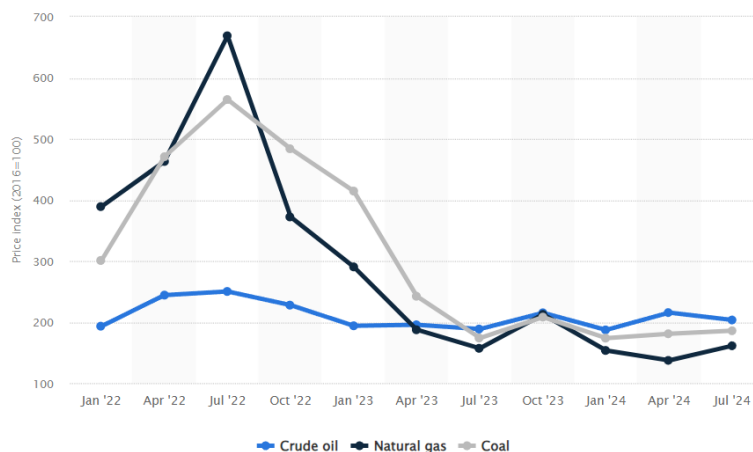
- Σενάριο δεδηλωμένων πολιτικών (Stated Policies Scenario – STEPS): Παρέχει προοπτική με βάση τις τελευταίες ρυθμίσεις πολιτικής χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τις τυχόν δεσμεύσεις που έχουν ανακοινώσει οι κυβερνήσεις ότι θέλουν να επιτύχουν. Ουσιαστικά χαρτογραφεί τις τρέχουσες ενεργειακές, κλιματικές και συναφών της βιομηχανίες, πολιτικές.
- Σενάριο ανακοινωθέντων δεσμεύσεων (Announced Pledges Scenario - APS): Εξετάζει την προοπτική του ενεργειακού τομέα θεωρώντας πως όλες οι δεσμεύσεις που έχουν ανακοινωθεί για την ενέργεια και το κλίμα, συμπεριλαμβανομένου και της ενεργειακής πρόσβασης, θα υλοποιηθούν πλήρως και έγκαιρα. Στόχος του, να υποδείξει κατά πόσο οι δεσμεύσεις που έχουν γίνει, μπορούν να περιορίσουν την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας (φαινόμενο του θερμοκηπίου) στον 1.5 βαθμό Κελσίου.
- Σενάριο καθαρών μηδενικών εκπομπών ως το 2050 (Net Zero Emissions by 2050 Scenario – NZE): Καθορίζει μια πορεία προς την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών CO₂ μέχρι το 2050.

	Net Zero Emissions by 2050 Scenario	Announced Pledges Scenario	Stated Policies Scenario
Definitions	A scenario which sets out a pathway for the global energy sector to achieve net zero CO ₂ emissions by 2050. It does not rely on emissions reductions from outside the energy sector to achieve its goals. Universal access to electricity and clean cooking are achieved by 2030. The scenario was fully updated in 2023.	A scenario which assumes that all climate commitments made by governments and industries around the world as of the end of August 2023, including Nationally Determined Contributions (NDCs) and longer-term net zero targets, as well as targets for access to electricity and clean cooking, will be met in full and on time.	A scenario which reflects current policy settings based on a sector-by-sector and country-by-country assessment of the energy-related policies that are in place as of the end of August 2023, as well as those that are under development. The scenario also takes into account currently planned manufacturing capacities for clean energy technologies.
Objectives	To show what is needed across the main sectors by various actors, and by when, for the world to achieve net zero energy-related CO ₂ emissions by 2050 while meeting other energy-related sustainable development goals such as universal energy access.	To show how close current pledges get the world to the target of limiting global warming to 1.5 °C. The differences between the APS and the NZE Scenario highlight the “ambition gap” that needs to be closed to achieve the goals of the Paris Agreement adopted in 2015. It also shows the gap between current targets and achieving universal energy access.	To provide a benchmark to assess the potential achievements (and limitations) of recent developments in energy and climate policy. The differences between the STEPS and the APS highlight the “implementation gap” that needs to be closed for countries to achieve their announced decarbonisation targets.

Σχήμα 1.1 Στόχοι και ορισμοί των μοντέλων GEC [2]

1.3 Ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο

Παρόλο που ορισμένες από τις άμεσες πιέσεις της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης έχουν υποχωρήσει, η αγορά ενέργειας, τα γεωπολιτικά και η παγκόσμια οικονομία παραμένουν ασταθείς με το συνεχή κίνδυνο περαιτέρω διαταραχών. Οι τιμές των ορυκτών καυσίμων έχουν μειωθεί σε σχέση με τις αυξημένες τιμές του 2022, αλλά οι αγορές παραμένουν ασταθείς.



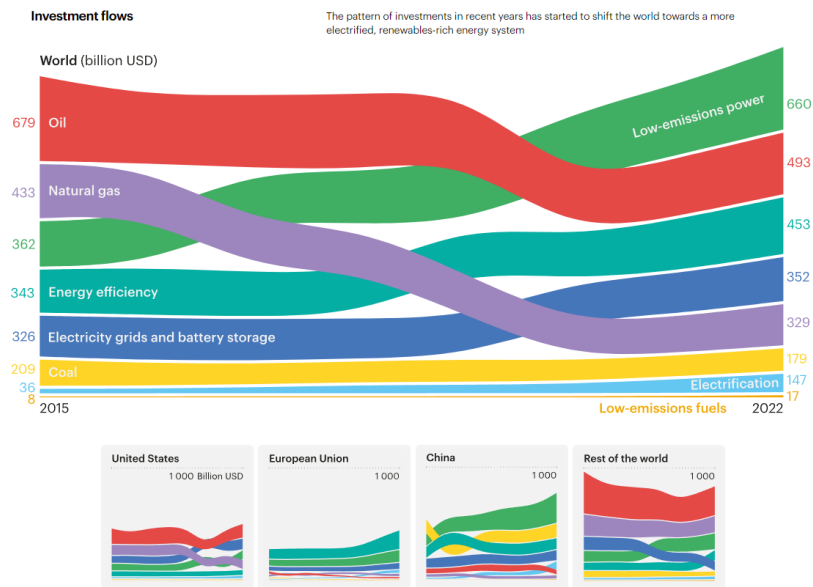
Σχήμα 1.2 Τιμές ορυκτών καυσίμων 2024[3]

Ο παγκόσμιος πληθυσμός, αναμένεται να αυξηθεί κατά 1.7 δισεκατομμύρια έως το 2050, γεγονός που ενισχύει την ανάγκη χρηματοδότησης τρόπων κάλυψης της επερχόμενης αύξησης της ενεργειακής ζήτησης διατηρώντας χαμηλές εκπομπές αερίων. Στατιστικά, ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός παράγοντας μόλυνσης του αέρα, στον οποίο εκτίθενται περισσότερο από το 90% του παγκόσμιου πληθυσμού και συνδέεται ετησίως με περισσότερους από 6 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους.

	Compound average annual growth rate			Population (million)			Urbanisation (share of population)		
	2000-22	2022-30	2022-50	2022	2030	2050	2022	2030	2050
North America	0.9%	0.6%	0.4%	505	528	565	83%	84%	89%
United States	0.7%	0.5%	0.4%	336	350	372	83%	85%	89%
C & S America	1.0%	0.7%	0.5%	529	559	601	82%	83%	88%
Brazil	0.9%	0.5%	0.2%	215	224	231	88%	89%	92%
Europe	0.3%	0.0%	-0.1%	695	696	682	76%	78%	84%
European Union	0.2%	-0.1%	-0.2%	449	446	426	75%	77%	83%
Africa	2.6%	2.3%	2.0%	1 425	1 708	2 482	44%	48%	59%
Middle East	2.2%	1.4%	1.1%	265	297	364	73%	75%	81%
Eurasia	0.4%	0.3%	0.2%	238	243	253	65%	67%	73%
Russia	-0.1%	-0.3%	-0.3%	143	140	132	75%	77%	83%
Asia Pacific	1.0%	0.6%	0.3%	4 295	4 489	4 734	50%	55%	64%
China	0.5%	-0.1%	-0.3%	1 420	1 410	1 307	64%	71%	80%
India	1.3%	0.8%	0.6%	1 417	1 515	1 670	36%	40%	53%
Japan	-0.1%	-0.6%	-0.6%	125	119	105	92%	93%	95%
Southeast Asia	1.2%	0.8%	0.5%	679	723	787	51%	56%	66%
World	1.2%	0.9%	0.7%	7 950	8 520	9 681	57%	60%	68%

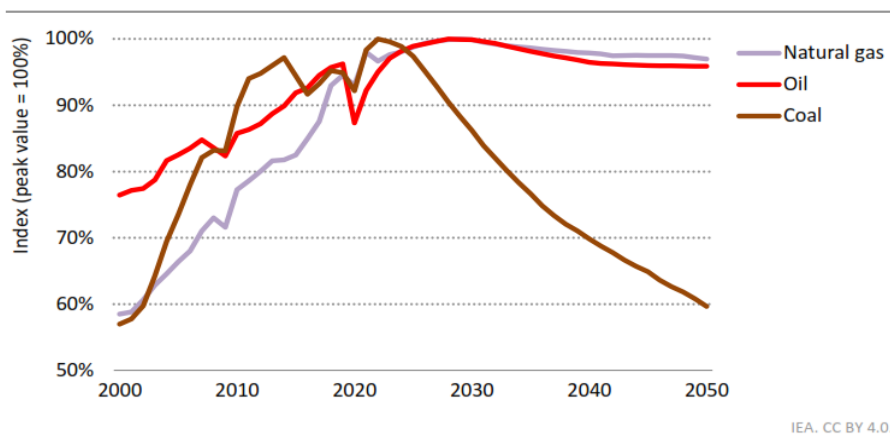
Σχήμα 1.3 Πρόβλεψη ανάπτυξης παγκόσμιου πληθυσμού [4]

Σε αυτό το σύνθετο περιβάλλον και ενώ η ζήτηση για ορυκτά καύσιμα παραμένει υψηλή, παρουσιάζονται σημάδια αλλαγής κατεύθυνσης, καθώς αναδύεται μια νέα οικονομία καθαρής ενέργειας με πρωταγωνιστές τα φωτοβολταϊκά και τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι επενδύσεις στην καθαρή ενέργεια έχουν αυξηθεί κατά 40% συγκριτικά με το 2020 [4].



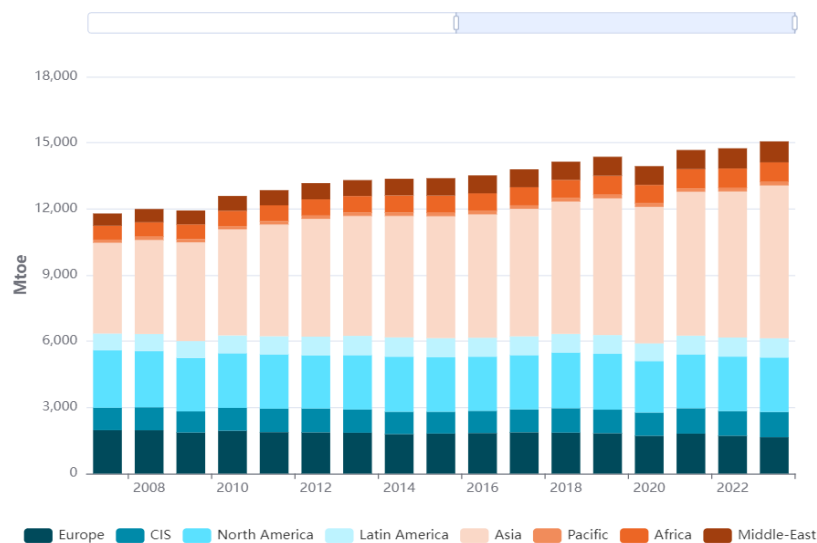
Σχήμα 1.4 Παγκόσμιες επενδύσεις στις πηγές ενέργειας [4]

Η δυναμική που παρουσιάζει η μετάβαση προς την καθαρή ενέργεια είναι πλέον επαρκής ώστε η παγκόσμια ζήτηση για άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο να φθάσει στο υψηλότερο σημείο πριν από το 2030 στο STEPS σενάριο.



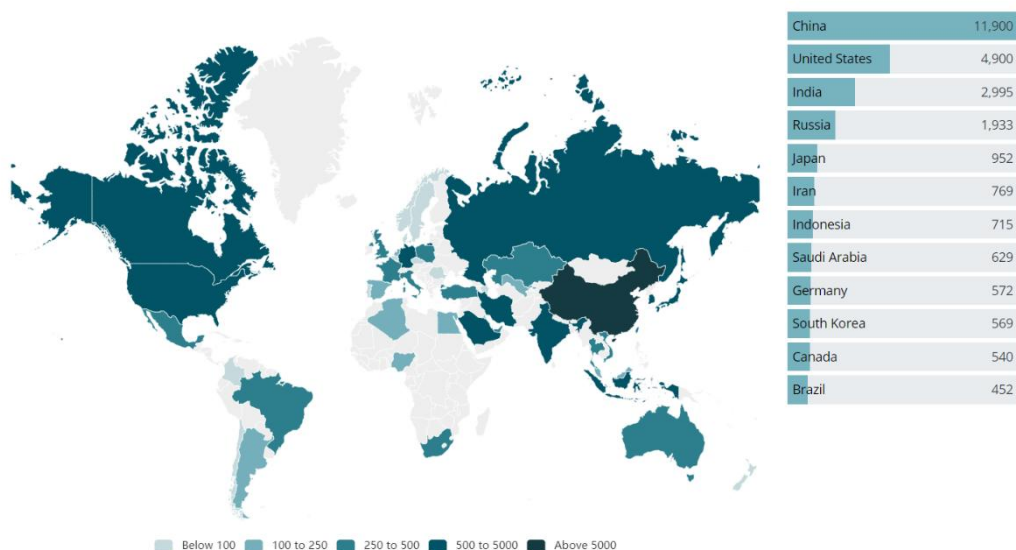
Σχήμα 1.5 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στο STEPS[4]

Μείζονος σημασίας στην παραπάνω μετάβαση είναι η προσπάθεια μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions). Η τελική κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, το 2023 αυξήθηκε κατά 2.2%, ρυθμός αρκετά πιο γρήγορος από τον μέσο όρο αύξησης της περιόδου 2010-2019 (+1.5% ανά χρόνο). Οι χώρες Βραζιλία, Ρωσία, Ινδία, Κίνα και Νότια Αφρική (BRICS) ευθύνονται για το 42% της παγκόσμιας κατανάλωσης με αύξηση 5.5% κατά μέσο όρο και την Κίνα να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση 6.6%. Στον αντίποδα, η κατανάλωση στις χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α.), μειώθηκε για 2^η συνεχόμενη χρονιά (-1.5%) [5].



Σχήμα 1.6 Εξέλιξη ΜΤΟΕ στο διάστημα 1993-2023[5]

Παρόμοια είναι η τάση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες αυξήθηκαν κατά 1.7%, με την Κίνα και την Ινδία να παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αυξήσεις, 5.3% και 7.2% αντίστοιχα. Συνολικά, οι χώρες του BRICS, ευθύνονται για το 49% των παγκόσμιων εκπομπών (+3% από το 2010) με την Κίνα να κατέχει το ένα τρίτο(+46% από το 2010) και την Ινδία το 8% (x2 από το 2010). Αντίθετα, στις περισσότερες χώρες του Ο.Ο.Σ.Α υπήρξε αισθητή μείωση με τις χώρες της Ευρώπης να πετυχαίνουν -7%.

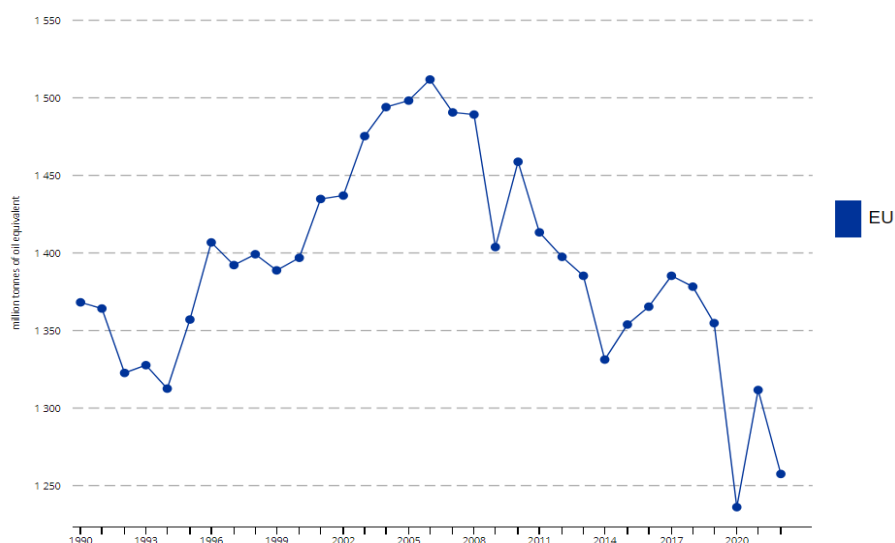


Σχήμα 1.7 Εκπομπές CO₂ ανά χώρα, μετρημένες σε Millions of Tones (MtCO₂) [5]

1.4 Ευρωπαϊκός τομέας ενέργειας

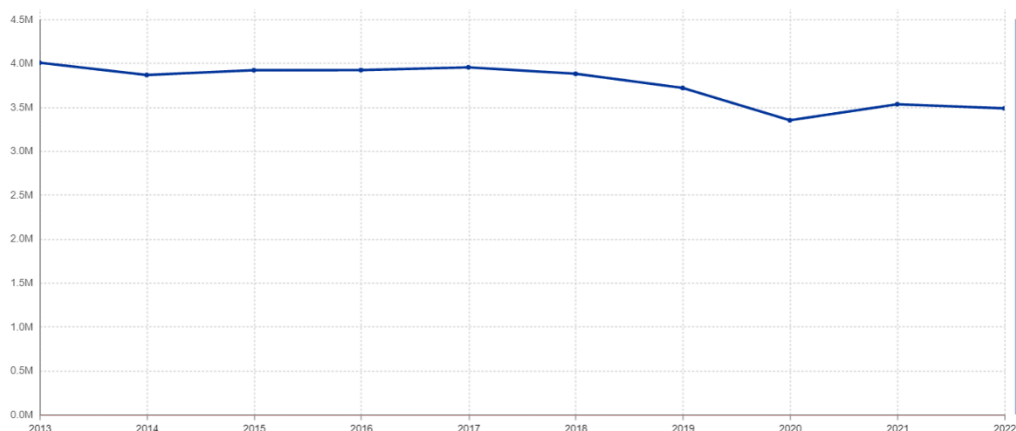
Στην Ευρώπη, οι προσπάθειες προς ένα βιώσιμο μέλλον με γνώμονα τη αύξηση της ενεργειακής απόδοσης φαίνεται να φέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε αυτό, έχει συμβάλει αναμφίβολα η Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία με τη θέσπιση αυστηρών νομοθεσιών, την ίδρυση επιστημονικών φορέων και τη συνεχή ενημέρωση των οδηγίων προς τα μέλη της, αποτελεί πρότυπο στον παγκόσμιο ενεργειακό τομέα. Φυσικά, πρέπει να λάβουμε υπόψη τη μέτρια ή αργή οικονομική ανάπτυξη και την αδύναμη βιομηχανική δραστηριότητα [4][5].

Το έτος 2022, η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας έφτασε 1.257 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΜΤΙΠ), δεύτερη χαμηλότερη τιμή μετά το 2020, όταν η κατανάλωση έπεσε στους 1.235 ΜΤΙΠ λόγω της πανδημίας [7].



Σχήμα 1.8 Κατανάλωση πετρελαίου στην ενέργεια σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου Mtoe[7]

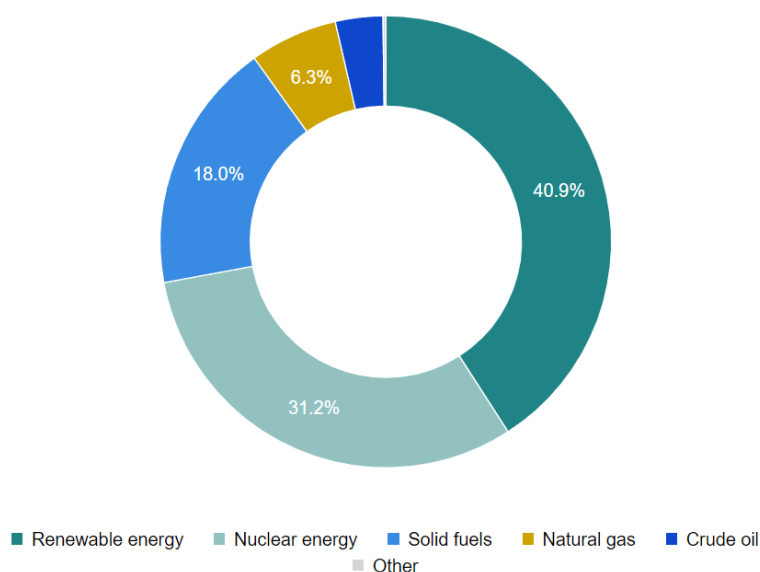
Ταυτόχρονα, μείωση παρατηρείται και στις εκπομπές αερίων. Το 2022 τα αποτελέσματα ανέρχονται στους 3.484 MtCO² πλησιάζοντας τη χαμηλότερη τιμή του 2020, 3.348 MtCO² [8].



Σχήμα 1.9 Εκπομπές αερίων CO² στην Ευρώπη[8]

Προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες της κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, εκτός της ενέργειας που παράγεται μέσα στην Ε.Ε. απαιτείται εισαγωγή από τρίτες χώρες. Το 2021, η Ε.Ε. παράγαγε το 44% της απαιτούμενης ενέργειας και εισήγαγε το 56%, ενώ το 2022 το ποσοστό εξάρτησης αυξήθηκε ακόμη περισσότερο και έφτασε το 62%.

Το κυριότερο εισαγόμενο ενεργειακό προϊόν ήταν τα πετρελαιοειδή (συμπεριλαμβανομένου του αργού πετρελαίου, το οποίο αποτελεί το κύριο συστατικό), αντιπροσωπεύοντας το 64% των ενεργειακών εισαγωγών στην Ε.Ε., ακολουθούμενα από το φυσικό αέριο (25%) και τα στερεά ορυκτά καύσιμα (6%), με τη Ρωσία να είναι ο κύριος προμηθευτής. Στον τομέα της παραγωγής στην Ε.Ε., την πρώτη θέση κατέχουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (41%), με δεύτερη την πυρηνική ενέργεια (31%) και ακολουθούν τα στερεά καύσιμα (18%), φυσικό αέριο (6%) και αργό πετρέλαιο (3%).



Σχήμα 1.10 Μείγμα ενέργειας 2021[9]

Έτσι διαμορφώθηκε το ενεργειακό μείγμα για το 2021, δηλαδή το σύνολο των διαθέσιμων πηγών ενέργειας, από πέντε κύριες πηγές:

- Αργό πετρέλαιο και προϊόντα πετρελαίου (34%)
- Φυσικό αέριο (23%)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (17%)
- Πυρηνική ενέργεια (13%)
- Στερεά ορυκτά καύσιμα (12%).

Η κατάσταση, όμως με τον πόλεμο Ρωσίας – Ουκρανίας, είχε βαθιές επιπτώσεις στον ενεργειακό τομέα της Ε.Ε., η οποία το 2022 αναγκάστηκε να ξοδέψει περισσότερα από 300 δισεκατομμύρια δολάρια για την εισαγωγή φυσικού αερίου, τριπλό ποσό σε σχέση με το μέσο όρο των προηγούμενων 5 ετών. Αυτό οδήγησε σε πολύ υψηλότερες τιμές για τους τελικούς χρήστες τόσο για το ρεύμα όσο και για το φυσικό αέριο.

Ως απάντηση στα παραπάνω, η Ευρωπαϊκή Ένωση αυξάνει τις φιλοδοξίες της για την καθαρή ενέργεια, θέτοντας ταυτόχρονα την ενεργειακή ασφάλεια ως προτεραιότητα στο σχέδιο μετάβασης. Νομοθετικά πακέτα και μια σειρά από κίνητρα σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο, συνολικής επένδυσης 500 δισεκατομμύρια δολάρια απεικονίζονται στο σενάριο STEPS, με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αποτελούν τα δύο τρίτα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2030, από 39% το 2022, με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια από φωτοβολταϊκά να αντιπροσωπεύουν πάνω από το 85% της νέας εγκατεστημένης ισχύος που θα κατασκευαστεί κατά την περίοδο αυτή.

Με ανακοίνωσή της στις 11 Δεκεμβρίου του 2019, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, ενώ στις 9 Ιουλίου του 2021 δημοσιεύθηκε ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα, ο οποίος καθιστά νόμο τον στόχο που τέθηκε στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία για την οικονομία και την κοινωνία της Ευρώπης να γίνουν κλιματικά ουδέτερες έως το 2050.

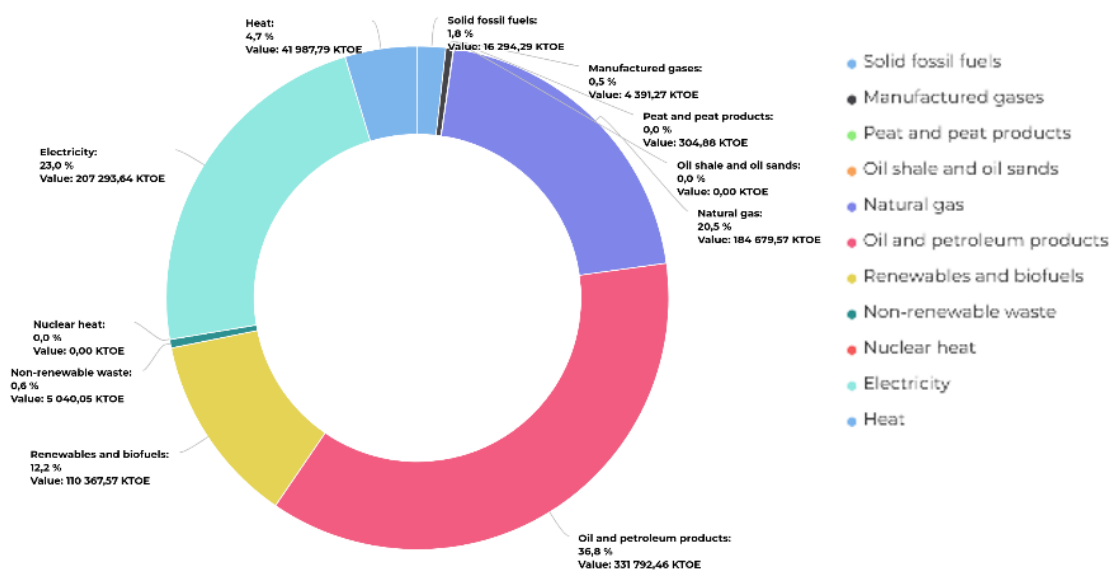
Οι βασικές πρωτοβουλίες πολιτικής της Ε.Ε είναι οι παρακάτω:

- **Fit for 55** (Ιούλιος 2021): Δέσμη μέτρων που αναφέρεται στο στόχο της Ε.Ε για τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 [17].
- **NextGenerationEU** (Ιούλιος 2020): Μέσο προσωρινής ανάκαμψης για τη στήριξη της οικονομικής ανάκαμψης της Ευρώπης από την πανδημία του κορονοϊού και την οικοδόμηση ενός πιο πράσινου, πιο ψηφιακού και πιο ανθεκτικού μέλλοντος [18].
- **REPowerEU** (Μάιος 2022): Πλάνο που στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας, την επιτάχυνση της μετάβασης προς την καθαρή ενέργεια και τη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού ενέργειας [18].
- **Green Deal Industrial Plan** (Φεβρουάριος 2023): Στόχο έχει να επεκτείνει την παραγωγή καθαρών τεχνολογιών στην ΕΕ, να δημιουργήσει πράσινες θέσεις εργασίας και να διασφαλίσει ότι η Ένωση είναι καλά εξοπλισμένη για τη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια. Μέρος του αποτελεί το **Net-Zero Industry Act** [18].
- **Revisions of Energy Performance of Buildings Directive**: Σταδιακή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων σε ολόκληρη την Ευρώπη, λαμβάνοντας προσεκτικά υπόψη τις εθνικές συνθήκες.

Κοινό και καίριο σημείο για την επίτευξη των στόχων, είναι ο εξηλεκτρισμός της ενεργειακής οικονομίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, που συμβαδίζει με την απαλλαγή του τομέα της ενέργειας από τις εκπομπές άνθρακα. Η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη σε συνδυασμό με τη δυναμική που προσφέρουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οδήγησαν στην ηλεκτρική ενέργεια να καταλαμβάνει το 23% της τελικής κατανάλωσης, με τις προβλέψεις στα διάφορα σενάρια (STEPS, APS, nZE) να αυξάνουν το ποσοστό ακόμη περισσότερο.

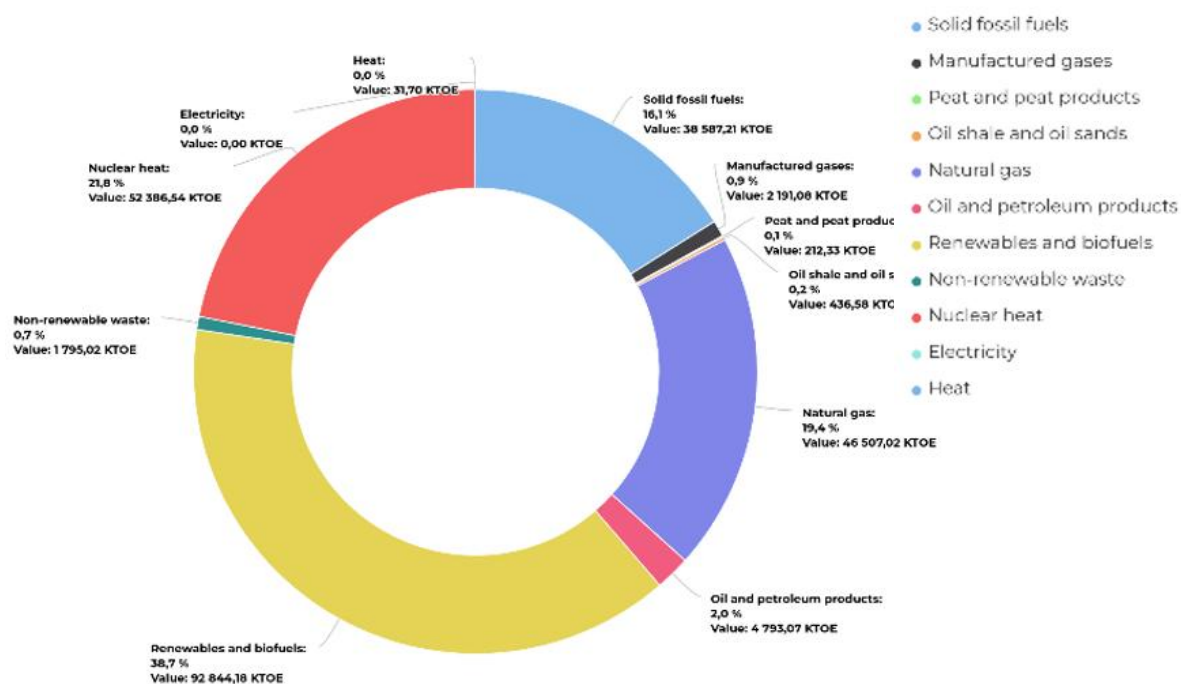
Policy	Description
Fit for 55	- Implementation framework for the European Green Deal. - Supported by the Renewable Energy Directive, Energy Efficiency Directive, EU Emissions Trading System reform and Carbon Border Adjustment Mechanism. - Includes packages for electricity market design, hydrogen and decarbonised gases, creating harmonised rules for a single energy market. 100% CO₂ emissions reduction for both new cars and vans from 2035, emissions standards for heavy-duty vehicles and FuelEU maritime initiative. - Increases the minimum energy performance standards for existing buildings, and requires all new buildings to be zero emissions by 2028.
Sustainable recovery	Member states have committed close to USD 500 billion towards a sustainable recovery through national recovery plans and EU-level packages such as the Recovery and Resilience Facility.
REPowerEU	Sets out a pathway to cut reliance on Russian natural gas via energy savings, diversification of supply and accelerated roll out of renewable energy.
Net Zero Industry Act	Aims to boost clean energy technology manufacturing, targets technology areas such as solar and wind, bioenergy, hydrogen, CCUS, battery storage, grids and heat pumps; covers support for alternative fuels and nuclear.
EU Taxonomy	Classification system sets out criteria for investment activities aligned with net zero emissions goals, using technical screening criteria.

Σχήμα 1.11 Κύριες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης [4]

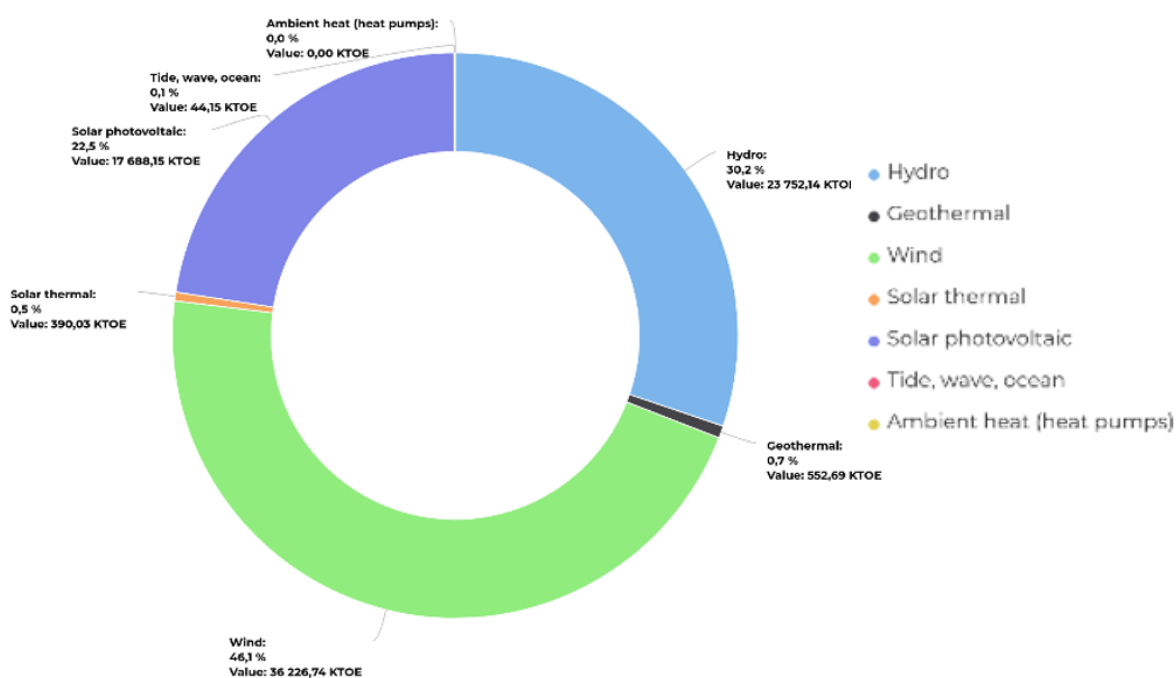


Σχήμα 1.12 Τελική κατανάλωση Ε.Ε ανά οικογένεια καυσίμων 2022 [10]

Το 2021, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτέλεσαν την κύρια πηγή ηλεκτρισμού (38.7%) μαζί με τα ορυκτά καύσιμα (~38.7%) και τα πυρηνικά εργοστάσια (21.8%). Μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών, το μεγαλύτερο μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από ανεμογεννήτριες (46.1%), ακολουθούμενο από υδροηλεκτρικά εργοστάσια (30.2%), ηλιακή ενέργεια (30%) και βιοκαύσιμα (5%).



Σχήμα 1.13 Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε ανά οικογένεια καυσίμου[11]



Σχήμα 1.14 Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε από άκαυστες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας[12]

1.5 Ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα

Οι ενεργειακές και κλιματικές πολιτικές της Ελλάδας επικεντρώνονται στη μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα καθαρών μηδενικών εκπομπών έως το 2050, διασφαλίζοντας παράλληλα την ενεργειακή ασφάλεια, τη βελτίωση της οικονομικής ανταγωνιστικότητας και την προστασία των ευάλωτων καταναλωτών. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (Ε.Σ.Ε.Κ.), που εγκρίθηκε το 2019, είναι το κύριο έγγραφο που καθορίζει την ενεργειακή και κλιματική πολιτική έως το 2030 και περιλαμβάνει στόχους και υποστηρικτικά μέτρα για να τεθεί η χώρα σε πορεία προς το καθαρό μηδενικό επίπεδο εκπομπών. Ο εθνικός νόμος για το κλίμα, που εγκρίθηκε τον Μάιο του 2022, θέτει στόχους για τη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) κατά 55% έως το 2030, κατά 80% έως το 2040 και για την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών έως το 2050. Καθορίζει βασικά μέτρα μείωσης των εκπομπών, συμπεριλαμβανομένης της σταδιακής κατάργησης της λιγνιτικής παραγωγής έως το 2028.

Το Ε.Σ.Ε.Κ., σε συνδυασμό με την ψήφιση του Κλιματικού Νόμου και την Κυκλική Οικονομία, φαίνεται να αποτελούν τα θεμελιώδη εργαλεία για τη στροφή της ελληνικής οικονομίας προς την κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Η πρόταση αναθεώρησης του Ε.Σ.Ε.Κ. παρουσιάστηκε τον Ιανουάριο του 2023. Παρακάτω, παρουσιάζεται μια συνολική σύνοψη των στόχων [1].

Έτος στόχου: 2030	Τελικό ΕΣΕΚ (2019)	Αρχικό σχέδιο ΕΣΕΚ (2019)	Νέοι στόχοι στο υπό αναθεώρηση ΕΣΕΚ (Ιανουάριος 2023)
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	≥ 35%	31%	45%
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας	≈ 61 – 64%	56%	80%
Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	≈ 16,1 – 16,5 Mtoe (≥ 38% σε σχέση με προβλέψεις 2007)	18,1 Mtoe	15,30 Mtoe
Μερίδιο Λιγνίτη στην Ηλεκτροπαραγωγή	0%	16,5%	0%
Μείωση ΑτΘ	≥ 42% vs σε σχέση με 1990, ≥ 55% σε σχέση με 2005	32% σε σχέση με 1990, 48% σε σχέση με 2005	-55%

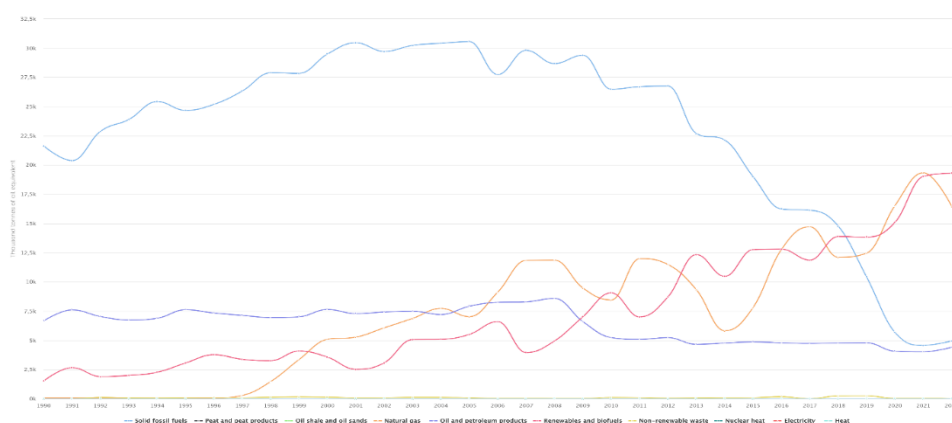
Πηγή: ΥΠΕΝ, Επεξεργασία ΙΕΝΕ

Σχήμα 1.15 Σύνοψη εθνικών στόχων στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ και της πρότασης για αναθεώρηση του ΕΣΕΚ (Ιανουάριος 2023)

Η Ελλάδα έχει σημειώσει αξιοσημείωτη πρόοδο προς την επίτευξη των στόχων αυτών, μεταξύ άλλων μειώνοντας σημαντικά το μερίδιο του λιγνίτη στο ενεργειακό της μείγμα και θέτοντας δεσμευτικό στόχο για τον τερματισμό της χρήσης λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2028.

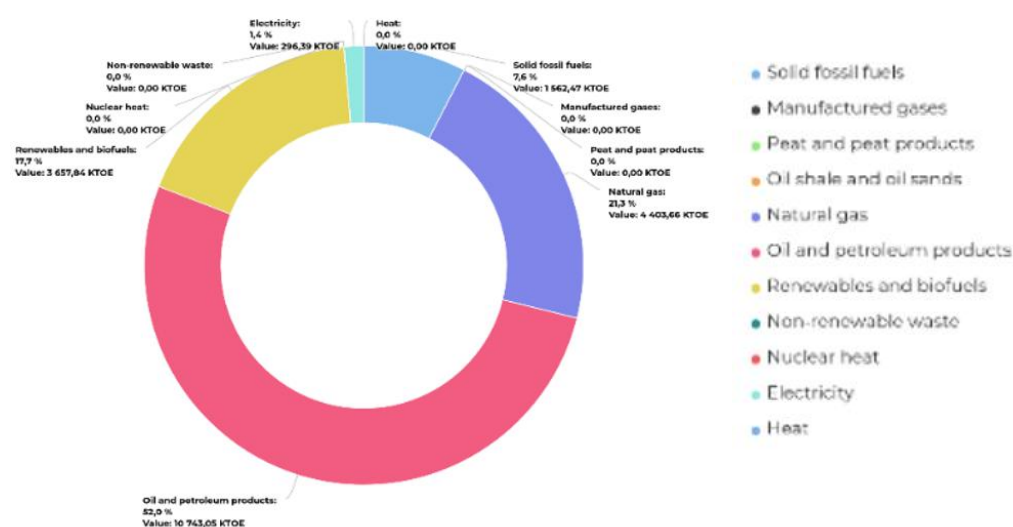
Ενδεικτικό είναι το παρακάτω διάγραμμα από το οποίο εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα για τις πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο διάστημα 2019-2022:

- Στερεά Ορυκτά Καύσιμα: Από 1042.44 χιλιάδες τόνους ισοδύναμου πετρελαίου(ΚΤΙΠ) το 2019 παρατηρήθηκε συνεχής μείωση, συνολικά 52.5% φτάνοντας του 495 ΚΤΙΠ.
- Προϊόντα πετρελαίου: Μείωση από 478.76 ΚΤΙΠ σε 440.64 ΚΤΙΠ
- Φυσικό αέριο: Παρατηρείται αύξηση από το 2019(1246.41 ΚΤΙΠ) μέχρι το 2021(1933.62 ΚΤΙΠ), ενώ έπειτα η σύνθετη γεωπολιτική κατάσταση οδήγησε σε μείωση στους 1645.92 ΚΤΙΠ το 2022.
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Από 1348.5 ΚΤΙΠ το 2019, παρατηρείται αύξηση 43.1% στους 1903.07 ΚΤΙΠ



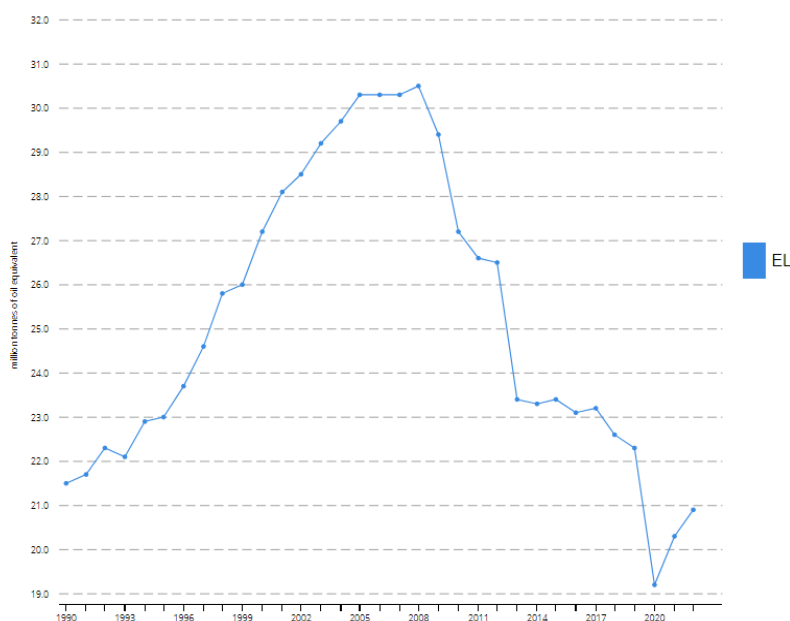
Σχήμα 1.16 Συνολική ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανά πηγή [13]

Παρά τις εν λόγω επιτυχίες, οι προκλήσεις παραμένουν. Τα ορυκτά καύσιμα εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος του ενεργειακού εφοδιασμού της Ελλάδας με την χώρα να εξαρτάται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό(79.6%) στις εισαγωγές για να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες. Επιπλέον, η αύξηση της ζήτησης μετά την άρση των πανδημικών περιορισμών το 2021 οδηγεί ήδη σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.17 Συνολική παροχή ενέργειας στην Ελλάδα, ανά οικογένεια καυσίμου[14]

Το 2022 η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας μετά τη χαμηλότερη τιμή του 2020, στο οποίο συνέβαλλε η πανδημία και η κρίση που επέφερε αυτή, παρουσιάζει τη δεύτερη χαμηλότερη τιμή της ίση με 20.9 ΜΤΙΠ.



Σχήμα 1.18 Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα σε ΜΤΙΠ[15]

Η τελική κατανάλωση ενέργειας το 2022, έφτασε στους 16.1 ΜΤΙΠ, ακολουθώντας ανοδική πορεία από το 2020(14.4 ΜΤΙΠ), ενώ οι εκπομπές αερίων ακολουθούν καθοδική πορεία και το 2022 η τιμή τους είναι 82.242 ΚΤΙΠ.



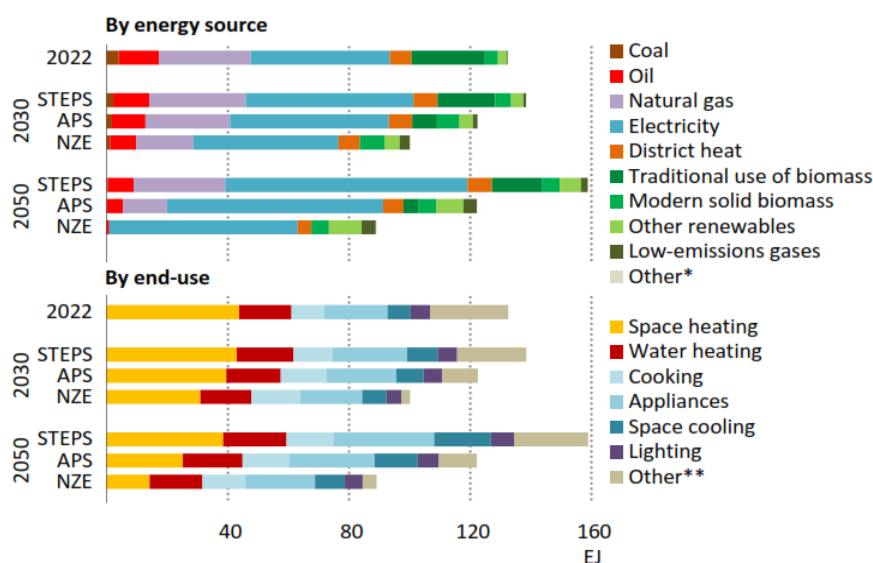
Σχήμα 1.19 Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα σε ΜΤΙΠ [16]

Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με τις σημαντικές αυξήσεις τιμών στην ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο, επηρεάζουν την ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας, η οποία με βασικό έγγραφο το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, επικεντρώνεται στη μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα μηδενικών εκπομπών έως το 2050, διασφαλίζοντας παράλληλα την ενεργειακή ασφάλεια, τη βελτίωση της οικονομικής ανταγωνιστικότητας και την προστασία των ευάλωτων καταναλωτών. Η κυβέρνηση, υπολογίζει ότι προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του Ε.Σ.Ε.Κ. για το 2030 απαιτούνται επενδύσεις ύψους 43.8 δισεκατομμύρια ευρώ στο διάστημα 2021 με 2030, με το μεγαλύτερο ποσοστό να προέρχεται από την Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Κομισιόν να σημειώνει ότι αν η Ελλάδα εφαρμόσει όλα τα μέτρα του Ε.Σ.Ε.Κ., θα επιτύχει μείωση των εκπομπών κατά 33% σε σχέση με το 2005, πολύ πέραν του στόχου της για το 2030 και της συνεισφοράς που απαιτείται για την επίτευξη του στόχου σε επίπεδο ΕΕ. Συγκεντρώνοντας τις προτάσεις όσον αφορά την ελληνική πολιτική:

- Ταχεία ενίσχυση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας για τη μείωση της ζήτησης ορυκτών καυσίμων σε όλους τους τομείς. Αυτό θα ενισχύσει για την ενεργειακή ασφάλεια και θα συμβάλει στον μακροπρόθεσμο στόχο της ουδετερότητας του άνθρακα.
- Να επιτραπεί σε τρίτους να συμμετέχουν στην Υποχρέωση Ενεργειακής Απόδοσης, να εισαχθεί μηχανισμός αγοράς για την εμπορία πιστοποιητικών και να ενθαρρυνθεί η επίτευξη μόνιμης εξοικονόμησης. Στόχος η αύξηση του αντίκτυπου της Υποχρέωσης Ενεργειακής Απόδοσης και μια οικονομικά αποδοτική εξοικονόμηση ενέργειας σε ολόκληρη την οικονομία.
- Επικέντρωση των προγραμμάτων ανακαίνισης κτιρίων σε βαθιές ανακαινίσεις που συνδυάζουν θερμομόνωση με αντλίες θερμότητας για να αποφέρουν τα μέγιστα οφέλη για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των λογαριασμών ενέργειας. Προτεραιότητα και επαρκείς πόροι θα πρέπει να δοθούν στα ευάλωτα νοικοκυριά.
- Προώθηση της αντικατάστασης παλαιών οχημάτων, ιδίως φορτηγών εμπορευμάτων, με την παροχή κινήτρων, συμπεριλαμβανομένου ενός προγράμματος διάλυσης για την ανταλλαγή παλαιών οχημάτων με πιο αποδοτικά.
- Προετοιμασία κατευθυντήριων γραμμών για αποδοτικές τεχνολογίες και πρακτικές για κλάδους της ενεργοβόρας βιομηχανίας. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της συνεργασίας με βιομηχανικές οργανώσεις για την αύξηση της ευαισθητοποίησης και της δέσμευσης της βιομηχανίας [19].

1.6 Τριτογενής Τομέας

Η συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αυξήθηκε κατά μέσο όρο 1% ετησίως κατά την τελευταία δεκαετία και έφτασε τα 133 EJ το 2022(30% της συνολικής), με το φυσικό αέριο να εξακολουθεί να καλύπτει το 23% της ζήτησης ενέργειας στα κτίρια παγκοσμίως. Η ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει σήμερα πάνω από το ένα τρίτο της ζήτησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα; το μερίδιό της αυξάνεται σταθερά με την επέκταση της ιδιοκτησίας συσκευών και κλιματιστικών, καθώς και με τον εξηλεκτρισμό της θέρμανσης και του μαγειρέματος. Η σύγχρονη βιοενέργεια καλύπτει το 4% της ενεργειακής ζήτησης στα κτίρια, ενώ άλλες άμεσες χρήσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τη μορφή ηλιοθερμικής και γεωθερμικής θέρμανσης, υπερδιπλασιάστηκαν την τελευταία δεκαετία και αντιστοιχούν πλέον στο 2% της ζήτησης.



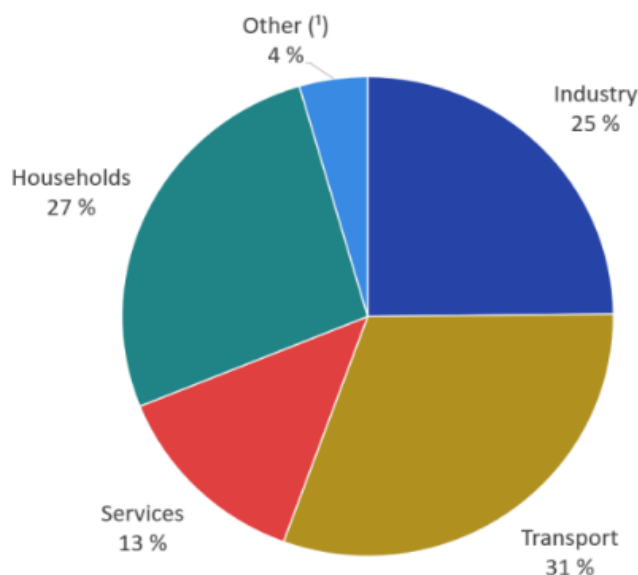
Σχήμα 1.20 Ζήτηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, ανά πηγή ενέργειας και τελική χρήση

Στο STEPS, η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας για κτίρια αυξάνεται σε σχεδόν 140 EJ το 2030 και 160 EJ το 2050, κυρίως επειδή ο αριθμός των νοικοκυριών αυξάνεται από περίπου 2,2 δισεκατομμύρια σήμερα σε 3 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, με τις μεγαλύτερες αυξήσεις στην Αφρική και την Ασία και τον Ειρηνικό. Η παγκόσμια επιφάνεια των κτιρίων κατοικιών επεκτείνεται από περίπου 200 δισεκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα σήμερα σε 310 δισεκατομμύρια τ.μ. το 2050. Στο APS, η ζήτηση ενέργειας μειώνεται με την πάροδο του χρόνου παρά τις εν λόγω ανοδικές πιέσεις στη ζήτηση ενέργειας, χάρη στη βελτίωση της αποδοτικότητας του κελύφους και των τεχνολογιών των κτιρίων. Μέχρι το 2030, η ζήτηση ενέργειας στα κτίρια είναι κατά 12% χαμηλότερη στην APS από ό,τι στην STEPS. Το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στην ενεργειακή ζήτηση του κτιριακού τομέα αυξάνεται σημαντικά σε κάθε σενάριο, από 35% σήμερα σε 40% στο STEPS, 43% στο APS και 48% στο σενάριο NZE μέχρι το 2030. Στο STEPS, η απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα της ενέργειας και η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη θέση του άνθρακα και του πετρελαίου οδηγεί σε μείωση των εκπομπών του κτιριακού τομέα (συμπεριλαμβανομένων των έμμεσων εκπομπών) κατά 1,4 γιγατόνους διοξειδίου του άνθρακα (Gt CO₂) έως το 2030, παρά την αύξηση της ζήτησης ενέργειας, ιδίως για την ψύξη των χώρων.

Το APS αντικατοπτρίζει πρόσθετες δεσμεύσεις για την παροχή πρόσβασης σε καθαρό μαγείρεμα με τη σύγχρονη βιοενέργεια να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος αυτής της πρόσθετης κατανάλωσης. Οι εκπομπές του τομέα των κτιρίων μειώνονται περισσότερο από δύο φορές ταχύτερα από ότι στο STEPS έως το 2030.

Μια βασική διαφορά μεταξύ των σεναρίων είναι το επίπεδο φιλοδοξίας για τη βελτίωση των κτιριακών σχεδίων. Στο STEPS, περίπου το 45% του κτιριακού αποθέματος κατασκευάζεται ή ανακαινίζεται σύμφωνα με τους ενεργειακούς κανονισμούς των κτιρίων ή τα πρότυπα για μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050. Στο APS, το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 65%, λαμβάνοντας υπόψη την αυξημένης φιλοδοξίας πολιτική, συμπεριλαμβανομένης της προτεινόμενης επικαιροποίησης της οδηγίας της Ε.Ε. για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD), των προτεινόμενων νέων προτύπων για τα ομοσπονδιακά κτίρια στις Ηνωμένες Πολιτείες και του σχεδίου της Κίνας για την κορύφωση και ουδετερότητα του άνθρακα για την αστικοποίηση και την αγροτική ανάπτυξη. Παρόλο που η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται από τη συμμόρφωση με τους ενεργειακούς κώδικες των κτιρίων διαφέρει ανάλογα με την αυστηρότητα των κανόνων, τα πρότυπα μηδενικού άνθρακα μειώνουν περισσότερο από το μισό τη ζήτηση θέρμανσης και ψύξης σε σύγκριση με το μέσο απόθεμα σήμερα. Τα πολιτικά κίνητρα αντισταθμίζουν τα εμπόδια στη βελτίωση του κελύφους των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένου του κόστους των υλικών και των διχασμένων κινήτρων που αντιμετωπίζουν οι ιδιοκτήτες και οι ενοικιαστές ακινήτων. Εστιάζοντας στις χώρες τη Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της καταναλισκόμενης ενέργειας και το ένα τρίτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (σχετικές με την ενέργεια).

Σύμφωνα με δεδομένα της Eurostat, το 85% των κτιρίων της ΕΕ χτίστηκε πριν από το 2000, ενώ το 70% του αποθέματος κατοικιών το 2050 υπάρχει ήδη σήμερα. Μεταξύ αυτών, το 75% έχει κακή ενεργειακή απόδοση με περίπου το 80% της κατανάλωσης να αφορά το ζεστό νερό χρήσης και την ψύξη/θέρμανση. Συνεπώς, η ισχυρή στήριξη για την αναβάθμιση των κτιρίων, τα πρότυπα αποδοτικότητας των συσκευών και τα κίνητρα αλλαγής καυσίμου παραμένει ζωτικής σημασίας για τον εξηλεκτρισμό της θέρμανσης στον κτιριακό τομέα, την εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση των λογαριασμών για τους πολίτες και τις μικρές επιχειρήσεις, την επίτευξη ενός κτιριακού αποθέματος με μηδενικές εκπομπές και πλήρη απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές μέχρι το 2050. Η ενεργειακή ένταση του κτιριακού αποθέματος βελτιώνεται κατά περίπου 30% ανά τετραγωνικό μέτρο στο STEPS έως το 2050 και σχεδόν 50% στο APS [4][20].



Σχήμα 1.21 Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά κτιριακό τομέα

Συνοπτικά, τα νομοθετικά πλαίσια που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση 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). Η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) είναι το κύριο νομοθετικό μέσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με στόχο την προώθηση της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Οδηγία 2012/27/ΕΚ: για την ενεργειακή αποδοτικότητα, την τροποποίηση των οδηγιών 2009/125/ΕΚ και 2010/30/ΕΕ και την κατάργηση των οδηγιών 2004/8/ΕΚ και 2006/32/ΕΚ.
- Οδηγία 2018/844/ΕΕ για την τροποποίηση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και της οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση.
- Οδηγία 2024/1275/ΕΕ τροποποίησης της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD).

