



---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»**

---

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*«Φωτισμός Δρόμων και Εξοικονόμηση Ενέργειας»*

**Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή**

Μάριου Δ. Βαλσαμάκη

**Επιβλέπων**

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής,

Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή ΗΜΜΥ, ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2008



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»**

---

**«Φωτισμός Δρόμων και Εξοικονόμηση Ενέργειας»**

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επιβλέπων:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής,  
Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Σχολή ΗΜΜΥ, ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Ιουλίου 2008.

.....  
Φραγκίσκος Τοπαλής  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σταυρούλα Καβατζά  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....  
Μάριος Δ. Βαλσαμάκης  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μάριος Βαλσαμάκης 2008  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

<b>ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:</b>	<b>«Φωτισμός Δρόμων και Εξοικονόμηση Ενέργειας»</b>
<b>ΦΟΙΤΗΤΗΣ:</b>	<b>Μάριος Δ. Βαλσαμάκης</b>
<b>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:</b>	<b>Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή ΗΜΜΥ, ΕΜΠ</b>
<b>ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:</b>	<b>2006-07</b>

## Σύνοψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη του αποδοτικού φωτισμού δρόμων και οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας στον φωτισμό δρόμων. Εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων φθορισμού και των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης που χρησιμοποιούνται για φωτισμό δρόμων και γίνεται σύγκριση της απόδοσής τους. Ακόμα αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων στον φωτισμό των δρόμων.

Εξετάζονται τόσο τα ηλεκτρικά (αρμονικές κλπ) όσο και τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά δύο κεντρικών συσκευών διαβάθμισης ισχύος (dimming) για φωτιστικά φωτισμού δρόμων: INTELUX και E-BOX.

Παρουσιάζεται το Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201 για φωτισμό δρόμων καθώς και το φαινόμενο της θάμβωσης και της φωτορύπανσης και τρόποι αντιμετώπισής τους.

Τέλος το εν λόγω Πρότυπο εφαρμόζεται σε χαρακτηριστικούς δρόμους του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας για τον υπολογισμό του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτούς. Εξετάζονται επίσης με βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (RELUX) πιθανά σενάρια επέμβασης στους υπερφωτισμένους δρόμους για αποδοτικό φωτισμό και εξοικονόμηση ενέργειας.

## Περίληψη

Σήμερα προσδοκούμε από τον εξωτερικό φωτισμό πολύ περισσότερα από το να μας παρέχει απλά τη δυνατότητα να βλέπουμε την νύχτα. Ο φωτισμός δρόμων έχει γίνει ένα απαραίτητο εργαλείο για την ασφάλεια κινήσεως πεζών και οχημάτων έναντι ατυχημάτων, αλλά και για να περιορίσει την εγκληματικότητα. Παράλληλα η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας και η πίεση για μείωση του CO<sub>2</sub>, είναι κάποια από τα κυρίαρχα θέματα που απασχολούν τον κόσμο στις μέρες μας. Οι πόλεις σε όλον τον κόσμο αντικαθιστούν τις παλιές μη-αποδοτικές, χαμηλής ποιότητας και περιβαλλοντικά βλαβερές εγκαταστάσεις φωτισμού με νέες, πιο αποδοτικές και καλύτερης ποιότητας, που σέβονται τον χρήστη και το περιβάλλον.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια πρώτη προσέγγιση της μελέτης αποδοτικού φωτισμού δρόμων και τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας στον φωτισμό δρόμων.

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε οκτώ κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται βασικές γνώσεις φωτοτεχνίας: ο ορισμός των βασικών φωτομετρικών μεγεθών και μονάδων τους, της ενεργειακής φασματικής κατανομής, της χρωματικής απόδοσης μιας φωτεινής πηγής, της θερμοκρασίας χρώματος και του δείκτη χρωματικής απόδοσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των διαφόρων φωτεινών πηγών που χρησιμοποιούνται στον φωτισμό δρόμων, όπως είναι ο λαμπτήρας ατμών υδραργύρου, ο λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ο λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων, ο λαμπτήρας στερεάς κατάστασης (φωτοεκπέμπουσα δίοδος) και ο συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού. Γίνεται σύγκριση της απόδοσης αυτών και αναφορά στα χαρακτηριστικά των ballasts που χρησιμοποιούν. Ακόμα αναφέρεται η φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού σε συνθήκες νυχτερινής οδήγησης (μεσοπική όραση).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέρη και τα κύρια χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων, οι διατάξεις στήριξης αυτών και ο τρόπος διάταξής τους για τον φωτισμό των δρόμων και των πλατειών. Παρουσιάζεται ακόμη η κατηγοριοποίηση IP των φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με την προστασία κατά της εισόδου νερού και ξένων αντικειμένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται προσέγγιση της εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων μέσα από συστήματα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας που πετυχαίνουν διαβάθμιση της ισχύος των φωτιστικών. Παρουσιάζονται οι πηγές εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων και τα διάφορα είδη συστημάτων dimming για λαμπτήρες εκκένωσης. Γίνεται σύγκριση ως προς τα ηλεκτρικά (αρμονικές) και φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά δύο κεντρικών συστημάτων dimming: INTELUX και E-BOX. Πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις αυτών των συστημάτων στο Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του Ε.Μ.Π.. Γίνεται αναφορά σε θέματα ποιότητας ισχύος και ιδιαίτερα στις πηγές και την

επίδραση της αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης και του ρεύματος. Δίνονται τα σχετικά Πρότυπα για την αρμονική παραμόρφωση τόσο της τάσης όσο και του ρεύματος.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στο βασικό Διεθνές Πρότυπο για φωτισμό δρόμων: ΕΛΟΤ CEN/TR 13201. Δίνεται έμφαση σε εκείνα τα σημεία του Προτύπου που εφαρμόστηκαν κατά την μέτρηση του επιπέδου φωτισμού των δρόμων της Νέας Φιλαδέλφειας. Ορίζεται η θάμβωση και η φωτορύπανση και δίνονται τεχνικές αντιμετώπισής τους.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μετρήσεις λαμπρότητας, έντασης φωτισμού και ομοιομορφίας αυτών σε τυπικούς δρόμους του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας, που πραγματοποιήσαν τεχνικοί του Κέντρου Δοκιμών Ερευνών και Προτύπων της ΔΕΗ Α.Ε. σε συνεργασία με το Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του Ε.Μ.Π.. Υπολογίζεται το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας και προτείνονται πιθανές επεμβάσεις (με την βοήθεια του λογισμικού RELUX) σε αντιπροσωπευτικούς δρόμους του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική οικονομική ανάλυση κόστους του φωτισμού δρόμων σε κόστος επένδυσης, κόστος συντήρησης και κόστος ενέργειας.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για εξοικονόμηση ενέργειας και αποδοτικό φωτισμό δρόμων. Λαμβάνονται υπόψη προηγούμενες παράγραφοι που αναφέρονται στην απόδοση, στην θερμοκρασία χρώματος και στον δείκτη χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων, στα φαινόμενα της θάμβωσης και της φωτορύπανσης, στον συντελεστή ισχύος (power factor), στην κατηγοριοποίηση IP και στην σωστή συντήρηση του φωτιστικού.

**POST-GRADUATE THESIS:** «Road lighting and Energy saving»  
**STUDENT:** Marios D. Valsamakis  
**SUPERVISOR:** Frangiskos V. Topalis, Associate Professor,  
ECE School, NTUA  
**ACADEMIC YEAR:** 2006-07

## Abstract

Subject of this post-graduate thesis is the study of efficient road lighting and the possible ways of energy saving in outdoor lighting. We examine the characteristics of fluroscent lamps and these of high intensity discharge lamps that are used in road lighting. Comparison of their efficiency is made. Besides the characteristics of road lighting luminaires are mentioned.

The electrical (harmonics) as well as the photometrical characteristics of two centralized dimming systems for road lighting luminaires are examined: INTELUX and E-BOX.

The European Standard CEN/TR 13201 for road lighting is presented. The glare and photopollution phenomena as well as ways for their restoration are presented.

In the end the European Standard CEN/TR 13201 is applied to typical roads of New Philadelphia municipality in order to estimate the potentiality of energy saving. Possible ways of intervening in overlightened roads are examined from the efficient road lighting and energy saving points of view.

## Summary

Nowadays we expect from outdoor lighting much more than the possibility to see at night. The road lighting has become a necessary tool not only for the safety of pedestrians and drivers, but also for criminality reduction. At the same time, global climate change, rising energy costs and pressure to meet targets on reduction of CO<sub>2</sub> emissions are major issues facing the world today. Cities around the world, replace the old inefficient, of low quality and environmentally harmful lighting systems with new, more efficient and of better quality ones that respect the user and the environment.

In the present post-graduate thesis an initial attempt is made to concern the efficient road lighting and the ways of its energy saving.

The present post-graduate thesis is composed of eight chapters. In first chapter the basic knowledge of photometry is offered: the definition of basic photometric quantities and their units, energy spectral distribution, colour rendering index and colour temperature of a lamp.

In second chapter the way of operation and characteristics of different lamps used in road lighting are presented: such as high pressure mercury vapor lamp, high pressure sodium lamp, metal halide lamp, compact fluroscent lamp and Light-Emmiting Diode (LED). A comparison of their efficiency and the characteristics of their ballasts are mentioned. The human eye's spectral sensitivity in the mesopic region (night-time traffic conditions) is mentioned too.

In third chapter the components and main characteristics of road lighting luminaires, the ways of sustaining and ordering them are presented. The luminaires IP classes (for their dust and water protection) are presented too.

In fourth chapter we examine the energy conservation issues from a lighting control system point of view. The sources from which a lighting control system derives its savings and the different dimming systems available for discharge lamps are presented. The electrical (harmonics) as well as the photometrical characteristics of two centralized dimming systems for road lighting luminaires are examined: INTELUX and E-BOX. Laboratory measurements of these two centralized dimming systems took place in Lightning Laboratory of National Technical University of Athens and are presented here. Power quality issues with emphasis to voltage and current harmonic distortion, its sources and its effects are mentioned. The International Standards of limits for harmonic current and voltage emissions are presented too.

In fifth chapter the European Standard CEN/TR 13201 for road lighting is presented. The definition of glare and photopollution as well as ways for their restoration are given.

In sixth chapter the photometric measurements of luminance, illuminance and their uniformity in typical roads of New Philadelphia municipality are presented. The European Standard CEN/TR 13201 is applied to them in order to estimate the potentiality of energy saving. Possible ways of intervening in overlightened roads are examined from the

efficient road lighting and energy saving points of view. For this purpose we use the software RELUX.

In seventh chapter a concise financial rationale for road lighting is given. The main cost components that are considered are the initial investment, the cost of maintenance and the cost of energy.

In eighth chapter we present recommendations for energy efficient and visually acceptable road lighting. We take into consideration the efficiency, the colour rendering index and colour temperature of lamps, the glare and photopollution prevention, the dimming systems, the power factor, the IP class and the regular maintenance of the luminaires.

## Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Φ. Τοπαλή και τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Κ. Μπουρούση για τις συμβουλές τους κατά την διάρκεια της εργασίας, που υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωσή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή και Αντιπρόεδρο της ΔΕΗ Α.Ε. κ. Ν. Χατζηαργυρίου καθώς και την βοηθό Διευθυντή του Κέντρου Δοκιμών Ερευνών και Προτύπων της ΔΕΗ Α.Ε. κα Βασιλική Λιόλιου για την αμέριστη συμπαράστασή τους και την ενθάρρυνσή τους να ασχοληθώ στα πλαίσια της Διπλωματικής του Μεταπτυχιακού με την πολλά υποσχόμενη περιοχή της εξοικονόμησης ενέργειας.



<b>Περιεχόμενα</b>	<b>Σελ.</b>
<b>1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ</b>	<b>11</b>
1.1 Φωτομετρικά μεγέθη και μονάδες	11
1.2 Ενεργειακή Φασματική Κατανομή	12
1.3 Χρωματική απόδοση φωτεινής πηγής	13
1.4 Θερμοκρασία και Χρώμα	14
1.5 Δείκτης χρωματικής απόδοσης $R_a$ φωτεινής πηγής	14
<b>2. ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ</b>	<b>15</b>
2.1 Είδη φωτεινών πηγών	15
2.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη λαμπτήρων	17
2.3 Λαμπτήρας ατιμών υδραργύρου ( <i>Mercury Vapor Lamps</i> )	18
2.4 Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης	20
2.5 Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων	23
2.6 Λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης	25
2.7 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ( <i>L.E.D.</i> )	27
2.8 Λαμπτήρας Φθορισμού	28
2.9 Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης	33
2.10 Σύγκριση απόδοσης λαμπτήρων	34
2.11 Φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού	36
2.12 Χαρακτηριστικά των <i>ballasts</i>	39
<b>3. ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ</b>	<b>41</b>
3.1 Φωτιστικά σώματα	41
3.2 Διατάξεις στήριξης φωτιστικών σωμάτων	44
3.3 Κατηγοριοποίηση <i>IP</i>	46
3.4 Διάταξη φωτιστικών σωμάτων σε δρόμους	48

<b>4. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ</b>	<b>51</b>
4.1 Πηγές εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων	51
4.2 Συστήματα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων	52
4.2.1 Συστήματα <i>dimming</i> για λαμπτήρες εκκένωσης	53
4.2.2 Εργαστηριακή μελέτη της συμπεριφοράς δύο συστημάτων <i>dimming</i> για φωτισμό δρόμων: <i>INTELUX</i> ΚΑΙ <i>E-BOX</i>	60
4.3 Ποιότητα ισχύος	73
4.3.1 Η αρμονική παραμόρφωση και οι επιπτώσεις της	74
4.3.2 Πηγές των αρμονικών	76
4.3.3 Συνιστώσες ισχύος σε περιβάλλον με αρμονικές συνιστώσες στην τάση και το ρεύμα	77
4.3.4 Επίδραση των αρμονικών συνιστωσών στον υπολογισμό της φαινόμενης ισχύος και του συντελεστή ισχύος, ολική αρμονική παραμόρφωση ( <i>THD</i> )	78
4.3.5 Πρότυπα για την αρμονική παραμόρφωση	80
4.3.6 Μετρήσεις αρμονικών τάσης και ρεύματος δύο συστημάτων <i>dimming</i> ( <i>INTELUX</i> και <i>E-BOX</i> ) για φωτισμό δρόμων	82
<b>5. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ</b>	<b>96</b>
5.1 Γενικά περί φωτισμού δρόμων	96
5.2 Θάμβωση	99
5.3 Τεχνικές αντιμετώπισης της φωτορύπανσης	100
5.4 Πρότυπο <i>ΕΛΟΤ CEN/TR 13201</i> (φωτισμός δρόμων)	105
<b>6. ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ</b>	<b>126</b>
6.1 Μετρήσεις – Υπολογισμός δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας	126
6.2 Μελέτη πιθανών επεμβάσεων	134
<b>7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ</b>	<b>145</b>

<i>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ</i>	<i>147</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΗΜΕΡΟΜΗΣΘΙΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</i>	<i>152</i>
<i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΤΕΙΩΝ</i>	<i>155</i>
<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	<i>156</i>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ

### 1.1 Φωτομετρικά μεγέθη και μονάδες

- Φωτεινή Ισχύς ή Φωτεινή Ροή (Luminous flux) [Lm]

Εκφράζει τη συνολική ποσότητα φωτός που εκπέμπεται ανά δευτερόλεπτο από μία πηγή φωτός. Οι λαμπτήρες χρησιμεύουν για την μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε φωτεινή. Όπως οι ηλεκτρικές συσκευές χαρακτηρίζονται από την ηλεκτρική τους ισχύ, έτσι και οι λαμπτήρες χαρακτηρίζονται από την φωτεινή ροή ή ισχύ που μετριέται σε Lumen (Lm).

Η φωτεινή ροή δεν ακτινοβολείται ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις, αλλά με μικρότερη ή μεγαλύτερη πυκνότητα. Μόνο οι σημειακές πηγές ακτινοβολούν ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις.

- Απόδοση ηλεκτρικής Φωτεινής Πηγής (Luminous efficiency) [Lm/W]

Η απόδοση μιας φωτεινής πηγής εκφράζει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ροής για κάθε Watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Αύξηση των Lumen ανά καταναλισκόμενο Watt σημαίνει υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Δεδομένου της συνεχούς αύξησης του κόστους της ενέργειας, η αύξηση της αναλογίας αυτής γίνεται όλο και πιο σημαντική.

- Φωτεινή Ένταση I (Luminous intensity) [Cd]

Μία φωτεινή πηγή δεν εκπέμπει ομοιόμορφα το φως που παράγει. Είναι επομένως χρήσιμο να οριστεί ένα νέο μέγεθος που θα καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου, το ποσό της Φωτεινής Ροής  $\Phi$  που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Η φωτεινή ένταση I προς μία κατεύθυνση παρατηρήσεως είναι ο λόγος της εξερχόμενης φωτεινής ροής  $\Phi$  από κάποια φωτεινή πηγή (ή στοιχείο της φωτεινής πηγής) διαμέσου ενός κοίλου κώνου απείρως μικρού ανοίγματος, προς την τιμή της στερεάς γωνίας δια την οποία διέρχεται η ροή αυτή, δηλ  $\text{Lm/srd}$ .

Αν η πηγή φωτός δεν παρουσιάζει την ίδια διανομή της φωτεινής εντάσεως προς όλες τις κατευθύνσεις (δεν είναι συμμετρική), τότε δίνεται η διανομή σε περισσότερα από ένα επίπεδα που περνούν από ένα ή περισσότερους άξονες συμμετρίας του φωτιστικού σώματος.

Το πολικό διάγραμμα δίνεται συνήθως για λαμπτήρα φωτεινής ροής 1000 Lm.

- Ένταση Φωτισμού Επιφάνειας E (Illuminance) [Lux]

Η ένταση φωτισμού μιας ετερόφωτης επιφάνειας είναι η φωτεινή ροή που πέφτει στη μονάδα επιφάνειας, δηλ.  $\text{Lm/m}^2$ . Η μέτρηση της έντασης φωτισμού E μιας επιφάνειας γίνεται με το φωτόμετρο. Αυτό αποτελείται από ένα φωτοστοιχείο που συνδέεται με ένα μιλλιβολτόμετρο. Το μέγεθος της αναπτυσσόμενης ΗΕΔ στα άκρα του φωτοστοιχείου, άρα και η ένδειξη του μιλλιβολτομέτρου, εξαρτώνται από την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του φωτοστοιχείου του οργάνου.

- Λαμπρότητα (Luminance) [ $\text{Cd/m}^2$ ]

Ορίζεται με το πηλίκο της Φωτεινής Έντασης I της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν S της επιφάνειας της πηγής το οποίο βλέπει ο παρατηρητής. Περιγράφει δηλαδή το φως το οποίο εκπέμπεται από μία περιοχή προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η λαμπρότητα αποτελεί βασικό μέγεθος της φωτοτεχνίας καθώς προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι το αίσθημα της φωτεινότητας των διαφόρων αντικειμένων. Τα διάφορα αντικείμενα διακρίνονται από την λαμπρότητα με την οποία ακτινοβολούν το φως προς την κατεύθυνση του παρατηρητή. Δεν έχει καμία σημασία αν η επιφάνεια είναι αυτόφωτη (εκπέμπει φως) ή ετερόφωτη (δέχεται φως που είτε το ανακλά είτε το διαχέει).

Παρατηρώντας δύο φωτεινές μη σημειακές πηγές που έχουν την ίδια φωτεινή ένταση I αλλά διαφορετικές διαστάσεις, θα διαπιστώσουμε ότι η πηγή που έχει την μικρότερη επιφάνεια δίνει την εντύπωση ότι είναι λαμπρότερη από την άλλη. Καθορίζεται έτσι ένα νέο μέγεθος, χαρακτηριστικό της φωτοβολούσας επιφάνειας, η λαμπρότητα, που ορίζεται σαν το πηλίκο της έντασης I της φωτεινής πηγής προς την επιφάνεια αυτής.

Υψηλές τιμές λαμπρότητας προκαλούν θάμβωση (glare), η οποία επηρεάζει την ικανότητα της όρασης. Μερικές φωτεινές πηγές έχουν τόσο μεγάλη λαμπρότητα, ώστε να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρά μόνο μέσα σε κατάλληλους διαφανείς κώδωνες.

## 1.2 Ενεργειακή Φασματική Κατανομή

Το φως αποτελείται από ένα μίγμα ακτινοβολιών, τα χρώματα (μονοχρωματικές ακτινοβολίες) που γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι και έχουν μήκη κύματος από 380nm έως 760nm καθώς μεταβάλλονται από το μωβ χρώμα (380-420nm) προς το κόκκινο χρώμα (630-760nm) όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-1:

<u>Color</u>	<u>Wavelength (nm)</u>
<u>Red</u>	<u>760 - 630</u>
<u>Orange</u>	<u>630 - 590</u>
<u>Yellow</u>	<u>590 - 560</u>
<u>Green</u>	<u>560 - 490</u>
<u>Blue</u>	<u>490 - 440</u>
<u>Indigo</u>	<u>440 - 420</u>
<u>Violet</u>	<u>420 - 380</u>

*Πίνακας 1-1: Μήκη κύματος μονοχρωματικών ακτινοβολιών*

Το χρώμα δηλ. που γίνεται αντιληπτό από το μάτι υπάρχει μέσα στο φως που το μάτι το βλέπει άχρωμο. Οι διάφορες αποχρώσεις των σωμάτων που βλέπουμε γύρω μας δε σημαίνει ότι ζούμε σε έναν κόσμο έγχρωμων αντικειμένων, παρά μόνο ότι οι επιφάνειες αυτών ανακλούν ένα ορισμένο τμήμα από το φως που τις φωτίζει. Το φως των διαφόρων φωτεινών πηγών ποικίλει σε ποσοστό χρωματικής ακτινοβολίας που περιέχει. Αυτό καθορίζεται από την ενεργειακή φασματική κατανομή του.

### **1.3 Χρωματική απόδοση φωτεινής πηγής**

Η ύλη απορροφά, ολικά ή μερικά, διάφορα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω της και ανακλά τα υπόλοιπα. Ο συντελεστής απορροφήσεως και ο συντελεστής ανακλάσεως ενός υλικού δεν είναι ίδιος για όλα τα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα η ενεργειακή φασματική κατανομή του φωτός, το οποίο μετά την ανάκλαση προσπίπτει στο ανθρώπινο μάτι, να είναι διάφορος της ενεργειακής φασματικής κατανομής του φωτός που φωτίζει το αντικείμενο.

Για να αποδώσει σωστά μια επιφάνεια το χρώμα της πρέπει το φως που θα τη φωτίσει να περιέχει όλα τα μήκη κύματος των ακτινοβολιών σε σωστή αναλογία. Το ηλιακό φως έχει αυτή την ιδιότητα, ενώ το τεχνικό φως που προέρχεται από λαμπτήρες υστερεί λίγο ή πολύ σ' αυτό.

Πρωταρχικό ρόλο στην πιστότητα απόδοσης ενός χρώματος έχει η ενεργειακή κατανομή της φωτεινής πηγής. Ένα αντικείμενο που φωτίζεται χωριστά από δύο πηγές με διαφορετική ενεργειακή φασματική κατανομή μπορεί να δίνει το ίδιο χρωματικό αίσθημα αλλά κατά τελείως διαφορετικό τρόπο.

## 1.4 Θερμοκρασία και Χρώμα

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

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

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

## 1.5 Δείκτης χρωματικής απόδοσης $R_a$ φωτεινής πηγής

Ο δείκτης αυτός καθορίζει την πυκνότητα με την οποία το φως μιας φωτεινής πηγής αποδίδει τα χρώματα σε σύγκριση με άλλη πηγή που θεωρείται πρότυπη. Η σύγκριση δύο πηγών με κριτήριο το δείκτη χρωματικής απόδοσης δεν μπορεί να γίνει παρά μόνο όταν οι δύο πηγές έχουν την ίδια θερμοκρασία χρώματος. Άρα ο δείκτης  $R_a$  έχει σχετική (όχι απόλυτη) έννοια όταν λαμβάνεται σαν πηγή αναφοράς το μέλαν σώμα στους  $3000^\circ \text{K}$ , όπου ο δείκτης  $R_a$  είναι ίσος με 100.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

## ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

### 2.1 Είδη φωτεινών πηγών

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τεχνητού φωτός διακρίνουμε δύο κατηγορίες φωτεινών πηγών:

- Πυρακτώσεως, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην πυράκτωση νήματος με βάση το νόμο του Joule. Δεν χρειάζονται βοηθητικές διατάξεις για να λειτουργήσουν.
- Εκκενώσεως, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στα φαινόμενα εκκενώσεως. Το φως προέρχεται από τον ιονισμό και τη διέγερση ατόμων του στοιχείου που βρίσκεται μέσα στον λαμπτήρα και το οποίο δίνει την ονομασία του στον λαμπτήρα π.χ. λαμπτήρας υδραργύρου, νατρίου κ.τ.λ.

Ανάλογα με την πίεση που επικρατεί στον θάλαμο εκκενώσεως διακρίνουμε τους λαμπτήρες εκκενώσεως σε:

- Λαμπτήρες Υψηλής Πίεσεως, στους οποίους επικρατεί πίεση περίπου 200mm Hg
- Λαμπτήρες Χαμηλής Πίεσεως, στους οποίους επικρατεί πίεση περίπου 5-10mm Hg.

Η διέγερση του αερίου παρουσιάζει σημαντικές λειτουργικές διαφορές σε σύγκριση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, και ιδιαίτερα ότι παρουσιάζουν «αρνητική αντίσταση» της εκκένωσης αερίου. Γι' αυτό για να λειτουργήσουν οι λαμπτήρες εκκενώσεως πρέπει να συνδέσουμε σε σειρά στο κύκλωμά τους μια διάταξη γνωστή ως στραγγαλιστικό πηνίο ή ballast. Εξαίρεση του κανόνα αποτελούν μόνο οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης στους οποίους αντί στραγγαλιστικού πηνίου χρησιμοποιείται αυτομετασχηματιστής.

Τα ballast γενικά παρέχουν αρκετές λειτουργίες που καθιστούν δυνατή την ομαλή λειτουργία των λαμπτήρων εκκένωσης. Μία από αυτές τις λειτουργίες είναι η εξασφάλιση επαρκούς τάσης για την έναυση του τόξου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα, δηλαδή την εκκένωση του αερίου. Για πολλούς τύπους λαμπτήρων η απαιτούμενη τάση έναρξης της εκκένωσης είναι πιο υψηλή από την τάση του δικτύου και για τον λόγο αυτόν το ballast θα πρέπει να μετασχηματίσει την τάση στο αναγκαίο επίπεδο. Μία δεύτερη λειτουργία του είναι να περιορίσει το ρεύμα μετά την αποκατάσταση της εκκένωσης. Εξαιτίας της αρνητικής χαρακτηριστικής αντίστασης του λαμπτήρα, με την μείωση της αντίστασης του αερίου, το ρεύμα θα αυξανόταν συνέχεια κάτω από ανεξέλεγκτες συνθήκες. Για τον λόγο αυτό, το ballast επίσης λειτουργεί σαν αντίσταση για τον περιορισμό του ρεύματος μετά την δημιουργία του τόξου.

Τα ballasts διακρίνονται σε ηλεκτρομαγνητικά και σε ηλεκτρονικά υψηλής συχνότητας και χαμηλής συχνότητας. Τα τελευταία διακρίνονται σε κανονικά (standard) και ρυθμιζόμενα (dimnable).



Η διάρκεια ζωής και η φωτεινή ισχύς του λαμπτήρα βασίζονται στην κατάλληλη επιλογή του ballast το οποίο θα πρέπει να παρέχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Ο βοηθητικός εξοπλισμός καταναλώνει ισχύ και κατά συνέπεια ο συνολικός λόγος Lm/W μειώνεται κάτω από το αντίστοιχο λόγο που καθορίζεται από την κατανάλωση ισχύος μόνο του λαμπτήρα.

Διάκριση θα πρέπει να γίνεται μεταξύ των ballasts κυκλώματος υστέρησης (lag circuit) και κυκλώματος οδήγησης (lead circuit). Το στοιχείο περιορισμού ενός κυκλώματος υστέρησης είναι μία επαγωγική αντίσταση εν σειρά με τον λαμπτήρα. Στην άλλη περίπτωση τον ρόλο αυτό παίζει επαγωγική και χωρητική αντίσταση πάλι εν σειρά με τον λαμπτήρα. Εντούτοις, η καθαρή αντίσταση των κυκλωμάτων είναι χωρητική σε ballast για λαμπτήρες υδραργύρου και μεταλλικών αλογονιδίων και επαγωγική σε ballast για λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης.

Η μέση ονομαστική διάρκεια ζωής ορίζεται σαν τον χρόνο μετά τον οποίο το 50% μιας μεγάλης ομάδας λαμπτήρων είναι ακόμα σε λειτουργία. Η διαδικασία αυτή προδιαγράφει κύκλους λειτουργίας 11 ωρών και μιάς ώρας εκτός λειτουργίας. Στους λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης, η αρχική φωτεινή ισχύς ορίζεται στις 100 ώρες λειτουργίας.

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

## 2.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη λαμπτήρων

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των λαμπτήρων είναι τα ακόλουθα:

1. Ονομαστική τάση λειτουργίας: η τάση του δικτύου στο οποίο θα συνδεθεί ο λαμπτήρας.
2. Ονομαστική ισχύς: η καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύς σε Watt.
3. Φωτεινή Ροή: η συνολική φωτεινή ροή του λαμπτήρα σε Lumens που μετριέται στους 25°C.

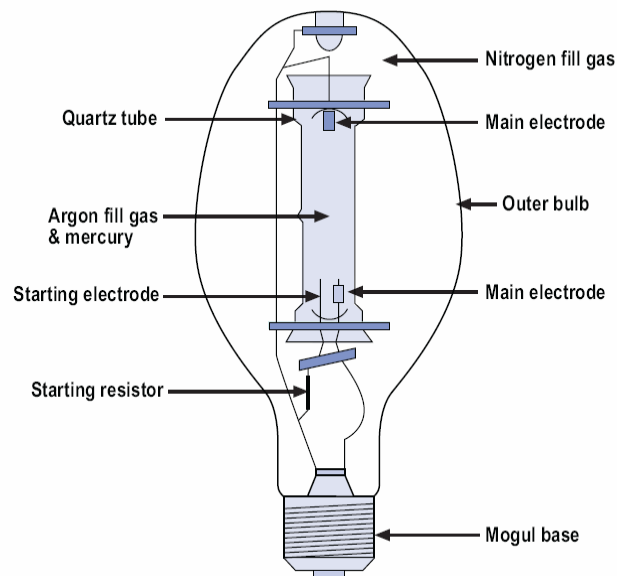
Από τα μεγέθη 2 και 3 προκύπτει η απόδοση του λαμπτήρα, καθοριστικό στοιχείο της οικονομικής λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, ο λόγος της φωτεινής ροής του λαμπτήρα προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική του ισχύ προσδιορίζει την απόδοσή του. Η απόδοση του συστήματος της φωτεινής πηγής περιλαμβάνει επίσης την καταναλισκόμενη ισχύ του ballast.

Εκτός από τα παραπάνω μεγέθη που δίνονται στον χρήστη, ο μελετητής χρειάζεται και τα παρακάτω στοιχεία για έναν λαμπτήρα:

1. Χρόνος ζωής του λαμπτήρα (ο χρόνος στον οποίο οι μισοί λαμπτήρες στατιστικά λειτουργούν ακόμα λαμβάνοντας υπόψη την πτώση της φωτεινής τους ροής).
2. Θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα.
3. Χρωματικός δείκτης του λαμπτήρα.
4. Φάσμα εκπομπής.
5. Φωτεινή ένταση.
6. Διαστάσεις.
7. Ένταση του ρεύματος λειτουργίας σε συνδυασμό με τις χρησιμοποιούμενες στραγγαλιστικές διατάξεις.
8. Η δυνατότητα διαβάθμισης της ισχύος του λαμπτήρα. Όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως με αλογόνα, έτσι και όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού και οι compact λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να υποστούν διαβάθμιση της ισχύος τους (dimmed) σχεδόν σε όλο το εύρος από 100% έως 0%. Όμως οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων δεν συνίστανται από τους κατασκευαστές για διαβάθμιση της ισχύος τους επειδή αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του φωτός τους και στην διάρκεια της ζωής τους. Η ισχύς των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και αυτή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου μπορεί να διαβαθμιστεί αλλά μόνο σε διακριτά επίπεδα.
9. Ο τρόπος τοποθέτησης (π.χ. οριζόντια, κατακόρυφα) του λαμπτήρα. Για ορισμένους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων μόνο ορισμένη θέση λειτουργίας επιτρέπεται για να αποφευχθεί ασταθής κατάσταση λειτουργίας. Οι compact λαμπτήρες φθορισμού μπορούν συνήθως να χρησιμοποιηθούν σε κάθε θέση, αν και ορισμένες σημαντικές ιδιότητές τους όπως η χαρακτηριστική της φωτεινής ροής τους με την θερμοκρασία μπορεί να εξαρτάται από την θέση αυτή.

## 2.3 Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου (Mercury Vapor Lamps)

Αρχή λειτουργίας: Το φως παράγεται από την δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ατμών υδραργύρου, ενώ η έναυση διευκολύνεται από την ύπαρξη αερίου αργού σε ιονισμένη μορφή. Το αρχικό τόξο δημιουργείται από τον ιονισμό του αργού, ενώ η παραγόμενη από αυτό θερμότητα προκαλεί την εξάτμιση του υδραργύρου, και αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου να εξατμιστεί όλη η ποσότητα υδραργύρου. Η ποσότητα του υδραργύρου εντός του λαμπτήρα θα καθορίσει ουσιαστικά την τελική πίεση λειτουργίας, η οποία κυμαίνεται από 200 έως 400 kPa, στην πλειοψηφία των λαμπτήρων.

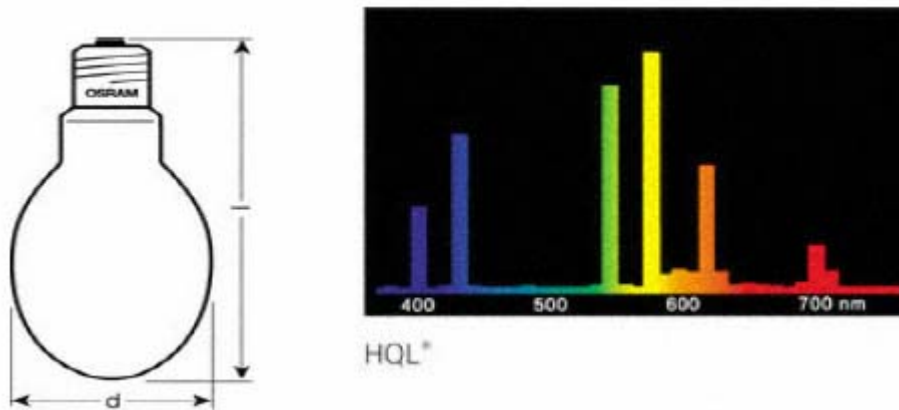


Σχήμα 2-1: Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου έχουν γενικά μεγάλη μέση διάρκεια ζωής. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως τύπου οξειδίου μετάλλου, στα οποία το υλικό εκπομπής, αποτελούμενο από αρκετά οξείδια μετάλλων, είναι εμποτισμένο μέσα σε σπειροειδές σύρμα βολφραμίου. Τα ηλεκτρόδια θερμαίνονται στην κατάλληλη θερμοκρασία εκπομπής ηλεκτρονίων από την ενέργεια του τόξου. Κατά την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα αυτό το υλικό εξατμίζεται αργά και διασκορπίζεται στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα του τόξου. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός λευκού κατάλοιπου στην εσωτερική επιφάνεια το οποίο σταδιακά μαυρίζει. Έπειτα φθείρονται τα ηλεκτρόδια και ο λαμπτήρας σταματάει να ανάβει.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, συνήθως κατασκευάζονται με δύο εσωτερικούς σωλήνες, στον εσωτερικό περιέχεται το τόξο, ενώ ο εξωτερικός, ο οποίος είναι κατακλυσμένος από αδρανές αέριο για προστασία από την διάβρωση, προστατεύει το τόξο, παρέχει εσωτερική επιφάνεια για τα επιχρίσματα των φωσφόρων και φιλτράρει ορισμένα μήκη κύματος από την ακτινοβολία του τόξου (UV-B, UV-C).

Γενικά, υψηλότερη πίεση λειτουργίας τείνει να μετακινήσει σε μεγαλύτερα μήκη κύματος μεγαλύτερα ποσοστά της ακτινοβολίας. Σε πολύ υψηλές πιέσεις υπάρχει επίσης μια τάση εξάπλωσης του φάσματος σε μεγαλύτερες ζώνες. Μέσα στην ορατή περιοχή, το φάσμα αποτελείται από πέντε μήκη (404.7, 435.8, 546.1, 577, 579 nm) τα οποία παράγουν φως χρώματος πράσινο-μπλε με απόδοση που κυμαίνεται από 30-65 lm/W, χωρίς τις απώλειες του ballast. Ένα σημαντικό τμήμα από την ακτινοβολούμενη ενέργεια είναι μέσα στην υπεριώδη περιοχή. Οι φωσφορικές επικαλύψεις στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού σωλήνα μετατρέπουν αυτήν την ενέργεια σε ορατό φως.



*Σχήμα 2-2: Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου φωσφορούχου επίστρωσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του.*

Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι λαμπτήρες αυτού του τύπου είναι καλυμμένοι με φώσφορο που εκπέμπει ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (πορτοκαλοκόκκινο). Έτσι βελτιώνεται η απόδοση και ο προσδιορισμός των χρωμάτων. Ο φώσφορος μπορεί να αναμιχθεί με άλλα στοιχεία ώστε να παράγει πιο ψυχρά ή πιο θερμά χρώματα.

Μερικά είδη λαμπτήρων υδραργύρου με δύο ηλεκτρόδια και κάποιιο φωτοχημικοί τύποι απαιτούν μια υψηλή τάση ανοιχτοκύκλωσης για να ιονιστεί το αέριο αργό και να επιτραπεί ο σχηματισμός τόξου. Στις πιο κοινές λάμπες με τρία ηλεκτρόδια, ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο έναυσης που τοποθετείται κοντά σε ένα από τα κύρια ηλεκτρόδια δίνει τη δυνατότητα έναυσης σε χαμηλότερη τάση. Αρχικά δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο έναυσης, το οποίο συνδέεται με το απέναντι ηλεκτρόδιο με μία αντίσταση, και το παρακείμενο κύριο ηλεκτρόδιο. Έτσι προκαλείται μια εκπομπή ηλεκτρονίων που αναπτύσσει μια τοπική εκκένωση και ιονίζει το αέριο έναυσης. Τότε αρχίζει να δημιουργείται τόξο ανάμεσα στα κύρια ηλεκτρόδια. Ο υδράργυρος εξατμίζεται βαθμιαία από την θερμότητα του τόξου.

Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας το τόξο αλλάζει και η λάμψη του γίνεται από γαλαζωπή που είναι του αργού σε κυανοπράσινη που είναι του υδραργύρου, αυξάνοντας βαθμιαία την φωτεινότητα. Τη στιγμή που δημιουργείται το τόξο, η τάση της λάμπας είναι χαμηλή. Οι κανονικές

τιμές λειτουργίας επιτυγχάνονται μετά από μερικά λεπτά που διαρκεί η περίοδος προθέρμανσης, κατά την διάρκεια της οποίας η τάση αυξάνει μέχρι να σταθεροποιηθεί η πίεση του αερίου. Τότε ο υδράργυρος είναι πλήρως εξατμισμένος.

Σε περίπτωση που το τόξο εξαφανιστεί, ο λαμπτήρας δεν θα ξανανάψει μέχρι αυτός να ψυχθεί επαρκώς και μειωθεί η πίεση του αερίου σε ένα σημείο όπου το τόξο θα δημιουργηθεί υπό την κατάλληλη τάση. Ο απαιτούμενος χρόνος από την αρχική έναυση μέχρι την πλήρη φωτεινή απόδοση σε κοινή θερμοκρασία δωματίου, χωρίς να εσωκλειστεί ο λαμπτήρας, κυμαίνεται από 3 έως 7 λεπτά, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα. Αυτός είναι και ο χρόνος επανέναυσης (restriking time) δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την ψύξη του λαμπτήρα πριν την εκ νέου έναυση.

Οι απώλειες στα ballast είναι συνήθως της τάξης του 15% της ισχύος του λαμπτήρα, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα και του ballast.

Η μορφή των λαμπτήρων υδραργύρου που υπάρχουν στο εμπόριο μπορεί να είναι είτε τύπου κώδωνα είτε τύπου επιμήκους σωλήνα.

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

## 2.4 Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης

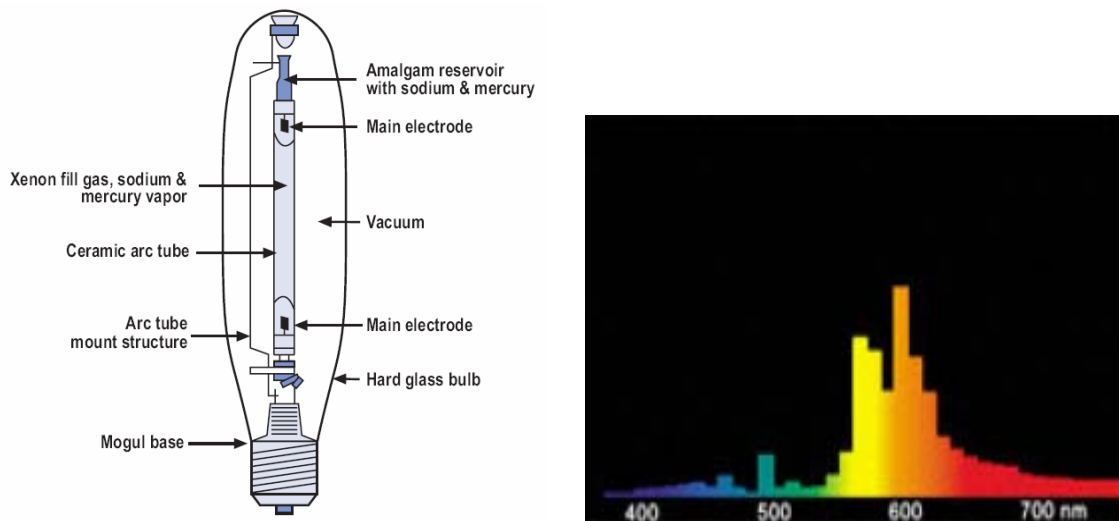
Αρχή λειτουργίας: Το φως παράγεται από την δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ατμού νατρίου. Κατασκευάζονται από δύο σωλήνες, ο εσωτερικός όπου παράγεται το τόξο είναι από πολυκρυσταλλική αλουμίνα, ανθεκτική στην προσβολή από νάτριο σε υψηλές θερμοκρασίες με υψηλό σημείο τήξης. Περιέχει ξένο για την έναυση και μικρή ποσότητα υδραργύρου-νατρίου το οποίο μερικώς εξατμίζεται όταν ο λαμπτήρας φτάσει την θερμοκρασία λειτουργίας. Ο εξωτερικός σωλήνας είναι κενός και χρησιμεύει για να εμποδίσει χημική προσβολή από τα μεταλλικά τμήματα του σωλήνα τόξου καθώς και να διατηρεί την θερμοκρασία.

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλο το ορατό φάσμα, κυρίως όμως μεταξύ 550 και 650 nm, σε αντίθεση με αυτούς της χαμηλής πίεσης που εκπέμπουν κυρίως στα 589 nm. Αυξάνοντας την πίεση του νατρίου, πρακτικά αυξάνεται το ποσοστό της ακτινοβολίας σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Όμως η διάρκεια ζωής και η απόδοση μειώνονται.

Εξαιτίας της μικρής διαμέτρου του σωλήνα τόξου, δεν περιλαμβάνεται ηλεκτρόδιο έναυσης όπως στους λαμπτήρες υδραργύρου. Αντί αυτού, παρέχεται ένας παλμός υψηλής τάσης και συχνότητας για την έναυση. Κάποιοι λαμπτήρες χρησιμοποιούν μια διαφορετική σύνθεση αερίων (αργό και

νέον που απαιτούν χαμηλότερη τάση έναυσης από ότι κάθε αέριο ξεχωριστά) και μια βοηθητική διάταξη στο εσωτερικό του εξωτερικού σωλήνα.

Καθώς οι λαμπτήρες νατρίου δεν περιλαμβάνουν ηλεκτρόδιο έναυσης παρέχεται παλμός υψηλής τάσης και συχνότητας για τον ιονισμό του ξένον. Αφού γίνει η έναυση, ο λαμπτήρας θερμαίνεται μέχρι να φτάσει την πλήρη φωτεινότητα σε περίπου 10 λεπτά, κατά την διάρκεια των οποίων το χρώμα μεταβάλλεται.



Σχήμα 2-3: Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του.

Επειδή η πίεση λειτουργίας των λαμπτήρων είναι χαμηλότερη από αυτή των λαμπτήρων υδραργύρου, ο χρόνος επανέναυσης είναι μικρότερος. Η επανέναυση θα γίνει σε λιγότερο από 1 λεπτό και η προθέρμανσή του σε 3 με 4 λεπτά.

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης χρησιμοποιούν παρόμοια ηλεκτρόδια με αυτά των λαμπτήρων υδραργύρου. Το γεγονός αυτό συνδυαζόμενο με την μικρότερη διάμετρο του σωλήνα του τόξου δίνει στους λαμπτήρες αυτούς εξαιρετική διατήρηση της φωτεινής ροής.

Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης περιορίζεται από μια ελαφριά αύξηση της τάσης λειτουργίας που συμβαίνει με το πέρασμα του χρόνου. Αυτή η αύξηση προκαλείται κυρίως από το μαύρισμα του γυαλιού εξαιτίας των εκπομπών του ηλεκτροδίου. Το μαύρισμα αυτό απορροφά ακτινοβολία, η οποία θερμαίνει τα άκρα του γυαλινού περιβλήματος και εξατμίζει επιπρόσθετη ποσότητα νατρίου. Έτσι αυξάνεται η πίεση και κατά συνέπεια και η τάση λειτουργίας. Άλλοι λόγοι που προκαλούν την αύξηση της τάσης είναι η διάχυση του νατρίου από τα στεγανοποιημένα άκρα του σωλήνα και η είσοδος σκόνης και ακαθαρσιών μέσα στον σωλήνα. Όταν το ballast δεν μπορεί πλέον να τροφοδοτήσει τάση επαρκή για την επανέναυση του τόξου κατά την διάρκεια κάθε μισού ηλεκτρικού κύκλου, ο λαμπτήρας θα σβήσει. Όταν κρυώσει θα ανάψει ξανά και θα ζεσταθεί μέχρι εκείνο το σημείο που η τάση θα αυξηθεί τόσο που το ballast δεν

θα μπορεί να την υποστηρίξει. Ο κύκλος αυτός θα επαναλαμβάνεται μέχρι να αφαιρεθεί ο λαμπτήρας.

Η ονομαστική μέση διάρκεια ζωής των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης φτάνουν τις 32,000 ώρες ανάλογα με το σχεδιασμό του λαμπτήρα.

Σε αντίθεση με τους λαμπτήρες υδραργύρου και μεταλλικών αλογονιδίων, οι οποίοι έχουν τάση σχετικά σταθερή όταν μεταβάλλεται η ισχύς, οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης έχουν τάση που μεταβάλλεται με την ισχύ. Γι'αυτό έχουν καθοριστεί οι παράμετροι λειτουργίας για μέγιστη και ελάχιστη ισχύ.

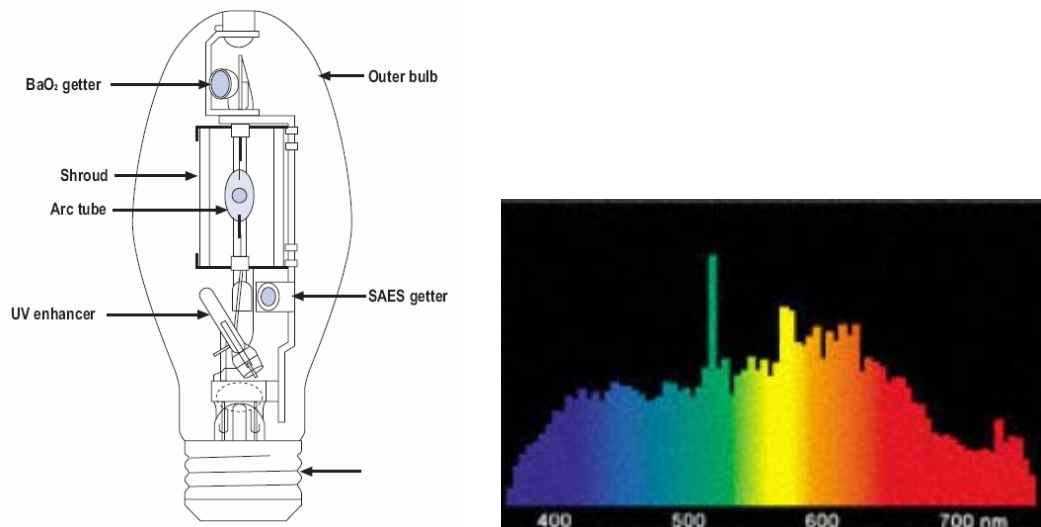
Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου προκαλούν την λιγότερη θάμβωση σε σχέση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται για φωτισμό δρόμων. Επίσης η οπτική αντίληψη αυξάνεται λόγω του μονοχρωματικού κυρίως φωτός που εκπέμπουν. Τα πλεονεκτήματα του κίτρινου χρώματος όσον αφορά την όραση σε ομιχλώδη καιρό είναι πολύ φανερά στους οδηγούς.

Για τους παραπάνω λόγους οι λαμπτήρες ατμών νατρίου είναι ιδιαίτερα εύχρηστοι στο φωτισμό πόλεων, αεροδρομίων, λιμενοβραχιόνων κ.τ.λ.

## 2.5 Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων

Μοιάζουν πολύ κατασκευαστικά με τους λαμπτήρες υδραργύρου. Η μεγαλύτερη διαφορά είναι ότι ο σωλήνας του τόξου μεταλλικών αλογονιδίων εμπεριέχει διάφορα μεταλλικά αλογονίδια επιπρόσθετα με τον υδράργυρο και το αργό. Όταν ο λαμπτήρας φτάσει την τελική θερμοκρασία λειτουργίας, τα μεταλλικά αλογονίδια στο σωλήνα εξατμίζονται μερικώς. Όταν οι ατμοί των αλογονιδίων πλησιάσουν την υψηλή θερμοκρασία του κεντρικού πυρήνα της εκκένωσης, διασπώνται σε αλογονίδια και μέταλλα, όπου τα τελευταία ακτινοβολούν το φάσμα τους. Καθώς τα άτομα των αλογονιδίων και των μετάλλων κινούνται πλησίον του ψυχρότερου τοιχώματος του σωλήνα, επανενώνονται και ξεκινά ξανά ο κύκλος.

Σε σύγκριση με τους λαμπτήρες υδραργύρου, η απόδοση αυτών των λαμπτήρων είναι σημαντικά βελτιωμένη, η οποία κυμαίνεται στα επίπεδα του 75-125 Lm/W, χωρίς τις απώλειες του ballast.



Σχήμα 2-4: Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του.

Σχεδόν όλα τα είδη των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με «λευκό» φως παράγουν απόδοση χρώματος εξίσου καλή ή και ανώτερη από αυτή που παράγουν οι λαμπτήρες υδραργύρου με κάλυμμα φωσφόρου.

Τα ακτινοβολούντα μέταλλα στις λάμπες αυτές έχουν χαρακτηριστικά εκπομπής που είναι φασματικά επιλεκτικά. Μερικά μέταλλα παράγουν κυρίως ορατή ακτινοβολία σε ένα μόνο μήκος κύματος, ενώ άλλα παράγουν πλήθος διακριτών μηκών κύματος. Ακόμα άλλα παράγουν ένα συνεχόμενο φάσμα ακτινοβολίας. Προκειμένου να πετύχουμε ένα πλήρες και ισορροπημένο φάσμα



χρησιμοποιούνται μίγματα μεταλλικών αλογονιδίων. Χρησιμοποιούνται δύο βασικοί συνδυασμοί αλογόνων: (1) σκανδίου και νατρίου και (2) δυσπρόσιου, όλμιου και θούλιου. Μπορούν να παραχθούν επιλεγμένα χρώματα με την τεχνική των μεταλλικών αλογονιδίων. Χρησιμοποιείται νάτριο για πορτοκαλί, θάλλιο για πράσινο, ίνδιο για μπλέ και σίδηρος για υπεριώδες. Η απόδοση και η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα είναι βελτιωμένη για λαμπτήρες σκάνδιου και νατρίου. Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων είναι επίσης διαθέσιμοι και με επικάλυψη φωσφόρου στο εξωτερικό περίβλημα για επιπρόσθετη ρύθμιση του χρώματος, και γενικά για μείωση της θερμοκρασίας χρώματος του λαμπτήρα.

