



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

***ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΜΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ
ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ.***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΚΑΡΑΜΠΟΥΛΑ

Επιβλέπων: Βασίλειος Μουστάκης

Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά, Ιούλιος 2015



Πολυτεχνείο Κρήτης

*Σχολή Μηχανικών παραγωγής και
διοίκησης*

Copyright c –All rights reserved Καραμπούλας Αθανάσιος.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. 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 στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

(Υπογραφή)

.....

Καραμπούλας Αθανάσιος

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ευρέως γνωστή και τείνει να καθιερωθεί η τεχνολογία LED στον οδοφωτισμό. Είναι προηγμένη τεχνολογία φωτισμού η οποία υπόσχεται πολύ μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης των ειδών φωτισμού και τα οφέλη που θα προκύψουν στην αντικατάσταση των ήδη υφιστάμενων.

Αρχικά γίνεται αναφορά στα φωτομετρικά μεγέθη τα οποία είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε ώστε να καταλάβουμε την λειτουργία των φωτιστικών. Καταγράφονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη λαμπτήρων που μας βοηθούν να αξιολογήσουμε την αποδοτικότητα των φωτιστικών. Έπειτα αναφέρονται όλα τα είδη λαμπτήρων, πυρακτώσεως και εκκενώσεως, με τα χαρακτηριστικά που τους διακρίνουν, περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας τους και διεξάγεται διαδικασία σύγκρισης αυτών. Στη συνέχεια αναλύονται τα μέρη των φωτιστικών, οι τρόποι στήριξής τους και οι πιθανές διατάξεις τους στους δρόμους. Αναφέρονται οι κανονισμοί και τα πρότυπα για φωτιστικά δρόμων και παρουσιάζονται τεχνικές αντιμετώπισης των προβλημάτων που δημιουργούνται, όπως φωτορύπανση. Τέλος πραγματοποιείται καταγραφή των λαμπτήρων στον δήμο Ασπροπύργου και γίνεται μια πρόχειρη μελέτη που μας υπολογίζει την εξοικονόμηση σε περίπτωση που γίνει αντικατάσταση των λαμπτήρων με LED καθώς και με την χρήση συστήματος τηλεδιαχείρισης.

Περιεχόμενα

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ	6
1.1 ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	6
1.2 ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	7
1.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (CRI)	8
1.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑ	8
ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ	9
2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	9
2.2 ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	9
2.3 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ	10
2.4 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ	12
2.5 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	13
2.6 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	14
2.7 ΦΩΤΟΕΚΠΕΜΠΟΥΣΕΣ ΔΙΟΔΟΙ (LED)	14
<i>Σχήμα 2.7 Διάφορα LED</i>	15
2.8 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ	15
2.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ	18
ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ	21
3.1 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ	21
3.2 ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	23
3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΡΟΜΟΥΣ	24
3.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ IP	24
3.5 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ Ε.Ε.	26
3.5.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΝ Ε.Ε ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΦΩΤΙΣΜΟ	26
3.5.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΕΙ ΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ	27
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	29
4.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	29
4.2 ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΓΚΛΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	33
4.3 ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ	34
4.4 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΖΩΝΤΑΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	34
ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ CEN/TR 13201	35
5.1 ΣΚΟΠΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	35
5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ	35

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ	48
6.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	48
6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΡΙΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	48
6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LED.....	50
6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LED ΜΕ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	52
6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	54
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ

1.1 ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

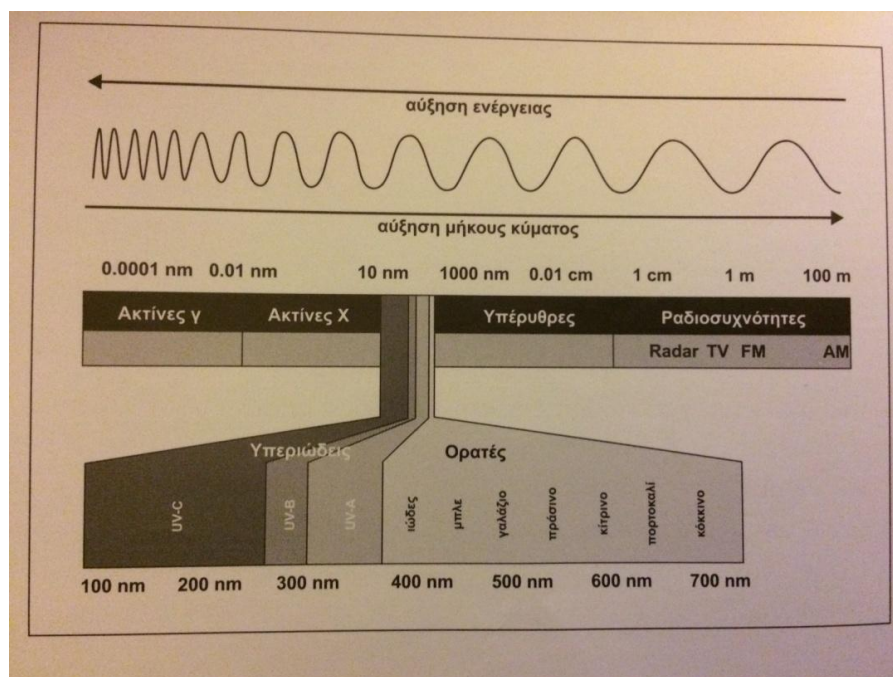
Φώς αποκαλούμε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ενεργοποιούν τη λειτουργία της όρασης. Η συχνότητα, το μήκος και η ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που αποκαλούμε φώς, περικλείονται μεταξύ ορίων:

Συχνότητα $4 \times 10^{14} < f < 8 \times 10^{14} \text{ Hz}$

Μήκος κύματος $380 < \lambda < 780 \text{ nm}$

Ενέργεια $1,24 < W < 12,4 \text{ eV}$

Το φώς είναι ένα πολύ μικρό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο τοποθετείται ανάμεσα στην υπεριώδη και την υπέρυθρη ακτινοβολία. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1, συγκεκριμένες περιοχές πολλές ορατής περιοχής αντιστοιχούν στα πέντε βασικά χρώματα (ιώδες, μπλέ, πράσινο, κίτρινο και ερυθρό). Τα συγκεκριμένα χρώματα δεν αποτελούν ξεχωριστές ζώνες αλλά αναμιγνύονται μεταξύ πολλές. Το ηλιακό φώς που αναφέρεται πολλές φορές ως λευκό αποτελεί σύνθεση όλου του φάσματος των ορατών ακτινοβολιών.



Σχήμα 1.1 Φάσμα ορατών ακτινοβολιών [1]

1.2 ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

- **Φωτεινή ένταση**

Είναι το φυσικό μέγεθος μέτρησης του φωτός ανά κάποια κατεύθυνση ενός φωτιστικού. Το φωτιστικό στέλνει φωτεινή ροή παντού, η φωτεινή ένταση μετρά το φως σε μία επιλεγμένη κατεύθυνση. Η φωτεινή ένταση μιας στερεάς γωνίας ορίζεται ως η φωτεινή ροή που στέλνει το φωτιστικό εντός της γωνίας δια την στερεή γωνία. Η μονάδα μέτρησης είναι η καντέλα (cd). Η φωτεινή ένταση χαρακτηρίζει το φωτιστικό ανά κατεύθυνση και είναι ανεξάρτητη από την απόσταση του παρατηρητή από το φωτιστικό.

- **Φωτεινή ροή**

Ονομάζεται η ενέργεια που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή στη μονάδα του χρόνου. Γενικά, ένα φωτιστικό στέλνει γύρω του ενέργεια σε διάφορες μορφές εκτός από μορφή φωτός, όπως ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ή δεν είναι αντιληπτή από τον άνθρωπο με διαφορετική ευαισθησία, η οποία εξαρτάται από την συχνότητα. Η φωτεινή ροή μετρά μόνο την ισχύ που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Η μονάδα μέτρησής της είναι το Lumen (lm).

- **Απόδοση ηλεκτρικής φωτεινής πηγής**

Η απόδοση μιας φωτεινής πηγής εκφράζει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ροής για κάθε Watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Αύξηση των Lumen ανά καταναλισκόμενο Watt σημαίνει υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

- **Ένταση φωτισμού επιφάνειας E**

Είναι το φυσικό μέγεθος μέτρησης του φωτός που προσπίπτει σε μία επιφάνεια. Ορίζεται ως η φωτεινή ροή που προσπίπτει κάθετα σε μία επιφάνεια δια το εμβαδόν της. Αν δεν προσπίπτει κάθετα, τότε αυτή αναλύεται σε συνιστώσες, μία κάθετη στην επιφάνεια και μια παράλληλη, ενώ για τον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψιν μόνο η κάθετη. Μονάδα μέτρησης είναι το Lux.

- **Λαμπρότητα**

Είναι το φυσικό μέγεθος μέτρησης του φωτός ανά τη φαινόμενη φωτιστική επιφάνεια. Ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται το φωτιστικό σώμα ως μια φωτιστική επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση παρατήρησης. Η λαμπρότητα χαρακτηρίζει το

πώς αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής πόσο φωτίζει ένα φωτιστικό σώμα. Η λαμπρότητα δίδεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης με το εμβαδόν της φαινόμενης φωτιστικής επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι κήρια ανά τετραγωνικό μέτρο (cd/m^2).

1.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (CRI)

Αυτός ο δείκτης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ικανότητας πιστής απόδοσης των χρωμάτων επιφανειών και αντικειμένων από το φως που εκπέμπει μια πηγή φωτός.

Συμβατικά λέγεται πως ο χρωματικός δείκτης 100 αντιπροσωπεύει το φως ημέρας. Η σύγκριση της ικανότητας διάκρισης χρωμάτων κάτω από τεχνητές πηγές φωτισμού και από το φυσικό φως, αποτελεί την βάση αυτού του μέτρου. Έτσι η καλύτερη πηγή κατά αυτή την έννοια είναι ο λαμπτήρας πυράκτωσης αλογόνου που έχει άριστη χρωματική απόδοση 100 (CRI). Αυτό συμβαίνει γιατί αυτοί οι λαμπτήρες εκπέμπουν περισσότερο στο κόκκινο κίτρινο τμήμα του ορατού φάσματος και έχουν συνεχόμενο φάσμα όπως και το φως της ημέρας.

1.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑ

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή, επηρεάζει την ατμόσφαιρα ενός χώρου. Έτσι αν ένας χώρος φωτίζεται με λαμπτήρες πυρακτώσεως, μας δημιουργεί μια θερμή εντύπωση σε αντίθεση με την ψυχρή εντύπωση που μας δημιουργείται όταν ο ίδιος χώρος φωτίζεται με λαμπτήρες υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος.

Η θερμή εντύπωση δημιουργείται από το πλούσιο σε ερυθρές ακτινοβολίες φως του λαμπτήρα πυράκτωσης, ενώ η ψυχρή εντύπωση από το μεγάλο ποσοστό κυανής και κίτρινης ακτινοβολίας με λαμπτήρες υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος.

Λέγοντας ότι ένας λαμπτήρας έχει θερμοκρασία χρώματος T_c (σε Kelvin) εννοούμε ότι με μεγάλη προσέγγιση η ενεργειακή φασματική κατανομή του φωτός που εκπέμπει, μοιάζει με εκείνη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το μέλαν σώμα όταν βρίσκεται στη θερμοκρασία T_c .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λαμπτήρων είναι τα εξής:

- Ονομαστική τάση λειτουργίας, δηλαδή η τάση του δικτύου που θα συνδεθεί ο λαμπτήρας.
- Ονομαστική ισχύς, δηλαδή η ισχύς που καταναλώνει ο λαμπτήρας όταν λειτουργεί.
- Φωτεινή ροή, δηλαδή η φωτεινή ροή του λαμπτήρα που μετριέται σε Lumens στους 25βαθμούς Κελσίου.

Από το πηλίκο του τρίτου (Φωτεινή ροή) και δεύτερου(Ονομαστική ισχύς) μεγέθους προκύπτει ένα καθοριστικό στοιχείο για την οικονομική λειτουργία του λαμπτήρα, το οποίο είναι η **απόδοσή** του.

Εκτός από τα τρία μεγέθη που αναφέρθηκαν παραπάνω υπάρχουν και άλλα που είναι εξίσου σημαντικά για την αξιολόγηση ενός λαμπτήρα. Τα μεγέθη αυτά είναι:

- Χρόνος ζωής του λαμπτήρα.
- Διαστάσεις
- Θερμοκρασία χρώματος
- Ένταση του ρεύματος λειτουργίας
- Φωτεινή ένταση
- Δυνατότητα διαβάθμισης της ισχύος του λαμπτήρα (Dimmed)
- Χρωματικός δείκτης

2.2 ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τεχνητού φωτός διακρίνουμε δύο κατηγορίες λαμπτήρων:

- Πυρακτώσεως, οι οποίοι είναι οι περισσότεροι αναγνωρίσιμοι και διαδεδομένοι. Έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων: Είναι φθηνότεροι, αντικαθίστανται εύκολα και προσαρμόζονται σχεδόν σε οποιαδήποτε συνθήκη λειτουργίας όσον αφορά τάση και ισχύ. Το φωτεινό

φάσμα είναι συνεχές και ως εκ τούτου προσφέρουν ικανοποιητική χρωματική απόδοση. Με ένα μεγάλο ποσοστό κίτρινου και κόκκινου φωτός δημιουργούν οικεία ατμόσφαιρα. Έχουν διάρκεια ζωής έως 1000 ώρες και φωτεινή απόδοση 10-20 Lm/W.