Ανάμεσα στις παραπάνω οδηγίες, ένας σημαντικός όρος που εισήχθη με την οδηγία 2010/31/ΕΕ είναι τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας (nearly-zero energy buildings “NZEB”). Χωρίς να έχει δοθεί κάποιος συγκεκριμένος ορισμός, αποτελεί απαίτηση όλα τα νέα κτίρια από το 2020 πρέπει να έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και πολύ χαμηλές ενεργειακές ανάγκες, οι οποίες καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από επιτόπιες και κοντινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με έκθεση του 2021, το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής διαπίστωσε ότι η απαίτηση αυτή θα βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων στην ΕΕ κατά 70% σε σύγκριση με το 2006.

Ανάλογη είναι η κατάσταση στην Ελλάδα, με τα κτίρια να ευθύνονται για άνω του 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Το 71% των ελληνικών κτιρίων κατασκευάστηκαν πριν από το 1980 , δεν διαθέτουν θερμομόνωση και παρουσιάζουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ παράλληλα στην πλειοψηφία τους διαθέτουν παλιές Η/Μ εγκαταστάσεις. Το 77% των ελληνικών κτιρίων αντιστοιχεί σε κτίρια κατοικιών και το 23% σε κτίρια του τριτογενή τομέα [21].

ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ – ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ	
Κατοικίες	4.631.528
ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	
Ξενοδοχεία και εστιατόρια	24,109
Σχολεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα	19,167
Γραφεία και άλλα κτίρια	53,064
Νοσοκομεία και κλινικές	38,664
Εμπορικά καταστήματα	65,957
Αποθήκες	20,374
Ψυκτικές αποθήκες	308
Τριτογενής τομέας	221,643
ΣΥΝΟΛΟ	4.853.172
Πηγή: EU BSO και ίδιες εκτιμήσεις	

Σχήμα 1.22 Συνολικός αριθμός κτιρίων και χρήση για το 2015[22]

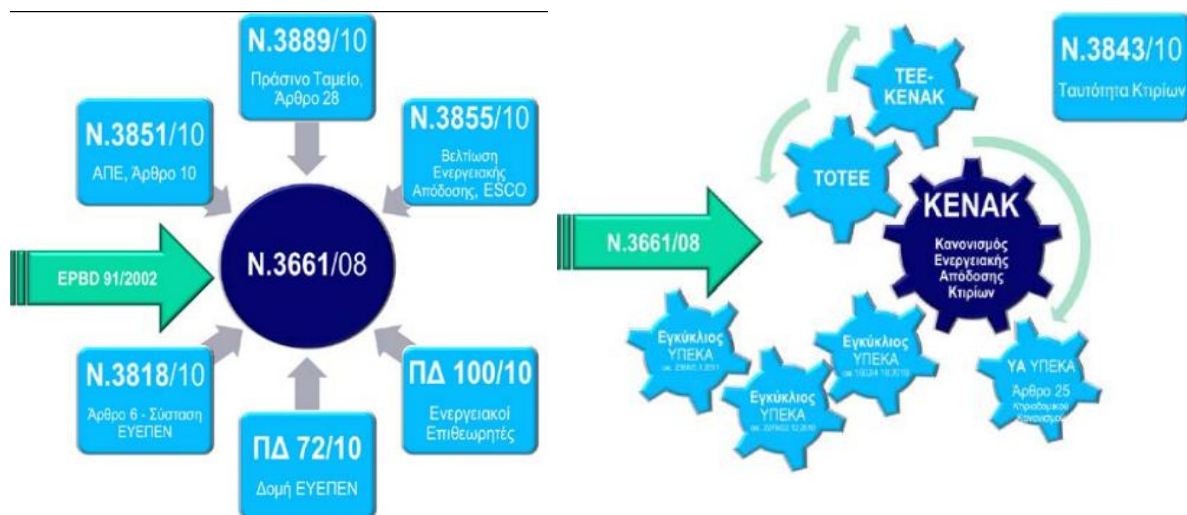
Ένα αξιόλογο μερίδιο της ζήτησης των κτιρίων καλύπτεται από ηλεκτρική ενέργεια, 50% το 2021, σε σύγκριση με τον μέσο όρο του ΙΕΑ που είναι 44%. Η Ελλάδα έχει επίσης υψηλή χρήση πετρελαίου για τη θέρμανση των κτιρίων. Το πετρέλαιο καλύπτει το 21,1% της ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων το 2021, πολύ υψηλότερο από τον μέσο όρο του ΔΟΕ που είναι 9,7%. Χάρη στην πολυετή πολιτική στήριξη των ηλιοθερμικών συλλεκτών, η Ελλάδα κατέχει ηγετική θέση στο μερίδιο της ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων που καλύπτεται από ηλιοθερμική ενέργεια (5,1% το 2021, σε σύγκριση με τον μέσο όρο του ΔΟΕ που είναι μόλις 0,6%) [19].

Από τα παραπάνω, συνδυαστικά με το γεγονός πως ο μέσος όρος ηλικίας των κτιρίων είναι μεγαλύτερος από το μέσο όρο της Ε.Ε., φαίνεται η αναγκαιότητα της Ελλάδας, να στοχεύσει προς μια σταδιακή και συντονισμένη αναβάθμιση του κτιριακού αποθέματος, ώστε το 2050 όλα τα κτίρια να συμμορφώνονται με τον πρότυπο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου εναρμονίστηκε στο Εθνικό δίκαιο με τον Ν. 4122/2013 «Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου 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.

Η Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων είχε ήδη πάρει οριστική μορφή στην Ελληνική Επικράτεια με τον νόμο 3661/08 που δημοσιεύτηκε τον Μάιο του 2008. Ο νόμος αυτός ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την Ευρωπαϊκή οδηγία για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων με μια από τις βασικότερες ρυθμίσεις, την έκδοση του Κ.Εν.Α.Κ (9 Απριλίου 2010).

Ο Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ) διακρίνεται σε έξι βασικές ρυθμίσεις:

1. Ορισμός της μεθοδολογίας υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης των κτιρίων (άρθρα 4 και 5).
2. Καθορισμός των ελάχιστων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση και κατάταξη των νέων ή υφιστάμενων κτιρίων (άρθρα 7 και 13)
3. Καθορισμός ελάχιστων προδιαγραφών για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, το κτιριακό κέλυφος και τις τεχνικές προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων. (άρθρο 8)
4. Ορισμός περιεχομένου της μελέτης ενεργειακής απόδοσης (Μ.Ε.Α) των κτιρίων (άρθρο 11)
5. Καθορισμός της μορφής του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α.) κτιρίου, καθώς και των στοιχείων που θα περιλαμβάνει (άρθρο 14)
6. Καθορισμός της διαδικασίας των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτιρίων, καθώς και την διαδικασία επιθεώρησης λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού



Σχήμα 1.23 Διαγραμματική Περίληψη των κύριων νομοθεσιών για την εφαρμογή της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων στην Ελλάδα.[23]

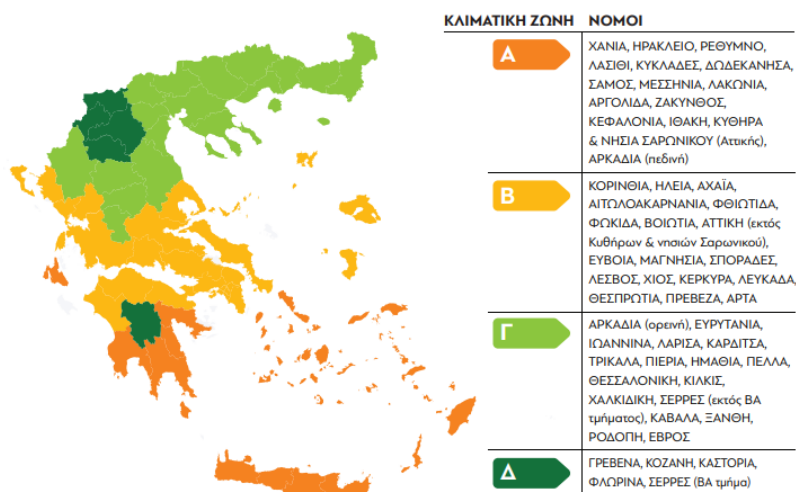
Προκειμένου να καθοριστούν οι ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης ($\text{kWh/m}^2/\text{έτος}$) ενός κτιρίου, σύμφωνα με τον Ν.3661/2008 και της οδηγίας 2002/91/ΕΕ, υπάρχουν δύο μέθοδοι. Είτε μέσω τιμών αναφοράς, είτε μέσω κτιρίου αναφοράς, με τις περισσότερες χώρες να υιοθετούν το δεύτερο. Το κτίριο αναφοράς είναι ίδιο με το εξεταζόμενο αλλά έχει τεχνικά χαρακτηριστικά που να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του KENAK, ενώ η έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Π.Ε.Α) να είναι υποχρεωτική για όλα τα κτίρια όταν κατασκευάζονται, πωλούνται ή νοικιάζονται και έχει ισχύ για 10 χρόνια. Το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m^2) του εξεταζόμενου κτιρίου προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (kWh/m^2) αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης (A+, A, B+, B, Γ - H).

ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	
$EP \leq 0,33 \cdot R_R$	A+
$0,33 \cdot R_R < EP \leq 0,5 \cdot R_R$	A
$0,5 \cdot R_R < EP \leq 0,75 \cdot R_R$	B+
$0,75 \cdot R_R < EP \leq 1,0 \cdot R_R$	B
$1,0 \cdot R_R < EP \leq 1,41 \cdot R_R$	Γ
$1,41 \cdot R_R < EP \leq 1,82 \cdot R_R$	Δ
$1,82 \cdot R_R < EP \leq 2,27 \cdot R_R$	E
$2,27 \cdot R_R < EP \leq 2,73 \cdot R_R$	Z
$2,73 \cdot R_R < EP$	H
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ	

Επομένως, ο KENAK, καθίσταται ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο τόσο στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης νέων και υφιστάμενων κτιρίων, όσο και στην αξιολόγηση αυτών.

Κατά την εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – KENAK, η ελληνική επικράτεια διαιρέθηκε σε 4 ζώνες, με κριτήριο την όσον το δυνατόν προσεγγιστική ομοιότητα των κλιματικών χαρακτηριστικών.

ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΑΝΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ

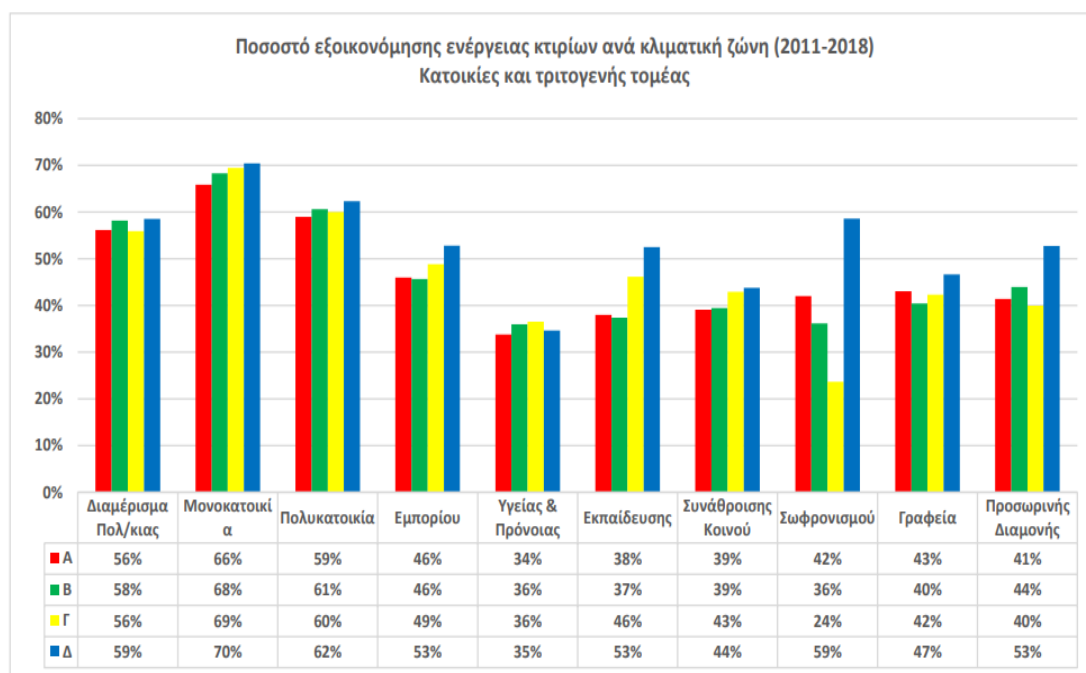


Σχήμα 1.24 Κλιματικές Ζώνες στην Ελλάδα σύμφωνα με τον KENAK[24]

Ο διαχωρισμός αυτός και τα Π.Ε.Α δίνουν κρίσιμες πληροφορίες που βοηθούν σημαντικά στη λήψη αποφάσεων και αξιολόγηση των εθνικών στόχων. Ενδεικτικά, μπορούμε να δούμε τη μέση ετήσια κατανάλωση (kWh/m^2), το ποσοστό εξοικονόμησης ανά τύπο κτιρίου και κλιματική ζώνη(Σχήμα 1.25), αλλά και την ηλικιακή κατηγοριοποίηση τους.

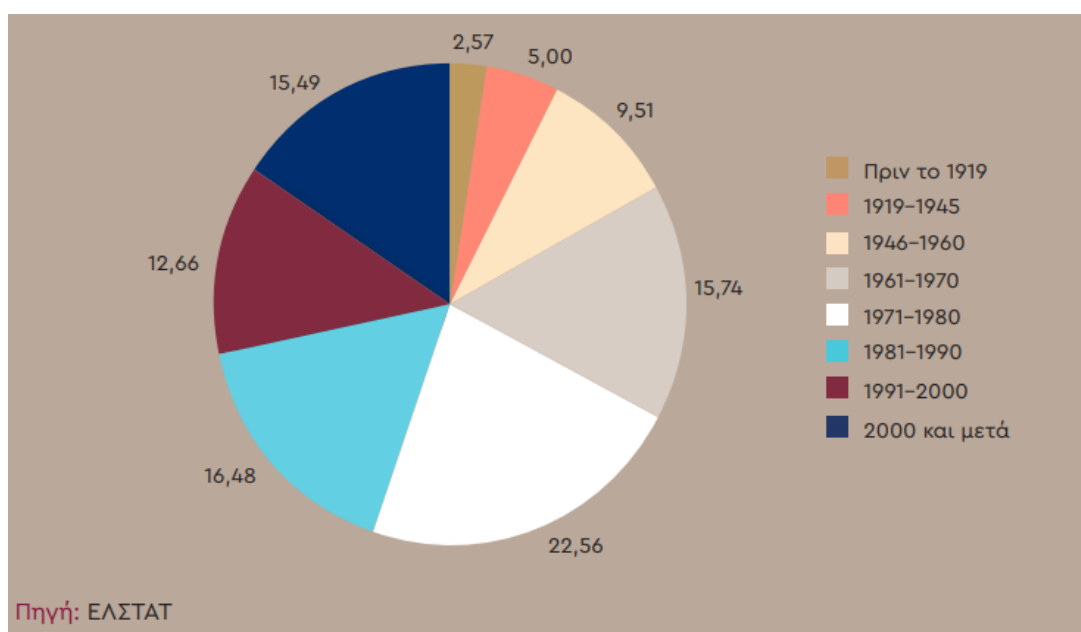
	Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)						Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)					
	Μονοκατοικίες			Πολυκατοικίες			Μονοκατοικίες			Πολυκατοικίες		
Κλιματική ζώνη	1980	2001	2010	1980	2001	2010	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 ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)												
	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 ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)												
	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

Σχήμα 1.25 Μέση ετήσια ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$) για τα ελληνικά κτίρια



Πηγή: Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων: Στατιστική Ανάλυση για το Έτος 2018

Σχήμα 1.26 Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κτιρίων ανά κλιματική ζώνη



Σχήμα 1.27 Μεριδίο (%) του κτιριακού αποθέματος στην Ελλάδα ανά χρονική περίοδο κατασκευής

Για την καλύτερη εκτίμηση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας, μελετήθηκε η εφαρμογή διαφόρων Μέτρων Εξοικονόμησης Ενέργειας (Μ.Ε.Ε.). 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 Μ.Ε.Ε. Φυσικά, στα συμπεράσματα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν το βέλτιστο κόστος σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει το μέτρο (κόστος Μ.Ε.Ε. – περίοδος αποπληρωμής).

κτιρίου: Μονοκατοικίες (Μ) και Πολυκατοικίες (Π), Γραφεία-Καταστήματα (Γ/Κ), Ξενοδοχεία (Ξ), Σχολεία (Σ), και Νοσοκομεία (Ν).

Προτεραιότητες εφαρμογής των ΜΕΕ στα ελληνικά κτίρια															
ΜΕΕ	Ποσοστιαία συνολική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας (%)										Προτεινόμενα μέτρα για κάθε είδος κτιρίου				
	Θερμική					Ηλεκτρική									
	Γ/Κ	Ξ	Σ	Ν	Μ-Π	Γ/Κ	Ξ	Σ	Ν	Μ-Π	Γ/Κ	Ξ	Σ	Ν	Μ-Π (ανά ζώνη)
Θέρμανση Χώρων – Κτιριακό Κέλυφος															
#1	31	40	31	37	49	4	5			4	*	✓	*	✓	* (Α, Β) ✓ (Γ, Δ)
#2	5	6	5	6	10	2	2			2	×	*	×	*	* (Α, Β, Γ, Δ)
#3	11	19	18	18	19						×	×	×	*	* (Γ, Δ)
#15					20						--	--	--	--	* (Α, Β) ✓ (Γ, Δ)
Θέρμανση Χώρων – Παραγωγή Θερμότητας															
#4		11			11						*	✓	*	✓	✓ (Α, Β, Γ, Δ)
#5		17			17						✓	✓	✓	✓	* (Α) ✓ (Β, Γ, Δ)
#6		21			21						✓	✓	--	✓	✓ (Β, Γ)
#7		5			4						*	✓	×	✓	* (Α, Β) ✓ (Γ, Δ)
#8		5			4						✓	✓	×	✓	* (Α, Β) ✓ (Γ, Δ)
Ψύξη															
#9						14	17	15	14	15	*	*	--	*	* (Α, Β) ✓ (Γ, Δ)
#10							60			60	*				✓ (Α, Β, Γ, Δ)
#11						16					*	--	--	--	--
#16										72	--	--	--	--	✓ (Α, Β, Γ, Δ)
Ζεστό Νερό Χρήσης															
#12						43	76	33	64	68	--	✓	--	✓	* (Α, Β, Γ, Δ)
Φωτισμός															
#13							60			60	✓	✓	✓	✓	✓ (Α, Β, Γ, Δ)
Ενεργειακή Διαχείριση κτιρίου (BMS)															
#14	20	20		20		30	30		30		✓	✓	--	✓	--

(✓) Μέτρα οικονομικά ελκυστικά & βιώσιμα. Δεν απαιτούν κάποια οικονομική υποστήριξη (επιδότηση) για την εφαρμογή τους, ενώ η συνεισφορά τους στην μείωση της κατανάλωμένης ενέργειας και ρύπων είναι πολύ σημαντική.
 (*) Ενεργειακά αποδοτικά μέτρα. Απαιτείται ώθηση μέσω οικονομικών επιδοτήσεων ή εμμέσων οικονομικών μέτρων όπως η επιβολή φόρων στην κατανάλωση ενέργειας.
 (x) Μη επιλεγόμενα μέτρα, που για ορισμένους τουλάχιστον τύπους κτιρίων είναι υψηλού κόστους και οποιαδήποτε οικονομική υποστήριξη δεν συμβάλει στην βιωσιμότητά τους.

Σχήμα 1.28 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης με την ιεράρχηση των ΜΕΕ για τις διαφορετικές τελικές χρήσεις κτιρίων και τις κλιματικές ζώνες της χώρας[25]

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

Σχήμα 1.29 Περίοδος αποπληρωμής και μέσο κόστος των ΜΕΕ στα κτίρια [25]

Για την πλήρη εφαρμογή του KENAK, το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, συνέταξε μια σειρά απαραίτητων τεχνικών οδηγιών, όπως αναφέρεται στον κανονισμό. Οι τεχνικές οδηγίες είναι υποχρεωτικές για την εφαρμογή του κανονισμού, εγκρίθηκαν με την υπουργική απόφαση αριθμ. Οικ. 17178/2010 «Έγκριση και εφαρμογή των τεχνικών οδηγιών Τ.Ε.Ε για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων» (Φ.Ε.Κ Β' 1387) και είναι οι εξής:

1. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2010 «Αναλυτικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»
2. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτιρίων»
3. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών»
4. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού»

1.7 Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης (nZEB)

Από το 2020, όλα τα νέα κτίρια στην Ε.Ε. πρέπει να είναι «κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας». Αυτό αναμένεται να αντικατασταθεί από μια ενισχυμένη απαίτηση για «κτίρια με μηδενικές εκπομπές ρύπων», ξεκινώντας από το 2028 για τα νέα κτίρια που ανήκουν σε δημόσιους φορείς και από το 2030 για όλα τα άλλα νέα κτίρια. Τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας είναι μια απαίτηση που θεσπίστηκε με την οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων ΕΕ/31/2010 (αναθεωρημένη το 2018). Σημαίνει ότι όλα τα νέα κτίρια - από το 2020 - πρέπει να έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και πολύ χαμηλές ενεργειακές ανάγκες, που θα καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από επιτόπιες και κοντινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η αναδιατυπωμένη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) (ΕΥ/2024/1275), που εγκρίθηκε τον Μάιο του 2024, ενισχύει τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για τα νέα κτίρια. Απαιτεί όλα τα νέα οικιακά και μη οικιακά κτίρια να είναι μηδενικών εκπομπών από την 1η Ιανουαρίου 2028 για κτίρια που ανήκουν σε δημόσιους φορείς και από την 1η Ιανουαρίου 2030 για όλα τα άλλα νέα κτίρια, με δυνατότητα ειδικών εξαιρέσεων. Σύμφωνα με την αναθεωρημένη οδηγία, ένα κτίριο μηδενικών εκπομπών δεν έχει καθόλου εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτά καύσιμα και πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Συνεπώς, οι νέοι κανόνες θα προσαρμόσουν τις ενεργειακές επιδόσεις των κτιρίων στο στόχο της Ε.Ε. για κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050 και στην πρώτη αρχή της ενεργειακής απόδοσης. Όπως και στα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση, η πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας που εξακολουθεί να απαιτείται για τα κτίρια μηδενικών εκπομπών καλύπτεται από επιτόπιες και κοντινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; μεταξύ άλλων από κοινότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποδοτική κεντρική θέρμανση και ψύξη (σύμφωνα με το άρθρο 26 παράγραφος 1 της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση του 2023).

Τα κτίρια μηδενικών εκπομπών θα υποστηρίξουν επίσης την ευελιξία του δικτύου, παρέχοντας αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε επίπεδο νοικοκυριού ή κοινότητας, αποθήκευση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, καλύτερη ανταπόκριση στη ζήτηση και έξυπνη φόρτιση, η οποία θα μειώσει τη ζήτηση και θα συμβάλει στη συνολική παροχή ενέργειας στο δίκτυο.

Με στόχο την επίτευξη της απαλλαγής του κτιριακού αποθέματος από τις ανθρακούχες εκπομπές έως το 2050, η αναδιατυπωμένη οδηγία EPBD προβλέπει επίσης ότι η ριζική ανακαίνιση θα πρέπει να μετατρέψει τα κτίρια σε κτίρια μηδενικών εκπομπών μετά το 2030. Στην Ελλάδα, η Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, ενσωματώνεται στο εθνικό δίκαιο με το άρθρο 9 του ν.4122/2013. Στο άρθρο αυτό, αναφέρεται πως από 1.1.2021 όλα τα νέα κτίρια πρέπει να είναι κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ για τα κτίρια που ανήκουν στο δημόσιο τομέα, η υποχρέωση αυτή τίθεται σε ισχύ από 1.1.2019 [26].

Με την υπουργική απόφαση 85251/242/5.12.2018 (Β' 5447) του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας εγκρίνεται το Εθνικό Σχέδιο αύξησης του αριθμού των Κ.Σ.Μ.Κ.Ε. Επισημαίνεται ότι η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τα κτίρια Κ.Σ.Μ.Κ.Ε. πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με ενέργεια από Α.Π.Ε., που παράγεται επί τόπου ή πλησίον του κτιρίου. Για την αύξηση του αριθμού των Κ.Σ.Μ.Κ.Ε. είναι απαραίτητος ο καθορισμός του εύρους κατανάλωσης ενέργειας ανά τύπο κτιρίου και κλιματική ζώνη, του βέλτιστου κόστους σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας (cost optimal), καθώς και ο προσδιορισμός της ενεργειακής κατηγορίας, για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως Κ.Σ.Μ.Κ.Ε. Στο παρακάτω σχέδιο καθορίζεται το εύρος τιμών κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τις ενεργειακές κατηγορίες Β έως Α+ ανά κλιματική ζώνη.

Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων κατοικίας ανά Κλιματική Ζώνη (kWh/m ² a)			
	Α	Β	Γ	Δ
A+	11 - 25	14 - 35	10 - 44	17 - 36
A	18 - 56	21 - 55	26 - 74	54 - 88
B+	32 - 81	31 - 99	45 - 125	37 - 128
B	45 - 112	56 - 126	72 - 172	63 - 184
Ενεργειακή κατηγορία	Ενεργειακές καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας κτιρίων τριτογενούς τομέα ανά Κλιματική Ζώνη (kWh/m ² a)			
	Α	Β	Γ	Δ
A+	12 - 77	14 - 91	52 - 69	30
A	65 - 185	41 - 114	68 - 119	82
B+	98 - 218	60 - 196	99 - 218	105 - 156
B	133 - 266	115 - 245	120 - 280	149 - 218

Σχήμα 1.30 Τιμές κατανάλωσης ενέργειας κτιρίων κατηγορίας Β και Α+

Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί μέτρων βελτίωσης ενεργειακών χαρακτηριστικών του κελύφους, ενσωμάτωσης αποδοτικών τεχνικών συστημάτων κτιρίων και τεχνολογιών Α.Π.Ε. (φωτοβολταϊκά, θερμικά ηλιακά συστήματα και συστήματα θέρμανσης ψύξης με αντλίες θερμότητας).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προσδιορίζονται παρακάτω οι απαιτήσεις σύμφωνα με τις οποίες ένα κτίριο μπορεί να χαρακτηριστεί ως Κ.Σ.Μ.Κ.Ε.:

- Να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία A, αν είναι νέο κτίριο.
- Να κατατάσσεται τουλάχιστον στην ενεργειακή κατηγορία B+, αν είναι υφιστάμενο κτίριο [27].

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.28, ένα από τα σημαντικότερα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (Μ.Ε.Ε.) αλλά και με την υψηλότερη επιστροφή επένδυσης στο συντομότερο χρονικό διάστημα είναι η εγκατάσταση συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (Building Management Energy System – BEMS), γνωστά στον κτιριακό τομέα και ως συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου (Building Automation and Control System – BACS).

Η ενεργειακή διαχείριση ορίζεται ως η προληπτική και συστηματική παρακολούθηση, ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτιρίου για τη διατήρηση της χρήσης και τη μείωση του ενεργειακού κόστους.

	Κατηγορία	Μέτρα	Εξοικονόμηση [%]	Απόσβεση [έτη]
	Διαχείριση	• Βελτιστοποίηση με αποδοτική χρήση κτιριακών αυτοματισμών • Χρήση έξυπνων στρατηγικών ελέγχου • Εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών ελέγχου	5-30	0-5
	Τεχνική Εγκατάσταση	• HVAC, ψύξη, φωτισμός • Έλεγχοι, κινητήρες, ενεργοποιητές • Παραγωγή ενέργειας	10-60	2-10
	Κέλυφος Κτιρίου	• Μόνωση, ανοίγματα • Θερμογέφυρες, φυσικά στοιχεία κτιρίου	>50	10-60

Σχήμα 1.31 ROI των μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια[28]

Ένα τέτοιο σύστημα, συνδέει τα συστήματα HVAC, φωτισμού, πυρασφάλειας, συναγερμού, καμερών και εξοπλισμού εγκαταστάσεων ενός κτιρίου σε μια ενιαία πλατφόρμα λογισμικού για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας και της σπατάλης. Συνεπώς, διαπιστώνεται ότι ο αυτοματισμός των κτιρίων θα πρέπει να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο για την επιτυχή υλοποίηση κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Πρωταρχικός στόχος είναι η μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, ιδίως με τη βελτιστοποίηση των αυτόματων λειτουργιών, ώστε να αυξηθεί η ποσότητα της (άμεσα αξιοποιήσιμης) ανανεώσιμης ενέργειας, εντός και εκτός του κτιρίου, και για να παρακολουθείται η επιτυχής λειτουργία βάση του προτύπου σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας.

Πρόκειται δηλαδή για τον συνδυαστικό κρικό όλων των επιμέρους απαιτήσεων για κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, όπως ένα καλά μονωμένο και αεροστεγές κέλυφος κτιρίου, ένα αποδοτικό σύστημα HVAC και ένα υψηλό ποσοστό ανανεώσιμης ενέργειας [29]. Φυσικά, θα πρέπει ταυτόχρονα διασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ της επίτευξης των παραπάνω με την επιθυμητή χρήση μιας ζώνης, την ανθρώπινης άνεση και την επιθυμητή παραγωγικότητας των ανθρώπων που εργάζονται/διαμένουν στις ζώνες - η οποία πρέπει να είναι βέλτιστη [30].

Προκειμένου να χαρτογραφηθεί 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, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία EN 15232 « Ενεργειακή απόδοση κτιρίων- Επίδραση των συστημάτων αυτοματισμών, ελέγχου και διαχείρισης κτιρίων ». Το πρότυπο καθορίζει:

- Έναν δομημένο κατάλογο των λειτουργιών ελέγχου, αυτοματισμού κτιρίων και τεχνικής διαχείρισης κτιρίων (Technical Building Management – TBM) που έχουν αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
- Μια μέθοδο καθορισμού των ελάχιστων απαιτήσεων όσον αφορά τις λειτουργίες ελέγχου, αυτοματισμού κτιρίων και τεχνικής διαχείρισης κτιρίων που πρέπει να εφαρμόζονται σε κτίρια διαφορετικής πολυπλοκότητας.
- Λεπτομερείς μεθόδους για την αξιολόγηση του αντίκτυπου αυτών των λειτουργιών στην ενεργειακή απόδοση ενός συγκεκριμένου κτιρίου. Οι μέθοδοι αυτές επιτρέπουν την εισαγωγή της επίδρασης αυτών των λειτουργιών στους υπολογισμούς των βαθμολογιών ενεργειακής απόδοσης και των δεικτών που υπολογίζονται από τα σχετικά πρότυπα.
- Μια απλουστευμένη μέθοδο για μια πρώτη εκτίμηση του αντίκτυπου αυτών των λειτουργιών στην ενεργειακή απόδοση τυπικών κτιρίων.

Σύμφωνα με το πρότυπο τα επίπεδα συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου κτιρίων κατηγοριοποιούνται ως εξής:



Σχήμα 1.32 Κατηγοριοποίηση κτιρίων ανάλογα με το επίπεδο των συστημάτων αυτοματισμού

Στο Σχήμα 1.33 παρουσιάζεται λίστα λειτουργιών και αντιστοίχιση αυτών με τις κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης.

	Έλεγχος θέρμανσης / ψύξης	Έλεγχος αερισμού / κλιματισμού	Φωτισμός	Προστασία από ηλιακή ακτινοβολία
A	- ολοκληρωμένος έλεγχος κάθε δωματίου ... control of each room with request management (by usage, air quality, etc.) - Έλεγχος συστήματος εσωτερικής αντιστάθμισης (έλεγχος μετρούμενης εσωτερικής θερμοκρασίας/set point) - Καμία δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας θέρμανσης και ψύξης (μανδαλωμένες λειτουργίες)	- Η παροχή αέρα σε κάθε δωμάτιο γίνεται κατόπιν ζήτησης ή από την ανίχνευση παρουσίας ανθρώπων - Μεταβλητό set point ελέγχου θερμοκρασίας προσαγωγής αέρα (έλεγχος φορτίου/προσαγωγής αέρα-PID) - Έλεγχος υγρασίας με παροχή ή απαγωγή αέρα από το χώρο	- Αυτόματη ανίχνευση φωτός ημέρας και έλεγχος φωτισμού - Έλεγχος παρουσίας ανθρώπων και αυτόματη ενεργοποίηση φωτισμού - Παράλληλη δυνατότητα: - χειροκίνητο on / αυτόματο off - χειροκίνητο on / ρύθμιση φωτεινότητας - αυτόματο on / αυτόματο off - αυτόματο on / ρύθμιση φωτεινότητας	Συνδυαστικός έλεγχος φωτισμού/ ρολών σκίασης/ HVAC (θέρμανση, αερισμός, air conditioning)
B	- Ανεξάρτητος έλεγχος κάθε δωματίου με επικοινωνία μεταξύ ελεγκτών και BACS - Έλεγχος συστήματος εσωτερικής αντιστάθμισης - Μερική μανδάλωση λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης (ανάλογα με το σύστημα HVAC)	- Η παροχή αέρα σε κάθε δωμάτιο γίνεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα - Μεταβλητό set point ελέγχου της θερμοκρασίας προσαγωγής αέρα, ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία - Έλεγχος υγρασίας με παροχή ή απαγωγή αέρα από το χώρο	- Χειροκίνητος έλεγχος φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας - Έλεγχος παρουσίας ανθρώπων και αυτόματη ενεργοποίηση φωτισμού - Παράλληλη δυνατότητα: - χειροκίνητο on / ρύθμιση φωτεινότητας - αυτόματο on / αυτόματο off - αυτόματο on / ρύθμιση φωτεινότητας	Ηλεκτρικός έλεγχος (μέσω μοτέρ) των μηχανισμών σκίασης και ρολών
C	- Ανεξάρτητος έλεγχος σε κάθε δωμάτιο μέσω θερμοστατικών βαλβίδων ή ηλεκτρονικών ελεγκτών - Έλεγχος συστήματος εξωτερικής αντιστάθμισης - Μερική μανδάλωση λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης (ανάλογα με το σύστημα HVAC)	- Η παροχή αέρα σε κάθε δωμάτιο γίνεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα - Σταθερό set point θερμοκρασίας προσαγωγής αέρα - Περιορισμένη παροχή αέρα για έλεγχο υγρασίας	- Χειροκίνητος έλεγχος φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας - Χειροκίνητος διακόπτης on/off + sweeping extinction signal (τουλάχιστον ένας ηλεκτρικός χειρισμός κατά τη διάρκεια της ημέρας) - Χειροκίνητος διακόπτης on/off	Ηλεκτρικός έλεγχος (μέσω μοτέρ) των μηχανισμών σκίασης και ρολών
D	- Κανένας αυτόματος έλεγχος. - Κανένας έλεγχος συστήματος αντιστάθμισης - Καμία μανδάλωση λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης	- Καμία παροχή αέρα - Κανένας έλεγχος θερμοκρασίας προσαγωγής αέρα - Κανένας έλεγχος υγρασίας	- Χειροκίνητος έλεγχος φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας - Χειροκίνητος διακόπτης on/off + sweeping extinction signal - Χειροκίνητος διακόπτης on/off	Χειροκίνητος έλεγχος των μηχανισμών σκίασης και ρολών

Σχήμα 1.33 Λίστα λειτουργιών των συστημάτων αυτοματισμού και ενεργειακή απόδοση αυτών

Κεφάλαιο 2

Έλεγχος Τεχνητού Φωτισμού

2.1 Εισαγωγή

Τα κτίρια και οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε αυτά, αλληλοεπιδρούν τόσο μεταξύ τους, όσο και με το φυσικό περιβάλλον. Όπως αναλύθηκε, ο κτιριακός τομέας, καταναλώνει ένα τεράστιο ποσοστό ενέργειας, αλλά και ευθύνεται για ένα μεγάλο μερίδιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα παραπάνω οδήγησαν στην ανάγκη κεντρικού ελέγχου, ο οποίος αποτελείται από μια πληθώρα υποσυστημάτων με γραμμική ή μη γραμμική συμπεριφορά και κεντρικό στόχο έχει την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ χρηστών και εξοικονόμησης ενέργειας. Η θερμική, οπτική άνεση, η ποιότητα του αέρα κ.α. συνδυαστικά με τις παρεμβάσεις των χρηστών στο σύστημα διαχείρισης για τις διάφορες διαδικασίες (φωτισμός, HVAC, ήχος κ.α.) καθορίζουν το σχεδιασμό του συστήματος αυτοματισμού του κτιρίου. Δυο σημαντικοί όροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε περίπτωση είναι η Θερμική και η Οπτική Άνεση.

2.1.1 Θερμική Άνεση

Ο όρος «θερμική άνεση» εκφράζει μια κατάσταση κατά την οποία ο εργαζόμενος αισθάνεται ικανοποιημένος από τις θερμικές συνθήκες του εργασιακού του περιβάλλοντος (θερμοκρασία του αέρα, σχετική υγρασία, ακτινοβολούμενη θερμότητα) σε συνάρτηση με το είδος της εργασίας που ασκεί και τον ρουχισμό του.

Στην εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος στα γραφεία θα βασιστούμε στη συσχέτιση των αποτελεσμάτων με το Π.Δ. 398/1994, το οποίο αναφέρεται στις «Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας με οθόνες οπτικής απεικόνισης σε συμμόρφωση με την οδηγία του συμβουλίου 90/270/ΕΟΚ», όπου αναφέρονται και οι συνιστώμενες τιμές των παραμέτρων της θερμοκρασίας του σφαιρικού θερμομέτρου, της ταχύτητας του αέρα και της σχετικής υγρασίας. Παράλληλα, σε μέτρια επιβαρυνμένα θερμικά περιβάλλοντα, όπως τα γραφεία, στηριζόμαστε και στην αξιολόγηση των δεικτών της προβλεπόμενης μέσης ψήφου (PMV-Predicted Mean Vote) και της εκατοστιαίας αναλογίας των ατόμων που παρουσιάζονται δυσαρεστημένοι από το θερμικό περιβάλλον εργασίας τους (PPD-Predicted Percentage of Dissatisfied). Για την επεξεργασία των δεικτών PPD και PMV εισάγονται στο μικροκλιματικό σταθμό οι κατάλληλες παράμετροι για το ρουχισμό (σε clo) για το είδος ή τη μορφή της εργασίας (σε W) σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO 7933:2004 και ISO 7730:2005 όπου καταγράφονται οι βασικές τιμές θερμικής αντίστασης για επιλεγμένους τύπους ρουχισμού. Το διεθνές πρότυπο ISO 7730 προτείνει οι οριακές τιμές του PMV να κυμαίνονται μεταξύ +0,5 έως -0,5 χαρακτηρίζοντας τη συγκεκριμένη ζώνη θερμικού περιβάλλοντος ως ζώνη θερμικής άνεσης δίνοντας ένα ποσοστό δυσαρέσκειας PPD 10%. Η μηδενική τιμή του δείκτη PVM αποτελεί την ιδεατή συνθήκη θερμικής κατάστασης και αυτή συμβαδίζει μ' ένα ποσοστό 5% των εργαζομένων που είναι δυσαρεστημένοι [31].

2.1.2 Οπτική Άνεση

Με τον όρο «οπτική άνεση» περιγράφεται μία θετική οπτική εμπειρία, στην οποία, εκτός από την κατανομή και την επάρκεια του φωτός, μπορούν να συντελέσουν παράγοντες όπως η ανεμπόδιστη θέα της γύρω περιοχής, οι προσόψεις των κτηρίων, η βλάστηση και γενικότερα ένας αισθητικά καλοσχεδιασμένος αστικός χώρος.

Οι απαιτήσεις της οπτικής άνεσης πηγάζουν από τις ανάγκες των ανθρώπων. Οι ανάγκες αυτές μπορούν να ικανοποιηθούν αν ο φωτισμός παρέχει τα ακόλουθα:

- Καθοδήγηση ως προς την κίνηση και τον προσανατολισμό και οπτική σύνδεση με τον περιβάλλοντα χώρο.
- Σύνδεση με τους βιολογικούς ρυθμούς.
- Ικανότητα αναγνώρισης των αντικειμένων στο χώρο.
- Ικανότητα κατεύθυνσης της προσοχής και καθορισμού της σημασίας της οπτικής πληροφορίας.
- Αίσθηση διακριτότητας μεταξύ των περισσότερο και λιγότερο φωτισμένων μερών μιας σκηνής.
- Αίσθηση ασφάλειας σε λιγότερο φωτεινές περιοχές [32].

2.2 Ενεργειακή Διαχείριση Φωτισμού

Η εκπλήρωση των παραπάνω και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλή ενεργειακή απόδοση, έχει οδηγήσει στο σχεδιασμό «έξυπνων» συστημάτων διαχείρισης φωτισμού και στην αντικατάσταση «ξεπερασμένων» φωτεινών πηγών και φωτιστικών όπως λάμπες πυρακτώσεως και φθορίου με αποδοτικότερες και συγκεκριμένα LED. Οι λυχνίες LED διαμορφώνουν τη σημερινή δυναμική της αγοράς και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών οδηγεί σε περαιτέρω καινοτομία, ευρύτερες επιλογές προϊόντων και χαμηλότερες τιμές [33].

Η ενεργειακή διαχείριση φωτισμού, για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις θα πρέπει:

1. Να παρέχει το βέλτιστο επίπεδο φωτισμού για την εκάστοτε εργασία
2. Να παρέχει φωτισμό όπου είναι απαραίτητος
3. Να παρέχει φωτισμό όποτε είναι απαραίτητος.

Έτσι, η μελέτη αυτοματισμού για κάθε ζώνη φωτισμού θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους παρακάτω παράγοντες :

- Ζώνη εργασίας (μέγεθος, θέση, προσανατολισμό)
- Αναγκαίο επίπεδο φωτισμού και ομοιομορφίας
- Χρόνος αξιοποίησης τη ζώνης από τους χρήστες
- Ανάγκες ελέγχου από τον ίδιο το χρήστη

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 ανάλογα με τον χώρο που εγκαθίσταται, μπορεί να προτείνεται το σύστημα να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μπορεί να επέμβει ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις του(κατοικία) ή να δίνει τη δυνατότητα περιορισμένου ελέγχου όπως μείωση της φωτεινής ροής (dimming). Η αξιολόγηση απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος αποτελείται από τις εξής παραμέτρους:

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

Ένα υψηλής απόδοσης σύστημα διασφαλίζει σταθερή και χωρίς ενοχλήσεις του χρήστη λειτουργία διατηρώντας πάντα χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

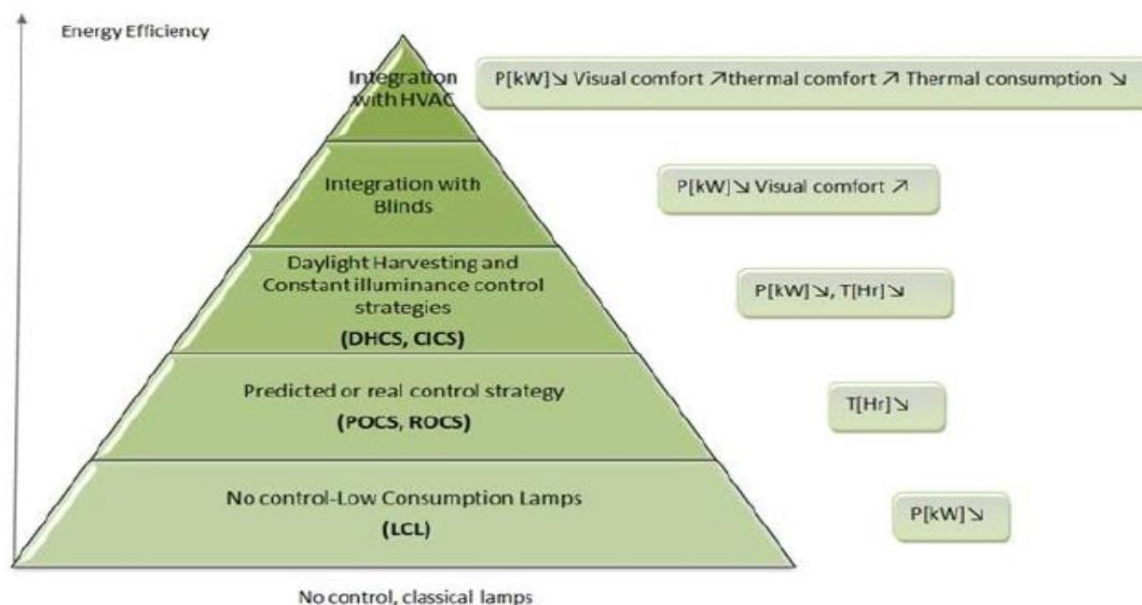
Ένας ακόμη παράγοντας είναι η χρηστικότητα του κάθε συστήματος. Θα πρέπει να απευθύνεται σε όλους τους διαφορετικούς τύπους χρηστών όπως τους διαχειριστές εγκατάστασης, τεχνικούς συντήρησης αλλά και αυτούς που τελικά λειτουργούν το κτίριο.

Μερικά κριτήρια που πρέπει να πληρούνται είναι:

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

2.3 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού

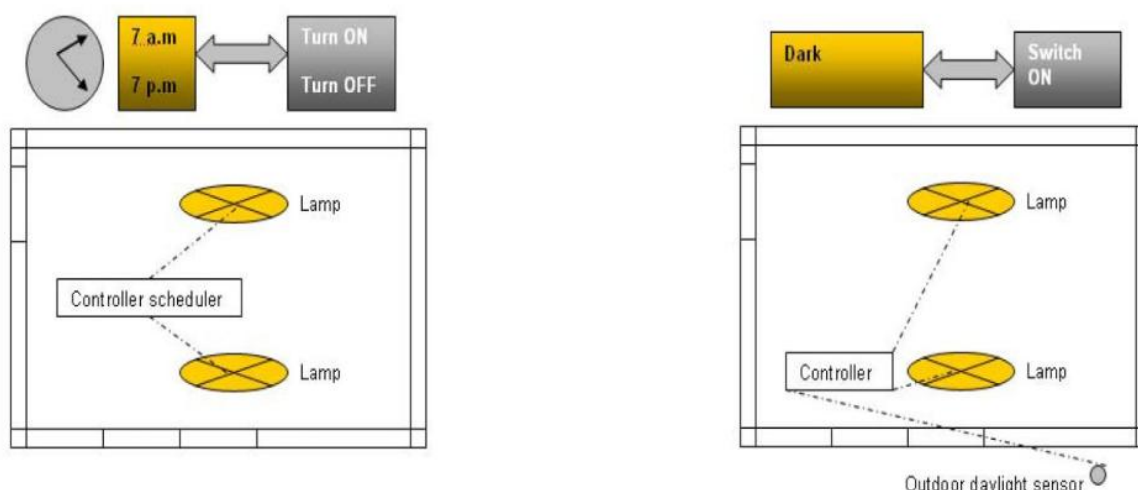
Στην πλειονότητα τους, τα συστήματα που εγκαθίστανται, επιτρέπουν, εκτός του φωτισμού, την ενσωμάτωση διαφόρων άλλων συστημάτων που απασχολούν το κτίριο και την απόδοση του, όπως της σκίασης, ψύξης, θέρμανσης, αερισμού, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και πολλά άλλα. Η συνεργασία κάποιων από των παραπάνω συστημάτων με το φωτισμό, επιτυγχάνει τη βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Όπως φαίνεται και παρακάτω, η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων ελέγχου φωτισμού εξαρτάται από τις στρατηγικές που εφαρμόζονται.



Σχήμα 2.1 Στρατηγικές ελέγχου συστήματος συναρτήσει της ενεργειακής τους απόδοσης

2.3.1 Στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης παρουσίας

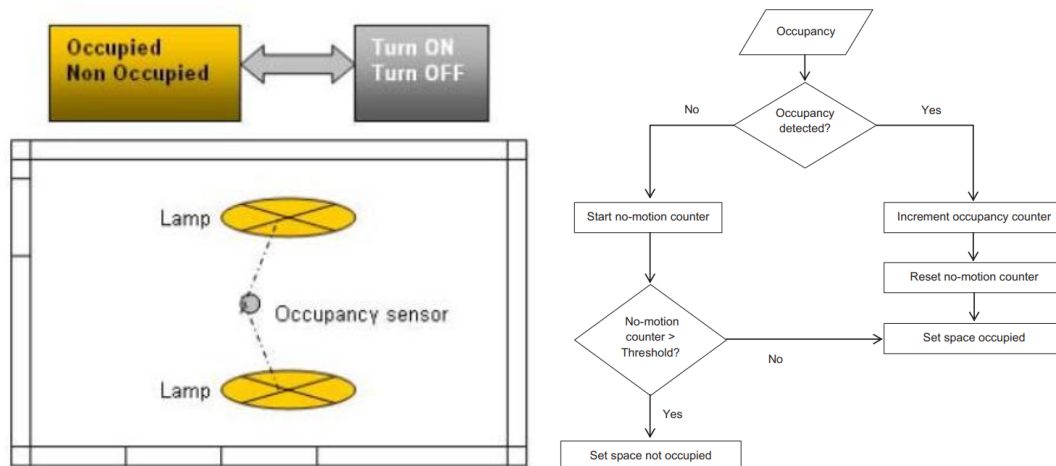
Η στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης παρουσίας (predicted occupancy control strategy) λαμβάνει υπόψη τις ώρες λειτουργίας του εκάστοτε χώρου της υφιστάμενης εγκατάστασης. Η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει από το άναμμα ή κλείσιμο του φωτισμού προκαθορισμένες ώρες. Έτσι σε περίπτωση που κάποιος χώρος δε χρησιμοποιείται αλλά τα φώτα παραμένουν ανοιχτά, το σύστημα τα απενεργοποιεί αυτόματα. 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.



Σχήμα 2.2 Στρατηγική ελέγχου μέσω της πρόβλεψης παρουσίας και της πρόβλεψης ημέρας – νύχτας. [34]

2.3.2 Στρατηγική ελέγχου πραγματικής χρήσης

Σε αντίθεση με την προηγούμενη στρατηγική, η στρατηγική ελέγχου πραγματικής χρήσης (real occupancy control strategy) δε βασίζεται σε κάποια πρόβλεψη χρήσης του χώρου, αλλά «ανιχνεύει» την πραγματική του χρήση. Το σύστημα με τη χρήση αισθητήρα κίνησης ή παρουσίας, αντιλαμβάνεται πως ο εξεταζόμενος χώρος χρησιμοποιείται και ενεργοποιεί τα φώτα. Σε περίπτωση που πάψει να ανιχνεύει παρουσία, το σύστημα απενεργοποιεί τα φώτα, συνήθως όμως με μια χρονοκαθυστέρηση ώστε να αποφευχθούν σφάλματα, όπως το να σβήσουν τα φώτα ενώ κάποιος είναι ακόμη στο χώρο.

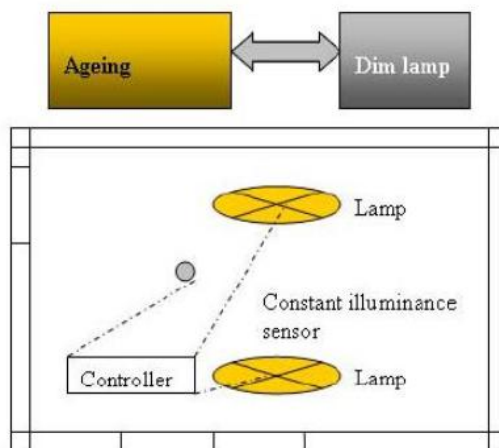


Σχήμα 2.3 Στρατηγική ελέγχου πραγματικής χρήσης. [34]

Είναι εμφανές, πως ο σχεδιασμός αυτός είναι αρκετά αποδοτικότερος, ειδικά σε χώρους που δεν υπάρχει κάποιο σταθερό πρόγραμμα, επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση από 20%-50%. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το επίπεδο ανίχνευσης, από την θέση του αισθητήρα, τον συνδυασμό με αξιοποίηση φυσικού φωτός και φυσικά τις κινήσεις των χρηστών. Συνηθέστεροι χώροι εφαρμογής της στρατηγικής είναι γραφεία, κλιμακοστάσια, διάδρομοι, συνεδριακοί χώροι και αποθήκες.

2.3.3 Στρατηγική ελέγχου σταθερής στάθμης φωτισμού

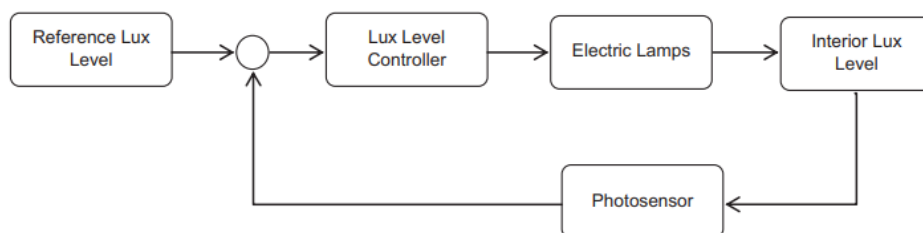
Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα φωτισμού, ο οποίος μετρά την ένταση φωτισμού του χώρου και ανάλογα ρυθμίζει την φωτεινή ροή (dimming) των φωτιστικών, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ένταση φωτισμού. Εφόσον με τη μείωση της φωτεινής ροής μειώνεται και η ισχύς του, η στρατηγική αυτή ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού, διατηρώντας τα επίπεδα έντασης και την ομοιομορφία του χώρου. Επιπλέον, θετικό είναι πως ο συγκεκριμένος σχεδιασμός «εξουδετερώνει» τη γήρανση του συστήματος, ενισχύοντας την υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος φωτισμού κατά το σχεδιασμό λόγω του συντελεστή συντήρησης (maintenance factor).



Σχήμα 2.4 Στρατηγική ελέγχου σταθερής φωτεινότητας (constant illuminance control strategy). [34]

2.3.4 Στρατηγική αξιοποίησης φυσικού φωτισμού

Η εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει από την αξιοποίηση του φυσικού φωτός για το φωτισμό των χώρων, με το σύστημα να συμπληρώνει τεχνητό φως όπου και όσο χρειάζεται, ώστε να επιτυγχάνεται πάντα το επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας. Για την στρατηγική αυτή χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας φωτισμού για να μετράει το επίπεδο φωτεινότητας σε μια επιφάνεια ή ένα συγκεκριμένο σημείο. Εάν το επίπεδο φωτισμού είναι πολύ μεγάλο τότε ο ελεγκτής του συστήματος μειώνει την φωτεινή ροή των λαμπτήρων. Εάν είναι πολύ χαμηλό ο ελεγκτής 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. Οι χώροι που χρησιμοποιείται αυτός ο σχεδιασμός, θα πρέπει να εκτίθεται στο φυσικό φως με ανοίγματα και χωρίς πολλά εμπόδια. Η εξοικονόμηση ποικίλει από 20% (μόνο daylight harvesting) έως και πάνω από 50% εάν συνδυαστεί με έλεγχο πραγματικής χρήσης του χώρου.



Σχήμα 2.5 Στρατηγική αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (daylight harvesting control strategy)

Στρατηγική	Πρόβλεψη Παρουσίας	Ανίχνευση Παρουσίας	Σταθερό επίπεδο φωτεινότητας	Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού
Πλεονεκτήματα	-Χαμηλό κόστος -Εύκολη εγκατάσταση και χρήση -κέρδος 10% -20%	-Σχετικά χαμηλό κόστος -Υψηλά ποσοστά εξοικονόμησης κυρίως σε χώρους με διακοπτόμενη χρήση -20%-50% κέρδος	-Λαμβάνει υπόψη τη γήρανση του συστήματος -Αυξημένη οπτική άνεση -5%-15% κέρδος	-Αξιοποίηση ανεξάντλητης πηγής ενέργειας -Αυξημένο κέρδος αν συνδυαστεί με άλλα συστήματα
Μειονεκτήματα	-Τα ωράρια λειτουργίας μπορεί να αλλάζουν	-Απαίτηση για υψηλής ακρίβειας αισθητήρων	-Υψηλό κόστος -Πολυπλοκότητα στη θέση λειτουργίας	-Υψηλό κόστος -Αυξημένη πολυπλοκότητα
Χώροι Εφαρμογής	-Σχολεία -Καταστήματα -Μουσεία -Ανοιχτοί Χώροι γραφείων	-Διάδρομοι -Κλιμακοστάσια -Αποθήκες -WC	-Κλειστά Γραφεία -Χώροι Ανάδειξης -Γραφεία υψηλών απαιτήσεων φωτισμού	-Κλειστά Γραφεία -Χώροι Ανάδειξης -Γραφεία υψηλών απαιτήσεων φωτισμού
Προϋποθέσεις λειτουργίας	-Ελεγκτής φωτισμού με δυνατότητα προγραμματισμού -Διακόπτης	-Αισθητήρας παρουσίας -Διακόπτης	-Αισθητήρας φωτισμού -Ελεγκτής -Διακόπτης	-Αισθητήρας φωτισμού -Ελεγκτής -Διακόπτης

Σχήμα 2.6 Σύγκριση μεταξύ των στρατηγικών ελέγχων 2.3.1-2.3.4

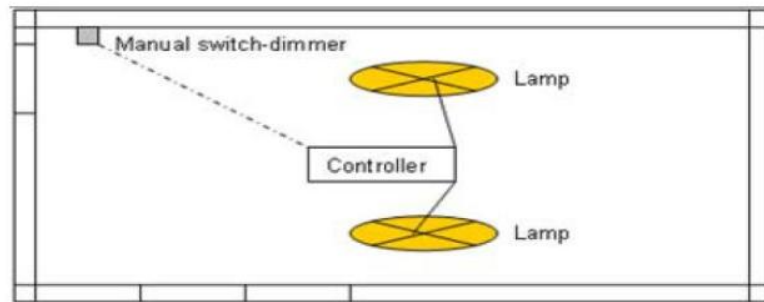
Συμπερασματικά, έχουμε βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας όταν ο φωτισμός αλληλοεπιδρά με τρίτα συστήματα και εξωτερικές πληροφορίες. Ορίζονται, έτσι, τρία επίπεδα αλληλοεπίδρασης για τον έλεγχο του φωτισμού.



