



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

"Μελέτη σκοπιμότητας για αντικατάσταση των φωτιστικών της Λεωφόρου Κηφισίας με LED και εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού."

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ Β. ΠΑΠΠΑ

Επιβλέποντες: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δημήτρης Παναγιώτης Τ. Νικολάου, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Αθήνα, 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

"Μελέτη σκοπιμότητας για αντικατάσταση των φωτιστικών της Λεωφόρου Κηφισίας με LED και εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού."

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ Β. ΠΑΠΠΑ

Επιβλέποντες: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δημήτρης Παναγιώτης Τ. Νικολάου, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18 Ιουλίου 2017:

.....

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ιωάννης Φ. Γκόνοσ

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2017

.....
Παναγιώτα Β. Παππά

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτα Β. Παππά, 2017

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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στους γονείς μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή αφορά τη μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας με τη χρήση φωτιστικών LED και την εφαρμογή του προσαρμοστικού φωτισμού ώστε να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, χωρίς να υπάρχει αλλοίωση στο αποτέλεσμα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις της κατανάλωσης ενέργειας και στις βασικές έννοιες του φωτισμού.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται ο εξωτερικός φωτισμός και ο φωτισμός οδικών δικτύων. Παράλληλα, μία μικρή επεξήγηση στα φωτιστικά που είναι εγκατεστημένα στη Λεωφόρο Κηφισίας και στα προτεινόμενα φωτιστικά LED.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στον προσαρμοστικό φωτισμό, καθώς και τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι παράμετροι που απαιτούνται για την υλοποίηση της προτεινόμενης εγκατάστασης. Το πρότυπο του φωτισμού οδικού δικτύου CEN/TR 13201-1/2014, ο τρόπος υπολογισμού της κατάστασης καθώς και της κλάσης φωτισμού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο φαίνονται τα τρία στάδια της μελέτης. Η υπάρχουσα κατάσταση, η προτεινόμενη αντικατάσταση με φωτιστικά LED, και η προτεινόμενη αντικατάσταση με φωτιστικά LED "ντιμμάροντας" τα κατά τις ώρες που δεν επηρεάζουν την κυκλοφορία του δρόμου.

Στο έκτο κεφάλαιο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της προτεινόμενης μελέτης.

Στο έβδομο κεφάλαιο φαίνονται τα ενεργειακά οφέλη, το κόστος της επένδυσης και η απόσβεση του έργου με την πάροδο του χρόνου.

Στο όγδοο κεφάλαιο συνοψίζονται κύρια σημεία της παρούσας διπλωματικής και οι προοπτικές εξέλιξης του δικτύου των φωτιστικών στα πλαίσια των "έξυπνων" πόλεων.

Λέξεις Κλειδιά

Προσαρμοστικός φωτισμός, LED, εξοικονόμηση ενέργειας, φωτισμός δρόμων, φωτορύπανση, κόστος συντήρησης, χρόνος απόσβεσης εγκατάστασης, Καθαρές Ταμειακές Ροές, Καθαρή Παρούσα Αξία

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to study the energy savings by using LED luminaires and adaptive lighting, as a result the minimum consumption of energy has been reached, without affecting the lighting level.

The first chapter deals with the impact of energy consumption and the fundamentals lighting concepts.

The second chapter presents the external lighting and the street lighting. Furthermore, there is a short description about the luminaires, which are installed in Kifissias Avenue and the suggested LED luminaires.

The third chapter includes an introduction to adaptive lighting, as well as some proposals about the more effective use of this.

In the fourth chapter are discussed the parameters of lighting for the proposed installation. Moreover, a reference is made to the standards for the street lighting CEN/TR 13201-1/2014, as well as how to calculate the lighting situation and the lighting class.

The fifth chapter describes the three parts of the study: First, the existing installation, second the suggested installation with LED luminaires and last the suggested installation with LED luminaires and their dimming when it is required.

The sixth chapter presents the results of the simulation of the proposed installation.

The seventh chapter presents the energy profits, the cost of the investment and the capital depreciation.

The eighth chapter summarizes the main points of this dissertation and the perspectives of adaptive street lighting in "smart" cities.

Key Words:

Adaptive lighting, LED, energy savings, street lighting, light pollution, maintenance cost, payback period installation's, Net cash flows, Net Present Value

Ευχαριστίες

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανέθεσε αυτό το τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την πολύτιμη και καθοριστική βοήθειά του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνεπιβλέποντα υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Νικολάου, του οποίου η βοήθειά του ήταν καίρια όλο αυτό το διάστημα, όπως επίσης και για την ευχάριστη συνεργασία που είχαμε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που ήταν και είναι δίπλα μου, την οικογένειά μου που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια και τους φίλους μου.

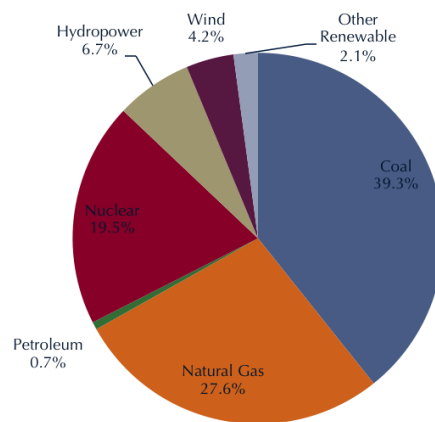
Περιεχόμενα

1	Η κατανάλωση ενέργειας και οι επιπτώσεις της.....	17
1.1	Η κατανάλωση ενέργειας για το φωτισμό.....	18
1.2	Φωτισμός.....	19
1.2.1	Ποσότητα Φωτισμού.....	19
1.2.2	Ποιότητα Φωτισμού.....	20
2	Εξωτερικός Φωτισμός.....	23
2.1	Φωτισμός οδικών δικτύων.....	23
2.2	Τα φωτιστικά της Λεωφόρου Κηφισίας.....	24
2.2.1	Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου.....	24
2.2.2	Φωτιστικά ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης.....	24
2.2.3	Φωτιστικά ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.....	25
2.3	Λαμπτήρες LED.....	26
3	Προσαρμοστικός Φωτισμός.....	29
3.1	Προσαρμοστικός φωτισμός σε οδικό δίκτυο.....	29
3.2	Σύνδεση των φωτιστικών.....	31
3.3	Αισθητήρες κίνησης.....	32
3.4	Πράσινα συστήματα φωτισμού.....	33
4	Πιλοτική εφαρμογή εξοικονόμησης ενέργειας στη Λ. Κηφισίας.....	35
4.1	Εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού βάσει του CEN/TR 13201-1/2014.....	36
4.2	Κατάσταση φωτισμού.....	36
4.3	Κατηγοριοποίηση κλάσης φωτισμού.....	38
4.3.1	Παράμετροι κλάσεως φωτισμού.....	40
5	Τα τρία στάδια της οικονομοτεχνικής μελέτης.....	41
5.1	1ο Στάδιο μελέτης - Υπάρχουσα κατάσταση φωτισμού.....	41
5.1.1	Γεωμετρία δρόμου.....	45
5.2	2ο Στάδιο μελέτης - Προτεινόμενη εγκατάσταση, Τοποθέτηση φωτιστικών LED..	48
5.2.1	Προτεινόμενο Φωτιστικό.....	48
5.3	3ο Στάδιο μελέτης - Προσαρμοστικός φωτισμός.....	50
6	Λογισμικό προσομοιώσεων και αποτελέσματα μελέτης.....	55
6.1	Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....	56
7	Οικονομική και ενεργειακή μελέτη.....	63
7.1	Ενεργειακή μελέτη.....	63
7.2	Οικονομική Μελέτη.....	70

7.2.1	Συντήρηση των φωτιστικών.....	70
7.2.2	Οικονομική ανάλυση της προτεινόμενης εγκατάστασης.....	71
7.2.3	Υπολογισμοί για τη βιωσιμότητα της επένδυσης.....	72
8	Συμπεράσματα και Προοπτικές χρήσης του δικτύου των φωτιστικών LED.....	79
9	Βιβλιογραφία	81

1 Η κατανάλωση ενέργειας και οι επιπτώσεις της

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι η συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται από το σύνολο του ανθρώπινου πολιτισμού. Ανά έτος μετράται, το σύνολο της ενέργειας που αξιοποιείται από κάθε πηγή ενέργειας σε κάθε βιομηχανικό αλλά και τεχνολογικό τομέα. Ο άνθρακας ήταν η πηγή ενέργειας με την μεγαλύτερη ανάπτυξη. Παρ' όλα αυτά, λόγω της ατελούς καύσης του, οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι σε υψηλά επίπεδα. Με φθίνουσα σειρά, ο ελληνικός λιγνίτης, ο άνθρακας, το πετρέλαιο Diesel και το φυσικό αέριο εκπέμπουν σημαντικά ποσά CO₂ στην ατμόσφαιρα. Στον αντίποδα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα βιοκαύσιμα είναι απαλλαγμένα από τις εκπομπές άνθρακα.



Σχήμα 1-1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε πηγή στην Ελλάδα

Αποτέλεσμα αυτής της υπερκατανάλωσης προϊόντων πρωτογενούς τομέα και φυσικών πόρων για την δημιουργία μεγάλων ποσών ενέργειας, είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και η εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά συνέπεια. Η κλιματική αλλαγή οφείλεται στην αλλαγή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας εξαιτίας των παραγόμενων ρύπων. Σαν συμπέρασμα των παραπάνω, είναι ότι επηρεάζεται τόσο η ανθρώπινη ζωή, όσο και των υπολοίπων ζωντανών οργανισμών.

Έτσι, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει δεσμευθεί να μειώσει τη κατανάλωση ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2020. Με την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως υδροηλεκτρική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, αιολική αλλά και με βιοκαύσιμα τα οποία είναι σε ανάπτυξη αυτή την περίοδο. Επίσης, ένας άλλος αναπτυσσόμενος κλάδος είναι η παραγωγή ενέργειας με τη βοήθεια των μέσων μεταφοράς, ενώ προωθείται σημαντικά και ο τομέας της συμπαραγωγής ενέργειας. Έτσι, ιδανικά πρέπει να μειωθεί η ζήτηση ενέργειας, ενώ να είναι αποδοτικότερη η χρήση της, χωρίς να επηρεάζεται η οικονομία της κοινωνίας. Γι'αυτό το λόγο υπάρχει ετήσια χρηματοδότηση των αναπτυσσόμενων κρατών ύψους €115 δις € έως το 2020, για δράσεις μείωσης των εκπομπών, προσαρμογής και τερματισμού της αποδάσωσης.

Οι στόχοι που τίθενται από το πακέτο 2020 είναι (συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990):

1. 20% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
2. 20% της καταναλισκόμενης ενέργειας στην ΕΕ να είναι από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
3. 20% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	Share in EU-28, 2014 (%)
EU-28	1 667.9	1 674.7	1 730.0	1 831.0	1 763.7	1 698.1	1 684.7	1 666.7	1 605.9	100.0
Belgium	48.6	53.8	59.3	59.1	61.2	57.0	54.6	56.5	53.4	3.3
Bulgaria	27.6	22.7	18.5	19.8	17.8	19.1	18.2	16.8	17.7	1.1
Czech Republic	49.9	41.7	41.1	45.1	44.7	43.0	42.8	42.2	41.5	2.6
Denmark	17.9	20.2	19.7	19.6	20.0	18.6	17.9	18.2	16.9	1.1
Germany	356.3	341.6	342.3	341.9	333.0	316.7	318.6	324.5	313.0	19.5
Estonia	9.9	5.5	5.0	5.6	6.2	6.2	6.1	6.7	6.7	0.4
Ireland	10.3	11.1	14.4	15.3	15.2	13.9	13.8	13.7	13.6	0.8
Greece	22.3	23.9	28.3	31.4	28.8	27.9	27.7	24.3	24.4	1.5
Spain	90.1	102.1	123.6	144.2	130.3	128.5	128.1	119.3	116.7	7.3
France	227.8	241.8	257.5	276.6	267.1	257.5	257.8	258.9	248.5	15.5
Croatia	9.5	7.9	8.4	9.8	9.4	9.3	8.9	8.6	8.2	0.5
Italy	153.5	161.8	174.2	190.1	177.9	172.5	165.7	159.5	151.0	9.4
Cyprus	1.6	2.0	2.4	2.5	2.7	2.7	2.5	2.2	2.2	0.1
Latvia	7.9	4.6	3.9	4.6	4.6	4.4	4.5	4.5	4.5	0.3
Lithuania	15.9	8.6	7.1	8.7	6.8	7.0	7.1	6.7	6.7	0.4
Luxembourg	3.5	3.3	3.7	4.8	4.6	4.6	4.5	4.3	4.2	0.3
Hungary	28.8	26.2	25.3	27.6	25.7	25.0	23.5	22.7	22.8	1.4
Malta	0.6	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.1
Netherlands	66.7	75.4	78.1	84.4	86.1	80.4	80.8	80.4	76.8	4.8
Austria	25.0	27.1	29.0	34.2	34.3	33.3	33.2	33.7	32.7	2.0
Poland	103.3	98.8	88.6	92.2	100.7	100.8	97.6	98.0	94.3	5.9
Portugal	18.2	20.6	25.3	27.5	24.3	23.6	22.2	22.4	22.1	1.4
Romania	58.1	46.3	36.6	39.2	35.8	36.6	35.4	32.4	32.3	2.0
Slovenia	5.7	6.1	6.5	7.3	7.3	7.3	7.1	6.9	6.7	0.4
Slovakia	21.8	17.7	18.3	19.0	17.9	17.4	16.7	17.0	16.2	1.0
Finland	28.8	29.4	32.4	34.5	37.1	35.9	34.7	34.1	34.6	2.2
Sweden	47.4	51.5	48.9	51.0	50.8	49.7	49.8	49.1	48.2	3.0
United Kingdom	210.6	222.3	230.6	234.0	212.5	198.2	204.0	202.2	189.3	11.8
Iceland	2.4	2.3	3.3	3.4	5.9	6.3	5.8	6.1	6.1	–
Norway	21.4	23.8	26.4	27.2	34.3	28.4	30.1	33.7	29.2	–
Montenegro	–	–	–	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	–
FYR of Macedonia	2.4	2.5	2.7	2.8	2.8	3.1	3.0	2.7	2.6	–
Albania	2.6	1.3	1.8	2.2	2.1	2.2	2.1	2.4	2.3	–
Serbia	19.6	13.6	13.7	15.7	15.6	16.2	14.5	14.9	13.3	–
Turkey	52.3	62.1	76.7	85.6	106.9	113.9	119.8	118.5	124.0	–
Bosnia and Herzegovina	5.0	0.9	3.2	3.9	4.7	5.4	5.1	5.0	7.8	–
Kosovo (under UNSCR 1244/99)	–	–	1.5	1.9	2.5	2.5	2.4	2.3	2.1	–

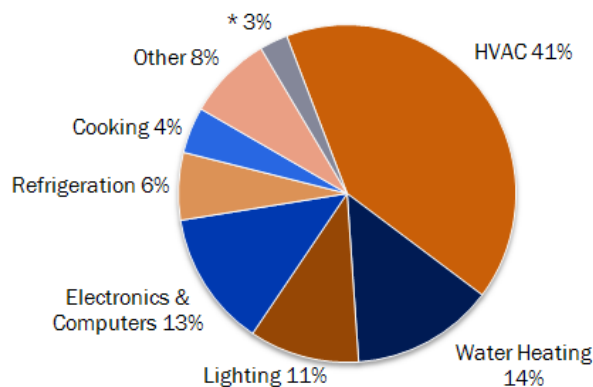
Source: Eurostat (online data code: nrg_100a)

Πίνακας 1-1 Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας(TWh) 1990-2014

1.1 Η κατανάλωση ενέργειας για το φωτισμό

Μεγάλο ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι προς χρήση του φωτισμού. Ο φωτισμός εσωτερικών χώρων (σπιτιών, εργασιακών χώρων, κτλ), εξωτερικών χώρων (πλατείες, πάρκα, γήπεδα, κτλ.) αλλά και του οδικού δικτύου χρειάζεται μεγάλα ποσά ενέργειας προκειμένου οι πολίτες να αισθάνονται ασφάλεια αλλά και να είναι σε θέση να διεκπεραιώσουν άνετα τις δραστηριότητές τους. Ο φωτισμός αποτελεί το 11% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ένα σπίτι και το 18% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε έναν εργασιακό χώρο. Τα μεγέθη αυτά μπορούν να μειωθούν «έξυπνα» χωρίς να χρειάζεται να μειωθεί η ορατότητα και η ασφάλεια των χρηστών.

Έτσι, ο φωτισμός όπως και οι υπόλοιπες δραστηριότητες που χρησιμοποιούν το ηλεκτρικό ρεύμα, βρίσκονται σε ένα μεταβατικό στάδιο με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.



Σχήμα 1-2 Η κατανάλωση ρεύματος ανά δραστηριότητα σε ένα σπίτι

Σε πρώτο επίπεδο, και με τον υπάρχον εξοπλισμό είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας αποκτώντας οικολογική συνείδηση. Οι χρήστες θα πρέπει:

- να σβήνουν τα φωτιστικά όταν δεν τα χρειάζονται
- να συντηρούν σωστά το φωτιστικό ώστε να είναι στο μέγιστο δυνατό αποδοτικά
- να αξιοποιούν στο έπακρο το φυσικό φως
- και να επιλέγουν λαμπτήρες με την ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση

Σε δεύτερο επίπεδο, είναι δυνατό να προστεθεί επιπρόσθετος εξοπλισμός, μειώνοντας την ανθρώπινη συμβολή αλλά αυξάνοντας τα επίπεδα της εξοικονόμησης ενέργειας. Τέτοιος εξοπλισμός μπορεί να είναι αισθητήρες. Αισθητήρες κίνησης, υπέρυθρη ή και υπερήχων μπορούν να εντοπίσουν την ανθρώπινη δραστηριότητα και να τη διαχωρίσουν από κίνηση οποιασδήποτε άλλης μορφής. Για παράδειγμα, όταν γίνεται αναφορά σε φωτιστικά εξωτερικών χώρων, αν περνούν ζώα από την περιοχή να μην ενεργοποιείται το φωτιστικό και συνεπώς να μην καταναλώνεται περιττή ενέργεια χωρίς λόγο και συνάμα να μην επηρεάζεται και η ζωή του.

Τέλος, μπορούν να μετατραπούν σε πράσινα φωτιστικά, και πάλι εδώ αναφερόμενοι σε φωτιστικά εξωτερικών χώρων, ώστε η ενέργεια που χρειάζονται να παράγεται από ηλιακά πάνελ ή και από μικρές ανεμογεννήτριες όπως θα αναφερθεί και παρακάτω.

1.2 Φωτισμός

Στο φωτισμό είναι εξίσου απαραίτητα και η καλή ποιότητα αλλά και η επαρκής ποσότητα φωτός.

1.2.1 Ποσότητα Φωτισμού

- Το πιο κοινό μέτρο προσδιορισμού της ποσότητας του φωτός είναι η φωτεινή ροή (*Luminous flux*). Είναι το μέτρο της φωτεινής ενέργειας Q που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή ανά μονάδα του χρόνου προς κάποια κατεύθυνση. Γενικά, ένα φωτιστικό εκπέμπει ακτινοβολία σε πολλές συχνότητες, όπου η φωτεινή ενέργεια Q είναι μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στη ζώνη φάσματος του ορατού φωτός.

