



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ
ΠΡΟΤΥΠΟ EN 13201 : 2015, ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
DIALUX.**



ΚΟΛΙΟΤΣΙΔΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΚΟΔΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη φωτισμού δρόμων. Δηλαδή ο σχεδιασμός του φωτιστικού συστήματος ενός δρόμου από την αρχή ή η βελτίωση του ήδη υπάρχοντος. Η μελέτη γίνεται με τη χρήση του λογισμικού DIALUX, το οποίο είναι σχεδιασμένο για τη μελέτη φωτισμού εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Οι υπολογισμοί και οι παραδοχές γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201:2015, το οποίο ορίζεται σαφώς στις οδηγίες του ΤΕΕ σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα.

Η μελέτη οδοφωτισμού είναι εξαιρετικά σημαντική. Όταν γίνεται από την αρχή δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα, ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν, την οικονομικότερη και καλύτερη ενεργειακά επιλογή. Όταν η μελέτη γίνεται σε ένα ήδη υπάρχον σύστημα βελτιώνει την απόδοσή του ενεργειακά και το κάνει πιο οικονομικό. Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων είναι πλέον επιτακτική και αυτό κάνει τη μελέτη οδοφωτισμού ακόμα πιο σημαντική.

Στόχος της εργασίας είναι να εισάγει τον αναγνώστη στα βασικά μεγέθη της φωτοτεχνίας και να παρουσιάσει σε αυτόν τα βασικά βήματα μια μελέτης οδοφωτισμού, σύμφωνα με το πρότυπα που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ η μελέτη είναι απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί βέλτιστος συνδυασμός οικονομίας και απόδοσης. Η εργασία αυτή αποτελεί ένα πρώτο βήμα στη χρήση του προγράμματος DIALUX και στις πολλές δυνατότητες που αυτό προσφέρει.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the street lighting study. Either the design a new road's street lighting, or the improvement of an existing one lighting system. Thesis is completed by using DIALUX program which is designed to study indoor and outdoor lighting systems. Calculations and assumptions made according to EN 13201:2015 standard, which is clearly defined by European Union.

The street lighting study is extremely important. When someone makes a design from the beginning, study gives the best results depending on the requirements. It gives the best economical and energy choice. When someone studies an existing system, energy and economy efficiencies are improving. It is imperative to save energy and resources, that's why a street lighting study is so important.

The aim of this thesis is to introduce to the reader the basic dimensions and steps of street lighting, according to the standards of European Union. This thesis is a step in using DIALUX and its possibilities. The study is necessary to achieve an optimal combination of economy and efficiency.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Σκόδρα Γεώργιο, που μου έκανε την ιδιαίτερη τιμή και πρότεινε ο ίδιος να συνεργαστούμε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, πριν αρκετά χρόνια. Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τους: κ. Νενέ Γεώργιο, καθηγητή και πρόεδρο του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών και κ. Μπακούρο Ιωάννη, καθηγητή και πρόεδρο του τμήματος Περιφερειακής και Διασυνοριακής Ανάπτυξης, για την ανάγνωση της εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου. Τον πατέρα μου, που δεν είναι πια μαζί μας, αλλά ξέρω πόσο περήφανος θα ήταν με την ολοκλήρωση των σπουδών μου, τη μητέρα μου, το σύζυγό μου και κυρίως τα παιδιά μου, Θοδωρή και Άγγελο, για την υπομονή, τη στήριξη και την παρέα στο διάβασμα.

Ειδικές ευχαριστίες στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και στους καθηγητές αυτού για όσα μας δίδαξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα έναν διαδικτυακό φίλο για την πολύτιμη βοήθειά του από τη μακρινή Ινδία, τον Prudvi Raju.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	9
2. ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ	10
3. ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ.....	14
4. ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	16
4.1 ΣΤΕΡΕΑ ΓΩΝΙΑ.....	16
4.2 ΦΩΤΕΙΝΗ ΡΟΗ	17
4.3 ΦΩΤΕΙΝΗ ΕΝΤΑΣΗ.....	19
4.4 ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	22
4.5 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ	26
4.6 ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	30
4.7 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ	31
4.8 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	31
4.9 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	32
4.10 ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ	33
4.11 ΚΛΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ.....	34
5. ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ	36
5.1 ΘΑΜΒΩΣΗ	36
5.2 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ.....	39
5.3 ΑΝΤΙΘΕΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ	40
5.4 ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ.....	41
5.5 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	42
6. ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ.....	43
6.1 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ.....	43
6.2 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΛΟΓΟΝΟΥ	46
6.3 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ	50
6.4 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	54

6.5	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΝΑΤΡΙΟΥ	56
6.6	ΕΙΔΙΚΟΙ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ	57
7.	ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ LED.....	59
7.1	Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ LED ΣΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ	60
7.2	ΕΙΔΗ ΦΑΚΩΝ ΣΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ	62
8.	ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΥ.....	64
8.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΩΤΟΣ	64
8.2	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥΣ	67
8.3	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΗΣ Ε.Ε.....	70
9.	ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	74
9.1	ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	74
9.1.1	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΔΟΥ	74
9.1.2	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΙΣΤΟΥ	75
9.1.3	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.....	75
9.1.4	ΚΑΤΑΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	76
9.1.5	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	76
9.2	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	77
9.3	ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	77
10.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	78
10.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	78
10.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΛΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	78
10.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΛΑΣΕΩΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΥ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	91
10.3.1	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΛΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	92
10.4	ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	95
10.5	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΣΙΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	98
10.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	98
11.	ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	100

11.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	100
11.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ.....	104
12.	ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	108
12.1	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	109
12.2	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	109
12.3	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	111
12.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	116
13.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ 117	
13.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	119
13.2	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	123
13.3	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΟΔΩΝ ΚΛΑΣΗΣ Μ.....	123
13.4	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΟΔΩΝ ΚΛΑΣΗΣ C ΚΑΙ P.....	128
13.5	ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.....	128
13.6	ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΚΘΕΣΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	129
14.	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ 130	
14.1	ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	130
14.2	ΤΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ.....	131
14.3	ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ.....	131
14.4	ΣΥΣΚΕΥΗ ILMD ΥΨΗΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ.....	133
14.5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ.....	133
15.	ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ DIALUX.....	137
16.	ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΥ.....	143
17.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	155
18.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	156
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	160
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	163

Α΄ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα βασικά μεγέθη φωτοτεχνίας και το ρόλο που παίζουν στην επιλογή φωτιστικού. Γίνεται παρουσίαση των διαφόρων τύπων λαμπτήρων, ενώ δίνεται έμφαση στους λαμπτήρες τεχνολογίας LED, που είναι οι πιο σύγχρονοι και χρησιμοποιούνται ευρέως. Επίσης, παρουσιάζονται τα φωτιστικά σώματα δρόμων και πώς αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις ιδιότητες τους και δίνονται οδηγίες για το σχεδιασμό και τον έλεγχο του οδοφωτισμού. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός μιας μελέτης φωτισμού, τα είδη και η επιλογή των κλάσεων, οι τεχνικοοικονομικοί υπολογισμοί, ο έλεγχος και η διασφάλιση του συστήματος καθώς και οι τεχνολογίες διατήρησης των συστημάτων.

Τέλος, γίνεται παρουσίαση του λογισμικού DIALUX, με βάση το οποίο έγινε η μελέτη και τα βασικά αποτελέσματα αυτής. Τα αποτελέσματα προέρχονται από τη σύγκριση τεσσάρων διαφορετικών φωτιστικών.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται τα βασικά μεγέθη της φωτοτεχνίας καθώς και τα είδη των λαμπτήρων που υπάρχουν. Επίσης, παρουσιάζονται τα μεγέθη της φωτοτεχνίας που επηρεάζουν τον οδοφωτισμό αλλά και οι οδηγίες που ισχύουν για την επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού σώματος. Στη συνέχεια περιγράφεται ο σχεδιασμός, η μελέτη αλλά και οι τεχνικοοικονομικοί υπολογισμοί που λαμβάνουν χώρα, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη επιλογή.

Στα κεφάλαια 15 και 16 γίνεται παρουσίαση του προγράμματος DIALUX και του υφιστάμενου προβλήματος. Αφού πραγματοποιηθεί η απαραίτητη μελέτη και οι υπολογισμοί λαμβάνονται τα τελικά αποτελέσματα, τα οποία μπορεί να δει ο αναγνώστης συνοπτικά στο τελευταίο κεφάλαιο και αναλυτικά στο τεύχος που συνοδεύει την εργασία.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι και εκλαμβάνεται ως αίσθηση αυτής. Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης.

Το 18^ο αιώνα δύο ήταν οι βασικές πηγές φωτιστικής ενέργειας: το φυσικό φως και το φως της φλόγας. Έπειτα, ήρθαν το φυσικό αέριο και ο ηλεκτρισμός. Το φυσικό αέριο ανακαλύφθηκε το 1659 στην Αγγλία και το 1790 ανακαλύφθηκε το αέριο από απόσταξη ανθράκων. Η μεταφορά, η αποθήκευση και η χρήση του σε μηχανές εσωτερικής καύσης ήταν πιο εύκολη. Ο πύργος του Eiffel ήταν η πρώτη μεγάλη αρχιτεκτονική κατασκευή που φωτίστηκε με λάμπες αερίου, συνολικά 10.000 στον αριθμό, το 1889.

Οι λάμπες πυρακτώσεως είναι ως γνωστόν εφεύρεση του Τόμας Έντισον και σύμφωνα με τα στοιχεία η πρώτη λάμπα φώτισε τον Δεκέμβριο του 1879. Όμως, στην πραγματικότητα, δεν ισχύει αυτό. Ο Έντισον και η ομάδα του τελειοποίησαν την αρχική πατέντα του Joseph Wilson Swan, ο οποίος την κατοχύρωσε το 1878 στο σπίτι του. Πολλοί ήταν αυτοί που είχαν εργαστεί πάνω στην ιδέα του ηλεκτρικού φωτισμού, με στόχο την δημιουργία ενός συστήματος λειτουργικού, ασφαλούς αλλά και οικονομικού. Η πρώτη λάμπα φώτιζε για 13 ώρες! Το 1882 λειτούργησε και ο πρώτος εμπορικός σταθμός ηλεκτρικής ενέργειας, σε μια περιοχή 1.5 τετραγωνικού χιλιομέτρου και παρείχε φως και ενέργεια.

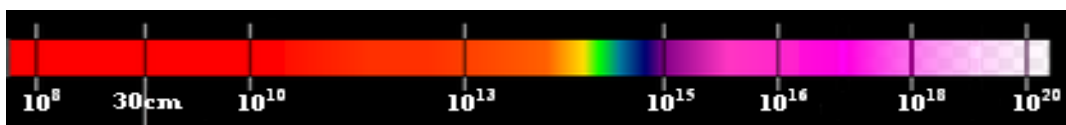
Η ιστορία της γνωστής εταιρείας General Electric, αρχίζει κάπου στο 1889 όταν οι διάφορες ηλεκτρικές εταιρείες του Έντισον ενώθηκαν. Στην αρχή ονομαζόταν Edison General Electric, ενώ στην συνέχεια συγχωνεύθηκε με την Thomson Houston.

Στο σημείο αυτό της ιστορικής αναφοράς δεν θα μπορούσε να μην αναφερθεί η μακροβιότερη λάμπα στην ιστορία. Σε έναν πυροσβεστικό σταθμό στο Livermore της Καλιφόρνια ανάβει μία λάμπα από το 1901. Δεν έχει αλλαχτεί ποτέ και φυσικά έχει μπει στο βιβλίο Γκίνες. Είναι λίγο μεγαλύτερη από τις σύγχρονες λάμπες, περίπου 3 ίντσες και το φως της είναι απαλό πορτοκαλί, έντασης 4 watt. Ο εφευρέτης της λάμπας ήταν ο Adolphe Chaillet, ο οποίος κατοχύρωσε τα δικαιώματα ευρεσιτεχνίας, αλλά δεν ξέρι κανένας το μυστικό του. Η πιο πρόσφατη αναφορά που βρέθηκε για αυτήν την λάμπα ήταν το 2016, δηλαδή μετά από 115 χρόνια συνεχούς λειτουργίας. Τι θα γινόταν άραγε αν αυτή η λάμπα κυκλοφορούσε ευρέως στην αγορά;

2. ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ

Στο σημείο αυτό θα γίνει μία εισαγωγή στη φωτοτεχνία, στα μεγέθη και τις έννοιες που ασχολούνται με αυτήν. Η σχέση για την ταχύτητα μετάδοσης του φωτός είναι η γνωστή $c=\lambda \cdot f$, όπου c είναι η ταχύτητα μετάδοσης του κύματος σε m/s, λ είναι το μήκος κύματος σε m και f είναι η συχνότητα του κύματος σε Hz. Η ταχύτητα στο κενό ή στον αέρα είναι περίπου ίση με 300.000 m/s.

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτό εκτείνεται από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε: ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθη ακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία, υπεριώδης ακτινοβολία, ακτίνες X, ακτίνες γ. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα καθώς και η περιοχή συχνοτήτων και η ενέργεια φωτονίων. Ο πίνακας 2.1 δίνει αναλυτικά συχνότητες και μήκη κύματος.



Σχήμα 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ορατό φάσμα είναι εκείνο το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος με γυμνό μάτι. Εκτείνεται σε ακτινοβολίες με μήκη κύματος 400 – 700 nm. Κάτω από τα 400 nm βρίσκεται η υπεριώδης ακτινοβολία, ενώ πάνω από τα 700 nm η υπέρυθη ακτινοβολία.

Τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος από 105 m έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα όπως τα LC και χρησιμοποιούνται στην ραδιοφωνία, την τηλεόραση και τις τηλεπικοινωνίες. Η ενέργεια των φωτονίων τους είναι πολύ μικρή. Τα μικροκύματα έχουν μήκος κύματος από 30 cm έως 1 mm περίπου και παράγονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι φούρνοι μικροκυμάτων και τα ραντάρ χρησιμοποιούν μικροκύματα. Τα μικροκύματα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες. Τα δεκατομετρικά μικροκύματα (UHF), τα εκατοστομετρικά μικροκύματα (SHF), και τα χιλιοστομετρικά μικροκύματα (EHF).

Η υπέρυθη ακτινοβολία καλύπτει την περιοχή από 1mm έως $7 \cdot 10^{-7}$ m περίπου. Εκπέμπεται από τα θερμά σώματα και απορροφάται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Χρησιμοποιείται στα οπτικά ηλεκτρονικά μέσα, στις ηλεκτρονικές επικοινωνίες με οπτικές ίνες και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Η υπεριώδης ακτινοβολία βρίσκεται σε μήκη κύματος

από $3 \cdot 10^{-7}$ m έως $6 \cdot 10^{-8}$ m περίπου. Η πιο γνωστή και ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ο ήλιος, ενώ μεγάλες δόσεις υπεριώδους ακτινοβολίας είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο.

Οι ακτίνες X ή Rontgen καλύπτουν το φάσμα μήκους κύματος μεταξύ 10^{-8} έως 10^{-13} m περίπου. Ο πιο γνωστός τρόπος παραγωγής ακτίνων X είναι η επιβράδυνση ηλεκτρονίων μεγάλου ατομικού αριθμού, τα οποία προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σε ένα μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική (ακτινογραφίες) αλλά και στην μελέτη κρυσταλλικών δομών. Είναι επίσης επιβλαβείς για τον άνθρωπο γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται. Οι ακτίνες γ είναι ακτινοβολία η οποία κυμαίνεται μεταξύ 10^{-10} μ έως τα 10^{-14} m. Εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες, από αντιδράσεις πυρήνων και σωματιδίων ή ακόμα και από την διάσπαση στοιχειωδών σωματιδίων. Είναι εξαιρετικά επιβλαβείς για τους οργανισμούς.

Πίνακας 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα – συχνότητες - ενέργειες

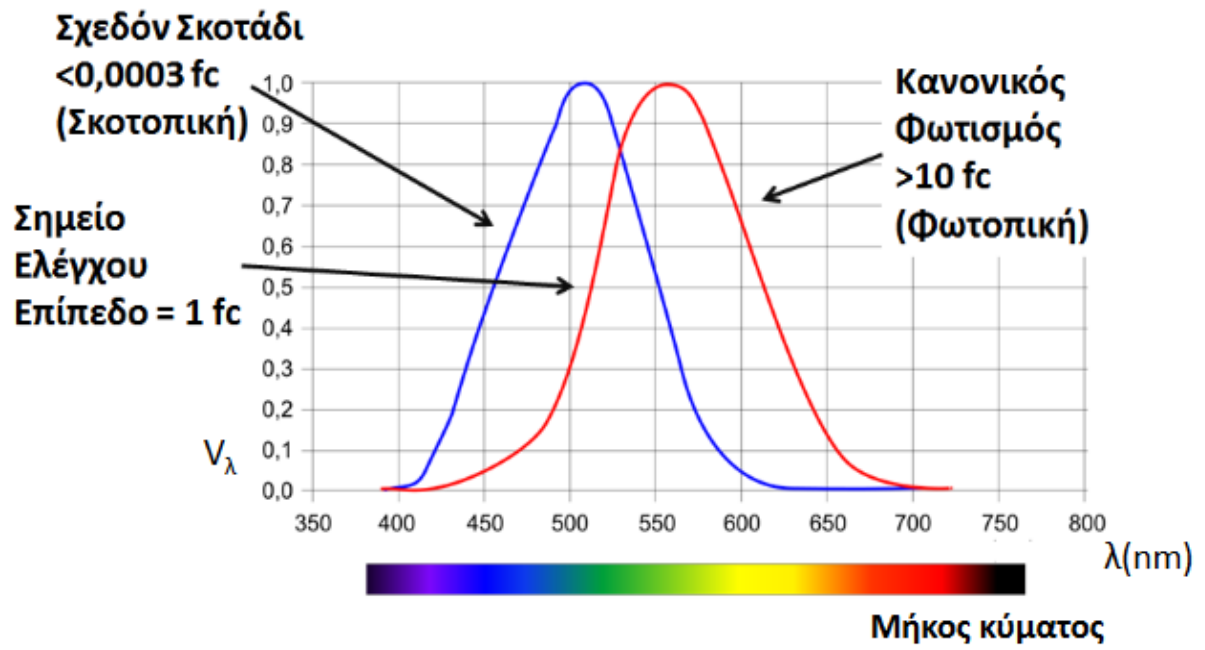
ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΦΩΤΟΝΙΩΝ
Ραδιοκύματα	0 - 300 MHz	$3 \cdot 10^{22}$ eV
Μικροκύματα	300 MHz – 300 GHz	$3 \cdot 10^{22}$ eV
Υπέρυθρη ακτινοβολία	300 GHz – 400 THz	10^{-3} - 1,6 eV
Ορατή ακτινοβολία	400 – 800 THz	1,6 - 3,2 eV
Υπεριώδης ακτινοβολία	800 THz - $3 \cdot 10^{17}$ Hz	3 eV – 2000 eV
Ακτίνες X	$3 \cdot 10^{17}$ Hz - $5 \cdot 10^{19}$ Hz	1200 eV - $2,4 \cdot 10^5$ eV
Ακτίνες γ	$5 \cdot 10^{19}$ Hz - $3 \cdot 10^{22}$ Hz	10^5 eV - 10^7 eV
Κοσμικές ακτίνες	$3 \cdot 10^{22}$ Hz	10^7 eV

Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι η αντίληψη των χρωμάτων από τον άνθρωπο, με φυσικό ή τεχνητό φως. Η όραση είναι η ανώτερη αισθητηριακή αντίληψη του φωτός, των χρωμάτων και των αντικειμένων. Οι φωτεινές ακτίνες προσπίπτουν στο μάτι, διαπερνούν τα

διαθλαστικά στοιχεία (κερατοειδής, υδατοειδές υγρό, φακός, υαλοειδές σώμα) και τελικά προσπίπτουν στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Τα κωνία και τα ραβδία ερεθίζονται από τις ακτίνες και προκαλούνται φωτοχημικές διεργασίες και βιοηλεκτρικές μεταβολές, οι οποίες γίνονται νευρικά σήματα και μεταφέρονται στο οπτικό νεύρο, από εκεί στον εγκέφαλο, όπου κωδικοποιούνται και ολοκληρώνεται η διαδικασία της όρασης. Μπορεί κανείς εύκολα να παρομοιάσει τα μάτια με μια φωτογραφική μηχανή. Περίπου το 30% του εγκεφάλου ασχολείται με την όραση. Τα μάτια αντιλαμβάνονται μόνο 3 χρώματα, το μπλε το κόκκινο και το πράσινο, καθώς και την ένταση του φωτός. Μέσω αυτών επεξεργάζεται η εικόνα και αντιλαμβάνεται τα υπόλοιπα χρώματα με βάση το μοντέλο σύνθεσης χρωμάτων.

Υπάρχουν 3 είδη όρασης. Η πρώτη είναι η σκοτοπική όραση, η οποία εκτελείται από το μάτι σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και σε αυτή χρησιμεύουν τα ραβδία. Τα ραβδία είναι πολύ φωτοευαίσθητα και ευαισθητοποιούνται με το διασκορπισμένο φως, επιπλέον στον αμφιβληστροειδή είναι 20 φορές περισσότερα από ότι τα κωνία. Η δεύτερη είναι η φωτοπική όραση, η οποία εκτελείται σε συνθήκες καλού φωτισμού. Σε αυτήν χρησιμεύουν τα κωνία, τα οποία δεν είναι τόσο φωτοευαίσθητα και ευαισθητοποιούνται μόνο από το φως που πέφτει κατευθείαν πάνω τους και είναι υπεύθυνα για την αντίληψη των χρωμάτων. Τέλος, υπάρχει η μεσοπική όραση, που είναι η όραση σε ενδιάμεσες συνθήκες.

Ένα μέγεθος μέτρησης της οπτικής ανταπόκρισης του ματιού είναι η φασματική ευαισθησία. Κύρια, η ευαισθησία επηρεάζεται από τη λαμπρότητα (θα αναλυθεί παρακάτω). Η σχετική φασματική ευαισθησία του ματιού, για μονοχρωματική ακτινοβολία με μήκος κύματος λ , είναι ο λόγος της ροής σε μήκος κύματος λm προς την ροή σε μήκος κύματος λ , έτσι ώστε και οι δύο ακτινοβολίες να παράγουν ίδια ένταση φωτεινής αίσθησης, κάτω από ορισμένες φωτομετρικές συνθήκες (σχήμα 2.2). Η λm επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε η μέγιστη τιμή αυτού του λόγου να είναι 1.



Σχήμα 2.2: Γραφική αναπαράσταση λόγου V_λ / λ

3. ΜΕΛΑΝ ΣΩΜΑ

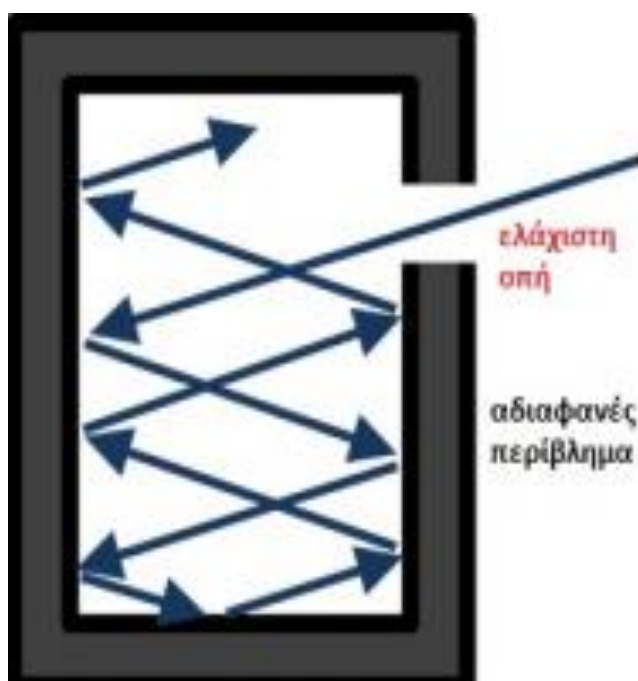
Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει στην επιφάνεια σώματος, ένα μέρος της ενέργειας του απορροφάται με αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας και της θερμοκρασίας του σώματος. Από την άλλη, όταν ένα θερμό σώμα έρχεται σε επαφή με άλλα σώματα ή τον αέρα, εκπέμπει θερμική ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, άρα ψύχεται. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα σώματα εξαιτίας της θερμοκρασίας τους ονομάζεται θερμική ακτινοβολία. Ένα σώμα λέγεται ότι βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με την ακτινοβολία, όταν ο ρυθμός εκπομπής θερμικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από το σώμα είναι ίσος με το ρυθμό απορρόφησης, ενώ η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

Ορισμένα φυσικά μεγέθη τα οποία θα χρειαστούν στη συνέχεια: ο συντελεστής απορρόφησης (absorption coefficient), είναι το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα, συμβολίζεται με α . Ο συντελεστής διέλευσης (transmission coefficient), τ , είναι το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που διέρχεται από το σώμα. Ενώ, τέλος, ο συντελεστής ανάκλασης (reflection coefficient), ρ , είναι το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το σώμα. Για αυτά τα τρία μεγέθη ισχύει ότι: $\alpha + \tau + \rho = 1$.

Μέλαν σώμα (black body), είναι ένα φυσικό σώμα το οποίο απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό, ανεξάρτητα από τη συχνότητα ή τη γωνία πρόσπτωσης. Το μέλαν σώμα δεν ανακλά καθόλου ακτινοβολία ($\rho=0$), ενώ εσωτερικά απορροφά όλη την ακτινοβολία ($\alpha = 1$) και δεν την αφήνει να το διαπεράσει ($\tau = 0$). Αν ίσχυαν μόνο αυτές οι ιδιότητες, τότε η θερμοκρασία του σώματος μονίμως θα αυξανόταν, έτσι για να διατηρηθεί λοιπόν το ενεργειακό ισοζύγιο θα πρέπει το σώμα να επανεκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ώστε η θερμοκρασία να παραμένει σταθερή. Ο Planck, τον Δεκέμβριο του 1900 παρουσίασε τις ιδέες του σχετικά με τον υπολογισμό της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Στην πραγματικότητα τα σώματα εκπέμπουν μέρος της ακτινοβολίας. Το ποσοστό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται από το σώμα ονομάζεται συντελεστής εκπομπής (e).

Το μέλαν σώμα είναι το φωτεινότερο όλων. Ο Kirchhoff διατύπωσε τον εξής νόμο: *όσο περισσότερη ακτινοβολία απορροφά ένα σώμα τόσο περισσότερη ακτινοβολία εκπέμπει, δηλαδή όσο πιο μελανό είναι ένα σώμα τόσο πιο φωτεινό είναι.*

Για να γίνει κατανοητό πώς λειτουργεί το μέλαν σώμα αρκεί να σκεφτεί κανείς ένα κοινό αδιαφανές κουτί με μια ελάχιστη οπή στο τοίχωμα του (σχήμα 3.1). Λόγω της ελαχιστότητας της οπής σε σχέση με την κοιλότητα (κουτί), το φως που μπαίνει σε αυτήν σχεδόν ανακλάται επ' αόριστον ή απορροφάται και δεν είναι δυνατόν να βγει από την κοιλότητα. Το σύστημα αυτό θεωρείται ένας τέλειος απορροφητής. Ωστόσο η κοιλότητα με οπή δεν είναι προφανώς το τέλειο μέλαν σώμα. Αν το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από την διάμετρο της οπής, τότε θα ανακλαστεί. Ομοίως, ακόμα και αν υπάρχει θερμοδυναμική ισορροπία και τα μήκη κύματος είναι συγκρίσιμα ή μεγαλύτερα του μεγέθους της κοιλότητας, το σώμα δεν θα υπακούει στον νόμο του Planck, που αναλύθηκε παραπάνω. Έστω ότι η κοιλότητα διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία και η παγιδευμένη ακτινοβολία βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία με το περίβλημα. Η οπή θα αφήσει ένα μέρος της ακτινοβολίας να φύγει. Αν, λοιπόν, η οπή είναι μικρή, η ακτινοβολία που εισέρχεται και εξέρχεται θα έχει αμελητέα επίδραση στην ισορροπία της ακτινοβολίας εντός της κοιλότητας. Η ακτινοβολία που φεύγει θα είναι, προσεγγιστικά, η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, κατά τον νόμο του Planck, με θερμοκρασία T γνωστή και μήκη κύματος αρκετά μικρότερα από την οπή, δεν θα εξαρτάται από τις ιδιότητες της κοιλότητας.



Σχήμα 3.1: Κοιλότητα με οπή, προσεγγιστική πραγμάτωση μέλανος σώματος

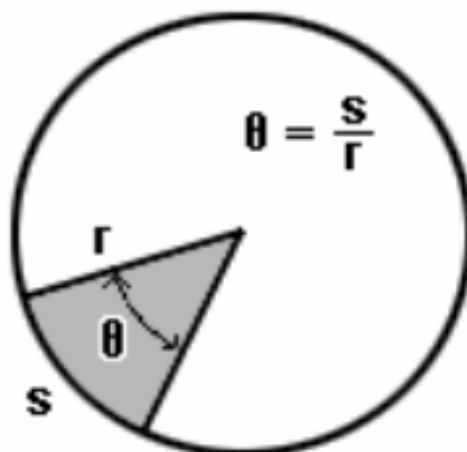
4. ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Φωτομετρικά μεγέθη είναι εκείνα τα μεγέθη της φωτοτεχνίας που βοηθάνε στην καλύτερη κατανόηση της έννοιας και της παρούσας εργασίας.

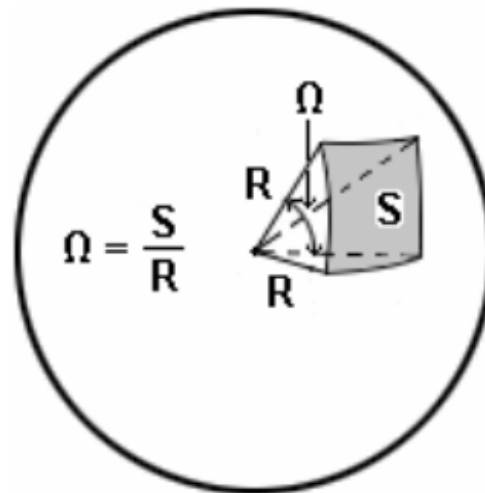
4.1 ΣΤΕΡΕΑ ΓΩΝΙΑ

Στην επίπεδη γεωμετρία ορίζεται σαν επίπεδη γωνία θ , το μήκος τόξου s , της περιφέρειας ενός κύκλου, διαιρεμένο με την ακτίνα του κύκλου r και μετρούμενο σε ακτίνια (rad). Δηλαδή $\theta = s/r$ (σχήμα 4.1).

Αντίστοιχα, στον στερεό χώρο, ορίζεται η στερεά γωνία, όμως αντί για κύκλο υπάρχει η σφαίρα ακτίνας R ενώ το τόξο s το αντικαθιστά η επιφάνεια της σφαίρας S (σχήμα 4.2). Σχηματικά η στερεά γωνία Ω είναι ό,τι υπάρχει μέσα στην κωνική επιφάνεια που σχηματίζεται από όλες τις ακτίνες της σφαίρας που καταλήγουν σε όλα τα σημεία του περιγράμματος της σφαιρικής επιφάνειας S . Έτσι, ορίζεται ότι η γωνία Ω είναι ο λόγος S προς R^2 , δηλαδή $\Omega = S/R^2$. Μονάδα μέτρησης της στερεάς γωνίας είναι το στερακίνιο (steradian – sr), το οποίο ορίζεται ως η στερεά γωνία με την οποία φαίνεται από το κέντρο της σφαίρας μια περιοχή της επιφάνειας ίση με το τετράγωνο της ακτίνας της. Στην επίπεδη γωνία το κέντρο του κύκλου «βλέπει» ολόκληρη την περιφέρεια με γωνία (2π) rad, ενώ στην στερεά το κέντρο της σφαίρας «βλέπει» ολόκληρη την επιφάνεια της με στερεά γωνία (4π) sr. Στην ειδική περίπτωση που η επιφάνεια είναι ίση με R^2 η στερεά γωνία είναι ίση με 1 sr.



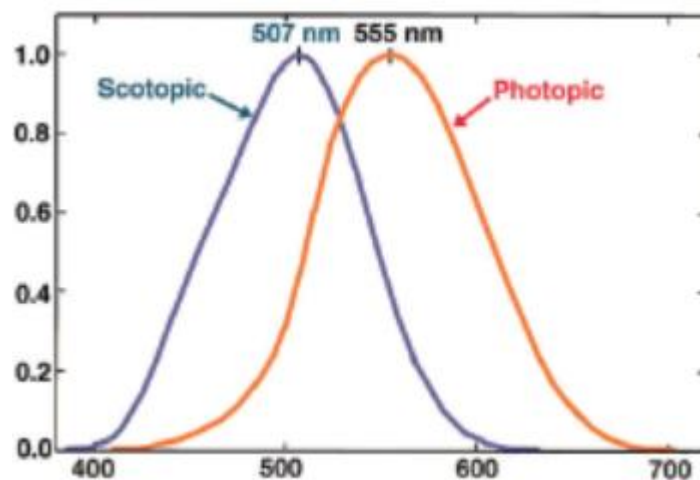
Σχήμα 4.1: Επίπεδη γωνία θ



Σχήμα 4.2: Στερεά γωνία Ω

4.2 ΦΩΤΕΙΝΗ ΡΟΗ

Η φωτεινή ροή – Luminous Flux ορίζεται ως το ποσό της ακτινοβολούμενης ισχύος προς τη φωτεινή εντύπωση που δημιουργεί στο ανθρώπινο μάτι, σε χρονικό διάστημα dt . Το ανθρώπινο μάτι δεν αντιλαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο τα ίσης ενέργειας, αλλά διαφορετικού μήκους κύματος, φωτεινά ερεθίσματα. Στο σχήμα 4.3 φαίνονται οι τυπικές καμπύλες φασματικής φωτεινής απόδοσης σε φωτοπική και σκοτοπική όραση. Στον οριζόντιο άξονα είναι το μήκος κύματος και στον κάθετο η σχετική φωτεινή απόδοση.



Σχήμα 4.3: Φωτεινή απόδοση σε φωτοπική και σκοτοπική όραση

Κάθε φωτιστικό στέλνει γύρω του ενέργεια υπό μορφή φωτός. Άρα, η φωτεινή ροή είναι το φυσικό μέγεθος μέτρησης τους φωτός που βγαίνει από ένα φωτιστικό. Ένα φωτιστικό στέλνει ενέργεια γύρω του σε διάφορες μορφές, όπως είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ανάλογα με την συχνότητα η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να γίνει ή όχι αντιληπτή από τους οφθαλμούς. Η φωτεινή ροή, λοιπόν, μετρά μόνο την ισχύ που γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο.

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm). Αν ένα φωτιστικό εκπέμπει αντιληπτή ακτινοβολία ισχύος 1 W, τότε η φωτεινή ροή του είναι 683 lm.

Ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού της φωτεινής ροής είναι ο:

$$\Phi = K_m \int_0^\infty \frac{d\Phi_c}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda, \text{ όπου:}$$

K_m : είναι η μέγιστη τιμή της φασματικής φωτεινής απόδοσης του ανθρώπινου οφθαλμού για φωτοπική όραση, ίσο με 683 lm / W

$V(\lambda)$: είναι η φασματική φωτεινή απόδοση του ανθρώπινου οφθαλμού για φωτοπική όραση

$\frac{d\Phi_c}{d\lambda} d\lambda$: είναι η εκπεμπόμενη ισχύς σε διάστημα μήκους κύματος $\lambda+d\lambda$.

Στην περίπτωση του ορατού φωτός το λ κυμαίνεται από 380 ως 780 nm και άρα αυτά είναι τα όρια του ολοκληρώματος της σχέσης.

Άλλος τρόπος έκφρασης της φωτεινής ροής, ο οποίος εισάγει και την μονάδα του χρόνου είναι ο παρακάτω. Έστω ότι:

W είναι η ενέργεια που θα εκπέμπεται από μια πηγή ακτινοβολίας, τότε για το φάσμα του ορατού φωτός θα ισχύει:

$$W_\lambda = \int_{380}^{780} W_\lambda d\lambda$$

Q είναι η φωτεινή ενέργεια όπως την αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι και εξαρτάται από το V_λ . Τότε:

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

Τότε ορίζεται η φωτεινή ροή Φ , ως η φωτεινή ενέργεια Q που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σε χρόνο dt προς τον χρόνο αυτό, δηλαδή: $\Phi = \frac{dQ}{dt}$ (lm).

Οι μετρήσεις φωτεινής ροής τεχνητών φωτεινών πηγών γίνονται εντός μίας λευκής σφαίρας τέλειας διάχυσης, γνωστή ως σφαίρα του Ulbricht (σχήμα 4.4). Η συσκευή αυτή μετράει το συνολικό πλήθος των lumens που εκπέμπονται από την ελεγχόμενη πηγή σε σχέση με τον καλιμπραρισμένο λαμπτήρα. Η σφαίρα του Ulbricht είναι μία κοίλη σφαίρα ακτίνας r , όπου στο κέντρο της τοποθετείται η φωτεινή πηγή. Η εσωτερική επιφάνεια της σφαίρας είναι επιστρωμένη με λευκή ματ επικάλυψη, έτσι ώστε η φωτεινή ακτινοβολία να διαχέεται πλήρως και να εμφανίζει μεγάλη ανάκλαση με συντελεστή $\rho=0.8$. Ο ρ παραμένει σταθερός συναρτήσει του μήκους κύματος. Στο εσωτερικό της υπάρχει μια οθόνη S , η οποία είναι έτσι τοποθετημένη ώστε δεν μπορεί να εισέλθει άμεσος φωτισμός στην φωτομετρική κεφαλή. Η απόσταση στην οποία τοποθετείται η οθόνη είναι το $1/6$ ή το $1/4$ της διαμέτρου, αν η πηγή είναι μικρή σε σχέση με τη διάμετρο της σφαίρας. Η διάμετρος της σφαίρας πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη από την διάμετρο του λαμπτήρα, για συμπαγείς λαμπτήρες και τουλάχιστον 2 φορές μεγαλύτερη από τη μεγαλύτερη διάσταση των γραμμικών πηγών, για σωληνωτούς λαμπτήρες. Ανάλογα με τη συχνότητα χρήσης της σφαίρας θα πρέπει να γίνεται επαναχρωματισμός της μια φορά στα 1 ή 2 χρόνια. Η διάβρωση και η ρύπανση έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων.



Σχήμα 4.4: Σφαίρα του Ulbricht

4.3 ΦΩΤΕΙΝΗ ΕΝΤΑΣΗ

Η φωτεινή ένταση – Luminous Intensity είναι η φωτεινή ροή που διοχετεύεται προς μια κατεύθυνση στο χώρο από τη φωτεινή πηγή και δεν εξαρτάται από την απόσταση που έχει ο παρατηρητής από το φωτιστικό. Η μετρούμενη κατανομή φωτεινής έντασης ενός

φωτιστικού μας δίνει τις φωτομετρικές αποδόσεις αυτού, ενώ εργαστηριακά η μέτρηση της φωτεινής έντασης γίνεται με την χρήση του γωνιόμετρου.

Η φωτεινή ένταση είναι ένα διανυσματικό μέγεθος και συμβολίζεται με I (σχήμα 4.5), ενώ η μονάδα μέτρησής της είναι η Candela (Cd).

1 Cd = 1 lm/sr. Για να δούμε πώς ορίζεται και μαθηματικά η φωτεινή ένταση. Στην ουσία είναι το πηλίκο του λόγου της φωτεινής ροής ($d\Phi$) ανά μονάδα στερεάς γωνίας ($d\Omega$), στην συγκεκριμένη διεύθυνση. Δηλαδή:

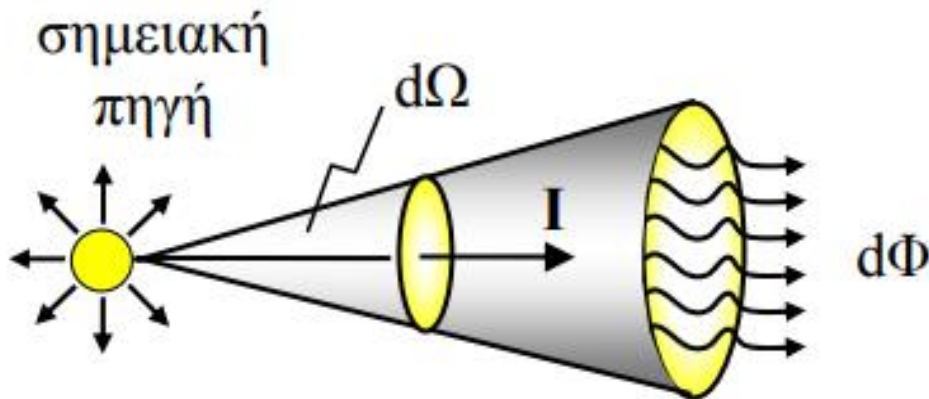
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Έστω λοιπόν ότι η ροή Φ παραμένει σταθερή εντός μιας γωνίας ω τότε θα ισχύει ότι: $I = \frac{\Phi}{\omega}$.

Έστω ότι η συνάρτηση του $I(\omega)$ είναι γνωστή, τότε η συνάρτηση:

$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$, γίνεται, $d\Phi = I(\omega) \cdot d\omega$. Άρα η Φ θα είναι:

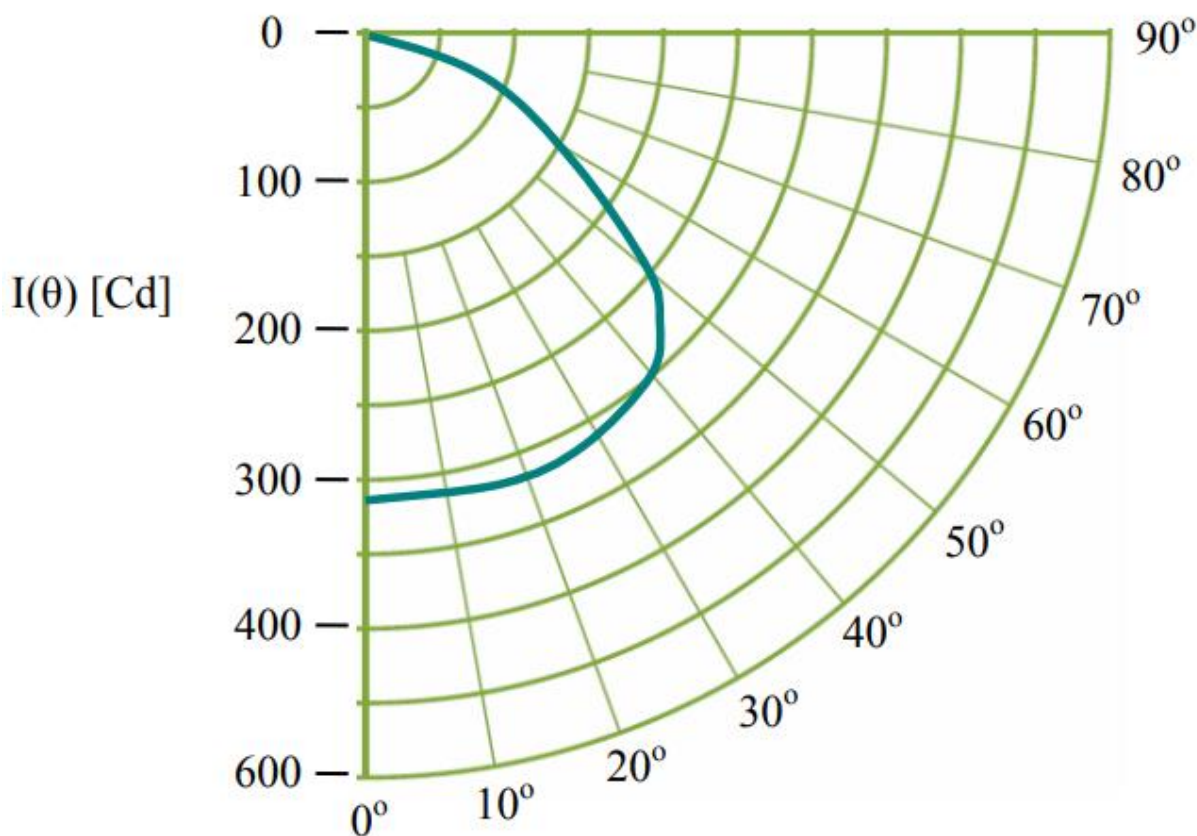
$\Phi = \int_{\Omega} I(\omega) \cdot d\omega$, όπου Φ είναι η φωτεινή ροή που εκπέμπεται σε γωνία Ω .



Σχήμα 4.5: Ορισμός φωτεινής έντασης

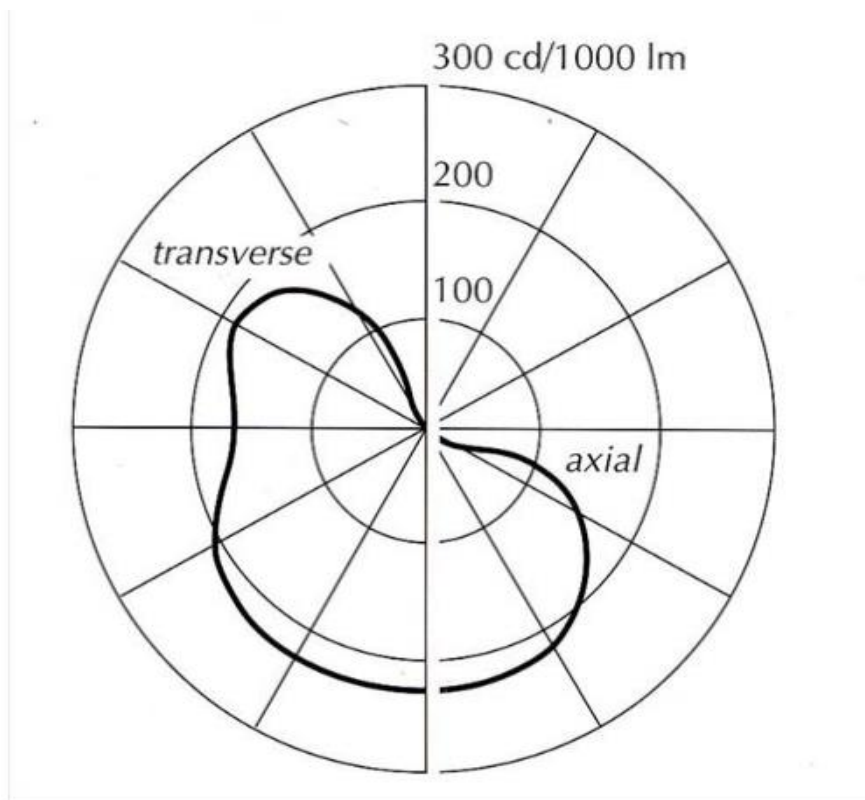
Στην πραγματικότητα, οι κατασκευαστές μαζί με τα διάφορα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων, παρέχουν και το πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτεινής έντασης. Αυτά τα διαγράμματα υπάρχουν, γιατί ένας λαμπτήρας, που εκπέμπει στο χώρο φωτεινή ενέργεια,

δεν εκπέμπει την ίδια ενέργεια ανά μονάδα στερεάς γωνίας, προς κάθε κατεύθυνση. Έτσι, δημιουργείται μια ανομοιομορφία φωτεινής έντασης η οποία είναι ανάλογη της γωνίας από την οποία παρατηρείται ο λαμπτήρας. Οι κατασκευαστές δίνουν διαγράμματα για φωτεινή ένταση σωμάτων ανά 1000 lm. Το διάγραμμα πολικής κατανομής της έντασης είναι εκφρασμένο σε πολικές συντεταγμένες. Αν δίνεται η γραφική απεικόνιση της φωτεινής έντασης (I), ως προς το διάνυσμά της σε κάθε κατεύθυνση στον χώρο δημιουργείται μια φωτομετρική επιφάνεια. Αυτή η επιφάνεια δείχνει την κατανομή της έντασης στο χώρο. Αν ληφθεί η τομή αυτής της επιφάνειας, με ένα επίπεδο το οποίο περνάει από τον άξονα συμμετρίας της πηγής, τότε λαμβάνεται η φωτομετρική καμπύλη που είναι το διάγραμμα πολικής κατανομής της έντασης (σχήμα 4.6). Στο σχήμα 4.7 βλέπουμε το διάγραμμα μόνο για ένα ημιεπίπεδο τομής της επιφάνειας.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα πολικής κατανομής φωτεινής έντασης

Το σημείο αναφοράς, το οποίο αντιστοιχεί και σε γωνία 0° , εκφράζεται από την κατακόρυφο, η οποία διέρχεται από το κέντρο συμμετρίας του φωτιστικού σώματος, ενώ έχει κατεύθυνση την κατεύθυνση προς την οποία φωτίζει το σώμα. Αντίστοιχα, στις 90° και 270° , αντιστοιχεί η οριζόντια επιφάνεια, η οποία διέρχεται από το κέντρο συμμετρίας του φωτιστικού σώματος.