Σχήμα 2.7 Επίπεδα Αλληλοεπίδρασης ελέγχου φωτισμού[34]

1. Επίπεδο 1: Μόνο τεχνητός φωτισμός

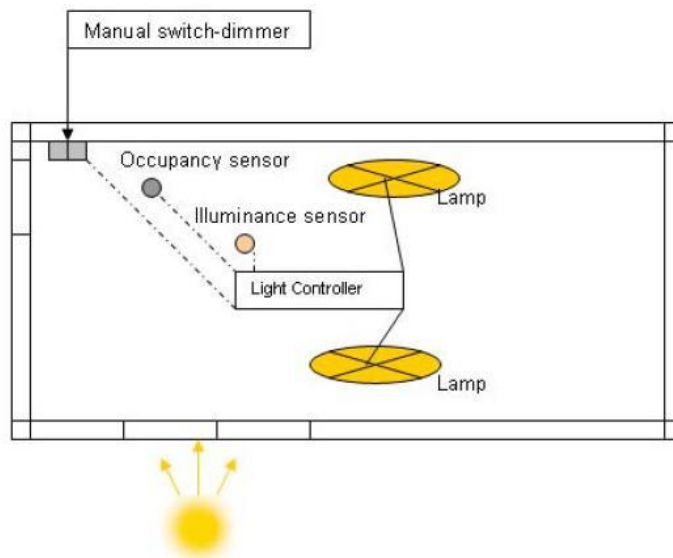
Το φως ελέγχεται από το χρήστη μέσω ενός χειροκίνητου διακόπτη/ροοστάτη. Αυτό επιτρέπει τον χειροκίνητο έλεγχο του τεχνητού φωτισμού(ON/OFF ή dimming). Συνηθίζεται ως λύση στα κτίρια και συνήθως ο διακόπτης ελέγχει μια λάμπα ή μια ομάδα λαμπτήρων. Το επίπεδο αυτό προσφέρει τη μικρότερη δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας.



Σχήμα 2.8 Στρατηγική επιπέδου 1[34]

2. Επίπεδο 2: Τεχνητός Φωτισμός με εξωτερική πληροφορία

Το σύστημα για παράδειγμα αποτελείται από έναν αισθητήρα φωτισμού και έναν αισθητήρα παρουσίας, συνδυαστικά με τον χειροκίνητο διακόπτη του επιπέδου 1 προκειμένου να αυξηθεί η οπτική άνεση του χρήστη.



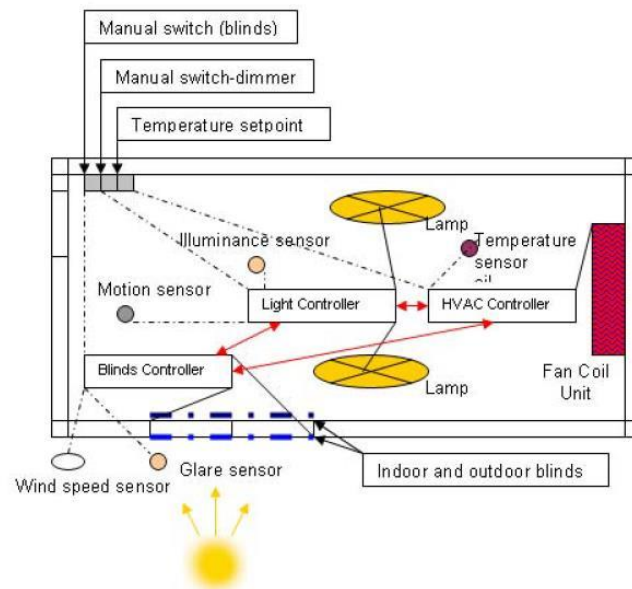
Σχήμα 2.9 Στρατηγική επιπέδου 2, συνδυασμός τεχνητού, φυσικού φωτισμού και ανίχνευση παρουσίας[34]

Ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού πραγματοποιείται μέσω:

- Επιλογή χειροκίνητη ON/OFF και dimming (υψηλής προτεραιότητας)
- Αισθητήρα παρουσίας (ενδιάμεση προτεραιότητα)
- Αισθητήρα φωτεινότητας (προς την επίτευξη ενός σταθερού επιπέδου φωτεινότητας) (χαμηλή προτεραιότητα)

3. Επίπεδο 3: Τεχνητός Φωτισμός με εξωτερική πληροφορία και τρίτα συστήματα (HVAC, σκίαση κ.α.)

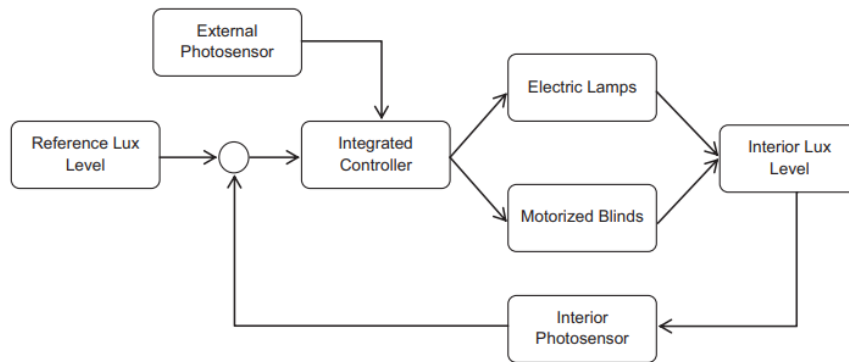
Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού, σκίασης και HVAC αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους ώστε να αυξηθεί η θερμική και οπτική άνεση του χρήστη.



Σχήμα 2.10 Στρατηγική επιπέδου 3, Συνδυασμός με έλεγχο τεχνητού φωτισμού, συστήματος σκίασης και HVAC. [34]

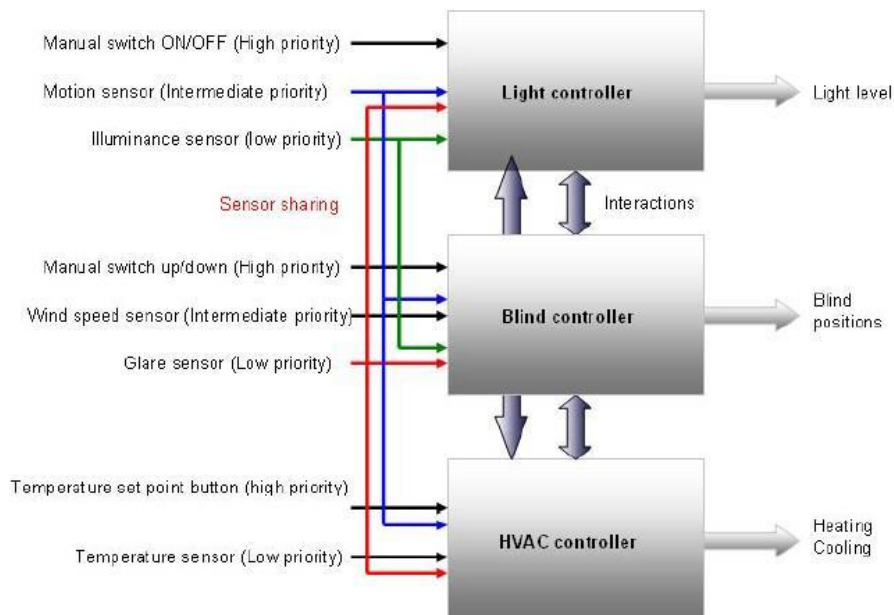
Όπως φαίνεται στην εικόνα, είναι αναγκαία η εγκατάσταση συσκευών ή/και αισθητήρων με σειρά προτεραιότητας:

- Ένα χειροκίνητο μπουτόν ή θερμοστάτης για τον καθορισμό τιμών της θερμοκρασίας (υψηλής προτεραιότητας)
- Διακόπτης/μπουτόν για τα σκίαστρα (υψηλής προτεραιότητας)
- Αισθητήρας παρουσίας (μεσαίας προτεραιότητας)
- Εσωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας και αισθητήρας μέτρησης ανέμου (μεσαίας προτεραιότητας)
- Αισθητήρας φωτεινότητας (χαμηλή προτεραιότητας)
- Αισθητήρας θάμβωσης (χαμηλής προτεραιότητας)



Σχήμα 2.11 Αλγόριθμος ελέγχου τεχνητού φωτισμού με εξωτερικές πληροφορίες

Τα επίπεδα 2 και 3 αυξάνουν αρκετά την πολυπλοκότητα του συστήματος και απαιτούν την εγκατάσταση συσκευών και ελεγκτών, τα οποία με κάποια διεπαφή ή πρωτόκολλο, μπορούν να επικοινωνήσουν και αλληλεπιδράσουν. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα αλληλεπίδρασης.



Σχήμα 2.12 Αλληλεπίδραση συστημάτων και ελεγκτών σε ένα σύστημα επιπέδου 3[34]

2.4 Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού

Οι μελέτες και η έρευνα όσον αφορά την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός για τον περιορισμό του τεχνητού φωτισμού, άρα και σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, έχουν αποδείξει την σημασία που έχει η στρατηγική αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (Daylight Harvesting).

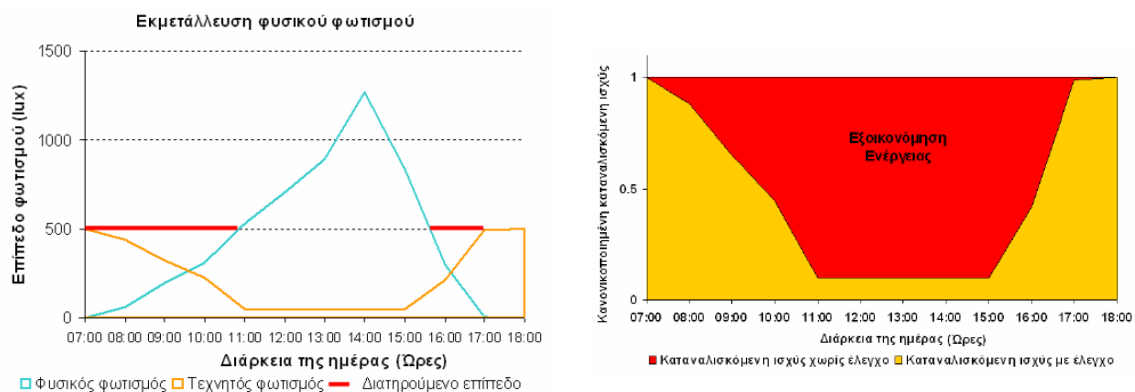
Εξετάζεται η αξιοποίηση των ανοιγμάτων στο κέλυφος ενός κτιρίου ώστε ο φωτισμός να παρέχεται με φυσικό τρόπο, πληρώντας σε κάθε περίπτωση κάποιες απαιτήσεις όσον αφορά το επίπεδο φωτισμού ανάλογα με την χρήση του χώρου. Η στρατηγική αυτή συνδέεται άμεσα με την παρουσία συστημάτων αυτοματισμών καθώς εκτός της εξοικονόμησης ενέργειας, με

τις σωστές προϋποθέσεις, διασφαλίζεται η τήρηση της έντασης φωτισμού βάσει προτύπου EN12464-1.

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας τον φυσικό φωτισμό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι σημαντικότεροι είναι:

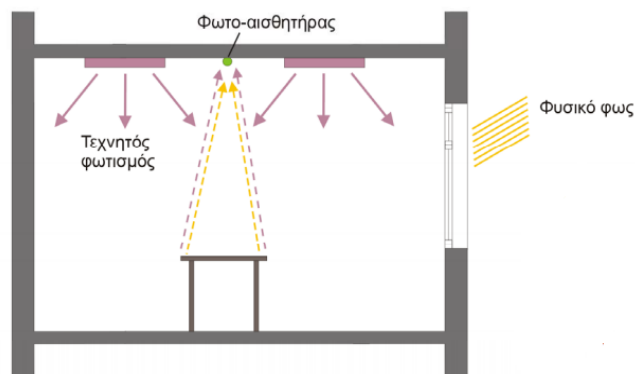
- Το κλίμα.
- Ο προσανατολισμός και η αρχιτεκτονική του κτιρίου.
- Ο αισθητήρας φωτισμού(τεχνικά χαρακτηριστικά, αλγόριθμος ελέγχου) και η διαδικασία εγκατάστασής και θέσης σε λειτουργία του(commissioning).
- Το είδος χρήσης του κτιρίου.

Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, ειδικά αν αναλογιστούμε πως οι ώρες ηλιοφάνειας συμπίπτουν τόσο με τις ώρες λειτουργίας των περισσότερων επιχειρήσεων, όσο και με τις ώρες αιχμής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.13 Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού για τη διατήρηση σταθερής φωτεινότητας[35]

Οι ζώνες ελέγχου των αισθητήρων(μέγεθος και μορφή), εξαρτώνται από την κατανομή έντασης φωτισμού στο οριζόντιο επίπεδο, συνήθως κοντά στον τοίχο με τα ανοίγματα (παράθυρα, πόρτα κ.α.). Μια ζώνη φωτισμού, ενώ μπορεί να καλύπτει μια περιοχή ή και ολόκληρο το κτίριο, προτείνεται να σχεδιάζονται κοντά με γνώμονα τα σημεία που εισέρχεται ο φυσικός φωτισμός. Για παράδειγμα, σε έναν τυπικό χώρο γραφείων με κάποιο κοινό πλευρικό εξωτερικό άνοιγμα, η ζώνη φωτισμού σχεδιάζεται δίπλα σε αυτό και όχι μεγαλύτερη από 4 μέτρα σε συνάρτηση με το βάθος του δωματίου. Η σειρά των φωτιστικών σωμάτων στα σημεία κοντά στα ανοίγματα, άρα και με περισσότερο φυσικό φως, πρέπει να σχεδιάζεται ως ξεχωριστό κύκλωμα από εκείνες που βρίσκονται σε σημεία χωρίς έντονη παρουσία φυσικού φωτισμού. Όσο η απόσταση από τα εξωτερικά ανοίγματα αυξάνεται, ο φυσικός φωτισμός μειώνεται και απαιτείται από τον τεχνητό φωτισμό να συμπληρώσει την απαιτούμενη ποσότητα, ρυθμίζοντας τη στάθμη τους. Σε περίπτωση ύπαρξης σκιάστρων, οι ζώνες σχεδιάζονται να είναι μικρότερες για καλύτερα αποτελέσματα. Τη σημερινή εποχή, οι αισθητήρες παρουσίας κατασκευάζονται συνήθως με ενσωματωμένο αισθητήρα φωτισμού.



Σχήμα 2.14 Ορθή θέση τοποθέτησης αισθητήρα φωτισμού

Για τον υπολογισμό της επιρροής και εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού, υπάρχει μια ακολουθία ελέγχων και υπολογισμού παραμέτρων, τα οποία αναλύονται στον πρότυπο EN 12153- Energy Performance of Buildings- Energy Requirements for Lighting.

Μια από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους κατά το σχεδιασμό ενός νέου κτιρίου ή την μελέτη φυσικού φωτισμού μιας υφιστάμενης εγκατάστασης είναι ο Συντελεστής Αξιοποίησης Φυσικού Φωτός (Daylight Factor).

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

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

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

Ο Συντελεστής Αξιοποίησης Φυσικού Φωτός (DF) αποτελεί μονοδιάστατο μέγεθος, υπολογίζεται βάσει μετρήσεων σε ένα συγκεκριμένο σημείο του εσωτερικού χώρου, με συγκεκριμένη κατάσταση ουρανού και χωρίς οπτικά εμπόδια προς τον ουράνιο θόλο. Με αυτόν τρόπο, ανεξαρτητοποιείται ο υπολογισμός από παράγοντες όπως ημέρα, ώρα, εποχή, γεωγραφικό πλάτος και άλλα. Απαιτούνται βέβαια, οι διαστάσεις και η θέση του ανοίγματος, τα χαρακτηριστικά του γυαλιού και οι ανακλάσεις (εσωτερικές και εξωτερικές) [35].

Όπως περιγράφεται και παραπάνω, η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού συμβάλλει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Συνεπώς, ο υπολογισμός του συντελεστή αξιοποίησης φωτισμού έχει ενσωματωθεί σε πληθώρα καθιερωμένων και ευρέως χρησιμοποιούμενων μεθόδων αξιολόγησης, βαθμολόγησης και πιστοποίησης της βιωσιμότητας των κτιρίων, όπως τα LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) και BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology). Ενδεικτικά, σε ένα καλά, φυσικά φωτισμένο κτίριο γραφείων ο συντελεστής θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 2%-5%, σύμφωνα με τα 2 αυτά πρωτόκολλα.[36]

Τιμή ΠΦΦ (D) %	Συμβολή φυσικού φωτισμού
$D \geq 3\%$	Ισχυρή
$3\% > D \geq 2\%$	Μέτρια
$2\% > D \geq 1\%$	Ασθενής
$1\% >$	Μηδενική

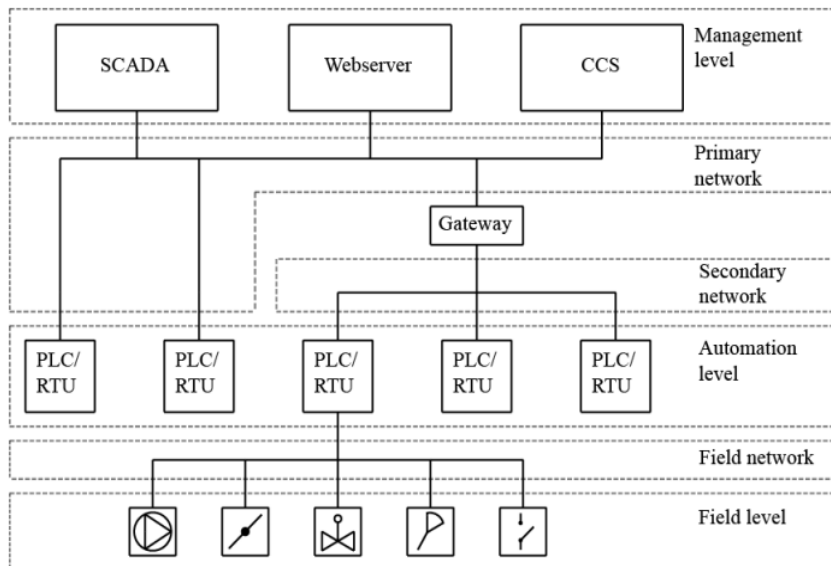
Σχήμα 2.15 Συμβολή Ποσοστού Φυσικού Φωτισμού

Κεφάλαιο 3

Συστήματα αυτόματου ελέγχου κτιρίων

3.1 Δομή συστήματος αυτόματου ελέγχου κτιρίου

Ένα σύστημα αυτοματισμού κτιρίου είναι ένα σύστημα που ελέγχει και παρακολουθεί τις υπηρεσίες του κτιρίου. Κάθε κτίριο έχει διαφορετικές ανάγκες αλλά η δομή που ακολουθείται δεν διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό από αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος αυτοματισμού κτιρίου[37]

3.1.1 Επίπεδο Πεδίου

Το επίπεδο πεδίου αποτελείται από όλες τις συσκευές που ελέγχουν φυσικά ή ανιχνεύουν τις λειτουργίες ενός κτιρίου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν συσκευές όπως ελεγκτές (controller), αισθητήρες κίνησης, διακόπτες φωτισμού, HVAC, συσκευές ανάγνωσης καρτών, κινητήρες και κατά κανόνα οποιαδήποτε συσκευή που απαιτείται να ελεγχθεί καθώς και όσες επιπρόσθετες συσκευές απαιτούνται για την ενέργεια αυτή. Οι περισσότερες από τις συσκευές δεν διαθέτουν κάποιου είδους «νοημοσύνη», αλλά αντιδρούν σε σήματα που λαμβάνουν μέσω του συστήματος ελέγχου.

Για παράδειγμα, ένας πολύ απλοϊκός αυτοματισμός αποτελεί ένας αισθητήρας κίνησης που ελέγχει ένα φωτιστικό. Λειτουργεί πολύ αποδοτικά, αλλά δεν μπορεί να ενταχθεί σε ένα πιο «εξελιγμένο» και κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Για να επιτευχθεί αυτό, συνήθως απαιτείται η σύνδεση των συσκευών πεδίου σε ελεγκτές οι οποίοι βρίσκονται στο σχήμα 3.1 στο επίπεδο Αυτοματισμού που θα αναλυθεί παρακάτω. Έτσι δημιουργείται ένα πρωτόκολλο master/slave με τους ελεγκτές ως master και τις συσκευές ως slave. Φυσικά, υπάρχουν και άλλοι τρόποι διασύνδεσης και επικοινωνίας των συσκευών πεδίου, καθώς θα μπορούσαν ανάλογα με τον κατασκευαστή ή την εφαρμογή να βρίσκονται σε άλλο επίπεδο [38].

3.1.2 Δίκτυο Πεδίου

Το δίκτυο πεδίου αποτελεί το δίκτυο μέσω του οποίου συνδέονται οι συσκευές στο επίπεδο πεδίου με αυτές στο επίπεδο αυτοματισμού. Ο κύριος στόχος είναι η διασύνδεση των μηχανισμών ενεργοποίησης, αισθητήρων και άλλων συσκευών πεδίου με ένα PLC (Programmable Logic Controller) ή κάποια τερματική μονάδα RTU (Remote Terminal). Η σύνδεση μεταξύ των επιπέδων γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Απευθείας καλωδιακή σύνδεση (Hard Wired)
- Σύνδεση μέσω συστημάτων Bus (Bus System)
- Σύνδεση με καλώδια ισχυρών ρευμάτων (Power Line)
- Ασύρματα (Wireless)

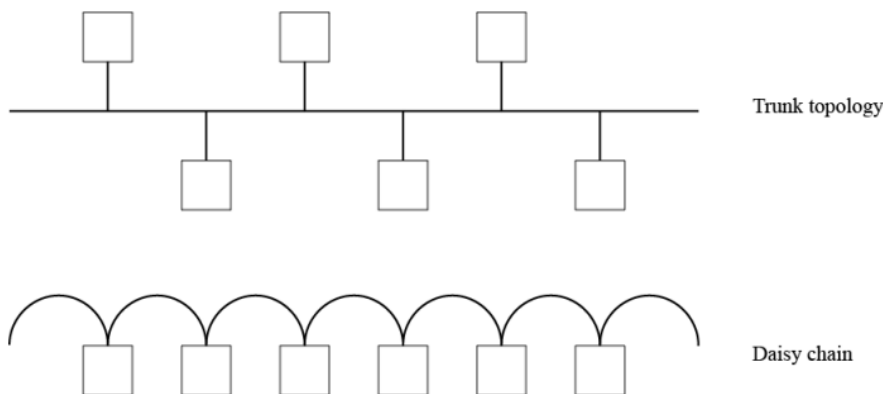
Ένα από τα παραπάνω θα αποτελέσει ο κεντρικός κορμός (backbone) ενός δικτύου πεδίου. Σε ένα σύστημα κτιριακού αυτοματισμού συνήθως υπάρχουν περισσότερα από ένα δίκτυα πεδίου.

1. Hard Wiring

Κάθε συσκευή συνδέεται με ξεχωριστό καλώδιο σε μεμονωμένη είσοδο σε μια συσκευή στο επίπεδο αυτοματισμού. Τα σήματα, διακινούνται μέσω του δικτύου και εξαρτώνται από τον τύπο των συσκευών του συστήματος. Για παράδειγμα, ένα απλό φωτιστικό χρειάζεται σήμα 230V για να ανάψει. Ένα πιο σύνθετο παράδειγμα είναι ένας μετεωρολογικός σταθμός, ο οποίος με κάποιο καλώδιο επικοινωνίας μεταφέρει πληροφορίες προς κάποιο PLC. Η κατηγορία αυτή εξυπηρετεί συστήματα με περιορισμένο αριθμό επαφών.

2. Bus καλωδίωση

Οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα δίκτυα bus. Ένα δίκτυο bus αποτελείται συνήθως από συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων χαλκού για επικοινωνία. Η τροφοδοσία των συσκευών μπορεί να γίνει ή ξεχωριστά, ή με επιπλέον σύρμα στο bus καλώδιο ή μέσω του ίδιου του bus καλωδίου.



Όπως φαίνεται, δημιουργείται ένα δίκτυο με κόμβους, οι οποίοι ανταλλάσσουν πληροφορίες. Τα μηνύματα στο δίκτυο στέλνονται ελεύθερα, αλλά μόνο οι συσκευές στις οποίες αναφέρονται αντιδρούν σε αυτά.

Τα περισσότερα δίκτυα bus έχουν ταχύτητα επικοινωνίας (bit rate), 1-40 Kilobit per second (Kbit/s). Ένα κοινό μήνυμα στις περισσότερες συσκευές δεν είναι μεγαλύτερο από μερικά byte, συνεπώς οι ταχύτητες αυτές επαρκούν για την επιτυχή μετάδοση του μηνύματος. Ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο bus κυμαίνονται από δεκάδες σε χιλιάδες, ανάλογα το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται, το μήκος του καλωδίου και τον τύπο της σύνδεσης [38].

3. Powerline Connection

Κάποια πρωτόκολλα χρησιμοποιούν για επικοινωνία το ίδιο καλώδιο παροχής ρεύματος 230V/50Hz. Τα σήματα μπορούν να έχουν τη ίδια υποδομή καθώς η μεταφορά δεδομένων πραγματοποιείται σε σημαντικά υψηλότερες συχνότητες των 95-125 kHz. Προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν ανακλάσεις του σήματος, ο ρυθμός μετάδοσης διατηρείται χαμηλός, συνήθως 1 kbit/s κατά προσέγγιση. Η αρχιτεκτονική αυτού του δικτύου είναι παρόμοια με αυτή του bus [38].

4. Ασύρματα

Ο πιο συνήθης τεχνολογία για ασύρματη επικοινωνία στο δίκτυο πεδίου είναι αυτή των ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency – RF). Τα δεδομένα μεταδίδονται με τη διαμόρφωση της συχνότητας, φάσης ή πλάτους των ραδιοκυμάτων. Σε ένα κτίριο χωρίς παχείς τοίχους (π.χ. πέτρινους ή μπετόν), η συνηθέστερη εμβέλεια ενός πομπού είναι περίπου 30 μέτρα στο οριζόντιο επίπεδο. Η εμβέλεια μπορεί να αυξηθεί με ενισχυτές σήματος, οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στο επίπεδο πεδίου [38].

3.1.3 Επίπεδο Αυτοματισμού

Στο επίπεδο αυτοματισμού συμπεριλαμβάνονται όλοι οι προηγμένοι ελεγκτές που ευθύνονται για τη ρύθμιση και τον έλεγχο των συσκευών στο επίπεδο πεδίο, σε πραγματικό χρόνο. Οι σύγχρονοι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ψηφιακοί και βασίζονται σε μικροεπεξεργαστές. Μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να πραγματοποιούν:

- Αναλογικό Έλεγχο
- Ολοκληρωτικό Έλεγχο
- Διαφορικό έλεγχο
- Οποιοδήποτε άλλη λογική ελέγχου ή συνδυασμό αυτών

Οι ελεγκτές αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- PLC – Programmable Logic Controller
- RTU – Remote Terminal Unit

Ένα PLC λειτουργεί παρόμοια με ένα σύγχρονο υπολογιστή. Μπορεί να προγραμματιστεί ελεύθερα, ώστε να δέχεται δεδομένα εισόδου και να επενεργεί σε αντίστοιχες εξόδους, χωρίς περιορισμό πλήθους, εφόσον διαθέτει το απαραίτητο hardware (υπολογιστή ισχύς και θύρες). Σε περίπτωση ανεπαρκών πόρων υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης με κάρτες που περιέχουν επιπλέον πόρτες εισόδων και εξόδων (I/O), οι οποίες συνδέονται με τα προηγούμενα με κάποιο ενσωματωμένο, εσωτερικό bus [38].

Μια μονάδα RTU έχει συνήθως χαμηλότερη υπολογιστική ισχύ και λιγότερες θύρες από ένα PLC. Αυτό συμβαίνει διότι μια RTU είναι σχεδιασμένη για να πραγματοποιεί συγκεκριμένες εργασίες και διαστασιοποιείται σύμφωνα με αυτές. Σε πληθώρα περιπτώσεων αποστέλλονται προγραμματισμένες εκ των προτέρων, ώστε ο χρήστης να πρέπει μόνο να τις παραμετροποιήσει. Είναι κοινή πρακτική, ένας κατασκευαστής μιας συσκευής, για παράδειγμα αντλίας θερμότητας, να συμπεριλαμβάνει ένα σύστημα ελέγχου με μια RTU και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να στηθεί ένα τοπικό δίκτυο πεδίου. Κατά τα άλλα, τα PLC και οι RTU είναι αρκετά όμοια στις υπόλοιπες πτυχές τους, χωρίς να υπάρχει κάποιο αυστηρό πλαίσιο για την κατηγοριοποίηση τους. Είναι κοινή πρακτική, ένας κατασκευαστής μιας συσκευής, για παράδειγμα αντλίας θερμότητας, να συμπεριλαμβάνει ένα σύστημα ελέγχου με μια RTU και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να στηθεί ένα τοπικό δίκτυο πεδίου. Στον τομέα του αυτοματισμού, αυτό αναφέρεται ως μια οντότητα. Η οντότητα αυτή έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί αυτόνομα και ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού του συστήματος, μπορεί να επικοινωνεί με άλλα PLC ή RTU. Για να επικοινωνήσει ένα PLC ή RTU μπορεί είτε να συνδεθεί στο Πρωτεύον Δίκτυο και να ανταλλάξει πληροφορίες μέσω ενός συστήματος SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ή ενός CCS (Central Control Station), ή να δημιουργηθεί ένα μικρό ομότιμο τοπικό δίκτυο στο οποίο συνδέονται περιορισμένος αριθμός PLC/RTU [38].

3.1.4 Δίκτυο Διαχείρισης (Πρωτεύον Δίκτυο)

Το πρωτεύον δίκτυο, συχνά αναφερόμενο ως κεντρικό δίκτυο (Backbone) ή δίκτυο διαχείρισης (Management), συνδέει το επίπεδο αυτοματισμού με το επίπεδο διαχείρισης. Το δίκτυο αυτό μπορεί να ταυτίζεται με το LAN (Local Area Network) του κτιρίου ή μπορεί να διαχωρίζεται από αυτό για λόγους ασφαλείας. Απαραίτητες συσκευές για την δομή του δικτύου είναι τα Switch, στα οποία συνδέονται όλες οι δικτυακές συσκευές των υπόλοιπων επιπέδων. Υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μέσω WLAN (Wireless Local Area Network), ενώ ο όγκος των δεδομένων που διαχειρίζεται είναι σαφώς μεγαλύτερος, για αυτό και η ταχύτητα επικοινωνίας είναι συνήθως 10 – 1000 Mbit [38].



Σχήμα 3.3 Συσκευή Switch που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση και επικοινωνία δικτυακών συσκευών

3.1.5 Επίπεδο Διαχείρισης

Στο επίπεδο αυτό βρίσκονται όλες οι συσκευές που διαχειρίζονται και παρακολουθούν το σύστημα αυτοματισμού του κτιρίου. Αλληλοεπιδρούν με το προσωπικό (συνήθως εξειδικευμένο) και τους δίνεται πρόσβαση στο διαδίκτυο. Παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι:

- Βάσεις δεδομένων που καταγράφουν δραστηριότητα
- Web Server
- Πάνελ διαχείρισης
- Κεντρικοί σταθμοί ελέγχου (CCS)
- Server που μεταφράζουν δεδομένα σε διαφορετικά πρωτόκολλα

Πολλές φορές, όλα τα παραπάνω μπορεί να εξυπηρετούνται από μια συσκευή. Ένας web server, εκτός ότι αποτελεί σημείο πρόσβασης στον κτιριακό αυτοματισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενέργειες όπως:

- Σημείο που συγκεντρώνονται πληροφορίες από τα διάφορα συστήματα προς διευκόλυνση του χρήστη
- Απομακρυσμένη έλεγχος και συντήρηση της εγκατάστασης
- Κέντρο λήψης βλαβών που απευθύνονται στο εξειδικευμένο προσωπικό (συντηρητές)

Όλα τα παραπάνω μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα SCADA, δηλαδή ένα σύστημα ή υπηρεσία που στόχο έχει τον εποπτικό έλεγχο και την απόκτηση όλων των απαραίτητων δεδομένων ενός κτιρίου. Το απλούστερο SCADA είναι ένας άνθρωπος που χειροκίνητα ρυθμίζει όλες τις απαραίτητες παραμέτρους στα PLC και RTU. Γίνεται εύκολα κατανοητό, πως σε μεγάλες και σύνθετες εγκαταστάσεις, αυτό είναι σχεδόν ανέφικτο, για αυτό απαιτείται η εγκατάσταση προηγμένων συστημάτων αυτοματισμού [37].

3.2 Πρωτόκολλα αυτοματισμού κτιρίων

Για τη μεταφορά δεδομένων και την δημιουργία μια σύνδεσης δύο υπολογιστών/συσκευών απαιτείται ένα πρωτόκολλο, δηλαδή ένα σύνολο κανόνων που επιτρέπουν την επικοινωνία τους σε ένα κοινό δίκτυο και στόχο έχουν τη διασφάλιση ότι τα δεδομένα θα φτάσουν στους προορισμούς τους. Οι κανόνες είναι τέτοιας μορφής που αν δεν τηρηθούν η επικοινωνία θα αποτύχει.

Προκειμένου να σταλεί ένα μήνυμα μέσω ενός δικτύου χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα, τα οποία έχουν όλα διαφορετικά καθήκοντα κατά τη διαδικασία αποστολής του μηνύματος. Για παράδειγμα, υπάρχει ένα πρωτόκολλο για τη μεταφορά του μηνύματος και ένα για τη δρομολόγησή του στη σωστή θέση. Αυτοί οι διαφορετικοί τύποι λειτουργιών περιγράφονται σε ένα πλαίσιο που ονομάζεται μοντέλο OSI. Ο όρος πρωτόκολλο χρησιμοποιείται για να περιγράψει μεμονωμένα πρωτόκολλα και σύνολα πρωτοκόλλων. Ένα μεμονωμένο πρωτόκολλο περιορίζεται σε ένα επίπεδο του μοντέλου OSI που περιγράφεται παρακάτω. Ένα σύνολο πρωτοκόλλων περιλαμβάνει πολλά πρωτόκολλα και λειτουργεί σε πολλά επίπεδα του μοντέλου OSI.

3.2.1 Μοντέλο OSI

Το μοντέλο OSI, Open System Interconnection model, είναι ένα πολυεπίπεδο πλαίσιο για την επικοινωνία σε δίκτυα. Είναι ένα πρότυπο ISO που αναπτύχθηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης. Το μοντέλο αποτελείται από επτά επίπεδα- κάθε επίπεδο έχει τη δική του ειδική λειτουργικότητα, από το φυσικό υλικό έως τις εφαρμογές λογισμικού. Τα στρώματα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να έχουν άμεση αλληλεπίδραση με το γειτονικό στρώμα κάτω από αυτό. Οι πληροφορίες μεταφέρονται από ένα ανώτερο σε ένα κατώτερο στρώμα, όπου το κατώτερο στρώμα επεξεργάζεται και προσθέτει τις δικές του ειδικές ετικέτες στις πληροφορίες πριν τις μεταβιβάσει στο επόμενο στρώμα. Οι ετικέτες πληροφοριών θα μπορούσαν να είναι, διεύθυνση προορισμού, πηγή, άθροισμα ελέγχου κ.λπ.

- Επίπεδο 7 – Επίπεδο Εφαρμογής
Αντιπροσωπεύει τις πληροφορίες. Σκοπός του είναι να διασφαλίσει ότι δύο προγράμματα εφαρμογών μπορούν να επικοινωνούν μέσω ενός δικτύου.
- Επίπεδο 6 – Επίπεδο Παρουσίασης
Αυτό το επίπεδο φροντίζει για τον τρόπο παρουσίασης των πληροφοριών. Εδώ ορίζονται και μεταφράζονται οι τύποι δεδομένων από το επίπεδο εφαρμογής.
- Επίπεδο 5 – Επίπεδο συνεδρίας
Εγκαθιστά, διαχειρίζεται και τερματίζει τη σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων (υπολογιστών).
- Επίπεδο 4 – Επίπεδο μεταφοράς
Καθορίζει τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων και το πρωτόκολλο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα το TCP. Το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διεργασιών πηγής και προορισμού.
- Επίπεδο 3 – Επίπεδο δικτύου
Διασφαλίζει ότι τα δεδομένα έχουν τη σωστή διεύθυνση, για παράδειγμα τη σωστή διεύθυνση IP. Το επίπεδο μεταφοράς μεταφέρει δεδομένα μεταξύ συστημάτων σε ένα δίκτυο, ενώ η πηγή και ο προορισμός των δεδομένων ορίζονται από τις διευθύνσεις του επιπέδου δικτύου. Για να γίνει η μεταφορά δεδομένων στο δίκτυο, χρησιμοποιούνται δρομολογητές (routers) και μεταγωγείς (switches).
- Επίπεδο 2 – Επίπεδο ζεύξης δεδομένων
Αντιπροσωπεύει το δίκτυο που χρησιμοποιείται, για παράδειγμα τύπου Ethernet. Σε αυτό το επίπεδο, τα bit από το φυσικό επίπεδο, μετατρέπονται σε πλαίσια και μεταφέρονται μεταξύ δυο υπολογιστών.
- Επίπεδο 1 – Φυσικό επίπεδο
Πρόκειται για το φυσικό μέσο μέσω του οποίου μεταδίδεται το ψηφιακό σήμα, για παράδειγμα συνεστραμμένο ζεύγος, οπτικό καλώδιο ή ασύρματο [38].

3.2.2 Διαδεδομένα πρωτόκολλα κτιριακού αυτοματισμού

Στον κτιριακό αυτοματισμό χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα με το καθένα να έχει διαφορετική εφαρμογή. Τα κυριότερα είναι τα εξής:

- TCP/IP
- Modbus Protocol (ASCII, RTU, TCP)
- BACnet (IP)
- KNX
- LonWorks

1. Internet Protocol

Το internet protocol συμπεριλαμβάνεται στο λεγόμενο Transmission Control Protocol over Internet Protocol, TCP/IP. Ο κυρίαρχος στόχος του Internet Protocol, είναι η δρομολόγηση πακέτων μέσω του διαδικτύου με τη βοήθεια διάφορων δρομολογητών (router). Για την αποστολή πακέτων από έναν υπολογιστή σε κάποιον άλλον χρησιμοποιείται ένα σύστημα διευθυνσιοδότησης, με την κάθε συσκευή να έχει ξεχωριστή και μοναδική διεύθυνση IP (IP Address). Για την σωστή προώθηση των πακέτων στο διαδίκτυο από τους router, όλα τα δεδομένα δρομολόγησης περιέχονται στην επικεφαλίδα του πακέτου. Στα συστήματα κτιριακού αυτοματισμού, το TCP/IP χρησιμοποιείται συνήθως στο Πρωτεύον Δίκτυο, είτε ως αμιγές πρωτόκολλο TCP/IP ή μετατρέποντας το IP σε φορέα δεδομένων για άλλα πρωτόκολλα όπως Modbus ή BACnet [38].

2. Modbus

Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται τόσο στον τομέα της βιομηχανικής κατασκευής όσο και στον κτιριακό αυτοματισμό, για την επικοινωνία συσκευών μέσω ενός master-slave συστήματος. Αναπτύχθηκε το 1979 από την εταιρεία Modicon. Συναντάται κυρίως σε τρεις μορφές:

- Modbus ASCII
- Modbus RTU
- Modbus TCP

Στα δύο πρώτα, ASCII και RTU, η μετάδοση του σήματος γίνεται μέσω του Modbus σειριακού πρωτόκολλου, σε αντίθεση με το TCP που χρησιμοποιείται το δίκτυο Ethernet. Σε αυτή την περίπτωση, το πρωτόκολλο ορίζεται ως διακομιστή-πελάτη (server-client). Το Modbus χρησιμοποιείται τόσο στο Δίκτυο Διαχείρισης όσο και στο Δίκτυο Πεδίου, ανάλογα τη μορφή του.

Το σειριακό Modbus έχει σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να στέλνονται μηνύματα στο δίκτυο μεταξύ της master και των slave συσκευών. Η master συσκευή είναι συνήθως ένα PLC ή RTU, ενώ οι slave μπορεί να είναι διάφορες «ευφυής» συσκευές όπως ένας μετατροπέας εισόδου/εξόδου (I/O transducer). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το σειριακό Modbus, σε ένα σύστημα αυτοματισμού κτιρίου, χρησιμοποιείται για την επικοινωνία στο δίκτυο πεδίου. Μόνο μια συσκευή μπορεί να στέλνει πληροφορία στο δίκτυο κάθε φορά, ενώ πάντα η master συσκευή είναι αυτή που ξεκινά την επικοινωνία. Η master μπορεί είτε να ζητήσει δεδομένα από μια συγκεκριμένη συσκευή slave είτε να της δώσει εντολή να εκτελέσει μια συγκεκριμένη εργασία στέλνοντας ένα μήνυμα Modbus. Εάν σταλεί ένα αίτημα ή μια εντολή σε μια συσκευή slave, αυτή πρέπει να απαντήσει στον master. Η master θα μπορούσε επίσης να στείλει ένα

μήνυμα σε όλες τις συσκευές με τις οποίες είναι συνδεδεμένος, η λεγόμενη μετάδοση. Στην περίπτωση αυτή η master δεν περιμένει απάντηση από καμία συσκευή. Στην πρώτη περίπτωση (master/slave), η master συσκευή ρωτά (poll) ανά κάποιο χρονικό διάστημα (polling rate) τη slave συσκευή ώστε να ανιχνεύσει τυχόν αλλαγές στις τιμές των πληροφοριών της ή κάποια βλάβη.

Ένα μήνυμα Modbus τοποθετείται σε ένα πλαίσιο μηνύματος και αυτό περιέχει.

- Έναρξη
- Διεύθυνση
- Λειτουργία
- Δεδομένα
- LRC/CRC (έλεγχος σφάλματος)
- Τέλος

Στην περίπτωση του Modbus ASCII, το byte χαρακτήρα στο πλαίσιο του μηνύματος αντιπροσωπεύεται από δυο ASCII χαρακτήρες. Με αυτό τον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας, επιτρέπεται σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα polling μεταξύ δυο χαρακτήρων, σχεδόν ένα λεπτό, χωρίς να δημιουργείται κάποιο σφάλμα. Οι slave συσκευές παρακολουθούν συνεχώς το δίκτυο για ένα χαρακτήρα έναρξης μηνύματος που ξεκινά από «:». Όταν το λάβει, αναλύει το πεδίο διεύθυνσης ώστε να διευκρινίσει αν το μήνυμα απευθύνεται σε αυτή [38].

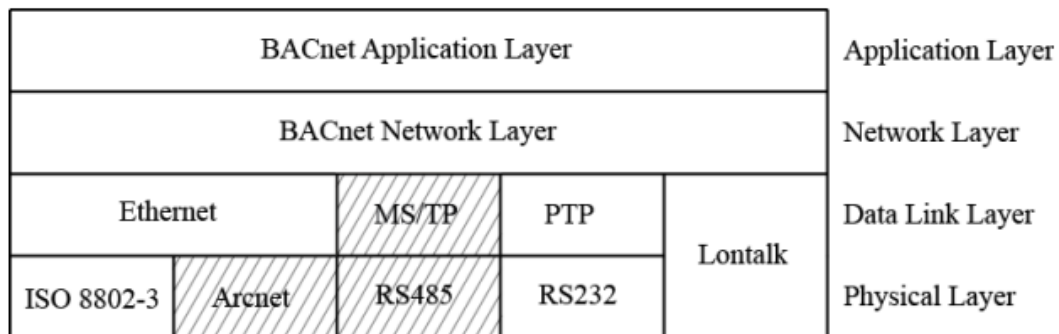
3. BACnet

Το BACnet είναι ακρωνύμιο για το Building Automation and Control Networks. Αναπτύχθηκε από την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) το 1995, με σκοπό να τηρηθούν οι απαιτήσεις για την επικοινωνία στον κτιριακό αυτοματισμό. Οι εφαρμογές του καλύπτουν τον έλεγχο HVAC, φωτισμού, συναγερμών και ασφάλειας. Το πρωτόκολλο αυτό είναι αντικειμενοστραφές και ενεργοποιείται από γεγονότα. Αυτό σημαίνει πως δεν υπάρχει κάποια επικοινωνία μεταξύ των συσκευών μέχρι να συμβεί κάποια αλλαγή. Κάθε προϊόν στο δίκτυο του BACnet πρέπει να έχει ένα αντικείμενο συσκευής (device object). Κάθε αντικείμενο συσκευής περιέχει μια λίστα με όσες πληροφορίες μπορεί να επικοινωνήσει το συγκεκριμένο προϊόν. Για την ανίχνευση συσκευών και αντικειμένων στο δίκτυο, κάθε συσκευή και τα αντικείμενα της περιέχουν ένα αναγνωριστικό αντικειμένου (Object Identifier). Το Object Identifier περιέχει 32 bits, χωρισμένα σε δύο μέρη, 10 bits για το τύπο του αντικειμένου και 22 bits για το αριθμό οντότητας (entity number). Κάθε κατασκευαστής, μπορεί να αναπτύξει τα δικά του αντικείμενα, αλλά σε κάθε περίπτωση υπάρχουν κάποιες απαραίτητες ιδιότητες, ώστε να μπορούν να υιοθετηθούν από το σύστημα. Μερικά από αυτά είναι:

- Object identifier
- Object name
- Object type

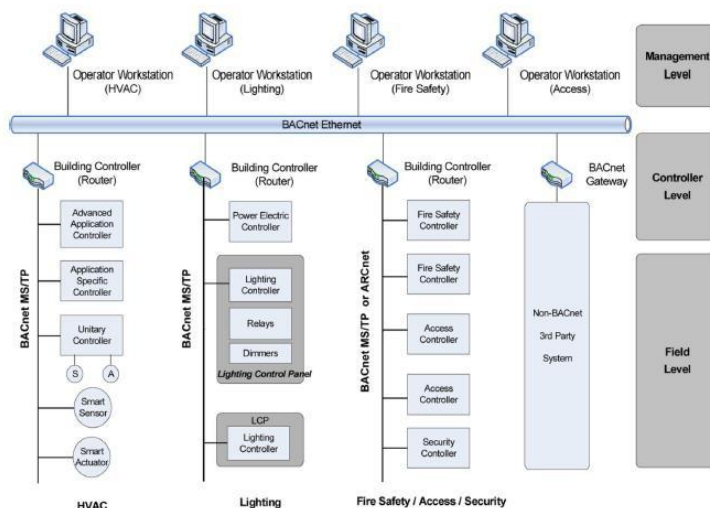
Ο σχεδιασμός του πρωτοκόλλου βασίζεται σε τεχνικές διακομιστή/πελάτη για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Η επικοινωνία μπορεί να ξεκινήσει ως μια ακολουθία ερωτήσεων όπου ο διακομιστής ζητά από τον πελάτη την τιμή ενός αντικειμένου και ο πελάτης απαντά με το αντικείμενο. Η επικοινωνία μπορεί επίσης να ξεκινήσει από ένα συμβάν που υποδεικνύει ότι κάτι έχει αλλάξει. Εάν κάποια συσκευή είναι συνδρομητής στις αλλαγές του εν λόγω αντικειμένου, τότε η σύνδεση θα δημιουργηθεί. Αυτός ο τρόπος έναρξης της επικοινωνίας μπορεί να γίνει χωρίς κεντρικό διακομιστή. Πρόκειται για τη λεγόμενη αρχή της ομότιμης επικοινωνίας.

Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου BACnet είναι πολυεπίπεδη και βασίζεται στο μοντέλο OSI. Έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιεί το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο εφαρμογής.[38][39]



Σχήμα 3.4 BACnet αντιστοίχιση με το μοντέλο OSI

Υπάρχουν πέντε τρόποι μεταφοράς δεδομένων με το BACnet, οι οποίοι φαίνονται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του παραπάνω σχήματος. Το MS/TP, το Master Slave/Token Passing και το Arcnet δεν περιλαμβάνονται στο ευρωπαϊκό πρότυπο αλλά χρησιμοποιούνται στην Αμερική. Ο πιο συνηθισμένος από τους άλλους τρόπους μεταφοράς είναι το BACnet/Ethernet που μπορεί επίσης να αναφέρεται ως BACnet/IP. Το BACnet χρησιμοποιείται συνήθως στο πρωτεύον δίκτυο στην τοπολογία ενός συστήματος αυτοματισμού κτιρίου.



Σχήμα 3.5 Τοπολογία ενός δικτύου BACnet

Για την επιτυχή επικοινωνία μεταξύ των BACnet devices χρησιμοποιούνται πέντε κατηγορίες υπηρεσιών, κάθε μια με διαφορετικό έργο.

1. Alarm and Event

Εξυπηρετούν τις αλλαγές του συστήματος, όπως για παράδειγμα την αλλαγή της τιμής ενός αισθητήρα (Change of Value – COV), οι οποίες με τη σειρά τους υποδεικνύουν πως κάτι θα πρέπει να συμβεί ή ότι υπάρχει κάποια βλάβη.

2. File Access

Έχει τη δυνατότητα να γράφει και να διαβάζει αρχεία από μια BACnet συσκευή.

3. Object Access

Αυτές του τύπου υπηρεσίες μπορούν να έχουν πρόσβαση και να αλλάζουν τα διάφορα αντικείμενα του συστήματος. Διαβάζουν, γράφουν και αλλάζουν τις ιδιότητες ενός αντικειμένου, αλλά και δημιουργούν ένα καινούριο ή διαγράφουν ένα παλιό που δεν χρειάζεται πια.

4. Remote Device Management

Οι υπηρεσίες αυτές, χρησιμοποιούνται για την απομακρυσμένη πρόσβαση σε μια συσκευή και την αλλαγή των ρυθμίσεων της. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται και οι υπηρεσίες αναγνώρισης και εντοπισμού των συσκευών στο δίκτυο του BACnet και τι αντικείμενα αυτές περιέχουν

5. Virtual Terminal Services

Αυτή η υπηρεσία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας σύνδεσης βάσει κειμένου σε μια εφαρμογή, σε μια απομακρυσμένη συσκευή.

4. KNX

Το KNX είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο για την επικοινωνία μεταξύ των τεχνολογιών ενός κτιρίου. Είναι ένα OSI-based πρωτόκολλο δικτυακής επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από τρία παλαιότερα πρότυπα, EIB, EHS και BatiBUS. Στη λειτουργία του είναι παρόμοιο με το BACnet καθώς ενεργοποιείται μέσω γεγονότων.

Το KNX μπορεί να χρησιμοποιήσει τα τέσσερα παρακάτω μέσα για την μετάδοση της πληροφορίας.

- Συνεστραμμένο ζεύγος (Twisted Pair)
- Γραμμή Ισχύος (Power Line)
- Ραδιοσυχνότητες (Radio Frequency)
- Δίκτυο IP

Το KNX χρησιμοποιείται κυρίως στο δίκτυο πεδίου, αλλά το KNX IP καθιστά δυνατή τη χρήση του πρωτοκόλλου και στο πρωτεύον δίκτυο. Υπάρχουν επίσης πολλοί δρομολογητές που μπορούν να αγοραστούν για τη μετατροπή του πρωτοκόλλου KNX σε άλλα πρωτόκολλα όπως το BACnet και το DALI.

Η αρχιτεκτονική του KNX είναι τύπου OSI, σε μια πιο απλοποιημένη μορφή καθώς δεν περιλαμβάνει και τα επτά του επίπεδα. Χρησιμοποιεί πέντε επίπεδα και αφήνει εκτός αυτά του Session και Presentation. Για την επικοινωνία στο φυσικό επίπεδο επιλέγουμε μεταξύ των τριών πρώτων παραπάνω επιλογών, με το συνεστραμμένο ζεύγος και τη γραμμή ρεύματος να έχουν κληρονομηθεί από το πρότυπο EIB. Στο πρώτο τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω ενός καλωδίου με συνεστραμμένα ζεύγη ενώ στο δεύτερο μέσω των γραμμών ισχύος του κτιρίου. Ο τρόπος επικοινωνίας είναι ημί-διπλος και αμφίδρομος. Αυτό σημαίνει πως τα δεδομένα μεταδίδονται στα μέσα προς μια κατεύθυνση τη φορά και η απάντηση στέλνεται μέσω της ίδια γραμμής.

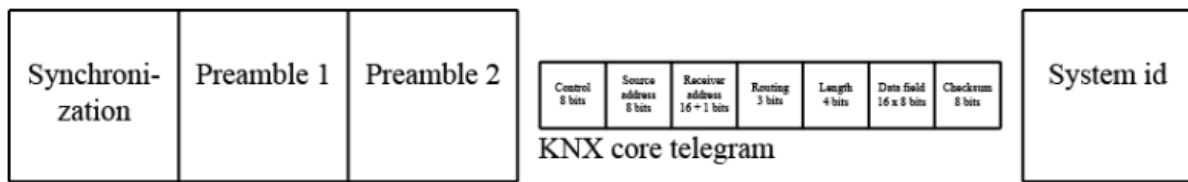
Η ραδιοσυχνότητα χρησιμοποιείται για ασύρματη επικοινωνία και έχει περιορισμένη εμβέλεια. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένα δίκτυο IP ως μέσο μεταφοράς για το KNX. Η αρχιτεκτονική του KNX IP βασίζεται στο μοντέλο OSI και ενσωματώνεται στο πρωτόκολλο Internet.

Το τηλεγράφημα είναι μια ακολουθία πεδίων που περιέχουν τα απαραίτητα δεδομένα για να διασφαλιστεί ότι το τηλεγράφημα αποστέλλεται στη σωστή συσκευή και ότι όλα τα δεδομένα φτάνουν στον προορισμό. Ο σχεδιασμός του τηλεγραφήματος KNX ποικίλλει ανάλογα με τα μέσα που το μεταφέρουν. Για το συνεστραμμένο ζεύγος το τηλεγράφημα έχει την παρακάτω μορφή.

Control 8 bits	Source address 8 bits	Receiver address 16 + 1 bits	Routing 3 bits	Length 4 bits	Data field 16 x 8 bits	Checksum 8 bits
--------------------------	-------------------------------------	--	--------------------------	-------------------------	----------------------------------	---------------------------

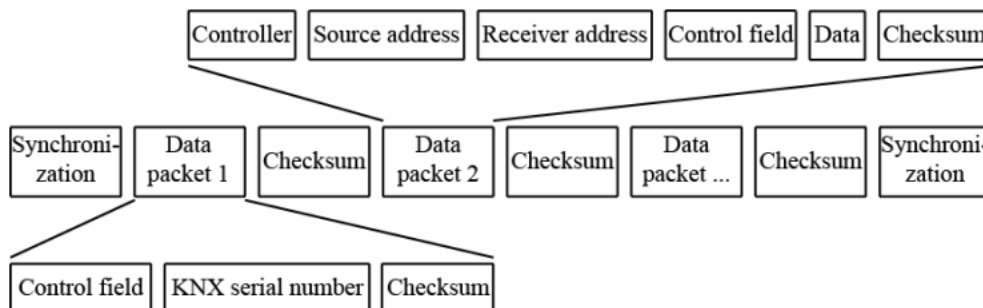
Σχήμα 3.6 Μορφή τηλεγραφήματος KNX TP[38]

Τα πεδία ελέγχου, δρομολόγησης, μήκους και αθροίσματος ελέγχου έχουν ως σκοπό να διασφαλίσουν ότι το τηλεγράφημα είναι πλήρες και ότι δεν θα λείψουν δεδομένα κατά τη μετάδοση. Οι διευθύνσεις πηγής και παραλήπτη είναι η φυσική διεύθυνση της συσκευής που μεταδίδει και λαμβάνει το τηλεγράφημα. Το πεδίο δεδομένων περιέχει τις βασικές πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν, για παράδειγμα οδηγίες, θερμοκρασία ή ένα μήνυμα. Για την επικοινωνία μέσω γραμμής ισχύος, το τηλεγράφημα συνεστραμμένου ζεύγους ενσωματώνεται σε ορισμένα πρόσθετα πεδία, ειδικά για τα δίκτυα γραμμής ισχύος. Πρόκειται για ένα πεδίο συγχρονισμού που περιέχει μια δυαδική ακολουθία και μεταδίδονται τα δύο πεδία προθέματος που υποδεικνύουν το σήμα εκκίνησης για τον δέκτη. Στη συνέχεια ακολουθεί το τηλεγράφημα συνεστραμμένου ζεύγους και όλα τελειώνουν με ένα πεδίο system id. Αυτό το τελευταίο πεδίο περιέχει πληροφορίες σχετικά με το ποιες συσκευές μπορούν να λάβουν το μήνυμα, μόνο συσκευές με το ίδιο αναγνωριστικό συστήματος μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.



Σχήμα 3.7 Μορφή τηλεγραφήματος KNX Powerline[38]

Το τηλεγράφημα είναι λίγο διαφορετικό όταν το φυσικό μέσο είναι η ραδιοσυχνότητα. Μεταδίδεται σε διάφορα πακέτα δεδομένων. Το τηλεγράφημα αρχίζει και τελειώνει με πακέτα συγχρονισμού. Στη συνέχεια, τα πακέτα δεδομένων διαχωρίζονται με άθροισμα ελέγχου. Το τηλεγράφημα φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.8 Μορφή τηλεγραφήματος KNX RF[38]

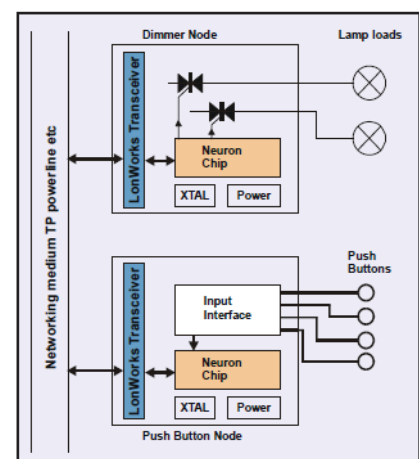
Το πακέτο δεδομένων 1 περιέχει ένα πεδίο ελέγχου, τον σειριακό αριθμό KNX και ένα άθροισμα ελέγχου. Το πακέτο δεδομένων 2 περιέχει ένα πεδίο ελέγχου, τη διεύθυνση πηγής, τη διεύθυνση παραλήπτη, τα σημαντικά δεδομένα και το άθροισμα ελέγχου.

