



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**Μελέτη σκοπιμότητας για εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο  
φωτισμού της λεωφόρου Μεσογείων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Γ. Λιούκας**

**Δημήτριος Σ. Ταλιούρας**

Επιβλέπων: Δημήτρης Π. Νικολάου, Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνος καθηγητής: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2018





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## Μελέτη σκοπιμότητας για εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο φωτισμού της λεωφόρου Μεσογείων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κωνσταντίνος Γ. Λιούκας**

**Δημήτριος Σ. Ταλιούρας**

Επιβλέπων: Δημήτρης Π. Νικολάου, Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνος καθηγητής: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16<sup>η</sup> Μαρτίου 2018.

.....  
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Φ. Γκόνοσ  
Επίκουρος Καθηγητής

.....  
Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης  
Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2018





.....  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΛΙΟΥΚΑΣ  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός  
και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Σ. ΤΑΛΙΟΥΡΑΣ  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός  
και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Λιούκας, Δημήτριος Ταλιούρας, 2018  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος - All rights reserved

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

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



## *Ευχαριστίες*

*Θα θέλαμε πρωτίστως να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Φραγκίσκο Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής και για την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της.*

*Στη συνέχεια θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δημήτρη Νικολάου, ηλεκτρολόγο μηχανικό και υποψήφιο διδάκτορα της σχολής, για την καθοδήγησή του και την παροχή πολύτιμων μεθόδων και πληροφοριών πάνω στο αντικείμενο της τεχνολογίας φωτισμού και ειδικότερα των μελετών οδοφωτισμού καθώς και τον αρχιτέκτονα μηχανικό Αντώνη Κανάκη για την σημαντική συνεισφορά του στην αποτύπωση της λεωφόρου Μεσογείων.*

*Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους γονείς μας, τις οικογένειες μας και τους φίλους μας για την στήριξή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μας και ιδιαίτερα κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.*



## Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εξερεύνηση της χρησιμότητας της αναβάθμισης ενός δικτύου οδοφωτισμού από εγκατάσταση φωτιστικών υψηλής πίεσης νατρίου (HPS) σε σύγχρονων φωτιστικών φωτοεκπέμπουσων διόδων (LED). Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του οδοφωτισμού και πραγματοποιείται μελέτη σκοπιμότητας εξοικονόμησης ενέργειας στην λεωφόρο Μεσογείων με την εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού και συστήματος τηλεδιαχείρισης.

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή σε βασικές έννοιες του φωτισμού, του μηχανισμού όρασης και των θεμελιωδών φωτοτεχνικών μεγεθών, ενώ αναλύονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των υπό εξέταση φωτεινών πηγών υψηλής πίεσης νατρίου (HPS) και φωτοεκπέμπουσων διόδων (LED) καθώς και τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο τεκμηριώνεται η ανάγκη και η σημασία του οδοφωτισμού, ενώ παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του, όπως αυτές καθορίζονται από το νέο πρότυπο οδοφωτισμού, EN 13201, και την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΟΤΕΕ). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις δυνατότητες προσαρμοστικού φωτισμού που εισάγονται στον οδοφωτισμό με την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και κεντρικού συστήματος διαχείρισης.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνολογίες οδήγησης, ελέγχου και επικοινωνίας του ηλεκτρονικού εξοπλισμού της τεχνολογίας LED, επισημαίνοντας τις δυνατότητες που προσφέρουν για πλήρη έλεγχο και εποπτεία ενός αναβαθμισμένου δικτύου φωτισμού.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η κεντρική πολιτική σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο για την εξοικονόμηση ενέργειας και την αύξηση ενεργειακής απόδοσης ως βασικός άξονας των προσπαθειών αναβάθμισης των δικτύων οδοφωτισμού σε συνδυασμό με τους βασικούς χρηματοδοτικούς μηχανισμούς τέτοιων δράσεων.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη σκοπιμότητας εξοικονόμησης ενέργειας στο δίκτυο οδοφωτισμού της λεωφόρου Μεσογείων με προσομοιωτική μελέτη του φωτοτεχνικού αποτελέσματος και οικονομοτεχνικούς υπολογισμούς ανάλυσης της εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους καθώς και διερεύνηση της βιωσιμότητας της επένδυσης αυτής.

Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα εργασία και τίθενται ερωτήματα και προβληματισμοί για περαιτέρω διερεύνηση τόσο για τις δυνατότητες ανάπτυξης ενός συστήματος οδοφωτισμού όσο και για την ενσωμάτωσή του σε ένα ευρύτερο ενεργειακό δίκτυο ευφυούς πόλης.

### Λέξεις - Κλειδιά

Φωτισμός δρόμων, LED, εξοικονόμηση ενέργειας, πρότυπο οδοφωτισμού, προσαρμοστικός φωτισμός, dimming, τηλεδιαχείριση, σύστημα κεντρικής διαχείρισης, πρωτόκολλα επικοινωνίας, πρωτόκολλα ελέγχου, έλεγχος φωτισμού, εποπτεία φωτισμού.



## Abstract

This thesis aims to explore the importance of upgrading a road lighting system from a High Pressure Sodium (HPS) luminaire installation to a modern LED luminaire one. On this end, the main principles of road lighting are presented and a feasibility study of energy savings is carried out on Mesogeion Avenue with the implementation of adaptive lighting and remote control systems.

In Chapter 1 an introduction to basic concepts of illumination, vision mechanisms and fundamental photometry is made, as well as an analysis of the operation of the HPS and LED light sources, focusing on their basic advantages and disadvantages.

In Chapter 2 the necessity and importance of road lighting are documented, while its basic principles, as defined by the new road lighting standard, EU EN 13201 and the Technical Direction of the Technical Chamber of Greece, are presented. Emphasis is given to adaptive lighting capabilities introduced into road lighting by the application of modern technology and the implementation of a central management system.

In Chapter 3, we analyse the driving, control and communication technologies of LED electronic equipment, highlighting the possibilities they offer for integrated control and supervision over an upgraded lighting network.

In Chapter 4, we present central European and international policies pertaining to energy savings and increased energy efficiency, as an important drive force behind lighting networks' upgrades, alongside such projects' main funding mechanisms.

In Chapter 5, we carry out a feasibility study of energy savings in the Mesogeion Avenue road lighting network with a simulated phototechnical study and economic analysis of the energy and cost savings as well as investigating the viability of such investment.

Finally, in Chapter 6 we comment on this thesis' findings while raising questions to future inquiry of both the further potential for development of a street lighting system and its integration into a smart city energy network.

### Keywords

Street lighting, LED, energy savings, street lighting standard, adaptive lighting, dimming, remote control, central management system, communication protocols, control protocols, lighting control, lighting supervision.





## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	9
Abstract.....	11
Περιεχόμενα.....	13
Ευρετήριο Πινάκων.....	17
Ευρετήριο Εικόνων .....	19
<b>Κεφάλαιο Πρώτο: Εισαγωγή σε βασικές έννοιες φωτισμού .....</b>	<b>23</b>
<b>1.1 Φως και Όραση .....</b>	<b>23</b>
1.1.1 Ορατό φως.....	23
1.1.2 Όραση.....	23
1.1.3 Φωτοανιχνευτές και τύποι όρασης.....	24
1.1.4 Ευαισθησία του οφθαλμού .....	25
1.1.5 Ποιότητα χρώματος φωτεινής πηγής .....	25
1.1.6 Θερμοκρασία χρώματος.....	26
<b>1.2 Θεμελιώδη μεγέθη φωτοτεχνίας .....</b>	<b>27</b>
<b>1.3 Φωτεινές πηγές .....</b>	<b>29</b>
1.3.1 Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης - HPS.....	30
1.3.1.1 Κατασκευή και λειτουργία .....	30
1.3.1.2 Μέσος χρόνος ζωής .....	31
1.3.1.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα .....	31
1.3.2 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (Light Emitting Diodes - LEDs).....	32
1.3.2.1 Κατασκευή και λειτουργία .....	32
1.3.2.2 Πλεονεκτήματα των LEDs.....	33
1.3.2.3 Μειονεκτήματα των LEDs.....	34
<b>Κεφάλαιο Δεύτερο: Οδοφωτισμός .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Ιστορία του οδοφωτισμού .....</b>	<b>35</b>
2.1.1 Φωτισμός αερίου.....	35
2.1.2 Ηλεκτρικός φωτισμός .....	36
<b>2.2 Βασικές παράμετροι σχεδιασμού οδικού φωτισμού.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4 Εξοικονόμηση με LED στον οδοφωτισμό.....</b>	<b>40</b>
<b>2.5 Μελέτη οδοφωτισμού .....</b>	<b>42</b>
2.5.1 Επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού .....	42
2.5.2 Συντελεστής συντήρησης - MF.....	46
2.5.3 Προσαρμοστικός φωτισμός.....	48
2.5.4 Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού .....	50
2.5.5 Υπολογισμός δεικτών ενεργειακής επίδοσης .....	51
2.5.6.1 Υπολογισμός Κόστους .....	52
2.5.6.2 Οικονομική Αξιολόγηση .....	53
2.5.6.3 Υπολογισμός εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	53
2.5.7 Γενικές προδιαγραφές έργου .....	54
2.5.8 Τεχνική οδηγία TEE (TOTEE) οδοφωτισμού .....	54

<b>Κεφάλαιο Τρίτο: Οδήγηση και έλεγχος LED .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Τροφοδοσία των LED - Drivers.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Έλεγχος.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας ελέγχου .....</b>	<b>57</b>
3.3.1 Το πρωτόκολλο ελέγχου 0 - 10 V .....	57
3.3.2 Το ψηφιακό πρωτόκολλο DALI.....	57
3.3.3 Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας.....	57
<b>3.4 Κεντρική διαχείριση.....</b>	<b>58</b>
3.4.1 Τοπολογίες δικτύου .....	58
3.4.2 Πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee .....	59
3.4.3 Εξοπλισμός ελέγχου συστήματος διαχείρισης .....	61
3.4.3.1 Ελεγκτής φωτιστικού (Luminaire Controller - LuCo).....	61
3.4.3.2 Ελεγκτής τομέα (Segment Controller - SeCo).....	61
3.4.3.3 Κεντρικό σύστημα διαχείρισης (Central Management System - CMS).....	62
<b>3.5 Τεχνολογίες προσαρμοστικού φωτισμού .....</b>	<b>63</b>
3.5.1 Astronomical clock.....	63
3.5.2 Constant Lumen Output (CLO) .....	63
3.5.3 Virtual Power Output (VPO).....	64
3.5.4 Selective Dynamic Lumen Output (SDLO) .....	64
<b>Κεφάλαιο Τέταρτο: Στόχοι και χρηματοδότηση έργων οδοφωτισμού .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1 Πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας .....</b>	<b>65</b>
4.1.1 Βασικοί Ευρωπαϊκοί στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας.....	65
4.1.2 Σύμφωνο των Δημάρχων .....	65
4.1.3 Διεθνείς συμφωνίες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	66
<b>4.2 Χρηματοδοτικοί μηχανισμοί .....</b>	<b>67</b>
4.2.1 Δημόσιος και Ευρωπαϊκός τομέας .....	67
4.2.1.1 Πράσινο Ταμείο.....	67
4.2.1.2 ΕΣΠΑ .....	68
4.2.1.3 ELENA (European Local ENergy Assistance).....	68
4.2.2 Ιδιωτικός τομέας .....	69
<b>4.3 Έργα αναβάθμισης οδοφωτισμού .....</b>	<b>71</b>
<b>Κεφάλαιο Πέμπτο: Οικονομοτεχνική μελέτη οδοφωτισμού λεωφόρου Μεσογείων ...</b>	<b>75</b>
<b>5.1 Η Μεσογείων.....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Διαδικασία μελέτης .....</b>	<b>76</b>
5.2.1 Η υφιστάμενη Εγκατάσταση.....	77
5.2.2 Η προτεινόμενη εγκατάσταση.....	79
<b>5.3 Κατηγοριοποίηση της Μεσογείων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201.....</b>	<b>80</b>
<b>5.4 Δεδομένα εισόδου φωτοτεχνικής μελέτης .....</b>	<b>89</b>
5.4.1 Πολυπλοκότητα έργου.....	89
5.4.2 Υπολογισμός συντελεστή συντήρησης (MF) .....	89
5.4.3 Παράμετροι φωτιστικού.....	90
<b>5.5 Προσομοίωση και υπολογισμός εξοπλισμού προς εγκατάσταση .....</b>	<b>91</b>
5.5.1 Αποτελέσματα φωτοτεχνικής προσομοίωσης.....	91
5.5.2 Συνολικός αριθμός εγκαθιστάμενων φωτιστικών LED .....	92
5.5.3 Εγκατάσταση εξοπλισμού κεντρικού συστήματος διαχείρισης.....	92
<b>5.6 Υπολογισμός ενέργειας εγκατάστασης .....</b>	<b>93</b>
5.6.1 Υπολογισμός ενέργειας στην υφιστάμενη εγκατάσταση.....	94
5.6.2 Υπολογισμός ενέργειας στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.....	94

5.6.3 Υπολογισμός ενέργειας στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό.....	95
5.6.3.1 Υπολογισμός των ωρών λειτουργίας του φωτισμού.....	95
5.6.3.2 Υπολογισμός των σταδίων προσαρμοστικού φωτισμού.....	95
5.6.3.3 Υπολογισμός της συνολικής ενέργειας κατανάλωσης.....	97
5.6.4 Συγκριτική απεικόνιση της κατανάλωσης ισχύος και ενέργειας μεταξύ της υφιστάμενης και των προτεινόμενων εγκαταστάσεων .....	98
<b>5.7 Εξοικονόμηση ενέργειας.....</b>	<b>99</b>
<b>5.8 Οικονομικός υπολογισμός κόστους.....</b>	<b>100</b>
5.8.1 Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.....	100
5.8.2 Υπολογισμός ετήσιου κόστους υφιστάμενης εγκατάστασης.....	101
5.8.3 Υπολογισμός ετήσιου κόστους προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.....	103
5.8.4 Υπολογισμός ετήσιου κόστους προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.....	105
5.8.5 Σύγκριση ετήσιου κόστους εγκαταστάσεων .....	107
<b>5.9 Αξιολόγηση επένδυσης .....</b>	<b>108</b>
5.9.1 Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας .....	108
5.9.2 Δείκτης αποδοτικότητας.....	109
5.9.3 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.....	110
5.9.4 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό .....	110
5.9.5 Σύγκριση επενδύσεων.....	112
<b>5.10 Αντικατάσταση HPS 400 W με HPS 250 W.....</b>	<b>113</b>
5.10.1 Υπολογισμός ενέργειας στην υφιστάμενη εγκατάσταση με λαμπτήρες 250 W.....	113
5.10.2 Υπολογισμός κόστους στην υφιστάμενη εγκατάσταση με λαμπτήρες 250 W.....	113
5.10.3 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό σε σχέση με εγκατάσταση 250W.....	115
5.10.4 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό σε σχέση με εγκατάσταση 250W.....	116
<b>Κεφάλαιο Έκτο: Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....</b>	<b>117</b>
<b>Παράρτημα Α: Χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος και οπτικών μέσων .....</b>	<b>121</b>
A.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος LED .....	121
A.2 Πολικά διαγράμματα φακών .....	123
A.3 Συγκριτική μελέτη φωτεινής κατανομής φακών.....	124
<b>Παράρτημα Β: Αποτελέσματα προσομοίωσης.....</b>	<b>127</b>
<b>Παράρτημα Γ: Υπολογισμός ισχύος προσαρμοστικού φωτισμού .....</b>	<b>151</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>153</b>



## Ευρετήριο Πινάκων

- Πίνακας 2.1: Επιλογή κλάσεων M.
- Πίνακας 2.2: Διαχωρισμός οδοστρωμάτων σύμφωνα με την CIE.
- Πίνακας 2.3: Επιλογή κλάσης C μέσω της αντίστοιχης M κλάσης.
- Πίνακας 2.4: Επιλογή κλάσης C μέσω παραμέτρων.
- Πίνακας 2.5: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού M.
- Πίνακας 2.6: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού C.
- Πίνακας 2.7: Κόστος επένδυσης έργου οδοφωτισμού
- Πίνακας 2.8: Ενδεικτικές ελάχιστες απαιτήσεις φωτιστικών σωμάτων LED.
- 
- Πίνακας 5.1: Χαρακτηρισμός διασταυρώσεων με βάση το μήκος τους.
- Πίνακας 5.2: Κάνναβος 1 - Κλάση M από Κατεχάκη έως Πλατεία Αγίας Παρασκευής.
- Πίνακας 5.3: Κάνναβος 2 - Κλάση M από Πλατεία Αγίας Παρασκευής έως Λεωφόρο Λαυρίου.
- Πίνακας 5.4: Διαχωρισμός οδοστρωμάτων σύμφωνα με την CIE<sup>[6]</sup>.
- Πίνακας 5.5: Επιλογή C κλάσης από την αντίστοιχη M κλάση για  $0,05 < Q_0 \leq 0,08$ .
- Πίνακας 5.6: Κλάση C στον βοηθητικό δρόμο της λεωφόρου Μεσογείων.
- Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα προσομοίωσης M κλάσεων
- Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα προσομοίωσης C κλάσεων
- Πίνακας 5.9: Πλήθος εγκαθιστάμενων φωτιστικών LED ανά κάνναβο
- Πίνακας 5.10: Ωρες λειτουργίας ανα στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.
- Πίνακας 5.11: Σχέση ισχύος - φωτεινής ροής του χρησιμοποιούμενου driver.
- Πίνακας 5.12: Ισχύς κατανάλωσης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.
- Πίνακας 5.13: Υπολογισμός συνολικής κατανάλωσης ενέργειας εγκατάστασης με προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.14: Εξοικονόμηση ενέργειας και πυκνότητα ενέργειας προτεινόμενων εγκαταστάσεων.
- Πίνακας 5.15: Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικής ενέργειας
- Πίνακας 5.16: Ετήσιο κόστος λειτουργίας υφιστάμενης εγκατάστασης.
- Πίνακας 5.17: Τιμολόγιο εργασιών συντήρησης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων οδοφωτισμού.
- Πίνακας 5.18: Ετήσιο κόστος συντήρησης υφιστάμενης εγκατάστασης.
- Πίνακας 5.19: Κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.20: Ετήσιο κόστος λειτουργίας προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.21: Υπολογισμός κόστους αντικατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.22: Ετήσιο κόστος συντήρησης προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.23: Κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.24: Ετήσιο κόστος λειτουργίας προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.25: Υπολογισμός κόστους αντικατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.26: Ετήσιο κόστος συντήρησης προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.
- Πίνακας 5.27: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

Πίνακας 5.28: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

Πίνακας 5.29: Ετήσιο κόστος λειτουργίας εγκατάστασης HPS 250 W.

Πίνακας 5.31: Ετήσιο κόστος συντήρησης εγκατάστασης HPS 250 W.

Πίνακας 5.30: Τιμολόγιο εργασιών συντήρησης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων οδοφωτισμού.

Πίνακας 5.32: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό για αντικατάσταση εγκατάστασης HPS 250 W.

Πίνακας 5.33: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό για αντικατάσταση εγκατάστασης HPS 250 W.

Πίνακας Α.1: Συγκριτικά αποτελέσματα προσομοίωσης φακών Α και Β στον κήνοβο 1.

Πίνακας Α.2: Συγκριτικά αποτελέσματα προσομοίωσης φακών Α, Β και Γ στον κήνοβο 3.3.2.

Πίνακας Κ1.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 1.

Πίνακας Κ1.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 1.

Πίνακας Κ2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 2.

Πίνακας Κ2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 2.

Πίνακας Κ3.1.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.1.

Πίνακας Κ3.1.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.1.

Πίνακας Κ3.2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.2.

Πίνακας Κ3.2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.2.

Πίνακας Κ3.3.1.A.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.1.A.

Πίνακας Κ3.3.1.A.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.1.A.

Πίνακας Κ3.3.1.B.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.1.B.

Πίνακας Κ3.3.1.B.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.1.B.

Πίνακας Κ3.3.2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.2.

Πίνακας Κ3.3.2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.2.

Πίνακας Κ3.3.3.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.3.

Πίνακας Κ3.3.3.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.3.

Πίνακας Κ3.3.4.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.4.

Πίνακας Κ3.3.4.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.4.

Πίνακας Κ3.4.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.4.

Πίνακας Κ3.4.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.4.

Πίνακας Κ4.3.1.B.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.3.1.B.

Πίνακας Κ4.3.1.B.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.3.1.B.

Πίνακας Κ4.3.2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.3.2.

Πίνακας Κ4.3.2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.3.2.

Πίνακας Κ4.3.3.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.3.3.

Πίνακας Κ4.3.3.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.3.3.

Πίνακας Κ4.5.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.5.

Πίνακας Κ4.5.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.5.

Πίνακας Κ5.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 5.

Πίνακας Κ5.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 5.

Πίνακας Γ.1: Σχέση Φωτεινής Ροής - Ισχύος

Πίνακας Γ.2: Συνολική ισχύς εγκατάστασης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.

Πίνακας Γ.3: Υπολογισμός ισχύος ανά στάδιο στις Μ κλάσεις.

Πίνακας Γ.4: Υπολογισμός ισχύος ανά στάδιο στις C κλάσεις.

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Εικόνα 1.2: Φυσιολογία ανθρώπινου οφθαλμού.

Εικόνα 1.3: Φασματική ευαισθησία ανθρώπινου οφθαλμού.

Εικόνα 1.4: Καμπύλη ευαισθησίας μελατονίνης συναρτήσει του μήκους κύματος.

Εικόνα 1.5: Συσχέτιση φωτομετρικών μεγεθών.

Εικόνα 1.6: Λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.

Εικόνα 1.7: Λαμπτήρας LED.

Εικόνα 2.1: Οδοφωτισμός με φανάρια αερίου.

Εικόνα 2.2: Ηλεκτρικός φωτισμός, Λονδίνο 1881.

Εικόνα 2.3: Ενεργειακή αλυσίδα από τον σταθμό παραγωγής έως την ενέργεια οδοφωτισμού.

Εικόνα 2.4: Ωριαία μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής σε διάστημα μιας ημέρας.

Εικόνα 2.5: Ημερήσια μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής σε διάστημα μιας εβδομάδας.

Εικόνα 2.6: Μηνιαία μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής σε διάστημα ενός έτους.

Εικόνα 3.1: Σχέση συντελεστή ισχύος - ισχύος εξόδου.

Εικόνα 3.2: Σχέση αρμονικής παραμόρφωσης - ισχύος εξόδου.

Εικόνα 3.3: Σχέση απόδοσης - ισχύος εξόδου.

Εικόνα 3.4: Τοπολογία πλέγματος, αστέρα, και διαύλου.

Εικόνα 3.5: Constant Lumen Output.

Εικόνα 3.6: Selective Dynamic Lumen Output.

Εικόνα 4.1: Άποψη της νέας εγκατάστασης οδοφωτισμού σε δρόμο του Cambridge.

Εικόνα 4.2: Άποψη της νέας εγκατάστασης οδοφωτισμού σε δρόμο του Szczecin.

Εικόνα 4.3: Νυχτερινή άποψη της πόλης του Bellingham.

Εικόνα 5.1: Νυχτερινή άποψη της λεωφόρου Μεσογείων.

Εικόνα 5.2: Ιστός 12 μέτρων με δύο φωτιστικά σώματα HPS των 400 W.

Εικόνα 5.3: Ράμπες εισόδου και εξόδου της σήραγγας του ανισόπεδου κόμβου στη συμβολή της λεωφόρου Μεσογείων με την λεωφόρο Κατεχάκη.

Εικόνα 5.4: Διασταύρωση λεωφόρου Μεσογείων με οδό 17<sup>ης</sup> Νοέμβρη.

Εικόνα 5.5: Σχέση Φωτεινής Ροής - Ισχύος

Εικόνα 5.6: Ισχύς κατανάλωσης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.

Εικόνα 5.7: Ετήσια κατανάλωσης ισχύος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας οδοφωτισμού.

Εικόνα 5.8: Κατανάλωση ενέργειας ανά εγκατάσταση.

Εικόνα 5.9: Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας οδοφωτισμού προτεινόμενων εγκαταστάσεων.

Εικόνα 5.10: Ετήσιο κόστος οδοφωτισμού ανά εγκατάσταση.

Εικόνα 5.11: Ετήσια εξοικονόμηση κόστους οδοφωτισμού προτεινόμενων εγκαταστάσεων.

Εικόνα 5.12: Εξέλιξη Καθαρής Παρούσας Αξίας επένδυσης.

Εικόνα Α.1: Πολικό και Isolux διαγράμματα κατανομής Φακού τύπου Α

Εικόνα Α.2: Πολικό και Isolux διαγράμματα κατανομής Φακού τύπου Β

Εικόνα Α.3: Πολικό και Isolux διαγράμματα κατανομής Φακού τύπου Γ

Εικόνα Κ1.LED: Προσομοίωση Καννάβου 1 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ1.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 1 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

Εικόνα Κ2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ2.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 2 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

Εικόνα Κ3.1.Φ: Άποψη υφιστάμενης εγκατάστασης καννάβου 3.1.

(Διασταύρωση λεωφόρων Μεσογείων - Κατεχάκη)

Εικόνα Κ3.1.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.1 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ3.1.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.1 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS  
φωτιστικών

Εικόνα Κ3.2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ3.2.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.2 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS  
φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.1.A.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.1.A μετά την εγκατάσταση LED  
φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.1.B.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.1.B μετά την εγκατάσταση LED  
φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.3.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.3 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.3.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.3 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS  
φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.4.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.4 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ3.3.4.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.4 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS  
φωτιστικών

Εικόνα Κ3.4.Φ: Άποψη υφιστάμενης εγκατάστασης καννάβου 3.4.

(Διασταύρωση λεωφόρων Μεσογείων - Χαλανδρίου)

Εικόνα Κ3.4.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.4 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ3.4.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.4 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS  
φωτιστικών

Εικόνα Κ4.3.1.B.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.3.1.B μετά την εγκατάσταση LED  
φωτιστικών

Εικόνα Κ4.3.2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.3.2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ4.3.3.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.3.3 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ4.5.Φ: Άποψη υφιστάμενης εγκατάστασης καννάβου 4.5.

(Διασταύρωση λεωφόρων Μεσογείων - Λαυρίου)

Εικόνα Κ4.5.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.5 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ4.5.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 4.5 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS  
φωτιστικών

Εικόνα Κ5.LED: Προσομοίωση Καννάβου 5 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

Εικόνα Κ5.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 5 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών





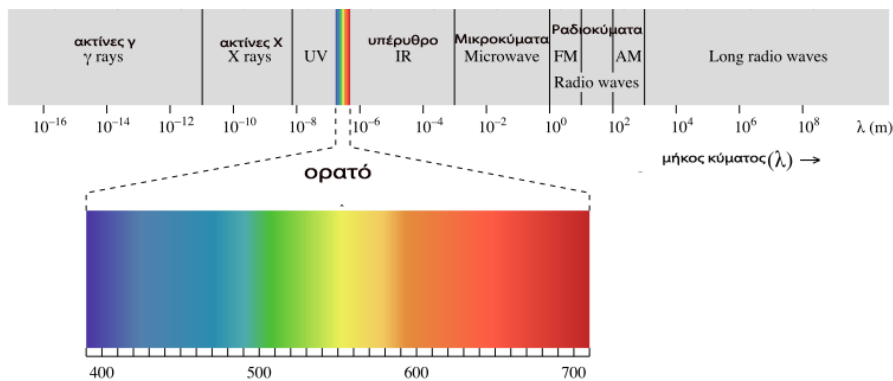


# Κεφάλαιο Πρώτο: Εισαγωγή σε βασικές έννοιες φωτισμού

## 1.1 Φως και Όραση

### 1.1.1 Ορατό φως

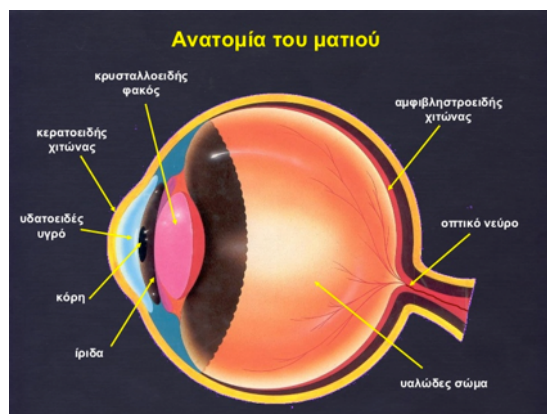
Το ορατό φως είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που γίνεται αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό<sup>[1]</sup>. Καλύπτει μόνο ένα μικρό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και συγκεκριμένα την περιοχή ανάμεσα στις υπέρυθρες (infrared - IR) και στις υπεριώδεις (ultraviolet - UV) ακτινοβολίες, η οποία εκτείνεται από τα 380 nm έως τα 780 nm, ενώ κάθε ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος δημιουργεί στον άνθρωπο την εντύπωση ενός χρώματος, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 1.1*<sup>[2]</sup>.



Εικόνα 1.1: Το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

### 1.1.2 Όραση

Η ανθρώπινη όραση αποτελεί την ανώτερη αισθητηριακή αντίληψη του φωτός, των αντικειμένων και των χρωμάτων. Πρόκειται για μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει ακαριαία αλληλεπίδραση του ματιού και του εγκεφάλου μέσω ενός δικτύου νευρώνων και άλλων κυττάρων του οπτικού συστήματος. Αναλυτικότερα, όταν φωτεινές ακτίνες ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προσπέσουν στο μάτι, περνούν τα διαφανή διαθλαστικά στοιχεία του (κερατοειδής, υδατοειδές υγρό, φακός, υαλοειδές σώμα), και συγκεντρώνονται στον αμφιβληστροειδή. Εκεί ερεθίζουν τους φωτοανιχνευτές του οφθαλμού, κωνία και ραβδία, προκαλώντας φωτοχημικές αντιδράσεις και βιοηλεκτρικές μεταβολές που τελικά μεταφράζονται σε ηλεκτρικά σήματα που οδηγούνται μέσω του οπτικού νεύρου στον εγκέφαλο και συγκεκριμένα στον ινιακό βολβό αυτού. Η φυσιολογία του ανθρώπινου οφθαλμού φαίνεται στην *Εικόνα 1.2*<sup>[3]</sup>.



Εικόνα 1.2: Φυσιολογία ανθρώπινου οφθαλμού.

### 1.1.3 Φωτοανιχνευτές και τύποι όρασης

Στον οφθαλμό συναντάμε δύο είδη φωτοανιχνευτών με παρόμοια κατασκευή αλλά διαφορετική ευαισθησία στο φως και συνεπώς διαφορετική λειτουργία. Πρόκειται για τα κωνία και τα ραβδία.

Τα κωνία, περίπου 7 εκατομμύρια τοποθετημένα στην περιοχή της ωχράς κηλίδας, είναι υπεύθυνα για την όραση κατά την διάρκεια της ημέρας καθώς είναι ευαίσθητα σε υψηλά επίπεδα φωτισμού. Η μεγάλη διακριτική τους ικανότητα προσδίδει την οπτική οξύτητα και την ποιότητα της εικόνας που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος ενώ η εξειδίκευσή τους σε τρία διαφορετικά είδη που ανιχνεύουν επιλεκτικά το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο χρώμα αντίστοιχα τα καθιστά υπεύθυνα για την αντίληψη των χρωμάτων. Για την λειτουργία τους όμως απαιτείται μία ελάχιστη παρατηρούμενη ένταση φωτισμού. Κάτω από αυτό το όριο δεν διεγείρονται μειώνοντας την ικανότητα του ανθρώπου για αντίληψη των χρωμάτων. Σε αυτό το χαμηλό επίπεδο ενεργοποιείται το δεύτερο είδος ανιχνευτή, τα ραβδία.

Τα ραβδία αποτελούν την πλειοψηφία των φωτοανιχνευτών, περίπου 120 εκατομμύρια τοποθετημένα περιφερειακά στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, και είναι υπεύθυνα κυρίως για την περιφερειακή και την νυχτερινή όραση. Σε μεγάλη ένταση φωτισμού επέρχονται σε κορεσμό και δεν συμμετέχουν ενεργά στην διαδικασία της όρασης όμως στα χαμηλά επίπεδα αποτελούν τον βασικό μηχανισμό για την λειτουργία της όρασης.

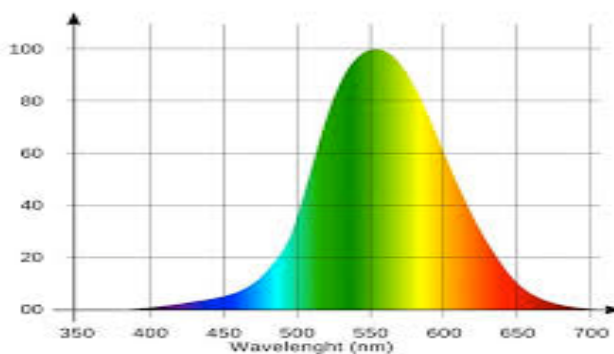
Η διάκριση της λειτουργίας των φωτοανιχνευτών ανάλογα με το επίπεδο φωτισμού έχει ως συνέπεια την πολυπλοκότητα του φαινομένου της οράσεως και την εμφάνιση τριών διαφορετικών ειδών οράσεως:

- Φωτοπική όραση: η λαμπρότητα που αντιλαμβάνεται ο οφθαλμός βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα και κατά συνέπεια ενεργά στοιχεία φωτοανιχνευτών είναι τα κωνία. Χαρακτηρίζεται και σαν όραση ημέρας, όπου η ποιότητα και ευκρίνεια του φωτισμού είναι υψηλή κατά την αναγνώριση αντικειμένων και χρωμάτων.
- Σκοτοπική όραση: η λαμπρότητα που αντιλαμβάνεται ο οφθαλμός βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και κατά συνέπεια ενεργά στοιχεία φωτοανιχνευτών είναι τα ραβδία. Χαρακτηρίζεται και σαν νυχτερινή όραση, όπου η αντίληψη περιορίζεται ραγδαία χρωματικά και επικεντρώνεται στην αναγνώριση μορφών και σχημάτων.
- Μεσοπική όραση: πρόκειται για ενδιάμεση κατάσταση λαμπρότητας κατά την οποία είναι ενεργά τόσο τα κωνία όσο και τα ραβδία. Ο οδοφωτισμός αποτελεί κατά κύριο λόγο μια κλασσική περίπτωση μεσοπικής όρασης.

Η διαφορετική ευαισθησία του οφθαλμού στα επίπεδα φωτισμού καθιστά δύσκολη την προτυποποίηση ενός κοινού φωτομετρικού συστήματος πέραν της φωτοπικής όρασης καθώς οι διάφορες ικανότητες του οφθαλμού όπως η αντίληψη των χρωμάτων, της φωτεινότητας της κίνησης καθώς και η γενικότερη οπτική οξύτητα μεταβάλλονται με το επίπεδο φωτισμού. Καταλήγουμε λοιπόν να χρησιμοποιούμε το μοντέλο φωτοπικής όρασης και για περιπτώσεις μεσοπικής όρασης όπως ο οδοφωτισμός.

### 1.1.4 Ευαισθησία του οφθαλμού

Πέραν της διαφορετικής ευαισθησίας του οφθαλμού ανάλογα με το επίπεδο φωτισμού, παρατηρείται και σημαντική διακύμανση της ευαισθησίας του ματιού στα διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 1.3*<sup>[4]</sup> παρουσιάζεται υψηλότερη ευαισθησία κατά την ημέρα στο μήκος κύματος των 555 nm και κατά τη νύχτα στο μήκος κύματος των 507 nm. Για την περιγραφή της διακύμανσης αυτής ορίζεται ο αδιάστατος συντελεστής φασματικής ευαισθησίας  $V_\lambda$  που παίρνει τιμές στο διάστημα μεταξύ 0 και 1.



Εικόνα 1.3: Φασματική ευαισθησία ανθρώπινου οφθαλμού.

Γίνεται αντιληπτό πως η μέγιστη ευαισθησία παρουσιάζεται στο πρασινοκίτρινο χρώμα και η ελάχιστη στο μπλε και στο κόκκινο, εξού και η χρήση κίτρινου χρώματος στους προβολείς ομίχλης, καθώς και η καθιέρωση των λαμπτήρων νατρίου στον οδοφωτισμό, που παράγουν κίτρινο φως.

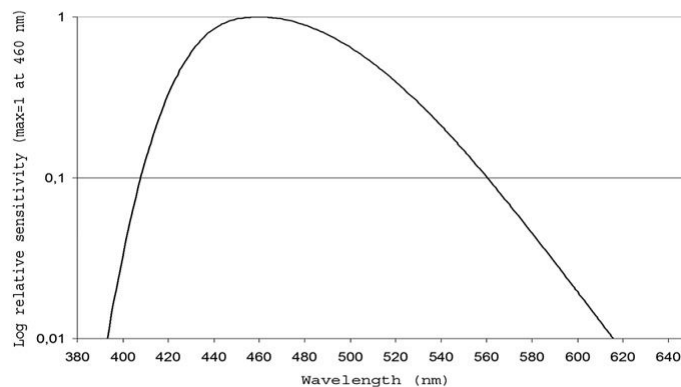
### 1.1.5 Ποιότητα χρώματος φωτεινής πηγής

Η ποιότητα χρώματος μιας φωτεινής πηγής αποτελεί ένδειξη της ικανότητας ρεαλιστικής αναπαραγωγής του χρώματος ενός αντικειμένου. Σύμφωνα με την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE - Commission Internationale de l'Éclairage) η ποιότητα του χρώματος εκφράζεται από το δείκτη χρωματικής απόδοσης  $R_a$  ή CRI (Colour Rendering Index), ο οποίος εκφράζει κατά πόσο η φασματική κατανομή της πηγής είναι ευρεία καλύπτοντας περισσότερα μήκη κύματος. Εκφρασμένος συνήθως ως ποσοστό επί τοις εκατό, όσο μεγαλύτερος τόσο καλύτερη η ποιότητα χρώματος που αποδίδει.

### 1.1.6 Θερμοκρασία χρώματος

Η θερμοκρασία χρώματος, σε βαθμούς K, αποτελεί το μέτρο για να περιγραφεί το χρώμα της φωτεινής πηγής. Εκφράζει το χρώμα της φωτεινής πηγής με τη θερμοκρασία του αντίστοιχου μέλανος σώματος που παράγει ομοιόχρωμο φως. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία χρώματος μιας φωτεινής πηγής τόσο ψυχρότερη η απόχρωση του παραγόμενου φωτός, ενώ όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία τόσο θερμότερη απόχρωση παρατηρείται.

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα αποδεικνύει τη σύνδεση του φωτός, και ειδικότερα του μήκους κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας, με την βιολογικές διεργασίες του ανθρώπινου οργανισμού. Ειδικότερα παρατηρείται πως η έκθεση σε φωτεινή ακτινοβολία επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή και έκκριση της ορμόνης μελατονίνης, μιας ορμόνης που σχετίζεται άμεσα με τον κιρκάδιο ρυθμό του ανθρώπου, δηλαδή με τον καθημερινό 24ωρο κύκλο που ελέγχει τις μεταβολικές κυτταρικές διεργασίες. Παρατηρείται μάλιστα πως η έκθεση σε μονοχρωματική ακτινοβολία στα 460nm μειώνει την παραγωγή της μελατονίνης σε αρκετά μεγαλύτερα επίπεδα από την έκθεση σε ίδιες συνθήκες σε ακτινοβολία 560nm<sup>[5]</sup>, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 1.4* σε ένα διάγραμμα ευαισθησίας παραγωγής και έκκρισης μελατονίνης συναρτήσει του μήκους κύματος της προσλαμβάνουσας ακτινοβολίας. Η ελάττωση της έκκρισης της μελατονίνης προκαλεί μεταξύ άλλων διαταραχές ύπνου και άγχους, ενώ συνδέεται έντονα με τις λειτουργίες του ανοσοποιητικού συστήματος<sup>[6]</sup>.



Εικόνα 1.4: Καμπύλη ευαισθησίας μελατονίνης συναρτήσει του μήκους κύματος.

Είναι λοιπόν σημαντικό να θεωρούμε πέραν του οικονομικού κριτηρίου κατά την εγκατάσταση ενός φωτιστικού σώματος την επιρροή της θερμοκρασίας χρώματος στον άνθρωπο. Η τεχνολογία των LED παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση φωτισμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες χρώματος αλλά για να μπορέσουμε να μειώσουμε την επίδραση στην έκκριση της μελατονίνης, όπως φαίνεται και στο σχήμα, δεν θα πρέπει ο φωτισμός που χρησιμοποιείται να έχει μήκη κύματος μικρότερα των 530nm. Συνεπώς τα LED που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να κυμαίνονται στην περιοχή των 3000 - 4500K, δηλαδή θερμές αποχρώσεις λευκού φωτός.

## 1.2 Θεμελιώδη μεγέθη φωτοτεχνίας

### Φωτεινή Ενέργεια $Q$

Ως Φωτεινή Ενέργεια ορίζεται το κλάσμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στη ζώνη του φάσματος του ορατού φωτός, η οποία γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Προκύπτει από το ολοκλήρωμα του γινομένου της κατανομής της ακτινοβολίας και του συντελεστή φασματικής ευαισθησίας στη ζώνη του ορατού φωτός.

$$Q = \int_{380nm}^{780nm} V_{\lambda} \cdot W_{\lambda} \cdot d\lambda$$

### Φωτεινή Ροή $\Phi$

Ως Φωτεινή Ροή ορίζεται η στοιχειώδης Φωτεινή Ενέργεια  $dQ$  που εκπέμπει μια σημειακή πηγή τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου, εντός του κώνου αυτού, σε χρόνο  $dt$ .

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Ονομάζεται και Φωτεινή Ισχύς καθώς εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ενέργειας που εκπέμπει μία φωτεινή πηγή στη μονάδα του χρόνου προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση που καθορίζεται από τη μορφή της στερεάς γωνίας. Μετράται σε *lumen* (lm).

### Φωτεινή Ένταση

Ως Φωτεινή Ένταση ορίζεται το διανυσματικό μέγεθος που καθορίζει το ποσό της Φωτεινής Ροής  $\Phi$  που εκπέμπει η φωτεινή πηγή προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου. Ορίζεται ως ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή μέσα σε μια στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$ , προς τη γωνία αυτή.

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Η Φωτεινή Ένταση εκφράζεται με τη μονάδα *candela* (cd=lm/sr).

### Ένταση Φωτισμού $E$

Ως Ένταση Φωτισμού ορίζεται το πηλίκο της Φωτεινής Ροής που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, προς το εμβαδό αυτής.

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

Η Ένταση Φωτισμού μετράται σε *Lux* (lx) και εκφράζει, σε αντίθεση με την Φωτεινή Ροή και την Φωτεινή Ένταση που αποτελούν ιδιότητες της φωτεινής πηγής, το αποτέλεσμα των φωτιστικών σωμάτων.

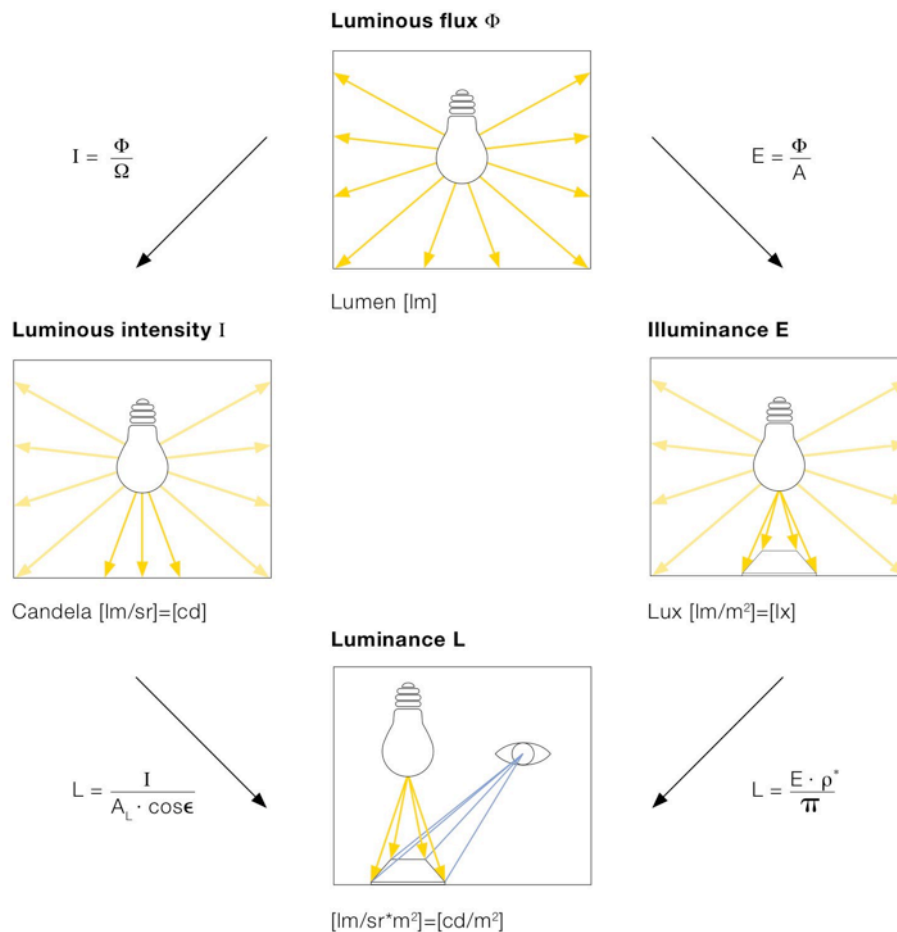
## Λαμπρότητα $L$

Ως Λαμπρότητα ορίζεται ως η Φωτεινή Ένταση  $dI$  στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς τη φαινομένη επιφάνεια  $dS$  της πηγής από τη θέση του παρατηρητή.

$$L = \frac{dI}{dS}$$

Η Λαμπρότητα μετράται σε *candela ανά  $m^2$*  ( $cd/m^2$ ) και εκφράζει αυτό που βλέπει ο παρατηρητής όντας το μόνο βασικό φωτομετρικό μέγεθος που γίνεται αντιληπτό από το μάτι. Χαρακτηρίζει την φωτεινότητα της επιφάνειας και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανάκλαση της.

Οι αλληλοεξαρτήσεις των προαναφερθέντων φωτομετρικών μεγεθών παρουσιάζονται στην *Εικόνα 1.5*<sup>[7]</sup>.



- $\Omega$  = solid angle into which luminous flux is emitted
- $A$  = area hit by luminous flux
- $A_L \cdot \cos\epsilon$  = visible areas of light source
- $\rho$  = reflectance of area
- $\pi$  = 3.14
- \* = for diffuse surface areas

Εικόνα 1.5: Συσχέτιση φωτομετρικών μεγεθών.



### 1.3 Φωτεινές πηγές

Οι πρώτες πηγές φωτός που χρησιμοποιήσαν οι άνθρωποι ήταν η φωτιά, οι δαυλοί και τα κεριά. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν κοίλες πέτρες γεμισμένες με λίπος και φυτίλι από φυτικές ίνες. Αυτά ήταν τα πρώτα κεριά τα οποία χρονολογούνται περίπου στο 3000 π.Χ.. Στον μεσαίωνα τα κεριά φτιάχνονταν από είδη ζωικού λίπους ενώ αργότερα χρησιμοποιήθηκε το κερί της μέλισσας και η παραφίνη. Τα σημερινά κεριά μπορούν να θεωρηθούν ως ένα είδος λάμπας, αλλά η χρήση τους πλέον είναι σχεδόν αποκλειστικά διακοσμητική.

Οι αρχαίοι Έλληνες και Ρωμαίοι έφτιαζαν επίσης λάμπες από μπρούντζο ή κεραμικό που έκαιγαν ελαιόλαδο ή άλλο φυτικό έλαιο ενώ οι πρώτοι αποικιστές της Αμερικής χρησιμοποίησαν έλαιο ψαριού ή φάλαινας. Από την εποχή εκείνη έγιναν πολλές βελτιώσεις στο σχεδιασμό και την κατασκευή αυτών των λαμπτήρων, αλλά το βέλτιστο αποτέλεσμα επιτεύχθηκε όταν προστέθηκε μια γυάλινη φιάλη με ανοιχτό στόμιο ώστε να επιτρέπεται στον αέρα να φτάσει τη φλόγα, με άμεσο αποτέλεσμα την παραγωγή δυνατότερου φωτός. Με τη γέννηση της βιομηχανίας πετρελαίου, η κηροζίνη έγινε το ευρέως χρησιμοποιούμενο καύσιμο σε αυτές τις λάμπες.

Περίπου στο 1800, οι λαμπτήρες αερίου έγιναν δημοφιλείς για το φωτισμό δρόμων, ξεκινώντας από το Λονδίνο. Ο λαμπτήρας αερίου δεν είχε φυτίλι, και το κύριο μειονέκτημα του ήταν ότι η φλόγα παρουσίαζε σημαντικό τρεμόσβησμα. Οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες αντικατέστησαν τους λαμπτήρες αερίου περίπου στα τέλη του 1800 με αρχές του 1900. Ο πρώτος ηλεκτρικός λαμπτήρας παρουσιάστηκε το 1801 από τον Sir Hymphrey Davy, αλλά ο ηλεκτρικός φωτισμός έγινε δημοφιλής μόνο μετά την ανάπτυξη του λαμπτήρα πυρακτώσεως από τους Sir Joseph Swan και Thomas Edison στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο τελευταίος κατοχύρωσε την εφεύρεση του με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1879.

Στον προηγούμενο αιώνα παρουσιάστηκε μια τεράστια αύξηση του αριθμού των λαμπτήρων που διατέθηκαν στην αγορά. Η αρχή έγινε με την βελτίωση του λαμπτήρα του Edison, μετά με την εισαγωγή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου κατά τη δεκαετία του 1930, ενώ ακολούθησαν οι λαμπτήρες φθορισμού το 1939. Οι λαμπτήρες αλογόνου εισήχθησαν κατά τη δεκαετία του 1950 και των μεταλλικών αλογονιδίων και του νατρίου υψηλής πίεσης στη δεκαετία του 1960.

Οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται σήμερα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Λαμπτήρες πυρακτώσεως
  - Κοινοί
  - Αλογόνου
- Λαμπτήρες φθορισμού
- Λαμπτήρες επαγωγής
- Λαμπτήρες εκκένωσης Υψηλής Έντασης
  - Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων
  - Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης
  - Λαμπτήρες Μεικτού Φωτισμού ή Βολφραμίου
  - Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου
- Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι (LED)

Ακολουθεί ανάλυση της λειτουργίας και των κύριων χαρακτηριστικών των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) και των φωτοεκπέμπουσων διόδων (LED) που αποτελούν τις κατεξοχήν τεχνολογίες λαμπτήρων για εφαρμογές φωτισμού δρόμων σήμερα. Άλλωστε η παρούσα εργασία εξετάζει την αντικατάσταση υφιστάμενης εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης με φωτιστικά τεχνολογίας LED.

### 1.3.1 Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης - HPS



Εικόνα 1.6: Λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης ισχύος 400 W.<sup>[8]</sup>

#### 1.3.1.1 Κατασκευή και λειτουργία

Οι λάμπες ατμών υψηλής πίεσης οφείλουν το φως τους στο ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τους ατμούς νατρίου. Οι λαμπτήρες αυτοί είναι κατασκευασμένοι με δυο σωλήνες, ο ένας μέσα στον άλλον. Ο εσωτερικός σωλήνας είναι κατασκευασμένος από πολυκρυσταλλική αλουμίνα, που είναι ανθεκτική στο νάτριο σε υψηλές θερμοκρασίες και έχει μεγάλο σημείο τήξης. Αυτό το υλικό, το οποίο είναι διαφανές, παρέχει μεγάλη απόδοση εκπομπής φωτός (μεγαλύτερη από 90%).

Η πολυκρυσταλλική αλουμίνα δεν μπορεί να λιώσει χωρίς να σπάσει. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ένα ενδιάμεσο σφράγισμα. Μπορεί να είναι είτε από γυαλί, είτε από ατσάλι. Αυτά τα υλικά προσδίδουν στην αλουμίνα μεγάλη αντοχή στο νάτριο υψηλής θερμοκρασίας. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί κεραμικό σφράγισμα. Ο σωλήνας περιέχει ξένο ως αέριο έναυσης, και μια μικρή ποσότητα μίγματος νατρίου και υδραργύρου, το οποίο είναι μερικώς ατμοποιημένο όταν ο λαμπτήρας βρεθεί σε θερμοκρασία λειτουργίας. Ο υδράργυρος λειτουργεί ως αέριο απομόνωσης και αυξάνει την πίεση και την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα.

Το εξωτερικό γυάλινο κάλυμμα είναι κενό και ο ρόλος του είναι να αποτρέπει αντίδραση των μεταλλικών μερών του εσωτερικού σωλήνα αλλά και να διατηρεί τη θερμοκρασία του απομονώνοντας τον από τις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες.

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλο το ορατό φάσμα, σε αντίθεση με της χαμηλής πίεσης που εκπέμπουν κυρίως στα 589 nm. Αυξάνοντας την πίεση του νατρίου, πρακτικά αυξάνεται το ποσοστό της ακτινοβολίας σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Όμως, η διάρκεια ζωής και η απόδοση μειώνονται.

Λόγω της μικρής διαμέτρου των σωλήνων των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, δεν μπορεί να τοποθετηθεί ηλεκτρόδιο έναυσης μέσα στο σωλήνα. Αντί γι' αυτό, τροφοδοτείται παλμός υψηλής συχνότητας. Μερικοί ειδικοί λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης χρησιμοποιούν ένα ειδικό μίγμα αερίων έναυσης (ένα συνδυασμό από αργό και νέο που απαιτεί χαμηλότερη τάση έναυσης απ' ότι κάθε αέριο χωριστά).

