

**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**“ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ  
ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ,  
ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΝΑΠΛΑΣΗΣ ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΗΣ  
ΠΛΑΤΕΙΑΣ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:** Δρ. Σταύρος Καμινάρης, Αναπληρωτής Καθηγητής

**Σπουδαστής:** Αιμίλιος Γιαπιτζιόγλου Α.Μ.: 40655

**ΑΙΓΑΛΕΩ**

**ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2017**

Copyright © Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ίδρυματος Πειραιά.

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. για τη γνώση και τη παιδεία που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου. Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα κο Σταύρο Καμινάρη, Αναπληρωτή Καθηγητή, για την θετική διδασκαλία και αποτελεσματική πειθαρχία, και στον κο Χρήστο Παπαδόπουλο, Πανεπιστημιακό Υπότροφο, για την επιστημονική καθοδήγηση που μου πρόσφεραν. Ακόμη, ευχαριστίες οφείλω στο Δήμο Γαλασίου και ιδιαίτερα στο τμήμα Η/Μ Μελετών & Έργων της Τεχνικής Υπηρεσίας αυτού για την πλήρη παροχή πληροφοριών και την απεριόριστη βοήθεια που δέχθηκα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Γιώργο και Σοφία για τη δια παντός υποστήριξη που μου χορήγησαν ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία η πτυχιακή εργασία μου.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την ανάπλαση μιας κοινόχρηστης πλατείας. Περιλαμβάνει τη θεωρητική ανάλυση ορών και εννοιών που σχετίζονται με το αντικείμενο της Φωτοτεχνίας, καθώς και την φωτοτεχνική και ηλεκτρολογική μελέτη που απαιτείται για την ανάπλαση της πλατείας.

Το 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιλαμβάνει βασικές έννοιες που σχετίζονται με το αντικείμενο της Φωτοτεχνίας. Σε αυτές τις έννοιες περιλαμβάνονται η φωτεινή ροή, η φωτεινή ένταση και η ένταση φωτισμού.

Το 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιέχει τις βασικές κατηγορίες των λαμπτήρων που αφορούν φωτισμό δρόμου. Επίσης, περιέχει τη δομή, τις αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά αυτών των λαμπτήρων.

Το 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στα φωτιστικά σώματα. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στη δομή και τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων, καθώς και στους ιστούς τοποθέτησης αυτών.

Το 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο κάνει αναφορά στην ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000 «Guide to the Lighting of Urban Areas». Ακόμη, γίνεται αναφορά στα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού.

Το 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιλαμβάνει εργαλεία φωτοτεχνικής ανάλυσης και παρουσιάζει ένα από αυτά, το λογισμικό DIALux. Επίσης, περιέχει τα κριτήρια επιλογής των φωτιστικών σωμάτων και των λαμπτήρων.

Το 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιλαμβάνει τη μελέτη φωτισμού της πλατείας, η οποία έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού DIALux, ενώ το 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιλαμβάνει την ηλεκτρολογική μελέτη της πλατείας, η οποία έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού AutoCAD.

**Λέξεις κλειδιά: πλατεία, μελέτη, Φωτοτεχνία, λαμπτήρες, φωτιστικά σώματα.**

## **ABSTRACT**

This diploma thesis aims at the creation of a public square. It includes the theoretical analysis of the concepts that related to the subject of Lighting, as well as the lighting and electrical study that required for the square.

The first chapter contains basic concepts that related to the subject of Lighting. These include luminous flux, luminous intensity and illuminance.

The second chapter contains the main categories of street lighting lamps. It also contains the structure, operating principles and characteristics of these lamps.

The third chapter refers to luminaires. In particular, reference is made to the structure and properties of the luminaires, as well as to their placement webs.

The fourth chapter refers to the European CIE 136-2000 "Urban Lighting Guide". Still, reference is made to the desired lighting levels.

The fifth chapter includes phototechnical analysis tools and presents one of them, the DIALux software. It also contains the criteria for selecting luminaires and lamps.

The sixth chapter includes the study of the lighting of the square, which was made with the help of the DIALux software, while the 7th Chapter includes the electrical study of the square, which was done with the help of the AutoCAD software.

**Keywords: square, study, lighting, lamps, luminaires.**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	vi
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	ix
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : «ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ».....	1
1.1 Φωτεινή Ροή.....	1
1.2 Φωτεινή Ένταση.....	5
1.3 Ένταση Φωτισμού.....	9
1.4 Λαμπρότητα.....	11
1.5 Απόδοση Φωτεινής Πηγής.....	13
1.6 Ομοιομορφία Λαμπρότητας.....	14
1.7 Αντίθεση Λαμπρότητας.....	15
1.8 Θάμβωση.....	16
1.9 Ανάκλαση.....	20
1.10 Χρώμα.....	23
1.10.1 Ορισμός.....	23
1.10.2 Ενεργειακή Φασματική Κατανομή.....	24
1.10.3 Θερμοκρασία Χρώματος.....	24
1.10.4 Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : «ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ».....	29
2.1 Βασικές Κατηγορίες Λαμπτήρων.....	29
2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων.....	29
2.3 Λαμπτήρες Πυρακτώσεως.....	31
2.4 Λαμπτήρες Εκκενώσεως.....	37
2.4.1 Αρχές Λειτουργίας – Υποκατηγορίες.....	37
2.4.2 Ballast.....	39
2.4.3 Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης.....	43
2.4.3.1 Δομή.....	43
2.4.3.2 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά.....	44
2.4.4 Λαμπτήρες Φθορισμού.....	48
2.4.4.1 Δομή.....	48

2.4.4.2	Λειτουργία-Χαρακτηριστικά.....	50
2.4.4.3	Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού.....	55
2.4.5	Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων.....	58
2.4.5.1	Δομή.....	58
2.4.5.2	Λειτουργία – Χαρακτηριστικά.....	60
2.4.6	Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης.....	61
2.4.6.1	Δομή.....	61
2.4.6.2	Λειτουργία – Χαρακτηριστικά.....	64
2.4.7	Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης.....	66
2.4.7.1	Δομή.....	66
2.4.7.2	Λειτουργία – Χαρακτηριστικά.....	68
2.5	Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι.....	70
2.6	Λαμπτήρες Επαγωγής.....	74
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: «ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ».....</b>		<b>78</b>
3.1	Δομή.....	78
3.2	Φωτομετρικά Χαρακτηριστικά.....	83
3.3	Ιστοί Τοποθέτησης Φωτιστικών.....	84
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: «ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ CIE 136-2000: GUIDE TO THE LIGHTING OF URBAN AREAS».....</b>		<b>87</b>
4.1	Σκοπός Προτύπου.....	87
4.2	Κριτήρια, Επιθυμητά Επίπεδα Φωτισμού.....	89
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: «ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ».....</b>		<b>101</b>
5.1	Προγράμματα Φωτοτεχνικών Υπολογισμών (Dialux,4M,κλπ).....	101
5.2	Το Λογισμικό DIALux.....	102
5.3	Επιλογή Φωτιστικών Σωμάτων & Λαμπτήρων.....	103
5.3.1	Φωτοτεχνικά Χαρακτηριστικά Φωτιστικών Σωμάτων.....	103
5.3.2	Αισθητική σχεδιασμού Φωτιστικών Σωμάτων & Ιστών.....	104
5.3.3	Διατάξεις Αυτοματισμού & Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	104
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: «ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ».....</b>		<b>106</b>
6.1	Μελέτη Φωτισμού Πλατείας.....	106
6.2	Παραγόμενο Αποτέλεσμα DIALux.....	107
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: «ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ».....</b>		<b>120</b>
7.1	Μονογραμμικό Πίλλαρ.....	120
7.2	Πίλλαρ -Γραμμές.....	121
7.3	Σχέδιο Πλατείας.....	124
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>		<b>126</b>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... 127



## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.1: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που περιλαμβάνει τα κύματα του ορατού φωτός και των άλλων επιμέρους περιοχών. ....	1
Σχήμα 1.1.2: Ο συντελεστής φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού $V_\lambda$ σε συνάρτηση με το μήκος κύματος ( $\lambda$ ). ....	3
Σχήμα 1.1.3: Η σφαίρα ολοκλήρωσης Ulbricht. ....	4
Σχήμα 1.2.1: Η στοιχειώδης στερεά γωνία. ....	5
Σχήμα 1.2.2: Ο υπολογισμός της φωτεινής έντασης. ....	6
Σχήμα 1.2.3: Η φωτομετρική επιφάνεια ενός απλού λαμπτήρα. ....	8
Σχήμα 1.2.4: Το διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης ενός απλού λαμπτήρα. ....	8
Σχήμα 1.3.1: Η ένταση φωτισμού μιας επιφάνειας. ....	9
Σχήμα 1.3.2: Το φωτόμετρο. ....	10
Σχήμα 1.4.1: Οι αυτόφωτες πηγές στο ανθρώπινο μάτι. ....	11
Σχήμα 1.4.2: Η πορεία της ακτινοβολίας από την αυτόφωτη πηγή στο ανθρώπινο μάτι. ....	12
Σχήμα 1.8.1: Η κρίσιμη γωνία εκπομπής $\gamma$ . ....	17
Σχήμα 1.8.2: Το διάγραμμα καμπυλών λαμπρότητας. ....	19
Σχήμα 1.8.3: Το διάγραμμα καμπυλών λαμπρότητας. ....	19
Σχήμα 1.9.1: Η κανονική ανάκλαση. ....	21
Σχήμα 1.9.2: Η διαχέουσα ανάκλαση. ....	21
Σχήμα 1.9.3: Η ημιδιαχέουσα ανάκλαση. ....	21
Σχήμα 1.9.4: Η μικτή ανάκλαση. ....	22
Σχήμα 1.10.1: Η ανάλυση του λευκού φωτός στα χρώματα του φάσματος του ορατού φωτός. ....	23
Σχήμα 1.10.2: Παραδείγματα θερμοκρασίας χρώματος. ....	25

Σχήμα 1.10.3: Το χρωματικό διάγραμμα κατά CIE.....	27
Σχήμα 1.10.4: Παράδειγμα χρωματικής απόδοσης. ....	28
Σχήμα 2.2.1: Παράδειγμα χαρακτηριστικών ενός τυχαίου τύπου λαμπτήρα L.E.D.. ....	31
Σχήμα 2.3.1: Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως.....	31
Σχήμα 2.3.2: Το σχήμα του κώδωνα των λαμπτήρων πυρακτώσεως.....	32
Σχήμα 2.3.3: Οι μορφές και οι ονομασίες των νημάτων των λαμπτήρων πυρακτώσεως. .....	33
Σχήμα 2.3.4: Οι τύποι βάσεων των λαμπτήρων πυρακτώσεως.....	34
Σχήμα 2.3.5: Ένας τυχαίος τύπος λαμπτήρα αλογόνου.....	35
Σχήμα 2.3.6: Ο κύκλος του αλογόνου.....	36
Σχήμα 2.3.7: Οι φασματικές κατανομές των λαμπτήρων πυρακτώσεως και αλογόνου.	37
Σχήμα 2.4.1: Τα συνηθέστερα σχήματα των λαμπτήρων εκκένωσης.....	38
Σχήμα 2.4.2: Οι συνηθέστεροι τύποι βάσεων των λαμπτήρων εκκένωσης.....	39
Σχήμα 2.4.3: Το ηλεκτρομαγνητικά ballast.....	40
Σχήμα 2.4.4: Ο πυκνωτής αντιστάθμισης.....	40
Σχήμα 2.4.5: Οι εκκινητές τυχαίων τύπων λαμπτήρων εκκενώσεως.....	41
Σχήμα 2.4.6: Το ηλεκτρονικό ballast τυχαίου τύπου λαμπτήρα εκκενώσεως.....	41
Σχήμα 2.4.7: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.....	43
Σχήμα 2.4.8: Οι μορφές των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.....	45
Σχήμα 2.4.9: Η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης α) χωρίς επικάλυψη και β) με επικάλυψη φωσφόρου.....	46
Σχήμα 2.4.10: Ο λαμπτήρας μικτού φωτισμού.....	47
Σχήμα 2.4.11: Η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα μικτού φωτισμού.....	47
Σχήμα 2.4.12: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα φθορισμού.....	48

Σχήμα 2.4.13: Τα βασικά σχήματα και οι τύποι κάποιων απλών λαμπτήρων φθορισμού. .....	49
Σχήμα 2.4.14: Το κύκλωμα συνδεσμολογίας για δύο λαμπτήρες φθορισμού.....	51
Σχήμα 2.4.15: Η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα φθορισμού συναρτήσσει της διαμέτρου του.....	52
Σχήμα 2.4.16: Η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα φθορισμού συναρτήσσει του μήκους του.....	52
Σχήμα 2.4.17: Η φωτεινή απόδοση, η ισχύς και η φωτεινή ροή ενός λαμπτήρα φθορισμού συναρτήσσει της τάσης τροφοδοσίας.....	53
Σχήμα 2.4.18: Η φωτεινή ροή διαφόρων λαμπτήρων φθορισμού συναρτήσσει της διάρκειας ζωής τους.....	54
Σχήμα 2.4.19: Η φωτεινή απόδοση, η ισχύς και η φωτεινή ροή ενός λαμπτήρα φθορισμού συναρτήσσει της θερμοκρασίας.....	54
Σχήμα 2.4.20: Η φασματική κατανομή ενός λαμπτήρα φθορισμού TL5 υψηλής φωτεινής ροής.....	55
Σχήμα 2.4.21: Οι τύποι των κωδόνων των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.....	55
Σχήμα 2.4.22: Οι τύποι των βάσεων των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.....	56
Σχήμα 2.4.23: Η επίδραση των αμαλαγμάτων στη φωτεινή ροή των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.....	57
Σχήμα 2.4.24: Η φασματική κατανομή ενός τυχαίου συμπαγούς λαμπτήρα φθορισμού τεσσάρων ακίδων.....	57
Σχήμα 2.4.25: Τα σχήματα και οι βάσεις λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων.....	58
Σχήμα 2.4.26: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων... ..	59
Σχήμα 2.4.27: Η φασματική κατανομή διαφόρων λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων. .....	61
Σχήμα 2.4.28: Το σχήμα των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.....	62
Σχήμα 2.4.29: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης.....	62

Σχήμα 2.4.30: Η επίδραση της πίεσης των ατμών του νατρίου στη φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.....	64
Σχήμα 2.4.31: Η επίδραση της πίεσης των ατμών του νατρίου στη θερμοκρασία χρώματος και στο δείκτη χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.....	65
Σχήμα 2.4.32: Η φασματική κατανομή διαφόρων λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.	65
Σχήμα 2.4.33: Ο επιμήκης λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης.....	67
Σχήμα 2.4.34: Ο σχήματος «U» λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης. ....	68
Σχήμα 2.4.35: Η φασματική κατανομή ενός τυχαίου λαμπτήρα νατρίου χαμηλής πίεσης. ....	68
Σχήμα 2.4.36: Η επίδραση της γήρανσης των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης στο χρόνο έναυσης. ....	69
Σχήμα 2.4.37: Η επίδραση της τάσης τροφοδοσίας στην φωτεινή απόδοση, στη φωτεινή ροή και στην ισχύ των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης. ....	70
Σχήμα 2.5.1: Η δομή των φωτοεκπέμπουσων διόδων.....	71
Σχήμα 2.5.2: Οι διάφοροι τύποι των φωτοεκπέμπουσων διόδων.....	72
Σχήμα 2.5.3: Η φασματική κατανομή μιας τυχαίας φωτοεκπέμπουσας διόδου με φωσφορίζουσα επίστρωση.....	73
Σχήμα 2.5.4: Η επίδραση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τη δίοδο στη φωτεινή ροή της. ....	73
Σχήμα 2.5.5: Η επίδραση της γήρανσης της δίοδο στη φωτεινή ροή της.....	74
Σχήμα 2.6.1: Η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα επαγωγής. ....	75
Σχήμα 2.6.2: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός τυπικού λαμπτήρα επαγωγής.....	76
Σχήμα 2.6.3: Δύο τυπικοί λαμπτήρες επαγωγής.....	77
Σχήμα 3.1.1: Τύπος I.....	79
Σχήμα 3.1.2: Τύπος II. ....	79
Σχήμα 3.1.3: Τύπος III.....	79

Σχήμα 3.1.4: Τύπος IV.....	80
Σχήμα 3.1.5: Τύπος V.....	80
Σχήμα 3.1.6: Το φωτιστικό σώμα μη-αποκοπής (non-cutoff).....	81
Σχήμα 3.1.7: Το φωτιστικό σώμα ημι-αποκοπής (semi-cutoff). ....	81
Σχήμα 3.1.8: Το φωτιστικό σώμα πλήρους αποκοπής (full-cutoff). ....	82
Σχήμα 3.1.9: Το φωτιστικό σώμα αποκοπής (cutoff).....	82
Σχήμα 3.3.1: Ένας τυχαίος τύπος βραχίονα. ....	84
Σχήμα 3.3.2: Ένας τυχαίος τύπος ιστού τοποθέτησης φωτιστικού σώματος με όλα τα επιμέρους χαρακτηριστικά του από τη κατασκευαστική του εταιρία. ....	85
Σχήμα 5.2.1: Το λογότυπο του λογισμικού DIALux.....	102
Σχήμα 7.1.1: Το ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο του πύλλαρ της πλατείας.....	120
Σχήμα 7.1.2: Οι συμβολισμοί του ηλεκτρολογικού μονογραμμικού σχεδίου του πύλλαρ της πλατείας. ....	121
Σχήμα 7.3.1: ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο της κάτοψης της πλατείας. ....	124
Σχήμα 7.3.2: Οι συμβολισμοί του ηλεκτρολογικού μονογραμμικού σχεδίου της κάτοψης της πλατείας. ....	125

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

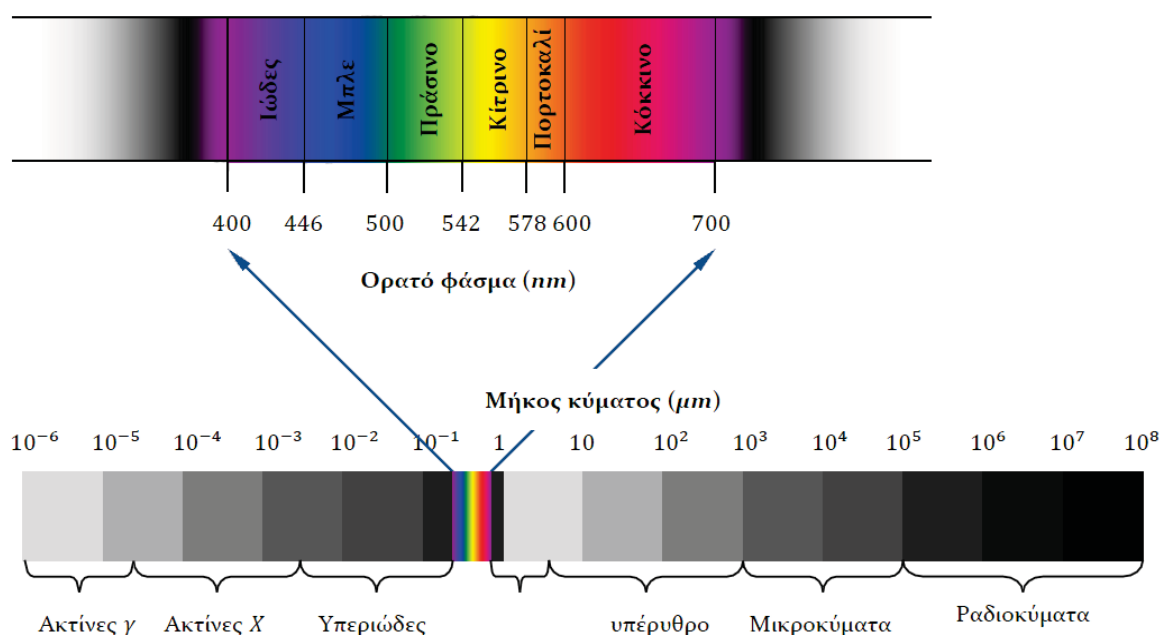
Πίνακας 1.5.1: Η φωτεινή απόδοση διαφόρων τεχνητών φωτεινών πηγών.....	14
Πίνακας 1.8.1: Η φωτεινή απόδοση διαφόρων τεχνητών φωτεινών πηγών.....	18
Πίνακας 1.8.2: Οι τιμές UGR που οριοθετούν την θάμβωση στους εσωτερικούς χώρους. .....	20
Πίνακας 1.10.1: Το μήκος κύματος των χρωμάτων του φάσματος του ορατού φωτός.	24
Πίνακας 1.10.2: Οι χαρακτηρισμοί των χρωμάτων ανάλογα με την θερμοκρασία.....	26
Πίνακας 1.10.3: Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης διαφόρων λαμπτήρων. ....	28
Πίνακας 2.3.1: Η ισχύς του λαμπτήρα πυρακτώσεως σε σχέση με την θερμοκρασία του νήματος. ....	32
Πίνακας 2.4.1: Οι διαφορές των ηλεκτρομαγνητικών και ηλεκτρονικών ballast. ....	42
Πίνακας 4.2.1: Οι απαιτήσεις φωτισμού για πεζόδρομους και μονοπάτια. ....	94
Πίνακας 4.2.2: Οι απαιτήσεις φωτισμού για διαβάσεις πεζών. ....	95
Πίνακας 4.2.3: Οι απαιτήσεις φωτισμού για σκάλες και ράμπες στα μονοπάτια των πεζών.....	96
Πίνακας 4.2.4: Οι απαιτήσεις φωτισμού για ποδηλατοδρόμους. ....	97
Πίνακας 4.2.5: Οι απαιτήσεις φωτισμού για γέφυρες που απευθύνονται σε πεζούς και ποδηλάτες.....	97
Πίνακας 4.2.6: Οι απαιτήσεις φωτισμού για υπόγειες διαβάσεις και σήραγγες που απευθύνονται σε πεζούς και ποδηλάτες.....	98
Πίνακας 4.2.7: Επιθυμητά επίπεδα φωτισμού για αστικές περιοχές. ....	100
Πίνακας 4.2.8: Οι σχετικές απαιτήσεις φωτισμού, ανάλογα με το επίπεδο. ....	100
Πίνακας 7.2.1: Ο υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος. ....	121
Πίνακας 7.2.2: Ο υπολογισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου ονομαστικού ρεύματος.	122
Πίνακας 7.2.3: Η ισοκατανομή των φορτιών στις φάσεις. ....	122

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: «ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ»

## 1.1 Φωτεινή Ροή

Το φως, το οποίο είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, εκπέμπεται από φωτόνια, το καθένα από τα οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μικρό κύμα που διαδίδεται στο χώρο. Όπως κάθε κύμα, τα φωτεινά κύματα χαρακτηρίζονται από μήκος κύματος ( $\lambda$ ).

Το οπτικό φαινόμενο κατά το οποίο μια δέσμη φωτός αναλύεται στα συστατικά μήκη κύματός της, δηλαδή στα επιμέρους χρώματά της, ονομάζεται φάσμα ( Σχήμα 1.1.1) και διακρίνεται σε επιμέρους περιοχές που αλληλοκαλύπτονται και δεν αποτελούν φυσικό διαχωρισμό: ακτίνες  $\gamma$ , ακτίνες X, υπεριώδη ακτινοβολία, ορατό μέρος, υπέρυθρη ακτινοβολία, μικροκύματα και ραδιοκύματα.



Σχήμα 1.1.1: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που περιλαμβάνει τα κύματα του ορατού φωτός και των άλλων επιμέρους περιοχών.

Το φάσμα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα τον τρόπο με τον οποίο διαχειριζόμαστε την ακτινοβολία πριν την ανάλυσή της. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής :

- Φάσμα εκπομπής, το οποίο διακρίνεται σε συνεχή και γραμμικό και είναι το φάσμα που παίρνουμε όταν αναλύουμε κατευθείαν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή.
- Φάσμα απορρόφησης, το οποίο διακρίνεται σε συνεχή και γραμμικό και είναι το φάσμα που παίρνουμε όταν αναλύουμε την ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή και στη συνέχεια διέρχεται από ένα διαπερατό σώμα.

Στο φάσμα εκπομπής, η ενέργεια που εκπέμπει μια πηγή ακτινοβολίας είναι ανομοιόμορφα κατανομημένη. Η κατανομή αυτή καθορίζεται από ένα μέγεθος το οποίο ονομάζεται φασματική ενέργεια ακτινοβολίας  $W_\lambda$  και μεταβάλλεται συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$ . Οπότε, για ένα συγκεκριμένο φάσμα του μήκους κύματος, ισχύει η εξής σχέση:

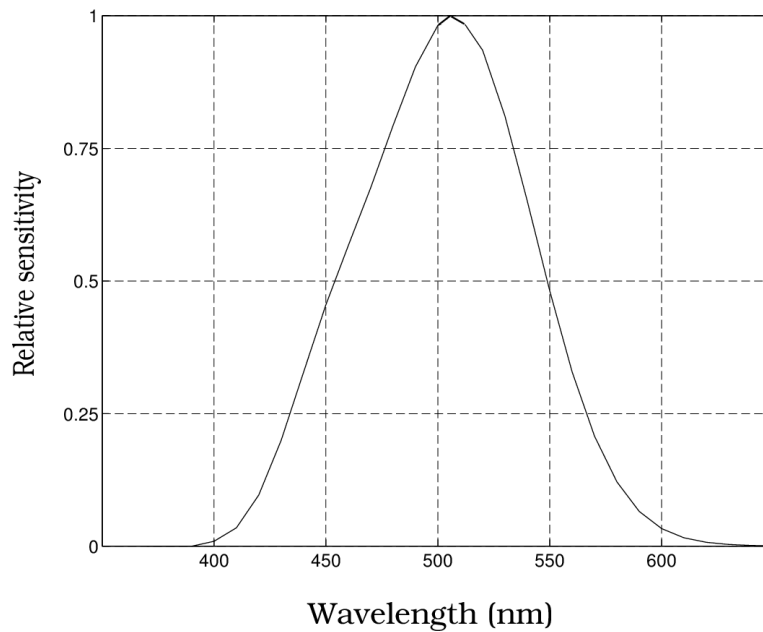
$$W_\lambda = \int_a^b W_\lambda \cdot d\lambda, \quad \text{όπου } \lambda = [a, b]nm$$

Όσον αφορά φάσμα του ορατού φωτός, το οποίο είναι το φάσμα του φωτός που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος με την όρασή του και καλύπτει ένα μικρό μέρος του συνολικού φάσματος, κυμαίνεται από 380 nm έως 780 nm. Επομένως η ενέργεια που εκπέμπεται σε αυτό το διάστημα του μήκους κύματος θα είναι:

$$W(\lambda) = \int_{380}^{780} W_\lambda \cdot d\lambda, \quad \text{όπου } d\lambda = [380,780]nm$$

Ο ανθρώπινος οφθαλμός δεν μπορεί να διακρίνει το φάσμα του ορατού φωτός με την ίδια ευαισθησία. Γι' αυτό το λόγο, η ευαισθητοποίηση του ανθρώπινου οφθαλμού(η οποία γίνεται σταδιακά και φτάνει στο μήκος κύματος των 555nm κατά την ημέρα και στο μήκος κύματος των 507nm κατά τη νύχτα) εξαρτάται από ένα συντελεστή ο οποίος ονομάζεται συντελεστής φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού ( $V_\lambda$ ), είναι αδιάστατο μέγεθος και παίρνει τιμές από 0 έως και 1 (Σχήμα 1.1.2).





**Σχήμα 1.1.2: Ο συντελεστής φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού  $V_\lambda$  σε συνάρτηση με το μήκος κύματος ( $\lambda$ ).**

Το ολοκλήρωμα του γινομένου του συντελεστή φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού ( $V_\lambda$ ) και της φασματικής ενέργειας ακτινοβολίας ( $W_\lambda$ ), ορίζεται ως φωτεινή ενέργεια ( $Q$ ) και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

Η φωτεινή ενέργεια ( $Q$ ) που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σε χρόνο  $dt$  προς τον χρόνο αυτό ορίζεται ως φωτεινή ροή (luminous flux), συμβολίζεται ως  $\Phi$  και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

Ουσιαστικά, η φωτεινή ροή είναι το μέγεθος που εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο μία φωτεινή πηγή εκπέμπει ενέργεια στη μονάδα του χρόνου. Γι αυτό το λόγο, πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος «φωτεινή ισχύς» αντί του όρου «φωτεινή ροή». Η μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm), το οποίο ορίζεται ως η φωτεινή ροή που εκπέμπεται από στερεά γωνία ενός (1) steradian (sr) από σημειακή πηγή ομοιόμορφης έντασης μεγέθους ενός (1) candela (cd). Η σχέση που εκφράζει πλήρως τα παραπάνω είναι η εξής:

$$\Phi = k_m \cdot \int_{380}^{780} P_\lambda \cdot V_\lambda \cdot d\lambda$$

Στην ακριβώς παραπάνω σχέση, ως  $P_\lambda$  συμβολίζεται η φασματική ισχύς ακτινοβολίας και έχει μονάδα μέτρησης το Watt (W), ενώ ως  $k_m$  συμβολίζεται η μέγιστη φασματική φωτεινή απόδοση του ανθρώπινου ματιού η οποία θεωρητικά έχει τιμή  $683 \text{ lm/W}$  (στην πράξη κυμαίνεται από  $10 \text{ lm/W}$  έως  $150 \text{ lm/W}$ ).

Για τη μέτρηση της φωτεινής ροής μιας τεχνητής φωτεινής πηγής γίνεται χρήση μιας συσκευής η οποία ονομάζεται σφαίρα ολοκλήρωσης Ulbricht. Είναι μία κοίλη σφαίρα που στο εσωτερικό της έχει λευκό χρώμα και στο κέντρο της τοποθετείται η τεχνητή φωτεινή πηγή (Σχήμα 1.1.3).



**Σχήμα 1.1.3: Η σφαίρα ολοκλήρωσης Ulbricht.**

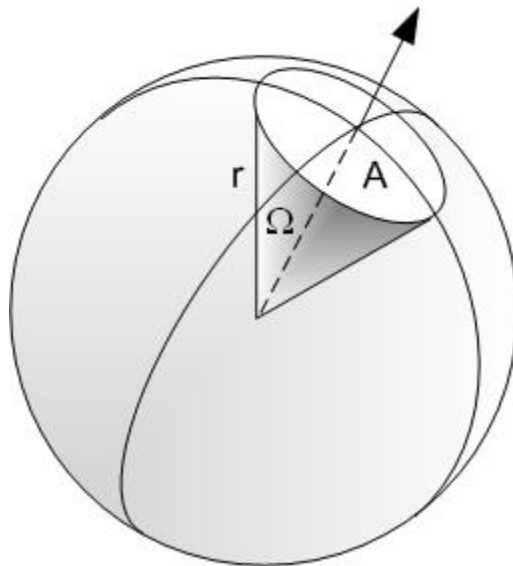
Γενικά, η φωτεινή ροή που ως μέγεθος είναι απαραίτητη για τους λαμπτήρες, έρχεται σε αντιστοιχία με την ηλεκτρική ισχύ που ως μέγεθος είναι απαραίτητη για τις ηλεκτρικές συσκευές. Επίσης, θεωρείται η πιο βασική πληροφορία που πρέπει κάποιος να κοιτάει σε έναν λαμπτήρα όταν πρόκειται να τον αγοράσει, καθώς με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζει την πραγματική τιμή της φωτεινής ισχύος του.

## 1.2 Φωτεινή Ένταση

Για τον ορισμό της φωτεινής έντασης, απαιτείται η εισαγωγή της έννοιας της στοιχειώδους στερεάς γωνίας (differential solid angle). Αν θεωρήσουμε μία σφαίρα με κέντρο «Ο» και ακτίνα από το κέντρο της σφαίρας «r» (Σχήμα 1.2.1), τότε η στοιχειώδης στερεά γωνία ορίζεται ως ο λόγος μίας στοιχειώδους σφαιρικής επιφάνειας dA προς το τετράγωνο της ακτίνας r, δηλαδή:

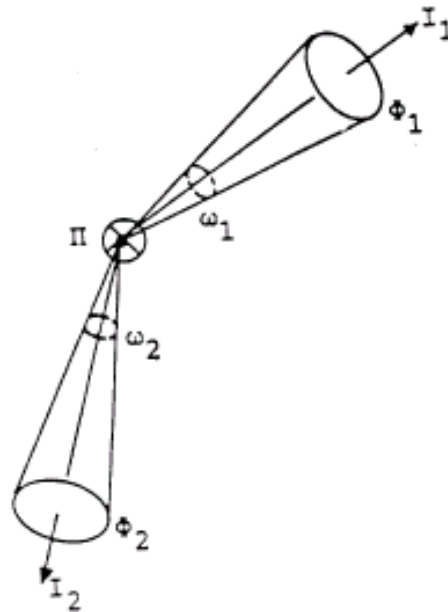
$$d\omega = \frac{dA}{r^2}$$

Η στοιχειώδης στερεά γωνία έχει ως μονάδα μέτρησης το στερακτίνο (steradian ή sterad), το οποίο είναι αδιάστατο μέγεθος. Μια στοιχειώδης στερεά γωνία αποκτά τη μέγιστη τιμή της όταν η στοιχειώδης επιφάνεια dA είναι ολόκληρη η επιφάνεια της σφαίρας.



Σχήμα 1.2.1: Η στοιχειώδης στερεά γωνία.

Συνεχίζοντας πάνω στην ίδια λογική, θεωρούμε ότι το κέντρο «Ο» της σφαίρας είναι μία σημειακή τεχνητή φωτεινή πηγή. Επειδή το φως που παράγει η φωτεινή πηγή εκπέμπεται ανομοιόμορφα και η φωτεινή ροή δεν θα είναι ίδια σε κάθε σημείο της επιφάνειας της σφαίρας, θεωρήθηκε απαραίτητο να οριστεί ένα διανυσματικό μέγεθος που θα καθορίζει τη τιμή της φωτεινής ροής σε συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτό το μέγεθος ονομάζεται φωτεινή ένταση (luminous intensity) ή ένταση φωτεινής πηγής.



Σχήμα 1.2.2: Ο υπολογισμός της φωτεινής έντασης.

Η φωτεινή ένταση λοιπόν, είναι το διανυσματικό μέγεθος που ορίζεται ως ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή μέσα σε μία στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$ , προς τη γωνία αυτή και συμβολίζεται  $I$  (Σχήμα 1.2.2). Η σχέση της φωτεινής έντασης είναι η εξής:

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

Στη περίπτωση που η φωτεινή ροή  $\Phi$  είναι σταθερή εντός της στερεάς γωνίας  $\omega$  τότε θα ισχύει:

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

Παλαιότερα, η μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης ονομαζόταν κηρίο (candle). Αργότερα όμως ορίστηκε στη θέση της μια νέα μονάδα μέτρησης η οποία ονομάστηκε candela (cd) και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Για την μονάδα μέτρησης candela ισχύει η εξής σχέση:

$$1\text{cd} = \frac{1\text{lm}}{1\text{sr}}$$

Με την παραπάνω σχέση αποδεικνύεται ότι φωτεινή ένταση και φωτεινή ροή έχουν τις ίδιες διαστάσεις, καθώς η μονάδα μέτρησης steradian είναι αδιάστατο μέγεθος. Αν τώρα λύσουμε τη σχέση αυτή ως προς το  $\text{lm}$  θα έχουμε:

$$1\text{lm} = 1\text{cd} \cdot 1\text{sr}$$

Ομοίως:

$$d\Phi = I \cdot d\omega$$

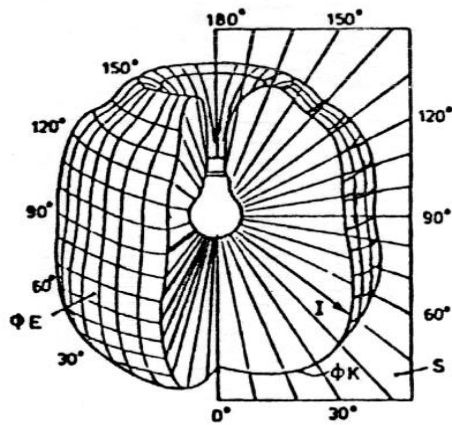
Άρα:

$$\Phi = \int I(\omega)d\omega$$

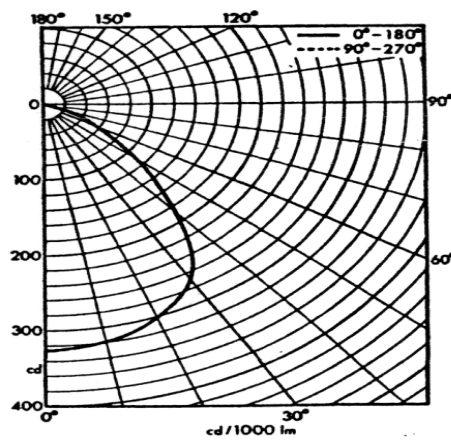
Σύμφωνα με τα παραπάνω, το  $\text{lm}$  ορίζεται ως η φωτεινή ροή  $\Phi$  που εκπέμπεται εντός στερεάς γωνίας  $\omega$  ενός (1)  $\text{sr}$  και φωτεινής έντασης  $I$  ενός (1)  $\text{cd}$ .

Μια τεχνητή πηγή φωτός διαφέρει πολύ από μία φυσική πηγή φωτός και ο κυριότερος λόγος είναι ότι η πρώτη εκπέμπει ανομοιόμορφα ενώ η δεύτερη εκπέμπει ομοιόμορφα. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνητής πηγής φωτός. Ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό είναι ο τρόπος κατανομής της φωτεινής έντασης. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης ή φωτομετρικές καμπύλες. Τα διαγράμματα αυτά παριστούν γραφικά την κατανομή της φωτεινής έντασης  $I$  με τα διανύσματά της σε διάφορες διευθύνσεις γύρω από την τεχνητή πηγή. Τα διανύσματα αυτά ξεκινούν από την τεχνητή πηγή, το μήκος τους είναι ανάλογο με την σημειακή φωτεινή ένταση τους και η διεύθυνση τους βρίσκεται σε πλήρη αντιστοιχία με τη διεύθυνση του σημείου τους. Η επιφάνεια που μορφοποιείται γύρω από την τεχνητή φωτεινή πηγή ονομάζεται «φωτομετρική επιφάνεια»  $\Phi E$  (Σχήμα 1.2.3) και η τομή της επιφάνειας αυτής με ένα επίπεδο  $S$  που διέρχεται από τον άξονα της πηγής, παρέχει μια «φωτομετρική καμπύλη»  $\Phi K$ .

Όταν η φωτομετρική καμπύλη είναι αξονικά ή περιστροφικά συμμετρική τότε μπορούμε να γνωρίζουμε την οποιαδήποτε σημειακή φωτεινή ένταση στο χώρο. Επίσης, εάν ο πόλος χρησιμοποιείται ως αφετηρία σχεδιασμού των διαγραμμάτων κατανομής φωτεινής έντασης τότε έχουμε διαγράμματα πολικής κατανομής φωτεινής έντασης ή πολικά διαγράμματα και δίνονται σε πολικές συντεταγμένες (Σχήμα 1.2.4).



Σχήμα 1.2.3: Η φωτομετρική επιφάνεια ενός απλού λαμπτήρα.



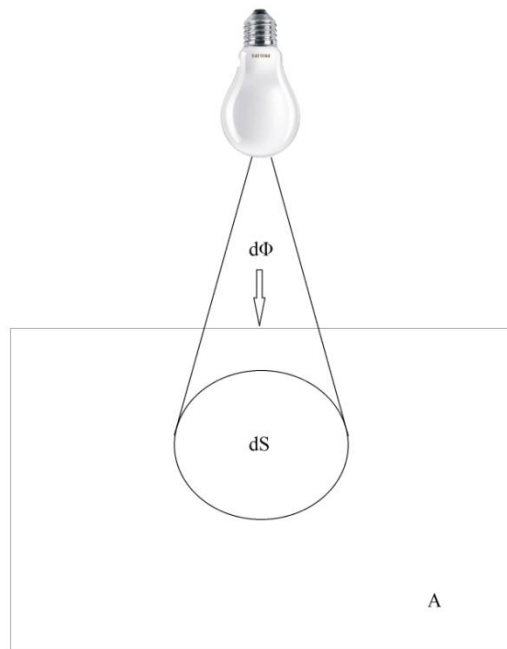
Σχήμα 1.2.4: Το διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης ενός απλού λαμπτήρα.

Συνήθως, τα πολικά διαγράμματα έχουν κανονικοποιημένες τιμές με βάση τα 1000 lm φωτεινής ροής. Το γεγονός αυτό διευκολύνει στη χρήση του πολικού διαγράμματος για λαμπτήρες οποιασδήποτε άλλης φωτεινής ροής με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται εύκολα συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών λαμπτήρων. Έστω λοιπόν, ότι η παραπάνω καμπύλη είναι της μορφής  $I_{\gamma}^* = f(\gamma)$  και  $\Phi$  η φωτεινή ροή ενός οποιουδήποτε λαμπτήρα. Για τον υπολογισμό της ζητούμενης φωτεινής έντασης  $I_{\gamma}$  θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο της αναγωγής και θα έχουμε:

$$I_{\gamma} = I_{\gamma}^* \frac{\Phi}{1000}$$

### 1.3 Ένταση Φωτισμού

Στην προηγούμενη υποενότητα έγινε αναφορά σε ένα μέγεθος χαρακτηριστικό της τεχνητής φωτεινής πηγής, τη φωτεινή ένταση, και στη καμπύλη η οποία εκφράζει γραφικά την κατανομή της φωτεινής έντασης μίας τεχνητής φωτεινής πηγής. Σε αυτή την υποενότητα θα γίνει αναφορά σε ένα άλλο μέγεθος το οποίο δεν είναι χαρακτηριστικό της τεχνητής φωτεινής πηγής αλλά εξαρτάται από αυτή όπως και από το χώρο και τα χαρακτηριστικά αυτού του χώρου. Επίσης, το μέγεθος αυτό εκφράζει το αποτέλεσμα της τεχνητής φωτεινής πηγής και αφορά την επιφάνεια στην οποία προσπίπτει το φως που παράγει η πηγή αυτή.



Σχήμα 1.3.1: Η ένταση φωτισμού μιας επιφάνειας.