5. LonWorks

Το πρωτόκολλο Lonworks, γνωστό και ως LonTank, είναι ένα διεθνές πρότυπο, με πλήρες όνομα ISO/IEC 14908-2 και σχεδιάστηκε αρχικά από την Echelon Corporation of U.S.A. Έγινε αποδεκτό ως πρότυπο ANSI το 1999 και είναι βασισμένο στο μοντέλο OSI χρησιμοποιώντας και τα επτά του επίπεδα, ενώ όλες οι συσκευές για το πρωτόκολλο πρέπει να έχουν την πιστοποίηση LonMarks.

- Επίπεδο 7 - Application compatibility
- Επίπεδο 6 - Data interpretation
- Επίπεδο 5 – Control
- Επίπεδο 4 - End-to-end reliability
- Επίπεδο 3 - Message delivery
- Επίπεδο 2 - Media access and framing
- Επίπεδο 1 - Electrical interconnection

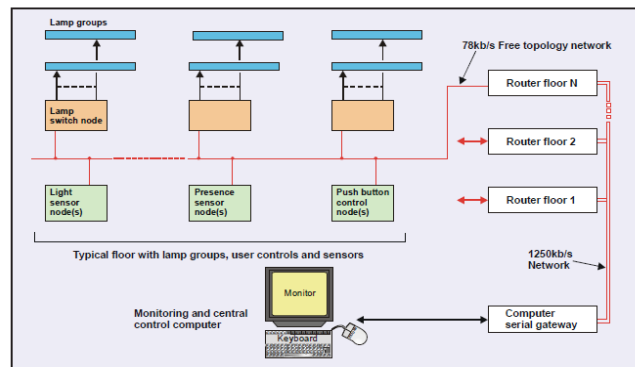
Η κάθε συσκευή που διαθέτει το δικό της Echelon chip έχει μοναδικό ID και έτσι διευθυνσιοδοτείται μέσα στο δίκτυο.



Σχήμα 3.9 Echelon Chip σχηματική αναπαράσταση[41]

Το πρωτόκολλο LonWorks μπορεί να λειτουργεί σύμφωνα με την αρχή master-slave ή απευθείας χωρίς κεντρικό ελεγκτή. Χρησιμοποιείται στο δίκτυο πεδίου και προσφέρει μια συνολικής ενεργειακής διαχείρισης, καλύπτοντας τον έλεγχο HVAC, φωτισμού, συναγερμών κ.α.

Ένα μήνυμα στο LonWorks στέλνεται μέσω ενός ή πολλών πακέτων, με κάθε πακέτο να περιέχει δεδομένα για κάθε ένα από τα επτά επίπεδα. Για την αύξηση της αποδοτικότητας κατά τη μετάδοση στο δίκτυο, τα δεδομένα αυτά συμπιέζονται, ώστε τα πακέτα να είναι πιο μικρά. Υπάρχουν διάφορα μέσα για την μετάδοση των πακέτων, όπως το συνεστραμμένο καλώδιο, μέσω Ethernet, καλωδίωση ισχύος, RF ή TCP/IP. Οι διαφορές μεταξύ του είναι κυρίως το bitrate, δηλαδή η ταχύτητα του δικτύου, ο μέγιστος αριθμός των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν και η μέγιστη απόσταση των καλωδίων του δικτύου. Το πρωτόκολλο LonWorks μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στο πρωτεύον δίκτυο με το LonWorks over IP όσο και στο δίκτυο πεδίου με τα άλλα μέσα μεταφοράς του πρωτοκόλλου. Το δίκτυο επικοινωνίας, μπορεί να περιγράψει ως δίκτυο κόμβου με κόμβο (peer to peer), πλήρως αποκεντρωμένο, με κάθε συσκευή ή κόμβο να διαθέτει ένα μικροεπεξεργαστή, που αποκαλούνται νευρωνικοί πυρήνες και εκτελούν τρεις επεξεργασίες: δύο για την επικοινωνία και μια για την υλοποίηση του επίπεδου εφαρμογών.



Σχήμα 3.10 Συνδεσμολογία για έλεγχο φωτισμού μέσω LonWorks[41]

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τρόποι διευθυνσιοδότησης των πακέτων για την εξασφάλιση της ορθής επικοινωνίας με το μικρότερο δυνατό εύρος ζώνης.

- Φυσική Διεύθυνση: Κάθε συσκευή έχει τη δική της μοναδική φυσική διεύθυνση, η οποία παραμένει η ίδια από την στιγμή κατασκευής της και για όλο το χρόνο λειτουργίας της.
- Διεύθυνση Συσκευής: Δίνεται μόλις η συσκευή εγκατασταθεί στο δίκτυο και αντικαθιστά συνήθως τη φυσική διεύθυνση προς αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου. Έχει τρεις υποκεφαλίδες: domain ID, subnet ID, node ID. Το πρώτο, πρέπει να είναι το ίδιο για να επικοινωνούν δυο ή περισσότερες συσκευές, το δεύτερο χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση συσκευών σε ένα υποδίκτυο, ενώ το τρίτο είναι το αναγνωριστικό μιας συσκευής σε ένα υποδίκτυο.
- Διεύθυνση Ομάδας: Η διεύθυνση ομάδας χρησιμοποιείται όταν ένα μήνυμα απευθύνεται σε συγκεκριμένες συσκευές ώστε να αποφευχθεί η μη αποδοτική μαζική εκπομπή (broadcast)
- Διεύθυνση Broadcast: Λειτουργεί συμπληρωματικά της διεύθυνσης ομάδας.

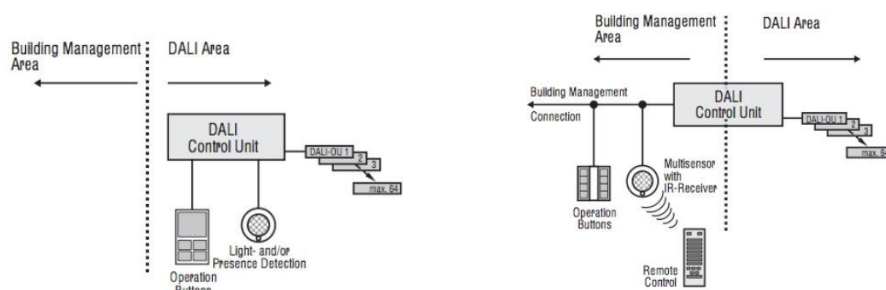
Επιπρόσθετα, υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι μηνύματος που μπορούν να μεταδοθούν σε ένα δίκτυο LonWorks.

- Αναγνωρισμένο μήνυμα (Acknowledged messaging): Μια συσκευή δέκτης απαντά σε μια συσκευή πομπό πως μεταδόθηκε και έλαβε το μήνυμα του.
- Επαναλαμβανόμενα μηνύματα (Repeated messaging): Ένα μήνυμα στέλνεται πολλές φορές σε ένα σημαντικό αριθμό συσκευών, χωρίς να περιμένει επιβεβαίωση από αυτές, προς αποφυγή τυχόν συγκρούσεων στο δίκτυο. Χρησιμοποιείται κυρίως στις broadcast.
- Μη αναγνωρισμένο μήνυμα (Unacknowledged messaging): Μετάδοση ενός μηνύματος σε διάφορες συσκευές που δεν απαιτεί κάποια απάντηση.
- Πιστοποιημένη υπηρεσία: Είναι παρόμοιο με τον έλεγχο κρυπτογραφημένων μηνυμάτων. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο εάν πομπός έχει το δικαίωμα να στείλει ένα μήνυμα σε κάποιο δέκτη.

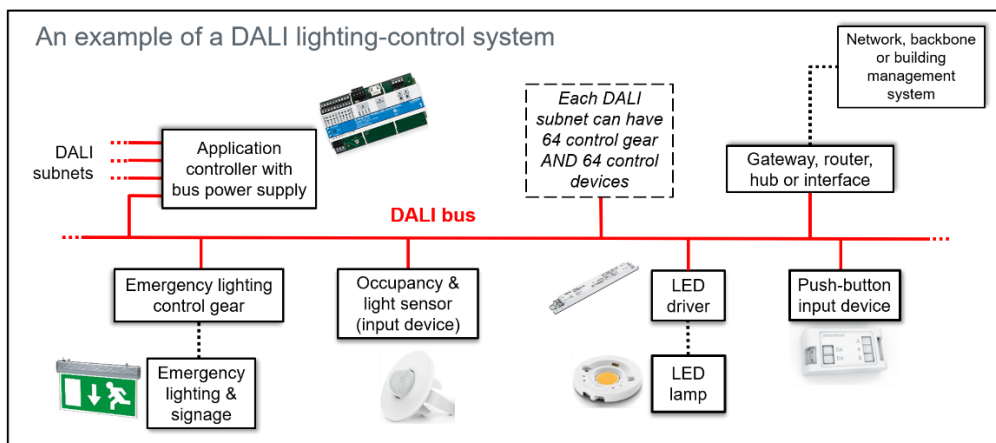
Υπάρχουν πολλά ακόμη πρωτόκολλα αυτοματισμού που χρησιμοποιούνται σε ένα κτίριο. Ορισμένα από τα πρωτόκολλα έχουν αναπτυχθεί για συγκεκριμένες εργασίες, όπως ο χειρισμός του φωτός σε ένα δωμάτιο ή ένα κτίριο. Ορισμένα από τα πρωτόκολλα έχουν αναπτυχθεί για να χρησιμοποιούνται ειδικά με την ασύρματη τεχνολογία. Παρακάτω περιγράφονται σύντομα μερικά από τα πιο συνηθισμένα πρωτόκολλα.

6. DALI

Το DALI (Digital Addressable Lighting Interface) είναι ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε για προηγμένο έλεγχο φωτισμού σε κτίρια. Διάφορα από τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα έχουν συσκευές gateways ώστε να επικοινωνήσουν με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Εκτός από την παροχή 230V που χρειάζεται το ειδικό DALI τροφοδοτικό του κάθε φωτιστικού, η επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω δυο καλωδίων που συνδέουν κάθε τροφοδοτικό με τον κεντρικό ελεγκτή (gateway). Έτσι από τον ελεγκτή στέλνονται σειριακά εντολές ON/OFF, dimming ή επιλογή σκηνής στα τροφοδοτικά και αυτά με τη σειρά του ελέγχουν την έξοδο τους προς τα φώτα. Η επικοινωνία αυτή είναι αμφίδρομη, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 1200bit/s και οι εντολές μπορεί να απευθύνονται σε ένα συγκεκριμένο τροφοδοτικό, σε μια ομάδα ή σε όλα τα συνδεδεμένα τροφοδοτικά της DALI γραμμής, τα οποία με τη σειρά τους επιστρέφουν κάποια απάντηση. Πρόκειται έτσι, για ένα διευθυνσιοδοτούμενο σύστημα, με μέγιστο αριθμό 64 συνδεδεμένων συσκευών (τροφοδοτικών) με ξεχωριστές διευθύνσεις, ενώ μπορεί να λειτουργήσει μεμονωμένα ή ως μέρος ενός κεντρικού συστήματος ενεργειακής διαχείρισης [38].



Σχήμα 3.11 Αριστερά: DALI ως ξεχωριστό σύστημα ελέγχου, Δεξιά: DALI ως μέρος ενός BMS[42]



Σχήμα 3.12 Παράδειγμα ενός συστήματος φωτισμού DALI

7. Z-Wave

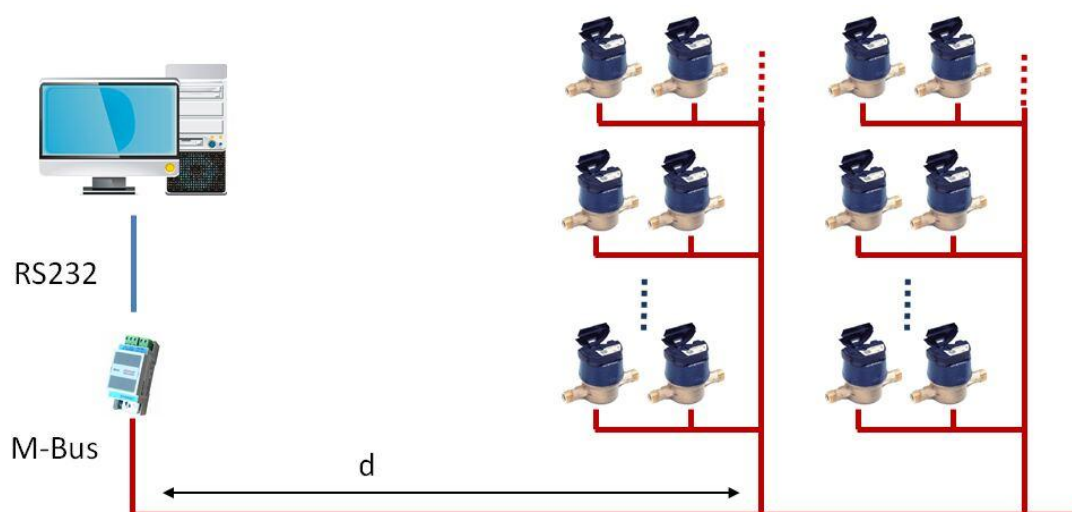
Το Z-Wave είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για τον αυτοματισμό κτιρίων, χρησιμοποιώντας ραδιοσυχνότητες. Χρησιμοποιείται κυρίως σε ιδιωτικές κατοικίες, αλλά υπάρχουν και άλλες εφαρμογές. Το πρότυπο είναι αποτέλεσμα από 200 εταιρείες στη Z-wave Alliance που συμφώνησαν να χρησιμοποιούν το ίδιο πρότυπο για τα προϊόντα τους. Τα προϊόντα κυμαίνονται από φωτισμό, συναγερμούς, HVAC, παρακολούθηση, κλειδαριές, άρδευση, σκίαστρα, συστήματα ψυχαγωγίας κ.λπ.

Η διαλειτουργικότητα του Z-Wave στο επίπεδο εφαρμογής εξασφαλίζει ότι οι συσκευές μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες και επιτρέπει τη συνεργασία όλων των συσκευών και του λογισμικού Z-Wave. Η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης πλέγματος του επιτρέπει σε κάθε κόμβο να μιλάει σε γειτονικούς κόμβους άμεσα ή έμμεσα, ελέγχοντας τυχόν πρόσθετους κόμβους. Οι κόμβοι που βρίσκονται εντός εμβέλειας επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Εάν δεν βρίσκονται εντός εμβέλειας, μπορούν να συνδεθούν με έναν άλλο κόμβο που βρίσκεται εντός εμβέλειας και των δύο για πρόσβαση και ανταλλαγή πληροφοριών.

8. M-Bus

Το πρωτόκολλο M-Bus, Meter-Bus, πρακτικά δεν αποτελεί πρωτόκολλο αυτοματισμού κτιρίων. Χρησιμοποιείται όμως στα κτίρια κυρίως για τη συλλογή πληροφοριών από ηλεκτρικούς μετρητές, μετρητές νερού κ.α. Σχεδιάστηκε ώστε τα δεδομένα να σηματοδοτούνται χρονικά και να καταγράφεται η συσκευή από την οποία προέρχονται. Είναι βασισμένο στο μοντέλο OSI αξιοποιώντας μόνο τέσσερα επίπεδα, τα φυσικό, ζεύξης δεδομένων, δικτύου και εφαρμογής.

Για την επικοινωνία, χρησιμοποιούνται 2 καλώδια, τύπου τηλεφωνικά (2x0.8mm), με μέγιστη δυνατή απόσταση 350 μέτρα όταν χρησιμοποιούνται ονομαστικές ταχύτητες μεταφοράς 300 και 9600 baud.



Σχήμα 3.13 Παράδειγμα δικτύου M-bus

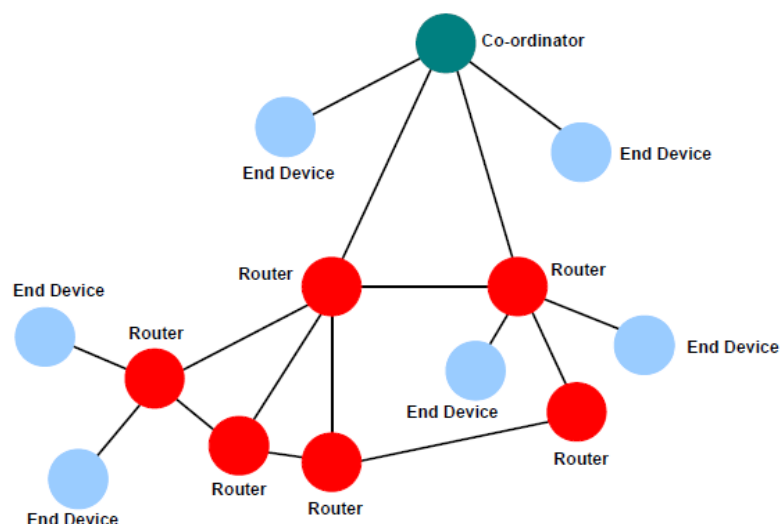
9. Zigbee

Το πρωτόκολλο Zigbee είναι τύπου OSI, σχεδιασμένο βάση του προτύπου IEEE 802.15.4 για ασύρματα δίκτυα (WPANs) και βασίζεται στη λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ασύρματης επικοινωνίας. Χρησιμοποιεί και τα επτά επίπεδα του OSI και η μετάδοση πραγματοποιείται στα 868 MHz με ρυθμό 20kbps.

Ως ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα ασύρματης RF επικοινωνίας, το Zigbee έχει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, μεγάλη διάρκεια αυτονομίας μέσω μπαταριών και ασφάλεια επικοινωνίας, ενώ υποστηρίζει τη σύνεση των συσκευών από κόμβο σε κόμβο (peer to peer) με εμβέλεια 75 μέτρα.

Υπάρχουν δυο τύποι συσκευών; πλήρης λειτουργίας και μειωμένης λειτουργίας. Οι πρώτες, μπορούν να επικοινωνήσουν με οποιαδήποτε συσκευή, με οποιαδήποτε συνδεσμολογία, αλλά και να αποτελέσουν κόμβους συντονισμού (router). Οι μειωμένης λειτουργίας συσκευές είναι απλής τοπολογίας και μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο με μια πλήρης λειτουργίας συσκευή. Κάθε συσκευή, δηλαδή και κόμβος, μπορεί να έχει τρεις λειτουργίες:

- Συντονιστή (Co-ordinator)
Αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο, ενεργώντας μεταξύ άλλων ως κέντρο εμπιστοσύνης και αποθετήριο για τα κλειδιά ασφαλείας.
- Διακομιστή (Router)
Εκτός από την εκτέλεση μιας λειτουργίας εφαρμογής, οι συσκευές δρομολόγησης μπορούν να λειτουργούν ως ενδιάμεσοι δρομολογητές, μεταφέροντας δεδομένα σε άλλες συσκευές.
- Τελική Συσκευή (End Device)
Περιέχει μόνο αρκετή λειτουργικότητα για να επικοινωνεί με τον γονικό κόμβο (είτε τον συντονιστή είτε έναν δρομολογητή)- δεν μπορεί να αναμεταδίδει δεδομένα από άλλες συσκευές [38].



Σχήμα 3.14 Τοπολογία δικτύου Zigbee

Όλα τα παραπάνω πρωτόκολλα που παρουσιάστηκαν, χρησιμοποιούνται στα κτίρια για διάφορους και πιθανά διαφορετικούς λόγους. Κάθε ένα από αυτά όμως υποστηρίζει τον έλεγχο του φωτισμού. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αρχιτεκτονικές ελέγχου τεχνητού φωτισμού.

3.3 Αρχιτεκτονικές ελέγχου τεχνητού φωτισμού

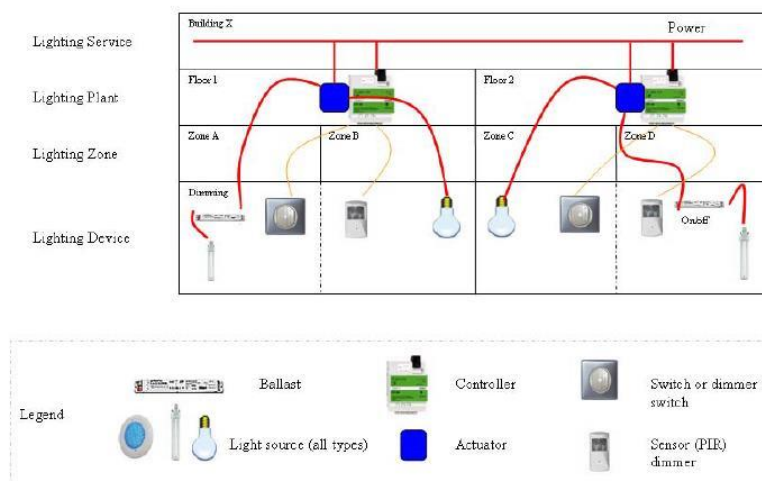
Σε μια εγκατάσταση, για τον έλεγχο του φωτισμού απαιτούνται κάποια ή όλα από τις παρακάτω στοιχεία.

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

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος, σχεδιάζεται κατάλληλα κα το συνολικό σύστημα διαχείρισης φωτισμού. Η βάση είναι ο κεντρικός τομέας και συνδέεται με όλες τις περιοχές και τις συσκευές. Κάθε ζώνη αναφέρεται στις διαφορετικές λειτουργίες σε κάθε περιοχή του συστήματος, ενώ οι τερματικές συσκευές είναι οι συσκευές από τις οποίες γίνεται ο τοπικός έλεγχος.

3.3.1 Αρχιτεκτονική Ελέγχου Εγκατάστασης

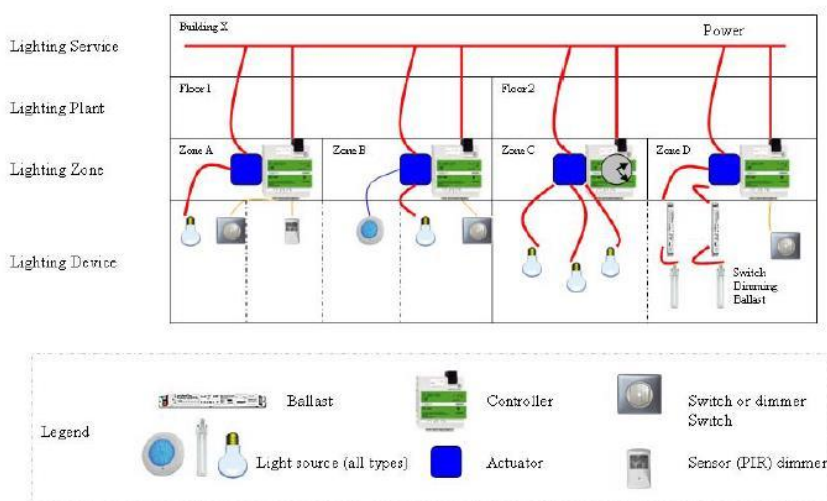
Οι μηχανισμοί ενεργοποίησης και οι ελεγκτές τοποθετούνται σε έναν κεντρικό πίνακα στη βάση του συστήματος, ανά επίπεδο φωτισμού της εγκατάστασης. Χρησιμοποιείται σε κτίρια όπως βιομηχανίες, σουπερμάρκετ, ορόφους σε κτίρια γραφείων ή σε κλιμακοστάσια. Το πλεονέκτημα της είναι πως είναι απλή και αξιόπιστη, καθιστώντας τη ευρέως διαδεδομένη.



Σχήμα 3.15 Κεντρικός Έλεγχος [34]

3.3.2 Αρχιτεκτονική Ελέγχου Ζώνης

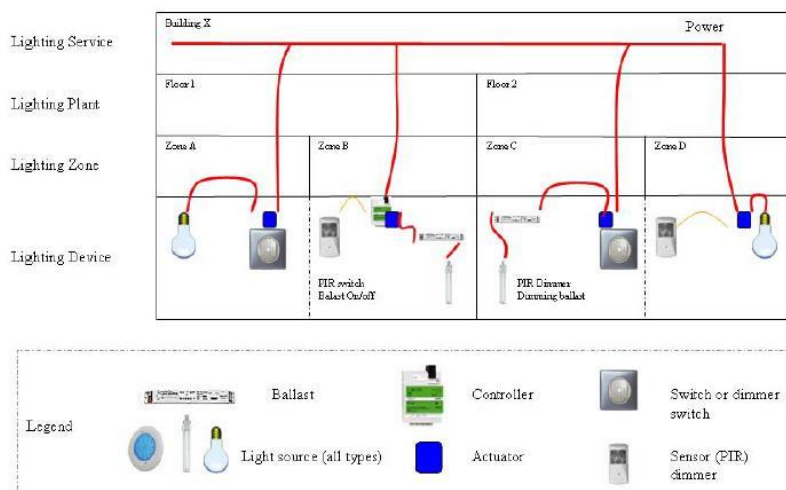
Ο μηχανισμός ενεργοποίησης και ο ελεγκτής έχουν επίδραση, άρα και τοποθετούνται, σε μια συγκεκριμένη ζώνη φωτισμού. Η αρχιτεκτονική αυτή, εφαρμόζεται σε σχολεία, γραφεία και νοσοκομεία επειδή καθιστά εύκολες τις όποιες αλλαγές στις ρυθμίσεις και τοπολογία του συστήματος.



Σχήμα 3.16 Έλεγχος ζώνης [34]

3.3.3 Αρχιτεκτονική Ελέγχου Καλωδίωσης Συσκευών

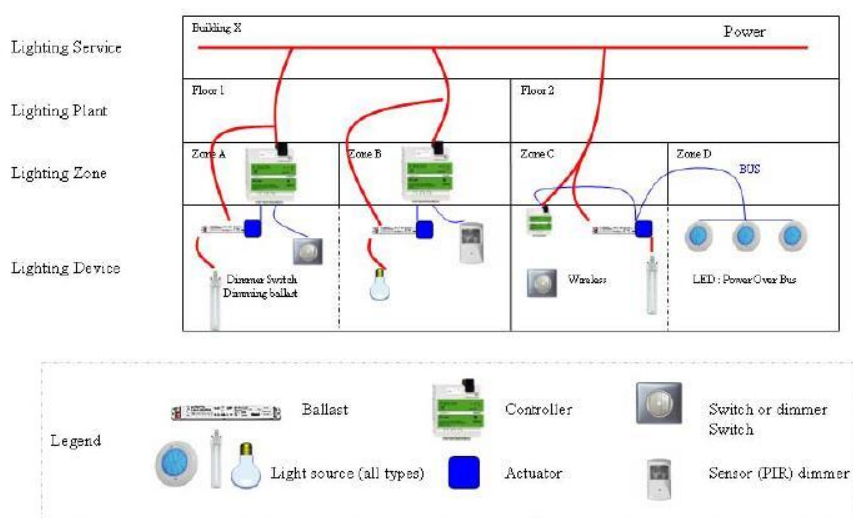
Οι μηχανισμοί ενεργοποίησης ελέγχουν απευθείας τις τελικές συσκευές μέσω καλωδίωσης που μπορεί να είναι σε τοίχους, οροφές ή πατώματα, ενώ στην περίπτωση χρήσης αισθητήρα είναι ενσωματωμένοι σε αυτόν. Χρησιμοποιείται ευρέως σε κατοικίες, μικρά γραφεία και ξενοδοχεία, καθώς μέσω αυτής της αρχιτεκτονικής επιτρέπεται στο χρήστη να κάνει τον τελικό έλεγχο. Ο σχεδιασμός της συνδυάζεται πολλές φορές με την αρχιτεκτονική ελέγχου εγκατάστασης, καθιστώντας τη ιδιαίτερα χρήσιμη.



Σχήμα 3.17 Έλεγχος μέσω καλωδίωσης των τελικών συσκευών [34]

3.3.4 Αρχιτεκτονική Ελέγχου με Ενσωματωμένα Εξαρτήματα

Οι μηχανισμοί ενεργοποίησης και οι ελεγκτές είναι ενσωματωμένοι στα φωτιστικά, συνήθως στα ballast. Τα περισσότερα συστήματα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής είναι συνδεδεμένα μέσω ενός συστήματος BUS. Παρέχουν μεμονωμένο ή κοινό έλεγχο μιας και οι ελεγκτές όπως προαναφέρθηκε είναι τοποθετημένοι ή στη συσκευή ή στον πίνακα του ορόφου ή στην ψευδοροφή. Από τη μια πλευρά, η διασύνδεση μεταξύ συσκευών είναι φυσική, για παράδειγμα μέσω καλωδίου, ενώ από την άλλη είναι λογική, δηλαδή μέσω ενός ελεγκτή ο οποίος διαχειρίζεται τα αιτήματα μεταξύ, για παράδειγμα μπουτόν ή ανιχνευτών και μηχανισμών ενεργοποίησης. Ένα από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των παραπάνω είναι το KNX.



Σχήμα 3.18 Έλεγχος μέσω φωτιστικών ή/και καλωδίωση BUS

3.5 Πρωτόκολλο KNX

Το πρωτόκολλο KNX ήταν αρχικά γνωστό ως EIB (European Installation Bus) και αναπτύχθηκε το 1990 στις Βρυξέλλες του Βελγίου από την EIB Association. Στόχος ήταν η προώθηση των «έξυπνων» κατοικιών και κτιρίων. Το 1999, η EIB Association συγχωνεύθηκε με δυο άλλες ευρωπαϊκές αυτόνομες ενώσεις, τη BCI (Batibus System) και τη European Home Systems Association (EHS System), και ίδρυσε την «KNX Association». Έτσι, σταδιακά, το πραγματικά ανοιχτό πρωτόκολλο αυτοματισμού KNX, καθιερώθηκε ως ευρωπαϊκό και παγκόσμιο πρότυπο αλλά και ως σύμβολο ποιότητας και διαλειτουργικότητας πολλών προμηθευτών.



Σχήμα 3.19 Εξέλιξη EIB προς KNX [43]

Πιο συγκεκριμένα, στα τέλη του 2003, το πρότυπο KNX εγκρίθηκε από την CENELEC (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης) ως το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για τα οικιακά και κτιριακά ηλεκτρονικά συστήματα ως μέρος της σειράς EN 50090. Το πρότυπο KNX εγκρίθηκε επίσης από την CEN (EN 13321-1 για τα μέσα και το πρωτόκολλο και EN 13321-2 για το KNXnet/IP). Στα τέλη του 2006, το KNX εγκρίθηκε επίσης ως παγκόσμιο πρότυπο (ISO/IEC 14543-3-1 έως 7). Επιπλέον, τον Μάιο του 2013, η τεχνολογία KNX εγκρίθηκε ως κινεζικό πρότυπο (GB/T 20965). Το KNX έχει επίσης εγκριθεί στις ΗΠΑ ως ANSI/ASHRAE 135 [43].

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.

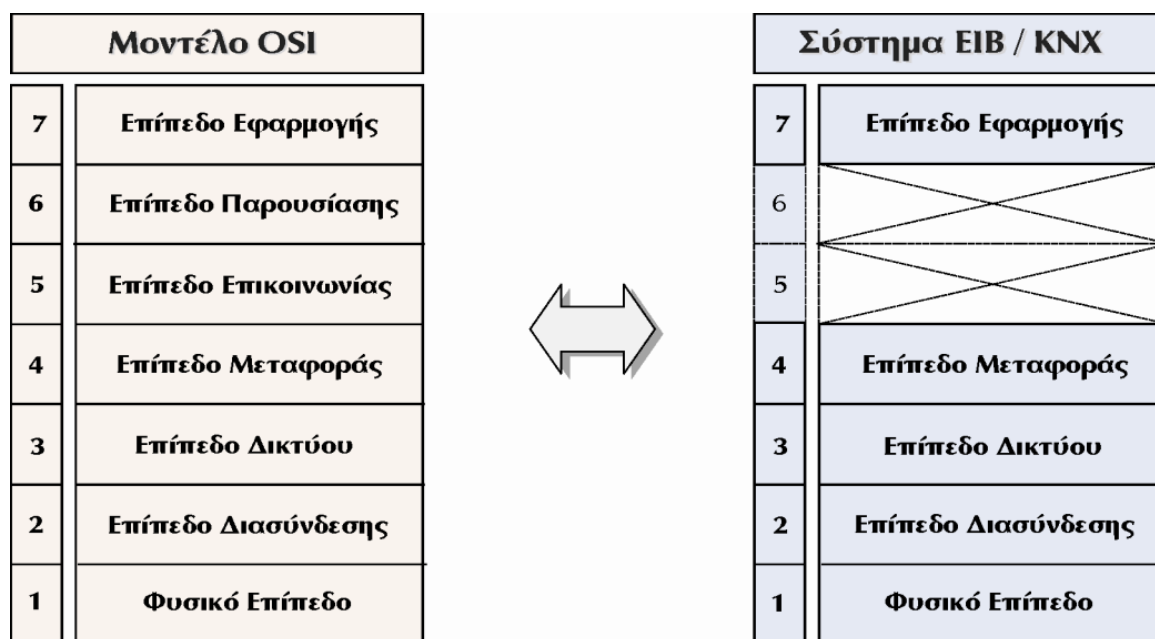
Το σύστημα διανεμημένης ευφυΐας (distributed intelligence) το οποίο εστιάζει στον κτιριακό αυτοματισμό στοχεύει στην αυτοματοποίηση των παρακάτω λειτουργιών:



Σχήμα 3.20 Παραδείγματα ελέγχου KNX[43]

3.5.1 Επίπεδα και μέσα επικοινωνίας

Η επικοινωνία στο πρωτόκολλο KNX, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι βασισμένη στο μοντέλο OSI, ένα από τα συνηθέστερα πρότυπα αναφοράς για τα διασυνδεδεμένα ανοιχτά συστήματα. Παρακάτω φαίνεται η αντιστοίχιση των επιπέδων OSI με τα επίπεδα που απαιτούνται στο KNX.



Σχήμα 3.21 Αντιστοίχιση KNX με μοντέλο OSI[45]

Όπως φαίνεται, το KNX απαιτεί μόνο πέντε από τα επτά επίπεδα του πρωτοκόλλου OSI. Κάθε επίπεδο αλληλοεπιδρά είτε με το από πάνω παρέχοντας μια υπηρεσία ή με το από κάτω ως χρήστης 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)

Στο πρωτόκολλο KNX υπάρχουν διάφοροι τρόποι καλωδίωσης-διασύνδεσης των συσκευών μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η επικοινωνία. Παρακάτω στο σχήμα 3.22, παρουσιάζονται συνοπτικά οι τύποι του πρωτοκόλλου.

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

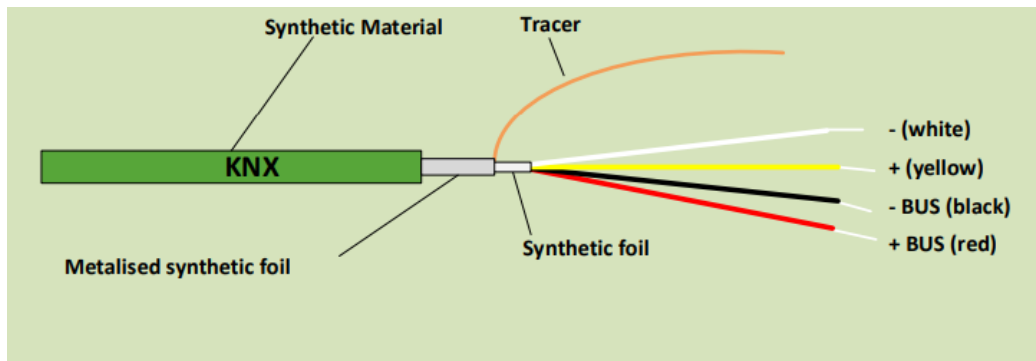
Σχήμα 3.22 Τρόποι επικοινωνίας του πρωτοκόλλου KNX στο φυσικό επίπεδο[45]

Τα πιο διαδεδομένα από τα παραπάνω είναι το TP-1 και το KNX over IP με πληθώρα εφαρμογών τα τελευταία χρόνια σε νέα αλλά και ανακαινισμένα κτίρια. Στη δική μας εφαρμογή θα χρησιμοποιήσουμε το TP-1.

3.5.2 KNX TP-1 Τοπολογία

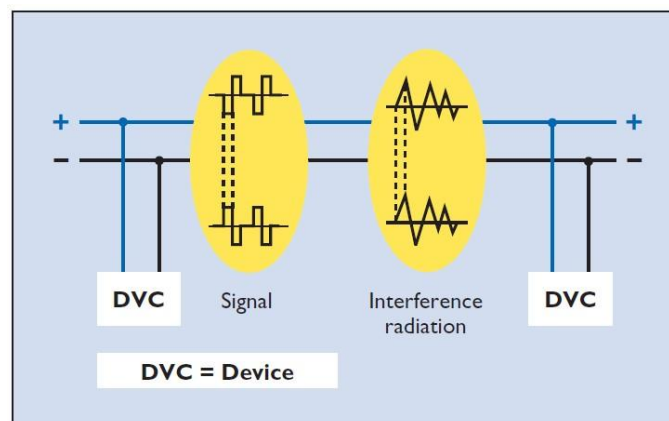
Ένα καλώδιο δεδομένων με συνεστραμμένο ζεύγος δύο πυρήνων (καλώδιο bus) είναι το πιο συνηθισμένο μέσο επικοινωνίας για εγκαταστάσεις KNX. Εδώ όλες οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους μέσω των καλωδίου bus καθώς είναι οικονομικό, αποδοτικό στην αγορά και εύκολο στην εγκατάσταση.

Το καλώδιο που χρησιμοποιείται και είναι εγκεκριμένο από την KNX Association είναι είτε YCYM 2x2x0.8mm ή τηλεφωνικό J-Y(St) 2x2x0.8mm και τροφοδοτεί όλες τις συσκευές KNX με τάση περίπου 30V DC, παρόλο που η ονομαστική τάση του συστήματος είναι 24V, αλλά είναι υπεύθυνο και για τη μεταφορά της πληροφορίας. Η αντίσταση των καλωδίων είναι 75Ω/km, ενώ η χωρητικότητα της γραμμής 100nF/km, χαρακτηριστικά απαραίτητα για την εγγυημένη ορθότητα της εγκατάστασης; το μέγιστο καλωδιακό μήκος της γραμμής, τη μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο συσκευών και το μέγιστο αριθμό συσκευών ανά γραμμή.



Σχήμα 3.23 Πρότυπο καλώδιο πρωτοκόλλου KNX[43]

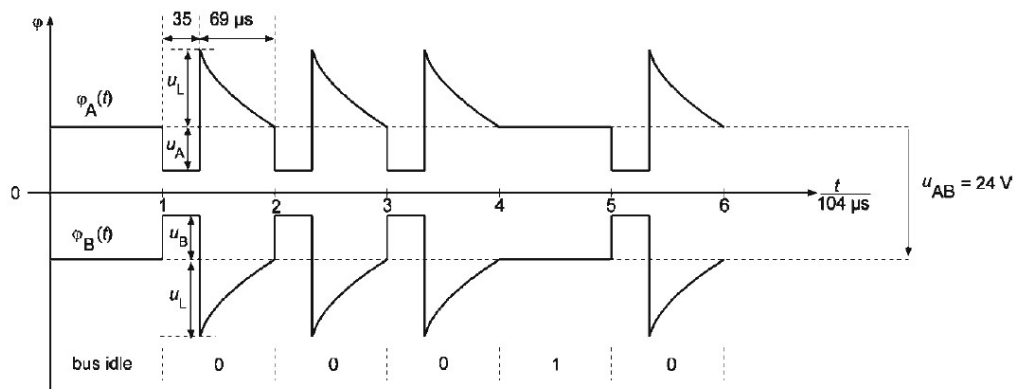
Η τεχνολογία του συστήματος δεν απαιτεί τερματική συσκευή στο τέλος κάθε γραμμής και οι πληροφορίες διαβιβάζονται συμμετρικά στο ζεύγος των αγωγών (κόκκινο +, μαύρο -) χωρίς να υπάρχει κάποιο σταθερό σημείο αναφοράς έναντι της γης. Αυτό σημαίνει ότι, χωρίς σημαντικό πρόσθετο υλικό, η σταθερότητα έναντι συζευγμένων σημάτων παρεμβολής αυξάνεται σημαντικά, επειδή π.χ. τα σήματα παρεμβολής και στους δύο πυρήνες αντισταθμίζουν το ένα το άλλο (διαφορικό).



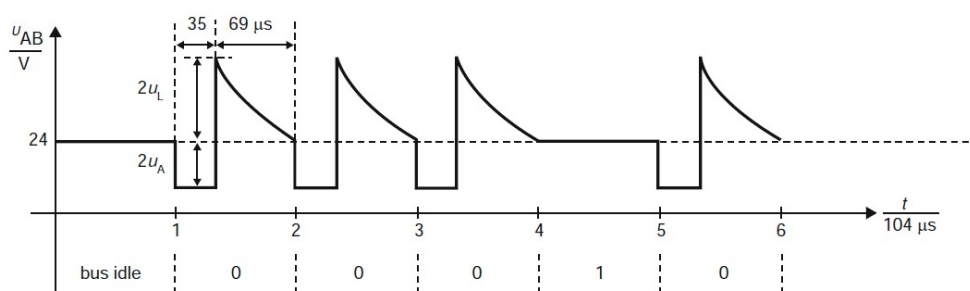
Σχήμα 3.24 Συμμετρική μεταφορά δεδομένων

Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων είναι 9.600 bit/s και τα δεδομένα μεταφέρονται σειριακά, ένα byte τη φορά, μέσω ασύγχρονης μεταφοράς δεδομένων. Όταν μεταδίδεται ένα λογικό μηδέν, η τάση πέφτει για λίγο και στη συνέχεια, μετά από όχι περισσότερο από 104μs, αυξάνεται και πάλι για να εξισωθεί στην αρχική τάση. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της επαγωγής του στραγγαλιστικού πηνίου. Η μετάδοση λογικών μονάδων αντιστοιχεί στην κατάσταση αδράνειας του διαύλου.

Αναλυτικότερα, ο πομπός δημιουργεί την τάση εναλλασσόμενου ρεύματος που αντιστοιχεί στο λογικό μηδέν, στέλνοντας μόνο το μισό κύμα, το οποίο το κάνει μειώνοντας την τάση στο καλώδιο δεδομένων κατά 5 V περίπου. Μετά από περίπου μισή περίοδο bit, ο πομπός ακυρώνει και πάλι αυτή την πτώση τάσης. Το υπόλοιπο σύστημα - το καλώδιο διαύλου, οι μετασχηματιστές και οι πυκνωτές φόρτισης όλων των συσκευών διαύλου, και ο στραγγαλιστής του τροφοδοτικού, παράγει στη συνέχεια έναν θετικό αντισταθμιστικό παλμό (αντηχείο).

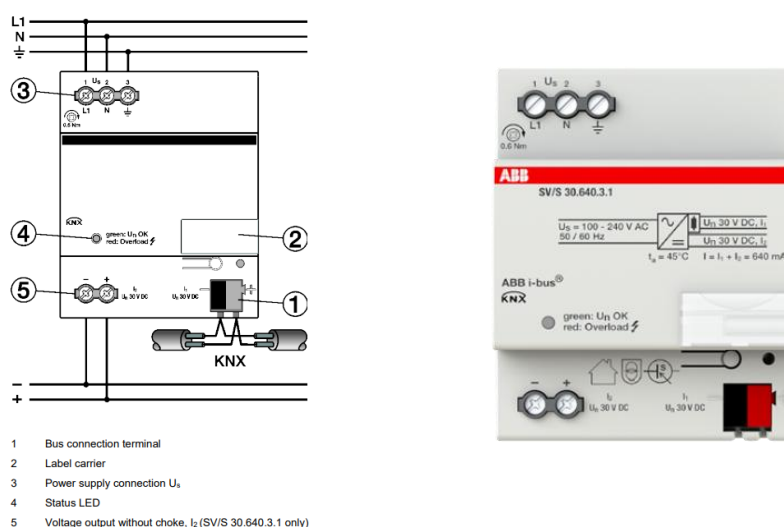


Σχήμα 3.25 Καμπύλες δυναμικού στη γραμμή Α και Β με KNX TP[39]

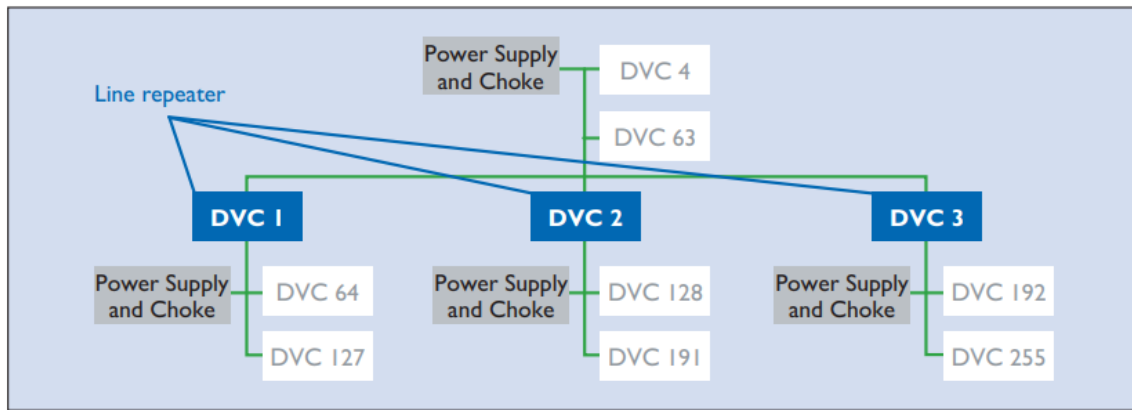


Σχήμα 3.26 Καμπύλη τάσης με KNX TP[39]

Η βασική μονάδα μιας εγκατάστασης KNX TP είναι μια γραμμή, που αποτελείται από ένα τροφοδοτικό και συνήθως όχι περισσότερες από 64 συσκευές. Το τροφοδοτικό KNX περιλαμβάνει το στραγγαλιστικό πηνίο και, αφενός τροφοδοτεί με περίπου 30V DC όλες τις συσκευές, αφετέρου μέσω του καλωδίου bus είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή πληροφοριών σε μορφή τηλεγραφημάτων.

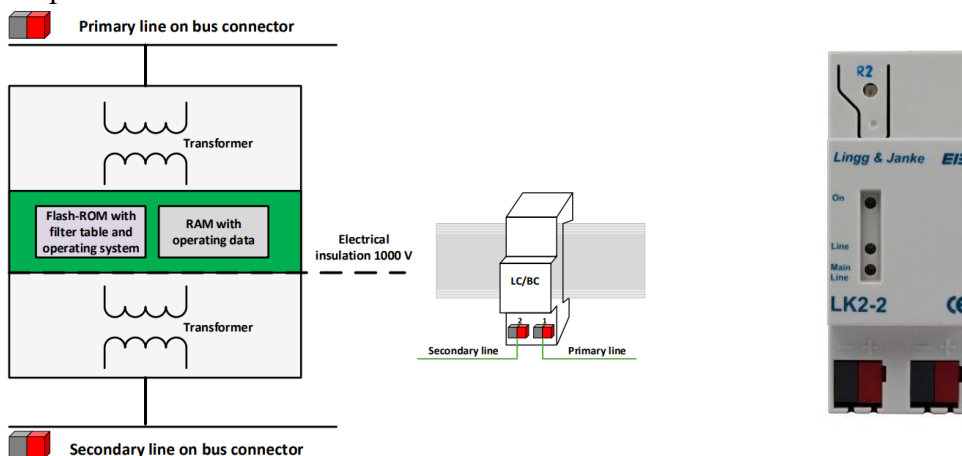


Σχήμα 3.27 Παράδειγμα τροφοδοτικού KNX



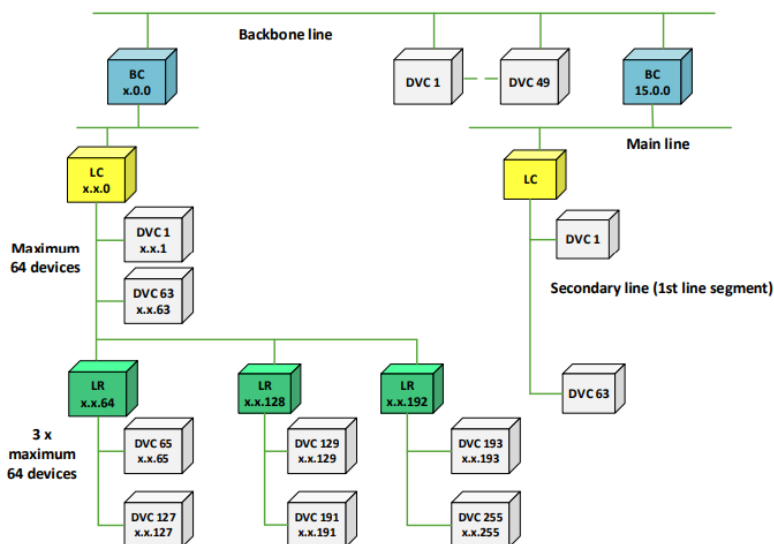
Σχήμα 3.28 Μέγιστο μήκος γραμμής KNX TP

Η καλωδίωση του bus μπορεί να σχεδιαστεί ελεύθερα, συμπεριλαμβανομένων διακλαδώσεων, καθιστώντας τη ιδιαίτερα ευέλικτη. Ως αποτέλεσμα έχουμε μια ελεύθερη δομή δέντρου. Σε περίπτωση που υπάρχει επιθυμία επέκτασης μιας γραμμής με περισσότερα από 64 υλικά, χρησιμοποιούνται τα Line Repeaters, δημιουργώντας νέα τμήματα (segments) στη γραμμή, με μέγιστο αριθμό τριών νέων τμημάτων ή αντίστοιχα 255 συσκευών. Ένας άλλος τρόπος να επεκτείνουμε ένα δίκτυο KNX TP είναι η δημιουργία νέων γραμμών με τη χρήση προσαρμοστών γραμμής (Line Coupler). Το Line Coupler με το Line Repeater, συχνά είναι το ίδιο υλικό (hardware), για αυτό και συνήθης πρακτική η δημιουργία νέων γραμμών και όχι η επέκταση των ήδη υπάρχον στο μέγιστο. Έτσι, το σύστημα καθίσταται πιο διαχειρίσιμο και μειώνεται η συμφόρηση τηλεγραφημάτων, αξιοποιώντας τη λειτουργία φίλτρων των Line Coupler.



Σχήμα 3.29 Νέος προσαρμοστής γραμμής [43]

Με τον παραπάνω τρόπο δημιουργείται μια γραμμή περιοχής (area), η οποία περιλαμβάνει έως και 15 γραμμές, είναι γνωστή ως backbone και έχει ξεχωριστό τροφοδοτικό KNX. Σε περίπτωση που υπάρχει η απαίτηση να προστεθούν γραμμές, θα πρέπει να προστεθούν περιοχές. Ο μέγιστος αριθμός περιοχών είναι επίσης 15 και συνδέονται μεταξύ τους μέσω των Area Couplers, δημιουργώντας έτσι ένα πλήρες σύστημα.



Σχήμα 3.30 Μέγιστο μέγεθος μιας εγκατάστασης KNX TP[43]

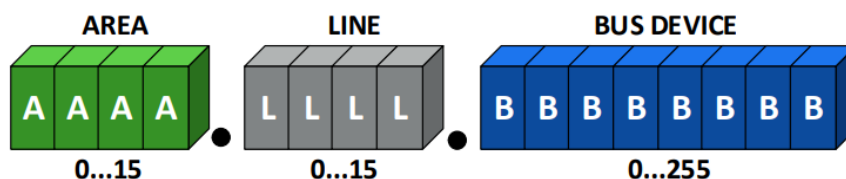
Συνοπτικά, τα βασικά πλεονεκτήματα της τοπολογίας που περιεγράφηκε παραπάνω είναι τα εξής:

- Αυξημένη αξιοπιστία λόγω της γαλβανικής απομόνωσης που προσφέρουν τα Line Coupler.
- Η παρουσία τροφοδοτικού σε κάθε γραμμή και περιοχή εξασφαλίζουν πως σε περίπτωση βλάβης ενός τροφοδοτικού δεν επηρεάζεται σημαντικά το υπόλοιπο σύστημα.
- Η τοπική κίνηση δεδομένων σε μια γραμμή ή περιοχή δεν επηρεάζει το ρυθμό δεδομένων σε άλλες γραμμές και περιοχές.
- Η τοπολογία είναι λογική και διαχειρίσιμη, ειδικά κατά τη διαδικασία θέσης σε λειτουργία.

Κάθε συσκευή σε ένα σύστημα KNX χαρακτηρίζεται από μια μοναδική και αδιαμφισβήτητη φυσική διεύθυνση (Individual Address). Αυτή, αποτελείται από τρεις αριθμούς, χωρισμένους από τελείες, με τον κάθε ένα να περιγράφει και μια άλλη ιδιότητα της θέσης της συσκευής στην τοπολογία του συστήματος.

1. Το πρώτο νούμερο δηλώνει τον αριθμό της περιοχής
2. Το δεύτερο νούμερο δηλώνει τον αριθμό της γραμμής
3. Το τρίτο νούμερο είναι ένας αύξων αριθμός που υποδεικνύει τη θέση της συσκευής στη γραμμή.

Οι φυσικές διευθύνσεις είναι απαραίτητες για την αναγνώριση κάθε συσκευής αλλά και τον προγραμματισμό τους. Τα Area ή Line Couplers, θα πρέπει να έχουν αντίστοιχα φυσική διεύθυνση της μορφής x.0.0 και x.x.0.



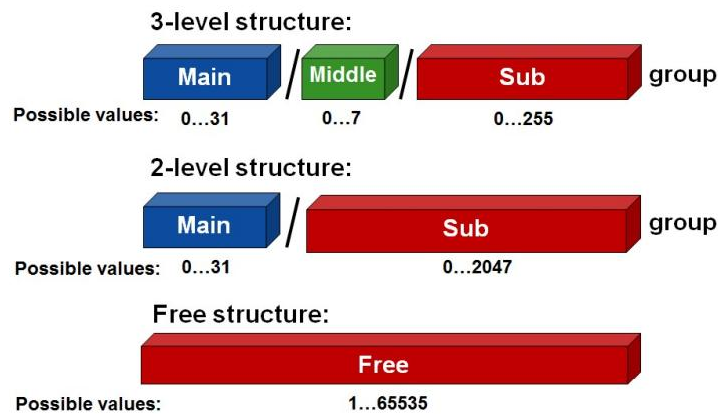
Σχήμα 3.31 Δομή μιας φυσικής διεύθυνσης [43]

3.5.3 Διευθύνσεις ομάδας και ανταλλαγή πληροφοριών

Εκτός της φυσικής διεύθυνσης, για την επικοινωνία μέσω πρωτοκόλλου KNX απαραίτητες είναι οι διευθύνσεις ομάδας. Υλοποιούνται μέσω του ειδικού λογισμικού που θα αναλυθεί παρακάτω από τον μηχανικό έργου, ο οποίος μπορεί να τις επιλέξει ελεύθερα με στόχο την ορθή επικοινωνία και λειτουργία των συσκευών της εγκατάστασης. Κάθε λειτουργία μιας συσκευής μπορεί να συνδεθεί με μια κατάλληλη διεύθυνση ομάδας. Οι πιθανοί τρόποι αναπαράστασης των διευθύνσεων ομάδας (Group Addresses) σε κάθε έργο είναι οι εξής:

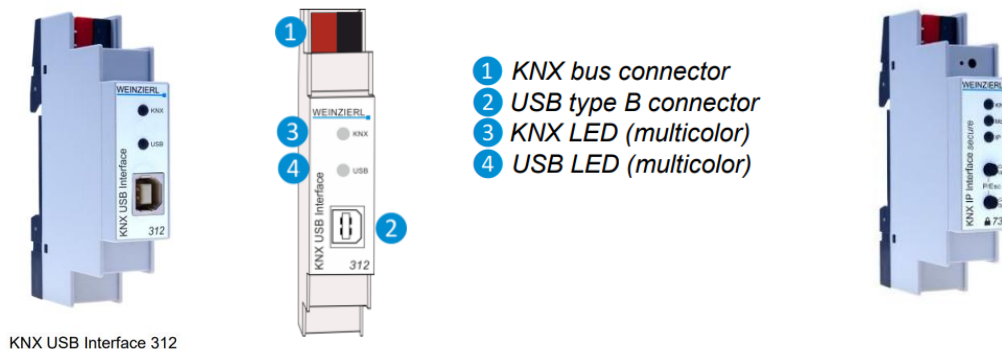
- Δομή 3 επιπέδων: Κύρια ομάδα (Main group), Μεσαία ομάδα (Middle group) και Υποομάδα (Sub group)
- Δομή 2 επιπέδων: Κύρια ομάδα (Maingroup) και Υποομάδα (Subgroup)
- Ελεύθερη δομή

Οι κύριες ομάδες σε ένα έργο μέσω KNX δεν πρέπει να ξεπερνάνε τις 15, ενώ η διεύθυνση 0/0/0 είναι κατειλημμένη από το σύστημα και χρησιμοποιείται για τη λεγόμενη broadcast επικοινωνία, δηλαδή επικοινωνία προς όλες τις συσκευές.



Σχήμα 3.32 Δομή μιας διεύθυνσης ομάδας[43]

Προκειμένου να προγραμματιστεί οποιοδήποτε έργο KNX ο μηχανικός θα πρέπει να έχει μια συσκευή που θα μεταφράζει το KNX σε μια μορφή που αναγνωρίζεται από το ειδικό λογισμικό. Η θύρα επικοινωνίας μπορεί να μετατρέπει το KNX είτε σε USB ή IP ή RS-232 ώστε να μπορεί ο εγκαταστάτης να το χειριστεί μέσω του υπολογιστή του.



