ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Τεχνο-οικονομική μελέτη για την αξιολόγηση παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης και έξυπνης διαχείρισης φωτισμού αξιοποιώντας το δίκτυο LoRaWAN στο Δήμο Περιστερίου»

Παρασκευή Α. Παναγοπούλου

Επιβλέπων:

Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Σχολής ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιανουάριος 2022

…….

Παρασκευή Α. Παναγοπούλου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών ΕΜΠ

Copyright © – Παρασκευή Παναγοπούλου, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

……..

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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 το συγγραφέα.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στον κ. Ματσόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα των Τεχνο-οικονομικών Συστημάτων.

Κλείνοντας, δε θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες στην οικογένεια μου για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη της κατά τη διάρκεια όλων των σπουδών μου. Ευχαριστώ τους γονείς μου, Αποστόλη και Αντιγόνη, για την αγάπη τους, την υπομονή τους και την συμπαράσταση τους σε κάθε στάδιο της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση όλων των καινοτόμων συστημάτων και εφαρμογών που θα εφαρμοσθούν στο δήμο Περιστερίου με στόχο την ενεργειακή αναβάθμιση και την έξυπνη διαχείριση των φωτιστικών σωμάτων δύο μεγάλων πεζόδρομων του δήμου κάνοντας χρήση του δικτύου LoRaWAN. Λαμβάνοντας υπόψη το αρχικό κόστος εγκατάστασης και την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους που προκύπτει αν συγκρίνουμε τα νέα έξυπνα τηλεδιαχειριζόμενα φωτιστικά με τα αντίστοιχη συμβατικά, παρουσιάζεται μία τεχνο-οινομική μελέτη σε βάθος 20-ετίας. Σύμφωνα με αυτή την μελέτη, προκύπτει ότι θα υπάρξει μακροπρόθεσμη απόσβεση και ότι σε κάθε περίπτωση η επένδυση είναι επικερδής, δεδομένου ότι επιτυγχάνεται επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας και αναβάθμιση της καθημερινής ζωής των πολιτών και των επισκεπτών του δήμου Περιστερίου.

Λέξεις κλειδιά:

έξυπνος φωτισμός, δίκτυο LoRaWAN, έξυπνες πόλεις, ραδιοκάλυψη, τεχνο-οικονομική μελέτη

ABSTRACT

This paper presents all innovative systems and applications that will be implemented in the municipality of Peristeri with the aim of energy upgrading and intelligent management of the lighting of two large sidewalks of the municipality using the LoRaWAN network. Taking into account the initial installation costs and the energy and cost savings resulting from the comparison of the new smart remote-controlled luminaires with the corresponding conventional ones, a 20-year in-depth feasibility study is presented. This study shows that there will be long-term depreciation and that in any case the investment is profitable, as additional energy savings and upgrading of daily living in schools are achieved.

Keywords

smart lighting, LoRaWAN network, smart cities, radio coverage, techno-economic study

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 7
ABSTRACT 9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 11
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ 13
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ 15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ CASE STUDY 21
1.1 Στόχος του έργου 21
1.2 Στοιχεία έργου 21
1.3 Υφιστάμενη κατάσταση 22
1.3.1 Παρουσίαση προβλημάτων 22
1.3.2 Τύποι εγκατεστημένων Φωτιστικών 23
1.3.3 Αποτύπωση κατάστασης 25
1.3.3.1 Πεζόδρομος Εθνικής Αντιστάσεως 25
1.3.3.2 Πεζόδρομος Μεγάλου Αλεξάνδρου 27
1.3.3.3 Ευαγγελίστρια 29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΟ ΦΩΤΙΣΜΟ 31
2.1 Φωτισμός τεχνολογίας LED 31
2.1.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη φωτεινών πηγών 31
2.1.2 Τεχνολογία LED 34
2.1.2.1 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι 34
2.1.2.2 Πλεονεκτήματα SSL 36
2.1.2.3 Προβλήματα που αφορούν στην αφομοίωση των προϊόντων 38
2.1.3 Φωτιστικά σώματα 41
2.1.3.1 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών και προδιαγραφών φωτιστικών σωμάτων 41
2.1.3.2 Διατάξεις στήριξης φωτιστικών σωμάτων 44
2.2 Ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων 45
2.2.1 Ιστορική Αναδρομή 45
2.2.2 Υποδοχή NEMA επτά ακίδων (seven-pin NEMA socket) 46
2.2.3 Υποδοχή ZHAGA BOOK 18 48
2.2.4 Σύγκριση μεταξύ NEMA 7PIN και Zhaga Book 18 50
2.3 Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things-IoT) 51
2.3.1 Είδη δικτύων για επικοινωνία IoT συσκευών 52
2.3.1.1 Συνδεσιμότητα Μικρής Εμβέλειας 52
2.3.1.2 Συνδεσιμότητα Μεγάλης Εμβέλειας 53
2.3.1.3 LP-WAN λύσεις για υπηρεσίες IoT 54
2.3.2 Επιλογή Δικτύου 56

2.4 Πλατφόρμα συλλογής, απεικόνισης δεδομένων και έξυπνης διαχείρισης Φωτιστικών σωμάτων 57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ CASE STUDY 59

3.1 Φωτισμός τεχνολογίας LED 59
3.1.1 Απαιτήσεις μελέτης 59
3.1.2 Αποτελέσματα φωτοτεχνικής μελέτης και επιλογή φωτιστικών 61
3.1.2.1 Πεζόδρομος Εθνικής Αντιστάσεως 61
3.1.2.2 Πεζόδρομος Μεγάλου Αλεξάνδρου 63
3.2 Ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων 65
3.3 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things -IoT) 66
3.3.1 Μελέτη Ρδιοκάλυψης 67
3.3.2 Επιλογή κόμβων τηλεδιαχείρισης (Gateways) 71
3.4 Πλατφόρμα συλλογής, απεικόνισης δεδομένων και έξυπνης διαχείρισης Φωτιστικών σωμάτων 71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΤΗΣΙΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΙΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΒΑΘΟΣ 20ΕΤΙΑΣ 73

4.1 Αρχικό Κόστος Εγκατάστασης Συστημάτων 73
4.2 Ετήσιο Όφελος Εξοικονόμησης 74
4.3 Υπολογιζόμενα Οφέλη Εξοικονόμησης σε βάθος 20ετίας, Απεικόνιση Χρηματοοικονομικών δεικτών 77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 83

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 85

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α 87

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β 91

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πεζόδρομος Εθνικής Αντιστάσεως 25
Εικόνα 2: Εθνικής Αντιστάσεως 1-Google Earth 25
Εικόνα 3: Εθνικής Αντιστάσεως 2-Google Earth 26
Εικόνα 4: Πεζόδρομος Μεγάλου Αλεξάνδρου 27
Εικόνα 5: Μεγάλου Αλεξάνδρου 1-Google Earth 27
Εικόνα 6: Μεγάλου Αλεξάνδρου 2-Google Earth 28
Εικόνα 7: Ευαγγελίστρια-Υπάρχουσα κατάσταση [38] 29
Εικόνα 8: Ευαγγελίστρια-Νέα Εγκατάσταση [38] 30
Εικόνα 9: Απεικόνιση της κατασκευαστικής δομής ενός LED (Πηγή: http://www.lightingexpert.gr/) 35
Εικόνα 10: LED p-n junction (Πηγή: LED,Μωραΐτης ΑΒΕΕ, 2013) 35
Εικόνα 11: Τυπική διάταξη ενός LED driver. (Πηγή: http://www.thinkisemi.com/join.php?cid/14.htm) 42
Εικόνα 12: Υποδοχή seven-pin NEMA 46
Εικόνα 13:Ελεγκτής φωτιστικού σώματος NEMA 7 pin 48
Εικόνα 14: Υποδοχή ZHAGA BOOK 18 48
Εικόνα 15:Παράδειγμα προσθήκης μιας δεύτερης υποδοχής Zhaga (πηγή : https://www.flux-lighting.com/newsroom/zhaga-components/) 49
Εικόνα 16: Ελεγκτής φωτιστικού σώματος ZHAGA (πηγή: https://intelilight.eu/intelilight-new-zhaga-socket) 50
Εικόνα 17: Εφαρμογές IoT 51
Εικόνα 18: Ενεργειακή απόδοση και κόστος τελικής συσκευής και συνδέσεως 53
Εικόνα 19: Data rate και κάλυψη 54
Εικόνα 20: Πλεονεκτήματα μεταξύ των τεχνολογιών IoT σε διαφορετικούς παράγοντες 56
Εικόνα 21: Επιλεχθέν φωτιστικό για το φωτισμό της Εθνικής Αντιστάσεως 62
Εικόνα 22: Κάτοψη Εθνικής Αντιστάσεως-Φωτισμός επιφάνειας 62
Εικόνα 23: Τρισδιάστατη απεικόνιση Εθνικής Αντιστάσεως με φωτιστικά 63
Εικόνα 24: Επιλεχθέν φωτιστικό για το φωτισμό της Εθνικής Αντιστάσεως 64
Εικόνα 25: Κάτοψη Μεγάλου Αλεξάνδρου-Φωτισμός επιφάνειας 64
Εικόνα 26: Τρισδιάστατη απεικόνιση Μεγάλου Αλεξάνδρου με φωτιστικά 65
Εικόνα 27: Επιλογή NEMA 7 PIN controller 66
Εικόνα 28: Αποτελέσματα θεωρητικής μελέτης ραδιοκάλυψης 68
Εικόνα 29: Περιβάλλον λογισμικού «Cloud-RF» 68
Εικόνα 30: Παράμετροι του "RF Cloud" 70
Εικόνα 32: Απεικόνιση χρηματοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης σε βάθος 20-ετίας 81

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Υπάρχουσα κατάσταση & πρόταση αντικατάστασης φωτιστικών [38] 24
Πίνακας 2: Απαιτούμενη Ενεργειακή αναβάθμιση [38] 24
Πίνακας 3: Φωτιστικά & Λαμπτήρες-Εθνικής Αντιστάσεως [38] 26
Πίνακας 4: Φωτιστικά & Λαμπτήρες-Μεγάλου Αλεξάνδρου [38] 28
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση δείκτη χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών (Πηγή: www.ktirio.gr) 33
Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση φωτεινών πηγών με τη θερμοκρασία χρώματος κατά CIE (Πηγή: www.ktirio.gr) 33
Πίνακας 7: Προσδιορισμός βαθμού προστασίας [19] 44
Πίνακας 8: Περιορισμοί Φωτιστικών LED[38] 59
Πίνακας 9: Πρότυπες Αντιπροσωπευτικές Οδοί[38] 60
Πίνακας 10: Συνολικό κόστος αναβάθμισης του συστήματος ηλεκτροφωτισμού 73
Πίνακας 11: Αναγωγή υφιστάμενης κατάστασης σε βάθος 20ετίας 77
Πίνακας 12: Αναγωγή επένδυσης σε βάθος 20ετίας 78
Πίνακας 13: Συνολική Παρουσίαση της αναγωγής του οφέλους σε βάθος 20ετίας 79
Πίνακας 14: Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης σε βάθος 20-ετίας 80

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προστασία του περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας, η βιώσιμη ανάπτυξη για καλύτερη ποιότητα ζωής για τις επόμενες γενιές είναι κρίσιμα θέματα που προσπαθεί να αντιμετωπίσει η σήμερα η παγκόσμια κοινωνία. Επιτακτική είναι η ανάγκη για μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και κατά συνέπεια τον περιορισμό των εκπομπών CO2 στην ατμόσφαιρα. Είναι γεγονός ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του οδοφωτισμού είναι τεράστια και η μείωση της αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας για τις κυβερνήσεις παγκοσμίως. Ο δημόσιος φωτισμός αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μερίδιο του συνολικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, που αντιπροσωπεύει μέχρι και το 60% αυτού του προϋπολογισμού.

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης είναι επί του παρόντος οι κύριοι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται στον δημόσιο φωτισμό. Ωστόσο, η δυνατότητα χρήσης διόδων εκπομπής φωτός υψηλής ισχύος (LED) για φωτισμό δρόμου αυξάνεται συνεχώς λόγω της μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης, της στιβαρότητας, της μεγάλης διάρκειας ζωής και του ελέγχου φωτός τους.

Εκτός από την αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων φωτισμού με λαμπτήρες τεχνολογίας LED ολοένα και εμφανίζεται επιτακτική η ανάγκη υιοθέτησης «έξυπνων» καινοτόμων συστημάτων τηλεδιαχειρισμού τα οποία θα δώσουν λύσεις σε παραδοσιακά προβλήματα των δικτύων οδοφωτισμού. Απαιτείται πρωτίστως η αλλαγή νοοτροπίας από την κεντρική διοίκηση των δήμων, προκειμένου να αναλάβουν δράσεις πέραν της εφαρμογής πιλοτικών έργων, οι οποίες θα ενσωματώνουν τις νέες τεχνολογίες και τα καινοτόμα συστήματα σε ευρεία κλίμακα.

Τα νέα τηλεδιαχειριζόμενα συστήματα φωτισμού που εγκαθιστώνται περιλαμβάνουν φωτιστικά σώματα τύπου led τα οποία προσφέρουν σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων σε επίπεδο μονάδας φωτιστικού ή σε επίπεδο ομάδας φωτιστικών (πίλλαρ ελεγκτές), δημιουργία δικτύου χαμηλής ισχύος και ευρείας κάλυψης για την μεταφορά από και προς τους ελεγκτές δεδομένων και αιτημάτων (ON/OFF/dimming) και μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα για την διαχείριση των ελεγκτών και την απεικόνιση δεδομένων και αναφορών. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η πραγματική εξοικονόμηση ενέργειας κάνοντας χρήση «ευφυών» συστημάτων διαχείρισης φωτισμού μπορεί να ξεπεράσει το 80% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019).

Στην παρούσα εργασία γίνεται αφενός παρουσίαση όλων των καινοτόμων συστημάτων αλλά και καινοτόμων εφαρμογών που μπορούν να εφαρμοσθούν για την αναβάθμιση του δημόσιου φωτισμού και αφετέρου γίνεται αναλυτική παρουσίαση του τρόπου εφαρμογής όλων των παραπάνω σε έργο που θα υλοποιηθεί στην πραγματικότητα στο δήμο Περιστερίου. Πιο συγκεκριμένα η παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθεί την παρακάτω δομή.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση και περιγραφή του υπό μελέτη έργου. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται οι στόχοι του έργου, τα αναλυτικά στοιχεία που διαθέτονται προκειμένου να ολοκληρωθεί η υλοποίηση του καθώς και όλα τα στοιχεία που αφορούν την παρούσα κατάσταση του συστήματος ηλεκτροφωτισμού του Δήμου όπως για παράδειγμα τους αριθμούς, τους τύπους λαμπτήρων και φωτιστικών την ισχύ και την τεχνολογία των λαμπτήρων καθώς και τον αριθμό, το ύψος και χαρακτηριστικά των ιστών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ακολουθεί η περιγραφή όλων των καινοτόμων συστημάτων και σύγχρονων μεθόδων που μπορούν να εφαρμοσθούν για την αναβάθμιση του συστήματος ηλεκτροφωτισμού, που οδηγούν αφενός στην εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και αφετέρου στην αναβάθμιση και βελτίωση συνθηκών διαβίωσης των πολιτών και των επισκεπτών του Δήμου. Περιγράφονται σε θεωρητικό επίπεδο τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη και πρέπει να μελετηθούν πριν την υλοποίηση του έργου και τελική μελέτη του έργου, όπως είναι τα φωτιστικά σώματα και τα διάφορα χαρακτηριστικά τους, οι τύποι ελεγκτών φωτιστικών σωμάτων με τα χαρακτηριστικά τους, τα δίκτυα χαμηλής ισχύος και ευρείας γεωγραφικής κάλυψης (LPWAN) που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές IoT , αλλά και το λογισμικό που είναι απαραίτητο για τον τηλεχειρισμό του οδοφωτισμού.

Στο τρίτο κεφάλαιο, έχοντας λάβει υπόψη όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, γίνεται παρουσίαση του τρόπου εφαρμογής των συστημάτων και μεθόδων στο υπό μελέτη έργο. Για καθένα από τα παραπάνω, φαίνεται ο τρόπος υλοποίησης στο έργο του Δήμου Περιστερίου και παρουσιάζονται ακόμα οι μελέτες φωτισμού και ραδιοκάλυψης που τεκμηριώνουν την επιλογή των αναφερόμενων τύπων φωτιστικών και του αριθμού και της θέσης των gateway για την δημιουργία του LoRaWAN δικτύου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται απεικόνιση ετήσιου κέρδους μετά την υλοποίηση και τεχνο-οικονομική μελέτη σε βάθος 20ετίας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται αναλυτικά το αρχικό κόστος εγκατάστασης των συστημάτων που αναφέρθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο και γίνεται υπολογισμός του ετήσιου οφέλους εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων σε σχέση με τον

υφιστάμενο φωτισμό του δήμου. Έχοντας μία πλήρη εικόνα του κόστους εγκατάστασης και υλοποίησης του έργου αλλά και της καταναλισκόμενης ενέργειας, γίνεται τέλος συνολική παρουσίαση της τεχνοοικονομικής μελέτης του έργου σε βάθος 20ετίας και συνολική αξιολόγηση της επένδυσης.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την υλοποίηση του έργου στο οποίο εφαρμόστηκαν σύγχρονες μέθοδοι και συστήματα για εξοικονόμηση ενέργειας και επίτευξη τηλεχειρισμού του συστήματος οδοφωτισμού, τα οποία συνεισέφεραν επιπλέον στην ετήσια μείωση των λειτουργικών εξόδων, στη μείωση των εξόδων συντήρησης και σε κάθε περίπτωση οδήγησαν στην αναβάθμιση της διαβίωσης των πολιτών και των επισκεπτών του δήμου Περιστερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ CASE STUDY

1.1 *Στόχος του έργου*

Με την παρούσα μελέτη προβλέπεται η προμήθεια και τοποθέτηση νέων τηλεδιαχειριζόμενων φωτιστικών χαμηλής κατανάλωσης τύπου LED και των αντίστοιχων εγκαταστάσεων τους με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση στον πεζόδρομο της οδού Εθνικής Αντιστάσεως, στον πεζόδρομο της οδού Μεγάλου Αλεξάνδρου και στους κοινόχρηστους χώρους του συγκροτήματος των προσφυγικών πολυκατοικιών της Ευαγγελίστριας του Δήμου Περιστερίου.

1.2 *Στοιχεία έργου*

Τα τελευταία χρόνια η Ευρώπη έχει δώσει μεγάλη έμφαση στη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι τοπικές αλλά και οι περιφερειακές αρχές επιδιώκουν να συμμετάσχουν στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης καθώς και στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις περιοχές τους, ώστε να μειώσουν το ανθρακικό τους αποτύπωμα, σύμφωνα με τις τελευταίες οδηγίες της Ε.Ε. και την πρωτοβουλία του Σύμφωνου των Δημάρχων.

Η αναγκαιότητα στήριξης της περιβαλλοντικής πολιτικής του Δήμου αλλά και η εξυπηρέτηση του δημοσίου και κοινωνικού συμφέροντος καθιστά αναγκαία την υλοποίηση παρεμβάσεων για ολοκληρωμένη ανάπτυξη, με ταυτόχρονη επίτευξη οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών στόχων.

Αναλυτικότερα, το αντικείμενο περιλαμβάνει την προμήθεια και τοποθέτηση :

I. 371 φωτιστικών σωμάτων τύπου βραχίονα σύγχρονης τεχνολογίας LED (193 φωτιστικά σώματα LED τύπου βραχίονα ≤ 40W και 178 φωτιστικά σώματα LED τύπου βραχίονα ≤ 60W) που θα συνοδεύονται από 371 ασύρματους ελεγκτές εξωτερικά τοποθετημένους στο πάνω μέρος του φωτιστικού μέσω βάσης τύπου NEMA Socket 7 Pin C136.41

II. «Συστήματος Τηλεελέγχου – Τηλεχειρισμού» και «Συστήματος προληπτικής Συντήρησης» για τα 371 φωτιστικά σώματα

Για τις περιοχές όπου θα γίνουν οι παρεμβάσεις υπάρχει λεπτομερής αποτύπωση και καταγραφή δεδομένων που αφορούν:

- τους αριθμούς λαμπτήρων και φωτιστικών,

- τύπους λαμπτήρων και φωτιστικών,
- ισχύ λαμπτήρων,
- τεχνολογία λαμπτήρων και φωτιστικών,
- αριθμός, ύψος και χαρακτηριστικά των ιστών,
- γεωμετρικά δεδομένα δρόμων κλπ.

1.3 ***Υφιστάμενη κατάσταση***

1.3.1 Παρουσίαση προβλημάτων

Οι υφιστάμενες συνθήκες στο εν λόγω δίκτυο συνήθως χαρακτηρίζονται από:

- **Μη ορθολογική λειτουργία του δικτύου.** Η έναρξη και η λήξη λειτουργίας των συμβατικών λαμπτήρων δε βασίζεται στην πραγματική ώρα Ανατολής – Δύσης, αλλά σε μια προσεγγιστική παραδοχή. Η στάθμη φωτεινότητας είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο ρυθμός εξασθένησης του ηλιακού φωτός (Δύση) και αντίστροφα (Ανατολή).
- **Έλλειψη επαρκούς φωτισμού λόγω μη ανιχνεύσιμων βλαβών**. Όταν ένα φωτιστικό σώμα τεθεί εκτός λειτουργίας, η βλάβη είτε δηλώνεται από τους δημότες, είτε ανακαλύπτεται κατά τη διάρκεια περιοδικών ελέγχων από την Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου. Ο περιοδικός έλεγχος γίνεται κατά τη διάρκεια του εργάσιμου ωραρίου αποκαθιστώντας τη λειτουργία του δικτύου φωτισμού, όταν το τεχνικό προσωπικό ελέγχει οπτικά κάθε φωτιστικό σώμα. Το αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη μεγάλου χρόνου ανταπόκρισης στην αντικατάσταση των φωτιστικών (υψηλό Downtime) και ιδιαίτερα αυξημένα έξοδα αποκατάστασης βλαβών.
- **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**, όπως αυξημένη κατανάλωση, έκλυση μεγάλων ποσοτήτων CO2, άσκοπη διάχυση φωτός με αποτέλεσμα αυξημένα επίπεδα φωτορρύπανσης.
- **Αναποτελεσματικότητα σε βάθος χρόνου των συμβατικών λαμπτήρων** που φέρουν τα υφιστάμενα φωτιστικά είτε λόγω μικρής διάρκεια ζωής, είτε μεγάλου αριθμού αστοχιών εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού λαμπτήρων εκτός λειτουργίας, ακόμα και τους πρώτους μήνες λειτουργίας τους λόγω της κακής ποιότητας του δικτύου της ΔΕΗ με τις αυξομειώσεις της τάσης, αλλά και λόγω της ραγδαίας μείωσης της φωτεινότητας τους με την πάροδο του χρόνου (μείωση κατά 60% στις 5.000 ώρες).

- **Απασχόληση μεγάλου αριθμού πόρων της εταιρείας διαχείρισης του οδικού δικτύου** για τη συντήρηση του ηλεκτροφωτισμού καθότι δεν διαθέτει τα απαραίτητα κεντρικά συστήματα παρακολούθησης για το δίκτυο δημοτικού φωτισμού της.

1.3.2 Τύποι εγκατεστημένων Φωτιστικών

Στις υπό εξέταση περιοχές υπάρχουν κατά πλειοψηφία παλαιά φωτιστικά κορυφής τύπου μπάλας με λαμπτήρες ατμών Hg κατανάλωσης 125 Watt και σε ορισμένες περιπτώσεις ατμών Na 250 Watt ή μεταλλικών αλογονιδίων (HQI) 150 Watt [38]. Σύμφωνα με τους πρόσφατους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, η παραγωγή και η χρησιμοποίηση λαμπτήρων Hg (υδραργύρου) έχει καταργηθεί από τις αρχές του 2017.

Το Τμήμα του Πεζόδρομου Εθν. Αντιστάσεως και οι εξωτερικοί χώροι των προσφυγικών πολυκατοικιών της Ευαγγελίστριας με βάση την ακολουθία παραδοχών του προτύπου CEN/TR 13201-1:2014, εκτιμάται σε κλάση φωτισμού P1, καθώς αποτελεί περιοχή εμπορικών δραστηριοτήτων, με χρήστες πεζούς, μηχανοκίνητα και ποδηλάτες, δέχεται παρκαρισμένα αυτοκίνητα ενώ ο περιβάλλων χώρος έχει αυξημένο φωτισμό [38].

Το τμήμα του πεζοδρόμου Μεγ. Αλεξάνδρου και οι εσωτερικοί χώροι των προσφυγικών πολυκατοικιών της Ευαγγελίστριας, με βάση την ακολουθία παραδοχών του προτύπου CEN/TR 13201-1:2014, εκτιμάται ότι η κλάση φωτισμού είναι P2 καθώς αποτελεί περιοχή κατοικίας με χρήστες πεζούς, μηχανοκίνητα και ποδηλάτες, δέχεται παρκαρισμένα οχήματα ενώ ο περιβάλλων χώρος έχει χαμηλό φωτισμό [38].

Βασικός στόχος είναι η αντικατάσταση των υφισταμένων φωτιστικών Α.Υ. 125W και Α.Ν. 250W με φωτιστικά Led ισχύος μέχρι 40W & 60W, μειώνοντας την άμεση κατανάλωση ενέργειας κατά 70% & 60% αντίστοιχα, καθώς και το κόστος συντήρησης μιας και η διάρκεια ζωής από 10.000 ώρες λειτουργίας θα φτάσει πάνω από στις 50.000 ώρες. Επίσης σύμφωνα με τους πρόσφατους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, η παραγωγή και η χρησιμοποίηση λαμπτήρων Hg (υδραργύρου) έχει καταργηθεί από τις αρχές του 2017.