- Ένταση φωτισμού E (illuminance): Ως ένταση φωτισμού μιας επιφάνειας ορίζεται η φωτεινή ροή που προσπίπτει ανά μονάδα επιφανείας.
- Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity): Το πηλίκο της Φωτεινής ροής που προσπίπτει κάθετα σε μία επιφάνεια, προς το εμβαδό αυτής της επιφάνειας σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, ορίζει την φωτεινή ένταση I .
- Λαμπρότητα (Luminance-L): Το πηλίκο της έντασης I σε μια δεδομένη κατεύθυνση προς μία προβαλλόμενη περιοχή ορίζει την λαμπρότητα. Το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται την λαμπρότητα, γι'αυτό η ποσότητα του φωτός που φθάνει στο χώρο και η ανακλαστικότητα των επιφανειών στο χώρο επηρεάζει την όραση.
- Φωτεινή απόδοση: Ο λόγος της παραγόμενης φωτεινής ροής προς την καταναλισκόμενη ενέργεια, ορίζει την φωτεινή απόδοση. Είναι ένα σημαντικό κριτήριο για την αξιολόγηση της φωτεινής πηγής.

Μονάδες Μέτρησης

- Φωτεινή Ροή (Luminous flux - Φ): Είναι η φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή ανά μονάδα χρόνου.
- Ένταση Φωτισμού (Illuminance - E): Η φωτεινή ροή που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας ορίζεται ως ένταση φωτισμού E .

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

- Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity - I): Η φωτεινή ένταση ορίζεται ως ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής που εκπέμπει σε μια στοιχειώδη στερεά γωνία προς τη γωνία αυτή.

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

- Λαμπρότητα (Luminance - L): Είναι ένα διανυσματικό μέγεθος το οποίο αλλάζει ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή, καθώς μεταβάλλεται η προβαλλόμενη επιφάνεια.

$$L = \frac{I}{S_{\text{προβ}}}$$

1.2.2 Ποιότητα Φωτισμού

- Θάμβωση: Θάμβωση είναι η δυσκολία της όρασης στην παρουσία έντονου φωτός, είτε πέφτει καταευθείαν από την πηγή, είτε μετά από αντανάκλαση. Το ίδιο αποτέλεσμα προκύπτει και από τον φως του ηλίου και από μία τεχνητή πηγή φωτός. Το μέγεθος της ευαισθησίας στη θάμβωση ποικίλει ανάλογα με το άτομο, όπως π.χ. τα ηλικιωμένα άτομα είναι πιο ευαίσθητα στην αντηλία, λόγω της γήρανσης του οφθαλμού. Επίσης, αποτέλεσμα της θάμβωσης είναι δεν είναι μόνο η δυσκολία στην όρασή του, αλλά σε πιο ακραίες περιπτώσεις το ποσοστό της όρασης του μηδενίζεται.

- Κατώφλι Προσαύξησης(TI): Ο δείκτης εκφράζει το ποσοστό που πρέπει να αυξηθεί η αντίθεση ώστε να είναι ορατό ένα αντικείμενο κατά 50%. Ουσιαστικά, όταν ένα αντικείμενο είναι οριακά ορατό και έχει μηδενική θάμβωση, παύει να είναι ορατό όταν εμφανιστεί.
- Ομοιομορφία: Η ομοιομορφία είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό του της ποιότητας του φωτισμού. Δείχνει πόσο απλώνεται το φως στον φωτιζόμενο χώρο. Η θέση στην οποία τοποθετήθηκαν τα φωτιστικά καθώς και το είδος των φωτιστικών είναι από τους πιο βασικούς λόγους που μπορούν να επηρεάσουν την ομοιομορφία στο χώρο. Τα προβλήματα που δημιουργούνται με την έλλειψη της ποικιλούν. Προφανώς, θα υπάρχουν ορισμένα σημεία που φωτίζονται ανεπαρκώς. Επίσης, δυσκολίες στην όραση θα προκύψουν από αυτές τις εναλλαγές στα επίπεδα του φωτισμού. Ενώ, τέλος, είναι πολύ πιθανό να αποσπάται η προσοχή του χρήστη και να δημιουργηθούν περαιτέρω προβλήματα.
- Θερμοκρασία χρώματος: Η απόχρωση της φωτεινής πηγής προσδιορίζεται από την θερμοκρασία χρώματος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος, τόσο ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής. Μετράται σε βαθμούς Kelvin (K).

Θερμοκρασία	Απόχρωση
<3300K	Ζεστή
3300K < T < 5300K	Ουδέτερη
>5300K	Ψυχρή

- Αντίθεση(Contrast): Η διαφορά της λαμπρότητας με τον περιβάλλοντα χώρο προσδιορίζει το βαθμό που γίνεται αντιληπτό ένα σώμα. Έτσι, όταν ένα αντικείμενο είναι πιο φωτεινό από τον περιβάλλον του, τότε θα έχει θετική αντίθεση. Ενώ, όταν είναι πιο σκούρο, θα έχει αρνητική αντίθεση. Η αντίθεση υπολογίζεται:

$$\text{Αντίθεση} = \frac{\text{Λαμπρότητα}_{\text{Αντικειμένου}} - \text{Λαμπρότητα}_{\text{περιβάλλοντος}}}{\text{Λαμπρότητα}_{\text{περιβάλλοντος}}}$$

Παρ' όλα αυτά, είναι υποκειμενικό, κατά μία έννοια, το πόσο αντιληπτό είναι ένα αντικειμενικό. Εξαρτάται δηλαδή και από άλλους παράγοντες, όπως το πόσο καλή είναι η όραση του παρατηρητή και τη θάμβωση. Η ελάχιστη τιμή της αντίθεσης, ονομάζεται κατώφλι αντίθεσης και προσδιορίζεται από την ικανότητα του παρατηρητή να βλέπει το αντικείμενο τουλάχιστον τις μισές φορές παρατήρησης.

- Χρωματική απόδοση: Οι φωτεινές πηγές, μεταξύ τους, διαφέρουν στον τρόπο που αντανακλούν τα χρώματα των αντικειμένων ή των ανθρώπων. Με τον δείκτη χρωματικής απόδοσης, φαίνεται η ικανότητα της πηγής να αποδίδει ρεαλιστικά τα χρώματα. Παίρνει τιμές από 0 έως 100, και όσο υψηλότερη είναι η τιμή τόσο πιο ρεαλιστικά αποδίδονται τα χρώματα. Τέλος, οι υψηλότερες τιμές CRI δημιουργούν την ψευδαίσθηση ότι τα επίπεδα φωτισμού είναι υψηλότερα.

CRI	Ποιότητα
0-55	Κακή
55-65	Ανεκτή
65-75	Καλή
75-100	Άριστη

Δείκτες Απόδοσης

- Πιθανότητα άνετης όρασης (Visual Comfort Probability-VCP): Δείχνει το ποσοστό των ανθρώπων που είναι άνετοι με την έντονη θάμβωση από ένα φωτιστικό.
- Απόσταση φωτιστικών (Spacing Criteria): Αναφέρεται στη μέγιστη συνιστώμενη απόσταση που μπορούν να έχουν τα φωτιστικά ώστε να διασφαλίζεται η ομοιομορφία.
- Δείκτης χρωματικής απόδοσης (Color Rendering Index-CRI): Είναι ο δείκτης που αναφέρθηκε παραπάνω για το πόσο ρεαλιστικά αποδίδονται τα χρώματα.

2 Εξωτερικός Φωτισμός

Ο τεχνητός φωτισμός εξωτερικών χώρων είναι τόσο απαραίτητος όσο και για τους εσωτερικούς χώρους. Εντός των κτιρίων, ανάλογα με τη χρήση που γίνεται σε αυτό, αν πρόκειται για παράδειγμα σπίτι, γραφείο ή κάποιος εκθεσιακός χώρος, υπάρχουν και άλλες απαιτήσεις. Στο σπίτι πρέπει να υπάρχει ένα ευχάριστο περιβάλλον. Στον εργασιακό χώρο, ένα περιβάλλον άνετο για την τα μάτια, για να μην μειώνεται η παραγωγικότητα. Σε έναν εκθεσιακό χώρο, επαρκής φωτισμός για την ανάδειξη των εκθεμάτων.

Στον αντίποδα, στους εξωτερικούς χώρους προέχει η ασφάλεια. Είτε γίνεται αναφορά σε πάρκα, πλατείες, γήπεδα, συνοικιακά σοκάκια ή και δρόμους ταχείας κυκλοφορίας. Ο χρήστης πρέπει να αισθάνεται ασφάλεια όταν κινείται σε αυτά. Εξαρτάται και εδώ, φυσικά, από τη χρήση που γίνεται αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τους χρήστες.

Καταρχάς, πρέπει να υπάρχει επαρκής φωτισμός ώστε να είναι άνετη και ευχάριστη η κίνηση και η οδήγηση για πεζούς και οδηγούς. Η εγκληματικότητα είναι από τους βασικότερους παράγοντες που επιτάσσουν το φωτισμό ορισμένων περιοχών. Επίσης, η διέλευση παιδιών όπως και η συχνότητα διέλευσης χρηστών κατά τις νυχτερινές ώρες. Αυτοί είναι κάποιοι από τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν για την εγκατάσταση του κατάλληλου συστήματος φωτισμού.



Εικόνα 2-1 Νυχτερινή άποψη της Λεωφόρου Κηφισίας (πηγή: wikipedia.org)

2.1 Φωτισμός οδικών δικτύων

Για το φωτισμό δρόμων είθισται να χρησιμοποιούνται φωτιστικά ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης και φωτιστικά υψηλής πίεσης νατρίου.

Τα φωτιστικά υψηλής πίεσης υδραργύρου εκπέμπουν λευκό φως, έχουν μικρή φωτεινή απόδοση συγκριτικά με την ισχύ που καταναλώνουν και έχουν διάρκεια πάνω από 25000 ώρες.

Τα φωτιστικά υψηλής πίεσης νατρίου εκπέμπουν κίτρινο φως, έχουν υψηλή φωτεινή απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής.

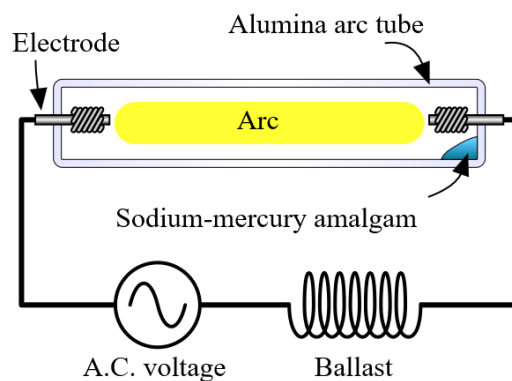
Έτσι, προκειμένου να βελτιωθεί και η ορατότητα αλλά και να μην έχουμε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας άρχισε η αντικατάστασή τους με λαμπτήρες LED. Τα φωτιστικά LED προσφέρουν το λευκό φως που επιζητάμε για καλύτερη ορατότητα, έχουν υψηλή απόδοση φωτεινότητας και μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

2.2 Τα φωτιστικά της Λεωφόρου Κηφισίας

2.2.1 Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου

Τα φωτιστικά εκκένωσης αερίου παράγουν φως με την δημιουργία ηλεκτρικής εκκένωσης μέσω ενός ιονισμένου αερίου.

Η Λεωφόρος Κηφισίας φωτίζεται από φωτιστικά ατμών νατρίου, τα οποία εκπέμπουν ένα κιτρινωπό ασθενές φως που προκαλεί λιγότερη φωτορύπανση. Είθισται να χρησιμοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους λόγω και της χαμηλής φωτορύπανσης που προκαλούν.



Εικόνα 2-2 Κύκλωμα λαμπτήρα ατμών νατρίου

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου χωρίζονται με τη σειρά τους σε:

- Φωτιστικά χαμηλής πίεσης
- Φωτιστικά υψηλής πίεσης

2.2.2 Φωτιστικά ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

Τα φωτιστικά νατρίου χαμηλής πίεσης δεν υπάρχουν σε πόλεις της Ελλάδος παρά μόνο σε περιοχές με ομίχλη.

2.2.3 Φωτιστικά ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

Τα φωτιστικά ατμών νατρίου υψηλής πίεσεως είναι τα πιο διαδεδομένα φωτιστικά για το φωτισμό οδικών δικτύων, στον κόσμο. Όμως, η καλύτερη χρωματική απόδοση έχει σαν επίπτωση την χαμηλότερη επίδοση συγκριτικά με τα φωτιστικά χαμηλής πίεσεως. Η General Electric είναι η πρώτη που κατασκεύασε το φωτιστικό αυτό, στην Schenectady της New York και στο Nela Park του Ohio. Η πρώτη λάμπα βγήκε στην αγορά το 1964.

Πλεονεκτήματα

- Καλή απόδοση (lumens per Watt)
- Μικρότερο μέγεθος από τα φωτιστικά χαμηλής πίεσεως νατρίου ή του φθορισμού, ενώ ταιριάζουν και σε πολλά είδη φωτιστικών
- Μπορούν να τοποθετηθούν στα παλαιότερα φωτιστικά ατμών υδραργύρου με προσθήκη εκκινητή.

Μειονεκτήματα

- Εξακολουθούν να έχουν κακή απόχρωση σε σύγκριση με τις λάμπες μεταλλικών αλογονιδίων και τις λάμπες αλογόνου.

Στατιστικά

80-140 lumens per Watt

Διάρκεια ζωής: 24,000 h

Πώς δουλεύει:

Τα φωτιστικά υψηλής πίεσεως νατρίου αποτελούνται από ένα στενό σωλήνα που υποστηρίζεται από ένα πλαίσιο στη λάμπα. Ο σωλήνας είναι υπό υψηλή πίεση για καλύτερη απόδοση. Νάτριο, υδράργυρος και ξένον χρησιμοποιούνται συνήθως στο εσωτερικό του σωλήνα.

Ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από κεραμικό οξειδίο του αργιλίου, το οποίο είναι ανθεκτικό στις διαβρωτικές επιδράσεις των αλκαλίων, όπως στο νάτριο.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του φωτιστικού, αλλά ο πιο κλασικός τρόπος έναυσης είναι με παλμό. Υπάρχει ένας εκκινητής με το μπάλαστ στο οποίο στέλνει ένα παλμό υψηλής τάσης μέσω του σωλήνα. Ο παλμός δημιουργεί ένα τόξο με τη βοήθεια του ξένου. Το φωτιστικό ανάβει με μπλε χρώμα λόγω του ξένου. Το τόξο τότε θερμαίνει τον υδράργυρο και ο ατμός υδραργύρου εκπέμπει φως, δίνοντας στη λάμπα ένα γαλάζιο χρώμα. Η λάμπα ζεσταίνεται και το νάτριο είναι το τελευταίο υλικό για να εξατμιστεί. Το νάτριο αναμειγνύεται με άλλες ακαθαρσίες για να δημιουργήσει ένα πιο λευκό φως. Ο υδράργυρος βοηθάει να προστεθεί ένα μπλε φως στο καθαρό κίτρινο του νατρίου.



Εικόνα 2-3 Φωτιστικά νατρίου υψηλής πίεσης

Το νάτριο σε αυτές τις λάμπες είναι ιδιαίτερα πτητική ουσία. Το νάτριο, όταν εκτίθεται στον αέρα μπορεί να εκραγεί. Η λάμπα νατρίου δεν μπορεί να απορρίπτεται μαζί με τα υπόλοιπα σκουπίδια. Έχουν υπάρξει πολλές περιπτώσεις όπου απορριματοφόρα έχουν πιάσει φωτιά όταν ένας βολβός λάμπας έχει σπάσει. Οι λάμπες νατρίου, επίσης, περιέχουν υδράργυρο.

2.3 Λαμπτήρες LED

Στον αντίποδα, θέλουμε να αντικαταστήσουμε τα φωτιστικά ατμών νατρίου με φωτιστικά LED (Lighting Emitting Diode) για να πετύχουμε την εξοικονόμηση ενέργειας που ζητάμε.

Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι είναι συνδυασμός ημιαγωγών p-n, όπου εκπέμπεται ακτινοβολία όταν εφαρμοσθεί τάση στους δύο ημιαγωγούς. Το παραγόμενο φως είναι στενού φάσματος. Για καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιείται LED σε φίλτρο φωσφόρου όπως στις φθορισμού ή πολλαπλά LED. Το εκπεμπόμενο φως από τους ημιαγωγούς εκτείνεται σε μεγάλο εύρος μηκών κύματος, από το χαμηλό όριο ορατής ακτινοβολίας έως πολύ μεγάλα μήκη της υπέρυθρης. Ενώ από τον συνδυασμό των ημιαγωγίμων υλικών προκύπτει το τελικό χρωματικό αποτέλεσμα.

Μέρα με τη μέρα λόγω της έρευνας γύρω απ'αυτές γίνονται όλο και πιο παραγωγικές αλλά και οικονομικές.



Εικόνα 2-4 Λαμπτήρες LED (πηγή: <http://lucas-sound.gr/>)

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Διάρκεια ζωής λάμπας: 15000 ώρες οι retrofit λαμπτήρες με LED και 50000-100000 τα LED chips σε φωτιστικά
- Αριθμός κύκλων λειτουργίας: 50000
- Θερμοκρασία χρώματος: Οποιοδήποτε (από θερμό έως ψυχρό)
- Χρόνος προθέρμανσης στο 60% φωτισμού: 0

Πλεονεκτήματα

- Δε χρειάζονται προθέρμανση, έχουν μεγάλο αριθμό κύκλων
- Έχουν πάρα πολύ χαμηλή κατανάλωση
- Χρειάζονται ελάχιστη τάση
- Δεν παράγει σημαντική θερμότητα
- Δεν παράγει υπεριώδη ακτινοβολία
- Μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί
- Δεν περιέχουν υδράργυρο
- Πολύ καλή απόδοση lumen/watt
- Αναπτύσσονται συνεχώς και γίνονται όλο και πιο αποδοτικές
- Δεν περιέχουν επικίνδυνα υλικά
- Κατά τη διάρκεια της ζωής του, ένα LED αποτρέπει περίπου μισό τόνο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την είσοδό τους στην ατμόσφαιρα.
- Τέλος, εκτιμάται ότι ο φωτισμός αντιπροσωπεύει το 20% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη χρήση των LEDs αυτό μπορεί να φθάσει στο 5%.

Μειονεκτήματα

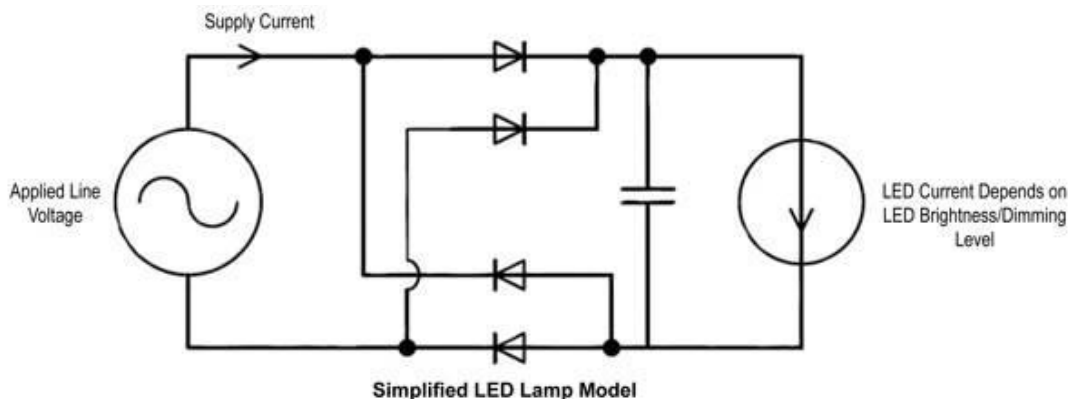
- Είναι ακριβότερες από τους συμβατικούς λαμπτήρες αλλά με τη συνεχή έρευνα και εξέλιξη τους μελλοντικά θα μειωθεί και το κόστος τους.
- Λόγω του μικρού μεγέθους των LED προκαλείται θάμβωση.
- Η διαδικασία παραγωγής των LED είναι αρκετά ενεργοβόρα.