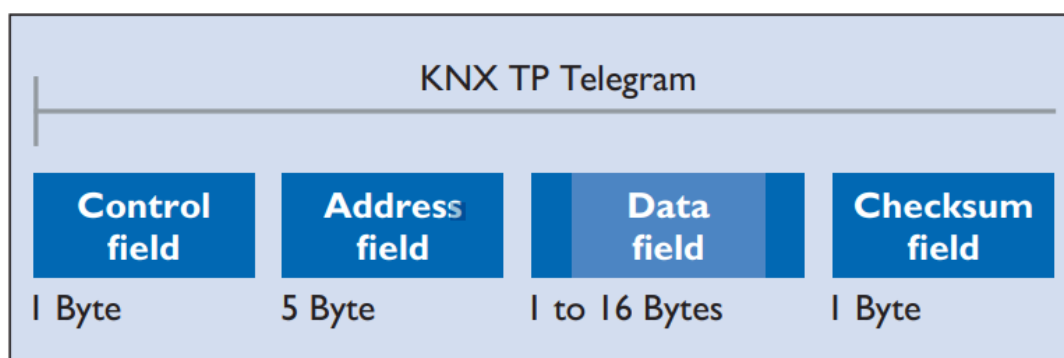
Σχήμα 3.33 Θύρες επικοινωνίας πρωτοκόλλου KNX (Αριστερά: KNX σε USB, Δεξιά: KNX σε IP)

Στην πράξη, οι διευθύνσεις ομάδας προσδίδουν την απαραίτητη λογική στην επικοινωνία του συστήματος και ανάλογα με τη λειτουργία που έχουν συνδεθεί μεταφέρουν αντικείμενα (objects) που βρίσκονται στη μνήμη της συσκευής με μέγεθος από 1 bit έως 16 bytes. Παρακάτω φαίνονται τα βασικότερα από αυτά τα μεγέθη:

Μέγεθος	Λειτουργία
1 bit	ON/OFF, Ρολά (Up/Down)
2 bit	Προτεραιότητα
4 bit	Ρύθμιση έντασης φωτισμού
8 bit	Δημιουργία στάθμης φωτισμού
16 bit	Κινητή υποδιαστολή, αριθμοί που εκφράζουν φυσικές τιμές
32 bit	Μετρήσεις

Σχήμα 3.34 Αντιστοίχιση μεγέθους αντικειμένων με λειτουργίες

Η μετάδοση των δεδομένων και ειδικότερα των πληροφοριών μεταξύ των bus συσκευών, ανταλλάσσεται με ειδική κωδικοποίηση σε συγκεκριμένες φόρμες δεδομένων. Η κωδικοποίηση αυτή ονομάζεται τηλεγράφημα και έχει την παρακάτω δομή.



Σχήμα 3.35 Δομή τηλεγραφήματος στο KNX TP

Το τηλεγράφημα αποτελείται από μια ακολουθία χαρακτήρων, με κάθε χαρακτήρα να αποτελείται από οκτώ μηδενικά και άσους, με άλλα λόγια οκτώ bits ή ένα byte. Συχνά διάφοροι χαρακτήρες συνδυάζονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα πεδίο. Τα τηλεγραφήματα KNX TP αποτελούνται από τέσσερα πεδία.

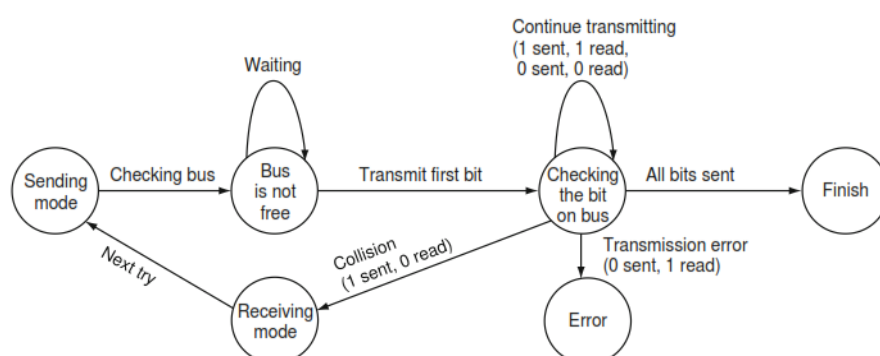
1. Πεδίο ελέγχου(Control Field): Καθορίζει την προτεραιότητα του τηλεγραφήματος και εάν η μετάδοση του τηλεγραφήματος επαναλήφθηκε ή όχι (εάν ο παραλήπτης δεν ανταποκρίθηκε)
2. Πεδίο διεύθυνσης(Address Field): Καθορίζει την ατομική διεύθυνση του αποστολέα και τη διεύθυνση προορισμού (ατομική διεύθυνση ή ομαδική διεύθυνση) του παραλήπτη.
3. Πεδίο δεδομένων(Data Field): Μπορεί να έχει μήκος έως και 16 bytes, περιέχει το πραγματικό μήνυμα του τηλεγραφήματος.

4. Πεδίο Checksum: Χρησιμοποιείται για ελέγχους ισοτιμίας, με σκοπό την ανίχνευση σφαλμάτων κατά τη μεταφορά ή αποθήκευση των δεδομένων.

Η πρόσβαση στο KNX bus, όπως και σε bus συστήματα είναι τυχαία και καθοδηγούμενη από συμβάντα. Ένα τηλεγράφημα, μπορεί να μεταδοθεί μόνο εάν την ίδια χρονική στιγμή δεν μεταδίδεται κάποιο άλλο τηλεγράφημα.

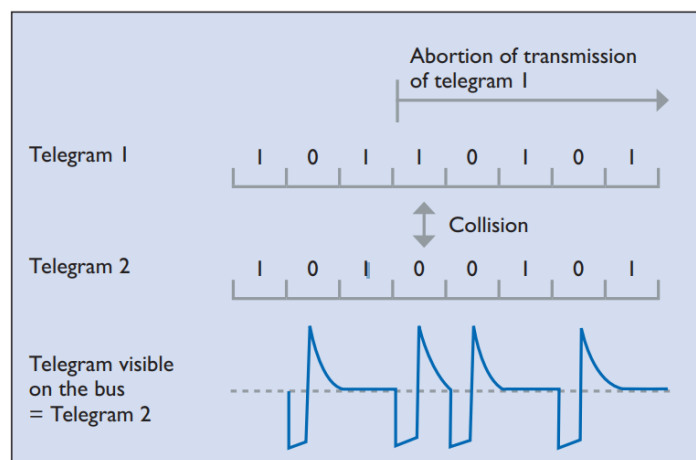
Συνεπώς, όταν μια συσκευή θέλει να στείλει ένα τηλεγράφημα στο bus πρέπει πρώτα να ελέγξει ότι δεν μεταδίδονται στη γραμμή άλλα δεδομένα, δηλαδή ότι ο δίαυλος δεδομένων είναι ελεύθερος. Εάν για μια περίοδο 50 bit δεν μεταφέρονται δεδομένα (λογικό 1), τότε ο δίαυλος ορίζεται ως ελεύθερος. Σε περίπτωση που περισσότερες από μια συσκευές αναγνωρίσουν το bus ως ελεύθερο, ξεκινά η μετάδοση ανά bit, ελέγχοντας κάθε φορά αν συνεχίζει να επιτρέπεται η αποστολή.

Ο αλγόριθμος αυτός που ελέγχει τον παραπάνω τρόπο μετάδοσης ονομάζεται Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA).



Σχήμα 3.36 Διάγραμμα κατάστασης για το πρωτόκολλο CSMA/CA

Για παράδειγμα, μία συσκευή αποστολέας (συσκευή 2-τηλεγράφημα 2) μεταδίδει ένα λογικό 0, ενώ μια άλλη το λογικό 1 (συσκευή 1 – τηλεγράφημα 1). Η συσκευή 1, διαβάζοντας ότι στο bus μεταδίδεται το 0, αναγνωρίζει τη σύγκρουση και βάση του αλγορίθμου είναι υποχρεωμένη να απορρίψει τα δικά της δεδομένα και να δώσει προτεραιότητα στη συσκευή 2. Έπειτα το τέλος της μετάδοσης προτεραιότητας, η αποτυχημένη αποστολή της συσκευής 1 ξαναρχίζει. Η προτεραιότητα, όπως αναφέρεται πιο πάνω, καθορίζεται από το πεδίο ελέγχου.



Σχήμα 3.37 Αποφυγή σύγκρουσης στο KNX TP

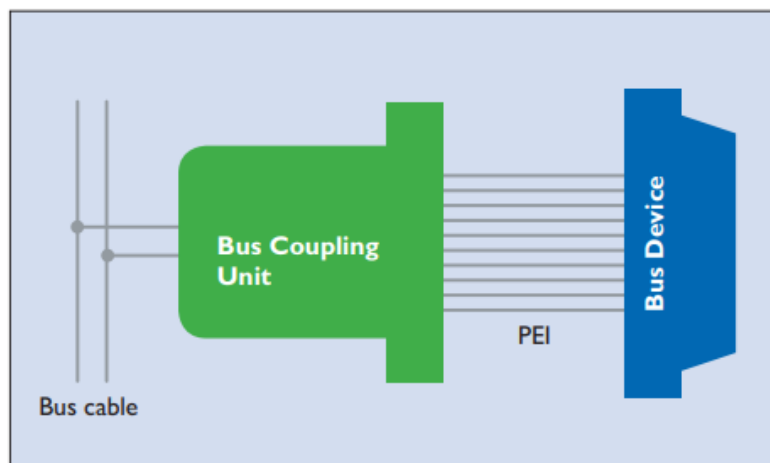
3.5.4 Συσσκευές KNX

Σε ένα σύστημα KNX υπάρχουν δύο είδη συσκευών, οι συσκευές συστήματος και οι τελικές συσκευές. Οι συσκευές συστήματος μπορεί να είναι τα τροφοδοτικά KNX, Couplers, συσκευές προγραμματισμού, ενώ οι τελικές συσκευές, μηχανισμούς ενεργοποίησης, ανιχνευτές, μπουτόν κ.α.

Όλες οι τυπικές συσκευές bus απαιτούν συγκεκριμένη μεθοδολογία κατασκευής και διαθέτουν:

- Μονάδα Bus προσαρμοστή (Bus Coupling Unit): Προσδίδει ευφυΐα στη συσκευή και καθιστά το δίκτυο αποκεντρωμένο.
- Μονάδα Εφαρμογής (Application Module): Διασυνδέει το φορτίο με το χρήστη στα πλαίσια της εγκατάστασης.
- Πρόγραμμα εφαρμογής (Application Program): Προσδίδει στη συσκευή την επιθυμητή λειτουργία βάσει του εγκαταστάτη.

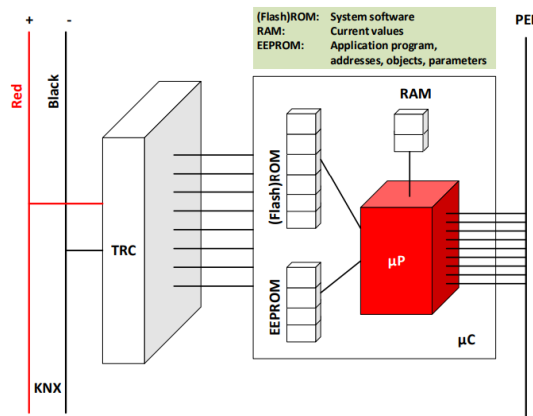
Σε περίπτωση που η BCU και η AM είναι διαχωρισμένα, συνδέονται μέσω μιας τυποποιημένης εξωτερικής επαφής 10 ή 12 pin.



Σχήμα 3.38 Εξαρτήματα μιας συσκευής Bus[44]

Στα BCU που είναι μόνιμα ενσωματωμένα στις συσκευές, οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ή ένα έτοιμο Bus Interface Module(BIM) ή ένα προσαρμοσμένο KNX chipset, ενώ αυτά διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο επικοινωνίας. Πρόκειται στην πράξη για έναν μικρο-ελεγκτή; ένα τσιπ που ενσωματώνει ένα μικροεπεξεργαστή, διάφορες μνήμες και περιφερειακές συσκευές εισόδου και εξόδου. Ο μικροεπεξεργαστής θα είναι ένας τυπικός ελεγκτής π.χ. NEC, ATMega ή Texas Instruments με τις ακόλουθες μνήμες:

- RAM: Η μικρότερη μνήμη. Εδώ αποθηκεύονται οι μεταβλητές παράμετροι που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία της συσκευής
- EEPROM ή flash memory: τα δεδομένα (π.χ. παράμετροι, φυσικές διευθύνσεις και διευθύνσεις ομάδων) που εισάγει ο εγκαταστάτης στο λογισμικό εφαρμογής αποθηκεύονται σε αυτή τη μνήμη.
- ROM: το λογισμικό συστήματος για τη BCU αποθηκεύεται σε αυτή τη μνήμη, κατά τη διάρκεια της παραγωγής του τσιπ.



Σχήμα 3.39 Εσωτερική δομή μιας μονάδας ζεύξης διαύλου[43]

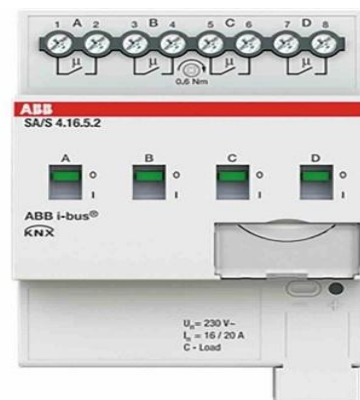
3.5.5 KNX συσκευές ελέγχου φωτισμού

Σε μια εγκατάσταση όπου απαιτείται έλεγχος του τεχνητού φωτισμού, εκτός του τροφοδοτικού και της θύρας επικοινωνίας για τη θέση του συστήματος σε λειτουργία, είναι απαραίτητη η ύπαρξη φυσικών συσκευών, οι οποίες είτε αφορούν τον καθ' αυτό έλεγχο (μηχανισμούς ενεργοποίησης, dimmer κ.α.) ή τον τελικό χρήστη (μπουτόν, διακόπτες, αισθητήρες κ.α.). Η ποικιλία είναι μεγάλη και διαφοροποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε έργου, ηλεκτρολογικές, λειτουργικές ή αισθητικές. Παρακάτω παρουσιάζονται σύντομα κάποιες από αυτές τις συσκευές.

1. Μηχανισμός ενεργοποίησης ελέγχου φωτισμού

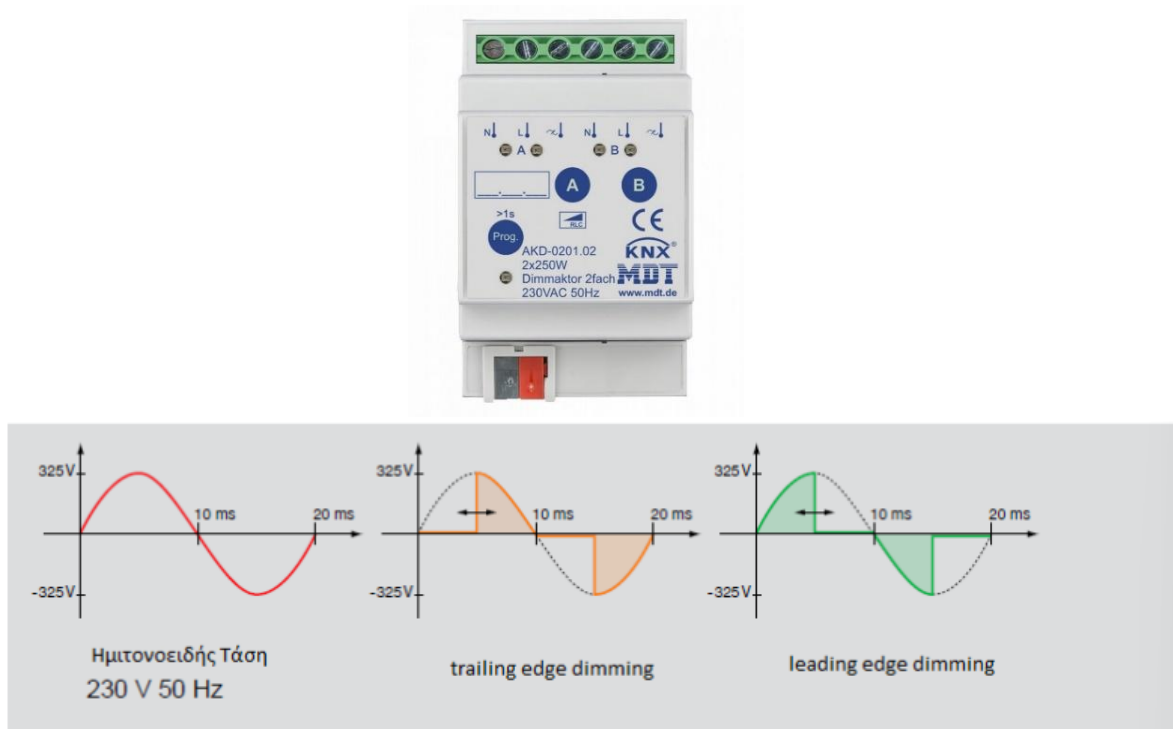
Τοποθετείται συνήθως στον ηλεκτρολογικό πίνακα της εγκατάστασης και δίνει την εντολή στο τροφοδοτικό ή το ίδιο το φωτιστικό. Το μέγιστο φορτίο, άρα και ο μέγιστος αριθμός φωτιστικών ανά κανάλι αναγράφεται στις τεχνικές περιγραφές του προϊόντος. Ανάλογα με τον τύπο του φωτιστικού χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη συσκευή.

- Μηχανισμός ενεργοποίησης ON/OFF, το απλούστερο υλικό, , αποτελείται από ρελέ 16A τα οποία οπλίζουν μέσω KNX. Χρησιμοποιείται τόσο για τον έλεγχο συμβατικών φωτιστικών όσο και για τον έλεγχο γενικών φορτίων που απαιτούν απλά μια τάση ή ένα σήμα για να ενεργοποιηθούν (π.χ. δίοδες ηλεκτροβάνες)



Σχήμα 3.40 Παράδειγμα μηχανισμού ενεργοποίησης ON/OFF ABB

- Phase Cut Dimmer (Universal Dim Actuators). Η μείωση της φωτεινής ροής επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της περιόδου του AC τάσης που εισέρχεται στο σύστημα. Έχει χαμηλό κόστος, εύκολη καλωδίωση και οι ροοστάτες λειτουργούν λαμβάνοντας την ισχύ εισόδου της γραμμής και διαμορφώνοντας κατάλληλα το σήμα για να μειώσουν την ισχύ στο φορτίο.



Σχήμα 3.41 Παράδειγμα Universal Dimmer MDT

- 1-10V Dimming Actuator. Η ρύθμιση της φωτεινής ροής πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση μιας επιπλέον βοηθητικής γραμμής ελέγχου δύο αγωγών. Η γραμμή αυτή ελέγχου συνδέεται στους ακροδέκτες ελέγχου της συσκευής των 1...10V, που ουσιαστικά αποτελεί αναλογικό σήμα συνεχούς τάσης 10V, μέγιστης τιμής ρεύματος 0,6 mA ανά συσκευή. Το τροφοδοτικό του φωτιστικού πρέπει να είναι αντίστοιχα συμβατό με 1...10V dimming και στα 10V αναμένεται το 100% της φωτεινής ροής.



Σχήμα 3.42 Παράδειγμα Dimmer 1-10V

- DALI Gateway. Χρησιμοποιείται για την μετάφραση ενός DALI Bus σε KNX Bus και μεμονωμένο ή μοναδικό έλεγχο των τροφοδοτικών DALI.



Σχήμα 3.42 Παράδειγμα KNX DALI Gateway IPAS

- DMX Gateway. Μπορεί είτε να μεταφράσει τα κανάλια ενός πρωτοκόλλου DMX σε εντολές KNX, ώστε να πραγματοποιείται μέσω αυτού ο έλεγχος ή να λάβει και να επαναλαμβάνει τις ενέργειες μιας DMX κονσόλας.



Σχήμα 3.43 Παράδειγμα KNX DMX Gateway της εταιρείας HDL

2. Button ή End-User Interface

Στο πρωτόκολλο KNX, πρέπει ο τελικός χρήστης να μπορεί να ρυθμίζει κατάλληλα το φωτισμό ώστε να επιτυγχάνεται η οπτική του άνεση. Για αυτό το λόγο, εγκαθίστανται συσκευές που ο χρήστης με το πάτημα ενός μπουτόν ή μέσω κάποιας οθόνης στον τοίχο ή μέσω μιας κινητής συσκευής επενεργεί στο σύστημα KNX. Κάθε μια από τις παραπάνω συσκευές παραμετροποιείται μέσω ειδικού λογισμικού ώστε να του αποδοθούν οι επιθυμητές λειτουργίες. Οι δυνατότητες του κάθε υλικού διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του και τον κατασκευαστή. Για παράδειγμα, υπάρχουν διακόπτες που ταυτόχρονα με το φωτισμό μπορούν να λειτουργήσουν και ως θερμοστάτης, ενώ οι οθόνες έχουν πληθώρα λειτουργιών.



Σχήμα 3.44 Παραδείγματα KNX End-User Interfaces

3. Αισθητήρες

Οι αισθητήρες στο πρωτόκολλο KNX μπορεί να είναι κίνησης, παρουσίας, φωτεινότητας, θερμοκρασίας, υγρασίας ή ένας συνδυασμός όλων των προηγούμενων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στο φωτισμό καθώς ανάλογα με την ανίχνευση παρουσίας ή μη μπορούν να ελέγχουν τον τεχνητό φωτισμό, ενώ αν υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης φωτεινότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τεχνική αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού. Φυσικά, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η μελέτη τοποθέτησης του αισθητήρα, αλλά και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά [43].



Σχήμα 3.45 Αισθητήρας κίνησης, φωτεινότητας, θερμοκρασίας, υγρασίας και λογική μονάδα της Eelectron

3.5.6 Λογισμικό Προγραμματισμού ETS

Όλες οι παραπάνω συσκευές KNX μπορεί να είναι από διαφορετικούς κατασκευαστές, εφόσον πρόκειται για ανοικτό πρωτόκολλο επικοινωνίας, ωστόσο η παραμετροποίηση του συστήματος πραγματοποιείται μέσω του ειδικού λογισμικού ETS(Engineering Tool Software) και της ειδικής θύρας επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος και του υπολογιστή. Απαιτείται άδεια χρήσης την οποία μπορεί να αγοράσει ο σχεδιαστής αφού λάβει τη σχετική εκπαίδευση. Το λογισμικό ETS, με τρέχουσα έκδοση το ETS6, είναι υπεύθυνο για τα εξής:

- Δημιουργία και αποθήκευση του project με την κατάλληλη ονομασία. Στο project υπάρχει πρόσβαση ανά πάσα χρονική στιγμή
- Φόρτωση του application software της συσκευής (ETS Database) από τον κατασκευαστή
- Παραμετροποίηση του application software της συσκευής
- Δημιουργία και σύνδεση των group addresses με τα group objects
- Φόρτωση της φυσικής διεύθυνσης και του παραμετροποιημένου application software στη συσκευή
- Παρακολούθηση και αντιμετώπιση προβλημάτων του συστήματος

Μια συσκευή, για να φορτωθεί η εφαρμογή του θα πρέπει πρώτα να του αποδοθεί μια φυσική διεύθυνση. Συνήθως, αυτό γίνεται με το πάτημα του χαρακτηριστικού μπουτόν προγραμματισμού και τη φόρτωση της επιθυμητής φυσικής διεύθυνσης από το σχεδιαστή.

Συνοπτικά, στο ETS ο σχεδιασμός του project γίνεται στα παρακάτω παράθυρα:

- **Κτίρια (Buildings Window)**
Είναι η κεντρική σελίδα του ETS και σε αυτό αποτυπώνεται η δομή του κτιρίου της εγκατάστασης, όπως όροφοι , δωμάτια, ηλεκτρολογικοί πίνακες κ.α., ταυτόχρονα με τις εγκατεστημένες συσκευές.
- **Διευθύνσεις ομάδας (Group Address)**
Ο σχεδιαστής δημιουργεί τα Group Addresses του έργου, ενώ μπορεί να δει και τα αντικείμενα στα οποία έχουν συνδεθεί.
- **Τοπολογία (Topology Window)**
Αποτυπώνει τη δομή του Bus δικτύου, ταυτόχρονα με τον τύπο του και τις ατομικές διευθύνσεις της κάθε συσκευής.
- **Συσκευές (Devices Window)**
Εμφανίζονται όλες οι συσκευές του έργου, ασχέτως που και αν έχουν συνδεθεί με κάποιο δωμάτιο στο παράθυρο του Κτιρίου.
- **Ολόκληρο το έργο (Project Root)**
Συνδυάζει όλα τα παραπάνω παράθυρα δίνοντας μια γενική εικόνα αλλά και έλεγχο του έργου.

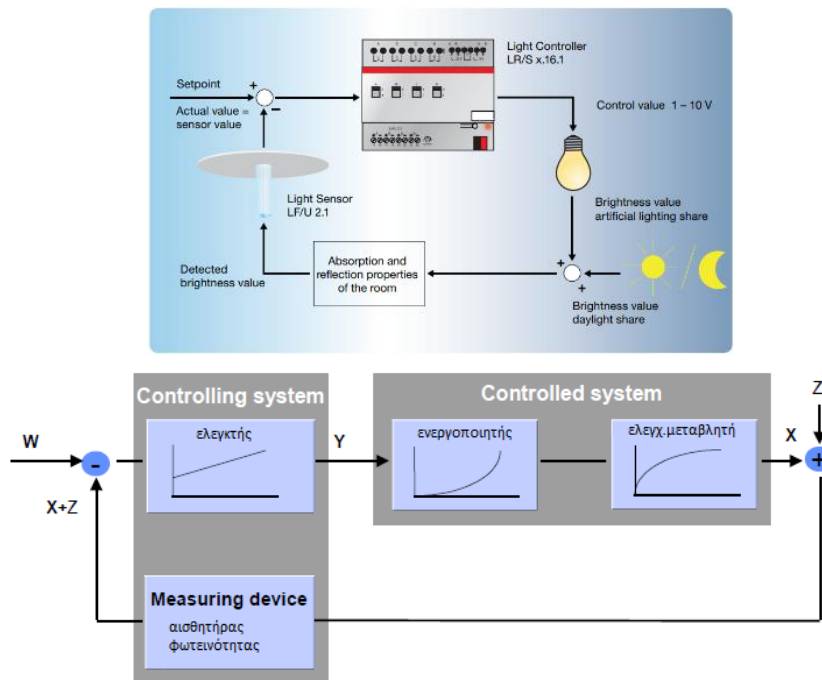
Για την θέση σε λειτουργία ενός συστήματος KNX δεν είναι απαραίτητο να έχει ολοκληρωθεί η εγκατάσταση. Είναι μεγάλο πλεονέκτημα ειδικά σε μεγαλύτερα έργα καθώς εξοικονομεί αρκετό χρόνο.

Σε περίπτωση που παρουσιαστούν προβλήματα στο KNX της εγκατάστασης υπάρχει ένα ακόμη παράθυρο, με ονομασία Διαγνωστικά(Diagnostics). Από εκεί, ο σχεδιαστής μπορεί να ελέγξει σε πραγματικό χρόνο τα group address (Group Monitor) που μεταδίδονται, αλλά και όλα τα τηλεγραφήματα που ανταλλάσσονται στο Bus. Επιπλέον, μπορεί να ελέγξει αν και ποια συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση προγραμματισμού, της πληροφορίας μια συσκευής με μια δεδομένη φυσική διεύθυνση, αλλά και ποιες συσκευές βρίσκονται σε μια γραμμή [43].

3.5.7 Έλεγχος σταθερής φωτεινότητας με KNX

Τα συστήματα ελέγχου σταθερής φωτεινότητας διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες; Ανοιχτού και Κλειστού Βρόγχου. Στην ανοιχτού βρόγχου, μετριέται ως ανεξάρτητη μεταβλητή το εξωτερικό επίπεδο φωτεινότητας, ενώ στου κλειστού βρόγχου μετριέται και ανατροφοδοτείται το επίπεδο φωτεινότητας του εσωτερικού χώρου, στην οποία φυσικά συμβάλλει και η εξωτερική. Στόχος είναι η διατήρηση ενός σταθερού και συγκεκριμένου επιπέδου φωτεινότητας. Γίνεται εύκολα κατανοητό, πως ο τεχνητός φωτισμός απαιτείται να έχει τη λειτουργία αυξομείωσης της φωτεινής του ροής μέσω οποιοδήποτε πρωτοκόλλου που προαναφέρθηκε.

Ο κλειστός βρόγχος είναι πιο κοινός και με καλύτερα αποτελέσματα, ειδικά αν η εφαρμογή αφορά κλειστούς χώρους όπως γραφεία. Ο αλγόριθμος που ακολουθεί παρουσιάζεται ενδεικτικά παρακάτω.

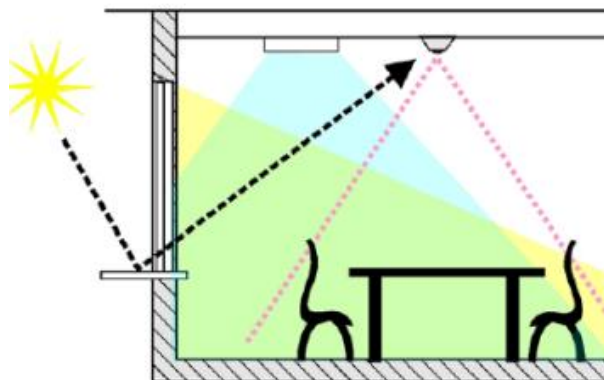


Σχήμα 3.46 Αλγόριθμος ελέγχου σταθερής φωτεινότητας μέσω KNX [46]

Η τιμή ελέγχου, η οποία στέλνεται τελικά ως απόλυτη τιμή στον μηχανισμό ενεργοποίησης, προέρχεται από τη διαφορά της τιμής που μετρά ο ανιχνευτής και του προκαθορισμένου επιπέδου φωτεινότητας.

Υπάρχει και μια άλλη μέθοδος, αυτή της εσωτερικής αναπροσαρμογής (Integral Reset), η οποία όμως δεν προτείνεται λόγω της δυσκολίας επίτευξης σταθερής τιμής. Στην περίπτωση αυτή, η τιμή ελέγχου γίνεται με δύο βήματα, αύξηση και μείωση. Ανάλογα με την τιμή που μετρά ο ανιχνευτής και την επιθυμητή, αποφασίζεται η πορεία της διαδικασίας. Βέβαια, πρόκειται για μια χρήσιμη μέθοδο κατά τη θέση του συστήματος σε λειτουργία.

Όπως γίνεται κατανοητό, εφόσον στόχος είναι ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στην επιφάνεια ενδιαφέροντος (π.χ. εργασίας), ο αισθητήρας θα πρέπει να βρίσκεται πάνω σε αυτόν. Επειδή, όμως, αυτό συνήθως είναι δύσκολο έως αδύνατο για λόγους πρακτικούς, ο αισθητήρας τοποθετείται στην οροφή. Είναι προφανές, πως σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η μελέτη για την θέση του αισθητήρα, η οποία εξαρτάται από την θέση των φωτιστικών, τη γωνία εισόδου του φυσικού φωτός, τα υλικά των επιφανειών, τις ανακλάσεις και άλλα.



Σχήμα 3.47 Παράδειγμα μιας εγκατάστασης προς έλεγχο σταθερής φωτεινότητας[37]

Το αμέσως επόμενο πρόβλημα είναι η έμμεση μέτρηση της φωτεινότητας από τον αισθητήρα. Δε μετριέται η επιφάνεια που χρειάζεται αλλά αυτή από κάτω. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να ακολουθηθεί μια διαδικασία που θα καθορίσει το κατάλληλο επιθυμητό επίπεδο φωτεινότητας κάτω από τον ανιχνευτή σε συνάρτηση με το επιθυμητό στην επιφάνεια εργασίας. Τα βήματα είναι τα εξής:

1. Οι τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή συναρτήσει των απαιτήσεων και δυνατοτήτων του χώρου, καθορίζουν τη θέση τοποθέτησης του αισθητήρα.
2. Πραγματοποιείται ρύθμιση χωρίς την παρουσία φυσικού φωτός. Ο τεχνητός φωτισμός ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε με τη χρήση φωτόμετρου, να μετριέται στην επιφάνεια εργασίας η επιθυμητή φωτεινότητα, έστω 500 lux. Η τιμή που μετρά ο αισθητήρας σε αυτό το βήμα ορίζεται ως η επιθυμητή τιμή στον ελεγκτή.
3. Επόμενο βήμα είναι η ρύθμιση του αισθητήρα την ημέρα, η οποία πρέπει να γίνει χωρίς να υπάρχει έντονη και άμεση ηλιακή ακτινοβολία καθώς οι τιμές μέτρησης δε θα είναι αντιπροσωπευτικές. Είναι ιδανικό, αν υπάρχουν ρυθμιζόμενα σκίαστρα, να ρυθμιστούν στην θέση που προτιμά ο χρήστης.
4. Παρατηρείται η απόκριση του αισθητήρα στις αλλαγές της φωτεινότητας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας ή την ρύθμιση των σκιάστρων. Μετρώντας ξανά με φωτόμετρο πιστοποιούμε πως τηρείται το επιθυμητό επίπεδο καθ' όλη τη διάρκεια της ρύθμισης, χωρίς απότομες αλλαγές ή αστάθειες.
5. Προχωράμε σε τυχόν ρυθμίσεις λεπτομερειών, όπως τις χρονοκαθυστερήσεις, την καμπύλη dimming και τις παραμέτρους του ελεγκτή.

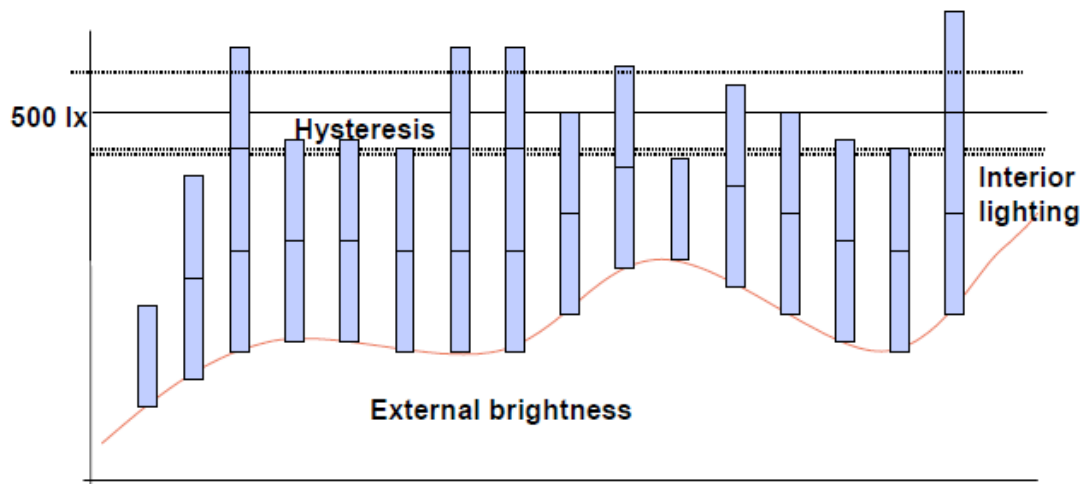
Μερικές λεπτομέρειες στην επιλογή του αισθητήρα θα μπορούσαν να διευκολύνουν τη διαδικασία, όπως η δυνατότητα ορίων στο αποτέλεσμα του ποσοστού της φωτεινής ροής και η παραμετροποίηση της ταχύτητας του ελέγχου (ιδανικά αργός). Επιπλέον, πολλοί κατασκευαστές συνδυάζουν στην ίδια συσκευή αισθητήρα φωτισμού με κίνησης PIR, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση για χώρους όπως γραφεία.

Ο χρήστης, βέβαια, θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να σταματά ή να ξεκινά τον έλεγχο, αλλά και να ελέγχει χειροκίνητα το φωτισμό. Για αυτό το λόγο ,εγκαθίσταται ένα μπουτόν, συνήθως με κάποια ενδεικτικά LED μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί άμεσα να κάνει τα παραπάνω. Ως αποτέλεσμα, ειδικά αν συνδυασθεί η σταθερή φωτεινότητα με την ανίχνευση παρουσίας, μπορεί να επιτευχθεί έως και 50% εξοικονόμηση ενέργειας και η επένδυση εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος να κάνει απόσβεση σε περίπου 1 χρόνο.

Τρία, λοιπόν, είναι τα μέρη του συστήματος που πρέπει να σχεδιαστούν με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές:

- **Αισθητήρας Φωτεινότητας**
Υψηλή ακρίβεια, παραμετροποίηση.
- **Ελεγκτής κλειστού βρόγχου**
Παραμετροποίηση ταχύτητας, setpoint, αντικείμενο για έναρξη/παύση.
- **Μηχανισμός ενεργοποίησης φωτισμού Φωτισμού**
Κατάλληλος για έλεγχο των dimmable φωτιστικών, object 4bit ή 1byte για τον σχετικό ή απόλυτο έλεγχο και αντικείμενο για έλεγχο ON/OFF.

Στην εφαρμογή, δεν είναι εύκολο να πετύχουμε το απόλυτο, αλλά το τελικό αποτέλεσμα θα έχει μια διαφοροποίηση της τάξης του ± 10 έως 20%, απόκλιση που πρακτικά δεν είναι κριτική σημασίας για το ανθρώπινο μάτι, ούτε επηρεάζει ιδιαίτερα την οπτική άνεση του ανθρώπου. Ανεξάρτητα, το σύστημα, μιας και πρωταρχικός σκοπός είναι η εξοικονόμηση, θα πρέπει να μένει εντός των ορίων της υστέρησης που του δίνεται.



Σχήμα 3.48 Παράδειγμα αποτέλεσμα ρύθμισης φωτεινότητας μέσω του αλγορίθμου

Κεφάλαιο 4

Μελέτη Φωτισμού στο χώρο γραφείων

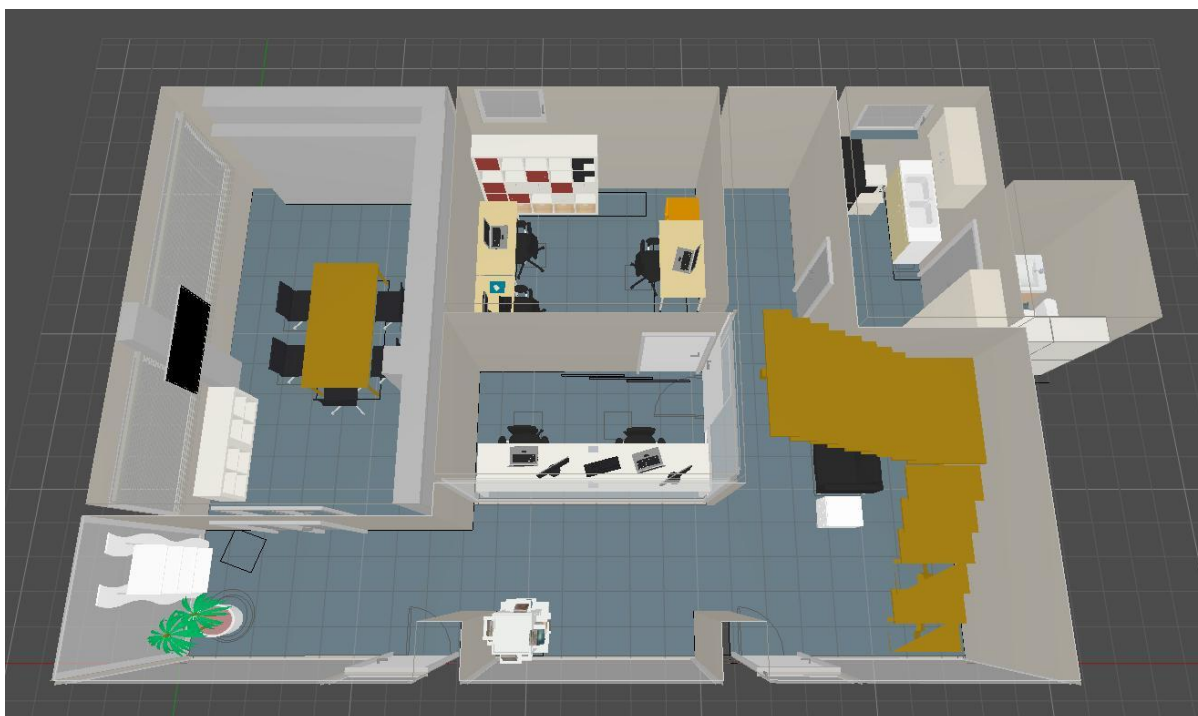
Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφεται ο χώρος στον οποίο θα γίνει η μελέτη φωτισμού, αλλά και η εγκατάσταση των αισθητήρων. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν τα φωτιστικά, καθώς και τα αποτελέσματα της βέλτιστης ανάλυσης τους.

Χώρος Μελέτης

Το κτίριο της μελέτης, αποτελείται από τρεις ορόφους, με τον κάθε όροφο να έχει γραφεία, με το κάθε ένα να έχει διαφορετικές λειτουργίες. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί πως για τα γραφεία έγιναν 8 μελέτες φωτισμού με 8 διαφορετικά φωτιστικά, με γνώμονα την επίτευξη συγκεκριμένων προδιαγραφών, δηλαδή ένταση φωτισμού 500 lux και ομοιομορφία $U_0 > 0.6$.



Σχήμα 4.1 Υπόγειο



Σχήμα 4.2 Ισόγειο



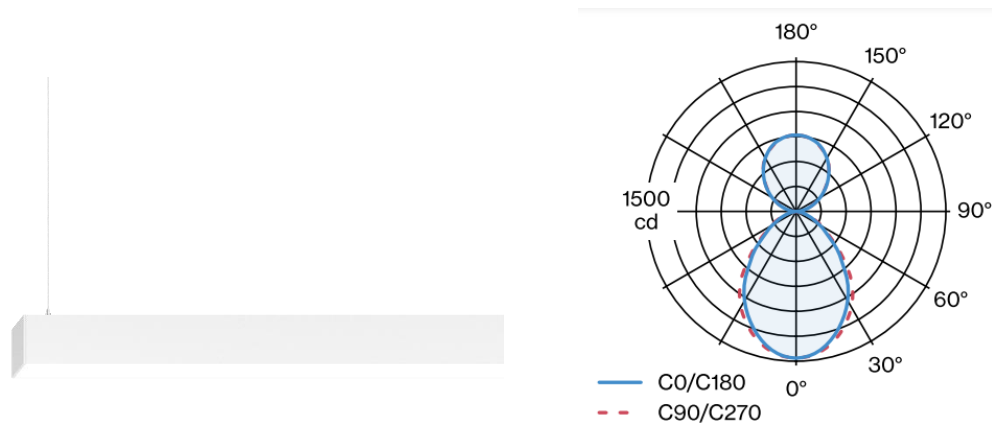
Σχήμα 4.3 1ος Όροφος

4.1 Ισόγειο

Το ισόγειο περιλαμβάνει τους εξής χώρους εργασίας: Γραφείο Εξυπηρέτησης και Γραφείο Υπηρεσιών.

4.1.1 Γραφείο εξυπηρέτησης

Το φωτιστικό είναι της εταιρείας XAL, είναι φωτιστικό με ανάρτηση, φωτεινή πηγή LED, κατανάλωση 41W, πλήρες όνομα LITO 60 με κωδικό 046-5224637Z και τροφοδοτικό συμβατό με DALI.



Σχήμα 4.4 Φωτιστικό LITO 60 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Parisi
Project number : Διπλωματική
Date : 24.11.2024

RELUX®

Calculation results, Front Desk
3D luminance, View from the back



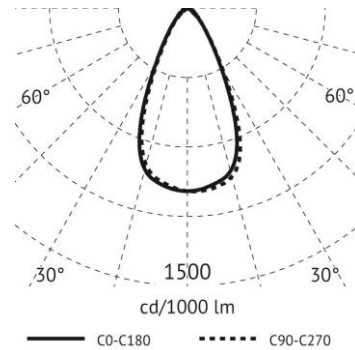
Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 200 cd/m²

Σχήμα 4.5 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης

4.1.2 Γραφείο Υπηρεσιών

Διάταξη 1

Το φωτιστικό 1 είναι της εταιρείας A.L.S. (Architektonische Licht Systeme), χωνευτό φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED 230V, με κατανάλωση 9W, με πλήρες όνομα και κωδικό EDU-9WWNW1.



Σχήμα 4.6 Φωτιστικό EDU-9WWNW1 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Parisi
Project number : Διπλωματική
Date : 24.11.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View 1

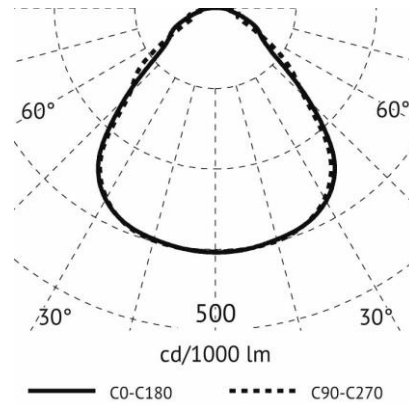
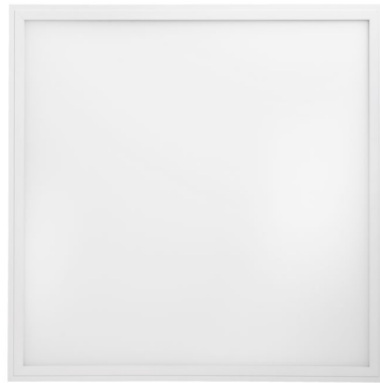


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 299 cd/m²

Σχήμα 4.7 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 1

Διάταξη 2

Το φωτιστικό 2 είναι της εταιρείας A.L.S. (Architektonische Licht Systeme), τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με το πρωτόκολλο DALI, κατανάλωση 38W και πλήρες όνομα ELEDN-40WW/SCW11.



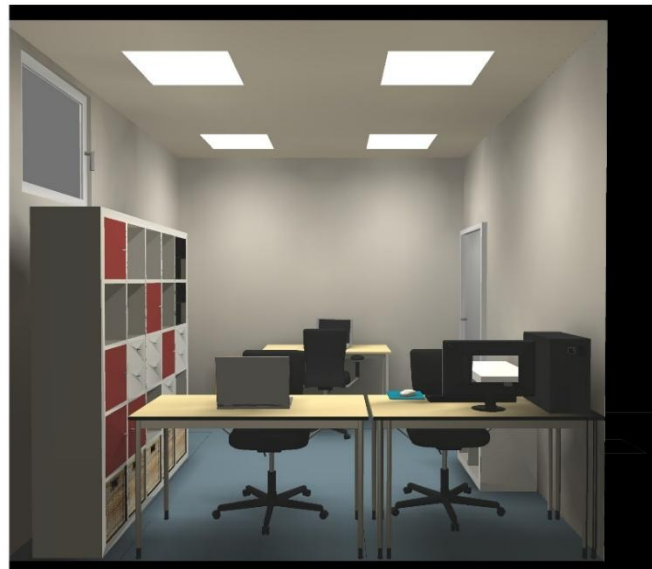
Σχήμα 4.8 Φωτιστικό ELEDN και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View from the left

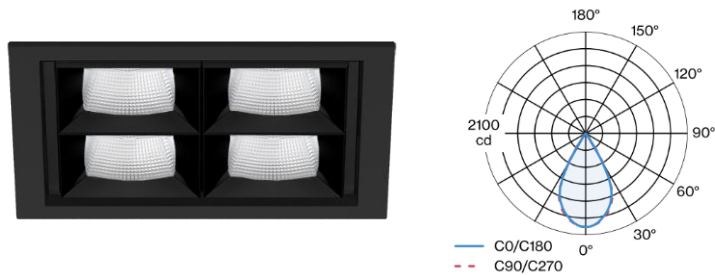


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 302 cd/m²

Σχήμα 4.9 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 2

Διάταξη 3

Το φωτιστικό 7 είναι της εταιρείας XAL, χωνευτό φωτιστικό, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 13.1W, πλήρες όνομα UNICO Q4 και κωδικό 090-7Q463F0B21 090-7Q4020B.



Σχήμα 4.28 Φωτιστικό UNICO Q4 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View 1

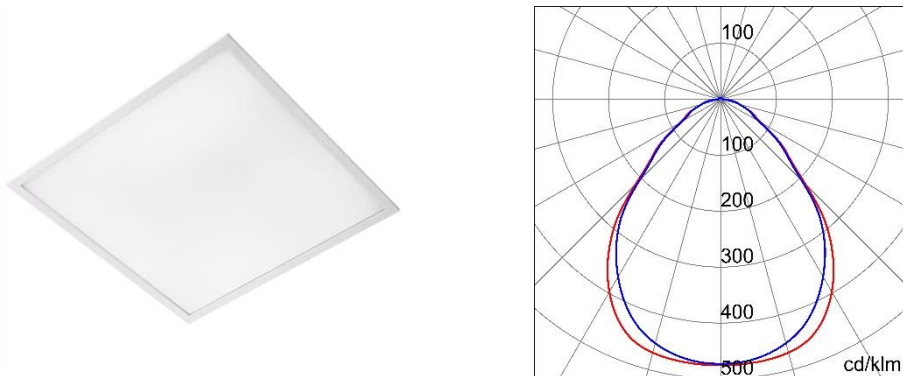


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 253 cd/m²

Σχήμα 4.10 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 3

Διάταξη 4

Το φωτιστικό 4 είναι της εταιρείας Gewiss, τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 33W, πλήρες όνομα ELIA PL και κωδικό GWF1610MN930.



Σχήμα 4.11 Φωτιστικό ELIA PL και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View 1

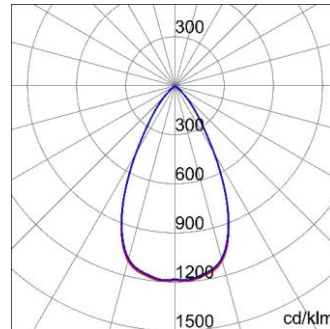


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 236 cd/m²

Σχήμα 4.12 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 4

Διάταξη 5

Το φωτιστικό 5 είναι της εταιρείας Gewiss, χωνευτό φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 18W, πλήρες όνομα ELIA AL και κωδικό GWF1411GH930.



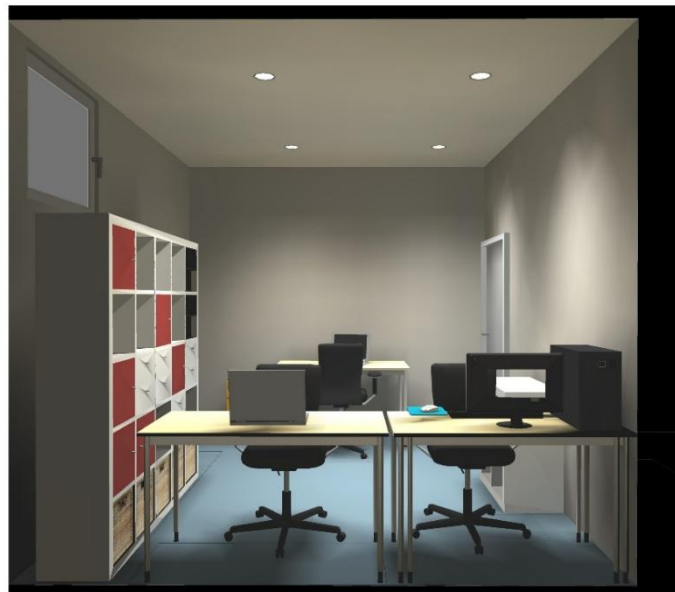
Σχήμα 4.13 Φωτιστικό ELIA AL και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View from the left

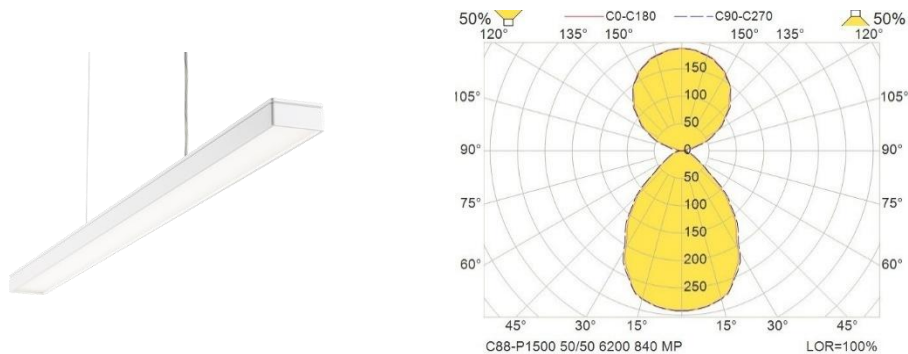


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 134 cd/m²

Σχήμα 4.14 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 5

Διάταξη 6

Το φωτιστικό 6 είναι της εταιρείας Glamox, φωτιστικό με ανάρτηση, φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 44W και πλήρες όνομα C88-P1500 50/50 WH 6200 DALI 840.



Σχήμα 4.15 Φωτιστικό C-88P και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office
3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 359 cd/m²

Σχήμα 4.16 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξη 6

Διάταξη 7

Το φωτιστικό 7 είναι της εταιρείας XAL, χωνευτό φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 18.6W, πλήρες όνομα UNICO L6 και κωδικό 090-7L663F0B21 090-7L6020B.



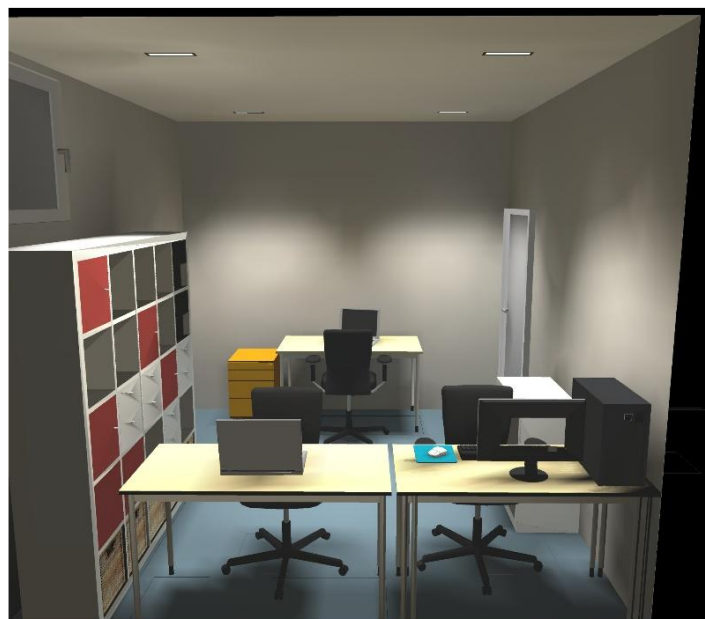
Σχήμα 4.17 Φωτιστικό UNICO L6 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View 1

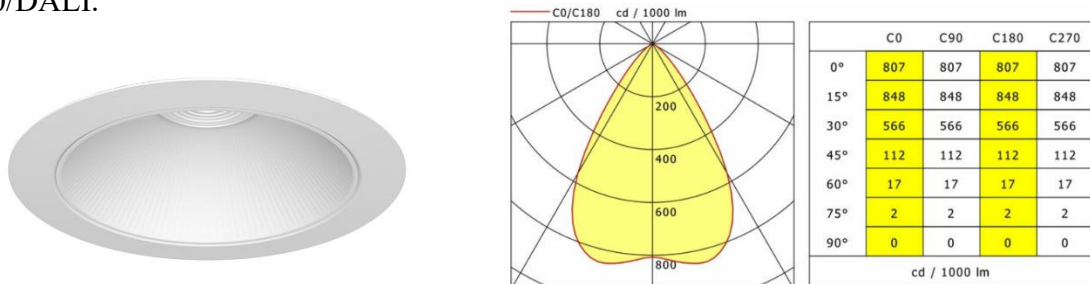


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 514 cd/m²

Σχήμα 4.18 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 7

Διάταξη 8

Το φωτιστικό 8 είναι της εταιρείας XAL, χωνευτό φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 19.3W και πλήρες όνομα LFLEXM 232.840/DALI.



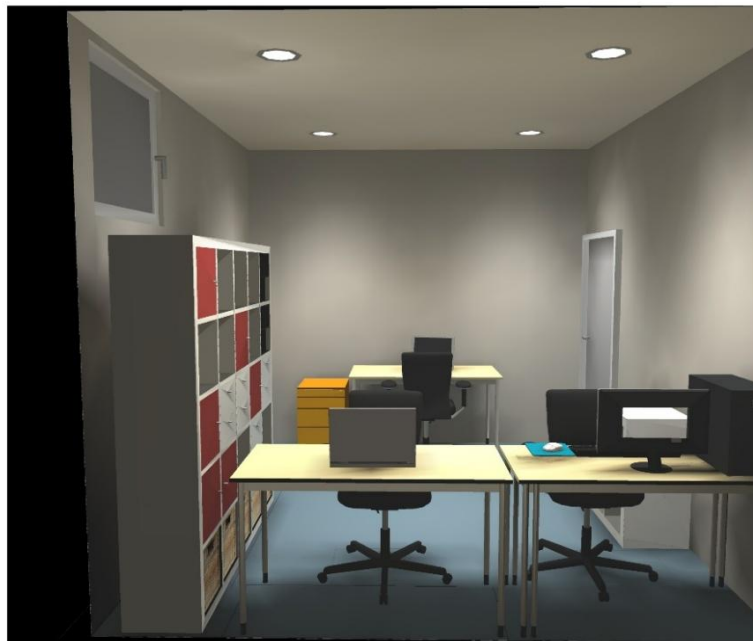
Σχήμα 4.19 Φωτιστικό LEWY Flex και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, AfterSales Office

3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 453 cd/m²

Σχήμα 4.20 3D κατανομή φωτισμού γραφείου εξυπηρέτησης Διάταξης 8

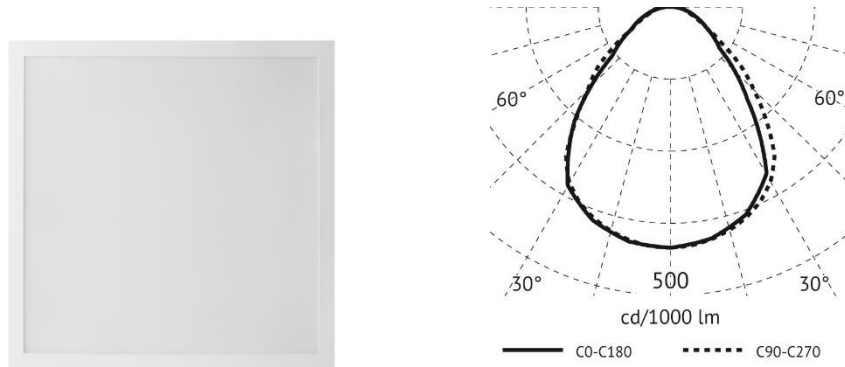
4.2 Πρώτος Όροφος

Ο 1^{ος} Όροφος περιλαμβάνει τους χώρους: Διάδρομο γραφείων, Γραφεία ανοικτού πλάνου προγραμματιστών, Γραφείο Λογιστηρίου, Γραφείο Υποδιευθυντή, Γραφείο Διευθυντή

4.2.1 Γραφεία ανοικτού πλάνου

Διάταξη 1

Το φωτιστικό 1 είναι της εταιρείας A.L.S. (Architektonische Licht Systeme), τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 30W και πλήρες όνομα ELEDDB-30NW11P-DD.