Λόγω της μεγαλύτερης φωτεινής απόδοσης (lm/Watt) των λαμπτήρων τύπου Led αλλά κυρίως των φωτιστικών, θα φωτιστεί πιο σωστά το σύνολο της περιοχής επέμβασης, ελαχιστοποιώντας τις θαμβώσεις και δίνοντας συγχρόνως την αίσθηση της ασφάλειας. Στους κοινόχρηστους δε χώρους των προσφυγικών πολυκατοικιών της Ευαγγελίστριας ο φωτισμός θα επεκταθεί, καθώς υπάρχουν πολλά σημεία τα οποία στερούνται δικτύου φωτισμού.

Επίσης δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των φωτιστικών ώστε αφενός να μη δημιουργούν φωτορύπανση στο περιβάλλον και αφετέρου να είναι υψηλής αντοχής τόσο στις καιρικές συνθήκες όσο και στους βανδαλισμούς (βαθμός προστασίας IP66).

Τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης φωτισμού θα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, με ασφαλιστικές διατάξεις (λειτουργία μόνο νυχτερινές ώρες), με ρύθμιση φωτισμού σε συγκριμένες ώρες (ένας λαμπτήρας μπορεί να έχει φωτεινή απόδοση 75% χρησιμοποιώντας κάτω από το 50% της ισχύος του) και με ανταλλαγή δεδομένων και διαχείριση μέσω λογισμικού.

	Υπάρχουσα κατάσταση			Πρόταση				
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	**ΠΥΛ ΛΕΡ**	**ΤΥΠΟΣ ΛΑΜΠ.**	**ΑΡ. ΦΩΤ.**	**ΠΥΛ ΛΕΡ**	**LED ≤40W**	**LED ≤60W**	**ΙΣΤΟΙ 5m**	**ΙΣΤΟΙ 6m**
Πεζόδρομος Εθν. Αντιστάσεως	3	ΑΥ 125 W	49	3		100		100
Πεζόδρομος Μεγ. Αλεξάνδρου	4	ΑΥ 125 W	156	4	78		78	
Ευαγγελίστρια εξωτερικοί χώροι	-	ΑΝ 250 W	71	2		78		78
Ευαγγελίστρια εσωτερικοί χώροι	4	ΑΥ 125 W	55	4	115		115	
Σύνολα	11		331	13	193	178	193	178

Πίνακας 1: Υπάρχουσα κατάσταση & πρόταση αντικατάστασης φωτιστικών [38]

Ενεργειακή αναβάθμιση :

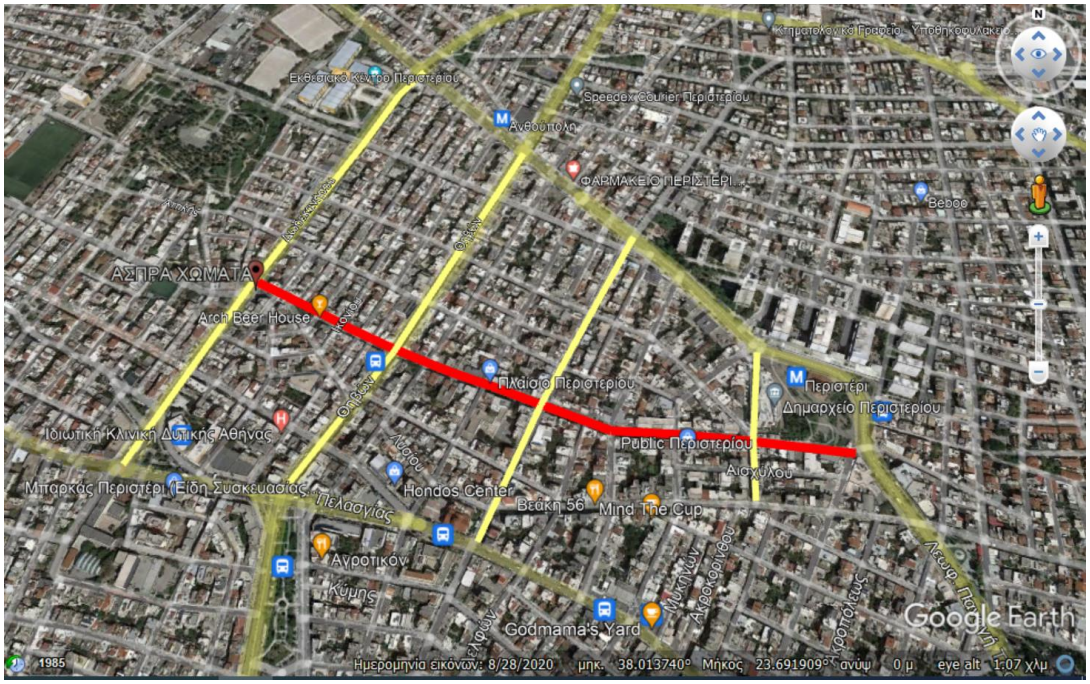
ΤΥΠΟΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ (τεμάχια προς εγκατάσταση)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (W)	ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ:	ΠΛΗΘΟΣ (τεμάχια προς εγκατάσταση)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (W)
Φωτιστικό Σώμα Οδοφωτισμού με λαμπτήρα ατμών υδραργύρου 125W	260	32,50 kW	Φωτιστικό Σώμα LED τύπου βραχίονα ≤ 40W	193	7,72 kW
Φωτιστικά σώματα οδοφωτισμού τύπου βραχίονα με λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης (NaHP) 250W	71	17,75 kW	Φωτιστικό Σώμα LED τύπου βραχίονα ≤ 60W	178	10,68 kW
Σύνολο Συστημάτων	331	50,25 kW		371	18,40 kW

Πίνακας 2: Απαιτούμενη Ενεργειακή αναβάθμιση [38]

1.3.3 Αποτύπωση κατάστασης

1.3.3.1 Πεζόδρομος Εθνικής Αντιστάσεως

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται στο χάρτη ο πεζόδρομος της Εθνικής Αντιστάσεως με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 1: Πεζόδρομος Εθνικής Αντιστάσεως

Εικόνα 2: Εθνικής Αντιστάσεως 1-Google Earth

Εικόνα 3: Εθνικής Αντιστάσεως 2-Google Earth

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων φωτιστικών και λαμπτήρων που είναι τοποθετημένα στην Εθνικής Αντιστάσεως:

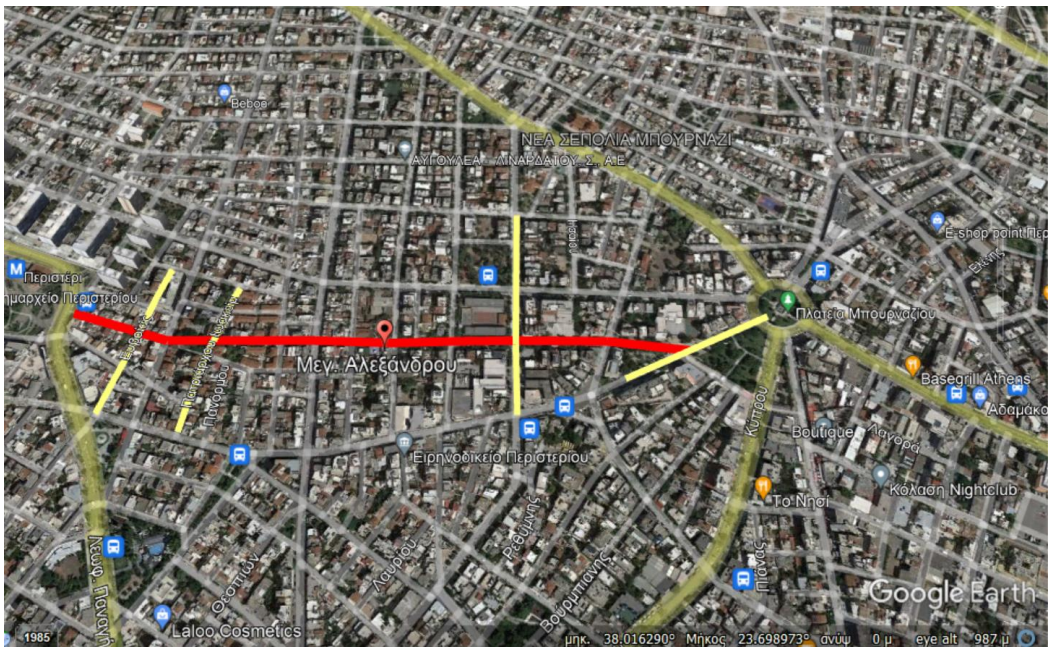
<u>Φωτιστικά-Λαμπτήρες Εθνικής Αντιστάσεως</u>

Φωτιστικό Τύπου 1	**Αναγνωριστικό**	**Φωτιστικό κορυφής τύπου μπάλας ΑΥ 125 W**
	Ύψος κρέμασης	**3,4m**
	Μέθοδος κρέμασης	**Κατακόρυφη, απ’ ευθείας σε σιδεροϊστό**
	Γωνία ως προς την οριζόντια	**180 μοίρες**
	Άλλα στοιχεία	
Λαμπτήρας φωτιστικού τύπου 1	**Τύπος**	**ΑΥ 125 W**
	Ισχύς	**ΑΥ 125 W**
	Ηλικία	**2-3 έτη**
	Αριθμός	**1**
	Ballast	**Συμβατικό ΑΥ 125 W**
	Μέθοδος dimming	**ΌΧΙ**

Πίνακας 3: Φωτιστικά & Λαμπτήρες-Εθνικής Αντιστάσεως [38]

1.3.3.2 Πεζόδρομος Μεγάλου Αλεξάνδρου

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται στο χάρτη ο πεζόδρομος του Μεγάλου Αλεξάνδρου.



Εικόνα 4: Πεζόδρομος Μεγάλου Αλεξάνδρου

Εικόνα 5: Μεγάλου Αλεξάνδρου 1-Google Earth

Εικόνα 6: Μεγάλου Αλεξάνδρου 2-Google Earth

Φωτιστικά-Λαμπτήρες Μεγάλου Αλεξάνδρου

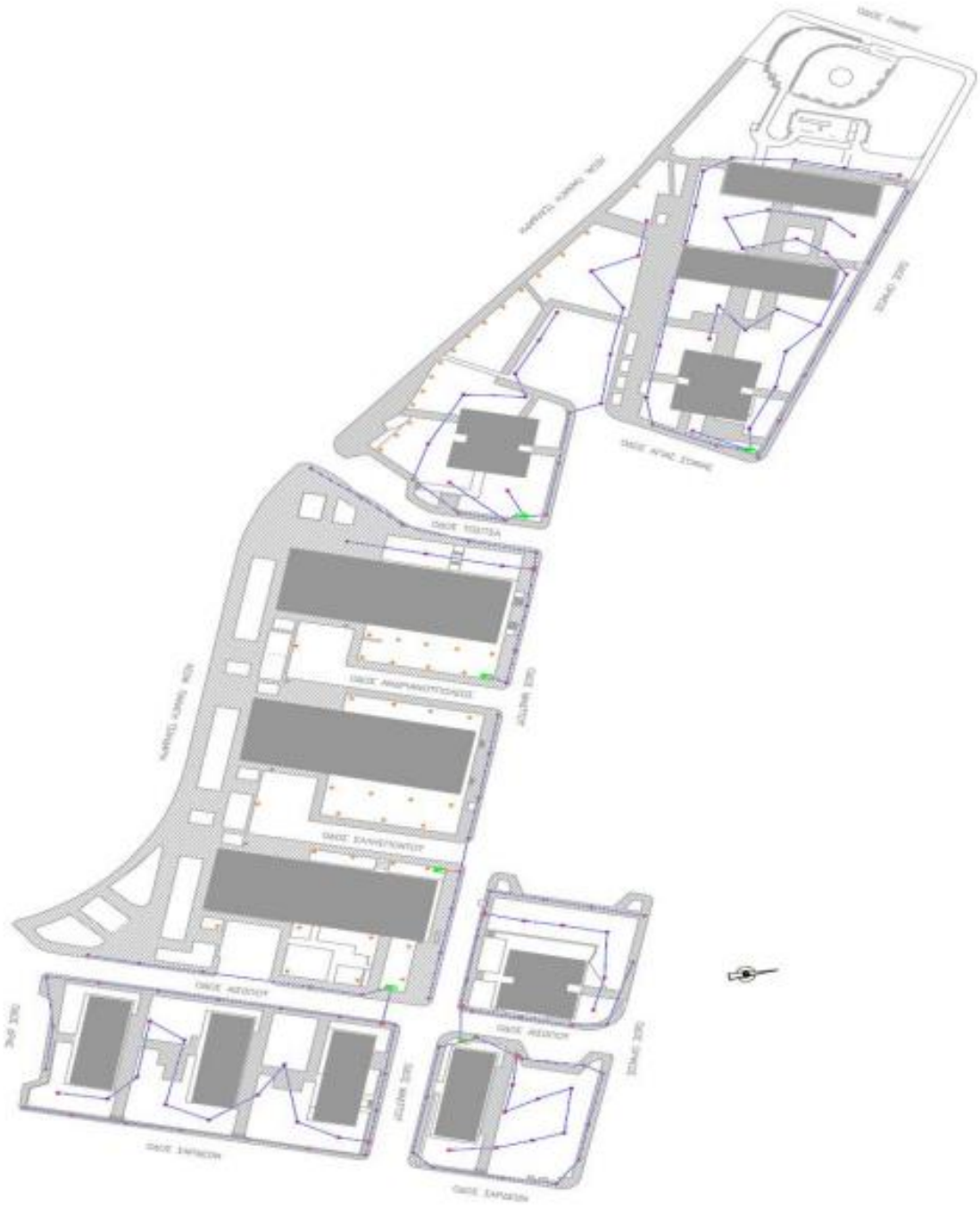
Φωτιστικό Τύπου 1	**Αναγνωριστικό**	**Διπλό φωτιστικό κορυφής τύπου μπάλας ΑΥ 125 W**
	Ύψος κρέμασης	**3,4m**
	Μέθοδος κρέμασης	**Κατακόρυφη, απ’ ευθείας σε σιδεροϊστό με διπλό βραχίονα**
	Γωνία ως προς την οριζόντια	**180 μοίρες**
	Άλλα στοιχεία	
Λαμπτήρας φωτιστικού τύπου 1	**Τύπος**	**ΑΥ 125 W**
	Ισχύς	**125 W**
	Ηλικία	**2-3 έτη**
	Αριθμός	**2**
	Ballast	**Συμβατικό ΑΥ 125 W**
	Μέθοδος dimming	**ΟΧΙ**

Πίνακας 4: Φωτιστικά & Λαμπτήρες-Μεγάλου Αλεξάνδρου [38]

1.3.3.3 Ευαγγελίστρια

Εικόνα 7: Ευαγγελίστρια-Υπάρχουσα κατάσταση [38]

ΆΓΓΕΛΙΣΤΡΙΑ – Νέα εγκατάσταση



Εικόνα 8: Ευαγγελίστρια-Νέα Εγκατάσταση [38]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΟ ΦΩΤΙΣΜΟ

2.1 *Φωτισμός τεχνολογίας LED*

Η μελέτη και η κατανόηση των φωτιστικών αναγκών ενός χώρου καθώς και των προδιαγραφών των φωτιστικών σωμάτων οδηγούν σε ορθή επιλογή των εργαλείων μιας φωτιστικής μελέτης. Οι λαμπτήρες και τα φωτιστικά σώματα είναι τα εργαλεία σχεδίασης και παρέμβασης στον χώρο με τον φωτισμό. Η γνώση των δυνατοτήτων και ιδιοτήτων των λαμπτήρων και των φωτιστικών σωμάτων είναι σημαντική έτσι ώστε να δημιουργηθεί η κατάλληλη φωτιστική επέμβαση. [1]

Η φωτεινή πηγή είναι η καρδιά μιας μελέτης φωτισμού, αφού δίνει στο έργο υπόσταση και ζωντάνια. Γι' αυτό το λόγο η σωστή επιλογή της είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων ορίζουν τη φωτεινή ατμόσφαιρα αλλά και τη λειτουργικότητα μιας εγκατάστασης. Η επιλογή του λαμπτήρα επηρεάζει άμεσα το μέγεθος και το σχήμα των φωτιστικών σωμάτων και η ισχύς του, σε συνδυασμό με τα επιθυμητό επίπεδο έντασης φωτισμού, ορίζει τον αριθμό των φωτιστικών σωμάτων που απαιτούνται.[2] Παράγοντες όπως η κατανάλωση σε σχέση με την φωτεινή απόδοση, η ποιότητα του παραγόμενου φωτός, οι επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία κυριαρχούν στην έρευνα και την τεχνολογία των λαμπτήρων. Η πληθώρα των λαμπτήρων όσον αφορά στην ισχύ, στην απόδοση, στο είδος φωτισμού (θερμοκρασία χρώματος, δείκτης χρωματικής απόδοσης, τρόπος διάχυσης του φωτός, διάρκεια ζωής) αποτελεί ένα σημαντικό μέσο για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος της φωτιστικής μελέτης. [1]

2.1.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη φωτεινών πηγών

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λαμπτήρων είναι τα ακόλουθα:

Ονομαστική τάση λειτουργίας: η τάση του δικτύου στο οποίο θα συνδεθεί ο λαμπτήρας, [22] για όσους δεν έχουν ballast, αλλιώς πρέπει να υπάρχει το αντίστοιχο ballast.

Ονομαστική ισχύς: η καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύς σε Watt.[3]

Φωτεινή Ροή: η συνολική φωτεινή ροή του λαμπτήρα σε Lumens που μετριέται στους 25˚C. Η μέτρηση των επιδόσεων των λαμπτήρων σε lumen επιτρέπει την άμεση σύγκριση της ποσότητας του παραγόμενου φωτός (που είναι άλλωστε και ο σκοπός του λαμπτήρα).[3,4]

Ενεργειακή απόδοση: Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας αξιολόγησης της, καθώς εκφράζει την ποσότητα των παραγόμενων

lumen ανά καταναλισκόμενο W. Η απόδοση του λαμπτήρα είναι καθοριστικό στοιχείο της οικονομικής λειτουργίας. Η απόδοση του συστήματος της φωτεινής πηγής περιλαμβάνει επίσης την καταναλισκόμενη ισχύ του ballast. Σταδιακά καταργούνται οι λαμπτήρες με τη μικρότερη ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, το σήμα ενεργειακής απόδοσης σε κάθε συσκευασία δείχνει πόσο αποδοτικός είναι ο κάθε λαμπτήρας. [3,4]

Χρόνος ζωής του λαμπτήρα: Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα εκφράζεται σε ώρες λειτουργίας μέχρι την αχρήστευσή του. Στην περίπτωση ορισμένων λαμπτήρων φθορισμού, η διάρκεια ζωής επηρεάζεται από το πόσες φορές ανάβουν και σβήνουν (αριθμός κύκλων λειτουργίας). Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων μπορεί να ποικίλλει από 1.000 ώρες για τους συμβατικούς λαμπτήρες πυράκτωσης μέχρι 15.000 ώρες για τους καλύτερους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και 100.000 ώρες για τα LED. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σημαίνει μικρότερο κόστος συντήρησης, αφού οι λαμπτήρες θα αντικαθίστανται πιο σπάνια.[20]

Φάσμα εκπομπής: Το φάσμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει μία φωτεινή πηγή ονομάζεται φάσμα εκπομπής της πηγής αυτής.[20]

Φωτεινή ένταση: Η φωτεινή ένταση όπως ήδη έχει οριστεί στο πρώτο κεφάλαιο είναι ένα διανυσματικό μέγεθος που καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου το ποσό της φωτεινής ροής Φ που εκπέμπει η φωτεινή πηγή.[5]

Διαστάσεις: Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις διαστάσεις των λαμπτήρων και για αυτό πριν από κάθε αγορά λαμπτήρα διαφορετικής τεχνολογίας για το ίδιο φωτιστικό, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για το αν ο νέος λαμπτήρας ταιριάζει στην υποδοχή.[4]

Αυξομείωση έντασης φωτός: Όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως με αλογόνα, έτσι και οι λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να υποστούν αυξομείωση έντασης φωτός (dimmed) σχεδόν σε όλο το εύρος από 100% έως 0%. Όμως οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων δεν συνίστανται από τους κατασκευαστές για ρύθμιση της στάθμης φωτισμού, επειδή αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του φωτός τους και στην διάρκεια της ζωής τους. Η ισχύς των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και αυτή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου μπορεί να διαβαθμιστεί αλλά μόνο σε διακριτά επίπεδα. [3,4]

Ποιότητα χρώματος φωτεινής πηγής, Δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra: Η ποιότητα χρώματος αποτελεί την ικανότητα της φωτεινής πηγής να αναπαράγει ρεαλιστικά το χρώμα ενός αντικειμένου. Εκφράζεται από τον δείκτη χρωματικής απόδοσης Ra ή CRI και παίρνει τιμές από το 0 έως το 100. Όσο πιο χαμηλές τιμές παίρνει ο δείκτης τόσο πιο κακή είναι η

αναπαράσταση των χρωμάτων από την φωτεινή πηγή.[5] Δεν είναι απαραίτητα σωστή η επιλογή του φωτιστικού σώματος με τον υψηλότερο δείκτη χρώματος. Αντίθετα, είναι σημαντικότατο να επιβεβαιώνεται ότι το φάσμα εκπομπής της φωτεινής πηγής εμπεριέχει το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο χρώμα της επιφάνειας που φωτίζεται, δηλαδή ότι ο λαμπτήρας αποδίδει σωστά το χρώμα της όψης.[2]

Κατηγοριοποίηση Φωτεινών πηγών	Δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra (κατά CIE)	Εφαρμογή
1A	**Ra≥90**	Απαραίτητη η ακριβής απόδοση των χρωμάτων
1B	**90>Ra≥80**	Καλή απόδοση των χρωμάτων
2	**80>Ra≥60**	Μέτρια απόδοση των χρωμάτων
3	**60>Ra≥40**	Ανακριβής απόδοση των χρωμάτων
4	**40>Ra≥20**	Απόδοση χρωμάτων άνευ σημασίας

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση δείκτη χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών (Πηγή: www.ktirio.gr)

Θερμοκρασία χρώματος: Η θερμοκρασία χρώματος είναι το μέτρο για να περιγραφεί το χρώμα των φωτεινών πηγών. [5] Μετρείται σε βαθμούς Kelvin και ισοδυναμεί με την αντίστοιχη θερμοκρασία στην οποία όταν βρεθεί το μέλαν σώμα θα παράγει φως ίδιου χρώματος με την μετρούμενη φωτεινή πηγή. Με τον όρο μέλαν σώμα εννοούμε ένα θεωρητικό μοντέλο σώματος το οποίο έχει την δυνατότητα να απορροφά όλα τα μήκη κύματος ακτινοβολίας που δέχεται, δεν ανακλά τίποτα και εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος και όλες τις διευθύνσεις. [5]

Θερμοκρασία Χρώματος (K)	Κατηγοριοποίηση Φωτός (CCT Classification)
Μέχρι 3300 K	Θερμό
3300 K - 5300 K	Ουδέτερο λευκό
Πάνω από 5300 K	Ψυχρό

Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση φωτεινών πηγών με τη θερμοκρασία χρώματος κατά CIE (Πηγή: www.ktirio.gr)

Η σχετική θερμοκρασία χρώματος του φωτός είναι ο παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο το χαρακτήρα της επέμβασης. Καθορίζει το θερμό ή ψυχρό φωτισμό αλλά και την ανάδειξη του υλικού της όψης. Κατά κανόνα ενδείκνυται να χρησιμοποιείται θερμό φως (2.000-

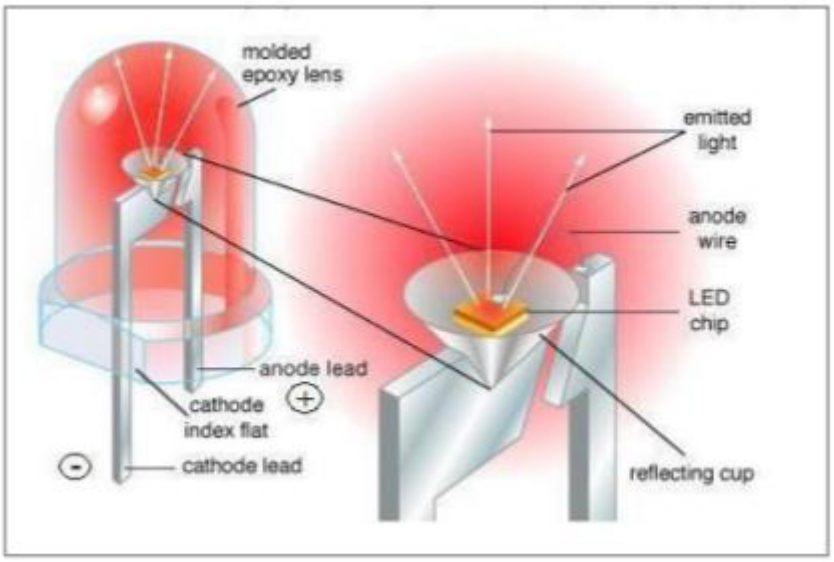
3.000K) για υλικά με στοιχεία χρώματος κίτρινοκόκκινο, όπως για παράδειγμα το τούβλο, το κεραμίδι, το ξύλο, και ψυχρό φως (5300-6.000K) για υλικά με ψυχρούς τόνους, όπως το μάρμαρο, ο γρανίτης, το σκυρόδεμα.[2]

2.1.2 Τεχνολογία LED

Η κατάργηση των λαμπτήρων πυράκτωσης στην Ευρώπη, δημιουργεί την ανάγκη για νέες, ενεργειακά αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες φωτισμού. [6] Κύριος λόγος ακόμα για την ανάγκη αυτή, της δημιουργίας ενεργειακά αποτελεσματικών προϊόντων, είναι και το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας αλλά και η προσπάθεια του ανθρώπου να περιορίσει τις αιτίες του φαινόμενου του θερμοκηπίου.[7] Ο φωτισμός στερεάς κατάστασης (Solid State Lighting, SSL) είναι η πιο πρωτοποριακή τεχνολογία που αναδύεται στην αγορά. Βασίζεται σε φως εκπεμπόμενο από ημιαγώγιμα υλικά, τα οποία μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε φως, και περιλαμβάνει τις διόδους φωτισμού LED και OLED.[6] Η προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας με βάση το φωτισμό LED αποτελεί βασικό στόχο του Ψηφιακού Θεματολογίου για την Ευρώπη (IP/10/581, MEMO/10/199, MEMO/10/200).[21] Οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο εισάγουν νομοθετικές ρυθμίσεις για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης ή και κατάργηση ενεργοβόρων προϊόντων και η βιομηχανία του φωτισμού ανταποκρίνεται επενδύοντας τεράστια ποσά στην εξέλιξη αποδοτικότερων τεχνολογιών. Η ανακάλυψη των LED φέρνει επανάσταση στην αγορά φωτισμού και μεταλλάσει την βιομηχανία.[8]

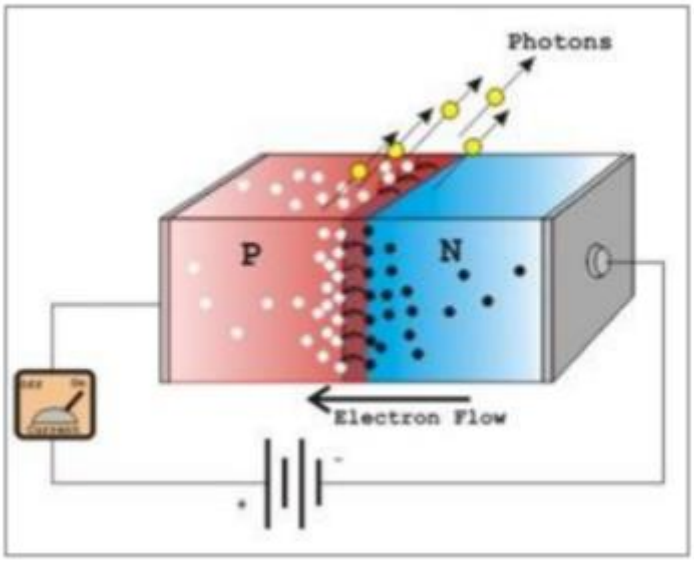
2.1.2.1 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι

Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (Light emission diode/ LED) είναι συνδυασμός ημιαγωγών p-n και όταν εφαρμοσθεί τάση στους δύο ημιαγωγούς, εκπέμπεται ακτινοβολία. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να είναι είτε υπέρυθρη είτε ορατή. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από τον συνδυασμό ημιαγώγιμων υλικών.