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα πολικής κατανομής

4.4 ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ένταση φωτισμού ή επιφωτισμός ή φωτισμός (E) – Illuminance είναι ένα φυσικό μέγεθος μέτρησης του φωτός το οποίο προσπίπτει κάθετα σε ένα σημείο μιας επιφάνειας. Αν η φωτεινή ροή δεν προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια, τότε αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μία παράλληλη στην επιφάνεια και μία κάθετη. Για τον υπολογισμό της έντασης του φωτός λαμβάνεται υπόψη η κάθετη συνιστώσα. Μαθηματικά ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής ροής ανά μονάδα επιφάνειας, ενώ μονάδα μέτρησης της έντασης φωτισμού είναι το 1 lux. Δηλαδή: $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$. Αυτό σημαίνει ότι αν το φωτιστικό σώμα έχει φωτεινή ροή ίση με 1 lm, η οποία κατανέμεται ομοιόμορφα σε επιφάνεια με εμβαδόν ίσο με 1 m^2 , η ένταση φωτισμού θα είναι ίση με 1 lux.

Η ένταση φωτισμού σαν μέγεθος χαρακτηρίζει το σώμα που φωτίζεται, ενώ από την άλλη η φωτεινή ένταση χαρακτηρίζει το φωτιστικό σώμα. Ο φωτομετρικός νόμος των αποστάσεων είναι αυτός που χαρακτηρίζει την εξάρτηση της έντασης φωτισμού από την απόσταση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα επιπέδων έντασης φωτισμού είναι τα:

- Ηλιακό φως κατά την διάρκεια της μέρας: 32.000 – 100.000 lux
- Πανσέληνος (σε καθαρό ουρανό): 0,25 lux
- Φωτισμός δρόμων: 5 – 30 lux

Το όργανο μέτρησης της έντασης φωτισμού μιας επιφάνειας είναι το λουξόμετρο. Εφόσον γίνει η μέτρηση με τη συσκευή (σχήμα 4.8), γίνεται σύγκριση με τυποποιημένες τιμές και επιλέγεται η αλλαγή στην ένταση φωτισμού, αν αυτή κριθεί απαραίτητη. Μια μικρή έρευνα στο διαδίκτυο δείχνει πως υπάρχουν πολλά τέτοια όργανα, σε ποικιλία τιμών και με ποικιλία δυνατοτήτων. Στα σύγχρονα smartphones, υπάρχουν εφαρμογές, οι οποίες χρησιμοποιώντας την κάμερα του κινητού τηλεφώνου κάνουν τις μετρήσεις που χρειάζονται, με μεγάλη ακρίβεια.





Σχήμα 4.8: Διάφορα λουξόμετρα

Μαθηματικά η ένταση φωτισμού ορίζεται ως εξής: Έστω η φωτεινή πηγή Π του σχήματος. Η Π βρίσκεται στο κέντρο μιας σφαίρας με ακτίνα r , ενώ ακτινοβολεί έχοντας φωτεινή ένταση ίση με I και σταθερή σε μια στερεά γωνία ω , από την οποία τέμνεται η σφαίρα, στην επιφάνεια S (σχήμα 4.9). Από τον ορισμό της στερεάς γωνίας είναι γνωστό ότι:

$$\omega = \frac{S}{r^2}. \text{ Άρα η επιφάνεια } S = \omega \cdot r^2.$$

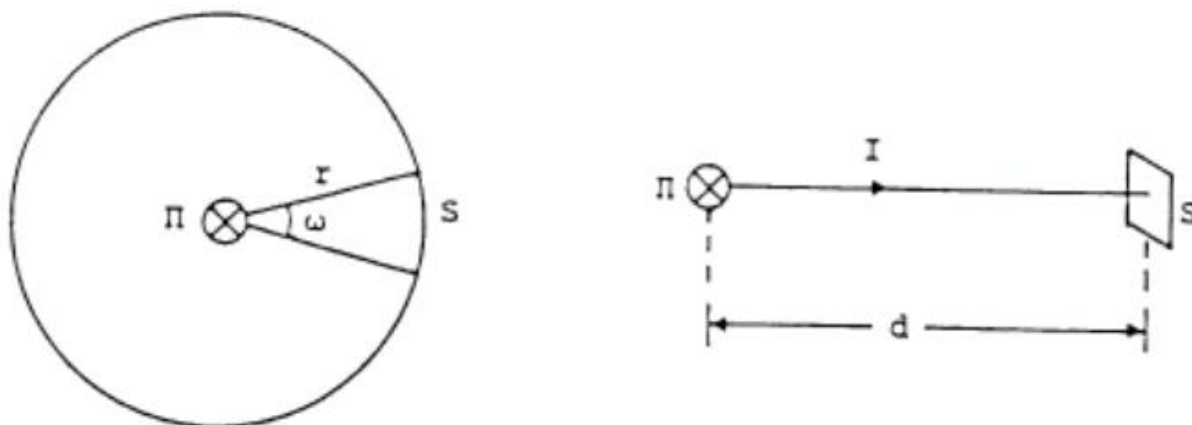
Η ένταση φωτισμού είναι:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I \cdot \omega}{\omega \cdot r^2} = \frac{I}{r^2}. \text{ (}\Phi = I \cdot \omega, \text{ από τον ορισμό που έχουμε δει πιο πάνω)}$$

Αν θεωρηθεί η επιφάνεια S πολύ μικρή, μπορεί με ακρίβεια να την θεωρηθεί επίπεδη. Άρα $r=d$, d είναι η απόσταση της πηγής από την επιφάνεια που φωτίζεται. Συνεπώς η εξίσωση της έντασης φωτισμού θα είναι ίση με:

$$E = \frac{I}{d^2}.$$

Η παραπάνω διατύπωση αποτελεί τον φωτομετρικό νόμο των αποστάσεων και ισχύει για περιπτώσεις όπου η επιφάνεια S είναι κάθετη στη φωτεινή ροή Φ .



Σχήμα 4.9: Ορισμός έντασης φωτισμού

Στην περίπτωση που η επιφάνεια δεν είναι κάθετη στην φωτεινή ροή ισχύουν τα παρακάτω.

$$E = \frac{\Phi}{S} \Rightarrow \Phi = E \cdot S$$

$E_0 = \frac{\Phi}{S_0} \Rightarrow \Phi = E_0 \cdot S_0$, όπου S_0 είναι η κάθετη συνιστώσα της επιφάνειας προς την φωτεινή ροή.

Από το σχήμα 4.9 φαίνεται ότι $\cos \alpha = \frac{S_0}{S}$, άρα $S_0 = S \cdot \cos \alpha$. Άρα λαμβάνοντας υπόψιν αυτές τις εξισώσεις και την $E = \frac{I}{d^2}$ προκύπτει η εξής σχέση:

$$E = E_0 \cdot \cos \alpha.$$

Αυτός είναι ο φωτομετρικός νόμος συνημίτονου (σχήμα 4.10).



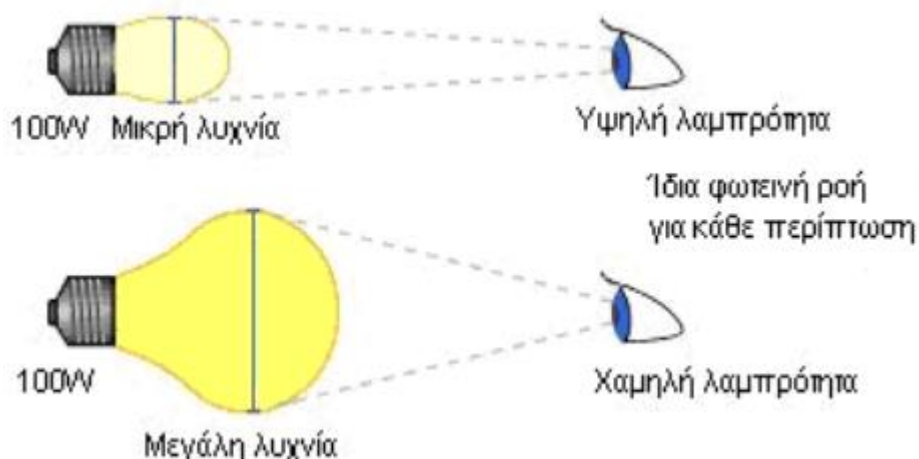
Σχήμα 4.10: Νόμος συνημίτονου

Στην περίπτωση που η φωτεινή ροή δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε επιφάνεια S , ενώ η συνολική της τιμή είναι, έστω, Φ , ορίζουμε την μέση τιμή της έντασης φωτισμού, E_{ave} , η οποία δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{ave} = \frac{\Phi}{S}$$

4.5 ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ

Η λαμπρότητα (L) – Luminance είναι το φυσικό μέγεθος για τη μέτρηση του φωτός προς τη φαινόμενη φωτιστική επιφάνεια, η οποία είναι η γεωμετρική προβολή του φωτιστικού σώματος στον οφθαλμό του παρατηρητή. Το φωτιστικό σώμα γίνεται αντιληπτό από τον οφθαλμό σαν μια φωτιστική επιφάνεια η οποία είναι κάθετη στην κατεύθυνση παρατήρησης. Στην ουσία η λαμπρότητα είναι αυτή που δείχνει πώς αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής το πόσο φωτίζει ένα σώμα. Είναι το μέγεθος που δείχνει πόση θάμπωση δέχεται ο παρατηρητής από ένα φωτιστικό σώμα. Πρακτικά, αν υπάρχει μια μεγάλη φαινόμενη επιφάνεια, η φωτεινή ένταση σκορπίζεται σε μεγαλύτερο μέρος στην οθόνη (μάτι) του παρατηρητή, έτσι το σώμα φαίνεται λιγότερο λαμπρό. Από την άλλη αν υπάρχει μια μικρή φαινόμενη επιφάνεια, η λαμπρότητα τείνει να απειρίζεται, οπότε ο παρατηρητής θαμπώνεται, ενώ το σώμα είναι πιο λαμπρό (σχήμα 4.11)



Σχήμα 4.11: Διαφορετική λαμπρότητα πηγών ίδιας ισχύος, διαφορετικών διαστάσεων

Μαθηματικά η λαμπρότητα ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης (I), προς την επιφάνεια της πηγής (S) την οποία βλέπει ο παρατηρητής. Δηλαδή:

$$L = \frac{I}{S}$$

Η λαμπρότητα μετριέται σε candela ανά τετραγωνικό μέτρο (cd/m^2). Άλλες μονάδες μέτρησης της λαμπρότητας είναι η στίλβη (sb), η οποία χρησιμοποιείται πολύ στην πράξη και είναι ίση με 1 candela ανά τετραγωνικό εκατοστό (cd / cm^2), και το λάμπερτ (L) το οποίο είναι ίσο με $1 \text{ πcd} / \text{cm}^2$.

Όπως αναφέρθηκε η πιο μικρή πηγή είναι και η πιο φωτεινή. Όσο πιο μικρή η πηγή τόσο τείνει η λαμπρότητα προς το άπειρο. Στην πραγματικότητα όμως δεν υπάρχουν σημειακές πηγές. Η λαμπρότητα εξαρτάται άμεσα από την ανάκλαση της επιφάνειας (θα μελετηθεί στην συνέχεια).

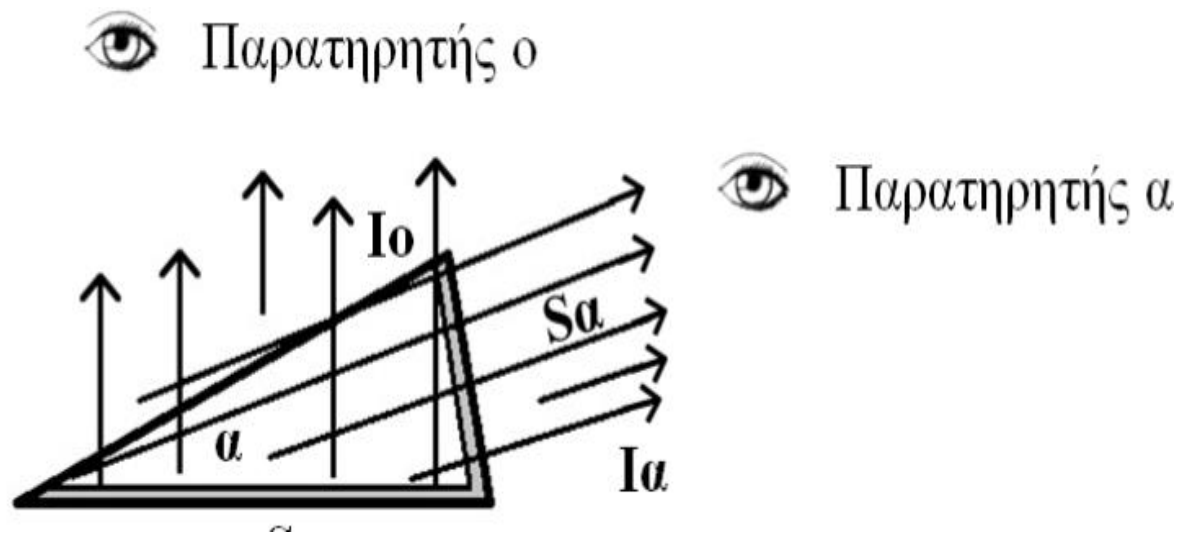
Σε αντιστοιχία με την ένταση φωτισμού υπάρχουν και στη λαμπρότητα δύο περιπτώσεις μελέτης ανάλογα με το πώς βλέπει ο παρατηρητής την επιφάνεια. Αν ο παρατηρητής βλέπει την επιφάνεια κάθετα τότε η λαμπρότητα θα είναι σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_0 = \frac{I_0}{S}$$

Αν, όμως, ο παρατηρητής βλέπει την επιφάνεια υπό γωνία τότε, βλέπει μία επιφάνεια S_α (σχήμα 4.12) και όχι την επιφάνεια S όπως στην περίπτωση της κάθετης παρατήρησης. Η επιφάνεια S_α είναι ίση με:

$S_\alpha = S \cdot \cos\alpha$, άρα και η λαμπρότητα σε αυτήν την περίπτωση θα είναι ίση με:

$$L_\alpha = \frac{I_\alpha}{S_\alpha} = \frac{I_\alpha}{S \cdot \cos\alpha}$$



Σχήμα 4.12: Λαμπρότητα υπό γωνία

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τυπικές λαμπρότητες από διάφορες φωτεινές πηγές.

Πίνακας 4.1: Τυπικές λαμπρότητες φωτεινών πηγών

Πηγή Φωτός	Μέση λαμπρότητα (cd/m ²)	Πηγή φωτός	Μέση λαμπρότητα (cd/m ²)
Λαμπτήρας αερίου ξένου	200.000 – 5.000.000.000	Κερί	7.500
Ήλιος	1.600.000.000	Μπλε ουρανός	5.000
Λαμπτήρας μεταλλικών ιωδιδίων	10.000.000 – 60.000.000	Κατοπτρικό φωτιστικό με γρίλιες	100
Λαμπτήρες πυρακτώσεως	2.000.000 – 26.000.000	Προτιμώμενες τιμές εσωτερικού φωτισμού	50 – 500
Λαμπτήρες φθορισμού	20.000 – 70.000	Λευκό χαρτί στα 500 lux	100
Compact λαμπτήρες φθορισμού	5.000 – 30.000	Λευκό χαρτί στα 5 lux	1
Ηλιόλουστος συννεφιασμένος ουρανός	10.000		

4.6 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Ανάκλαση (reflection) είναι η αλλαγή διεύθυνσης της διάδοσης ενός κύματος φωτός, στο ίδιο μέσο, από μια διαχωριστική επιφάνεια. Υπάρχουν δύο είδη ανάκλασης φωτός, η κατοπτρική και η διάχυση. Η ακτίνα φωτός, λέγεται προσπίπτουσα, μέχρι να συναντήσει την επιφάνεια. Αφού ανακλαστεί λέγεται ανακλώμενη. Στην κατοπτρική ανάκλαση προκύπτει ολική ανάκλαση του φωτός και οι επιφάνειες που το προκαλούν λέγονται κάτοπτρα (καθρέφτες). Κατά την διάχυση το είδωλο δεν διατηρείται, αλλά διατηρείται η ενέργεια του κύματος.

Στην ουσία αυτό που συμβαίνει είναι ότι το φως διαδίδεται από ένα υλικό με έναν δείκτη διάθλασης α σε ένα άλλο υλικό με δείκτη διάθλασης β . Έτσι, ένα μέρος του φωτός ανακλάται και το υπόλοιπο διαθλάται. Μία δέσμη φωτός, η οποία κινείται από ένα υλικό με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης προς ένα υλικό με μικρότερο δείκτη διάθλασης, υπό συγκεκριμένη γωνία, σταθερή, ανακλάται πλήρως.

Προσπίπτουσα ακτίνα είναι η φωτεινή ακτίνα η οποία κατευθύνεται από τη φωτεινή πηγή προς το κάτοπτρο. Η ανακλώμενη ακτίνα είναι εκείνη η ακτίνα που ξεκινάει από το κάτοπτρο και καταλήγει στον παρατηρητή. Η γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προσπίπτουσα ακτίνα, με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσης. Τέλος, η γωνία ανάκλασης είναι η γωνία η οποία σχηματίζεται από την ανακλώμενη ακτίνα με την κάθετο του σημείου πρόσπτωσης.

Ισχύουν οι εξής νόμοι για την ανάκλαση: ο πρώτος νόμος λέει πως η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη ακτίνα και η κάθετη ευθεία πάνω στον καθρέφτη είναι στο ίδιο επίπεδο. Ο δεύτερος νόμος λέει πως η γωνία ανάκλασης και η γωνία πρόσπτωσης είναι ίσες, αυτό σημαίνει πως αν η προσπίπτουσα ακτίνα είναι κάθετη στην ανακλώμενη επιφάνεια, τότε η ανακλώμενη και η προσπίπτουσα ακτίνα ταυτίζονται.

Όταν το φως πέσει σε μία επιφάνεια μπορεί να ανακλαστεί, όπως αναφέρθηκε, ή μπορεί να απορροφηθεί. Αν, λοιπόν, το φως πέσει σε διαφανές υλικό, υπάρχει η δυνατότητα ένα μέρος της ενέργειας να μείνει στο υλικό. Έτσι, το κύμα που εξέρχεται θα έχει μικρότερη ένταση από αυτή που είχε όταν εισήλθε. Υπάρχουν δύο είδη απορρόφησης: η γενική και η εκλεκτική. Στη γενική απορρόφηση όλα τα μήκη κύματος απορροφώνται το ίδιο, ενώ στην εκλεκτική απορροφώνται επιλεκτικά κάποιες περιοχές γύρω από μήκη κύματος. Γενική απορρόφηση 100% σε όλα τα μήκη κύματος έχει μόνο το μέλαν σώμα, ενώ τα υπόλοιπα (ουδέτερα ή γκριζα) έχουν γενική απορρόφηση σε όλα τα μήκη κύματος, αλλά μικρότερη από 100%.

Τέλος, ένα μέρος του φωτός, μπορεί να μεταφερθεί διαμέσου της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει. Έτσι ορίζονται τρεις συντελεστές: ανάκλασης (ρ), απορρόφησης (α) και μεταφοράς (τ). Μαθηματικά ορίζονται ως εξής:

$$\rho = \frac{\Phi\rho}{\Phi}, \quad \Phi\rho: \text{η ανακλώμενη φωτεινή ροή}$$

$$\alpha = \frac{\Phi\alpha}{\Phi}, \quad \Phi\alpha: \text{η απορροφώμενη φωτεινή ροή}$$

$$\tau = \frac{\Phi\tau}{\Phi}, \quad \Phi\tau: \text{η μεταφερόμενη φωτεινή ροή}$$

Φ είναι η προσπίπτουσα φωτεινή ροή

Ισχύει ότι: $\Phi\rho + \Phi\alpha + \Phi\tau = \Phi$, άρα

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

4.7 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ

Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα είναι οι ώρες λειτουργίας του, μέχρι αυτός να αχρηστευτεί. Η μέση διάρκεια χρήσης, ετησίως, για ένα λαμπτήρα, είναι οι 1000 ώρες, δηλαδή περίπου 3 ώρες ημερησίως. Οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται περιστασιακά διαρκούν περισσότερο από αυτούς που μένουν διαρκώς αναμμένοι. Για κάποιους λαμπτήρες φθορισμού, η διάρκεια ζωής εξαρτάται και από το πόσες φορές θα ανάψουν και θα σβήσουν. Η διάρκεια ζωής ποικίλλει αναλόγως το είδος του λαμπτήρα, μπορεί να κυμαίνεται από 1.000 ως 15.000 ώρες. Όσο πιο μεγάλη διάρκεια ζωής έχουν οι λαμπτήρες τόσο πιο σπάνια πρέπει να αντικαθίστανται, άρα προσφέρουν ευκολία και μακροπρόθεσμη οικονομία. Αυτό πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι καταναλωτές όταν συγκρίνουν τις τιμές των διάφορων προϊόντων.

4.8 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Οι νέοι κανονισμοί καταργούν σιγά σιγά λαμπτήρες με χαμηλή ενεργειακή απόδοση, προς προστασία του περιβάλλοντος. Ο καταναλωτής πριν επιλέξει το λαμπτήρα που θέλει πρέπει πάντα να ελέγχει το σήμα της ενεργειακής απόδοσης, ώστε να γνωρίζει πόσο αποδοτικός είναι ο λαμπτήρας. Για παράδειγμα, ένας βελτιωμένος λαμπτήρας πυράκτωσης, κατηγορίας

C, χρειάζεται 3 φορές περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από ένα λαμπτήρα φθορισμού, κατηγορίας A, ώστε να δώσει την ίδια φωτεινότητα.

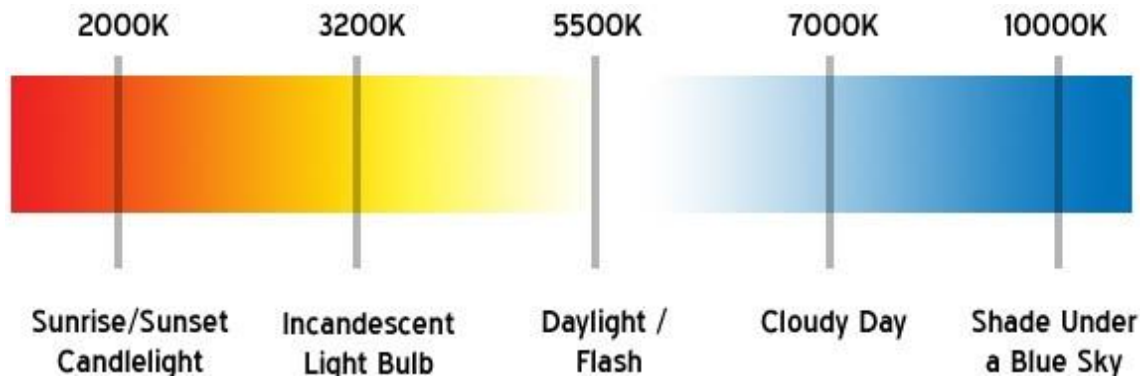
4.9 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Η θερμοκρασία χρώματος είναι εκείνη η παράμετρος που δείχνει πόσο «ζεστή» ή «ψυχρή» είναι μια φωτεινή πηγή, είναι δηλαδή μια μέτρηση της απόχρωσης του λευκού φωτός.

Αν, λοιπόν, ένα κομμάτι μέταλλο θερμανθεί, το χρώμα που εκπέμπεται από αυτό αλλάζει. Το χρώμα θα ξεκινήσει από το κόκκινο (πιο μικρή θερμοκρασία) θα συνεχίσει στο πορτοκαλί, στο κίτρινο, στο λευκό, ενώ αυξάνεται η θερμοκρασία, στην συνέχεια στο μπλε – λευκό, στο μπλε και στο πιο σκούρο μπλε (υψηλή θερμοκρασία). Η θερμοκρασία μετριέται σε βαθμούς της κλίμακας Kelvin (K) και είναι η απόλυτη θερμοκρασία. Στην τεχνολογία των κοινών λαμπτήρων αλλά και των LED χρησιμοποιείται η σχετική θερμοκρασία, ώστε να περιγράψει το χρώμα της φωτεινής πηγής και το πόσο μοιάζει το φως της στο φως που εκπέμπει το μέταλλο. Όπως είναι λογικό δεν γίνεται να επιτευχθεί το ίδιο χρώμα με το μέταλλο.

Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες αντιστοιχούν σε χρώματα όπως το κόκκινο, το πορτοκαλί, το κίτρινο, αποτελούν τις θερμές θερμοκρασίες ή τα θερμά χρώματα ή θερμό φως και κυμαίνονται στα 2700 – 3000 K. Από την άλλη οι υψηλότερες θερμοκρασίες, γύρω στα 5000 – 6500 K, είναι αυτές που καλούνται ψυχρές θερμοκρασίες ή ψυχρά χρώματα ή ψυχρό φως και αντιστοιχούν σε χρώματα όπως το σκούρο μπλε και το μπλε λευκό. Στις ενδιάμεσες θερμοκρασίες, 3000 – 5000 K βρίσκεται το λευκό φως ή φως ημέρας ή λευκό ημέρας.

Το ενδιάμεσο λευκό φως έχει χρήσεις σε γραφεία, καταστήματα με ρούχα, όπου δεν θέλουν να υπάρχει αλλοίωση των χρωμάτων από το κίτρινο φως. Το θερμό φως χρησιμοποιείται σε χώρους διαμονής, γιατί είναι πιο ζεστό και ήπιο και χαλαρώνει τους ενοίκους. Η τελευταία τεχνολογία Led filament (σχήμα 4.14), είναι φωτιστικά LED τα οποία μοιάζουν με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, κυκλοφορούν σε χαμηλούς βαθμούς Kelvin (2200 – 2700 K) και εκπέμπουν πολύ θερμό φως σε 360° (αντί των 180°-200° στους κοινούς LED λαμπτήρες). Από την άλλη το ψυχρό φως χρησιμοποιείται σε νοσοκομεία, αίθουσες αναμονής, εργοστάσια, όπου δηλαδή θέλουμε πολύ καλό και έντονο φως.



Σχήμα 4.13: Φάσμα θερμοκρασιών – χρωμάτων

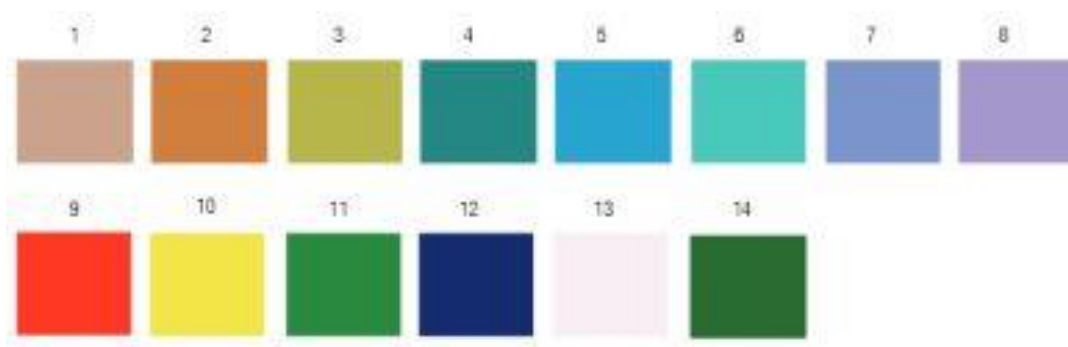


Σχήμα 4.14: Λαμπτήρες LED filament

4.10 ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ

Ο δείκτης απόδοσης χρωμάτων (colour rendering index – CRI) ορίζει το βαθμό στον οποίο μια συγκεκριμένη πηγή φωτός επιτρέπει την παρατήρηση των χρωμάτων και χαρακτηρίζει όλες τις πηγές, τόσο τις φυσικές όσο και τις τεχνητές. Δηλαδή, είναι η ικανότητα της φωτεινής πηγής να εμφανίζει τα χρώματα σε σύγκριση με μια ιδανική πηγή φωτός ή με το φυσικό φως. Ο δείκτης απόδοσης χρωμάτων κυμαίνεται σε μια κλίμακα από το 0 ως το 100, όπου το 0 αντιστοιχεί σε μονοχρωματική πηγή φωτός, ενώ το 100 αντιστοιχεί στο φως της ημέρας. Ο CRI καθορίζεται από 14 συγκεκριμένα δείγματα χρωμάτων, τα TCS (Test Colour Samples), ενώ είναι πολύ συνηθισμένο οι κατασκευαστές προϊόντων φωτισμού να βασίζονται στα πρώτα 8 (σχήμα 4.15). Τα δείγματα φωτίζονται διαδοχικά και μετρείται σε ποιο βαθμό το ανακλώμενο φως του δείγματος είναι παρόμοιο με αυτό του πρότυπου

φωτός. Έτσι καθορίζεται ο δείκτης απόδοσης χρώματος R. Ο μέσος όρος των 14 δεικτών R, είναι το CRI. Για το πρότυπο φως οι δείκτες R1 – R14 είναι ίσοι με 100. Άρα όσο πιο κοντά είναι οι αντανakλάσεις των φώτων που θα συγκριθούν τόσο πιο μεγάλος θα είναι ο αντίστοιχος δείκτης άρα και το CRI θα είναι μεγαλύτερο.



Σχήμα 4.15: Test Colour Samples

Οι LED λαμπτήρες έχουν κατά μέσο όρο δείκτη CRI γύρω στο 60 – 80, ενώ οι υψηλής ποιότητας έχουν 80 – 95. Γενικά απαιτούνται υψηλά επίπεδα φωτισμού ώστε να αποδίδουν όσο πιο πιστά γίνεται τα χρώματα. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που χρειάζονται χαμηλό CRI, όπως για παράδειγμα στο φωτισμό των δρόμων. Η κίτρινη απόχρωση που αποδίδεται στα αντικείμενα που φωτίζονται κάνει την νυχτερινή οδήγηση ή την οδήγηση σε δύσκολες καιρικές συνθήκες πιο ξεκούραστη.

Στην Ευρώπη ισχύουν πρότυπα τα οποία προβλέπουν ο CRI να μην είναι μικρότερος από 70 στο εξωτερικό των κτιρίων και πάνω από 80 σε σπίτια και γραφεία. Αν ο CRI είναι χαμηλός, ο χώρος φαίνεται με μη φυσικά χρώματα και έτσι τα άτομα που βρίσκονται στο περιβάλλον αισθάνονται δυσφορία. Άρα, το επιθυμητό είναι ένας μεγάλος Δείκτης Απόδοσης Χρωμάτων.

4.11 ΚΛΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ

Για τη χρήση κάθε φωτιστικού μέσου πρέπει να έχουν ληφθεί κάποια μέτρα προστασίας, ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η προστασία που παρέχουν τα φωτιστικά από την ηλεκτροπληξία, κατά τη χρήση ή κατά τη συντήρηση. Τα ηλεκτρικά περιβλήματα είναι αυτά που θα πρέπει να παρέχουν επαρκή προστασία από τον κίνδυνο της ηλεκτροπληξίας. Η ασφάλεια τους εξαρτάται από τις θερμικές και τις ηλεκτρικές προδιαγραφές του περιβλήματος, σε συνθήκες λειτουργίας ή σε περίπτωση βλάβης. Στον πίνακα 4.2 περιγράφονται οι κατηγορίες ανάλογα με την προστασία που παρέχουν.

Πίνακας 4.2: Κλάσεις και τύπος προστασίας

ΚΛΑΣΗ	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
0	Βασική μόνωση μόνο
I	Βασική μόνωση με αγωγό γείωσης
II	Διπλή ή ενισχυμένη μόνωση χωρίς αγωγό γείωσης
III	Παροχή ρεύματος πολύ χαμηλής τάσης

Στην Κλάση 0 η προστασία από την ηλεκτροπληξία γίνεται μόνο από τη βασική μόνωση και στα φωτιστικά δεν είναι επιτρεπτή.

Στην Κλάση I υπάρχουν ηλεκτρικά περιβλήματα στα οποία η προστασία από την ηλεκτροπληξία δεν στηρίζεται μόνο στη βασική μόνωση, αλλά περιλαμβάνει και τη γείωση, δηλαδή τη σύνδεση των αγώγιμων μερών στον αγωγό προστασίας. Έτσι, περιλαμβάνει ένα επιπλέον μέτρο προστασίας ώστε να μην μπορεί να προκληθεί ηλεκτροπληξία σε περίπτωση βλάβης της βασικής μόνωσης.

Στην Κλάση II η προστασία δεν στηρίζεται μόνο στη βασική μόνωση, αλλά περιλαμβάνει μέτρα ασφαλείας όπως είναι η ενισχυμένη μόνωση ή η διπλή μόνωση, αλλά δεν περιλαμβάνει μέσα για τη σύνδεση αγώγιμων μερών στη γείωση και ούτε βασίζεται στις συνθήκες εγκατάστασης.

Στην Κλάση III υπάρχουν ηλεκτρικά περιβλήματα στα οποία η προστασία από την ηλεκτροπληξία στηρίζεται στην παροχή ρεύματος πολύ χαμηλής τάσης. Σε αυτά δεν παράγονται τάσεις μεγαλύτερες των SELV. SELV είναι η πολύ χαμηλή τάση ασφαλείας, δηλαδή μικρότερη των 50 V για AC και των 120 V για DC.

5. ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ

5.1 ΘΑΜΒΩΣΗ

Η θάμβωση είναι ίσως το σημαντικότερο φωτομετρικό μέγεθος στις μελέτες φωτισμών δρόμων. Η διαφορά λαμπρότητας μεταξύ οπτικού πεδίου - αντίληψης και προσαρμογής των οφθαλμών, οδηγεί σε μείωση ή και πλήρης εξάλειψη της ικανότητας των παρατηρητών να διακρίνουν τα αντικείμενα. Η θάμβωση εξαρτάται από την πηγή φωτισμού και από τη λαμπρότητα του δρόμου. Ένα αντικείμενο, λοιπόν, το οποίο είναι οριακά ορατό στον παρατηρητή όταν δεν υπάρχει η θάμβωση, με τη θάμβωση γίνεται μη ορατό. Η θάμβωση προκαλεί ενόχληση ή δυσφορία στον παρατηρητή και οδηγεί στη μείωση της παραγωγικότητας, του οδηγού – εργαζόμενου – παρατηρητή. Ένα φωτεινό αντικείμενο μπροστά σε ένα σκούρο φόντο θα προκαλέσει θάμβωση, το ίδιο όμως αντικείμενο από μόνο του δεν είναι σίγουρο ότι προκαλεί θάμβωση.

Διακρίνονται τρία είδη θάμβωσης: η απόλυτη, η φυσιολογική και η ψυχολογική.

- Η *απόλυτη θάμβωση (dazzle)* οφείλεται στην υπερβολικά μεγάλη λαμπρότητα στο οπτικό πεδίο, δηλαδή σε τιμές μεγαλύτερες από 10.000 cd / m².
- Η *φυσιολογική θάμβωση ή θάμβωση ανικανότητας (disability glare)* μοιάζει με την απόλυτη θάμβωση, σαν ορισμός. Είναι μία πρόσθετη λαμπρότητα, γνωστή ως ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου (Veiling Equivalent Luminance – Lseq), η οποία βρίσκεται στο οπτικό πεδίο και μειώνει την αντίθεση της λαμπρότητας. Στην φυσιολογική θάμβωση εισέρχεται μία νέα έννοια γνωστή ως «προσαύξηση κατωφλίου» της λαμπρότητας στο περιβάλλον (Threshold Increment – TI), ο δείκτης αυτός δείχνει, ποσοστιαία, πόσο πρέπει να αυξηθεί ο φωτισμός στο περιβάλλον, ώστε να γίνει ένα αντικείμενο ορατό. Η φυσιολογική θάμβωση οδηγεί σε μειωμένη οπτική ικανότητα και εκτέλεση πράξεων. Στο φωτισμό δρόμων, όταν συμβαίνει αυτό, μπορεί η θάμβωση να είναι η αιτία κάποιου ατυχήματος, κυρίως σε υψηλές ταχύτητες.
- Η *ψυχολογική θάμβωση ή θάμβωση ενόχλησης (discomfort glare)*, είναι η θάμβωση κατά την οποία ο οδηγός νιώθει μία δυσφορία ή έλλειψη άνεσης, η οποία δεν είναι απαραίτητο να οδηγήσει σε μείωση της οπτικής ικανότητας.

Τέλος, η θάμβωση μπορεί να είναι άμεση ή ανακλώμενη.

- *Άμεση θάμβωση* δημιουργείται από ένα πολύ φωτεινό φωτιστικό το οποίο βρίσκεται στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή.
- *Ανακλώμενη θάμβωση* δημιουργείται όταν ένα φωτιστικό σώμα φωτίζει εκτός από τον δρόμο και κάποιο άλλο σημείο όπως πινακίδα ή τοίχο ή σπίτι και έτσι ο φωτισμός ανακλάται από το σώμα αυτό, θαμβώνει τον παρατηρητή και αλλοιώνει το οπτικό πεδίο του.

Ο βαθμός θάμβωσης (Unified Glare Rating System – UGR), υπολογίζει τη θάμβωση σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Εξαρτάται από το φωτιστικό, από τις αντανάκλασεις των επιφανειών αλλά και από τις διαστάσεις του χώρου όταν πρόκειται για εσωτερικό φωτισμό. Ο UGR κανονικά πρέπει να δίνεται από τους κατασκευαστές των φωτιστικών σωμάτων και συνήθως δίνεται στα φύλλα δεδομένων ή στις προδιαγραφές των φωτιστικών.

Για να υπολογιστεί το μέγεθος της θάμβωσης στους δρόμους υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού: η μέθοδος της «αύξησης κατωφλίου», στην οποία έγινε αναφορά και παραπάνω και η μέθοδος Glare Control Mark.

➤ *Μέθοδος Αύξησης Κατωφλίου (Threshold Increment – TI)*

Το TI γενικά συνδέεται με την ασφάλεια στο δρόμο. Ωστόσο δεν υπάρχει ακριβής σχέση που να συνδέει αυτά τα 2 μεταξύ τους. Η σχέση που υπάρχει για τον υπολογισμό της μεθόδου συνδέει την ικανότητα της οπτικής εκτέλεσης με την ασφάλεια του δρόμου. Παράμετροι που επηρεάζουν τον TI είναι οι εξής: η λαμπρότητα του δρόμου, η διάταξη των φωτιστικών αλλά και το ύψος στο οποίο βρίσκονται, η θέση του παρατηρητή και η διανομή φωτός από το φωτιστικό σώμα μεταξύ των 70 και 90 μοιρών, στο κατακόρυφο επίπεδο.

Ακολουθεί ο μαθηματικός υπολογισμός του δείκτη TI.

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{av}^{0.8}}, \text{ όπου:}$$

L_v : είναι η λαμπρότητα που αντιστοιχεί σε έναν παρατηρητή, ο οποίος βρίσκεται σε θέση 1° κάτω από το οριζόντιο επίπεδο και βλέπει σε ευθεία που είναι παράλληλη προς τον διαμήκη άξονα του δρόμου. Η λαμπρότητα είναι υπολογισμένη σε cd/m^2 . Το L_v υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$L_v = k \cdot \frac{E_{gl}}{\theta \cdot n}, \text{ όπου:}$$

k: ένας παράγοντας που εξαρτάται από την ηλικία του παρατηρητή. Για παράδειγμα για έναν παρατηρητή ηλικίας 25 ετών το k είναι ίσο με 9.2.

E_{gl} : η ένταση φωτισμού στο επίπεδο του ματιού του παρατηρητή που προέρχεται από την πηγή της θάμβωσης

θ : είναι η γωνία ανάμεσα στην πηγή της θάμβωσης και στην γραμμή θέασης του παρατηρητή.

n: είναι μια σταθερά εξαρτώμενη από την γωνία θ και υπολογίζεται ως εξής:

Αν $0.2^\circ < \theta < 2^\circ$, τότε $n = 2.3 - 0.07 \cdot \log \theta$

Αν $\theta > 2^\circ$, τότε $n = 2$

L_{av} : είναι η μέση λαμπρότητα του δρόμου υπολογισμένη σε cd/m^2 .

Αν ισχύει ότι $\frac{L_{max} - L_{min}}{L_{min}} < 10\%$, όπου L_{max} και L_{min} η μέγιστη κι η ελάχιστη λαμπρότητα αντίστοιχα, τότε πρακτικά η θάμβωση αποφεύγεται.

➤ *H Μέθοδος Glare Control Mark (GSM)*

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει τη θάμβωση χρησιμοποιώντας τη φωτεινή ένταση του φωτιστικού προς το χρήστη αλλά και τον αριθμό των φωτιστικών που βρίσκονται ανά χιλιόμετρο. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ευθύγραμμα τμήματα δρόμου και όταν τα φωτιστικά είναι τοποθετημένα ομοιόμορφα. Ο υπολογισμός του G έχει περιγραφεί πλήρως στην δημοσίευση της CIE με αριθμό 31 – 1976.

Μαθηματικά ο G υπολογίζεται μαθηματικά ως εξής:

$$G = 13.84 - 3.31 \cdot \log I_{80} + 1.3 \cdot (\log \frac{I_{80}}{I_{88}})^{0.5} - 0.08 \cdot (\log \frac{I_{80}}{I_{88}}) + 1.29 \cdot \log F + 0.97 \cdot \log L_b + 4.4 \cdot \log h' - 1.45 \cdot \log q$$

Όπου:

- I_{80} : είναι η φωτεινή ένταση φωτιστικού κατακόρυφα στις 80°
- I_{88} : είναι η φωτεινή ένταση φωτιστικού κατακόρυφα στις 88°
- F: είναι η φωτεινή επιφάνεια φωτιστικού, όπως φαίνεται κατακόρυφα από τις 80°

- L_b : είναι η λαμπρότητα στον χώρο γύρω από το φωτιστικό και τον παρατηρητή
- h' : είναι η κάθετη απόσταση ανάμεσα στο φωτιστικό και στους οφθαλμούς. Δηλαδή το προσαρμοσμένο ύψος του φωτιστικού.
- q : είναι ο αριθμός των φωτιστικών που βρίσκονται σε 1 χιλιόμετρο.

Στον πίνακα 5.1 φαίνεται η κλίμακα που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη μέθοδο κατά CIE 31-1976.

Πίνακας 5.1: Κλίμακα G

G	ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΑΜΒΩΣΗΣ
1	Μη ανεκτή
3	Ενοχλητική
5	Οριακά ανεκτή
7	Ικανοποιητική
9	Μη παρατηρήσιμη

5.2 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ

Ο όρος ομοιομορφία αφορά στην ομοιομορφία κατανομής της λαμπρότητας πάνω στο οδόστρωμα. Ορίζονται οι εξής συντελεστές οι οποίοι αφορούν στην ομοιομορφία:

- U_0 : είναι ο γενικός συντελεστής ομοιομορφίας και είναι ίσος με:

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{mean}} = \frac{L_{min}}{L_{max}}, \text{ όπου:}$$

L_{min} και L_{max} : είναι η ελάχιστη και η μέγιστη λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου, αντίστοιχα.

L_{mean} : είναι η μέση λαμπρότητα.

- U_i : είναι ο συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας. Ο συντελεστής αυτός ορίζει την ομοιομορφία που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής καθώς κινείται στον άξονα του δρόμου.

Είναι ίσος με το μικρότερο λόγο του $\frac{L_{min}}{L_{max}}$, σε ευθείες οι οποίες είναι παράλληλες στον άξονα του δρόμου.

- U_v : είναι ο συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας. Είναι ίσος με τον μικρότερο λόγο του $\frac{L_{min}}{L_{max}}$, σε ευθείες οι οποίες είναι κάθετες στον άξονα του δρόμου. Αν ο συντελεστής αυτός έχει μια ικανοποιητική τιμή τότε ο οδηγός μπορεί να βλέπει όλο το πλάτος του δρόμου.

5.3 ΑΝΤΙΘΕΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ

Η αντίθεση λαμπρότητας είναι εκείνη η ιδιότητα χάρη στην οποία αναγνωρίζονται τα αντικείμενα και οφείλεται στην διαφορά λαμπρότητας ανάμεσα σε αυτά και στο περιβάλλον τους. Η τιμή της ορίζεται στο διάστημα $(-1, +\infty)$. Ο οδηγός κατά τη διάρκεια της νύχτας διακρίνει το σκοτεινό αντικείμενο μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του δρόμου. Αυτό οδηγεί σε αρνητικές τιμές αντίθεσης λαμπρότητας. Από την άλλη, οι θετικές τιμές της αντίθεσης λαμπρότητας προκύπτουν όταν ένα φωτεινό αντικείμενο διακρίνεται μέσα στο σκοτεινό περιβάλλον. Μαθηματικά η αντίθεση λαμπρότητας ορίζεται ως εξής:

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b}, \text{ όπου:}$$

L_o : η λαμπρότητα του αντικειμένου

L_b : η λαμπρότητα του περιβάλλοντος

Υπάρχει, όμως και ο συντελεστής αντίθεσης λαμπρότητας (q_c), του οποίου ο ορισμός είναι:

$$q_c = \frac{L}{E_v}, \text{ όπου}$$

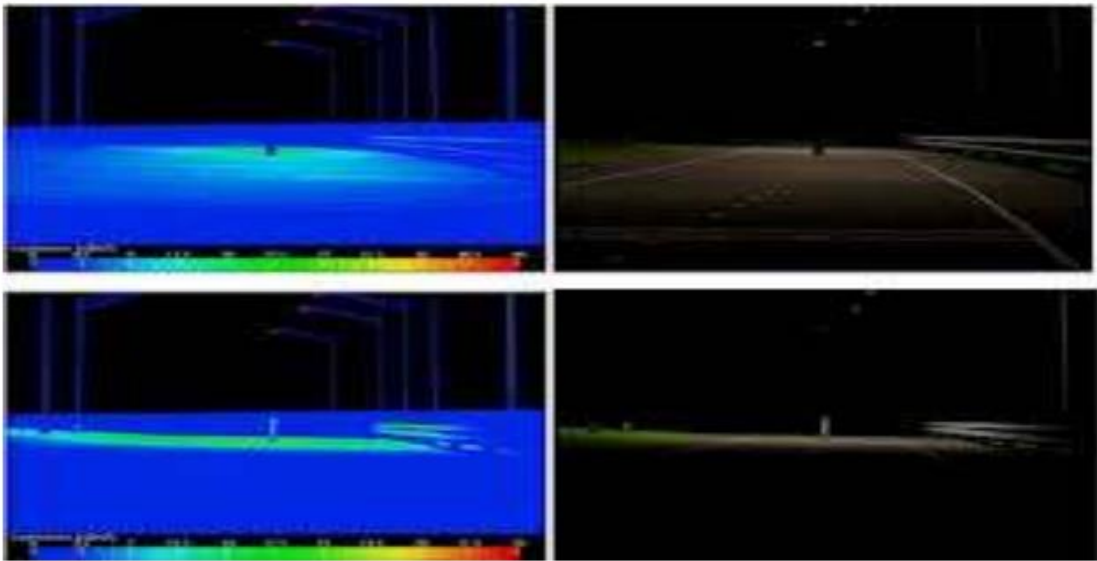
L : είναι η μέση λαμπρότητα επιφάνειας του δρόμου

E_v : είναι ο κατακόρυφος φωτισμός ενός αντικειμένου ύψους 0.2 μέτρων, πάνω από την επιφάνεια του δρόμου, το οποίο αντικρίζει την κυκλοφορία που το πλησιάζει.

Το ποσοστό της αντίθεσης που χρειάζεται ένας παρατηρητής ώστε να αντιληφθεί ένα αντικείμενο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (πχ θάμβωση, ηλικία κλπ) και είναι διαφορετικό για τον κάθε παρατηρητή. Το ελάχιστο ποσό αντίθεσης ονομάζεται κατώφλι αντίθεσης. Το σχήμα 5.2 παρουσιάζει δύο παραδείγματα αντίθεσης λαμπρότητας. Όπως φαίνεται στις πάνω φωτογραφίες η αντίθεση είναι αρνητική, ενώ στις κάτω θετική. Επιπλέον,

στη μελέτη φωτισμού δρόμου αυτό που απαιτείται είναι θετική αντίθεση λαμπρότητας μεγαλύτερη από αυτή του κατωφλιού αντίθεσης. Το επιθυμητό είναι μία αντίθεση 3 με 4 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του κατωφλιού ώστε να υπάρχει καλή ορατότητα στον δρόμο.

Τέλος, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και το χρώμα στην αντίθεση των αντικειμένων. Αυξάνει την αντίθεση και έτσι γίνονται πιο ευδιάκριτα τα αντικείμενα από τον παρατηρητή – οδηγό. Ωστόσο, το χρώμα και η επίδραση του εξαρτάται σημαντικά και από την ποιότητα των φωτιστικών σωμάτων αλλά και από το σύστημα φωτισμού όπως και από τα χρώματα των αντικειμένων.



