



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύγχρονες Τεχνολογίες Αστικού Φωτισμού και Φωτεινής Σηματοδότησης - Μελέτες Περίπτωσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σιούλα Γεωργία

Επιβλέπων Καθηγητής: Χάρης Δούκας

Αθήνα, Οκτώβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύγχρονες Τεχνολογίες Αστικού Φωτισμού και Φωτεινής Σηματοδότησης - Μελέτες Περίπτωσης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σιούλα Γεωργία

Επιβλέπων Καθηγητής: Χάρης Δούκας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Οκτώβριο του 2017.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Χάρης Δούκας
Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

.....
Σιούλα Γεωργία

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

Copyright © Σιούλα Γεωργία, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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 το 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.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που συνέβαλλαν και βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Χάρη Δούκα, που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και σύγχρονο θέμα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην κα. Αλεξάνδρα Παπαδοπούλου, διδάκτορα του Τομέα Αποφάσεων & Διοίκησης του ΕΜΠ, για τη συνεχή και αποτελεσματική βοήθειά της, καθώς και την αμέριστη συμπαράσταση της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κ. Ιωάννη Ψαρρά και τον κ. Δημήτριο Ασκούνη.

Ακόμα οφείλω ξεχωριστές ευχαριστίες στους εργαζόμενους του Δήμου Αγίας Παρασκευής και της Περιφέρειας Αττικής για τη συνεργασία και τη βοήθειά τους στην προσπάθεια συλλογής δεδομένων.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και στα αγαπημένα μου πρόσωπα, για όλη τη βοήθεια, την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Σε μια εποχή που η ανάγκη σε σχέση με την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων και την ανάδειξη νέων τεχνολογιών με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος είναι επιτακτική, ο δημόσιος τομέας καλείται να μελετήσει και να εφαρμόσει νέα σενάρια τόσο στις εγκαταστάσεις αστικού φωτισμού, όσο και στις εγκαταστάσεις φωτεινής σηματοδότησης. Οι δύο αυτοί τομείς είναι στενά συνδεδεμένοι με τους πόρους του δημόσιου τομέα και αποτελούν μία από τις σημαντικότερες πηγές εσόδων.

Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να παρουσιάσει αναλυτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν τις ενεργειακές καταναλώσεις στον αστικό φωτισμό και στη φωτεινή σηματοδότηση και να προτείνει μεθόδους τροποποίησης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων δίνοντας έμφαση στη μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων και την αύξηση των εισροών στα ταμεία του δημόσιου τομέα.

Όλα αυτά παρουσιάζονται και αναλύονται διεξοδικά, ενώ παράλληλα παρατίθενται και όλοι οι περιβαλλοντικοί λόγοι που αντίστοιχες ενέργειες στον οδικό φωτισμό και τη φωτεινή σηματοδότηση κρίνονται απαραίτητες και επιφέρουν σημαντικά αποτελέσματα.

Τέλος σε αρκετά πρώιμο και θεωρητικό επίπεδο παρουσιάζεται η ιδέα εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων στον αστικό φωτισμό και τη φωτεινή σηματοδότηση. Σε πολλές πόλεις ανά τον κόσμο ήδη εφαρμόζονται αντίστοιχα συστήματα, με τα αποτελέσματα σε ενεργειακές καταναλώσεις και περιβαλλοντικές επιπτώσεις να είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά, πράγμα που καθιστά αμελητέο το αρκετά υψηλό κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Λέξεις Κλειδιά: Φωτεινή Σηματοδότηση, Αστικός Φωτισμός, Ενεργειακές Καταναλώσεις, Εκπομπές CO₂, Μελέτη Σκοπιμότητας, Οικονομοτεχνική Περιγραφή, Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Abstract

At a time when saving energy resources and developing new technologies is urgent for the protection of the environment, public sector is asked to study and apply new methods both in urban lighting and in public traffic lighting. Both of these areas are closely related with the public sectors resources and consist one of the most important sources of revenue.

In this context the present thesis aims to present in depth all the data regarding energy consumption in urban lighting and public traffic lighting and propose methods to modify the existing installations, emphasizing on reducing the energy consumption and increasing the public sectors funds, always regarding environmental awareness.

The above analysis is examined and presented in detail, by referring all the environmental facts, which characterize these upgrades in urban and traffic lighting extremely necessary and crucial for many important results.

Finally, an early and theoretical analysis of using photovoltaic systems in both urban and traffic lighting is presented in the last chapter. Such energy saving systems are used in many cities already, showing extremely encouraging results in energy consumption and environmental impacts. Under these circumstances, the benefits from the photovoltaic systems make the cost of these installations negligible.

Key Words: Traffic Lighting, Urban Lighting, Energy Consumptions, Carbon Dioxide Emissions, Study of Feasibility, Techno economical Description, Photovoltaic Systems

Πίνακας περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων	10
Ευρετήριο Πινάκων.....	11
Ευρετήριο Γραφημάτων	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας	15
1.2 Φάσεις υλοποίησης	15
1.3 Δομή εργασίας.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΤΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ & ΦΩΤΕΙΝΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ	17
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Φωτεινή Σηματοδότηση	19
2.3 Αστικός Φωτισμός	19
2.4 Στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης	20
2.5 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τον φωτισμό	21
2.6 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	22
2.7 Βασικές Έννοιες που αφορούν άμεσα τον φωτισμό δρόμων	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ.....	31
3.1 Εφαρμογές Φ/Β συστημάτων	33
3.1.1 Είδη Φ/Β συστημάτων	33
3.1.2 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β στοιχείων.....	34
3.1.3 Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων.....	34
3.1.4 Πλεονεκτήματα Φ/Β συστημάτων.....	35
3.1.5 Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων	36
3.2 Φ/Β στην Ελλάδα	36
3.3 Φ/Β συστήματα στον Αστικό Φωτισμό και τη Φωτεινή Σηματοδότηση	39
3.3.1 Φ/Β στον Αστικό Φωτισμό.....	39
3.3.2 Φ/Β στη Φωτεινή Σηματοδότηση.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ	45
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Ιστορική Αναδρομή.....	47
4.3 Αναλυτική Παρουσίαση Εννοιών.....	48
4.4 Ενεργειακές Καταναλώσεις	50

4.5 Υπολογισμός Εκπομπών CO ₂	54
4.6 Μελέτη Σκοπιμότητας – Οικονομοτεχνική Περιγραφή.....	55
4.6.1 Κόστος Επένδυσης – Αντικατάστασης.....	56
4.6.2 Κόστος Λειτουργίας	57
4.6.3 Κόστος Συντήρησης	57
4.7 Μελέτη Σκοπιμότητας σε συγκεκριμένο κόμβο	58
4.7.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης (Net Present Value – NPV)	63
4.7.2 Κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ΕΒΑ της επένδυσης (Internal Rate of Return – IRR)	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	65
5.1 Εισαγωγή.....	67
5.2 Ιστορική Αναδρομή.....	67
5.3 Αναλυτική Παρουσίαση Εννοιών.....	70
5.4 Μελέτη Ενεργειακών Καταναλώσεων.....	76
5.5 Εκπομπές CO ₂	81
5.6 Μελέτη Σκοπιμότητας – Οικονομοτεχνική Περιγραφή.....	82
5.6.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης (Net Present Value – NPV)	87
5.6.2 Κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ΕΒΑ της επένδυσης (Internal Rate of Return – IRR)	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	89
6.1 Συμπεράσματα.....	91
6.2 Προοπτικές.....	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	95

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Μέση ακτινοβολία ανά περιοχή. Η αύξηση της ακτινοβολίας ισοδυναμεί με την αύξηση της παραγωγής kWh ανα m ²	38
Εικόνα 2: Εύρος παραγωγής ενέργειας Φ/Β συστήματος αναλογικά με τις μέρες ηλιοφάνειας για το έτος 2015	38
Εικόνα 3: Απόδοση Φ/Β συστήματος σε έναν κύκλο ζωής (25 έτη)	39
Εικόνα 4: Οδοφωτισμός με χρήση Φ/Β συστημάτων	41
Εικόνα 5: Ηλιακός Φωτισμός στο πάρκο Αντώνης Τρίτσης	42
Εικόνα 6: Εγκαταστάσεις Φ/Β στη φωτεινή σηματοδότηση.....	44
Εικόνα 7: Φωτεινός σηματοδότης τριών πεδίων	48
Εικόνα 8: Φωτεινοί σηματοδότες τριών και δυο πεδίων.....	56
Εικόνα 9: Αποτύπωση Κόμβου Μεσογείων-Κατεχάκη.....	59

Εικόνα 10: Φωτισμός δρόμων και πλατειών.....	69
Εικόνα 11: Φωτισμός πάρκων και πλατειών.....	71
Εικόνα 12: Φωτισμός πάρκων και πεζοδρόμων.....	73

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας Φ/Β Τεχνολογιών	34
Πίνακας 2: Πλήθος σηματοδοτών ως προς το είδος τους	52
Πίνακας 3: Ανάλυση Ενεργειακών Καταναλώσεων Υφιστάμενου δικτύου LED.....	53
Πίνακας 4: Υπολογισμός Εκπομπών CO ₂ για τους δυο τύπους δικτύου.....	54
Πίνακας 5: Κόστος ενεργειακών καταναλώσεων για διάρκεια ενός έτους.....	57
Πίνακας 6:: Ανάλυση Ενεργειακών Καταναλώσεων Υφιστάμενου δικτύου και δικτύου LED για συγκεκριμένο κόμβο.....	60
Πίνακας 7: Αναλυτική παρουσίαση κοστολογήσεων υφιστάμενου και προτεινόμενου δικτύου στον κύκλο ζωής της 5ετίας	62
Πίνακας 8: Υπολογισμός ΚΠΑ	63
Πίνακας 9: Αντιπαράθεση Φωτιστικών Σωμάτων με βάση την ισχύ	77
Πίνακας 10: Αναλυτική Παρουσίαση ενεργειακών καταναλώσεων.....	80
Πίνακας 11: Εκπομπές CO ₂ για τους δυο τύπους δικτύων	81
Πίνακας 12: Κόστος Επένδυσης αντικατάστασης λαμπτήρων υφιστάμενου δικτύου με LED	83
Πίνακας 13: Αναλυτική παρουσίαση κοστολογήσεων δυο τύπων δικτύων στον κύκλο ζωής της 12ετίας.....	86
Πίνακας 14: Υπολογισμός ΚΠΑ	87

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 1: Φωτοβολταϊκό Σύστημα Κυκλοφορίας	43
Γράφημα 2: Σύγκριση Συνολικών Ενεργειακών Καταναλώσεων σε MWh ανά έτος..	54
Γράφημα 3: Σύγκριση παραγωγής εκπομπών CO ₂ σε tn στο χρονικό διάστημα ενός έτους	55
Γράφημα 4: Σύγκριση συνολικών Ενεργειακών Καταναλώσεων σε kWh/έτος.....	61
Γράφημα 5: Συνολική Ετήσια κατανάλωση σε kWh.....	81
Γράφημα 6: Εκπομπές CO ₂ σε tn	82
Γράφημα 7: Ετήσια Κόστη Λειτουργίας.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Η δυσμενής οικονομική συγκυρία και οι δημοσιονομικοί περιορισμοί, ασκούν πίεση στην οικονομική κατάσταση και στη ρευστότητα των Δήμων και των Περιφερειών. Γι' αυτό το λόγο τόσο οι Δήμοι, όσο και οι Περιφέρειες καλούνται να εφαρμόσουν εναλλακτικές μεθόδους στη φωτεινή σηματοδότηση και στον αστικό φωτισμό. Δεν είναι μόνο το οικονομικό όφελος που πρέπει να μεριμνήσουν, αλλά πρέπει να συνυπολογίσουν και το περιβαλλοντικό όφελος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το σενάριο αντικατάστασης συμβατικών λαμπτήρων υφιστάμενων δικτύων με λαμπτήρες τύπου LED, τόσο στη φωτεινή σηματοδότηση, όσο και στον αστικό φωτισμό. Παράλληλα παρουσιάζονται και κάποια εναλλακτικά και πρωτοπόρα σενάρια εφαρμογής για τα ίδια πεδία. Σε όλα τα στάδια εξετάζονται και σχολιάζονται οι αλλαγές που απορρέουν σε επίπεδο: ενεργειακών καταναλώσεων, περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οικονομικών χαρακτηριστικών.

1.2 Φάσεις υλοποίησης

Η υλοποίηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκε σε 5 φάσεις οι οποίες είναι οι εξής:

1^η Φάση: Ανάθεση Διπλωματικής Εργασίας

Εφόσον συζητήθηκαν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι δημόσιοι φορείς σε σχέση με το μέγεθος των ενεργειακών καταναλώσεων στο δημόσιο φωτισμό και τη φωτεινή σηματοδότηση, αποφασίστηκε να μελετηθεί το σενάριο αντικατάστασης των υφιστάμενων δικτύων με σκοπό την ενεργειακή βελτιστοποίηση.

2^η Φάση: Έρευνα αναγκαιότητας ύπαρξης δικτύων ενεργειακά αποτελεσματικών

Στη φάση αυτή μελετήθηκε η αναγκαιότητα ύπαρξης δικτύων ενεργειακά αποτελεσματικότερων σε σχέση με τα υφιστάμενα, τόσο στον αστικό φωτισμό, όσο και στη φωτεινή σηματοδότηση. Η αναγκαιότητα οφείλεται στο κόστος των ενεργειακών καταναλώσεων, στα περιβαλλοντικά οφέλη και στην προστασία του πολίτη.

3^η Φάση: Μελέτη σκοπιμότητας που αφορά τη Φωτεινή Σηματοδότηση

Σε αυτή τη φάση συλλέχθηκαν στοιχεία που αφορούν το πλήθος των σηματοδοτών από την Περιφέρεια Αττικής και στη συνέχεια έγιναν αναλυτικά οι υπολογισμοί των ενεργειακών καταναλώσεων στις περιπτώσεις υφιστάμενου δικτύου και δικτύου ύστερα από αντικατάσταση συμβατικών λαμπτήρων με λαμπτήρες τύπου LED. Τον υπολογισμό των ενεργειακών καταναλώσεων συνοδεύει η μελέτη σκοπιμότητας της συγκεκριμένης αντικατάστασης.

4^η Φάση: Μελέτη σκοπιμότητας που αφορά τον Αστικό Φωτισμό

Σε αυτή τη φάση έγινε η μελέτη σκοπιμότητας αντικατάστασης του υφιστάμενου δικτύου αστικού φωτισμού του Δήμου Αγίας Παρασκευής, με λαμπτήρες τύπου LED, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από το Δήμο Αγίας Παρασκευής.

5^η Φάση: Συμπεράσματα και Προοπτικές

Κατά την τελευταία φάση εκτιμήθηκαν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συνολική μελέτη και παρουσιάστηκαν οι προοπτικές που υπάρχουν με χρήση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας για την αντικατάσταση των υφιστάμενων δικτύων στον αστικό φωτισμό και τη φωτεινή σηματοδότηση και τη χρήση λαμπτήρων LED.

1.3 Δομή εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και τους τρόπους που υλοποιήθηκε.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή σε κάποιες από τις έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν στην πορεία και παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση φωτοβολταϊκών τεχνολογιών, όταν αυτά έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες του φωτισμού πόλεων και για τις ανάγκες φωτεινής σηματοδότησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η καταγραφή και η παρουσίαση των ενεργειακών καταναλώσεων αντιπροσωπευτικού δείγματος φωτεινών σηματοδοτών για την Περιφέρεια Αττικής και γίνεται μελέτη αντικατάστασης συμβατικών λαμπτήρων με λαμπτήρες τύπου LED.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται οικονομοτεχνική μελέτη αντικατάστασης συμβατικών λαμπτήρων με λαμπτήρες τύπου LED όσον αφορά τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις δικτύου αστικού φωτισμού.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από την παρούσα Διπλωματική Εργασία και αναλύονται οι τυχόν προοπτικές.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΣΤΙΚΟΣ
ΦΩΤΙΣΜΟΣ & ΦΩΤΕΙΝΗ
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ
ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ**

2.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση δαπανών αποτελεί βασική προτεραιότητα στη σημερινή περίοδο, και ειδικότερα για τον τομέα της Ενέργειας. Ο αστικός φωτισμός και η φωτεινή σηματοδότηση αποτελούν τους πυλώνες χρηματοδότησης των Δήμων και των Περιφερειών, και πρέπει να στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσω του εκσυγχρονισμού τους.

2.2 Φωτεινή Σηματοδότηση

Η φωτεινή σηματοδότηση είναι το σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας, που είναι υπεύθυνο για την ομαλή κίνηση τόσο των πεζών, όσο και των οχημάτων. Έχει σκοπό την εξασφάλιση της ισόρροπης εξυπηρέτησης όλων των κατευθύνσεων, την αύξηση της κυκλοφοριακής ροής και τη σήμανση διαφόρων σημείων σε ιδιωτικούς ή δημόσιους χώρους που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής από τους οδηγούς.

Ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογής της φωτεινής σηματοδότησης είναι οι αστικοί και υπεραστικοί κόμβοι, οι διαβάσεις πεζών, οι σιδηροδρομικές διαβάσεις, τα τούνελ, οι χώροι στάθμευσης κ.α.

Η φωτεινή σηματοδότηση αποτελείται από φωτεινούς σηματοδότες που φέρουν λάμπες πυρακτώσεως, αλογόνου (πιο παλιά) ή LED, τους ρυθμιστές κυκλοφορίας και από διάφορες επί μέρους συμπληρωματικές συσκευές όπως κομβία πεζών, ανιχνευτές κίνησης πεζών και οχημάτων, ηχητικές προειδοποιήσεις κ.α.

2.3 Αστικός Φωτισμός

Οι ανάγκες του αστικού φωτισμού αλλάζουν και δεν πρόκειται πλέον απλώς για την παροχή επαρκούς φωτισμού στις πόλεις, προκειμένου να διασφαλίζεται η ορατότητα και η ασφάλεια, αλλά συμβάλει και στο γενικότερο κλίμα και περιβάλλον μιας πόλης.

Τα LED συνιστούν απaráμιλλο τρόπο φωταγώγησης του αστικού περιβάλλοντος και διαθέτουν εξαιρετικές δυνατότητες προσαρμογής, επιτρέποντας στους μελετητές να απομακρύνονται πλέον από τον στατικό φωτισμό του παρελθόντος και να δημιουργούν ευπροσάρμοστη ατμόσφαιρα. Όλα αυτά με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνικές φωτισμού.

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι η εξοικονόμηση ενέργειας στα υφιστάμενα δίκτυα μπορεί να ανέρθει στο 40% μέσω ολοκληρωμένων παρεμβάσεων, που αφορούν τόσο το σχεδιασμό του συστήματος και στις προδιαγραφές του τεχνικού εξοπλισμού του όσο και στο εφαρμοσμένο σύστημα διαχείρισης. Οι παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του δημοτικού φωτισμού μπορούν να εξασφαλίσουν

τόσο την απαιτούμενη ποιότητα του φωτισμού στους κοινόχρηστους χώρους όσο και την οικονομική αποδοτικότητα (απόσβεση) προς όφελος του Δήμου.

Ο Ηλεκτροφωτισμός Κοινοχρήστων Χώρων, αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του Δήμου. Η παλαιότητα των δικτύων σε συνδυασμό με την έλλειψη συστήματος ελέγχου ενέργειας, έχει οδηγήσει σε οικονομική αδυναμία τους Φορείς να τα συντηρήσουν αλλά και σε επιδείνωση της ποιότητας υπηρεσιών φωτισμού (European_Expertise_Center, 2013).

Τα προβλήματα της υφιστάμενης κατάστασης έχουν ως εξής:

- Μη ορθολογική λειτουργία του δικτύου, καθώς η έναρξη και η λήξη λειτουργίας δε βασίζεται στην πραγματική ώρα Ανατολής και Δύσης, αλλά σε μια προσέγγιση.
- Έλλειψη επαρκούς φωτισμού λόγω μη ανιχνεύσιμων βλαβών σε συνδυασμό με το μεγάλο χρόνο αντικατάστασης λαμπτήρων και τα αυξημένα έξοδα αποκατάστασης βλαβών.
- Κακή ποιότητα φωτισμού δικτύου, διότι δεν καθορίζονται στάθμες φωτεινότητας βάσει ύψους, πυκνότητας και γενικότερα βάσει των εκάστοτε απαιτήσεων.
- Οδικά ατυχήματα που οφείλονται σε έλλειψη φωτισμού.
- Μειωμένη αίσθηση ασφάλειας, αύξηση της ανομίας και των παραβατικών συμπεριφορών και των εγκληματικών ενεργειών στις περιοχές όπου το δίκτυο φωτισμού δε λειτουργεί.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως αυξημένη κατανάλωση, έκλυση μεγάλων ποσοτήτων CO_2 , άσκοπη διάχυση φωτός και αυξημένα επίπεδα φωτορύπανσης.
- Μικρή διάρκεια ζωής υφιστάμενων λαμπτήρων και ραγδαία μείωση της φωτεινότητάς τους με την πάροδο του χρόνου.

2.4 Στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρώπη αντιμετωπίζει μια σειρά από προκλήσεις: αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια, αστάθεια των ενεργειακών τιμών, διαταραχές στον ενεργειακό εφοδιασμό και απαίτηση μείωσης του αντίκτυπου του τομέα της ενέργειας στο περιβάλλον.

Η Ε.Ε. έχει ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους για το 2020, το 2030 και το 2050, οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Στόχοι για το 2020:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20%
- άντληση του 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%.

Στόχοι για το 2030:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40%
- άντληση τουλάχιστον του 27% της ενέργειας στην ΕΕ από ανανεώσιμες πηγές
- αύξηση της ενεργειακής απόδοσης κατά 27-30%
- διασύνδεση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 15% (δηλαδή το 15% της ενέργειας που παράγεται στην ΕΕ πρέπει να μπορεί να μεταφέρεται και προς άλλες χώρες της ΕΕ).

Στόχος για το 2050:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990(Euroopa.eu, 2017).

Οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον οδικό φωτισμό και τους σηματοδότες κυκλοφορίας είναι η κατανάλωση ενέργειας στη φάση της χρήσης και των συνακόλουθων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα μπορούσαν ενδεχομένως να προκύψουν από τη χρήση ορισμένων ουσιών, πχ. ρύπανση με υδράργυρο και φωτορύπανση, ανάλογα με την τοποθεσία του φωτισμού. Επομένως, τα στοιχειώδη κριτήρια επικεντρώνονται στην κατανάλωση ενέργειας, ιδίως στην απόδοση λαμπτήρων και στην απόδοση του στραγγαλιστικού πηνίου για τον οδικό φωτισμό και την προώθηση των σηματοδοτών κυκλοφορίας LED. Ο καθορισμός απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης για τους λαμπτήρες θα επιφέρει μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε υδράργυρο. Τα αναλυτικά κριτήρια περιλαμβάνουν περεταίρω πτυχές ενεργειακής κατανάλωσης και σχεδιασμού φωτιστικών σωμάτων, σύμφωνα με τα απαιτούμενα κριτήρια ενεργειακής απόδοσης.

2.5 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τον φωτισμό

Η Ε.Ε. έχει θεσπίσει πολλές οδηγίες και κανονισμούς που βρίσκουν εφαρμογή στο φωτισμό. Στις οδηγίες αυτές συμπεριλαμβάνονται κάποιες που είναι υποχρεωτικές στην τήρηση τους από τα κράτη μέλη και κάποιες άλλες οι οποίες είναι ανοικτές σε τροποποιήσεις. Μερικές από τις πιο σημαντικές είναι:

- Απαιτήσεις Οικολογικού Σχεδιασμού των Προϊόντων που καταναλώνουν Ενέργεια (Eco- Design requirements of Energy related Products, ERP).
- Ενεργειακή Επισήμανση Οικολογικών Προϊόντων (Energy Labeling of EcoDesign Products.)
- Οδηγία Χαμηλής Τάσης (Low Voltage Directive, LDV).
- Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (Electromagnetic Compatibility, EMC).
- Εναπόθεση Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE).
- Απαγόρευση Επικίνδυνων Συστατικών (Restriction of hazardous Substances, RoHS).
- Οδηγία Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Service Directive, ESD).
- Καταγραφή, Αξιολόγηση, Εξουσιοδότηση και Περιορισμός των Χημικών (REACH).