Η μέθοδος για την εκκίνηση των περισσότερων λαμπτήρων κάτω των 150W αυτού του τύπου, είναι ίδιος με αυτόν των λαμπτήρων υδραργύρου. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της παρουσίας του αλογονιδίου, απαιτείται υψηλότερο επίπεδο τάσης έναυσης σε σύγκριση με τους λαμπτήρες υδραργύρου. Λόγω των εξαιρετικά μικρών διαστάσεων του σωλήνα τους, οι λαμπτήρες κάτω από 175W δεν χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια έναυσης. Αυτοί οι λαμπτήρες απαιτούν ειδικά κυκλώματα ballasting τα οποία περιλαμβάνουν μια ηλεκτρονική συσκευή που παράγει παλμούς υψηλής τάσης για την έναυση του λαμπτήρα. Συγκεκριμένα μοντέλα λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων, όμως, μπορούν να λειτουργήσουν με ballasts λαμπτήρων υδραργύρου σε ειδικές περιπτώσεις.

Καθώς ο λαμπτήρας θερμαίνεται, θα παρατηρηθούν αλλαγές στον χρωματισμό, οφειλόμενες στην εξαίτηση κάθε φορά των διαφόρων αλογονιδίων, μέχρι να φτάσει το χρώμα και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ισορροπίας μετά από 2-10 λεπτά, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα.

Καθώς αυτός ο τύπος λαμπτήρα λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τον λαμπτήρα υδραργύρου, ο χρόνος ψύξης και μείωσης της πίεσης του ατμού είναι γενικά μεγαλύτερος. Για τον λόγο αυτό ο χρόνος επανέναυσης (restriking time) μπορεί να φτάσει τα 15 λεπτά.

Η χημική αντίδραση μεταξύ της ιωδίνης στο εσωτερικό του λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων και του υλικού εκπομπής των ηλεκτροδίων των λαμπτήρων υδραργύρου, εμποδίζει την χρήση των ηλεκτροδίων των λαμπτήρων υδραργύρου σε λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων. Επειδή τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων εξατμίζονται πιο γρήγορα από αυτά των λαμπτήρων υδραργύρου, η διάρκεια ζωής είναι πιο μικρή.

Η μέση διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων κυμαίνεται από 7,500 έως 20,000 ώρες.

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων είναι οι πλέον κατάλληλοι για απόδοση λευκού χρώματος. Είναι σωληνωτού ή αχλαδωτού σχήματος.

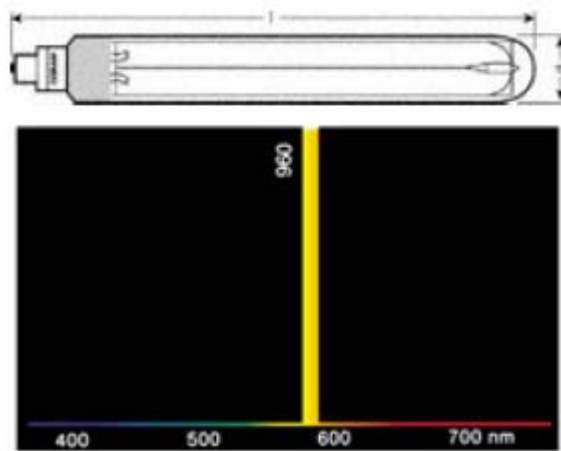
Έχουν καλύτερη απόδοση από τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, αποδίδουν καλύτερη ποιότητα φωτισμού σε σχέση με τους λαμπτήρες υδραργύρου και νατρίου και προσφέρουν ποικιλία

θερμοκρασιών χρώματος, καλύπτοντας μεγάλο εύρος απαιτήσεων. Επιπλέον προσφέρουν πιο ευχάριστο περιβάλλον, καλύτερη ευκρίνεια και περισσότερο φως.

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων είναι αρκετά ακριβοί λόγω της περίπλοκης κατασκευής τους.

## 2.6 Λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης

Στους λαμπτήρες νατρίου εκκενώσεως χαμηλής πίεσης, το τόξο διέρχεται μέσω του αεροποιημένου νατρίου. Το φως που παράγεται από το τόξο χαμηλής πίεσης νατρίου είναι σχεδόν μονοχρωματικό σε μήκη κύματος 589.0 nm και 589.6 nm, κοντά στο κέντρο του ορατού φάσματος. Το αέριο έναυσης είναι το νέον με χαμηλές προσθήκες αργού, ξένου ή ήλιου. Για να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση στην μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε φωτεινή ισχύ μέσω εκκένωσης τόξου, η πίεση του νατρίου θα πρέπει να είναι 0.7 Pa, που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία του τοιχώματος του σωλήνα τόξου περίπου 260 °C, ενώ οποιαδήποτε σημαντική απόκλιση από την πίεση αυτή θα έχει αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης. Για τον λόγο αυτό ο σωλήνας τόξου είναι τοποθετημένος μέσα σε ένα περίβλημα κενού.



Σχήμα 2-5: Λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του.

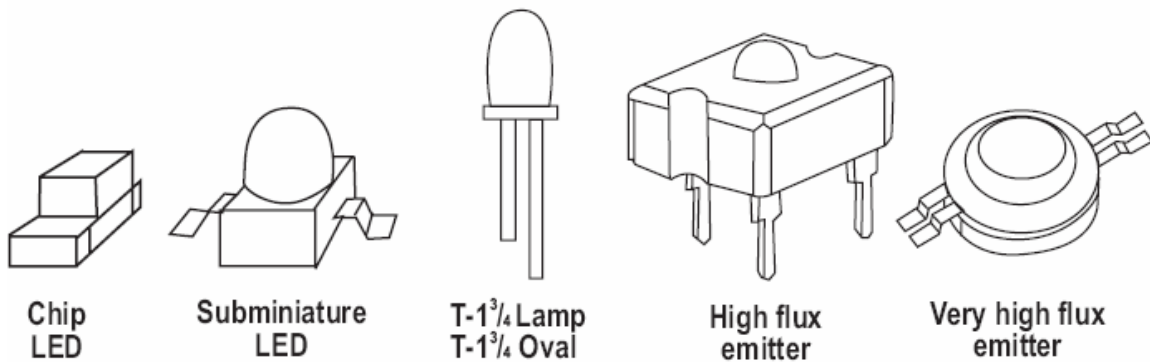
Ο χρόνος για να φτάσει ο λαμπτήρας αυτός την πλήρη φωτεινή ισχύ του είναι 7-15 λεπτά. Αρχικά το χρώμα είναι κόκκινο που οφείλεται στην εκκένωση του νέον, ενώ βαθμιαία μεταβάλλεται στο χαρακτηριστικό κίτρινο καθώς ατμοποιείται το νάτριο. Η θερμή επανέναυση είναι καλή και οι περισσότεροι λαμπτήρες χαμηλής πίεσης νατρίου θα εναύσουν αμέσως μετά την διακοπή της παροχής ισχύος.

Το τόξο χαμηλής πίεσης νατρίου, όπως συμβαίνει σε όλους τους λαμπτήρες εκκένωσης, έχει αρνητική χαρακτηριστική Volt-Amp, και απαιτείται ballast για τον περιορισμό του ρεύματος. Τα

ballast που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τύπου αυτομετασχηματιστή υψηλού συντελεστή ισχύος, όπου παρέχουν την απαραίτητη τάση έναυσης που κυμαίνεται από 400-550V. Χρησιμοποιείται πυκνωτής συνδεδεμένος εν σειρά με το πρωτεύον του μετασχηματιστή ο οποίος αυξάνει τον συντελεστή ισχύος πάνω του 90%. Στο συγκεκριμένο τύπο ballast, η απόκριση σε μεταβολές της τάσης του δικτύου είναι πολύ καλή. Για μεταβολή της τάξης του 20% της τάσης της γραμμής, η ηλεκτρική και φωτεινή ισχύς του λαμπτήρα μεταβάλλονται σε ένα εύρος του 5%.

## 2.7 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (L.E.D.)

Ένας τύπος λαμπτήρων για τον οδικό φωτισμό είναι οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι. Οι φωτοεκπέμπουσες λυχνίες (ή κοινώς LED) είναι συνδυασμός ημιαγωγών p-n, όπου εκπέμπεται ακτινοβολία όταν εφαρμοσθεί τάση στους δύο ημιαγωγούς. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μπορεί να είναι είτε υπέρυθη είτε ορατή. Το φως που εκπέμπεται από τους ημιαγωγούς εκτείνεται σε ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος, από το χαμηλό όριο ορατής ακτινοβολίας έως πολύ μεγάλα μήκη υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το τελικό επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα προκύπτει από τον συνδυασμό ημιαγωγικών υλικών.



Σχήμα 2-6: Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα στοιχεία των LED είναι ημιαγωγικά υλικά, υψηλής καθαρότητας με μικρές ποσότητες προσθέτων. Κατά βάση, δύο είδη προσθέτων χρησιμοποιούνται. Το ένα παράγει υλικό τύπου-n, το οποίο έχει συγκεντρωμένη περίσσεια ηλεκτρονίων, ενώ το άλλο παράγει υλικό τύπου-p με συγκεντρωμένο έλλειμμα ηλεκτρονίων ή περίσσεια οπών, οι οποίες δρουν ως θετικά φορτία. Τα δύο αυτά υλικά διαχωρίζονται μέσα στο ίδιο κομμάτι του ημιαγωγού, σχηματίζοντας ανάμεσά τους διεπιφάνεια (junction). Η διεπιφάνεια είναι της τάξης των  $0.25 \text{ mm}^2$ , το οποίο δίνει την δυνατότητα κατασκευής λαμπτήρων μικρών και λεπτών.

Κατά την εφαρμογή της τάσης στα δύο ηλεκτρόδια, προκαλείται μετακίνηση των ηλεκτρονίων και των οπών προς την διεπιφάνεια, όπου κατά την επαφή τους προκαλείται παραγωγή φωτονίων. Η εφαρμοζόμενη τάση είναι 1-3 V και το ρεύμα που ρέει είναι 1-100 mA (συνεχή μεγέθη). Κατά την λειτουργία τους σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας απαιτείται ψύξη ή διακοπόμενη λειτουργία, για να αποφευχθεί υποβάθμιση του παραγόμενου φωτός.

Το τελικό οπτικό αποτέλεσμα των λαμπτήρων LED εξαρτάται από το υλικό των ημιαγωγών, τα πρόσθετα και το περίβλημα του φωτιστικού σώματος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενίου.

Οι LED είναι κατάλληλες περισσότερο για τον φωτισμό οδικής σήμανσης λόγω της κατευθυνόμενης φωτεινής ροής που παρέχουν και της δυνατότητας παραγωγής χρωματιστού φωτός.

Οι λυχνίες LED είναι νέες σε εφαρμογές φωτισμού δρόμων και προσφέρουν μεγάλο χρόνο ζωής, στιβαρό και μικρό μέγεθος, χαμηλό κόστος συντήρησης, ευκολία στον οπτικό έλεγχο, αλλά έχουν ακόμα μικρό βαθμό απόδοσης. Η απόδοση των λευκών LED είναι της τάξης των 15 Lm/W (συγκριτικά με τα 110-140 Lm/W των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης). Αυτό σημαίνει ότι είναι αδύνατη η άμεση εγκατάστασή τους ως απευθείας αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων. Ωστόσο, έχουν ήδη γίνει εγκαταστάσεις LED σε περιπτώσεις όπου μεγάλη διάρκεια ζωής είναι πρωταρχική απαίτηση. Επίσης η πρόσφατη τεχνολογική πρόοδος οδήγησε σε σημαντική εξέλιξη της απόδοσής τους που μπορεί να φτάσει τα 50 Lm/W!

## 2.8 Λαμπτήρας Φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης χαμηλής πίεσης, μέσα στις οποίες το ορατό φως παράγεται κυρίως από επικαλύψεις φωσφόρου ενεργοποιούμενες από την προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία. Ο λαμπτήρας, συνήθως σωληνωτού σχήματος, με ένα ηλεκτρόδιο σε κάθε του άκρη, περιέχει ατμούς υδραργύρου σε χαμηλή πίεση με ένα μικρό ποσό αδρανούς ευγενούς αερίου (κυρίως νέο και αργό) για την διευκόλυνση της έναρξης του τόξου. Στα άκρα του σωλήνα βρίσκονται δύο ηλεκτρόδια με μορφή σύνθετων νημάτων τα οποία εξασφαλίζουν ομοιογενή θερμιοκτική εκπομπή ηλεκτρονίων και μεγάλο χρόνο ζωής. Τα εσωτερικά τοιχώματα του γυάλινου σωλήνα καλύπτονται από φθορίζουσες πούδρες, κοινώς ονομαζόμενες «φώσφοροι». Οι ουσίες αυτές συνήθως είναι άλατα του πυριτίου με προσμίξεις μαγγανίου και άλατα του βορίου ή του βολφραμίου. Όταν εφαρμοστεί η κατάλληλη τάση, παράγεται τόξο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων διαμέσου του ατμού υδραργύρου εξαιτίας του ιονισμού του. Αυτή η εκκένωση παράγει μερική ορατή ακτινοβολία, αλλά επί το πλείστον αόρατη υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία διεγείρει τους φωσφόρους να εκπέμψουν ορατό φως.

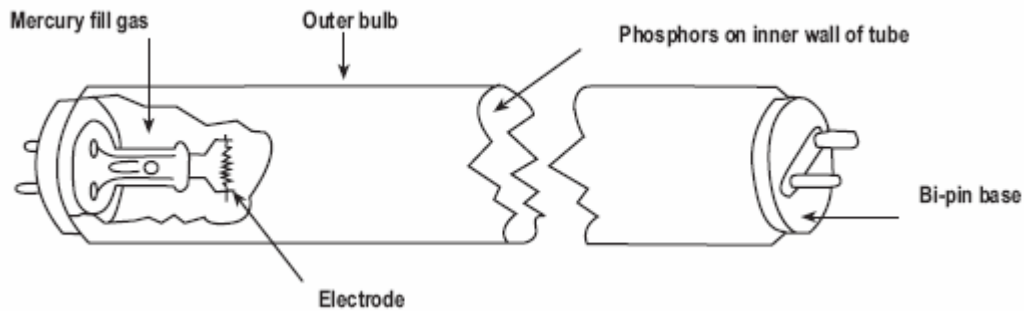
Ο συνδυασμός των φωσφόρων γίνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη διέγερση από υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος 253.7 nm, το οποίο αποτελεί το βασικό μήκος κύματος που παράγεται από εκκένωση υδραργύρου χαμηλής πίεσης. Η πίεση του υδραργύρου διατηρείται στην τιμή των 1.07 Pa η οποία είναι η πίεση εξάτμισης του υγρού υδραργύρου στους 40 °C. Επιπρόσθετα στο σωλήνα υπάρχει ένα μείγμα ευγενών αερίων χαμηλής πίεσης (100-400 Pa) για την διευκόλυνση της εκκένωσης. Εκπέμπεται ορατή και υπεριώδη ακτινοβολία με μέγιστες τιμές στα 254, 313, 365, 405, 436, 546 και 578 nm.

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι συνήθως γραμμικού σωληνωτού σχήματος και διαμέτρου από 12 mm (0.5 in T-4) μέχρι 54 mm (2.125 in T-17) και σε μήκη που κυμαίνονται από 100 mm (4 in) έως 2440 mm (96 in). Η ονομασία τους γίνεται από ένα γράμμα που προσδιορίζει το σχήμα (T =

Tubular) το οποίο ακολουθείται από έναν αριθμό που υποδεικνύει την διάμετρο σε όγδοα της ίντσας.

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

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



Σχήμα 2-7: Λαμπτήρας Φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν μία αρνητική χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος και απαιτείται η χρήση του ballast για τον περιορισμό του ρεύματος. Επιπρόσθετα το ballast εξασφαλίζει την αναγκαία τάση για την έναυση του τόξου. Αυτή η τάση μπορεί να είναι 1.5 έως 4 φορές πολλαπλάσια της κανονικής τάσης λειτουργίας.

Τα ballasts διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στα ηλεκτρομαγνητικά και στα ηλεκτρονικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά είναι στην ουσία ένα στραγγαλιστικό πηνίο το οποίο αποτελείται από ένα σιδηροπυρήνα στον οποίο είναι περιελιγμένα μονωμένα σύρματα χαλκού ή αλουμινίου. Τα ηλεκτρονικά ballasts χωρίζονται με την σειρά τους σε υψηλής και χαμηλής συχνότητας. Τα ηλεκτρονικά ballasts είναι οικονομικότερα στην λειτουργία τους και αυξάνουν τον χρόνο ζωής του λαμπτήρα. Μειονεκτούν όμως έναντι των ηλεκτρομαγνητικών ballasts στο ότι έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς.

Στη συνδεσμολογία του λαμπτήρα φθορισμού εκτός από το στραγγαλιστικό πηνίο που συνδέεται σε σειρά με τον λαμπτήρα, συνδέεται σε σειρά με τα ηλεκτρόδια και ένας εκκινητής-starter (εκτός των λαμπτήρων φθορισμού άμεσης εναύσεως). Αυτός αποτελείται από διμεταλλικό έλασμα και είναι απαραίτητος για την έναυση του λαμπτήρα η οποία δεν μπορεί να γίνει με απλή σύνδεση προς την

τάση του δικτύου γιατί τα ηλεκτρόδια είναι ψυχρά και δεν εκπέμπουν ηλεκτρόνια. Ο εκκινητής είναι κατασκευασμένος ώστε η απόσταση των ηλεκτροδίων του να είναι μικρή. Εφαρμόζοντας την τάση του δικτύου, ο λαμπτήρας δεν διαρρέεται από ρεύμα αλλά η τάση στα άκρα του εκκινητή είναι επαρκής για να ξεκινήσει εκκένωση αίγλης. Η εκκένωση αίγλης θερμαίνει το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή το οποίο παραμορφώνεται και κλείνει το διάκενο που υπάρχει, οπότε διακόπτεται η εκκένωση αίγλης. Το κύκλωμα εκκινητή - ηλεκτροδίων διαρέεται από ισχυρό ρεύμα που θερμαίνει τα ηλεκτρόδια και αρχίζουν να εκπέμπουν ηλεκτρόνια. Στο μεταξύ, επειδή έχει διακοπεί η εκκένωση αίγλης, το διμεταλλικό έλασμα του εκκινητή ψύχεται και επανέρχεται στην αρχική του θέση διακόπτοντας το κύκλωμα. Η διακοπή αυτή δημιουργεί (λόγω επαγωγικής τάσης στο στραγγαλιστικό πηνίο) στα άκρα του λαμπτήρα υπέρταση η οποία προκαλεί την έναρξη της εκκένωσης μέσω των ατμών υδραργύρου που προήλθαν από την εξάτμιση του υδραργύρου μέσα στον σωλήνα λόγω θέρμανσης των νημάτων. Επειδή η τάση λειτουργίας του εκκινητή είναι μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας του λαμπτήρα, ο εκκινητής κατά την διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα παραμένει ανοικτός (εκτός λειτουργίας).

Λόγω του χαμηλού συντελεστή ισχύος των διατάξεων των λαμπτήρων φθορισμού συνήθως γίνεται αντιστάθμιση με την χρήση πυκνωτών. Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται με την σύνδεση παράλληλα με τους αγωγούς τροφοδοσίας κατάλληλου μεγέθους πυκνωτή. Ο πυκνωτής έχοντας χωρητική συμπεριφορά αντισταθμίζει την επαγωγική συμπεριφορά της στραγγαλιστικής διάταξης του λαμπτήρα. Η αντιστάθμιση μπορεί να γίνει είτε σε μεμονωμένο λαμπτήρα είτε σε ομάδα λαμπτήρων είτε ακόμη και στο σύνολο της εγκατάστασης φωτισμού.

Πρέπει η επιλογή του εκκινητή και του στραγγαλιστικού πηνίου να είναι τέτοια, ώστε τα στοιχεία αυτά να συνεργάζονται πλήρως για να έχουμε σωστή απόδοση του λαμπτήρα και μεγάλη διάρκεια ζωής.

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

Επειδή κάποια ποσότητα του εκπεμπόμενου υλικού χάνεται από τα ηλεκτρόδια σε κάθε έναυση, η συχνότητα των εναύσεων επηρεάζει την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Η ονομαστική μέση διάρκεια ζωής των λαμπτήρων φθορισμού καθορίζεται σε συχνότητα εναύσεων κάθε τρεις ώρες.

Οι λαμπτήρες ψυχρών καθόδων δεν επηρεάζονται σημαντικά από την συχνότητα εναύσεων εξαιτίας του τύπου των χρησιμοποιούμενων ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρονικά ballast έχουν σχεδιαστεί να επιτυγχάνουν την στιγμιαία έναυση των λαμπτήρων ταχείας έναυσης T-8 και T-12. Τυπικά υπάρχει

μείωση 25% στην διάρκεια ζωής με αναφορά σε συχνότητα εναύσεων κάθε τρεις ώρες. Συνεπώς για εφαρμογές με μεγάλη συχνότητα εναύσεων, η λειτουργία στιγμιαίας έναυσης θα πρέπει να αποφεύγεται.

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα φθορισμού σε πραγματικές συνθήκες. Τα χαρακτηριστικά του ballast και του εκκινητή είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες στην περίπτωση των προθερμαινόμενων κυκλωμάτων. Ballasts που δεν παρέχουν τις σωστές απαιτήσεις έναυσης, όπως την κατάλληλη τάση, θα επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα φθορισμού. Για τα προθερμαινόμενα κυκλώματα, οι εκκινητές θα πρέπει να ακολουθούν τις προδιαγραφές λειτουργίας.

Το ρεύμα θέρμανσης του ηλεκτροδίου σε λαμπτήρες ταχείας έναυσης, είναι σημαντικό και επηρεάζεται όχι μόνο από το ballast αλλά και από την καλή επαφή του λαμπτήρα στο ντουί. Το αντίθετο θα συντελέσει στην μη θέρμανση των ηλεκτροδίων με αποτέλεσμα την αστοχία του λαμπτήρα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Άλλος σημαντικός παράγοντας στην διάρκεια ζωής είναι η τάση του δικτύου. Σε περίπτωση που η τάση είναι σημαντικά υψηλή, μπορεί να προκαλέσει στιγμιαία έναυση σε λαμπτήρες προθερμαινόμενων και ταχείας έναυσης κυκλωμάτων. Εάν είναι χαμηλή, θα έχουμε αποτέλεσμα μια αργή έναυση των λαμπτήρων ταχείας και στιγμιαίας έναυσης και συνεχείς επανεναύσεις από τους εκκινητές σε προθερμαινόμενα συστήματα.

Τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων φθορισμού εξαρτώνται από την συγκέντρωση του ατμού υδραργύρου, δηλαδή από την πίεση του ατμού η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην πίεση του ατμού υδραργύρου παρουσιάζεται στην φωτεινή ροή και στο χρώμα.

Η εσωτερική θερμοκρασία του φωτιστικού σώματος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την διάρκεια ζωής κάποιων λαμπτήρων φθορισμού. Υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος όχι μόνο μειώνουν την φωτεινή ροή αλλά αλλάζουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του λαμπτήρα καθιστώντας ακατάλληλο το ballast με πιθανό αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος. Μακροπρόθεσμη λειτουργία με υψηλότερα από τα προβλεπόμενα ρεύματα θα επιφέρουν τη μείωση της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα.

Όσο μειώνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η έναυση των λαμπτήρων γίνεται όλο και πιο δυσχερής. Για αξιόπιστη έναυση σε χαμηλές θερμοκρασίες απαιτούνται υψηλότερες τιμές τάσης και ανάλογα ballasts.

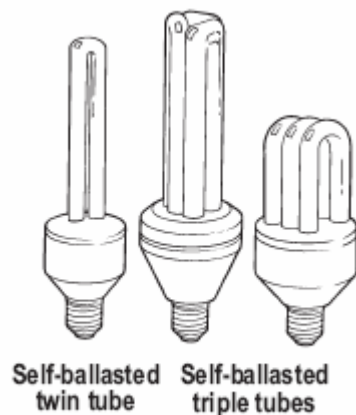
Χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνητικά ή ηλεκτρονικά ballasts.



Εξαιτίας των μαγνητικών στοιχείων ενός ηλεκτρομαγνητικού ballast, δημιουργούνται δονήσεις μέσα στο φωτιστικό σώμα εξαρτώμενες από την συχνότητα του ρεύματος. Αυτό μπορεί να παράγει ακουστική όχληση. Το επίπεδο του παραγόμενου θορύβου εξαρτάται από το ballast και την κατασκευή του φωτιστικού σώματος.

Τα ηλεκτρονικά ballasts έχουν συχνότητα εισόδου 50 Hz, ενώ ο λαμπτήρας λειτουργεί σε συχνότητα 10-50 kHz, με αποτέλεσμα την βελτίωση της απόδοσης του ballast και της συμπεριφοράς του λαμπτήρα. Η απόδοση του λαμπτήρα αυξάνεται κατά 10% όταν λειτουργεί σε συχνότητες που υπερβαίνουν τα 10 kHz. Για να αποφευχθούν προβλήματα θορύβου, τα περισσότερα ηλεκτρονικά ballasts είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε συχνότητες στην περιοχή από 20-30 kHz. Ένα άλλο θέμα που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην λειτουργία των ballasts σε υψηλές συχνότητες είναι ο θόρυβος ραδιοσυχνοτήτων. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει τα ballasts να φέρουν ενσωματωμένα φίλτρα.

Μια ειδική κατηγορία λαμπτήρων φθορισμού αποτελούν οι **συμπαγείς (compact) λαμπτήρες φθορισμού**. Οι λαμπτήρες αυτοί εμφανίστηκαν στην δεκαετία του 1980 και αποτελούν ένα νέο τύπο λαμπτήρα. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι όμοιος με αυτόν των λαμπτήρων φθορισμού. Είναι μικρότερου μεγέθους λαμπτήρες από τους σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού και εμφανίζουν ανάλογα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά. Αποτελούνται από σωλήνα λυγισμένο σε σχήμα U, όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 2-8.



Σχήμα 2-8: Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

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

συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού της τελευταίας κατηγορίας είναι κατάλληλοι για διαβάθμιση φωτισμού.

Οι λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρονική έναυση και εξωτερικό ηλεκτρονικό ballast υπερτερούν των ηλεκτρομαγνητικών λαμπτήρων στο ότι έχουν την δυνατότητα διαβάθμισης του φωτισμού, παρουσιάζουν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και επιμηκύνουν την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Πλεονεκτήματα των λαμπτήρων φθορισμού είναι η απόδοσή τους (40-80 Lm/W), η ανάπτυξη μικρών θερμοκρασιών, η απόδοση φυσικού φωτός και η μικρή απαίτηση για συντήρηση. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 10,000 ώρες.

Παρουσιάζουν, όμως, και σημαντικά μειονεκτήματα, όπως είναι το υψηλό κόστος αλλά και ο όγκος και το βάρος τους (ανά μονάδα αποδιδόμενης φωτεινής έντασης), καθώς εξαιτίας της μικρής φωτεινής έντασης που αποδίδουν ανά λαμπτήρα, απαιτείται η εγκατάσταση τουλάχιστον δύο λαμπτήρων μαζί σε κάθε φωτιστικό σημείο. Επίσης, η ποιότητα του τελικά παραγόμενου φωτός επηρεάζεται σημαντικά από τις εξωτερικά περιβαλλοντικές συνθήκες.

## 2.9 Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης

Τύπος	Power [W]	Απόδοση [Lm/W]*	Υποβάθμιση**	Μέση διάρκεια ζωής [ώρες]	Χρόνος εκκίνησης [min]	Χρόνος επανεκκίνησης [min]
Νατρίου Υψηλής Πίεσης	35 – 1,000	51 - 130	9 - 10	7,500 – 32,000	3 - 4	0.5 - 1
Ατμών Υδραργύρου	50 – 1,250	24 – 60	11 – 25	12,000 – 24,000	5 – 7	3 – 6
Ατμών Μεταλλικών Αλογονιδίων	20 – 2,000	69 - 115	20 - 23	7,500 – 20,000	2 - 5	10 – 20

\* Συμπεριλαμβάνεται ο υπολογισμός της ισχύος ballast (ηλεκτρομαγνητικών).

\*\* Ποσοστό μείωσης της φωτεινής ισχύος στο 40% της διάρκειας ζωής.

*Πίνακας 2-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης*

Γενικά όσο περισσότερα τα Watts ενός λαμπτήρα υψηλής εντάσεως εκκένωσης, τόσο μεγαλύτερη η απόδοσή του.

## 2.10 Σύγκριση απόδοσης λαμπτήρων

Ο ακόλουθος Πίνακας 2-2 παρουσιάζει στοιχεία απόδοσης δειγμάτων για μια σειρά λαμπτήρων διαθέσιμων για τις εφαρμογές φωτισμού δρόμων. Η στήλη «Ισχύς κυκλωμάτων» περιλαμβάνει και την κατανάλωση ενέργειας των βοηθητικών κυκλωμάτων και των κυκλωμάτων ελέγχου. Κατά συνέπεια, τα μεγέθη της απόδοσης που δίνονται είναι μικρότερα από αυτά που αναφέρονται από τους κατασκευαστές λαμπτήρων, τα οποία δεν περιλαμβάνουν τις απώλειες αυτές.

Η στήλη «Ισοδύναμο προϊόν» παρουσιάζει την εταιρία και το μοντέλο των λαμπτήρων που χρησιμοποιήθηκαν για τις πληροφορίες του Πίνακα 2-2.

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

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

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

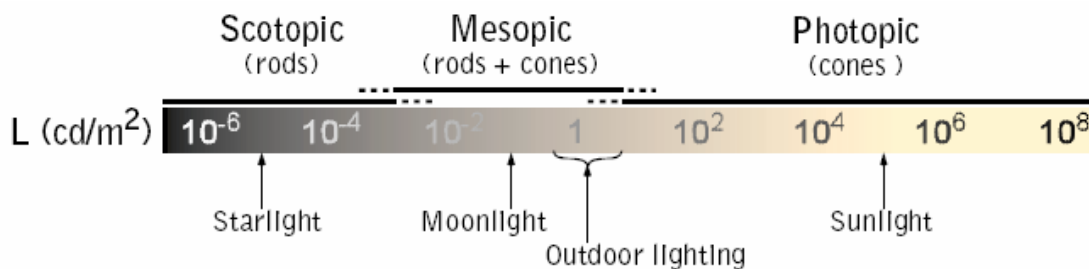
Πίνακας 2-2: Σύγκριση απόδοσης λαμπτήρων σε εφαρμογές φωτισμού δρόμων

## 2.11 Φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού

Οι φωτεινές ακτίνες όταν προσπέσουν στο μάτι μας περνούν τα διαφανή στοιχεία του (τον κερατοειδή, το υδατοειδές υγρό, το φακό και το υαλοειδές σώμα) που λέγονται και διαθλαστικά μέσα και συγκεντρώνονται στον αμφιβληστροειδή (ωχρά κηλίδα). Οι ακτίνες αυτές ερεθίζουν τους φωτοανιχνευτές του ανθρώπινου οφθαλμού προκαλώντας φωτοχημικές αντιδράσεις. Υπάρχουν δύο κατηγορίες φωτοανιχνευτών: τα ραβδία και τα κωνία, που έχουν παρόμοια κατασκευή αλλά είναι ευαίσθητα σε διαφορετικά επίπεδα φωτισμού. Τα ραβδία είναι ευαίσθητα σε πολύ χαμηλά επίπεδα φωτισμού και φθάνουν στην μέγιστη απόδοσή τους σε μέτρια επίπεδα φωτισμού. Σε μεγαλύτερα επίπεδα φωτισμού η απόδοσή τους δεν εξαρτάται από τον ίδιο τον φωτισμό. Επίσης δεν αντιλαμβάνονται χρώμα και ξεχωρίζουν μόνο μαύρο, άσπρο και αποχρώσεις του γκριζου. Τα κωνία αντίθετα είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητα στον χαμηλό φωτισμό, ανταποκρίνονται όμως σε υψηλά επίπεδα φωτισμού, ενώ σε αυτά δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο κορεσμού.

Το μέγεθος της ανταπόκρισης του οφθαλμού στο φως εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Δύο από τους βασικότερους είναι το μήκος κύματος και η λαμπρότητα της πηγής. Την εξάρτηση της οπτικής ανταπόκρισης του ανθρώπινου οφθαλμού από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολίας, ονομάζουμε φασματική ευαισθησία. Μία κύρια παράμετρος που επηρεάζει την φασματική ευαισθησία είναι η λαμπρότητα. Ονομάζουμε σχετική φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού την «κανονικοποιημένη» φασματική ευαισθησία που ορίζεται (για μια μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$ ) ως ο λόγος της ροής σε μήκος κύματος  $\lambda_m$  προς αυτήν σε μήκος κύματος  $\lambda$ , έτσι ώστε και οι δύο ακτινοβολίες να παράγουν ίδια ένταση φωτεινής αίσθησης κάτω από καθορισμένες φωτομετρικές συνθήκες. Η  $\lambda_m$  έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε η μέγιστη τιμή αυτού του λόγου να είναι 1.

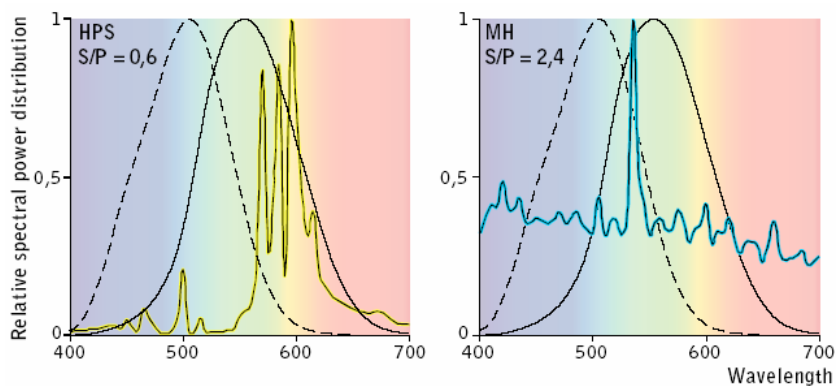
Η περιοχή της λαμπρότητας μέσα στην οποία υπάρχει η αίσθηση της όρασης χωρίζεται σε τρεις περιοχές:



Σχήμα 2-9: Φωτοπική, Μεσοπική και Σκοτοπική περιοχή λαμπρότητας

- Φωτοπική περιοχή (φως ημέρας): στην περίπτωση αυτή η λαμπρότητα είναι μεγαλύτερη από 10 cd/m<sup>2</sup> και η όραση οφείλεται κυρίως στα κωνία.
- Σκοτοπική περιοχή (έναστρος ουρανός): η λαμπρότητα είναι μικρότερη από 10<sup>-2</sup> cd/m<sup>2</sup> και η όραση οφείλεται αποκλειστικά στα ραβδία.
- Μεσοπική περιοχή: η περιοχή αυτή είναι το μεταβατικό στάδιο από το ένα είδος όρασης στον άλλο. Η λαμπρότητα είναι από 0.001 έως 3 cd/m<sup>2</sup>. Στην περιοχή αυτή συνεισφέρουν στην αίσθηση της όρασης όλα τα είδη των φωτοανιχνευτών. Οι προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούν τα φωτομετρικά μεγέθη στην περίπτωση φωτισμού δρόμων (μεταξύ 0.5 και 2 cd/m<sup>2</sup>) βρίσκονται στην μεσοπική περιοχή. Κατά την νυκτερινή οδήγηση, η όποια βοήθεια λαμβάνει ο οδηγός από τους προβολείς του οχήματος που οδηγεί, περιορίζονται σε ένα πολύ συγκεκριμένο εύρος, με αποτέλεσμα η δημιουργούμενη μέση λαμπρότητα να βρίσκεται στην μεσοπική περιοχή. Τα ονομαστικά lumen ενός λαμπτήρα έχουν ισχύ εφόσον ο ανθρώπινος οφθαλμός λειτουργεί σε φωτοπικές συνθήκες. Όταν ένας λαμπτήρας γίνεται

αντιληπτός σε μεσοπικές συνθήκες λαμπρότητας, τότε τα αποδιδόμενα lumen μεταβάλλονται ανάλογα με την φασματική κατανομή που παρουσιάζει ο λαμπτήρας. Εάν το φάσμα του λαμπτήρα είναι πλούσιο σε μικρά μήκη κύματος, τότε η απόδοσή του στην μεσοπική περιοχή αυξάνεται, εάν είναι πλούσιο σε μεγάλα μήκη κύματος αυτή μειώνεται. Συνεπώς μια μελέτη φωτισμού που γίνεται με την χρήση των ονομαστικών lumen του λαμπτήρα, δεν θα ικανοποιεί και τις προδιαγραφές φωτισμού. Οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου, οι οποίοι κατά κόρον χρησιμοποιούνται και στη χώρα μας, υπό συνθήκες μεσοπικής όρασης δεν αποδίδουν τα ονομαστικά lumen. Λόγω της διαφοροποιημένης φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού στην μεσοπική περιοχή, η απόδοσή τους είναι μικρότερη. Αντίθετα οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων έχουν καλύτερη απόδοση στην μεσοπική περιοχή.



Σχήμα 2-10: Φασματική κατανομή λαμπτήρα HPS (Osram NAV TS70) και λαμπτήρα MH (Osram HQI TS70/D)

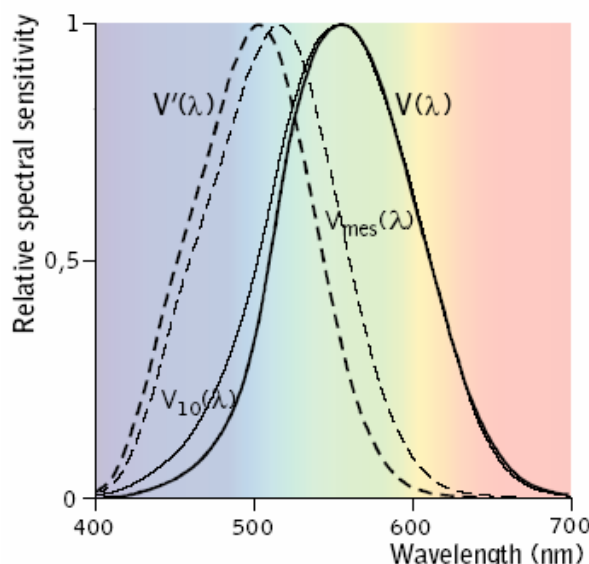
Με σκοπό να δοθεί μία βάση για συγκρίσεις ακτινοβολιών με διαφορετικά μήκη κύματος, η C.I.E. εισήγαγε δύο συναρτήσεις σχετικής φασματικής ευαισθησίας: (1) την  $V(\lambda)$  για την φωτοπική όραση, καθορίστηκε στην περιοχή από 360 έως 830 nm και έχει μέγιστη τιμή στα 555 nm, (2) την  $V'(\lambda)$  για την σκοτοπική όραση, καθορίστηκε στην περιοχή από 380 έως 780 nm και έχει μέγιστη τιμή στην περιοχή 506 έως 508 nm.

Για την μεσοπική όραση τώρα, δεν έχουμε μόνο μια καμπύλη φασματικής ευαισθησίας αλλά μια οικογένεια καμπυλών που εξασφαλίζουν την ομαλή μετάβαση από το ένα είδος της όρασης στο άλλο. Τα φαινόμενα που επηρεάζουν την μεσοπική όραση είναι τα εξής:

- Το χρωματικό φαινόμενο το οποίο αναφέρεται στην ασυμφωνία φωτεινότητας-λαμπρότητας, μια κατάσταση δηλαδή κατά την οποία ακτινοβολίες ίσης λαμπρότητας παρουσιάζουν διαφορετική φωτεινότητα εάν αυτές είναι έντονα χρωματισμένες.
- Σε χαμηλές λαμπρότητες, ακτινοβολίες με φασματική κατανομή πλούσια σε μικρά μήκη κύματος φαίνονται λαμπρότερες από άλλες που είναι φτωχές στα μικρά μήκη κύματος. Το

φαινόμενο αυτό οφείλεται μάλλον στην συνεισφορά των ραβδίων, η οποία σε μικρές λαμπρότητες είναι αναλογικά μεγαλύτερη και ονομάζεται φαινόμενο Purkinje.

- Οι καμπύλες φασματικής ευαισθησίας στην μεσοπική περιοχή συνιστούν μια οικογένεια καμπυλών, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή λαμπρότητας. Οι καμπύλες αυτές θα πρέπει επιπροσθέτως να βρίσκονται ανάμεσα στην φωτοπική και σκοτοπική καμπύλη και να εξασφαλίζουν ομαλή μετάβαση από την φωτοπική στην σκοτοπική όραση.



Σχήμα 2-11: Συναρτήσεις  $V(\lambda)$  και  $V'(\lambda)$

## 2.12 Χαρακτηριστικά των ballasts

Σημαντικά χαρακτηριστικά των ballasts είναι ο συντελεστής ισχύος (power factor), ο συντελεστής του ballast (ballast factor), ο συντελεστής απόδοσης του ballast (ballast efficacy factor) και οι αρμονικές (harmonics).

Ο συντελεστής ισχύος (power factor) είναι ο λόγος της ενεργούς ισχύος προς την φαινόμενη ισχύ, ο οποίος οφείλεται στην διαφορά φάσεως της τάσης και του ρεύματος. Συγκρίνοντας δύο ballasts με ίση κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος (ενεργός τιμή) αλλά με διαφορετικό συντελεστή ισχύος, αυτό με τον χαμηλό συντελεστή ισχύος θα απορροφήσει υψηλότερη τιμή ρεύματος και για τον λόγο αυτόν απαιτούνται αγωγοί μεγαλύτερης διατομής. Η χρήση ballast με υψηλό συντελεστή ισχύος επιτρέπει την εξυπηρέτηση περισσότερων φορτίων από το υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα. Υψηλός συντελεστής ισχύος ορίζεται αυτός που υπερβαίνει το 90%.



Ο συντελεστής του ballast (ballast factor - BF) ορίζεται (ANSI Standard C82.2-1984) ως ο λόγος της φωτεινής ισχύος ενός λαμπτήρα, ο οποίος λειτουργεί με ένα συγκεκριμένο ballast, προς την φωτεινή ισχύ του ίδιου λαμπτήρα ο οποίος λειτουργεί με ένα ballast αναφοράς. Διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων που λειτουργούν με το ίδιο ballast μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές BF. Ο BF συνήθως λαμβάνει τιμές από 0.85 – 1.0.

Σε περίπτωση που ο  $BF > 1.0$ , τότε ο λαμπτήρας θα παράγει περισσότερη φωτεινή ισχύ αλλά η απαίτηση υψηλής τιμής ρεύματος μπορεί να μειώσει την διάρκεια ζωής του καθώς και να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης θα επιταχυνθεί η υποβάθμιση του λαμπτήρα, δηλαδή η σταδιακή μείωση της φωτεινής του ισχύος.

Συστήματα με  $BF < 0.85$ , θα παράγουν χαμηλότερη φωτεινή ισχύ, και μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια, ωστόσο η ζωή του λαμπτήρα δύναται να μειωθεί εξαιτίας των μειωμένων θερμοκρασιών των ηλεκτροδίων.

Ο συντελεστής Ballast Efficacy Factor (BEF) ορίζεται ως ο λόγος του BF (%) προς την συνολική ισχύ σε Watt.

Ένα μέτρο της αρμονικής παραμόρφωσης είναι ο συντελεστής κορυφής (crest factor) ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης τιμής της κυματομορφής προς την RMS τιμή του. Για μια καθαρή ημιτονοειδή κυματομορφή ο συντελεστής κορυφής είναι ίσος με 1.4. Για την αποφυγή υπερβολικών αιχμών ρεύματος, συστήνεται ο συντελεστής κορυφής ρεύματος να μην υπερβαίνει το 1.7. Υψηλότεροι συντελεστές κορυφής ρεύματος μπορεί να μειώσουν την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

Οι συνέπειες των αρμονικών είναι αρκετές. Συμβάλλουν στην θέρμανση αγωγών, μονώσεων και τυλιγμάτων των κινητήρων, προκαλούν χαμηλότερους συντελεστές ισχύος, παράγουν υπερθέρμανση στους μετασχηματιστές και προκαλούν υψηλά ρεύματα στον ουδέτερο αγωγό σε τριφασικό 4-σύρματο σύστημα. Το τελευταίο πρόβλημα προκαλείται κυρίως από τα ρεύματα τρίτης αρμονικής των φάσεων που προστίθενται κατευθείαν στον ουδέτερο αγωγό. Το πρόβλημα αμβλύνεται με την χρήση κατάλληλων φίλτρων στο κύκλωμα του ballast.

Όλες οι διαδικασίες δοκιμών της IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) απαιτούν η πηγή τάσης να παρουσιάζει μέγιστη συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) 3%.

Αναφορικά με τα ballasts, οι τεχνικές μεταγωγής (switching) σε ηλεκτρονικά ballasts μπορεί να προκαλέσουν αρμονικές ρεύματος όταν δεν χρησιμοποιούνται φίλτρα. Ballasts με χαμηλότερη από 20% THD (ρεύματος) θεωρούνται ότι δεν επιβαρύνουν σημαντικά το τοπικό ηλεκτρικό σύστημα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

## ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

### 3.1 Φωτιστικά σώματα

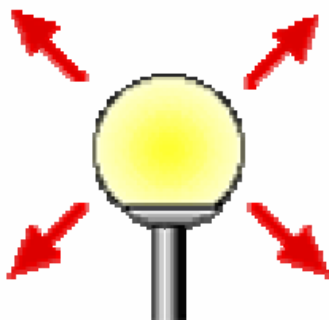
Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν το φωτιστικό σώμα είναι η φωτεινή πηγή, ο ανακλαστήρας, το διαφανές κάλυμμα της διάταξης και το σώμα. Οι λαμπτήρες εκκένωσης και φθορισμού απαιτούν και συσκευές ελέγχου της τάσης του ρεύματος, οι οποίες συνήθως τοποθετούνται και αυτές μέσα στο φωτιστικό σώμα.

Ο ανακλαστήρας χρησιμεύει στη συγκέντρωση της φωτεινής ακτινοβολίας και κατεύθυνσή της προς την επιθυμητή περιοχή φωτισμού. Κατασκευάζεται από αλουμίνιο.

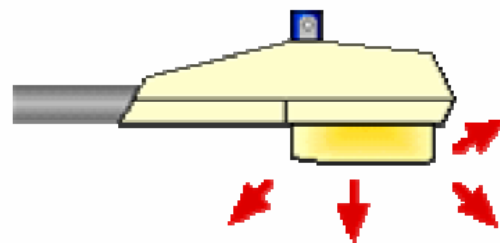
Όσον αφορά το διαφανές κάλυμμα αυτό κατασκευάζεται από γυαλί ή πλαστικό (μόνο γυαλί για υψηλή ισχύ λαμπτήρα).

Τα περισσότερα φωτιστικά δρόμων είναι σχεδιασμένα για να ελέγχουν την διάχυση του φωτός. Υπάρχουν τέσσερα είδη φωτιστικών που παρέχουν διαφορετικές γωνίες ελέγχου. Αυτά είναι τα εξής: Non-cutoff, cutoff, semi-cutoff και full-cutoff.

Τα φωτιστικά Non-cutoff επιτρέπουν την διάχυση του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα Non-cutoff φωτιστικά είναι ο λιγότερος αποδοτικός τρόπος για να φωτιστεί το έδαφος. Είναι γενικώς αποδοτικά στο να διοχετεύουν φως στα δέντρα και δημιουργούν ένα μεγάλο ποσοστό φωτεινής ρύπανσης και έντονου φωτός. Αυτά τα φωτιστικά δεν χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό των δρόμων γιατί έχουν την τάση να τυφλώνουν τους οδηγούς.



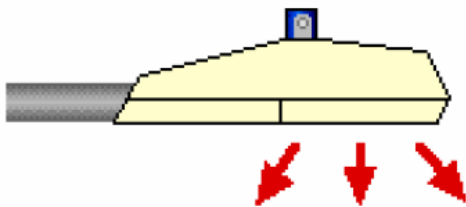
Σχήμα 3-1: Φωτιστικό Τύπου Non-cutoff



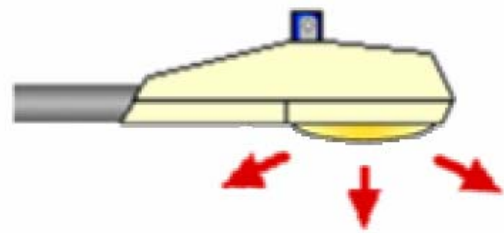
Σχήμα 3-2: Φωτιστικό Τύπου Semi-cutoff

Τα φωτιστικά Semi-cutoff επιτρέπουν το φως να διαχυθεί κάτω από το επίπεδο των 90°, ενώ ένα ποσοστό (έως 5%) διαχέεται πάνω από το επίπεδο των 90°. Αυτά τα φωτιστικά χρησιμοποιούνται συχνά σε φωτιστικά δρόμων του τύπου που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Είναι αρκετά αποτελεσματικά στη διάχυση του φωτός πέρα από μια μεγάλη, κατευθυνόμενη περιοχή στο έδαφος. Υπάρχει ακόμα σημαντικό έντονο φως από αυτά τα φωτιστικά, αλλά συχνά, τοποθετούνται στους πιο υψηλούς ιστούς, οι οποίοι τα φέρουν υψηλότερα από το πεδίο όρασης του οδηγού.

Τα φωτιστικά Full-cutoff κατευθύνουν το φως μόνο προς το έδαφος, κάτω από το φωτιστικό. Τα φωτιστικά αυτά δεν επιτρέπουν την διάχυση φωτός άνω του επιπέδου των 90°. Τα φωτιστικά αυτά κατευθύνουν το φως σε μια καθορισμένη επιφάνεια στο έδαφος. Τυπικά για να επιτευχθεί ένας ενδιάμεσος φωτισμός αρκεί η χρησιμοποίηση φωτιστικών τύπου Full-cutoff (σε μεγαλύτερο ποσοστό) ή να αυξηθεί το ύψος στήριξης των φωτιστικών ώστε να επιτευχθούν αποτελέσματα συγκρίσιμα με τα φωτιστικά τύπου cutoff ή semi-cutoff.



Σχήμα 3-3: Φωτιστικό Τύπου Full-cutoff



Σχήμα 3-4: Φωτιστικό Τύπου Cutoff

Τα φωτιστικά Cutoff επιτρέπουν μεγαλύτερο έλεγχο του διαχυόμενου φωτός από ότι τα Semi-cutoff. Με τα φωτιστικά αυτά λιγότερο από 2.5% του φωτός διαφεύγει πάνω από το επίπεδο των 90°. Τα φωτιστικά τύπου Cutoff ενδείκνυνται για φωτισμό χώρων στάθμευσης όπου οι ιστοί στήριξης των φωτιστικών απαιτείται να έχουν μεγάλη απόσταση. Προσφέρουν μεγαλύτερη διάχυση φωτός σε σχέση με τα Full-cutoff και επιπλέον δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε μεγάλα ύψη όπως συμβαίνει με τα Semi-cutoff. Τα φωτιστικά αυτά επιτρέπουν πολύ μικρό ποσοστό να διαφύγει πάνω από το φωτιστικό.

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

Τα είδη φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούνται στον οδικό φωτισμό είναι κυρίως τα οριζοντίου (“cobra head”) και κατακόρυφου τύπου, όπως και τα φωτιστικά σώματα για υψηλούς ιστούς.



*Σχήμα 3-5: Φωτιστικό σώμα οριζόντιας διάταξης*



*Σχήμα 3-6: Φωτιστικό σώμα κατακόρυφης διάταξης*

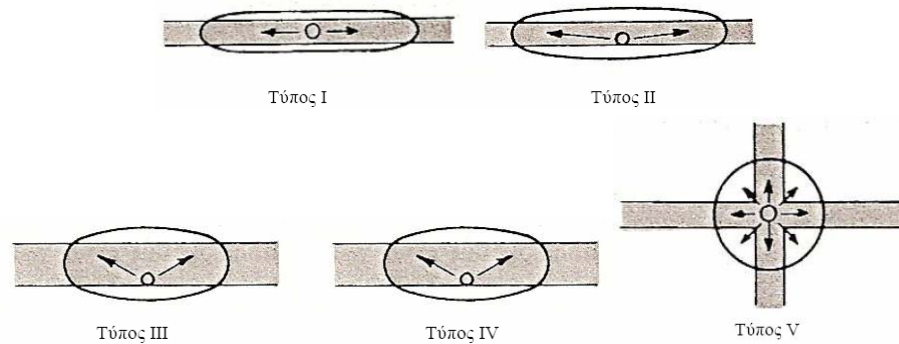


*Σχήμα 3-7: Φωτιστικό σώμα υψηλού ιστού*

Με την ύπαρξη των οπτικών βοηθημάτων που προαναφέρθηκαν γίνεται πλέον σαφές ότι η ολική απόδοση και τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου φωτισμού δεν εξαρτώνται μόνο από την φωτεινή πηγή, αλλά και από το σχεδιασμό ολόκληρου του φωτιστικού σώματος, το οποίο λειτουργεί ως ενιαίο σύνολο. Τα βασικά φωτομετρικά χαρακτηριστικά και στοιχεία φωτιστικής λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων δίνονται από τους κατασκευαστές και τα πιο συνήθη από αυτά είναι τα εξής:

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

- Πλευρική διασπορά: με βάση την πλευρική διασπορά, τα φωτιστικά σώματα διακρίνονται σε πέντε τύπους, οι οποίοι αναφέρονται κυρίως στο πλάτος της οδού και στην τοποθέτηση των σωμάτων.