Εφόσον ο λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης δεν περιέχει ηλεκτρόδιο έναυσης, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιείται ένας παλμός υψηλής τάσης και συχνότητας που ιονίζει το ξένο (αέριο έναυσης). Μόλις λειτουργήσει, ο λαμπτήρας ζεσταίνεται μέχρι να αποκτήσει τη μέγιστη απόδοση του σε περίπου δέκα λεπτά, κατά την διάρκεια των οποίων το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός αλλάζει έως ότου σταθεροποιηθεί.

### 1.3.1.2 Μέσος χρόνος ζωής

Ο μέσος χρόνος ζωής ενός λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης είναι περίπου 24.000 ώρες και εξαρτάται κυρίως από τον σχεδιασμό του λαμπτήρα. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης έχουν ηλεκτρόδια παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μικρότερη διάμετρο του τόξου του λαμπτήρα, δίνει στους λαμπτήρες ατμών νατρίου πολύ καλή διατήρηση των lumen. Η διάρκεια ζωής αυτών των λαμπτήρων περιορίζεται από μια αργή αύξηση της τάσης του λαμπτήρα που επιδρά αρνητικά στην διάρκεια ζωής τους. Αυτή η αύξηση κυρίως προκαλείται από το μαύρισμα του γυαλιού εξαιτίας των εκπομπών του ηλεκτροδίου. Το μαύρισμα αυτό απορροφά ακτινοβολία, η οποία θερμαίνει τα άκρα του γυάλινου περιβλήματος και εξατμίζει επιπρόσθετη ποσότητα νατρίου. Έτσι αυξάνεται η πίεση και κατά συνέπεια η τάση. Άλλοι λόγοι που προκαλούν την αύξηση της τάσης είναι η διάχυση του νατρίου από τα στεγανοποιημένα άκρα του σωλήνα και η είσοδος σκόνης και ακαθαρσιών μέσα στο σωλήνα. Όταν το στραγγαλιστικό πηνίο δεν μπορεί πλέον να τροφοδοτήσει τάση επαρκή για την επανέναυση του τόξου κατά την διάρκεια κάθε μισού ηλεκτρικού κύκλου, ο λαμπτήρας θα σβήσει. Όταν κρυώσει θα λειτουργήσει ξανά και θα ζεσταθεί μέχρι εκείνο το σημείο που η τάση θα αυξηθεί τόσο που το στραγγαλιστικό πηνίο δεν θα μπορεί να την υποστηρίξει.

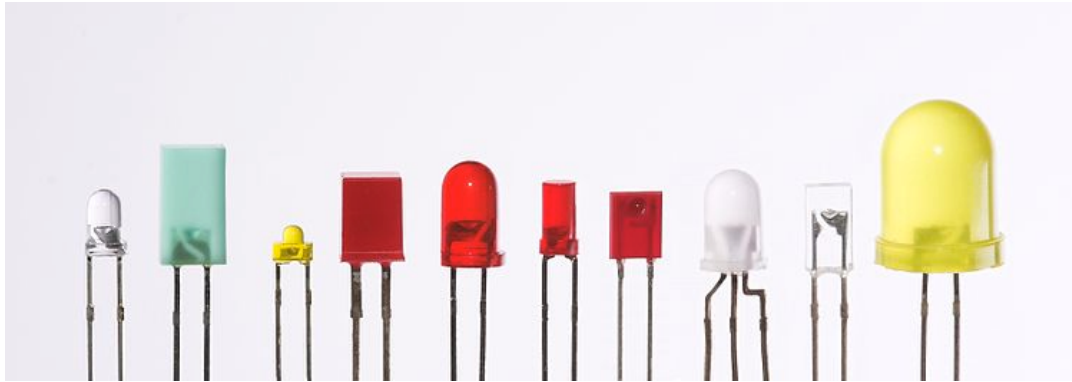
### 1.3.1.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Βασικό πλεονέκτημα των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης είναι η υψηλή απόδοσή τους. Σημαντικό πλεονέκτημα που ενισχύει τη χρήση τους στον οδοφωτισμό αποτελεί το γεγονός ότι προκαλούν λιγότερη θάμβωση σε σχέση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες.

Στα μειονεκτήματά τους εντάσσεται η μονοχρωματικότητα του εκπεμπόμενου φωτός που συνεπάγεται χαμηλή απόδοση χρωμάτων καθώς και η δυσκολία εφαρμογής προγραμμάτων προσαρμοστικού φωτισμού για λόγους που αφορούν:

- Την απόδοση: Η σχέση της μείωσης της κατανάλωσης του φωτιστικού και της μείωσης της φωτεινής ροής δεν είναι γραμμική και μάλιστα η φωτεινή ροή μειώνεται περισσότερο από την ισχύ.
- Dimming κάτω από το 50%: Το dimming κάτω από το 50% της ονομαστικής ισχύος αποφεύγεται στους HPS λαμπτήρες καθώς μπορεί να επιδεινώσει την διάρκεια ζωής τους, την απόδοση και να μεταβάλλει την θερμοκρασία χρώματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.
- Flicker: Η ρύθμιση της φωτεινής ροής των λαμπτήρων εκκενώσεως μπορεί να οδηγήσουν στην εμφάνιση του flicker.
- Χρώμα: Οι λαμπτήρες εκκένωσης μπορεί να παρουσιάσουν αλλαγή στην θερμοκρασία χρώματος αλλά και στον δείκτη χρωματικής απόδοσης με το dimming <sup>[9]</sup>.

### 1.3.2 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (Light Emitting Diodes - LEDs)



Εικόνα 1.7: Λαμπτήρας LED.

#### 1.3.2.1 Κατασκευή και λειτουργία

Μία φωτοεκπέμπουσα δίοδος, κοινώς αναφερόμενη με την αγγλική της ονομασία LED (Light Emitting Diode), αποτελεί ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα κύρια χρήση του οποίου είναι η παραγωγή φωτός. Πρόκειται για μια σύνδεση δύο ημιαγωγών p και n που εκπέμπει ακτινοβολία όταν τεθεί υπό σωστά προσανατολισμένη τάση, καθώς εφαρμόζοντας κατάλληλο ρεύμα στη σύνδεση, ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι σε θέση να ανασυνδυαστούν με οπές ηλεκτρονίων μέσα στην ηλεκτρονική διάταξη, απελευθερώνοντας ενέργεια με τη μορφή φωτονίων. Το φαινόμενο ονομάζεται ηλεκτροφωταύγεια και το χρώμα του φωτός (που αντιστοιχεί στην ενέργεια του απελευθερωμένου φωτονίου) καθορίζεται από το χάσμα ενεργειακής ζώνης του ημιαγωγού. Σε αντίθεση με ένα λέιζερ, το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται από ένα LED δεν είναι ούτε συνεκτικό ούτε μονοχρωματικό, αλλά το φάσμα είναι στενό σε σχέση με την ανθρώπινη όραση και για τους περισσότερους σκοπούς το φως από ένα απλό στοιχείο δίοδου μπορεί να θεωρηθεί λειτουργικά μονοχρωματικό. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από τον συνδυασμό του υλικού των ημιαγωγικών υλικών, των χημικών προσθέτων και του περιβλήματος του φωτιστικού σώματος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι συνήθως ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενίου. Οι λυχνίες LED είναι συνήθως μικρές (μικρότερες του 1 mm<sup>2</sup>) ενώ ενσωματωμένα οπτικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση του εκπεμπόμενου φωτός.

Στην πρώτη τους εμφάνιση το 1962 τα πρώτα LED εξέπεμπαν υπέρυθρο φως χαμηλής έντασης ενώ σύγχρονα LED διατίθενται σε όλα τα ορατά, υπεριώδη και υπέρυθρα μήκη κύματος, με πολύ υψηλή φωτεινότητα. Οι πρώιμες λυχνίες LED χρησιμοποιούνταν συχνά ως ενδεικτικές λυχνίες για ηλεκτρονικές συσκευές, αντικαθιστώντας τους μικρούς λαμπτήρες πυρακτώσεως. Σύντομα συσκευάστηκαν σε αριθμητικές ενδείξεις και εμφανίστηκαν σε ψηφιακά ρολόγια. Οι πρόσφατες εξελίξεις όμως έχουν δημιουργήσει LED προϊόντα κατάλληλα για φωτισμό χώρων εργασίας και υπαίθριες εφαρμογές.

Τα LEDs παρουσιάζουν πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές πηγές φωτισμού, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορισμού, συμπεριλαμβανομένων της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας, της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, της φυσικής αντοχής, του μικρότερου μεγέθους και της ταχύτερης εναλλαγής καταστάσεων λειτουργίας ενώ σταδιακά χρησιμοποιούνται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές φωτισμού όπως γενικό και διακοσμητικό φωτισμό, προβολείς αυτοκινήτων, διαφήμιση, ηλεκτρονικό εξοπλισμό και ιατρικές συσκευές.

### 1.3.2.2 Πλεονεκτήματα των LEDs

- **Αποδοτικότητα:** Οι λυχνίες LED προσφέρουν μεγάλη φωτεινή αποδοτικότητα καθώς εν έτει 2018 διατίθενται προϊόντα με απόδοση της τάξης των 150-200 lm/Watt (θεωρητικό ανώτατο όριο - στόχος βιομηχανίας της τάξης των 300 lm ανά Watt). Η συνεπαγόμενη εξοικονόμηση είναι και ο βασικός λόγος που επικρατούν σήμερα έναντι άλλων τεχνολογιών φωτισμού.
- **Χρώμα:** Οι λυχνίες LED μπορούν να εκπέμπουν φως με το επιθυμητό χρώμα χωρίς να χρησιμοποιούν φίλτρα χρώματος, όπως χρειάζονται οι παραδοσιακές μέθοδοι φωτισμού.
- **Μέγεθος:** Οι λυχνίες LED μπορούν να είναι πολύ μικρές (εμβαδό μικρότερο των 2 mm<sup>2</sup>).
- **Χρόνος έναυσης:** Οι λυχνίες LED ανάβουν πολύ γρήγορα. Μια τυπική κόκκινη ενδεικτική λυχνία LED επιτυγχάνει πλήρη φωτεινότητα σε κάτω από ένα μs.
- **Κύκλοι λειτουργίας:** Οι LED λαμπτήρες είναι ιδανικοί για χρήσεις που υπόκεινται σε υψηλή συχνότητα κύκλων λειτουργίας (άνοιγμα - κλείσιμο), αντίθετα με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και τους λαμπτήρες φθορισμού στους οποίους μειώνεται δραστικά η διάρκεια ζωής ή με τους λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης (HID) που απαιτούν πολύ χρόνο πριν την επανεκκίνηση.
- **Έλεγχος φωτισμού:** Είναι εύκολο να προσαρμοστεί το επίπεδο φωτισμού στους λαμπτήρες LED είτε με διαμόρφωση εύρους παλμών είτε με ελάττωση του ρεύματος οδήγησης.
- **Ψυχρό φως:** Σε αντίθεση με τις περισσότερες πηγές φωτός, οι λυχνίες LED ακτινοβολούν πολύ λίγη θερμότητα με τη μορφή IR που μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε ευαίσθητα αντικείμενα ή υφάσματα.
- **Διάρκεια ζωής:** Οι λυχνίες LED μπορούν να έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, 50.000 έως 100.000 ώρες ωφέλιμης ζωής σύμφωνα με τις προδιαγραφές, αν και ο παρατηρούμενος χρόνος μπορεί να είναι μεγαλύτερος. Πολλές φορές μάλιστα ο μειωμένος χρόνος συντήρησης από αυτήν την εκτεταμένη διάρκεια ζωής, παρά η εξοικονόμηση ενέργειας, είναι ο πρωταρχικός παράγοντας για τον καθορισμό της περιόδου αποπληρωμής ενός προϊόντος LED.
- **Αντοχή σε κραδασμούς:** Οι λυχνίες LED, ως στοιχεία στερεάς κατάστασης, είναι δύσκολο να καταστραφούν με εξωτερικό κλονισμό, σε αντίθεση με τους λαμπτήρες φθορισμού και πυρακτώσεως, οι οποίοι είναι εύθραυστοι.
- **Εστίαση:** Το στερεό πακέτο των LED μπορεί να σχεδιαστεί για να εστιάζει το φως του ενώ η τεχνολογία των οπτικών μέσων των φωτιστικών LED προσφέρει μεγάλο εύρος δυνατοτήτων ως προς την κατευθυντικότητα του LED φωτισμού.

### 1.3.2.3 Μειονεκτήματα των LEDs

- Αρχική τιμή: Οι λυχνίες LED είναι επί του παρόντος ελαφρώς ακριβότερες (Ευρώ ανά lm) με βάση το αρχικό κόστος κεφαλαίου, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες φωτισμού. Το πρόσθετο κόστος προέρχεται κυρίως από την ανάγκη για ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης και τροφοδοτικό εξοπλισμό.
- Εξάρτηση από την θερμοκρασία: Η απόδοση των LED εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τις ιδιότητες θερμικής διαχείρισης. Η υπερθέρμανση των LED λόγω λειτουργίας και/ή υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος ενδέχεται να οδηγήσει σε καταστροφή τμημάτων του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των LED στοιχείων. Για την διατήρηση της μακράς διάρκειας ζωής απαιτείται σωστός θερμικός σχεδιασμός για την απαγωγή θερμότητας. Μάλιστα η διαχείριση της εκλυόμενης θερμότητας είναι θέμα ύψιστης σημασίας και δυσκολίας για την βιομηχανία των LED.
- Ευαισθησία στην τροφοδοσία: Οι λυχνίες LED πρέπει να τροφοδοτούνται με τάση πάνω από το κατώφλι λειτουργίας τους και με ρεύμα κάτω από την ονομαστικό. Η απόδοση και η διάρκεια ζωής επηρεάζονται σημαντικά από την ηλεκτρική παροχή και επομένως απαιτούν σταθερή τροφοδοσία.
- Περιορισμός ρεύματος: Η απόδοση των LED μειώνεται όσο αυξάνεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Η εσωτερική θερμοκρασία θέρμανση επίσης αυξάνεται με υψηλότερα ρεύματα, γεγονός που υποβαθμίζει τη διάρκεια ζωής των LED. Αυτά τα αποτελέσματα θέτουν πρακτικά όρια στο ρεύμα οδήγησης των LED σε εφαρμογές υψηλής ισχύος<sup>[10]</sup>.

## Κεφάλαιο Δεύτερο: Οδοφωτισμός

### 2.1 Ιστορία του οδοφωτισμού

Ο οδοφωτισμός εφαρμόστηκε αρχικά για την αποτροπή του εγκλήματος, δηλαδή για να επιτρέψει στους πεζούς να κινούνται στις πόλεις τη νύχτα χωρίς το φόβο της επίθεσης. Βρίσκουμε αρχεία του Παρισίου (1367) και του Λονδίνου (1415) που αναφέρουν την ανάγκη ανάρτησης φαναριών έξω από τα σπίτια των κατοίκων προς το συμφέρον της τάξης και της ασφάλειας<sup>[1]</sup>. Τα «αγόρια των συνδέσμων» («link boys»), όπως ονομάστηκαν, οι οποίοι μετέφεραν πυρσούς για να βοηθήσουν τους μισθωτές τους να μετακινούνται με ασφάλεια, αποτελούσαν κοινό θέαμα στο 19<sup>ο</sup> αιώνα ενώ μεγάλο μέρος της νυκτερινής κοινωνικής ζωής της εποχής συνδεόταν με τις φάσεις της Σελήνης.



Εικόνα 2.1: Οδοφωτισμός με φανάρια αερίου.

#### 2.1.1 Φωτισμός αερίου

Η πρώτη καταγραφή φωτισμού μέσω λαμπτήρων αερίου συναντάται στο Pall Mall στο Λονδίνο, φανάρια που εγκαταστάθηκαν για να εορταστούν τα γενέθλια του βασιλιά Γεωργίου Γ' το έτος 1807. Ωστόσο, η συζήτηση για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του φωτισμού ήταν ήδη σε εξέλιξη. Η εφημερίδα *Kolnische Zeitung*<sup>[3]</sup> στις 28 Μαρτίου του 1819 παρουσιάζει τους παρακάτω ενδοιασμούς όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών οδοφωτισμού:

- Για ηθικούς λόγους, επειδή η εγκατάσταση του φωτισμού συνεπάγεται έμμεση αύξηση της φορολογίας. Γιατί πρέπει να πληρώνει κάποιος για μια εγκατάσταση που είναι αδιάφορη γι αυτόν και δεν του προσφέρει κανένα πλεονέκτημα ή ακόμα και τον ενοχλεί;
- Για ιατρικούς λόγους, επειδή οι ατμοί αερίων έχουν βλαπτική επίδραση στην υγεία ασθενών και νευρικών ατόμων. Εκτός αυτού, τα φώτα αερίου ενθαρρύνουν πολλές ασθένειες καθώς καθιστούν ευκολότερη την παραμονή των ανθρώπων έξω στους δρόμους με κίνδυνο να κρυολογήσουν.
- Για θεολογικούς λόγους, επειδή φαίνεται να αποτελεί παρέμβαση στη θεία τάξη. Η νύχτα πρέπει να είναι σκοτεινή εκτός από ορισμένες χρονικές στιγμές όπου φωτίζεται από τη Σελήνη. Δεν πρέπει να εναντιωνόμαστε σε αυτό, δεν πρέπει να προσπαθούμε να αλλάξουμε το κοσμικό σχέδιο και να μετατρέπουμε τη νύχτα σε ημέρα.

## 2.1.2 Ηλεκτρικός φωτισμός

Τα πειράματα με ηλεκτρικό φωτισμό στους δρόμους ξεκίνησαν με το λαμπτήρα πυρακτώσεως το 1841 στο Παρίσι. Το 1881 οι αδελφοί Siemens πειραματίστηκαν με φωτισμό υψηλού επιπέδου κοντά στο Χρηματιστήριο του Λονδίνου, με έξι φώτα ισχύος 4000 cd σε ιστούς ύψους 25 μέτρων. Ακολούθησαν χρόνια έντονης αντιπαλότητας μεταξύ της βιομηχανίας φωτισμού αερίου και ηλεκτρισμού, μέχρι που τελικά ο ηλεκτρικός φωτισμός καθιερώθηκε ως το μόνο αποτελεσματικό μέσο φωτισμού του δρόμου. Ο κύριος αντίκτυπος του φωτισμού από τότε, εκτός από τις βελτιώσεις στην τεχνολογία του ηλεκτρικού φωτισμού, είναι ότι ο φωτισμός έχει εξαπλωθεί σταδιακά από τα κέντρα των πόλεων προς την υπαίθρο διαμορφώνοντας σημαντικά την εικόνα και την αισθητική του νυχτερινού τοπίου.



Εικόνα 2.2: Ηλεκτρικός φωτισμός, Λονδίνο 1881.<sup>[4]</sup>



## 2.2 Βασικές παράμετροι σχεδιασμού οδικού φωτισμού

Υπάρχουν τρεις βασικές παράμετροι σχεδιασμού που επηρεάζουν τους οδηγούς:

### 1. Μέση λαμπρότητα οδοστρώματος

Η τιμή της μετρείται σε  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Σε σύγκριση με άλλα επίπεδα φωτεινότητας που ο οδηγός αντιλαμβάνεται η τιμή της είναι πολύ χαμηλή και εμπίπτει στο μεσοπικό φάσμα της όρασης. Στις αστικές περιοχές ο λόγος ατυχημάτων νύχτας/ημέρας μειώνεται καθώς αυξάνεται η μέση φωτεινότητα οδικής επιφάνειας ενώ στην περίπτωση των μη αστικών περιοχών<sup>[5]</sup> τα στοιχεία υποδεικνύουν κορεσμό στην επίτευξη αποτελεσμάτων με αύξηση της μέσης λαμπρότητας. Επομένως, υπάρχει μεγάλη συζήτηση για το αν ο φωτισμός των αυτοκινητοδρόμων πρέπει να έχει υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή φωτεινότητας απ' ό τι ο αστικός φωτισμός. Στους αυτοκινητοδρόμους πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη λαμπρότητα έτσι ώστε να μειώνει την επίδραση της λάμψης από τους προβολείς των οχημάτων που έρχονται μετωπικά και να αυξάνει σημαντικά τις οπτικές πληροφορίες που λαμβάνει ο οδηγός. Από την άλλη πλευρά, το επιχείρημα ότι ο αστικός φωτισμός πρέπει να έχει υψηλότερα επίπεδα φωτεινότητας επαφίεται στην απόδειξη της αποφυγής και μείωσης ατυχημάτων μέσω της αύξησης της μέσης φωτεινότητας και στο προφανές συμπέρασμα ότι η οδήγηση σε αστικούς δρόμους είναι δυσκολότερη, καθώς οι οδηγοί έρχονται αντιμέτωποι με πλήθος άλλων χρηστών, πολλές φορές μη μηχανοκίνητων, και δυσκολότερη πλοήγηση δρόμου.

### 2. Ομοιομορφία φωτισμού.

Η λαμπρότητα της οδού δεν είναι σταθερή σε ολόκληρη την επιφάνεια του οδοστρώματος. Η ομοιομορφία είναι το μέτρο του βαθμού στον οποίο η φωτεινότητα διαφοροποιείται κατά μήκος και κατά πλάτος του δρόμου. Μελέτες αποδεικνύουν ότι ο λόγος ατυχημάτων (νύχτα / ημέρα) επιδεινώνεται καθώς βελτιώνεται η ομοιομορφία<sup>[5],[6]</sup>.

### 3. Θάμβωση

Επειδή ο οδικός φωτισμός λειτουργεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα λαμπρότητας οδοστρώματος, η αποτελεσματικότητά του είναι ευαίσθητη στην θάμβωση τόσο από τα ίδια τα φωτιστικά του δρόμου όσο και από τα φώτα διερχόμενων οχημάτων. Η αντανάκλαση γίνεται με δύο τρόπους.

- i. η θάμβωση δυσφορίας, η οποία αποτελεί υποκειμενικό μέτρο της δυσφορίας που προκαλείται αλλά που δεν επηρεάζει αναγκαστικά την όραση, και
- ii. η θάμβωση ανικανότητας, η οποία μειώνει την ικανότητα του οδηγού να βλέπει χαμηλής αντίθεσης ή μικρά αντικείμενα και αποτελεί αντικειμενικό μέτρο.

Η θάμβωση ανικανότητας που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό του οδικού φωτισμού μπορεί να υπολογιστεί σε δύο βήματα: πρώτον, ο υπολογισμός του διαφεύγοντος φωτισμού, ο οποίος μειώνει την αντίθεση των εικόνων στον αμφιβληστροειδή και δεύτερον, ο υπολογισμός της απαραίτητης έντασης φωτισμού του υπόβαθρου για την αποκατάσταση της όρασης κάτω από τις συνθήκες κατωφλίου. Το κατώφλι είναι το όριο ανάμεσα στην ικανότητα όρασης και την ανικανότητα. Το μέτρο της θάμβωσης υπολογίζεται μέσω του δείκτη προσαύξησης κατωφλίου (TI) που εκφράζεται ως ποσοστό της διαφοράς κατωφλίου όρασης με και χωρίς θάμβωση προς το κατώφλι όρασης χωρίς την ύπαρξη θάμβωσης.

## 2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του φωτισμού, τόσο αυτά που μπορούν και όσο και αυτά που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, συνοψίζονται ως εξής:

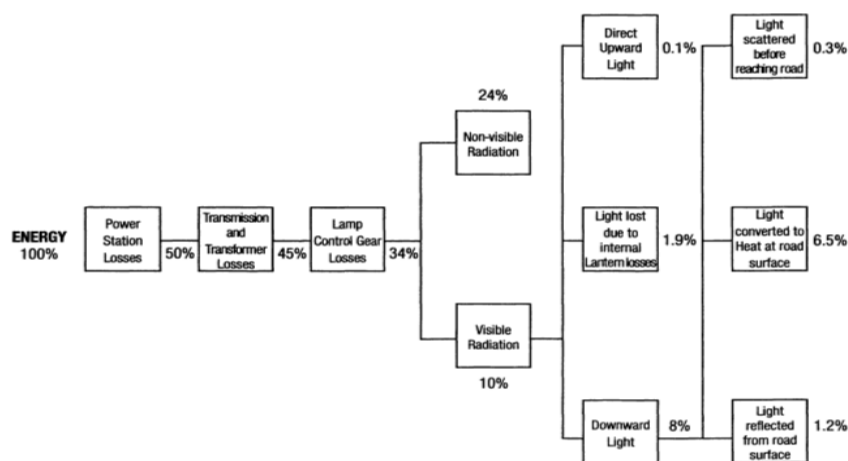
- Όφελος

Το κεντρικό όφελος από τον οδικό φωτισμό είναι η ικανότητά του να μειώνει τα περιστατικά νυκτερινών ατυχημάτων. Τα οδικά ατυχήματα κατά τη νύχτα είναι δυσανάλογα υψηλά σε αριθμό και σοβαρότητα σε σύγκριση με τα ατυχήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το ποσοστό των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας σε 13 χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) ανέρχεται κατά μέσο όρο σε ποσοστό περίπου 50% των συνολικών ατυχημάτων, ενώ η συνολική χρήση του δρόμου στο ίδιο διάστημα υπολογίζεται σε 25% της συνολικής, υπολογιζόμενη σε συνολικά διανυθέντα χιλιόμετρα χρηστών. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη γιατί, καθώς το επίπεδο φωτός πέφτει, τα στοιχεία της οπτικής απόδοσης του ανθρώπου επιδεινώνονται (η οπτική οξύτητα, η ευαισθησία της αντίθεσης, η διάκριση απόστασης και χρωμάτων, η ανοχή της θάμβωσης). Επομένως, έχει μεγάλη σημασία η οπτική σκηνή τη νύχτα να παρέχει επαρκή φωτισμό στους οδηγούς ώστε να τους επιτρέπει να οδηγούν με ασφάλεια.

Η CIE εξέτασε 62 μελέτες νυκτερινών ατυχημάτων ως προς τη σχέση τους με την εγκατάσταση του οδικού φωτισμού. Συμπεραίνεται ότι ο οδικός φωτισμός μειώνει τα ατυχήματα κατά τη νύχτα και στατιστικά δείχνει ότι η μείωση αυτή κυμαίνεται μεταξύ 13 και 75%, ανάλογα με την κατηγοριοποίηση του δρόμου και του ατυχήματος. Σε οικονομικό επίπεδο, υπολογισμοί θέτουν το όφελος από την μείωση και αποφυγή ατυχημάτων στο 30%.

- Κόστη εγκατάστασης και λειτουργικά έξοδα.

Αν και υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος εγκατάστασης, το κόστος αυτό συσχετίζεται έντονα με τη μέση λαμπρότητα οδοστρώματος που απαιτείται για την επίτευξη του στόχου ασφαλείας. Το κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει τόσο το τρέχον κόστος συντήρησης όσο και το κόστος κατανάλωσης ενέργειας. Η *Εικόνα 2.3* δείχνει την ενεργειακή αλυσίδα από τον σταθμό παραγωγής ενέργειας έως το φως που χτυπά την επιφάνεια του δρόμου. Τα ποσοστά είναι μόνο επεξηγηματικά και η ακρίβειά τους δεν είναι σημαντική για τα γενικά συμπεράσματα. Το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από την εικόνα είναι ότι η συνολική διαδικασία φωτισμού από μια βασική πηγή ενέργειας, μέσω της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι μη αποδοτική. Αν θέλουμε να εξοικονομήσουμε ενέργεια στο τμήμα του συστήματος φωτισμού της αλυσίδας, πρέπει να προσπαθήσουμε να μειώσουμε τις απώλειες του μηχανισμού ελέγχου, να βελτιώσουμε την αναλογία της ορατής/μη ορατής ακτινοβολίας από τους λαμπτήρες και να χρησιμοποιήσουμε ανακλαστικότερες επιφάνειες οδοστρώματος.



Εικόνα 2.3: Ενεργειακή αλυσίδα από τον σταθμό παραγωγής έως την ενέργεια οδοφωτισμού.<sup>[7]</sup>

- Μειονεκτήματα

Στα αρνητικά του οδοφωτισμού πρέπει σίγουρα να προσθέσουμε δύο σημαντικές πτυχές που συχνά αμελούνται λόγω της αισθητικής φύσης τους: την προκαλούμενη φωτορύπανση και το αισθητικό αποτέλεσμα της εγκατάστασης οδοφωτισμού και του ίδιου του φωτεινού αποτελέσματος.

Με τον όρο φωτορύπανση περιγράφουμε το φαινόμενο του υπερβολικού και λανθασμένου φωτισμού των αστικών περιοχών και τις συνέπειές του. Τα άφθονα φώτα των πόλεων ανακλώνται και διαχέονται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα το γνωστό σε όλους φωτισμένο ουρανό των αστικών περιοχών. Η φωτορύπανση είναι ένα φαινόμενο με επιπτώσεις σε διάφορους τομείς της ζωής του ανθρώπου αλλά και με επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συνήθως, σε πρώτη επαφή με το πρόβλημα έρχεται κανείς από τη διαπίστωση ότι ο έναστρος ουρανός έχει πια εξαφανιστεί από τις περισσότερες αστικές περιοχές, χαμένος σε ένα περιβάλλον άφθονου τεχνητού φωτισμού. Η αποκοπή του σύγχρονου ανθρώπου των πόλεων από τον έναστρο ουρανό, που τόσο τον ενέπνευσε για τέχνη και επιστήμες στην πορεία των αιώνων, είναι μόνο η μία πλευρά του ζητήματος. Η φωτορύπανση έχει επιπτώσεις και στον άνθρωπο, στο περιβάλλον, στην πανίδα και στη χλωρίδα, αλλά και σημαντική οικονομική σημασία καθώς είναι δείγμα σπατάλης πολύτιμων ενεργειακών πόρων<sup>[8]</sup>.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι το αισθητικό αποτέλεσμα της εμφάνισης του φωτισμού, είτε σε επίπεδο εγκατάστασης είτε σε επίπεδο φωτός. Η αισθητική του φωτισμού δρόμου εξαρτάται κυρίως από ένα σύνολο φωτιστικών σωμάτων, τα οποία, χάριν συμμετρίας, πρέπει να εμφανίζονται ίδια, σε ίσα ύψη, τακτικά τοποθετημένα, με ίσα διαστήματα μεταξύ τους και από το κράσπεδο. Με την εκπλήρωση αυτών των όρων, σχηματίζουν μια τέλεια εικόνα καθώς τα σημεία φωτός δημιουργούν μια γραμμή, η οποία είναι παράλληλη με την πορεία του δρόμου. Η αισθητική του δρόμου περιλαμβάνει επίσης την επιλογή των μορφών του δομικού εξοπλισμού της εγκατάστασης, κατά κύριο λόγο του ιστού ανάρτησης και του φωτιστικού σώματος, τα οποία, όσο αυτό είναι εφικτό πρέπει να εντάσσονται στην περιβάλλουσα του δρόμου αρχιτεκτονική. Όσον αφορά την αισθητική του ίδιου του φωτεινού αποτελέσματος, αυτός θεωρείται αισθητικά ευχάριστος όταν παρουσιάζεται ομοιόμορφος, χωρίς σκοτεινές κηλίδες που οφείλονται σε κακό σχεδιασμό ή φυσικά εμπόδια (π.χ. δέντρα), όταν δεν προκαλεί θάμβωση, ενώ και η θερμοκρασία χρώματος του παραγόμενου φωτισμού παίζει σημαντικό ρόλο στο αισθητικό αποτέλεσμα, ειδικότερα σε συνδυασμό με το μέγεθος της ικανότητας του τεχνητού φωτισμού να αποδώσει πιστά τα χρώματα του περιβάλλοντος χώρου.<sup>[9]</sup>

## 2.4 Εξοικονόμηση με LED στον οδοφωτισμό

Οι ευρωπαϊκοί δήμοι προσπαθούν όλο και περισσότερο να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα και να μειώσουν το κόστος παροχής υπηρεσιών στους πολίτες τους, ιδίως σε περιόδους λιτότητας όπως αυτή που αντιμετωπίζει τώρα η Ευρώπη. Ο δημόσιος φωτισμός αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μερίδιο του συνολικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, που αντιπροσωπεύει μέχρι και το 60% αυτού του προϋπολογισμού.<sup>[10]</sup>

Η υιοθέτηση και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως ο φωτισμός στερεάς κατάστασης (SSL - Solid State Lighting) με βάση τη δίοδο εκπομπής φωτός (LED) προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Τα LED προσφέρουν υψηλή ποιότητα φωτός και μεγάλη απόδοση παρέχοντας σημαντικές ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους, μείωση της φωτορύπανσης στις πόλεις και προώθηση της καινοτομίας στους τομείς του φωτισμού και των κατασκευών. Σε συνδυασμό με ένα σύγχρονο σύστημα κεντρικής διαχείρισης και ελέγχου μία εγκατάσταση LED φωτιστικών μπορεί να εξοικονομήσει έως και 70% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τον φωτισμό και να μειώσει σημαντικά το κόστος ενέργειας και συντήρησης σε σύγκριση με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις φωτισμού. Στην πραγματικότητα υπάρχουν περισσότερα από 90 εκατομμύρια συμβατικά φωτιστικά σώματα στην Ευρώπη, το 75% των οποίων έχουν εγκατασταθεί τουλάχιστον πριν από 25 χρόνια, κάτι που δείχνει το μέγεθος της ευκαιρίας για εξοικονόμηση ενέργειας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.

Ορισμένες πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν ήδη αναπτύξει προγράμματα αντικατάστασης συμβατικών φωτιστικών με LED φωτιστικά και διαπιστώνουν στην πράξη τα πλεονεκτήματα τους έναντι των παραδοσιακών τεχνολογιών φωτισμού. Αναφέρουν αυξημένη απόδοση φωτισμού, εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 50-60% και συνεπώς σημαντική εξοικονόμηση κόστους καθώς και μειωμένο κόστος συντήρησης. Επιπρόσθετα, πολλές πόλεις αναπτύσσουν συστήματα κεντρικής διαχείρισης με πρόσθετους έξυπνους ελέγχους για δυναμικά μεταβαλλόμενα επίπεδα φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες. Εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, τέτοια «έξυπνα» συστήματα φωτισμού μπορούν να εξοικονομήσουν μέχρι και 70% της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, ο LED φωτισμός επιτρέπει τη δημιουργία φωτιστικών εγκαταστάσεων που ενισχύουν την πολιτιστική αισθητική και προάγουν την ασφάλεια και την ευημερία των πολιτών.

Στις μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες λύσεις, ο φωτισμός θα συνδέεται δυναμικά με άλλες υποδομές της πόλης μέσω πληροφοριακών και τηλεπικοινωνιακών δικτύων όπως τα δίκτυα της ενέργειας, της κυκλοφορίας και των υπηρεσιών. Αυτό θα επιτρέψει στις πόλεις να παρέχουν δυναμικά προσαρμοσμένες συνθήκες φωτισμού με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και τελικά να συμβάλλουν σημαντικά στην υλοποίηση σχεδίων έξυπνων πόλεων.

Ο δημόσιος φωτισμός αντιπροσωπεύει έως και το 60% του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για ένα δήμο με τον οδοφωτισμό να έχει το μεγαλύτερο μερίδιο. Η αυξημένη απόδοση των LED σε συνδυασμό με τον πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής τους μειώνουν δραστικά τα λειτουργικά έξοδα κατανάλωσης ενέργειας και συντήρησης. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι δήμοι μπορούν να ανακτήσουν το κόστος εγκατάστασης φωτιστικών LED εντός 4 έως έξι ετών<sup>[11]</sup>, ενώ προβλέψεις της εξέλιξης της τεχνολογίας εξισώνουν το κόστος των LED με αυτό των συμβατικών φωτιστικών εντός δεκαετίας.

Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας και τις μειωμένες ανάγκες συντήρησης, ο LED φωτισμός προσφέρει πρόσθετα οφέλη στην παρεχόμενη υπηρεσία του φωτισμού που προκύπτουν από την αυξημένη δυνατότητα ελέγχου, την θερμοκρασία χρώματος του παραγόμενου φωτός καθώς και την κατευθυντικότητα του φωτός. Πρόσφατη έρευνα<sup>[12]</sup> έδειξε ότι για τον δημόσιο φωτισμό οι πολίτες προτιμούν το λευκό φως που παρέχεται από

τα LED από το χρώμα του συμβατικού φωτισμού του δρόμου και ότι ο LED φωτισμός προσφέρει μεγαλύτερη ορατότητα και αίσθηση ασφάλειας.

Ποια είναι όμως η σημασία της υιοθεσίας αυτής της τεχνολογίας σήμερα; Στην ουσία πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία έχει επιτύχει τον απαιτούμενο βαθμό ωριμότητας για να δικαιολογήσει σοβαρή ανάλυση. Υψηλής ποιότητας φωτιστικά είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και πολλές πόλεις έχουν ήδη υλοποιήσει έργα οδοφωτισμού LED που αποδεικνύονται οικονομικά σε ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost). Η εμπειρία αυξάνεται διαρκώς μέσω εκτεταμένων σχεδίων ανάπτυξης σε ολόκληρο τον κόσμο, με αποτέλεσμα την σύνθεση ενός συνόλου βέλτιστων πρακτικών για το σχεδιασμό, τη χρηματοδότηση, την προμήθεια και την ανάπτυξη τέτοιων έργων. Συνδυάζοντας το με μία αυξανόμενη ώθηση για την επίτευξη ενεργειακής απόδοσης ο LED φωτισμός εμφανίζεται δυναμικά στο προσκήνιο των τελευταίων χρόνων.

Ωστόσο υπάρχουν ακόμη ορισμένα εμπόδια που παρεμποδίζουν την ευρύτερη ανάπτυξη των LED, τα οποία όμως με το πέρασμα του χρόνου εξαλείφονται. Πιο συγκεκριμένα:

- η άγνοια των χρηστών σε σχέση με τα μεγάλα οφέλη που προσφέρονται, καθώς η υιοθέτηση οποιασδήποτε νέας τεχνολογίας χρειάζεται χρόνο και προσπάθεια για την ευαισθητοποίηση των χρηστών σχετικά με τα οφέλη τους σε σύγκριση με τις συμβατικές λύσεις,
- οι αυξημένες τιμές επενδύσεων (αρχικό κόστος) που επιβάλλουν μακροπρόθεσμες αναλύσεις για την οικονομική αξιολόγηση των έργων και
- η μεγάλη μεταβλητότητα στην ποιότητα των προϊόντων και στην αξιοπιστία των πληροφοριών που παρέχονται από τους προμηθευτές.

## 2.5 Μελέτη οδοφωτισμού

Ο σχεδιασμός οδοφωτισμού αφορά ένα σύνολο δράσεων που πρέπει να εκτελούνται από το μελετητή από την αρχή του έργου μέχρι και πριν την υλοποίηση αυτού. Τα βήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Τα υποχρεωτικά βήματα σχεδιασμού οδοφωτισμού τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για τον ορθό και ολοκληρωμένο σχεδιασμό έργων οδοφωτισμού. Σε αυτά ανήκουν:
  - i. η επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού,
  - ii. η εκπόνηση μελέτης οδοφωτισμού και
  - iii. ο υπολογισμός δεικτών ενεργειακής επίδοσης.
2. Τα προαιρετικά βήματα σχεδιασμού οδοφωτισμού τα οποία εκτελούνται εφόσον απαιτείται από τις προδιαγραφές του έργου και εφόσον κρίνεται απαραίτητο από τον φορέα υλοποίησης του έργου. Αυτά είναι:
  - i. οι τεχνοοικονομικοί υπολογισμοί και
  - ii. η προδιαγράφιση χρηματοδότησης του έργου.

### 2.5.1 Επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού

Η κατηγοριοποίηση των οδών με βάση τις απαιτήσεις σε φωτισμό καθορίζονται από το πρώτο μέρος του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13201<sup>[13]</sup> και αφορά όλες τις περιοχές όπου υπάρχει κυκλοφορία οχημάτων, ποδηλάτων, πεζών και συνδυασμούς αυτών. Αφορά σε κάθε τύπο οδού από έναν απλό δρόμο ήπιας κυκλοφορίας, μία επαρχιακή οδό, ένα πολυσύχναστο δρόμο πόλεως έως ένα αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας. Αφορά επίσης πεζόδρομους, ποδηλατοδρόμους και τις περιοχές που συναντώνται ή διασταυρώνονται οδοί διαφορετικών ή όμοιων χρηστών, για παράδειγμα διαβάσεις πεζών, διασταυρώσεις, ισόπεδους ή ανισόπεδους κόμβους.

Οι κατηγορίες απαιτήσεων φωτισμού αντιστοιχούν στις ονομαζόμενες κλάσεις φωτισμού (Lighting Classes). Η κάθε κλάση φωτισμού εξαρτάται από τα λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Οι κλάσεις ομαδοποιούνται στις τρεις ακόλουθες καταστάσεις φωτισμού (lighting situations):

- i. Class M – Motorised traffic – Αυτοκινητόδρομοι / οδοί μηχανοκίνητων οχημάτων
- ii. Class C – Conflict areas – Περιοχές κινδύνου
- iii. Class P – Pedestrians and low speed areas – Πεζόδρομοι και οδοί ήπιας κυκλοφορίας

Στη συνέχεια αναλύονται οι δύο πρώτες οι οποίες επαφίενται της παρούσας μελέτης οδοφωτισμού της λεωφόρου Μεσογείων.

#### *Class M – Motorised traffic – Αυτοκινητόδρομοι / οδοί μηχανοκίνητων οχημάτων*

Αφορά στο φωτισμό οδών και περιοχών όπου οι κύριοι χρήστες είναι ως επί το πλείστον μηχανοκίνητα οχήματα τα οποία κινούνται με χαμηλές, μέσες ή υψηλές ταχύτητες. Το μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης του φωτισμού κλάσεων M είναι η λαμπρότητα οδοστρώματος (luminance σε cd/m<sup>2</sup>). Η κλάση καθορίζεται με βάση τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση τμήματος. Η επιλογή της κλάσης βασίζεται στα κριτήρια που αναγράφονται στον Πίνακα 2.1 ενώ η τελική επιλογή της εκάστοτε κλάσης φωτισμού πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$M = 6 - VWS$$

(Αν  $VWS < 0$  τότε  $VWS=0$ , αν  $M \leq 0$  τότε  $M=1$ )

όπου M η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και VWS το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων του Πίνακα 2.1. Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν οι κλάσεις M1 έως M6.

Πίνακας 2.1: Επιλογή κλάσεων M.

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή		Σταθμισμένη Τιμή $V_w$
Όριο Ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100$ km/h		2
	Υψηλή	$70 < v < 100$ km/h		1
	Μέτρια	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Χαμηλή	$v \leq 40$ km/h		-2
Κυκλοφοριακή Ροή		Αυτοκινητόδρομοι, δρόμοι πολλών λωρίδων	Δρόμοι δύο λωρίδων	
	Υψηλή	>65% της μέγιστης χωρητικότητας	>45% της μέγιστης χωρητικότητας	1
	Μέτρια	35% - 65% της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% της μέγιστης χωρητικότητας	0
	Χαμηλή	<35% της μέγιστης χωρητικότητας	<15% της μέγιστης χωρητικότητας	-1
Σύνθεση Κυκλοφοριακής Ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων			2
	Μικτή			1
	Μόνο μηχανοκίνητα			0
Ύπαρξη Διαζώματος	Όχι			1
	Ναι			0
Πυκνότητα Διασταυρώσεων		Διασταυρώσεις/km	Ανισόπεδοι κόμβοι, απόσταση μεταξύ γεφυρών/km	
	Υψηλή	>3	<3	1
	Μέτρια	≤3	≥3	0
Σταθμευμένα Οχήματα	Παρόντα			1
	Μη παρόντα			0
Λαμπρότητα Περιβάλλοντος	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, διαφημίσεις, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ΜΜΜ, αποθήκες		1
	Μέτρια	Φυσιολογική κατάσταση		0
	Χαμηλή			-1
Δυσκολία Πλοήγησης	Πολύ δύσκολη			2
	Δύσκολη			1
	Εύκολη			0

### Class C – Conflict areas – Περιοχές κινδύνου

Οι κλάσεις C χρησιμοποιούνται σε περιοχές αυξημένου κινδύνου εμπλοκής οδικών ρευμάτων και οδών εν γένει με κύρια σύνθεση χρηστών τα μηχανοκίνητα οχήματα. Οι περιοχές κινδύνου ορίζονται οι περιοχές στις οποίες ροές οχημάτων εμπλέκονται μεταξύ τους ή συναντώνται με περιοχές που χρησιμοποιούνται συχνά από πεζούς, ποδηλάτες ή άλλους χρήστες των οδών, όπως κόμβοι, διασταυρώσεις κλπ. Περιοχές στις οποίες μειώνεται ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας ή μειώνεται το πλάτος λωρίδων ή το συνολικό πλάτος θεωρούνται επίσης περιοχές κινδύνου. Στις περιοχές κινδύνου εμφανίζεται αυξημένη πιθανότητα σύγκρουσης μεταξύ οχημάτων, οχημάτων και πεζών, ποδηλατών με άλλους χρήστες ή αυτοκινήτων με σταθερά εμπόδια.

Για τις περιοχές κινδύνου χρησιμοποιείται ως μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης η ένταση φωτισμού (Illuminance σε lux) λόγω της ύπαρξης πολλαπλών παρατηρητών από διάφορες κατευθύνσεις.

Η αντιστοίχιση των κλάσεων φωτισμού M και C (λαμπρότητας και έντασης φωτισμού) μπορεί να επιτευχθεί με τη γνώση του συνολικού συντελεστή ανακλαστικότητας του οδοστρώματος  $Q_0$  όπως εμφανίζεται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Διαχωρισμός οδοστρωμάτων σύμφωνα με την CIE.

Κατηγορία	$Q_0$	Είδος ανάκλασης
R1	0.10	Κυρίως διάχυτη
R2	0.07	Ελαφρώς διάχυτη
R3	0.08	Ελαφρώς κανονική
R4	0.08	Κανονική

Επειδή οι κλάσεις φωτισμού C έχουν σχεδιαστεί για τους ίδιους χρήστες με αυτούς των κλάσεων M, ο Πίνακας 2.3 θα πρέπει κυρίως να χρησιμοποιείται για τον ορισμό κλάσεων στις περιοχές κινδύνου που ανήκουν σε οδούς για τις οποίες έχει ήδη προηγηθεί ο ορισμός κλάσεων M. Οι περιοχές κινδύνου θα πρέπει να έχουν κλάση όχι μικρότερη από τη μέγιστη κλάση των οδών που συναντώνται ενώ προτείνεται μάλιστα η κλάση φωτισμού της περιοχής κινδύνου να είναι κατά ένα βήμα ανώτερη από την μέγιστη κλάση των οδών που συναντώνται για επαύξηση της ασφάλειας.

Πίνακας 2.3: Επιλογή κλάσης C μέσω της αντίστοιχης M κλάσης.

Κλάση Φωτισμού M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Κλάση Φωτισμού C $Av Q_0 \leq 0,05 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Κλάση Φωτισμού C $Av 0,05 < Q_0 \leq 0,08 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Κλάση Φωτισμού C $Av Q_0 > 0,09 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Η πρώτη γραμμή του Πίνακα 2.3 περιέχει τις κλάσεις φωτισμού M από τις οποίες επιλέγεται η μέγιστη κλάση που έχει οριστεί για συνερχόμενη οδό στην περιοχή κινδύνου. Η ισοδύναμη κλάση C επιλέγεται από την ίδια στήλη ανάλογα με το  $Q_0$  του οδοστρώματος όπως αυτό προκύπτει από τον διαχωρισμό οδοστρωμάτων σύμφωνα με την CIE (Πίνακας 2.2).<sup>[13]</sup>



Στην περίπτωση που οι οδοί που συνέρχονται σε μία περιοχή κινδύνου δεν φωτίζονται και ως εκ τούτου δεν έχει οριστεί κλάση φωτισμού M, τότε για την επιλογή της κλάσης φωτισμού C χρησιμοποιείται ο Πίνακας 2.4. Η επιλογή της κλάσης φωτισμού C πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης.

$$C = 6 - VWS$$

(Αν  $VWS < 0$  τότε  $VWS=1$ , αν  $C < 0$  τότε  $C=0$ )

όπου C η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και VWS το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων του Πίνακα 2.4. Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν οι κλάσεις C0 έως C5.

Πίνακας 2.4: Επιλογή κλάσης C μέσω παραμέτρων.

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή	Σταθμισμένη Τιμή V- w
Όριο Ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100$ km/h	3
	Υψηλή	$70 < v < 100$ km/h	2
	Μέτρια	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Χαμηλή	$v \leq 40$ km/h	-1
Κυκλοφοριακή Ροή	Υψηλή		1
	Μέτρια		0
	Χαμηλή		-1
Σύνθεση Κυκλοφοριακής Ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων		2
	Μικτή		1
	Μόνο μηχανοκίνητα		0
Ύπαρξη Διαζώματος	Όχι		1
	Ναι		0
Σταθμευμένα Οχήματα	Παρόντα		1
	Μη παρόντα		0
Λαμπρότητα Περιβάλλοντος	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, διαφημίσεις, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ΜΜΜ, αποθήκες	1
	Μέτρια	Φυσιολογική κατάσταση	0
	Χαμηλή		-1
Δυσκολία Πλοήγησης	Πολύ δύσκολη		2
	Δύσκολη		1
	Εύκολη		0

## 2.5.2 Συντελεστής συντήρησης - MF

Ο συντελεστής συντήρησης ορίζεται ως ο λόγος της παραγόμενης έντασης φωτισμού μετά από μια χρονική περίοδο προς την αρχική ένταση φωτισμού ενός συστήματος φωτισμού. Συνεπώς υπολογίζει το ποσοστό της αρχικής έντασης φωτισμού ενός συστήματος που διατηρείται μετά από ένα εξεταζόμενο χρονικό διάστημα<sup>[15]</sup>.

$$MF = \frac{E_m}{E_{in}}$$

όπου:  $MF$ : ο συντελεστής συντήρησης (maintenance factor)

$E_m$ : η ένταση φωτισμού που διατηρείται (maintained illuminance)

$E_{in}$ : η αρχική ένταση φωτισμού (initial illuminance)

Ο υπολογισμός του συντελεστή συντήρησης για διαφορετικούς χρόνους λαμβάνοντας υπόψη το πλάνο συντήρησης οδηγεί σε μια ασφαλή εκτίμηση της κατάστασης μια εγκατάστασης μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρόνο.

Ο συντελεστής συντήρησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες έτσι ώστε μπορεί να εκφραστεί σαν το επακόλουθο γινόμενο:

- LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor)

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την σχετική απόδοση φωτός ενός λαμπτήρα κατά τη διάρκεια της ζωής του σε σχέση με την αρχική του απόδοση.

- LMF (Luminaire Maintenance Factor)

Ο συντελεστής αυτός κάνει μια εκτίμηση της μείωσης της σχετικής απόδοσης του φωτιστικού σώματος λόγω της σκόνης που εγκαθίσταται σε αυτό σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο.

- LSF (Lamp Survival Factor)

Ο συντελεστής αυτός αντικατοπτρίζει την πιθανότητα ενός αντιπροσωπευτικού αριθμού λαμπτήρων του ίδιου τύπου να παραμείνουν λειτουργικοί μετά από μια χρονική περίοδο.

- RSMF (Room Surface Maintenance Factor)

Ο συντελεστής αυτός εκτιμά την σχετική αναλογία της εσωτερικής ανάκλασης του εξεταζόμενου χώρου που διατηρείται σε σχέση με την αρχική μετά από μια χρονική περίοδο λόγω της μη καθαρότητας των επιφανειών.

Στον οδοφωτισμό ο σωστός υπολογισμός του συντελεστή συντήρησης διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο καθώς η λανθασμένη εκτίμηση του οδηγεί στην εκπόνηση μελέτης η οποία είτε θα έχει μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και έτσι σπατάλη ενέργειας και χρημάτων, σε περίπτωση επιλογής συντελεστή συντήρησης μεγαλύτερου από όσο πρέπει, είτε στην αντίθετη περίπτωση οδηγεί σε εγκατάσταση η οποία με την πάροδο του χρόνου δεν θα παρέχει το κατάλληλο επίπεδο φωτισμού και δεν θα εναρμονίζεται με το πρότυπο.

Επιπλέον, στον οδοφωτισμό ο παράγοντας RSMF (Room Surface Maintenance Factor) αμελείται καθώς δεν υπάρχουν πρακτικά επιφάνειες ανάκλασης οι οποίες συμβάλλουν στον φωτισμό πέραν του οδοστρώματος η επίδραση του οποίου όμως συνυπολογίζεται στην επιλογή κατάλληλης κλάσης φωτισμού, καθώς έχει μεγάλη σημασία στην λαμπρότητα που αντιλαμβάνονται οι χρήστες του δρόμου.

Ο παράγοντας LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) εξαρτάται από τον τύπο του λαμπτήρα ως προς την κατασκευή, την ποιότητα και την θερμική διαχείριση του. Για τους συμβατικούς λαμπτήρες τον παράγοντα αυτόν επιβαρύνει επιπλέον και το σύστημα έναυσης του λαμπτήρα. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι η περιοδική αντικατάσταση των φωτιστικών.