2.6 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Σε μια εποχή όπου υπάρχει μεγάλη ανησυχία για τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, βασικός στόχος αποτελεί η μείωση, όσο αυτή είναι δυνατή, των δραστηριοτήτων που το επιβαρύνουν. Έτσι, γίνεται προσπάθεια, όσο εξελίσσεται η τεχνολογία, να αξιοποιείται με όσο το δυνατόν φιλικότερο τρόπο προς το περιβάλλον, με γνώμονα την μείωση του φαινομένου της παγκόσμιας θέρμανσης και της αλλαγής του κλίματος του πλανήτη. Ιδιαίτερα στον τομέα του οδικού φωτισμού αλλά και στον τομέα της φωτεινής σηματοδότησης, μιας και τα φωτιστικά συστήματα διαρρέονται από υψηλές τάσεις, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, και είναι σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τον φωτισμό, με τα νέα συστήματα φωτισμού που παρουσιάζονται, θα μπορούσε να επιφέρει τεράστια εξοικονόμηση τόσο στο κόστος της ενέργειας, όσο και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι συμβατικές τεχνολογίες τόσο στην φωτεινή σηματοδότηση όσο και στον οδικό φωτισμό, βασίζονται ως επί το πλείστον στη χρήση λαμπτήρων πυρακτώσεως και νατρίου ή υδραργύρου αντιστοιχώς, με αποτέλεσμα να παράγονται πολύ υψηλά ποσά θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή, η θερμική ενέργεια που αποβάλλεται καταδεικνύει ότι δαπανάται ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση και όχι για την παραγωγή φωτός. Εκτός αυτού τόσο το νάτριο όσο και ο υδράργυρος είναι στοιχεία βλαβερά για το περιβάλλον.

Οι συμβατικοί λαμπτήρες διαθέτουν ζεστά περιβλήματα (καλύμματα) των οποίων η ύπαρξη συμβάλλει σε αρκετές περιπτώσεις στην πρόωρη καταστροφή του λαμπτήρα. Μάλιστα στην περίπτωση που τα περιβλήματα αυτά δεν είναι άψογα τοποθετημένα (πχ δεν εφαρμόζουν τέλεια γιατί δεν έχουν τοποθετηθεί σωστά από το προσωπικό συντήρησης), εισέρχεται σκόνη η οποία είναι πιθανό να προκαλέσει ανάφλεξη καθώς ο λαμπτήρας αρχίζει να ζεσταίνεται (συμβαίνει κυρίως στον οδικό φωτισμό). Εναλλακτικά η σκόνη που υπάρχει στο εσωτερικό του λαμπτήρα συσσωρεύεται στα τοιχώματα του με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η φωτεινή ροή και ο λαμπτήρας να καθίσταται περισσότερο αναποτελεσματικός και θερμικά απομονωμένος. Έτσι μειώνεται η φωτοβολία. Όπως γίνεται αντιληπτό οι συμβατικές τεχνολογίες φωτισμού απαιτούν τακτική συντήρηση και παρακολούθηση και είναι αρκετά επιβλαβείς για το περιβάλλον (Φωτισμός LED, Οικονομία και Οικολογία, 2013).

Η τακτική αντικατάσταση συμβατικών λαμπτήρων φωτισμού επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον σε σύγκριση με την αντικατάσταση ενός λαμπτήρα LED, ο οποίος είναι και περισσότερο αποτελεσματικός και χρειάζεται να αντικατασταθεί αργότερα. Επιπρόσθετα οι λαμπτήρες LED δεν ελευθερώνουν μεγάλα ποσά θερμότητας και δεν επιτρέπουν να εισχωρήσει σκόνη στο εσωτερικό τους, αφού είναι ερμητικά κλεισμένες. Έτσι η σκόνη δεν μπορεί να επηρεάσει τη φωτοβολία τους, σε αντίθεση με τους συμβατικούς λαμπτήρες (Φωτισμός LED, Οικονομία και Οικολογία, 2013).

Οι λαμπτήρες LED προσφέρουν αρκετά μεγάλη φωτεινή απόδοση και ταυτόχρονα καταναλώνουν μικρά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προσφέρουν οικονομία ηλεκτρικής ενέργειας που κυμαίνεται από 50% έως και 90%. Αν το 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της φωτεινής σηματοδότησης και του οδικού φωτισμού και αν υποθεθεί ότι η τεχνολογία LED προσφέρει μέση οικονομία ηλεκτρικού ρεύματος της τάξεως του 70%, τότε είναι εφικτό να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 1,5 εκατομμύρια τόνους για κάθε 10 εκατομμύρια τόνους που παράγονται κατά τη χρήση συμβατικών τεχνολογιών φωτισμού. Όπως γίνεται αντιληπτό, η τεχνολογία LED μπορεί να μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε ένα ποσοστό της τάξεως του 15%.

Το σύνολο της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα φωτιστικά σώματα, παγκοσμίως, αποτελεί το 13% με 15% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται. Στην Ευρώπη και την Αμερική το 100% της διαθέσιμης ενέργειας, που διατίθεται στις οδούς, καταναλώνεται από τα φωτιστικά συστήματα σε αντίθεση με τον τομέα της βαριάς βιομηχανίας στον οποίο μόνο το 10 % της ενέργειας καταναλώνεται για τον φωτισμό. (Roberts, 2014).

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συντελεί, σε ένα μεγάλο ποσοστό, στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει διότι, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, γίνεται από την χρήση κυρίως άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτό συνεπάγεται, μεγάλες ποσότητες διοξειδίου

του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με προφανή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. (www.windenergythefacts.org, 2017).

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως η μείωση της ενέργειας για τον φωτισμό, έμμεσα, συμβάλει αρκετά στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, άρα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρακτικά, λιγότερη ενέργεια σημαίνει και λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ιδιαίτερα για τον οδικό φωτισμό, τα φωτιστικά συστήματα απαιτούν μεγάλες ποσότητες ισχύος για την παραγωγή της απαιτούμενης φωτεινής ροής.

Προφανώς οι λαμπτήρες LED, αφού καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια και με σαφώς ανώτερους συντελεστές, προκαλούν έμμεσα πολύ λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Οι λαμπτήρες LED είναι κατασκευασμένοι με γνώμονα την εναρμόνιση και τη συμμόρφωση με όλες τις σύγχρονες Ευρωπαϊκές διατάξεις, δύο από τις σημαντικότερες είναι οι εξής:

- RoHS 2002/95/EC. Η οδηγία αυτή εκδόθηκε το 2006 και απαγορεύει ρητά την παρουσία μολύβδου, καδμίου, υδραργύρου ή άλλων μολυσματικών μεταλλικών ουσιών σε κάθε είδους ηλεκτρικό εξάρτημα.
- WEEE 2002/96/EC. Η οδηγία αυτή εκδόθηκε το 2003 και σχετίζεται με τη δυνατότητα ανακύκλωσης όλων των ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών συσκευών.

Τα εξαρτήματα από τα οποία κατασκευάζονται οι λαμπτήρες LED δεν αποτελούνται από μολυσματικές ουσίες με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτή η ανακύκλωση τους. Ακόμα όμως και στην περίπτωση που δεν ανακυκλωθούν, η ύπαρξη τους δεν δημιουργεί πρόβλημα στο περιβάλλον. Τα εξαρτήματα από τα οποία είναι κατασκευασμένοι οι λαμπτήρες LED είναι απλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, τα οποία ανακυκλώνονται αφού πραγματοποιηθεί η συλλογή τους σε ειδικούς κάδους συγκέντρωσης ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι λαμπτήρες αυτοί είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον αλλά και για τους ανθρώπους. Αντίστοιχα τα δηλητηριώδη αέρια που περιέχουν οι συμβατικοί λαμπτήρες φωτισμού ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα υγείας (πχ προβλήματα στο νευρικό σύστημα, στον εγκέφαλο, στα νεφρά κλπ.). Το άσχημο είναι ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό του πληθυσμού γνωρίζει το σωστό τρόπο διαχείρισης και απόρριψης αυτού του είδους των λαμπτήρων με αποτέλεσμα να ελλοχεύει πλήθος κινδύνων στην περίπτωση που σπάσει ή ραγίσει κάποιος λαμπτήρας. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο υδράργυρος είναι τόσο τοξικός που ένας συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού (ο οποίος περιέχει υδράργυρο), μπορεί να μολύνει έως και 20000 λίτρα νερό (www.fotise.gr, 2013).

Τα περισσότερα φωτιστικά συστήματα, στις μέρες μας χρησιμοποιούν υδράργυρο. Ο υδράργυρος είναι μια τοξική ουσία η οποία χρίζει ιδιαίτερης προσοχής από τον άνθρωπο. Τα συστήματα φωτισμού LED δεν χρησιμοποιούν υδράργυρο για την

λειτουργία τους, οπότε, δεν έχουν καμία επίδραση στο περιβάλλον στον τομέα αυτόν.

Σε πολλές περιπτώσεις, τα συστήματα οδοφωτισμού περιλαμβάνουν λαμπτήρες (πχ λαμπτήρες φθορισμού), οι οποίοι περιέχουν υδράργυρο σε υγρή μορφή, ο οποίος είναι και ο πιο επικίνδυνος για το περιβάλλον (EconoluxInductionLightsVs. LedLights, 2012). Αν ο σωλήνας του λαμπτήρα φθορισμού σπάσει, θα μολύνει τοξικά τον χώρο στον οποίο βρίσκεται σε τέτοιο σημείο που ίσως χρειαστεί και εκκένωση του χώρου αυτού. (Roberts, 2014).

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις Προσέγγιση ΠΔΣ:

- Κατανάλωση ενέργειας, σε όλες τις φάσεις, κυρίως όμως η φάση της χρήσης του οδικού φωτισμού και των σηματοδοτών κυκλοφορίας.
- Υψηλή κατανάλωση ενέργειας από τη χρήση λαμπτήρων πυρακτώσεως στους σηματοδότες κυκλοφορίας.
- Χρήση φυσικών πόρων και υλικών και παραγωγή αποβλήτων (επικίνδυνων και μη επικίνδυνων).
- Ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, του εδάφους και των υδάτων, λόγω της χρήσης επικίνδυνων υλικών, π.χ. υδράργυρο.
- Φωτορύπανση από τον οδικό φωτισμό.
- Αγορά λαμπτήρων με υψηλή απόδοση λαμπτήρων.
- Αγορά αποδοτικών στραγγαλιστικών πηνίων.
- Προώθηση της αγοράς συστημάτων φωτισμού με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για τον παρεχόμενο φωτισμό.
- Προαγωγή της χρήσης λαμπτήρων LED στους σηματοδότες κυκλοφορίας.
- Ενθάρρυνση της χρήσης στραγγαλιστικών πηνίων αυξομειούμενης ροής φωτισμού, όπου το επιτρέπουν οι συνθήκες.
- Προώθηση λαμπτήρων με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υδράργυρο.
- Προώθηση της χρήσης φωτιστικών σωμάτων που περιορίζουν το εκπεμπόμενο φως άνω του οριζοντίου επιπέδου.

2.7 Βασικές Έννοιες που αφορούν άμεσα τον φωτισμό δρόμων

Φωτεινή ροή (Luminous Flux):

Η φωτεινή ροή Φ ορίζεται ως η φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή ανά μονάδα χρόνου. Το μέγεθος αυτό ουσιαστικά αναπαριστά την φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει ένας λαμπτήρας υπό την κανονικοποίηση της φωτοπικής συνάρτησης ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού. Μετρείται σε lumen (lm).

Φωτεινή ένταση(luminous intensity):

Η φωτεινή ένταση είναι ένα διανυσματικό μέγεθος που εκφράζει το πόση φωτεινή ροή διοχετεύεται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση του χώρου από την φωτεινή πηγή. Η φωτεινή ένταση I προς μια κατεύθυνση παρατηρήσεως είναι ο λόγος της εξερχόμενης φωτεινής ροής Φ από κάποια φωτεινή πηγή διαμέσου ενός κοίλου κώνου απείρως μικρού ανοίγματος, προς την τιμή της στερεάς γωνίας από την οποία διέρχεται η φωτεινή ροή αυτή.

Ένταση φωτισμού επιφάνειας E (illuminance):

Η ένταση φωτισμού μιας επιφάνειας είναι η φωτεινή ροή που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας. Μετρείται σε $lm/m^2 = Lux$.

Λαμπρότητα (luminance):

Η λαμπρότητα ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης I στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν της προβαλλόμενης επιφάνειας της πηγής την οποία βλέπει ο παρατηρητής. Η λαμπρότητα είναι το μόνο βασικό φωτομετρικό μέγεθος το οποίο γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Χαρακτηρίζει την φωτεινότητα της επιφάνειας και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανάκλαση της. Από τον ορισμό της λαμπρότητας γίνεται αντιληπτό πως πρόκειται για διανυσματικό μέγεθος και αλλάζει με την θέση του παρατηρητή. Μετρείται σε cd/m^2 .

Φωτεινή απόδοση φωτεινής πηγής (luminous efficiency):

Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας της, καθώς εκφράζει την ποσότητα των παραγόμενων lumen ανά καταναλισκόμενο Watt. Αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό μιας φωτεινής πηγής και η μονάδα μέτρησης της είναι το lm/W .

Αντίθεση (Contrast):

Τα αντικείμενα γίνονται αντιληπτά στο δρόμο λόγω της αντίθεσης που παρουσιάζουν σε σχέση με το περιβάλλον. Από την σκοπιά της λαμπρότητας, ένα αντικείμενο το οποίο είναι πιο «σκούρο» από το περιβάλλον του θα έχει μια αρνητική αντίθεση, ενώ ένα αντικείμενο το οποίο είναι πιο «φωτεινό» από το

περιβάλλον του θα έχει θετική αντίθεση. Το πόσο αντίθεση χρειαζόμαστε για να αντιληφθούμε ένα αντικείμενο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η λαμπρότητα του δρόμου, η ηλικία, η θάμβωση κ.α. Αυτό το ελάχιστο ποσό αντίθεσης καλείται κατώφλι αντίθεσης (threshold contrast). Βασίζεται στην πιθανότητα αναγνώρισης ενός αντικειμένου τουλάχιστον τις μισές φορές παρατήρησης (50%).

Ο σκοπός του οδοφωτισμού είναι να παράγει θετική αντίθεση στα αντικείμενα του δρόμου μεγαλύτερη από την τιμή του κατωφλίου αντίθεσης. Έρευνες έχουν δείξει ότι η καλή ορατότητα στο δρόμο μπορεί να επιτευχθεί όταν το κοντράστ είναι 3 με 4 φορές πάνω από το κατώφλι αντίθεσης. Επιπρόσθετα μια άλλη σημαντική παράμετρος αντίθεσης είναι το χρώμα. Το χρώμα αυξάνει το κοντράστ και έτσι ο οδηγός αντιλαμβάνεται καλύτερα τα αντικείμενα και τους πεζούς. Βέβαια να σημειωθεί πως η επίδραση του χρώματος εξαρτάται από τα χρώματα των αντικειμένων και την ποιότητα απόδοσης χρωμάτων από το σύστημα φωτισμού.

Θάμβωση (Dazzle):

Η θάμβωση ως έννοια είναι μια συνάρτηση της πηγής φωτισμού και της λαμπρότητας του οδοστρώματος. Ένα αντικείμενο το οποίο είναι οριακά ορατό (κατώφλι αντίθεσης) χωρίς την ύπαρξη της θάμβωσης, θα σταματήσει να είναι, εάν υπάρχει και η θάμβωση. Η CIE¹ χρησιμοποιεί για την μέτρηση της θάμβωσης τον δείκτη TI (Threshold Increment) ο οποίος εκφράζει την ποσότητα αντίθεσης που πρέπει να προστεθεί στο αντικείμενο και το περιβάλλον ώστε να αυτό να επανέλθει σε ορατά επίπεδα με πιθανότητα 50%. Δηλαδή ο δείκτης TI είναι το ποσοστό που πρέπει να αυξηθεί το κοντράστ για να έρθει στην τιμή κατωφλίου αντίθεσης. Ο χρόνος τον οποίο κάνει ένας οδηγός για να αντιληφθεί μια απρόσμενη αλλαγή μπροστά του εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το αναμενόμενο του 21 συμβάντος η νοητική φόρτιση, η ηλικία και άλλοι.

Οι χρόνοι αντίδρασης με βάση την κατηγοριοποίηση Green είναι:

- Αναμενόμενο συμβάν, ο οδηγός είναι σε εγρήγορση και γνωρίζει ότι υπάρχει η πιθανότητα να φρενάρι. Ο χρόνος αντίδρασης του είναι 0.7 δευτερόλεπτα, από τα οποία τα 0.5 είναι η αντίληψη και 0.2 είναι ο χρόνος δράσης
- Μη αναμενόμενο συμβάν, ο οδηγός φρενάρει απότομα διότι ο μπροστινός του φρέναρε σε πορτοκαλί φανάρι χωρίς προηγούμενη ένδειξη. Ο χρόνος τότε είναι 1.25 δευτερόλεπτα, με τον χρόνο δράσης να παραμένει ο ίδιος.

¹CIE: International Commission on Illumination. Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (στα γαλλικά Commission Internationale de l'Eclairage) αφιερώνεται στην παγκόσμια συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών για όλα τα θέματα που σχετίζονται με την επιστήμη και την τέχνη του φωτός και του φωτισμού, όρασης, φωτοβιολογίας και τεχνολογίας εικόνας.

- Παντελώς ξαφνικό συμβάν, οι χρόνοι τότε αυξάνονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό. Ο χρόνος δράσης αυξάνεται και αυτός σε 0.3 δευτερόλεπτα. Η ύπαρξη ενός σωστά σχεδιασμένου συστήματος φωτισμού βοηθά τον οδηγό να μειώνει τους χρόνους αντίληψης του απροσδόκητου φαινομένου αυξάνοντας την αντίθεση και την ορατότητα κατά συνέπεια.

Όλα τα ζωντανά όντα ρυθμίζουν την συμπεριφορά τους σύμφωνα με το φυσικό φως. Η ανθρώπινη εφεύρεση του τεχνητού φωτός έχει κάνει πολλά για να προστατεύσει το νυκτερινό περιβάλλον, αλλά το μη ελεγχόμενο διάχυτο φως μπορεί να προκαλέσει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα και οικολογικά προβλήματα. Ο νυκτερινός φωτισμός επηρεάζει άμεσα τους ανθρώπους, τα ζώα και τα φυτά είτε αυτά βρίσκονται πάνω στους αυτοκινητόδρομους είτε εκτός. Οι επιδράσεις του φωτισμού ενός δρόμου πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και να αξιολογούνται σε κάθε έργο φωτισμού. Ο ενοχλητικός φωτισμός ή αλλιώς LightTrespass όπως αναγνωρίζεται διεθνώς, απαρτίζεται από τρία άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους στοιχεία:

- Διαφεύγων φωτισμός(Spilllight): Το φως που πέφτει εκτός των ορίων της περιοχής που πρέπει να φωτιστεί. Η ένταση του διαφεύγοντος φωτισμού μετρείται στο επίπεδο C90-C270.
- Θάμβωση(Glare): Πρόκειται για μια αρνητική επίπτωση του φωτισμού όταν το φωτιστικό σύστημα δεν είναι σωστά σχεδιασμένο. Η θάμβωση ελέγχεται με το να μην επιτρέπεται στο φως να διαφεύγει πάνω από τις 75°.
- Λάμψη νυκτερινού ουρανού(Sky glow): Το φως που ανακλάται από την φωτεινή πηγή, το οδόστρωμα ή άλλες φωτιζόμενες επιφάνειες και διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα της λάμψης του ουρανού είναι η αδυναμία παρατήρησης των αστεριών. Ακόμη δημιουργείται πρόβλημα στις αστρονομικές παρατηρήσεις λόγω έλλειψης φωτεινής αντιπαράθεσης (contrast).

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου έχει συγκροτηθεί η οργάνωση IDA, International Dark Sky Association με έντονη δραστηριότητα και θέληση για αντιμετώπιση του φαινομένου. Η βιομηχανία φωτισμού για να αντιμετωπίσει το φαινόμενο της φωτορρύπανσης και να διατηρήσει μια ισορροπία μεταξύ της μείωσης του διαφεύγοντος φωτός και της αποδοτικότητας στο φωτισμό δρόμων δημιούργησε σχέδια φωτιστικών και οπτικών συστημάτων που εξυπηρετούν και τους δυο σκοπούς.

Πριν την αναφορά στα ανώτατα επίπεδα διαφεύγοντος φωτισμού ανά κατηγορία περιοχής, παρουσιάζονται οι τέσσερις κατηγορίες περιοχών (περιβαλλοντικές ζώνες) της CIE:

- Ζώνη E1: Πρόκειται για περιοχές με εν γένει σκοτεινό τοπίο. Παραδείγματα είναι τα εθνικά πάρκα, περιοχές εξαιρετικής φυσικής ομορφιάς, περιοχές γύρω από μεγάλα αστρονομικά παρατηρητήρια ή κατοικημένες περιοχές.

- Ζώνη E2: Πρόκειται για περιοχές με μικρή φωτεινότητα και λαμπρότητα. Αυτές είναι ημιαστικές και αγροτικές κατοικημένες περιοχές.
- Ζώνη E3: Πρόκειται για περιοχές μέσης φωτεινότητας, δηλαδή κυρίως για αστικές οικιστικές περιοχές.
- Ζώνη E4: Συνήθως πρόκειται για περιοχές αστικές που έχουν τόσο οικιακούς όσο και εμπορικούς χώρους και παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα νυκτερινής δραστηριότητας.

Η IESNA και η ILE (Institution of Lighting Engineers) παρέχουν ανώτατες τιμές ανά ζώνη φωτισμού. Οι προτεινόμενες ανώτατες τιμές διαφοροποιούνται ανάλογα με την τοπική ώρα της περιοχής. Από το σούρουπο μέχρι τις 11μ.μ. και από τις 11μ.μ. μέχρι τις 7π.μ. Παρέχονται συνιστάμενες τιμές για την ουράνια λάμψη, το ανεπιθύμητο φως, και την θάμβωση. Το φαινόμενο του λαμπρού ουρανού εξαρτάται από το ποσοστό του φωτός που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Υπάρχει δυνατότητα να περιοριστεί το φαινόμενο με διάφορους τρόπους. Αρχικά πρέπει να χρησιμοποιούνται φωτιστικά σώματα πλήρους αποκοπής για να ελαχιστοποιείται το φως που κινείται στο ουρανό από το ίδιο το φωτιστικό. Ακόμη θα μπορούσε να ρυθμίζεται το επίπεδο φωτισμού, όπου αυτό είναι εφικτό, με σκοπό την απενεργοποίηση του ανεπιθύμητου φωτισμού. Αυτό θα συμβεί με τον περιορισμό των εξωτερικών διαφημιστικών πινακίδων και γενικότερα με τη θέσπιση ορίων αναφορικά με τον διαφημιστικό φωτισμό (φώτα πλημμύρας, υπερφωτισμός κ.α.). Ειδικότερα σε χώρους αστρονομικής παρατήρησης που υπάρχει η ανάγκη για σκοτεινό ουρανό, ώστε να δημιουργείται το απαραίτητα κοντράστ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φωτιστικά νατρίου χαμηλής πίεσης, τα οποία έχουν μονοχρωματικό σχεδόν, υποκίτρινο φως το οποίο απορροφάται από τα φίλτρα των τηλεσκοπίων (IESNA, 2000).

Η ενέργεια που καταναλώνεται στον εξωτερικό φωτισμό δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Ο οδικός φωτισμός εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει περίπου το 1% της συνολικής φωτεινής ενέργειας. Ο εξωτερικός φωτισμός για τα σπίτια, το εμπόριο, τη βιομηχανία και τις υπόλοιπες παρόμοιες χρήσεις, δαπανά ένα άγνωστο ποσό ενέργειας. Ακόμη μεγαλύτερη απροσδιοριστία υπάρχει όσον αφορά τις απώλειες της φωτεινής ενέργειας. Οι απώλειες αυτές σχετίζονται μάλιστα με τον πληθυσμό, το κλίμα, το οικονομικό περιβάλλον, τις συνήθειες, την τεχνολογία των φωτιστικών κ.α. Κάθε μη χρήσιμο φως είναι απώλεια. Το ανεπιθύμητο φως και το φαινόμενο της λάμψης του ουρανού των πόλεων είναι μεγάλες απώλειες ενέργειας εκτός από ενοχλητικά για τον άνθρωπο φαινόμενα. Στις ΗΠΑ το διασκορπιζόμενο με αυτό τον τρόπο φως, αντιστοιχεί σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις, στο 30% της ηλεκτρικής ενέργειας που προορίζεται για τον εξωτερικό φωτισμό. Η τεχνολογία των δορυφορικών επισκοπήσεων μπορεί να δώσει μια εκτίμηση των απωλειών ενέργειας λόγω των φαινομένων της φωτορύπανσης. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στο τμήμα της φωτεινής ενέργειας που συλλαμβάνεται από τους δορυφόρους. Ενεργειακή απώλεια όμως, δεν είναι μόνο αυτό που καταλήγει στον ουρανό. Στις συνολικές απώλειες θα πρέπει να προσθέσουμε την ενέργεια που μετατρέπεται σε

θερμότητα στα φωτιστικά, και γενικότερα την φωτεινή ενέργεια που χάνεται αλλά δεν έχει την δυνατότητα να καταγραφεί από τους δορυφόρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΑΣΤΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

3.1 Εφαρμογές Φ/Β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία για λόγους ευκολίας ονομάζονται (Φ/Β), συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες. Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Σύνδεσμος_Εταιριών_Φωτοβολταϊκών, 2007).