Σχήμα 3-8: Οι πέντε τύποι πλευρικής διασποράς φωτιστικών σωμάτων

- Συντελεστές απαξίωσης φωτισμού: περιγράφουν την απώλεια των φωτεινών χαρακτηριστικών του σώματος με το πέρασ του χρόνου. Η απαξίωση αυτή προέρχεται από διάφορους παράγοντες, εσωτερικούς ή εξωτερικούς.

### 3.2 Διατάξεις στήριξης φωτιστικών σωμάτων

Για την τοποθέτηση του φωτιστικού σώματος στο επιθυμητό σημείο χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις πρόσθετες διατάξεις στήριξης. Ωστόσο δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου το φωτιστικό σώμα στηρίζεται είτε σε υπάρχοντες ιστούς ή κατασκευές με την χρήση απλώς ενός βραχίονα, είτε απευθείας, χωρίς βραχίονα, όπως σε σήραγγες. Στις περιπτώσεις ολοκληρωμένης διάταξης στήριξης, αυτή αποτελείται συνήθως από δύο επιμέρους τμήματα, τον ιστό και το βραχίονα.

Τα υλικά κατασκευής ενός συνήθους ιστού ηλεκτροφωτισμού είναι το αλουμίνιο και ο γαλβανισμένος ή ο ανοξείδωτος χάλυβας. Για την προστασία του υλικού πολλές φορές ο ιστός βάφεται ή επικαλύπτεται από πλαστικό. Επίσης, πολλές φορές χρησιμοποιείται και το οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο όμως, αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης, ειδικά σε παραθαλάσσιες περιοχές. Οι διατομές των ιστών μπορεί να είναι κυκλικές, σταθερής ή μεταβλητής διαμέτρου, ή πολυγωνικές, εκτός των ιστών από σκυρόδεμα που είναι πάντα κυκλικής διατομής. Για την στήριξή τους, οι ιστοί από σκυρόδεμα εμπύγνουν στο έδαφος, ενώ οι μεταλλικοί κοχλιώνονται σε βάση από σκυρόδεμα.

Το ύψος τοποθέτησης του φωτιστικού σώματος και κατά επέκταση το ύψος του ιστού, επηρεάζει τα φωτεινά χαρακτηριστικά του παραγόμενου φωτισμού, καθώς και το εύρος της φωτιζόμενης περιοχής. Μεγαλύτερα ύψη προσφέρουν μεγαλύτερη, πιο ομοιόμορφη κάλυψη, καθώς και μείωση της θάμβωσης, αλλά χαμηλότερη φωτεινότητα. Χαμηλότερα ύψη οδηγούν σε μεγαλύτερο πλήθος φωτιστικών σωμάτων και σε τοποθέτηση πιο κοντά στο οδόστρωμα. Το σύνηθες ύψος των ιστών ηλεκτροφωτισμού κυμαίνεται στα 9-15 m, ενώ για υψηλούς ιστούς εφαρμόζονται πολύ μεγάλα ύψη, της τάξης των 30 m και άνω. Παράγοντες που μπορεί να περιορίζουν το ύψος είναι η ύπαρξη υπέργειων γραμμών κοινής ωφελείας, παράπλευρα αεροδρόμια και η τοποθέτηση μέσα σε κατοικημένες περιοχές.

Με την χρήση υψηλών ιστών αρκεί η τοποθέτηση λίγων στύλων και όχι απαραίτητα κοντά στο οδόστρωμα, για τον ομοιόμορφο φωτισμό μιας εκτεταμένης περιοχής, σε αντίθεση με το συνήθη γραμμικό φωτισμό των οδών. Φωτισμός επί υψηλών ιστών ενδείκνυται σε περιπτώσεις κόμβων, ισόπεδων και ανισόπεδων, σε σταθμούς διόδων και στάθμευσης, σε οδούς με πολύ μεγάλα πλάτη και πολλές λωρίδες κυκλοφορίας και εν γένει όπου απαιτείται ο φωτισμός ή η ορατότητα μιας εκτεταμένων διαστάσεων περιοχής. Αντενδείκνυται όμως για κατοικημένες περιοχές, όπου μπορεί να είναι ενοχλητικός.

Ο βραχίονας στήριξης του φωτιστικού σώματος αποτελεί συνήθως ξεχωριστό τεμάχιο από τον ιστό και στηρίζεται στην κορυφή του. Μπορεί να είναι ευθύγραμμος ή με καμπύλη, οριζόντιος ή ελαφρά κεκλιμένος. Το μήκος του κυμαίνεται από 0.5 έως 4.5 m, ανάλογα με την απόσταση του ιστού από το οδόστρωμα και την επιθυμητή θέση του φωτιστικού σώματος σε σχέση με αυτό. Τέλος, οι βραχίονες μπορεί να είναι μονοί ή διπλοί.

### 3.3 Κατηγοριοποίηση IP

Η κατηγοριοποίηση IP ξεχωρίζει τα φωτιστικά ανάλογα με την προστασία κατά της εισόδου νερού και ξένων αντικειμένων με τα γράμματα IP και δύο ψηφία αριθμούς κατά τρόπο που φαίνεται στους παρακάτω Πίνακες 3-1 και 3-2:

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

*Πίνακας 3-1: Προσδιορισμός του πρώτου χαρακτηριστικού ψηφίου*

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

Πίνακας 3-2: Προσδιορισμός του δεύτερου χαρακτηριστικού ψηφίου



### 3.4 Διάταξη φωτιστικών σωμάτων σε δρόμους

Πέραν των πινακίδων που είναι τοποθετημένες σε διάφορα σημεία του δρόμου για την ασφαλή κίνηση των οχημάτων, ώστε οι οδηγοί να γνωρίζουν εκ των προτέρων τι πρόκειται να συναντήσουν μπροστά τους κατά την κίνηση αυτών, ιδιαίτερα σε καμπύλες δρόμου ή διασταυρώσεις, ένας καλά φωτισμένος δρόμος παρέχει από μόνος του την οπτική καθοδήγηση που απαιτείται ώστε ο οδηγός να γνωρίζει την εικόνα του δρόμου που θα συναντήσει.

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

A) Σε μεγάλες λεωφόρους (αυτοκινητόδρομοι) διπλής κυκλοφορίας με κεντρική νησίδα κατά μήκος του δρόμου, η τοποθέτηση των ιστών φωτισμού στο κεντρικό διάζωμα δίνει άριστη οπτική καθοδήγηση.

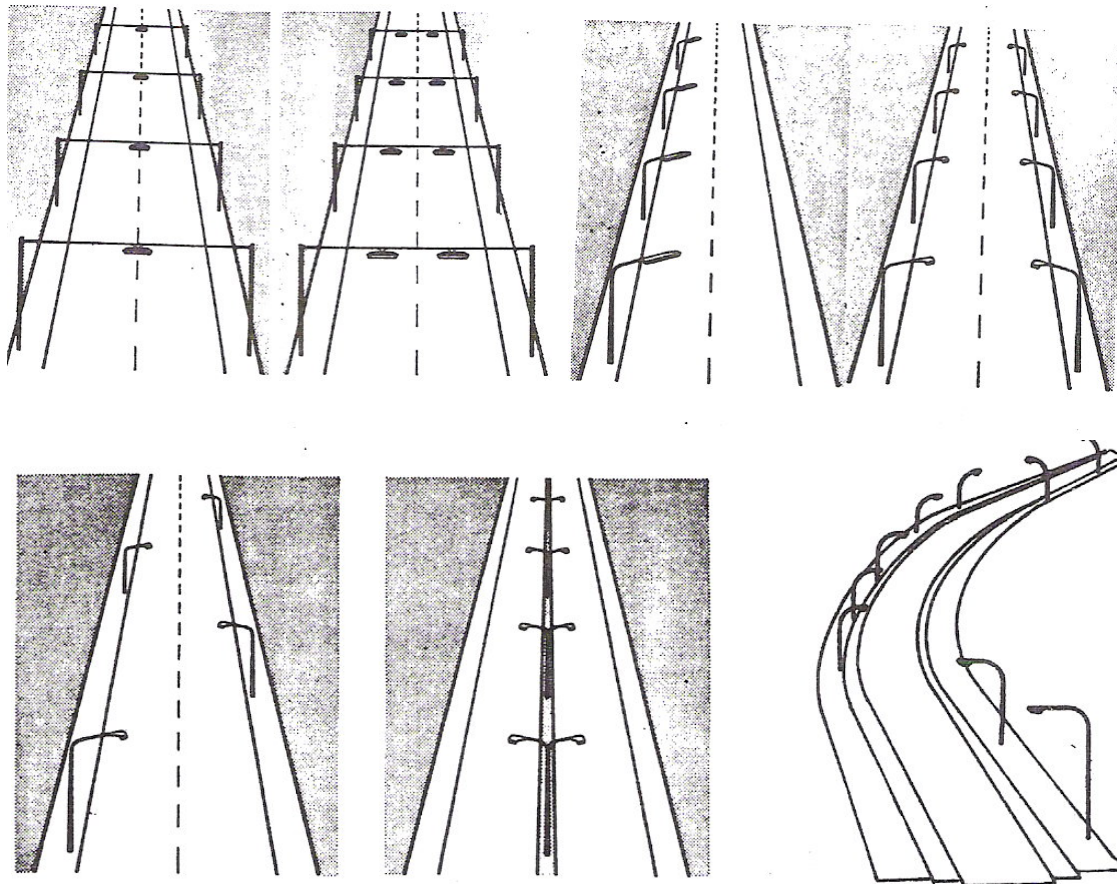
B) Σε δρόμους με καμπύλες αρκετής καμπυλότητας, η διάταξη των φωτιστικών θα είναι μονόπλευρη αν χρησιμοποιηθούν ψηλοί στύλοι και προτιμάται η εγκατάσταση στο εξωτερικό της καμπύλης, ενώ αν χρησιμοποιηθούν μικρότεροι στύλοι χρησιμοποιείται η αντίθετη διάταξη.

Γ) Επιτυχής καθοδήγηση μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και με χρήση λαμπτήρων διαφορετικών χρωμάτων. Είτε σε εξόδους-εισόδους σε αυτοκινητόδρομους, είτε σε δρόμους με κατεύθυνση το κέντρο μιας πόλης και αντίστροφα.

Δ) Ακόμα, η τοποθέτηση των φωτιστικών στο κέντρο του δρόμου υπερτερεί έναντι των άλλων διατάξεων αφού προσφέρει άριστη οπτική καθοδήγηση, άριστη ομοιομορφία και μικρότερη θάμβωση.

Ε) Τέλος, οι απλές διασταυρώσεις, οι κυκλικές διασταυρώσεις και οι δρόμοι ολισθήσεως πρέπει να φωτίζονται ώστε να είναι ορατές από μακριά.

Στη συνέχεια βλέπουμε κάποια παραδείγματα με διαφορετικές διατάξεις φωτισμού (Σχήμα 3-9). Στη πρώτη και δεύτερη περίπτωση βλέπουμε φωτισμό πάνω από τον άξονα του δρόμου επί συρματοσχοινου. Στη τρίτη και τέταρτη περίπτωση βλέπουμε μονόπλευρη και αμφίπλευρη τοποθέτηση φωτισμού. Στην πέμπτη περίπτωση βλέπουμε αμφίπλευρη τοποθέτηση επί στύλων σε εναλλασσόμενη διάταξη (χιαστί). Ενώ στην τελευταία περίπτωση βλέπουμε μονόπλευρο φωτισμό καμπύλου τμήματος δρόμου.



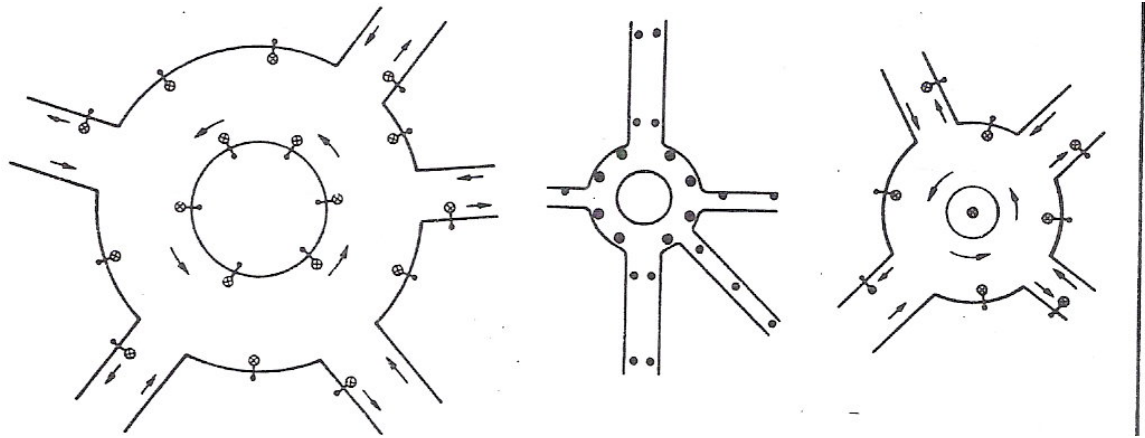
Σχήμα 3-9: Διαφορετικές διατάξεις φωτισμού δρόμων

Ο φωτισμός δρόμων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως θα πρέπει να διαφέρει σε διασταυρώσεις ή συμβολές δρόμων (Σχήμα 3-10) και σε πλατείες (Σχήμα 3-11). Για τις διασταυρώσεις, η ένταση φωτισμού πρέπει να είναι μεγαλύτερη (περίπου διπλάσια της μεγαλύτερης από τους δρόμους που συμβάλλουν). Ακόμα η εκλογή του χρώματος φωτισμού της διασταυρώσεως να είναι διαφορετική από εκείνης των δρόμων. Και τέλος να επιτυγχάνεται ομαλά η μετάβαση από περιοχές μικρής έντασης φωτισμού σε μεγαλύτερες.



Σχήμα 3-10: Φωτισμός σε διασταυρώσεις ή συμβολές δρόμων

Οι πλατείες πρέπει να παρουσιάζουν την ίδια τουλάχιστον ένταση φωτισμού με τους δρόμους της ίδιας κυκλοφοριακής πυκνότητας (Σχήμα 3-11), όμως εάν κινούνται πολλοί πεζοί στη πλατεία πρέπει η ένταση φωτισμού να είναι μεγαλύτερη κατά 50% από εκείνη του περισσότερο φωτιζόμενου δρόμου.



Σχήμα 3-11: Φωτισμός σε πλατείες μεγάλων και μικρών διαστάσεων

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ**

#### **4.1 Πηγές εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων**

Οι κυριότερες πηγές εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων είναι οι εξής:

1. Αντιστάθμιση της απόσβεσης της φωτεινής ισχύος των λαμπτήρων: Εξαιτίας του ότι όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων φθορισμού, μειώνουν την φωτεινή τους ισχύ / ροή κατά την διάρκεια της ζωής τους, λόγω γήρανσης των λαμπτήρων και ρύπανσης της κοιλότητας του οπτικού πεδίου των φωτιστικών σωμάτων, εφαρμόζεται σε κάθε σύστημα σχεδίασης φωτισμού δρόμων ένας συντελεστής συντήρησης ίσος με 0.75 περίπου. Δηλαδή το επίπεδο έντασης φωτισμού είναι 25% μεγαλύτερο με τους νέους λαμπτήρες από ότι θα χρειαζόταν. Όταν οι λαμπτήρες φτάσουν το τέλος της οικονομικής τους ζωής, το επίπεδο φωτισμού έχει μειωθεί σε αυτό του αρχικού σχεδιασμού. Με την χρήση ενός συστήματος ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων με συνεχή διαβάθμιση φωτισμού, το επίπεδο φωτισμού μπορεί να ρυθμιστεί εξαρχής σε αυτό του αρχικού σχεδιασμού. Με το κατάλληλο σύστημα ελέγχου το 12.5% της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να εξοικονομηθεί.
2. Αντιστάθμιση υπέρ-εκτιμημένης αρχικής σχεδίασης του επιπέδου φωτισμού: Αρχικά την στιγμή που γίνεται η σχεδίαση του φωτισμού, πολλές παράμετροι είναι άγνωστες. Γι' αυτό η αρχική σχεδίαση στηρίζεται σε υποθέσεις που εξυπηρετούν το χειρότερο σενάριο. Έτσι πρακτικά το επίπεδο φωτισμού είναι πιο υψηλό από το απαιτούμενο. Η υπέρ-εκτιμημένη αρχική σχεδίαση είναι αρκετά συχνή και συνήθης στον φωτισμό των πόλεων. Με την χρήση ενός συστήματος ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων με συνεχή διαβάθμιση φωτισμού, κλειστού βρόχου, η υπέρ-εκτιμημένη αρχική σχεδίαση μπορεί πρακτικά να αντισταθμιστεί. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια ουσιαστική εξοικονόμησης ενέργειας της τάξης του 25% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Η εξοικονόμηση εξαρτάται από τον βαθμό στον οποίο είναι υπέρ-εκτιμημένη η αρχική σχεδίαση, ο οποίος προσδιορίζεται στην πράξη επακριβώς όταν οι πραγματικοί παράμετροι σχεδίασης του φωτισμού γίνονται γνωστοί.
3. Μείωση των επιπέδων φωτισμού σε ορισμένες ώρες: Είναι δυνατόν να αξιοποιήσουμε τα αποθέματα φυσικού φωτισμού ή την μείωση της πυκνότητας της κυκλοφορίας των οχημάτων στον οδικό φωτισμό κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες για να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας μειώνοντας τα επίπεδα φωτισμού. Με την χρήση χρονοδιακοπών ή αισθητήρων κίνησης (οχημάτων και πεζών) ή αισθητήρων του επιπέδου φωτισμού, όπως αυτό επηρεάζεται από το φυσικό ηλιακό φως κατά την δύση ή αυγή του ήλιου, είναι δυνατόν να επιτύχουμε μείωση της έντασης φωτισμού κατά 50% με χρήση συστημάτων διαβάθμισής της.

## 4.2 Συστήματα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων

Στον νέο αιώνα που διανύουμε γίνεται όλο και πιο φανερή η ανάγκη για αποδοτικότερη χρήση της παραγόμενης ενέργειας. Αν και η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να πάρει πολλές μορφές, η αποδοτική χρήση του φωτισμού των δρόμων ειδικότερα, θα απαλλάξει την κοινωνία από σημαντικά έξοδα για ηλεκτρισμό, θα μειώσει την απαίτηση για νέους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς θα μειώσει τις απαιτήσεις χρήσης άνθρακα και εκπομπών CO<sub>2</sub>. Όλα αυτά δεν είναι εφικτά χωρίς να μειώσουμε τις απαιτήσεις φωτισμού στα επιτρεπτά επίπεδα όπως αυτά καθορίζονται από τα διεθνή Πρότυπα. Έτσι το θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας απασχολεί όλο και περισσότερο τους σχεδιαστές, κατασκευαστές και χρήστες έργων για φωτισμό δρόμων. Είναι προφανές ακόμη, ότι τα μέτρα για αποδοτικότερη ενέργεια πρέπει να προσφέρουν στους επενδυτές τους λογικό χρόνο απόσβεσης των επενδύσεών τους (competitive Return On Investment – ROI).

Με ένα κατάλληλο σύστημα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων είναι δυνατόν να πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας κατά 30%. Είναι σημαντικό ένα σύστημα ελέγχου του επιπέδου φωτισμού να μην ενοχλεί (completely transparent) τους χρήστες-κατοίκους.

Γενικά ένα σύστημα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων πρέπει, εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας, να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Να μην ενοχλεί τους χρήστες. Η ρύθμιση του φωτισμού δεν πρέπει να γίνεται αντιληπτή και κατ' επέκταση ενοχλητική. Έτσι επιβάλλεται να είναι ομαλή.
- Να έχει ένα λογικό χρόνο απόσβεσης της όλης επένδυσης (ROI).
- Να συμμορφώνεται με τα υπάρχοντα διεθνή Πρότυπα φωτισμού όπως το ISO 8995 και κοινοτικές οδηγίες όπως την 89/654/EEC.
- Να συμμορφώνεται με τα υπάρχοντα διεθνή Πρότυπα για τις ηλεκτρικές συσκευές. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα διαβάθμισης φωτεινής ροής των λαμπτήρων εκκένωσης πρέπει να ακολουθούν τις κοινοτικές οδηγίες περί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας 89/336/EEC.
- Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερο και φιλικό προς τον εγκαταστάτη και τον χρήστη και συνεπώς αξιόπιστο όσον αφορά την προσδοκώμενη εξοικονόμηση ενέργειας. Πολύπλοκοι αυτοματισμοί χαμηλής χρησιμότητας συνήθως παραμένουν ανενεργοί λόγω αδυναμίας του χρήστη να πραγματοποιήσει τους απαραίτητους χειρισμούς.
- Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ελαττώνεται. Βέβαια αυτό είναι αναπόφευκτο στην περίπτωση διαδοχικών εναύσεων, όταν η διαβάθμιση του

φωτισμού επιτυγχάνεται κλιμακωτά από διακόπτες ομάδων φωτιστικών σωμάτων. Επιπρόσθετα η μεγάλη συχνότητα εναύσεων-σβέσεων ενός λαμπτήρα (π.χ. φθορισμού) προκαλεί επικαθίσεις αλκαλικών οξειδίων στην κοιλότητά του, με αποτέλεσμα την μείωση της αποδιδόμενης από τον λαμπτήρα φωτεινής ροής. Αντίθετα όταν διαβαθμίζεται ομαλά η φωτεινή ροή των λαμπτήρων, η διάρκεια ζωής τους σε ορισμένες περιπτώσεις παρατείνεται. Στους λαμπτήρες φθορισμού η διάρκεια ζωής τους παρατείνεται κατά 50% όταν υφίστανται διαβάθμιση της φωτεινής ροής τους κατά 30%, ενώ στους λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης η διάρκεια ζωής τους παρατείνεται κατά 200%, δηλαδή σχεδόν τριπλασιάζεται, μειώνοντας σημαντικά το κόστος συντήρησης.

Επιπλέον παρατείνεται και η διάρκεια ζωής των συμβατικών ballasts. Ιδιαίτερα η διάρκεια ζωής του ballast εξαρτάται από την θερμοκρασία τυλίγματος και την υπερθέρμανσή του, η οποία όμως αποτρέπεται όταν ψαλιδίζεται η τάση προκειμένου να μειωθεί η φωτεινή ροή του λαμπτήρα.

- Η συμπεριφορά των λαμπτήρων δεν πρέπει να παρουσιάζει αστάθεια η οποία εκδηλώνεται με παροδικές στιγμιαίες μεταπτώσεις της λαμπρότητάς τους. Έτσι η κλιμάκωση του φωτισμού με διακόπτες παύσεως λειτουργίας ομάδων φωτιστικών σωμάτων, σε περίπτωση περίσσειας φωτισμού, κρίνεται ακατάλληλη γιατί εκτελείται από διαδοχικές εναύσεις και σβέσεις των λαμπτήρων, γεγονός το οποίο προκαλεί την ασταθή συμπεριφορά των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης. Επίσης η μεγάλη συχνότητα εναύσεων-σβέσεων συντελεί στην επιτάχυνση της γήρανσης των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης όπως επίσης και σημαντική απώλεια της φωτεινής ροής τους με την πάροδο του χρόνου.

Τα συστήματα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων βασίζονται σε μία ή και στις δύο από τις παρακάτω τεχνικές:

- Συνεχής διαβάθμιση φωτισμού (dimming) - χωρίς διακριτά επίπεδα
- Διακριτά επίπεδα διαβάθμισης φωτισμού με έλεγχο διακοπών.

#### 4.2.1 Συστήματα dimming για λαμπτήρες εκκένωσης

Οι σύγχρονες φωτεινές πηγές μεταξύ αυτών και οι λαμπτήρες εκκένωσης, με εξαίρεση τους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης και υψηλής φωτεινής απόδοσης, επιδέχονται διαβάθμιση της φωτεινής ισχύος από 100% έως 50% τουλάχιστον. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης με ισχύ άνω των 100W επιδέχονται ομαλή διαβάθμιση της φωτεινής ροής τους έως 20% και αυτοί με ισχύ άνω των 250W έως 2%!

Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

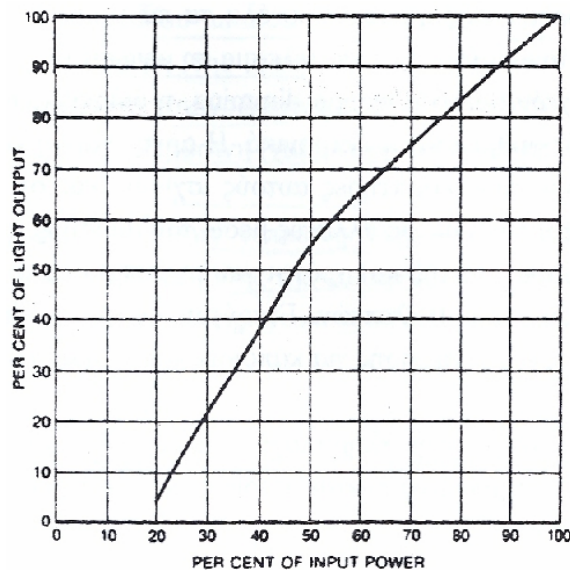
### 1) Λαμπτήρες φθορισμού:

Τα συστήματα dimming των λαμπτήρων φθορισμού δεν μπορούν να επιτύχουν τον πλήρη περιορισμό της φωτεινής ροής – συνήθως η ρύθμιση αυτή μπορεί να φθάσει έως το 10% της μέγιστης τιμής. Επίσης η θερμοκρασία του χρώματος δεν μεταβάλλεται σημαντικά όπως συμβαίνει στους λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Το dimming επιτυγχάνεται με την μείωση του ρεύματος, διατηρώντας την πλήρη τάση έναυσης και παρέχοντας την απαραίτητη τάση επανέναυσης (restriking). Απαραίτητη είναι επίσης η θέρμανση των ηλεκτροδίων – εκτός από την περίπτωση των λαμπτήρων ψυχρής καθόδου – έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκπομπή ηλεκτρονίων σε όλες τις εντάσεις.

Το dimming με ηλεκτρομαγνητικό ballast επιτυγχάνεται με μείωση της τάσης του πρωτεύοντος πηνίου του μετασχηματιστή.

Η μεγάλη πλειοψηφία των διαθέσιμων ρυθμιζόμενων ballasts είναι ηλεκτρονικού τύπου. Είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν με τετράπινες, ταχείας έναυσης και συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού. Τα ηλεκτρονικά ballasts είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ογκώδη από τους προγενέστερους αυτομετασχηματιστές. Επίσης το φαινόμενο flicker μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την χρήση τους. Λειτουργούν σε υψηλή συχνότητα (20-50kHz) και το ρεύμα μειώνεται με την συντόμευση της περιόδου ροής του ρεύματος κατά την διάρκεια κάθε κύκλου. Τα περισσότερα ηλεκτρονικά ballasts προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας ανάλογη με την μείωση στην φωτεινή ροή όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4-1:



Σχήμα 4-1: Καμπύλη φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα τυπικό σύστημα διαβάθμισης λαμπτήρα φθορισμού ταχείας έναυσης

Αυτό ισχύει όταν η ρύθμιση υπερβαίνει το ποσοστό 25-50% της ονομαστικής τιμής της φωτεινής ροής.

## 2) Λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης:

Εάν και οι λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν στο 100% της ισχύος τους, κάποια εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί μέσω του ηλεκτρονικού ελέγχου ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming). Σε εφαρμογές διαχείρισης ενέργειας μπορούμε να επιτύχουμε τουλάχιστον 50% εξοικονόμηση ενέργειας όταν γίνεται η χρήση συστήματος dimming σε συνδυασμό με ένα φωτοαισθητήρα.

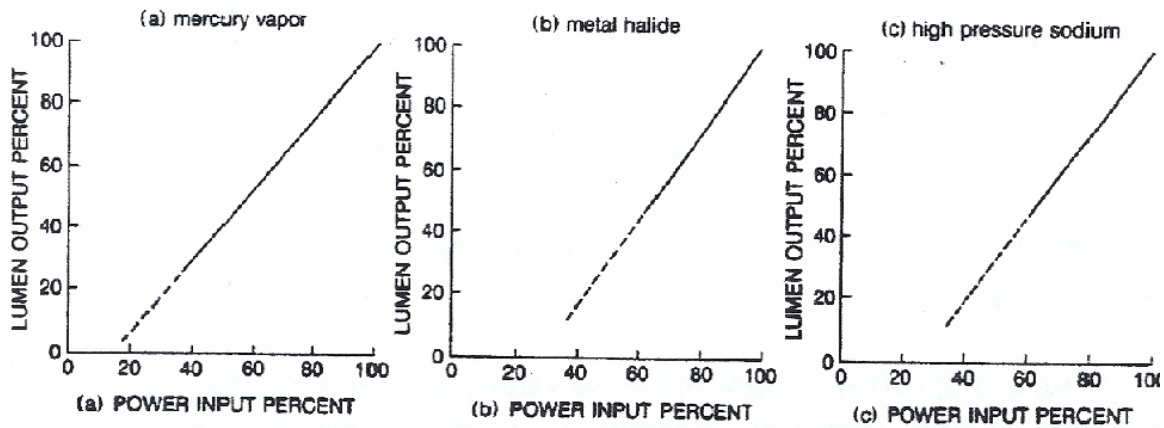
Η τεχνολογία του dimming δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα, η εφαρμογή του θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα. Ωστόσο σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα dimming, η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα θα είναι ίδια με του λαμπτήρα που δεν ρυθμίζεται ηλεκτρονικά. Η αργή έναυση και η καθυστέρηση επανέναυσης, τα οποία χαρακτηρίζουν τους λαμπτήρες αυτούς, ισχύουν και στην περίπτωση του dimming. Οι λαμπτήρες αυτοί ανταποκρίνονται σε αλλαγές μέσω του dimming πολύ πιο αργά από τους πυρακτώσεως και του φθορισμού και οι τυπικοί χρόνοι για την ρύθμιση μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης φωτεινής ροής είναι μεταξύ 3 και 10 λεπτών. Παρόλα αυτά στιγμιαίο dimming μπορεί να επιτευχθεί για ένα περιορισμένο εύρος φωτεινής ροής για κάποιους τύπους λαμπτήρων.

Συστήνεται οι λαμπτήρες αυτοί να ξεκινούν στην πλήρη ισχύ τους και το dimming να εφαρμόζεται μετά την πλήρη προθέρμανση του λαμπτήρα. Ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα θα λειτουργήσει με αυτόν τον τρόπο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η απόδοση του λαμπτήρα και η χρωματική απόδοσή του είναι ικανοποιητικές για ρύθμιση μέχρι το 50% της ισχύος του.

Στο παρακάτω Σχήμα 4-2 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές καμπύλες φωτεινής ροής – ηλεκτρικής ισχύος για λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης. Οι ασυνεχείς γραμμές παριστάνουν σημαντικές αλλαγές χρώματος στον λαμπτήρα.





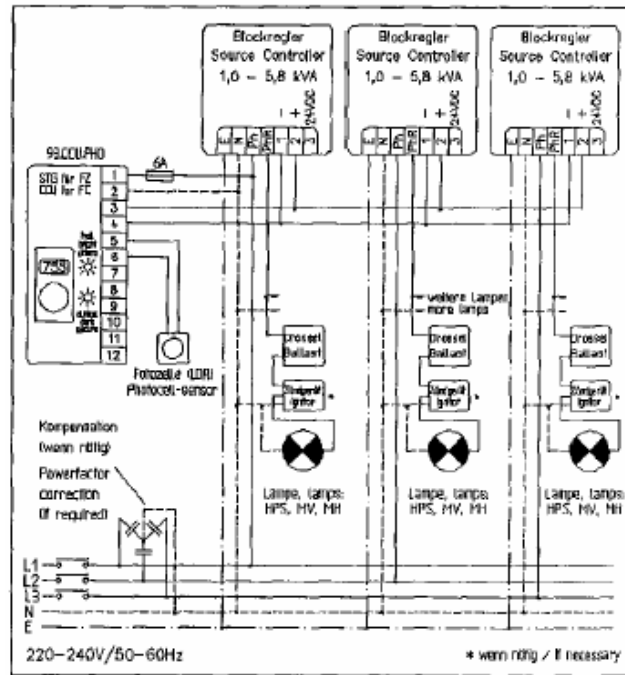
Σχήμα 4-2: Καμπύλες φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ισχύος για λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης, οι ασυνεχείς γραμμές παριστάνουν σημαντικές αλλαγές χρώματος στον λαμπτήρα

Οι λαμπτήρες υδραργύρου παρουσιάζουν πολύ μικρή μεταβολή στο χρώμα για ρύθμιση της φωτεινής ισχύος από 100% έως 25%.

Στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, η εμφάνιση και η σύσταση του χρώματος αρχίζει να μεταβάλλεται όταν η ρύθμιση της φωτεινής ροής μειωθεί κάτω του 80%. Για λαμπτήρες μεγαλύτερης ισχύος η αλλαγή του χρώματος ξεκινάει στο 60% της φωτεινής ροής όπου κάνει την εμφάνισή του απόχρωση μπλε-πράσινη (χαρακτηριστικό του ατμού υδραργύρου).

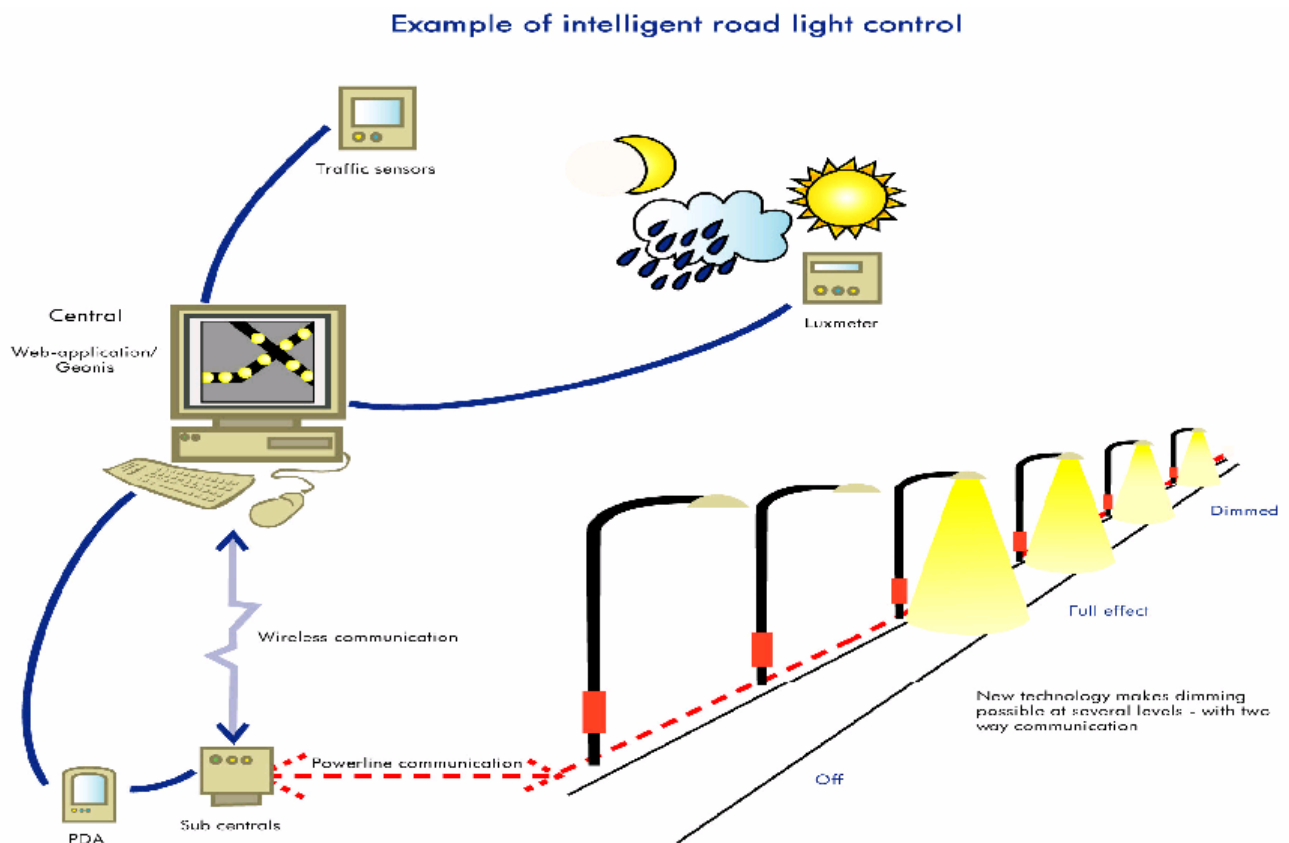
Η εμφάνιση του χρώματος στους τυπικούς λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης δεν αλλάζει σημαντικά μέχρι περίπου την ρύθμιση στο 50% της φωτεινής ροής. Κάτω από το 50% εμφανίζεται ένα ισχυρό κίτρινο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό του νατρίου χαμηλής πίεσης.

Δύο βασικά συστήματα συνεχούς διαβάθμισης φωτισμού είναι διαθέσιμα. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου, όπου ένα ολόκληρο κύκλωμα από φωτιστικά ελέγχεται από έναν κεντρικό ελεγκτή (Source Controller) και το αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου, όπου ο ελεγκτής είναι μέρος του φωτιστικού (Unit Source Controller στην περίπτωση λαμπτήρα εκκένωσης υψηλής έντασης ή υψηλής συχνότητας ηλεκτρονικό ballast στην περίπτωση λαμπτήρα φθορισμού). Προκειμένου να επιτύχουμε έναν χαμηλό δείκτη ROI, η οικονομικότερη λύση είναι το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Είναι προφανές ακόμα ότι ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου πρέπει να έχει μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας. Ένα βασικό κεντρικό σύστημα ελέγχου διαβάθμισης του φωτισμού αποτελείται από τρία στοιχεία: (1) τον κεντρικό ελεγκτή (Source Controller), (2) ένα φωτοηλεκτρικό κελί (PE cell) τοποθετημένο κεντρικά στη ζώνη ελέγχου των φωτιστικών και (3) μια κεντρική μονάδα ελέγχου (CCU) που συνδέει το φωτοηλεκτρικό κελί με τον κεντρικό ελεγκτή κάθε ομάδας φωτιστικών, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4-3:



Σχήμα 4-3: Κεντρικό σύστημα ελέγχου διαβάθμισης του φωτισμού δρόμων

Μία εφαρμογή ευφυούς ελέγχου σε φωτισμό δρόμων φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4-4.



Σχήμα 4-4: Εφαρμογή ευφυούς ελέγχου σε φωτισμό δρόμων

Με αυτήν την τεχνολογία, οι λαμπτήρες μπορούν να ελεγχθούν σε ένα επίπεδο φωτισμού από 100% έως 50%, που ισοδυναμεί σε εξοικονόμηση ενέργειας από 100% έως 45% για την περίπτωση λαμπτήρων φθορισμού ή από περίπου 100% έως 65% για την περίπτωση των λαμπτήρων εκκένωσης υψηλής έντασης.

Υπάρχουν διάφορα διαθέσιμα συστήματα dimming λαμπτήρων εκκένωσης:

- Βηματικό σύστημα διαβάθμισης με taped ballast
- Ηλεκτρονικό ballast υψηλής συχνότητας (HF)
- Συστήματα βασισμένα σε μετασχηματιστή (Μ/Σ)
- Συστήματα βασισμένα σε ηλεκτρονικό Μ/Σ
- Τεχνολογίας NCWI (Non Critical Waveform Intersection)

Τα πρώτα δύο συστήματα συναντώνται σε αποκεντρωμένα (distributed) συστήματα, ενώ όλα τα υπόλοιπα σε κεντρικά (centralised) συστήματα. Μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων αυτών ακολουθεί:

Βηματικό σύστημα διαβάθμισης με taped ballast: Το ballast προσαρμόζεται με επιπρόσθετο τύλιγμα που «μπαίνει» στο κύκλωμα με ρελέ. Αυτό μειώνει-διαβαθμίζει τόσο την ηλεκτρική όσο και την φωτεινή ισχύ του λαμπτήρα. Προφανώς αυτό δεν είναι ένα σύστημα που προσφέρει συνεχή διαβάθμιση.

Ηλεκτρονικό ballast υψηλής συχνότητας (HF): Ευρέως διαδεδομένο στους λαμπτήρες φθορισμού. Το ballast λειτουργεί τον σωλήνα εκκένωσης του λαμπτήρα σε υψηλές συχνότητες (10-30kHz). Τα ηλεκτρονικά ballasts υψηλών συχνοτήτων μπορούν να διαβαθμίσουν το επίπεδο φωτισμού, ελεγχόμενα από μια τάση 0-10V. Η απόδοση του λαμπτήρα πέφτει δραματικά όταν χρησιμοποιούνται τέτοια συστήματα διαβάθμισης. Για παράδειγμα στο 50% της αρχικής φωτεινής ισχύος έχουμε μία κατανάλωση ενέργειας στο 59% της αρχικής, δηλαδή μείωση της απόδοσης του λαμπτήρα κατά 18%.

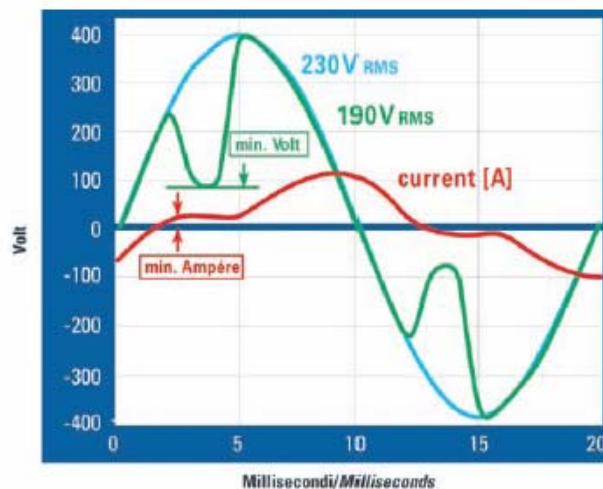
Συστήματα βασισμένα σε μετασχηματιστή (Μ/Σ): Οι μετασχηματιστές είναι ένας απλός τρόπος διαβάθμισης του επιπέδου φωτισμού. Είναι προτιμότερο για λόγους συντήρησης να χρησιμοποιούνται brushless ή step μετασχηματιστές. Επίσης μόνο οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης είναι κατάλληλοι για τέτοια συστήματα σε επίπεδα διαβάθμισης 100%-50% της φωτεινής ροής τους.

Συστήματα βασισμένα σε ηλεκτρονικό Μ/Σ: Βασίζονται στην τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος με τρανζίστορ IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτήν των συστημάτων που βασίζονται σε συμβατικούς μετασχηματιστές. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα έναντι αυτών όμως είναι: δεν χρειάζονται συντήρηση, μικρότερο μέγεθος και βάρος και πιο φθηνά. Παρουσιάζουν όμως υψηλότερες αρμονικές ρεύματος.

Συστήματα τεχνολογίας NCWI: Αυτή η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί ειδικά για διαβάθμιση της φωτεινής ροής σε λαμπτήρες εκκένωσης. Κάθε λαμπτήρας εκκένωσης μπορεί να διαβαθμιστεί με αυτήν την τεχνολογία αρκεί να λειτουργεί με μαγνητικό ballast και να μην υπάρχει πυκνωτής αντιστάθμισης (power factor capacitor) στο φωτιστικό. Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος μπορεί να γίνει κεντρικά στην γραμμή του κεντρικού ελεγκτή (Source Controller). Ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα τα επίπεδα διαβάθμισης της φωτεινής ροής κυμαίνονται από 100% έως 20%.

Ενώ κάθε τεχνολογία διαβάθμισης της φωτεινής ροής κάθε τύπου λαμπτήρα θα αλλάξει την χρωματική θερμοκρασία και τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) του φωτός, η τεχνική της τεχνολογίας NCWI κρατάει αυτές τις αλλαγές σε ένα ελάχιστο που δεν γίνονται αντιληπτά από τον χρήστη.

Η βασική αρχή της τεχνολογίας NCWI είναι να τροφοδοτεί το φωτιστικό με την τάση κορυφής (peak voltage) κάθε μισή περίοδο και να δίνει ρεύμα κατά το “low-state” της τάσης για κάθε μισή περίοδο, όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 4-5:



Σχήμα 4-5: Τεχνολογία NCWI

#### 4.2.2 Εργαστηριακή μελέτη της συμπεριφοράς δύο συστημάτων dimming για φωτισμό δρόμων: INTELUX ΚΑΙ E-BOX

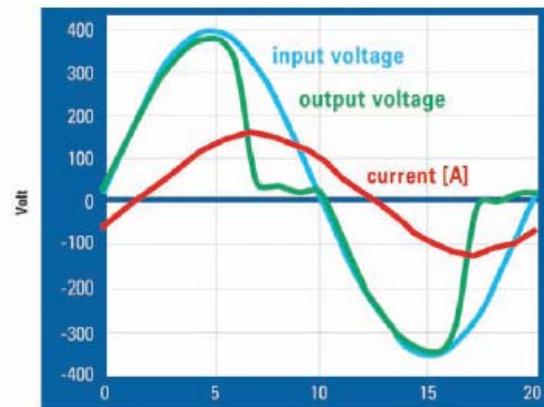
Στην παράγραφο αυτή εξετάζουμε δύο κεντρικά συστήματα dimming για φωτισμό δρόμων, ένα σύστημα συνεχούς διαβάθμισης (INTELUX) και ένα σύστημα διακριτών επιπέδων διαβάθμισης (E-BOX). Τα δύο συστήματα εφαρμόζουν διαφορετική τεχνική διαβάθμισης και εξετάστηκε πειραματικά, στο Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του ΕΜΠ, η συμπεριφορά τους με το ίδιο φορτίο και υπό τις ίδιες συνθήκες.

##### 1) INTELUX NG5

Η συσκευή INTELUX NG5 επιτυγχάνει κεντρικά, σε ένα σύνολο φωτιστικών, διαβάθμιση με χρήση ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος (IGBTs), ψαλιδίζοντας την παρεχόμενη τάση λειτουργίας και μειώνοντας έτσι την RMS τιμή της τάσης. Βασίζεται στην τεχνική της τεχνολογίας AWI (Adaptive Waveform Intersection) ως εξέλιξη της τεχνολογίας NCWI, που όπως προαναφέρθηκε, η βασική αρχή της είναι να τροφοδοτεί το φωτιστικό με την τάση κορυφής (peak voltage) κάθε μισή περίοδο, ψαλιδίζοντάς την άλλη μισή περίοδο και να δίνει ρεύμα κατά το “low-state” της τάσης για κάθε μισή περίοδο, όπως φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 4-7:



Σχήμα 4-6: Συσκευή INTELUX



Σχήμα 4-7: Τεχνολογία AWI

Το INTELUX NG5 λοιπόν είναι ένας ψαλιδιστής τάσης, διαστάσεων 140x235x250 mm και είναι σε θέση να αναλάβει την ομαλή ρύθμιση της τάσης λειτουργίας από 100% έως 40% σε κυκλώματα λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσεως συνολικού ρεύματος 25A και συνολικού μονοφασικού φορτίου 5.7 kVA. Ταυτόχρονα αποτελεί και σταθεροποιητή τάσης (stabilizer), ενώ εξασφαλίζει ήπια έναυση (soft start). Ο ψαλιδιστής ελέγχεται εναλλακτικά από σήμα 0-10V, αισθητήρα φωτισμού, μονάδα CCU ή H/Y και μπορεί να συνδεθεί με φορτία επαγωγικά ή και αντισταθμισμένα.

Λειτουργεί στα 230V ( $\pm 10\%$ ) και είναι κατάλληλος για όλους τους τύπους λαμπτήρων εκκενώσεως υψηλής εντάσεως. Ωστόσο το φάσμα διαβάθμισης περιορίζεται στην περίπτωση λαμπτήρων ατμών υδραργύρου και μεταλλικών ιωδιδίων. Ενδείκνυται η χρήση του σε φωτιστικά λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης με ισχύ 70W, 100W, 150W, 250W, 400W και 600W.

## 2) E-BOX CL12

Η συσκευή E-BOX CL12 επιτυγχάνει κεντρικά, σε ένα σύνολο φωτιστικών, διαβάθμιση της φωτεινής ροής τους με αντίστοιχη διαβάθμιση της RMS τιμής της τάσης λειτουργίας τους. Το μέγιστο επιτρεπτό μονοφασικό φορτίο είναι 2.76 kVA και το μέγιστο συνολικό ρεύμα 12A. Η λειτουργία του βασίζεται στον έλεγχο των ηλεκτρικών παραμέτρων λειτουργίας μέσω ενός ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενου αυτομετασχηματιστή, δηλαδή στον άνευ αρμονικών ταλαντώσεων ηλεκτρομαγνητικό μετασχηματισμό, χωρίς κινούμενους μηχανισμούς.

Εφαρμόζεται κυρίως σε συστήματα φωτισμού με:

- Λαμπτήρες φθορισμού με επαγωγικό ballast (TL και PL)
- Λαμπτήρες ατμών νατρίου, υψηλής και χαμηλής πίεσης (LPS – HPS HID)
- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου (MV HID)
- Λαμπτήρες ατμών μετάλλου με αλογόνα (MH HID)

Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται φθάνει έως και 40% και οφείλεται αφ' ενός στον έλεγχο της ισχύος και αφ' ετέρου στη μείωση των αρμονικών συχνοτήτων στο δίκτυο.

Η ελάττωση της ισχύος έχει επίσης ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της θερμοκρασίας λειτουργίας για ολόκληρο το φωτιστικό, πράγμα που συνεπάγεται μείωση της φθοράς και ανάλογη αύξηση της διάρκειας ζωής του φωτιστικού.

Το σύστημα E-BOX ενεργεί και ως φίλτρο προστασίας από παρεμβολές του δικτύου ηλεκτροδότησης, μειώνοντας τον συνήθη ρυθμό αστοχίας των λαμπτήρων εκκένωσης.

Όλες οι παράμετροι λειτουργίας της συσκευής ελέγχονται με ειδικά συστήματα και περιλαμβάνουν ενσύρματο ή ασύρματο τηλεχειρισμό.

Η συσκευή αυτή επίσης παρουσιάζει αξιόλογη αντοχή σε έμμεσα κρουστικά φορτία.

Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής του υπερβαίνει τα 25 χρόνια ή 200,000 ώρες λειτουργίας. Οι διαστάσεις του είναι 120x275x145 mm, το βάρος του 9 kgf και η τάση λειτουργίας του 230V  $\pm 10\%$ .

### 3) ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Με τις μετρήσεις που παρουσιάζουμε στην παράγραφο αυτή, γίνεται παρουσίαση των δύο κεντρικών συστημάτων dimming INTELUX και E-BOX που αναφέρθηκαν προηγουμένως, όσον αφορά την απόδοσή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Τα δύο συστήματα, αν και όπως προαναφέρθηκε έχουν διαφορετική τεχνική διαβάθμισης της φωτεινής ροής και διαφορετικό μέγιστο φορτίο, εξετάστηκαν στο Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του ΕΜΠ υπό τις ίδιες συνθήκες.

Έτσι και οι δύο συσκευές χρησιμοποιήθηκαν να διαβαθμίσουν την φωτεινή ροή έξι (6) φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης ισχύος 250W ο καθένας (αποειδείς γαλακτώδεις E40 HPS Sylvania SHP-S 250W, 2050°K, 30000lm, 30000h). Επίσης προγραμματίστηκαν και οι δύο να διαβαθμίσουν την φωτεινή ροή των φωτιστικών μετά από 10 λεπτά από το άναμα αυτών. Έτσι τα φωτιστικά και στις δύο περιπτώσεις έφτασαν την μέγιστη φωτεινή ισχύ τους πριν ξεκινήσει η διαβάθμισή τους. Ακόμα οι δύο συσκευές προγραμματίστηκαν να επιτύχουν ένα επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας περίπου 30% για την INTELUX και 23% για την E-BOX (προγραμματισμός στην ζώνη 7).

Οι μετρήσεις είχαν συχνότητα ενός (1) λεπτού, διάρκεια περίπου μίας (1) ώρας και τα μεγέθη που μετρήθηκαν είναι: (1) Η ισχύς εισόδου (Watt), το ρεύμα εισόδου (Ampere) και η τάση εισόδου (Volt), που μετρήθηκαν με τον μετρητή ισχύος HIOKI 3182 Digital Power Hi Tester, RMS και το true RMS πολύμετρο Roline 707 DMM και (2) Η ένταση φωτισμού (Lux) ενός φωτιστικού, που μετρήθηκε με το φωτόμετρο International Light IL1700 Research Radiometer με φωτοπική επιφάνεια (φακός) SED033#7700+Y#24933.

Αρχικά μετρήθηκαν τα παραπάνω μεγέθη μόνο για το φορτίο των έξι φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, χωρίς κάποιο σύστημα διαβάθμισης, ως βασικό σενάριο σύγκρισης και για τον υπολογισμό της ονομαστικής ισχύος (Watt) του φορτίου αλλά και της ονομαστικής έντασης φωτισμού (Lux) ανά φωτιστικό.