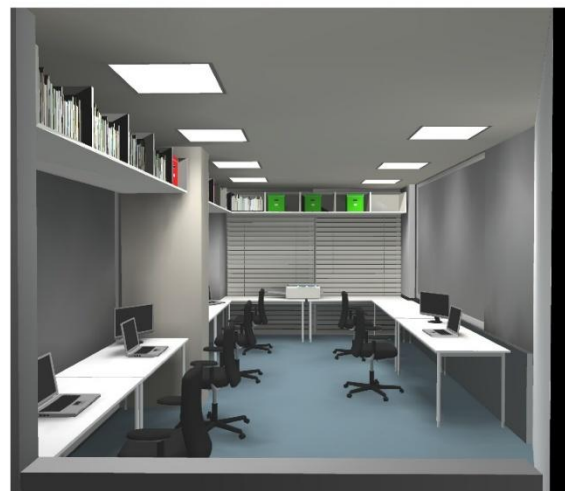


Σχήμα 4.21 Φωτιστικό ELED B και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 24.11.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office
3D luminance, View from the right



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 526 cd/m²

Σχήμα 4.22 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 1

Διάταξη 2

Τα φωτιστικά 2 είναι της εταιρείας XAL, είναι φωτιστικά οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, όνομα προϊόντος LENO και έχουν μήκη 1226mm και 2443mm. Αντίστοιχα, το πρώτο έχει κατανάλωση 19.1W και κωδικό 051-9114637G και το δεύτερο έχει κατανάλωση 38W και κωδικό 051-9118637G.

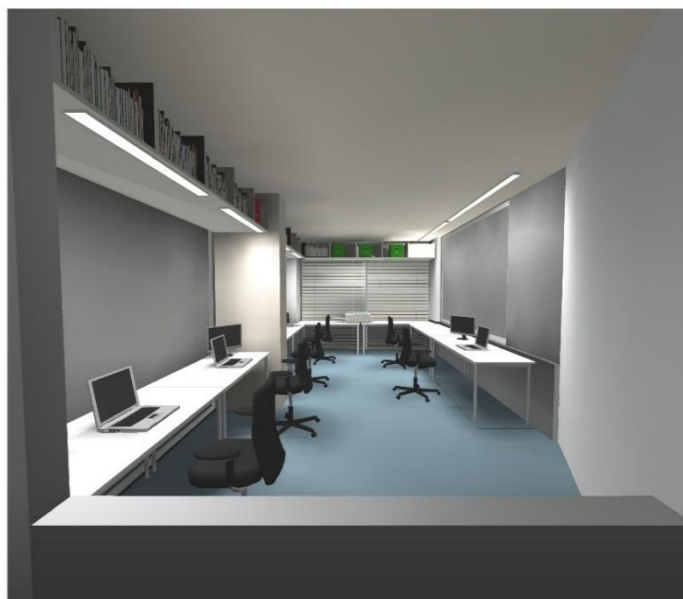


Σχήμα 4.23 Φωτιστικό LENO και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office
3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 893 cd/m²

Σχήμα 4.24 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 2

Διάταξη 3

Τα φωτιστικά 3 είναι της εταιρείας XAL, είναι φωτιστικά οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, όνομα προϊόντος BASO 40 και έχουν μήκη 609mm και 1209mm. Αντίστοιχα, το πρώτο έχει κατανάλωση 20.2W και κωδικό 045-1122638R και το δεύτερο έχει κατανάλωση 40W και κωδικό 045-1124638R.

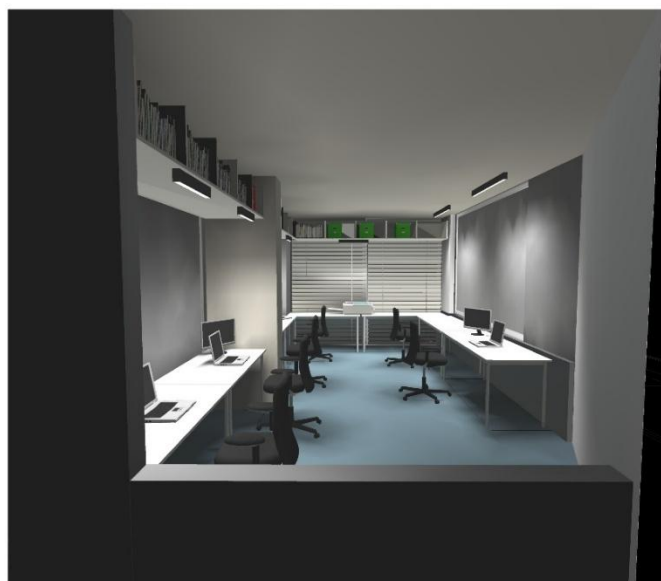


Σχήμα 4.25 Φωτιστικό BASO 40 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Paritsi_v1
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office
3D luminance, View 1

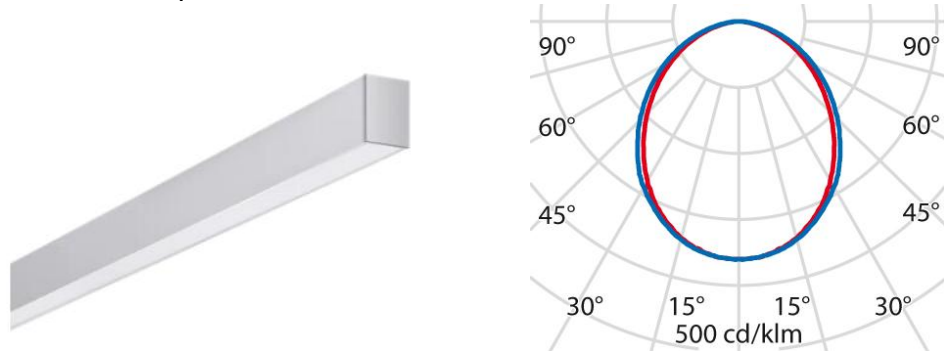


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 298 cd/m²

Σχήμα 4.26 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 3

Διάταξη 4

Τα φωτιστικά 4 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, είναι φωτιστικά οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, όνομα προϊόντος SL764+ και έχουν μήκη 1132mm και 1972mm. Αντίστοιχα το πρώτο έχει κατανάλωση 19W και κωδικό 3117933 και το δεύτερο έχει κατανάλωση 34W και κωδικό 117935.

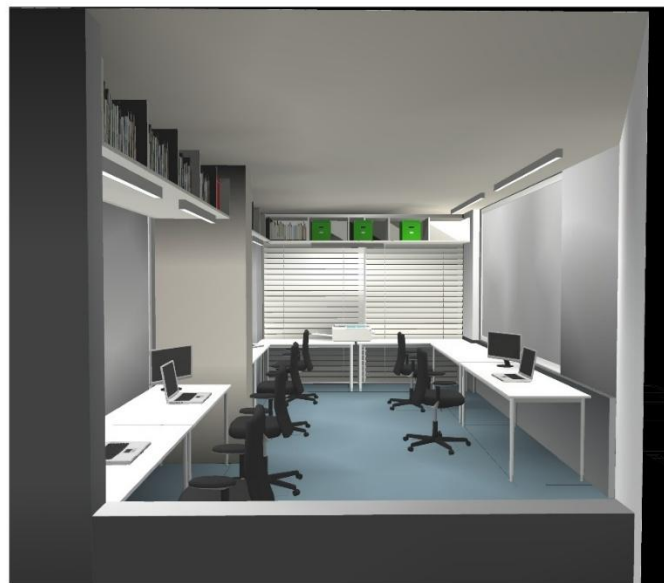


Σχήμα 4.27 Φωτιστικό SL764+ και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office
3D luminance, View from the right

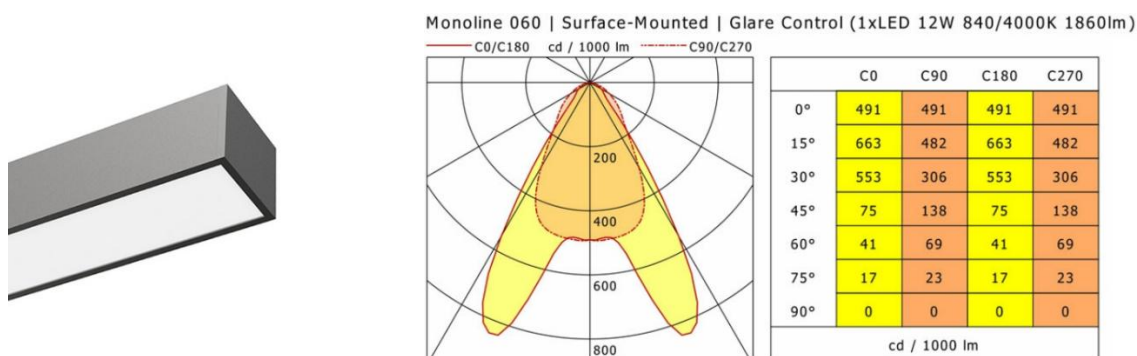


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 324 cd/m²

Σχήμα 4.28 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 4

Διάταξη 5

Τα φωτιστικά 5 είναι της εταιρείας LTS Licht&Leuchten, είναι φωτιστικά οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, όνομα προϊόντος Monoline 060 και έχουν μήκη 1140mm και 1420mm. Αντίστοιχα, το πρώτο έχει κατανάλωση 12.1W και κωδικό ML-A 060.10840.2 19W/DALI και το δεύτερο έχει κατανάλωση 23.5W και κωδικό ML-A 060.11840.3 19W/DALI.



Σχήμα 4.29 Φωτιστικό Monoline 060 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office
3D luminance, View from the right

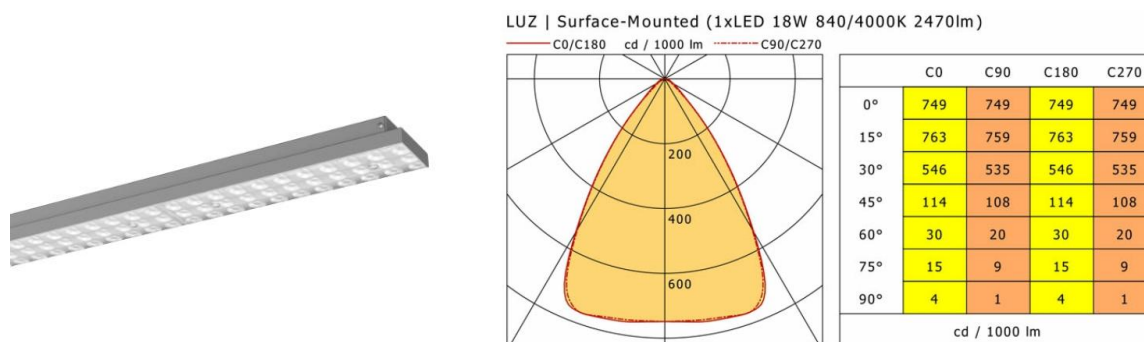


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 347 cd/m²

Σχήμα 4.30 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 5

Διάταξη 6

Τα φωτιστικά 6 είναι της εταιρείας LTS Licht&Leuchten, είναι φωτιστικά οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI και έχουν μήκη 867mm και 1153mm. Αντίστοιχα το πρώτο έχει κατανάλωση 18W και πλήρες όνομα LUZ06-A 13.007.40 και το δεύτερο έχει κατανάλωση 24W και πλήρες όνομα LUZ06-A 14.007.40.



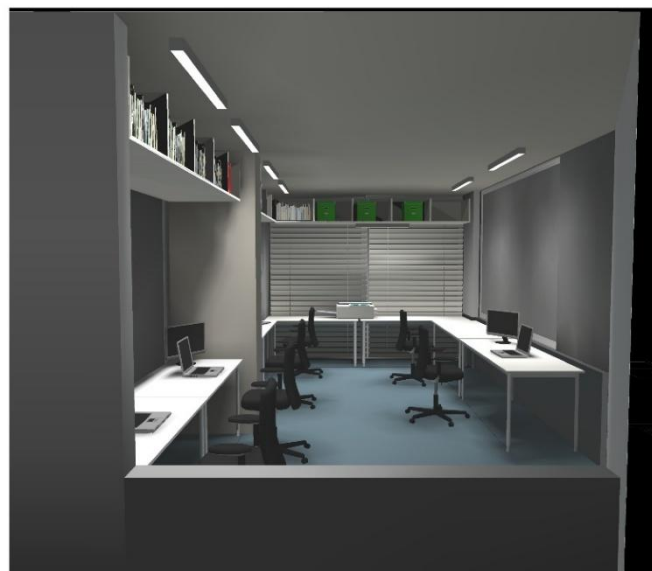
Σχήμα 4.31 Φωτιστικό LUZ06-A και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 27.11.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office

3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 795 cd/m²

Σχήμα 4.32 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 6

Διάταξη 7

Το φωτιστικό 7 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, φωτιστικό τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 26W και πλήρες όνομα SL713AB ROUND LED MICROPRISMATIC M.



Σχήμα 4.33 Φωτιστικό SL713AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office
3D luminance, View 1

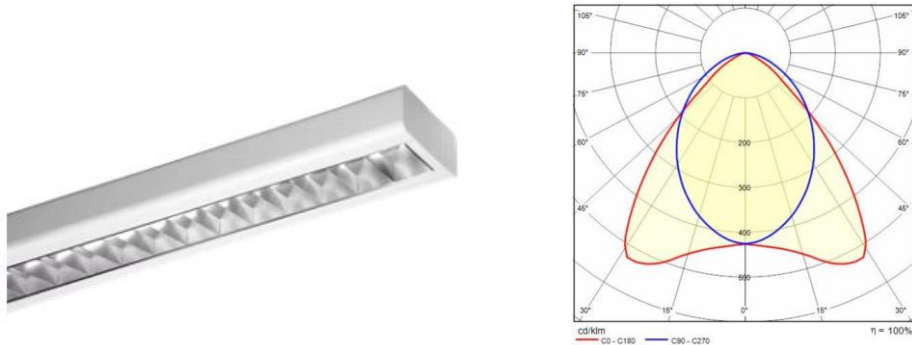


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 708 cd/m²

Σχήμα 4.34 3D κατανομή φωτισμού γραφείων ανοικτού πλάνου Διάταξης 7

Διάταξης 8

Το φωτιστικό 8 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 30W και πλήρες όνομα Ronda+ 3100085.



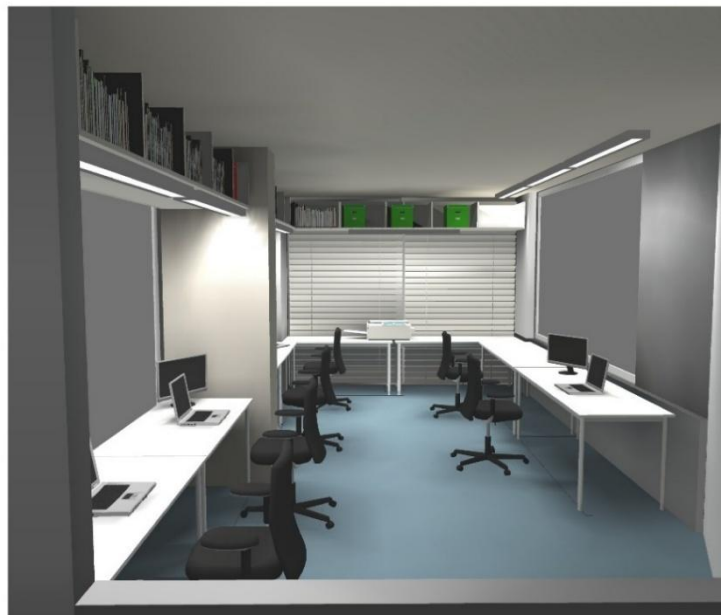
Σχήμα 4.35 Φωτιστικό Ronda+ και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Paritsi_v1
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Programmer's Office

3D luminance, View 1



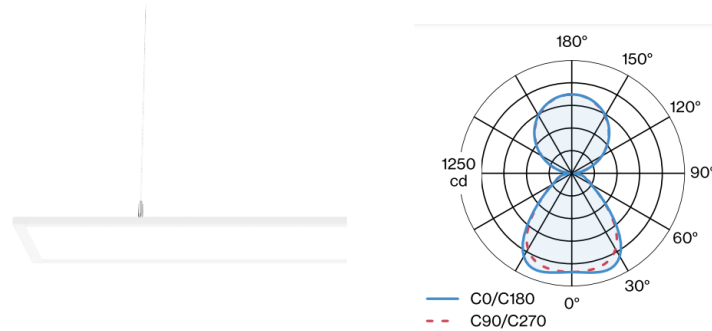
Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 440 cd/m²

Σχήμα 4.36 3D κατανομή φωτισμού γραφείου ανοικτού πλάνου Διάταξης 8

4.2.2 Γραφείο Λογιστηρίου

Διάταξη 1

Το φωτιστικό 1 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό με ανάρτηση, φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 39W, όνομα προϊόντος DESO 40 και κωδικό 074-2244637P.



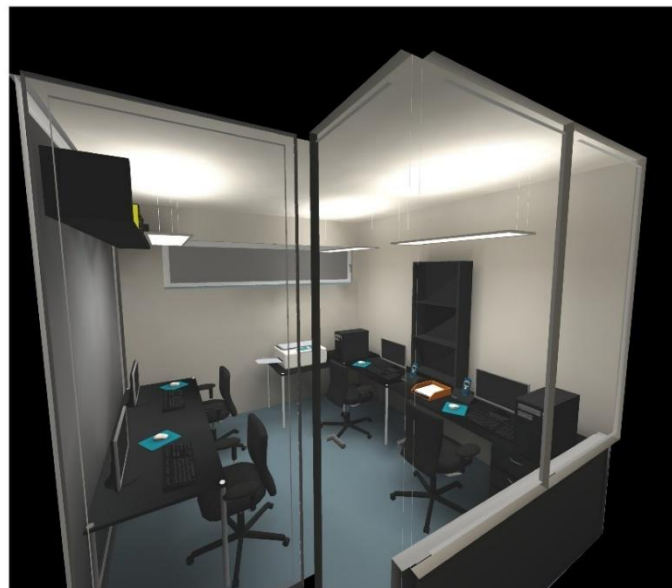
Σχήμα 4.37 Φωτιστικό DESO 40 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 24.11.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office

3D luminance, View 1

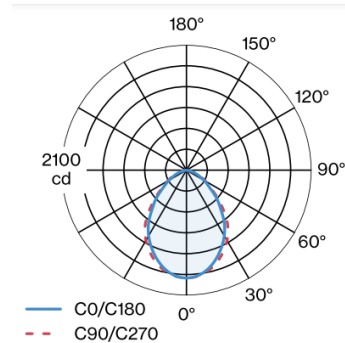
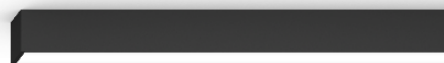


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 509 cd/m²

Σχήμα 4.38 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 1

Διάταξη 2

Το φωτιστικό 2 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 29.1W, όνομα προϊόντος MINO 60 και κωδικό 046-41M5638Z.



Σχήμα 4.39 Φωτιστικό MINO 60 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office

3D luminance, View 1

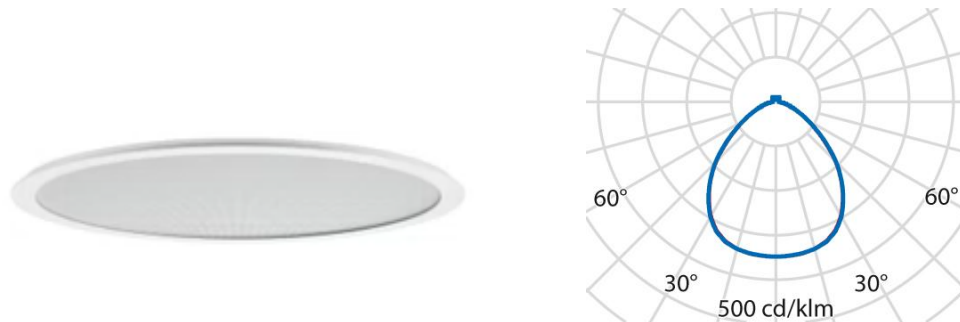


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 170 cd/m²

Σχήμα 4.40 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 2

Διάταξη 3

Το φωτιστικό 3 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, φωτιστικό τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 26W και πλήρες όνομα SL713AB ROUND LED MICROPRISMATIC M.

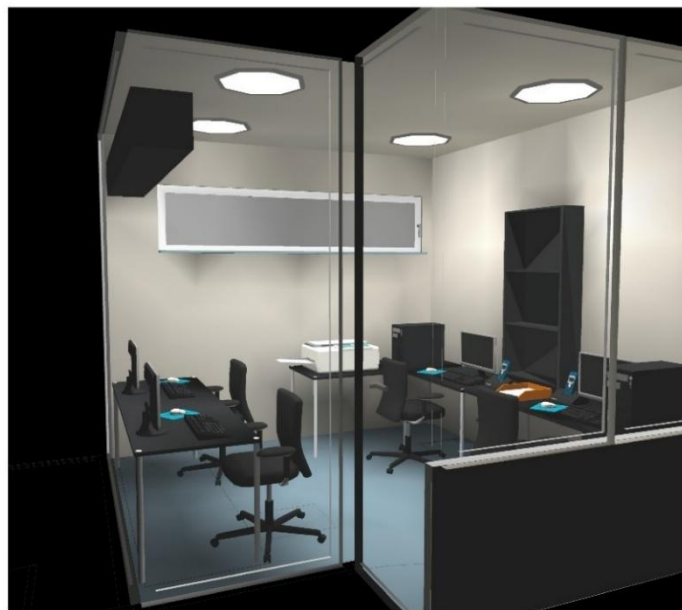


Σχήμα 4.41 Φωτιστικό SL713AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office
3D luminance, View 1

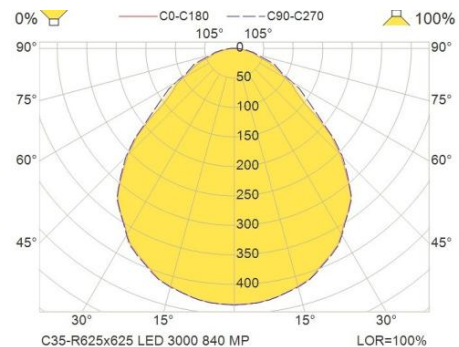


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 256 cd/m²

Σχήμα 4.42 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 3

Διάταξη 4

Το φωτιστικό 4 είναι της εταιρείας Glamox, τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 23W και πλήρες όνομα C35-R625x625 LED 3000 HF 840 MP.



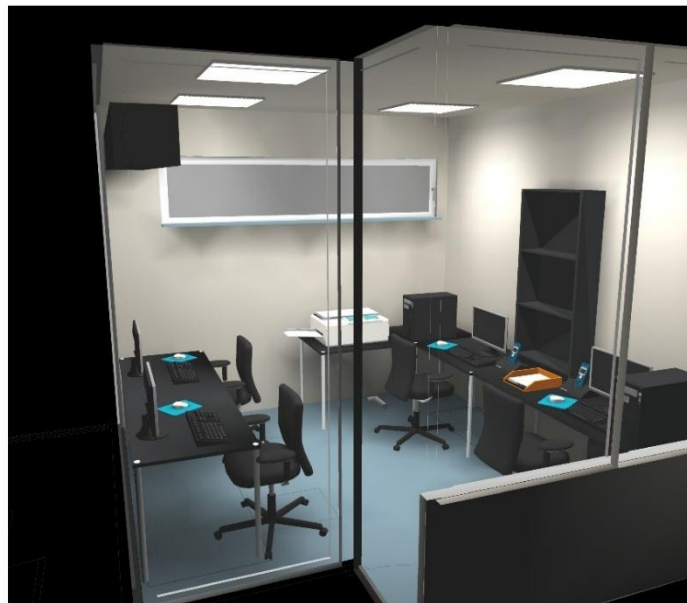
Σχήμα 4.43 Φωτιστικό C35-R και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office

3D luminance, View 1

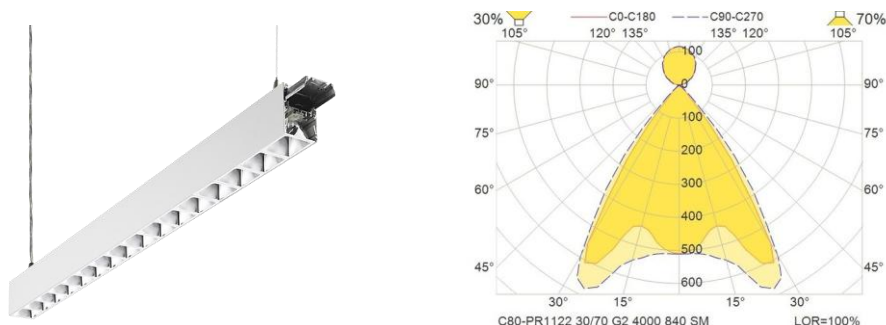


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 251 cd/m²

Σχήμα 4.44 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 4

Διάταξη 5

Τα φωτιστικά 5 είναι της εταιρείας GlamoX, είναι φωτιστικά με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI και έχουν μήκη 1122mm και 1402mm. Αντίστοιχα, το πρώτο έχει κατανάλωση 28W και πλήρες όνομα C80-PR1122 30/70 AL G2 4000 MO HF 840 REF και το δεύτερο έχει κατανάλωση 35 W και πλήρες όνομα C80-PR1402 30/70 G2 5000 840 WM.



Σχήμα 4.45 Φωτιστικό C80-PR και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office

3D luminance, View 1

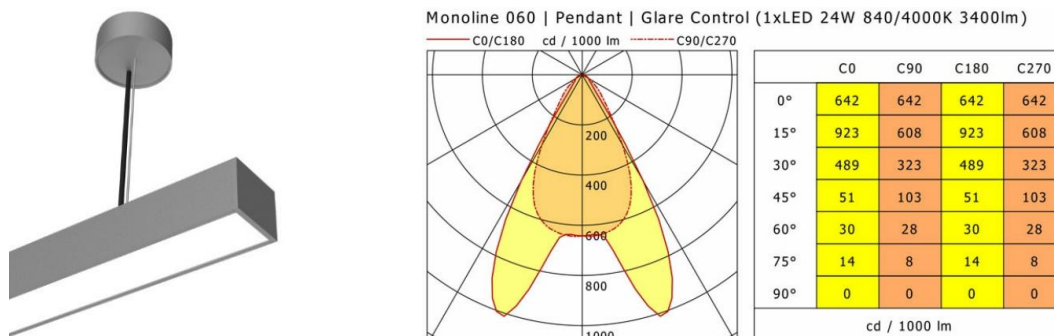


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 262 cd/m²

Σχήμα 4.46 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 5

Διάταξη 6

Τα φωτιστικά 6 είναι της εταιρείας LTS Licht&Leuchten, είναι φωτιστικά με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, όνομα Monoline 060, τροφοδοτικό συμβατό με DALI και έχουν μήκη 1140mm και 1420mm. Αντίστοιχα το πρώτο έχει κατανάλωση 18.8W και κωδικό ML-P 060.11840.2 19W/DALI και το δεύτερο έχει κατανάλωση 23.5W και κωδικό ML-P 060.11840.3 19W/DALI.



Σχήμα 4.47 Φωτιστικό Monoline 060 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office
3D luminance, View 1

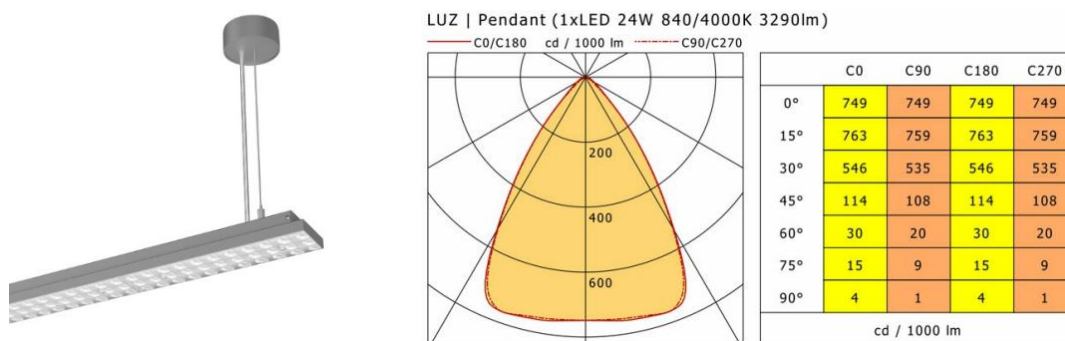


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 223 cd/m²

Σχήμα 4.48 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 6

Διάταξη 7

Τα φωτιστικά 7 είναι της εταιρείας LTS Licht&Leuchten, είναι φωτιστικά με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI και έχουν μήκη 867mm και 1153mm. Αντίστοιχα, το πρώτο έχει κατανάλωση 18W και πλήρες όνομα LUZ06-PA 13.007.40 και το δεύτερο έχει κατανάλωση 24W και πλήρες όνομα LUZ06-PA 14.007.40.



Σχήμα 4.49 Φωτιστικό LUZ06-PA και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office

3D luminance, View 1

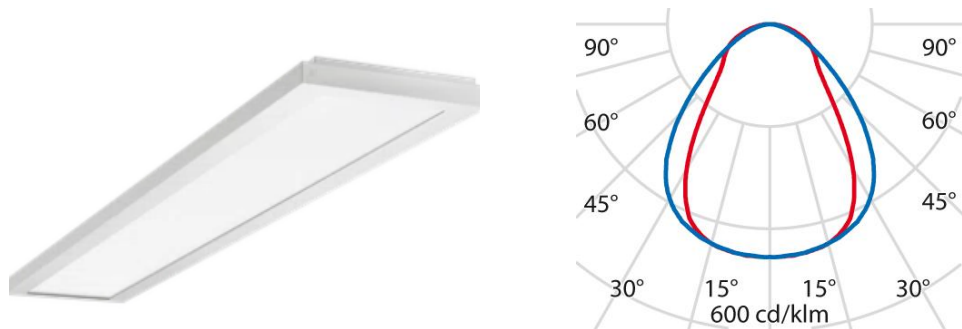


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 164 cd/m²

Σχήμα 4.50 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 7

Διάταξη 8

Το φωτιστικό 8 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, είναι φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 54W και πλήρες όνομα SL629 AB PRISM 8629661456410.



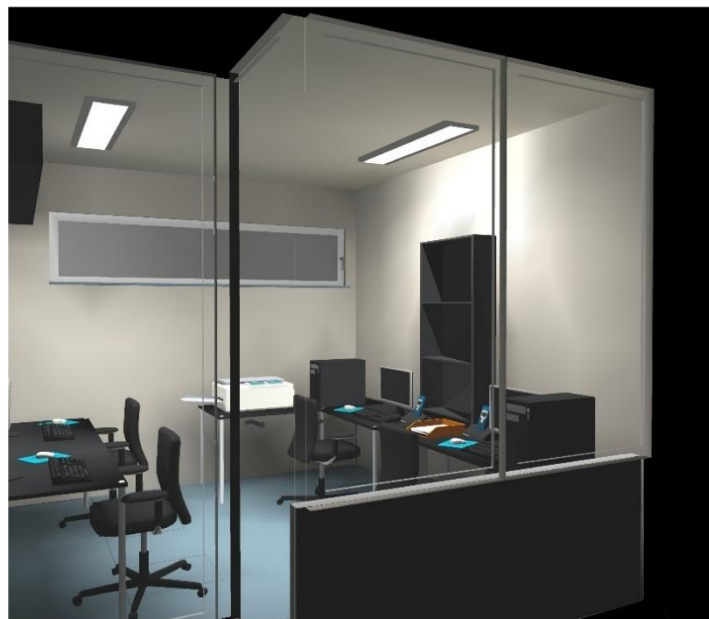
Σχήμα 4.51 Φωτιστικό SL629 AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Accounting Office

3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 296 cd/m²

Σχήμα 4.52 3D κατανομή φωτισμού γραφείου λογιστηρίου Διάταξης 8

4.2.3 Γραφείο υποδιευθυντή

Διάταξη 1

Το φωτιστικό 1 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 39W, όνομα προϊόντος DESO 40 και κωδικό 074-2244637P.



Σχήμα 4.53 Φωτιστικό DESO 40 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View from the front

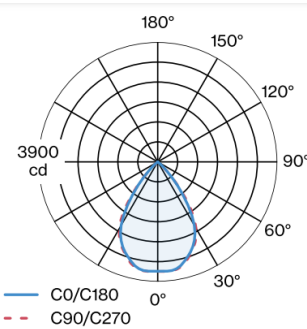


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 373 cd/m²

Σχήμα 4.54 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 1

Διάταξη 2

Το φωτιστικό 2 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 20.2W, όνομα προϊόντος BASO 40 και κωδικό 045-1122638R.



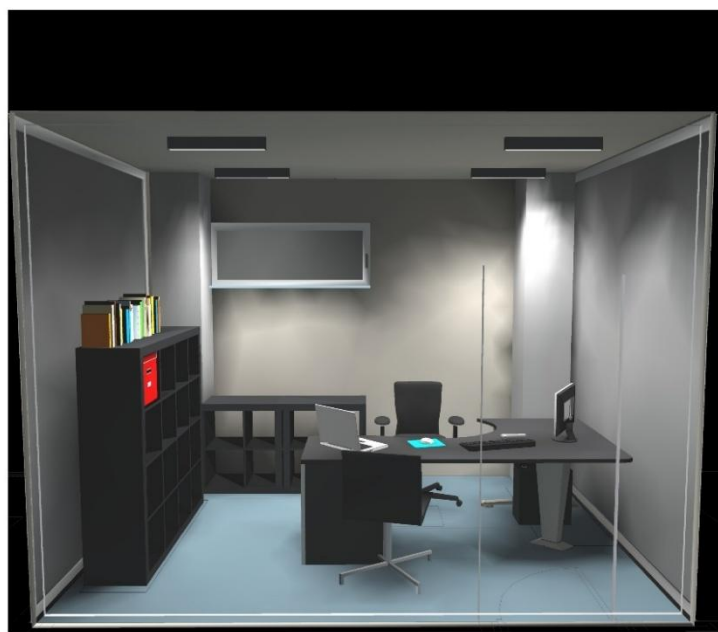
Σχήμα 4.55 Φωτιστικό BASO 40 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 27.11.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 191 cd/m²

Σχήμα 4.56 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 2

Διάταξη 3

Το φωτιστικό 3 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 49W, όνομα SETA και κωδικό 074-5246677R.



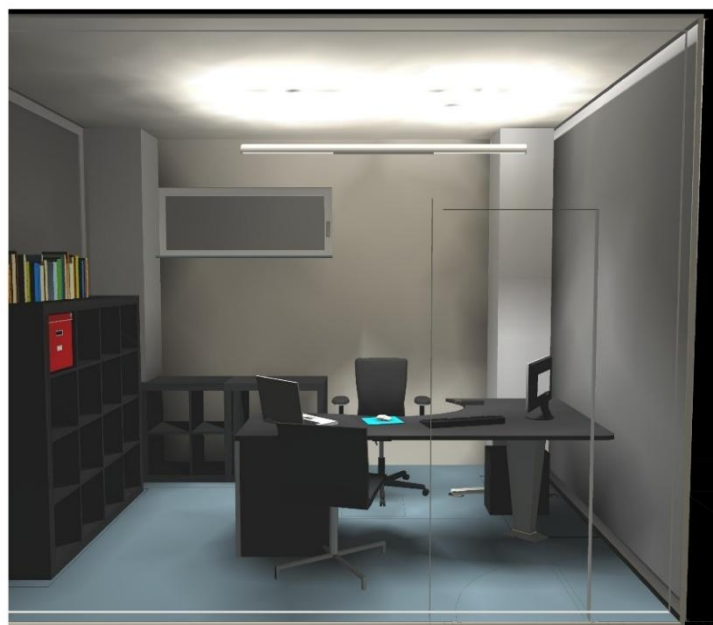
Σχήμα 4.57 Φωτιστικό SETA και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View 1

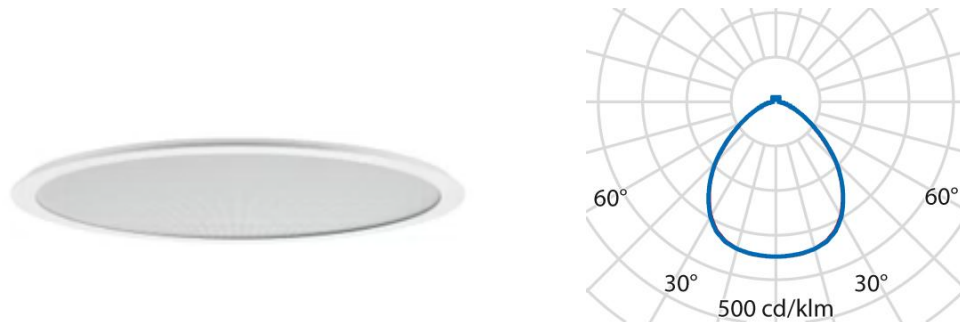


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 785 cd/m²

Σχήμα 4.58 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 3

Διάταξη 4

Το φωτιστικό 4 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, φωτιστικό τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 26W και πλήρες όνομα SL713AB ROUND LED MICROPRISMATIC M.



Σχήμα 4.59 Φωτιστικό SL713AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View 1

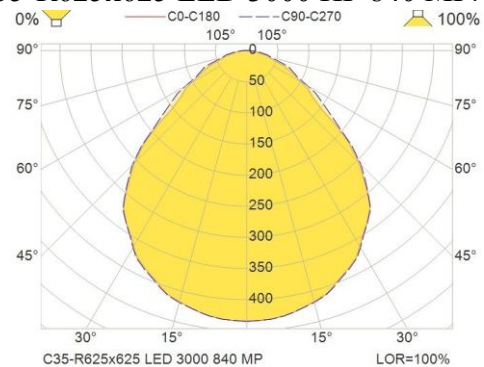


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 221 cd/m²

Σχήμα 4.60 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 4

Διάταξη 5

Το φωτιστικό 4 είναι της εταιρείας GlamoX, τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 23W και κωδικό C35-R625x625 LED 3000 HF 840 MP.



Σχήμα 4.61 Φωτιστικό C35-R και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διαλυματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View 1

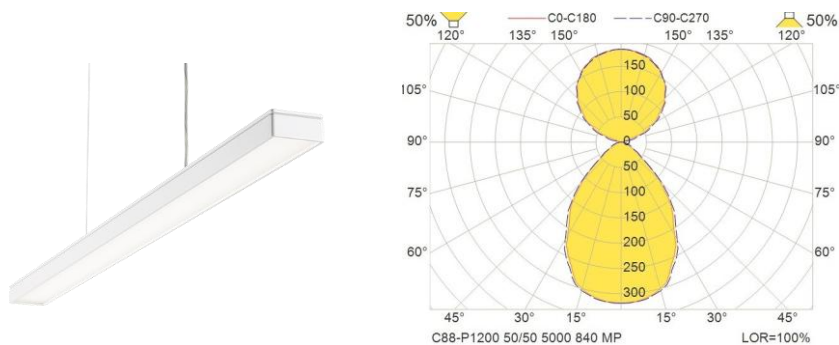


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 162 cd/m²

Σχήμα 4.62 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 5

Διάταξη 6

Το φωτιστικό 6 είναι της εταιρείας Glamox, φωτιστικό με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 36.3 W και πλήρες όνομα C88-P1200 50/50 WH 5000 DALI 840 PRE C2 MP.



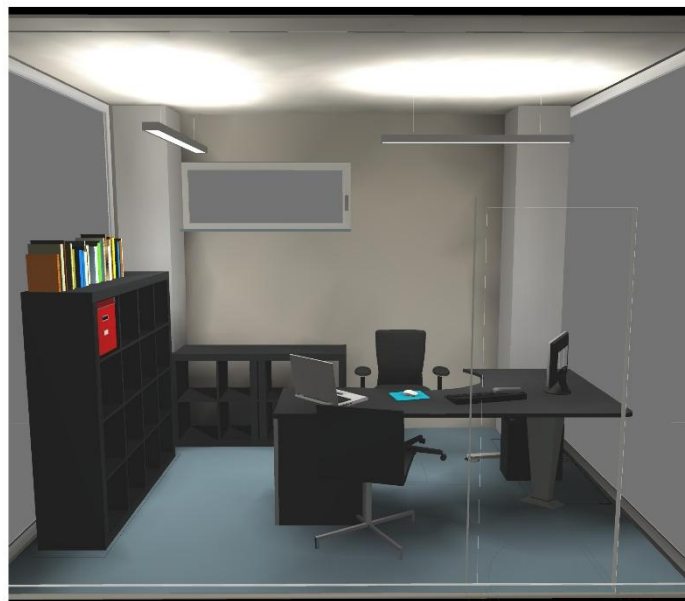
Σχήμα 4.63 Φωτιστικό C88-P1500 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View 1

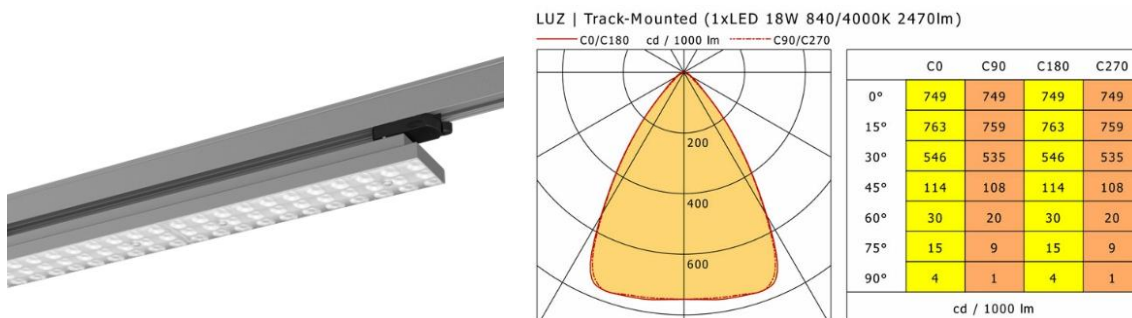


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 482 cd/m²

Σχήμα 4.64 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 6

Διάταξη 7

Τα φωτιστικά 7 είναι της εταιρείας LTS Licht&Leuchten, είναι φωτιστικά οροφής τοποθετημένα σε ράγες, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI και έχουν μήκη 867mm και 1439mm. Αντίστοιχα το πρώτο έχει κατανάλωση 18W και πλήρες όνομα LUZ06-T 13.007.40 και το δεύτερο έχει κατανάλωση 30W και πλήρες όνομα LUZ06-T 15.007.40.



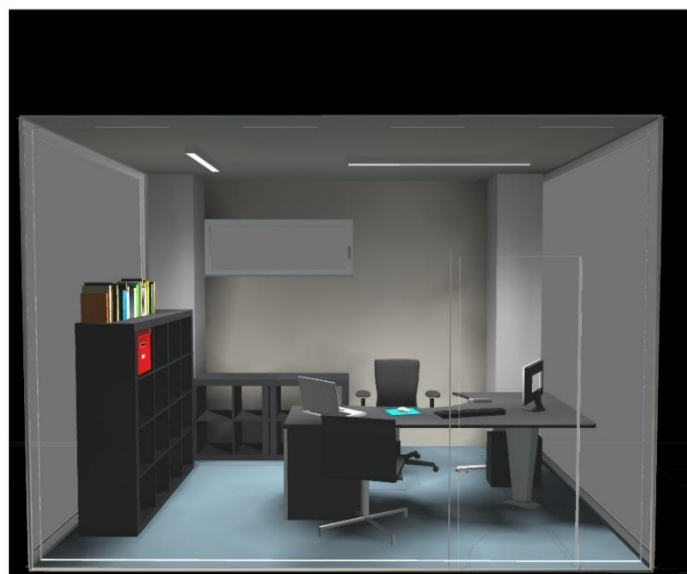
Σχήμα 4.65 Φωτιστικό LUZ06-T και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View from the front

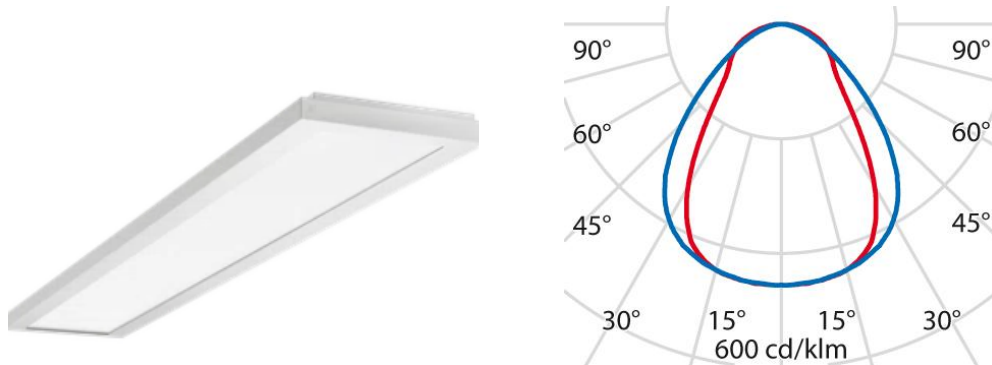


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 264 cd/m²

Σχήμα 4.66 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδιευθυντή Διάταξης 7

Διάταξη 8

Το φωτιστικό 8 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, είναι φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 54W και κωδικό SL629 AB PRISM 8629661456410.



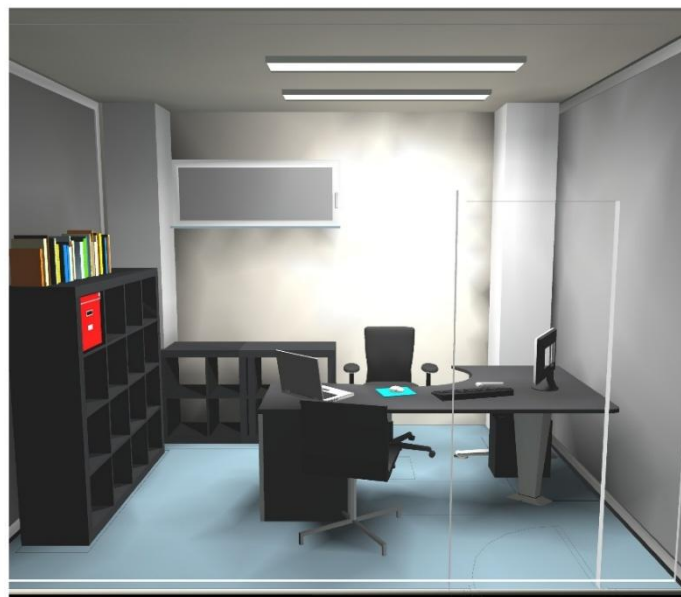
Σχήμα 4.67 Φωτιστικό SL629 AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office 2

3D luminance, View 1



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 171 cd/m²

Σχήμα 4.68 3D κατανομή φωτισμού γραφείου υποδειυθυντή Διάταξης 8

4.2.4 Γραφείο Διευθυντή

Διάταξη 1

Το φωτιστικό 1 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό με ανάρτηση, φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 39W, όνομα προϊόντος DESO 40 και κωδικό 074-2244637P.

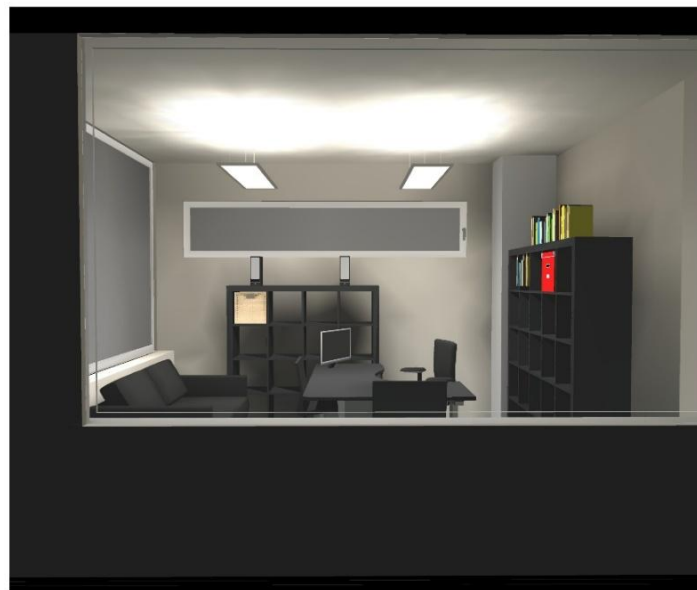


Σχήμα 4.69 Φωτιστικό DESO 40 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office
3D luminance, View from the front

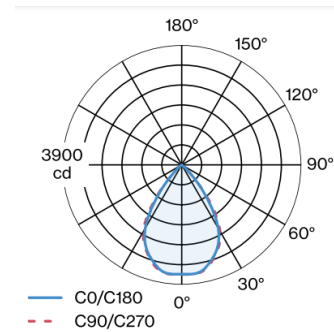


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 402 cd/m²

Σχήμα 4.70 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 1

Διάταξη 2

Το φωτιστικό 2 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 20.2W, όνομα προϊόντος BASO 40 και κωδικό 045-1122638R.

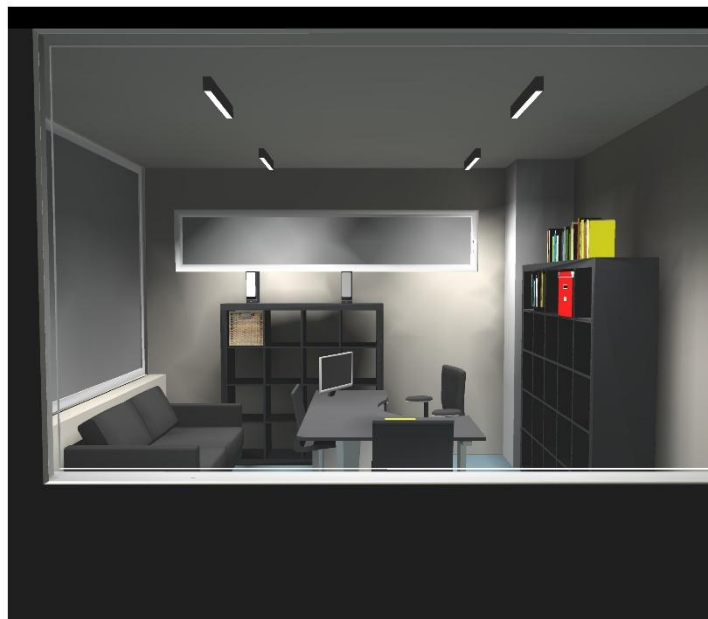


Σχήμα 4.71 Φωτιστικό BASO 40 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 27.11.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office
3D luminance, View 1

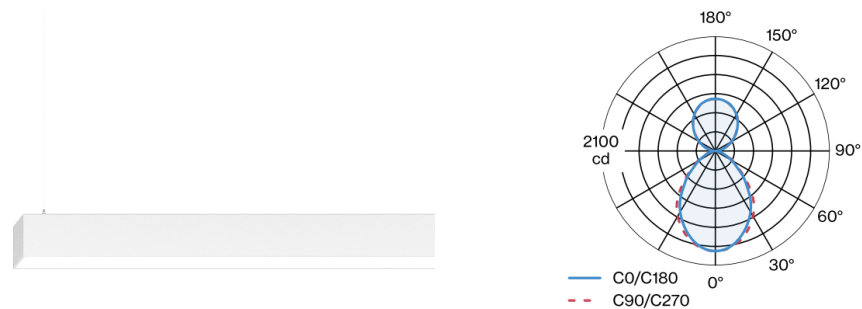


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 217 cd/m²

Σχήμα 4.72 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 2

Διάταξη 3

Το φωτιστικό 3 είναι της εταιρείας XAL, φωτιστικό με ανάρτηση, φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 51 W, όνομα προϊόντος LITO 60 και κωδικό 046-5225637Z.



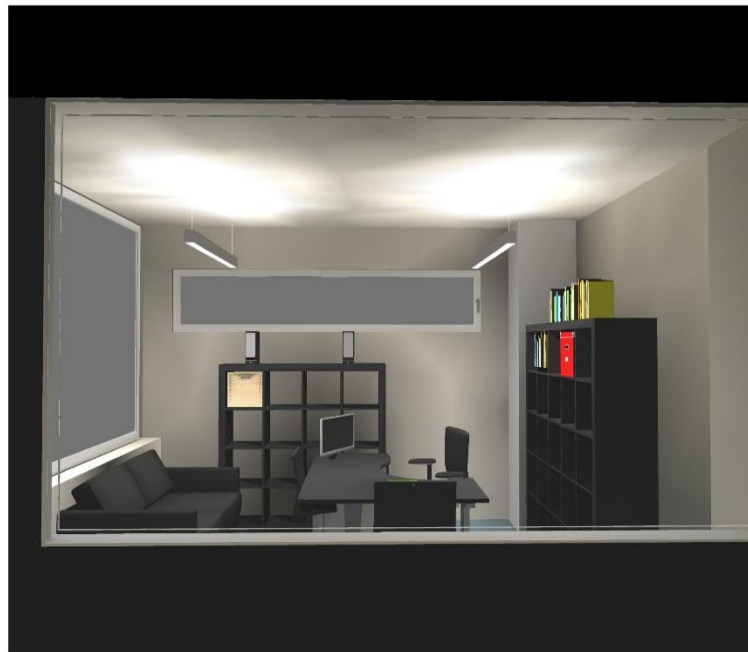
Σχήμα 4.73 Φωτιστικό LITO 60 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office

3D luminance, View from the front

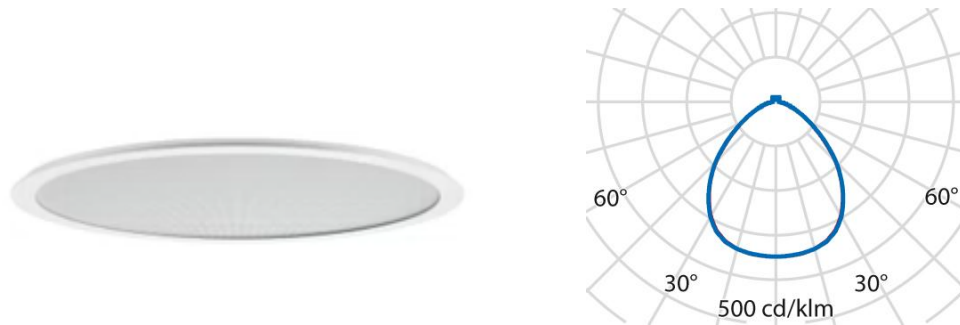


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 292 cd/m²

Σχήμα 4.74 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 3

Διάταξη 4

Το φωτιστικό 4 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, φωτιστικό τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 26W και κωδικό SL713AB ROUND LED MICROPRISMATIC M.



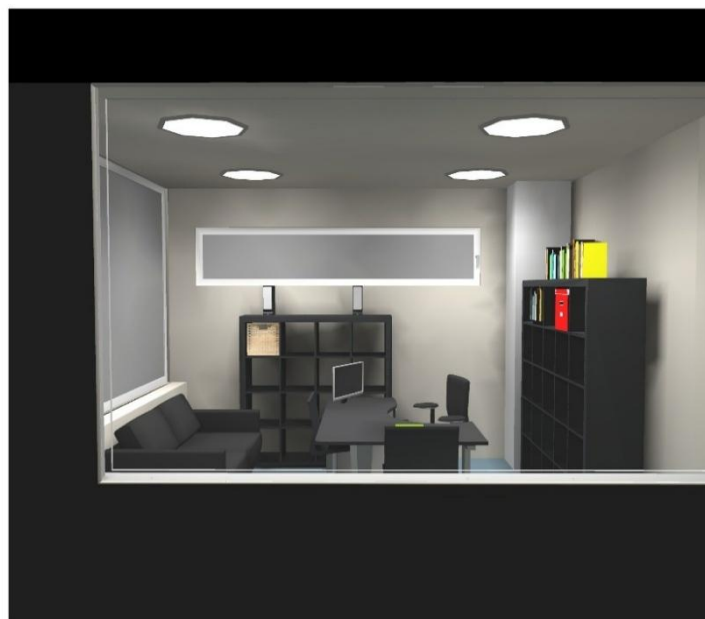
Σχήμα 4.75 Φωτιστικό SL713 AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 270 cd/m²

Σχήμα 4.76 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 4

Διάταξη 5

Το φωτιστικό 5 είναι της εταιρείας GlamoX, τύπου panel, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 23W και κωδικό C35-R625x625 LED 3000 HF 840 MP.

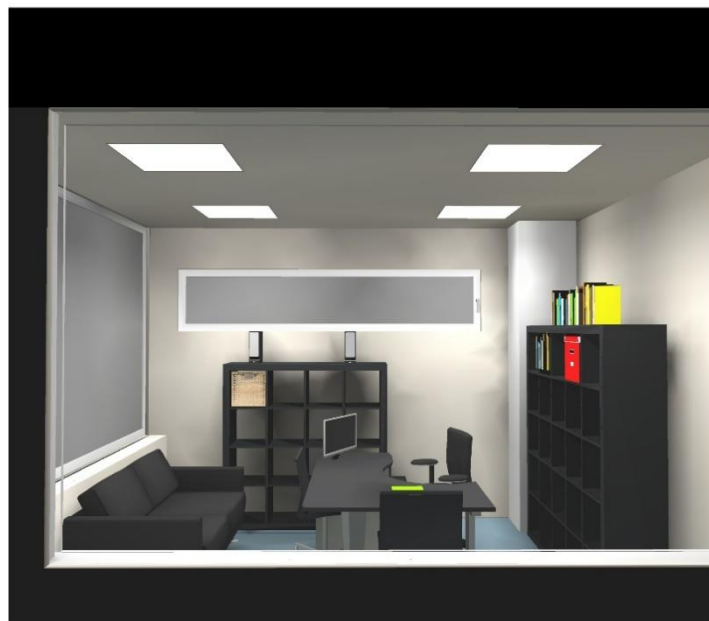


Σχήμα 4.77 Φωτιστικό C35-R και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office
3D luminance, View from the front

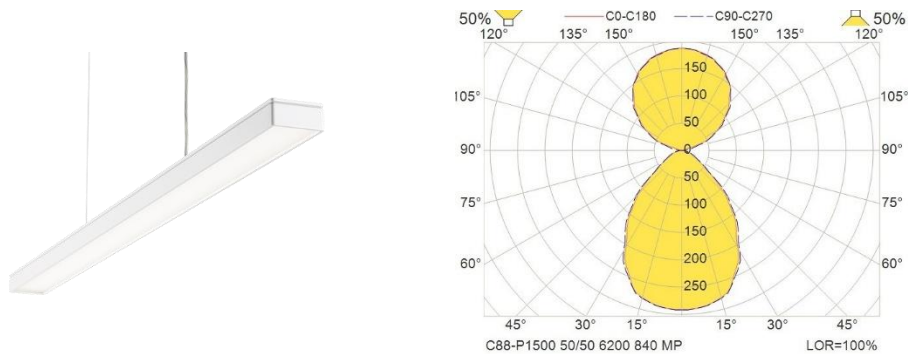


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 219 cd/m²

Σχήμα 4.78 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 5

Διάταξη 6

Το φωτιστικό 7 είναι της εταιρείας Glamox, φωτιστικό με ανάρτηση, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 44W και κωδικό C88-P1200 50/50 WH 5000 DALI 840 PRE C2 MP..