3.1.1 Είδη Φ/Β συστημάτων

Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής (photovoltaicssystem, 2017).

Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12% (photovoltaicssystem, 2017).

Άμορφου Πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθηνό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά για κάθε τύπο Φ/Β, στοιχεία σχετικά με την απόδοση, την απαιτούμενη επιφάνεια και την παραγωγή ενέργειας (photovoltaicssystem, 2017).

Πίνακας 1: Πίνακας Φ/Β Τεχνολογιών

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ			
ΤΥΠΟΣ	ΑΜΟΡΦΑ	ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ	ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ
ΑΠΟΔΟΣΗ	5-7%	11-14%	13-16%
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑ kWp	10-20 m ²	8-10 m ²	7-8 m ²
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh ανά kWp)	1.300-1.400	1.300	1.300
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh ανά m²)	65-140	130-160	160-185
ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ (kg CO₂ ανά kWp)	1.380-1.485	1.380	1.380

3.1.2 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β στοιχείων

Σε σειρά: Η σύνδεση σε σειρά N όμοιων Φ/Β στοιχείων, οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_t = NV$). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ($I_t = I$).

Παράλληλα: Η παράλληλη σύνδεση N όμοιων ΦΒ στοιχείων, δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_t = V$), ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης εκάστου ($I_t = NI$) (photovoltaicssystem, 2017).

3.1.3 Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας μπορούν να διακριθούν τρεις κατηγορίες Φ/Β συστημάτων :

- **Αυτόνομα Φ/Β συστήματα.** Αυτόνομα ή αυτοδύναμα Φ/Β συστήματα είναι ιδανικά για απομακρυσμένες και δύσβατες περιοχές όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και όπου η μεταφορά καυσίμου είναι δύσκολη. Το σύστημα απαιτεί και την ύπαρξη μπαταρίας για την συνεχή λειτουργία του τις νυκτερινές ώρες και τις ώρες που υπάρχει συννεφιά. Ακόμη, ένας ειδικός ρυθμιστής φόρτισης ρυθμίζει την ενέργεια των Φ/Β για

να εξασφαλίσει την άριστη φόρτιση των μπαταριών. Επίσης, σε απλές εγκαταστάσεις, η ενέργεια απορροφάται κατ' ευθείαν από τις μπαταρίες μέσω DC καταναλωτών, ενώ σε εγκαταστάσεις με συνήθεις AC καταναλωτές, το ρεύμα της μπαταρίας μετατρέπεται από συνεχές σε εναλλασσόμενο με αντιστροφέα (inverter). Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα σε αναμεταδότες TV, σε συστήματα επιτήρησης, σε τηλεφωνικούς θαλάμους, σε κεραιές κινητής τηλεφωνίας, σε φάρους, σε διαφημιστικές πινακίδες, σε στάσεις συγκοινωνίας, σε φωτισμό δρόμων και εθνικών οδών, σε βάρκες και τροχόσπιτα, σε αρδεύσεις και γεωτρήσεις, σε σιντριβάνια. Όλα τα παραπάνω χρησιμοποιούν μπαταρίες για αποθήκευση, αλλά αν απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, μπορούν να συνδυαστούν με γεννήτριες βιομάζας, με ανεμογεννήτριες ή με γεννήτριες diesel.

- Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή, καταναλώνεται ρεύμα από το δίκτυο όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν επαρκεί. Τέτοια περίπτωση είναι η διάρκεια της νύχτας ή όταν έχει συννεφιά. Σε αντίθετη περίπτωση δίνεται ενέργεια στο δίκτυο, όταν η παραγωγή υπερκαλύπτει τις ανάγκες.
- Υβριδικά συστήματα. Το υβριδικό σύστημα εκμεταλλεύεται ταυτόχρονα την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Διαθέτει Φ/Β συλλέκτη και Α/Γ, ώστε να παράγει ρεύμα από τον ήλιο και από τον άνεμο (photovoltaic system, 2017).

3.1.4 Πλεονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η εγκατάσταση και χρήση τους. Μερικές από τις θετικές επιπτώσεις των Φ/Β συνοψίζονται στις εξής:

- Λειτουργούν αθόρυβα.
- Δεν ελκύουν ρύπους και δεν παράγουν απόβλητα.
- Παρέχουν αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής. Μηδενικό κόστος παραγωγής ενέργειας και συντήρησης των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες.
- Δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.
- Μπορούν να τοποθετηθούν και ενσωματωθούν εύκολα σε κτίρια ή σε ελεύθερα οικόπεδα χωρίς να δημιουργείται οπτική όχληση.

- Προσφέρονται για καινοτόμες και δημιουργικές αρχιτεκτονικές εφαρμογές.
- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία λειτουργούν ως αποκεντρωμένες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.
- Υπάρχει δυνατότητα επέκτασης του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες, ενώ μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα). Έτσι, αν η ζήτηση ενέργειας αυξηθεί υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της παραγωγής.

3.1.5 Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Μερικές από τις αρνητικές επιπτώσεις των Φ/Β συνοψίζονται στις εξής:

- Το πιο σημαντικό μειονέκτημα των Φ/Β συστημάτων είναι το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους. Τα επόμενα χρόνια όμως αναμένεται να γίνουν ανταγωνιστικά, λόγω του ρυθμού μείωσης κόστους παραγωγής, και της αύξησης του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.
- Απαιτούν συνήθως μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο παραγωγής ενέργειας.
- Η παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται από πιθανές νεφώσεις και τη ρύπανση του αέρα.
- Κατά τις νυχτερινές ώρες, δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας, επομένως για αυτόνομα συστήματα απαιτείται η χρήση συσσωρευτών.
- Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχή τάση η οποία πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη (με τη χρήση αντιστροφέα). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας κατά 4-12%.
- Οι απόψεις για την αισθητική (οπτική) επίπτωση τους δίστανται, αν και σήμερα υπάρχει πληθώρα καινοτόμων υλικών που ικανοποιούν και τις πιο απαιτητικές αισθητικές παραμέτρους της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

3.2 Φ/Β στην Ελλάδα

Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο.

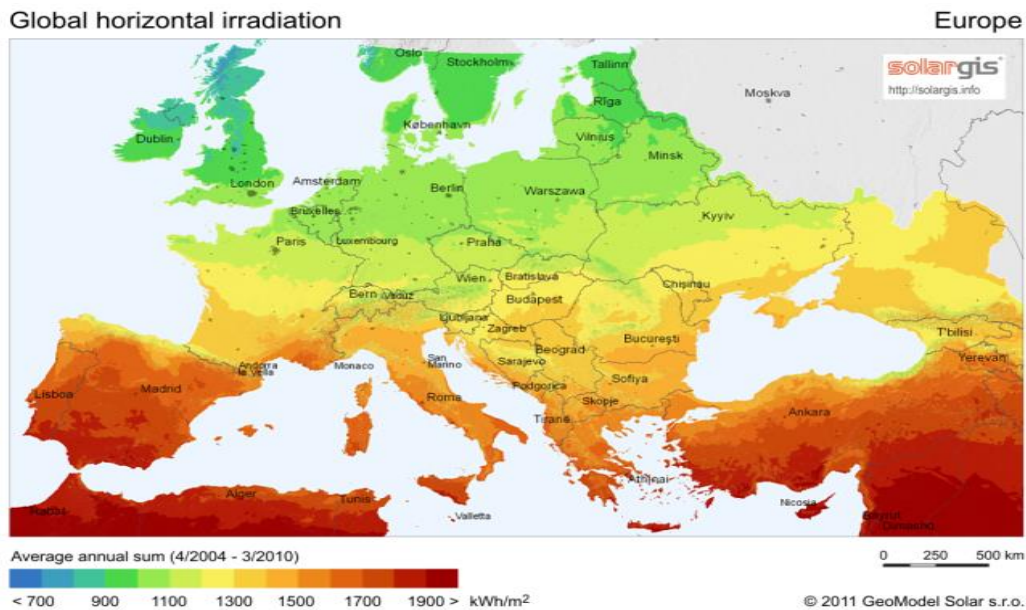
Όλα τα πλεονεκτήματα όμως που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν στάθηκαν ικανά μέχρι σήμερα να απογειώσουν την αγορά των φωτοβολταϊκών και παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι η πιο πλούσια χώρα της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Αιτία το σχετικά υψηλό κόστος συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Η αγορά Φ/Β θα ευδοκιμήσει όταν πέσει το κόστος τους, αλλά για να πέσει το κόστος χρειάζεται μια οικονομία κλίμακας, δηλαδή μια σχετικά δυναμική αγορά.

Προσπαθώντας να ενισχύσουν την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στην χώρα μας, έχουν ήδη ξεκινήσει σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των Φ/Β, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης Φ/Β, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας. Έτσι λοιπόν, στην Ελλάδα, τον Ιούνιο του 2006 ψηφίστηκε νέος νόμος που ενισχύει σημαντικά την ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά και τροφοδοτείται στο δίκτυο. Λόγω αυτών των ευνοϊκών κινήτρων που δίνονται τόσο σε ιδιώτες, αλλά κυρίως στις επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή ηλιακής ενέργειας έχουν αυξηθεί το επενδυτικό ενδιαφέρον σε έναν κλάδο, ο οποίος μέχρι πρότινος βρισκόταν στο περιθώριο έναντι άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπως η αιολική. Συγκεκριμένα επιδοτείται αρχική εγκατάσταση σε ποσοστό από 30% έως 55% της αξίας του συστήματος, ενώ επιδοτούμενο είναι και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού.

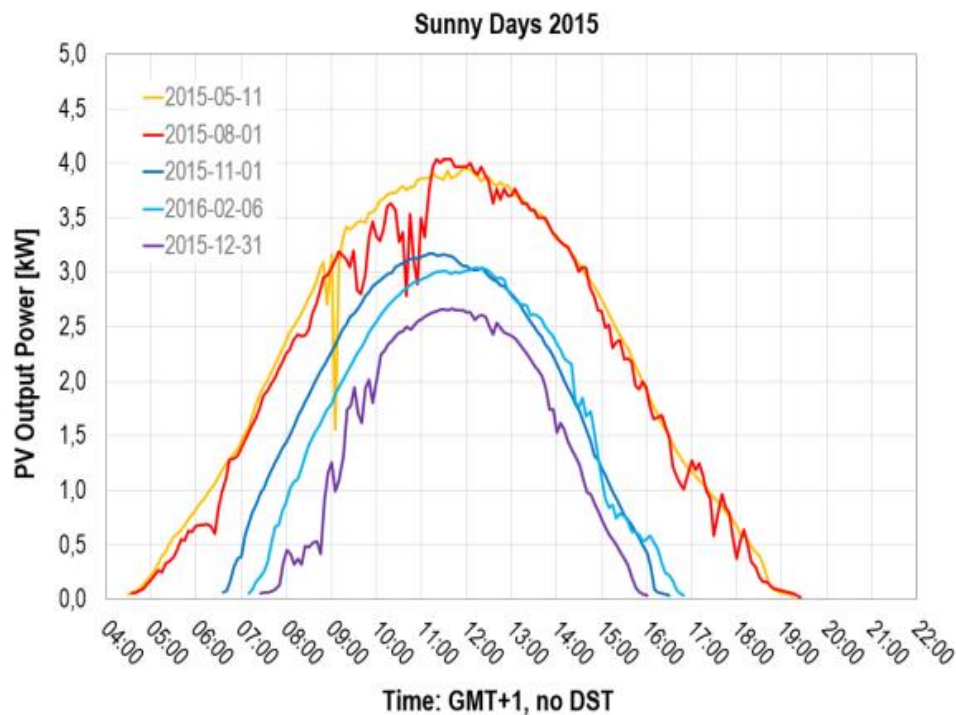
Το σημαντικότερο κίνητρο όμως για επενδύσεις είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μία 20ετία σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ. Το νέο νομοθετικό πλαίσιο εγγυάται γρήγορη απόσβεση των επενδύσεων και σημαντικά κέρδη.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο χάρτης της Ευρώπης, αλλά και της περιοχής γύρω από την Μεσόγειο. Ο χάρτης δείχνει με χρώματα τη μέση ακτινοβολία ανά περιοχή. Οι περιοχές που παρουσιάζονται με σκούρο κόκκινο είναι αυτές με την μεγαλύτερη μέση ακτινοβολία. Η αύξηση της ακτινοβολίας ισοδυναμεί με την αύξηση της παραγωγής kWh ανά m².



Εικόνα 1: Μέση ακτινοβολία ανά περιοχή. Η αύξηση της ακτινοβολίας ισοδυναμεί με την αύξηση της παραγωγής kWh ανα m²

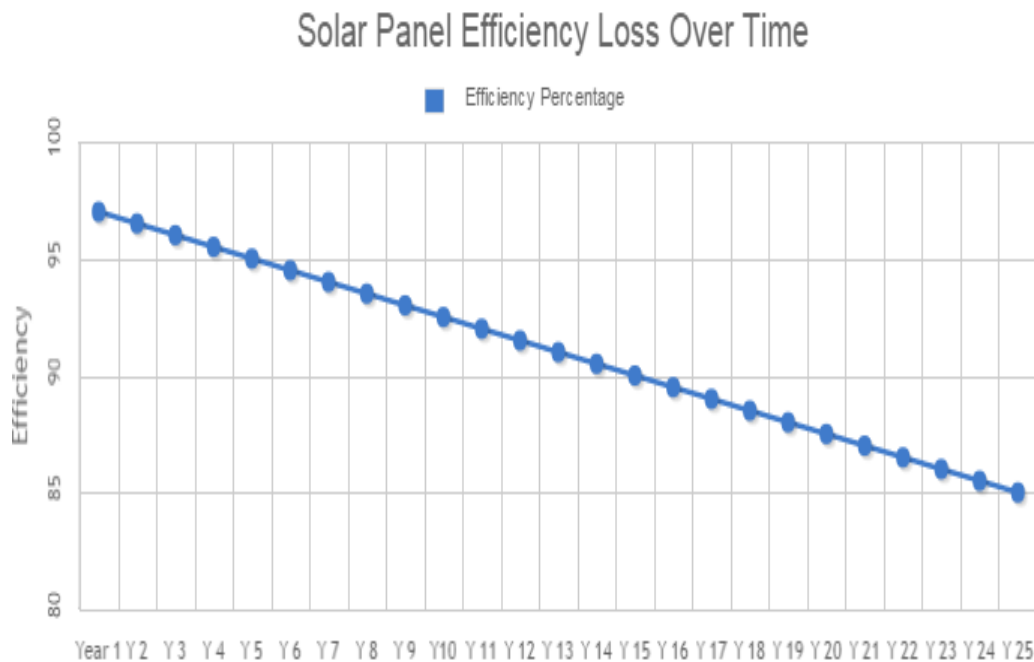
Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα όπου φαίνεται το εύρος της παραγωγής ενέργειας ενός Φ/Β συστήματος σε συνάρτηση με τις ώρες ηλιοφάνειας για τους μήνες του 2015. Η διαφορά στην παραγωγή για έναν χειμερινό μήνα σε σχέση με έναν καλοκαιρινό μήνα είναι μεγάλη, αφού στη δεύτερη περίπτωση το εύρος των ωρών ηλιοφάνειας είναι πολύ μεγαλύτερο και η παραγωγή πολύ πιο δυναμική.



Εικόνα 2: Εύρος παραγωγής ενέργειας Φ/Β συστήματος αναλογικά με τις μέρες ηλιοφάνειας για το έτος 2015

Τέλος στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η φθίνουσα πορεία παραγωγής ενός Φ/Β συστήματος στο κύκλο ζωής του. Παρατηρείται πως με το πέρασμα των

χρόνων τα Φ/Β συστήματα χάνουν την αποδοτικότητά τους στην παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 3: Απόδοση Φ/Β συστήματος σε έναν κύκλο ζωής (25 έτη)

3.3 Φ/Β συστήματα στον Αστικό Φωτισμό και τη Φωτεινή Σηματοδότηση

3.3.1 Φ/Β στον Αστικό Φωτισμό

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φωτιστικά σώματα LED σε συνδυασμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων με στόχο την περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Ο αστικός φωτισμός με χρήση Φ/Β γίνεται όλο και πιο δημοφιλής και τείνει να εφαρμόζεται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Ο συγκεκριμένος τύπος εγκατάστασης υπάρχει σε αρκετούς δήμους ανά την Ελλάδα, και εξυπηρετεί τόσο το φωτισμό οδών, όσο και τον φωτισμό πάρκων και πλατειών.

Η αρχή λειτουργίας του ηλιακού φωτισμού δρόμων περιλαμβάνει τη διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω του Φ/Β και στη συνέχεια την αποθήκευση αυτής της ενέργειας σε κατάλληλη μπαταρία (Παρασκευαδάκη, 2009).

Αναλυτικότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας το Φ/Β απορροφά την ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στην μπαταρία του συστήματος. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ο λαμπτήρας ανάβει αυτόματα και ξεκινά να καταναλώνει την ήδη αποθηκευμένη ενέργεια του συστήματος. Την επόμενη μέρα η διαδικασία συνεχίζει από την αρχή (Παρασκευαδάκη, 2009).

Ειδικά στις σημερινές περιόδους περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, ο φωτισμός των δρόμων θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ηλεκτρικής

ενέργειας, με μεγάλο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος (Παρασκευαδάκη, 2009).

Τα ηλιακά φώτα δρόμων παρέχουν οικονομική, περιβαλλοντική αλλά και κοινωνική βιωσιμότητα, μιας και δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας και νέες προοπτικές για την κοινωνία. Χρησιμοποιώντας την ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων. Ακόμα προβάλλουν την αισθητική της πόλης, αλλά βελτιώνουν και τις υποδομές, μιας και παρέχουν καλύτερη ποιότητα φωτισμού στους δρόμους, στις πλατείες ή και στα σχολεία (SolarElectricPowerCompany, 2017).

Ο ηλιακός φωτισμός δρόμων αποτελεί αυτόνομο σύστημα και όλες οι επί μέρους διατάξεις και συνδέσεις, τοποθετούνται πάνω στον ίδιο τον ιστό του φωτιστικού σώματος. Τις περισσότερες φορές δεν απαιτούν σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ και ενώ από τη μία όψη αποτελεί μία αρκετά καλή επένδυση για το περιβάλλον, από την άλλη θα πρέπει να γίνει με πολύ προσοχή ο σχεδιασμός και η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού. Δηλαδή, η επιλογή του Φ/Β πλαισίου, των μπαταριών και του λαμπτήρα (Παρασκευαδάκη, 2009).

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων με φωτεινές διόδους (LED) μπορεί να επιφέρει μια σημαντική αλλαγή στα φωτιστικά σώματα δημόσιου φωτισμού, εισάγοντας επίπεδα απόδοσης και αξιοπιστίας τα οποία ήταν ακατόρθωτα πριν από μερικά χρόνια.

Εξίσου σημαντικό είναι και το κόστος τους που γίνεται ολοένα και πιο ανταγωνιστικό. Εκτιμάται ότι η ετήσια κατανάλωση για το δημοτικό φωτισμό στην Ευρώπη κυμαίνεται μεταξύ 40-80 kwh ανά κάτοικο ή μεταξύ 10-30 kwh ανά χιλιόμετρο οδού, ενώ στις περισσότερες πόλεις της Ελλάδας η κατανάλωση είναι ακόμα μεγαλύτερη. Η κατανάλωση ενέργειας για τον ηλεκτρισμό των Δήμων μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας.

Παρακάτω φαίνονται κάποιες εικόνες που παρουσιάζουν εγκαταστάσεις φωτισμού με τη χρήση Φ/Β. Ο σχεδιασμός του Φ/Β πάνελ στην κορυφή του ιστού, μπορεί να ποικίλει στο σχεδιασμό του, έχοντας ως στόχο την εγκατάσταση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης επιφάνειας Φ/Β, δεδομένου του ορθού στατικά σχεδιασμού.



Εικόνα 4: Οδοφωτισμός με χρήση Φ/Β συστημάτων

Η χρήση των ηλιακών φωτιστικών σωμάτων στον αστικό φωτισμό έχει κερδίσει έδαφος σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, λόγω της ποιότητας του φωτισμού που παρέχουν και των οικονομικών και περιβαλλοντικών οφελών.

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 49 χώρες ανά τον κόσμο που τα ηλιακά φωτιστικά δρόμων χρησιμοποιούνται για το φωτισμό. Συνολικά σε 10 από αυτές τις χώρες ο συγκεκριμένος τρόπος φωταγώγησης πόλεων είναι αρκετά δημοφιλής. Στην κορυφή της λίστας βρίσκεται η Κίνα και στη συνέχεια η Γερμανία, η Ιαπωνία, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Ιταλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Ισπανία, η Αυστραλία και η Ινδία (ELIlluminationCo., LTD, 2017).

Συστήματα ηλιακού φωτισμού μπορούν να βρουν εφαρμογή σε:

- δρόμους
- εθνικές οδούς
- πάρκα
- πλατείες
- γήπεδα
- χώρους στάθμευσης
- σχολεία

Το ενδεχόμενο εγκατάστασής τους θα έπρεπε να εξετάσουν οι δήμοι και οι Περιφέρειες, καθώς ο αστικός ηλιακός φωτισμός θα αποδειχτεί μελλοντικά κερδοφόρος τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εγκατάσταση Φ/Β πάνελ στους ιστούς φωτισμού στο πάρκο «Αντώνης Τρίτσης». Παρακάτω φαίνεται και φωτογραφία που δείχνει το πάρκο μετά την αναδιαμόρφωση του. Το παράδειγμα αυτό μπορούν να ακολουθήσουν και άλλοι δήμοι και να προχωρήσουν στην εφαρμογή του ηλιακού φωτισμού σε πάρκα, πλατείες και σχολεία.

Εξαιρετική καινοτομία και μελλοντικά επικερδής θα μπορούσε να είναι η εγκατάσταση ηλιακών φωτιστικών σε απομακρυσμένες περιοχές, που είναι δύσκολο να υπάρξει σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τέτοιες περιπτώσεις είναι περιφερειακοί δρόμοι, νησιά και απομακρυσμένα χωριά.



Εικόνα 5: Ηλιακός Φωτισμός στο πάρκο Αντώνης Τρίτσης

3.3.2 Φ/Β στη Φωτεινή Σηματοδότηση

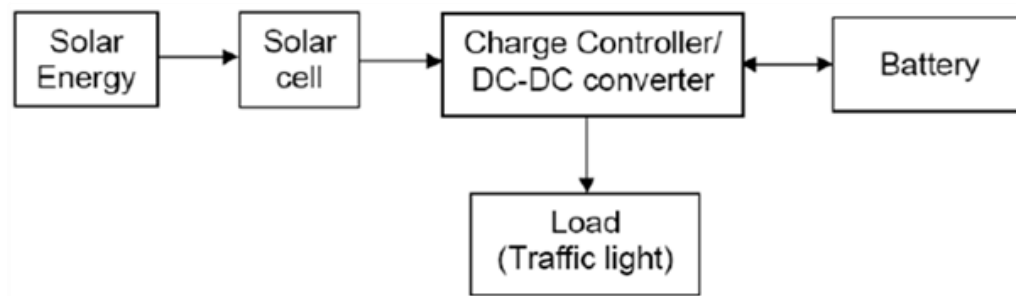
Αντίστοιχα με τον αστικό φωτισμό θα μπορούσε να λειτουργήσει και η φωτεινή σηματοδότηση. Επεκτείνοντας τα πλεονεκτήματα εξοικονόμησης ενέργειας, η ηλιακή ακτινοβολία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση των σηματοδοτών κυκλοφορίας. Οι ηλιακοί σηματοδότες είναι κατάλληλοι για την επιτήρηση και τον έλεγχο της οδικής ασφάλειας, ενώ οι υπάρχοντες συμβατικοί σηματοδότες μπορούν με απλή μετατροπή να λειτουργήσουν με την ηλιακή ενέργεια (Παρασκευαδάκη, 2009)(Solar_POWERED_LEDs, 2009).

Οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας, οι οποίες αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούν μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας στην αγορά σήμερα (Kalingamudali&Harambearachch, 2006). Οι μηχανικοί και οι επιστήμονες συνεργάζονται για να μειώσουν το κόστος των υλικών για την κατασκευή ηλιακών κυψελών, για να αυξήσουν την απόδοση μετατροπής ενέργειας και για να δημιουργήσουν καινοτόμα και αποτελεσματικά νέα προϊόντα και εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία φωτοβολταϊκών (PV) σε όλο τον κόσμο (MoghbelliD. , 2012).

Από την άλλη πλευρά, τα οδικά ταξίδια αυξάνονται σε ολόκληρο τον κόσμο, ιδιαίτερα στις μεγάλες αστικές περιοχές. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω, έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό και η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου της

κυκλοφορίας. Ωστόσο, εξακολουθεί να είναι οικονομικά δύσκολο να εξασφαλιστεί ο έλεγχος της κυκλοφορίας στις επαρχιακές και αγροτικές περιοχές, κυρίως λόγω του κόστους κατασκευής των υποδομών ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, αναδεικνύεται η σημασία των ηλιακών σημάτων κυκλοφορίας, τα οποία εμφανίζουν πολλές χρήσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες περιπτώσεις, είτε σε φωτεινούς ιστούς για την ασφάλεια των πεζών σε διαβάσεις ή σε σχολικές ζώνες, είτε σε φωτεινές πινακίδες οι οποίες παρέχουν πληροφορίες αναφορικά με την ασφάλεια στάθμευσης, με οδηγίες για περίπτωση έκτακτης ανάγκης κ.α. (Kalingamudali&Harambearachch, 2006).

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ηλιακής κυκλοφορίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, αποτελείται από τα τέσσερα βασικά συστατικά ως εξής: (1) το ηλιακό πάνελ που αποτελείται από ηλιακά κύτταρα, (2) έναν DC-DC μετατροπέα για τη διατήρηση της τάσης εξόδου σε σταθερό επίπεδο, (3) ένα ρυθμιστή φόρτισης για τον έλεγχο της ροής φόρτισης μέσω της μπαταρίας, (4) μια μπαταρία για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και τη χρήση της κατά την απουσία ηλιακού φωτός (Moghbelli, Ellithy, Eslami, &Vartanian, 2009).



Γράφημα 1: Φωτοβολταϊκό Σύστημα Κυκλοφορίας

Η διαφορά στη χρήση Φ/Β στη φωτεινή σηματοδότηση και στον αστικό φωτισμό έγκειται στο μέγεθος της κατανάλωσης ενέργειας που έχει ένας ιστός σηματοδότησης με έναν ιστό αστικού φωτισμού. Πιο συγκεκριμένα, ενώ ένας ιστός αστικού φωτισμού χρειάζεται να τροφοδοτήσει έναν λαμπτήρα, ο ιστός φωτεινής σηματοδότησης χρειάζεται να τροφοδοτήσει κατ' ελάχιστον δύο λαμπτήρες, αφού έχει κατ' ελάχιστον έναν σηματοδότη οχημάτων και ένα σηματοδότη πεζών. Αυτό καθιστά πιο δύσκολη την ύπαρξη φωτοβολταϊκού πάνελ στην κορυφή του ιστού, γιατί για να υπάρξει αυτονομία θα πρέπει να αυξηθεί η έκταση του Φ/Β, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρχουν προβλήματα στατικότητας.



Εικόνα 6: Εγκαταστάσεις Φ/Β στη φωτεινή σηματοδότηση

Μια δεύτερη αποτρεπτική πτυχή αυτής της εφαρμογής είναι το γεγονός ότι ενώ από τη μία μεριά οι λαμπτήρες φωτισμού λειτουργούν συγκεκριμένο διάστημα την ημέρα, από την άλλη οι σηματοδότες κυκλοφορίας είναι σε λειτουργία κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας.

Τα παραπάνω λειτουργούν αποτρεπτικά στη μελέτη εγκατάστασης Φ/Β στην φωτεινή σηματοδότηση κύριων αρτηριών, αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο στην περίπτωση ενός απλού ιστού σηματοδότησης με μικρό αριθμό λαμπτήρων. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν τα προειδοποιητικά φανάρια έξω από σχολικά κτίρια, τα προειδοποιητικά φανάρια σε κύριες αρτηρίες ή και φανάρια που τοποθετούνται εκτός αστικών περιοχών, όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η μελέτη αντικατάστασης συμβατικών λαμπτήρων, με λαμπτήρες τύπου LED στους κόμβους της φωτεινής σηματοδότησης της Περιφέρειας Αττικής.

Μέχρι σήμερα στους σηματοδότες κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο λαμπτήρες πυρακτώσεως. Πλέον η περιφέρεια Αττικής προχωρά στον εκσυγχρονισμό των φωτεινών σηματοδοτών και αντικαθιστά σταδιακά όλους τους κλασικού τύπου λαμπτήρες πυράκτωσης με λαμπτήρες τύπου LED.

Στόχος της συγκεκριμένης ενέργειας είναι η βελτίωση της ορατότητας και της ευκρίνειας των φωτεινών ενδείξεων για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πολιτών. Ταυτόχρονα θα μειωθεί τουλάχιστον κατά 80% η κατανάλωση ενέργειας και θα πολλαπλασιασθεί ο χρόνος ζωής των σηματοδοτών. Παράλληλα θα μειωθεί σταδιακά το κόστος συντήρησης σηματοδοτών για την Περιφέρεια Αττικής.

4.2 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία των φαναριών ξεκινάει πριν τεθεί σε κυκλοφορία το πρώτο αυτοκίνητο. Τότε που στους δρόμους υπήρχαν μόνο κάρα και άμαξες, πεζοί και ποδήλατα. Το πρώτο φανάρι τοποθετήθηκε έξω από τη Βρετανική Βουλή στο Λονδίνο τον Δεκέμβρη του 1868. Το τοποθέτησε εκεί ο μηχανικός τρένων J. P. Knight. Ήταν ένα ανακατασκευασμένο σιδηροδρομικό φανάρι, με σηματοφόρους βραχίονες και με κόκκινες και πράσινες λάμπες. Οι λυχνίες αερίου ελέγχονταν από έναν μοχλό στη βάση τους, ώστε να φαίνεται προς την κυκλοφορία το κατάλληλο φως. Το συγκεκριμένο σύστημα καταστράφηκε από έκρηξη το 1869 τραυματίζοντας τον αστυνομικό που το χειριζόταν εκείνη τη στιγμή. Συνεχίζοντας με την ιστορία των φαναριών, το ηλεκτρικό αυτόματο φανάρι κατασκευάστηκε στην Αμερική το 1912. Εφευρέτης του θεωρείται ο αστυνομικός Lester Wire από το Οχάιο.

Το 1914 η Αμερικάνικη Εταιρεία Φωτεινών Σηματοδοτών τοποθέτησε ένα σύστημα με δύο χρώματα, κόκκινο και πράσινο, και έναν βομβητή (buzzer) για να προειδοποιεί για τις αλλαγές. Εμπνευστής του ήταν ο James Hoge. Το συγκεκριμένο σύστημα επέτρεπε στην Αστυνομία και την Πυροσβεστική να ελέγχουν τα φανάρια σε περίπτωση ανάγκης.

Το πρώτο τρίχρωμο φανάρι τεσσάρων κατευθύνσεων κατασκευάστηκε από τον αστυνομικό William Potts στο Ντιτρόιτ το 1920. Επειδή ήταν υπάλληλος της κυβέρνησης (αστυνομικός) δεν μπορούσε να πατεντάρει την εφεύρεση του. Έτσι, το 1922 ο T.E. Hayes κατοχύρωσε το "Συνδυασμένο οδηγό κυκλοφορίας και ρυθμιστικού σήματος".

Το πρώτο διασυνδεδεμένο σύστημα κυκλοφορίας εγκαταστάθηκε στο Σολτ Λέικ Σίτυ το 1917 σε δρόμο με έξι διασταυρώσεις, και ελεγχόταν από χειροκίνητους

διακόπτες. Ο αυτόματος χειρισμός του συστήματος μπήκε τον Μάρτιο του 1922 στο Χιούστον του Τέξας. Το 1923 ο Garrett Morgan πατεντάρισε τη δικιά του έκδοση. Ήταν ένας στύλος σε σχήμα T με τρεις θέσεις: σταμάτημα, ξεκίνημα και σταμάτημα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η τρίτη κατάσταση έδινε στους οδηγούς τη δυνατότητα να σταματήσουν μέχρι να ξεκινήσει η κυκλοφορία του αντίθετου ρεύματος, και επίσης, για την ασφάλεια των πεζών. Το μεγάλο του πλεονέκτημα ήταν η δυνατότητα χειρισμού του από απόσταση μέσω μηχανικής σύζευξης. Η πρώτη πόλη που συνέδεσε με υπολογιστές το σύστημα φαναριών των δρόμων της ήταν το Τορόντο το 1963.

Τα χρώματα των φαναριών που αναπαριστούν σταμάτημα και ξεκίνημα ενδέχεται να προήλθαν από αυτά που ταυτοποιούσαν το λιμάνι (κόκκινο) και το στρίψιμο προς τα δεξιά (πράσινο) στη ναυσιπλοΐα. Σύμφωνα με τους κανόνες ναυτικής κυκλοφορίας, το πλοίο από τα αριστερά έπρεπε να σταματήσει για αυτό που έρχεται από τα δεξιά - πράγμα που ισχύει πλέον και στην χερσαία κυκλοφορία.



Εικόνα 7: Φωτεινός σηματοδότης τριών πεδίων

Τέλος, αξίζει να αναφερθούν και οι φωτεινοί σηματοδότες με χρονόμετρο. Το σύστημα εισάχθηκε τη δεκαετία του '90. Η αντίστροφη μέτρηση βοηθάει τους οδηγούς και τους πεζούς να ξέρουν πόσο χρόνο έχουν μέχρι να αλλάξει το φανάρι, ώστε να αποφασίσουν αν θα περάσουν τη διασταύρωση με ασφάλεια ή όχι.

4.3 Αναλυτική Παρουσίαση Εννοιών

Σηματοδότης Πυράκτωσης

Στην φωτεινή σηματοδότηση χρησιμοποιούνταν κατά κύριο λόγο λαμπτήρες πυράκτωσης, ενώ τα τελευταία χρόνια τέτοιου τύπου λαμπτήρες αντικαθίστανται με λαμπτήρες τύπου LED.

Ένας μέσος λαμπτήρας πυράκτωσης που χρησιμοποιείται στη φωτεινή σηματοδότηση καταναλώνει 75Wh, αν πρόκειται για σηματοδότη οχημάτων και 40Wh, αν πρόκειται για σηματοδότη πεζών. Ο χρόνος ζωής τους είναι κατά μέσο όρο 750 έως 1.000 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Ενώ η αντικατάσταση ενός τέτοιου λαμπτήρα γίνεται κάθε έξι μήνες, πολλές φορές για προληπτικούς λόγους.

Σηματοδότης LED

Οι φωτεινοί σηματοδότες τεχνολογίας LED μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως σταθεροί φωτεινοί σηματοδότες είτε ως αναλάμποντες με επί τόπου τοπική ρύθμιση. Με τον ίδιο τρόπο πολλαπλοί σηματοδότες μπορούν να συγχρονιστούν και να λειτουργήσουν ως ομάδα χωρίς τη χρήση κεντρικού ρυθμιστή κυκλοφορίας. Όπως προαναφέρθηκε οι σηματοδότες με λαμπτήρες πυρακτώσεως αντικαθίσταται με λαμπτήρες τύπου LED. Οι λαμπτήρες LED που χρησιμοποιούνται έχουν ισχύ 8 έως 17 Watt. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιείται ως μέση κατανάλωση για έναν τέτοιο λαμπτήρα οι 11Wh.

Παρατηρείται ότι ενώ στους λαμπτήρες πυράκτωσης υπήρχε διαφορά στην ισχύ που χρησιμοποιείται για τους σηματοδότες οχημάτων και τους σηματοδότες πεζών, στους λαμπτήρες LED γίνεται κοινή χρήση και για τους δύο τύπους σηματοδοτών. Τέλος η αντικατάσταση ενός τέτοιου λαμπτήρα γίνεται μια φορά στα πέντε χρόνια.

Συνοψίζοντας για τους σηματοδότες LED μπορούμε να πούμε πως:

- Πληρούν όλα τα διεθνή πρότυπα.
- Έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Έχουν μηδενικό κόστος συντήρησης.
- Ομοιογενής διανομή φωτός.
- Σταθερός φωτισμός μεταξύ -20 και +60°C.

Διαφορές μεταξύ λαμπτήρων πυρακτώσεως και λαμπτήρων LED

Τα δύο είδη σηματοδοτών έχουν πολλές διαφορές μεταξύ τους. Η βασικότερη όλων είναι η ενεργειακή τους διαφοροποίηση. Όπως ήδη αναφέρθηκε η ωριαία κατανάλωση για λαμπτήρες πυράκτωσης σε σηματοδότες οχημάτων και πεζών είναι αντίστοιχα 75 και 40 Wh, ενώ στα LED είναι 11 Wh. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια το οικονομικό όφελος μιας πιθανής αντικατάστασης με LED.

Μία ακόμα διαφορά είναι ο χρόνος ζωής των δύο ειδών. Οι λαμπτήρες τύπου LED έχουν περίπου δέκα φορές περισσότερο χρόνο ζωής από τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Οι λάμπες LED δεν σπάνε εύκολα, διότι δεν περιέχουν γυαλί. Αυτό τις κάνει εξαιρετικά ανθεκτικές σε κραδασμούς, δονήσεις και χτυπήματα.

Εξαιρετικά μεγάλη σημασία, όσον αφορά την προστασία του πολίτη, έχει η πιο σύγχρονη μορφή που παρουσιάζει ένας σηματοδότης τύπου LED. Τα LED παρέχουν σταθερό και ομοιογενή φωτισμό, πράγμα που τα κάνει ορατά από μεγάλες

αποστάσεις και ακόμα και με κακοκαιρία. Οι λαμπτήρες LED συνήθως δεν καίγονται αλλά τείνουν να μειώνουν σταδιακά το φως τους. Από την αντίθετη πλευρά αυτός είναι και ο λόγος που αυξάνεται η ισχύς στους σηματοδότες οχημάτων στην περίπτωση των λαμπτήρων πυρακτώσεως, προκειμένου να καλυφθεί το μειονέκτημα της μειωμένης ορατότητας. Το φως που παράγουν τα LED είναι πολύ ανώτερης ποιότητας από τους παραδοσιακούς λαμπτήρες. Το σταθερό λευκό φως των LED παρέχει μεγαλύτερη φωτεινότητα και απόδοση χρωμάτων ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες. Σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες, το φως των LED δεν αυξομειώνεται σε εναλλαγές της τάσης του δικτύου διότι οι λάμπες LED είναι εφοδιασμένες με ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις σταθεροποίησης, που εξασφαλίζουν σταθερή ροή ρεύματος.

Τέλος από περιβαλλοντικής απόψεως η χρήση των λαμπτήρων τύπου LED βοηθάει στη μείωση των εκπομπών CO_2 , ως απόρροια της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, τα LED δεν χρειάζονται συχνή αντικατάσταση και έτσι μειώνεται ο συνολικός όγκος των απορριμμάτων. Ακόμα, σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες, οι λαμπτήρες τύπου LED δεν περιέχουν γυαλί, ίνες υδραργύρου, μόλυβδο ή άλλα τοξικά υλικά.

Μειονεκτήματα λαμπτήρων LED

Σε αυτό το σημείο τονίζεται πως οι λαμπτήρες τύπου LED παρουσιάζουν επίσης κάποια μειονεκτήματα, που όπως θα φανεί και στη συνέχεια μετά την οικονομική παρουσίαση των δεδομένων, δε φαίνονται να είναι αρκετά προβληματικά.

- Το κόστος αγοράς των λαμπτήρων τύπου LED είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με τους συμβατικούς λαμπτήρες φωτισμού.
- Συχνά παρουσιάζεται μία σταδιακή μείωση της παραγωγής φωτός κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας τους, πράγμα όμως που συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό και δεν γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Ο κυριότερος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η ανάπτυξη θερμότητας.

4.4 Ενεργειακές Καταναλώσεις

Λαμβάνοντας ως πεδίο δραστηριοτήτων την Περιφέρεια Αττικής, θα μελετηθεί από ενεργειακής πλευράς η αντικατάσταση των λαμπτήρων πυρακτώσεως των σηματοδοτών, με λαμπτήρες τύπου LED. Ήδη η Περιφέρεια προχωράει σε τέτοιες αντικαταστάσεις σταδιακά.

Ο αριθμός των κόμβων, που θα εξεταστούν συνολικά για το Νομό Αττικής είναι 2.168 (δύο χιλιάδες εκατόν εξήντα οκτώ). Ο αριθμός αυτός αφορά αντιπροσωπευτικό δείγμα των κόμβων του νομού Αττικής σύμφωνα με καταγραφή του 2016.

Τα κυριότερα είδη σηματοδοτών που συναντώνται σε κάθε κόμβο είναι τα εξής:

- σηματοδότες οχημάτων
- σηματοδότες πεζών
- προειδοποιητικοί σηματοδότες
- ανηρτημένοι σηματοδότες οχημάτων
- ανηρτημένοι προειδοποιητικοί σηματοδότες

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί πως για κάθε σηματοδότη οχημάτων που θα αντικατασταθεί θα αλλαχτούν 3 (τρεις) λάμπες. Μία λάμπα για κάθε φωτεινή ένδειξη (κόκκινο, πορτοκαλί, πράσινο). Για κάθε σηματοδότη πεζών που θα γίνει αντικατάσταση, θα αλλαχτούν 2 (δύο) λάμπες. Μία λάμπα για κάθε φωτεινή ένδειξη (κόκκινο, πράσινο).

Στις δύο αυτές περιπτώσεις οι φωτεινές ενδείξεις εναλλάσσονται κυκλικά. Οπότε στο χρονικό διάστημα της μίας ώρας που θα εξετασθούν οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι αναμμένη πάντα μία λάμπα. Ως επακόλουθο οι υπολογισμοί των καταναλώσεων σε αυτά τα είδη σηματοδοτών γίνεται με βάση το πλήθος των σηματοδοτών και όχι με βάση το πλήθος των λαμπτήρων.

Τέλος για κάθε προειδοποιητικό σηματοδότη που θα αντικατασταθεί, θα γίνει αλλαγή 2 (δύο) λαμπτήρων, ένας για κάθε φωτεινή ένδειξη (πορτοκαλί- πορτοκαλί). Σε αυτή την κατηγορία σηματοδοτών είναι ταυτόχρονα αναμμένες δύο λάμπες, οπότε ο οποιοσδήποτε υπολογισμός θα πραγματοποιηθεί με βάση αυτή την ιδιαιτερότητα. Από τον προγραμματισμό του ρυθμιστή είναι γνωστό πως οι προειδοποιητικοί σηματοδότες λειτουργούν το 1/3 του χρόνου στον κύκλο των 90sec. Αυτό σημαίνει ότι λειτουργούν 30 sec στα 90 sec. Άρα 1.200 sec (20 min) στα 3.600sec (60min ή αλλιώς στη 1 ώρα). Έτσι λοιπόν για την οποιαδήποτε κατανάλωση ενέργειας στη μία ώρα, αυτού του είδους οι σηματοδότες θα καταναλώνουν το 1/3 του αντίστοιχου ποσού κατανάλωσης. Τέλος επισημαίνεται πως στους υπολογισμούς αγνοείται εντελώς το γεγονός πως οι προειδοποιητικοί σηματοδότες πάλλονται και θεωρείται πως παράγουν συνεχόμενο φωτισμό.

Στον πίνακα παρακάτω φαίνεται πόσοι σηματοδότες από κάθε είδος υπάρχουν στην Περιφέρεια Αττικής. Αξίζει να σημειωθεί οι σηματοδότες πεζών είναι περισσότεροι από τους σηματοδότες οχημάτων και αυτό οφείλεται στο πλήθος των πεζοφάνων που μπορεί να τοποθετούνται σποραδικά σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, προκειμένου να εξυπηρετήσουν την διέλευση των πεζών.

Πίνακας 2: Πλήθος σηματοδοτών ως προς το είδος τους

ΕΙΔΟΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ	ΠΛΗΘΟΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	12.000
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΠΕΖΩΝ	14.090
ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	3.079
ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	4.696
ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΟΙ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	816

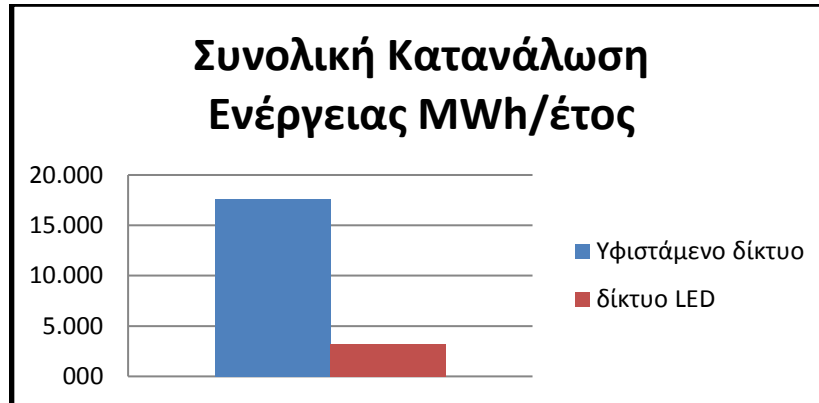
Δεδομένα

- Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ξανά όλα τα είδη σηματοδοτών ως προς το πλήθος τους και υπολογίζεται το συνολικό πλήθος των λαμπτήρων. Για παράδειγμα όπως έχει ήδη αναφερθεί για τους σηματοδότες οχημάτων το πλήθος των λαμπτήρων είναι: 3 λάμπες/σηματοδότη.
Άρα 12.000 σηματοδότες οχημάτων × 3 λάμπες = 36.000 λάμπες. Αντίστοιχα γίνεται και ο υπολογισμός για τα υπόλοιπα είδη σηματοδοτών.
- Η ωριαία κατανάλωση για τους σηματοδότες οχημάτων όσον αφορά τους λαμπτήρες πυράκτωσης θεωρείται 75 Wh. Για τους σηματοδότες πεζών 40Wh, ενώ για τους προειδοποιητικούς σηματοδότες σύμφωνα με τα παραπάνω η ωριαία κατανάλωση υπολογίζεται ως το 1/3 του 75 δηλαδή 25Wh.
- Οι υπολογισμοί για τα LED γίνονται με ωριαία κατανάλωση 11Wh, ενώ για τους προειδοποιητικούς σηματοδότες υπολογίζεται ως το 1/3 του 11, δηλαδή 3,7Wh.
- Στη συνέχεια υπολογίζεται η ωριαία κατανάλωση κάθε είδους σηματοδοτών και για τις δύο περιπτώσεις, καθώς και η συνολική κατανάλωση ενέργειας σε kWh ανά έτος. Σημειώνεται πως ενώ για τους σηματοδότες οχημάτων και πεζών οι καταναλώσεις υπολογίζονται ως το γινόμενο του πλήθους των σηματοδοτών και της ωριαίας κατανάλωσής τους, για τους προειδοποιητικούς σηματοδότες υπολογίζεται ως το γινόμενο του πλήθους των λαμπτήρων και της ωριαίας κατανάλωσής τους.
- Για τον υπολογισμό του ετήσιου οικονομικού οφέλους θεωρείται τιμή ειδικού τιμολογίου 0,1479 €/kWh και για τον υπολογισμό του ετήσιου οφέλους εκπομπών CO₂ θεωρείται συντελεστής εκπομπών 989 g/kWh (Δ.Ε.Ι., 2017).