Όσον αφορά την τεχνολογία LED έχουν δημοσιευτεί τα ακόλουθα δυο πρότυπα που καθορίζουν τον τρόπο υπολογισμού της διάρκειας ζωής τους:

- IEC 62717, Μονάδες LED για γενικό φωτισμό – Απαιτήσεις απόδοσης
- IEC 62722-2-1, Συγκεκριμένες απαιτήσεις για LED φωτιστικά

Συμφώνα με τα παραπάνω έχει θεσπιστεί ο δείκτης  $L_x B_y @ z \text{ hours}$  ο οποίος όπως φαίνεται χωρίζεται σε τρεις τομείς ως ακολούθως:

1. L τιμή, όπου εκφράζει το ποσοστό του αρχικά εκπεμπόμενου φωτός που διατηρείται και έχει τρεις βαθμίδες ( $L_{70}$ ,  $L_{80}$ ,  $L_{90}$ ). Υπολογίζεται μέσω της τεχνικής TM-21 από τα στοιχεία που δίνονται από τον κατασκευαστή. Η τεχνική αυτή που είναι διεθνώς αναγνωρισμένη εξετάζει για το ελάχιστο διάστημα των 6000 ωρών την μείωση των lumen ανά 1000 ώρες και έπειτα εισάγει τα αποτελέσματα στο TM-21 σύστημα προβλέποντας έτσι την αναμενόμενη διάρκεια ζωής των LEDs.
2. B τιμή, όπου εκφράζει σε συνάρτηση με την L τιμή το ποσοστό των εξεταζόμενων μονάδων που δεν επιτυγχάνουν το ορισμένο από την L τιμή επίπεδο φωτισμού. Συνήθως επιλέγεται η τιμή  $B_{50}$  ως αντιπροσωπευτική, ενώ άλλη συνηθισμένη τιμή είναι η  $B_{10}$ .
3. z hours, το επιλεγμένο χρονικό διάστημα παρατήρησης που συνήθως επιλέγεται μεταξύ 50000-100000 ωρών.

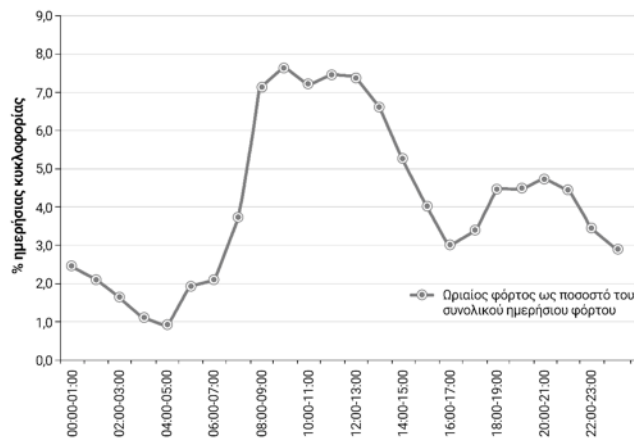
Ο παράγοντας LMF (Luminaire Maintenance Factor) εξαρτάται από τον τύπο και τον σχεδιασμό του φωτιστικού σώματος καθώς και από το περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται. Επομένως για την μείωση της επίδρασης του προτείνεται ο σχεδιασμός ενός κύκλου καθαρισμού και συντήρησης των φωτιστικών σωμάτων.

Τέλος, ο συντελεστής LSF (Lamp Survival Factor) εκφράζει τα καταστροφικά σφάλματα των φωτιστικών, δηλαδή τα σφάλματα τα οποία δεν μπορούν να προβλεφθούν και να αποφευχθούν. Στους συμβατικούς λαμπτήρες το πλήθος αυτό ήταν σημαντικό και επηρεάζει την λειτουργία του δικτύου φωτισμού με την μείωση της λαμπρότητας, της έντασης φωτισμού και της ομοιομορφίας. Ενδεδειγμένη λύση είναι η άμεση αντικατάσταση των φωτιστικών αυτών, η οποία αποτελεί ωστόσο μια ακριβή και πολύπλοκη διαδικασία που δύσκολα εφαρμόζεται στον οδοφωτισμό (μέτρα ασφαλείας, ανάγκη παρακολούθησης, απαραίτητος και εξειδικευμένος εξοπλισμός). Τα LED φωτιστικά από την άλλη πλευρά, λόγω της καλής κατασκευής τους έχουν πολύ μικρό ποσοστό καταστροφικών σφαλμάτων (μικρότερο του 1%) και στην πράξη ο λόγος για μια αναπάντεχη αστοχία του φωτιστικού σώματος οφείλεται στον driver κατά κύριο λόγο<sup>[16]</sup>.

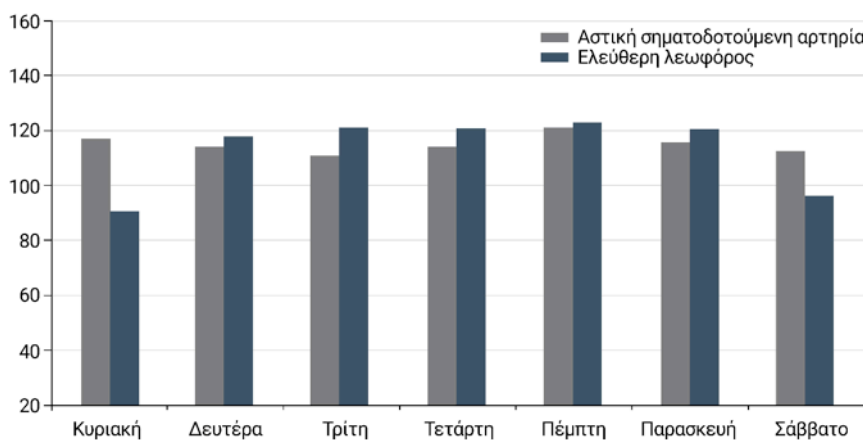
### 2.5.3 Προσαρμοστικός φωτισμός

Η εφαρμογή του νέου προτύπου και της τεχνικής έκθεσης της CIE<sup>[17]</sup> αναδεικνύουν την σημασία της προσαρμογής του φωτός σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών ανά δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτό αναδεικνύει την σημασία της παραμετροποίησης των χαρακτηριστικών του δρόμου κατά τη διάρκεια της ημέρας με πιο σημαντική παράμετρο τη διακύμανση της κυκλοφοριακής ροής. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό κατά την εκπόνηση μιας φωτοτεχνικής μελέτης να εκτιμάται η μεταβολή του κυκλοφοριακού φόρτου κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσω κατάλληλων στατιστικών στοιχείων, έτσι ώστε τα επίπεδα φωτισμού να προσαρμόζονται ανάλογα με την χρήση του δρόμου. Η δυνατότητα αυτή προσφέρει αφενός την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας σε περίπτωση μειωμένης κυκλοφοριακής ροής την νύχτα και αφετέρου την βέλτιστη παροχή της υπηρεσίας φωτισμού όταν η κυκλοφοριακή ροή επιβάλλει την μέγιστη απόδοση φωτισμού.

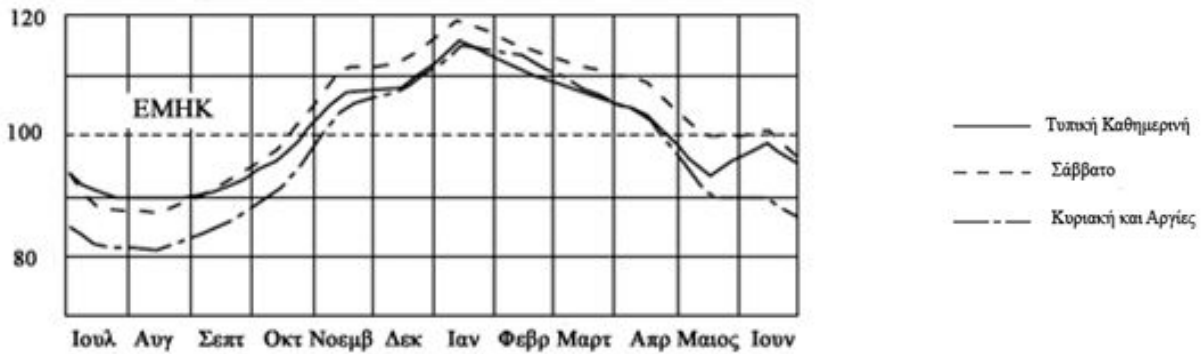
Η κυκλοφοριακή ροή σε μια αστική αρτηρία όπως η λεωφόρος Μεσογείων μεταβάλλεται ωριαία, ημερήσια και μηνιαία. Στα παρακάτω διαγράμματα<sup>[18]</sup> παρουσιάζεται συνοπτικά αυτή η μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής. Στην *Εικόνα 2.4* φαίνεται η μεταβολή της ωριαίας κυκλοφοριακής ροής και παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της μετά τα μεσάνυχτα ενώ στις *Εικόνες 2.5, 2.6* παρουσιάζονται η ημερήσια και η μηνιαία διακύμανση οι οποίες δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές στην μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής.



Εικόνα 2.4: Ωριαία μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής σε διάστημα μιας ημέρας.



Εικόνα 2.5: Ημερήσια μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής σε διάστημα μιας εβδομάδας.



Εικόνα 2.6: Μηνιαία μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής σε διάστημα ενός έτους.

Το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής<sup>[19]</sup> επιβλέπει συνεχώς τις κυκλοφοριακές συνθήκες στους κεντρικούς δρόμους της Αττικής, λαμβάνοντας μέτρα για την αντιμετώπιση εκτάκτων συμβάντων που δημιουργούν προβλήματα στην κυκλοφορία και παράλληλα ενημερώνοντας τους οδηγούς σχετικά με τις τρέχουσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο, 365 ημέρες το χρόνο ενώ την ομαλή λειτουργία της κυκλοφορίας παρακολουθούν 550 μετρητές κυκλοφοριακών δεδομένων που έχουν εγκατασταθεί σε καίριες θέσεις σε όλη την έκταση της περιφέρειας Αττικής τα οποία συλλέγουν τα πρωτογενή δεδομένα, δηλαδή τον κυκλοφοριακό φόρτο, την ταχύτητα και την κατάληψη των οχημάτων κατά μήκος μιας οδού και στη συνέχεια μέσω κατάλληλης επεξεργασίας παρέχει τα εκτιμώμενα δεδομένα όπως την κυκλοφοριακή κατάσταση αλλά και την ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων.

Για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης και με στόχο την διερεύνηση του βέλτιστου προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά στοιχεία για τον εξεταζόμενο δρόμο από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής. Πιο συγκεκριμένα, για την πιο ασφαλή εκτίμηση του κυκλοφοριακού φόρτου επιλέχθηκαν ως στατιστικά στοιχεία σεναρίου αναφοράς τα στοιχεία της ημέρας και του μήνα όπου η κυκλοφοριακή ροή είναι κατά μέσο όρο πιο αυξημένη σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ημέρες του χρόνου (Πέμπτη 19 Ιανουαρίου, 2017). Ως θέσεις μέτρησης επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές θέσεις για τους καννάβους 1 και 2 σύμφωνα με τη κατηγοριοποίηση που γίνεται στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Από την επεξεργασία τους εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία θα πρέπει να αυξομειώνεται η φωτεινή ροή συμβαδίζουν με τα προτεινόμενα από το πρότυπο και είναι αυτά τα οποία επιλέχθηκαν για την διαμόρφωση προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού και την πραγματοποίηση των οικονομοτεχνικών υπολογισμών.

## 2.5.4 Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού

Το δεύτερο μέρος του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13201<sup>[20]</sup> καθορίζει τις ποιοτικές και ποσοτικές απαιτήσεις της κάθε κλάσης φωτισμού όπως αυτή επιλέχθηκε με βάση το πρώτο μέρος. Το βασικό ποσοτικό μέγεθος της κλάσης M είναι η λαμπρότητα L του οδοστρώματος από τη θέση του τυπικού παρατηρητή (οδηγού) η οποία υπολογίζεται σε  $\text{cd}/\text{m}^2$ , ενώ το βασικό ποσοτικό μέγεθος των κλάσεων C είναι η ένταση φωτισμού E η οποία υπολογίζεται σε lux. Οι απαιτήσεις φωτισμού της κάθε κλάσης φαίνονται στους Πίνακες 2.5 και 2.6.

Πίνακας 2.5: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού M.

Κλάση	$L_{av}$ ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )	$U_o$	$U_l$	$f_{TI}$	$R_{EI}$
M1	2.00	0.40	0.70	$\leq 10$	0.35
M2	1.50	0.40	0.70	$\leq 10$	0.35
M3	1.00	0.40	0.60	$\leq 15$	0.30
M4	0.75	0.40	0.60	$\leq 15$	0.30
M5	0.50	0.35	0.40	$\leq 15$	0.30
M6	0.30	0.35	0.40	$\leq 20$	0.30

όπου:

$L_{av}$ : Η μέση τιμή της λαμπρότητας οδοστρώματος (ελάχιστη τιμή).

$U_o$ : Η ομοιομορφία της λαμπρότητας (ελάχιστη τιμή).

$U_l$ : Η διαμήκης ομοιομορφία της λαμπρότητας (ελάχιστη τιμή).

$f_{TI}$ : Ο δείκτης θάμβωσης (μέγιστη τιμή).

$R_{EI}$ : Ο δείκτης φωτισμού των όμορων της οδού περιοχών (ελάχιστη τιμή).

Πίνακας 2.6: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού C.

Κλάση	$E_{av}$ (lx)	$U_o$
C0	50.00	0.40
C1	30.00	0.40
C2	20.00	0.40
C3	15.00	0.40
C4	10.00	0.40
C5	7.50	0.40

όπου:

$E_{av}$ : Η μέση τιμή της έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα (ελάχιστη τιμή)

$U_o$ : Η ομοιομορφία της έντασης φωτισμού (ελάχιστη τιμή)

## 2.5.5 Υπολογισμός δεικτών ενεργειακής επίδοσης

Το πέμπτο μέρος του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13201<sup>[21]</sup> καθορίζει τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης μίας εγκατάστασης οδοφωτισμού. Οι δείκτες αυτοί καθορίζουν το πόσο αποδοτική είναι μία εγκατάσταση φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη τόσο την συνολική ισχύ του συστήματος όσο και την συνολική επιφάνεια της φωτιζόμενης περιοχής και πρέπει να υπολογίζονται κατά το σχεδιασμό φωτισμού μίας νέας εγκατάστασης ή κατά το σχεδιασμό της αναβάθμισης υφιστάμενου συστήματος. Προτείνεται επίσης ο υπολογισμός των δεικτών αυτών για μία υφιστάμενη εγκατάσταση για λόγους σύγκρισης της αποδοτικότητας με μία νέα προτεινόμενη εγκατάσταση.

Οι δείκτες που ορίζονται από το πρότυπο είναι οι ακόλουθοι δύο:

- i. ο δείκτης πυκνότητας ισχύος – Power Density Indicator
- ii. ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης – Annual Energy Consumption Indicator

Ο δείκτης πυκνότητας ισχύος  $D_p$  υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \sigma \varepsilon \frac{W}{lx \cdot m^2}$$

όπου:

$D_p$ : ο δείκτης πυκνότητας ισχύος.

$P$ : η συνολική ισχύς της εγκατάστασης φωτισμού.

$E_i$ : η μέση ένταση οριζόντιου φωτισμού της υποπεριοχής  $i$ .

$A_i$ : το εμβαδόν της υποπεριοχής  $i$  που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού.

$n$ : ο αριθμός των φωτιζόμενων υποπεριοχών.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει την επίδοση του συστήματος φωτισμού στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος (οδόστρωμα, πεζοδρόμια, κ.λπ) φανερώνοντας το ποσό της απορροφούμενης ενέργειας που αξιοποιείται για το σκοπό του οδοφωτισμού.

Ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης  $D_E$  υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \sigma \varepsilon \frac{W \cdot h}{m^2}$$

όπου:

$D_E$ : ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης.

$P_j$ : η συνολική ισχύς της εγκατάστασης φωτισμού το χρονικό διάστημα λειτουργίας  $j$ .

$t_j$ : η διάρκεια της περιόδου λειτουργίας  $j$ .

$A$ : το εμβαδόν που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού.

$m$ : ο αριθμός διαφορετικών περιόδων λειτουργίας.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει την επίδοση του συστήματος φωτισμού κατά τη διάρκεια του έτους στην περιοχή ενδιαφέροντος. Με το δείκτη αυτό γίνεται σαφές το ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας που αξιοποιείται για το σκοπό του οδοφωτισμού.

## 2.5.6 Τεχνοοικονομικοί υπολογισμοί.

### 2.5.6.1 Υπολογισμός Κόστους

Τα κύρια κόστη που πρέπει να συμπεριληφθούν σε μία τεχνοοικονομική ανάλυση αφορούν:

- i. το κόστος της αρχικής επένδυσης
- ii. το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας και
- iii. το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης.

Το κόστος επένδυσης μπορεί να αναλυθεί ανάλογα με την περίπτωση όπως απεικονίζεται στον επόμενο Πίνακα 2.7:

Πίνακας 2.7: Κόστος επένδυσης έργου οδοφωτισμού

Κόστη για αναβάθμιση υφιστάμενης εγκατάστασης οδοφωτισμού	Κόστη για εγκατάσταση νέου τμήματος δικτύου οδοφωτισμού
<ul style="list-style-type: none"><li>• Μελέτη/αποτύπωση υφιστάμενου δικτύου</li><li>• Μελέτη και προδιαγραφή νέου συστήματος οδοφωτισμού</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Μελέτη και προδιαγραφή νέου συστήματος οδοφωτισμού</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Λαμπτήρες</li><li>• Φωτιστικά</li><li>• Βραχίονες</li><li>• Συστήματα διαχείρισης &amp; ελέγχου</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Λαμπτήρες</li><li>• Φωτιστικά</li><li>• Βραχίονες</li><li>• Συστήματα διαχείρισης &amp; ελέγχου</li><li>• Ιστοί</li><li>• Καλώδια</li><li>• Πίλλαρς</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Εργασίες εγκατάστασης</li><li>• Εργασίες απεγκατάστασης</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Εργασίες εγκατάστασης</li></ul>

Το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας υπολογίζεται ως γινόμενο της καταναλισκόμενης ισχύος κάθε φωτιστικού σώματος επί τις ώρες λειτουργίας του επαυξημένο κατά την καταναλισκόμενη ενέργεια του απαραίτητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού λειτουργίας και ελέγχου. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το κόστος της ενέργειας πολλαπλασιάζοντας την ετήσια κατανάλωση με το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας (€/KWh).

Το κόστος συντήρησης περιλαμβάνει τα κόστη αντικατάστασης του εξοπλισμού σε περίπτωση βλάβης ή ολοκλήρωσης του χρόνου ζωής στοιχείων του συστήματος, καθώς και τις αντίστοιχες εργασίες. Επίσης περιλαμβάνονται τα κόστη που αφορούν στον καθαρισμό των φωτιστικών για την διατήρηση της λειτουργικότητας της εγκατάστασης.

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος υπολογίζεται τελικά ως άθροισμα του κόστους καταναλισκόμενης ενέργειας και του κόστους συντήρησης. Στην περίπτωση αντικατάστασης ενός τμήματος του δικτύου, θα πρέπει από τους παραπάνω τύπους να υπολογίζεται το ετήσιο λειτουργικό κόστος τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για την προτεινόμενη εγκατάσταση. Στη συνέχεια, θα πρέπει να υπολογίζεται το ετήσιο οικονομικό όφελος που αναμένεται να υπάρξει από την υλοποίηση της επένδυσης ως η διαφορά ετήσιου κόστους προτεινόμενης εγκατάστασης από το ετήσιο κόστος της υφιστάμενης.



### 2.5.6.2 Οικονομική Αξιολόγηση

Η αναβάθμιση ενός δικτύου φωτισμού αποσκοπεί κυρίως στη μείωση του λειτουργικού κόστους του (κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας, ανταλλακτικών και συντήρησης) μέσω εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επενδύσεις αξιολογούνται σύμφωνα με την ικανότητά τους να παράγουν τέτοιο ύψος μελλοντικών εσόδων ώστε να καλύπτονται τόσο τα μελλοντικά τους κόστη (κόστη λειτουργίας και συντήρησης) όσο και το αρχικό κόστος για την υλοποίηση της επένδυσης. Σημαντική παράμετρος της οικονομικής αξιολόγησης μιας επένδυσης είναι η χρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος. Αυτή βασίζεται στο ότι μία μονάδα χρήματος την παρούσα στιγμή αξίζει περισσότερο από την αξία μίας μονάδας σε κάποια μελλοντική στιγμή (φαινόμενο του πληθωρισμού). Για να ληφθεί υπόψη η χρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος χρησιμοποιείται το επιτόκιο αναγωγής (ονομάζεται και κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου γιατί απεικονίζει την απόδοση την οποία ο επενδυτής θυσιάζει δεσμεύοντας τα κεφάλαιά του στην επένδυση Α αντί της Β). Το επιτόκιο αναγωγής μπορεί να ληφθεί ίσο είτε με τον πληθωρισμό, είτε με το επιτόκιο που θα επιφέρει μία διαφορετική επένδυση, είτε με το κόστος κεφαλαίου δηλαδή το επιτόκιο με το οποίο μπορεί ο επενδυτής να δανεισθεί. Μια καλή εκτίμηση για εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων είναι να γίνεται η οικονομική αξιολόγηση με επιτόκιο αναγωγής της τάξης του 5%.

Κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αξιολόγηση μιας προτεινόμενης εγκατάστασης οδοφωτισμού είναι:

- i. η Περίοδος Αποπληρωμής (Payback Period), ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται, ώστε μία επένδυση να επιστρέψει το κόστος υλοποίησής της.
- ii. η Απόδοση της Επένδυσης (Return on Investment - ROI), ως δείκτης τους ύψος του οικονομικού οφέλους που επιτυγχάνεται μέσω μίας επένδυσης συναρτήσει του ύψους της επένδυσης.
- iii. η Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV), ως δείκτης της τωρινής αξίας μιας επένδυσης συναρτήσει της μεταβολής της αξίας του χρήματος.
- iv. ο Δείκτης Αποδοτικότητας (ΔΑ), ως δείκτης τους ύψος του οικονομικού οφέλους που επιτυγχάνεται μέσω μίας επένδυσης συναρτήσει του ύψους της επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή στην χρονική αξία του χρήματος.
- v. το Σταθμισμένο Κόστος Εξοικονομούμενης Ενέργειας (ΣΚΕΕ), ως δείκτης του κόστους της εξοικονόμησης κάθε μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας (HE) ανηγμένο σε ετήσια βάση για όλη την διάρκεια ζωής της επένδυσης.

### 2.5.6.3 Υπολογισμός εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO<sub>2</sub>

Επεκτείνοντας τα αποτελέσματα της μελέτης μπορεί να υπολογιστεί η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει σε πρωτογενή μορφή από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{\text{πρωτογενής}}(MWh) = E_{\text{ετήσια}}(MWh) \cdot 2,9$$

ενώ η εξοικονομούμενη ποσότητα εκπομπών CO<sub>2</sub> που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα έτος μέσω της αντικατάστασης του συστήματος οδοφωτισμού υπολογίζεται από τον επόμενο τύπο:

$$CO_2(tn) = E_{\text{ετήσια}}(MWh) \cdot 0,989 \left( \frac{tn}{MWh} \right)$$

όπου οι συντελεστές 2,9 και 0,989 εκφράζουν αντίστοιχα τον αντίστροφο του συνολικού βαθμού απόδοσης του διασυνδεδεμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των παραγόμενων ρύπων ανά μονάδα ενέργειας, όπως αυτοί υπολογίζονται από τη σύνθεση της εγχώριας ηλεκτρικής παραγωγής.

## 2.5.7 Γενικές προδιαγραφές έργου

Όλα τα ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα και συστήματα που χρησιμοποιούνται σε μία εγκατάσταση οδοφωτισμού θα πρέπει, να φέρουν σήμανση CE, να συνοδεύονται από δήλωση συμμόρφωσης EK και να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις όλων των Ευρωπαϊκών οδηγιών και των Εθνικών διατάξεων τεχνικής εναρμόνισης που τα αφορούν, όπως για παράδειγμα τις οδηγίες σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα του εξοπλισμού, τις περιοριστικές οδηγίες χρήσης επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και τους κανονισμούς απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού και ενδείξεων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε έργο ενεργειακής φύσης.

## 2.5.8 Τεχνική οδηγία ΤΕΕ (TOTEE) οδοφωτισμού

Προς τον σκοπό της δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υλοποίησης έργων οδοφωτισμού συντάχθηκε από Ομάδα Εργασίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.) Τεχνική Οδηγία<sup>[22]</sup> η ανάγκη της οποίας προκύπτει από τις επιστημονικές, τεχνικές, περιβαλλοντικές, και οικονομικές πτυχές που συνδέονται με την τέχνη και επιστήμη του φωτισμού οδών, πλατειών και κοινόχρηστων χώρων.

Ειδικότερα, η Τεχνική Οδηγία προσπαθεί να συμβάλλει στην εκπλήρωση θεσμικών υποχρεώσεων της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Κλιματική Αλλαγή, Εξοικονόμηση Ενέργειας κοκ), στη κάλυψη των αναγκών των φορέων υλοποίησης, λειτουργίας και συντήρησης (Κεντρική - Γενική Κυβέρνηση και ΟΤΑ Α & Β Βαθμού) αλλά και των φορέων χρηματοδότησης τέτοιων έργων (εθνικοί, κοινοτικοί, χρηματοπιστωτικοί), καθώς και στην ικανοποίηση των απαιτήσεων για οδική ασφάλεια και αισθητική αναβάθμιση των πόλεων.

Στόχοι της TOTEE είναι να καλύψει το κενό που προκύπτει από την έλλειψη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υλοποίησης έργων οδοφωτισμού, να δώσει συστάσεις σχετικές με το σχεδιασμό και έλεγχο εγκαταστάσεων οδοφωτισμού ώστε να καθορισθούν οι κανόνες της τέχνης και της επιστήμης στα κρίσιμα στάδια ενός έργου οδοφωτισμού, και να αποτελέσει ένα καθημερινό εργαλείο όλων των συντελεστών που συνεργάζονται για την υλοποίηση ενός έργου οδοφωτισμού.

Συγκεκριμένα για τη χρήση των LED σε εγκαταστάσεις οδοφωτισμού η Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος καθορίζει ενδεικτικές ελάχιστες απαιτήσεις των φωτιστικών σωμάτων όπως φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Ενδεικτικές ελάχιστες απαιτήσεις φωτιστικών σωμάτων LED.

Περιγραφή απαίτησης	Τιμή / Εύρος
Εύρος τάσης λειτουργίας	120 - 277 V AC
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-30°C έως +40°C
Απόδοση φωτιστικού	≥ 90 lm/W
Προστασία οπτικής μονάδας	Τουλάχιστον IP65
Προστασία ηλεκτρικής μονάδας	Τουλάχιστον IP65
Δείκτης μηχανικής αντοχής	IK ≥ 0,8
Διάρκεια ζωής λαμπτήρων	Τουλάχιστον 50.000 ώρες
Συντελεστής ισχύος	≥ 0,9
Βαθμός ηλεκτρικής απόδοσης	≥ 0,9
Δείκτης CRI	≥ 70
Θερμοκρασία χρώματος	3000K με άνω όριο τους 4000K
Κλάση μόνωσης	II
Δείκτης ανακλαστικότητας	≥ 0,95
Κάλυμμα φωτιστικού	Τύπου SECURIT
Δυνατότητες προσαρμοστικού φωτισμού	Πρωτόκολλα ελέγχου και επικοινωνίας

## Κεφάλαιο Τρίτο: Οδήγηση και έλεγχος LED

### 3.1 Τροφοδοσία των LED - Drivers

Ανεξαρτήτως της εφαρμογής των LED είναι απαραίτητη η οδήγησή τους από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ανόρθωσης της τάσης. Αυτό το κύκλωμα ονομάζεται οδηγός (driver) και πρόκειται στην πραγματικότητα για έναν AC-DC μετατροπέα με είσοδο την εναλλασσόμενη τάση του ηλεκτρικού δικτύου και έξοδο συνεχές ρεύμα για την τροφοδοσία του LED.

Η βασική λειτουργία του driver είναι να παρέχει επαρκές ρεύμα για να ανάβει το LED στην απαιτούμενη φωτεινότητα, αλλά ταυτόχρονα να το περιορίζει για να αποφευχθεί η καταστροφή του. Η πτώση τάσης σε ένα LED είναι περίπου σταθερή σε ένα ευρύ φάσμα ρεύματος λειτουργίας. Επομένως, μια μικρή αύξηση στην εφαρμοζόμενη τάση αυξάνει σημαντικά το ρεύμα. Πολύ απλά κυκλώματα χρησιμοποιούνται για λυχνίες χαμηλής ισχύος. Για την οδήγηση όμως LED υψηλής ισχύος για φωτισμό απαιτούνται πιο πολύπλοκα κυκλώματα παραγωγής σταθερού ρεύματος για την επίτευξη ακριβούς ρύθμισης.

Η τεχνολογία των drivers για την οδήγηση LED εξελίσσεται για να καλύψει τις ανάγκες οδήγησης τους παρέχοντας σήμερα ποικιλία δυνατοτήτων οδήγησης, επικοινωνίας καθώς και πολλαπλές δυνατότητες προγραμματισμού με στόχο την παροχή της σταθερής φωτεινής ροής και της ποιότητας φωτισμού που απαιτούνται από τις αυξανόμενες εφαρμογές των LED. Βασική λειτουργία των drivers είναι η παροχή σταθερού ρεύματος οδήγησης όμως οι εφαρμογές προσαρμοστικού φωτισμού απαιτούν την δυνατότητα οδήγησης σε ένα ευρύ διάστημα λειτουργίας ενώ η αυξανόμενη εφαρμογή κεντρικής διαχείρισης και ελέγχου επιβάλλουν την συμβατότητα των drivers με αυτές τις τεχνολογίες.

Μία πολύ σημαντική παράμετρος της λειτουργίας των LED που σχετίζεται άμεσα με την τεχνολογία των drivers είναι και η απαιτούμενη θερμική σχεδίαση τους. Στην πράξη εμφανίζονται δύο παράμετροι όσον αφορά τον θερμικό σχεδιασμό ενός driver: η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας λειτουργίας και της διάρκειας ζωής του ίδιου του driver καθώς και η διατήρηση της θερμοκρασίας μέσα στα επιτρεπτά όρια λειτουργίας της μονάδας LED για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση και η διάρκεια ζωής της.

Στη φάση σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνονται οι απαραίτητες προφυλάξεις για να διατηρηθεί όσο το δυνατόν χαμηλότερη η θερμοκρασία του φωτιστικού κυρίως με την δυνατότητα να επάγεται η θερμότητα έξω από αυτό. Είναι σημαντικό κατά την σχεδίαση της εγκατάστασης να λαμβάνεται υπόψιν η παραγόμενη από τον driver θερμότητα και να παραμετροποιείται η θερμοκρασία λειτουργίας για να εξασφαλιστεί η λειτουργία του σχεδιασμού.

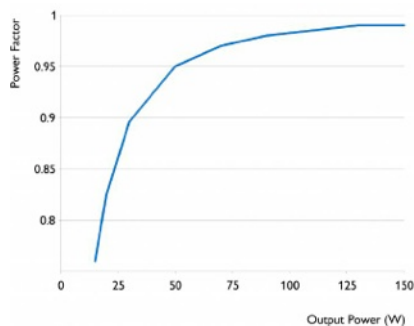
Όσον αφορά την προστασία έναντι ακραίων συνθηκών, νέες τεχνολογίες όπως η εφαρμογή ενός αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC - Negative Temperature Coefficient) αποσκοπούν στην αντιμετώπιση εξωτερικών θερμικών επιδράσεων όταν αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την υπέρβαση της ονομαστικής θερμοκρασίας, ρυθμίζοντας το ρεύμα οδήγησης έτσι ώστε να παραμείνει μέσα στα επιτρεπτά όρια.

### 3.2 Έλεγχος

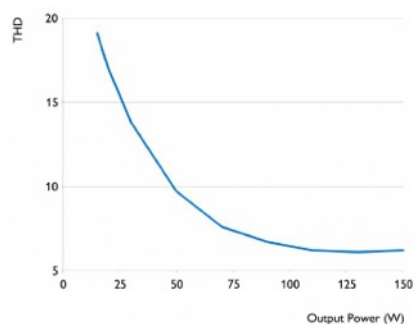
Διαδεδομένοι τρόποι ελέγχου τους ρεύματος οδήγησης των LEDs από τους drivers είναι η αναλογική μέθοδος οδήγησης συνεχούς ρεύματος (Constant Current Reduction – CCR) και η μέθοδος διαμόρφωσης εύρους παλμού (Pulse Width Modulation - PWM)<sup>[1]</sup>.

Η αναλογική μέθοδος βασίζεται στον έλεγχο του ρεύματος οδήγησης και στη σχέση ρεύματος οδήγησης - φωτεινής ροής. Προσαρμόζεται μέσω του driver η εκπεμπόμενη φωτεινή ροή του LED στο επιθυμητό επίπεδο καθορίζοντας το αντίστοιχο επίπεδο ρεύματος οδήγησης.

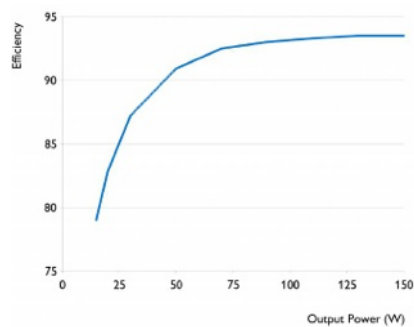
Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγονται η απλότητα της κατασκευής που συνεπάγεται μικρότερο κόστος, η διατήρηση υψηλού συντελεστή ισχύος και χαμηλής αρμονικής παραμόρφωσης καθώς και η διατήρηση υψηλής απόδοσης κατά την μείωση του ρεύματος οδήγησης, κάτι που φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3)<sup>[2]</sup>. Μειονέκτημα της μεθόδου η μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος ανάλογα με το επίπεδο του ρεύματος οδήγησης των LEDs.



Εικόνα 3.1: Σχέση συντελεστή ισχύος - ισχύος εξόδου.



Εικόνα 3.2: Σχέση αρμονικής παραμόρφωσης - ισχύος εξόδου.



Εικόνα 3.3: Σχέση απόδοσης - ισχύος εξόδου.

Η μέθοδος διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM) πραγματοποιείται με ειδικούς PWM drivers. Πρόκειται για ανορθωτικές διατάξεις που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση εισόδου σε συνεχή τάση εξόδου. Η έξοδος ενός PWM driver είναι τετραγωνικός παλμός μεγάλης συχνότητας, πλάτος ίσο με το ονομαστικό ρεύμα και εύρος που μπορεί να μεταβάλλεται καθορίζοντας το επίπεδο dimming.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι εξασφαλίζει μεγάλη ακρίβεια στο τελικό αποτέλεσμα φωτισμού καθώς και ότι η θερμοκρασία χρώματος του φωτισμού παραμένει σταθερή καθώς τα LED οδηγούνται από ονομαστικό ρεύμα οδήγησης. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου ανήκουν η πολυπλοκότητα του κυκλώματος που συνεπάγεται αύξηση του κόστους, η εμφάνιση ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών προβλημάτων όπως η παραγωγή θορύβου και φαινομένων ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής καθώς και η παρατήρηση flickering στην περιφερειακή όραση.

### 3.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας ελέγχου

Για την επικοινωνία μεταξύ ελεγκτή φωτιστικού και driver είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός προσυμφωνημένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας το οποίο θα ακολουθούν τα σήματα ελέγχου. Στον φωτισμό έχει καθιερωθεί η χρήση των δύο παρακάτω πρωτοκόλλων επικοινωνίας και ελέγχου με τα οποία η πλειοψηφία των drivers είναι συμβατοί:

- Το αναλογικό πρωτόκολλο 0-10V και
- Το ψηφιακό πρωτόκολλο DALI.

#### 3.3.1 Το πρωτόκολλο ελέγχου 0 - 10 V

Το 0-10 V<sup>[3]</sup> είναι ένα από τα παλαιότερα και απλούστερα ηλεκτρονικά συστήματα σηματοδότησης ελέγχου φωτισμού και καθορίζεται από το διεθνές πρότυπο ANSI E1.3 – 2001(R2011) “Entertainment Technology - Lighting Control Systems 0 to 10V Analog Control Specification”. Το σήμα ελέγχου είναι μια συνεχής τάση που κυμαίνεται μεταξύ μηδέν και δέκα βολτ. Ο ελεγχόμενος φωτισμός θα πρέπει να ρυθμιστεί έτσι ώστε στα 10 V το ελεγχόμενο φως να είναι στο 100% και σε 0 V να έχει μηδενική έξοδο. Με κατάλληλη ρύθμιση μπορεί να δώσει γραμμικές εξόδους για την τάση, την φωτεινή ροή και την ισχύ.

Η απλότητα του συστήματος φωτισμού καθιστά εύκολο τον σχεδιασμό, την εφαρμογή και τη διάγνωση του συστήματός ενώ το χαμηλό ρεύμα ελέγχου (συνήθως 1 mA) μπορεί να τρέξει κατά μήκος σχετικά λεπτών καλωδίων με μικρή πτώση τάσης. Σε μεγάλες βέβαια αποστάσεις η πτώση τάσης επηρεάζει το αποτέλεσμα της προσαρμογής κάτι που μπορεί να διορθωθεί με περαιτέρω βαθμονόμηση του συστήματος. Ωστόσο, δεδομένου ότι απαιτεί δύο καλώδια ελέγχου, ένα εξελιγμένο σύστημα μπορεί να έχει εκατοντάδες καλώδια, αυξάνοντας το κόστος και την πολυπλοκότητα του συστήματος.

#### 3.3.2 Το ψηφιακό πρωτόκολλο DALI

Το πρωτόκολλο ελέγχου DALI<sup>[4]</sup> είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο διασύνδεσης του οποίου οι αρχές και οι κανονισμοί καθορίζονται από το πρότυπο IEC 62386. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο διπλής κατεύθυνσης σύμφωνα με το οποίο μεμονωμένοι ελεγκτές φωτιστικών (έως 64) ή ομάδες αυτών (έως 16) μπορούν να διευθυνσιοδοτηθούν και να ακολουθήσουν έως 16 διαφορετικές εντολές φωτισμού. Τα πλεονεκτήματα και οι δυνατότητες προγραμματισμού του προτύπου περιλαμβάνουν:

- Απλή καλωδίωση γραμμών ελέγχου.
- Παρακολούθηση των ελεγκτών φωτιστικών και των φωτιστικών σωμάτων.
- Επεκτασιμότητα του δικτύου.
- Ευελιξία επαναπρογραμματισμού.
- Προσαρμογή του φωτισμού από 1-100%.

#### 3.3.3 Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Το Dali προσφέρει πλεονεκτήματα τα οποία δεν αξιοποιούνται ιδιαιτέρως σε σύγχρονες εγκαταστάσεις οδοφωτισμού (όπως προγραμματισμό, ομαδοποίηση, έλεγχο, επεκτασιμότητα) καθώς αυτά προσφέρονται από τα σύγχρονα κεντρικά συστήματα διαχείρισης (CMS) ή από την οργάνωση των φωτιστικών σωμάτων σε τοπικά δίκτυα. Επιπλέον, για λόγους αξιοπιστίας κάθε φωτιστικό σώμα εξυπηρετείται από τον δικό του ελεγκτή φωτιστικού, κάτι που μειώνει τις αποστάσεις μεταξύ ελεγκτή και driver με αποτέλεσμα να χάνεται το συγκριτικό πλεονέκτημα του Dali σε σχέση με το 0 - 10 V όσον αφορά τις αποστάσεις.

### 3.4 Κεντρική διαχείριση

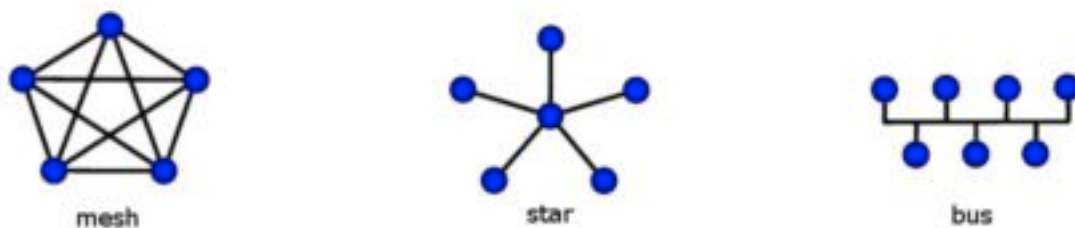
Βασικός στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η εξερεύνηση των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η εφαρμογή ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης του οδοφωτισμού τόσο σε επίπεδο ελέγχου και παρατήρησης της εγκατάστασης όσο και σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας και επακόλουθης μείωσης κόστους. Για αυτό τον λόγο, κατά την οικονομοτεχνική εκπόνηση της μελέτης εξετάζονται σε αντιπαραβολή η εγκατάσταση LED φωτιστικών σωμάτων χωρίς την τοποθέτηση ελεγκτών, και συνεπώς απουσία σχήματος προσαρμοστικού φωτισμού, με την ταυτόχρονη εγκατάσταση κεντρικού συστήματος διαχείρισης, το οποίο μπορεί να εκμεταλλευθεί τις σύγχρονες τεχνολογίες προσαρμοστικού φωτισμού.

Ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης αποτελείται επιγραμματικά από τα εξής μέρη:

1. Ελεγκτής φωτιστικού (Luminaire Controller - LuCo)
2. Ελεγκτής τομέα (Segment Controller - SeCo)
3. Λογισμικό Κεντρικής Διαχείρισης (Central Management System - CMS)

#### 3.4.1 Τοπολογίες δικτύου

Το δίκτυο οδοφωτισμού αποτελεί ένα M2M (Machine to Machine Communication) δίκτυο. Για την κατασκευή του οι συσκευές - κόμβοι οργανώνονται κατά κύριο λόγο μέσω τοπολογίας πλέγματος (mesh), τοπολογίας διαύλου (bus) ή τοπολογίας αστέρα (star) ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις που παρουσιάζονται<sup>[5]</sup>.



Εικόνα 3.4: Τοπολογίες πλέγματος, αστέρα, και διαύλου<sup>[6]</sup>.

- Τοπολογία αστέρα (star)

Σε αυτήν την τοπολογία κάθε κόμβος συνδέεται με μια κεντρική συσκευή δικτύου, ο οποίος στον οδοφωτισμό είναι ελεγκτής τομέα (SeCo). Η κεντρική συσκευή δικτύου λειτουργεί ως κόμβος-διακομιστής και οι περιφερειακοί κόμβοι λειτουργούν ως πελάτες, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.4*.

Πλεονεκτήματα της τοπολογίας του αστέρα αποτελούν η κεντρική διαχείριση του δικτύου, μέσω της χρήσης κεντρικού διακομιστή, η επεκτασιμότητα του καθώς είναι εύκολη η προσθήκη νέου κόμβου ενώ σε περίπτωση αστοχίας εξωτερικού κόμβου το υπόλοιπο δίκτυο εξακολουθεί να λειτουργεί κανονικά.

Στα μειονεκτήματα της τοπολογίας του αστέρα συγκαταλέγονται ο περιορισμός του αριθμού και της απόδοσης των κόμβων που μπορεί να χειριστεί το δίκτυο και η πλήρης εξάρτηση από τον κεντρικό κόμβο-διακομιστή.

- Τοπολογία πλέγματος (mesh)

Πρόκειται για ρύθμιση δικτύου όπου κάθε κόμβος συνδέεται με πλήθος άλλων κόμβων για την εξασφάλιση της επικοινωνίας σε περίπτωση σφάλματος. Είναι μια τοπολογία που χρησιμοποιείται συνήθως για ασύρματα δίκτυα, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.4*.

Στα πλεονεκτήματα μιας τοπολογίας πλέγματος συγκαταλέγονται η ικανότητα να χειριστεί μεγάλη κίνηση δεδομένων, επειδή πολλές συσκευές μεταδίδουν ταυτόχρονα, η αξιοπιστία του συστήματος αφού η αποτυχία μιας συσκευής δεν προκαλεί διακοπή του δικτύου ή μετάδοση δεδομένων καθώς και η ικανότητα προσθήκης νέων συσκευών χωρίς να διακόπτεται η μετάδοση δεδομένων μεταξύ άλλων.

Στα μειονεκτήματα που αντιμετωπίζουμε βρίσκεται το κόστος υλοποίησης το οποίο είναι υψηλότερο από τις άλλες τοπολογίες δικτύου ενώ και το γεγονός πως η οικοδόμηση και η διατήρηση της τοπολογίας είναι δύσκολη και χρονοβόρα.

- Τοπολογία διαύλου (bus)

Πρόκειται για τοπολογία δικτύου στην οποία κάθε κόμβος συνδέονται με ένα κεντρικό καλώδιο το οποίο αποτελεί την ραχοκοκαλιά του δικτύου, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.4*.

Η συγκεκριμένη τοπολογία δικτύου παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε μικρότερα δίκτυα γραμμικής σύνδεσης κόμβων, ενώ απαιτεί μικρότερο μήκος καλωδίων από μια τοπολογία αστέρα.

Στα μειονεκτήματα της συγκαταλέγονται η δυσκολία εντοπισμού προβλημάτων σε περίπτωση σφάλματος, η απόλυτη εξάρτηση από το κεντρικό καλώδιο δικτύου καθώς και η σημαντική επιβράδυνση και πολυπλοκότητα των συνδέσεων σε μεγαλύτερα δίκτυα.

Στα δίκτυα οδοφωτισμού με κεντρικό σύστημα διαχείρισης που χρησιμοποιούν ασύρματες επικοινωνίες θεωρείται βέλτιστη η τοπολογία πλέγματος καθώς προσφέρει την μέγιστη αξιοπιστία ενώ το συγκριτικό της μειονέκτημα πολυπλοκότητας αντιμετωπίζεται μέσω προηγμένων επικοινωνιακών τεχνολογιών και το κόστος συνδέσεων εκμηδενίζεται λόγω ασύρματης σύνδεσης.

### 3.4.2 Πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee

Η επικοινωνία του ελεγκτή τομέα με το λογισμικό του κεντρικού συστήματος διαχείρισης πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας ZigBee. Πρόκειται για μία τεχνολογία η οποία δημιουργήθηκε με στόχο την εξυπηρέτηση των ασύρματων προσωπικών δικτύων και η οποία βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Η ονομασία Zigbee προέρχεται από την «ζιγκ-ζαγκ» κίνηση των μελισσών καθώς με τον χορό αυτό οι μέλισσες επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν ανά πάσα στιγμή πληροφοριακό υλικό. Συνεπώς, ως πρωτόκολλο ZigBee καλείται ο τρόπος εκείνος με τον οποίο πληθώρα μοναδικών και απλών οργανισμών συμμετέχουν και επικοινωνούν με στόχο να αντιμετωπίσουν προβλήματα και να επιλύσουν πολύπλοκες καταστάσεις<sup>[7]</sup>.

Όπως και οι περισσότερες ασύρματες τεχνολογίες έτσι και η τεχνολογία ZigBee λειτουργεί στο φάσμα ISM των 2.4 GHz. Η εμβέλεια της όσον αφορά τη μετάδοση φτάνει έως και τα 100 μέτρα, έχοντας μέγιστη ταχύτητα τα 250 Kbps. Ιδιαίτερα γνωρίσματα της τεχνολογίας ZigBee αποτελούν η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος που απαιτείται σε πληθώρα σύγχρονων εφαρμογών και το σχετικά μικρό κόστος χρήσης αλλά και εγκατάστασης. Ακόμη, μπορεί να δημιουργήσει ευέλικτα και επεκτάσιμα δίκτυα ενώ χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες αποκατάστασης δικτύων και δρομολόγησης μηνυμάτων<sup>[8]</sup>.

Τα ZigBee δίκτυα επικεντρώνονται σε δύο λειτουργίες. Η πρώτη είναι η λειτουργία της περιοδικής εκπομπής ενός σήματος συντονισμού και η δεύτερη είναι η λειτουργία της μη περιοδικής εκπομπής. Όσον αφορά τη πρώτη περίπτωση, ο κόμβος-συντονιστής αφυπνίζει όλους εκείνους τους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι πρέπει να τον ενημερώσουν αν υπάρχει μήνυμα για προώθηση, στέλνοντας περιοδικά μηνύματα. Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση, όταν δεν στέλνονται περιοδικά μηνύματα αφύπνισης από τον κόμβο συντονιστή, το δίκτυο εμφανίζεται να είναι λιγότερο συντονισμένο. Αυτό γιατί κάθε κόμβος εκπέμπει ένα σήμα το οποίο πρέπει να παραδοθεί στον κόμβο-συντονιστή, μέσω των ενδιάμεσων κόμβων στο δίκτυο. Σε όλες τις περιπτώσεις που ένα δίκτυο αποτελείται από κόμβους που ενσωματώνουν το IEEE 802.15.4 πρωτόκολλο, διατηρείται χαμηλή κατανάλωση ισχύος, εξαιτίας της πλειοψηφίας των κόμβων του δικτύου που παραμένουν σε κατάσταση αδράνειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Όλες οι συσκευές Zigbee μπορούν να διακριθούν σε συσκευές πλήρους λειτουργίας (συσκευές FFD) και σε συσκευές περιορισμένης λειτουργίας (συσκευές RFD). Τα στοιχεία εκείνα που συναντώνται σε ένα δίκτυο Zigbee είναι:

- Ο κεντρικός διαχειριστής (PAN Coordinator)

Ο κεντρικός διαχειριστής θα πρέπει να είναι απαραίτητως συσκευή FFD. Ο συντονιστής-διαχειριστής είναι σε θέση να δημιουργήσει το δίκτυο μέσω διευθυνσιοδότησης των κόμβων και της απαιτούμενης από την τοπολογία σύνδεσής τους.

- Ο απλός διαχειριστής ή δρομολογητής (Router)

Ο δρομολογητής θα πρέπει όπως και ο κεντρικός διαχειριστής να είναι συσκευή FFD. Πολλές φορές είναι προαιρετικός. Ο δρομολογητής είναι σε θέση να επεκτείνει το βεληνεκές του δικτύου, να επιτρέψει τη σύνδεση περισσότερων από έναν κόμβων καθώς και να παρακολουθήσει τις διάφορες λειτουργίες που σχετίζονται με τον έλεγχο του δικτύου.

- Η τερματική συσκευή (End Device)

Η τερματική συσκευή μπορεί να είναι οποιαδήποτε συσκευή, συνήθως όμως είναι RFD συσκευή η οποία είναι σε θέση είτε να παρακολουθήσει είτε να κάνει τις διάφορες λειτουργίες που αφορούν τον έλεγχο του δικτύου<sup>[9]</sup>.

Στα μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου συγκαταλέγονται η μικρή αποθηκευτική ικανότητα, η μικρή υπολογιστική ισχύς των συσκευών και η καθυστέρηση στην επεξεργασία και αποστολή δεδομένων. Στα συστήματα οδοφωτισμού βέβαια ο αριθμός των κόμβων είναι περιορισμένος και επιπλέον, για λόγους αξιοπιστίας και λόγω του μικρού σχετικά κόστους, κάθε ελεγκτής τομέα συνδέεται το πολύ με 150 ελεγκτές φωτιστικών. Με αυτό τον τρόπο ξεπερνιέται το πρόβλημα καθυστερημένης μετάδοσης δεδομένων, ενώ και ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς πρακτικά μεταφέρεται μικρό μέγεθος δεδομένων.



### 3.4.3 Εξοπλισμός ελέγχου συστήματος διαχείρισης

Αναλυτικά οι λειτουργίες των επιμέρους στοιχείων εξοπλισμού ελέγχου ενός συστήματος διαχείρισης:

#### 3.4.3.1 Ελεγκτής φωτιστικού (Luminaire Controller - LuCo)

Τοποθετείται στο εσωτερικό του φωτιστικού σώματος ή στον ιστό, και βασική του λειτουργία είναι η ενσωμάτωση ενός φωτιστικού σώματος σε ένα πρόγραμμα προσαρμοστικού φωτισμού. Προς αυτό το σκοπό επιτελεί τις εξής λειτουργίες:

- Έλεγχος

Ο ελεγκτής φωτιστικού δέχεται εντολές από τον ελεγκτή τομέα ή γειτονικούς κόμβους και τις μεταδίδει στον driver για την προσαρμογή του φωτισμού στο επιθυμητό επίπεδο ανά δεδομένη χρονική στιγμή.

- Εφαρμογή τεχνολογιών προσαρμοστικού φωτισμού

Ο ελεγκτής εφαρμόζει τεχνολογίες (όπως CLO, VPO, SDLO) για την εξοικονόμηση ενέργειας.

- Παρακολούθηση

Μέτρηση των πιο σημαντικών μεγεθών όπως τάση, ισχύς, ώρες λειτουργίας, συντελεστής ισχύος και καταναλισκόμενη ενέργεια του φωτιστικού και αποστολή τους στον ελεγκτή τομέα.

- Διάγνωση σφάλματος

Διεξαγωγή διαγνωστικού ελέγχου και επικοινωνία με τον ελεγκτή τομέα σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος<sup>[10]</sup>.

#### 3.4.3.2 Ελεγκτής τομέα (Segment Controller - SeCo)

Ο ελεγκτής τομέα είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο και την οργάνωση των ελεγκτών φωτιστικών σωμάτων. Αποτελεί ενδιάμεσο της επικοινωνίας μεταξύ ελεγκτών φωτιστικών και λογισμικού κεντρικής διαχείρισης, καθώς μέσω αυτού μεταδίδονται σήματα ελέγχου από τον κεντρικό διαχειριστή προς τους ελεγκτές φωτιστικών για ρύθμιση της φωτεινής ροής και δεδομένα μετρήσεων και ενημερώσεις από τους ελεγκτές προς την κεντρική διαχείριση.

