



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Εγκαταστάσεις Δρόμων, με Ρύθμιση (Dimming)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικηφόρος Γ. Μπαντουκούδης

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Εγκαταστάσεις Δρόμων με Ρύθμιση (Dimming)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικηφόρος Γ. Μπαντουκούδης

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18η Ιουλίου 2008.

.....
Φ.Β Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ι. Σταθόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Π.Δ. Μπούρκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....
Νικηφόρος Γ. Μπαντουκούδης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικηφόρος Γ. Μπαντουκούδης, 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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας, ήταν η εξέταση συγκεκριμένων συστημάτων ρύθμισης φωτισμού και η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εφαρμογή τους σε μελέτες φωτισμού δρόμων με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τα συστήματα INTELUX NG5, E-BOX C25, CMH70W/T/UVC/U/942/G12 , CMH150W/T/UVC/U/830/G12 , osram powerstar hqi-t 250W/D E40 και τέλος, Philips master HPI-T plus 400W/645 E40.

Αρχικά, γίνεται μία γενική εισαγωγή στο θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό και ειδικότερα στο φωτισμό δρόμων. Στη δεύτερη ενότητα, παρουσιάζονται τα εξεταζόμενα συστήματα, δίνοντας βάρος κυρίως στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας που έλαβε χώρα, με σκοπό των προσδιορισμό ηλεκτρικών και φωτομετρικών μεγεθών που αφορούν τα εξεταζόμενα συστήματα, καθώς και εκτενής ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Τέλος, μελετάται η εφαρμογή των εξεταζόμενων συστημάτων σε συγκεκριμένες περιπτώσεις δρόμων. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τα πειραματικά αποτελέσματα και μια σειρά από άλλα μεγέθη, αναπτύσσεται μεθοδολογία με σκοπό τον υπολογισμό της δυνατότητας που παρουσιάζουν τα εξεταζόμενα συστήματα για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό των δρόμων που κάθε φορά εφαρμόζονται. Σε κάποιες περιπτώσεις εκπονήθηκε και οικονομική μελέτη. Ολοκληρώνοντας, πραγματοποιείται σύνοψη της εργασίας και έκθεση συμπερασμάτων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

φωτισμός δρόμων, dimming, EDB, ballast, εξοικονόμηση ενέργειας, τεχνοοικονομική μελέτη, INTELUX NG5, E-BOX C25, CMH70W/T/UVC/U/942/G12 , CMH150W/T/UVC/U/830/G12 , osram powerstar hqi-t 250W/D E40, Philips master HPI-T plus 400W/645 E40, καταναλισκόμενη ισχύς, επίπεδα φωτισμού

ABSTRACT

The scope of this thesis was the study of specific lighting dimmable systems and the development of a methodology in order to ensure energy savings by applying these systems to street lighting projects. Specifically, the systems : INTELUX NG5, E-BOX C25, CMH70W/T/UVC/U/942/G12 , CMH150W/T/UVC/U/830/G12 , osram powerstar hqi-t 250W/D E40 and Philips master HPI-T plus 400W/645 E40, were studied.

Firstly, a general introduction to the issue of energy saving in lighting and especially in street lighting is being made. In the second unit, a first acquaintance with the systems that are being studied, is taking place by emphasizing their technical characteristics. Furthermore, the experimental procedure, that was conducted in order to define the electric and photometric measures, referring to the systems being studied, was meticulously described. Moreover, the result of this experiment was briefly analyzed.

Finally, by taking into account the experimental result, as well as a series of many other data, a methodology is being developed aiming at the calculation of the systems' ,being studied, energy saving potential, when they are being applied to roads characterized by certain elements. In some cases, an economic study was also carried out. In conclusion, a review of the whole study is being realized and the findings of this research are being displayed.

KEYWORDS

Street lighting, dimming, EDB, ballast, energy savings, technoeconomic study, INTELUX NG5, E-BOX C25, CMH70W/T/UVC/U/942/G12 , CMH150W/T/UVC/U/830/G12 , osram powerstar hqi-t 250W/D E40, Philips master HPI-T plus 400W/645 E40, consumed power, lighting levels

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	11
-------------------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	14
------------------------	----

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 : Εισαγωγή στην Εξοικονόμηση Ενέργειας στο Φωτισμό δρόμων

1.1 Γενικά περί εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό.....	15
1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό δρόμων.....	18
1.2.1 Γενικά.....	18
1.2.2 Έλεγχος φωτισμού στο φωτισμό δρόμων.....	19
1.2.2.1 Τεχνολογία ρύθμισης φωτισμού (dimming technology).....	21
1.2.2.2 Τεχνολογία ελέγχου φωτισμού (control technology).....	25
1.2.3 Εμπειρικοί κανόνες για εγκαταστάσεις φωτισμού δρόμων με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας.....	26

ΕΝΟΤΗΤΑ 2 : Παρουσίαση Εξεταζόμενων Συστημάτων Ρύθμισης Φωτισμού

2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων Μεταλλικών Αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού (Electronic Dimmable Ballasts).....	32
2.3 INTELUX NG5.....	34
2.4 E-BOX C25.....	38

ΕΝΟΤΗΤΑ 3 : Εργαστηριακός Προσδιορισμός των Ηλεκτρικών και Φωτομετρικών μεγεθών των Εξεταζόμενων Συστημάτων Ρύθμισης Φωτισμού

3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας.....	42
3.2.1 Συστήματα κεντρικού ελέγχου.....	42
3.2.2 Συστήματα ελέγχου μεμονωμένων φωτιστικών.....	47

3.3	Αποτελέσματα μετρήσεων.....	50
3.3.1	INTELUX NG5.....	50
3.3.1.1	Τάση λειτουργίας.....	51
3.3.1.2	Ρεύμα λειτουργίας.....	53
3.3.1.3	Ενεργός ισχύς κατανάλωσης.....	55
3.3.1.4	Ολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion).....	56
3.3.1.5	Συντελεστής ισχύος.....	58
3.3.1.6	Ένταση φωτισμού σε σύγκριση με την Ισχύ κατανάλωσης.....	61
3.3.2	E-BOX C25.....	62
3.3.2.1	Τάση λειτουργίας.....	63
3.3.2.2	Ρεύμα λειτουργίας.....	65
3.3.2.3	Ενεργός ισχύς κατανάλωσης.....	66
3.3.2.4	Ολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion).....	67
3.3.2.5	Συντελεστής ισχύος.....	69
3.3.2.6	Ένταση φωτισμού σε σύγκριση με την Ισχύ κατανάλωσης.....	71
3.3.3	Σύγκριση μεταξύ INTELUX NG5 – E-BOX C25.....	72
3.3.3.1	Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με το χρόνο.....	74
3.3.3.2	Συντελεστής ισχύος και ολική αρμονική παραμόρφωση.....	75
3.3.3.3	Καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με το επίπεδο φωτεινότητας.....	78
3.3.4	Συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού (EDBs).....	80
3.3.4.1	Επίπεδο φωτεινότητας σε σχέση με την τάση ελέγχου.....	81
3.3.4.2	Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με την τάση ελέγχου.....	86
3.3.4.3	Συντελεστής ισχύος σε σχέση με την τάση ελέγχου.....	90

3.3.4.4	Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με το επίπεδο φωτεινότητας.....	96
---------	--	----

ΕΝΟΤΗΤΑ 4 : Μελέτη Περιπτώσεων Φωτισμού Δρόμων με χρήση των Εξεταζόμενων Συστημάτων Ρύθμισης Φωτισμού (Case Studies)

4.1	Εισαγωγή.....	101
4.2	Μεθοδολογία.....	106
4.3	Μελέτες περιπτώσεων (Case Studies).....	109
4.3.1	Εφαρμογή του συστήματος 1 (CMH70W/T/UVC/U/942/G12), σε δρόμο τάξης φωτισμού CE2, με φωτιστικά λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 70 W.....	109
4.3.1.1	Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου.....	109
4.3.1.2	Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου.....	114
4.3.2	Εφαρμογή του συστήματος 2 (CMH150W/T/UVC/U/830/G12), σε δρόμο τάξης φωτισμού CE2, με φωτιστικά λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 150W.....	118
4.3.2.1	Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου.....	118
4.3.2.2	Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου.....	122
4.3.3	Εφαρμογή του συστήματος 3 (osram powerstar hqi-t 250W/D E40), σε δρόμο τάξης φωτισμού CE2, με φωτιστικά λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 250W.....	125
4.3.3.1	Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου.....	125
4.3.3.2	Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου.....	129
4.3.4	Εφαρμογή του συστήματος 4 (Philips master HPI-T plus 400W/645 E40), σε δρόμο τάξης φωτισμού ME3a, με φωτιστικά λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων (MH)	

ισχύος 400W.....	133
4.3.4.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου.....	133
4.3.4.2 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου.....	138
4.3.5 Εφαρμογή των συστημάτων INTELUX, E-BOX, σε δρόμο τάξης φωτισμού ME3a, με φωτιστικά λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 400W.....	141
4.3.5.1 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου.....	141
4.3.5.2 Οικονομική ανάλυση.....	146
4.3.6 Εφαρμογή των συστημάτων INTELUX, E-BOX, σε δρόμο τάξης φωτισμού ME1, με φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) ισχύος 400W.....	148
4.3.6.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου	148
4.3.6.2 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου.....	153
4.3.6.2.1 Τεχνοοικονομική μελέτη θεωρητικού μοντέλου.....	155
4.3.6.2.2 Τεχνοοικονομική μελέτη πραγματικού μοντέλου.....	160

ΕΝΟΤΗΤΑ 5 : ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Ανασκόπηση της εργασίας – Συμπεράσματα.....	167
---	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	171
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜ Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΕΛΙΔΑ
1.1	Διάγραμμα των υπολειπουμένων ενός αισθητήρα φωτισμού	17
1.2	Απλοποιημένο σύστημα ελέγχου φωτισμού δρόμων με χρήση χρονοδιακόπτη	20
1.3	Θεωρητική συνάρτηση μεταξύ της μετρούμενης φωτεινότητας (Measured illuminance) και της αντιλαμβανόμενης φωτεινότητας (Perceived brightness)	21
1.4	Αρχή λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικού ballast δύο επιπέδων για HID λαμπτήρες	23
1.5	Αρχή λειτουργίας ψαλιδισμού της κυματομορφής της τάσης	24
1.6	Dimming μέσω ηλεκτρομαγνητικού ballast με διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή γραμμής ισχύος (power line modem)	24
2.1	Παραδείγματα ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάση φωτισμού	33
2.2	Το σύστημα INTELUX	35
2.3	Αρχή λειτουργίας του συστήματος INTELUX (NCWI)	36
2.4	Αρχή λειτουργίας του συστήματος INTELUX (AWI)	36
2.5	Το σύστημα E-BOX	38
2.6	Περιπτώσεις εγκατάστασης του συστήματος E-BOX σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους	40
3.1	Συνδεσμολογία φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων για τα συστήματα INTELUX και E-BOX	43
3.2	Παρουσίαση της τοποθέτησης του αισθητήρα μέτρησης φωτισμού, ο οποίος είναι προστατευμένος από παράσιτο φωτισμό μέσα σε κυλινδρικό διάφραγμα απέναντι από τη μετρούμενη διάταξη μέσα στο χώρο του εργαστηρίου	45
3.3	Πειραματική διάταξη των ηλεκτρικών και φωτομετρικών μετρήσεων	46
3.4	Συνδεσμολογία φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων για κάθε εξεταζόμενο ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με δυνατότητα προσαρμογής των επιπέδων φωτισμού.	48
3.5	Τάση στην είσοδο του INTELUX	51
3.6	Τάση στην έξοδο του INTELUX	52
3.7	Ρεύμα στην είσοδο του INTELUX	54
3.8	Ρεύμα στην έξοδο του INTELUX	54
3.9	Ενεργός ισχύς κατανάλωσης στην είσοδο του INTELUX	56
3.10	Ολική αρμονική παραμόρφωση στην είσοδο του INTELUX	57
3.11	Ολική αρμονική παραμόρφωση στην έξοδο του INTELUX	58
3.12	Συντελεστής Ισχύος στην είσοδο του INTELUX	60
3.13	Συντελεστής Ισχύος στην έξοδο του INTELUX	60
3.14	Σχετική κατανάλωση ισχύος σε σχέση με τη σχετική αποδιδόμενη ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια του dimming στην είσοδο του INTELUX	61
3.15	Τάση στην είσοδο του E-BOX	63
3.16	Τάση στην έξοδο του E-BOX	64
3.17	Ρεύμα στην είσοδο του E-BOX	65
3.18	Ρεύμα στην έξοδο του E-BOX	66
3.19	Ενεργός ισχύς κατανάλωσης στην είσοδο του E-BOX	67
3.20	Ολική αρμονική παραμόρφωση στην είσοδο του E-BOX	68
3.21	Ολική αρμονική παραμόρφωση στην έξοδο του E-BOX	69
3.22	Συντελεστής Ισχύος στην είσοδο του E-BOX	70

3.23	Συντελεστής Ισχύος στην έξοδο του E-BOX	70
3.24	Σχετική κατανάλωση ισχύος σε σχέση με τη σχετική αποδιδόμενη ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια του dimming στην είσοδο του E-BOX	71
3.25	Συχνότητα λειτουργίας	73
3.26	Τάση εισόδου	73
3.27	Καταναλισκόμενη ισχύς στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο	74
3.28	Συντελεστής ισχύος στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο	75
3.29	Ολική αρμονική παραμόρφωση τάσης στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο	76
3.30	Συντελεστής ισχύος στην έξοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο	77
3.31	Ολική αρμονική παραμόρφωση τάσης στην έξοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο	77
3.32	Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια του dimming	78
3.33	Γραμμική παρεμβολή στις τιμές της καταναλισκόμενης ισχύος σε σχέση με την ένταση ισχύος για τα εξεταζόμενα συστήματα	80
3.34	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 1ο σύστημα έναυσης	81
3.35	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 2ο σύστημα έναυσης	82
3.36	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 3ο σύστημα έναυσης	82
3.37	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 4ο σύστημα έναυσης	83
3.38	Τυπική απόκριση προσαρμογής φωτισμού (dimming response) ενός ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης	84
3.39	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V για τα διάφορα συστήματα έναυσης.	85
3.40	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 1ο σύστημα έναυσης	87
3.41	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 2ο σύστημα έναυσης	87
3.42	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 3ο σύστημα έναυσης	88
3.43	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 4ο σύστημα έναυσης	88
3.44	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V για τα διάφορα συστήματα έναυσης.	90
3.45	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 1ο σύστημα έναυσης	91
3.46	Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 2ο σύστημα έναυσης	92

3.47	έναυσης Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 3ο σύστημα	92
3.48	έναυσης Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 4ο σύστημα	93
3.49	έναυσης. Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για όλα τα συστήματα έναυσης	94
3.50	Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 1ο σύστημα έναυσης	96
3.51	Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 2ο σύστημα	97
3.52	έναυσης Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 3ο σύστημα	97
3.53	έναυσης Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 4ο σύστημα	98
3.54	έναυσης Καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με την ένταση ισχύος για όλα τα εξεταζόμενα συστήματα	99
3.55	έναυσης Γραμμική παρεμβολή στις τιμές της καταναλισκόμενης ισχύος σε σχέση με την ένταση ισχύος	100
4.1	για όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης Τυπικές καμπύλες της μείωσης της φωτεινής ροής λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης (HPS)	107
4.2	και μεταλλικών αλογονιδίων (MH) κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Καμπύλη της μείωσης της φωτεινής ροής του λαμπτήρα Philips SON-T Comfort (HPS) κατά τη διάρκεια της ζωής του.	107
4.3	Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 1	109
4.4	Τρισδιάστατη άποψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 1	110
4.5	Φωτιστικό SERIKA 70W MHL-E_SK-014 και πολικό διάγραμμα	112
4.6	Καμπύλη εκτιμώμενης μείωσης της φωτεινής ροής των λαμπτήρων κατά τη διάρκεια της ζωής τους, στο δρόμο της πρώτης περίπτωσης	114
4.7	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 1	115
4.8	Σύστημα 1	116
4.9	Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 2	118
4.10	Φωτιστικό KAOS 1 150W CDM-TT P0_KS1-021-p και πολικό διάγραμμα	121
4.11	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 2	123
4.12	Σύστημα 2	124
4.13	Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 3	126
4.14	Φωτιστικό SERIKA 250W MHL-E_SK-009 και πολικό διάγραμμα	128
4.15	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 3	130
4.16	Σύστημα 3	131
4.17	Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 4	133
4.18	Τρισδιάστατη άποψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 4	134
4.19	Φωτιστικό Paris Grey (28213) και πολικό διάγραμμα	136
4.20	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 4	138
4.21	Σύστημα 4	139
4.22	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από τα συστήματα	142

	INTELUX και E-BOX	
4.23	Σύστημα INTELUX	143
4.24	Σύστημα E-BOX	144
4.25	Κάτοψη του δρόμου με φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, στον οποίο εφαρμόζονται τα συστήματα INTELUX και E-BOX	148
4.26	Φωτιστικό SR 200 5NA553E1TT22GB και πολικό διάγραμμα	151
4.27	Εκτιμώμενη καμπύλη της μείωσης της φωτεινής ροής των λαμπτήρων HPS κατά τη διάρκεια της ζωής τους, στο δρόμο ME1 της έκτης περίπτωσης (4.3.6)	154
4.28	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από INTELUX και E-BOX	156
4.29	INTELUX	156
4.30	E-BOX	157
4.31	Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από INTELUX και E-BOX	161
4.32	INTELUX	162
4.33	E-BOX	163

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΕΛΙΔΑ
3.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης φωτεινότητας	44
3.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης ισχύος	49
3.3	Τιμές συντελεστή ισχύος (PF) στο ανώτερο και κατώτερο επίπεδο ρύθμισης φωτισμού (10Volt και 0Volt, αντίστοιχα) του κάθε εξεταζόμενου ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης EDB	95
4.1	Συνιστώμενοι παράγοντες και περίοδοι συντήρησης στο φωτισμό δρόμων [3].	103
4.2	Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 1	110
4.3	Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 2	119
4.4	Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 3	126
4.5	Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 4	134
4.6	Οικονομικά μεγέθη των επενδύσεων εγκατάστασης των συστημάτων INTELUX και E-BOX στο δρόμο της παραγράφου 4.3.5	147
4.7	Χαρακτηριστικά του δρόμου με φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, στον οποίο εφαρμόζονται τα συστήματα INTELUX και E-BOX	149
4.8	Οικονομικά μεγέθη των επενδύσεων εγκατάστασης των συστημάτων INTELUX και E-BOX στο δρόμο της παραγράφου 4.3.6 (θεωρητικό μοντέλο)	160
4.9	Οικονομικά μεγέθη των επενδύσεων εγκατάστασης των συστημάτων INTELUX και E-BOX στο δρόμο της παραγράφου 4.3.6 (πραγματικό μοντέλο)	165

ΕΝΟΤΗΤΑ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ ΔΡΟΜΩΝ

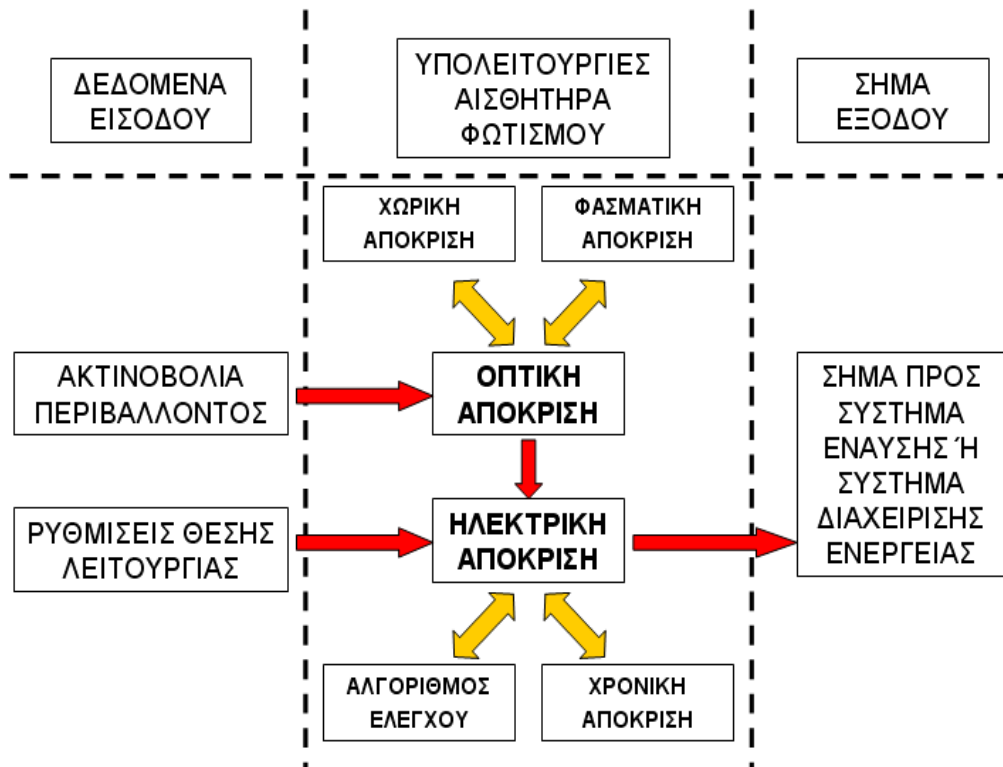
1.1 Γενικά περί Εξοικονόμησης Ενέργειας στο Φωτισμό

Καθώς διανύουμε την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα γίνεται ολοένα και πιο εμφανές το γεγονός, ότι το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν όλοι οι μηχανικοί, οι σχεδιαστές αναπτυξιακών ιδιωτικών ή δημοσίων έργων καθώς και οι ιδιοκτήτες κάθε είδους επιχείρησης είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα. Παρόλο που το ζήτημα της αποδοτικής χρήσης της ενέργειας απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα για πάνω από τρεις δεκαετίες, τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να αντιμετωπίζεται με περισσότερη λογική και ωριμότητα από ότι στο παρελθόν. Λαμβανόμενα μέτρα για σωστή διαχείριση και εξοικονόμηση της ενέργειας πρέπει να συνδυάζουν τόσο κοινωνικά οφέλη όσο και ανταγωνιστικά κέρδη αποπληρωμής, φυσικά, για τους επενδυτές.

Ένας σημαντικός τομέας στον οποίο υπάρχουν μεγάλα περιθώρια διορθωτικών κινήσεων ούτως ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση ικανοποιητικών ποσών ενέργειας παγκοσμίως είναι ο φωτισμός. Σύμφωνα με στοιχεία έρευνας που πραγματοποιήθηκε από το Διεθνές Πρακτορείο Ενέργειας (International Energy Agency), το 19% της ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως, αποδίδεται στο φωτισμό. Χαρακτηριστικά να σημειωθεί ότι η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται από τους υδροηλεκτρικούς ή πυρηνικούς σταθμούς και περίπου ίση με αυτή που παράγεται από το φυσικό αέριο. Κατάλληλη διαχείριση στο βιομηχανικό και εμπορικό φωτισμό καθώς και στο φωτισμό δρόμων,

σηράγγων ή εξωτερικών χώρων μπορεί να εξοικονομήσει δισεκατομμύρια ευρώ όπως και εκατομμύρια τόνους ορυκτών καυσίμων και εκπομπών CO₂ κάθε χρόνο και όλα αυτά χωρίς να είναι απαραίτητο τα συστήματα φωτισμού να λειτουργούν κάτω από τα εκάστοτε πρότυπα. Ειδικότερα στην περιοχή των λαμπτήρων φθορισμού και λαμπτήρων εκκένωσης ο έλεγχος φωτισμού μπορεί να είναι εξαιρετικά αποδοτικός αν ληφθεί υπόψη η πολύ μεγάλη γκάμα εφαρμογών (από φωτισμό εθνικών οδών μέχρι φωτισμό γραφείων) των λαμπτήρων αυτών.

Μέχρι σήμερα, διάφορες μέθοδοι εξοικονόμηση ενέργειας φωτισμού έχουν εφαρμοστεί σε ποικίλα έργα. Η αντικατάσταση των παλιών ενεργοβόρων λαμπτήρων πυράκτωσης, κυρίως σε σπίτια, με πολύ αποδοτικότερους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού είναι ένα βήμα προς αυτή την κατεύθυνση και διαδίδεται με γοργούς ρυθμούς. Επιπλέον, πολλές μελέτες έχουν εκπονηθεί στο πεδίο της συνεισφοράς του φυσικού φωτισμού στον τεχνητό φωτισμό τόσο εξωτερικών όσο και εσωτερικών χώρων με χρήση φωτοαισθητήρων, οι οποίες μελέτες οδήγησαν σε πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Σε γραφεία επιχειρήσεων, για παράδειγμα, μπορεί να ρυθμιστεί κατάλληλα (μειωθεί) η ένταση φωτισμού των φωτιστικών που βρίσκονται κοντά σε παράθυρα ενώ σε χώρους όπως εργοστάσια, αποθήκες, εμπορικά κέντρα, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν φεγγίτες οι οποίοι να συνεισφέρουν προσθετικά στο φωτισμό. Από εμπειρικά στοιχεία [2], σε ένα τυπικό εμπορικό κέντρο, η επένδυση εγκατάστασης φωτοαισθητήρων μπορεί να αποπληρωθεί μέσα σε δύο χρόνια, σε μερικές περιπτώσεις και σε λιγότερο από δώδεκα μήνες. Τέλος, χρησιμοποίηση φωτοαισθητήρων σε δρόμους και σήραγγες δύναται να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 25% -30% της συνολικής κατανάλωσης ετησίως. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα μπλοκ διάγραμμα με τις διάφορες υπολειτουργίες ενός αισθητήρα φωτισμού.



Σχήμα 1.1 : Διάγραμμα των υπολειτουργιών ενός αισθητήρα φωτισμού

Εκτός από τις ανάγκες ενεργειακής εξοικονόμησης, η ρύθμιση της έντασης φωτισμού (dimming) μπορεί να εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς όπως είναι η εργονομική σχεδίαση ενός χώρου. Τα τελευταία χρόνια, τα παράπονα των υπαλλήλων για καταπόνηση των ματιών τους, πονοκεφάλους και έλλειψη συγκέντρωσης και προσανατολισμού λόγω υπερφωτισμού των εργασιακών τους χώρων, αυξάνονται με εκθετικό ρυθμό. Φυσικά δε θα πρέπει να υποεκτιμηθούν και τα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορούν να επιτευχθούν με τη μείωση της κατανάλωσης από τους λαμπτήρες η οποία συνεπάγεται μείωση των εκπομπών CO₂ σε μια εποχή όπου η ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα και με τις διεθνείς συμβάσεις (π.χ. Πρωτόκολλο του Κιότο) κρίνεται επιτακτική. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το Διεθνές Πρακτορείο Ενέργειας (IEA) η ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται από την παραγωγή της απαιτούμενης για το φωτισμό ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με το 70% αυτής που εκλύεται από τις εξατμίσεις των διαφόρων οχημάτων παγκοσμίως. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό, ότι ρύθμιση του φωτισμού στα κατάλληλα

επίπεδα σύμφωνα με τα πρότυπα μπορεί να έχει σημαντικά και ποικίλα οφέλη σε διάφορους τομείς.

1.2 Εξοικονόμηση ενέργειας στο Φωτισμό Δρόμων

1.2.1 Γενικά

Το σύστημα φωτισμού δρόμων, αποτελεί στην εποχή μας, ένα αναπόσπαστο κομμάτι της υποδομής κάθε σύγχρονης πόλης και οδικής αρτηρίας. Η καταναλισκόμενη ενέργεια στο φωτισμό δρόμων αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται σε μία πόλη ενώ τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος συγκαταλέγονται, αδιαμφισβήτητα, στα κυριότερα έξοδα των περισσότερων μεγαλουπόλεων. Σημαντικές δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων πυροδότησαν ένα μεγάλο κύμα ανακατασκευής του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού δρόμων σε όλο τον κόσμο. Συνήθως αυτές οι ανακατασκευές περιλαμβάνουν :

- Αλλαγές των ήδη υπάρχοντων φωτιστικών στο τέλος της οικονομικής τους ζωής με περισσότερο αποδοτικά,
- Αλλαγές των ήδη υπάρχοντων φωτιστικών πριν το τέλος της οικονομικής τους ζωής με περισσότερο αποδοτικά, σκοπεύοντας είτε στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου και του κόστους είτε στο να επιτευχθεί ελκυστικός φωτισμός, στοιχείο που σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί κλειδί για την ευημερία και την οικονομική ανάπτυξη μιας περιοχής.

Εφόσον η ζωή μιας εγκατάστασης φωτισμού δρόμων είναι 20-30 χρόνια, είναι πολύ σημαντικό να εφαρμοστούν κάποιες προσωρινές, μεν, λύσεις οι οποίες, όμως, θα προσφέρουν βελτίωση της εμφάνισης, αίσθηση

ασφάλειας και εξοικονόμηση ενέργειας. Οι πιο κοινές ενέργειες προς αυτή την κατεύθυνση είναι η αντικατάσταση των υπαρχόντων φωτιστικών λαμπτήρων υδραργύρου υψηλής πίεσης (**H**igh **P**ressure **M**ercury), με νέα, σύγχρονα φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης (**H**igh **P**ressure **S**odium) ή μεταλλικών αλογονιδίων (**M**etal-**H**alide). Επίσης, μία άλλη πρακτική είναι η αντικατάσταση των παλιών φωτιστικών συμβατικών λαμπτήρων HPS βαθμού προστασίας IP54, με σύγχρονα φωτιστικά που χαρακτηρίζονται από βελτιωμένα οπτικά χαρακτηριστικά, καλύτερη μηχανική προστασία (συνήθως IP65, IP66) και λαμπτήρες HPS με βελτιωμένες φωτομετρικές και τεχνικές ιδιότητες.

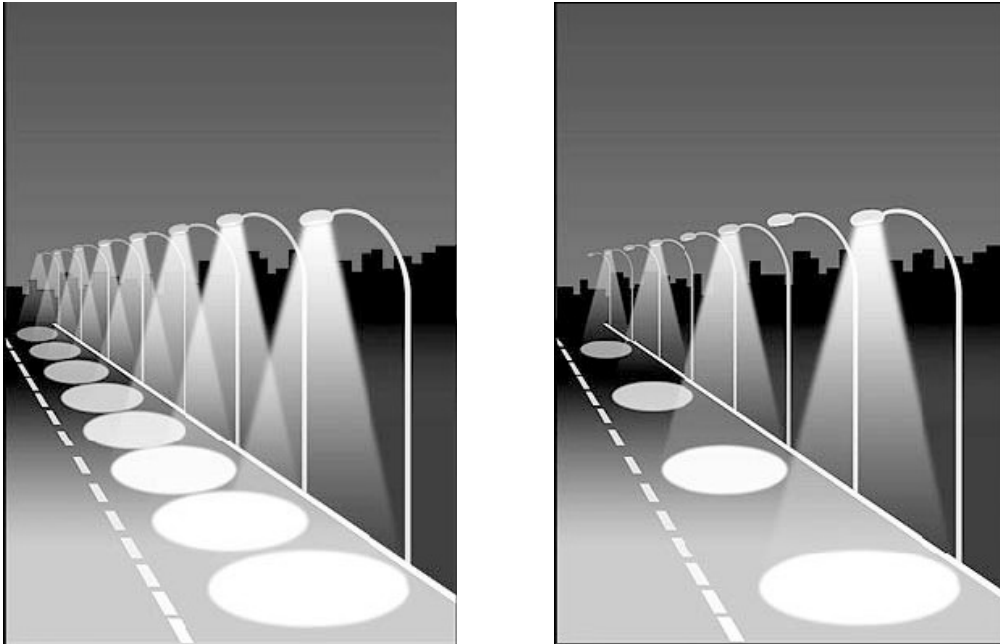
Επιπλέον, με στόχο πάντα την εξοικονόμηση ενέργειας, τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται και κάποια ηλεκτρονικά συστήματα που ονομάζονται ηλεκτρονικά συστήματα ρύθμισης φωτισμού δρόμων και εφαρμόζονται τόσο σε μεμονωμένα φωτιστικά είτε σε ομάδες φωτιστικών. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διέπονται από διαφορετικές αρχές λειτουργίας και να είναι κατάλληλα για διαφορετικές εγκαταστάσεις κάθε φορά. Η ανάλυσή τους ακολουθεί στην ενότητα 2 και γενικά είναι αυτά που απασχολούν κατεξοχήν την παρούσα εργασία.

1.2.2 Έλεγχος Φωτισμού στο Φωτισμό Δρόμων

Δύο είναι οι βασικές λειτουργίες των συστημάτων ρύθμισης φωτισμού δρόμων:

- Όποια φωτιστικά δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της μέρας, τίθενται εκτός λειτουργίας,
- Το σύστημα ρυθμίζει κατάλληλα τη φωτεινή απόδοση των φωτιστικών έτσι ώστε να παράγεται όσος ακριβώς φωτισμός χρειάζεται.