Θεωρώντας το οριζόντιο επίπεδο A (Σχήμα 1.3.1), ως ένταση φωτισμού (illuminance) ή φωτισμός επιφάνειας ορίζεται ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που προσπίπτει κάθετα σε μία στοιχειώδη επιφάνεια, προς το εμβαδό της επιφάνειας αυτής  $dS$  και συμβολίζεται E. Η σχέση της έντασης φωτισμού είναι η εξής:

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

Σε περίπτωση που η φωτεινή ροή  $\Phi$  που προσπίπτει κάθετα σε επιφάνεια εμβαδού  $S$  είναι σταθερή (δηλαδή ομοιόμορφα κατανεμημένη), τότε θα ισχύει:

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

Σε αντίθετη περίπτωση, αν η φωτεινή ροή  $\Phi$  που προσπίπτει κάθετα σε επιφάνεια εμβαδού  $S$  δεν είναι σταθερή (δηλαδή ανομοιόμορφα κατανεμημένη), τότε υπολογίζεται η μέση τιμή της έντασης φωτισμού και θα ισχύει:

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

Μονάδα μέτρησης της έντασης φωτισμού είναι το lux (lx), το οποίο, όπως προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις, είναι ίσο με  $lm/m^2$ . Εκτός από αυτή τη μονάδα χρησιμοποιείται και μία άλλη, το foot-candle (ft). Η αντιστοιχία των δύο αυτών μονάδων είναι η εξής:

$$1 fc = \frac{1 lm}{1 ft^2} = \frac{1 lm}{1 \cdot (0.305m)^2} = 10.76 lx$$

Επιπροσθέτως, στην αγορά υπάρχουν όργανα μέτρησης της έντασης φωτισμού τα οποία ονομάζονται λουξόμετρα (luxmeters) ή φωτόμετρα και μετράνε την φωτεινή ροή που προσπίπτει σε μία επιφάνεια σε  $lm/m^2$ . Τα λουξόμετρα (Σχήμα 1.3.2) αποτελούνται από ένα φωτοστοιχείο, συνήθως φωτοδίοδο πυριτίου, που συνδέεται με ένα μιλιβολτόμετρο. Ένα καλό και ακριβό λουξόμετρο διαθέτει εσωτερική μνήμη για την καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων.

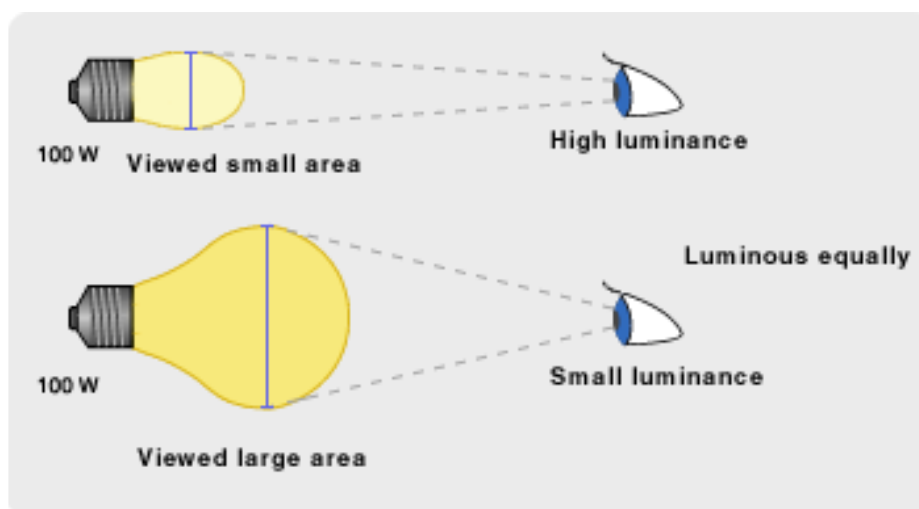


Σχήμα 1.3.2: Το φωτόμετρο.



## 1.4 Λαμπρότητα

Οι φωτεινές πηγές χωρίζονται σε αυτόφωτες πηγές και σε ετερόφωτες πηγές. Οι αυτόφωτες πηγές εκπέμπουν την ακτινοβολία που παράγουν οι ίδιες, ενώ οι ετερόφωτες πηγές εκπέμπουν την ακτινοβολία που δέχονται από άλλες πηγές. Θεωρώντας δύο αυτόφωτες πηγές, οι οποίες έχουν την ίδια φωτεινή ένταση και διαφορετικές διαστάσεις, φαίνεται στο ανθρώπινο μάτι ότι η πηγή που έχει τη μικρότερη επιφάνεια είναι και περισσότερο φωτεινή (Σχήμα 1.4.1).



Σχήμα 1.4.1: Οι αυτόφωτες πηγές στο ανθρώπινο μάτι.

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εισαγωγή ενός μεγέθους το οποίο θα καθορίζει πόσο φωτεινή είναι μία επιφάνεια, πράγμα που σημαίνει ότι το μέγεθος αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται λαμπρότητα (Luminance), συμβολίζεται  $L$  και ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδό της επιφάνειας της πηγής όπως αυτή φαίνεται από τον παρατηρητή. Η μονάδα μέτρησης της λαμπρότητας είναι το Nit (nt) και είναι ίσο με  $\text{cd}/\text{m}^2$  ή το Stilb (Sb) και είναι ίσο με  $\text{cd}/\text{cm}^2$ . Η σχέση της λαμπρότητας είναι η εξής:

$$L = \frac{I}{S_{\text{πηγής}}}$$

Αν η λαμπρότητα μιας επιφάνειας είναι ανομοιογενής, πράγμα που συμβαίνει σχεδόν πάντα, τότε η παραπάνω σχέση μας δίνει τη μέση λαμπρότητα της επιφάνειας.

Στην περίπτωση που ο παρατηρητής βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να βλέπει κάθετα το εμβαδό της επιφάνειας της πηγής, είτε αυτή είναι αυτόφωτη είτε αυτή είναι ετερόφωτη, τότε η φωτεινή ένταση που είναι κάθετα στην επιφάνεια συμβολίζεται  $I_0$  και η λαμπρότητα στη θέση αυτή συμβολίζεται  $L_0$ . Η ακριβής σχέση είναι η εξής:

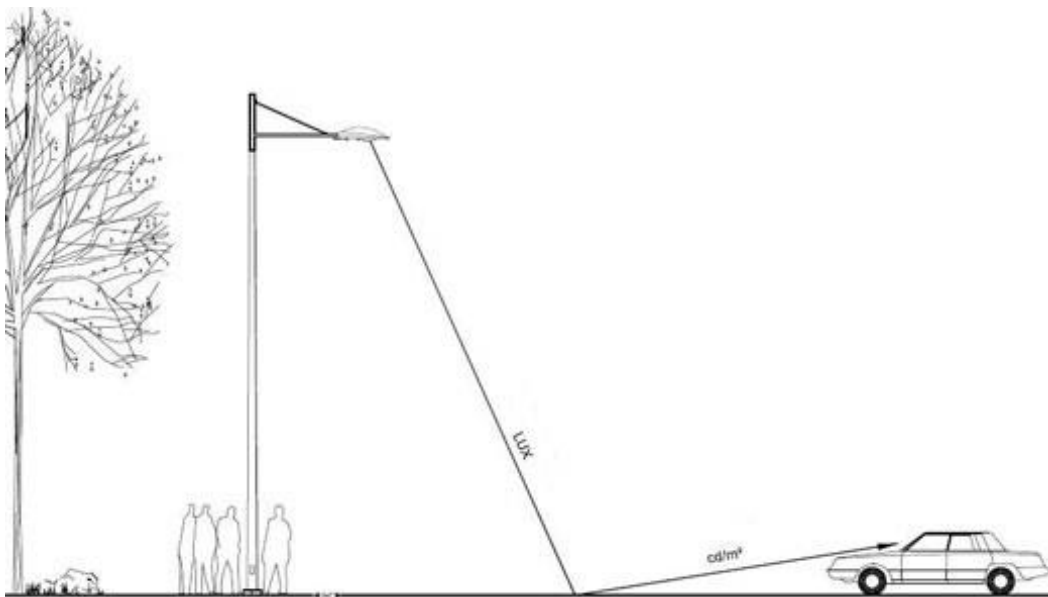
$$L_0 = \frac{I_0}{S}$$

Στην αντίθετη περίπτωση, όπου ο παρατηρητής δεν βρίσκεται στην προηγούμενη θέση αλλά βλέπει το εμβαδό της επιφάνειας της πηγής υπό μία γωνία  $a$ , το εμβαδό της επιφάνειας της πηγής  $S_a$  θα είναι διαφορετικό του αρχικού εμβαδού  $S$ . Επομένως η λαμπρότητα  $L_a$  θα είναι η εξής:

$$L_a = \frac{I_a}{S_a} = \frac{I_a}{S \cdot \cos a}$$

Συμπεραίνοντας, η λαμπρότητα αφορά κάθε φωτοβόλουσα επιφάνεια και εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος της επιφάνειας και τη θέση του παρατηρητή.

Θεωρώντας ότι η φωτοβόλουσα επιφάνεια είναι το οδόστρωμα και ο παρατηρητής είναι ο οδηγός (Σχήμα 1.4.2), φαίνεται ότι το μέγεθος της λαμπρότητας περιγράφει την πραγματική κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος. Αυτό συμβαίνει επειδή η ακτινοβολία που ανακλάται στο φωτιζόμενο οδόστρωμα έχει κατεύθυνση και προς τα μάτια του οδηγού.



**Σχήμα 1.4.2:** Η πορεία της ακτινοβολίας από την αυτόφωτη πηγή στο ανθρώπινο μάτι.

Επίσης, υψηλά επίπεδα λαμπρότητας μπορούν να προκαλέσουν θάμβωση, η οποία επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα της όρασης (η έννοια της θάμβωσης αναλύεται στο Υποκεφάλαιο 1.7). Συνεπώς, η λαμπρότητα αποτελεί ένα μέγεθος σπουδαίας σημασίας και είναι πολύ χρήσιμη για την υλοποίηση μελετών φωτισμού δρόμων και όχι μόνο.

## 1.5 Απόδοση Φωτεινής Πηγής

Η εισαγωγή της έννοιας της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής κρίνεται αναγκαία ούτως ώστε να γίνει αντιληπτό πόσο «αποτελεσματική» είναι μια φωτεινή πηγή. Στην ουσία, αποτελεί μια έννοια που συσχετίζει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ροής μιας φωτεινής πηγής με την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ. Η έννοια αυτή φέρει το όνομα απόδοση φωτεινής πηγής ή φωτεινή απόδοση (luminous efficacy), συμβολίζεται  $n$ , έχει μονάδα μέτρησης  $\text{lumen/Watt}$  και εκφράζεται από την εξής σχέση:

$$n = \frac{\Phi}{P_{\eta\lambda}}$$

Ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί με την όρασή του ένα μικρό μέρος του ορατού φάσματος, το οποίο κυμαίνεται από 380 nm έως 780 nm. Αν συνυπολογιστεί η ευαισθητοποίηση του οφθαλμού, τότε η αντίληψη της όρασης του ανθρώπου φτάνει στο μήκος κύματος των 555nm κατά την ημέρα, οπότε η μέγιστη θεωρητική φωτεινή απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί είναι  $683\text{lm/W}$  και στο μήκος κύματος των 507nm κατά τη νύχτα, οπότε η θεωρητική φωτεινή απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί είναι  $1700\text{lm/W}$ . Στην πραγματικότητα όμως επιτυγχάνονται πολύ μικρότερες τιμές συνήθως μεταξύ  $101\text{lm/W}$  και  $150\text{lm/W}$ .

Όσον αφορά τις τεχνητές φωτεινές πηγές, η φωτεινή απόδοση συνήθως συνυπολογίζει και τις ηλεκτρικές απώλειες που υπάρχουν εξαιτίας της παραγωγής θερμότητας που δημιουργείται λόγω διαφόρων εξαρτημάτων, όπως το στραγγαλιστικό πηνίο και ο πυκνωτής διόρθωσης συνημίτονου, που συνοδεύουν τις πηγές αυτές.

Τέλος, η φωτεινή απόδοση ενός λαμπτήρα είναι κρίσιμη, καθώς όταν έρθει η στιγμή της «επιλογής» θα πρέπει, ανάλογα τις απαιτήσεις, να επιτευχθεί το εξής: μέγιστη φωτεινή ροή, μέγιστη ένταση φωτισμού, ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Άρα, η φωτεινή απόδοση, εκτός από τεχνικό, αποτελεί και οικονομικό κριτήριο επιλογής. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η φωτεινή απόδοση τόσο πιο αποτελεσματική και οικονομική είναι η

τεχνητή πηγή φωτός. Στις τιμές του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.5.1), όπου παρουσιάζεται η απόδοση κάποιων τεχνητών φωτεινών πηγών, συμπεριλαμβάνονται οι ηλεκτρικές απώλειες που υπάρχουν και είναι ενδεικτικές διότι υπάρχουν μικροδιαφορές ανάλογα με τη μάρκα και την ποιότητα.

**Πίνακας 1.5.1: Η φωτεινή απόδοση διαφόρων τεχνητών φωτεινών πηγών.**

Τεχνητή Φωτεινή Πηγή	Φωτεινή Απόδοση (lm/W)
Κερί	0,3
Πυρακτώσεως	10-15
Ατμών Υδραργύρου 80W	37,9
Γραμμικός Φθορισμού 36W	79,7
Συμπαγής Φθορισμού 36W	62,2
Μεταλλικών Αλογονιδίων 70W	76,7
Νατρίου Υψηλής Πίεσης 70W	73,8
Νατρίου Χαμηλής Πίεσης 18W-90W	140-160
LED White 18V (4500K)	10.2

## 1.6 Ομοιομορφία Λαμπρότητας

Η λαμπρότητα μια επιφάνειας μπορεί να είναι είτε ομοιογενής (κατανέμεται ομοιόμορφα) είτε ανομοιογενής (δεν κατανέμεται ομοιόμορφα). Επειδή όμως η λαμπρότητα μια επιφάνειας είναι σχεδόν πάντα ανομοιογενής και η ορατότητα ενός αντικειμένου πάνω σε ένα οδόστρωμα εξαρτάται από την κατανομή αυτή, είναι αναγκαία η εισαγωγή μιας έννοιας που θα καθορίζει πόσο ομοιόμορφα ή ανομοιόμορφα κατανέμεται η λαμπρότητα σε μια επιφάνεια. Η έννοια αυτή εκφράζεται με το συντελεστή ομοιομορφίας (Uniformity) της λαμπρότητας, συμβολίζεται  $U$  και δεν έχει μονάδα μέτρησης καθώς είναι αδιάστατο μέγεθος. Η μέγιστη θεωρητική τιμή που μπορεί να πάρει είναι μονάδα (1) και όσο πιο κοντά είναι σε αυτή τη τιμή τόσο πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη θεωρείται η λαμπρότητα σε μια επιφάνεια.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας, ανάλογα με τον τρόπο που υπολογίζεται, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- Τον γενικό συντελεστή ομοιομορφίας  $U_o$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος  $L_{min}/L_{med}$  ή ως ο λόγος  $L_{min}/L_{max}$  και όπου  $L_{min}$  η ελάχιστη λαμπρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος,  $L_{med}$  η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος και  $L_{max}$  η μέγιστη λαμπρότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος.
- Τον συντελεστή διαμήκους ομοιομορφίας  $U_1$ , ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{min}/L_{max}$  για διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του δρόμου και άρα συμπίπτουσα με τη διεύθυνση του παρατηρητή.
- Τον συντελεστή εγκάρσιας ομοιομορφίας  $U_v$ , ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{min}/L_{max}$  για διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα του δρόμου και άρα κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή.

## 1.7 Αντίθεση Λαμπρότητας

Για να γίνει ένα οποιοδήποτε αντικείμενο οπτικά αντιληπτό στο χώρο, θα πρέπει να συγκριθεί η λαμπρότητα του σε σχέση με την λαμπρότητα του χώρου και η μεταξύ τους διαφορά να είναι ικανοποιητική. Η διαφορά αυτή ονομάζεται αντίθεση λαμπρότητας (contrast), συμβολίζεται  $C$  και παίρνει τιμές από μείον ένα (-1) έως άπειρο (+∞). Η αντίθεση λαμπρότητας δεν έχει μονάδα μέτρησης και η σχέση που την εκφράζει είναι η εξής:

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b}$$

Όπου  $L_o$  είναι η λαμπρότητα του αντικειμένου (object) και  $L_b$  είναι η λαμπρότητα του παρακείμενου χώρου (background).

Είναι φανερό από τη σχέση ότι η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει η αντίθεση λαμπρότητας είναι μείον ένα (-1), πράγμα που σημαίνει ότι η αντίθεση λαμπρότητας μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές. Το διάστημα όπου η αντίθεση λαμπρότητας έχει αρνητικές τιμές ονομάζεται κατώφλι αντίθεσης (threshold contrast). Επίσης, όταν ένα αντικείμενο είναι πιο σκοτεινό από το περιβάλλον του ( $L_b > L_o$ ) έχουμε αρνητική αντίθεση ενώ όταν ένα αντικείμενο είναι πιο φωτεινό από το περιβάλλον του ( $L_b < L_o$ ) έχουμε θετική αντίθεση.

## 1.8 Θάμβωση

Στο Υποκεφάλαιο 1.7, όπου αναλύθηκε η έννοια της λαμπρότητας, έγινε αναφορά σε μια έννοια που ονομάζεται θάμβωση. Με τον όρο θάμβωση καλείται η μείωση της ικανότητας της οράσεως και το αίσθημα ενόχλησης της όρασης του παρατηρητή. Η θάμβωση προκαλείται από υπερβολικά ανομοιόμορφη κατανομή της λαμπρότητας, από υψηλές τιμές λαμπρότητας και από υπέρμετρες αντιθέσεις λαμπρότητας στο χώρο. Για τους λόγους αυτούς, η θάμβωση μπορεί να σταθεί εμπόδιο για τον παρατηρητή και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της οδήγησης όπου μπορεί να προκαλέσει μειωμένη όραση, κόπωση, και γενικά δυσκολία στη διάκριση διαφόρων αντικειμένων.

Η θάμβωση παρουσιάζεται σε τρεις διαφορετικές μορφές, οι οποίες είτε συμβαίνουν ξεχωριστά είτε συμβαίνουν ταυτόχρονα. Αναλυτικά οι τρεις μορφές θάμβωσης:

- Η θάμβωση ενόχλησης (discomfort glare) ή ψυχολογική θάμβωση (psychological glare), η οποία δημιουργεί ενόχληση στην όραση του παρατηρητή αλλά δεν μειώνει την οπτική απόδοση των ματιών του.
- Η θάμβωση ανικανότητας (disability glare) ή φυσιολογική θάμβωση (psychological glare), η οποία δημιουργεί μερική ανικανότητα στην όραση του παρατηρητή και μειώνει την οπτική απόδοση των ματιών του καθώς υπάρχει μείωση της αντίθεσης λαμπρότητας. Σε μια τέτοια περίπτωση η λαμπρότητα του περιβάλλοντος πρέπει να αυξηθεί ώστε να διορθωθεί η τιμή της αντίθεσης λαμπρότητας. Η τιμή αυτή υποδεικνύεται από τον δείκτη θάμβωσης Threshold Increment (TI).
- Η απόλυτη θάμβωση (blinding glare), η οποία δημιουργεί είτε μεγάλο ποσοστό ανικανότητας είτε ολική ανικανότητα στην όραση του παρατηρητή και μειώνει την οπτική απόδοση των ματιών του καθώς υπάρχει υπερβολικά αυξημένη λαμπρότητα (η λαμπρότητας παίρνει τιμές μεγαλύτερες από  $10.000 \text{ cd/cm}^2$ ).

Ακόμη, η θάμβωση χωρίζεται σε δύο επιπλέον κατηγορίες ανεξάρτητα των μορφών της. Αναλυτικά οι δύο κατηγορίες θάμβωσης:

- Η άμεση θάμβωση, η οποία προκαλείται άμεσα από μία φωτεινή πηγή η οποία βρίσκεται εντός του οπτικού πεδίου του παρατηρητή.
- Η ανακλώμενη θάμβωση, η οποία προκαλείται έμμεσα από μία φωτεινή πηγή η οποία ακτινοβολεί εκτός του οπτικού πεδίου του παρατηρητή και στη συνέχεια η

ακτινοβολία αυτή ανακλάται έτσι ώστε το οπτικό πεδίο του παρατηρητή να επηρεαστεί.

Γενικά, για να είναι το επίπεδο της θάμβωσης ικανοποιητικό θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\min}} \leq 10\%$$

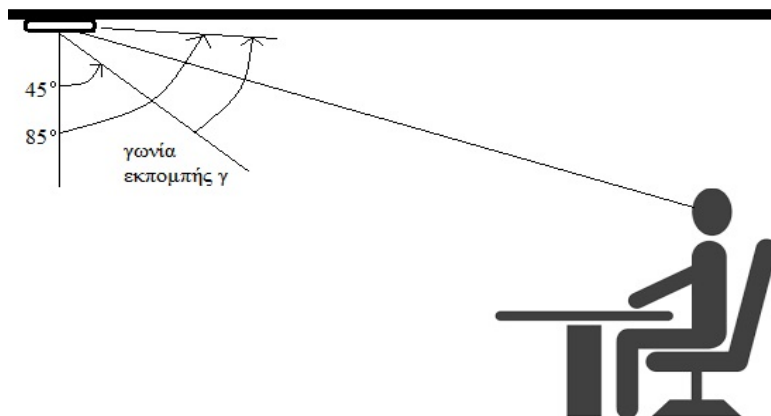
Η θάμβωση συμβολίζεται G (glare), είναι μετρήσιμο μέγεθος και μετράται σε μια κλίμακα με έξι (6) τιμές που αντιστοιχούν σε έξι (6) κλάσεις ποιότητας θάμβωσης. Οι τιμές αυτές είναι οι εξής:

G: 0.8, 1.15, 1.5, 1.85, 2.2, 2.55

Αντίστοιχα, οι τιμές αυτές χαρακτηρίζονται κατά την ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE (η ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE αναλύεται στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο)ως εξής:

Κλάση Ποιότητας (Quality Class): S, A, B, C, D, E

Με βάση αυτές τις έξι (6) κλάσεις ποιότητας σχεδιάζονται τα διαγράμματα καμπυλών λαμπρότητας ή διαγράμματα Soellner, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της θάμβωσης και τον περιορισμό αυτής. Τα διαγράμματα αυτά περιλαμβάνουν μια σειρά από τεθλασμένες γραμμές, οι οποίες απεικονίζουν την μεταβολή της λαμπρότητας των φωτιστικών σωμάτων συναρτήσει της γωνίας εκπομπής γ (Σχήμα 1.8.1). Η γωνία εκπομπής γ είναι η γωνία παρατήρησης η οποία προκύπτει από την περιοχή που ενδιαφέρει πρακτικά να μελετηθεί η θάμβωση. Η περιοχή αυτή ονομάζεται κρίσιμη περιοχή και οι γωνίες που αφορά είναι από 45° έως και 85°.



Σχήμα 1.8.1: Η κρίσιμη γωνία εκπομπής γ.

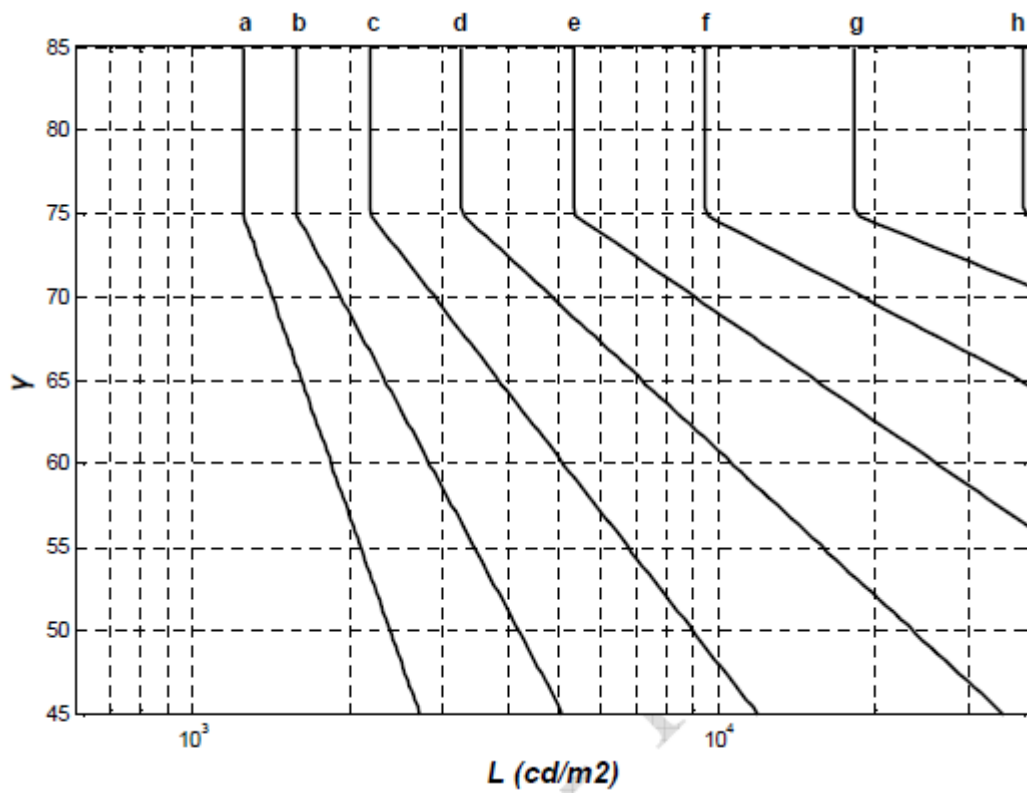
Από την άλλη, οι τεθλασμένες γραμμές χαρακτηρίζονται με ένα γράμμα (a, b, c, d, e, f, g, h) και κάθε ένα από αυτά αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο συνδυασμό τιμών έντασης φωτισμού και θάμβωσης (Πίνακας 1.8.1).

**Πίνακας 1.8.1: Η φωτεινή απόδοση διαφόρων τεχνητών φωτεινών πηγών.**

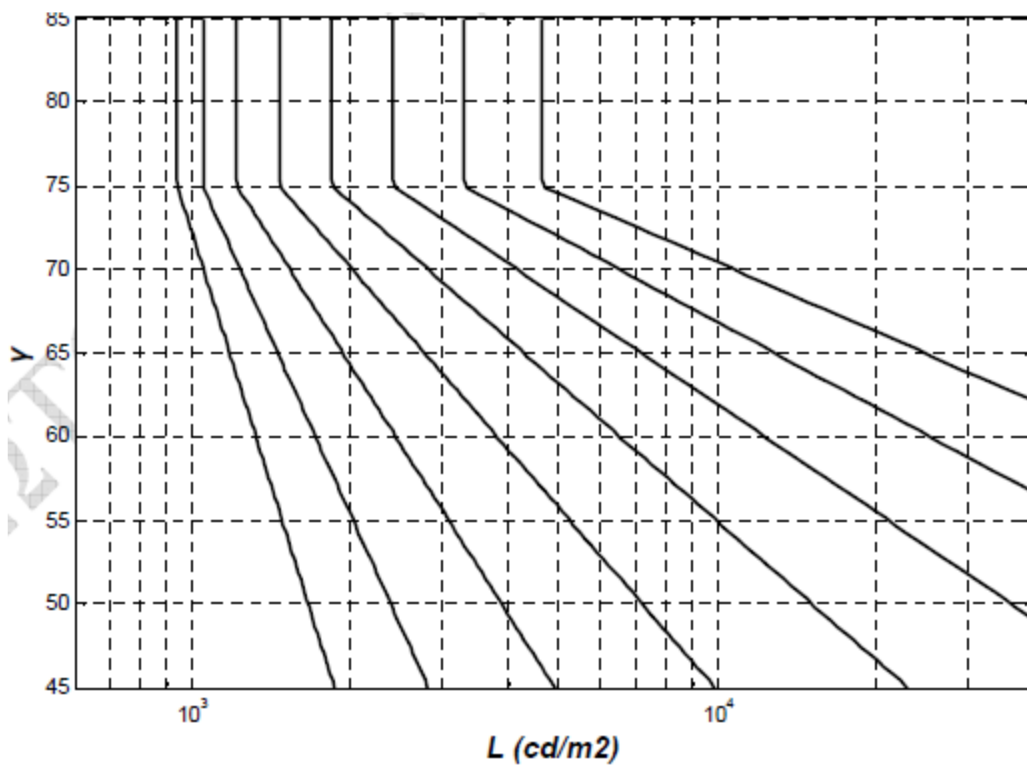
Κλάση Ποιότητας (CIE)	G	Τιμές Έντασης Φωτισμού E (lx)							
		a	b	c	d	e	f	g	h
S	0,8	1000	500	≤250					
A	1,15	2000	1000	500	≤250				
B	1,5		2000	1000	500	≤250			
C	1,85			2000	1000	500	≤250		
D	2,2				2000	1000	500	≤250	
E	2,55					2000	1000	500	≤250

Η χρησιμοποίηση του κατάλληλου διαγράμματος εξαρτάται από τον τύπο του φωτιστικού σώματος και τον προσανατολισμό αυτού σε σχέση με τη διεύθυνση παρατηρήσεως. Συγκεκριμένα., είναι το διάγραμμα είτε για τα φωτιστικά σώματα που έχουν φωτεινές πλευρές, είτε για τα μακρόστενα φωτιστικά σώματα όπου η διεύθυνση παρατηρήσεως είναι παράλληλη στον διαμήκη άξονα τους (Σχήμα 1.8.2) και το διάγραμμα για τα φωτιστικά σώματα που δεν έχουν φωτεινές πλευρές και η διεύθυνση παρατηρήσεως είναι κάθετη στον διαμήκη άξονα τους (Σχήμα 1.8.3).





Σχήμα 1.8.2: Το διάγραμμα καμπυλών λαμπρότητας.



Σχήμα 1.8.3: Το διάγραμμα καμπυλών λαμπρότητας.

Όσον αφορά τους εσωτερικούς χώρους εργασίας, υπάρχουν οι νέες ευρωπαϊκές προδιαγραφές (EN 12646) σύμφωνα με τις οποίες η θάμβωση υπολογίζεται με τη μέθοδο UGR (Unified Glare Rating). Η UGR τιμή υπολογίζεται ως εξής:

$$UGR = 8 \cdot \log \left( \frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \Omega}{P^2} \right)$$

Ως  $L_b$  συμβολίζεται η λαμπρότητα περιβάλλοντος, ως  $\Omega$  η γωνία από την οποία φαίνονται τα φωτεινά τμήματα του φωτιστικού από τον παρατηρητή και  $P$  ο δείκτης θέσης Guth ο οποίος συσχετίζει το φωτιστικό με τη μετατόπιση από τη γραμμή παρατήρησης.

Τέλος, υπάρχουν τιμές UGR που οριοθετούν την τιμή της θάμβωσης ανάλογα με την χρήση του χώρου (Πίνακας 1.8.2).

**Πίνακας 1.8.2: Οι τιμές UGR που οριοθετούν την θάμβωση στους εσωτερικούς χώρους.**

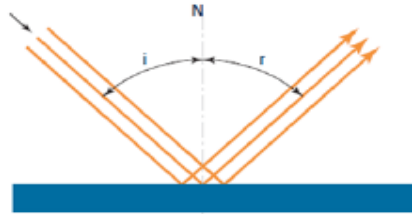
UGR	Χρήση Χώρου
$\leq 16$	Σχεδιαστήριο
$\leq 19$	Ανάγνωση, γραφή, εκπαίδευση, συναντήσεις, εργασία σε Η/Υ
$\leq 22$	Ελαφριά βιομηχανία
$\leq 25$	Βαριά βιομηχανία
$\leq 28$	Σιδηροδρομικές πλατφόρμες

## 1.9 Ανάκλαση

Το φαινόμενο κατά το οποίο η φωτεινή ακτινοβολία πέσει πάνω σε μια επιφάνεια (πρόσπτωση) και στη συνέχεια απομακρυνθεί, αλλάζοντας κατεύθυνση, ονομάζεται ανάκλαση(reflection). Ανάλογα με τον τρόπο που εκδηλώνεται, η ανάκλαση χωρίζεται σε τέσσερις (4) κατηγορίες:

- Κανονική ανάκλαση(Σχήμα 1.9.1), η οποία προκαλείται όταν η φωτεινή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια λεία και στιλπνή επιφάνεια και η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης ( $\theta = \theta'$ ). Η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτινοβολία και την κάθετο της προσπίπτουσας επιφάνειας ονομάζεται γωνία

πρόσπτωσης, ενώ η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο της προσπίπτουσας επιφάνειας και της ανακλώμενης ακτινοβολίας ονομάζεται γωνία ανάκλασης.



**Σχήμα 1.9.1: Η κανονική ανάκλαση.**

- Διαχέουσα ανάκλαση (Σχήμα 1.9.2), η οποία προκαλείται όταν η φωτεινή ακτινοβολία, που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις.



**Σχήμα 1.9.2: Η διαχέουσα ανάκλαση.**

- Ημιδιαχέουσα ανάκλαση (Σχήμα 1.9.3), η οποία προκαλείται όταν η φωτεινή ακτινοβολία, που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, διαχέεται ανομοιόμορφα προς κάποια κατεύθυνση.

-



**Σχήμα 1.9.3: Η ημιδιαχέουσα ανάκλαση.**

- Η μικτή ανάκλαση (Σχήμα 1.9.4), η οποία προκαλείται όταν ένα μέρος της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια ανακλάται κανονικά ενώ κάποιο άλλο διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Η μικτή ανάκλαση είναι δηλαδή μια ανάκλαση μεταξύ της κανονικής και της διαχέουσας.



Σχήμα 1.9.4: Η μικτή ανάκλαση.

Τώρα, αν θεωρηθεί ότι  $\Phi$  είναι η φωτεινή ροή που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και  $\Phi_p$  το ποσό της φωτεινής ροής αυτής που ανακλάται από την επιφάνεια τότε μπορεί να εκφραστεί το ποσοστό της φωτεινής ροής που ανακλά η επιφάνεια με το συντελεστή ανάκλασης  $\rho$ . Η μαθηματική σχέση που εκφράζει το συντελεστή ανάκλασης είναι η εξής:

$$\rho = \frac{\Phi_p}{\Phi}$$

Επιπροσθέτως, αν θεωρηθεί ότι  $\omega$  είναι η στερεά γωνία μιας φωτεινής δέσμης που προέρχεται από μια φωτεινή πηγή τότε μπορεί εκφραστεί η φωτεινή ένταση  $I_p$  της φωτεινής αυτής δέσμης συναρτήσει του συντελεστή ανάκλασης  $\rho$  ως εξής:

$$I_p = \frac{\Phi_p}{\omega} = \rho \cdot \frac{\Phi}{\omega} = \rho \cdot I$$

Εν τη συνεχεία, αν θεωρηθεί ότι  $L$  λαμπρότητα μιας φωτεινής πηγής τότε μπορεί εκφραστεί η λαμπρότητα που βλέπει ο παρατηρητής  $L_p$  συναρτήσει του συντελεστή ανάκλασης  $\rho$  ως εξής:

$$L_p = \frac{I_p}{S \cdot \cos a} = \rho \cdot \frac{I}{S \cdot \cos a} = \rho \cdot L$$

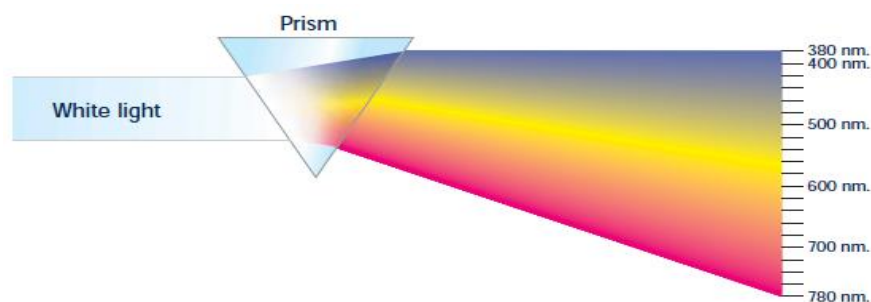
Όπως διαπιστώθηκε προηγουμένως, κάθε επιφάνεια έχει τη δική της ικανότητα να ανακλά. Ανάλογα όμως με τα μήκη κύματος που ανακλούν, οι επιφάνειες χωρίζονται σε δύο

κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιφάνειες των οποίων ο συντελεστής ανάκλασης δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας. Τέτοιες επιφάνειες είναι οι λευκές, οι οποίες ανακλούν όλα τα μήκη κύματος. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιφάνειες των οποίων ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας. Τέτοιες επιφάνειες είναι οι κόκκινες, οι κίτρινες, οι πράσινες και οι μπλε, οι οποίες ανακλούν φωτεινή ακτινοβολία σε μία ζώνη του ορατού φάσματος.

## 1.10 Χρώμα

### 1.10.1 Ορισμός

Το χρώμα ορίζεται ως το φαινόμενο κατά το οποίο γίνεται αντιληπτό ένα υποκειμενικό χαρακτηριστικό της ύλης μέσω της όρασης. Είναι μία ψυχοσωματική αντίδραση η οποία αποτελείται από τη φυσική ανταπόκριση του ανθρώπινου ματιού και την ερμηνευτική ανταπόκριση του ανθρώπινου εγκεφάλου στα μήκη κύματος του φάσματος του ορατού φωτός. Στα μήκη κύματος που δεν αποτελούν μέρος του φάσματος του ορατού φωτός, το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να διακρίνει τα χρώματα παρά μόνο τις διαφορές στη λαμπρότητα.



Σχήμα 1.10.1: Η ανάλυση του λευκού φωτός στα χρώματα του φάσματος του ορατού φωτός.

Το γεγονός ότι το χρώμα γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι οφείλεται στη δυνατότητα που έχουν οι επιφάνειες να ανακλούν, να διαχέουν και να απορροφούν τμήμα της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτές. Από τη μίξη των φωτεινών ακτινοβολιών που συνιστούν το φάσμα του ορατού φωτός προκύπτει το λευκό φως (Σχήμα 1.10.1). Τα βασικά χρώματα του φάσματος του ορατού φωτός κατά σειρά αύξησης του

μήκους κύματος είναι το ιώδες, το μπλε, το πράσινο, το κίτρινο, το πορτοκαλί και το κόκκινο (Πίνακας 1.10.1).

**Πίνακας 1.10.1: Το μήκος κύματος των χρωμάτων του φάσματος του ορατού φωτός.**

Χρώμα	Μήκος Κύματος (nm)
κόκκινο	600-700
πορτοκαλί	578-600
κίτρινο	542-578
πράσινο	500-542
μπλε	446-500
ιώδες	400-446

### **1.10.2 Ενεργειακή Φασματική Κατανομή**

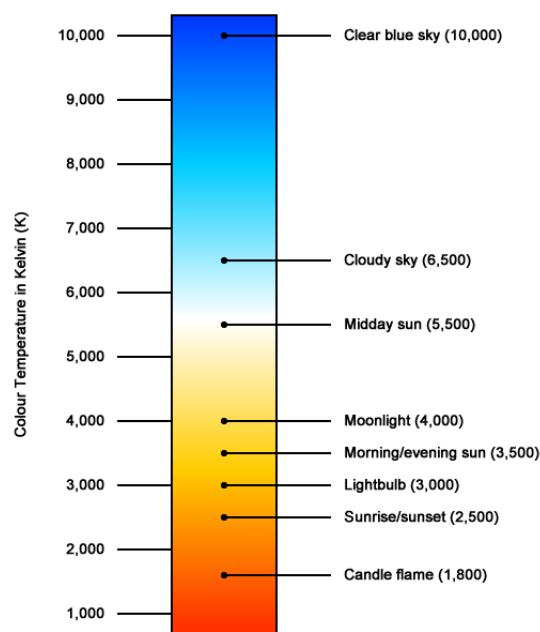
Η ενεργειακή φασματική κατανομή είναι μία έννοια που αφορά το φάσμα της ακτινοβολίας που περιλαμβάνει το σύνολο των μηκών κύματος του φωτός μίας φωτεινής πηγής. Το ποσοστό της χρωματικής ακτινοβολίας του φωτός διαφέρει από πηγή σε πηγή και καθορίζεται από την ενεργειακή φασματική κατανομή του. Παραδείγματος χάρη, η ηλιακή φωτεινή ακτινοβολία έχει μήκος κύματος από 380nm έως 760nm. Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως με την φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπουν οι τεχνητές φωτεινές πηγές και γι αυτό το χρώμα μιας επιφάνειας εξαρτάται από την πηγή που το φωτίζει.

### **1.10.3 Θερμοκρασία Χρώματος**

Προτού οριστεί η έννοια της θερμοκρασίας χρώματος μιας φωτεινής πηγής, είναι απαραίτητη η αναφορά σε μια άλλη έννοια αυτή του μέλανος σώματος. Το μέλαν σώμα είναι ένα σώμα το οποίο έχει τη δυνατότητα να απορροφά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του, να μην την ανακλά ποτέ και να εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή σε όλες τις διευθύνσεις. Η ακτινοβολία που απορροφάει και εκπέμπει το μέλαν σώμα κατανέμεται

σε ολόκληρο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η δυνατότητα αυτή χρήζει ιδανικής κατάστασης για ένα σώμα, καθώς στην πραγματικότητα δεν υπάρχει. Επίσης, η θερμοκρασία του μέλανος σώματος αυξάνεται όταν αυτό απορροφάει ακτινοβολία και επανέρχεται στην αρχική του τιμή όταν την εκπέμπει. Έτσι, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία του εξαρτάται από την αύξηση της θερμοκρασίας.

Θεωρώντας, λοιπόν, ότι μια φωτεινή πηγή έχει θερμοκρασία χρώματος  $T_c$ , σημαίνει ότι όταν το μέλαν σώμα βρεθεί στη θερμοκρασία  $T_c$  τότε αυτό θα εκπέμπει φως παρόμοιου χρώματος με αυτό της φωτεινής πηγής. Προφανώς, υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των χρωμάτων του μέλανος σώματος και της φωτεινής πηγής. Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας χρώματος είναι το Kelvin (K). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα θερμοκρασίας χρώματος (Σχήμα 1.10.2).



Σχήμα 1.10.2: Παραδείγματα θερμοκρασίας χρώματος.

Ανάλογα με τη τιμή που έχει η θερμοκρασία χρώματος μιας φωτεινής πηγής, το χρώμα της μπορεί να κατηγοριοποιηθεί και να χαρακτηριστεί ως θερμό, ενδιάμεσο/ουδέτερο και ψυχρό.