Σχήμα 5.1: Παραδείγματα αντίθεσης λαμπρότητας

5.4 ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην αντίληψη ενός συμβάντος και στην αντίδραση του οδηγού λέγεται χρόνος αντίδρασης. Ο χρόνος αντίδρασης κυμαίνεται από 0.6 έως 1 δευτερόλεπτο περίπου και εξαρτάται από παράγοντες όπως: η φυσική κατάσταση (αλκοόλ, κούραση, φάρμακα, άγχος κ.α.), η ηλικία και η εμπειρία του οδηγού, οι συνθήκες του περιβάλλοντος (βροχή, ομίχλη κ.α.). Όταν υπάρχει σωστό σύστημα φωτισμού στο δρόμο ο οδηγός διευκολύνεται και έτσι μειώνεται η κούρασή του, κυρίως στα πολύωρα ταξίδια, αλλά μειώνεται και ο χρόνος αντίληψης και αντίδρασης του οδηγού στα τυχαία συμβάντα που μπορεί να προκύψουν, αφού αυξάνεται η ορατότητα του οδηγού.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό που συνδέεται με την ασφάλεια στους δρόμους είναι και η απόσταση πεδήσεως. Απόσταση πεδήσεως είναι η εκείνη η απόσταση που χρειάζεται ώστε να σταματήσει τελείως και με ασφάλεια το όχημα το οποίο κινείται με την ταχύτητα σχεδιασμού. Η απόσταση πεδήσεως εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Αν η ταχύτητα του οχήματος διπλασιαστεί τότε η απόσταση πεδήσεως τετραπλασιάζεται. Σε βρεγμένο οδόστρωμα η απόσταση πεδήσεως είναι διπλάσια σε σχέση με αυτή σε στεγνό οδόστρωμα. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος του αυτοκινήτου τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόσταση πεδήσεως. Σύμφωνα με τον Κ.Ο.Κ., λοιπόν, ο οδηγός οφείλει να ρυθμίζει την ταχύτητα του οχήματος ώστε να μπορεί να σταματήσει έγκαιρα μπροστά σε οποιοδήποτε ξαφνικό εμπόδιο. Επίσης, οφείλει να τηρεί μια απαραίτητη απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα ώστε να αποφεύγονται πιθανά ατυχήματα σε περίπτωση ξαφνικού φρεναρίσματος του πρώτου οχήματος.

Ο σωστός φωτισμός του δρόμου είναι απαραίτητος ώστε να αποφεύγονται περιπτώσεις ατυχημάτων, που μπορεί να είναι και θανατηφόρα, καθώς τα αυτοκίνητα συνεχώς εξελίσσονται και κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες από ότι παλαιότερα. Είναι σχεδόν σίγουρο ότι στα επόμενα χρόνια θα είναι αναγκαίος ο επανασχεδιασμός των συστημάτων φωτισμού στην Ελλάδα.

5.5 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος στη μελέτη και το σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού στο δρόμο. Είναι εκείνη η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό του φωτιστικού συστήματος ώστε να επιτευχθούν η σωστή λειτουργία και η ασφάλεια των οδηγών αλλά και όσων χρησιμοποιούν τον δρόμο. Οι πληροφορίες που χρειάζονται σχετικά με τους χρήστες αλλά και το είδος του δρόμου, ώστε να προσδιοριστεί όσο το δυνατόν ακριβέστερα την ταχύτητα σχεδιασμού δίνονται από το πρότυπο EN – 13201.

6. ΕΙΔΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ

Η τεχνολογία των λαμπτήρων φωτισμού είναι μία διαρκώς εξελισσόμενη τεχνολογία. Έχουν σχεδιαστεί πολλά διαφορετικά είδη λαμπτήρων και η απόφαση για την επιλογή του καλύτερου είδους είναι μία περίπλοκη υπόθεση, η οποία επηρεάζεται από παράγοντες όπως η εξοικονόμηση ενέργειας και η τιμή. Από το 2009 σταδιακά έχουν καταργηθεί οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, οπότε η ανάγκη για νέες τεχνολογίες λαμπτήρων ήταν πιο επιτακτική από ποτέ.

6.1 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ

Η λειτουργία των λαμπτήρων πυρακτώσεως στηρίζεται στη θέρμανση του μεταλλικού νήματος που βρίσκεται στο εσωτερικό της. Μόνο το 10 – 12% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια ενώ η φωτιστική τους απόδοση είναι γύρω στα 10 – 20 lumen / watt. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία στο νήμα τόσο αυξάνεται και η απόδοση του λαμπτήρα, ενώ από την άλλη σε μεγάλες θερμοκρασίες υπάρχει οξειδωση και εξάχνωση του νήματος άρα και φθορά του λαμπτήρα ως την αχρήστευση του. Αν αυξηθεί η τάση λειτουργίας τότε αυξάνεται και η ένταση του ρεύματος, άρα και η θερμοκρασία του νήματος. Έστω ότι αυξάνεται η τάση του ρεύματος κατά 5%, τότε η φωτεινή ροή θα αυξηθεί κατά 20% και αυτό θα οδηγήσει σε μείωση του χρόνου ζωής στο 60 %. Γι' αυτό και τυχαίες απότομες αυξήσεις του ρεύματος από το δίκτυο επηρεάζουν πολύ τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

Το νήμα στο εσωτερικό του λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι κατασκευασμένο από βολφράμιο (τουγκστένιο) λόγω του μεγάλου σημείου τήξης και έργου εξαγωγής ηλεκτρονίων. Τα νήματα μπορεί να είναι ευθύγραμμα, ελικοειδή ή διπλής ελικοειδούς περιέλιξης. Ενώ οι κάλυκες στο κάτω μέρος του λαμπτήρα μπορεί να είναι βιδωτοί (E), μπαγιονέτ (B) ή κουμπωτοί (S). Τα γράμματα E, B, S ακολουθούνται από έναν αριθμό ο οποίος δείχνει το πάχος του κάλυκα σε mm.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως συναντώνται σε διάφορα σχήματα:

Αχλαδωτοί λαμπτήρες: Χρησιμοποιούνται κυρίως για οικιακό φωτισμό. Κυκλοφορούν σε ισχύς 15, 25, 40, 60, 75, 100 και έως 240 watt. Οι κάλυκες τους μπορεί να είναι βιδωτοί E27 ή μπαγιονέτ B22 ενώ η ροή τους είναι από 90 - 3500 lumen. Κυκλοφορούν είτε ματ είτε διαφανείς.

- *Λαμπτήρες Κεριά:* Συνήθως χρησιμοποιούνται για διακοσμητικό φωτισμό σε εσωτερικούς χώρους, όπως σπίτια και ξενοδοχεία. Η ισχύς πάλι μπορεί να είναι 15, 25, 40 ως 100 watt ενώ η ροή τους φτάνει ως τα 1400 lumen. Ο κάλυκός τους είναι βιδωτός E14 ή E27. Συναντώνται σε ματ ή διάφανη έκδοση.
- *Σφαιρικοί λαμπτήρες:* Είναι κατάλληλοι για διακοσμητικά φωτιστικά σώματα μικρού μεγέθους, καθότι και αυτοί έχουν χαρακτηριστικό μικρό μέγεθος. Η ισχύς του μπορεί να είναι 15, 25, 40, 60 watt και η φωτεινή ροή να φτάνει τα 660 lumen. Ο κάλυκας είναι βιδωτός E14 ή E27 ή μπαγιονέτ B22.



Σχήμα 6.1: Διάφοροι λαμπτήρες πυρακτώσεως

Ένα άλλο είδος λαμπτήρων πυρακτώσεως είναι με γέμιση αερίου κρυπτό. Αυτοί μπορούν να εκπέμπουν έως και 10% πιο πολύ φως σε σύγκριση με τους κοινούς λαμπτήρες. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλους εσωτερικούς χώρους και βγάζουν λευκό φως που δεν θαμπώνει. Αυτοί οι λαμπτήρες μπορεί να είναι σε σχήμα μανταριού, κεριού ή σφαιρικοί. Η μέγιστη ισχύς μπορεί να είναι τα 100 watt ενώ η μέγιστη φωτεινή ροή τα 1500 Lumen.

Επιπλέον υπάρχουν και οι λαμπτήρες απαλού φωτισμού. Αυτοί παράγουν απαλό φωτισμό εξαιτίας της εσωτερικής επίστρωσης που βρίσκεται μέσα στον κώδωνα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για διακοσμητικό φωτισμό σε εσωτερικούς χώρους. Το χρώμα τους είναι λευκό με αποχρώσεις παστέλ. Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες μπορεί να είναι σε σχήμα αχλαδιού, κεριού ή σφαιρικοί. Η ισχύς τους μπορεί να φτάνει τα 150 watt ενώ η ροή τα 1800 lumen.

Μία άλλη κατηγορία λαμπτήρων πυρακτώσεως είναι οι λαμπτήρες καθρέπτη. Μέσα στον κώδωνα υπάρχει καθρέπτης. Χωρίζονται στις εξής υπό-κατηγορίες: λαμπτήρες καθρέπτη με κοινό γυαλί και λαμπτήρες καθρέπτη με σκληρό γυαλί.



Σχήμα 6.2: Λαμπτήρας πυρακτώσεως με καθρέπτη

Επίσης υπάρχουν και λαμπτήρες για ειδικές περιστάσεις. Αυτοί είναι: λαμπτήρες πυρακτώσεως χαμηλής τάσης, με χαρακτηριστικά όπως αυτά των αχλαδωτών λαμπτήρων. Οι χρωματιστοί λαμπτήρες, σε χρώματα κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο και μπλε. Οι λαμπτήρες ηλιακού φωτός, οι οποίοι προσομοιώνουν το φυσικό φως της ημέρας. Οι λαμπτήρες εντόμων, με ειδικό κίτρινο φως που δεν ελκύει τα έντομα. Οι αντικραδασμικοί λαμπτήρες, που είναι ανθεκτικοί στους κραδασμούς καθώς διαθέτουν πρόσθετα στηρίγματα στα νήματα. Οι λαμπτήρες φούρνου, που χρησιμοποιούνται στους οικιακούς φούρνους και αντέχουν σε θερμοκρασίες ως 300°C. Οι λαμπτήρες τηλεόρασης, που έχουν μπλε κώδωνα. Και τέλος οι λαμπτήρες οικιακής χρήσης που είναι κατάλληλοι για ψυγεία, έπιπλα και άλλες οικιακές αλλά και εμπορικές εφαρμογές.

Γενικά οι λαμπτήρες πυρακτώσεως είναι οι πιο οικονομικοί στην αγορά τους σε σχέση με τους άλλους τύπους λαμπτήρων, όμως η μέση διάρκεια ζωής τους είναι μικρότερη συγκριτικά με τα άλλα είδη λαμπτήρων, περίπου 1000 ώρες.

6.2 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΛΟΓΟΝΟΥ

Οι λαμπτήρες αλογόνου δίνουν λευκό φως το οποίο κάνει τα χρώματα να φαίνονται πιο ζωντανά και σε σχέση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως δίνουν μεγαλύτερη ένταση φωτός. Υπάρχει και σε αυτούς τους λαμπτήρες μεγάλη ποικιλία στα είδη τους, ενώ είναι ιδιαίτερα συμπαγείς. Οι λαμπτήρες αλογόνου είναι ουσιαστικά μια εξέλιξη των λαμπτήρων πυρακτώσεως και βασίζουν τη λειτουργία τους σε αυτήν των πυρακτώσεως. Αλογόνα στοιχεία, τα οποία είναι το χλώριο, το φθόριο, το βρώμιο και το ιώδιο, τοποθετούνται σε μικρή ποσότητα μέσα στον κώδωνα του λαμπτήρα. Το πιο συνηθισμένο είναι το ιώδιο. Αυτά επιδρούν με τα στοιχεία του βολφραμίου που προκύπτουν λόγω της εξάχνωσης, κατά την θέρμανση του λαμπτήρα, και πραγματοποιείται μια χημική ένωση, το αλογονίδιο του βολφραμίου. Το αλογονίδιο του βολφραμίου, κατά τη θέρμανση του λαμπτήρα, επικάθεται στο νήμα και στην συνέχεια διασπάται. Έτσι το βολφράμιο μένει πάνω στο νήμα ενώ το αλογόνο ελευθερώνεται και ξεκινάει νέος κύκλος. Αυτή η διαδικασία είναι αυτή που πετυχαίνει τον περιορισμό της εξάχνωσης του νήματος και άρα την αύξηση της μέσης διάρκειας ζωής του λαμπτήρα αλλά και της μέγιστης θερμοκρασίας που μπορεί να αντέξει αυτός. Είναι σημαντικό να μην ακουμπήσει κανείς τον λαμπτήρα με γυμνά χέρια στον κώδωνα κατά την τοποθέτηση του και αν τον ακουμπήσει κάποιος πρέπει να καθαριστεί με οινόπνευμα πριν χρησιμοποιηθεί αλλιώς μειώνεται ο χρόνος ζωής κατά πολύ.

Η θερμοκρασία χρώματος στους λαμπτήρες αλογόνου μπορεί να φτάσει τους 3000°C με 3300°C.

Για τους κάλυκες των λαμπτήρων αλογόνου υπάρχει μεγάλη ποικιλία και η επιλογή του κάλυκα εξαρτάται από τη χρήση για την οποία είναι κατασκευασμένος ο λαμπτήρας αλλά και από την τάση λειτουργίας του. Χρησιμοποιούνται οι μπαγιονέτ με κωδικό BA15d, B15d, B22d. Οι βιδωτοί με κωδικό: E14, E27, E40. Οι κουμπωτοί με κωδικό Fa4, R75-7, όπου ο αριθμός δίπλα στο γράμμα δείχνει το πάχος της ακίδας σε χιλιοστά. Τέλος, οι κάλυκες με ακίδες με κωδικό: G4, G9, G53, GY4, GY6,35, GU4, GX5,3, GU5,3, GU10, GZ10, όπου ο αριθμός δίπλα στα γράμματα δηλώνει την απόσταση μεταξύ των ακίδων.



Σχήμα 6.3 Λαμπτήρας αλογόνου

Οι τύποι λαμπτήρων αλογόνου έχουν ως εξής:

- *Λαμπτήρες αλογόνου καθρέπτη:* Αυτοί χωρίζονται σε δύο υπό-κατηγορίες. Στους λαμπτήρες τάσεως δικτύου και στους λαμπτήρες χαμηλής τάσεως. Οι πρώτοι είναι η εξέλιξη των λαμπτήρων πυρακτώσεως καθρέπτη και λειτουργούν με την τάση του δικτύου ενώ δεν χρειάζονται μετασχηματιστή. Το χρώμα που αποδίδουν είναι λαμπερό λευκό φως. Η φωτεινή του ένταση μπορεί να είναι ως και 35% μεγαλύτερη από αυτήν των κοινών λαμπτήρων πυρακτώσεως ενώ η εξοικονόμηση ενέργειας φτάνει το 15%. Η διάρκεια ζωής τους είναι 2000 ώρες. Η ισχύς τους μπορεί να είναι 40, 50, 75, 100 watt ενώ η ένταση ακτινοβολίας τους είναι από 600 ως 15.000 cd. Οι κάλυκες που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι E14, E27 ή Gu10 ή Gz10.



Σχήμα 6.4: Λαμπτήρας αλογόνου καθρέπτη

Οι λαμπτήρες χαμηλής τάσεως μπορεί να είναι καθρέπτη αλουμινίου ή διχρωμικού καθρέπτη. Αυτοί οι λαμπτήρες λειτουργούν με τη βοήθεια μικρών μετασχηματιστών. Η μέση διάρκεια ζωής τους είναι 2.000 ώρες. Η ισχύς τους μπορεί να είναι 10, 15, 20, 35, 45, 50 watt ενώ η ένταση της ακτινοβολίας τους κυμαίνεται μεταξύ 300 ως 16.000 cd. Οι κάλυκες που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι: GY4, GU4, GU5,3, BA15d, B15d. Αυτός ο τύπος λαμπτήρα χρησιμοποιείται πολύ σε μπαρ, μουσεία, εκθέσεις, κοσμηματοπωλεία κλπ και γενικά όπου θέλουμε να αναδείξουμε τα αντικείμενα χρησιμοποιώντας τον διακοσμητικό φωτισμό.

- *Λαμπτήρες κοινού κάλυκα:* είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται για την άμεση αντικατάσταση των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Η ισχύς τους μπορεί να είναι 25, 40, 60, 75, 150, 250 watt, ενώ η φωτεινή ροή τους μπορεί να είναι από 250 ως 4000 lumen. Οι κάλυκες που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι E27 ή E14 και η μέση διάρκεια ζωής τους είναι 2.000 ώρες. Κυκλοφορούν και σε διάφανη και σε ματ έκδοση. Χρησιμοποιούνται σε εστιατόρια, ξενοδοχεία και σπίτια.
- *Λαμπτήρες Ιωδίνης:* αποτελούνται από μία ράβδο χαλάζιου, με δύο άκρα και περιέχουν μικρή ποσότητα ιωδίου. Η ισχύς τους μπορεί να είναι 60, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1.500, 2.000 watt, ενώ η φωτεινή τους ροή μπορεί να είναι από 840 ως 44.000 lumen. Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες έχουν το εξής χαρακτηριστικό, για τιμές ισχύος ως 500 watt μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε θέση, ενώ για ισχύ μεγαλύτερη των 500 watt πρέπει να τοποθετηθούν σε οριζόντια θέση με μια μικρή απόκλιση. Η απόκλιση αυτή εξαρτάται από την εταιρεία. Αυτοί οι λαμπτήρες χρησιμοποιούνται σε προβολείς εξωτερικού φωτισμού, φωτιστικά δαπέδου, για φωτισμό τοίχων και οροφής κλπ. Ο κάλυκας με τον οποίο κατασκευάζονται είναι ο R7s.



Σχήμα 6.5: Λαμπτήρας αλογόνου ιωδίνης

- **Λαμπτήρες αλογόνου κάψουλες:** είναι οι μικρότεροι λαμπτήρες που υπάρχουν στο εμπόριο. Χωρίζονται και αυτοί σε δύο υπό-κατηγορίες: τους τάσεως δικτύου και τους χαμηλής τάσεως. Οι λαμπτήρες τάσεως δικτύου έχουν το πλεονέκτημα του συνδυασμού του πολύ μικρού μεγέθους τους και της μη αναγκαιότητας χρήσης μετασχηματιστή. Έτσι, μπορούν να κατασκευαστούν φωτιστικά μικρού μεγέθους. Η ισχύς τους μπορεί να είναι 25, 40, 60, 75, 100, 150 και 250 watt, ενώ η φωτεινή τους ροή κυμαίνεται από 260 ως 4200 lumen. Είναι κατασκευασμένοι με κάλυκες B15d ή G9. Η μέση διάρκεια ζωής τους είναι οι 2.000 ώρες. Από την άλλη στους λαμπτήρες χαμηλής τάσης είναι απαραίτητη η χρήση μετασχηματιστή. Η ισχύς τους μπορεί να είναι 5, 10, 20, 35, 50, 75, 90, 100 watt ενώ η φωτεινή ροή τους κυμαίνεται από 60 ως 2.400 lumen. Οι κάλυκες που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους λαμπτήρες είναι οι G4, GY6,35. Η μέση διάρκεια ζωής τους μπορεί να είναι από 1.500 ως 4.000 ώρες. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε επαγγελματικές και εμπορικές εφαρμογές.



Σχήμα 6.6: Λαμπτήρας αλογόνου

Γενικά οι λαμπτήρες αλογόνου είναι ακριβότεροι από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι διπλάσια από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως.

6.3 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΦΘΟΡΙΣΜΟΥ

Οι λαμπτήρες φθορισμού ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκενώσεως. Αυτοί οι λαμπτήρες είναι υψηλής απόδοσης και για τη λειτουργία τους χρειάζονται όργανα όπως οι πυκνωτές, τα πηνία και οι εναυστήρες. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της ομάδας λαμπτήρων είναι ότι για την λειτουργία τους ορίζεται από τον κατασκευαστή συγκεκριμένη θέση λειτουργίας, ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή και βέλτιστη λειτουργία του λαμπτήρα.

Οι λαμπτήρες φθορισμού, λοιπόν, είναι λαμπτήρες εκκενώσεως ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης με φθορίζοντα τοιχώματα. Για να υπάρξει ηλεκτρική εκκένωση, δηλαδή να περάσει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από ένα αέριο, χρειάζονται τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια. Αν αυτά δημιουργηθούν λόγω της επίδρασης εξωτερικής αιτίας, υφίσταται μη αυτοτελής εκκένωση. Ενώ, αν αυτά δημιουργηθούν χωρίς την επίδραση κάποιας εξωτερικής αιτίας υφίσταται αυτοτελής εκκένωση. Στην διαδικασία της αυτοτελούς εκκενώσεως οφείλεται η λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού και έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της, αλλά δεν αφορά ο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες εσωτερικά περιέχουν ευγενή αέρια, όπως το νέον και το αργό, αλλά και μια σταγόνα υδραργύρου υπό πίεση. Τα τοιχώματα βρίσκονται σε θερμοκρασία 40°C. Ο μεγάλος χρόνος ζωής των συγκεκριμένων λαμπτήρων οφείλεται στα δύο ηλεκτρόδια που βρίσκονται στα άκρα του, υπό μορφή σύνθετων νημάτων.

Κατά την λειτουργία του λαμπτήρα, όταν αυτός έχει αρκετή τάση, δημιουργείται η εκκένωση του αερίου και παράγεται ακτινοβολία. Από αυτήν την ακτινοβολία, το μεγαλύτερο ποσοστό της, γύρω στο 95%, είναι στο μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας (254 nm), άρα ελάχιστη από την ακτινοβολία που παράγεται γίνεται ορατή. Ο λαμπτήρας εσωτερικά έχει επιχρισθεί με φθορίζουσες ουσίες, όπως άλατα πυριτίου, βολφραμίου ή βορίου, τα οποία είναι ικανά να μετατρέψουν την υπεριώδη ακτινοβολία σε ορατή. Αν, λοιπόν, συνδυαστούν κατάλληλα αυτές οι ουσίες επιτυγχάνονται διάφορες αποχρώσεις στο φως που προέρχεται από τους λαμπτήρες. Να σημειωθεί πως η υπεριώδης ακτινοβολία που εκπέμπουν οι λαμπτήρες δεν είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο.

Η απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από εκείνη των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Όσον αφορά την διάρκεια ζωής τους, φτάνει τις 10.000 ώρες,

αν είναι λαμπτήρες με στραγγαλιστικό πηνίο και εκκινήτη, ενώ με χρήση ηλεκτρικών εκκινήτων φτάνει τις 18.000 με 20.000 ώρες λειτουργίας.

Στους λαμπτήρες φθορισμού χρησιμοποιούνται δύο είδη καλύκων: οι κουμπωτοί και οι κάλυκες με ακίδες.

Η πρώτη κατηγορία λαμπτήρων φθορισμού είναι οι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού. Υπάρχουν ευθύγραμμοι και κυκλικοί σε πολλά μεγέθη και πολλές διαμέτρους. Για να επιλεγεί ο κατάλληλος λαμπτήρας φθορισμού πρέπει να εξεταστούν παράμετροι όπως η απόχρωση του φωτός που δίνει ο λαμπτήρας, ο δείκτης χρωματικής απόδοσης, καθώς και η οικονομική απόδοσή του που εξαρτάται από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιγραμματικά οι τύποι των σωληνωτών λαμπτήρων φθορισμού:

- Οι *ευθύγραμμοι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού T8* και διαμέτρου 26 mm, μπορεί να είναι λευκοί κοινής χρήσης κατάλληλοι για κάθε εφαρμογή και η επιλογή τους εξαρτάται από τον δείκτη χρωματικής απόδοσης που απαιτείται καθώς και από το χρώμα του φωτός που είναι απαραίτητο για κάθε εφαρμογή. Τα χρώματα τους είναι: λευκό φως ημέρας, ουδέτερο λευκό φως, θερμό λευκό φως και ψυχρό λευκό φως. Μια άλλη κατηγορία είναι λαμπτήρες για κρεοπωλεία. Αυτοί οι λαμπτήρες είναι ειδικά σχεδιασμένοι ώστε να αναδεικνύουν το κόκκινο και το ροζ χρώμα, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για τις βιτρίνες των κρεοπωλείων. Η τρίτη κατηγορία είναι κατάλληλη για φυτά και ενυδρεία. Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες αναδεικνύουν το λαμπερό φυσικό φως των τροπικών περιοχών, βοηθούν στη φωτοσύνθεση και σε άλλες φωτοβιολογικές διεργασίες που είναι απαραίτητες. Μία ακόμα κατηγορία είναι οι *έγχρωμοι λαμπτήρες* οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε γκαλερί, σε φωτογραφικά στούντιο, μουσεία αλλά και στη βιομηχανία τροφίμων και γραφικών. Συναντώνται λαμπτήρες σε κόκκινο, μπλε, πράσινο αλλά και κίτρινο χρώμα. Επίσης, υπάρχουν οι *αντιεκρηκτικοί – αντιθραυστικοί κάλυκες*. Αυτοί οι κάλυκες έχουν ένα προστατευτικό κάλυμμα και χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην βιομηχανία τροφίμων, σε όλο το φάσμα της παραγωγικής γραμμής, από την παραγωγή ως την πώληση. Λόγω του προστατευτικού καλύμματος αν το γυαλί σπάσει παραμένει στην θέση του και δεν σκορπίζεται. Άλλη μια κατηγορία είναι αυτοί με τον εσωτερικό ανακλαστήρα 200°. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που είναι απαραίτητος ο κατευθυνόμενος φωτισμός αλλά και σε φωτιστικά χωρίς ανακλαστήρα. Υπάρχουν οι λαμπτήρες με εσωτερικό άνοιγμα 30° ώστε να επιτευχθεί αποδοτικός φωτισμός σε επίπεδες πινακίδες από την μια πλευρά.
- Οι *ευθύγραμμοι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού T5* και διαμέτρου 16 mm. Αυτοί οι λαμπτήρες δίνουν τη μέγιστη φωτεινή τους απόδοση σε θερμοκρασίες υψηλότερες κατά

10°C, από τους 25 που ισχύει στους T8 σε 35 βαθμούς. Οι λαμπτήρες T5 με διάμετρο σωλήνα 16 mm συναντώνται σε 3 αποχρώσεις: θερμό, ενδιάμεσο και ψυχρό λευκό χρώμα.

- Οι *ευθύγραμμοι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού T5* και διαμέτρου 7 mm χρησιμοποιούνται εκεί που χρειάζονται διακριτικά τοποθετημένοι λαμπτήρες. Συναντώνται σε 3 αποχρώσεις: θερμό, ενδιάμεσο και ψυχρό.
- Οι *ευθύγραμμοι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού T12* και διαμέτρου 38 mm χωρίζονται σε 3 υπό – κατηγορίες. Τους μονοπολικούς αντικρηκτικούς λαμπτήρες, τους λαμπτήρες ταχείας αφής και τους λαμπτήρες για εξωτερική και εσωτερική χρήση.
- Οι *κυκλικοί σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού* εκπέμπουν το φως ομοιόμορφα λόγω του σχήματος τους αλλά έχουν τις ίδιες ιδιότητες και εφαρμογές όπως οι αντίστοιχοι ευθύγραμμοι.
- *Κυκλικοί λαμπτήρες T8* με διάμετρο σωλήνα 30 mm που συναντώνται μόνο σε θερμό και ψυχρό λευκό χρώμα.
- Οι *σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού σχήματος πετάλου* χρησιμοποιούνται σε τετράγωνα και ορθογώνια φωτιστικά ή όπου ο χώρος είναι περιορισμένος.
- Ο *σωληνωτός ορθογώνιος λαμπτήρας φθορισμού* έχει διάρκεια ζωής ως και 60.000 ώρες, δηλαδή 3 φορές περισσότερες από τους κοινούς λαμπτήρες φθορισμού. Αυτό οφείλεται στην κλειστή διαδρομή που κάνει η εκκένωση σε αυτόν το δακτύλιο.
- Οι *συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού* έχουν τον ίδιο τρόπο λειτουργίας με τους σωληνωτούς αλλά είναι πολύ μικρότεροι. Επίσης είναι 80% οικονομικότεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους λαμπτήρες πυρακτώσεως με την ίδια φωτεινή απόδοση αλλά έχουν μέχρι και 15 φορές μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Οι *συμπαγείς λαμπτήρες καθρέπτη κοινού κάλυκα* έχουν γωνία δέσμης 80° και χρησιμοποιούνται σε φωτισμούς τύπου spot ή σε κρεμαστά φωτιστικά και έχουν διάρκεια ζωής ως και 13.150 ώρες.
- Οι *συμπαγείς κυκλικοί σωληνωτοί λαμπτήρες κοινού κάλυκα* είναι οι πιο οικονομικοί αλλά και φωτεινοί λαμπτήρες και η διάρκεια ζωής τους είναι 13.150 ώρες.

- Οι *συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με ακίδες* είναι παρόμοιοι με τους παραπάνω λαμπτήρες αλλά έχουν έναν ειδικό κάλυκα με δύο ή τέσσερις ακίδες. Χρησιμοποιούνται σε φωτιστικά που έχουν τα αντίστοιχα ντουί ή τα απαραίτητα όργανα εκκίνησης για αυτούς τους λαμπτήρες.
- *Λαμπτήρες με δύο ακίδες*: κοινοί λευκοί, είναι ακόμα μικρότεροι και έχουν διπλούς ή τριπλούς σωλήνες. Χρησιμοποιούνται σε μικρά φωτιστικά οροφής ή σε νέα φωτιστικά συστήματα. Έχουν διάρκεια ζωής 8 φορές μεγαλύτερη από τους αντίστοιχους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Υπάρχουν οι λαμπτήρες που είναι σχεδιασμένοι για υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και οι χρωματιστοί.
- Οι *λαμπτήρες με τέσσερις ακίδες* χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: για λειτουργία μόνο με ηλεκτρονικά, που λειτουργούν με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλής τάσης ή τάσης δικτύου, για λειτουργία με ηλεκτρονικά και συμβατικά συστήματα.



Σχήμα 6.7: Ευθύγραμμος και κυκλικός λαμπτήρας φθορισμού

6.4 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

Οι λαμπτήρες εκκενώσεως μπορεί να είναι είτε υψηλής είτε χαμηλής πίεσης. Αν η πίεση που επικρατεί είναι περίπου 200 mm Hg τότε χαρακτηρίζονται ως λαμπτήρες υψηλής πίεσης ενώ αν η πίεση που επικρατεί είναι περίπου 5 – 10 mm Hg τότε χαρακτηρίζονται ως χαμηλής πίεσης. Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι μια κλασική περίπτωση εφαρμογής εκκένωσης τόξου διαμέσου ατμών υδραργύρου. Χωρίζονται στις εξής κατηγορίες: με μεταλλικά ιωδιδια, διορθωμένου φάσματος, μεικτού φωτός. Οι λαμπτήρες με μεταλλικά ιωδιδια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους κεραμικού καυστήρα και τους απλούς λαμπτήρες μεταλλικών ιωδιδίων.

Οι λαμπτήρες κεραμικού καυστήρα ξεπερνούν τους απλούς λαμπτήρες μεταλλικών ιωδιδίων και στη σταθερότητα της χρωματικής απόδοσης αλλά και στη φωτεινότητα καθόλη τη διάρκεια της ζωής τους. Και οι δύο κατηγορίες χρησιμοποιούνται για τις ίδιες εφαρμογές. Οι λαμπτήρες κεραμικού καυστήρα μπορεί να είναι κοινού κάλυκα ή με ακίδες.

Από την άλλη, οι συμβατικοί λαμπτήρες μεταλλικών ιωδιδίων μπορεί να είναι σωληνωτοί, αχλαδωτοί ή τύπου καθρέπτη.

Μία άλλη κατηγορία λαμπτήρων υψηλής πίεσης είναι οι λαμπτήρες διορθωμένου φάσματος. Αυτοί δημιουργήθηκαν ώστε να λύσουν το πρόβλημα που προκύπτει από τη δυσάρεστη χρωματική απόδοση των λαμπτήρων. Τα εσωτερικά τοιχώματα του εξωτερικού κώδωνα είναι επιχρισμένα με μία φθορίζουσα ουσία η οποία εμπλουτίζει το φάσμα της εκπομπής του λαμπτήρα με κόκκινα μήκη κύματος και μετατρέπει το πιο μεγάλο μέρος της αόρατης υπεριώδους ακτινοβολίας σε ορατό. Έτσι η απόδοση του λαμπτήρα αυξάνεται μέχρι και 60 lm / watt. Αυτοί οι λαμπτήρες χωρίζονται σε 4 υπό – κατηγορίες: τους θερμού φωτός, κοινούς – απλούς, καθρέπτη και αυξημένης διάρκειας ζωής.

Οι λαμπτήρες θερμού φωτός έχουν σκούρα γυαλιστερή επίστρωση, δηλαδή ένα φίλτρο, και έτσι εκπέμπουν ένα ζεστό λευκό φως. Συναντώνται με σφαιρικό ή αχλαδωτό κώδωνα. Χρησιμοποιείται και σε φωτισμό πεζοδρομίων, πάρκων, κήπων κλπ. Έχουν μέση διάρκεια ζωής από 16.000 ως και 20.000 ώρες.

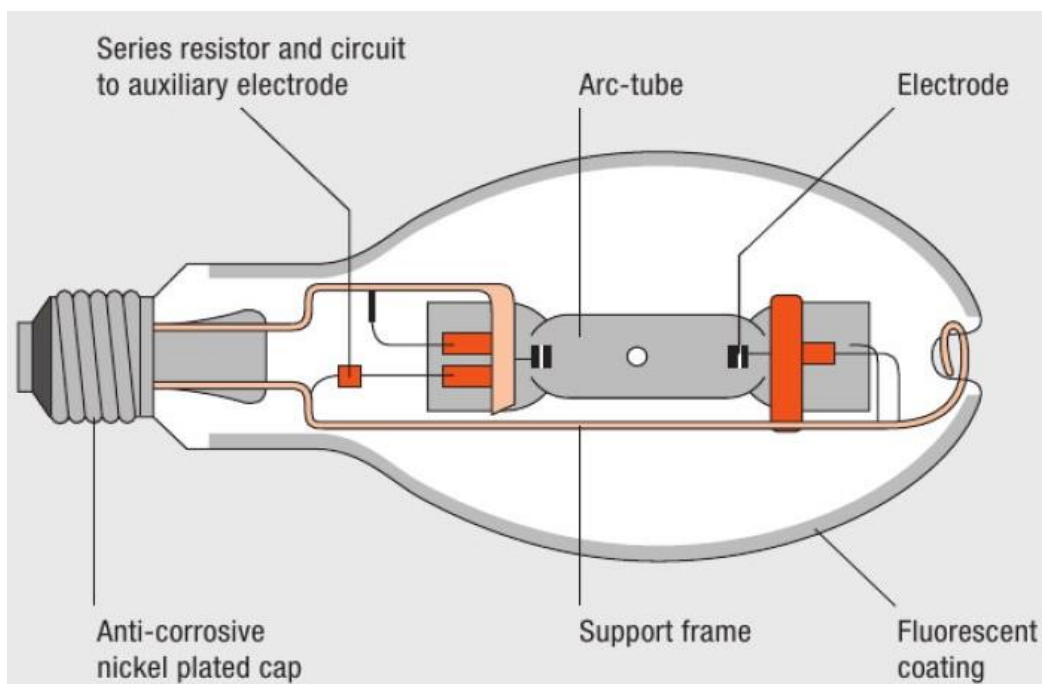
Οι κοινόι λαμπτήρες υψηλής πίεσης δίνουν ένα ουδέτερο λευκό φως. Χρησιμοποιούνται στον οδικό φωτισμό, σε σιδηροδρόμους και σε άλλους εξωτερικούς χώρους. Η μέση διάρκεια ζωής τους είναι ως 16.000 ώρες.

Οι λαμπτήρες τύπου καθρέπτη χρησιμοποιούνται σε αποθηκευτικούς και βιομηχανικούς χώρους και έχουν διάρκεια ζωής ως 20.000 ώρες.

Τέλος, οι λαμπτήρες αυξημένης διάρκειας ζωής, είναι η βελτιωμένη έκδοση των συμβατικών λαμπτήρων και προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, περισσότερο φως και μεγαλύτερο δείκτη χρωματικής απόδοσης. Η διάρκεια ζωής τους μπορεί να είναι ως και 24.000 ώρες.

Μια άλλη κατηγορία λαμπτήρων υψηλής πίεσης είναι οι λαμπτήρες μεικτού φωτός. Αν στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρων προστεθεί νήμα βολφραμίου τότε δημιουργούνται οι λαμπτήρες μεικτού φωτός. Έχουν σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής και απόδοση σε σύγκριση με τον αντίστοιχο λαμπτήρα πυρακτώσεως. Η διάρκεια ζωής εξαρτάται από τις φορές που θα ανάψει και θα σβήσει ο λαμπτήρας. Επιπλέον, αυτή η κατηγορία λαμπτήρων παρέχει συνδυαστικά τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων πυρακτώσεως και εκκενώσεως. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται υψηλά επίπεδα φωτισμού όπως οι δρόμοι, οι χώροι στάθμευσης, οι πλατείες και τα βενζινάδικα. Ο κώδικας τους μπορεί να είναι είτε αχλαδωτός είτε τύπου καθρέπτη. Η μέση διάρκεια ζωής τους είναι από 8.000 ως 13.000 ώρες.

Αν συγκρίνει κανείς τους 3 παραπάνω τρόπους με τους οποίους εμπλουτίζεται το φάσμα εκπομπής της ακτινοβολίας, τότε προτιμότερη είναι η χρήση μεταλλικών ιωδιδίων. Αυτοί οι λαμπτήρες έχουν πιο ευρύ φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας αλλά και τον μεγαλύτερο βαθμό χρωματικής απόδοσης σε σχέση με τους άλλους δύο τρόπους.



Σχήμα 6.8: Διάταξη λαμπτήρα ατμών υδραργύρου



Σχήμα 6.9: Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου

6.5 ΛΑΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΝΑΤΡΙΟΥ

Μία άλλη κατηγορία λαμπτήρων είναι οι λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής ή υψηλής πίεσης. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης έχουν την πιο μεγάλη φωτιστική απόδοση από όλους τους προηγούμενους λαμπτήρες η οποία ξεπερνά τα 200 lm / watt. Μέσα στο σωλήνα εκκένωσης περιέχεται νάτριο και μίγμα αερίου νέου και αργόν. Η λειτουργία των συγκεκριμένων λαμπτήρων είναι παρόμοια με αυτή των ατμών υδραργύρου. Η ισχύς τους είναι 200 watt και για την εκκίνηση τους χρειάζεται τάση γύρω στα 400 V, γι' αυτό και συνδέονται σε τάση δικτύου 220 V. Η θέση λειτουργίας τους είναι δεδομένη και ορίζεται από τον κατασκευαστή. Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε καμία άλλη θέση εκτός από αυτήν, ενώ για να ανάψουν πάλι πρέπει να έχει περάσει χρόνος από το σβήσιμο τους ώστε να προλάβουν να κρυώσουν. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου είναι 3 φορές πιο οικονομικοί από τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου γι' αυτό και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου μπορεί να είναι συμβατικοί ή νέας τεχνολογίας. Οι συμβατικοί έχουν απόδοση ίση με 173 lm / watt, ενώ από την άλλη οι λαμπτήρες νέας τεχνολογίας έχουν απόδοση μεγαλύτερη από 200 lm / watt.

Στους λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης η απόδοση είναι διπλάσια σε σχέση με αυτούς της χαμηλής πίεσης. Το φως των συγκεκριμένων λαμπτήρων είναι χρυσόλευκο. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες: λαμπτήρες νατρίου – ξένον, συμβατικοί λαμπτήρες νατρίου, λαμπτήρες νατρίου – υδραργύρου, λαμπτήρες νατρίου λευκού φωτός.

Το κόστος των λαμπτήρων ατμών νατρίου συγκρινόμενο με την πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής που μας προσφέρουν είναι μικρό.



Σχήμα 6.10: Λαμπτήρας ατμών νατρίου

6.6 ΕΙΔΙΚΟΙ ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται λαμπτήρες με ειδικές εφαρμογές. Η διαφορά τους με τους υπόλοιπους κοινούς λαμπτήρες είναι ότι οι συγκεκριμένοι συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας τους στην υπέρυθη ή στην υπεριώδη ακτινοβολία. Οι κάλυκες των συγκεκριμένων λαμπτήρων μπορεί να είναι βιδωτοί E27, με ακίδες G13, κουμπωτοί με ακίδες G23 ή κουμπωτοί KX10s και R7s.

Οι λαμπτήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι λαμπτήρες πυρακτώσεως και χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως: στην κτηνοτροφία, για την εκτροφή πουλερικών, μοσχαριών, χοίρων και αλόγων. Εφαρμογή σε θεραπευτικές συσκευές όπως για παράδειγμα για φυσιοθεραπεία, μασάζ, περιποίηση προσώπου αλλά και στο σπίτι για χρήση από ειδικευμένο προσωπικό.

Οι λαμπτήρες ηλιακού φάσματος εκπέμπουν μικρή ακτινοβολία που μοιάζει με το φυσικό φως του ήλιου, ενώ έχουν τις ίδιες θετικές βιολογικές επιδράσεις στο δέρμα και στο σώμα. Μερικές βιολογικές επιδράσεις στις οποίες βοηθάει ο συγκεκριμένος λαμπτήρας είναι: θεραπεία της ουλίτιδας, βελτίωση της κυκλοφορίας του αίματος, ρυθμιστικές επιδράσεις στο νευροφυτικό σύστημα και άλλες.

Από την άλλη, οι λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας είναι λαμπτήρες εκκενώσεως συνήθως. Χρησιμοποιούνται λαμπτήρες φθορισμού για ηλιακές συσκευές και συσκευές ηλιοθεραπείας, για χρήση δηλαδή σε συσκευές solarium. Οι λαμπτήρες μεταλλικών ατμών χρησιμοποιούνται στην ιατρική και στην αισθητική και εκπέμπουν υπεριώδης ακτινοβολία υψηλής έντασης. Χρησιμοποιούνται επίσης σε ασθενείς με δερματικές ασθένειες όπως είναι η ακμή και η ψωρίαση. Οι λαμπτήρες αποστείρωσης είναι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου και χρησιμοποιούνται για την αποστείρωση ή την αφαίρεση οσμών σε συσκευές στα νοσοκομεία, για απολύμανση πισίνας και για την απολύμανση του αέρα σε εγκαταστάσεις κλιματισμού. Οι λαμπτήρες βιομηχανικής χρήσης εκπέμπουν παρόμοια ακτινοβολία με την ηλιακή και χρησιμοποιούνται σε δοκιμές υλικών και οργάνων ώστε να επιτευχθεί η τεχνητή γήρανση των υλικών και αλλαγές στις ιδιότητες τους.

7. ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ LED

Παραπάνω έχουν αναλυθεί διάφορες κατηγορίες λαμπτήρων όπως αυτές έχουν μελετηθεί, σχεδιαστεί και εξελιχθεί με την πάροδο των χρόνων. Αυτό που ζητείται διαρκώς είναι εξέλιξη στους λαμπτήρες ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστη απόδοση, μείωση κατανάλωσης ενέργειας αλλά και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ταυτόχρονα μείωση του κόστους. Η πιο πρωτοποριακή τεχνολογία που υπάρχει σήμερα είναι ο φωτισμός στερεάς κατάστασης η Solid State Lighting (SSL), της οποίας το φως εκπέμπεται από ημιαγωγικά υλικά. Τα υλικά αυτά έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε φως. Η τεχνολογία SSL περιλαμβάνει τις διόδους φωτισμού LED και OLED και χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε φωτεινούς σηματοδότες και στα φανάρια των αυτοκινήτων ενώ αργότερα χρησιμοποιήθηκε ευρύτερα σε τηλεοράσεις, οθόνες και σε πολλές ακόμα εφαρμογές.

Η ελληνική ονομασία των λαμπτήρων είναι φωτοεκπέμπουσες διόδοι. Χάρη ευκολίας και συντομίας θα γράφεται στην παρούσα εργασία LED (Light Emission Diode). Οι λαμπτήρες LED αποτελούνται από δύο ημιαγωγούς, p και n, στους οποίους εφαρμόζεται τάση και εκπέμπεται ακτινοβολία, που μπορεί να είναι είτε στο ορατό είτε στο υπέρυθρο φάσμα. Τα ημιαγωγικά υλικά είναι μεγάλης καθαρότητας και έχουν μόνο μικρές ποσότητες πρόσθετων. Ο ημιαγωγός p έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων άρα περίσσεια θετικού φορτίου, ενώ από την άλλη ο ημιαγωγός n έχει περίσσεια ηλεκτρονίων άρα αρνητικού φορτίου. Για την κατασκευή των ημιαγωγών χρησιμοποιούνται συνήθως ενώσεις φωσφόρου – αργιλίου – γαλλίου – ινδίου ή ενώσεις αργιλίου – γαλλίου – αρσενίου. Το αποτέλεσμα που δίνει ένας λαμπτήρας LED εξαρτάται αρχικά από το υλικό των ημιαγωγών αλλά και από τα χημικά πρόσθετα και το περιβάλλον του φωτιστικού σώματος στο οποίο βρίσκεται συνδεδεμένος.

Ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων είναι πολύ μεγάλος. Οι κατασκευαστές δίνουν από 50.000 (περίπου 8 χρόνια συνεχόμενης λειτουργίας!) έως και 100.000 ώρες ζωής. Ωστόσο, ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων εξαρτάται και επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία λειτουργίας τους. Στους λαμπτήρες LED η μέση διάρκεια ζωής ισούται με τον χρόνο που χρειάζεται ώστε να χάσει το 30 % της φωτεινής της ροής, το 50% μιας ομάδας φωτιστικών.

Οι λαμπτήρες LED πλέον χρησιμοποιούνται στα φωτιστικά δρόμων, οπότε είναι ανάγκη να παράγονται φωτιστικά που να έχουν μεγαλύτερη ισχύ για να καλύπτουν τις απαιτήσεις χρήσης. Υπάρχουν δύο συστήματα LED στο εμπόριο σήμερα: το σύστημα συστοιχίας και το σύστημα COB (Chips on Board). Στο σύστημα συστοιχίας (LED array system) πολλά LED είναι συνδεδεμένα μαζί ενώ στο σύστημα COB τα LED είναι πακτωμένα μεταξύ τους και φαίνονται σαν ένα μεγαλύτερο LED. Και στα δύο συστήματα επιβάλλεται να γίνεται

έλεγχος της εκλυόμενης θερμότητας. Το φως αλλά και η θερμότητα που εκπέμπουν οι λαμπτήρες LED εξαρτάται από την ισχύ που τους παρέχουμε. Η επιφάνεια τους είναι πολύ μικρή και είναι αδύνατο η θερμότητα που παράγεται να φύγει χωρίς εξωτερική επίδραση στο περιβάλλον. Γι' αυτό και χρειάζεται ένα εξωτερικό σύστημα ψύξης ώστε να διατηρείται ο λαμπτήρας σε φυσιολογικά επίπεδα θερμοκρασίας.

7.1 Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ LED ΣΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ

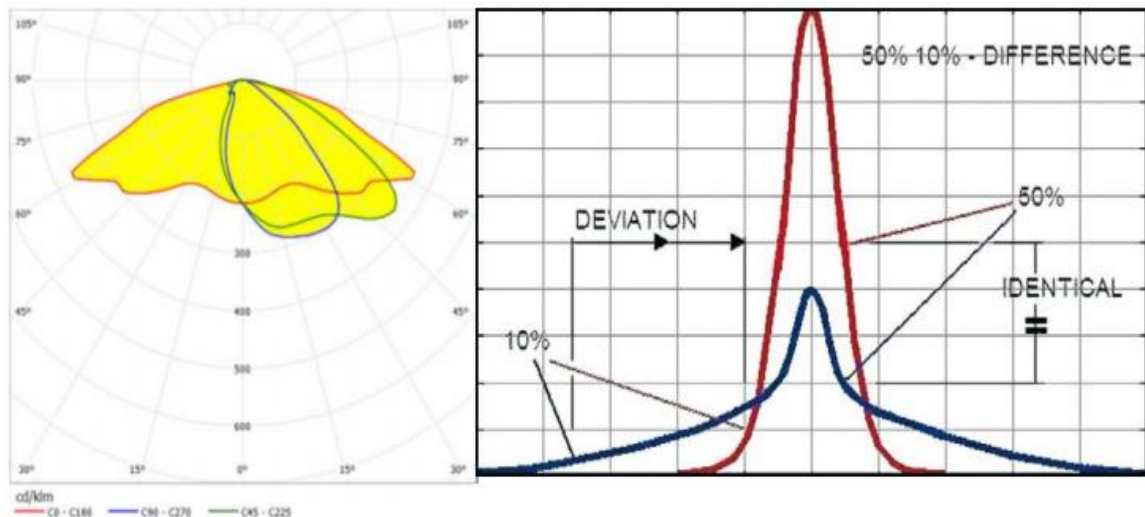
Για το φωτισμό δρόμων υπάρχουν κανονισμοί και οδηγίες οι οποίοι ορίζουν τις απαιτήσεις στην εκάστοτε περίπτωση. Έτσι απαιτείται από τη βιομηχανία να έχει ποικιλία λύσεων αλλά και ευελιξία. Το μικρό μέγεθος των LED φακών είναι αυτό που δίνει τη δυνατότητα να σχεδιαστούν φακοί με μεγάλη ευελιξία αλλά και προσαρμοστικότητα, έτσι τα LED χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις φωτισμών δρόμων. Τα φωτιστικά δρόμων, εκτός από τη φωτεινή ροή, πρέπει να δίνουν και μια ικανοποιητική κατανομή της ροής στο οδόστρωμα. Η σχεδίαση και η βελτιστοποίηση αυτής είναι ένα στοίχημα που βάζουν οι ερευνητές των φωτιστικών. Στον οδοφωτισμό έχει κυριαρχήσει η τεχνολογία SSL. Τα περισσότερα φωτιστικά LED στο δρόμο διαθέτουν φακούς χαμηλής ποιότητας ή και ελλιπούς σχεδίασης, έτσι η φωτεινή ροή δεν είναι αρκετή, άρα το οδόστρωμα δε φωτίζεται ομοιόμορφα. Αυτό συμβαίνει γιατί η δέσμη φωτός που παράγεται είναι συγκεντρωμένη και έτσι το φωτιστικό φωτίζει πολύ την περιοχή που είναι ακριβώς από κάτω ενώ φωτίζει πολύ λιγότερο την γύρω περιοχή.