Ο ελεγκτής τομέα επικοινωνεί με τους ελεγκτές φωτιστικών μέσω σύγχρονων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και εξειδικευμένο δίκτυο επικοινωνιών με πομπούς και δέκτες που λειτουργούν στις ραδιοσυχνότητες ενώ με αυτό τον τρόπο μπορεί να διαχειρίζεται έως και 150 ελεγκτές φωτιστικών. Η σύνδεση με το λογισμικό διαχείρισης πραγματοποιείται συνήθως μέσω διαδικτύου (ADSL, GPRS ή 3G τεχνολογίες) προσφέροντας VPN ασφάλεια. Άλλες τεχνολογίες που βρίσκουν εφαρμογή στις επικοινωνίες των ελεγκτών είναι οι ενσύρματες BB-PLC (Broad Band PowerLine Communication) και Ethernet τεχνολογίες καθώς και το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Λόγω του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού του, ένας ελεγκτής τομέα έχει τη δυνατότητα πλήρους αυτόνομου προγραμματισμού, εάν αυτό απαιτείται, ενώ τα φωτιστικά σώματα μπορούν να οργανωθούν σε ομάδες ανάλογα με την εφαρμογή για την εκτέλεση προγραμματισμένων σεναρίων φωτισμού<sup>[11]</sup>.

### 3.4.3.3 Κεντρικό σύστημα διαχείρισης (Central Management System - CMS)

Το κεντρικό σύστημα διαχείρισης αποτελεί κατά κύριο λόγο ένα λογισμικό πρόγραμμα το οποίο έχει ως στόχο τον έλεγχο, την μέτρηση και τη διαχείριση ενός δικτύου φωτισμού. Η αρχιτεκτονική του συστήματος και οι σύγχρονες τεχνολογίες που υποστηρίζει προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης πόρων και ενέργειας, μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και βελτίωσης της παρεχόμενης υπηρεσίας φωτισμού. Με την εφαρμογή ασύρματου κεντρικού συστήματος διαχείρισης κάθε φωτιστικό σώμα ελέγχεται τόσο για το χρόνο λειτουργίας του όσο και για το επίπεδο φωτισμού, καθώς η λειτουργική του κατάσταση, η κατανάλωση ενέργειας και τα σφάλματα καταγράφονται και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων με την ακριβή χρονική τους στιγμή και γεωγραφική τοποθεσία, ενώ η ανοιχτή αρχιτεκτονική του επιτρέπει τη σύνδεση στο διαδίκτυο και κατά συνέπεια την πρόσβαση σε όλες τις σύγχρονες διαδικτυακές εφαρμογές.

Είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη τις ιδιαιτερότητες και τις δυσκολίες κατά την εγκατάσταση ενός δικτύου οδοφωτισμού. Οι εγκαταστάσεις οδοφωτισμού διαφέρουν από χώρα σε χώρα και από πόλη σε πόλη. Δυστυχώς δεν χρησιμοποιούν όλες οι εγκαταστάσεις φωτισμού το δικό τους αποκλειστικό δίκτυο. Σε πολύπλοκες εγκαταστάσεις όπου υπάρχουν νοικοκυριά, βιομηχανικά εργοστάσια, βαριά μηχανήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο, δεν είναι εγγυημένη η επικοινωνία μέσω των γραμμών ισχύος. Σε άλλες περιπτώσεις, δεν έχει πραγματοποιηθεί οργανωμένο σχέδιο ηλεκτρικού δικτύου ή η εγκατάσταση συνδέεται με διαφορετικούς υποσταθμούς ισχύος. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να ερευνηθεί σε επίπεδο κόμβου αν μια επικοινωνία μέσω των γραμμών ισχύος είναι δυνατή. Αυτό προσθέτει επιπλέον μηχανικό κόστος σε έναν προϋπολογισμό τηλεδιαχείρισης, ακόμη και όταν η επικοινωνία δεν είναι εγγυημένη. Ο στόχος της ασύρματης τηλεδιαχείρισης είναι η σχεδίαση ενός συστήματος που θα λειτουργεί οπουδήποτε στον κόσμο, ανεξάρτητα από τη δομή του δικτύου, με ελάχιστη τεχνική προσπάθεια. Ως εκ τούτου, η ασύρματη επικοινωνία είναι συγκριτικά καλύτερη από την επικοινωνία μέσω των υφιστάμενων γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα εφαρμογής ασύρματου συστήματος κεντρικής διαχείρισης συνοψίζονται ως εξής:

#### 1. Απόδοση

Το ασύρματο δίκτυο βασίζεται σε σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας που καθιστούν την επικοινωνία πολύ ταχύτερη σε σχέση με την συμβατική ενσύρματη τεχνολογία καθώς χρησιμοποιεί μεγάλο αριθμό καναλιών επικοινωνίας, το καθένα με μέγιστο εύρος ζώνης.

#### 2. Αξιοπιστία

Χάρη στη λειτουργικότητα της τοπολογίας του που συνηθίζεται να είναι τοπολογία πλέγματος, το ασύρματο δίκτυο βρίσκει την βέλτιστη διαδρομή επικοινωνίας. Το σύστημα περιλαμβάνει μηχανισμούς αυτοεπούλωσης και αναδρομολόγησης και ακόμη και στο χειρότερο σενάριο, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων παραμένει αρκετά υψηλότερος σε σύγκριση με την επικοινωνία μέσω ηλεκτρικού ρεύματος.

#### 3. Επεκτασιμότητα και ευελιξία

Ένα δίκτυο που βασίζεται στην ασύρματη τεχνολογία προσφέρει πλήρη ελευθερία ενσωμάτωσης νέων αισθητήρων και φωτιστικών. Παρέχει επομένως μια βελτιστοποιημένη εγκατάσταση για το καλύτερο σενάριο προσαρμοστικού φωτισμού.

#### 4. Αναβάθμιση

Το δίκτυο μπορεί να αναβαθμιστεί προσθέτοντας νέες λειτουργίες. Μπορεί επίσης εύκολα να διευρυνθεί χωρίς καλώδια με την ενσωμάτωση νέων σημείων φωτισμού, ανεξάρτητα από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χάρη στην ασύρματη επικοινωνία<sup>[11]</sup>.

### 3.5 Τεχνολογίες προσαρμοστικού φωτισμού

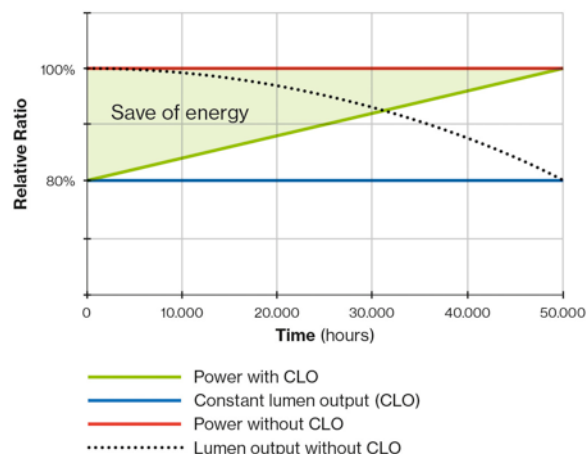
Η εφαρμογή ενός συστήματος προσαρμοστικού φωτισμού στηρίζεται σε σύγχρονες τεχνολογίες οι οποίες επιτυγχάνουν την αυξομείωση της φωτεινής ροής στο απαιτούμενο επίπεδο φωτισμού σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες χωρίς να δημιουργούν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία του συστήματος ή να επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της φωτεινής πηγής. Οι κύριες τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε ένα πρόγραμμα προσαρμοστικού φωτισμού είναι οι εξής:

- Astronomical clock
- Constant Lumen Output (CLO)
- Virtual Power Output (VPO)
- Selective Dynamic Lumen Output (SDLO)

#### 3.5.1 Astronomical clock

Η λειτουργία αυτή προσαρμόζει την έναυση και τη λήξη του οδοφωτισμού σύμφωνα με την εποχική διακύμανση των ωρών δύσης και ανατολής του ηλίου αντίστοιχα κάνοντας χρήση ενσωματωμένου συστήματος αστρονομικού ρολογιού του φωτιστικού σώματος διασφαλίζοντας τον κατάλληλο φωτισμό καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

#### 3.5.2 Constant Lumen Output (CLO)



Εικόνα 3.5: Constant Lumen Output<sup>[12]</sup>.

Η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται από το ίδιο το φωτιστικό χωρίς περαιτέρω απαίτηση πόρων. Πιο αναλυτικά, το φωτιστικό αρχίζει τη λειτουργία του σε χαμηλότερο λειτουργικό ρεύμα το οποίο αυξάνεται σταδιακά στη διάρκεια ζωής του, για να αντισταθμιστεί η υποβάθμιση του εξερχόμενου φωτός του φωτιστικού. Η υποβάθμιση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η φωτεινή ροή των λαμπτήρων LED μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η ελαφριά απόσβεση είναι σχεδόν γραμμική καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.

Η χρήση του CLO έχει άμεση εξάρτηση με τον υπολογισμό του συντελεστή συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα όπως έχει αναλυθεί στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο για να εξασφαλιστεί η παροχή της απαιτούμενης φωτεινότητας για μια χρονική περίοδο, στην σχεδίαση ενός δικτύου φωτισμού υπολογίζεται ο συντελεστής συντήρησης που λαμβάνει υπόψη τη σταδιακή μείωση της φωτεινής ροής. Ένας τυπικός συντελεστής συντήρησης υπολογίζεται στο 0,8 κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι στο τέλος της ζωής των φωτιστικών σωμάτων το φωτεινό αποτέλεσμα τους θα έχει μειωθεί στο 80%. Επομένως, κατά την σχεδίαση επιλέγονται λαμπτήρες οι οποίοι εκπέμπουν περισσότερο φως από ότι είναι απαραίτητο,

διασφαλίζοντας έτσι ότι τα επίπεδα φωτισμού δεν υπολείπονται του απαιτούμενου ελαχίστου επιπέδου.

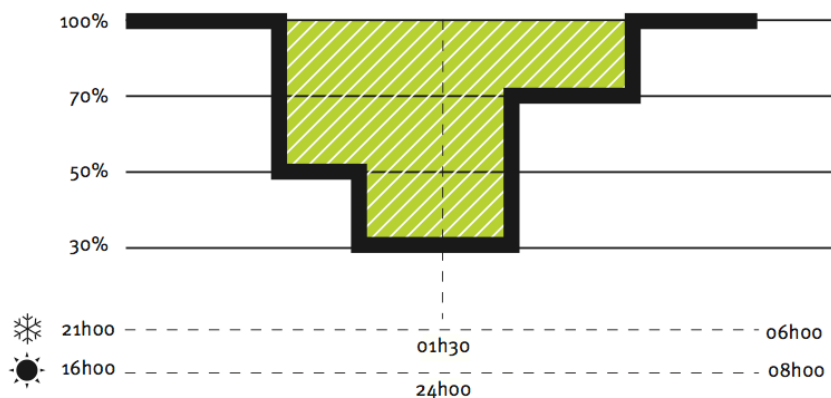
Η λειτουργία του CLO στηρίζεται σε αυτή την υποβάθμιση αντισταθμίζοντας την απόσβεση της απόδοσης φωτός της εγκατάστασης, εξαλείφοντας τον αρχικό υπερβάλλοντα φωτισμό και εξοικονομώντας με αυτό τον τρόπο ένα σημαντικό μέρος της καταναλισκόμενης ενέργειας<sup>[13]</sup>.

### 3.5.3 Virtual Power Output (VPO)

Οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται στον οδοφωτισμό είναι διαθέσιμοι σε ένα εύρος σταθερής ισχύος το οποίο διαφοροποιείται ανάλογα με την εφαρμογή. Κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδιασμού ενός δικτύου φωτισμού οι απαιτήσεις των φωτομετρικών μεγεθών του προτύπου, όπως η απαιτούμενη στάθμη φωτισμού και η συνολική ομοιομορφία είναι πιθανό να οδηγήσουν στην επιλογή μιας βέλτιστης στάθμης ισχύος η οποία δεν παράγεται επακριβώς από τον εξοπλισμό. Κατά τον σχεδιασμό, θα επιλεγεί η αμέσως επόμενη υψηλότερη διαθέσιμη ισχύς λαμπτήρα, η οποία όμως έχει ως αποτέλεσμα την υπερδιαστασιολόγηση της εγκατάστασης και την συνεπαγόμενη σπατάλη ενέργειας και πόρων.

Με τη λειτουργία VPO αυτό το φαινόμενο αντισταθμίζεται, αφού παρέχεται η δυνατότητα ακριβούς προσαρμογής του επιπέδου ισχύος στο βέλτιστο δυνατό. Επομένως, κατά την φωτοτεχνική μελέτη επιλέγεται σύμφωνα με το πρότυπο οδοφωτισμού η ακριβής τιμή ισχύος που πληροί τις απαιτήσεις και το επιλεχθέν φωτιστικό σώμα προσαρμόζει αυτόματα την ισχύ του στην τιμή αυτή. Η τεχνική αυτή οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 25%.

### 3.5.4 Selective Dynamic Lumen Output (SDLLO)



Εικόνα 3.6: Selective Dynamic Lumen Output<sup>[11]</sup>.

Η λειτουργία αυτή επαφίεται στην εφαρμογή του προτύπου οδοφωτισμού το οποίο μεριμνεί για την διαφοροποίηση των επιπέδων φωτισμού κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του λόγω των διαφορετικών αναγκών ανά δεδομένη χρονική στιγμή. Η τεχνική αυτή λειτουργεί σε συνδυασμό με την VPO τεχνική καθώς επιτρέπει την εναλλαγή της στάθμης ισχύος και κατ' επέκταση της φωτεινής ροής σύμφωνα με το επιλεγμένο σενάριο προσαρμοστικού φωτισμού όπως ορίζει η αξιολόγηση του δρόμου σύμφωνα με το πρότυπο οδοφωτισμού.

## Κεφάλαιο Τέταρτο: Στόχοι και χρηματοδότηση έργων οδοφωτισμού

### 4.1 Πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας

#### 4.1.1 Βασικοί Ευρωπαϊκοί στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος έχει διαμορφώσει μια κοινή πολιτική για το κλίμα και την ενέργεια που περιλαμβάνει στόχους προς επίτευξη μέχρι το έτος 2030<sup>[1]</sup>. Οι 3 βασικοί άξονες είναι οι εξής:

1. Μείωση στις εκπομπές αερίων φαινομένου του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 40% από τα επίπεδα του 1990.
2. Συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας τουλάχιστον κατά 27%.
3. Εξοικονόμηση ενέργειας τουλάχιστον κατά 27%.

#### 4.1.2 Σύμφωνο των Δημάρχων

Για την υλοποίηση των στόχων ο κυριότερος θεσμός με τη εθελοντική συμμετοχή τοπικών και περιφερειακών αρχών είναι το Σύμφωνο των Δημάρχων<sup>[2]</sup>. Το Σύμφωνο των Δημάρχων έχει ως κύριο στόχο την επίτευξη και υπέρβαση του στόχου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 20% έως το 2020 και δεσμεύεται για αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η ενσωμάτωση ενός δήμου στο Σύμφωνο των Δημάρχων είναι δωρεάν και δεν υποχρεούται να υποβάλλει συνδρομή κατά την υπογραφή του Συμφώνου, ενώ αυτή πραγματοποιείται εφόσον ο δήμος πληροί τα κριτήρια επιλεξιμότητας που είναι τα εξής:

- Ξεκάθαρο περιεχόμενο ως προς τον στόχο μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub> έως το 2020 (20% ελάχιστος στόχος μείωσης).
- Παροχή των αποτελεσμάτων της Απογραφής Εκπομπών Αναφοράς.
- Σαφές πακέτο μέτρων δράσης.

Συμπερασματικά, τα πλεονεκτήματα από τη συμμετοχή των Δήμων στο σύμφωνο συνοψίζονται παρακάτω:

- Ανάδειξη του Δήμου σε πρότυπο βιώσιμης ανάπτυξης.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε τοπικό επίπεδο.
- Συνεργασία και ανταλλαγή εμπειριών και τεχνογνωσίας με δήμους από όλη την Ευρώπη.
- Δυνατότητα επίτευξης σημαντικών εξοικονομήσεων ενέργειας και χρηματικών πόρων σε τοπικό επίπεδο.
- Δυνατότητα συμμετοχής σε χρηματοδοτικούς μηχανισμούς της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμησης ενέργειας.

### 4.1.3 Διεθνείς συμφωνίες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Η χάραξη κοινής ευρωπαϊκής πολιτικής έχει επισφραγιστεί με διαφορές συμφωνίες κατά την πάροδο των χρόνων. Αρχικά, πρώτη μεγάλη ευρωπαϊκή συμφωνία αποτέλεσε το πρωτόκολλο του Κιότο που υπογράφηκε στην ομώνυμη πόλη το 1997<sup>[3]</sup>. Η σύμβαση αυτή αποτελεί νομική δέσμευση των ανεπτυγμένων χωρών για μείωση των επιβλαβών στην υγεία και το περιβάλλον εκπομπών αερίων. Στο πρωτόκολλο αυτό συμφωνήθηκαν κοινή πολιτική και μέτρα αντιμετώπισης, οργανωμένη παρακολούθηση και καταγραφή δεδομένων, εθνική επικοινωνία και συμμόρφωση στους διεθνείς κανονισμούς.

Το Πρωτόκολλο δεσμεύει τις συμβαλλόμενες χώρες για την μείωση των εκπομπών των 6 αερίων του θερμοκηπίου (εκφρασμένες σε ισοδύναμες εκπομπές CO<sub>2</sub>) τουλάχιστον κατά 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 έως την περίοδο 2008-2012.

Οι συμβαλλόμενες χώρες προσπαθούν να επιτύχουν μέρος των δεσμεύσεων εγχώρια με εθελοντικές συμφωνίες με επιχειρήσεις, με χορηγίες για την υπερνίκηση εμποδίων και με φορολογική πολιτική που ευνοεί την πράσινη ενέργεια.

Με βάση την εφαρμογή του πρωτοκόλλου του Κιότο πραγματοποιούνται στη συνέχεια και άλλες συμφωνίες με στόχο την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και την χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής για το κλίμα οι οποίες επισφραγίστηκαν διαδοχικά στις συνόδους Κοπεγχάγης (2009), Κανκούν (2010), Ντεντμπάν (2011), Ντόχας (2012), Βαρσοβίας (2013), Λίμα (2014) και Παρισίου (2015).

## 4.2 Χρηματοδοτικοί μηχανισμοί

Για την χρηματοδότηση ενός επενδυτικού έργου ο επενδυτής έχει δύο επιλογές. Να στραφεί προς κλασσικές μορφές χρηματοδότησης ή προς σύγχρονους χρηματοδοτικούς μηχανισμούς.

Κλασσική μορφή χρηματοδότησης είναι η αυτοχρηματοδότηση, δηλαδή η χρήση ιδίων κεφαλαίων για την χρηματοδότηση ενός έργου. Δεν αποτελεί ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο καθώς ακόμα και αν είναι διαθέσιμο το απαιτούμενο πόσο υπάρχει περίπτωση η διάθεση του για το έργο να αποκλείσει μια πιο συμφέρουσα επένδυση, η οποία δεν θα είναι δυνατό να επιτευχθεί με άλλους χρηματοδοτικούς μηχανισμούς.

Δεύτερη κλασσική μορφή χρηματοδότησης είναι ο δανεισμός. Το μειονέκτημα σε αυτή τη μορφή χρηματοδότησης είναι ότι η αποπληρωμή του δανείου συνυπολογίζεται στα έξοδα του επενδυτικού φορέα εμφανίζοντας έτσι μειωμένα κέρδη, ενώ παράλληλα σε μια οικονομική δυσχέρεια ο φορέας κινδυνεύει με κατάσχεση της εγκατάστασης ή των όποιων εγγυήσεων.

Από την άλλη πλευρά, οι σύγχρονοι τρόποι χρηματοδότησης, χωρίζονται σε τρεις τομείς:

1. Δημόσιος και Ευρωπαϊκός τομέας
2. Ιδιωτικός τομέας
3. Σύμπραξη δημοσίου και ιδιωτικού τομέα

### 4.2.1 Δημόσιος και Ευρωπαϊκός τομέας

Η συνεισφορά του δημόσιου τομέα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του Πράσινου Ταμείου, του ΕΣΠΑ (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς), ή μέσω διάφορων εθνικών προγραμμάτων που έχουν ως στόχο την προώθηση ανταποδοτικών επενδύσεων.

#### 4.2.1.1 Πράσινο Ταμείο

Σκοπός του Πράσινου Ταμείου<sup>[4]</sup> είναι η ενίσχυση της ανάπτυξης μέσω της προστασίας του περιβάλλοντος με την διαχειριστική, οικονομική, τεχνική και χρηματοπιστωτική υποστήριξη προγραμμάτων, μέτρων, παρεμβάσεων και ενεργειών που αποβλέπουν στην ανάδειξη και αποκατάσταση του περιβάλλοντος, στη στήριξη της περιβαλλοντικής πολιτικής της χώρας και στην εξυπηρέτηση του δημόσιου και κοινωνικού συμφέροντος μέσω της διοίκησης, διαχείρισης και αξιοποίησης των πόρων.

Στις βασικές αρμοδιότητες του Πράσινου Ταμείου ανήκουν:

- Η παρακολούθηση της είσπραξης, ο έλεγχος και η διασφάλιση της απόδοσης των Πράσινων Πόρων, σύμφωνα με τις οικείες σχετικές διατάξεις.
- Η διαμόρφωση προγραμμάτων για τη χρηματοδότηση μέτρων και δράσεων προστασίας, αναβάθμισης και αποκατάστασης του περιβάλλοντος μέσα στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής και ενεργειακής πολιτικής.
- Η αξιολόγηση και επιλογή των προτάσεων και των προς χρηματοδότηση προγραμμάτων, καθώς και η παρακολούθηση και η διασφάλιση της υλοποίησής τους.
- Η οργάνωση και παρακολούθηση των προγραμμάτων και των δράσεων και η δημοσιότητά τους, καθώς και η σύνταξη ετήσιων εκθέσεων για την εκτέλεσή τους.
- Η επιδότηση, επιχορήγηση, χρηματοδότηση και δανειοδότηση οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης, νομικών προσώπων δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, οργανισμών κοινής ωφέλειας ή άλλων οργανισμών ή υπηρεσιών του δημόσιου και του ευρύτερου δημόσιου τομέα.

#### 4.2.1.2 ΕΣΠΑ

Το ΕΣΠΑ (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς) 2014-2020 αποτελεί το βασικό στρατηγικό σχέδιο για την ανάπτυξη της χώρας με τη συνδρομή σημαντικών πόρων που προέρχονται από τα Ευρωπαϊκά Διαρθρωτικά και Επενδυτικά Ταμεία (ΕΔΕΤ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης<sup>[5]</sup>.

Μέσω της υλοποίησης του ΕΣΠΑ επιδιώκεται η αντιμετώπιση των διαρθρωτικών αδυναμιών της χώρας που συνετέλεσαν στην εμφάνιση της οικονομικής κρίσης αλλά και των προβλημάτων, οικονομικών και κοινωνικών που αυτή δημιούργησε. Επίσης, το ΕΣΠΑ 2014-2020 καλείται να συνδράμει στην επίτευξη των εθνικών στόχων έναντι της Στρατηγικής «Ευρώπη 2020» της οποίας στόχος είναι η προαγωγή μιας ανάπτυξης:

- έξυπνης, με αποτελεσματικότερες επενδύσεις στην εκπαίδευση, την έρευνα και την καινοτομία,
- βιώσιμης, χάρη στην αποφασιστική μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, και
- χωρίς αποκλεισμούς, με ιδιαίτερη έμφαση στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στη μείωση της φτώχειας.

Για την χρηματοδότηση του επενδυτικού έργου που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία το κατάλληλο πρόγραμμα είναι το περιφερειακό επιχειρησιακό πρόγραμμα (ΠΕΠ). Τα Περιφερειακά Επιχειρησιακά Προγράμματα (ΠΕΠ) είναι 13, ένα για κάθε μία από τις 13 ελληνικές Περιφέρειες, και περιλαμβάνουν δράσεις περιφερειακής εμβέλειας. Ειδικότερα για ανταποδοτικά έργα ανάπτυξης έχει διαμορφωθεί το επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Υποδομές Μεταφορών, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη» (ΥΜΕΠΕΡΑΑ). Το πρόγραμμα χρηματοδοτεί μέσω των Ταμείων αυτών κυρίως τις βασικές υποδομές των μεταφορών και του περιβάλλοντος.

Οι στόχοι του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Υποδομές Μεταφορών, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη 2014-2020» ως προς τον τομέα των μεταφορών συνίστανται στην προώθηση της ολοκλήρωσης των υποδομών του βασικού Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών (οδικών, σιδηροδρομικών, λιμένων, αεροδρομίων), την προώθηση των συνδυασμένων μεταφορών και τον εκσυγχρονισμό του συστήματος μεταφορών, τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, καθώς και την ανάπτυξη βιώσιμων και οικολογικών αστικών μεταφορών για την ενίσχυση της βιώσιμης αστικής κινητικότητας.

Στον τομέα του περιβάλλοντος οι στόχοι συνίστανται στην προστασία και αξιοποίηση του περιβάλλοντος, ως μέσου για την υποστήριξη της μετάβασης της χώρας σε μία οικονομία φιλική στο περιβάλλον με ταυτόχρονη υποστήριξη της δημιουργίας ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων στο σύνολο των τομέων της οικονομίας, τη διευκόλυνση της προσέλκυσης επενδύσεων, και την παροχή ευκαιριών άσκησης επιχειρηματικών δραστηριοτήτων στον ίδιο τον τομέα του περιβάλλοντος.

#### 4.2.1.3 ELENA (European Local ENergy Assistance)

Το πρόγραμμα ELENA<sup>[6]</sup> είναι ένας τεχνικός μηχανισμός που υλοποιείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και προσφέρει την απαραίτητη τεχνική βοήθεια έτσι ώστε να προσελκύσει χρηματοδότηση από άλλους φορείς όπως οι εταιρίες ενεργειακών υπηρεσιών, ο τραπεζικός δανεισμός και η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων. Ο Μηχανισμός καλύπτει μέχρι το 90% του κόστους της τεχνικής βοήθειας για την προετοιμασία μεγάλων επενδυτικών προγραμμάτων βιώσιμης ενέργειας σε αστικές και περιφερειακές περιοχές.

Για την παροχή της τεχνικής βοήθειας από το πρόγραμμα αυτό πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Αρχικά, επειδή χρηματοδοτείται μόνο η τεχνική υποστήριξη χρειάζεται να υπάρχει δυνητικό ενδιαφέρον από έναν χρηματοδοτικό φορέα και επιπλέον να



υπάρχει η οικονομική και η τεχνική ικανότητα του φορέα να το ολοκληρώσει. Επιπλέον, η μέγιστη διάρκεια του έργου υπολογίζεται στα 3 χρόνια και απαραίτητο είναι το ύψος της επένδυσης να είναι 25 φορές μεγαλύτερο από το ύψος της αιτούμενης βοήθειας από το ELENA. Τέλος, επιβάλλεται να γίνει χρήση σύγχρονων τεχνολογιών έτσι ώστε το έργο να συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

#### 4.2.2 Ιδιωτικός τομέας

Όσον αφορά τον ιδιωτικό τομέα ο πιο σημαντικός τρόπος με τον οποίον μπορεί να υλοποιηθεί η χρηματοδότηση μιας επένδυσης είναι μέσω των εταιρειών ενεργειακών υπηρεσιών (E.E.Y.) ή ESCo (Energy Service Companies).

Πιο συγκεκριμένα, οι επιχειρήσεις ενεργειακών υπηρεσιών έχουν ως στόχο την διασφάλιση της χρηματοδότησης ενός ανταποδοτικού έργου με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι συνηθέστεροι τρόποι αποπληρωμής<sup>[1]</sup> είναι οι εξής:

##### 1. Συμμετοχή στα εξοικονομούμενα κέρδη (Shared savings).

Οι ακαθάριστες χρηματοροές που δημιουργούνται από την επένδυση, είτε ως αποφευχθέν κόστος είτε υπό την μορφή πωλήσεων, καταμερίζονται μεταξύ του ανάδοχου και του χρήστη. Ο καταμερισμός υπολογίζεται σε ποσοστά και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 50/50 και 80/20 (το 80% των χρηματοροών απολαμβάνει ο ανάδοχος). Η συνήθης διάρκεια των εν λόγω συμβάσεων κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10 ετών. Αν δεν δημιουργηθούν κέρδη ή είναι λιγότερα των αναμενομένων από την επένδυση, το συνολικό κόστος βαρύνει τον ανάδοχο.

##### 2. Εγγυημένη εξοικονόμηση (Guaranteed savings).

Αποτελεί έναν εναλλακτικό διακανονισμό ως προς την χρηματοδότηση από τρίτους (XAT) και είναι ο πλέον εύκολα αντιληπτός. Ο χρήστης πληρώνει στο ανάδοχο συγκεκριμένο προσυμφωνημένο ποσό σε τακτά χρονικά διαστήματα. Υπάρχει, όμως, εγγύηση του ανάδοχου ως προς τα κέρδη και η οποία συνδέεται άμεσα με τις χρηματοροές που δημιουργεί η επένδυση. Συγκεκριμένα, η καθαρή χρηματοροή δεν μπορεί να είναι αρνητική δηλαδή η εισροή που δημιουργείται δεν μπορεί να είναι μικρότερη από το προσυμφωνημένο ποσό που εισπράττει ο ανάδοχος.

##### 3. Καθολική αποπληρωμή (First out).

Στην περίπτωση αυτή ο ανάδοχος εισπράττει το 100% των ακαθάριστων χρηματοροών που δημιουργεί η επένδυση, είτε μέχρι να αποπληρωθεί το επενδύμενο κεφάλαιο μέσω των κερδών είτε μέχρι να λήξει η σύμβαση. Οι συμβάσεις αυτού του τύπου έχουν συνήθως διάρκεια 5 ετών. Αν κατά τη λήξη της σύμβασης δεν έχει αποπληρωθεί στο 100% η επένδυση το συνολικό κόστος βαρύνει τον ανάδοχο.

Τα πλεονεκτήματα για τον τελικό χρήστη από τα παραπάνω χρηματοδοτικά σχήματα είναι πολύ σημαντικά. Ενδεικτικά, αποφεύγεται το μεγάλο επενδυτικό κόστος καθώς χρησιμοποιείται η οικονομική αξία του έργου ως εγγύηση και μεταβιβάζονται οι τεχνολογικοί και οικονομικοί κίνδυνοι στην E.E.Y. που έχει την εμπειρία σε τέτοιου είδους τεχνικά και οικονομικά έργα.

Από την άλλη, τα εμπόδια που δύναται να προκύψουν σε αυτό το πλάνο χρηματοδότησης υπόκεινται στην υφιστάμενη οικονομική κρίση στον ελλαδικό αλλά και

στον ευρωπαϊκό χώρο και στην μικρή εμπειρία χρηματοδοτούμενων έργων με αυτό τον τρόπο, ενώ οι μειωμένες επενδυτικές δυνατότητες και η δυσπιστία σε αυτό το μοντέλο από τους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς λόγω της έλλειψης ενημέρωσης καθώς και η έλλειψη ενεργειακών δεδομένων καθιστούν δύσκολη την σχεδίαση πλάνου αναφοράς.

Ένας παρόμοιος μηχανισμός χρηματοδότησης είναι η σύναψη σύμβασης χρηματοδότησης με τον πάροχο ηλεκτρισμού. Πιο συγκεκριμένα, το αρχικό κεφάλαιο επενδύεται από τον πάροχο και η απόσβεση γίνεται μέσω των λογαριασμών ρεύματος.

Ένας άλλος τρόπος χρηματοδότησης είναι οι χρηματοδοτικές μισθώσεις όπου η περιφέρεια δεν αγοράζει τον εξοπλισμό αλλά τον μισθώνει με αποτέλεσμα έτσι να επιμερίζει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης για μεγάλο χρονικό διάστημα ούτως ώστε να μειώσει το αρχικά απαιτούμενο κεφάλαιο. Στην περίπτωση αυτή για τον σχεδιασμό, την εκπόνηση και την συντήρηση της εγκατάστασης είναι υπεύθυνοι οι αρμόδιοι φορείς της περιφέρειας.

Τέλος, μια λύση για την διάθεση των απαραίτητων αρχικών κεφαλαίων για την επένδυση είναι και η χρηματοδότηση από τρίτους. Σε αυτή την περίπτωση ο ιδιωτικός φορέας αναλαμβάνει να εξασφαλίσει την χρηματοδότηση του έργου με ίδια κεφάλαια και δανεισμό, του οποίου εγγυάται την αποπληρωμή η οποία πραγματοποιείται μέσω των εσόδων που παράγονται από την εξοικονόμηση ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση το έργο σχεδιάζει, κατασκευάζει και λειτουργεί με ευθύνη του ο ιδιωτικός φορέας.

### 4.3 Έργα αναβάθμισης οδοφωτισμού

Την τελευταία δεκαετία έχουν υλοποιηθεί δεκάδες προγράμματα που παρουσιάζουν μεγάλες εξοικονομήσεις ενέργειας και κόστους σε συνδυασμό με τη βελτίωση του οπτικού αποτελέσματος. Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ενδεικτικά τρία τέτοια αντιπροσωπευτικά έργα αναβάθμισης δικτύων φωτισμού με την εγκατάσταση φωτιστικών τεχνολογίας LED και την παράλληλη εφαρμογή συστημάτων κεντρικής διαχείρισης ελέγχου και παρακολούθησης.

*Bellingham, Washington, USA<sup>[7]</sup>*



Εικόνα 4.3: Νυχτερινή άποψη της πόλης του Bellingham.

Ο δήμαρχος της πόλης κήρυξε το 2016 "Έτος Ενέργειας" εν μέσω μιας συντονισμένης προσπάθειας σε όλη την πόλη να επιτευχθεί μείωση του τοπικού ενεργειακού κόστους και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα μέσω της ανάλογης μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας.

Για την δημιουργία μια σύγχρονης, φωτεινής και ενεργειακά αποδοτικής πόλης, η πόλη του Bellingham αντικατέστησε τα 3.600 φωτιστικά της πόλης καθώς και την υποδομή του δικτύου φωτισμού με νέα φωτιστικά LED με ενσωματωμένες ολοκληρωμένες λύσεις ελέγχου ασύρματης και ενσύρματης δικτύωσης. Αναμένεται ότι το νέο σύστημα φωτισμού θα μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 70% ή 1,8 εκατομμύρια kWh μέχρι το έτος 2020.

Η εγκατάσταση των φωτιστικών σωμάτων πραγματοποιήθηκε στους υφιστάμενους ιστούς και η διαχείριση του δικτύου φωτισμού πραγματοποιείται μέσω ασύρματου κεντρικού συστήματος διαχείρισης. Με την υιοθέτηση αυτής της στρατηγικής και έξυπνης λύσης που προσφέρει ευελιξία, η πόλη διασφαλίζει την εκπλήρωση όλων των λειτουργικών και βιώσιμων στόχων της στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας.



Εικόνα 4.1: Άποψη της νέας εγκατάστασης οδοφωτισμού σε δρόμο του Cambridge

Το Cambridge με επιτυχία υλοποίησε την αντικατάσταση υφιστάμενης εγκατάστασης οδοφωτισμού με νέα φωτιστικά τύπου LED με δυνατότητες προσαρμοστικού φωτισμού με στόχο τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και της μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Ενώ ορισμένες πόλεις περιορίζονται σε κάποιες πιλοτικές εφαρμογές, η πόλη του Cambridge υιοθέτησε μια ολοκληρωμένη λύση έξυπνων τεχνολογιών φωτισμού με φωτιστικά LED σε ολόκληρο το δίκτυο φωτισμού της πόλης εκμεταλλευόμενη σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες προσαρμογής του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών.

Στο πλαίσιο της αμερικάνικης «πρωτοβουλίας βιωσιμότητας», η πόλη ανέπτυξε το σχέδιό της και δεσμεύθηκε να μειώσει τα επίπεδα των εκπομπών του CO<sub>2</sub> σε σχέση με τα επίπεδα των εκπομπών του έτους 2008 κατά 20% έως το 2013 κερδίζοντας τον τίτλο Πράσινης Πόλης (Green City) από την Κοινοπολιτεία της Μασαχουσέτης. Το εξεταζόμενο έργο οδοφωτισμού αποτελεί κομμάτι που συνεισφέρει σημαντικά σε αυτή την πρωτοβουλία με παράλληλο στόχο την μείωση του κόστους συντήρησης και τη καλύτερη διαχείριση των υποδομών της πόλης.

Ξεκινώντας από το καλοκαίρι του 2014, η πρώτη φάση της εγκατάστασης κράτησε εννιά μήνες μέχρι να ολοκληρωθεί. Η αναβάθμιση περιελάμβανε την αντικατάσταση 4.900 φωτιστικών με φωτιστικά LED. Κάθε φωτιστικό σώμα περιλαμβάνει ασύρματο ελεγκτή που συνδέεται μέσω δικτύου με το λογισμικό του κεντρικού συστήματος διαχείρισης. Η δεύτερη φάση που άρχισε το καλοκαίρι του 2015 και ολοκληρώθηκε το 2016 περιλαμβάνει την εγκατάσταση 2.100 διακοσμητικών φωτιστικών χρησιμοποιώντας μία ποικιλία φωτιστικών LED και σύστημα ελέγχου προσαρμοστικού φωτισμού.

Η επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση ενέργειας από την αντικατάσταση ανέρχεται σε 80% και η επακόλουθη εξοικονόμηση κόστους υπολογίζεται σε περίπου 500.000\$ ανά έτος ενώ λόγω της σημαντικής αυτής εξοικονόμησης κόστους η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης υπολογίζεται στα 4,36 έτη.

Συμπερασματικά, η πόλη επωφελείται από τον συνεπή και κατάλληλο φωτισμό στο σύνολο της. Το βελτιωμένο χρώμα και το μεγαλύτερο επίπεδο ομοιομορφίας, η μειωμένη θάμβωση και η βελτιωμένη απόδοση χρώματος αυξάνουν την ορατότητα και την ασφάλεια στους δρόμους και τα πεζοδρόμια ενώ μειώνεται η οπτική όχληση στα σπίτια και στις ιδιοκτησίες με τη χρήση εξειδικευμένων οπτικών μέσων και ειδικών προγραμμάτων προσαρμοστικού φωτισμού που ρυθμίζουν τα επίπεδα φωτισμού καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας.



Εικόνα 4.2: Άποψη της νέας εγκατάστασης οδοφωτισμού σε δρόμο του Szczecin.

Η πολωνική πόλη Szczecin, είναι η έβδομη πολυπληθέστερη πόλη στην Πολωνία με πληθυσμό μεγαλύτερο των 400.000 κατοίκων. Προκειμένου να ενισχυθεί η ελκυστικότητα και η ανταγωνιστικότητά της πόλης, οι δημοτικές αρχές χρηματοδότησαν στο πλαίσιο του ενεργειακά αποδοτικού προγράμματος για τον οδικό φωτισμό του Πολωνικού Σχεδίου Πράσινων Επενδύσεων, το έργο αντικατάστασης του υπάρχοντος φωτισμού του δρόμου με ένα σύγχρονο, φιλικό προς το περιβάλλον, και οικονομικό σύστημα. Προς αυτό το σκοπό το Εθνικό Ταμείο για την Προστασία του Περιβάλλοντος και τη Διαχείριση των Υδάτων επιχορήγησε το 45% του συνολικού λογαριασμού ενέργειας της πόλης.

Κατά την υλοποίηση του έργου πραγματοποιήθηκε η αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης με σύγχρονα LED φωτιστικά στο κέντρο της πόλης, σε έναν αριθμό κεντρικών πλατειών και λεωφόρων της πόλης καθώς και κατά μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής Oder West. Από τον Σεπτέμβριο του 2014 εγκαταστάθηκαν συνολικά 4.985 φωτιστικά LED, από τα οποία τα 1.888 διαχειρίζονται από το λογισμικό ασύρματης κεντρικής διαχείρισης. Η σύνδεση τους με το λογισμικό αυτό δίνει τη δυνατότητα μετατροπής του δικτύου φωτισμού σε ένα έξυπνο σύστημα κεντρικά ελεγχόμενο από τον διαχειριστή του συστήματος με υψηλό επίπεδο ευελιξίας. Τα μεμονωμένα φωτιστικά μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν καθώς και να προσαρμοστούν σε οποιοδήποτε επίπεδο φωτισμού οποιαδήποτε στιγμή, σύμφωνα με ένα ημερήσιο ή εποχιακό ημερολόγιο.

Το ασύρματο σύστημα κεντρικής διαχείρισης παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας και την κατανάλωση ενέργειας κάθε φωτιστικού, ενώ στέλνει αυτόματα ειδοποιήσεις σφαλμάτων. Σε περίπτωση βλαβών του φωτιστικού, το συνεργείο συντήρησης μπορεί να ενημερωθεί αμέσως, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα συντήρησης καθώς και την παρεχόμενη υπηρεσία φωτισμού.

Η αναβάθμιση αυτή μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τουλάχιστον 50% σε σύγκριση με το προηγούμενο σύστημα φωτισμού με φωτιστικά νατρίου επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση 360.000 ευρώ ετησίως. Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας μεταφράζεται άμεσα σε μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> περίπου 7.000 τόνων ετησίως.





## Κεφάλαιο Πέμπτο: Οικονομοτεχνική μελέτη οδοφωτισμού λεωφόρου Μεσογείων

### 5.1 Η Μεσογείων



Εικόνα 5.1: Νυχτερινή άποψη της λεωφόρου Μεσογείων.

Το αντικείμενο της μελέτης είναι η λεωφόρος Μεσογείων από την συμβολή με την οδό Μιχαλακοπούλου έως και το τέρμα της, την συμβολή με την λεωφόρο Λαυρίου, σημείο όπου η προέκτασή της αποτελεί τη λεωφόρο Μαραθώνος.

Η λεωφόρος Μεσογείων αποτελεί κύριο οδικό άξονα της Αθήνας, που συνδέει το κέντρο της πρωτεύουσας με τα Μεσόγεια. Έχει μήκος περίπου 8 χιλιομέτρων και είναι μέρος της Εθνικής Οδού 54.

Από τα μέσα του εικοστού αιώνα, οπότε και οριστικοποιήθηκε το μήκος της, η λεωφόρος Μεσογείων αποτέλεσε εργαλείο ανάπτυξης των γύρω περιοχών. Η χάραξή της αποτελεί φυσικό όριο μεταξύ αρκετών δήμων της Αττικής (Χαλανδρίου, Φιλοθέης - Ψυχικού, Παπάγου - Χολαργού, Αγίας Παρασκευής), ενώ εντάσσεται στα όρια του μεγάλου δακτυλίου.

Κατά μήκος της συναντά κανείς μερικά από τα πιο αναγνωρίσιμα κτίρια της Αθήνας, όπως το «Ραδιομέγαρο» της ΕΡΤ, το συγκρότημα του υπουργείου Εθνικής Άμυνας («στρατόπεδο Παπάγου»), το υπουργείο Μεταφορών, τον Πύργο των Αθηνών (το ψηλότερο κτίριο στην Ελλάδα), το Εθνικό Νομισματοκοπείο, αλλά και πλήθος νοσοκομείων, όπως το «Ερρίκος Ντυνάν», το Γενικό Κρατικό «Γεώργιος Γεννηματάς» και το Γενικό Νοσοκομείο Νοσημάτων Θώρακος «Η Σωτηρία».

Η λεωφόρος Μεσογείων εξυπηρετείται από πλήθος μέσων μαζικής μεταφοράς, με πιο αξιοσημείωτο την Γραμμή 3 του μετρό, η οποία διαθέτει τέσσερις σταθμούς επί της λεωφόρου. Με τρεις λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, εξυπηρετεί πάνω από 100.000 οχήματα καθημερινά, ενώ συνδέεται με πολλούς κεντρικούς άξονες, όπως τις λεωφόρους Βασιλίσσης Σοφίας, Κατεχάκη, Χαλανδρίου, Λαυρίου και Μαραθώνος.<sup>[1]</sup>

Ο οδοφωτισμός της λεωφόρου Μεσογείων στο υπό εξέταση τμήμα βρίσκεται στην δικαιοδοσία της περιφέρειας Αττικής. Ο οδοφωτισμός αποσκοπεί στην εξυπηρέτηση των διερχόμενων οχημάτων κινούμενων κατά μήκος της λεωφόρου και εισερχομένων σε αυτήν καθώς και των πεζών που κινούνται παραπλεύρως και την διασχίζουν καθέτως από τις διαβάσεις πεζών. Ο μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος και η κομβικότητα της λεωφόρου καθιστούν απαραίτητη την πλήρη εναρμόνιση με τις απαιτήσεις οδοφωτισμού έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής κυκλοφορία των χρηστών.

## 5.2 Διαδικασία μελέτης

Κατά την υλοποίηση της παρούσας μελέτης ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

1. Αποτύπωση δικτύου οδοφωτισμού
  - Γεωγραφικές συντεταγμένες φωτιστικών σημείων.
  - Ύψος ιστού και αριθμός φωτιστικών σωμάτων που φέρει.
  - Ύψος ανάρτησης φωτιστικού και προβολή φωτιστικού στο οδόστρωμα.
  - Τύπος, ισχύς και λειτουργική κατάσταση λαμπτήρα.
  - Φωτογραφία φωτιστικού.
2. Προσδιορισμός των απαιτήσεων φωτισμού της οδού σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201:2015
  - Παραμετροποίηση της λεωφόρου.
  - Επιλογή αντιπροσωπευτικών καννάβων.
  - Αξιολόγηση και καθορισμός των κλάσεων φωτισμού για κάθε κάνναβο.
3. Φωτοτεχνική μελέτη βελτιστοποίησης για κάθε αντιπροσωπευτικό κάνναβο με τη χρήση του λογισμικού DIALUX.
  - Δημιουργία της γεωμετρίας του δρόμου.
  - Υπολογισμός συντελεστή συντήρησης.
  - Επιλογή και εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων.
  - Προσομοίωση του φωτισμού και έλεγχος συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του προτύπου.
4. Εφαρμογή κεντρικής διαχείρισης του δικτύου φωτισμού
  - Σχεδιασμός προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.
  - Υπολογισμός απαραίτητου εξοπλισμού και λογισμικού συστήματος ελέγχου.
5. Υπολογισμός κατανάλωσης ισχύος και ενέργειας
  - Υπολογισμός κατανάλωσης ισχύος και ενέργειας υφιστάμενης εγκατάστασης.
  - Υπολογισμός αναμενόμενης κατανάλωσης ισχύος και ενέργειας προτεινόμενης εγκατάστασης απουσία προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.
  - Υπολογισμός αναμενόμενης κατανάλωσης ισχύος και ενέργειας προτεινόμενης εγκατάστασης με χρήση προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.
  - Υπολογισμός εξοικονόμησης ισχύος και ενέργειας ανά εγκατάσταση
6. Σχεδιασμός προγράμματος συντήρησης δικτύου
7. Οικονομικός υπολογισμός εγκατάστασης
  - Υπολογισμός κόστους λειτουργίας και συντήρησης υφιστάμενης εγκατάστασης.
  - Υπολογισμός κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης προτεινόμενης εγκατάστασης απουσία προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.
  - Υπολογισμός κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης προτεινόμενης εγκατάστασης με τη χρήση προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.
  - Συγκριτική αξιολόγηση κόστους και εξοικονόμηση χρήματος ανά εγκατάσταση.
8. Οικονομοτεχνική αξιολόγηση των προτεινομένων λύσεων.
  - Εφαρμογή κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) για τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης, του αποδιδόμενου κέρδους και του δείκτη επιστροφής κεφαλαίου.
9. Εξαγωγή συμπερασμάτων για τα οφέλη και την σκοπιμότητα της δράσης.



### 5.2.1 Η υφιστάμενη Εγκατάσταση

Κατά την επιτόπια μελέτη αναγνωρίζονται 760 φωτιστικά υψηλής πίεσης Νατρίου HPS ισχύος 400 Watt, στην πλειοψηφία τους τοποθετημένα επί της μεσαίας νησίδας ανά δύο σε ύψος ανάρτησης 12 μέτρων και σε απόσταση 35 μέτρων μεταξύ των ιστών όπως φαίνεται στην *Εικόνα 5.2*.



Εικόνα 5.2: Ιστός 12 μέτρων με δύο φωτιστικά σώματα HPS των 400 W.

Εξαίρεση αποτελούν:

- μεγάλες διασταυρώσεις όπου υπάρχει πρόβλεψη για επιπλέον φωτισμό με ανάρτηση τρίτου φωτιστικού στον παρακείμενο της διασταύρωσης ιστό, στραμμένου στην διασταύρωση.
- διασταυρώσεις συμβολής με μεγάλες λεωφόρους όπου το μέγεθος της φωτιζόμενης περιοχής μεγαλώνει και απαιτούνται επιπλέον ιστοί για την παροχή κατάλληλου επιπέδου φωτισμού και ομοιομορφίας.
- ο φωτισμός του παράλληλου στη λεωφόρου βοηθητικού δρόμου (παράδρομος) ο οποίος γίνεται με μονά φωτιστικά αναρτημένα σε ύψος 10 μέτρων και σε απόσταση 30 μέτρων μεταξύ τους.
- οι υπόγειες διαβάσεις αυτοκινήτων ανισόπεδων κόμβων στη συμβολή με λεωφόρο Κατεχάκη και λεωφόρο Λαυρίου όπου ο φωτισμός γίνεται με επί της οροφής φωτιστικά σώματα σύμφωνα με το πρότυπο φωτισμού ΕΛΟΤ CR 14380.

Στην υφιστάμενη εγκατάσταση παρατηρούνται προβλήματα που καθιστούν αναγκαία την αναθεώρηση και αναβάθμιση της εγκατάστασης του φωτισμού. Τα προβλήματα αυτά είναι:

- 1) Πλεονάζων φωτισμός που δεν ακολουθεί το αναθεωρημένο πρότυπο φωτισμού ΕΛΟΤ EN 13201. Στην πράξη έχει επιλεγεί ένας ενιαίος σχεδιασμός εγκατάστασης με φωτιστικά 400 Watt ο οποίος είναι ενεργειακά και οικονομικά δαπανηρός (όπως θα φανεί παρακάτω φτάνει έως και 4 με 5 φορές παραπάνω από την επιθυμητή ένταση φωτισμού σε συγκεκριμένα τμήματα του δρόμου) ενώ κατά τόπους δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες ομοιομορφίας του προτύπου.
- 2) Η απουσία σχήματος προσαρμοστικού φωτισμού για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας και η περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου και παρακολούθησης της εγκατάστασης καθώς ο διαχειριστής μπορεί να ελέγχει μόνο την έναυση και την λήξη του φωτισμού.
- 3) Αυξημένο κόστος συντήρησης λόγω της μικρής διάρκειας ζωής, της ανάγκης δηλαδή για μικρό κύκλο συντήρησης της εγκατάστασης και συνεχή επιτόπια παρακολούθηση για τον εντοπισμό σφαλμάτων. Αυτό δε μεταφράζεται σε προβλήματα εξυπηρέτησης (service loss), απόρροια της απουσίας κεντρικού συστήματος διαχείρισης και της έλλειψης οργανωμένου πλάνου συντήρησης της εγκατάστασης. Ενδεικτικά κατά

μήκος της λεωφόρου παρατηρούνται την περίοδο εκπόνησης της μελέτης 98 μη λειτουργικά φωτιστικά από τα 760 της εγκατάστασης, κάτι που μεταφράζεται σε περίπου 13% service loss. Στο πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα, στον ανισόπεδο κόμβο της συμβολής με την λεωφόρο Κατεχάκη, παρατηρούνται:

- 14 φωτιστικά σώματα από τα οποία τα 10 δεν λειτουργούν στην ράμπα της σήραγγας της λεωφόρου Μεσογείων στην πλευρά προς τα Μεσόγεια,
- 25 φωτιστικά σώματα από τα οποία τα 14 δεν λειτουργούν στις ράμπες εισόδου και εξόδου της διασταύρωσης στην πλευρά προς τα Μεσόγεια,
- 7 φωτιστικά σώματα από τα οποία τα 2 δεν λειτουργούν στην ράμπα της σήραγγας της λεωφόρου Μεσογείων στην πλευρά προς Αθήνα ενώ 3 ιστοί απουσιάζουν από τη βάση τους στο ρεύμα εισόδου της σήραγγας.

Συνέπεια αυτών των λειτουργικών προβλημάτων είναι η μεγάλη ποιοτική υποβάθμιση του φωτισμού τοπικά όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 5.3*.



Εικόνα 5.3: Ράμπες εισόδου και εξόδου της σήραγγας του ανισόπεδου κόμβου στη συμβολή της λεωφόρου Μεσογείων με την λεωφόρο Κατεχάκη.

## 5.2.2 Η προτεινόμενη εγκατάσταση

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων και με κύριους γνώμονες την εξοικονόμηση ενέργειας και την εναρμόνιση με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 προτείνεται η αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών σωμάτων με νέα σύγχρονα LED φωτιστικά και η εγκατάσταση συστήματος διαχείρισης που περιλαμβάνει ελεγκτές φωτιστικών (Luminaire Controller), ελεγκτές τομέα (Segment Controller) και λογισμικό κεντρικής διαχείρισης του δικτύου (CMS).