Εικόνα 9: Απεικόνιση της κατασκευαστικής δομής ενός LED (Πηγή: http://www.lightingexpert.gr/)

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα στοιχεία των LED είναι ημιαγώγιμα υλικά, υψηλής καθαρότητας με μικρές ποσότητες προσθέτων. Τα δύο κύρια υλικά όπως αναφέρεται παραπάνω είναι ο ημιαγωγός τύπου-n και τύπου-p, που έχουν συγκεντρωμένη περίσσεια ηλεκτρονίων και συγκεντρωμένο έλλειμμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια οπών (θετικά φορτία), αντίστοιχα. Τα δύο αυτά υλικά διαχωρίζονται μέσα στο ίδιο κομμάτι του ημιαγωγού, σχηματίζοντας ανάμεσά τους διεπιφάνεια (junction), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.12. Η διεπιφάνεια είναι της τάξης των 0.25 mm 2 , το οποίο δίνει την δυνατότητα κατασκευής λαμπτήρων μικρών και λεπτών.



Εικόνα 10: LED p-n junction (Πηγή: LED,Μωραΐτης ΑΒΕΕ, 2013)

Κατά την εφαρμογή της τάσης στα δύο ηλεκτρόδια, προκαλείται μετακίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών προς την διεπιφάνεια, όπου κατά την επαφή τους προκαλείται παραγωγή φωτονίων. Η εφαρμοζόμενη τάση είναι 1-3 V και το ρεύμα που ρέει είναι 1-100 mA. Κατά την λειτουργία τους σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας απαιτείται ψύξη ή διακοπτόμενη λειτουργία, για να αποφευχθεί υποβάθμιση του παραγόμενου φωτός. Το τελικό οπτικό αποτέλεσμα των λαμπτήρων LED εξαρτάται από το υλικό των ημιαγωγών, τα πρόσθετα και το περίβλημα του φωτιστικού σώματος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενίου. [3,9]

2.1.2.2 Πλεονεκτήματα SSL

Η τεχνολογία SSL και πιο συγκεκριμένα τα LED αποτελεί τεχνολογικό άλμα για τον φωτισμό από πολλές βασικές απόψεις:

Ενεργειακή απόδοση: Τα νέα προϊόντα SSL είναι ενεργειακά εξίσου αποδοτικά με τα πλέον προηγμένα αντίστοιχα προϊόντα (λαμπτήρες φθορισμού ή αλογόνου) που προσεγγίζουν το βέλτιστο επίπεδο απόδοσης το οποίο είναι δυνατόν να επιτύχουν. [6]. Η ενεργειακή απόδοσή τους όμως συνεχώς βελτιώνεται, μειώνοντας ταυτόχρονα το ενεργειακό κόστος έως 70%.

Ποιότητα φωτισμού και οπτική άνεση: Η τεχνολογία SSL προσφέρει υψηλής ποιότητας φωτισμό και οπτική άνεση από πλευράς απόδοσης χρωμάτων και δυναμική ρύθμιση (φάσματος του φωτός, στιγμιαίας έναυσης/σβέσης και αυξομείωσης έντασης φωτισμού). [6] Τα LED έχουν γρήγορη απόκριση. Μια τυπική κόκκινη LED μπορεί να έρθει σε κατάσταση πλήρους φωτεινότητας σε χρόνο microsecond. Τα LED που χρησιμοποιούνται ως συσκευές επικοινωνίας έχουν ακόμα μικρότερους χρόνους απόκρισης.[7]

Χρόνος ζωής: Η τεχνολογία SSL έχει μακρά διάρκεια ζωής.[6] Εξαλείφεται έτσι η ανάγκη για συντήρηση και συχνή αντικατάσταση όπως απαιτείται στα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού. Επειδή τα LED για να παράγουν φωτισμό δε στηρίζονται στην πυράκτωση νήματος (όπως οι κοινές λάμπες) αλλά στη μεταπήδηση ηλεκτρονίων (από την κάθοδο στην άνοδο του LED), η διάρκεια ζωής τους είναι πολλαπλάσια μιας λάμπας πυρακτώσεως.[10] Πιο συγκεκριμένα, οι ώρες λειτουργίας των LED κυμαίνονται από 35.000 έως 50.000 ώρες, αριθμός τεράστιος συγκριτικά με αυτόν των λαμπτήρων πυράκτωσης που κυμαίνεται από 1.000 έως 2.000 ώρες και των λαμπτήρων φθορισμού που κυμαίνεται από 6.000 έως 10.000 ώρες [7]

Μέγεθος: Τα LED είναι πολύ μικρά (μικρότερα από 2mm) και μπορούν να τοποθετηθούν σε πινάκες αποτύπωσης [7]

Τοξικότητα: Σε αντίθεση με τις ενεργειακές, οι φωτεινές πηγές LED είναι απαλλαγμένες από καρκινογόνες ουσίες. Δεν περιέχουν κάδμιο και υδράργυρο και δεν εκπέμπουν ακτινοβολία. [6,7]

Αντίσταση σε κραδασμούς: Τα LED, όντας στοιχεία στερεάς κατάστασης, είναι δύσκολο να υποστούν ζημιά από κραδασμούς όπως συμβαίνει με τις λάμπες πυράκτωσης και φθορισμού.[6]

Εκπομπή πολύ λιγότερης θερμότητας: Σε αντίθεση με τις κοινές πήγες φωτός, τα LED εκπέμπουν πολύ λίγη θερμότητα σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας που μπορεί να προκαλέσει ζημιά σε ευαίσθητα αντικείμενα ή κατασκευές. [7] Ο λαμπτήρας πυρακτώσεως μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε πολύ μεγάλο ποσοστό, σε θερμότητα και όχι σε φως. Τα LED, μετατρέπουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό την ενέργεια που τους δίνουμε σε φως, έχοντας μικρότερες απώλειες.[10] Η ενέργεια που χάνεται διαχέεται ως θερμότητα μέσω της βάσης του LED.[7]

Διατήρηση μέχρι τέλους 100% της απόδοσής: Τα LED εκπέμπουν από την αρχή το 100% της φωτεινότητάς τους και διατηρούν μέχρι τέλους την απόδοση φωτισμού που είχαν από την πρώτη μέρα λειτουργίας τους (μέγιστη απώλεια 1%). Οι κοινοί λαμπτήρες τίθενται σε λειτουργία σταδιακά όπως και σταδιακά μειώνουν την απόδοσή τους παρέχοντας χαμηλή ποιότητα φωτισμού, πράγμα το οποίο οδηγεί στην πρόωρη αντικατάστασή τους. [10]

Είναι αντιεκρηκτικά: Τα προϊόντα SSL είναι αντιεκρηκτικά και οι πλακέτες τους δεν εκρήγνυνται. Στην ουσία η τάση των LED είναι πολύ χαμηλή και έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης. Αλλά ακόμα και στις περιπτώσεις που μπορεί να είναι παραπάνω, υπάρχει πλακέτα που τα προστατεύει από έκρηξη (μέχρι 275V). Ακόμα και να δημιουργηθεί σπινθήρας δε βγαίνει προς τα έξω, αφού δεν υπάρχει αέριο για να διαδοθεί η φλόγα αλλά και η πλακέτα των λαμπτήρων LED είναι καλυμμένη από υλικό το οποίο έχει την ιδιότητα να μη μεταδίδει φλόγα προς τα έξω σε περίπτωση βραχυκυκλώματος.[22]

Βελτιωμένη άνεση και ευεξία: Σε προϊόντα SSL είναι εύκολη η ρύθμιση της έντασης και του χρώματος, ώστε να είναι δυνατή η προσαρμογή του φωτισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής ή τις προσωπικές επιθυμίες των χρηστών. Επιπλέον, από τις υπό εξέλιξη μελέτες, προκύπτει ότι οι συνθήκες περιβάλλοντος φωτισμού που δημιουργούν μερικοί λαμπτήρες LED συμβάλλουν στην ευεξία και βελτιώνουν τις συνθήκες μάθησης και

εργασίας (π.χ. σε σχολεία και γραφεία), και επηρεάζουν θετικά τη ζωτικότητα των ανθρώπων, τη ικανότητα συγκέντρωσής τους και την εγρήγορση. [6]

Σχεδιασμός και αισθητική: Η τεχνολογία SSL προσφέρει στους μελετητές φωτισμού σχεδόν απεριόριστη ελευθερία για την ανάπτυξη νέων ιδεών φωτισμού και παραμέτρων σχεδιασμού. Καθιστά δυνατές νέες μορφές φωτιστικών σωμάτων και συστημάτων φωτισμού καθώς και την πλήρη ένταξή τους σε δομικά στοιχεία (τοίχους, οροφές, παράθυρα).[6]

Καινοτομία και νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες: Ο συνδυασμός και η αξιοποίηση της ευρείας κλίμακας χαρακτηριστικών και οφελών της τεχνολογίας SSL αποφέρει πολλές νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τον κλάδο. Αποφέρει ακόμα αλλαγές του τύπου επιχειρηματικών δραστηριοτήτων από την πώληση πηγών φωτός και φωτιστικών σωμάτων.[6]

Εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που εμφανίζουν τα LED, βρίσκουν πλήθος εφαρμογών που ολοένα και αυξάνονται, τόσο διακοσμητικό όσο και στον αρχιτεκτονικό φωτισμό.

2.1.2.3 <u>Προβλήματα που αφορούν στην αφομοίωση των προϊόντων</u>

Στην αγορά υπάρχει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων SSL που είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες των διαφόρων χρηστών. Εξακολουθούν όμως να υπάρχουν πολλά προβλήματα στην αφομοίωση των προϊόντων SSL από τους καταναλωτές, τους επαγγελματίες και την τοπική αυτοδιοίκηση. Τα κυριότερα προς αντιμετώπιση ζητήματα είναι τα ακόλουθα:

Προϊόντα LED κακής ποιότητας: Σε κάποιες περιπτώσεις έχει διαπιστωθεί ότι η πραγματική διάρκεια ζωής προϊόντων LED είναι πολύ συντομότερη από την αναφερόμενη στη συσκευασία του προϊόντος και ότι γίνεται εκπομπή χαμηλής ποιότητας ψυχρού λευκού φωτός. Τα προϊόντα αυτά δεν περνούν κυρίως από 50 ελέγχους ποιότητας και δε μελετάται η ψύξη τους για να βελτιωθούν και έτσι δυσαρεστούν τους καταναλωτές. Τα κράτη μέλη είναι αρμόδια για την παρακολούθηση της απόδοσης και της ασφάλειας των προϊόντων που πωλούνται στην αγορά της ΕΕ και φέρουν τη σήμανση CE (εποπτεία της αγοράς). Η ύπαρξη λοιπόν αποτελεσματικού συστήματος εποπτείας της αγοράς αποτελεί προϋπόθεση για την αφομοίωση υψηλής ποιότητας προϊόντων LED από την αγορά της ΕΕ.[6] Σύμφωνα με τον κανονισμό επίσης 1194/2012 (ΕΕ) καθορίζονται κυρίως τα παρακάτω και πρέπει να εφαρμόζονται για όλα τα προϊόντα τεχνολογίας LED, τις διατάξεις ελέγχου τους και το συναφή εξοπλισμό τους.

- Απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για τους κατευθυντικούς λαμπτήρες LED και για τις διατάξεις ελέγχου τους.
- Απαιτήσεις λειτουργικότητας των κατευθυντικών λαμπτήρων LED (χρόνος εκκίνησης, συντελεστής συντήρησης της φωτεινής ροής μετά από 6000h, συντελεστής επιβίωσης λαμπτήρα μετά από 6000h, ποσοστό πρόωρης αστοχίας, χρόνος προθέρμανσης έως το 95% της φωτεινής ροής, χρωματική απόδοση, συντελεστής ισχύος
- Απαιτήσεις λειτουργικότητας για εξοπλισμό σχεδιασμένο προς εγκατάσταση μεταξύ του δικτύου παροχής ρεύματος και λαμπτήρων.
- Απαιτήσεις για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τους κατευθυντικούς λαμπτήρες LED: Πληροφορίες που πρέπει να αναγράφονται επί του λαμπτήρα (αριθμητική τιμή και μονάδα ονομαστικής ωφέλιμης φωτεινής ροής, θερμοκρασία χρώματος και της ονομαστικής γωνίας δέσμης).
- Πληροφορίες για το προϊόν που πρέπει να αναγράφονται στη συσκευασία και σε ιστότοπους (αριθμητική τιμή και μονάδα ονομαστικής ωφέλιμης φωτεινής ροής, θερμοκρασία χρώματος, ονομαστική γωνία δέσμης, ονομαστική διάρκεια ζωής του λαμπτήρα σε ώρες, διαστάσεις του λαμπτήρα, κ.α.)
- Πρόσθετες απαιτήσεις για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τους λαμπτήρες LED προς αντικατάσταση λαμπτήρων φθορισμού χωρίς ενσωματωμένο στραγγαλιστικό πηνίο.
- Απαιτήσεις για την παροχή πληροφοριών σχετικά με εξοπλισμό πλην φωτιστικών σχεδιασμένων προς εγκατάσταση μεταξύ του δικτύου παροχής ρεύματος και λαμπτήρων.
- Απαιτήσεις πληροφοριών προϊόντος για εργαλεία ελέγχου λαμπτήρων.
- Διαδικασία επαλήθευσης των δηλωμένων από τον κατασκευαστή τεχνικών χαρακτηριστικών των λαμπτήρων LED. [11]

Υψηλό αρχικό κόστος αγοράς: Η ταχεία πρόοδος που σημειώνεται στα κατασκευαστικά στοιχεία SSL, τις μεθόδους παραγωγής τους και οι μεγάλες επενδύσεις από διάφορες εταιρίες, οδηγούν στην πτώση του κόστους των SSL κατά ποσοστό 30% ανά έτος. Στο άμεσο μέλλον όμως, οι λαμπτήρες LED θα εξακολουθήσουν να είναι ακριβότεροι και πάλι από τις λοιπές τεχνολογίες φωτισμού. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ότι οι υψηλής ποιότητας LED έχουν μικρότερο κόστος συντήρησης επειδή

προσφέρουν μακρά 51 διάρκεια ζωής. Έτσι οι επαγγελματικοί κυρίως χρήστες πρέπει να αποφασίζουν για την αγορά των προϊόντων φωτισμού τους με βάση τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (total cost of ownership,TCO). [6,12]

Οι χρήστες κατά κανόνα δεν έχουν πλήρη επίγνωση των πλεονεκτημάτων και των δυνατοτήτων των τεχνολογιών SSL: Οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται ακόμη ότι η SSL είναι τεχνολογία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και δεν είναι σε θέση να σταθμίσουν το κόστος του φωτισμού SSL σε σύγκριση με τα πλεονεκτήματά του.[6]

Ανεπαρκής ή κακή ενημέρωση σχετικά με τα εν λόγω προϊόντα: Όταν οι καταναλωτές αποφασίζουν να αγοράσουν προϊόντα SSL, δυσκολεύονται να επιλέξουν το σωστό προϊόν, διότι πρέπει να κατανοήσουν διάφορες τεχνικές ιδιότητες οι οποίες δεν αναφέρονται ή, συχνά, δεν εξηγούνται καλά στη συσκευασία του προϊόντος [6]

Βιολογικά αποτελέσματα φωτός στον ανθρώπινο οργανισμό (ο «κίνδυνος κυανού φωτός»): Έχουν εκφραστεί ανησυχίες για τις επιπτώσεις που έχει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα η κυανή φασματική συνιστώσα του φωτός των LED λόγω φωτοχημικών αντιδράσεων. Η φωτοαμφιβληστροειδίτιδα, φωτοχημική βλάβη στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, είναι η σημαντικότερη επιπλοκή που μπορεί να προκληθεί από υψηλή εισερχόμενη στο μάτι ενέργεια με μήκη κύματος στην μπλε και ιώδες περιοχή του ορατού φάσματος. Στην ουσία ο κίνδυνος για φωτοχημικές βλάβες στον αμφιβληστροειδή μεγιστοποιείται στα 440nm ενώ μειώνεται κατά μεγάλο βαθμό πάνω από τα 500nm. Το μπλε τμήμα του φάσματος το φωτός που εκπέμπουν τα LED συμβάλλει ακόμα στην νυχτερινή καταστολή της μελατονίνης, που αποτελεί ορμονικό προϊόν της επίφυσης. Στο φαινόμενο αυτό αποδίδουν πολλές επιδημιολογικές μελέτες την αύξηση του αριθμού των ασθενών με καρκίνο οι οποίοι εκτίθενται καθημερινά σε τεχνητό φως. Θα πρέπει επομένως με τη χρήση κάποιου ειδικού περιβλήματος να φιλτράρονται οι ακτινοβολίες που εκπέμπουν τα LED στην περιοχή 440-540nm καθώς οι ακτινοβολίες με αυτά τα μήκη κύματος έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό.[23]

Ταχεία τεχνολογική απαξίωση: Οι χρήστες δίσταζαν στο παρελθόν να επενδύσουν σε SSL λόγω της πτώσης των τιμών και της ραγδαίας τεχνολογικής βελτίωσης (κάθε 18-24 μήνες διπλασιασμός της φωτεινής απόδοσης των LED στα εργαστήρια [6,12]. Τα τελευταία χρόνια δεν διστάζουν στο ίδιο βαθμό και στο εξωτερικό υπάρχει πλέον αυξημένη ζήτηση των συγκεκριμένων προϊόντων.

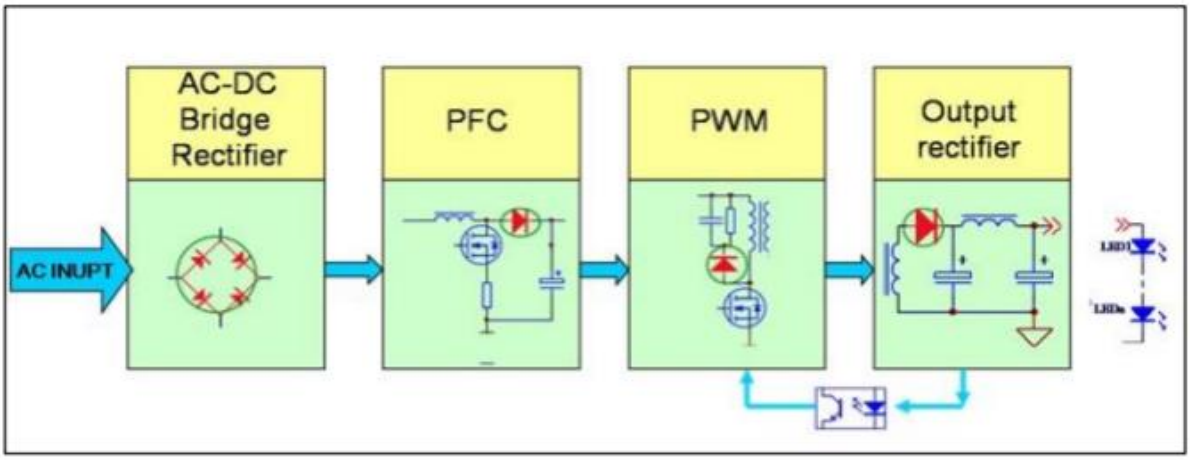
2.1.3 Φωτιστικά σώματα

Τα φωτιστικά σώματα, αποτελούν εργαλεία στα χέρια του σχεδιαστή για τη δημιουργία ενδιαφέροντος φωτιστικού συνόλου. Σημαντικό στοιχείο σε μια μελέτη φωτισμού είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών και των προδιαγραφών των φωτιστικών σωμάτων.

2.1.3.1 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών και προδιαγραφών φωτιστικών σωμάτων

Βασικά στοιχεία που αποτελούν το φωτιστικό σώμα: Είναι η φωτεινή πηγή, ο ανακλαστήρας, το διαφανές κάλυμμα της διάταξης και το σώμα. Οι λαμπτήρες εκκένωσης και φθορισμού απαιτούν και συσκευές ελέγχου της τάσης του ρεύματος, οι οποίες συνήθως τοποθετούνται και αυτές μέσα στο φωτιστικό σώμα.

Οι φωτεινές πηγές LED απαιτούν ειδικές συσκευές για την επίτευξη σωστής λειτουργίας τους. Τα LED είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε χαμηλή τάση (12- 24V) και συνεχές ρεύμα. Το δίκτυο παρέχει εναλλασσόμενο ρεύμα και τάση που κυμαίνεται από 120-277 V . Οι LED drivers λοιπόν μετατρέπουν την υψηλή τάση και το εναλλασσόμενο ρεύμα σε χαμηλή τάση και συνεχές ρεύμα αντίστοιχα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου βασικό δομικό στοιχείο του driver είναι μία ανορθωτική διάταξη, όπως για παράδειγμα ένας ανορθωτής γέφυρας.(Εικόνα 2.16) Το DC ρεύμα στην έξοδο του ανορθωτή μεταβιβάζεται σε μία διάταξη διόρθωσης συντελεστή ισχύος (PFC). Το εν λόγω κύκλωμα βελτιώνει το συντελεστή ισχύος της διάταξης, καθώς η λειτουργία με έναν χαμηλό συντελεστή ισχύος θα οδηγούσε σε μη αποδοτική χρήση ενέργειας και κατ' επέκταση σε αυξημένο λειτουργικό κόστος αλλά και χαμηλή απόδοση. Σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να αυξομοιωθεί η ένταση φωτισμού του LED χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα PWM, η έξοδος του οποίου είναι ένας τετραγωνικός παλμός. Μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας (duty cycle) του παλμού αυτού επιτυγχάνεται η επιθυμητή τάση εξόδου. Τέλος, παρεμβάλλεται ένας ανορθωτής για την τελική σταθεροποίηση και εξομάλυνση της τάσης εξόδου. [13]



Εικόνα 11: Τυπική διάταξη ενός LED driver. (Πηγή: http://www.thinkisemi.com/join.php?cid/14.htm)

Ο ανακλαστήρας χρησιμεύει στη συγκέντρωση της φωτεινής ακτινοβολίας και κατεύθυνσή της προς την επιθυμητή περιοχή φωτισμού. Κατασκευάζεται από αλουμίνιο. Το διαφανές κάλυμμα κατασκευάζεται από γυαλί ή πλαστικό (μόνο γυαλί για υψηλή ισχύ λαμπτήρα). Με την ύπαρξη των οπτικών βοηθημάτων που προαναφέρθηκαν γίνεται πλέον σαφές ότι η ολική απόδοση και τα χαρακτηριστικά 53 του παραγόμενου φωτισμού δεν εξαρτώνται μόνο από την φωτεινή πηγή, αλλά και από το σχεδιασμό ολόκληρου του φωτιστικού σώματος, το οποίο λειτουργεί ως ενιαίο σύνολο.[3,17] Αξίζει να σημειωθεί ότι το σημαντικότερο στοιχείο ενός φωτιστικού σώματος είναι το κάτοπτρο, το οποίο ελέγχει τη φωτεινή ροή και της δίνει συγκεκριμένη διεύθυνση και ένταση. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τη μορφή του (παραβολικό, ελλειπτικό, υπερβολικό, σφαιρικό) και την ειδική επεξεργασία που δέχεται η επιφάνειά του. Στα φωτεινές πηγές LED είναι προσαρμοσμένοι φακοί ως οπτικά συστήματα σε αντίθεση με τα συμβατικά φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του ανακλαστήρα.