- Εκκενώσεως, οι οποίοι λειτουργούν βασικά με το φαινόμενο της εκκένωσης. Το φώς προέρχεται από τον ιονισμό και την διέγερση ατόμων του στοιχείου που βρίσκεται μέσα στον λαμπτήρα. Ανάλογα με την πίεση που επικρατεί στον θάλαμο εκκενώσεως οι λαμπτήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους **Λαμπτήρες Υψηλής Πίεσης** και τους **Λαμπτήρες Χαμηλής Πίεσης**.

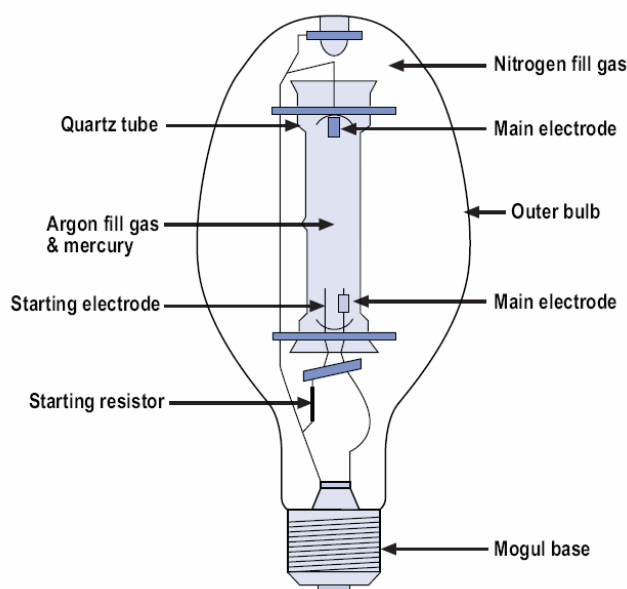
Η διέγερση του αερίου παρουσιάζει σοβαρές λειτουργικές διαφορές σε σύγκριση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και ιδιαίτερα ότι παρουσιάζουν “αρνητική αντίσταση” της εκκένωσης αερίου. Έτσι για να λειτουργήσουν είναι απαραίτητο να συνδέσουμε σε σειρά στο κύκλωμά τους μια διάταξη γνωστή ως στραγγαλιστικό πηνίο ή ballast. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης όπου αντί για ballast χρησιμοποιείται αυτομετασχηματιστής. Τα ballast διαθέτουν αρκετές λειτουργίες που καθιστούν δυνατή την ομαλή λειτουργία των λαμπτήρων. Μια από αυτές τις είναι η εξασφάλιση επαρκούς τάσης για την έναυση του τόξου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και στον λαμπτήρα. Μια δεύτερη λειτουργία είναι να περιορίσει το ρεύμα μετά την αποκατάσταση της εκκένωσης. Έτσι το ballast λειτουργεί σαν αντίσταση για τον περιορισμό του ρεύματος μετά την δημιουργία του τόξου.

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει την τάση έναυσης όλων των λαμπτήρων εκκένωσης και σε κάποιες περιπτώσεις υψηλότερες τάσεις έναυσης από τις ονομαστικές συστήνονται για εγκαταστάσεις εξωτερικού φωτισμού σε κρύα κλίματα. Τα ballasts για εφαρμογές οδοφωτισμού και άλλες εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών σχεδιάζονται να παρέχουν την αναγκαία τάση έναυσης και λειτουργίας για θερμοκρασίες μέχρι και -29.

2.3 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

Οι λυχνίες ατμών υδραργύρου είναι οι γνωστές λυχνίες λευκού φωτός που χρησιμοποιούνται στο φωτισμό δρόμων, πλατειών κτλ. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3 αποτελούνται από γυάλινο κύλινδρο χαλαζία που περιέχει ευγενές αέριο, μία σταγόνα υδραργύρου και τρία ηλεκτρόδια. Στα δύο κύρια αντικριστά εφαρμόζεται η ηλεκτρική τάση του δικτύου όπου εκεί σχηματίζεται το τόξο. Για την εκκίνηση του λαμπτήρα υπάρχει το τρίτο ηλεκτρόδιο που βρίσκεται κοντά ενός των κυρίων με μια προστατευτική αντίσταση στη σειρά. Ανάμεσα στα κοντινά αυτά ηλεκτρόδια σχηματίζεται εκκένωση

που προκαλεί και την εξάτμιση της σταγόνας του υδραργύρου. Επειδή το τόξο αναπτύσσει μεγάλες θερμοκρασίες, ο χαλαζιακός σωλήνας περιβάλλεται από μία εξωτερική γυάλινη φύσιγγα ώστε να μην καταστραφεί. Μεταξύ του χαλαζιακού σωλήνα και της φύσιγγας υφίσταται κενό.



Σχήμα 2.3 Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου [2]

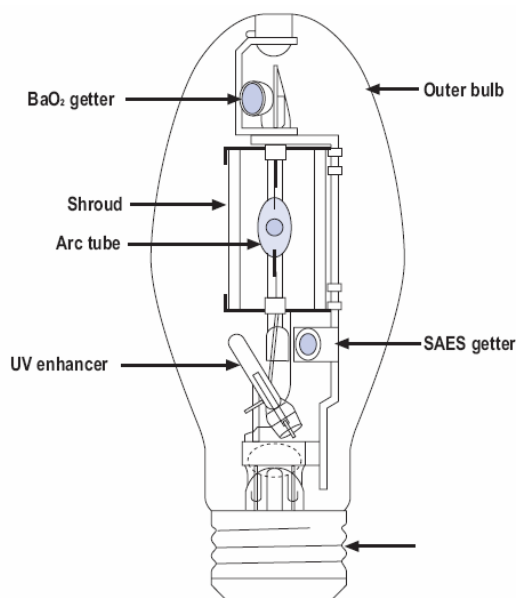
Το φως αυτών των λαμπτήρων είναι κυανόλευκο, ενώ το φάσμα τους περιέχει πολλές ραβδώσεις στην περιοχή του υπεριώδους. Επομένως στερείται φυσικότητας. Για την ποιοτική του βελτίωση επιχρίεται εσωτερικά η εξωτερική φύσιγγα με φθορίζουσα ουσία, που διεγείρεται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Συνεπώς το φάσμα εμπλουτίζεται στις χαμηλές συχνότητες ενώ παράλληλα αυξάνεται σημαντικά η απόδοσή του σε ορατό φως.

Η ποσότητα του υδραργύρου εντός του λαμπτήρα καθορίζει ουσιαστικά την τελική πίεση λειτουργίας, η οποία κυμαίνεται από 200kPa στην πλειοψηφία των λαμπτήρων. Ο απαιτούμενος χρόνος από την αρχική έναυση μέχρι την πλήρη φωτεινή απόδοση σε κοινή θερμοκρασία δωματίου κυμαίνεται από 3 έως 7 λεπτά, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα.

Εκτός από φωτισμό δρόμων, οι λαμπτήρες υδραργύρου χρησιμοποιούνται και σε βιομηχανικούς χώρους, φωτισμό σταδίων, πλατειών και γενικότερα εξωτερικών χώρων. Ο συγκεκριμένος τύπος λαμπτήρων προτιμάται σε περιπτώσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος.

2.4 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων περιλαμβάνουν σωλήνα εκκένωσης που περιέχει μια ελάχιστη ποσότητα υδραργύρου σε συνδυασμό με αδρανές αέριο. Επίσης περιλαμβάνονται διάφορα μεταλλικά αλογονίδια. Κατά την διάρκεια της εκκένωσης, οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο σωλήνα εκκένωσης οδηγούν στην διάσπαση των αερίων σε μέταλλα και αλογονίδια. Το χρώμα που παράγεται κατά την διάσπαση αυτή μοιάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό με το φως της ημέρας πράγμα το οποίο είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους. Ανάλογα με τα μέταλλα που περιλαμβάνει ένας λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων παράγει και το ανάλογο φως. Προκειμένου να παραχθεί ένα ομοιογενές φάσμα προς την επίτευξη λευκού φωτός ο λαμπτήρας περιέχει την κατάλληλη αναλογία συγκεκριμένων αλογονιδίων. Η δομή των συγκεκριμένων λαμπτήρων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4 Δομή λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων [2]

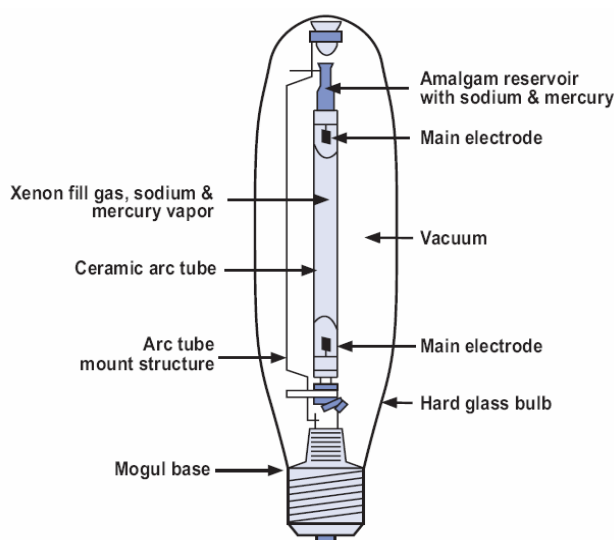
Σε αυτού του τύπου τους λαμπτήρες καθίσταται πιο περίπλοκη η διαδικασία εκκίνησης λόγω της ύπαρξης αλογονιδίων. Επίσης οι μικρές διαστάσεις αυτών των λαμπτήρων χαμηλής ηλεκτρικής ισχύος αποτρέπουν την ύπαρξη ηλεκτροδίων εκκίνησης. Έτσι σ αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ανάλογα ballasts για την εκκίνηση και την επίτευξη της διαδικασίας εκκένωσης.

Ο χρόνος επανεκκίνησης αυτών των λαμπτήρων είναι περίπου 15 λεπτά. Ο χρόνος ζωής τους ξεκινά από 6.500 ώρες και φτάνει έως και τις 20000 ώρες με την αξιοποίηση της σημερινής τεχνολογίας. Το κόστος αγοράς είναι πολύ υψηλό όμως προσφέρουν μεγάλη αποδοτικότητα και ευχάριστο περιβάλλον. Γι αυτό τον λόγο

παρατηρείται η χρησιμοποίησή τους σε πλατείες εμπορικά και σε ορισμένες περιπτώσεις σε δρόμους χαμηλής κυκλοφορίας.

2.5 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι λαμπτήρες αυτοί αποτελούνται από ένα σωλήνα κεραμικού υλικού που είναι ανθεκτικός στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι πολύ υψηλές. Ο σωλήνας περιέχει στερεό νάτριο μαζί με λίγο υδράργυρο μέσα σε αέριο (σχήμα 2.5). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι μονοχρωματική κίτρινου χρώματος.



Σχήμα 2.5 Δομή λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης [2]

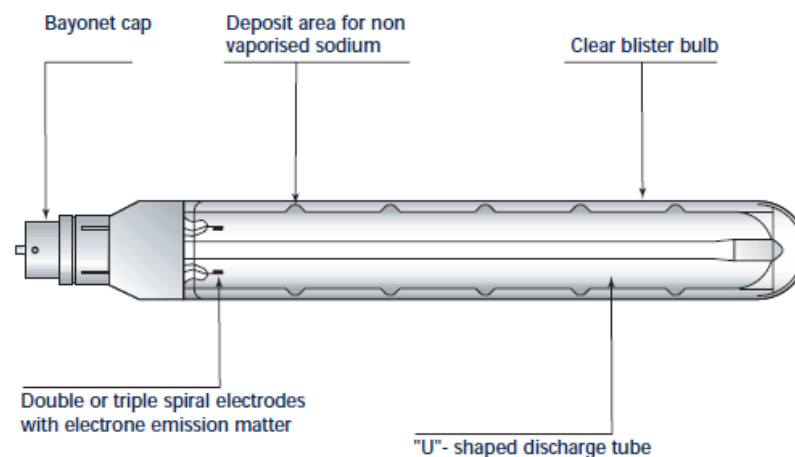
Μετά την έναυση ο λαμπτήρας χρειάζεται περίπου 10 λεπτά μέχρι να αποδώσει πλήρως. Αν και ο χρόνος έναυσης είναι σχετικά μεγάλος, ο χρόνος επανέναυσης είναι μόλις 1-3 λεπτά. Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων αυτών κυμαίνεται στις 32.000 ώρες. Εκτός από μεγάλο χρόνο ζωής, οι λαμπτήρες νατρίου χαρακτηρίζονται από μεγάλη απόδοση, η οποία είναι περίπου στα 110lm/W. Δεν προκαλούν θάμβωση και διευκολύνουν την διάκριση των αντικειμένων για αυτό άλλωστε και βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στον οδοφωτισμό.

Η τιμή τους είναι κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα, περιέχουν μικρή ποσότητα υδραργύρου και έχουν την δυνατότητα να αντικαθιστούν παλιούς μη αποδοτικούς λαμπτήρες υδραργύρου χωρίς να απαιτείται και η επανατοποθέτηση ballast. Γι αυτό τον λόγο οι λαμπτήρες αυτοί έχουν ευρύτατη εφαρμογή κυρίως στους δρόμους υψηλής κυκλοφορίας.