Οι φακοί που χρησιμοποιούνται στο φωτισμό δρόμων είναι απαραίτητο να είναι κατασκευασμένοι από υλικά υψηλής ποιότητας ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις διάφορες συνθήκες στις οποίες εκτίθενται και επηρεάζουν την απόδοση αλλά και το χρόνο ζωής τους, όπως η υγρασία, η σκόνη, οι υπέρυθρες ακτινοβολίες. Η σχεδίαση των φακών LED για τον οδοφωτισμό είναι διαρκής καθώς η επίδραση του φακού στη λειτουργία του φωτιστικού είναι καθοριστική.

Οπτικό σύστημα είναι ο συνδυασμός του οπτικού μέσου, δηλαδή του φακού, και της φωτεινής πηγής, LED. Οι κυριότερες παράμετροι για να επιλεγεί ο φακός για το οπτικό σύστημα είναι:

- Απόδοση (lens efficiency): εξαρτάται από το ποσοστό φωτεινής ροής που εξέρχεται από το φακό σε σχέση με αυτό που εισέρχεται από το LED. Η απόδοση μετριέται με την σφαίρα Hulbert και είναι το πρώτο στάδιο αξιολόγησης ενός φακού.

- Υλικά κατασκευής: τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φακών πρέπει να είναι είτε από υψηλής ποιότητας πλαστικά ή από υψηλής καθαρότητας γυαλί. Συνήθως χρησιμοποιούνται πλαστικά PMMA ή PC. Οι φακοί κατασκευάζονται ξεχωριστά για κάθε διαφορετικό τύπο LED, έτσι ένας γενικός φακός δεν θα έχει τα αποτελέσματα που απαιτούνται στην κατανομή της φωτεινής έντασης.
- Επίπεδο θάμβωσης: Στον οδοφωτισμό η θάμβωση δημιουργείται από τις 75 ως τις 90 μοίρες. Ο οδοφωτισμός απαιτεί μεγάλη φωτεινή ένταση σε μεγάλες γωνίες. Έτσι οι γωνίες που είναι πολύ σημαντικές για το σχεδιασμό είναι πολύ κοντά στα όρια της θάμβωσης και είναι δύσκολη η πλήρης αποκοπή πριν τις 75°. Οι κατασκευαστές φακών τονίζουν πως με σωστή σχεδίαση του φακού το φως που καταλήγει πάνω από τις 75° είναι αμελητέο. Ωστόσο, η σχεδίαση ενός φακού με μεγάλη γωνία διάδοσης αλλά με μικρή θάμβωση είναι μια πρόκληση που συνεχώς εξελίσσεται.
- Χρόνος ζωής: Η χρήση των πλαστικών PMMA και PC οδηγεί σε διάρκεια ζωής από 10 έως 20 χρόνια. Όμως ο ήλιος, η υγρασία, η σκόνη, UV ακτινοβολία και άλλες συνθήκες οδηγούν σε μείωση του χρόνου ζωής.
- Γωνία ημίσεος εύρους (Full Width Half Maximum, FWHM angle): Είναι δύο γωνίες, η $\gamma_{50\%}$ και η $\gamma_{10\%}$, στις οποίες η φωτεινή ένταση πέφτει στο 50% και στο 10%, αντίστοιχα, της μέγιστης. Αυτές οι γωνίες βρίσκονται από το πολικό διάγραμμα, όπου φαίνεται πώς κατανέμει ο φακός τη φωτεινή ροή στα επίπεδα του χώρου. Οι καμπύλες του διαγράμματος δείχνουν ποιοτικά τι είδους δρόμους μπορεί ένα φωτιστικό να καλύψει.



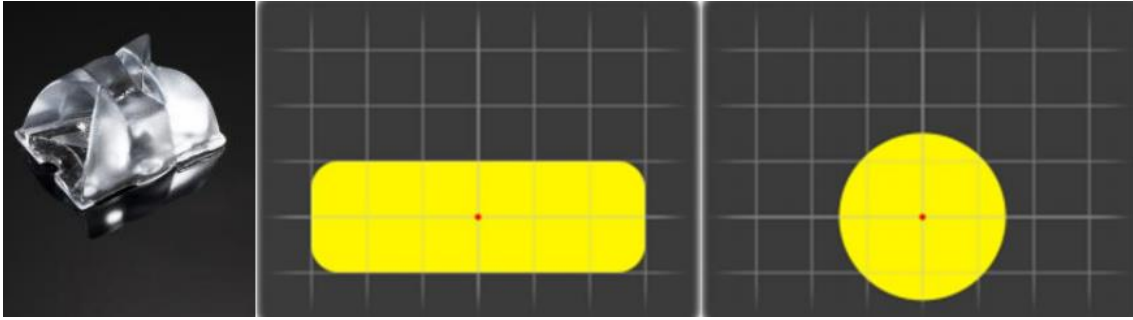
Σχήμα 7.1: Πολικό διάγραμμα (αριστερά) – Διάγραμμα γωνιών ημίσειος εύρους (δεξιά)

7.2 ΕΙΔΗ ΦΑΚΩΝ ΣΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ

Οι φακοί LED που σχεδιάζονται για το φωτισμό των δρόμων, είναι σχεδιασμένοι ξεχωριστά για κάθε τύπο LED. Αυτή η εξατομίκευση είναι σίγουρα δαπανηρή αλλά και χρονοβόρα, ωστόσο βοηθά στην εκμετάλλευση όλων των δυνατοτήτων των LED. Στις μεγάλες εταιρείες βρίσκει κανείς καταλόγους με φακούς για τα LED της κάθε εταιρείας. Τα LED λόγω του ότι είναι μικρά θαμβώνουν σχετικά εύκολα, έτσι ο φακός είναι αυτός που θα λύσει το πρόβλημα. Στην αγορά απαντώνται δύο κατηγορίες φακών, με συμμετρική και ασύμμετρη κατανομή. Ανάλογα με την εφαρμογή επιλέγεται και το είδος του φακού.

Οι φακοί με συμμετρική κατανομή είναι οι πρώτοι που κατασκευάστηκαν για τα LED και αντικαθιστούν κυρίως τα φωτιστικά με λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης (High Intensity Discharge – HID) στις ήδη υπάρχουσες υποδομές. Για να μπορέσουν να φωτίσουν το οδόστρωμα επιτυχώς, χρειάζονται μεγάλο βραχίονα και μεγάλη κλίση. Οι συγκεκριμένοι φακοί έχουν διάφορα είδη κατανομών φωτός ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις.

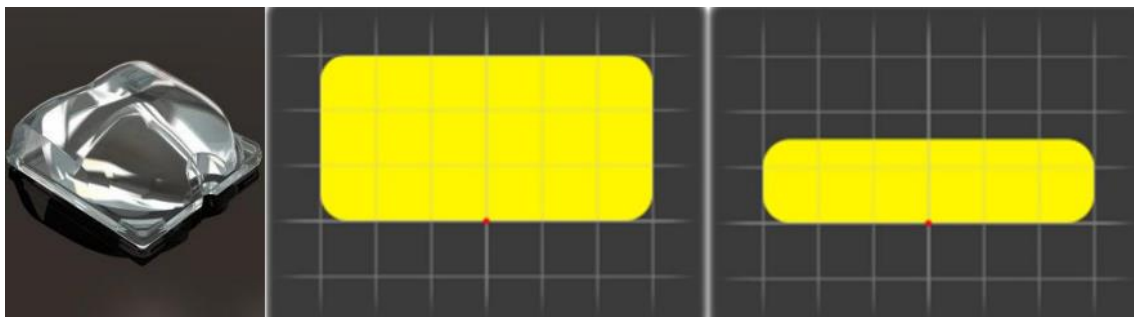
Στο σχήμα 7.2 φαίνεται το φωτιστικό, η κόκκινη κουκίδα, να φωτίζει με συμμετρία τη γύρω περιοχή. Έτσι όμως δεν επιτυγχάνονται τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα διότι το φως μοιράζεται σε όλα τα επίπεδα. Το φωτιστικό πρέπει να έχει κλίση ώστε να φωτίζει πιο πολύ τον δρόμο παρά το πεζοδρόμιο. Έτσι όμως αυξάνεται ο δείκτης θάμβωσης ή δημιουργούνται άλλες αρνητικές συνέπειες. Τέλος, οι συμμετρικοί φακοί χρειάζονται περισσότερη φωτεινή ροή ώστε να φωτίσουν τον δρόμο σε σχέση με τους φακούς ασύμμετρης κατανομής.



Σχήμα 7.2: Μη ικανοποιητικό παράδειγμα οδοφωτισμού με φακό συμμετρικής κατανομής

Η βελτιστοποίηση των φακών συμμετρικής κατανομής είναι οι φακοί ασύμμετρης κατανομής (σχήμα 7.3). Οι φακοί αυτοί είναι συμμετρικοί στο επίπεδο C0 – C180, δηλαδή στο παράλληλο επίπεδο με τον δρόμο και ασύμμετροι στο επίπεδο C90 – C270, δηλαδή στο κάθετο στον διαμήκη άξονα του δρόμου. Αυτό το είδος των φακών χρειάζεται μικρό βραχίονα στήριξης και μηδενική κλίση. Έτσι λοιπόν φωτίζεται μόνο το οδόστρωμα, δηλαδή το επίπεδο C0 – C180, ενώ δεν διοχετεύει φωτεινή ένταση στο επίπεδο C180 – C360, δηλαδή στα πεζοδρόμια και τα σπίτια. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια, μειώνεται η θάμβωση αλλά και η φωτορύπανση.

Πλέον υπάρχει η δυνατότητα μέσω της οπτικής τεχνολογίας να γίνει μίξη των φακών ώστε να μπορέσουν να επιτευχθούν οι απαιτήσεις στον φωτισμό των δρόμων, των πεζοδρομίων και των πλατειών. Στην πράξη όλες οι απαιτήσεις είναι δυνατόν να καλυφθούν είτε από κάποια σχεδίαση που ήδη υπάρχει είτε από κάποια μελλοντική γι' αυτό υπάρχει η δυνατότητα να ενωθούν οι κατανομές από δύο ή περισσότερους φακούς ώστε να παραχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.



Σχήμα 7.3: Ικανοποιητικό παράδειγμα οδοφωτισμού με φακό ασύμμετρης κατανομής

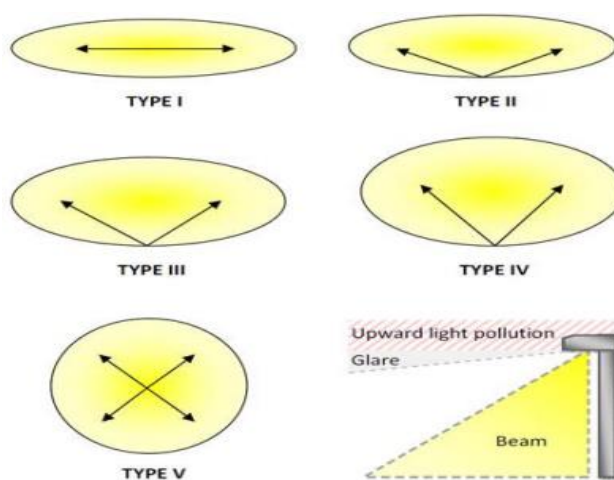
8. ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΥ

Τα φωτιστικά σώματα δρόμων πρέπει να παρέχουν χαμηλής θάμβωσης φωτισμό, ώστε να μην είναι ενοχλητικός για τους χρήστες του δρόμου. Για να επιλεγεί ο κατάλληλος φωτισμός πρέπει να ληφθούν υπόψιν παράγοντες όπως η οριζόντια και η κάθετη κατανομή φωτός του φωτιστικού, το ύψος και η απόσταση των ιστών του δρόμου, η ελαχιστοποίηση της φωτορύπανσης και άλλες τεχνικές δυσκολίες. Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η απόδοση του φωτιστικού, η κατανάλωση ενέργειας αλλά και η διάρκεια ζωής του.

8.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΩΤΟΣ

Κάθετη κατανομή φωτός (Lateral Light Distribution): Είναι κάθετη στον αυτοκινητόδρομο και μπορεί να χωριστεί σε 5 τύπους, ανάλογα με τον τύπο φωτισμού:

- Τύπος 1: μακρύς και στενός, χρησιμοποιείται σε στενούς δρόμους
- Τύπος 2: είναι ο πιο συνηθισμένος. Χρησιμοποιείται σε αυτοκινητόδρομους με μεγάλο πλάτος και πάνω από 2 λωρίδες κυκλοφορίας
- Τύπος 3: φωτίζει πιο πολύ τον δρόμο από ότι το πεζοδρόμιο
- Τύπος 4: είναι συμμετρικός
- Τύπος 5: τετραγωνικός, χρησιμοποιείται κυρίως σε χώρους στάθμευσης

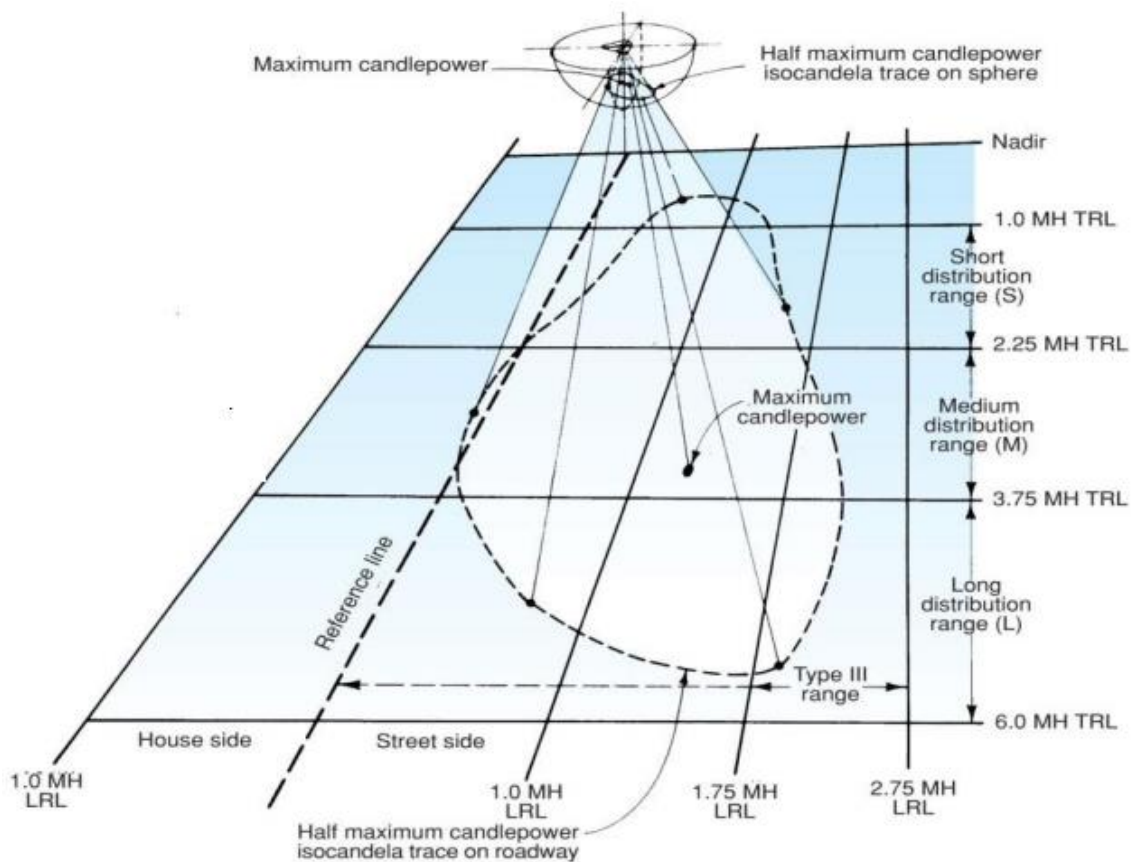


Σχήμα 8.1: Τύποι κατανομής φωτός κατά IESNA

Στο σχήμα 8.1 φαίνονται οι τύποι κατανομής φωτός σύμφωνα με την Εταιρεία Μηχανικής Φωτισμού της Βόρειας Αμερικής (Illuminating Engineering Society of North America – IENSA).

Διαμήκης κατανομή φωτός (Longitudinal / Vertical Light Distribution): αυτή η κατανομή δείχνει πόσο μακριά φτάνει το φως από το φωτιστικό κατά μήκος του δρόμου. Είναι δηλαδή η μέγιστη γωνία πολικού διαγράμματος στο επίπεδο C από τις 0 έως τις 180 μοίρες. Τα φωτιστικά αυτά μπορεί να είναι μικρού, μεσαίου ή μεγάλου ανοίγματος, με πιο διαδεδομένα του μεσαίου ανοίγματος. Στα φωτιστικά μικρού ανοίγματος απαιτείται μικρή απόσταση ιστών και στα φωτιστικά μεγάλου ανοίγματος δημιουργείται επικίνδυνη θάμβωση για τους οδηγούς (σχήμα 8.2). Στη συνέχεια ορίζονται τα όρια για την πλευρική κατανομή φωτός. Όπου «MH» είναι το ύψος ανάρτησης του φωτιστικού.

- Μικρή πλευρική διάδοση: 1 – 2.25 MH
- Μεσαία πλευρική διάδοση: 2.25 – 3.75 MH
- Μεγάλη πλευρική διάδοση: 3.75 - 6 MH



Σχήμα 8.2: Φωτιστικό τύπου 3 μεγάλης πλευρικής διάδοσης

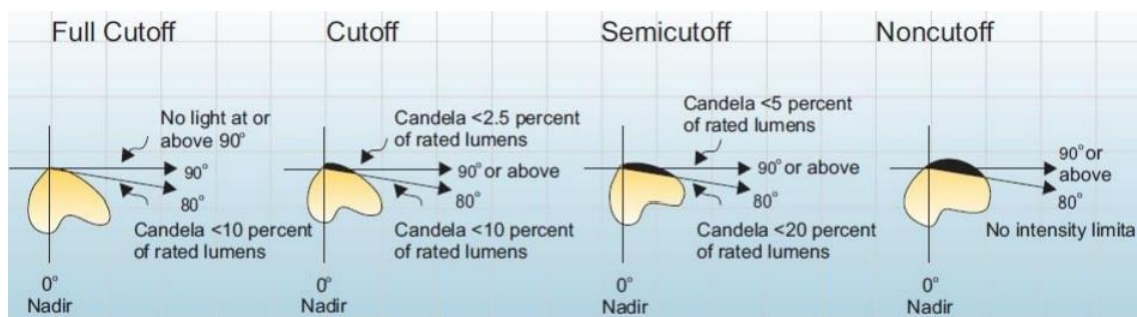
Έλεγχος διάδοσης φωτός πάνω από την περιοχή μέγιστης έντασης φωτισμού: σε αυτήν την κατηγορία συναντώνται 4 κατηγορίες οπτικών συστημάτων, τα οποία δίνουν διαφορετικούς βαθμούς ελέγχου: το σύστημα μη αποκοπής (non cut-off), το σύστημα ημι – αποκοπής (semi cut-off), το σύστημα αποκοπής (cut-off) και το σύστημα πλήρους αποκοπής (full cut-off) (σχήμα 8.3).

Το σύστημα μη αποκοπής αφήνει το φως να εκπέμπεται προς κάθε κατεύθυνση. Τα συγκεκριμένα φωτιστικά δεν χρησιμοποιούνται για το φωτισμό δρόμων, αλλά σαν διακοσμητικά φωτιστικά, ώστε να φωτίσουν δέντρα. Δημιουργούν όμως φωτορύπανση.

Με το σύστημα ημι – αποκοπής το μεγαλύτερο μέρος του φωτός εκπέμπεται κάτω από τις 90°, ενώ ένα μικρό ποσοστό εκπέμπεται πάνω από τις 90°. Αυτά τα φωτιστικά τοποθετούνται σε ψηλούς ιστούς ώστε να μειώνεται η θάμβωση στους οδηγούς και χρησιμοποιούνται για να διαχέουν το φως σε μια μεγάλη κατευθυνόμενη περιοχή του δρόμου.

Το σύστημα αποκοπής ελέγχει καλύτερα το φωτισμό σε σχέση με το προηγούμενο σύστημα. Μόνο ένα ποσοστό 2.5% φεύγει πάνω από τις 90°, σε σχέση με το σύστημα ημι – αποκοπής που φεύγει ένα ποσοστό 5%. Τα συγκεκριμένα φωτιστικά χρησιμοποιούνται σε χώρους στάθμευσης που απαιτείται μεγάλη απόσταση ιστών.

Το σύστημα πλήρους αποκοπής δεν επιτρέπει στο φως να διαφύγει πάνω από τις 90°. Έτσι παρέχει μικρή θάμβωση αλλά και φωτορύπανση. Τα φωτιστικά αυτής της κατηγορίας τοποθετούνται σε μεγαλύτερο ύψος από τα φωτιστικά αποκοπής και ημι – αποκοπής για να καλυφθούν οι απαιτήσεις που υπάρχουν στη μελέτη φωτισμού δρόμων.



Σχήμα 8.3: Έλεγχος διάδοσης φωτός πάνω στην περιοχή μέγιστης έντασης φωτισμού

8.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥΣ

Ο δείκτης IP είναι ένας ασφαλής τρόπος για να κατηγοριοποιηθούν τα φωτιστικά δρόμου ανάλογα με την αντοχή τους σε περιβαλλοντικές επιδράσεις. Είναι αξιόπιστος και χρησιμοποιείται κατά κόρον από τη βιομηχανία φωτισμού. Βαθμονομεί και κατατάσσει το επίπεδο προστασίας από εισβολές στερεών αντικειμένων, σκόνης, υγρών σε μηχανικές δομές με ηλεκτρικό περιεχόμενο. Τα ψηφία του κώδικα δείχνουν τη συμμόρφωση με τις δοκιμασίες που γίνονται από συμβεβλημένα εργαστήρια. Οι πίνακες 8.1 – 8.3 είναι πίνακες προσδιορισμού του δείκτη IP.

Πίνακας 8.1 Κώδικας προστασίας IP

Ένδειξη IP	Προστασία έναντι στερεών αντικειμένων	Προστασία έναντι υγρών	Μηχανική αντοχή	Άλλες προστασίες
IP	0 – 6	0 - 8	0 – 9	Γράμμα
Υποχρεωτικό	Υποχρεωτικό	Υποχρεωτικό	Δεν χρησιμοποιείται πλέον	Προαιρετικό

Πίνακας 8.2: Διαβάθμιση αντοχής σε στερεά σωματίδια

Πρώτο ψηφίο	Μέγεθος αντικειμένου	Προστασία έναντι (παραδείγματα)
0	-	Δεν προσφέρει προστασία
1	>50 mm	Προστασία από μεγάλα τμήματα του σώματος
2	>12.5 mm	Προστασία από είσοδο δακτύλων ή παρόμοιων αντικειμένων
3	>2.5 mm	Προστασία από εργαλεία, καλώδια, βίδες
4	>1.0 mm	Προστασία από τα περισσότερα εργαλεία, καλώδια, βίδες και άλλα
5	Προστασία από σκόνη	Μερική είσοδος σκόνης, χωρίς να επηρεάζεται άμεσα η λειτουργία της συσκευής
6	Αποκλεισμός σκόνης	Πλήρης προστασία από στερεή εξωτερική επίδραση (στεγανότητα συσκευής)

Πίνακας 8.3: Διαβάθμιση προστασίας από τα υγρά

Δεύτερο ψηφίο	Προστασία από	Ορισμός
0	Απροστάτευτο	-
1	Προστασία έναντι κάθετης πτώσης σταγόνων νερού	Δεν υπάρχουν επιπτώσεις από την κάθετη πτώση σταγόνων
2	Προστασία έναντι κάθετης πτώσης νερού, όταν το αντικείμενο έχει κλίση 15°	Δεν υπάρχουν βλαβερές επιπτώσεις κατά τη διεξαγωγή της δοκιμασίας
3	Προστασία έναντι ψεκασμένου νερού	Νερό που ψεκάζεται υπό γωνία έως 60°, δεν έχει βλαβερές επιπτώσεις
4	Προστασία έναντι νερού	Νερό που πετάγεται στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση, δεν έχει βλαβερές επιπτώσεις
5	Προστασία έναντι εκτοξευμένου νερού	Νερό που πετάγεται στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση, δεν έχει βλαβερές επιπτώσεις
6	Προστασία 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	Προστασία έναντι μόνιμης βύθισης σε νερό	Καμία είσοδος νερού στο φωτιστικό όταν αυτό βυθίζεται μόνιμα σε νερό με συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου

Ένα φωτιστικό μπορεί να έχει για παράδειγμα δείκτη IP 67 και η προστασία του προσδιορίζεται από τους πίνακες 8.2 – 8.3.

8.3 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΤΗΣ Ε.Ε.

Τα πρότυπα τα οποία υπάρχουν και στα οποία πρέπει τα φωτιστικά να συμμορφώνονται είναι πολλά και έχουν οριστεί σαφώς από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), ώστε να καθοριστούν οι κανόνες ασφαλείας αλλά και επιδόσεων που είναι απαραίτητοι για την κάλυψη των απαιτήσεων στο φωτισμό δρόμων.

Τα φωτιστικά που συμμορφώνονται με τα πρότυπα ασφαλείας φέρουν τη σήμανση CE (Conformité Européenne – Ευρωπαϊκή Συμμόρφωση), ενώ μία πρόσθετη συμμόρφωση στις επιδόσεις, μπορεί να οδηγήσει στη σήμανση ποιότητας ENEC (European Norms Electrical Certification). Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα πρότυπα στα οποία θα πρέπει να συμμορφωθούν οι κατασκευαστές φωτιστικών δρόμων σύμφωνα με την Ε.Ε. Όλα τα πρότυπα, IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Organization for Standardization), CEN (European Committee for Standardization), CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), είναι αποδεκτά από τα κράτη μέλη της ένωσης.

Πίνακας 8.4: Πρότυπα ασφαλείας και επίδοσης για τις υπάρχουσες κατηγορίες λαμπτήρων

Τεχνολογία Λαμπτήρων	Πρότυπα ασφαλείας	Πρότυπα επίδοσης
Γραμμικός φθορισμού	EN 61195	EN 60081
Συμπαγής φθορισμού	EN 61199	EN 60901
Υψηλής εκκένωσης	EN 62035	EN 60682
Αλογονιδίων μετάλλων	EN 62035	EN 61167
LED	EN 62031	Σε προετοιμασία

Πίνακας 8.5: Πρότυπα ασφαλείας και επίδοσης για τα συστήματα ελέγχου

Σύστημα ελέγχου	Πρότυπα ασφαλείας	Πρότυπα επίδοσης
Γραμμικός φθορισμού	EN 61347	EN 60929 / EN 60921
Συμπαγής φθορισμού	EN 61347	EN 60929 / EN 60921
Υψηλής εκκένωσης	EN 61347	EN 60923
Πυκνωτές (Capacitors)	EN 60048	EN 61049
LED	EN 61347	EN 61049
Συσκευή εκκίνησης (Starting device)	EN 61347	EN 60927
Λαμπτήρας πυράκτωσης	EN 61347	EN 61047

Πίνακας 8.6: Πρότυπα ασφαλείας που διέπουν τη συνολική λειτουργία των φωτιστικών

Σύστημα φωτιστικού	Ασφάλεια
Κατασκευή φωτιστικού (Luminaire construction)	EN 60598
Εκπομπή EMC (EMC emission)	EN 55015
Ηλεκτρικά κυκλώματα (Electric track)	EN 60570
Ιστοί οδοφωτισμού (Road lighting columns)	EN 40
Αρμονικές (Harmonics)	EN 61000 – 3 – 2
Φωτοβιολογική ασφάλεια (Photobiological safe)	EN 62471
Αντοχή EMC (EMC immunity)	EN 61547

Από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κάποιες είναι υποχρεωτικές και κάποιες μπορούν να τροποποιηθούν από τα κράτη μέλη. Μερικές πολύ σημαντικές οδηγίες είναι οι εξής:

Η Ενεργειακή Επισήμανση Οικολογικών Προϊόντων (Energy Labelling of Eco – Design Products): η ενεργειακή ετικέτα είναι υποχρεωτική για κάθε συσκευή που πωλείται εντός της Ε.Ε. όπου ισχύει ο κανονισμός σήμανσης. Πρέπει να είναι τοποθετημένη εμφανώς σε κάθε συσκευή και στο σημείο πώλησης. Αυτή η απαίτηση υπάρχει για κάθε συσκευή ή προϊόν που θα μπορούσε κατά τη χρήση του να έχει άμεσο ή έμμεσο αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας ή άλλων πόρων.

Εναπόθεση Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE): Η ανακύκλωση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών πρέπει να γίνεται σε πιστοποιημένες μονάδες, όπου ανακτώνται υλικά όπως ο χαλκός, ο χρυσός, το ασήμι και άλλα υλικά ενώ ταυτόχρονα εμποδίζεται η διαρροή στο περιβάλλον επικίνδυνων βαρέων μετάλλων όπως ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο μόλυβδος, το χρώμιο και άλλα.

Απαγόρευση Επικίνδυνων Συστατικών (Restriction of hazardous Substances, RoHS): Από το 2003 με την οδηγία 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Αναφέρεται κυρίως στη χρήση καδμίου και στην απαίτηση να αντικατασταθεί με κάποιο άλλο υλικό.

Απαιτήσεις Οικολογικού Σχεδιασμού των προϊόντων που καταναλώνουν Ενέργεια (Eco – Design requirements of Energy related Products, ERP): Αφορά όσα προϊόντα καταναλώνουν ενέργεια. Πρέπει να γίνουν πιο οικολογικά. Ο βασικός λόγος που εισήχθη η συγκεκριμένη οδηγία είναι η κλιματική αλλαγή και η ανάγκη μείωσης των εκπομπών του CO₂.

Οδηγία Χαμηλής Τάσης (Low Voltage Directive, LDV): Η συγκεκριμένη οδηγία έχει σαν στόχο να εξασφαλίσει την ασφάλεια και την προστασία της υγείας των ανθρώπων, των ζώων και της ιδιοκτησίας, ενώ ταυτόχρονα κατοχυρώνει τη λειτουργία της εσωτερικής αγοράς. Η συγκεκριμένη οδηγία εφαρμόζεται στο ηλεκτρολογικό υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ονομαστική τάση από 50 έως 1.000 V για εναλλασσόμενο ρεύμα και από 75 έως 1.500 V για συνεχές ρεύμα.

Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (Electromagnetic Compatibility, EMC): Οι ηλεκτρικές συσκευές ή εγκαταστάσεις μπορούν να επηρεάσουν η μία την άλλη, όπως για παράδειγμα παρεμβολές μεταξύ τηλεοπτικών συσκευών ή κινητών τηλεφώνων ή ραδιοφώνων και παρακείμενων πλυντηρίων ρούχων ή γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η

συγκεκριμένη οδηγία που αφορά στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα εφαρμόζεται για να περιορίσει τις ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τον εξοπλισμό αυτό ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαταραχές.

Οδηγία Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Service Directive, ESD): Η αρχική οδηγία ήταν η SAVE 2006/32/EE και αφορούσε στην εξοικονόμηση ενέργειας. Με αυτήν την οδηγία θεσπίστηκε ένα γενικότερο πλαίσιο στην ΕΕ για την ενεργειακή αποτίμηση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, μέσα από μια διαδικασία η οποία είναι γνωστή ως Μέτρηση και Επαλήθευση (Measurement and Verification).

Καταγραφή, Αξιολόγηση, Εξουσιοδότηση και Περιορισμός των Χημικών (REACH): ο κανονισμός REACH αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο για την παραγωγή χημικών προϊόντων και τη χρήση τους στην ΕΕ. Η ευθύνη μετατοπίζεται από τις δημόσιες αρχές στο βιομηχανικό κλάδο ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των χημικών προϊόντων που παράγονται, εισάγονται, πωλούνται και χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, προωθεί εναλλακτικές μεθόδους δοκιμών σε ζώα, δημιουργεί μια ενιαία αγορά χημικών προϊόντων, έχει στόχο να προωθήσει την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα και τέλος ιδρύει τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Χημικών Προϊόντων (ECHA).

9. ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ η οποία συντάχθηκε από Ομάδα Εργασίας για το σχεδιασμό και έλεγχο εγκαταστάσεων οδοφωτισμού. Στόχος της συγκεκριμένης οδηγίας ήταν να καλύψει το κενό που υπάρχει λόγω της έλλειψης μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υλοποίησης έργων οδοφωτισμού. Επιπλέον, να δώσει συστάσεις που αφορούν το σχεδιασμό και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων φωτισμού δρόμων και να αποτελέσει ένα καθημερινό εργαλείο για όλους τους συντελεστές που ασχολούνται με την υλοποίηση ενός τέτοιου έργου.

9.1 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Το πρώτο βήμα για το σωστό σχεδιασμό και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του οδοφωτισμού είναι η σαφής και λεπτομερής καταγραφή της κατάστασης που υφίσταται και στην οποία στηρίζεται η μελέτη και η οικονομική αξιολόγηση του έργου.

Οι δράσεις που πρέπει να καταγραφούν είναι οι εξής:

- ✓ Γεωμετρικά στοιχεία οδών
- ✓ Υφιστάμενα στοιχεία ιστού
- ✓ Υφιστάμενα στοιχεία φωτιστικού σώματος
- ✓ Υφιστάμενα στοιχεία πινάκων διανομής
- ✓ Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, για τουλάχιστον ένα έτος λειτουργίας.

Τα στοιχεία αυτά πρέπει να καταγράφονται σε συνεργασία με τον αρμόδιο φορέα ή να παρέχονται από το φορέα ανάθεσης, αν έχουν ήδη καταγραφεί.

9.1.1 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΔΟΥ

Τα δεδομένα που απαιτείται να καταγραφούν για την γεωμετρική αποτύπωση των οδών είναι τα εξής:

- ✓ Δημοτική ενότητα (για δημοτικό φωτισμό)

- ✓ Οδός – Διασταύρωση – Κόμβος
- ✓ Περιοχή στην οποία βρίσκεται (οδός, πλατεία, πεζόδρομος κλπ)
- ✓ Πλάτος οδοστρώματος (απόκλιση ≤ 0.5 m)
- ✓ Πλάτος πεζοδρομίου (απόκλιση ≤ 0.5 m)
- ✓ Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας
- ✓ Τύπος υλικού οδοστρώματος (άσφαλτος, σκυρόδεμα, κ.λπ.)
- ✓ Κλάση φωτισμού οδού ή τμήματος οδού (αν έχει οριστεί)
- ✓ Όριο ταχύτητας σύμφωνα με τα στοιχεία της Τροχαίας

9.1.2 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΙΣΤΟΥ

Για την καταγραφή των ιστών χρειάζονται τα εξής στοιχεία:

- ✓ Μοναδικός κωδικός ταυτοποίησης ιστού (ID)
- ✓ Γεωγραφικές συντεταγμένες ιστού (απόκλιση ≤ 0.5 m)
- ✓ Τύπος ιστού (υλικό κατασκευής, τύπος διατομής)
- ✓ Κατάσταση ιστού
- ✓ Κυριότητα ιστού
- ✓ Ύψος ιστού (απόκλιση ≤ 0.1)
- ✓ Μήκος βραχίονα ιστού (απόκλιση ≤ 0.1)
- ✓ Κλίση βραχίονα ιστού
- ✓ Φωτογραφική αποτύπωση ιστού (ανά τύπο)
- ✓ Απόσταση ιστού από το οδόστρωμα
- ✓ Αριθμός φωτιστικών σωμάτων ανά ιστό

9.1.3 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την καταγραφή των φωτιστικών σωμάτων είναι τα εξής:

- ✓ Μοναδικός Κωδικός ταυτοποίησης φωτιστικού (ID)
- ✓ Γεωγραφικές συντεταγμένες φωτιστικού (απόκλιση ≤ 0.5 m)
- ✓ Ύψος φωτιστικού (φωτεινής επιφάνειας)
- ✓ Κλίση φωτιστικού (αν είναι διαφορετική από αυτή του βραχίονα)
- ✓ Τύπος λαμπτήρα
- ✓ Ονομαστική ισχύς λαμπτήρα

- ✓ Τύπος μετασχηματιστή (ballast) ή οδηγού (driver)
- ✓ Είδος φωτιστικού σώματος
- ✓ Φωτογραφική αποτύπωση φωτιστικού (ανά τύπο)
- ✓ Κατάσταση λειτουργίας φωτιστικού σώματος
- ✓ Συνολική ισχύς φωτιστικού σώματος
- ✓ Απόσταση φωτιστικού από το ρείθρο (απόκλιση ≤ 0.1 m)

9.1.4 ΚΑΤΑΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Για την καταγραφή των στοιχείων πινάκων διανομής χρειάζονται τα εξής στοιχεία:

- ✓ Μοναδικός κωδικός ταυτοποίησης πίνακα διανομής (ID)
- ✓ Γεωγραφικές συντεταγμένες πίνακα διανομής (απόκλιση ≤ 3 m)
- ✓ Τύπος πίνακα διανομής (υλικό κατασκευής)
- ✓ Κατάσταση πίνακα διανομής
- ✓ Κυριότητα πίνακα διανομής
- ✓ Φωτογραφική αποτύπωση πίνακα διανομής
- ✓ Δημοτική ενότητα (για δίκτυα δημοτικού φωτισμού)
- ✓ Οδός - Διασταύρωση – Κόμβος
- ✓ Τύπος περιοχής στην οποία βρίσκεται (οδός, πεζόδρομος, πλατεία, πάρκο κ.λπ.)
- ✓ Αριθμός παροχής του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας του πίνακα διανομής
- ✓ Κωδικοί ταυτοποίησης ιστών και φωτιστικών (ID) που τροφοδοτούνται από τον πίνακα διανομής
- ✓ Ταυτοποίηση φωτιστικών / φορτίων που δεν τοποθετούνται σε ιστό και τροφοδοτούνται από τον πίνακα κατανομής.

9.1.5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για να καταγραφεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον οδοφωτισμό είναι απαραίτητο να γίνουν οι εξής ενέργειες:

- ✓ Μέτρηση της εγκατεστημένης ισχύος ανά πίνακα διανομής
- ✓ Υπολογισμός της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για οδοφωτισμό από τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα για τουλάχιστον ένα πλήρες έτος λειτουργίας.

- ✓ Ταυτοποίηση των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας ανά πίνακα διανομής σε σχέση με την θεωρητική κατανάλωση που υπολογίστηκε βάση της καταγραφής
- ✓ Έλεγχος ρευματοκλοπής, βλαβών και πολλαπλών χρήσεων των πινάκων διανομής.

9.2 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την καταγραφή των ιστών και των πινάκων διανομής πρέπει να γίνει τοπογραφική αποτύπωση. Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες μπορεί να είναι σε οποιοδήποτε τυποποιημένο σύστημα συντεταγμένων. Τα αποτελέσματα της μελέτης φωτισμού επηρεάζονται άμεσα από τη γεωμετρία της εγκατάστασης. Γι' αυτό η απόκλιση των γεωγραφικών θέσεων και των μετρούμενων διαστάσεων θα πρέπει να προσεχθεί.

9.3 ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όλα τα δεδομένα καταγραφής της ισχύουσας κατάστασης του δικτύου οδοφωτισμού όπως ιστοί, φωτιστικά σώματα, πίνακες διανομής κλπ θα πρέπει να είναι καταγεγραμμένα ψηφιακά από διάφορα λογισμικά που κυκλοφορούν σε τυποποιημένα αρχεία τύπων .dwg (προγράμματα CAD), .shp (προγράμματα GIS), .xls (αρχεία excel), και πολλά ακόμα. Τα γεωμετρικά υπόβαθρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

- ✓ Τοπογραφικά σχέδια πόλεων και οικισμών που είχαν εκπονηθεί παλιότερα
- ✓ Τοπογραφικό υπόβαθρο κτηματολογίου
- ✓ Ορθοφωτοχάρτες, δορυφορικές εικόνες κ.λπ.
- ✓ Άλλο υπόβαθρο που ζητείται από την αναθέτουσα αρχή

10. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός φωτισμού δρόμων είναι ένα σύνολο δράσεων / βημάτων, τις οποίες πρέπει να εκτελεί ο μελετητής από την αρχή του έργου μέχρι και την υλοποίηση αυτού. Τα βήματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα υποχρεωτικά και τα προαιρετικά.

Τα υποχρεωτικά βήματα σχεδιασμού του οδοφωτισμού είναι απαραίτητα ώστε να γίνει ένας ορθός και ολοκληρωμένος σχεδιασμός έργων οδοφωτισμού και είναι τα εξής:

- Επιλογή κλάσεων οδοφωτισμού
- Εκπόνηση μελέτης οδοφωτισμού
- Υπολογισμός δεικτών ενεργειακής επίδοσης

Από την άλλη τα προαιρετικά βήματα εκτελούνται αν απαιτείται από τις προδιαγραφές του έργου και αν κρίνεται απαραίτητο από τον φορέα υλοποίησης του έργου και είναι τα εξής:

- Διαστασιολόγηση συστήματος ελέγχου
- Τεχνικοοικονομικοί υπολογισμοί
- Προδιαγραφές χρηματοδότησης του έργου

10.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΛΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Οι οδοί κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουν σε φωτισμό σύμφωνα με την κυκλοφορία οχημάτων, ποδηλάτων, πεζών ή και συνδυασμού αυτών. Αφορά οδούς από ένα δρόμο ήπιας κυκλοφορίας, μια επαρχιακή οδό, ένα πολυσύχναστο δρόμο στην πόλη ως έναν αυτοκινητόδρομο ταχείας κυκλοφορίας. Επίσης, αφορά σε πεζόδρομους, ποδηλατοδρόμους, διασταυρώσεις οδών διαφορετικών ή όμοιων χρηστών κλπ.

Κλάσεις φωτισμού (Lighting Classes) είναι οι κατηγορίες απαιτήσεων φωτισμού και δεν είναι απαραίτητο να αφορούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες οδών. Οι κλάσεις φωτισμού εξαρτώνται από τα λειτουργικά και κάποια γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Ανάλογα με τις καταστάσεις φωτισμού διακρίνονται τρεις κλάσεις:

Class M – Motorised traffic – Αυτοκινητόδρομοι / οδοί μηχανοκίνητων οχημάτων: αφορά στο φωτισμό οδών και περιοχών, όπου οι κύριοι χρήστες είναι μηχανοκίνητα οχήματα που κινούνται με χαμηλές, μέσες ή υψηλές ταχύτητες. Το μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης του φωτισμού οδών κλάσης M είναι η λαμπρότητα του οδοστρώματος. Η κλάση εξαρτάται από γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού ή ενός τμήματός της. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες σύμφωνα με τους οποίους επιλέγεται η κλάση. Ο κάθε πίνακας αφορά ένα από τα 8 κριτήρια επιλογής κλάσης κατά CEN / TR 13201 – 1:2014.

Το πρώτο κριτήριο – πίνακας 10.1 αφορά στην ταχύτητα σχεδιασμού ή στο όριο ταχύτητας της οδού. Σε περίπτωση που αλλάζει το όριο ταχύτητας μιας οδού, κατά το μήκος αυτής ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος ανά περίπτωση.

Πίνακας 10.1: Κριτήριο 1 – Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας οδού

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή (2)	$v \geq 100$ km/h
	Υψηλή (1)	$70 < v < 100$ km/h
	Μέση (-1)	$40 < v < 70$ km/h
	Χαμηλή (-2)	$v \leq 40$ km/h

Το δεύτερο κριτήριο – πίνακας 10.2 έχει να κάνει με τον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού, ως ποσοστό επί της μέγιστης χωρητικότητας. Διαχωρίζεται, όσον αφορά τους

αυτοκινητόδρομους με πολλαπλές λωρίδες ανά κατεύθυνση ή μικρότερες οδούς. Αν ο κυκλοφοριακός φόρτος αλλάζει κατά το μήκος της οδού ή τη νύχτα, επιλέγεται το αντίστοιχο κομμάτι.

Πίνακας 10.2: Κριτήριο 2 – Κυκλοφοριακός φόρτος

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	
Κυκλοφοριακός φόρτος		<i>Αυτοκινητόδρομοι, κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων</i>	<i>Κατευθύνσεις δύο λωρίδων</i>
	Υψηλός (1)	> 65% της μέγιστης χωρητικότητας	> 45% της μέγιστης χωρητικότητας
	Μέσος (0)	35% - 65% της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% της μέγιστης χωρητικότητας
	Χαμηλός (-1)	< 35% της μέγιστης χωρητικότητας	< 15% της μέγιστης χωρητικότητας

Το τρίτο κριτήριο – πίνακας 10.3 έχει να κάνει με την σύνθεση των χρηστών της οδού. Όταν η σύνθεση των χρηστών αλλάζει κατά μήκος της οδού ή κατά την διάρκεια της νύχτας επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 10.3: Κριτήριο 3 – Σύνθεση χρηστών

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Σύνθεση Χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη – μηχανοκίνητων (2)
	Μεικτή (1)
	Μόνο μηχανοκίνητα (0)

Το τέταρτο κριτήριο – πίνακας 10.4 αφορά τον διαχωρισμό των κατευθύνσεων μιας οδού, ο οποίος μπορεί να είναι μεταλλική μπάρα, στηθαίο, φύτευση κλπ. Αν ο διαχωρισμός διαφοροποιείται κατά μήκος της οδού επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος ανάλογα με την περίπτωση.

Πίνακας 10.4: Κριτήριο 4 – Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι (1)
	Ναι (0)

Το πέμπτο κριτήριο – πίνακας 10.5 αφορά στην πυκνότητα των κόμβων της οδού. Οι κόμβοι αναφέρονται σε ανισόπεδες εισόδους, εξόδους κλπ. ενώ οι διασταυρώσεις αναφέρονται σε οδούς που συνέρχονται στο ίδιο επίπεδο. Αν η πυκνότητα αλλάζει κατά μήκος της οδού ή την νύχτα επιλέγεται και το αντίστοιχο βάρος για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 10.5: Κριτήριο 5 – Πυκνότητα κόμβων

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	
		Πυκνότητα κόμβων	
Υψηλή (1)	> 3		< 3
Μέση (0)	≤ 3		≥ 3

Το έκτο κριτήριο – πίνακας 10.6 πραγματεύεται την παρουσία ή μη σταθμευμένων οχημάτων στην οδό. Αν η παρουσία σταθμευμένων οχημάτων αλλάζει την νύχτα ή κατά μήκος της οδού τότε επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος.

Πίνακας 10.6: Κριτήριο 6 – Σταθμευμένα οχήματα

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα (1)
	Απόντα (0)

Το έβδομο κριτήριο – πίνακας 10.7 έχει να κάνει με τον φωτισμό του περιβάλλοντος της οδού. Υψηλός φωτισμός μπορεί να προέρχεται από τα κτίρια που υπάρχουν στην οδό όταν η πυκνότητα αυτών είναι μεγάλη, από αθλητικές ή υπαίθριες εγκαταστάσεις ή διαφημιστικές πινακίδες κλπ. Ο μέσος φωτισμός αφορά πόλεις που δεν ανήκουν στην πιο πάνω περίπτωση και ο χαμηλός φωτισμός αφορά σε οδούς εκτός αστικού ιστού χωρίς τεχνητό φωτισμό εκτός από τον οδοφωτισμό. Αν ο περιβάλλον φωτισμός αλλάζει την νύχτα ή στο μήκος της οδού επιλέγεται το αντίστοιχο βάρος.