Σχήμα 4.79 Φωτιστικό C88-P1500 και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office
3D luminance, View from the front

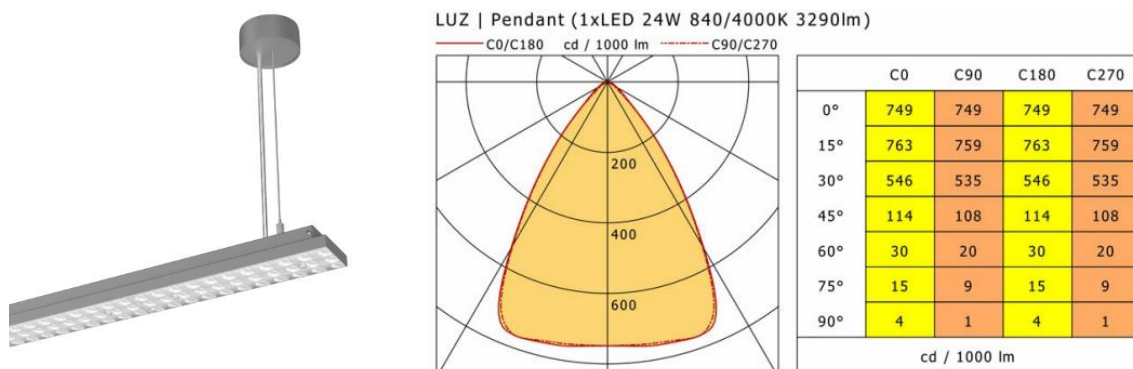


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 445 cd/m²

Σχήμα 4.80 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 6

Διάταξη 7

Το φωτιστικό 7 είναι της εταιρείας LTS Licht&Leuchten, φωτιστικό με ανάρτηση, φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 24W και πλήρες όνομα LUZ06-PA 14.007.40.



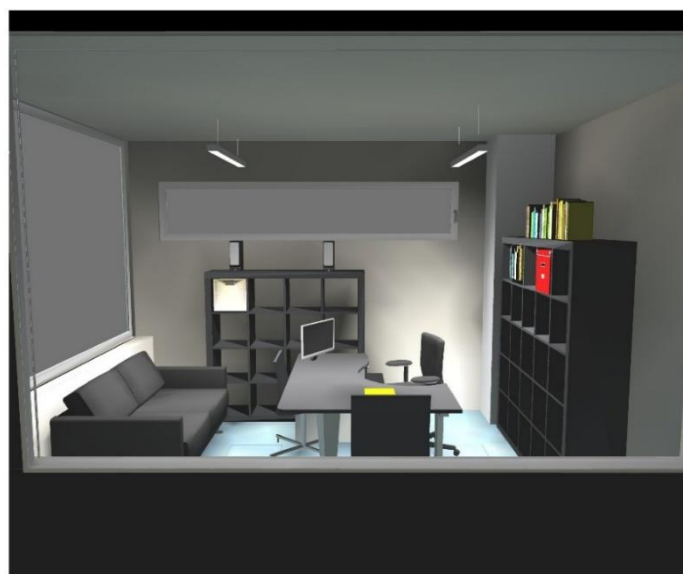
Σχήμα 4.81 Φωτιστικό LUZ06-PA και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office

3D luminance, View 1

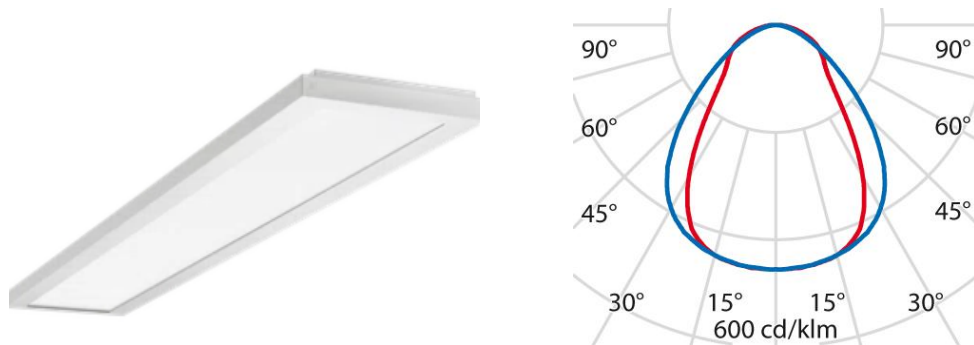


Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 200 cd/m²

Σχήμα 4.82 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 7

Διάταξη 8

Το φωτιστικό 8 είναι της εταιρείας Performance in Lighting, είναι φωτιστικό οροφής, με φωτεινή πηγή LED, τροφοδοτικό συμβατό με DALI, κατανάλωση 54W και πλήρες όνομα SL629 AB PRISM 8629661456410.



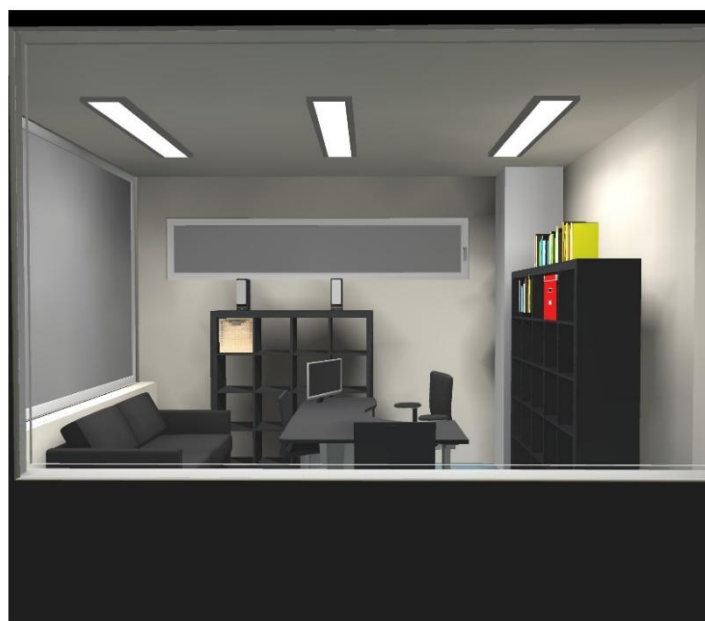
Σχήμα 4.83 Φωτιστικό SL629 AB και πολικό διάγραμμα

Object : Office
Installation : Paritsi
Project number : Διπλωματική
Date : 07.06.2024

RELUX®

Calculation results, Manager's Office

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene
Minimum: : 0 cd/m²
Maximum: : 484 cd/m²

Σχήμα 4.84 3D κατανομή φωτισμού γραφείου διευθυντή Διάταξης 8

Κεφάλαιο 5

Πολυκριτήρια ανάλυση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν για κάθε χώρο ενδιαφέροντος διαφορετικές διατάξεις για το φωτισμό του. Όταν πρόκειται όμως για την απόφαση της βέλτιστης πρότασης, στην παρούσα εργασία θα αξιοποιηθεί μια πολυκριτήρια μέθοδος που ονομάζεται ELECTRE I (ELECTRE Iv).

Στην ανθρώπινη ιστορία, η λήψη αποφάσεων αποτελεί ικανότητα και ανάγκη από τη στιγμή που ο άνθρωπος άρχισε να έχει συνείδηση. Αρχικά, αποφάσιζαν οι αρχηγοί της ομάδας χωρίς ιδιαίτερο ορθολογισμό ή γνώση, συχνά ταυτίζοντας τις αποφάσεις τους με το υπερφυσικό. Με το πέρασμα των χρόνων και την εξέλιξη του ανθρώπου, ήρθαν νέες ανακαλύψεις που διεύρυναν τη γνώση του, αναπτύχθηκε ιδιαίτερα ο τομέας των μαθηματικών και λόγω της πολυπλοκότητας των προβλημάτων δημιουργήθηκε η ανάγκη να συγκροτηθεί ένας νέος επιστημονικός κλάδος, η Επιστήμη των Αποφάσεων.

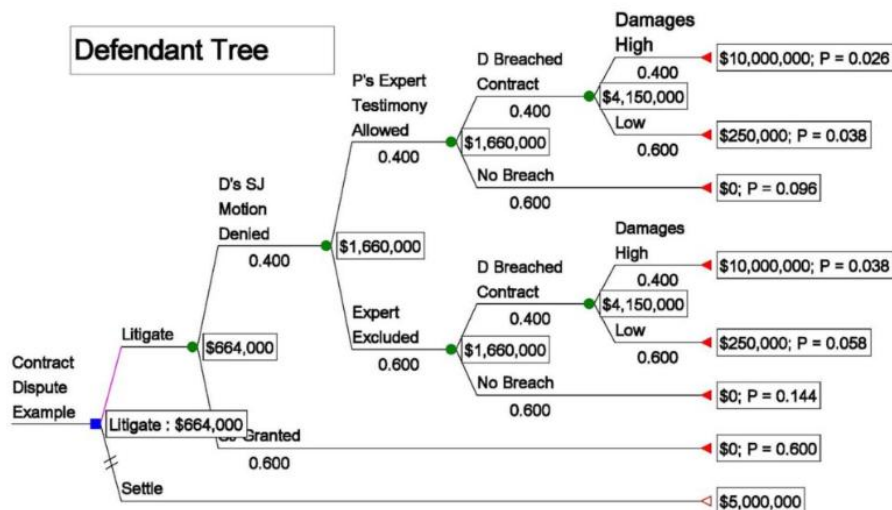
Πρόκειται για μια εφαρμοσμένη επιστήμη που βασίζεται στα μαθηματικά και τα οικονομικά και στόχο έχει τη μοντελοποίηση του προβλήματος και τη δημιουργία κριτηρίων ώστε να προσδιοριστεί η βέλτιστη απόφαση. Ως μοντέλο, ορίζεται η αναπαράσταση ενός αντικειμένου του πραγματικού κόσμου με σύμβολα, ακολουθώντας μια αφαιρετική διαδικασία. Στα συστήματα αποφάσεων, τόσο τα συμβολικά μοντέλα, όσο και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διάφορων στοιχείων, αναπαρίστανται και ορίζονται με μαθηματικό τρόπο. Τα μοντέλα χωρίζονται σε δύο ομάδες.

- Μοντέλα προσομοίωσης: Αναπαρίστανται τα στοιχεία του συστήματος, οι δραστηριότητές τους, οι αλληλεπιδράσεις, οι εισροές και εκροές του συστήματος. Είναι χρήσιμα όταν η πολυπλοκότητα είναι μεγάλη ή η δομή και η φύση του συστήματος δεν επιτρέπει την προσέγγιση μέσω μαθηματικών σχέσεων.
- Μοντέλα βελτιστοποίησης: Υπάρχει ένα πλήθος από ελεγχόμενες και μη ελεγχόμενες μεταβλητές και προσπαθούν να οριστούν οι τιμές των ελεγχόμενων, έτσι ώστε να επιτευχθεί μέγιστη ή ελάχιστη τιμή στην γενική συνάρτηση.

Έτσι, η κλασσική επιχειρησιακή έρευνα για την προσέγγιση διάφορων κατηγοριών μοντελοποιημένων προβλημάτων χρησιμοποιεί συνήθως εργαλεία όπως τα δέντρα αποφάσεων, το δυναμικό προγραμματισμό, το γραμμικό προγραμματισμό και την προσομοίωση.

5.1.1 Δέντρα αποφάσεων

Έχουν γραφική εφαρμογή και χαρακτηρίζονται από τους κόμβους απόφασης όπου γίνεται επιλογή μεταξύ κάποιων δράσεων και τους κόμβους τυχαίων γεγονότων που δίνουν τα πιθανά αποτελέσματα σε μια απόφαση. Οι κόμβοι γεγονότων αναφέρονται σε καταστάσεις με αβέβαιη κατάληξη και αξιοποιούν την στατιστική και την θεωρία πιθανοτήτων. Επομένως κάθε γεγονός έχει μια ανάλογη πιθανότητα πραγματοποίησης ενώ παράλληλα η υλοποίησή του ισοδυναμεί με κάποιο κέρδος ή ζημιά. Είναι δυνατόν επομένως να παρουσιαστεί μια εποπτική εικόνα και ανάλογα με το κριτήριο που εξετάζεται, προσδιορίζεται η καλύτερη επιλογή. Ορισμένα κριτήρια αποτελούν η προσδόκιμη τιμή κέρδους και τα κριτήρια MAXMIN και HURWICZ.



Σχήμα 5.1 Παράδειγμα δένδρου απόφασης

5.1.2 Δυναμικός Προγραμματισμός

Ο δυναμικός προγραμματισμός αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την επίλυση μιας ευρείας κατηγορίας διαδοχικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων υπό αβεβαιότητα και ουσιαστικά αποτελεί την τυποποιημένη αντιμετώπιση προβλημάτων βέλτιστης διαδρομής. Ορίζεται μια μεταβλητή απόφασης που επιτρέπει μετακίνηση από το ένα στάδιο στο άλλο, καθώς και μια μεταβλητή κατάστασης που δηλώνει το στάδιο που βρίσκεται ο μελετητής. Τέλος, ορίζεται μια αναδρομική σχέση που έχει ως στόχο τον υπολογισμό της βέλτιστης πολιτικής. Χρησιμοποιεί διάφορα υπολογιστικά πακέτα και η λύση εξαρτάται από την υπολογιστική δύναμη που διατίθεται και από την ταχύτητα που μπορούν να προσπελαστούν και συγκριθούν οι πίνακες τιμών που προκύπτουν.

5.1.3 Γραμμικός Προγραμματισμός

Χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα αποκλειστικά. Ανάλογα με το κριτήριο που έχει τεθεί όπως για παράδειγμα η ελαχιστοποίηση μιας τιμής, και με την τήρηση των ανάλογων περιορισμών, προκύπτει κάποιο πρόγραμμα δράσεων που αποτελεί την βέλτιστη λύση. Χαρακτηριστικότερη μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού είναι η Simplex. Σε πολλές περιπτώσεις δεν συμφέρει η ανάλυση κάποιου προβλήματος κατευθείαν και πρέπει να κατασκευαστεί το δυικό ισοδύναμο πρόβλημα αντιστρέφοντας συνθήκες βελτιστοποίησης και περιορισμούς.

5.1.4 Προσομοίωση

Χρησιμοποιείται για πολύπλοκα μοντέλα, τα οποία επεξεργάζονται για να μιμηθεί την πραγματική συμπεριφορά του κατά την διάρκεια του χρόνου. Η επεξεργασία αποτελεί ουσιαστικά την εκτέλεση ενός πειράματος γίνεται συνήθως με την βοήθεια υπολογιστή. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας γίνεται προσομοίωση με το πρόγραμμα RELUX προκειμένου δημιουργηθούν κάποια συμπεράσματα για το φωτιστικό αποτέλεσμα σε διάφορους χώρους. Συνεπώς, η κλασική ανάλυση των συστημάτων αποφάσεων αφορά την εφαρμογή ενός ή περισσότερων κριτηρίων, τα οποία όμως εφαρμόζονται μεμονωμένα προκειμένου να βρεθεί η

βέλτιστη λύση σε κάποιο πραγματικό πρόβλημα, οδηγώντας σε αποφάσεις μονοδιάστατες και σε πολλές περιπτώσεις ελλειπείς. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία ενός κλάδου που να συμπεριλαμβάνει περισσότερα από ένα κριτήρια, ώστε προκύπτει αποτέλεσμα με σφαιρικότερη και πιο αντικειμενική κρίση. Ο κλάδος που ασχολείται με αυτή την εφαρμογή πολλαπλών κριτηρίων και εφαρμόζεται στο τεχνοοικονομικό σκέλος αυτής της εργασίας ονομάζεται πολυκριτηριακή ανάλυση [49].

5.1.5 Ορισμός Κριτηρίων

Για την καλύτερη κατανόηση της πολυκριτηριακής ανάλυσης θα διατυπωθεί ο μαθηματικός ορισμός του κριτηρίου. Η συνάρτηση που περιγράφει τη μοντελοποίηση ενός κριτηρίου είναι:

$$g: A \rightarrow \frac{R}{a} \rightarrow g(a), \text{ όπου } g(a) \text{ η τιμή αξιολόγησης της δράσης } a \in A \text{ στο κριτήριο } g$$

Ορίζονται τέσσερις τύποι κριτηρίων:

- Μετρήσιμο κριτήριο. Διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες:
 - *Πραγματικό κριτήριο*, αποτελεί μετρήσιμο μέγεθος και χρησιμοποιείται σε αυτό που ονομάζεται «παραδοσιακή» δομή προτιμήσεων και όπου δεν υπάρχουν κατώφλια. Η διαφορά των τιμών καθορίζει την επιλογή.
 - *Ημι-κριτήριο*, χρησιμοποιείται στα μοντέλα κατωφλίου ή δομής προτιμήσεων, όπου η διαφορά μεταξύ των τιμών δύο δράσεων για ένα κριτήριο, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη μιας σταθερής τιμής, ώστε να προτιμηθεί μια εκ των δύο.
 - *Ψευδο-κριτήριο* περιέχει τη προσέγγιση των κατωφλίων δύο επιπέδων, προτίμησης και αδιαφορίας
- Κριτήριο ταξινόμησης.
- Κριτήριο αβεβαιότητας, όπου η αξιολόγηση κάθε δράσης είναι γνωστή με τη χρήση πιθανοτήτων. Χρησιμοποιούνται τα εργαλεία της θεωρίας πιθανοτήτων και κυρίως τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας.
- Ασαφές κριτήριο, το οποίο δεν ακολουθεί στατιστικούς νόμους.

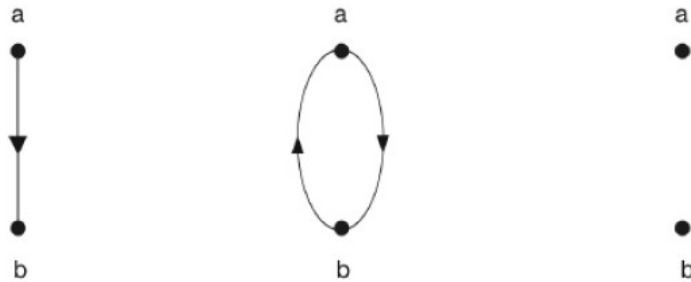
Σε πολυδιάστατα προβλήματα, που υπάρχει η ανάγκη κατασκευής συνθετότερων εννοιών, ορίζεται μια οικογένεια κριτηρίων. Έστω η οικογένεια $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ που περιλαμβάνει n κριτήρια και πρέπει να πληροί τρεις ακόλουθες ιδιότητες:

- Συνέπεια ή μονοτονία. Μια ενέργεια a προτιμάται της b , όταν έχουν ίδια τιμή σε όλα τα υπόλοιπα κριτήρια αλλά σε κάποιο διαφέρουν, δηλαδή όταν $g_i(a)=g_j(b) \ \forall i=j$ και $g(a)>g(b)$.
- Επάρκεια διαθέσιμης πληροφορίας. Για δύο ενέργειες a και b , ισχύει $g_i(a)=g(b) \ \forall i=1,2,\dots,n$, τότε η δράση a είναι ισοδύναμη ή αδιάφορη της b και λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια. Σε περίπτωση που αποφασιστεί μια εκ των δύο, η οικογένεια κριτηρίων δεν είναι συνεπής και χρειάζονται επιπλέον κριτήρια.
- Μη πλεονασμός. Η διαγραφή ενός κριτηρίου θα πρέπει να αναιρεί μια από τις προηγούμενες συνθήκες για κάποιο ζευγάρι ενεργειών. Σε περίπτωση που δεν αναιρεθεί τότε πρόκειται για πλεοναστικό κριτήριο.

Η επίτευξη αυτής της μοντελοποίησης γίνεται με την χρήση δυο βασικών εννοιών, της διμερούς σχέσης και της συνάρτησης. Η έννοια της διμερούς σχέσης περιγράφεται επαρκώς από την έννοια της σχέσης υπεροχής η οποία υποδηλώνεται με το γράμμα S .

Έστω δυο διαφορετικές δράσεις του συνόλου A , a και b . Η δράση a προτιμάται έναντι της b , αν και μόνο αν $g(a) > g(b)$. Ο συμβολισμός aSb μεταξύ δυο δράσεων a και b δηλώνει ότι η a είναι τουλάχιστον εξίσου καλή επιλογή όσο η b . Ορίζονται έτσι τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις.

- aSb και bSa , η a προτιμάται έναντι της b . Εναλλακτικά γράφεται aPb , το P δηλώνει ισχυρή προτίμηση.
- aSb και bSa , υπάρχει αδιαφορία ως προς την επιλογή μεταξύ των δύο δράσεων. Ισοδύναμα, γράφεται aIb . Κάθε δράση υπερέχει της άλλης και η μετάβαση από τη μια στην άλλη γίνεται αυτόματα.
- $a\$b$ και $b\$a$, οι δράσεις είναι μεταξύ τους ασύγκριτες ή aRb . Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ a και b .
- aQb , έχει την έννοια της ασθενούς προτίμησης.



Σχήμα 5.2 Σχέσεις μεταξύ a και b [50]

Για τις πιθανές καταστάσεις σύγκρισης ή δισταγμού μεταξύ δύο δράσεων υπάρχουν οι εξής δυνατοί συμβολισμοί.

- Μη προτίμηση: $a \sim b$, aIb ή aRb
- Ασύγκριτες: $a\$b$ και $b\$a$, aRb
- Προτίμηση: $a > b$, aPb ή aQb
- Προδιάθεση προτίμησης: aJb ή aQb ή aIb
- K – Προτίμηση: aKb , aPb ή aIb
- Υπεροχή: aSb , aPb (ισχυρή προτίμηση ή aQb ή aIb)
- Ασυγκρισιμότητα: aRb

Ο αναλυτής, σύμφωνα με τα παραπάνω, ανάλογα την προς εξέταση περίπτωση, μοντελοποιεί και διαφορετικά τα κριτήρια του. Η πλειοψηφία των μοντέλων είναι αντισταθμιστικά, δηλαδή ο αναλυτής διατίθεται να αποζημιώσει την υπεροχή μιας δράσης σε ένα κριτήριο όταν σε άλλο κριτήριο η διαφορά είναι τέτοια ώστε να αποζημιώσει την προηγούμενη. Η πρόθεση αυτή, ορίζεται ως μοναδιαία παραχώρηση και δηλώνει την πρόθεση θυσίας ενός κριτηρίου έναντι κάποιου άλλου. Αντίθετα, στα μη αντισταθμιστικά μοντέλα η απώλεια αυτή, πέρα από ένα σημείο, δεν μπορεί να αποζημιωθεί. Τέλος, υπάρχει και η θεωρία της χρησιμότητας, στην οποία υποστηρίζεται πως σε κάθε πρόβλημα απόφασης υπάρχει μια πραγματική συνάρτηση U , η οποία παραπέμπει στη έννοια της ευαισθησίας, είναι ορισμένη στο A και ο αναλυτής προσπαθεί να μεγιστοποιήσει [50].

5.1.6 Οικογένεια Μεθόδων ELECTRE

Για τη διευκόλυνση του αναλυτή και την ασφαλέστερη διεξαγωγή συμπερασμάτων σε προβλήματα πολύπλοκα και με πολλαπλά κριτήρια, δημιουργήθηκε η οικογένεια των μεθόδων ELECTRE ((Elimination Et Choix Traduisant la Realite, Elimination and Choice Expressing the Reality). Η οικογένεια αυτή περιλαμβάνει τις μεθόδους ELECTRE IS, II, III, IV, Tri, οι οποίες έχουν τις ίδιες θεμελιακές αρχές, αλλά διαφορετικό τρόπο λειτουργίας και επιλύουν διαφορετικά προβλήματα. Συγκεκριμένα:

- ELECTRE I: Προβλήματα επιλογής με πραγματικά κριτήρια
- ELECTRE IS: Γενίκευση της ELECTRE I, αλλά χρησιμοποιεί ψευδοκριτήρια (κατώφλια προτίμησης, αδιαφορίας και βέτο)
- ELECTRE II, III, IV: Προβλήματα ιεραρχίας
- ELECTRE Tri: Προβλήματα κατηγοριοποίησης

Στις παραπάνω μεθόδους, η έννοια της κυριαρχίας ορίζεται με περισσότερη επιείκεια. Μια δράση a προτιμάται έναντι της b όταν έχει καλύτερες αξιολογήσεις στα περισσότερα κριτήρια, ενώ στα υπόλοιπα οι διαφορές είναι αρκετά μικρές. Με δεδομένο αυτό, γίνεται κατανοητή η σημασία της μοναδιαίας παραχώρησης. Πιο συγκεκριμένα, βάση ενός κριτηρίου αναφοράς g_i , ορίζεται η τιμή παραχώρησης s_{ii}^g , ως οι μονάδες που πρέπει να προσανζηθεί η συνάρτηση g ώστε να ισοσταθμιστεί η απώλεια μια μονάδας σε ένα άλλο σημείο g_i . Παράλληλα, όμως, μπορούν να οριστούν και συνθήκες βέτο, οι οποίες εάν εκπληρωθούν η υπεροχή ανατρέπεται και οι δράσεις αντιμετωπίζονται μεταξύ τους ως ασύγκριτες, καθιστώντας τις μεθόδους ως μη αντισταθμιστικές.

Έτσι, ανάλογα με το είδος του προβλήματος υπάρχουν τρεις κατηγορίες α , β , γ , ενώ στην κάθε μια υπάρχει η επιλογή μεταξύ πραγματικών κριτηρίων και ψευδοκριτηρίων, δημιουργώντας έτσι σύνολο έξι διαφορετικούς αλγόριθμους. Στις περιπτώσεις β και γ η αντιμετώπιση είναι αρκετά περίπλοκη. Στη β οι δράσεις κατηγοριοποιούνται με βάση την προτίμηση και εντάσσονται σε πρότυπα, ενώ στη γ , κατατάσσονται βάση της τιμής ενός δείκτη μη κυριαρχίας. Στην περίπτωση α , η οποία και επιλέχθηκε στα πλαίσια τη διπλωματικής εργασίας, ο αναλυτής εμπειρικά δίνει βάρη σε κάθε κριτήριο. Η ύπαρξη κατωφλίων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την προσέγγιση του κάθε προβλήματος [50].

	Τύπος Προβλήματος		
Τύπος Κριτηρίου	A	B	Γ
Πραγματικό	ELECTRE I	ELECTRE TRI	ELECTRE II
Ψευδοκριτήριο	ELECTRE IS	ELECTRE TRI	ELECTRE III-IV

Σχήμα 5.3 Πίνακας μεθόδων ανά τύπο προβλήματος και κριτηρίου

Ο λόγος που επιλέχθηκε η μέθοδος ELECTRE I(v), είναι διότι τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι πραγματικά, αντλημένα από τεχνικές προδιαγραφές και δεν υπάρχουν κατώφλια αδιαφορίας ή ασθενούς προτίμησης.

5.1.7 ELECTRE I

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος ELECTRE I, θα πρέπει να εξασφαλιστούν ότι ισχύουν τα παρακάτω:

- Τα κριτήρια έχουν κωδικοποιηθεί με ίδια αριθμητική κλίμακα
- Δυο ενέργειες a και b , για να συγκριθούν και να δηλωθεί υπεροχή θα πρέπει να είναι σταθερές στο χρόνο

Για την εφαρμογή του αλγορίθμου, ορίζεται και ο όρος δύναμη της συμφωνίας, δηλαδή το άθροισμα των βαρών που έχουν αντιστοιχιστεί στα κριτήρια που παίρνουν μέρος στο συνδυασμό. Μαθηματικά, συμβολίζουμε το δείκτη συμφωνίας $C(aSb)$ ως εξής,

$$C(aSb) = \sum_{j: g_j(a) \geq g_j(b)} w_j, \text{ όπου}$$

$j: g_j(a) \geq g_j(b)$ το σύνολο των δεικτών για τα κριτήρια που ανήκουν στο συνδυασμό συμφωνίας με τη σχέση υπεροχής aSb

$$\sum_{j \in J} w_j = 1 \text{ για λόγους απλοποίησης των πράξεων,}$$

όπου J το σύνολο των δεικτών των κριτηρίων

Τα βάρη, συνήθως, δεν είναι δεδομένα αλλά η επιτυχής επιλογή τους εξαρτάται από τη σωστή και ρεαλιστική διατύπωση του προβλήματος. Σε συνδυασμό με τον καθορισμό των βαρών, ο αναλυτής πρέπει έπειτα της κατασκευής της μήτρας, να επιλέξει σωστά και τα κατώφλια s , με στόχο νούμερα κοντά στη μονάδα.

Επιπλέον, η χρήση του κατωφλίου βέτο, χρησιμοποιείται για να εκφράσει πότε είναι ασύγκριτες δυο ενέργειες. Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε κριτήριο, συμβολίζονται με $v_1, v_2, \dots, v_n$ και ελέγχουν την ανατροπή μεταξύ δυο δράσεων λόγω της μεγάλης διαφοράς τους μεταξύ των κριτηρίων που εφαρμόζεται. Είναι χρήσιμα, στο τελευταίο στάδιο συμφωνίας του αλγορίθμου, όπου ο αναλυτής κάνει έλεγχο διαφωνίας. Ο έλεγχος πραγματοποιείται μόνο σε ζεύγη με θετικό έλεγχο συμφωνίας και η συνθήκη διαφωνίας διατυπώνεται ως εξής:

$$g_{j*}(b) - g_{j*}(a) \leq v_{j*} \text{ με } j^* \in \{j / g(a) < g(b)\}$$

Πρακτικά, όταν μια δράση b υπερέρχει της a , ελέγχεται κάθε κριτήριο που ο αναλυτής έχει θέσει κάποια τιμή βέτο, πως η διαφορά μεταξύ των τιμών για το εκάστοτε κριτήριο δεν ξεπερνά την τιμή αυτή. Σε περίπτωση που η διαφορά βρεθεί μεγαλύτερη η υπεροχή ανατρέπεται και οι δυο δράσεις θεωρούνται ασύγκριτες. Εφαρμόζοντας μια συνθήκη βέτο συνεπώς, μέχρι το σημείο της τιμής που ορίζεται, η μέθοδος καθίσταται αντισταθμιστική, ενώ πέραν του σημείου αυτή λειτουργεί μη αντισταθμιστικά. Ο αναλυτής, εκτός της γνώσης για την εφαρμογή της μεθόδου, πρέπει να γνωρίζει επαρκώς και το αντικείμενο που μελετά, ώστε να επιλέξει σωστά κατώφλια βέτο.

Στη συνέχεια, ο αναλυτής κατασκευάζει τον πυρήνα του γραφήματος υπεροχής. Ο πυρήνας είναι ένα υποσύνολο Π του συνόλου των δράσεων, έστω A , και ισχύει:

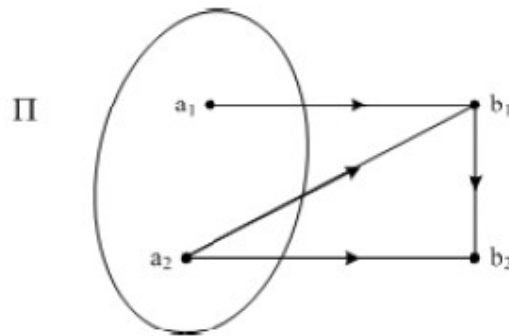
- $\forall b \in A - \Pi, \exists a \in \Pi$ ώστε aSb ,

δηλαδή κάθε δράση εκτός πυρήνα συνδέεται με μια δράση εντός του πυρήνα, η οποία υπερέρχει

- $\forall a_1 \in \Pi \ \& \ a_2 \in \Pi, a_1 \$ a_2 \ \& \ a_2 \$ a_1$,

δηλαδή οι δράσεις εντός πυρήνα συνδέονται με σχέση αδιαφορίας

Επομένως, ο πυρήνας πρέπει να αποτελείται από μια ή περισσότερες δράσεις, οι οποίες θεωρούνται οι καλύτερες και είναι μη συγκρίσιμες.



Σχήμα 5.4 Παράδειγμα πυρήνα δράσεων [50]

Οι κυκλικά δομημένες ενέργειες θεωρούνται αδιάφορες, αλλά μπορεί να είναι και κρίσιμες. Η μέθοδος θεωρητικά ολοκληρώνεται με την κατασκευή του πυρήνα, ωστόσο πρέπει να γίνει και έλεγχος ευαισθησίας, δηλαδή επαναληπτικά και τροποποιώντας κυρίως τις παραμέτρους p , s , v , να βρεθούν οι τιμές στις οποίες το σύστημα είναι ευσταθές και δίνει αποτελέσματα.

5.2 Εφαρμογή Μεθόδου ELECTRE I προς αξιολόγηση των φωτομετρικών αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα Relux θα εφαρμοστεί η μέθοδος ELECTRE I. Στόχος είναι η «επιλογή» σε κάθε περίπτωση, του φωτιστικού που πληροί τα περισσότερα κριτήρια. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά φύλλα Excel 2023, καθώς προσφέρουν ταχύτητα, ευκολία και ευελιξία. Επίσης, για τη σχεδίαση των γράφων. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Gephi 0.10.

5.2.1 Καθορισμός κριτηρίων ELECTRE I

Σκοπός δεν είναι ο υπολογισμός μιας και μοναδικής λύσης, αλλά η δημιουργία ενός «πυρήνα» δράσεων-λύσεων βάσει κάποιων κριτηρίων, τα οποία όμως δεν είναι απαραίτητα σταθερά. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται όλες οι απαραίτητες μεταβλητές και μεγέθη που τέθηκαν ώστε, να εφαρμοστεί η μέθοδος ELECTRE I.

Τα κριτήρια καθώς και τα βάρη τους, επιλέχθηκαν σε συμφωνία με τον επιβλέποντα καθηγητή. Η επιλογή του κατωφλίου συμφωνίας $s=0,7$, έγινε σύμφωνα με την συχνότητα χρησιμοποίησης του σε ερευνητικές εργασίες [51].

Το βέτο, αλλάζει ανάλογα με τη διάταξη καθώς, το συνολικό κόστος εξαρτάται από τον αριθμό των φωτιστικών και το κόστος του φωτιστικού. Σε περίπτωση που η διαφορά μεταξύ των φωτιστικών είναι μεγαλύτερη του βέτο, θεωρείται πως η υπεροχή του φωτιστικού ανατρέπεται.

Κριτήρια ELECTRE I	Βάρη ELECTRE I	Κατώφλι συμφωνίας S	Βέτο V
Μέση ένταση φωτισμού (lx)	0.18	0.7	0
Ομοιομορφία U_0	0.16		0
Θάμβωση παρατηρητή	0.16		0
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (W x Φωτιστικό)	0.15		0
CRI	0.1		0
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών x Τιμή) (€)	0.13		Ανά γραφείο
Χρόνος ζωής (h)	0.12		0

Για τα υπόλοιπα κριτήρια δεν χρειάζεται βέτο, καθώς κατά μέσο όρο οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι σε λογικά πλαίσια, άρα και συγκρίσιμα. Σε κάθε ανάλυση, πραγματοποιείται και έλεγχος ευαισθησίας, αλλάζοντας κάθε φορά μόνο την τιμή του s (κατώφλι συμφωνίας). Είναι σημαντικό, βέβαια, όταν πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας να αλλάζουν και τα βάρη στα κριτήρια, καθώς αυτά είναι υπεύθυνα για τον υπολογισμό της μήτρας συμφωνίας. Σε αυτή την εργασία, προτιμάται λόγω συντομίας, να μην αλλάξουν τα βάρη.

5.2.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης Relux και χαρακτηριστικά φωτιστικών ανά διάταξη

Τα αποτελέσματα θα παρουσιάζονται ανά γραφείο στο οποίο έχει γίνει πολλαπλή προσομοίωση φωτιστικών. Οι τιμές έχουν προκύψει όλες από τους επίσημους τιμοκαταλόγους των εταιρειών.

Γραφείο IT

Πίνακας 5.2	Διάταξη							
Κριτήρια	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέση ένταση φωτισμού (lx)	576	605	606	600	515	545	565	601
Ομοιομορφία U_0	0.67	0.71	0.72	0.75	0.66	0.62	0.67	0.8
Θάμβωση παρατηρητή	18.7	14.7	10	14.9	10	13.6	10	10
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (W)	72	152	78.6	132	72	88	74.4	77.2
CRI	80	80	90	90	90	80	80	80
Κόστος (€)	616	680	2196	400	336	1280	1704	600
Χρόνος ζωής (h)	50000	50000	50000	50000	50000	100000	100000	50000

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το βέτο να είναι ίσο με 900€, μιας και η μέγιστη διαφορά μεταξύ του κόστους των φωτιστικών είναι 1860€. Το κατώφλι είναι 0.7 και τα βάρη όπως ο πίνακας 5.1.

Ο πίνακας συμφωνίας είναι ο Πίνακας 5.2 και με πράσινο χρώμα είναι οι εναλλακτικές που το ικανοποιούν.

Πίνακας Συμφωνίας 5.3	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.28	0.28	0.15	0.34	0.62	0.46	0.15
2	0.72	1	0.13	0.34	0.34	0.47	0.47	0.18
3	0.72	0.87	1	0.49	0.34	0.75	0.44	0.28
4	0.85	0.66	0.51	1	0.34	0.57	0.57	0.23
5	0.66	0.66	0.66	0.66	1	0.7	0.38	0.38
6	0.38	0.53	0.25	0.43	0.3	1	0.13	0.12
7	0.54	0.53	0.56	0.43	0.62	0.87	1	0.27
8	0.85	0.82	0.72	0.77	0.62	0.88	0.73	1

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος διαφωνίας για τον εντοπισμό των δράσεων που είναι πρακτικά ασύγκριτες ή/και ανατρέπεται η υπεροχή μίας έναντι μιας άλλης. Θεωρούμε βέτο $v_{σκ} = 900€$ για το κόστος των φωτιστικών και όταν η τιμή της διαφοράς μεταξύ δυο δράσεων είναι μεγαλύτερη αυτής, τότε υπάρχει ανατροπή.

Έπειτα, από έλεγχο, υπολογίστηκαν οι τιμές διαφωνίας:

- Διάταξη 2: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 3:

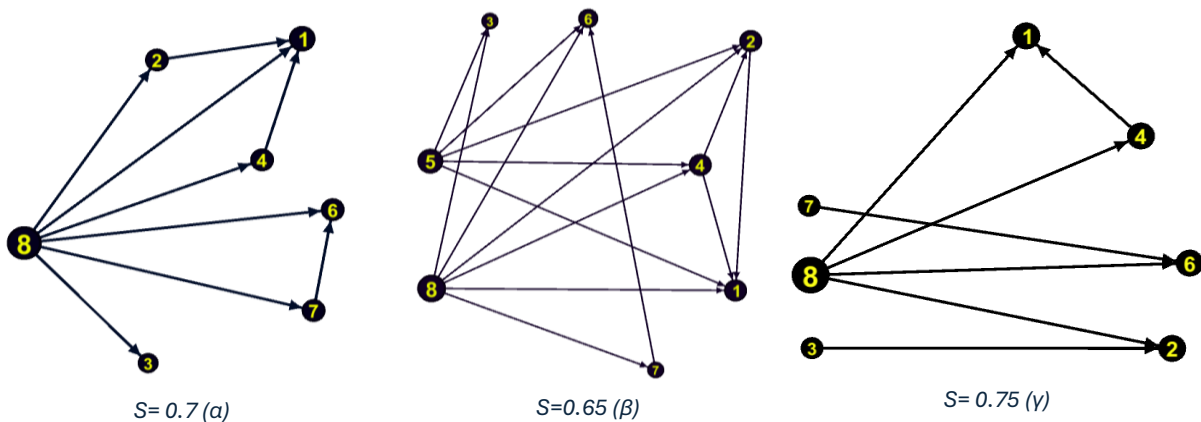
$$g_{sk}(3) - g_{sk}(1) = 1580€, \text{απορρίπτεται}$$

$$g_{sk}(3) - g_{sk}(2) = 1516€, \text{απορρίπτεται}$$

$$g_{sk}(3) - g_{sk}(6) = 916€, \text{απορρίπτεται}$$

- Διάταξη 4: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 7: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 8: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 5.5 (α) και αποτελείται από το φωτιστικό της διάταξης 8. Σύμφωνα, λοιπόν, με την παγκόσμια βιβλιογραφία το φωτιστικό 8 αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Τα υπόλοιπα φωτιστικά, τίθενται εκτός πυρήνα αφού η θεωρία αναφέρει ότι οι λύσεις του πυρήνα δεν μπορούν να έχουν σχέσεις υπεροχής μεταξύ τους. Όπως αναφέρθηκε όμως και σε προηγούμενο κεφάλαιο, πρέπει να γίνει μελέτη ευαισθησίας αλλάζοντας τις κατάλληλες μεταβλητές της μεθόδου. Στις παρακάτω περιπτώσεις, η μελέτη θα εφαρμοστεί αλλάζοντας κάθε φορά μόνο την τιμή του κατωφλιού συμφωνίας s σε 0.65 και 0.75. Στο σχήμα 5.5 (β), (γ), παρουσιάζονται οι πυρήνες των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, έπειτα από έλεγχο διαφωνίας.



Όπως φαίνεται, το φωτιστικό της διάταξης 8 είναι κοινό σε όλες τις λύσεις, λόγω του

Σχήμα 5.5 Γραφήματα υπεροχής Γραφείου Εξυπηρέτησης για διάφορα s
 συνδυασμού χαμηλού κόστους, υψηλής ομοιομορφίας και χαμηλής θάμβωσης. Στην περίπτωση (β), προστίθεται στον πυρήνα το φωτιστικό 5, καθώς αναζητούνται και λύσεις που εμφανίζουν ασθενή υπεροχή, ενώ στην περίπτωση (γ), η διάταξη 8 παύει να υπερέχει έναντι της λύσης 3 και 7, οι οποίες αποτελούν πλέον μέρος του πυρήνα. Συμπερασματικά, αφού παρατηρήσουμε τον κάθε γράφο, είτε επιλέγοντας χαμηλό ποσοστό υπεροχής, είτε ακολουθήσουμε την παγκόσμια βιβλιογραφία, ή για μεγαλύτερες τιμές του s , το φωτιστικό 8 θεωρείται η καλύτερη επιλογή, αφού σε κάθε περίπτωση εμφανίζει τις περισσότερες σχέσεις υπεροχής με τα υπόλοιπα φωτιστικά.

Γραφεία Ανοικτού Πλάνου

Πίνακας 5.4	Διάταξη							
Κριτήρια	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέση ένταση φωτισμού (lx)	527	600	586	537	584	600	502	540
Ομοιομορφία U_0	0.61	0.73	0.63	0.76	0.55	0.63	0.65	0.62
Θάμβωση παρατηρητή	16.8	18.9	19	24	19.4	16.9	17.8	19.8
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (W)	210	171.5	181	163	153.1	162	182	240
CRI	80	80	80	80	80	80	80	80
Κόστος (€)	1155	6550	3150	2666	2800	2450	3374	1696
Χρόνος ζωής (h)	50000	50000	50000	50000	50000	100000	50000	50000

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το βέτο να είναι ίσο με 1000€, μιας και εκτός ενός πολύ ακριβότερου φωτιστικού, η μέγιστη διαφορά μεταξύ του κόστους των φωτιστικών είναι 2219€. Το κατώφλι είναι 0.7 και τα βάρη όπως ο πίνακας 5.1. Ο πίνακας συμφωνίας είναι ο Πίνακας 5.5 και με πράσινο χρώμα είναι οι εναλλακτικές που το ικανοποιούν.

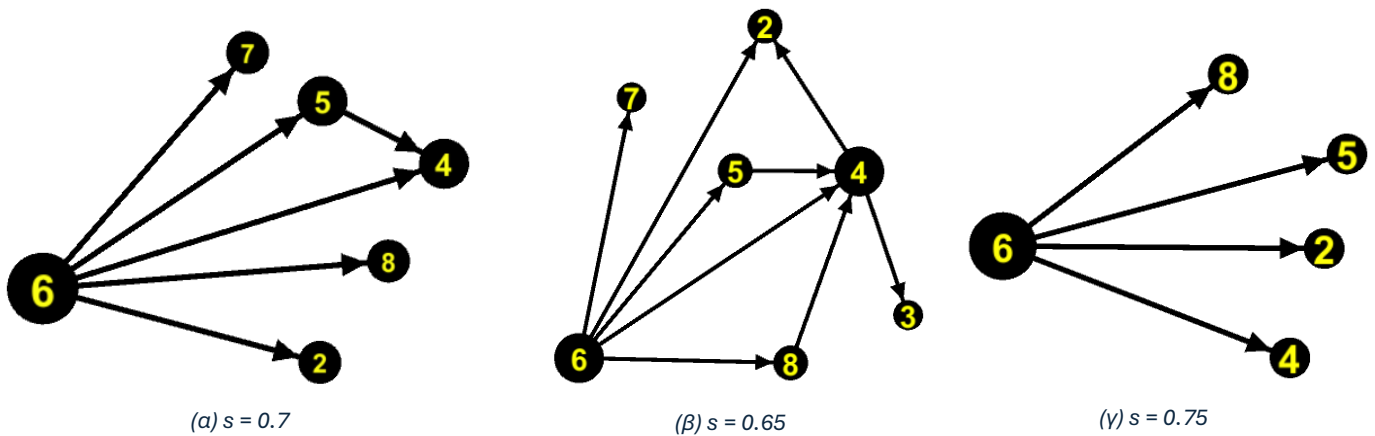
Πίνακας Συμφωνίας 5.5	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.29	0.29	0.29	0.45	0.29	0.47	0.44
2	0.71	1	0.65	0.34	0.5	0.16	0.49	0.65
3	0.71	0.35	1	0.34	0.5	0	0.46	0.65
4	0.71	0.66	0.66	1	0.29	0.16	0.62	0.31
5	0.55	0.5	0.5	0.71	1	0.15	0.46	0.49
6	0.71	0.84	1	0.84	0.85	1	0.74	0.77
7	0.53	0.51	0.54	0.38	0.54	0.26	1	0.47
8	0.56	0.35	0.35	0.69	0.51	0.23	0.53	1

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος διαφωνίας για τον εντοπισμό των δράσεων που είναι πρακτικά ασύγκριτες ή/και ανατρέπεται η υπεροχή μίας έναντι μιας άλλης. Θεωρούμε βέτο $v_{σκ} = 1000€$ για το κόστος των φωτιστικών και όταν η τιμή της διαφοράς μεταξύ δυο δράσεων είναι μεγαλύτερη αυτής, τότε υπάρχει ανατροπή.

Έπειτα, από έλεγχο, υπολογίστηκαν οι τιμές διαφωνίας:

- Διάταξη 2: $g_{sk}(2) - g_{sk}(1) = 5395\text{€}$, απορρίπτεται
- Διάταξη 3: $g_{sk}(3) - g_{sk}(1) = 1995\text{€}$, απορρίπτεται
- Διάταξη 4: $g_{sk}(4) - g_{sk}(1) = 1511\text{€}$, απορρίπτεται
- Οι υπόλοιπες περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 5: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 6: $g_{sk}(6) - g_{sk}(1) = 1295\text{€}$, απορρίπτεται
- Οι υπόλοιπες περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 8: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 5.6 (α) και αποτελείται από το φωτιστικό της διάταξης 6. Σύμφωνα, λοιπόν, με την παγκόσμια βιβλιογραφία το φωτιστικό 6 αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται μελέτη ευαισθησίας. Στο σχήμα 5.6 (β), (γ), παρουσιάζονται οι πυρήνες των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, έπειτα από έλεγχο διαφωνίας.



Σχήμα 5.6 Γραφήματα υπεροχής Γραφείων ανοικτού πλάνου για διάφορα s

Όπως φαίνεται, το φωτιστικό της διάταξης 6 είναι κοινό και μοναδικό όλες τις λύσεις, καθώς τα φωτομετρικά αποτελέσματα του σε συνδυασμό με την τιμή του φαίνεται να υπερισχύουν των υπολοίπων.

Συμπερασματικά, η καλύτερη λύση βάση της μεθόδου φαίνεται να είναι το φωτιστικό 6.

Γραφείο Λογιστηρίου

Πίνακας 5.6	Διάταξη							
Κριτήρια	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέση ένταση φωτισμού (lx)	606	501	593	550	555	578	515	554
Ομοιομορφία U_0	0.64	0.69	0.66	0.65	0.62	0.61	0.60	0.60
Θάμβωση παρατηρητή	13.8	19	16.7	14.9	18.1	18	16	18.6
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (W)	117	87.3	104	92	91	61	60	108
CRI	80	80	80	80	80	80	80	80
Κόστος (€)	1431	2100	1928	1000	1350	1200	900	816
Χρόνος ζωής (h)	50000	50000	50000	100000	100000	100000	100000	50000

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το βέτο να είναι ίσο με 600€, μιας και η μέγιστη διαφορά μεταξύ του κόστους των φωτιστικών είναι 1284€. Το κατώφλι είναι 0.7 και τα βάρη όπως ο πίνακας 5.1.

Ο πίνακας συμφωνίας είναι ο Πίνακας 5.7 και με πράσινο χρώμα είναι οι εναλλακτικές που το ικανοποιούν.

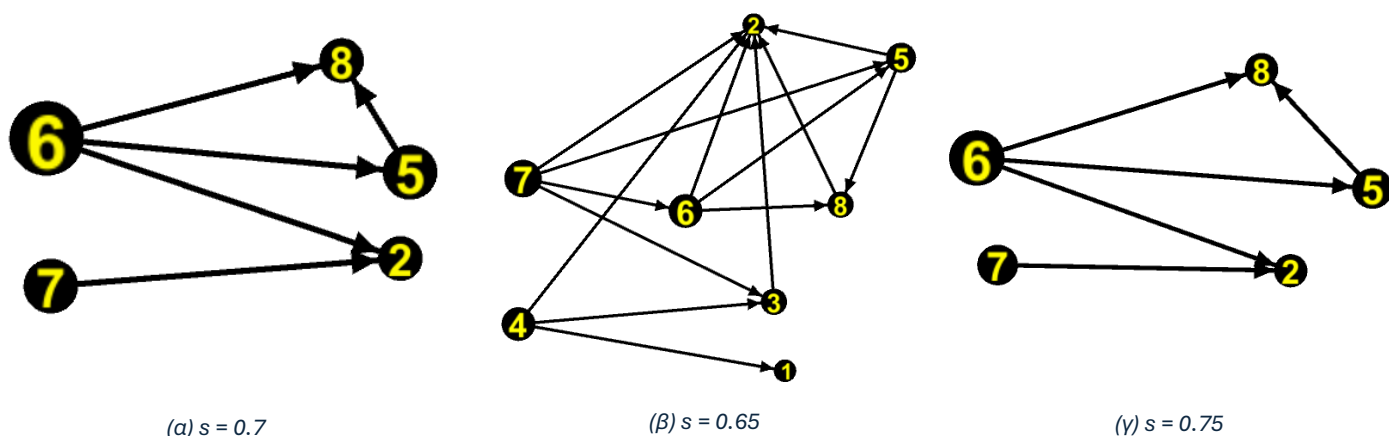
Πίνακας Συμφωνίας 5.7	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.47	0.47	0.34	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.53	1	0.31	0.31	0.31	0.16	0.16	0.31
3	0.53	0.69	1	0.34	0.5	0.5	0.34	0.65
4	0.66	0.69	0.66	1	0.45	0.45	0.5	0.59
5	0.5	0.69	0.5	0.55	1	0.16	0.34	0.77
6	0.5	0.84	0.5	0.55	0.84	1	0.34	0.77
7	0.5	0.84	0.66	0.5	0.66	0.66	1	0.43
8	0.5	0.69	0.35	0.41	0.23	0.23	0.57	1

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος διαφωνίας για τον εντοπισμό των δράσεων που είναι πρακτικά ασύγκριτες ή/και ανατρέπεται η υπεροχή μίας έναντι μιας άλλης. Θεωρούμε βέτο $v_{σκ} = 600€$ για το κόστος των φωτιστικών και όταν η τιμή της διαφοράς μεταξύ δυο δράσεων είναι μεγαλύτερη αυτής, τότε υπάρχει ανατροπή.

Έπειτα, από έλεγχο, υπολογίστηκαν οι τιμές διαφωνίας:

- Διάταξη 5: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 6: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 7: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 5.7 (α) και αποτελείται από τα φωτιστικά της διάταξης 6 και 7. Στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται μελέτη ευαισθησίας. Στο σχήμα 5.7 (β), (γ), παρουσιάζονται οι πυρήνες των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, έπειτα από έλεγχο διαφωνίας.



Σχήμα 5.7 Γραφήματα υπεροχής Γραφείου Λογιστηρίου για διάφορα s

Παρατηρώντας τους γράφους, με κατώφλι $s = 0.7$ (παγκόσμια βιβλιογραφία), το φωτιστικό 6 αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή λόγω της σχετικά υψηλής μέσης έντασης φωτισμού σε συνδυασμό με τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το σχετικά χαμηλό κόστος. Επιλέγοντας, όμως, χαμηλό ποσοστό υπεροχής, το φωτιστικό 7 παρουσιάζει ασθενή υπεροχή έναντι του φωτιστικού 6, το οποίο τίθεται εκτός πυρήνα και πλέον η διάταξη 7 θεωρείται η βέλτιστη λύση λόγω της σχέσης υπεροχής της με αρκετά φωτιστικά. Για μεγαλύτερες τιμές του s , το φωτιστικό 6 παραμένει να θεωρείται η καλύτερη επιλογή λόγω των περισσότερων ακμών του. Συμπερασματικά, τα φωτιστικά 6 και 7 θεωρούνται ως οι βέλτιστες επιλογές, με την επιλογή να εξαρτάται από την επιλογή του κατωφλιού συμφωνίας. Το φωτιστικό 7 είναι φθηνότερο και με χαμηλότερη κατανάλωση και θάμβωση σε σχέση με το 6, για αυτό και η ασθενής υπεροχή του, αλλά το φωτιστικό 6 παρουσιάζει υψηλότερη ομοιομορφία και μέση ένταση φωτισμού.

Γραφείο Υποδιευθυντή

Πίνακας 5.8	Διάταξη							
Κριτήρια	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέση ένταση φωτισμού (lx)	518	558	569	572	520	550	568	580
Ομοιομορφία U_0	0.64	0.88	0.71	0.69	0.79	0.61	0.63	0.65
Θάμβωση παρατηρητή	13.6	19.6	13.8	16.8	15	13.1	15.9	16.6
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (W)	78	80.8	49	78	69	72	48	62
CRI	80	80	80	80	80	80	80	80
Κόστος (€)	954	1600	970	1446	750	1280	700	816
Χρόνος ζωής (h)	50000	50000	50000	50000	100000	100000	100000	50000

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το βέτο να είναι ίσο με 450€, μιας και η μέγιστη διαφορά μεταξύ του κόστους των φωτιστικών είναι 900€. Το κατώφλι είναι 0.7 και τα βάρη όπως ο πίνακας 5.1.

Ο πίνακας συμφωνίας είναι ο Πίνακας 5.8 και με πράσινο χρώμα είναι οι εναλλακτικές που το ικανοποιούν.

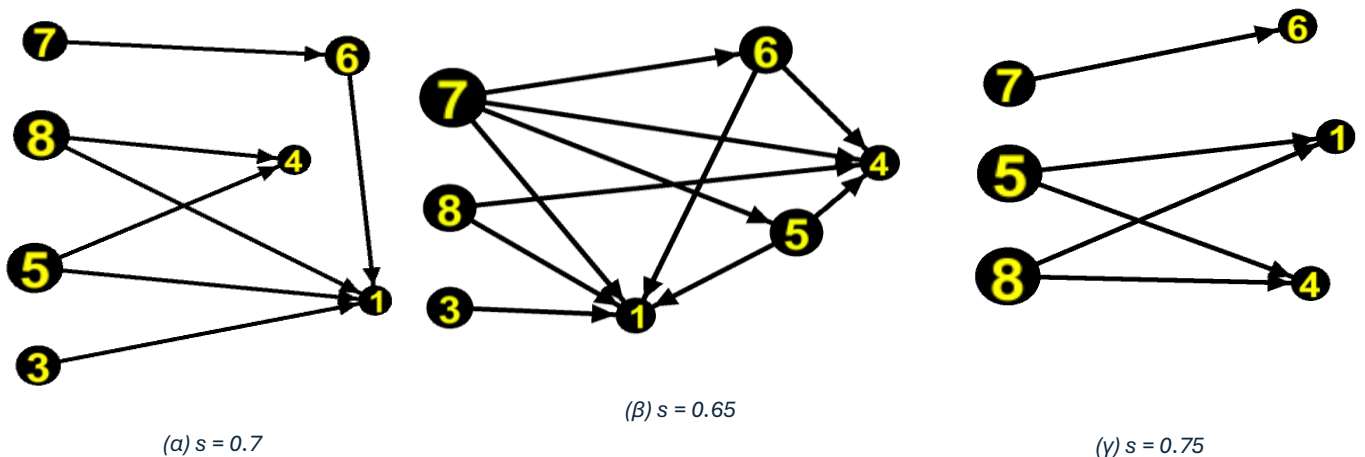
Πίνακας Συμφωνίας 5.9	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.28	0.29	0.29	0.16	0.29	0.32	0.16
2	0.72	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.71	0.5	1	0.6	0.49	0.62	0.5	0.47
4	0.71	0.5	0.4	1	0.18	0.34	0.34	0.16
5	0.84	0.5	0.51	0.82	1	0.44	0.32	0.57
6	0.71	0.5	0.38	0.66	0.56	1	0.16	0.43
7	0.68	0.5	0.5	0.66	0.68	0.84	1	0.56
8	0.84	0.5	0.53	0.84	0.43	0.57	0.44	1

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος διαφωνίας για τον εντοπισμό των δράσεων που είναι πρακτικά ασύγκριτες ή/και ανατρέπεται η υπεροχή μίας έναντι μιας άλλης. Θεωρούμε βέτο $v_{σκ} = 450€$ για το κόστος των φωτιστικών και όταν η τιμή της διαφοράς μεταξύ δυο δράσεων είναι μεγαλύτερη αυτής, τότε υπάρχει ανατροπή.

Έπειτα, από έλεγχο, υπολογίστηκαν οι τιμές διαφωνίας:

- Διάταξη 2: $g_{sk}(2) - g_{sk}(1) = 492\text{€}$, απορρίπτεται
- Διάταξη 3: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 4: $g_{sk}(4) - g_{sk}(1) = 646\text{€}$, απορρίπτεται
Οι υπόλοιπες περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 5: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 6: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 7: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 8: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 5.8 (α) και αποτελείται από τα φωτιστικά της διάταξης 3, 5, 7 και 8. Στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται μελέτη ευαισθησίας. Στο σχήμα 5.8 (β), (γ), παρουσιάζονται οι πυρήνες των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, έπειτα από έλεγχο διαφωνίας.