3 Προσαρμοστικός Φωτισμός

Προσαρμοστικός φωτισμός είναι η ρύθμιση του φωτισμού ανάλογα με τις συνθήκες και επιτυγχάνεται με την προσθήκη dimmer στο φωτιστικό. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται η φωτεινότητα. Ο προσαρμοστικός φωτισμός προσφέρει πολλά οφέλη τόσο στο φωτισμό εσωτερικών χώρων (σπιτιού, γραφείου, κ.α.) όσο και στο φωτισμό οδικών δικτύων και εξωτερικών χώρων. Από τη μία πλευρά ο έντονος φωτισμός προκαλεί συναισθήματα δυσανασχέτησης και από την άλλη ο χαμηλός φωτισμός μπορεί να προκαλέσει υψηλή πίεση στα μάτια. Έτσι, βοηθάει στο διάβασμα και σε άλλες δραστηριότητες που είναι απαραίτητα η καλή ορατότητα ενώ είναι ευεργετικό σε ευαίσθητα μάτια. Αυτός είναι ο καλύτερος τρόπος να ελέγξεις τη φωτεινότητα στα επιθυμητά επίπεδα.

Όταν χρησιμοποιούνται φωτιστικά με dimmer πέρα από το ενεργειακό όφελος που προκύπτει, σημαντικό είναι και το οικονομικό όφελος. Και ειδικά σε βάθος χρόνου. Ενώ, παράλληλα, η μείωση της ισχύος παρατείνει τη διάρκεια ζωής του φωτιστικού.

Τέλος, ένα φωτιστικό με dimmer ελέγχεται με ένα διακόπτη είτε εξ επαφής είτε εξ αποστάσεως με ένα τηλεχειριστήριο.



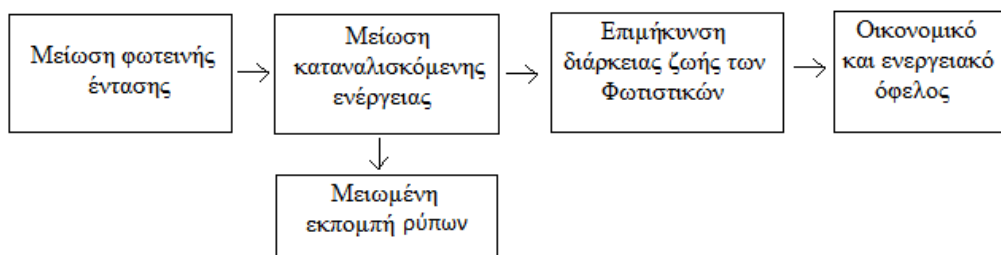
Εικόνα 3-1 Κύκλωμα προσαρμοστικού φωτισμού

3.1 Προσαρμοστικός φωτισμός σε οδικό δίκτυο

Ο φωτισμός του οδικού δικτύου εντός αστικών περιοχών είναι ένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα του ανθρώπου για την ασφάλεια του. Ωστόσο, είναι μεγάλα τα ποσά κατανάλωσης ενέργειας, ενώ το κόστος αυξάνεται περισσότερο με την αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Σοβαρό είναι και το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης. Η τακτική αντικατάσταση των φωτιστικών, το ανθρώπινο δυναμικό που θα εκτελεί την εργασία αυτή, ακόμα και τα φορτηγά που χρειάζονται να επιτελέσουν αυτό το έργο. Τέλος, για την παραγωγή της παραπάνω ενέργειας σημαντικές είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επιβαρύνοντας το περιβάλλον και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Πλέον, ο φωτισμός παύει να είναι παθητικός αλλά δυναμικός. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει τον προσαρμοστικό φωτισμό, τον «έξυπνο» αλλά και τη δυνατότητα της τηλεδιαχείρισης. Ο προσαρμοστικός φωτισμός εξασφαλίζει ευημερία και ασφάλεια, ενώ συμβάλλει στη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης. Είναι πιο αξιόπιστος, καθώς ανά πάσα στιγμή εντοπίζονται οι βλάβες και γίνεται άμεσα η επιδιόρθωση των.

Έτσι, στον προσαρμοστικό φωτισμό σε οδικό δίκτυο μπορούμε να μειώσουμε τη φωτεινότητα κατά τις ώρες που η κίνηση στους δρόμους είναι μειωμένη, ώστε να μην επηρεάζεται η ορατότητα των οδηγών και η ασφάλεια πεζών και οδηγών. Συγκεκριμένα, μέχρι και τις πρώτες πρωινές ώρες η φωτεινή ένταση μπορεί να φθάσει έως και το 50% της αρχικής, αλλά και περισσότερο. Αυτό κατ' επέκταση μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και επιμηκύνει τη ζωή των φωτιστικών.



Εικόνα 3-2 Αποτελέσματα του προσαρμοστικού φωτισμού

Τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη μπορούν να αυξηθούν περαιτέρω με την τηλεδιαχείριση των φωτιστικών. Έχοντας μια πλήρη εικόνα της εγκατάστασης από απομακρυσμένα σημεία μπορούμε να μειώσουμε ακόμα περισσότερο την φωτεινή ένταση των φωτιστικών αλλά και με την ελεγχόμενη συντήρηση αυτών να χρειάζεται λιγότερο ανθρώπινο δυναμικό.

Η μείωση της φωτεινότητας μπορεί να:

- είναι προγραμματιζόμενη από ηλεκτρονικά συστήματα, τα οποία ανάλογα με την εποχή που βρισκόμαστε και την ώρα που δύει ο ήλιος ρυθμίζονται ώστε ενεργοποιούν ή να διακόπτουν την λειτουργία των φωτιστικών. Έτσι, δεν χρειάζεται πλέον η ανθρώπινη συμβολή.
- ελέγχεται από ένα φωτοκύτταρο με το οποίο έχει εξοπλιστεί το φωτιστικό, και ανάλογα με τον περιβάλλοντα φωτισμό (φυσικό ή τεχνητό) να ρυθμίζεται.
- ελέγχεται από ένα αστρονομικό ρολόι, το οποίο είναι προσαρμοσμένο πάνω στο φωτιστικό και όλο το χρόνο ελέγχει τα επίπεδα φωτεινότητας ανάλογα με την εποχή. Η διαφορά με την πρώτη περίπτωση είναι ότι στην πρώτη περίπτωση η ρύθμιση της έντασης/σβέσης των φωτιστικών γίνεται κατά προσέγγιση, ενώ στην τρίτη περίπτωση είναι συνδεδεμένο με ένα αστρονομικό ρολόι, παίρνοντας απ' αυτό κατευθείαν την εντολή, όταν είναι στην δύση ή την ανατολή του ηλίου.

3.2 Σύνδεση των φωτιστικών

Υπάρχουν τρεις πιθανοί τρόποι σύνδεσης των φωτιστικών παρέχοντας διαφορετικά οφέλη στην τοπική κοινωνία.

- 1) Ένα φωτιστικό μπορεί να είναι αυτόνομο. Δεν υπάρχει απαραίτητα κάποιο κεντρικό σημείο ελέγχου του φωτιστικού. Εξοπλίζεται με διάφορα ηλεκτρονικά συστήματα (όπως φωτοκύτταρο, αισθητήρες κίνησης, κ.α) και αποφεύγεται η περίσσεια κατανάλωση ενέργειας και η άσκοπη σπατάλη χρημάτων.
- 2) Ένα φωτιστικό μπορεί να είναι μέρος ενός αυτόνομου δικτύου. Τα φωτιστικά επικοινωνούν μεταξύ τους είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Όταν ανιχνεύεται κίνηση, μεταβάλλεται η φωτεινή ροή, παρακάμπτοντας την υπάρχουσα κατάσταση, προς όφελος των χρηστών της περιοχής. Χρησιμοποιείται συνήθως σε πεζόδρομους, ποδηλατόδρομους, πλατείες κ.α.
- 3) Ένα φωτιστικό μπορεί να είναι μέρος ενός δικτύου όπου η διαχείριση του γίνεται απομακρυσμένα. Με την τηλεδιαχείριση υπάρχει πλήρης έλεγχος των εγκατεστημένων φωτιστικών, πετυχαίνοντας την επιθυμητή εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα, με ένα λογισμικό φιλικό προς το χρήστη είναι δυνατός ο έλεγχος κάθε φωτιστικού ξεχωριστά, πετυχαίνοντας επιπλέον κέρδη μειώνοντας τα κόστη συντήρησης του δικτύου.

Πλεονεκτήματα προσαρμοστικού φωτισμού

Τα κέρδη που αποκομίζεται η δημοτική αρχή από την εφαρμογή του προσαρμοστικού φωτισμού είναι:

- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Εξοικονόμηση χρημάτων
- Μεγιστοποίηση του αισθήματος της ασφάλειας με τη βοήθεια των αισθητήρων κίνησης.
- Μείωση της φωτορύπανσης. Με τον προσαρμοστικό φωτισμό μειώνονται τα επίπεδα της φωτεινότητας και της άσκοπης διάχυσης φωτός στο περιβάλλον. Είναι αποδεδειγμένο ότι τα αυξημένα επίπεδα της φωτορύπανσης επηρεάζουν την ανθρώπινη ζωή, το οικοσύστημα καθώς και της αστρονομικές μελέτες.
- Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Με την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας μειώνεται το ανθρακικό αποτύπωμα στο περιβάλλον.
- Η διάρκεια ζωής των LED είναι πολύ μεγαλύτερη από τα φωτιστικά υψηλής πίεσης νατρίου ή υδραργύρου που χρησιμοποιούνται συνήθως στα οδικά δίκτυα.
- Με την μειωμένη χρήση των φωτιστικών παρατείνεται και η διάρκεια ζωής τους. Άρα, μειώνεται η συχνότητα αντικατάστασή τους.
- Το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης είναι πολύ μικρότερο.
- Τέλος, το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του προσαρμοστικού φωτισμού είναι ότι παρόλο που μειώνουμε τα επίπεδα της φωτεινότητας η ομοιομορφία της φωτεινής

ροής παραμένει αμετάβλητη κατά μήκος του δρόμου και η υψηλή ποιότητά φωτισμού του επιτυγχάνεται με απόλυτη επιτυχία, κερδίζοντας ενέργεια και χρήματα.

Μειονεκτήματα προσαρμοστικού φωτισμού

Παρά τα τόσα πλεονεκτήματα που έχει ο προσαρμοστικός φωτισμός, δεν παύει να μην έχει και κάποια μειονεκτήματα. Έτσι,

- Αυτού του είδους τα έργα έχουν πολύ υψηλό κόστος εγκατάστασης. Και κατά συνέπεια, η διάρκεια αποπληρωμής του δανείου διαρκεί πολύ.
- Από την πλευρά του εργατικού δυναμικού υπάρχει έλλειψη τεχνογνωσίας. Χρειάζεται να εκπαιδευτούν ώστε να είναι δυνατή η συντήρηση της εγκατάστασης από την δημοτική αρχή μετά το πέρας μιας περιόδου που έχει οριστεί από την κατασκευαστική εταιρία και την αρχή που την αναθέτει. Μέχρι αυτή τη χρονική στιγμή, η συντήρηση συνήθίζεται να γίνεται από την εταιρία που είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση του έργου.

3.3 Αισθητήρες κίνησης

Νωρίτερα, έγινε αναφορά στους αισθητήρες κίνησης. Οι αισθητήρες κίνησης επιτρέπουν την έναυση του φωτιστικού όταν ανιχνευτεί κίνηση στον χώρο που έχει τοποθετηθεί. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ανίχνευση της ακτινοβολούμενης θερμότητας που προκύπτει από ανθρώπινη κίνηση, μέσω της τεχνολογίας της παθητικής υπέρυθρης ανίχνευσης. Έτσι, το κύκλωμα παραμένει ενεργοποιημένο για το διάστημα που ανιχνεύεται αυτή η μεταβολή θερμότητας. Παράλληλα, προκειμένου να απενεργοποιηθεί η λειτουργία του κυκλώματος, όταν πλέον δεν είναι απαραίτητος ο φωτισμός, έχει οριστεί κάποιος χρόνος, λεγόμενος χρόνος καθυστέρησης. Σύμφωνα με τον οποίο, όταν ο αισθητήρας δεν ανιχνεύσει κάποια μεταβολή της θερμοκρασίας για το παραπάνω διάστημα, ο αισθητήρας δίνει εντολή για απενεργοποίηση του φωτιστικού. Τέλος, οι αισθητήρες, προκειμένου το φωτιστικό να ενεργοποιείται μόνο τις νυχτερινές ώρες ή όταν είναι απαραίτητο αυτό, διαθέτουν ένα αισθητήριο φωτεινότητας. Το αισθητήριο φωτεινότητας με βάση την φωτεινότητα που "διαβάζει" επιτρέπει την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του αισθητήρα κίνησης.

Οι αισθητήρες κίνησης χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Παθητικοί υπέρυθρων(Passive Infrared sensors-PIR): Αναφέρθηκαν και νωρίτερα, ως οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Οι αισθητήρες αυτοί, ανιχνεύουν την θερμοκρασία σώματος. Όλα τα όντα, έμβια και μη, στα οποία η θερμοκρασία τους είναι πάνω από το απόλυτο μηδέν εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή, αν και μη ορατή για το ανθρώπινο μάτι, μπορεί να ανιχνευθεί από ηλεκτρονικές συσκευές σχεδιασμένες γι' αυτό το σκοπό. Επίσης, με τον όρο "παθητικοί" εννοούμε ότι ο αισθητήρας δέχεται "παθητικά" την ακτινοβολία των σωμάτων, χωρίς να εκπέμπει αυτός, με τη σειρά του κάποιου είδους ακτινοβολία. Έτσι, όταν εισέρχεται στο πεδίο του ένα αντικείμενο, ανιχνεύει την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει και τη διαφορά

θερμοκρασίας που προκύπτει. Καθ'όλη τη μετακίνηση του σώματος και με τη βοήθεια ενός τσιπ, που είναι τοποθετημένο πάνω στον αισθητήρα, μπορεί και αντιλαμβάνεται τότε πλέον έχει απομακρυνθεί από το πεδίο, ώστε να παίρνει την εντολή το φωτιστικό για το πότε να ενεργοποιείται/απενεργοποιείται.

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα, προκειμένου να μην ενεργοποιείται άσκοπα το κύκλωμα όταν διέρχονται από την περιοχή εμβέλειας ζώα, να ρυθμίζεται έτσι ώστε, έως κάποια κιλά, να αγνοείται το ζώο.



Εικόνα 3-3 Ενεργοποίηση αισθητήρα ανάλογα με τα κιλά του οργανισμού που διέρχεται από την εμβέλεια του αισθητήρα

2. Μικροκυμάτων (Microwave-MW): Στέλνει παλμούς μικροκυμάτων και υπολογίζει την ανάκλαση από το κινούμενο αντικείμενο. Στο χώρο καλύπτουν μεγαλύτερη περιοχή απ' ότι οι PIR, αλλά είναι ευάλωτοι σε ηλεκτρικές παρεμβολές και πιο ακριβοί.
3. Υπερηχητικοί (Ultrasonic): Στέλνει παλμούς υπερηχητικών κυμάτων και μετρά, αντίστοιχα με των μικροκυμάτων, την αντανάκλαση από το κινούμενο αντικείμενο.
4. Δόνησης (Vibration): Ανιχνεύει δονήσεις, χωρίς να είναι οι πιο αξιόπιστοι.

Σ' αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι είναι δυνατό να συνδυάσουμε στον ίδιο αισθητήρα δύο από τις παραπάνω τεχνολογίες. Για παράδειγμα, συχνά χρησιμοποιούνται αισθητήρες PIR με μικροκυμάτων, καθώς αντιστοιχούν σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα η άσκοπη ενεργοποίηση του εκάστοτε κυκλώματος, χωρίς όμως να αποκλείεται. Για την ενεργοποίηση του διπλού αισθητήρα πρέπει και οι δύο αισθητήρες να ενεργοποιηθούν. Όμως, οι αισθητήρες αυτοί δε συνηθίζονται στον οδοφωτισμό.

3.4 Πράσινα συστήματα φωτισμού

Τα πράσινα συστήματα φωτισμού τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακά πάνελ, ανεμογεννήτριες και μπαταρίες που αποθηκεύεται η παραγόμενη ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες για το φωτισμό δρόμων χρειάζονται πολύ λιγότερο αέρα. Από τιμές της τάξης του 1.7m/sec αρχίζουν να λειτουργούν σε αντίθεση με τις σύγχρονες που χρειάζονται 2.5m/sec. Τέλος, τα ηλεκτρονικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση της ροής της ενέργειας δεν χρειάζονται κάτι περαιτέρω απ' ότι αναφέρθηκε παραπάνω και το φυσικό φως.

Συγκεντρωτικά, τα οφέλη που αποκομίζεται από την εγκατάσταση Πράσινων Συστημάτων είναι:

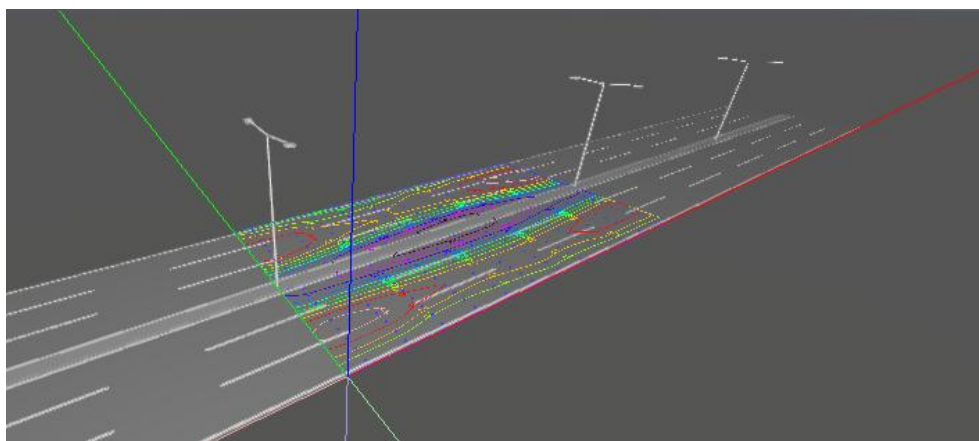
- ✓ Μείωση των καλωδιώσεων
- ✓ Λειτουργία των φωτιστικών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς να υπάρχει εξάρτηση από το ηλεκτρικό ρεύμα.
- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας. Μέχρι τώρα, είναι γνωστό ότι, οι ενεργειακές απαιτήσεις για τον οδοφωτισμό αποτελούν μεγάλο ποσοστό της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας μιας περιοχής.
- ✓ Το κόστος συντήρησης των Φωτιστικών μειώνεται κι άλλο (λιγότερες καλωδιώσεις, άμεση παροχή ενέργειας χωρίς επιπλοκές, μειώνεται η συχνότητα αντικατάστασης των λαμπτήρων, κ.α.).
- ✓ Πράσινα οφέλη. Δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον με την παραγωγή ρεύματος για τον οδοφωτισμό και κατ' επέκταση μείωση των ρίπων και τον εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.
- ✓ Επίσης, είναι δυνατή η καταγραφή της ταχύτητας του ανέμου.
- ✓ Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί SD card ώστε να αποθηκεύονται τα δεδομένα, όταν ο υπολογιστής δεν είναι συνδεδεμένος με το σύστημα.