Πίνακας 3: Ανάλυση Ενεργειακών Καταναλώσεων Υφιστάμενου δικτύου LED

ΕΙΔΟΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ	ΠΛΗΘΟΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ	ΠΛΗΘΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ (Wh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ (Wh)	ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ LED (Wh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ LED (Wh)
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	12.000	36.000	75	900.000	11	132.000
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΠΕΖΩΝ	14.090	28.180	40	563.600	11	154.990
ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	3.079	6.158	25	153.950	3,7	22.785
ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	4.696	14.088	75	352.200	11	51.656
ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΟΙ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	816	1.632	25	40.800	3,7	6.038
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΩΡΑ (Wh):				2.010.550		367.469
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ (Wh):				17.612.418.000		3.219.028.440
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ (kWh):				17.612.418,00		3.219.028,44
ΕΤΗΣΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΟΦΕΛΟΣ (kWh):					14.393.389,56	
ΕΤΗΣΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ €:					2.128.782,32	
ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ (kg):					14.235.062,27	

Από τους παραπάνω υπολογισμούς απορρέει το συμπέρασμα πως εάν το υφιστάμενο δίκτυο φωτεινής σηματοδότησης αντικατασταθεί πλήρως με σηματοδότες με λαμπτήρες τύπου LED το ποσοστό μείωσης της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης αγγίζει το 81,7 %.



Γράφημα 2: Σύγκριση Συνολικών Ενεργειακών Καταναλώσεων σε MWh ανά έτος

4.5 Υπολογισμός Εκπομπών CO₂

Η αντικατάσταση των λαμπτήρων του υφιστάμενου δικτύου της φωτεινής σηματοδότησης, εκτός από το ενεργειακό όφελος που προσφέρει και έχει μελετηθεί παραπάνω, μειώνει σημαντικά και τις εκπομπές CO₂. Ο συντελεστής εκπομπών CO₂ ανά παραγόμενη kWh στην Ελλάδα είναι: 989 g/kWh.

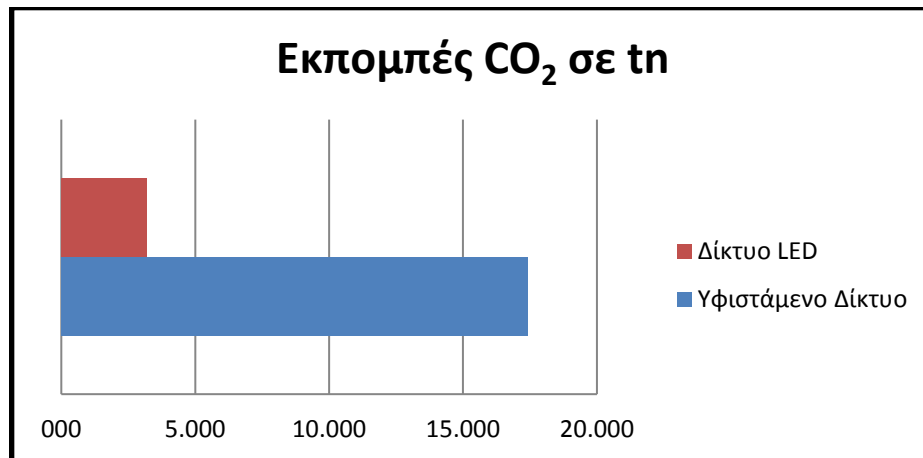
Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η παραγωγή των εκπομπών CO₂ σε τη τόσο για το υφιστάμενο δίκτυο φωτεινής σηματοδότησης με λαμπτήρες πυρακτώσεως, όσο και για το δίκτυο που μελετάται με λαμπτήρες τύπου LED.

Πίνακας 4: Υπολογισμός Εκπομπών CO₂ για τους δυο τύπους δικτύου

ΦΩΤΕΙΝΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ:	Συνολική Ετήσια Κατανάλωση kWh	Εκπομπές CO ₂ (g)	Εκπομπές CO ₂ (tn)
ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ	17.612.418,00	17.418.681.402,00	17.418,68
LED	3.219.028,44	3.183.619.127,16	3.183,62

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.2 το ετήσιο όφελος σε εκπομπές CO₂ είναι 14.235,06tn. Παράλληλα το ποσοστό μείωσης των εκπομπών αγγίζει το 82%. Η διαφορά στην παραγωγή εκπομπών του υφιστάμενου δικτύου και του δικτύου με

λαμπτήρες LED φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα και πρόκειται για μία διαφορά που δεν είναι καθόλου αμελητέα.



Γράφημα 3: Σύγκριση παραγωγής εκπομπών CO₂ σε tn στο χρονικό διάστημα ενός έτους

4.6 Μελέτη Σκοπιμότητας – Οικονομοτεχνική Περιγραφή

Προκειμένου να εξεταστεί η σκοπιμότητα της επένδυσης αντικατάστασης των συμβατικών λαμπτήρων πυρακτώσεως, με λαμπτήρες τύπου LED στην φωτεινή σηματοδότηση, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες:

- το κόστος επένδυσης: Ως κόστος επένδυσης θεωρείται το κόστος προμήθειας όλων των απαραίτητων σηματοδοτών, προκειμένου να γίνει η αντικατάσταση στα υφιστάμενα δίκτυα που απαιτείται.
- το κόστος λειτουργίας: Ως κόστος λειτουργίας υπολογίζεται το ποσό της χρέωσης των καταναλώσεων του δικτύου.
- το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης φωτεινών σηματοδοτών: Ως κόστος συντήρησης θεωρείται η μηνιαία ετοιμότητα σε συνεργεία και προσωπικό, που είναι κοινή και για τους δύο τύπους δικτύων. Η διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός πως οι σηματοδότες πυράκτωσης μια φορά το χρόνο υποβάλλονται σε καθολική συντήρηση των πεδίων τους (πλύσιμο και καθαρισμός τους). Η συγκεκριμένη ενέργεια γίνεται με σκοπό να αυξηθεί η φωτεινότητά τους. Ακόμα δύο φορές το χρόνο γίνεται καθολική αντικατάσταση των λαμπτήρων πυράκτωσης, κάτι που είναι αρκετά επώδυνο για την κρατική οικονομία.

Συμπύσσοντας όλα τα παραπάνω σε μία απλή μαθηματική σχέση, προκύπτει ότι το κόστος κύκλου ζωής της επένδυσης μας είναι συνάρτηση τριών παραγόντων.

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ} = \text{ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ} + \text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ} + \text{ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ}$$

4.6.1 Κόστος Επένδυσης – Αντικατάστασης

Κατά την διαδικασία της αντικατάστασης των λαμπτήρων του υφιστάμενου δικτύου, με λαμπτήρες τύπου LED, γίνεται καθολική αλλαγή του πλαισίου των σηματοδοτών. Συνεπώς το κόστος επένδυσης υπολογίζεται με βάση αυτό το δεδομένο.

Παρακάτω παραθέτονται τα κόστη των σηματοδοτών, ανά είδος, με φωτεινές πηγές LED. Στα κόστη που θα αναφερθούν συνυπολογίζεται το κόστος προμήθειας και το κόστος αντικατάστασης. Οι τιμές που ακολουθούν προέκυψαν από το τιμολόγιο μελέτης αντίστοιχου έργου παροχής υπηρεσιών.

- Για την προμήθεια σηματοδότη, με φωτεινή πηγή τύπου LED χαμηλού, οχημάτων, τριών πεδίων, Φ200mm και φωτεινή ένδειξη κόκκινο-κίτρινο-πράσινο ή κόκκινο-κίτρινο-κίτρινο το κόστος είναι: 475 €
- Για την προμήθεια σηματοδότη, με φωτεινή πηγή τύπου LED χαμηλού, πεζών, δύο πεδίων, Φ 200mm και φωτεινή ένδειξη κόκκινο-πράσινο, με τα απαιτούμενα είδωλα το κόστος είναι: 345 €
- Για την προμήθεια σηματοδότη, με φωτεινή πηγή τύπου LED χαμηλού προειδοποιητικού δύο πεδίων, Φ 200mm και φωτεινών ενδείξεων κίτρινο-κίτρινο, με αφαιρούμενα βέλη το κόστος είναι: 225 €
- Για την προμήθεια σηματοδότη, με φωτεινή πηγή τύπου LED αναρτημένου, οχημάτων, τριών πεδίων, Φ 200 mm και φωτεινών ενδείξεων κόκκινο-κίτρινο-πράσινο ή κόκκινο-κίτρινο-κίτρινο το κόστος είναι: 555 €
- Για την προμήθεια σηματοδότη, με φωτεινή πηγή τύπου LED αναρτημένου, προειδοποιητικού, δύο πεδίων, Φ 200mm και φωτεινών ενδείξεων κίτρινο-κίτρινο το κόστος είναι: 415 €



Εικόνα 8: Φωτεινοί σηματοδότες τριών και δυο πεδίων

4.6.2 Κόστος Λειτουργίας

Η τιμή της κιλοβατώρας αντιστοιχεί στο ποσό των 0,1479 €/kWh (Δ.Ε.Ι., 2017). Επειδή δεν είναι εφικτός ο υπολογισμός αναφορικά με τις μελλοντικές αυξομειώσεις της τιμής της κιλοβατώρας, θεωρείται προσαύξηση τιμής 3%. Γενικά η Περιφέρεια Αττικής κοστολογείται με βάση το τιμολόγιο Γ21 επαγγελματικό της Δ.Ε.Η.

Πίνακας 5: Κόστος ενεργειακών καταναλώσεων για διάρκεια ενός έτους

ΦΩΤΕΙΝΗ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ:	Συνολική Ετήσια Κατανάλωση kWh	Κόστος €/kWh	Συνολικό Κόστος €
ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ	17.612.418,00	0,1479	2.604.876,62
LED	3.219.028,44	0,1479	476.094,31

4.6.3 Κόστος Συντήρησης

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το συνολικό κόστος, είναι το κόστος συντήρησης των φωτεινών σηματοδοτών. Συγκεκριμένα η ανά μήνα απαιτούμενη ετοιμότητα και διαθεσιμότητα σε προσωπικό, οχήματα μεταφοράς και μηχανήματα, καθώς επίσης ανταλλακτικών και πάσης φύσεως υλικών για την αποκατάσταση βλαβών. Στην παρούσα μελέτη δεν μας ενδιαφέρει ο υπολογισμός του κόστους της μηνιαίας ετοιμότητας, καθώς είναι μέγεθος που παραμένει σταθερό και στην περίπτωση που οι σηματοδότες αποτελούνται από λαμπτήρες πυράκτωσης, αλλά και στην περίπτωση που έχουμε την πλήρη αντικατάστασή τους με LED.

Εκείνο που μας ενδιαφέρει είναι η καθολική υποβολή των σηματοδοτών πυράκτωσης σε συντήρηση μία φορά το χρόνο. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει το πλύσιμο και τον καθαρισμό των λαμπτήρων. Το κόστος είναι 8 € ανά πεδίο σηματοδότη. Οι σηματοδότες LED δεν υποβάλλονται σε αυτή τη διαδικασία καθώς είναι στεγανοί.

Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει το κόστος συντήρησης είναι η προληπτική αντικατάσταση των λαμπτήρων πυράκτωσης μία φορά στους έξι μήνες. Το κόστος αυτό είναι 2 € για τους λαμπτήρες επί χαμηλού ιστού σηματοδοτών και 15 € για τους λαμπτήρες επί αναρτημένων ιστών. Σε αυτά τα ποσά προστίθεται και το κόστος προμήθειας των λαμπτήρων που είναι 1,70 € . Οι τιμές αυτές προέκυψαν από το τιμολόγιο μελέτης αντίστοιχου έργου παροχής υπηρεσιών.

4.7 Μελέτη Σκοπιμότητας σε συγκεκριμένο κόμβο

Στη συνέχεια εξετάζεται μελέτη σκοπιμότητας σε συγκεκριμένο κόμβο στο Ν. Αττικής, προκειμένου να γίνει πιο συγκεκριμένη η ανάλυση.

Για την εξαγωγή ενός πιο αντιπροσωπευτικού συμπεράσματος σε σχέση με τη μελέτη σκοπιμότητας, παρουσιάζεται στη συνέχεια μια μελέτη ενός συγκεκριμένου κόμβου, όπου εξετάζονται αναλυτικά όλα τα παραπάνω.

Πρόκειται για την αποτύπωση του κόμβου Κατεχάκη και Μεσογείων. Αποτελείται από 40 σηματοδότες, 22 από τους οποίους είναι τριών πεδίων και οι υπόλοιποι 18 είναι δύο πεδίων. Επίσης 35 από αυτούς είναι χαμηλοί σηματοδότες και 5 είναι ανηρτημένοι.

Η οικονομοτεχνική μελέτη εξετάζεται στο διάστημα των πέντε ετών, όπου είναι ο χρόνος αντικατάστασης των λαμπτήρων LED. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης αντικαθίσταται κάθε έξι μήνες, όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω, οπότε σε αυτό το χρονικό διάστημα θα προστίθεται το κόστος αντικατάστασής τους. Αυτό κυμαίνεται στα 3,70€ έχοντας συνυπολογίσει την προμήθεια και το κόστος εργατικών για τους χαμηλούς σηματοδότες και στα 16,70 για τους ανηρτημένους. Αξίζει να σημειωθεί πως οι λαμπτήρες πυράκτωσης αντικαθίσταται μεμονωμένα (ανά λάμπα δηλαδή), ενώ τα LED αλλάζουν μαζί με ολόκληρο το πλαίσιο ανάρτησης.

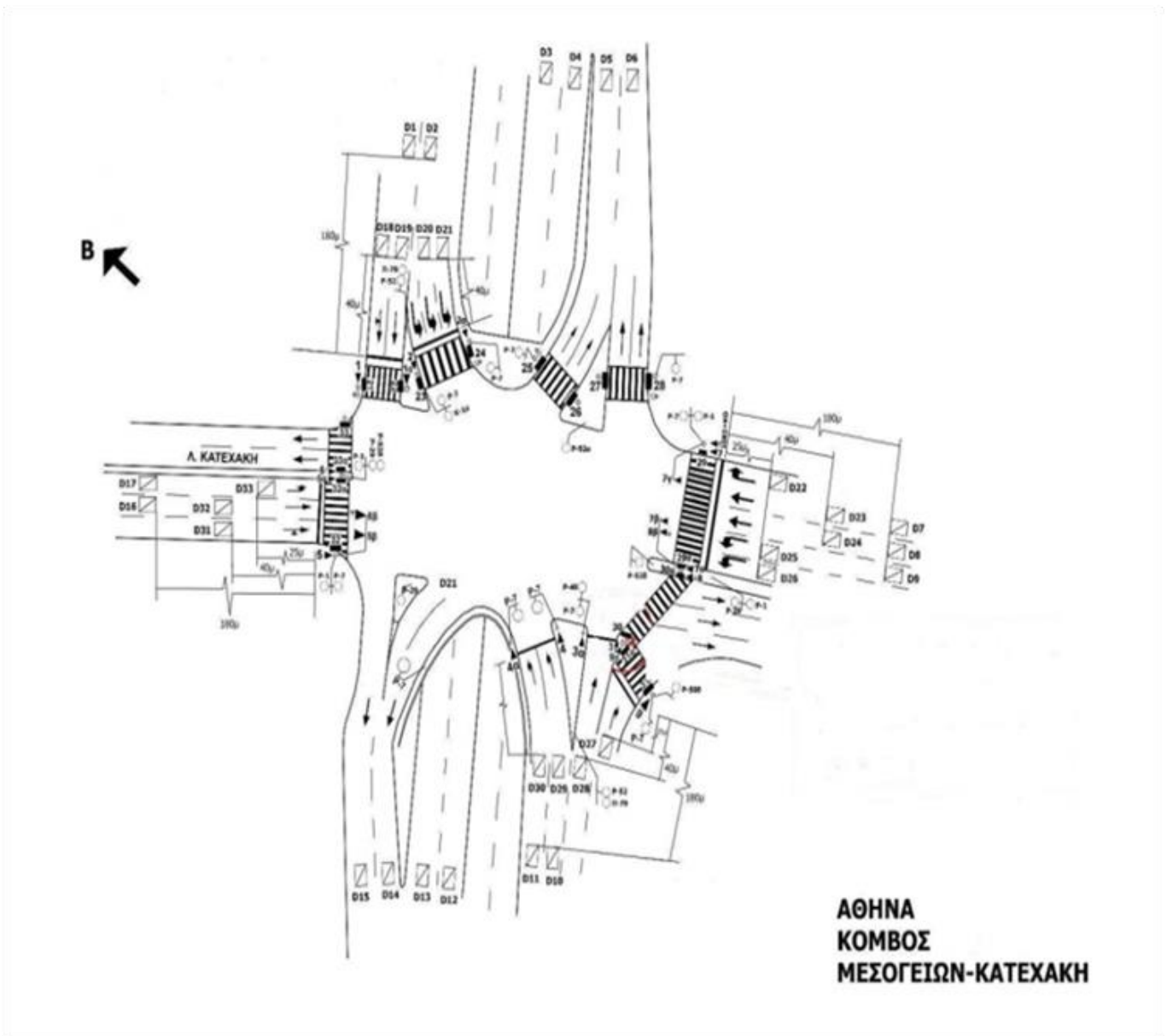
Δεδομένα

- Τιμή ηλεκτρικού ρεύματος 0,1479 €/kWh (**Δ.Ε.Ι., 2017**)
- Θεωρείται προσαύξηση 3%
- Κύκλος ζωής LED 5 έτη
- $87 \text{ χαμηλοί λαμπτήρες σηματοδοτών} \times (2\text{€ κόστος αντικατάστασης} + 1,70 \text{ κόστος προμήθειας λάμπας}) = 321,90\text{€}$
- $15 \text{ ανηρτημένοι λαμπτήρες σηματοδοτών} \times (15\text{€ κόστος αντικατάστασης} + 1,70 \text{ κόστος προμήθειας λάμπας}) = 250,50\text{€}$
- Αντικατάσταση λαμπτήρων πυράκτωσης 6 μήνες
- Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων κόμβου στο διάστημα έξι μηνών 572,40€
- Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων στο διάστημα ενός έτους (αλλάζουν 2 φορές) : 1.145 €
- Κόστος επένδυσης αντικαταστάσεων για το συγκεκριμένο κόμβο:
 - 17 σηματοδότες τριών πεδίων $\times 475\text{€} = 8.075\text{€}$
 - 5 σηματοδότες τριών πεδίων ανηρτημένοι $\times 555\text{€} = 2.775\text{€}$
 - 18 σηματοδότες δύο πεδίων $\times 345\text{€} = 6.210\text{€}$
 - Συνολικό κόστος επένδυσης = 17.060€

Παρακάτω φαίνεται ένα σχέδιο κόμβου, ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η έννοιά του. Ένας κόμβος αποτελείται από έναν τουλάχιστον ρυθμιστή και πολλούς σηματοδότες διαφόρων ειδών. Το σχέδιο που ακολουθεί έχει σχεδιαστεί σε Autocad και αποτελεί την ακριβή αποτύπωση της διασταύρωσης Μεσογείων και Κατεχάκη.

Τα είδη των σηματοδοτών συμβολίζονται με συγκεκριμένο τρόπο ώστε να μπορεί να “διαβαστεί” το σχέδιο της αποτύπωσης. Πιο συγκεκριμένα:

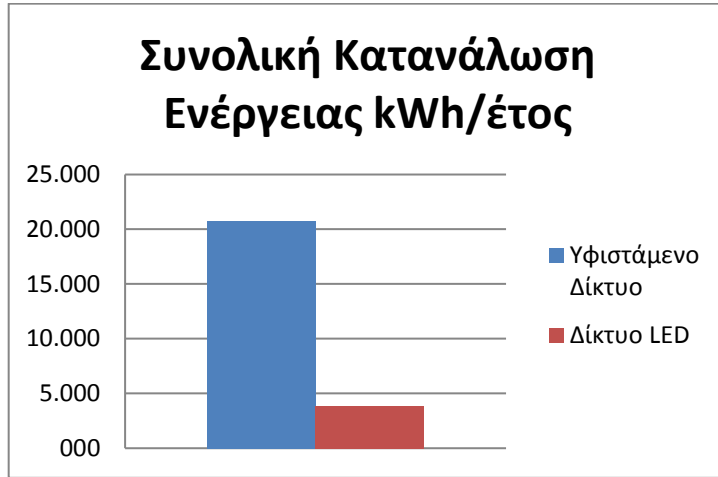
- ▲ Ο τριγωνικός συμβολισμός χρησιμοποιείται για τους σηματοδότες οχημάτων. Όταν αυτοί είναι απλοί ο συγκεκριμένος συμβολισμός είναι επαρκής, ενώ όταν πρόκειται για αναρτημένο σηματοδότη ο τριγωνικός συμβολισμός τοποθετείται στην άκρη του ανηρτημένου ιστού.
- Ο ορθογώνιος συμβολισμός χρησιμοποιείται για τους σηματοδότες πεζών.



Εικόνα 9: Αποτύπωση Κόμβου Μεσογείων-Κατεχάκη

ΕΙΔΟΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ	ΠΛΗΘΟΣ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΩΝ	ΠΛΗΘΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ (Wh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ (Wh)	ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΟΣ ΛΑΜΠΤΗΡΑ LED (Wh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ LED (Wh)
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	17	51	75	1.275	11	187
ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΠΕΖΩΝ	18	36	40	720	11	198
ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	-	-	25	-	3,7	-
ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	5	15	75	375	11	55
ΑΝΗΡΤΗΜΕΝΟΙ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΕΣ	-	-	25	-	3,7	-
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΩΡΑ (Wh):				2.370		440
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ (Wh):				20.761.200,00		3.854.400,00
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ (kWh):				20.761,20		3.854,40
ΕΤΗΣΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΟΦΕΛΟΣ (kWh) :					16.906,80	
ΕΤΗΣΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ € :					2.500,52	
ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ ΣΕ ΕΚΜΠΟΜΠΕΣ CO₂ (kg):					16.720,83	

Πίνακας 6:: Ανάλυση Ενεργειακών Καταναλώσεων Υφιστάμενου δικτύου και δικτύου LED για συγκεκριμένο κόμβο



Γράφημα 4: Σύγκριση συνολικών Ενεργειακών Καταναλώσεων σε kWh/έτος

Πίνακας 7: Αναλυτική παρουσίαση κοστολογήσεων υφιστάμενου και προτεινόμενου δικτύου στον κύκλο ζωής της 5ετίας

Έτος	Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος [€/kWh]	Κατανάλωση [KWh/έτος]		Κόστος κατανάλωσης [€/έτος]		Κόστος συντήρησης/αντικατάστασης [€/έτος]		Συνολικό Ετήσιο Κόστος (λειτουργίας/αντικατάστασης) [€/έτη]		Αθροιστικό Κόστος Δαπάνης		Αθροιστικό Κέρδος [€]
		ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ	LED	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ	LED	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ	LED	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ	LED	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ	LED	
0							17.060,00		17.060,00		17.060,00	-17.060,00
1	0,1479	20.761	3.854	3.070,58	570,07	1.961	0,00	5.031,38	570,07	5.031,38	17.630,07	-12.598,68
2	0,1523	20.761	3.854	3.162,70	587,17	1.961	0,00	5.123,50	587,17	10.154,88	18.217,23	-8.062,35
3	0,1569	20.761	3.854	3.257,58	604,78	1.961	0,00	5.218,38	604,78	15.373,26	18.822,02	-3.448,76
4	0,1616	20.761	3.854	3.355,31	622,93	1.961	0,00	5.316,11	622,93	20.689,37	19.444,94	1.244,43
5	0,1665	20.761	3.854	3.455,97	641,61	1.961	0,00	5.416,77	641,61	26.106,13	20.086,56	6.019,58

4.7.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης (Net Present Value – NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης στην χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής λειτουργίας, ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Όπου:

K_0 : το κόστος της επένδυσης

$ΚΤΡ_t$: οι καθαρές ταμειακές ροές του έτους t

k : η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται

n : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Πίνακας 8: Υπολογισμός ΚΠΑ

Έτος	Λειτουργικές Δαπάνες		ΚΤΡ	$\sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+k)^t}$	
	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ	LED		k = 0,05	k = 0,15
1	5.031,38	570,07	4.461,32	19.951,41 €	15.400,47 €
2	5.123,50	587,17	4.536,33		
3	5.218,38	604,78	4.613,60		
4	5.316,11	622,93	4.693,18		
5	5.416,77	641,61	4.775,15		
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ :			17.060 €		
ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ :			2.891,41 €	-1.659,53 €	

Τα βήματα για τον υπολογισμό της ΚΠΑ είναι:

- Καθορισμός όλων των ταμειακών ροών που συνδέονται με ένα έργο ή μια επένδυση καθώς και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αυτές θα προκύψουν. Οι ταμειακές ροές μπορεί να είναι είτε θετικές (εισροή χρημάτων), είτε αρνητικές (εκροές χρημάτων/δαπάνες).
- Καθορισμός του κατάλληλου προεξοφλητικού επιτοκίου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της Παρούσας Αξίας των μελλοντικών ταμειακών ροών.