2.6 ΛΑΜΠΤΗΡΑΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης (σχήμα 2.6) διαθέτουν ειδικά θερμομονωτικά υλικά ώστε να επιτυγχάνεται εξάτμιση του νατρίου με την χαμηλότερη δυνατή ενέργεια και κατά συνέπεια υψηλός συντελεστής απόδοσης των λαμπτήρων.

Κύριο τους χαρακτηριστικό αποτελεί το έντονο φως που παράγουν, και στο οποίο οφείλεται και η φτωχή χρωματική απόδοση των επιφανειών, ωστόσο είναι ιδανικό για περιπτώσεις ομίχλης. Βασικό τους μειονέκτημα είναι το πολύ μεγάλο μήκος τους, που τους καθιστά δύσχρηστους.



Σχήμα 2.6 Δομή λαμπτήρα νατρίου χαμηλής πίεσης [3]

Ο χρόνος για να φτάσει ο λαμπτήρας αυτός την πλήρη φωτεινή ισχύ του είναι 7-15 λεπτά. Η θερμή επανέναυση είναι καλή και οι περισσότεροι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης νατρίου θα εναύσουν αμέσως μετά την διακοπή της παροχής ισχύος. Τα ballast που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τύπου αυτομετασχηματιστή υψηλού συντελεστή ισχύος, όπου παρέχουν την απαραίτητη τάση έναυσης που κυμαίνεται από 400-550V.

2.7 ΦΩΤΟΕΚΠΕΜΠΟΥΣΕΣ ΔΙΟΔΟΙ (LED)

Μια δίοδος εκπομπής φωτός είναι στην ουσία μια ένωση pn που έχει κατασκευαστεί από ένα ημιαγωγό άμεσου ενεργειακού χάσματος, στην οποία η

επανασύνδεση των ζευγών ηλεκτρονίων έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων. Η εφαρμοζόμενη τάση είναι 1-3V και το ρεύμα που ρέει είναι 1-100mA. Κατά την λειτουργία τους σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας απαιτείται ψύξη ή διακοπτόμενη λειτουργία, για να αποφευχθεί υποβάθμιση του παραγόμενου φωτός.

Η δομή ενός LED (σχήμα 2.7) πρέπει να είναι τέτοια ώστε τα εκπεμπόμενα φωτόνια να μπορούν να απομακρύνονται από την διάταξη χωρίς να επαναπορροφώνται από το ημιαγώγιμο υλικό. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να είναι είτε υπέρυθρη είτε ορατή. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από τον συνδυασμό ημιαγώγιμων υλικών.

Η διάρκεια ζωής τους LED μπορεί να ξεπεράσει τους 100.000 ώρες. Δεν ισχύει το ίδιο τους για όλα τα είδη LED. Τα LED παραγωγής λευκού φωτός, όπου η εκπομπή ιώδους φωτός διασπά τα μόρια πολυμερούς μειώνει δραστικά τον χρόνο ζωής τους 7.000-10.000 ώρες. Όσον αφορά την απόδοσή τους, τα LED έχουν ξεπεράσει σε απόδοση τους φιλτραρισμένες συμβατές πηγές παραγωγής φωτός. Δεν ισχύει το ίδιο τους και για την απόδοση την λευκών όπου η απόδοσή τους δεν ξεπερνά τα 20 lm/w.

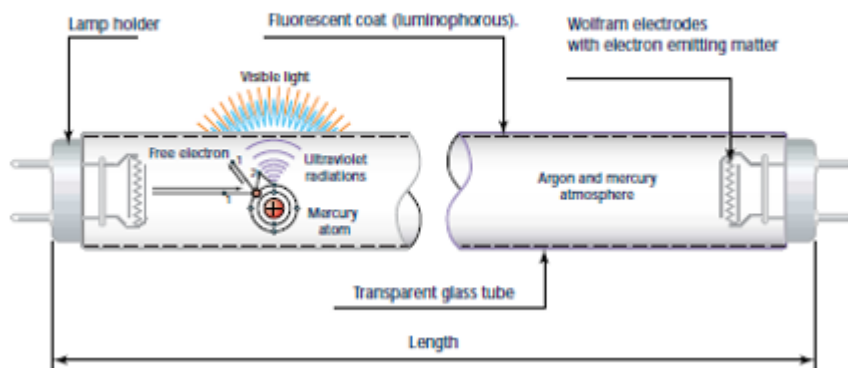


Σχήμα 2.7 Διάφορα LED [16]

2.8 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

Οι λαμπτήρες φθορισμού (σχήμα 2.8) και οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού λειτουργούν βάσει της αρχής εκκένωσης χαμηλής πίεσης. Ο γυάλινος σωλήνας των λαμπτήρων εκκένωσης χαμηλής πίεσης πληρώνεται με ένα ευγενές αέριο σε χαμηλή πίεση, καθώς και με μια μικρή ποσότητα υδραργύρου. Το γυάλινο τοίχωμα διαθέτει επιστροφή φθορίου. Στο εσωτερικό του περιβλήματος αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και προκαλείται εκκένωση. Η διαδικασία εκκένωσης προκαλεί την εκπομπή υπεριώδους ακτίνων από τον ατμό του υδραργύρου. Κατά την επαφή της υπεριώδους ακτινοβολίας

με το φθόριο εκπέμπεται άμεσα ορατό φως. Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται μπορεί να διαφοροποιηθεί με τη χρήση ενός κατάλληλου φθορίζοντος μείγματος. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η δημιουργία λαμπτήρων φθορισμού για όλα τα είδη εφαρμογών.



Σχήμα 2.8 Δομή λαμπτήρα φθορισμού [3]

Τα ηλεκτρόδια είναι ερμητικά κλεισμένα σε κάθε άκρο στο εσωτερικό του λαμπτήρα. Είναι σχεδιασμένα για λειτουργία σαν «ψυχρές» (cold) ή «θερμές» (hot) κάθοδοι, και οι αντίστοιχες λειτουργίες ονομάζονται αίγλης (glow) και τόξου (arc). Η λειτουργία με θερμές καθόδους είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τις ψυχρές καθόδους, με αποτέλεσμα να έχει επικρατήσει στους περισσότερους λαμπτήρες φθορισμού.

Τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από νήμα βολφραμίου με επικάλυψη από αλκαλικά οξείδια τα οποία βοηθούν στην εκπομπή ηλεκτρονίων. Κατά την λειτουργία του λαμπτήρα το νήμα και η επικάλυψη φτάνουν σε θερμοκρασίες 1100 °C, όπου εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρονίων.

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν μία αρνητική χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος και απαιτείται η χρήση του ballast για τον περιορισμό του ρεύματος. Επιπρόσθετα το ballast εξασφαλίζει την αναγκαία τάση για την έναυση του τόξου. Αυτή η τάση μπορεί να είναι 1.5 έως 4 φορές πολλαπλάσια της κανονικής τάσης λειτουργίας. Τα ballasts διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στα ηλεκτρομαγνητικά και στα ηλεκτρονικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά είναι στην ουσία ένα στραγγαλιστικό πηνίο το οποίο αποτελείται από ένα σιδηροπυρήνα στον οποίο είναι περιελιγμένα μονωμένα σύρματα χαλκού ή αλουμινίου.

Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων θερμών καθόδων καθορίζεται από τον ρυθμό της εκπεμπόμενης επικάλυψης στα ηλεκτρόδια. Κάθε φορά που γίνεται η έναυση του λαμπτήρα κάποιες επικαλύψεις διαβρώνονται. Επίσης κατά την διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα συμβαίνει εξάτμιση του εκπεμπόμενου υλικού. Τα ηλεκτρόδια είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε αυτά τα φαινόμενα να είναι ελάχιστα. Το τέλος της διάρκειας της ζωής του λαμπτήρα συμβαίνει όταν είτε η επικάλυψη έχει απομακρυνθεί εξολοκλήρου από το ένα τουλάχιστον ηλεκτρόδιο είτε η απομένουσα επικάλυψη δεν εκπέμπει περαιτέρω.

Σήμερα υπάρχουν τρεις κυρίως τύποι συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού: (1) οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με κάλυκα βιδωτό ή μπαγιονέτ για κατευθείαν τοποθέτηση σε αντίστοιχη λυχνολαβή 230V, οι λαμπτήρες αυτοί διαθέτουν ενσωματωμένο ηλεκτρονικό ballast, (2) οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με κάλυκα δύο ακίδων και ενσωματωμένο starter για σύνδεση σε ειδική λυχνολαβή με εξωτερικό μαγνητικό ballast και (3) οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με κάλυκα τεσσάρων ακίδων για σύνδεση σε ειδική λυχνολαβή με εξωτερικό ηλεκτρονικό ballast. Οι 33 συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού της τελευταίας κατηγορίας είναι κατάλληλοι για διαβάθμιση φωτισμού.

Οι λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρονική έναυση και εξωτερικό ηλεκτρονικό ballast υπερτερούντων ηλεκτρομαγνητικών λαμπτήρων στο ότι έχουν την δυνατότητα διαβάθμισης του φωτισμού, παρουσιάζουν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και επιμηκύνουν την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Πλεονεκτήματα των λαμπτήρων φθορισμού είναι η απόδοσή τους (40-80 Lm/W), η ανάπτυξη μικρών θερμοκρασιών, η απόδοση φυσικού φωτός και η μικρή απαίτηση για συντήρηση. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 10.000 ώρες.

2.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Τύπος Λαμπτήρων (ονομαστικά Watt και τύπος)	Ισχύς κυκλωμάτων (συνολική ισχύς λαμπτήρων και κυκλωμάτων σε Watt)	Φωτεινή Ισχύς (lumens)	Απόδοση (Lm/Watt)	Διάρκεια ζωής (ώρες)	Ισοδύναμο προϊόν
Νατρίου υψηλής πίεσης					
70 Watt HST	84.0	6,200	73.8	Τυπική τιμή 24,000 με 32,000	Philips SON-T-70W
150 Watt HST	170.0	17,500	102.9		Philips Master SON-T PIA plus150W
250 Watt HST	276.0	27,500	99.6		Philips SON-T-250W
400 Watt HSE	434.0	55,500	127.9		Philips Master SON-T PIA plus 400W
Ατμών Υδραργύρου					
50 Watt HME	59.0	1,800	30.5	Τυπική τιμή 8,000	Osram HQL-50
80 Watt HME	89.5	4,000	44.7		Philips HPL 4 80W
125 Watt HME	137.0	6,200	45.3		Philips HPL Comfort 125W
250 Watt HME	271.0	14,200	52.4		Philips HPL Comfort 250W
400 Watt HME	424.0	24,200	57.1		Philips HPL Comfort 400W
Μεταλλικών αλογονιδίων					
35 Watt HIT-CRI	44.0	3,350	76.1	5,000	Osram HCI-TC-35/WDL

Τύπος Λαμπτήρων (ονομαστικό Watt και τύπος)	Ισχύς κυκλωμάτων (συνολική ισχύς λαμπτήρων και κυκλωμάτων σε Watt)	Φωτεινή Ισχύς (lumens)	Απόδοση (Lm/Watt)	Διάρκεια ζωής (ώρες)	Ισοδύναμο προϊόν
Μεταλλικών αλογονιδίων (συνέχεια)					
60 Watt	72.0	6,800	94.5		Philips Cosmo-White CPO-TW
70 Watt HIT-CRI	84.0	7,100	84.5	5,000	Philips Master Colour Elite-T
140 Watt	161.0	16,500	102.5		Philips Cosmo-White CPO-TW
150 Watt HIT	172.0	12,850	74.7	5,000	Osram HCI-T-150/WDL
250 Watt HIT	269.5	19,500	72.3	6,000	Osram HCI-T-250/WDL
400 Watt HIT	437.0	31,750	72.6		Osram HCI-T-400/WDL
Νατρίου χαμηλής πίεση					
18 Watt	25.5	3,825	Τυπική τιμή 140-160	Τυπική τιμή 14,000- 18,000	
35 Watt	45.0	6,750			
90 Watt	102.5	15,375			
Φθορισμού					
14 Watt T5 (16 mm diameter)	16.6	1,200	72.3		Philips 'TL'5 (HE)
26 Watt triphosphor (Compact)	29.4	1,800	61.2	10,000	Osram Dulux® D
27 Watt (Compact)	27.0	1,800	66.7	10,000	Philips Master PL- Electronic
33 Watt (Compact)	33.0	2,250	68.2	10,000	Philips Master PL- Electronic
36 Watt triphosphor (Compact)	45.0	2,800	62.2	10,000	Osram Dulux® F

Τύπος Λαμπτήρων (ονομαστικά Watt και τύπος)	Ισχύς κυκλωμάτων (συνολική ισχύς λαμπτήρων και κυκλωμάτων σε Watt)	Φωτεινή Ισχύς (lumens)	Απόδοση (Lm/Watt)	Διάρκεια ζωής (ώρες)	Ισοδύναμο προϊόν
Φθορισμού (συνέχεια)					
18 Watt triphosphor (Linear, 26 mm diameter)	24.0	1,350	56.2	7,000	Osram 'Lumihux plus'
36 Watt triphosphor (Linear, 26 mm diameter)	42.0	3,350	79.7	7,000	
LED					
18 Volt Amber (590 nm)	31.9	650	20.3	100,000	Dio Park and Path Light head
18 Volt White (4,500 K)	31.9	325	10.2	100,000	Dio Park and Path Light head
Πυρακτώσεως					
	100	1,000 – 1,500	Τυπική τιμή 10 -15	Τυπική τιμή 750 -1000	

Πίνακας 2.9 Σύγκριση απόδοσης λαμπτήρων σε εφαρμογές φωτισμού δρόμων [4,13,14,15]

Ο παραπάνω Πίνακας 2.9 παρουσιάζει στοιχεία απόδοσης δειγμάτων για μια σειρά λαμπτήρων διαθέσιμων για τις εφαρμογές φωτισμού δρόμων. Η στήλη «Ισχύς κυκλωμάτων» περιλαμβάνει και την κατανάλωση ενέργειας των βοηθητικών κυκλωμάτων και των κυκλωμάτων ελέγχου. Κατά συνέπεια, τα μεγέθη της απόδοσης που δίνονται είναι μικρότερα από αυτά που αναφέρονται από τους κατασκευαστές λαμπτήρων, τα οποία δεν περιλαμβάνουν τις απώλειες αυτές. Η στήλη «Ισοδύναμο προϊόν» παρουσιάζει την εταιρία και το μοντέλο των λαμπτήρων που χρησιμοποιήθηκαν για τις πληροφορίες του Πίνακα 2.9.

ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

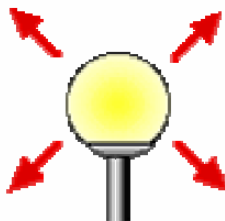
3.1 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

Τα φωτιστικά που χρησιμοποιούνται στον οδοφωτισμό αποτελούνται από την φωτεινή πηγή, τον ανακλαστήρα, το διαφανές κάλυμμα και το σώμα.

Ο ανακλαστήρας συγκεντρώνει την φωτεινότητα και την κατευθύνει προς τον δρόμο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων. Παλιότερα χρησιμοποιούνταν σαν υλικό κατασκευής φύλλα από χάλυβα ενώ με την πάροδο του χρόνου έχει καθιερωθεί το θερμοπλαστικό στα πιο συνηθισμένα φώτα και στα πιο ακριβά συναντάμε επίστρωση αλουμινίου ή μαγνησίου. Όσον αφορά τα καλύμματα των σωμάτων που προστατεύουν τον λαμπτήρα από το περιβάλλον είναι κατασκευασμένο συνήθως από κρύσταλλο αν και η χρήση πολυμερούς υιοθετείται ολοένα και περισσότερο.

Το διαφανές κάλυμμα είναι αυτό που ελέγχει την διάθλαση του φωτός. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες καλυμμάτων που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις.

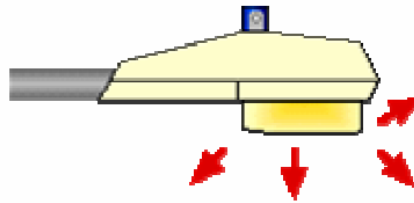
Αρχικά είναι τα καλύμματα που επιτρέπουν την διάχυση του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις (εικόνα 3.1). Αυτά δεν χρησιμοποιούνται για φωτισμό στους δρόμους καθώς έχουν την τάση να τυφλώνουν τους οδηγούς. Ωστόσο έχουν ευρεία εφαρμογή σε πλατείες, πεζόδρομους όπου ο έντονος φωτισμός δεν αποτελεί πρόβλημα.



Εικόνα 3.1 Διάχυση φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις [16]

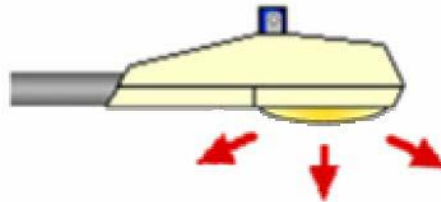
Στην συνέχεια είναι τα καλύμματα τα οποία επιτρέπουν το φώς να διαχυθεί κάτω από το επίπεδο των 90° ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό μπορεί να διαχυθεί πάνω από αυτό (εικόνα 3.1.2). Έχουν ευρεία χρήση σε αυτοκινητόδρομους καθώς τους καλύπτουν ικανοποιητικά. Παρόλο που ο φωτισμός τους είναι

αρκετά έντονος δεν δημιουργούν πρόβλημα στους οδηγούς καθώς τοποθετούνται σε υψηλούς ιστούς.



Εικόνα 3.1.2 Διάχυση φωτός κυρίως κάτω από επίπεδο 90ο [16]

Τέλος είναι τα καλύμματα τα οποία διαχέουν σχεδόν όλο το φως κάτω από το επίπεδο των 90° (εικόνα 3.1.3). Τα φωτιστικά αυτά είναι ιδανικά για τον φωτισμό σε χώρους στάθμευσης όπου απαιτείται οι ιστοί να έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Επίσης είναι απαραίτητο να μην τοποθετούνται σε μεγάλο ύψος ώστε ο φωτισμός που παρέχουν να είναι σωστός.



Εικόνα 3.1.3 Διάχυση φωτός κάτω από επίπεδο 90° [16]

Το σώμα που περικλείει όλη την διάταξη κατασκευάζεται από διάφορα υλικά, συνήθεστερα από αλουμίνιο επικαλυμμένο με ηλεκτροστατική βαφή.

Τα βασικά φωτομετρικά χαρακτηριστικά και στοιχεία φωτιστικής λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων δίνονται από τους κατασκευαστές και τα πιο συνήθη από αυτά είναι τα εξής:

- Συντελεστής χρήσης (Coefficient of Utilization, CU): είναι το ποσοστό της συνολικής φωτεινής ροής (lumens) που φτάνει στην εξεταζόμενη επιφάνεια του οδοστρώματος.
- Διάγραμμα καμπυλών ίσου φωτισμού (Isofootcandle chart): χρησιμεύει στην περιγραφή του φωτεινού αποτελέσματος ενός φωτιστικού σώματος τοποθετημένου σε δεδομένο ύψος πάνω στο οδόστρωμα.
- Κατακόρυφη διασπορά: χαρακτηρίζεται ως βραχεία, μέση ή μακρά βάσει της απόστασης από το φωτιστικό σώμα που προσπίπτει η ακτίνα μέγιστης φωτεινής έντασης. Με βάση την κατάταξη του φωτιστικού σώματος ως προς την κατακόρυφη διασπορά, υπολογίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.

- Πλευρική διασπορά: με βάση την πλευρική διασπορά, τα φωτιστικά σώματα διακρίνονται σε πέντε τύπους, οι οποίοι αναφέρονται κυρίως στο πλάτος της οδού και στην τοποθέτηση των σωμάτων.
- Συντελεστές απαξίωσης φωτισμού: περιγράφουν την απώλεια των φωτεινών χαρακτηριστικών του σώματος με το πέρασ του χρόνου. Η απαξίωση αυτή προέρχεται από διάφορους παράγοντες, εσωτερικούς ή εξωτερικούς.

3.2 ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Τα φωτιστικά σώματα για φωτισμό δρόμων προϋποθέτουν την ύπαρξη των κατάλληλων ιστών στήριξης. Ο ιστός μπορεί να κατασκευαστεί είτε από αλουμίνιο είτε από χάλυβα. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατασκευάζεται και από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η χρήση όμως των ιστών από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει περιορισμούς, όπως για παράδειγμα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε παραθαλάσσιες περιοχές καθώς διαβρώνονται. Η διατομή των ιστών είναι συνήθως πολυγωνική ή και κυκλική στις περιπτώσεις των ιστών από σκυρόδεμα.

Οι ιστοί περιλαμβάνουν τα καλώδια τροφοδοσίας των φωτιστικών. Στην κορυφή τους τοποθετείται ο βραχίονας στήριξης του φωτιστικού, ο οποίος είναι σταθερής ή μεταβλητής κλίσης. Η κλίση των φωτιστικών παίζει καθοριστικό ρόλο στον σωστό φωτισμό του δρόμου. Επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας είναι και το ύψος των ιστών ώστε να αποφεύγεται η θάμβωση στους δρόμους. Μέσα σε κατοικημένες περιοχές χρησιμοποιούνται ιστοί χαμηλού ύψους και σε αυτοκινητόδρομους ιστοί μεγάλου ύψους.

Ωστόσο δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου το φωτιστικό σώμα στηρίζεται σε υπάρχοντες ιστούς ή κατασκευές με την χρήση απλώς ενός βραχίονα, είτε απευθείας, χωρίς βραχίονα σε περίπτωση σήραγγας (σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Φωτισμός σήραγγας [16]

3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΡΟΜΟΥΣ

Για κάθε μία κατηγορία δρόμων χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος φωτισμός. Στη συνέχεια διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες:

- Σε μεγάλες λεωφόρους (αυτοκινητόδρομοι) διπλής κυκλοφορίας με κεντρική νησίδα κατά μήκος του δρόμου, η τοποθέτηση των ιστών φωτισμού στο κεντρικό διάζωμα δίνει άριστη οπτική καθοδήγηση.
- Σε δρόμους με καμπύλες αρκετής καμπυλότητας, η διάταξη των φωτιστικών θα είναι μονόπλευρη αν χρησιμοποιηθούν ψηλοί στύλοι και προτιμάται η εγκατάσταση στο εξωτερικό της καμπύλης, ενώ αν χρησιμοποιηθούν μικρότεροι στύλοι χρησιμοποιείται η αντίθετη διάταξη.
- Επιτυχής καθοδήγηση μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και με χρήση λαμπτήρων διαφορετικών χρωμάτων. Είτε σε εξόδους-εισόδους σε αυτοκινητόδρομους, είτε σε δρόμους με κατεύθυνση το κέντρο μιας πόλης και αντίστροφα.
- Ακόμα, η τοποθέτηση των φωτιστικών στο κέντρο του δρόμου υπερτερεί έναντι των άλλων διατάξεων αφού προσφέρει άριστη οπτική καθοδήγηση, άριστη ομοιομορφία και μικρότερη θάμβωση.
- Τέλος, οι απλές διασταυρώσεις, οι κυκλικές διασταυρώσεις και οι δρόμοι ολισθήσεως πρέπει να φωτίζονται ώστε να είναι ορατές από μακριά.

3.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ IP

Η κατηγοριοποίηση IP ξεχωρίζει τα φωτιστικά ανάλογα με την προστασία κατά της εισόδου νερού και ξένων αντικειμένων με τα γράμματα IP και δύο ψηφία αριθμούς κατά τρόπο που φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

Πρώτο χαρακτηριστικό ψηφίο	Βαθμός προστασίας	
	Σύντομη περιγραφή	Ορισμός
0	Απροστάτευτο	-
1	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 50 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 50 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
2	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 12.5 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 12.5 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
3	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 2.5 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 2.5 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
4	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 1.0 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 1.0 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
5	Προστατευμένο από σκόνη	Η είσοδος σκόνης δεν αποτρέπει πλήρως αλλά δεν γίνεται σε βαθμό που επηρεάζει την ικανοποιητική λειτουργία
6	Στεγανό από σκόνη	Καμία είσοδος σκόνης

Πίνακας 3.4.1 Επεξήγηση πρώτου ψηφίου IP[16]

Δεύτερο χαρακτηριστικό ψηφίο	Βαθμός Προστασίας	
	Σύντομη Περιγραφή	Ορισμός
0	Απροστάτευτο	-
1	Προστατευμένο έναντι σταγόνων νερού που πέφτουν κάθετα	Σταγόνες νερού που πέφτουν κάθετα δεν έχουν βλαβερές επιπτώσεις
2	Προστατευμένο έναντι σταγόνων νερού που πέφτουν κάθετα όταν το φωτιστικό βρίσκεται υπό γωνία έως 15°	Σταγόνες νερού που πέφτουν κάθετα δεν έχουν βλαβερές επιπτώσεις όταν το φωτιστικό βρίσκεται υπό γωνία έως 15°
3	Προστατευμένο έναντι ψεκασμού νερού	Νερό που ψεκάζεται υπό γωνία έως 60° δεν έχει βλαβερές επιπτώσεις
4	Προστατευμένο έναντι νερού	Νερό που πετάγεται στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση δεν έχει βλαβερές συνέπειες
5	Προστατευμένο έναντι εκτοξευμένου νερού	Νερό που εκτοξεύεται στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση δεν έχει βλαβερές συνέπειες
6	Προστατευμένο έναντι ισχυρά εκτοξευμένου νερού	Νερό που εκτοξεύεται με μεγάλη ισχύ στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση δεν έχει βλαβερές συνέπειες
7	Προστατευμένο έναντι προσωρινής βύθισης σε νερό	Καμία είσοδος νερού στο φωτιστικό όταν αυτό βυθίζεται προσωρινά σε νερό με συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου
8	Προστατευμένο έναντι μόνιμης βύθισης σε νερό	Καμία είσοδος νερού στο φωτιστικό όταν αυτό βυθίζεται μόνιμα σε νερό με συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου

Πίνακας 3.4.2 Επεξήγηση δεύτερου ψηφίου IP [16]

3.5 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ Ε.Ε.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει κανόνες ασφαλείας αλλά και επιδόσεων για την χρήση των φωτιστικών δρόμων εντός της επικράτειας της. Υπάρχουν πολλά πρότυπα που πρέπει τα φωτιστικά να συμμορφώνονται.

Συμμόρφωση προς τα πρότυπα ασφαλείας των προϊόντων επιτρέπει τη σήμανση CE και με πρόσθετη συμμόρφωση προς τις επιδόσεις σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εξασφαλίσει την ENEC σήμανση ποιότητας. Παραθέτουμε τα πρότυπα της Ε.Ε. τα οποία πρέπει να ακολουθούνται από τους κατασκευαστές φωτιστικών σωμάτων.