4 Πιλοτική εφαρμογή εξοικονόμησης ενέργειας στη Λ. Κηφισίας

Με την παρακάτω τεχνοοικονομική μελέτη ο σκοπός είναι να παρουσιαστεί το ενεργειακό και οικονομικό κέρδος που θα υπάρχει, βελτιστοποιώντας το σύστημα του οδοφωτισμού, ενδεικτικά στην Λεωφόρο Κηφισίας και κατ' επέκταση σε όλα τα υπόλοιπα οδικά δίκτυα.

Για την αποτελεσματικότερη μελέτη έχει αναπτυχθεί ένα δομημένο μοντέλο για την κατάλληλη επιλογή της κλάσης φωτισμού. Σημαντικό είναι να γίνει σωστή εκτίμηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την κυκλοφορία των χρηστών του δρόμου. Είτε γίνεται αναφορά στη γεωμετρία του δρόμου, είτε στις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Με άλλα λόγια, εξίσου σημαντικοί με τους σταθερούς παράγοντες είναι και οι αστάθμητοι. Στα πλαίσια των αστάθμητων παραγόντων είναι οι καιρικές συνθήκες που προαναφέρθηκαν, όπως και τα επίπεδα της εγκληματικότητας στην εν λόγω περιοχή και η κυκλοφοριακή ροή.

Έτσι, αρχικά έγινε η καταμέτρηση των φωτιστικών της λεωφόρου καθώς και των λοιπών χαρακτηριστικών της, όπως η γεωμετρία των φωτιστικών και η κατανομή τους κατά μήκος του δρόμου. Δεύτερον, προκειμένου να γίνει η μελέτη θα πρέπει να είναι γνωστά κάποια χαρακτηριστικά του δρόμου, όπως το αν είναι ταχείας κυκλοφορίας και τα μέσα που τη χρησιμοποιούν, ώστε να βρεθεί η κατάσταση φωτισμού. Εξίσου απαραίτητο είναι να υπολογιστεί και η κλάση φωτισμού του δρόμου με βάση το πρότυπο CEN/TR 13201-1/2014, κάτι που θα αναφερθεί εκτενέστερα παρακάτω. Κατόπιν, τοποθετήθηκαν οι τιμές που κατάγραφηκαν και οι τιμές που υπολογίστηκαν σε προγράμματα προσομοίωσης (ReluxPro, DIALux), ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή εκτίμηση για τα φωτιστικά που θα έπρεπε να τοποθετηθούν. Τέλος, για την ανέρευση των φωτιστικών χρησιμοποιήθηκε ένα plugin του DIALux.



Εικόνα 4-1 Προεπισκόπηση μελέτης δρόμου από το DIALux eva

Ενεργειακή και οικονομική συγκριτική μελέτη πραγματοποιήθηκε, στο τέλος της μελέτης για να φανούν τα οφέλη της προτεινόμενης αντικατάστασης φωτιστικών στην πράξη.

4.1 Εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού βάσει του CEN/TR 13201-1/2014

Κατά καιρούς, αναπτύχθηκαν διάφορα πρότυπα για την αποτελεσματική μελέτη του φωτισμού οδικών δικτύων. Στη μελέτη αυτή, θα χρησιμοποιηθεί αυτό που είναι σε ισχύ νόμου αυτή τη στιγμή στη χώρα, το CEN/TR 13201-1/2014.

4.2 Κατάσταση φωτισμού

Μια περιοχή συνήθως αποτελείται από περισσότερες της μιας κυκλοφοριακές περιοχές. Δηλαδή, παράλληλα του αυτοκινητοδρόμου υπάρχει συνήθως και κάποιο πεζοδρόμιο ή και ποδηλατόδρομος. Η μελέτη θα πρέπει να γίνει σε όλη την περιοχή. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται όταν δύο διαφορετικές κυκλοφοριακά περιοχές συναντιούνται, για να αποφασιστεί ποιες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις θα ακολουθηθούν. Για παράδειγμα, όταν ο αυτοκινητόδρομος ενώνεται με ένα ποδηλατόδρομο, τότε σαν βασικός χρήστης θεωρείται ο μηχανοκίνητος. Επίσης, όταν κατά μήκος του δρόμου οι κυκλοφοριακές ρυθμίσεις αλλάζουν, οι περιοχές αυτές μελετώνται ανεξάρτητα.

Σημαντικό είναι για την σωστή εκτίμηση της έντασης του απαιτούμενου φωτισμού στην εν λόγω περιοχή, πέρα από τη γεωμετρία του δρόμου, να παρατηρηθεί η χρήση του δρόμου στην περιοχή αυτή αλλά και η επιρροή που έχει στον περιβάλλοντα χώρο. Μ'αυτό τον τρόπο, θα είναι δυνατή η μέγιστη δυνατή αποτελεσματική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι, βασικό στοιχείο για την μελέτη φωτισμού οδικού δικτύου είναι η κατάσταση του φωτισμού του δρόμου. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψιν μας, για να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα είναι, φυσικά, ο βασικός χρήστης του δρόμου:

- μηχανοκίνητα οχήματα
- πεζοί
- ποδηλάτες
- οχήματα βραδείας κίνησης
- η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα αυτών.

Σ' αυτό το σημείο, να επισημάνουμε ότι σε κάθε περίπτωση πρέπει να μελετάται η θάμβωση. Τα επίπεδα της θάμβωσης φαίνονται από την τιμή του Threshold Increment (TI). Η θάμβωση είναι ένα από τα αρνητικά αποτελέσματα του φωτισμού.

Μία ακόμη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι πέρα από τη κυκλοφοριακή ροή κατά τη διάρκεια του 24ώρου και η κυκλοφοριακή ροή κατά τις νυχτερινές ώρες. Η κυκλοφοριακή ροή μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, αλλά και κατά τη διάρκεια του έτους.

Παρακάτω φαίνεται η σχετική κατηγοριοποίηση του φωτισμού των δρόμων.

Πίνακας 4-1 Καταστάσεις φωτισμού

Τυπική ταχύτητα κύριου χρήστη	Χρήστες δρόμου στην ίδια σχετική περιοχή			Ομάδες καταστάσεων φωτισμού
	Κύριος χρήστης	Άλλοι επιτρεπόμενοι χρήστες	Αποκλειόμενος χρήστης	
>60	Μηχανοκίνητα οχήματα		Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες πεζοί	A1
		Οχήματα βραδείας κίνησης	Ποδηλάτες πεζοί	A2
		Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες πεζοί		A3
>30 & <60	Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας κίνησης	Ποδηλάτες πεζοί		B1
	Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες	πεζοί		B2
	Ποδηλάτες	πεζοί	Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας κίνησης	C1
>5 & <30	Μηχανοκίνητα οχήματα πεζοί		Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες	D1
		Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες		D2
	Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας κίνησης			D3
	Ποδηλάτες πεζοί			D4
Ταχύτητα βάδισης	πεζοί		Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες	E1
		Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας κίνησης Ποδηλάτες		E2

Στην Α. Κηφισίας η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα είναι τα 60χλμ/ώρα, επιτρεπόμενα είναι όλα τα μηχανοκίνητα καθώς και οι πεζοί και οι ποδηλάτες.

Συνεπώς και η κατάσταση φωτισμού του δρόμου θα είναι η B1.

Πίνακας 4-2 Κατάσταση Φωτισμού της Λεωφόρου Κηφισίας

Τυπική ταχύτητα κύριου χρήστη	30> ταχύτητα >60 km/h		Κατάσταση φωτισμού
Τύπος χρήστη	κύριος χρήστης	μηχανοκίνητα οχήματα οχήματα βραδείας κίνησης	B1
	άλλοι επιτρεπόμενοι χρήστες	Ποδηλάτες πεζοί	

4.3 Κατηγοριοποίηση κλάσης φωτισμού

Δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό του δρόμου είναι η επιλογή της κλάσης του φωτισμού. Για την επιλογή της, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν κάποιες παράμετροι, όπως η σύνθεση της κυκλοφοριακής ροής και η γεωμετρία του δρόμου που προαναφέρθηκαν. Επίσης, η ύπαρξη των σταθμευμένων οχημάτων, η πυκνότητα των διασταυρώσεων, η ύπαρξη διαζώματος κ.α.

Η κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση το πρότυπο CEN/TR 13201-1/2014, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Οι απαιτήσεις της εκάστοτε κλάσης φωτισμού Μ φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 4-3 Οι απαιτήσεις κάθε κλάσης φωτισμού

Κλάση φωτισμού	Επιφάνεια δρόμου				Κατόφλι προσάυξησης	Δείκτης λαμπρότητας περιβάλλοντος χώρου
	Ξηρή			Υγρή		
	$L_{av}(cd/m^2)$	U_o	U_I	U_o		
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,50
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,50
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,50
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,50
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,50
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,50

όπου,

L_{av} : Μέση τιμή λαμπρότητας (cd/m^2)

U_o : Το πηλίκιο της ελάχιστης τιμής λαμπρότητας στο υπό μελέτη τμήμα προς την μέση τιμή

U_i : Διαμήκης ομοιομορφία, όπου ορίζεται ως: $U_i = \min(L_{min}/L_{max})$

TI: Φυσιολογική Θάμβωση που προκαλείται από φωτιστικό σώμα, όπου ορίζεται: $TI = 65(L_v/L_{av}^{0.8})$

SR: Πηλικό της μέσης έντασης φωτισμού των παρακείμενων λωρίδων προς την μέση τιμή των λωρίδων κυκλοφορίας οχημάτων

Σ'αυτό το σημείο, να διευκρινίσουμε ότι τα όρια των κλάσεων M που παραθέσαμε παραπάνω είναι για χρήση του δρόμου από μηχανοκίνητα οχήματα, κινούμενα όχι σε χαμηλές ταχύτητες. Αντίστοιχα, η κλάση θα μπορούσε να είναι είτε S για χαμηλής ταχύτητα μηχανοκίνητα και C για δικυκλιστές, πάλι, κινούμενοι σε χαμηλές ταχύτητες. Τέλος, η P αναφέρεται σε πεζούς και άτομα με αμαξίδια.

Επίσης, οι παράμετροι που προαναφέρθηκαν χωρίζονται σε υποκατηγορίες λαμβάνοντας τιμές, όπως ορίστηκαν στο ευρωπαϊκό πρότυπο. Για κάθε μία παράμετρο διαλέχθηκε η επιλογή που ταιριάζει περισσότερο στις προδιαγραφές και τις ανάγκες του δρόμου. Στο τέλος αθροίζονται όλες οι τιμές και με τη βοήθεια του τύπου

$$M = 6 - Vw$$

υπολογίζεται η κλάση του δρόμου.

4.3.1 Παράμετροι κλάσεως φωτισμού

Οι παράμετροι για την επιλογή της κλάσης είναι:

Πίνακας 4-4 Παράμετροι για την επιλογή μιας κλάσης φωτισμού

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή		Σταθμισμένη τιμή V_w
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100 \text{ km/h}$		2
	Υψηλή	$70 < v < 100 \text{ km/h}$		1
	Μέτρια	$40 < v \leq 70 \text{ km/h}$		-1
	Χαμηλή	$v \leq 40 \text{ km/h}$		-2
Κυκλοφοριακή ροή		Αυτοκ/δρομοί 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	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων			2
	Μεικτή			1
	Μόνο μηχανοκίνητα			0
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι			1
	Ναι			0
Πυκνότητα διασταυρώσεων		Διασταυρώσεις/km	A/K, απόσταση μεταξύ γεφυρών, km	
	Υψηλή	>3	<3	1
	Μέτρια	≤ 3	≥ 3	0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα			1
	Μη παρόντα			0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ΜΜΜ, φωτιζόμενες διαφημιστικές πινακίδες		1
	μέτρια	Συνήθης κατάσταση		0
	Χαμηλή			-1
Δυσκολία πλοήγησης	Πολύ δύσκολη			2
	Δύσκολη			1
	Εύκολη			0

5 Τα τρία στάδια της οικονομοτεχνικής μελέτης

5.1 1ο Στάδιο μελέτης - Υπάρχουσα κατάσταση φωτισμού

Η κατάσταση φωτισμού παραμένει ίδια σε όλα τα επίπεδα της μελέτης μας. Όποτε δεν χρειάζεται να γίνει κάτι άλλο επιπλέον σε αυτό το κομμάτι.

Η κατάσταση φωτισμού είναι B1, όπως υπολογίστηκε παραπάνω.

Η κλάση φωτισμού υπολογίζεται σε όλο της μήκος της λεωφόρου με βάση αυτά που παρατέθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα:

Για το πρώτο τμήμα του δρόμου, Λ. Αλεξάνδρας έως οδό Λάμψα:

Πίνακας 5-1 Υπολογισμός της κλάσης Φωτισμού της Λεωφόρου Κηφισίας στο τμήμα Λ. Αλεξάνδρας έως την οδό Λάμψα

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V_w	Επιλεχθείσα τιμή V_w
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2	
	Υψηλή	1	
	Μέτρια	-1	-1
	Χαμηλή	-2	
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0	
Υπαρξη διαζώματος	Όχι	1	
	Ναι	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Παρόντα	1	
Σταθμευμένα οχήματα	Μη παρόντα	0	0
	Υψηλή	1	1
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Πολύ δύσκολη	2	
Δυσκολία πλοήγησης	Δύσκολη	1	
	εύκολη	0	0
	3		
Σύνολο σταθμευμένων τιμών V_w			3
$M = 6 - V_w$			M3

Για το δεύτερο τμήμα που μελετάμε, Κατεχάκη έως και Ανδριανού:

Πίνακας 5-2 Υπολογισμός της κλάσης Φωτισμού της Λεωφόρου Κηφισίας στο τμήμα Κατεχάκη έως και την Ανδριανού

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V_w	Επιλεχθείσα τιμή V_w
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2	
	Υψηλή	1	
	Μέτρια	-1	-1
	Χαμηλή	-2	
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0	
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1	
	Ναι	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Παρόντα	1	
Σταθμευμένα οχήματα	Μη παρόντα	0	0
	Υψηλή	1	1
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Πολύ δύσκολη	2	
Δυσκολία πλοήγησης	Δύσκολη	1	
	εύκολη	0	0
	3		
Σύνολο σταθμευμένων τιμών V_w			3
$M = 6 - V_w$			M3

Για το τρίτο τμήμα, Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας:

Πίνακας 5-3 Υπολογισμός της κλάσης Φωτισμού της Λεωφόρου Κηφισίας στο τμήμα από την οδό Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V_w	Επιλεχθείσα τιμή V_w
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2	
	Υψηλή	1	
	Μέτρια	-1	-1
	Χαμηλή	-2	
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0	
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1	
	Ναι	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Παρόντα	1	
Σταθμευμένα οχήματα	Μη παρόντα	0	0
	Υψηλή	1	1
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Πολύ δύσκολη	2	
Δυσκολία πλοήγησης	Δύσκολη	1	
	εύκολη	0	0
	3		
Σύνολο σταθμευμένων τιμών V_w			3
$M = 6 - V_w$			M3

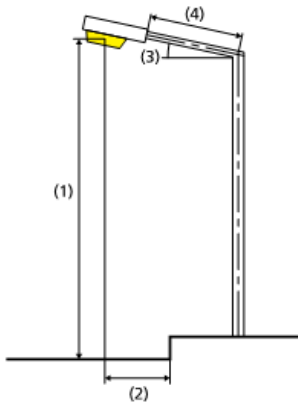
Και για το τέταρτο τμήμα, στο τμήμα της οδού Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη:

Πίνακας 5-4 Υπολογισμός της κλάσης φωτισμού της Λεωφόρου Κηφισίας στο τμήμα Γιάννη Σταυρίδη έως την Ζιρίδη

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V_w	Επιλεγθείσα τιμή V_w
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2	
	Υψηλή	1	
	Μέτρια	-1	-1
	Χαμηλή	-2	
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0	
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1	
	Ναι	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1
	Μέτρια	0	
	Παρόντα	1	
Σταθμευμένα οχήματα	Μη παρόντα	0	0
	Υψηλή	1	1
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	μέτρια	0	
	Χαμηλή	-1	
	Πολύ δύσκολη	2	
Δυσκολία πλοήγησης	Δύσκολη	1	
	εύκολη	0	0
	3		
Σύνολο σταθμευμένων τιμών V_w			3
$M = 6 - V_w$			M3

5.1.1 Γεωμετρία δρόμου

Luminaire arrangements



Παρατηρείται ότι, ανά διαστήματα αλλάζει η μορφολογία του δρόμου γι'αυτό η φωτοτεχνική μελέτη έγινε σε τρία διαστήματα, όπου τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται παρακάτω:

Α. Αλεξάνδρας έως οδό Λάμψα:

Πίνακας 5-5 Χαρακτηριστικά του δρόμου στο πρώτο τμήμα που μελετήθηκε

Λωρίδες Κυκλοφορίες	3 (η μία για τα λεωφορεία)
Διαστάσεις κάθε κατεύθυνσης (m)	10,500m
Πλάτος διαζώματος (m)	1
Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών (m)	11
Απόσταση μεταξύ φωτιστικών (m)	35
Διάταξη Φωτιστικών	Κεντρική
Κλίση Φωτιστικού(°)	5
Roadway surface	CIE R3 και Qo=0,07
Κλάση φωτισμού	M3



Εικόνα 5-1 Α. Κηφισίας και Α. Αλεξάνδρας



Εικόνα 5-2 Α. Κηφισίας και Πανόρμου

Από Κατεχάκη εως και Ανδριανού:

Πίνακας 5-6 Χαρακτηριστικά του δρόμου στο δεύτερο τμήμα που μελετήθηκε

Λωρίδες Κυκλοφορίες	3 (η μία για τα λεωφορεία)
Διαστάσεις κάθε κατεύθυνσης (m)	10,500m
Πλάτος διαζώματος (m)	1
Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών (m)	11
Απόσταση μεταξύ φωτιστικών (m)	18
Διάταξη Φωτιστικών	Αμφίπλευρη
Κλίση Φωτιστικού(°)	5
Roadway surface	CIE R3 και Qo=0,07
Κλάση φωτισμού	M3



Εικόνα 5-3 Λεωφόρος Κηφισίας, στο ύψος της οδού Βεάκη

Από Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας:

Πίνακας 5-7 Χαρακτηριστικά του δρόμου στο τμήμα Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Ουκρανική Πρεσβεία που μελετήθηκε

Λωρίδες Κυκλοφορίες	3 (η μία για τα λεωφορεία)
Διαστάσεις κάθε κατεύθυνσης (m)	10,500 m
Πλάτος διαζώματος (m)	5
Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών (m)	11
Απόσταση μεταξύ φωτιστικών (m)	22
Διάταξη Φωτιστικών	Κεντρική
Κλίση Φωτιστικού(°)	5
Roadway surface	CIE R3 και Qo=0,07
Κλάση φωτισμού	M3



Εικόνα 5-4 Λεωφόρος Κηφισίας, στο ύψος της Ουκρανικής Πρεσβείας

Από Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη:

Πίνακας 5-8 Χαρακτηριστικά του δρόμου στο τμήμα από την οδό Γιάννη Σταυρίδη έως και την οδό Ζιρίδη που μελετήθηκε

Λωρίδες Κυκλοφορίες	3 (η μία για τα λεωφορεία)
Διαστάσεις κάθε κατεύθυνσης (m)	10,500 m
Πλάτος διαζώματος (m)	1,5
Ύψος τοποθέτησης φωτιστικών (m)	11
Απόσταση μεταξύ φωτιστικών (m)	35
Διάταξη Φωτιστικών	Κεντρική-Αμφίπλευρη
Κλίση Φωτιστικού(°)	5
Roadway surface	CIE R3 και Q ₀ =0,07
Κλάση φωτισμού	M3