Ένα παράδειγμα της πρώτης λειτουργίας φαίνεται στο σχήμα 1.1. Στις αρχικές εφαρμογές των συστημάτων ελέγχου φωτισμού δρόμων ένα στα δύο φωτιστικά απενεργοποιούνται μέσω ενός ρυθμιζόμενου χρονοδιακόπτη.



Σχήμα 1.2 : Απλοποιημένο σύστημα ελέγχου φωτισμού δρόμων με χρήση χρονοδιακόπτη

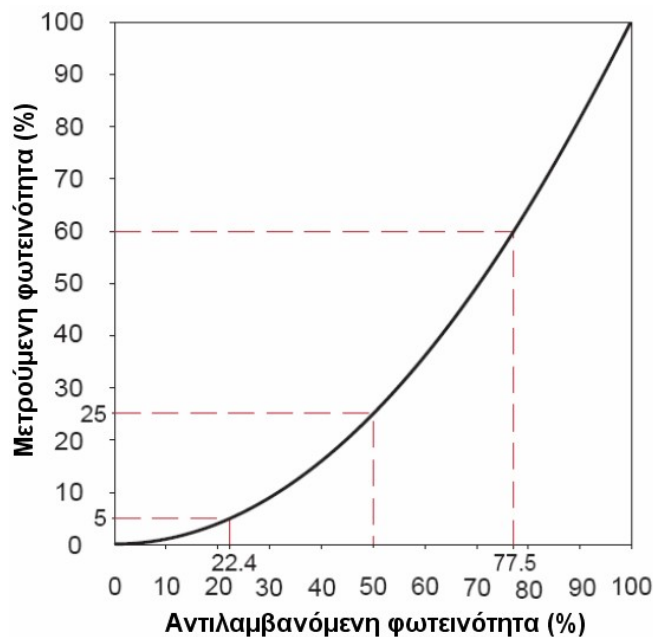
Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού δρόμων λειτουργούν με δύο ειδών τεχνολογίες :

- Τεχνολογία ρύθμισης φωτισμού (dimming technology), η οποία στα παρακάτω θα ονομάζεται συνοπτικά 'dimming',
- Τεχνολογία ελέγχου φωτισμού (control technology).

Οι δυο αυτές τεχνολογίες περιγράφονται στα αμέσως επόμενα.

1.2.2.1 Τεχνολογία ρύθμισης φωτισμού (dimming technology)

Η δυνατότητα ρύθμισης της έντασης του φωτισμού (Dimming) περιγράφεται σαν όρος του ποσοστού της μέγιστης παραγωγής φωτισμού της μετρούμενης φωτεινότητας (Measured illuminance) και της αντιλαμβανόμενης φωτεινότητας (Perceived brightness). Η αντιλαμβανόμενη φωτεινότητα ορίζεται σαν η προσαρμοστικότητα του ανθρώπινου ματιού όταν αυτό εκτίθεται σε διαφορετικά ποσά φωτισμού. Για παράδειγμα, σε έναν χώρο όπου το σύστημα φωτισμού έχει ρυθμιστεί στο 25% της μέγιστης έντασης φωτισμού, το ανθρώπινο μάτι μπορεί να αντιληφθεί τη μισή φωτεινότητα που θα είχε ο ίδιος χώρος με το σύστημα φωτισμού ρυθμισμένο στη μέγιστη παραγωγή φωτισμού (Σχήμα 1.3). Στην παρούσα εργασία, σε κάθε περίπτωση, η ρύθμιση της έντασης του φωτισμού (Dimming) ορίστηκε σαν όρος του ποσοστού της μέγιστης παραγωγής φωτισμού της μετρούμενης φωτεινότητας (Measured illuminance).

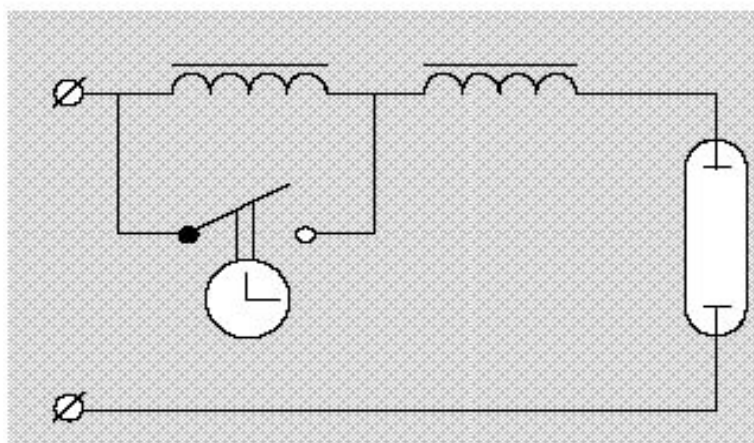


Σχήμα 1.3 : Θεωρητική συνάρτηση μεταξύ της μετρούμενης φωτεινότητας (Measured illuminance) και της αντιλαμβανόμενης φωτεινότητας (Perceived brightness)

Η τεχνολογία dimming όσον αφορά το φωτισμό δρόμων, χωρίζεται σε πέντε βασικές κατηγορίες :

- Dimming μέσω ηλεκτρομαγνητικού συστήματος έναυσης και λειτουργίας (ballast) δύο επιπέδων (bi-level electromagnetic ballast),
- Dimming μέσω μείωσης της τροφοδοτούμενης ισχύος χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές για τη μείωση του πλάτους της ημιτονοειδούς κυματομορφής της τάσης τροφοδοσίας,
- Dimming μέσω μείωσης της τροφοδοτούμενης ισχύος χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα τα οποία ψαλιδίζουν την κυματομορφή της τάσης τροφοδοσίας,
- Dimming μέσω ηλεκτρομαγνητικού ballast με διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή γραμμής ισχύος (power line modem)
- Dimming μέσω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για μείωση της τροφοδοτούμενης ισχύος μεμονωμένων φωτιστικών.

Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του dimming μέσω ηλεκτρομαγνητικού ballast δύο επιπέδων. Γενικά αυτό το είδος dimming συμφέρει περισσότερο σε περιπτώσεις νέας εγκατάστασης φωτιστικών καθώς απαιτεί καινούρια φωτιστικών εφοδιασμένα με ηλεκτρομαγνητικά ballast δύο επιπέδων. Έχει χαμηλό κόστος, εγκαθίσταται εύκολα και παρουσιάζει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι και 20 % [1] .



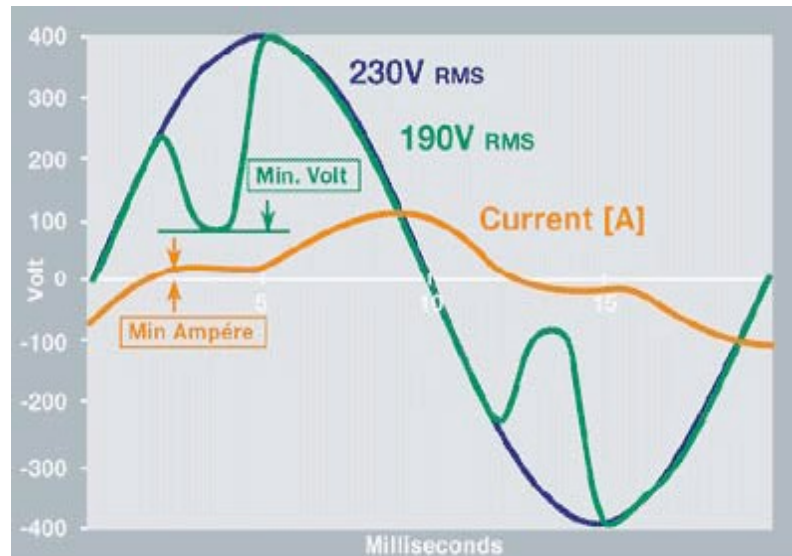
Σχήμα 1.4 : Αρχή λειτουργίας ηλεκτρομαγνητικού ballast δύο επιπέδων για HID λαμπτήρες

Στην περίπτωση του dimming μέσω μείωσης της τροφοδοτούμενης ισχύος χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές για τη μείωση του πλάτους της ημιτονοειδούς κυματομορφής της τάσης, δεν απαιτούνται καινούρια φωτιστικά, τα ήδη υπάρχοντα με συμβατικά ηλεκτρομαγνητικά ballasts, είναι απολύτως συμβατά. Επίσης, το κόστος είναι ικανοποιητικό, η εγκατάσταση είναι εύκολη και παρουσιάζεται δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι και 30 % [1].

Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του dimming μέσω μείωσης της τροφοδοτούμενης ισχύος χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα τα οποία ψαλιδίζουν την κυματομορφή της τάσης. Στην περίπτωση αυτή, δεν απαιτούνται καινούρια φωτιστικά, τα ήδη υπάρχοντα με συμβατικά ηλεκτρομαγνητικά ballasts, είναι απολύτως συμβατά. Επίσης, το κόστος είναι ικανοποιητικό, η εγκατάσταση είναι εύκολη και παρουσιάζεται δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι και 30 % [1].

Στο σχήμα 1.6, φαίνεται μια άποψη του μηχανισμού που χρησιμοποιείται στο dimming μέσω ηλεκτρομαγνητικού ballast με διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή γραμμής ισχύος (power line modem). Όπως είναι αναμενόμενο, η περίπτωση αυτή απαιτεί νέα φωτιστικά εφοδιασμένα με

ηλεκτρομαγνητικά ballasts ρυθμιζόμενου φωτισμού (**Electronic Dimmable Ballasts**) και διαμορφωτές-αποδιαμορφωτές, και έτσι κρίνεται κατάλληλη για νέες εγκαταστάσεις. Επίσης, το κόστος είναι υψηλό, η εγκατάσταση πρέπει να γίνεται από ειδικούς επαγγελματίες και παρουσιάζεται δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι και 30 % [1].



Σχήμα 1.5 : Αρχή λειτουργίας ψαλιδισμού της κυματομορφής της τάσης



Σχήμα 1.6 : Dimming μέσω ηλεκτρομαγνητικού ballast με διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή γραμμής ισχύος (power line modem)

Τέλος στην περίπτωση του dimming μέσω ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για μείωση της τροφοδοτούμενης ισχύος μεμονωμένων φωτιστικών απαιτείται εγκατάσταση νέων φωτιστικών με συμβατικά όμως ηλεκτρομαγνητικά ballasts, είναι κατάλληλο για νέες εγκαταστάσεις σε μεγάλα δίκτυα, το κόστος είναι υψηλό, παρολαυτά η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας είναι πολύ υψηλή, φτάνει το 42 % [1].

1.2.2.2 Τεχνολογία ελέγχου φωτισμού (control technology)

Η τεχνολογία dimming όσον αφορά το φωτισμό δρόμων, χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Έλεγχος μέσω ενσωματωμένων χρονοδιακοπών
- Έλεγχος μέσω απομακρυσμένων συστημάτων

Ο έλεγχος μέσω ενσωματωμένων χρονοδιακοπών μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε μεμονωμένα φωτιστικά όσο και σε ομάδες φωτιστικών μέσω των λεγόμενων ηλεκτρικών κουτιών (ELECTRICAL BOXES). Ο έλεγχος ισχύος σε μεμονωμένα φωτιστικά απαιτεί εγκατάσταση νέων, εφοδιασμένων με ηλεκτρομαγνητικά ballasts δύο επιπέδων ή ηλεκτρομαγνητικά ballasts ρυθμιζόμενου φωτισμού (EDBs), ανάλογα την περίπτωση, ενώ και στις δύο περιπτώσεις ballasts, η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας αγγίζει το 20% [1].

Από την άλλη, ο έλεγχος ισχύος με τη βοήθεια ηλεκτρικών κουτιών επιτυγχάνεται με τη μέθοδο του ψαλιδισμού ή της μείωσης του πλάτους της κυματομορφής της τάσης τροφοδοσίας. Τα φωτιστικά με συμβατικά ηλεκτρομαγνητικά ballasts δε χρειάζονται αντικατάσταση και η εξοικονόμηση ενέργειας κυμαίνεται από 20% - 30% [1]. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο έλεγχος μέσω ενσωματωμένων χρονοδιακοπών γίνεται σε

κάθε περίπτωση επιτόπου και δεν υπάρχει δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου.

Ο έλεγχος μέσω απομακρυσμένων συστημάτων, αφορά 'έξυπνα' ηλεκτρονικά συστήματα με δυνατότητα σύνδεσης με κάποιο κέντρο ελέγχου φωτισμού το οποίο μπορεί να βρίσκεται χιλιόμετρα μακριά (απομακρυσμένα συστήματα). Ο έλεγχος αυτός μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε μεμονωμένα φωτιστικά όσο και σε ομάδες φωτιστικών με οποιαδήποτε από τις προαναφερθείσες μεθόδους. Στην περίπτωση των μεμονωμένων φωτιστικών, αυτά μπορούν να είναι εφοδιασμένα είτε με συμβατικά ballasts είτε με ρυθμιζόμενου φωτισμού, ενώ στην περίπτωση των ομάδων φωτιστικών, αυτά είναι συμβατά μόνο με συμβατικά ballasts.

1.2.3 Εμπειρικοί κανόνες για εγκαταστάσεις φωτισμού δρόμων με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας

Κατά το σχεδιασμό νέων εγκαταστάσεων φωτισμού δρόμων ή κατά την ανακατασκευή των ήδη υπαρχόντων, οι σχεδιαστές λαμβάνουν συνήθως υπόψη τους μόνο κάποιους συγκεκριμένους παράγοντες οι οποίοι πιθανόν να είναι οι πιο σημαντικοί στην εκάστοτε περίπτωση. Παρολαυτά, παραβλέποντας τα υπόλοιπα θέματα, η απόδοση του συστήματος φωτισμού δύσκολα θα είναι βέλτιστη. Καθώς η κακή σχεδίαση ενός συστήματος φωτισμού δρόμων μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα ζωής ή ακόμα και να αυξήσει την ενεργειακή κατανάλωση σε ανεπιθύμητα επίπεδα έχουν υποδειχθεί και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω, κάποιοι πολύ σημαντικοί εμπειρικοί κανόνες [3], που αφορούν και είναι χρήσιμοι όχι μόνο στους σχεδιαστές των συστημάτων αλλά και στους υπεύθυνους για την εγκατάσταση εργολάβους και τους επενδυτές.

Αρχικά, αναφέροντας κάποιους γενικούς κανόνες, πρέπει να ειπωθεί ότι προτού ξεκινήσει ο σχεδιασμός του φωτισμού ενός δρόμου, οι υπεύθυνοι

θα πρέπει να προετοιμάσουν ένα αρχικό κύριο στόχο για το έργο (επιθυμητά επίπεδα φωτισμού, μείωση καταναλισκόμενης ενέργειας, ασφάλεια πεζών και οδηγών, ελαχιστοποίηση ανακλάσεων κ.α.) και μετά από τη διεκπεραίωσή του θα πρέπει να οργανωθεί η αξιολόγηση του σχεδιασμού από ειδικούς σε αυτό το πεδίο. Επίσης, πριν από την ανακατασκευή του φωτισμού σε ένα δρόμο θα πρέπει να γίνει μία επιλογή ανάμεσα στην αναβάθμιση του υπάρχοντος συστήματος ή την επανασχεδίαση του (η επανασχεδίαση δεν περιορίζεται από τον υπάρχων εξοπλισμό και την τοποθέτησή του). Για παράδειγμα σε ένα υπερφωτισμένο δρόμο με λαμπτήρες HPS 400 W, θα μπορούσαν ίσως να συγκριθούν οι περιπτώσεις της αναβάθμισης-αντικατάστασης των λαμπτήρων με HPS 250 W ή της ανακατασκευής με λαμπτήρες MH 400 W ή 250 W. Σε περιπτώσεις μεγάλων δρόμων, και για λόγους προϋπολογισμού, είναι φρόνιμο να εκπονούνται το λιγότερο δύο εκδοχές προκαταρκτικού σχεδιασμού φωτισμού και να συγκρίνονται σε οικονομικό επίπεδο.

Μια άλλη κατηγορία εμπειρικών κανόνων αφορά την ικανοποίηση των αναγκών του χρήστη. Μέρη στα οποία υπάρχει έντονη κινητικότητα ή συγκέντρωση πεζών, θα πρέπει να φωτίζονται με πηγές λευκού φωτός οι οποίες να χαρακτηρίζονται από άριστη χρωματική απόδοση. Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις σε αντίθεση με τους HPS οι οποίοι χαρακτηρίζονται από φως κίτρινης απόχρωσης με φτωχή ποιότητα χρώματος που δημιουργεί μία αφύσικη ατμόσφαιρα. Επίσης, οι σκοτεινές περιοχές θα πρέπει να αποφεύγονται στη σχεδίαση. Ορισμένοι σχεδιαστές φωτιστικών συστημάτων εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα του συνδυασμού φωτός και σκιάς επιτρέποντας την εναλλασσόμενη εμφάνιση φωτεινών και σκοτεινών περιοχών. Παρολαυτά οι σκοτεινές περιοχές θα πρέπει γενικά να αποφεύγονται διότι προκαλούν αίσθημα ανασφάλειας στους πεζούς. Στο σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η μείωση των επιπτώσεων του 'ενοχλητικού' φωτισμού όπως είναι η φωτορρύπανση και γενικά οι ανακλάσεις στο οδόστρωμα. Επιπλέον, ειδικό βάρος θα πρέπει να δίνεται στη διατήρηση της έντασης φωτισμού πάνω από τα όρια που ορίζονται

από τα διεθνή πρότυπα για κάθε είδος δρόμου. Ανεπαρκής φωτισμός θέτει σε κίνδυνο τόσο την ακεραιότητα των πεζών όσο και των οδηγών.

Τέλος, μια σειρά από κανόνες και υποδείξεις αφορούν τεχνικά και φωτομετρικά στοιχεία. Καταλληλότερο για συστήματα φωτισμού δρόμων κρίνεται το τριφασικό ηλεκτρικό σύστημα, ενώ, γενικά, θα ήταν προτιμότερο να επιλέγονται λαμπτήρες και φωτιστικά για τα οποία υπάρχει πλήρης γνώση για τα βασικά τεχνικά στοιχεία τους (φωτεινή ισχύς, χρόνος ζωής, χρόνος έναυσης, χρωματική απόδοση, αυξομειώσεις τάσης λειτουργίας κ.α.). Κρίσιμα χαρακτηριστικά στοιχεία αποτελούν ο παράγοντας συντήρησης (maintenance factor) και ο βαθμός προστασίας του φωτιστικού, στοιχεία τα οποία επηρεάζουν την αρχικοποίηση του σχεδιασμού και το κόστος όλης της εγκατάστασης. Συνήθως τιμές του παράγοντα συντήρησης κυμαίνονται στο διάστημα 0.7 – 0.8, ενώ θα πρέπει να προτιμούνται φωτιστικά με βαθμό προστασίας τουλάχιστον IP65.

Όσον αφορά το συντελεστή ισχύος (power factor) των φωτιστικών, συνιστάται να υπερβαίνει το 0.95. Επίσης ειδική προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην τάξη αξιολόγησης στην οποία ανήκει ο δρόμος που εξετάζεται (όπως είναι λογικό, διαφορετικές απαιτήσεις χαρακτηρίζουν μια εθνική οδό και διαφορετικές ένα επαρχιακό δρόμο) καθώς και σε κάποια άλλα εξειδικευμένα στοιχεία, όπως ο συντελεστής ανάκλασης της επιφάνειας του εξεταζόμενου δρόμου, η γωνία κλίσης της κάσας του φωτιστικού, το ύψος και η απόσταση των φωτιστικών κ.α. Σημαντικό είναι, επίσης, να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό η περιοδική συντήρηση των λαμπτήρων και των φωτιστικών όπως και το γεγονός ότι σε περίπτωση βλαβών θα πρέπει οι επιδιορθώσεις να γίνονται με απόλυτα συμβατά εξαρτήματα.

Επιπρόσθετα, όπως έχει ειπωθεί και σε προηγούμενη ενότητα, η τεχνολογία dimming, είτε σε μεμονωμένα φωτιστικά είτε σε ομάδες φωτιστικών, είναι πολύ αποτελεσματική σε δρόμους με HPS ή MH λαμπτήρες μειώνοντας σημαντικά το κόστος εγκατάστασης. Τέλος, δε θα

πρέπει να υποεκτιμάται η ανάγκη για προετοιμασία, πριν ακόμα την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, ενός σχεδίου διαχείρισης των αποβλήτων που προέρχονται από λαμπτήρες και φωτιστικά. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση των λαμπτήρων υδραργύρου υψηλής πίεσης (**High Pressure Mercury**) οι οποίοι αντικαθίστανται κατά κόρον κατά τη διάρκεια των ανακατασκευών στα συστήματα φωτισμού δρόμων και περιέχουν υδράργυρο, ένα εξαιρετικά τοξικό μέταλλο. Ανεξάρτητα, πάντως, από τον υδράργυρο, υπάρχει μία σειρά από υλικά και εξαρτήματα που πρέπει να ανακυκλώνονται καθώς είναι ορατοί οι βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει το περιβάλλον.

ΕΝΟΤΗΤΑ 2

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ηλεκτρικής και φωτομετρικής συμπεριφοράς συγκεκριμένων συστημάτων ρύθμισης φωτισμού τα οποία είτε κυκλοφορούν ήδη στην αγορά και εφαρμόζονται σε διάφορες εγκαταστάσεις είτε βρίσκονται ακόμη σε δοκιμαστικό στάδιο. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν την τεχνολογία ρύθμισης φωτισμού (dimming) και εξετάζεται η αποδοτικότητα και η μέγιστη δυνατότητά τους, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους σε διάφορες μελέτες φωτισμού. Στην ενότητα αυτή, γίνεται μια πρώτη γνωριμία με τα συστήματα αυτά και παρατίθενται κάποια γενικά χαρακτηριστικά τους.

Συνοπτικά τα έξι συστήματα που εξετάσθηκαν είναι :

- 1 CMH70W/T/UVC/U/942/G12 της εταιρείας *CMH*
- 2 CMH150W/T/UVC/U/830/G12 της εταιρείας *CMH*
- 3 osram powerstar hqi-t 250W/D E40 της εταιρείας *Osram*
- 4 Philips master HPI-T plus 400W/645 E40 της εταιρείας *Philips*
- 5 INTELUX NG5 της εταιρείας *Reverberi Enetec srl - MPES Group*
- 6 E-BOX C25 της εταιρείας *ENERGIA EUROPA S.R.L.*

2.2 **Ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων Μεταλλικών Αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού (Electronic Dimmable Ballasts)**

Τα τέσσερα πρώτα συστήματα ρύθμισης φωτισμού δρόμων που εξετάστηκαν (CMH70W/T/UV/C/U/942/G12, CMH150W/T/UV/C/U/830/G12, osram powerstar hqi-t 250W/D E40, Philips master HPI-T plus 400W/645 E40), ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού (EDBs) και ελέγχουν μεμονωμένα φωτιστικά στα οποία πραγματοποιείται και η εγκατάστασή τους. Τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού, μπορούν να εξοικονομούν ενέργεια αλλά και να προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος στην επιλογή της στάθμης φωτισμού σε ένα σύστημα τεχνητού φωτισμού. Ένα σύστημα με ρύθμιση της φωτεινής ροής εξοικονομεί ενέργεια σε σχέση με ένα απλό σύστημα, θεωρώντας ότι οι λαμπτήρες στο πρώτο σύστημα βρίσκονται σε χαμηλωμένο επίπεδο φωτεινότητας και ότι τα δύο συστήματα λειτουργούν για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Στα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης (EDBs), υπάρχουν δύο τύποι κυκλωμάτων ελέγχου, ένας χαμηλής και ένας υψηλής τάσης. Η κλίμακα του σήματος ελέγχου ταυτίζεται συνήθως με την κλίμακα του ηλεκτρικού σήματος (σε Volts) που στέλνει μια συσκευή ελέγχου στα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης (EDBs) για να γίνει η ρύθμιση της στάθμης του φωτισμού. Συσκευές ελέγχου των ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού (EDBs) είναι συνήθως:

- Αυτόματες και χειροκίνητες συσκευές ή κυκλώματα για ηλεκτρικό ή ηλεκτρολογικό έλεγχο ρύθμισης της έντασης φωτισμού ενός λαμπτήρα ή μιας πηγής φωτισμού (Automatic and manual dimmers).
- Αισθητήρες φωτισμού, οι οποίοι μειώνουν την ένταση φωτισμού όταν ανιχνεύουν ανάλογο ποσό φυσικού φωτισμού.
- Ολοκληρωμένα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης (Energy Management Systems) σε κτίρια, τα οποία μειώνουν την ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής των φορτίων και τις βραδινές ώρες.



Σχήμα 2.1 : Παραδείγματα ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάση φωτισμού

Κάθε ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης (EDBs) έχει σχεδιαστεί για μια συγκεκριμένη κλίμακα σήματος ελέγχου (χαμηλής ή υψηλής τάσης). Τα

εξεταζόμενα συστήματα είναι σχεδιασμένα στη χαμηλή τάση (low-voltage EDBs, με τάση ελέγχου 0 έως 10 Volt). Γενικά, τα χαμηλής τάσης ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης εκτός από τα καλώδια της τροφοδοσίας τους έχουν και δύο καλώδια για το χαμηλής τάσης κύκλωμα ελέγχου, το οποίο λειτουργεί με συνεχές ρεύμα (Volt dc) και έχει κλίμακα από 0 έως 10 Volt. Το σύστημα έναυσης (Ballast) παρέχει τάση 10 Volt dc στη συσκευή ελέγχου που είναι συνδεδεμένο. Για την μέγιστη παραγωγή φωτισμού στο κύκλωμα του συστήματος έναυσης (Ballast), η συσκευή ελέγχου επιστρέφει τη μέγιστη τιμή (10 Volt dc) του σήματος ελέγχου στο σύστημα έναυσης. Για μικρότερη παραγωγή φωτισμού η συσκευή ελέγχου (π.χ. ο αισθητήρας φωτισμού) μειώνει την τάση στα καλώδια ελέγχου αναγκάζοντας το σύστημα έναυσης να μειώσει την ένταση φωτισμού στους λαμπτήρες. Καθώς η τάση ελέγχου μειώνεται στα 0 Volt dc, το σύστημα έναυσης οδηγεί τους λαμπτήρες στην ελάχιστη δυνατή παραγωγή φωτισμού.

Πληροφοριακά, να ειπωθεί ότι τα υψηλής τάσης ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης (high-voltage EDBs) δεν έχουν επιπρόσθετα καλώδια ελέγχου. Αντί αυτών, οι υψηλής τάσης συσκευές ελέγχου (π.χ. χειροκίνητες συσκευές ή κυκλώματα για ηλεκτρικό ή ηλεκτρολογικό έλεγχο ρύθμισης της έντασης φωτισμού ενός λαμπτήρα ή μιας πηγής φωτισμού, manual dimmers) συνδέονται μεταξύ της ηλεκτρικής παροχής και της παροχής ρεύματος του ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης (high-voltage EDB).

2.3 INTELUX NG5

Το σύστημα ρύθμισης φωτισμού, INTELUX, αποτελεί σύστημα κεντρικού ελέγχου φωτισμού, δηλαδή χρησιμοποιείται για έλεγχο της παραγωγής φωτισμού περισσοτέρων του ενός φωτιστικών ενώ συνδέεται κατευθείαν στην παροχή τάσης (μεταξύ τροφοδοσίας και φωτιστικών).

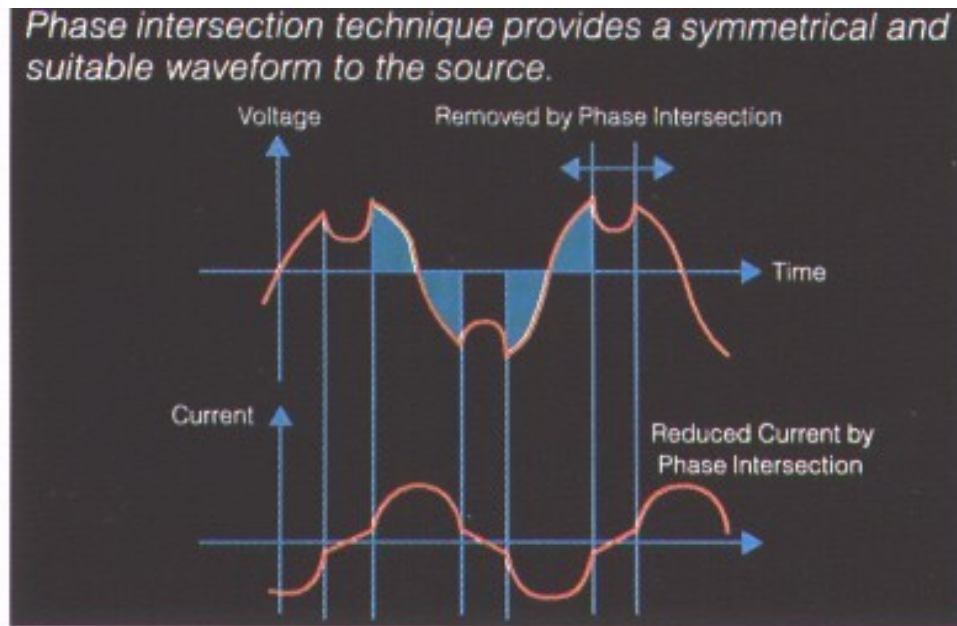


Σχήμα 2.2 : Το σύστημα INTELUX

Ως προς την αρχή λειτουργίας του, εφαρμόζει ένα τροποποιημένο διακοπτικό μηχανισμό γνωστό ως Μη Κρίσιμη Τομή Κυματομορφής (**Non Critical Wave Form Intersection**), κατά τη διάρκεια του οποίου η φασική τάση στους λαμπτήρες κατατέμνεται με ένα συγκεκριμένο τρόπο όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3 . Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται ομαλά και συμμετρικά το ρεύμα σε μια προσπάθεια εξασφάλισης σταθερών και κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας του φορτίου ενώ μειώνεται η αποδιδόμενη ένταση φωτισμού. Όταν επιθυμούμε ονομαστική ισχύ στους λαμπτήρες, τότε ο διακοπτικός αυτός μηχανισμός βραχυκυκλώνεται και απενεργοποιείται έτσι ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες απώλειες ισχύος.

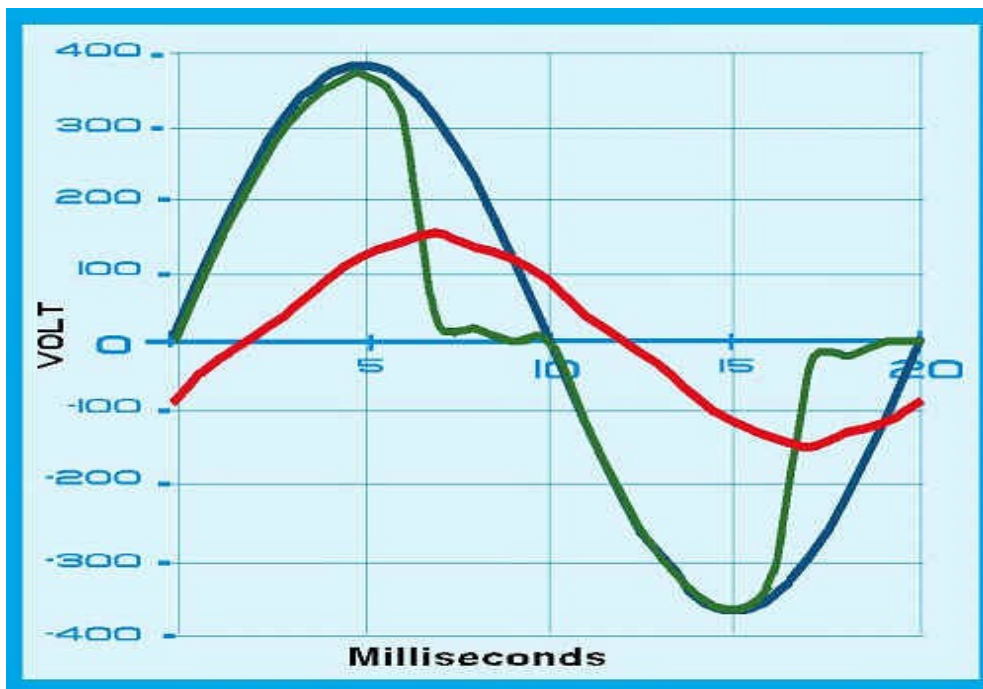
Εναλλακτικά, αντί της Μη Κρίσιμης Τομής Κυματομορφής (NCWI) το σύστημα INTELUX μπορεί να εφαρμόζει την Προσαρμοζόμενη Τομή Κυματομορφής (**Adaptive Waveform Intersection**), η οποία αποτελεί εξέλιξη της NCWI και η επίδρασή της στις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος φαίνεται στο σχήμα 2.4. Η κυματομορφή της εναλλασσόμενης τάσης φορτίου χαρακτηρίζεται από ικανοποιητική μέγιστη τιμή καθώς και από ένα σχετικά υψηλό κατώφλι ελάχιστης τιμής χωρίς την εισαγωγή επιπλέον D.C. συνιστώσας. Χάρis αυτού, το σύστημα INTELUX δε χρειάζεται επιπρόσθετους μετασχηματιστές, φίλτρα, ballasts ή καλώδια και

επιπλέον όλοι οι τύποι και τα μεγέθη λαμπτήρων μπορούν να ελεγχθούν και να λειτουργήσουν με τυπικό εξοπλισμό ελέγχου φωτιστικών.