Επίσης, για την αποφυγή της θάμβωσης του παρατηρητή και της διάχυσης του φωτός στην ατμόσφαιρα (φαινόμενο φωτορύπανσης), σε κάποιες περιπτώσεις απαιτείται η χρήση κατάλληλων ανακλαστήρων, φακών, σκιάστρων και αντιθαμβωτικών περσίδων στο φωτιστικό σώμα. Κατά αυτό τον τρόπο μειώνονται τα παραπάνω φαινόμενα, αφού περιορίζεται η φωτεινή δέσμη στα όρια της επιφάνειας που είναι επιθυμητό να φωτιστεί και μειώνεται η ποσότητα του φωτός που χάνεται προς τα επάνω. [2]

Βασικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων: Αφορούν στον τόπο τοποθέτησης, τον τρόπο τοποθέτησης, τα είδη των λαμπτήρων που δέχονται, τον τρόπο εκπομπής του φωτός (τύπος φωτισμού) και την καταλληλότητα χρήσης των φωτιστικών σωμάτων σε

εσωτερικό ή εξωτερικό υπαίθριο χώρο.[14,1] Ακόμη, πολύ σημαντικό είναι το σχήμα, το χρώμα και οι διαστάσεις του φωτιστικού σώματος για την καλύτερη ενσωμάτωση του εξοπλισμού στα δομικά υλικά του κτιρίου, με στόχο να είναι ορατά μόνο τα αποτελέσματα του φωτισμού και όχι οι φωτεινές πηγές.[2]

Συντελεστής Απόδοσης Φωτιστικού L0R (Light output ratio): Δείχνει τι ποσοστό από την φωτεινή ροή του λαμπτήρα που έχει τοποθετηθεί στο φωτιστικό εκπέμπεται στο περιβάλλον. Σημαντικότατος παράγοντας στην επιλογή των φωτιστικών δείχνει ότι την διαφορά στον φωτισμό δεν την κάνουν οι λαμπτήρες, αλλά τα φωτιστικά (η οπτική και η καθαρότητα του φακού). Για παράδειγμα προκειμένου να διαλέξουμε ανάμεσα στο Α και το Β φωτιστικό αν έχουν το Α= L0R =70% και το Β= L0R=68% συγκρίνουμε περίπου ισοδύναμα. Αν όμως το Β= L0R=34,7% τότε απαιτούνται δύο Β για να έχουμε ίδιο φωτισμό.[15,16]

Συντελεστής Χρησιμοποίησης CU (Coefficient of Utilization): Καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο αποδίδεται το φως στο επίπεδο εργασίας από το φωτιστικό σώμα. Ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης δεν είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται μόνο από το είδος του φωτιστικού (κατασκευαστική μορφή) αλλά και από και από τη γεωμετρία και τη μορφή των επιφανειών του χώρου.[3,17]

Κατηγοριοποίηση IP: Στην επιλογή του φωτιστικού σώματος σημαντικός παράγοντας είναι ο βαθμός προστασίας IP. Πρόκειται για έναν δείκτη που καθορίζεται από τους κανονισμούς EN 60529 και χαρακτηρίζεται από δύο 54 αριθμητικά ψηφία, που φανερώνουν την προστασία του φωτιστικού ενάντια στη διείσδυση στερεών σωματιδίων και στη διείσδυση υγρών, αντίστοιχα. Για χρήση σε εξωτερικό χώρο το φωτιστικό οφείλει να έχει δείκτη τουλάχιστον IP54. [3,18] Οι διάφορες περιπτώσεις του βαθμού προστασίας, παρατίθενται στον πίνακα 2.3

Περιγραφή βαθμού προστασίας			
Ψηφίο 1		Ψηφίο 2	
Προστασία έναντι στερεών σωματιδίων		Προστασία έναντι υγρών	
0	Δεν παρέχει προστασία έναντι στερεών σωματιδίων	0	Καμία προστασία
1	Προστασία σε κάθε μεγάλη επιφάνεια Του σώματος όπως το πίσω μέρος του χεριού, αλλά δεν παρέχει προστασία ενάντια σε σκόπιμη επαφή με ένα	1	Σταγόνες νερού (σε κάθετη πρόπτωση) δεν επιφέρουν κανένα αρνητικό αποτέλεσμα.

	μέρος του σώματος		
2	Προστασία σε δάχτυλα ή αντικείμενα παρόμοιου μεγέθους	2	Σταγόνες νερού που πέφτουν σε θωράκιση με κλίση 15ο δεν επιφέρουν αρνητικό αποτέλεσμα
3	Προστασία σε εργαλεία, χονδρά καλώδια κ.λ.π.	3	Νερό που ψεκάζεται με κλίση έως 60ο δεν επιφέρει αρνητικό αποτέλεσμα
4	Προστασία σε εργαλεία, καλώδια μεγαλύτερα από 1 mm πάχος. Προστασία ενάντια στην είσοδο μικρών ξένων σωμάτων.	4	Το υγρό που έρχεται από οποιαδήποτε κατεύθυνση δεν έχει βλαπτική επίδραση
		5	Το νερό που εκτοξεύεται από έναν ψεκαστήρα δεν έχει βλαπτική επίδραση
5	Πλήρη προστασία στην επαφή αντικειμένων. Προστασία σε καταστροφικά αποθέματα σκόνης. Η σκόνη μπορεί να εισχωρεί αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό	6	Όλα τα παραπάνω και προστασία έναντι συνθηκών θάλασσας.
		7	Προστασία στη μερική βύθιση μέσα σε νερό: το νερό δεν πρέπει να εισχωρεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου
6	Πλήρη προστασία στην επαφή αντικειμένων. Πλήρη προστασία στη σκόνη.	8	Προστασία έναντι αορίστου χρόνου στη βύθιση μέσα σε νερό κάτω από συγκεκριμένες πιέσεις (π.χ. για φωτιστικά πισίνας)

Πίνακας 7: Προσδιορισμός βαθμού προστασίας [19]

2.1.3.2 <u>Διατάξεις στήριξης φωτιστικών σωμάτων</u>

Σημαντικό βήμα της σχεδίασης φωτισμού είναι η επιλογή κατάλληλων θέσεων των φωτιστικών σωμάτων και αντίστοιχα των διατάξεων στήριξης τους, ώστε να τοποθετηθούν τα φωτιστικά στις θέσεις αυτές.

Για την τοποθέτηση του φωτιστικού σώματος λοιπόν στο επιθυμητό σημείο χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις πρόσθετες διατάξεις στήριξης. Συχνές είναι οι περιπτώσεις όπου το φωτιστικό σώμα στηρίζεται είτε σε υπάρχοντες ιστούς ή κατασκευές με την χρήση απλώς ενός βραχίονα (φωτισμό δρόμων, πάρκων, πλατειών), είτε απευθείας, χωρίς βραχίονα (σήραγγες).

Αν χρησιμοποιηθεί ολοκληρωμένη διάταξη στήριξης αυτή αποτελείται συνήθως από δύο επιμέρους τμήματα, τον ιστό και το βραχίονα. Τα υλικά κατασκευής ενός συνήθους ιστού

ηλεκτροφωτισμού είναι το αλουμίνιο και ο γαλβανισμένος ή ο ανοξείδωτος χάλυβας. Για την προστασία του υλικού πολλές φορές ο ιστός βάφεται ή επικαλύπτεται από πλαστικό. Επίσης, συχνά χρησιμοποιείται και το οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο όμως, αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης, ειδικά σε 55 παραθαλάσσιες περιοχές. Οι διατομές των ιστών μπορεί να είναι κυκλικές, σταθερής ή μεταβλητής διαμέτρου και πολυγωνικές (οι ιστοί από σκυρόδεμα είναι πάντα κυκλικής διατομής). Για την στήριξή τους, οι ιστοί από σκυρόδεμα εμπύγνηνται στο έδαφος, ενώ οι μεταλλικοί κοχλιώνονται σε βάση από σκυρόδεμα. Ο βραχίονας στήριξης του φωτιστικού σώματος στηρίζεται στην κορυφή του ιστού. Μπορεί να είναι ευθύγραμμος, με καμπύλη, οριζόντιος ή ελαφρά κεκλιμένος. Το μήκος του κυμαίνεται από 0.5 έως 4.5 m, ανάλογα με την απόσταση του ιστού από το έδαφος και την επιθυμητή θέση του φωτιστικού σώματος σε σχέση με αυτό. Οι βραχίονες μπορεί να είναι μονοί ή διπλοί.[3]

2.2 ***Ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων***

Καθώς όλο και περισσότεροι δήμοι αλλά και μεγάλες επιχειρήσεις ξεκινούν την αναβάθμιση της υποδομής του εξωτερικού φωτισμού τους σε διόδους εκπομπής φωτός (LED), μια κρίσιμη απόφαση που μπορεί εύκολα να παραλειφθεί είναι ο τύπος υποδοχής που θα έχουν τα φωτιστικά προκειμένου να είναι εφικτή η απομακρυσμένη διαχείριση τους (ON/OFF/dimming). Οι κατασκευαστές φωτιστικών προσφέρουν πολλές επιλογές, δίνοντας την δυνατότητα να τεθούν γερές βάσεις για την μελλοντική επέκταση της υποδομής του έξυπνου φωτισμού.

Οι δύο επικρατέστερες επιλογές στην περίπτωση ελέγχου σε επίπεδο φωτιστικού (και όχι σε επίπεδο pillar-έλεγχος ομάδας φωτιστικών) είναι η υποδοχή ANSI C136.41 και η υποδοχή Zhaga Book 18 που προέκυψαν από δύο παγκόσμιους οργανισμούς προτύπων.

2.2.1 Ιστορική Αναδρομή

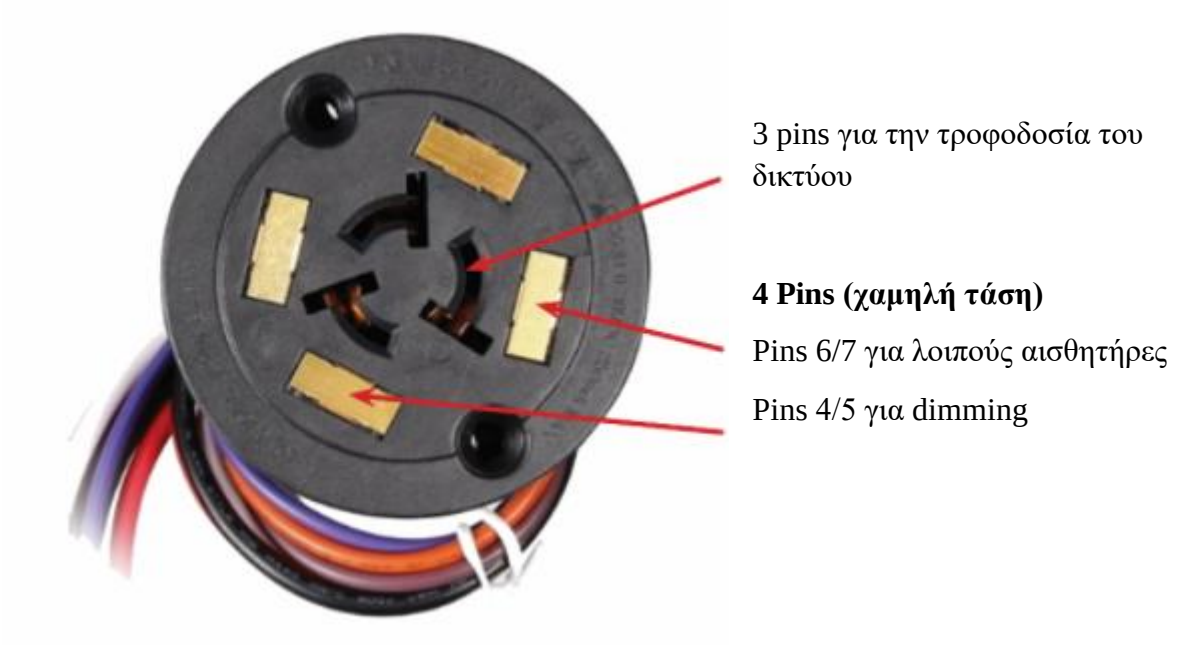
Το 1979, επικυρώθηκε το Πρότυπο ANSI C136.10. Αυτό το Πρότυπο καθόρισε μια φυσική διεπαφή τριών ακίδων (three-pin) για χειριστήρια περιστροφής κλειδώματος για φωτοχειριστήρια που χρησιμοποιούνται σε δημόσια και ιδιωτικά φωτιστικά. Το 2013, το Πρότυπο βελτιώθηκε για να συμπεριλάβει τέσσερις νέες ακίδες (χαμηλής τάσης) για το χειρισμό της έντασης του φωτός και μελλοντικές υπηρεσίες. Αυτό το νέο Πρότυπο ορίζεται στο Πρότυπο ANSI C136.41. Δεδομένου του ρόλου NEMA στους ομίλους Προτύπων, η

βιομηχανία άρχισε να αναφέρεται στην υποδοχή ANSI C136.41 ως "υποδοχή NEMA επτά ακίδων". Το Dimming ήταν η πρωταρχική περίπτωση νέας χρήσης και για το σκοπό αυτό εκχωρήθηκαν οι ακίδες τέσσερα και πέντε΄ οι μελλοντικές υπηρεσίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν τις ακίδες έξι και επτά βρίσκονται επί του παρόντος υπό ανάπτυξη κατά την αναθεώρηση του Standard [37].

Η Ευρώπη παραδοσιακά δεν χρησιμοποιούσε εξωτερικούς ελεγκτές σε μεμονωμένα φωτιστικά σώματα. Αντίθετα, υπήρχε ένας συνδυασμός εσωτερικών ελεγκτών και ελεγκτών που τοποθετούνταν σε pillar. Το 2019, η Κοινοπραξία Zhaga επέκτεινε το Book 18 «για να δημιουργήσει ένα διαλειτουργικό σύστημα φωτιστικού εξωτερικού χώρου και μονάδων ανίχνευσης/επικοινωνίας». Στόχος ήταν η δημιουργία ενός οικοσυστήματος διαλειτουργικών προϊόντων από προμηθευτές φωτιστικών σωμάτων και προμηθευτές αισθητήρων. Σε αντίθεση με το Πρότυπο ANSI, αυτή η προδιαγραφή βασίστηκε σε τέσσερις συνδέσεις χαμηλής τάσης και ισχύ συνεχούς ρεύματος. Αυτή η νέα διασύνδεση σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιείται για αισθητήρες που επιτρέπουν έλεγχο φωτισμού, αλλά και έχοντας κατά νου τους συνδεδεμένους αισθητήρες πόλεων [37].

2.2.2 Υποδοχή NEMA επτά ακίδων (seven-pin NEMA socket)

Περιλαμβάνει τρεις ακίδες για την τροφοδοσία του δικτύου και τέσσερις ακίδες για την σηματοδότηση χαμηλής τάσης.



Εικόνα 12: Υποδοχή seven-pin NEMA

Η κύρια χρήση της υποδοχής ANSI C136.41 είναι για τον έλεγχο έναυσης και σβέσης ενός εξωτερικού φωτιστικού. Αυτό ξεκίνησε με την πρώτη έκδοση τριών ακίδων (ANSI C136.10) με έναν απλό αισθητήρα φωτοκύτταρων συνδεδεμένο. Όταν τοποθετηθούταν σωστά στην υποδοχή, το φωτοκύτταρο χρησιμοποιούσε έναν εσωτερικό φωτο-οπτικό αισθητήρα για τη μέτρηση των επιπέδων φωτός γύρω από το φωτιστικό. Κατά το σούρουπο, όταν το φως του περιβάλλοντος έπεφτε κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο το φωτοκύτταρο έκλεινε ένα ρελέ που ενεργοποιούσε το φωτιστικό. Ομοίως, την αυγή, το φωτοκύτταρο άνοιγε το ρελέ μόλις το φως του περιβάλλοντος ήταν πάνω από το κατώφλι.

Καθώς τα φωτιστικά LED με συνεχή ρύθμιση του φωτισμού γίνονταν πιο οικονομικά, αυτό το είδος εξαρτήματος οδήγησε στην εισαγωγή και υιοθέτηση της έκδοσης με πέντε και επτά ακίδες (ANSI C136.41). Όταν συνδυάζεται με ένα «έξυπνο φωτοκύτταρο», το οποίο λαμβάνει και αποκρίνεται σε ένα σήμα, το φωτιστικό LED (και ο εσωτερικός LED driver) θα υποστήριζε την περίπτωση χρήσης της μείωσης της φωτεινότητας της λάμπας σε κάποια τιμή μικρότερη από 100 τοις εκατό φωτεινότητας. Αυτή η δυνατότητα μείωσης της φωτεινότητας είναι χρήσιμη για περιπτώσεις όπου το φωτιστικό LED παρέχει περισσότερο φως από αυτό που χρειάζεται ή σε περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας.

Επί του παρόντος, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, χρησιμοποιούνται πέντε ακροδέκτες: τρεις ακροδέκτες για την τροφοδοσία δικτύου και δύο ακροδέκτες για τη μείωση της έντασης του σήματος στα φωτιστικά LED. Με το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις έξυπνες πόλεις και τους αισθητήρες IoT, οι δύο επιπλέον ακίδες (έξι και επτά) θεωρούνται πλέον ως ένας απλός τρόπος σύνδεσης αισθητήρων (π.χ. αισθητήρες ποιότητας αέρα, αισθητήρες παρακολούθησης κυκλοφορίας). Με νέες δυνατότητες που εισάγονται από τα έξυπνα φωτοκύτταρα, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη λύση.

Από την έκδοση της υποδοχής NEMA επτά ακίδων, έχουν τοποθετηθεί δεκάδες εκατομμύρια φωτιστικά LED που την περιλαμβάνουν. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι επιπλέον ακίδες (έξι και επτά) δεν χρησιμοποιούνται. Μάλιστα, τα καλώδια μέσα στο φωτιστικό δεν συνδέονται με τίποτα. Αυτή η μεγάλη εγκατεστημένη βάση παρέχει την ευκαιρία σε πόλεις, επιχειρήσεις κοινής ωφελείας ή άλλους ιδιοκτήτες να εγκαταστήσουν αισθητήρες και συσκευές που συλλέγουν συγκεκριμένα δεδομένα που θεωρούνται πολύτιμα για αυτούς.

Η αξιοποίηση των ακίδων έξι και επτά της υποδοχής NEMA είναι ένας τρόπος επέκτασης των εφαρμογών μιας συνδεδεμένης πόλης, σχεδιάζοντας διεπαφές αισθητήρων για να

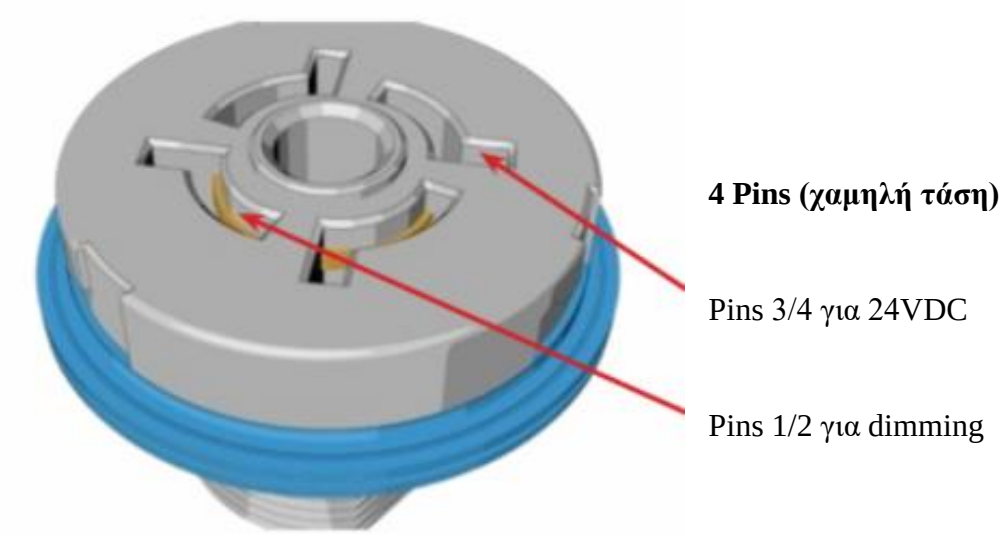
ανταποκρίνονται στις ανάγκες των πελατών. Η επιτροπή ANSI C136 εργάζεται για την τυποποίηση των διεπαφών και των πρωτοκόλλων επικοινωνιών που υποστηρίζονται στις ακίδες έξι και επτά. Ωστόσο, πολλοί κατασκευαστές έχουν εφαρμόσει λύσεις που είναι διαθέσιμες στην αγορά σήμερα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ή εικόνα ενός NEMA 7-PIN controller κατάλληλου για τοποθέτηση στην υποδοχή ANSI C136.41 ενός φωτιστικού

Εικόνα 13:Ελεγκτής φωτιστικού σώματος NEMA 7 pin

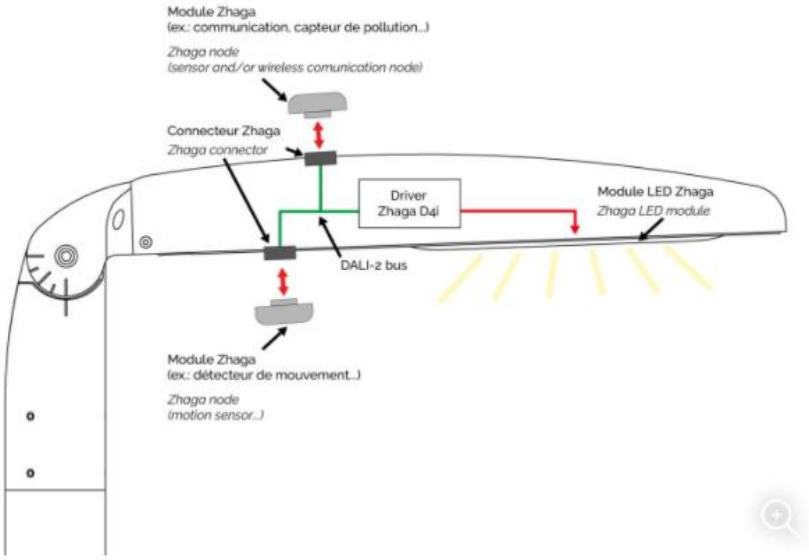
2.2.3 ***Υποδοχή*** **ZHAGA BOOK 18**

Περιλαμβάνει τέσσερις ακίδες για σηματοδότηση χαμηλής τάσης



Εικόνα 14: Υποδοχή ZHAGA BOOK 18

Όλο και περισσότερα έργα έξυπνων φωτιστικών δρόμου στην Ευρώπη προσδιορίζουν την ύπαρξη υποδοχής Zhaga στο επάνω μέρος του φωτιστικού. Οι ελεγκτές που βασίζονται στο Zhaga τροφοδοτούνται με ισχύ χαμηλής τάσης από τον LED driver, γεγονός που μειώνει το κόστος, μειώνει το μέγεθος και παρέχει αξιοπιστία επειδή υπάρχουν λιγότερα ηλεκτρονικά εξαρτήματα στον ελεγκτή. Επιπλέον, με την προσθήκη μιας δεύτερης υποδοχής Zhaga στο κάτω μέρος του φωτιστικού, μπορεί να αναπτυχθεί ένας αισθητήρας. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτοί οι αισθητήρες πρέπει να καταναλώνουν πολύ λίγη ισχύ, επειδή υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το πόση βοηθητική ισχύς είναι διαθέσιμη από από τον LED driver που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του ελεγκτή. Η υποδοχή Zhaga ισχύει μόνο για συστήματα καλωδίωσης DALI.



Εικόνα 15:Παράδειγμα προσθήκης μιας δεύτερης υποδοχής Zhaga (πηγή : https://www.flux-lighting.com/newsroom/zhaga-components/)

Παρακάτω παρουσιάζεται ή εικόνα ενός ZHAGA ελεγκτή κατάλληλου για τοποθέτηση στην υποδοχή *ZHAGA BOOK 18* ενός φωτιστικού.

Εικόνα 16: Ελεγκτής φωτιστικού σώματος ZHAGA (πηγή: https://intelilight.eu/intelilight-new-zhaga-socket)

2.2.4 Σύγκριση μεταξύ NEMA 7PIN και Zhaga Book 18

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο προτύπων:

NEMA 7PIN (ANSI C136.41)

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Εκατομμύρια φωτιστικά LED έχουν αναπτυχθεί με αυτήν τη δυνατότητα.
- ✓ Μπορούν να προστεθούν αισθητήρες σε οποιοδήποτε φωτιστικό δρόμου με περιορισμένες αλλαγές στην καλωδίωση του φωτιστικού [37].
- ✓ Πολλές εφαρμογές για συνδεδεμένες πόλεις (παρακολούθηση κυκλοφορίας, ποιότητα αέρα, δυναμικός φωτισμός) μπορούν να αναπτυχθούν, προσθέτοντας ευελιξία στη χρήση, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος [37].

Μειονεκτήματα:

- ✓ Μπορεί να είναι αισθητικά μη ελκυστικό για κάποιους, λόγω του μεγέθους του

ZHAGA BOOK 18

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, καθώς οι ελεγκτές τροφοδοτούνται από τους LED drivers των φωτιστικών [37].
- ✓ Παρέχει σήμα και ισχύ για αισθητήρες χαμηλής ισχύος [37].
- ✓ Βελτιώνουν το αισθητικό αποτέλεσμα σε σχέση με τους NEMA ελεγκτές λόγω μικρότερου μεγέθους..