Εικόνα 5-5 Λεωφόρος Κηφισίας στο ύψος του HELEXPO

5.2 2ο Στάδιο μελέτης - Προτεινόμενη εγκατάσταση, Τοποθέτηση φωτιστικών LED

5.2.1 Προτεινόμενο Φωτιστικό

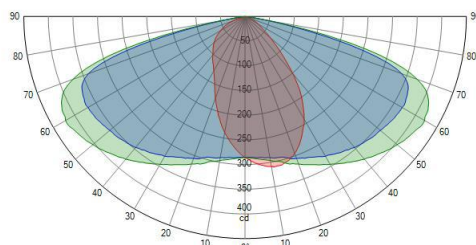
Στο σημείο αυτό, και για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα προταθεί αντικατάσταση των φωτιστικών με φωτιστικά LED. Έτσι, μετά από δοκιμές επιλέχθηκαν δύο φωτιστικά της εταιρείας AMPERA MIDI με χαρακτηριστικά:



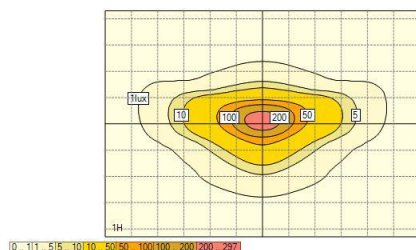
Εικόνα 5-5 Φωτιστικό Ampera

Πίνακας 5-9 Χαρακτηριστικά των επιλεγθέντων Φωτιστικών

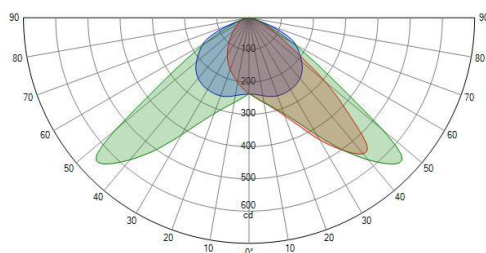
Τύπος Φωτιστικού	Ισχύς(W)	Φωτεινή ροή LED(lm)	CCT(K)
AMPERA MIDI 64 LED/700mA NW/5147	137	17735	4000
AMPERA MIDI 64 LED/700mA NW/5120	139	15390	4000



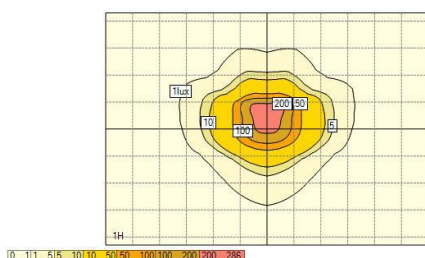
Εικόνα 5-1 Polar diagram της Α. Αλεξάνδρας έως την οδό Λαμψά, της Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Ουκρανική Πρεσβεία και της οδού Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη



Εικόνα 5-2 Isolux της Α. Αλεξάνδρας έως την οδό Λαμψά και της Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Ουκρανική Πρεσβεία και της οδού Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη



Εικόνα 5-10 Polar diagram της Λεωφόρου Κηφισίας στο τμήμα Κατεχάκη έως και την Ανδριανού



Εικόνα 5-11 Isolux diagram Λεωφόρου Κηφισίας στο τμήμα Κατεχάκη έως και την Ανδριανού

Στο τμήμα Λ. Αλεξάνδρας έως οδό Λάμψα, στο Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας και στο Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη χρησιμοποιήθηκε το ένα φωτιστικό με κωδικό 5147 και στο τμήμα Κατεχάκη έως και Ανδριανού το φωτιστικό με κωδικό 5120.

Τα φωτιστικά η εταιρεία τα παράγει σε τρία μεγέθη. Θα χρησιμοποιηθούν του μεσαίου μεγέθους, όπως προείπαμε. Αυτού του είδους τα φωτιστικά χρησιμοποιούνται για εξωτερικούς χώρους, όπως πλατείες, αστικούς δρόμους, δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, πεζοδρόμια κ.α. Μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 75% συγκριτικά με τα κλασικά φωτιστικά, ενώ αποτελούνται από δύο τμήματα ώστε να είναι πιο εύκολη η εγκατάσταση και η ρύθμισή τους.

Κατασκευαστικά: Το περίβλημά του είναι υψηλής πίεσης χυτό αλουμίνιο με επικάλυψη σκόνης πολυεστέρα. Επίσης, είναι δυνατή η άμεση πρόσβαση με το τμήμα που είναι τοποθετημένο το driver.

Το μήκος του βραχίονα μπορεί να είναι 32-48cm ή 48-60cm ή 76cm, ανάλογα με το μέγεθος του φωτιστικού που έχουμε διαλέξει, δεμένο με δύο ανοξείδωτες ατσάλινες βίδες.

Επιπλέον δυνατότητες:

- Τοποθέτηση φωτοκυττάρων
- Ανίχνευση κίνησης
- Ρύθμιση της φωτεινότητας στο επίπεδο που επιθυμεί ο πελάτης
- Απομακρυσμένη διαχείριση του φωτιστικού μέσω του OWLET

Η διάρκεια ζωής του φωτιστικού είναι 100.000 ώρες για 350mA, ενώ μειώνεται η φωτεινή ροή όσο αυξάνεται η ένταση του ρεύματος. Δηλαδή για 500mA μειώνεται στο 90% και για 700mA στο 80% της συνολικής φωτεινής ροής της.

Ηλεκτρολογικά Χαρακτηριστικά:

Υπάρχει θερμική προστασία καθώς και η μέγιστη τάση ανέρχεται στα 10kV και στα 10kA η μέγιστη ένταση.

Τάση Εισόδου	120-277V
Συχνότητα	50-60Hz
Συντελεστής Ισχύος	>90% σε πλήρη φόρτιση

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Πλάτος	436mm
Ύψος	132mm
Μήκος	674mm
Ύψος στύλου	3,5m-5m
Βάρος	11,5kg

5.3 3ο Στάδιο μελέτης - Προσαρμοστικός φωτισμός

Εν συνεχεία, αυτό που παρουσιάζεται είναι το ενεργειακό και το οικονομικό όφελος που θα προκύψει τοποθετώντας LED dimmable. Χρησιμοποιώντας αυτής της τεχνολογίας φωτιστικά, υπάρχει η δυνατότητα κατά τις ώρες μειωμένης κίνησης να μειώνεται και η ένταση του λαμπτήρα στο 75% ή ακόμα και στο 50%. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδικού βοηθητικού εξοπλισμού. Γι' αυτό ορίζονται τέσσερα χρονικά διαστήματα από την στιγμή που γίνεται η έναυση των φωτιστικών ως και τη στιγμή που απενεργοποιούνται. Έτσι, έχουμε:

Δt1: από την έναρξη ως και τις 00.00

Δt2: από τις 00.00 ως και τις 05.00

Δt3: από τις 05.00 ως και τη σβέση.

Από εκεί και πέρα, αναλόγως την εποχή (χειμερινή ή θερινή περίοδο) αλλάζει η έναυση και η σβέση των.

Χειμερινή περίοδος: 17.00 με 07.00

Θερινή περίοδος: 21.00 με 06.00

Κατά συνέπεια, τις ώρες αυτές αλλάζει και η κλάση φωτισμού του δρόμου.

Παρακάτω υπολογίζεται η βασική κλάση φωτισμού του δρόμου καθώς και για τα άλλα δύο χρονικά διαστήματα όπου μειώνουμε τις ενεργειακές μας απαιτήσεις.

Για το πρώτο μέρος του δρόμου, Λ. Αλεξάνδρας έως οδό Λάμψα:

Πίνακας 5-10 Επιλογή της κλάσης φωτισμού ανά χρονική στιγμή στο τμήμα από την Λ. Αλεξάνδρα έως την οδό Λάμψα

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V_w	Επιλεγθείσα τιμή V_w		
			$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2			
	Υψηλή	1			
	Μέτρια	-1	-1	-1	-1
	Χαμηλή	-2			
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0			0
	Χαμηλή	-1		-1	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2			
	Μεικτή	1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0			
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1			
	Ναι	0	0	0	0
Ποκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1	1	1
	Μέτρια	0			
Σταθμισμένων οχήματα	Παρόντα	1			
	Μη παρόντα	0	0	0	0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0		0	0
	Χαμηλή	-1			
Δυσκολία πλοήγησης	Πολύ δύσκολη	2			
	Δύσκολη	1			
	Εύκολη	0	0	0	0
Σύνολο σταθμισμένων τιμών V_w			3	0	1
$M = 6 - V_{ws}$			M3	M6	M5

Για το δεύτερο μέρος, από Λεωφόρο Κατεχάκη έως και την οδό Ανδριανού:

Πίνακας 5-11 Επιλογή της κλάσης φωτισμού ανά χρονική στιγμή στο τμήμα από την Α. Κατεχάκη έως και την Ανδριανού

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V_w	Επιλεγθείσα τιμή V_w		
			$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2			
	Υψηλή	1			
	Μέτρια	-1	-1	-1	-1
	Χαμηλή	-2			
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0			0
	Χαμηλή	-1		-1	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2			
	Μεικτή	1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0			
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1			
	Ναι	0	0	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1	1	1
	Μέτρια	0			
Σταθμισμένων οχήματα	Παρόντα	1			
	Μη παρόντα	0	0	0	0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0		0	0
	Χαμηλή	-1			
Δυσκολία πλοήγησης	Πολύ δύσκολη	2			
	Δύσκολη	1			
	Εύκολη	0	0	0	0
Σύνολο σταθμισμένων τιμών V_w			3	0	1
$M = 6 - V_{ws}$			M3	M6	M5

Για το τρίτο μέρος του δρόμου, Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας:

Πίνακας 5-12 Επιλογή της κλάσης φωτισμού ανά χρονική στιγμή στο τμήμα της Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Ουκρανική Πρεσβεία

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμέ νη τιμή V_w	Επιλεχθείσα τιμή V_w		
			$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2			
	Υψηλή	1			
	Μέτρια	-1	-1	-1	-1
	Χαμηλή	-2			
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0			0
	Χαμηλή	-1		-1	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2			
	Μεικτή	1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0			
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1			
	Ναι	0	0	0	0
Ποκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1	1	1
	Μέτρια	0			
Σταθμισμένων οχήματα	Παρόντα	1			
	Μη παρόντα	0	0	0	0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0		0	0
	Χαμηλή	-1			
Δυσκολία πλοήγησης	Πολύ δύσκολη	2			
	Δύσκολη	1			
	Εύκολη	0	0	0	0
Σύνολο σταθμισμένων τιμών V_w			3	0	1
$M=6 - V_{ws}$			M3	M6	M5

Τέλος, για το τέταρτο μέρος του δρόμου, από την Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη:

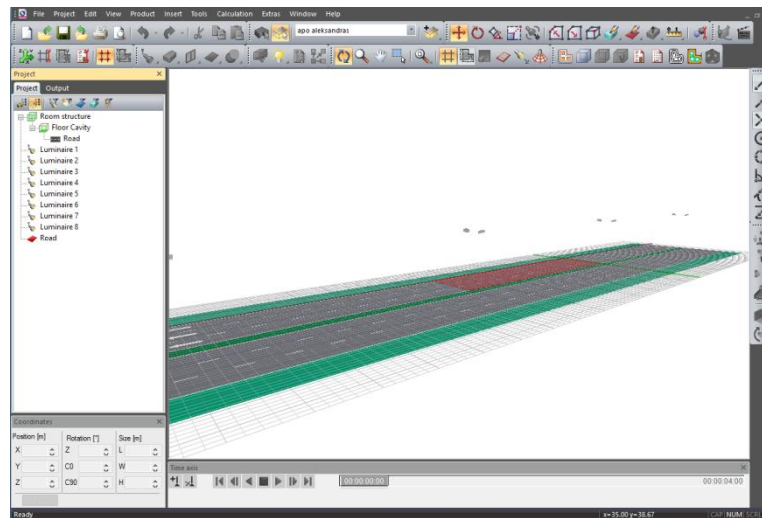
Πίνακας 5-13 Επιλογή της κλάσης φωτισμού ανά χρονική στιγμή στο τμήμα από την οδό Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμέ νη τιμή V_w	Επιλεχθείσα τιμή V_w		
			$\Delta t1$	$\Delta t2$	$\Delta t3$
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2			
	Υψηλή	1			
	Μέτρια	-1	-1	-1	-1
	Χαμηλή	-2			
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0			0
	Χαμηλή	-1		-1	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μεικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2			
	Μεικτή	1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0			
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1			
	Ναι	0	0	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1	1	1
	Μέτρια	0			
Σταθμισμένων οχήματα	Παρόντα	1			
	Μη παρόντα	0	0	0	0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	1	1		
	Μέτρια	0		0	0
	Χαμηλή	-1			
Δυσκολία πλοήγησης	Πολύ δύσκολη	2			
	Δύσκολη	1			
	Εύκολη	0	0	0	0
Σύνολο σταθμισμένων τιμών V_w			3	0	1
$M = 6 - V_{ws}$			M3	M6	M5

6 Λογισμικό προσομοιώσεων και αποτελέσματα μελέτης

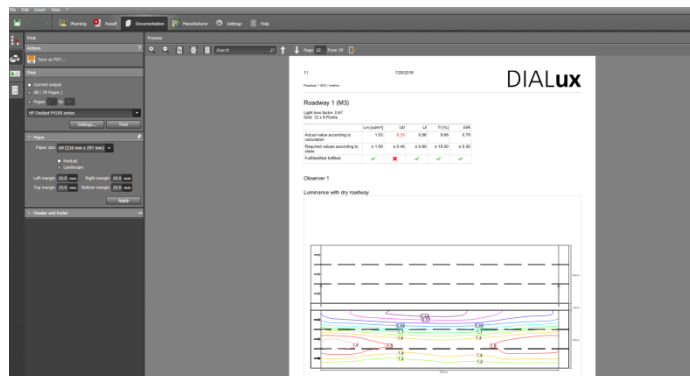
Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη είναι δύο. Το Relux και το DIALux.

ReluxPro: Είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για μελέτες Φωτισμού τόσο για εσωτερικούς χώρους όσο και για εξωτερικούς. Υπάρχει μεγάλη βάση δεδομένων με διάφορες εταιρίες φωτιστικών και τις προδιαγραφές του κάθε φωτιστικού. Διαλέγοντας και επιλέγοντας το επιθυμητό φωτιστικό, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του εκάστοτε χώρου (είτε αναφερόμενοι σε εσωτερικό χώρο είτε σε εξωτερικό) και αφού οριστούν και τα χαρακτηριστικά του χώρου ώστε η προσομοίωση να είναι στο μέγιστο δυνατό ακριβής, τα αποτελέσματα του Relux βγαίνουν στιγμιαία. *ReluxPro - 2016.1.1.0 - ReluxSuite by Relux Informatik AG*



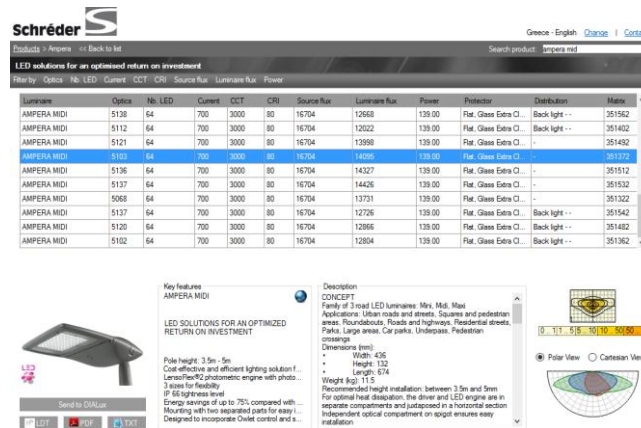
Εικόνα 6-1 ReluxPro - 2016.1.1.0 - ReluxSuite by Relux Informatik AG

DIALux: Είναι ένα λογισμικό φωτισμού αντίστοιχο του Relux που δίνει άμεσα αποτελέσματα στο χρήστη για τη φωτοτεχνική του μελέτη. Είναι δυνατή η εξαγωγή τεχνικής εκθέσεως με όλα τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της. Τα επίπεδα φωτισμού, τη θέση και τον κατάλογο των χρησιμοποιούμενων φωτιστικών καθώς και η ενέργεια που καταναλώνεται για τον τεχνητό φωτισμό.



Εικόνα 6-2 DIALux evo 6 - Version 5.6.0.29259

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ακόμα ένα plugin της Schreder για το DIALux. Με τη βοήθεια αυτού μπορούν να επιλεγθούν φωτιστικά που τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους (πλατείες, δρόμοι, αστικές περιοχές, κα.)



Εικόνα 6-3 Schreder DIALux version 3.5.2.1 1 - Schreder G.I.E.

6.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων

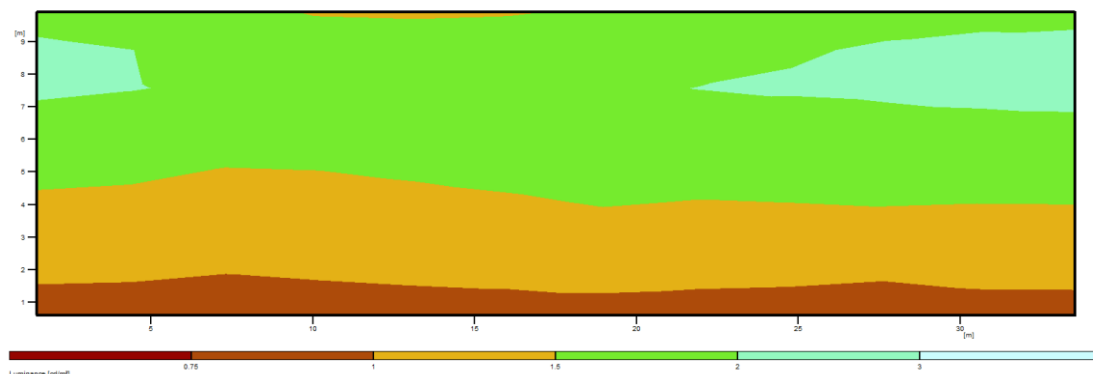
Κάνοντας τις αντίστοιχες προσομοιώσεις για τα τέσσερα προς μελέτη τμήματα και το φωτιστικό που επιλέχθηκε, προέκυψαν τα κάτωθι αποτελέσματα.