- Άθροισμα της Παρούσας Αξίας όλων των ταμειακών ροών, τόσο θετικών όσο και αρνητικών για τον υπολογισμό της ΚΠΑ και κατ' επέκταση της κερδοφορίας της επένδυσης.

Αξιολόγηση επενδυτικού σχεδίου:

Ο στόχος της μεγιστοποίησης της αξίας του έργου, δηλαδή της μεγιστοποίησης της παρούσας αξίας των κερδών, επιτυγχάνεται όταν μεταξύ των άλλων αποφάσεων, έχουμε επιλογές επενδυτικών σχεδίων με την μεγαλύτερη Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ). Έτσι προκύπτει η ακόλουθη διατύπωση του κριτηρίου κατά περίπτωση ως εξής:

- Εάν ΚΠΑ > 0 έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου.
- Εάν ΚΠΑ < 0 έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου.
- Εάν ΚΠΑ = 0 υπάρχει αδιαφορία του επενδυτή ως προς την αποδοχή ή απόρριψη (οριακή κατάσταση).

4.7.2 Κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ΕΒΑ της επένδυσης (Internal Rate of Return – IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, ΕΒΑ, μιας επένδυσης ορίζεται ως το επιτόκιο αναγωγής $k = \text{EBA}$ το οποίο μηδενίζει την ΚΠΑ και προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+\text{EBA})^t} = 0$$

Ύστερα από υπολογισμούς προκύπτει ότι για $k = 10,86\%$ το ΚΠΑ είναι ίσο με το μηδέν. Επομένως $\text{EBA} = 10,86\%$

Το κριτήριο επιλογής διαμορφώνεται ως ακολούθως και βασίζεται στο γεγονός ότι συνήθως η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι μονότονα φθίνουσα συνάρτηση του επιτοκίου αναγωγής με αποτέλεσμα να υπάρχει ένας και μόνο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ). Ειδικότερα η συνθήκη Καθαρής Ταμειακής Ροής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός ($KTP_t \geq 0$), όπως συμβαίνει συνήθως εξασφαλίζει ότι υπάρχει ένας και μόνο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ) και τα δύο κριτήρια της ΚΠΑ και του ΕΒΑ οδηγούν στα ίδια συμπεράσματα (επιλογή ή απόρριψη) όταν αξιολογείται ένα και μόνο συγκεκριμένο επενδυτικό σχέδιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Μέχρι πριν από λίγες δεκαετίες, οι εφαρμογές αστικού φωτισμού στη χώρα μας εξαντλούνταν στην τοποθέτηση ενός απλού λαμπτήρα πυρακτώσεως με ένα τσίγκινο καπελάκι στους ιστούς της ΔΕΗ. Η τεχνική αυτή έχει επιβιώσει ακόμα και στις μέρες μας σε ορισμένα νησιά και παραδοσιακούς οικισμούς και ίσως αποτελεί και την πλέον ενδεδειγμένη μέθοδο φωτισμού των σοκακιών ανάμεσα στα παραδοσιακά κτίρια αυτών των περιοχών, γι' αυτό και δεν θα πρέπει να αλλάξει, κυρίως για λόγους αισθητικής και παράδοσης.

Ο όρος «αστικός φωτισμός» αποτελεί κάτι σχετικά νέο για τη χώρα μας. Οι δημόσιες υπηρεσίες, στα έργα που προκηρύσσουν εξακολουθούν να τον αναφέρουν ως «οδοφωτισμό», εντάσσοντάς τον στην ίδια κατηγορία με τον φωτισμό των οδικών αρτηριών και των αυτοκινητοδρόμων. Όμως τα ζητούμενα από μία εγκατάσταση αστικού φωτισμού είναι διαφορετικά από αυτά που απαιτούνται για τον ασφαλή φωτισμό ενός αυτοκινητόδρομου.

Ως αστικό φωτισμό (Urban Lighting) ορίζουμε τις εγκαταστάσεις αυτές που έχουν σκοπό να φωτίσουν τον περιβάλλοντα χώρο ενός πολεοδομικού ιστού, όπου κινούνται άνθρωποι, ποδήλατα και οχήματα με χαμηλές ταχύτητες, δηλαδή τον φωτισμό στα παρακάτω σημεία (Flashlight, 2017):

- Πεζόδρομοι
- Περιβάλλοντες χώροι κτιρίων
- Πάρκα
- Πλατείες
- Κήποι
- Προαστιακές οδοί

5.2 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία του αστικού φωτισμού ξεκινάει πολύ πριν τη βιομηχανική επανάσταση. Από την κλασική Ελλάδα και τη Ρώμη υπάρχουν αρχαιολογικά ευρήματα από τις πρώτες προσπάθειες του ανθρώπου να κρατήσει το σκοτάδι και τους φόβους, που αυτό δημιουργούσε, έξω από τις πόλεις του. Δαυλοί, λαδοφάναρα, πυρές και οτιδήποτε άλλο μπορούσε να παράγει φως, βοηθούσαν το διαβάτη να νοιώσει περισσότερο ασφαλής από τους κινδύνους της νύχτας.

Η βιομηχανική επανάσταση και η συνεπακόλουθη αστικοποίηση των πληθυσμών επέβαλε πιο συστηματικές προσπάθειες φωτισμού των δρόμων, κυρίως για λόγους ασφαλείας, αν και τα φανάρια φωταερίου στα αστικά κέντρα δεν αποτελούσαν τον ιδανικό φωτισμό που θα απέτρεπε την εγκληματικότητα.

Η καθιέρωση του λαμπτήρα πυρακτώσεως έφερε μία πραγματική επανάσταση στην εξέλιξη του αστικού φωτισμού. Το Παρίσι ήταν η πρώτη Ευρωπαϊκή πρωτεύουσα

που εγκατέστησε χιλιάδες λαμπτήρες στους δρόμους της, κερδίζοντας έτσι το χαρακτηρισμό της «πόλης του φωτός» και μειώνοντας ταυτόχρονα δραματικά τον αριθμό των εγκληματικών επιθέσεων. Από τα τέλη του 19ου αιώνα και για 60 χρόνια δεν υπήρξαν δραματικές αλλαγές στην τεχνολογία του αστικού φωτισμού. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως αποτελούσαν το μοναδικό ίσως μέσον φωτισμού, ενώ δεν είχαν γίνει σοβαρές προσπάθειες να κατασκευαστούν αποτελεσματικά φωτιστικά σώματα, με το κύριο βάρος να πέφτει στην αισθητική τους.

Η τεχνολογία των λαμπτήρων εκκενώσεως υψηλής έντασης (high intensity discharge ή HID) αποτέλεσε τη δεύτερη επανάσταση στην εξέλιξη του αστικού φωτισμού. Ενώ ένας τυπικός λαμπτήρας πυρακτώσεως αποδίδει περίπου 8-10 lm/w (lumen/watt) καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος, ένας λαμπτήρας HID (ατμών Νατρίου ή Υδραργύρου), ακόμα και ξεπερασμένης για την εποχή μας τεχνολογίας απέδιδε 40-75 lm/w, δηλαδή την πενταπλάσια φωτιστική ισχύ.

Το μειονέκτημα των νέων αυτών λαμπτήρων ήταν το αυξημένο κόστος των φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων, ο «νεκρός» χρόνος που απαιτείται μεταξύ της σβέσης και της επανεκκίνησης των λαμπτήρων και ο χαμηλός δείκτης χρωματικής απόδοσης (Color Rendering Index ή CRI) σε σύγκριση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, ο οποίος, με άριστα το 100 για το ηλιακό φως, κυμαίνεται στο 90-95 για ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως και 25-45 για ένα λαμπτήρα HID Νατρίου ή Υδραργύρου. Όμως, η σημαντικά αυξημένη ένταση του φωτισμού για ίδιου μεγέθους ηλεκτρική κατανάλωση αποτέλεσε τον καθοριστικό παράγοντα που οι λαμπτήρες HID εκτόπισαν σταδιακά τους λαμπτήρες πυρακτώσεως από τις εγκαταστάσεις αστικού φωτισμού, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας HID ώστε κάποιοι από τους λαμπτήρες αυτούς (Low Pressure Sodium) να φθάσουν να αποδίδουν μέχρι και 200 lm/w.

Ένα άλλο δυσμενές φαινόμενο που προκλήθηκε από την εκτεταμένη χρήση των λαμπτήρων HID ήταν η σημαντική αύξηση της άεργης ισχύος στα δίκτυα, εξ αιτίας των ισχυρών επαγωγικών ρευμάτων που προκαλούνται από τη διαδικασία λειτουργίας των λαμπτήρων αυτών. Όμως, σταδιακά το πρόβλημα αυτό εξαλείφθηκε με τη χρήση πυκνωτών στα φωτιστικά σώματα ή άλλων διατάξεων βελτίωσης του συντελεστή ισχύος.

Την ίδια εποχή, η εξέλιξη των λαμπτήρων φθορισμού περιορίστηκε κυρίως στις εσωτερικές εγκαταστάσεις φωτισμού των κτιρίων και δεν έγινε εφικτή για εγκαταστάσεις αστικού φωτισμού μέχρι πρόσφατα, όπου πολλά φωτιστικά σώματα που διατίθενται, χρησιμοποιούν λαμπτήρες «οικονομίας» ή Compact Fluorescent Lamps (CFL), όπως είναι ο σωστός τεχνικός τους όρος.

Κατά την τελευταία πενταετία υπήρξε ραγδαία διάδοση των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων σε κεραμικό καυστήρα, τύπου CDM. Οι λαμπτήρες αυτοί, αν και κατηγορίας HID, έχουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά απόδοσης των χρωμάτων (CRI 80-90) και προσφέρουν μία ιδανική λύση που συνδυάζει χαμηλή κατανάλωση με έντονο φωτισμό υψηλής πιστότητας.

Στην Ελλάδα έχουν υιοθετηθεί πολλές και δυστυχώς (τις περισσότερες φορές) ακατάλληλες λύσεις αστικού φωτισμού, από τις διάφορες δημόσιες ή δημοτικές αρχές. Ακόμα και σε έργα που κατασκευάζονται αυτή την εποχή, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν γίνεται κανένας έλεγχος συμμόρφωσης με τις ισχύουσες ευρωπαϊκές και ελληνικές οδηγίες, ενώ δεν υπάρχει καμία αρμόδια αρχή που θα επέβαλλε περιορισμό της φωτορύπανσης στις πόλεις που ζούμε (Flashlight, 2017).



Εικόνα 10: Φωτισμός δρόμων και πλατειών

Η ισχύουσα νομοθεσία περί δημοσίων και δημοτικών έργων δεν επιτρέπει στο μελετητή να προδιαγράψει με ακρίβεια τα φωτιστικά σώματα που αυτός θεωρεί κατάλληλα για την υλοποίηση της μελέτης του και τις περισσότερες φορές αυτά αντικαθίστανται, στην πορεία της ολοκλήρωσης του έργου, από φθηνά, χαμηλής ποιότητας φωτιστικά σώματα τα οποία δεν έχουν τα κατάλληλα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά. Παρ' όλα αυτά, όλο και περισσότεροι μηχανικοί και αρχιτέκτονες δείχνουν ενδιαφέρον να ενημερωθούν για τις λύσεις και τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα, προκειμένου να σχεδιάσουν μία σωστή εγκατάσταση αστικού φωτισμού (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 2006).

5.3 Αναλυτική Παρουσίαση Εννοιών

Η συνήθης λανθασμένη πρακτική

- σχεδίαση οδικού φωτισμού με ελλιπείς μελέτες
- ελλιπής συμμόρφωση σε διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα
- χαμηλή διείσδυση νέων τεχνολογιών φωτισμού (κυρίως στον οδικό φωτισμό)
- ελλιπής ενημέρωση και εκπαίδευση στους δήμους

Στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η ενεργειακή απόδοση είναι ένας από τους βασικότερους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για έξυπνη και βιώσιμη ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει τους εξής στόχους:

- ✓ μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%
- ✓ περισσότερη παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- ✓ εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με παλαιότερες προβλέψεις

Ένας σημαντικός τομέας για επενδύσεις είναι ο φωτισμός του δρόμου, όπου υπάρχουν προοπτικές για μείωση κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και πρόσθετα οφέλη που συνδέονται με την κατάργηση επιβλαβών για το περιβάλλον τεχνολογιών, μείωση του κόστους συντήρησης και επίτευξη καλύτερων συνθηκών φωτισμού των δρόμων.

Ο φωτισμός στο δρόμο

Ο φωτισμός των δρόμων είναι μια βασική δημόσια υπηρεσία, που παρέχεται από τις αρχές σε δημοτικό και τοπικό επίπεδο. Ο καλός φωτισμός είναι απαραίτητος για την οδική ασφάλεια, την προσωπική ασφάλεια και την αστική ατμόσφαιρα. Εξασφαλίζοντας την ορατότητα σε αυτοκινητιστές, ποδηλάτες και πεζούς μειώνει τα ατυχήματα. Παράλληλα διευκολύνει την πρόληψη του εγκλήματος και δημιουργεί αίσθημα ασφάλειας. Τέλος ο καλός φωτισμός θα μπορούσε να συμβάλει στην καλαισθησία μιας πόλης ή μιας κοινότητας (European_Expertise_Center, 2013).

Ωστόσο πολλές εγκαταστάσεις οδοφωτισμού είναι παρωχημένες και ως εκ τούτου άκρως αναποτελεσματικές. Αυτό οδηγεί σε υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και μεγαλύτερα επίπεδα συντήρησης. Για έναν τέτοιο δήμο, ο φωτισμός των οδών μπορεί να ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κατανάλωσης.

Προκαταρκτικός Σχεδιασμός

Μία μελέτη Αστικού Φωτισμού συνιστάται να έχει ως βασικό οδηγό την Ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000, "Guide to the Lighting of Urban Areas". Ειδικά για το

φωτισμό των οδών κυκλοφορίας πεζών και ποδηλάτων πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες για τη διευκόλυνσή τους (Teamenergy, 2017):

- Να μπορούν να προσανατολίζονται οπτικά μέσα στο περιβάλλον
- Να διακρίνουν εμπόδια στην πορεία τους
- Να αντιλαμβάνονται τις κινήσεις και τις προθέσεις άλλων ανθρώπων
- Να μπορούν να διαβάζουν τη σήμανση των οδών
- Να αναγνωρίζουν διάφορα σημεία αναφοράς, δοχεία απορριμμάτων, κράσπεδα, πυροσβεστικούς κρουούς κλπ.
- Να απολαμβάνουν την εμφάνιση του δρόμου και του περιβάλλοντος.

Επίσης, ενώ η επιρροή θάμβωσης πρέπει να ρυθμίζεται με βάση τις οδηγίες της CIE 115-1995, πρέπει παρ' όλα αυτά να εξασφαλίζεται μία ευχάριστη ατμόσφαιρα στον περιπατητή, συνεπώς ένα μικρό θαμβωτικό αποτέλεσμα μπορεί να γίνει αποδεκτό για το σκοπό αυτό, προκειμένου αυτός να μπορεί να διακρίνει τα δένδρα, τους θάμνους και τα άλλα αντικείμενα που βρίσκονται γύρω του.



Εικόνα 11: Φωτισμός πάρκων και πλατειών

Η χρωματική απόδοση της φωτιστικής πηγής έχει μεγάλη επιρροή στο φωτιστικό αποτέλεσμα, συνεπώς αποτελεί μία σημαντική παράμετρο στο σχεδιασμό του φωτισμού, όπως προσδιορίζεται και από την προδιαγραφή CIE 94-1993 (Guide for floodlighting). Από μελέτες που έγιναν πρόσφατα, για ίδια επίπεδα φωτισμού σε ένα χώρο, η αντίληψη του περιβάλλοντος είναι πολύ καλύτερη όταν αυτό φωτίζεται από λαμπτήρες υψηλού δείκτη CRI (> 80).

Η τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων ανάμεσα σε δένδρα είναι επίσης άλλη μία σημαντική παράμετρος, οι αρχές της οποίας ορίζονται στην προδιαγραφή CIE 32-1997.

Είναι αυτονόητο ότι η τήρηση των προαναφερομένων προδιαγραφών εξασφαλίζει ότι δεν θα παρατηρούνται ανεπιθύμητες παρενέργειες στο οικοσύστημα της περιοχής από φωτορύπανση. Άλλωστε, το μικρό σχετικά ύψος των ιστών που

συνήθως επιλέγονται σε εγκαταστάσεις αστικού φωτισμού (3,50-5,00 μ.) και οι ανακλαστικές και σκιαστικές διατάξεις των φωτιστικών, πρέπει να εξασφαλίζουν ότι δεν θα διαχέεται ακτινοβολία προς τον ουρανό και τα ψηλότερα κλαδιά που φιλοξενούν πουλιά σε μία περιοχή φύτευσης, γι αυτό και οι ακαλαίσθητες «μπάλες» που έχουν γεμίσει τις πλατείες και τα πάρκα μας κρίνονται εντελώς ακατάλληλες.

Τέλος, τα φωτιστικά σώματα που θα επιλεγούν, πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή στο βανδαλισμό και στις μηχανικές καταπονήσεις (δείκτη KI 9-10) και υψηλό βαθμό στεγανότητας (>IP65).

Εργαλεία Φωτοτεχνικής Ανάλυσης

Στην εποχή μας υπάρχουν προς διάθεση πλήθος εργαλείων και προϊόντων φωτισμού που βοηθούν στην υλοποίηση των ιδεών μας για το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης αστικού φωτισμού. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν πλέον αρκετές τεχνικές οδηγίες από τις αρμόδιες ευρωπαϊκές επιτροπές που μας καθοδηγούν όσον αφορά τους κανόνες που πρέπει να ακολουθηθούν για μία ασφαλή, λειτουργική και αισθητικά άρτια εγκατάσταση.

Στο διαδίκτυο διατίθενται δωρεάν κάποια πάρα πολύ καλά προγράμματα φωτοτεχνικών υπολογισμών εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, τα οποία βελτιώνονται συνεχώς και μπορούν να βοηθήσουν το μελετητή να προσδιορίσει τα επίπεδα φωτισμού ανάλογα με το είδος και τη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων που θα επιλέξει. Τέτοια προγράμματα, όπως τα Calculux, Relux και Dialux δέχονται βιβλιοθήκες φωτιστικών σωμάτων από τους περισσότερους μεγάλους κατασκευαστές ειδών φωτισμού, οι οποίες επίσης διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο στις αντίστοιχες ιστοσελίδες των κατασκευαστών αυτών και αποτελούν πολύτιμα βοηθήματα στη σύνταξη μιας φωτοτεχνικής μελέτης. Τα προγράμματα αυτά δίνουν αναλυτικά στοιχεία και γραφικές παραστάσεις των εντάσεων φωτισμού που επιτυγχάνονται στον περιβάλλοντα χώρο ή στον δρόμο, βάσει στοιχείων γεωμετρίας, χρώματος, υλικού και υψής που θα περιγράψει ο χρήστης για κάθε επιφάνεια (Flashlight, 2017).

Επιλογή Φωτιστικών Σωμάτων

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε μεγάλος κατασκευαστής φωτιστικών σωμάτων στην Ευρώπη, διαθέτει πληθώρα προϊόντων και φωτιστικών διατάξεων τα οποία έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν το επιθυμητό φωτιστικό αποτέλεσμα και την «ατμόσφαιρα» που θέλει να δώσει ο μελετητής. Ανεξάρτητα λοιπόν με την εταιρεία κατασκευής που θα επιλεγεί, η μελέτη θα πρέπει να επικεντρωθεί στην επιλογή των χαρακτηριστικών που θα ικανοποιούν τις παρακάτω βασικές παραμέτρους:

- A. Φωτοτεχνικά Χαρακτηριστικά Φωτιστικών Σωμάτων:** Τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά ενός φωτιστικού σώματος έχουν να κάνουν με τον τρόπο που αυτό διαχέει το παραγόμενο φως από την σημειακή πηγή (λαμπτήρα). Πρέπει δηλαδή να επιλεγεί μία φωτιστική διάταξη που θα εξασφαλίζει τη

σωστή κατανομή του φωτός στις επιφάνειες που θέλουμε να φωτίσουμε, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις στα επίπεδα του φωτισμού, και με ελεγχόμενη διάχυση του φωτός στον περιβάλλοντα χώρο, ώστε το διαχεόμενο φως να μην δημιουργεί έντονη θάμβωση στον παρατηρητή.

Υπάρχουν διαφορετικού τύπου ανακλαστικά κάτοπτρα για τον φωτισμό επιφανειών οδών ή πλατειών. Επίσης διατίθενται περσιδωτές διατάξεις για φωτισμό του περιβάλλοντος χώρου σε πλατείες ή πάρκα, καθώς και κρύσταλλα (bowls) που επιτρέπουν την ομοιόμορφη διάχυση της ακτινοβολίας στο περιβάλλον, όπου αυτό απαιτείται. Γενικά πρέπει να γίνεται προσπάθεια να μην υπάρχει υπερβολικός φωτισμός των γύρω κτιρίων, ο οποίος θα ενοχλούσε τους ενοίκους, ενώ ένας ελαφρός διάχυτος φωτισμός θεωρείται αναγκαίος. Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι η επιλογή των φωτιστικών σωμάτων να γίνεται κατά τρόπο που δεν θα απαιτείται υπερβολικά πυκνή διάταξή τους στο χώρο, γιατί η μεγάλη ποσότητα φωτιστικών ιστών θα αλλοιώσει ανεπανόρθωτα τη μορφή του χώρου αυτού (Flashlight, 2017).

- B. Αισθητική Σχεδιασμού Φωτιστικών Σωμάτων και Ιστών: Η αισθητική των ίδιων των φωτιστικών σωμάτων δεν θα πρέπει να είναι διαφορετική από την αισθητική και την αρχιτεκτονική μορφή του περιβάλλοντος χώρου. Ένα υπερβολικά μοντέρνο φωτιστικό σώμα, ανεξάρτητα από τον ευφυή σχεδιασμό του και τα πρωτοποριακά υλικά κατασκευής του, θα είναι εντελώς παράταιρο και αισθητικά ανεπαρκές μέσα σε μία περιοχή με παλαιά, πέτρινα ή διατηρητέα κτίρια για παράδειγμα. Αντίθετα, ένα ορειχάλκινο φαναράκι, αντίγραφο παλαιάς γκαζόλαμπας, επάνω σε σκαλιστό χυτοσιδηρό ιστό, θα φαντάζει ξένο, όταν τοποθετηθεί στον περιβάλλοντα χώρο ενός σύγχρονου εμπορικού κέντρου ή ξενοδοχείου. Επίσης ο μελετητής θα πρέπει να εξετάσει τη δυνατότητα πολλών κατασκευαστών να παραδώσουν τα φωτιστικά τους σώματα και τους συνοδευτικούς ιστούς τους σε προεπιλεγμένους χρωματισμούς RAL που θα «δένουν» με τα χρώματα του περιβάλλοντος (Flashlight, 2017).



Εικόνα 12: Φωτισμός πάρκων και πεζοδρόμων

- C. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων: Η επιλογή των λαμπτήρων είναι ίσως μία από τις σημαντικότερες ενέργειες στο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης αστικού φωτισμού. Όπως προαναφέρθηκε, η εξέλιξη της τεχνολογίας, μας προσφέρει πληθώρα λύσεων, αν και στη συντριπτική τους πλειοψηφία, τα τελευταία χρόνια έχουν επικρατήσει οι λαμπτήρες HID μεταλλικών αλογονιδίων σε κεραμικό καυστήρα, τύπου CDM. Οι λαμπτήρες αυτού του τύπου που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αστικού φωτισμού έχουν στην πλειοψηφία τους ισχύ 70, 100 ή 150W με απόδοση περίπου 6.000, 9.000 ή 13.000 lumen αντίστοιχα. Παράγονται σε διαφορετικούς τύπους κάλυκα, ανάλογα με το φωτιστικό σώμα (G12, E27, TD) και έχουν πολύ ικανοποιητική απόδοση και χρόνο ζωής (περίπου 8-10.000 ώρες, που μεταφράζεται σε 4-5 έτη λειτουργίας). Σε λιγότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αυτού του τύπου οι λαμπτήρες με ισχύ 20 και 35W (κυρίως σε στυλίσκους φωτισμού τύπου bollards) ή με ισχύ 250W σε μεγάλου ύψους ιστούς οδοφωτισμού (>10μ.). Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά χρωματικής απόδοσης (CRI = 80-90) και εκπέμπουν λευκό φως σε θερμοκρασία 3.000°K (πιο ζεστή απόχρωση) και 4.200°K (πιο ψυχρό λευκό φως).