Πίνακας 10.7: Κριτήριο 7 – Φωτισμός περιβάλλοντος

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ - (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός (1)	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί κλπ.
	Μέσος (0)	Συνήθεις καταστάσεις
	Χαμηλός (-1)	

Το όγδοο κριτήριο – πίνακας 10.8 έχει να κάνει με την δυσκολία στην οδήγηση η οποία εξαρτάται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Όταν ο οδηγός έχει να κατανοήσει πολύπλοκη σήμανση ή να οδηγήσει σε οδούς με πολλές εξόδους και εισόδους ή με σύνθετη δομή κλπ, τότε ορίζεται ως υψηλή δυσκολία οδήγησης. Όταν ο οδηγός έχει να αλλάξει λωρίδα ή να αλλάξει ταχύτητα στο όχημα ή μια απλή είσοδο ή έξοδο ορίζεται ως μέση δυσκολία. Τέλος χαμηλή δυσκολία οδήγησης ορίζεται όταν ο οδηγός κινείται σε συγκεκριμένη οδό ή λωρίδα χωρίς να απαιτείται κάποια σημαντική ενέργεια. Αν η δυσκολία οδήγησης αλλάζει κατά μήκος της οδού το αντίστοιχο βάρος αλλάζει ανά περίπτωση.

Πίνακας 10.8: Κριτήριο 8 – Δυσκολία οδήγησης

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή (2)
	Υψηλή (1)
	Χαμηλή (0)

Για να βρεθεί η τελική κλάση φωτισμού σε κάθε περίπτωση αθροίζονται τα βάρη κάθε κριτηρίου και χρησιμοποιείται η σχέση:

$M = 6 - VWS$,

Όπου, M είναι η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και VWS το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων όπως αυτά προκύπτουν από τους παραπάνω πίνακες. Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν έξι κλάσεις φωτισμού M , $M1$, $M2$, $M3$, $M4$, $M5$, $M6$ για τις οποίες ισχύει ότι:

- Αν $VWS < 0$ τότε $VWS = 0$
- Αν $M \leq 0$ τότε $M = 1$ (κλάση $M1$)

Οι κλάσεις φωτισμού M εφαρμόζονται σε τμήματα οδών μεταξύ των περιοχών κινδύνου (conflict areas), οι οποίες θα οριστούν στη συνέχεια. Αν δύο γειτονικές περιοχές κινδύνου απέχουν μεταξύ τους απόσταση μικρότερη από την εκάστοτε απόσταση ακινητοποίησης (stopping distance – SD), τότε προτείνεται ως κλάση φωτισμού για το ενδιάμεσο τμήμα να λαμβάνεται η αντίστοιχη κλάση φωτισμού C , η οποία ορίζεται στον πίνακα 10.9.

Οι κλάσεις C χρησιμοποιούνται σε περιοχές πολύ υψηλού κινδύνου με δύο ή περισσότερα ρεύματα και με χρήστες κυρίως τα μηχανοκίνητα οχήματα.

Περιοχές κινδύνου είναι οι περιοχές στις οποίες ροές οχημάτων μπλέκονται μεταξύ τους ή συναντώνται με περιοχές που χρησιμοποιούν συχνά πεζοί, ποδηλάτες ή σε οδούς με κόμβους, διασταυρώσεις κλπ. Οι περιοχές στις οποίες ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας ή το πλάτος των λωρίδων ή το συνολικό πλάτος μειώνεται είναι επίσης περιοχές κινδύνου. Σε αυτές τις περιοχές ο κίνδυνος σύγκρουσης μεταξύ οχημάτων ή οχημάτων και πεζών ή ποδηλατών με άλλους χρήστες ή αυτοκινήτων με σταθερά εμπόδια έχει αυξημένες πιθανότητες. Η περιοχή κινδύνου βρίσκεται μεταξύ της περιοχής που συμβάλλουν ή εμπλέκονται οι οδοί μαζί με την περιοχή που ορίζεται από την εκάστοτε απόσταση ασφαλούς πέδησης των συμβαλλόμενων οδών. Για τις περιοχές υψηλού κινδύνου προτιμάται η λαμπρότητα ως μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης. Όταν όμως οι αποστάσεις θέασης του οδηγού είναι μικρές (< 60 m) ή υπάρχουν πολλοί παρατηρητές από διαφορετικές κατευθύνσεις είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί η λαμπρότητα και γι' αυτό χρησιμοποιείται η ένταση φωτισμού σε lux.

Στον πίνακα 10.9 φαίνεται η αντιστοίχιση των κλάσεων M και C όταν ο συντελεστής ανακλαστικότητας του οδοστρώματος Q_0 είναι γνωστός.

Πίνακας 10.9: Αντιστοίχιση κλάσεων M και C

ΤΙΜΗ Q_0	$Q_0 \leq 0.05$	$0.05 < Q_0 \leq 0.08$	$Q_0 > 0.09$
Αντιστοίχιση κλάσεων M και C	M1 = C0	M1 = C1	M1 = C2
	M2 = C1	M2 = C2	M2 = C3
	M3 = C2	M3 = C3	M3 = C4
	M4 = C3	M4 = C4	M4 = C5
	M5 = C4	M5 = C5	M5 = C5
	M6 = C5	M6 = C5	M6 = C5

Οι κλάσεις φωτισμού C έχουν σχεδιαστεί για τους ίδιους χρήστες με αυτούς των κλάσεων M. Ο πίνακας 10.9 πρέπει κυρίως να χρησιμοποιείται για να οριστούν οι κλάσεις σε περιοχές κινδύνου οι οποίες ανήκουν σε οδούς που ήδη έχει γίνει ορισμός κλάσεων M. Οι περιοχές κινδύνου πρέπει να μην έχουν μικρότερη κλάση από την μέγιστη κλάση των οδών που συναντώνται. Ο μελετητής μπορεί, αν το κρίνει απαραίτητο, να επιλέξει κλάση φωτισμού μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει από την αντιστοίχιση, ώστε να πετύχει μεγαλύτερη ασφάλεια.

Αν οι οδοί που συναντώνται σε μία περιοχή κινδύνου δεν φωτίζονται και άρα δεν έχουν κλάση φωτισμού M, λαμβάνεται η κλάση φωτισμού C από το σύστημα υπολογισμού με βάση όπως ορίζονται στους παρακάτω πίνακες κατά CEN / TR 13201 – 1:2014.

Το πρώτο κριτήριο – πίνακας 10.10 έχει να κάνει με την ταχύτητα σχεδιασμού ή το όριο ταχύτητας της οδού. Παρόμοια με την κλάση M.

Πίνακας 10.10: Κριτήριο 1 – Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή (3)	$v \geq 100$ km/h
	Υψηλή (2)	$70 < v < 100$ km/h
	Μέση (0)	$40 < v < 70$ km/h
	Χαμηλή (-1)	$v \leq 40$ km/h

Το δεύτερο κριτήριο – πίνακας 10.11 έχει να κάνει με τον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού, παρόμοια με την κλάση M, αλλά χωρίς εξειδίκευση των ποσοστών του φόρτου.

Πίνακας 10.11: Κριτήριο 2 – Κυκλοφοριακός φόρτος

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Κυκλοφοριακός φόρτος	Υψηλός (1)
	Μέσος (0)
	Χαμηλός (-1)

Το τρίτο κριτήριο – πίνακας 10.12 έχει να κάνει με την σύνθεση των χρηστών της οδού.

Πίνακας 10.12: Κριτήριο 3 – Σύνθεση χρηστών

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη – μηχανοκίνητων (2)
	Μεικτή (1)
	Μόνο μηχανοκίνητα (0)

Το τέταρτο κριτήριο – πίνακας 10.13 αφορά στο διαχωρισμό κατευθύνσεων μιας οδού, παρόμοια με την κλάση Μ.

Πίνακας 10.13: Κριτήριο 4 – Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Διαχωρισμός Κατευθύνσεων Κυκλοφορίας	Όχι (1)
	Ναι (0)

Το πέμπτο κριτήριο – πίνακας 10.14 έχει να κάνει με το αν υπάρχουν ή όχι σταθμευμένα οχήματα στην οδό3.

Πίνακας 10.14: Κριτήριο 5 – Σταθμευμένα οχήματα

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα (1)
	Απόντα (0)

Το έκτο κριτήριο – πίνακας 10.15 αφορά στο φωτισμό του περιβάλλοντος της οδού, παρόμοια με την κλάση Μ.

Πίνακας 10.15: Κριτήριο 6 – Φωτισμός περιβάλλοντος

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός (1)	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί κλπ.
	Μέσος (0)	Συνήθεις καταστάσεις
	Χαμηλός (-1)	

Το έβδομο κριτήριο – πίνακας 10.16 έχει να κάνει με την δυσκολία στην οδήγηση που αφορά στο οπτικό πεδίο του οδηγού, σύμφωνα την κλάση Μ.

Πίνακας 10.16: Κριτήριο 7 – Δυσκολία οδήγησης

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή (2)
	Υψηλή (1)
	Χαμηλή (0)

Η επιλογή της κλάσης φωτισμού C πραγματοποιείται αφού αθροιστούν τα βάρη από όλα τα κριτήρια και χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$C = 6 - VWS,$$

Όπου, C είναι η κλάση φωτισμού και VWS είναι το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων που προκύπτουν από τους παραπάνω πίνακες. Από την σχέση προκύπτουν οι κλάσεις $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ και ισχύει ότι:

- Αν $VWS \leq 0$, τότε $VWS = 1$
- Αν $C < 0$, τότε $C = 0$ άρα κλάση C_0

Η κλάση P αφορά στον φωτισμό πεζόδρομων και οδών ήπιας κυκλοφορίας όπου οι χρήστες είναι κυρίως πεζοί ή ποδηλάτες ή μεικτοί. Για να οριστεί η κλάση P χρησιμοποιούνται οι παρακάτω πίνακες, όπως έγινε και στις δύο προηγούμενες κλάσεις.

Το πρώτο κριτήριο – πίνακας 10.17 έχει να κάνει με την ταχύτητα σχεδιασμού ή με το όριο ταχύτητας της οδού, παρόμοια με το κριτήριο της κλάσης M .

Πίνακας 10.17: Κριτήριο 1 – Ταχύτητα οδού ή όριο ταχύτητας

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Χαμηλή (1)	$v \leq 40$ km/h
	Πολύ χαμηλή – βάδισμα (0)	Ταχύτητα βαδίσματος

Το δεύτερο κριτήριο – πίνακας 10.18 έχει να κάνει με τον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού, παρόμοια με το κριτήριο της κλάσης M , χωρίς όμως την εξειδίκευση των ποσοστών φόρτου.

Πίνακας 10.18: Κριτήριο 2 – Κυκλοφοριακός φόρτος

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Κυκλοφοριακός φόρτος	Υψηλός (1)
	Μέσος (0)
	Χαμηλός (-1)

Το τρίτο κριτήριο – πίνακας 10.19 αφορά στη σύνθεση των χρηστών της οδού, παρόμοια με την κλάση Μ, όμως με περισσότερη ανάλυση των περιπτώσεων.

Πίνακας 10.19: Κριτήριο 3 – Σύνθεση χρηστών

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Σύνθεση χρηστών	Πεζοί, ποδηλάτες και μηχανοκίνητα (2)
	Πεζοί και μηχανοκίνητα (1)
	Πεζοί και ποδηλάτες (1)
	Πεζοί (0)
	Ποδηλάτες (0)

Το τέταρτο κριτήριο – πίνακας 10.20 αφορά στο αν υπάρχουν ή όχι σταθμευμένα οχήματα στην οδό, παρόμοια με το κριτήριο της κλάσης Μ.

Πίνακας 10.20: Κριτήριο 4 – Σταθμευμένα οχήματα

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα (1)
	Απόντα (0)

Το πέμπτο κριτήριο – πίνακας 10.21 έχει να κάνει με τον φωτισμό του περιβάλλοντος της οδού, παρόμοια με το κριτήριο της κλάσης Μ.

Πίνακας 10.21: Κριτήριο 5 – Φωτισμός περιβάλλοντος

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ – (ΒΑΡΟΣ)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός (1)	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις κλπ
	Μέσος (0)	Συνήθεις καταστάσεις
	Χαμηλός (-1)	

Η τελική επιλογή της κλάσης φωτισμού γίνεται με το άθροισμα των βαρών του εκάστοτε κριτηρίου και με την χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$P = 6 - VWS,$$

Όπου P είναι η κλάση φωτισμού και VWS είναι το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων που προκύπτουν από τους παραπάνω πίνακες. Έτσι προκύπτουν οι κλάσεις P1, P2, P3, P4, P5, P6 και P7 οι οποίες εφαρμόζονται στο μήκος της οδού που διατηρεί σταθερά τα χαρακτηριστικά της κάθε κλάσης και ισχύει ότι:

- Αν $VWS < 0$, τότε $VWS = 0$
- Αν $P = 0$, τότε $P = 1$ άρα κλάση P1.

10.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΛΑΣΕΩΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΥ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Η τεχνική έκθεση CEN / TR 13201 – 1 επιτρέπει την αλλαγή κλάσης φωτισμού μιας οδού, αν κατά την διάρκεια λειτουργίας του οδοφωτισμού ένα ή περισσότερα κριτήρια αλλάζουν το βάρος τους. Για το χρονικό διάστημα που διαφοροποιούνται τα βάρη επιλέγεται χαμηλότερη κλάση οδοφωτισμού. Έτσι, παρέχεται ευελιξία στο σχεδιασμό ενός συστήματος προσαρμοστικού φωτισμού (adaptive lighting system), το οποίο με τον κατάλληλο εξοπλισμό επιτρέπει τη ρύθμιση της φωτεινής ροής των φωτιστικών σωμάτων (luminous flux dimming / light dimming), ώστε να επιτευχθούν πολλά επίπεδα φωτισμού την νύχτα,

που θα εξυπηρετούν τις εκάστοτε απαιτήσεις φωτισμού του δρόμου, παρέχοντας ταυτόχρονα τις βέλτιστες συνθήκες στον οδηγό και διατηρώντας την κατανάλωση ενέργειας όσο γίνεται χαμηλότερα. Η μέγιστη κλάση φωτισμού, η οποία προκύπτει από τη διαδικασία με τα βάρη, καλείται ονομαστική κλάση φωτισμού (normal lightning class), ενώ οι κατώτερες κλάσεις καλούνται κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού. Σε κάθε μελέτη οδού ορίζεται σίγουρα μία ονομαστική κλάση φωτισμού και προαιρετικά μία ή περισσότερες κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού.

10.3.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΛΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται δύο ενδεικτικά παραδείγματα οδοφωτισμού που συναντώνται συχνά στο ελληνικό οδικό δίκτυο. Η κλάση μιας οδού μπορεί να αλλάξει από τμήμα σε τμήμα, λόγω λειτουργικών ή γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Εν συντομία κάποια στοιχεία για τις οδούς.

- Οδός Α: Τμήμα κλειστού αυτοκινητόδρομου με διαχωριστική νησίδα, κοντά σε αστικό ιστό, με μεγάλη πυκνότητα κόμβων, μεταβαλλόμενο κυκλοφοριακό φόρτο και φωτισμό περιβάλλοντος. Επιλογή κλάσης στα φωτιζόμενα τμήματα μεταξύ των ανισόπεδων κόμβων. (Ονομαστική M1, προσαρμοστικού φωτισμού M2, M4)
- Οδός Β: Τμήμα επαρχιακής οδού διπλής κατεύθυνσης χωρίς διαχωριστική νησίδα, με χαμηλή πυκνότητα διασταυρώσεων, μεταβαλλόμενο κυκλοφοριακό φόρτο, χαμηλό φωτισμό περιβάλλοντος. Η επιλογή κλάσης αφορά στα φωτιζόμενα τμήματα μεταξύ διασταυρώσεων. (Ονομαστική M4, προσαρμοστικού φωτισμού M5)

Οι κλάσεις οδοφωτισμού μπορούν να αλλάξουν ακόμα και με τη διαφορετική επιλογή ενός μόνο κριτηρίου. Ο μελετητής πρέπει να εξετάσει όλα τα πραγματικά γεωμετρικά αλλά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού και να υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση για κάθε κριτήριο. Η τελική επιλογή κλάσεων φωτισμού απαιτεί τη συμφωνία του μελετητή, του Δήμου, της Περιφέρειας και του φορέα ανάθεσης της μελέτης.

Στα παραδείγματα επιλέχθηκαν πολλαπλές κλάσεις φωτισμού ανάλογα με τη μεταβολή κάποιων κριτηρίων, σε χρονικά διαστήματα Δt . Άρα μια οδός με πολλές κλάσεις φωτισμού μπορεί να μεταβάλλει την κλάση φωτισμού για την αντίστοιχη χρονική περίοδο Δt . Οι μελέτες πραγματοποιούνται με βάση τις ονομαστικές κλάσεις, ενώ συμπληρωματικοί

υπολογισμοί πρέπει να γίνονται ώστε να οριστεί η ελάχιστη απαιτούμενη φωτεινή ροή από τα φωτιστικά σώματα σε κάθε κλάση προσαρμοστικού φωτισμού.

Πίνακας 10.22: Παραδείγματα επιλογής κλάσεων κατά CEN / TR 1301 – 1:2014

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΠΙΛΟΓΕ Σ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ		ΟΔΟΣ Α			ΟΔΟΣ Β	
				Δt 1	Δt 2	Δt 3	Δt 1	Δt 2
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$N \geq 100 \text{ km / h}$		2	2	2		
	Υψηλή	$70 < v < 100 \text{ km / h}$					1	1
	Μέση	$40 < v < 70 \text{ km / h}$						
	Χαμηλή	$V \leq 40 \text{ km / h}$						
Κυκλοφοριακός Φόρτος		Αυτοκινητόδρομοι κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων	Κατευθύνσεις δύο λωρίδων					
	Υψηλός	>65% μέγιστης χωρητικότητας	<45% μέγιστης χωρητικότητας	1				
	Μέσος	35% - 65% μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% μέγιστης χωρητικότητας		0		0	
	Χαμηλός	<35% μέγιστης χωρητικότητας	<15% μέγιστης			-1		-1

			χωρητικότητα					
Σύνθεση χρηστών		<i>Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη μηχανοκίνητων</i>						
		<i>Μεικτή</i>					1	1
		<i>Μόνο μηχανοκίνητα</i>		0	0	0		
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας		<i>Όχι</i>					1	1
		<i>Ναι</i>		0	0	0		
Πυκνότητα κόμβων		Διασταυρώσεις/km	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων /km					
	Υψηλή	>3	<3	1	1	1		
	Μέση	≤3	≥3				0	0
Σταθμευμένα οχήματα		<i>Παρόντα</i>						
		<i>Απόντα</i>		0	0	0	0	0
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός	<i>Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, σταθμοί κλπ</i>		1	1			
	Μέσος	<i>Συνήθεις εγκαταστάσεις</i>				0		
	Χαμηλός						-1	-1
Δυσκολία οδήγησης		<i>Πολύ υψηλή</i>						
		<i>Υψηλή</i>						

		<i>Χαμηλή</i>	0	0	0	0	0
		Άθροισμα βαρών (VWS)	5	4	2	2	1
		Κλάση φωτισμού M (6 – VWS)	M 1	M 2	M 4	M 4	M 5

10.4 ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 2 ασχολείται με τις ποσοτικές και ποιοτικές απαιτήσεις των κλάσεων φωτισμού. Το βασικό ποσοτικό μέγεθος της κλάσης M είναι η λαμπρότητα L του οδοστρώματος από την θέση του παρατηρητή – οδηγού υπολογισμένη σε cd / m². Για τις κλάσεις C και P το βασικό ποσοτικό μέγεθος είναι η ένταση φωτισμού υπολογισμένη σε lx. Στους πίνακες 10.23 – 10.25 ορίζονται οι απαιτήσεις φωτισμού της εκάστοτε κλάσης.

Πίνακας 10.23: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού M κατά ΕΛΟΤ EN 13201 – 2:2016

ΚΛΑΣΗ	Λαμπρότητα οδοστρώματος για στεγνό και βρεγμένο οδόστρωμα				Δείκτης θάμβωσης	Φωτισμός όμορων περιοχών
	Στεγνό			Βρεγμένο	Στεγνό	Στεγνό
	L _{av} (cd / m ²)	U _o	U _i	U _{ow}	f _{TI}	R _{EI}
M1	2.00	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M2	1.50	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M3	1.00	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.30
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.30

Όπου:

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

U_o : ομοιομορφία της λαμπρότητας (ελάχιστη τιμή)

U_i : διαμήκης ομοιομορφία της λαμπρότητας (ελάχιστη τιμή)

U_{ow} : ομοιομορφία της λαμπρότητας υπό βρεγμένο οδόστρωμα (ελάχιστη τιμή)

f_{TI} : δείκτης θάμβωσης (μέγιστη τιμή)

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

Πίνακας 10.24: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού C κατά ΕΛΟΤ EN 13201 – 2:2016

ΚΛΑΣΗ	ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	
	E (lx)	U_o
C0	50.0	0.40
C1	30.0	0.40
C2	20.0	0.40
C3	15.0	0.40
C4	10.0	0.40
C5	7.50	0.40

Όπου:

E: η μέση τιμή της έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα (ελάχιστη τιμή)

U_o : η ομοιομορφία της έντασης φωτισμού (ελάχιστη τιμή)

Πίνακας 10.25: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού P κατά ΕΛΟΤ EN 13201 – 2:2016

ΚΛΑΣΗ	Ένταση φωτισμού		Πρόσθετες απαιτήσεις όταν είναι απαραίτητη η αναγνώριση προσώπων	
	E (lx)	E_{min} (lx)	E_v (lx)	E_{sc} (lx)
P1	15.0	3.00	5.00	5.00
P2	10.0	2.00	3.00	2.00
P3	7.50	1.50	2.50	1.50
P4	5.00	1.00	1.50	1.00
P5	3.00	0.60	1.00	0.60
P6	2.00	0.40	0.60	0.20
P7	Δεν έχει οριστεί			

Όπου:

E: μέση τιμή της έντασης φωτισμού στο οδόστρωμα (ελάχιστη τιμή)

E_v : μέση τιμή της έντασης κατακόρυφου φωτισμού στο οδόστρωμα (ελάχιστη τιμή)

E_{sc} : μέση τιμή της έντασης ημικυκλικού φωτισμού στο οδόστρωμα (ελάχιστη τιμή)

E_{min} : ελάχιστη τιμή της έντασης φωτισμού.

Για τη διασφάλιση της ομοιομορφίας στις κλάσεις P η τιμή της μέσης έντασης φωτισμού που υπολογίζεται ή μετρείται σε κάθε περίπτωση, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά 1.5 φορά από την ονομαστική. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο μελετητής πρέπει να συμβουλευτεί το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 2.

10.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΣΙΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΟΥΠΑΝΣΗΣ

Για να περιοριστεί ο παράσιτος φωτισμός και η φωτορύπανση στις γειτονικές περιοχές τα φωτιστικά σώματα θα πρέπει να έχουν μηδενική φωτεινή εκπομπή στο άνω νοητό ημισφαίριο ($ULOR = 0$). $ULOR$ – Upward Light Output Ratio είναι το ποσοστό της συνολικής φωτεινής ροής των φωτεινών πηγών του φωτιστικού που κατευθύνεται στο άνω νοητό ημισφαίριο. Αν, όμως, κατά το σχεδιασμό είναι απαραίτητη η κλίση του φωτιστικού σώματος, η μέγιστη κλίση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τις 10 μοίρες σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.

Η θερμοκρασία χρώματος (CCT) η οποία προτείνεται είναι 3000 K και δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνά τους 4000 K για τον περιορισμό των επιπτώσεων στα έμβια όντα.

10.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Ο συντελεστής συντήρησης (Maintenance Factor – MF) είναι ο λόγος της λαμπρότητας ή της έντασης φωτισμού που επιτυγχάνεται από ένα σύστημα φωτισμού μετά από ένα σαφώς ορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας, προς τη λαμπρότητα ή την ένταση φωτισμού αντίστοιχα, που επιτυγχάνεται από το σύστημα κατά την πρώτη μέρα λειτουργίας. Επηρεάζει άμεσα τα υπολογιζόμενα μεγέθη, την εγκατεστημένη ισχύ και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, γι' αυτό θα πρέπει να υπολογίζεται πάντα. Ο ορισμός και η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του συντελεστή ορίζονται από την οδηγία CIE – 154:2003 και ορίζεται ως εξής:

MF = E_m / E_{in} , όπου:

E_m : η λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού μετά από ένα σαφώς ορισμένο διάστημα λειτουργίας (maintained)

E_{in} : η λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού την πρώτη μέρα λειτουργίας (initial).

Ο συντελεστής συντήρησης είναι διαφορετικός για τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα όπως φαίνεται και στον παραπάνω τύπο.

Υπάρχει, όμως, και μία νεότερη έκδοση της οδηγίας CIE 154:2003 και σύμφωνα με αυτή ο συντελεστής συντήρησης υπολογίζεται ως εξής:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times SMF$$

Όπου:

LLMF – Lamp Lumen Maintenance Factor – Συντελεστής Συντήρησης Φωτεινής Ροής Φωτεινών Πηγών: Αφορά στη μείωση της φωτεινής ροής των πηγών φωτισμού με την πάροδο των ωρών λειτουργίας. Υπολογίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε πηγής φωτισμού. Για τις πηγές LED ο συντελεστής υπολογίζεται από τα στοιχεία του κατασκευαστή της πηγής σύμφωνα με τα πρότυπα IES – LM – 80 και IES – TM – 21.

LSF – Lamp Survival Factor – Συντελεστής Επιβίωσης Φωτεινών Πηγών: Αφορά στο δείκτη αστοχίας των φωτεινών πηγών και τα στοιχεία δίνονται από τον κατασκευαστή των πηγών.

LMF – Luminaire Maintenance Factor – Συντελεστής Συντήρησης Φωτιστικού Σώματος: Αφορά στη μείωση της απόδοσης του φωτιστικού σώματος, σε ότι έχει να κάνει με τα οπτικά μέρη (ανακλαστήρας, φακοί κλπ) και υπολογίζεται σε συνδυασμό με το δείκτη προστασίας IP του φωτιστικού σώματος και δίνεται στους αντίστοιχους πίνακες της τεχνικής έκθεσης CIE 154:2003.

SMF – Surface Maintenance Factor – Συντελεστής Συντήρησης Επιφανειών: Αφορά στη μείωση των ανακλαστικών ιδιοτήτων των επιφανειών της εγκατάστασης με την πάροδο του χρόνου, σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους, που περιλαμβάνουν επιφάνειες όπως σήραγγες, υπόγειες διαβάσεις κλπ. Στις μελέτες οδοφωτισμού ο συγκεκριμένος συντελεστής λαμβάνεται ίσος με 1.

11. ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

11.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Μετά την κατάταξη των οδών σε κλάσεις φωτισμού, ο μελετητής πρέπει να εκπονήσει φωτοτεχνικούς υπολογισμούς βάσει του προτύπου ΕΛΟΤ EN 13201 – 3.

Για τις οδούς της κλάσης M πρέπει να υπολογιστούν τα: L_{av} (cd / m²), U_o , U_l , U_{ow} , f_{TI} , R_{EI} .

Για τις οδούς της κλάσης C πρέπει να υπολογιστούν τα: E (lx), U_o .

Για τις οδούς της κλάσης P πρέπει να υπολογιστούν τα E (lx), E_{min} (lx), και προαιρετικά τα: E_v (lx), E_{sc} (lx).

Ο μελετητής πρέπει επίσης να εισάγει στην μελέτη του τις εξής παραμέτρους:

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού όπως:
 - Πλάτος οδού
 - Αριθμός πεζοδρομίων
 - Πλάτος πεζοδρομίων
 - Πλάτος νησίδας ή νησίδων
 - Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας
 - Τύπος ασφάλτου οδοστρώματος
 - Συντελεστής συντήρησης της εγκατάστασης

- Χαρακτηριστικά διάταξης οδοφωτισμού
 - Ύψος των ιστών
 - Διάταξη των ιστών στις πλευρές της οδού
 - Απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ιστών
 - Απόσταση των ιστών από το ρείθρο
 - Μήκος του βραχίονα
 - Κλίση του βραχίονα / φωτιστικού ως προς την επιφάνεια του οδοστρώματος

Για να πετύχει ο μελετητής το βέλτιστο φωτοτεχνικό αποτέλεσμα στην μελέτη νέων εγκαταστάσεων, πρέπει να εξετάσει όλες τις εναλλακτικές επιλογές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης αλλά και τον εναλλακτικό εξοπλισμό.

Για την αναβάθμιση υφιστάμενων εγκαταστάσεων οδοφωτισμού με πλήθος οδών και ιστών, ο μελετητής μπορεί να ομαδοποιήσει τις οδούς με βάση τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Στους πίνακες 11.1 και 11.2 φαίνεται μια ενδεικτική ομαδοποίηση. Η ομαδοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδών θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε οι οδοί που ανήκουν στην ίδια ομάδα να καλύπτονται από μία φωτομετρική λύση. Αν είναι απαραίτητο η ομαδοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και για τον σχεδιασμό νέων εγκαταστάσεων.

Για παράδειγμα μία οδός πλάτους 6.7 μέτρων μονής κατεύθυνσης, με αμφίπλευρη τοποθέτηση ιστών ύψους 7 μέτρων και απόσταση ιστών 30 μέτρων μπορεί να ομαδοποιηθεί έτσι: 1.4 – 2.1 – 3.2 – 4.2 – 5.4.

Αν υπολογιστούν και οι κλάσεις προσαρμοστικού φωτισμού ο μελετητής πρέπει να υπολογίσει την απαιτούμενη φωτεινή ροή και την ισχύ του φωτιστικού, για την εκάστοτε κλάση, ώστε να επιτευχθούν μειωμένα επίπεδα φωτισμού.

Σύμφωνα με την υπουργική απόφαση με αριθμό Δ13/β/οικ. 16522/30 – 11 – 2004 όπως δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1792/Β/3 – 12 – 2004, στις μελέτες οδοφωτισμού δεν θα πρέπει να υπάρχει απόκλιση της μέσης λαμπρότητας (cd / m^2) σε οδούς ή του μέσου φωτισμού (lx) σε κόμβους, για όλα τα φωτιζόμενα μέρη, μεγαλύτερη από +10%. Γι' αυτό ο μελετητής πρέπει να εκτελεί τις μελέτες οδοφωτισμού έτσι ώστε τα αποτελέσματα της εκάστοτε κλάσης φωτισμού, να μην υπερβαίνουν το 10% των απαιτούμενων ελαχίστων, αφού έχει υπολογίσει τον συντελεστή συντήρησης.

Σήμερα πλέον διατίθενται λογισμικά που βοηθούν στην πραγματοποίηση φωτοτεχνικών υπολογισμών σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα. Οι εκάστοτε αναθεωρήσεις των ευρωπαϊκών και διεθνών προτύπων εννοείται πως ενσωματώνονται στα διάφορα λογισμικά και αυτά μπορούν να δεχθούν φωτομετρικά στοιχεία των περισσότερων βιομηχανικών φωτιστικών της παγκόσμιας αγοράς με μορφές αρχείων .ldt (EULUMDAT), .ies (Illuminating Engineering Society). Τέτοια προγράμματα είναι το Relux Desktop, το Dialux και το Litestar. Η παρούσα εργασία στηρίχθηκε στις μετρήσεις του Dialux.

Πίνακας 11.1: Παράδειγμα τυπικής ομαδοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών

A/A	ΠΛΑΤΟΣ ΟΔΟΥ (m)	A/A	ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	A/A	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΙΣΤΩΝ
1.1	Ως 5.5	2.1	1	3.1	Μονόπλευρη
1.2	5.5 – 6	2.2	2	3.2	Αμφίπλευρη
1.3	6.01 – 6.5			3.3	Αξονική
1.4	6.51 – 7			3.4	Χιαστί
1.5	7.01 – 8			3.5	Επί νησίδας
1.6	8.01 – 9				
1.7	9.01 – 11				
1.8	11.01 – 13				
1.9				

Πίνακας 11.2: Παράδειγμα τυπικής ομαδοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών

A/A	ΥΨΟΣ ΙΣΤΩΝ (m)	A/A	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΙΣΤΩΝ (m)
4.1	4, 5	5.1	15
4.2	6, 7	5.2	20
4.3	8, 9	5.3	25
4.4	10, 11	5.4	30
4.5	5.5	40
		5.6	50
		5.7

11.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 5 ορίζει τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης μιας εγκατάστασης οδοφωτισμού, οι οποίοι δείχνουν πόσο αποδοτική είναι η εγκατάσταση, στηριζόμενοι στην ισχύ του συστήματος αλλά και στη συνολική επιφάνεια της περιοχής που φωτίζεται. Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται είτε για το σχεδιασμό μιας νέας εγκατάστασης, είτε για τη βελτίωση μιας ήδη υπάρχουσας εγκατάστασης, είτε για λόγους σύγκρισης μιας υπάρχουσας με μια νέα προτεινόμενη εγκατάσταση. Σε διαγνωστικές διαδικασίες οδοφωτισμού οι δείκτες αυτοί αποτελούν κριτήριο αξιολόγησης. Αναλυτικά οι δύο δείκτες και ο υπολογισμός τους σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 5:

◆ *Δείκτης Ποιότητας Ισχύος (Power Density Indicator)*

$$Dp = \frac{p}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \cdot \frac{W}{lx \cdot m^2}, \text{ όπου}$$

Dp : Δείκτης πυκνότητας ισχύος

p : Η συνολική ισχύς των φωτιστικών της υπό εξέταση περιοχής

E_i : Μέση ένταση οριζόντιου φωτισμού της υποπεριοχής i

A_i : Εμβαδόν της υποπεριοχής i που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού

n : Αριθμός των φωτιζόμενων υποπεριοχών

Ο συγκεκριμένος δείκτης δείχνει την επίδοση του συστήματος φωτισμού σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος, δίνοντας το ποσό της απαιτούμενης ισχύος που απορροφάται για το σκοπό του οδοφωτισμού.

Για τις κλάσεις φωτισμού που υπολογίζονται χάρη στο μέγεθος της έντασης φωτισμού (lx) το E_i υπολογίζεται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 13201 – 3. Ενώ, για τις κλάσεις φωτισμού που υπολογίζονται χάρη στην μέση τιμή της έντασης φωτισμού (cd / m^2) το E_i υπολογίζεται ως η μέση τιμή της έντασης φωτισμού, υπολογιζόμενη στα ίδια σημεία που πραγματοποιείται και ο αντίστοιχος υπολογισμός της λαμπρότητας σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 13201 – 3.

♦ *Ετήσιος Δείκτης Ενεργειακής Κατανάλωσης (Annual Energy Consumption Indicator)*

$$De = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \cdot \frac{Wh}{m^2}, \text{ όπου:}$$

De: Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης

P_j: Συνολική ισχύς των φωτιστικών που καλύπτουν την υπό εξέταση περιοχή, το χρονικό διάστημα λειτουργίας j

t_j: Διάρκεια της περιόδου λειτουργίας j

A: Το εμβαδόν της περιοχής που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού

m: Αριθμός διαφορετικών περιόδων λειτουργίας

Ο δείκτης De δίνει την επίδοση του συστήματος φωτισμού κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου διαστήματος στην επιλεγμένη περιοχή. Έτσι, βρίσκεται το ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας που απαιτείται για τον οδοφωτισμό. Περισσότερες πληροφορίες και στοιχεία στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 5.

Παρακάτω ένα παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών για οδούς με κλάση M και τα εξής χαρακτηριστικά: πλάτος οδού 7 m, δύο λωρίδες κυκλοφορίας, πλάτος πεζοδρομίων 2 m, τύπος ασφάλτου R3, ύψος ανάρτησης 5 -12 m, απόσταση ιστών 20 – 60 m, κλίση φωτιστικού 0°, απόσταση ιστού από το ρείθρο 0 – 2 m, 4.000 ετήσιες ώρες λειτουργίας, μονόπλευρη διάταξη ιστών.

Τα αποτελέσματα στους πίνακες 11.3 και 11.4 είναι ενδεικτικά και σε καμία περίπτωση δεν αντικατοπτρίζουν την μελλοντική εξέλιξη των πηγών φωτισμού και των αποδόσεων των φωτιστικών σωμάτων. Τα στοιχεία είναι από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 5:2015, με δεδομένα φωτιστικών του έτους 2014.

Πίνακας 11.3: Ενδεικτικοί υπολογισμοί του D_p για οδούς κλάσης M

ΚΛΑΣΗ	Τύπος φωτεινής πηγής φωτιστικού σώματος		
	Υδραργύρου	Μεταλλικών αλογονιδίων	LED
	mW · lux ⁻¹ · m ²		
M1	-	45	25 – 32
M2	100	50	24 – 27
M3	84	47	23 – 25
M4	90	60	23
M5	86	30	24
M6	85	37	20 - 27

Πίνακας 11.4: Ενδεικτικοί υπολογισμοί του D_e για οδούς κλάσης M

ΚΛΑΣΗ	Τύπος φωτεινής πηγής φωτιστικού σώματος		
	Υδραργύρου	Μεταλλικών αλογονιδίων	LED
	kWh · m ⁻² για 4000 h λειτουργίας		
M1	-	5.0	3.0 – 3.8
M2	10.8	4.6	2.4
M3	6.0	3.6	1.5
M4	5.0	3.1	1.1
M5	3.2	0.9	0.8
M6	1.9	0.6	0.4 – 0.5

Όσο πιο χαμηλές είναι οι τιμές των δεικτών τόσο πιο αποδοτική ενεργειακά είναι η εγκατάσταση οδοφωτισμού. Οι τιμές στους πίνακες 11.3 και 11.4 ,όπως φαίνεται, μειώνονται όσο βελτιώνεται η απόδοση των φωτιστικών και βελτιστοποιείται η κατανομή της φωτεινής εκπομπής τους για την εκάστοτε γεωμετρία της εγκατάστασης. Μπορούν να υπολογιστούν αντίστοιχοι πίνακες και για τις υπόλοιπες κλάσεις φωτισμού και γεωμετρίες οδών.

12. ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Τα κύρια κόστη τα οποία πρέπει να εξεταστούν σε μια τεχνοοικονομική ανάλυση είναι το κόστος της αρχικής επένδυσης, το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας και το κόστος των ανταλλακτικών και των εργασιών συντήρησης. Στην ενότητα αυτή αναλύεται το καθένα ξεχωριστά, ενώ για την ανάλυση τους διακρίνονται δύο περιπτώσεις.

Η πρώτη είναι ένα ήδη υπάρχον τμήμα δικτύου φωτισμού το οποίο χρήζει αναβάθμισης ώστε να μειωθεί το λειτουργικό κόστος μέσω της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιολόγηση σε αυτήν την περίπτωση δείχνει το σενάριο με το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση.

Η δεύτερη είναι η δημιουργία ενός νέου τμήματος δικτύου φωτισμού είτε αυτόνομα είτε σαν επέκταση του ήδη υπάρχοντος τμήματος. Αναλύει την κάλυψη αναγκών, που μέχρι τώρα δεν υπήρχαν, άρα δεν πρόκειται για μείωση του λειτουργικού κόστους, αλλά για το μικρότερο συνολικό κόστος.

12.1 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Στον πίνακα 12.1 παρουσιάζεται το κόστος επένδυσης και πώς αυτό μπορεί να αναλυθεί.

Πίνακας 12.1: Ανάλυση κόστους επένδυσης

ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΝΕΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μελέτη / αποτύπωση υφιστάμενου δικτύου ▪ Μελέτη και προδιαγραφή νέου συστήματος με σκοπό την βελτίωση και συμμόρφωση στα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μελέτη και προδιαγραφή του νέου συστήματος οδο φωτισμού με χαρακτηριστικά τη βέλτιστη απόδοση και τη συμμόρφωση στα ευρωπαϊκά πρότυπα
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Λαμπτήρες ▪ Φωτιστικά ▪ Ιστοί / βραχίονες ▪ Συστήματα διαχείρισης και ελέγχου 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Λαμπτήρες ▪ Φωτιστικά ▪ Ιστοί / βραχίονες ▪ Συστήματα διαχείρισης και ελέγχου ▪ Καλωδιώσεις ▪ Πίνακες τροφοδοσίας
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Εργασίες εγκατάστασης ▪ Εργασίες απεγκατάστασης (ανθρώπινο δυναμικό, γερανός) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Εργασίες εγκατάστασης (ανθρώπινο δυναμικό, γερανός, μηχανήματα εκσκαφής)

12.2 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{\text{ετήσια}} = \sum_{k=1}^N (M_k \times E_k) + E_{\text{misc}} \text{ (kWh), όπου:}$$

$$E_k = \sum_{i=1}^{Dk} (P_{k,i} \times \Delta t_{k,i}) \text{ (kWh), όπου:}$$

$E_{\text{ετήσια}}$: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συστήματος οδοφωτισμού

E_k : Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας φωτιστικού τύπου k

N : Σύνολο διαφορετικών τύπων φωτιστικών σωμάτων

k : Τύπος φωτιστικού σώματος

M_k : Σύνολο φωτιστικών τύπου k

D_k : Σύνολο διαφορετικών επιπέδων φωτεινής ροής του φωτιστικού τύπου k

$P_{k,i}$: Απορροφούμενη ισχύς του φωτιστικού σώματος τύπου k (W) στο επίπεδο φωτεινής ροής i

Δt_i : Ετήσιες ώρες λειτουργίας του φωτιστικού τύπου k στο επίπεδο φωτεινής ροής i

E_{misc} : Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας πρόσθετου εξοπλισμού

Το κόστος της ενέργειας υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την $E_{\text{ετήσια}}$ με το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας (€ / kWh). Άρα, το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας υπολογίζεται ως εξής:

$$K_{\text{ετήσιο}}^{\text{ενέργειας}} = E_{\text{ετήσια}} \times \text{Τιμή}_{\text{H.E.}} \text{ (€)}$$

Το κόστος συντήρησης αφορά στα κόστη αντικατάστασης του εξοπλισμού σε περίπτωση βλάβης ή ολοκλήρωσης του χρόνου ζωής του συστήματος αλλά και τις αντίστοιχες εργασίες. Επίσης, μπορεί να περιλαμβάνει κόστη που αφορούν στον καθαρισμό των φωτιστικών ή αλλαγή των ελαστικών παρεμβυσμάτων στεγανότητας και υπολογίζεται ως εξής:

$$K_{\text{ετήσιο}} = K_{\text{ετήσιο}}^{\text{ενέργειας}} + K_{\text{συντήρησης}} \text{ (€)}$$

Αν μελετάται η περίπτωση αντικατάστασης τμήματος δικτύου, τότε πρέπει να υπολογιστεί το ετήσιο λειτουργικό κόστος και για την υφιστάμενη κατάσταση αλλά και για κάθε εναλλακτική. Έπειτα, υπολογίζεται το Ετήσιο Οικονομικό Όφελος – ΕΟΟ, που μπορεί να προκύψει από την κάθε εναλλακτική ως εξής:

$$\text{ΕΟΟ}^{\text{i-εναλλακτική}} = K_{\text{ετήσιο}}^{\text{υφιστάμενη}} - K_{\text{ετήσιο}}^{\text{i-εναλλακτική}} \text{ (€)}.$$

12.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Το βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση των επενδύσεων είναι η ικανότητά τους να παράγουν μελλοντικά έσοδα τέτοια που να καλύπτουν το αρχικό κόστος υλοποίησης της εκπαίδευσης αλλά και τα μελλοντικά κόστη λειτουργίας και συντήρησης.

Στον πίνακα 12.2 παρουσιάζονται 5 κριτήρια, τα 3 από τα οποία λαμβάνουν υπόψη τη χρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος ενώ τα άλλα δύο όχι. Μία μονάδα χρήματος στην παρούσα χρονική στιγμή, αξίζει πιο πολύ από την αξία της μονάδας σε μελλοντική στιγμή. Για να ληφθεί υπόψη η χρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος χρησιμοποιείται το επιτόκιο αναγωγής ή κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου που απεικονίζει την απόδοση την οποία ο επενδυτής θυσιάζει δεσμεύοντας τα κεφάλαιά του στην επένδυση Α αντί για τη Β. Το επιτόκιο αναγωγής μπορεί να ληφθεί είτε ίσο με τον πληθωρισμό, είτε με το επιτόκιο που θα επιφέρει μία διαφορετική επένδυση, είτε με το κόστος κεφαλαίου, δηλαδή το επιτόκιο με το οποίο μπορεί ο επενδυτής να δανειστεί.

Σε περιπτώσεις αντικατάστασης συστήματος φωτισμού, απαιτείται μείωση του κόστους λειτουργίας, άρα το ΕΟΟ πρέπει να είναι θετικός αριθμός. Αν το ΕΟΟ είναι αρνητικός αριθμός, απορρίπτεται η εναλλακτική αυτή. Στην περίπτωση δημιουργίας ενός τμήματος δικτύου, το ετήσιο λειτουργικό κόστος, θα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική i και να γίνεται σύγκριση αυτών των κοστών.

Ο πίνακας 12.2 παρουσιάζει τα κριτήρια, αν αυτά χρησιμοποιούνται και στις δύο περιπτώσεις ή όχι και αν σχετίζονται με την χρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος.

Πίνακας 12.2: Εναλλακτικά κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΧΡΗΣΗΣ		ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΞΙΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΣ
	<i>Αναβάθμιση Υφιστάμενου</i>	<i>Δημιουργία καινούριου</i>	
Περίοδος αποπληρωμής	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Αγνοεί
Απόδοση επένδυσης (ROI)	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Αγνοεί
Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	Δεν αγνοεί
Δείκτης αποδοτικότητας (ΔΑ)	ΝΑΙ	ΟΧΙ	Δεν αγνοεί
Σταθμισμένο κόστος εξοικονόμησης ενέργειας (ΣΚΕΕ)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	Δεν αγνοεί

Στα κριτήρια αυτά δεν λαμβάνεται υπόψη η απομένουσα αξία της υφιστάμενης εγκατάστασης. Αυτό δεν επηρεάζει την λήψη αποφάσεων, καθώς ο τελικός αποδέκτης (Δήμος, Περιφέρεια κλπ) μπορεί να την εκμεταλλευτεί ανεξάρτητα της εναλλακτικής που θα επιλεγεί.

Περίοδος αποπληρωμής (Payback period):

Το κριτήριο αυτό αγνοεί τη μεταβολή στη χρονική αξία του χρήματος. Υπολογίζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται, ώστε η επένδυση να επιστρέψει το κόστος υλοποίησής της. Ορίζεται ως το πηλίκο του κόστους επένδυσης προς το ετήσιο οικονομικό όφελος που

επιφέρει η επένδυση. Είναι ένας άμεσος δείκτης σχετικά με την βιωσιμότητα ή μη μιας επένδυσης και υπολογίζεται ως εξής:

$$ΠΑ^{i-εναλλακτική} = \frac{\text{Κόστος επένδυσης}^{i-εναλλακτική}}{ΕΟΟ^{i-εναλλακτική}}, \text{ σε έτη, όπου:}$$

Κόστος επένδυσης^{i-εναλλακτική} : το κόστος επένδυσης της i – εναλλακτικής

ΕΟΟ^{i-εναλλακτική} : το ετήσιο οικονομικό όφελος

Για να επιλεγεί η οικονομικά βέλτιστη εναλλακτική επένδυση συγκρίνονται οι περίοδοι αποπληρωμής, ενώ απορρίπτονται όσες εναλλακτικές έχουν περίοδο αποπληρωμής μεγαλύτερη από τη διάρκεια ζωής της επένδυσης και τελικά επιλέγεται η εναλλακτική με τη μικρότερη περίοδο αποπληρωμής.

Απόδοση επένδυσης (Return of Investment – ROI)

Το κριτήριο αυτό αγνοεί τη μεταβολή στη χρονική αξία του χρήματος και υπολογίζει το ύψος των κερδών ανά μονάδα επενδυμένου κεφαλαίου. Η απόδοση επί του επενδυμένου κεφαλαίου ορίζεται ως το πηλίκο του συνολικού οικονομικού οφέλους από την υλοποίηση μιας επένδυσης προς το κόστος επένδυσης και είναι ένας άμεσος δείκτης σχετικά με το ύψος του οικονομικού οφέλους που επιτυγχάνεται μέσω μίας επένδυσης. Υπολογίζεται ως εξής:

$$ROI = \frac{ΕΟΟ^{i-εναλλακτική} \times \Delta ΖΕ^{i-εναλλακτική}}{\text{Κόστος επένδυσης}}, \text{ όπου:}''$$

ΕΟΟ^{i-εναλλακτική}: το ετήσιο οικονομικό όφελος

Κόστος επένδυσης: το αρχικό κόστος που χρειάζεται για την υλοποίηση της επένδυσης

ΔΖΕ^{i-εναλλακτική}: η αναμενόμενη διάρκεια ζωής σε έτη

Οι ROI συγκρίνονται ώστε να επιλεγεί η οικονομικά βέλτιστη εναλλακτική επένδυση, και απορρίπτονται όσες εναλλακτικές έχουν ROI μικρότερη από 1 και τελικά επιλέγεται η επένδυση με την μεγαλύτερη ROI.