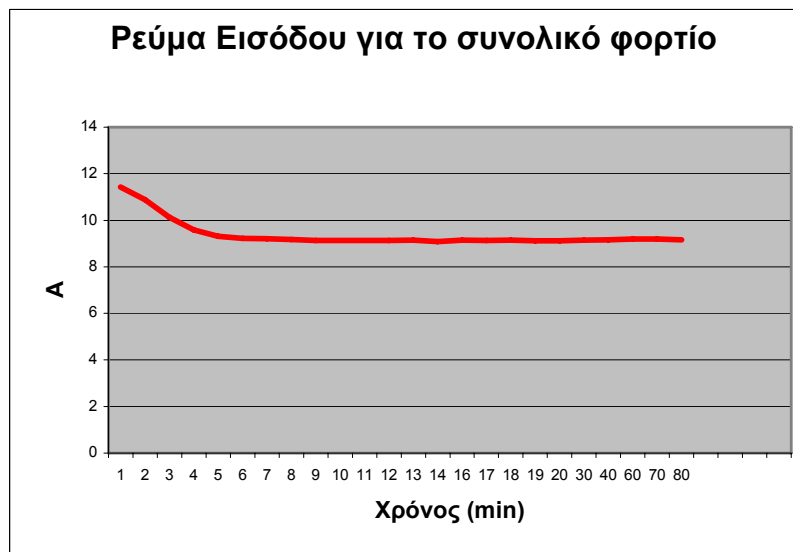
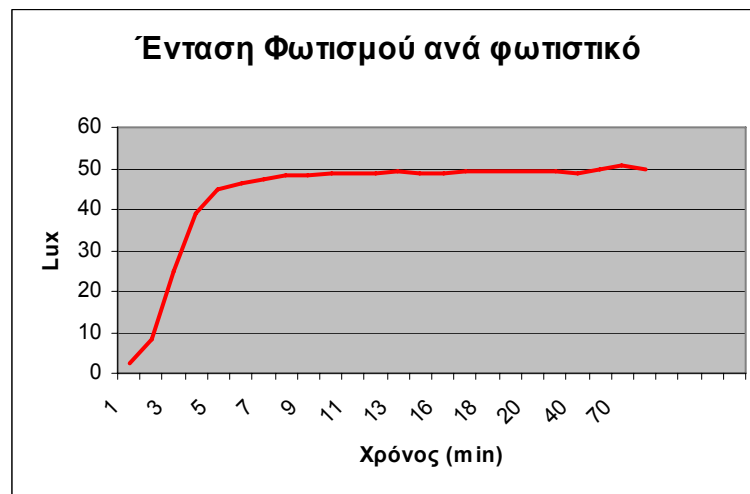
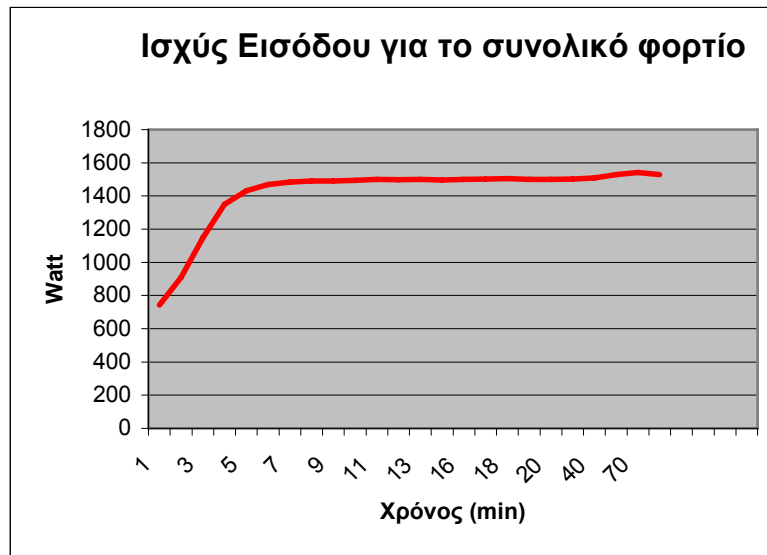
Οι μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4-1.

Με βάση αυτές, η ονομαστική ισχύς (Watt) του φορτίου είναι 1512W, η ονομαστική ένταση φωτισμού (Lux) που προκαλείται από ένα φωτιστικό είναι 49.43Lux και ο συντελεστής ισχύος (Power Factor) του φορτίου των έξι φωτιστικών είναι 0.74. Οι υπολογισμοί αυτοί εκφράζουν την μέση τιμή των αντίστοιχων μεγεθών στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας των φωτιστικών από το 16<sup>ο</sup> λεπτό έως το 80<sup>ο</sup> λεπτό.

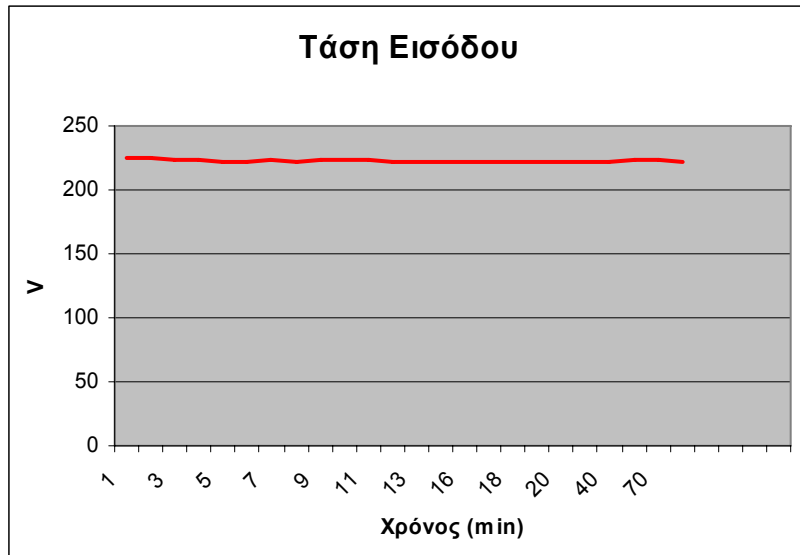
Ηλεκτρικές και Φωτομετρικές μετρήσεις με έξι (6) Φωτιστικά-Λαμπτήρες HPS 250W						
Χρόνος [min]	Ισχύς Εισόδου [W]	Ρεύμα Εισόδου [A]	Τάση Εισόδου [V]	Ένταση Φωτισμού [Lux] ανά φωτιστικό	Ισχύς Εισόδου (% της ονομαστικής)	Ένταση Φωτισμού (% της ονομαστικής)
1	742	11,43	225	2,20	49,1%	4,5%
2	910	10,89	225	8,20	60,2%	16,6%
3	1147	10,13	224	25,0	75,9%	50,6%
4	1348	9,59	223	39,00	89,2%	78,9%
5	1432	9,31	222	44,70	94,7%	90,4%
6	1468	9,23	222	46,50	97,1%	94,1%
7	1484	9,21	223	47,20	98,2%	95,5%
8	1490	9,18	222	48,30	98,6%	97,7%
9	1489	9,13	223	48,20	98,5%	97,5%
10	1493	9,13	223	48,90	98,8%	98,9%
11	1500	9,13	223	48,90	99,2%	98,9%
12	1497	9,13	222	48,90	99,0%	98,9%
13	1500	9,14	222	49,10	99,2%	99,3%
14	1495	9,09	222	48,80	98,9%	98,7%
16	1500	9,15	222	49,00	99,2%	99,1%
17	1502	9,13	222	49,40	99,4%	99,9%
18	1505	9,15	222	49,30	99,6%	99,7%
19	1499	9,11	222	49,20	99,2%	99,5%
20	1500	9,11	222	49,10	99,2%	99,3%
30	1502	9,14	222	49,40	99,4%	99,9%
40	1508	9,16	222	49,00	99,8%	99,1%
60	1530	9,19	223	49,80	101,2%	100,7%
70	1542	9,19	223	50,50	102,0%	102,2%
80	1529	9,16	222	49,60	101,1%	100,3%

Πίνακας 4-1: Ηλεκτρικές και φωτομετρικές μετρήσεις μόνο με έξι (6) φωτιστικά HPS 250W





Σχήματα 4-8, 4-9 και 4-10: Χωρίς σύστημα dimming - Μόνο με έξι (6) φωτιστικά HPS 250W



Σχήμα 4-11: Χωρίς σύστημα dimming - Μόνο με φωτιστικά HPS 250W

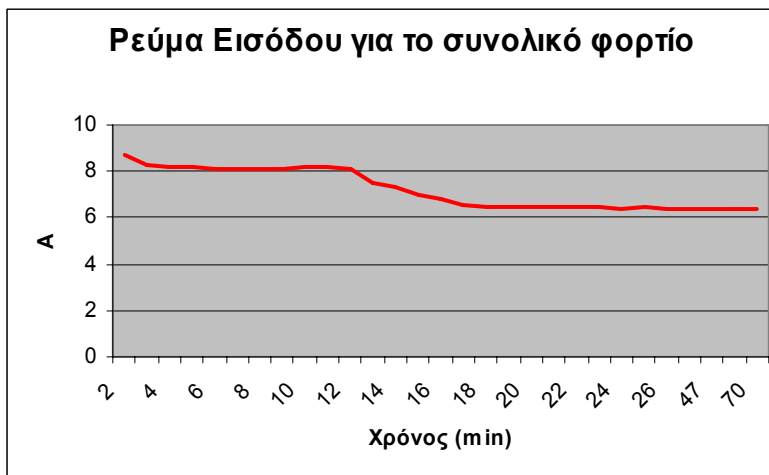
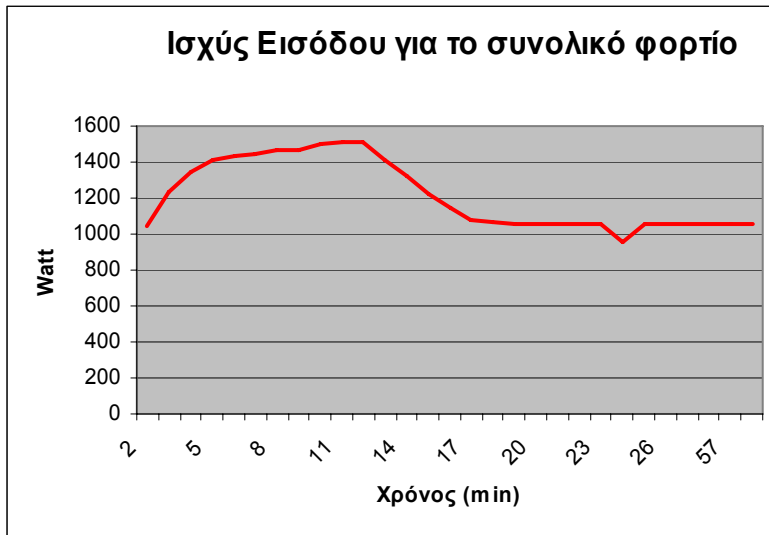
Στη συνέχεια έγιναν οι ίδιες μετρήσεις με το σύστημα dimming INTELUX NG5 υπό το παραπάνω φορτίο των έξι φωτιστικών. Οι μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4-2. Οι δύο τελευταίες στήλες εκφράζουν την ισχύ εισόδου του συστήματος και την ένταση φωτισμού που προκαλείται από ένα φωτιστικό, ως % της ονομαστικής ισχύος (Watt) μόνο του φορτίου (1512W όπως υπολογίστηκε από τον Πίνακα 4-1) και ως % της ονομαστικής έντασης φωτισμού (49.43Lux όπως υπολογίστηκε από τον Πίνακα 4-1).

Η διαβάθμιση ξεκίνησε μετά τα πρώτα 10 λεπτά (που χρειάστηκαν για την προθέρμανση των λαμπτήρων) και κράτησε για 7 λεπτά (από το 11<sup>ο</sup> λεπτό έως το 17<sup>ο</sup> λεπτό) για να πετύχουμε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας στο 30%. Η τάση εξόδου του INTELUX NG5 είχε διαβαθμιστεί (ψαλιδιστεί) τότε στα 192V RMS. Αυτό προκαλεί και την μείωση του ρεύματος εισόδου του συστήματος στην μόνιμη κατάσταση από τα 9.1A στα 6.5A περίπου.

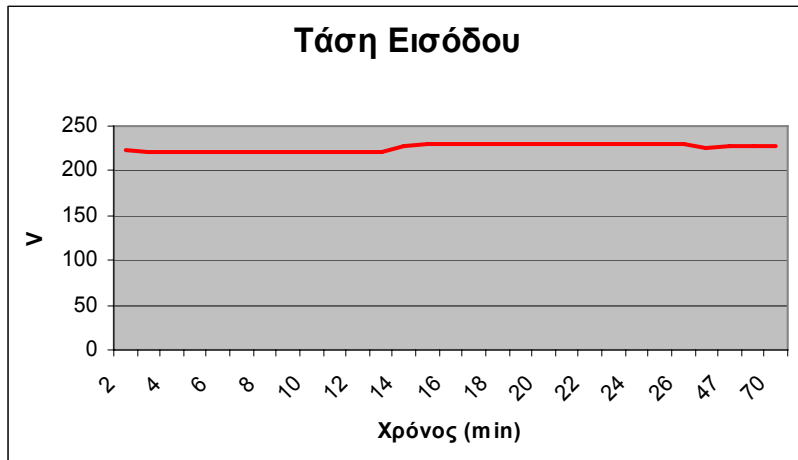
Με βάση τις μετρήσεις αυτές η ισχύς (Watt) εισόδου του συνολικού φορτίου μειώθηκε στο 70% (1058W), η ένταση φωτισμού (Lux) που προκαλείται από ένα φωτιστικό μειώθηκε στο 57% (28Lux) και ο συντελεστής ισχύος (Power Factor) του συνολικού φορτίου έγινε 0.713 από 0.74. Οι υπολογισμοί αυτοί εκφράζουν την μέση τιμή των αντίστοιχων μεγεθών στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας των φωτιστικών μετά το dimming από το 18<sup>ο</sup> λεπτό έως το 70<sup>ο</sup> λεπτό.

<b>Ηλεκτρικές και Φωτομετρικές μετρήσεις με σύστημα INTELUX NG5  και φορτίο (έξι) 6 Φωτιστικών-Λαμπτήρων HPS 250W</b>							
Χρόνος [min]	Ισχύς Εισόδου [W]	Ρεύμα Εισόδου [A]	Τάση Εισόδου [V]	Ένταση Φωτισμού [Lux] ανά φωτιστικό	Τάση Εξόδου [V]	Ισχύς Εισόδου (% της ονομαστικής)	Ένταση Φωτισμού (% της ονομαστικής)
2	1048	8,70	224	7,00		69,3%	14,2%
3	1230	8,30	222	20,00		81,4%	40,5%
4	1349	8,18	221	35,00		89,2%	70,8%
5	1406	8,15	220	41,50		93,0%	84,0%
6	1430	8,10	220	43,50		94,6%	88,0%
7	1448	8,10	220	44,40		95,8%	89,8%
8	1466	8,12	220	45,00		97,0%	91,0%
9	1470	8,08	220	45,00		97,2%	91,0%
10	1501	8,18	220	46,00		99,3%	93,1%
11	1507	8,15	220	46,20		99,7%	93,5%
12	1506	8,12	220	46,20		99,6%	93,5%
13	1407	7,51	220	42,70		93,1%	86,4%
14	1319	7,32	228	39,20		87,3%	79,3%
15	1222	7,00	230	35,40		80,8%	71,6%
16	1144	6,77	230	32,00		75,7%	64,7%
17	1080	6,57	230	29,20		71,4%	59,1%
18	1064	6,49	230	28,10		70,4%	56,8%
19	1058	6,45	230	27,70		70,0%	56,0%
20	1054	6,45	230	27,70		69,7%	56,0%
21	1053	6,45	230	27,70		69,7%	56,0%
22	1055	6,43	230	27,70		69,8%	56,0%
23	1056	6,43	230	28,00		69,9%	56,6%
24	954	6,41	230	28,00		63,1%	56,6%
25	1055	6,43	230	28,00		69,8%	56,6%
26	1055	6,42	230	28,00		69,8%	56,6%
37	1058	6,40	226	28,40		70,0%	57,5%
47	1056	6,38	228	28,10		69,9%	56,8%
57	1060	6,38	227	28,20		70,1%	57,1%
70	1058	6,37	227	28,20	192	70,0%	57,1%

Πίνακας 4-2: Ηλεκτρικές και φωτομετρικές μετρήσεις με σύστημα INTELUX NG5 και φορτίο έξι (6) φωτιστικών HPS 250W

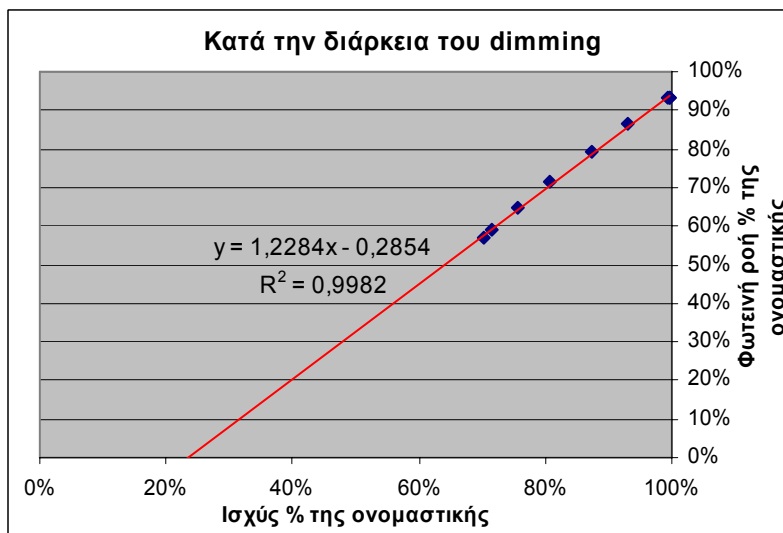


Σχήματα 4-11, 4-12 και 4-13: Με σύστημα dimming INTELUX NG5 και φορτίο έξι (6) φωτιστικών HPS 250W



Σχήματα 4-14: Με σύστημα dimming INTELUX NG5 και φορτίο έξι (6) φωτιστικών HPS 250W

Εκφράζοντας την επί τοις εκατό (%) πτώση της φωτεινής ροής ως συνάρτηση της επί τοις εκατό (%) πτώσης της ισχύος του συστήματος, όπως φαίνεται στο πιο κάτω Σχήμα 4-15, παρατηρούμε την γραμμική εξάρτηση των δυο μεγεθών.



Σχήμα 4-15: Χαρακτηριστική φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ισχύος για φωτιστικά HPS 250W με σύστημα dimming INTELUX NG5

Ακόμα η απόδοση του φωτιστικού ατμών νατρίου υψηλής πίεσης όταν χρησιμοποιείται το σύστημα dimming INTELUX NG5, πέφτει από το 100% όταν λειτουργεί στην ονομαστική του ισχύ (250W) περίπου στο 81% όταν μειώνεται η παρεχόμενη ισχύς του στα 175W.

Στη συνέχεια έγιναν οι ίδιες μετρήσεις με το σύστημα dimming E-BOX CL12 υπό το παραπάνω φορτίο των έξι φωτιστικών. Οι μετρήσεις φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4-3. Οι δύο τελευταίες στήλες εκφράζουν την ισχύ εισόδου του συστήματος και την ένταση φωτισμού που προκαλείται

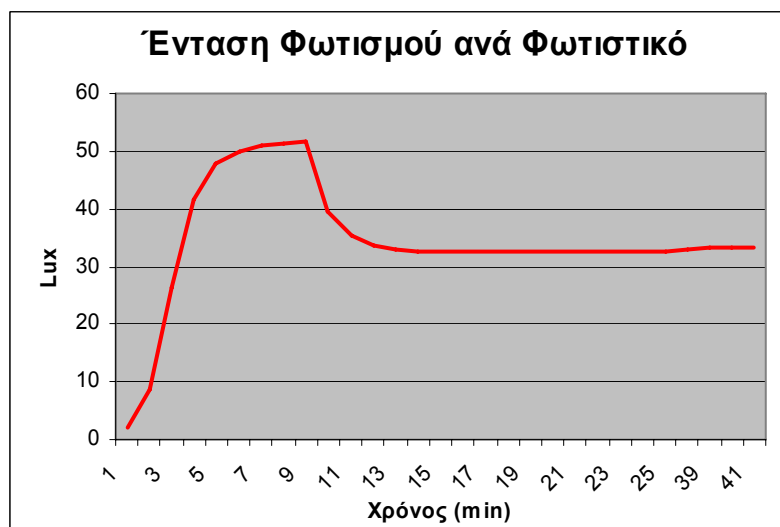
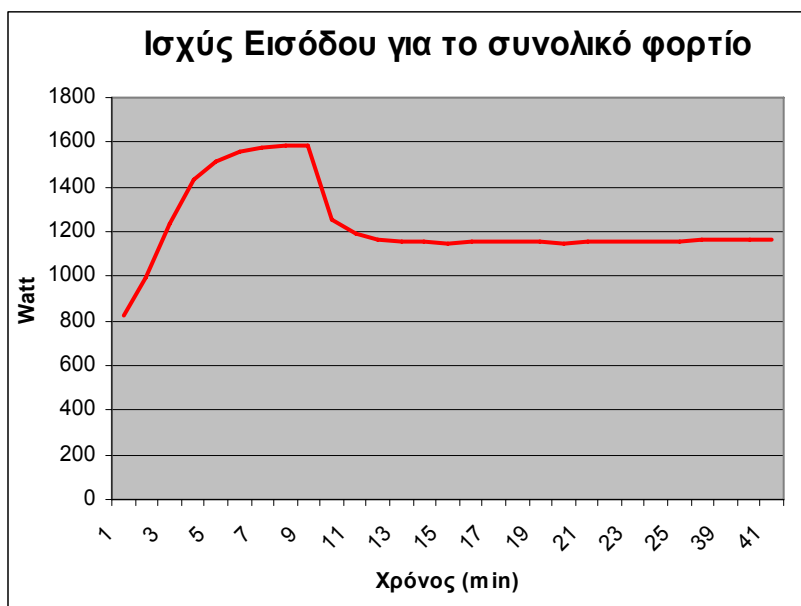
από ένα φωτιστικό, ως % της ονομαστικής ισχύος (Watt) μόνο του φορτίου (1512W όπως υπολογίστηκε από τον Πίνακα 4-1) και ως % της ονομαστικής έντασης φωτισμού (49,43Lux όπως υπολογίστηκε από τον Πίνακα 4-1).

<b>Ηλεκτρικές και Φωτομετρικές μετρήσεις με σύστημα E-BOX CL12 και φορτίο (έξι) 6 Φωτιστικών-Λαμπτήρων HPS 250W</b>							
Χρόνος [min]	Ισχύς Εισόδου [W]	Ρεύμα Εισόδου [A]	Τάση Εισόδου [V]	Ένταση Φωτισμού [Lux] ανά φωτιστικό	Τάση Εξόδου [V]	Ισχύς Εισόδου (% της ονομαστικής)	Ένταση Φωτισμού (% της ονομαστικής)
1	820	11,96	230	2,20	228,0	54,2%	4,5%
2	990	11,30	229	8,80	229,0	65,5%	17,8%
3	1237	10,45	228	26,50	226,5	81,8%	53,6%
4	1435	9,84	227	41,70	225,5	94,9%	84,4%
5	1516	9,55	227	47,70	225,0	100,3%	96,5%
6	1555	9,45	227	50,00	225,0	102,9%	101,2%
7	1578	9,44	227	51,00	225,5	104,4%	103,2%
8	1586	9,40	227	51,50	225,5	104,9%	104,2%
9	1589	9,38	227	51,60	225,0	105,1%	104,4%
10	1258	6,70	228	39,60	196,6	83,2%	80,1%
11	1195	6,97	229	35,40	196,7	79,1%	71,6%
12	1163	7,30	229	33,60	197,0	76,9%	68,0%
13	1152	7,07	229	32,90	197,2	76,2%	66,6%
14	1152	7,09	229	32,60	197,2	76,2%	66,0%
15	1149	7,09	229	32,50	197,3	76,0%	65,7%
16	1152	7,09	229	32,50	197,3	76,2%	65,7%
17	1151	7,11	229	32,70	197,6	76,1%	66,2%
18	1152	7,11	230	32,70	197,5	76,2%	66,2%
19	1152	7,11	230	32,70	197,5	76,2%	66,2%
20	1150	7,10	229	32,70	197,3	76,1%	66,2%
21	1153	7,12	230	32,70	197,6	76,3%	66,2%
22	1152	7,10	230	32,60	197,5	76,2%	66,0%
23	1154	7,13	230	32,60	197,8	76,3%	66,0%
24	1152	7,10	230	32,60	197,5	76,2%	66,0%
25	1153	7,11	230	32,60	197,7	76,3%	66,0%
38	1162	7,15	230	33,10	198,9	76,9%	67,0%
39	1163	7,15	230	33,30	198,8	76,9%	67,4%
40	1164	7,16	230	33,20	199,0	77,0%	67,2%
41	1165	7,16	230	33,20	199,0	77,1%	67,2%
42	1164	7,15	230	33,20	199,0	77,0%	67,2%

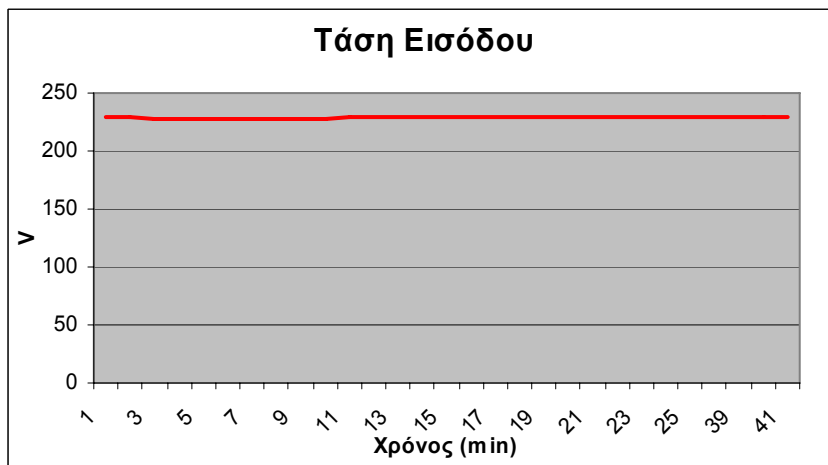
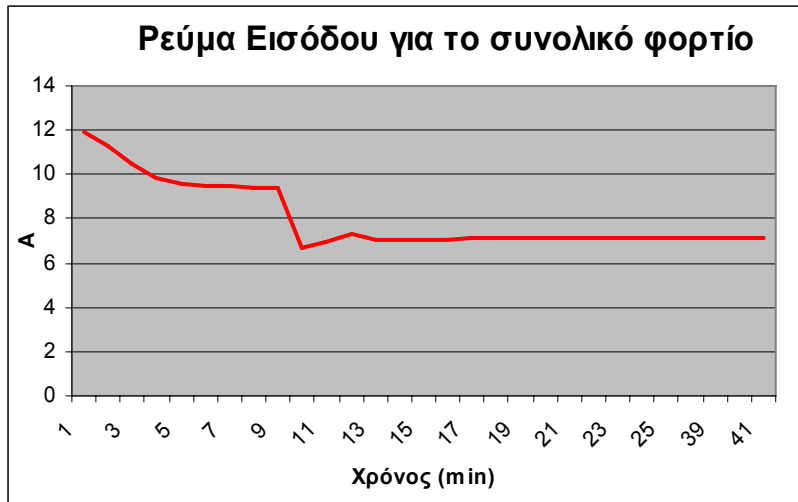
Πίνακας 4-3: Ηλεκτρικές και φωτομετρικές μετρήσεις με σύστημα E-BOX CL12 και φορτίο έξι (6) φωτιστικών HPS 250W

Η διαβάθμιση ξεκίνησε μετά τα πρώτα 8 λεπτά (που χρειάστηκαν για την προθέρμανση των λαμπτήρων) και κράτησε για 3 λεπτά (από το 9<sup>ο</sup> λεπτό έως το 11<sup>ο</sup> λεπτό) για να πετύχουμε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας στο 23%. Η τάση εξόδου του E-BOX CL12 είχε διαβαθμιστεί τότε στα 199V RMS. Αυτό προκαλεί και την μείωση του ρεύματος εισόδου του συστήματος στην μόνιμη κατάσταση από τα 9.1A στα 7.1A περίπου.

Με βάση τις μετρήσεις αυτές η ισχύς (Watt) εισόδου του συνολικού φορτίου μειώθηκε στο 77% (1164W), η ένταση φωτισμού (Lux) που προκαλείται από ένα φωτιστικό μειώθηκε στο 67% (33Lux) και ο συντελεστής ισχύος (Power Factor) του συνολικού φορτίου έγινε 0.71 από 0.74. Οι υπολογισμοί αυτοί εκφράζουν την μέση τιμή των αντίστοιχων μεγεθών στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας των φωτιστικών μετά το dimming από το 12<sup>ο</sup> λεπτό έως το 42<sup>ο</sup> λεπτό.



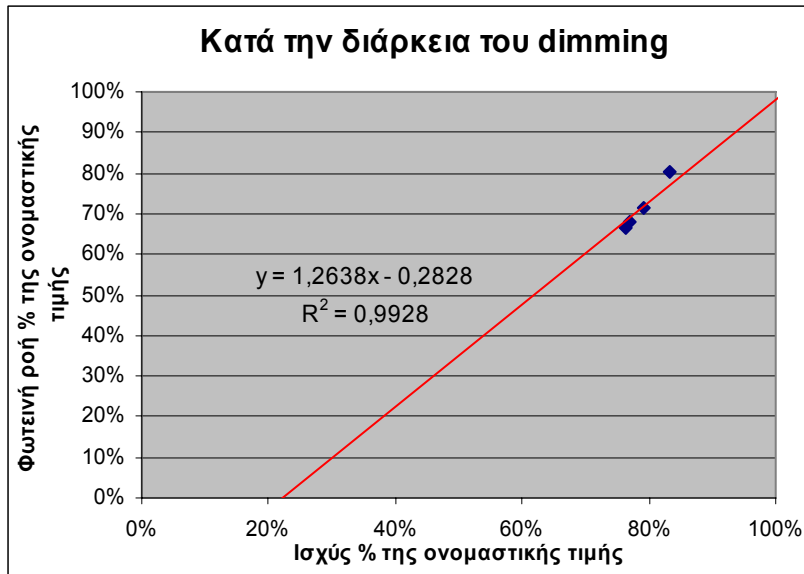
Σχήματα 4-16 και 4-17: Με σύστημα dimming E-BOX CL12 και φορτίο έξι (6) φωτιστικών HPS 250W



Σχήματα 4-18 και 4-19: Με σύστημα dimming E-BOX CL12 και φορτίο έξι (6) φωτιστικών HPS 250W

Εκφράζοντας την επί τοις εκατό (%) πτώση της φωτεινής ροής ως συνάρτηση της επί τοις εκατό (%) πτώσης της ισχύος του συστήματος, όπως φαίνεται στο πιο κάτω Σχήμα 4-20, παρατηρούμε την γραμμική εξάρτηση των δυο μεγεθών.





*Σχήμα 4-20: Χαρακτηριστική φωτεινής ροής ως συνάρτηση της ισχύος για φωτιστικά HPS 250W με σύστημα dimming E-BOX CL12*

Ακόμα η απόδοση του φωτιστικού με λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης όταν χρησιμοποιείται το σύστημα dimming E-BOX CL12, πέφτει από το 100% όταν λειτουργεί στην ονομαστική του ισχύ (250W) περίπου στο 87% όταν μειώνεται η παρεχόμενη ισχύς του φωτιστικού στα 192.5W.

Γενικότερα κατά την διάρκεια του dimming, όσο πιο πολύ πέφτουμε από την ισχύ αναφοράς του φωτιστικού, τόσο λιγότερο αποδοτικό θα είναι το φωτιστικό.

### 4.3 Ποιότητα ισχύος

Με τον όρο ποιότητα ισχύος δεν εννοούμε την απόκλιση της ηλεκτρικής ισχύος από κάποιο ιδανικό μέγεθος, αλλά την απόκλιση της τάσεως και της συχνότητας, που τροφοδοτούν το φορτίο, από τις ονομαστικές τους τιμές. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συνθέτουν την ποιότητα ισχύος είναι οι ακόλουθοι:

- Η ασυνέχεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- Η σταθερότητα της τάσεως τροφοδοσίας
- Η σταθερότητα της συχνότητας
- Η καθαρότητα της κυματομορφής της τάσεως τροφοδοσίας (αρμονικές)
- Η απόκλιση από το καθαρά συμμετρικό τριφασικό σύστημα

Η συνέχεια της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πρακτικά ανέφικτη και σχετίζεται με την αξιοπιστία του δικτύου διανομής και την κατάλληλη σχεδίασή του. Οι διακοπές στην τάση τροφοδοσίας προκαλούν ζημιά στους καταναλωτές που διαφοροποιείται ανάλογα με τη διάρκειά της και το είδος του καταναλωτή. Σε καταναλωτές όπου οι συνέπειες από την διακοπή της τάσης τροφοδοσίας είναι αρκετά δυσμενείς, όπως σε νοσοκομεία και βιομηχανίες, προβλέπεται η εγκατάσταση εφεδρικών πηγών για την συνέχεια της τάσεως τροφοδοσίας. Οι διακοπές της τάσης τροφοδοσίας διακρίνονται σε προγραμματισμένες και μη προγραμματισμένες που συμβαίνουν κυρίως λόγω βλαβών στο δίκτυο διανομής. Οι μη προγραμματισμένες διακοπές διακρίνονται επίσης σε μεγάλης και μικρής διάρκειας. Η ετήσια συχνότητα διακοπών μεγάλης διάρκειας είναι 10 – 50 διακοπές ανά έτος.

Η σταθερότητα της τάσης τροφοδοσίας είναι ένας σημαντικός παράγοντας καλής ποιότητας ισχύος καθώς όλο και περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές εμφανίζουν μεγάλη ευαισθησία στην τάση τροφοδοσία τους. Οι αποκλίσεις της τάσης τροφοδοσίας από την ονομαστική τιμή διακρίνονται σε αργές μεταβολές και σε απότομες μεταβολές. Οι αργές μεταβολές της τάσης οφείλονται στην πτώση τάσης στα στοιχεία του δικτύου που προκαλείται κατά την προσθαφαίρεση φορτίου. Η ΔΕΗ Α.Ε. έχει καθιερώσει τα παρακάτω όρια διακύμανσης της τάσης στα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης:

	Επιθυμητά όρια	Ανεκτά όρια
Αστικές περιοχές	± 5%	± 8%
Αγροτικές περιοχές	± 7%	± 10%

*Πίνακας 4-4: Όρια διακύμανσης της τάσης στα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης*

Οι απότομες μεταβολές στην τάση ή βυθίσεις της τάσης προέρχονται κυρίως από βραχυκυκλώματα που συμβαίνουν στο δίκτυο από χειρισμούς διακοπών και από απότομες μεταβολές του φορτίου. Οι απότομες μεταβολές της τάσης διακρίνονται σε περιοδικές και σε μη περιοδικές μεταβολές, οι

οποίες είναι και τυχαίες. Μια μορφή από συχνές διακυμάνσεις στην τάση τροφοδοσίας είναι το flicker το οποίο γίνεται αισθητό στους καταναλωτές από τις διακυμάνσεις στην φωτεινότητα των λαμπτήρων πυρακτώσεως κατά την διακύμανση της τάσης τροφοδοσίας τους. Το flicker είναι δυνατό να μετρηθεί με ειδικά όργανα (τα φλικερόμετρα) και μέτρο του είναι οι δείκτες flicker βραχείας και μακράς διάρκειας.

Η απόκλιση από το καθαρά συμμετρικό τριφασικό σύστημα, οφείλεται κυρίως στην ασύμμετρη φόρτιση των τριών φάσεων. Η ασυμμετρία αυτή δημιουργεί επιπτώσεις στην λειτουργία των τριφασικών κινητήρων, μειώνει την απόδοσή τους και εγκυμονεί κινδύνους υπερθέρμανσής τους. Σύμφωνα με τους κανονισμούς οριακό ποσοστό ασυμμετρίας στα δίκτυα χαμηλής τάσης θεωρείται το 2%.

Σημαντικός επίσης παράγοντας ποιότητας ισχύος είναι η καθαρότητα της κυματομορφής της τάσης και η παραμόρφωσή της από αρμονικές που εξετάζεται στις επόμενες ενότητες.

#### 4.3.1 Η αρμονική παραμόρφωση και οι επιπτώσεις της

Η αρμονική συνιστώσα μπορεί να ορισθεί ως ένα ημιτονοειδές κύμα (τάσης ή ρεύματος) το οποίο έχει συχνότητα που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της βασικής συχνότητας. Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης των αρμονικών συνιστωσών είναι η δημιουργία της παραμορφωμένης κυματομορφής. Η κυματομορφή αυτή είναι περιοδική αλλά όχι ημιτονοειδής.

Οι αρμονικές συνιστώσες των παραμορφωμένων κυματομορφών τάσεων και ρευμάτων σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, είναι κυρίως τρίτης και πέμπτης τάξης προερχόμενες από τις γεννήτριες και τους μετασχηματιστές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα η διάδοση των αρμονικών στα ηλεκτρικά δίκτυα ενισχύεται από την χρήση μη γραμμικών φορτίων.

Η ροή των αρμονικών ρευμάτων στο δίκτυο μεταφοράς παράγει δύο κυρίως αποτελέσματα. Πρώτον προκαλούνται αυξημένες απώλειες στην γραμμή λόγω της αύξησης της RMS τιμής του ρεύματος:

$$\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \cdot R_n \text{ όπου } I_n \text{ είναι η } n\text{-ιοστή αρμονική του ρεύματος και } R_n \text{ είναι η αντίσταση του συστήματος}$$

στην αρμονική  $n$ . Το επιδερμικό φαινόμενο είναι κάτι που επιδρά αρνητικά στις απώλειες αφού αυξάνει την αντίσταση του καλωδίου όσο αυξάνει η συχνότητα με αποτέλεσμα να αυξάνουν και οι απώλειες.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό αποτέλεσμα της ροής αρμονικών ρευμάτων στην γραμμή είναι η δημιουργία αρμονικών πτώσεων τάσης στο δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα «αδύναμο» σύστημα (μικρή ισχύς βραχυκύκλωσης) να είναι ευαίσθητο σε αυτές τις αρμονικές της τάσης.

Η ύπαρξη σημαντικών ποσοστών αρμονικών συνιστωσών στην τάση και την ένταση του ρεύματος των ηλεκτρικών δικτύων είναι ικανή, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να προκαλέσει δυσάρεστες συνέπειες στα ίδια τα ηλεκτρικά δίκτυα, σε παρακείμενα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των καταναλωτών.

Μια βασική συνέπεια της ύπαρξης αρμονικών συνιστωσών είναι η εμφάνιση συντονισμού στα ηλεκτρικά δίκτυα. Συντονισμός είναι δυνατό να παρουσιαστεί όταν στο δίκτυο χρησιμοποιούνται συστοιχίες πυκνωτών για αντιστάθμιση της άεργου ισχύος. Στη συχνότητα συντονισμού ενός κυκλώματος RLC έχουμε εξίσωση της επαγωγικής με την χωρητική αντίδραση. Αποτέλεσμα του συντονισμού είναι η δημιουργία υπερτάσεων ή και υπερεντάσεων, κοντά στην συχνότητα συντονισμού, με αντίστοιχα καταστρεπτικά αποτελέσματα για τον εξοπλισμό του δικτύου.

Οι αρμονικές συνιστώσες προκαλούν πρόσθετες ηλεκτρικές απώλειες και στα δίκτυα διανομής. Με την ύπαρξη σημαντικών αρμονικών συνιστωσών στην ένταση του ρεύματος αυξάνεται αντίστοιχα η ενεργός τιμή του ρεύματος και συνεπώς έχουμε πρόσθετες ηλεκτρικές απώλειες στα παθητικά στοιχεία του δικτύου. Επιπρόσθετα, τα αρμονικά ρεύματα προκαλούν αύξηση των απωλειών στα τυλίγματα του στάτη των ηλεκτρικών μηχανών καθώς και στα τυλίγματα των μετασχηματιστών. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των ηλεκτρικών μηχανών και των μετασχηματιστών.

Σε ηλεκτρικές μηχανές δημιουργούνται βόμβοι και ταλαντώσεις. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται στην δημιουργία περιοδικά μεταβαλλόμενων ροπών και στην ύπαρξη συντονισμού διαφόρων εξαρτημάτων των ηλεκτρικών μηχανών.

Οι αρμονικές συνιστώσες προκαλούν λανθασμένες μετρήσεις ισχύος. Τα όργανα μέτρησης ισχύος (που δεν είναι True RMS), τα οποία είναι διαμορφωμένα βάσει καθαρών ημιτονοειδών κυματομορφών, είναι επιρρεπή σε λάθος μετρήσεις όταν τροφοδοτούνται με παραμορφωμένη τάση. Για την σωστή λειτουργία των οργάνων είναι απαραίτητο αυτά να είναι εξοπλισμένα με τις διατάξεις που απαιτούνται ώστε η τάση τροφοδοσίας τους να είναι απαλλαγμένη από αρμονικές συνιστώσες.

Η ύπαρξη σημαντικής αρμονικής παραμόρφωσης στα δίκτυα διανομής δημιουργεί προβλήματα δυσλειτουργίας σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές. Αρκετές ηλεκτρικές συσκευές είναι ευαίσθητες ως προς την ποιότητα της τάσης τροφοδοσίας τους. Κυρίως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι τηλεοπτικές συσκευές μπορεί να παρουσιάσουν πρόβλημα δυσλειτουργίας αν τροφοδοτούνται με παραμορφωμένη τάση.

Ένα πρόβλημα που σχετίζεται με την αρμονική παραμόρφωση είναι η εμφάνιση σημαντικών ρευμάτων στον ουδέτερο αγωγό των δικτύων χαμηλής τάσης. Συνήθως, τα ρεύματα που εμφανίζονται στον ουδέτερο αγωγό είναι κυρίως ομοπολικής ακολουθίας, ενώ αν υπάρχει σημαντική ασυμμετρία στο φορτίο εμφανίζονται και αρμονικά ρεύματα θετικής και αρνητικής ακολουθίας. Το πρόβλημα αυτό εγκυμονεί κινδύνους για τις ηλεκτρικές συσκευές και τους

καταναλωτές του δικτύου. Όμως αν υπάρχουν πολύ υψηλά αρμονικά ρεύματα είναι δυνατό να προκληθεί καταστροφή του ουδέτερου αγωγού καθώς αυτός συνήθως είναι μικρότερης διατομής από τους αγωγούς των φάσεων.

Τέλος οι αρμονικές είναι πιθανόν να δημιουργήσουν παράσιτα σε γειτονικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

#### **4.3.2 Πηγές των αρμονικών**

Αρχικά αρμονικές συνιστώσες παράγαν οι γεννήτριες και οι μετασχηματιστές των ηλεκτρικών δικτύων. Σήμερα με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών διατάξεων και των ημιαγωγών έχει αυξηθεί σημαντικά το πρόβλημα της αρμονικής παραμόρφωσης. Οι βασικότερες πηγές αρμονικών συνιστωσών είναι οι εξής:

Οι τριφασικοί μετασχηματιστές ισχύος αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές αρμονικών. Η παραγωγή αρμονικών από τους μετασχηματιστές οφείλεται στον μαγνητικό κορεσμό των πυρήνων και στο φαινόμενο της μαγνητικής υστερήσεως.

Οι σύγχρονες μηχανές και οι επαγωγικοί κινητήρες παράγουν υψηλά ποσοστά αρμονικών τάσεως. Η δημιουργία αρμονικών οφείλεται στις οδοντώσεις του πυρήνα, σε ηλεκτρική ασυμμετρία και σε κατασκευαστικές ατέλειες των μαγνητικών κυκλωμάτων των ηλεκτρικών μηχανών.

Οι στατικοί μετατροπείς και κυρίως οι ανορθωτές και οι αντιστροφείς αποτελούν βασικές πηγές αρμονικών συνιστωσών. Μεγαλύτερη παραμόρφωση δημιουργούν οι μεγάλης ισχύος μετατροπείς που χρησιμοποιούνται στην μεταφορά HVDC και ακολουθούν οι μεσαίου μεγέθους μετατροπείς που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία. Μικρότερες τιμές αρμονικών συνιστωσών παράγουν οι μικρής ισχύος μετατροπείς που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μονοφασικές ηλεκτρικές συσκευές. Επίσης, σημαντικές αρμονικές συνιστώσες παράγουν οι κυκλομετατροπείς που χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Συσκευές που χρησιμοποιούν ηλεκτρικά τόξα όπως κλίβανοι ηλεκτρικού τόξου και μηχανήματα ηλεκτροσυγκόλλησης παράγουν αρμονικές συνιστώσες. Η αιτία παραγωγής των αρμονικών από αυτές τις συσκευές είναι τα ισχυρά μη γραμμικά χαρακτηριστικά τάσης και έντασης του ηλεκτρικού τόξου που δημιουργούν.

Οι λαμπτήρες φθορισμού, λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης και ειδικά οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης αποτελούν ισχυρά μη γραμμικά φορτία. Τα ηλεκτρονικά ballasts των λαμπτήρων εκπέμπουν υψηλά αρμονικά ρεύματα περιττής τάξης.

Τα συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προκαλούν αρμονική παραμόρφωση στα δίκτυα διανομής που συνδέονται. Η χρήση μετατροπέων ισχύος από τα αιολικά και φωτοβολταϊκά

συστήματα προκαλεί την παραγωγή αρμονικών συνιστωσών τάσης στην έξοδο των συστημάτων αυτών.

Τέλος σημαντικές αρμονικές συνιστώσες παράγονται από ποικίλες νέες οικιακές συσκευές που συνδυάζουν ημιαγώγιμα στοιχεία με ηλεκτρονικά διακοπτικά κυκλώματα.

Ακολουθεί ο Πίνακας 4-5 που παρουσιάζει ομαδοποιημένα τις πηγές των αρμονικών με την τάξη τους και την περιοχή συχνοτήτων που αυτές εμφανίζονται:

Πηγή Αρμονικών	Τάξη Αρμονικής (n)	Συχνότητα (Hz)
Στρεφόμενες Μηχανές	3, 5, 7	150 – 3000
Μετασχηματιστές	3, 5, 7, ...	150 – 1000
Διατάξεις Ηλεκτρονικών Ισχύος (Inverters, Converters κλπ)		
• Στο AC κύκλωμα	3, 5, 7, ...	150 – 1000
• Στο DC κύκλωμα	2, 4, 6, ...	100 – 1000
Κλίβανοι τόξου, ηλεκτρ. Συγκολ.	3, 5, 7, ...	150 - 5000

Πίνακας 4-5: Πηγή αρμονικών, τάξη και συχνότητα αυτών

#### 4.3.3 Συνιστώσες ισχύος σε περιβάλλον με αρμονικές συνιστώσες στην τάση και το ρεύμα

Στην περίπτωση των γραμμικών φορτίων, που οι κυματομορφές της τάσης και του της έντασης του ρεύματος είναι ημιτονοειδείς διακρίνουμε την ισχύ σε φαινόμενη (S), ενεργό ισχύ (P) και άεργο ισχύ (Q). Όμως, σε μη γραμμικά φορτία που υπάρχει αρμονική παραμόρφωση ένα σημαντικό μέρος της ισχύος απορροφάται λόγω αρμονικής παραμόρφωσης. Η ισχύς αυτή ονομάζεται ισχύς παραμόρφωσης (D). Σε παραμορφωμένα σήματα, παραγωγή ή κατανάλωση ενεργού και άεργου ισχύος έχουμε σε κάθε τάξη αρμονικών συνιστωσών. Ο υπολογισμός της ισχύος γίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{Ενεργός ισχύς: } P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot I_n \cdot \cos(\varphi_n), \quad (4.1)$$

$$\text{Άεργος ισχύς: } Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cdot I_n \cdot \sin(\varphi_n), \quad (4.2)$$

$$\text{Φαινόμενη ισχύς: } S = V \cdot I = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 \cdot I_n^2}, \quad (4.3) \quad \text{και} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}, \quad (4.4)$$

$$\text{Ισχύς παραμόρφωσης: } D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}, \quad (4.5)$$

Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα κριτήριο του πόσο αποτελεσματικά μια ηλεκτρική διάταξη μετατρέπει την είσοδο του ρεύματος και της τάσης σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια (ενεργό ισχύ). Ο συντελεστής ισχύος ορίζεται ως ο λόγος της ενεργού ισχύος που καταναλώνει μια διάταξη προς την φαινόμενη ισχύ της. Για γραμμικά φορτία ο συντελεστής ισχύος ταυτίζεται με το  $\cos\phi$ , όπου  $\phi$  είναι η διαφορά φάσης μεταξύ της κυματομορφής ρεύματος και τάσης του φορτίου. Για την περίπτωση παραμορφωμένων σημάτων, ο συντελεστής ισχύος δίνεται από την παρακάτω Σχέση 4-6:

$$\text{Συντελεστής ισχύος: } P.F. = \frac{P}{S}, \quad (4.6)$$

#### 4.3.4 Επίδραση των αρμονικών συνιστωσών στον υπολογισμό της φαινόμενης ισχύος και του συντελεστή ισχύος, ολική αρμονική παραμόρφωση (THD)

Όταν τα σήματα της τάσης και του ρεύματος δεν είναι περιοδικά, ορίζονται (κατά IEEE) οι δείκτες ολικής αρμονικής παραμόρφωσης ( $THD_V$ ,  $THD_I$ ) της τάσης και του ρεύματος ως εξής:

$$THD_V = \frac{1}{V_{1,rms}} \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{1,rms}}\right)^2 - 1}, \quad (4.7)$$

Όπου  $V_h$  είναι η rms τιμή της h αρμονικής της τάσης,

$V_{1,rms}$  είναι η rms τιμή της θεμελιώδους συχνότητας της τάσης και

$V_{rms}$  είναι η (ολική) rms τιμή της τάσης

$$THD_I = \frac{1}{I_{1,rms}} \cdot \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{1,rms}}\right)^2 - 1}, \quad (4.8)$$

Όπου  $I_h$  είναι η rms τιμή της h αρμονικής του ρεύματος,

$I_{1,rms}$  είναι η rms τιμή της θεμελιώδους συχνότητας του ρεύματος και

$I_{rms}$  είναι η (ολική) rms τιμή του ρεύματος

Η φαινόμενη ισχύς είναι:

$$\begin{aligned} S &= V_{rms} \cdot I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_{h,rms}^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_{h,rms}^2} = V_{1,rms} \cdot I_{1,rms} \cdot \sqrt{1 + THD_V^2} \cdot \sqrt{1 + THD_I^2} \\ &= S_1 \cdot \sqrt{1 + THD_V^2} \cdot \sqrt{1 + THD_I^2}, \quad (4.9) \end{aligned}$$

Όπου  $S_1$  είναι η φαινόμενη ισχύς στην θεμελιώδη συχνότητα.

Ο συντελεστής ισχύος (PF) όπως αναφέραμε είναι ο λόγος της πραγματικής ενεργού ισχύος προς την φαινόμενη ισχύ:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{S_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+THD_V^2} \cdot \sqrt{1+THD_I^2}} = PF_{disp} \cdot PF_{dist}, \quad (4.10)$$

Όπου  $PF_{disp} = \frac{P}{S_1}$ , (4.11) και

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1+THD_V^2} \cdot \sqrt{1+THD_I^2}} = \frac{V_{1rms}}{V_{rms}} \cdot \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} = \frac{S_1}{S}, \quad (4.12)$$

Όπου  $PF_{disp}$  είναι το μέρος του συντελεστή ισχύος που είναι ο συντελεστής μετατόπισης (displacement power factor),

$PF_{dist}$  είναι το μέρος του συντελεστή ισχύος που είναι ο συντελεστής παραμόρφωσης (distortion power factor),

P είναι η ενεργός ισχύς,

$S_1$ ,  $V_{1rms}$ ,  $I_{1rms}$  είναι η φαινόμενη ισχύς, η RMS τιμή της τάσης και η rms τιμή του ρεύματος στην θεμελιώδη συχνότητα,

$THD_V$ ,  $THD_I$  είναι η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος όπως ορίστηκαν παραπάνω και

S είναι η ολική φαινόμενη ισχύς.



### 4.3.5 Πρότυπα για την αρμονική παραμόρφωση

Γίνεται σημαντική προσπάθεια έτσι ώστε να θεσπιστούν κάποια Πρότυπα, που θα καθορίζουν τα όρια της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης και της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής των αρμονικών συνιστωσών στα ηλεκτρικά δίκτυα. Τα Πρότυπα αυτά υποχρεώνουν τις ηλεκτρικές εταιρίες να λαμβάνουν μέτρα, για να μην υπερβαίνουν τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια, αλλά και τις προστατεύουν, απαγορεύοντας τις ηλεκτρικές συσκευές των καταναλωτών που παράγουν πολύ υψηλές τιμές αρμονικών συνιστωσών ρεύματος.