3.5.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΝ Ε.Ε ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΦΩΤΙΣΜΟ

Πρότυπα ασφαλείας και επίδοσης για τις υπάρχουσες τεχνολογίες λαμπτήρων

Τεχνολογία Λαμπτήρων	Πρότυπα Ασφάλειας	Πρότυπα Επίδοσης
Γραμμικός Φθορισμού(Linear Fluorescent)	EN61195	EN60081
Συμπαγής Φθορισμού(Compact Fluorescent)	EN61199	EN60901
Υψηλής Εκκένωσης (High Pressure Sodium)	EN62035	EN60682
Αλογονιδίων Μετάλλων (Metal Halide)	EN62035	EN61167
Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι (Light Emission Diodes, LED)	EN62031	Σε προετοιμασία

Πρότυπα ασφαλείας και επίδοσης για τα συστήματα ελέγχου

Σύστημα Ελέγχου	Πρότυπα Ασφάλειας	Πρότυπα Επίδοσης
Γραμμικός Φθορισμού (Linear Fluorescent)	EN61347	EN60929/ EN 60921
Συμπαγής Φθορισμού (Compact Fluorescent)	EN61347	EN60929/ EN 60921
Υψηλής Εκκένωσης (High Pressure Sodium)	EN61347	EN60923
Πυκνωτές (Capacitors)	EN60048	EN61049
Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι (Light Emission Diodes, LED)	EN61347	EN 61049
Συσκευή Εκκίνησης (Starting Device)	EN 61347	EN60927
Λαμπτήρα Πυράκτωσης (Filament Lamp)	EN61347	EN61047

Πρότυπα ασφαλείας που διέπουν την λειτουργία των φωτιστικών ως σύνολο

Σύστημα Φωτιστικού	Ασφάλεια
Κατασκευή Φωτιστικού (Luminaire Construction)	EN 60598
Εκπομπή EMC (EMC emission)	EN 55015
Αντοχή EMC (EMC immunity)	EN 61547
Ηλεκτρικά Κυκλώματα (Electric Track)	EN 60570
Ιστοί Οδοφωτισμού (Road Lighting columns)	EN 40
Αρμονικές (Harmonics)	EN 61000-3-2
Φωτοβιολογική Ασφάλεια (Photobiological Safety)	EN 62471

Να σημειωθεί πως όλα τα πρότυπα IEC, ISO, CEN, CENELEC είναι αποδεκτά εντός της επικράτειας και δεν αποκλείονται από τα κράτη μέλη.

3.5.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΕΙ ΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ

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 Eco-Design 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)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

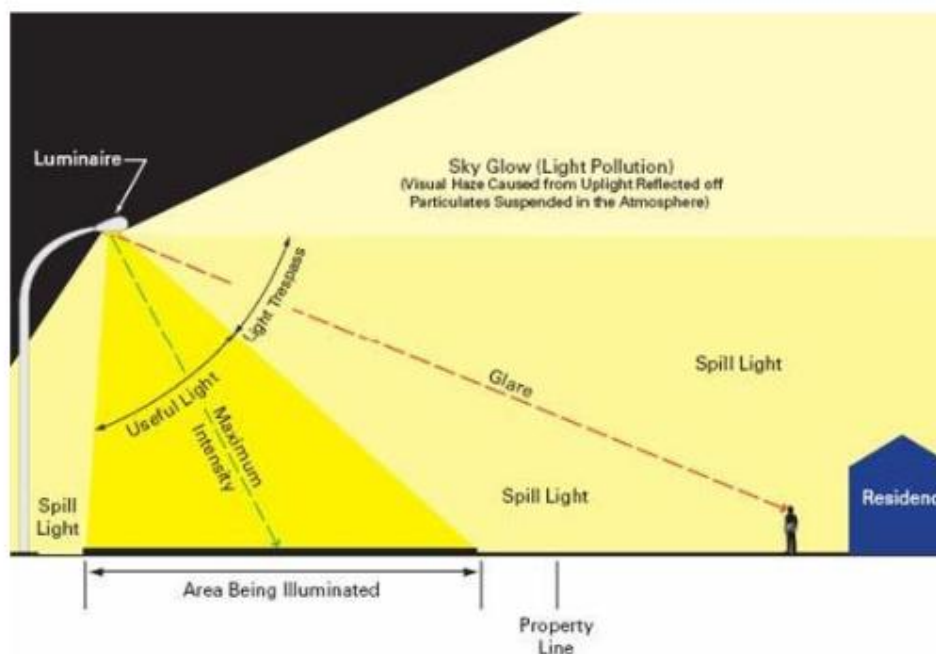
4.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όλα τα ζωντανά όντα ρυθμίζουν την συμπεριφορά τους σύμφωνα με το φυσικό φώς. 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 όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1

- 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 (Skyglow): 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 DarkSky Association με έντονη δραστηριότητα και θέληση για αντιμετώπιση του φαινομένου.



Σχήμα 4.1 Επεξήγηση 3 χαρακτηριστικών ενοχλητικού φωτισμού [5]

Η βιομηχανία φωτισμού για να αντιμετωπίσει το φαινόμενο της φωτορύπανσης 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. Όπως είδαμε σε προηγούμενες ενότητες πλέον υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία φακών για φωτισμό LED και κατηγορίες φωτιστικών αποκοπής και ημι-αποκοπής. Η είσοδος των LED στον φωτισμό δρόμων έχει δώσει την δυνατότητα στην οπτική βιομηχανία για παραγωγή φακών εξατομικευμένους στις εκάστοτε απαιτήσεις.

Τα επίπεδα του διαφεύγοντος φωτισμού έχουν μελετηθεί και χωριστεί σε βαθμίδες στο τεύχος IESNATM-11 LightingTrespass:Research,Results and Recommendations και στο IESNARP-33 Lighting for Exterior Environments.Τα επίπεδα αυτά έχουν προσδιοριστεί από την IES και προτείνεται η τήρηση τους όπου αυτό είναι δυνατό.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να αναφερθούμε στα ανώτατα επίπεδα διαφεύγοντος φωτισμού ανά κατηγορία περιοχής.

- ΖΩΝΗ Ε1: Συμπεριλαμβάνει περιοχές με εν γένει σκοτεινό τοπίο, παραδείγματος χάριν εθνικά πάρκα, περιοχές φυσικής ομορφιάς, περιοχές γύρω από μεγάλα αστρονομικά παρατηρητήρια ή κατοικημένες περιοχές, όπου οι κάτοικοι και οι αρχές ορίζουν αυστηρούς περιορισμούς για τον διαφεύγων φωτισμό.
- ΖΩΝΗ Ε2: Συμπεριλαμβάνει περιοχές με μικρή φωτεινότητα και λαμπρότητα όπως οι ημιαστικές και οι αγροτικές περιοχές.
- ΖΩΝΗ Ε3: Πρόκειται για περιοχές μέσης φωτεινότητας όπως είναι οι αστικές οικιστικές περιοχές.
- ΖΩΝΗ Ε4: Κατά κύριο λόγο περιλαμβάνει αστικές περιοχές που έχουν οικιακούς και εμπορικούς χώρους με υψηλά επίπεδα νυκτερινής δραστηριότητας.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΛΑΜΨΗΣ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ

Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από το ποσοστό του φωτός που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 4.1.1) . Υπάρχουν τρόποι περιορισμού του φαινομένου όπως για παράδειγμα να χρησιμοποιούνται φωτιστικά πλήρους αποκοπής για να ελαχιστοποιείται το φως που κατευθύνεται προς τον ουρανό και όπου είναι εφικτό να μειώνονται τα επίπεδα φωτισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον περιορισμό των εξωτερικών διαφημιστικών πινακίδων και γενικότερα με την θέσπιση ορίων για διαφημιστικό φωτισμό. Ειδικότερα σε χώρους αστρονομικής παρατήρησης προτείνεται η τοποθέτηση φωτιστικών νατρίου χαμηλής πίεσης, τα οποία έχουν μονοχρωματικό σχεδόν υποκίτρινο φως το οποίο απορροφάται από τα φίλτρα των τηλεσκοπίων.

Environmental zone	Sky glow ULR* (max %)
E1	0.0
E2	2.5
E3	5.0
E4	15.0

* ULR is the Upward Light Ratio of the installation and is the maximum permitted percentage of luminaire flux for the total installation that goes directly into the sky.

Πίνακας 4.1.1 [12]

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΦΕΥΓΟΝΤΟΣ-ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο σωστός σχεδιασμός-μελέτη της εγκατάστασης φωτισμού είναι ένας τρόπος ώστε να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις του φωτισμού. Κατά την διεξαγωγή της μελέτης είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη ο παρακείμενος χώρος και να χρησιμοποιούνται φωτιστικά που φωτίζουν

αποδοτικά το οδόστρωμα χωρίς απώλειες φωτός στα πεζοδρόμια και στις αυλές (Πίνακας 4.1.2).

Environmental zone	Light into windows, vertical illuminance (lux)	
	Before curfew	After curfew
E1	2	1 ^{**}
E2	5	1
E3	10	2
E4	25	5

Source: ILE 2000

* Acceptable from public road lighting installations only

Πίνακας 4.1.2 [12]

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ

Οι φωτεινές πηγές παράγουν θάμβωση στο οπτικό πεδίο των ανθρώπων. Το φως διαχέεται στο ανθρώπινο μάτι δημιουργώντας το φαινόμενο της διάχυτης λαμπρότητας (Veiling Luminance). Το επίπεδο αυτής της λαμπρότητας μειώνει την οπτική απόδοση του οφθαλμού. Ένα παράδειγμα των επιπτώσεων της διάχυτης λαμπρότητας (θάμβωσης) είναι ο περιορισμός της οπτικής ικανότητας του οδηγού από την μεγάλη σκάλα φωτισμού των διερχόμενων αυτοκινήτων.

Η ένταση του ερεθίσματος της θάμβωσης είναι αποτέλεσμα διάφορων παραγόντων, όπως το μέγεθος, η θέση, η φωτεινότητα της πηγής και η φωτεινότητα στην οποία τα μάτια του παρατηρητή είναι συνηθισμένα.

Στον οδοφωτισμό η θάμβωση όπως έχει αναλυθεί, μετρείται και έχουν θεσπιστεί αυστηρά όρια. Προκαλείται από την διάταξη των φωτιστικών, την ένταση του φωτισμού δρόμων, την διάχυση φωτός του φωτιστικού με ανύψωση από τις 70° μέχρι τις 90° στο κάθετο επίπεδο που παρατηρείται κ.α.

Η θάμβωση διακρίνεται σε δύο είδη:

- Θάμβωση ανικανότητας διάκρισης :Το επίπεδο αυτής είναι τόσο μεγάλο που εμποδίζει τον παρατηρητή να βλέπει επαρκώς. Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους θάμβωσης είναι η ενόχληση από τα φώτα των διερχόμενων αυτοκινήτων.

- Θάμβωση ενόχλησης: Αυτή μας προκαλεί ενόχληση αλλά όχι απώλεια όρασης. Μπορεί να προκαλέσει δάκρυα και να αυξήσει τον ρυθμό που ανοιγοκλείνουμε τα μάτια μας.

Τα δυο είδη θάμβωσης είναι πολύ διαφορετικά φαινόμενα. Το πρώτο εξαρτάται από την ποσότητα του φωτός που πέφτει στο μάτι και την γωνία θέασης. Η θάμβωση ενόχλησης εξαρτάται από την λαμπρότητα. Η θάμβωση ανικανότητας διάκρισης από την ένταση φωτισμού.

Environmental zone	Source intensity (kilocandela)	
	Before curfew	After curfew
E1	0	0.0
E2	20	0.5
E3	30	1.0
E4	30	2.5

Πίνακας 4.1.3 [12]

4.2 ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΓΚΛΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ο φωτισμός των δημόσιων χώρων, σχεδόν αποκλειστικά, υπάρχει για λόγους δημόσιας ασφάλειας. Έχουν γίνει αρκετές έρευνες προκειμένου να επιβεβαιωθεί με επάρκεια η προηγούμενη πρόταση. Τα αποτελέσματα όμως αυτών των ερευνών είναι αλληλοσυγκρουόμενα. Η αύξηση του φωτισμού, σε αρκετές περιπτώσεις, οδήγησε σε μείωση των εγκληματικών δραστηριοτήτων καθώς και στην κατάργηση του αισθήματος φόβου. Ταυτόχρονα, όμως, διέσπειρε το έγκλημα στις πόλεις και μετατόπισε τις εγκληματικές δραστηριότητες σε γειτονικές κακοφωτισμένες περιοχές. Στις ίδιες έρευνες διαπιστώθηκε ότι ο υποδιπλασιασμός του φωτισμού οδηγεί σε αύξηση από 20-100% ορισμένων εγκληματικών δραστηριοτήτων, ενώ αύξηση του φωτισμού οδήγησε σε μείωση από 40-90%. Αντιθέτως σε άλλες έρευνες διαπιστώθηκε ότι τα φώτα απλώς φωτίζαν τη σκηνή του εγκλήματος. Σε άλλες έρευνες όμως διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ έντονου φωτισμού και διαρρήξεων σπιτιών. Συνεκτιμώντας τα προηγούμενα, έχει διαπιστωθεί πως δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική απόδειξη ότι ο φωτισμός των δρόμων επιδρά στο επίπεδο του εγκλήματος, υπάρχει όμως ένδειξη ότι ο αυξημένος φωτισμός ελαττώνει τον φόβο για το έγκλημα και εδραιώνει το αίσθημα ασφάλειας των χρηστών των δρόμων. Ιδιαίτερα θετικά επιδρά ο καλός φωτισμός που είναι ομοιόμορφος και όχι ο πολύς.