Prinzip NCWI

Σχήμα 2.3 : Αρχή λειτουργίας του συστήματος INTELUX (NCWI)



Σχήμα 2.4 : Αρχή λειτουργίας του συστήματος INTELUX (AWI)

Το σύστημα ρύθμισης φωτισμού INTELUX, μπορεί να χειριστεί και είναι συμβατό με όλες τις διαθέσιμες πηγές φωτός συμπεριλαμβανομένου των παρακάτω :

- Λαμπτήρες φθορισμού διαμέτρου 38 mm,
- Λαμπτήρες φθορισμού εξοικονόμησης ενέργειας διαμέτρου 26mm,
- Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού,
- Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης,
- Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης,
- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου,
- Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων,
- Λαμπτήρες βολφραμίου αλογόνου,
- Λαμπτήρες Νέον,
- Λαμπτήρες χαμηλής και εξαιρετικά χαμηλής τάσης και τέλος
- Λαμπτήρες πυράκτωσης.

2.4 E-BOX C25

Το σύστημα ρύθμισης φωτισμού, E-BOX, αποτελεί σύστημα κεντρικού ελέγχου φωτισμού, δηλαδή, όπως συμβαίνει και με το σύστημα INTELUX, χρησιμοποιείται για έλεγχο της παραγωγής φωτισμού περισσοτέρων του ενός φωτιστικών, ενώ συνδέεται κατευθείαν στην παροχή τάσης (μεταξύ τροφοδοσίας και φωτιστικών).



Σχήμα 2.5 : Το σύστημα E-BOX

Το E-BOX λειτουργεί ρυθμίζοντας τα ηλεκτρικά μεγέθη των φωτιστικών. Χρησιμοποιεί στατικούς και ηλεκτρονικά ελεγχόμενους αυτομετασχηματιστές μεταβλητής σύνθετης αντίστασης χωρίς κινούμενα μέρη σχεδιασμένους να βελτιστοποιούν πηγές φωτός γενικότερα, οι οποίοι εφαρμόζουν την αρχή του ηλεκτρομαγνητικού μετασχηματισμού. Το dimming που επιτελείται από το συγκεκριμένο σύστημα περιλαμβάνει συγκεκριμένα επίπεδα φωτισμού και όχι συνεχείς και ενδιάμεσες τιμές, πράγμα το οποίο θα φανεί στη συνέχεια στην πράξη.

Επίσης, περιλαμβάνει αυτόματη ηλεκτρονικά χειριζόμενη θερμοπροστασία καθώς και σχετικές λειτουργίες έναρξης και αποκοπής αν ξεπεραστούν συγκεκριμένες οριακές τιμές. Επιπλέον, εξαιρείται αυτόματα από το δίκτυο σε περιπτώσεις υπερτάσεων και υπερρευμάτων ενώ με τη χρήση χειροκίνητου περιφερειακού μηχανισμού επιτρέπει τη συνέχεια της λειτουργίας του συστήματος σε περίπτωση βλάβης ή απομάκρυνσης για συντήρηση του E-BOX. Τέλος να αναφέρουμε ότι το σύστημα είναι γαλβανικά μονωμένο έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας από διανορεύματα και περιλαμβάνει προστατευτική ασφάλεια.

Το σύστημα ρύθμισης φωτισμού E-BOX μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες πηγές φωτός όπως :

- Λαμπτήρες φθορισμού
- Λαμπτήρες νατρίου
- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου,
- Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων
- Λαμπτήρες βολφραμίου αλογόνου

με συστήματα ελέγχου και διαβάθμιση τιμών ισχύος από 0.69 kVA σε 138 kVA. Το σύστημα E-BOX μπορεί να τοποθετηθεί σε ηλεκτρικούς πίνακες και θαλάμους ελέγχου τόσο εξωτερικού όσο και εσωτερικού χώρου. Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζονται περιπτώσεις εγκατάστασης του E-BOX.

Τέλος, το σύστημα E-BOX είναι αρκετά δημοφιλές στην Ευρώπη, έχοντας εφαρμογές σε φωτισμό δρόμων, νοσοκομείων, αεροδρομίων, σχολείων, εμπορικών κέντρων κ.α. ενώ είναι σχεδιασμένο για να επιτυγχάνει

σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη όπως μείωση της φωτορρύπανσης και της εκπομπής CO₂ στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 2.6 : Περιπτώσεις εγκατάστασης του συστήματος E-BOX σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους

ΕΝΟΤΗΤΑ 3

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Σκοπός της μελέτης των συστημάτων ελέγχου και ρύθμισης φωτισμού δρόμων, είναι η ανάλυση της απόδοσής τους και η σύγκριση μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορέσουν να ποσοτικοποιηθούν οι επιδράσεις των συστημάτων αυτών, στην εξοικονόμηση ενέργειας στα συστήματα φωτισμού δρόμων.

Για αυτόν τον λόγο, πραγματοποιήθηκαν φωτομετρικές μετρήσεις, για να προσδιοριστεί η συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (για τα EDBs) ή του χρόνου λειτουργίας (για INTELUX, E-BOX), των εξεταζόμενων συστημάτων και των αντίστοιχων επιπέδων φωτισμού, και ηλεκτρικές μετρήσεις για να προσδιοριστεί η συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου ή του χρόνου λειτουργίας των εξεταζόμενων συστημάτων και της καταναλισκόμενης ισχύος αυτών. Με βάση τις φωτομετρικές και ηλεκτρικές μετρήσεις, υπολογίστηκε η συνάρτηση μεταξύ των εξαγόμενων επιπέδων φωτισμού και της καταναλισκόμενης ισχύος των συστημάτων ελέγχου. Γνωρίζοντας κάποιος την συνάρτηση αυτή για κάθε σύστημα θα μπορεί να προσδιορίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την εξοικονόμηση ενέργειας για κάθε επιθυμητό επίπεδο φωτισμού και να ποσοτικοποιεί τις διαφορές στην εξοικονόμηση ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών εξεταζόμενων συστημάτων ρύθμισης φωτισμού. Επίσης, υπολογίστηκαν και οι καμπύλες άλλων μεγεθών όπως συντελεστή ισχύος, αρμονικών τάσης κ.α. έτσι ώστε να μελετηθεί, γενικότερα, η συμπεριφορά των συστημάτων στο δίκτυο.

Η πειραματική διάταξη των φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων για κάθε περίπτωση περιγράφεται στην παρακάτω παράγραφο.

3.2 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Εξετάστηκαν συνολικά έξι συστήματα ρύθμισης φωτισμού δρόμων εκ των οποίων τα δύο αποτελούν συστήματα κεντρικού ελέγχου, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν ομάδες φωτιστικών, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα μπορούν να ελέγχουν ένα φωτιστικό σε κάθε περίπτωση και ανήκουν στην κατηγορία των συστημάτων έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με ρυθμιζόμενη στάθμη φωτισμού (EDBs).

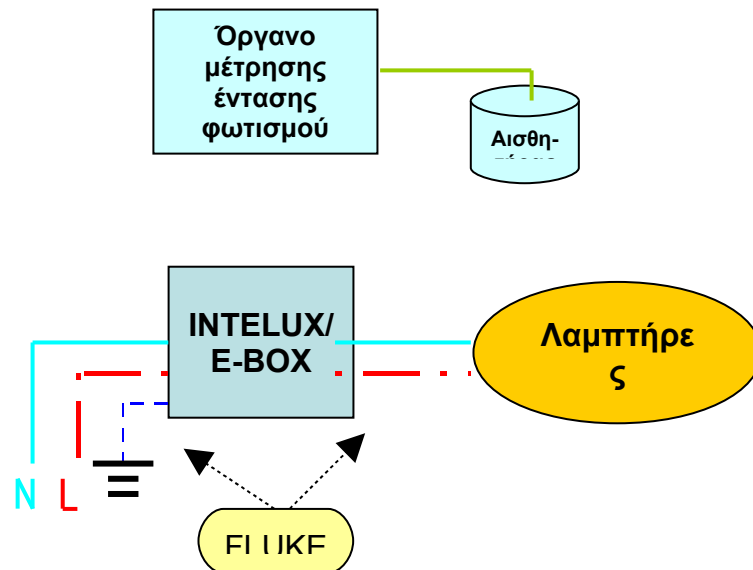
Στη συνέχεια, ακολουθεί περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας ξεχωριστά για την περίπτωση των συστημάτων κεντρικού ελέγχου και για αυτά ελέγχου μεμονωμένων φωτιστικών μια και ακολουθήθηκε διαφορετική μέθοδος σε κάθε περίπτωση. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο φωτομετρίας του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, υπό σταθερό περιβάλλον. Ο χώρος των δοκιμών και των μετρήσεων ήταν το σκοτεινό δωμάτιο (20mX7mX4m) του εργαστηρίου το οποίο έχει βαμμένους τους τοίχους, οροφή, πάτωμα και εξοπλισμό με μαύρο ματ χρώμα

3.2.1 Συστήματα κεντρικού ελέγχου

Τα συστήματα που εξετάστηκαν ήταν τα :

- **INTELUX NG5**
- **E-BOX.C25**

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων σε μορφή block διαγράμματος:



Σχήμα 3.1 : Συνδεσμολογία φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων για τα συστήματα INTELUX και E-BOX

Το πλαίσιο με την ονομασία FLUKE συμβολίζει το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των ηλεκτρικών μετρήσεων και ονομάζεται *FLUKE 435 Power Quality Analyzer*. Πρόκειται για ένα υπερσύγχρονο όργανο το οποίο με αυτόματο τρόπο πραγματοποιεί κάθε πέντε δευτερόλεπτα μετρήσεις για ένα πολύ ευρύ φάσμα ηλεκτρικών μεγεθών, όπως συχνότητα λειτουργίας, τάση, ρεύμα, ολική αρμονική παραμόρφωση, φαινόμενη, ενεργό και άεργο ισχύ κ.α. και καταγράφει τα αποτελέσματα σε υπολογιστή.

Χρησιμοποιήθηκαν έξι λαμπτήρες *HPS* (νατρίου υψηλής πίεσης – *High Pressure Sodium*) 250 W οι οποίοι είχαν υποστεί γήρανση (*Seasoned*

lamps) 100 ωρών όπως προβλέπεται από τα διεθνή πρότυπα [5,6]. Ο χρόνος προθέρμανσης των λαμπτήρων πριν από την κάθε πρώτη μέτρηση, ήταν ίδιος (μία ώρα) για κάθε λαμπτήρα. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν σταθερά διατηρημένη στους 26°C και η τάση τροφοδοσίας στα 230Vac για όλες τις μετρήσεις (χρησιμοποιήθηκε και σταθεροποιητής τάσης 230Volt, ac). Απέναντι από τη διάταξη των λαμπτήρων με το σύστημα ελέγχου, τοποθετήθηκε αισθητήρας μέτρησης φωτισμού, ο οποίος βρισκόταν σε κύλινδρο με εγκάρσια διαφράγματα για αποφυγή παράσιτου φωτισμού, συνδεδεμένος με καταγραφικό όργανο (Πίνακας 3.1) για τις φωτομετρικές μετρήσεις (Σχήμα 3.2).

Πίνακας 3.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης φωτεινότητας [7]

Προδιαγραφές οργάνου μέτρησης φωτεινότητας International Light (I.L.)	
Μοντέλο	: IL 1700 Research Radiometer
Οπτική ακρίβεια*	
Φωτομετρική	: ±2% των πρότυπων πηγών της I.L. ±2% ως προς το πρότυπο του National Bureau of Standards (NBS)
Ραδιομετρική	: ±3% των πρότυπων πηγών της I.L. ±3% ως προς το πρότυπο του National Bureau of Standards (NBS)

*Η οπτική ακρίβεια είναι πολύ δύσκολο να περιγραφεί επειδή μεταβάλλεται με το μήκος κύματος. Τα σφάλματα μετρήσεων οργάνου που περιγράφονται με βάση το National Institute of Standards and Technology (N.I.S.T.), μπορούν να κυμαίνονται από 1% στο ορατό φάσμα έως 6% στο υπεριώδες (Ultraviolet, UV) και 4% στο υπέρυθρο (Infrared IR).

Πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές ηλεκτρικών μετρήσεων, τόσο στην περίπτωση του INTELUX όσο και του E-BOX, η πρώτη τοποθετώντας το όργανο FLUKE στην είσοδο των συστημάτων και η δεύτερη τοποθετώντας το στην έξοδο τους. Με αυτό τον τρόπο μελετήθηκε η επίδραση του εκάστοτε συστήματος στα μεγέθη του δικτύου. Για να είναι μάλιστα η

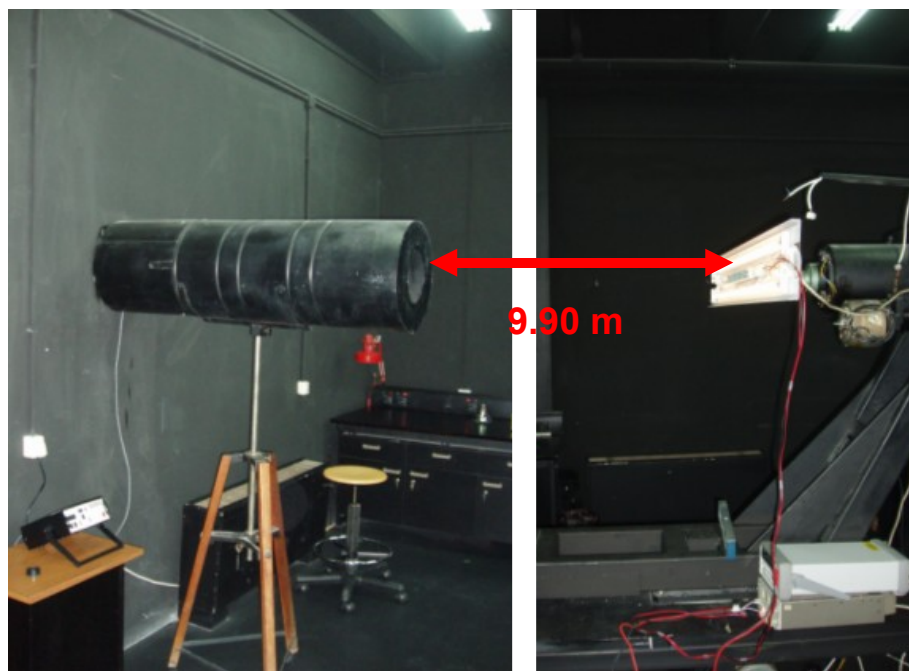
σύγκριση πιο εμφανής, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το FLUKE και απουσία συστημάτων ρύθμισης φωτισμού, κατευθείαν, δηλαδή, στο φορτίο (λαμπτήρες). Τα συστήματα INTELUX και E-BOX, προγραμματίστηκαν κατάλληλα έτσι ώστε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή να πραγματοποιήσουν dimming με σκοπό τη μείωση της ισχύος κατανάλωσης των λαμπτήρων κατά συγκεκριμένο ποσοστό και με τη βοήθεια του FLUKE παρατηρήθηκε η συμπεριφορά των διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών με την πάροδο του χρόνου στην έξοδο και την είσοδο των δύο συστημάτων.



Σχήμα 3.2 : Παρουσίαση της τοποθέτησης του αισθητήρα μέτρησης φωτισμού, ο οποίος είναι προστατευμένος από παράσιτο φωτισμό μέσα σε κυλινδρικό διάφραγμα (δεξιά φωτογραφία) απέναντι από τη μετρούμενη διάταξη (λαμπτήρας και σύστημα έναυσης, αριστερή φωτογραφία) μέσα στο χώρο του εργαστηρίου (η φωτογραφία δεν έχει σχέση με το συγκεκριμένο πείραμα [4]).

Όσον αφορά τις φωτομετρικές μετρήσεις, τα παραγόμενα επίπεδα φωτισμού (Light output) μετρήθηκαν ως τιμές έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance, lux). Η απόσταση μεταξύ της πειραματικής

διάταξης (λαμπτήρες και σύστημα ελέγχου) και του αισθητήρα μέτρησης φωτισμού ήταν σταθερή και ίδια για όλη την πειραματική διαδικασία (Σχήμα 3.3). Ο αισθητήρας μέτρησης φωτισμού τοποθετήθηκε σε απόσταση 9,9 μέτρων από το κέντρο συμμετρίας των λαμπτήρων. Η φωτεινή δέσμη από το εν λόγω κέντρο προσπίπτει κάθετα στον αισθητήρα. Ο παράσιτος φωτισμός μηδενίζεται με την τοποθέτηση του αισθητήρα στο βάθος κυλινδρικού κελύφους με απορροφητική επιφάνεια και εγκάρσια διαφράγματα όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω (Σχήμα 3.2). Το οπτικό πεδίο (Field of View) του αισθητήρα καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια εκπομπής φωτισμού των εξεταζόμενων λαμπτήρων. Οι μετρήσεις της έντασης φωτισμού καταγράφονταν κάθε ένα λεπτό μέχρι τη σταθεροποίηση της.



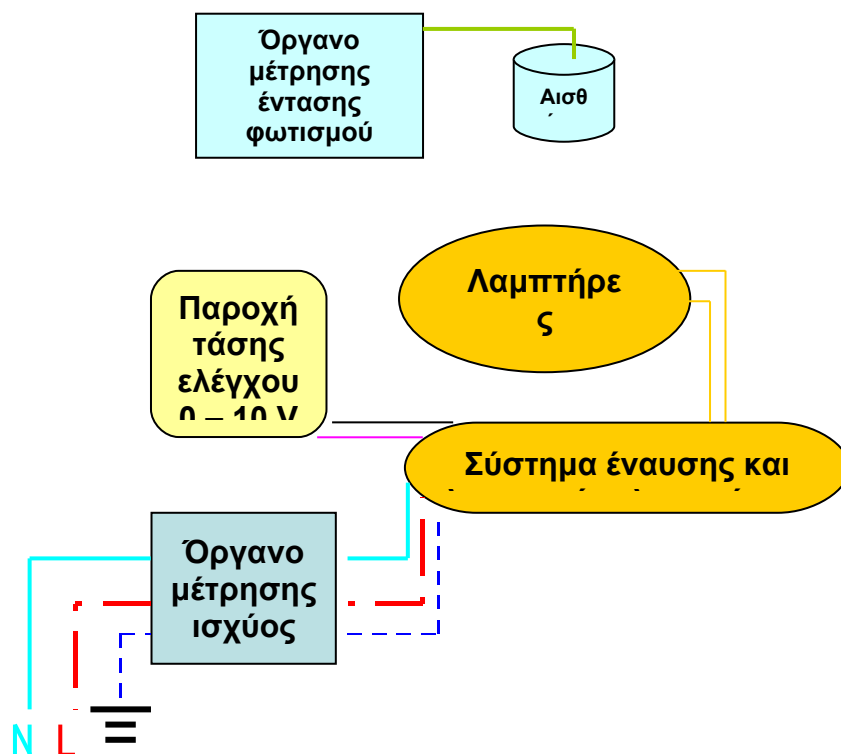
Σχήμα 3.3 : Πειραματική διάταξη των ηλεκτρικών και φωτομετρικών μετρήσεων (η φωτογραφία δεν έχει σχέση με το συγκεκριμένο πείραμα [4]).

3.2.2 Συστήματα ελέγχου μεμονωμένων φωτιστικών

Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας που εξετάστηκαν είναι :

- Σύστημα 1 : *CMH70W/T/UVC/U/942/G12* για ένα λαμπτήρα MH (μεταλλικών αλογονιδίων – metal halide) ισχύος 70 W.
- Σύστημα 2 : *CMH150W/T/UVC/U/830/G12* για ένα λαμπτήρα MH (μεταλλικών αλογονιδίων – metal halide) ισχύος 150 W.
- Σύστημα 3 : *osram powerstar hqi-t 250W/D E40* για ένα λαμπτήρα MH (μεταλλικών αλογονιδίων – metal halide) ισχύος 250 W.
- Σύστημα 4 : *Philips master HPI-T plus 400W/645 E40* για ένα λαμπτήρα MH (μεταλλικών αλογονιδίων – metal halide) ισχύος 400 W.

Στο σχήμα 3.4, παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων σε μορφή block διαγράμματος. Ανάμεσα στην παροχή του συστήματος έναυσης και την τροφοδοσία του δικτύου (χρησιμοποιήθηκε σταθεροποιητής τάσης 230Volt, ac) συνδέθηκε όργανο μέτρησης ενεργής και άεργης ισχύος για τις ηλεκτρικές μετρήσεις (σε αυτή την περίπτωση δε χρησιμοποιήθηκε το όργανο μέτρησης FLUKE), του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2 . Όσον αφορά το όργανο μέτρησης φωτεινότητας και τον αισθητήρα, ισχύουν όσα ειπώθηκαν και περιγράφηκαν παραπάνω. Όπως και στα προηγούμενα πειράματα, οι λαμπτήρες που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις είχαν υποστεί γήρανση (Seasoned lamps) 100 ωρών όπως προβλέπεται από τα διεθνή πρότυπα [5,6]. Ο χρόνος προθέρμανσης των λαμπτήρων πριν από την κάθε πρώτη μέτρηση, ήταν ίδιος (μία ώρα) για όλες τις περιπτώσεις των μετρήσεων σε κάθε λαμπτήρα για όλα τα συστήματα έναυσης. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν σταθερά διατηρημένη στους 26°C και η τάση τροφοδοσίας στα 230Vac για όλες τις μετρήσεις.



Σχήμα 3.4 : Συνδεσμολογία φωτομετρικών και ηλεκτρικών μετρήσεων για κάθε εξεταζόμενο ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων με δυνατότητα προσαρμογής των επιπέδων φωτισμού.

Οι σχετικές μετρήσεις λήφθηκαν για διάφορες τιμές τάσης ελέγχου. Κάθε σύστημα έναυσης (EDB) τροφοδοτήθηκε με διακριτές τιμές τάσης ελέγχου μέσω ενός ψηφιακού τροφοδοτικού παροχής συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Η διαδικασία των μετρήσεων περιλάμβανε τροφοδοσία τάσης ελέγχου στο σύστημα έναυσης με τη μέγιστη τιμή των 10Volt και μείωση της τάσης ελέγχου διακριτά, με βήμα ενός Volt, μέχρι την ελάχιστη τιμή των 0Volt (μείωση της τάσης ελέγχου από 10Volt προς 0Volt). Συνεχίζοντας την διαδικασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε όμοια αύξηση της τάσης ελέγχου από την ελάχιστη τιμή των 0Volt προς την μέγιστη τιμή των 10Volt (αύξηση της τάσης ελέγχου από 0Volt προς 10Volt). Η μείωση αρχικά, της τάσης ελέγχου και η αντίστροφη αύξησή

της, πραγματοποιήθηκαν διαδοχικά για όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια και επαναληψιμότητα στις μετρήσεις [8].

Προδιαγραφές οργάνου μέτρησης ισχύος HIOKI	
Μοντέλο	3182/3183
Μέτρηση AC τάσης	Ένδειξη True rms
Ακρίβεια (για $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ και 50/60Hz)	$\pm 0.7\%$ της ένδειξης
Απόκριση συχνότητας (40-500Hz)	$\pm 0.5\%$
Μέτρηση AC ρεύματος	Ένδειξη True rms
Ακρίβεια (για $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ και 50/60Hz)	$\pm 0.5\%$ της ένδειξης
Απόκριση συχνότητας (40-500Hz)	$\pm 0.5\%$
Μέτρηση μονοφασικής ενεργής	Ένδειξη True rms
ισχύος	
Ακρίβεια (για $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ και 50/60Hz)	$\pm 0.7\%$ της ένδειξης
Απόκριση συχνότητας (40-500Hz)	$\pm 1\%$ για συντελεστή ισχύος 1

Πίνακας 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνου μέτρησης ισχύος

Οι μετρήσεις της έντασης φωτισμού πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα της CIE [5,6]. Τα παραγόμενα επίπεδα φωτισμού (Light output) μετρήθηκαν ως τιμές έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance, lux). Οι μετρήσεις της έντασης φωτισμού καταγράφονταν κάθε 5 λεπτά μέχρι να σταθεροποιηθεί η τιμή της, για κάθε αλλαγή της τάσης ελέγχου. Σαν σταθεροποιημένη τιμή έντασης φωτισμού λαμβανόταν η τελευταία τιμή, όπου η τυπική απόκλιση μεταξύ του ζεύγους των δύο τελευταίων μετρήσεων ήταν λιγότερη από 2%. Η διαδικασία αυτή για την μέτρηση της φωτεινής έντασης διαρκούσε από 15 έως 25 λεπτά για κάθε βήμα μεταβολής της τάσης ελέγχου [8,9].

Με τον μονοφασικό μετρητή ισχύος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ενεργού ισχύος (active power) της πειραματικής διάταξης που περιλάμβανε το σύστημα έναυσης και τους αντίστοιχους λαμπτήρες για τα διάφορα επίπεδα της τάσης ελέγχου του συστήματος έναυσης. Επιπλέον,

μετρήθηκαν και οι αντίστοιχες rms τιμές της τάσης και του ρεύματος με σκοπό να υπολογιστεί η άεργος ισχύς (apparent power) και στη συνέχεια ο συντελεστής ισχύος του κάθε εξεταζόμενου συστήματος έναυσης (EDB).

3.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

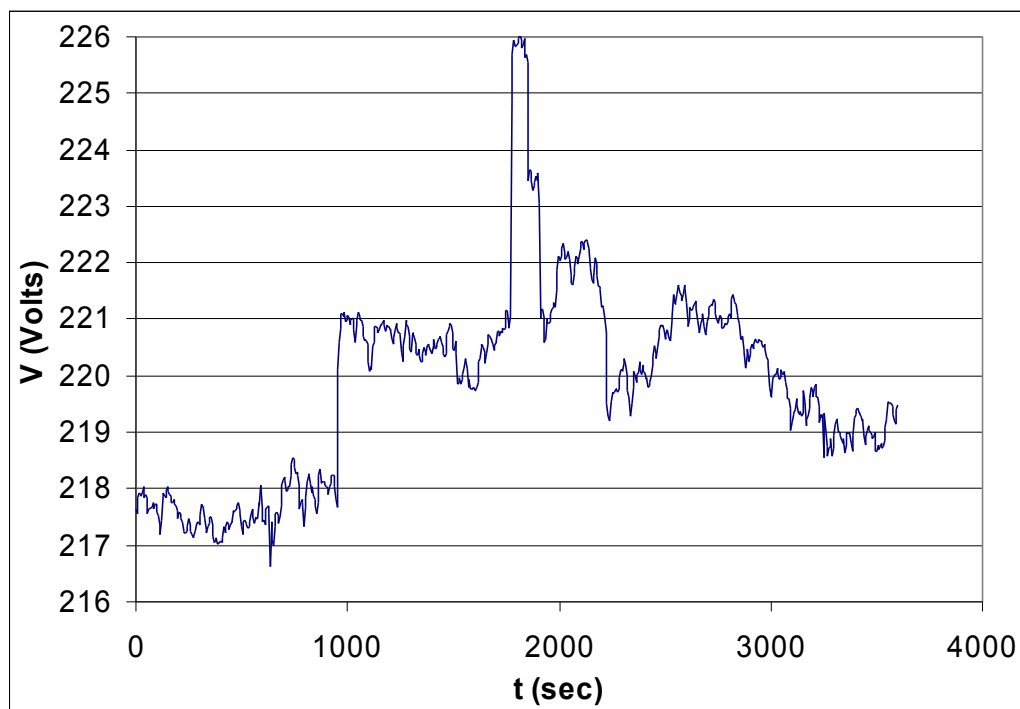
Στην παράγραφο αυτή, παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων, η μεθοδολογία των οποίων περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω. Κύριος σκοπός της επεξεργασίας αυτής είναι η ανάλυση των ηλεκτρικών μεγεθών, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η συμπεριφορά των εξεταζόμενων συστημάτων ελέγχου ως τμήματα του δικτύου και κυρίως να εξαχθεί η καμπύλη της σχετικής κατανάλωσης ισχύος συναρτήσει της σχετικής παραγωγής φωτισμού (**Light Output Ratio**). Όπως θα φανεί και στην ενότητα 4, η καμπύλη αυτή είναι πολύ σημαντική για το σωστό σχεδιασμό της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε στις μελέτες φωτισμού που εξετάστηκαν.

3.3.1 INTELUX NG5

Οι κλίμακες των μεταβολών της έντασης του φωτισμού και της καταναλισκόμενης ισχύος κανονικοποιήθηκαν λαμβάνοντας ως τιμές αναφοράς τις αντίστοιχες ονομαστικές δηλαδή 1500 W (ονομαστική ισχύς για τους 6 λαμπτήρες των 250 W) και 49.5 lux (ονομαστική ένταση φωτισμού για κάθε λαμπτήρα). Κανένας λαμπτήρας δεν έσβησε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ούτε υπήρχε τρεμόσβημα (Light flicker). Η συχνότητα λειτουργίας τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του INTELUX διατηρούταν σταθερή σε κάθε περίπτωση και ίση με τη συχνότητα του δικτύου δηλαδή 50 Hz. Στην πραγματικότητα υπάρχουν κάποιες

αποκλίσεις της τάξεως του 0.1 % οι οποίες είναι αμελητέες σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-2-2 ([10,11]), το οποίο προβλέπει μεταβολές συχνότητας μέχρι 2 %.

3.3.1.1 ΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



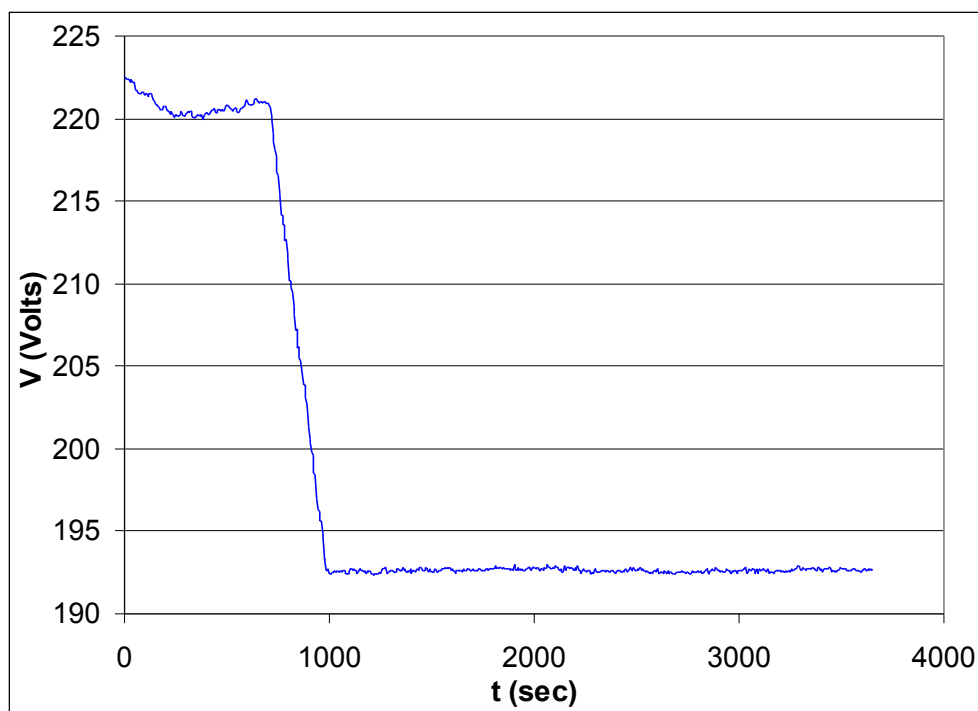
Σχήμα 3.5 : Τάση στην είσοδο του INTELUX

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 3.5, η τάση εισόδου του συστήματος INTELUX μεταβάλλεται από 217 V μέχρι 226 V ενώ σταθεροποιείται περίπου στα επίπεδα της τάσης δικτύου, (220 V) στα 219 V μετά το dimming.

Γενικά, η τάση στο εκάστοτε φορτίο ενός ηλεκτρικού συστήματος καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η τάση εξόδου της γεννήτριας και η πτώση ή απώλεια τάσης κατά τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, παράγοντες οι οποίοι μπορεί κάθε στιγμή να μεταβάλλονται. Φυσικά, μικρές μεταβολές όπως οι παραπάνω (-1.36 %, +2.73 % αντίστοιχα της ονομαστικής τάσης εισόδου) δεν

επηρεάζουν τη λειτουργία των φωτιστικών και δεν προκαλούν σε καμία περίπτωση το φαινόμενο του flicker ή άλλες ανεπιθύμητες παρενέργειες, καθώς ανώτατο όριο μεταβολών της τάσης όσον αφορά την επιθυμητή λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (IEC 61000-6-1/ 61000-6-2, [10,11]) είναι το $\pm 10\%$ για μέγιστη χρονική διάρκεια εφαρμογής τα 15 λεπτά της ώρας.