Η προτεινόμενη εγκατάσταση αντιμετωπίζει τα προαναφερθέντα προβλήματα ως εξής:

1. Αυξημένες δυνατότητες επίτευξης των ελαχίστων ορίων του προτύπου σε ένταση φωτισμού και λαμπρότητα λόγω της ποικιλίας επιλογών σε φωτεινή ένταση και ισχύ όπως και σε ομοιομορφία μέσω των διαφορετικών κατανομών έντασης που προσφέρονται από την ποικιλία οπτικών μέσων (φακών). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση και ακρίβεια στην προσφερόμενη υπηρεσία.
2. Με τις αυξημένες δυνατότητες ελέγχου της ισχύος και κατ' επέκταση της φωτεινής ροής του φωτιστικού, και σε αρμονία με τις προβλέψεις του προτύπου για προσαρμοστικό φωτισμό, δίνεται η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέσω του καθορισμού της κατάλληλης κλάσης φωτισμού ανάλογα με τις ανάγκες του δρόμου σύμφωνα με τον κυκλοφοριακό φόρτο. Η προτεινόμενη εγκατάσταση αξιοποιεί τις δυνατότητες των LED φωτιστικών για ενσωμάτωση τεχνολογιών CLO, SDLO, VPO, και δυνατότητα ανταπόκρισης στον κύκλο φυσικού φωτισμού έτσι ώστε το δίκτυο φωτισμού να λειτουργεί στο επιθυμητό επίπεδο φωτισμού με την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ ανά δεδομένη χρονική στιγμή, πετυχαίνοντας την μέγιστη εξοικονόμηση.

Το κόστος συντήρησης μειώνεται σε μεγάλο βαθμό λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής των LED φωτιστικών, του μικρού ποσοστού καταστροφικών σφαλμάτων και του βελτιωμένου συντελεστή συντήρησης, ενώ οι δυνατότητες εποπτείας του συστήματος εκμηδενίζουν τις ανάγκες για επιτόπια παρακολούθηση για εντοπισμό σφαλμάτων.

### 5.3 Κατηγοριοποίηση της Μεσογείων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201

Κατά την μελέτη της λεωφόρου Μεσογείων χρησιμοποιούνται οι ήδη υπάρχοντες ιστοί για την ανάρτηση φωτιστικών σωμάτων καθώς η εγκατάστασή τους ακολουθεί την κλασική γεωμετρία εγκαταστάσεων οδοφωτισμού και η αλλαγή της γεωμετρίας τους αποτελεί ένα περιττό έξοδο που δεν προσφέρεται για την βελτιστοποίηση της εγκατάστασης.

Στη λεωφόρο παρατηρούνται δύο διαφορετικά τμήματα Μ κλάσης σύμφωνα με την διαφοροποίηση σε πυκνότητα διασταυρώσεων. Αυτά είναι:

1. Το 1<sup>ο</sup> τμήμα της λεωφόρου από την διασταύρωση της λεωφόρου Μεσογείων με την οδό Μιχαλακοπούλου έως την πλατεία Αγίας Παρασκευής και την διασταύρωση με την οδό Αγίου Ιωάννου, μήκους 5,6 χιλιομέτρων. Χαρακτηρίζεται εφεξής ως **“Κάνναβος 1”**.
2. Το 2<sup>ο</sup> τμήμα της λεωφόρου από πλατεία Αγίας Παρασκευής και την διασταύρωση με την οδό Αγίου Ιωάννου έως το τέρμα της Λεωφόρου Μεσογείων και την διασταύρωση με την Λεωφόρο Λαυρίου, τμήμα μήκους 2 χιλιομέτρων. Χαρακτηρίζεται εφεξής ως **“Κάνναβος 2”**.

Σε αυτά τα τμήματα παρατηρείται πλήθος διασταυρώσεων οι οποίες χαρακτηρίζονται ως C κλάσης και οι οποίες αξιολογούνται σύμφωνα με το πρότυπο μέσω της αντίστοιχης Μ κλάσης. Περαιτέρω χαρακτηρισμός θεωρήθηκε απαραίτητος για την διεξαγωγή της φωτομετρικής μελέτης ανάλογα με την γεωμετρία της διασταύρωσης. Πιο συγκεκριμένα οι διασταυρώσεις του καννάβου 1, οι οποίες σε σύνολο χαρακτηρίζονται εφεξής ως **“Κάνναβος 3”** και οι διασταυρώσεις του καννάβου 2, οι οποίες σε σύνολο χαρακτηρίζονται εφεξής ως **“Κάνναβος 4”**, αξιολογούνται με επιτόπια παρατήρηση και σχεδιάζονται μέσω ορθοφωτογραφιών του ελληνικού κτηματολογίου<sup>[2]</sup> και του σχεδιαστικού προγράμματος Dialux, σύμφωνα με την παρακάτω κατηγοριοποίηση:

1. Μεσογείων – Κατεχάκη.

Πρόκειται για κεντρική διασταύρωση δύο μεγάλων λεωφόρων μεγάλης κυκλοφορίας. Η ίδια η διασταύρωση χαρακτηρίζεται από μεγάλη επιφάνεια, ιδιαίτερη γεωμετρία, και συγκεκριμένη θέση ιστών φωτιστικών σωμάτων. Χαρακτηρίζεται ως **κάνναβος 3.1**.

2. Μεσογείων – Κύπρου.

Πρόκειται για ιδιαίτερη διασταύρωση καθώς εδώ βρίσκονται η είσοδος του υπουργείου Εθνικής Άμυνας και σημαντικές στάσεις των μέσων μαζικής μεταφοράς. Χαρακτηρίζεται ως **κάνναβος 3.2**.

3. Διασταυρώσεις πλάτους 25 μέτρων και διαβάσεις πλάτους 6 μέτρων κάθετα στη Μεσογείων και 3 μέτρων παραλλήλως.

Αποτελούν την πλειοψηφία των διασταυρώσεων της Μεσογείων. Έχουν δύο ιστούς τοποθετημένους επί της νησίδας και διαφοροποιούνται ως προς το μήκος της διασταύρωσης, δηλαδή την απόσταση μεταξύ των δύο ιστών επί της Μεσογείων. Συνεπώς ομαδοποιούνται και χαρακτηρίζονται ως εξής:

Κάνναβος 3.3.1.A:	Μήκος διασταύρωσης 20 μέτρων.
Κάνναβος 3.3.1.B:	Μήκος διασταύρωσης 20 μέτρων, 1 κεντρικός ιστός.
Κάνναβος 3.3.2:	Μήκος διασταύρωσης 25 μέτρων.
Κάνναβος 3.3.3:	Μήκος διασταύρωσης 30 μέτρων.
Κάνναβος 3.3.4:	Μήκος διασταύρωσης 35 μέτρων.
Κάνναβος 4.3.1.B:	Μήκος διασταύρωσης 20 μέτρων, 1 κεντρικός ιστός.
Κάνναβος 4.3.2:	Μήκος διασταύρωσης 25 μέτρων.
Κάνναβος 4.3.3:	Μήκος διασταύρωσης 30 μέτρων.

Συνοπτικά οι διασταυρώσεις χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Χαρακτηρισμός διασταυρώσεων με βάση το μήκος τους.

<b>Διασταύρωση</b>	<b>Μήκος</b>	<b>Κάνναβος</b>
Σλήμαν	28	3.3.3
Ρούσου	28	3.3.3
Ξενοπούλου	23	3.3.2
Χαριτωνίδου	31	3.3.3
Αναστάσεως	35	3.3.4
Δημοκρατίας	30	3.3.3
Αγίου Ιωάννη Θεολόγου	35	3.3.4
Ξάνθου	28	3.3.3
Τζαβέλλα	20	3.3.1.B
Περικλέους	23	3.3.2
Ηρώων Πολυτεχνείου Α	35	3.3.4
Φανερωμένης	35	3.3.4
17 <sup>ης</sup> Νοέμβρη	35	3.3.4
Λευκωσίας	28	3.3.3
Αρκαδίου	35	3.3.4
Μετρό Νομισματοκοπείου	25	3.3.2
Σολωμού	25	3.3.2
Ηπείρου	34	3.3.4
Ειρήνης	35	3.3.4
Ηρώων Πολυτεχνείου Β	20	3.3.1.A
Αγίου Ιωάννου	24	3.3.2
ΕΡΤ	30	4.3.3
Αγίας Τριάδος	30	4.3.3
Δήμητρας	25	4.3.2
Αγελάου	20	4.3.1.B

Για πληρότητα παρατίθεται και η ανά κάνναβο ομαδοποίηση:

3.3.1.A: Ηρώων Πολυτεχνείου Β

3.3.1.B: Τζαβέλλα

3.3.2: Ξενοπούλου, Περικλέους, Μετρό Νομισματοκοπείου, Σολωμού, Αγίου Ιωάννου

3.3.3: Σλήμαν, Ρούσου, Χαριτωνίδου, Δημοκρατίας, Ξάνθου, Λευκωσίας

3.3.4: Αναστάσεως, Αγίου Ιωάννη Θεολόγου, Ηρώων Πολυτεχνείου Α, Φανερωμένης, 17<sup>ης</sup> Νοέμβρη, Αρκαδίου, Ηπείρου, Ειρήνης

4.3.1.B: Αγελάου

4.3.2: Δήμητρας

4.3.3: ΕΡΤ, Αγίας Τριάδος

Ειδική μνεία χρήζουν οι διασταυρώσεις:

- Μεσογείων με Τζαβέλλα. Σε αυτήν την διασταύρωση υπάρχει ένας κεντρικός ιστός στο μέσον της θεωρούμενης διασταύρωσης η οποία αποτελείται από αριστερή στροφή του ρεύματος προς Αγία Παρασκευή και διάβαση πεζών.
- Μεσογείων με 17ης Νοέμβρη (Εικόνα 5.4). Στη συγκεκριμένη διασταύρωση είναι απαραίτητη η προσθήκη ενός ιστού στην νησίδα για την φωταγώγησή της. Με την υπάρχουσα εγκατάσταση, ένας ιστός με τρία φωτιστικά (από τα οποία δύο δεν λειτουργούν) στη μία νησίδα και απόσταση 64 μέτρων από τον επόμενο, δεν μπορεί να επιτευχθεί η απαραίτητη ομοιομορφία στην διασταύρωση.



Εικόνα 5.4: Διασταύρωση λεωφόρου Μεσογείων με οδό 17<sup>ης</sup> Νοέμβρη.

- Μεσογείων με Αρκαδίου. Ομοίως με την προηγούμενη διασταύρωση θεωρείται απαραίτητη η προσθήκη ενός ιστού (ένας ιστός στη διασταύρωση και απόσταση 86 μέτρων από τον επόμενο).
- Μεσογείων με Αγελάου. Σε αυτήν την διασταύρωση υπάρχει ένας κεντρικός ιστός στο μέσον της θεωρούμενης διασταύρωσης η οποία αποτελείται από μία διάβαση πεζών.

#### 4. Μεσογείων – Χαλανδρίου

Πρόκειται για διασταύρωση δύο μεγάλων λεωφόρων με ιδιαίτερη γεωμετρία και συγκεκριμένη θέση ιστών φωτιστικών σωμάτων. Χαρακτηρίζεται ως κάνναβος 3.4.

#### 5. Μεσογείων – Λαυρίου

Πρόκειται για ανισόπεδο κόμβο δύο λεωφόρων και συγκεκριμένη θέση ιστών φωτιστικών σωμάτων. Χαρακτηρίζεται ως κάνναβος 4.5.

Τέλος, ξεχωριστή φωτοτεχνική μελέτη πραγματοποιείται για τον βοηθητικό δρόμο της λεωφόρου (παράδρομος) που εκτείνεται κατά κύριο λόγο από την συμβολή της λεωφόρου Μεσογείων με την οδό Κύπρου έως τη συμβολή με την οδό Αριστοτέλους. Σε αυτόν τον κάνναβο συμπεριλαμβάνουμε τα μικρά τμήματα βοηθητικών δρόμων της στάσης λεωφορείου στη έξοδο του μετρό “Κατεχάκη” και της πλατείας Αγίας Παρασκευής. Χαρακτηρίζεται εφεξής ως “**Κάνναβος 5**”.

Ακολουθεί η αξιολόγηση της κατάλληλης κλάσης φωτισμού στους παραπάνω κάνναβους σύμφωνα με το πρότυπο οδοφωτισμού στους Πίνακες 5.2 έως 5.6 καθώς και η τεκμηρίωση των επιλογών αυτών.

Πίνακας 5.2: Κάνναβος 1 - Κλάση Μ από Κατεχάκη έως Πλατεία Αγίας Παρασκευής.

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή		Σταθμισμένη Τιμή $V_w$			
Όριο Ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100$ km/h					
	Υψηλή	$70 < v < 100$ km/h					
	Μέτρια	$40 < v \leq 70$ km/h		-1			
	Χαμηλή	$v \leq 40$ km/h					
Κυκλοφοριακή Ροή		Αυτοκινητόδρομοι, δρόμοι πολλών λωρίδων	Δρόμοι δύο λωρίδων	$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$	$\Delta t4$
	Υψηλή	>65% της μέγιστης χωρητικότητας	>45% της μέγιστης χωρητικότητας	1			1
	Μέτρια	35% - 65% της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% της μέγιστης χωρητικότητας		0		
	Χαμηλή	<35% της μέγιστης χωρητικότητας	<15% της μέγιστης χωρητικότητας			-1	
Σύνθεση Κυκλοφοριακής Ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων						
	Μικτή			1			
	Μόνο μηχανοκίνητα						
Ύπαρξη Διαζώματος	Όχι						
	Ναι			0			
Πυκνότητα Διασταυρώσεων		Διασταυρώσεις/km	Ανισόπεδοι κόμβοι, απόσταση μεταξύ γεφυρών/km				
	Υψηλή	>3	<3	1			
	Μέτρια	$\leq 3$	$\geq 3$				
Σταθμευμένα Οχήματα	Παρόντα						
	Μη παρόντα			0			
Λαμπρότητα Περιβάλλοντος	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, διαφημίσεις, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ΜΜΜ, αποθήκες		1			
	Μέτρια	Φυσιολογική κατάσταση					
	Χαμηλή						
Δυσκολία Πλοήγησης	Πολύ δύσκολη						
	Δύσκολη			1			
	Εύκολη						

Η σταθμισμένη τιμή υπολογίζεται:

$$V_{ws} = 4 \rightarrow M = 6 - 4 \rightarrow M2 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t1$$

$$V_{ws} = 3 \rightarrow M = 6 - 3 \rightarrow M3 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t2$$

$$V_{ws} = 2 \rightarrow M = 6 - 2 \rightarrow M4 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t3$$

$$V_{ws} = 4 \rightarrow M = 6 - 4 \rightarrow M2 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t4$$

Πίνακας 5.3: Κάνναβος 2 - Κλάση M από Πλατεία Αγίας Παρασκευής έως Λεωφόρο Λαυρίου.

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή		Σταθμισμένη Τιμή $V_w$			
Όριο Ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100$ km/h					
	Υψηλή	$70 < v < 100$ km/h					
	Μέτρια	$40 < v \leq 70$ km/h		-1			
	Χαμηλή	$v \leq 40$ km/h					
Κυκλοφοριακή Ροή		Αυτοκινητόδρομοι, δρόμοι πολλών λωρίδων	Δρόμοι δύο λωρίδων	$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$	$\Delta t4$
	Υψηλή	>65% της μέγιστης χωρητικότητας	>45% της μέγιστης χωρητικότητας	1			1
	Μέτρια	35% - 65% της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% της μέγιστης χωρητικότητας		0		
	Χαμηλή	<35% της μέγιστης χωρητικότητας	<15% της μέγιστης χωρητικότητας			-1	
Σύνθεση Κυκλοφοριακής Ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων						
	Μικτή			1			
	Μόνο μηχανοκίνητα						
Ύπαρξη Διαζώματος	Όχι						
	Ναι			0			
Πυκνότητα Διασταυρώσεων		Διασταυρώσεις/km	Ανισόπεδοι κόμβοι, απόσταση μεταξύ γεφυρών/km				
	Υψηλή	>3	<3				
	Μέτρια	$\leq 3$	$\geq 3$	0			
Σταθμευμένα Οχήματα	Παρόντα						
	Μη παρόντα			0			
Λαμπρότητα Περιβάλλοντος	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, διαφημίσεις, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ΜΜΜ, αποθήκες		1			
	Μέτρια	Φυσιολογική κατάσταση					
	Χαμηλή						
Δυσκολία Πλοήγησης	Πολύ δύσκολη						
	Δύσκολη			1			
	Εύκολη						

Η σταθμισμένη τιμή υπολογίζεται:

$$V_{ws} = 3 \rightarrow M = 6 - 3 \rightarrow M3 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t1$$

$$V_{ws} = 2 \rightarrow M = 6 - 2 \rightarrow M4 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t2$$

$$V_{ws} = 1 \rightarrow M = 6 - 1 \rightarrow M5 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t3$$

$$V_{ws} = 3 \rightarrow M = 6 - 3 \rightarrow M3 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t4$$



## Αιτιολόγηση για την παραμετροποίηση των Μ Κλάσεων.

- Όριο Ταχύτητας  
Σύμφωνα με το Άρθρο 20 του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας<sup>[3]</sup> και τον χαρακτηρισμό του δρόμου ως ταχείας κυκλοφορίας το όριο ταχύτητας για την Λεωφόρο Μεσογείων ορίζεται στα 70 χιλιόμετρα την ώρα.
- Κυκλοφοριακή Ροή  
Η κυκλοφοριακή ροή της μεσογείων σύμφωνα με την ανάλυση που γίνεται στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο μπορεί να αξιολογηθεί διαφορετικά σε τρεις χρονικές περιόδους κατά τις ώρες λειτουργίας του δικτύου φωτισμού. Με αυτό το δεδομένο και σύμφωνα με τις δυνατότητες προσαρμογής του φωτισμού που μας προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αξιολογούμε την κυκλοφοριακή ροή ως:
  1. Υψηλή κατά το χρονικό διάστημα Δt1: από την έναρξη λειτουργίας του φωτισμού (έναρξη civil twilight μετά την δύση του ηλίου) έως 22:00, όπου η πληρότητα του δρόμου είναι μεγαλύτερη του 65%.
  2. Μέτρια κατά το χρονικό διάστημα Δt2: από 22:00 έως 24:00, όπου η πληρότητα του δρόμου είναι ανάμεσα στο 35% και το 65%.
  3. Χαμηλή κατά το χρονικό διάστημα Δt3: από 00:00 έως 6:00 της επόμενης ημέρας, εάν η λήξη του φωτισμού γίνεται μετά τις 06:00 ή από τις 00:00 έως την λήξη λειτουργίας του φωτισμού (λήξη civil twilight πριν την ανατολή του ηλίου), εάν η λήξη του φωτισμού γίνεται πριν τις 06:00, όπου η πληρότητα του δρόμου είναι μικρότερη του 35%.
  4. Υψηλή κατά το χρονικό διάστημα Δt4: από 6:00 έως την λήξη λειτουργίας του φωτισμού (λήξη civil twilight πριν την ανατολή του ηλίου), εάν η λήξη του φωτισμού γίνεται μετά τις 06:00, όπου η πληρότητα του δρόμου είναι μεγαλύτερη του 65%.
- Σύνθεση Κυκλοφοριακής Ροής  
Η σύνθεση της κυκλοφοριακής ροής επιλέγεται μικτή καθώς η λεωφόρος Μεσογείων αποτελεί μια αστική αρτηρία στην οποία βάσει του ΚΟΚ επιτρέπονται τόσο μηχανοκίνητα οχήματα (π.χ. επιβατικά αυτοκίνητα, φορτηγά αυτοκίνητα, μοτοσικλέτες, λεωφορεία) όσο και μη μηχανοκίνητοι χρήστες (π.χ. ποδήλατα)<sup>[4]</sup>.
- Ύπαρξη διαζώματος  
Σε όλο το μήκος της λεωφόρου υπάρχει διαχωριστικό διάζωμα πλάτους 4 μέτρων ανάμεσα στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας.
- Πυκνότητα Διασταυρώσεων  
Η πυκνότητα διασταυρώσεων αξιολογείται:
  1. Υψηλή στο 1<sup>ο</sup> τμήμα της λεωφόρου από την διασταύρωση της λεωφόρου Μεσογείων με την λεωφόρο Κατεχάκη έως την πλατεία Αγίας Παρασκευής και την διασταύρωση με την οδό Αγίου Ιωάννου, τμήμα μήκους 5,6 χιλιομέτρων και 22 διασταυρώσεων ως πάνω από 3 διασταυρώσεις ανά χιλιόμετρο.
  2. Μέτρια στο 2<sup>ο</sup> τμήμα της λεωφόρου από πλατεία Αγίας Παρασκευής και την διασταύρωση με την οδό Αγίου Ιωάννου έως το τέρμα της Λεωφόρου Μεσογείων και την διασταύρωση με την Λεωφόρο Λαυρίου, τμήμα μήκους 2 χιλιομέτρων και 5 διασταυρώσεων ως κάτω από 4 διασταυρώσεις ανά χιλιόμετρο.Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως αυτή η διαφοροποίηση στην πυκνότητα των διασταυρώσεων είναι και η μόνη που επιβάλλει την επιλογή διαφορετικής κλάσης στα δύο αυτά τμήματα.

- **Σταθμευμένα Οχήματα**  
Σύμφωνα με την σηματοδότηση του δρόμου δεν επιτρέπεται η στάθμευση σε όλο το μήκος της λεωφόρου.
- **Λαμπρότητα Περιβάλλοντος**  
Η λαμπρότητα του περιβάλλοντος χαρακτηρίζεται υψηλή λόγω της ύπαρξης έντονου περιβάλλοντος φωτισμού από βιτρίνες καταστημάτων, σταθμών μέσων μαζικής μεταφοράς, διαφημιστικών πινακίδων σε όλο το μήκος της λεωφόρου και καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του οδοφωτισμού.
- **Δυσκολία Πλοήγησης**  
Σύμφωνα με το πρότυπο η δυσκολία πλοήγησης ορίζεται ως το μέγεθος της απαιτούμενης από το χρήστη του δρόμου προσπάθειας για την επιλογή πορείας και λωρίδας καθώς και για την διατήρηση ή αλλαγή ταχύτητας και θέσης στον δρόμο σε σχέση με την παρεχόμενη στο δρόμο πληροφορία. Η λεωφόρος Μεσογείων διασταυρώνεται με αρκετούς κύριους οδικούς άξονες για τους οποίους υπάρχει πυκνή σήμανση στο δρόμο η οποία απαιτεί αυξημένη παρατήρηση από τον οδηγό. Ταυτόχρονα η λεωφόρος αποτελεί μια σχετικά ευθεία και άνετη σε θέμα χώρου πορεία στην οποία η πλοήγηση θεωρείται σχετικά εύκολη. Με αυτό το σκεπτικό ο βαθμός της δυσκολίας πλοήγησης επιλέγεται δύσκολος.

Κάνναβοι 3 & 4: C σε όλες τις διασταυρώσεις των καννάβων 1 & 2 αντίστοιχα.

Για τους καννάβους 3 και 4 επιλέγεται η κατάλληλη κλάση φωτισμού C μέσω της αξιολόγησης του αντιστοίχου M κλάσης τμήματος.

Για την ανακλαστικότητα του οδοστρώματος (ασφαλτοστρωμένος - σύμφωνα με την παλιά R-κατηγοριοποίηση χαρακτηρίζεται ως R2 ή R3<sup>[5]</sup>) επιλέγεται  $0,05 < Q_0 \leq 0,08$  για την ασφαλτο της Μεσογείων, σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Διαχωρισμός οδοστρωμάτων σύμφωνα με την CIE<sup>[6]</sup>.

Κατηγορία	$Q_0$	Είδος ανάκλασης
R1	0.10	Κυρίως διάχυτη
R2	0.07	Ελαφρώς διάχυτη
R3	0.08	Ελαφρώς κανονική
R4	0.08	Κανονική

Στο πρότυπο συνίσταται η επιλογή μίας βαθμίδας παραπάνω στην αντιστοίχιση κλάση C. Στην περίπτωση των διασταυρώσεων της Μεσογείων και για τους παρακάτω λόγους ακολουθείται αυτή η πρακτική ως μέτρο ασφαλείας.

- Πολλαπλές κατευθύνσεις.
- Ταυτόχρονη έναυση αντίθετων διασταυρούμενων οχημάτων από τους κάθετους δρόμους.
- Ταυτόχρονη έναυση οχημάτων με διάβαση πεζών όπου προτεραιότητα έχει ο πεζός.
- Μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος.

Στον Πίνακα 5.5 και για  $0,05 < Q_0 \leq 0,08$

Πίνακας 5.5: Επιλογή C κλάσης από την αντίστοιχη M κλάση για  $0,05 < Q_0 \leq 0,08$ .

Κλάση Φωτισμού M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Κλάση Φωτισμού C		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5

Σύμφωνα με την επιλογή C κλάσης από τον Πίνακα 5.5, για όλες αυτές τις διασταυρώσεις επιλέγονται κλάσεις:

- $M2 \rightarrow M1 \rightarrow C1$  για  $\Delta t1$
- $M3 \rightarrow M2 \rightarrow C2$  για  $\Delta t2$
- $M4 \rightarrow M3 \rightarrow C3$  για  $\Delta t3$
- $M2 \rightarrow M1 \rightarrow C1$  για  $\Delta t4$

Κάνναβος 4: C σε όλες τις διασταυρώσεις του καννάβου 2

Σύμφωνα με την επιλογή C κλάσης από τον Πίνακα 5.5, για όλες αυτές τις διασταυρώσεις επιλέγονται κλάσεις:

- $M3 \rightarrow M2 \rightarrow C2$  για  $\Delta t1$
- $M4 \rightarrow M3 \rightarrow C3$  για  $\Delta t2$
- $M5 \rightarrow M4 \rightarrow C4$  για  $\Delta t3$
- $M3 \rightarrow M2 \rightarrow C2$  για  $\Delta t4$

Πίνακας 5.6: Κλάση C στον βοηθητικό δρόμο της λεωφόρου Μεσογείων.

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή	Σταθμισμένη Τιμή $V_w$			
			$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$	$\Delta t4$
Όριο Ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100 \text{ km/h}$				
	Υψηλή	$70 < v < 100 \text{ km/h}$				
	Μέτρια	$40 < v \leq 70 \text{ km/h}$				
	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$			-1	
Κυκλοφοριακή Ροή			$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$	$\Delta t4$
	Υψηλή		1			1
	Μέτρια			0		
	Χαμηλή				-1	
Σύνθεση Κυκλοφοριακής Ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων					
	Μικτή			1		
	Μόνο μηχανοκίνητα					
Υπαρξη Διαζώματος	Όχι					
	Ναι			0		
Σταθμευμένα Οχήματα	Παρόντα			1		
	Μη παρόντα					
Λαμπρότητα Περιβάλλοντος	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, διαφημίσεις, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ΜΜΜ, αποθήκες			1	
	Μέτρια	Φυσιολογική κατάσταση				
	Χαμηλή					
Δυσκολία Πλοήγησης	Πολύ δύσκολη					
	Δύσκολη			1		
	Εύκολη					

Η σταθμισμένη τιμή υπολογίζεται:

$$V_{ws} = 4 \rightarrow C = 6 - 4 \rightarrow C2 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t1$$

$$V_{ws} = 3 \rightarrow C = 6 - 3 \rightarrow C3 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t2$$

$$V_{ws} = 2 \rightarrow C = 6 - 2 \rightarrow C4 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t3$$

$$V_{ws} = 4 \rightarrow C = 6 - 4 \rightarrow C2 \text{ κατά το διάστημα } \Delta t4$$

Αυτές οι κλάσεις σε όλον τον κάνναβο 5 εκτός από τις διασταυρώσεις του καννάβου 3 όπου υπερισχύει η χρήση του τμήματος από την Μεσογείων σαν διασταύρωση.

Για τον κάνναβο 5 επισημαίνονται οι παραμετρικές διαφορές του από τους καννάβους 1 και 2 οι οποίες είναι πως είναι μικρότερης ταχύτητας ( $v \leq 40 \text{ km/h}$ ) και έχει σταθμευμένα οχήματα κατά το μήκος του.

## 5.4 Δεδομένα εισόδου φωτοτεχνικής μελέτης

Βασικός στόχος της νέας μελέτης είναι να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες της LED τεχνολογίας για προσαρμογή του φωτισμού στα απαιτούμενα όρια του προτύπου οδοφωτισμού και για έλεγχο και εποπτεία του συστήματος μέσω κεντρικής διαχείρισης. Επιπροσθέτως οι ανάγκες του δρόμου σε ποικιλία απαιτήσεων όσον αφορά τη στάθμη φωτισμού ανά τμήμα και ανά δεδομένη χρονική στιγμή καθώς και η επιδίωξη αυτή η μελέτη να εξερευνήσει τα όρια βελτιστοποίησης του οδοφωτισμού από ένα σύστημα LED μας ώθησαν στην αναζήτηση ενός φωτιστικού που προσφέρει:

- Αυξημένη απόδοση σε lm/W.
- Ποικιλία προϊόντων που να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές κλάσεις φωτισμού.
- Πλήθος οπτικών μέσων (φακοί) για την επίτευξη καλύτερου δυνατού αποτελέσματος σε ομοιομορφία ανάλογα την εξεταζόμενη γεωμετρία.
- Αυξημένες δυνατότητες προσαρμοστικού φωτισμού.
- Συμβατότητα με κεντρικό σύστημα διαχείρισης.

Με αυτό το σκεπτικό επιλέχθηκε αντιπροσωπευτικό φωτιστικό LED μεγάλης εταιρείας του χώρου το οποίο ανταποκρίνεται στις ανωτέρω ανάγκες, σε συνδυασμό με το αντίστοιχο λογισμικό κεντρικής διαχείρισης (CMS) και τους απαιτούμενους ελεγκτές φωτιστικών (LuCo) και τομέα (SeCo) της εταιρείας.

### 5.4.1 Πολυπλοκότητα έργου

Μία πολύ σημαντική παράμετρος που ελήφθη υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης και κυρίως κατά την επιλογή προϊόντων ηλεκτρονικού εξοπλισμού των φωτιστικών σωμάτων είναι ο περιορισμός της πολυπλοκότητας του έργου. Στόχος είναι να παρουσιασθεί μία αντιπροσωπευτική φωτοτεχνική μελέτη που ρεαλιστικά μπορεί να υλοποιηθεί η οποία λαμβάνει υπ' όψιν τις διαδικασίες εγκατάστασης και συντήρησης του οδοφωτισμού, παρά μια μελέτη που στοχεύει στην απόλυτη βελτιστοποίηση του φωτοτεχνικού αποτελέσματος. Περιορίζονται συνεπώς οι επιλογές που προσφέρονται από την σύγχρονη τεχνολογία των LED περιορίζοντας ταυτόχρονα και τα προβλήματα που δημιουργεί η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού σε σχεδιαστικό (υπολογισμός ενιαίου συντελεστή συντήρησης για διαφορετικά φωτιστικά σώματα) όσο και σε οικονομοτεχνικό επίπεδο (πολυπλοκότητα παραγγελίας εξοπλισμού, εξατομικευμένη εγκατάσταση και συντήρηση, δυσκολία παρακολούθησης του συστήματος).

### 5.4.2 Υπολογισμός συντελεστή συντήρησης (MF)

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, υπολογίζεται ο συντελεστής συντήρησης ως εξής:

$$MF = LLMF \cdot LMF \cdot LSF = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81$$

- LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor)

LLMF = 0,9 από τον κατασκευαστή (0,9 @ 100.000 h @ T<sub>q</sub> = 25°C), όπως περιγράφεται στο φύλλο τεχνικών χαρακτηριστικών που παρατίθεται στο παράρτημα Α.

- LMF (Luminaire Maintenance Factor)

LMF = 0,9. Σύμφωνα με την έκθεση της CIE<sup>[7]</sup> για του συντελεστές συντήρησης των φωτιστικών, θεωρώντας κανονική ρύπανση και κύκλο καθαρισμού 3 χρόνων και σύμφωνα με την αξιολόγηση των φωτιστικών σωμάτων ως IP66.

- LSF (Lamp Survival Factor)

LSF = 1. Ο αριθμός καταστροφικών σφαλμάτων των LED υπολογίζεται στο 0 με 0,005 στην διάρκεια ζωής του φωτιστικού.

### 5.4.3 Παράμετροι φωτιστικού

Το φωτιστικό LED, του οποίου τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στο παράρτημα Α, προσφέρει αρκετές παραμετρικές επιλογές εγκατάστασης. Κρίνεται σκόπιμο να εξηγηθούν μερικές βασικές επιλογές που έγιναν κατά την πραγμάτωση της μελέτης:

#### 1. Ρεύμα οδήγησης driver

Δίνονται οι επιλογές ρεύματος οδήγησης των 350, 500 και 700 mA ενώ λόγω του μεγάλου πλήθους των LED του φωτιστικού σώματος για την οδήγηση των LED και για λόγους αξιοπιστίας σε κάθε φωτιστικό σώμα ενσωματώνονται δύο drivers Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση κρίνεται ιδανική η επιλογή του driver των 500 mA καθώς οι άλλες δύο επιλογές παρουσιάζουν συγκριτικά μειονεκτήματα. Ειδικότερα:

- ο driver των 700 mA είναι ο φθηνότερος (καλύτερη απόδοση σε lm/Ευρώ), αλλά έχει ελαφρώς χειρότερη απόδοση (lm/W) και παρουσιάζει μεγαλύτερη φθορά στο πέρασμα του χρόνου (LLD = 0,8 στα 700 mA, LLD = 0,9 στα 500 mA), προφανώς λόγω μεγαλύτερης θερμοκρασίας λειτουργίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον μικρότερο συντελεστή συντήρησης και ανάγκη για υπερδιαστασιολόγηση της εγκατάστασης της τάξης του 10%.
- Ο driver των 350 mA παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη απόδοση (lm/W) αλλά έχει αρκετά μεγαλύτερο κόστος (χειρότερη απόδοση lm/Ευρώ) και χειρότερο συντελεστή ισχύος.

#### 2. Φακοί

Το φωτιστικό προσφέρει ποικιλία φακών διαφορετικής κατανομής για την εξυπηρέτηση διαφορετικών γεωμετριών και απαιτήσεων ομοιομορφίας. Επιλέγονται οι παρακάτω 2:

- Φακός τύπου Α - Χαρακτηρίζεται σαν στενής δέσμης από τον κατασκευαστή.

Είναι ασύμμετρος στο επίπεδο 90° - 270° καθώς η φωτεινή του ροή κατανέμεται κατά μεγάλο ποσοστό προς το επίπεδο 90°. Είναι συμμετρικός στα επίπεδα 0° - 180° και 60° - 120°. Έχει την καλύτερη απόδοση φωτομετρικά λόγω της συγκεντρωτικής κατανομής του και αποδεικνύεται ιδανικός για τον φωτισμό της γεωμετρίας των Μ κλάσεων της υπάρχουσας γεωμετρίας ιστών της Μεσογείων (πλάτος 25 μέτρων και μήκος 35 μέτρων).

- Φακός τύπου Β - Χαρακτηρίζεται σαν μέτριας δέσμης από τον κατασκευαστή.

Είναι ασύμμετρος στο επίπεδο 90° - 270° καθώς η φωτεινή του ροή κατανέμεται κατά μεγάλο ποσοστό προς το επίπεδο 90°. Είναι συμμετρικός στα επίπεδα 0° - 180° και 60° - 120°. Παρουσιάζει μικρότερη απόδοση φωτισμού αλλά πλεονέκτημα στον φωτισμό σε μεγαλύτερη απόσταση στις κατευθύνσεις των 45°, 60° και 90°. Εξυπηρετεί στη βελτιστοποίηση των επιπέδων ομοιομορφίας στις διασταυρώσεις, ειδικότερα χρησιμοποιούμενος σαν τρίτο φωτιστικό του ιστού, στραμμένο προς την διασταύρωση.

Τα πολικά διαγράμματα των παραπάνω φακών καθώς και μια συγκριτική αξιολόγηση των κατανομών τους και της σημασίας της επιλογής τους κατά την μελέτη γίνεται στο παράρτημα Α.

#### 3. CCT

Για τους λόγους που αναλύθηκαν στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο επιλέγεται θερμοκρασία χρώματος 3000K.

#### 4. Ισχύς

Για τις απαιτήσεις του φωτισμού καταλήγουμε σε δύο στάθμες ισχύος, των 153 W και των 99 W. Πρέπει να σημειωθεί πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και φωτιστικά διαφορετικών σταδίων ισχύος, αλλά επιλέγεται ο περιορισμός σε αυτές τις δύο στάθμες στο πλαίσιο μιας ομοιομορφίας της εγκατάστασης, δεδομένου πως μπορεί να γίνει προσαρμογή στο βέλτιστο μέσω του προσαρμοστικού φωτισμού.

## 5.5 Προσομοίωση και υπολογισμός εξοπλισμού προς εγκατάσταση

### 5.5.1 Αποτελέσματα φωτοτεχνικής προσομοίωσης

Μέσω του λογισμικού Dialux και με τα προαναφερόμενα δεδομένα εισόδου πραγματοποιείται η υλοποίηση της φωτοτεχνικής μελέτης, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται συνοπτικά, και πριν την εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού στους παρακάτω Πίνακες 5.7 και 5.8. Αναλυτική παρουσίαση της προσομοίωσης του φωτισμού παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.

Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα προσομοίωσης Μ κλάσεων

	$\bar{L}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$U_o$	$U_l$	$f_{TI}$ (%)	$R_{EI}$
Απαιτήσεις Μ2	1,50	0,4	0,7	≤10	0,35
Κάνναβος 1	1,62	0,52	0,75	10	0,54
Απαιτήσεις Μ3	1,00	0,4	0,6	≤10	0,30
Κάνναβος 2	1,12	0,46	0,81	9	0,48

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα προσομοίωσης C κλάσεων

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Απαιτήσεις C1	30	0,4
3.1	32,6	0,44
3.2	39,3	0,41
3.3.1.A	35	0,47
3.3.1.B	31,8	0,51
3.3.2	38,2	0,49
3.3.3	37,3	0,4
3.3.4	33,4	0,32
3.4	37,4	0,4
Απαιτήσεις C2	20	0,4
4.3.1.B	21	0,4
4.3.2	26,2	0,47
4.3.3	20,7	0,54
4.5	32,2	0,46
5	25,7	0,6

### 5.5.2 Συνολικός αριθμός εγκαθιστάμενων φωτιστικών LED

Σύμφωνα με την φωτοτεχνική μελέτη υπολογίζεται ο συνολικός απαιτούμενος αριθμός φωτιστικών LED σε 727 φωτιστικά εγκατεστημένα ανά κάρναβο όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9: Πλήθος εγκαθιστάμενων φωτιστικών LED ανά κάρναβο

Φωτιστικά	153 W/Τύπου A	99 W/Τύπου A	153 W/Τύπου B	99 W/Τύπου B
Κάρναβος 1	312	-	-	-
Κάρναβος 2	-	136	-	-
Κάρναβος 3.1	-	10	5	5
Κάρναβος 3.2	4	5	2	4
Κάρναβος 3.3.1.A	4	-	-	-
Κάρναβος 3.3.1.B	-	-	4	-
Κάρναβος 3.3.2	-	-	30	-
Κάρναβος 3.3.3	24	-	12	-
Κάρναβος 3.3.4	32	-	16	-
Κάρναβος 4.3.1.B	-	2	-	-
Κάρναβος 4.3.2	-	-	-	6
Κάρναβος 4.3.3	-	-	-	12
Κάρναβος 4.5	-	16	-	-
Κάρναβος 5	-	77	-	-
Συνολικά	153 W/Τύπου A	99 W/Τύπου A	153 W/Τύπου B	99 W/Τύπου B
727	380	249	69	29

### 5.5.3 Εγκατάσταση εξοπλισμού κεντρικού συστήματος διαχείρισης

Για την εφαρμογή ασύρματου κεντρικού συστήματος διαχείρισης απαιτείται η αγορά λογισμικού κεντρικού συστήματος διαχείρισης (CMS), το οποίο είναι υπεύθυνο για την εποπτεία και την εφαρμογή του επιθυμητού σχεδίου προσαρμοστικού φωτισμού του δικτύου καθώς και η προμήθεια και εγκατάσταση του παρακάτω ηλεκτρονικού εξοπλισμού:

- 727 ελεγκτές φωτιστικών (LuCo) για την σύνδεση στο κεντρικό σύστημα διαχείρισης και την αξιοποίηση των τεχνολογιών προσαρμοστικού φωτισμού (CLO, SDLO, VPO, Astronomical clock) με στόχο την προσαρμογή στο ελάχιστο απαιτούμενο από το πρότυπο επίπεδο φωτισμού.
- 10 ελεγκτές τομέα (SeCo) για την επικοινωνία μεταξύ ελεγκτών φωτιστικών και κεντρικού συστήματος διαχείρισης συλλέγοντας τα δεδομένα από τους ελεγκτές φωτιστικών με σκοπό την μετάδοση τους στο λογισμικό διαχείρισης καθώς και για την οργάνωση του δικτύου.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως ο κάθε ελεγκτής έχει την δυνατότητα ελέγχου έως 150 φωτιστικών σωμάτων, οπότε στη συγκεκριμένη εγκατάσταση απαιτείται η τοποθέτηση 5 τέτοιου είδους ελεγκτών. Ωστόσο για την επίτευξη μεγαλύτερης αξιοπιστίας και λόγω της σημασίας των ελεγκτών αυτών για την σωστή λειτουργία του προσαρμοστικού φωτισμού και την εποπτεία του συστήματος επιλέγεται η τοποθέτηση 10 ελεγκτών με τρόπο τέτοιο ώστε κάθε φωτιστικό να επικοινωνεί με δύο ελεγκτές. Όπως θα φανεί κατά τον υπολογισμό εξοικονόμησης ενέργειας το κόστος της εφεδρείας αυτής είναι μικρό σε σχέση με την απώλεια υπηρεσίας σε περίπτωση βλάβης, ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι η τροφοδοσία κάθε ελεγκτή τομέα πραγματοποιείται από τροφοδοτικό (Power Supply) επιρρεπές στις βλάβες.



## 5.6 Υπολογισμός ενέργειας εγκατάστασης

Οι δυνατότητες που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για εξοικονόμηση ενέργειας μέσω προσαρμοστικού φωτισμού στην συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι:

1. Έναυση και λήξη του φωτισμού. Χρήση του αστρονομικού ρολογιού (astronomical clock) για συγχρονισμό του οδοφωτισμού με την δύση και την ανατολή του ηλίου στο στάδιο του αστικού λυκόφωτος (civil twilight) όπου κρίνεται απαραίτητη η παροχή τεχνητού φωτισμού για την ασφαλή πλοήγηση στους δρόμους.<sup>[8] [9]</sup>
2. SDLO: όπως ήδη περιγράφηκε οι απαιτήσεις φωτισμού διαφοροποιούνται ανάλογα την χρονική στιγμή και μπορούν να διακριθούν σε 4 χρονικά διαστήματα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου.
3. CLO: η εξοικονόμηση ενέργειας από την προσαρμογή της ισχύος λόγω εφαρμογής προγράμματος CLO, δυνατότητα που παρέχεται από το ελεγκτή του φωτιστικού, μπορεί να υπολογιστεί σε περαιτέρω 10% εξοικονόμηση πάνω στη τελική καταναλισκόμενη ενέργεια.

Με την χρήση αυτών των τεχνολογιών ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να προσαρμόζει το επίπεδο φωτισμού στο ελάχιστο δυνατό όριο του προτύπου.

### 5.6.1 Υπολογισμός ενέργειας στην υφιστάμενη εγκατάσταση

Στην υφιστάμενη εγκατάσταση ο χρόνος λειτουργίας του οδοφωτισμού υπολογίζεται ως εξής:

- Εαρινό ωράριο: (20:30 - 06:30)  
10 ώρες επί 7 μήνες/214 ημέρες (Απρίλιος με Οκτώβριο) = 2140 ώρες
- Χειμερινό ωράριο: (17:30 - 07:00)  
13,5 ώρες επί 5 μήνες/151 ημέρες (Νοέμβριος με Μάρτιο) = 2038,5 ώρες

Συνολικά οι ώρες λειτουργίας υπολογίζονται σε 4178,5.

Υπάρχουν 760 φωτιστικά με HPS λάμπες των 400 W στα οποία η καταναλισκόμενη ισχύς προσαυξάνεται κατά 15% λόγω του στραγγαλιστικού πηνίου (ballast) και κατά 2% λόγω απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς. Συνεπώς η καταναλισκόμενη ισχύς υπολογίζεται σε 356,592 kW.

Συνολικά η ενέργεια που καταναλώνεται ετησίως για τον οδοφωτισμό του υπό μελέτη τμήματος με την υφιστάμενη κατάσταση υπολογίζεται σε περίπου 1490 MWh (1490,019672).

### 5.6.2 Υπολογισμός ενέργειας στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό

Η καταναλισκόμενη ισχύς της προτεινόμενης εγκατάστασης, απουσία σχήματος προσαρμοστικού φωτισμού, δηλαδή λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο την ονομαστική ισχύ των εγκατεστημένων φωτιστικών και θεωρώντας πως δεν υπάρχει ενσωματωμένος ελεγκτής φωτιστικού, υπολογίζεται από την συνολική ισχύ των φωτιστικών επαυξημένη κατά 2% λόγω απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς. Εγκαθίστανται 449 φωτιστικά των 153 W και 278 φωτιστικά των 99 W. Συνεπώς, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται σε 98,143 kW. Πρέπει να σημειωθεί πως απουσία ελεγκτή φωτιστικού δεν μπορούμε να κάνουμε χρήση των τεχνολογιών CLO και SDLO.

Οι ώρες λειτουργίας του φωτισμού υπολογίζονται σε 4178,5 όπως και στην υφιστάμενη εγκατάσταση καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής στο αστρονομικό ρολόι.

Συνολικά η ενέργεια που καταναλώνεται ετησίως για τον οδοφωτισμό του υπό μελέτη τμήματος με την προτεινόμενη εγκατάσταση χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό υπολογίζεται σε περίπου 410 MWh (410,092).

### 5.6.3 Υπολογισμός ενέργειας στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό

#### 5.6.3.1 Υπολογισμός των ωρών λειτουργίας του φωτισμού

Οι ώρες λειτουργίας όπου θεωρείται απαιτούμενος ο φωτισμός του δρόμου με βάση τα δεδομένα του αστρονομικού ρολογιού για την ώρα έναρξης του αστικού λυκόφωτος μετά τη δύση του ηλίου και λήξης του αστικού λυκόφωτος πριν την αυγή του ηλίου υπολογίζονται κατά τα διαστήματα  $\Delta t_1$  έως  $\Delta t_4$  σε ετήσια βάση και παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.10:

Πίνακας 5.10: Ώρες λειτουργίας ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.

$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	$\Delta t_3$	$\Delta t_4$	Συνολικά
887,72 h	730 h	2160,06 h	188,62 h	3966,4 h

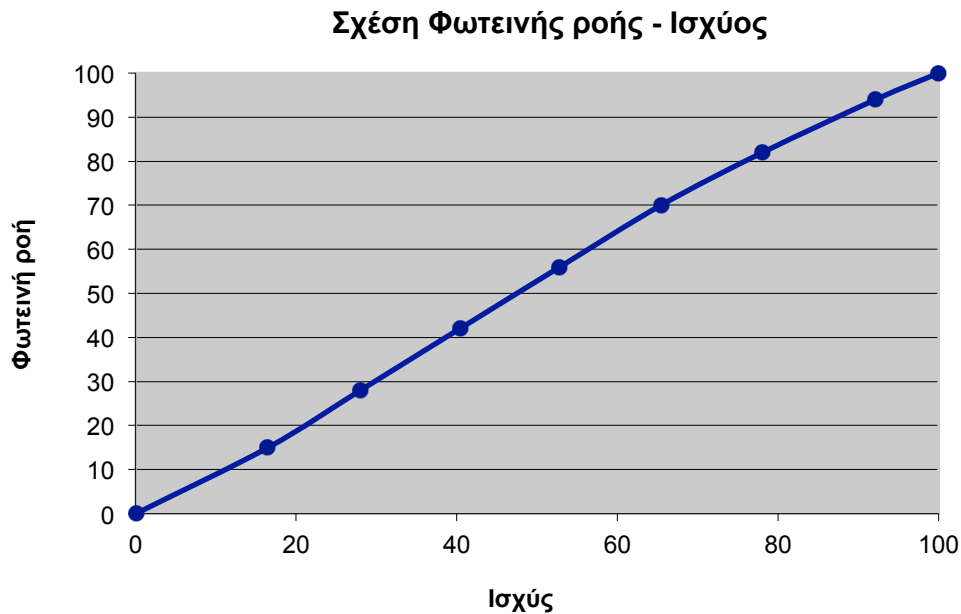
#### 5.6.3.2 Υπολογισμός των σταδίων προσαρμοστικού φωτισμού.

Κατά την εφαρμογή του προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού γίνεται η προσπάθεια μέσω της δυνατότητας ελέγχου του ρεύματος οδήγησης του driver να προσαρμοστεί η φωτεινή ροή των φωτιστικών σε τέτοιο βαθμό που θα ακολουθούν επακριβώς τις απαιτήσεις του προτύπου ανά δεδομένη χρονική στιγμή. Ο υπολογισμός της ισχύος μέσω του προγράμματος διαχείρισης αποτελεί εύκολη υπόθεση θεωρώντας σαν δεδομένα εισόδου του προγράμματος τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών, το απαιτούμενο επίπεδο φωτισμού καθώς και το εφαρμοζόμενο πλάνο συντήρησης των φωτιστικών σωμάτων. Για να γίνει ένας ακριβής υπολογισμός της ενέργειας που καταναλώνεται μετά την εφαρμογή του προσαρμοστικού φωτισμού πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη ισχύς κάθε φωτιστικού σώματος σε κάθε στάδιο φωτισμού.

Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση της σχέσης ισχύος - φωτεινής ροής του χρησιμοποιούμενου driver, η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.11, ενώ η απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται για τις δοσμένες τιμές σε ποσοστό ως πηλίκο της σχετικής φωτεινής ροής προς την σχετική απόδοση φωτισμού. Η σχέση Φωτεινής Ροής - Ισχύος παρουσιάζεται γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.5).

Πίνακας 5.11: Σχέση ισχύος - φωτεινής ροής του χρησιμοποιούμενου driver.

Σχετική φωτεινή ροή (%)	Σχετική απόδοση φωτισμού (%)	Σχετική ισχύς (%)
15	91	16,5
28	100	28
42	104	40,4
56	106	52,8
70	107	65,4
82	105	78,1
94	102	92,2
100	100	100

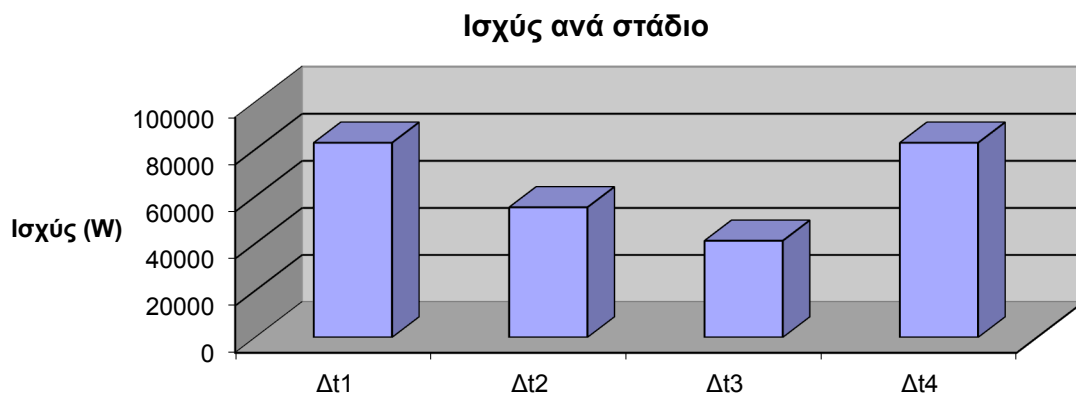


Εικόνα 5.5: Σχέση Φωτεινής Ροής - Ισχύος

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η σχέση φωτεινής ροής και ισχύος δεν είναι γραμμική ενώ παρατηρείται και ένα μικρό όφελος φωτεινής ροής σε ισχύ μικρότερη της ονομαστικής. Για την εύρεση των ενδιάμεσων τιμών ισχύος για την προσαρμογή του φωτισμού χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή για τον ακριβή υπολογισμό του επιπέδου ισχύος κάθε φωτιστικού της εγκατάστασης. Στον Πίνακα 5.12 παρουσιάζεται η συνολική ισχύς ανά στάδιο φωτισμού και γραφικά στην Εικόνα 5.6.

Πίνακας 5.12: Ισχύς κατανάλωσης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.

$\Delta t1$ & $\Delta t4$	$\Delta t2$	$\Delta t3$
82770 W	55327 W	41116 W



Εικόνα 5.6: Ισχύς κατανάλωσης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.

Αναλυτική παρουσίαση των σταδίων ισχύος κάθε φωτιστικού παρουσιάζεται στο παράρτημα Γ.

### 5.6.3.3 Υπολογισμός της συνολικής ενέργειας κατανάλωσης.

Στην συνολική κατανάλωση της εγκατάστασης πρέπει εκτός της κατανάλωσης των φωτιστικών σωμάτων να υπολογισθούν και:

- η εξοικονόμηση της τάξεως 10% από την εφαρμογή του CLO (Constant Light Output),
- η κατανάλωση των ελεγκτών φωτιστικών (LuCo), ίση με 1 W ανά ελεγκτή, οι οποίοι λειτουργούν κατά τις ώρες λειτουργίας των φωτιστικών,
- η κατανάλωση των ελεγκτών τομέα (SeCo), ίση με 15 W ανά ελεγκτή, οι οποίοι λειτουργούν καθ' όλη την διάρκεια του έτους και
- οι απώλειες των γραμμών μεταφοράς υπολογιζόμενες ως 2% επί της συνολικής ενέργειας.