Τα όρια αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης σε δίκτυα διανομής χαμηλής και μέσης τάσης, όπως ορίζονται από το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50160, δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4-6:

ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ EN 50160					
Περιττές αρμονικές μη πολλαπλάσιες του 3 ( $\neq 3n$ )		Περιττές αρμονικές πολλαπλάσιες του 3 ( $=3n$ )		Άρτιες αρμονικές	
Τάξη n	Σχετική τάση [%]	Τάξη n	Σχετική τάση [%]	Τάξη n	Σχετική τάση [%]
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 ... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
Με όριο για τον συντελεστή συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης ( $THD_V$ ) το 8%					

Πίνακας 4-6: Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50160 για αρμονικές τάσης

Τα διεθνή Πρότυπα IEC 61000-3-2 και IEC 61000-3-4 παρέχουν τα όρια για την διείσδυση των αρμονικών ρευμάτων του εξοπλισμού με το ρεύμα εισόδου του να είναι μικρότερο από 16A ανά φάση ή μεγαλύτερο ή ίσο από 16A ανά φάση αντίστοιχα.

Ειδικά για το Πρότυπο IEC 61000-3-2 αναφερόμαστε στις συσκευές της κατηγορίας C, δηλ. τις συσκευές φωτισμού. Επίσης όταν αναφερόμαστε σε εξοπλισμό φωτισμού με λαμπτήρες εκκένωσης και συσκευές dimming, ισχύουν τα εξής:

- Σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να ξεπεραστούν τα όρια των αρμονικών ρεύματος, που δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4-7, όταν υπολογιστούν στο πλήρες φορτίο.
- Σε κάθε θέση διαβάθμισης (dimming) δεν πρέπει να ξεπεραστούν τα όρια των αρμονικών ρεύματος που επιτρέπονται στο πλήρες φορτίο.

Τα όρια αυτά δίνονται στους παρακάτω Πίνακες 4-7 και 4-8:

<b>ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000 – 3 – 2</b>	
<b>Αρμονικές Τάξη n</b>	<b>Μέγιστη επιτρεπόμενη αρμονική ρεύματος ως ποσοστό του ρεύματος εισόδου στην θεμελιώδη-βασική συχνότητα <math>I_n / I_1</math> . %</b>
2	2
3	$30 \cdot \lambda$ *
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (μόνο περιττές αρμονικές)	3
*λ είναι ο συντελεστής ισχύος (power factor) του κυκλώματος	

Πίνακας 4-7: Πρότυπο IEC 61000 – 3 – 2 για αρμονικές ρεύματος σε συσκευές κατηγορίας C (lighting equipment) (Ενεργός Ισχύς Εισόδου > 25W και συνολικό ρεύμα εισόδου < 16A)

<b>ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000 – 3 – 4</b>	
<b>Αρμονικές Τάξη n</b>	<b>Μέγιστη επιτρεπόμενη αρμονική ρεύματος ως ποσοστό του ρεύματος εισόδου στην θεμελιώδη-βασική συχνότητα <math>I_n / I_1</math> . %</b>
3	21.6
5	10.7
7	7.2
9	3.8
11	3.1
13	2
15	0.7
17	1.2
19	1.1
21	$\leq 0.6$
23	0.9
25	0.8
27	$\leq 0.6$
29	0.7
31	0.7
$\geq 33$	$\leq 0.6$
Άρτιες Αρμονικές	$\leq 8/n$ ή $\leq 0.6$

Πίνακας 4-8: Πρότυπο IEC 61000 – 3 – 4 για αρμονικές ρεύματος σε συσκευές με  $R_{SCE} \geq 33$  (short-circuit ratio) και συνολικό ρεύμα εισόδου  $\geq 16A$

Όπου  $R_{SCE} = S_{SC} / (3 \cdot S_{equ})$  για μονοφασικές συσκευές, με  $S_{SC} = U_{nominal}^2 / Z$  η ισχύς βραχυκύκλωσης και  $S_{equ} = U_p \cdot I_{equ}$  η φαινόμενη ισχύς της μονοφασικής συσκευής.

#### 4.3.6 Μετρήσεις αρμονικών τάσης και ρεύματος δύο συστημάτων dimming (INTELUX και E-BOX) για φωτισμό δρόμων

Με τις μετρήσεις που παρουσιάζουμε στην παράγραφο αυτή, γίνεται παρουσίαση των δύο κεντρικών μονοφασικών συστημάτων dimming INTELUX NG5 (5.7 kVA, 25A) και E-BOX CL12 (2.9kVA, 12A) που αναφέρθηκαν προηγουμένως, όσον αφορά την επιβάρυνση με αρμονικές τάσης και ρεύματος τόσο στην πλευρά του δικτύου (είσοδο του συστήματος) όσο και στην πλευρά των φωτιστικών (έξοδο του συστήματος). Οι μετρήσεις έγιναν στο Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του ΕΜΠ υπό τις ίδιες συνθήκες και για τα δύο συστήματα. Η τροφοδοσία αυτών των συστημάτων dimming έγινε απευθείας από το δίκτυο λόγω έλλειψης σταθεροποιητή τάσης αδιάλλειπτης παροχής (UPS) ισχύος άνω των 2kVA. Ακόμη το φορτίο που χρησιμοποιήθηκε και για τα δύο συστήματα ήταν το ίδιο: έξι (6) φωτιστικά με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης των 250W (απιοειδείς γαλακτώδεις E40 HPS Sylvania SHP-S 250W, 2050°K, 30000lm, 30000h) συνδεδεμένα εν παραλλήλω στην έξοδο του συστήματος dimming.

Για τις μετρήσεις μας χρησιμοποιήθηκε το True RMS three-phase Power Quality Analyzer: FLUKE 435. Οι μετρήσεις είχαν συχνότητα πέντε (5) δευτερολέπτων, διάρκεια μίας (1) ώρας και τα μεγέθη που μετρήθηκαν είναι:

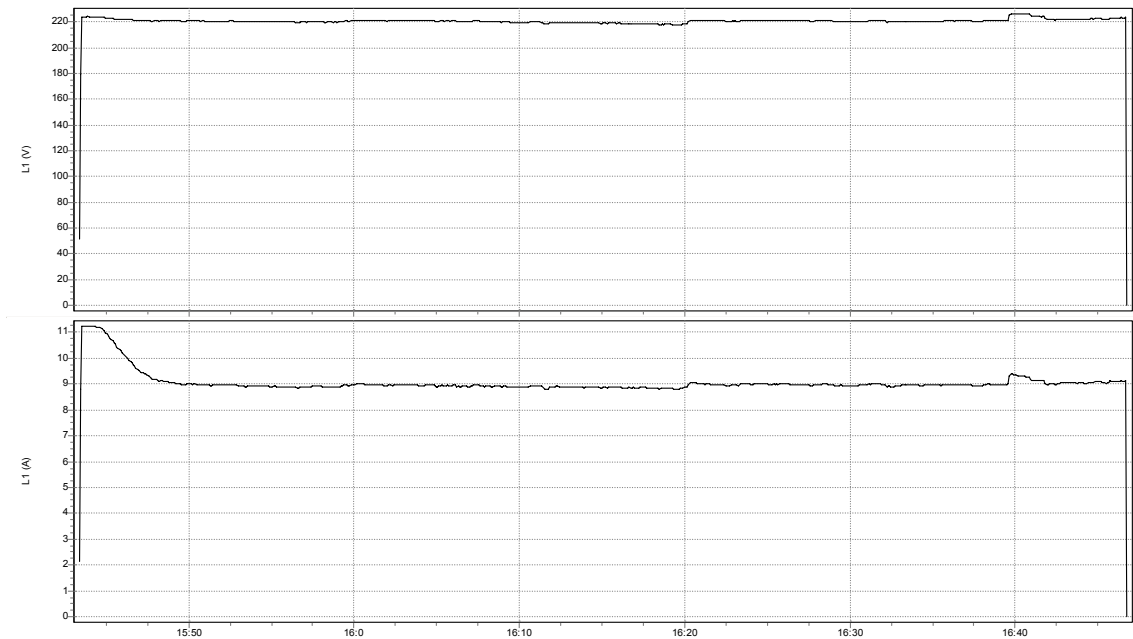
- Τάση RMS τιμή και πλάτος (min, average, max)
- Ρεύμα RMS τιμή και πλάτος (min, average, max)
- Crest Factor της τάσης (min, average, max)
- Crest Factor του ρεύματος (min, average, max)
- Ενεργός Ισχύς (min, average, max)
- Άεργος Ισχύς (min, average, max)
- Φαινόμενη Ισχύς (min, average, max)
- Συντελεστής Ισχύος - Power Factor (min, average, max)
- Αρμονικές Ισχύος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης)
- Συχνότητα (min, average, max)
- Ολική Αρμονική Παραμόρφωση της Τάσης THD<sub>V</sub> (min, average, max)
- Αρμονικές Τάσης (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης)
- Ολική Αρμονική Παραμόρφωση του Ρεύματος THD<sub>I</sub> (min, average, max)
- Αρμονικές Ρεύματος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης)

Η μέτρηση του ρεύματος έγινε με χρήση αμπεροτσιμπίδας (clamp meter).

#### A. Μετρήσεις χωρίς σύστημα dimming (μόνο το φορτίο των φωτιστικών)

Αρχικά έγιναν οι παραπάνω μετρήσεις με το φορτίο να τροφοδοτείται απευθείας από το δίκτυο χωρίς την ύπαρξη κανενός από τα δύο συστήματα dimming. Όλα τα φωτιστικά συνδέθηκαν παράλληλα.

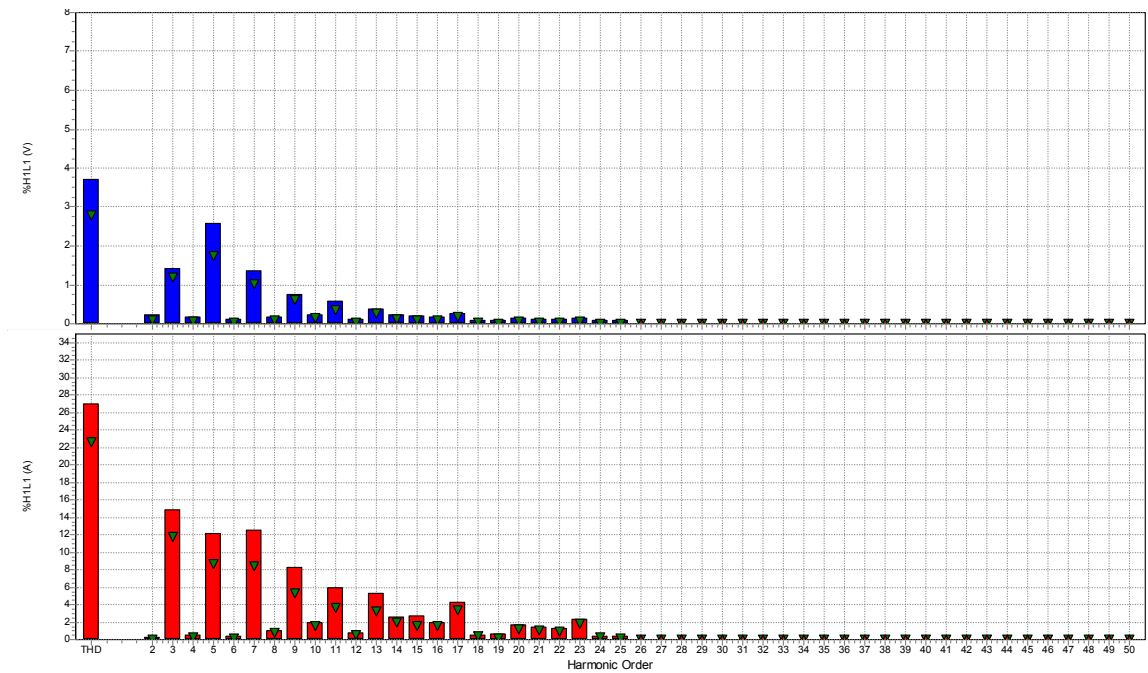
Η RMS τιμή (average) της τάσης και του ρεύματος του φορτίου φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 4-21:



*Σχήμα 4-21: Τάση και Ρεύμα (χωρίς σύστημα dimming)*

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι RMS τιμές (average) της τάσης και του ρεύματος είναι 220V και 9A αντίστοιχα, με crest factor (average) 1.4 και 1.5 αντίστοιχα.

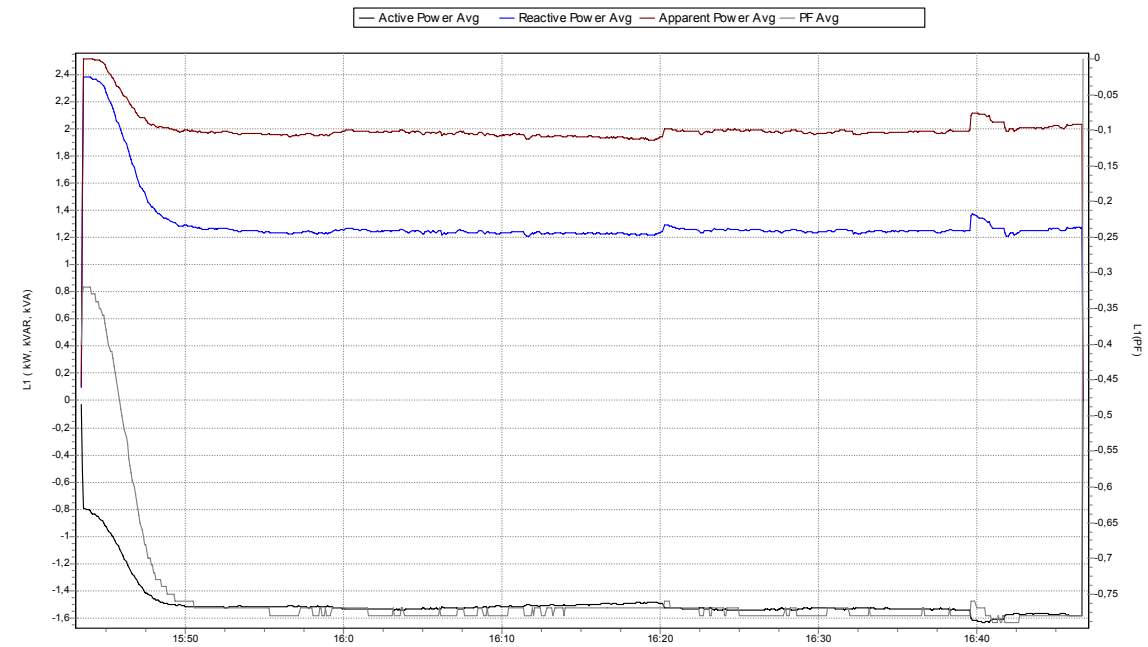
Στο παρακάτω Σχήμα 4-22 φαίνονται οι αρμονικές της τάσης και του ρεύματος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης) καθώς και η ολική τους αρμονική παραμόρφωση (THD<sub>V</sub> και THD<sub>I</sub>) ως ποσοστά της RMS τιμής τους στην θεμελιώδη συχνότητα:



Σχήμα 4-22: Ολική αρμονική παραμόρφωση και αρμονικές τάσης και ρεύματος (χωρίς σύστημα dimming)

Παρατηρούμε ότι η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης είναι 3.7% και αυτή του ρεύματος 27%. Επίσης την μεγαλύτερη συνεισφορά στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος έχουν οι περιττές συνιστώσες 3<sup>ης</sup>, 5<sup>ης</sup>, 7<sup>ης</sup>, 9<sup>ης</sup> και 11<sup>ης</sup> τάξης.

Στη συνέχεια (Σχήμα 4-23) δίνεται το διάγραμμα των τιμών (average) της ενεργού, αέργου, φαινομένης ισχύος και του συντελεστή ισχύος (power factor). Η ενεργός ισχύς και ο συντελεστής ισχύος παρουσιάζουν αρνητική τιμή, ενώ η άεργος ισχύς παρουσιάζει θετική τιμή λόγω ανάστροφης συνδεσμολογίας της αμπεροτσιμπίδας που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του ρεύματος.



Σχήμα 4-23: Ενεργός, άεργος, φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος (χωρίς σύστημα dimming)

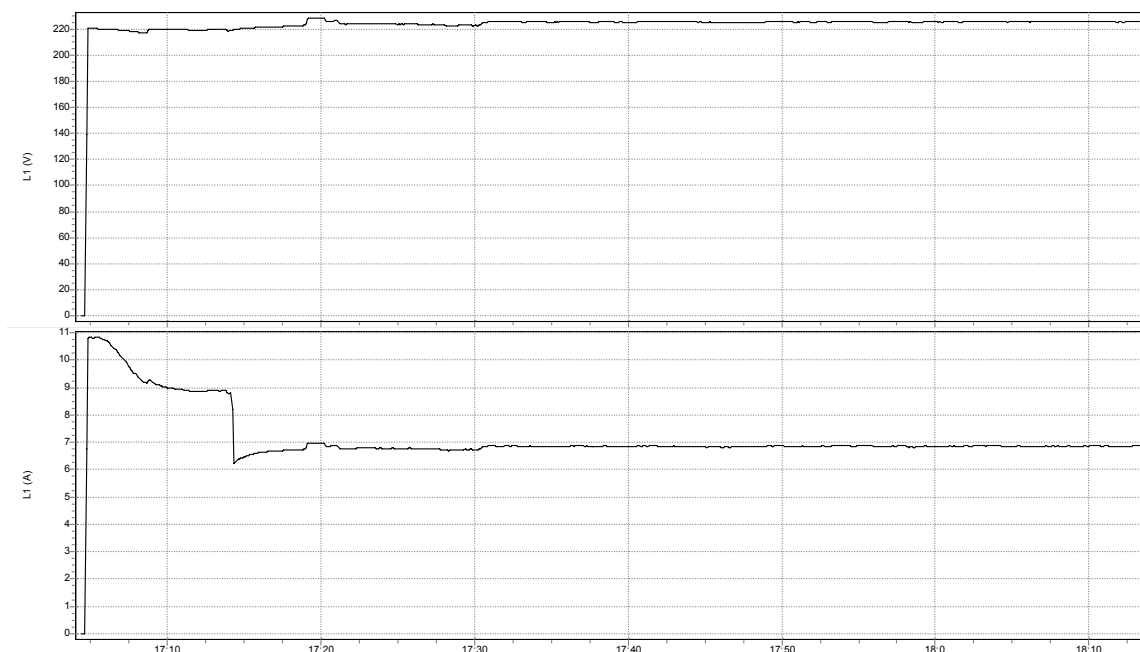
Οι τιμές (average) της ενεργού, αέργου και φαινομένης ισχύος είναι 1.58kW, -1.27kVAr και 2.03kVA. Ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή (average) 0.78 χωρητικός.

### B. Μετρήσεις με σύστημα dimming E-BOX

Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα dimming E-BOX CL12 (2.9kVA, 12A) με το παραπάνω φορτίο των φωτιστικών εν παραλλήλω. Το σύστημα τροφοδοτήθηκε απευθείας από το δίκτυο και προγραμματίστηκε για διαβάθμιση της τάσης στην ζώνη 7 όπως ήταν και στις φωτομετρικές μετρήσεις της Παραγράφου 4.2.1.

(α) Στην είσοδο του συστήματος (από την πλευρά του δικτύου)

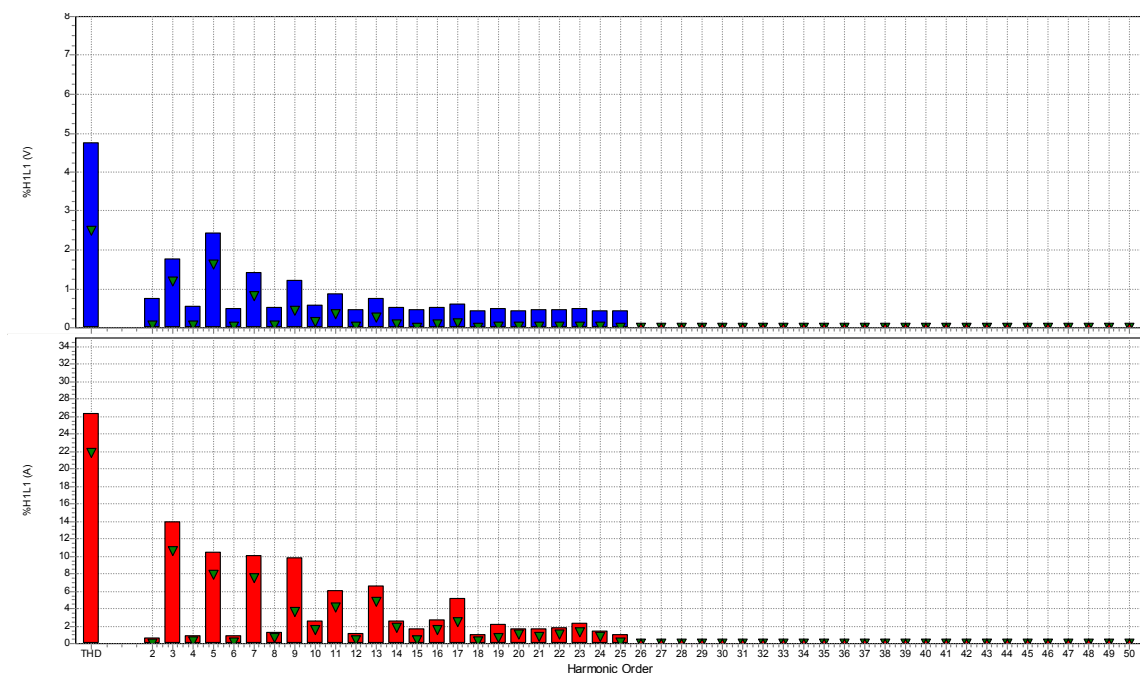
Η RMS τιμή (average) της τάσης και του ρεύματος στην είσοδο του συστήματος φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 4-24:



Σχήμα 4-24: Τάση και Ρεύμα (στην είσοδο συστήματος dimming E-BOX)

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι RMS τιμές (average) της τάσης και του ρεύματος είναι 225V και 6.82A αντίστοιχα, με crest factor (average) 1.39 και 1.55 αντίστοιχα.

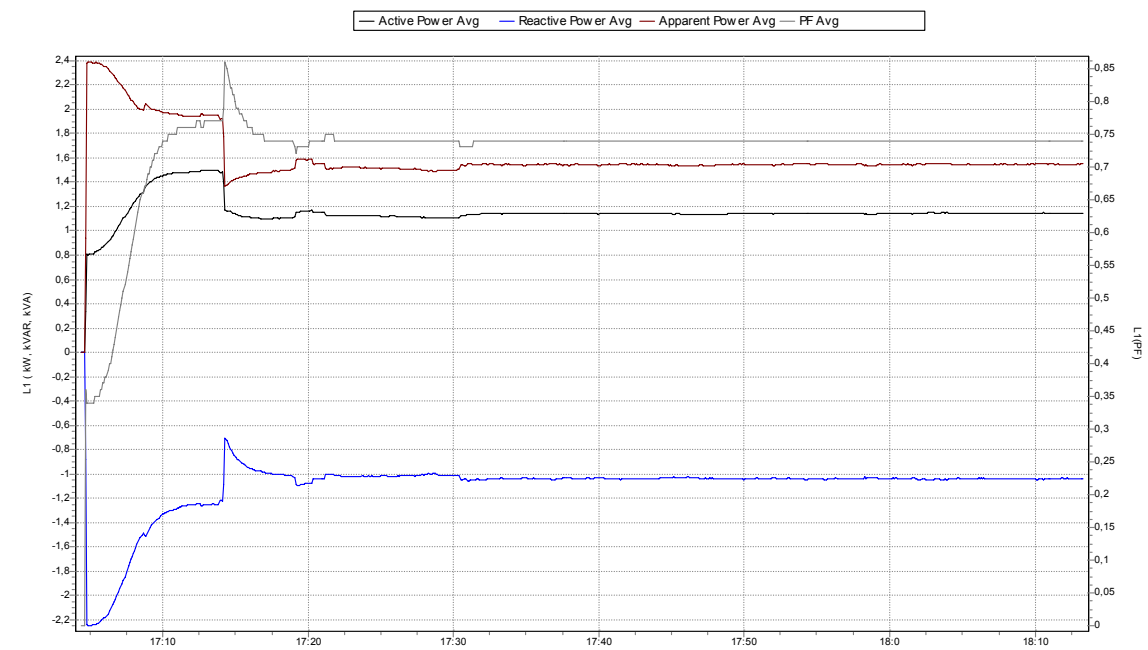
Παρακάτω (Σχήμα 4-25) φαίνονται οι αρμονικές της τάσης και του ρεύματος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης) καθώς και η ολική τους αρμονική παραμόρφωση (THD<sub>V</sub> και THD<sub>I</sub>) ως ποσοστά της RMS τιμής τους στην θεμελιώδη συχνότητα:



Σχήμα 4-25: Ολική αρμονική παραμόρφωση και αρμονικές τάσης και ρεύματος (στην είσοδο συστήματος dimming E-BOX)

Παρατηρούμε ότι η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης είναι 4.7% και αυτή του ρεύματος 26%. Επίσης την μεγαλύτερη συνεισφορά στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος έχουν οι περιττές συνιστώσες 3<sup>ης</sup>, 5<sup>ης</sup>, 7<sup>ης</sup>, 9<sup>ης</sup>, 11<sup>ης</sup>, 13<sup>ης</sup> και 17<sup>ης</sup> τάξης.

Στη συνέχεια δίνεται το διάγραμμα των τιμών (average) της ενεργού, αέργου, φαινομένης ισχύος και του συντελεστή ισχύος (power factor).



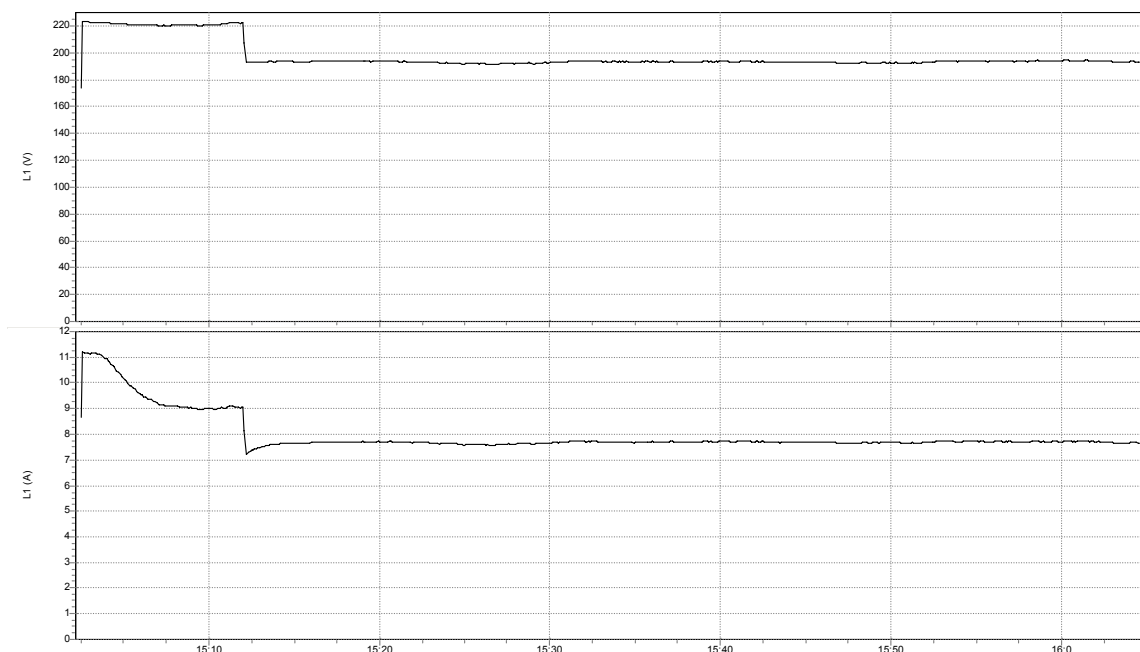
Σχήμα 4-26: Ενεργός, αέργος, φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος (στην είσοδο συστήματος dimming E-BOX)

Οι τιμές (average) της ενεργού, αέργου και φαινομένης ισχύος είναι 1.14kW, -1.05kVAr και 1.55kVA. Ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή (average) 0.74 χωρητικός.

(β) Στην έξοδο του συστήματος (από την πλευρά των φωτιστικών)

Η RMS τιμή (average) της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο του συστήματος φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα:

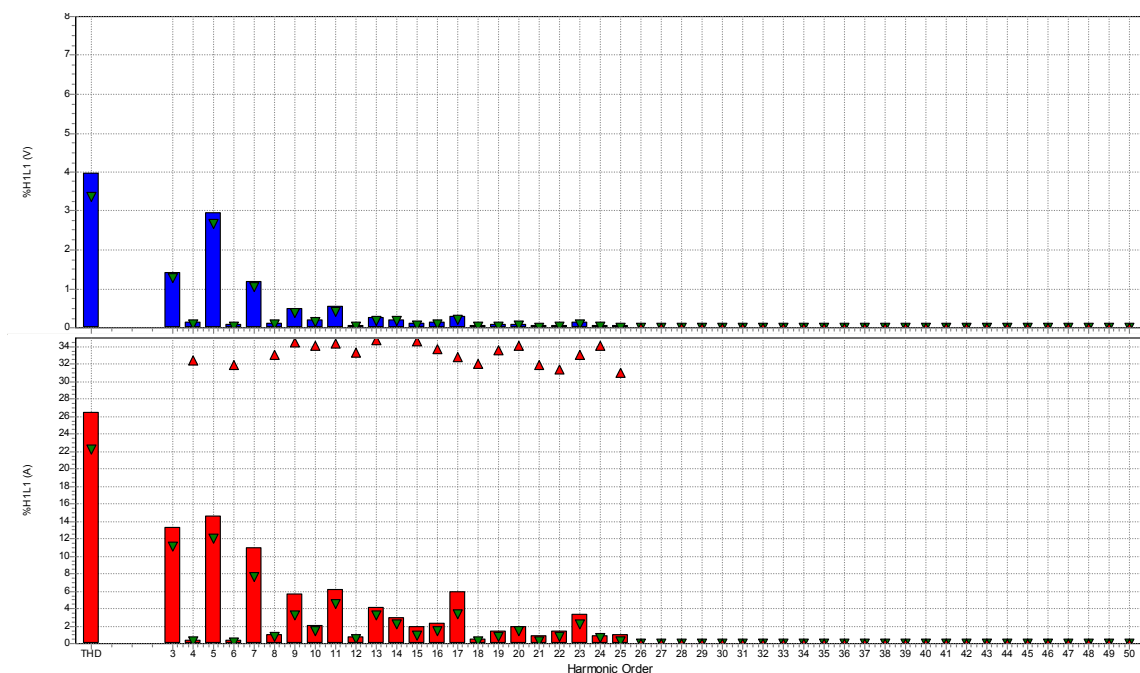




Σχήμα 4-27: Τάση και Ρεύμα (στην έξοδο συστήματος dimming E-BOX)

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι RMS τιμές (average) της τάσης και του ρεύματος είναι 194V και 7.7A αντίστοιχα, με crest factor (average) 1.37 και 1.57 αντίστοιχα.

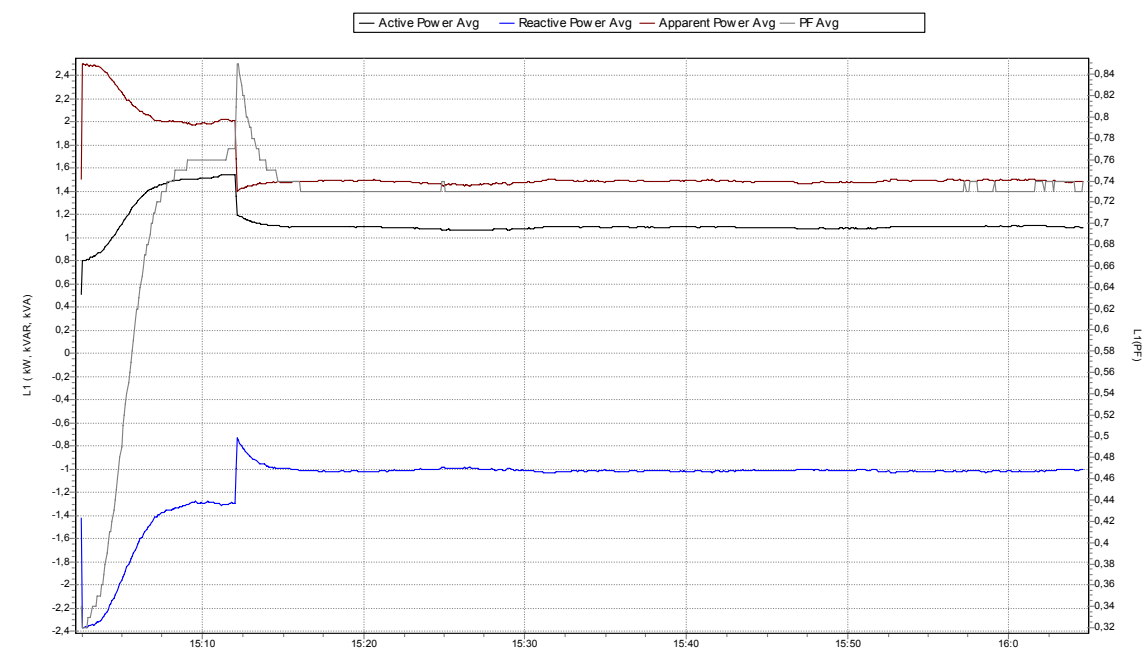
Παρακάτω φαίνονται οι αρμονικές της τάσης και του ρεύματος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης) καθώς και η ολική τους αρμονική παραμόρφωση (THD<sub>V</sub> και THD<sub>I</sub>) ως ποσοστά της RMS τιμής τους στην θεμελιώδη συχνότητα:



Σχήμα 4-28: Ολική αρμονική παραμόρφωση και αρμονικές τάσης και ρεύματος (στην έξοδο συστήματος dimming E-BOX)

Παρατηρούμε ότι η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης είναι 3.9% και αυτή του ρεύματος 26.5%. Επίσης την μεγαλύτερη συνεισφορά στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος έχουν οι περιττές συνιστώσες 3<sup>ης</sup>, 5<sup>ης</sup>, 7<sup>ης</sup>, 9<sup>ης</sup>, 11<sup>ης</sup>, 13<sup>ης</sup> και 17<sup>ης</sup> τάξης.

Στη συνέχεια δίνεται το διάγραμμα των τιμών (average) της ενεργού, αέργου, φαινομένης ισχύος και του συντελεστή ισχύος (power factor).



Σχήμα 4-29: Ενεργός, αέργος, φαινομένη ισχύς και συντελεστής ισχύος (στην έξοδο συστήματος dimming E-BOX)

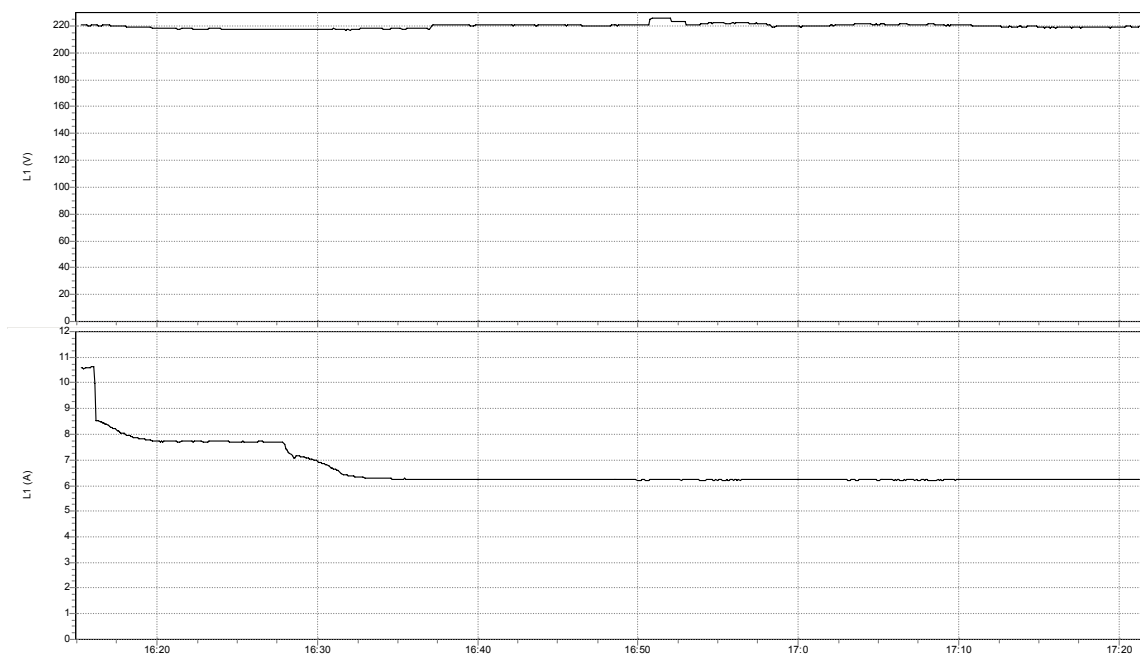
Οι τιμές (average) της ενεργού, αέργου και φαινομένης ισχύος είναι 1.08kW, -1.00kVar και 1.48kVA. Ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή (average) 0.73 χωρητικός.

### Γ. Μετρήσεις με σύστημα dimming INTELUX

Χρησιμοποιήθηκε το σύστημα dimming INTELUX NG5 (5.7kVA, 25A) με το ίδιο φορτίο των φωτιστικών εν παραλλήλω. Το σύστημα τροφοδοτήθηκε απευθείας από το δίκτυο και ήταν προγραμματισμένο για διαβάθμιση-ψαλιδισμό της τάσης όπως ήταν και στις φωτομετρικές μετρήσεις της Παραγράφου 4.2.1.

(α) Στην είσοδο του συστήματος (από την πλευρά του δικτύου)

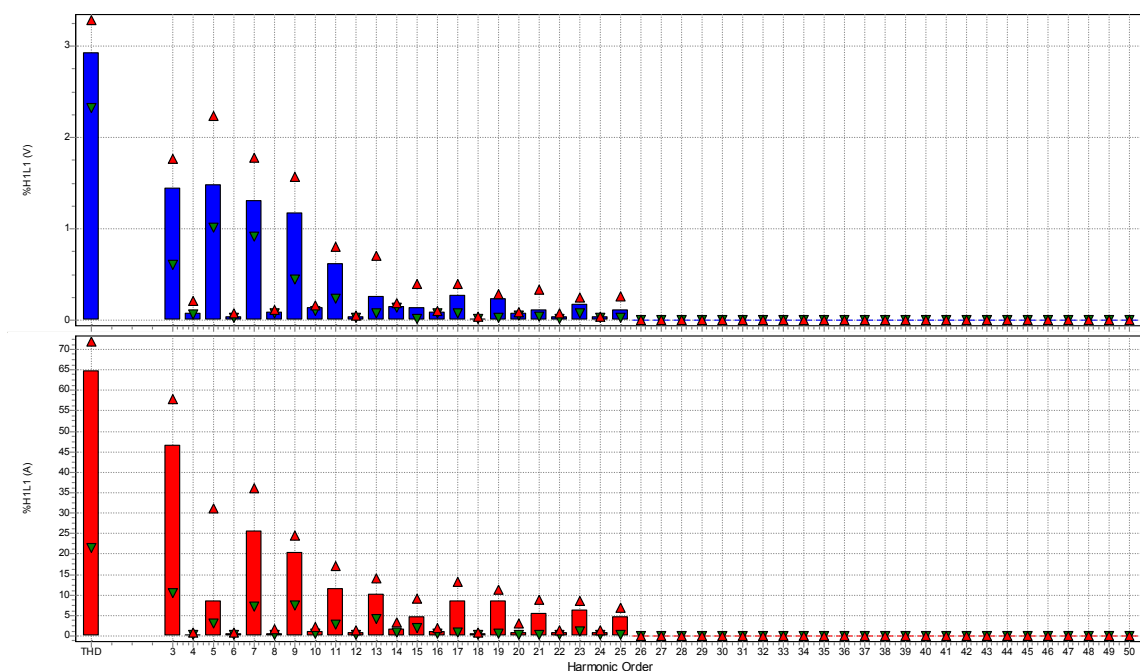
Η RMS τιμή (average) της τάσης και του ρεύματος στην είσοδο του συστήματος φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα:



Σχήμα 4-30: Τάση και Ρεύμα (στην είσοδο συστήματος dimming INTELUX)

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι RMS τιμές (average) της τάσης και του ρεύματος είναι 220V και 6.23A αντίστοιχα, με crest factor (average) 1.47 και 2.35 αντίστοιχα.

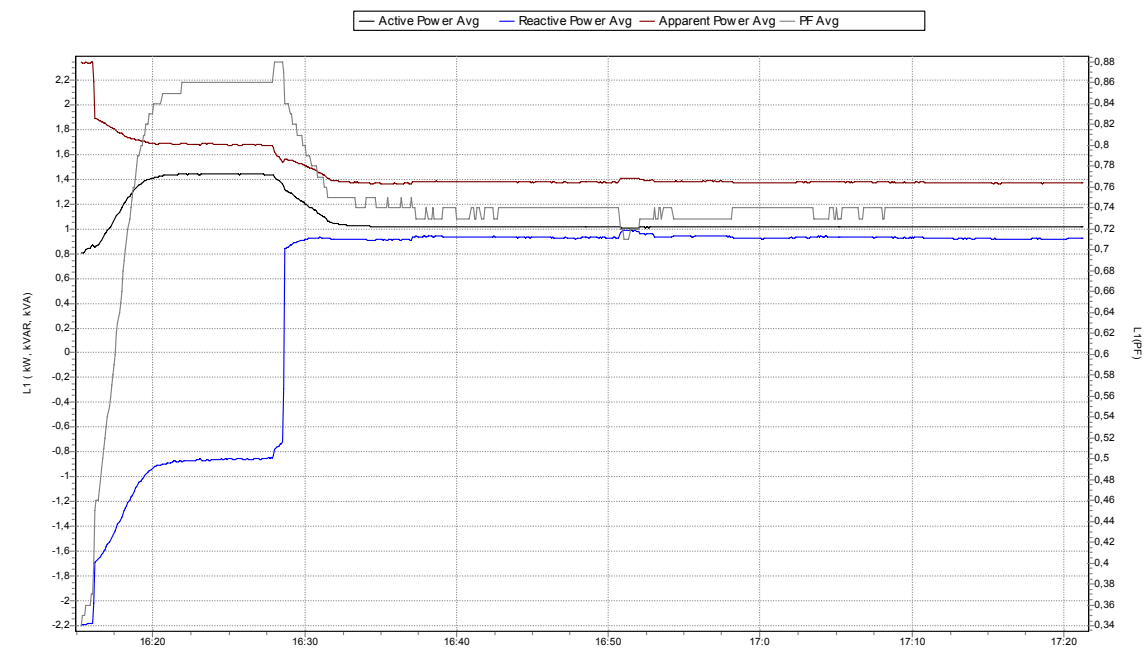
Παρακάτω φαίνονται οι αρμονικές της τάσης και του ρεύματος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης) καθώς και η ολική τους αρμονική παραμόρφωση (THD<sub>V</sub> και THD<sub>I</sub>) ως ποσοστά της RMS τιμής τους στην θεμελιώδη συχνότητα:



Σχήμα 4-31: Ολική αρμονική παραμόρφωση και αρμονικές τάσης και ρεύματος (στην είσοδο συστήματος dimming INTELUX)

Παρατηρούμε ότι η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης είναι 2.9% και αυτή του ρεύματος 64.2%. Επίσης την μεγαλύτερη συνεισφορά στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος έχουν οι περιττές συνιστώσες 3<sup>ης</sup>, 5<sup>ης</sup>, 7<sup>ης</sup>, 9<sup>ης</sup>, 11<sup>ης</sup>, 13<sup>ης</sup> και 17<sup>ης</sup> τάξης.

Στη συνέχεια δίνεται το διάγραμμα των τιμών (average) της ενεργού, αέργου, φαινομένης ισχύος και του συντελεστή ισχύος (power factor).

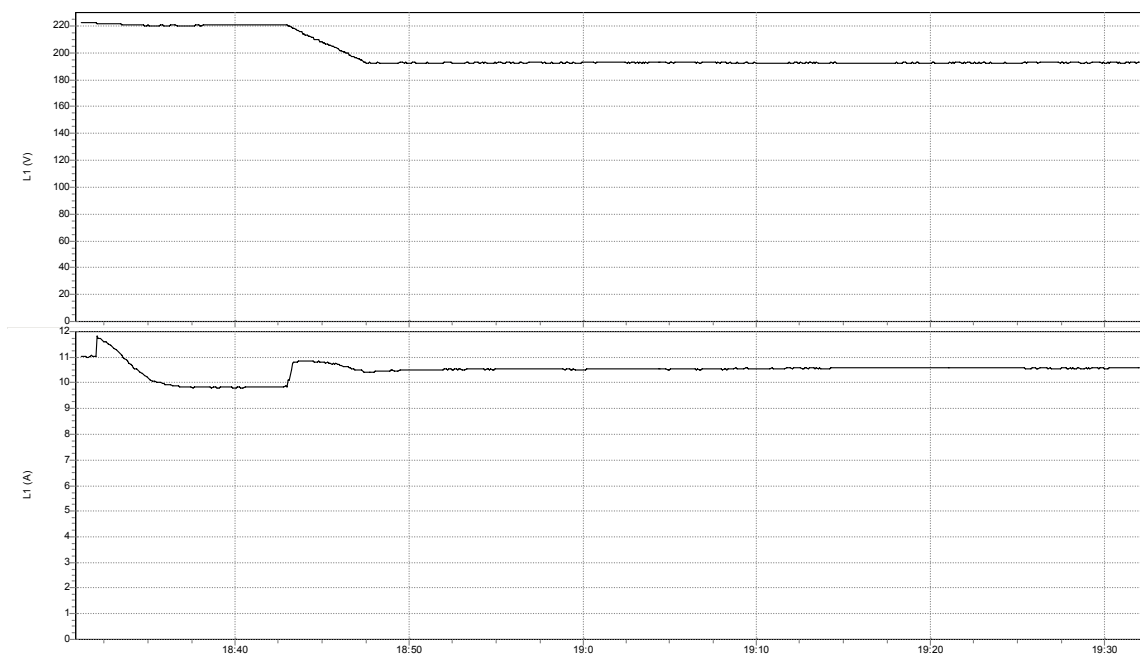


Σχήμα 4-32: Ενεργός, αέργος, φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος (στην είσοδο συστήματος dimming INTELUX)

Οι τιμές (average) της ενεργού, αέργου και φαινομένης ισχύος είναι 1.01kW, 0.93kVAr και 1.37kVA. Ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή (average) 0.74 επαγωγικός.

(β) Στην έξοδο του συστήματος (από την πλευρά των φωτιστικών)

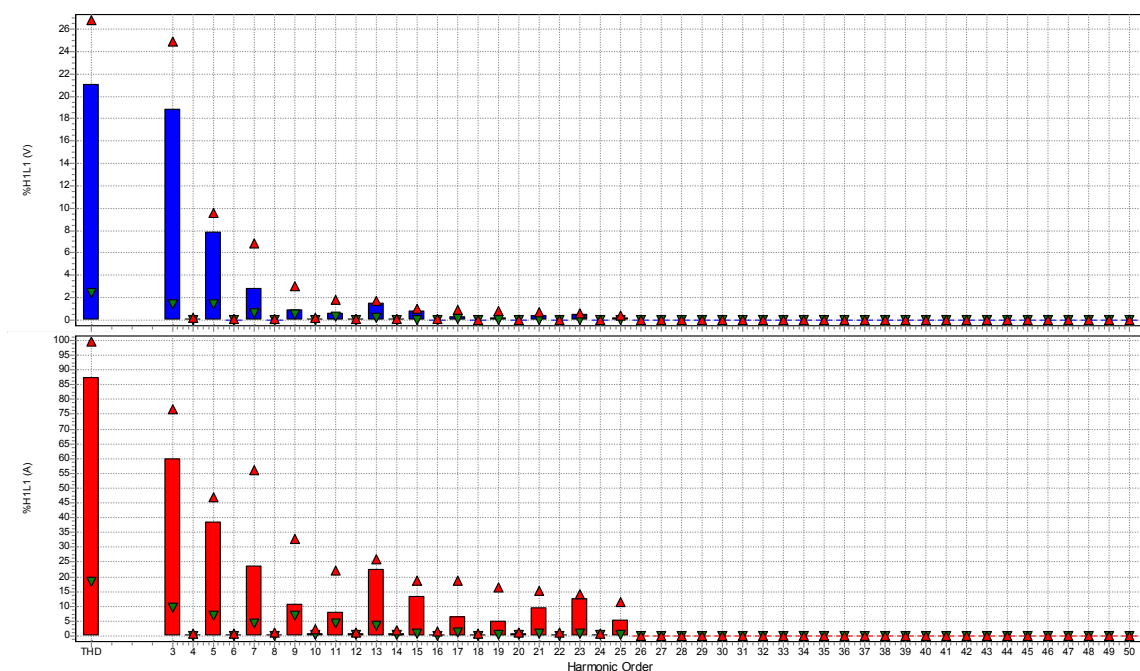
Η RMS τιμή (average) της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο του συστήματος φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα:



Σχήμα 4-33: Τάση και Ρεύμα (στην έξοδο συστήματος dimming INTELUX)

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι RMS τιμές (average) της τάσης και του ρεύματος είναι 193V και 10.6A αντίστοιχα, με crest factor (average) 1.62 και 2.07 αντίστοιχα.

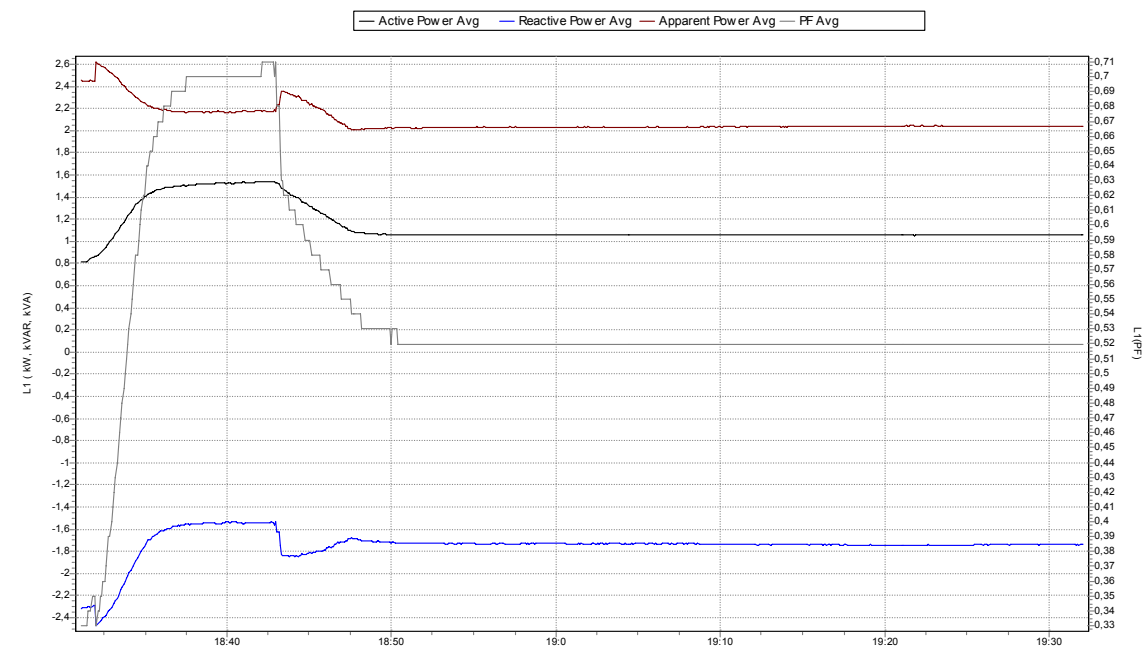
Παρακάτω φαίνονται οι αρμονικές της τάσης και του ρεύματος (μέχρι 25<sup>ης</sup> τάξης) καθώς και η ολική τους αρμονική παραμόρφωση (THD<sub>V</sub> και THD<sub>I</sub>) ως ποσοστά της RMS τιμής τους στην θεμελιώδη συχνότητα:



Σχήμα 4-34: Ολική αρμονική παραμόρφωση και αρμονικές τάσης και ρεύματος (στην έξοδο συστήματος dimming INTELUX)

Παρατηρούμε ότι η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης είναι 21% και αυτή του ρεύματος 87%. Επίσης την μεγαλύτερη συνεισφορά στην αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος έχουν οι περιττές συνιστώσες 3<sup>ης</sup>, 5<sup>ης</sup>, 7<sup>ης</sup>, και 13<sup>ης</sup> τάξης.

Στη συνέχεια δίνεται το διάγραμμα των τιμών (average) της ενεργού, αέργου, φαινομένης ισχύος και του συντελεστή ισχύος (power factor).



Σχήμα 4-35: Ενεργός, αέργος, φαινομένη ισχύς και συντελεστής ισχύος (στην έξοδο συστήματος dimming INTELUX)

Οι τιμές (average) της ενεργού, αέργου και φαινομένης ισχύος είναι 1.06kW, -1.74kVar και 2.037kVA. Ο συντελεστής ισχύος έχει τιμή (average) 0.52 χωρητικός.