Μειονεκτήματα:

- ✓ Δεν ενδείκνυνται για σύνδεση αισθητήρων έξυπνης πόλης λόγω των υψηλότερων απαιτήσεων των τελευταίων σε ισχύ [37].
- ✓ Μπορεί να περιλαμβάνει εξοπλισμό υψηλότερου αρχικού κόστους που εξαρτάται από το πρωτόκολλο DALI [37].

2.3 ***Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things-IoT)***

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας μεγάλου αριθμού συσκευών, αισθητήρων και αντικειμένων που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν σε τοπικό ή παγκόσμιο δίκτυο με στόχο την ανταλλαγή δεδομένων τόσο μεταξύ τους όσο και με τον τελικό χρήστη.

Το Internet of Things, θεωρείται η νέα επανάσταση στον τομέα των τεχνολογιών και συγκεκριμένα της επικοινωνίας. Λόγω της μεγάλης αύξησης του αριθμού των συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο τα τελευταία έτη, έχουν παρουσιαστεί νέες ιδέες στο τομέα της τεχνολογίας δημιουργώντας με τη σειρά τους νέες ανάγκες. Αυτές οι συσκευές κυμαίνονται από συνηθισμένα οικιακά αντικείμενα έως εξελιγμένα βιομηχανικά εργαλεία. Με περισσότερες από 20 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές IoT σήμερα, οι ειδικοί αναμένουν ότι ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί σε 50 δισεκατομμύρια έως το 2025.

Εικόνα 17: Εφαρμογές IoT

Επίσης, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στη μείωση του κόστους παραγωγής, με αποτέλεσμα να είναι οικονομικά εφικτή η σύνδεση στο δίκτυο συσκευών που πριν από μερικά χρόνια θα φάνταζε ακατόρθωτο.

2.3.1 Είδη δικτύων για επικοινωνία IoT συσκευών

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες χωρίζονται σε μικρής και μεγάλης εμβέλειας μετάδοσης. Οι κύριες προκλήσεις που εμφανίζονται στην εφαρμογή IoT λύσεων είναι:

- ✓ η διαχείριση κόστους του δικτύου,
- ✓ η επεκτασιμότητα και οργάνωσή του,
- ✓ η διαστασιολόγηση των τελικών συσκευών,
- ✓ η ενεργειακή ανεξαρτησία τους και
- ✓ η κάλυψη δικτύου

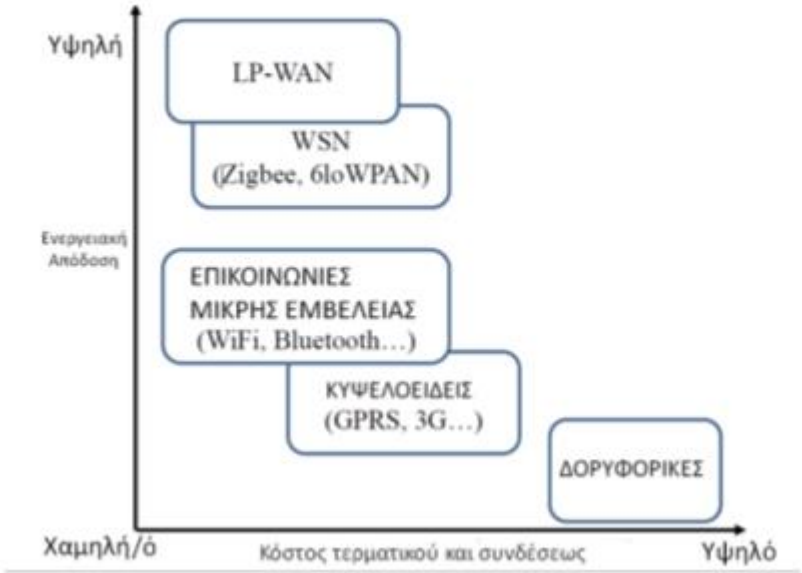
2.3.1.1 Συνδεσιμότητα Μικρής Εμβέλειας

Τα συστήματα μικρής εμβέλειας ήταν τα πρώτα που εφαρμόστηκαν σε δίκτυα ασύρματων αισθητήρων (Wireless Sensor Networks). Όσον αφορά το κόστος του δικτύου, ένα τυπικό χαρακτηριστικό των συνδέσεων αυτών είναι η ιδιωτική κτήση εξοπλισμού στο μεγαλύτερο μέρος του δικτύου. Ο παράγοντας αυτός δεν γίνεται να μην ληφθεί υπόψιν αφού αυξάνει το κόστος και την πολυπλοκότητα της λειτουργίας. Στην περίπτωση που ένα σύνηθες δίκτυο ασύρματων αισθητήρων υιοθετούταν από μία στρατηγική δημόσιας υποδομής, δε θα ήταν εφικτή η επικοινωνία ανάμεσα στους χρήστες και τον εγκατεστημένο εξοπλισμό, λόγω περιορισμών εμβέλειας μετάδοσης. Επομένως, θα ήταν απαραίτητος επιπλέον εξοπλισμός, όπως Σταθμοί Βάσης (Gateways) για να συνδέσουν τις τελικές συσκευές με τον Κεντρικό Σταθμό Βάσης.

Επιπρόσθετα, εμπεριέχονται προβλήματα που αφορούν τη λειτουργικότητα των End-Nodes σε εφαρμογές μικρής εμβέλειας μετάδοσης εξαιτίας της διαχείρισης του δικτύου σε μεγάλη κλίμακα,. Για παράδειγμα, οι τεχνολογίες WSN, (π.χ τα βασισμένα σε IEEE 802.15.4, ZigBee και 6loWPAN), παρουσιάζουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας συνδυάζοντας ταυτόχρονα χαμηλό κόστος κατασκευής τελικών συσκευών. Παρ' όλα αυτά θα ήταν απαραίτητος ένας μεγάλος αριθμός συγκεντρωτών (συλλέκτες πληροφορίας) σε σχετικά μεγάλα δίκτυα, κάτι το οποίο αυξάνει την συνολική κατανάλωση ενέργειας.

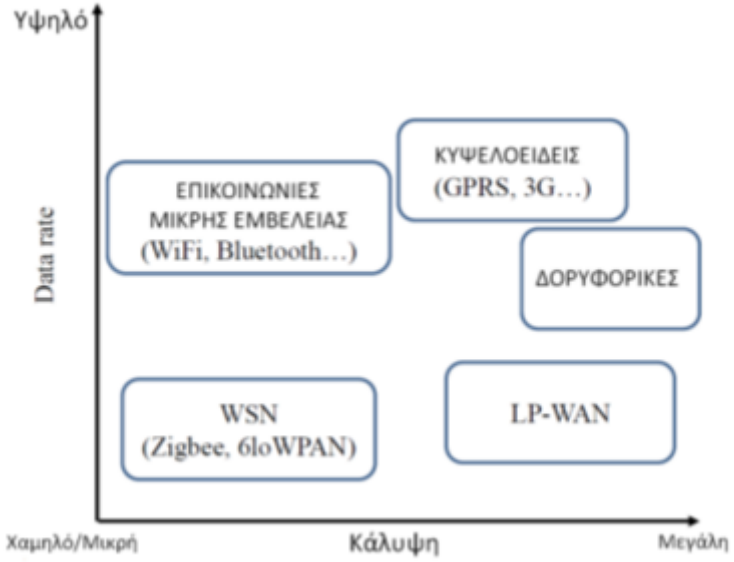
2.3.1.2 Συνδεσιμότητα Μεγάλης Εμβέλειας

Όσον αφορά τη μετάδοση μεγάλης εμβέλειας, τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται είναι τα κυψελοειδή. Βασίζονται σε δημόσιες υποδομές και είναι ευρέως διαδεδομένα για την κάλυψη που προσφέρουν σε μεγάλες περιοχές. Τέτοια είναι για παράδειγμα, τα πρότυπα δίκτυα GSM, GPRS, 3G/4G και το επερχόμενο 5G. Οι τελικές συσκευές συλλέγουν τα δεδομένα και στη συνέχεια τα στέλνουν στο Cloud μέσω συνδέσμου κυψελοειδών δεδομένων. Το κύριο πρόβλημα όμως, είναι ότι αυτά τα συστήματα σχεδιάστηκαν έτσι, ώστε να ικανοποιήσουν διαφορετικές ανάγκες από αυτές των IoT συσκευών (Narsalla et al, 2013). Οι υπάρχοντες κυψελοειδείς σταθμοί βάσης είναι ικανοί να υποστηρίξουν ένα μικρό σχετικά αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, σε σύγκριση με την ανάγκη που υπάρχει σε εφαρμογές αισθητήρων. Ακόμη, τα συστήματα ελέγχου απαιτούν συνήθως ένα δίκτυο με πολλούς αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης που μπορούν να συνδεθούν και να στέλνουν περιοδικά μηνύματα πληροφορίας μερικών byte. Για το λόγο αυτό, τα κυψελοειδή δίκτυα είναι στην παρούσα τους μορφή, μάλλον ακατάλληλα προς χρήση σε όρους επεκτασιμότητας και κατανάλωσης ενέργειας για τις εφαρμογές αυτές όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Αν εστιάσει κανείς στην ενεργειακή απόδοση, τα κυψελοειδή δίκτυα απαιτούν συνεχή επικοινωνία μεταξύ τελικών συσκευών και σταθμών βάσης για κάθε ενέργεια, γεγονός που εξαντλεί τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.



Εικόνα 18: Ενεργειακή απόδοση και κόστος τελικής συσκευής και συνδέσεως

Για όλους τους παραπάνω λόγους, τα Δίκτυα Χαμηλής Ισχύος και Ευρείας Κάλυψης (LP-WAN) εμφανίζονται σαν μία εναλλακτική λύση μεταδόσεων μεγάλης εμβέλειας για να καλύψουν τις ανάγκες που έχουν οι IoT υπηρεσίες



Εικόνα 19: Data rate και κάλυψη

2.3.1.3 <u>*LP-WAN λύσεις για υπηρεσίες IoT*</u>

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσονται όλο και περισσότερες πλατφόρμες που ακολουθούν τη φιλοσοφία των δικτύων LP-WAN. Στόχος των ενεργειών αυτών είναι η εκμετάλλευση της μεγάλης εμβέλειας που παρουσιάζεται στα κυψελοειδή δίκτυα και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας των WSN. Πολλά από τα LP-WAN εγχειρήματα βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, ενώ κάποια έχουν ήδη ξεκινήσει να αναπτύσσουν την αρχιτεκτονική τους. Οι LoRa, Sigfox και NB-IoT είναι οι πρωτοπόρες πλατφόρμες στον τομέα των δικτύων LP-WAN, παρουσιάζουν έντονους ρυθμούς ανάπτυξης και έχουν ήδη ξεκινήσει να παρέχουν IoT υπηρεσίες που χρησιμοποιούν επιχειρήσεις και ιδιώτες (Margelis et al, 2015).

Συνοψίζοντας, τα κύρια πλεονεκτήματα των δικτύων LPWAN είναι τα εξής:

- Μεγάλη επεκτασιμότητα και εμβέλεια, απαραίτητα χαρακτηριστικά δικτύων σε μεγάλες περιοχές με έντονη συμφόρηση.
- Περιαγωγή, που είναι χρήσιμη στην ιχνηλασιμότητα αγαθών κατά την αποστολή.
- Ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες μπορούν είτε να προγραμματιστούν από τον χρήστη, είτε από το σύστημα διαχείρισης του LP-WAN.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας τελικών συσκευών και χαμηλό κόστος.

LoRa και LoRaWAN

Το LoRa (από το "long range") είναι μια ιδιόκτητη τεχνική διαμόρφωσης δικτύου ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης.[24] Βασίζεται σε τεχνικές διαμόρφωσης φάσματος εξάπλωσης που προέρχονται από την τεχνολογία chirp spread spectrum (CSS).[25] Αναπτύχθηκε από την Cycleo της Greloble της Γαλλίας και αποκτήθηκε από τη Semtech, το ιδρυτικό μέλος της Συμμαχίας LoRa. Είναι κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.[26]

Το LoRa χρησιμοποιεί ζώνες ραδιοσυχνοτήτων χωρίς άδεια, όπως EU433 (433,05-434,79 MHz) και EU863-870 (863–870/873 MHz) στην Ευρώπη. Το LoRa επιτρέπει μεταδόσεις μεγάλης εμβέλειας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.[27] Η τεχνολογία καλύπτει το φυσικό επίπεδο, ενώ άλλες τεχνολογίες και πρωτόκολλα όπως το LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) καλύπτουν τα ανώτερα επίπεδα. Μπορεί να επιτύχει ρυθμούς δεδομένων μεταξύ 0,3 kbit/s και 27 kbit/s, ανάλογα με τον παράγοντα διασποράς.[28]

Sigfox

Το Sigfox επιτρέπει την επικοινωνία χρησιμοποιώντας τη ραδιοφωνική ζώνη Industrial, Scientific και Medical που χρησιμοποιεί 868 MHz στην Ευρώπη και 902 MHz στις ΗΠΑ. Χρησιμοποιεί ένα σήμα ευρείας εμβέλειας που διέρχεται ελεύθερα μέσα από στερεά αντικείμενα, που ονομάζεται «Ultra Narrowband» και απαιτεί λίγη ενέργεια και ανήκει στα LPWAN δίκτυα (δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωση). Το δίκτυο βασίζεται στην τοπολογία αστέρα και απαιτεί από έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας να μεταφέρει την κίνηση που δημιουργείται. [29] Το σήμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει εύκολα μεγάλες περιοχές και να φτάσει σε υπόγεια αντικείμενα. [30] Από τον Νοέμβριο του 2020, το δίκτυο Sigfox IoT έχει καλύψει συνολικά 5,8 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα σε σύνολο 72 χωρών με 1,3 δισεκατομμύρια παγκόσμιου πληθυσμού. [31]

NB-IoT

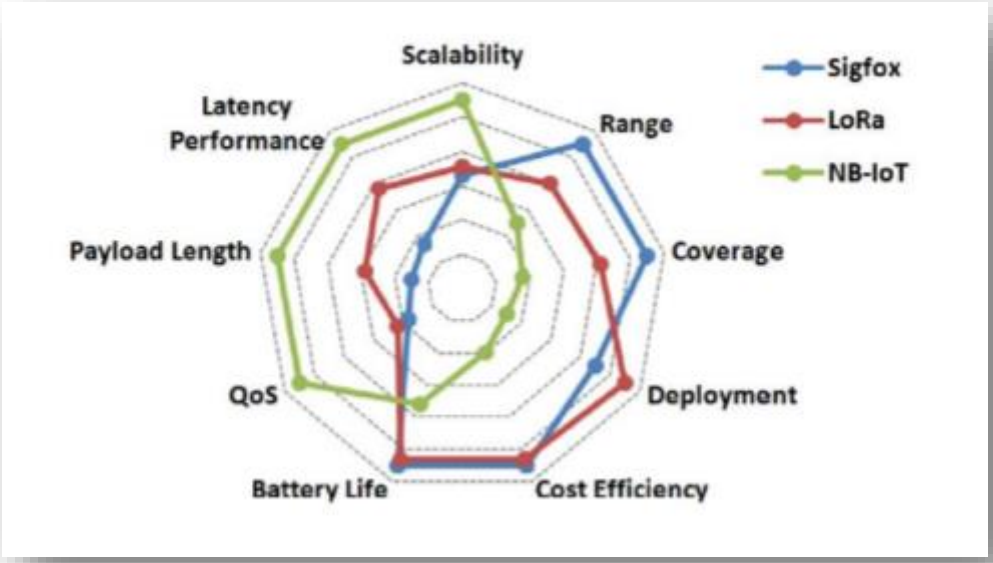
Το Narrowband Internet of things (NB-IoT) είναι ένα ραδιοτεχνολογικό πρότυπο χαμηλής κατανάλωσης ευρείας περιοχής δικτύου (LPWAN) που αναπτύχθηκε από το 3GPP για συσκευές και υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας.[32][33]

Το NB-IoT εστιάζει ειδικά στην κάλυψη εσωτερικών χώρων, το χαμηλό κόστος, τη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την υψηλή πυκνότητα σύνδεσης. Το NB-IoT χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο του προτύπου LTE, αλλά περιορίζει το εύρος ζώνης σε μια στενή ζώνη των

200 kHz. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDM για επικοινωνία κατερχόμενης ζεύξης και SC-FDMA για επικοινωνίες άνω ζεύξης.[34][35][36] Οι εφαρμογές IoT που απαιτούν πιο συχνές επικοινωνίες θα εξυπηρετούνται καλύτερα από το NB-IoT, το οποίο δεν έχει περιορισμούς κύκλου λειτουργίας που λειτουργούν στο αδειοδοτημένο φάσμα.

2.3.2 *Επιλογή Δικτύου*

Όπως είναι φανερό, δεν υπάρχει μία μόνο λύση LP-WAN δικτύου που να ταιριάζει στις απαιτήσεις κάθε προβλήματος. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία γραφική αναπαράσταση των πλεονεκτημάτων του κάθε δικτύου.



Εικόνα 20: Πλεονεκτήματα μεταξύ των τεχνολογιών IoT σε διαφορετικούς παράγοντες

Οι ανάγκες ενός δικτύου που δίνει έμφαση στην διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών/αισθητήρων, την κάλυψη δικτύου αλλά και το κόστος ανάπτυξης, είναι φανερό πως καλύπτονται επαρκώς από το δίκτυο LoRaWAN. Επομένως, σύμφωνα και με τις απαιτήσεις του Δήμου Περιστεριού η μελέτη που έγινε, χρησιμοποιεί το LoRaWAN πρωτόκολλο επικοινωνίας με εξοπλισμό συμβατό με το δίκτυο αυτό.

2.4 ***Πλατφόρμα συλλογής, απεικόνισης δεδομένων και έξυπνης διαχείρισης Φωτιστικών σωμάτων***

Οι πόλεις οδηγούνται όλο και πιο γρήγορα στον ψηφιακό μετασχηματισμό τους προκειμένου να εξοικονομηθεί χρόνος και χρήμα και να εκσυγχρονιστούν οι διάφορες διαδικασίες. Η διαδικασία του ψηφιακού μετασχηματισμού έχει ξεκινήσει ήδη τόσο από πολλούς μικρούς δήμους που εγκατέστησαν πρόσφατα διαφόρων τύπων αισθητήρες και υιοθέτησαν νέες τεχνολογίες όσο και από μεγάλες μητροπόλεις που έχουν υιοθετήσει ένα ευρύ φάσμα συστημάτων και τεχνολογιών για όλες τις βασικές λειτουργίες τους.

Οι έξυπνες πόλεις αποτελούνται από ένα «σύστημα συστημάτων». Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα έξυπνου φωτισμού, συστήματα έξυπνης στάθμευσης, συστήματα έξυπνης διαχείρισης σκουπιδιών, συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, συστήματα ασφάλειας και ελέγχου πρόσβασης και άλλα. Η ιδέα της έξυπνης πόλης δεν είναι νέα. Πολλά από αυτά τα συστήματα υπήρχαν πολύ πριν επινοηθεί ο όρος «έξυπνες πόλεις». Ωστόσο, πολλοί τελικοί χρήστες προσπαθούν τώρα να ενσωματώσουν πληροφορίες από αυτά τα ανόμοια συστήματα σε ένα ενιαίο σύνολο για να παρέχουν μια ολιστική άποψη της συνολικής απόδοσης και κατάστασης της πόλης και των διαφόρων λειτουργιών της.

Οι έξυπνες πλατφόρμες πόλεων εκτελούν πολλές λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων αναλυτικών στοιχείων, απομακρυσμένης παρακολούθησης στοιχείων, διαχείρισης απόδοσης, κ.α. Τουλάχιστον, η λειτουργικότητα μιας πλατφόρμας έξυπνης πόλης πρέπει να περιλαμβάνει:

- Οπτικοποίηση
- Ενεργοποίηση εφαρμογής
- Διαχείριση δεδομένων

Η πλατφόρμα μπορεί επίσης να περιλαμβάνει:

- Κυβερνασφάλεια
- Διαχείριση συσκευής
- Διαχείριση δικτύου
- Analytics
- Αναφορές

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, όσον αφορά την διαχείριση του οδοφωτισμού είναι απαραίτητη η ύπαρξη μίας πλατφόρμας που έχει τη δυνατότητα ελέγχου και παρακολούθησης των LED φωτιστικών σωμάτων. Η έξυπνη διαχείριση του φωτισμού μπορεί να αποτελεί κομμάτι μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας «Smart City» που ενσωματώνει πολλές παραπάνω καθετοποιημένες λύσεις όπως αυτές αναφέρθηκαν παραπάνω δίνοντας έτσι στο φορέα τη δυνατότητα ενοποιημένης διαχείρισης όλων αυτών σε μελλοντική επέκταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΕΞΥΠΝΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΣΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ CASE STUDY

Το έργο μελέτης της αντικατάστασης του συστήματος οδοφωτισμού διέπεται από προδιαγραφές και προϋποθέσεις της Αναθέτουσας Αρχής (Δήμος Περιστερίου) που γεννούν υποχρεώσεις κατά τη διάρκεια της μελέτης και της υλοποίησης.

Στο πλαίσιο των εν λόγω υποχρεώσεων, προδιαγράφηκαν, κατά τη διάρκεια της μελέτης, συγκεκριμένα στοιχεία αναφορικά με τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών που θα αντικαταστήσουν τα υφιστάμενα, των ελεγκτών καθώς και το είδος του δικτύου μέσω του οποίου θα επικοινωνούν οι ελεγκτές τα δεδομένα στην πλατφόρμα διαχείρισης.

Πιο συγκεκριμένα, στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται τα συστήματα και τα στοιχεία που θα εγκατασταθούν και παράλληλα συμμετέχουν στην ενεργειακή αναβάθμιση, βελτιώνοντας τις καθημερινές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου και μειώνοντας το κόστος πληρωμής των καταναλώσεων του.

3.1 ***Φωτισμός τεχνολογίας LED***

3.1.1 Απαιτήσεις μελέτης

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Αναθέτουσας αρχής όλα τα προσφερόμενα φωτιστικά σώματα θα πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων του πίνακα που ακολουθεί:

Τύπος Φωτιστικού	Μέγιστη Συνολική Ισχύς (W)	Ελάχιστη Φωτεινή Απόδοση (lm/w)
Φ1	≤ 40 W	≥ 135
Φ2	≤ 60 W	≥ 135

Πίνακας 8: Περιορισμοί Φωτιστικών LED[38]

Για την επιλογή των κατάλληλων φωτιστικών θα πραγματοποιηθεί φωτοτεχνική μελέτη πρότυπων αντιπροσωπευτικών δρόμων, τα χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Φ2	Φ1
Ονομασία οδού	Εθν. Αντιστάσεως	Μεγ. Αλεξάνδρου
Χαρακτηριστικά πρότυπης οδού		
Κατηγορία φωτισμού δρόμου	P1	P2
Συντελεστής συντήρησης	0,8	0,8
Παράμετροι αξιολόγησης φωτισμού P		
Μέση φωτεινότητα (E)	≥15.0& ≤22.50	≥10.0& ≤15.00
Ελάχιστη φωτεινότητα (Emin)	≥3.00	≥2.00
Χαρακτηριστικά εγκατάστασης		
Πλάτος Οδοστρώματος	17,4μ.	13μ.
Αρ. λωρίδων κυκλοφορίας	1	1
Τύπος οδοστρώματος	R3, qo:0,07, στεγνό	R3, qo:0,07, στεγνό
Μήκος βραχίονα	0μ.	0μ.
Κλίση Βραχίονα	0μοίρες	0μοίρες
Απόσταση ιστός-οδόστρωμα	-3μ.	-2,5μ.
Περιστροφή ιστού	0	0
Τύπος διάταξης	Δίπλευρη διάταξη μετατοπισμένα	Μονόπλευρη διάταξη
Ύψος σημείου φωτός	6,00μ.	5,00μ.
Προεξοχή φωτεινού σημείου	3μ.	2,50μ.
Φωτιστικά ανά ιστό	1	1
Απόσταση ιστών (κολώνες)	30μ.	20μ.
Μετατόπιση κατά μήκος	0	0

Πίνακας 9: Πρότυπες Αντιπροσωπευτικές Οδοί[38]

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε φωτοτεχνική μελέτη κάνοντας χρήση του προγράμματος Dialux Evo. Τα συνολικά αποτελέσματα της παρατίθενται στο Παράρτημα Α για τον πεζόδρομο Εθνικής Αντιστάσεως και στο Παράρτημα Β για τον πεζόδρομο Μεγάλου Αλεξάνδρου. Ακολουθήθηκαν οι απαιτήσεις του παραπάνω πίνακα.

3.1.2 Αποτελέσματα φωτοτεχνικής μελέτης και επιλογή φωτιστικών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την φωτοτεχνική μελέτη παρουσιάζονται τα φωτιστικά που επιλέχθηκαν και πληρούν τις προδιαγραφές της διακήρυξης.