Καθαρή Παρούσα Αξία – ΚΠΑ (Net Present Value – NPV)

Το κριτήριο αυτό λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή στη χρονική αξία του χρήματος και υπολογίζει την παρούσα αξία των αναμενόμενων ετήσιων οικονομικών οφελών σε σχέση με το κόστος επένδυσης. Ορίζεται ως η διαφορά του κόστους επένδυσης από την παρούσα αξία των αναμενόμενων ετήσιων οικονομικών οφελών της επένδυσης. Είναι η πιο διαδεδομένη και πλήρης μέθοδος αξιολόγησης επενδύσεων και δείχνει την παρούσα αξία μιας επένδυσης σε συνάρτηση με τη μεταβολή της αξίας του χρήματος. Υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{ΚΠΑ} = - \text{Κόστος επένδυσης} + \sum_{\Delta Z E} \frac{K_{\text{ετήσιο}}^{\text{υφιστάμενη}} - K_{\text{ετήσιο}}^{\text{επένδυσης}}}{(1+i)^t}, \text{ σε ευρώ, όπου:}$$

Κόστος επένδυσης: το αρχικό κόστος που χρειάζεται για την υλοποίηση της επένδυσης

$K_{\text{ετήσιο}}^{\text{υφιστάμενη}}$: το υφιστάμενο ετήσιο λειτουργικό κόστος όπως υπολογίστηκε

$K_{\text{ετήσιο}}^{\text{επένδυσης}}$: το ετήσιο λειτουργικό κόστος μετά από την επένδυση όπως υπολογίστηκε

$\Delta Z E$: η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της επένδυσης σε έτη

i : το προεξοφλητικό επιτόκιο (κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου)

t : το κάθε έτος από 1 ως $\Delta Z E$

Στην περίπτωση αντικατάστασης υφιστάμενου δικτύου, για την επιλογή της οικονομικά βέλτιστης εναλλακτικής επένδυσης συγκρίνονται οι ΚΠΑ, απορρίπτονται οι εναλλακτικές με αρνητική ΚΠΑ και επιλέγεται η επένδυση με τη μεγαλύτερη ΚΠΑ.

Αν μελετάται η δημιουργία ενός νέου τμήματος δικτύου ακολουθείται η εξής μεθοδολογία. Υπολογίζεται το συνολικό κόστος κάθε επένδυσης, το οποίο ισούται με την απόλυτη τιμή της ΚΠΑ, παίρνοντας ως δεδομένο ότι $K_{\text{ετήσιο}}^{\text{υφιστάμενη}} = 0$ και στη συνέχεια επιλέγεται η επένδυση με το μικρότερο συνολικό κόστος.

Δείκτης Αποδοτικότητας – ΔΑ (Cost Effectiveness Index – CEI)

Το κριτήριο αυτό δείχνει την απόδοση της επένδυσης ανά μονάδα κεφαλαίου, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή στη χρονική αξία του χρήματος και ορίζεται ως το πηλίκο της τωρινής αξίας των αναμενόμενων ετήσιων οικονομικών οφειλών προς το κόστος επένδυσης. Ο δείκτης αποδοτικότητας είναι ένας άμεσος δείκτης σχετικά με το ύψος του οικονομικού οφέλους που επιτυγχάνεται μέσω μίας επένδυσης, σε παρούσα αξία. Υπολογίζεται ως εξής:

$$\Delta A = \frac{\sum_{t=1}^{\Delta ZE} \frac{E O O}{(1+i)^t}}{\text{Κόστος επένδυσης}}, \text{ όπου}$$

Κόστος επένδυσης: το αρχικό κόστος που χρειάζεται για την υλοποίηση της επένδυσης

ΕΟΟ: το ετήσιο οικονομικό όφελος, όπως το υπολογίστηκε

ΔΖΕ: η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της επένδυσης σε έτη

i: το προεξοφλητικό επιτόκιο (κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου)

t: το κάθε έτος από 1 ως ΔΖΕ

Για να επιλεγεί η βέλτιστη οικονομικά εναλλακτική συγκρίνονται οι ΔΑ, ενώ απορρίπτονται όσες εναλλακτικές έχουν ΔΑ μικρότερο της μονάδας και τέλος επιλέγεται η επένδυση με το μεγαλύτερο ΔΑ.

Σταθμισμένο Κόστος Εξοικονομούμενης Ενέργειας (Levelized Energy Efficiency Cost – LEEC)

Το κριτήριο αυτό υπολογίζει το κόστος που απαιτείται για την εξοικονόμηση μιας μονάδας ενέργειας (kWh) και λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή στη χρονική αξία του χρήματος. Ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος του ετήσιου λειτουργικού κόστους και της μελλοντικής αξίας του κόστους επένδυσης, στη διάρκεια ζωής της, προς την ετήσια εξοικονομούμενη ενέργεια. Το κριτήριο αυτό ανεξαρτητοποιεί την κάθε επένδυση από τη διάρκεια ζωής της, επιτρέποντας την άμεση σύγκριση εναλλακτικών με διαφορετική διάρκεια ζωής, αυτό το στοιχείο κάνει το συγκεκριμένο κριτήριο πολύ σημαντικό. Το ΣΚΕΕ δείχνει το κόστος λειτουργίας και επένδυσης που χρειάζεται να καταβληθεί για να εξοικονομηθεί μια μονάδα ενέργειας, δηλαδή δείχνει άμεσα την «τιμή» της εξοικονομούμενης ενέργειας. Το κριτήριο υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{ΣΚΕΕ} = \frac{\text{Κόστος επένδυσης} \times \frac{i \times (1+i)^{\Delta Z E}}{(1+i)^{\Delta Z E} - 1} + K_{\text{επένδυσης}}^{\text{ετήσιο}}}{E_{\text{ετήσια}}^{\text{υφιστάμενη}} - E_{\text{ετήσια}}^{\text{επένδυσης}}}, \text{ σε ευρώ, όπου:}$$

Κόστος επένδυσης: το αρχικό κόστος που χρειάζεται για την υλοποίηση της επένδυσης

$K_{\text{ετήσιο}}^{\text{υφιστάμενη}}$: το ετήσιο κόστος λειτουργίας, όπως υπολογίστηκε παραπάνω

$E_{\text{ετήσια}}^{\text{υφιστάμενη}}$: η υφιστάμενη ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια, όπως υπολογίστηκε παραπάνω

$E_{\text{ετήσια}}^{\text{επένδυσης}}$: η ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια μετά την επένδυση από τον τύπο, όπως υπολογίστηκε

$\Delta Z E$: η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της επένδυσης σε έτη

i : το προεξοφλητικό επιτόκιο (κόστος ευκαιρίας κεφαλαίου)

Στο συγκεκριμένο κριτήριο επιλέγεται η οικονομικά βέλτιστη εναλλακτική, συγκρίνοντας όλες τις ΣΚΕΕ και απορρίπτοντας όσες από αυτές είναι μεγαλύτερες από την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (€ / kWh), και επιλέγεται η επένδυση με την μικρότερη ΣΚΕΕ. Στην περίπτωση δημιουργίας νέου τμήματος δικτύου, επιλέγεται η βέλτιστη εναλλακτική ως εξής: πρώτα υπολογίζεται το σταθμισμένο κόστος ενέργειας κάθε επένδυσης, το οποίο ισούται με την απόλυτη τιμή του ΣΚΕΕ, δεδομένου ότι $K_{\text{ετήσιο}}^{\text{υφιστάμενη}}=0$ και στη συνέχεια επιλέγεται η επένδυση με το μικρότερο σταθμισμένο κόστος ενέργειας.

12.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει, σε περίπτωση αντικατάστασης υπάρχοντος δικτύου, υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{\text{πρωτ. μορφή}} = [E_{\text{ετήσια}}(\text{kWh}) * 2.9] (\text{kWh})$$

Η εξοικονομούμενη ποσότητα εκπομπών CO₂, σε ένα έτος, υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{CO}_2 = \left[\frac{E_{\text{ετήσια}}(\text{kWh})}{1000} \times 0.989 \left(\frac{\text{tn}}{\text{MWh}} \right) \right], \text{ σε tn.}$$

13. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος ποιότητας των εγκαταστάσεων οδοφωτισμού είναι εξαιρετικά αναγκαίος τόσο για την επιβεβαίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού, όσο και για την διασφάλιση της ποιότητας του παρεχόμενου φωτισμού προς τους χρήστες των δρόμων. Οι προδιαγραφές για τον έλεγχο ποιότητας περιγράφονται αναλυτικά στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 4. Οι περιπτώσεις στις οποίες απαιτούνται μετρήσεις φωτομετρικών μεγεθών σε εγκαταστάσεις οδοφωτισμού:

- *Μετρήσεις προ της παράδοσης της εγκατάστασης (Τύπου 1 – T1)*

Αφορά σε μετρήσεις που πρέπει να εκτελούνται στο τελικό στάδιο της εγκατάστασης και θέσης, σε λειτουργία του συστήματος οδοφωτισμού για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις ισχύουσες προδιαγραφές ή και τον έλεγχο σε σχέση με τα αναμενόμενα αποτελέσματα των μελετών φωτισμού. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την οριστική παραλαβή ενός έργου φωτισμού.

- *Μετρήσεις κατά τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης (Τύπου 2 – T2)*

Αφορά σε μετρήσεις που θα πρέπει να εκτελούνται σε τακτά και προκαθορισμένα διαστήματα λειτουργίας του συστήματος οδοφωτισμού για τον έλεγχο της απομείωσης της εγκατάστασης και του εξοπλισμού. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό του κατάλληλου διαστήματος συντήρησης της εγκατάστασης ή και για τον έλεγχο συμμόρφωσης μίας υπάρχουσας εγκατάστασης με τις ισχύουσες προδιαγραφές.

- *Μετρήσεις προσαρμοστικού φωτισμού (Τύπου 3 – T3)*

Αφορά σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που πρέπει να εκτελούνται για τον έλεγχο και τη ρύθμιση εγκαταστάσεων οδοφωτισμού, που σχεδιάζονται για προσαρμοστικό φωτισμό. Με τη χρήση των μετρήσεων αυτών επιβεβαιώνονται τα εναλλακτικά επίπεδα φωτισμού που επιτυγχάνει το σύστημα οδοφωτισμού καθώς και η συμμόρφωση με τις ισχύουσες προδιαγραφές και τις απαιτήσεις των μελετών σε κάθε επίπεδο λειτουργίας.

▪ *Μετρήσεις για διερεύνηση αποκλίσεων (Τύπου 4 – T4)*

Αφορά σε μετρήσεις που εκτελούνται σε περιπτώσεις διερεύνησης τυχόν αποκλίσεων των επιτευχθέντων επιπέδων φωτισμού σε σχέση με τις μελέτες φωτισμού ή και τις ισχύουσες προδιαγραφές από υπαιτιότητα εξοπλισμού, τρόπου εγκατάστασης, ιδιοτήτων ασφάλτου, περιβαλλοντικών ή άλλων παραγόντων.

Οι μετρήσεις γίνονται από εξειδικευμένα πρόσωπα, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 4. Πάντα πρέπει να τηρούνται τα ατομικά μέτρα προστασίας αλλά και οι οδικές σημάνσεις που προβλέπονται, ώστε το προσωπικό να είναι ασφαλές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα όργανα μέτρησης φωτομετρικών, γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μιας εγκατάστασης οδοφωτισμού, πρέπει να είναι σχεδιασμένα για τη χρήση που προορίζονται, να έχουν πιστοποιητικά διακρίβωσης με ιχνηλασιμότητα και να καλύπτουν το εύρος μέτρησης κάθε μεγέθους που αναμένεται να μετρηθεί στο πεδίο. Οι αναφορές για τις μετρήσεις πρέπει να είναι αναλυτικές και να καταγράφονται οι επιμέρους μετρήσεις, να υπολογίζονται οι δείκτες προστασίας των γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών εγκατάστασης, των καιρικών συνθηκών κλπ.

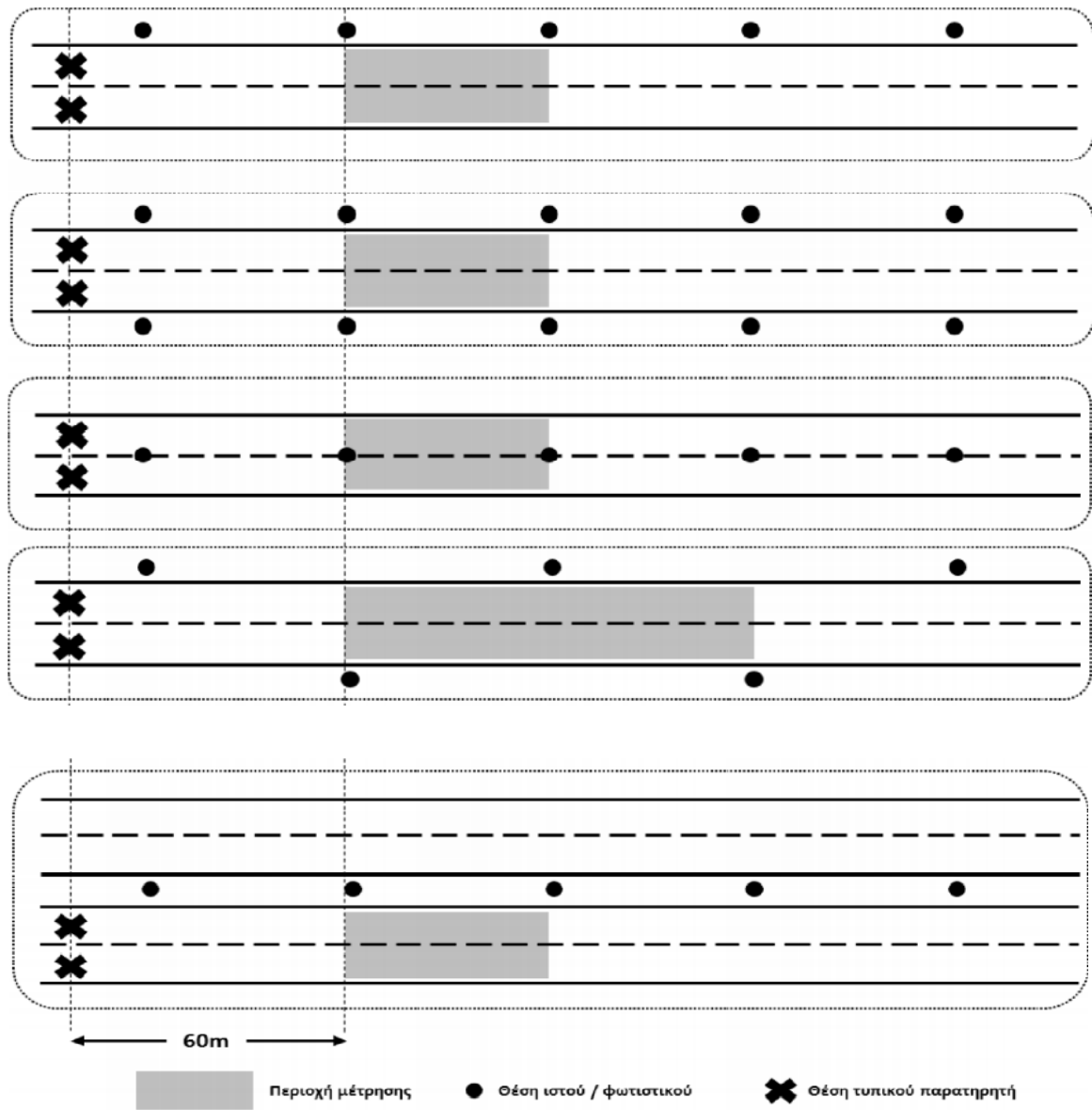
Ο έλεγχος ποιότητας προτείνεται να εκτελείται από ανεξάρτητο, σε σχέση με το έργο, φορέα, εργαστήριο, εταιρία και γίνεται σύμφωνα με το άρθρο 208 του ν. 4412/2016, ώστε να αποδειχθεί ότι τα προϊόντα ανταποκρίνονται στις επιδόσεις ή λειτουργικές απαιτήσεις που ορίζει η διακήρυξη. Οι εκθέσεις δοκιμών (Tests Reports) θα πρέπει να τεκμηριώνουν τη συμμόρφωση στις απαιτήσεις των ευρωπαϊκών οδηγιών, από διαπιστευμένο εργαστήριο, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025 ή τουλάχιστον από εργαστήριο που παρέχει ιχνηλασιμότητα των διακριβωμένων οργάνων και διατάξεων δοκιμών.

Τα φωτομετρικά στοιχεία, θα πρέπει να συνοδεύονται από την αντίστοιχη έκθεση μετρήσεων του φωτομετρικού εργαστηρίου, που έλαβε χώρα η μέτρηση των φωτιστικών. Επιμέρους χαρακτηριστικά τα οποία δεν είναι εμφανή στα επίσημα τεχνικά φυλλάδια των φωτιστικών και απαιτούνται από το φορέα υλοποίησης του έργου, θα πρέπει να γνωστοποιούνται μέσω δηλώσεων του κατασκευαστή. Παράλληλα, για κάθε μελέτη φωτισμού που εκπονείται θα πρέπει να προσκομίζονται πλήρη φωτομετρικά στοιχεία σε ηλεκτρονική μορφή (φωτομετρικά αρχεία .ldt, .ies), κατάλληλη για άμεση εισαγωγή στα λογισμικά φωτοτεχνικών υπολογισμών.

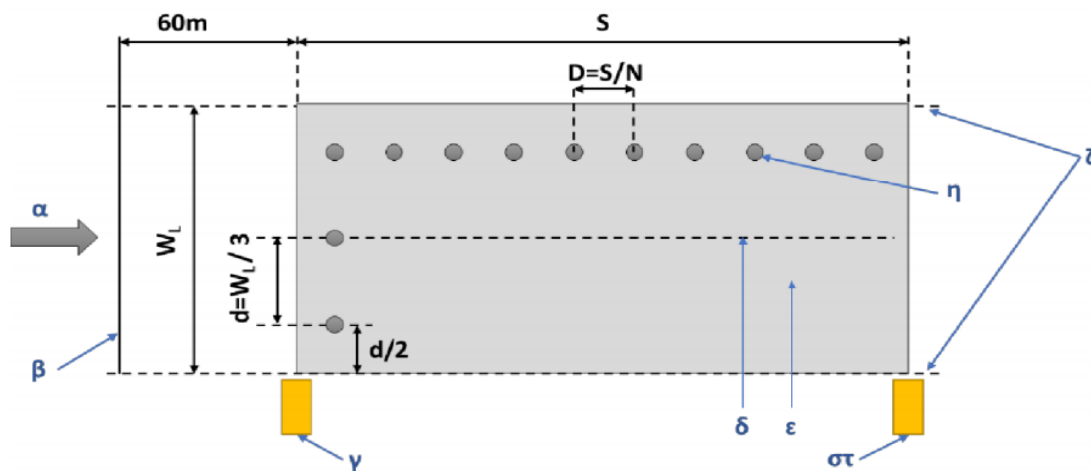
13.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται στην περιοχή του οδοστρώματος που ορίζεται ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς ιστούς στην ίδια πλευρά του οδοστρώματος. Η περιοχή αυτή είναι ίδια με την περιοχή που ορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 3, στην οποία γίνονται οι φωτομετρικοί υπολογισμοί στα πακέτα μελετών οδοφωτισμού. Αν μελετώνται διόδια, χώροι στάθμευσης, κόμβοι κλπ οι περιοχές μέτρησης ορίζονται σύμφωνα με τη μελέτη που πραγματοποιείται και ο ορισμός πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά τα τμήματα της εξεταζόμενης οδού ή της εγκατάστασης γενικότερα. Τα τμήματα πρέπει να επιλέγονται για την κάθε γεωμετρία οδού και εγκατεστημένου εξοπλισμού. Εκατέρωθεν της περιοχής που μετράται πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο ιστοί (πριν και μετά) με τα ίδια φωτιστικά σώματα στην ίδια γεωμετρία εγκατάστασης, όπως στην περιοχή μέτρησης. Στο σχήμα 13.1 απεικονίζονται παραδείγματα περιοχών μέτρησης οδών. Ο ελάχιστος αριθμός περιοχών είναι 3 ανά γεωμετρία εγκατάστασης και τύπο φωτιστικού σώματος. Αν εξετάζονται πολλαπλές οδοί μπορούν να ομαδοποιηθούν, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους.

Σε κάθε περιοχή που εξετάζεται γίνονται μετρήσεις των μεγεθών (λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού), ανάλογα με την κλάση φωτισμού, και υπολογίζονται οι αντίστοιχοι ποιοτικοί και ποσοτικοί δείκτες. Σύμφωνα με τα ΕΛΟΤ EN 13201 – 3 και ΕΛΟΤ EN 13201 – 4, σε κάθε περιοχή ορίζεται ένας κánaβος (πλέγμα) σημείων υπολογισμού και αντίστοιχα μέτρησης των φωτομετρικών μεγεθών. Στο σχήμα 13.2 φαίνεται ένας τυποποιημένος κánaβος, που χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της έντασης φωτισμού και για τη μέτρηση της λαμπρότητας. Ο αριθμός σημείων κατά μήκος είναι ενδεικτικός και υπολογίζεται για κάθε απόσταση μεταξύ φωτιστικών.



Σχήμα 13.1: Τυπικές περιοχές μέτρησης οδοφωτισμού



Σχήμα 13.2: Τυποποιημένος κάναβος μετρήσεων λαμπρότητας ή έντασης φωτισμού

Στο σχήμα 13.2 τα υπάρχοντα μεγέθη ορίζονται ως εξής:

α: Κατεύθυνση παρατηρητή

β: Διαμήκης θέση παρατηρητή

γ: Πρώτο φωτιστικό στην περιοχή μετρήσεων

δ: Κεντρικός άξονας λωρίδας κυκλοφορίας

ε: Περιοχή μετρήσεων

στ: Τελευταίο φωτιστικό στην περιοχή μετρήσεων

ζ: Όρια λωρίδας κυκλοφορίας

η: Σημεία μέτρησης

W_L : Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας

S : Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων

D : Η διαμήκης απόσταση των σημείων μέτρησης ($D = S / N$)

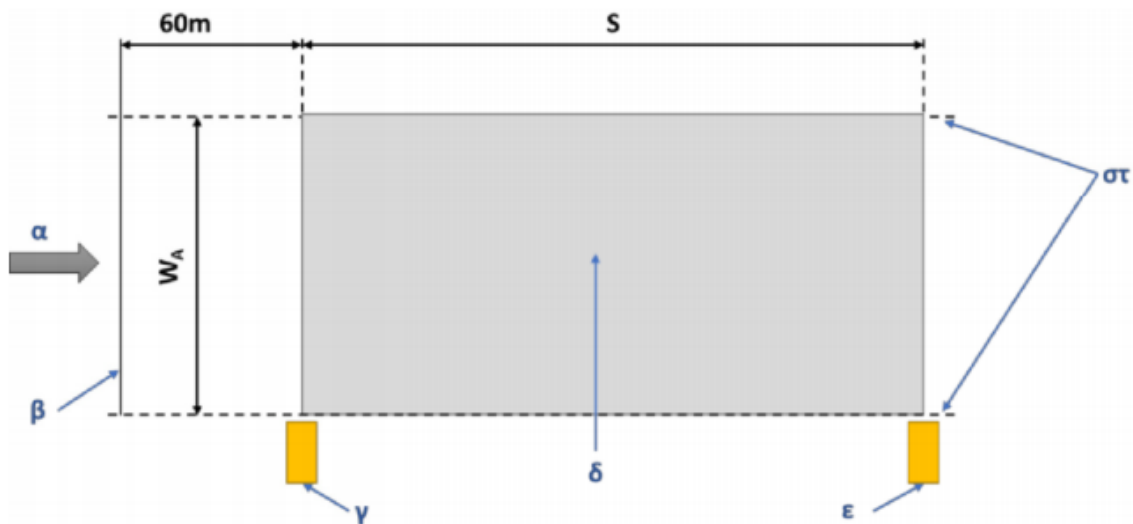
N : Ο απαιτούμενος αριθμός σημείων μέτρησης κατά μήκος της οδού

Για $S < 30$ m, $N = 10$

Για $S > 30$ m, $N =$ με τον ελάχιστο ακέραιο που δίνει $D \leq 3$ m.

Ο κάναβος μετρήσεων του σχήματος 13.2 εφαρμόζεται σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας της υπό μέτρηση οδού.

Αν μετριέται η λαμπρότητα με συσκευή ILMD (Imaging Luminance Measurement Device) η περιοχή μέτρησης μπορεί να μετριέται στο σύνολο των λωρίδων κυκλοφορίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.3.



Σχήμα 13.3: Λήψη του συνόλου της περιοχής μέτρησης για μέτρηση λαμπρότητας με συσκευή ILMD

Τα μεγέθη του σχήματος 13.3 ορίζονται ως εξής:

α: Κατεύθυνση παρατηρητή

β: Διαμήκης θέση παρατηρητή

γ: Πρώτο φωτιστικό στην περιοχή μετρήσεων

δ: Περιοχή μετρήσεων

ε: Τελευταίο φωτιστικό στην περιοχή μετρήσεων

στ: Όρια λωρίδας κυκλοφορίας

W_A: Το πλάτος της περιοχής μέτρησης

S: Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων

13.2 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Τα όργανα μέτρησης φωτομετρικών, γεωμετρικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μίας εγκατάστασης οδοφωτισμού θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα για τη χρήση που προορίζονται, να διαθέτουν τα ανάλογα πιστοποιητικά διακρίβωσης, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας των αντίστοιχων μετρήσεων και να καλύπτουν το εύρος μέτρησης κάθε μετρούμενου μεγέθους που αναμένεται να μετρηθεί στο πεδίο. Στον πίνακα 13.1 αναγράφονται οι ελάχιστες απαιτήσεις των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο εγκαταστάσεων οδοφωτισμού.

13.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΟΔΩΝ ΚΛΑΣΗΣ M

Στις οδούς που έχουν κλάση φωτισμού M το βασικό μέγεθος που υπολογίζεται για την αξιολόγηση του επιπέδου φωτισμού είναι η λαμπρότητα, μετρημένη σε cd/m^2 . Η λαμπρότητα είναι διανυσματικό μέγεθος και η μέτρηση πρέπει να γίνεται από τη θέση του τυπικού παρατηρητή, 60 μέτρα πριν από την έναρξη της περιοχής που μετρείται, όπως φαίνεται στα σχήματα 13.2 και 13.3. Τα όργανα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν τη λαμπρότητα είναι το ειδικό φορητό αναλογικό λαμπρόμετρο, με αυστηρά στενό ορθογώνιο οπτικό πεδίο ή μια συσκευή ILMD, κοινώς κάμερα λαμπρότητας, η οποία προτείνεται συνήθως (σχήματα 13.4 και 13.5).

Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε, τουλάχιστον, τρεις αντιπροσωπευτικούς για την οδό κανάβους (πλάτος οδού, απόσταση και ύψος ιστών, τύπος φωτιστικού κλπ) ή και σε περισσότερους για να γίνεται πληρέστερη αξιολόγηση. Η περιοχή μέτρησης ορίζεται από ένα ζεύγος ιστών εντός μιας ομάδας τουλάχιστον τεσσάρων, ίδιας γεωμετρίας και φωτιστικού σώματος. Αν αυτό είναι αδύνατο θα πρέπει ο μελετητής να το σημειώσει στην αναφορά του. Το οδόστρωμα πρέπει να είναι στεγνό και καθαρό από ξένα σώματα, ενώ αν οι μετρήσεις γίνονται χειμώνα πρέπει να δοθεί προσοχή στην υγρασία που υπάρχει στο οδόστρωμα. Αν η οδός έχει τμήματα ασφάλτου διαφορετικής ποιότητας, χρονολογίας επίστρωσης ή αλλοιώσεις από τη χρήση, πρέπει να επιλεγεί άλλος κάναβος για τις μετρήσεις, αλλιώς πρέπει ο μελετητής να το επισημάνει σαφώς στην αναφορά του. Σε περίπτωση που μελετάται μια νέα εγκατάσταση η κατάσταση της ασφάλτου και η παλαιότητά της πρέπει να σημειώνονται υποχρεωτικά.



Σχήμα 13.4: Συσκευή ILMD και αναλυτική περιγραφή της



Σχήμα 13.5: Συσκευή ILMD, επί τω έργω

Πίνακας 13.1: Ελάχιστες απαιτήσεις οργάνων μέτρησης εγκαταστάσεων οδοφωτισμού

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΠΑΙΤΗΣΗ
Ένταση φωτισμού (φορητό όργανο)	Εύρος μέτρησης	0.1 – 10000 lx ή ευρύτερο
	Ακρίβεια	±3% ±1 ψηφίο
	Επαναληψιμότητα	±1% ±1 ψηφίο
	Ακρίβεια φίλτρου V(λ)	f 1' < 6%
	Διόρθωση συνημίτονου	f 2 < 3%
	Φασματική διόρθωση	ΝΑΙ
Λαμπρότητα (φορητό αναλογικό όργανο)	Εύρος μέτρησης	0.01 – 10000 cd/m ² ή ευρύτερο
	Οπτικό πεδίο	2' της μοίρας κατά μήκος 20' της μοίρας πλάτος
	Ακρίβεια φίλτρου V(λ)	f 1' < 6%
	Φασματική διόρθωση	ΝΑΙ
	Ακρίβεια	±3% ±1 ψηφίο
	Επαναληψιμότητα	±1% ±1 ψηφίο
Λαμπρότητα (συσκευή IMLD)	Εύρος μέτρησης	0.001 – 10000 cd/m ² ή ευρύτερο
	Ανάλυση εικόνας	640×480 pixel ή μεγαλύτερη
	Οπτικό πεδίο	>20° οριζόντια >10° κατακόρυφα

	Ακρίβεια φίλτρου V(λ)	$f 1' < 6\%$
	Φασματική διόρθωση	ΝΑΙ
	Ακρίβεια	$\pm 3\% \pm 1$ ψηφίο
	Διόρθωση σκίασης φακού	ΝΑΙ
	Διόρθωση θορύβου	ΝΑΙ
Φάσμα / θερμ. χρώματος (φορητό φασματόμετρο ή χρωματόμετρο)	Εύρος φασματικής απόκρισης οργάνου	380 – 780 nm ή ευρύτερο
	Ανάλυση μέτρησης (φασματόμετρο)	1 nm ή μικρότερη
	Υπολογισμός θερμοκρασίας χρώματος (T)	ΝΑΙ
	Υπολογισμός Ra	Επιθυμητός
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (φορητός αναλυτής ισχύος)	Μέτρηση τάσης (V)	ΝΑΙ
	Μέτρηση ρεύματος (I)	ΝΑΙ
	Μέτρηση ισχύος (VA, W, Var)	ΝΑΙ
	Μέτρηση συντελεστή ισχύος (λ)	ΝΑΙ
	Μέτρηση αρμονικής παραμόρφωσης (THD)	ΝΑΙ
Μέτρηση αποστάσεων (αποστασιόμετρο ή μετροταινία)	Εύρος μέτρησης	0 – 100 m ή ευρύτερο
	Ακρίβεια αποστασιομέτρου	$\pm 3\% \pm 1$ ψηφίο
	Ακρίβεια μετροταινίας	0.1 ή καλύτερη

Περιβαλλοντικά μεγέθη (φορητό θερμόμετρο)	Μέτρηση θερμοκρασίας	ΝΑΙ
	Μέτρηση σχετικής υγρασίας	ΝΑΙ
	Αποθήκευση χρονοσειράς μετρήσεων	ΝΑΙ

Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται αφού η εγκατάσταση έχει λειτουργήσει για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, ώστε να σταθεροποιηθεί η φωτεινή ροή των φωτιστικών, μεγαλύτερο ή ίσο της 1 ώρας. Για να επιβεβαιωθεί ότι έχουν σταθεροποιηθεί τα φωτιστικά επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις στην ίδια περιοχή ανά τακτά χρονικά διαστήματα, περίπου 10 λεπτών. Το όργανο μέτρησης πρέπει να βρίσκεται στη θέση του τυπικού παρατηρητή κάθε λωρίδας, 60 m πριν την έναρξη της περιοχής μέτρησης, σε ύψος 1.5 m από το οδόστρωμα και με φορά την κατεύθυνση κίνησης. Οι συσκευές ILMD συνήθως έχουν ευρύτερο οπτικό πεδίο από την περιοχή μέτρησης και ο κατασκευαστής της συσκευής πρέπει να παρέχει ειδικό λογισμικό για την οριοθέτηση της περιοχής μέτρησης στο οδόστρωμα. Η τελική περιοχή που μετριέται πρέπει να παρουσιάζεται στην αναφορά των μετρήσεων.

Για τον υπολογισμό της μέσης λαμπρότητας και των ποιοτικών δεικτών το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 4 ορίζει δυο μεθοδολογίες. Η πρώτη έχει να κάνει με την εξαγωγή των σημείων του κανάβου μέτρησης του σχήματος 13.2 και η δεύτερη έχει να κάνει με τη χρήση ολόκληρης της περιοχής μέτρησης του σχήματος 13.3. Σε κάθε περίπτωση οι διαγραμμίσεις της οδού δεν πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη στους υπολογισμούς, ενώ η αναλυτική μεθολογία επεξεργασίας των εικόνων λαμπρότητας αναφέρεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201 – 4. Ο χειριστής της συσκευής ILMD πρέπει να προσέχει κατά τον χειρισμό ώστε να αποφεύγονται ανακλάσεις και είδωλα φωτεινών πηγών στο φακό αισθητήρα, να ρυθμίζει τη συσκευή στο κατάλληλο εύρος μέτρησης και να εκτελεί τις απαραίτητες προεργασίες για την απάλειψη του θορύβου του αισθητήρα.

Αν χρησιμοποιείται φορητό αναλογικό λαμπρόμετρο οι μετρήσεις γίνονται από τη θέση του τυπικού παρατηρητή της εκάστοτε λωρίδας σε κάθε σημείο του τυπικού κανάβου και από αυτές υπολογίζονται τα επιθυμητά μεγέθη. Ο χειριστής θα πρέπει να προσέχει να εντοπίζει τα σωστά σημεία του κανάβου στο οδόστρωμα και να στοχεύει το κάθε σημείο από τα 60

μέτρα. Η μέθοδος αυτή συνήθως δεν προτείνεται γιατί εισάγει μεγάλο αριθμών πηγών αβεβαιότητας στις μετρήσεις.

13.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΟΔΩΝ ΚΛΑΣΗΣ C ΚΑΙ P

Στις οδούς με κλάσεις φωτισμού C και P το βασικό μέγεθος υπολογισμού και αξιολόγησης του επιπέδου φωτισμού είναι η ένταση φωτισμού μετρημένη σε lx. Η μέτρηση πρέπει να γίνεται σε κάθε σημείο / θέση του τυπικού κανάβου, ενώ τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι τα φορητά όργανα μέτρησης έντασης φωτισμού, τα γνωστά λουξόμετρα ή φωτόμετρα. Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε τουλάχιστον τρεις κανάβους που να είναι αντιπροσωπευτικοί για την οδό (πλάτος οδού, απόσταση και ύψος ιστών, τύπος φωτιστικού κλπ), αλλά το καλύτερο είναι οι μετρήσεις να γίνονται σε περισσότερους κανάβους.

Το όργανο μέτρησης ή ο αποσπώμενος αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται σε κάθε σημείο του κανάβου που μετράται σε οριζόντια θέση με το αισθητήριο προς τα πάνω και η τιμή να καταγραφεί, αφού έχει σταθεροποιηθεί η ένδειξη του οργάνου. Η κατάσταση στο οδόστρωμα δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα των μετρήσεων. Αν οι μετρήσεις γίνονται σε οδό που είναι υπό κατασκευή ακόμα και δεν έχει ολοκληρωθεί η ασφαλτόστρωση τότε ο αισθητήρας θα πρέπει να τοποθετηθεί στο τελικό ύψος της ασφάλτου, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη βάση. Ο χειριστής θα πρέπει να προσέχει ιδιαίτερα να μην υπάρχει σκίαση στον αισθητήρα από τον ίδιο ή άλλο άνθρωπο ή ακόμα και από οχήματα. Τέλος, πρέπει να δοθεί προσοχή στην σωστή επιλογή κλίμακας μέτρησης του οργάνου, καθώς δεν διαθέτει αυτόματη εναλλαγή κλίμακας.

13.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Σε κάθε μέτρηση πεδίου πρέπει οπωσδήποτε να καταγραφούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των περιοχών μέτρησης, που επηρεάζουν το αποτέλεσμα του φωτισμού και είναι, τουλάχιστον, τα εξής:

- i. Πλάτος οδού
- ii. Πλάτος κάθε λωρίδας κυκλοφορίας και λωρίδας έκτακτης ανάγκης
- iii. Απόσταση ιστών στην περιοχή μέτρησης και εκατέρωθεν αυτής

- iv. Ύψος κάθε φωτιστικού στην περιοχή μέτρησης και εκατέρωθεν αυτής
- v. Απόσταση κάθε φωτιστικού από την αρχή της πλησιέστερης λωρίδας
- vi. Κλίση φωτιστικού σώματος σε σχέση με το οδόστρωμα
- vii. Τύπος κάθε φωτιστικού σώματος

Αν υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν ηλεκτρικές μετρήσεις, αυτές θα πρέπει να εκτελούνται σε κάθε φωτιστικό σώμα χωριστά ή σε σαφώς ορισμένο αριθμό όμοιων φωτιστικών σωμάτων συνολικά στον πίνακα παροχής της εγκατάστασης. Τέλος, η μεταβολή στη θερμοκρασία ή στη σχετική υγρασία πρέπει να καταγράφεται διαρκώς όσο κρατούν οι μετρήσεις.

13.6 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΚΘΕΣΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η έκθεση για τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται στις εγκαταστάσεις οδοφωτισμού, σε περίπτωση που ζητηθούν οι υπηρεσίες από ένα εργαστήριο που δεν είναι διαπιστευμένο σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO / IEC 17025, πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

- i. Γενική περιγραφή του σκοπού των μετρήσεων
- ii. Περιγραφή του πεδίου ή πεδίων μετρήσεων
- iii. Στοιχεία και ιδιότητα των εκτελούντων τις μετρήσεις
- iv. Κατάλογο των οργάνων (τύπος, μοντέλο, ημερομηνία τελευταίας διακρίβωσης και ιχνηλασιμότητα διακρίβωσης)
- v. Κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων
- vi. Περιγραφή της μεθοδολογίας μετρήσεων
- vii. Αναφορά στα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των μετρήσεων
- viii. Αποτελέσματα των μετρήσεων
- ix. Αξιολόγηση των μετρήσεων και σύγκριση με τις εκάστοτε απαιτήσεις ή μελέτες
- x. Παραρτήματα με αναλυτικές μετρήσεις ανά πεδίο και εικόνες λαμπρότητας εφόσον έχουν ληφθεί.

Η αναφορά πρέπει να έχει μοναδικό κωδικό σε κάθε σελίδα και να διατηρείται σε δύο αντίγραφα τουλάχιστον, ένα του φορέα που εκτελεί τις μετρήσεις και ένα του αναδόχου των μετρήσεων.

14. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος των φωτιστικών σωμάτων οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που θα χρειαζόταν ώστε να λειτουργούν τα φωτιστικά σώματα με μέγιστη ισχύ, όλη τη νύχτα. Η ρύθμιση της φωτεινής ροής γίνεται όταν οι συνθήκες, λειτουργικές ή και περιβάλλοντος, το επιτρέπουν.

Ο έλεγχος των εγκαταστάσεων οδοφωτισμού γίνεται συνήθως με δύο τρόπος. Ο πρώτος τρόπος είναι ένας τοπικός έλεγχος με κυκλώματα και αυτοματισμούς, που ελέγχουν ένα ή περισσότερα φωτιστικά. Ο δεύτερος τρόπος είναι ο απομακρυσμένος κεντρικός έλεγχος, που καλύπτει περισσότερα φωτιστικά και πιο μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Ο τοπικός έλεγχος συνήθως χρειάζεται μικρότερο αριθμό συστημάτων ελέγχου, μικρότερη πολυπλοκότητα και κόστος, αλλά παρέχει λιγότερες δυνατότητες και ελευθερίες σε σχέση με τον απομακρυσμένο έλεγχο.

Στην περίπτωση επιλογής κλάσεων προσαρμοστικού φωτισμού, ο μελετητής πρέπει να διαστασιολογήσει και να προδιαγράψει το σύστημα ελέγχου που διαθέτει την κατάλληλη λειτουργικότητα για την περίπτωση. Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος ελέγχου αλλά και η μείωση κατανάλωσης ενέργειας που υπολογίστηκε πρέπει να συνυπολογίζονται στους τεchnοοικονομικούς υπολογισμούς.

14.1 ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα συστήματα ελέγχου εγκαταστάσεων οδοφωτισμού πρέπει σίγουρα να διαθέτουν την κατάλληλη τεχνολογία ώστε να επιτρέπεται η διαλειτουργικότητα με άλλα συστήματα ελέγχου. Η διαλειτουργικότητα αφορά στις εξής παραμέτρους:

- Τη δυνατότητα ελέγχου ενός φωτιστικού σώματος κάποιου κατασκευαστή, από σύστημα ελέγχου του ίδιου ή τρίτου κατασκευαστή. Κάθε κατασκευαστής συστήματος ελέγχου πρέπει να υποστηρίζει τον έλεγχο λειτουργίας οποιουδήποτε φωτιστικού σώματος τρίτου κατασκευαστή, υπό ορισμένες ελάχιστες προδιαγραφές.
- Τη δυνατότητα ανταλλαγής λειτουργικών στοιχείων και σημάτων ελέγχου μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων ελέγχου, διαφορετικών κατασκευαστών, με κοινό λογισμικό.
- Την αποσύνδεση της υποχρεωτικής προμήθειας φωτιστικού σώματος και συστήματος ελέγχου από τον ίδιο κατασκευαστή. Για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας αυτής

προτείνεται χρήση συστημάτων ελέγχου που διαθέτουν ελεγκτές φωτιστικών σωμάτων που εγκαθίστανται εξωτερικά του φωτιστικού σώματος στο κέλυφος μέσω τυποποιημένων επαφών ή στον ιστό φωτισμού.

14.2 ΤΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Ο τοπικός έλεγχος έχει να κάνει με συστήματα, τα οποία ελέγχουν ένα ή περισσότερα φωτιστικά σώματα, που ανήκουν σε έναν πίνακα παροχής, με περιορισμό στον αριθμό των φωτιστικών σωμάτων. Μερικές βασικές κατηγορίες ελέγχου από την πιο απλή στην πιο σύνθετη είναι:

- ✓ Απλή ενεργοποίηση και απενεργοποίηση (on / off), με τη χρήση κατάλληλου σήματος στο κύκλωμα παροχής ισχύος, αστρονομικό διακόπτη ή φωτοκύτταρο κι εφαρμόζεται σε συμβατικά φωτιστικά ή φωτιστικά LED.
- ✓ Προγραμματισμένη μείωση της φωτεινής ροής κατά τη διάρκεια της νύχτας (step dimming) μέσω ενός κατάλληλου ελεγκτή φωτιστικού που εφαρμόζεται σε συμβατικά φωτιστικά και σε φωτιστικά LED.
- ✓ Προγραμματισμένη δυναμική ρύθμιση της φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του (continuous dimming ή constant lumen output) που εφαρμόζεται κυρίως σε φωτιστικά LED τα οποία διαθέτουν ειδικό οδηγό (driver) ο οποίος δέχεται προφίλ λειτουργίας.

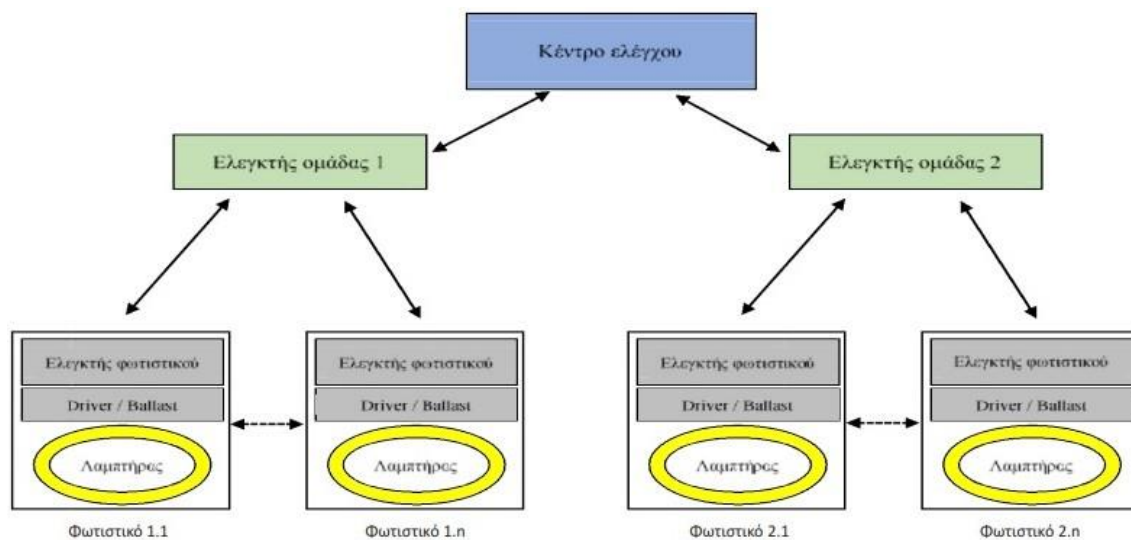
14.3 ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Ο έλεγχος αυτός αποτελεί την πιο σύγχρονη μέθοδο διαχείρισης, που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο στο χειρισμό όσο και στην παρακολούθηση της εγκατάστασης. Τα περισσότερα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου έχουν τις εξής βασικές δυνατότητες.

- ✓ Άμεσο δυναμικό έλεγχο, οποιουδήποτε φωτιστικού σώματος ή ομάδας σωμάτων (on / off και ρύθμιση φωτεινής ροής)
- ✓ Διαγνωστικό έλεγχο της λειτουργικής κατάστασης των φωτιστικών
- ✓ Απομακρυσμένο προγραμματισμό των τοπικών ελεγκτών κάθε φωτιστικού σώματος

- ✓ Φιλοξενία επιπρόσθετων αισθητήρων (κίνησης, παρουσίας, αναγνώρισης χρηστών οδού, καιρικών συνθηκών κλπ), οι οποίοι αυξάνουν τη λειτουργικότητα του δικτύου και την παρεχόμενη πληροφόρηση προς το διαχειριστή της εγκατάστασης οδοφωτισμού.

Ο απομακρυσμένος έλεγχος γίνεται με δύο τρόπους: ενσύρματα και ασύρματα. Απαιτεί την αποστολή και λήψη σημάτων από την πηγή ελέγχου προς το φωτιστικό σώμα που ελέγχεται. Για να φτάσει το σήμα στο φωτιστικό υπάρχουν ένας ή περισσότεροι ενδιάμεσοι σταθμοί ελέγχου. Στο σχήμα 14.1 φαίνεται μια ενδεικτική τοπολογία δικτύου ελέγχου οδοφωτισμού. Μερικά συστήματα ελέγχου μπορεί να μη χρησιμοποιούν ελεγκτές ομάδας και κάθε φωτιστικό να επικοινωνεί απευθείας με το κέντρο ελέγχου.



Σχήμα 14.1: Ενδεικτική τοπολογία συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης δικτύου οδοφωτισμού

- Κέντρο ελέγχου: είναι η κορυφή της πυραμίδας του συστήματος ελέγχου. Έχει το κατάλληλο λογισμικό για τη λήψη αποφάσεων και τη σηματοδότηση των φωτιστικών σωμάτων. Συνήθως παρέχει οπτική πληροφόρηση λειτουργίας σε σύστημα GIS, αποθήκευση λειτουργικών παραμέτρων σε βάση δεδομένων, δημιουργία αναφορών λειτουργίας, σηματοδότηση σφαλμάτων, ομαδοποίηση φωτιστικών σωμάτων κλπ
- Ελεγκτής ομάδας φωτιστικών: ο ελεγκτής αποτελεί τη σύνδεση των φωτιστικών με το κέντρο ελέγχου. Ουσιαστικά, μεταβιβάζει τις εντολές ελέγχου από και προς τα φωτιστικά.
- Ελεγκτής φωτιστικού σώματος: μπορεί να έχει απλή ή πολλαπλή ιδιότητα, αναλόγως τις ανάγκες. Ουσιαστικά πρέπει να λαμβάνει τα σήματα ελέγχου από τον ελεγκτή ομάδας και να ενεργοποιεί / απενεργοποιεί το φωτιστικό σώμα ή να ρυθμίζει τη φωτεινή ροή του.

Επίσης μπορεί να δίνει μετρήσεις των χαρακτηριστικών του φωτιστικού και να ανιχνεύει ενδεχόμενες δυσλειτουργίες και βλάβες.

- Driver / ballast: είναι το σύστημα τροφοδοσίας της φωτεινής πηγής του φωτιστικού σώματος. Είτε παρέχει είτε όχι τη δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής και πιθανώς την τροφοδοσία δευτερευόντων συστημάτων του φωτιστικού σώματος.
- Λαμπτήρας: είναι ο τελικός αποδέκτης του συστήματος ελέγχου. Ανάλογα με την τεχνολογία του μπορεί να επιδέχεται ή όχι, βηματική ή δυναμική ρύθμισης της φωτεινής του ροής.