Στον παρακάτω Πίνακα 4-9 γίνεται παρουσίαση και σύγκριση των παραπάνω μετρήσεων των αρμονικών τάσης σε σχέση με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50160:

<b>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΑΣΗΣ</b>						
<b>ΑΡΜΟ- ΝΙΚΕΣ</b>	<b>ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING (%)</b>	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING E-BOX CL12 (%)</b>		<b>ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING INTELUX NG5 (%)</b>		<b>ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ EN 50160 (ΕΙΣΟΔΟΣ) (%)</b>
		<b>ΕΙΣΟΔΟΣ</b>	<b>ΕΞΟΔΟΣ</b>	<b>ΕΙΣΟΔΟΣ</b>	<b>ΕΞΟΔΟΣ</b>	
<b>2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.75</b>	0.1	<b>0.1</b>	0.1	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>1.4</b>	<b>1.75</b>	1.35	<b>1.4</b>	18.8	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.1</b>	0.1	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>2.56</b>	<b>2.5</b>	2.9	<b>1.5</b>	7.75	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	0.05	<b>0.05</b>	0.05	<b>0.5</b>
<b>7</b>	<b>1.35</b>	<b>1.35</b>	1.2	<b>1.3</b>	2.8	<b>5</b>
<b>8</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.1</b>	0.05	<b>0.5</b>
<b>9</b>	<b>0.76</b>	<b>1.3</b>	0.5	<b>1.15</b>	0.9	<b>1.5</b>
<b>10</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	0.25	<b>0.15</b>	0.1	<b>0.5</b>
<b>11</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	0.5	<b>0.6</b>	0.6	<b>3.5</b>
<b>12</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	0.05	<b>0.05</b>	0.05	<b>0.5</b>
<b>13</b>	<b>0.35</b>	<b>0.75</b>	0.3	<b>0.25</b>	1.5	<b>3</b>
<b>14</b>	<b>0.2</b>	<b>0.6</b>	0.25	<b>0.15</b>	0.05	<b>0.5</b>
<b>15</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.15</b>	0.75	<b>0.5</b>
<b>16</b>	<b>0.15</b>	<b>0.6</b>	0.1	<b>0.1</b>	0	<b>0.5</b>
<b>17</b>	<b>0.25</b>	<b>0.7</b>	0.25	<b>0.25</b>	0.35	<b>2</b>
<b>18</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	0.05	<b>0</b>	0	<b>0.5</b>
<b>19</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.25</b>	0.25	<b>1.5</b>
<b>20</b>	<b>0.13</b>	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.1</b>	0	<b>0.5</b>
<b>21</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	0.05	<b>0.15</b>	0.4	<b>0.5</b>
<b>22</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	0.05	<b>0.05</b>	0	<b>0.5</b>
<b>23</b>	<b>0.15</b>	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.2</b>	0.5	<b>1.5</b>
<b>24</b>	<b>0.06</b>	<b>0.5</b>	0.05	<b>0.05</b>	0	<b>0.4</b>
<b>THD<sub>v</sub></b>	<b>3.7</b>	<b>4.7</b>	3.9	<b>2.9</b>	21	<b>8</b>

*Πίνακας 4-9: Μετρήσεις αρμονικών τάσης*

Στον παρακάτω Πίνακα 4-10 γίνεται παρουσίαση και σύγκριση των παραπάνω μετρήσεων των αρμονικών ρεύματος σε σχέση με το πρότυπο ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000 – 3 – 2:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ						
ΑΡΜΟ-ΝΙΚΕΣ	ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING (%)	ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING E-BOX CL12 (%)		ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING INTELUX NG5 (%)		ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61000-3-2 (ΕΙΣΟΔΟΣ) (%)
		ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	
2	0.2	0.75	0.05	1.2	0.15	2
3	15	14	13.2	46.5	60	23
5	12.1	10.5	14.7	8.5	38.5	10
7	12.5	10	11	25.5	23.8	7
9	8.2	9.8	5.7	20.2	10.6	5
11	6	6	6.2	11.6	8.1	3
13	5.2	6.5	4.1	10.1	22.5	3
15	2.8	1.6	2	4.6	13.3	3
17	4.2	5.2	6	8.5	6.6	3
19	0.6	2.2	1.5	8.5	4.8	3
21	1.3	1.6	1	5.5	9.5	3
23	2.2	2.4	3.3	6.2	12.6	3
THD <sub>I</sub>	27	26	26.5	64.2	87	-

Σχήμα 4-10: Μετρήσεις αρμονικών ρεύματος

Στον παρακάτω Πίνακα 4-11 γίνεται παρουσίαση και σύγκριση των υπολοίπων μετρήσεων :

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ					
ΜΕΓΕΘΗ	ΧΩΡΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING	ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING E-BOX CL12		ΣΥΣΤΗΜΑ DIMMING INTELUX NG5	
		ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ
ΤΑΣΗ [V]	220	225	194	220	193
ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ [A]	9	6.82	7.7	6.23	10.6
ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥ [kW]	1.58	1.14	1.08	1.01	1.06
ΑΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥ [kVAr]	-1.27	-1.05	-1.00	0.93	-1.74
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ [kVA]	2.03	1.55	1.48	1.37	2.037
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	0.78 (χωρητ.)	0.74 (χωρητ.)	0.73 (χωρητ.)	0.74 (επαγωγ.)	0.52 (χωρητ.)
CREST FACTOR ΤΑΣΗΣ	1.4	1.39	1.37	1.47	1.62
CREST FACTOR ΡΕΥΜΑΤΟΣ	1.5	1.55	1.57	2.35	2.07

Σχήμα 4-11: Μετρήσεις ισχύος και συντελεστή ισχύος



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

## ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

### 5.1 Γενικά περί φωτισμού δρόμων

Οι δρόμοι φωτίζονται από φωτιστικά σώματα που είναι συνήθως τοποθετημένα πάνω σε στύλους (ελάχιστο ύψος 7 μέτρα) ή κρεμασμένα από σύρματα αναρτήσεως σε διάφορες μεταξύ τους διατάξεις και με απόσταση μεταξύ τους 24-40 μέτρα. Το ύψος αναρτήσεως των φωτιστικών δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 1/3-1/4 του πλάτους του δρόμου.

Οι απαιτήσεις για τον φωτισμό των διαφόρων δρόμων εξαρτώνται από την γεωμετρία τους, την πυκνότητα κυκλοφορίας, και τις ταχύτητες που αναπτύσσονται. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά οι δρόμοι κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Κάθε μια από αυτές καθορίζει τα επίπεδα λαμπρότητας, ομοιομορφίας φωτισμού, ορίου θάμβωσης, του περιβάλλοντος φωτισμού καθώς και τον τρόπο μετάβασης των χρηστών από φωτεινό σε σκοτεινό χώρο (οπτική καθοδήγηση).

Το επίπεδο λαμπρότητας, που περιγράφεται από την μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ευκολία προσαρμογής του ματιού του χρήστη.

Η ομοιομορφία λαμπρότητας σχετίζεται τόσο με την ασφαλή κυκλοφορία στο δρόμο όσο και με την άνεση που παρέχεται στους οδηγούς, αφού σε περίπτωση απουσίας ενός ομοιόμορφου φωτισμού θα υπήρχαν διάφοροι κίνδυνοι όπως (1) σκοτεινά σημεία του δρόμου που μπορεί να κρύβουν πιθανά εμπόδια και (2) η επανάληψη φωτεινών και σκοτεινών περιοχών προκαλεί συνεχείς εναλλαγές στην προσαρμογή του ματιού με αποτέλεσμα την κόπωση του οδηγού.

Για την αναλυτική περιγραφή της ομοιομορφίας λαμπρότητας, χρησιμοποιούνται τρεις επιμέρους συντελεστές:

1. Γενικός συντελεστής ομοιομορφίας  $U_0 = L_{\min}/L_{av}$ , όπου  $L_{\min}$  και  $L_{av}$  η ελάχιστη και η μέση λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.
2. Συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας  $U_l$  ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{\min}/L_{\max}$  σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα της οδού.
3. Συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας  $U_v$  ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος  $L_{\min}/L_{\max}$  σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα της οδού.

Η θάμβωση προκαλείται από την παρουσία πολύ έντονων φωτεινών πηγών στο πεδίο όρασης του παρατηρητή και μπορεί να προκαλέσει: (1) κόπωση στον οδηγό λόγω της δυσάρεστης παρουσίας φωτεινών σημείων στο πεδίο όρασης που όμως δεν εξασθενεί την όραση και (2) μειωμένη όραση λόγω παρουσίας φωτεινών πηγών. Οι πηγές αυτές προκαλούν ένα διάχυτο φως στο μάτι. Η εικόνα αυτή προβάλλεται στον αμφιβληστροειδή με αποτέλεσμα την μείωση της αντίθεσης της εικόνας.

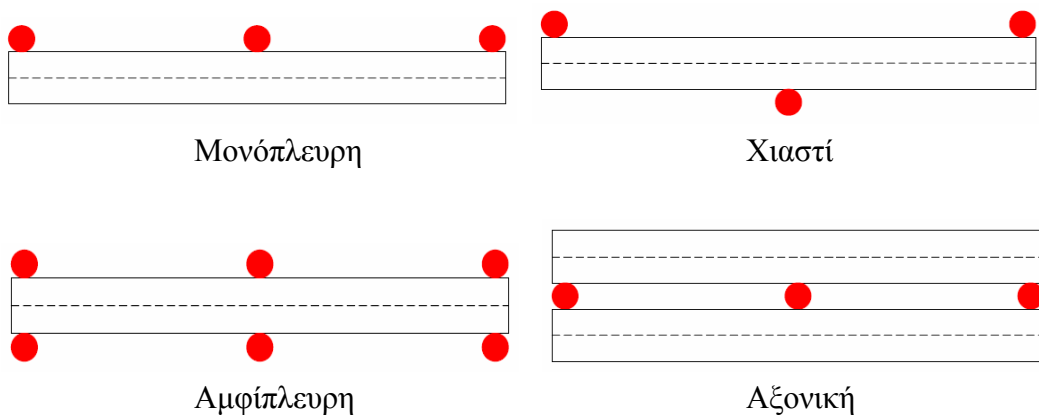
Συνέπεια όλων αυτών είναι η μειωμένη ικανότητα στη διάκριση και αναγνώριση μικρών αντικειμένων.

Για τον σωστό φωτισμό του περιβάλλοντος χώρου θεωρούμε την αναλογία της μέσης λαμπρότητας σε λωρίδες πλάτους 5 m (ή μικρότερες αν δεν επιτρέπει ο χώρος) δίπλα στην άκρη του οδοστρώματος προς την μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 m πάνω στο οδόστρωμα. Με την χρήση της αναλογίας αυτής γίνεται σωστός και ο φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου του δρόμου, με σκοπό τα ψηλά αντικείμενα που βρίσκονται στον χώρο αυτό να γίνονται ορατά από τους οδηγούς. Ο λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου  $S_R$  προτείνεται να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.5.

Η καλή οπτική καθοδήγηση επιτυγχάνεται όταν η σειρά των φωτιστικών σωμάτων δίνει μια σαφή και μη παραπλανητική ένδειξη της πορείας του δρόμου.

Κάποιες βασικές έννοιες απαραίτητες για τον φωτισμό δρόμων είναι οι εξής:

- Καθορισμός θέσης: ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιασθεί να τοποθετηθούν οι ιστοί φωτισμού, δηλαδή μονόπλευρη, χιαστί, αμφίπλευρη και αξονική.



Σχήμα 5-1: Τρόποι τοποθέτησης ιστών φωτισμού

- Σχεδιασμός: Ο καθορισμός του κατάλληλου ιστού φωτισμού είναι σημαντικός για την ορθή λειτουργία του συστήματος, αφού ανάλογα με το ύψος του έχουμε αύξηση ή μείωση της αποτελεσματικότητας του φωτιστικού. Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα, θα πρέπει να συνυπολογίζονται η απόσταση και η πλευρική θέση των φωτιστικών όπως και ο τύπος και η απόδοση του φωτιστικού. Αυξάνοντας το ύψος του ιστού μπορεί να μειωθεί η ανεπιθύμητη θάμβωση και να καλυφθεί η φωτεινότητα. Γενικά με την αύξηση του ύψους στήριξης του φωτιστικού επιτρέπεται μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των ιστών φωτισμού. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό και βοηθά για ανοιχτούς και μεγάλους δρόμους. Το ύψος των ιστών είναι συνήθως από 7 έως 12 m.

- Απόσταση φωτιστικών: Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών συχνά επηρεάζεται από την θέση των χρησιμοποιούμενων πόλων, την διαθέσιμη περιοχή και την γεωμετρία του δρόμου.

Για τον υπολογισμό του φωτισμού μιας επιφάνειας εξωτερικού χώρου χρησιμοποιείται ο **θεμελιώδης νόμος της φωτομετρίας** που αναφέρεται σε σημειακές φωτεινές πηγές. Κατά τον νόμο αυτό η ένταση ή η ποσότητα φωτισμού  $E$  σε σημείο επιφάνειας είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της αποστάσεως του σημείου της επιφάνειας από τη πηγή.

$$E = I_{\gamma} \cdot \cos \gamma / r^2$$

Ο φωτισμός των δρόμων ιδιαίτερα σε μεγάλες πόλεις υπάρχει για την ασφάλεια κινήσεως πεζών και οχημάτων έναντι ατυχημάτων, αλλά και για να περιορίσει την εγκληματικότητα. Στις εθνικές οδούς μια μεγάλη μερίδα του πληθυσμού τις χρησιμοποιεί τη νύχτα όπως πεζοί, οδηγοί και επιβάτες αυτοκινήτων, οι οποίοι μάλιστα με τα αυτοκίνητά τους αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες που υπερβαίνουν τα 100 km/h. Όλα αυτά σκιαγραφούν την αίσθηση της ανέσεως και ασφάλειας που μεταδίδεται από τον καλό δημόσιο φωτισμό. Είναι λοιπόν υπέρτατη ανάγκη, οι χρήστες των δρόμων να έχουν οπτική αντίληψη που να δίνει επαρκή πληροφορία για την ασφάλειά τους.

Δύο είναι τα συστήματα φωτισμού που χρησιμοποιούνται. Ο φωτισμός των δρόμων και οι προβολείς των αυτοκινήτων. Οι προβολείς των αυτοκινήτων μεμονωμένα δεν μπορούν να εξασφαλίσουν οδήγηση όμοια με εκείνη της ημέρας, αρκεί να λεχθεί ότι η επικινδυνότητα τη νύχτα είναι τρεις φορές υψηλότερη από αυτή της ημέρας (άρα και τα θανατηφόρα ατυχήματα). Ένας μόνον τρόπος υπάρχει, όχι να τα εξαλείψουμε γιατί είναι και άλλοι παράγοντες που τα επηρεάζουν, αλλά να τα περιορίσουμε κατά ένα ποσοστό (30-40)% που είναι ο σωστός φωτισμός των δρόμων.

Κατά τον υπολογισμό του φωτισμού ενός δρόμου, ο οδηγός πρέπει να είναι ικανός να ανταποκριθεί στους κινδύνους που πιθανόν να εμφανιστούν μπροστά του, όπως όταν οι πεζοί βαδίζουν μακριά από τα πεζοδρόμια και γενικά να έχει την αίσθηση της ασφάλειας, προερχόμενη κατά κύριο λόγο από επαρκή οπτική πληροφορία και δευτερευόντως από την πείρα του οδηγού, ενώ και η συγκέντρωσή του παίζει σπουδαίο ρόλο, που και αυτή ελαττώνεται όταν το περιβάλλον είναι μονότονο. Ας σημειωθεί ότι ο οδηγός εξετάζει λεπτομερώς το πεδίο οράσεώς του συνεχώς, αλλά προσπαθεί να συγκεντρώσει την προσοχή του σε ένα σημείο που βρίσκεται μπροστά του γύρω στα 100 m ή και κοντινότερο. Αυτά τα σημεία τα βλέπει ευκρινώς, ενώ οι περιφερειακές περιοχές του πεδίου οράσεως σχηματίζονται στον αμφιβληστροειδή λιγότερο ευκρινώς, και παρά ταύτα ένας ενδεχόμενος κίνδυνος που γίνεται ορατός από την περιφέρεια να αφομοιωθεί σε όλη του την ένταση διακόπτοντας την προσοχή του στην προγενέστερη διεύθυνση και αποτυπώνοντας τις λεπτομέρειες του κινδύνου.

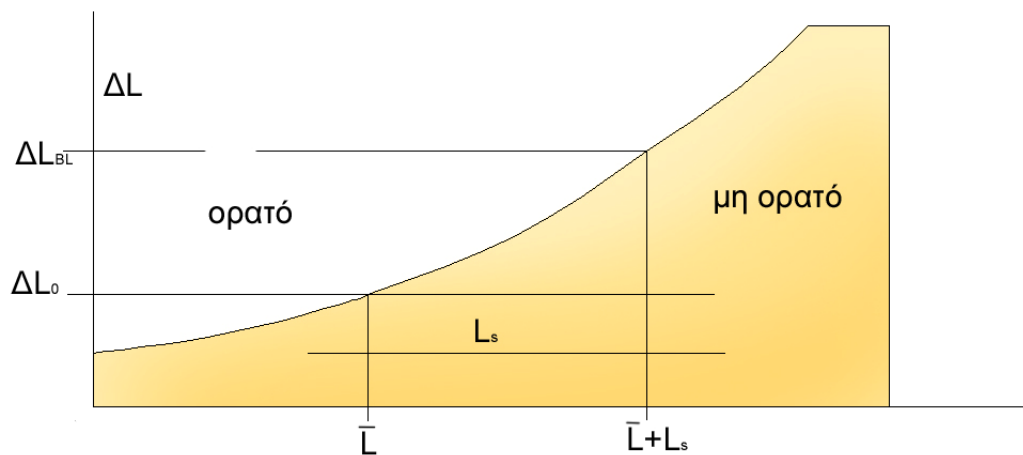
Η ύπαρξη επαρκούς φωτισμού, ο οποίος ακολουθεί συγκεκριμένες αρχές σχεδιασμού, μπορεί, μέσω της αύξησης της ορατότητας, να παρέχει μια σειρά από οικονομικά και κοινωνικά οφέλη μερικά από τα οποία είναι τα ακόλουθα: (1) μείωση των ατυχημάτων, (2) υποβοήθηση της κυκλοφοριακής ροής, (3) μια άρτια και ολοκληρωμένη εικόνα, η οποία αντανακλά το ύφος και την κουλτούρα της περιοχής, (4) ευκολία στην συντονισμένη συντήρηση του δικτύου. (κοινοί λαμπτήρες – χαρακτηριστικά), (5) ευχερέστερη αστυνόμευση της περιοχής, (6) και όλα αυτά μέσα από το πρίσμα της ορθολογιστικής χρήσης ενέργειας και τον περιορισμό της φωτορύπανσης.

Οι κατηγορίες των χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων είναι οι πυρακτώσεως και εκκένωσης (υδραργύρου, ατμών νατρίου, μεταλλικών αλογονιδίων).

Για τον φωτισμό των δρόμων πόλεων χρησιμοποιούνται λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή νατρίου ή μεταλλικών αλογονιδίων ή λαμπτήρες φθορισμού ή πυρακτώσεως. Για τον φωτισμό δρόμων εκτός πυκνοκατοικημένων περιοχών ενδείκνυνται οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, οι οποίοι λόγω της μονοχρωματικής τους κίτρινης ακτινοβολίας φωτίζουν ευκρινέστερα τα αντικείμενα ακόμα και σε περιβάλλον ομίχλης. Ακόμα οι λαμπτήρες νατρίου συγκρινόμενοι με τους λαμπτήρες υδραργύρου παρουσιάζουν μεγαλύτερη οπτική οξύτητα, μεγαλύτερη ταχύτητα αντιλήψεως, λιγότερη δυσφορία θαμβώσεως και μικρότερο χρόνο ανακτήσεως της οράσεως.

## 5.2 Θάμβωση

Η θάμβωση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια της κυκλοφορίας στις οδούς. Ανάλογα με το επίπεδο της θάμβωσης μπορεί να προκληθούν ανασφάλεια και αδιαθεσία. Η χαμηλή τιμή της θάμβωσης συμβάλλει στην ευκολότερη προσαρμογή του ανθρώπινου ματιού στα επίπεδα λαμπρότητας του οδοστρώματος. Ένα αντικείμενο στο οδόστρωμα μπορεί να γίνει ευκολότερα ορατό, όταν έχει μια διαφορά λαμπρότητας επιπέδου  $\Delta L_0$  σε σχέση με το περιβάλλον του, όπως στο παρακάτω Σχήμα 5-2.



Σχήμα 5-2: Διαφορά λαμπρότητας επιπέδου  $\Delta L_0$

Στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν έντονες πηγές φωτός κοντά σε κάποιο αντικείμενο στο οδόστρωμα, παράγεται γύρω από αυτό μια επιφάνεια φωτός η οποία εμποδίζει τον σαφή καθορισμό του. Αυτή η πρόσθετη λαμπρότητα  $L_s$  κάνει το ανθρώπινο μάτι να προσαρμόζεται σε ένα επίπεδο λαμπρότητας. Το νέο αυτό επίπεδο λαμπρότητας ισούται με το άθροισμα της λαμπρότητας της επιφάνειας φωτός και του αντικειμένου, παρόλο που η λαμπρότητα του αντικειμένου παραμένει ίση με την κανονική της τιμή  $L$ . Το αντικείμενο γίνεται με αυτόν τον τρόπο μη αντιληπτό. Η τιμή της λαμπρότητας του αντικειμένου, για να γίνει πάλι αντιληπτό, πρέπει να αυξηθεί μέχρι την τιμή  $\Delta L_{BL}$  σε σχέση με το περιβάλλον του. Τελικά η θάμβωση μπορεί να μετρηθεί με τον παρακάτω δείκτη

$$TI = \frac{\Delta L_{BL} - \Delta L_0}{\Delta L_0} \times 100\% \quad (5.1)$$

Ο δείκτης θάμβωσης γενικά δεν πρέπει να ξεπερνά το 30% (με εξαίρεση τις αγροτικές περιοχές). Η θάμβωση εξαρτάται από: (1) την λαμπρότητα των ορατών φωτεινών επιφανειών, (2) το μέγεθος των επιφανειών αυτών, (3) την διάταξη των φωτιστικών, (4) την ένταση φωτισμού του δρόμου, (5) την διάχυση του φωτός του φωτιστικού με ανύψωση από τις 70° μέχρι τις 90° στο κάθετο επίπεδο στο οποίο παρατηρείται, και (6) την θέση του παρατηρητή. Διακρίνεται σε (1) θάμβωση ενόχλησης που προκαλείται όταν ο φωτισμός (λαμπρότητα) του περιβάλλοντος χώρου είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν του αντικειμένου με αποτέλεσμα το τελευταίο να φαίνεται ως σιλουέτα (π.χ. σε ηλιόλουστο και χιονισμένο μέρος), και (2) θάμβωση ανικανότητας διάκρισης ενός αντικειμένου του οποίου η λαμπρότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του περιβάλλοντος χώρου.

### 5.3 Τεχνικές αντιμετώπισης της φωτορύπανσης

Όλα τα ζωντανά όντα ρυθμίζουν την συμπεριφορά τους σύμφωνα με το φυσικό φώς. Η ανθρώπινη εφεύρεση του τεχνητού φωτός έχει κάνει πολλά για να προστατεύσει και να ενισχύσει το νυχτερινό μας περιβάλλον, αλλά το μη κατάλληλα ελεγχόμενο διάχυτο φως (συνήθως καλείται φωτορύπανση) μπορεί να παρουσιάσει σοβαρά οικολογικά προβλήματα. Η φωτορύπανση είναι μια μορφή ρύπανσης κατά την οποία μια ποσότητα φωτός (κυρίως λόγω ανάκλασης) διαχέεται προς το περιβάλλον και προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Μερικά από αυτά είναι η θάμβωση και η «λάμψη» του νυχτερινού ουρανού στα αστικά κέντρα. Παρουσιάζεται σαν φωτεινό φόντο στον ουράνιο θόλο πάνω στον οποίο τα αστρονομικά αντικείμενα πρέπει να παρατηρηθούν.

Το πρόβλημα στις αστρονομικές παρατηρήσεις δημιουργείται από την μείωση της φωτεινής αντιπαράθεσης (κοντράστ), που αποτελεί βασική αρχή της καλής ορατότητας. Το θάμβος δημιουργείται από μη ελεγχόμενο διασκορπισμένο φως από σωματίδια στο διάστημα και την ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτού του φωτός προέρχεται από την φύση, ενώ ένα άλλο κομμάτι προέρχεται από ανθρώπινα προϊόντα.

Οι κύριοι συντελεστές του φαινομένου είναι: (1) το φως των αστεριών, (2) η «αστρική σκόνη» (γαλαξίας), (3) σωματίδια στον αέρα, (4) σκόνη στην ατμόσφαιρα, (5) ατμοί νερού, η υγρασία, τα σύννεφα, η ομίχλη, (6) η ατμοσφαιρική ρύπανση και (7) **ο υπερβάλλον εξωτερικός φωτισμός**.

Οι συντελεστές (1)-(3) είναι πηγές εκτός ατμόσφαιρας και δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου. Επίσης οι συντελεστές (4)-(5) αποτελούν τις κύριες πηγές που δημιουργούν τον φωτεινό φόντο αλλά είναι αποδεκτές μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι συντελεστές (6)-(7) αποτελούν πηγές που μπορούν να ελεγχθούν απόλυτα.

Η διεθνής επιτροπή φωτισμού ασχολείται μόνο με το μέρος που αφορά τον φωτισμό. Με τον οδηγό μείωσης της φωτορύπανσης 126 του 1997, προσπαθεί να βοηθήσει στο πρόβλημα αυτό. Το φαινόμενο δεν οφείλεται μόνο στο φως που διαχέεται από τον φωτισμό των μεγάλων πόλεων, οδικών δικτύων κλπ., αλλά εξαρτάται και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που ήδη αναφέραμε.

Οι υποδείξεις που δίνονται, βασίζονται σε φωτομετρικούς όρους ώστε να μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τους φωτοτεχνικούς. Το διαχεόμενο φως στον ορίζοντα, ορίζεται με βάση το φως που παράγουν τα φωτιστικά σώματα που είναι εγκατεστημένα στους υπαίθριους χώρους. Και αυτό είναι το «χαμένο φως». Το φως δηλαδή που «χάνεται» χωρίς να προσφέρει απολύτως τίποτα. Δυστυχώς, μια όλο και πιο εξεζητημένη τεχνολογία, άσχημα χρησιμοποιημένη λόγω λαθεμένης αντίληψης, δημιουργεί άλλοτε υποφωτισμούς, άλλοτε εξαιρετικά υπερφωτισμούς και άλλοτε κακούς χρωματισμούς. Επίσης λάθος σχεδιασμένα και ρυθμισμένα φωτιστικά σώματα, εμπορικές μελέτες χωρίς προδιαγραφές και χωρίς γνωστική του αντικειμένου, παραποιούν την καλαισθησία, ομορφιά και οικολογία.

Η απάντηση βέβαια είναι **καλύτερη ποιότητα φωτισμού** που δεν αφορά μόνο τις επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά μειώνει και τη σπατάλη.

## **Ποιοτικός Φωτισμός**

1) Διευκόλυνση και προστασία της όρασης από το επιθετικό θάμβος. Πρέπει να περιοριστεί η θάμβωση στο ελάχιστο, εξασφαλίζοντας ότι η κύρια γωνία των ακτίνων όλων των φωτιστικών που κατευθύνονται προς οποιοδήποτε πιθανό παρατηρητή, περιορίζεται κάτω από τις 70 μοίρες. Τα μεγαλύτερα ύψη τοποθέτησης επιτρέπουν χαμηλότερες γωνίες ακτίνων, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του θάμβους. Σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα φωτισμού, η θάμβωση μπορεί να είναι πολύ έντονη και πρέπει να δοθεί πρόσθετη προσοχή στην τοποθέτηση των εξοπλισμών φωτισμού. Κατά τον φωτισμό των κάθετων επιφανειών, όπως διαφημιστικές πινακίδες, προτιμότερο είναι το άμεσο φως προς τα κάτω, οπουδήποτε αυτό είναι δυνατόν, και όχι προς τα πάνω. Εάν δεν υπάρχει καμία εναλλακτική λύση στον προς τα άνω φωτισμό, τότε η χρήση ασπίδων, διαφραγμάτων και ανακλαστήρων θα βοηθήσει να μειωθεί η θάμβωση στο ελάχιστο.

- 2) Φωτιστικά σώματα που δεν διαχέουν φως στον ορίζοντα άλλα το κατευθύνουν εκεί που χρειάζεται και μόνο. Πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα φωτιστικά που ελαχιστοποιούν την ανοδική διάδοση του φωτός κοντά ή επάνω από τον ορίζοντα. Πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά την επιλογή των συσκευών φωτισμού για να εξασφαλιστεί ότι οι μονάδες που επιλέγονται θα μειώσουν το διάχυτο φως και τη θάμβωση στο ελάχιστο. Η χρήση των συσκευών φωτισμού με διπλές ασύμμετρες ακτίνες, που σχεδιάζονται έτσι ώστε τα κάτοπτρα να είναι σχεδόν παράλληλα στην φωτιζόμενη επιφάνεια, θα βοηθήσει στη μείωση της φωτορύπανσης, υπό τον όρο ότι στοχεύουν σωστά.
- 3) Για τις εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού, το φως πλησίον και επάνω από τον ορίζοντα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί για να μειώσει την φωτορύπανση. Η χρήση φωτιστικών πλήρους αποκοπής, εγκατεστημένα στις 0° προς τα πάνω, θα ελαχιστοποιήσει την θάμβωση στο τοπίο, καθώς επίσης και το ανοδικό φως. Εντούτοις σε πολλές αστικές τοποθεσίες, η εγκατάσταση συσκευών φωτισμού που διαθέτουν έναν ρηχό ανακλαστήρα που παρέχει καλό έλεγχο του φωτός πλησίον και επάνω από τον ορίζοντα, μπορούν να παρέχουν μια ικανοποιητική λύση, μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα το διάστημα τοποθέτησης των συσκευών φωτισμού.
- 4) Ο φωτισμός πρέπει να περιορίζεται στον απαραίτητο, σύμφωνα με τα διεθνή Πρότυπα. Η χρήση περισσότερου φωτισμού είναι και αιτία φωτορύπανσης, αλλά προκαλεί και ανεπιθύμητα κόστη χωρίς κανένα όφελος.
- 5) Τα φώτα πρέπει να σβήνουν όταν δεν απαιτούνται για ασφάλεια, προστασία ή αύξηση της νυχτερινής ορατότητας.
- 6) Συστήματα που μετά από μια ορισμένη χρονική στιγμή να μειώνουν το επίπεδο φωτισμού.

Οι πόλεις μας, καθώς και όλο το οδικό δίκτυο, χρειάζονται μια στρατηγική από πλευράς προδιαγραφών που θα περιλαμβάνουν συγκεκριμένες οδηγίες σχετικά με χρώμα λαμπτήρα, ποσότητα φωτισμού, έλεγχο θάμβους, σχήματα και ποιότητα φωτιστικών για αντοχή στην γνωστή κακή συντήρηση των δικτύων, ποσότητα πραγματικής ενέργειας κλπ., ώστε ο κάθε υπεύθυνος να είναι υποχρεωμένος να κινηθεί μέσα σε συγκεκριμένα πλαίσια.

Μια στρατηγική φωτισμού πρέπει να επιβεβαιώνεται και να γίνεται κατανοητή, λαμβάνοντας υπ' όψιν όχι μόνο την προβολή αλλά και τις αισθητικές απαιτήσεις. Προϋπόθεση γι' αυτό είναι το κοινό ενδιαφέρον των υπευθύνων, σε συνεργασία πάντα με ειδικά εκπαιδευμένους τεχνικούς στον τομέα του φωτισμού. Προς το παρόν, η έλλειψη πληροφόρησης και ενδιαφέροντος αυξάνει το πρόβλημα. Πρέπει δε να γίνει απόλυτα κατανοητό ότι ο φωτισμός καλά σχεδιασμένος, με έξυπνες λύσεις συμβάλλει στην αναζωογόνηση ολόκληρων περιοχών.

Πρόταση της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού για την δημιουργία ζωνών ελεγχόμενου φωτισμού:

Οι ζώνες προτείνεται να χωρίζονται σε τέσσερις (4): E1 - E4.

E1 : Περιλαμβάνει περιοχές ουσιαστικά σκοτεινές (δάση - βουνά) εθνικά πάρκα, περιοχές εξαιρετικού κάλλους.

E2 : Αγροτικές περιοχές και γενικά επαρχιακές πόλεις.

E3 : Κατοικημένες αστικές περιοχές.

E4: Κέντρα πόλεων.

Οι προτεινόμενες ποσότητες χαμένου φωτισμού:

E1 = 0%

E2 = 5%

E3 = 15%

E4 = 25%

Αυτά τα υψηλότερα ποσοστά χαμένου φωτισμού βασίζονται στα ποσοστά του παραγόμενου φωτισμού από τα υπάρχοντα εγκατεστημένα φωτιστικά στους εξωτερικούς χώρους.

Δηλαδή εάν ένα εγκατεστημένο φωτιστικό σώμα παράγει 1000 μονάδες, το χαμένο φως στην ζώνη E4 δεν πρέπει να είναι παραπάνω από 250 μονάδες.

Ένα άλλο στοιχείο που περιλαμβάνεται στις οδηγίες, είναι η απόσταση που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των διαφόρων ζωνών, δηλαδή χρειάζονται:

1 χιλιόμετρο μεταξύ ζώνης E1 και E2.

10 χιλιόμετρα μεταξύ ζώνης E1 και E2 και E3.

100 χιλιόμετρα όμως μεταξύ ζώνης E1 και E3 και E4 , ενώ

1 χιλιόμετρο είναι αρκετό μεταξύ E2 και E3 και 10 χιλιόμετρα μεταξύ E2 και E4.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω πρέπει να γίνει χρήση καλύτερης ποιότητας φωτιστικών σωμάτων. Όλα τα φωτιστικά σώματα πρέπει να συνεργάζονται ώστε να υπάρχει αρμονία αλλά και οικονομία. Θα πρέπει επίσης να γίνεται έλεγχος ώστε οι χρησιμοποιούμενοι λαμπτήρες να έχουν εξαιρετική απόδοση χρωμάτων, άρα αύξηση της ορατότητας αλλά και έλεγχος των υπερφωτισμένων διαφημίσεων. Πιθανή απαγόρευσή τους στους αυτοκινητόδρομους θα μπορούσε να αποτελεί λύση.

Προτείνεται ακόμη βελτίωση της ποιότητας φωτισμού δρόμων πόλεως ώστε να μειωθούν οι ποσότητες φωτισμού. Είναι γνωστό ότι οι αυτοκινητόδρομοι, μας μεταφέρουν ταχύτερα και ασφαλέστερα. Αυτός είναι και ο λόγος που πρέπει να είναι σωστά φωτισμένοι την νύκτα, χωρίς όμως να παρενοχλούν τις φυσικές περιοχές από όπου διέρχονται.

Για τον λόγο αυτό, οι μελετητές φωτισμού εκτός από τον παράγοντα ασφαλούς οδήγησης, θα πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπ' όψιν τους τα περιβαλλοντολογικά προβλήματα που ήδη έχουν δημιουργηθεί π.χ. θόρυβος. Θα πρέπει επίσης, να είναι εξαιρετικά προσεκτικοί στο θέμα του φωτισμού, ώστε το θάμβος και η κακή ομοιομορφία των εγκατεστημένων φωτιστικών, να μην ενοχλούν τους οδηγούς.



Μια υψηλότερη ομοιομορφία είναι προτιμότερη από έναν υψηλό φωτισμό. Γι' αυτόν τον λόγο, πρέπει η επιλογή των υψών και αποστάσεων των φωτιστικών σωμάτων, να είναι απόλυτα μελετημένη και η χρήση ίσιων γυαλιών (flat glass) "επιβεβλημένη".

Στην Ελλάδα, οι τεχνικοί του ΥΠΕΧΩΔΕ πρότειναν στον οδικό άξονα "Πάτρα - Αθήνα - Θεσσαλονίκη - Εύζωνοι", να χρησιμοποιηθούν φωτιστικά σώματα 250 Watt αντί των μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενων 400 Watt καθώς και φωτιστικά με ίσιο γυαλί (flat glass) για μείωση του θάμβους αλλά και της φωτορύπανσης.

## 5.4 Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201 (φωτισμός δρόμων)

### Φωτισμός Δρόμων – Επιλογή κατηγοριών φωτισμού και απαιτήσεις επιδόσεων

Το πρώτο μέρος του Ευρωπαϊκού Προτύπου 13201 (Φωτισμός Δρόμων) περιγράφει τις παραμέτρους που καθορίζουν τον εξωτερικό δημόσιο φωτισμό σε περιοχές οδικής κυκλοφορίας, ενώ στο δεύτερο μέρος του καθορίζονται οι απαιτήσεις των επιδόσεων φωτισμού στις περιοχές αυτές. Τέτοιες περιοχές είναι οι δημόσια προσβάσιμοι δρόμοι και γέφυρες ανεξάρτητα αν τις εκμεταλλεύεται το δημόσιο (Δήμος κλπ) ή κάποιος ιδιώτης.

Αυτό το Πρότυπο είναι εφαρμόσιμο σε εγκαταστάσεις φωτισμού που παρέχουν καλή ορατότητα στους χρήστες αυτών των περιοχών όταν επικρατεί σκοτάδι προκειμένου να εξασφαλίσουν την ασφάλεια και την ομαλή κυκλοφορία τους.

Τα διαφορετικά σενάρια φωτισμού, βάσει του Προτύπου, περιγράφονται από διάφορες παραμέτρους που διακρίνονται σε βασικές και ειδικές. Οι βασικές παράμετροι είναι:

<b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>		
<b>ΣΥΜΒΟΛΟ</b>	<b>ΤΙΤΛΟΣ</b>	<b>ΕΠΙΛΟΓΕΣ</b>
B1	Η υπό μελέτη περιοχή (σχετική περιοχή)	
B2	Τύποι χρηστών στην ίδια σχετική περιοχή	M: Motorized traffic S: Slow moving vehicles C: Cyclists P: Pedestrians
B2a	Κύριοι τύποι χρηστών	Συνδυασμός των M, S, C, P
B2b	Άλλοι επιτρεπόμενοι τύποι χρηστών	Συνδυασμός των M, S, C, P
B2c	Αποκλειόμενοι τύποι χρηστών	Συνδυασμός των M, S, C, P
B3	Τυπική ταχύτητα των κύριων τύπων χρηστών	High (> 60 km/h) Moderate (> 30 and ≤ 60 km/h) Low (> 5 and ≤ 30 km/h) Very low (walking speed)
Σημείωση: B2a + B2b + B2c = M S C P		

*Πίνακας 5-1: Βασικές παράμετροι Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01*

Η κατηγοριοποίηση των περιοχών σε σύνολα καταστάσεων φωτισμού γίνεται με βάση τις βασικές παραμέτρους, όπως φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 5-2:

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

Πίνακας 5-2: Σύνολα καταστάσεων φωτισμού

Οι ειδικές παράμετροι είναι:

ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
Area (geometry)		
ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΤΛΟΣ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ
A1	Separation of carriageways	a) Yes b) No
A2	Type of junctions	a) Interchanges b) Intersections
A3	Frequency of junctions	
A3a	Interchange spacing, distance between bridges	a) > 3 km b) ≤ 3 km
A3b	Intersection density	a) < 3 intersections/km b) ≥ 3 intersections/km
A4	Conflict area	a) No b) Yes
A5	Geometric measures for traffic calming	a) No b) Yes

<b>ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (συνέχεια)</b>		
<b>Traffic use</b>		
ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΤΛΟΣ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ
T1	Traffic flow	
T1a	Vehicles	a) < 4000 b) 4000 to 7000 c) 7000 to 15000 d) 15000 to 25000 e) 25000 to 40000 f) > 40000
T1b	Cyclists	a) Normal b) High
T1c	Pedestrians	a) Normal b) High
T2	Difficulty of navigational task	a) Normal b) Higher than normal
T3	Parked vehicles	a) Not present b) Present
T4	Facial recognition	a) Unnecessary b) Necessary
T5	Crime risk	a) Normal b) Higher than normal
<b>Environmental and (external) influences</b>		
ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΤΛΟΣ	ΕΠΙΛΟΓΕΣ
E1	Complexity of visual field	a) Normal b) High
E2	Ambient brightness levels	a) Low b) Medium c) High
E3	Main weather type	a) Dry b) Wet

*Πίνακας 5-3: Ειδικές παράμετροι Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01*

Τα σύνολα των καταστάσεων φωτισμού που προσδιορίστηκαν στον Πίνακα 5-2 (με βάση τις βασικές παραμέτρους) εξειδικεύονται περαιτέρω με βάση ειδικές παραμέτρους και έτσι οδηγούν στην τελική κατηγοριοποίηση των σχετικών περιοχών (δρόμων). Έτσι έχοντας κάνει την κατηγοριοποίηση των οδών, κάνουμε χρήση του 2<sup>ου</sup> μέρους του Προτύπου και προσδιορίζουμε τις ελάχιστες απαιτήσεις σε φωτισμό των περιοχών αυτών.

Παρακάτω δίνονται με βάση τις ειδικές παραμέτρους οι κατηγορίες (κλάσεις) φωτισμού των διαφόρων καταστάσεων φωτισμού, καθώς και οι ελάχιστες απαιτήσεις αυτών σε φωτισμό.

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

Πίνακας 5-4: Κατηγορίες φωτισμού ME για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού A1

Όπου τα «←», «→» και «o» προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-5:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	←	←	o
		Higher than normal	o	o	→
	High	Normal	←	o	o
		Higher than normal	o	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 5-21.				

Πίνακας 5-5

Main weather type (E3)	Intersection density (A3b)	Traffic flow Vehicles (T1a)					
		< 7000			> 7000		
		←	o	→	←	o	→
Dry	< 3 intersections/km	5	5	4a	4a	3a	3a
	≥ 3 intersections/km	5	4	3a	4a	3a	2
Wet		Επιλογή όπως παραπάνω, με κατηγορίες φωτισμού <b>MEW</b>					

Πίνακας 5-6: Κατηγορίες φωτισμού ME για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού A2

Όπου τα «←», «→» και «o» προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-7:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	←	←	o
		Higher than normal	o	o	→
	High	Normal	←	o	o
		Higher than normal	o	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 5-21.				

Πίνακας 5-7

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

Πίνακας 5-8: Κατηγορίες φωτισμού ME για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού A3

Όπου τα «←», «→» και «ο» προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-9:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Parked vehicles (T3)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
				Low	Medium	High
No	Normal	Not present	Normal	←	←	ο
			Higher than normal	ο	ο	→
		Present	Normal	←	ο	→
			Higher than normal	ο	→	→
	High	Not present	Normal	←	ο	ο
			Higher than normal	ο	→	→
		Present	Normal	ο	ο	→
			Higher than normal	→	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 5-21.					

Πίνακας 5-9

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

Πίνακας 5-10: Κατηγορίες φωτισμού ME για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού B1

<sup>1)</sup> When the use of luminance criteria is impractical, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 5-21.

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

Πίνακας 5-11: Κατηγορίες φωτισμού ME για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού B2

<sup>1)</sup> When the use of luminance criteria is impractical, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 5-21.

Όπου τα «←», «→» και «o» για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού B1 και B2, προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-12:

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Parked vehicles (T3)	Ambient brightness levels (E2)					
			Low		Medium		High	
			Traffic flow Cyclists (T1b)		Traffic flow Cyclists (T1b)		Traffic flow Cyclists (T1b)	
			Normal	High	Normal	High	Normal	High
No	Normal	Not present	←	o	←	o	o	o
		Present	o	→	o	→	→	→
	High	Not present	o	o	o	o	o	o
		Present	o	o	→	→	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 5-21.							

Πίνακας 5-12



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

Πίνακας 5-13: Κατηγορίες φωτισμού S για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού C1

<sup>1)</sup> Alternative A classes of comparable lighting level to required S classes can be found in next Table 5-22.

<sup>2)</sup> Additional ES and EV classes to required S classes can be found in next Table 5-23.

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

Πίνακας 5-14: Κατηγορίες φωτισμού CE για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού D1, D2

<sup>1)</sup> Additional ES and EV classes to required CE classes can be found in next Table 5-23.

Όπου τα «←», «→» και «o» για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού C1, D1 και D2, προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-15:

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

Πίνακας 5-15

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

Πίνακας 5-16: Κατηγορίες φωτισμού S για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού D3, D4

<sup>1)</sup> Alternative A classes of comparable lighting level to required S classes can be found in next Table 5-22.

<sup>2)</sup> Additional ES and EV classes to required S classes can be found in next Table 5-23.

Όπου τα «←→», «→» και «o» για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού D3 και D4, προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-17:

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

Πίνακας 5-17

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

Πίνακας 5-18: Κατηγορίες φωτισμού S για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού E1

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

Πίνακας 5-19: Κατηγορίες φωτισμού S για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού E2

<sup>1)</sup> Alternative A classes of comparable lighting level to required S classes can be found in next Table 5-22.

<sup>2)</sup> Additional ES and EV classes to required S classes can be found in next Table 5-23.

Όπου τα «←→», «→» και «o» για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού E1 και E2, προσδιορίζονται από ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-20:

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

Πίνακας 5-20

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

Πίνακας 5-21: Συγκρίσιμες κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού δρόμων

Οι παραπάνω Πίνακες δίνουν τις απαιτήσεις και προτάσεις κατηγοριών φωτισμού βασιζόμενοι στην λαμπρότητα ή οριζόντια ένταση φωτισμού. Αν υπάρχει προτίμηση για κατηγοριοποίηση βασιζόμενοι εναλλακτικά στην ημι-σφαιρική ένταση φωτισμού, μπορούν να εφαρμοστούν τα όρια φωτισμού για τις κατηγορίες/κλάσεις A, που παρουσιάζουν συγκρίσιμα επίπεδα φωτισμού με τις κατηγορίες/κλάσεις S ως ακολούθως:

Reference class	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Comparable class		A1	A2	A3	A4	A5

Πίνακας 5-22

Ομοίως αν υπάρχει προτίμηση για κατηγοριοποίηση βασιζόμενοι πέρα από την οριζόντια και στην ημι-κυλινδρική ή κατακόρυφη ένταση φωτισμού, μπορούν να εφαρμοστούν τα όρια φωτισμού για τις κατηγορίες/κλάσεις ES ή EV επιπρόσθετα αυτών για τις κατηγορίες/κλάσεις CE ή S ως ακολούθως:

Reference class	CE0	CE1	CE2	CE3 S1	CE4 S2	CE5 S3	S4	S5	S6
Additional class	ES1	ES2 EV3	ES3 EV4	ES4 EV5	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9

Πίνακας 5-23

Οι απαιτήσεις φωτισμού των κατηγοριών/κλάσεων φωτισμού που αναφέρθηκαν παραπάνω δίνονται στους παρακάτω Πίνακες:

Οι κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού ME και MEW αφορούν οδηγούς μηχανοκίνητων οχημάτων (motorized vehicles) για οδήγηση σε δρόμους κυκλοφορίας και δρόμους κατοικημένων περιοχών, επιτρέποντας μεσαίες με μεγάλες ταχύτητες.

Επίσης οι κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού ME παρουσιάζουν αυξημένες απαιτήσεις σε φωτισμό καθώς πάμε από την ME6, ME5, ..., ME1. Ομοίως και οι άλλες κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού παρουσιάζουν αυξημένες απαιτήσεις καθώς τα νούμερα μειώνονται.

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry road surface condition			Disability glare	Lighting of surroundings
	L in $\text{cd} \times \text{m}^{-2}$ [minimum maintained]	$U_0$ [minimum]	$U_1$ [minimum]	TI in % <sup>1)</sup> [maximum]	SR <sup>2)</sup> [minimum]
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b			0.6		
ME3c			0.5		
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b			0.5		
ME5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	-

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

Πίνακας 5-24: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού ME

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry and a wet condition				Disability glare	Lighting of surroundings
	Dry condition			Wet		
	L in cd x m <sup>-2</sup> [minimum maintained]	U <sub>o</sub> [minimum]	U <sub>l</sub> <sup>1)</sup> [minimum]	U <sub>o</sub> [minimum]	TI in % <sup>2)</sup> [maximum]	SR <sup>3)</sup> [minimum]
MEW1	2.0	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW2	1.5	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW3	1.0	0.4	0.6	0.15	15	0.5
MEW4	0.75	0.4		0.15	15	0.5
MEW5	0.5	0.35		0.15	15	0.5

<sup>1)</sup> The application of this criterion is voluntary, but it can be applied on motorways.

<sup>2)</sup> An increase of 5% in TI can be permitted where low luminance light sources are used.

<sup>3)</sup> This criterion can only be applied only where there are no traffic areas with their own requirements adjacent to the carriageway.

*Πίνακας 5-25: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού MEW*

Οι κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού CE αφορούν οδηγούς μηχανοκίνητων οχημάτων (motorized vehicles) καθώς και άλλους χρήστες των δρόμων σε conflict περιοχές όπως εμπορικούς δρόμους, διασταυρώσεις δρόμων κάποιας πολυπλοκότητας κλπ.

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

*Πίνακας 5-26: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού CE*

Οι κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού S και A αφορούν πεζούς και ποδηλάτες σε πεζόδρομους, ποδηλατόδρομους, λωρίδες επείγουσας ανάγκης και άλλες κατηγορίες παράπλευρων δρόμων που βρίσκονται δίπλα (ξεχωριστά ή μη) σε αυτοκινητόδρομους κύριας κυκλοφορίας. Αφορούν επίσης πεζούς και ποδηλάτες σε δρόμους κατοικημένων περιοχών, ανεξάρτητους πεζόδρομους, περιοχές parking κλπ.

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

*Πίνακας 5-27: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού S*

Class	Hemispherical illuminance	
	E <sub>hs</sub> in Lux [minimum maintained]	U <sub>o</sub> [minimum]
A1	5	0.15
A2	3	0.15
A3	2	0.15
A4	1.5	0.15
A5	1	0.15
A6	performance not determined	performance not determined

*Πίνακας 5-28: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού A*

Οι κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού ES αναφέρονται ως επιπρόσθετες κλάσεις φωτισμού για περιοχές πεζών προκειμένου να μειώσουμε την εγκληματικότητα και το αίσθημα ανασφάλειας.

Semi-cylindrical illuminance	
Class	$E_{sc,min}$ in Lux [maintained]
ES1	10
ES2	7.5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1.5
ES7	1
ES8	0.75
ES9	0.5

Πίνακας 5-29: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού ES

Οι κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού EV αναφέρονται ως επιπρόσθετες κλάσεις φωτισμού σε καταστάσεις όπου οι κάθετες επιφάνειες χρειάζεται να είναι ορατές (π.χ. interchange areas, toll stations).

Vertical plane illuminance	
Class	$E_{v,min}$ in Lux [maintained]
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7.5
EV5	5
EV6	0.5

Πίνακας 5-30: Κατηγορίες/Κλάσεις Φωτισμού EV

Πέρα από τις ελάχιστες απαιτήσεις σε φωτισμό που δόθηκαν στους προηγούμενους Πίνακες, ο σχεδιαστής-μελετητής της εγκατάστασης φωτισμού δρόμων πρέπει να λάβει υπόψη του και τις ακόλουθες απαιτήσεις φωτισμού (όπως αναφέρονται στο Πρότυπο):

1) Έλεγχος της θάμβωσης.

Ο έλεγχος της θάμβωσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε περίπτωση. Όταν αναφερόμαστε στις κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού ME ή MEW, ο έλεγχος της θάμβωσης επιτυγχάνεται με τον δείκτη θάμβωσης ανικανότητας TI (Threshold Increment) της αντίστοιχης κατηγορίας/κλάσης. Στις υπόλοιπες κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού ή όπου ο δείκτης θάμβωσης ανικανότητας δεν μπορεί να

υπολογιστεί, πρέπει να αποφεύγεται το ανεπιθύμητο φώς κατατάσσοντας τον δρόμο σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες/κλάσεις φωτεινής έντασης:

Class	Maximum luminous intensity in cd/klm			Other requirements
	at 70° <sup>1)</sup> )	at 80° <sup>1)</sup> )	at 90° <sup>1)</sup> )	
G1		200	50	None
G2		150	30	None
G3		100	20	None
G4	500	100	10	Luminous intensities above 95° <sup>1)</sup> ) to be zero
G5	350	100	10	Luminous intensities above 95° <sup>1)</sup> ) to be zero
G6	350	100	0	Luminous intensities above 95° <sup>1)</sup> ) to be zero

<sup>1)</sup> Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Πίνακας 5-31: Κατηγορίες/Κλάσεις φωτεινής έντασης για έλεγχο της θάμβωσης ανικανότητας

Οι κατηγορίες/κλάσεις φωτεινής έντασης G1, G2 και G3 αντιστοιχούν σε “semi cut-off” και “cut-off” φωτιστικά, ενώ οι G4, G5 και G6 αντιστοιχούν σε “full cut-off”.