4.3 ΦΩΤΟΥΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Είναι γνωστό ότι απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα προκειμένου να προσαρμοστεί το μάτι από το φώς στο σκοτάδι απ' ότι το αντίθετο. Ιδιαίτερα τα μάτια των ηλικιωμένων προσαρμόζονται ακόμα πιο αργά. Το υπερβολικό φώς των πόλεων και η εναλλαγή περισσότερο ή λιγότερο φωτισμένων περιοχών προκαλεί συνεχείς αναπροσαρμογές του ματιού. Η αίσθηση αυτή, η οποία είναι ιδιαίτερα ενοχλητική, οδηγεί αρκετούς ανθρώπους, κυρίως μεγάλης ηλικίας, ν' αποφεύγουν την οδήγηση το βράδυ. Από την άλλη πλευρά, είναι αποδεδειγμένο ότι η αύξηση του φωτισμού μειώνει τον λόγο N/H (Νύκτα/ Ημέρα) στα ατυχήματα. Η μείωση αυτή, όμως, δεν είναι γραμμική. Ο λόγος N/H αυξάνει μετά από ένα επίπεδο φωτισμού και πάνω.

4.4 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΔΡΟΜΩΝ ΚΑΙ ΖΩΝΤΑΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Ο φωτισμός δεν επηρεάζει μόνο τον άνθρωπο, αλλά και τα ζώα. Ειδικότερα εάν σκεφτεί κανείς πως η μεγαλύτερη περίοδος δραστηριοποίησης των ζώων είναι το βράδυ. Σχεδόν όλα τα μικρά τρωκτικά και τα σαρκοφάγα, το 80% των μαρσιποφόρων και το 20% όλων των πρωτευόντων δραστηριοποιούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου το βράδυ. Ο φωτισμός σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές με ύπαρξη ζώων, θα πρέπει να είναι περιορισμένος, ακριβής και μελετημένος, και με όσο το δυνατόν μικρότερη φωτεινότητα.

Ένα παράδειγμα της επίδρασης του εξωτερικού φωτισμού στην ζωή των ζώων, είναι η νοτιοανατολικές ακτές των ΗΠΑ, όπου οι θαλάσσιες χελώνες εναποθέτουν τα αυγά τους. Τα νεογνά είναι από την φύση τους προγραμματισμένα να αναζητούν ανακλάσεις του φεγγαριού και των άστρων για να βρουν το δρόμο από τις ακτές στην θάλασσα. Όμως οι φωτισμένοι δρόμοι και γενικά η φωτορύπανση τα οδηγεί μακριά από την θάλασσα, προς τις λεωφόρους.

Σ αυτήν την περιοχή θα πρέπει επομένως να θεσπιστούν κανονισμοί για την χρήση του φωτισμού. Η χρήση φωτιστικών πλήρους αποκοπής στους δρόμους, ο περιορισμός του εξωτερικού φωτισμού, και ο έλεγχος του μπορούν να συμβάλλουν θετικά στο φαινόμενο.

Τα φυτά έχουν αναπτύξει ένα μεγάλο εύρος από φωτουποδοχείς, οι οποίοι αντιλαμβάνονται και ενεργοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα ακτινοβολίας. Παρόλο που δεν υπάρχει κάποια σοβαρή ερευνητική κινητοποίηση για την μελέτη της επίδρασης του τεχνητού φωτισμού στα φυτά, είναι σίγουρο πως και αυτά επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ CEN/TR 13201

5.1 ΣΚΟΠΟΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 13201 έχει θεσπιστεί για το φωτισμό δρόμων και περιλαμβάνει ένα σύνολο προϋποθέσεων και κριτηρίων που πρέπει να πληρούνται ώστε ένας δρόμος να θεωρείται σωστά φωτισμένος. Τα κριτήρια αυτά δεν είναι ίδια για όλους τους δρόμους καθώς με τη σειρά τους εξαρτώνται από ένα σύνολο παραμέτρων, όπως τη γεωμετρία του δρόμου, τον τύπο του οδοστρώματός του, την πυκνότητα της ροής κυκλοφορίας του, το είδος των χρηστών του κι ένα πλήθος από άλλες παραμέτρους. Με βάση τις παραμέτρους αυτές οι δρόμοι κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες φωτισμού, κάθε μία από τις οποίες ορίζει τα αντίστοιχα επίπεδα λαμπρότητας, ομοιομορφίας φωτισμού, ορίου θάμβωσης, του περιβάλλοντος φωτισμού καθώς και τον τρόπο μετάβασης των χρηστών από φωτεινό σε σκοτεινό χώρο (οπτική καθοδήγηση) [4].

5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Οι βασικές παράμετροι αξιολόγησης ενός δρόμου παρατίθενται στον Πίνακα 5.2.1 και κατατάσσουν, όπως φαίνεται στην τελευταία στήλη, τους δρόμους σε διάφορες καταστάσεις φωτισμού:

Τυπική ταχύτητα του κύριου τύπου χρηστών (B3)	Τύποι χρηστών στην ίδια σχετική περιοχή (B2) (B1)			Σύνολο καταστάσεων φωτισμού
	Κύριος τύπος χρηστών (B2a)	Άλλοι επιτρεπόμενοι τύποι χρηστών (B2b)	Αποκλειόμενοι τύποι χρηστών (B2c)	
High	M	-	S C P	A1
		S	C P	A2
		S C P	-	A3
Moderate	M S	C P	-	B1
	M S C	P	-	B2
	C	P	M S	C1
Low	M P	-	S C	D1
		S C	-	D2
	M C	S P	-	D3
	M S C P	-	-	D4
Very low	P	-	M S C	E1
		M S C	-	E2

Πίνακας 5.2.1: Βασικές παράμετροι αξιολόγησης δρόμων [6]

Οι αντίστοιχες ειδικές παράμετροι παρατίθενται στον Πίνακα 5.2.2 :

SYMBOL	TITLE	OPTIONS
A1	Separation of carriage ways	a) Yes b) No
A2	Type of junctions	a) Interchanges b) Intersections
A3	Frequency of junctions	
A3a	Interchange spacing	a) >3 km b) ≤ 3 km
A3b	Intersection density	a) < 3 intersections/km b) ≥ 3 intersections/km
A4	Conflict area	a) No b) Yes
A5	Geometric measures for traffic calming	a) No b) Yes
T1	Traffic flow	
T1a	Vehicles	a) < 4000 b) 4000 to 7000 c) 7000 to 15000 d) 15000 to 25000 e) 25000 to 40000 f) > 40000
T1b	Cyclists	a) Normal b) High
T1c	Pedestrians	a) Normal b) High

T2	Difficulty of navigational task	a) Normal b) Higher than normal
T3	Parked vehicles	a) Not present b) Present
T4	Facial recognition	a) Unnecessary b) Necessary
T5	Crime risk	a) Normal b) Higher than normal
E1	Complexity of visual field	a) Normal b) High
E2	Ambient brightness levels	a) Low b) Medium c) High
E3	Main weather type	a) Dry b) Wet

Πίνακας 5.2.2: Ειδικές παράμετροι αξιολόγησης δρόμων [6]

Οι διάφορες καταστάσεις φωτισμού σε συνδυασμό με τις ανωτέρω ειδικές παραμέτρους οδηγούν στην τελική κατάταξη του δρόμου σε κατηγορίες (κλάσεις) φωτισμού [3]. Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται διάφορες κλάσεις φωτισμού για κάθε κατάσταση φωτισμού αλλά και οι ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού (όρια) για κάθε κλάση.

Main weather type (E3)	Seperation of carriage-ways (A1)	Type of junctions (A2)		Traffic flow Vehicles (T1a)								
		Interchanges	Intersections									
		Interchange spacing, distance between bridges (A3a)	Intersection density (A3b)	< 15000			15000 to 25000			> 25000		
				←	o	→	←	o	→	←	o	→
Dry	Yes	> 3 km		5	4a	3a	4a	3a	2	4a	3a	2
		≤ 3 km		4a	3a	2	4a	3a	2	3a	2	1
			< 3 intesections/km	5	4a	3a	5	4a	3a	4a	3a	2
			≥ 3 intesections/km	4a	4a	3a	4a	3a	2	3a	2	1
	No	> 3 km		4a	3a	2	3a	2	1	3a	2	1
		≤ 3 km		3a	2	1	3a	2	1	2	2	1
			< 3 intesections/km	4a	4a	3a	4a	3a	2	3a	2	1
			≥ 3 intesections/km	4a	3a	2	3a	2	1	2	2	1
Wet			MEW class									

Πίνακας 5.2.3: Κατηγορίες φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού A1 [7]

Τα σύμβολα προκύπτουν από επιπλέον ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2.4:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	←	←	o
		Higher than normal	o	o	→
	High	Normal	←	o	o
		Higher than normal	o	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22 .				

Πίνακας 5.2.4: Επεξήγηση συμβόλων [7]

Για καταστάσεις φωτισμού A2 η κλάση φωτισμού ME δίνει τον παρακάτω πίνακα:

Main weather type (E3)	Intersection density (A3b)	Traffic flow Vehicles (T1a)					
		< 7000			> 7000		
		←	o	→	←	o	→
Dry	< 3 intersections/km	5	5	4a	4a	3a	3a
	≥ 3 intersections/km	5	4	3a	4a	3a	2
Wet		MEW class					

Πίνακας 5.2.5: Κατηγορίες φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού A2 [8]

Τα ανωτέρω σύμβολα προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	←	←	o
		Higher than normal	o	o	→
	High	Normal	←	o	o
		Higher than normal	o	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22				

Πίνακας 5.2.6: Επεξήγηση συμβόλων [8]

Ομοίως, για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού A3 έχουμε:

Main weather type (E3)	Separation of carriageways (A1)	Intersection density (A3b)	Traffic flow Vehicles (T1a)											
			< 7000			7000 to 15000			15000 to 25000			> 25000		
			←	o	→	←	o	→	←	o	→	←	o	→
Dry	Yes	< 3 intersections/km	5	5	4a	5	5	4a	5	4a	3b	4a	3b	3b
		≥ 3 intersections/km	5	4a	3b	5	4a	3b	4a	3b	2	3b	2	2
	No	< 3 intersections/km	5	4a	3b	5	4a	3b	4a	3b	2	3b	2	2
		≥ 3 intersections/km	4a	3b	3b	4a	3b	2	3b	2	2	3b	2	1
Wet			MEW class											

Πίνακας 5.2.7: Κατηγορίες φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού A3 [8]

Όπου τα σύμβολα \leftarrow , \rightarrow και \circ προκύπτουν με βάση τα κριτήρια του Πίνακα 5.2.8:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Parked vehicles (T3)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
				Low	Medium	High
No	Normal	Not present	Normal	←	←	o
			Higher than normal	o	o	→
		Present	Normal	←	o	→
			Higher than normal	o	→	→
	High	Not present	Normal	←	o	o
			Higher than normal	o	→	→
		Present	Normal	o	o	→
			Higher than normal	→	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22					

Πίνακας 5.2.8: Επεξήγηση συμβόλων [8]

Για τις καταστάσεις φωτισμού B1 και B2, οι κατηγορίες φωτισμού ME προκύπτουν από τους Πίνακες 5.2.9 και 5.2.10 αντίστοιχα

Main weather type (E3)	Geometric measures for traffic calming (A5)	Intersection density (A3b)	Difficulty of navigational task (T2)	Traffic flow Vehicles (T1a)					
				< 7000			> 7000		
				←	o	→	←	o	→
Dry	No	< 3 intersections/km	Normal	6	5	4b	5	4b	3c
			Higher than normal	5	4b	3c	5	4b	3c
		≥ 3 intersections/km	Normal	5	4b	3c	4b	4b	3c
			Higher than normal	4b	3c	2	3c	3c	2
	Yes			Choice as above, but select -1 only at area of traffic calming. ¹⁾					
	Wet			Επιλογή όπως παραπάνω, με κατηγορίες φωτισμού MEW.					

Πίνακας 5.2.9: Κατηγορίες φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού B1 [9]

Main weather type (E3)	Geometric measures for traffic calming (A5)	Intersection density (A3b)	Difficulty of navigational task (T2)	Traffic flow Vehicles (T1a)					
				< 7000			> 7000		
				←	o	→	←	o	→
Dry	No	< 3 intersections/km	Normal	5	5	4b	4b	4b	3c
			Higher than normal	4b	4b	3c	4b	4b	3c
		≥ 3 intersections/km	Normal	4b	3c	2	3c	3c	2
			Higher than normal	3c	3c	2	3c	3c	2
	Yes	Choice as above, but select -1 only at area of traffic calming. ¹⁾							
		Wet							
				Επιλογή όπως παραπάνω, με κατηγορίες φωτισμού MEW .					