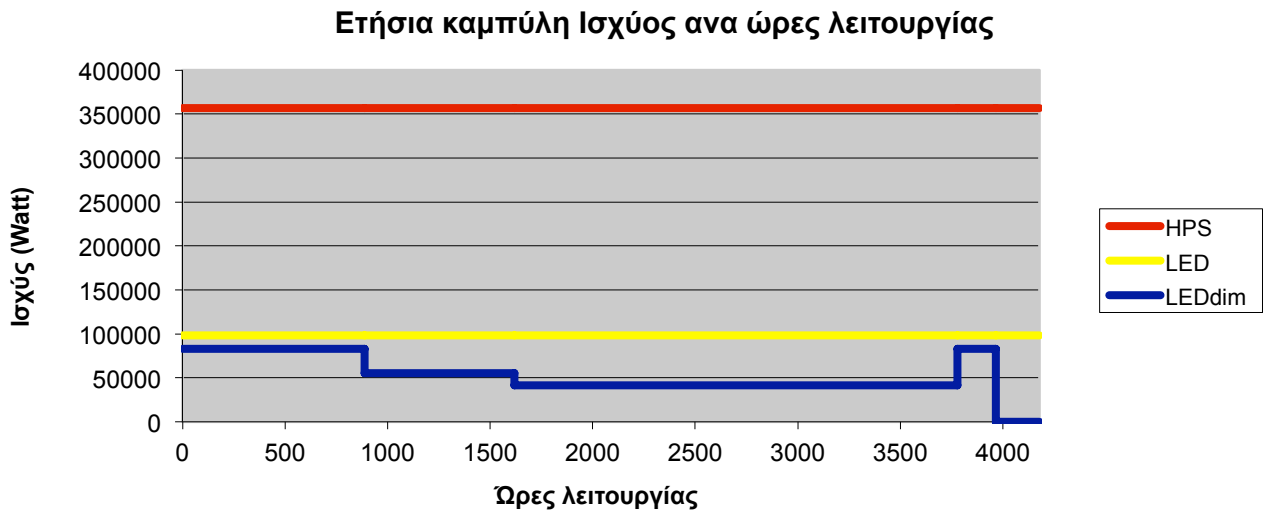
Συνοπτικά, η συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.13.

Πίνακας 5.13: Υπολογισμός συνολικής κατανάλωσης ενέργειας εγκατάστασης με προσαρμοστικό φωτισμό.

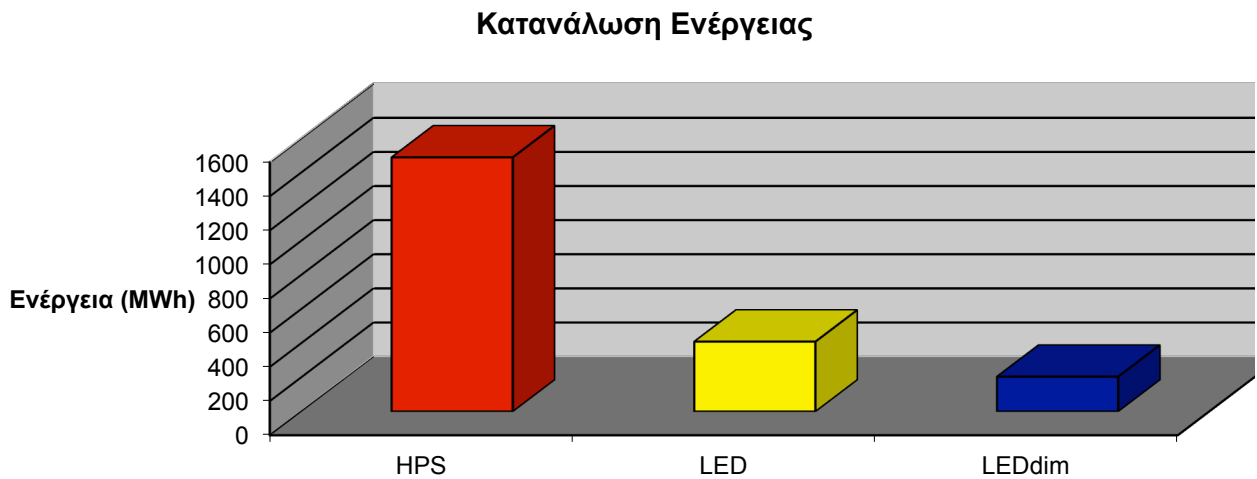
	Ενέργεια (MWh)
$\Delta t1$	73,476
$\Delta t2$	40,389
$\Delta t3$	88,813
$\Delta t4$	15,612
Σύνολο ενέργειας φωτιστικών	218,290
Εξοικονόμηση CLO 10%	196,461
Κατανάλωση LuCo	2,884
Κατανάλωση SeCo	1,314
Σύνολο ενέργειας εγκατάστασης φωτισμού	200,659
Απώλειες γραμμών μεταφοράς 2%	4,013
Συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας	204,672

#### 5.6.4 Συγκριτική απεικόνιση της κατανάλωσης ισχύος και ενέργειας μεταξύ της υφιστάμενης και των προτεινόμενων εγκαταστάσεων

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται η ετήσια κατανάλωση ισχύος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας του οδοφωτισμού για τις τρεις εγκαταστάσεις (Εικόνα 5.7) και αντιπαραβάλλονται οι ετήσιες καταναλώσεις και η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας των δύο προτεινόμενων εγκαταστάσεων (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.7: Ετήσια κατανάλωσης ισχύος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας οδοφωτισμού.



Εικόνα 5.8: Κατανάλωση ενέργειας ανά εγκατάσταση.

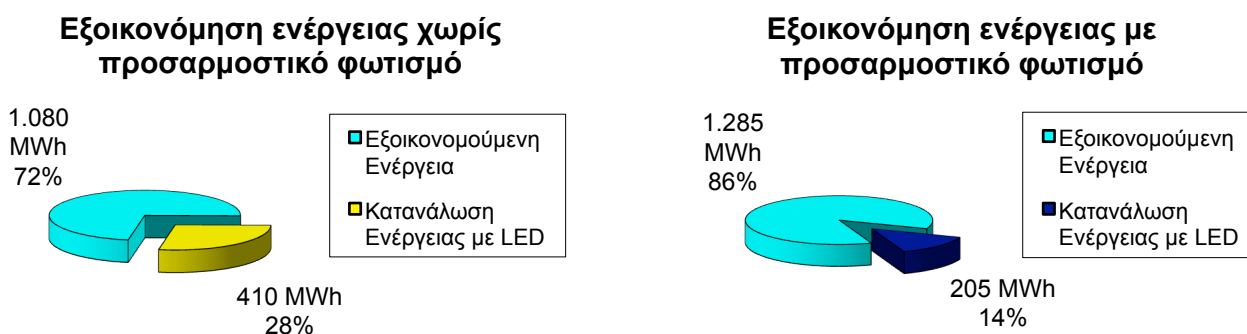
## 5.7 Εξοικονόμηση ενέργειας

Συνοπτικά οι καταναλώσεις ενέργειας, η επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση και η πυκνότητα ενέργειας της υφιστάμενης και των δύο προτεινόμενων εγκαταστάσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.14.

Πίνακας 5.14: Εξοικονόμηση ενέργειας και πυκνότητα ενέργειας προτεινόμενων εγκαταστάσεων.

Εγκατάσταση	Κατανάλωση ενέργειας	Εξοικονόμηση	Πυκνότητα ενέργειας
Υφιστάμενη εγκατάσταση HPS	1490,019 MWh	-	7,450 kWh/m <sup>2</sup>
Προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό	410,092 MWh	72,48%	2,050 kWh/m <sup>2</sup>
Προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό	204,672 MWh	86,26%	1,023 kWh/m <sup>2</sup>

Παρατηρούμε πως η εξοικονόμηση είναι της τάξεως του 72,48% μόνο από την αντικατάσταση των φωτιστικών υψηλής πίεσης νατρίου με φωτιστικά LED ενώ της τάξεως του 86,26 % εφαρμόζοντας επιπρόσθετα σχέδιο προσαρμοστικού φωτισμού Αυτή η διαφορά μπορεί να ερμηνευθεί και ως περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας κατά 50%. Μία συγκριτική απεικόνιση της προβλεπόμενης εξοικονόμησης με και χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9: Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας οδοφωτισμού προτεινόμενων εγκαταστάσεων.

*Εξοικονομούμενη πρωτογενής ενέργεια και εξοικονομούμενη ποσότητα εκπομπών CO<sub>2</sub>.*

Για την προτεινόμενη εγκατάσταση χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό η εξοικονομούμενη πρωτογενής ενέργεια υπολογίζεται σε 3131,7883 MWh ( $1079,927 \text{ MWh} \cdot 2,9$ ) ενώ η εξοικονομούμενη ποσότητα εκπομπών CO<sub>2</sub> υπολογίζεται σε 1068,048 tn ( $1079,927 \text{ MWh} \cdot 0,989 \frac{\text{tn}}{\text{MWh}}$ ).

Για την προτεινόμενη εγκατάσταση με προσαρμοστικό φωτισμό η εξοικονομούμενη πρωτογενής ενέργεια υπολογίζεται σε 3727,5063 MWh ( $1285,347 \text{ MWh} \cdot 2,9$ ) ενώ η εξοικονομούμενη ποσότητα εκπομπών CO<sub>2</sub> υπολογίζεται σε 1271,2082 tn ( $1285,347 \text{ MWh} \cdot 0,989 \frac{\text{tn}}{\text{MWh}}$ ).

## 5.8 Οικονομικός υπολογισμός κόστους

Για να αναλυθεί η οικονομική πλευρά της εγκατάστασης και να αποφανθούμε για την βιωσιμότητα της επένδυσης πρέπει να υπολογισθεί το κόστος της εγκατάστασης οδοφωτισμού το οποίο κατηγοριοποιείται στις παρακάτω τρεις επιμέρους κατηγορίες:

- Αρχικό κόστος εγκατάστασης, ως το άθροισμα κόστους του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (φωτιστικά, λαμπτήρες, ηλεκτρονικός εξοπλισμός, καλωδίωση, ιστοί) και της εργασίας που απαιτείται για την εγκατάσταση αυτού.
- Κόστος λειτουργίας, ως κόστος κατανάλωσης ενέργειας όπως ορίζεται από τα τιμολόγια κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του παρόχου.
- Κόστος συντήρησης, ως το άθροισμα του κόστους των ανταλλακτικών του ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και της περιοδικής εργασίας που απαιτείται για την διατήρηση της λειτουργικότητας της εγκατάστασης.

Παρακάτω υπολογίζεται το συνολικό κόστος τόσο της υφιστάμενης εγκατάστασης με HPS φωτιστικά όσο και της προτεινόμενης με LED χωρίς την προσαύξηση του ΦΠΑ και λοιπών φόρων κατά τον υπολογισμό του κόστους προμήθειας του εξοπλισμού, του κόστους συντήρησης και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς οι χρεώσεις αυτές επιβαρύνουν τον τελικό καταναλωτή και συνεπώς ο υπολογισμός τους εξαρτάται από το χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης.

### 5.8.1 Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως φαίνεται από το τιμολόγιο οδοφωτισμού της ΔΕΗ<sup>[10]</sup> η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακας 5.15.

Πίνακας 5.15: Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικής ενέργειας

Χρέωση προμήθειας		
Ενέργεια (€/kWh)	0,08103	
Πάγιο (€/μήνα)	0,53	
Ρυθμιζόμενες χρεώσεις		
Σύστημα μεταφοράς	Ισχύς (€/kVA*ΣΙ/έτος)	0,53
	Ενέργεια (€/kWh)	0,00477
Δίκτυο διανομής >25 kVA, χωρίς μέτρηση αέργου ισχύος	Ισχύς (€/kVA*ΣΙ/έτος)	3,17
	Ενέργεια (€/kWh)	0,019
Λοιπές χρεώσεις (€/kWh)	0,00007	
ΕΤΜΕΑΡ (€/kWh)	0,02608	
ΥΚΩ (€/kWh)	0,01371	
Σύνολο		
Χρέωση ενέργειας	0,14466 €/kWh	
Χρέωση ισχύος	3,70 €/kVA*ΣΙ/έτος	
Πάγιο	6,36 €/έτος	



## 5.8.2 Υπολογισμός ετήσιου κόστους υφιστάμενης εγκατάστασης

Στην υφιστάμενη εγκατάσταση το συνολικό κόστος υπολογίζεται ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ενώ δεν υπολογίζεται το αρχικό κόστος εγκατάστασης καθώς στην αξιολόγηση της επένδυσης μας ενδιαφέρει το όφελος από την αναβάθμιση της υπάρχουσας εγκατάστασης συναρτήσει των μελλοντικών χρηματικών ροών για την παροχή της υπηρεσίας.

- Κόστος λειτουργίας

Η συνολική ισχύς της υφιστάμενης εγκατάστασης υπολογίστηκε σε 356,592 kW ενώ η καταναλισκόμενη ενέργεια σε ένα έτος υπολογίστηκε σε 1490,019 MWh. Σύμφωνα με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκε στον Πίνακα 5.15 το ετήσιο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.16.

Πίνακας 5.16: Ετήσιο κόστος λειτουργίας υφιστάμενης εγκατάστασης.

Χρέωση ενέργειας	218.526,19 €
Χρέωση ισχύος	1.319,39 €
Πάγιο	6,36 €
Σύνολο	219.851,94 €

- Κόστος συντήρησης

Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως δεν υπάρχει οργανωμένο σχέδιο συντήρησης για την υφιστάμενη εγκατάσταση αλλά χάριν πληρότητας για την εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων όσον αφορά την σύγκριση των δύο εγκαταστάσεων υπολογίζουμε την απαιτούμενη συντήρηση για την διατήρηση της λειτουργικότητας της εγκατάστασης.

Έστω κύκλος συντήρησης τριών χρόνων για αντικατάσταση λαμπτήρων και καθαρισμό φωτιστικού σώματος και δέκα χρόνων για αντικατάσταση εσωτερικών οργάνων φωτιστικού σώματος.

Σύμφωνα με το τιμολόγιο της Γενικής Γραμματείας Δημοσίων Έργων για τις εργασίες συντήρησης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων οδοφωτισμού<sup>[11]</sup>, για την συντήρηση της εγκατάστασης τιμολογούνται οι απαραίτητες εργασίες στον παρακάτω Πίνακα 5.17.

Πίνακας 5.17: Τιμολόγιο εργασιών συντήρησης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων οδοφωτισμού.

Κωδικός άρθρου	Είδος εργασίας	Τιμή μονάδος
62.10.26.04	Αντικατάσταση λαμπτήρων ατμού Νατρίου υψηλής πίεσης ισχύος 400 W	36,5 €
62.10.10.02	Καθαρισμός Φ/Σ εγκατεστημένου σε ύψος άνω των 8 μέτρων από το δάπεδο εργασίας	25 €
62.10.20.01	Πυκνωτής διόρθωσης συντελεστή ισχύος	10 €
62.10.20.02	Αντιπαρασιτικός πυκνωτής	1,8 €
62.10.20.03	Στραγγαλιστικό πηνίο (ballast)	30 €
62.10.20.04	Εκκινητής (starter)	4,5 €
62.10.20.05	Εναυστήρας χωρίς εκκινητή	25 €
62.10.20.06	Λυχνιολαβή	3,4 €

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζεται το ετήσιο κόστος συντήρησης στον παρακάτω Πίνακα 5.18.

Πίνακας 5.18: Ετήσιο κόστος συντήρησης υφιστάμενης εγκατάστασης.

Κύκλος συντήρησης	Κόστος	Ανά έτος
Αλλαγή λαμπτήρα & καθαρισμός Φ/Σ ανά 3 χρόνια	46.740 €	15.580 €
Αλλαγή εσωτερικών οργάνων ανά 10 χρόνια	56.772 €	5.677,2 €
Σύνολο		21.257,2 €

- Συνολικό κόστος υφιστάμενης εγκατάστασης

Το συνολικό ετήσιο κόστος της υφιστάμενης εγκατάστασης ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ανέρχεται σε 241.109,14 €.

### 5.8.3 Υπολογισμός ετήσιου κόστους προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό

Στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό το συνολικό κόστος υπολογίζεται ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ενώ υπολογίζεται και το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς στην αξιολόγηση της επένδυσης μας ενδιαφέρει το όφελος από την αναβάθμιση της υπάρχουσας εγκατάστασης συναρτήσει τόσο των μελλοντικών χρηματικών ροών για την παροχή της υπηρεσίας όσο και του αρχικού επενδυτικού κόστους.

- Κόστος εγκατάστασης

Στο αρχικό κόστος εγκατάστασης υπολογίζονται το κόστος αγοράς των φωτιστικών σωμάτων καθώς και το κόστος εγκατάστασης τους (κόστος εργασίας). Ο υπολογισμός παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.19.

Πίνακας 5.19: Κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

	Πλήθος	Τιμή ανά μονάδα	Κόστος
Φ/Σ Τύπου A/153 W	380	670 €	254.600 €
Φ/Σ Τύπου A/99 W	249	420 €	104.580 €
Φ/Σ Τύπου B/153 W	69	693 €	47.817 €
Φ/Σ Τύπου B/99 W	29	424 €	12.296 €
Κόστος εγκατάστασης	727	30 €	21.810 €
Σύνολο			441.103 €

- Κόστος λειτουργίας

Η συνολική ισχύς της προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό υπολογίζεται σε 98,143 kW (ισχύς φωτιστικών και απώλειες γραμμών μεταφοράς) ενώ η καταναλισκόμενη ενέργεια σε ένα έτος υπολογίζεται σε 410,092 MWh. Σύμφωνα με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκε στον Πίνακα 5.15 το ετήσιο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.20.

Πίνακας 5.20: Ετήσιο κόστος λειτουργίας προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

Χρέωση ενέργειας	59.323,91 €
Χρέωση ισχύος	363,13 €
Πάγιο	6,36 €
Σύνολο	59.693,40 €

- Κόστος συντήρησης

Θεωρούμε κύκλο καθαρισμό πέντε χρόνων των φωτιστικών έτσι ώστε, όπως έχει ήδη περιγραφεί, να επιτύχουμε συντελεστή συντήρησης της εγκατάστασης ίσο με 0,81.

Για την αντικατάσταση των ηλεκτρονικών γίνεται χρήση του MTBF παράγοντα για τον υπολογισμό του πλήθους ηλεκτρονικών εξαρτημάτων τα οποία θα παρουσιάσουν καταστροφικά σφάλματα.

Συγκεκριμένα:

- το LED module θεωρείται πως δεν παρουσιάζει καταστροφικά σφάλματα ενώ και από τον κατασκευαστή δίνεται εγγύηση 10 χρόνων.
- Για τον driver για τον οποίο δίνεται εγγύηση 5 χρόνων το κόστος συντήρησης υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.21 θεωρώντας ότι τα πέντε πρώτα χρόνια η συντήρηση επιβαρύνεται μόνο με τα έξοδα αντικατάστασης και όχι αγοράς. Θεωρείται πως ο driver ακολουθεί το ωράριο λειτουργίας του οδοφωτισμού. Το κόστος αντικατάστασης υπολογίζεται σε 30 € ανά αντικατάσταση ενώ το κόστος αγοράς του ανέρχεται σε 100 €.

Πίνακας 5.21: Υπολογισμός κόστους αντικατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

	MTBF (ώρες)	Βλάβες στα 5 χρόνια		Βλάβες από τα 5 έως τα 10 χρόνια	
		Πλήθος	Κόστος	Πλήθος	Κόστος
Drivers	1000000	30	900 €	30	3.900 €

Συνολικά το κόστος συντήρησης ανά έτος υπολογίζεται στον Πίνακα 5.22.

Πίνακας 5.22: Ετήσιο κόστος συντήρησης προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

Κύκλος συντήρησης	Κόστος	Ανά έτος
Καθαρισμός φωτιστικών ανά 5 χρόνια	18.175 €	3.635 €
Βλάβες drivers	4.800 €	480 €
Σύνολο		4.115 €

- Συνολικό κόστος προτεινόμενης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό

Το συνολικό ετήσιο κόστος της προτεινόμενης εγκατάστασης χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ανέρχεται σε 63.808,40 €.

#### 5.8.4 Υπολογισμός ετήσιου κόστους προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό

Στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό το συνολικό κόστος υπολογίζεται ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ενώ υπολογίζεται και το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς στην αξιολόγηση της επένδυσής μας ενδιαφέρει το όφελος από την αναβάθμιση της υπάρχουσας εγκατάστασης συναρτήσει τόσο των μελλοντικών χρηματικών ροών για την παροχή της υπηρεσίας όσο και του αρχικού επενδυτικού κόστους.

- Κόστος εγκατάστασης

Στο αρχικό κόστος εγκατάστασης υπολογίζονται το κόστος αγοράς των φωτιστικών σωμάτων και του απαραίτητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ο οποίος με την εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού αποτελείται από του ελεγκτές φωτιστικών (LuCo), του ελεγκτές τομέα (SeCo) και το λογισμικό του κεντρικού συστήματος διαχείρισης (CMS) καθώς και το κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων (κόστος εργασίας). Ο υπολογισμός παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.23.

Πίνακας 5.23: Κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

	Πλήθος	Τιμή ανά μονάδα	Κόστος
Φ/Σ Τύπου A/153 W	380	670 €	254.600 €
Φ/Σ Τύπου A/99 W	249	420 €	104.580 €
Φ/Σ Τύπου B/153 W	69	693 €	47.817 €
Φ/Σ Τύπου B/99 W	29	424 €	12.296 €
Ελεγκτής Φ/Σ	727	150 €	109.050 €
Ελεγκτής Τομέα	10	1600 €	16.000 €
Λογισμικό κεντρικού συστήματος διαχείρισης			20.000 €
Κόστος εγκατάστασης	727	30 €	21.810 €
Σύνολο			586.153 €

- Κόστος λειτουργίας

Η συνολική ισχύς της υφιστάμενης εγκατάστασης υπολογίζεται σε 99,020 kW ενώ η καταναλισκόμενη ενέργεια σε ένα έτος υπολογίστηκε σε 240,672 MWh. Σύμφωνα με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκε στον Πίνακα 5.15 το ετήσιο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.24.

Πίνακας 5.24: Ετήσιο κόστος λειτουργίας προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

Χρέωση ενέργειας	29.607,85 €
Χρέωση ισχύος	366,37 €
Πάγιο	6,36 €
Σύνολο	29.980,58 €

- Κόστος συντήρησης

Θεωρούμε κύκλο καθαρισμού πέντε χρόνων των φωτιστικών έτσι ώστε, όπως έχει ήδη περιγραφεί, να επιτύχουμε συντελεστή συντήρησης της εγκατάστασης ίσο με 0,81.

Για την αντικατάσταση των ηλεκτρονικών γίνεται χρήση του MTBF παράγοντα για τον υπολογισμό του πλήθους ηλεκτρονικών εξαρτημάτων τα οποία θα παρουσιάσουν καταστροφικά σφάλματα. Συγκεκριμένα:

- iii) Το LED module θεωρείται πως δεν παρουσιάζει καταστροφικά σφάλματα ενώ και από τον κατασκευαστή δίνεται εγγύηση 10 χρόνων.
- iv) Για τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό ελέγχου για τον οποίο δίνεται εγγύηση 5 χρόνων ο υπολογισμός των υπό αντικατάσταση στοιχείων παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.25 θεωρώντας ότι τα πέντε πρώτα χρόνια η συντήρηση επιβαρύνεται μόνο με τα έξοδα αντικατάστασης και όχι αγοράς. Θεωρείται πως ο ελεγκτής τομέα λειτουργεί αδιάλειπτα ενώ ο ελεγκτής του φωτιστικού και ο driver ακολουθούν το ωράριο λειτουργίας του οδοφωτισμού. Το κόστος αντικατάστασης υπολογίζεται σε 30 € ανά αντικατάσταση ενώ το κόστος αγοράς του εξοπλισμού είναι:
  - Κόστος ελεγκτή φωτιστικού (LuCo): 150 €
  - Κόστος ελεγκτή τομέα (SeCo): 1600 €
  - Κόστος driver: 100 €

Πίνακας 5.25: Υπολογισμός κόστους αντικατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

	MTBF (ώρες)	Βλάβες στα 5 χρόνια		Βλάβες από τα 5 έως τα 10 χρόνια	
		Πλήθος	Κόστος	Πλήθος	Κόστος
Ελεγκτής Φ/Σ	2000000	5	150 €	10	1.800 €
Ελεγκτής τομέα	1700000	0	0 €	1	1.630 €
Drivers	1000000	30	900 €	30	3.900 €

- v) Για το τροφοδοτικό του ελεγκτή τομέα θεωρείται κύκλος αντικατάστασης δύο χρόνων καθώς πρόκειται για ένα σχετικά φθινό εξάρτημα το οποίο παρουσιάζει συχνά καταστροφικά σφάλματα (MTBF=70.000 ώρες). Με αυτό ως δεδομένο θεωρείται πως είναι προτιμότερο να εξασφαλιστεί η λειτουργία των ελεγκτών (κάτι που όπως έχει εξηγηθεί και στο κεφάλαιο 5.5 επιβάλλει και την εφεδρεία των ελεγκτών τομέα για παροχή αξιοπιστίας) με τον κύκλο αντικατάστασης. Το κόστος αντικατάστασης υπολογίζεται σε 30 € ανά αντικατάσταση ενώ το κόστος αγοράς του τροφοδοτικού είναι 50 €.

Συνολικά το κόστος συντήρησης ανά έτος υπολογίζεται στον Πίνακα 5.26.

Πίνακας 5.26: Ετήσιο κόστος συντήρησης προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

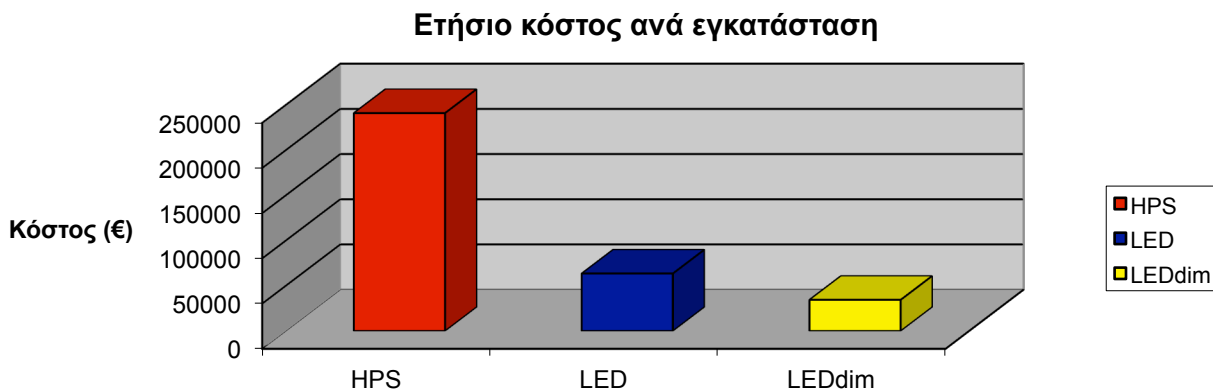
Κύκλος συντήρησης	Κόστος	Ανά έτος
Καθαρισμός φωτιστικών ανά 5 χρόνια	18.175 €	3.635 €
Αντικατάσταση τροφοδοτικών ανά 2 χρόνια	500 €	250 €
Βλάβες ελεγκτών φωτιστικών	1.950 €	195 €
Βλάβες ελεγκτών τομέα	1.630 €	163 €
Βλάβες drivers	4.800 €	480 €
Σύνολο		4.723 €

- Συνολικό κόστος προτεινόμενης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό

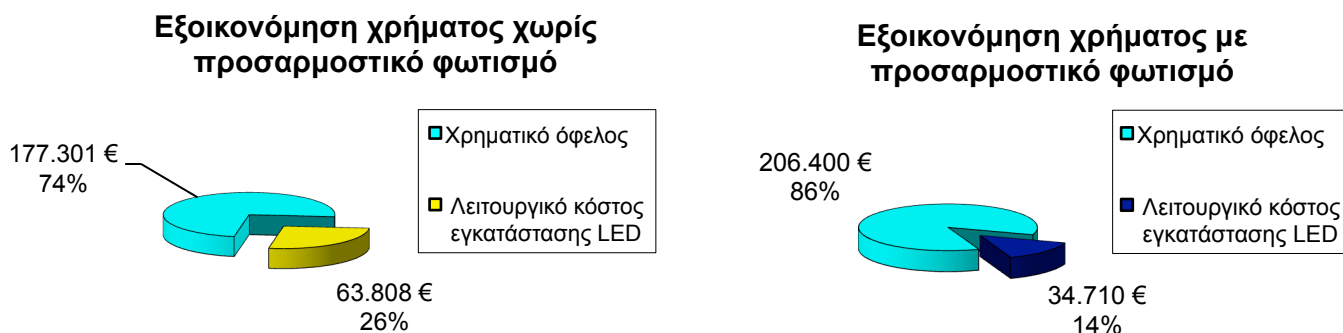
Το συνολικό ετήσιο κόστος της προτεινόμενης εγκατάστασης με προσαρμοστικό φωτισμό ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ανέρχεται σε 34.709,58 €.

### 5.8.5 Σύγκριση ετήσιου κόστους εγκαταστάσεων

Η χρηματική εξοικονόμηση με την εγκατάσταση LED χωρίς την εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού ανέρχεται σε 177.300,74 € (74%), ενώ με την εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού ανέρχεται σε 206.399,56 € (86%). Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται το ετήσιο χρηματικό κόστος της υφιστάμενης και των δύο προτεινόμενων εγκαταστάσεων (Εικόνα 5.10), ενώ αντιπαραβάλλονται οι εξοικονομήσεις και το ετήσιο κόστος των προτεινόμενων εγκαταστάσεων (Εικόνα 5.11).



Εικόνα 5.10: Ετήσιο κόστος οδοφωτισμού ανά εγκατάσταση.



Εικόνα 5.11: Ετήσια εξοικονόμηση κόστους οδοφωτισμού προτεινόμενων εγκαταστάσεων.

## 5.9 Αξιολόγηση επένδυσης

### 5.9.1 Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας

Ένας γρήγορος και αντιπροσωπευτικός τρόπος για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας της επένδυσης είναι η εφαρμογή του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)<sup>[12]</sup>. Η ΚΠΑ μιας επένδυσης είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των  $n$  καθαρών ταμειακών ροών  $KTP$  της επένδυσης, προεξοφλημένων στο παρόν με επιτόκιο  $i$ , και του αρχικού κεφαλαίου  $K_0$  που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επένδυση σήμερα.

$$ΚΠΑ = -K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+i)^t}$$

όπου,

$K_0$ : το κόστος επένδυσης

Όπως υπολογίστηκε, το κόστος επένδυσης για την προτεινόμενη εγκατάσταση χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό ανέρχεται σε 550.153 € ενώ για την εγκατάσταση με την εφαρμογή κεντρικού συστήματος διαχείρισης το κόστος επένδυσης ανέρχεται σε 586.153 €.

$n$ : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Για την προτεινόμενη εγκατάσταση των LED ο κατασκευαστής παρέχει εγγύηση καλής λειτουργίας για τα φωτιστικά σώματα 10 ετών, παρόλο που ο αναμενόμενος χρόνος ζωής τους αγγίζει τα 25 χρόνια σύμφωνα με την προτεινόμενη χρήση τους. Γι' αυτό επιλέγεται ένα δεκαετές πλάνο εκτίμησης της επένδυσης ως αντιπροσωπευτικό και ασφαλές για την εξαγωγή συμπερασμάτων σενάριο. Είναι προφανές πως η επένδυση είναι πολύ πιο συμφέρουσα αν μελετηθεί σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

$i$ : το επιτόκιο προεξόφλησης

Ως επιτόκιο προεξόφλησης ορίζουμε ένα επιτόκιο αναγωγής 5% το οποίο αποτελεί ένα ασφαλές όριο για την εκτίμηση της βιωσιμότητας της επένδυσης στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον.

$KTP_t$ : οι καθαρές ταμειακές ροές

Σαν καθαρές ταμειακές ροές ορίζεται το ακαθάριστο λειτουργικό κέρδος της εγκατάστασης το οποίο στην παρούσα μελέτη προκύπτει τόσο από την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και από την μείωση του κόστους συντήρησης.

Για την αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου:

- Εάν  $ΚΠΑ > 0$  τότε επιλέγεται το επενδυτικό σχέδιο καθώς αποδίδει κέρδος. Μάλιστα όσο μεγαλύτερη είναι η ΚΠΑ τόσο μεγαλύτερο το παραγόμενο κέρδος και τόσο πιο συμφέρουσα η επένδυση. Η σύγκριση των ΚΠΑ δύο επενδύσεων είναι ένας καλός δείκτης του ποια επένδυση προκρίνεται για χρηματοδότηση.
- Εάν  $ΚΠΑ < 0$  τότε απορρίπτεται το επενδυτικό σχέδιο καθώς προξενεί ζημία.
- Εάν  $ΚΠΑ = 0$  τότε επενδυτικά το σχέδιο επιστρέφει το αρχικό κεφάλαιο καθιστώντας την επένδυση οικονομικά αδιάφορη.



### 5.9.2 Δείκτης αποδοτικότητας

Ένας δεύτερος σημαντικός δείκτης αξιολόγησης της επένδυσης είναι ο δείκτης αποδοτικότητας (ΔΑ) ο οποίος δείχνει την απόδοση της επένδυσης ανά μονάδα κεφαλαίου λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή στην χρονική αξία του χρήματος. Ο δείκτης αποδοτικότητας ορίζεται ως το πηλίκο της τωρινής αξίας των αναμενόμενων ετήσιων οικονομικών οφελών προς το κόστος επένδυσης. Αποτελεί λοιπόν έναν άμεσο δείκτη σχετικά με το ύψος του οικονομικού οφέλους, σε παρούσα αξία, που επιτυγχάνεται μέσω μίας επένδυσης.

Το κριτήριο υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Delta A = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+i)^t}}{K_0}$$

όπου,  $K_0$ : το κόστος επένδυσης

$KTP_t$ : οι καθαρές ταμειακές ροές του έτους  $t$

$n$ : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

$i$ : το επιτόκιο προεξόφλησης

### 5.9.3 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

Οι καθαρές ταμειακές ροές της προτεινόμενης εγκατάστασης σε βάθος δεκαετίας καθώς και ο υπολογισμός της ΚΠΑ παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.27.

Πίνακας 5.27: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό.

t	Αρχική επένδυση (€)	ΚΤΡ (€)	ΚΤΡ/(1+i) <sup>n</sup> (€)	ΚΠΑ <sub>t</sub> (€)
0	441.103	-	-	-441.103
1	-	177.300,74	168.857,85	-272.245,15
2	-	177.300,74	160.817,00	-111.428,15
3	-	177.300,74	153.159,05	41.730,89
4	-	177.300,74	145.865,76	187.596,65
5	-	177.300,74	138.919,77	326.516,42
6	-	177.300,74	132.304,54	458.820,96
7	-	177.300,74	126.004,33	584.825,29
8	-	177.300,74	120.004,12	704.829,41
9	-	177.300,74	114.289,64	819.119,04
10	-	177.300,74	108.847,27	927.966,32

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης (payback period) υπολογίζεται στα 2 χρόνια και 266 ημέρες (2,728 χρόνια) καθώς μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

Από την Καθαρή Παρούσα Αξία στο 10<sup>ο</sup> έτος (τέλος της επένδυσης) παρατηρείται πως αποδίδεται κέρδος 927.966,32 €

Ο δείκτης αποδοτικότητας κεφαλαίου υπολογίζεται σε  $\Delta A = 2,104$ .

### 5.9.4 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

Οι καθαρές ταμειακές ροές της προτεινόμενης εγκατάστασης σε βάθος δεκαετίας καθώς και ο υπολογισμός της ΚΠΑ παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.28.

Πίνακας 5.28: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό.

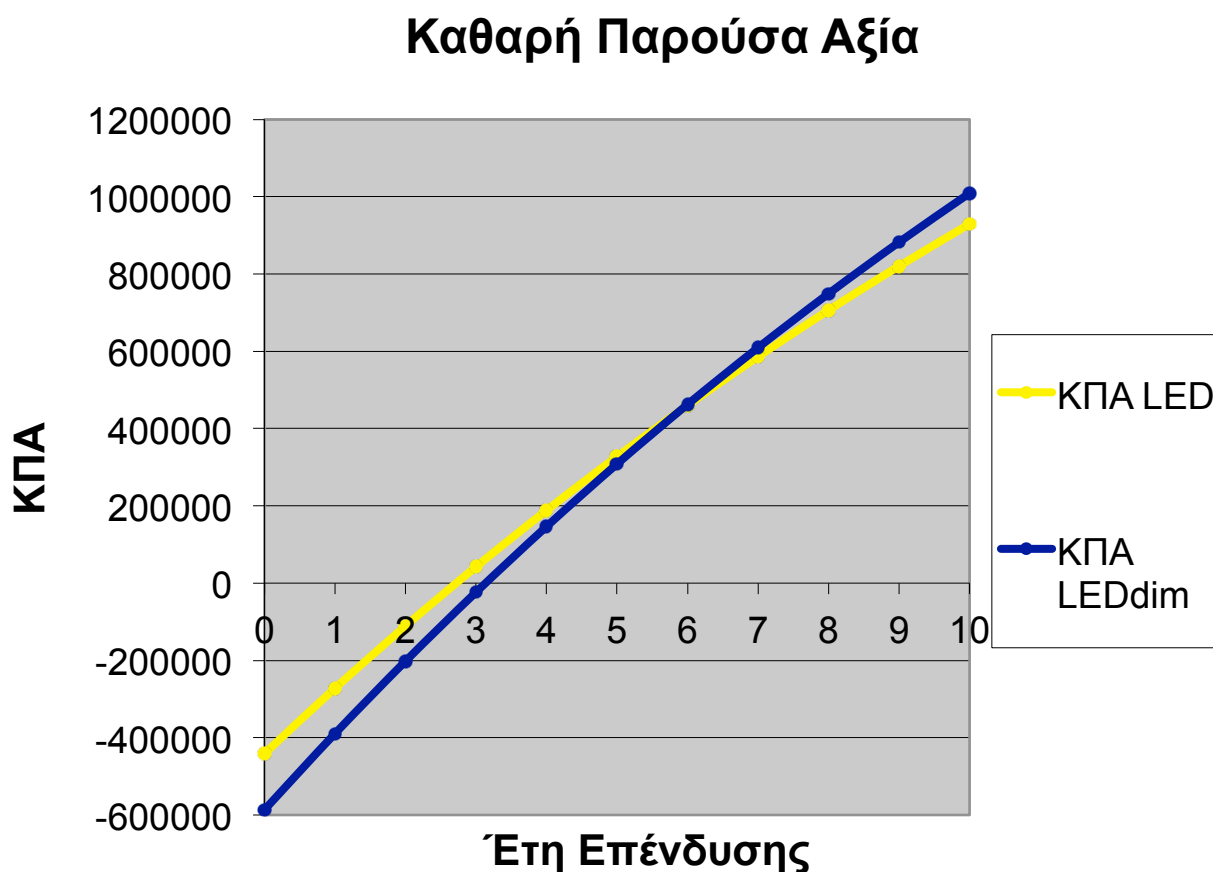
t	Αρχική επένδυση (€)	ΚΤΡ (€)	ΚΤΡ/(1+i) <sup>n</sup> (€)	ΚΠΑ <sub>t</sub> (€)
0	586.153	-	-	-586.153
1	-	206.399,56	196.571,01	-389.581,99
2	-	206.399,56	187.210,49	-202.371,51
3	-	206.399,56	178.295,70	-24.075,80
4	-	206.399,56	169.805,43	145.729,62
5	-	206.399,56	161.719,46	307.449,08
6	-	206.399,56	154.018,53	461.467,61
7	-	206.399,56	146.684,31	608.151,92
8	-	206.399,56	139.699,35	747.851,27
9	-	206.399,56	133.047,00	880.898,27
10	-	206.399,56	126.711,43	1.007.609,69

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης (payback period) υπολογίζεται στα 3 χρόνια και 50 ημέρες (3,135 χρόνια) καθώς μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

Από την Καθαρή Παρούσα Αξία στο 10<sup>ο</sup> έτος (τέλος της επένδυσης) παρατηρείται πως αποδίδεται κέρδος 1.007.609,69 €

Ο δείκτης αποδοτικότητας κεφαλαίου υπολογίζεται σε  $\Delta A = 1,719$ .

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 5.12) απεικονίζεται η συγκριτική εξέλιξη της Καθαρής Παρούσας Αξίας των δύο επενδύσεων στο δεκαετές πλάνο.



Εικόνα 5.12: Εξέλιξη Καθαρής Παρούσας Αξίας επένδυσης.

### 5.9.5 Σύγκριση επενδύσεων

Από τους οικονομικούς δείκτες που υπολογίστηκαν βλέπουμε πως:

1. Επενδυτικά η προμήθεια και εφαρμογή κεντρικής διαχείρισης προσαρμοστικού φωτισμού υστερεί ελάχιστα από την απλή εγκατάσταση LED φωτιστικών στον χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης, κάτι που απεικονίζεται καθαρά και στο προηγούμενο διάγραμμα (Εικόνα 5.12). Αυτοί οι 5 μήνες αποτελούν μικρή διαφορά σε σύγκριση με το δεκαετές πλάνο επένδυσης ειδικότερα αν αναλογιστεί κανείς πως και οι δύο επενδύσεις αποπληρώνουν πολύ γρήγορα το αρχικό κόστος μέσω της εξοικονομούμενης ενέργειας και αρχίζουν να αποδίδουν κέρδη.

2. Η εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού επίσης υστερεί στο αποδιδόμενο ανά μονάδα επένδυσης κέρδος, 1,719 αποδιδόμενες μονάδες έναντι 2,104 για την εγκατάσταση χωρίς πρόγραμμα προσαρμοστικού φωτισμού.

3. Το πρόγραμμα προσαρμοστικού φωτισμού αποδίδει μεγαλύτερο κέρδος στο τέλος του δεκαετούς πλάνου επένδυσης όπως φαίνεται και από το προηγούμενο διάγραμμα (Εικόνα 5.12), καθώς αποδίδει κέρδη 1.007.609,69 € έναντι 927.966,32 € (κατά 8,58% αύξηση κέρδους στο τέλος της επένδυσης).

Η ισορροπία ανάμεσα στους δύο τελευταίους παράγοντες υποδηλώνει μια δυσκολία επιλογής ανάμεσα στα δύο επενδυτικά σχέδια, με αποτέλεσμα η αξιολόγηση των δύο επενδύσεων να πρέπει να βασιστεί και σε μη οικονομικά κριτήρια, κάτι που θα διερευνηθεί στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων αυτής της μελέτης.

## 5.10 Αντικατάσταση HPS 400 W με HPS 250 W

Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται μια εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους με αντικατάσταση των λαμπτήρων HPS 400 W με λαμπτήρες HPS 250 W καθώς και η αξιολόγηση των εγκαταστάσεων LED σε σύγκριση με αυτήν την εγκατάσταση. Αυτή η ανάλυση γίνεται για να διαπιστωθεί το αποτέλεσμα μιας τέτοιας αντικατάστασης η οποία μπορεί σημαντικά να εξοικονομήσει ενέργεια και κατά πόσο μπορεί να θεωρείται εναλλακτική επιλογή σαν δράση εξοικονόμησης. Θεωρείται πως η εγκατάσταση των 250 W ικανοποιεί τις απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού που έχουν περιγραφεί ενώ υστερεί αντίστοιχα με την εγκατάσταση των 400 W σε επίπεδο ομοιομορφίας, κάτι που επαληθεύεται προσομοιωτικά.

### 5.10.1 Υπολογισμός ενέργειας στην υφιστάμενη εγκατάσταση με λαμπτήρες 250 W.

Στην υφιστάμενη εγκατάσταση με λαμπτήρες 250 W ο χρόνος λειτουργίας του οδοφωτισμού υπολογίζεται σε 4178,5 ώρες.

Έστω 760 φωτιστικά με HPS λάμπες των 250 W στα οποία η καταναλισκόμενη ισχύς προσ αυξάνεται κατά 15% λόγω του στραγγαλιστικού πηνίου (ballast) και κατά 2% λόγω απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς. Συνεπώς, η καταναλισκόμενη ισχύς υπολογίζεται σε 222,87 kW.

Συνολικά η ενέργεια που καταναλώνεται ετησίως για τον οδοφωτισμό του υπό μελέτη τμήματος με την υφιστάμενη κατάσταση υπολογίζεται σε περίπου 931 MWh (931,262295).

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με την υφιστάμενη εγκατάσταση υπολογίζεται σε 37,5% ενώ η εξοικονόμηση της LED εγκατάστασης σε σχέση με την εγκατάσταση των 250 W υπολογίζεται σε 78,02% με την εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού και σε 55,96% απουσία προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.

### 5.10.2 Υπολογισμός κόστους στην υφιστάμενη εγκατάσταση με λαμπτήρες 250 W.

- Κόστος λειτουργίας

Η συνολική ισχύς της υφιστάμενης εγκατάστασης υπολογίστηκε σε 222,87 kW ενώ η καταναλισκόμενη ενέργεια σε ένα έτος υπολογίστηκε σε 931,262 MWh. Σύμφωνα με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που υπολογίστηκε στον Πίνακα 5.15 το ετήσιο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.29.

Πίνακας 5.29: Ετήσιο κόστος λειτουργίας εγκατάστασης HPS 250 W.

Χρέωση ενέργειας	134.716,40 €
Χρέωση ισχύος	824,62 €
Πάγιο	6,36 €
Σύνολο	135.547,38 €

- Κόστος συντήρησης

Έστω κύκλος συντήρησης τριών χρόνων για αντικατάσταση λαμπτήρων και καθαρισμό φωτιστικού σώματος και δέκα χρόνων για αντικατάσταση εσωτερικών οργάνων φωτιστικού σώματος.

Σύμφωνα με το τιμολόγιο της Γενικής Γραμματείας Δημοσίων Έργων για τις εργασίες συντήρησης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων οδοφωτισμού<sup>[11]</sup>, για την συντήρηση της εγκατάστασης τιμολογούνται οι απαραίτητες εργασίες στον παρακάτω Πίνακα 5.30.

Πίνακας 5.30: Τιμολόγιο εργασιών συντήρησης ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων οδοφωτισμού.

Κωδικός άρθρου	Είδος εργασίας	Τιμή μονάδος
62.10.26.04	Αντικατάσταση λαμπτήρων ατμού Νατρίου υψηλής πίεσης ισχύος 250 W	30,5 €
62.10.10.02	Καθαρισμός Φ/Σ εγκατεστημένου σε ύψος άνω των 8 μέτρων από το δάπεδο εργασίας	25 €
62.10.20.01	Πυκνωτής διόρθωσης συντελεστή ισχύος	10 €
62.10.20.02	Αντιπαρασιτικός πυκνωτής	1,8 €
62.10.20.03	Στραγγαλιστικό πηνίο (ballast)	30 €
62.10.20.04	Εκκινητής (starter)	4,5 €
62.10.20.05	Εναυστήρας χωρίς εκκινητή	25 €
62.10.20.06	Λυχνιολαβή	3,4 €

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζεται το ετήσιο κόστος συντήρησης στον παρακάτω Πίνακα 5.31.

Πίνακας 5.31: Ετήσιο κόστος συντήρησης εγκατάστασης HPS 250 W.

Κύκλος συντήρησης	Κόστος	Ανά έτος
Αλλαγή λαμπτήρα & καθαρισμός Φ/Σ ανά 3 χρόνια	41.800 €	13.933,33 €
Αλλαγή εσωτερικών οργάνων ανά 10 χρόνια	56.772 €	5.677,2 €
Σύνολο		19.610,53 €

- Συνολικό κόστος υφιστάμενης εγκατάστασης

Το συνολικό ετήσιο κόστος της εγκατάστασης 250 W ως άθροισμα του κόστους λειτουργίας και του κόστους συντήρησης ανέρχεται σε 155.157,91 €.

Η χρηματική εξοικονόμηση σε σχέση με την υφιστάμενη εγκατάσταση υπολογίζεται σε 85.961,23 € (35%) ενώ η εξοικονόμηση της LED εγκατάστασης σε σχέση με την εγκατάσταση των 250 W υπολογίζεται σε 120.448,33 € (77%) με την εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού και σε 91.349,51 € (59%) απουσία προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.

### 5.10.3 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό σε σχέση με εγκατάσταση 250W.

Οι καθαρές ταμειακές ροές της προτεινόμενης εγκατάστασης σε βάθος δεκαετίας καθώς και ο υπολογισμός της ΚΠΑ παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.32.

Πίνακας 5.32: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED χωρίς προσαρμοστικό φωτισμό για αντικατάσταση εγκατάστασης HPS 250 W.

t	Αρχική επένδυση (€)	ΚΤΡ (€)	ΚΤΡ/(1+i) <sup>n</sup> (€)	ΚΠΑ <sub>t</sub> (€)
0	441.103	-		-441.103
1	-	91.349,51	86.999,53	-354.103,47
2	-	91.349,51	82.856,70	-271.246,77
3	-	91.349,51	78.911,14	-192.335,63
4	-	91.349,51	75.153,47	-117.182,16
5	-	91.349,51	71.574,73	-45.607,43
6	-	91.349,51	68.166,41	22.558,98
7	-	91.349,51	64.920,39	87.479,37
8	-	91.349,51	61.828,94	149.308,32
9	-	91.349,51	58.884,71	208.193,03
10	-	91.349,51	56.080,67	264.273,70

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης (payback period) υπολογίζεται στα 5 χρόνια και 160 ημέρες (5,437 χρόνια) καθώς μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

Από την Καθαρή Παρούσα Αξία στο 10<sup>ο</sup> έτος (τέλος της επένδυσης) παρατηρείται πως αποδίδεται κέρδος 264.273,70 €

Ο δείκτης αποδοτικότητας κεφαλαίου υπολογίζεται σε  $\Delta A = 0,599$ .

#### 5.10.4 Αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης LED με προσαρμοστικό φωτισμό σε σχέση με εγκατάσταση 250W.

Οι καθαρές ταμειακές ροές της προτεινόμενης εγκατάστασης σε βάθος δεκαετίας καθώς και ο υπολογισμός της ΚΠΑ παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.33.

Πίνακας 5.33: Υπολογισμός ΚΠΑ στην προτεινόμενη εγκατάσταση LED με προσαρμοστικό φωτισμό για αντικατάσταση εγκατάστασης HPS 250 W.

t	Αρχική επένδυση (€)	ΚΤΡ (€)	ΚΤΡ/(1+i) <sup>n</sup> (€)	ΚΠΑ <sub>t</sub> (€)
0	586.153	-		-586.153
1	-	120.448,33	114.712,70	-471.440,30
2	-	120.448,33	109.250,19	-362.190,12
3	-	120.448,33	104.047,80	-258.142,32
4	-	120.448,33	99.093,14	-159.049,18
5	-	120.448,33	94.374,42	-64.674,77
6	-	120.448,33	89.880,40	25.205,63
7	-	120.448,33	85.600,38	110.806,01
8	-	120.448,33	81.524,17	192.330,18
9	-	120.448,33	77.642,07	269.972,25
10	-	120.448,33	73.944,83	343.917,08

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης (payback period) υπολογίζεται στα 5 χρόνια και 176 ημέρες (5,481 χρόνια) καθώς μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

Από την Καθαρή Παρούσα Αξία στο 10<sup>ο</sup> έτος (τέλος της επένδυσης) παρατηρείται πως αποδίδεται κέρδος 343.917,08 €

Ο δείκτης αποδοτικότητας κεφαλαίου υπολογίζεται σε  $\Delta A = 0,587$ .



## Κεφάλαιο Έκτο: Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

### *Γενικά συμπεράσματα*

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η ανάγκη αναβάθμισης του οδοφωτισμού ως απαραίτητο βήμα για την βέλτιστη παροχή υπηρεσίας φωτισμού στους χρήστες του κυκλοφοριακού δικτύου, για την εύρυθμη λειτουργία και την ασφάλεια του οποίου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Η σύγχρονη τάση επιτάσσει ως πρωταρχική ανάγκη σε αυτόν τον ενεργοβόρο τομέα την εξερεύνηση μέτρων και δράσεων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης που θα έχουν ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους, ενώ παρουσιάζεται σημαντικό θεσμικό και επενδυτικό ενδιαφέρον για την υποστήριξη αλλαγής τοπίου στον χώρο του οδοφωτισμού.

Η νέα τεχνολογία των LED βρίσκεται αυτή τη στιγμή σε ώριμο στάδιο για να δικαιολογήσει επενδύσεις στον χώρο του οδοφωτισμού καθώς εμφανίζει σημαντικά συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις εγκαταστάσεις συμβατικών τεχνολογιών. Ειδικότερα, χαρακτηρίζεται από βελτιωμένη απόδοση φωτισμού, χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, υψηλή ποιότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής ηλεκτρονικού εξοπλισμού και συμβατότητα με τεχνολογίες προσαρμοστικού φωτισμού.

Μαζί με την εξέλιξη της τεχνολογίας των LED οι μελέτες οδοφωτισμού καλούνται να ακολουθήσουν το αναθεωρημένο πρότυπο EN 13201, το οποίο σε συμμόρφωση με την τεχνική οδηγία της CIE για εφαρμογή προγραμμάτων προσαρμοστικού φωτισμού, δίνει την δυνατότητα προσαρμογής του φωτισμού, και κατά συνέπεια της ισχύος και της ενέργειας κατανάλωσης, μεταβάλλοντας τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες του δρόμου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δικτύου. Σημαντικότερη παράμετρος αποδεικνύεται η μεταβολή της κυκλοφοριακής ροής η οποία μειώνεται σταδιακά μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες και με βάση αυτή τη διακύμανση καλείται ο διαχειριστής του δικτύου να διαμορφώσει το κατάλληλο πρόγραμμα προσαρμοστικού φωτισμού.