Η τάση εξόδου του INTELUX, δηλαδή η τάση στο εσωτερικό δίκτυο (INTELUX – φορτίο) σταθεροποιείται στην τιμή των 193 V χωρίς να παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις (σχήμα 3.6). Η πτώση τάσης σε σχέση με την τάση εισόδου που εμφανίζεται οφείλεται στην παρουσία του συστήματος INTELUX.



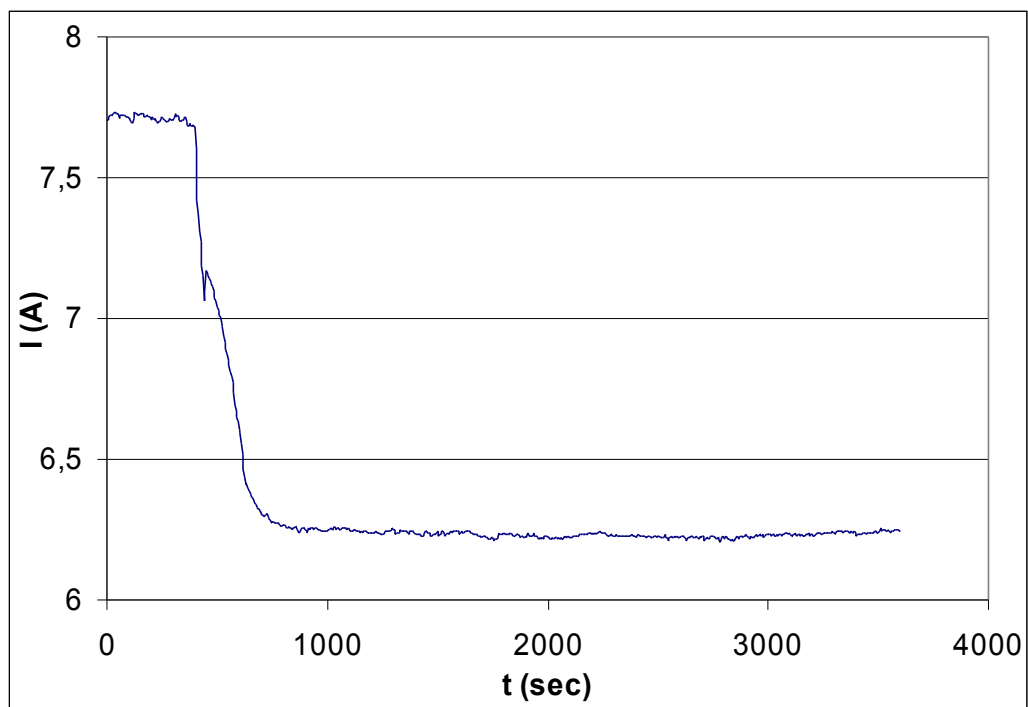
Σχήμα 3.6 : Τάση στην έξοδο του INTELUX

3.3.1.2 ΡΕΥΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

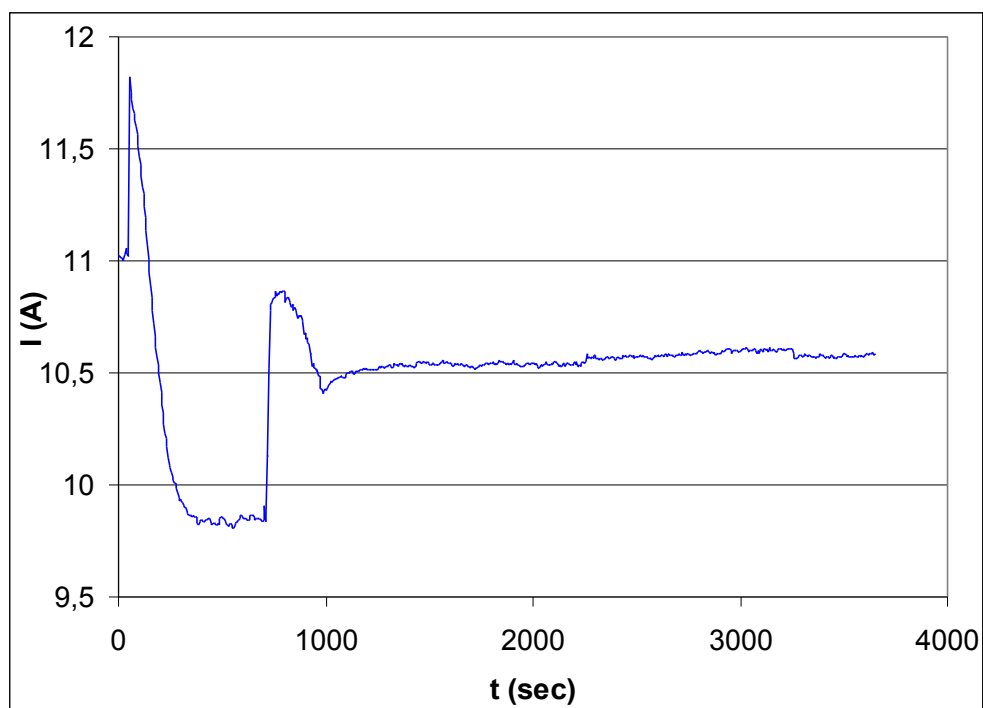
Στα σχήματα 3.7 και 3.8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα του ρεύματος στην είσοδο και έξοδο, αντίστοιχα, του INTELUX. Στο πρώτο διάγραμμα φαίνεται ξεκάθαρα η λειτουργία του dimming και παρατηρώντας το λίγο πιο προσεκτικά μπορεί κάποιος να βγάλει σημαντικά συμπεράσματα για την αρχή λειτουργίας και τον τρόπο με τον οποίο επιτελείται η ρύθμιση φωτισμού από το συγκεκριμένο σύστημα.

Παρατηρούμε ότι το ρεύμα εκκινεί από την τιμή των 7.7 A και μειώνεται μέχρι να φτάσει τα 6.25 A όπου και τελικά σταθεροποιείται. Αυτή η μείωση όμως δε γίνεται ακαριαία αλλά διαρκεί περίπου *600 δευτερόλεπτα* περνώντας από ενδιάμεσες τιμές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το INTELUX χρησιμοποιεί συγκεκριμένο λογισμικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό που πραγματοποιούν το dimming με συνεχή τρόπο, περνώντας από ενδιάμεσα επίπεδα ρεύματος. Άλλωστε, όπως ειπώθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η ομαλή μείωση της έντασης του ρεύματος είναι βασική επιδίωξη του συγκεκριμένου προϊόντος. Είναι γνωστό ότι οι απότομες μεταβολές της τάσης ή του ρεύματος είναι ανεπιθύμητες καθώς προκαλούν καταπόνηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καθώς και των ίδιων των φωτιστικών συμβάλλοντας στη μείωση του χρόνου ζωής τους. Καταλαβαίνει λοιπόν κανείς ότι ο μηχανισμός ομαλής μείωσης του ρεύματος που διαθέτει το σύστημα INTELUX είναι εξαιρετικά σημαντικός.

Τέλος, όσον αφορά το ρεύμα στην έξοδο να αναφέρουμε ότι σταθεροποιείται μετά το dimming στα 10.58 A , τιμή αρκετά μεγάλη σε σχέση με το ρεύμα εισόδου.



Σχήμα 3.7 : Ρεύμα στην είσοδο του INTELUX



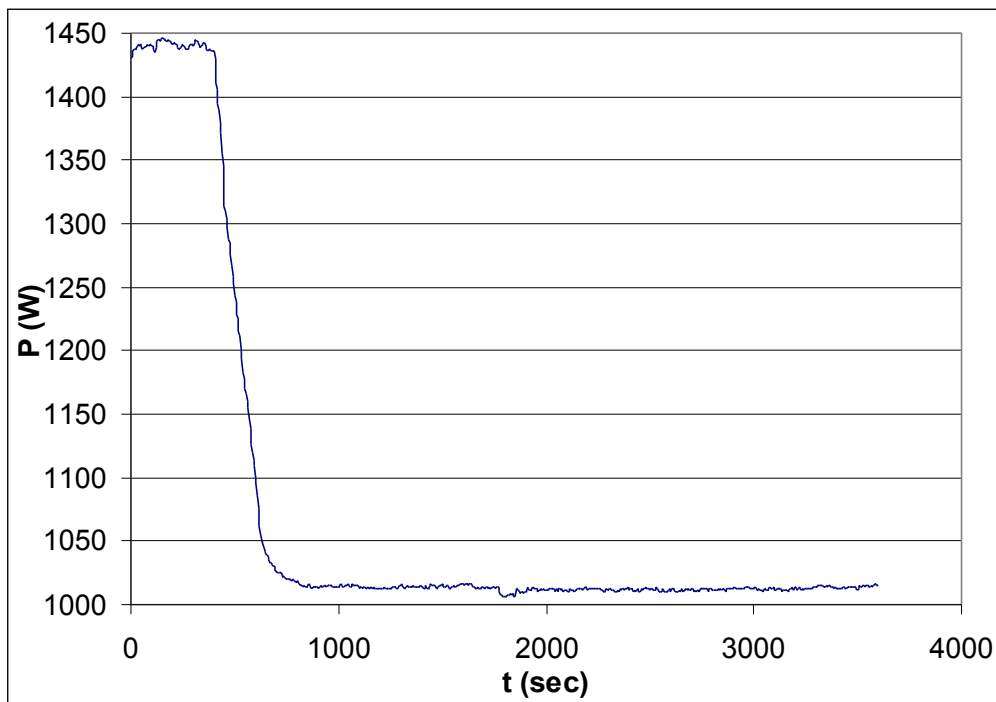
Σχήμα 3.8 : Ρεύμα στην έξοδο του INTELUX

3.3.1.3 ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Γενικά, το αντικείμενο προς μελέτη όσον αφορά την εξοικονόμηση ισχύος, ενέργειας και σε τελική ανάλυση χρημάτων, είναι η ενεργειακή συμπεριφορά του φορτίου σε συνδυασμό όμως με το χρησιμοποιούμενο σε κάθε περίπτωση σύστημα ελέγχου. Με άλλα λόγια, τον εκάστοτε επενδυτή ενδιαφέρει άμεσα το ποσό της ισχύος που καταναλώνεται τόσο στους λαμπτήρες όσο και στο εν λόγω σύστημα καθώς, ο ίδιος, χρεώνεται το άθροισμα των δύο αυτών επιμέρους καταναλώσεων. Για αυτό το λόγο η μελέτη της καταναλισκόμενης ενεργού ισχύος στην έξοδο, του INTELUX στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν ενδιαφέρει ουσιαστικά, αντίθετα η μελέτη στην είσοδο του συστήματος INTELUX – φορτίου, που τώρα θεωρείται ένα ενιαίο στοιχείο του εξωτερικού δικτύου, είναι μείζονος σημασίας.

Η ενεργός ισχύς κατανάλωσης που θεωρούμε ως ισχύ αναφοράς είναι η ονομαστική ισχύς του φορτίου, δηλαδή των έξι λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, συνόλου *1500 Watts*. Στο σχήμα 3.9, παρουσιάζεται το διάγραμμα ενεργού ισχύος σε συνάρτηση με το χρόνο στην είσοδο του INTELUX.

Παρατηρούμε ότι το φορτίο έχει σχεδόν την ονομαστική του τιμή (*1445 Watts*, μικρότερη από την ονομαστική κατά *3.7 %*) όταν ξεκινάει το dimming ενώ σταθεροποιείται τελικά στα *1014 Watts*. Είναι εμφανής η εξοικονόμηση ισχύος που επιτυγχάνεται με τη χρήση του INTELUX η οποία, θεωρώντας ότι το φορτίο αν λειτουργούσε μόνο του θα κατανάλωνε κάθε στιγμή την ονομαστική του ισχύ, είναι της τάξεως του *32.4 %*.



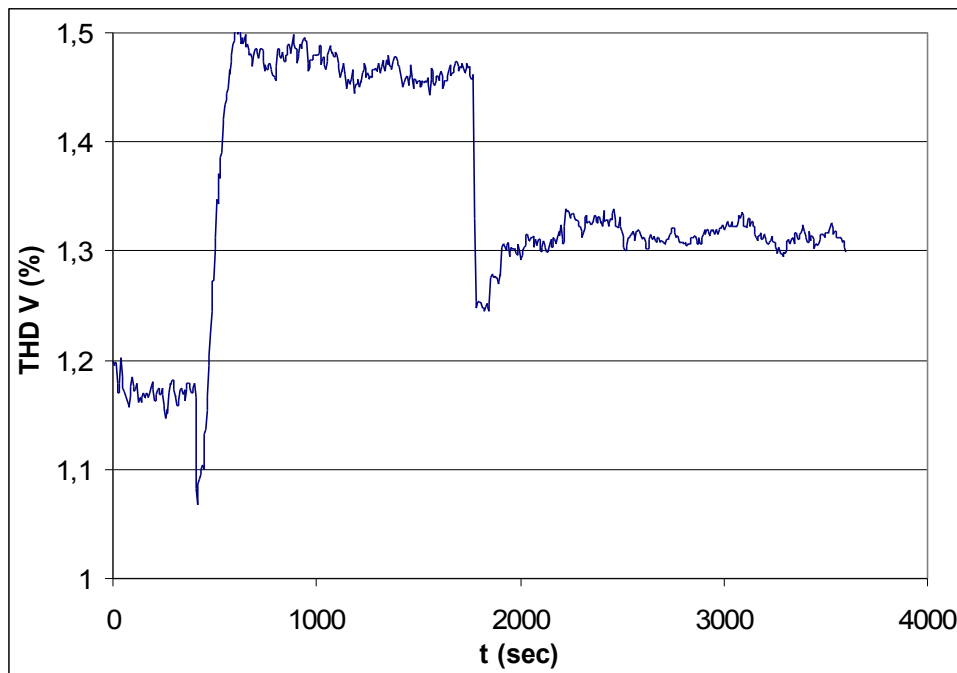
Σχήμα 3.9 : Ενεργός ισχύς κατανάλωσης στην είσοδο του INTELUX

Βέβαια, η μελέτη της καταναλισκόμενης ισχύος από μόνη της δε μπορεί να μας οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα καθώς πρέπει να συνδυάζεται με τη μελέτη της έντασης φωτισμού (η οποία αναλύεται αργότερα). Βασικός στόχος είναι η «χρυσή τομή» μεταξύ εξοικονόμησης ενέργειας και επιθυμητού επιπέδου έντασης φωτισμού.

3.3.1.4 ΟΛΙΚΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (Total Harmonic Distortion)

Όσον αφορά τη μελέτη της εκπομπής αρμονικών, το φορτίο δεν ήταν επαρκές έτσι ώστε να εξαχθούν αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα για τις αρμονικές του ρεύματος, οπότε αναλύθηκαν πιο επισταμένα οι μετρήσεις για τις αρμονικές της τάσης και πιο συγκεκριμένα για την εκατοστιαία ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης (THD V (%)).

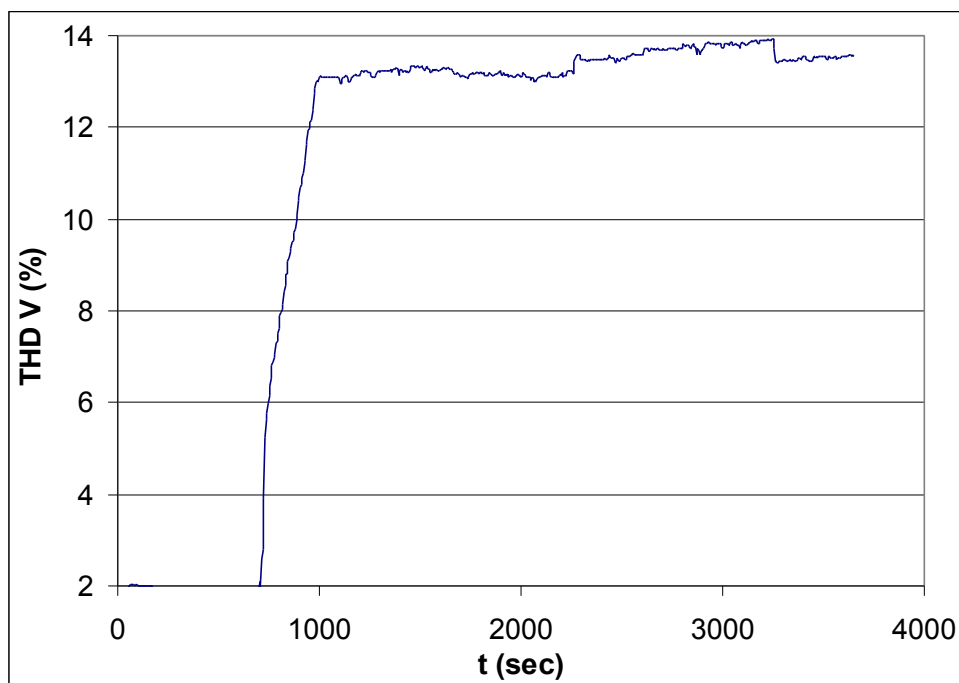
Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο συμβατότητας IEC 61000-2-2 ([10,11]), ολική αρμονική παραμόρφωση τάσης μεγαλύτερη του 8 % θεωρείται ανεπιθύμητη, ενώ σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEEE 1992 ([10,11]), το αντίστοιχο όριο είναι περισσότερο αυστηρό στα 5 %. Όπως και με την ισχύ, έτσι και με τις αρμονικές αυτό που μας ενδιαφέρει άμεσα είναι οι αρμονικές στην είσοδο του INTELUX καθώς εκπομπή αρμονικών σημαντικού πλάτους προς το εξωτερικό δίκτυο μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα όπως υπερθέρμανση των γραμμών μεταφοράς ή υπερφόρτιση των μετασχηματιστών ή των γεννητριών του δικτύου.



Σχήμα 3.10 : Ολική αρμονική παραμόρφωση στην είσοδο του INTELUX

Από το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 3.10) και σύμφωνα με τα προαναφερθέντα πρότυπα συμπεραίνουμε ότι το σύστημα INTELUX - φορτίο ουσιαστικά δεν επιβαρύνει το εξωτερικό δίκτυο με αρμονικές τάσης αφού η τιμή του THD σταθεροποιείται περίπου στο 1.3 % και, εν πάσει περιπτώσει, το μέγιστο της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης αγγίζει το 1.5 % (< 5 % < 8 %).

Ας δούμε όμως τώρα και τι συμβαίνει στην έξοδο του INTELUX. Στο σχήμα 3.11, φαίνεται ότι η εκπομπή αρμονικών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή στην είσοδο και ότι η ολική αρμονική παραμόρφωση σταθεροποιείται τελικά στο 13.55 %. Βέβαια δεν ισχύουν τα ίδια όρια (5%, 8%) στην έξοδο του INTELUX μιας και από τα μεγέθη αυτά δεν επηρεάζεται το εξωτερικό δίκτυο αλλά μόνο το εσωτερικό, παρόλαυτα επιβάλλεται να αναφερθεί σε αυτό το σημείο ότι, σε γενικές γραμμές, μεγάλες τιμές της THD ενδεχομένως να έχουν αρνητικές συνέπειες όπως καταπόνηση των φωτιστικών και συνεπώς μείωση του χρόνου ζωής τους.



Σχήμα 3.11 : Ολική αρμονική παραμόρφωση στην έξοδο του INTELUX

3.3.1.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ο Συντελεστής Ισχύος αποτελεί ένα μέτρο για την ποιότητα ισχύος και εκφράζει το πόσο αποτελεσματικά μία συσκευή μετατρέπει το εισερχόμενο

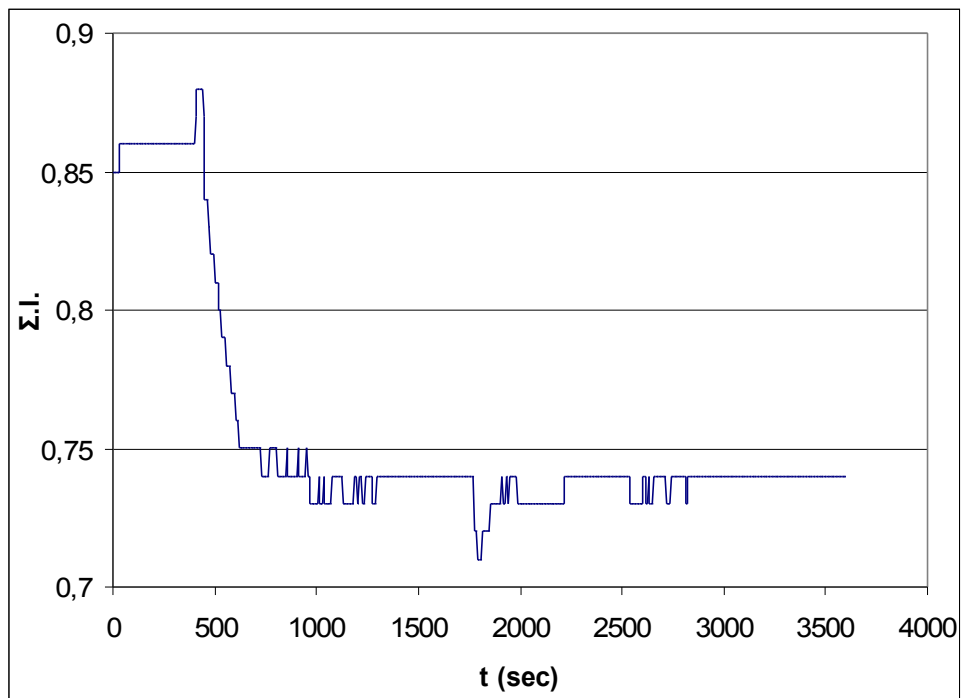
ρεύμα και τάση σε χρήσιμη ηλεκτρική ισχύ. Στην ουσία, περιγράφει τις συνδυασμένες επιπτώσεις της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος και της αέργου ισχύος.

Ορίζεται ως ο λόγος της ενεργής ισχύος (Active power, W) προς την φαινόμενη (Apparent power, VA), είναι καθαρός αριθμός και κυμαίνεται από 0 έως 1. Συντελεστής ισχύος ίσος με την μονάδα σημαίνει ότι οι κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης είναι στην ίδια φάση και δεν υπάρχει παραμόρφωση σε καμιά κυματομορφή, δηλαδή η ενεργός ισχύς είναι ίση με την φαινόμενη. Οποιαδήποτε μεταβολή στο σχήμα της κυματομορφής του ρεύματος ή της τάσης επηρεάζει την τροφοδοσία και έτσι μειώνεται ο συντελεστής ισχύος.

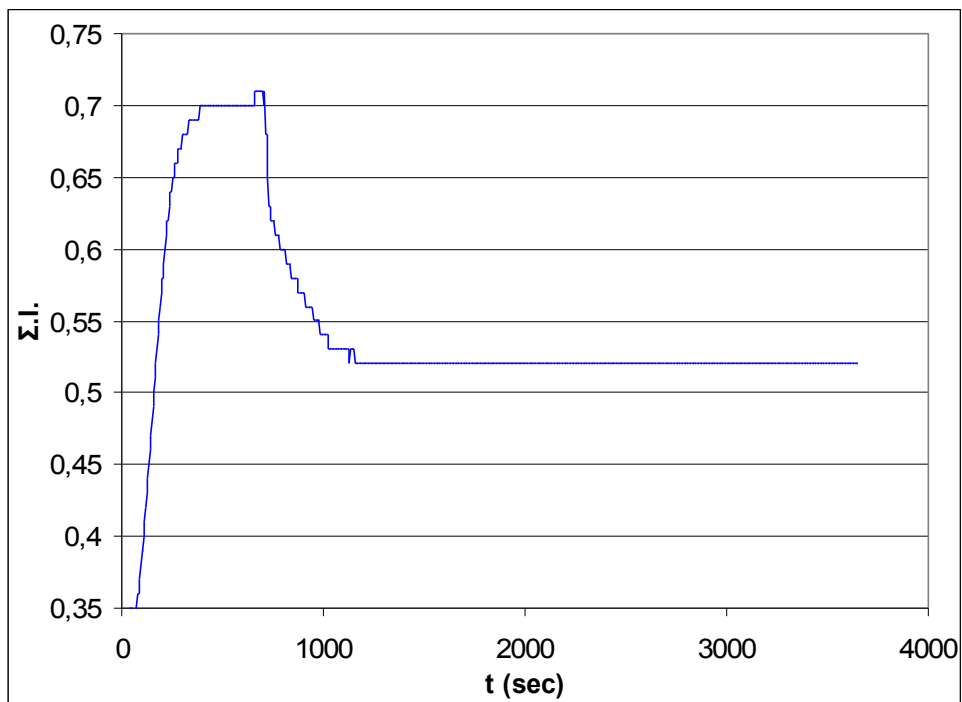
Από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι ο συντελεστής ισχύος θα ακολουθεί μια αντίστροφη πορεία από αυτή της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η THD τόσο μικρότερος θα είναι ο συντελεστής ισχύος και το αντίστροφο. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται από τα σχήματα 3.12, 3.13, όπου παρουσιάζονται ο συντελεστής ισχύος στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος INTELUX.

Στην είσοδο του συστήματος INTELUX – φορτίο, ο συντελεστής ισχύος σταθεροποιείται στο 0.74, τιμή που θεωρείται φυσιολογική ($0.5 < \text{normal power factor} < 0.9$, [11]) και ως εκ τούτου ικανοποιητική. Το γεγονός αυτό συνάδει και με τις ικανοποιητικές τιμές της THD στην είσοδο.

Αντίθετα, οι υψηλές τιμές της THD στην έξοδο του συστήματος οδήγησαν σε πτώση του Σ.Ι. κατά 29.73 % στην τιμή 0.52, η οποία παρόλαυτα κρίνεται φυσιολογική αν και οριακά.



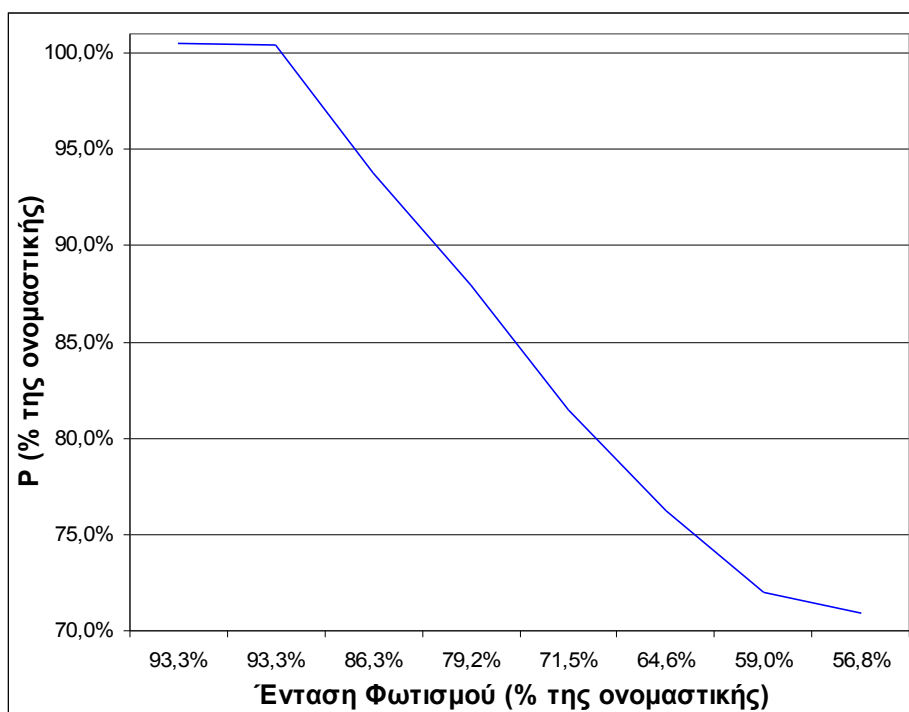
Σχήμα 3.12 : Συντελεστής Ισχύος στην είσοδο του INTELUX



Σχήμα 3.13 : Συντελεστής Ισχύος στην έξοδο του INTELUX

3.3.1.6 ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η συμπεριφορά των λαμπτήρων όσον αφορά τη φωτεινή τους απόδοση σε συνάρτηση με την ισχύ που καταναλώνουν, όταν λάβει μέρος η διαδικασία του dimming με χρήση του συστήματος INTELUX. Οι φωτομετρικές μετρήσεις που λήφθηκαν από τον αισθητήρα μέτρησης φωτισμού και οι ηλεκτρικές που λήφθηκαν από το όργανο FLUKE όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.2.1, κανονικοποιήθηκαν διαιρούμενες με τις ονομαστικές τιμές των λαμπτήρων (1500 W, 49.5 lux) και παρουσιάζονται στο πιο κάτω διάγραμμα εκατοστιαίας ισχύος – εκατοστιαίας έντασης φωτισμού (σχήμα 3.14) :



Σχήμα 3.14: Σχετική κατανάλωση ισχύος σε σχέση με τη σχετική αποδιδόμενη ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια του dimming στην είσοδο του INTELUX

Παρατηρούμε ότι η μείωση της ισχύος κατανάλωσης που επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια του dimming επιφέρει μία αναπόφευκτη πτώση στην ένταση φωτισμού. Αυτή η παράμετρος είναι πολύ σημαντική και ιδιαίτερα όσον αφορά το φωτισμό δρόμων, καθώς πτώση του επιπέδου φωτισμού κάτω από προκαθορισμένα standards ενδέχεται να αποδειχθεί επικίνδυνη για οδηγούς και πεζούς.

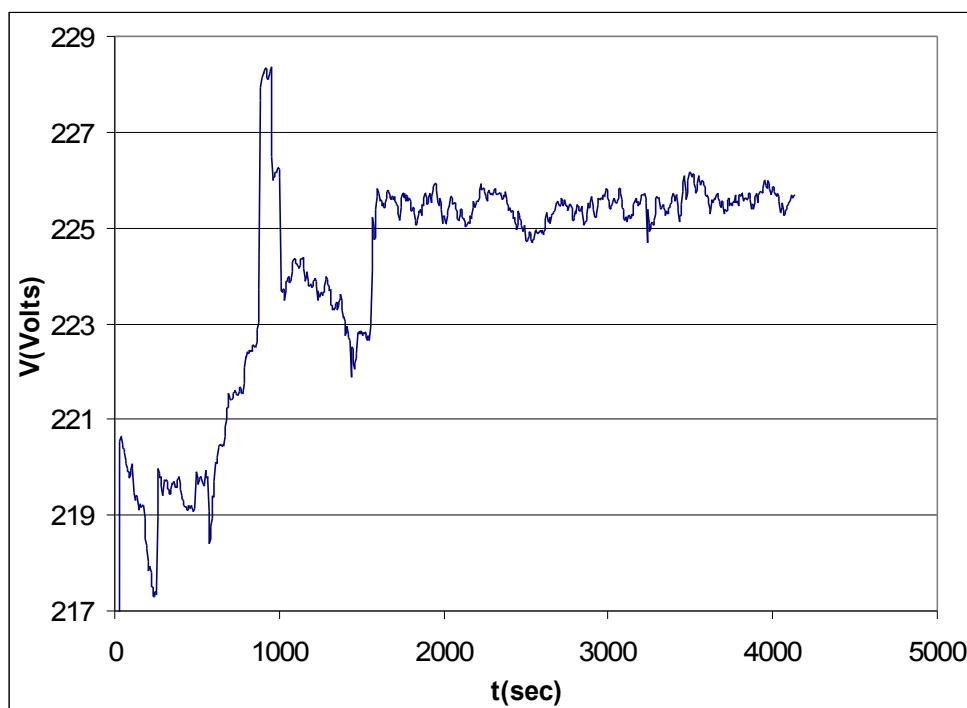
Συγκεκριμένα, παρατηρείται μία εξοικονόμηση ισχύος 29.1 % (αναφορικά να παρατηρήσουμε ότι η τιμή αυτή είναι μικρότερη από τη θεωρητική που είχε υπολογιστεί στην ενότητα 3.3.1.3 (32.4 %), πράγμα που σημαίνει ότι, στην πραγματικότητα, το φορτίο, απουσία του INTELUX, δε λειτουργεί σε συνθήκες πλήρους φορτίου). Ταυτόχρονα, η ένταση φωτισμού σταθεροποιείται στα 27.98 lux, δηλαδή παρατηρείται μείωση της τάξεως του 43.47 %. Αυτή η σχετικά μεγάλη πτώση του επιπέδου αποδιδόμενου φωτισμού μπορεί να καταστήσει την, κατά τα άλλα, υψηλή μείωση ισχύος (και συνεπώς ενέργειας) που επιτυγχάνεται με τη χρήση του INTELUX απαγορευτική σε περιπτώσεις που παραβιάζονται τα κατώτερα όρια έντασης φωτισμού που προβλέπουν οι διεθνείς κανονισμοί για φωτισμό δρόμων.