Η επιλογή της απόχρωσης του λαμπτήρα είναι πολύ σημαντική για το τελικό αποτέλεσμα και γενικά πρέπει να ακολουθείται ο κανόνας «ζεστά, γήινα υλικά περιβάλλοντος (χώμα, γήινες αποχρώσεις, πορόλιθος κλπ)= ζεστός φωτισμός» και αντίστοιχα «ψυχρά υλικά περιβάλλοντος (μάρμαρο, γρανίτης, γκρί πέτρα, τσιμέντο κλπ) = ψυχρός φωτισμός».

Ένας άλλος τύπος λαμπτήρα που χρησιμοποιείται σπανιότερα είναι αυτός του λευκού Νατρίου (τύπου SDW) ο οποίος αποδίδει το λευκό χρώμα σε απόχρωση λαμπτήρα πυρακτώσεως (2.700°K), αλλά με ελαφρώς κατώτερη χρωματική απόδοση και μικρότερη ένταση φωτισμού για την ίδια ισχύ των λαμπτήρων CDM.

Ειδικά σε χαμηλούς στυλίσκους φωτισμού τύπου bollard με κάλυκα E27, συνηθίζεται να τοποθετούνται λαμπτήρες οικονομίας τύπου CFL, κυρίως με ισχύ 18-25W. Όταν ο μελετητής κάνει αυτή την επιλογή, καλό είναι να επιλέγει λαμπτήρες με απόχρωση 830 (3.000°K). Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν το πλεονέκτημα της άμεσης επαναφοράς μετά από στιγμιαία διακοπή ρεύματος.

Η επιλογή λαμπτήρων πυρακτώσεως αλογόνου θα πρέπει να αποφεύγεται, λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και του μικρού χρόνου ζωής τους (~2.500 ώρες), αν και οι λαμπτήρες αυτοί έχουν σχεδόν τέλειο δείκτη χρωματικής απόδοσης. Παρ' όλα αυτά, και επειδή όπως προαναφέρθηκε, οι λαμπτήρες HID όταν σβήσουν χρειάζονται περίπου 4-7 λεπτά για να ξαναλειτουργήσουν, σε περιοχές που είναι σημαντική η παράμετρος της ασφαλείας ενδείκνυται η παράλληλη εγκατάσταση μικρού αριθμού φωτιστικών με λαμπτήρες αλογόνου οι οποίοι θα επανέλθουν αμέσως σε

περίπτωση στιγμιαίας διακοπής του ρεύματος (από πτώση τάσης ή κεραυνό).

Η τεχνολογία solid state μας υπόσχεται σημαντικές εξελίξεις στον τομέα των φωτοδιόδων (LED) αλλά, επί του παρόντος, εκτός από ορισμένους μεγάλους κατασκευαστές οι οποίοι προσφέρουν προϊόντα LED για αρχιτεκτονικό κυρίως φωτισμό, ο αστικός φωτισμός δεν έχει επωφεληθεί ιδιαίτερα από τη διαθεσιμότητα τέτοιων προϊόντων, εκτός από κάποια φωτιστικά προσδιορισμού θέσης (markers) που διατίθενται στην αγορά. Συνυπολογίζοντας όμως το γεγονός της εξαιρετικά μικρής κατανάλωσης των φωτοδιόδων και του μεγάλου χρόνου ζωής τους (50-100.000 ώρες), είναι βέβαιο ότι σύντομα θα δούμε περισσότερα διαθέσιμα προϊόντα αστικού φωτισμού, αν και το κόστος τους επί του παρόντος είναι απαγορευτικό για τις απαιτούμενες εντάσεις φωτισμού, στις περισσότερες εφαρμογές. Αυτό θα αποτελέσει το αντικείμενο μελέτης στο τρέχον κεφάλαιο (Flashlight, 2017).

- D. Διατάξεις Αυτοματισμού και Εξοικονόμησης Ενέργειας: Υπάρχουν αυτόνομες και εξαρτώμενες διατάξεις για την αφή και σβέση μιας εγκατάστασης αστικού φωτισμού. Οι αυτόνομες διατάξεις λειτουργούν είτε χειροκίνητα, είτε με τη βοήθεια διατάξεων φωτοκυττάρων και χρονοδιακοπών, τα οποία ενεργοποιούν τα ρελαί τροφοδοσίας των κυκλωμάτων. Οι εξαρτώμενες διατάξεις είναι αυτές που λειτουργούν βάσει κάποιου καθορισμένου σήματος από τρίτο παροχέα, όπως η ΔΕΗ η οποία διαθέτει φερόμενη συχνότητα στο δίκτυό της για την αφή και σβέση των οδοφωτισμών.

Επίσης, στην αγορά διατίθενται διατάξεις εξοικονόμησης της ενέργειας με ηλεκτρονικά ballast και συστήματα dimming των λαμπτήρων, έτσι ώστε μετά από κάποια ώρα, όταν η κυκλοφορία έχει ελαχιστοποιηθεί, ο φωτισμός μπορεί να μειωθεί στο 80% ή ακόμα και στο 50% με επακόλουθη σημαντική εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Οι διατάξεις αυτές, εξαιτίας των προηγμένης τεχνολογίας ηλεκτρονικών ballast εξασφαλίζουν και μεγαλύτερο χρόνο ζωής στους λαμπτήρες μιας εγκατάστασης. Ο μελετητής πρέπει όμως να υπολογίζει πάντα ποιο είναι το κόστος μιας τέτοιας επένδυσης και κατά πόσο αυτό μπορεί να αποσβεστεί κατά τη διάρκεια της ζωής της εγκατάστασης (Flashlight, 2017).

- E. Φωτιστικά Σώματα: Συνοπτικά τα φωτιστικά σώματα θα αποτελούνται από:
- Κέλυφος
 - Κώδωνα από διαφανές υλικό
 - Λαμπτήρες
 - Ένα ή περισσότερα κάτοπτρα
 - Λυχνιολαβή
 - Ηλεκτρικά όργανα (στραγγαλιστικά πηνία, εναυστήρες κλπ.)

F. Προβολείς Εξωτερικού Φωτισμού: Οι προβολείς εξωτερικού φωτισμού που αναρτώνται στη στεφάνη των υψηλών ιστών οδοφωτισμού, θα έχουν ικανότητα συνεχούς λειτουργίας σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -10ο C έως 40ο C. Τα υλικά κατασκευής τους θα είναι τέτοια ώστε να μην αλλοιώνεται με την πάροδο του χρόνου και τις δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες. Αυτοί αποτελούνται από τα εξής μέρη (Flashlight, 2017):

- Κέλυφος και οπτικό σύστημα
- Γυάλινο κάλυμμα
- Διάταξη στήριξης ισχυρής κατασκευής
- Ηλεκτρική μονάδα

ΠροτερήματαLED

Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα βασικότερα πλεονεκτήματα των λαμπτήρων LED.

- Διάρκεια ζωής: Οι λαμπτήρες LED έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής σε σχέση με όλους τους άλλους τύπους λαμπτήρων που υπάρχουν στην αγορά.
- Ανθεκτικότητα: Επειδή οι λαμπτήρες LED δεν έχουν λεπτό γυάλινο περίβλημα και αποτελούνται κυρίως από πολυκαρβονικό υλικό είναι ανθεκτικοί και δεν σπάνε όπως οι κλασικοί λαμπτήρες
- Θερμοκρασία: Οι λαμπτήρες LED δεν εκπέμπουν θερμότητα κατά την διάρκεια λειτουργίας τους.
- Δεν περιέχουν υδράργυρο: Δεν χρησιμοποιείται υδράργυρος για την κατασκευή των λαμπτήρων LED
- Αποδοτικότητα: Οι λαμπτήρες LED καταναλώνουν λιγότερο, σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη λαμπτήρων. Εκτός του ότι καταναλώνουν λιγότερο ρεύμα συμβάλλουν στην οικονομία με την εξαιρετικά υψηλή διάρκεια ζωής τους.
- Περιέχουν συστήματα διαχείρισης φωτισμού

5.4 Μελέτη Ενεργειακών Καταναλώσεων

Περνώντας από την ιστορική αναδρομή και τα γενικά χαρακτηριστικά των πιο διαδεδομένων φωτιστικών σωμάτων, οδηγείται κανείς στο σήμερα και στα πραγματικά γεγονότα.

Σκοπός είναι η μελέτη αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων υφιστάμενου δικτύου αστικού φωτισμού για μια σύγχρονη πόλη, με λαμπτήρες τύπου LED. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται έχουν αντληθεί από το Δήμο της Αγίας Παρασκευής (enyrografa.gr, 2017).

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά όλα τα είδη φωτιστικών σωμάτων που υπάρχουν στο υφιστάμενο δίκτυο, καθώς και το πλήθος αυτών σε αντιπαράθεση με τους λαμπτήρες τύπου LED που θα αντικατασταθούν, καθώς και τις αντίστοιχες καταναλώσεις τους.

Πίνακας 9: Αντιπαράθεση Φωτιστικών Σωμάτων με βάση την ισχύ

Υφιστάμενο Δίκτυο		Αντικατάσταση με		
Φωτιστικά	Ισχύς	Πλήθος	Φωτιστικά / Λαμπτήρες	Ισχύς
Φωτιστικά σώματα 70W	82	500	Λαμπτήρας LED ≤ 30W	27
Φωτιστικά σώματα 125W	147	109	Λαμπτήρας LED ≤ 55W	36
Φωτιστικά σώματα 250W	294	294	Λαμπτήρας LED ≤ 110W	80
Ανηρτημένα Φωτιστικά σώματα 125W	147	3.284	Λαμπτήρας LED ≤ 55W	40
Ανηρτημένα Φωτιστικά σώματα 250W	294	10	Φωτιστικό Δρόμου ≤ 110W	90
Ανηρτημένα Φωτιστικά σώματα 400W	471	317	Φωτιστικό Δρόμου ≤ 180W	120

Δεδομένα:

- Χρόνος λειτουργίας φωτιστικών σωμάτων: Για τη χειμερινή περίοδο, δηλαδή για τους μήνες από τον Οκτώβριο έως και τον Μάρτιο, θεωρούνται ως μέσο ημερήσιο διάστημα λειτουργίας φωτιστικών σωμάτων οι δώδεκα ώρες (12 h). Αντίστοιχα για τη θερινή περίοδο, δηλαδή για τους μήνες από τον Απρίλιο έως και τον Σεπτέμβριο, θεωρούνται ως μέσο ημερήσιο διάστημα λειτουργίας φωτιστικών σωμάτων οι εννέα ώρες (9 h). Αυτό σημαίνει ότι ο ετήσιος μέσος όρος λειτουργίας φωτιστικών σωμάτων είναι οι: 10, 5 ώρες την ημέρα.
- Κόστος kWh ειδικού τιμολογίου: 0,1479 €/kWh (Δ.Ε.Ι., 2017)
- Ετήσιος Ρυθμός Αύξησης Ειδικού Τιμολογίου ΔΕΗ: 3%
- Ετήσιος Ρυθμός Αύξησης Εξόδων Συντήρησης: 1,50%

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά όλων των ειδών λαμπτήρων φωτιστικών σωμάτων του υφιστάμενου δικτύου, καθώς και τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων LED, με τους οποίους πρόκειται να γίνει η αντικατάσταση.

Για κάθε είδος φαίνεται η ισχύς του σε WATT, αλλά και η πραγματική τους κατανάλωση (στους λαμπτήρες τύπου LED τα δύο μεγέθη ταυτίζονται μεταξύ τους).

Η συνολική κατανάλωση ανά ώρα προκύπτει από το γινόμενο της πραγματικής κατανάλωσης κάθε είδους και του πλήθους των τεμαχίων του. Η συνολική ημερήσια κατανάλωση του δικτύου (υφιστάμενου ή μελλοντικού) είναι το άθροισμα των συνολικών ωριαίων καταναλώσεων κάθε είδους, πολλαπλασιασμένο με το μέσο χρόνο λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων ανά ημέρα (10,5 h) και διαιρεμένο με το 1.000, ώστε να προκύψει το αποτέλεσμα σε kWh. Η συνολική ετήσια κατανάλωση σε kWh προκύπτει από το παραπάνω ποσό πολλαπλασιασμένο με 365 (οι μέρες του χρόνου).

Όπως φαίνεται παρακάτω:

Συνολική ετήσια κατανάλωση (kW/h) = 2.983.424,96 για το υφιστάμενο δίκτυο

Συνολική ετήσια κατανάλωση (kW/h) = 809.592,63 δίκτυο με λαμπτήρες LED

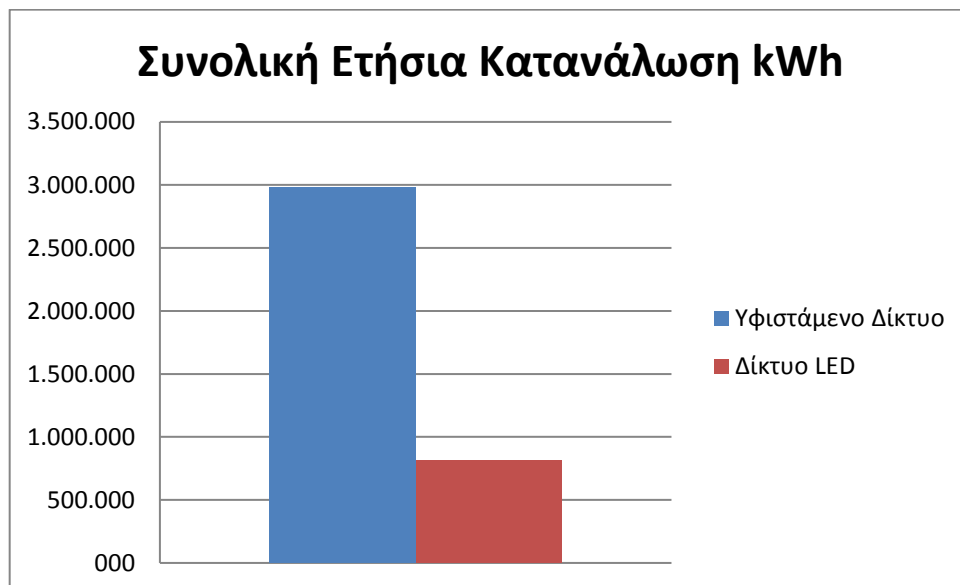
Ετήσιο ενεργειακό όφελος (kW/h) = 2.173.832,33

Ετήσιο οικονομικό όφελος (€) = Ετήσιο ενεργειακό όφελος (kW/h) × Κόστος κλοβατώρας ειδικού τιμολογίου (€/kWh) =
= 2.173.832,33(kW/h) × 0,1479 €/kWh = 321.509,80 €

Βελτίωση εκπομπών CO_2 = Ετήσιο ενεργειακό όφελος (kW/h) × Συντελεστή
εκπομπών CO_2 ανά παραγόμενη kWh στην Ελλάδα =
= 2.173.832,33(kW/h) × 989 (g/kWh) = 2.149.920.174,37 g ή 2.149.920,17 kg

Πίνακας 10: Αναλυτική Παρουσίαση ενεργειακών καταναλώσεων

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚWh & €							
	Τύπος Λαμπτήρα / Φωτιστικού	Ισχύς (WATT)	Τεμάχια	Πραγματική Κατανάλωση Wh	Συνολική Κατανάλωση /Ωρα	Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση KWh	Συνολική Ετήσια Κατανάλωση KWh
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΙ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ / ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΠΑΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ	Φωτιστικά σώματα 70W	70	500	82	41.000	8.173,77	2.983.424,96
	Φωτιστικά σώματα 125W	125	109	147	16.023		
	Φωτιστικά σώματα 250W	250	294	294	86.436		
	Ανηρητημένα Φωτιστικά σώματα 125W	125	3.284	147	482.748		
	Ανηρητημένα Φωτιστικά σώματα 250W	250	10	294	2.940		
	Ανηρητημένα Φωτιστικά σώματα 400W	400	317	471	149.307		
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ / ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ LED	Λαμπτήρας LED ≤ 30W	27	500	27	13.500	2.218,06	809.592,63
	Λαμπτήρας LED ≤ 55W	36	109	36	3.924		
	Λαμπτήρας LED ≤ 110W	80	294	80	23.520		
	Λαμπτήρας LED ≤ 55W	40	3.284	40	131.360		
	Φωτιστικό Δρόμου ≤ 110W	90	10	90	900		
	Φωτιστικό Δρόμου ≤ 180W	120	317	120	38.040		
ΕΤΗΣΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΟΦΕΛΟΣ (KWh):						2.173.832,33	
ΕΤΗΣΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ (€):						321.509,80 €	
ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂(kg):						2.149.920,17	



Γράφημα 5: Συνολική Ετήσια κατανάλωση σε kWh

5.5 Εκπομπές CO₂

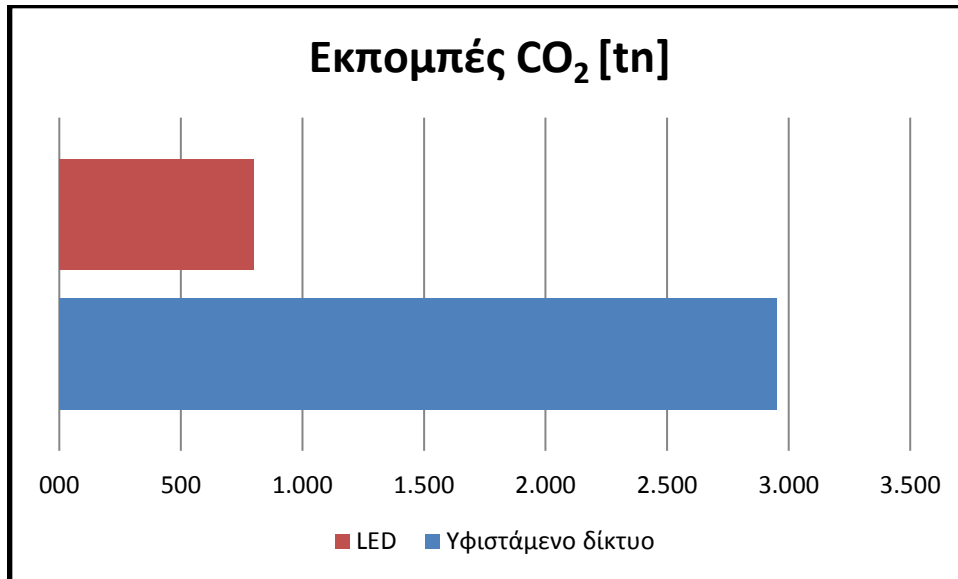
Ένας από τους πιο σημαντικούς λόγους που θα έπρεπε κανείς να προχωρήσει σε μια αντικατάσταση λαμπτήρων και να τοποθετήσει LED, είναι η βελτίωση των εκπομπών CO₂.

- Ο συντελεστής εκπομπών CO₂ ανά παραγόμενη kWh στην Ελλάδα είναι: 989 g/kWh.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές ετήσιες καταναλώσεις σε kWh για το υφιστάμενο δίκτυο και για το δίκτυο με λαμπτήρες LED. Τα ποσά αυτά πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή εκπομπών CO₂ και προκύπτουν έτσι οι εκπομπές CO₂ σε τόνους για τους δύο τύπους δικτύων.

Πίνακας 11: Εκπομπές CO₂ για τους δυο τύπους δικτύων

	Συνολική Ετήσια Κατανάλωση kWh	Εκπομπές CO ₂ (g)	Εκπομπές CO ₂ (tn)
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΙ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ / ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΠΑΛΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ	2.983.424,96	2.950.607.280,50	2.950,61
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ / ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ LED	809.592,63	800.687.111,07	800,69



Γράφημα 6: Εκπομπές CO₂ σε tn

Με δεδομένο την αντικατάσταση των λαμπτήρων του υφιστάμενου δικτύου με λαμπτήρες τύπου LED παρατηρείται:

- Μείωση εκπομπών κατά 73%.
- Το συνολικό ποσό μείωσης εκπομπών CO₂ σε tn είναι 2.149,92.

5.6 Μελέτη Σκοπιμότητας – Οικονομοτεχνική Περιγραφή

Η συνάρτηση που περιγράφει τον κύκλο ζωής μιας τέτοιας επένδυσης είναι:

$$\text{ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ} = \text{ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ} + \text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ} + \text{ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ}$$

➤ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικά κόστη για κάθε τύπο λαμπτήρα. Το κόστος αναφέρεται σε € ανά τεμάχιο. Το ενδεικτικό συνολικό κόστος επένδυσης για το Δήμο Αγίας Παρασκευής ανέρχεται στο 1.273.850 €.

Πίνακας 12: Κόστος Επένδυσης αντικατάστασης λαμπτήρων υφιστάμενου δικτύου με LED

	Τύπος	Watt	Τιμή Μονάδας	Πλήθος	Κόστη
Ενδεικτικά Κόστη Προτεινόμενων Λαμπτήρων / Φωτιστικών	Λαμπτήρας LED ≤ 30W	27	80,00 €	500	40.000,00 €
	Λαμπτήρας LED ≤ 55W	36	110,00 €	109	11.990,00 €
	Λαμπτήρας LED ≤ 110W	80	140,00 €	294	41.160,00 €
	Λαμπτήρας LED ≤ 55W	40	300,00 €	3.284	985.200,00 €
	Φωτιστικό Δρόμου ≤ 110W	90	530,00 €	10	5.300,00 €
	Φωτιστικό Δρόμου ≤ 180W	120	600,00 €	317	190.200,00 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ				

➤ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το κόστος λειτουργίας για το νέο δίκτυο προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$\begin{aligned} \text{Κόστος Λειτουργίας (€)} &= \text{Συνολική ετήσια κατανάλωση νέου δικτύου (kW/h)} \times \\ &\text{Κόστος κιλοβατώρας ειδικού τιμολογίου (€/kWh)} = \\ &= 809.592,63(\text{kW/h}) \times 0,1479 \text{ €/kWh} = 119.738,75 \text{ €} \end{aligned}$$

Ενώ το κόστος λειτουργίας του υφιστάμενου δικτύου είναι:

$$\begin{aligned} \text{Κόστος Λειτουργίας (€)} &= \text{Συνολική ετήσια κατανάλωση υφιστάμενου δικτύου} \\ &(\text{kW/h}) \times \text{Κόστος κιλοβατώρας ειδικού τιμολογίου (€/kWh)} = \\ &= 2.983.424,96(\text{kW/h}) \times 0,1479 \text{ €/kWh} = 441.248,55 \text{ €} \end{aligned}$$



Γράφημα 7: Ετήσια Κόστη Λειτουργίας

➤ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Λαμβάνεται ως δεδομένο από τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από το δήμο Αγίας Παρασκευής, πως το κόστος συντήρησης του υφιστάμενου δικτύου κυμαίνεται στα 105.450 € για ένα έτος. Αυτό σημαίνει περίπου 24 € ανά λαμπτήρα.

Όπως αναφέρεται και στις παραδοχές ο ετήσιος ρυθμός αύξησης εξόδων συντήρησης είναι 1,5%. Όποτε για κάθε έτος πέραν του πρώτου έτους το κόστος συντήρησης προσαυξάνεται κατά 1,5%.

Θεωρείται πως μετά την αντικατάσταση των λαμπτήρων του υφιστάμενου δικτύου, με λαμπτήρες τύπου LED, το κόστος συντήρησης μειώνεται κατά 60%. Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται προσεγγιστικά λαμβάνοντας δεδομένα από το δήμο Αγίας Παρασκευής. Η μείωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω των χαρακτηριστικών των λαμπτήρων LED και της αντοχής τους, οι φθορές είναι λιγότερες και έτσι δαπανείται μικρότερο ποσό για τη συντήρηση, καθώς και απασχολείται λιγότερο προσωπικό.

Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει αναλυτικά όλα τα στοιχεία σε σχέση με τα κόστη καταναλώσεων, τα κόστη συντήρησης και τα αθροιστικά κόστη.

- Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη στήλη φαίνονται τα έτη – κύκλος ζωής LED, που θεωρείται η δωδεκαετία. Σε αυτό το διάστημα τα LED αλλάζουν μία φορά και το κόστος αντικατάστασης είναι το κόστος επένδυσης. Οποιαδήποτε περαιτέρω αντικατάσταση λαμπτήρων και για τους δύο τύπους δικτύων χρειαστεί, το κόστος συμπεριλαμβάνεται στα κόστη συντήρησης.
- Στην δεύτερη στήλη αναφέρεται το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, που για κάθε έτος προσαυξάνεται κατά 3%.
- Στην τρίτη στήλη φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας του υφιστάμενου δικτύου
- Στην τέταρτη στήλη φαίνεται το κόστος κατανάλωσης του υφιστάμενου δικτύου, που προκύπτει από το γινόμενο της κατανάλωσης ενέργειας υφιστάμενου δικτύου και του εκάστοτε κόστους ηλεκτρικού ρεύματος.
- Στην πέμπτη στήλη φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας του νέου δικτύου με λαμπτήρες LED.
- Στην έκτη στήλη φαίνεται το κόστος κατανάλωσης του νέου δικτύου, που προκύπτει από το γινόμενο της κατανάλωσης ενέργειας του νέου δικτύου και του εκάστοτε κόστους ηλεκτρικού ρεύματος.
- Στην έβδομη και στην όγδοη στήλη φαίνονται αντιστοίχως τα κόστη συντήρησης για το υφιστάμενο δίκτυο και για το νέο δίκτυο. Για το υφιστάμενο δίκτυο κατά το πρώτο έτος θεωρείται το ποσό που έχει ληφθεί από τη μελέτη του δήμου Αγίας Παρασκευής, όπως αναφέρεται και

παραπάνω και εν συνεχεία για τα υπόλοιπα έτη το ποσό αυτό προσαυξάνεται κατά 1,5%. Για το νέο δίκτυο κατά το πρώτο έτος θεωρείται, το ποσό του πρώτου έτους του υφιστάμενου δικτύου, μειωμένο κατά 60%. Εν συνεχεία για τα υπόλοιπα έτη το ποσό αυτό προσαυξάνεται κατά 1,5%. Στο πρώτο έτος του νέου δικτύου στο κόστος συντήρησης έχει προστεθεί και το κόστος επένδυσης.

- Στην ένατη και στη δέκατη στήλη φαίνονται τα συνολικά ετήσια κόστη (επένδυση, λειτουργία και συντήρηση) για το κάθε δίκτυο.
- Στην ενδέκατη και στη δωδέκατη στήλη παρουσιάζονται τα αθροιστικά συνολικά κόστη για το κάθε δίκτυο.
- Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η διαφορά των ποσοτήτων των στηλών των αθροιστικών συνολικών κοστολογήσεων των δύο δικτύων. Εκεί που η ποσότητα γίνεται θετική η επένδυση ξεκινάει να έχει κέρδη και έχει γίνει η απόσβεση.

Πίνακας 13: Αναλυτική παρουσίαση κοστολογήσεων δυο τύπων δικτύων στον κύκλο ζωής της 12ετίας

Έτος	Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος [€/kWh]	Κατανάλωση [KWh/ έτος] Υφιστάμενου δικτύου	Κόστος κατανάλωσης [€/έτος] Υφιστάμενου δικτύου	Κατανάλωση [KWh/ έτος] Μελέτη led	Κόστος κατανάλωσης [€/έτος] Μελέτη led	Κόστος συντήρησης [€/έτος] Υφιστάμενου δικτύου	Κόστος συντήρησης [€/έτος] Μελέτη led	Συνολικό Ετήσιο Κόστος Υφιστάμενου δικτύου	Συνολικό Ετήσιο Κόστος Μελέτη led	Αθροιστικό Κόστος Υφιστάμενου δικτύου	Αθροιστικό Κόστος Μελέτη led	Κέρδος [€]
0											1.273.850	-1.273.850
1	0,1479	2.983.424,96	441.248,55	809.592,63	119.738,75	105.450,0	42.180	546.698,55	161.918,75	546.698,55	1.435.768,75	-889.070,20
2	0,1523	2.983.424,96	454.486,01	809.592,63	123.330,91	107.031,8	42.812,70	561.517,76	166.143,61	1.108.216,31	1.601.912,36	-493.696,05
3	0,1569	2.983.424,96	468.120,59	809.592,63	127.030,84	108.637,2	43.454,89	576.757,81	170.485,73	1.684.974,12	1.772.398,09	-87.423,97
4	0,1616	2.983.424,96	482.164,21	809.592,63	130.841,77	110.266,8	44.106,71	592.430,99	174.948,48	2.277.405,11	1.947.346,57	330.058,54
5	0,1665	2.983.424,96	496.629,13	809.592,63	134.767,02	111.920,8	44.768,31	608.549,92	179.535,33	2.885.955,03	2.126.881,90	759.073,13
6	0,1715	2.983.424,96	511.528,01	809.592,63	138.810,03	113.599,6	45.439,84	625.127,60	184.249,87	3.511.082,63	2.311.131,77	1.199.950,86
7	0,1766	2.983.424,96	526.873,85	809.592,63	142.974,33	115.303,6	46.121,44	642.177,44	189.095,77	4.153.260,07	2.500.227,54	1.653.032,53
8	0,1819	2.983.424,96	542.680,06	809.592,63	147.263,56	117.033,1	46.813,26	659.713,21	194.076,82	4.812.973,28	2.694.304,36	2.118.668,92
9	0,1874	2.983.424,96	558.960,46	809.592,63	151.681,47	118.788,6	47.515,46	677.749,11	199.196,92	5.490.722,38	2.893.501,28	2.597.221,10
10	0,1930	2.983.424,96	575.729,28	809.592,63	156.231,91	120.570,5	48.228,19	696.299,75	204.460,10	6.187.022,13	3.097.961,38	3.089.060,75
11	0,1988	2.983.424,96	593.001,15	809.592,63	160.918,87	122.379,0	48.951,61	715.380,18	209.870,48	6.902.402,32	3.307.831,86	3.594.570,46
12	0,2047	2.983.424,96	610.791,19	809.592,63	165.746,43	124.214,7	49.685,89	735.005,90	215.432,32	7.637.408,22	3.523.264,18	4.114.144,05

5.6.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης (Net Present Value – NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης στην χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής λειτουργίας, ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Όπου:

K_0 : το κόστος της επένδυσης

KTP_t : οι καθαρές ταμειακές ροές του έτους t

k : η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται

n : η διάρκεια ζωής της επένδυσης

Πίνακας 14: Υπολογισμός ΚΠΑ

Έτος	Λειτουργικές Δαπάνες		ΚΤΡ	$\sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+k)^t}$		
	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ	ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ LED		k = 0,05	k = 0,25	k = 0,35
1	546.698,55	161.918,75	384.779,80	3.917.086,54 €	1.565.336,17 €	1.148.329,73 €
2	561.517,76	166.143,61	395.374,14			
3	576.757,81	170.485,73	406.272,08			
4	592.430,99	174.948,48	417.482,51			
5	608.549,92	179.535,33	429.014,59			
6	625.127,60	184.249,87	440.877,74			
7	642.177,44	189.095,77	453.081,67			
8	659.713,21	194.076,82	465.636,39			
9	677.749,11	199.196,92	478.552,18			
10	696.299,75	204.460,10	491.839,65			
11	715.380,18	209.870,48	505.509,71			
12	735.005,90	215.432,32	519.573,59			
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ :				1.273.850 €		
ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ :				2.643.236,54 €	291.486,17 €	-125.520,27 €

Τα βήματα για τον υπολογισμό της ΚΠΑ είναι:

- Καθορισμός όλων των ταμειακών ροών που συνδέονται με ένα έργο ή μια επένδυση καθώς και το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αυτές θα προκύψουν. Οι ταμειακές ροές μπορεί να είναι είτε θετικές (εισροή χρημάτων), είτε αρνητικές (εκροές χρημάτων/δαπάνες).

- Καθορισμός του κατάλληλου προεξοφλητικού επιτοκίου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της Παρούσας Αξίας των μελλοντικών ταμειακών ροών.
- Άθροισμα της Παρούσας Αξίας όλων των ταμειακών ροών, τόσο θετικών όσο και αρνητικών για τον υπολογισμό της ΚΠΑ και κατ' επέκταση της κερδοφορίας της επένδυσης.

Αξιολόγηση επενδυτικού σχεδίου:

Ο στόχος της μεγιστοποίησης της αξίας του έργου, δηλαδή της μεγιστοποίησης της παρούσας αξίας των κερδών, επιτυγχάνεται όταν μεταξύ των άλλων αποφάσεων, έχουμε επιλογές επενδυτικών σχεδίων με την μεγαλύτερη Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ). Έτσι προκύπτει η ακόλουθη διατύπωση του κριτηρίου κατά περίπτωση ως εξής:

- Εάν ΚΠΑ > 0 έχουμε επιλογή του επενδυτικού σχεδίου.
- Εάν ΚΠΑ < 0 έχουμε απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου.
- Εάν ΚΠΑ = 0 υπάρχει αδιαφορία του επενδυτή ως προς την αποδοχή ή απόρριψη (οριακή κατάσταση).

5.6.2 Κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης ΕΒΑ της επένδυσης (Internal Rate of Return – IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, ΕΒΑ, μιας επένδυσης ορίζεται ως το επιτόκιο ως το επιτόκιο αναγωγής $k = \text{EBA}$ το οποίο μηδενίζει την ΚΠΑ και προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+\text{EBA})^t} = 0$$

Ύστερα από υπολογισμούς προκύπτει ότι για $k = 31,384\%$ το ΚΠΑ είναι ίσο με το μηδέν. Επομένως $\text{EBA} = 31,384\%$.

Το κριτήριο επιλογής διαμορφώνεται ως ακολούθως και βασίζεται στο γεγονός ότι συνήθως η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι μονότονα φθίνουσα συνάρτηση του επιτοκίου αναγωγής με αποτέλεσμα να υπάρχει ένας και μόνο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ). Ειδικότερα η συνθήκη Καθαρής Ταμειακής Ροής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός ($KTP_t \geq 0$), όπως συμβαίνει συνήθως εξασφαλίζει ότι υπάρχει ένας και μόνο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (ΕΒΑ) και τα δύο κριτήρια της ΚΠΑ και του ΕΒΑ οδηγούν στα ίδια συμπεράσματα (επιλογή ή απόρριψη) όταν αξιολογείται ένα και μόνο συγκεκριμένο επενδυτικό σχέδιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε μια σειρά συμπερασμάτων τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

- Η υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών LED οδηγεί σε μείωση Ενεργειακών Καταναλώσεων, Λειτουργικών Δαπανών και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και παράλληλη βελτίωση στην ποιότητα παραγωγής φωτός.

Τόσο στις εγκαταστάσεις φωτεινής σηματοδότησης, όσο και στις εγκαταστάσεις αστικού φωτισμού των πόλεων, χρησιμοποιούνται συμβατικοί λαμπτήρες, πράγμα που δεν διευκολύνει την μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων. Η τεχνολογία των LED καλείται να λύσει αυτό το πρόβλημα. Δήμοι και Περιφέρειες δύναται να μελετήσουν την πιθανότητα εκσυγχρονισμού των υπάρχοντων δικτύων, ώστε να πετύχουν μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, μιας και ο φωτισμός πόλεων και η φωτεινή σηματοδότηση αποτελούν βασικούς τομείς κατανάλωσης ενέργειας. Με μια ενδεχόμενη αντικατάσταση των υφιστάμενων δικτύων με λαμπτήρες τύπου LED, όπως έχει μελετηθεί παραπάνω, οι ενεργειακές καταναλώσεις μειώνονται κατά μεγάλο ποσοστό και συγκεκριμένα μπορεί να επιτευχθεί μείωση ενεργειακών καταναλώσεων έως και 81,7 % όσον αφορά τη φωτεινή σηματοδότηση και 73 % όσον αφορά τον αστικό φωτισμό, για χρονικό διάστημα ενός έτους.

Ως απόρροια της μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων στον αστικό φωτισμό και τη φωτεινή σηματοδότηση επιτυγχάνεται αντίστοιχη ποσοστιαία μείωση στο κόστος λειτουργικών δαπανών. Σε ετήσια βάση οι δήμοι αναγκάζονται να ξοδεύουν μεγάλο ποσό από τα διαθέσιμα κονδύλια τους για τον φωτισμό των δρόμων και για την λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών. Με την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται μέσω την νέας τεχνολογίας LED, οι δήμοι θα μπορούν να διαθέσουν πλέον μικρότερο ποσό σε αυτούς τους δυο τομείς και να αξιοποιήσουν καλύτερα τα δημόσια κονδύλια καλύπτοντας άλλες ανάγκες.

Με τη χρήση λαμπτήρων τύπου LED στη φωτεινή σηματοδότηση και στον φωτισμό πόλεων εκτός από τη ραγδαία μείωση του κόστους καταναλώσεων, μειώνονται σημαντικά και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Το ποσοστό μείωσης για τη φωτεινή σηματοδότηση αγγίζει το 81,7 %, ενώ για τον οδικό φωτισμό του δήμου Αγίας Παρασκευής αυτό το ποσοστό είναι 73%.

Η τεχνολογία των LED προσφέρει καλύτερη ποιότητα φωτισμού όσον αφορά τον αστικό φωτισμό, ενώ παράλληλα βελτιώνει την αισθητική των πόλεων. Αντίστοιχα και στη φωτεινή σηματοδότηση με την χρήση λαμπτήρων τύπου LED οι φωτεινές ενδείξεις φαίνονται από πιο μακρινές αποστάσεις ακόμα και σε άσχημες καιρικές συνθήκες, χωρίς να μειώνεται η ένταση του φωτός που παράγουν. Έτσι βελτιώνονται οι συνθήκες οδήγησης και μπορούν να

προληφθούν πιθανά ατυχήματα λόγω ανεπαρκή φωτισμού και ακατάλληλων εγκαταστάσεων φωτεινών σηματοδοτών.

- Βιωσιμότητα σεναρίου αντικατάστασης λαμπτήρων πυράκτωσης με λαμπτήρες LED στη φωτεινή σηματοδότηση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται το ενδεχόμενο αντικατάστασης των λαμπτήρων πυρακτώσεως του υφιστάμενου δικτύου, με λαμπτήρες τεχνολογίας LED. Αυτό το σενάριο κρίνεται βιώσιμο έχοντας υπολογίσει τους δείκτες της Καθαρής Παρούσας Αξίας και τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης. Τον τέταρτο χρόνο μετά την επένδυση γίνεται η απόσβεση του επενδυτικού σχεδίου. Σύμφωνα με το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης προκύπτει ότι στον κύκλο ζωής των λαμπτήρων LED, δηλαδή σε χρονικό διάστημα πέντε χρόνων, η απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται αγγίζει το 11 %.

- Βιωσιμότητα σεναρίου αντικατάστασης συμβατικών λαμπτήρων με λαμπτήρες LED στον αστικό φωτισμό.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετάται το ενδεχόμενο αντικατάστασης των συμβατικών λαμπτήρων του υφιστάμενου δικτύου στο Δήμο Αγίας Παρασκευής με λαμπτήρες τύπου LED. Το σενάριο αυτό κρίνεται βιώσιμο έχοντας υπολογίσει τους δείκτες της Καθαρής Παρούσας Αξίας και τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης. Τον τέταρτο χρόνο μετά την επένδυση γίνεται η απόσβεση του επενδυτικού σχεδίου. Σύμφωνα με το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης προκύπτει ότι στον κύκλο ζωής των λαμπτήρων LED, δηλαδή σε χρονικό διάστημα δώδεκα χρόνων, η απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται αγγίζει το 32 %.

- Η χρήση Φ/Β συστημάτων στις εγκαταστάσεις του αστικού φωτισμού και της φωτεινής σηματοδότησης κρίνεται πρόωρη.

Ένα καινοτόμο σενάριο που έχει αρχίσει να εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο στο εξωτερικό είναι η χρήση Φ/Β συστημάτων στο φωτισμό πόλεων και στη φωτεινή σηματοδότηση. Το σενάριο αυτό αναφέρθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία θεωρητικά, καθώς δεν υπάρχουν ακόμα επαρκείς και λεπτομερείς πληροφορίες και μελέτες, που θα βοηθούσαν στην ολοκληρωμένη εξέταση αυτού του ενδεχόμενου. Σε μια χώρα όπως είναι η Ελλάδα, το συγκεκριμένο σενάριο θα μπορούσε μελλοντικά να ευδοκιμήσει και να δώσει τη λύση σε σχέση με τα κόστη των ενεργειακών καταναλώσεων. Μπορεί από τη μία πλευρά η εγκατάστασή τους να είναι δύσκολη και το κόστος εγκατάστασης υψηλό, όμως τα Φ/Β συστήματα θα μπορούσαν να υποστηρίξουν ολοκληρωτικά τον αστικό φωτισμό και να υποβοηθήσουν την φωτεινή σηματοδότηση.

6.2 Προοπτικές

Όσον αφορά την αξιοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν αποτελεί δεσμευτικό σενάριο μελέτης για Δήμους και Περιφέρειες, όσον αφορά το τομέα φωτεινής σηματοδότησης και αστικού φωτισμού. Η θεματολογία της όμως αποτελεί κινητήριο δύναμη στα χέρια Δήμων και Περιφερειών, ώστε να δράσουν άμεσα με σκοπό την ενεργειακή εξοικονόμηση, την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και την εξοικονόμηση πόρων.

Ολοένα και περισσότεροι Δήμοι μπορούν να επενδύσουν στην αντικατάσταση των υφιστάμενων δικτύων αστικού φωτισμού, με λαμπτήρες τύπου LED και να επιτύχουν με αυτόν τον τρόπο άμεση εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς να επωφεληθούν οικονομικά επενδύοντας ένα μικρό κεφάλαιο. Αντίστοιχα θα μπορούσαν και οι Περιφέρειες να επισπεύσουν τις διαδικασίες αντικατάστασης λαμπτήρων πυρακτώσεως στη φωτεινή σηματοδότηση με λαμπτήρες τύπου LED. Οι ενεργειακές καταναλώσεις θα μειωθούν ραγδαία και το οικονομικό όφελος θα είναι αξιοσημείωτο.

Παράλληλα Δήμοι και Περιφέρειες δύναται να βαδίζουν σε πρότυπα ευρωπαϊκά και να σημειώνουν πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη. Τα κέρδη που θα προκύψουν μπορούν να διατεθούν για την επέκταση του δικτύου αστικού φωτισμού σε περιοχές που αυτή τη στιγμή πάσχουν από ελλιπή φωτισμό. Ενώ Δήμοι και Περιφέρειες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τους πόρους που θα εξοικονομήσουν σε άλλους τομείς, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες που θα προκύπτουν. Παρόμοια έργα με αυτά που μελετώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μπορούσαν να χρηματοδοτηθούν από ΕΣΠΑ, από πόρους Δήμων και Περιφερειών, από Προγράμματα Δημοσίων Επενδύσεων (Υπουργείο Οικονομικών), από το Ταμείο Παρακαταθηκών και Δανείων, από την Τράπεζα Ελλάδος ή ακόμα και από ιδιώτες μέσω προγραμμάτων Χρηματοδότησης από Τρίτους (Εταιρείες Παροχής Ενεργειακών Υπηρεσιών).

Κάνοντας ένα βήμα παραπέρα αξίζει να υλοποιηθούν μελέτες σε σχέση με την πιθανή εγκατάσταση ανιχνευτών κίνησης σε δρόμους ώστε να μπορεί να προβλεφθεί η διέλευση οχήματος ή πεζού και να ρυθμιστεί η λειτουργία του φωτεινού σηματοδότη, με σκοπό την εξάλειψη άσκοπων λειτουργιών. Αυτό θα μπορούσε να βρει εφαρμογή κατά τις νυχτερινές ώρες ή σε μη πολυσύχναστες οδούς. Γενικότερα χρήζει απαραίτητη η διεύρυνση της ενεργειακής επιθεώρησης στη φωτεινή σηματοδότηση, ώστε να επεκταθεί το δείγμα που εξετάζεται και να προκύψει ένα γενικότερο πόρισμα.

Τέλος όσον αφορά τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στη φωτεινή σηματοδότηση και τον αστικό φωτισμό, αποτελεί μια πιθανή μακροπρόθεσμη ιδέα εφαρμογής. Τα δεδομένα που μέχρι τώρα είναι στη διάθεση μας δεν βοηθούν στην αναλυτικότερη προσέγγιση αυτού του σεναρίου, μιας και οι εγκαταστάσεις Φ/Β στον αστικό φωτισμό και τη σηματοδότηση δεν είναι αρκετές. Μελλοντικά η χρήση

Φ/Β συστημάτων στις υφιστάμενες εγκαταστάσεις, αποτελεί ένα εντυπωσιακό σενάριο, που αν και κοστολογείται αρκετά υψηλά, θα επιφέρει εξαιρετικά ενεργειακά και οικονομικά οφέλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Econolux Induction Lights Vs. Led Lights. (2012). Hong Kong: Econolux Industries.

EL Illumination Co., LTD. (2017). Ανάκτηση από www.solar-led-street-light.com

enypografa.gr. (2017, Μάιος 25). www.enypografa.gr. Ανάκτηση Μάιος 27, 2017, από Να πώς μπορεί να ενισχυθεί ο οδοφωτισμός της Αγ. Παρασκευής χωρίς δάνειο: <http://enypografa.gr/?p=146603>

Europa.eu. (2017). Ανάκτηση από https://europa.eu/european-union/topics/energy_el

European_Expertise_Center. (2013, Ιούνιος). *Energy Efficient Street Lighting*. Ανάκτηση από www.eib.org: <http://www.eib.org/epec/ee/documents/factsheet-street-lighting.pdf>

Flashlight. (2017). Ανάκτηση 2017, από www.flashlight.gr: www.flashlight.gr

IESNA. (2000). Στο I. E. America, *THE LIGHTING HANDBOOK REFERENCE & APPLICATIONS, Ninth Edition*. New York.

Kalingamudali, S., & Harambearachch, J. (2006). Pedestrian and vehicular traffic friendly uninterrupted solar powered traffic signal light system. *First International Conference on Industrial and Information Systems*, (σ. 208).

Moghbelli, D. (2012). Design and Implementation of a low cost photovoltaic traffic light signal system. *American Society for Engineering Education*. Texas A&M University.

Moghbelli, H., Ellithy, K., Eslami, Z., & Vartanian, R. (2009). Investigation of Solar Energy Applications - Design and Implementation of Photovoltaic Traffic Light Signal System for Qatar. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09)*.

photovoltaicssystem. (2017). Ανάκτηση από www.photovoltaicssystem.gr: <https://sites.google.com/site/photovoltaicssystems93/eide-photovoltaiekon-systematon>

Roberts, L. M. (2014). Environmental Aspects of Magnetic Induction Lamps. Indulux Technologies Inc.

Solar Electric Power Company. (2017). Ανάκτηση από www.sepco-solarlighting.com

Solar_POWERED_LEDs. (2009, Ιανουάριος). *LED Solar Security Lights*. Ανάκτηση από <https://ledinsider.wordpress.com/category/solar-powered-leds/>

Teamenergy. (2017). Ανάκτηση από www.teamenergy.gr: www.teamenergy.gr

www.fotise.gr. (2013, Μάρτιος). Ανάκτηση από <https://fotise.gr>

www.windenergythefacts.org. (2017). Ανάκτηση από <http://www.wind-energy-the-facts.org/>

Δ.Ε.Η. (2017). Ανάκτηση από www.dei.gr: .
<https://www.dei.gr/Documents/xt.tim.1.7.08.pdf>

Παρασκευαδάκη, Ε. (2009, 12 6). *electroepistimi*. Ανάκτηση από www.electroepistimi.blogspot.com:
http://users.sch.gr/kimnikos/pdf/Par/SLR_fotismos.pdf

Σύνδεσμος_Εταιριών_Φωτοβολταϊκών. (2007, Σεπτέμβριος). *Ένας Πρακτικός οδηγός για τα φωτοβολταϊκά*. Ανάκτηση από www.env-edu.gr: <http://www.env-edu.gr/Documents/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC%20-%20%CE%88%CE%BD%CE%B1%CF%82%20%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%CF%82.pdf>

Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. (2006, Μάιος). *ΠΡΟΣΩΡΙΝΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ*

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ. Ανάκτηση από www.ggde.gr:
<http://www.ggde.gr/dmdocuments/05-07-02-00%20.pdf>

Φωτισμός LED, Οικονομία και Οικολογία. (2013, Μάρτιος). Ανάκτηση από <https://energymax.com>