Σε αυτή τη προσπάθεια σύμμαχος αποδεικνύονται οι νέες τεχνολογίες διαχείρισης και ελέγχου του συστήματος οργανώνοντας ένα δίκτυο λογισμικού και ελεγκτών που παρακολουθεί, ελέγχει και διαχειρίζεται τον φωτισμό σε 24ωρη βάση.

## Συμπεράσματα μελέτης εξοικονόμησης

Για την επαλήθευση των δυνατοτήτων αυτών πραγματοποιείται μελέτη σκοπιμότητας στη λεωφόρο Μεσογείων όπου προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου με φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED, με την παράλληλη εγκατάσταση ασύρματου δικτύου ελεγκτών και λογισμικού κεντρικής διαχείρισης για την εφαρμογή προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού.

Η επιτόπια έρευνα της υφιστάμενης εγκατάστασης και γεωμετρίας της λεωφόρου οδήγησε στην κατηγοριοποίηση του συνολικού μήκους της σε πέντε διαφορετικά τμήματα είτε καθαρά μηχανοκίνητης κίνησης (Μ κλάσεις) είτε ως περιοχές σύγκρουσης (C κλάσεις).

Στη συνέχεια, με κύριες προτεραιότητες την ικανοποίηση των απαιτήσεων του προτύπου με βέλτιστο τρόπο, την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας και τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του έργου επιλέχθηκαν τα φωτιστικά σώματα, σε συνδυασμό με τα κατάλληλα οπτικά μέσα (φακοί), που ανταποκρίνονται στις ανάγκες της φωτοτεχνικής προσομοίωσης του έργου. Για την ανάδειξη της σημασίας της εγκατάστασης κεντρικού συστήματος διαχείρισης εξετάζονται σε αντιπαράβολή η εγκατάσταση των ίδιων LED φωτιστικών με τη χρήση προσαρμοστικού φωτισμού και απουσία αυτού.

Από τα αποτελέσματα της μελέτης εξάγονται συνοπτικά τα παρακάτω συμπεράσματα:

Πρώτον, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 72,5% στην απλή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων, ενώ επιτυγχάνεται περαιτέρω εξοικονόμηση της τάξης του 14% με τη χρήση προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού (συνολική εξοικονόμηση της τάξης του 86,5%). Πρακτικά, η κατανάλωση ενέργειας απουσία προσαρμοστικού φωτισμού είναι διπλάσια σε σχέση με την κατανάλωση μετά την εγκατάσταση κεντρικού συστήματος διαχείρισης κάτι που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την λήψη της απόφασης εγκατάστασης τέτοιου συστήματος.

Δεύτερον, όσον αφορά την ετήσια εξοικονόμηση κόστους, αυτή ανέρχεται σε 74% στην απλή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων, ενώ επιτυγχάνεται περαιτέρω εξοικονόμηση της τάξης του 12% με τη χρήση προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού (συνολική εξοικονόμηση της τάξης του 86%). Η εξοικονόμηση αυτή πηγάζει κατά κύριο λόγο από την μεγάλη μείωση του κόστους λειτουργίας και κατά δεύτερο λόγο από την μείωση του κόστους συντήρησης.

Τρίτον, όσον αφορά την αξιολόγηση της επένδυσης οι δυο προτεινόμενες εγκαταστάσεις παρουσιάζουν παρεμφερή αποτελέσματα στους οικονομικούς δείκτες όταν η αξιολόγηση γίνεται σε βάθος δεκαετίας, ενώ στην εκτιμώμενη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης η χρήση προσαρμοστικού φωτισμού αποφέρει σημαντικά περισσότερο κέρδος. Η απόσβεση και των δυο επενδύσεων γίνεται σε περίπου 3 χρόνια.

Για την σωστή εκτίμηση των αποτελεσμάτων αυτών πρέπει να τονιστεί η μεγάλη υπερδιαστασιολόγηση της υφιστάμενης εγκατάστασης των HPS φωτιστικών 400 W η οποία όμως σύμφωνα με την προσομοίωση δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις ομοιομορφίας (Παράρτημα Β). Σύμφωνα με προσομοίωση παρατηρείται πως μειώνοντας την ισχύ των φωτιστικών στα 250 W θα ικανοποιούνταν επίσης οι απαιτήσεις σε επίπεδα φωτισμού (οι απαιτήσεις ομοιομορφίας ομοίως δεν ικανοποιούνται), και προς αυτό το σκοπό, εξετάστηκε η συγκριτική αξιολόγηση των προτεινόμενων εγκαταστάσεων με υφιστάμενη εγκατάσταση φωτιστικών HPS 250 W. Σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται, όπως αναμενόταν, μικρότερη εξοικονόμηση ενέργειας (56% και 78% αντίστοιχα) ενώ η απόσβεση ενός τέτοιου έργου υπολογίζεται σε 5,5 χρόνια. Ακόμα και σε αυτή την θεωρητική περίπτωση η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα με βάση τους δείκτες αξιολόγησης, κάτι που δείχνει και το μεγάλο περιθώριο εξοικονόμησης που προσφέρει η LED τεχνολογία φωτισμού για αντικατάσταση συμβατικών φωτιστικών.

## Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Όπως αναλύθηκε στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, η πιο σημαντική παράμετρος που επιτρέπει την εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού είναι η διακύμανση της κυκλοφοριακής ροής κατά την διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας και του έτους. Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό προγράμματος προσαρμοστικού φωτισμού η θεωρούμενη ως χειρότερη περίπτωση σε θέμα κυκλοφοριακού φόρτου (worst case scenario). Ωστόσο, είναι άξια διερεύνησης η εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας εάν εφοδιάσουμε το σύστημα διαχείρισης με ενημέρωση σύγχρονων δεδομένων που θα παρέχονται από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας. Ενδεικτικά, στον εξεταζόμενο δρόμο μπορούμε να υπολογίσουμε πως διαμορφώνοντας το πρόγραμμα φωτισμού κατάλληλα μπορούμε να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 20%, σε καθημερινή ημέρα του Αυγούστου (10 Αυγούστου 2017) που ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μειωμένος (best case scenario). Από την άλλη υπάρχουν περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα το βράδυ της πρωτοχρονιάς (1 Ιανουαρίου 2017), που παρατηρείται πολύ αυξημένη κυκλοφοριακή ροή τις νυχτερινές ώρες μετά τα μεσάνυχτα με συνέπεια να μην καλύπτονται οι ανάγκες του δρόμου από το ενιαίο πρόγραμμα φωτισμού. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να υπάρξει μέριμνα για αύξηση των επιπέδων φωτισμού από τον διαχειριστή.

Άλλη σημαντική επέκταση των ευρημάτων της μελέτης αποτελεί η έρευνα του αποτελέσματος σε εξοικονόμηση ενέργειας όταν ένα τέτοιο πρόγραμμα εφαρμοστεί στο σύνολο των εγκαταστάσεων οδοφωτισμού της Περιφέρειας Αττικής ή και της Ελληνικής επικράτειας, σε συνδυασμό μάλιστα με την δυνατότητα ενσωμάτωσης της διαχείρισης του δικτύου οδοφωτισμού σε ένα ευρύτερο δίκτυο ενεργειακής διαχείρισης που περιλαμβάνει δημόσιους και ιδιωτικούς τομείς κατανάλωσης ενέργειας. Σήμερα κρίνεται απαραίτητο να διαπιστωθεί η διαλειτουργικότητα τόσο των συστημάτων οδοφωτισμού μεταξύ τους όσο και η θέση τους σε ένα ενιαίο δίκτυο διαχείρισης έξυπνης πόλης.

Τέλος, επιπλέον μελέτη μπορεί να πραγματοποιηθεί για την εξέταση της σημασίας αναβάθμισης με φωτιστικά LED στον αστικό σχεδιασμό μιας σύγχρονης ευρωπαϊκής πόλης τόσο στο αισθητικό αποτέλεσμα του φωτισμού όσο και από την άποψη της προστασίας του περιβάλλοντος και των επιπτώσεων στον ανθρώπινο οργανισμό.

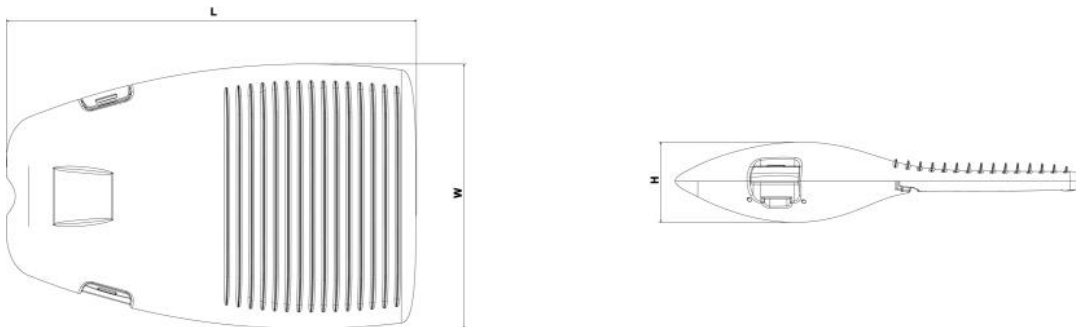


# Παράρτημα Α: Χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος και οπτικών μέσων

## A.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικού σώματος LED



### DIMENSION DRAWING



### DIMENSIONS AND CHARACTERISTICS

Designer : Thomas Coulbeaut	AMPERM (AMPERA MINI)	AMPERD (AMPERA MIDE)	AMPERX (AMPERA MAXI)
Length (mm)	583	674	900
Width (mm)	340	436	438
Height (mm)	90	132	135
Weight (kg)**	8	12	18
Tightness level*	IP 66		
Impact resistance*	IK 09		
Electrical class*	Class 1US, Class I EU, Class II EU		
Aerodynamic resistance (CxS)	0.087m <sup>2</sup>	0.115m <sup>2</sup>	0.176m <sup>2</sup>

\* According to IEC-EN60598 and IEC-EN62262

\*\* Average weight. The max weight is +/- 10% more but for the exact weight according to the configuration, please contact us.

### SUMMARY

#### CONCEPT

Family of 3 road LED luminaires: Mini, Midi, Maxi

Recommended installation height: between 4 and 12m

For optimal heat dissipation, the driver and LED engine are in separate compartments and juxtaposed in a horizontal section  
Independent optical & gear compartment ensures easy installation

#### HOUSING & FINISH

- Housing in high-pressure, die-cast aluminium, polyester powder coated
- Direct and tool free access to housing with driver compartment and optical unit by releasing the lateral latches and pivoting downwards. Quick connectors (knife switch) allow easy removal of the housing.
- Colour: AKZO grey 900 sanded

#### INSTALLATION

- Reversible fixation in high-pressure, die-cast aluminium
- Diameter 32-48, 48-60mm or 76mm, tightened with 2 stainless steel screws
- Can be tilted on a vertical pole from 0 to +15°; on a horizontal spigot from 0 to -15° by 5° steps
- Tool free access for maintenance

**OPTICAL UNIT**

- Protected against lens degradation by 5mm thick extra-clear hardened glass
- Flatbed PCB with acrylic lens overlay principle
- Various photometric distributions: from narrow road to motorway, medium and large area
- CRI > 70
- ULOR: 0%

**LED lumen depreciation**

- Lifetime residual flux @ Tq=25°C @ 100.000 hrs: 350mA & 500mA: 90%; 700mA: 80%

**ELECTRICAL**

- Class I or Class II
- Input voltage: 120-277V - 50-60Hz
- Power factor > 90% at full load
- 10kV, 10kA surge protection
- Power automatically switches off when opened
- Thermal protection on LED PCBA

**STANDARDS & CERTIFICATIONS**

- CE
- ENEC
- LM79-80
- ETL
- ROHS
- All measurements in ISO17025 accredited laboratory

**OPTIONS**

- Other RAL or AKZO colours
- Back light control
- OWLET remote management
- Custom dimming profile; Constant Light Output (CLO); Bi-Power
- Photo cell
- Presence detection

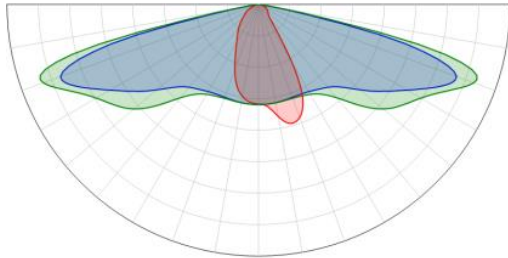
Ampera Product Sheet – 13/03/2015 - To make sure this is the most recent revision, please consult [www.schreder.com](http://www.schreder.com).

Copyright © 2015 Schröder SA. All rights reserved. Specifications are of an indicative nature and subject to change without notice.

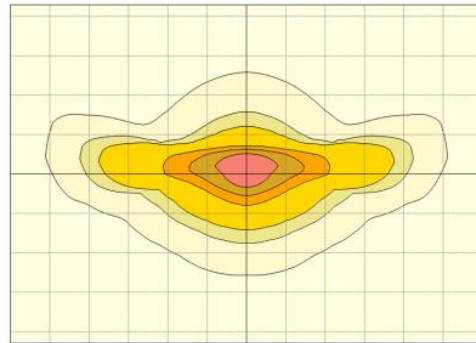
## A.2 Πολικά διαγράμματα φακών

Φακός τύπου A – Στενής δέσμης (5136AS - Schröder)

Πολικό διάγραμμα κατανομής



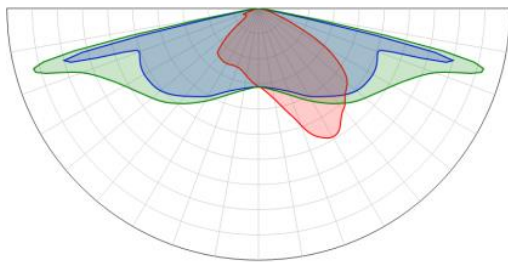
Isolux διάγραμμα κατανομής



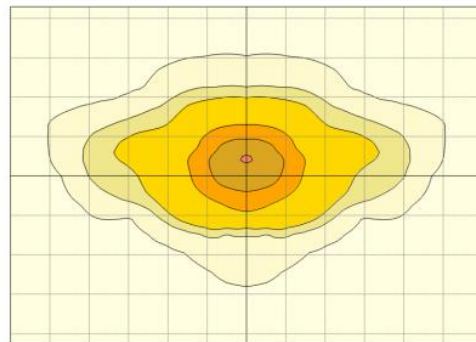
Εικόνα A.1: Πολικό και Isolux διαγράμματα κατανομής Φακού τύπου A

Φακός τύπου B – Μέτριας δέσμης (5098AS - Schröder)

Πολικό διάγραμμα κατανομής



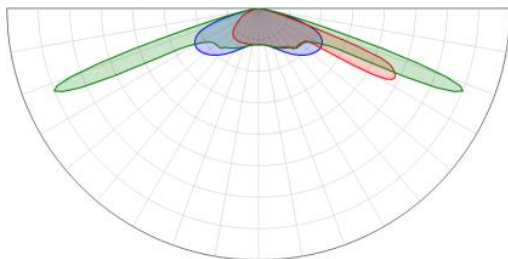
Isolux διάγραμμα κατανομής



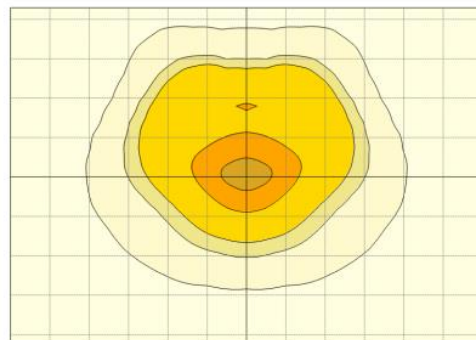
Εικόνα A.2: Πολικό και Isolux διαγράμματα κατανομής Φακού τύπου B

Φακός τύπου Γ – Ευρείας δέσμης (5119AS - Schröder)

Πολικό διάγραμμα κατανομής



Isolux διάγραμμα κατανομής



Εικόνα A.3: Πολικό και Isolux διαγράμματα κατανομής Φακού τύπου Γ

### A.3 Συγκριτική μελέτη φωτεινής κατανομής φακών

Όπως ήδη περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.3 βασική παράμετρος της επιλογής φωτιστικού σώματος κατά την αναζήτηση LED φωτιστικών σωμάτων για την εκπόνηση της μελέτης ήταν η προσφερόμενη ποικιλία φακών για την επίτευξη των απαιτήσεων στάθμης φωτισμού και ομοιομορφίας. Το LED φωτιστικό που έχει επιλεγεί διαθέτει μεγάλο πλήθος οπτικών μέσων που μπορούν να εξυπηρετήσουν πλήθος αναγκών όσον αφορά την γεωμετρία της υπό μελέτης περιοχής. Στο παράρτημα αυτό γίνεται προσπάθεια να εξηγηθούν οι επιλογές που έγιναν στην μελέτη για να βρεθεί μια χρυσή τομή ανάμεσα στην βελτιστοποίηση της φωτοτεχνικής μελέτης όσον αφορά τα φωτομετρικά μεγέθη, στην μεγιστοποίηση της εξοικονομούμενης ενέργειας και συνεπαγόμενη μείωση του κόστους, και στην ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας του έργου. Παρουσιάζονται λοιπόν 2 ενδεικτικές περιπτώσεις και το σκεπτικό πίσω από την τελική επιλογή του φακού.

#### a. Κάνναβος 1

Ο κάνναβος 1 είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα δρόμου M κλάσης. Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας και θάμβωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλοι οι προσφερόμενοι φακοί. Η επιλογή όμως μιας στενότερης δέσμης έχει το πλεονέκτημα της ικανοποίησης της απαίτησης λαμπρότητας με την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ. Στον παρακάτω Πίνακα A.1 αντιπαραβάλλονται τα φωτομετρικά αποτελέσματα προσομοίωσης για φωτισμό του καννάβου 1 με φωτιστικά των 153 W και φακούς τύπου A (στενής δέσμης) και τύπου B (μέτριας δέσμης) αντίστοιχα.

Πίνακας A.1: Συγκριτικά αποτελέσματα προσομοίωσης φακών A και B στον κάνναβο 1.

	$L \geq 1,5$	$U_0 \geq 0,4$	$U_l \geq 0,7$	$TI \leq 10$	$E_{IR} \geq 0,35$
5136 (A)	1,62	0,52	0,75	10	0,54
5098 (B)	1,03	0,55	0,77	9	0,84

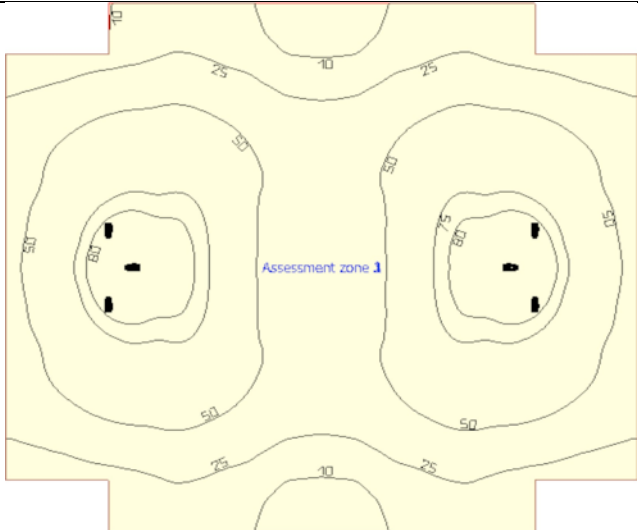
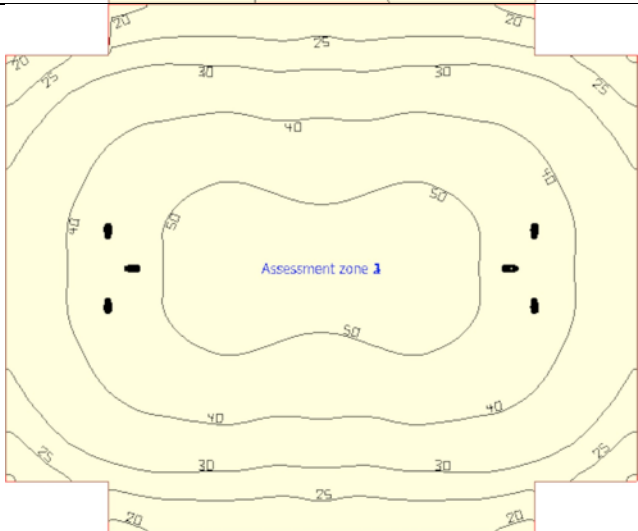
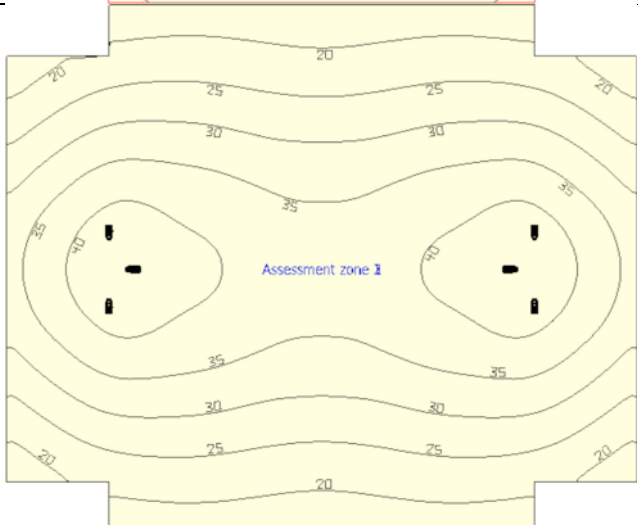
Είναι χαρακτηριστικό πως με την ίδια ισχύ λειτουργίας ο φακός τύπου A (στενής δέσμης) πιάνει τις απαιτήσεις λαμπρότητας ενώ ο φακός τύπου B (μέτριας δέσμης) βρίσκεται περίπου στα 2/3 της απαιτούμενης στάθμης. Παρατηρείται όμως πως στις υπόλοιπες απαιτήσεις δίνει καλύτερα αποτελέσματα λόγω της πιο ομοιόμορφης κατανομής του. Αυτό εξηγείται εύκολα αν αναλογιστούμε πως ο ευρύτερος φακός φωτίζει περισσότερο εκτός της εξεταζόμενης περιοχής κάτι που φαίνεται καθαρά από τον δείκτη  $E_{IR}$ . Στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας επιλέγεται ο πιο συγκεντρωτικός φακός που επιτυγχάνει μεγαλύτερη εξοικονόμηση (περίπου κατά 35% μεγαλύτερη) ενώ και σε θέμα ομοιομορφίας υστερεί ελάχιστα.



b. Κάνναβος 3.3.2

Ο κάνναβος 3.3.2 είναι αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μιας διασταύρωσης όπου η επιλογή φακού παίζει βασικό ρόλο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για φωτισμό της συγκεκριμένης διασταύρωσης με φωτιστικά 153 W και φακούς τύπου Α (στενής δέσμης), τύπου Β (μέτριας δέσμης), και τύπου Γ (ευρείας δέσμης).

Πίνακας Α.2: Συγκριτικά αποτελέσματα προσομοίωσης φακών Α, Β και Γ στον κάνναβο 3.3.2.

Φακός	$E \geq 30$	$U_0 \geq 0,4$	Isolines
Τύπου Α – Στενής δέσμης	45,6	0,10	
Τύπου Β – Μέτριας δέσμης	38,2	0,49	
Τύπου Γ – Ευρείας δέσμης	30,2	0,55	

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε πως ο φακός τύπου Α (στενής δέσμης) δεν είναι κατάλληλος για την επίτευξη ομοιομορφίας στη διασταύρωση (η οποία μάλιστα δεν είναι και μέγιστου μήκους όσον αφορά την λεωφόρο Μεσογείων καθώς υπάρχουν και μεγαλύτερες οι οποίες έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις όσον αφορά το εύρος της κατανομής του φακού).

Αναζητούμε λοιπόν την βέλτιστη λύση ανάμεσα στους φακούς μέτριας ευρείας κατανομής. Εδώ πάλι βλέπουμε πως ο φακός τύπου Γ (ευρείας δέσμης) προσφέρει μεν μία μικρή βελτίωση στην ομοιομορφία της έντασης φωτισμού αλλά υστερεί σε απόδοση και κατά συνέπεια στην εξοικονόμηση ενέργειας (περίπου κατά 20%). Μπορούμε να αντιληφθούμε πως η βελτιωμένη αυτή ομοιομορφία δεν οφείλεται σε καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα εν γένει αλλά σε μείωση της μέσης έντασης φωτισμού από τον λιγότερο αποδοτικό φακό που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού ομοιομορφίας. Επιπρόσθετα η επιλογή ενός τρίτου φακού προς εγκατάσταση (καθώς ο φακός τύπου Γ (ευρείας δέσμης) δεν προσφέρει βελτίωση σε άλλους καννάβους της μελέτης) θα αύξανε την πολυπλοκότητα του έργου, παράγων που εύκολα αμελείται κατά την προσομοίωση του φωτισμού και την προσπάθεια για βελτιστοποίηση του φωτομετρικού αποτελέσματος. Επιλέγεται ξανά ο «οικονομικότερος» φακός τύπου Β (μέτριας δέσμης) εις βάρος της μικρής βελτίωσης της ομοιομορφίας.

Συμπερασματικά είναι προφανές πως ανάλογα με την γεωμετρία του εξεταζόμενου δρόμου υπάρχει και μία βέλτιστη επιλογή συνδυασμών οπτικών μέσων που επιτυγχάνουν το καλύτερο αποτέλεσμα όσον αφορά την λαμπρότητα, την ένταση φωτισμού και την ομοιομορφία ενώ σημαντικός παράγοντας είναι και η ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και κατά συνέπεια του κόστους λειτουργίας. Η επιλογή εξαρτάται λοιπόν από το ειδικό βάρος που δίνει σε αυτές τις παραμέτρους ο μελετητής καθώς και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε εγκατάστασης, ενώ ταυτόχρονα περιορίζεται και από την ανάγκη για απλοποίηση του σχεδιασμού.

## Παράρτημα Β: Αποτελέσματα προσομοίωσης

Σε κάθε κάρναβο χρησιμοποιούνται οι υπάρχοντες ιστοί ενώ οι ρυθμίσεις της εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων ανά κάρναβο διαφοροποιούνται ανάλογα την γεωμετρία και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για πληρότητα παρατίθεται και ο αριθμός φωτιστικών της υπάρχουσας εγκατάστασης με HPS φωτιστικά ενώ σε επιλεγμένους κάρναβους παρατίθεται και το αποτέλεσμα προσομοίωσης με τα HPS φωτιστικά για σύγκριση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης.

Πρέπει να σημειωθεί πως η προσομοίωση της εγκατάστασης των HPS φωτιστικών πραγματοποιείται με τη χρήση οπτικού μέσου κάτι που βελτιώνει σημαντικά την παρατηρούμενη ομοιομορφία. Στην αγορά προσφέρεται ποικιλία οπτικών μέσων για τις εφαρμογές οδοφωτισμού λαμπτήρων εκκένωσης, η χρήση των οποίων όμως δεν προβλέπεται στην υφιστάμενη εγκατάσταση στην οποία παρατηρούνται αρκετά φωτιστικά χωρίς καθόλου φακό, δηλαδή με εκτεθειμένο τον λαμπτήρα, κάτι που σίγουρα κατεβάζει το επίπεδο ομοιομορφίας.

Όπως βλέπουμε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατηρείται μεγάλη υπερδιαστασιολόγηση στην υφιστάμενη εγκατάσταση.

- Στις δύο M κλάσεις
  - i. περίπου κατά 60% στο τμήμα της Μεσογείων (κάρναβος 1) που από την παρούσα μελέτη θεωρείται M2 κλάσης (απαίτησης λαμπρότητας 1,5 cd/m<sup>2</sup>) και
  - ii. περίπου κατά 140% στο τμήμα της Μεσογείων (κάρναβος 2) που θεωρείται M3 κλάσης (απαίτησης λαμπρότητας 1 cd/m<sup>2</sup>).
- Στις απλές διασταυρώσεις των C κλάσεων
  - i. της τάξης του 100% σε αυτές του κάρναβου 3 που θεωρούνται C1 κλάσης (απαίτησης έντασης φωτισμού 30 lx) και
  - ii. της τάξης του 200% σε αυτές του κάρναβου 4 που θεωρούνται C2 κλάσης (απαίτησης έντασης φωτισμού 20 lx).
  - iii. της τάξης του 135% στον βοηθητικό δρόμο της Μεσογείων (κάρναβος 5) που θεωρείται C2 κλάσης (απαίτησης έντασης φωτισμού 20 lx).
- Στις μεγάλες διασταυρώσεις των C κλάσεων
  - i. της τάξης του 350% στην διασταύρωση Μεσογείων - Κατεχακή (κάρναβος 3.1 - C1 κλάσης - απαίτησης έντασης φωτισμού 30 lx),
  - ii. της τάξης του 330% στην διασταύρωση Μεσογείων - Κύπρου (κάρναβος 3.2 - C1 κλάσης - απαίτησης έντασης φωτισμού 30 lx),
  - iii. της τάξης του 260% στην διασταύρωση Μεσογείων - Χαλανδρίου (κάρναβος 3.4 - C1 κλάσης - απαίτησης έντασης φωτισμού 30 lx),
  - iv. της τάξης του 335% στην διασταύρωση Μεσογείων - Λαυρίου (κάρναβος 4.5 - C2 κλάσης - απαίτησης έντασης φωτισμού 20 lx).

Είναι χαρακτηριστικό πως η υφιστάμενη εγκατάσταση αποδεικνύεται υπερδιαστασιολογημένη ακόμα και θεωρώντας τις υψηλότερες απαιτήσεις του προτύπου αυτές δηλαδή M1 (απαίτησης λαμπρότητας 2 cd/m<sup>2</sup>) και C0 κλάσεων (απαίτησης έντασης φωτισμού 30 lx) ενώ ταυτόχρονα δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις των διασταυρώσεων για ομοιομορφία, ειδικότερα όσο το μήκος της διασταύρωσης μεγαλώνει.

Στην LED εγκατάσταση παρατηρείται μια μικρή υπερδιαστασιολόγηση η οποία όμως εκμηδενίζεται εφαρμόζοντας το πρόγραμμα προσαρμοστικού φωτισμού (SDLO). Όσον αφορά την επίτευξη ομοιομορφίας, αυτή επιτυγχάνεται, όπως έχει ήδη περιγραφεί στο Παράρτημα Α με τη χρήση δύο διαφορετικών φακών, στενής και μέτριας δέσμης ενώ παρατηρείται πως το οπτικό αποτέλεσμα υπερέχει αισθητά.

### Καννάβος 1

Πίνακας K1.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 1.

Αριθμός ιστών	188
Αριθμός φωτιστικών HPS	317
Αριθμός φωτιστικών LED	312
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 96 LED / 153W / 5136 Τύπου A – Στενής δέσμης
Πλήθος	312
Διάταξη ιστών	Δύο ανά ιστό
Απόσταση μεταξύ ιστών	35 μ.
Πλάτος νησίδας	4μ.
Λωρίδες ανά κατεύθυνση	3
Απόσταση ιστού από το ρείθρο	2 μ.
Προέκταση φωτιστικού από το ρείθρο	0,5 μ.
Κλίση μπράτσου	15°

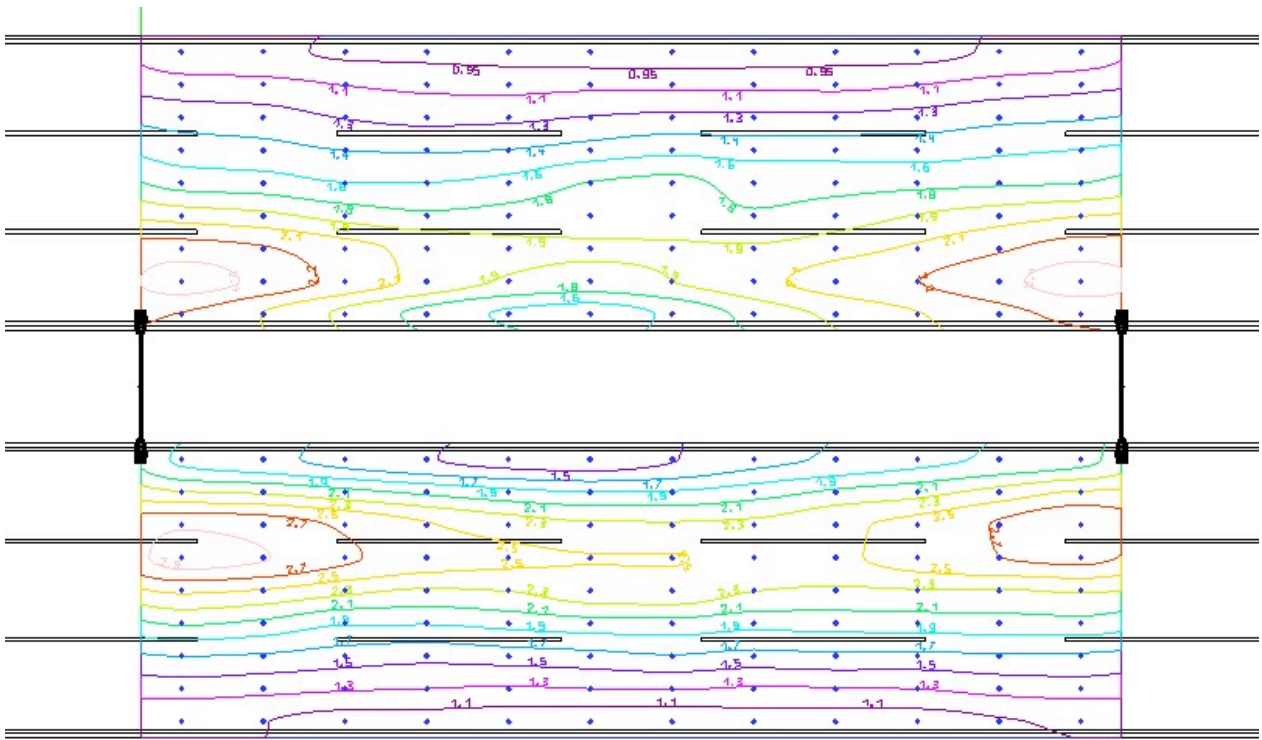
Υποσημείωση 1: Στους ιστούς του πεζοδρομίου του ανισόπεδου κόμβου Κατεχάκης (ράμπες εισόδου και εξόδου στον κόμβο) εγκαθίσταται ένα φωτιστικό ανά ιστό.

Υποσημείωση 2: Στους ιστούς που βρίσκονται στην στάση λεωφορείου της Κατεχάκη από την πλευρά που φωτίζεται η Μεσογείων εγκαθίστανται φωτιστικά του καννάβου 1 ενώ από την πλευρά της λεωφορειολωρίδας φωτιστικά του καννάβου 5.

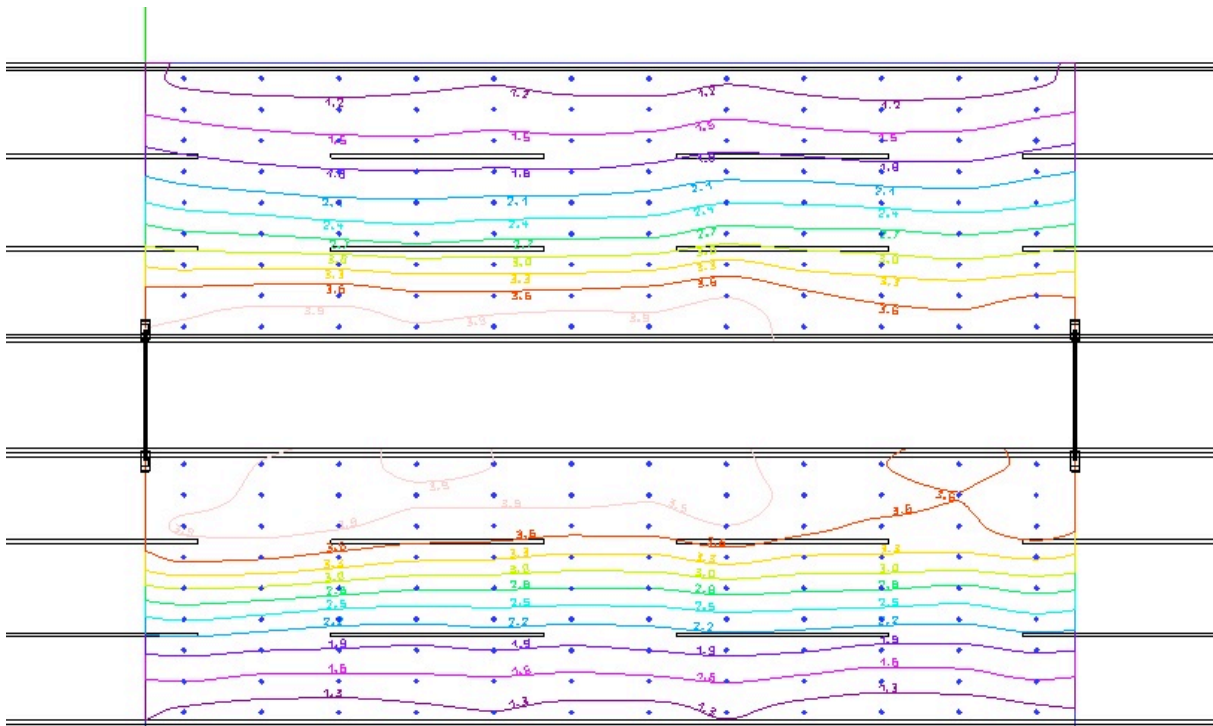
### Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Πίνακας K1.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 1.

	$\bar{L}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$U_o$	$U_l$	$f_{TI}$ (%)	$R_{EI}$
Κλάση M2	1,50	0,4	0,7	≤10	0,35
LED	1,62	0,52	0,75	10	0,54
HPS	2,42	0,43	0,9	10	0,59



Εικόνα K1.LED: Προσομοίωση Καννάβου 1 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα K1.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 1 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

## Κάνναβος 2

Πίνακας Κ2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 2.

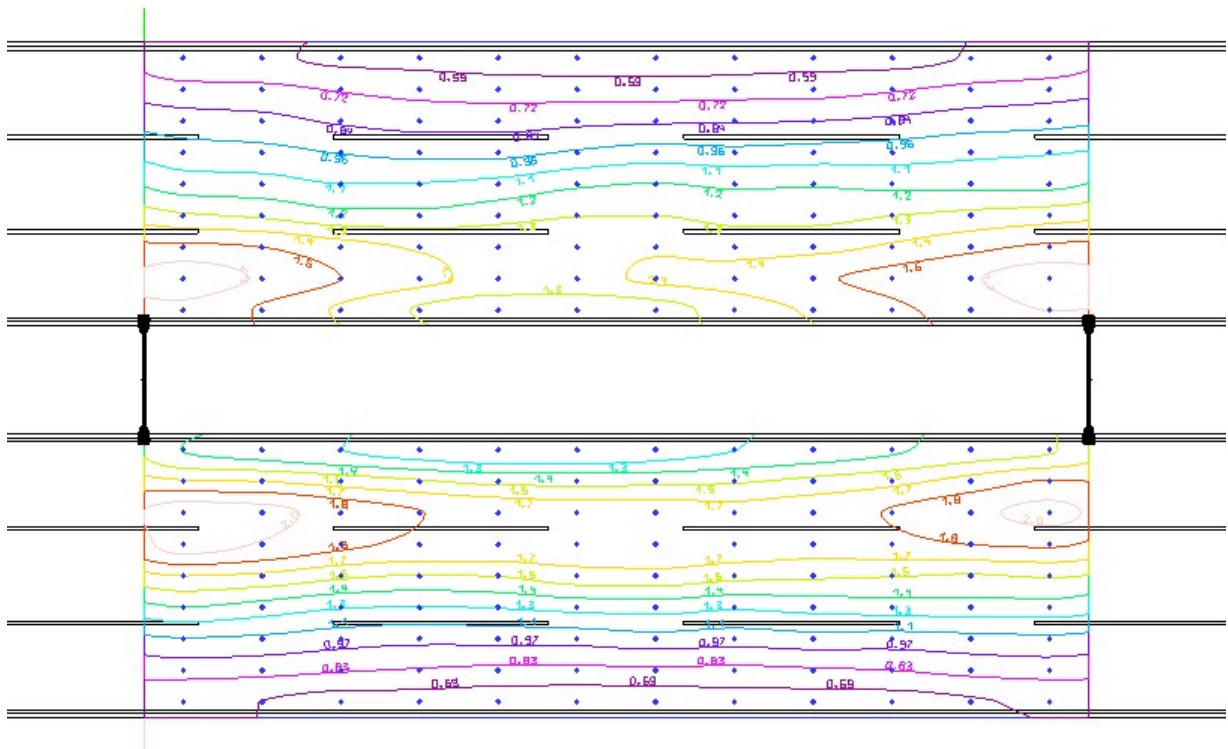
Αριθμός ιστών	87
Αριθμός φωτιστικών HPS	136
Αριθμός φωτιστικών LED	136
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου A - Στενής δέσμης
Πλήθος	136
Διάταξη ιστών	Δύο ανά ιστό
Απόσταση μεταξύ ιστών	35 μ.
Πλάτος νησίδας	4μ.
Λωρίδες ανά κατεύθυνση	3
Απόσταση ιστού από το ρείθρο	2 μ.
Προέκταση φωτιστικού από το ρείθρο	0,25 μ.
Κλίση μπράτσου	15°

Υποσημείωση 2: Στους ιστούς του πεζοδρομίου του ανισόπεδου κόμβου Λαυρίου (ράμπες εισόδου και εξόδου στον κόμβο) εγκαθίσταται ένα φωτιστικό ανά ιστό.

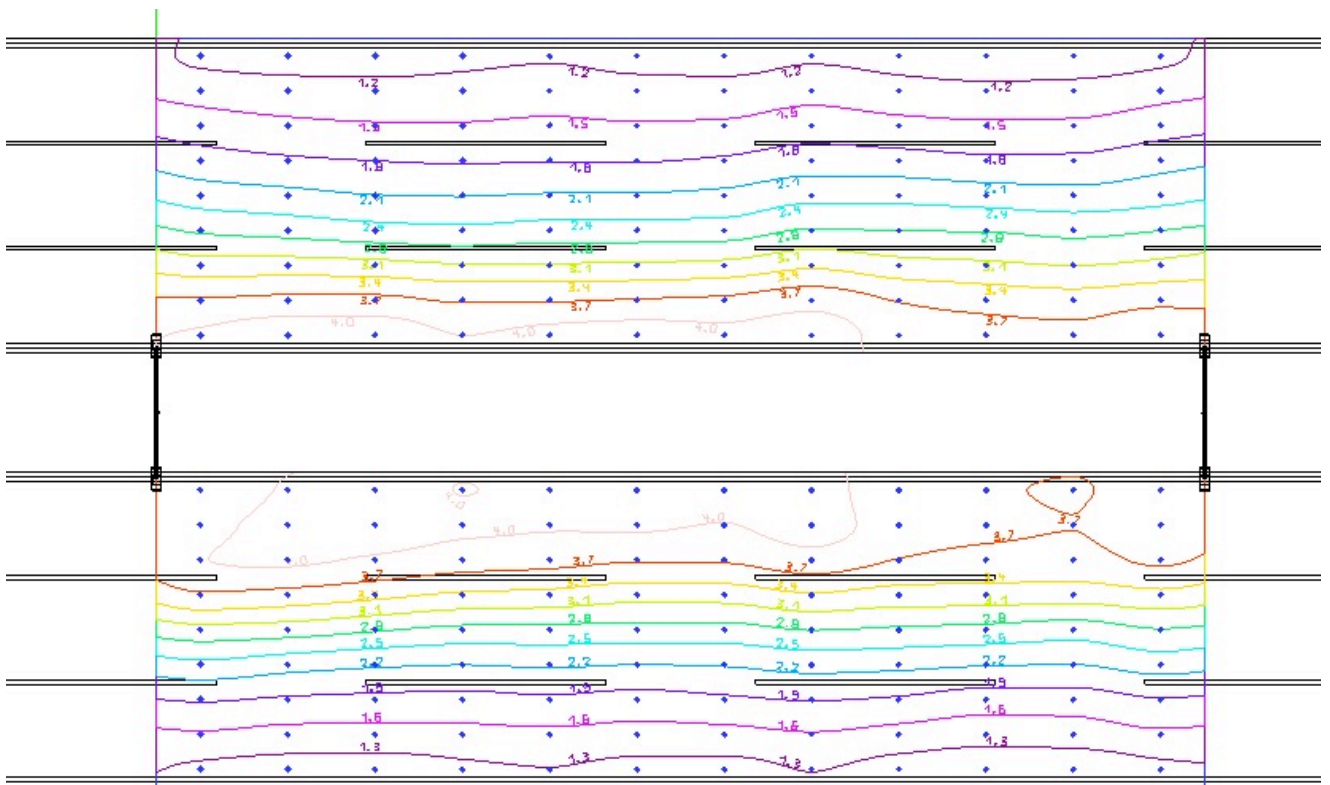
### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 2.

	$\bar{L}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$U_o$	$U_l$	$f_{TI}$ (%)	$R_{EI}$
Κλάση M3	1,00	0,4	0,6	≤10	0,30
LED	1,12	0,46	0,81	9	0,48
HPS	2,41	0,41	0,9	10	0,58



Εικόνα K2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα K2.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 2 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών



### Κάνναβος 3.1

Πίνακας Κ3.1.ι: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.1.

Αριθμός ιστών	10
Αριθμός φωτιστικών HPS	28
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	20
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου Α - Στενής δέσμης
Πλήθος	10
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 96 LED / 153W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	5
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	5

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

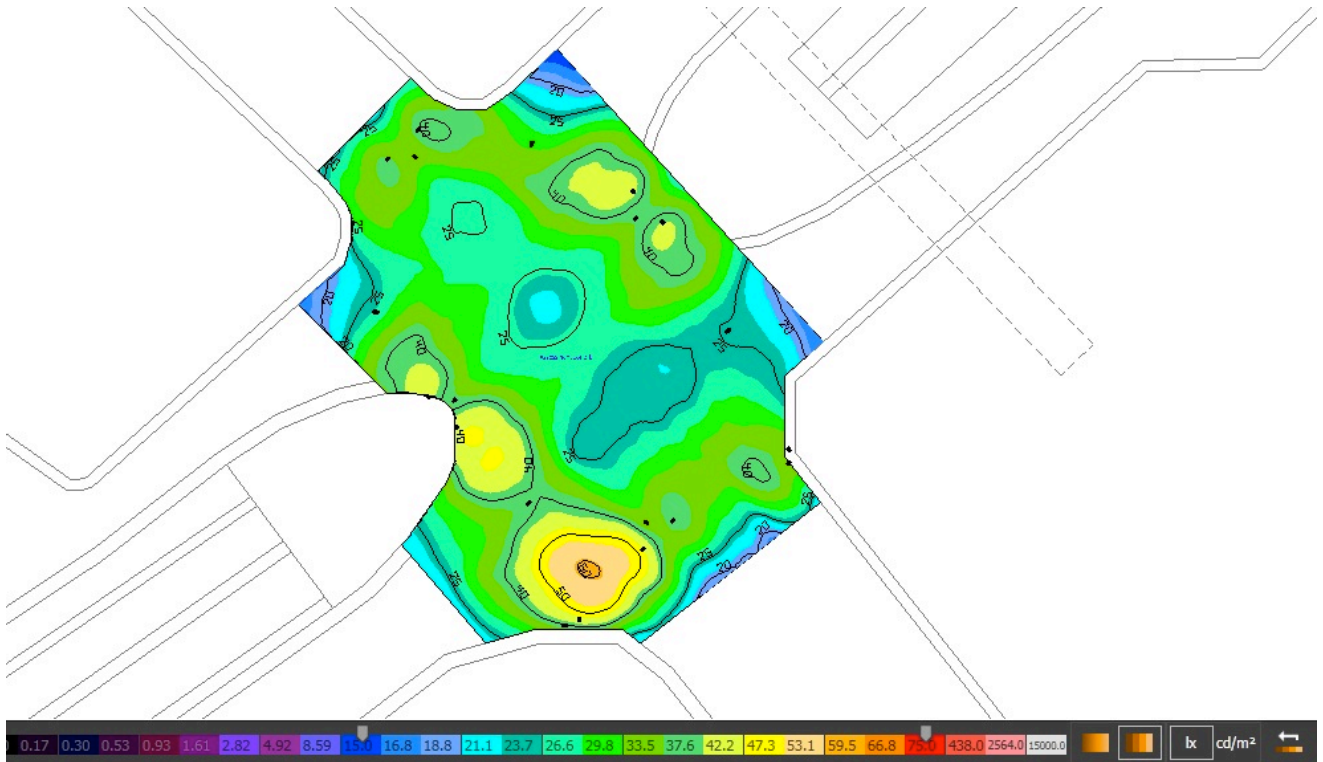
Πίνακας Κ3.1.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.1.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	32,6	0,44
HPS	135	0,33

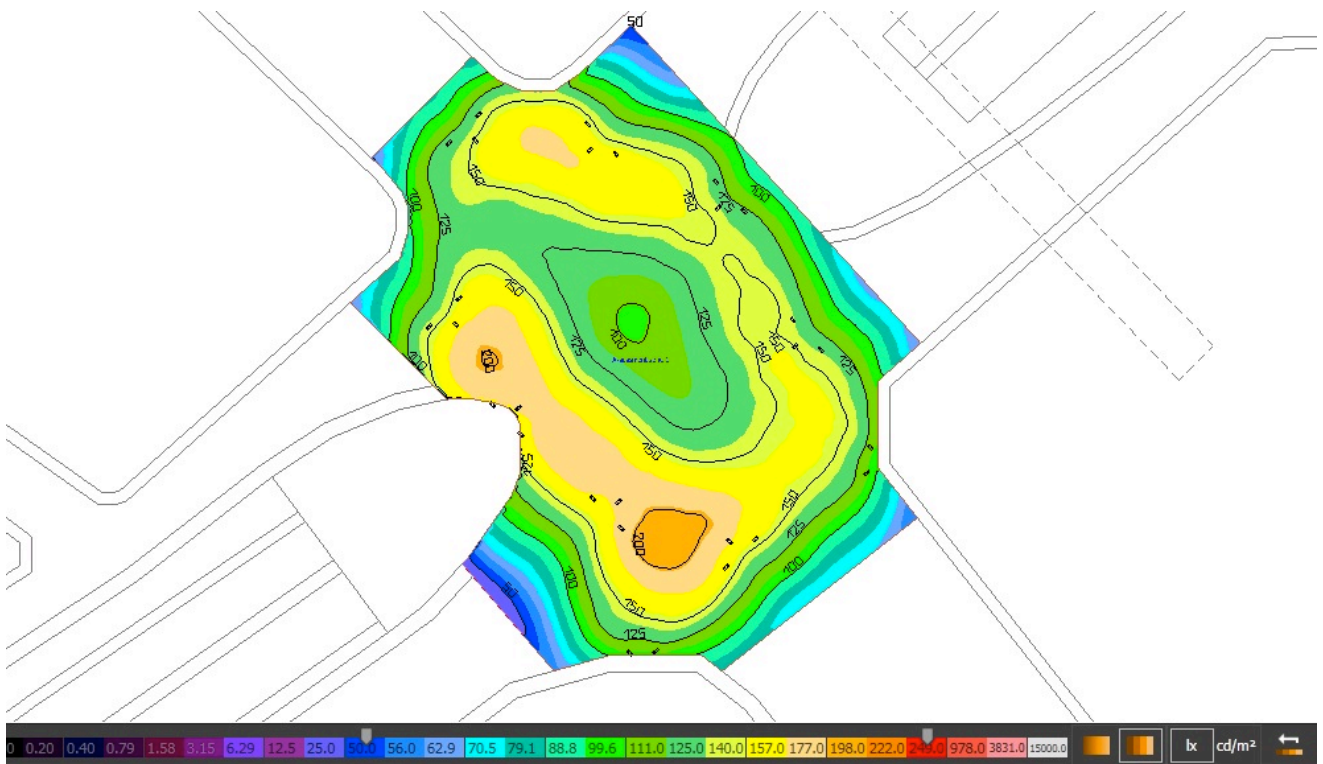


Εικόνα Κ3.1.Φ: Άποψη υφιστάμενης εγκατάστασης καννάβου 3.1.  
(Διασταύρωση λεωφόρων Μεσογείων - Κατεχάκη)





Εικόνα Κ3.1.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.1 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ3.1.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.1 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

Κάνναβος 3.2

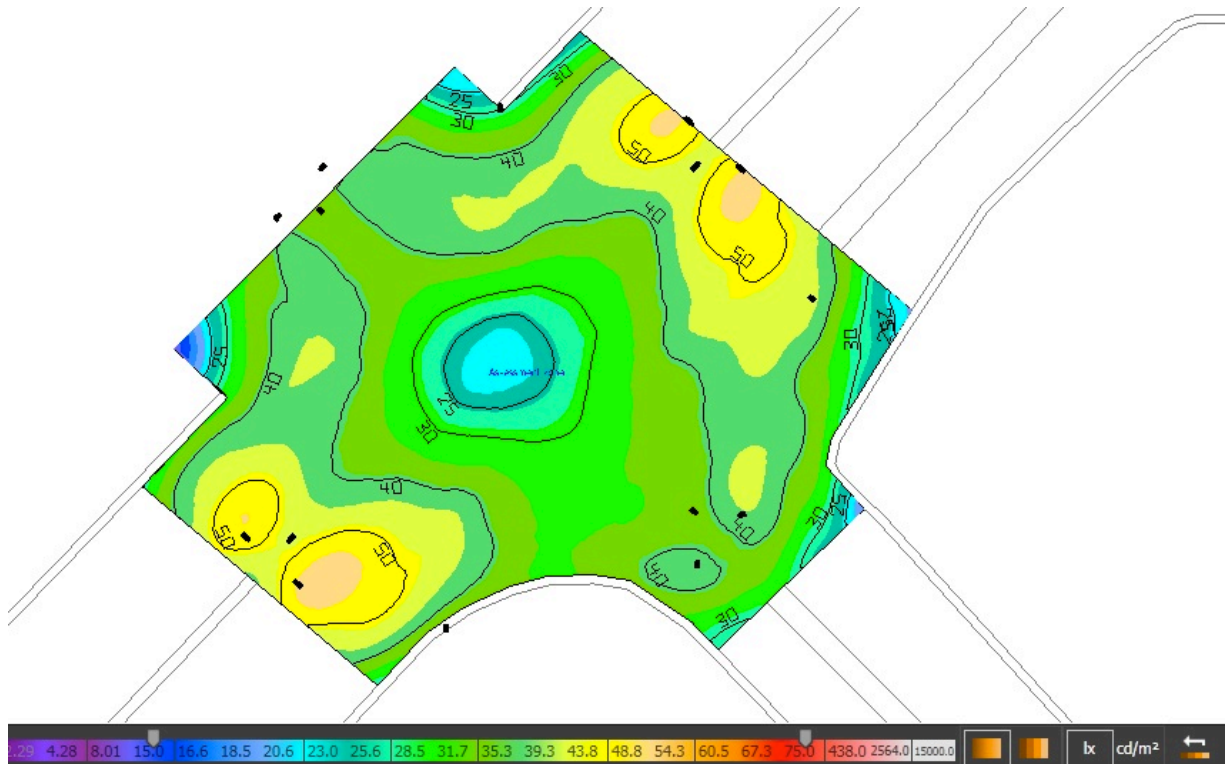
Πίνακας Κ3.2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.2.