3.3.2 **E-BOX C25**

Στα επόμενα ακολουθεί ανάλυση παρόμοια με αυτήν του INTELUX μιας και τα δυο αυτά συστήματα μελετήθηκαν με τον ίδιο τρόπο. Οι κλίμακες των μεταβολών της έντασης του φωτισμού και της καταναλισκόμενης ισχύος κανονικοποιήθηκαν λαμβάνοντας ως τιμές αναφοράς τις αντίστοιχες ονομαστικές, δηλαδή 1500 W (ονομαστική ισχύς για τους 6 λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης των 250 W) και 49.5 lux (ονομαστική

ένταση φωτισμού για κάθε λαμπτήρα). Κανένας λαμπτήρας δεν έσβησε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ούτε υπήρχε τρεμόσβημα (Light flicker). Η συχνότητα λειτουργίας τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του E-BOX διατηρούνταν σταθερή σε κάθε περίπτωση και ίση με τη συχνότητα του δικτύου δηλαδή 50 Hz . Στην πραγματικότητα υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις της τάξεως του 0.1% οι οποίες είναι αμελητέες σύμφωνα με τα πρότυπα το οποίο προβλέπει μεταβολές συχνότητας μέχρι 2% [10,11].

3.3.2.1 ΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

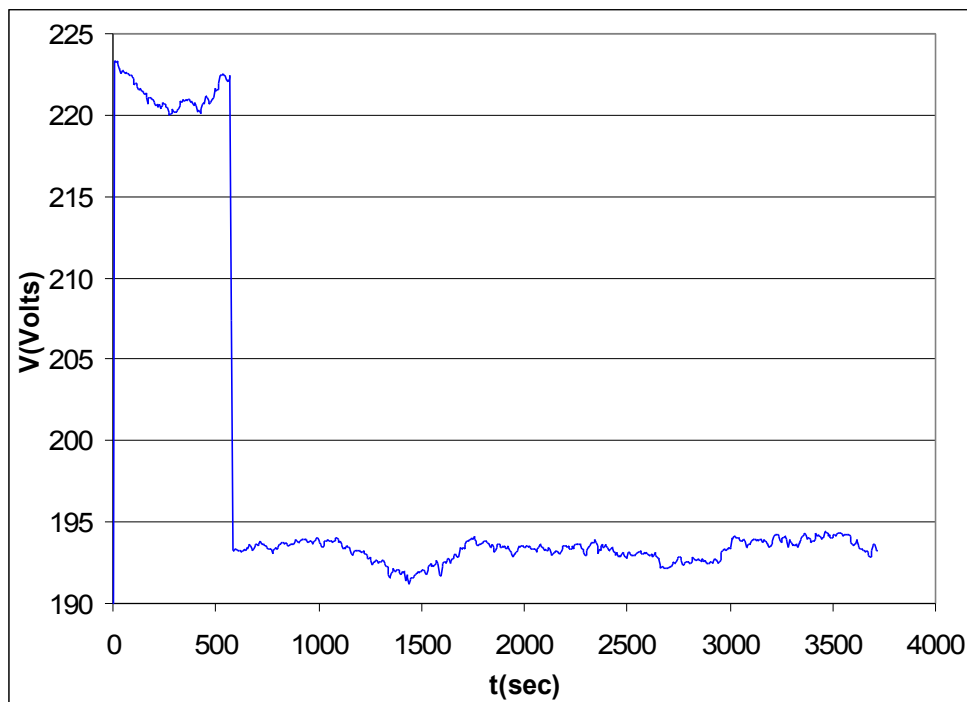


Σχήμα 3.15 : Τάση στην είσοδο του E-BOX

Στο σχήμα 3.15 φαίνεται ότι η τάση στην είσοδο του συστήματος E-BOX παρουσιάζει κάποιες μεταβολές από τα 217 V μέχρι τα 228 V και σταθεροποιείται μετά και από το πέρας του dimming κοντά στα 225.7 V . Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα, το πρότυπο IEC 61000-6-1/

61000-6-2 ορίζει ως όριο μεταβολών της τάσης λειτουργίας στα δίκτυα χαμηλής τάσης το $\pm 10\%$ από την τάση δικτύου (220 V) για μέγιστη χρονική διάρκεια εφαρμογής τα 15 λεπτά της ώρας. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, έχουμε μέγιστες μεταβολές -1.36% , $+3.64\%$ και όσον αφορά τη μόνιμη κατάσταση $+2.59\%$, οπότε η τιμή της τάσης λειτουργίας βρίσκεται μέσα στα όρια.

Η τάση εξόδου του E-BOX (σχήμα 3.16), δηλαδή η τάση στο εσωτερικό δίκτυο (E-BOX – φορτίο) σταθεροποιείται περίπου στην τιμή των 193 V κυμαινόμενη από 192 V, μέχρι 194 V. Η πτώση τάσης σε σχέση με την τάση εισόδου, που εμφανίζεται, οφείλεται στην παρουσία του συστήματος E-BOX.

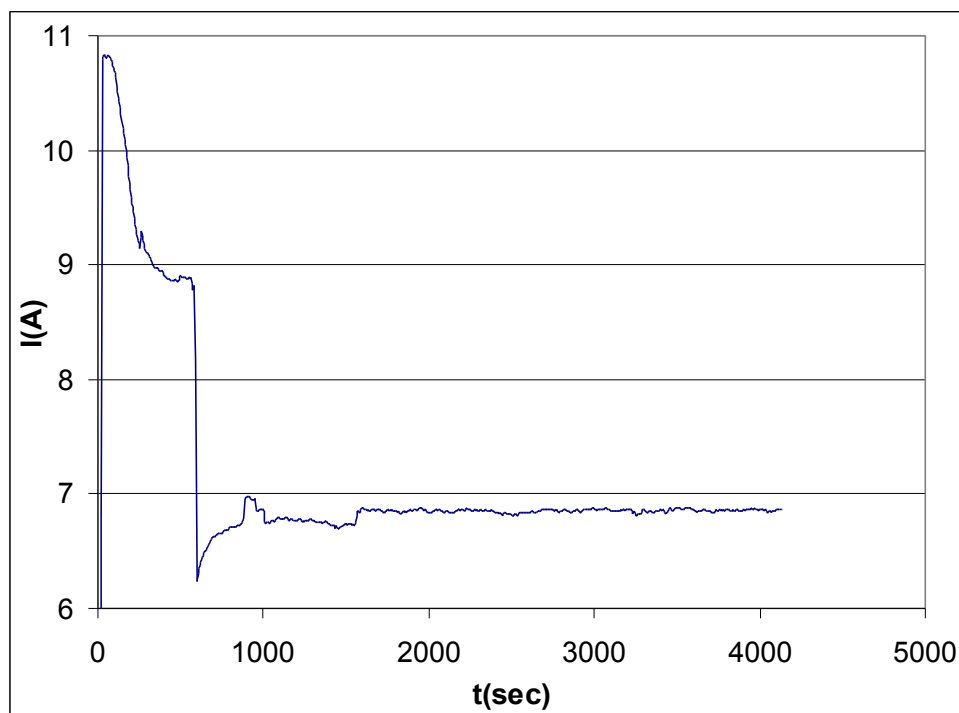


Σχήμα 3.16 : Τάση στην έξοδο του E-BOX

3.3.2.2 ΡΕΥΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

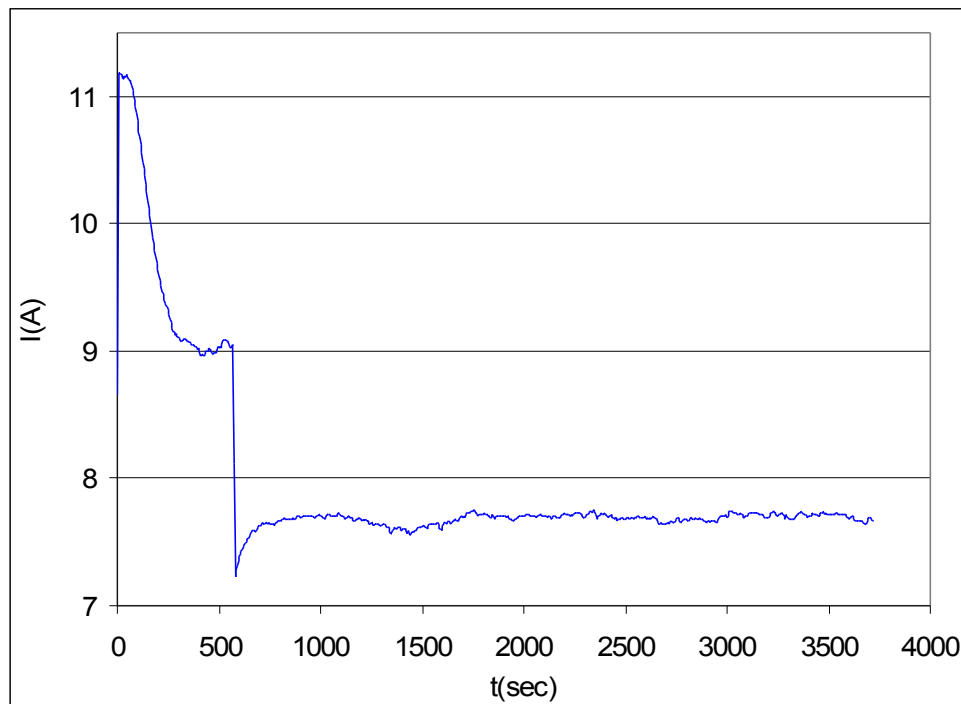
Από το σχήμα 3.17 μπορεί να παρατηρήσει κανείς την αρχή λειτουργίας του συστήματος E-BOX. Είπαμε ότι κατά τη διάρκεια του dimming το ρεύμα μειώνεται όχι με συνεχή τρόπο αλλά περνώντας κατευθείαν από μια αρχική τιμή σε μια τελική. Όντως, παρατηρούμε ότι το ρεύμα στην είσοδο του συστήματος E-BOX – φορτίου πραγματοποιεί ένα άλμα σχεδόν ακαριαία τη στιγμή 610 sec, από τα 8.88 A στα 6.3 A ενώ τελικά σταθεροποιείται στην τιμή των 6.85 A περίπου.

Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει γιατί στην περίπτωση του E-BOX το dimming πραγματοποιείται με ηλεκτρομηχανολογικούς αυτόματους διακοπτικούς μηχανισμούς (ρελαί και άλλοι διακόπτες) οι οποίοι ανοιγοκλείνουν και επιτυγχάνουν έτσι τα επιθυμητά επίπεδα έντασης ρεύματος «ακαριαία».



Σχήμα 3.17 : Ρεύμα στην είσοδο του E-BOX

Το ρεύμα στην έξοδο του E-BOX (σχήμα 3.18) σταθεροποιείται στα 7.7 A, τιμή μεγαλύτερη και σε αυτή την περίπτωση από αυτή της έντασης ρεύματος στην είσοδο.

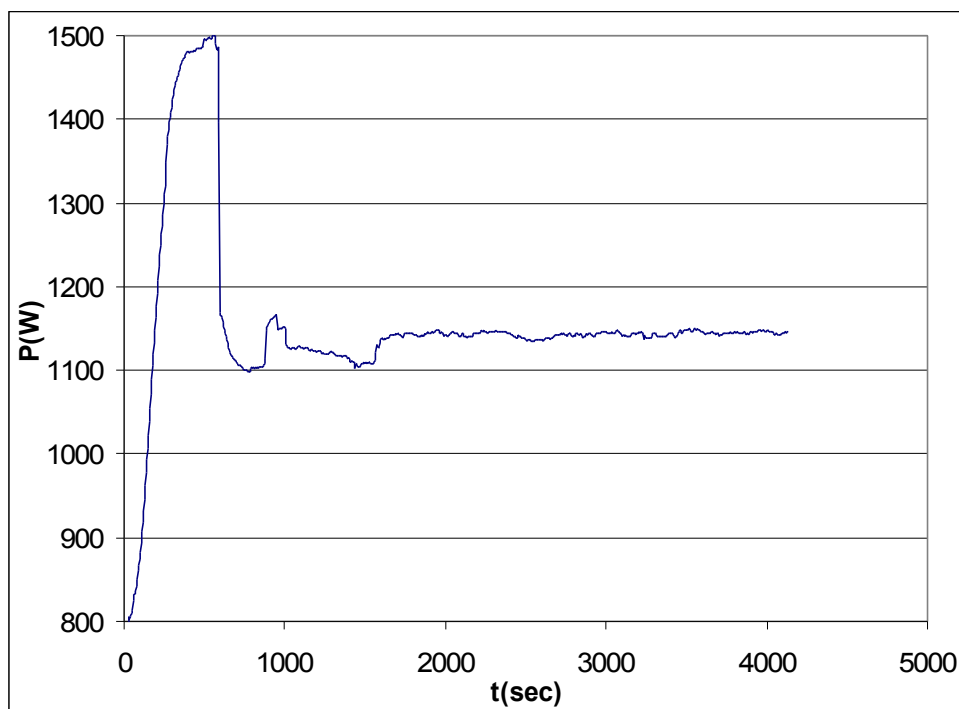


Σχήμα 3.18 : Ρεύμα στην έξοδο του E-BOX

3.3.2.3 ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Αυτό που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε είναι η καταναλισκόμενη ισχύς στην είσοδο του συστήματος E-BOX – φορτίου καθώς από τη σκοπιά της εξοικονόμησης ενέργειας το σύστημα αυτό θεωρείται ένα ενιαίο στοιχείο του εξωτερικού δικτύου.

Στο επόμενο σχήμα (3.19) φαίνεται το διάγραμμα της ενεργού ισχύος εισόδου του E-BOX σε συνάρτηση με το χρόνο. Τη στιγμή 610 sec που η ενεργός ισχύς έχει αγγίξει την ονομαστική της τιμή (1500 W) ξεκινάει το dimming και σχεδόν ακαριαία παρατηρούμε απότομη πτώση της και σταθεροποίηση στην τιμή των 1145 W. Αυτό σημαίνει ότι αν θεωρήσουμε ότι το φορτίο, απουσία του E-BOX, λειτουργεί κάθε στιγμή με ονομαστική ισχύ, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ισχύος ίση με 23.67 %. Βέβαια όπως θα δούμε και παρακάτω το φορτίο δε λειτουργεί πάντα σε ονομαστική ισχύ.

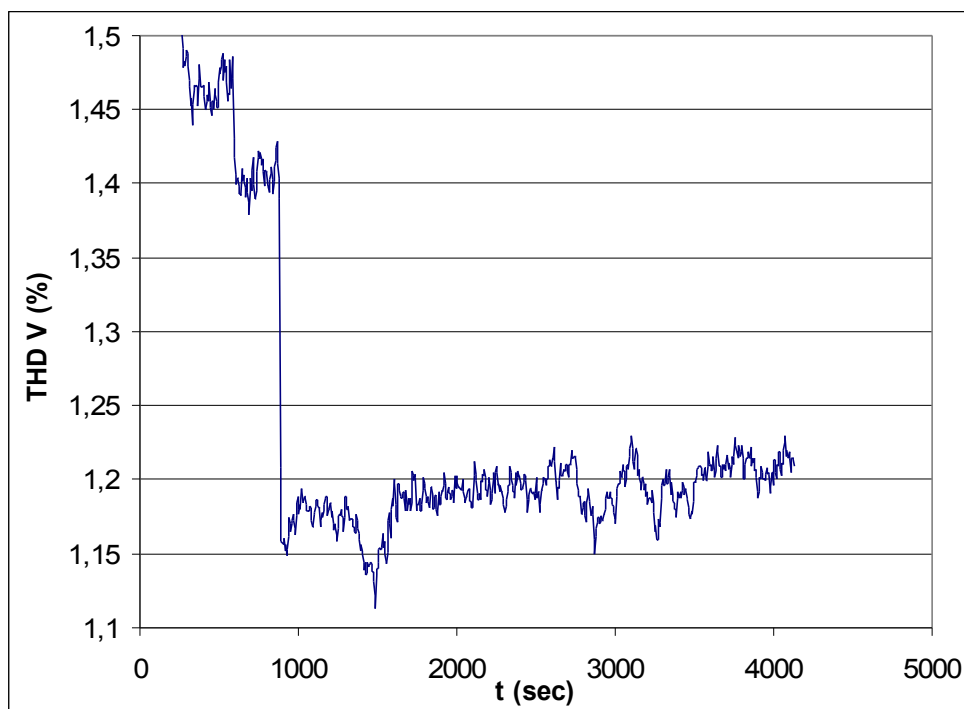


Σχήμα 3.19 : Ενεργός ισχύς κατανάλωσης στην είσοδο του E-BOX

3.3.2.4 ΟΛΙΚΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ (THD)

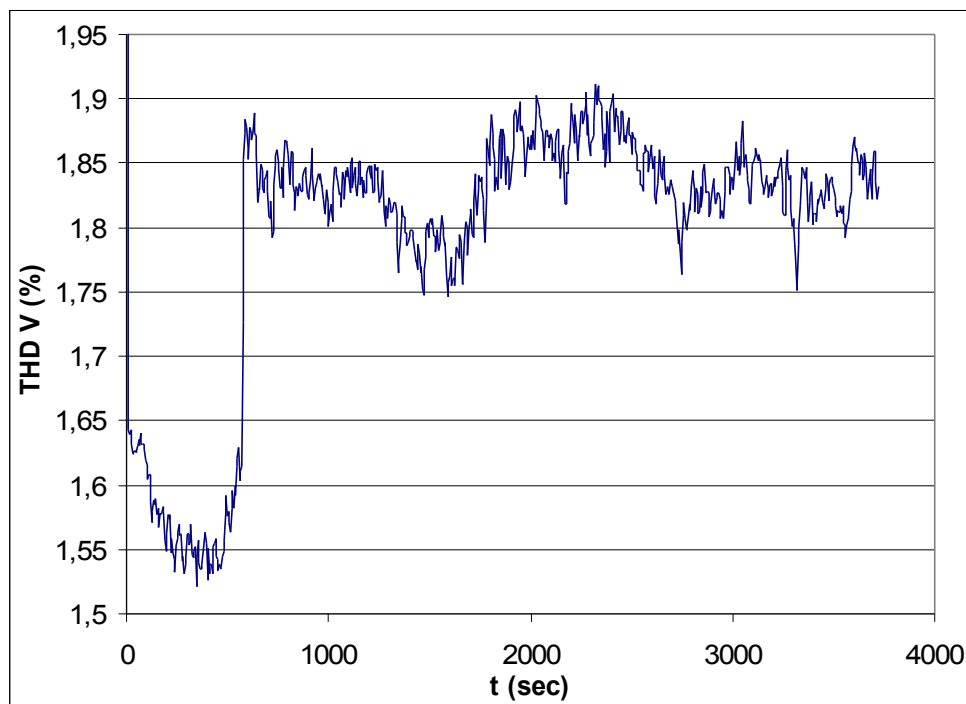
Το φορτίο δεν ήταν αρκετά μεγάλο έτσι ώστε να αποκομιστούν ασφαλή συμπεράσματα για τις αρμονικές του ρεύματος και για αυτό η επόμενη

ανάλυση αφορά την εκατοστιαία ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης. Στο σχήμα 3.20 παρατηρούμε ότι η THD V (%) στην είσοδο του συστήματος E-BOX – φορτίο σταθεροποιείται περίπου στο 1.2 %, πράγμα που σημαίνει ότι βρίσκεται μέσα στα όρια που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα [10,11]. Συνεπώς, το σύστημα E-BOX δεν επηρεάζει την ποιότητα ισχύος και δεν επιβαρύνει το εξωτερικό δίκτυο και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του όσον αφορά τις εκπομπές αρμονικών.



Σχήμα 3.20 : Ολική αρμονική παραμόρφωση στην είσοδο του E-BOX

Όσον αφορά, τώρα, την εκπομπή αρμονικών τάσης στην έξοδο του E-BOX (σχήμα 3.21), η εκατοστιαία ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης σταθεροποιείται στο 1.83 %, τιμή αρκούντως χαμηλή και ικανοποιητική.

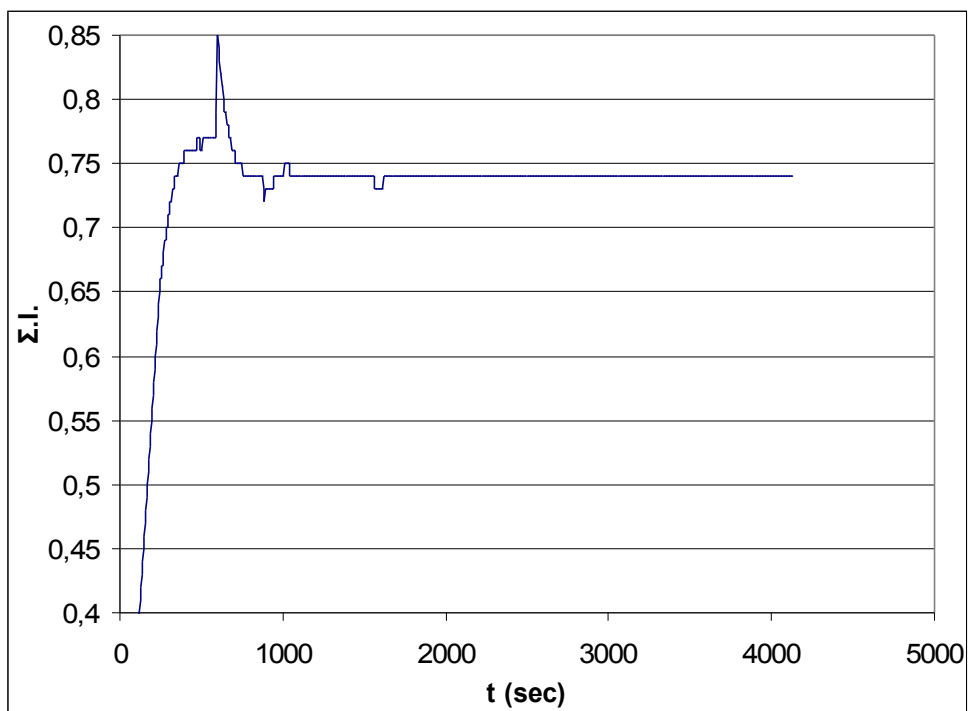


Σχήμα 3.21 : Ολική αρμονική παραμόρφωση στην έξοδο του E-BOX

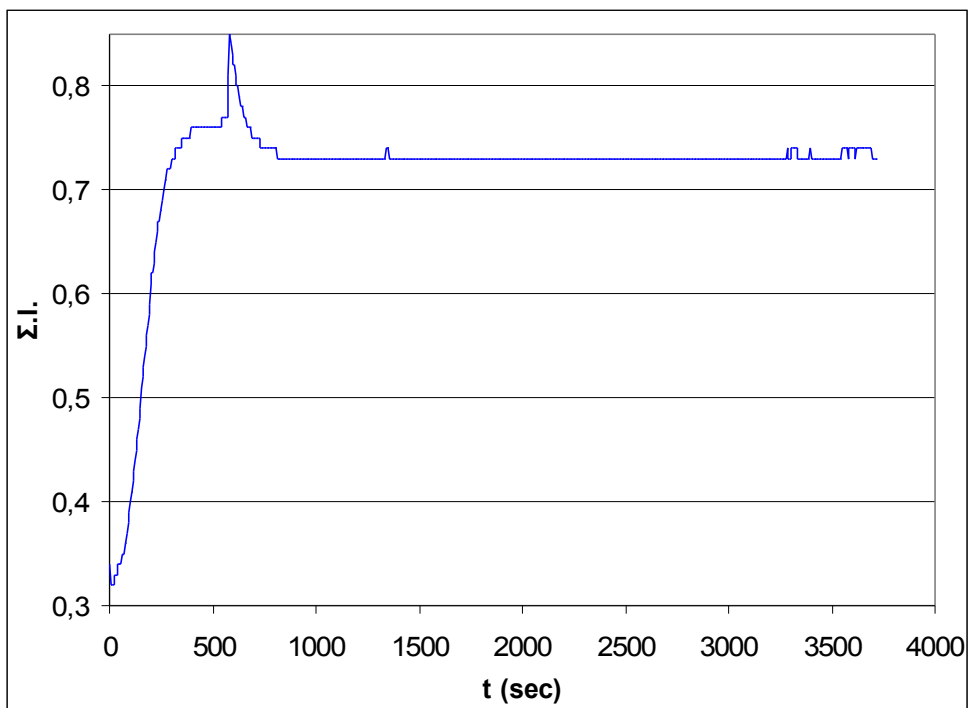
3.3.2.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Όπως έχει αναφερθεί, ο συντελεστής ισχύος και η ολική αρμονική παραμόρφωση είναι μεγέθη αλληλοεξαρτώμενα στο φάσμα της ποιότητας ισχύος και έχουν αντιστρόφως ανάλογη συμπεριφορά.

Παρατηρούμε στα δύο παρακάτω σχήματα (3.22, 3.23), ότι ο συντελεστής ισχύος τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του E-BOX, βρίσκονται σε ικανοποιητικό επίπεδο ($0.5 < \text{normal power factor} < 0.9$, [11]) όπως άλλωστε συμβαίνει και με την THD. Τελικά, ο συντελεστής ισχύος εισόδου σταθεροποιείται στο 0.74 ενώ αυτός στην έξοδο σε μια λίγο χαμηλότερη τιμή, στα 0.73 (όπως και η THD στην έξοδο είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή στην είσοδο).



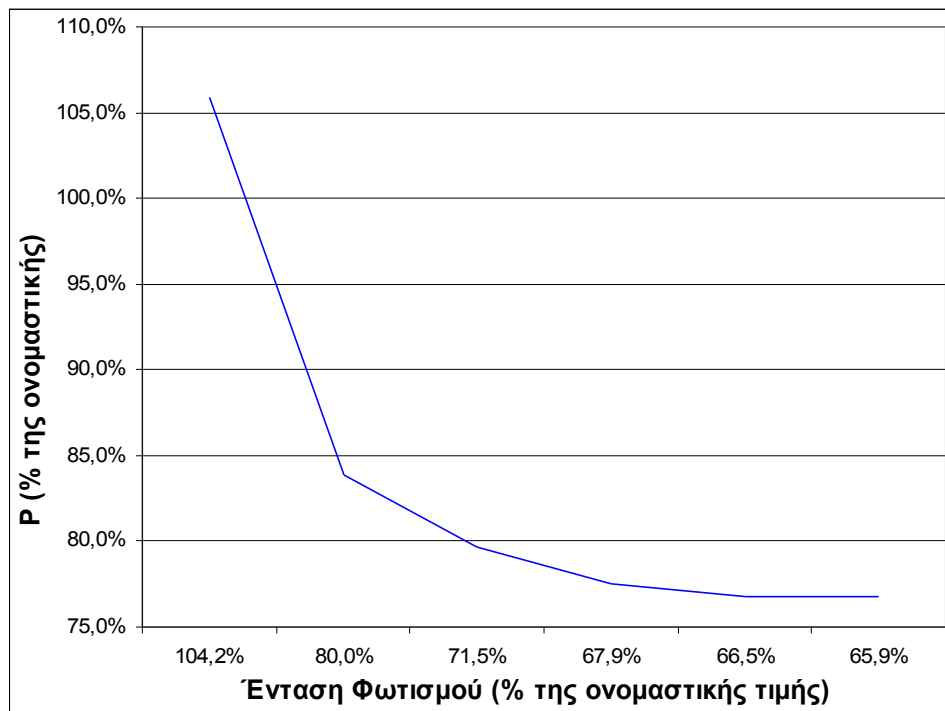
Σχήμα 3.22 : Συντελεστής Ισχύος στην είσοδο του E-BOX



Σχήμα 3.23 : Συντελεστής Ισχύος στην έξοδο του E-BOX

3.3.2.6 ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Οι φωτομετρικές μετρήσεις που λήφθηκαν από τον αισθητήρα μέτρησης φωτισμού και οι ηλεκτρικές που λήφθηκαν από το όργανο FLUKE, όπως περιγράφεται στην ενότητα 3.2.1, κανονικοποιήθηκαν διαιρούμενες με τις ονομαστικές τιμές των λαμπτήρων (1500 W , 49.5 lux) και παρουσιάζονται στο διάγραμμα ισχύος – έντασης φωτισμού που παρουσιάζεται στο σχήμα (3.24) :



Σχήμα 3.24 : Σχετική κατανάλωση ισχύος σε σχέση με τη σχετική αποδιδόμενη ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια του dimming στην είσοδο του E-BOX

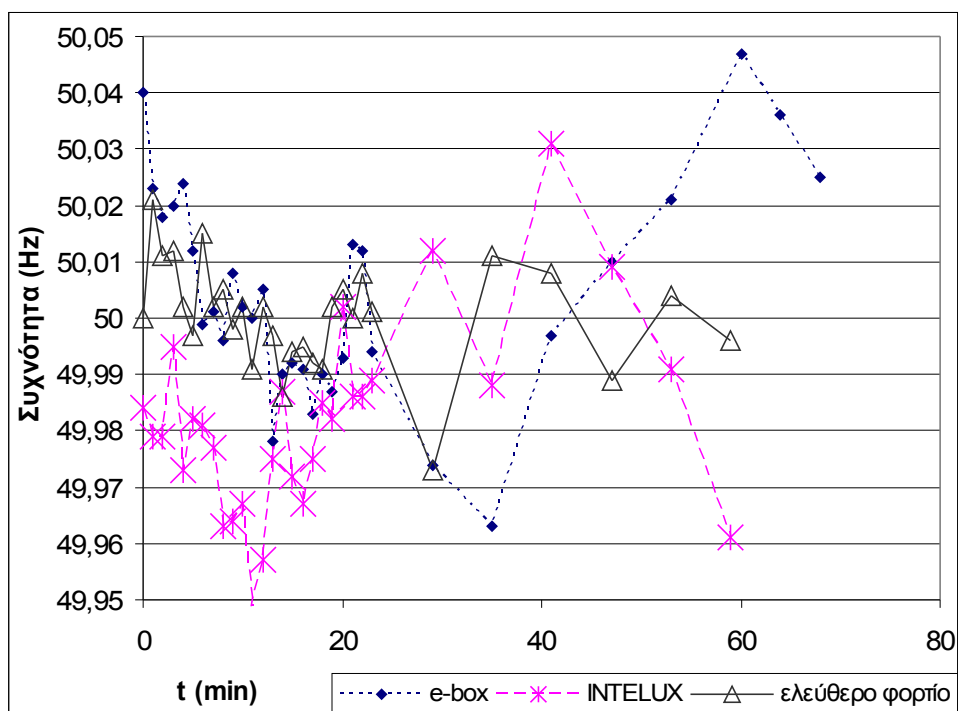
Παρατηρείται μία ταυτόχρονη πτώση της καταναλισκόμενης ισχύος στην είσοδο του E-BOX και της αποδιδόμενης έντασης φωτισμού των λαμπτήρων κατά τη διάρκεια του dimming. Η εξοικονόμηση ισχύος που

επιτυγχάνεται είναι της τάξεως του 23.2 %, ενώ η ένταση φωτισμού σταθεροποιείται στα 32.84 lux, δηλαδή έχουμε πτώση 33.66 %.

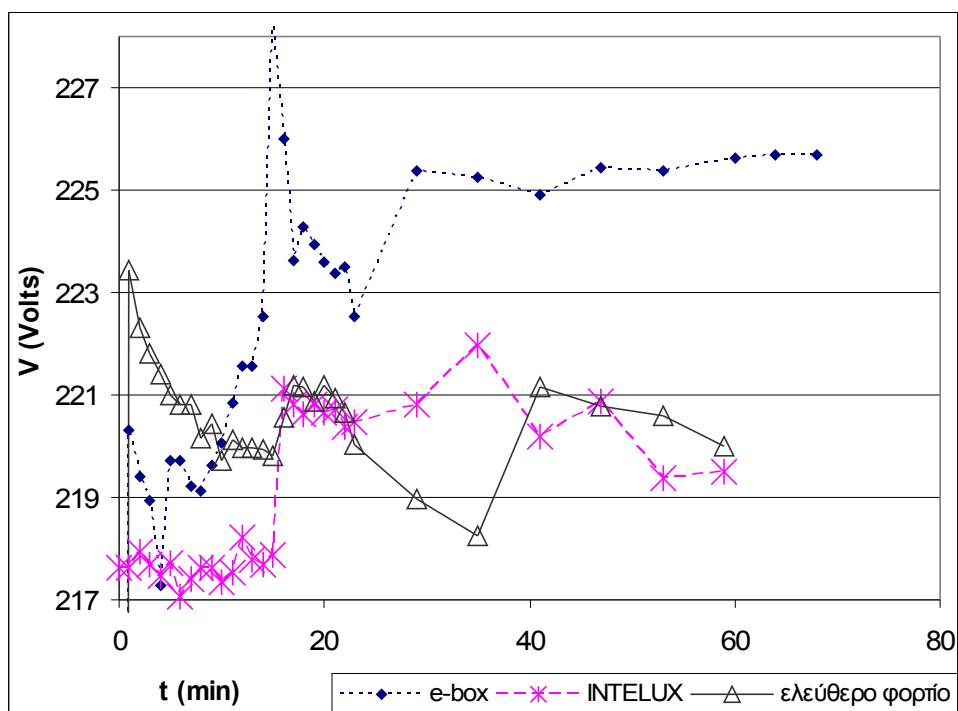
3.3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ *INTELUX NG5 - E-BOX C25*

Στην παρούσα παράγραφο, γίνεται σύγκριση των συστημάτων INTELUX και E-BOX στους ιδιαίτερα κρίσιμους τομείς της κατανάλωσης ενεργού ισχύος σε σχέση με το χρόνο και την αποδιδόμενη ένταση φωτισμού καθώς και της ποιότητας ισχύος (συντελεστής ισχύος, ολική αρμονική παραμόρφωση), πραγματοποιώντας, στην ουσία, μία σύνοψη των αποτελεσμάτων των προηγούμενων δύο παραγράφων (3.3.1, 3.3.2). Η σύγκριση αυτή περιλαμβάνει και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν κατευθείαν στο φορτίο, χωρίς την παρεμβολή οποιουδήποτε συστήματος ελέγχου μεταξύ εξωτερικού δικτύου και φορτίου, έτσι ώστε να μελετηθεί με περισσότερη σαφήνεια η συμπεριφορά και οι διαφορές των INTELUX, E-BOX.