Για το πρώτο προς μελέτη τμήμα:

-Για τη βασική κλάση φωτισμού

Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M3

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_0	U_I	f_{T1} (%)	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,65	0,57	0,87	8,06	0,69
Απαιτήσεις κλάσης M2	$\geq 1,50$	$\geq 0,40$	$\geq 0,70$	$\leq 10,00$	$\geq 0,35$
Εκκλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI



Εικόνα 6-4 Κατανομή λαμπρότητας με ψευδοχρώματα για Α. Αλεξάνδρας έως οδό Λάμψα

- Για την κλάση M5

Πίνακας 6-2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M5

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	f_{TI} (%)	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,65	0,57	0,87	8,06	0,69
Απαιτήσεις κλάσης M5	≥0,50	≥0,35	≥0,40	≤15,00	≥0,30
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Επειδή, οι απαιτήσεις της κλάσης M5 είναι πολύ χαμηλές συγκριτικά με τις απαιτήσεις M2 και του φωτιστικού που έχει επιλεγθεί, καλό είναι να μειωθεί η ισχύς του φωτιστικού "ντιμάροντας" το φωτιστικό, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

Οπότε:

Πίνακας 6-3 Αποτελέσματα προσομοίωσης μετά το dimming

	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	f_{TI} (%)	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,65	0,57	0,87	8,06	0,69
Απαιτήσεις κλάσης M5	≥0,50	≥0,35	≥0,40	≤15,00	≥0,30
Ποσοστό dimming	50%				
Μετά το dimming	0.825	0,57	0,87	8,06	0,69

- Για την κλάση M6

Πίνακας 6-4 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M6

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	f_{TI} (%)	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,65	0,57	0,87	8,06	0,69
Απαιτήσεις κλάσης M6	≥0,30	≥0,35	≥0,40	≤20,00	≥0,30
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Αντίστοιχα με παραπάνω, καλό είναι να μειωθεί, και πάλι, η ισχύς του φωτιστικού. Συνεπώς,

Πίνακας 6-5 Αποτελέσματα προσομοίωσης μετά το dimming

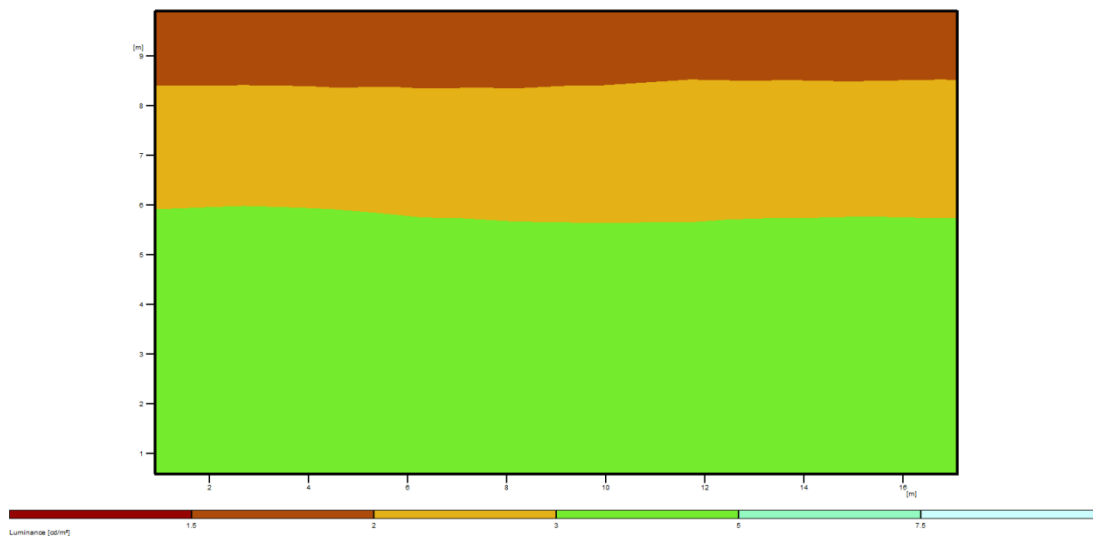
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,65	0,57	0,87	8,06	0,69
Απαιτήσεις κλάσης M6	$\geq 0,30$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\leq 20,00$	$\geq 0,30$
Ποσοστό dimming	75%				
Μετά το dimming	0.4125	0,57	0,87	8,06	0,69

Για το δεύτερο τμήμα:

- Για τη βασική κλάση M2

Πίνακας 6-6 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M2

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,80	0,59	0,90	4,98	0,60
Απαιτήσεις κλάσης M2	$\geq 1,50$	$\geq 0,40$	$\geq 0,70$	$\leq 10,00$	$\geq 0,35$
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI



Εικόνα 6-5 Κατανομή λαμπρότητας με ψευδοχρώματα για Α. Κατεχάκη εώς και Ανδριανού

- Για την κλάση M5

Πίνακας 6-7 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M5

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,80	0,59	0,90	4,98	0,60
Απαιτήσεις κλάσης M5	≥0,50	≥0,35	≥0,40	≤15,00	≥0,30
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Και πάλι, εδώ, για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας μειώνεται η ισχύς των φωτιστικών, χωρίς να επηρεάσουμε τις απαιτήσεις της κλάσης.

Πίνακας 6-8 Αποτελέσματα προσομοίωσης μετά το dimming

	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,80	0,59	0,90	4,98	0,60
Απαιτήσεις κλάσης M5	≥0,50	≥0,35	≥0,40	≤15,00	≥0,30
Ποσοστό dimming	50%				
Μετά το dimming	0,90	0,59	0,90	4,98	0,60

- Για την κλάση M6

Πίνακας 6-9 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M6

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,80	0,59	0,90	4,98	0,60
Απαιτήσεις κλάσης M6	≥0,30	≥0,35	≥0,40	≤20,00	≥0,30
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Μετά το dimming:

Πίνακας 6-10 Αποτελέσματα προσομοίωσης μετά το dimming

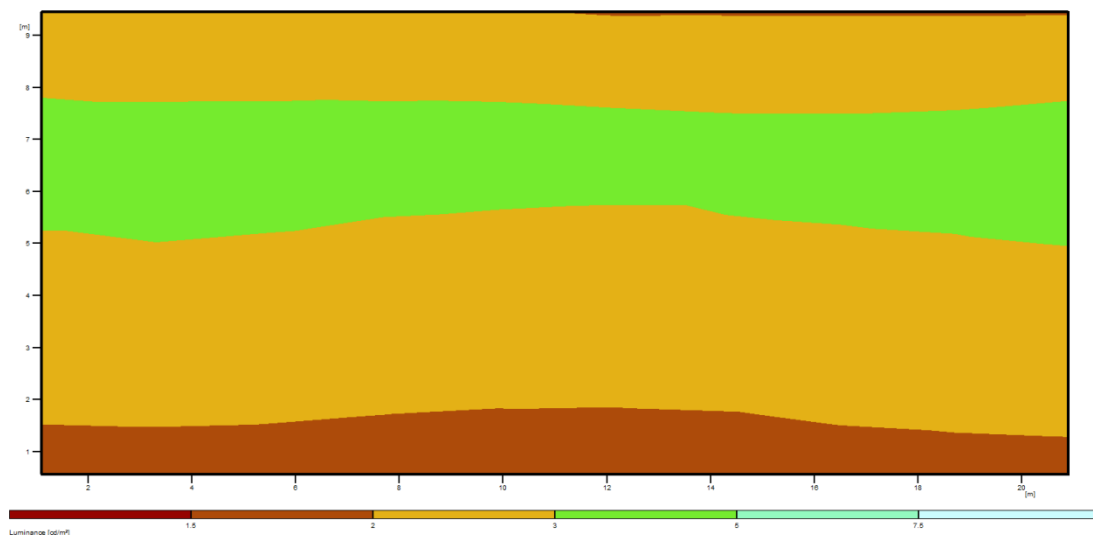
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	1,80	0,59	0,90	4,98	0,60
Απαιτήσεις κλάσης M6	$\geq 0,30$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\leq 20,00$	$\geq 0,30$
Ποσοστό dimming	75%				
Μετά το dimming	0.45	0,59	0,90	4,98	0,60

Και για το τρίτο τμήμα:

-Για την βασική κλάση M2

Πίνακας 6-11 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M2

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	2,19	0,55	0,95	8,59	0,59
Απαιτήσεις κλάσης M2	$\geq 1,50$	$\geq 0,40$	$\geq 0,70$	$\leq 10,00$	$\geq 0,35$
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI



Εικόνα 6-6 Κατανομή λαμπρότητας με ψευδοχρώματα για Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Ουκρανική Πρεσβεία

- Για την κλάση M5

Πίνακας 6-12 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M5

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	2,19	0,55	0,95	8,59	0,59
Απαιτήσεις κλάσης M5	$\geq 0,50$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\leq 15,00$	$\geq 0,30$
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Μετά το dimming:

Πίνακας 6-13 Αποτελέσματα προσομοίωσης μετά το dimming

	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	2,19	0,55	0,95	8,59	0,59
Απαιτήσεις κλάσης M5	$\geq 0,50$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\leq 15,00$	$\geq 0,30$
Ποσοστό dimming	75%				
Μετά το dimming	0,5475	0,55	0,95	8,59	0,59

- Για την κλάση M6

Πίνακας 6-14 Αποτελέσματα προσομοίωσης για την κλάση M6

	Απαιτήσεις κλάσης				
	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	2,19	0,55	0,95	8,59	0,59
Απαιτήσεις κλάσης M6	$\geq 0,30$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\leq 20,00$	$\geq 0,30$
Εκπλήρωση	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI

Τέλος, μετά το dimming:

Πίνακας 6-15 Αποτελέσματα προσομοίωσης μετά το dimming

	L_{av} (cd/m ²)	U_o	U_I	$f_{TI}(\%)$	R_s
Αποτελέσματα προσομοίωσης	2,19	0,55	0,95	8,59	0,59
Απαιτήσεις κλάσης M6	$\geq 0,30$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	$\leq 20,00$	$\geq 0,30$
Ποσοστό dimming	75%				
Μετά το dimming	0,5475	0,55	0,95	8,59	0,59

7 Οικονομική και ενεργειακή μελέτη

Αποτέλεσμα των παραπάνω μελετών είναι ενεργειακά και οικονομικά οφέλη. Κάθε επόμενο στάδιο είναι ενεργειακά και οικονομικά καλύτερο του προηγούμενου. Με το τελευταίο στάδιο να είναι η βέλτιστη λύση που αποφέρει, με το πέρασμα του χρόνου, τα μεγαλύτερα οφέλη.

7.1 Ενεργειακή μελέτη

Στους πίνακες υπολογίζονται τα οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάσταση των φωτιστικών που προτάθηκαν παραπάνω συγκριτικά με τα ήδη υπάρχοντα φωτιστικά.

Για τα τρία τμήματα του δρόμου είναι 77 τα φωτιστικά ανά κατεύθυνση.

Συγκεκριμένα:

- στο πρώτο μέρος (Λ. Αλεξάνδρας - οδό Λάμψα) είναι 32
- στο δεύτερο μέρος (Λ. Κατεχάκη - οδό Ανδριανού) είναι 12
- στο τρίτο μέρος (οδό Εθνικής Αντιστάσεως - Πρεσβεία Ουκρανίας) είναι 19.
- στο τέταρτο μέρος (οδό Γιάννη Σταυρίδη - οδό Ζιρίδη) είναι 14.

Έτσι, αν τα σώματα υπολογίζεται ότι λειτουργούν από τις 5μμ έως και τις 7πμ κατά τη χειμερινή περίοδο και από τις 9μμ έως και τις 6πμ κατά τη θερινή. Με τη χειμερινή να είναι από 1η Νοεμβρίου και μέχρι 30 Απριλίου. Δηλαδή, θεωρείται ότι στις 365 μέρες τις 181 λειτουργούν σύμφωνα με το χειμερινό και τις 184 σύμφωνα με το εαρινό. Άρα,

$$2.534+1.656= 4.190 \text{ ώρες/έτος λειτουργίας}$$

Όπου, οι προσθετέοι της παραπάνω ισότητας έχουν υπολογιστεί:

$$(181 \text{ ημέρες/έτος λειτουργίας}) * (14 \text{ ώρες/ ημέρα}) = (2.534 \text{ ώρες/ έτος λειτουργίας})$$

$$(184 \text{ ημέρες/ έτος λειτουργίας}) * (9 \text{ ώρες / ημέρα}) = (1.656 \text{ ώρες/ έτος λειτουργίας})$$

Α' στάδιο

Εδώ φαίνεται η σημερινή κατανάλωση ενέργειας. Υπάρχουν N φωτιστικά ανά τμήμα και η καταναλισκόμενη ισχύς ανά φωτιστικό υπολογίζεται:

$\text{Πλήθος} \quad * \quad \text{Ισχύς} \quad = \quad \text{Καταναλισκόμενη}$ $\text{Φωτιστικών} \quad \quad \text{Φωτιστικού} \quad \quad \quad \text{Ισχύς}$
--

Ενώ, για να υπολογίσουμε την καταναλισκόμενη ενέργεια ανά τμήμα του δρόμου :

$$\text{Καταναλισκόμενη Ισχύς} * \text{Χρόνος Λειτουργίας} = \text{Κατανάλωση Ενέργειας}$$

Και συγκεντρωτικά, ανά τμήμα αλλά και συνολικά, φαίνεται η παρούσα κατανάλωση ενέργειας και η καταναλισκόμενη ισχύς.

Πίνακας 7-1 Η κατανάλωση ενέργειας και η ισχύς ανά τμήμα

Τμήμα δρόμου	Πλήθος φωτιστικών 400W	Ισχύς (W)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)
1ο μέρος	32	14.720	61.677
2ο μέρος	12	5.520	23.129
3ο μέρος	19	8.740	36.621
4ο μέρος	14	6.440	26.984
	Συνολική	35.420	148.410

Ενώ, το κόστος ανά τμήμα του δρόμου και συνολικά υπολογίζεται:

$$\text{Καταναλισκόμενη Ενέργεια} * \text{Κόστος Ενέργειας} = \text{Κόστος Ενέργειας}$$

Πίνακας 7-2 Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τμήμα

Τμήμα δρόμου	Τιμή Ενέργειας(€/kWh)	Κόστος (€)
1ο μέρος	0,14	8.635
2ο μέρος	0,14	3.238
3ο μέρος	0,14	5.127
4ο μέρος	0,14	3.778
	Συνολικό Κόστος	20.778

Έτσι, στην υπάρχουσα κατάσταση φωτισμού της Λεωφόρου Κηφισίας το συνολικό κόστος είναι 20.778€ και η συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια 148.410kWh.

Εδώ, θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν έχουν συμπεριληφθεί άλλα κόστη που αυξάνουν την τελική τιμή, όπως τα κόστη συντήρησης του φωτιστικού.

Β' στάδιο

Στο δεύτερο στάδιο, αλλάχτηκαν τα υπάρχοντα φωτιστικά και τοποθετήθηκαν τα καινούργια φωτιστικά LED. Κάνοντας με τον ίδιο τρόπο τους υπολογισμούς, όπως και παραπάνω υπολογίζεται η συνολικά καταναλισκόμενη ισχύς, όπως και ανά τμήμα. Αναμενόμενο είναι λόγω της μικρότερης κατανάλωσης ισχύος ανά φωτιστικό που έχουν

τα φωτιστικά LED, να έχουμε και συνολικά μικρότερο κόστος όπως και μικρότερη κατανάλωση.

Το φωτιστικό που επιλέχθηκε είναι AMPERA MIDI των 137W και 139W. Η ισχύς του ελεγκτή των φωτιστικών είναι 0,8W. Ενώ, θα πρέπει να λάβουμε και τις απώλειες γραμμών οι οποίες αντιστοιχούν στο 2% της συνολικής ισχύος. Άρα, η συνολικά καταναλισκόμενη ισχύς θα είναι:

$$(137 + 0,8) * 1,02 = 140,556 \text{ W}$$

$$(139 + 0,8) * 1,02 = 142,596 \text{ W}$$

Με βάση αυτό, παρακάτω υπολογίζεται η απαιτούμενη ισχύς και η καταναλισκόμενη ενέργεια ανά τμήμα του δρόμου και συνολικά.

Πίνακας 7-3 Η κατανάλωση ενέργειας και η ισχύς ανά τμήμα

Τμήμα δρόμου	Πλήθος φωτιστικών 400W	Ισχύς (W)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)
1ο μέρος	32	4.596	19.256
2ο μέρος	12	1.723	7.221
3ο μέρος	19	2.729	11.433
4ο μέρος	14	2.011	8.425
	Συνολική Ισχύς	11.058	46.335

Έτσι, συγκεντρωτικά, το ενεργειακό όφελος που προκύπτει κάνοντας απλά μία αντικατάσταση των φωτιστικών είναι:

Πίνακας 7-4 Το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την αντικατάσταση των φωτιστικών ανά τμήμα του δρόμου

Τμήμα δρόμου	Ισχύς(W)		Κέρδος	
	Με HPS	Με LED	Ισχύς (W)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)
1ο μέρος	14.720	4.596	10.124	42.421
2ο μέρος	5.520	1.723	3.797	15.908
3ο μέρος	8.740	2.729	6.011	25.187
4ο μέρος	6.440	2.011	4.429	18.560
		Σύνολο	24.362	102.076

Όπου το κέρδος ισχύος υπολογίστηκε:

$\begin{matrix} \text{Ισχύς} & - & \text{Ισχύς} & = & \text{Κέρδος} \\ \text{Με HPS} & & \text{Με LED} & & \text{Ισχύος} \end{matrix}$
--

Το κόστος που επιβαρύνεται η τοπική κοινωνία υπολογίζεται με τον τύπο όπως και στο Α' στάδιο της μελέτης.

Πίνακας 7-5 Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τμήμα

Τμήμα δρόμου	Τιμή Ενέργειας (€/kWh)	Κόστος (€)
1ο μέρος	0,14	2.696
2ο μέρος	0,14	1.011
3ο μέρος	0,14	1.601
4ο μέρος	0,14	1.179
Συνολικό Κόστος		6.487

Και πάλι συγκριτικά φαίνεται το χρηματικό όφελος που προκύπτει με την αντικατάσταση των φωτιστικών, καθώς και το τελικό κέρδος που προκύπτει σε αυτό το στάδιο ανά έτος λειτουργίας.

Πίνακας 7-6 Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τμήμα και ανά περίπτωση

Τμήμα δρόμου	Πριν (€)	Μετά (€)	Όφελος (€)
1ο μέρος	8.635	2.638	5.939
2ο μέρος	3.238	1.004	2.227
3ο μέρος	5.127	1.567	3.526
4ο μέρος	3.778	1.179	2.598
Συνολικό Κέρδος			14.291

Γ' στάδιο

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναφορά στον προσαρμοστικό φωτισμό και τα οφέλη του. Στο τρίτο επίπεδο της μελέτης, γίνεται αναφορά σε αυτά τα επιπρόσθετα οικονομικά και ενεργειακά οφέλη που θα προκύψουν αντικαθιστώντας τα φωτιστικά LED με dimmable LED.

Συνεπώς, κάτι τέτοιο, θα έχει ως συνέπεια την εξοικονόμηση έως και 73% ενέργειας, αλλά μειώνοντας την ένταση τους κατά τις ώρες μειωμένης κίνησης. (Το ποσοστό αυτό είναι συγκριτικό με τα φωτιστικά που υπήρχαν στην πρώτη περίπτωση.)

Όπως, προείπαμε τα φωτιστικά σώματα λειτουργούν από τις 5μμ έως τις 7πμ κατά τη χειμερινή περίοδο και από τις 9μμ έως τις 6πμ κατά τη θερινή περίοδο. Προκειμένου, λοιπόν, να γίνει η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των φωτιστικών με dimmer, ορίζονται τα χρονικά διαστήματα τα οποία θεωρούνται ότι είναι καλό και χωρίς αρνητικές συνέπειες να μειωθεί η ένταση των φωτιστικών. Έτσι προκύπτει:

Πίνακας 7-7 Τα χρονικά διαστήματα μείωσης της φωτεινής ροής ανά εποχή

Περίοδος	Δt1	Δt2	Δt3
Χειμερινό	17:00-00:00	0:00-5:00	5:00-7:00
Θερινό	21:00-00:00	0:00-5:00	5:00-6:00

Με βάση, λοιπόν, τη λειτουργία τους αυτή προκύπτουν οι κατωτέρω ενεργειακές απαιτήσεις.