Εκτός από τον δείκτη θάμβωσης ανικανότητας πρέπει να εξετάζεται και ο δείκτης θάμβωσης ενόχλησης. Έτσι ένας δρόμος μπορεί να κατατάσσεται σε μία κατηγορία/κλάση του δείκτη θάμβωσης ενόχλησης. Οι κατηγορίες/κλάσεις αυτές δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5-32:

Class	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Glare index maximum	-	7000	5500	4000	2000	1000	500

Πίνακας 5-32: Κατηγορίες/κλάσεις του δείκτη θάμβωσης ενόχλησης

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται ως εξής:  $I \cdot A^{-0.5}$  σε [cd/m], όπου I είναι η μέγιστη τιμή της φωτεινής έντασης σε cd από κάθε κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία 85° από την προς τα κάτω κάθετο στον δρόμο και A είναι η εξωτερική επιφάνεια όλων των φωτεινών μερών του φωτιστικού σε επίπεδο κάθετο στην διεύθυνση του I.

## 2) Χρωματική απόδοση.

Η χρωματική απόδοση της φωτεινής πηγής πρέπει να εξετάζεται σε κάθε περίπτωση και μπορεί να ανήκει σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες:

A: Καμία πρόταση-απαίτηση για την χρωματική απόδοση της εγκατάστασης φωτισμού.

B: Η εγκατάσταση φωτισμού πρέπει να παρέχει τον απαραίτητο δείκτη χρωματικής απόδοσης για την οπτική καθοδήγηση του οδηγού και του πεζού (π.χ αναγνώριση των κυκλοφοριακών σημάτων ή των γεωμετρικών μέτρων κυκλοφοριακού περιορισμού – traffic calming).



C: Η εγκατάσταση φωτισμού πρέπει να παρέχει τον απαραίτητο δείκτη χρωματικής απόδοσης για την αναγνώριση των ανθρώπων και των αντικειμένων (π.χ. αναγνώριση αυτοκινήτων σε parking, crime sensitivity area κλπ).

Ο παρακάτω Πίνακας 5-33 μας καθοδηγεί για την σωστή επιλογή της κατηγορίας δείκτη χρωματικής απόδοσης B ή C, με βάση βασικές και ειδικές παραμέτρους του υπό εξέταση δρόμου:

Condition (Parameter)	Colour category
Relevant area is conflict area (A4)	B <sup>1)</sup>
Traffic calming measures in relevant area (A5)	
Difficulty of navigational task is higher than normal (T2)	
Parked vehicles present (T3)	
Facial recognition necessary (T4)	C <sup>1)</sup>
Crime risk higher than normal (T5)	
<sup>1)</sup> It may be necessary to choose a lower number (higher lighting level) lighting class than selected to allow for indicated colour category.	

*Πίνακας 5-33: Επιλογή κατηγορίας δείκτη χρωματικής απόδοσης*

3) Όλες οι παραπάνω βασικές και ειδικές παράμετροι του δρόμου προσδιορίζονται έχοντας κατά νου, ότι αναφερόμαστε σε ώρες της νύχτας. Κατά την διάρκεια της νύχτας και σε διαφορετικές περιόδους του χρόνου είναι δυνατόν οι τιμές αυτών των παραμέτρων να ποικίλουν (π.χ. φωτεινότητα περιβάλλοντος χώρου και κυκλοφοριακός φόρτος). Έτσι και οι απαιτήσεις ή προτάσεις φωτισμού μπορεί να ποικίλουν κατά την διάρκεια του έτους ή ακόμα και της νύχτας. Έτσι οι προηγούμενοι Πίνακες οδηγούν σε διαφορετικές κατηγορίες/κλάσεις φωτισμού για τον ίδιο δρόμο κατάλληλες για διαφορετικές περιόδους.

#### Φωτισμός Δρόμων – Μέτρηση επιδόσεων φωτισμού

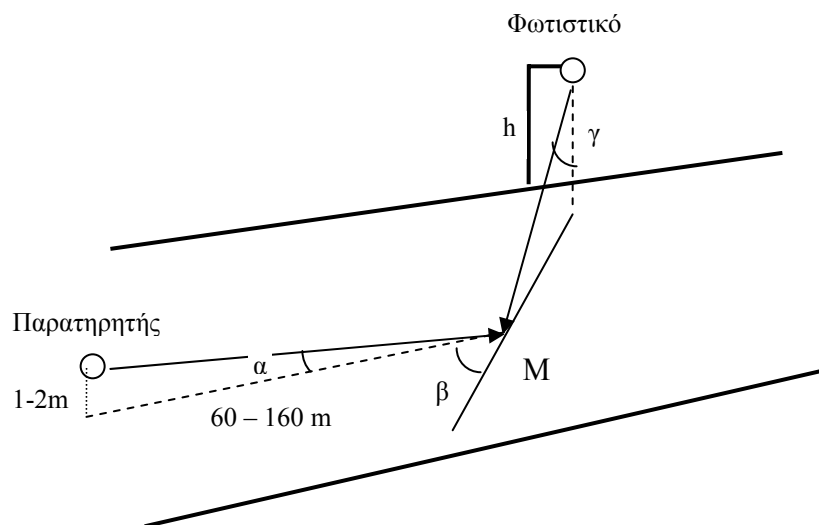
Το τρίτο και τέταρτο μέρος του Προτύπου αναφέρεται στην τρόπο μέτρησης και υπολογισμού των επιδόσεων φωτισμού ενός δρόμου. Εμείς θα αναφερθούμε συνοπτικά στον υπολογισμό της οριζόντιας έντασης φωτισμού και λαμπρότητας ενός δρόμου, καθώς και στις τεχνικές μέτρησης αυτών.

Η ένταση φωτισμού σε ένα σημείο  $M$  του οδοστρώματος λόγω ενός φωτιστικού, υπολογίζεται από τον τύπο:  $E = (I \cdot \cos^3 \gamma \cdot F \cdot MF) / h^2$ , όπου  $I$  είναι η φωτεινή ένταση της πηγής σε cd/klm με κατεύθυνση από την πηγή προς το σημείο  $M$ ,  $h$  είναι το ύψος του στύλου στήριξης του φωτιστικού,  $\gamma$  είναι η γωνία πρόσπτωσης,  $F$  είναι η αρχική φωτεινή ροή σε klm των λαμπτήρων του φωτιστικού και  $MF$  είναι το γινόμενο του συντελεστή συντήρησης (maintenance factor) του λαμπτήρα με τον συντελεστή συντήρησης του φωτιστικού σώματος.

Για έναν παρατηρητή όμως, η ορατότητα του οδοστρώματος δεν καθορίζεται από την ένταση φωτισμού  $E$ , αλλά από την λαμπρότητά του  $L$ . Η λαμπρότητα  $L$  εξαρτάται από την ένταση φωτισμού, από την κατεύθυνση παρατήρησης και από το χρώμα, την στεγνότητα και την ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ένα νέο και μη λείο οδόστρωμα διαχέει ομοιόμορφα το φως. Ένα λείο οδόστρωμα δεν διαχέει το φως ομοιόμορφα. Τέλος σε ένα πολύ υγρό οδόστρωμα γίνεται σχεδόν κατοπτρική ανάκλαση του φωτός και επομένως η λαμπρότητα ενός σημείου του οδοστρώματος εξαρτάται πολύ περισσότερο από την λαμπρότητα της πηγής παρά από την ένταση φωτισμού στο συγκεκριμένο σημείο. Επομένως, η λαμπρότητα σε ένα σημείο του οδοστρώματος εξαρτάται από την ποιότητα της επιφάνειάς του καθώς και από τις κατευθύνσεις παρατήρησης και πρόσπτωσης του φωτός.

Έτσι η λαμπρότητα  $L_M$  σε ένα σημείο  $M$  του οδοστρώματος, που φωτίζεται από μία πηγή, και το βλέπει ο οδηγός είναι ανάλογη της έντασης φωτισμού  $E_M$  στο σημείο  $M$ :  $L_M = q \cdot E_M$ .

Ο συντελεστής  $q$  εξαρτάται από τις γωνίες  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ , όπου  $\gamma$  είναι η γωνία πρόσπτωσης,  $\alpha$  είναι η γωνία παρατήρησης από το οριζόντιο επίπεδο (που μετριέται πάνω στο κατακόρυφο επίπεδο),  $\beta$  είναι η γωνία μεταξύ των δύο κατακόρυφων επιπέδων (πρόσπτωσης και παρατήρησης), όπως φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 5-3:



Σχήμα 5-3: Γωνίες  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  για τον προσδιορισμό του συντελεστή λαμπρότητας  $q$  ή του μειωμένου συντελεστή λαμπρότητας  $r$

Ο οδηγός παρατηρεί το οδόστρωμα που είναι σε απόσταση από 60m έως 160m μπροστά από το αυτοκίνητό του και τα μάτια του είναι σε ύψος από 1m έως 2m από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Υπό τις συνθήκες αυτές, η γωνία παρατήρησης είναι  $0.5^\circ \leq \alpha \leq 1.5^\circ$ . Μεταξύ αυτών των δύο τιμών, ο συντελεστής  $q$  είναι πρακτικά ανεξάρτητος της γωνίας παρατήρησης  $\alpha$ . Επομένως ο συντελεστής λαμπρότητας  $q$  μετριέται για  $\alpha \approx 1^\circ$ , συναρτήσει των  $\beta$  και  $\gamma$ .

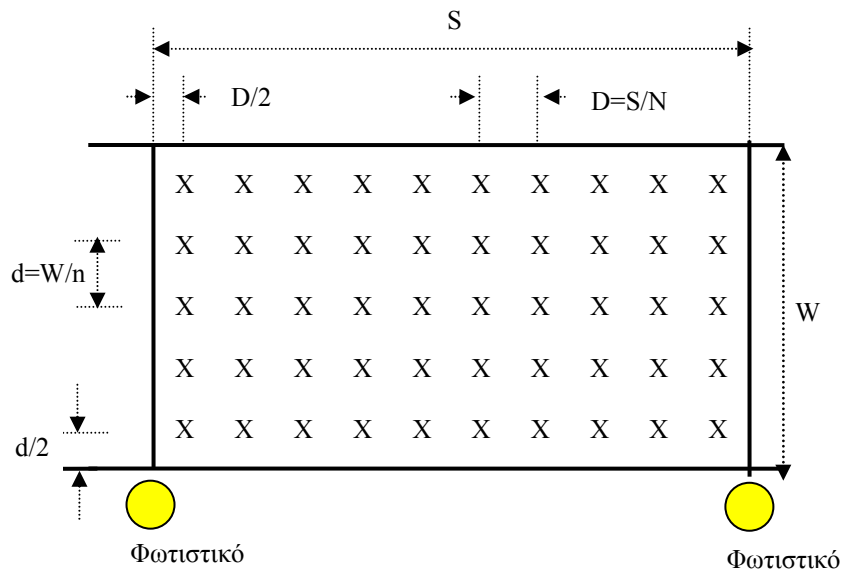
Έτσι προκύπτει  $L = (I \cdot q \cdot \cos^3 \gamma \cdot F \cdot MF) / h^2$ , όπου  $I$  η φωτεινή ένταση,  $h$  το ύψος του στήλου στήριξης του φωτιστικού,  $q$  ο συντελεστής λαμπρότητας,  $\gamma$  η γωνία πρόσπτωσης,  $F$  είναι η αρχική φωτεινή ροή σε klm των λαμπτήρων του φωτιστικού και  $MF$  είναι το γινόμενο του συντελεστή συντήρησης (maintenance factor) του λαμπτήρα με τον συντελεστή συντήρησης του φωτιστικού σώματος.

Οι τιμές του γινομένου  $q \cdot \cos^3 \gamma$ , που συνήθως χρησιμοποιείται για υπολογισμούς, μπορούν να παρασταθούν υπό μορφή πίνακα. Ο πίνακας αυτός, που ονομάζεται «**Φωτομετρικός πίνακας – r**», περιέχει τις τιμές του  $r$ , όπου  $r = q \cdot \cos^3 \gamma \cdot 10^4$  ο μειωμένος συντελεστής λαμπρότητας, για κάθε ζεύγος τιμών των παραμέτρων  $\beta$  και  $\tan \gamma$ . Ο φωτομετρικός πίνακας –  $r$  μας δίνει τις ιδιότητες ανάκλασης του οδοστρώματος και για αυτό είναι απαραίτητος στον υπολογισμό της λαμπρότητας του δρόμου.

Το φωτιστικό σώμα ενδέχεται να περιέχει λαμπτήρες διαφόρων ειδών (π.χ. υδραργύρου και νατρίου) και πρέπει να εξασφαλίζεται η ανάμειξη των φωτεινών ροών, ώστε να υπάρχει σχετική ομοιογένεια στο χρώμα. Έτσι έχει ως προορισμό την τροποποίηση της κατανομής της φωτεινής έντασης των λαμπτήρων. Αποτελείται δε, από συστήματα που ανακλούν (για να κατευθύνουν την φωτεινή δέσμη και να αυξάνουν την απόδοση), διαθλούν και διαχέουν το φως (ειδικά όταν οι απαιτήσεις οπτικής άνεσης είναι μεγάλες). Οι τιμές της φωτεινής έντασης  $I$  δίνονται σε μορφή πίνακα, που ονομάζεται «**Φωτομετρικός πίνακας – I**», και είναι συνάρτηση της οριζόντιας γωνίας  $C$ , που σχηματίζει το κάθετο επίπεδο πρόσπτωσης με ένα επίπεδο παράλληλο στον δρόμο, και της γωνίας πρόσπτωσης  $\gamma$ . Οι γωνίες αυτές φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 5-4.



Το πλέγμα των σημείων αυτών προσδιορίζεται τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος του αντιπροσωπευτικού κομματιού του δρόμου όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5-5:



Σχήμα 5-5: Πλέγμα σημείων υπολογισμού της οριζόντιας έντασης φωτισμού

όπου:

$S$  είναι η απόσταση δύο διαδοχικών φωτιστικών του δρόμου,

$D$  είναι η απόσταση δύο διαδοχικών σημείων υπολογισμού της έντασης φωτισμού κατά μήκος του δρόμου και δίνεται από την σχέση:  $D = S/N$ ,

$N$  είναι ο αριθμός των σημείων υπολογισμού στην κατά μήκος κατεύθυνση του δρόμου και παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

- $N = 10$ , για  $S \leq 30\text{m}$
- $N =$  ο μικρότερος ακέραιος που δίνει  $D \leq 3\text{m}$ , για  $S > 30\text{m}$ ,

$W$  είναι το πλάτος του δρόμου,

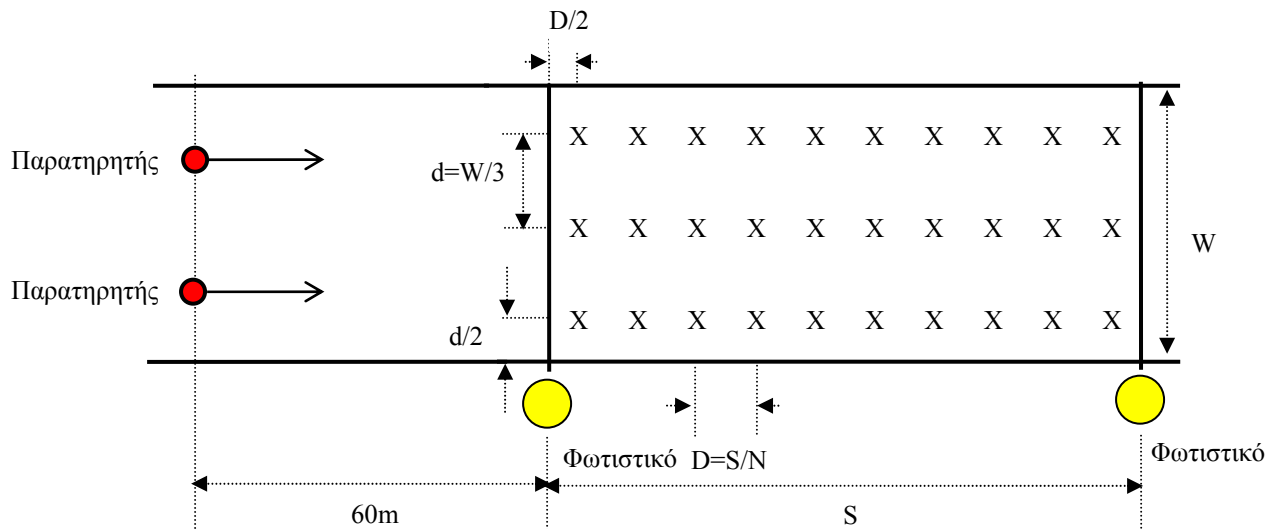
$d$  είναι η απόσταση δύο διαδοχικών σημείων υπολογισμού της έντασης φωτισμού κατά πλάτος του δρόμου και δίνεται από την σχέση:  $d = W/n$ ,

$n$  είναι ο αριθμός των σημείων υπολογισμού στην κατά πλάτος κατεύθυνση του δρόμου, με τιμή μεγαλύτερη ή ίση με 3 και είναι ο μικρότερος ακέραιος που δίνει  $d \leq 1.5\text{m}$ .

Τοποθέτηση των σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας:

Τα σημεία υπολογισμού της λαμπρότητας βρίσκονται πάνω στο επίπεδο του εδάφους του δρόμου. Αναφέρονται δε, μεταξύ δύο διαδοχικών φωτιστικών της ίδιας πλευράς του δρόμου όταν το κομμάτι αυτό του δρόμου επαναλαμβάνεται καθόλο το μήκος του. Το πρώτο φωτιστικό στο υπό εξέταση κομμάτι του δρόμου πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 60m μπροστά από τον παρατηρητή. Το σημείο παρατήρησης δε, πρέπει να είναι 1.5m πάνω από την επιφάνεια του δρόμου (εδάφους).

Το πλέγμα των σημείων αυτών προσδιορίζεται τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος του αντιπροσωπευτικού κομματιού του δρόμου όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5-6:



Σχήμα 5-6: Πλέγμα σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας

όπου:

$S$  είναι η απόσταση δύο διαδοχικών φωτιστικών της ίδιας πλευράς του δρόμου,

$D$  είναι η απόσταση δύο διαδοχικών σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας κατά μήκος του δρόμου και δίνεται από την σχέση:  $D = S/N$ ,

$N$  είναι ο αριθμός των σημείων υπολογισμού στην κατά μήκος κατεύθυνση του δρόμου και παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

- $N = 10$ , για  $S \leq 30\text{m}$
- $N =$  ο μικρότερος ακέραιος που δίνει  $D \leq 3\text{m}$ , για  $S > 30\text{m}$ ,

$W$  είναι το πλάτος του δρόμου,

$d$  είναι η απόσταση δύο διαδοχικών σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας κατά πλάτος του δρόμου και δίνεται από την σχέση:  $d = W/3$ .

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

### **ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΔΗΜΟ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ**

#### **6.1 Μετρήσεις – Υπολογισμός δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας**

Σε συνάντηση μεταξύ του Δήμου Ν. Φιλαδέλφειας και της Διοίκησης της ΔΕΗ συμφωνήθηκε ο Δήμος της Νέας Φιλαδέλφειας να αποτελέσει τον πρώτο από τους τρεις πιλοτικούς Δήμους της Αττικής στους οποίους θα εφαρμοστούν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας μέσα από ορθολογική χρήση της για τον Δημοτικό φωτισμό.

Σε συνέχεια της συμφωνίας υλοποιήθηκαν οι παρακάτω ενέργειες:

- Στη συνάντηση εκπροσώπων της ΔΕΗ/ΚΔΕΠ και των Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου, διευκρινίστηκαν οι στόχοι του συγκεκριμένου έργου και επελέγησαν από την Τεχνική Υπηρεσία, περιοχές και οδοί του Δήμου που ενδεχομένα παρουσιάζουν δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας από το φωτισμό.
- Οι τεχνικοί του ΚΔΕΠ με την υποστήριξη του Εργαστηρίου Φωτοτεχνίας του ΕΜΠ πραγματοποίησαν μετρήσεις έντασης φωτισμού και λαμπρότητας στις επιλεγείσες οδούς.
- Με την χρήση του προτύπου EN 13201 έγινε η κατηγοριοποίηση των οδών και προσδιορίστηκαν οι ελάχιστες απαιτήσεις έντασης και ομοιομορφίας φωτισμού για κάθε οδό.
- Διαπιστώθηκε σε ποιες οδούς υπάρχει δυναμικό εξοικονόμησης και ποιες είναι υποφωτισμένες σε σχέση με τις απαιτήσεις του προτύπου.

Η αξιολόγηση των οδών, βάσει του Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01, προσδιορίζοντας τις βασικές παραμέτρους τους, φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 6-1:

A/A	Οδός	Χαρακτηρισμός	Main User	Other allowed user	Typical speed of main user [km/h]	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)
1	Χατζηγεωργίου	Πεζόδρομος	M, S, C, P	-	Walking speed & > 5 and ≤ 30	D4
2	Αίνου	Πεζόδρομος	M, S, C, P	-	Walking speed & > 5 and ≤ 30	D4
3	Ταταούλων	Πεζόδρομος	M, S, C, P	-	Walking speed & > 5 and ≤ 30	D4
4	Τραπεζούντος	Πεζόδρομος	M, S, C, P	-	Walking speed & > 5 and ≤ 30	D4
5	Τραπεζούντος	Πεζόδρομος	M, S, C, P	-	Walking speed & > 5 and ≤ 30	D4
6	Ραιδέστου	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
7	Κυδωνιών	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
8	Ν. Τρυπιά	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
9	Πλατεία Κωνσταντινουπόλεως	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
10	Εφέσσου	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
11	Πλατεία Βενιζέλου	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
12	Σμύρνης	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
13	Λυκούργου	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
14	Χρ. Αθηνών	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
15	Φλέμγκ	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
16	Νάξου	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
17	Πλαστήρα	Τοπική οδός	M, P	S, C	> 5 and ≤ 30	D2
18	Δεκελείας	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1



A/A	Οδός	Χαρακτηρισμός	Main User	Other allowed user	Typical speed of main user [km/h]	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)
19	Αγία τριάδος	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
20	Παπαναστασίου	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
21	Πατριάρχου Κωνσταντίνου	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
22	Πίνδου	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
23	Υψηλάντου	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
24	Σοφούλη	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
25	Αναγεννήσεως	Διαδημοτική οδός	M, S	C, P	> 30 and ≤ 60	B1
26	Παιδούπολη	Πάρκο				

*Πίνακας 6-1: Αξιολόγηση τυπικών οδών του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας βάσει Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01*

Στη συνέχεια προσδιορίζοντας τις ειδικές παραμέτρους του Προτύπου για κάθε οδό, έγινε η κατηγοριοποίησή της για τον προσδιορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων σε φωτισμό, όπως φαίνεται στους παρακάτω Πίνακες 6-2, 6-3 και 6-4:

A/A	Οδός	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Geometric measures for traffic calming	Parked vehicles	Difficulty of navigational task	Traffic flow pedestrians and cyclists	Complexity of visual field	Crime risk	Ambient luminance	Κατηγορία οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)
1	Χατζηγεωργίου	D4	No	Not present	Normal	Normal	Normal	Normal	Medium	S5
2	Αίνου	D4	No	Not present	Normal	Normal	Normal	Normal	Medium	S5
3	Ταταούλων	D4	No	Not present	Normal	Normal	Normal	Normal	Medium	S5
4	Τραπεζούντος	D4	No	Not present	Normal	Normal	Normal	Normal	Medium	S5
5	Τραπεζούντος	D4	No	Not present	Normal	Normal	Normal	Normal	Medium	S5

Πίνακας 6-2: Κατηγοριοποίηση τυπικών οδών του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας βάσει Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01

A/A	Οδός	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Geometric measures for traffic calming	Difficulty of navigational task	Traffic flow pedestrians	Crime risk	Ambient luminance	Facial Recognition	Κατηγορία οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)
6	Ραϊδέστου	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
7	Κυδωνιών	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
8	Ν. Τρυπιά	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
9	Πλατεία Κωσταντινουπόλεως	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
10	Εφέσου	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
11	Πλατεία Βενιζέλου	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
12	Σμύρνης	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
13	Λυκούργου	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
14	Χρ. Αθηνών	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
15	Φλέμγκ	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
16	Νάξου	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5
17	Πλαστήρα	D2	No	Normal	Normal	Normal	Medium	Unnecessary	CE5

Πίνακας 6-3: Κατηγοριοποίηση τυπικών οδών του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας βάσει Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01

A/A	Οδός	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Main weather type	Geometric measures for traffic calming	Intersection density Intersections/km	Parked vehicles	Difficulty of navigational task	Conflict area	Traffic flow vehicles	Traffic flow cyclists	Complexity of visual field	Ambient luminance	Κατηγορία οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)
18	Δεκελείας	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
19	Αγία τριάδος	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
20	Παπαναστα-σίου	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
21	Πατριάρχου Κωνσταντί-νου	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
22	Πίνδου	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
23	Υψηλάντου	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
24	Σοφούλη	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b
25	Αναγεννή-σεως	B1	Dry	No	≥ 3	Present	Normal	No	≥ 7000	Normal	Normal	Medium	ME4b

Πίνακας 6-4: Κατηγοριοποίηση τυπικών οδών του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας βάσει Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01

Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας 6-5, που δείχνει τις ελάχιστες απαιτήσεις σε ένταση/λαμπρότητα και ομοιομορφία φωτισμού βάσει του Προτύπου και τις αντίστοιχες μετρήσεις που έγιναν. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις είναι για μεν την ένταση φωτισμού το SKYE Portable LuxMeter, για δε την λαμπρότητα το Minolta LS-100 Luminance Meter.

A/A	Οδός	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Κατηγορία οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Επίπεδο αναφοράς Λαμπρότητας Laverage [cd/m <sup>2</sup> ] (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Ομοιομορφία Λαμπρότητας U <sub>o</sub> (minimum) (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Επίπεδο αναφοράς Έντασης Φωτισμού Eaverage [Lux] (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Ομοιομορφία Έντασης Φωτισμού U <sub>o</sub> (minimum) (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Μετρήσεις Λαμπρότητας Laverage [cd/m <sup>2</sup> ]	Μετρήσεις Έντασης Φωτισμού Eaverage [Lux]	Μετρήσεις Ομοιομορφίας U <sub>o</sub> (minimum)
1	Χατζηγεωργίου	D4	S5	-	-	3	-	-	14,6	0,82
2	Αίνου	D4	S5	-	-	3	-	-	21,4	0,79
3	Ταταούλων	D4	S5	-	-	3	-	-	41,5	0,67
4	Τραπεζούντος	D4	S5	-	-	3	-	-	47,8	0,71

A/A	Οδός	Αξιολόγηση οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Κατηγορία οδών (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01)	Επίπεδο αναφοράς Λαμπρότητας Laverage [cd/m2] (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Ομοιομορφία Uο (minimum) (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Επίπεδο αναφοράς Έντασης Φωτισμού Eaverage [Lux] (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Ομοιομορφία Έντασης Φωτισμού Uο (minimum) (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Μετρήσεις Λαμπρότητας Laverage [cd/m2]	Μετρήσεις Έντασης Φωτισμού Eaverage [Lux]	Μετρήσεις Ομοιομορφίας Uο (minimum)
5	Τραπεζούντος	D4	S5	-	-	3	-	-	13,9	0,65
6	Ραιδέστου	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	14,7	0,48
7	Κυδωνιών	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	14,3	0,70
8	Ν. Τρυπιά	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	36,7	0,65
9	Πλατεία Κωνσταντινουπόλεως	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	29,8	0,71
10	Εφέσου	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	18,5	0,27
11	Πλατεία Βενιζέλου	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	1,17	14 (χωρίς πυλώνες)	0,5 (χωρίς πυλώνες)
12	Σμύρνης	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	2,73	-	-
13	Λυκούργου	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	5,8	0,17
14	Χρ. Αθηνών	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	7,6	0,52
15	Φλέμγκ	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	10,4	0,58
16	Νάξου	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	6,6	0,45
17	Πλαστήρα	D2	CE5	-	-	7,5	0,4	-	3,1	0,32
18	Δεκελείας	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	1,23	-	-
19	Αγία τριάδος	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	2,23	-	-
20	Παπαναστασίου	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	1,43	-	-
21	Πατριάρχου Κωνσταντίνου	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	1,47	-	-
22	Πίνδου	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	2,50	-	-
23	Υψηλάντου	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	2,03	-	-
24	Σοφούλη	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	0,97	-	-
25	Αναγεννήσεως	B1	ME4b	0,75	0,4	-	-	2,87	-	-
26	Παιδοπούλη			-		3	-	-	4,8	0,84

Πίνακας 6-5: Ελάχιστες απαιτήσεις σε οριζόντια ένταση φωτισμού ή λαμπρότητα βάσει Προτύπου ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02 και μετρήσεις αυτών σε τυπικές οδούς του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας

Παρατηρούμε από τον παραπάνω Πίνακα 6-5 ότι ορισμένες οδοί είναι υποφωτισμένες / υποδιαστασιοποιημένες και δεν προκύπτει η ύπαρξη δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας. Αντίθετα υπάρχει ανάγκη μελέτης του σχεδιασμού φωτισμού τους για να επιτευχθούν τα ελάχιστα όρια φωτισμού που θέτει το Πρότυπο. Αυτές οι οδοί είναι:

- Οδός Πλαστήρα (Ένταση Φωτισμού: 3.1 lux Ομοιομορφία: 0,32)
- Οδός Νάξου (Ένταση Φωτισμού: 6.6 lux Ομοιομορφία: 0,45)
- Οδός Λυκούργου (Ένταση Φωτισμού: 5.8 lux Ομοιομορφία: 0,17)

Ανήκουν στην κατηγορία φωτισμού οδών CE5 όπου η ελάχιστη ένταση φωτισμού πρέπει να είναι 7.5 lux.

Ομοίως υπάρχει άλλη μια ομάδα οδών για την οποία δεν προτείνεται καμία επέμβαση, καθώς από την σύγκριση των αποτελεσμάτων μέτρησης με τα ελάχιστα όρια που θέτει το Πρότυπο δεν προκύπτει η ύπαρξη σημαντικού δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας. Στους επόμενους δύο Πίνακες 6-6 και 6-7, ακολουθεί λίστα με αυτές τις οδούς:

Οδός	Επίπεδο αναφοράς Έντασης Φωτισμού Eaverage [Lux] (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Ομοιομορφία Έντασης Φωτισμού Uo (minimum) (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Μετρήσεις Έντασης Φωτισμού Eaverage [Lux]	Μετρήσεις Ομοιομορφίας Uo (minimum)
Ραϊδέστου	7.5	0.4	14,71	0.48
Κυδωνιών	7.5	0.4	14.33	0.70
Εφέσσου	7.5	0.4	18.53	0.27
Πλατεία Βενιζέλου	7.5	0.4	14.00*	0.50*
Χρ. Αθηνών	7.5	0.4	7.63	0.52
Φλέμιγκ	7.5	0.4	10.43	0.58

\*χωρίς πυλώνες

Πίνακας 6-6: Οδοί στις οποίες δεν προτείνεται κάποια επέμβαση (βάσει  $E_{οριζόντιας}$ )

Οδός	Επίπεδο αναφοράς Λαμπρότητας Laverage [cd/m <sup>2</sup> ] (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Ομοιομορφία Λαμπρότητας Uo (minimum) (Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02)	Μετρήσεις Λαμπρότητας Laverage [cd/m <sup>2</sup> ]
Δεκελείας	0,75	0,4	1,23
Παπαναστασίου	0,75	0,4	1,43
Πατρ. Κωνσταντίνου	0,75	0,4	1,47
Σοφούλη	0,75	0,4	0,97

Πίνακας 6-7: Οδοί στις οποίες δεν προτείνεται κάποια επέμβαση (βάσει λαμπρότητας)

Σε όλες τις υπόλοιπες οδούς, από την σύγκριση των αποτελεσμάτων μέτρησης με τα όρια που θέτει το Πρότυπο, προκύπτει η ύπαρξη σημαντικού δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας.

Εφόσον υπερिσχύσει η λογική της δυνατότητας να αναστραφούν οι όποιες επεμβάσεις σε αυτές τις οδούς για εξοικονόμηση ενέργειας, είναι δυνατόν να επιλέξουμε καταρχάς το απλούστερο σενάριο που δεν περιλαμβάνει αλλαγές στην διάταξη και την μορφή των φωτιστικών σωμάτων. Μπορούν δηλαδή να γίνουν μόνο αλλαγές τύπου και ισχύος λαμπτήρων που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας με μείωση της έντασης του υπάρχοντος φωτισμού και με υπερκάλυψη των ελάχιστων απαιτήσεων του Προτύπου.

Επεμβαίνοντας λοιπόν στα φωτιστικά των στύλων του Δημοτικού φωτισμού και όχι σε αυτούς της ΔΕΗ, προτείνουμε την αντικατάσταση των λαμπτήρων υδραργύρου Sylvania HSL-SC 125 Watts, E27, 3400K, 6500lm και των Sylvania HSL-SC 80 Watts, E27, 3400K, 4000lm με λαμπτήρες Philips CFL Master PL-Electronic, 33 Watts, E27, cool white, 2250lm. Έτσι πετυχαίνουμε μείωση της έντασης φωτισμού περίπου κατά 65% και 44% αντίστοιχα.

Οι προτεινόμενες αλλαγές λαμπτήρων φαίνονται στον επόμενο Πίνακα 6-8:

Οδός	Αριθμός Λαμπτήρων	Τύπος Λαμπτήρα	Ισχύς Λαμπτήρων [W]	Τύπος Νέου Λαμπτήρα	Ισχύς Νέων Λαμπτήρων [W]
Χατζηγεωργίου	40	Sylvania - Hg	80	Philips - CFL	33
Αΐνου	24	Sylvania - Hg	80	Philips - CFL	33
Ταταούλων	24	Sylvania - Hg	125	Philips - CFL	33
Τραπεζούντος	18	Sylvania - Hg	125	Philips - CFL	33
Ν. Τρυπιά	69	Sylvania - Hg	80	Philips - CFL	33
Σμύρνης	105	Sylvania - Hg	80	Philips - CFL	33
Αγία τριάδος	45	Sylvania - Hg	80	Philips - CFL	33
Πίνδου	145	Sylvania - Hg	80	Philips - CFL	33
Υψηλάντου	15	Sylvania - Na	250	Philips - Na	150
Αναγεννήσεως	14	Sylvania - Na	150	Philips - Na	100

Πίνακας 6-8: Προτεινόμενες αλλαγές λαμπτήρων

Στη συνέχεια, παραδεχόμενοι ότι η κατανάλωση του ballast ενός λαμπτήρα υδραργύρου ή νατρίου είναι περίπου στο 15% της ισχύος του λαμπτήρα, ότι οι ετήσιες ώρες λειτουργίας ενός λαμπτήρα είναι 4015 ώρες (δηλ. 11 ώρες/μέρα x 365 μέρες) και το μέσο τιμολόγιο Γ-4 της ΔΕΗ για φωτισμό οδών και πλατειών σε Δήμους και Κοινότητες είναι 0.092335 €/kWh, ο υπολογισμός της εξοικονομούμενης ενέργειας και του οικονομικού οφέλους υπολογίζεται στον παρακάτω Πίνακα 6-9. Ας σημειώσουμε ότι στην στήλη «Ισχύουσα Κατανάλωση Ενέργειας» του Πίνακα 6-9, λαμβάνουμε υπόψη μας την ολική κατανάλωση των φωτιστικών των αντίστοιχων δρόμων (ακόμα και αυτών που δεν αλλάζουμε τους λαμπτήρες) όπου έχουμε μεικτό φωτισμό. Το «Ποσοστό

Εξοικονόμησης» της τελευταίας στήλης του Πίνακα 6-9 υπολογίζεται ως ποσοστό αυτής της συνολικής ισχύουσας κατανάλωσης ενέργειας.

Οδός	Ισχύουσα Κατανάλωση Ενέργειας [MWh]	Εξοικονόμηση Ενέργειας [MWh]	Υπολογισθείσα Ετήσια Δαπάνη Πριν την Επέμβαση [€]	Οικονομικό Όφελος ανά Δρόμο/ Έτος [€]	Ποσοστό Εξοικονόμησης
Χατζηγεωργίου	16.85	9.48	1555.84	875.34	56.26%
Αίνου	10.38	5.69	958.44	525.39	54.81%
Ταταούλων	13.85	10.67	1278.84	985.21	77.04%
Τραπεζούντος	10.39	8.00	959.36	738.68	77.00%
Ν. Τρυπιά	65.79	16.35	6074.72	1509.68	24.85%
Σμύρνης	63.71	24.87	5882.66	2296.37	39.04%
Αγία τριάδος	24.58	10.66	2269.59	984.29	43.37%
Πίνδου	100.29	34.35	9260.28	3171.71	34.25%
Υψηλάντου	19.85	6.02	1832.85	555.86	30.33%
Αναγεννήσεως	15.01	2.81	1385.95	259.46	18.72%
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>340.70</b>	<b>128.90</b>	<b>31458.53</b>	<b>11901.99</b>	<b>37.83%</b>

Πίνακας 6-9: Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε τυπικές οδούς του Δήμου

## 6.2 Μελέτη πιθανών επεμβάσεων

Προκειμένου να διερευνηθούν πιο περίπλοκα σενάρια επεμβάσεων, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό (RELUX της SITECO-SIEMENS), μέσω του οποίου εξετάστηκαν επεμβάσεις κλιμακούμενων διαβαθμίσεων για έναν τυπικό πεζόδρομο του Δήμου της Νεας Φιλαδέλφειας. Στόχος της μελέτης είναι η επιλογή της καταλληλότερης λύσης, με κριτήρια τον βαθμό εξοικονόμησης ενέργειας, το επίπεδο έντασης φωτισμού καθώς και την έκταση των απαιτούμενων επεμβάσεων.

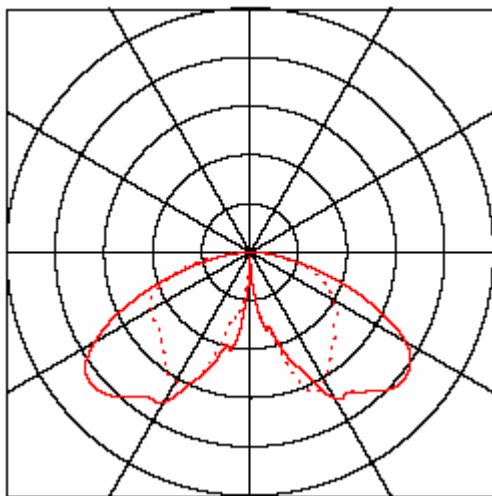
Το παράδειγμα αναφέρεται στον πεζόδρομο Τραπεζούντος, στο μισό μήκος του οποίου, ο Δήμος ήδη έχει κάνει επέμβαση αλλαγής λαμπτήρων.

Στο πρώτο στάδιο επέμβασης (σενάρια 1 και 2) διατηρούμε σταθερή την θέση και τον τύπο των φωτιστικών και επεμβαίνουμε στον τύπο των λαμπτήρων.

Στο δεύτερο στάδιο επέμβασης (σενάριο 3), διατηρούμε σταθερή την θέση των φωτιστικών, έχοντας περιθώρια επέμβασης στον τύπο των φωτιστικών – λαμπτήρων.

Στο τρίτο στάδιο επέμβασης (σενάρια 4, 5, 6 και 7) θεωρούμε ότι υπάρχει ελευθερία επέμβασης, τόσο στη θέση, όσο και στον τύπο των φωτιστικών σωμάτων εκατέρωθεν του πεζόδρομου.

Στην υπάρχουσα κατάσταση, το φωτιστικό σώμα είναι το παραδοσιακό φανάρι με δύο λαμπτήρες υδραργύρου Sylvania HSL-SC 125 Watts, E27, 3400K, 6500lm. Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού φαίνεται παρακάτω Σχήμα 6-1.



*Σχήμα 6-1: Παραδοσιακό Φανάρι με λαμπτήρα Hg 125W και το πολικό του διάγραμμα*

Ισχύς Λαμπτήρα: 125W

Συνολική Ισχύς: 125W + 15% (με ballast)

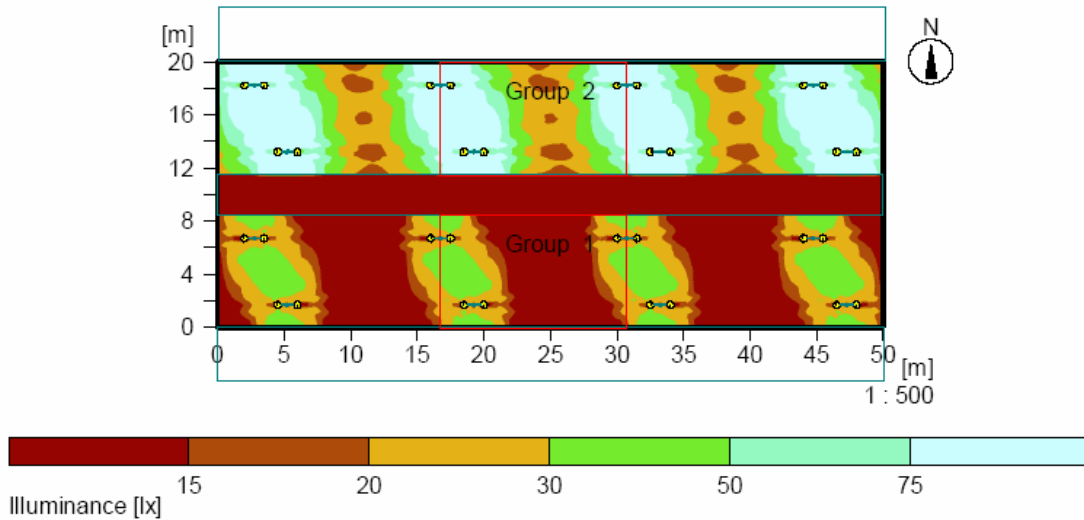
Φωτεινή Ροή: 6500lm

Θερμοκρασία χρώματος: 3200K

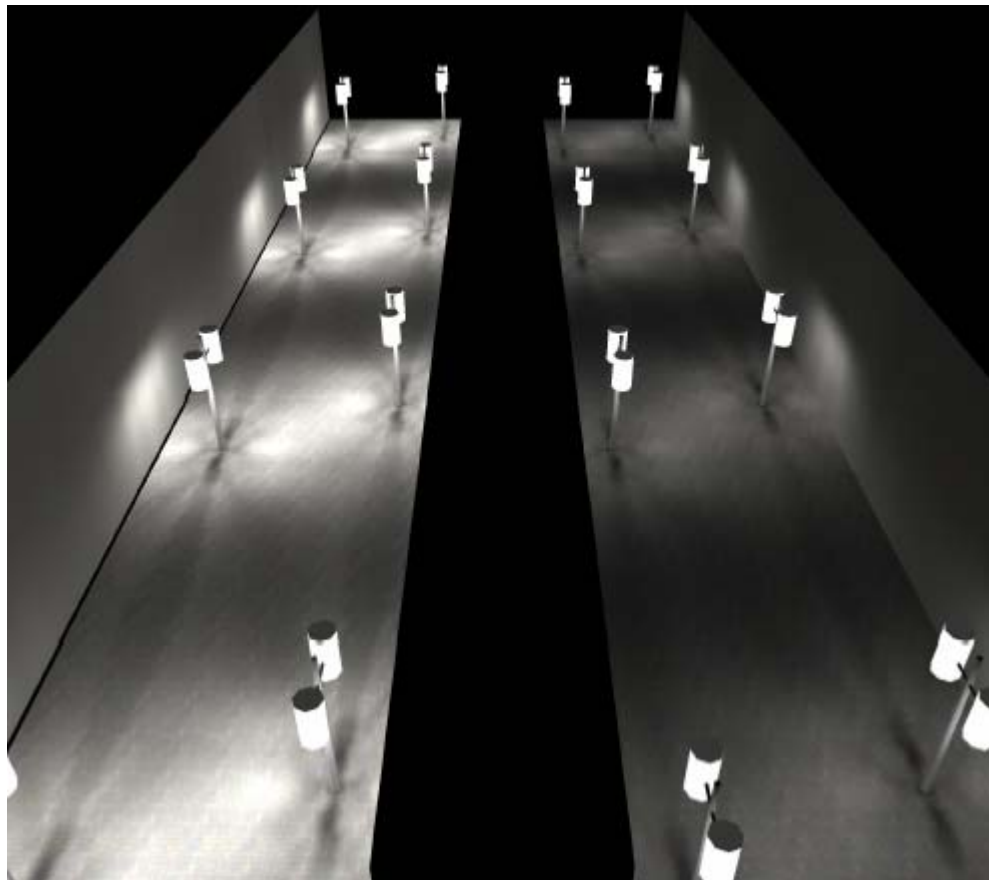


### Σενάριο 1:

Κρατάμε την υπάρχουσα διάταξη και τύπο των φωτιστικών σωμάτων και αλλάζουμε τους υπάρχοντες λαμπτήρες, με λαμπτήρες CFL 27W, 1800lm, 3200K. Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 1, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-2, 6-3 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



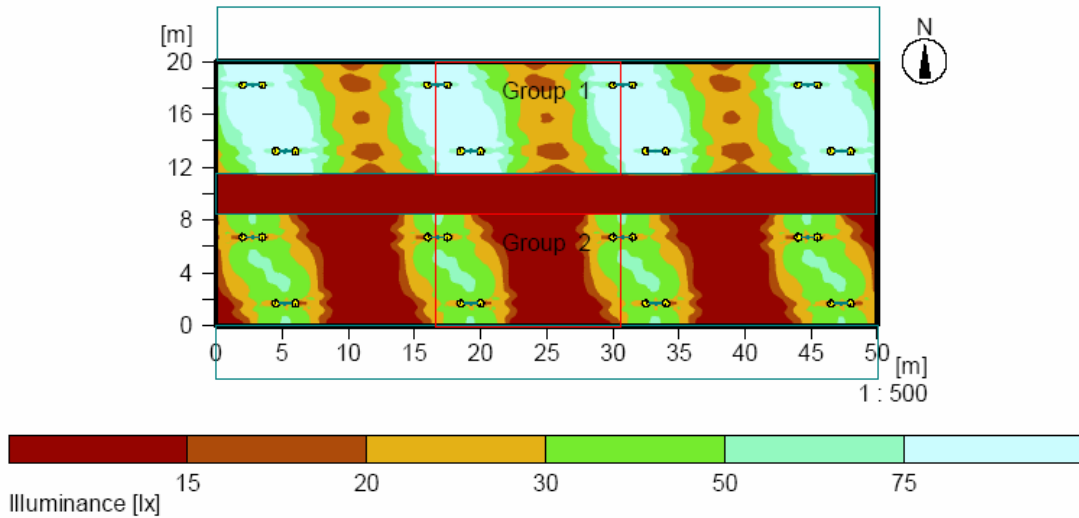
Σχήμα 6-2: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 1 (κάτω)



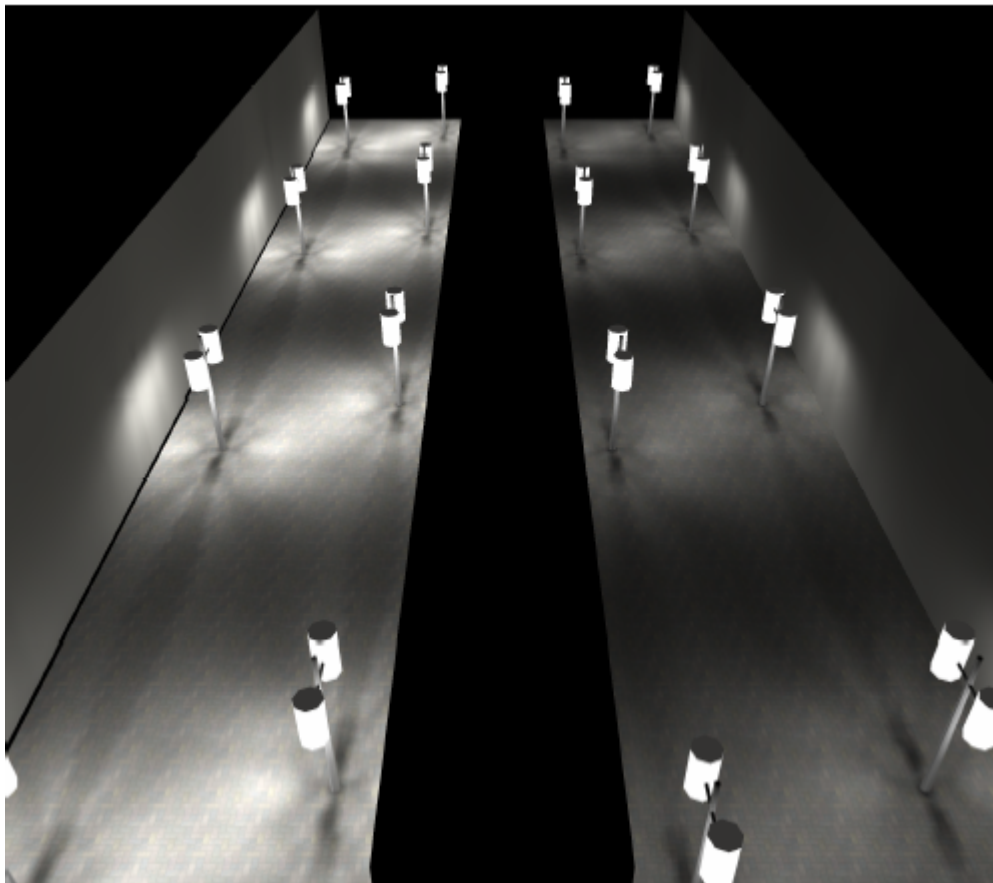
Σχήμα 6-3: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 1 (δεξιά)

## Σενάριο 2:

Κρατάμε την υπάρχουσα διάταξη και τύπο των φωτιστικών σωμάτων και αλλάζουμε τους υπάρχοντες λαμπτήρες, με λαμπτήρες CFL 33W, 2250lm, 3200K. Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 2, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-4 και 6-5 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



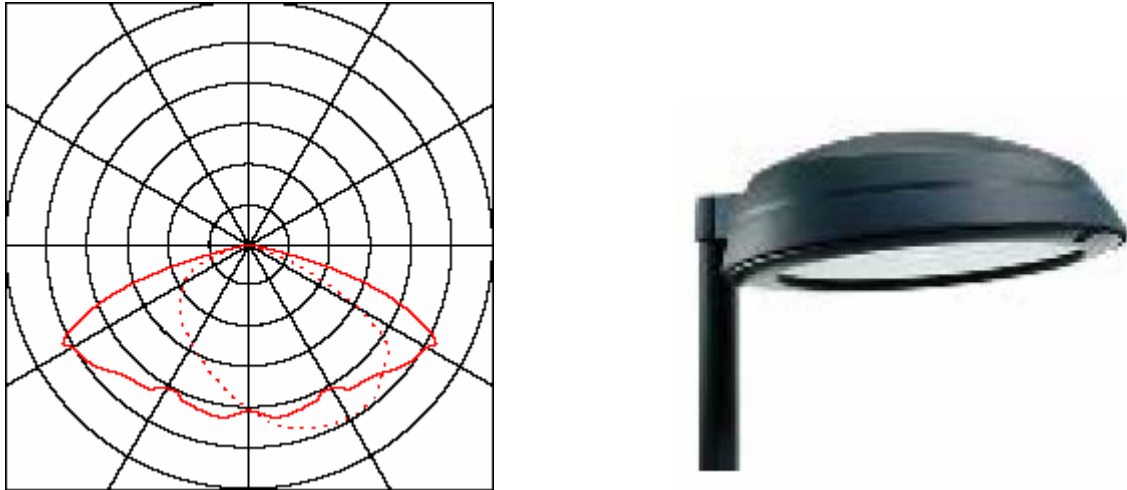
Σχήμα 6-4: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 2 (κάτω)



Σχήμα 6-5: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 2 (δεξιά).