Όσον αφορά τη συχνότητα και την τάση λειτουργίας, δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων καθώς στην μεν συχνότητα παρατηρούνται διακυμάνσεις της τάξης του 0.1 % από τη συχνότητα λειτουργίας του ελεύθερου φορτίου (50 Hz) και θεωρούνται αμελητέες βάση του προτύπου IEC 61000-2-2, η δε τάση, στην περίπτωση του INTELUX σταθεροποιείται μετά το dimming στην τάση λειτουργίας του ελεύθερου φορτίου (220 V), ενώ στην περίπτωση του E-BOX έχουμε σταθεροποίηση σε μεγαλύτερη τιμή (225.7 V) διαφορά που θεωρείται αμελητέα (IEC 61000-6-1/ 61000-6-2). Στα σχήματα 3.25, 3.26, παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα παραπάνω αποτελέσματα :



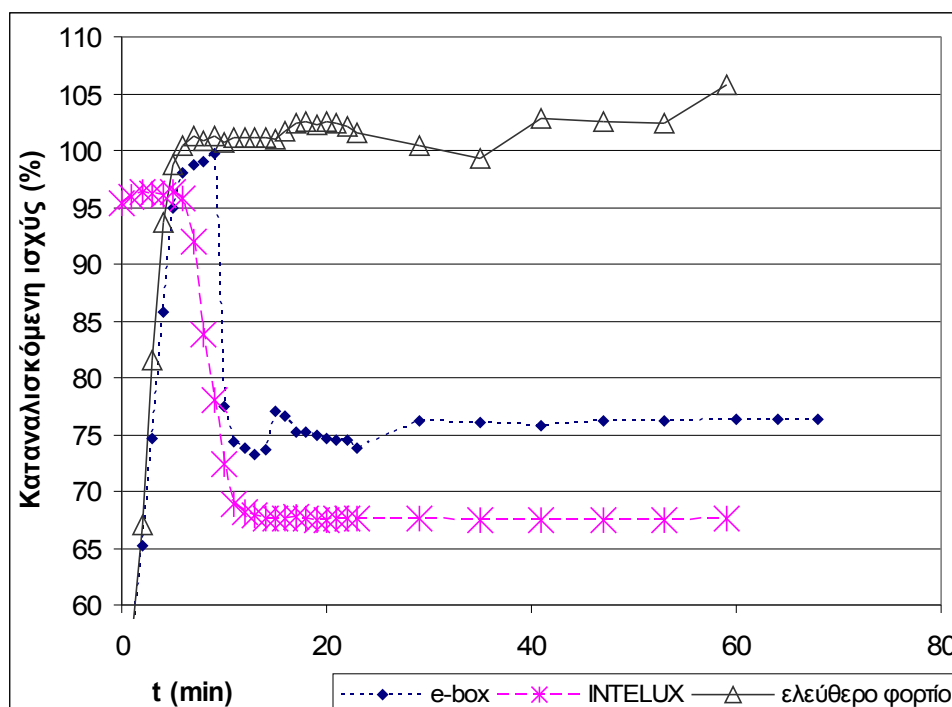
Σχήμα 3.25 : Συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 3.26 : Τάση εισόδου

3.3.3.1 ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ

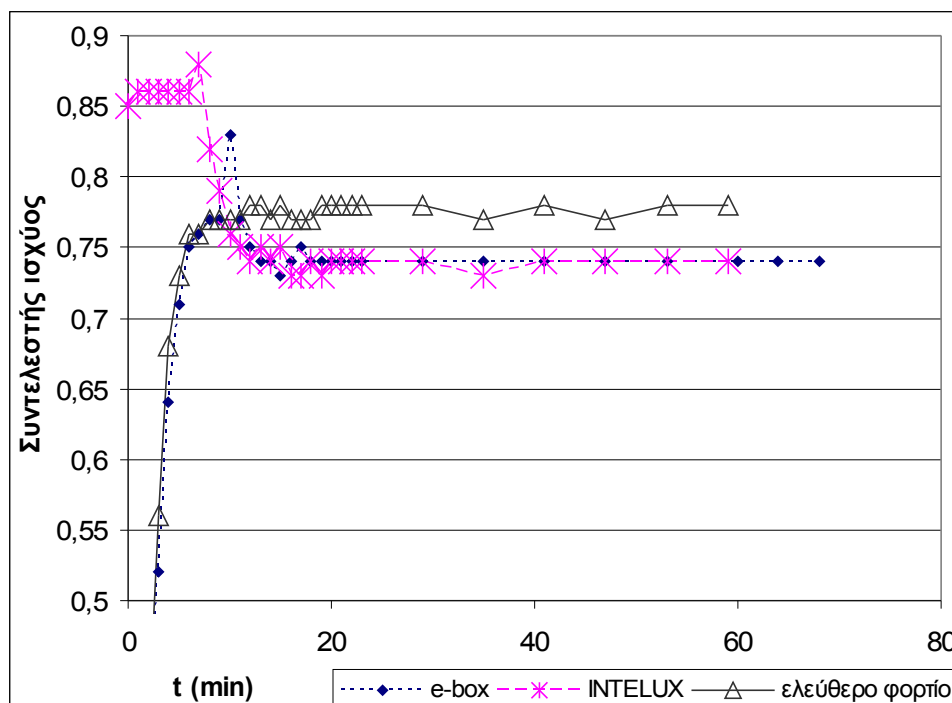
Στο σχήμα 3.27, παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της μεταβολής της καταναλισκόμενης ισχύος με την πάροδο του χρόνου. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι με τη χρήση των συστημάτων E-BOX και INTELUX επιτυγχάνεται σημαντική μείωση ισχύος έναντι του ελεύθερου φορτίου, η οποία είναι μεγαλύτερη για το INTELUX (34.94 %), ενώ για το E-BOX φτάνει το 26.18 %. Επιπλέον, γίνεται περισσότερο εμφανής η διαφορά στην αρχή λειτουργίας των δύο συστημάτων αναφορικά με το dimming, το οποίο, όπως έχει προαναφερθεί επιτελείται με ομαλό τρόπο στην περίπτωση του INTELUX και σχεδόν ακαριαία στην περίπτωση του E-BOX.



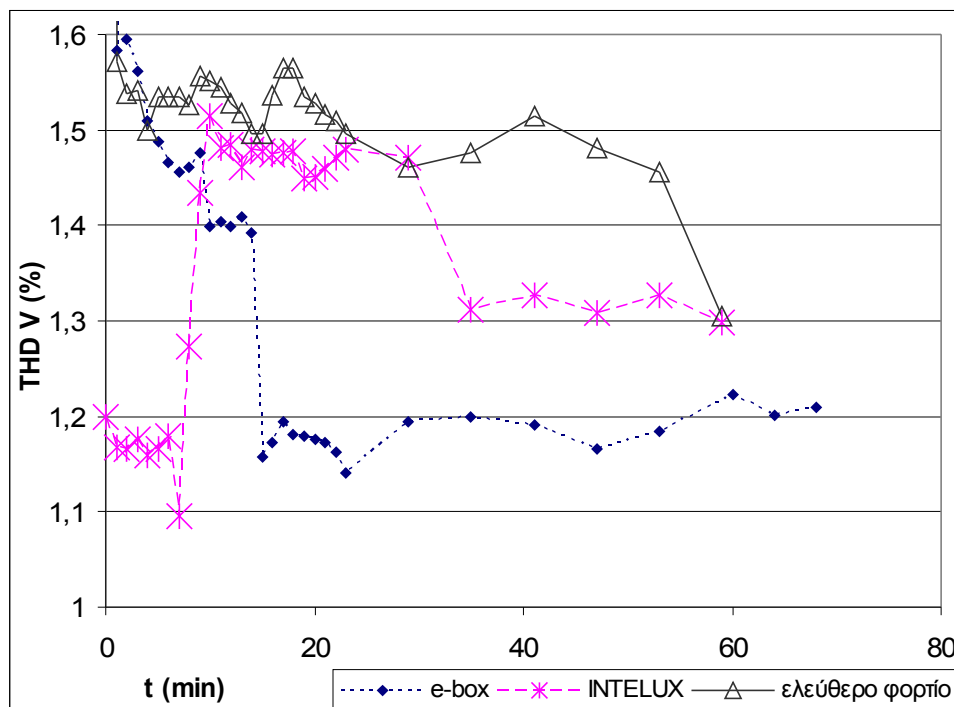
Σχήμα 3.27 : Καταναλισκόμενη ισχύς στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο

3.3.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Στα σχήματα 3.28, 3.29, παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της μεταβολής του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης στην είσοδο των συστημάτων με την πάροδο του χρόνου. Παρατηρούμε ότι με τη χρήση των INTELUX, E-BOX, πέφτει λίγο ο συντελεστής ισχύος στο 0.74, από 0.78 στο ελεύθερο φορτίο, αλλά παρόλαυτά κρίνεται ικανοποιητικός. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με την ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης στην είσοδο αναφορικά με την οποία παρατηρούμε πολύ μικρές διακυμάνσεις και τιμές που κυμαίνονται μέσα στα επιθυμητά όρια.



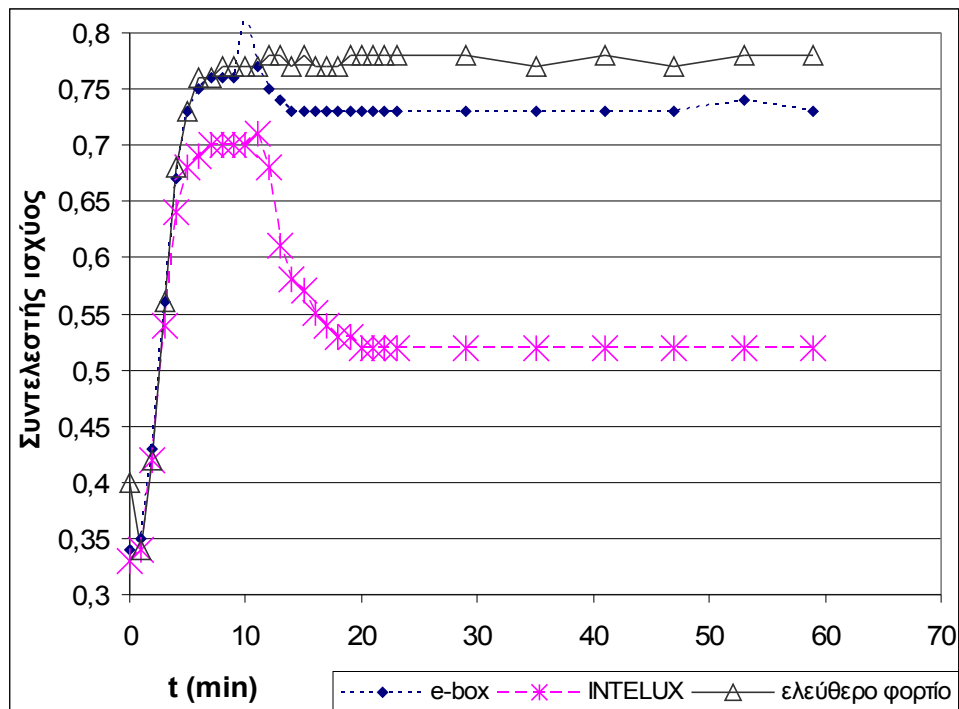
Σχήμα 3.28 : Συντελεστής ισχύος στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο



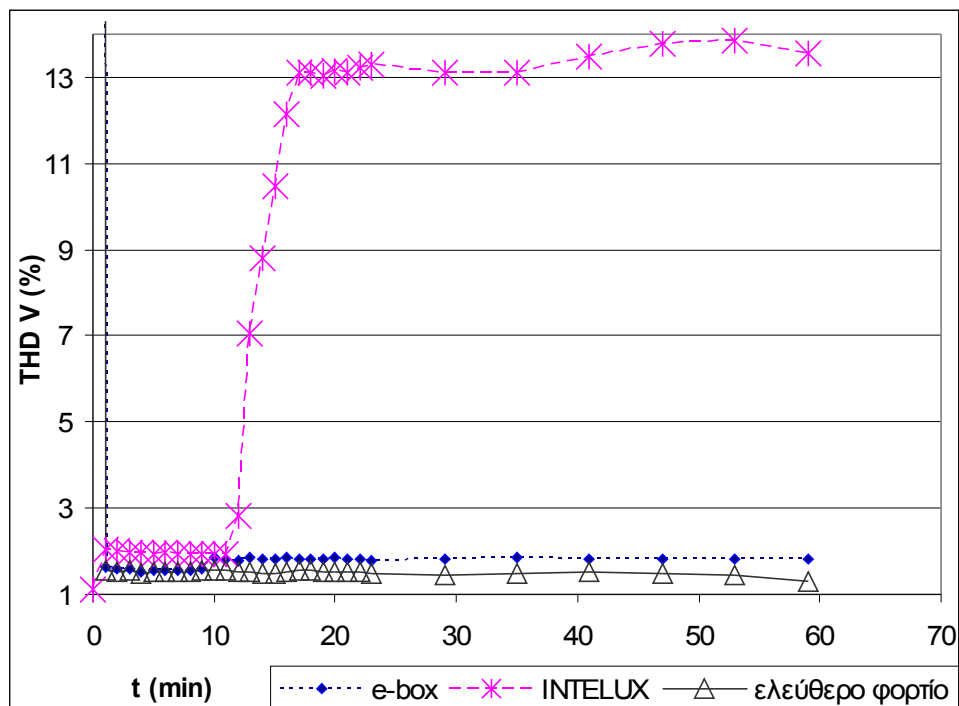
Σχήμα 3.29 : Ολική αρμονική παραμόρφωση τάσης στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο

Στα επόμενα δύο σχήματα (3.30, 3.31), παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της μεταβολής του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης στην έξοδο των συστημάτων σε συνάρτηση με το χρόνο. Είναι εμφανής η αντίστροφη σχέση που υπάρχει μεταξύ της εκπομπής αρμονικών και της ποιότητας ισχύος, μέτρο της οποίας αποτελεί και ο συντελεστής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής ισχύος στην έξοδό του E-BOX είναι ελαφρώς μικρότερος από αυτόν της εισόδου (0.73), όπως και η ολική αρμονική παραμόρφωση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη στην έξοδο (1.83 %) έναντι της εισόδου (1.2 %). Από την άλλη, βλέπουμε ότι η σχετικά μεγάλη ολική αρμονική παραμόρφωση τάσης στην έξοδο του INTELUX (13.55 %) προκαλεί μια μεγάλη πτώση στο συντελεστή ισχύος (0.52). Από αυτή την οπτική γωνία, το σύστημα E-BOX υπερτερεί έναντι του INTELUX καθώς, όπως έχει ειπωθεί, μια τόσο

μεγάλη εκπομπή αρμονικών μπορεί, ενδεχομένως, να αποδειχθεί ζημιογόνος για τους λαμπτήρες.



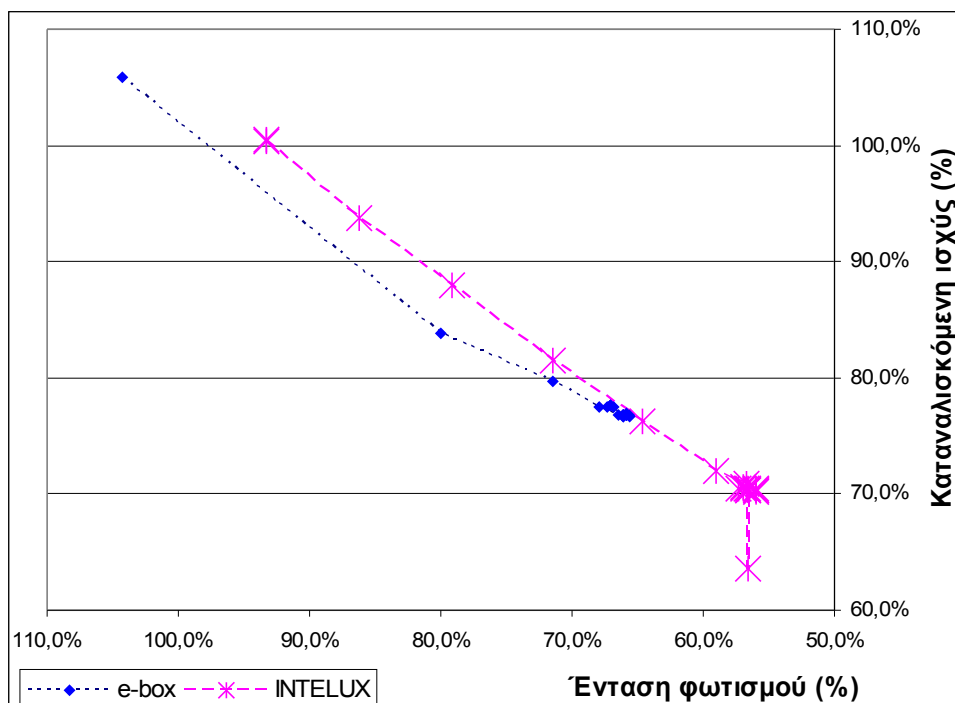
Σχήμα 3.30 : Συντελεστής ισχύος στην έξοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο



Σχήμα 3.31 : Ολική αρμονική παραμόρφωση τάσης στην έξοδο των συστημάτων σε σχέση με το χρόνο

3.3.3.3 ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ

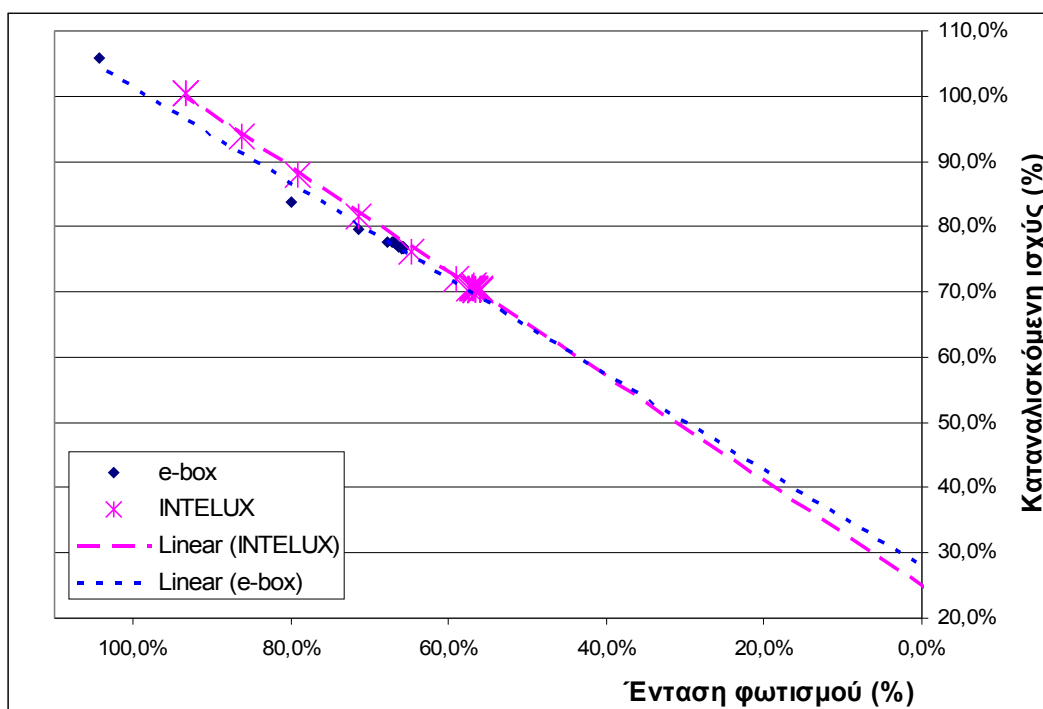
Στο σχήμα που ακολουθεί (3.32), φαίνεται η μεταβολή της σχετικής ισχύος κατανάλωσης συναρτήσει της σχετικής παραγωγής φωτισμού. Παρατηρούμε ότι η μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια του dimming επιφέρει και στις δύο περιπτώσεις μία αναπόφευκτη πτώση στην ένταση φωτισμού. Αυτή η παράμετρος είναι πολύ σημαντική και ιδιαίτερα όσον αφορά το φωτισμό δρόμων, καθώς πτώση του επιπέδου φωτισμού κάτω από προκαθορισμένα standards ενδέχεται να αποδειχθεί επικίνδυνη για οδηγούς και πεζούς.



Σχήμα 3.32 : Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς στην είσοδο των συστημάτων σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια του dimming

Επίσης, είναι εμφανές ότι οι παραπάνω καμπύλες εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις, πράγμα που σημαίνει ότι τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης, παράγουν την ίδια ποσότητα φωτισμού καταναλώνοντας διαφορετικά ποσά ισχύος. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση του E-BOX μετά το dimming, η εξοικονόμηση ισχύος φτάνει το 23.2 % ενώ η ένταση φωτισμού σταθεροποιείται στα 32.84 lux δηλαδή έχουμε μείωση του επιπέδου φωτισμού κατά 33.66 % από την ονομαστική για κάθε φωτιστικό. Όσον αφορά το σύστημα INTELUX έχουμε εξοικονόμηση ισχύος 29.1 % ενώ η ένταση φωτισμού σταθεροποιείται στα 27.98 lux δηλαδή παρατηρείται πτώση της έντασης φωτισμού κατά 43.47 % από την ονομαστική για κάθε φωτιστικό. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα INTELUX εξοικονομεί 5.9 % περισσότερη ισχύ αλλά επιβαρύνει το φωτισμό με μια επιπλέον πτώση 9.81 %.

Τέλος, να αναφερθεί ένα ενδιαφέρον στοιχείο που προκύπτει από τις παραγόμενες συναρτήσεις (σχήμα 3.33) από γραμμική παρεμβολή των μετρήσεων της σχετικής κατανάλωσης ισχύος και της σχετικής παραγωγής φωτισμού για τα δύο εξεταζόμενα συστήματα. Οι γραμμικές αυτές συναρτήσεις (οι οποίες παρεπιμπτόντως έχουν τιμές R^2 0.9942 για το E-BOX και 0,9982 για το INTELUX, δηλαδή παρουσιάζουν ικανοποιητική προσέγγιση) δεν τέμνουν τον άξονα της καταναλισκόμενης ισχύος στην αρχή των αξόνων αλλά στα 28.26 % και 25 % αντίστοιχα. Με άλλα λόγια αυτό σημαίνει ότι τόσο το E-BOX όσο και το INTELUX θα κατανάλωναν, θεωρητικά, κάποιο ποσό ισχύος ακόμα και αν ρυθμιζόντουσαν να μην παράγουν καθόλου φωτισμό!



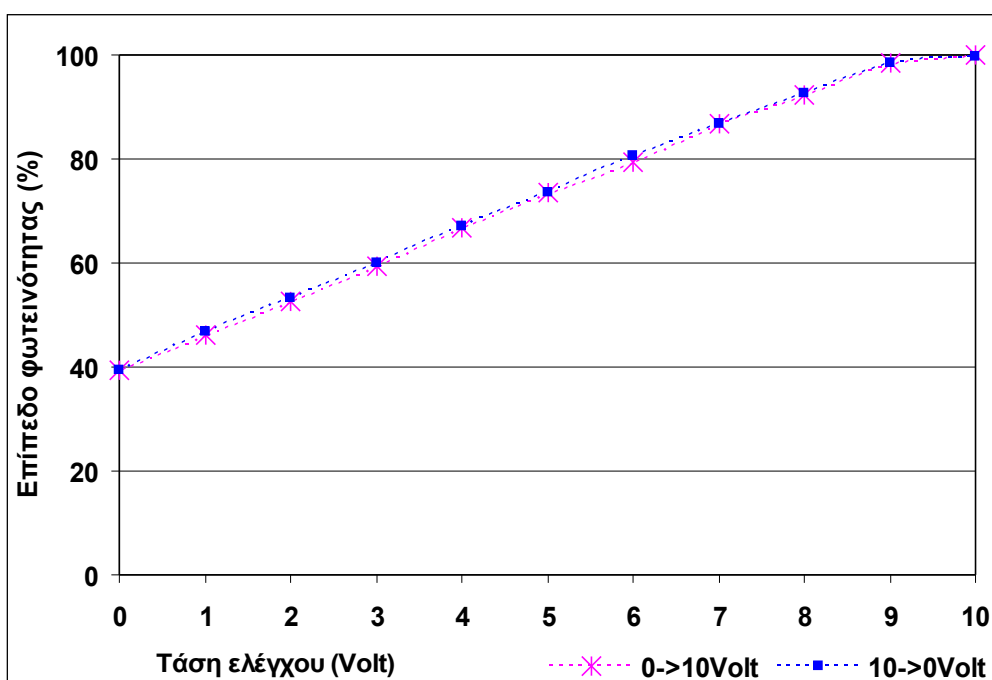
Σχήμα 3.33 : Γραμμική παρεμβολή στις τιμές της καταναλισκόμενης ισχύος σε σχέση με την ένταση ισχύος για τα εξεταζόμενα συστήματα

3.3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ ΜΕ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΑΘΜΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (EDBs)

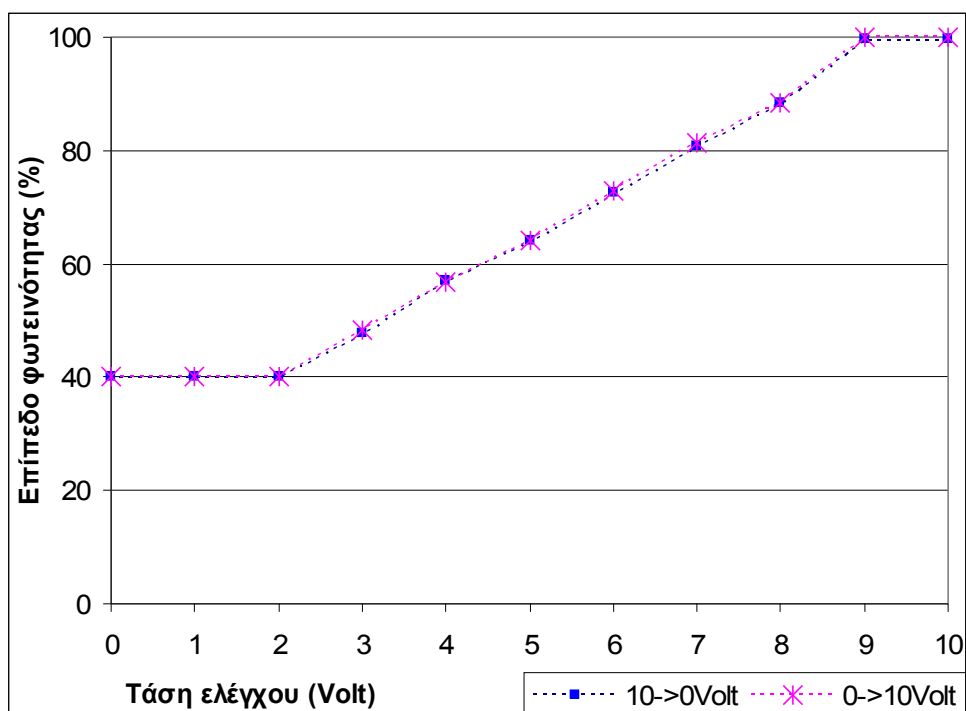
Οι κλίμακες των μεταβολών της έντασης του φωτισμού και της καταναλισκόμενης ισχύος κανονικοποιήθηκαν λαμβάνοντας ως τιμές αναφοράς τις αντίστοιχες μέγιστες μετρούμενες τιμές για το κάθε εξεταζόμενο σύστημα έναυσης (EDB). Σε κανένα λαμπτήρα δεν υπήρξε τρεμόσβημα (Light flicker) για όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης (EDBs).

3.3.4.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ *(Light Output Ratio versus Control Voltage)*

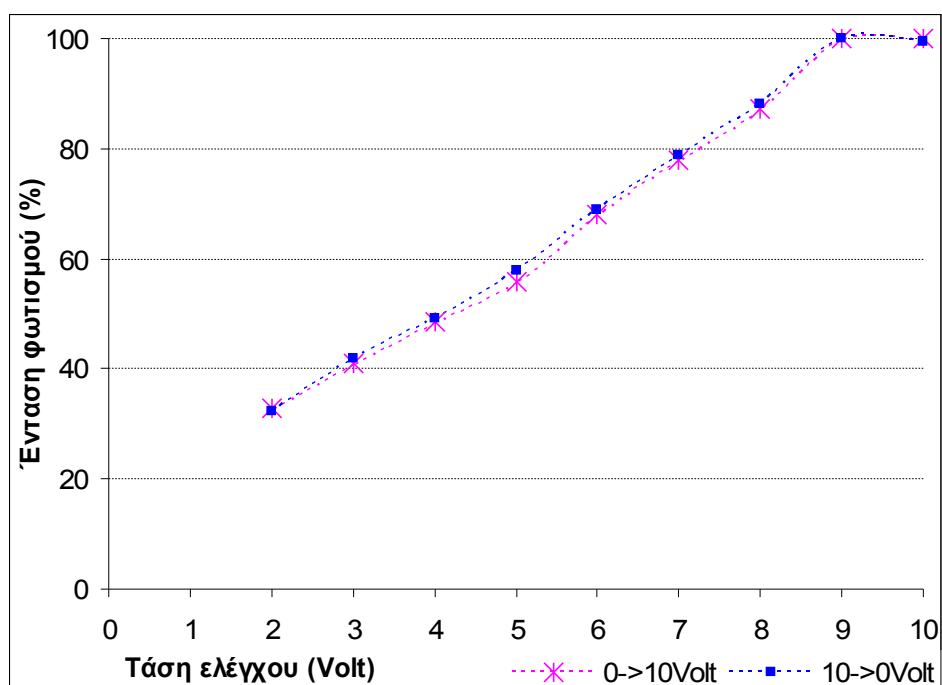
Στα σχήματα 3.34 έως 3.37, φαίνεται η αποδιδόμενη ένταση φωτισμού σε συνάρτηση με την τάση ελέγχου καθώς αυτή μεταβάλλεται από 10 V – 0 V και αντιστρόφως για όλες τις περιπτώσεις συστημάτων έναυσης. Οι εκάστοτε δύο καμπύλες παρουσιάζονται σε κοινό διάγραμμα ούτως ώστε να εξαχθούν περισσότερο αξιόπιστα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των EDBs.



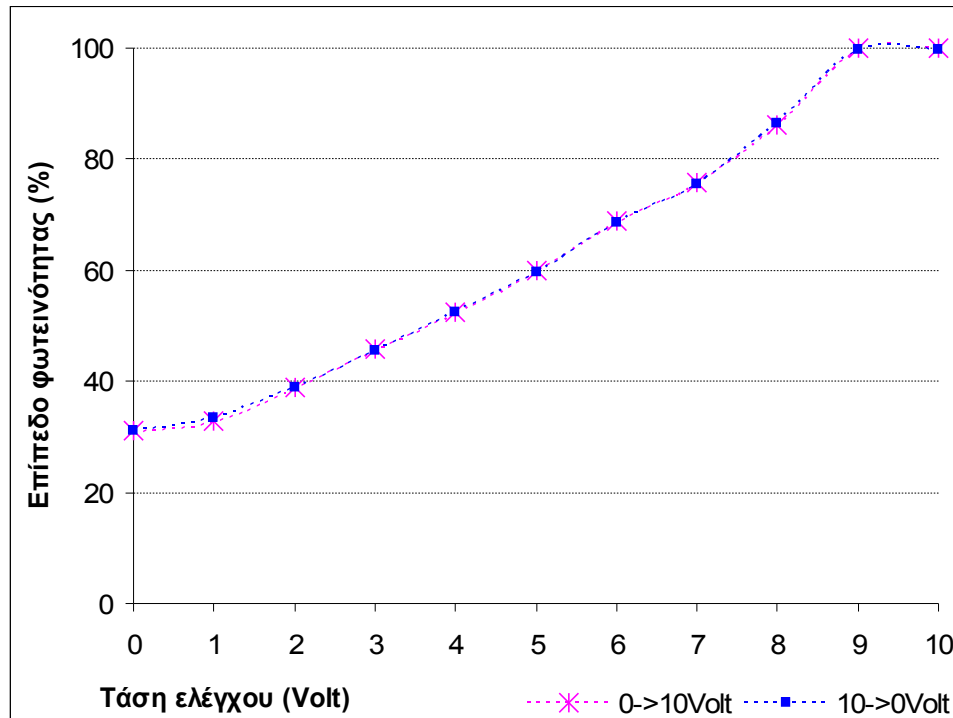
Σχήμα 3.34 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 1^ο σύστημα έναυσης.