Για το τμήμα Λ.Αλεξάνδρας έως οδό Λάμψα:

Πίνακας 7-8 Η κατανάλωση ενέργειας ανά εποχή και χρονική περίοδο στο πρώτο τμήμα

1ο τμήμα	Φωτεινή ροή(%)	Ισχύς (W)	Ώρες/ημέρα	Ώρες/έτος	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)
Χειμερινή περίοδος	100	141	7	1.267	5.699
	75	108	2	362	1.248
	50	72	5	905	2.080
Καλοκαιρινή περίοδος	100	141	3	552	2.483
	75	108	1	184	634
	50	72	5	920	2.114
Σύνολο					14.257

Για το τμήμα από Λ. Κατεχάκη έως και την οδό Ανδριανού:

Πίνακας 7-9 Η κατανάλωση ενέργειας ανά εποχή και χρονική περίοδο στο δεύτερο τμήμα

2ο τμήμα	Φωτεινή ροή(%)	Ισχύς (W)	Ώρες/ημέρα	Ώρες/έτος	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)
Χειμερινή περίοδος	100	143	7	1.267	2.168
	75	108	2	362	468
	50	72	5	905	780
Καλοκαιρινή περίοδος	100	143	3	552	945
	75	108	1	184	238
	50	72	5	920	793
Σύνολο					5.391

Και για το τμήμα από τη Λεωφόρο Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Ουκρανική Πρεσβεία:

Πίνακας 7-10 Η κατανάλωση ενέργειας ανά εποχή και χρονική περίοδο στο τρίτο τμήμα

3ο τμήμα	Φωτεινή ροή(%)	Ισχύς (W)	Ώρες/ημέρα	Ώρες/έτος	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)
Χειμερινή περίοδος	100	141	7	1.267	3.384
	75	108	2	362	741
	50	72	5	905	1.235
Καλοκαιρινή περίοδος	100	141	3	552	1.474
	75	108	1	184	377
	50	72	5	920	1.255
Σύνολο					8.465

Τέλος, για το τμήμα από τη Γιάννη Σταυρίδη έως και τη Ζιρίδη:

Πίνακας 7-11 Η κατανάλωση ενέργειας ανά εποχή και χρονική περίοδο στο τέταρτο τμήμα

4ο τμήμα	Φωτεινή ροή(%)	Ισχύς (W)	Ώρες/ημέρα	Ώρες/έτος	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)
Χειμερινή περίοδος	100	141	7	1267	2.493
	75	108	2	362	546
	50	72	5	905	910
Καλοκαιρινή περίοδος	100	141	3	552	1.086
	75	108	1	184	277
	50	72	5	920	925
Σύνολο					6.237

Συνεπώς, πλέον το κέρδος ενεργειακά θα είναι (υφιστάμενη κατάσταση - τελική κατάσταση)

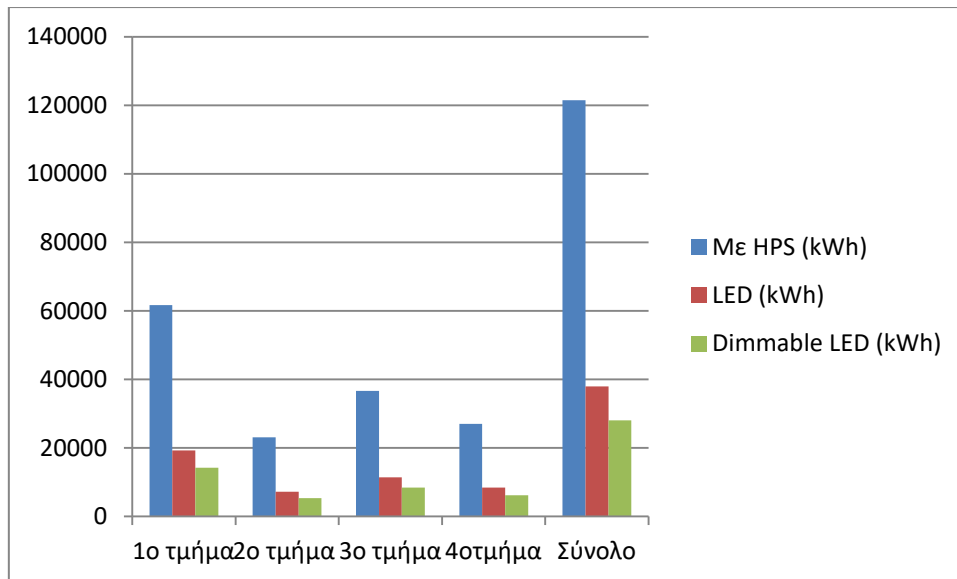
Πίνακας 7-12 Η κατανάλωση ενέργειας ανά τμήμα και ανά περίπτωση

Τμήμα δρόμου	Ενέργεια (kWh)			Εξοικονόμηση Ενέργειας (kWh)
	Με HPS	Με LED	Με dimmable LED	
1ο τμήμα	61.677	18.846	14.257	47.420
2ο τμήμα	23.129	7.170	5.391	17.738
3ο τμήμα	36.621	11.190	8.465	28.155
4ο τμήμα	26.984	8.245	6.237	20.746
			Συνολικό	114.059

Με βάση την καναλισκόμενη ισχύ που υπολογίστηκε παραπάνω, το κόστος προς τη δημοτική αρχή ανά τμήμα του δρόμου που μελετήθηκε αλλά και συνολικά, είναι:

Πίνακας 7-13 Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τμήμα και ανά περίπτωση

Τμήμα δρόμου	Τιμή Ενέργειας(€/kWh)	Με dimmable LED(kWh)	Κόστος (€)
1ο τμήμα	0,14	14.257	1.996
2ο τμήμα	0,14	5.391	755
3ο τμήμα	0,14	8.465	1.185
4ο τμήμα	0,14	6.237	873
Σύνολο		34.350	4.809

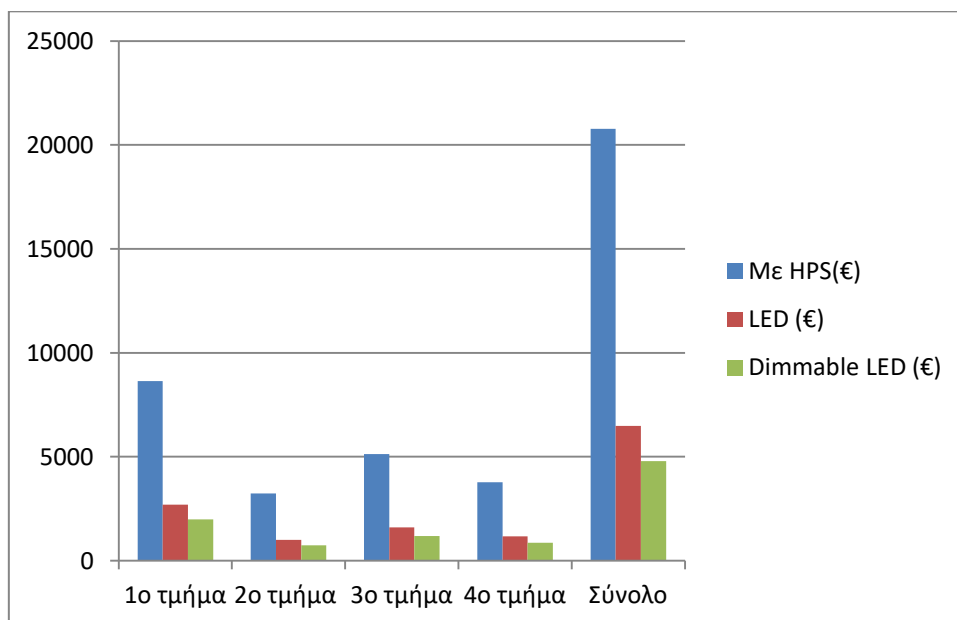


Διάγραμμα 7-1 Η κατανάλωση ενέργειας ανα περίπτωση, ανά τμήμα και συνολικά

Έτσι, συγκεντρωτικά από τα τρία αυτά ενδεχόμενα προκύπτει το παρακάτω οικονομικό όφελος, συγκρίνοντας την τωρινή κατάσταση με τη βέλτιστη.

Πίνακας 7-14 Οικονομικό όφελος εγκατάστασης

Με HPS(€)	Με LED(€)	Με dimmable LED(€)	Όφελος (€)
20.777	6.363	4.809	15.968



Διάγραμμα 7-2 Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τμήμα, ανά περίπτωση και συνολικά

Εν κατακλείδι, το κέρδος που επωφελείται η δημοτική αρχή είναι 15968€ το χρόνο και 114059kWh ενέργεια ανά κατεύθυνση. Να επισημανθεί, ότι δεν έχει υπολογιστεί ακόμα το κέρδος που θα προκύψει και από τη συντήρηση της εγκατάστασης.

7.2 Οικονομική Μελέτη

7.2.1 Συντήρηση των φωτιστικών

Από εκεί και πέρα για να είναι πλήρης η μελέτη μας θα πρέπει να αναφερθούν και τα κόστη συντήρησης Η/Μ εγκαταστάσεων οδικών έργων όπως αυτά προκύπτουν από το τιμολόγιο της Γ.Γ.Δ.Ε. (Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων):

Έτσι,

Πίνακας 7-15 Τα κόστη συντήρησης σύμφωνα με τη Γ.Γ.Δ.Ε.

Κωδικός άρθρου	Είδος εργασίας	Τιμή μονάδος (€)
62.10.10.02	Καθαρισμός Φ/Σ σε ύψος άνω των 8,0μ από το δάπεδο εργασίας	25,00
62.10.26.03	Αντικατάσταση λαμπτήρα ατμού Νατρίου υψηλής πίεσης Ισχύος 250W	30,50
62.10.20.01	Πυκνωτής διόρθωσης συντελεστής ισχύος	10,00
62.10.20.02	Στραγγαλιστικό πηνίο (BALLAST)	30,00
62.10.20.05	Εναυστήρας χωρίς εκκινητή (STARTER)	25,00
62.10.20.06	Λυχνιολαβή	3,40

Τα όργανα του Φ/Σ αντικαθίστανται μία φορά στα 10 χρόνια και ο λαμπτήρας 3 φορές στα 10 χρόνια. Επίσης, ο καθαρισμός Φ/Σ γίνεται 3 φορές στη δεκαετία. Συνεπώς, με αναγωγή στο χρόνο, το κόστος συντήρησης του φωτιστικού είναι 20,67€/έτος.

Σε αντίθεση τα Φ/Σ τεχνολογίας LED λόγω της δεκαετής εγγύησής τους από τον κατασκευαστή έχουν μηδενικό κόστος συντήρησης και στις 100.000 ώρες λειτουργίας τους χάνουν το 20% της φωτεινής τους ροής.

Άρα, τα τελικά κόστη θα είναι:

Πίνακας 7-16 Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά περίπτωση και συνολικά

Με HPS (€)	Με LED(€)	Με dimmable LED(€)	Όφελος(€)
22.369	6.363	4.809	15.968

Επειδή, τα προαναφερόμενα οικονομικά μεγέθη είναι ανά κατεύθυνση, ουσιαστικά το κέρδος θα είναι το διπλάσιο. Δηλαδή, 31936€.

7.2.2 Οικονομική ανάλυση της προτεινόμενης εγκατάστασης

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να γίνει αναφορά στο κόστος της προτεινόμενης εγκατάστασης, ώστε να υπάρχει μία ολοκληρωμένη εικόνα για την επένδυση που προτάθηκε.

Ήδη, έχει υπολογιστεί:

- το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης προκειμένου να λειτουργεί χωρίς προβλήματα
- το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας .

Καταρχάς, πρέπει να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης της εγκατάστασης. Η δημοτική αρχή με βάση αυτό το δείκτη μπορεί να κρίνει από ποια χρονική στιγμή και έπειτα θα έχει "καθαρό" κέρδος. Η χρονική απόσβεση ορίζεται ως:

$$\text{payback period} = \frac{\text{Κόστος επένδυσης}}{\text{Ετήσια Οικονομικά οφέλη}}$$

Επίσης, πρέπει να υπολογιστεί η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) . Η ΚΠΑ με βάση την παρούσα αξία του χρήματος, είναι η διαφορά των εισερχόμενων και των εξερχόμενων ροών κατά τη διάρκεια μια χρονικής περιόδου. Ουσιαστικά μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών σε σχέση με το κόστος κεφαλαίου που χρησιμοποιήθηκαν για την επένδυση.

Η ΚΠΑ ορίζεται από τον τύπο:

$$ΚΠΑ = \sum_{k=1}^v \frac{ΚΤΡ_k}{(1+i)^k} - Κ_0$$

όπου, $ΚΤΡ_k$ οι Καθαρές Ταμειακές Ροές το έτος k

$Κ_0$ η αρχική επένδυση

v η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου

i το επιτόκιο προεξόφλησης.

Και αν,

- 1) $ΚΠΑ > 0$, τότε η επένδυση είναι κερδοφόρα
- 2) $ΚΠΑ = 0$, τότε τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν το επενδυτικό κεφάλαιο, χωρίς όπως να υπάρχει κέρδος για τον επενδυτή αλλά ούτε και ζημία
- 3) $ΚΠΑ < 0$, τότε ο επενδυτής ζημιώνεται.

Παρολ'αυτά, να σημειωθεί ότι υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα.

- Υπάρχουν πολλές μεταβλητές οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψιν για να προκύψουν ασφαλή αποτελέσματα που να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα
- Υπάρχει πάντοτε ο υποκειμενικός παράγοντας των αναλυτών
- Το προεξοφλητικό επιτόκιο, αν και για τους υπολογισμούς θεωρείται σταθερό κατά τη διάρκεια της αποπληρωμής του επενδυτικού κεφαλαίου, στην πραγματικότητα δεν είναι. Ειδικά όταν η επένδυση έχει υψηλό ρίσκο.

7.2.3 Υπολογισμοί για τη βιωσιμότητα της επένδυσης

Με βάση τα προηγούμενα θα υπολογιστεί το κόστος της επένδυσης, καθώς και οι καθαρές ταμειακές ροές. Με τις δύο αυτές τιμές μπορεί να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να γίνει απόσβεση των χρημάτων που επενδύθηκαν για την καινούργια εγκατάσταση αλλά και να υπάρχει σαφείς εικόνα για τη χρονική στιγμή, από την οποία και έπειτα θα έχουμε πλήρες κέρδος.

Συνεπώς, πρώτο και βασικό δεδομένο που πρέπει να υπολογιστεί είναι το ποσό που χρειάζεται να δαπανηθεί για την αγορά του Η/Μ εξοπλισμού για το φωτισμό κάθε τμήματος της μελέτης μας. Έτσι, το κόστος αγοράς ενός φωτιστικού είναι:

Η συνολική δαπάνη για τα προτεινόμενα φωτιστικά φαίνεται στο πίνακα.

Πίνακας 7-17 Κόστος προτεινόμενης εγκατάστασης Φωτιστικών

	Πλήθος Φωτιστικών	Τιμη(€)	Κόστος(€)
1ο τμήμα	32	350	11200
2ο τμήμα	12	350	4200
3ο τμήμα	19	350	6650
4ο τμήμα	14	350	4900
		Σύνολο	26950

Να σημειωθεί εδώ, ότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα εργατικά που χρειάστηκαν για να στηθεί η καινούργια εγκατάσταση, τα καύσιμα που καταναλώθηκαν και πιθανά άλλα έξοδα μικρότερης ή όχι αξίας.

Οι Καθαρές Ταμειακές Ροές είναι ουσιαστικά το κέρδος που θα επιφέρει στη δημοτική αρχή, η μειωμένη καταναλισκόμενη ενέργεια συναρτήσει των μειωμένων κόστων συντήρησης ανά ημερολογιακό έτος.

Πίνακας 7-18 Καθαρές ταμειακές ροές ανά τμήμα του δρόμου αλλά και συνολικά

	Κόστος			
		Συντήρηση		
Τμήμα	Ενέργεια (kWh)	Υφιστάμενα Φωτιστικά	Προτεινόμενα	Καθαρές Ταμειακές Ροές (€)
1ο τμήμα	6.639	661	0	7.300
2ο τμήμα	2.483	248	0	2.731
3ο τμήμα	3.942	393	0	4.334
4ο τμήμα	2.904	289	0	3.194
Σύνολο	15.968	1.592	0	17.560

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται ο δείκτης χρονικής απόσβεσης του επενδυτικού κεφαλαίου ως:

$$Payback\ Period = \frac{26.950}{17.560} = 1,53\ \acute{\epsilon}τη$$

Ο χρόνος αυτός, είναι ο χρόνος αποπληρωμής του κεφαλαίου. Από τη στιγμή που αυτή η τιμή είναι μικρότερη από τη διάρκεια ζωής του έργου, το έργο εγκρίνεται.

Payback Period < 10 έτη, άρα εγκρίνεται

Και η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) για να υπολογιστεί εξαρτάται από το πλήθος των χρόνων συναρτήσει του επιτοκίου προεξόφλησης.

Το επιτόκιο προεξόφλησης είναι ένας κυμαινόμενος δείκτης, ο οποίος αλλάζει με τον πληθωρισμό καθώς και ανάλογα με το κόστος του κεφαλαίου αλλά και τον επιχειρηματικό κίνδυνο. Στην προκειμένη θεωρείται ίσο με το μέγιστο πιθανό. ($i = 10\%$)

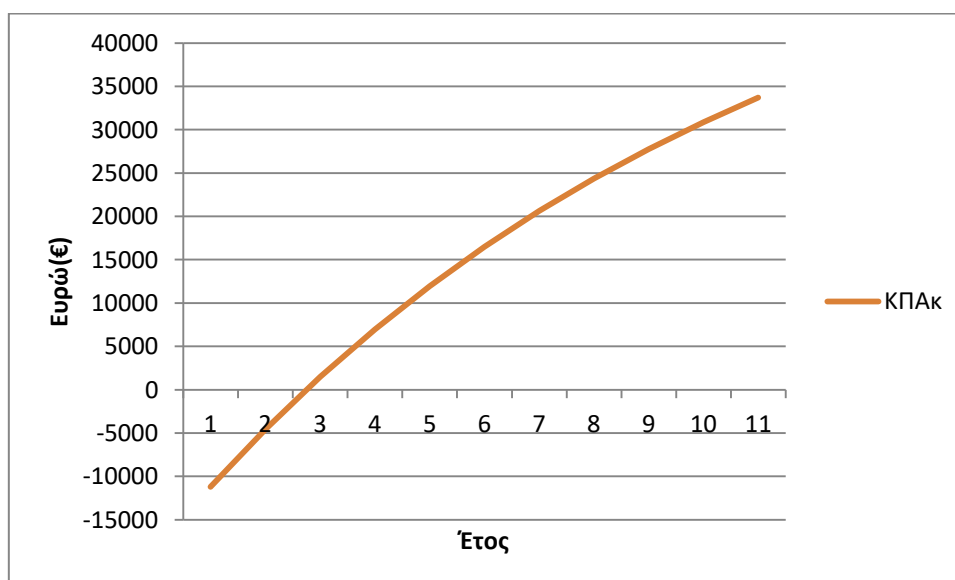
Αναλυτικά οι υπολογισμοί φαίνονται παρακάτω για κάθε ένα από τα τμήματα που μελετήθηκαν.

Για το πρώτο τμήμα, Λ.Αλεξάνδρας έως οδό Λαμψα:

Πίνακας 7-19 Υπολογισμός του ΚΠΑ για το τμήμα Α.Αλεξάνδρας εώς οδό Λαμψα

Έτος k	Αρχική επένδυση K_0 (€)	KTP_k (€)	i (%)	$KTP_k/(1+i)^k$ (€)	$ΚΠΑ_k$ (€)
0	11.200		0	0	-11.200
1		4301,47799	0,1	3910,434537	-7289,57
2		4301,47799	0,1	3554,940488	-3734,62
3		4301,47799	0,1	3231,76408	-502,861
4		4301,47799	0,1	2937,967345	2435,106
5		4301,47799	0,1	2670,879405	5105,986
6		4301,47799	0,1	2428,072186	7534,058
7		4301,47799	0,1	2207,338351	9741,396
8		4301,47799	0,1	2006,671228	11748,07
9		4301,47799	0,1	1824,246571	13572,31
10		4301,47799	0,1	1658,405974	15230,72

Σύμφωνα με τον πίνακα, μέχρι το τέλος του πρώτου διμήνου του τέταρτου έτους έχει τελειώσει η αποπληρωμή του επενδυτικού κεφαλαίου και η δημοτική αρχή επωφελείται στο 100% το έργο. Το ίδιο ισχύει και για τα άλλα δύο τμήματα που μελετήθηκαν.