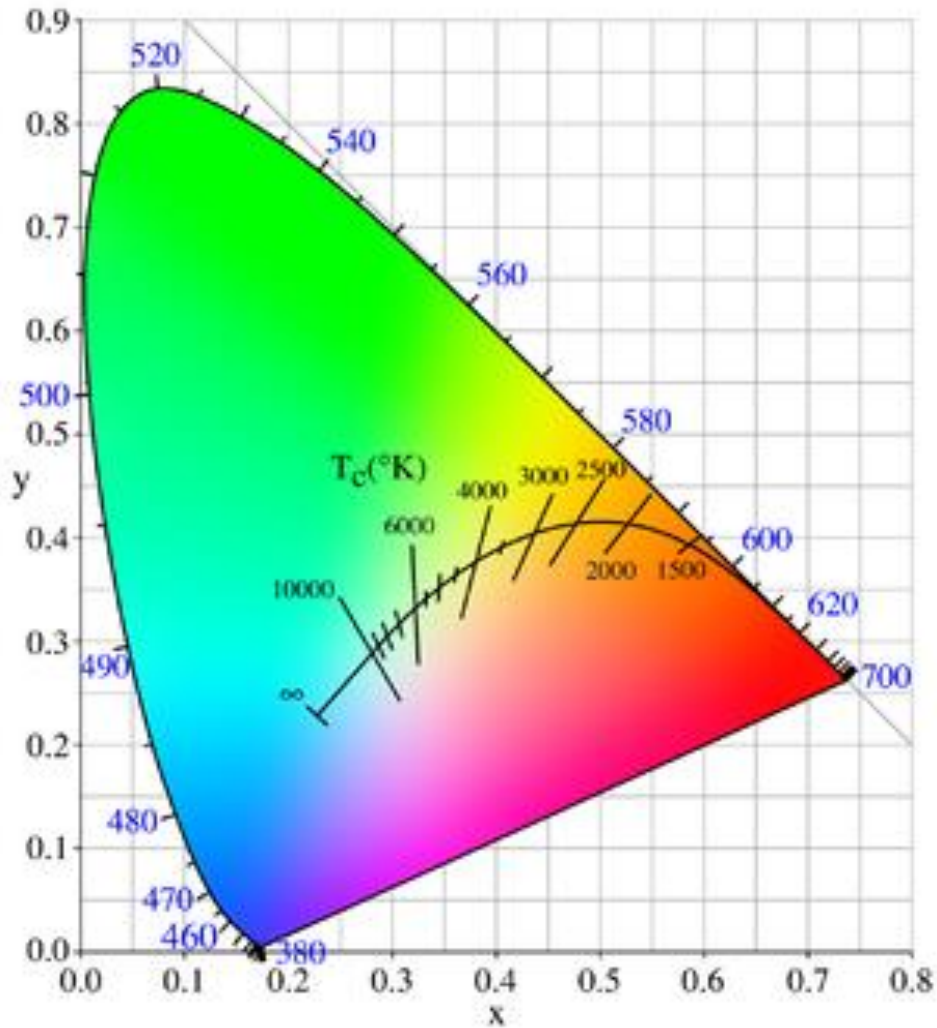
**Πίνακας 1.10.2: Οι χαρακτηρισμοί των χρωμάτων ανάλογα με την θερμοκρασία.**

Χαρακτηρισμός Χρώματος	Θερμοκρασία χρώματος (K)
Θερμό (Warm)	<3.300
Ενδιάμεσο/Ουδέτερο (Intermediate)	Από 3.300 έως 5.300
Ψυχρό (Cold)	>5.300

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.10.2 όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος τόσο θερμότερο είναι το χρώμα της φωτεινής πηγής και όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος τόσο ψυχρότερο είναι το χρώμα της φωτεινής πηγής. Επίσης, όσο ψυχρότερο είναι το χρώμα της φωτεινής πηγής τόσο περισσότερη ένταση φωτός παράγει. Το χρώμα είναι πολύ σημαντικό καθώς επηρεάζει την αισθητική «ατμόσφαιρα» του χώρου και την ψυχολογία του ανθρώπου.

Όλες οι έννοιες για τις οποίες έγινε αναφορά σε αυτό το υποκεφάλαιο μπορούν να γίνουν περισσότερο κατανοητές από το χρωματικό διάγραμμα (Σχήμα 1.10.3). Το χρωματικό διάγραμμα, λέγεται και διαφορετικά τρίγωνο χρώματος, είναι ένα χρωματομετρικό σύστημα που δημιουργήθηκε σύμφωνα με την ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE. Αποτελείται από δύο χρωματικές συντεταγμένες,  $x$  και  $y$ , με τις οποίες ορίζεται με ακρίβεια το χρώμα της φωτεινής πηγής. Τα χρώματα τα οποία βρίσκονται πάνω στη καμπύλη ονομάζονται απλά χρώματα, ενώ αυτά που είναι στο εσωτερικό της καμπύλης ονομάζονται σύνθετα χρώματα. Στο κέντρο του τριγώνου υπάρχει το χρώμα που συνθέτουν όλες μαζί οι ακτινοβολίες του ορατού φάσματος, δηλαδή το λευκό. Τέλος, στο εσωτερικό μέρος του τριγώνου έχει σχεδιαστεί η καμπύλη του μέλανος σώματος σε κάθε σημείο της οποίας υπάρχουν γραμμές που υποδεικνύουν σε ποια θερμοκρασία χρώματος αντιστοιχεί το κάθε χρώμα.





Σχήμα 1.10.3: Το χρωματικό διάγραμμα κατά CIE.

#### 1.10.4 Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης

Θεωρώντας τρεις τεχνητές φωτεινές πηγές, οι οποίες φαίνεται ότι εκπέμπουν το ίδιο χρώμα, τονίζουν με διαφορετικές αποχρώσεις η μία από την άλλη την επιφάνεια ενός προσώπου λόγω της διαφορετικής φασματικής σύνθεσης του φωτός τους (Σχήμα 1.10.4). Γι' αυτό το λόγο, ένα σημαντικό κριτήριο για μια τεχνητή φωτεινή πηγή αποτελεί η ποιότητα του χρώματος που εκπέμπει.

Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (colour rendering index) ή αλλιώς CRI συμβολίζεται  $R_a$  και είναι εκείνος που προσδιορίζει το βαθμό ποιότητας χρώματος του φωτός που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή, σε σύγκριση με μία άλλη φωτεινή πηγή η οποία θεωρείται πρότυπη. Η σύγκριση αυτή γίνεται με την προϋπόθεση ότι οι δύο πηγές φωτισμού έχουν την ίδια

θερμοκρασία χρώματος. Οι πρότυπες φωτεινές πηγές έχουν δείκτη χρωματικής απόδοσης την μέγιστη τιμή, δηλαδή 100. Η μαθηματική σχέση που εκφράζει τον δείκτη χρωματικής απόδοσης είναι η εξής:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 [100 - (4,6 \cdot \Delta E_i)]$$



Σχήμα 1.10.4: Παράδειγμα χρωματικής απόδοσης.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τυπικές τιμές του δείκτη χρωματικής απόδοσης για διάφορους λαμπτήρες (Πίνακας 1.10.3).

Πίνακας 1.10.3: Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης διαφόρων λαμπτήρων.

Χρωματική Απόδοση	$R_a$	Λαμπτήρες
Άριστη	90	Λαμπτήρες αλογόνου
Ικανοποιητική	60-69	Βασικοί λαμπτήρες φθορισμού
Χαμηλή	39	Νατρίου υψηλής και χαμηλής πίεσης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: «ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ»

### 2.1 Βασικές Κατηγορίες Λαμπτήρων

Ένα από τα σπουδαιότερα κατορθώματα για την ανθρωπότητα αποτελεί η ανακάλυψη τεχνητών φωτεινών πηγών. Ένα μεγάλο μέρος των τεχνητών φωτεινών πηγών είναι οι λαμπτήρες. Οι λαμπτήρες αποτελούν τις πηγές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες φωτισμού των δρόμων. Σήμερα υπάρχουν πολλοί τύποι λαμπτήρων, για κάθε χρήση και με διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Η επιλογή του κατάλληλου λαμπτήρα πλέον θεωρείται από τα σημαντικότερα στάδια μιας μελέτης είτε αυτή αφορά εσωτερικό είτε εξωτερικό χώρο. Με βάση το μηχανισμό παραγωγής φωτός, οι λαμπτήρες κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Λαμπτήρες πυρακτώσεως (incandescent filament lamps), η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στη πυράκτωση του νήματος με βάση τον νόμο του Joule.
- Λαμπτήρες εκκενώσεως (discharge lamps), η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στα φαινόμενα εκκένωσης με τη χρήση ηλεκτροδίων.
- Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (light emitting diodes-L.E.D.), η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στο συνδυασμό ημιαγωγικών υλικών.
- Λαμπτήρες επαγωγής (induction lamps), η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στα φαινόμενα εκκένωσης χωρίς τη χρήση ηλεκτροδίων.

### 2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων

Υπάρχουν πολλά είδη και διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων και αυτό που τους ξεχωρίζει είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Τα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη των λαμπτήρων είναι τα εξής:

- Ονομαστική τάση λειτουργίας, η οποία είναι η τάση του δικτύου στο οποίο θα πρέπει να συνδεθεί ο λαμπτήρας για να λειτουργήσει.
- Ονομαστική ισχύς, η οποία είναι η ηλεκτρική ισχύς, σε Watt, που καταναλώνει ο λαμπτήρας όταν βρίσκεται σε λειτουργία.
- Φωτεινή ροή/φωτεινή ισχύς, η οποία είναι η συνολική φωτεινή ενέργεια που εκπέμπει ο λαμπτήρας σε Lumen και που δίνεται για συγκεκριμένη θερμοκρασία .

Εκτός από αυτά τα χαρακτηριστικά όμως υπάρχουν και κάποια άλλα τα οποία οι μελετητές θεωρούν βασικά για τους λαμπτήρες και τα οποία δίνονται από τους κατασκευαστές τους (Σχήμα 2.2.1). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

- Βαθμός απόδοσης, ο οποίος προκύπτει από τον συσχετισμό της ονομαστικής ισχύς ενός λαμπτήρα με τη φωτεινή ροή του. Συγκεκριμένα, ο λόγος της φωτεινής ροής προς την ονομαστική ισχύ του λαμπτήρα εκφράζει την απόδοσή του σε  $lm/W$  και αποτελεί καθοριστικό στοιχείο για την οικονομική λειτουργία ενός συστήματος φωτισμού.
- Χρόνος ζωής, ο οποίος είναι ο συνολικός χρόνος ζωής που μπορεί να έχει ένας λαμπτήρας και δίνεται σε ώρες (hrs).
- Θερμοκρασία χρώματος ενός λαμπτήρα, η οποία δίνεται σε Kelvin (K).
- Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης, ο οποίος συμβολίζεται  $R_a$  και μπορεί να πάρει τιμές από μηδέν (0) έως εκατό (100).
- Φωτεινή ένταση ενός λαμπτήρα, η οποία δίνεται σε candela (cd).
- Δυνατότητα αυξομειώσης της φωτεινής έντασης ενός λαμπτήρα (dimming).
- Διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης ενός λαμπτήρα.
- Φάσμα εκπομπής ενός λαμπτήρα.
- Διαστάσεις και σχήμα ενός λαμπτήρα.
- Κάλυκας, ο οποίος είναι η υποδοχή που έχει ένας λαμπτήρας (π.χ. βιδωτή E14).
- Κύκλοι on/off (switch cycles), ο οποίος είναι ο αριθμός ανοίγματος και κλεισίματος ενός λαμπτήρα πριν αυτός καεί.
- Ενεργειακή αποδοτικότητα (EEI), η οποία είναι ο λόγος της ονομαστικής ισχύος του λαμπτήρα προς μια ισχύ αναφοράς και εκφράζεται σε κλάσεις οι οποίες αντιστοιχούν σε κάποιο συγκεκριμένο όριο τιμών.
- Εύρος δέσμης, το οποίο είναι η γωνία εξάπλωσης του φωτός που εκπέμπει ένας λαμπτήρας και δίνεται σε μοίρες ( $^{\circ}$ ).

Ισχύς $\hat{=}$ αντιστοιχία	Τάση	Κάλυκας	Μετρού- μενη φωτεινή ροή	Φωτεινή ένταση	Με- τρούμε- νος χρόνος ζωής	Κύκλος on/off	Σχή- μα no.	
(W)	(V)	(°)	(lm)	(cd)	(ώρες)			
8 $\hat{=}$ 40	220-240	E27	470		25.000	50000X	A 1	
8 $\hat{=}$ 40	230	B22	470		25.000	50000X	A 2	
8 $\hat{=}$ 50	220-240	GU10	25	430	1.800	40.000	50000X	A 3
8 $\hat{=}$ 50	220-240	GU10	40	430	900	40.000	50000X	A 3

Σχήμα 2.2.1: Παράδειγμα χαρακτηριστικών ενός τυχαίου τύπου λαμπτήρα L.E.D..

## 2.3 Λαμπτήρες Πυρακτώσεως

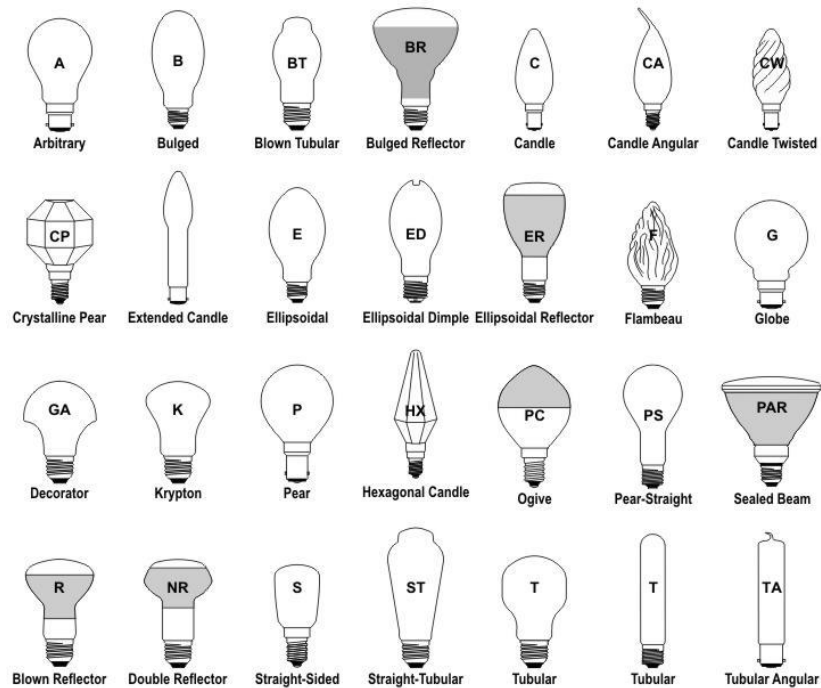
Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως (incandescent lamps) είναι οι πρώτοι ηλεκτρικοί λαμπτήρες που κατασκευάστηκαν. Αποτελείται από ένα νήμα σε σπειροειδή περιέλιξη, το οποίο όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα τότε πυρακτώνεται και εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία. Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι ο κώδωνας, το νήμα, το αέριο πλήρωσης και η βάση (Σχήμα 2.3.1).



Σχήμα 2.3.1: Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως.

Ο κώδωνας των λαμπτήρων πυρακτώσεως χαρακτηρίζεται από ένα (1) ή δύο (2) γράμματα τα οποία συμβολίζουν το σχήμα που έχουν (Σχήμα 2.3.2). Δίπλα στα γράμματα υπάρχει ένας αριθμός ο οποίος υποδηλώνει πόσες φορές η διάμετρος του κώδωνα είναι μεγαλύτερη από το ένα όγδοο της ίντσας. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο κώδωνας είναι το

γυαλί και το είδος του γυαλιού εξαρτάται κυρίως από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Η απόδοση των λαμπτήρων πυρακτώσεως μπορεί να μειωθεί αν ο κώδωνας είναι χρωματισμένος στο εσωτερικό του ή έχει περάσει από φινίρισμα.



Σχήμα 2.3.2: Το σχήμα του κώδωνα των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

Όσον αφορά το νήμα των λαμπτήρων πυρακτώσεως, είναι αυτό που επηρεάζει την ισχύ του λαμπτήρα καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του νήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του λαμπτήρα. Παρακάτω δίνεται πίνακας, ο οποίος παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές συσχετισμού της θερμοκρασίας του νήματος με την ισχύ του λαμπτήρα (Πίνακας 2.3.1).

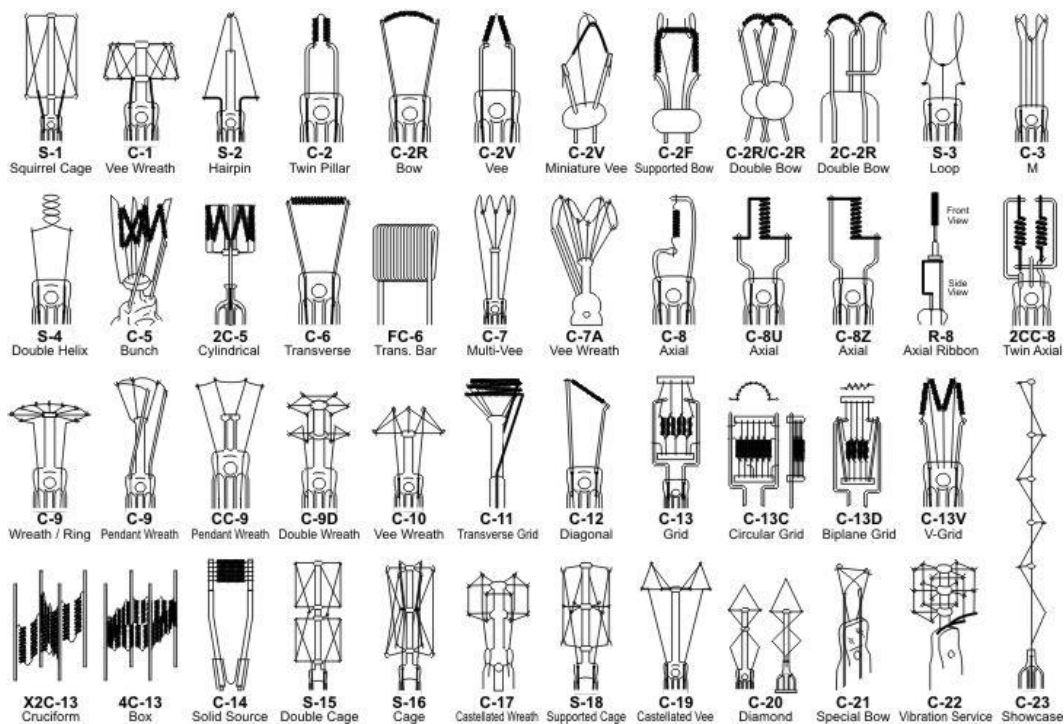
Πίνακας 2.3.1: Η ισχύς του λαμπτήρα πυρακτώσεως σε σχέση με την θερμοκρασία του νήματος.

Ισχύς Λαμπτήρα	40	60	75	100	150	200	300	500	1000
Θερμοκρασία Νήματος (K)	2700	2750	2750	2800	2830	2850	2860	2900	2950

Γενικά, το πρώτο νήμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν από άνθρακα. Ωστόσο, σήμερα χρησιμοποιείται νήμα από βολφράμιο το οποίο έχει σαφώς καλύτερες ιδιότητες. Οι ιδιότητες του νήματος βολφραμίου είναι οι εξής:

- Χαμηλή πίεση ατμών.
- Υψηλό σημείο τήξης (3655 K).
- Μεγάλη αντοχή και ελατότητα, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλο βαθμό ομοιομορφίας.
- Κατάλληλη ηλεκτρική αντίσταση.
- Κατάλληλη ακτινοβολία.

Ανάλογα με τις ανάγκες χρήσεις των λαμπτήρων πυρακτώσεως, το νήμα βολφραμίου και η στήριξή του έχουν αντίστοιχη μορφή και αντίστοιχη ονομασία (Σχήμα 2.3.3).

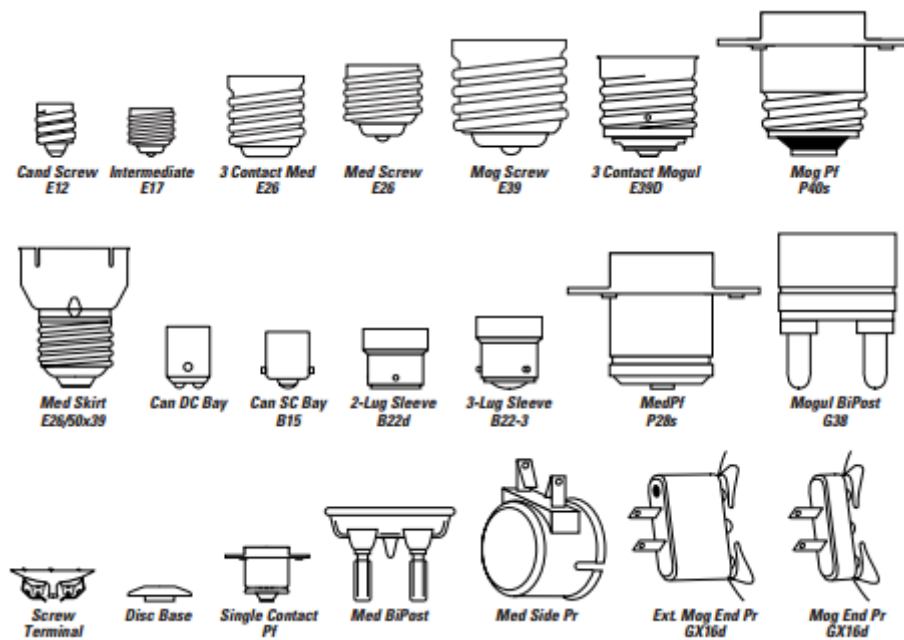


Σχήμα 2.3.3: Οι μορφές και οι ονομασίες των νημάτων των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

Στη συνέχεια, για τη βελτίωση των λαμπτήρων πυρακτώσεως χρησιμοποιήθηκε αέριο πλήρωσης. Το πρώτο αέριο πλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το άζωτο, το οποίο να μεν ελάττωσε το ποσοστό της εξάτμισης του νήματος αλλά αύξησε το ποσοστό των απωλειών θερμότητας του λαμπτήρα και κατ' επέκταση μείωσε τη φωτεινή ισχύς και την απόδοσή του. Το πρόβλημα λύθηκε με την εισαγωγή αδρανών αερίων, κυρίως του αργού,

τα οποία απορροφούν λιγότερη θερμότητα από το άζωτο. Φυσικά, το άζωτο συνέχισε να χρησιμοποιείται, αναλογικά με το αργό, ως ένα μικρό ποσοστό καθώς καταστείλει τις εκκενώσεις τόξου μεταξύ των νημάτων. Η αναλογία αυτή εξαρτάται από τα βασικά χαρακτηριστικά του νήματος όπως η ονομαστική τάση και η θερμοκρασία.

Το τελευταίο βασικό δομικό στοιχείο ενός λαμπτήρα πυράκτωσης είναι η βάση (κάλυκας). Οι συνηθέστεροι τύποι βάσεων είναι οι βιδωτές βάσεις. Ο τύπος της βάσης (Σχήμα 2.3.4) χαρακτηρίζεται από ένα (1) γράμμα (π.χ.Ε για βιδωτή βάση) και δίπλα στο γράμμα υπάρχει ένας αριθμός ο οποίος υποδηλώνει την διάμετρό της βάσης σε χιλιοστά (mm). Η ισχύς ενός λαμπτήρα πυράκτωσης έχει καθοριστικό ρόλο για τον καθορισμό του τύπου της βάσης. Παραδείγματος χάριν, για τους λαμπτήρες πυράκτωσης μεγάλης ισχύος που αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται ειδικές τσιμεντένιες βάσεις που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες ή βάσεις που δεν είναι τσιμεντένιες και που στερεώνονται μηχανικά.



Σχήμα 2.3.4: Οι τύποι βάσεων των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων πυρακτώσεως, όπως η ένταση του ρεύματος, η καταναλισκόμενη ισχύς, η φωτεινή ισχύς, η απόδοση, η θερμοκρασία χρώματος και ο χρόνος ζωής, μεταβάλλονται ανάλογα με την τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στα



άκρα του νήματος του λαμπτήρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι τα εξής:

- Χαμηλή διάρκεια ζωής (1000 ώρες)
- Χαμηλή φωτεινή απόδοση (από  $8\text{lm/W}$  έως  $20\text{lm/W}$ ).
- Χαμηλό κόστος.
- Καλός δείκτης χρωματικής απόδοσης.
- Θερμοκρασία χρώματος 2600-3000 K.
- Χαμηλή ενεργειακή απόδοση.

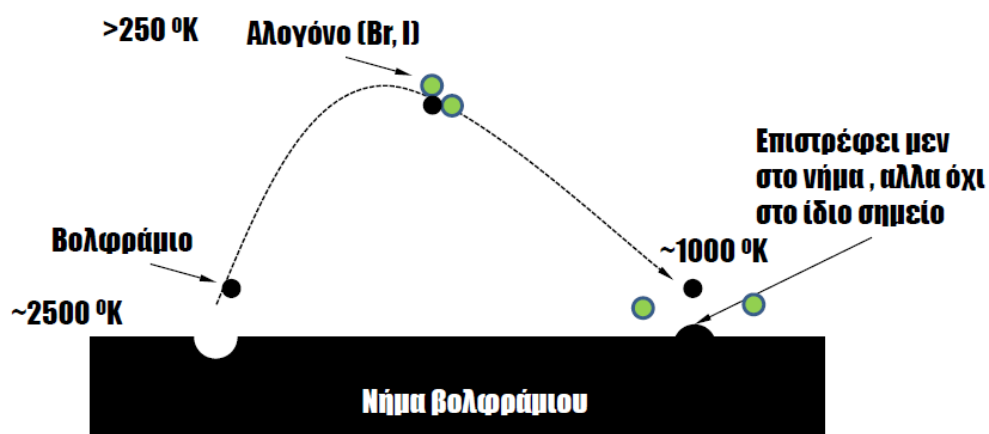
Η χαμηλή διάρκεια ζωής και η χαμηλή φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων πυρακτώσεως αποτέλεσε αφορμή για να εξελιχτούν σε λαμπτήρες αλογόνου (Σχήμα 2.3.5). Οι λαμπτήρες αλογόνου (halogen lamps) λειτουργούν ακριβώς όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, με τη διαφορά ότι το αέριο πλήρωσης περιέχει κάποιο αλογόνο. Το αλογόνο αποτελεί μια ομάδα από χημικά στοιχεία, όπως το χλώριο, το βρώμιο και το ιώδιο. Το αλογόνο που επικράτησε τελευταίο για την κατασκευή αυτών των λαμπτήρων είναι το βρώμιο.



**Σχήμα 2.3.5:** Ένας τυχαίος τύπος λαμπτήρα αλογόνου.

Για τη κατασκευή των λαμπτήρων αλογόνου τοποθετήθηκε κάλυμμα μικρής διαμέτρου γύρω από το νήμα βολφραμίου και τα στηρίγματα αυτού με σκοπό να διατηρηθούν οι κατάλληλες θερμοκρασίες για να λειτουργήσει ο κύκλος του αλογόνου (Σχήμα 2.3.6). Ο κύκλος αυτός ξεκινάει όταν αρχίζει να θερμαίνεται το νήμα βολφραμίου. Όταν το νήμα φτάσει σε μια υψηλή θερμοκρασία τότε κάποια μόρια βολφραμίου εξαχνώνονται και στη

συνέχεια οδηγούνται προς τα ψυχρότερα σημεία του λαμπτήρα, δηλαδή προς τον κώδωνα. Στη συνέχεια, τα μόρια του βολφραμίου αντιδρούν με τα μόρια του αλογόνου με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αλογονίδια του βολφραμίου. Έπειτα τα αλογονίδια αυτά, λόγω των ισχυρών ρευμάτων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του λαμπτήρα, κατευθύνονται προς το πυρακτωμένο νήμα του βολφραμίου και όταν το πλησιάσουν αρκετά αρχίζουν να διασπώνται. Έτσι, τα μόρια του βολφραμίου αποθέτονται πάνω στο νήμα, ενώ τα μόρια του αλογόνου ελευθερώνονται για να αρχίσει ο νέος κύκλος. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι, κατά τη διάσπαση των αλογονιδίων, τα μόρια του βολφραμίου δεν αποθέτονται πάνω στα ίδια σημεία απ' όπου αποκολλήθηκαν αρχικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη γήρανση του νήματος.



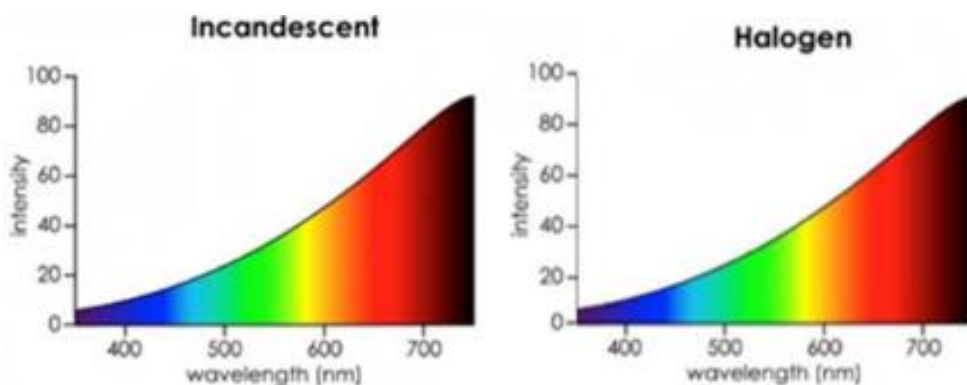
Σχήμα 2.3.6: Ο κύκλος του αλογόνου.

Ένα δομικό χαρακτηριστικό των λαμπτήρων αλογόνου είναι ότι οι κώδωνες των λαμπτήρων αυτών κατασκευάζονται συνήθως από τηγμένο διοξείδιο του πυριτίου, το οποίο ονομάζεται χαλαζίας και θεωρείται εξειδικευμένη μορφή γυαλιού, για να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του. Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων αλογόνου είναι τα εξής:

- Υψηλή διάρκεια ζωής (2000 ώρες).
- Υψηλή φωτεινή απόδοση (από 25  $lm/W$  έως 35  $lm/W$ ).
- Άριστος δείκτης χρωματικής απόδοσης.
- Θερμοκρασία χρώματος 3000-3400 K.
- Χαμηλή ενεργειακή απόδοση.

- Μικρές διαστάσεις.
- Χαμηλό κόστος.

Γενικά, οι λαμπτήρες πυράκτωσης αποτελούσαν τον πιο συνηθισμένο τύπο λαμπτήρων, μέχρι που άρχισε η σταδιακή κατάργησή τους από την αγορά λόγω της χαμηλής τους ενεργειακής απόδοσης. Παρ' όλα αυτά, είχε δοθεί η δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής έντασης των λαμπτήρων πυρακτώσεως με τη χρήση των ρυθμιστών (dimmers), οι οποίοι είχαν ως σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Παρακάτω, κοιτάζοντας τη φασματική κατανομή των απλών λαμπτήρων πυρακτώσεως και των λαμπτήρων αλογόνου (Σχήμα 2.3.7), γίνεται αντιληπτό ότι οι διαφορές στο φάσμα μεταξύ αυτών των λαμπτήρων είναι ανεπαίσθητες.



Σχήμα 2.3.7: Οι φασματικές κατανομές των λαμπτήρων πυρακτώσεως και αλογόνου.

## 2.4 Λαμπτήρες Εκκενώσεως

### 2.4.1 Αρχές Λειτουργίας – Υποκατηγορίες

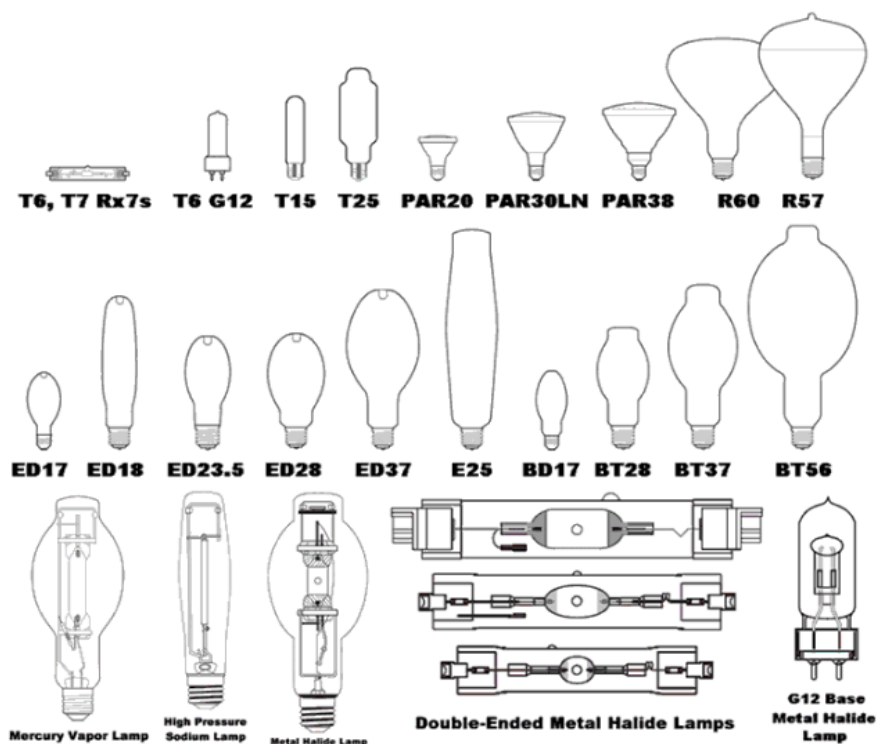
Οι λαμπτήρες εκκενώσεως βασίζονται σε ένα φαινόμενο λειτουργίας το οποίο είναι πολύ διαφορετικό από αυτό των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Είναι λαμπτήρες οι οποίοι δεν έχουν νήμα που να πυρακτώνεται και με αυτόν το τρόπο να εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία. Η φωτεινή ακτινοβολία παράγεται με τη βοήθεια εκκενώσεων ηλεκτρικών τόξων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του κώδωνα και που προκαλούνται από διάφορα αέρια (π.χ. φθόριο, βολφράμιο, νάτριο, υδράργυρος, αλογόνα, κλπ.) που υπάρχουν σε αυτό το χώρο. Το είδος του αερίου αυτού, όπως επίσης και οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, επηρεάζουν την ποιότητα και το χρώμα της φωτεινής ακτινοβολίας που παράγεται από τον

εκάστοτε λαμπτήρα εκκενώσεως. Για την αύξηση του δείκτη της χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων εκκενώσεως χρησιμοποιείται επικάλυψη φωσφόρου, ο οποίος μετατρέπει ένα σημαντικό κομμάτι της υπεριώδης ακτινοβολίας σε ορατό φως.

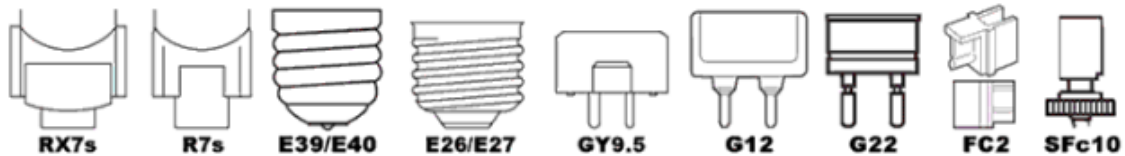
Γενικά οι λαμπτήρες εκκενώσεως, ανάλογα με την πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό τους, χωρίζονται σε λαμπτήρες υψηλής πίεσης και σε λαμπτήρες χαμηλής πίεσης. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες λαμπτήρων εκκενώσεως:

- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.
- Λαμπτήρες φθορισμού.
- Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων.
- Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης.
- Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης.

Παρακάτω δίνονται τα συνηθέστερα σχήματα και οι συνηθέστεροι τύποι βάσεων των λαμπτήρων εκκένωσης (Σχήμα 2.4.1 και Σχήμα 2.4.2). Οι τύποι βάσεων και τα σχήματα αυτά δεν ισχύουν για τους λαμπτήρες φθορισμού.



Σχήμα 2.4.1: Τα συνηθέστερα σχήματα των λαμπτήρων εκκένωσης.



Σχήμα 2.4.2: Οι συνηθέστεροι τύποι βάσεων των λαμπτήρων εκκένωσης.

## 2.4.2 Ballast

Εν αντιθέσει με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, οι οποίοι λειτουργούν χωρίς τη σύνδεση περαιτέρω ηλεκτρικών εξαρτημάτων στο ηλεκτρικό τους κύκλωμα, οι λαμπτήρες εκκενώσεως δεν μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς αυτά. Μπάλαστ (ballast) ή στραγγαλιστικές διατάξεις ονομάζονται τα ηλεκτρικά εξαρτήματα τα οποία είναι απαραίτητα για την επίτευξη της εκκένωσης του ηλεκτρικού τόξου στους λαμπτήρες εκκενώσεως. Για την εκκένωση του ηλεκτρικού τόξου απαιτείται να δοθεί στο ηλεκτρικό κύκλωμα του λαμπτήρα εκκενώσεως ο κατάλληλος παλμός έναυσης, η τιμή του οποίου μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ την ονομαστική τάση λειτουργίας του λαμπτήρα. Συνεπώς, το ballast χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει την απαιτούμενη αρχική τάση για την έναυση του λαμπτήρα. Επίσης, το ballast χρησιμοποιείται για να περιορίσει την αύξηση του ρεύματος και γι' αυτό το λόγο λέγεται ότι το ballastέχει το ρόλο της ηλεκτρικής αντίστασης.

Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους, τα ballastχωρίζονται σε δύο (2) κατηγορίες:

- Ηλεκτρομαγνητικά ballast.
- Ηλεκτρονικά ballast.

Τα ηλεκτρομαγνητικά ή συμβατικά ballast(Σχήμα 2.4.3) είναι ουσιαστικά στραγγαλιστικά πηνία τα οποία αποτελούνται από ένα μαγνητικό πυρήνα σιδήρου που είναι περιελιγμένος από μονωμένο σύρμα χαλκού ή αλουμινίου και συνδέονται σε σειρά με το λαμπτήρα εκκενώσεως. Ο πυρήνας αυτός όταν θερμανθεί αποτελεί πηγή αρμονικών ρευμάτων και προκαλούνται απώλειες ισχύος. Γενικώς, η συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα ηλεκτρομαγνητικά ballast είναι επαγωγική και γι' αυτό το λόγο απαιτείται διόρθωση του συντελεστή ισχύος τους. Για τη διόρθωση αυτή χρησιμοποιείται πυκνωτής στο ηλεκτρικό κύκλωμα του λαμπτήρα, ο οποίος πυκνωτής αντισταθμίζει τον συντελεστή ισχύος και γι' αυτό το λόγο λέγεται πυκνωτής αντισταθμίσεως (Σχήμα 2.4.4). Ο πυκνωτής αντισταθμίσεως έχοντας χωρητική συμπεριφορά αντισταθμίζει την επαγωγική συμπεριφορά του

ηλεκτρομαγνητικού ballast και η σύνδεσή του γίνεται παράλληλα με τους αγωγούς τροφοδοσίας.

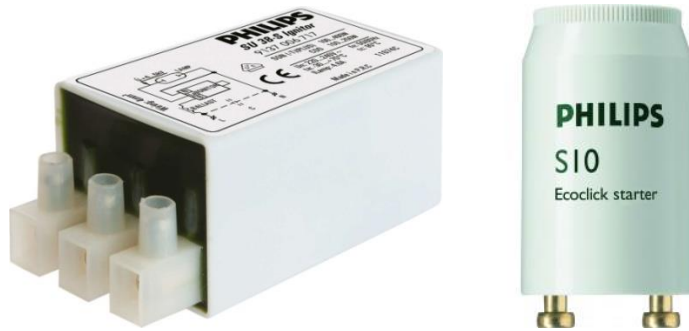


Σχήμα 2.4.3: Το ηλεκτρομαγνητικά ballast.



Σχήμα 2.4.4: Ο πυκνωτής αντιστάθμισης.

Εκτός από ηλεκτρομαγνητικό ballast και πυκνωτή αντιστάθμισης, απαραίτητος για την λειτουργία των λαμπτήρων εκκενώσεως αποτελεί ο εκκινητής (starter). Ο εκκινητής (Σχήμα 2.4.5) περιέχει στο εσωτερικό του ένα διμεταλλικό έλασμα, το οποίο δημιουργεί ένα διάκενο στο εσωτερικό κύκλωμα του εκκινητή. Όταν εφαρμόζεται τάση δικτύου στα άκρα του ηλεκτρικού κυκλώματος του λαμπτήρα τότε ο τελευταίος δε διαρρέεται από ρεύμα. Η τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα είναι επαρκής για την εκκένωση του ηλεκτρικού τόξου. Στη συνέχεια, η εκκένωση αυτή θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή και κλείνει το διάκενο του. Το γεγονός αυτό σταματά την εκκένωση, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα και ο εκκινητής να διαρρέονται από υψηλό ρεύμα. Το υψηλό αυτό ρεύμα θερμαίνει τα ηλεκτρόδια του ενώ παράλληλα το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή ψύχεται και ανοίγει με αποτέλεσμα ο εκκινητής να μένει εκτός λειτουργίας. Ο εκκινητής παραμένει σε αυτή τη κατάσταση καθώς η ονομαστική τάση λειτουργίας του είναι πολύ υψηλότερη από την τάση του δικτύου. Έτσι λοιπόν, καταλήγουμε στο ότι ο εκκινητής είναι χρήσιμος για την έναυση των λαμπτήρων. Υπάρχουν λιγιστοί τύποι λαμπτήρων εκκενώσεως οι οποίοι έχουν ενσωματωμένο κύκλωμα εκκινητή. Όταν ο εκκινητής δεν είναι ενσωματωμένος στο εσωτερικό του λαμπτήρα, όπως άλλωστε συμβαίνει τις περισσότερες φορές, τότε εκείνος μπορεί να συνδεθεί είτε σε σειρά με τον λαμπτήρα είτε παράλληλα με τον λαμπτήρα.



**Σχήμα 2.4.5: Οι εκκινήτες τυχαίων τύπων λαμπτήρων εκκενώσεως.**

Μετά από τα ηλεκτρομαγνητικά ballast κατασκευάστηκαν τα βελτιωμένα ηλεκτρονικά ballast. Τα ηλεκτρονικά ballast (Σχήμα 2.4.6) είναι πλέον ballast υψηλής συχνότητας, καθώς μετατρέπουν τη συχνότητα του δικτύου (50Hz) σε υψηλή συχνότητα με τη βοήθεια των τρανζίστορ και για τον λόγο αυτό λέγεται ότι ουσιαστικά τα ηλεκτρονικά ballast είναι μετασχηματιστές AC/AC. Τα τρανζίστορ βοηθούν επίσης και στον έλεγχο του ρεύματος. Ακόμη τα ηλεκτρονικά ballast δεν συνοδεύονται στο ηλεκτρικό τους κύκλωμα από πυκνωτή αντιστάθμισης και εκκινήτη όπως τα αντίστοιχα ηλεκτρομαγνητικά.



**Σχήμα 2.4.6: Το ηλεκτρονικό ballast τυχαίου τύπου λαμπτήρα εκκενώσεως.**

Τα ηλεκτρονικά ballast είναι σαφώς πολύ καλύτερα από τα ηλεκτρομαγνητικά ballast και οι διαφορές τους καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.4.1).