Σχήμα 3.35 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως
για το 2^ο σύστημα έναυσης



Σχήμα 3.36 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 3^ο σύστημα έναυσης

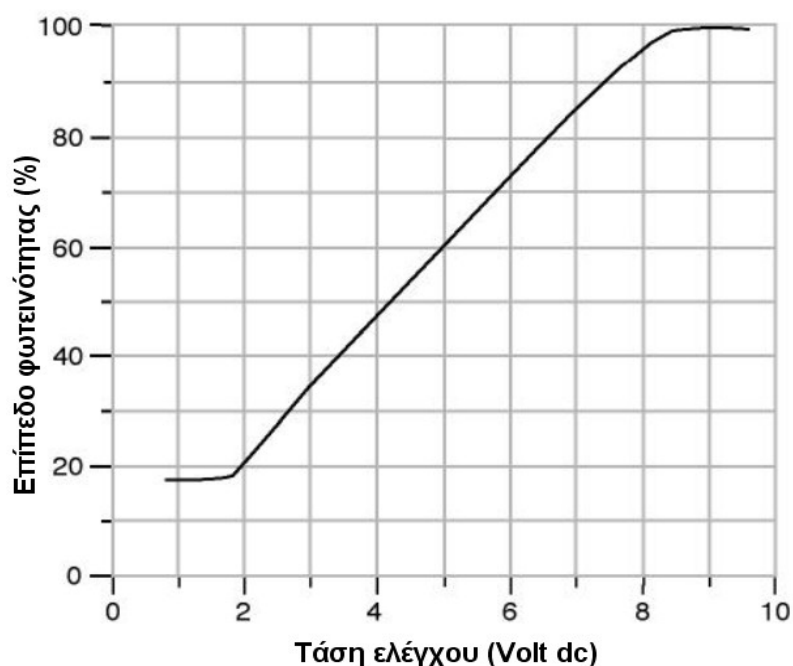


Σχήμα 3.37 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 4^ο σύστημα έναυσης

Παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις των συστημάτων έναυσης 1, 2, 4 οι λαμπτήρες δεν έσβησαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και ειδικά όταν η τάση ελέγχου του συστήματος ελέγχου είχε την ελάχιστη τιμή της (0Volt). Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με το τρίτο σύστημα έναυσης για το οποίο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τάση ελέγχου από 10 V μέχρι 2 V καθώς για τιμές μικρότερες των 2 V οι λαμπτήρες έσβησαν για επανειλημμένες προσπάθειες μετρήσεων. Για όλα τα συστήματα έναυσης

(EDBs) οι τιμές της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο όταν η τάση ελέγχου του εξεταζόμενου συστήματος έναυσης μειώνεται από τα *10Volt* στα *0Volt* σε σύγκριση με την αύξηση της τάσης ελέγχου από τα *0Volt* στα *10Volt*. Υπάρχουν βέβαια μικρές διαφορές που θεωρούνται, όμως, αμελητέες καθώς οι τυπικές αποκλίσεις της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) για την ίδια τάση ελέγχου (CV) θεωρήθηκαν στατιστικά ασήμαντες για το επίπεδο εμπιστοσύνης των 0.05.

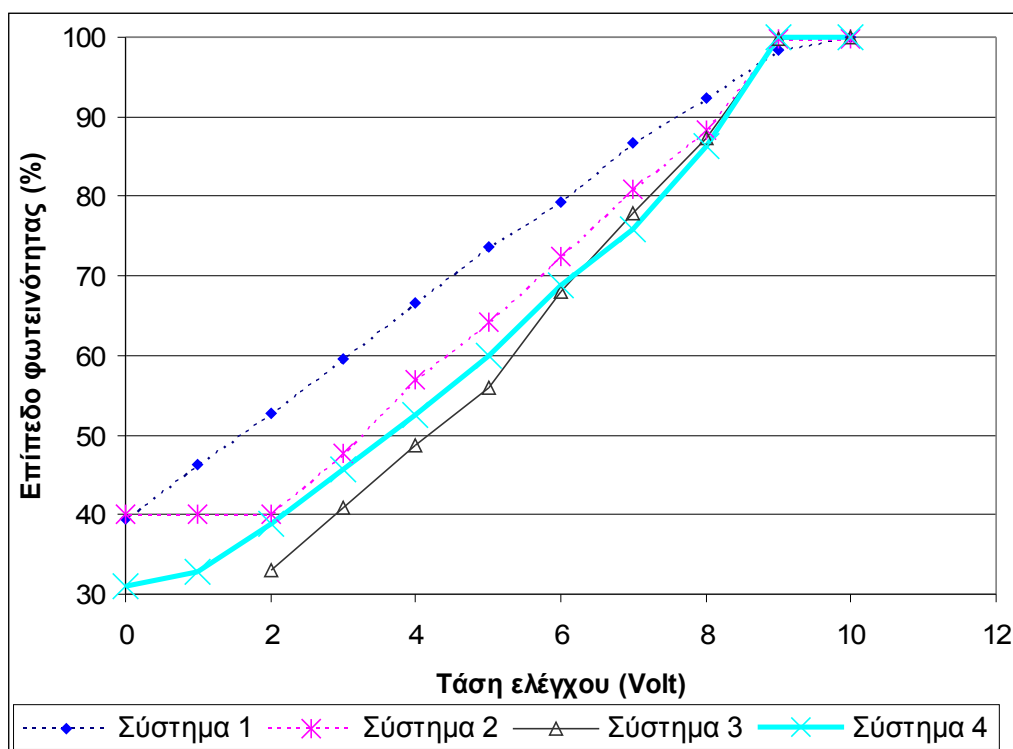
Σε όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης παρατηρήθηκε συνεχόμενη δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού (Continuous dimming) και όχι διαβαθμισμένη (Step dimming). Επίσης παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση στον τρόπο που μεταβάλλεται η σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) σε σχέση με την τάση ελέγχου (CV) ανάμεσα στα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης (EDBs). Οι περισσότεροι ειδικοί στον φωτισμό θεωρούν τη σχέση ανάμεσα στην σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) και την τάση ελέγχου (CV) γραμμική στο μεγαλύτερο τμήμα της κλίμακα της τάσης ελέγχου (σχήμα 3.38) γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται σε μεγάλο βαθμό για τα συγκεκριμένα συστήματα έναυσης.



Σχήμα 3.38 : Τυπική απόκριση προσαρμογής φωτισμού (*dimming response*) ενός ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης [12]

Το πρώτο σύστημα παρουσιάζει σχεδόν καθαρή γραμμικότητα (*linearity*) για μεταβολή της τάσης ελέγχου από 0 V έως 9 V ενώ όσον αφορά τα συστήματα 2, 3, παρατηρείται γραμμικότητα στην περιοχή από 2 V μέχρι 9 V. Τέλος, το τέταρτο σύστημα αποκλίνει περισσότερο αλλά μπορεί να θεωρηθεί με αρκετά καλή προσέγγιση ότι παρουσιάζει γραμμικότητα από 2 V μέχρι 9 V. Για τις περιοχές που προαναφέρθηκαν, οι τιμές R^2 όσον αφορά τη γραμμική προσέγγιση είναι $R_1^2 = 0.9931$, $R_2^2 = 0.9978$, $R_3^2 = 0.9934$, $R_4^2 = 0.9865$, γι'αυτό και οι αποκλίσεις από τη γραμμικότητα θεωρήθηκαν στατιστικά ασήμαντες για το επίπεδο εμπιστοσύνης των 0.05.

Στα σχήμα 3.39, παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της μεταβολής της σχετικής παραγωγής φωτισμού σε σχέση με την μεταβολή της τάσης ελέγχου από τα 10Volt στα 0Volt για όλα τα εξεταζόμενα ζευγάρια.

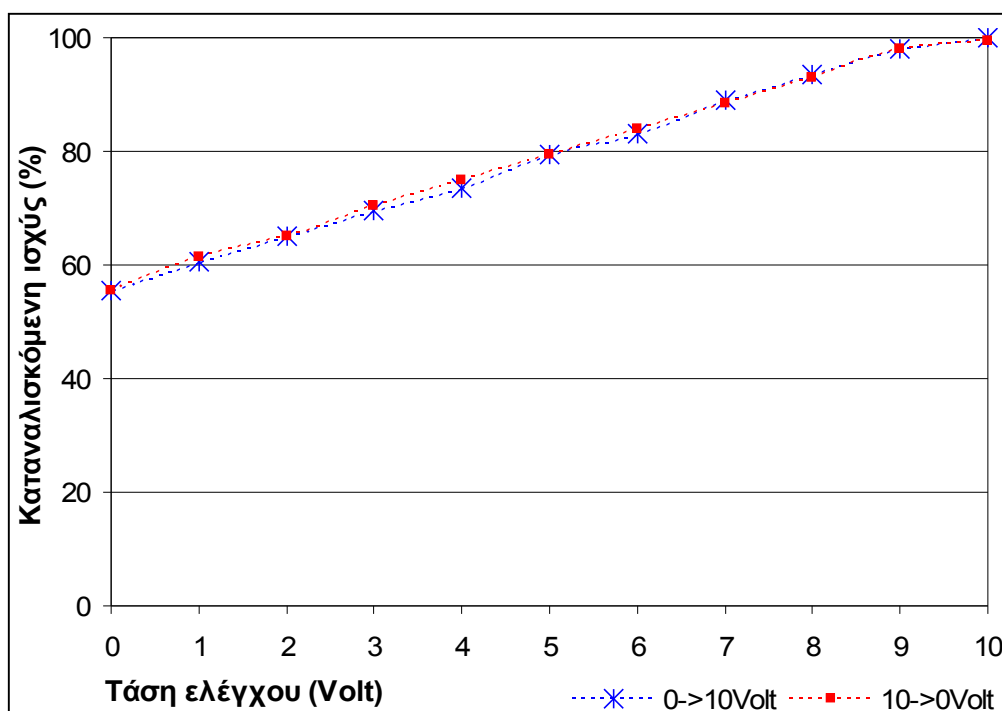


Σχήμα 3.39 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V για τα διάφορα συστήματα έναυσης.

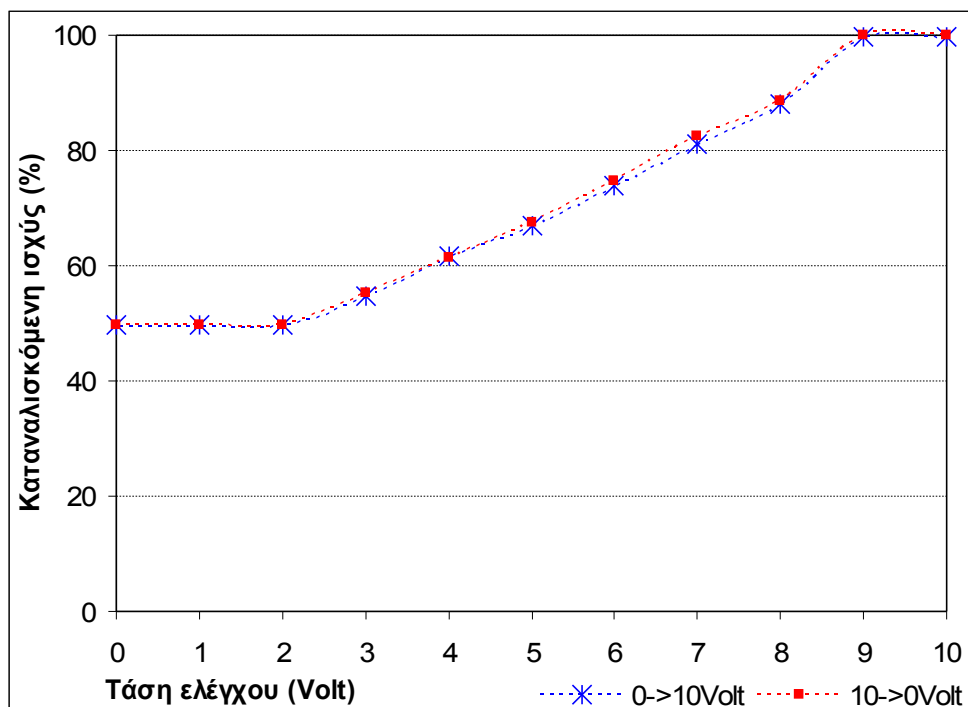
Στο σχήμα αυτό, εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις ανάμεσα στα εξεταζόμενα δείγματα. Αυτό σημαίνει ότι, εφαρμόζοντας την ίδια τάση ελέγχου στα συστήματα έναυσης, αυτά παράγουν διαφορετικές ποσότητες φωτισμού. Για παράδειγμα, εάν εφαρμοστεί τάση ελέγχου 5Volt σε όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης η σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) θα κυμανθεί από 56 %, για το τρίτο σύστημα, έως 74 %, για το πρώτο. Σε επόμενη παράγραφο θα μελετήσουμε πως σχετίζεται η ένταση φωτισμού με την καταναλισκόμενη ενέργεια, γεγονός από το οποίο θα εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για την αποδοτικότητα και τη σύγκριση μεταξύ των εξεταζόμενων συστημάτων έναυσης.

3.3.4.2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ (*Relative Consumed Power versus Control Voltage*)

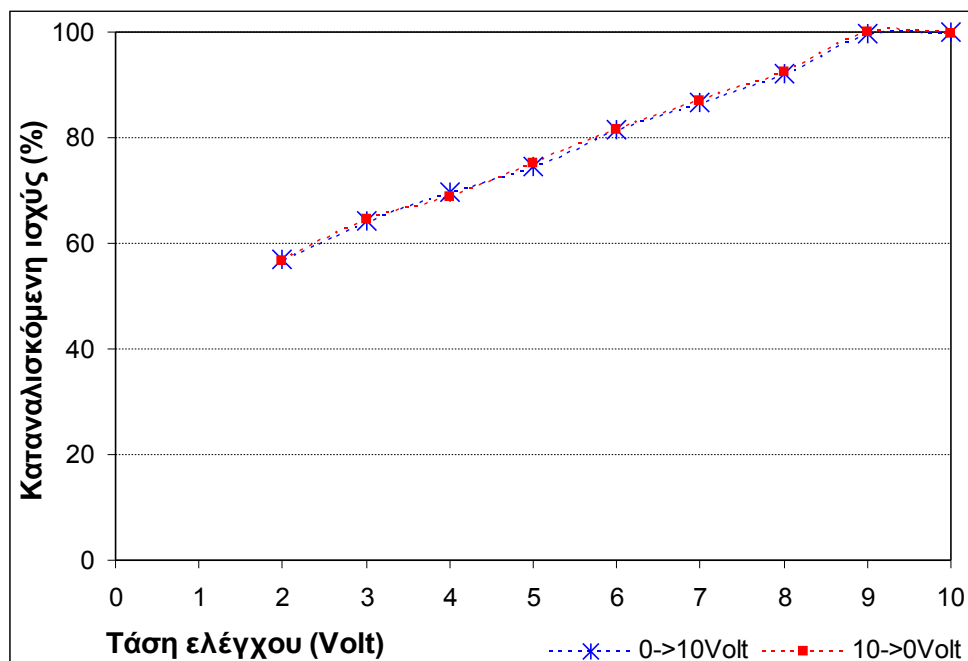
Τα σχήματα 3.40 έως 3.43, παρουσιάζουν την συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) καθώς αυτή μεταβάλλεται από $10\text{ V} - 0\text{ V}$ και αντιστρόφως και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος για κάθε εξεταζόμενο EDB. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τυπικές αποκλίσεις της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος για την ίδια τάση ελέγχου (CV) θεωρήθηκαν στατιστικά ασήμαντες για το επίπεδο εμπιστοσύνης των 0.05.



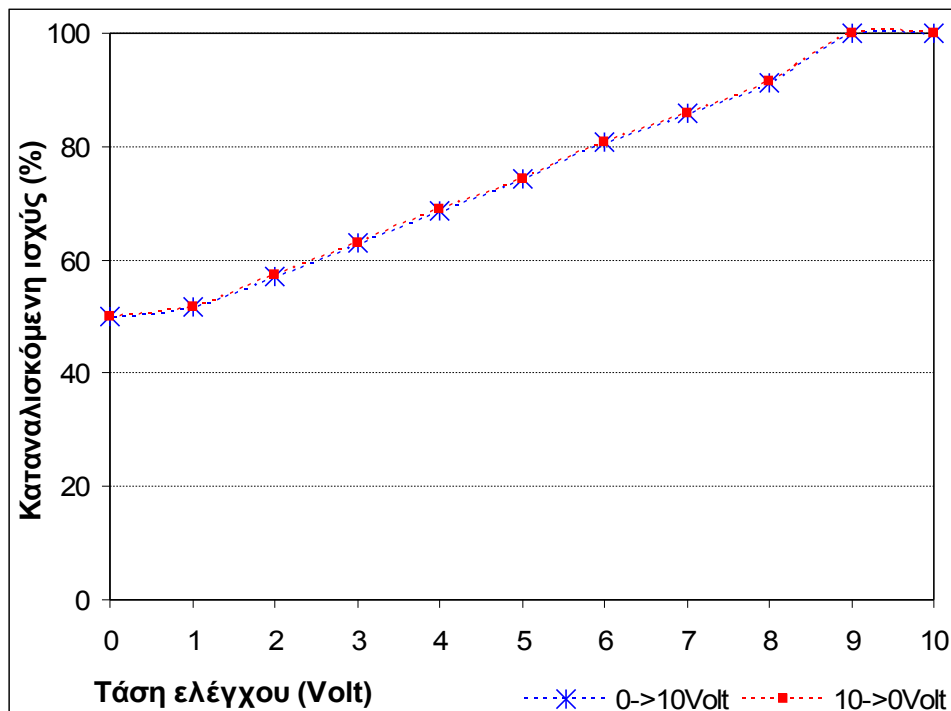
Σχήμα 3.40 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 1^ο σύστημα έναυσης



Σχήμα 3.41 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 2^ο σύστημα έναυσης



Σχήμα 3.42 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 3^ο σύστημα έναυσης



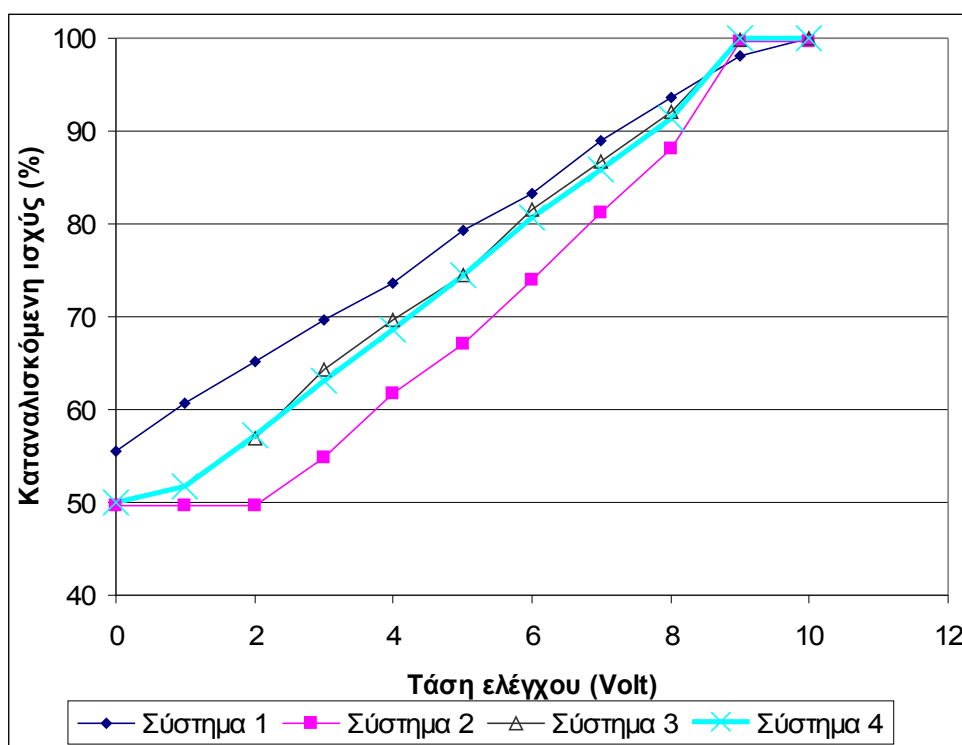
Σχήμα 3.43 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V και αντιστρόφως για το 4^ο σύστημα έναυσης

Όπως συμβαίνει με την σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) έτσι και με την σχετική καταναλισκόμενη ισχύ, οι τιμές μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο όταν η τάση ελέγχου του εξεταζόμενου συστήματος έναυσης μειώνεται από τα 10Volt στα 0Volt σε σύγκριση με την αύξηση της τάσης ελέγχου από τα 0Volt στα 10Volt. Επιπλέον, και εδώ παρατηρήθηκε μεγάλη διαφοροποίηση στον τρόπο που μεταβάλλεται η ισχύς κατανάλωσης για τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης (EDBs). Επομένως, η ρύθμιση (dimming) των συστημάτων έναυσης με μια συγκεκριμένη τάση ελέγχου αναγκάζει τα συστήματα έναυσης να καταναλώνουν διαφορετικά ποσά ισχύος.

Παραδείγματος χάριν, όπως φαίνεται από τα σχήματα 3.42 και 3.40, το τρίτο σύστημα έναυσης για τάση ελέγχου στα 5V παράγει σχετικό φωτισμό (LOR) σε ποσοστό 56 % και καταναλώνει ισχύ ίση με το 75 % της μέγιστης, ενώ το πρώτο σύστημα έναυσης παράγει σχετικό φωτισμό

(LOR) 74 % και καταναλώνει ισχύ ίση με 79 %, για την ίδια τάση ελέγχου. Η σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) και η σχετική καταναλισκόμενη ισχύ των υπόλοιπων εξεταζόμενων συστημάτων έναυσης κυμαίνονται μεταξύ των ανωτέρω αντίστοιχων τιμών. Επίσης, η συμπεριφορά κάθε συστήματος έναυσης όσον αφορά τη γραμμικότητα των διαγραμμάτων της ισχύος κατανάλωσης σε σχέση με την τάση ελέγχου είναι ανάλογη με εκείνη των διαγραμμάτων του επιπέδου φωτεινότητας που εξετάστηκε προηγουμένως.

Στο παρακάτω σχήμα (3.44) παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της μεταβολής της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύς σε σχέση με την μεταβολή της τάσης ελέγχου (CV) για όλα τα συστήματα έναυσης.

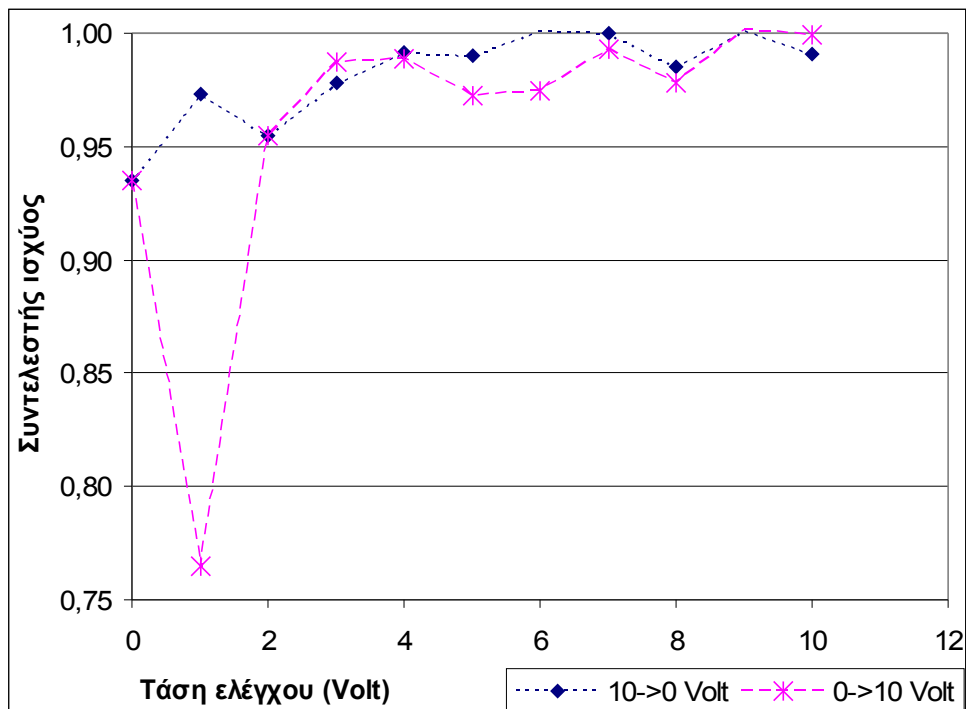


Σχήμα 3.44 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) μεταβάλλοντας την τάση ελέγχου από 10V σε 0V για τα διάφορα συστήματα έναυσης.

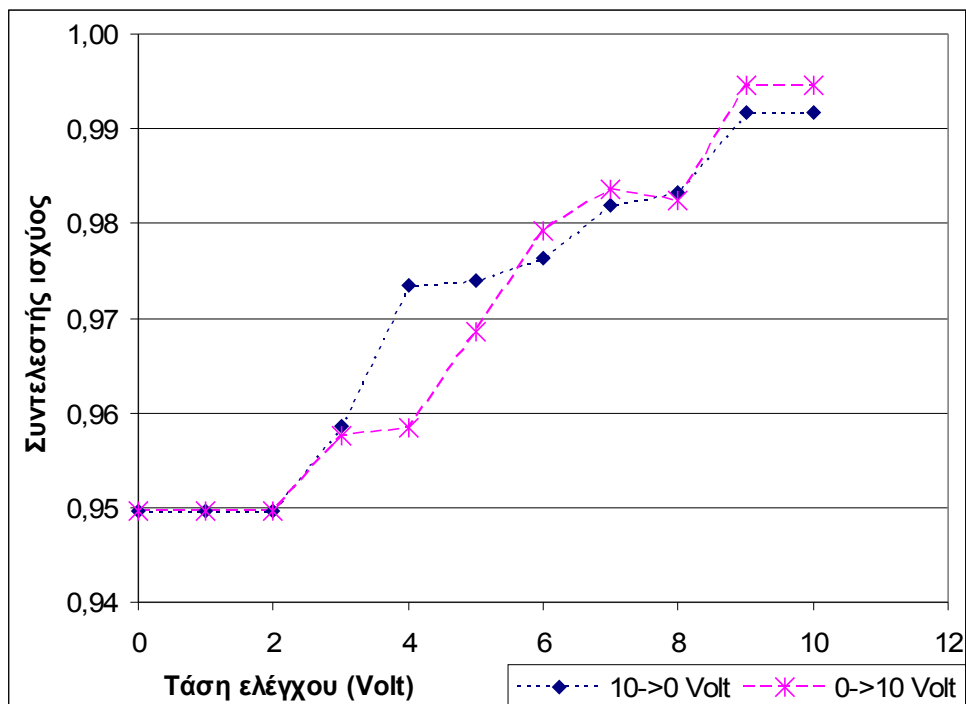
3.3.4.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ (*Power Factor versus Control Voltage*)

Οι συσκευές με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης του φωτισμού μπορούν σε αρκετές περιπτώσεις να επηρεάσουν την ποιότητα ισχύος. Η ποιότητα ισχύος (Power Quality) περιγράφει το ποσό στο οποίο μια συγκεκριμένη ηλεκτρονική συσκευή επηρεάζει την κυματομορφή ρεύματος ή τάσης και/ ή αλλάζει τη διαφορά φάσης μεταξύ τους. Μια συσκευή με άριστα χαρακτηριστικά ποιότητας ισχύος ούτε επηρεάζει την τάση και το ρεύμα τροφοδοσίας αλλά ούτε και τη διαφορά φάσης μεταξύ τους. Χαρακτηριστικά της ποιότητας ισχύος για τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης EDBs είναι ο συντελεστής ισχύος (Power Factor) και η ολική αρμονική παραμόρφωση ρεύματος (Total Harmonic Distortion, THD). Στην παρούσα φάση προσδιορίστηκε ενδεικτικά μόνο ο συντελεστής ισχύος των εξεταζόμενων συστημάτων.

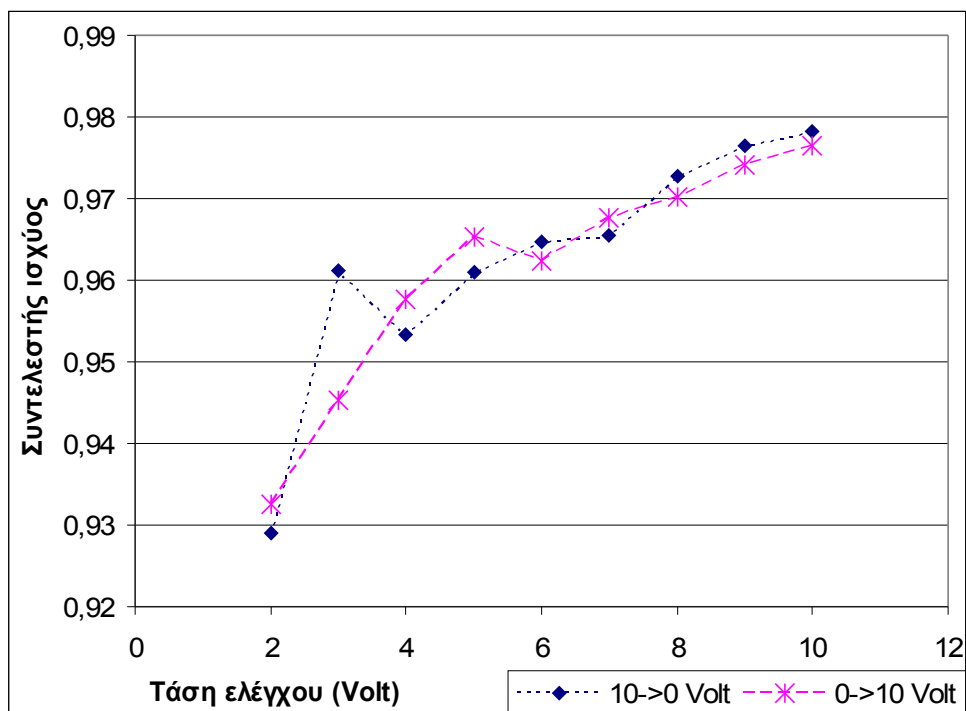
Στα σχήματα 3.45 έως 3.48, παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή ισχύος (Power Factor) σε συνάρτηση με την τάση ελέγχου (CV) καθώς αυτή αυξάνεται από 0 V σε 10 V και αντιστρόφως, για κάθε εξεταζόμενο EDB.



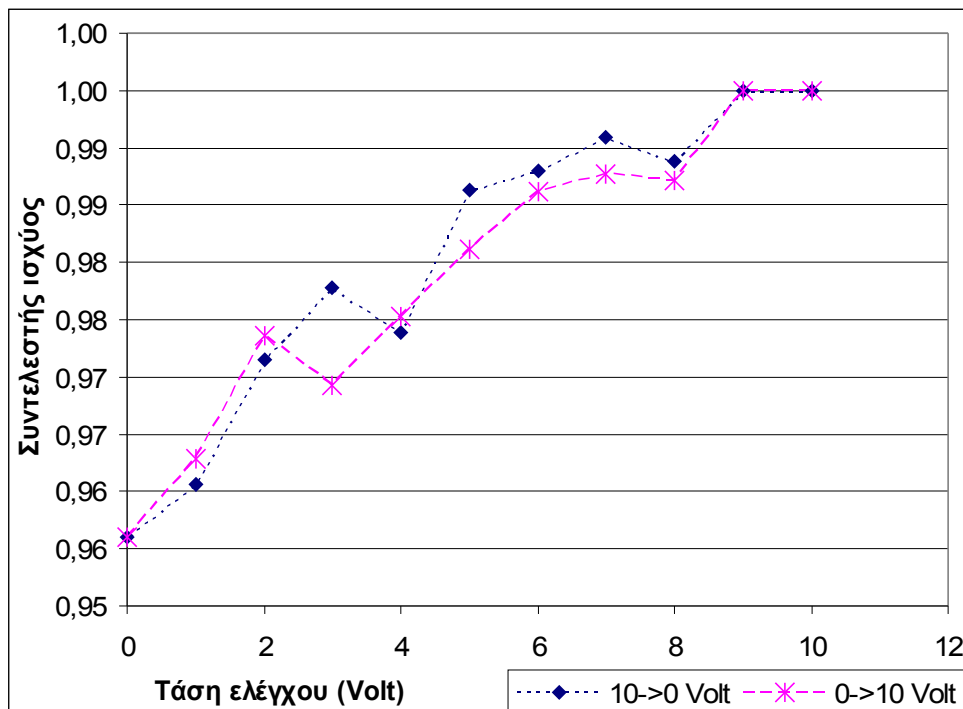
Σχήμα 3.45 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 1^ο σύστημα έναυσης.



Σχήμα 3.46 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 2^ο σύστημα έναυσης.



Σχήμα 3.47 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 3^ο σύστημα έναυσης.