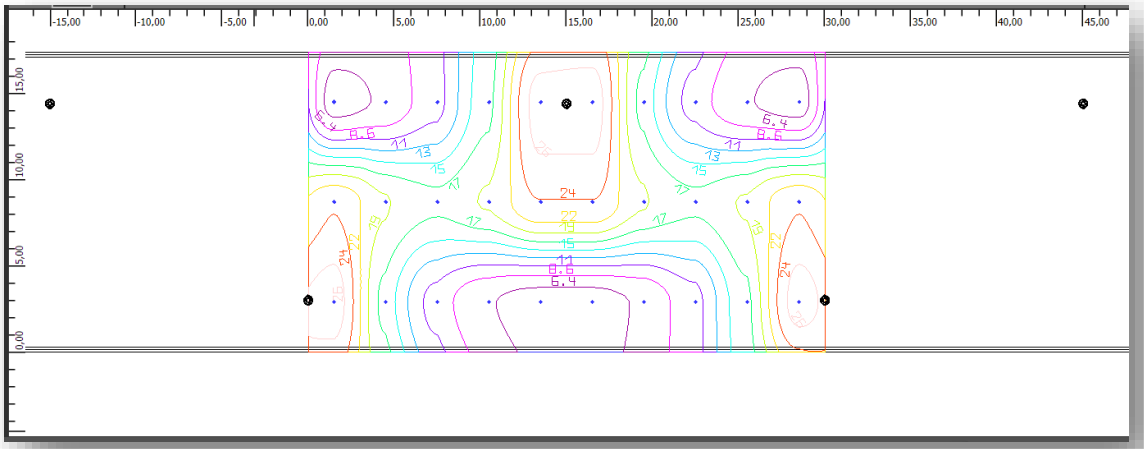
3.1.2.1 Πεζόδρομος Εθνικής Αντιστάσεως

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών που επιλέχθηκαν και πληρούν τις προδιαγραφές για το φωτισμό του πεζόδρομου «Εθνικής Αντιστάσεως»:

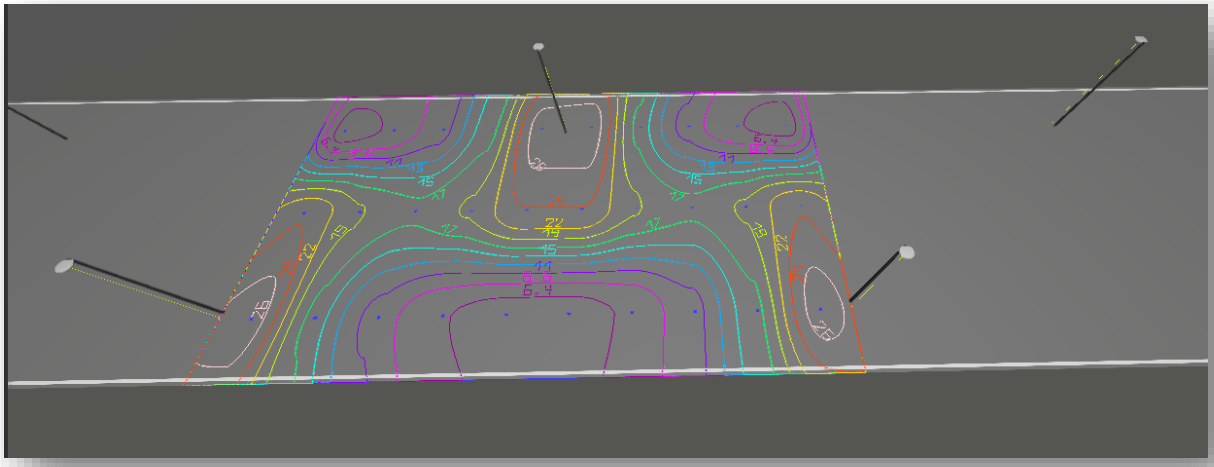
- Το φωτιστικό LED είναι κατάλληλο για οδοφωτισμό και αποτελείται από την ηλεκτρική μονάδα, την οπτική μονάδα και τη βάση στήριξης.
- Ο βαθμός στεγανότητας του φωτιστικού είναι τουλάχιστον IP66
- Η αντοχή σε κρούσεις του φωτιστικού είναι IK10
- Η μέγιστη συνολική ισχύς του φωτιστικού είναι **49 W** (μικρότερη από τη ζητούμενη!)
- Η συνολική φωτεινή ροή είναι **7.200 lumen**
- Η θερμοκρασίας λειτουργίας περιβάλλοντος του φωτιστικού κυμαίνεται από -40 ο C έως +50ο C
- Η θερμοκρασία χρώματος για τις πηγές φωτός είναι 4000 K
- Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης CRI είναι ≥ 70
- Το τροφοδοτικό επιτρέπει την ρύθμιση φωτεινότητας με εντολή 0-10V(1-10V) ή DALI.
- Ο συνολικός συντελεστής ισχύος είναι μεγαλύτερος του 0,90 σε πλήρες φορτίο
- Το φωτιστικό διαθέτει επιπρόσθετη συσκευή προστασίας υπερτάσεων (εκτός του τροφοδοτικού) για προστασία από υπέρταση τουλάχιστον 10Kv
- Το φωτιστικό διαθέτει βάση τύπου NEMA ANSI C136.41 7 Pinfemale, η οποία βρίσκεται στο πάνω μέρος του φωτιστικού, για την σύνδεση ασύρματου ελεγκτή τύπου NEMA ANSI C136.41 7 Pinmale.

Εικόνα 21: Επιλεχθέν φωτιστικό για το φωτισμό της Εθνικής Αντιστάσεως

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται και κάποιες φωτογραφίες που προέκυψαν κατά την φωτοτεχνική μελέτη:



Εικόνα 22: Κάτοψη Εθνικής Αντιστάσεως-Φωτισμός επιφάνειας



Εικόνα 23: Τρισδιάστατη απεικόνιση Εθνικής Αντιστάσεως με φωτιστικά

3.1.2.2 Πεζόδρομος Μεγάλου Αλεξάνδρου

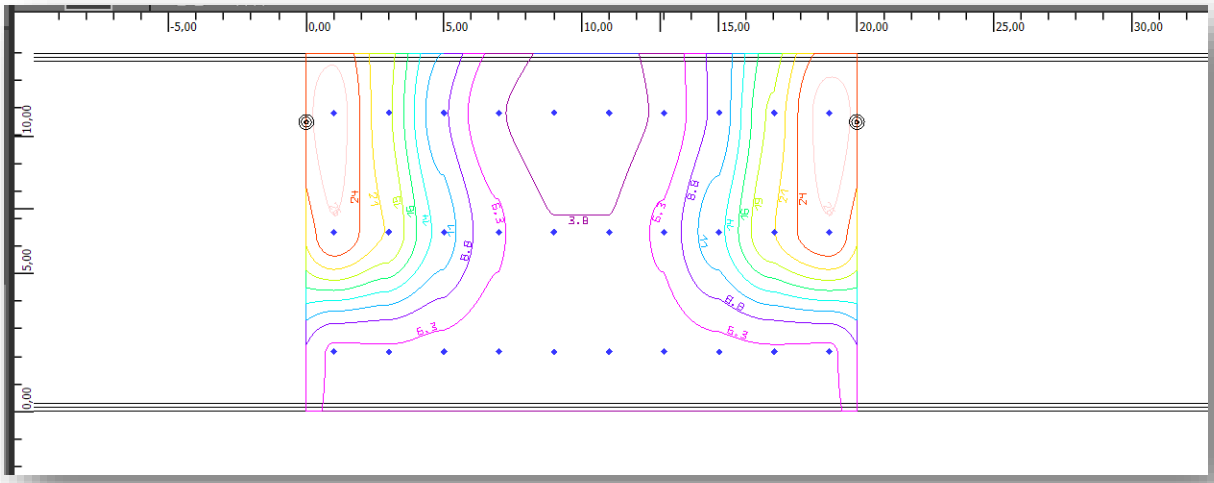
Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών που επιλέχθηκαν και πληρούν τις προδιαγραφές για το φωτισμό του πεζόδρομου «Μεγάλου Αλεξάνδρου». Εδώ αναφέρεται ότι ο τύπος φωτιστικού που επιλέχθηκε ανήκει στην ίδια ομάδα φωτιστικών που επιλέχθηκαν στην προηγούμενη περίπτωση, απλά επιλέχθηκε φωτιστικό με μικρότερη ισχύ και διαφορετικά φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά. Επομένως:

- Το φωτιστικό LED είναι κατάλληλο για οδοφωτισμό και αποτελείται από την ηλεκτρική μονάδα, την οπτική μονάδα και τη βάση στήριξης.
- Ο βαθμός στεγανότητας του φωτιστικού είναι τουλάχιστον IP66
- Η αντοχή σε κρούσεις του φωτιστικού είναι IK10
- Η μέγιστη συνολική ισχύς του φωτιστικού είναι **30 W** (μικρότερη από τη ζητούμενη και σε αυτήν την περίπτωση!)
- Η συνολική φωτεινή ροή είναι **5000 lumen**
- Η θερμοκρασίας λειτουργίας περιβάλλοντος του φωτιστικού κυμαίνεται από -40 ο C έως +50ο C
- Η θερμοκρασία χρώματος για τις πηγές φωτός είναι 4000 K
- Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης CRI είναι ≥ 70
- Το τροφοδοτικό επιτρέπει την ρύθμιση φωτεινότητας με εντολή 0-10V(1-10V) ή DALI.
- Ο συνολικός συντελεστής ισχύος είναι μεγαλύτερος του 0,90 σε πλήρες φορτίο

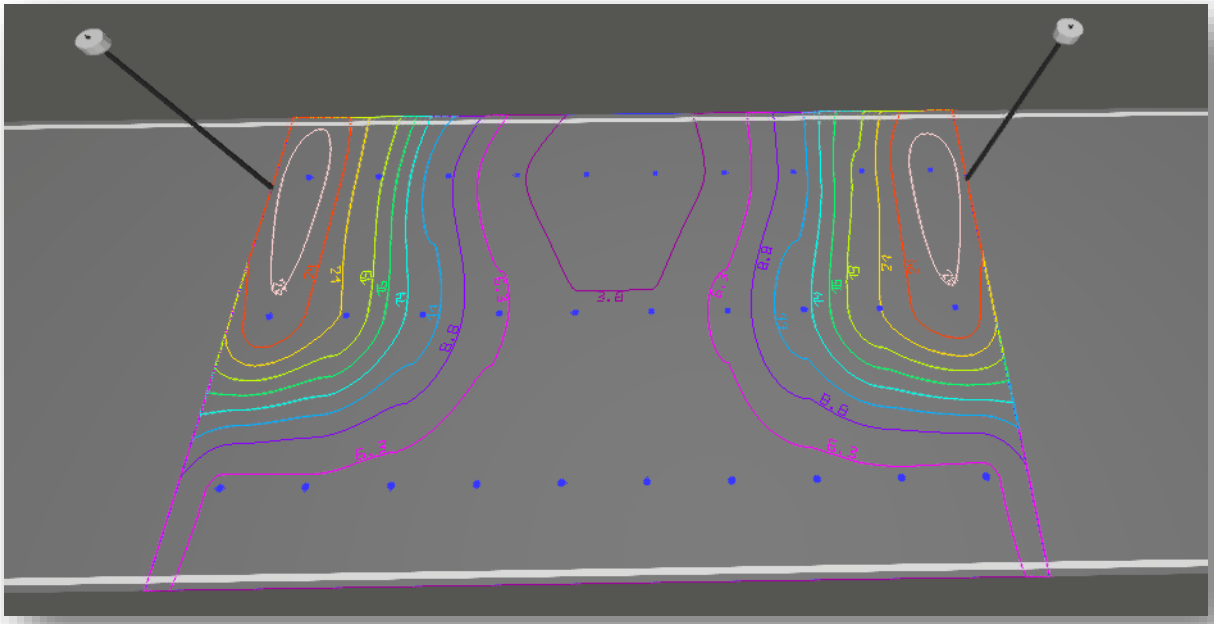
- Το φωτιστικό διαθέτει επιπρόσθετη συσκευή προστασίας υπερτάσεων (εκτός του τροφοδοτικού) για προστασία από υπέρταση τουλάχιστον 10Κν
- Το φωτιστικό διαθέτει βάση τύπου NEMA ANSI C136.41 7 Pinfemale, η οποία βρίσκεται στο πάνω μέρος του φωτιστικού, για την σύνδεση ασύρματου ελεγκτή τύπου NEMA ANSI C136.41 7 Pinmale.

Εικόνα 24: Επιλεχθέν φωτιστικό για το φωτισμό της Εθνικής Αντιστάσεως

Ενδεικτικά, παρουσιάζονται και κάποιες φωτογραφίες που προέκυψαν κατά την φωτοτεχνική μελέτη:



Εικόνα 25: Κάτοψη Μεγάλου Αλεξάνδρου-Φωτισμός επιφάνειας



Εικόνα 26: Τρισδιάστατη απεικόνιση Μεγάλου Αλεξάνδρου με φωτιστικά

3.2 ***Ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων***

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Αναθέτουσας αρχής όλα τα προσφερόμενα φωτιστικά σώματα θα πρέπει να συνοδεύονται από ασύρματους ελεγκτές τύπου NEMA 7 PIN τεχνολογίας LoRaWAN:

Ο ασύρματος ελεγκτής που επιλέχθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής πληροί τις προϋποθέσεις της διακήρυξης και μέσω του κόμβου τηλεδιαχείρισης και του λογισμικού μπορεί:

- Να παρέχει στοιχεία ισχύος, κατανάλωσης ενέργειας και των ηλεκτρικών παραμέτρων / μεγεθών του φωτιστικού.
- Να εκτελεί αυτόματο έλεγχο βλάβης του φωτιστικού παρέχοντας ειδοποίηση (Λογισμικό Τηλεδιαχείρισης)
- Να θέτει το φωτιστικό σε πραγματικό χρόνο (realtime) μέσω του τροφοδοτικού του σε κατάσταση on/off/dimming κατόπιν λήψης της εντολής από το Λογισμικό Τηλεδιαχείρισης.
- Να καταγράφει τις ώρες λειτουργίας του φωτιστικού.
- Να θέτει το φωτιστικό σε συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας (mode) βάσει:

a) προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος / προγράμματος λειτουργίας (schedule), το οποίο θα περιλαμβάνει τους χρόνους ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του φωτιστικού και κατ’ ελάχιστον 4 ενδιάμεσα σημεία αλλαγής του επιπέδου φωτεινότητας (dim level) του φωτιστικού,
b) του αλγορίθμου ανατολής – δύσης ηλίου (ενεργοποίηση του φωτιστικού κατά τη δύση του ηλίου και απενεργοποίηση του κατά την ανατολή του ηλίου).

Επίσης διαθέτει:

- Μέγιστη ισχύ εκπομπής: 20 dBm (100 mW)
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -20 ο C~ +60ο C
- Μέγιστη ισχύς λειτουργίας: ≤ 1W.
- Ονομαστική τάση λειτουργίας: 230 ± 10Vac
- Ονομαστική συχνότητα λειτουργίας: 50Hz
- Βαθμός προστασίας Ασύρματου Ελεγκτή ≥IP66 (εγκατεστημένο σε βάση τύπου NEMA ANSI C136.41 7 Pin).

Εικόνα 27: Επιλογή NEMA 7 PIN controller

3.3 ***Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things -IoT)***

Ο Δήμος Περιστερίου, στα πλαίσια σχεδίασης και υλοποίησης υποδομής τηλεδιαχείρισης φωτιστικών σωμάτων, θα αξιοποιήσει το πρωτόκολλο διασύνδεσης αισθητήρων LoRaWAN. Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί μια από τις δημοφιλέστερες και πιο εξελιγμένες επιλογές διεθνώς για την υλοποίηση δικτύων αισθητήρων μεγάλης κλίμακας. Χρησιμοποιείται σε 167

χώρες παγκοσμίως για μια πλειάδα εφαρμογών. Ταυτόχρονα, υποστηρίζεται από τον διεθνή οργανισμό LoRa Alliance, ο οποίος αριθμεί πάνω από 500 μέλη στα οποία συμπεριλαμβάνονται τεχνολογικοί κολοσσοί, διεθνείς τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι και κατασκευαστές καινοτόμων αισθητήρων. Ο οργανισμός καθορίζει τα πρότυπα λειτουργίας των δικτύων LoRaWAN, αναβαθμίζοντας διαρκώς τις δυνατότητες, τις λειτουργίες και την ασφάλεια του πρωτοκόλλου, διασφαλίζοντας τη μελλοντική του χρηστικότητα και ανταγωνιστικότητα. Ο μεγάλος και διαρκώς αυξανόμενος αριθμός μελών διασφαλίζει επίσης τη διαρκή ανάπτυξη νέων συσκευών και λύσεων, επιτρέποντας την κάλυψη όλων των πιθανών αναγκών της «Έξυπνης Πόλης».

3.3.1 Μελέτη Ρδιοκάλυψης

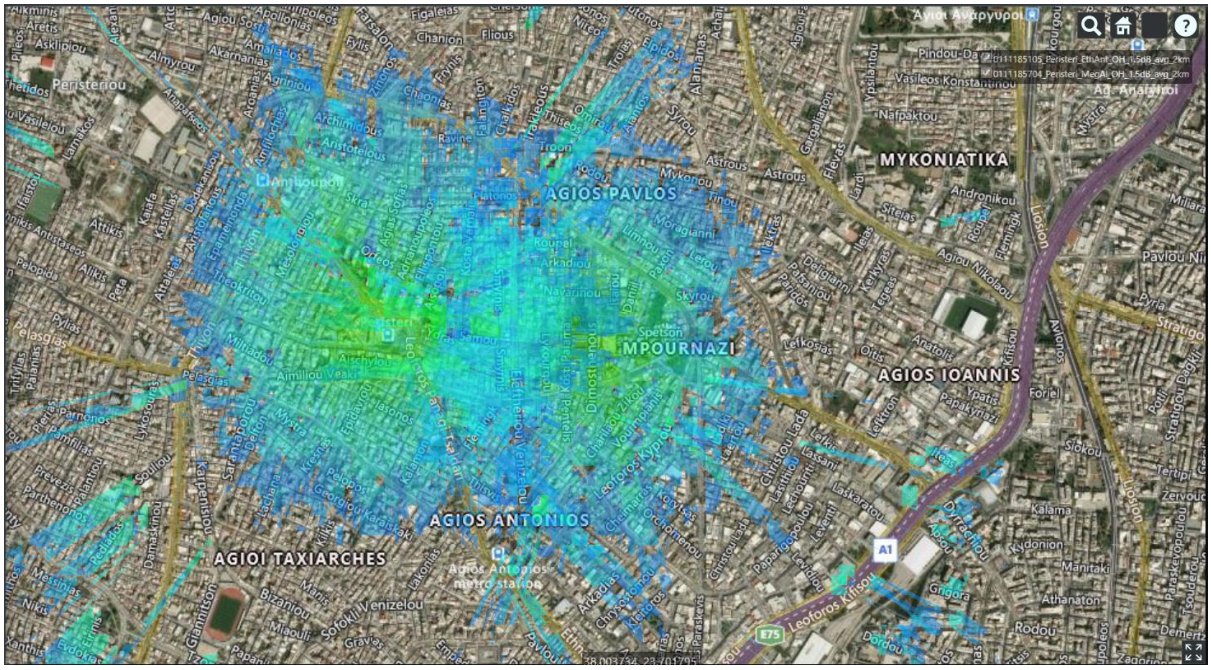
Όπως αναφέρθηκε και στις τεχνικές προδιαγραφές των Ασύρματων Ελεγκτών, οι πομποδέκτες που χρησιμοποιούν οι Ασύρματοι Ελεγκτές των 371 φωτιστικών θα επικοινωνούν με το Λογισμικό Τηλεδιαχείρισης μέσω των Κόμβων Τηλεδιαχείρισης (Gateway) τεχνολογίας LoRaWAN.

Η σχεδίαση ενός δικτύου LoRaWAN εντός ενός αστικού περιβάλλοντος και η επιλογή των κατάλληλων θέσεων εγκατάστασης των gateways αποτελεί μια πολύ σύνθετη διαδικασία, λόγω δύο παραγόντων:

- Προκλήσεις στη διάδοσης Η/Μ κυμάτων εντός αστικών περιοχών (κτίρια, βλάστηση, τοπογραφία, θόρυβος, κ.λπ.)
- Περιορισμοί στη διαθεσιμότητα κατάλληλων σημείων για την τοποθέτηση των gateways. Αυτό μεταφράζεται στην αδυναμία τοποθέτησης των gateways στα σημεία που θα μεγιστοποιούσαν την κάλυψη, λόγω δομικών, χωρικών και άλλων περιοριστικών παραγόντων (τροφοδοσία, σύνδεση με διαδίκτυο, κ.λπ.)

Επομένως, αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση ενός αξιόπιστου δικτύου βρίσκοντας τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ επαρκούς κάλυψης και πρακτικών περιορισμών.

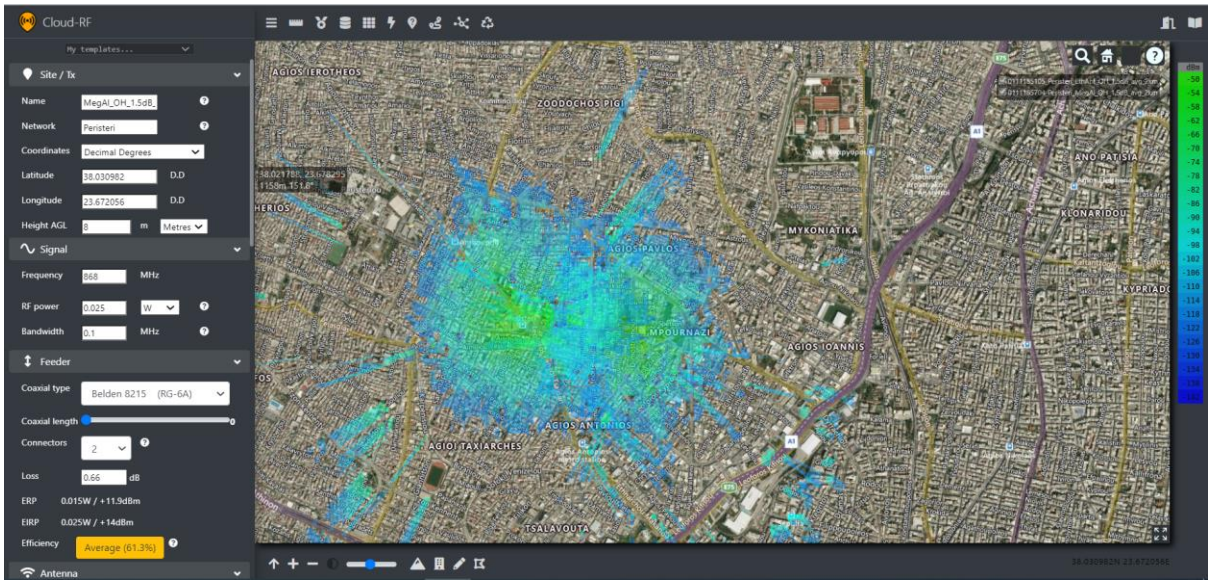
Λαμβάνοντας υπόψιν τους δύο παραπάνω παράγοντες πραγματοποιήθηκε θεωρητική μελέτη ραδιοκάλυψης τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 28: Αποτελέσματα θεωρητικής μελέτης ραδιοκάλυψης

Όπως φαίνεται οι δύο πεζόδρομοι και οι προσφυγικές πολυκατοικίες της Ευαγγελίστριας καλύπτονται πλήρως από το δίκτυο, το οποίο επεκτείνεται μάλιστα σε αρκετά μεγαλύτερη έκταση από την ζητούμενη.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Cloud-RF». Στην παρακάτω φωτογραφία παρουσιάζεται το περιβάλλον του λογισμικού:



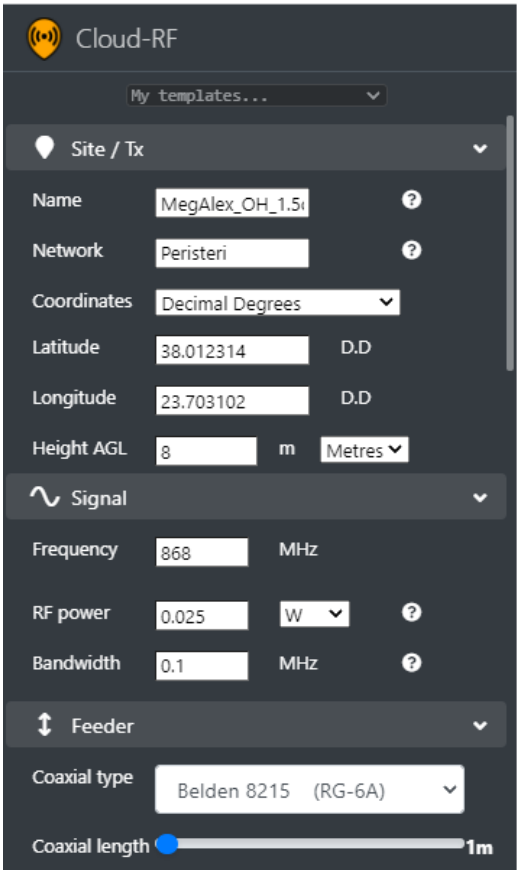
Εικόνα 29: Περιβάλλον λογισμικού «Cloud-RF»

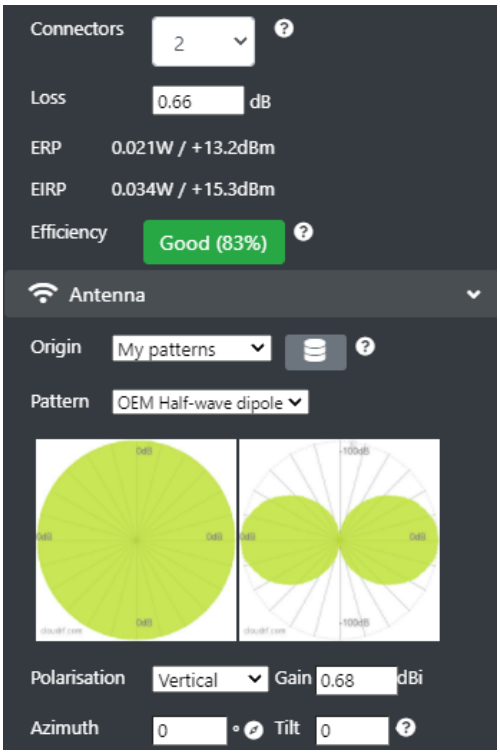
Όπως φαίνεται χρειάστηκαν δύο gateways για να καλύψουν τους δύο πεζόδρομους και τις προσφυγικές πολυκατοικίες της Ευαγγελίστριας τα οποία τοποθετήθηκαν:

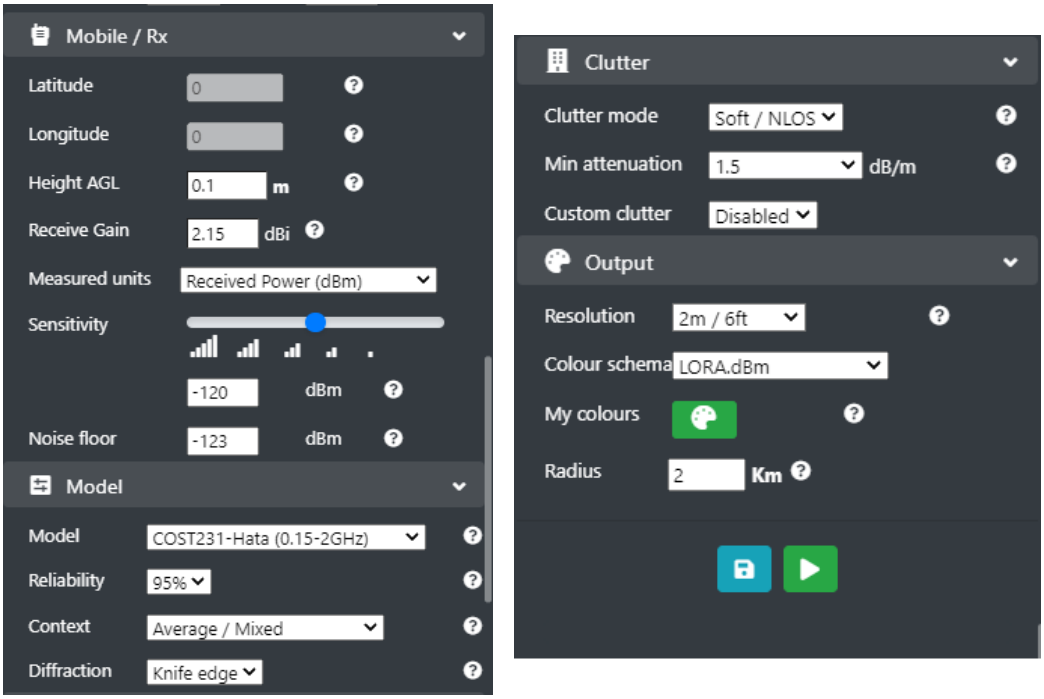
- **1ο Gateway (κάλυψη Εθνικής Αντιστάσεως και Ευαγγελίστριας):** Στην ταράτσα του Δημαρχείου. Οι συντεταγμένες του σημείου είναι: 38.012989, 23.695125.
- **2ο Gateway (κάλυψη Μεγάλου Αλεξάνδρου και Ευαγγελίστριας):** Σε έναν σχετικά χαμηλό στύλο επί της Μεγάλου Αλεξάνδρου. Οι συντεταγμένες του σημείου είναι: 38.012313, 23.703103

Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται αναλυτικά οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται από το λογισμικό. Το μοντέλο που τρέξαμε ονομάζεται «Okumura Hata»

Το μοντέλο Okumura είναι ένα μοντέλο που κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στην πόλη του Τόκιο της Ιαπωνίας. Το μοντέλο είναι ιδανικό για χρήση σε πόλεις με πολλές αστικές κατασκευές αλλά όχι πολλές ψηλές δομές. Το μοντέλο χρησίμευσε ως βάση για το μοντέλο Hata.