### Σενάριο 3:

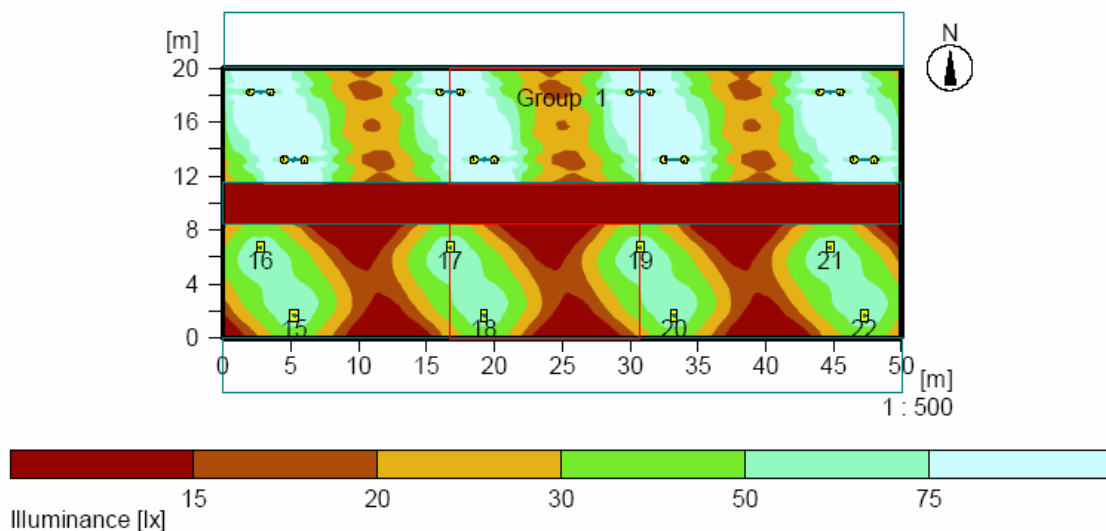
Κρατάμε την υπάρχουσα διάταξη και αλλάζουμε τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων –λαμπτήρων με νέο φωτιστικό CGP431 PC 1xPL-H60W/840 HF OR P3X CitySoul της Philips. Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού αυτού φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 6-6:



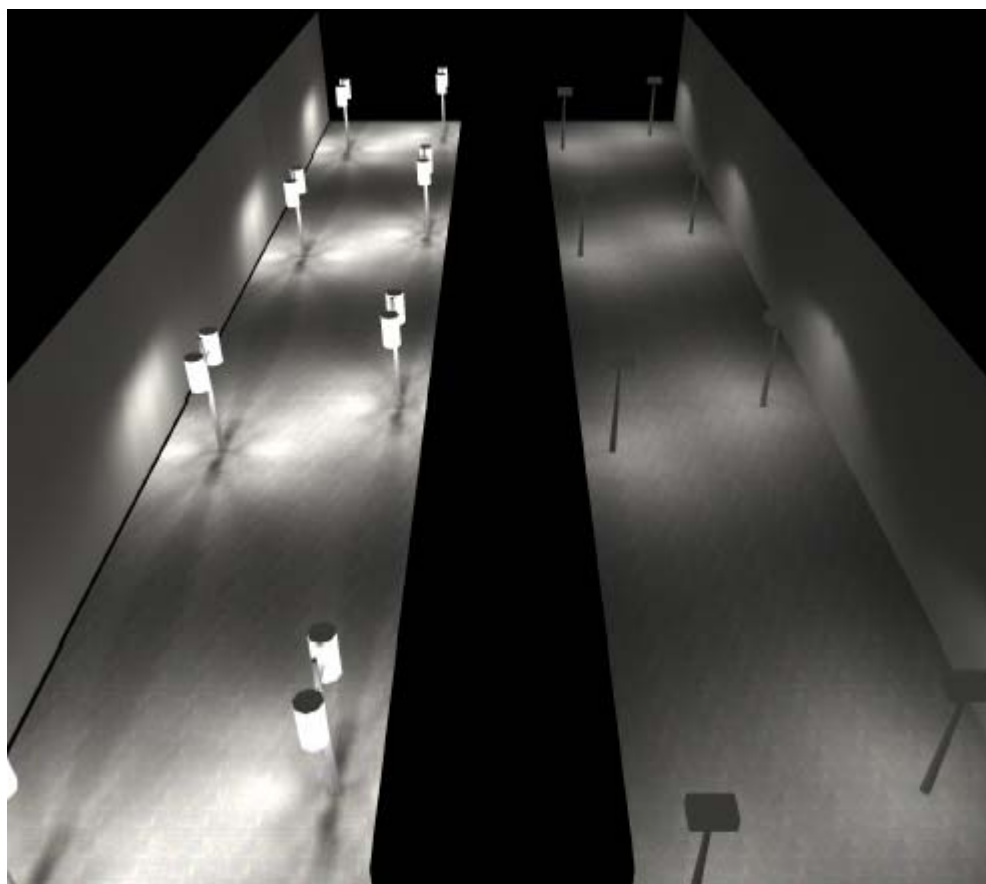
Σχήμα 6-6: Νέο φωτιστικό CGP431 PC 1xPL-H60W/840 HF OR P3X CitySoul της Philips και το πολικό του διάγραμμα

Ισχύς Λαμπτήρα: 60W  
Συνολική Ισχύς: 63W (με ballast)  
Φωτεινή Ροή: 4000lm

Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 3, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-7 και 6-8 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



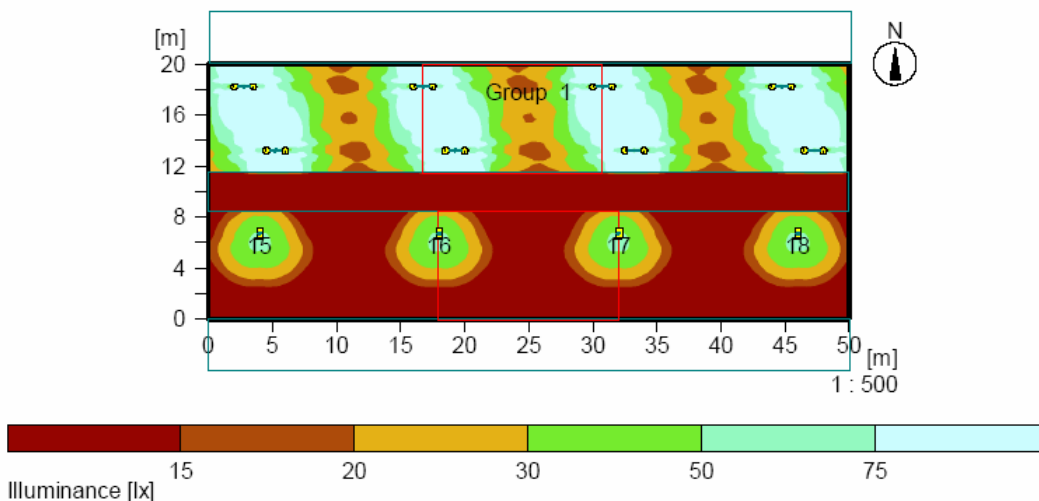
Σχήμα 6-7: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 3 (κάτω)



Σχήμα 6-8: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 3 (δεξιά)

**Σενάριο 4:**

Αλλάζουμε τόσο την υπάρχουσα διάταξη όσο και τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων. Χρησιμοποιούμε και εδώ τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιήσαμε στο σενάριο 3, αλλά υπό κλίση 15°, σε νέα μονόπλευρη διάταξη και με λιγότερα φωτιστικά, όπως φαίνεται παρακάτω. Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 4, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-9 και 6-10 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



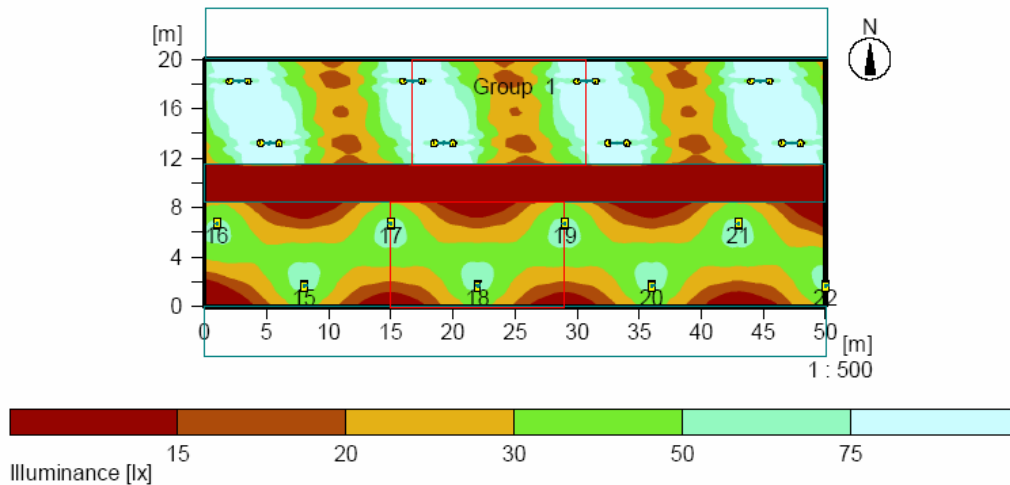
Σχήμα 6-9: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 4 (κάτω)



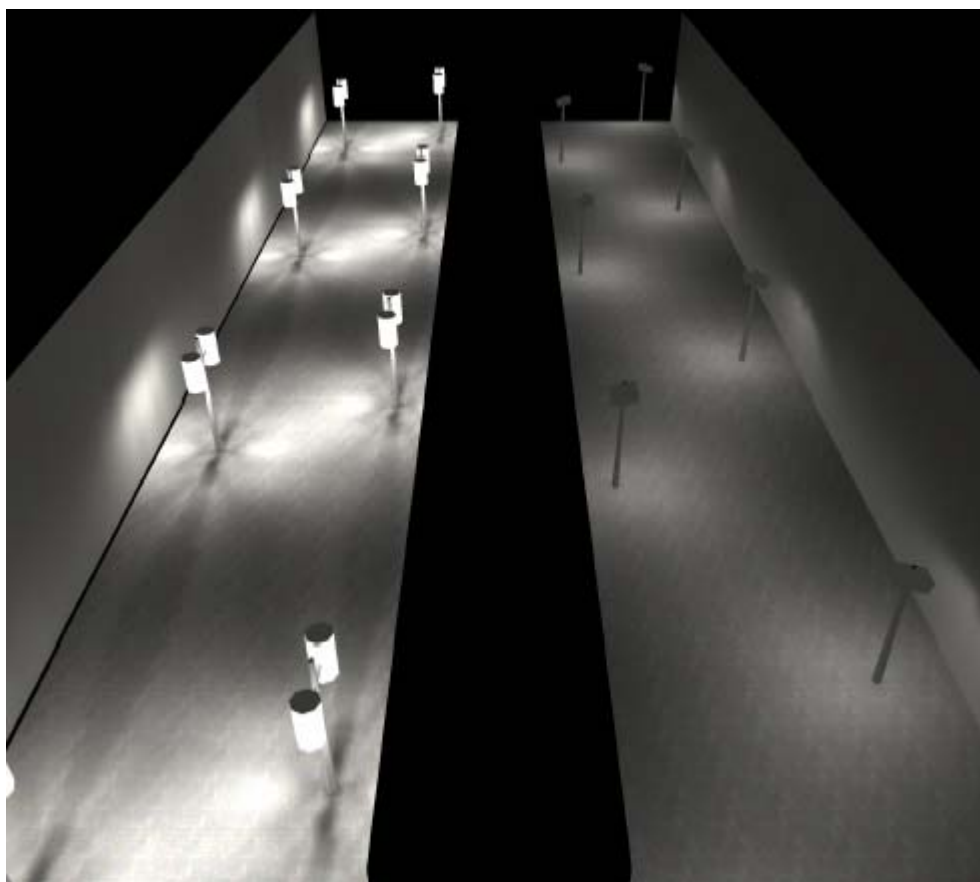
Σχήμα 6-10: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 4 (δεξιά)

### Σενάριο 5:

Αλλάζουμε τόσο την υπάρχουσα διάταξη όσο και τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων. Χρησιμοποιούμε και εδώ τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιήσαμε στο σενάριο 3, αλλά υπό κλίση  $15^\circ$ , σε νέα χιαστί διάταξη όπως φαίνεται παρακάτω. Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 5, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-11 και 6-12 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



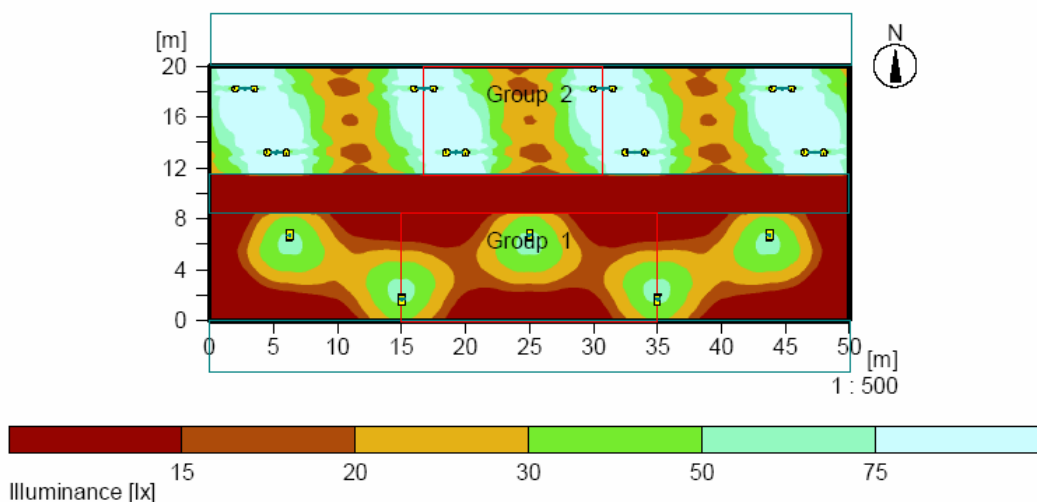
Σχήμα 6-11: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 5 (κάτω)



Σχήμα 6-12: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 5 (δεξιά)

### **Σενάριο 6:**

Αλλάζουμε τόσο την υπάρχουσα διάταξη όσο και τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων. Χρησιμοποιούμε και εδώ τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιήσαμε στο σενάριο 3, αλλά υπό κλίση 15°, σε νέα χιαστή διάταξη και με λιγότερα φωτιστικά, όπως φαίνεται παρακάτω. Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 6, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-13 και 6-14 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



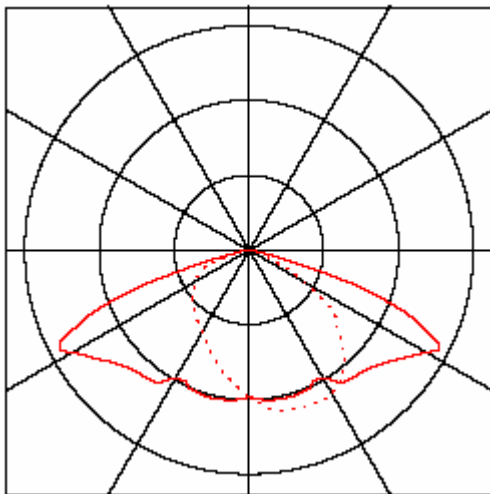
Σχήμα 6-13: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 6 (κάτω)



Σχήμα 6-14: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 6 (δεξιά)

**Σενάριο 7:**

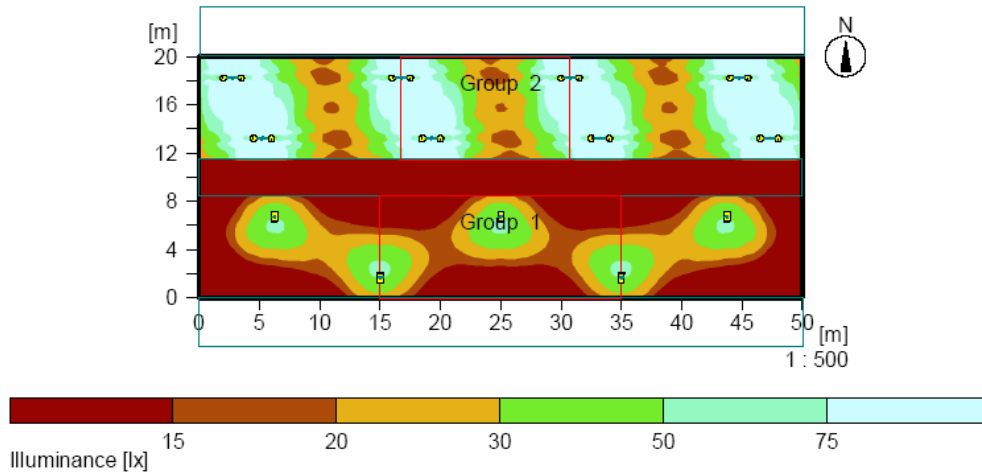
Αλλάζουμε τόσο την υπάρχουσα διάταξη όσο και τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων. Χρησιμοποιούμε νέα και λιγότερα φωτιστικά σώματα CGP431 PC 1xPL-T/4P42W/840 HF OR P9 CitySoul της Philips υπό κλίση 15°, σε νέα χιαστή διάταξη όπως φαίνεται παρακάτω. Το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού αυτού φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 6-15:



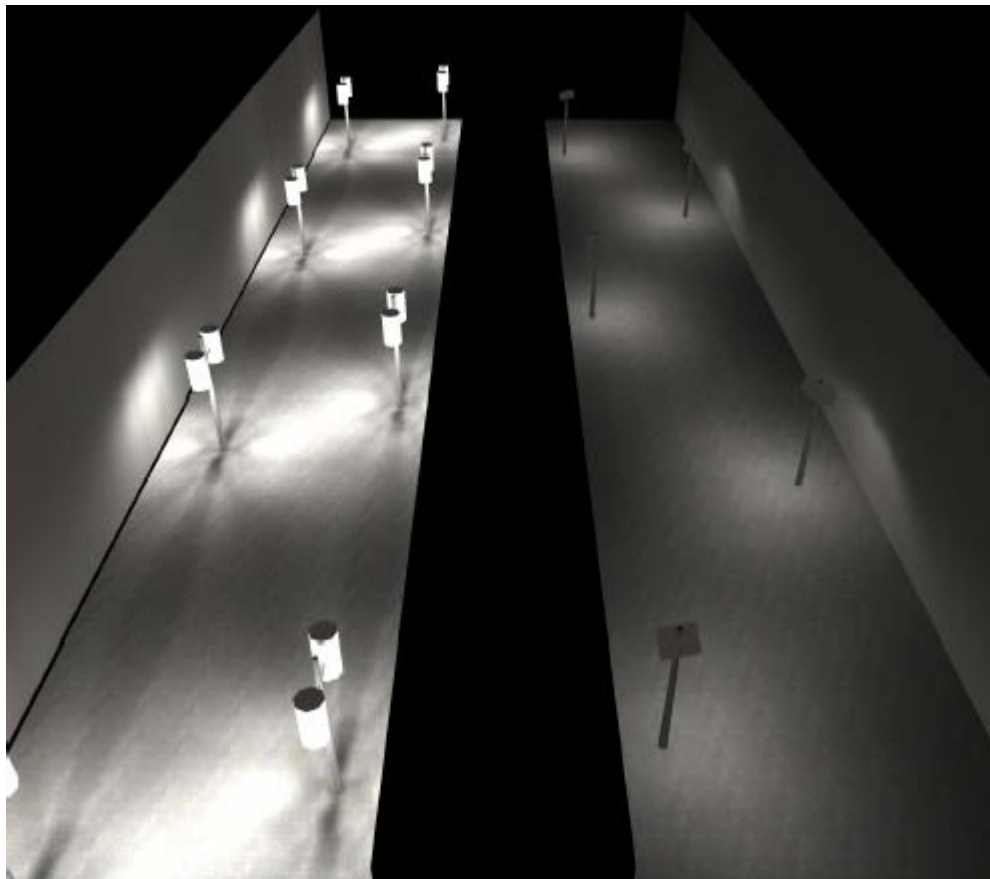
Σχήμα 6-15: Νέο φωτιστικό CGP431 PC 1xPL-T/4P42W/840 HF OR P9 CitySoul της Philips και το πολικό του διάγραμμα

Ισχύς Λαμπτήρα: 42W  
Συνολική Ισχύς: 46W (με ballast)  
Φωτινή Ροή: 3200lm

Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης με το σενάριο 7, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, δίνεται στα επόμενα Σχήματα 6-16 και 6-17 με την βοήθεια του λογισμικού RELUX.



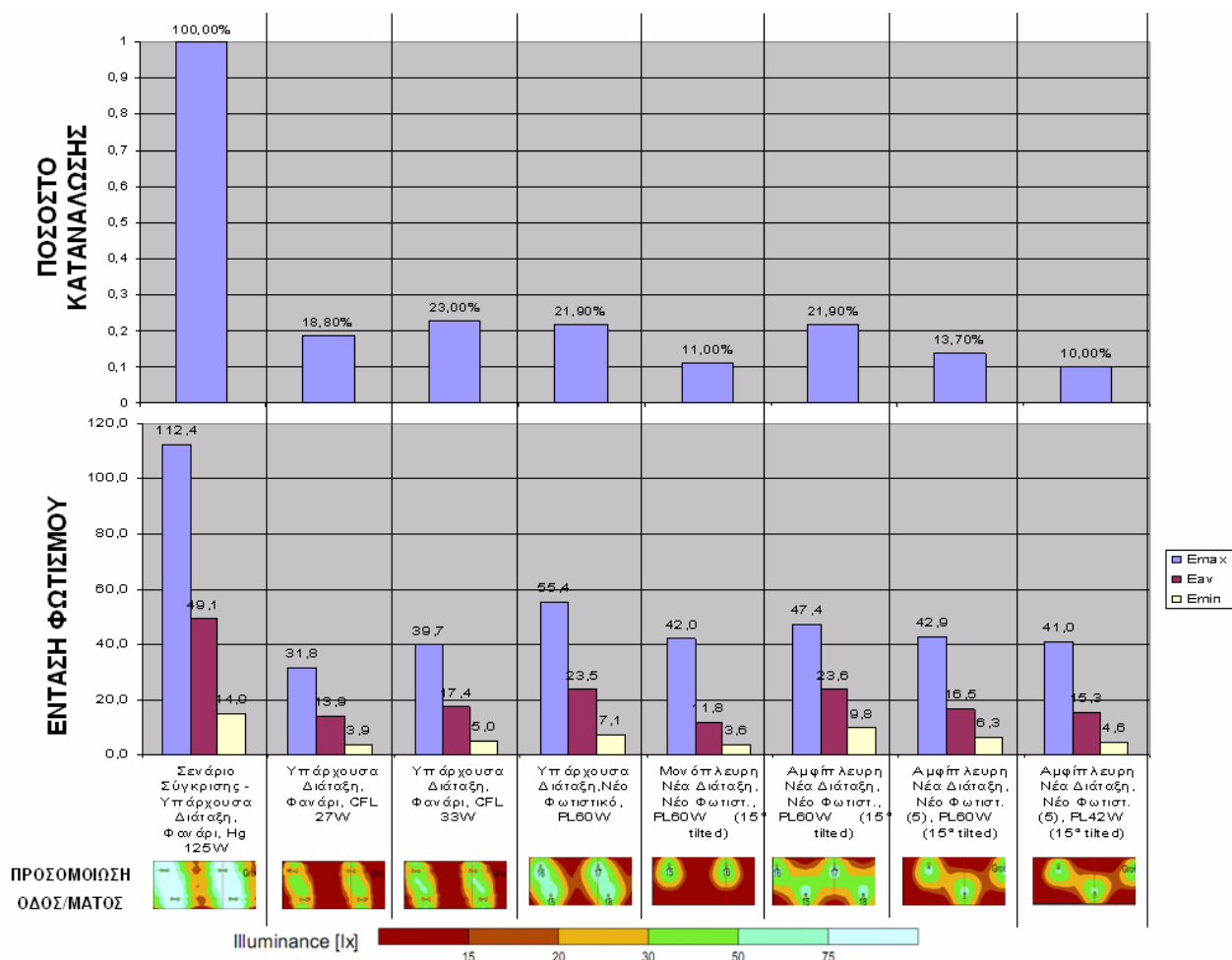
Σχήμα 6-16: Σύγκριση έντασης φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (πάνω) και σεναρίου 7 (κάτω)



Σχήμα 6-17: Σύγκριση επιπέδου φωτισμού υπάρχουσας κατάστασης (αριστερά) και σεναρίου 7 (δεξιά)



Στα επόμενα διαγράμματα γίνεται σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης του πεζόδρομου Τραπεζούντος του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας, με τα επτά σενάρια πιθανών επεμβάσεων που αναφέραμε, ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας και την ένταση φωτισμού (μέγιστη, μέση και ελάχιστη). Ας αναφέρουμε ότι σε όλα τα σενάρια η ελάχιστη ένταση φωτισμού που επιτυγχάνεται είναι πιο πάνω από το ελάχιστο όριο των 3 Lux που θέτει το Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02.



Σχήμα 6-19: Σύγκριση της υπάρχουσας κατάστασης και των επτά σεναρίων επέμβασης στον πεζόδρομο Τραπεζούντος του Δήμου της Νέας Φιλαδέλφειας

Παρατηρούμε ότι το σενάριο 5 με την νέα χιατί διάταξη και το νέο φωτιστικό CGP431 PC 1xPL-H60W/840 HF OR P3X CitySoul της Philips υπό κλίση 15°, παρουσιάζει την καλύτερη ομοιομορφία φωτισμού ( $U_0, \text{minimum} = 0.42$ ), δηλαδή την λιγότερο έντονη εναλλαγή φωτεινών και σκοτεινών περιοχών, ενώ εξοικονομούμε το 78% της καταναλισκόμενης ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

Το κόστος της παροχής φωτισμού δρόμων αποτελείται από δύο συνιστώσες: το αρχικό κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος. Δυστυχώς το αρχικό κόστος επένδυσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το λειτουργικό κόστος που είναι πολύ πιο σημαντικό για όλη την διάρκεια ζωής της εγκατάστασης φωτισμού.

Κατά την τεχνοοικονομική μελέτη μιας εγκατάστασης φωτισμού πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις παράγοντες κόστους:

- Το κόστος της αρχικής επένδυσης
- Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας για τον φωτισμό
- Το κόστος της συντήρησης

Ας θεωρήσουμε ένα μικρό παράδειγμα: Έστω ότι εγκαθιστούμε ένα φωτιστικό σώμα με ανακλαστήρα και διαφανές κάλυμμα από γυαλί με λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης 400W με μαγνητικό ballast (απώλειες 35W).

- Το κόστος της αρχικής επένδυσης: Το κόστος του παραπάνω φωτιστικού είναι περίπου 250.00 €.
- Κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας: Λειτουργώντας περίπου για 4015 ώρες το χρόνο (δηλαδή περίπου 11 ώρες την μέρα κατά μέσον όρο) με κόστος πώλησης της ενέργειας υπό χαμηλή τάση όπως ορίζεται από το τιμολόγιο Γ-4 της ΔΕΗ για φωτισμό δρόμων και πλατειών των δήμων και των κοινοτήτων  
Τιμολόγιο Γ-4 (μόνο για Δήμους και Κοινότητες):

Πάγιο: 0 €

Ενέργεια:

Λυκόφως – Λυκαυγές → 0.08521 €/kWh

Λυκόφως – Μεσονύκτιο → 0.09946 €/kWh

Ελάχιστη χρέωση: 0 €

δηλαδή κατά μέσον όρο κόστος ενέργειας 0.092335 €/kWh.

Το ετήσιο κόστος ενέργειας για αυτό το φωτιστικό είναι:

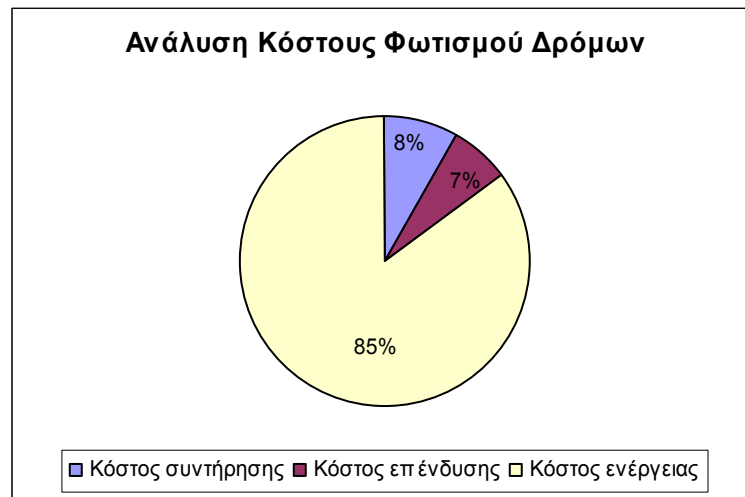
$0.092335 \text{ €/kWh} * 4015 \text{ h} * 0.435 \text{ kW} = 161.27 \text{ €}$  ή 65% του αρχικού κόστους επένδυσης.

Θεωρώντας 20 χρόνια ζωής για το φωτιστικό και σταθερό κόστος πώλησης της ενέργειας, το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας για όλη την ζωή του φωτιστικού είναι:

$161.27 \text{ €} * 20 \text{ χρόνια} = 3225.3 \text{ €}$  ή 13 φορές το κόστος της αρχικής επένδυσης.

- Το κόστος της συντήρησης:  
 Θεωρώντας ως μέσο χρόνο ζωής ενός λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης τις 12,000 ώρες, ο λαμπτήρας αυτός του φωτιστικού χρειάζεται αλλαγή περίπου 7 φορές (με 4015 ώρες λειτουργίας το χρόνο) στα 20 χρόνια λειτουργίας του φωτιστικού. Το κόστος της αλλαγής του λαμπτήρα είναι περίπου 20 € για τον λαμπτήρα και 25 € για τα εργατικά. Έτσι το συνολικό κόστος συντήρησης στα 20 χρόνια (με 4015 ώρες λειτουργίας το χρόνο) είναι:  
 $7 * 45.00 \text{ €} = 315.00 \text{ €}$

Το διάγραμμα που ακολουθεί δείχνει την ανάλυση του κόστους για το παραπάνω παράδειγμα.



Σχήμα 7-1: Ανάλυση κόστους σε φωτισμό δρόμων

Από το παραπάνω παράδειγμα γίνεται φανερό ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας του κόστους στον φωτισμό δρόμων είναι το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας. Έτσι συστήματα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων μπορούν να προσφέρουν τόσο οικονομικά οφέλη, που λόγω μειωμένων λειτουργικών εξόδων καθ' όλη την διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, δίνουν έναν βιώσιμο δείκτη ROI (pay-back-period), όσο και περιβαλλοντικά οφέλη, λόγω μείωσης των εκπομπών του CO<sub>2</sub>.

Χαρακτηριστικά οικονομικά στοιχεία για το κόστος μιας εγκατάστασης φωτισμού δίνονται στο Παράρτημα Α.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ**

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

Οι πιο συνήθεις παρεμβάσεις περιλαμβάνουν την αντικατάσταση των υπαρχόντων φωτιστικών που έχουν λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης με μοντέρνα φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού ή νατρίου υψηλής πίεσης ή μεταλλικών αλογονιδίων, προσφέροντας εξοικονόμηση ενέργειας και μερικές φορές αυξημένη αίσθηση ασφάλειας. Επίσης τα παλαιότερα φωτιστικά με βαθμό προστασίας IP54 και συμβατικούς λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης αντικαθίστανται με μοντέρνα φωτιστικά με βελτιωμένα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά, καλύτερη μηχανική προστασία (συνήθως IP65) και λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης βελτιωμένων φωτομετρικών και τεχνικών προδιαγραφών.

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

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

Μερικές προτάσεις για αποδοτικό φωτισμό δρόμων είναι οι ακόλουθες:

(1) Τα μέρη όπου συγκεντρώνονται πεζοί (όπως πεζόδρομοι, πάρκα, πλατείες) πρέπει να φωτίζονται με φωτεινές πηγές «άσπρου» φωτός πολύ καλής χρωματικής απόδοσης. Καθώς οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης δημιουργούν μια μη φυσική ατμόσφαιρα, πρέπει να χρησιμοποιηθούν λαμπτήρες που αποδίδουν σωστά την εμφάνιση των ανθρώπων και του περιβάλλοντος χώρου. Σε τέτοια μέρη προτείνονται λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων με κεραμικό σωλήνα εκκένωσης που μπορούν να αντικαταστήσουν ανέξοδα τους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα ballasts των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης. Έτσι σε πόλεις όπως η Μελβούρνη και το Σύδνεϊ στην Αυστραλία προτιμούν να χρησιμοποιούν λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων σε όλους τους δρόμους μέσα στην πόλη, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης είναι πιο αποδοτικοί και έχουν τουλάχιστον διπλάσιο χρόνο ζωής.

Οι νέοι λαμπτήρες CosmoWhite της Philips με χαρακτηριστικά  $T=2800K$ ,  $R_a=60-70$ ,  $n \approx 115 \text{ lm/W}$ , μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, με δυνατότητα διαβάθμισης της φωτεινής ροής τους μέχρι και 50%, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χώρους με πεζούς.

Οι λαμπτήρες CosmoWhite ή μεταλλικών αλογονιδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για κίνηση πεζών όσο και για κίνηση οχημάτων.

Στους λαμπτήρες MASTER CityWhite της Philips συνδυάζονται δύο χαρακτηριστικά: Το άριστο λευκό φως από τον κεραμικό καυστήρα με μεταλλικά αλογονίδια, και το ανθεκτικό εξωτερικό γυάλινο περίβλημα λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης. Ως αποτέλεσμα οι λαμπτήρες αυτοί με  $T=2800K$ ,  $R_a=85$ ,  $n=92 \text{ lm/W}$  και ωφέλιμο χρόνο ζωής 12000 ώρες (ή 3 χρόνια), είναι κατασκευαστικά όμοιοι με τους λαμπτήρες SON-T της Philips, χρησιμοποιούνται με τα ίδια όργανα λειτουργίας/ελέγχου – ωστόσο αναβαθμίζεται η εγκατάσταση φωτισμού με λευκό φως υψηλής ποιότητας με μια απλή αλλαγή λαμπτήρα! Ακόμα ο κεραμικός καυστήρας ουσιαστικά εξαλείφει τη μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος για ολόκληρο τον χρόνο ζωής του λαμπτήρα. Ο μεγάλος χρόνος ζωής (3 χρόνια) με μικρή πιθανότητα πρόωρων βλαβών συμβάλλει στο χαμηλό κόστος συντήρησης. Επίσης μπορεί να ρυθμιστεί η ένταση φωτισμού.

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFLs) MATER PL της Philips είναι συχνά πιο κατάλληλοι για χρήση όπου απαιτούνται χαμηλά επίπεδα φωτισμού, όπου το λευκό φως και η ποιότητα μετράει πιο πολύ από την ποσότητα. Αυτοί οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με χαρακτηριστικά  $T=3000$  και  $4000K$ ,  $R_a=82$ ,  $n=80 \text{ lm/W}$  και ωφέλιμο χρόνο ζωής 16000 ώρες, χωρίς ενσωματωμένο starter, συνδυάζουν την υψηλή ενεργειακή απόδοση, το λευκό φως και τον μεγάλο χρόνο ζωής. Ανάβουν αμέσως χωρίς καθυστέρηση και είναι δυνατή η ρύθμιση της έντασης του φωτός. Επίσης είναι δυνατή η επιλογή θερμοκρασίας χρώματος – θερμή ή ψυχρή απόχρωση. Ακόμα είναι φιλικό προς το περιβάλλον με μειωμένη περιεκτικότητα σε υδράργυρο κατά 75%. Επιπρόσθετα ο μεγαλύτερος χρόνος ζωής μειώνει την συχνότητα αντικατάστασης των λαμπτήρων.

(2) Οι σκοτεινές περιοχές πρέπει να αποφεύγονται καθώς δημιουργούν αίσθημα ανασφάλειας στους πεζούς. Το επίπεδο της ομοιομορφίας του φωτισμού, όπως δίνεται από τα Διεθνή Πρότυπα Φωτισμού, πρέπει να τηρείται.

(3) Τα φαινόμενα της θάμβωσης και της φωτορύπανσης πρέπει να ελαχιστοποιηθούν με μέτρα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα, όπως με την χρήση full-cutoff φωτιστικών.

(4) Η κατάλληλη αρχική επιλογή της θέσης και του μεγέθους των πόλων είναι σημαντική για την μη όχληση της κίνησης των πεζών και των οχημάτων.

(5) Η επιλογή του κατάλληλου «συντελεστή συντήρησης» (maintenance factor) κατά τον αρχικό σχεδιασμό της εγκατάστασης εξωτερικού φωτισμού είναι σημαντική, καθώς επηρεάζει όχι μόνο το

αρχικό επίπεδο φωτισμού (ή λαμπρότητας) αλλά και την όλη εγκατάσταση και κατανάλωση ενέργειας. Η περίοδος συντήρησης προσδιορίζεται έτσι ώστε η φωτεινή ροή του λαμπτήρα να μην έχει πέσει περισσότερο από 20% της αρχικής (ονομαστικής) και ο αριθμός των λαμπτήρων που δεν έχουν χαλάσει να μην ξεπερνάει το 10% του συνόλου αυτών.

(6) Προτείνεται να χρησιμοποιούνται φωτιστικά αποδοτικά, εύκολα στην χρήση και με υψηλό βαθμό προστασίας (τουλάχιστον IP65).

(7) Προτείνονται φωτιστικά με συντελεστή ισχύος (power factor) τουλάχιστον 0.95. Η συνεχώς αυξανόμενη τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας δικαιολογεί την προσπάθεια μείωσης της καταναλισκόμενης άεργου ισχύος για οδικό φωτισμό παράλο που τα ισχύοντα τιμολόγια για φωτισμό δρόμων και πλατειών δεν προβλέπουν την χρέωση της άεργου ισχύος.

Ας σημειωθεί ότι υπάρχουν ηλεκτρονικά ballasts για λαμπτήρες εκκενώσεως υψηλής έντασης που όχι μόνο παρέχουν έναν συντελεστή ισχύος κοντά στην μονάδα, αλλά βελτιώνουν και την απόδοση του λαμπτήρα. Η μικρότερη αξιοπιστία τους από τα συμβατικά ηλεκτρομαγνητικά ballasts και η μεγάλη τιμή τους καθιστά ακόμη την ζήτησή τους μικρή.

(8) Προτείνεται η χρήση συστημάτων dimming για οδικό φωτισμό με λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης.

(9) Προσοχή πρέπει να δοθεί στον προσδιορισμό της κατηγορίας/κλάσης φωτισμού του δρόμου. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων φωτισμού και συνεπώς της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της απόστασης των πόλων.

(10) Πρέπει να εφαρμόζεται ένα βέλτιστο πρόγραμμα συντήρησης, με περιοδική αντικατάσταση των λαμπτήρων, καθαρισμό των ανακλαστήρων (και άλλων μερών) των φωτιστικών και αντικατάσταση των πρόωρα χαλασμένων λαμπτήρων. Μία βάση δεδομένων (π.χ. ένα σύστημα Geographical Information System) με όλη την πληροφορία για τα στοιχεία που απαρτίζουν τον οδικό φωτισμό της πόλης θα ήταν χρήσιμη. Η σωστή και προγραμματισμένη συντήρηση οδηγεί σε βέλτιστη απόδοση και μείωση των δαπανών συντήρησης.

(11) Η μείωση των ωρών λειτουργίας των φωτιστικών ώστε να εξασφαλιστεί ότι λειτουργούν μόνο σε περίπτωση ανάγκης. Εάν τα φώτα απαιτούνται για ένα μόνο μέρος της νύχτας, τα χρονόμετρα ελέγχου είναι η προτιμότερη λύση.

(12) Με την χρησιμοποίηση αποδοτικότερων πηγών φωτός, μπορεί να είναι δυνατόν να μειωθεί ο αριθμός των λαμπτήρων που λειτουργούν για να επιτευχθούν τα ίδια επίπεδα φωτισμού.

Ακολουθεί ο Πίνακας 8-1 που παραθέτει μερικές χαρακτηριστικές επιλογές αντικατάστασης λαμπτήρων. Ο Πίνακας 8-1 παρουσιάζει πόση ενέργεια μπορεί να εξοικονομηθεί από κάθε

λαμπτήρα που αντικαθίσταται και εάν θα υπάρξουν πρόσθετα οφέλη από την άποψη της βελτίωσης του επιπέδου φωτισμού ή της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων.

Τύπος Λαμπτήρα	Νέος τύπος Λαμπτήρα	Εξοικονόμηση Ενέργειας ανά λαμπτήρα που αντικαθίσταται (μαζί με το σύστημα ελέγχου)	Επίδραση στα επίπεδα φωτός	Επίδραση στην διάρκεια ζωής	Σημειώσεις
250W ατμών υδραργύρου	150W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	37%	+	+	
250W ατμών υδραργύρου	150W μεταλλικών αλογονιδίων	37%	+	-	
400W ατμών υδραργύρου	250W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	35%	+	+	
400W ατμών υδραργύρου	250W μεταλλικών αλογονιδίων	36%	-	-	Όταν είναι αποδεκτή η μείωση της ποιότητας φωτισμού
50W ατμών υδραργύρου	26W compact τριφασφωρικός λαμπτήρας φθορισμού	50%	Αμετάβλητο	+	
80W ατμών υδραργύρου	42W compact τριφασφωρικός λαμπτήρας φθορισμού	48%	Αμετάβλητο	+	
50W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	35W μεταλλικών αλογονιδίων	28%	-	-	Όταν είναι αποδεκτή η μείωση της ποιότητας φωτισμού

<b>Τύπος Λαμπτήρα</b>	<b>Νέος τύπος Λαμπτήρα</b>	<b>Εξοικονόμηση Ενέργειας ανά λαμπτήρα που αντικαθίσταται (μαζί με το σύστημα ελέγχου)</b>	<b>Επίδραση στα επίπεδα φωτός</b>	<b>Επίδραση στην διάρκεια ζωής</b>	<b>Σημειώσεις</b>
70W ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	70W μεταλλικών αλογονιδίων	0%	+	-	

*Πίνακας 8-1: Επιλογές αντικατάστασης λαμπτήρων σε φωτισμό δρόμων*



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΗΜΕΡΟΜΗΣΘΙΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ισχύουν οι βασικές τιμές ημερομισθίων και υλικών του πρακτικού της επιτροπής διαπίστωσης τιμών δημοσίων έργων του Δ' ημερολογιακού τριμήνου του 2004 και για όσες τιμές δεν υπάρχουν στο πρακτικό, ισχύουν οι τρέχουσες τιμές της αγοράς για την ίδια εποχή και στον τόπο του έργου.

#### 1. ΤΙΜΕΣ ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΩΝ

Χρόνος: 2004 Περίοδος: Δ' τρίμηνο

ΑΤ	ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ	ΗΜΕΡΟ- ΜΙΣΘΙΑ [€]	ΠΡΟΣΑΥ- ΞΗΣΕΙΣ (%)	ΣΥΝΟΛ. ΗΜΕΡΟΜ. [€]	ΩΡΕΣ ΕΡΓ. [€]	ΩΡΟ- ΜΙΣΘΙΟ [€]
001	Εργάτης	46.00	81.17	83.33	6.46	12.90
002	Βοηθός	51.13	81.17	92.64	6.46	14.34
003	Τεχνίτης	67.71	81.17	122.68	6.46	18.99
005	Χειριστής ελαφρού μηχανήματος	56.26	81.17	101.92	6.67	15.28

#### 2. ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ – ΜΙΣΘΩΜΑΤΩΝ

Χρόνος: 2004 Περίοδος: Δ' τρίμηνο

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΟΥ	ΑΤ	ΕΙΔΟΣ (ΜΟΝΑΔΕΣ)	ΒΑΣΙΚΗ ΤΙΜΗ [€]
1	Μίσθωμα αναμικτήρα σκυροδέματος των 250 λίτρων	013	Ημ.	25.47
2	Νερό	021	m <sup>3</sup>	2.31
3	Άσβεστος άνυδρος	022	Kg	0.06
4	Τσιμέντο	026	Kg	0.08
5	Άμμος κονιαμάτων	051	m <sup>3</sup>	12.19
6	Άμμος κονιοδεμάτων	052	m <sup>3</sup>	12.19
7	Σκόρα διαστάσεων 0.7 έως 3 cm	062	m <sup>3</sup>	10.87
8	Διάτρητοι πλίνθοι διαστάσ. 19x9x6 cm	111	Τεμ.	0.06
9	Χάλυβας οπλισμών στρεπτός με νευρώσεις (S500) Φ8 mm	260	Kg	0.49

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΟΥ	ΑΤ	ΕΙΔΟΣ (ΜΟΝΑΔΕΣ)	ΒΑΣΙΚΗ ΤΙΜΗ [€]
10	Βενζίνη	482	Lit	0.79
11	Ορυκτέλαιο	484	Kg	2.22
12	Πλαστικός σωλήνας αποχέτευσης από σκληρό P.V.C., πίεσης λειτουργίας 4 atm για 20°C, διαμέτρου 110 mm	572.1.8	m	5.50
13	Καλύμματα φρεατίων από χυτοσίδηρο	N590	Kg	6.60
14	Ηλεκτρόδιο γείωσης χάλκινο τύπου COPPERWELD, διαμέτρου ½ INS, μήκους 2.50 m	N807.51.3	Τεμ.	24.00
15	Αγωγός γυμνός χάλκινος, πολύκλωνος, διατομής 25 mm <sup>2</sup>	813.2.3	m	1.41
16	Αγωγός γυμνός χάλκινος, πολύκλωνος, διατομής 95 mm <sup>2</sup>	813.2.7	m	3.19
17	Καλώδιο τύπου NYM, τριπολικό, διατομής 3x2.5mm <sup>2</sup>	816.3.2	m	0.58
18	Καλώδιο τύπου NYΥ, τετραπολικό, διατομής 4x10mm <sup>2</sup>	820.5.5	m	2.73
19	Ηλεκτρικός πίνακας από χαλυβδο-έλασμα ντεκαπέ και μορφοσίδηρο με πόρτα, προστασίας P30, εντοιχισμένος, διαστάσεων 35x25 cm	835.1.1	Τεμ.	39.00
20	Διακόπτης PACCO χωνευτός, συνδεσμολογίας 1, διπολικός, έντασης 25A	848.2.2	Τεμ.	85.00
21	Ρευματοδότης πίνακα SCHUKO, διπολικός, έντασης 16A	857.1.1	Τεμ.	4.90
22	Μικροαυτόματος για ασφάλιση ηλεκτρικών γραμμών, ενδεικτικού τύπου WL-SIEMENS, μονοπολικός, έντασης 25A	859.1.5	Τεμ.	4.40
23	Λυχνία ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ενδ. Τύπου PHILIPS SON TP 70W	N880.25.1	Τεμ.	20.00
24	Λυχνία ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ενδ. Τύπου PHILIPS SON TP 150W	N880.25.2	Τεμ.	22.26
25	Λυχνία μεταλλικών αλογονιδίων ενδ. τύπου PHILIPS CDM T 70W /830	N880.35.1	Τεμ.	33.85
26	Λυχνία μεταλλικών αλογονιδίων ενδ. τύπου PHILIPS CDM T 150W /830	N880.35.2	Τεμ.	33.85

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΟΥ	ΑΤ	ΕΙΔΟΣ (ΜΟΝΑΔΕΣ)	ΒΑΣΙΚΗ ΤΙΜΗ [€]
27	Ευθύγραμμος μεταλλικός βραχίονας μικρού μήκους, μονός, μήκους 0.50m	N930.15.1	Τεμ.	18.00
28	Ευθύγραμμος μεταλλικός βραχίονας μικρού μήκους, μονός, μήκους 1.00m	N930.15.2	Τεμ.	23.00
29	Ευθύγραμμος μεταλλικός βραχίονας μικρού μήκους, μονός, μήκους 1.50m	N930.15.3	Τεμ.	28.00
30	Σιδηροϊστός φωτιστικού σώματος, εξαγωνικός από έλασμα πάχους 6mm, μαζί με τον κλωβό αγκύρωσης, μήκους 9m	931.3.1	Τεμ.	588.00
31	Σιδηροϊστός φωτιστικού σώματος, εξαγωνικός από έλασμα πάχους 6mm, μαζί με τον κλωβό αγκύρωσης, μήκους 10m	931.3.2	Τεμ.	660.00
32	Σιδηροϊστός φωτιστικού σώματος, εξαγωνικός από έλασμα πάχους 6mm, μαζί με τον κλωβό αγκύρωσης, μήκους 9.5m	N931.3.10	Τεμ.	630.00
33	Σιδηροϊστός φωτιστικού σώματος, εξαγωνικός από έλασμα πάχους 6mm, μαζί με τον κλωβό αγκύρωσης, μήκους 11m	N931.3.11	Τεμ.	700.00
34	Σιδηροϊστός φωτιστικού σώματος, εξαγωνικός από έλασμα πάχους 6mm, μαζί με τον κλωβό αγκύρωσης, μήκους 12m	N931.3.12	Τεμ.	760.00
35	Φωτιστικό σώμα βραχίονα για λυχνίες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ενδ. τύπου PHILIPS SGS PCP3, ισχύος 70W	N932.55.1	Τεμ.	200.00
36	Φωτιστικό σώμα βραχίονα για λυχνίες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ενδ. τύπου PHILIPS SGS PCP3, ισχύος 150W	N932.55.2	Τεμ.	220.00
37	Ακροκιβώτιο ιστών ηλεκτροφωτισμού για μονό βραχίονα	933.1	Τεμ.	9.22
38	Κιβώτιο ηλεκτρικής διανομής (πίλαρ) ηλεκτροφωτισμού, διαστάσεων 1.45x1.30x0.36 m	N936.1	Τεμ.	200.00
39	Πλάκα γείωσης από ηλεκτρολυτικό χαλκό, με χάλκινο αγωγό 35mm <sup>2</sup> μήκους 5m και ακροδέκτη των 35mm <sup>2</sup> , διαστάσεων 500x500x3 mm	937.2	Τεμ.	22.00

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**  
**ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΟΔΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΤΕΙΩΝ**  
 (Ισχύουν από 1.12.2007)

<b>1. Τιμολόγιο T-49</b>	
Πάγιο	0 €
Ενέργεια Λυκόφως – Λυκαυγές	0.11295 €/kWh
Ενέργεια Λυκόφως - Μεσονύκτιο	0.13168 €/kWh

<b>2. Τιμολόγιο T-49/1</b>	
Πάγιο	0 €
Ενέργεια	0.11366 €/kWh
Ελάχιστη χρέωση (η αξία 4 hWh)	0.45 €

<b>3. Τιμολόγιο Γ-4 (Εφαρμόζεται σε όλη την χώρα μόνο σε Δήμους και Κοινότητες)</b>	
Πάγιο	0 €
Ενέργεια Λυκόφως – Λυκαυγές	0.08521 €/kWh
Ενέργεια Λυκόφως - Μεσονύκτιο	0.09946 €/kWh
Ελάχιστη χρέωση	0 €

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Φ. Β. Τοπαλής «Φωτοτεχνία», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [2] Σ. Μανιάς, «Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1997
- [3] Δημόπουλος Φ. Ι. «Φωτοτεχνία και Τεχνική του Φωτισμού»
- [4] Ι. Α. Οικονομόπουλος «Θεωρητική και εφαρμοσμένη Φωτοτεχνία», Αθήνα 1975
- [5] Π. Ντοκόπουλος, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης», Θεσσαλονίκη 1987
- [6] International Standard IEC 61000-3-2, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3 – 2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase”, 3<sup>rd</sup> edition, 2005
- [7] Technical Report – Type 2 IEC 61000-3-4, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3 - 4: Limits – Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A”, 1<sup>st</sup> edition, 1998
- [8] ΕΛΟΤ EN 50160, «Χαρακτηριστικά της τάσης που παρέχεται από τα δημόσια δίκτυα διαομής», 2000
- [9] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01, «Φωτισμός οδών – Μέρος 1: Επιλογή κατηγοριών φωτισμού», 2004
- [10] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.02, «Φωτισμός οδών – Μέρος 2: Απαιτήσεις επιδόσεων», 2003
- [11] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.03, «Φωτισμός οδών – Μέρος 3: Υπολογισμός επιδόσεων», 2007
- [12] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.04, «Φωτισμός οδών – Μέρος 4: Μέθοδοι μέτρησης επιδόσεων φωτισμού», 2003
- [13] Commission Internationale de l’ Eclairage, “Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement”, CIE pub 41
- [14] Commission Internationale de l’ Eclairage, “CIE 1988 2o Spectral Luminous Efficiency Functions for Photopic Vision”, CIE Publ. No 86, 1990
- [15] Commission Internationale de l’ Eclairage, “CIE Proceedings 1951”, Vol. 1, Sec. 4; Vol. 3, p.37, Bureau Central de la CIE, Paris, 1951
- [16] ΔΕΗ Α.Ε., «ΤΙΜΟΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», Αθήνα 1/12/2007
- [17] Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. «Απόφαση υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. περί συμπλήρωσης τεχνικών προδιαγραφών ηλεκτροφωτισμού οδών», Αθήνα, 8/3/1988
- [18] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος 573, 9/9/1986
- [19] Lighting Research Center, “Illumination fundamentals”, Rensselaer Polytechnic Institute, 2000
- [20] Zumtobel Staff, “The Lighting Handbook”, 1<sup>st</sup> edition, 2004

- [21] R.C.Dugan, M.F.McGranaghan, H.W. Beaty, “Electrical Power Systems Quality”, McGraw-Hill, 1996
- [22] F. V. Topalis, “Efficiency of energy saving lamps and harmonic distortion in distribution system”, IEEE Trans. on Power Delivery Vol. 8 (1993), No. 4, pp. 2038-2042
- [23] Thomas D. Baenziger, BE Elec., “Energy Management in Lighting Systems”, INTELUX AG, [www.intelux.com](http://www.intelux.com), 2000
- [24] R. Ruscassie, J.B. Rouffet, M. Huber, “NumeLiTe: An energy efficient lighting system for roadways and a commercial application of a dimming power supply”, IEEE, 2004
- [25] M.B. Kostic, L.S. Djokic, “Recommendations for energy and visually acceptable street lighting”, 2008
- [26] Marjukka Eloholma, Jaakko Ketomaki, Liisa Halomen, “Luminances and visibility in road lighting – Conditions, measurements and analysis”, Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory, Espoo, Finland, 2004
- [27] P.S. Harrington, “Design of an Energy Efficient Outdoor Nighttime Urban Lighting System”, New York Institute of Technology, NY, 2006
- [28] K. Sagawa, “70 years of Photometry”, Commission Internationale de l’ Eclairage, CIE x009-1995
- [29] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο [www.philips.com](http://www.philips.com)
- [30] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο [www.sylvania.com](http://www.sylvania.com)
- [31] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο [www.osram.com](http://www.osram.com)
- [32] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο [www.diathlasis.gr/downloads/fotoripansi.pdf](http://www.diathlasis.gr/downloads/fotoripansi.pdf)
- [33] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο [http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/index_en.htm)