**Πίνακας 2.4.1: Οι διαφορές των ηλεκτρομαγνητικών και ηλεκτρονικών ballast.**

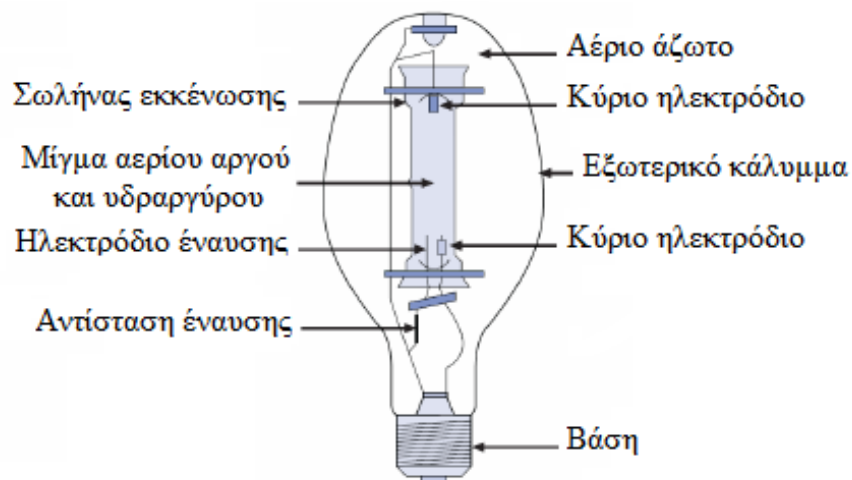
Ηλεκτρομαγνητικά ballast	Ηλεκτρονικά ballast
Σχετικά χαμηλό κόστος.	Υψηλό κόστος.
Ορισμένες διαστάσεις.	Μεγαλύτερες διαστάσεις.
Δεν έχει δυνατότητες ελέγχου φωτισμού.	Έχει δυνατότητες ελέγχου φωτισμού.
Ορισμένη φωτεινή απόδοση.	Υψηλότερη φωτεινή απόδοση (έως 50%).
Λειτουργούν μόνο σε εναλλασσόμενο ρεύμα.	Λειτουργούν σε εναλλασσόμενο και συνεχές ρεύμα.
Στροβοσκοπικό φαινόμενο (τρεμοπαίξιμο/flickering).	Δεν εμφανίζεται το στροβοσκοπικό φαινόμενο.
Θόρυβος κατά την λειτουργία.	Λειτουργούν αθόρυβα.
Τα φωτιστικά σώματα εξακολουθούν να καταναλώνουν ρεύμα και μετά το τέλος της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων.	Αυτόματη λειτουργία «off» των λαμπτήρων όταν γεράσουν.
Ενοχλητικό αναβόσβημα του λαμπτήρα.	Αποφεύγεται το ενοχλητικό αναβόσβημα του λαμπτήρα.
Προβληματική εκκίνηση.	Ομαλή & άμεση έναυση.
Έκλυση θερμότητας λόγω απωλειών ισχύος.	Έκλυση θερμότητας στο 1/3 έναντι των ηλεκτρομαγνητικών ballast
Ορισμένη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων.	Αύξηση της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων.
Οι διακυμάνσεις στη τάση τροφοδοσίας επηρεάζουν τη λειτουργία του λαμπτήρα.	Οι διακυμάνσεις της τάξης του +/-10% στη τάση τροφοδοσίας δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του λαμπτήρα.



## 2.4.3 Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης

### 2.4.3.1 Δομή

Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης (high-pressure mercury vapour lamp) είναι ο σωλήνας εκκένωσης, το εξωτερικό κάλυμμα (κώδωνας), τα κύρια ηλεκτρόδια, το ηλεκτρόδιο έναυσης, η αντίσταση έναυσης, η βάση (κάλυκας), το μίγμα αερίου αργού και υδραργύρου του σωλήνα εκκένωσης και το αέριο άζωτο του κώδωνα (Σχήμα 2.4.7).



Σχήμα 2.4.7: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.

Ο σωλήνας εκκένωσης, ο οποίος κατασκευάζεται από τηγμένο διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζία) με λεπτές μολύβδινες γραμμές που μονώνονται στο τέλος τους, αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του και παρουσιάζει χαμηλή απορρόφηση στην υπεριώδη και ορατή ακτινοβολία. Στα άκρα του σωλήνα εκκένωσης υπάρχουν, συνδεδεμένα με τα ηλεκτρόδια, λεπτά μεταλλικά ελάσματα από μολυβδαίνιο. Ο σωλήνας εκκένωσης στηρίζεται πάνω και κάτω με αγωγίμα σύρματα τα οποία μάλιστα συνδέουν το ηλεκτρόδιο έναυσης με το απέναντι κύριο ηλεκτρόδιο μέσω της αντίστασης έναυσης. Τα κύρια ηλεκτρόδια κατασκευάζονται από βολφράμιο και έχουν γύρω από τα άκρα τους τύλιγμα βολφραμίου επικαλυμμένο με υλικό κατάλληλο για εκπομπή ηλεκτρονίων, ενώ το ηλεκτρόδιο έναυσης κατασκευάζεται από μολυβδαίνιο ή βολφράμιο. Η τυπική τιμή της αντίστασης έναυσης είναι 25kΩ. Το αέριο με το οποίο πληρώνεται ο

σωλήνας εκκένωσης είναι μίγμα αργού και υδραργύρου. Το αργό χρησιμεύει στην έναυση του λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης και στην προστασία των ηλεκτροδίων του σωλήνα εκκένωσης. Το εξωτερικό κάλυμμα, το οποίο περιβάλλει τον σωλήνα εκκένωσης, κατασκευάζεται από «σκληρό» γυαλί και πληρώνεται με αέριο άζωτο το οποίο χρησιμεύει στην αποφυγή ηλεκτρικού σπινθήρα μεταξύ των συρμάτων που στηρίζουν τον σωλήνα εκκένωσης και αποτρέπει την οξείδωση στο εσωτερικό του καλύμματος. Το κάλυμμα αυτό, προστατεύει το σωλήνα εκκένωσης από μεταβολές της θερμοκρασίας και απομονώνει την ακτινοβολία συγκεκριμένων μηκών κύματος. Τέλος, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης αποτελείται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από ορατή ακτινοβολία και κατά ένα σημαντικό ποσοστό από υπεριώδης ακτινοβολία. Για την αύξηση του εκπεμπόμενου ποσοστού ορατής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται επικάλυψη λευκού φώσφορου στο εσωτερικό του καλύμματος, ο οποίος εκπέμπει ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (πορτοκαλί- κόκκινο). Για την εκπομπή πιο ψυχρών ή πιο θερμών χρωμάτων χρησιμοποιείται επικάλυψη φώσφορου αναμειγμένου και με άλλα στοιχεία.

#### **2.4.3.2 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά**

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου χωρίζονται σε λαμπτήρες χαμηλής πίεσης (λαμπτήρες φθορισμού) και σε λαμπτήρες υψηλής πίεσης. Η λειτουργία των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης χωρίζεται σε τρεις φάσεις:

- Η φάση έναυσης. Στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, η παραγωγή της φωτεινής ακτινοβολίας πραγματοποιείται με τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των ατμών υδραργύρου. Η χαμηλή πίεση εξάτμισης που έχει ο υδράργυρος σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες οδήγησε στη προσθήκη ενός ακόμη αερίου μέσα στο σωλήνα εκκένωσης. Το αέριο αυτό, το οποίο είναι ευγενές αέριο και ιονίζεται ευκολότερα, είναι το αργό και χάρις εκείνο διευκολύνεται η έναυση του λαμπτήρα. Κατά την εκκίνηση του λαμπτήρα το αέριο αργό, που βρίσκεται μεταξύ του κύριου ηλεκτροδίου και του ηλεκτροδίου έναυσης, ιονίζεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί στο σωλήνα εκκένωσης φωτεινή εκκένωση. Το ηλεκτρικό ρεύμα περιορίζεται εξαιτίας της αντίστασης και στη συνέχεια αυξάνεται καθώς η φωτεινή εκκένωση φτάνει στο απέναντι κύριο ηλεκτρόδιο. Η αύξηση του ρεύματος θερμαίνει τα κύρια ηλεκτρόδια μέχρι που η φωτεινή εκκένωση

μετατρέπεται σε εκκένωση ηλεκτρικού τόξου η οποία έχει μπλε χρώμα. Σε αυτό το σημείο, το ηλεκτρόδιο έναυσης είναι άχρηστο για τη λειτουργία του λαμπτήρα.

- Η φάση run-up. Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί η εκκένωση του ηλεκτρικού τόξου, η θερμοκρασία μέσα στο σωλήνα εκκένωσης αυξάνεται με αποτέλεσμα να εξατμίζεται σταδιακά ο υδράργυρος. Κατά τη διάρκεια της εξατμίσης του υδραργύρου, η πίεση των ατμών του αυξάνεται μέχρι να σταθεροποιηθεί σε μια κυμαινόμενη τιμή από 2Atm έως και 15 Atm όπου το φως γίνεται λευκό. Σε αυτό το σημείο, ο υδράργυρος έχει εξατμιστεί πλήρως. Ο χρόνος που απαιτείται για ένα λαμπτήρα ώστε να εκπέμψει το 80% του φωτός του ονομάζεται χρόνος run-up και είναι περίπου 4 λεπτά. Στην περίπτωση όπου ο λαμπτήρας σβήσει τότε ο χρόνος που απαιτείται για την εκκένωση νέου ηλεκτρικού τόξου είναι από 3 λεπτά έως και 7 λεπτά.
- Η φάση σταθεροποίησης. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, για τη λειτουργία των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης κρίνεται απαραίτητη η χρήση στραγγαλιστικών διατάξεων (ballast), οι απώλειες των οποίων φθάνουν στο 15% της ισχύος του λαμπτήρα.

Επίσης, οι μορφές των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης που υπάρχουν στην αγορά είναι τύπου κώδωνα ή τύπου επιμήκους σωλήνα (Σχήμα 2.4.8).



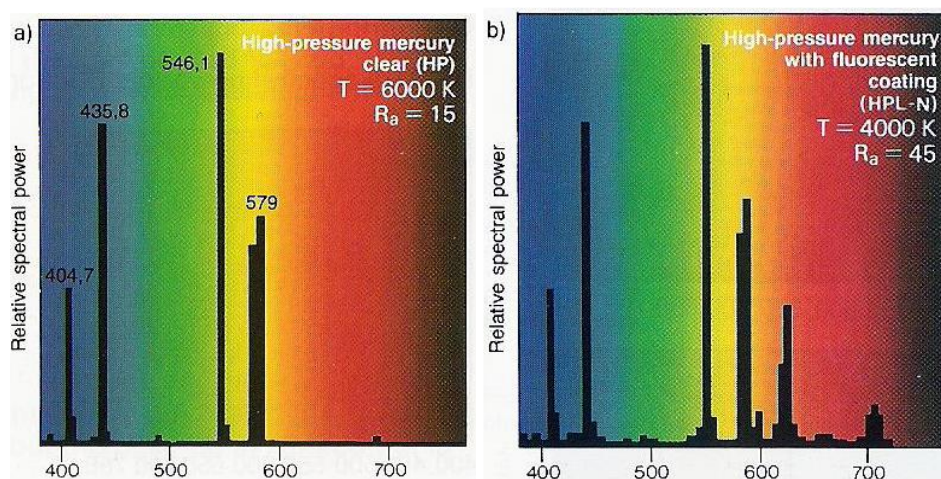
**Σχήμα 2.4.8:** Οι μορφές των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι τα εξής:

- Υψηλή διάρκεια ζωής (έως και 24000 ώρες).
- Υψηλή φωτεινή απόδοση (από 30lm/W έως 65lm/W).
- Χαμηλός δείκτης χρωματικής απόδοσης (από 42 έως και 52).
- Θερμοκρασία χρώματος 3400-5000 K.
- Σχετικά χαμηλό κόστος.

Ένα βασικό μειονέκτημα αυτών των λαμπτήρων είναι η σταδιακή μείωση της φωτεινής τους απόδοσης σε σχέση με το χρόνο λειτουργίας τους. Μερικοί από αυτούς τους λαμπτήρες μπορεί να λειτουργήσουν για περισσότερο καιρό από τον εκτιμώμενο χρόνο λειτουργίας τους, αλλά η φωτεινή τους απόδοση πέφτει και αποδίδουν πολύ θαμπό φως.

Όσον αφορά τη φασματική κατανομή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, το φάσμα τους αποτελείται από τέτοια μήκη κύματος ώστε το φως που παράγουν έχει πράσινο-μπλε χρώμα (Σχήμα 2.4.9).



**Σχήμα 2.4.9:** Η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης α) χωρίς επικάλυψη και β) με επικάλυψη φωσφόρου.

Στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, ανήκει μια κατηγορία λαμπτήρων οι οποίοι ονομάζονται λαμπτήρες μικτού φωτισμού (Σχήμα 2.4.10). Στους λαμπτήρες αυτούς συνδέεται σύρμα βολφραμίου σε σειρά με κάποιο από τα κύρια ηλεκτρόδια. Το σύρμα βολφραμίου τυλίγεται γύρω από το σωλήνα εκκένωσης. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, το σύρμα βολφραμίου πυρακτώνεται και στη συνέχεια ακτινοβολεί. Το φάσμα, το οποίο ακτινοβολεί, αποτελείται από μήκη κύματος της ερυθρής περιοχής (Σχήμα 2.4.11). Αυτό σημαίνει ότι οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού έχουν υψηλότερη χρωματική απόδοση,

χαμηλότερη φωτεινή απόδοση και χαμηλότερη διάρκεια ζωής από τους απλούς λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης. Επίσης, το σύρμα βολφραμίου δημιουργεί την υπέρταση που είναι απαραίτητη για την έναυση του λαμπτήρα και γι' αυτό το λόγο λέγεται και πηνίο. Προφανώς, η χρήση στραγγαλιστικών διατάξεων σε τέτοια περίπτωση κρίνεται αχρείαστη.

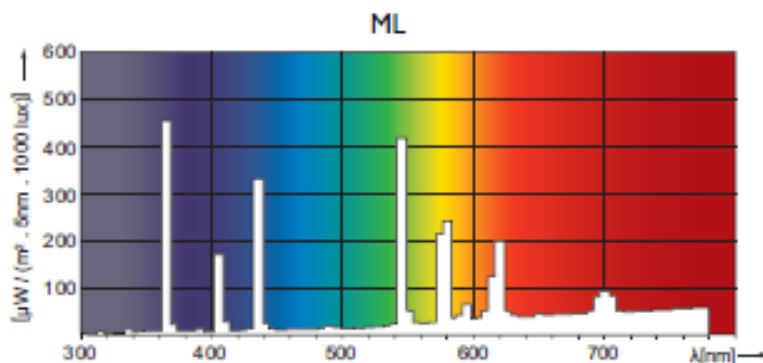
Ακόμη, οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού αποτελούν συνδυαστικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως και εκκενώσεως, καθώς έχουν χαρακτηριστικά και από τις δύο κατηγορίες αυτών των λαμπτήρων. Φυσικά, οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού έχουν υψηλότερη φωτεινή απόδοση και υψηλότερη διάρκεια ζωής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων μικτού φωτισμού είναι τα εξής:

- Σχετικά υψηλή διάρκεια ζωής (από 8000 ώρες έως και 14000 ώρες).
- Σχετικά χαμηλή φωτεινή απόδοση (από  $20\text{lm}/\text{W}$  έως  $30\text{lm}/\text{W}$ ).
- Υψηλός δείκτης χρωματικής απόδοσης.
- Σχετικά χαμηλό κόστος.



Σχήμα 2.4.10: Ο λαμπτήρας μικτού φωτισμού.



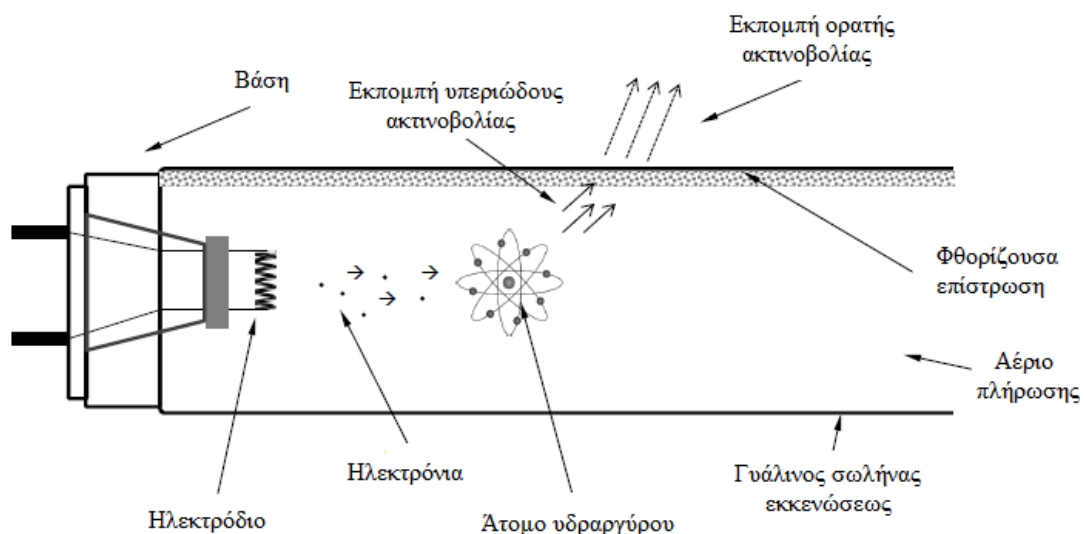
Σχήμα 2.4.11: Η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα μικτού φωτισμού.

## 2.4.4 Λαμπτήρες Φθορισμού

### 2.4.4.1 Δομή

Οι λαμπτήρες φθορισμού ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης. Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα φθορισμού είναι τα εξής (Σχήμα 2.4.12):

- Ο γυάλινος σωλήνας εκκενώσεως.
- Οι φθορίζουσες επιστρώσεις.
- Τα ηλεκτρόδια.
- Το αέριο πλήρωσης.
- Ατμοί υδραργύρου.
- Η βάση (κάλυκας).

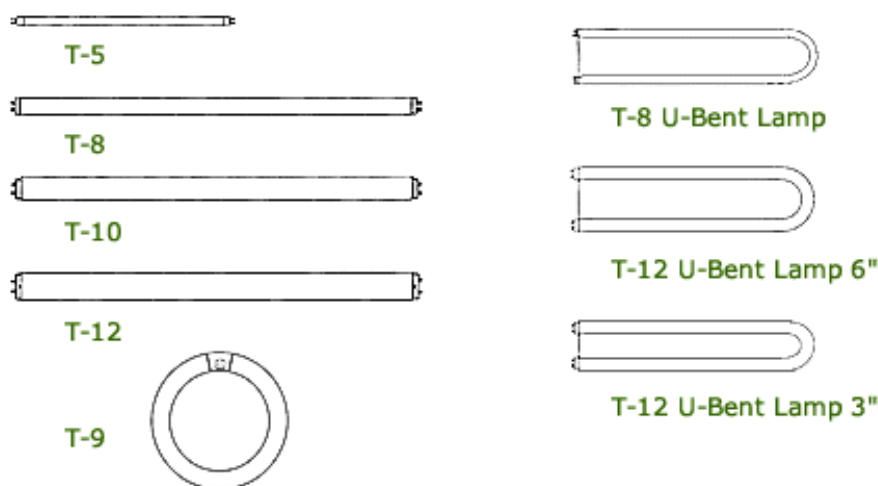


Σχήμα 2.4.12: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα φθορισμού.

Το σχήμα που έχουν οι περισσότεροι λαμπτήρες φθορισμού είναι κυρίως σωληνοειδές και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο σωλήνας εκκενώσεως είναι το γυαλί. Οι διαστάσεις που έχουν είναι από 12 mmέως 54mmσε διάμετρο και από 100 mmέως 2440 mmσε μήκος. Ο τύπος των λαμπτήρων φθορισμού χαρακτηρίζεται από ένα (1) γράμμα (συνήθως «T» που βγαίνει από το αγγλικό «tube»και σημαίνει σωλήνας), το οποίο

συμβολίζει το σχήμα που έχουν και δίπλα στο γράμμα υπάρχει ένας αριθμός ο οποίος υποδηλώνει πόσες φορές η διάμετρος του λαμπτήρα είναι μεγαλύτερη από το ένα όγδοο της ίντσας (π.χ. T8 που σημαίνει διάμετρος 26mm). Οι κυριότερες κατηγορίες των λαμπτήρων φθορισμού με βάση το σχήμα τους είναι οι εξής (Σχήμα 2.4.13):

- Οι γραμμικοί λαμπτήρες φθορισμού (tubular linear fluorescent lamps-TL), οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από ευθείς κυλινδρικούς σωλήνες και διαθέτουν από μία βάση των δύο επαφών σε κάθε άκρο.
- Οι κυκλικοί λαμπτήρες φθορισμού (tubular circular fluorescent lamps-TC), οι οποίοι είναι μη γραμμικοί λαμπτήρες, είναι κατασκευασμένοι από κυλινδρικούς σωλήνες οι οποίοι είναι λυγισμένοι σε σχήμα κύκλου και τα άκρα τους είναι προσαρμοσμένα το ένα στο άλλο και διαθέτουν μία βάση τεσσάρων επαφών.
- Οι λαμπτήρες φθορισμού σχήματος «U» («U» shaped fluorescent lamps-TU), οι οποίοι είναι μη γραμμικοί λαμπτήρες, είναι κατασκευασμένοι από κυλινδρικούς σωλήνες σε σχήμα «U» και διαθέτουν μία βάση τεσσάρων επαφών.
- Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (compact fluorescent lamps-CFL), οι οποίοι θα αναλυθούν στη συνέχεια.



Σχήμα 2.4.13: Τα βασικά σχήματα και οι τύποι κάποιων απλών λαμπτήρων φθορισμού.

Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν στα άκρα τους από ένα ηλεκτρόδιο, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει είτε ως ψυχρή (λειτουργία αίγλης-glow) είτε ως θερμή κάθοδος (λειτουργία τόξου-arc). Οι λαμπτήρες ψυχρής καθόδου έχουν ρεύμα λειτουργίας μερικές εκατοντάδες

μιλιαμπέρ (mA) και ο ιονισμός πραγματοποιείται στα 50 V, ενώ οι λαμπτήρες θερμής καθόδου έχουν ρεύμα λειτουργίας 1,5 αμπέρ (A) και ο ιονισμός πραγματοποιείται στα 10 με 12 βολτ (V). Γενικά, οι λαμπτήρες θερμής καθόδου έχουν επικρατήσει έναντι των αντίστοιχων ψυχρών λόγω της απόδοσής τους. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα ηλεκτρόδια είναι το βολφράμιο, το οποίο επικαλύπτεται με υλικό που είναι κατάλληλο για την θερμιονική εκπομπή των ηλεκτρονίων.

Οι λαμπτήρες φθορισμού βασίζουν τη λειτουργία τους στην πορεία της εκκένωσης του τόξου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια αυτά. Η εκκένωση επιτυγχάνεται λόγω της παρουσίας των ατμών υδραργύρου και των ιονισμό αυτών. Για την διευκόλυνση της εκκένωσης του τόξου, ο σωλήνας εκκένωσης πληρώνεται με κάποιο ευγενές αέριο (αργό ή κρυπτό) ή κάποιο μίγμα ευγενών αερίων σε χαμηλή πίεση.

Στο εσωτερικό του σωλήνα εκκένωσης επιστρώνονται φθορίζουσες ουσίες, οι οποίες καθορίζουν την θερμοκρασία χρώματος (άρα και το φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός) και τον δείκτη χρωματικής απόδοσης και επηρεάζουν την φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού. Οι φθορίζουσες ουσίες είναι συνήθως είναι άλατα του πυριτίου, του βορίου ή του βολφραμίου. Επιπροσθέτως, υπάρχουν ειδικές περιπτώσεις όπου στην εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα εκκένωσης επιστρώνονται ουσίες όπως η σιλικόνη, η οποία χρησιμοποιείται σε λαμπτήρες φθορισμού χωρίς εκκινητή, για την αποφυγή προβλημάτων εκκίνησης εξαιτίας υψηλής υγρασίας.

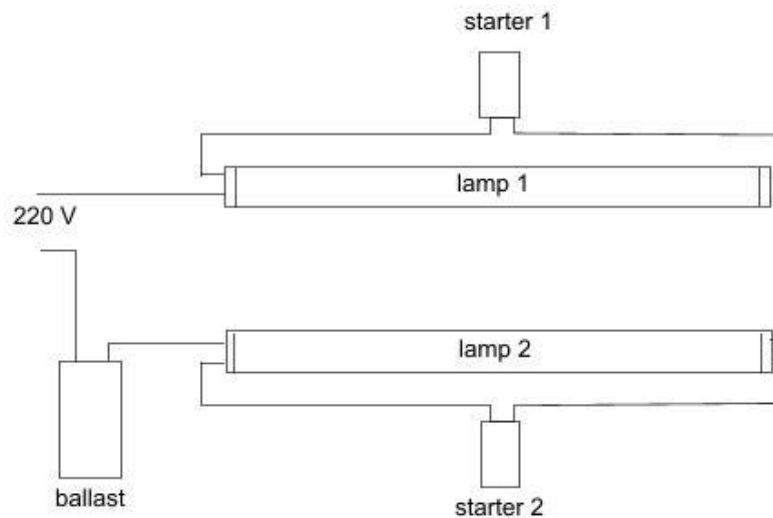
#### **2.4.4.2 Λειτουργία-Χαρακτηριστικά**

Όπως συμβαίνει για τους περισσότερους λαμπτήρες εκκενώσεως, για τη λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού απαιτείται η χρήση ενός εκκινητή και ενός στραγγαλιστικού πηνίου. Το κύκλωμα του εκκινητή περιλαμβάνει ένα μικρό πυκνωτή και ένα μικρό σωλήνα εκκένωσης, ο οποίος εμπεριέχει αέριο νέον και μία σταθερή επαφή με διμεταλλικό έλασμα. Εφαρμόζοντας, λοιπόν, τάση δικτύου στα άκρα του κυκλώματος ενός λαμπτήρα φθορισμού, ο λαμπτήρας αρχικά δε διαρρέεται από ρεύμα. Το ρεύμα διαρρέει τον εκκινητή και αμέσως ξεκινάει η εκκένωση στον σωλήνα του. Η εκκένωση θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα με αποτέλεσμα αυτό να λυγίσει και η επαφή να κλείσει. Τότε η εκκένωση στον εκκινητή σταματάει και το κύκλωμα του λαμπτήρα διαρρέεται από ισχυρό ρεύμα. Έτσι, τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα αρχίζουν να θερμαίνονται και να εκπέμπουν ηλεκτρόνια, ενώ οι σταγόνες υδραργύρου που βρίσκονται στο σωλήνα εκκενώσεως αρχίζουν να εξατμίζονται.



Στο μεταξύ, με τη διακοπή της εκκένωσης στον εκκινητή, το διμεταλλικό έλασμα άρχισε να ψύχεται με αποτέλεσμα να βρεθεί στην αρχική του θέση και το κύκλωμα του εκκινητή να διακοπεί. Μετά τη τελευταία διακοπή και λόγω του στραγγαλιστικού πηνίου, στα άκρα του λαμπτήρα αναπτύσσεται τάση ικανή για να αρχίσει η εκκένωση μέσα στον λαμπτήρα. Συγκεκριμένα, τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του αερίου πληρώσεως και τα άτομα του υδραργύρου τα οποία διεγείρουν και ιονίζουν. Έτσι, πραγματοποιείται η εκκένωση ηλεκτρικού τόξου η οποία παράγει ορατή ακτινοβολία αλλά επί το πλείστον υπεριώδης. Η υπεριώδης ακτινοβολία προσπίπτει στο εσωτερικό του σωλήνα και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ορατή, καθώς ο σωλήνας στο εσωτερικό του είναι επιστρωμένος με φθορίζουσες ουσίες. Πολλές φορές απαιτείται η χρήση πυκνωτή αντιστάθμισης για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος των διατάξεων των λαμπτήρων φθορισμού. Βέβαια, αν γίνει χρήση ηλεκτρονικού στραγγαλιστικού πηνίου δεν χρειάζεται τίποτα από όλα αυτά τα εξαρτήματα.

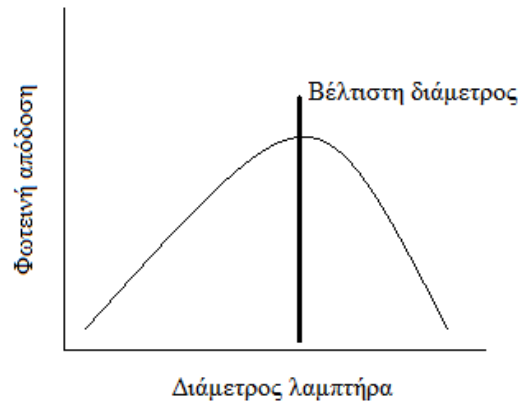
Παρακάτω δίνεται το κύκλωμα συνδεσμολογίας για δύο λαμπτήρες φθορισμού (Σχήμα 2.4.14).



**Σχήμα 2.4.14:** Το κύκλωμα συνδεσμολογίας για δύο λαμπτήρες φθορισμού.

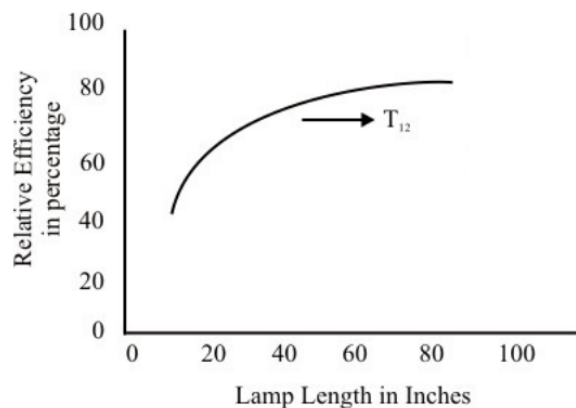
Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά τους, η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.4.15) φαίνεται ότι, για σταθερό ρεύμα, όταν αυξάνεται η διάμετρος του λαμπτήρα τότε αυξάνεται και η φωτεινή του απόδοση, μέχρι που φτάνει μια μέγιστη τιμή

και έπειτα όταν αυξάνεται περισσότερο η διάμετρος του λαμπτήρα τότε μειώνεται και η φωτεινή του απόδοση.



Σχήμα 2.4.15: Η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα φθορισμού συναρτίζεται της διαμέτρου του.

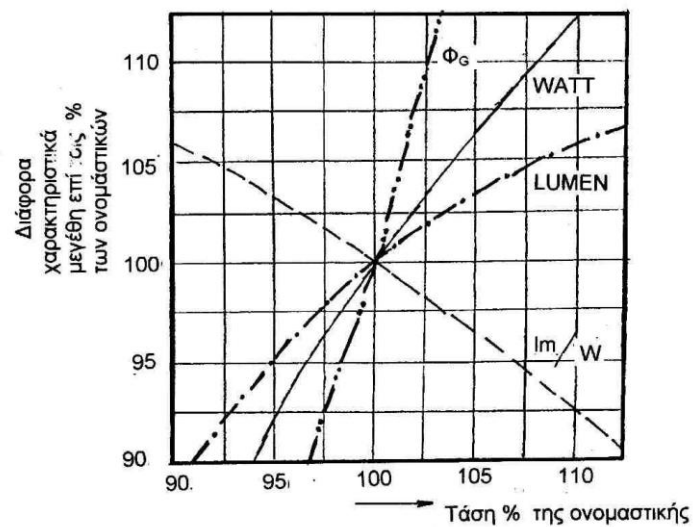
Εκτός από τη διάμετρο του λαμπτήρα φθορισμού, το μήκος του είναι εξίσου ένα μέγεθος που επηρεάζει την φωτεινή του απόδοση. Μάλιστα, όταν αυξάνεται το μήκος του λαμπτήρα τότε αυξάνεται και η φωτεινή του απόδοση (Σχήμα 2.4.16).



Σχήμα 2.4.16: Η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα φθορισμού συναρτίζεται του μήκους του.

Η ζωή ενός λαμπτήρα φθορισμού τελειώνει όταν καταστραφεί ολοσχερώς η επιστροφή κάποιου από τα ηλεκτρόδια του. Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα θερμής καθόδου επηρεάζεται από τη συχνότητα έναυσης του, σε αντίθεση με έναν λαμπτήρα ψυχρής καθόδου ο οποίος δεν επηρεάζεται από αυτή. Η διάρκεια ζωής όλων των λαμπτήρων

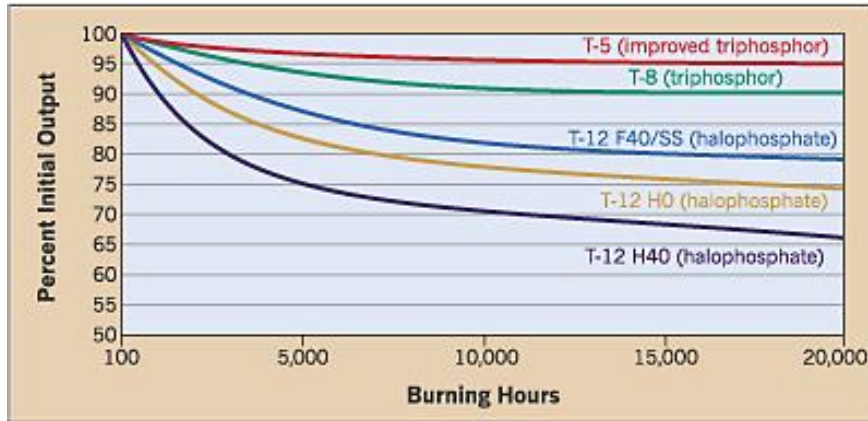
φθορισμού επηρεάζεται από τη ποιότητα των στραγγαλιστικών διατάξεων και από τη σωστή ή όχι τοποθέτηση των επαφών του στα στηρίγματα. Οι διακυμάνσεις της τάσης της γραμμής είναι ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής, και όχι μόνο, του λαμπτήρα. Συγκεκριμένα, αν η τάση είναι υψηλή ή χαμηλή τότε υπάρχει κίνδυνος να εκκινήσει άμεσα ή αντίστοιχα το κύκλωμα του εκκινήτη να λειτουργεί ασταμάτητα. Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα που παρουσιάζει την επίδραση της τάσης της γραμμής σε μέγεθη όπως η ισχύ, η φωτεινή ροή και η φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα (Σχήμα 2.4.17).



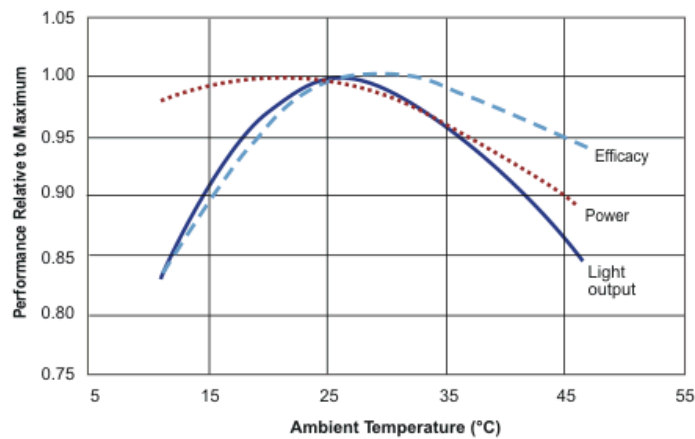
**Σχήμα 2.4.17:** Η φωτεινή απόδοση, η ισχύς και η φωτεινή ροή ενός λαμπτήρα φθορισμού συναρτῆσει της τάσης τροφοδοσίας.

Η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα επηρεάζεται με την σειρά της τη φωτεινή ροή του, καθώς όταν εκείνη αυξάνεται τότε η φωτεινή ροή μειώνεται (Σχήμα 2.4.18).

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας για τη λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού είναι η θερμοκρασία. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ισχύ, τη φωτεινή ροή και τη φωτεινή απόδοση του λαμπτήρα παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.4.19).



Σχήμα 2.4.18: Η φωτεινή ροή διαφόρων λαμπτήρων φθορισμού συναρτήσει της διάρκειας ζωής τους.

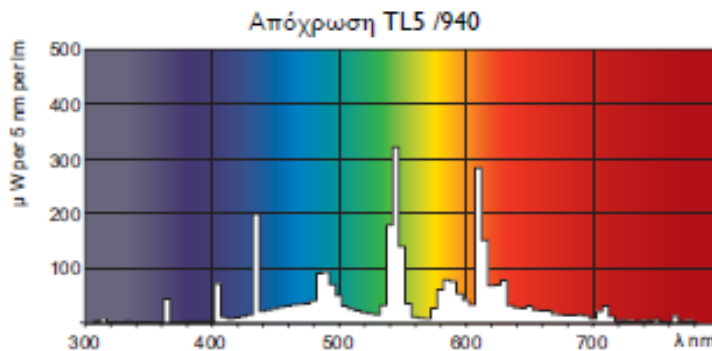


Σχήμα 2.4.19: Η φωτεινή απόδοση, η ισχύς και η φωτεινή ροή ενός λαμπτήρα φθορισμού συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων φθορισμού είναι τα εξής:

- Υψηλή φωτεινή απόδοση (από 40lm/W έως 100lm/W).
- Υψηλή διάρκεια ζωής (από 10000 έως 45000 ώρες).
- Άριστος δείκτης χρωματικής απόδοσης (σχεδόν 100).
- Θερμοκρασία χρώματος από 2700 K έως 6500 K).
- Υψηλό κόστος.
- Μεγάλες διαστάσεις.
- Δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής έντασης (dimming).

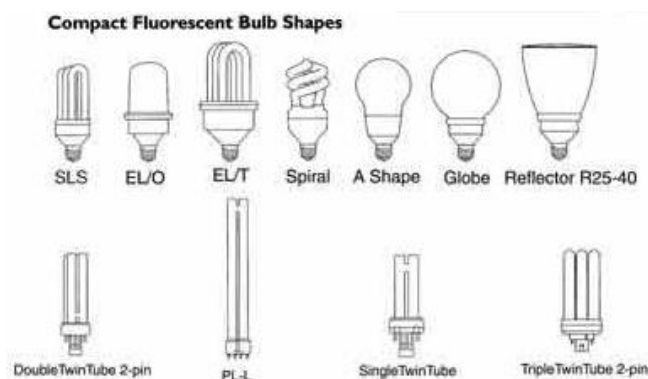
Παρακάτω δίνεται η φασματική κατανομή ενός λαμπτήρα φθορισμού (Σχήμα 2.4.20).



Σχήμα 2.4.20: Η φασματική κατανομή ενός λαμπτήρα φθορισμού TL5 υψηλής φωτεινής ροής.

### 2.4.4.3 Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (compactfluorescentlamps-CFL) αποτελούν μια ειδική κατηγορία λαμπτήρων εκκενώσεως χαμηλής πίεσης. Η λειτουργία τους είναι ίδια με εκείνη των απλών λαμπτήρων φθορισμού και εμφανίζουν ανάλογα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά. Η διαφορά τους με τους απλούς λαμπτήρες φθορισμού είναι ότι έχουν πολύ μικρότερες διαστάσεις και αποτελούνται από ένα άκρο. Όσον αφορά το σχήμα τους (Σχήμα 2.4.21), αποτελούνται συνήθως από ένα ή δύο ή τρεις σωλήνες λυγισμένους σε σχήμα «U». Επίσης, κατασκευάζονται και σε ελικοειδές σχήμα, το οποίο είναι ένας ευθύγραμμος λαμπτήρας με ένα σπινάλ αυλάκι κατά μήκος του. Μερικές φορές, οι σωλήνες των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού περικλείονται σε εξωτερικό πλαστικό ή γυάλινο κάλυμμα.

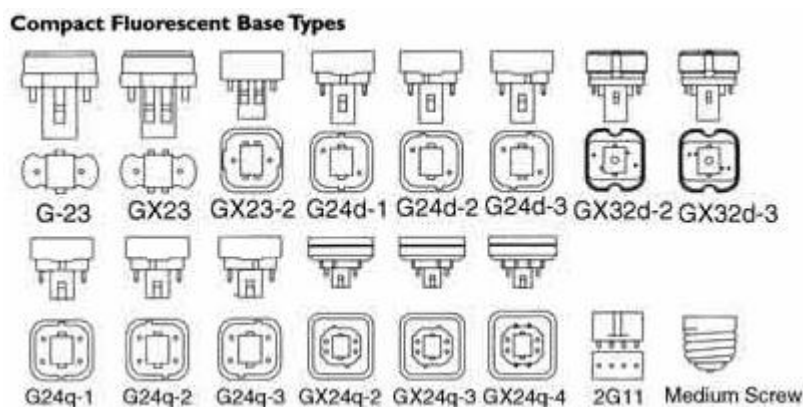


Σχήμα 2.4.21: Οι τύποι των κωδώνων των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Οι ηλεκτρονικοί συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, οι οποίοι έχουν βιδωτή βάση ή μαγιονέτ ώστε να είναι εναλλάξιμοι με τους απλούς λαμπτήρες φθορισμού ή ακόμα και με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν ενσωματωμένη στραγγαλιστική διάταξη, αποκλειστικά ηλεκτρονική. Επίσης, έχουν δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming).
- Οι ακιδωτοί συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού, οι οποίοι έχουν βάση με δύο ή τέσσερις ακίδες. Οι συμπαγείς λαμπτήρες δύο ακίδων έχουν ενσωματωμένο εκκινητή, συνδέονται σε ειδική λυχνιολαβή (ντουί) με εξωτερικό μαγνητικό μπάλαστ και δεν έχουν δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming). Από την άλλη, οι συμπαγείς λαμπτήρες τεσσάρων ακίδων δεν έχουν ενσωματωμένο εκκινητή καθώς συνδέονται σε ειδική λυχνιολαβή (ντουί) με εξωτερικό ηλεκτρονικό μπάλαστ και έχουν δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming).

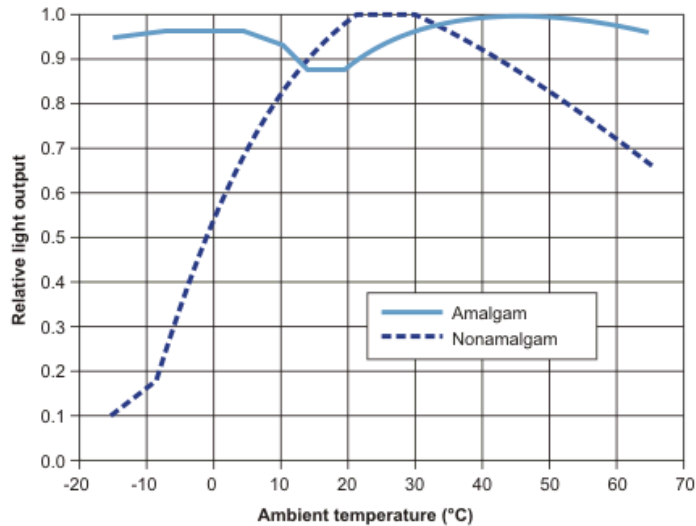
Παρακάτω δίνονται οι τύποι των βάσεων των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού (Σχήμα 2.4.22).



Σχήμα 2.4.22: Οι τύποι των βάσεων των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.

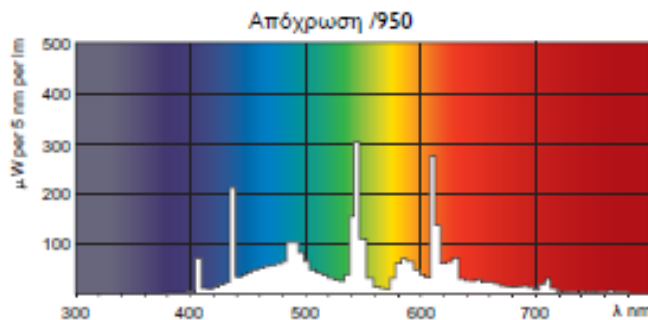
Κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχουν οι συνηθέστεροι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού είναι η ισχύς, που κυμαίνεται από 5 W έως 55W, η παραγόμενη φωτεινή ροή, που κυμαίνεται από 250 lm έως 4800 lm και το μήκος, που κυμαίνεται από 100 mm έως 570 mm. Σημαντική, επίσης, θεωρείται η επίδραση της θερμοκρασίας στη λειτουργία αυτών των λαμπτήρων καθώς σε πολύ χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες μειώνεται η φωτεινή ροή σε σημείο που ενδέχεται να υπολειπώσουν ή και να μην λειτουργήσουν καθόλου. Για το

λόγο αυτό, τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του λαμπτήρα κράματα υδραργύρου και άλλων μετάλλων, τα οποία ονομάζονται αμαλγάματα. Με αυτό το τρόπο, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού λειτούργησαν σχεδόν το ίδιο αποδοτικά με πριν και σε χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες (Σχήμα 2.4.23).