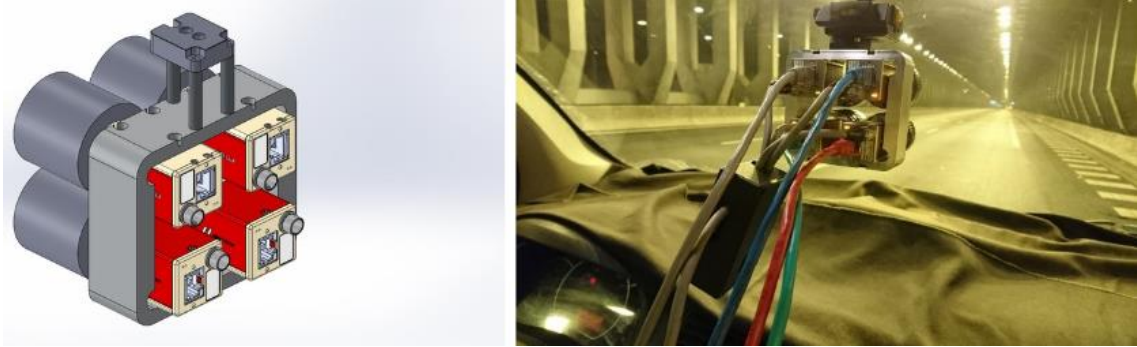
14.4 ΣΥΣΚΕΥΗ ILMD ΥΨΗΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ

Η συσκευή ILMD υψηλής δυναμικής εμβέλειας (High Dynamic Range Imaging Luminance Measuring Device) η οποία δημιουργήθηκε από τη Cerema, είναι μία φωτοκάμερα η οποία θα μπορούσε να συγκριθεί με το ανθρώπινο μάτι στη μέτρηση της λαμπρότητας σε κίνηση. Η συσκευή είναι βασισμένη σε 4 σύγχρονες κάμερες. Η φωτομετρική βαθμονόμηση οδηγεί σε ένα εύρος φωτεινότητας μεγέθους έξι τάξεων, από 0.08 cd / m² ως 163.000 cd / m². Η γεωμετρική διαδικασία βαθμονόμησης προέρχεται από στερεοσκοπικά συστήματα. Έτσι, οι διορθωμένες εικόνες διευκολύνουν το λογισμικό της «πλήρωσης οπών», όπως λέγεται, που περιέχει η συσκευή.

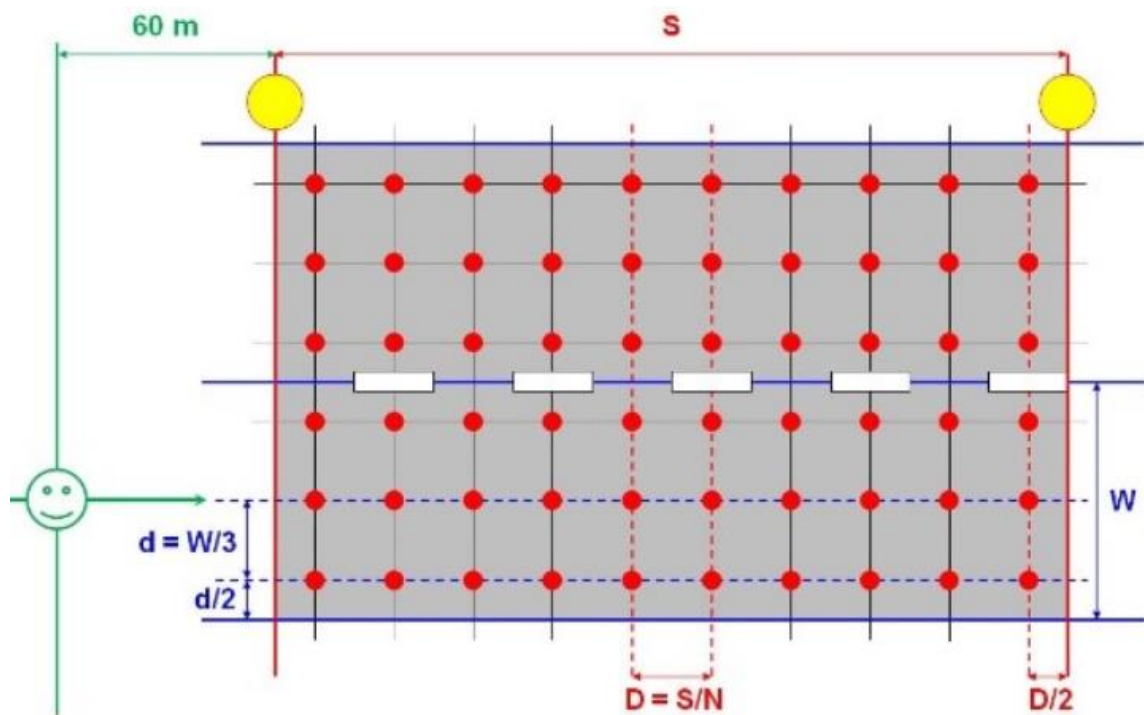
14.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟ

Για τον οδοφωτισμό η συσκευή τοποθετείται σε ένα όχημα που κάνει μετρήσεις καθ' οδόν, όπως φαίνεται στο σχήμα 14.2. Οι μετρήσεις που γίνονται φαίνονται στο σχήμα 14.3. Για την τοποθέτηση σημείων πλέγματος σε εικόνες υπολογίζεται ένα μοντέλο που συσχετίζει την απόσταση με κάθε γραμμή της εικόνας. Εφαρμόζεται το μοντέλο της «πλήρωσης οπών» στην κάμερα, το οποίο προϋποθέτει ο δρόμος να είναι τοπικά επίπεδος. Στη διαμήκη κατεύθυνση, το μοντέλο της «οπής» επιτρέπει να προσδιοριστούν οι γραμμές στην εικόνα, οι οποίες αντιστοιχούν στα όρια του πεδίου μέτρησης (μπλε γραμμές στο σχήμα 14.4). Στην εγκάρσια κατεύθυνση, οι εξισώσεις οδικών σημάνσεων υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ανίχνευση οδικής σήμανσης και οριοθετούν κάθε λωρίδα (κόκκινες καμπύλες στο σχήμα 14.4). Έτσι, εξάγεται μια περιοχή ενδιαφέροντος από την εικόνα, η οποία ταιριάζει με το πεδίο μέτρησης της φωτεινότητας στη μετρούμενη περιοχή. Το τελευταίο βήμα είναι να υπολογιστούν στην περιοχή ενδιαφέροντος τα καλύτερα pixel, που αντιστοιχούν στα

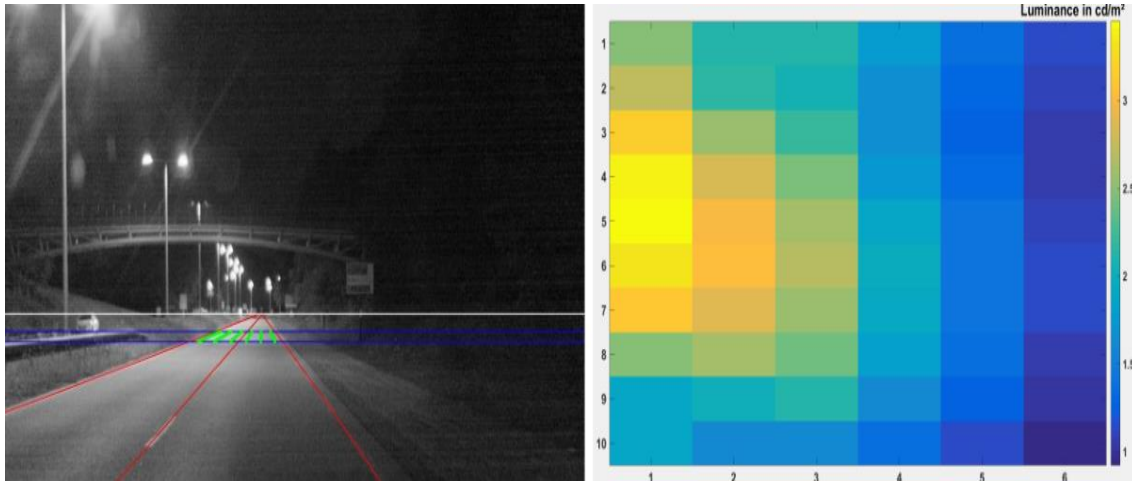
σημεία πλέγματος (πράσινα σημεία στο σχήμα 14.4). Τελικά, λαμβάνονται οι τιμές φωτεινότητας στο πλέγμα μέτρησης (δεξιά στο σχήμα 14.4).



Σχήμα 14.2: Συσκευή HDR – ILMD της Cerema



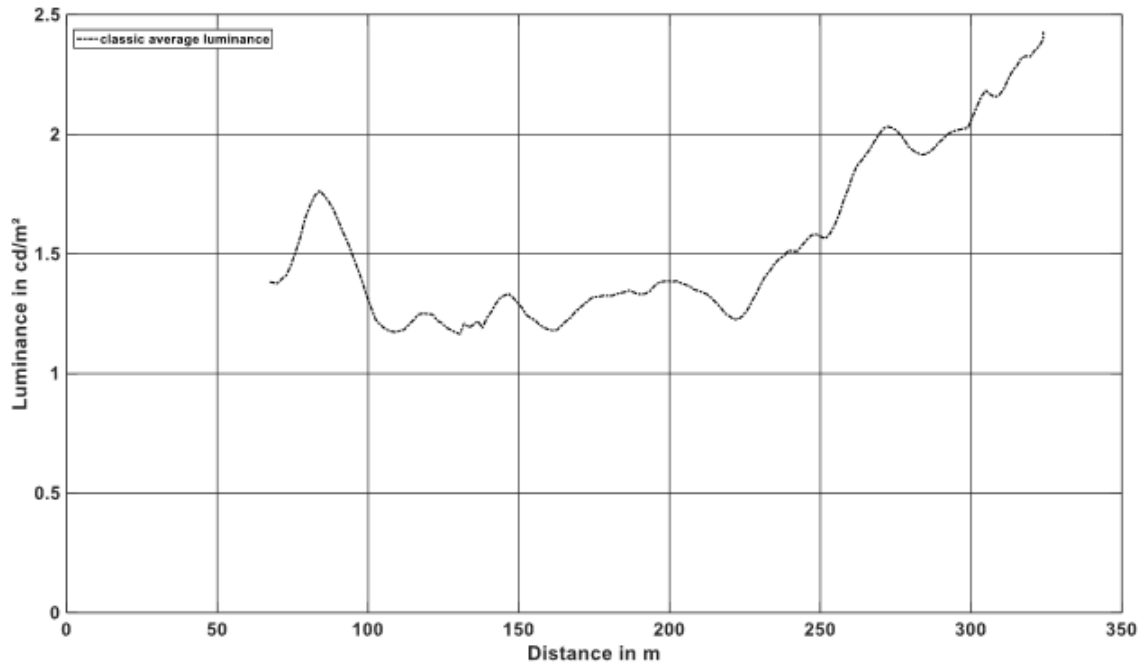
Σχήμα 14.3: Πλέγμα σημείων μέτρησης



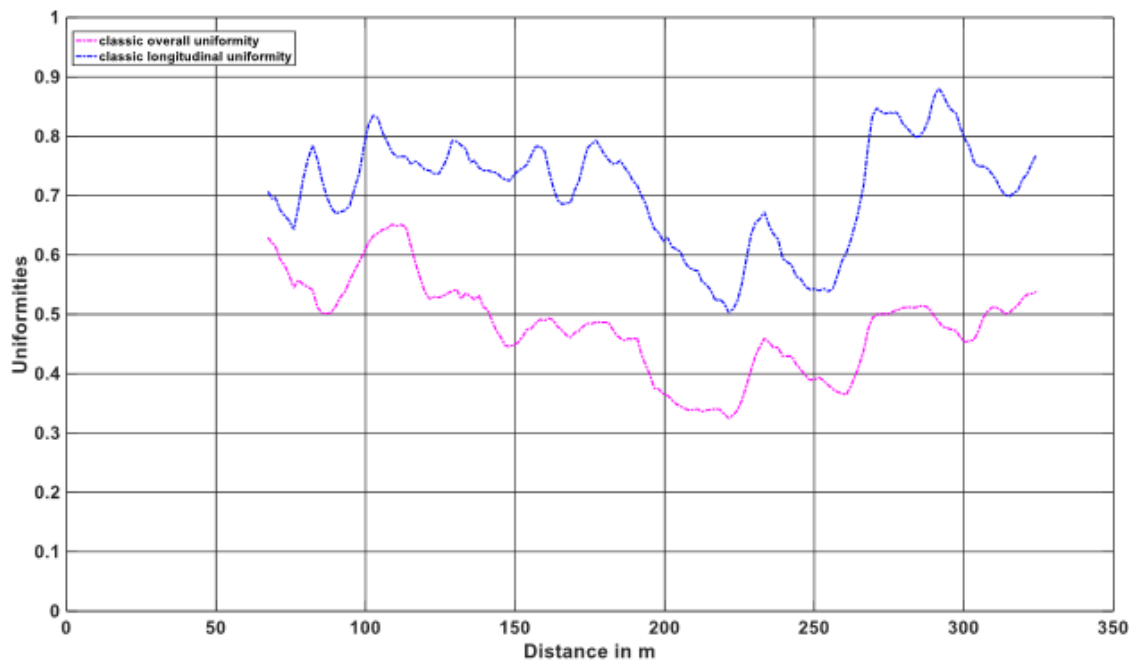
Σχήμα 14.4: Θέση σημείων πλέγματος μέτρησης (αριστερά), Φωτεινότητα στα σημεία μέτρησης (δεξιά)

Από αυτές τις μετρήσεις μπορεί να υπολογιστεί η μέση φωτεινότητα και η διαμήκης ομοιομορφία. Η χρήση μια συσκευής HDR – ILMD επίσης επιτρέπει τις μετρήσεις κατωφλίου απευθείας από εικόνες φωτεινότητας.

Το όχημα είναι εξοπλισμένο με ένα χιλιομετρητή και ένα GPS ώστε να ορίζεται σαφώς η θέση της κάθε εικόνας. Κατά τη χρήση της η κάμερα έχει ρυθμιστεί να κάνει μετρήσεις ανά μέτρο και έτσι μπορεί να κάνει μια συνεχόμενη αξιολόγηση της εγκατάστασης φωτισμού όπως φαίνεται στα σχήματα 14.5 και 14.6. Όλα τα στοιχεία και οι μεθοδολογίες που καταγράφηκαν πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικό χώρο και χρόνο κατά τη διάρκεια της μελέτης της εταιρίας Lumiroute.



Σχήμα 14.5: Συνεχόμενες μετρήσεις μέσης φωτεινότητας



Σχήμα 14.6: Συνεχόμενες μετρήσεις ομοιομορφίας

B´ ΜΕΡΟΣ

15. ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ DIALUX

Το Dialux είναι πρόγραμμα για τον επαγγελματικό σχεδιασμό φωτισμών εσωτερικών ή εξωτερικών χώρων. Απευθύνεται σε σχεδιαστές και κατασκευαστές που ασχολούνται με το φωτισμό. Είναι ένα από τα κορυφαία προγράμματα αυτή τη στιγμή στις μελέτες φωτισμού και οι χρήστες το κατεβάζουν ελεύθερα, ενώ είναι διαθέσιμο σε 25 γλώσσες, περιλαμβανομένης και της ελληνικής. Το περιβάλλον του είναι εύχρηστο και μπορούν να προστεθούν προϊόντα από πραγματικούς κατασκευαστές. Δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού σε δισδιάστατο αλλά και σε τρισδιάστατο επίπεδο.

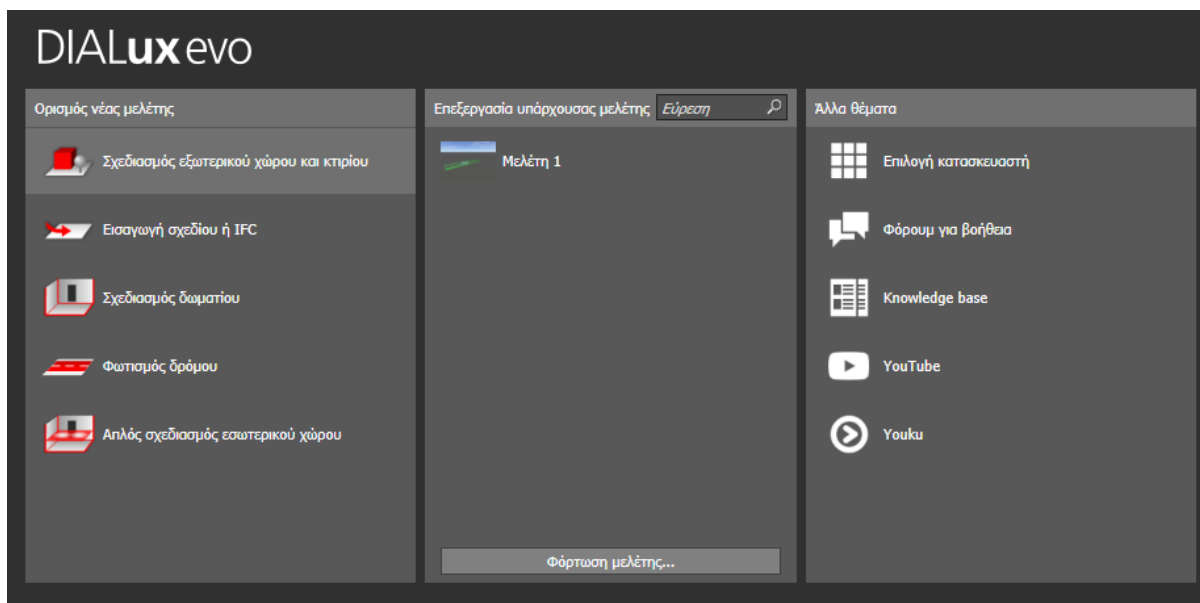
Οι εφαρμογές που μπορούν να καλυφθούν είναι άπειρες και δεν είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στην παρούσα εργασία. Για τις ανάγκες της εργασίας μελετάται ένας τυπικός δρόμος, διπλής κατεύθυνσης, με δύο λωρίδες κυκλοφορίας στην κάθε κατεύθυνση, με ενδιάμεσο διαχωριστικό, λωρίδες έκτακτης ανάγκης ενώ έξω από τον δρόμο υπάρχουν πράσινες λωρίδες ή χωράφια.

Έχει οριστεί το πλάτος των δύο κατευθύνσεων σε 7 μέτρα ανά κατεύθυνση, δηλαδή η κάθε λωρίδα είναι 3.5 μέτρα. Το μεσαίο διαχωριστικό έχει πλάτος 1 μέτρο. Οι λωρίδες έκτακτης ανάγκης έχουν πλάτος 2 μέτρα, εκάστη και τέλος οι λωρίδες πράσινου έχουν οριστεί ως 10 μέτρα η κάθε μία.

Στο πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα να προστεθεί πεζοδρόμιο, δρόμος για ποδήλατα και λωρίδα στάθμευσης. Τα πλάτη μπορούν να οριστούν από το χρήστη, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα επεξεργασίας αρχείου AutoCAD, όταν αυτό είναι διαθέσιμο.

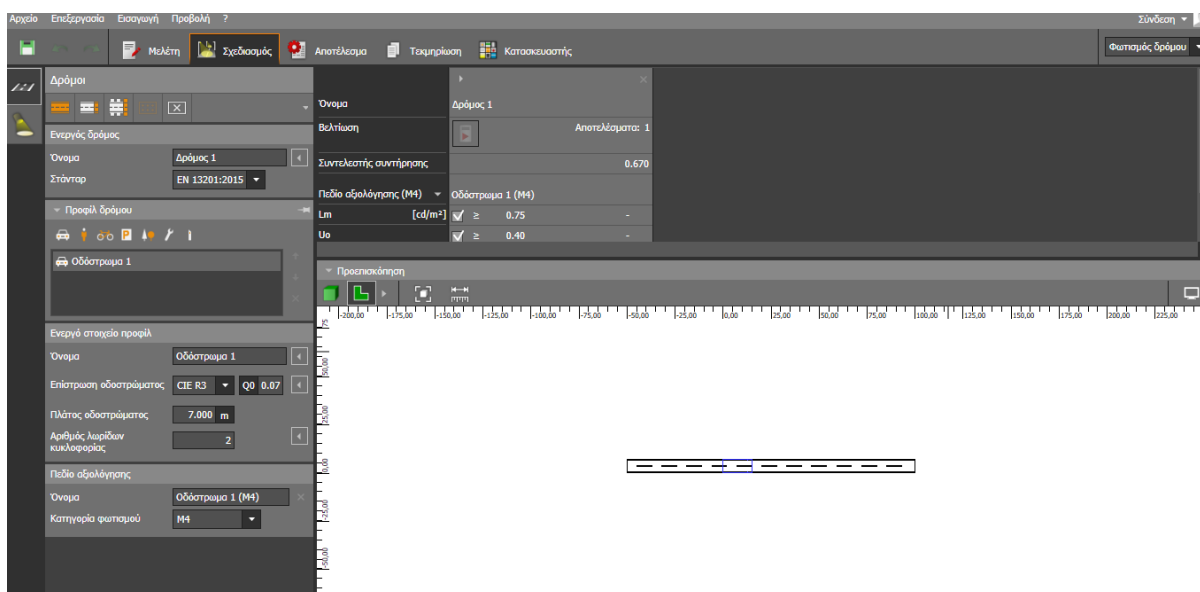
Για τις ανάγκες της εργασίας έχουν μελετηθεί 4 διαφορετικά πιθανά σενάρια. Στόχος είναι να βρεθεί το καλύτερο από ενεργειακής αλλά και οικονομικής άποψης. Παρακάτω παρουσιάζεται βήμα - βήμα η διαδικασία της μελέτης.

Το πρώτο βήμα είναι το κατέβασμα και η εγκατάσταση του προγράμματος. Έπειτα επιλέγεται η γλώσσα (ελληνική) και η χρήση του προγράμματος (ακαδημαϊκή). Ξεκινώντας ο χρήστης συναντάει το περιβάλλον που φαίνεται στο σχήμα 15.1



Σχήμα 15.1: Αρχικό περιβάλλον προγράμματος DIALUX

Επιλέγεται «Φωτισμός δρόμου». Και εμφανίζεται το περιβάλλον του σχήματος 15.2.



Σχήμα 15.2: Περιβάλλον στην επιλογή «Φωτισμός δρόμου»

Στο πεδίο «Ενεργός δρόμος» ο χρήστης ονομάζει το δρόμο ώστε να γνωρίζει κάθε φορά σε ποια μελέτη βρίσκεται. Από κάτω ακριβώς, στο «Στάνταρ» είναι επιλεγμένο το πρότυπο EN 13201:2015, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής EN 13201:2004. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το πιο πρόσφατο πρότυπο.

Στο πεδίο «Προφίλ δρόμου» υπάρχουν οι επιλογές εισαγωγής κατά σειρά: οδόστρωμα, πεζοδρόμιο, ποδηλατοδρόμος, λωρίδα στάθμευσης, λωρίδα πράσινου, λωρίδα έκτακτης ανάγκης, μεσαία νησίδα. Ο χρήστης επιλέγει τι θέλει να εισάγει αλλά και σε ποια θέση. Μπορεί να ανεβοκατεβάζει τις επιλογές ώστε να τις τοποθετήσει στη σωστή θέση.

Στο πεδίο «Ενεργό στοιχείο προφίλ», μπορεί να αλλάξει το όνομα των λωρίδων, το πλάτος τους, τον αριθμό λωρίδων κατεύθυνσης. Αλλά και το είδος του οδοστρώματος. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το CIE R3 που χρησιμοποιείται γενικά στην Ευρώπη και συντελεστής ανακλαστικότητας του οδοστρώματος Q_0 ίσος με 0.07. Τέλος υπάρχει το «Πεδίο αξιολόγησης» όπου αναφέρεται το όνομα αλλά και η κλάση του φωτισμού σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα.

Δεξιά στην οθόνη υπάρχει μία κάτοψη του δρόμου που σχεδιάζεται καθώς και των φωτιστικών που εισάγονται. Η προβολή μπορεί να είναι τρισδιάστατη ή δισδιάστατη ή να προβληθεί ο δρόμος σε άλλες όψεις.

Το πιο σημαντικό κομμάτι της μελέτης βρίσκεται ακριβώς πάνω από το σχεδιασμό του δρόμου. Είναι τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται από τη μελέτη. Ο συντελεστής συντήρησης δίνεται από το πρόγραμμα ίσος με 0.67, αυτό όμως αλλάζει ανάλογα με τις ανάγκες της μελέτης. Επιλέχθηκε συντελεστής συντήρησης ίσος με 0.85. Αμέσως μετά βρίσκεται το πεδίο «Διάταξη φωτιστικών», όπου καταγράφεται το όνομα των φωτιστικών που έχουν επιλεγεί ενώ από κάτω στο πεδίο «Φωτισμός» το είδος των λαμπτήρων. Συνεχίζοντας υπάρχουν τα πεδία: «Απόσταση ιστών», μέγεθος το οποίο αλλάζει κατά την μελέτη, «ύψος σημείου φωτός» (m), δηλαδή πόσο ψηλά θα τοποθετηθεί ο λαμπτήρας (όσο πιο χαμηλά τόσο πιο οικονομικός ο ιστός), επίσης μεταβλητό μέγεθος. Έπειτα, συναντώνται τα εξής μεταβλητά μεγέθη: «κλίση βραχίονα» ($^{\circ}$), «προεξοχή φωτεινού σημείου» (m), «περιστροφή ιστού» ($^{\circ}$), «φωτιστικά ανά ιστό», τα οποία έχουν παραμείνει στη μελέτη όπως τα δίνει το πρόγραμμα. Τα πεδία «απόσταση ιστός – οδόστρωμα» (m) και «μήκος βραχίονα» (m) μπορούν να μεταβληθούν μεμονωμένα, δηλαδή ή το ένα ή το άλλο, και το ένα εξαρτάται από το άλλο. Είναι λίγα εκείνα τα φωτιστικά που επιτρέπουν να αλλάξουν και τα δύο δεδομένα. Συνήθως αλλάζοντας το ένα τροποποιείται αυτόματα και το άλλο. Τα πεδία «ULR» (Upward Light Ratio) και «ULOR» (φωτεινή εκπομπή στο άνω νοητό ημισφαίριο - Upward Light Output Ratio) είναι ίσα με 0 ώστε να περιοριστεί ο παράσιτος φωτισμός, που έχει αναλυθεί στο πρώτο μέρος της εργασίας. Η διαφορά των δύο αυτών μεγεθών είναι ότι το ULR αναφέρεται στο ποσοστό εκπομπής φωτεινής ροής από το φωτιστικό, ενώ το ULOR στο ποσοστό εκπομπής ροής από τη φωτεινή πηγή. Το « I_{max} » σε 70° , 80° , 90° και πάνω από 90° και 95° μετρημένο σε cd / km, είναι η ένταση φωτισμού του

φωτιστικού κατακόρυφα στις αντίστοιχες μοίρες. Τα πεδία «κατηγορία δείκτη εκθάμβωσης» και «κατηγορία φωτεινότητας» υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Καθώς και τα πεδία «Ισχύς / χιλιόμετρο» (W / km), «κατανάλωση ενέργειας» ($kWh / \text{έτος}$), « D_e - Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης» ($kWh / m^2 \times \text{έτος}$), « D_p - Δείκτης πυκνότητας ισχύος» ($W / (lx \times m^2)$).

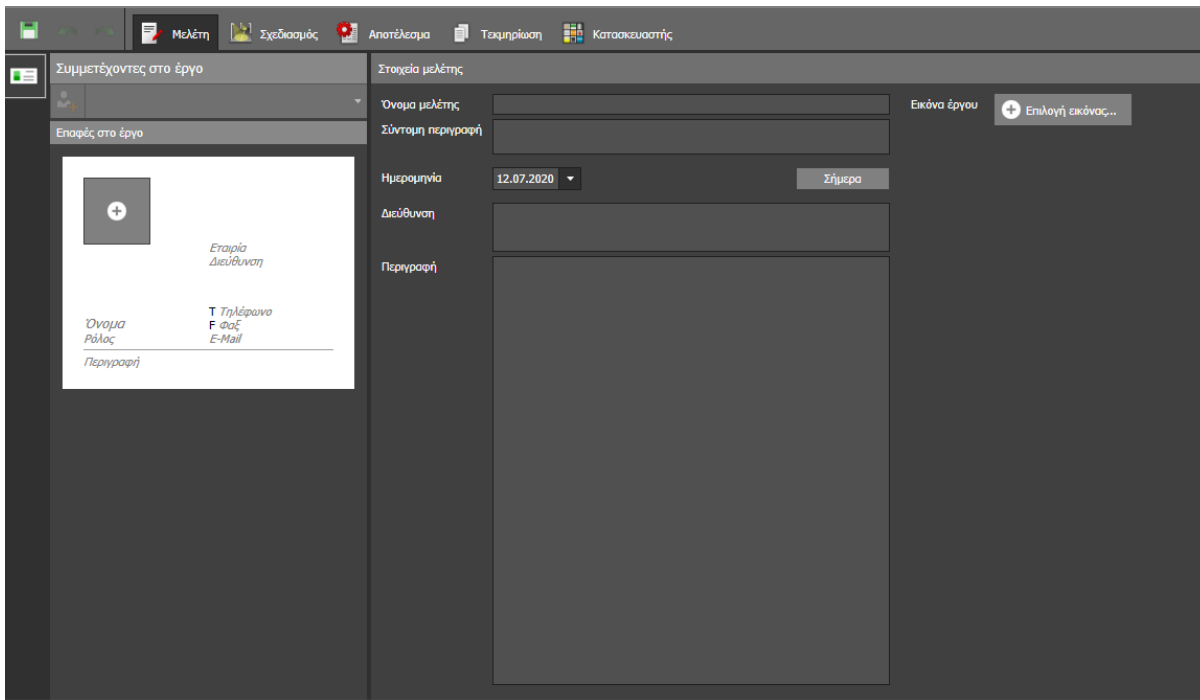
Όσο αφορά τα πεδία αξιολόγησης, στις λωρίδες έκτακτης ανάγκης υπολογίζονται τα E_m (λαμπρότητα ή ένταση φωτισμού μετά από ένα σαφώς ορισμένο διάστημα λειτουργίας) σε lx και το U_o (ελάχιστη τιμή ομοιομορφίας της λαμπρότητας). Σε αυτό το σημείο υπολογίζονται τα αποτελέσματα για κάθε είδος φωτιστικό και συγκρίνονται με τις απαιτήσεις που ορίζει το σύστημα για τη μελέτη. Όσον αφορά το οδόστρωμα υπολογίζονται τα εξής: L_m (ελάχιστη λαμπρότητα – cd/m^2), U_o , U_l (διαμήκης ομοιομορφία της λαμπρότητας (ελάχιστη τιμή)), TI (δείκτης μεθόδου αύξησης κατωφλίου), R_{EI} (μέση φωτεινότητα σε λωρίδες).

Ο μελετητής πρέπει να αλλάξει τις ανεξάρτητες μεταβλητές ώστε να αλλάξουν οι εξαρτημένες μεταβλητές και να φτάσουν όσο γίνεται κοντά στα όρια. Έτσι θα επιτευχθεί οικονομία και βέλτιστη απόδοση. Υπάρχει επιλογή βελτιστοποίησης των παραμέτρων στο πρόγραμμα, αλλά οι βέλτιστες δεν είναι πάντα και οι οικονομικότερες.

Στη συνέχεια, μετά το σχεδιασμό του δρόμου, επιλέγονται τα φωτιστικά. Υπάρχει δυνατότητα επιλογής φωτιστικού που καλύπτει τις απαιτήσεις της μελέτης μέσα από μια πληθώρα προϊόντων, πραγματικών εταιρειών, που προσφέρουν φωτιστικά εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Οι εταιρείες παραχωρούν δωρεάν τα αρχεία των χαρακτηριστικών των φωτιστικών ώστε να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες. Επιλέγεται η εταιρεία και το είδος του φωτιστικού καθώς και ο τύπος του λαμπτήρα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά των εταιρειών THORN, ARLIGHT, και της PETRIDIS lighting, η οποία μάλιστα είναι ελληνική και εδρεύει στον Άγιο Αθανάσιο Θεσσαλονίκης. Επιλέχθηκαν επί σκοπού διαφορετικές εταιρείες ώστε να γίνει μία σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο οι συγκρίσεις που μπορούν να γίνουν είναι απίστευτα πολλές καθώς και τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι πολλά και διαφορετικά. Οι ώρες λειτουργίας ορίζονται ως 4000 ώρες λειτουργίας ανά έτος δηλαδή περίπου 11 ώρες λειτουργίας ανά μέρα. Αυτό μπορεί να αλλάξει φυσικά και εξαρτάται ακόμα και από τη χώρα στην οποία διεξάγεται η μελέτη. Μπορεί επίσης να αλλάξει και η τιμή μείωσης του φωτισμού, αλλά στην παρούσα μελέτη διατηρήθηκε σταθερή. Τα φωτιστικά μπορούν να διαταχθούν είτε μονόπλευρα, σε οποιαδήποτε από τις 2 πλευρές του δρόμου, είτε αμφίπλευρα και απέναντι το ένα από το άλλο, είτε αμφίπλευρα αλλά σε χιαστί διάταξη, είτε στη μεσαία νησίδα. Η γεωμετρία ιστού

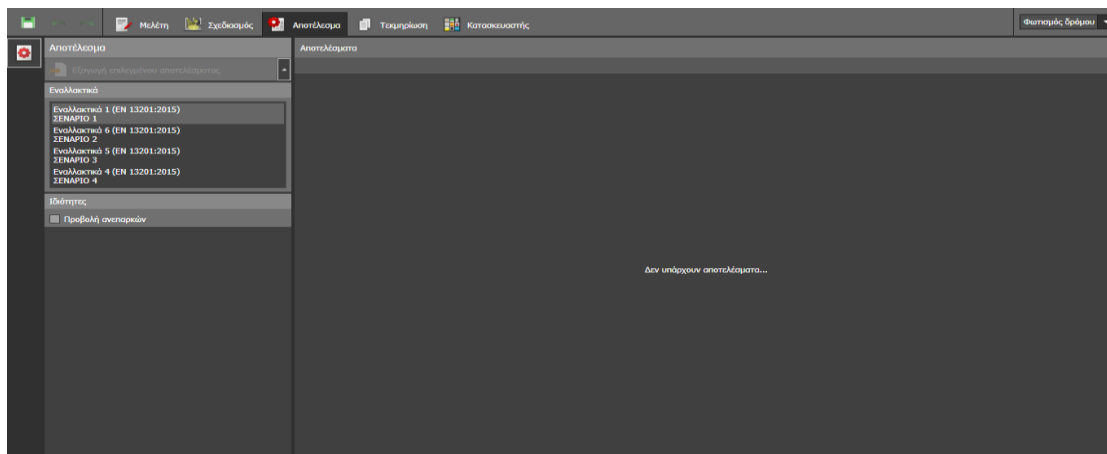
μπορεί να επεξεργαστεί όπως αναφέρθηκε ώστε να παρέχει ένα οικονομικότερο αποτέλεσμα στις απαιτήσεις της μελέτης.

Στο πεδίο «Μελέτη», που φαίνεται στο σχήμα 15.3, ο μελετητής δίνει όνομα στη μελέτη, την περιγράφει, προσθέτει εικόνα. Γενικά δημιουργεί το εξώφυλλο της μελέτης με κάποια χαρακτηριστικά.



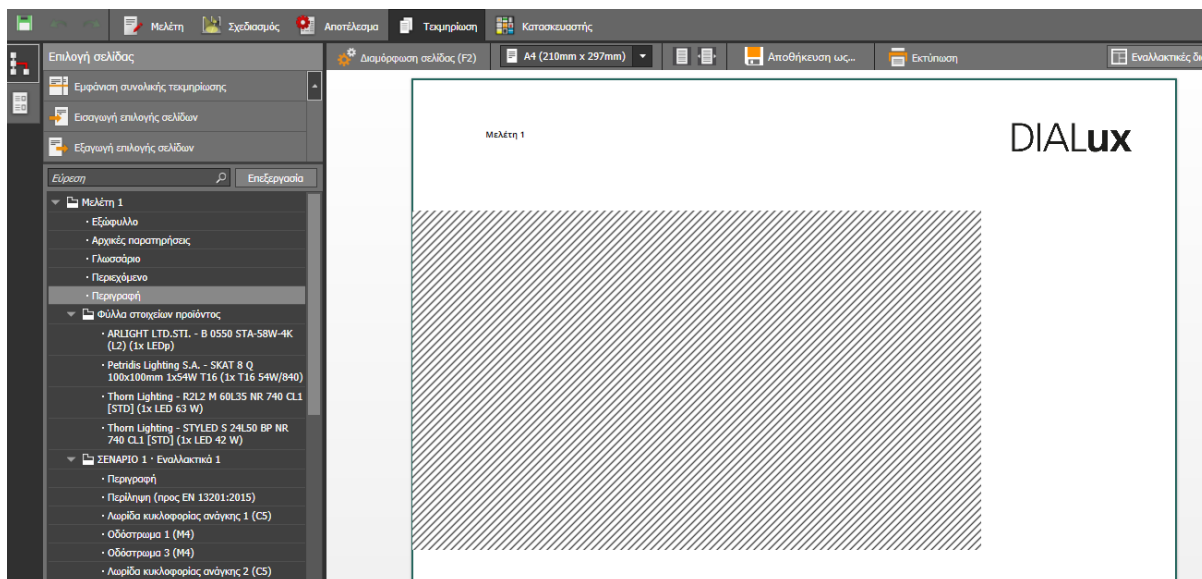
Σχήμα 15.3: Στοιχεία μελέτης

Στο πεδίο «Αποτέλεσμα» παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν όταν το πρόγραμμα «τρέχει» σε διαφορετικές τιμές ώστε να προκύψει η βέλτιστη επιλογή. Στο σχήμα 15.4 φαίνονται τα αποτελέσματα και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το σενάριο που επιθυμεί να διαβάσει.



Σχήμα 15.4: Καρτέλα αποτελεσμάτων

Το πεδίο «Τεκμηρίωση» (σχήμα 15.5) είναι ίσως το σημαντικότερο πεδίο στη μελέτη. Είναι αυτό το πεδίο που δίνει τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο, τις τιμές και ότι άλλο χρειάζεται ώστε να είναι ολοκληρωμένη η έρευνα. Το μέγεθος της σελίδας μπορεί να διαμορφωθεί, να αποθηκευτεί ή να εκτυπωθεί η μελέτη, να επιλεγεί μέρος ή όλη η τεκμηρίωση. Η μελέτη περιλαμβάνει εξώφυλλο, περιεχόμενα, παρατηρήσεις, γλωσσάριο, περιγραφή. Είναι γενικά μία πλήρης έρευνα έτοιμη για χρήση. Επίσης, στο πεδίο «Διάταξη» αλλάζει η εμφάνιση της μελέτης, αυτά όμως είναι χαρακτηριστικά της PRO έκδοσης και όχι της free.



Σχήμα 15.5: Πεδίο τεκμηρίωσης

Στο πεδίο «Κατασκευαστής» φαίνονται όλες οι εταιρείες φωτιστικών, οι κατάλογοι τους, η τοποθεσία, τρόποι επικοινωνίας και ότι άλλο παρέχεται στη σελίδα τους. Υπάρχει μπάρα στο κάτω μέρος της σελίδας που βρίσκονται όλοι οι κατασκευαστές. Επιλέγεται πρώτα η εταιρεία και στη συνέχεια επιλέγεται το είδος του φωτιστικού, αν είναι εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου και τέλος το είδος του λαμπτήρα.

16. ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΥ

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ένας τυχαίος αλλά συνηθισμένος δρόμος που συναντάται πολύ συχνά στην Ελλάδα. Είναι ένας δρόμος διπλής κατεύθυνσης, με δύο λωρίδες κυκλοφορίας η κάθε κατεύθυνση, με ύπαρξη λωρίδων έκτακτης ανάγκης και μεσαίας νησίδας. Έξω από τα όρια του δρόμου υπάρχουν λωρίδες πράσινου, πλάτους 10 μέτρων ή εκτάσεις γης. Δεν επιλέχθηκε κάποιο συγκεκριμένο κομμάτι δρόμου με συντεταγμένες, γιατί στόχος της μελέτης είναι να επισημάνει τις αλλαγές που προκύπτουν αναλόγως τις εταιρείες ή τους λαμπτήρες και να γίνουν οι ανάλογες συγκρίσεις. Ευχή του συντάκτη είναι η παρούσα μελέτη να αποτελέσει ένα πρώτο βήμα ώστε να μπορέσουν αργότερα κι άλλοι μελετητές να ασχοληθούν με το φωτισμό δρόμου, έχοντας την εργασία σαν οδηγό για τα πρώτα τους βήματα. Δυστυχώς η βιβλιογραφία στα ελληνικά για το πρόγραμμα δεν είναι πολύ διευρυμένη.

Ολοκληρωμένη η μελέτη που προκύπτει από το πρόγραμμα παρουσιάζεται στο επιπλέον τεύχος που έχει εκδοθεί, συνοδεία της παρούσας εργασίας. Στο τέλος του τεύχους αυτού θα βρείτε και παράρτημα με τις βασικές έννοιες και τη σημασία τους. Θα παρουσιαστούν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά και πώς αυτά μεταβάλλονται για κάθε ένα από τα 4 σενάρια και θα επιλεγεί στο καλύτερο δυνατό σενάριο.

Στα σενάρια 1 και 3 χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά της εταιρείας THORN LIGHTING. Στο σενάριο 1 χρησιμοποιήθηκε λάμπα LED 42 Watt, ενώ στο σενάριο 3 χρησιμοποιήθηκε λάμπα 63 Watt. Στο σενάριο 2 χρησιμοποιήθηκε φωτιστικό της εταιρείας PETRIDIS LIGHTING με λάμπα 54 Watt και τέλος στο σενάριο 4 χρησιμοποιήθηκε φωτιστικό της εταιρείας ARLIGHT με λάμπα ισχύος 57.2 W (πίνακας 16.1).

Πίνακας 16.1: Βασικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων φωτιστικών

	Thorn (42)	Petridis	Thorn (63)	Arlight
P (Watt)	42	54	63	57.2
Φ_{λάμπα} (lm)	4199	4450	8947	7636
Φ_{φωτιστικό} (lm)	4193	3204	8947	7635
η	99.87%	72%	100%	99.99%

Στον πίνακα 16.1 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών. Αφού επιλεγούν τα φωτιστικά, προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 16.2 από το πρόγραμμα. Να σημειωθεί πως ο συντελεστής συντήρησης ήταν 0.67 αλλά στην εργασία πάρθηκε ίσος με 0.85 ώστε να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα, πιο κοντά στα επιθυμητά.

Πίνακας 16.2: Πρώτα αποτελέσματα – δεδομένα από το πρόγραμμα και βασικά χαρακτηριστικά

	Thorn (42)	Petridis	Thorn (63)	Arlight
Απόσταση ιστών (m)	27	26	18	26
Ύψος φωτεινού σημείου (m)	7	7	6	7
Μήκος βραχίονα (m)	0.056	0.65	0	0.020
Κατανάλωση (W/km)	3108	4104	7056	4345.7
Κατηγορία φωτεινότητας	G3	-	G3	G3
Κατηγορία δείκτη εκθάμβωσης	D6	D6	D6	D5

Η απόσταση των ιστών κυμαίνεται ανάμεσα σε ελάχιστες και μέγιστες τιμές ανάλογα με το φωτιστικό. Το πρόγραμμα συνήθως επιλέγει τη βέλτιστη κάνοντας υπολογισμούς σε διάφορα μήκη. Ωστόσο, ο μελετητής δοκιμάζει και άλλα μήκη για να πετύχει μείωση της ελάχιστης λαμπρότητας ώστε να φτάσει κοντά στο όριο. Από πλευράς οικονομίας όσο πιο μακριά στήνονται τα φωτιστικά τόσο καλύτερα γιατί χρειάζονται λιγότερα τεμάχια. Το ύψος φωτεινού σημείου δίνει το ύψος του βραχίονα. Και αυτό κυμαίνεται μεταξύ μέγιστων και

ελάχιστων τιμών. Όσο ψηλότερος είναι ο βραχίονας τόσο πιο ακριβό είναι το φωτιστικό. Το μήκος του βραχίονα, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι αλληλένδετο με την απόσταση ιστού – οδοστρώματος. Εισάγοντας ένα από τα δύο μεγέθη το άλλο υπολογίζεται αυτόματα. Στο φωτιστικό της εταιρείας Petridis το μήκος βραχίονα είναι 0, αυτό συμβαίνει επειδή το επεξεργάσιμο μέγεθος είναι η απόσταση του ιστού με το οδόστρωμα και είναι ίση με 0.562.

Στα σενάρια 2 και 4 η απόσταση ιστών και το ύψος του ιστού είναι ίδια, όμως το μήκος βραχίονα όχι. Αυτά τα στοιχεία ακόμα δεν δίνουν κάτι για τα επόμενα αποτελέσματα, αλλά είναι βασικά της μελέτης. Τα φωτιστικά στο σενάριο 3 είναι αυτά με την μικρότερη απόσταση μεταξύ τους αλλά έχουν και μικρότερο ύψος βραχίονα σε σχέση με τα άλλα. Τέλος, το σενάριο 1 έχει τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών ενώ το ύψος του είναι ίδιο με τα άλλα 2 σενάρια. Αν κρίνει κανείς μόνο από τα συγκεκριμένα δεδομένα μπορεί να υποθέσει ότι το σενάριο 1 ίσως είναι το καλύτερο, λόγω απόστασης. Εννοείται πως αυτό είναι απλά μια υπόθεση και δεν μπορεί να υπάρξει μελέτη μόνο με βάση αυτή.

Η διάταξη των φωτιστικών είναι διαφορετική σε κάθε σενάριο ώστε να φανούν οι διαφορετικές επιλογές του προγράμματος. Στα σενάρια 1 και 3 τα φωτιστικά είναι τοποθετημένα αμφίπλευρα και αντικριστά. Στο σενάριο 2 είναι τοποθετημένα μονόπλευρα στην πάνω πλευρά του δρόμου και έχουν χρησιμοποιηθεί δύο λαμπτήρες στο φωτιστικό. Στο σενάριο 4 είναι τοποθετημένα αμφίπλευρα και χιαστί. Όπως έχει σημειωθεί υπάρχουν κι άλλες διαθέσιμες διατάξεις φωτιστικών αλλά δεν είναι δυνατόν όλες να μελετηθούν στην παρούσα εργασία.

Στον πίνακα 16.3 φαίνονται οι μέγιστες εντάσεις φωτισμού, σε cd / km, κάθε φορά σε όλες τις κατευθύνσεις που σχηματίζουν την εκάστοτε γωνία με την κάτω κάθετο, σε ήδη εγκατεστημένα φωτιστικά.

Πίνακας 16.3: Μέγιστες εντάσεις φωτισμού

{cd/km}	Thorn (42)	Petridis	Thorn (63)	Arlight
≥70°	566	99.2	603	607
≥80°	66.7	100	98	60
≥90°	0	100	0	1.54

Υπάρχουν διαφορές στις τιμές οι οποίες οφείλονται στον τύπο του φωτιστικού.

Στον πίνακα 16.4 παρουσιάζονται βασικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση του προγράμματος για τη λωρίδα έκτακτης ανάγκης και για το οδόστρωμα. Σημειώνονται και οι τιμές αναφοράς και οι τιμές των φωτιστικών που προέκυψαν σε κάθε σενάριο.

Πίνακας 16.4: Βασικά αποτελέσματα για ΛΕΑ και οδόστρωμα

		Thorn (42)	Petridis	Thorn (63)	Arlight
<i>Λωρίδα κυκλοφορίας Ανάγκης (C5)</i>					
E_m	≥7.50 lx	9.52	3.04	31.44	15.48
U_o	≥0.40	0.40	0.68	0.59	0.41
<i>Οδόστρωμα 1 (M4)</i>					
L_m	≥0.75 cd/m²	0.78	0.26	2.61	1.35
U_o	≥0.40	0.60	0.43	0.47	0.75
U_i	≥0.60	0.84	0.80	0.76	0.83
TI	≤15%	11%	75%	15%	11%
R_{EI}	≥0.30	0.64	0.70	0.60	0.55

Στις λωρίδες κυκλοφορίας ανάγκης (ΛΕΑ) κατηγορία φωτισμού ορίζεται η C5. Η ελάχιστη ένταση φωτισμού είναι 7.50 lux. Το σενάριο 2 δεν ικανοποιεί καν αυτήν την απαίτηση. Στα άλλα 3 σενάρια η απαίτηση καλύπτεται αλλά προκύπτουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές από την τιμή αναφοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι η λαμπρότητα τόσο αυξάνεται και το κόστος κατανάλωσης ενέργειας. Οπότε το προτιμότερο από τα 3 σενάρια είναι το σενάριο 1 με το φωτιστικό της εταιρείας Thorn.

Η ελάχιστη τιμή ομοιομορφίας της λαμπρότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0.40. Σε αυτό το σημείο όλα τα σενάρια καλύπτουν την απαίτηση αυτή αλλά το πρώτο σενάριο είναι το πιο κοντινό στην τιμή αναφοράς και αμέσως μετά έρχεται το σενάριο 4.