Πίνακας 5.2.10: Κατηγορίες φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού B2 [9]

Όταν η χρήση της λαμπρότητας ως κριτήριο είναι μη πρακτική, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο η ένταση φωτισμού. Συγκρίσιμες CE και ME κατηγορίες φωτισμού βρίσκονται στον Πίνακα 5.2.23. Τα σύμβολα για τις δύο ανωτέρω καταστάσεις φωτισμού προκύπτουν από τον ακόλουθο πίνακα:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Parked vehicles (T3)	Ambient brightness levels (E2)					
			Low		Medium		High	
			Traffic flow Cyclists (T1b)		Traffic flow Cyclists (T1b)		Traffic flow Cyclists (T1b)	
			Normal	High	Normal	High	Normal	High
No	Normal	Not present	←	o	←	o	o	o
		Present	o	→	o	→	→	→
	High	Not present	o	o	o	o	o	o
		Present	o	o	→	→	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22							

Πίνακας 5.2.11: Επεξήγηση συμβόλων [9]

Στον Πίνακα 5.2.12 φαίνονται οι κατηγορίες φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού C1:

Geometric measures for traffic calming (A5)	Crime risk (T5)	Facial recognition (T4)	Traffic flow Cyclists (T1b)					
			Normal			High		
			←	o	→	←	o	→
No	Normal	Unnecessary	6	5	4	5	4	3
		Necessary	5	4	3	4	3	2
	Higher than normal		4	3	2	3	2	1
Yes			3	2	1	3	2	1

Πίνακας 5.2.12: Κατηγορίες φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού C1 [9]

Ακολουθεί ο πίνακας με κατηγορίες φωτισμού CE για σύνολο καταστάσεων D1 και D2 :

Geometric measures for traffic calming (A5)	Crime Risk (T5)	Facial Recognition (T4)	Difficulty of navigational task (T2)	Traffic flow Pedestrians (T1c)					
				Normal			High		
				←	o	→	←	o	→
No	Normal	Unnecessary	Normal	5	5	4	5	4	3
			Higher than normal	5	4	3	4	3	2
		Necessary	Normal	4	4	4	4	4	3
			Higher than normal	4	4	3	4	3	2
	Higher than normal	Normal	4	4	3	4	3	3	
		Higher than normal	4	3	2	3	2	2	
Yes				Choice as above, but select ≤ 4 only at area of traffic calming.					

Πίνακας 5.2.13: Κατηγορίες φωτισμού CE για καταστάσεις φωτισμού D1 και D2 [9]

Τα σύμβολα των πινάκων 5.2.12 και 5.2.13 αντλούνται από τον παρακάτω πίνακα:

Ambient brightness levels (E2)		
Low	Medium	High
←	o	→

Πίνακας 5.2.14: Επεξήγηση συμβόλων [9]

Για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού D3 και D4 και για κατηγορίες δρόμου S έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

Geometric measures of traffic calming (A5)	Parked vehicles (T3)	Difficulty of navigational task (T2)	Traffic flow Pedestrians and cyclists (T1b, c)					
			Normal			High		
			←	o	→	←	o	→
No	Not present	Normal	6	5	4	5	4	3
		Higher than normal	5	4	3	4	3	2
	Present	Normal	5	4	3	4	3	2
		Higher than normal	4	3	2	3	2	1
Yes			Choice as above, but select ≤ 4 only at area of traffic calming.					

Πίνακας 5.2.15: Κατηγορίες φωτισμού S για τις καταστάσεις φωτισμού D3 και D4 [9]

Τα σύμβολα του ανωτέρω πίνακα προκύπτουν από διάφορες παραμέτρους όπως υποδεικνύει ο Πίνακας 5.2.16:

Complexity of visual field (E1)	Crime risk (T5)	Facial recognition (T4)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
Normal	Normal	Unnecessary	←	o	o
		Necessary	←	o	→
	Higher than normal		o	→	→
High	Normal	Unnecessary	o	o	o
		Necessary	o	→	→
	Higher than normal		→	→	→

Πίνακας 5.2.16: Επεξήγηση συμβόλων [9]

Ακολουθούν τέλος κατηγορίες S για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού E1 και E2. Για το πρώτο σύνολο καταστάσεων έχουμε:

Crime risk (T5)	Facial recognition (T4)	Traffic flow Pedestrians (T1c)					
		Normal			High		
		←	o	→	←	o	→
Normal	Unnecessary ¹⁾	6	5	4	5	4	3
	Necessary ²⁾	4	3	2	4	3	2
Higher than normal		3	2	1	2	1	CE2

Πίνακας 5.2.17: Κατηγορίες φωτισμού S για καταστάσεις E1 [9]

Crime risk (T5)	Facial recognition (T4)	Traffic flow Pedestrians (T1c)					
		Normal			High		
		←	o	→	←	o	→
Normal	Unnecessary ¹⁾	5	4	3	4	3	2
	Necessary ²⁾	3	2	1	3	2	1
Higher than normal		2	1	CE2	2	1	CE2

Πίνακας 5.2.18: Κατηγορίες φωτισμού S για καταστάσεις E2 [9]

Για τις παραπάνω καταστάσεις τα σύμβολα προκύπτουν από τον Πίνακα 5.2.14.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανωτέρω κατηγοριοποίηση προχωράμε στην παράθεση των ορίων ορισμένων φωτοτεχνικών μεγεθών όπως αυτά θεσπίζονται από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για τον οδοφωτισμό για διάφορες κατηγορίες δρόμων [4]. Συγκεκριμένα, για τις κατηγορίες ME που αφορούν δρόμους μεσαίων και μεγάλων ταχυτήτων με βασικούς χρήστες τα μηχανοκίνητα οχήματα, έχουν θεσπιστεί τα παρακάτω όρια φωτισμού:

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry road surface condition			Disability glare	Lighting of surroundings
	L in cd x m ⁻² [minimum maintained]	U _o [minimum]	U _l [minimum]	TI in % ¹⁾ [maximum]	SR ²⁾ [minimum]
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b			0.6		
ME3c			0.5		
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b			0.5		
ME5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	-

¹⁾ An increase of 5% in TI can be permitted where low luminance light sources are used.
²⁾ This criterion may be applied only where there are no traffic areas with their own requirements adjacent to the carriageway.

Πίνακας 5.2.19: Όρια φωτισμού για κατηγορίες ME [9]

Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν τις παραπάνω κατηγορίες, όπως παρατηρείται κι από τον Πίνακα 5.2.19, είναι τα εξής:

- *Ελάχιστη διατηρηθείσα τιμή μέσης λαμπρότητας (L):* Υποδεικνύει την ελάχιστη τιμή της μέσης λαμπρότητας που πρέπει να διατηρείται στην εγκατάσταση ώστε το μάτι του οδηγού να προσαρμόζεται εύκολα στα δεδομένα του δρόμου και να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες άνετης και ασφαλούς οδήγησης.
 - *Ομοιομορφία λαμπρότητας (U_0):* Είναι το πηλίκο της ελάχιστης λαμπρότητας προς την αντίστοιχη μέση ή μέγιστη τιμή της. Επηρεάζει εξίσου την άνεση του οπτικού πεδίου του οδηγού.
 - *Διαμήκης ομοιομορφία (U_1):* Ορίζεται ως το ελάχιστο πηλίκο της ελάχιστης προς τη μέγιστη λαμπρότητα σε ευθείες παράλληλες προς τον διαμήκη άξονα του οδοστρώματος. Τιμές κάτω των προβλεπόμενων ορίων συνεπάγονται εναλλαγές σκοτεινών και φωτεινών περιοχών στο πεδίο όρασης του οδηγού καθιστώντας έτσι δυσχερείς τις συνθήκες οδήγησης.
 - *Δείκτης θάμβωσης TI (ThresholdIncrement):* Ο δείκτης TI υποδεικνύει το ποσοστό αύξησης της λαμπρότητας του περιβάλλοντος το οποίο επιβάλλεται ώστε να είναι ορατά τα αντικείμενα του δρόμου από τον οδηγό. Είναι προφανές λοιπόν ότι, εκτός από την ένταση φωτισμού του δρόμου και τα χαρακτηριστικά και τη θέση ανάρτησης των φωτιστικών, ο δείκτης αυτός εξαρτάται και από την εκάστοτε θέση παρατήρησης.
- Δείκτης Λαμπρότητας περιβάλλοντος Χώρου (SR –SurroundRatio):* - Για τον σωστό φωτισμό του περιβάλλοντος χώρου θεωρούμε την αναλογία της μέσης λαμπρότητας σε λωρίδες πλάτους 5m (ή μικρότερες αν δεν επιτρέπει ο χώρος) δίπλα στην άκρη του οδοστρώματος προς την μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 m πάνω στο οδόστρωμα. Με την χρήση της αναλογίας αυτής γίνεται σωστός και ο φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου του δρόμου, με σκοπό τα ψηλά αντικείμενα που βρίσκονται στον χώρο αυτό να γίνονται ορατά από τους οδηγούς. Ο λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου SR προτείνεται να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.5

Για τις αντίστοιχες κλάσεις φωτισμού CE, τα όρια των απαραίτητων φωτοτεχνικών μεγεθών παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

Class	Horizontal illuminance	
	E in Lux [minimum maintained]	U _o [minimum]
CE0	50	0.4
CE1	30	0.4
CE2	20	0.4
CE3	15	0.4
CE4	10	0.4
CE5	7.5	0.4

Πίνακας 5.2.20: Όρια φωτισμού για κατηγορίες CE [9]

Οι κλάσεις φωτισμού CE αφορούν σε περιπτώσεις όπου η μέτρηση της λαμπρότητας δεν είναι καθοριστικής σημασίας, όπως σε περιπτώσεις όπου το πεδίο όρασης του οδηγού δεν εκτείνεται σε απόσταση 60 μέτρων, όπως προβλέπει το πρότυπο για τη μέτρηση της λαμπρότητας. Το φωτομετρικό μέγεθος που παρουσιάζει, συνεπώς, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην παρούσα περίπτωση είναι η ένταση φωτισμού, η οποία ακολουθείται από το αντίστοιχο μέγεθος της ομοιομορφίας της. Οι κατηγορίες CE αφορούν σε δρόμους κοντά σε διασταυρώσεις, με υψηλή πιθανότητα ατυχήματος και γενικότερα δρόμους των λεγόμενων περιοχών σύγκρουσης.

Οι κατηγορίες S και A αναφέρονται σε πεζόδρομους ή δρόμους με συχνή παρουσία πεζών και ποδηλατών, πλησίον κατοικημένων περιοχών ή παράπλευρων σε αυτοκινητόδρομους. Τα αντίστοιχα όρια για αυτές τις κατηγορίες είναι τα εξής:

Class	Horizontal illuminance	
	E in Lux ¹⁾ [minimum maintained]	E _{min} in Lux [maintained]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1
S5	3	0.6
S6	2	0.6
S7	performance not determined	performance not determined
¹⁾ To provide for uniformity, the actual value of the maintained average illuminance must not exceed 1.5 times the minimum E value indicated for the class.		

Πίνακας 5.2.21: Όρια φωτισμού για κατηγορίες S [9]

Class	Hemispherical illuminance	
	E_{hs} in Lux [minimum maintained]	U_o [minimum]
A1	5	0.15
A2	3	0.15
A3	2	0.15
A4	1.5	0.15
A5	1	0.15
A6	performance not determined	performance not determined

Πίνακας 5.2.22: Όρια φωτισμού για κατηγορίες A [9]

Ο Πίνακας 5.2.23 τέλος, παρουσιάζει κατά στήλες τις συγκρίσιμες κατηγορίες δρόμων.

CEO	ME1 MEW1 CE1	ME2 MEW2 CE2	ME3 MEW3 CE3 S1	ME4 MEW4 CE4 S2	ME5 MEW5 CE5 S3	ME6 S4	S5	S6
-----	--------------------	--------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------	----	----

Πίνακας 5.2.23: Συγκρίσιμες κατηγορίες δρόμων [9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ

6.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Αυτή την στιγμή ο δήμος έχει φωτιστικά υδραργύρου (125w,250w), νατρίου (400w) και cfl εξοικονόμησης (23w). Στο κέντρο της πόλης χρησιμοποιούνται χαμηλοί στύλοι ενώ στα προάστια υψηλοί. Ο ακριβής αριθμός και ο τύπος των φωτιστικών φαίνεται αναλυτικότερα στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος Φωτιστικού	125 w Hg	250w Hg	400 w Na	23w CFL
Υψηλοί Στύλοι	3.756 τεμ.	347 τεμ.	80 τεμ.	
Χαμηλοί Στύλοι	3.062 τεμ.			784 τεμ.
Άθροισμα	6.818 τεμ.	347 τεμ.	80 τεμ.	784 τεμ.
Σύνολο Φωτιστικών				8.029 τεμ.

Πίνακας 6.1 Τύπος και αριθμός φωτιστικών

6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΗΜΕΡΙΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η πραγματική κατανάλωση των λαμπτήρων είναι αυξημένη κατά 20% της ονομαστικής.

Οι ώρες λειτουργίας είναι κατά μέσο όρο 11 ανά ημέρα ή 4015 ανά έτος.

Στον παρακάτω πίνακα (6.2) φαίνονται αναλυτικά οι καταναλώσεις των λαμπτήρων σε KWH ετησίως.

Τύπος	Αριθμός Λαμπτήρων Τεμ.	Πραγματική κατανάλωση (W)	Ετήσια κατανάλωση (KWH)
125w-Hg	3.756	150	2.262.051
125w-Hg χ	3.062	150	1.844.090
250w-Hg	347	300	417.962
400w-Na	80	480	154.176
23w-CFL	784	23	72.398
Σύνολα	8.029		4.750.677

Πίνακας 6.2 Ετήσια κατανάλωση λαμπτήρων σε KWH

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας του σημερινού συστήματος υπολογίζεται παρακάτω [10].