Σχήμα 2.4.23: Η επίδραση των αμαλγαμάτων στη φωτεινή ροή των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.

Παρακάτω δίνεται η φασματική κατανομή ενός τυχαίου συμπαγούς λαμπτήρα φθορισμού τεσσάρων ακίδων (Σχήμα 2.4.24).

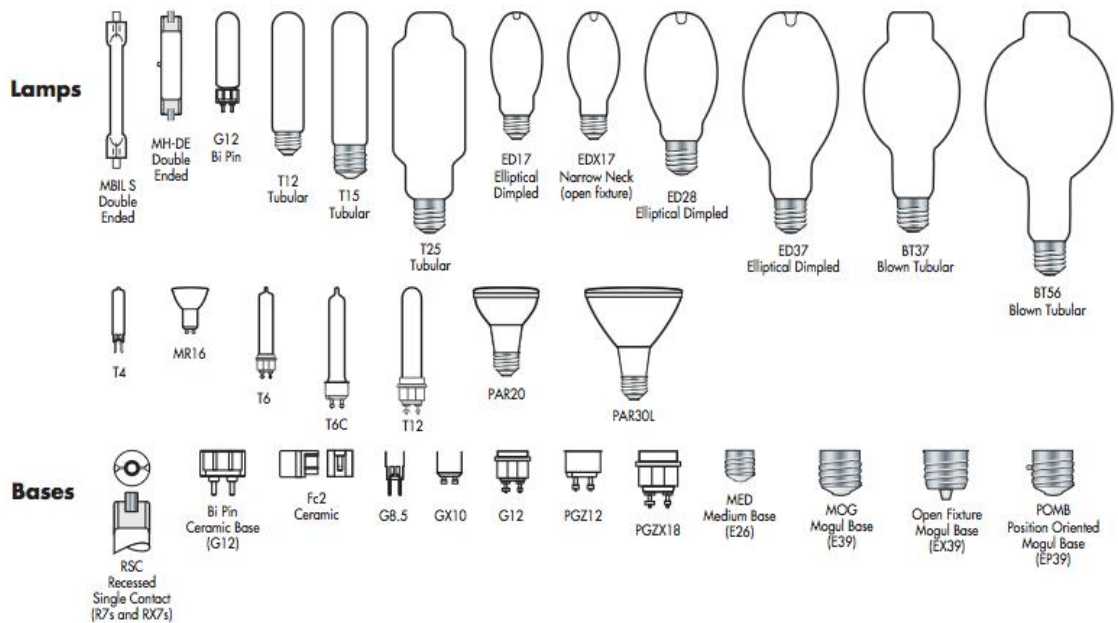


Σχήμα 2.4.24: Η φασματική κατανομή ενός τυχαίου συμπαγούς λαμπτήρα φθορισμού τεσσάρων ακίδων.

## 2.4.5 Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων

### 2.4.5.1 Δομή

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (metahalidelamps) είναι κατασκευαστικά όμοιοι, εσωτερικά και εξωτερικά, με τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης. Το σχήμα και η βάση που μπορεί να έχει ένας τέτοιος λαμπτήρας δίνεται στο Σχήμα 2.4.25.

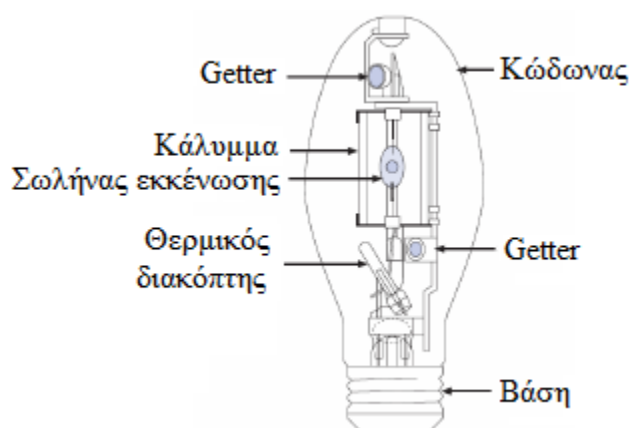


Σχήμα 2.4.25: Τα σχήματα και οι βάσεις λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων.

Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων είναι τα εξής (Σχήμα 2.4.26):

- Ο σωλήνας εκκενώσεως.
- Τα ηλεκτρόδια.
- Το αέριο πλήρωσης.
- Η βάση (κάλυκας).
- Ο θερμικός διακόπτης.
- Ο κώδωνας.
- Η επίστρωση του κώδωνα.
- Το getter.





Σχήμα 2.4.26: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων.

Ο σωλήνας εκκένωσης είναι κατασκευασμένος από χαλαζία και είναι συνήθως πιο μικρός για ίδια ηλεκτρική ισχύ από τον σωλήνα εκκένωσης ενός λαμπτήρα υδραργύρου. Συχνά, το ένα ή και τα δύο άκρα του σωλήνα επιστρώνονται με οξείδιο του ζirkονίου. Αυτό συμβαίνει για να αυξηθεί η θερμοκρασία στα σημεία της επιστρώσης και να διευκολυνθεί η εξάτμιση των αλογόνων. Γενικά, οι σωλήνες εκκένωσης είναι ειδικά σχεδιασμένοι και προσαρμοσμένοι ανάλογα τη θέση λειτουργίας τους, η οποία είναι οριζόντια ή κατακόρυφη. Οι περισσότεροι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων διαθέτουν ονομαστική διάρκεια ζωής και ονομαστική φωτεινή απόδοση για κατακόρυφη θέση λειτουργίας. Μάλιστα, αν δεν χρησιμοποιηθεί ένας λαμπτήρας στη θέση λειτουργίας για την οποία προορίζεται τότε η διάρκεια ζωής του μπορεί να μειωθεί έως και 25%. Ο σωλήνας εκκένωσης πληρώνεται με ένα μίγμα από αδρανή αέρια (όπως το νέο, το αργό και το κρυπτό) και με κατάλληλη ποσότητα από καθαρό υδράργυρο και μεταλλικό αλογόνο.

Τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων είναι παρόμοια με τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης και μαζί με τον σωλήνα εκκένωσης εμπεριέχονται σε ένα γυάλινο κάλυμμα, το οποίο με τη σειρά του περικλείεται από τον κώδωνα. Ο κώδωνας κατασκευάζεται από σκληρό γυαλί και μερικές φορές είναι επιστρωμένος με φώσφορο για να μετατραπεί η υπεριώδης ακτινοβολία σε ορατή. Στην αγορά υπάρχουν λαμπτήρες χωρίς κώδωνα, οι οποίοι απαιτούν για τη λειτουργία τους φωτιστικά σώματα που φιλτράρουν την υπεριώδη ακτινοβολία.

Μερικοί λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων διαθέτουν έναν διμεταλλικό θερμικό διακόπτη, ο οποίος είναι σε σειρά με ένα από τα δύο κύρια ηλεκτρόδια και κλείνει όταν αυξηθεί η

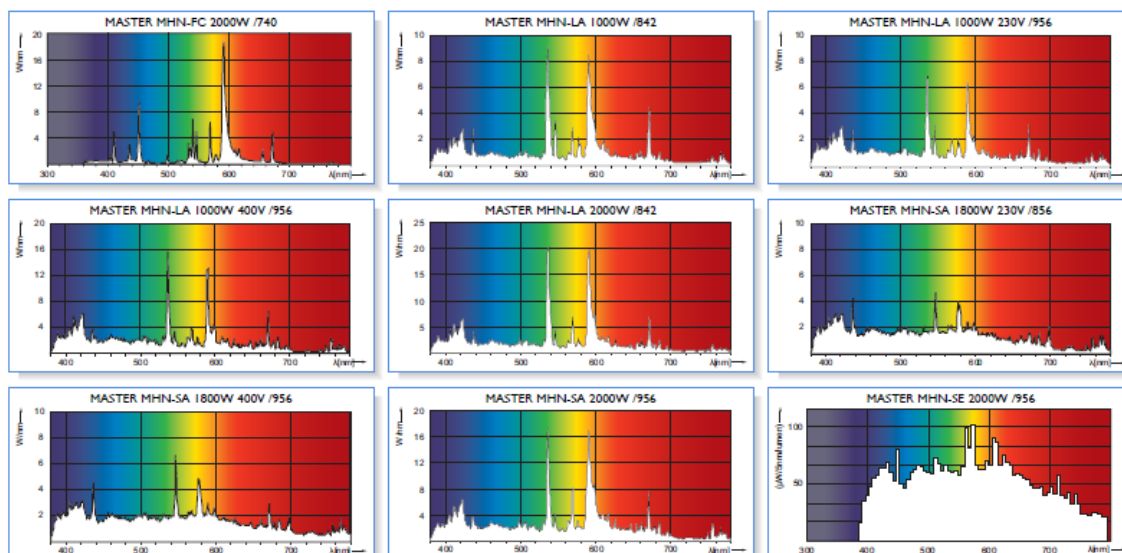
θερμοκρασία στο εσωτερικό του λαμπτήρα. Όταν κλείσει ο διακόπτης τότε η εκκένωση τόξου πραγματοποιείται μεταξύ των κύριων ηλεκτροδίων.

Τέλος, μέσα στον κώδωνα και έξω από το κάλυμμα του σωλήνα εκκένωσης, υπάρχει κάποιο υλικό το οποίο είναι κατάλληλο για να απορροφήσει τυχόν περίσσεια αερίων και ονομάζεται getter.

#### **2.4.5.2 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά**

Ο σωλήνας εκκένωσης των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων, εκτός από υδράργυρο και αργό, περιλαμβάνει διάφορα μεταλλικά αλογονίδια. Η λειτουργία αυτών των λαμπτήρων βασίζεται στα αλογονίδια αυτά και σε έναν μηχανισμό, ο οποίος ονομάζεται κύκλος των μεταλλικών αλογονιδίων. Ο κύκλος αυτός ξεκινάει όταν αρχίζει η ηλεκτρική εκκένωση του τόξου, όπου τα άτομα του μετάλλου οδηγούνται προς τα ψυχρότερα σημεία του λαμπτήρα, δηλαδή προς το περίβλημα του σωλήνα εκκένωσης, όπου βρίσκονται τα αλογόνα. Στη συνέχεια, τα μόρια του μετάλλου αντιδρούν με τα μόρια του αλογόνου με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μόρια μεταλλικών αλογονιδίων. Έπειτα τα αλογονίδια αυτά, λόγω του ισχυρού τόξου, κατευθύνονται προς το πυρήνα της εκκένωσης και όταν το πλησιάσουν αρκετά αρχίζουν να διασπώνται σε μέταλλα και αλογόνα. Έτσι, τα μέταλλα ακτινοβολούν στο δικό τους φάσμα, ενώ τα άτομα του αλογόνου κατευθύνονται προς το περίβλημα του σωλήνα εκκένωσης για να αρχίσει ο νέος κύκλος.

Τα ακτινοβολούντα αυτά μέταλλα έχουν τέτοια χαρακτηριστικά που μπορούν να παράγουν ακτινοβολία στενού φάσματος ή πολλών διακριτών μηκών κύματος. Για να παραχθεί ένα πλήρες και ομοιογενές φάσμα ακτινοβολίας προστέθηκε μίγμα σκάνδιου και νατρίου ή μίγμα δυσπρόσιου, ολμίου και θαλλίου. Επίσης, στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων υπάρχει η δυνατότητα να παραχθούν συγκεκριμένα χρώματα, όπως το πορτοκαλί με προσθήκη νατρίου, το πράσινο με προσθήκη θαλλίου, το μπλε με προσθήκη ινδίου και το ιώδες με προσθήκη σιδήρου. Παρακάτω δίνεται η φασματική κατανομή διαφόρων λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων (Σχήμα 2.4.27).



Σχήμα 2.4.27: Η φασματική κατανομή διαφόρων λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων.

Σημαντικό αποτελεί το γεγονός ότι οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων αποτελούν τους πιο κατάλληλους λαμπτήρες στο θέμα απόδοσης λευκού χρώματος. Επιπροσθέτως, ο χρόνος εκκίνησης που απαιτούν για να λειτουργήσουν είναι έως και πέντε (5) λεπτά και ο χρόνος επανεκκίνησης για να ξαναλειτουργήσει μετά από απότομη διακοπή της τροφοδοσίας είναι έως και είκοσι (20) λεπτά.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων είναι τα εξής:

- Υψηλή φωτεινή απόδοση (από 75  $lm/W$  έως 125  $lm/W$ ).
- Σχετικά υψηλή διάρκεια ζωής (από 6500 έως 20000 ώρες).
- Υψηλός δείκτης χρωματικής απόδοσης (έως 90).
- Θερμοκρασία χρώματος (από 3300 K έως 6700K).
- Υψηλό κόστος.

## 2.4.6 Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης

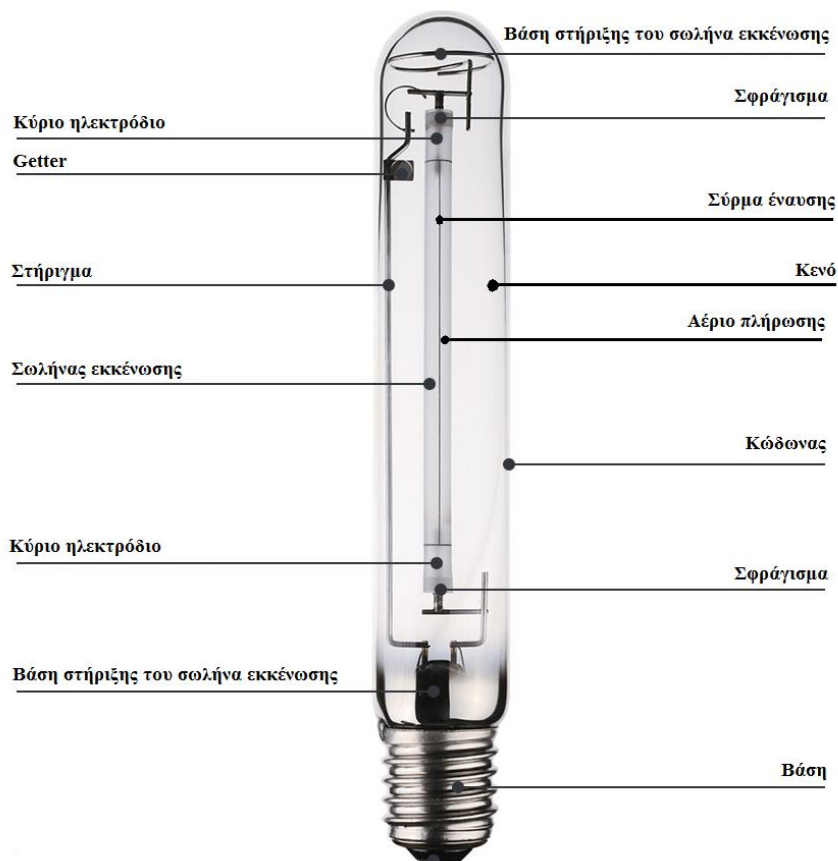
### 2.4.6.1 Δομή

Οι λαμπτήρες νατρίου ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκενώσεως και χωρίζονται σε λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης (high pressure sodium lamps-HPS) και σε λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης (low pressure sodium lamps-LPS). Το σχήμα που έχουν οι

λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης δίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.4.28) και η βάσεις τους είναι όμοιες με τις βάσεις των λαμπτήρων υδραργύρου και μεταλλικών αλογονιδίων.



Σχήμα 2.4.28: Το σχήμα των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.



Σχήμα 2.4.29: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης.

Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης είναι τα εξής (Σχήμα 2.4.29):

- Ο σωλήνας εκκενώσεως.
- Τα κύρια ηλεκτρόδια.
- Το αέριο πλήρωσης.
- Η βάση (κάλυκας).
- Ο κώδωνας.
- Το getter.
- Το σφράγισμα.

Ο σωλήνας εκκένωσης βρίσκεται μέσα στον κώδωνα του λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσεως και είναι κατασκευασμένος από αλουμίνα. Αλουμίνα ονομάζεται το οξείδιο του αργιλίου, το οποίο έχει πολυκρυσταλλικό χαρακτήρα και υψηλό σημείο τήξης, είναι διαφανές, αντέχει ατμούς νατρίου υψηλής θερμοκρασίας και παρέχει απόδοση εκπομπής φωτός έως και πάνω από 90%. Επίσης, χρησιμοποιούνται δύο ακριανά σφραγίσματα ή ένα ενδιάμεσο που κατασκευάζονται από ατσάλι ή γυαλί. Τα σφραγίσματα αυτά δίνουν επιπλέον αντοχή στην αλουμίνα, κυρίως έναντι των ατμών νατρίου σε υψηλή θερμοκρασία, πράγμα που είναι πολύ σημαντικό καθώς αν η αλουμίνα λιώσει τότε θα σπάσει. Ο σωλήνας εκκένωσης πληρώνεται με αέριο ξένο, το οποίο έχει το ρόλο του αερίου έναυσης για τον λαμπτήρα, και μια μικρή ποσότητα αερίου μίγματος υδραργύρου και νατρίου υψηλής καθαρότητας. Ο υδράργυρος βοηθά στην αύξηση της πίεσης και της τάσης λειτουργίας του λαμπτήρα.

Όσον αφορά τα ηλεκτρόδια, αυτή τη φορά δεν υπάρχει ηλεκτρόδιο έναυσης, μόνο δύο κύρια ηλεκτρόδια. Αυτό συμβαίνει επειδή η διάμετρος του σωλήνα εκκένωσης είναι πολύ μικρή. Έτσι χρησιμοποιείται παλμός υψηλής τάσης και συχνότητας ώστε να επιτευχθεί ο ιονισμός του αερίου έναυσης. Βέβαια, υπάρχουν ειδική λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης οι οποίοι περιέχουν ειδικό αέριο μίγμα, όπως αργό με νέο, με το οποίο απαιτείται μικρότερη τάση έναυσης. Τα κύρια ηλεκτρόδια, όπως και τα περισσότερα άλλωστε, είναι κατασκευασμένα από βολφράμιο και είναι επικαλυμμένα με υλικό τέτοιο ώστε να γίνεται ευκολότερη η εκπομπή των ηλεκτρονίων.

Τέλος, ο κώδωνας είναι κατασκευασμένος από σκληρό γυαλί και δεν πληρώνεται με αέριο, καθώς είναι κενός για να αποφευχθεί τυχόν χημική προσβολή από τα μεταλλικά τμήματα του σωλήνα εκκένωσης και να διατηρεί ο τελευταίος τη θερμοκρασία του. Μέσα στον

κώδωνα και έξω από τον σωλήνα εκκένωσης υπάρχει το getter, το οποίο είναι κατάλληλο υλικό για να απορροφήσει τυχόν περίσσεια αερίων.

#### 2.4.6.2 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά

Η λειτουργία των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης βασίζεται στους ατμούς νατρίου, οι οποίοι όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα τότε παράγεται φωτεινή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα, δίνεται παλμός υψηλής τάσης, ικανής για να αρχίσει η εκκένωση μέσα στον λαμπτήρα. Έτσι, τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του αερίου πληρώσεως και τα άτομα του υδραργύρου τα οποία διεγείρουν και ιονίζουν. Έτσι, πραγματοποιείται η εκκένωση ηλεκτρικού τόξου, η οποία διευκολύνεται από την παρουσία του αερίου έναυσης (ξένο), το οποίο ιονίζεται ευκολότερα. Εν τω μεταξύ, ο υδράργυρος ατμοποιείται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση των αερίων στο σωλήνα εκκένωσης και τελικά παράγεται φωτεινή ακτινοβολία μέσω της διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από τους ατμούς του νατρίου.

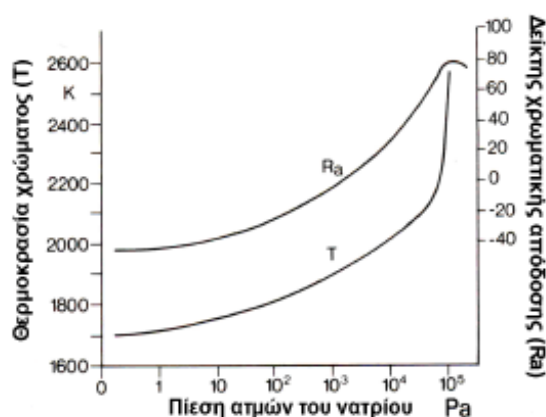
Είναι δεδομένο ότι για να λειτουργήσουν οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης απαιτούνται, όπως συνήθως, στραγγαλιστικές διατάξεις. Η απόδοση πλήρους φωτεινής ροής από τους λαμπτήρες αυτούς, απαιτεί χρόνο περίπου δέκα (10) λεπτών μετά την έναυση. Ο χρόνος επανέναυσης διαρκεί ένα (1) με τρία λεπτά το πολύ.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων αυτών, σημαντική είναι η επίδραση της πίεσης του νατρίου, καθώς όταν αυξάνεται τότε μειώνεται η διάρκεια ζωής. Εκτός από τη διάρκεια ζωής, μειώνεται και η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2. 4.30).



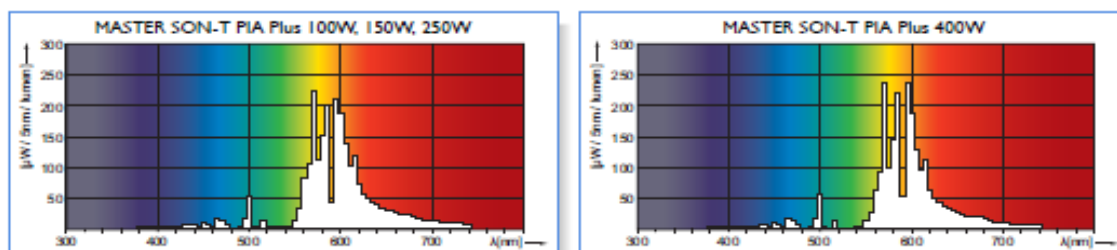
Σχήμα 2.4.30: Η επίδραση της πίεσης των ατμών του νατρίου στη φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.

Σε αντίθεση με τη διάρκεια ζωής και τη φωτεινή απόδοση, η πίεση των ατμών του νατρίου επιδρά θετικά στη θερμοκρασία χρώματος και στο δείκτη χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων (Σχήμα 2.4.31).



**Σχήμα 2.4.31:** Η επίδραση της πίεσης των ατμών του νατρίου στη θερμοκρασία χρώματος και στο δείκτη χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.

Επίσης, οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία σε όλο το ορατό φάσμα (Σχήμα 2.4.32) αλλά έχουν κακό δείκτη χρωματικής απόδοσης καθώς, όπως φαίνεται και στη φασματική κατανομή τους, το χρώμα που κυριαρχεί είναι το κίτρινο. Έτσι, το χρώμα της ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι επιφάνειες που φωτίζονται από αυτούς τους λαμπτήρες είναι είτε περισσότερο είτε λιγότερο κίτρινες με αποτέλεσμα να θεωρείται αδύνατος ο αντικειμενικός προσδιορισμός του χρώματος της φωτιζόμενης επιφάνειας. Ακόμη, οι λαμπτήρες αυτοί παρουσιάζουν την μικρότερη θάμβωση σε σχέση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες εκκένωσης που προσδιορίζονται για ανάλογη χρήση.



**Σχήμα 2.4.32:** Η φασματική κατανομή διαφόρων λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης.

Επιπροσθέτως, λόγω του ότι οι σωλήνες εκκένωσης παρουσιάζουν μικρή διάμετρο δημιουργείται μικρό ηλεκτρικό τόξο και η θέση λειτουργίας των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης δεν επηρεάζει τα χαρακτηριστικά τους σχεδόν καθόλου. Τέλος η μικρή αυτή διάμετρος, σε συνδυασμό με τα ηλεκτρόδια του σωλήνα που είναι παρόμοια με αυτά των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, προσδίδουν πολύ καλή διατήρηση της φωτεινής ροής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης είναι τα εξής:

- Υψηλή φωτεινή απόδοση (από 45  $lm/W$  έως 150  $lm/W$ ).
- Υψηλή διάρκεια ζωής (έως 32000 ώρες).
- Κακός δείκτης χρωματικής απόδοσης (από 25 έως 60).
- Θερμοκρασία χρώματος έως 2150 K.
- Υψηλό κόστος.

## **2.4.7 Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης**

### **2.4.7.1 Δομή**

Τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν λαμπτήρα νατρίου χαμηλής πίεσης είναι τα εξής:

- Ο σωλήνας εκκενώσεως.
- Τα ηλεκτρόδια.
- Το αέριο πλήρωσης.
- Η βάση (κάλυκας).
- Ο κώδωνας.
- Το getter.

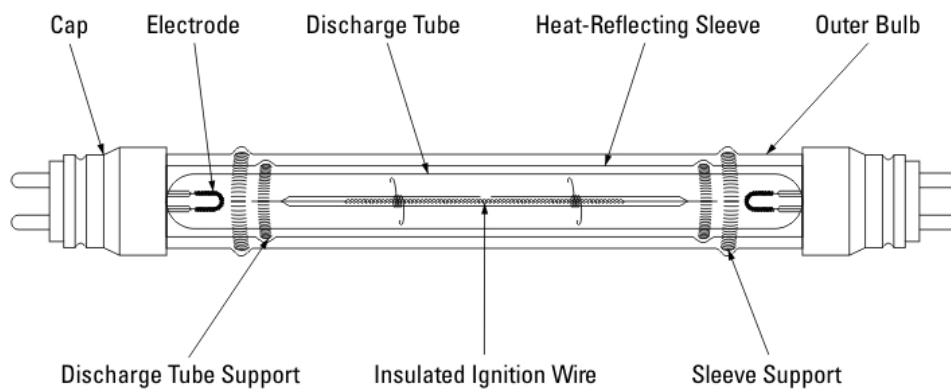
Ο σωλήνας εκκένωσης αυτών των λαμπτήρων κατασκευάζεται από συνηθισμένο γυαλί, το οποίο είναι επιστρωμένο με γυαλί βορικού άλατος για να είναι ανθεκτικό στους ατμούς του νατρίου. Επίσης, ο σωλήνας πληρώνεται με αέριο νατρίου υψηλής καθαρότητας, με αέριο νέο (αέριο έναυσης) και με μικρή ποσότητα αερίου αργού, ξένου ή ήλιου. Από την άλλη, τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται από βολφράμιο και είναι επικαλυμμένα με υλικό (μίγμα οξειδίων του βαρίου, του στροντίου και του ασβεστίου) τέτοιο ώστε να γίνεται ευκολότερη η εκπομπή των ηλεκτρονίων. Ακόμη, ο κώδωνας είναι κατασκευασμένος από σκληρό γυαλί



και δεν πληρώνεται με αέριο, καθώς είναι κενός για να προσφέρει πολύ καλή θερμική μόνωση και να διατηρεί ο σωλήνας εκκένωσης τη θερμοκρασία του. Τέλος, μέσα στον κώδωνα και έξω από τον σωλήνα εκκένωσης υπάρχει το getter για τυχόν περίσσεια αερίων.

Οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, ανάλογα το σχήμα τους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

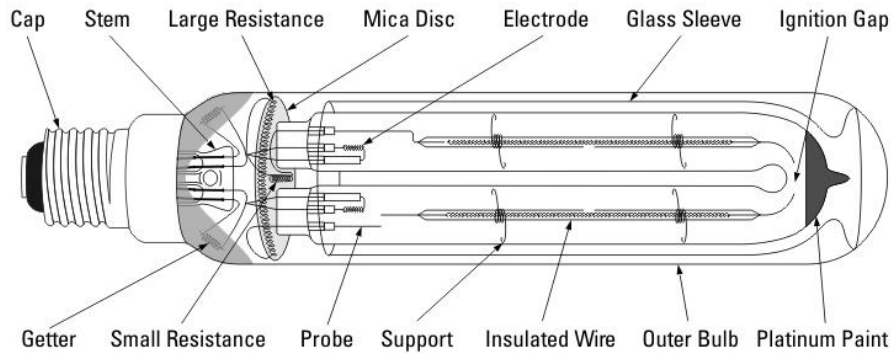
- Επίμηκες λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης (Σχήμα 2.4.33), οι οποίοι αποτελούνται από ένα σωλήνα εκκένωσης ο οποίος έχει δυο άκρα, όπως οι γραμμικοί λαμπτήρες φθορισμού, με καλά σφραγισμένα ηλεκτρόδια στο κάθε ένα.



Σχήμα 2.4.33: Ο επίμηκης λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης.

- Σχήμα «U» λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης (Σχήμα 2.4.34), οι οποίοι αποτελούνται από ένα σωλήνα εκκένωσης που είναι σε σχήμα «U» και τα άκρα του είναι πολύ κοντά το ένα με το άλλο. Ο σωλήνας εκκένωσης των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης αποτελείται από μεταλλικό νάτριο, το οποίο κατευθύνεται στα ψυχρότερα σημεία του σωλήνα, δηλαδή στην περιοχή όπου σχηματίζεται το «U», με σκοπό να σταθεροποιηθεί. Η συγκέντρωση του νατρίου σε αυτά τα σημεία θα προκαλέσει τον σχηματισμό τμημάτων τόξου από το αέριο πληρώσεως επειδή θα υπάρχει έλλειψη ατμοποιημένου νατρίου. Έτσι, ανάλογα τον τρόπο με τον οποίο διατηρούν ομοιόμορφη τη κατανομή του νατρίου στο σωλήνα εκκένωσης, οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης σχήματος «U» χωρίζονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από ένα σωλήνα εκκένωσης ο οποίος έχει λακκάκια στην εξωτερική επιφάνεια του ώστε να υπάρξουν εναλλακτικά ψυχρά σημεία όπου θα κατευθύνεται το νάτριο. Η δεύτερη ομάδα βασίζεται στη τοποθέτηση ενός

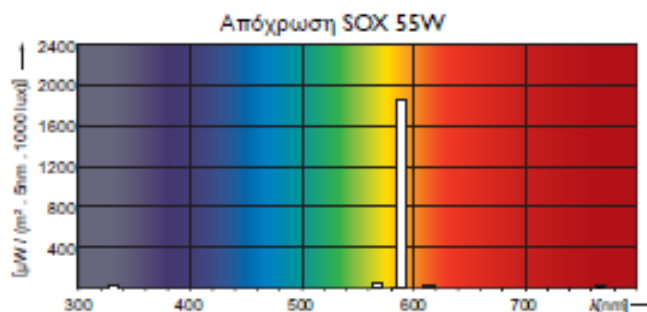
θερμοανακλαστικού φιλμ κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας του κώδωνα. Το φιλμ αυτό μεγαλώνει το ποσοστό της θερμότητας που ανακλάται, όταν το νάτριο πλησιάζει τα ψυχρά σημεία του σωλήνα.



Σχήμα 2.4.34: Ο σχήματος «U» λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης.

#### 2.4.7.2 Λειτουργία – Χαρακτηριστικά

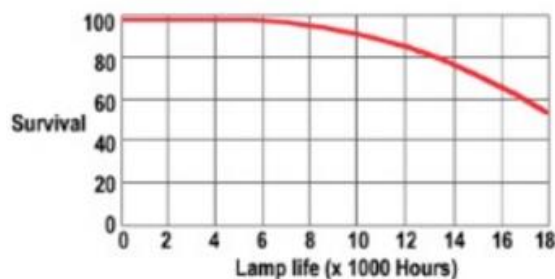
Η λειτουργία των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης βασίζεται, όπως και στους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης, στους ατμούς νατρίου. Το αέριο νέο, από το οποίο πληρώνεται ο σωλήνας εκκένωσης, βοηθά στην εκκένωση του ηλεκτρικού αυτού τόξου και στην παραγωγή θερμότητας. Η θερμότητα αυτή είναι ικανή ώστε να ατμοποιηθεί το νάτριο. Έτσι, όταν δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο νατρίου χαμηλής πίεσης τότε παράγεται φωτεινή ακτινοβολία η οποία είναι σχεδόν μονοχρωματική, με φασματικές γραμμές στα 589nm και 589,6nm (Σχήμα 2.4.35).



Σχήμα 2.4.35: Η φασματική κατανομή ενός τυχαίου λαμπτήρα νατρίου χαμηλής πίεσης.

Προκειμένου να φτάσουν οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης στο σημείο απόδοσης της πλήρους φωτεινής ροής, θα πρέπει η πίεση του νατρίου να φτάσει τη τιμή των 0,7Pa, όπου η θερμοκρασία των της επιφάνειας του σωλήνα εκκένωσης φτάνει τους 260 °C. Γι' αυτό το λόγο ο κώδωνας είναι κενός και δεν πληρώνεται από κάποιο αέριο. Η απόδοση πλήρους φωτεινής ροής απαιτεί χρόνο από επτά (7) έως δεκαπέντε (15) λεπτά μετά την έναυση. Μετά από απότομη διακοπή της τροφοδοσίας του λαμπτήρα, ο τελευταίος ανάβει αμέσως μετά την επανατροφοδότησή του, καθώς η πίεση του νατρίου είναι τόσο χαμηλή ώστε η τάση τροφοδοσίας είναι αρκετή για την εκκένωση του ηλεκτρικού τόξου. Το χρώμα που εμφανίζει πρώτα ο λαμπτήρας είναι το κόκκινο, το οποίο οφείλεται στην εκκένωση του νέου και στη συνέχεια περιορίζεται μέχρι να μετατραπεί σε κίτρινο χρώμα λόγω της ατμοποίησης του νατρίου.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης είναι ότι η ηλικία τους έχει πολύ μικρή επίδραση στον χρόνο έναυσης, καθώς ένας παλιός λαμπτήρας αναμένεται ότι θα αρχίσει να φωτίζει όταν θα άρχιζε στην θέση του ένας αντίστοιχος καινούριος. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.4.36) δίνεται η καμπύλη που εκφράζει αυτή την επίδραση.

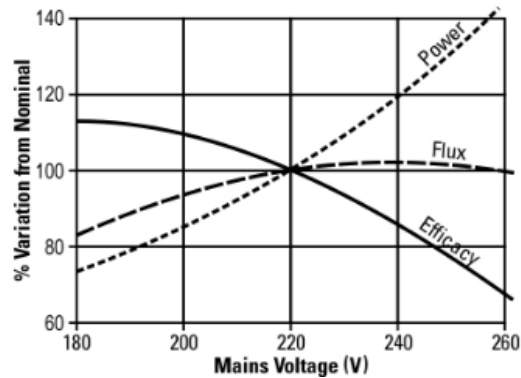


Σχήμα 2.4.36: Η επίδραση της γήρανσης των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης στο χρόνο έναυσης.

Οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης είναι διαθέσιμοι σε ισχύς από 18 W έως 180W. Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων αυτών είναι τα εξής:

- Υψηλή φωτεινή απόδοση (έως 200 lm/W).
- Σχετικά υψηλή διάρκεια ζωής (έως 18000 ώρες).
- Κάκιστος δείκτης χρωματικής απόδοσης.
- Θερμοκρασία χρώματος έως 1800K.
- Υψηλό κόστος.

Παρακάτω δίνονται οι καμπύλες που εκφράζουν την επίδραση της τάσης τροφοδοσίας στην φωτεινή απόδοση, στη φωτεινή ροή και στην ισχύ των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης (Σχήμα 2.4.37).



Σχήμα 2.4.37: Η επίδραση της τάσης τροφοδοσίας στην φωτεινή απόδοση, στη φωτεινή ροή και στην ισχύ των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης.

## 2.5 Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι

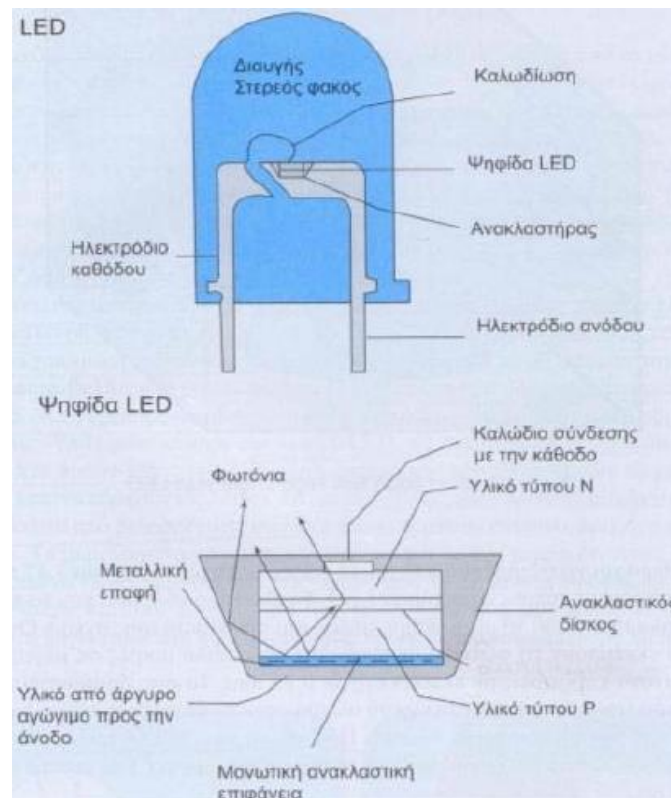
Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι, ή κοινώς L.E.D. (Light Emitting Diodes), αποτελούν ένα εντελώς διαφορετικό τύπο λαμπτήρων. Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά, ως πρακτικά ηλεκτρονικά στοιχεία, το 1962 και σήμερα τείνουν να αντικαταστήσουν σχεδόν όλους τους τύπους των λαμπτήρων καθώς έχουν σημειώσει τρομερή εξέλιξη από τότε που πρωτοεμφανίστηκαν.

Ουσιαστικά, οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι αποτελούν συνδυασμό από ημιαγωγούς p-n, οι οποίοι, εφόσον τους παρασχεθεί τάση, εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία. Η εκπεμπόμενη αυτή φωτεινή ακτινοβολία μπορεί να κυμαίνεται σε μήκη κύματος ευρέος φάσματος, τόσο της ορατής όσο και της υπεριώδους ακτινοβολίας. Το φάσμα που εκπέμπουν οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι, και κατά συνέπεια το χρώμα τους, εξαρτάται από το συνδυασμό των ημιαγωγικών υλικών, τη χημική τους σύσταση και το περιβάλλον τους.

Τα υλικά, από τα οποία αποτελούνται τα στοιχεία των φωτοεκπέμπουσων δίοδων, είναι ημιαγωγία υψηλής καθαρότητας. Επίσης, περιέχουν μικρές ποσότητες επιπρόσθετων υλικών, τύπου «n» και τύπου «p». Το υλικό τύπου «n» είναι υλικό που συγκεντρώνει άφθονα ηλεκτρόνια, ενώ το υλικό τύπου «p» είναι υλικό που συγκεντρώνει είτε λιγοστά ηλεκτρόνια

είτε άφθονες οπές, οι οποίες συμπεριφέρονται ως θετικά φορτία. Τα δύο αυτά υλικά βρίσκονται μέσα στο ίδιο κομμάτι του ημιαγωγού και διαχωρίζονται μεταξύ τους σχηματίζοντας μια λεπτή επιφάνεια, κοινώς διεπιφάνεια(junction), εμβαδού 25 mm<sup>2</sup>.

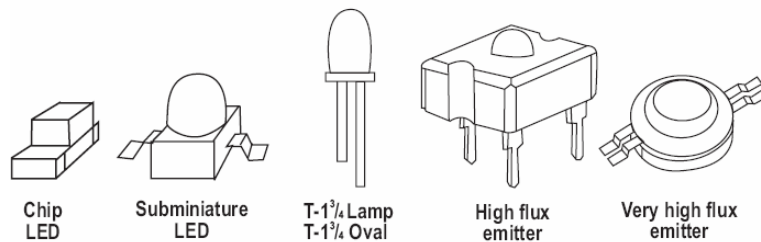
Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι αποτελούνται από ένα ηλεκτρόδιο ανόδου και ένα ηλεκτρόδιο καθόδου. Όταν εφαρμοστεί τάση σε αυτά τα ηλεκτρόδια τότε τα ηλεκτρόνια και οι οπές κατευθύνονται προς τη διεπιφάνεια. Όταν συναντηθούν και κατά συνεπεία συγκρουστούν τότε προκαλείται απελευθέρωση ενέργειας με τη μορφή φωτονίων. Η τάση που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια της διόδου είναι συνήθως από 1V έως 3V και το ρεύμα που τη διαρρέει είναι από 1mA έως 100mA. Σε περίπτωση που λειτουργήσουν σε υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλον τότε η φωτεινή απόδοση των φωτοεκπέμπουσων διόδων μειώνεται. Γι' αυτό το λόγο, είναι απαραίτητο οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι είτε να ψύχονται είτε να διακόπτεται η λειτουργία τους. Τα ημιαγωγικά υλικά αποτελούν την ψηφίδα (chip) των φωτοεκπέμπουσων διόδων, η οποία έχει σχήμα κύβου, πλευρά ίση με 0,25 mm και η δομή της αναλύεται διεξοδικά στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.5.1).



Σχήμα 2.5.1: Η δομή των φωτοεκπέμπουσων διόδων.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.45, οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι βρίσκονται στο εσωτερικό του ανακλαστήρα και στερεώνονται εκεί με τη βοήθεια ενός υλικού από μαλακό χάλυβα. Ο ανακλαστήρας, ο οποίος συνδέεται με ένα ζεύγος ηλεκτρικών καλωδίων, σε συνδυασμό με τη μονωτική ανακλαστική επιφάνεια συντελούν στο να εκπέμπεται φωτεινή ροή μόνο με κατεύθυνση προς τα πάνω. Για να εκπέμπεται φωτεινή ροή προς οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση κατασκευάστηκαν νέες διατάξεις, οι επονομαζόμενες φωτοεκπέμπουσες δίοδοι υψηλής φωτεινότητας (high brightness L.E.D.).

Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι διακρίνονται από την εξαιρετική τους ιδιότητα να μετατρέπουν απευθείας την ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή ενέργεια και από τις υπερβολικά, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες, μικρού μεγέθους διαστάσεις τους. Μάλιστα, το περίβλημα τους, το οποίο είναι πλαστικό, καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του όγκου τους. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται διάφοροι τύποι φωτοεκπέμπουσων διόδων (Σχήμα 2.5.2). Τέλος, τα υλικά των ημιαγωγών αποτελούνται συνήθως από ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενικού.

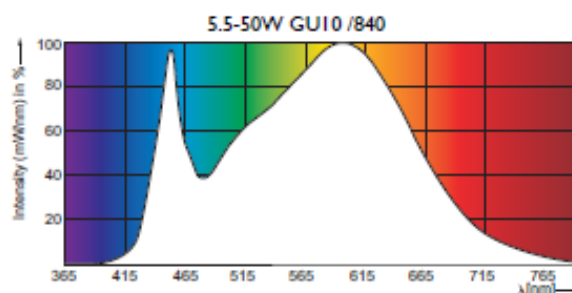


**Σχήμα 2.5.2: Οι διάφοροι τύποι των φωτοεκπέμπουσων διόδων.**

Αρχικά, το φάσμα της παραγόμενης φωτεινής ακτινοβολίας ήταν «στενό», που σημαίνει ότι ακτινοβολούσε μονοχρωματικό φως. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν φθορίζουσες επιστρώσεις οι οποίες διεγείρονται από τη φωτεινή ακτινοβολία και εκπέμπουν φως ευρέος φάσματος (Σχήμα 2.5.3).