Εικόνα 30: Παράμετροι του "RF Cloud"

Γενικά

Το δίκτυο LoRaWAN διασφαλίζει την ανθεκτικότητα του μεταδιδόμενου σήματος απέναντι στο θόρυβο και στις παρεμβολές, μεγάλο γεωγραφικό εύρος κάλυψης και χαμηλή κατανάλωσης ενέργειας στους απομακρυσμένους κόμβους (αισθητήρες) του δικτύου. Σε επίπεδο εφαρμογής και λειτουργίας, το πρωτόκολλο LoRaWAN υιοθετεί πολλούς μηχανισμούς ασφάλειας και βελτίωσης απόδοσης. Οι χαρακτηριστικότεροι είναι τα δύο επίπεδα κρυπτογράφησης, ο μηχανισμός αυτόματης βελτιστοποίησης της εκπεμπόμενης ισχύος και η τοπολογία αστέρα χωρίς αποκλειστική συσχέτιση των πυλών (gateways) με τους αισθητήρες, επιτρέποντας έτσι μεγάλη σχεδιαστική ευελιξία.

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά καθιστούν τα δίκτυα LoRaWAN πάρα πολύ οικονομικά στη συντήρηση και στη λειτουργία τους σε σχέση με άλλους τύπους LPWAN δικτύων. Επίσης, το σύνολο των μηχανισμών που προσφέρει το λογισμικό του εξυπηρετητή του δικτύου καθιστά αρκετά εύκολη την καθημερινή διαχείριση και εποπτεία του δικτύου, διότι το μεγαλύτερο μέρος της πολυπλοκότητας δεν είναι ορατό στον διαχειριστή. Προκειμένου όμως ένα δίκτυο LoRaWAN με ευρύ γεωγραφικό αποτύπωμα να προσφέρει όλα τα πλεονεκτήματα που επιτρέπει η τεχνολογία που αξιοποιεί, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί με τον πλέον αποδοτικό τρόπο.

3.3.2 Επιλογή κόμβων τηλεδιαχείρισης (Gateways)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης ραδιοκάλυψης, θα χρειαστούν δύο LoRaWAN gateways για να καλύψουν τις ζητούμενες περιοχές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των gateway που επιλέχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Τα gateway διαθέτουν:

- Προστασία από εισροή νερού – σκόνης: ≥IP65
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -30°C ... +60°C.
- Max ισχύ λειτουργίας: ≤ 20 W
- Ονομαστική τάση λειτουργίας: 230V ± 10V VAC
- Ονομαστική συχνότητα λειτουργίας: 50Hz
- Μέγιστη ισχύ εκπομπής στην ISM Band: 20 dBm (100 mW)
- Πρωτόκολλο Δικτύου: TCP/IP
- Ασφάλεια: Κρυπτογραφημένη επικοινωνία μεταξύ Κόμβου και Ασύρματων Ελεγκτών

Η επικοινωνία του κόμβου τηλεδιαχείρισης με το Λογισμικό Τηλεδιαχείρισης θα είναι εφικτή είτε μέσω Ethernet είτε μέσω 4G δικτύου.

3.4 *Πλατφόρμα συλλογής, απεικόνισης δεδομένων και έξυπνης διαχείρισης Φωτιστικών σωμάτων*

Για την συλλογή και την απεικόνιση των δεδομένων που θα λαμβάνονται από τους ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων, αλλά και την διαχείριση αυτών κρίνεται απαραίτητη η χρήση ενός λογισμικού τηλεδιαχείρισης.

Στην αγορά υπάρχουν διάφορες εταιρείες που αναπτύσσουν τέτοιου είδους λογισμικά είτε αποκλειστικά για το αντικείμενο του φωτισμού, είτε ακολουθώντας μια πιο ολιστική προσέγγιση σχεδιάζοντας λύσεις που εξυπηρετούν τις έξυπνες υποδομές μίας ολόκληρης πόλης (Smart City Platforms).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας περιγράφονται παρακάτω οι απαιτήσεις που θα πληροί το λογισμικό για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της διακήρυξης:

- Θα είναι μια εφαρμογή Cloudbased ή και Serverbased, συμβατή με λειτουργικά συστήματα Windows.
- Θα εμφανίζει σε χάρτη τη δομή του Δικτύου Οδοφωτισμού: θέσεις των κόμβων τηλεδιαχείρισης (Gateways) και των φωτιστικών που διαθέτουν ασύρματο ελεγκτή, με ενδείξεις για τα χαρακτηριστικά τους και τον τρόπο λειτουργίας τους.
- Θα μπορεί να διαχειρίζεται ταυτόχρονα πολλά Gateways.
- Θα μπορεί να εφαρμόζει στα φωτιστικά που συνδέονται σε ένα Gateway διαφορετικό τρόπο λειτουργίας (σε μεμονωμένα φωτιστικά ή ομάδες φωτιστικών).
- Θα συνδυάζεται με υπό-εφαρμογή παρακολούθησης της συντήρησης των φωτιστικών και των Gateways με τις ακόλουθες δυνατότητες:
    - Καταγραφή των ενεργειών προληπτικής συντήρησης.

  - Παρακολούθηση/Διαχείριση υλικών - ανταλλακτικών και αποθήκης.
  - Διαχείριση προσωπικού συντήρησης και έκδοση εντολών εργασίας.
- Θα μπορεί να θέτει τα φωτιστικά που συνδέονται σε κάθε Gateway στους τρόπους λειτουργίας (modes) που περιγράφονται στον Πίνακα των χαρ/κων των Ασύρματων Ελεγκτών.
- Θα μπορεί να ανακτά και να παρακολουθεί (παρέχοντας ενδείξεις και ειδοποιήσεις): - Τη λειτουργική κατάσταση των φωτιστικών (μέσω της δυνατότητας ανίχνευσης βλαβών που παρέχουν οι Ασύρματοι Ελεγκτές των φωτιστικών). - Τις παραμέτρους ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και τις ηλεκτρικές παραμέτρους που μετρούν/παρέχουν οι Ασύρματοι Ελεγκτές των φωτιστικών.
- Θα παράγει αναφορές εξοικονόμησης ενέργειας, κόστους και εκπομπών CO2.
- Θα διαθέτει ανοικτό API (Application Interface) το οποίο να παρέχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με πλατφόρμες και άλλες εφαρμογές «Έξυπνων Πόλεων» (Smart Cities).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΤΗΣΙΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΙΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΒΑΘΟΣ 20ΕΤΙΑΣ

4.1 *Αρχικό Κόστος Εγκατάστασης Συστημάτων*

Το αρχικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του εξοπλισμού αναλύεται κατωτέρω στον πίνακα 10 :

Α/Α	Περιγραφή Στοιχείου - Εγκατάστασης	Κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης ανά μονάδα (*)	Ποσότητα	Σύνολο Κόστους
1	**Φωτιστικά Σώματα**			
1.1	Φωτιστικό Φ1= 30 W	400 €	193	77.200 €
1.2	Φωτιστικό Φ2= 49 W	440 €	178	78.320 €
3	**Ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων**			
3.1	Ελεγκτής τύπου LoRaWAN NEMA 7 pin	110 €	371	40.810 €
4	**Υποδομή Δικτύου LoRaWAN**			
4.1	Κόμβος τηλεδιαχείρισης (Gateway)	1700 €	2	3.400 €
4.2	LoRaWAN server (για 371 ελεγκτές)/χρόνο	560 €	12	6.678 €
5	**Πλατφόρμα τηλεελέγχου-τηλεδιαχείρισης και συστήματος προληπτικής συντήρησης**			
5.1	Λογισμικό	40.000 €	1	40.000€
	Γενικό Σύνολο Κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης			246.408 €
(*) Τα ανωτέρω στοιχεία προκύπτουν τόσο από την διακήρυξη κατά την παρουσίαση του ενδεικτικού προϋπολογισμού όσο και από προσωπική επαγγελματική εμπειρία.				

Πίνακας 10: Συνολικό κόστος αναβάθμισης του συστήματος ηλεκτροφωτισμού

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, το συνολικό κόστος αναβάθμισης του συστήματος ηλεκτροφωτισμού του Δήμου Περιστερίου, ανέρχεται στις 246.408 ευρώ.

Πιο συγκεκριμένα η αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών σωμάτων κόστισε 155.520 ευρώ, η εγκατάσταση ελεγκτών φωτιστικών σωμάτων κόστισε 40.810 ευρώ, η υποδομή δικτύου LoRaWAN κόστισε 10.078 ευρώ και η πλατφόρμα τηλεελέγχου-τηλεδιαχείρισης κόστισε 40.000 ευρώ.

4.2 *Ετήσιο Όφελος Εξοικονόμησης*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί θα αντικατασταθούν 260 φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών υδραργύρου 125W και 111 φωτιστικά με λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης 250W.

Όπως επίσης έχει ήδη περιγραφεί ένα από τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα των LED είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους έναντι των συμβατικών. Πιο συγκεκριμένα τα φωτιστικά που έχουν επιλεγεί στα πλαίσια τα εργασίας αυτής έχουν 150.000 ώρες ζωής σε αντίθεση με τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου και νατρίου υψηλής πίεσης που η διάρκεια ζωής τους φτάνει μέχρι τις 24.000 ώρες ζωής.

Για να υπολογίσουμε το ετήσιο όφελος εξοικονόμησης θα υποθέσουμε οι ετήσιες ώρες λειτουργίας ενός φωτιστικού είναι 4.000 ώρες και πως η μέση τιμή της κιλοβατώρας είναι 0,11 €.

Υφιστάμενη Κατάσταση

- **Λαμπτήρας 125 W**

  Η ετήσια κατανάλωση του λαμπτήρα είναι: 125W*4.000ώρες/έτος=500kWh

  Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του είναι: 500kWh*0,11€/kWh=55€ ετήσιο λειτουργικό κόστος.

  Για το σύνολο των 260 λαμπτήρων το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι: 260*55€=14.300€

  Καθώς η διάρκεια ζωής του είναι 24.000 θα χρειαστεί αντικατάσταση κάθε 6 χρόνια.

  Το κόστος αντικατάστασης και των 260 λαμπτήρων είναι: 260*10€=2.600€

- **Λαμπτήρας 250 W**

  Η ετήσια κατανάλωση του λαμπτήρα είναι: 250W*4.000ώρες/έτος=1000kWh

  Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του είναι: 1000kWh*0,11€/kWh=110€ ετήσιο λειτουργικό κόστος.

  Για το σύνολο των 111 λαμπτήρων το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι: 111*110€=12.210€

  Καθώς η διάρκεια ζωής του είναι 24.000 θα χρειαστεί αντικατάσταση κάθε 6 χρόνια.

  Το κόστος αντικατάστασης και των 111 λαμπτήρων είναι: 111*15€=1.665€

- **Συνολική υφιστάμενη κατάσταση (125W &250W)**

  Για το σύνολο των 371 λαμπτήρων το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι: 14.300€+12.210€=26.510€

  Καθώς η διάρκεια ζωής του είναι 24.000 θα χρειαστούν αντικατάσταση κάθε 6 χρόνια

  Το κόστος αντικατάστασης και των 371 λαμπτήρων είναι: 2.600€+1.665€=4.265€

Επένδυση

- **LED 30 W**

  Η ετήσια κατανάλωση του LED είναι: 30W*4.000ώρες/έτος=120kWh

  Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του είναι: 120kWh*0,11€/kWh=13,2€ ετήσιο λειτουργικό κόστος.

  Για το σύνολο των 260 λαμπτήρων το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι: 260*13,2€=3.432€

  Καθώς η διάρκεια ζωής του είναι 150.000 θα χρειαστεί αντικατάσταση κάθε 37,5 χρόνια. Καθώς η δική μας μελέτη γίνεται σε βάθος 20ετίας θεωρούμε ότι δε θα χρειαστεί αντικατάσταση.

- **LED 49 W**

  Η ετήσια κατανάλωση του LED είναι: 49W*4.000ώρες/έτος=196kWh

  Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του είναι: 120kWh*0,11€/kWh=21,56€ ετήσιο λειτουργικό κόστος.

  Για το σύνολο των 111 λαμπτήρων το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι: 111*21,56€=2.393,16€

  Καθώς η διάρκεια ζωής του είναι 150.000 θα χρειαστεί αντικατάσταση κάθε 37,5 χρόνια. Καθώς η δική μας μελέτη γίνεται σε βάθος 20ετίας θεωρούμε ότι δε θα χρειαστεί αντικατάσταση.

- **Συνολική κατάσταση (30W &49W)**

  Για το σύνολο των 371 λαμπτήρων το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι: 3.432€+2.393,16€=5.825,16€

Καθώς η δική μας μελέτη γίνεται σε βάθος 20ετίας θεωρούμε ότι δε θα χρειαστεί αντικατάσταση.

Ετήσιο όφελος εξοικονόμησης (λειτουργικού κόστους):

Το ετήσιο όφελος εξοικονόμησης που αφορά το λειτουργικό κόστος και για τα 371 φωτιστικά είναι:

26.510€-5.825,16€=20.684,84€

Ωστόσο, στην μελέτη βάθους 20ετίας που γίνεται στην επόμενη παράγραφο λαμβάνεται υπόψιν και η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων που θα χρειαζόταν κάθε 6 χρόνια αν δεν προχωρούσαμε στην αντικατάσταση τους από φωτιστικά τεχνολογίας LED.

4.3 *Υπολογιζόμενα Οφέλη Εξοικονόμησης σε βάθος 20ετίας, Απεικόνιση Χρηματοοικονομικών δεικτών*

Το ετήσιο όφελος που υπολογίστηκε στην παράγραφο 4.2 αναφέρεται προφανώς σε σημερινή αξία χρήματος. Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται η αναγωγή των τιμών που υπολογίστηκαν πριν ανά έτος σε βάθος 20ετίας τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για την επένδυση.

	Παρούσα κατάσταση Λ125W				Παρούσα κατάσταση Λ250W				Συνολική Παρούσα κατάσταση				
	Κόστος σε ευρώ				Κόστος σε ευρώ				Κόστος σε ευρώ				
Έτος	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Κεφαλαίου	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Κεφαλαίου	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Κεφαλαίου	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Επιτόκιο αναγωγής (5%)
0	2600		2600		1665		1665		4265		4265		1
1		14300	0	13619,0483		12210	0	11628,57201		26510	0	25247,62031	0,952381
2		14300	0	12970,5147		12210	0	11074,82409		26510	0	24045,33879	0,907029
3		14300	0	12352,8834		12210	0	10547,46198		26510	0	22900,34538	0,863838
4		14300	0	11764,6386		12210	0	10045,19142		26510	0	21809,83002	0,822702
5		14300	0	11204,4218		12210	0	9566,85246		26510	0	20771,27426	0,783526
6	2600	14300	1940,159	10670,8745	1665	12210	1242,447975	9111,28515	4265	26510	3182,606975	19782,15965	0,746215
7		14300	0	10162,7383		12210	0	8677,41501		26510	0	18840,15331	0,710681
8		14300	0	9678,7977		12210	0	8264,20419		26510	0	17943,00189	0,676839
9		14300	0	9217,9087		12210	0	7870,67589		26510	0	17088,58459	0,644609
10		14300	0	8778,9559		12210	0	7495,87773		26510	0	16274,83363	0,613913
11		14300	0	8360,9097		12210	0	7138,93059		26510	0	15499,84029	0,584679
12	2600	14300	1447,7762	7962,7691	1665	12210	927,133605	6798,97977	4265	26510	2374,909805	14761,74887	0,556837
13		14300	0	7583,5903		12210	0	6475,21941		26510	0	14058,80971	0,530321
14		14300	0	7222,4724		12210	0	6166,88028		26510	0	13389,35268	0,505068
15		14300	0	6878,5431		12210	0	5873,21757		26510	0	12751,76067	0,481017
16		14300	0	6551,0016		12210	0	5593,54752		26510	0	12144,54912	0,458112
17		14300	0	6239,0471		12210	0	5327,18637		26510	0	11566,23347	0,436297
18	2600	14300	1080,353703	5941,945367	1665	12210	691,8418906	5073,507198	4265	26510	1772,195594	11015,45256	0,4155207
19		14300	0	5658,9962		12210	0	4831,91214		26510	0	10490,90834	0,395734
20		14300	0	5389,5127		12210	0	4601,81469		26510	0	9991,32739	0,376889

Πίνακας 11: Αναγωγή υφιστάμενης κατάστασης σε βάθος 20ετίας

	Επένδυση σε Λ30W			Επένδυση σε Λ49W			Συνολική Επένδυση			
	Κόστος σε ευρώ			Κόστος σε ευρώ			Κόστος σε ευρώ			
Έτος	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Επιτόκιο αναγωγής (5%)
0	X1			X2			246408			1
1		3432	3268,571592		2393,16	2279,200114		5825,16	5547,771706	0,952381
2		3432	3112,923528		2393,16	2170,665522		5825,16	5283,58905	0,907029
3		3432	2964,692016		2393,16	2067,302548		5825,16	5031,994564	0,863838
4		3432	2823,513264		2393,16	1968,857518		5825,16	4792,370782	0,822702
5		3432	2689,061232		2393,16	1875,103082		5825,16	4564,164314	0,783526
6		3432	2561,00988		2393,16	1785,811889		5825,16	4346,821769	0,746215
7		3432	2439,057192		2393,16	1700,773342		5825,16	4139,830534	0,710681
8		3432	2322,911448		2393,16	1619,784021		5825,16	3942,695469	0,676839
9		3432	2212,298088		2393,16	1542,652474		5825,16	3754,950562	0,644609
10		3432	2106,949416		2393,16	1469,192035		5825,16	3576,141451	0,613913
11		3432	2006,618328		2393,16	1399,230396		5825,16	3405,848724	0,584679
12		3432	1911,064584		2393,16	1332,600035		5825,16	3243,664619	0,556837
13		3432	1820,061672		2393,16	1269,143004		5825,16	3089,204676	0,530321
14		3432	1733,393376		2393,16	1208,708535		5825,16	2942,101911	0,505068
15		3432	1650,850344		2393,16	1151,150644		5825,16	2802,000988	0,481017
16		3432	1572,240384		2393,16	1096,335314		5825,16	2668,575698	0,458112
17		3432	1497,371304		2393,16	1044,128529		5825,16	2541,499833	0,436297
18		3432	1426,066888		2393,16	994,4074107		5825,16	2420,474299	0,415520
19		3432	1358,159088		2393,16	947,0547794		5825,16	2305,213867	0,395734
20		3432	1293,483048		2393,16	901,9556792		5825,16	2195,438727	0,376889

Πίνακας 12: Αναγωγή επένδυσης σε βάθος 20ετίας

	Συνολική Παρούσα κατάσταση				Συνολική Επένδυση			
	Κόστος σε ευρώ				Κόστος σε ευρώ			
Έτος	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Κεφαλαίου	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Κόστος κεφαλαίου	Κόστος Λειτουργίας	Παρούσα Αξία Κόστους Λειτουργίας	Όφελος
0	4265		4265		246408			
1		26510	0	25247,62031		5825,16	5547,771706	19699,8486
2		26510	0	24045,33879		5825,16	5283,58905	18761,74974
3		26510	0	22900,34538		5825,16	5031,994564	17868,35082
4		26510	0	21809,83002		5825,16	4792,370782	17017,45924
5		26510	0	20771,27426		5825,16	4564,164314	16207,10995
6	4265	26510	3182,606975	19782,15965		5825,16	4346,821769	18617,94486
7		26510	0	18840,15331		5825,16	4139,830534	14700,32278
8		26510	0	17943,00189		5825,16	3942,695469	14000,30642
9		26510	0	17088,58459		5825,16	3754,950562	13333,63403
10		26510	0	16274,83363		5825,16	3576,141451	12698,69218
11		26510	0	15499,84029		5825,16	3405,848724	12093,99157
12	4265	26510	2374,909805	14761,74887		5825,16	3243,664619	13892,99406
13		26510	0	14058,80971		5825,16	3089,204676	10969,60503
14		26510	0	13389,35268		5825,16	2942,101911	10447,25077
15		26510	0	12751,76067		5825,16	2802,000988	9949,759682
16		26510	0	12144,54912		5825,16	2668,575698	9475,973422
17		26510	0	11566,23347		5825,16	2541,499833	9024,733637
18	4265	26510	1772,195594	11015,45256		5825,16	2420,474299	10367,17386
19		26510	0	10490,90834		5825,16	2305,213867	8185,694473
20		26510	0	9991,32739		5825,16	2195,438727	7795,888663
Σύνολο			11594,71237		246408			257778,7714

Πίνακας 13: Συνολική Παρουσίαση της αναγωγής του οφέλους σε βάθος 20ετίας

Όπως αναλυτικά υπολογίζεται παραπάνω έγινε αναγωγή του κέρδους ανά έτος σε βάθος 20ετίας καθώς αυτήν ορίσαμε στην παρούσα εργασια ως διάρκεια επένδυσης του έργου, ώστε να εξεταστεί αν το αρχικό ποσό θα αποσβεστεί η όχι.

Στον παρακάτω πίνακα ακολουθεί η αναγωγή σε βάθος 20 ετών με NPV (Net Present Value)

Έτος	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Σύνολο σε PV	-242.143 €	19.700 €	18.762 €	17.868 €	17.017 €	16.207 €	18.618 €	14.700 €	14.000 €
Ανακεφαλ. Σύνολο	-242.143 €	-222.443 €	-203.681 €	185.813 €	-168.796 €	-152.588 €	-133.971 €	-119.270 €	-105.270 €

Έτος	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Σύνολο σε PV	13.334 €	12.699 €	12.094 €	13.893 €	10.970 €	10.447 €	9.950 €	9.476 €	9.025 €
Ανακεφαλ. Σύνολο	-91.936 €	-79.238 €	-67.144 €	-53.251 €	-42.281 €	-31.834 €	-21.884 €	-12.408 €	-3.383 €

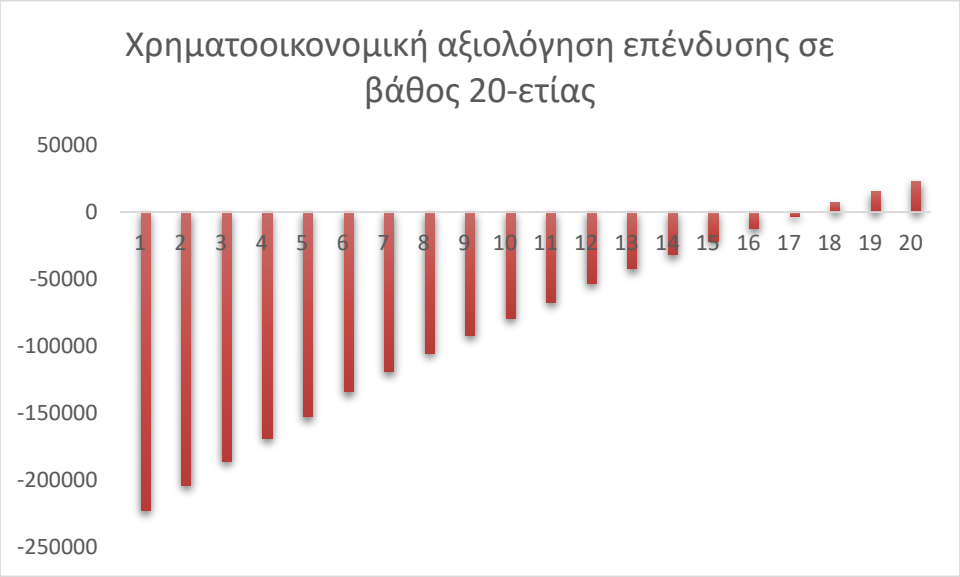
Έτος	18	19	20
Σύνολο σε PV	10.367 €	8.186 €	7.796 €
Ανακεφαλ. Σύνολο	6.984 €	15.170 €	22.965 €

Πίνακας 14: Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης σε βάθος 20-ετίας

Μετά την ανάλυση της καθαρής παρούσας αξίας, γίνεται αντιληπτό ότι από οικονομικής άποψης η επένδυση που έγινε για την εφαρμογή καινοτόμων συστημάτων ηλεκτροφωτισμού είναι συμφέρουσα.