Σχήμα 5.8 Γραφήματα υπεροχής Γραφείου υποδιευθυντή για διάφορα s

Με κατώφλι $s = 0.7$ και σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου φαίνεται πως οι βέλτιστες λύσεις είναι οι 3, 5, 7 και 8. Τα φωτιστικά 5 και 8 φαίνεται να έχουν περισσότερες ακμές, αλλά αξιολογώντας μεμονωμένα τις υπόλοιπες λύσεις από άποψη φωτομετρικών αποτελεσμάτων είναι εξίσου καλές. Αλλάζοντας το κατώφλι σε $s = 0.65$, τίθεται εκτός πυρήνα η λύση 5 λόγω ασθενούς υπεροχής από τη λύση 7, η οποία παρουσιάζεται και ως βέλτιστη λύση λόγω της υπεροχής του έναντι πολλών φωτιστικών. Αυξάνοντας το s σε 0.75 παρατηρούμε πως η λύση 3 παύει να υπάρχει στον πυρήνα καθώς $C(3,1) = 0.71 < 0.75$.

Συμπερασματικά, οι λύσεις 7, 8 που συμμετέχουν σε κάθε πυρήνα, θεωρούνται οι βέλτιστες, με το φωτιστικό 7 να έχει χαμηλότερο κόστος, κατανάλωση, θάμβωση και μεγαλύτερο χρόνο ζωής, αλλά η διάταξη 8 να παρουσιάζει υψηλότερη ομοιομορφία και μέση ένταση φωτισμού. Όσον αφορά τα φωτιστικά 3 και 5, τα οποία εμφανίζονται αντίστοιχα και στις περιπτώσεις (β) και (γ) αντίστοιχα, πρέπει να τονιστεί ότι αποτελούν και αυτά αξιόλογες εναλλακτικές. Είναι ακριβότερα, αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία και λιγότερη θάμβωση έναντι των λύσεων 7 και 8.

Γραφείο Διευθυντή

Πίνακας 5.9	Διάταξη							
Κριτήρια	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέση ένταση φωτισμού (lx)	543	558	590	579	536	517	576	609
Ομοιομορφία U_0	0.64	0.88	0.75	0.85	0.84	0.7	0.61	0.69
Θάμβωση παρατηρητή	13.6	19.6	18.1	17	15.2	13.2	16	16.8
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (W)	78	80.8	102	104	92	72	48	93
CRI	80	80	80	80	80	80	80	80
Κόστος (€)	954	1600	1690	1928	1000	1280	700	1224
Χρόνος ζωής (h)	50000	50000	50000	50000	100000	100000	100000	50000

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέχθηκε το βέτο να είναι ίσο με 600€, μιας και η μέγιστη διαφορά μεταξύ του κόστους των φωτιστικών είναι 1228€. Το κατώφλι είναι 0.7 και τα βάρη όπως ο πίνακας 5.1.

Ο πίνακας συμφωνίας είναι ο Πίνακας 5.10 και με πράσινο χρώμα είναι οι εναλλακτικές που το ικανοποιούν.

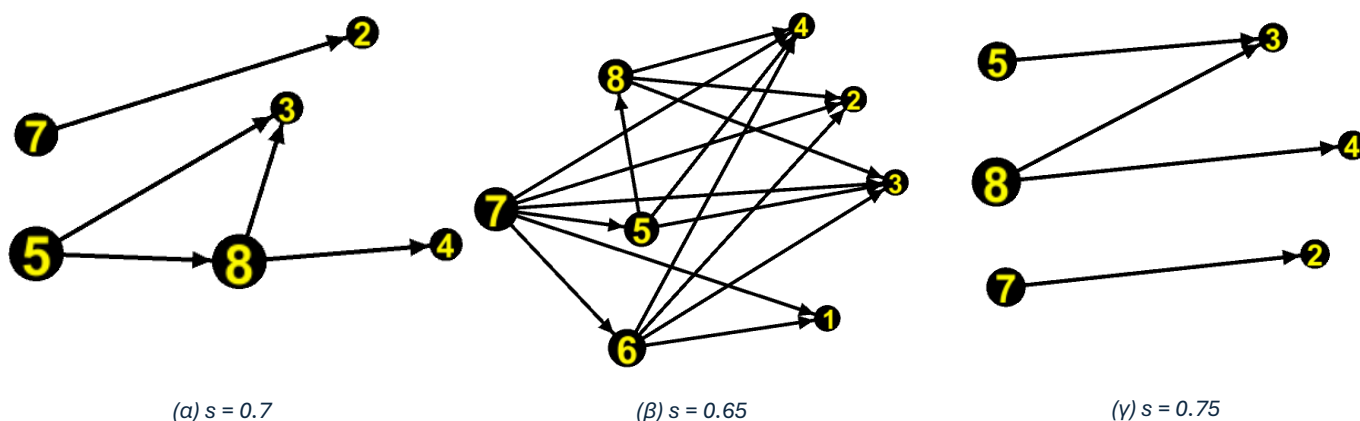
Πίνακας Συμφωνίας 5.10	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0.44	0.44	0.44	0.62	0.31	0.32	0.44
2	0.56		0.44	0.44	0.49	0.34	0.16	0.31
3	0.56	0.56		0.46	0.18	0.34	0.34	0.16
4	0.56	0.56	0.54		0.34	0.34	0.34	0.16
5	0.38	0.51	0.82	0.66		0.47	0.32	0.72
6	0.69	0.66	0.66	0.66	0.53		0.32	0.44
7	0.68	0.84	0.66	0.66	0.68	0.68		0.56
8	0.56	0.69	0.84	0.84	0.28	0.56	0.44	

Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος διαφωνίας για τον εντοπισμό των δράσεων που είναι πρακτικά ασύγκριτες ή/και ανατρέπεται η υπεροχή μίας έναντι μιας άλλης. Θεωρούμε βέτο $v_{σκ} = 600€$ για το κόστος των φωτιστικών και όταν η τιμή της διαφοράς μεταξύ δυο δράσεων είναι μεγαλύτερη αυτής, τότε υπάρχει ανατροπή.

Έπειτα, από έλεγχο, υπολογίστηκαν οι τιμές διαφωνίας:

- Διάταξη 5: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 7: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.
- Διάταξη 8: Όλες οι περιπτώσεις υπεροχής δεν απορρίπτονται.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο σχήμα 5.9 (α) και αποτελείται από τα φωτιστικά της διάταξης 5 και 7. Στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται μελέτη ευαισθησίας. Στο σχήμα 5.9 (β), (γ), παρουσιάζονται οι πυρήνες των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, έπειτα από έλεγχο διαφωνίας



Σχήμα 5.9 Γραφήματα υπεροχής Γραφείου διευθυντή για διάφορα s

Με κατώφλι $s = 0.7$, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ως βέλτιστες λύσεις την 5 και 7. Η διάταξη 5 έχει περισσότερες σχέσεις υπεροχής άλλα φωτιστικά, αφού παρουσιάζει καλύτερα φωτομετρικά αποτελέσματα, έχει όμως υψηλότερη κατανάλωση και κόστος από την 7. Μειώνοντας το κατώφλι, το φωτιστικό 5 τίθεται εκτός πυρήνα, καθώς το 7 έχει ασθενής υπεροχή. Αλλάζοντας το s σε 0.75 προστίθεται στον αρχικό πυρήνα η διάταξη 8 καθώς πλέον το φωτιστικό 5 παύει να υπερέχει.

Συμπερασματικά, οι βέλτιστες λύσεις είναι η 5 και η 7, με την 7 να βρίσκεται σε όλους τους πυρήνες λόγω των πολύ χαμηλών τιμών σε κατανάλωση ενέργειας και κόστος. Βέβαια, και η λύση 5 είναι εξίσου καλή, καθώς σε σχέση με τις υπόλοιπες παρουσιάζει «ισορροπία» σε όλες τις τιμές των αποτελεσμάτων της σε σχέση με τις υπόλοιπες λύσεις.

5.3 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας, όπως παρουσιάστηκε συνοπτικά παραπάνω, η βέλτιστη λύση για κάθε περίπτωση δεν αποτελείται από την επιλογή μιας και μόνο διάταξης. Ανάλογα των αποτελεσμάτων, ακολουθώντας την παγκόσμια βιβλιογραφία, αλλά και έπειτα την ανάλυση ευαισθησίας με διάφορες τιμές για το s , η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα ένα ή και περισσότερα φωτιστικά τα οποία θεωρούνται οι βέλτιστες επιλογές για το μελετητή. Η επιλογή μεταξύ αυτών μπορεί να εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως η κατανάλωση, το κόστος ή η ακριβής τήρηση των προτύπων που καθορίζουν τις ελάχιστες τιμές των φωτομετρικών αποτελεσμάτων.

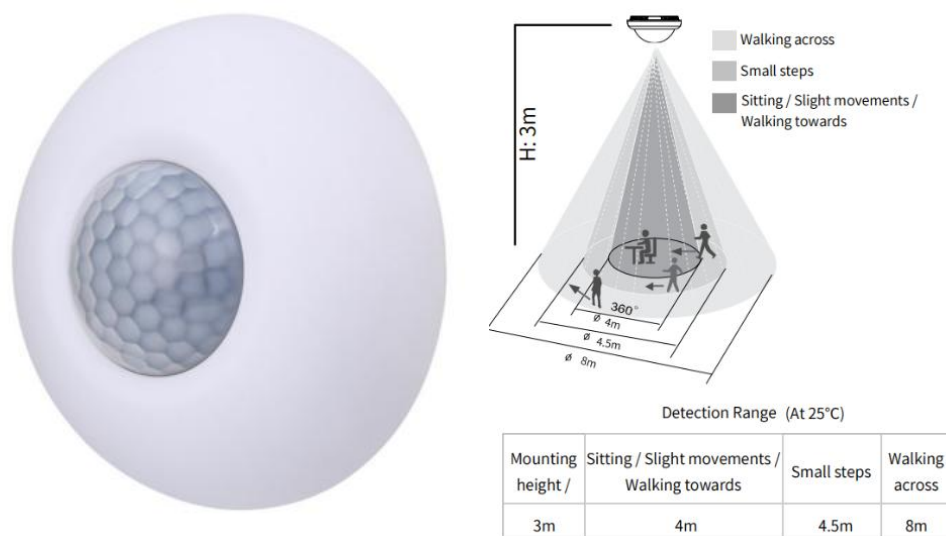
Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή KNX

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους αυτής της εργασίας είναι η εφαρμογή του αλγορίθμου αντιστάθμισης φωτισμού. Τα γραφεία προς εξέταση, θεωρήθηκαν ιδανικά, καθώς όλοι οι χώροι εργασίας έχουν άπλετο φυσικό φως και ως ένα σημείο προϋπήρχε η εγκατάσταση KNX, η οποία όμως λειτουργούσε αποκλειστικά με τη χρήση μπουτόν. Συγκεκριμένα, υπάρχει ένας κεντρικός πίνακας στο χώρο της κουζίνας, στον οποίο έχουν εγκατασταθεί όλοι οι μηχανισμοί ενεργοποίησης; στην προκειμένη περίπτωση οι περισσότεροι έχουν δυνατότητα dimming, και ο κάθε χώρος αποτελείται από ένα ή περισσότερα κυκλώματα, τα οποία ελέγχονται από διπλά ή τετραπλά μπουτόν στον τοίχο.

6.1 Εγκατάσταση αισθητήρων

Για την εφαρμογή απαιτήθηκε να εγκατασταθούν σε όλα τα γραφεία, ανιχνευτές κίνησης με ενσωματωμένο αισθητήρα φωτεινότητας. Τα καλώδια, σχεδόν σε όλους τους χώρους, όδευσαν στα κατάλληλα σημεία μέσω της οροφής, η οποία είναι ψευδοροφή επιτρέποντας έτσι και την εύκολη τοποθέτηση αλλά και μετακίνηση του αισθητήρα.

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε είναι ο HDL M/HS05.1, ο οποίος πληροί όλα τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά και έχει σχετικά χαμηλό κόστος.



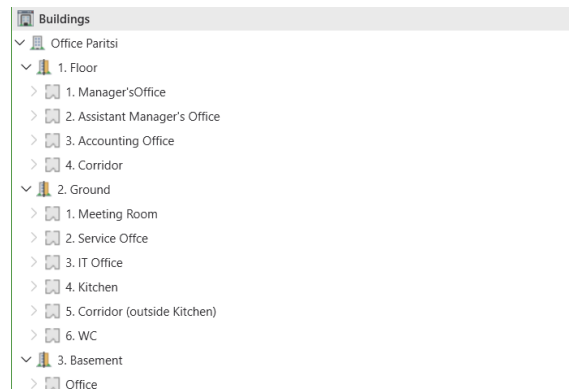
Εικόνα 6.1 Αισθητήρας κίνησης και φωτεινότητας HDL M/HS05.1

Συνολικά, εγκαταστάθηκαν 9 αισθητήρες και απαιτήθηκαν περίπου 50 μέτρα καλωδίου KNX. Το κόστος ενός αισθητήρα είναι 129€ χωρίς Φ.Π.Α, ενώ το καλώδιο κοστίζει 0.91€/μέτρο χωρίς Φ.Π.Α. Συνεπώς το τελικό κόστος της εγκατάστασης θεωρώντας 10% τα εργατικά, υπολογίζεται στα 1327.15€ χωρίς τον Φ.Π.Α.

6.2 Προγραμματισμός αισθητήρων

Βήμα 1^ο

Το πρώτο βήμα είναι η εγκατάσταση του λογισμικού ETS 6 στον υπολογιστή, το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό του KNX συστήματος. Εφόσον στο κτίριο ένα μέρος του KNX έχει προ εγκατασταθεί, ο πελάτης μας μας έδωσε το ήδη υπάρχον project. Για την εισαγωγή ή το άνοιγμα ενός project με περισσότερα από 5 υλικά, απαιτείται άδεια, την οποία και μας δάνεισαν. Έτσι, ανοίχτηκε το project και εντοπίζουμε στην καρτέλα Κτίρια του χώρους που επιθυμούμε να εισάγουμε τις νέες συσκευές. Εισάγουμε το πρόγραμμα εφαρμογής του αισθητήρα και του μπουτόν και τα φορτώνουμε σε κάθε χώρο, δίνοντας μια μοναδική φυσική διεύθυνση.

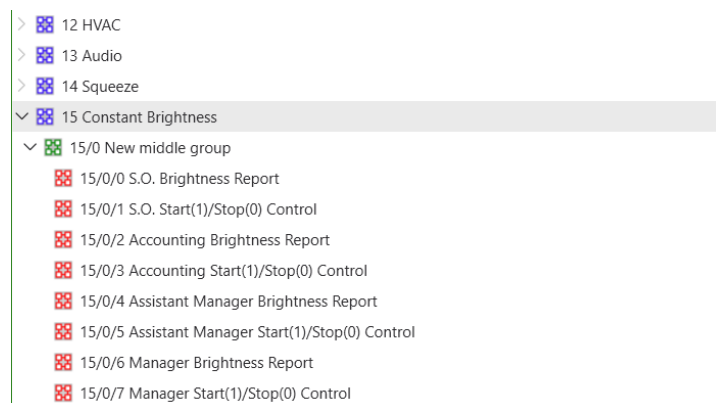


Βήμα 2^ο

Βάση σχεδίου του πίνακα πρέπει να βρεθεί η αντιστοίχιση των dimmer KNX, με τα φωτιστικά που πρέπει να ελεγχθούν από τους ανιχνευτές. Είναι απαραίτητο για την αντιστοίχιση των διευθύνσεων ομάδας που θα στέλνει κάθε ανιχνευτή με τις διευθύνσεις των επαφών των dimmer.

Βήμα 3^ο

Δημιουργούμε νέες διευθύνσεις ομάδων, ώστε να υλοποιήσουμε τα βήματα που απαιτεί ο αλγόριθμος ελέγχου. Όπως φαίνεται, η κύρια διεύθυνση 15 είναι κενή και δημιουργούμε τις παρακάτω διευθύνσεις με τις περιγραφές των λειτουργιών της κάθε μιας. Να σημειωθεί, πως οι διευθύνσεις για τα φωτιστικά υπάρχουν ήδη, αλλά ελέγχθηκε πως είχαν όλες τις απαραίτητες 1 bit, 1 byte και 4 bit εντολές.



Βήμα 4°

Παραμετροποιούμε κατάλληλα τον αισθητήρα. Ενεργοποιούμε τις λειτουργίες:

- Brightness Report: Στέλνει στο bus τη φωτεινότητα που μετρά
- Constant Brightness A: Ενεργοποιείται ο ελεγκτής σταθερού επίπεδου φωτεινότητας.

1.1.11 M/HS05.1 > Function status		
General	(1)Slave Movement sensor status report	☒ No ☐ Yes
Light control	(2)Brightness report	☐ No ☒ Yes
Function status		->Lux report mode
		☒ Report when changed ☐ Report cyclic
Constant brightness A	->Differential value for report (1..200lux)	20
	->Minimum time interval(1..255s)	1
Logic function A	(3)Temperature report	☒ No ☐ Yes
Block A	(4)Dry contact 1 report	☒ No ☐ Yes
A1: Dimming	(5)Dry contact 2 report	☒ No ☐ Yes

1.1.11 M/HS05.1 > Constant brightness A		
General	Lux value from	☒ Local lux sensor ☐ External lux telegram
Light control	->Constant brightness value(0~1200 lux)	230
Function status	Change constant brightness value via bus	☒ Disable ☐ Enable
Constant brightness A		Lux quiver(n%): constant brightness lux*((1-n %) and (1+n%))
		10%
Logic function A	Output setting:	
Block A	Minimum dimming time interval limit(0.1~5.0 s)	2.0 s
A1: Dimming	Minimum dimming step value limit(1~10%)	5%
A2: Switching	Maximum dimming step value limit(1~10%)	10%
A3: Switching	Minimum dimming value limit	0%
Logic function B	Maximum dimming value limit	100%
Logic function C	First dimming value of constant brightness after power on	last dimming value
Logic function D	Operational setting:	
Logic function E	Constant brightness control after power on	Recovery
	Constant brightness control start/stop via bus	Disable
	Output dimming value after constant brightness control stoped	Unchanged
	Forced operation	☒ Disable ☐ Enable
	Trigger	☒ Disable ☐ Enable
	$PI:u(k)=Kp(Proportional\ coefficient)[e(k)-e(k-1)]+Ki(integration\ time)e(k)$	
	Dimming speed (for PI)	Low(Ki=10%,Kp=10%)

Για την τελευταία, θα δημιουργήσουμε εσωτερικά του αισθητήρα έναν αυτοματισμό που η ανίχνευση κίνησης στο χώρο θα ξεκινά ή αντίστοιχα θα σταματά τον έλεγχο σταθερής φωτεινότητας και θα κλείνει τα φώτα. Αυτό γίνεται στο Logic Function A. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ρυθμίσουμε τον ελεγκτή, ώστε η αλλαγή στην έξοδο του να μην είναι απότομη και δυσανεστήσει το χρήστη (Low Dimming Speed & Minimum dimming time interval)

Βήμα 5°

Αντιστοιχίζουμε τις διευθύνσεις ομάδας. Ενδεικτικά, στο γραφείο εξυπηρέτησης, ο αισθητήρας, τελικά διαμορφώνεται ως εξής:

Group Objects 9			Parameters		Search							
Number	Name	Object Function	Linked with	Other Linked	Length	C	R	W	T	U	Data Type	
1	General	Heartbeat telegram			1 bit	C	-	-	T	U	boolean	
18	Function status	Brightness(Lux) value	15/0/0 S.O. Brightness Report		2 bytes	C	R	-	T	U	lux (Lux)	
26	Light channel 1 slave input	Movement status fro...			1 bit	C	-	W	-	U	switch	
27	Light channel 1 external input	External telegram			1 bit	C	-	W	-	U	switch	
31	Light channel 1 output	Switching			1 bit	C	R	-	T	U	switch	
62	Object output A2	Switching	2/0/223 Dimmer 6 Kanal A Ein Aus		1 bit	C	R	-	T	U	switch	
63	Object output A3	Switching	15/0/1 S.O. Start(1)/Stop(0) Control		1 bit	C	R	-	T	U	switch	
241	Constant brightness A	'1'-Start/'0'-Stop	15/0/1 S.O. Start(1)/Stop(0) Control		1 bit	C	-	W	T	U	start/stop	
242	Constant brightness A	Dimming output val...	4/0/223 Kopie von Dimmer 1 Kanal A Wert		1 byte	C	R	-	T	U	percentag...	

Με την ανίχνευση κίνησης, στέλνεται η 15/0/1 με ON(1) και ξεκινά ο έλεγχος του φωτισμού. Ο ελεγκτής, ανάλογα με τη φωτεινότητα που μετρά και το setpoint που θα του δοθεί, στέλνει την διεύθυνση 4/0/223 σε αντίστοιχο ποσοστό. Μετά το πέρας 10 λεπτών απουσίας κίνησης, στέλνεται με OFF(0), ο έλεγχος σταματά και η switching εντολή 2/0/223 στέλνεται με OFF(0) και τα φωτιστικά σβήνουν.

Βήμα 6°

Παραμετροποιούμε κάθε μπουτόν με τρόπο ώστε τελικά στα πάνω δύο πλήκτρα να ελέγχεται χειροκίνητα ο φωτισμός με toggling, στο κάτω αριστερά να υλοποιείται κάποιο σενάριο και στο κάτω δεξιά να ενεργοποιείται/απενεργοποιείται ο έλεγχος σταθερού επιπέδου φωτισμού.

1.136 Push button comfort 2gang > Push button 1

General	Function	Dimming
Push button 1	Function of status LED	Status indication
Push button 2	Flashing in case of status indication ?	☐ YES ☒ NO
Push button 3	Function of push button	Operation with one button: brighter / darker (TOG)
Push button 4	Time between switching and dimming base	130 msec
Alarm	Time between switching and dimming factor (2...127)	3
	Dimming brighter by	100%
	Dimming darker by	100%
	Telegram repetition ?	☐ YES ☒ NO
	Transmission of stop telegram ?	☒ YES ☐ NO

1.136 Push button comfort 2gang > Push button 3

General	Function	Value transmitter / light scene extension
Push button 1	Function of status LED	Status indication
Push button 2	Flashing in case of status indication ?	☒ YES ☐ NO
Push button 3	Function of push button	Value transmitter 1 Byte
	Value (0...255)	128
Push button 4	Variation by means of a long push	☐ enabled ☒ disabled

1.136 Push button comfort 2gang > Push button 4

General	Function	Switching / Toggle
Push button 1	Function of status LED	Status indication
Push button 2	Flashing in case of status indication ?	☐ YES ☒ NO
Push button 3	Command at pushing the push button	Toggle
	Command at releasing the push button	No function
Push button 4	Cyclic transmission	No cyclic transmission

Έτσι, για το service office έχουμε τις παρακάτω διευθύνσεις ομάδας.

Group Objects 6		Parameters		Search							
Number	Name	Object Function	Linked with	Other Linked	Length	C	R	W	T	U	Data Type
0	Push button 1	Switching	2/0/223 Dimmer 6 Kanal A Ein Aus		1 bit	C	-	W	T	-	Lc
1	Push button 2	Switching			1 bit	C	-	W	T	-	Lc
3	Push button 4	Switching	15/0/1 S.O. Start(1)/Stop(0) Control		1 bit	C	-	W	T	-	Lc
8	Push button 1	Dimming	3/0/223 Kopie von Dimmer 1 Kanal A dimm...		4 bit	C	-	-	T	-	Lc
9	Push button 2	Dimming			4 bit	C	-	-	T	-	Lc
10	Push button 3	Value transmitter 1 B...	4/0/223 Kopie von Dimmer 1 Kanal A Wert		1 byte	C	-	W	T	-	Lc

Η 3/0/223 είναι η αντίστοιχη 4 bit εντολή για το relative dimming των φωτιστικών. Εφόσον δεν υπάρχει δεύτερη ομάδα φωτισμού το πλήκτρο 2 μένει κενό.

Βήμα 7°

Συμπληρώνουμε αντίστοιχα τις διευθύνσεις ομάδας σε όλους του υπόλοιπους αισθητήρες και μπουτόν. Σε περίπτωση που ελεγκτής πρέπει να ελέγξει δύο ομάδες χρησιμοποιείται μια Γενική Εντολή, δηλαδή μια διεύθυνση ομάδας συνδέεται με 2 ή περισσότερα αντικείμενα dimming των dimmer και αυτή τελικά στέλνεται από τον αισθητήρα.

Βήμα 8°

Φορτώνεται η φυσική διεύθυνση και το πρόγραμμα εφαρμογής κάθε αισθητήρα. Στα μπουτόν, καθώς έχουν ήδη φυσική διεύθυνση, φορτώνεται μόνο το πρόγραμμα εφαρμογής.

Φόρτιση	Αναίρεση	Πάνελ
Πλήρης Φόρτιση		
Μερική Φόρτιση		λες συνδεδ Μή
Φόρτιση Ατομικής Διεύθυνσης		1 bit
Αντικατάσταση Ατομικών Διευθύνσεων		2 by
Φόρτιση Εφαρμογής		1 bit

Βήμα 9°

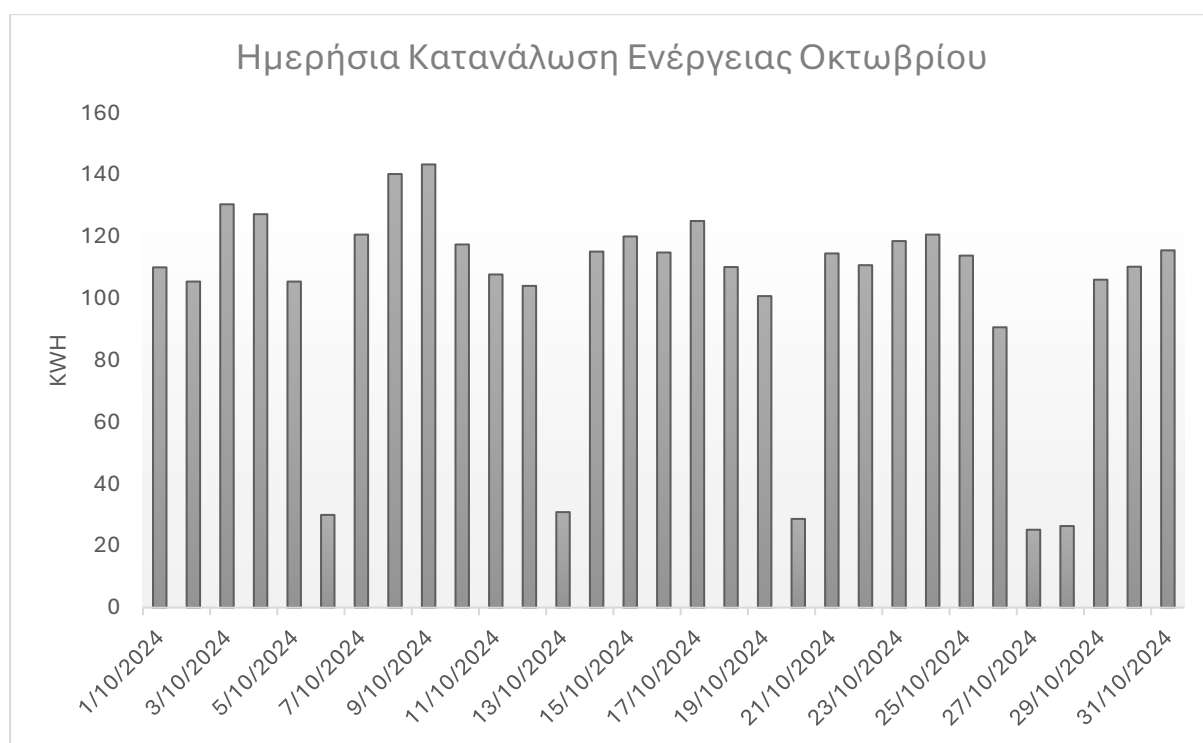
Όπως περιεγράφηκε και στην παράγραφο 3.5.7, για κάθε ανιχνευτή πρέπει να ακολουθηθεί μια διαδικασία ώστε να βρεθεί το setpoint του ελεγκτή. Τα αποτελέσματα γράφονται manually στην παραμετροποίηση του ανιχνευτή.

Βήμα 10°

Φορτώνεται εκ νέου πρόγραμμα με τις νέες τιμές, γίνονται οι τελικές ρυθμίσεις όπου χρειάζεται και ελέγχεται η ορθή λειτουργία του συστήματος σε κάθε χώρο με τη χρήση φωτόμετρου.

6.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Για την ορθή αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου, πήραμε μετρήσεις από το μετρητή ενέργειας που είναι εγκατεστημένος στον κεντρικό πίνακα. Οι μετρήσεις έγιναν τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο, οι οποίοι είχαν παρεμφερείς κλιματικές συνθήκες, ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις λόγω της κατανάλωσης των κλιματιστικών για τη θέρμανση του χώρου. Συγκεκριμένα, το μήνα Οκτώβριο οι μετρήσεις, έγιναν χωρίς να γίνει κάποια επέμβαση στο χώρο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1 Κατανάλωση Ενέργειας Οκτωβρίου

Συνολικά, το μήνα Οκτώβριο η συνολική κατανάλωση ήταν 3031.4 kWh.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των φωτιστικών στα γραφεία που πραγματοποιήθηκαν οι αλλαγές και αποτελούν το σημείο ενδιαφέροντος υπολογίστηκε 1139.4W.

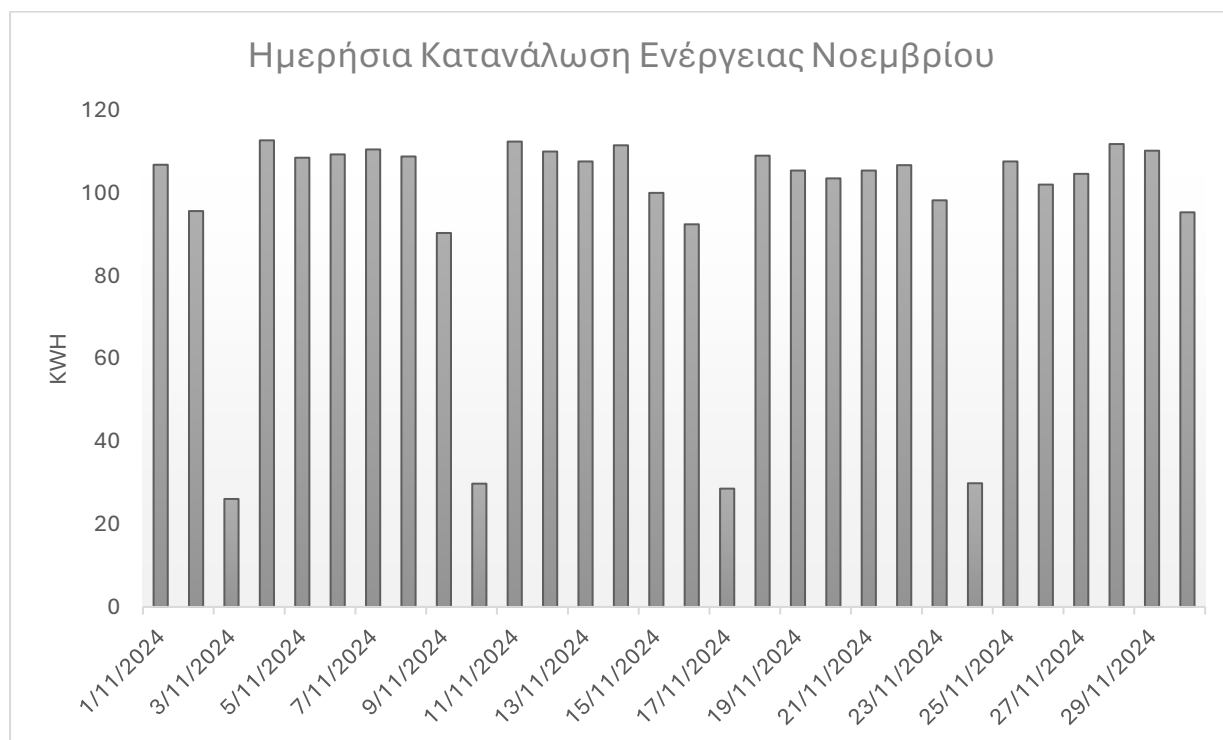
- Γραφείο Εξυπηρέτησης: 101.2W
- Γραφείο Υπηρεσιών: 416W
- Γραφεία ανοικτού πλάνου: 204.2W
- Γραφείο Λογιστηρίου: 191W
- Γραφείο Υποδιευθυντή: 96W
- Γραφείο Διευθυντή: 131W

Δεδομένου, πως το γραφείο λειτουργεί 6 ημέρες κάθε βδομάδα και κατά μέσο όρο 9 ώρες τη μέρα, υπολογίζεται πως η συνολική κατανάλωση του φωτισμού των γραφείων είναι 266.5 kWh, και αποτελεί το 8.7% της συνολικής κατανάλωσης.

Το Νοέμβριο, τέθηκαν σε λειτουργία οι αισθητήρες φωτισμού. Η νέα συνολική κατανάλωση που μετρήθηκε για το μήνα Νοέμβριο, ήταν 2852.9 kWh. Συνεπώς, θεωρώντας πως τα υπόλοιπα φορτία του κτιρίου συνεισφέρουν το ίδιο και εφαρμόζοντας μόνο τη μέθοδο

αντιστάθμισης, καταφέραμε να εξοικονομήσουμε 178.5 kWh σε ένα μήνα, δηλαδή το 67% της κατανάλωσης του προηγούμενου μήνα στο φωτισμό. Συνολικά, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτεύχθηκε ήταν 5.8%

Θεωρώντας, σύμφωνα με τα δεδομένα της Ρυθμιστής Αρχής Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων (Ρ.Α.Α.Ε.Υ), την τιμή της κιλοβατώρας 0.15€/kWh για επαγγελματικά τιμολόγια, το μήνα Νοέμβριο εξοικονομήσαμε συνολικά 26,7€. Συνεπώς, το χρόνο εξοικονομούνται 320.4€ και ο χρόνος απόσβεσης υπολογίζεται περίπου στα 4 έτη. Τα αποτελέσματα βρίσκονται μέσα στα πλαίσια της πρόβλεψης του σχήματος 1.31.



Σχήμα 6.2 Κατανάλωση Ενέργειας Νοεμβρίου

6.4 Αλλαγή φωτιστικών σωμάτων

Υποθετικά, θα μπορούσαμε να επιλέξουμε για κάθε ένα από τα γραφεία, με γνώμονα τη βέλτιστη και οικονομικότερη λύση, μια διάταξη φωτιστικών και να υπολογίσουμε τη νέα θεωρητική κατανάλωση και το νέο κόστος της εγκατάστασης, υποθέτοντας ίδιο ποσοστό εξοικονόμησης.

Έτσι, με δεδομένα τις ώρες λειτουργίας των γραφείων, τη τιμή της kWh και το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που υπολογίστηκε στην προηγούμενη παράγραφο έχουμε:

Χώρος	Αρχική Εγκατάσταση(W)	Τελική Εγκατάσταση(W)
Γραφείο Εξυπηρέτησης	101.2	82
Γραφείο Υπηρεσιών	416	77.2
Γραφεία ανοικτού πλάνου	204.2	162
Γραφείο Λογιστηρίου	191	60
Γραφείο Υποδιευθυντή	96	48
Γραφείο Διευθυντή	131	48
Συνολική κατανάλωση	1139.4	477.2

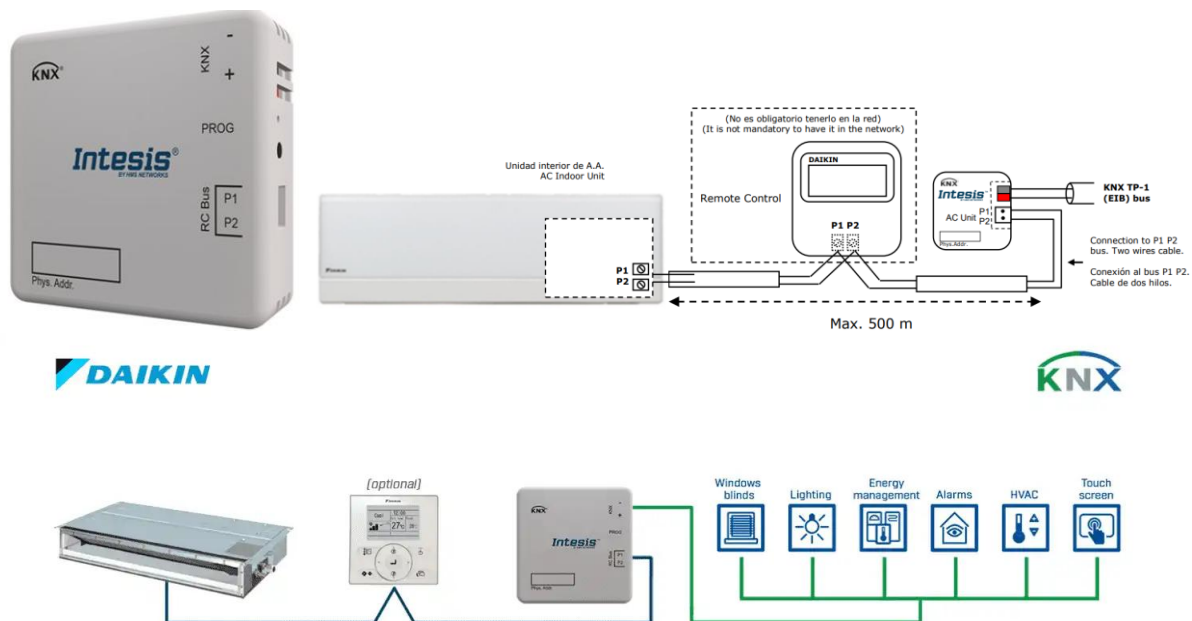
Περιγραφή	Αρχική Εγκατάσταση	Αρχική Εγκατάσταση με αισθητήρες	Τελική Εγκατάσταση
Συνολική κατανάλωση (W)	1139,4	1139,4	477,2
Κόστος εγκατάστασης (€)		1327,15	8207,15
Κατανάλωση εγκατάστασης/χρόνο (€)	479,9	158,4	66,3
Χρόνος απόσβεσης (έτη)		4,1	19,8

Παρατηρούμε πως ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης που προτείνεται είναι πολύ μεγάλος σύμφωνα με το Σχήμα 1.31.

Συνεπώς, με τα φωτιστικά που έχουμε επιλέξει, μπορεί να πληρούνται οι απαιτήσεις της εγκατάστασης, το κόστος όμως μπορεί να θεωρηθεί απαγορευτικό.

6.5 Θέρμανση – Ψύξη

Τα συστήματα αυτοματισμού κτιρίων, άρα και το KNX δε χρησιμοποιείται μόνο για τον έλεγχο φωτισμού. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 1.7, ένα ενεργοβόρο και κριτικής σημασίας σύστημα που μπορεί να ενσωματωθεί στο κεντρικό σύστημα διαχείρισης του κτιρίου είναι το σύστημα θέρμανσης και ψύξης και ειδικότερα ο κλιματισμός. Υπάρχουν εταιρείες που κατασκευάζουν συσκευές KNX, οι οποίες συνδέονται με τις μονάδες κλιματισμού ως τοπικά ή κεντρικά χειριστήρια και μεταφράζουν τις εντολές του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιεί ο κλιματισμός σε εντολές KNX.



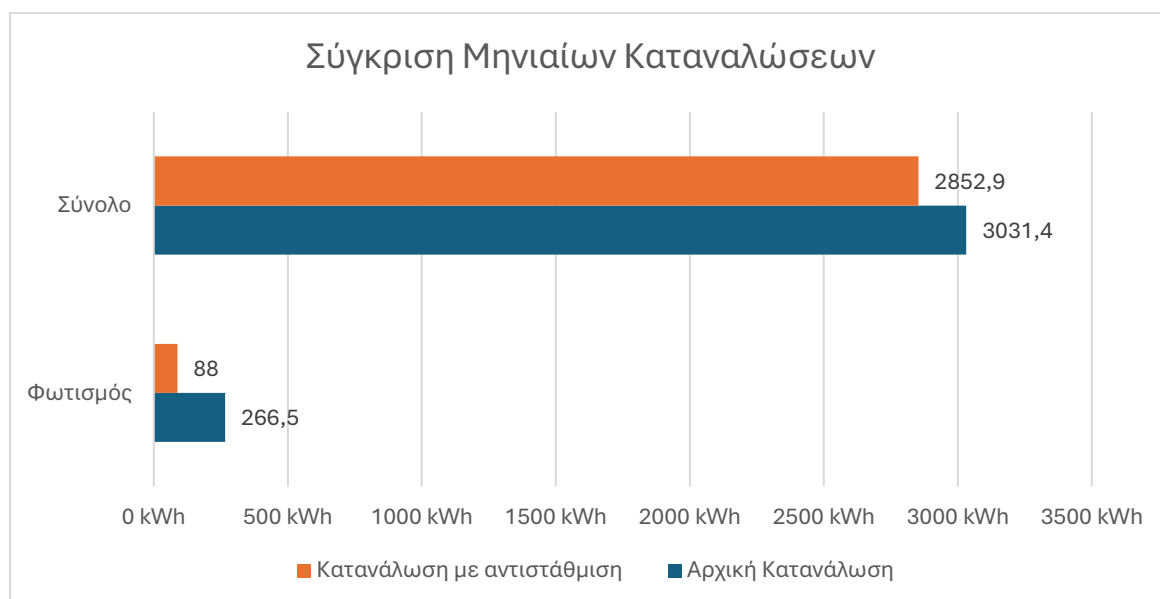
Σχήμα 6.3 Συσκευή KNX για έλεγχο κλιματιστικών DAIKIN [52]

Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να πραγματοποιηθεί μια συνολική μελέτη που θα ασχολείται με την ανάλυση και εφαρμογή διαφόρων στρατηγικών ελέγχου του κλιματισμού και την επίδραση που έχει η κάθε μια στη συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

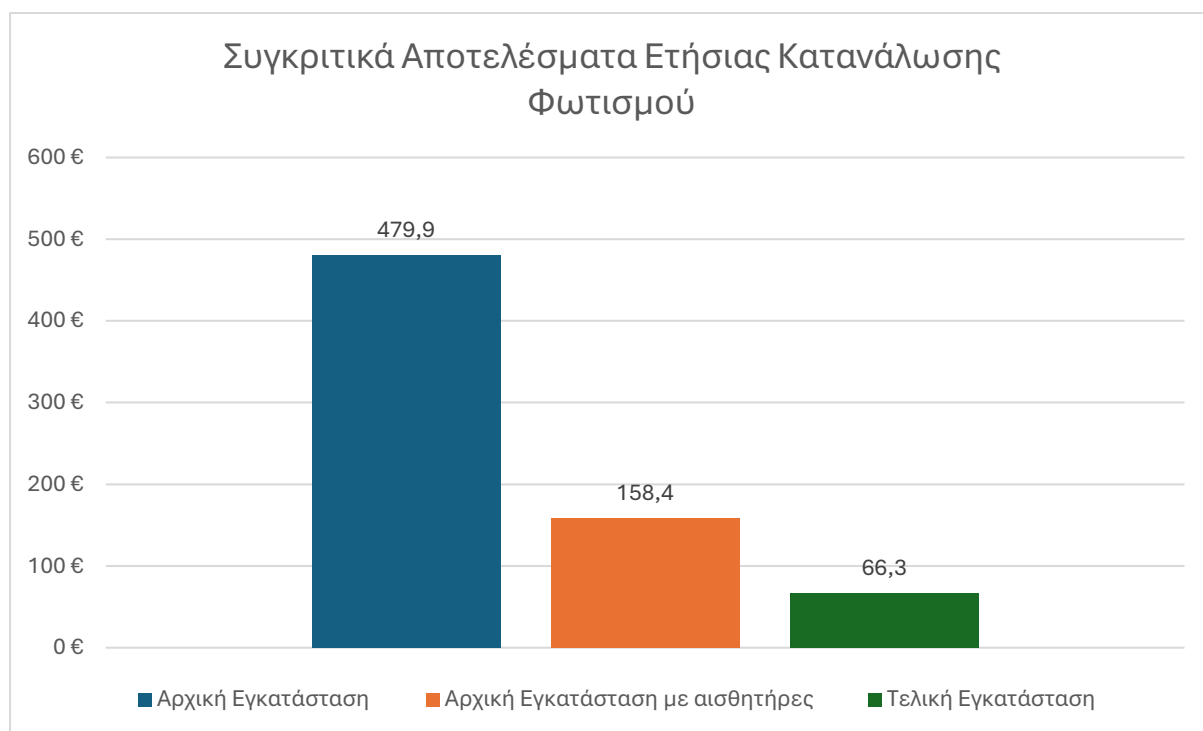
Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε αναλυτικά ένα κτίριο γραφείων στο οποίο, στα πλαίσια ανακαίνισης του, στόχος ήταν η μελέτη και η εφαρμογή μέσων εξοικονόμησης στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, καθώς η υπάρχουσα εγκατάσταση αποτελείται από λαμπτήρες φθορισμού και λάμπες αλογόνου, πραγματοποιήθηκε μελέτη φωτισμού στην οποία επιλέχθηκαν αποκλειστικά φωτιστικά LED και λήφθηκε υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή χωρίς την παρουσία φυσικού φωτός. Για την αξιολόγηση των διαφορετικών φωτιστικών ανά χώρο, εφαρμόστηκε η πολυκριτήρια μέθοδος ELECTRE I, η οποία μέσω προσεκτικής επιλογής κριτηρίων, βαρών, κατωφλίων βέτο, ανέδειξε για κάθε γραφείο τις βέλτιστες λύσεις. Στόχος της μελέτης ήταν η επίτευξη της κατάλληλης στάθμης φωτισμού, με όση δυνατόν υψηλότερη ομοιομορφία, χαμηλή κατανάλωση, λιγότερη θάμβωση και δίνοντας έμφαση στα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά. Η μέθοδος ELECTRE I, αναδεικνύεται ως μια χρήσιμη μέθοδος που παρέχει στο μηχανικό, με τη χρήση μαθηματικού μοντέλου, τη δυνατότητα εύρεσης των βέλτιστων επιλογών σε σύνθετα, και με πολλές εναλλακτικές, προβλήματα απόφασης.

Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη μελέτη και προγραμματισμός ενός συστήματος ελέγχου φωτεινότητας μέσω πρωτοκόλλου αυτοματισμού KNX. Στόχος ήταν η εγκατάσταση αισθητήρων φωτεινότητας ώστε αφενός να επιτευχθεί σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στην επιφάνεια εργασίας και αφετέρου να αξιοποιηθεί το φυσικό φως στο χώρο. Οι αισθητήρες που επιλέξαμε, είχαν ενσωματωμένο και αισθητήρα κίνησης με αποτέλεσμα να μπορούμε να συνδυάσουμε την παραπάνω μέθοδο με τη χρήση ή όχι του χώρου αυτού για μεγαλύτερη εξοικονόμηση. Στο κτίριο που εξετάσαμε, είχε ήδη εγκατασταθεί σύστημα KNX για τον έλεγχο του φωτισμού μέσω μπουτόν, συνεπώς η προσθήκη ήταν αποκλειστικά οι αισθητήρες. Τα αποτελέσματα έπεται από δύο μήνες μετρήσεων της κατανάλωσης ενέργειας των γραφείων, ένα μήνα πριν την προσθήκη και ένα μήνα έπειτα αυτής, παρατηρήθηκε πως εξοικονομήθηκαν συνολικά 228.3kWh. Επομένως, η εγκατάσταση κρίνεται βιώσιμη, καθώς ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης είναι αποδεκτός.

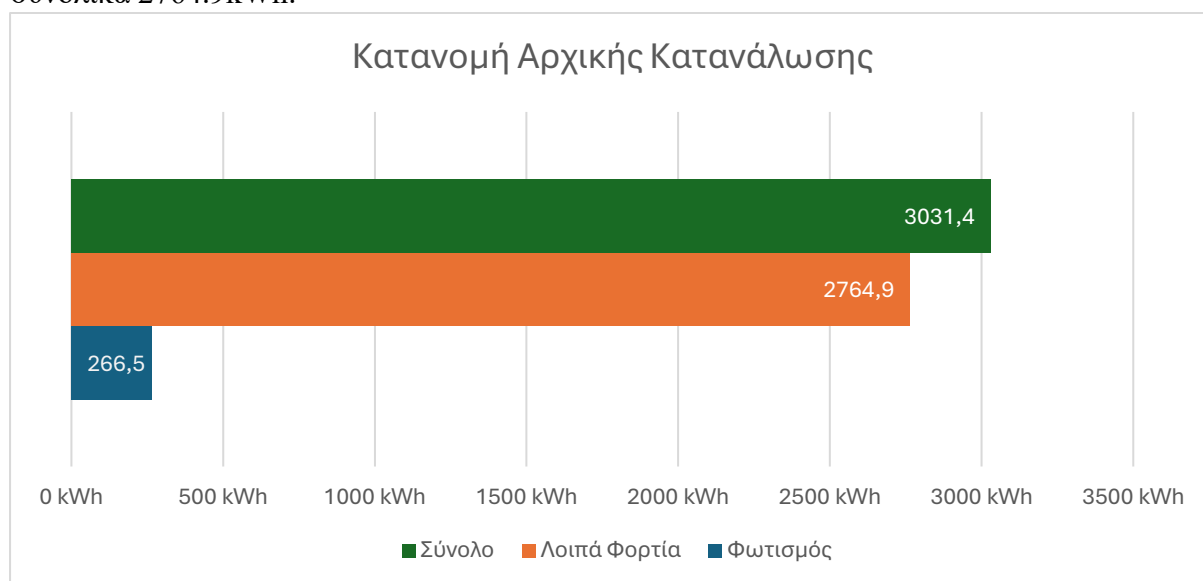


Σε περίπτωση που επιλέξουμε και τις βέλτιστες επιλογές που αναδείχθηκαν για κάθε χώρο στο Κεφάλαιο 5, το κόστος αυξάνεται σημαντικά και υπολογίζεται πως η εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτύχουμε δεν αρκεί να αποσβέσει την επένδυση στα χρονικά πλαίσια που έχουν τεθεί.



Φυσικά βέβαια, πρέπει να λάβουμε υπόψη πως μια εταιρεία που προχωρά σε αναβάθμιση του κτιρίου της, εκτός από εξοικονόμηση ενέργειας, έχει ως στόχο και την αναβάθμιση της εικόνας της προς τους πελάτες της. Συνεπώς, το επιπλέον κόστος των φωτιστικών, μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή επένδυση για το μέλλον της εταιρείας, καθώς θα λειτουργήσει θετικά ως προς το προφίλ της και το marketing.

Παρόλα αυτά, ο φωτισμός δεν αποτελεί τον κύριο καταναλωτή στο κτίριο. Παρατηρώντας τις μετρήσεις και με βάση τους υπολογισμούς, τα λοιπά φορτία στο κτίριο καταναλώνουν συνολικά 2764.9kWh.



Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, η αναβάθμιση σε ενεργειακά αποδοτικότερο σύστημα θέρμανσης και ψύξης και η ενσωμάτωση του στον αυτοματισμό, έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερα ποσοστά εξοικονόμησης με σχετικά λίγα χρόνια απόσβεσης. Θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον μια αντίστοιχη μελέτη εγκατάστασης στο κτίριο, δηλαδή πόσο επηρεάζει η εγκατάσταση μιας αποδοτικότερης πηγής ενέργειας αλλά και η ενσωμάτωση αυτής σε ένα σύστημα αυτοματισμού που κεντρικό στόχο έχει την εξοικονόμηση ενέργειας με γνώμονα τη θερμική άνεση του χρήστη.

Βιβλιογραφία

- [1] Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης, Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας Ετήσια Έκθεση 2023, www.iene.gr/articlefiles/IENE_MELETI_2023_web.pdf
- [2] IEA (2024), Global Energy and Climate Model, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model>, Licence: CC BY 4.0
- [3] Statista(2024), Monthly fossil fuel price indices worldwide in select months from January 2022 to July 2024, by fuel, <https://www.statista.com/statistics/1348>
- [4] IEA (2024), World Energy Outlook 2024, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)
- [5] Enerdata, World Energy & Climate Statistics Year 2024, <https://yearbook.enerdata.net/>
- [7] Eurostat, Κατανάλωση πετρελαίου στην ενέργεια σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου Mtoe
- [8] Eurostat, Εκπομπές αερίων CO² στην Ευρώπη
- [9] Eurostat, Μείγμα ενέργειας 2021
- [10] Eurostat, Τελική κατανάλωση Ε.Ε ανά οικογένεια καυσίμων 2022
- [11] Eurostat, Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε ανά οικογένεια καυσίμου
- [12] Eurostat, Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε από άκαυστες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- [13] Eurostat, Συνολική ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανά πηγή
- [14] Eurostat, Συνολική παροχή ενέργειας στην Ελλάδα, ανά οικογένεια καυσίμου
- [15] Eurostat, Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα σε ΜΤΙΠ
- [16] Eurostat, Τελική κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα σε ΜΤΙΠ
- [17] European Council, Council of the European Union, Policy Fit for 55, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/#:~:text=Fit%20for%2055%20refers%20to,line%20with%20the%202030%20goal>
- [18] European Commission (2021), The European Green Deal, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [19] IEA (2023), Greece 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/greece-2023>, Licence: CC BY 4.0
- [20] European Commission (2021), Energy Performance of Buildings Directive, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [21] Gaglia, Athina & Balaras, Constantinos & Mirasgedis, Sebastian & Georgopoulou, Elena & Sarafidis, Y. & Lalas, Dimitri. (2009). Κτιριακό Απόθεμα, Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας και Μείωση Ρύπων στον Οικιακό & Τριτογενή Τομέα στην Ελλάδα – Μέτρα Αντιμετώπισης.
- [22] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ Τεύχος Β' 974/12.03.2021
- [23] E.G. Dascalaki , C.A. Balaras, A.G. Gaglia, K.G. Droutsas, S. Kontoyiannidis - Energy performance of buildings—EPBD in Greece
- [24] Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων ΓΣΕΒΕΕ, Στυλιανός Λαμπρακόπουλος (2020), Η εξέλιξη του κατασκευαστικού κλάδου: από τη δημιουργία στη συντήρηση του κτιριακού αποθέματος <https://imegsevee.gr/wp-content/uploads/2020/12/lamprakopoulos.pdf>

- [25] Ε.Γ. Δασκαλάκη, Κ. Δρούτσα, Κ.Α. Μπαλαράς, Σ. Κοντογιαννίδης(2016), Τυπολογία Ελληνικών Κτιρίων Κατοικίας Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας
https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/GR_TABULA_TypologyBrochure_NOA.pdf
- [26] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ Τεύχος Β' 5447/05.12.2018
- [27] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής(2014), Έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την κινητοποίηση επενδύσεων για την ανακαίνιση και μετατροπή του εθνικού κτιριακού αποθέματος, αποτελούμενου από κατοικίες και εμπορικά κτίρια, δημόσια και ιδιωτικά, σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης, απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές έως το 2050 (Άρθρο 2Α ν. 4122/2013)
- [28] Siemens, Ημερίδα Ελληνικού Παραρτήματος ASHRAE
Αναβάθμιση της ενεργειακής συμπεριφοράς υφιστάμενων και νέων κτιρίων με τη χρήση Κτιριακών Αυτοματισμών
<https://www.ashrae.gr/perch/resources/presentation07bouladakis.pdf>
- [29] Antonin van de Bree, Bernhard von Manteuffel, Lou Ramaekers, Markus Offermann (2014), ECOFYS, Role of Building Automation related to Renewable Energy in nZEB's
- [30] Jean Daniel Napar, Roland Ullmann & Waechter Klaus(2015), REHVA Journal, pp. 11-16
<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/towards-nzeb-with-bac>
- [31] Ελληνικό Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία,
<https://www.elinyae.gr/en/node/73370>
- [32] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας(2011), Πρόγραμμα Βιοκλιματικών Αναβαθμίσεων Δημόσιων Ανοικτών Χώρων
http://www.cres.gr/kape/Scientific_Guide_19_7.pdf
- [33] IEA (2024), Lighting
<https://www.iea.org/energy-system/buildings/lighting>
- [34] I. C. Systems, "Chapter 6: Lighting control systems Topics covered," pp. 137–182.
- [35] Α. Τσαγκρασούλης, ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ, Τμ. Αρχιτεκτόνων Μηχανικών , Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- [36] VELUX, Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book
<https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/daylight-requirements-in-building-codes>
- [37] Omorogiuwa, Dr & Temitope, Isaac. (2019). Design Optimization and Implementation of Smart Building Management System in Nigeria. Pharmaceutica Analytica Acta. Volume 4. 1-16. 10.5281/zenodo.3465243.
- [38] Johan Kensby & Rasmus Olsson(2012) Building Automation Systems Design Guidelines for Systems with Complex Requirements
<https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/156136.pdf>
- [39] H. Merz & T. Hansemann & C. Hubner (2009) Building Automation, Communication Systems with EIB/KNX, LON and BACnet
- [40] Wong Seok Song, Seung Ho Hong, Steven T. Bushby: A Simulation Analysis of BACnet Local Area Networks
- [41] Robert S. Simpson, Lighting Control – Technology and Applications
- [42] Lighting Control Protocols, IES TM-23-11
- [43] Futurasmus, KNX Online training, <https://www.futurasmus-knxgroup.com/>
- [44] KNX Association, KNX Basics, https://www.knx.fi/doc/esitteet/KNX-Basics_en.pdf

- [45] Στέφανος Τουλόγλου, EIB/KNX, Τεχνική ηλεκτρικών εγκαταστάσεων
- [46] ABB Lighting Constant lighting control
- [47] Commissioning light regulation TRIDONIC
- [48] Lighting Control- Knx Advanced Systems
- [49] Μ. Σαμουηλίδης, Κ. Βλάχος και Γ. Ψαράς, Συστήματα Αποφάσεων, Εκδόσεις ΕΜΠ, 1986.
- [50] Ι. Σίσκος, Μοντέλα Αποφάσεων, Αθήνα : Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2008.
- [51] K. Govindan και M. B. Jepsen, ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, European Journal of Operational Research, 2015.
- [52] Intesis, Daikin VRV and Sky systems to KNX Interface
<https://www.hms-networks.com/p/inknxdai001r000-daikin-vrv-and-sky-systems-to-knx-interface?tab=tab-support>