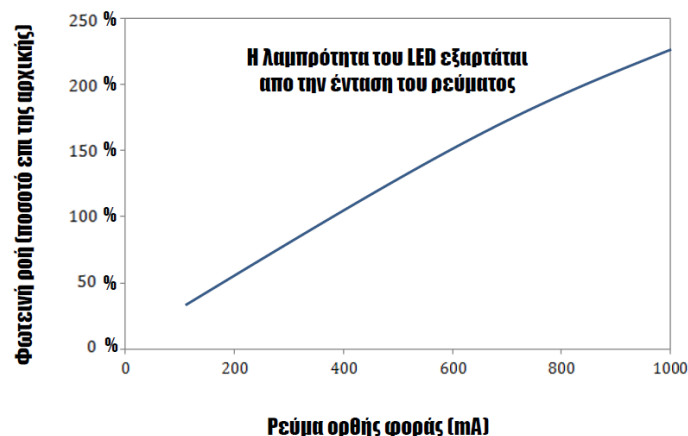
Ανάμεσα στα διάφορα χρώματα που ακτινοβολούν οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι είναι και το λευκό, το οποίο διακρίνεται σε δύο είδη. Στο πρώτο είδος ανήκουν οι επιστρώσεις οι οποίες απορροφούν φωτεινή ακτινοβολία χρώματος μπλε και τη μετατρέπουν σε φωτεινή ακτινοβολία λευκού χρώματος. Στο δεύτερο είδος ανήκουν πολλές διαφορετικές ψηφίδες που εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία χρώματος πράσινου, μπλε και κόκκινου και οι οποίες

όλες μαζί αποτελούν μία διάταξη. Τα ακτινοβολούντα αυτά χρώματα αναμιγνύονται μεταξύ τους, δίνοντας έτσι το επιθυμητό λευκό χρώμα. Γενικά, το είδος που προτιμάται είναι το πρώτο καθώς οι φωσφορίζουσες επιστρώσεις έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν είτε πιο θερμή λευκή ακτινοβολία είτε πιο ψυχρή και επίσης το κόστος είναι χαμηλότερο. Ένας ακόμη λόγος αυτής της προτίμησης αποτελεί το γεγονός ότι το χρώμα αλλοιώνεται λιγότερο κατά τη γήρανση των φωτοεκπέμπουσων διόδων σε σχέση με το δεύτερο είδος. Από την άλλη, τα χρώματα που αποδίδει το δεύτερο είδος έχουν σημαντικές διαφορές λόγω των διαφορετικών κατασκευαστικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν.

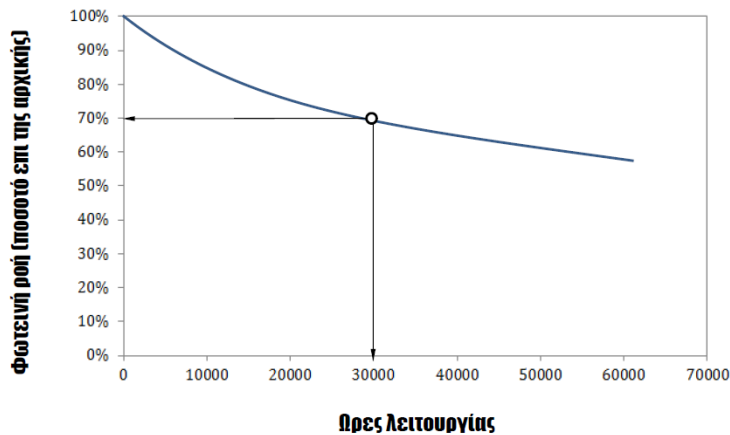


**Σχήμα 2.5.3:** Η φασματική κατανομή μιας τυχαίας φωτοεκπέμπουσας διόδου με φωσφορίζουσα επίστρωση.

Παρακάτω δίνονται οι καμπύλες που εκφράζουν την επίδραση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τη δίοδο (Σχήμα 2.5.4) και της γήρανσης (Σχήμα 2.5.5) στη φωτεινή ροή της.



**Σχήμα 2.5.4:** Η επίδραση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τη δίοδο στη φωτεινή ροή της.



Σχήμα 2.5.5: Η επίδραση της γήρανσης της δίοδο στη φωτεινή ροή της.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτοεκπέμπουσων διόδων είναι τα εξής:

- Σχετικά χαμηλή φωτεινή απόδοση (από 15  $lm/W$  έως 25  $lm/W$ ).
- Υψηλή διάρκεια ζωής (από 50000 ώρες έως 100000 ώρες).
- Άριστος δείκτης χρωματικής απόδοσης (έως 90).
- Θερμοκρασία χρώματος από 3000 K έως 6500K.
- Υψηλό κόστος.
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση.
- Δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής έντασης (dimming).
- Εξαιρετικά μικρές διαστάσεις.

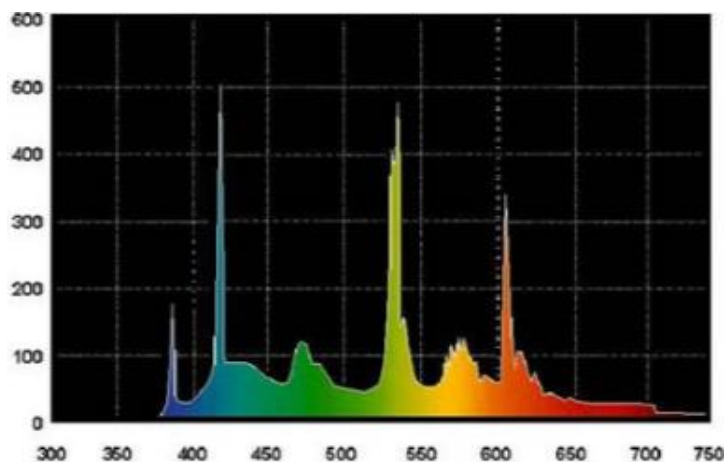
## 2.6 Λαμπτήρες Επαγωγής

Οι λαμπτήρες επαγωγής (induction lamps) αποτελούν σχετικά νέο τύπο λαμπτήρων, καθώς το 1990 η Philips ήταν η εταιρία που τους διέθεσε για πρώτη φορά στο εμπόριο. Είναι ουσιαστικά λαμπτήρες εκκενώσεως χαμηλής πίεσης, όπως είναι οι λαμπτήρες φθορισμού με τη διαφορά ότι δεν γίνεται χρήση ηλεκτροδίων. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που τους ξεχωρίζει από όλους τους άλλους λαμπτήρες, είναι η παρουσία γεννήτριας υψηλών συχνοτήτων από 2,2 MHz έως 3 MHz, χωρίς την οποία δεν μπορούν να λειτουργήσουν

Οι λαμπτήρες αυτοί ονομάζονται λαμπτήρες επαγωγής λόγω της παρουσίας ενός επαγωγικού πηνίου που προκαλεί την εκκένωση ώστε να παραχθεί φωτεινή ακτινοβολία. Το επαγωγικό πηνίο αποτελείται από πυρήνα φερριτή και γύρω από αυτόν τυλίγεται σπειροειδώς



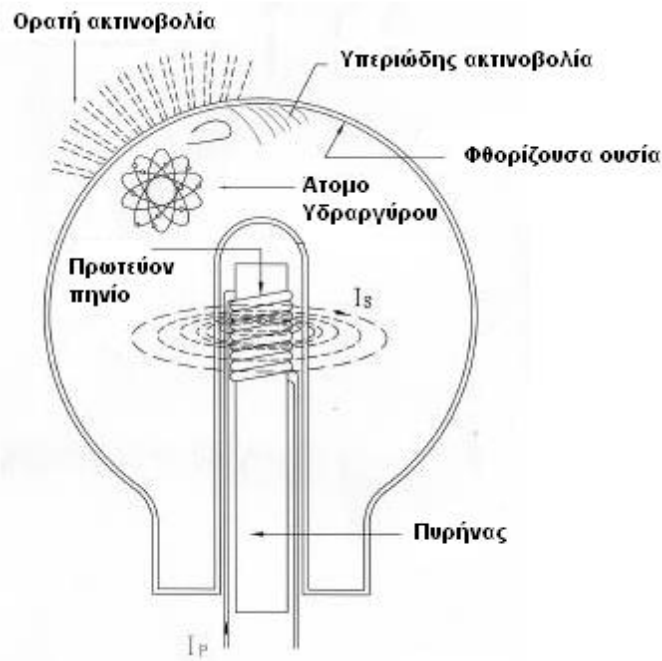
ένα καλώδιο από χαλκό. Το πηνίο αυτό βοηθάει στην εκκένωση, καθώς μεταφέρει ενέργεια από τη γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων στον εσωτερικό χώρο του λαμπτήρα. Ο λαμπτήρας επαγωγής περιέχει υδράργυρο σε μορφή αμαλγάματος και αέριο πλήρωσης. Από την άλλη, η γεννήτρια περιλαμβάνει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που ονομάζεται ταλαντωτής και παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα με το οποίο τροφοδοτεί το επαγωγικό πηνίο. Με αυτό το τρόπο δημιουργείται ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, το οποίο με τη σειρά του δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό αυτό πεδίο προκαλεί τον ιονισμό του αερίου πλήρωσης και διεγείρει το αμάλγαμα του υδραργύρου το οποίο εξατμίζεται. Στη συνέχεια, δημιουργείται εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο διαρρέει τους ατμούς του αερίου πλήρωσης και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του υδραργύρου. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται η εκκένωση, η οποία παράγει υπεριώδη ακτινοβολία. Με τη χρήση φωσφορίζουσων επιστρώσεων στο εσωτερικό του κώδωνα, η υπεριώδης ακτινοβολία μετατρέπεται σε ορατή σε θερμοκρασίες της τάξης των 3000 °C με 4000 °C. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα επαγωγής (Σχήμα 2.6.1).



Σχήμα 2.6.1: Η φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα επαγωγής.

Επίσης, για τη λειτουργία των λαμπτήρων επαγωγής απαιτούνται όργανα έναυσης, ενώ η έναυση και η επανέναυση τους γίνεται άμεσα. Ακόμη, μέχρι πρότινος η γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων μειονεκτεί στο θέμα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Η δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών λόγω της λειτουργίας των λαμπτήρων σε υψηλή συχνότητα οδήγησε στη κατασκευή ειδικών φωτιστικών σωμάτων που τις εξουδετερώνουν. Επιπροσθέτως, η συντήρηση των λαμπτήρων επαγωγής κρίνεται εύκολη ακόμα και για μη

εξειδικευμένο προσωπικό. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται τα βασικά στοιχεία που δομούν έναν τυπικό λαμπτήρα επαγωγής (Σχήμα 2.6.2).



Σχήμα 2.6.2: Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός τυπικού λαμπτήρα επαγωγής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων επαγωγής είναι τα εξής:

- Σχετικά χαμηλή φωτεινή απόδοση (από  $65\text{lm/W}$  έως  $90\text{lm/W}$ ).
- Υψηλή διάρκεια ζωής (από 60000 ώρες έως 100000 ώρες).
- Άριστος δείκτης χρωματικής απόδοσης ( $R_a \geq 80$ ).
- Θερμοκρασία χρώματος από 2700K έως 6500K.
- Υψηλό κόστος.
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση.
- Δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής έντασης (dimming).

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται παράδειγμα τυπικών λαμπτήρων επαγωγής (Σχήμα 2.6.3).



**Σχήμα 2.6.3:** Δύο τυπικοί λαμπτήρες επαγωγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: «ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ»

### 3.1 Δομή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα φωτιστικά σώματα που αφορούν το φωτισμό εξωτερικού χώρου. Γενικά, τα φωτιστικά σώματα, ανάλογα με το χώρο στον οποίο βρίσκονται, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Εσωτερικού γενικού φωτισμού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης. Τα φωτιστικά αυτά σώματα τοποθετούνται σε οροφή, τοίχο ή δάπεδο.
- Εξωτερικού φωτισμού. Τα φωτιστικά αυτά σώματα προορίζονται κυρίως για φωτισμό δρόμων, χώρων στάθμευσης, πάρκων, πλατειών, πεζοδρόμων, τοπίων και κτιρίων.
- Εσωτερικών διακοσμήσεων και τοπικού φωτισμού (εσωτερικού ή εξωτερικού). Τα φωτιστικά αυτά σώματα μπορεί να είναι φορητά ή σταθερής τοποθέτησης.

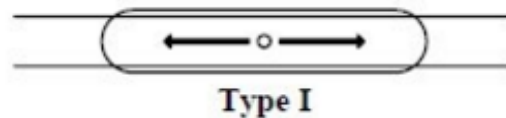
Φωτιστικά σώματα ονομάζονται οι συσκευές οι οποίες αποτελούν ολοκληρωμένες διατάξεις φωτισμού και σχεδιάζονται για να λειτουργούν με ένα ή περισσότερους λαμπτήρες φωτισμού (τεχνητές φωτεινές πηγές) σε συνδυασμό με στραγγαλιστικές διατάξεις, όταν αυτές είναι απαραίτητες. Οι λαμπτήρες φωτισμού τοποθετούνται μέσα στα φωτιστικά σώματα, προστατεύονται από βλαβερούς παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος και τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτιστικά σώματα, λοιπόν, αποτελούνται από οπτικά και μηχανικά εξαρτήματα. Τα βασικά στοιχεία που τα δομούν είναι ο λαμπτήρας, ο ανακλαστήρας, το κάλυμμα και το σώμα.

Ο ανακλαστήρας, παλαιότερα κατασκευαζόταν από φύλλα χάλυβα αλλά στη συνέχεια επικράτησε το θερμοπλαστικό υλικό. Για φωτιστικά σώματα υψηλότερου κόστους χρησιμοποιούνται επιστρώσεις αλουμινίου ή μαγνησίου. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται οι ανακλαστήρες είναι ότι συγκεντρώνουν τη φωτεινή ακτινοβολία που παράγουν οι λαμπτήρες και την ανακλούν. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων, οι οποίοι συμβάλλουν στη κατεύθυνση της ανακλώμενης φωτεινής ακτινοβολίας ανάλογα με την επιθυμητή περιοχή φωτισμού και συνεπώς στη κατανομή της φωτεινής ροής. Με κριτήριο

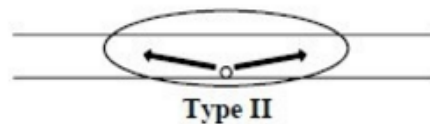
τη κατανομή της φωτεινής ροής στο οριζόντιο επίπεδο, τα φωτιστικά σώματα διακρίνονται στους εξής τύπους:

- Τύπος I (Σχήμα 3.1.1), ο οποίος χαρακτηρίζει τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μακριούς και στενούς δρόμους και που είναι κατάλληλα για ποδηλατοδρόμους και διαβάσεις πεζών.



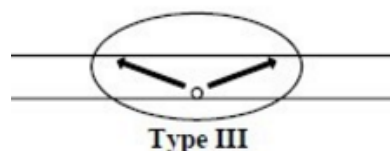
Σχήμα 3.1.1: Τύπος I.

- Τύπος II (Σχήμα 3.1.2), ο οποίος χαρακτηρίζει τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μακριούς και στενούς δρόμους και που είναι κατάλληλα για ποδηλατοδρόμους και διαβάσεις πεζών, μεγαλύτερου πλάτους από το τύπο I.



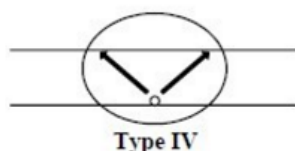
Σχήμα 3.1.2: Τύπος II.

- Τύπος III (Σχήμα 3.1.3), ο οποίος χαρακτηρίζει τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται κυρίως σε δρόμους με δύο ή περισσότερες λωρίδες.



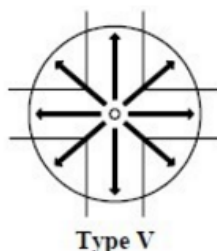
Σχήμα 3.1.3: Τύπος III.

- Τύπος IV (Σχήμα 3.1.4), ο οποίος χαρακτηρίζει τα φωτιστικά σώματα που είναι κατάλληλα είτε για δρόμους με δύο ή περισσότερες λωρίδες, μεγαλύτερου πλάτους από το τύπο III, είτε για χώρους στάθμευσης, όπου αναρτούνται στο τοίχο ώστε να εκπέμπεται η φωτεινή ακτινοβολία προς το κέντρο του χώρου και όχι προς το πίσω μέρος.



Σχήμα 3.1.4: Τύπος IV.

- Τύπος V (Σχήμα 3.1.5), ο οποίος χαρακτηρίζει τα φωτιστικά σώματα που είναι κατάλληλα για διασταυρώσεις δρόμων και για χώρους στάθμευσης. Αυτός ο τύπος μπορεί να σχηματίζει είτε κύκλο, όπου η φωτεινή ακτινοβολία είναι συμμετρική σε όλες τις κατευθύνσεις, είτε τετράγωνο.



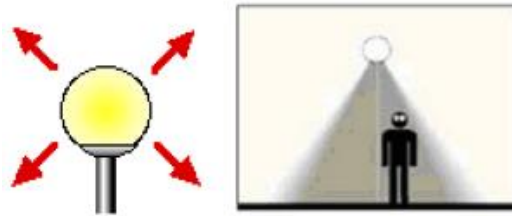
Σχήμα 3.1.5: Τύπος V.

Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται σε πάρκα, πλατείες, πεζοδρόμους, τοπία και κτήρια έχουν παρόμοιους τύπους με αυτούς που μόλις αναφέρθηκαν, αλλά είναι συνήθως μικρότερα σε μέγεθος και ισχύ. Αυτά δεν πρέπει να προκαλούν θάμβωση στους πεζούς και να επηρεάζουν υπερβολικά το περιβάλλον.

Όσον αφορά το κάλυμμα του φωτιστικού, αυτό καλύπτει τον ανακλαστήρα, το λαμπτήρα και το ντουί της βάσης του και τα προστατεύει από το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, είναι

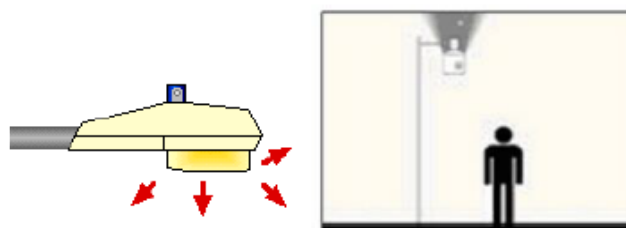
διαφανές και κατασκευάζεται συνήθως από πλαστικό. Σε περίπτωση που ο λαμπτήρας είναι υψηλής ισχύος, τότε χρησιμοποιείται γυάλινο κάλυμμα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι καλυμμάτων, οι οποίοι συμβάλλουν στον έλεγχο της διανομής της φωτεινής ακτινοβολίας στο κάθετο επίπεδο και διακρίνονται στους εξής:

- Τα φωτιστικά σώματα μη-αποκοπής (non-cutoff), τα οποία επιτρέπουν την εκπομπή της φωτεινής ακτινοβολίας προς όλες τις κατευθύνσεις (Σχήμα 3.1.6). Τα φωτιστικά αυτά, αποτελούνται κυρίως από διακοσμητικά φωτιστικά, καθώς χρησιμοποιούνται συνήθως για τις ανάγκες φωτισμού δέντρων προκαλώντας θάμβωση και φωτεινή ρύπανση. Επίσης, χρησιμοποιούνται ελάχιστα στους δρόμους, καθώς φωτίζουν το έδαφος με το λιγότερο αποδοτικό τρόπο.



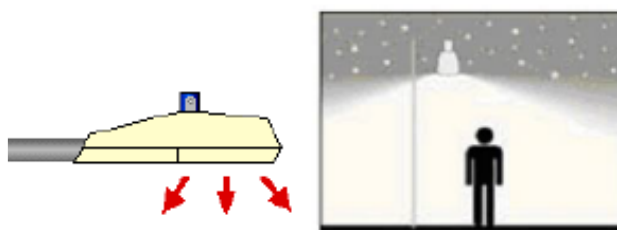
Σχήμα 3.1.6: Το φωτιστικό σώμα μη-αποκοπής (non-cutoff).

- Τα φωτιστικά σώματα ημι-αποκοπής (semi-cutoff), τα οποία επιτρέπουν την εκπομπή του μεγαλύτερου μέρους της φωτεινής ακτινοβολίας κάτω από τις 90°, ενώ κάποιο ποσοστό της ακτινοβολίας αυτής (μέχρι 5%) ξεπερνάει τις 90° (Σχήμα 3.1.7). Τα φωτιστικά αυτά πετυχαίνουν διάχυση της φωτεινής ακτινοβολίας πέρα από μια μεγάλη, κατευθυνόμενη εδαφική επιφάνεια. Επίσης, όπως τα φωτιστικά σώματα μη-αποκοπής, δημιουργούν θάμβωση που μπορεί να επηρεάσει την ορατότητα των οδηγών και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται πάνω σε ψηλούς ιστούς στήριξης.



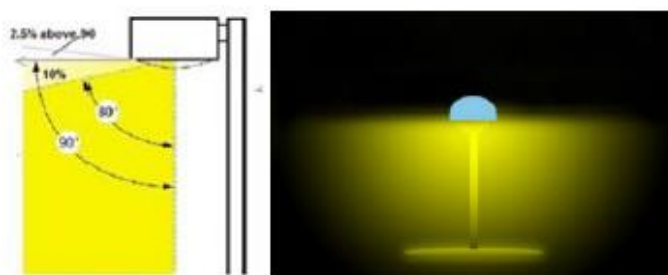
Σχήμα 3.1.7: Το φωτιστικό σώμα ημι-αποκοπής (semi-cutoff).

- Τα φωτιστικά σώματα πλήρους αποκοπής (full-cutoff), τα οποία επιτρέπουν την εκπομπή ολόκληρου του μέρους της φωτεινής ακτινοβολίας προς το έδαφος που είναι κάτω από το φωτιστικό σώμα και έως τις 90° (Σχήμα 3.1.8). Για την επίτευξη ομοιόμορφης μελέτης φωτισμού χρησιμοποιούνται είτε περισσότερα φωτιστικά σώματα τέτοιου τύπου, είτε ψηλότεροι ιστοί στήριξης.



Σχήμα 3.1.8: Το φωτιστικό σώμα πλήρους αποκοπής (full-cutoff).

- Τα φωτιστικά σώματα αποκοπής (cutoff), τα οποία επιτρέπουν την εκπομπή του μεγαλύτερου μέρους της φωτεινής ακτινοβολίας κάτω από τις 90°, ενώ κάποιο ποσοστό της ακτινοβολίας αυτής (μέχρι 2,5%) ξεπερνάει τις 90° (Σχήμα 3.1.9). Έτσι, τα φωτιστικά σώματα αποκοπής παρέχουν ελεγχόμενη φωτεινή ακτινοβολία περισσότερο από ότι τα φωτιστικά σώματα ημι-αποκοπής. Τα φωτιστικά αυτά χρησιμοποιούνται αρκετά σε χώρους στάθμευσης όπου οι ιστοί στήριξης χρειάζεται να έχουν μεγάλη απόσταση. Επίσης, παρέχουν μεγαλύτερη διάχυση φωτός σε σχέση με τα φωτιστικά σώματα πλήρους αποκοπής, όμως δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε μεγάλες αποστάσεις συγκριτικά με τα φωτιστικά σώματα ημι-αποκοπής.



Σχήμα 3.1.9: Το φωτιστικό σώμα αποκοπής (cutoff).



Όσον αφορά το σώμα, το οποίο περιλαμβάνει ολόκληρη τη διάταξη, είναι κατασκευάζεται από διάφορα υλικά, όπως το αλουμίνιο, και είναι επιστρωμένο με ηλεκτροστατική βαφή που διασφαλίζει αντοχή έναντι της διάβρωσης.

### **3.2 Φωτομετρικά Χαρακτηριστικά**

Πλέον, γίνεται κατανοητό ότι τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης φωτεινής ακτινοβολίας δεν εξαρτώνται μόνο από τη φωτεινή πηγή, αλλά και από ολόκληρη τη διάταξη του φωτιστικού σώματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά ονομάζονται φωτομετρικά και δίνονται από τους κατασκευαστές. Τα πιο βασικά φωτομετρικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Ο Συντελεστής χρησιμοποίησης (coefficient utilization, CU), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό της συνολικής φωτεινής ροής που εκπέμπεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος που εξετάζεται.
- Ο Συντελεστής συντήρησης (coefficient maintenance, CM), ο οποίος εκφράζει το λόγο της τρέχουσας φωτεινής απόδοσης του φωτιστικού σώματος προς την αρχική φωτεινή του απόδοση, μετά από απώλεια φωτεινής ακτινοβολίας λόγω βλάβης, σκόνης και διάφορων άλλων παραγόντων.
- Ο συντελεστής απαξίωσης φωτισμού (light loss factor, LLF), ο οποίος εκφράζει τις απώλειες στα χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων με τη πάροδο του χρόνου, οι οποίες προέρχονται είτε από εσωτερικούς, είτε από εξωτερικούς παράγοντες.
- Το διάγραμμα καμπυλών ίσου φωτισμού (isofootcandle chart), το οποίο βοηθάει στην περιγραφή του φωτεινού αποτελέσματος ενός φωτιστικού σώματος που βρίσκεται τοποθετημένο σε δεδομένο ύψος πάνω στο οδόστρωμα.
- Η κατακόρυφη διασπορά, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως βραχεία, μέση ή μακρά. Ο χαρακτηρισμός αυτός εξαρτάται από την απόσταση που έχει η φωτεινή ακτινοβολία με τη μέγιστη φωτεινή ένταση από το φωτιστικό σώμα το οποίο την εκπέμπει. Επίσης, η κατακόρυφη διασπορά καθορίζει τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.
- Η πλευρική διασπορά, η οποία εξυπηρετεί στο διαχωρισμό των φωτιστικών σωμάτων στους πέντε διαφορετικούς τύπους που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και αφορούν κυρίως το πλάτος της οδού και το χώρο που θα

τοποθετηθεί το φωτιστικό σώμα. Η διάκριση αυτή γίνεται με κριτήριο τη κατανομή της φωτεινής ροής στο οριζόντιο επίπεδο.

### 3.3 Ιστοί Τοποθέτησης Φωτιστικών

Τα φωτιστικά σώματα είναι απαραίτητα κατά την εγκατάστασή τους να τοποθετηθούν σε ιστούς (Σχήμα 3.3.2) οι οποίοι θα τους στηρίξουν στα σημεία όπου το απαιτούν οι μελέτες. Βέβαια, υπάρχουν περιπτώσεις όπου δεν είναι απαραίτητη η χρήση ιστών, όπως για παράδειγμα σε κτίρια και σήραγγες. Υπάρχουν και περιπτώσεις, όπου τα φωτιστικά σώματα στηρίζονται είτε σε ιστό, είτε σε κολώνα, είτε σε κτίριο με τη χρήση ενός βραχίονα (Σχήμα 3.3.1). Ο βραχίονας μπορεί να είναι ευθύγραμμος ή καμπυλωτός, οριζόντιος ή ελάχιστα γερμένος και μονός, διπλός ή τριπλός. Σε περίπτωση που ο βραχίονας στηρίζεται στον ιστό (πάντα στην κορυφή του), τότε μπορεί ο πρώτος μπορεί να αποτελεί είτε ξεχωριστό κομμάτι είτε ενιαίο. Επίσης, το μήκος του βραχίονα εξαρτάται από το ύψος του ιστού και τη θέση του φωτιστικού σώματος σε σχέση με το οδόστρωμα (κυμαίνεται από 0,5 m έως 4,5 m).



Σχήμα 3.3.1: Ένας τυχαίος τύπος βραχίονα.

Το βασικό υλικό κατασκευής των ιστών είναι ή το αλουμίνιο ή ο χάλυβας (γαλβανισμένος ή ανοξείδωτος). Για την μέγιστη προστασία των υλικών αυτών, οι ιστοί επικαλύπτονται

ορισμένες φορές με ειδικό πλαστικό υλικό. Εκτός από τα υλικά που αναφέρθηκαν, πολλές φορές για την κατασκευή των ιστών χρησιμοποιείται και το οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο καταπολεμά το φαινόμενο της διάβρωσης, ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες περιοχές. Ακόμη, η διατομή των ιστών μπορεί να είναι είτε κυκλική, είτε πολυγωνική, εκτός των ιστών από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίοι είναι πάντοτε κυκλικής διατομής. Επιπροσθέτως, οι ιστοί από οπλισμένο σκυρόδεμα εμπύγνυνται στο έδαφος, ενώ οι μεταλλικοί κοχλιώνονται σε βάση από σκυρόδεμα. Τέλος, οι ιστοί εμπεριέχουν τα καλώδια τροφοδοσίας των φωτιστικών σωμάτων.



**Σχήμα 3.3.2: Ένας τυχαίος τύπος ιστού τοποθέτησης φωτιστικού σώματος με όλα τα επιμέρους χαρακτηριστικά του από τη κατασκευαστική του εταιρία.**

Όσον αφορά το ύψος του ιστού, είναι σημαντικό γιατί επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα φωτεινά χαρακτηριστικά της παραγόμενης ακτινοβολίας του φωτιστικού σώματος, καθώς και το εύρος της φωτιζόμενης περιοχής. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του ιστού, τόσο πιο μεγάλη και ομοιόμορφη θα είναι η κάλυψη, καθώς και η μείωση της

θάμβωσης. Το μοναδικό μειονέκτημα αυτής της περίπτωσης είναι η χαμηλότερη φωτεινότητα. Σε αντίθετη περίπτωση, οι ιστοί χαμηλού ύψους απαιτούν μεγαλύτερο πλήθος φωτιστικών σωμάτων, η τοποθέτηση των οποίων θα είναι πιο κοντά στο οδόστρωμα. Το ύψος των ιστών κυμαίνεται, συνήθως, από 9 m έως 15 m, ενώ για τις ανάγκες υψηλότερων ιστών εφαρμόζονται ύψη της τάξης των 30 m και πάνω. Παράγοντες που περιορίζουν το ύψος των ιστών είναι η ύπαρξη υπέργειων γραμμών κοινής ωφέλειας και παράπλευρων αεροδρόμιων, ενώ η τοποθέτηση τους μέσα σε κατοικημένες περιοχές δεν υφίσταται. Ιστοί μεγάλου ύψους χρησιμοποιούνται, συνήθως, σε κόμβους και αυτοκινητόδρομους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: «ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ CIE 136-2000: GUIDE TO THE LIGHTING OF URBAN AREAS»**

### **4.1 Σκοπός Προτύπου**

Η διεθνής επιτροπή φωτισμού (CIE) είναι ένας οργανισμός, ο οποίος ασχολείται με την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των χωρών μελών της για όλα τα θέματα που σχετίζονται με την τέχνη και την επιστήμη του φωτισμού. Οι γενικοί στόχοι της CIE είναι οι εξής:

- Να παρέχει διεθνές φόρουμ για τη συζήτηση όλων των θεμάτων που σχετίζονται με την επιστήμη, την τεχνολογία και την τέχνη του φωτός και του φωτισμού και για την ανταλλαγή των πληροφοριών αυτών που αφορούν τα θέματα αυτά μεταξύ των χωρών μελών της.
- Να αναπτύξει βασικά πρότυπα που αφορούν το φως και το φωτισμό.
- Να παρέχει καθοδήγηση σχετικά με την εφαρμογή των διεθνών και εθνικών προτύπων που αφορούν το φως και το φωτισμό.
- Να εκπονήσει και να δημοσιεύσει πρότυπα και άρθρα που αφορούν όλα τα θέματα που σχετίζονται με την επιστήμη, την τεχνολογία και την τέχνη του φωτός και του φωτισμού.
- Να διατηρήσει σχέση συνεργασίας και επικοινωνίας με άλλους διεθνείς οργανισμούς που ασχολούνται με ζητήματα που αφορούν την επιστήμη, την τεχνολογία και την τέχνη του φωτός και του φωτισμού.

Η διεθνής επιτροπή φωτισμού αποτελείται από επτά Διευθύνσεις, από τις οποίες η καθεμία αποτελείται από 20 Τεχνικές Επιτροπές. Τα πρότυπα και οι τεχνικές προδιαγραφές που αναπτύσσονται από αυτές τις Διευθύνσεις γίνονται αποδεκτές από όλο τον κόσμο. Κάθε τέσσερα χρόνια διεξάγεται μια σύνοδος ολομέλειας κατά την οποία αναθεωρούνται οι εργασίες των τμημάτων και τεχνικών επιτροπών και υποβάλλονται σχέδια για το μέλλον. Η CIE αναγνωρίζεται ως η αρχή σε όλες τις πτυχές του φωτός και του φωτισμού. Ως εκ τούτου, κατέχει σημαντική θέση μεταξύ των διεθνών οργανισμών.

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα γίνει φωτοτεχνική μελέτη με βάση την ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000 «Guide to the lighting of urban areas». Η συγκεκριμένη

προδιαγραφή αφορά το φωτισμό των αστικών περιοχών και έχει σκοπό να προσδιορίσει τα πρότυπα φωτισμού για οδούς και περιοχές δημόσιας χρήσης. Αυτή η προδιαγραφή είναι γραμμένη στα αγγλικά, με μια σύντομη περίληψη στα γαλλικά και τα γερμανικά και περιέχει 38 σελίδες με 5 εικόνες και 11 πίνακες.

Η ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000 καλύπτει το θέμα της επίδρασης του φωτισμού στο νυχτερινό έγκλημα και περιέχει τις απαιτήσεις του φωτισμού για οικιστικούς δρόμους, κοινόχρηστους χώρους, βιομηχανικούς δρόμους, κεντρικές επιχειρηματικές περιοχές και εμπορικά κέντρα, διαδρομές για πεζούς και ποδηλατοδρόμους.

Ακόμη, εκτός από τα προτεινόμενα επίπεδα φωτεινότητας, η προδιαγραφή αυτή εξετάζει πτυχές όπως η μοντελοποίηση των δομών στο περιβάλλον, οι επιπτώσεις της θάμβωσης, η καταλληλότητα των πηγών φωτός (όσον αφορά την ποιότητα και την απόδοση του χρώματος), η επίδραση του φωτισμού στο περιβάλλον και η γενική αισθητική του χρησιμοποιούμενου φωτιστικού εξοπλισμού.

Τέλος, ο σκοπός της συγκεκριμένης προδιαγραφής είναι η συμπλήρωση των απαιτήσεων και συστάσεων για το φωτισμό των δημόσιων αρτηριών εντός των αστικών περιοχών που απαριθμούνται στη δημοσίευση CIE 115-1995 «Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic», που ασχολείται με το φωτισμό των οδών για την κυκλοφορία αυτοκινήτων και πεζών, και στη δημοσίευση CIE 32-1977 «Lighting in Situations Requiring Special Treatment» που ασχολείται με τον φωτισμό σε καταστάσεις που απαιτούν ειδική επεξεργασία. Αυτή η προδιαγραφή περιλαμβάνει την αιτιολόγηση της συμπλήρωσης αυτών των συστάσεων για το φωτισμό αυτών των δημόσιων αρτηριών, όπως επίσης και μεθόδους φωτισμού συγκεκριμένων περιοχών, όπως ποδηλατοδρόμοι, περιοχές με πεζούς και εμπορικά κέντρα, κατοικημένες περιοχές και άλλες μη οδικές αρτηρίες. Καλύπτουν, ακόμη, αναλύσεις κριτηρίων φωτισμού, περιβαλλοντικές πτυχές και σχεδιασμό εγκατάστασης.

Παραδοσιακά σε πολλές χώρες οι κατοικημένες και βιομηχανικές περιοχές μιας πόλης σχεδιάστηκαν με δρόμους οι οποίοι ήταν γενικά ίσοι, οι διασταυρώσεις με άλλους δρόμους ήταν ορθογώνιες μεταξύ τους και όλοι οι δρόμοι εξυπηρετούσαν όλους τους τύπους κυκλοφορίας. Αργότερα, επειδή εισήχθησαν στα σχέδια των πόλεων επιπλέον περιοχές και κτήρια όπως τα σχολεία και τα εμπορικά κέντρα, ορισμένοι από αυτούς τους δρόμους εξελίχθηκαν σε οδικές αρτηρίες. Για να διευκολυνθεί η κυκλοφοριακή κίνηση κατά μήκος αυτών των δρόμων, εισήχθησαν φανάρια. Το αποτέλεσμα ήταν ότι ορισμένοι ουσιαστικά

κατοικημένοι δρόμοι μετατράπηκαν σε πολυάσχολους δρόμους για τους οποίους δεν είχε γίνει καμία πρόβλεψη στους αρχικούς. Αυτό οδήγησε συχνά σε απαράδεκτα υψηλές ταχύτητες κυκλοφορίας, θορύβους και ατυχήματα.

Τον τελευταίο καιρό έχει αλλάξει ο σχεδιασμός νέων αστικών περιοχών για την εξάλειψη πολλών από τα προαναφερθέντα προβλήματα. Οι δρόμοι δεν κινούνται πλέον ευθεία, εισάγονται καμπύλες, μειώνονται τα πλάτη του οδοστρώματος για να περιοριστούν ορισμένοι τύποι κυκλοφορίας και τοποθετούνται σαμαράκια που κατασκευάζονται στην επιφάνεια του δρόμου για να περιορίσουν τις ταχύτητες. Αγορές, εμπορικά κέντρα, βιομηχανίες και άλλες περιοχές συγκέντρωσης ανθρώπων απομονώνονται από τις κατοικημένες περιοχές. Το αποτέλεσμα είναι να γίνει το περιβάλλον ασφαλέστερο και όλη η εμφάνιση της περιοχής πιο αισθητικά ευχάριστη. Έτσι, στους ποδηλάτες και τους πεζούς δόθηκαν περιοχές που περιορίζονται στη δική τους χρήση.

Επομένως, σκοπός της ευρωπαϊκής προδιαγραφής CIE 136-2000 είναι να αξιολογηθούν οι οπτικές απαιτήσεις κάθε ενός από τους χρήστες του οδικού δικτύου και να διατυπωθούν συστάσεις για την ασφαλή και εύκολη μετακίνησή του σε δρόμους και μονοπάτια που αφορούν είτε παλιούς, είτε νέους τύπους αστικών περιοχών. Επιπλέον, ένας από τους κύριους στόχους του αστικού φωτισμού είναι η βελτίωση της νυχτερινής εμφάνισης της περιοχής. Έτσι, δίνονται συστάσεις για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να επιδιωχθούν τέτοιου είδους επιδράσεις, οι οποίες μπορούν να αλλάξουν την αισθητική μίας περιοχής.

## **4.2 Κριτήρια, Επιθυμητά Επίπεδα Φωτισμού**

Η ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000 παρέχει συστάσεις για τα ακόλουθα πεδία εφαρμογής:

- Κατοικημένες περιοχές.
- Βιομηχανικές περιοχές.
- Εμπορικές περιοχές.
- Διάφορες περιοχές, όπως πεζόδρομοι και μονοπάτια πεζών, διαβάσεις πεζών, πεζοδρόμια, μονοπάτια ποδηλασίας, γέφυρες και υπόγειες διαβάσεις.

Επίσης, οι συστάσεις για κάθε πεδίο εφαρμογής χωρίζονται στις εξής ενότητες:

- Στόχοι Σχεδιασμού.

- Σχεδιασμός Εγκατάστασης.
- Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.

Οι κατοικημένες περιοχές περιλαμβάνουν αυστηρά μόνο συλλεκτήριους και τοπικούς δρόμους, για την πρόσβαση στις τοπικές κατοικίες. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες άλλων χρηστών του οδικού δικτύου, όπως οι ποδηλάτες και οι πεζοί, καθώς και η απαιτούμενη παροχή φωτισμού για τις ανάγκες τους. Κατοικημένες περιοχές μπορούν να θεωρηθούν τα χωριά, οι περιοχές των πόλεων, ακόμα και ολόκληρη η πόλη η οποία είτε είναι κατάλληλη για ιδιωτικές κατοικίες, είτε τις περιλαμβάνει. Αυτές οι κατοικίες μπορεί να είναι οι εξής:

- Κατοικίες χαμηλού ύψους για κατοίκηση μιας οικογένειας, γενικά με μπροστινό ή πλευρικό κήπο (μονοκατοικίες)
- Κτίρια τύπου βεράντας, όπου τα σπίτια είναι συνήθως ομοιόμορφου στυλ που χτίστηκαν σε ένα οικοδομικό τετράγωνο κατά μήκος του μπροστινού δρόμου.
- Εξειδικευμένες κατοικημένες περιοχές, που περιλαμβάνουν συγκροτήματα οικιών που είτε είναι χτισμένες σε ορθή γωνία με το μπροστινό μέρος του δρόμου είτε ομαδοποιούνται σε μια περιοχή με μία μόνο πρόσβαση στο μπροστινό μέρος του δρόμου.
- Περιοχές υψηλών ξενοδοχείων και πολυκατοικιών.
- Κατοικίες σε παλιές πόλεις με καταστήματα και γραφεία που συνδυάζονται στο ίδιο κτίριο, όπου οι δρόμοι μπορούν να είναι ίσοι ή καμπυλωμένοι, φαρδύς ή στενοί.

Οι συλλεκτήριοι δρόμοι είναι οι κύριοι δρόμοι σε μια κατοικημένη περιοχή και οι οποίοι συνδέουν όλους τους τοπικούς δρόμους με μια οδική αρτηρία. Ουσιαστικά πρόκειται για δρόμους κατηγορίας M2 και M3 της ευρωπαϊκής προδιαγραφής CIE 115-1995. Αυτοί οι δρόμοι θα μπορούσαν να είναι οι κύριοι δρόμοι που θα οδηγούσαν σε πάρκα, πλατείες και σταθμούς λεωφορείων ή τρένων. Συνεπώς, είναι πιθανό να υπάρξουν δρόμοι που θα εξυπηρετούν ποδηλάτες και πεζούς και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ειδικές απαιτήσεις που αναλύονται στο πεδίο εφαρμογής διαφόρων περιοχών.

Όσον αφορά τους τοπικούς δρόμους, οι πεζοί είναι συχνοί χρήστες αυτής της κατηγορίας δρόμων κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε το πρότυπο δεν αφορά μόνο τη φωτεινότητα της οδού. Οι δρόμοι σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να περιορίσουν την ταχύτητα των οχημάτων και ως εκ τούτου ο χρόνος που είναι διαθέσιμος για έναν οδηγό για να δει ένα



εμπόδιο αυξάνεται σημαντικά. Επομένως, τα κριτήρια φωτισμού για αυτούς τους δρόμους βελτιστοποιούν την ικανότητα του χρήστη να:

- Να προσανατολίζεται οπτικά στο περιβάλλον.
- Να εντοπίζει εμπόδια στο δρόμο του.
- Να αντιλαμβάνεται τις κινήσεις και τις προθέσεις άλλων ανθρώπων.
- Να διαβάσει πινακίδες και αριθμούς κατοικιών.
- Να αναγνωρίζει ορόσημα, στάσεις λεωφορείων, δοχεία απορριμμάτων, πυροσβεστικούς κρουνούς, κράσπεδα κλπ.
- Να εκτιμά την εμφάνιση του δρόμου και του περιβάλλοντος.