- Βάσεις Υπολογισμών

Τιμή ηλεκτρικού ρεύματος: 0,125€ kwh

Κόστος συντήρησης : 20,00€/λαμπ και έτος

- Υπολογισμός ετησίου κόστους

Ενέργεια: $4.750.677 \times 0,125€ = 593.835,00€ / \text{έτος}$

Συντήρηση: $8.029 \times 20,00€ = 160.580,00€ / \text{έτος}$

ΣΥΝΟΛΟ: 754.415,00€ / έτος

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LED

Οι ήδη υπάρχοντες λαμπτήρες θα αντικατασταθούν με λαμπτήρες εξοικονόμησης LED. Παρακάτω εμφανίζεται ο πίνακας με τις ενδεικτικές αντιστοιχίες λαμπτήρων.

Ενδεικτική αντιστοιχία λαμπτήρων

125 Hg => 45 (w) Led

250 Hg =>90 (w) Led

400 Na =>120 (w) Led

125 Hg x => 25 (w) Led

23 CFL => 9 (w) Led

Η κατανάλωση ενέργειας του καινούριου συστήματος υπολογίζεται παρακάτω.

Τύπος	Αριθμός λαμπτήρων (Τεμ.)	Πραγματική κατανάλωση (W)	Ετήσια κατανάλωση (KWH)
45w LED	3.756	45	678.615
120w LED	80	120	38.544
25w LED	3062	25	307.348
90w LED	347	90	125.388
9w LED	784	9	28.330
Σύνολο	8.029		1.178.225

Πίνακας 6.3 Υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας καινούριου συστήματος

Η σημερινή κατανάλωση με τους λαμπτήρες που υπάρχουν τώρα είναι 4.750.677(kwh) ετησίως. Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα αν γίνει η αντικατάστασή τους με λαμπτήρες LED τότε η ετήσια κατανάλωση θα μειωθεί αισθητά στις 1.178.225(kwh). Η διαφορά στις (kwh) είναι 3.572.452 ετησίως. Αυτή η μείωση είναι της τάξης του 75%.

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας του νέου συστήματος υπολογίζεται παρακάτω.

- Βάσεις υπολογισμών

Τιμή ενέργειας 0,125€ / kwh
Κόστος συντήρησης μηδενικό.

- Υπολογισμός ετήσιου κόστους λειτουργίας νέου συστήματος

Ενέργεια: $1.178.225 \times 0,125\text{€} = 147.278,00\text{€}$

Συντήρηση: 0,00€

ΣΥΝΟΛΟ: 147.278,00€/Ετος

Παρακάτω συγκρίνουμε το ετήσιο κόστος λειτουργίας του σημερινού συστήματος και των LED.

Σημερινό Σύστημα €/Ετος Νέο Σύστημα €/Ετος

Ενέργεια 593.835,00€ 147.278,00€

Συντήρηση: 160.580,00€ 0,00€

**ΣΥΝΟΛΟ: 754.415,00€
147.278,00€**

ΣΥΝΟΛΟ:

Μείωση ετήσιου κόστους λειτουργίας κατά 607.137,00€ ή κατά 79%

6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ LED ΜΕ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Το σύστημα να αποτελείται από υλικό (hardware) τηλεχειρισμού και λογισμικό (software). Το σύστημα θα μπορεί να ελέγχει:

- Κατάσταση λειτουργίας (ανοικτό, κλειστό)
- Στάθμη φωτεινότητας (έλεγχος με σήμα 0-10VDC)
- Πρόγραμμα λειτουργίας (αυτόματο/ χειροκίνητο)

Το αυτόματο πρόγραμμα λειτουργίας θα πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίζει το χρόνο ανατολής και δύσης του ηλίου και να προσαρμόζει, βάσει αυτού, την έναρξη λειτουργίας, τη στάθμη φωτεινότητας (% της ονομαστικής) και την παύση λειτουργίας του κάθε φωτιστικού. Το χειροκίνητο πρόγραμμα θέτει με μη αυτόματο τρόπο τη κατάσταση λειτουργίας (ανοικτό/ κλειστό) καθώς και τη στάθμη φωτεινότητας. Κάθε φωτιστικό θα πρέπει ανεξάρτητα να μπορεί να βρίσκεται είτε σε αυτόματο είτε σε χειροκίνητο πρόγραμμα καθώς και να επιτρέπεται η αλλαγή του προγράμματος από το χρήστη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Για κάθε φωτιστικό επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται σε προκαθορισμένα από το χρήστη χρονικά διαστήματα αλλά και σε πραγματικό χρόνο, μετρήσεις οι οποίες θα αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων και θα είναι διαθέσιμες στο χρήστη.

- Κατανάλωση (μέτρηση έντασης ρεύματος λειτουργίας και καταναλισκόμενης ενέργειας)
- Έλεγχος σφαλμάτων λειτουργίας

Ο τηλεέλεγχος και ο τηλεχειρισμός θα πρέπει να γίνονται σε πραγματικό χρόνο από το χρήστη καθώς και να λαμβάνεται (επίσης σε πραγματικό χρόνο) μήνυμα επιβεβαίωσης της εντολής ή απόκριση (π.χ. η κατανάλωση ενέργειας) από τη μονάδα τηλεελέγχου/ τηλεχειρισμού.

Μ' αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ρυθμίζει την στάθμη της φωτεινότητας ώστε να επιτυγχάνει την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα αν μειώνεται η φωτεινότητα κατά 30% για τρεις ώρες το βράδυ (2-5) όπου δεν είναι ώρα αιχμής ο πίνακας κατανάλωσης ενέργειας διαμορφώνεται ως εξής.

Τύπος	Αριθμός λαμπτήρων (Τεμ.)	Πραγματική κατανάλωση (W)	Ετήσια κατανάλωση (KWH)
45w LED	3.756	45	623.091
120w LED	80	120	35.390
25w LED	3.062	25	282.201
90w LED	347	90	115.128
9w LED	784	9	26.011
Σύνολο	8.029		1.081.821

Πίνακας 6.4 Κατανάλωση ενέργειας με σύστημα διαχείρισης

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα (6.4) η νέα ετήσια κατανάλωση σε KWH είναι 1.081.821 από 1.178.225 πού ήταν η παλιά χωρίς το σύστημα διαχείρισης. Οπότε βλέπουμε πως οι KWH μειώθηκαν κατά 96404.

Με τιμή της ενέργειας 0,125 €/KWH το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι:
 $1.081.821 \times 0,125 = 135.227\text{€}$ μειωμένο δηλαδή κατά 12.051€ ετησίως.
Μεταφρασμένο σε ποσοστό μείωση της τάξης 8,2%.

6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Στον παρακάτω πίνακα πραγματοποιείται μια εκτίμηση του κόστους των λαμπτήρων που θα τοποθετηθούν συμπεριλαμβάνοντας το κόστος εργασίας της τοποθέτησης αλλά και το σύστημα διαχείρισης που ανεβάζει το κόστος κατά 50€ ανά τεμάχιο.

Τύπος	Αριθμός λαμπτήρων (Τεμ.)	Κόστος λαμπτήρα (με αντικατάσταση και Σύστημα διαχείρισης) (€)	Συνολικό κόστος λαμπτήρων(€)
45w LED	3.756	160	600.960
120w LED	80	290	23200
25w LED	3.062	90	275580
90w LED	347	240	83280
9w LED	784	60	47040
Σύνολο	8.029		1.030.060

Πίνακας 6.5 Υπολογισμός κόστους αντικατάστασης

Το κόστος της αντικατάστασης των λαμπτήρων ανέρχεται στα 1.030.060€. Κόστος εφικτό καθώς με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν παραπάνω υπολογίστηκε πως η εξοικονόμηση που θα εξασφαλισθεί με τους λαμπτήρες LED θα ανέρχεται στις 619.188€ ετησίως. Στα δύο έτη θα έχει εξοικονομηθεί το ποσό των 1.238.376€. Οπότε γίνεται κατανοητό πως η συγκεκριμένη επένδυση θα αρχίσει να αποδίδει κέρδος σε χρονικό διάστημα μικρότερο των δύο ετών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

Υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες - προτάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους στον οδικό φωτισμό. Καθώς η διάρκεια ζωής μιας εγκατάστασης οδικού φωτισμού είναι από 20 – 30 χρόνια, είναι πολύ σημαντικό να εφαρμόζονται σύγχρονες λύσεις που θα παρέχουν βελτίωση της εμφάνισης, αίσθηση ασφάλειας και εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι πιο συνήθεις παρεμβάσεις θα περιλαμβάνουν την αντικατάσταση των υπαρχόντων φωτιστικών που έχουν λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης και νατρίου υψηλής πίεσης ή μεταλλικών αλογονιδίων, με σύγχρονα φωτιστικά LED προσφέροντας εξοικονόμηση ενέργειας και μερικές φορές αυξημένη αίσθηση ασφάλειας. Επίσης τα παλαιότερα φωτιστικά με βαθμό προστασίας IP54 και συμβατικούς λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης αντικαθίστανται με μοντέρνα φωτιστικά με βελτιωμένα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά, καλύτερη μηχανική προστασία (συνήθως IP65) προσφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Η τεχνολογία των συστημάτων LED έχει σημειώσει σημαντική βελτίωση με την πάροδο του χρόνου. Με την τοποθέτηση τους εξασφαλίζεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας καθώς είναι οι πιο αποδοτικοί λαμπτήρες που υπάρχουν σήμερα. Επίσης όπως αναφέρθηκε πάρα πάνω είναι δυνατό να επιτευχθεί περαιτέρω εξοικονόμηση χρησιμοποιώντας το σύστημα διαχείρισης που περιγράψαμε.

Πολύ συχνά λαμβάνοντας υπόψη τις φωτομετρικές απαιτήσεις, την εξοικονόμηση ενέργειας, την περίοδο συντήρησης και το κόστος εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται ακατάλληλοι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης με φτωχό δείκτη χρωματικής απόδοσης που δημιουργούν δυσάρεστη ατμόσφαιρα.

Προκειμένου να εφαρμόσουμε την πιο κατάλληλη λύση για οδικό φωτισμό πρέπει να λάβουμε υπόψη μας όλους τους παράγοντες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους.

- (1) Τα μέρη όπου συγκεντρώνονται πεζοί (όπως πεζόδρομοι, πάρκα, πλατείες) πρέπει να φωτίζονται με φωτεινές πηγές «άσπρου» φωτός πολύ καλής χρωματικής απόδοσης.
- (2) Οι σκοτεινές περιοχές πρέπει να αποφεύγονται καθώς δημιουργούν αίσθημα ανασφάλειας στους πεζούς. Το επίπεδο της ομοιομορφίας του φωτισμού, όπως δίνεται από τα Διεθνή Πρότυπα Φωτισμού,

πρέπει να τηρείται. Τα φαινόμενα της θάμβωσης και της φωτορύπανσης πρέπει να ελαχιστοποιηθούν με μέτρα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα, όπως με την χρήση κατάλληλων φωτιστικών.

- (3) Προτείνεται να χρησιμοποιούνται φωτιστικά αποδοτικά, εύκολα στην χρήση και με υψηλό βαθμό προστασίας (τουλάχιστον IP65).
- (4) Προτείνονται φωτιστικά με συντελεστή ισχύος (power factor) τουλάχιστον 0.95. Η συνεχώς αυξανόμενη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας δικαιολογεί την προσπάθεια μείωσης της καταναλισκόμενης άεργου ισχύος για οδικό φωτισμό παρόλο που τα ισχύοντα τιμολόγια για φωτισμό δρόμων και πλατειών δεν προβλέπουν την χρέωση της άεργου ισχύος.
- (5) Προσοχή πρέπει να δοθεί στον προσδιορισμό της κατηγορίας/κλάσης φωτισμού του δρόμου. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων φωτισμού και συνεπώς της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαρμαράς, Ν., 2010, Εισαγωγή στην Εργονομία, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ
- [2] Φ. Β. Τοπαλής «Φωτοτεχνία», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [3] Φ. Ι. Δημόπουλος «Φωτοτεχνία και Τεχνική του Φωτισμού»
- [4] Σ. Μανιάς, «Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος», Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [5] Ι. Α. Οικονομόπουλος, «Θεωρητική και εφαρμοσμένη Φωτοτεχνία»
- [6] ΕΛΟΤ EN 50160, «Χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται από τα δημόσια δίκτυα διανομής»
- [7] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01, «Φωτισμός οδών – Μέρος 1: Επιλογή κατηγοριών φωτισμού»
- [8] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02, «Φωτισμός οδών – Μέρος 2: Απαιτήσεις επιδόσεων»
- [9] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.03, «Φωτισμός οδών – Μέρος 3: Υπολογισμός επιδόσεων»
- [10] ΔΕΗ Α.Ε., «ΤΙΜΟΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», Αθήνα
- [11] Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. «Απόφαση υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. περί συμπληρώσεως τεχνικών προδιαγραφών ηλεκτροφωτισμού οδών», Αθήνα
- [12] R. Ruscassie, J.B. Rouffet, M. Huber, “NumeliTe: An energy efficient lighting system for roadways and a commercial application of a dimming power supply”, IEEE
- [13] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο www.philips.com
- [14] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο www.sylvania.com
- [15] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο www.osram.com
- [16] Google wikipedia