Η απόσβεση του κεφαλαίου θα ολοκληρωθεί πλήρως το 17ο έτος της επένδυσης, και από εκείνο το σημείο και έπειτα η εξοικονόμηση που θα εξακολουθήσει να γίνεται θα αποφέρει κέρδη σε σχέση με το αρχικό κεφάλαιο. Μάλιστα, σε όρους καθαρής παρούσας αξίας, το συνολικό όφελος σε βάθος 20 ετών αναμένεται να είναι 22.965€.

Παρακάτω παρουσιάζονται και σε μορφή διαγράμματος barplot τα αποτελέσματα της μελέτης.



Εικόνα 31: Απεικόνιση χρηματοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης σε βάθος 20-ετίας

Βεβαίως, τα οφέλη των μεθόδων δεν είναι μόνο οικονομικά όπως θα αναλυθεί και ακολούθως στα συμπεράσματα. Σε κάθε περίπτωση , φαίνεται από την ανάλυση ότι όχι μόνο δε θα υπάρχει οικονομική ζημία αλλά θα εξασφαλιστεί η ασφάλεια των κατοίκων και των επισκεπτών του Δήμου, θα διευκολυνθεί ο έγκαιρος εντοπισμός μη λειτουργικών φωτιστικών και κατά συνέπεια η αντικατάσταση τους, και θα τεθούν γερές βάσης για τον ψηφιακό μετασχηματισμό του Δήμου πετυχαίνοντας παράλληλα και οικονομικό κέρδος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να αξιολογηθεί η εφαρμογή μιας σειράς καινοτόμων συστημάτων και σύγχρονων μεθόδων ηλεκτροφωτισμού στο Δήμο Περιστερίου. Για να εξαχθούν τα απαιτούμενα συμπεράσματα, εκπονήθηκε μια μικρή τεχνοοικονομική μελέτη βασισμένη στην αναβάθμιση του φωτισμού δημοσίων περιοχών του Δήμου, στην οποία αφενός εφαρμόστηκαν όλες οι καινοτόμες μέθοδοι που αναπτύχθηκαν στην εργασία, αφετέρου πληροί τα κριτήρια περιοχών μεγάλης επισκεψιμότητας το οποίο ήταν στόχος της εργασίας μας.

Αναλύοντας όλα τα οικονομικά δεδομένα και κάνοντας και κάποιες προσεγγιστικές εκτιμήσεις στο προηγούμενο κεφάλαιο, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από οικονομικής άποψης η επένδυση μπορεί να χαρακτηριστεί συμφέρουσα. Παίρνοντας σαν χρόνο αναφοράς τα 20 έτη, αποδείχθηκε ότι η αρχική επιβάρυνση για τον εξοπλισμό και την εγκατάσταση του με όλες τις βελτιώσεις που αναλύθηκαν θα αποσβεστεί στα 17 έτη. Για τον υπόλοιπο χρόνο ζωής του έργου (είτε αναφερόμαστε στη διάρκεια της επένδυσης που είναι 20 έτη, είτε ακόμα περισσότερο στο χρόνο ζωής του συστήματος που θα είναι πολύ μεγαλύτερος) θα παράγεται καθαρό κέρδος.

Βεβαίως , πέραν των οικονομικών δεδομένων, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και μια σειρά πολύ σημαντικών οφελών που έχουν σχέση με την ασφάλεια των πολιτών και τη δημιουργία ενός καλύτερου κλίματος αλλά και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν. Αξίζει να αναφερθεί ότι με την αντικατάσταση των συμβατικών φωτιστικών με LED επιτεύχθηκε εξοικονόμηση ενέργειας έως και 80% και αντίστοιχα μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά 80%. Επίσης, αναβαθμίστηκαν τα εργαλεία που έχει στη διάθεση του ο Δήμος για την συντήρηση του συστήματος ηλεκτροφωτισμού, αφού πλέον θα διαθέτει μια πλήρη εικόνα της κατάστασης (π.χ μη λειτουργικά φωτιστικά ώστε να προβεί σε διαδικασίες άμεσης αντικατάστασης αυτών) αλλά και απομακρυσμένης διαχείρισης των φωτιστικών πετυχαίνοντας σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση μέσω της λειτουργίας του dimming.

Αναλογιζόμενοι ότι όλα αυτά τα καθημερινά οφέλη και η άνεση που εξασφαλίζεται όχι μόνο δεν επιβαρύνει οικονομικά , αλλά γεννά και οφέλη σε χρήμα μακροπρόθεσμα, το όλο εγχείρημα μόνο επιτυχημένο μπορεί να κριθεί. Με δεδομένη την συνεχή τεχνολογική εξέλιξη, και την ανάπτυξη όλο και περισσότερων συτημάτων τηλεελέγχου-τηλεχειρισμού, η

υιοθέτηση end to end λύσεων διαχείρισης του ηλεκτροφωτισμού σε ευρύ κλίμα είναι πιο κοντά από ποτέ, και όπως αποδείχθηκε από τη δική μας τεχνο-οικονομική μελέτη, τα οφέλη θα είναι πολλαπλά και τεράστια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Κλωνιζάκης Αριστείδης, «Φωτισμός-Γενικά», ΑΤΕΙ Αθήνας, Σχολή Γραφικών Τεχνών και Καλλιτεχνικών Σπουδών, 2012

[2] Γερασίμου-Δούφου Άννα, «Ανάδειξη των όψεων με φωτισμό», http://www.ktirio.gr/, 2011

[3] Βαλσαμάκης Μάριος, «Φωτισμός Δρόμων και Εξοικονόμηση Ενέργειας» , Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, 2004

[4] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Ενέργεια, http://ec.europa.eu/energy/lumen/index_el.htm, 2014

[5] Τοπαλής Φραγκίσκος, Οικονόμου Λάμπρος, Κουρτέση Σταυρούλα, «Φωτοτεχνία», Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2010

[6] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Φως στο μέλλον, Επιτάχυνση της εξάπλωσης των καινοτόμων τεχνολογιών φωτισμού», Πράσινο Βιβλίο, Βρυξέλλες, 2011

[7] LED,Μωραΐτης ΑΒΕΕ, http://test.moraitis.com/LED-gr/, 2013

[8] ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ «Η επανάσταση στον φωτισμό με τη τεχνολογία LED», http://www.electrologos.gr/news/79,2014

[9] Νικολάου Δημήτριος, « Η εφαρμογή των LED στον φωτισμό δρόμων και οι προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας», Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2013

[10] «Πλεονεκτήματα των LEDs», http://www.americanLED.eu/index.php/el/advantages-of-LEDs American LED, 2014

[11] REGULATIONS, COMMISSION REGULATION (EU) No 1194/2012 , Official Journal of the European Union, 2012

[12] Walerczyk Stan ,"LED Vs Everything Else", www.lightingwizards.com, 2014

[13] Μητρονίκας Ε., Παπαδόπουλος. Ιωαννίδου, Λαδακάκος Π. «Σύγχρονα ηλεκτρονικά στοιχεία και διατάξεις ισχύος για βιομηχανική χρήση», 2014

[14] Κοντορούπης, Τριπιδάκης, Σταματοπούλου , «Φωτισμός ανάδειξης κτιρίων και αστικών υπαίθριων χώρων» Σημειώσεις του μαθήματος: Ε.Θ.. Τεχνικών εγκαταστάσεων , 1998

[15] Μαθιός Κώστας, «Φως και τεχνητός φωτισμός, η 4η διάσταση του χώρου», Περιοδικό Κατασκευαστής, 1997

[16] Πολυζωίδης Χρήστος «OLEDs & Φωτισμός Στερεάς Κατάστασης (SSL)», http://chpolyz.blogspot.gr/2014_02_01_archive.html, 2014

[17] Μαρούλης Γεώργιος , «Οικονομικός Φωτισμός» , Πτυχιακή εργασία, Ηράκλειο, 2010

[18] Τουλόγλου Στέφανος, «Οι βαθμοί (κώδικες) προστασίας IP και η επιπρόσθετη προστασία προσώπων κατά IEC/EN 60529», Επιστημονικά και Εκπαιδευτικά Ηλεκτρολογικά Νέα, 2012

[19] Δούλος Λάμπρος, Μπουρούσης Κωνσταντίνος, «Σχεδιασμός έργων φωτισμού», Εκδόσεις ΕΑΠ, Πάτρα, 2013

[20] Κασσέτας Ανδρέας, «Φάσματα», http://users.sch.gr/kassetas/educ9b.htm, 2014

[21] Econews, «Εξοικονόμηση ενέργειας: Μαζική εξάπλωση λαμπτήρων LED», http://www.econews.gr/2011/12/18/ee-LED-lamps/, 2011

[22] BIGSOLAR LED, «Η τεχνολογία LED», http://www.bigsolarLED.com/ofeliLED-texnologias.html?sl=el, , 2014

[23] Αθανάσιος Δεματάς, «Βιολογικά αποτελέσματα του φωτός στον ανθρώπινο οργανισμό», Τεχνική Επιθεώρηση, Σεπτέμβριος 2014.

[24] "What is LoRa?". *Semtech*. Retrieved 2021-01-21.

[25] "LoRa Modulation Basics". Semtech. Archived from the original on 2019-07-18. Retrieved 2020-02-05.

[26] "Semtech Acquires Wireless Long Range IP Provider Cycleo". *Design And Reuse*. Retrieved 2019-10-17.

[27] Ramon Sanchez-Iborra; Jesus Sanchez-Gomez; Juan Ballesta-Viñas; Maria-Dolores Cano; Antonio F. Skarmeta (2018).

[28] Adelantado, Ferran; Vilajosana, Xavier; Tuset-Peiro, Pere; Martinez, Borja; Melia-Segui, Joan; Watteyne, Thomas (2017). "Understanding the Limits of LoRaWAN". IEEE Communications Magazine. 55 (9): 34–40.

[29] Giedre Dregvaite; Robertas Damasevicius (30 October 2016). Information and Software Technologies: 22nd International Conference, ICIST 2016, Druskininkai, Lithuania, October 13-15, 2016, Proceedings. Springer. pp. 665–. ISBN 978-3-319-46254-7.

[30] Khaldoun Al Agha; Guy Pujolle; Tara Ali Yahiya (17 August 2016). Mobile and Wireless Networks. Wiley. pp. 241–. ISBN 978-1-119-00755-5.

[31] "Our Story | Sigfox". Sigfox. 2020. Retrieved 2020-11-26

[32] "NarrowBand – Internet of Things (NB-IoT)".

[33] Grant, Svetlana (September 1, 2016). "3GPP Low Power Wide Area Technologies - GSMA White Paper" (PDF). gsma.com. GSMA. p. 49. Retrieved October 17, 2016.

[34] Ryu, Jaeku. "NB-IoT Handbook".

[35] *Lawson, Stephen (September 21, 2015).* "NarrowBand IoT standard for machines moves forward". *computerworld.com.* Computerworld / IDG. *p. 1*. Retrieved September 24, 2015.

[36] Jones, Dan (September 11, 2015). "Ericsson, Intel, Nokia Back New Narrowband LTE IoT Spec". lightreading.com. LightReading. p. 1. Retrieved September 24, 2015.

[37] Dan Evans. “Lighting: A Building Block for Connected Cities” *Electroindustry* Vol. 26 No. 2, *2021*

[38] Διακήρυξη Διεθνούς Ανοικτού Ηλεκτρονικού Διαγωνισμού για την προμήθεια: «Παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης και διαχείρισης φωτισμού σε κοινόχρηστους χώρους του Δήμου Περιστερίου»

ΠΑΡΆΡΤΗΜΑ Α

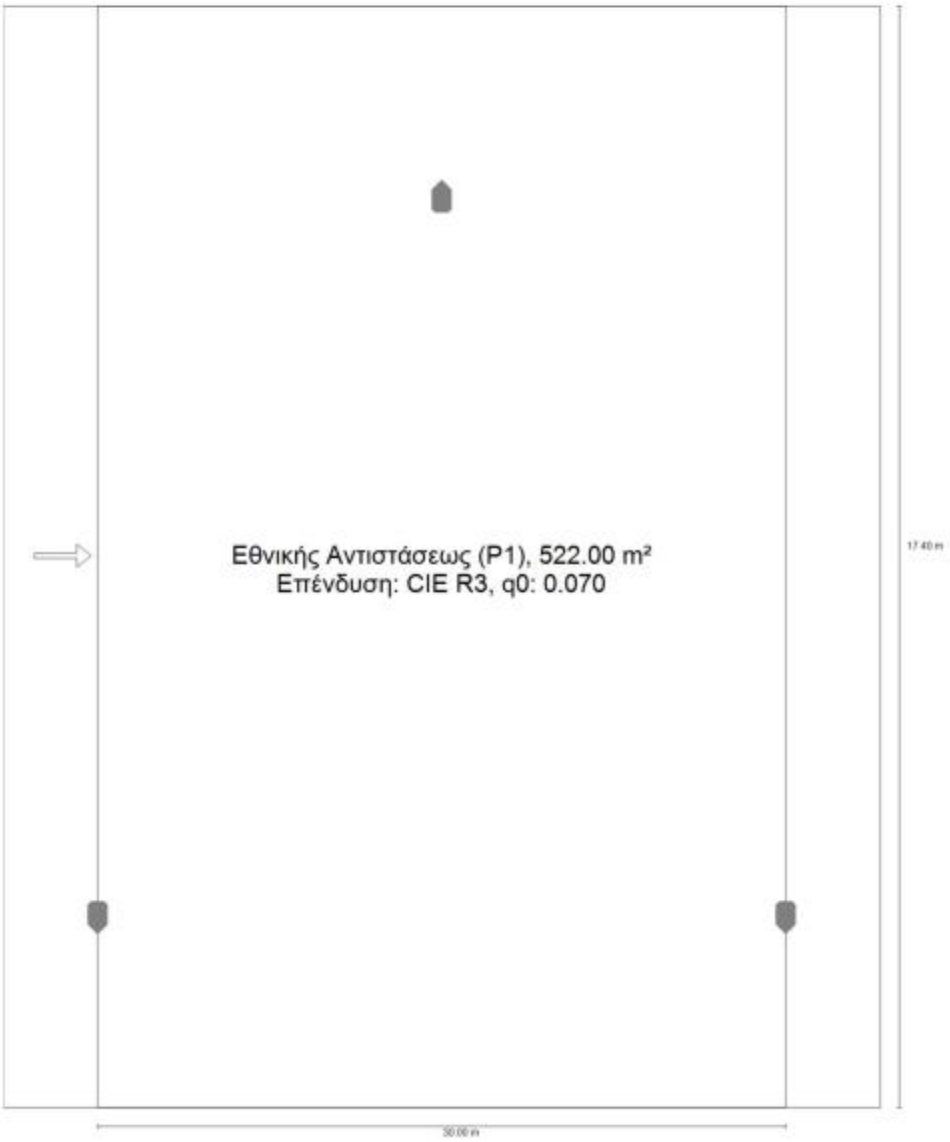
Α. Φωτοτεχνική Μελέτη_Εθνικής Αντιστάσεως

Μελέτη_EA_49W_DIPLEURI

DIALux

Εθνικής Αντιστάσεως

Περίληψη (προς EN 13201:2015)

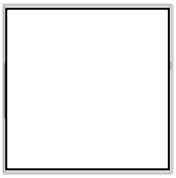


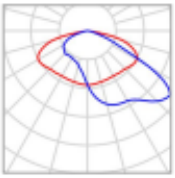
Μελέτη_EA_49W_DIPLEURI

DIALux

Εθνικής Αντιστάσεως

Περίληψη (προς EN 13201:2015)





Κατασκευαστής	LUG	P	49.0 W
Αρ. είδους	130352.3L042.020	Φθωτικό	7200 lm
Όνομα στοιχείου	ARTERA LED DALI 49W 7200lm 4000K IP66 O3 - for local roads gray II		
Εξοπλισμός	1x LED DALI 49W 7200lm 4000K IP66 O3 II class gray		

2

Μελέτη_EA_49W_DIPLEURI

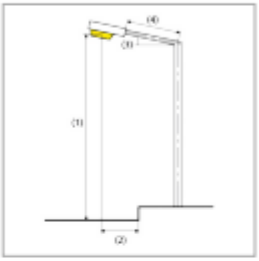
DIALux

Εθνικής Αντιστάσεως

Περίληψη (προς EN 13201:2015)

ARTERA LED DALI 49W 7200lm 4000K IP66 O3 - for local roads gray II (αμφίπλευρα μετατοπισμένα)

Απόσταση ιστών (κολόνες)	30.000 m
(1) Ύψος φωτεινού σημείου	6.000 m
(2) Προεξοχή φωτεινών σημείων	3.000 m
(3) Κλίση βραχίονα	0.0°
(4) Μήκος βραχίονα	0.000 m
Ώρες λειτουργίας κατ' έτος	4000 h: 100.0 %, 49.0 W
Κατανάλωση	3234.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Μέγ. εντάσεις φωτισμού Κάθε φορά σε όλες τις κατευθύνσεις, που σχηματίζουν τη δεδομένη γωνία με την κάτω κάθετο σε εγκαταστημένα φωτιστικά που λειτουργούν.	≥ 70°: 538 cd/klm ≥ 80°: 45.4 cd/klm ≥ 90°: 0.00 cd/klm
Κατηγορία φωτεινότητας Οι τιμές έντασης φωτισμού σε [cd/klm] για τον υπολογισμό της κατηγορίας έντασης φωτισμού αναφέρονται σύμφωνα με το EN 13201:2015 στη φωτεινή ροή των φώτων.	G*3
Κατηγορία δείκτη εκθάμβωσης	D.6



Αποτελέσματα για πεδία αξιολόγησης

	Μέγεθος	Υπολογισμένο	Ονομ	Έλεγχος OK
Εθνικής Αντιστάσεως (P1)	E_m	15.71 lx	[15.00 - 22.50] lx	✓
	E_{min}	5.35 lx	≥ 3.00 lx	✓

Για την εγκατάσταση ο υπολογισμός έγινε με έναν συντελεστή συντήρησης 0.67.

3

Μελέτη_EA_49W_DIPLEURI

DIALux

Εθνικής Αντιστάσεως

Περίληψη (προς EN 13201:2015)

Αποτελέσματα για δείκτες ενεργειακής απόδοσης

	Μέγεθος	Υπολογισμένο	Κατανάλωση
Εθνικής Αντιστάσεως	D_p	0.012 W/lx*m²	-
ARTERA LED DALI 49W 7200lm 4000K IP66 O3 - for local roads gray II (αμφίπλευρα μετατοπισμένα)	D_e	0.8 kWh/m² έτος,	392.0 kWh/έτος

4

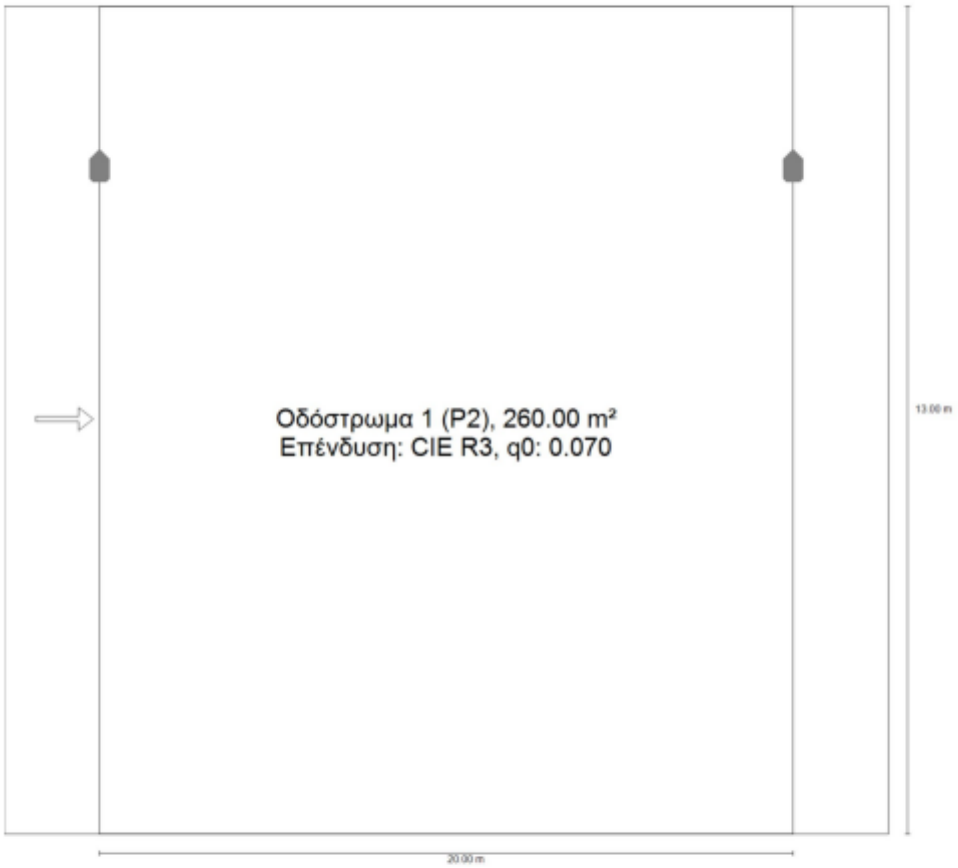
ΠΑΡΆΡΤΗΜΑ Β

Μελέτη_Μεγ. Αλεξάνδρου

DIALux

Μεγ. Αλεξάνδρου

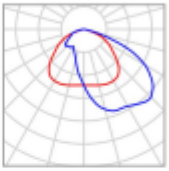
Περίληψη (προς EN 13201:2015)



1

Μεγ. Αλεξάνδρου

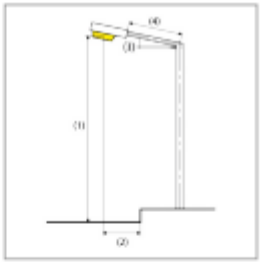
Περίληψη (προς EN 13201:2015)



Κατασκευαστής	LUG LIGHT FACTORY	P	30.0 W
Αρ. είδους	130355.3L402.180	$\Phi_{\text{λάμπα}}$	5000 lm
Όνομα στοιχείου	ARTERA LED ED DALI 5000lm/740 IP66 O18 grafit II kl.	$\Phi_{\text{φωτιστικό}}$	5000 lm
		η	100.00 %
Εξοπλισμός	1x LED 4000K		

ARTERA LED ED DALI 5000lm/740 IP66 O18 grafit II kl. (μονόπλευρα επάνω)

Απόσταση ιστών (κολόνες)	20.000 m
(1) Ύψος φωτεινού σημείου	5.000 m
(2) Προεξοχή φωτεινών σημείων	2.500 m
(3) Κλίση βραχίονα	0.0°
(4) Μήκος βραχίονα	0.000 m
Ώρες λειτουργίας κατ' έτος	4000 h: 100.0 %, 30.0 W
Κατανάλωση	1500.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Μέγ. εντάσεις φωτισμού Κάθε φορά σε όλες τις κατευθύνσεις, που σχηματίζουν τη δεδομένη γωνία με την κάτω κάθετο σε εγκαταστημένα φωτιστικά που λειτουργούν.	≥ 70°: 367 cd/klm ≥ 80°: 47.5 cd/klm ≥ 90°: 0.00 cd/klm
Κατηγορία φωτεινότητας Οι τιμές έντασης φωτισμού σε [cd/klm] για τον υπολογισμό της κατηγορίας έντασης φωτισμού αναφέρονται σύμφωνα με το EN 13201:2015 στη φωτεινή ροή των φώτων.	G*4
Κατηγορία δείκτη εκθάμβωσης	D.6



2

Μελέτη_Μεγ. Αλεξάνδρου

DIALux

Μεγ. Αλεξάνδρου

Περίληψη (προς EN 13201:2015)

Αποτελέσματα για πεδία αξιολόγησης

	Μέγεθος	Υπολογισμένο	Ονομ	Έλεγχος OK
Οδόστρωμα 1 (P2)	E_m	12.69 lx	[10.00 - 15.00] lx	✓
	E_{min}	3.04 lx	≥ 2.00 lx	✓

Για την εγκατάσταση ο υπολογισμός έγινε με έναν συντελεστή συντήρησης 0.80.

Αποτελέσματα για δείκτες ενεργειακής απόδοσης

	Μέγεθος	Υπολογισμένο	Κατανάλωση
Μεγ. Αλεξάνδρου	D_p	0.009 W/lx*m²	-
ARTERA LED ED DALI 5000lm/740 IP66 O18 grafit II kl. (μονόπλευρα επάνω)	D_e	0.5 kWh/m² έτος,	120.0 kWh/έτος

3