Αριθμός ιστών	6
Αριθμός φωτιστικών HPS	18
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	15
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 96 LED / 153W / 5136 Τύπου A – Στενής δέσμης
Πλήθος	4
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου A – Στενής δέσμης
Πλήθος	5
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 96 LED / 153W / 5098 Τύπου B – Μέτριας δέσμης
Πλήθος	2
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5098 Τύπου B – Μέτριας δέσμης
Πλήθος	4

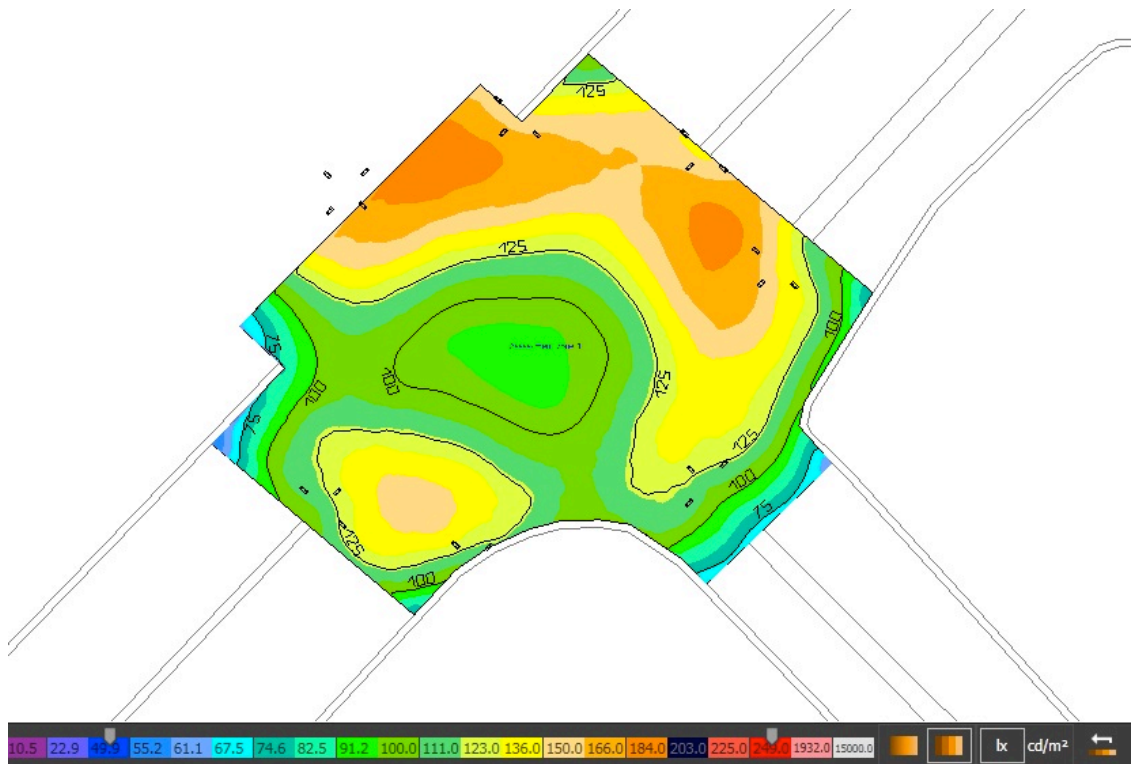
Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.2.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	39,3	0,41
HPS	130	0,44



Εικόνα Κ3.2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ3.2.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.2 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

### Κάνναβος 3.3.1.A

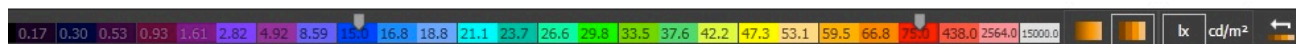
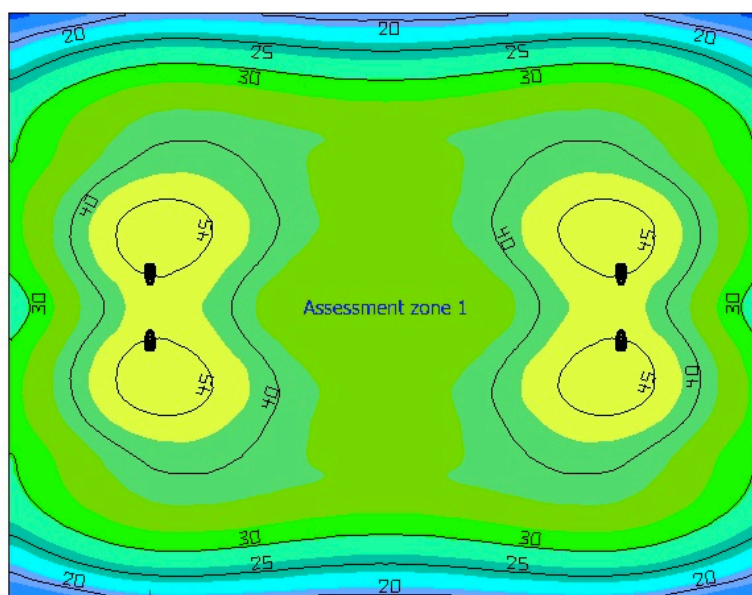
Πίνακας Κ3.3.1.A.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.1.A.

Αριθμός ιστών	2
Αριθμός φωτιστικών HPS	6
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	4
Φωτιστικό LED	Ampera Midi 96 LED / 153W / 5136 Τύπου A - Στενής δέσμης
Πλήθος	4

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.3.1.A.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.1.A.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	35	0,47



Εικόνα Κ3.3.1.A.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.1.A μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

### Κάνναβος 3.3.1.B

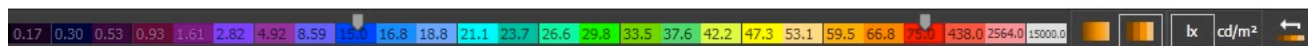
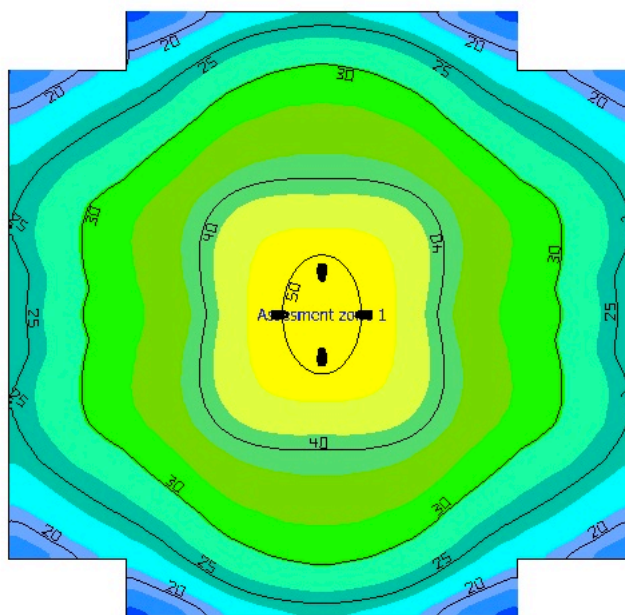
Πίνακας Κ3.3.1.B.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.1.B.

Αριθμός ιστών	1
Αριθμός φωτιστικών HPS	3
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	4
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 96 LED / 153W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	4

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.3.1.B.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.1.B.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	31,8	0,51



Εικόνα Κ3.3.1.B.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.1.B μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



### Κάνναβος 3.3.2

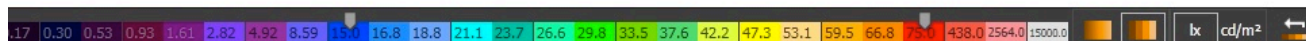
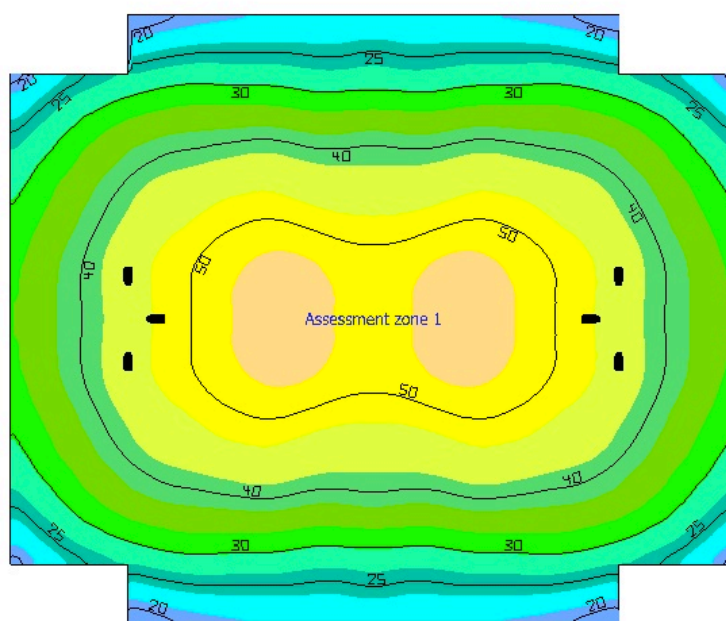
Πίνακας Κ3.3.2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.2.

Αριθμός ιστών	10
Αριθμός φωτιστικών HPS	27
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	30
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 96 LED / 153W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	30

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.3.2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.2.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	38,2	0,49



Εικόνα Κ3.3.2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

### Κάνναβος 3.3.3

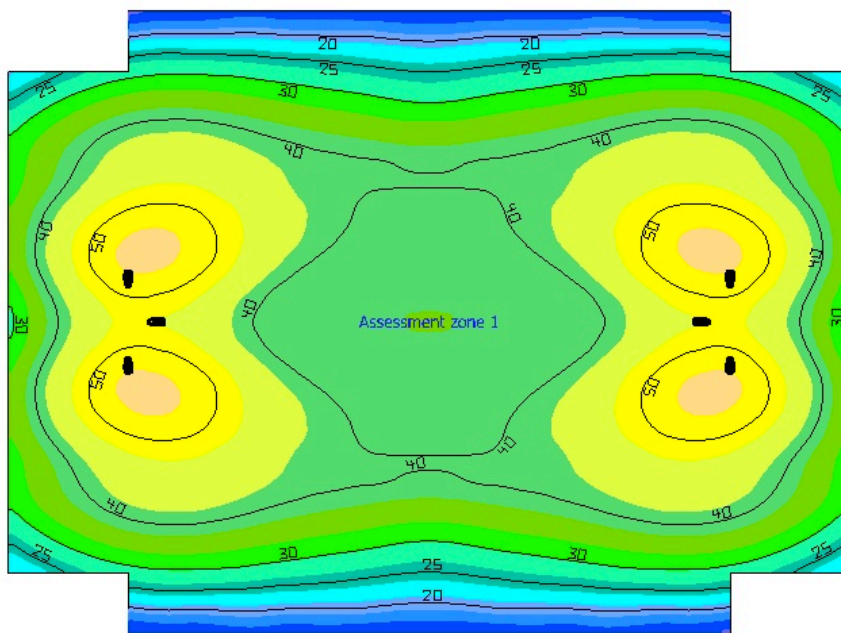
Πίνακας Κ3.3.3.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.3.

Αριθμός ιστών	12
Αριθμός φωτιστικών HPS	31
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	36
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 96 LED / 153W / 5136 Τύπου Α - Στενής δέσμης
Πλήθος	24
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 96 LED / 153W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	12

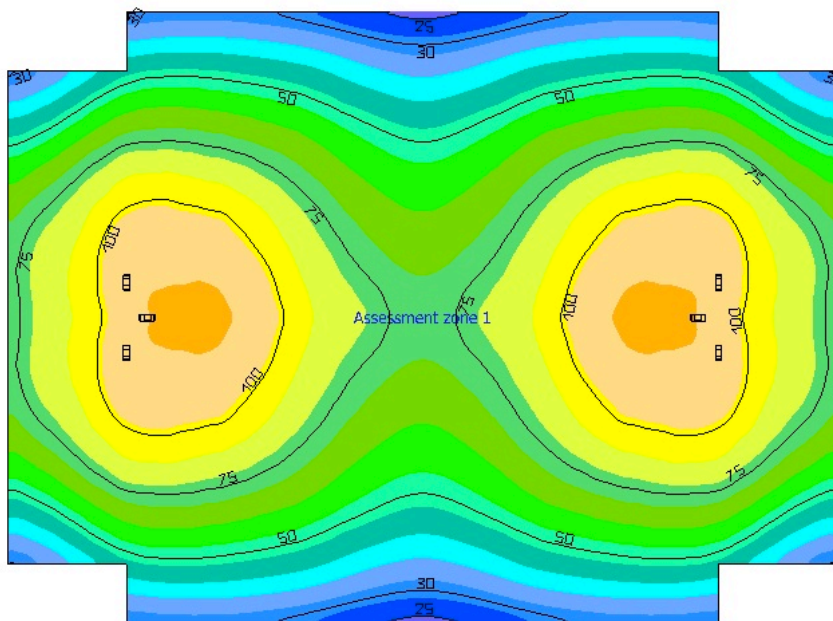
### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.3.3.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.3.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	37,3	0,4
HPS	69,7	0,35



Εικόνα Κ3.3.3.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.3 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ3.3.3.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.3 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών



### Κάνναβος 3.3.4

Πίνακας Κ3.3.4.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.3.4.

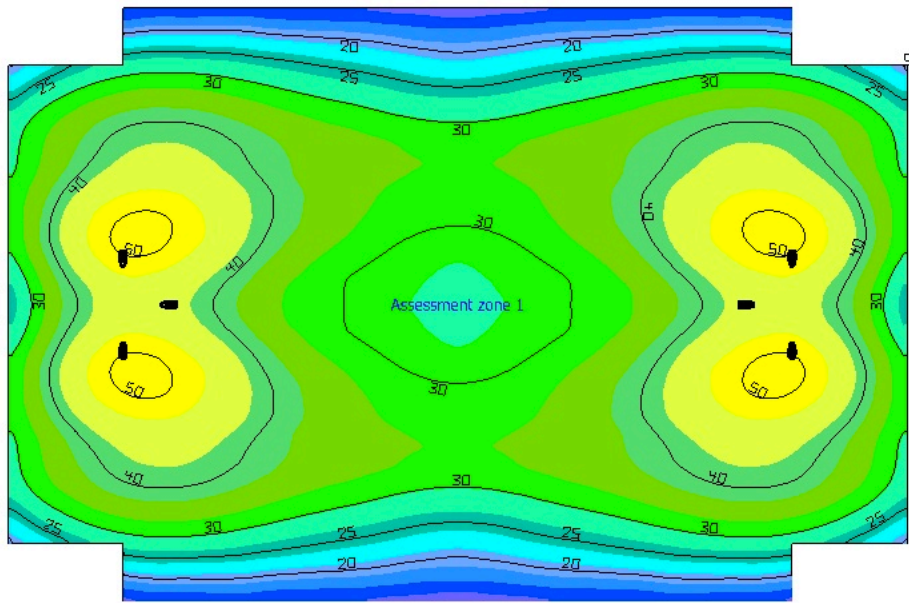
Αριθμός ιστών	16
Αριθμός φωτιστικών HPS	38
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	48
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 96 LED / 153W / 5136 Τύπου Α - Στενής δέσμης
Πλήθος	32
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 96 LED / 153W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	16

Υποσημείωση: Σε αυτόν τον κάνναβο προστίθενται 2 ιστοί, στην διασταύρωση με 17<sup>ης</sup> Νοέμβρη και στην διασταύρωση με Αρκαδίου.

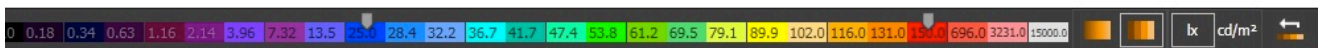
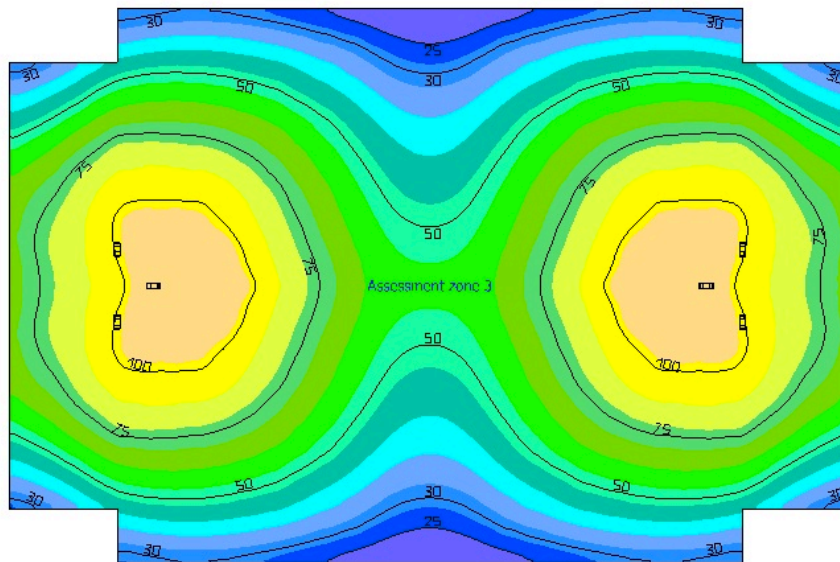
### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.3.4.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.3.4.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	33,7	0,42
HPS	62,8	0,32



Εικόνα Κ3.3.4.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.4 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ3.3.4.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.3.4 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

### Κάνναβος 3.4

Πίνακας Κ3.4.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 3.4.

Αριθμός ιστών	5
Αριθμός φωτιστικών HPS	13
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	9
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 96 LED / 153W / 5136 Τύπου Α - Στενής δέσμης
Πλήθος	4
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 64 LED / 99W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	2
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου Α - Στενής δέσμης
Πλήθος	3

Υποσημείωση: Ένας υπάρχων ιστός δεν χρησιμοποιείται.

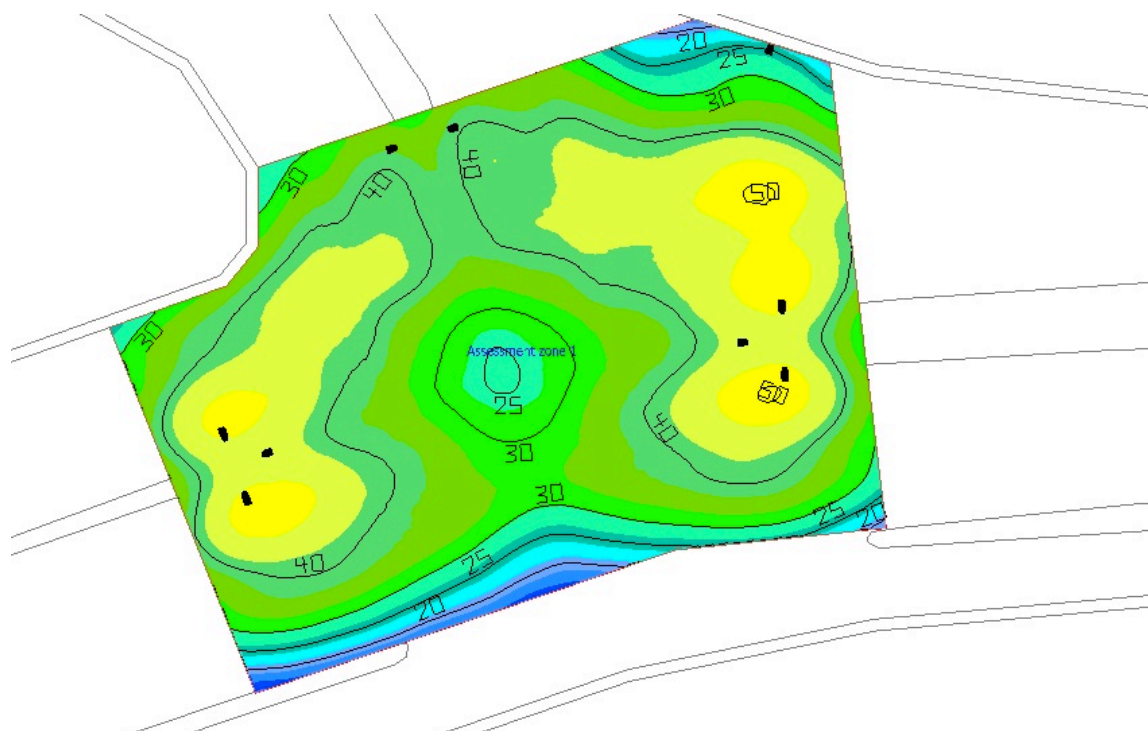
#### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ3.4.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 3.4.

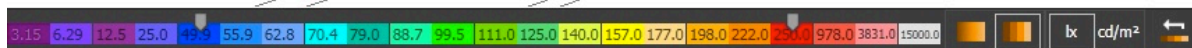
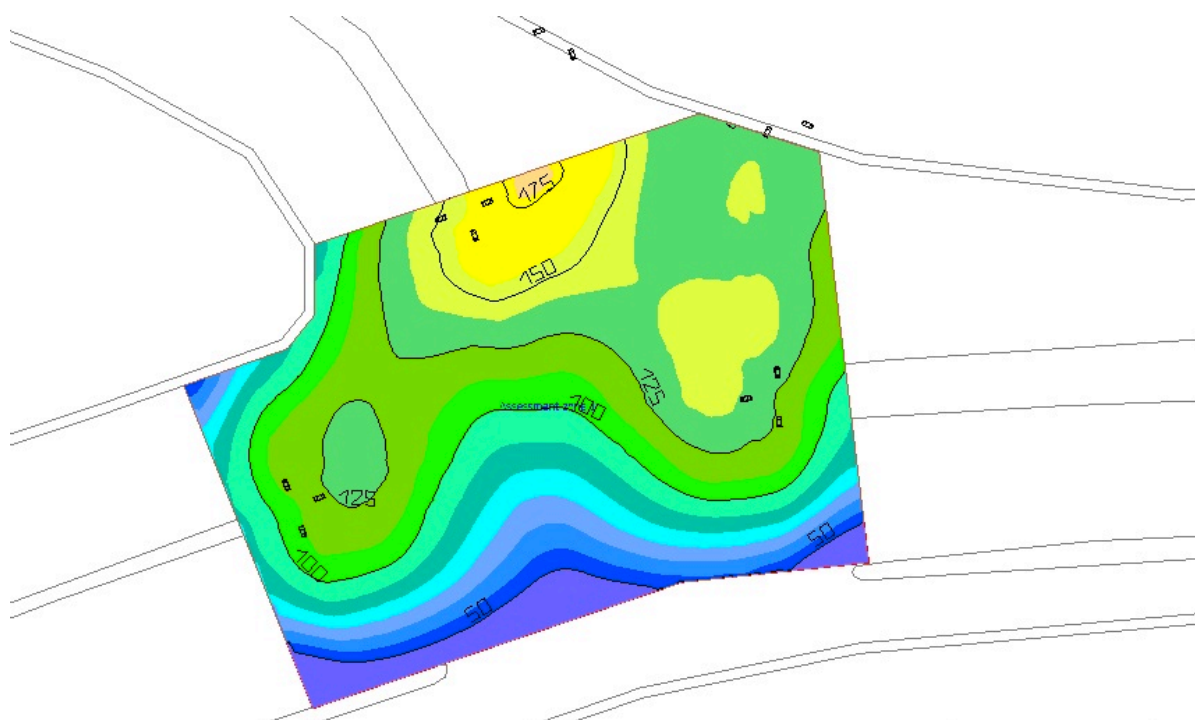
	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C1	30	0,4
LED	37,4	0,4
HPS	109	0,27



Εικόνα Κ3.4.Φ: Άποψη υφιστάμενης εγκατάστασης καννάβου 3.4.  
(Διασταύρωση λεωφόρων Μεσογείων - Χαλανδρίου)



Εικόνα Κ3.4.LED: Προσομοίωση Καννάβου 3.4 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ3.4.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 3.4 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

### Κάνναβος 4.3.1.B

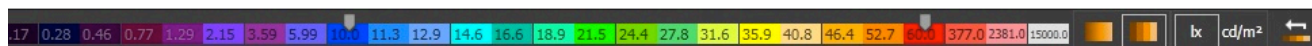
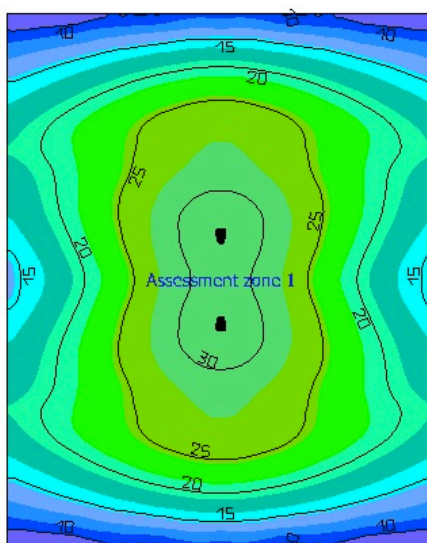
Πίνακας K4.3.1.B.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.3.1.B.

Αριθμός ιστών	1
Αριθμός φωτιστικών HPS	2
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	2
Φωτιστικό LED	Ampera Midi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου A – Στενής δέσμης
Πλήθος	2

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας K4.3.1.B.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.3.1.B.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C2	20	0,4
LED	21	0,4



Εικόνα K4.3.1.B.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.3.1.B μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



### Κάνναβος 4.3.2

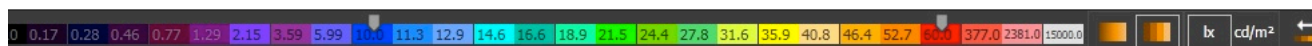
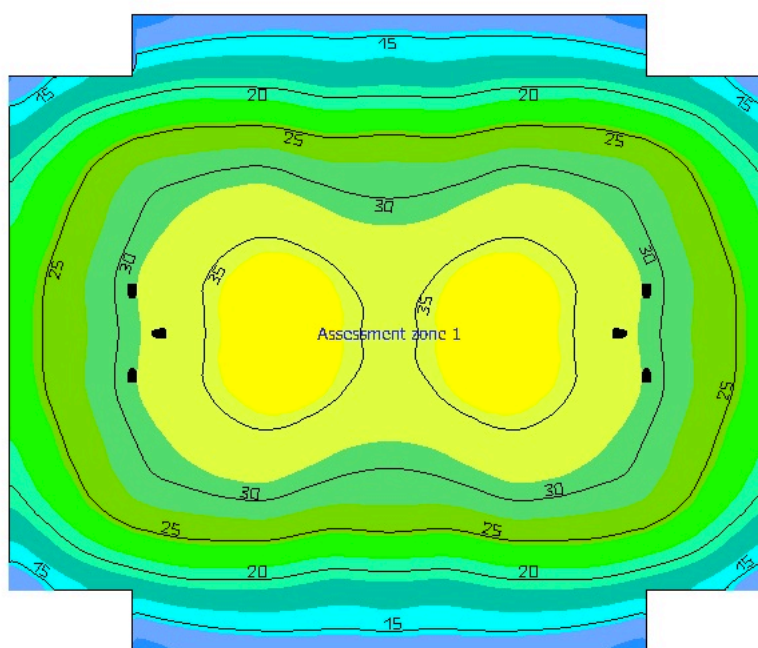
Πίνακας K4.3.2.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.3.2.

Αριθμός ιστών	2
Αριθμός φωτιστικών HPS	6
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	6
Φωτιστικό LED	Ampera Midi 64 LED / 99W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	6

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας K4.3.2.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.3.2.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C2	20	0,4
LED	26,2	0,47



Εικόνα K4.3.2.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.3.2 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

### Κάνναβος 4.3.3

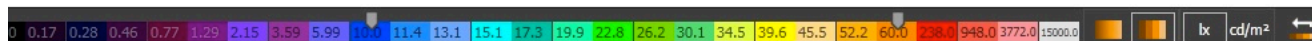
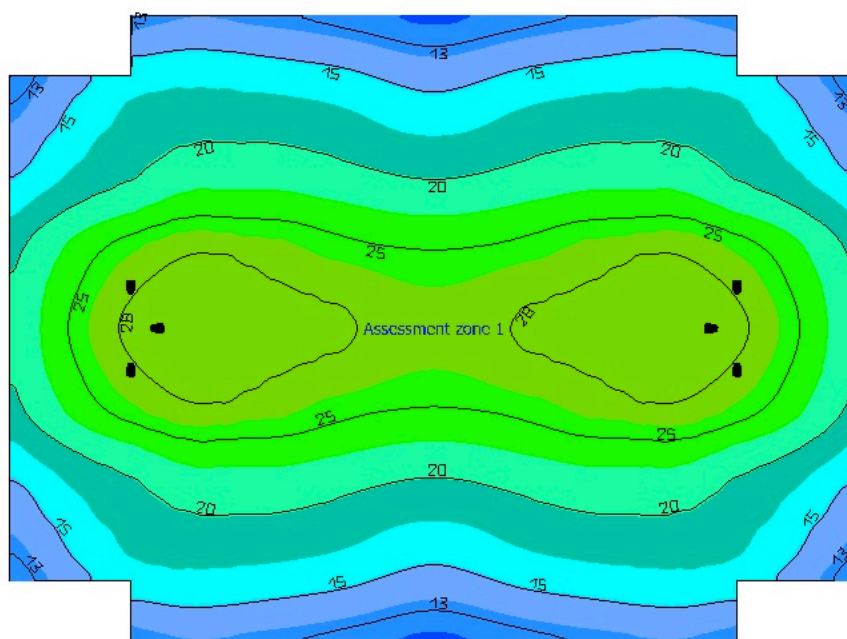
Πίνακας K4.3.3.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.3.3.

Αριθμός ιστών	4
Αριθμός φωτιστικών HPS	11
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	12
Φωτιστικό LED	Ampera Midi 64 LED / 99W / 5098 Τύπου Β - Μέτριας δέσμης
Πλήθος	12

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας K4.3.3.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.3.3.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C2	20	0,4
LED	20,7	0,54



Εικόνα K4.3.3.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.3.3 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών

### Κάνναβος 4.5

Πίνακας Κ4.5.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 4.5.

Αριθμός ιστών	15
Αριθμός φωτιστικών HPS	16
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	16
Φωτιστικό LED	Ampere Midi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου A – Στενής δέσμης
Πλήθος	16

### Αποτελέσματα προσομοίωσης

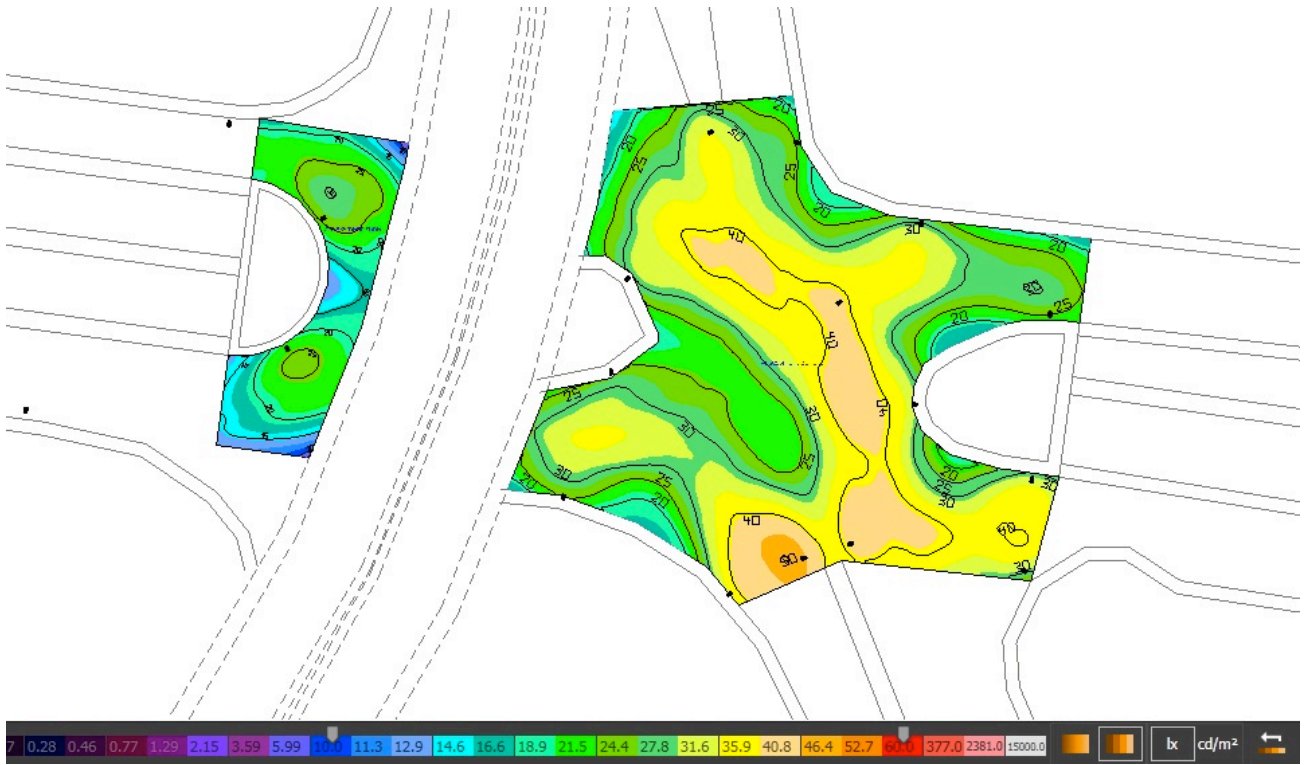
Πίνακας Κ4.5.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 4.5.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C2	20	0,4
LED	32,2 (20,9)	0,46 (0,42)
HPS	86,8 (54,8)	0,4 (0,43)

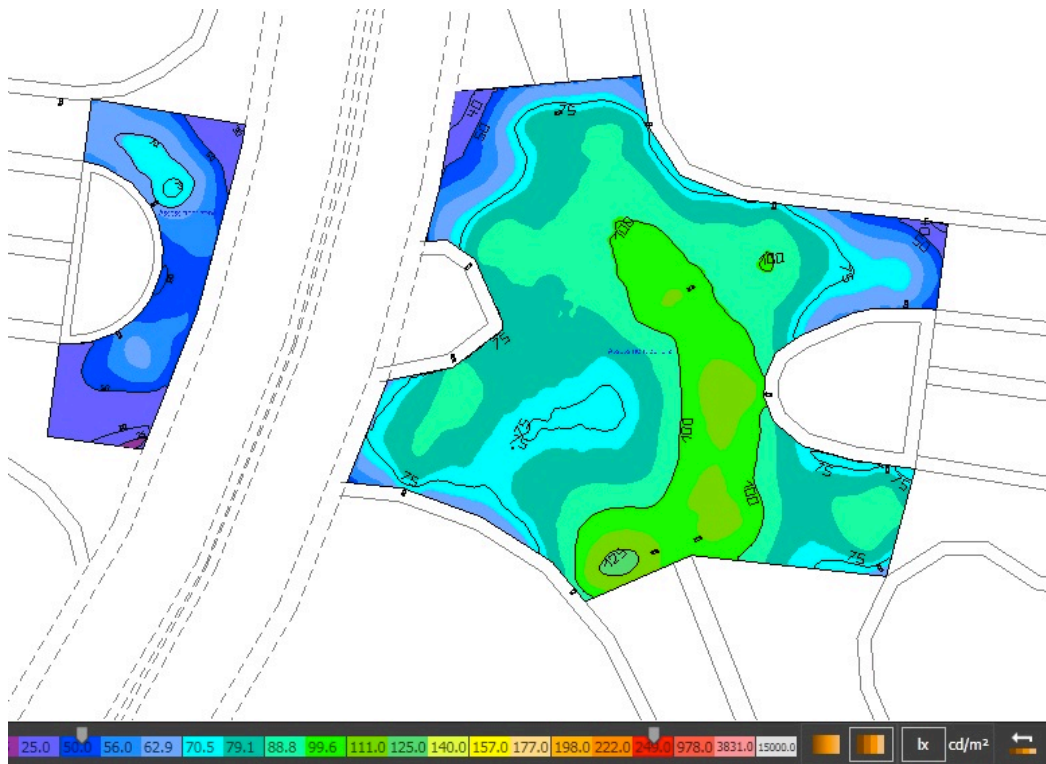


Εικόνα Κ4.5.Φ: Άποψη υφιστάμενης εγκατάστασης καννάβου 4.5.  
(Διασταύρωση λεωφόρων Μεσογείων - Λαυρίου)





Εικόνα Κ4.5.LED: Προσομοίωση Καννάβου 4.5 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ4.5.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 4.5 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

## Κάνναβος 5

Πίνακας Κ5.i: Ρυθμίσεις εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων καννάβου 5.

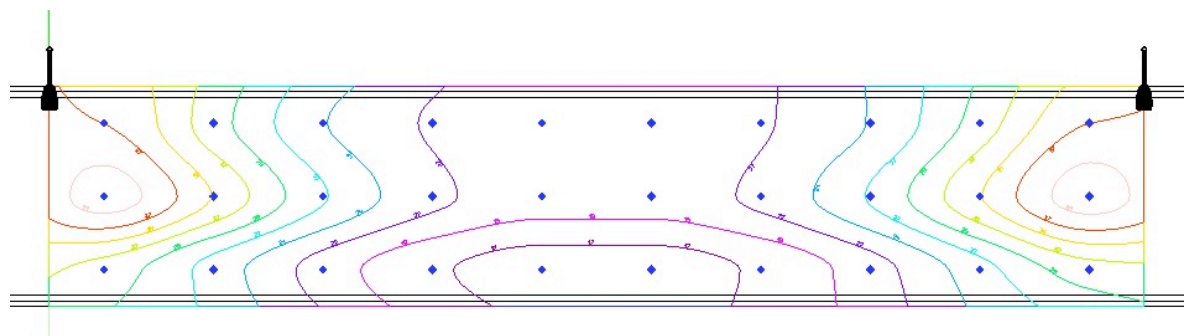
Αριθμός ιστών	77
Αριθμός φωτιστικών HPS	108
Συνολικός αριθμός φωτιστικών LED	77
Φωτιστικό LED	Ampere Maxi 64 LED / 99W / 5136 Τύπου A – Στενής δέσμης
Πλήθος	77
Διάταξη ιστών	Ένα ανά ιστό
Απόσταση μεταξύ ιστών	30 μ.
Απόσταση ιστού από το ρείθρο	1 μ.
Προέκταση φωτιστικού από το ρείθρο	0,5 μ.
Κλίση μπράτσου	0°
Υψος ανάρτησης φωτιστικού	10 μ.

Υποσημείωση: Στους ιστούς που βρίσκονται στην στάση λεωφορείου της Κατεχάκη από την πλευρά που φωτίζεται η Μεσογειών εγκαθίστανται φωτιστικά του καννάβου 1 ενώ από την πλευρά της λεωφορειολωρίδας φωτιστικά του καννάβου 5.

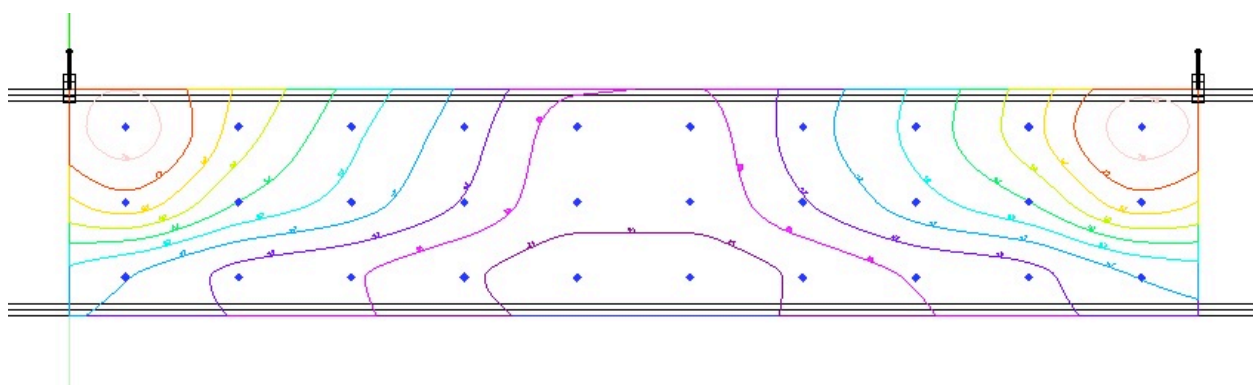
### Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας Κ5.ii: Αποτελέσματα προσομοίωσης καννάβου 5.

	$\bar{E}$ (lx)	$U_o$
Κλάση C2	20	0,4
LED	25,7	0,6
HPS	47,56	0,6



Εικόνα Κ5.LED: Προσομοίωση Καννάβου 5 μετά την εγκατάσταση LED φωτιστικών



Εικόνα Κ5.HPS: Προσομοίωση Καννάβου 5 στην υφιστάμενη εγκατάσταση HPS φωτιστικών

## Παράρτημα Γ: Υπολογισμός ισχύος προσαρμοστικού φωτισμού

Ο υπολογισμός της ισχύος κατανάλωσης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού πραγματοποιείται για κάθε κάρναβο συνυπολογίζοντας:

- Το απαιτούμενο επίπεδο φωτισμού ανά δεδομένη χρονική στιγμή, είτε Ένταση Φωτισμού για τις M κλάσεις, είτε Λαμπρότητα για τις C κλάσεις, όπως προκύπτει από την κατηγοριοποίηση των καννάβων με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201.
- Το παρεχόμενο από την εγκατάσταση επίπεδο φωτισμού σε πλήρη ισχύ, όπως προκύπτει από την προσομοίωση του φωτισμού της εγκατάστασης για κάθε κάρναβο.
- Την σχέση Φωτεινής Ροής - Ισχύος του driver που ελέγχει την τροφοδοσία του LED όπως φαίνεται στην Πίνακα Γ.1.

Πίνακας Γ.1: Σχέση Φωτεινής Ροής - Ισχύος

Σχετική φωτεινή ροή (%)	Σχετική απόδοση φωτισμού (%)	Σχετική ισχύς (%)
15	91	16,5
28	100	28
42	104	40,4
56	106	52,8
70	107	65,4
82	105	78,1
94	102	92,2
100	100	100

Για τον υπολογισμό της συνάρτησης Φωτεινής Ροής - Ισχύος από τις παρεχόμενες τιμές γίνεται χρήση γραμμικής παρεμβολής. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η ισχύς για κάθε φωτιστικό της εγκατάσταση στους παρακάτω Πίνακες Γ.3 και Γ.4 όπως και η συνολική ισχύς ανά κάρναβο συναρτήσει του πλήθους και τους είδους των εγκαθιστάμενων φωτιστικών ενώ η συνολική ισχύς ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού υπολογίζεται στον Πίνακα Γ.2.

Πίνακας Γ.2: Συνολική ισχύς εγκατάστασης ανά στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού.

Στάδιο προσαρμοστικού φωτισμού	Δt1 & Δt4	Δt2	Δt3
Συνολική ισχύς ανά στάδιο M κλάσεων (Watt)	55064	36336	27064
Συνολική ισχύς ανά στάδιο C κλάσεων (Watt)	27706	18991	14052
Συνολική ισχύς εγκατάστασης ανά στάδιο (Watt)	82770	55327	41116

Πίνακας Γ.3: Υπολογισμός ισχύος ανά στάδιο στις M κλάσεις.

Κάρναβος	Είδος φωτιστικού	Πλήθος	Επίπεδο φωτισμού	Δt1 & Δt4	Δt2	Δt3	Δt1 & Δt4	Δt2	Δt3
1	Τύπος A 153 W	312	1,62 cd/m <sup>2</sup>	1,5	1	0,75	43368	27768	21216
				139	89	68			
2	Τύπος A 99 W	136	1,12 cd/m <sup>2</sup>	1	0,75	0,5	11696	8568	5848
				86	63	43			
Συνολική ισχύς (Watt)							55064	36336	27064

Πίνακας Γ.4: Υπολογισμός ισχύος ανά στάδιο στις C κλάσεις.

Κάναβος	Είδος φωτιστικού	Πλήθος	Επίπεδο φωτισμού	Δt1 & Δt4	Δt2	Δt3	Δt1 & Δt4	Δt2	Δt3
3.1	Τύπος A 99 W	10	32,6 lx	30	20	15	2025	1315	1000
				89	58	44			
	Τύπος B 153 W	5		30	20	15			
				138	89	68			
	Τύπος B 99 W	5		30	20	15			
				89	58	44			
3.2	Τύπος A 153 W	4	39,3 lx	30	20	15	1314	876	675
				111	74	57			
	Τύπος A 99 W	5		30	20	15			
				72	48	37			
	Τύπος B 153 W	2		30	20	15			
				111	74	57			
	Τύπος B 99 W	4		30	20	15			
				72	48	37			
3.3.1.A	Τύπος A 153 W	4	35 lx	30	20	15	508	332	252
				127	83	63			
3.3.1.B	Τύπος B 153 W	4	31,8 lx	30	20	15	568	364	276
				142	91	69			
3.3.2	Τύπος B 153 W	30	38,2 lx	30	20	15	3420	2280	1770
				114	76	59			
3.3.3	Τύπος A 153 W	24	37,3 lx	30	20	15	4212	2808	2160
				117	78	60			
	Τύπος B 153 W	12		30	20	15			
				117	78	60			
3.3.4	Τύπος A 153 W	32	33,4 lx	30	20	15	6432	4176	3168
				134	87	66			
	Τύπος B 153 W	16		30	20	15			
				134	87	66			
3.4	Τύπος A 153 W	4	37,4 lx	30	20	15	848	567	435
				117	78	60			
	Τύπος A 99 W	3		30	20	15			
				76	51	39			
	Τύπος B 99 W	2		30	20	15			
				76	51	39			
4.3.1.B	Τύπος A 99 W	2	21 lx	20	15	10	186	134	90
				93	67	45			
4.3.2	Τύπος B 99 W	6	26,2 lx	20	15	10	432	324	222
				72	54	37			
4.3.3	Τύπος B 99 W	12	20,7 lx	20	15	10	1140	816	552
				95	68	46			
4.5.A	Τύπος A 99 W	2	20,9 lx	20	15	10	188	134	92
				94	67	46			
4.5.B	Τύπος A 99 W	14	32,2 lx	20	15	10	812	630	434
				58	45	31			
5	Τύπος A 99 W	77	25,7 lx	20	15	10	5621	4235	2926
				73	55	38			
Συνολική ισχύς (Watt)							27706	18991	14052

## Βιβλιογραφία

### 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

1. Φ. Β. Τοπαλής, Α. Οικονόμου, Σ. Κουρτέση, *Φωτοτεχνία*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
2. <http://www.users.sch.gr/>
3. <https://www.slideshare.net/>
4. <http://www.aquatek.gr/>
5. Cajochen C., *Alerting effects of light*, Sleep Med Rev, 2007.
6. Arushanian EB, Beřer EV, «[*Immunotropic properties of pineal melatonin*]» (Russian). *Eksp Klin Farmakol*, 2002.
7. <http://www.zumtobel.com/>
8. <http://www.nbsls.com/>
9. Craig DiLouie, "Dimming HID Lamps", Lighting Controls Association, 2004
10. <http://www.en.wikipedia.org/>

### 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

1. J. B. Harris, *Lighting the Queens Highway*, The Lighting Journal, December 1993.
2. <http://www.lurganancestry.com/>
3. M. Pyke, *The Science Myth*, (Butter and Tanner), 1962.
4. Lady Wulfrun, *Arc Lighting in London*, 1881.
5. P. P. Scott, *The Relationship between Road Lighting Quality and Accidents*, TRL Report 929, 1980.
6. P.Box, IERI Project 85-87: *Relationship Between Illumination and Freeway Accidents*, Illuminating Engineering (N.Y.) 66, No. 5, 1971.
7. R. W. Holmes, *The Purpose of Road Lighting*, CIE Division 4, Department of Transport, 1997.
8. <https://www.darksky.gr/>
9. W. Zagan, M. Kowalska, *The aesthetics of lighting*, Przegląd Elektrotechniczny, 2017
10. European Commission, *Lighting the Cities, Accelerating the Deployment of Innovative Lighting in European Cities*, 2013.
11. StreetSMART, *Traffic Technology Today*, 2010.
12. LIGHTSAVERS programme, *Lighting the clean revolution*.
13. EN 13201-1, "Road Lighting-Part 1: Selection of Lighting Classes", European Committee for Standardization CEN, 2014.
14. CIE Technical report, *Calculation and measurement of luminance and illuminance in road tunnel lighting system*, 1988.
15. CIE 97:2005, *Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems*, 2nd Edition, CIE, 2005.
16. Whitecroft Lighting, *LED & Maintenance Factors*, 2017.
17. CIE 115-2010, *Lighting of roads for motor and pedestrian traffic*, 2010
18. Ι. Μ. Φρατζεσκάκης, Ι. Κ. Γκόλιας, Μ. Χ. Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, *Κυκλοφοριακή Τεχνική*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2009.
19. <https://www.myota.gr/>
20. EN 13201-2, "Road Lighting-Part 2: Performance Requirements", European Committee for Standardization CEN, 2014.
21. EN 13201-5, "Road Lighting-Part 5: Energy Efficiency Requirement", European Committee for Standardization CEN, 2014.
22. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, *Οδηγίες Σχεδιασμού και Ελέγχου Εγκαταστάσεων Οδοφωτισμού*, Κείμενο διαβούλευσης, 2017

### 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

1. M. Poplawski, *LED Dimming: What you need to know*, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2012.
2. <https://www.philips.com/>
3. <https://www.lightology.com/>
4. <https://www.digitalilluminationinterface.org/>
5. <https://www.computerhope.com/>
6. <http://www.eas-tech.net/network-topologies/>
7. <http://www.zigbee.org/>
8. D. Gislason, *ZigBee Wireless Networking*, 2008.
9. S. Farahani, *Zigbee Wireless Networks and Tranceivers*, 2008.
10. <https://www.ils.com.gr/>
11. <https://www.schreder.com/>
12. <https://www.xal.com/>
13. <https://www.fagerhult.com/>
14. R. A. Oakley, *What Every LED Engineer Needs to Know About MTBF*, 2013.

### 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

1. Ι.Ψαρράς, *Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική*, 2010.
2. <https://www.covenantofmayors.eu/>
3. <https://www.consilium.europa.eu/>
4. <https://www.prasinotameio.gr/>
5. <https://www.espa.gr/>
6. <https://www.eib.org/>
7. Echelon, *Bellingham, Washington: A City with an Illuminated Mission*, 2016.
8. Echelon, *Cambridge, MA: Setting the Example for Adaptive Street Lighting*, 2016.
9. Philips, *Floating Garden: Greener with Connected Lighting*, 2015.

### 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

1. <https://el.wikipedia.org/>
2. <http://www.gis.ktimanet.gr/>
3. Υπουργείο Μεταφορών & Επικοινωνιών, *Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας, Άρθρο 20*, 2007
4. Υπουργείο Μεταφορών & Επικοινωνιών, *Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας, Άρθρο 2*, 2007
5. S. A. Fotios, P. R. Boyce, C. E. Ellis, *The effect of pavement material on road lighting performance*, *Lighting Journal*, 2006.
6. CIE Technical report, *Calculation and measurement of luminance and illuminance in road tunnel lighting system*, 1988.
7. CIE 97:2005, *Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems*, 2nd Edition, 2005.
8. <https://www.timeanddate.com/sun/greece/athens?month=1>
9. <https://www.timeanddate.com/astromy/different-types-twilight.html>
10. ΔΕΗ, *Τιμολόγιο Φωτισμού Οδών & Πλατειών T-49, T-49/1, Γ-4*, 2018.
11. ΓΓΔΕ, *Τιμολόγιο ηλεκτρομηχανολογικών εργασιών (Η/Μ εγκαταστάσεων έργων οδοποιίας, υδραυλικών και λιμενικών έργων)*, 2012.
12. Π. Κάπρος και Κ. Ντελκής, *Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων*, Εκδοσεις Ε.Μ.Π., 2007