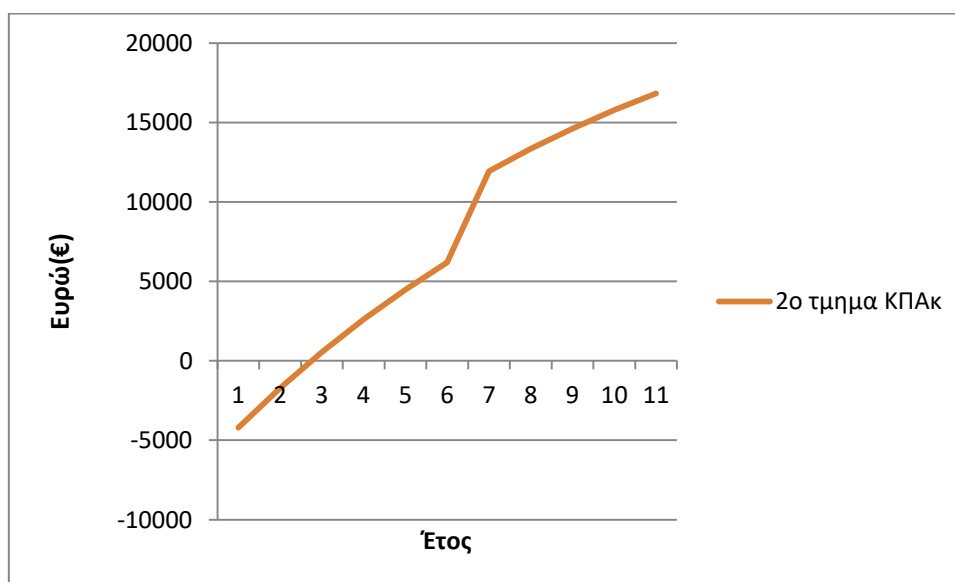
Διάγραμμα 7-3 Η ΚΠΑ στα πρώτα 10 χρόνια ζωής του έργου για το τμήμα Α.Αλεξάνδρας εώς οδό Λαμψα

Για το δεύτερο τμήμα, από Λ.Κατεχάκη έως την Ανδριάνου

Πίνακας 7-20 Υπολογισμός του ΚΠΑ για το τμήμα από Λ.Κατεχάκη έως την Ανδριάνου

Έτος k	Αρχική επένδυση K_0 (€)	KTP_k (€)	i (%)	$KTP_k/(1+i)^k$ (€)	ΚΠΑ _k (€)
0	4.200	1613,054246	0	0	-4.200
1		1613,054246	0,1	1466,412951	-2733,59
2		1613,054246	0,1	1333,102683	-1400,48
3		1613,054246	0,1	1211,91153	-188,573
4		1613,054246	0,1	1101,737755	913,1649
5		1613,054246	0,1	1001,579777	1914,745
6		1613,054246	0,1	910,5270699	7025,272
7		1613,054246	0,1	827,7518817	7853,024
8		1613,054246	0,1	752,5017106	8605,525
9		1613,054246	0,1	684,0924642	9289,618
10		1613,054246	0,1	621,9022402	9911,52

Και πάλι εδώ, φαίνεται ότι μετά το πέρας του πρώτου διμήνου του τετάρτου έτους μπορεί να γίνει πλήρης εκμετάλλευση των κερδών που εξοικονομούνται από την προτεινόμενη εγκατάσταση.



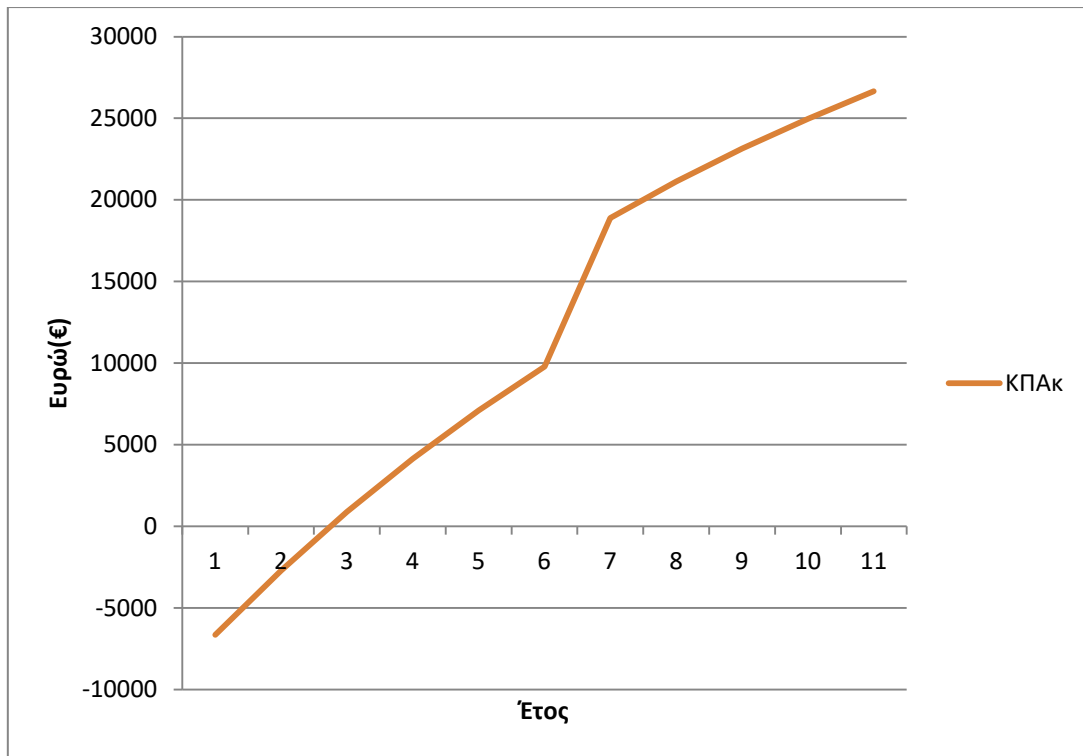
Διάγραμμα 7-4 Η ΚΠΑ στα πρώτα 10 χρόνια ζωής του έργου για το τμήμα από Λ.Κατεχάκη έως την Ανδριάνου

Για το τμήμα, από Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας:

Πίνακας 7-21 Υπολογισμός του ΚΠΑ για το τμήμα από Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας

Έτος k	Αρχική επένδυση K_0 (€)	KTP_k (€)	i (%)	$KTP_k/(1+i)^k$ (€)	KPA_k (€)
0	6.650	2554,002557	0	0	-6.650
1		2554,002557	0,1	2321,820506	-4328,18
2		2554,002557	0,1	2110,745915	-2217,43
3		2554,002557	0,1	1918,859922	-298,574
4		2554,002557	0,1	1744,418111	1445,844
5		2554,002557	0,1	1585,834647	3031,679
6		2554,002557	0,1	1441,667861	11123,35
7		2554,002557	0,1	1310,607146	12433,95
8		2554,002557	0,1	1191,461042	13625,42
9		2554,002557	0,1	1083,146402	14708,56
10		2554,002557	0,1	984,678547	15693,24

Τέλος, και στο τρίτο τμήμα μετά τα 3,17 έτη είναι δυνατή η εκμετάλλευση όλων των πόρων.



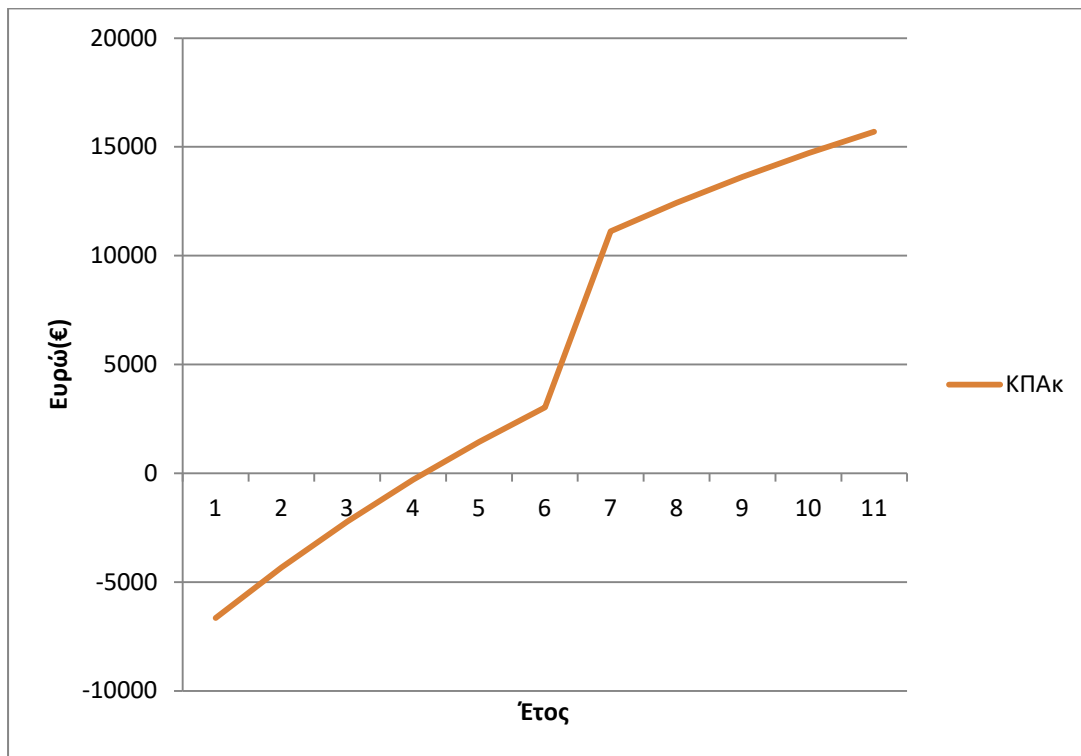
Διάγραμμα 7-5 Η ΚΠΑ στα πρώτα 10 χρόνια ζωής του έργου για το τμήμα από Εθνικής Αντιστάσεως έως και την Πρεσβεία της Ουκρανίας

Και για το τελευταίο τμήμα έχουμε:

Πίνακας 7-22 Υπολογισμός του ΚΠΑ για το τμήμα από την οδό Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη

Έτος k	Αρχική επένδυση K_0 (€)	KTP_k (€)	i (%)	$KTP_k/(1+i)^k$ (€)	$ΚΠΑ_k$ (€)
0	4.900	3195,880621	0	0	-4.900
1		3195,880621	0,1	2905,346019	-1994,65
2		3195,880621	0,1	2641,223654	646,5697
3		3195,880621	0,1	2401,112412	3047,682
4		3195,880621	0,1	2182,829466	5230,512
5		3195,880621	0,1	1984,390423	7214,902
6		3195,880621	0,1	1803,991294	13918,89
7		3195,880621	0,1	1639,992085	15558,89
8		3195,880621	0,1	1490,901896	17049,79
9		3195,880621	0,1	1355,36536	18405,15
10		3195,880621	0,1	1232,150327	19637,3

Μετά το πέρας του ένατου μήνα, σ'αυτό το κομμάτι του δρόμου, θα έχει γίνει και η απόσβεση του έργου.



Διάγραμμα 7-6 Η ΚΠΑ στα πρώτα 10 χρόνια ζωής του έργου για το τμήμα από την οδό Γιάννη Σταυρίδη έως και την Ζιρίδη.

8 Συμπεράσματα και Προοπτικές χρήσης του δικτύου των φωτιστικών LED

Είναι γεγονός ότι μια επικείμενη αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων στην Λεωφόρο Κηφισίας θα έχει ένα κόστος που θα επιβαρύνει την τοπική αρχή. Φαίνεται, όμως με βάση τα παραπάνω ότι θα γίνει απόσβεση των χρημάτων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, αποκομίζοντας επιπλέον κέρδη η δημοτική αρχή μετά το πέρας της απόσβεσης.

Από τον πρώτο κιόλας χρόνο θα έχει γίνει η απόσβεση τμήματος της εγκατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι από τον πρώτο, κιόλας, χρόνο θα εξοικονομούνται χρήματα στα ταμεία του δήμου. Βοηθώντας, έτσι, αθροιστικά να γίνει ταχύτερα η απόσβεση απ' ότι υπολογίστηκε παραπάνω, όπου στον τέταρτο χρόνο θα έχει κάνει πλήρης απόσβεση ο δήμος.

Συναρτήσει του κόστους που θα έχει η εγκατάσταση, σημαντικό ρόλο παίζει και η εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιφέρει η εν λόγω αντικατάσταση. Γιατί πέρα από το λογιστικό μέρος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα οφέλη που θα επιφέρει. Η ενεργειακή κρίση και οι διατάξεις που έχουν οριστεί σε παγκόσμιο επίπεδο για την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας προϋποθέτει είτε τη χρήση πράσινων συστημάτων είτε την αντικατάσταση με συστήματα που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Ιδανικά, ο συνδυασμός αυτών θα φέρει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Επανερχόμενοι και πάλι στο οικονομικό σκέλος, ευκολότερη και οικονομικότερη είναι η αντικατάσταση των φωτιστικών.

Τα φωτιστικά LED, με βάση τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω, συνίσταται να πάρουν τη θέση των φωτιστικών υψηλής πίεσεως νατρίου, ατμών υδραργύρου ή όποιων άλλων φωτιστικών έχουν τοποθετηθεί κατά τόπους. Τα οφέλη που προσφέρουν ενεργειακά και οικονομικά είναι πολλά. Επιπρόσθετη εξοικονόμηση επιτυγχάνεται, με τα πράσινα φωτιστικά, τα οποία αναφέρθηκαν νωρίτερα, και μπορούν να αναπτυχθούν πάνω σε ένα δίκτυο LED. Σε πρώτο επίπεδο, εξοικονόμηση επιτυγχάνεται με τον προσαρμοστικό φωτισμό, που επίσης αναφέρθηκε και αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Τα φωτιστικά LED συνδέονται όλα σε ένα δίκτυο παρέχοντας τη δυνατότητα να ελέγχονται είτε όλα μαζί είτε μεμονωμένα χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό κατάλληλο για τη διαχείριση των φωτιστικών. Το δίκτυο αυτό, που είναι διαθέσιμο όπου έχουν εγκατασταθεί φωτιστικά, αποτελεί και τη ραχοκοκκαλιά για τις λεγόμενες Smart Cities και τις υπηρεσίες που προσφέρουν μεταφέροντας τη πληροφορία από ιστό σε ιστό. Κάνοντας χρήση ενός τέτοιου δικτύου, το dimming των φωτιστικών που αναφέρθηκε νωρίτερα γίνεται πιο εύκολο και αποτελεσματικότερο.

Έτσι, πέρα από την εξοικονόμηση που προκύπτει κάνοντας χρήση του δικτύου με τα φωτιστικά LED, επιπρόσθετες λειτουργίες μπορούν να αναπτυχθούν τοποθετώντας έξτρα εξοπλισμό στους ιστούς των φωτιστικών.

Για παράδειγμα, με την προσθήκη αισθητήρων κίνησης πραγματοποιούνται μετρήσεις και καταγράφονται τα δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διάφορες υπηρεσίες. Επίσης, είναι δυνατή η καταμέτρηση των οχημάτων που κινούνται στην περιοχή. Με την πληροφορία αυτή κατά τις νυχτερινές ώρες μειώνεται η φωτεινή ένταση όπου αυτό είναι ανεκτό ή αυξάνεται όταν είναι απαραίτητο. Από εκεί και έπειτα, είναι δυνατό αυτά τα δεδομένα να είναι προσβάσιμα στους οδηγούς ώστε να κατευθυνθούν σε δρόμους με λιγότερη κίνηση σε ώρες αιχμής. Εξίσου σημαντικό και δύσκολο στις αστικές περιοχές και ιδιαίτερα στις πυκνοκατοικημένες είναι η ανεύρεση πάρκινγκ. Με χρήση κατάλληλων συστημάτων, ο οδηγός θα έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει τις διαθέσιμες θέσεις πάρκινγκ κερδίζοντας χρόνο για τις καθημερινές του ασχολίες.

Επίσης, οι ιστοί των φωτιστικών μπορούν να λειτουργήσουν και ως τροφοδοτικά για τη φόρτιση των μπαταριών των οχημάτων ή και να φορτίσουν ολόκληρα αυτοκίνητα αν πρόκειται για ηλεκτροκίνητα. Δυνατότητα που θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη τα επόμενα χρόνια με την αυξανόμενη χρήση των συγκεκριμένων αυτοκινήτων.

Τέλος, και οι δημοτικές υπηρεσίες θα έχουν ανάλογα οφέλη. Μπορούν να εντοπίζονται οι κάδοι απορριμάτων που έχουν γεμίσει, διατηρώντας το περιβάλλον και την πόλη καθαρή. Ίσως, πρόκειται για δευτερεύοντες λειτουργίες αλλά που σίγουρα μπορούν να αυξήσουν το βιωτικό επίπεδο των πολιτών.

9 Βιβλιογραφία

- [1] Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Λάμπρος Οικονόμου, Σταυρούλα Κουρτέση, «Φωτοτεχνία», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2010
- [2] Ashrae Hellenic Chapter, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.ashrae.gr/GrT2016/GrT2016_Doulos.pdf
- [3] Center for Climate and energy Solutions, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.c2es.org/>
- [4] Climate Action, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/tbr/street_lighting_tbr.pdf
- [5] DIALux board, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://dxboard.dialux.com>
- [6] Edison Tech Center, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.edisontechcenter.org/SodiumLamps.html>
- [7] Eurostat Statistics Explained, [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy
- [8] Investopedia, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
- [9] R -Tables for Roadway Lighting, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://docs.agi32.com/AGi32/Content/references/R-Tables%20for%20Roadway%20Lighting.html>
- [10] «CEN/TR 13201-1 Road lighting», Technical Report, 2004
- [11] «Schreder», Schreder, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/products/ampera/ampera-brochures/2014-09-10-v2/ampera-english-brochure-v2.pdf>
- [12] Silver Spring Networks, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.silverspringnet.com/wp-content/uploads/SilverSpring-Whitepaper-Smart-Street-Light-Bizcase.pdf>
- [13] «Intelligent Street Lighting Management System», Solar Path sun solutions, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.solarpathusa.com/>
- [14] «The Beginner's Guide to Motion Sensors», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.safewise.com/resources/motion-sensor-guide>
- [15] The LED Company, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://theledcompany.gr/led/led-fotismos-pleonektimata>
- [16] «Τιμές πώλησεως ηλεκτρικής Ενέργειας υπό χαμηλή τάση», Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dei.gr/>
- [17] Π. Κάπρος και Κ. Ντελκής, Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- [18] Κ. Κόνιαρη, Μελέτη σκοπιμότητας για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων στο φωτισμό εξωτερικών χώρων του συγκροτήματος Ζωγράφου του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2015
- [19] Δ. Νικολάου, Η εφαρμογή των LED στο φωτισμό δρόμων και οι προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2013

- [20] Συστήματα Διαχείρισης Φωτισμού Πόλεων
http://ils.com.gr/uploads/files/Lighting_Systems/sustimata_diaxeirisis_fotismou_V1.pdf
- [21] Φ. Β. Τοπαλής, «Βιβλιοθήκη ΤΕΕ», Ε.Μ.Π., [Ηλεκτρονικό]. Available:
http://library.tee.gr/digital/m2413/m2413_topalis.pdf
- [22] Β. Τσιουρή, Συστήματα Τηλεδιαχείρισης Προσαρμοστικού Φωτισμού στον οδοφωτισμό, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π. 2015