Το οδόστρωμα έχει κατηγορία φωτισμού M4. Η ελάχιστη λαμπρότητα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.75 cd/m². Και σε αυτήν την περίπτωση το σενάριο 2 δεν καλύπτει την απαίτηση αυτή. Ενώ από τα άλλα 3 το πιο κοντινό στην τιμή αναφοράς είναι και πάλι το σενάριο 1.

Στη συνέχεια η ελάχιστη τιμή της ομοιομορφίας της λαμπρότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.40. Στην προκειμένη περίπτωση το σενάριο 2 δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα ενώ το σενάριο 4 το χειρότερο.

Το επόμενο μέγεθος είναι η ελάχιστη διαμήκης ομοιομορφία της λαμπρότητας που πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.60. Σε αυτήν την περίπτωση το σενάριο 3 δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα ενώ το χειρότερο το δίνει το σενάριο 1.

Ο δείκτης μεθόδου αύξησης κατωφλίου, TI, πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος από 15%. Τα σενάρια 1 και 4 μας δίνουν τον καλύτερο δείκτη ενώ το σενάριο 2 το χειρότερο.

Τέλος, η μέση φωτεινότητα σε λωρίδες πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0.30. Το σενάριο 4 είναι η καλύτερη επιλογή ενώ το σενάριο 2 η χειρότερη.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση από την τιμή αναφοράς τόσο μεγαλύτερο κόστος προκύπτει. Η τελική επιλογή θα παρθεί συνολικά από την σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων μαζί.

Στον πίνακα 16.5 παρουσιάζονται οι δείκτες ενεργειακής απόδοσης και η κατανάλωση ανά έτος.

Πίνακας 16.5: Δείκτες ενεργειακής απόδοσης και ετήσια κατανάλωση

	Thorn (42)	Petridis	Thorn (63)	Arlight
D_p	0.015 W/lx×m ²	0.107	0.010	0.011 W/lx×m ²
D_e	0.7 kWh/m ²	0.9	1.6	1.0
Κατανάλωση	336 kWh/έτος	432	504	457.4

Ο D_p είναι ο δείκτης πυκνότητας ισχύος και μετριέται σε W / (lx × m²). Το καλύτερο σενάριο με το μικρότερο δείκτη είναι το σενάριο 3 ενώ το χειρότερο το σενάριο 2.

D_e είναι ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης μετρούμενος σε kWh / m² × έτος και στη μελέτη το σενάριο 1 δίνει τον καλύτερο δείκτη ενώ το σενάριο 3 το χειρότερο.

Τέλος, η κατανάλωση είναι χαμηλότερη στο πρώτο σενάριο, ενώ μεγαλύτερη είναι στο σενάριο 3. Αυτά ήταν τα βασικά αποτελέσματα που εξάγονται από τη χρήση του προγράμματος. Στο ένθετο που συνοδεύει την εργασία παρουσιάζονται πολλές ακόμα τιμές των μετρήσεων καθώς και τιμές μετρημένες από παρατηρητές.

Πως θα αποφάσιζε όμως ο μελετητής το καλύτερο σενάριο αν δεν το έκανε το Dialux για αυτόν; Ένας ποιοτικός τρόπος είναι να δημιουργήσει έναν πίνακα (πίνακας 16.6) με τα σενάρια και τα αποτελέσματα. Έπειτα θα βαθμολογήσει τα σενάρια ανάλογα με το πόσο κατάλληλα είναι. Έστω ότι βαθμολογεί με 1 το καλύτερο σενάριο και με 4 το χειρότερο. Όποιο σενάριο έχει την χαμηλότερη βαθμολογία θα είναι και το καλύτερο.

Πίνακας 16.6: Ποιοτική σύγκριση σεναρίων

	Σενάριο 1 Thorn (42)	Σενάριο 2 Petridis	Σενάριο 3 Thorn (63)	Σενάριο 4 Arlight
E_m	1	4	3	2
U_o	1	4	3	2
L_m	1	4	3	2
U_o	3	1	2	4
U_i	4	2	1	3
TI	1	4	3	1
R_{EI}	3	4	2	1
D_p	3	4	1	2
D_e	1	2	4	3
Κατανάλωση	1	2	4	3
Σύνολο	19	31	26	23

Σύμφωνα με τον ποιοτικό πίνακα 16.6 το καλύτερο σενάριο είναι το πρώτο, ακολουθεί το τέταρτο, έπειτα το τρίτο και τελευταίο το δεύτερο. Με την ίδια ακριβώς σειρά έχει βγει η καταλληλότητα των σεναρίων και από το πρόγραμμα.

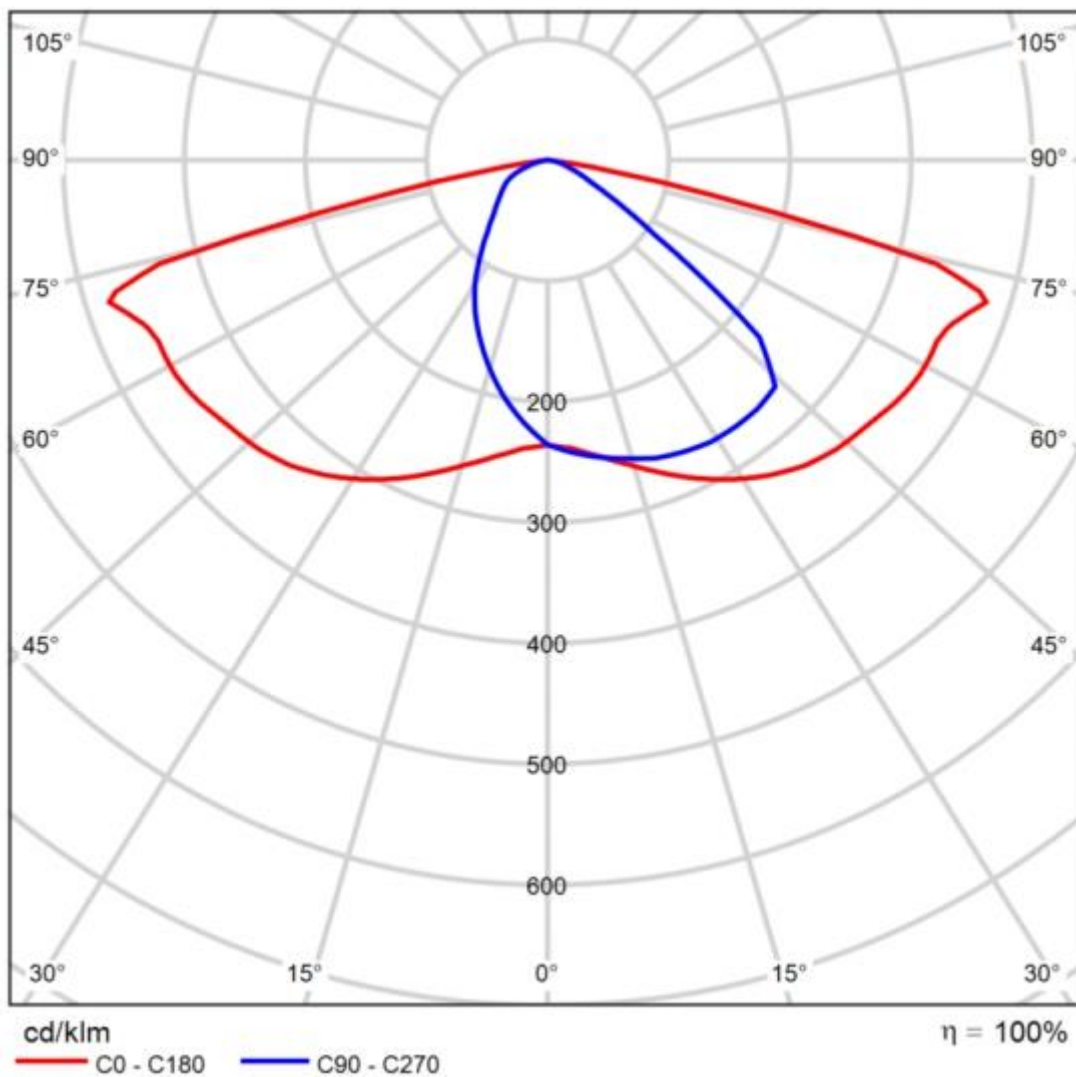
Δηλαδή πρώτη και καλύτερη επιλογή είναι η επιλογή του φωτιστικού STYLED S 24L50 BP NR 740 CL1 της εταιρείας THORN με λάμπα φωτισμού 42 watt.

Η δεύτερη επιλογή είναι το φωτιστικό B 0550 STA-58W-4K(L2) της εταιρείας ARLIGHT με λάμπα φωτισμού 57.2 watt.

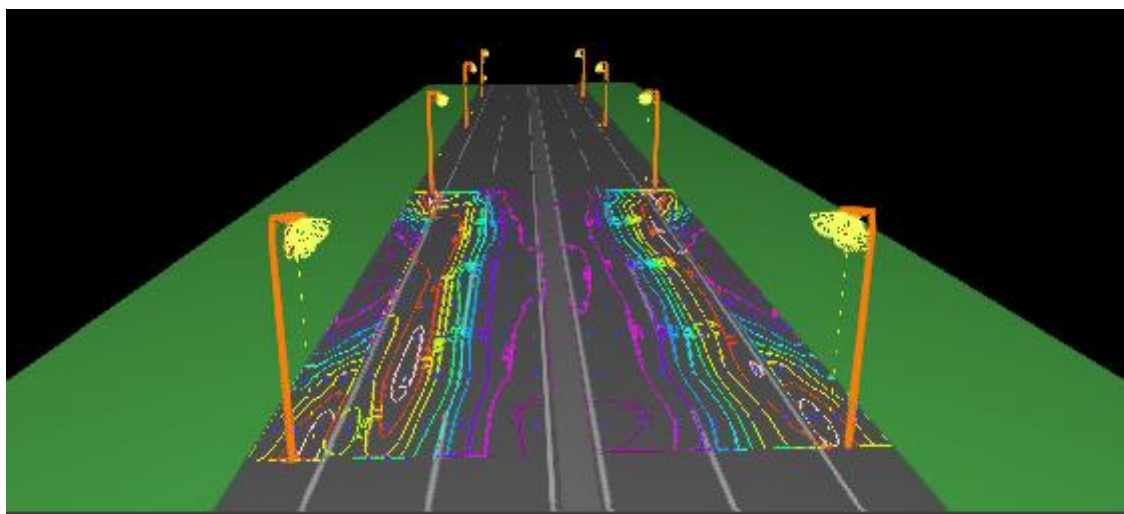
Η τρίτη επιλογή είναι το φωτιστικό τύπου R2L2 M 60L35 NR 740 CL1 της εταιρείας THORN με λάμπα φωτισμού 63 watt.

Ενώ η χειρότερη επιλογή είναι το φωτιστικό SKAT 8 Q 100x100mm 1x54W T16 της εταιρείας PETRIDIS με δύο λάμπες φωτισμού 54 watt.

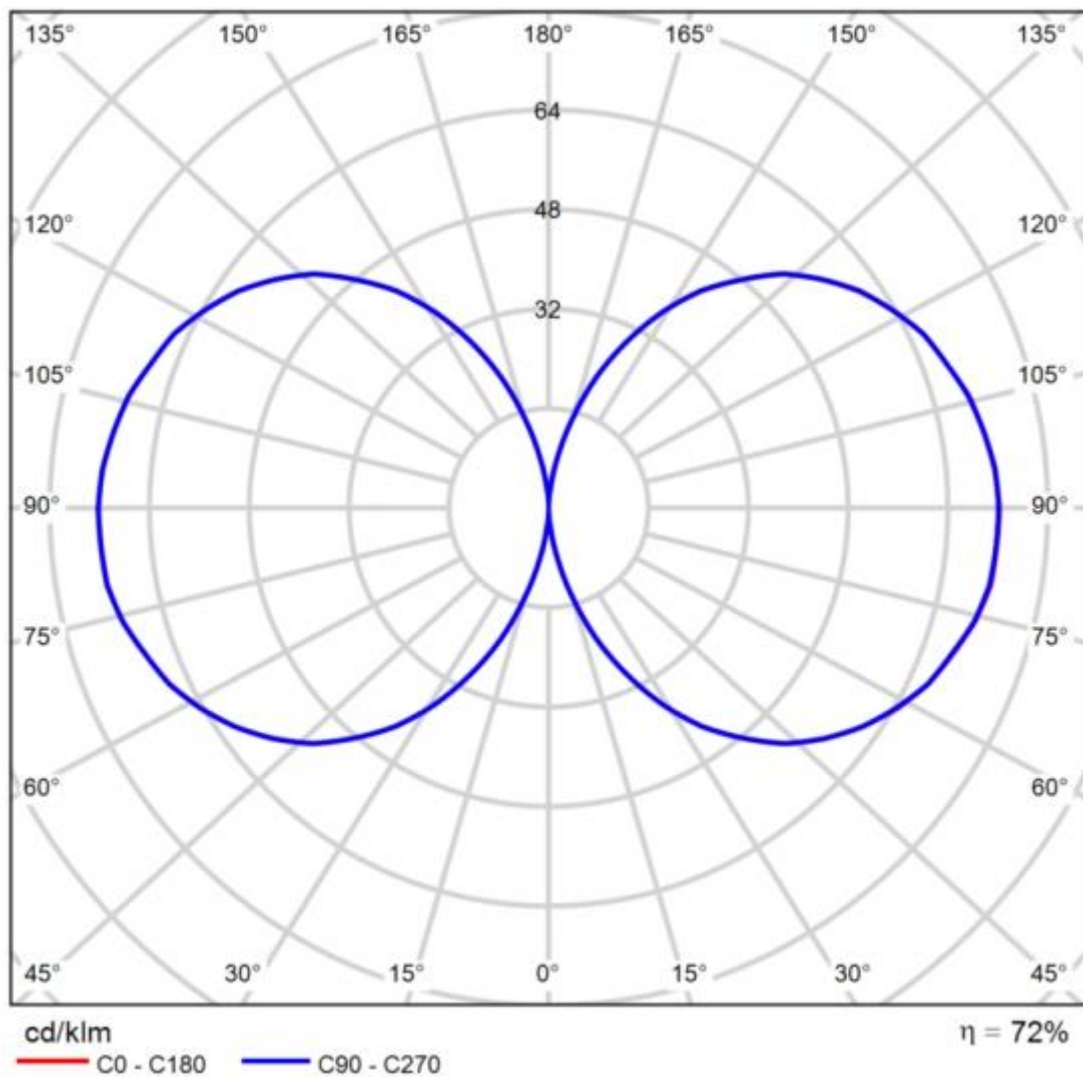
Στα σχήματα 16.1 – 16.8 παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα των φωτιστικών και η τρισδιάστατη προβολή τους μέσω του προγράμματος Dialux. Για περισσότερες λεπτομέρειες ως προς τις μετρήσεις μπορεί ο αναγνώστης να ανατρέξει στο Β τεύχος που συνοδεύει την εργασία.



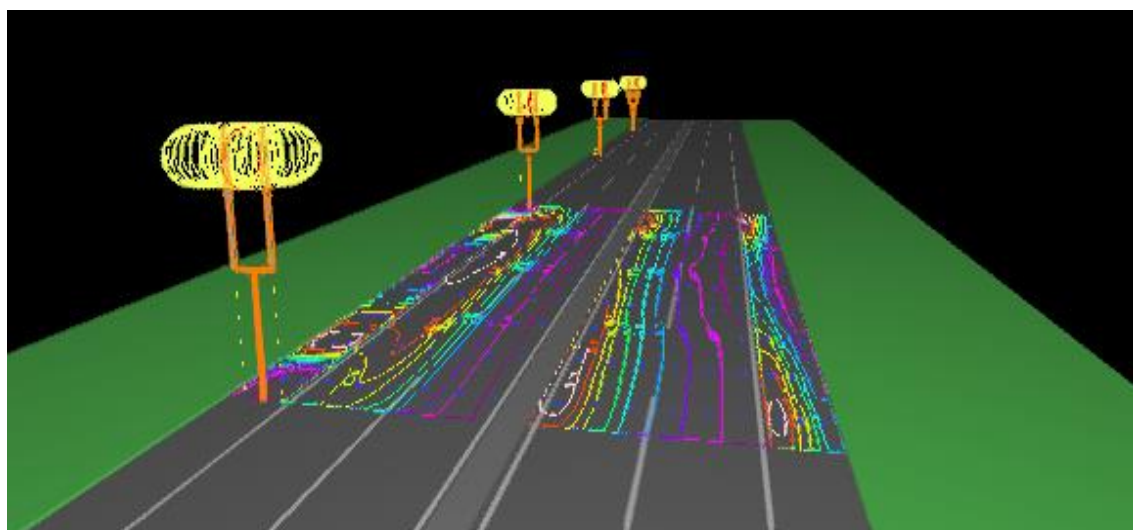
Σχήμα 16.1: Πολικό διάγραμμα Thorn STYLED S 24L50 BP NR 740 CL1



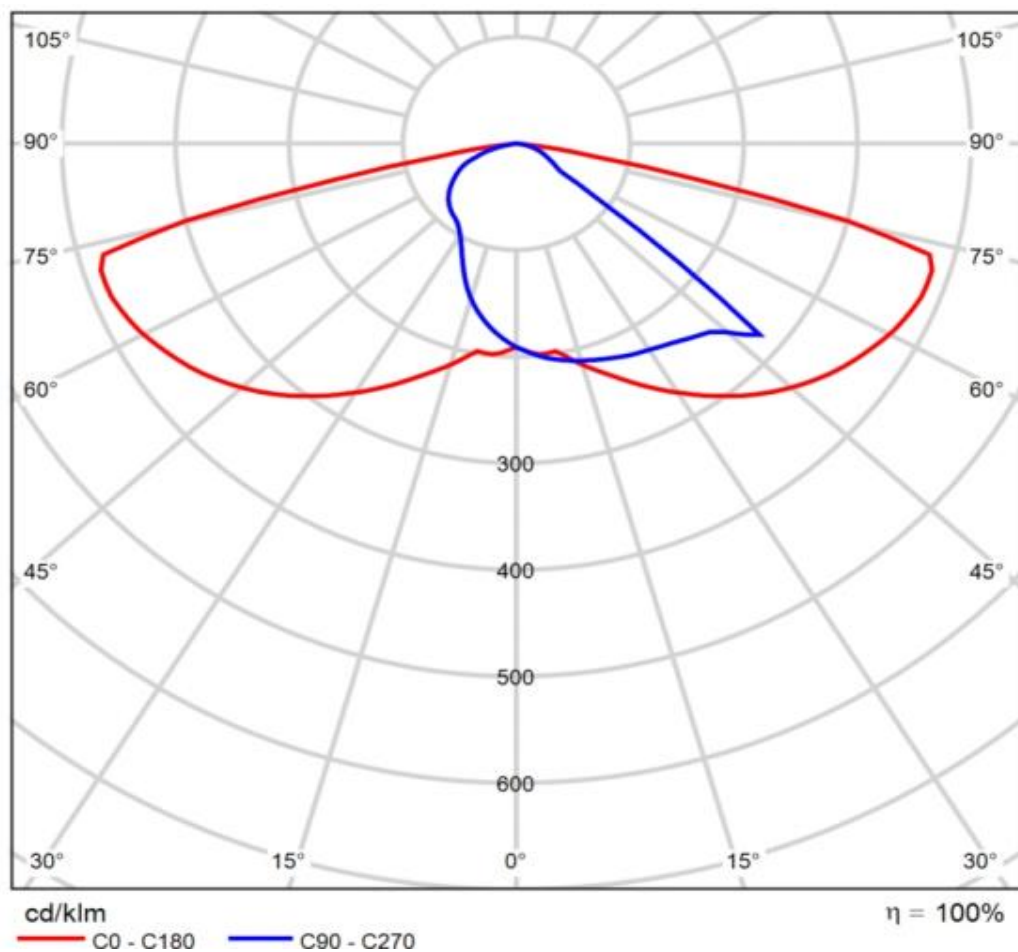
Σχήμα 16.2: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 1



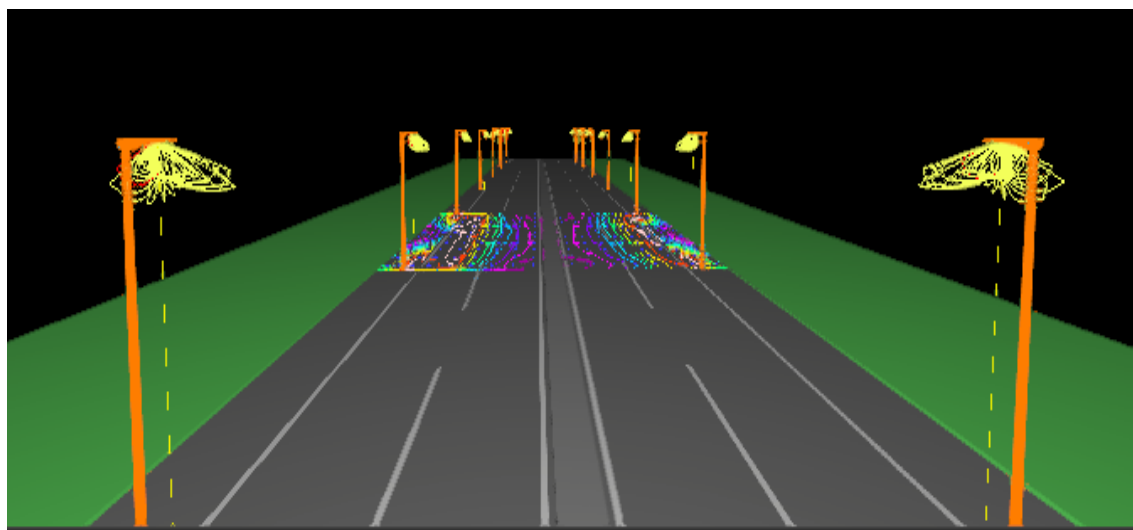
Σχήμα 16.3: Πολικό διάγραμμα PETRIDIS SKAT 8 Q 100x100mm 1x54W T16



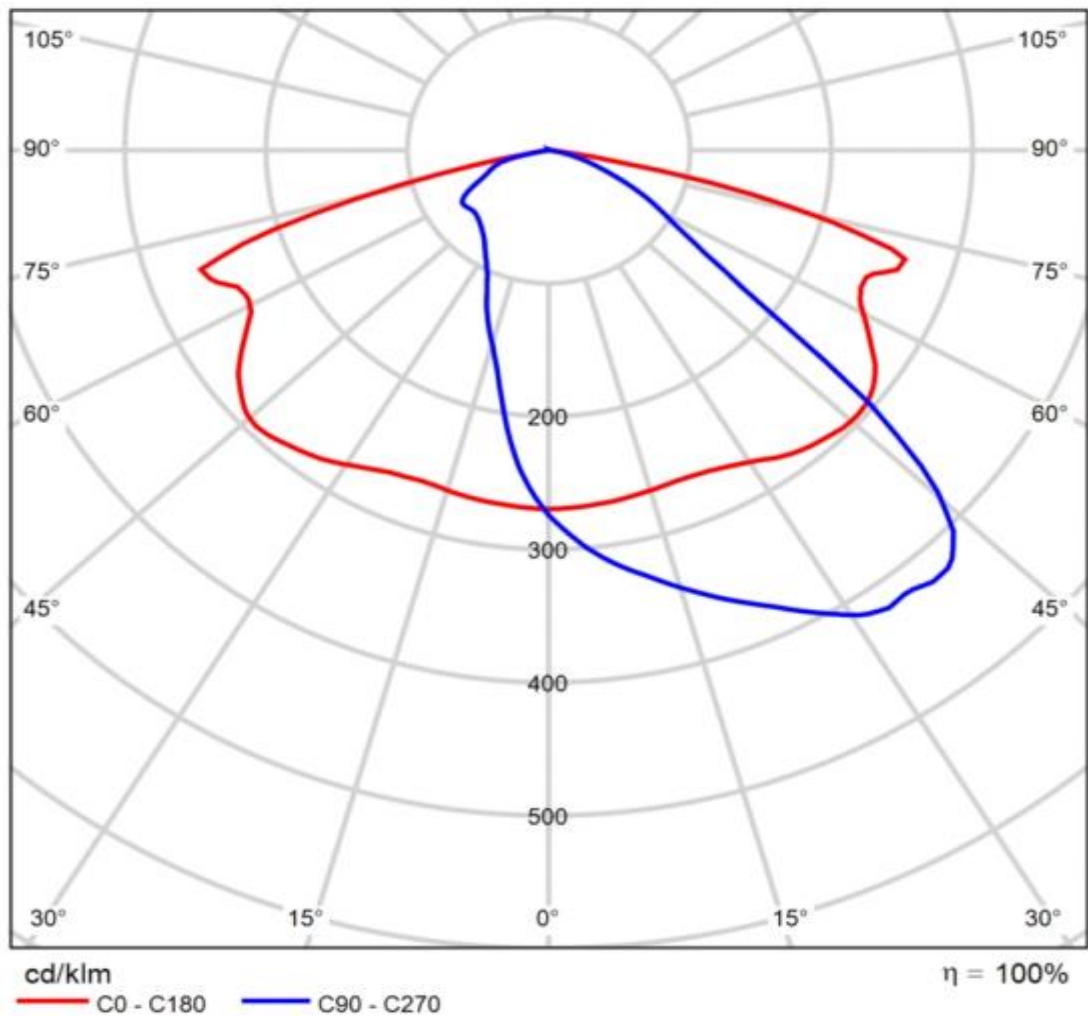
Σχήμα 16.4: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 2



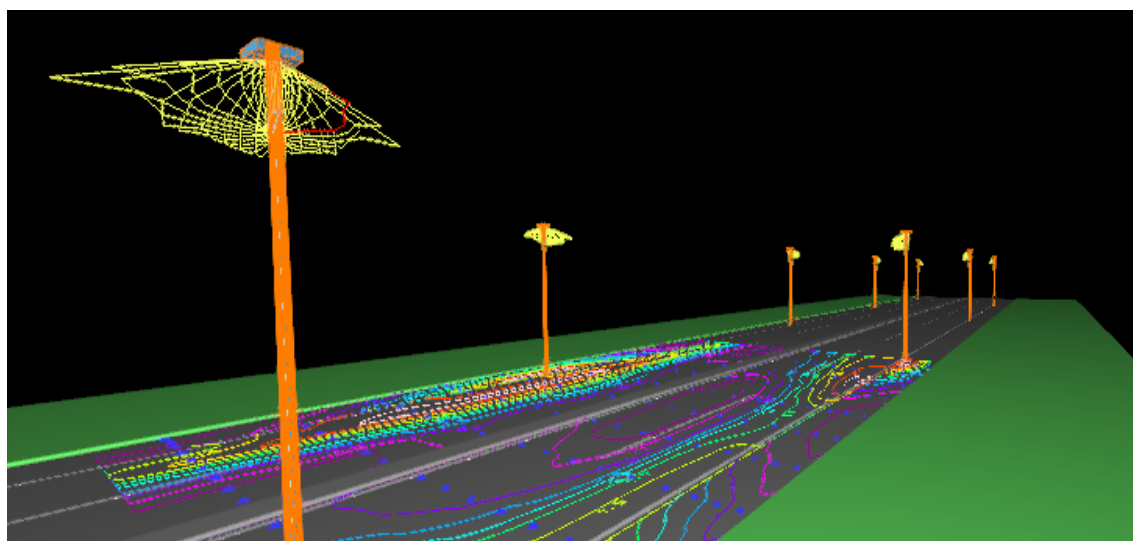
Σχήμα 16.5: Πολικό διάγραμμα Thorn R2L2 M 60L35 NR 740 CL1



Σχήμα 16.6: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 3



Σχήμα 16.7: Πολικό διάγραμμα ARLIGHT B 0550 STA-58W-4K



Σχήμα 16.8: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 4

17. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές και τα βασικά μεγέθη του φωτισμού δρόμου. Πραγματοποιήθηκε μελέτη ενός τυπικού δρόμου δύο κατευθύνσεων, με δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος DIALUX και σύγκριση τεσσάρων διαφορετικών φωτιστικών από διαφορετικές εταιρείες. Συγκρίθηκαν τα μεγέθη τους και οι δυνατότητες τους και το συμπέρασμα είναι ότι το πιο οικονομικό και κοντινό στις απαιτήσεις της μελέτης είναι το φωτιστικό STYLED S 24L50 BP NR 740 CL1 της εταιρείας THORN με λάμπα φωτισμού 42 watt και το χειρότερο είναι το φωτιστικό SKAT 8 Q 100x100mm 1x54W T16 της εταιρείας PETRIDIS με δύο λάμπες φωτισμού 54 watt.

Αυτό που μπορεί κανείς να παρατηρήσει είναι ότι το αποτέλεσμα εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι η απόσταση μεταξύ των ιστών αλλά και το ύψος αυτών, το μέγεθος του λαμπτήρα, η διάταξη των φωτιστικών, το είδος του οδοστρώματος, η χρήση του δρόμου, η διάταξη του αλλά και οι χρήστες αυτού.

Η επιλογή, σαφώς, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως έχουν περιγραφεί στην εργασία, αλλά δεν είναι δυνατόν να μελετηθούν στο πλαίσιο της μελέτης αυτής.

Μπορεί κανείς να δει πως το DIALUX είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη φωτισμού δρόμου. Ο μελετητής μπορεί να εισάγει πολλές διαφορετικές παραμέτρους, να τις επεξεργαστεί εύκολα και να προκύψει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Αν δεν υπήρχαν αυτά τα λογισμικά θα ήταν δύσκολο να εισάγει ο μελετητής όλες τις μεταβλητές.

Συνεπώς το λογισμικό αυτό οδηγεί στην οικονομικότερη αλλά ταυτόχρονα και αποδοτικότερη ενεργειακά λύση, κάτι που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Συνήθως τα έργα έχουν σαν κριτήριο την ισχύ ή την απόδοση. Έτσι, επιτυγχάνεται ασφάλεια στους χρήστες του δρόμου, μείωση της εγκληματικότητας και της φωτορύπανσης, προστασία του περιβάλλοντος και του οικοσυστήματος, μείωση του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας.

Όλα αυτά φέρνουν τις πόλεις πιο κοντά στο να γίνουν «έξυπνες πόλεις» (smart cities). Λεπτομέρειες σχετικά με τις έξυπνες πόλεις βρίσκει κανείς στην «Πράσινη Βίβλο» και στην «Λευκή Βίβλο», οδηγίες που έχουν εκδοθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθούν όλα αυτά πρέπει να υπάρχει χαρτογραφικό υπόβαθρο, κάτι στο οποίο υστερούν οι ελληνικές πόλεις.

Την εργασία συνοδεύει ένα ακόμα τεύχος με όλους τους υπολογισμούς και τις συγκρίσεις που κάνει το DIALUX.

18. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wikipedia, 2013. *Ηλεκτρικός λαμπτήρας*. https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικός_λαμπτήρας [Accessed 10 October 2019]
2. Lyberis, E., 2013. *Αυτός είναι ο λαμπτήρας που ανάβει συνεχώς από το 1901*. <https://www.digitallife.gr/aftos-ine-o-lamptiras-pou-anavi-sinechos-apo-to-1901-40307> [Accessed 10 October 2019]
3. Wikipedia, 2013. *Φως*. <https://el.wikipedia.org/wiki/Φως> [Accessed 10 October 2019]
4. Daze Lighting, 2017. *Η ιστορία του φωτισμού*. <https://www.dazelighting.gr/χρήσιμα-άρθρα/ηλεκτρικός-λαμπτήρας-πυράκτωσης/> [Accessed 10 October 2019]
5. Wikipedia, 2009. *Ορατό φάσμα*. https://el.wikipedia.org/wiki/Ορατό_φάσμα [Accessed 13 October 2019]
6. Wikipedia, 2009. *Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα*. https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρομαγνητικό_φάσμα [Accessed 13 October 2019]
7. Αλόνσο, Μ., Φιν, Ε., 1981, *Θεμελιώδης πανεπιστημιακή φυσική. 2^η*, Κορφιάτης. [Accessed 13 October 2020]
8. Μάζης, Α., 1994, *Φυσική Β' Λυκείου*, ΟΕΔΒ [Accessed 14 October 2020]
9. Wikipedia, 2009. *Όραση*. <https://el.wikipedia.org/wiki/Όραση> [Accessed 15 October 2019]
10. Μερεντίτης, Κ., 2007, *Πειραματικός προσδιορισμός της φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού στην περιοχή της μεσοπικής όρασης*. Διπλωματική εργασία, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/14896/1/DT2007-0138.pdf> [Accessed 15 October 2019]
11. Physicsgg, 2011. *Η ακτινοβολία μέλανος σώματος*. <https://physicsgg.me/2011/08/21/h-ακτινοβολια-μελανοσ-σωματος/> [Accessed 25 October 2019]
12. Physics4u, 2002. *Μέλαν Σώμα*. <http://www.physics4u.gr/articles/2002/blackbody.html> [Accessed 25 October 2019]
13. Σχολή εφαρμοσμένων μαθηματικών και φυσικών επιστημών, 2013. *Εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο http://www.physics.ntua.gr/ergasthria/askhseis_ergasthron/askhsh_35.pdf [Accessed 25 October 2019]
14. Μπεθάνης, Κ., *Σημειώσεις οπτικής*. https://www.aua.gr/~bethanis/hountas_opt.pdf [Accessed 25 October 2019]
15. Ιωαννίδης, Γ., *Χαρακτηριστικά Μεγέθη Λαμπτήρων και Βασικά φωτομετρικά Μεγέθη*. Πειραιάς, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά. [http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/ELEC101/II.%20Διαφάνειες%](http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/ELEC101/II.%20Διαφάνειες%20)

- [20Εργαστηρίου/1.%20Χαρακτηριστικά%20Μεγέθη%20Λαμπτήρων%20%26%20Βασικά%20Φωτομετρικά%20Μεγέθη%20.pdf](#) [Accessed 25 October 2019]
16. Wikipedia, 2013. *Φωτεινή ροή*. https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτεινή_ροή [Accessed 27 October 2019]
17. Ιωαννίδης, Γ., *Σφαίρα Ολοκληρώσεως Ulbricht*. Πειραιάς, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά.
<http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/ELEC101/II.%20Διαφάνειες%20Εργαστηρίου/2.%20Σφαίρα%20Ολοκληρώσεως%20Ulbricht.pdf> [Accessed 27 October 2019]
18. Μήτσου, Γ., *Φωτομετρικά μεγέθη – πολική κατανομή ακτινοβολίας*. Αθήνα, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθηνών http://physics.teiath.gr/physics/opto_lab/pdf%20files/O8.pdf [Accessed 27 October 2019]
19. Wikipedia, 2013, *Φωτεινή ένταση*. https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτεινή_ένταση [Accessed 1 November 2019]
20. Τοπάλης, Φ., 2019, *Θεμελιώδη μεγέθη και νόμοι της φωτομετρίας και πρότυπα για έργα φωτισμού οδών, εξωτερικών χώρων και σηράγγων*. Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tee-files/Lighting-F.V.%20Topalis.pdf> [Accessed 1 November 2019]
21. Ζάρκος, Β., 2017, *Φωτοτεχνική μελέτη σε χώρο εργασίας*, Πάτρα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας
<http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6257/ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ%20ΜΕΛΕΤΗ%20ΣΕ%20ΧΩΡΟ%20ΕΡΓΑΣΙΑΣ..pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed 1 November 2019]
22. Δερμιτζόγλου, Η., 2017, *Αναβάθμιση των βοηθητικών χώρων εργαστηρίου Τ.Υ.Τ. σε αίθουσα διδασκαλίας*. Αιγάλεω: Α.Ε.Ι. Πειραιά.
<http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3798/ELE%2021751.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed 1 November 2019]
23. Wikipedia, 2013, *Ένταση φωτισμού*. https://el.wikipedia.org/wiki/Ένταση_φωτισμού [Accessed 1 November 2019]
24. Μαρουλής, Γ., 2010, *Οικονομικός φωτισμός*. Ηράκλειο: Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου
<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2010/MaroulisGiorgos/attached-document-1273482116-890922-17878/Maroulis2010.pdf> [Accessed 5 November 2019]
25. Wikipedia, 2008, *Λαμπρότητα*. <https://el.wikipedia.org/wiki/Λαμπρότητα> [Accessed 5 November 2019]

26. Ιωαννίδης, Γ., *Μέθοδος της λαμπρότητας*, Πειραιάς: Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
<http://eclass.teipir.gr/openeaclass/modules/document/file.php/ELEC101/I.%20Διαφάνειες%20Θεωρίας/9.%20Μέθοδος%20της%20Λαμπρότητας.pdf> [Accessed 15 November 2019]
27. Wikipedia, 2007. *Ανάκλαση*. <https://el.wikipedia.org/wiki/Ανάκλαση> [Accessed 15 November 2019]
28. Καραμπέλης, Ν., 2018. *Μελέτη φωτισμού δρόμου: Π. εθνική οδός Τρίπολης – Σπάρτης, περιοχή Αγίου Σώστη*. Αιγάλεω: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4555/ele_31674.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 17 November 2019]
29. Παπαθεοδοσίου, Ε., 2018. *Συστήματα διαχείρισης φωτισμού οδών*. Αιγάλεω: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
<http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4547/ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ%20ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ%20ΦΩΤΙΣΜΟΥ%20ΟΔΩΝ.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed 20 November 2019]
30. <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/16803/1/DT2014-0038.pdf> [Accessed 25 November 2019]
31. Ιωαννίδης, Γ., *Φωτοτεχνία*. Πειραιάς: ΑΤΕΙ Πειραιά.
<http://eclass.teipir.gr/openeaclass/modules/document/file.php/ELEC101/I.%20Διαφάνειες%20Θεωρίας/6.%20Θάμβωση%20Εσωτερικών%20Χώρων.pdf> [Accessed 27 November 2020]
32. Επίσημος ιστότοπος Ευρωπαϊκής Ένωσης. *Ενεργειακές ετικέτες*.
https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/energy-labels/index_el.htm [Accessed 1 December 2019]
33. Νικολάου, Π., 2013. *Η εφαρμογή των LED στον φωτισμό δρόμων και οι προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/16803/1/DT2014-0038.pdf> [Accessed 2 December 2019]
34. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, *Απόβλητα ειδών ηλεκτρονικού εξοπλισμού*.
<https://www.eoan.gr/el/content/13/apovlita-eidon-ilektrikou-ilektronikou-exoplismou-ahhe> [Accessed 2 December 2019]
35. Iteh, 2014. *Road lighting Part 1,2,3*.
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/69d92ac3-b17c-4208-bb2b-fab9175bb2a4/cen-tr-13201-1-2014> [Accessed 7 January 2020]
36. ΦΕΚ 1792/Β/2004, 2005.
http://www.ggde.gr/dmdocuments/d13hlek_091204_apofaseis_odikouftismou.pdf [Accessed 10 January 2020]

37. ΦΕΚ 407/Β/2010, Άρθρο 5, 2010.
<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/FEK%20407-B-2010%20-%20KENAK.pdf>
[Accessed 12 January 2020]
38. Cie, 2019, *Use of an imaging luminance measuring device to evaluate road lighting performance at different angles of observation.* http://files.cie.co.at/x046_2019/x046-OP75.pdf [Accessed 20 January 2020]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Σχήμα 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	10
Σχήμα 2.2: Γραφική αναπαράσταση λόγου V_λ / λ	13
Σχήμα 3.1: Κοιλότητα με οπή, προσεγγιστική πραγμάτωση μέλανος σώματος	15
Σχήμα 4.1: Επίπεδη γωνία θ	16
Σχήμα 4.2: Στερεά γωνία Ω	17
Σχήμα 4.3: Φωτεινή απόδοση σε φωτοπική και σκοτοπική όραση	17
Σχήμα 4.4: Σφαίρα του Ulbricht	19
Σχήμα 4.5: Ορισμός φωτεινής έντασης	20
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα πολικής κατανομής φωτεινής έντασης	21
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα πολικής κατανομής	22
Σχήμα 4.8: Διάφορα λουξόμετρα	24
Σχήμα 4.9: Ορισμός έντασης φωτισμού	25
Σχήμα 4.10: Νόμος συνημίτονου	26
Σχήμα 4.11: Διαφορετική λαμπρότητα πηγών ίδιας ισχύος, διαφορετικών διαστάσεων	27
Σχήμα 4.12: Λαμπρότητα υπό γωνία	28
Σχήμα 4.13: Φάσμα θερμοκρασιών – χρωμάτων	33
Σχήμα 4.14: Λαμπτήρες LED filament	33
Σχήμα 4.15: Test Colour Samples	34
Σχήμα 5.1: Παραδείγματα αντίθεσης λαμπρότητας	41
Σχήμα 6.1: Διάφοροι λαμπτήρες πυρακτώσεως	44
Σχήμα 6.2: Λαμπτήρας πυρακτώσεως με καθρέπτη	45
Σχήμα 6.3 Λαμπτήρας αλογόνου	47
Σχήμα 6.4: Λαμπτήρας αλογόνου καθρέπτη	48
Σχήμα 6.5: Λαμπτήρας αλογόνου ιωδίνης	49
Σχήμα 6.6: Λαμπτήρας αλογόνου	49
Σχήμα 6.7: Ευθύγραμμος και κυκλικός λαμπτήρας φθορισμού	53
Σχήμα 6.8: Διάταξη λαμπτήρα ατμών υδραργύρου	55

Σχήμα 6.9: Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου	56
Σχήμα 6.10: Λαμπτήρας ατμών νατρίου.....	57
Σχήμα 7.1: Πολικό διάγραμμα (αριστερά) – Διάγραμμα γωνιών ημίσειος εύρους (δεξιά) ..	62
Σχήμα 7.2: Μη ικανοποιητικό παράδειγμα οδοφωτισμού με φακό συμμετρικής κατανομής	63
Σχήμα 7.3: Ικανοποιητικό παράδειγμα οδοφωτισμού με φακό ασύμμετρης κατανομής	63
Σχήμα 8.1: Τύποι κατανομής φωτός κατά IESNA.....	64
Σχήμα 8.2: Φωτιστικό τύπου 3 μεγάλης πλευρικής διάδοσης.....	65
Σχήμα 8.3: Έλεγχος διάδοσης φωτός πάνω στην περιοχή μέγιστης έντασης φωτισμού ..	66
Σχήμα 13.1: Τυπικές περιοχές μέτρησης οδοφωτισμού	120
Σχήμα 13.2: Τυποποιημένος κάναβος μετρήσεων λαμπρότητας ή έντασης φωτισμού...	121
Σχήμα 13.3: Λήψη του συνόλου της περιοχής μέτρησης για μέτρηση λαμπρότητας με συσκευή ILMD	122
Σχήμα 13.4: Συσκευή ILMD και αναλυτική περιγραφή της.....	124
Σχήμα 13.5: Συσκευή ILMD, επί τω έργω.....	124
Σχήμα 14.1: Ενδεικτική τοπολογία συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης δικτύου οδοφωτισμού	132
Σχήμα 14.2: Συσκευή HDR – ILMD της Cerema	134
Σχήμα 14.3: Πλέγμα σημείων μέτρησης.....	134
Σχήμα 14.4: Θέση σημείων πλέγματος μέτρησης (αριστερά), Φωτεινότητα στα σημεία μέτρησης (δεξιά)	135
Σχήμα 14.5: Συνεχόμενες μετρήσεις μέσης φωτεινότητας	136
Σχήμα 14.6: Συνεχόμενες μετρήσεις ομοιομορφίας.....	136
Σχήμα 15.1: Αρχικό περιβάλλον προγράμματος DIALUX.....	138
Σχήμα 15.2: Περιβάλλον στην επιλογή «Φωτισμός δρόμου»	138
Σχήμα 15.3: Στοιχεία μελέτης.....	141
Σχήμα 15.4: Καρτέλα αποτελεσμάτων	142
Σχήμα 15.5: Πεδίο τεκμηρίωσης	142

Σχήμα 16.1: Πολικό διάγραμμα ARLIGHT B 0550 STA-58W-4K**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 16.2: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 1.....151

Σχήμα 16.3: Πολικό διάγραμμα PETRIDIS SKAT 8 Q 100x100mm 1x54W T16152

Σχήμα 16.4: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 2.....152

Σχήμα 16.5: Πολικό διάγραμμα Thorn R2L2 M 60L35 NR 740 CL1153

Σχήμα 16.6: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 3.....153

Σχήμα 16.7: Πολικό διάγραμμα Thorn STYLED S 24L50 BP NR 740 CL1**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

Σχήμα 16.8: Φωτισμός δρόμου Σενάριο 4.....154

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας 2.1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα – συχνότητες - ενέργειες.....	11
Πίνακας 4.1: Τυπικές λαμπρότητες φωτεινών πηγών.....	29
Πίνακας 4.2: Κλάσεις και τύπος προστασίας.....	35
Πίνακας 5.1: Κλίμακα G	39
Πίνακας 8.1 Κώδικας προστασίας IP	67
Πίνακας 8.2: Διαβάθμιση αντοχής σε στερεά σωματίδια.....	68
Πίνακας 8.3: Διαβάθμιση προστασίας από τα υγρά	69
Πίνακας 8.4: Πρότυπα ασφαλείας και επίδοσης για τις υπάρχουσες κατηγορίες λαμπτήρων	70
Πίνακας 8.5: Πρότυπα ασφαλείας και επίδοσης για τα συστήματα ελέγχου.....	71
Πίνακας 8.6: Πρότυπα ασφαλείας που διέπουν τη συνολική λειτουργία των φωτιστικών .	71
Πίνακας 10.1: Κριτήριο 1 – Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας οδού	79
Πίνακας 10.2: Κριτήριο 2 – Κυκλοφοριακός φόρτος	80
Πίνακας 10.3: Κριτήριο 3 – Σύνθεση χρηστών	81
Πίνακας 10.4: Κριτήριο 4 – Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας.....	81
Πίνακας 10.5: Κριτήριο 5 – Πυκνότητα κόμβων.....	82
Πίνακας 10.6: Κριτήριο 6 – Σταθμευμένα οχήματα.....	82
Πίνακας 10.7: Κριτήριο 7 – Φωτισμός περιβάλλοντος	83
Πίνακας 10.8: Κριτήριο 8 – Δυσκολία οδήγησης.....	83
Πίνακας 10.9: Αντιστοίχιση κλάσεων M και C.....	85
Πίνακας 10.10: Κριτήριο 1 – Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	86
Πίνακας 10.11: Κριτήριο 2 – Κυκλοφοριακός φόρτος	86
Πίνακας 10.12: Κριτήριο 3 – Σύνθεση χρηστών	87
Πίνακας 10.13: Κριτήριο 4 – Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας.....	87
Πίνακας 10.14: Κριτήριο 5 – Σταθμευμένα οχήματα	87

Πίνακας 10.15: Κριτήριο 6 – Φωτισμός περιβάλλοντος	88
Πίνακας 10.16: Κριτήριο 7 – Δυσκολία οδήγησης.....	88
Πίνακας 10.17: Κριτήριο 1 – Ταχύτητα οδού ή όριο ταχύτητας.....	89
Πίνακας 10.18: Κριτήριο 2 – Κυκλοφοριακός φόρτος	89
Πίνακας 10.19: Κριτήριο 3 – Σύνθεση χρηστών	90
Πίνακας 10.20: Κριτήριο 4 – Σταθμευμένα οχήματα	90
Πίνακας 10.21: Κριτήριο 5 – Φωτισμός περιβάλλοντος	91
Πίνακας 10.22: Παραδείγματα επιλογής κλάσεων κατά CEN / TR 1301 – 1:2014	93
Πίνακας 10.23: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού M κατά ΕΛΟΤ EN 13201 – 2:2016.....	95
Πίνακας 10.24: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού C κατά ΕΛΟΤ EN 13201 – 2:2016.....	96
Πίνακας 10.25: Απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού P κατά ΕΛΟΤ EN 13201 – 2:2016	97
Πίνακας 11.1: Παράδειγμα τυπικής ομαδοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών.....	102
Πίνακας 11.2: Παράδειγμα τυπικής ομαδοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών.....	103
Πίνακας 11.3: Ενδεικτικοί υπολογισμοί του D_p για οδούς κλάσης M	106
Πίνακας 11.4: Ενδεικτικοί υπολογισμοί του D_e για οδούς κλάσης M.....	107
Πίνακας 12.1: Ανάλυση κόστους επένδυσης.....	109
Πίνακας 12.2: Εναλλακτικά κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης.....	112
Πίνακας 13.1: Ελάχιστες απαιτήσεις οργάνων μέτρησης εγκαταστάσεων οδοφωτισμού	125
Πίνακας 16.1: Βασικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων φωτιστικών	143
Πίνακας 16.2: Πρώτα αποτελέσματα – δεδομένα από το πρόγραμμα και βασικά χαρακτηριστικά	144
Πίνακας 16.3: Μέγιστες εντάσεις φωτισμού.....	145
Πίνακας 16.4: Βασικά αποτελέσματα για ΛΕΑ και οδόστρωμα	146
Πίνακας 16.5: Δείκτες ενεργειακής απόδοσης και ετήσια κατανάλωση	148
Πίνακας 16.6: Ποιοτική σύγκριση σεναρίων	149

Σας ευχαριστώ...