Στα παραπάνω, ένας χρήστης του δρόμου περιλαμβάνει τον οδηγό ενός μηχανοκίνητου οχήματος, τον ποδηλάτη και τον πεζό.

Από την άλλη, οι εξειδικευμένες κατοικημένες περιοχές αποτελούν μία νέα εξέλιξη στον οικιστικό σχεδιασμό, καθώς κατασκευάζονται ή μετατρέπονται κατοικημένων περιοχών σε συγκροτήματα με περιορισμένη πρόσβαση. Σε αυτές οι περιοχές, οι άνθρωποι που κατοικούν μοιράζονται τις ανέσεις της κοινής ιδιοκτησίας μεταξύ τους. Η κίνηση των μηχανοκίνητων οχημάτων στις περιοχές αυτές περιορίζεται σοβαρά και η μετακίνηση των πεζών παρέχεται με το σωστό τρόπο. Για να επιτευχθούν αυτές οι απαιτήσεις, οι δρόμοι των οχημάτων είναι πολύ στενοί. Επίσης, σε ορισμένα συγκροτήματα τα οχήματα πρέπει να χρησιμοποιούν τις ίδιες πλακόστρωτες περιοχές με τους άλλους χρήστες, όπως τα παιδιά, που θα παίζουν σε αυτές τις περιοχές. Έτσι, ο φωτισμός σε αυτές τις περιοχές θα πρέπει να ακολουθεί τη νύχτα τις εξής απαιτήσεις:

- Να παρέχει μια φιλική ατμόσφαιρα, όπου οι κάτοικοι θα μπορούν να συγκεντρώνουν ή να γνωρίζουν φίλους.
- Να επιτρέπει στα οχήματα και τους ποδηλάτες να κινούνται με ασφάλεια σε χαμηλές ταχύτητες στο συγκρότημα και σε καθορισμένους χώρους στάθμευσης. Αυτό προϋποθέτει επίσης ότι όλα τα εμπόδια είναι σαφώς ορατά.
- Να επιτρέπει το παίξιμο παιχνιδιών από τα παιδιά.
- Να εξαλείφει τις εγκληματικές δραστηριότητες στο συγκρότημα αφαιρώντας τις σκοτεινές γωνίες.
- Να περιορίσει το ανεπιθύμητο φως που διαρρέει από τα παράθυρα του υπνοδωματίου

Σε αυτή τη περίπτωση, τα επίπεδα φωτισμού δεν χρειάζεται να είναι ομοιόμορφα σε ολόκληρη την περιοχή, καθώς οι διακυμάνσεις στα επίπεδα αυτά μπορούν να ομορφύνουν το περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στους χώρους όπου παίζουν τα παιδιά απαιτούνται υψηλά επίπεδα φωτισμού. Στους χώρους όπου συγκεντρώνονται οι άνθρωποι απαιτούνται ενδιάμεσα επίπεδα, με μεγαλύτερη έμφαση στην ημικυλινδρική ένταση φωτισμού (semi-cylindrical illuminance), ενώ οι χώροι στάθμευσης των οχημάτων έχουν ελάχιστες απαιτήσεις.

Από την άλλη, ο σχεδιασμός βιομηχανικών περιοχών έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές τα τελευταία χρόνια. Αν και οι μεγάλες βιομηχανίες τείνουν να συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές, οι μικρές βιομηχανίες έχουν αναπτυχθεί αρκετά σε εμπορικές και σε ορισμένες περιπτώσεις και σε κατοικημένες περιοχές. Πολλές τοπικές αρχές έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη ελέγχου των μικρών βιομηχανιών, με αποτέλεσμα να υπάρχει αυξανόμενη τάση δημιουργίας βιομηχανικών συγκροτημάτων. Οι δρόμοι στις βιομηχανικές περιοχές είναι γενικά φαρδύτεροι από ότι σε κατοικημένες περιοχές για να εξυπηρετήσουν βαριά και μεγάλα οχήματα που παραδίδουν και συλλέγουν αγαθά από τα διάφορα εργοστάσια. Όταν σε αυτούς τους δρόμους διέρχονται μέσα μαζικής μεταφοράς, τότε τα πεζοδρόμια είναι επίσης φαρδύτερα για να καλύψουν την κυκλοφορία των πεζών.

Όταν οι βιομηχανικές περιοχές αποτελούν μέρος μιας υπάρχουσας πόλης, οι εγκαταστάσεις είναι πιθανό να βρίσκονται σε αρτηριακούς ή συλλεκτήριους δρόμους και το πρότυπο φωτισμού πρέπει να είναι όπως ορίζεται στη δημοσίευση CIE 115-1995. Σε ορισμένες βιομηχανικές περιοχές, οι ιδιοκτήτες εργοστασίων βασίζονται στον δημόσιο φωτισμό για να παρέχουν ασφάλεια στις εγκαταστάσεις τους. Αυτή η πολιτική δεν είναι γενικά δημόσια αρχή και συνεπώς δεν περιλαμβάνεται σε αυτές τις συστάσεις. Ωστόσο, αν ο μελετητής μιας βιομηχανίας επιθυμεί να παράσχει αυτή την ευκολία, τότε σε αυτά τα σημεία συνιστώνται τα παρακάτω επίπεδα φωτισμού:

- Μέση κατακόρυφη φωτεινότητα στην πρόσοψη του κτιρίου, 4 lux.
- Μέση οριζόντια φωτεινότητα στο περιβάλλοντα χώρο, 2 lux.

Τα στοιχεία αυτά βασίζονται στο μέσο συντελεστή ανάκλασης κτιρίων (κατά προσέγγιση 0,15) και τα επίπεδα φωτισμού ενδέχεται να πρέπει να αυξηθούν ή να μειωθούν ανάλογα με τους μέσους συντελεστές ανάκλασης των κτιρίων της περιοχής.

Όσον αφορά τα εμπορικές περιοχές, δηλαδή τα καταστήματα, τους χώρους διασκέδασης και τα εστιατόρια, αρχικά βρίσκονταν στο κέντρο της πόλης. Καθώς προχωρούσε η ανάπτυξη,

οι δρόμοι μέσα σε αυτήν την περιοχή αυξάνονταν σταδιακά, καθώς γέμιζε όλο και περισσότερους πεζούς και οχήματα. Αυτό δημιούργησε μια επικίνδυνη κατάσταση, ιδιαίτερα για τους πεζούς. Η στάθμευση έγινε επίσης πρόβλημα, καθώς οι οδηγοί ήθελαν να σταθμεύσουν τα αυτοκίνητά τους σε κοντινή απόσταση από τα κύρια σημεία αγορών. Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την ανακατασκευή αυτών των περιοχών ήταν ο περιορισμός των οχημάτων στους κεντρικούς δρόμους και η εξυπηρέτηση των πεζών. Για να καταστούν οι αλλαγές αυτές αποτελεσματικές, η εμφάνιση αυτών των περιοχών έπρεπε να αλλάξει ώστε να γίνει πιο ελκυστική. Μια σημαντική πτυχή αυτών των ανακατασκευών ήταν η προσοχή που δόθηκε στον σχεδιασμό φωτισμού και τον σχετικό εξοπλισμό του. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρέχεται πρόσβαση για οχήματα έκτακτης ανάγκης ή μεταφοράς. Κάποιες φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν κτίρια και μνημεία ιστορικής ή τοπικής σημασίας για να διεγείρουν την περιέργεια των ανθρώπων.

Οι απαιτήσεις φωτισμού για τους οδηγούς οχημάτων θα είναι παρόμοιες με εκείνες της δημοσίευσης CIE 115-1995, εκτός από περιοχές με μεγάλο αριθμό πεζών όπου τα πρότυπα φωτισμού αυξάνονται κατά τουλάχιστον μία κατηγορία και οι διαβάσεις αυξάνονται επίσης αναλογικά. Αυτό θα εξασφαλίσει ότι οι οδηγοί θα μπορούν να βλέπουν πιο εύκολα τους πεζούς στο δρόμο ή εκείνους που πρόκειται να βγουν από το πεζοδρόμιο για να διασχίσουν το δρόμο. Καθώς οι εμπορικές περιοχές είναι γενικά σχεδιασμένες προς όφελος των πεζών, οι ανάγκες τους απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Οι πεζοί πρέπει να μπορούν:

- να βλέπουν το πεζοδρόμιο ή την επιφάνεια του δρόμου κατά μήκος του οποίου περπατούν.
- να αναγνωρίζουν τις προθέσεις των πεζών που τους προσεγγίζουν, είτε είναι φιλικόι, είτε είναι αδιάφοροι ή εχθρικοί. Τέτοιες προθέσεις θα πρέπει να αναγνωρίζονται, συνήθως από εκφράσεις του προσώπου, σε απόσταση μικρότερη από 4 μέτρα ώστε ο θεατής να μπορεί να λάβει οποιαδήποτε αναγκαία ενέργεια αποφυγής. Η ποιότητα του φωτισμού θα πρέπει επίσης να είναι τέτοια ώστε να είναι εφικτή η μελλοντική ταυτοποίηση των ανθρώπων εάν χρειαστεί.
- να βλέπουν τα πλησιέστερα οχήματα και να είναι σε θέση να κρίνουν την απόστασή τους, την κατεύθυνση τους και την ταχύτητά τους.
- να εντοπίζουν σήματα και άλλα αντικείμενα που αφορούν το προσανατολισμό στη περιοχή. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τους ξένους και τους τουρίστες. Επιπλέον, ο φωτισμός πρέπει να παρέχει μια ενδιαφέρουσα, ευχάριστη και ζωντανή

ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της νύχτας που θα προσελκύσει τους ανθρώπους στην περιοχή και θα ενθαρρύνει την κοινωνική επαφή.

Πολλά αρνητικά στοιχεία στο αστικό περιβάλλον της περιοχής αυτής μπορούν να χαθούν τη νύχτα και με ευφάνταστο δημόσιο φωτισμό μπορούν να τονιστούν τα καλύτερα και τα πιο αξιόλογα.

Το τελευταίο πεδίο εφαρμογής, για το οποίο η ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000 παρέχει συστάσεις, αφορά διάφορες περιοχές. Σε αυτό το πεδίο ανήκουν οι πεζόδρομοι και τα μονοπάτια. Σε πολλές νέες αστικές περιοχές, παρέχονται ειδικά μονοπάτια στα οποία επιτρέπεται η πρόσβαση των πεζών από χώρους στάθμευσης σε περιοχές αγορών και αναψυχής. Επίσης, παρέχονται μονοπάτια που συνδέουν οικιστικά συγκροτήματα με κοινόχρηστους χώρους και μονοπάτια που βρίσκονται μέσα σε πάρκα. Οι κύριες απαιτήσεις για τον φωτισμό αυτών των περιοχών είναι:

- να επιτρέπουν στους πεζούς να βλέπουν τις ανωμαλίες στην πλακόστρωτη επιφάνεια στην οποία περπατάνε.
- να επιτρέπουν στους πεζούς να αναγνωρίζουν τους κοντινούς χρήστες της περιοχής σε εύθετο χρόνο για να καθορίσουν την πρόθεση αυτών (φιλική ή εχθρική) και να λάβουν τα αναγκαία μέτρα αποφυγής όταν είναι απαραίτητο.
- να προσφέρει μια ελκυστική περιοχή που θα τραβήξει τους ανθρώπους και θα τους επιτρέψει να απολαμβάνουν τις εγκαταστάσεις που παρέχονται με άνεση και ασφάλεια.

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας, ο οποίος παρέχεται με τις συστάσεις της προδιαγραφής CIE 136-2000, με τις απαιτήσεις φωτισμού για πεζόδρομους και μονοπάτια (Πίνακας 4.2.1). Η τιμή της οριζόντιας φωτεινότητας  $E_H$  θα εφαρμοστεί κατά μήκος της διαδρομής και κατά προτίμηση 5 m σε κάθε πλευρά. Από την άλλη, οι τιμές της ημι-κυλινδρικής φωτεινότητας  $E_{SC}$  θα ισχύουν και στις δύο διαμήκεις κατευθύνσεις της διαδρομής

**Πίνακας 4.2.1: Οι απαιτήσεις φωτισμού για πεζόδρομους και μονοπάτια.**

	$E_H$ ave	$E_H$ min	$E_{SC}$ min
Parks in residential areas	5 lux	2 lux	2 lux
City centre	10 lux	5 lux	3 lux
Arcades and passageways	10 lux	5 lux	10 lux

Εκτός από τους πεζόδρομους και τα μονοπάτια, συστάσεις δίνονται και για τις διαβάσεις των πεζών. Οι βασικές απαιτήσεις για τις διαβάσεις των πεζών θα είναι:

- να επιτρέπουν την ασφαλή διέλευση των πεζών σε όλο το δρόμο.
- να επιτρέπουν στους πεζούς να βλέπουν τυχόν εμπόδια ή ανωμαλίες στην επιφάνεια της οδόστρωσης.

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας, ο οποίος παρέχεται με τις συστάσεις της προδιαγραφής CIE 136-2000, με τις απαιτήσεις φωτισμού για τις διαβάσεις των πεζών (Πίνακας 4.2.2).

Η μέση οριζόντια φωτεινότητα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 φορές μεγαλύτερη από την φωτεινότητα του οδοστρώματος σε κάθε πλευρά της διασταύρωσης. Υψηλότερα επίπεδα φωτεινότητας, έως 50 lux, μπορεί να είναι απαραίτητα σε μικτές κυκλοφοριακές καταστάσεις.

**Πίνακας 4.2.2: Οι απαιτήσεις φωτισμού για διαβάσεις πεζών.**

	$E_{H \text{ avg}}$	$E_{H \text{ min}}$
Commercial and industrial areas	30 lux	15 lux
Residential areas	20 lux	6 lux

Ακόμη, με τη πάροδο του χρόνου παρατηρούνται οι ανάγκες για κατασκευή σκαλών και ραμπών στα μονοπάτια των πεζών. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε οι μεταβολές αυτές να είναι ορατές στους πεζούς. Η βασική απαίτηση για αυτές τις περιοχές θα είναι να επιτρέπουν στους πεζούς να βλέπουν τις σκάλες και τυχόν εμπόδια πάνω σε αυτές. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας, ο οποίος παρέχεται με τις συστάσεις της προδιαγραφής CIE 136-2000, με τις απαιτήσεις φωτισμού για σκάλες και ράμπες στα μονοπάτια των πεζών (Πίνακας 4.2.3).

**Πίνακας 4.2.3: Οι απαιτήσεις φωτισμού για σκάλες και ράμπες στα μονοπάτια των πεζών.**

	$E_{H\ ave}$	$E_{V\ ave}$
Staircases: (a) on risers	-	<20 lux
(b) on treads	>40 lux	-
Ramps	>40 lux	-

Εκτός αυτών, ζήτηση υπάρχει και για την παροχή φωτισμού για την ασφαλή διέλευση ποδηλατών κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι κυριότερες απαιτήσεις για την ασφάλεια στους ποδηλατοδρόμους είναι ότι ο ποδηλάτης θα πρέπει εύκολα να εντοπίζει:

- τα όρια του δρόμου.
- τυχόν εμπόδια.
- αντικείμενα στην επιφάνεια του οδοστρώματος, όπως πέτρες, κλαδιά κλπ.
- λακκούβες στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
- τη θέση και την ταχύτητα άλλων χρηστών του ποδηλατοδρόμου.
- τις διασταυρώσεις με δρόμους άλλων ειδών κυκλοφορίας.

Οι θέσεις των ποδηλατοδρόμων ποικίλλουν σημαντικά σε μια πόλη. Μπορούν να τοποθετηθούν δίπλα σε σημαντικές αρτηριακές οδούς, σε μικρούς δρόμους, σε κανάλια ή σε εντελώς χωρισμένους δρόμους, όπως μέσα σε πάρκα. Κάθε κατάσταση πρέπει να εξετάζεται χωριστά, όπως και το ενδεχόμενο χρησιμοποίησης του φωτισμού μιας γειτονικής διαδρομής.

Οι άκρες του ποδηλατοδρόμου θα πρέπει να επισημαίνονται με λευκή βαφή για να τονίζονται τα όρια. Οι λείες επιφάνειες θα πρέπει να αποφεύγονται καθώς, υπό βροχερές συνθήκες, η αντανάκλαση στην επιφάνεια του νερού μπορεί να αποκρύψει τις σημάσεις και να δώσει μια πολύ ανομοιόμορφη κατανομή φωτεινότητας.

Καθώς οι ταχύτητες κυμαίνονται από 10 km/h έως 20 km/h για ποδήλατα με πετάλι και έως 40 km/h για μοτοποδήλατα, οι απαιτήσεις φωτισμού δεν θα είναι τόσο αυστηρές όσο εκείνες που προβλέπονται για άλλη μηχανοκίνητη κυκλοφορία, καθώς ο χρόνος αντίληψης είναι μεγαλύτερος. Βάσει όλων αυτών που προαναφέρθηκαν, παρέχονται οι ανάλογες συστάσεις (Πίνακας 4.2.4).

**Πίνακας 4.2.4: Οι απαιτήσεις φωτισμού για ποδηλατοδρόμους.**

	$E_{H\text{ ave}}$	Uniformity min/ave
Straight stretches	3 lux	0,3
Paths with side roads	5 lux	0,3
Junctions with traffic routes	10 lux	0,3

Εκτός των προαναφερόμενων, συνιστάται ότι τα κριτήρια που πρέπει να εφαρμόζονται για τις διασταυρώσεις των ποδηλατοδρόμων αφορούν απόσταση τουλάχιστον 100 μέτρων, σε κάθε πλευρά της διασταύρωσης. Σε όλες αυτές τις διασταυρώσεις, ο ποδηλατοδρόμος θα πρέπει να φωτίζεται τουλάχιστον κατά 50% περισσότερο από το κανονικό για 100 μέτρα, όπου τα όρια ταχύτητας είναι μέχρι 50 km/h και για 160 μέτρα, όπου τα όρια ταχύτητας είναι μέχρι 100 km/h.

Επίσης, αναφορά γίνεται και στις γέφυρες οι οποίες απευθύνονται σε πεζούς και σε ποδηλάτες. Οι κυριότερες απαιτήσεις για τις περιοχές αυτές είναι οι εξής:

- να επιτρέπουν την ασφαλή μετακίνηση των πεζών και των ποδηλατών, ιδίως στις γέφυρες όπου παρέχεται και αυτοκινητόδρομος.
- να επιτρέπουν στους πεζούς και τους ποδηλάτες να βλέπουν τυχόν εμπόδια και ανωμαλίες στην επιφάνεια της γέφυρας.
- να επιτρέπουν στους πεζούς και τους ποδηλάτες να αναγνωρίζουν τους άλλους χρήστες και να καθορίζουν τις φιλικές ή τις εχθρικές τους προθέσεις.

Βάσει αυτών που προαναφέρθηκαν, παρέχονται οι ανάλογες απαιτήσεις φωτισμού για τις γέφυρες αυτές (Πίνακας 4.2.5).

**Πίνακας 4.2.5: Οι απαιτήσεις φωτισμού για γέφυρες που απευθύνονται σε πεζούς και ποδηλάτες.**

	$L_{\text{ave}}$	$U_0$	$E_{SC\text{ min}}$
Shared with collector road	1 cd/m <sup>2</sup>	0,4	2 lux
	$E_{H\text{ ave}}$	$E_{H\text{ min}}$	$E_{SC\text{ min}}$
Shared with local or separate from other traffic	5 lux	1 lux	1 lux

Ακόμη, όταν στις γέφυρες αυτές υπάρχει και αυτοκινητόδρομος, πρέπει να παρέχεται στο πεζοδρόμιο τουλάχιστον το 50% της συνολικής φωτεινότητας και σε αποστάσεις των 5 μέτρων από αυτούς τους αυτοκινητόδρομους. Επίσης, οι τιμές της φωτεινότητας στο οριζόντιο επίπεδο θα ισχύουν σε ολόκληρο το επίπεδο του εδάφους. Αντίστοιχα, οι τιμές της ημικυλινδρικής φωτεινότητας θα ισχύουν και στις δύο κατευθύνσεις, παράλληλα με την πορεία του δρόμου. Τέλος, όταν οι γέφυρες φωτίζονται διακοσμητικά, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε ο φωτιστικός εξοπλισμός να μην παρεμβάλλεται στη πορεία των πεζών και των ποδηλατών, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα έντονης αντανάκλασης και υπερβολικών σκιών στο πεζοδρόμιο.

Τέλος, αναφορά γίνεται στις υπόγειες διαβάσεις και τις σήραγγες που παρέχουν μετακίνηση στους πεζούς και τους ποδηλάτες, όπου θα πρέπει να παρέχεται επαρκής φωτισμός λόγω των ενδεχόμενων ειδικών απαιτήσεων σε θέματα ασφάλειας και προστασίας. Οι βασικές απαιτήσεις για αυτές τις περιοχές είναι:

- να επιτρέπεται η ασφαλής και ταυτόχρονη μετακίνηση των πεζών και των ποδηλατών, όπου υπάρχει κοινόχρηστος διάδρομος.
- να επιτρέπεται στους πεζούς και τους ποδηλάτες να δουν τυχόν εμπόδια και ανωμαλίες στο πεζοδρόμιο.
- να επιτρέπεται στους πεζούς και τους ποδηλάτες να αναγνωρίζουν τους χρήστες της εγκατάστασης και να καθορίζουν, εκ των προτέρων, τις φιλικές ή τις εχθρικές τους προθέσεις.

Βάσει αυτών που προαναφέρθηκαν, παρέχονται οι ανάλογες απαιτήσεις φωτισμού για τις υπόγειες διαβάσεις και τις σήραγγες (Πίνακας 4.2.6).

**Πίνακας 4.2.6: Οι απαιτήσεις φωτισμού για υπόγειες διαβάσεις και σήραγγες που απευθύνονται σε πεζούς και ποδηλάτες.**

Pedestrians and cycles only	$E_{H \text{ ave}}$	$E_{H \text{ min}}$	$E_{SC \text{ min}}$
Day:	100 lux	50 lux	30 lux
Night:	30 lux	15 lux	10 lux



Σε περίπτωση που τις υπόγειες διαβάσεις παρέχουν οικιστικούς, βιομηχανικούς ή εμπορικούς δρόμους, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι συστάσεις που ορίζονται στη δημοσίευση CIE 88-1990.

Εκτός από όλα αυτά, πολύ σημαντικά για μια φωτοτεχνική μελέτη αποτελούν τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού, τα οποία αναλύονται στο Κεφάλαιο 3.1 της ευρωπαϊκής προδιαγραφής CIE 136-2000. Όσον αφορά τον αστικό φωτισμό, υπάρχουν επτά επίπεδα, από P1 έως P7, και απαριθμούνται παρακάτω (Πίνακας 4.2.7). Το επίπεδο P1 χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου απαιτείται υψηλό επίπεδο φωτισμού για την ανάδειξη ενός ελκυστικού περιβάλλοντος. Τα υπόλοιπα έξι επίπεδα διακρίνονται ανάλογα με τη συχνότητα της χρήσης από πεζούς και ποδηλάτες και με την ανάγκη για διατήρηση του περιβαλλοντικού ή αρχιτεκτονικού χαρακτήρα στην εκάστοτε περιοχή. Τα επίπεδα P5, P6 και P7 θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν ο κίνδυνος για εγκληματικότητα είναι αμελητέος. Όταν ο κίνδυνος για εγκληματικότητα είναι υψηλός, πρέπει να εξεταστεί η επιλογή ενός επιπέδου που είναι μια κλάση(σε σοβαρές περιπτώσεις δύο κλάσεις) υψηλότερο από το επίπεδο που θα επιλεγόταν εάν δεν υπήρχε κίνδυνος για εγκληματικότητα. Αυτές οι συστάσεις ισχύουν για όλους τους δρόμους που χρησιμοποιούνται από ποδηλάτες. Έπειτα δίνονται οι σχετικές απαιτήσεις (Πίνακας 4.2.8), οι οποίες για τα επίπεδα φωτισμού από P1 έως P6 ισχύουν για ολόκληρη τη χρησιμοποιούμενη επιφάνεια του μονοπατιού, εάν υπάρχει, καθώς και την επιφάνεια του δρόμου. Για το επίπεδο φωτισμού P7, είναι σημαντικό τα φωτεινά μέρη του φωτιστικού να είναι ορατά από το επόμενο πλησιέστερο φωτιστικό ώστε να παρασχεθεί η απαιτούμενη οπτική καθοδήγηση.

Πίνακας 4.2.7: Επιθυμητά επίπεδα φωτισμού για αστικές περιοχές.

DESCRIPTION OF ROAD	LIGHTING CLASS
High prestige roads	P1
Heavy night-time use by pedestrians or pedal cyclists	P2
Moderate night-time use by pedal cyclists or pedestrians	P3
Minor night-time use by pedal cyclists or pedestrians solely associated with adjacent properties	P4
Minor night-time use by pedal cyclists or pedestrians solely associated with adjacent properties Important to preserve village or architectural character of environment	P5
Very minor night-time use by pedal cyclists or pedestrians solely associated with adjacent properties Important to preserve village or architectural character of environment	P6
Roads where only visual guidance provided by the direct light from the luminaires is required	P7

Πίνακας 4.2.8: Οι σχετικές απαιτήσεις φωτισμού, ανάλογα με το επίπεδο.

LIGHTING CLASS	HORIZONTAL ILLUMINANCE (lx) on whole of used surface Maintained		SEMICYLINDRICAL ILLUMINANCE (lx)
	AVERAGE	MINIMUM	MINIMUM
P1	20	7,5	5
P2	10	3	2
P3	7,5	1,5	1,5
P4	5	1	1
P5	3	0,6	0,75
P6	1,5	0,2	0,5
P7	Not applicable		

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: «ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ»**

### **5.1 Προγράμματα Φωτοτεχνικών Υπολογισμών (Dialux,4M,κλπ)**

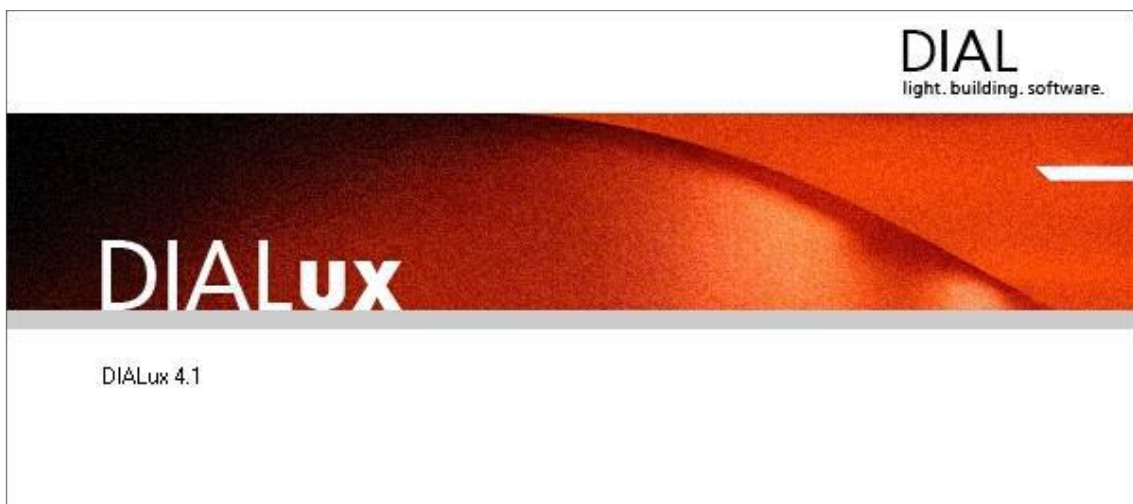
Έργο καλείται κάθε κατασκευή η οποία είτε είναι νέα, είτε είναι επέκταση ή συντήρηση μιας υπάρχουσας. Για την κατασκευή ενός έργου απαιτούνται σχετικές ερευνητικές εργασίες, οι οποίες με τη σειρά τους απαιτούν τεχνικές γνώσεις. Οι ερευνητικές αυτές εργασίες ονομάζονται μελέτες και βοηθούν στο να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οι μελέτες αυτές καθοδηγούνται από ευρωπαϊκά πρότυπα και προδιαγραφές, οι οποίες συντάσσουν συστάσεις και κανονισμούς που υιοθετούνται ανά τον κόσμο. Σκοπός είναι η κατασκευή μιας ασφαλούς, λειτουργικής, οικονομικής και αισθητικά άρτιας εγκατάστασης.

Μερικές βασικές μελέτες είναι η αρχιτεκτονική, η φωτοτεχνική και η ηλεκτρολογική-μηχανολογική. Η φωτοτεχνική μελέτη, η οποία είναι και αυτή που θα απασχολήσει σε αυτό το κεφάλαιο, θεωρείται αναγκαία και εξυπηρετεί στο σχεδιασμό οποιασδήποτε εγκατάστασης φωτισμού. Ακόμη, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αρκετών υπολογιστικών σχεδιαστικών προγραμμάτων, μερικά εκ των οποίων διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο. Τα προγράμματα αυτά αφορούν είτε εσωτερικούς, είτε εξωτερικούς χώρους και εξελίσσονται συνεχώς για μπορούν να βοηθήσουν το μελετητή με το καλύτερο δυνατό τρόπο. Τέτοια προγράμματα είναι το Calculux, το Relux, το 4M και το Dialux. Τα περισσότερα από αυτά τα προγράμματα λειτουργούν με βιβλιοθήκες που αποτελούνται από φωτιστικά σώματα, τα οποία μάλιστα κατασκευάζουν μεγάλες και γνωστές εταιρίες φωτισμού. Οι βιβλιοθήκες αυτές διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο.

Επιπροσθέτως, τα προγράμματα αυτά παρέχουν λεπτομερή και απαραίτητα στοιχεία και γραφικές παραστάσεις που είναι χρήσιμα για το μελετητή, καθώς μπορούν να πραγματοποιήσουν τους υπολογισμούς που απαιτούνται. Έτσι λοιπόν, με τη χρήση αυτών των προγραμμάτων εξαλείφθηκε η δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία των υπολογισμών. Παρόλα αυτά, αρκετοί μελετητές συνηθίζουν να επαληθεύουν τα στοιχεία αυτά, κυρίως με τη χρήση ενός λουξόμετρου, καθώς η υπερβολική εμπιστοσύνη στα προγράμματα μπορεί να τους οδηγήσει σε σημαντικά λάθη.

## 5.2 Το Λογισμικό DIALux

Το Dialux (Σχήμα 5.2.1) αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως γνωστά υπολογιστικά προγράμματα σχεδιασμού, με το οποίο πραγματοποιούνται φωτοτεχνικές μελέτες. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του προγράμματος είναι ότι διαθέτει δωρεάν ηλεκτρονική υποστήριξη για όσους χρήστες επιθυμούν να αποκτήσουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με αυτό. Ακόμη, είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο και μπορεί οποιοσδήποτε να το αποκτήσει δωρεάν μέσω της επίσημης ιστοσελίδας που διαθέτει ([www.dialux.com](http://www.dialux.com)). Η εγκατάσταση του στον ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι πολύ εύκολη και μπορεί να γίνει από τον καθένα. Επίσης, διαθέτει τη δυνατότητα εγκατάστασης PlugIns, τα οποία είναι δεδομένα για φωτιστικά σώματα και μπορούν εύκολα να ανασυρθούν από το διαδίκτυο, καθώς τα διαθέτουν δωρεάν οι εταιρίες φωτισμού. Εκτός αυτού, το Dialux διαθέτει και online PlugIns, τα οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και να χρησιμοποιήσει χωρίς να χρειαστεί να τα εγκαταστήσει στον ηλεκτρονικό του υπολογιστή. Εκτός όμως από τα φωτιστικά σώματα, το Dialux διαθέτει PlugIns για λαμπτήρες. Ωστόσο, απαιτείται από το χρήστη να ανασύρει από το διαδίκτυο τέτοιου τύπου PlugIns, καθώς τα PlugIns που διαθέτει το Dialux είναι δεδομένα επίδειξης.



Σχήμα 5.2.1: Το λογότυπο του λογισμικού DIALux.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του λογισμικού Dialux είναι ότι διαθέτει ένα ακόμα σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο, το οποίο εμφανίζεται σαν εικονίδιο στην επιφάνεια εργασίας του ηλεκτρονικού υπολογιστή και ακριβώς μετά την εγκατάστασή του. Ονομάζεται DIALux

Light και επιτρέπει την γρήγορη και εύκολη ολοκλήρωση των φωτοτεχνικών μελετών. Κατά την εκκίνηση του DIALux Light εμφανίζεται στην οθόνη ένα παράθυρο το οποίο εξηγεί τα βήματα που θα ακολουθήσουν. Στην συνέχεια, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καταγράψει τα στοιχεία και μαζί αυτά του πελάτη και της μελέτης. Έπειτα ο χρήστης μπορεί να καταγράψει διάφορα στοιχεία που αφορούν τη γεωμετρία και τις διαστάσεις του υπό μελέτη χώρου. Εκτός από αυτά τα στοιχεία, μπορεί ο χρήστης να συμπληρώσει το ποσοστό ανάκλασης της οροφής (εάν αυτή υπάρχει), των τοίχων και του δαπέδου. Μετά, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το τύπο του φωτιστικού σώματος που είναι κατάλληλος για την εκάστοτε μελέτη. Συνεχίζοντας, το λογισμικό υπολογίζει από μόνο του τον αριθμό των φωτιστικών σωμάτων που θα απαιτηθούν για τον εκάστοτε χώρο. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται σύμφωνα με την επιθυμητή ένταση φωτισμού. Κατά αυτό τον τρόπο, το λογισμικό DIALux μπορεί εύκολα και γρήγορα να παρουσιάσει αποτελέσματα σε διάγραμμα ομοιόμορφου φωτισμού και στη συνέχεια αυτά να εκτυπωθούν ή απλά να αποθηκευτούν ως αρχεία pdf. Τέλος, το λογισμικό DIALux διαθέτει τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου, εφόσον το επιθυμεί ο χρήστης.

### **5.3 Επιλογή Φωτιστικών Σωμάτων & Λαμπτήρων**

#### **5.3.1 Φωτοτεχνικά Χαρακτηριστικά Φωτιστικών Σωμάτων**

Ο βασικότερος παράγοντας για την επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού σώματος είναι τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά του. Τα χαρακτηριστικά αυτά εκφράζουν κυρίως τον τρόπο με τον οποίο ο λαμπτήρας του φωτιστικού σώματος διαχέει τη φωτεινή ακτινοβολία που παράγει. Η επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού σώματος από ένα μελετητή παρέχει τη σωστή κατανομή της φωτεινής ακτινοβολίας στην επιφάνεια την οποία επιθυμεί να φωτίσει και όσον αφορά τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού, εξασφαλίζει μικρές διακυμάνσεις. Ακόμη, η επιλογή αυτή καθορίζεται κι από τον περιβάλλοντα χώρο του φωτιστικού σώματος, καθώς αν η διαχεόμενη ακτινοβολία στον περιβάλλοντα χώρο δεν είναι ελεγχόμενη τότε υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθούν φαινόμενα έντονης θάμβωσης.

Πλέον, στην αγορά τα φωτιστικά σώματα ποικίλουν και ανάλογα την επιφάνεια για την οποία θα φωτίσει (π.χ. επιφάνεια δρόμου, πλατείας ή πάρκου, παιδικής χαράς, πεζόδρομου, και ποδηλατοδρόμου) έχουν κατασκευαστεί και οι αντίστοιχοι τύποι ανακλαστήρων και καλυμμάτων που βοηθούν στην επίτευξη ομοιόμορφης διάχυσης του φωτός.

Ο εκτεταμένος περιβάλλον χώρος και τα κτίρια που υπάρχουν γύρω από τη περιοχή, την οποία επιθυμεί ο μελετητής να φωτίσει, αποτελούν έναν επιπλέον παράγοντα για την επιλογή των φωτιστικών σωμάτων. Από τη μία η υπερβολική φωτεινότητα είναι ενοχλητική για τους ενοίκους, από την άλλη όμως είναι απαραίτητη η διάχυση της φωτεινής ακτινοβολίας σε μικρά ποσοστά.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι η διάταξη και ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων. Σε περίπτωση εγκατάστασης πυκνής διάταξης φωτιστικών σωμάτων σε μια περιοχή, υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης της περιοχής αυτής.

Τέλος, ένας σημαντικότερος για την επιλογή των φωτοτεχνικών χαρακτηριστικών των φωτιστικών σωμάτων αποτελεί ο οικονομικός παράγοντας. Τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που καθορίζουν την οικονομία του σχεδιασμού.

### **5.3.2 Αισθητική σχεδιασμού Φωτιστικών Σωμάτων & Ιστών**

Η αισθητική του σχεδιασμού των φωτιστικών σωμάτων και των ιστών εξαρτάται από την αισθητική και αρχιτεκτονική όψη της περιβάλλουσας περιοχής. Αν για παράδειγμα τοποθετηθεί ένα μοντέρνο φωτιστικό σώμα σε ένα χώρο όπου αποτελείται από παλαιά ή πέτρινα κτίρια τότε το φωτιστικό αυτό σώμα χάνει από αισθητικής άποψης, καθώς δε ταιριάζει με την στιλιστική ατμόσφαιρα του περιβάλλοντα χώρου. Σημαντικός παράγοντας για να πραγματοποιηθεί ένα τέτοιο ταίριασμα αποτελεί το χρώμα των φωτιστικών σωμάτων και των ιστών, το οποίο θα πρέπει να ταιριάζει με τα χρώματα και τις αποχρώσεις που έχει ο περιβάλλοντας χώρος.

Οι κατασκευαστικές εταιρίες των φωτιστικών σωμάτων πραγματοποιούν εκθέσεις, με τις οποίες διαφημίζουν τα προϊόντα τους και δίνουν τη δυνατότητα στον μελετητή να τα δει από κοντά. Το γεγονός αυτό αποτελεί αρκετά εξυπηρετικό για τον μελετητή, καθώς μπορεί να σχηματίσει πλήρη εικόνα για το φωτιστικό σώμα που σκοπεύει να αγοράσει και να αποφύγει τυχόν δυσάρεστες εκπλήξεις μετά την αγορά του.

### **5.3.3 Διατάξεις Αυτοματισμού & Εξοικονόμησης Ενέργειας**

Οι διατάξεις αυτοματισμού και εξοικονόμησης ενέργειας για την αφή και σβέση των φωτιστικών σωμάτων του αστικού φωτισμού διακρίνονται σε αυτόνομες και εξαρτώμενες.

Αυτόνομες διατάξεις ονομάζονται οι διατάξεις οι οποίες για τη λειτουργία τους απαιτούν χειροκίνηση ή διατάξεις με φωτοκύτταρα ή χρονοδιακόπτες.

Από την άλλη, εξαρτώμενες διατάξεις ονομάζονται οι διατάξεις οι οποίες για τη λειτουργία τους απαιτούν καθορισμένο σήμα από τρίτο παροχέα. Ένας τέτοιος παροχέας είναι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), της οποίας το δίκτυο παρέχει την επιθυμητή συχνότητα για την αφή και σβέση των φωτιστικών σωμάτων του δρόμου.

Εκτός όμως από αυτές τις διατάξεις εξοικονόμησης της ενέργειας που προαναφέρθηκαν, στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμες οι ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις, ή αλλιώς ηλεκτρονικά μπάλαστ, όπως επίσης και διατάξεις που προσφέρουν τη δυνατότητα για αυξομείωση της φωτεινής έντασης ενός λαμπτήρα (dimming). Όλες αυτές οι διατάξεις παρέχουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Οι δυνατότητες που παρέχουν οι διατάξεις αυτοματισμού και εξοικονόμησης ενέργειας είναι αυτές που διαμορφώνουν το υψηλό κόστος αγοράς τους. Γι' αυτό το λόγο, ο μελετητής θα πρέπει να υπολογίζει πάντα το κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης, καθώς και το χρόνο απόσβεσης αυτού του κόστους.

Εν κατακλείδι, θα πρέπει να γίνεται η επιλογή των κατάλληλων διατάξεων αυτοματισμού και εξοικονόμησης ενέργειας με κριτήρια το κόστος και τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: «ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ»

### 6.1 Μελέτη Φωτισμού Πλατείας

Η μελέτη φωτισμού που θα γίνει αφορά τη πλατεία που βρίσκεται μεταξύ των οδών Αλκυόνης, Πυθίας και Νυμφών. Η πλατεία αυτή ανήκει στο Δήμο Γαλασίου και περιβάλλεται από δρόμους, κτήρια και μια παιδική χαρά. Επίσης, είναι ένας χώρος αναψυχής, συνάντησης και επικοινωνίας για τους κατοίκους του Δήμου Γαλασίου, καθώς αποτελεί το στοιχείο ομορφιάς της γειτονιάς στην οποία βρίσκεται η συγκεκριμένη πλατεία. Για το λόγο αυτό, ο φωτισμός της πλατείας αυτής θα γίνει προσεκτικά και θα εξυπηρετεί αυστηρά τους πεζούς σύμφωνα με την ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000, η οποία αναλύθηκε στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Γενικά, τα επίπεδα φωτισμού που πρέπει να επιτυγχάνονται σε πλατείες ή πάρκα είναι τα εξής:

$$E_{H(ave)} = 5\text{lux}$$

$$E_{H(min)} = 2\text{lux}$$

$$E_{SC(min)} = 2\text{lux}$$

Επειδή όμως, παράγοντες όπως η νυχτερινή κίνηση των πεζών και των ποδηλάτων και γενικά η ανάδειξη του χώρου διαφέρουν από πλατεία σε πλατεία, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής διαφορετικού επίπεδου φωτισμού. Τα επίπεδα αυτά δίνονται στους πίνακες 3.1 και 3.2 της ευρωπαϊκής προδιαγραφής. Σύμφωνα λοιπόν με τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν, θα επιλεγθεί επίπεδο φωτισμού P3, όπου η συχνότητα χρήσης της πλατείας από πεζούς και ποδηλάτες κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι μέτρια. Συγκεκριμένα, τα ελάχιστα επίπεδα φωτισμού που επιλέχθηκαν είναι τα εξής:

$$E_{H(ave)} = 7,5\text{lux}$$

$$E_{H(min)} = 1,5\text{lux}$$

$$E_{SC(min)} = 1,5\text{lux}$$



## **6.2 Παραγόμενο Αποτέλεσμα DIALux**

**Μελέτη Φωτισμού Πλατείας μεταξύ των οδών Αλκυόνης, Πυθίας και Νυμφών.**

Ημερομηνία: 07.06.2017  
Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο 694 393 0786  
 Φαξ 21 1410 9800  
 e-Mail aimilios.giapl@gmail.com

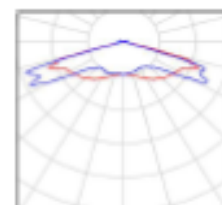
## Περιεχόμενα

<b>Μελέτη Φωτισμού Πλατείας μεταξύ των οδών Αλκυόνις, Πυθίας και Νυμφών.</b>	
Εξώφυλλο μελέτης	1
Περιεχόμενα	2
Κατάλογος φωτιστικών	3
<b>PHILIPS BDP002 PCC 1xECO20/840 DS</b>	
Δελτίο στοιχείων φωτιστικού	4
Δελτίο δεδομένων LDC (καμπύλη κατανομής φωτός)	5
<b>Ε&amp;ξωτερική σκηνή 1</b>	
Στοιχεία σχεδιασμού	6
Φωτιστικά (λίστα συντεταγμένων)	7
Προοπτικό σχέδιο 3 διαστάσεων	8
Λάθος χρώματα προοπτικού σχεδίου	9
<b>Εξωτερικές επιφάνειες</b>	
<b>Επιφάνεια υπολογισμού 1</b>	
Ισοδύναμες γραμμές (E, οριζόντια)	10
Γραφική παράσταση τιμών (E, οριζόντια)	11
<b>Επιφάνεια υπολογισμού 1</b>	
Ισοδύναμες γραμμές (E, ημικυλινδρικά)	12
Γραφική παράσταση τιμών (E, ημικυλινδρικά)	13

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
Τηλέφωνο 694 393 0786  
Φαξ 21 1410 9800  
e-Mail almilos.giapi@gmail.com

Μελέτη Φωτισμού Πλατείας μεταξύ των οδών Αλκυόνης, Πυθίας και Νυμφών. /  
Κατάλογος φωτιστικών

4 Τεμάχια PHILIPS BDP002 PCC 1xECO20/840 DS  
Αρ. είδους:  
Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 1717 lm  
Φωτεινή ροή (Λάμπες): 2094 lm  
Ισχύς φωτιστικού: 19.0 W  
Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 98  
Κωδικός ροής CIE: 22 54 93 98 82  
Εξοπλισμός: 1 x ECO20/840/- (Συντελεστής  
διόρθωσης 1.000).



Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0786  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

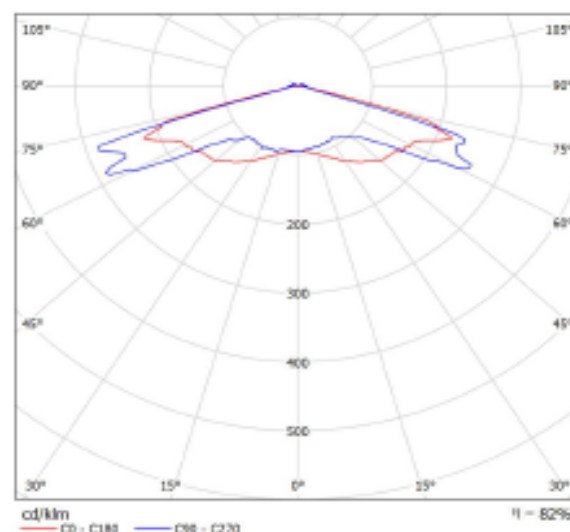
## PHILIPS BDP002 PCC 1xECO20/840 DS / Δελτίο στοιχείων φωτιστικού



Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 98  
 Κωδικός ροής CIE: 22 54 93 98 82

TownGuide Core – Easy to choose, easy to use The TownGuide Core family consists of two recognizable yet modern shapes: Flat Cone and Bowl. Both are available with either a clear or frosted bowl. Offering an extensive range of lumen packages and a choice of color temperatures, as well as a long lifetime and comparatively low power consumption, TownGuide Core is a choice that is easily made. TownGuide Core offers quick and easy installation. Thanks to the bayonet whistle connector located in the spigot, the luminaire does not have to be opened at all, saving valuable labor time. In the development of TownGuide Core, Philips has made every effort to ensure the investment required is as low as possible. And as TownGuide Core is a dedicated LED luminaire, the energy cost savings compared to conventional lighting are significant, making it a natural choice to replace HPL lamps, which are banned from 2015 onwards.

Εκπομπή φωτός 1:



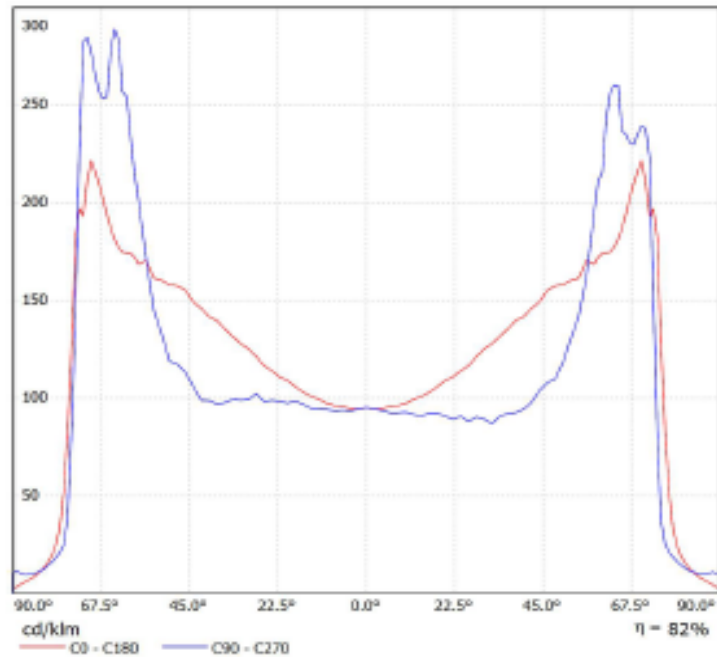
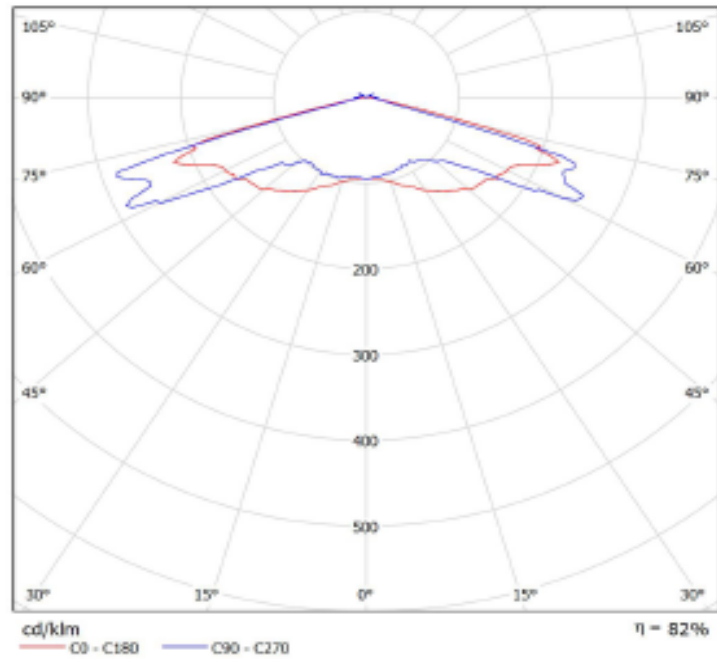
Εξ αιτίας της έλλειψης συμμετρίας, για αυτό το φωτιστικό δεν μπορεί να γίνει παρουσίαση του πίνακα UGR.

Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0766  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

**PHILIPS BDP002 PCC 1xECO20/840 DS / Δελτίο δεδομένων LDC (καμπύλη κατανομής φωτός)**

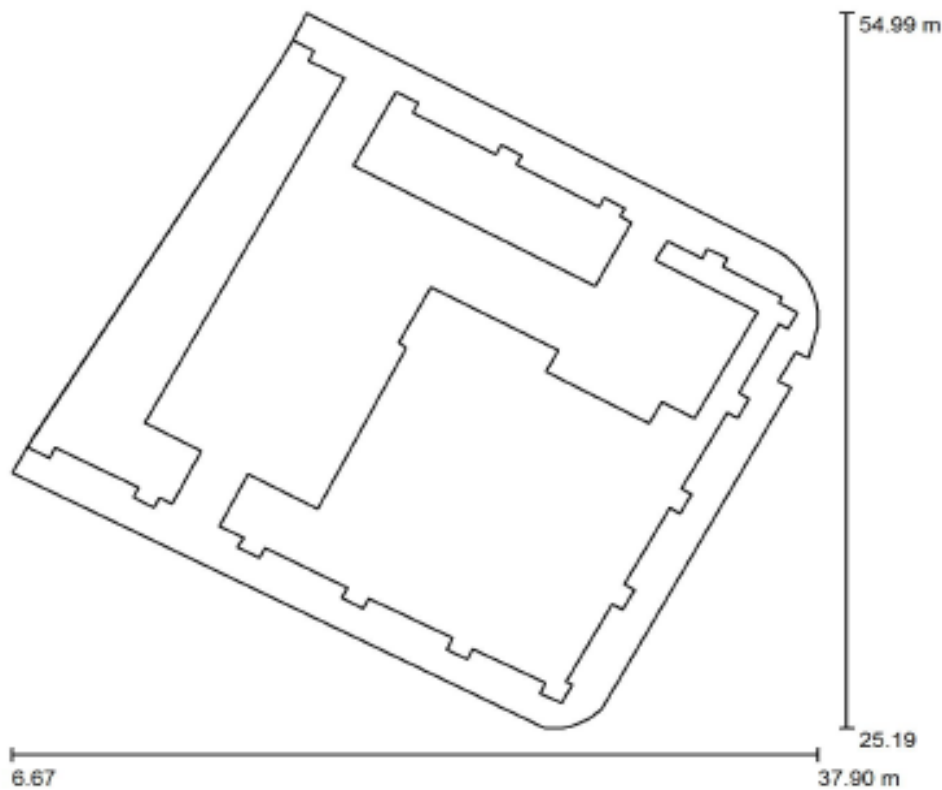
Φωτιστικό: PHILIPS BDP002 PCC  
 1xECO20/840 DS

Λάμπες: 1 x ECO20/840/-



Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0786  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

**Εξωτερική σκηνή 1 / Στοιχεία σχεδιασμού**



Συντελεστής συντήρησης: 0.80, ULR (Upward Light Ratio): 2.0%

Κλίμακα 1:277

**Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών**

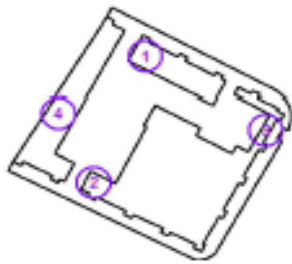
Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	4	PHILIPS BDP002 PCC 1xECO20/840 DS (1.000)	1717	2094	19.0
Συνολικά:			6868	Συνολικά: 8378	78.0

Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0786  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

### Εξωτερική σκηνή 1 / Φωτιστικά (λίστα συντεταγμένων)

#### PHILIPS BDP002 PCC 1xECO20/840 DS

1717 lm, 19.0 W, 1 x 1 x ECO20/840/- (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).



Αρ.	Θέση [m]			Περιστροφή [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	21.855	49.192	4.500	0.0	0.0	-115.0
2	16.169	34.391	4.500	0.0	0.0	65.0
3	35.099	40.620	4.500	0.0	0.0	155.0
4	12.268	42.598	4.500	0.0	0.0	-25.0

Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
Τηλέφωνο: 694 393 0766  
Φαξ: 21 1410 9800  
e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

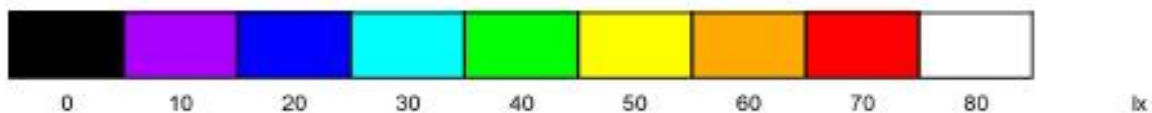
Εξωτερική σκηνή 1 / Προοπτικό σχέδιο 3 διαστάσεων





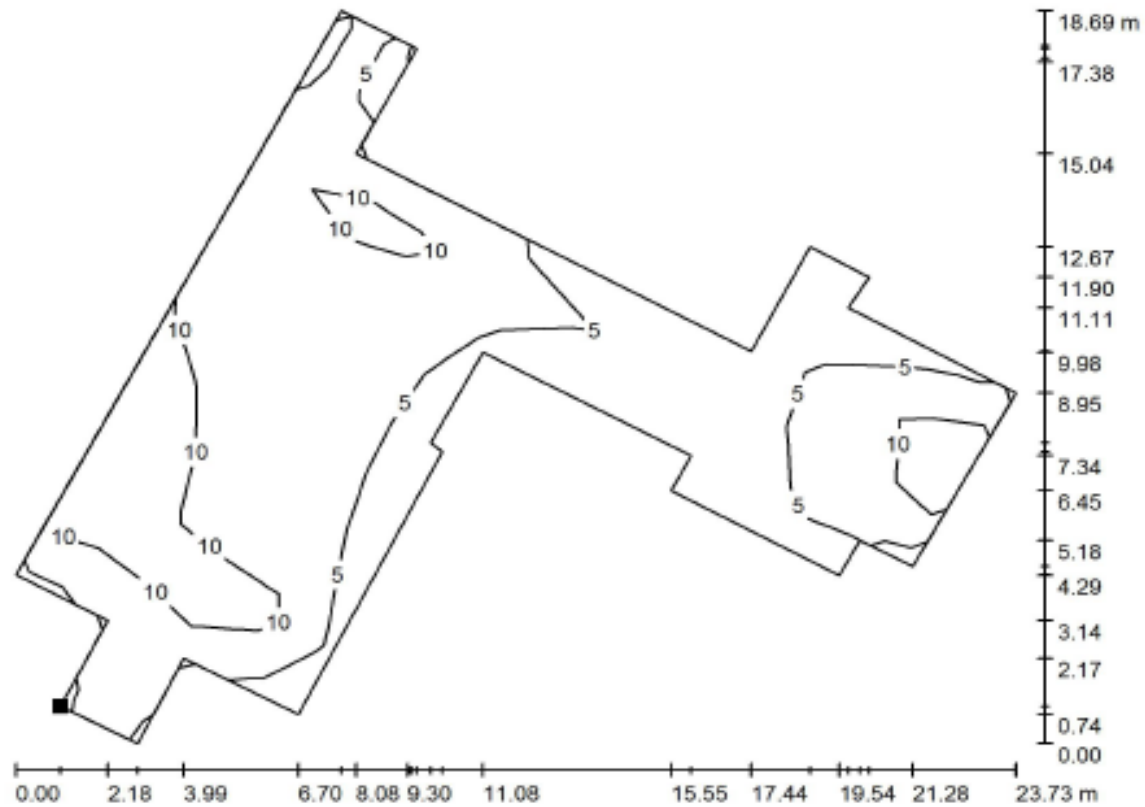
Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
Τηλέφωνο: 694 393 0786  
Φαξ: 21 1410 9800  
e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

Εξωτερική σκηνή 1 / Λάθος χρώματα προοπτικού σχεδίου



Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0786  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimillos.giapi@gmail.com

Εξωτερική σκηνή 1 / Επιφάνεια υπολογισμού 1 / Ισοδύναμες γραμμές (E, οριζόντια)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 170

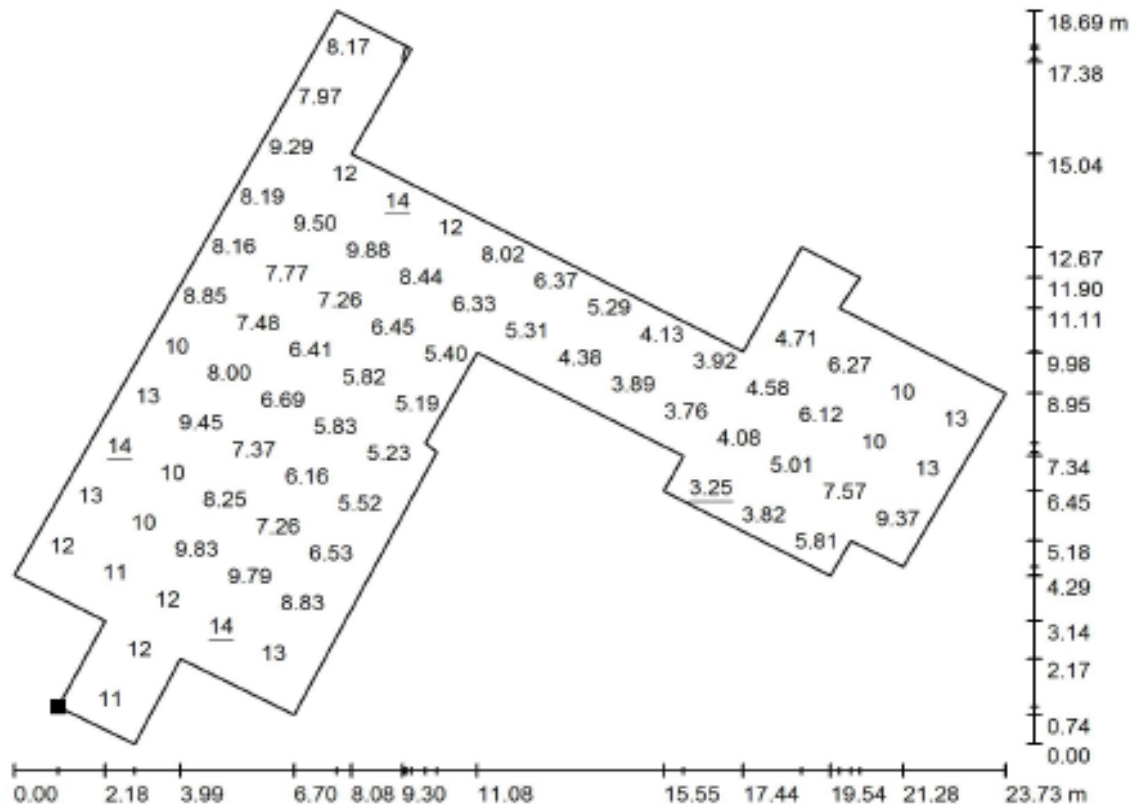
Θέση της επιφάνειας στο εξωτερικό σκηνικό:  
 Επιλεγμένο σημείο:  
 (12.888 m, 34.544 m, 0.850 m)



Κάνναβος: 13 x 13 Σημεία

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
8.08	3.25	14	0.403	0.233

Εξωτερική σκηνή 1 / Επιφάνεια υπολογισμού 1 / Γραφική παράσταση τιμών (E, οριζόντια)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 170

Δεν μπορούν να παρασταθούν όλες οι υπολογισμένες τιμές.

Θέση της επιφάνειας στο εξωτερικό σκηνικό:

Επιλεγμένο σημείο:  
 (12.888 m, 34.544 m, 0.850 m)



Κάνναβος: 13 x 13 Σημεία

$E_m$  [lx]  
8.08

$E_{min}$  [lx]  
3.25

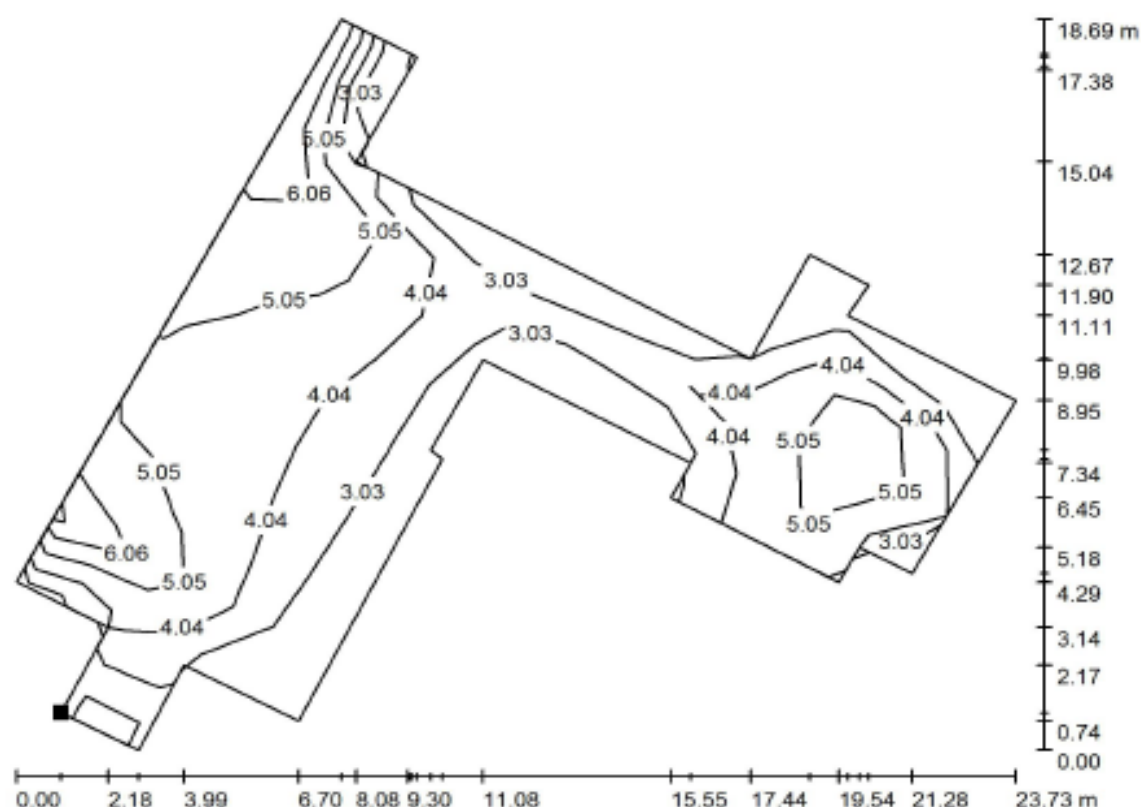
$E_{max}$  [lx]  
14

$E_{min} / E_m$   
0.403

$E_{min} / E_{max}$   
0.233

Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0786  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimilios.giapi@gmail.com

**Εξωτερική σκηνή 1 / Επιφάνεια υπολογισμού 1 / Ισοδύναμες γραμμές (E, ημικυλινδρικά)**



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 170

Θέση της επιφανείας στο εξωτερικό σκηνικό:

Επιλεγμένο σημείο:  
 (12.888 m, 34.544 m, 0.850 m)



Κάνναβος: 13 x 13 Σημεία

$E_m$  [lx]  
4.56

$E_{min}$  [lx]  
2.42

$E_{max}$  [lx]  
7.48

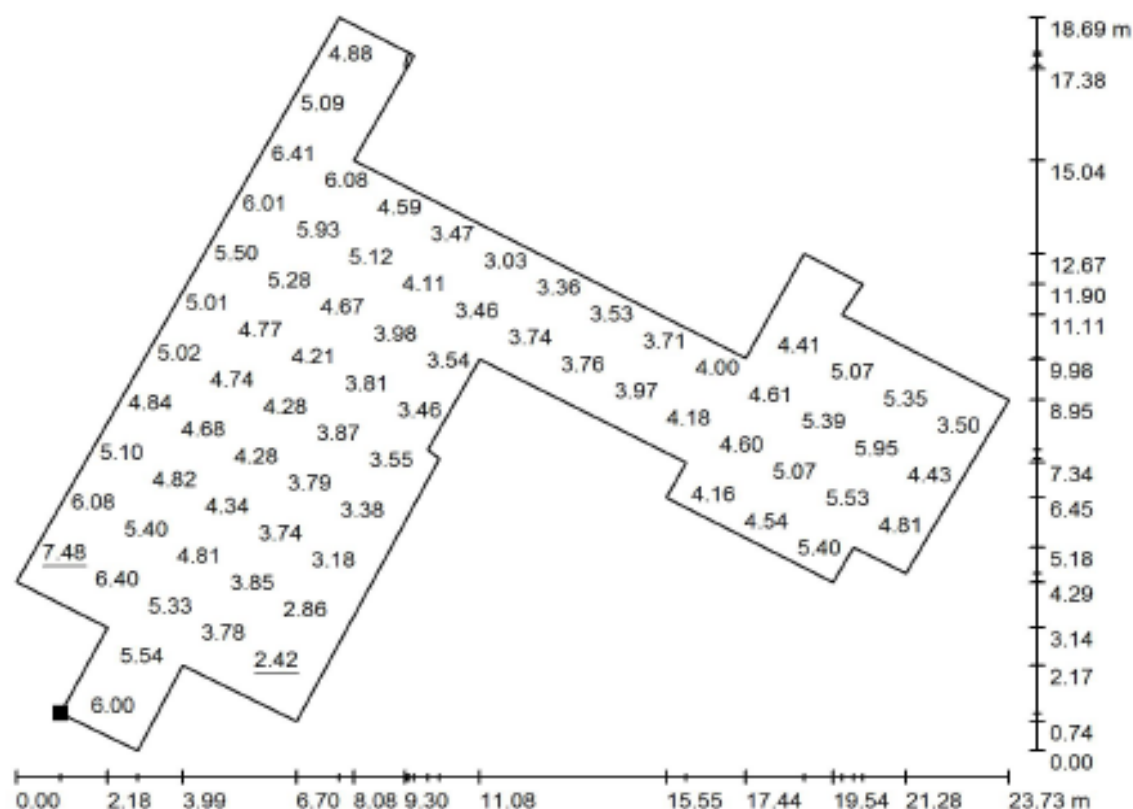
$E_{min} / E_m$   
0.532

$E_{min} / E_{max}$   
0.324

Περιστροφή: 0.0°

Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΓΙΑΠΙΤΖΙΟΓΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΟΣ  
 Τηλέφωνο: 694 393 0786  
 Φαξ: 21 1410 9800  
 e-Mail: aimilios.giapl@gmail.com

Εξωτερική σκηνή 1 / Επιφάνεια υπολογισμού 1 / Γραφική παράσταση τιμών (Ε, ημικυλινδρικά)



Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1 : 170

Δεν μπορούν να παρασταθούν όλες οι υπολογισμένες τιμές.

Θέση της επιφάνειας στο εξωτερικό σκηνικό:

Επιλεγμένο σημείο:  
 (12.888 m, 34.544 m, 0.850 m)



Κάνναβος: 13 x 13 Σημεία

$E_m$  [lx]  
4.56

$E_{min}$  [lx]  
2.42

$E_{max}$  [lx]  
7.48

$E_{min} / E_m$   
0.532

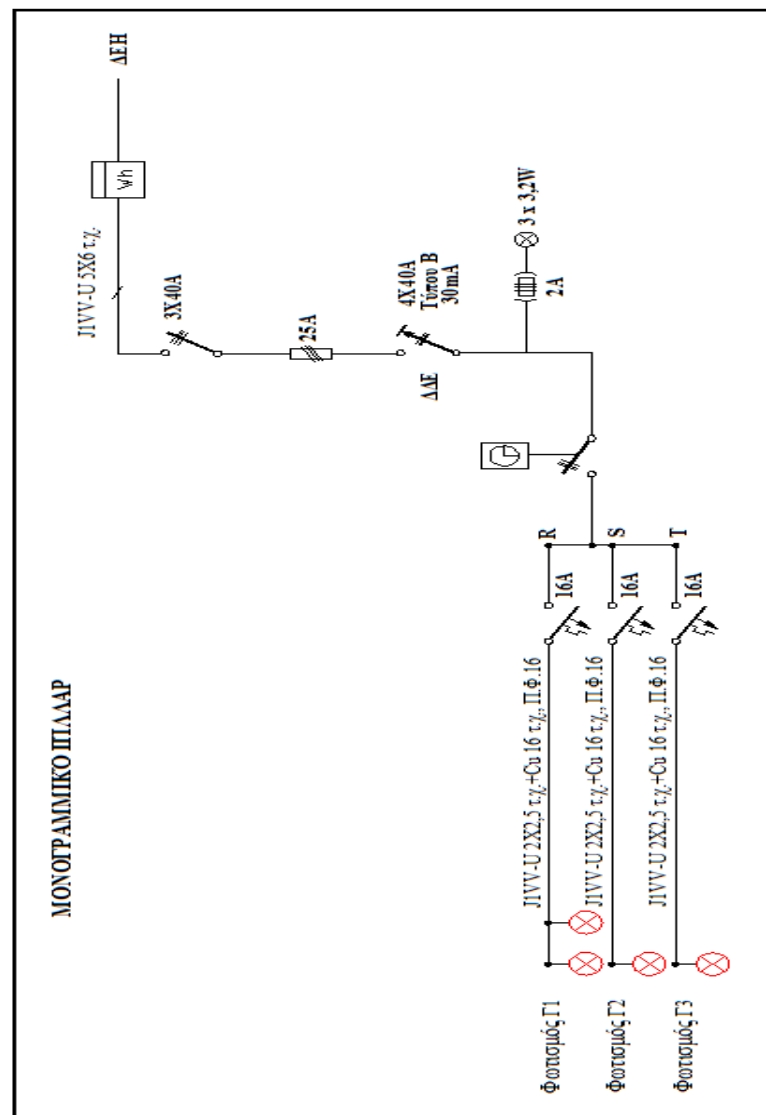
$E_{min} / E_{max}$   
0.324

Περιστροφή: 0.0°

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: «ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ»

## 7.1 Μονογραμμικό Πίλλαρ

Παρακάτω δίνεται το ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο του πίλλαρ της πλατείας, το οποίο έχει σχεδιαστεί και αυτό στο πρόγραμμα σχεδίασης της AutoCAD Electrical 2017 (Σχήμα 7.1.1), καθώς και οι συμβολισμοί του σχεδίου και η ερμηνεία τους (Σχήμα 7.1.2).



Σχήμα 7.1.1: Το ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο του πίλλαρ της πλατείας.

ΣΥΜΒΟΛΑ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ
	ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ
	ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ
	ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
	ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΕΩΣ
	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ ΜΕ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ MINION
	ΧΡΟΝΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ
	ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΔΕΗ
	ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ ΣΗΜΑ

Σχήμα 7.1.2: Οι συμβολισμοί του ηλεκτρολογικού μονογραμμικού σχεδίου του πύλλαρ της πλατείας.

## 7.2 Πύλλαρ -Γραμμές

Αρχικά, θα υπολογιστεί η τιμή της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος και η τιμή της εγκατεστημένης ισχύος για κάθε γραμμή ξεχωριστά του πύλλαρ που θα τροφοδοτήσει τις ανάγκες φωτισμού της πλατείας (Πίνακας 7.2.1). Συγκεκριμένα, θα γίνει εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων LED της εταιρίας Philips, μοντέλου BDP002 PCC 1xECO 20/840 DS και ισχύος 19 W.

Πίνακας 7.2.1: Ο υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος.

α/α	Γραμμές	Εγκατεστημένη Ισχύς(W)
Γ1	Φωτισμός	38 W (2 x 19 = 38 W)
Γ2	Φωτισμός	19 W (1 x 19 = 19 W)
Γ3	Φωτισμός	19 W (1 x 19 = 19 W)
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς: 38W + 19W + 19W = 76 W		

Στη συνέχεια, θα υπολογιστεί η τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου ονομαστικού ρεύματος για κάθε γραμμή ξεχωριστά του πύλλαρ (Πίνακας 7.2.2). Τα φορτία είναι μονοφασικά και όπου  $V_{\phi}$  είναι η φασική τάση του δικτύου (μεταξύ αγωγού και γης). Επίσης, θα χρησιμοποιηθεί συντελεστής ασφαλείας  $\Sigma A=1,3$ .

**Πίνακας 7.2.2: Ο υπολογισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου ονομαστικού ρεύματος.**

α/α	Μέγιστο επιτρεπόμενο ονομαστικό ρεύμα (A)
Γ1	$I = (P \cdot \Sigma A) / V_{\phi} = (38 \cdot 1,3) / 230 = 0,215 \text{ A}$
Γ2	$I = (P \cdot \Sigma A) / V_{\phi} = (19 \cdot 1,3) / 230 = 0,107 \text{ A}$
Γ3	$I = (P \cdot \Sigma A) / V_{\phi} = (19 \cdot 1,3) / 230 = 0,107 \text{ A}$

Έπειτα, για λόγους ύπαρξης εφεδρείας (δυνατότητα να προστεθούν αργότερα και άλλα φορτία που να εξυπηρετούνται από το ίδιο πύλλαρ) επιλέγεται η τροφοδοσία του πύλλαρ με τριφασική παροχή και η ισοκατανομή των φορτίων που προαναφέρθηκαν στις τρεις φάσεις L1(R), L2(S) και L3(T) (Πίνακας 7.2.3).

**Πίνακας 7.2.3: Η ισοκατανομή των φορτίων στις φάσεις.**

α/α	L1(R)	L2(S)	L3(T)
Γ1	0,215 A		
Γ2		0,107 A	
Γ3			0,107 A
Σύνολο	0,215 A	0,107 A	0,107 A

Στο σημείο αυτό θα πραγματοποιηθεί η εκλογή της διατομής των γραμμών. Η ένταση του ρεύματος της γραμμής δεν θα πρέπει να ξεπεράσει την μέγιστη επιτρεπόμενη



ένταση του ρεύματος που αντιστοιχεί στη διατομή που εκλέχτηκε. Ακόμη, η πτώση της τάσης στις γραμμές δεν θα πρέπει να ξεπεράσει να επιτρεπτά όρια, τα οποία αντιστοιχούν στο 4% της τάσης παροχής από το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι σε μονοφασική γραμμή τροφοδοσίας, η πτώση τάσης δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 9,2 V, ενώ σε τριφασική γραμμή τροφοδοσίας δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 16 V. Επίσης, χρησιμοποιείται συντελεστής ταυτοχρονισμού  $g=1$ . Παρακάτω, γίνεται αναλυτικά η εκλογή της διατομής των γραμμών και ο έλεγχος της πτώσης τάσης τους.

- Γραμμή Μετρητή-Πίλλαρ:  $s = 6 \text{ mm}^2$  (αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερη διατομή 1,5τ.χ. – για λόγους εφεδρείας)

$$u_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l \cdot I \cdot g \cdot \cos\varphi}{s} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,0175 \cdot 2,5 \cdot 0,215 \cdot 1 \cdot 1}{6} = 0,0027 < 16V$$

- Γ1 :  $s = 2,5 \text{ mm}^2$

$$u = 2 \cdot \frac{\rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{s} = 2 \cdot \frac{0,0175 \cdot 41 \cdot 0,215 \cdot 1}{2,5} = 0,12V < 9.2V$$

$$u_{\text{ολ}} = u_1 + u = 0,0027 + 0,12 = 0,1227 < 9.2V$$

- Γ2 :  $s = 2,5 \text{ mm}^2$  (αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί διατομή 1,5τ.χ. – για λόγους εφεδρείας)

$$u = 2 \cdot \frac{\rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{s} = 2 \cdot \frac{0,0175 \cdot 38 \cdot 0,107 \cdot 1}{2,5} = 0,06V < 9.2V$$

$$u_{\text{ολ}} = u_1 + u = 0,0027 + 0,06 = 0,0627 < 9.2V$$

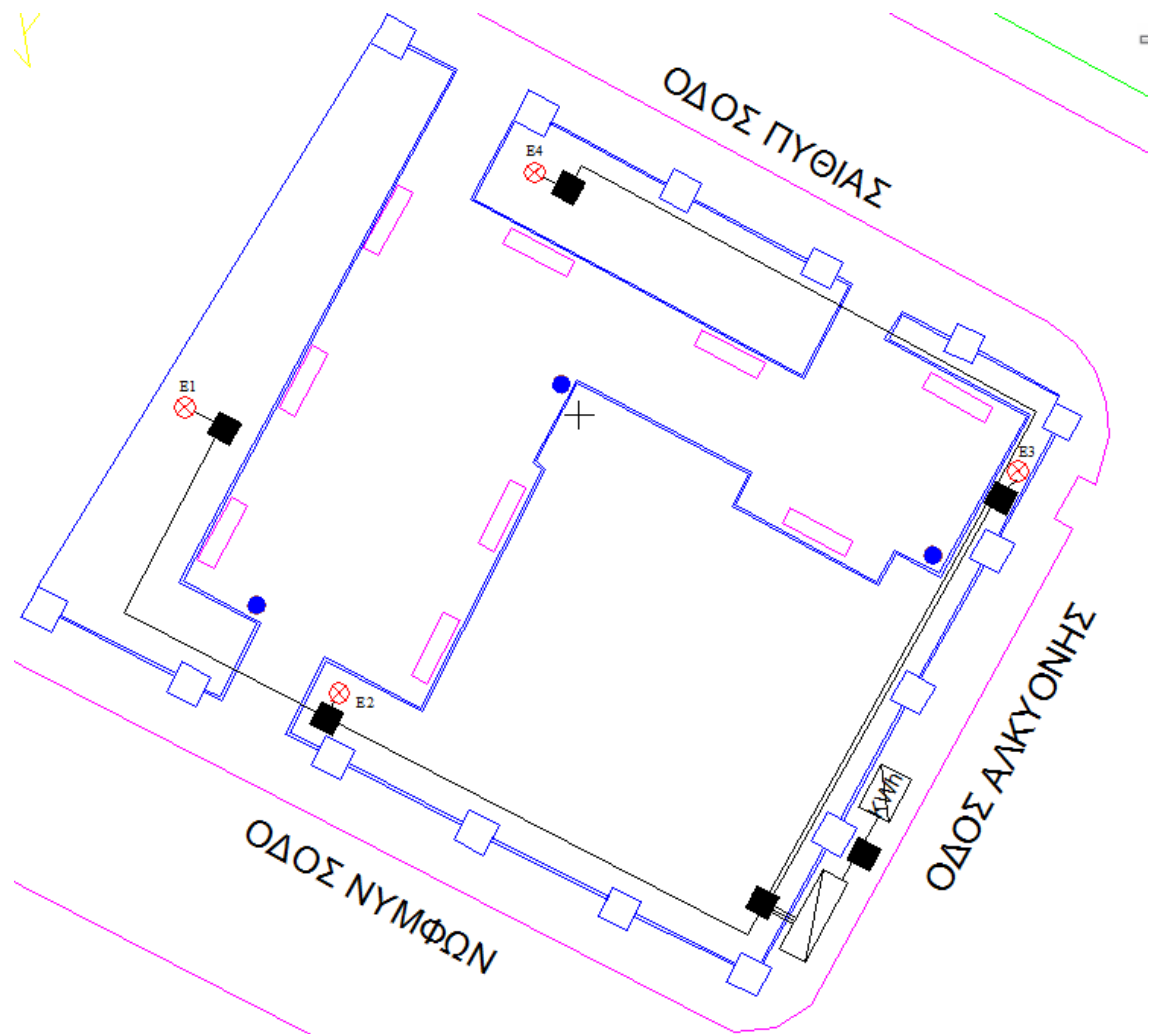
- Γ3 :  $s = 2,5 \text{ mm}^2$  (αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί διατομή 1,5τ.χ. – για λόγους εφεδρείας)

$$u = 2 \cdot \frac{\rho \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{s} = 2 \cdot \frac{0,0175 \cdot 22 \cdot 0,107 \cdot 1}{2,5} = 0,03V < 9.2V$$

$$u_{\text{ολ}} = u_1 + u = 0,0027 + 0,03 = 0,0327 < 9.2V$$





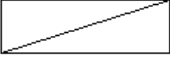

### 7.3 Σχέδιο Πλατείας

Παρακάτω δίνεται το ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο της κάτοψης της πλατείας, το οποίο έχει σχεδιαστεί στο πρόγραμμα σχεδίασης της AutoCADElectrical 2017 (Σχήμα 7.3.1).



Σχήμα 7.3.1: Ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο της κάτοψης της πλατείας.

Στη συνέχεια, δίνονται οι συμβολισμοί του ηλεκτρολογικού μονογραμμικού σχεδίου της κάτοψης της πλατείας, καθώς και η ερμηνεία τους (Σχήμα 7.3.2).

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	
	Φρεάτιο
	Παγκάκι
	Κάδος απορριμμάτων
	Φωτισμός
	Πίλλαρ
	Μετρητής Δ.Ε.Η.

Σχήμα 7.3.2: Οι συμβολισμοί του ηλεκτρολογικού μονογραμμικού σχεδίου της κάτοψης της πλατείας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έδειξε τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η μελέτη εγκατάστασης και η φωτοτεχνική μελέτη σε εξωτερικούς χώρους και συγκεκριμένα στο χώρο μιας πλατείας. Τα ιδανικά επίπεδα φωτισμού, που επιλέχθηκαν για τη πλατεία, προέκυψαν από την ευρωπαϊκή προδιαγραφή CIE 136-2000 (Guide to the lighting of urban areas). Τα επίπεδα αυτά ικανοποιούν τις ανάγκες των χρηστών της πλατείας (πεζούς και ποδηλάτες). Τέλος, όσον αφορά τη φωτοτεχνική μελέτη, παρατηρήθηκε ότι όταν αυξάνεται το ύψος των ιστών τοποθέτησης των φωτιστικών σωμάτων τότε μειώνεται η ένταση φωτισμού του πεζόδρομου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δημόπουλος Ι. Φίλιππος: Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Τόμος Β΄, 1991, Εκδόσεις Δημόπουλος Ι. Φίλιππος
- [2] Δημόπουλος Ι. Φίλιππος: Φωτοτεχνία, Ηλεκτρικές Συσκευές, 1980, Εκδόσεις Δημόπουλος Ι. Φίλιππος
- [3] Δημόπουλος Ι. Φίλιππος: Στοιχεία Ηλεκτρισμού, 1993, Εκδόσεις Δημόπουλος Ι. Φίλιππος
- [4] Φ. Ι. Δημόπουλος: Φωτοτεχνία και Τεχνική του Φωτισμού, 1975, Εκδόσεις Δημόπουλος Ι. Φίλιππος
- [5] Σ. Τουλόγλου, Β. Στεργίου: Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις, 2005, Εκδόσεις ΙΩΝ
- [6] Σ. Τουλόγλου, Εφαρμοσμένη Φωτοτεχνία, 1977, Εκδόσεις ΙΩΝ
- [7] Σ. Τουλόγλου, Ειδικές εγκαταστάσεις Φωτοτεχνίας, 2007, Εκδόσεις ΙΩΝ
- [8] Φ.Β. Τοπαλής, Φωτοτεχνία, 1994, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- [9] Φ.Β. Τοπαλής, Λάμπρος Οικονόμου, Σταυρούλα Κουρτέση: Φωτοτεχνία, 2009, Εκδόσεις Τζιόλα
- [10] Φ.Β. Τοπαλής: Φωτοτεχνία - Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού, 1994, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- [11] Ι. Α. Οικονομόπουλος: Θεωρητική και εφαρμοσμένη Φωτοτεχνία, 1975, Εκδόσεις Philips
- [12] Π. Νικολόπουλου: Φωτοτεχνία, 1985, εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- [13] Α. Τσακίρης: Φωτοτεχνία, 2004
- [14] Ιωαννίδης Χ. Γεώργιος: Σημειώσεις Εργαστηρίου Φωτοτεχνίας, 2014
- [15] ΕΛΟΤ: Εγχειρίδιο Εφαρμογής του Προτύπου ΕΛΟΤΗΔ 384, 2004
- [16] Guide to the lighting of urban areas: CIE 136-2000
- [17] Philips: Catalog Outdoor Luminaires, 2015
- [18] Philips, Application Guide to fluorescent Lamp Control Gear, 2004
- [19] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο: [www.dial.de](http://www.dial.de)
- [20] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο: [www.flashlight.gr](http://www.flashlight.gr)
- [21] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο: [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)
- [22] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο: [www.eur.lighting.philips.com](http://www.eur.lighting.philips.com)
- [23] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο: [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

- [24] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο:  
[https://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring\\_Instruments/4\\_Learning\\_Centre/L\\_D/The\\_language\\_of\\_Light/language\\_of\\_light.pdf](https://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/4_Learning_Centre/L_D/The_language_of_Light/language_of_light.pdf)
- [25] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο:  
[http://www.globalspec.com/learnmore/optics\\_optical\\_components/optoelectronics/lux\\_meters\\_light\\_meters](http://www.globalspec.com/learnmore/optics_optical_components/optoelectronics/lux_meters_light_meters)