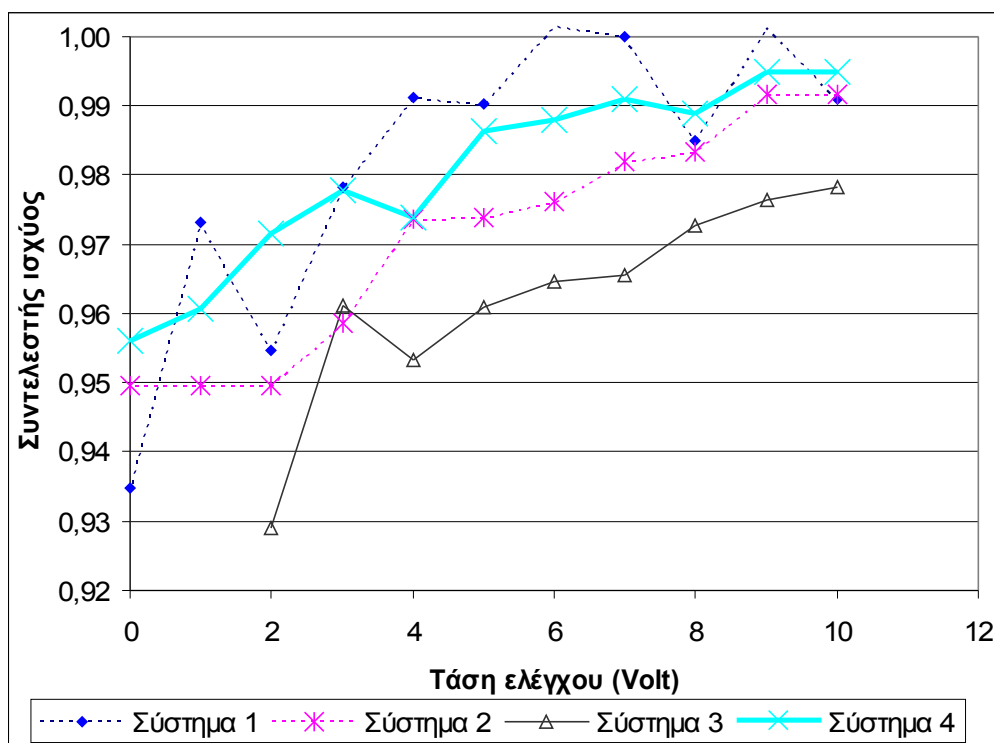
Σχήμα 3.48 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για το 4^ο σύστημα έναυσης.

Από τα σχήματα είναι εμφανές πως ο συντελεστής ισχύος μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο όταν η τάση ελέγχου του εξεταζόμενου συστήματος έναυσης μειώνεται από τα 10Volt στα 0Volt σε σύγκριση με την αύξηση της τάσης ελέγχου από τα 0Volt στα 10Volt. Για όλες τις περιπτώσεις οι τυπικές αποκλίσεις της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύς για την ίδια τάση ελέγχου (CV) θεωρήθηκαν στατιστικά ασήμαντες για το επίπεδο εμπιστοσύνης των 0.05.

Στην πραγματικότητα, σε κάθε σύστημα έναυσης υπάρχει μία τιμή της τάσης ελέγχου στην οποία παρατηρείται μεγαλύτερη απόκλιση στις τιμές του συντελεστή ισχύος. Για την ακρίβεια, για τα συστήματα 2, 3, 4, παρατηρείται μία σχετικά μεγαλύτερη απόκλιση στις τιμές των 4V, 3V, 3V αντίστοιχα, η οποία παρόλαυτα εξακολουθεί να είναι μέσα στα όρια του στατιστικά αποδεκτού και κρίνεται σε κάθε περίπτωση αμελητέα. Στην περίπτωση, όμως, του πρώτου συστήματος έναυσης και για τάση ελέγχου

ίση με 1V παρατηρούμε μία πολύ μεγάλη απόκλιση στις τιμές του συντελεστή ισχύος (0.97 για τη φθίνουσα κλίμακα και 0.76 για την αύξουσα). Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην αυξημένη παραγωγή αέργου ισχύος, στη δεύτερη περίπτωση, που οδηγεί σε μείωση της ποιότητας ισχύος και συνεπώς και του συντελεστή ισχύος και μπορεί να θεωρηθεί μεμονωμένο καθώς για όλες τις υπόλοιπες τιμές τάσης ελέγχου το σύστημα 1 συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όσο αυτή αυξάνεται ή μειώνεται.

Στο σχήμα 3.49, παρουσιάζονται ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα της μεταβολής του συντελεστή ισχύος σε σχέση με την μεταβολή της τάσης ελέγχου (CV) από 10 V σε 0 V για όλα τα συστήματα έναυσης. Εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις ανάμεσα στα εξεταζόμενα δείγματα γεγονός που σημαίνει ότι, εφαρμόζοντας την ίδια τάση ελέγχου στα συστήματα έναυσης, αυτά μεταβάλουν διαφορετικά την κυματομορφή του ρεύματος επηρεάζοντας διαφορετικά το ρεύμα στο σύστημα τροφοδοσίας.



Σχήμα 3.49 : Συνάρτηση μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και του συντελεστή ισχύος (PF) για όλα τα συστήματα έναυσης

Παρατηρούμε, ότι παρόλο που υπάρχουν διαφορές στις τιμές του συντελεστή ισχύος (PF), αυτός παραμένει σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο

και χαρακτηρίζεται ως υψηλός (high power factor > 0.9, [11]) για κάθε τιμή της τάσης ελέγχου. Ο Πίνακας 3.3, παρουσιάζει τιμές του συντελεστή ισχύος (PF) στο ανώτερο και κατώτερο επίπεδο ρύθμισης φωτισμού (10Volt και 0Volt, αντίστοιχα) του κάθε εξεταζόμενου ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης EDB. Κυμαίνεται από 0.995 (σύστημα 4) στην ανώτερη στάθμη φωτισμού μέχρι 0.93 (σύστημα 3) στην κατώτερη στάθμη.

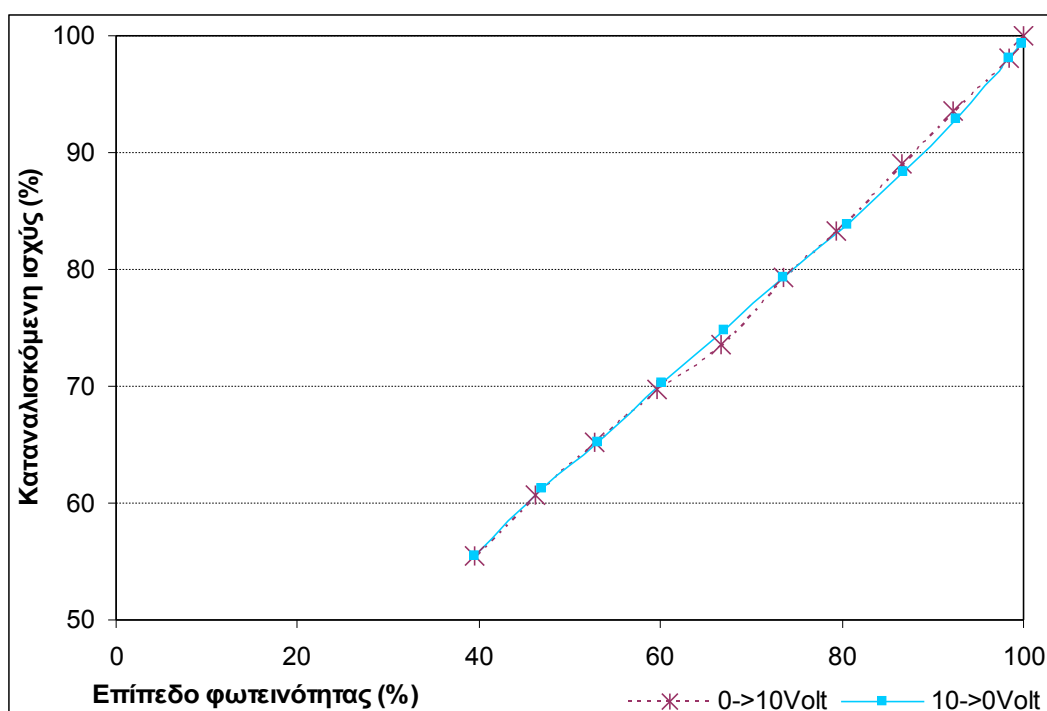
Σύστημα έναυσης (EDB)	Συντελεστής Ισχύος (PF)	
	10Volt	0Volt
1	0.99	0.935
2	0.99	0.95
3	0.979	0.93
4	0.995	0.956

Πίνακας 3.3 : Τιμές συντελεστή ισχύος (PF) στο ανώτερο και κατώτερο επίπεδο ρύθμισης φωτισμού (10Volt και 0Volt, αντίστοιχα) του κάθε εξεταζόμενου ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης EDB

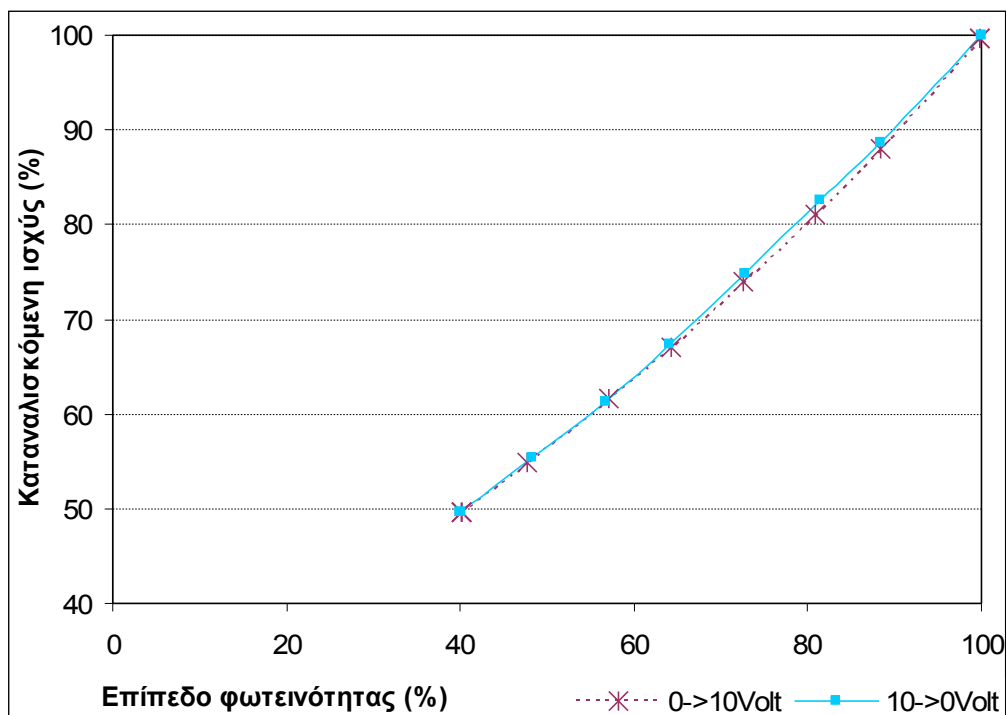
Την καλύτερη απόδοση σύμφωνα με την ποιότητα ισχύος παρουσίασε το ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης 4. Ο συντελεστής ισχύος κυμάνθηκε από 0.995 στην ανώτερη στάθμη φωτισμού ως 0.956 στην κατώτερη στάθμη. Αντίθετα, ο συντελεστής ισχύος για το ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης 3 κυμάνθηκε από 0.979 έως 0.93 για την ανώτερη και κατώτερη στάθμη φωτισμού αντίστοιχα. Η μείωση του συντελεστή ισχύος προήλθε από την αύξηση της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD) κατά τη διάρκεια της μείωσης της τάσης ελέγχου. Ο συντελεστής ισχύος διακυμαίνεται διαφορετικά για κάθε εξεταζόμενο ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης, λόγω των διαφορετικών τεχνικών προδιαγραφών τους.

3.3.4.4 ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ (*Relative Consumed Power versus Light Output Ratio*)

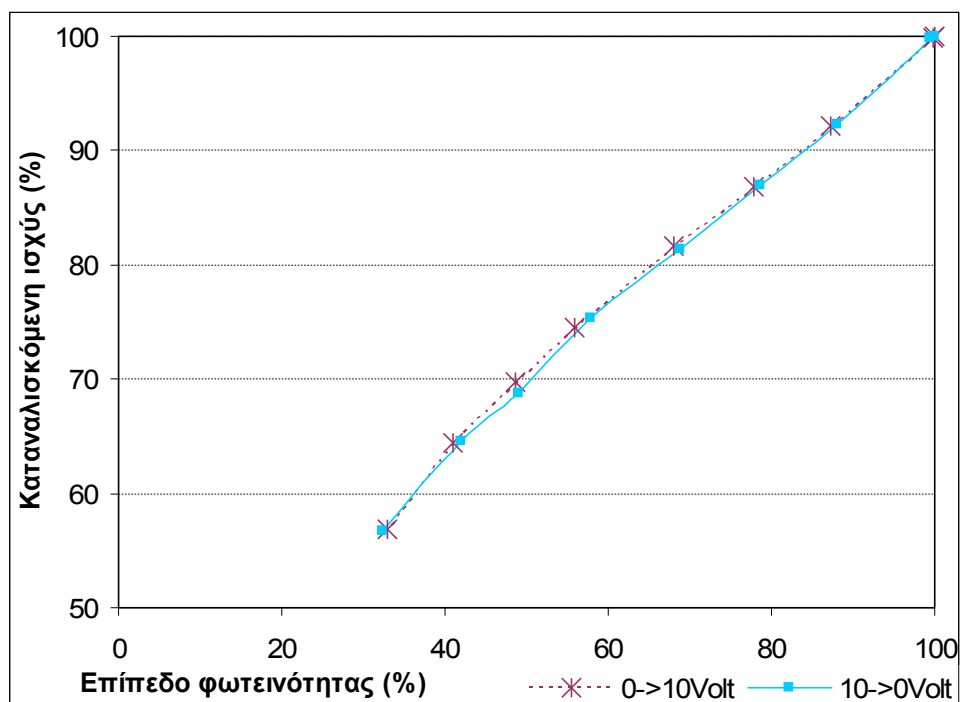
Όλες οι ανωτέρω σχέσεις μεταξύ της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR) και της τάσης ελέγχου (CV) και της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συνάρτησης μεταξύ της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος και της σχετικής παραγωγής φωτισμού (LOR). Στα σχήματα 3.50 έως 3.53, παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής καταναλισκόμενης ισχύος σε σχέση με την σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) για κάθε EDB κατά τη μεταβολή της τάσης ελέγχου από 10 V σε 0 V και αντιστρόφως.



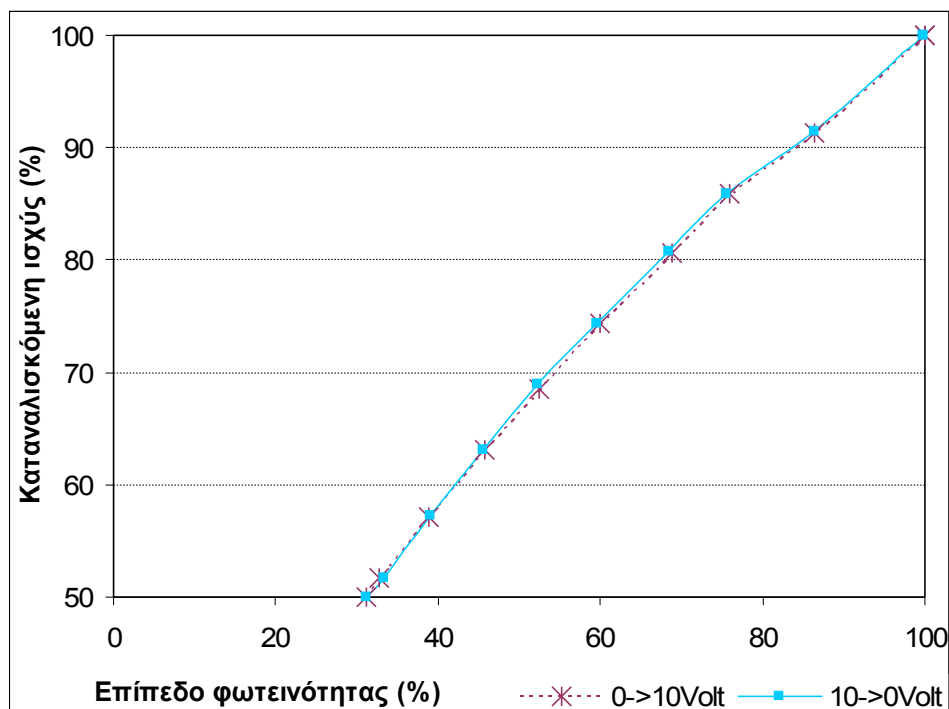
Σχήμα 3.50 : Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 1^ο σύστημα έναυσης



Σχήμα 3.51 : Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 2^ο σύστημα έναυσης



Σχήμα 3.52 : Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 3^ο σύστημα έναυσης

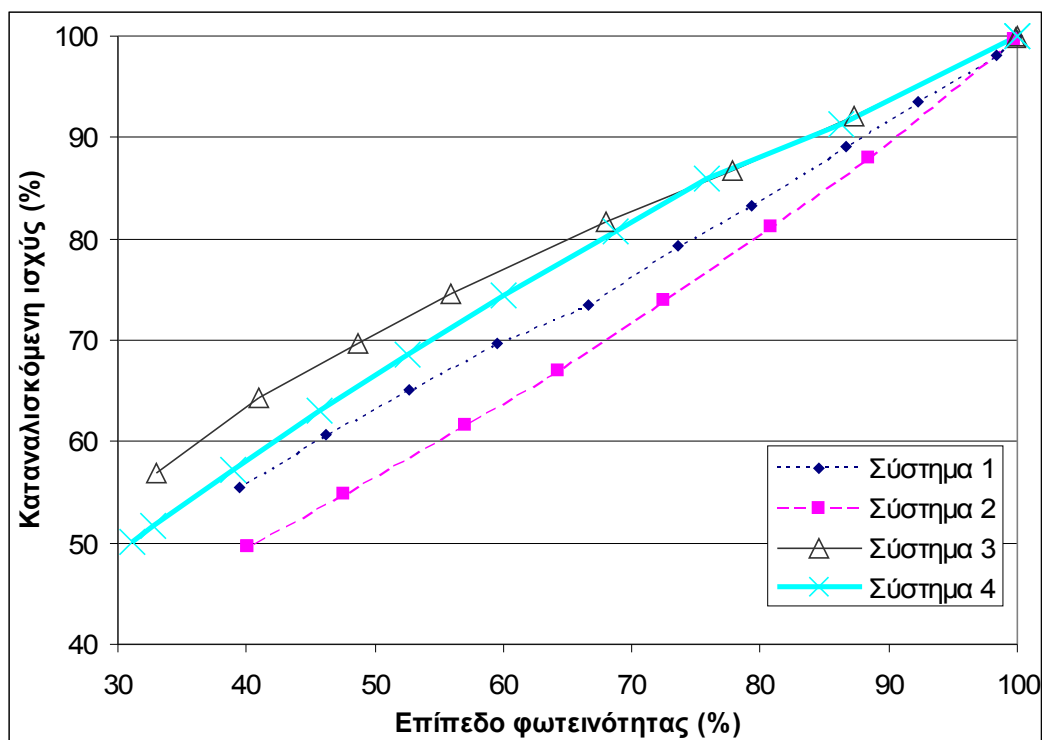


Σχήμα 3.53 : Σχετική καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με τη σχετική ένταση φωτισμού για το 4^ο σύστημα έναυσης

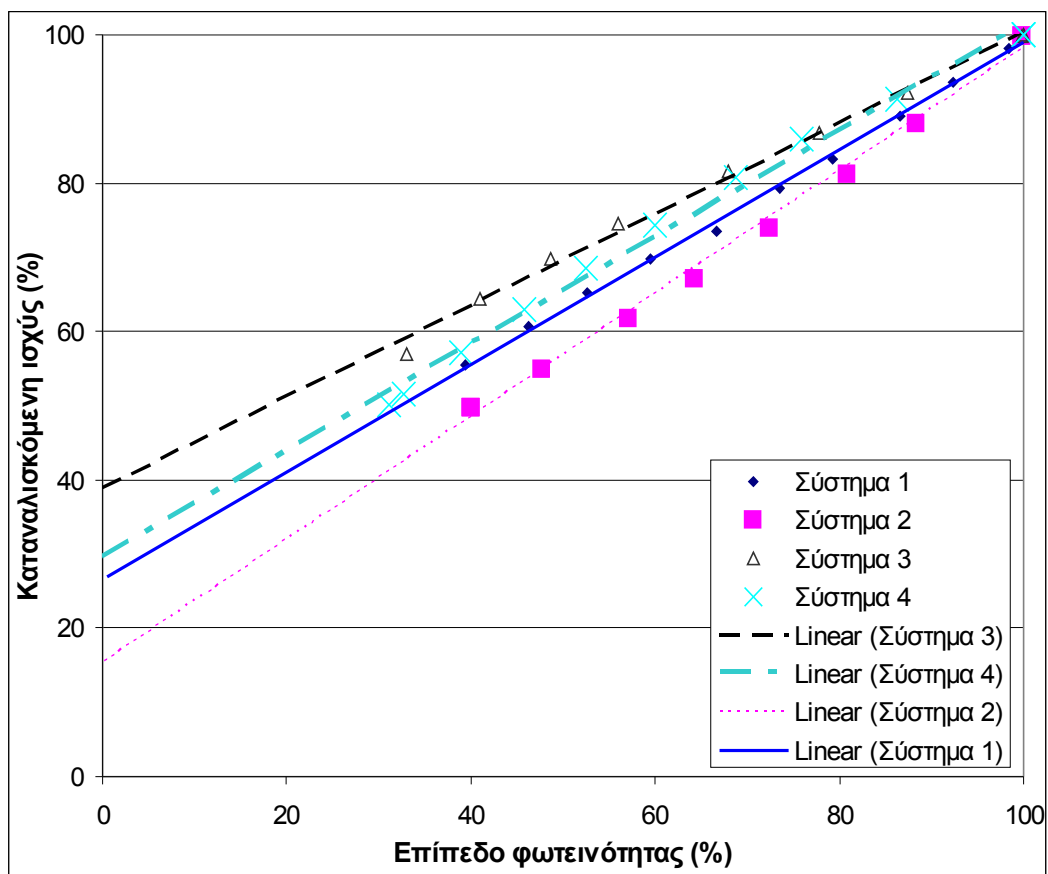
Παρατηρούμε ότι τα παραπάνω διαγράμματα (ομαδοποιημένα στο σχήμα 3.54), εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις πράγμα που σημαίνει ότι τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης, παράγουν την ίδια ποσότητα φωτισμού (LOR) καταναλώνοντας διαφορετικά ποσά ενέργειας. Παραδείγματος χάριν για σχετική παραγωγή φωτισμού (LOR) ίση με 50% το σύστημα που καταναλώνει τη λιγότερη ισχύ είναι το σύστημα 2 (56 %) ενώ αυτό που καταναλώνει την περισσότερη ισχύ είναι το σύστημα 3 (69.5 %). Από εκεί και πέρα, το πρώτο σύστημα καταναλώνει ισχύ 62.5 % της ονομαστικής και το τέταρτο σύστημα 67.5 % της ονομαστικής.

Είναι πολύ σημαντικό, επίσης, να αναφερθεί, εδώ, ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο που προκύπτει από γραμμική παρεμβολή στις τιμές των παραπάνω διαγραμμάτων. Οι καμπύλες που προκύπτουν από την γραμμική παρεμβολή στα διαγράμματα των τεσσάρων συστημάτων έναυσης παρουσιάζονται ομαδοποιημένες στο σχήμα 3.55 και η προσέγγισή τους είναι ικανοποιητική (οι τιμές R^2 κυμαίνονται από 0.9952

έως 0,9981). Οι παραγόμενες συναρτήσεις που προκύπτουν από την παρεμβολή αποδεικνύουν ότι το σημείο τομής των καμπυλών με τον άξονα της καταναλισκόμενης ισχύος δεν είναι η αρχή των αξόνων. Με άλλα λόγια για τα διάφορα συστήματα έναυσης παρατηρούμε ότι, θεωρητικά, καταναλώνεται ισχύς ακόμη και στην περίπτωση στην οποία η αποδιδόμενη ένταση φωτισμού είναι μηδενική. Πιο συγκεκριμένα, για μηδενικό επίπεδο φωτισμού, το πρώτο σύστημα καταναλώνει ισχύ ίση με 26.599 %, το δεύτερο 15.493 %, το τρίτο 38.849 % και το τέταρτο 29.563 %. Σε γενικές γραμμές συμπεραίνουμε ότι όσον αφορά την εξοικονόμηση ισχύος, σε σχέση πάντα και με το επιθυμητό αποδιδόμενο επίπεδο φωτισμού, την καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει το σύστημα 2 ενώ τη χειρότερη, το σύστημα 3. Πρέπει να τονιστεί όμως και το γεγονός ότι τα τέσσερα εξεταζόμενα EDBs δεν έχουν την ίδια χρήση άλλα αφορούν λαμπτήρες διαφορετικής ισχύος. Όπως θα δούμε και στη μελέτη σεναρίων δρόμων, στην επόμενη ενότητα, **δε χρησιμοποιούνται και τα τέσσερα EDBs που εξετάστηκαν, σε ίδιο τάξη αξιολόγησης δρόμων (lighting class).**



Σχήμα 3.54 : Καταναλισκόμενη ισχύς σε σχέση με την ένταση ισχύος για όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης



Σχήμα 3.55: Γραμμική παρεμβολή στις τιμές της καταναλισκόμενης ισχύος σε σχέση με την ένταση ισχύος για όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έναυσης

ΕΝΟΤΗΤΑ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (CASE STUDIES)

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έχοντας τελειώσει την λεπτομερέστατη ανάλυση των πειραματικών δεδομένων (ΕΝΟΤΗΤΑ 3), έφτασε η ώρα σε αυτό το σημείο, να μελετηθεί στην πράξη η συμπεριφορά των έξι εξεταζόμενων συστημάτων ρύθμισης φωτισμού. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας κατά την εφαρμογή τους σε περιπτώσεις δρόμων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Μελετήθηκαν συνολικά έξι σενάρια φωτισμού δρόμων, σε κάθε ένα από τα οποία, εκτιμήθηκε και η δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί. Να αναφερθεί εδώ, ότι εκπόνηση τεχνοοικονομικής μελέτης και υπολογισμός των απαραίτητων κριτηρίων για την οικονομική αξιολόγηση των εκάστοτε επενδύσεων δεν ήταν δυνατή και στις έξι περιπτώσεις, διότι μόνο οι τιμές των προϊόντων INTELUX και E-BOX είναι γνωστές, καθώς και τα δύο κυκλοφορούν ήδη στην αγορά, ενώ τα EDBs βρίσκονται σε πειραματικό επίπεδο και δεν έχουν τιμολογηθεί ακόμη.

Πριν προχωρήσουμε σε περαιτέρω λεπτομέρειες, θα πρέπει να δοθούν κάποιες πληροφορίες σχετικά με έννοιες πολύ βασικές και αναγκαίες για την κατανόηση των σεναρίων που ακολουθούν, όπως είναι ο παράγοντας συντήρησης, η τάξη φωτισμού και ο βαθμός προστασίας των φωτιστικών.

Τα παραγόμενα επίπεδα φωτισμού στους δρόμους εξασθενούν σημαντικά λόγω των περιπτώσεων λαμπτήρων που υφίστανται βλάβες, της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων και της σκόνης που επικάθεται πάνω στα φωτιστικά. Ο παράγοντας συντήρησης (**maintenance factor**), χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς της φωτεινής ισχύος που παρέχεται από ένα σύστημα φωτισμού δρόμου μετά από δεδομένη χρονική διάρκεια και κάτω από δεδομένες συνθήκες συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων της θερμοκρασίας, των αυξομειώσεων της τάσης τροφοδοσίας, της ποικιλίας των συστημάτων έναυσης και λειτουργίας (ballasts), της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και των φωτιστικών, των ωρών λειτουργίας των λαμπτήρων και της συχνότητας των διαδικασιών συντήρησης. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις απωλειών : απώλειες οι οποίες μπορούν να διορθωθούν με την αντικατάσταση παλιών λαμπτήρων ή με τον καθαρισμό των επιφανειών και απώλειες αναπόφευκτες, όπως αυτές που προέρχονται από την παλαιότητα του εξοπλισμού ή τις ανεξέλεγκτες πτώσεις τάσης. Προφανώς, το εύρος των περιπτώσεων που καλύπτονται από τον παράγοντα συντήρησης είναι πολύ μεγάλο και η χρησιμοποίησή του στις μελέτες φωτισμού αναγκαία εφόσον στόχος τους είναι η καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας.

Ο παράγοντας συντήρησης ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ροής σε μια δεδομένη περιοχή μετά από κάποια χρονική διάρκεια προς την αρχική φωτεινή ροή στην ίδια περιοχή και, όπως είναι λογικό, είναι μικρότερος ή ίσος της μονάδας σε κάθε περίπτωση.

Παράγοντας Συντήρησης = (φωτεινή ροή κάποια χρονική στιγμή) / (αρχική φωτεινή ροή)

Για παράδειγμα, παράγοντας συντήρησης, για μια χρονική διάρκεια ίση με τη διάρκεια ζωής των χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων, ίσος με 0.7,

μεταφράζεται στο γεγονός ότι τη χρονική στιγμή στην οποία αναφερόμαστε (τέλος ζωής των λαμπτήρων), η φωτεινή ροή θα είναι ίση με το 70% της αρχικής. Στον πίνακα 4.1, παρουσιάζονται κάποιες εμπειρικά συνιστώμενες τιμές παραγόντων συντήρησης για διάφορους τύπους λαμπτήρων, για διάφορες περιπτώσεις μόλυνσης και διάφορες τιμές βαθμού προστασίας φωτιστικών. Επίσης, φαίνεται και η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής κάθε είδους λαμπτήρα. Τα εξεταζόμενα συστήματα ρύθμισης φωτισμού, μελετήθηκαν κατά την εφαρμογή τους σε φωτιστικά με συμβατικούς λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) και σε λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) των οποίων οι χρόνοι ζωής είναι 36 και 18 μήνες αντίστοιχα όπως προκύπτει από το σχετικό πίνακα.

Atmospheric pollution category	High	Medium	Low	Luminaire degree of protection
Lamp type Maintenance period (Tmp)				
Conventional HPS lamps: Tmp=36 months	0.67 0.73	0.72 0.77	0.77 0.79	IP5X IP6X
HPS lamps with improved properties: Tmp=48 months	/ 0.74	/ 0.81	/ 0.85	IP5X IP6X
Conventional HPM lamps: Tmp=24 months	0.67 0.71	0.69 0.71	0.72 0.72	IP5X IP6X
HPM lamps with prolonged lifetime: Tmp=48 months	0.72 0.75	0.73 0.76	0.76 0.76	IP5X IP6X
Conventional MH lamps (250 W and 400W): Tmp=18 months	0.71 0.74	0.72 0.75	0.75 0.76	IP5X IP6X
MH lamps with a ceramic discharge tube: Tmp=18 months	0.69 0.71	0.70 0.72	0.72 0.73	IP5X IP6X
CFLs for outdoor lighting: Tmp=42 months	/ 0.72	/ 0.77	/ 0.80	IP5X IP6X

Πίνακας 4.1 : Συνιστώμενοι παράγοντες και περίοδοι συντήρησης στο φωτισμό δρόμων [3].

Η έννοια της τάξης φωτισμού (lighting class), αναφέρεται στο είδος του δρόμου που θα μελετηθεί. Η αξιολόγηση και η επιλογή της τάξης φωτισμού είναι πρωτεύουσας σημασίας για την κατάστρωση ενός

συστήματος φωτισμού δρόμων και όπως είναι φυσικό, πραγματοποιείται πριν από οποιοδήποτε άλλη ενέργεια. Προφανώς δεν είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα πλάνο φωτισμού εάν δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων ποιος δρόμος θα φωτιστεί και ποιες ανάγκες φωτισμού το συνοδεύουν. Διαφορετικές ανάγκες χαρακτηρίζουν μια εθνική οδό και διαφορετικές ένα μικρό επαρχιακό δρόμο. Παραδείγματος χάρη, μία στάση λεωφορείου αξιολογείται ως τάξης D2, ένας πεζόδρομος χαρακτηρίζεται τάξης E1, μία εθνική οδός τάξης ME1 κ.α.

Τέλος, ο βαθμός προστασίας των φωτιστικών (IP) εκφράζει το πόσο προστατευμένο είναι ένα φωτιστικό και παίζει σημαντικό ρόλο κυρίως στην επιλογή του παράγοντα συντήρησης. Αποτελείται από δύο νούμερα εκ των οποίων το πρώτο δείχνει το είδος της προστασίας που προσφέρεται απέναντι σε επαφές με εξωτερικά στερεά σώματα ή απέναντι στην πρόσβαση ουσιών σε επικίνδυνα μέρη του φωτιστικού και το δεύτερο δείχνει την προστασία από τη διείσδυση υγρών στο εσωτερικό των φωτιστικών. Για παράδειγμα, βαθμός προστασίας IP66 εκφράζει ότι το φωτιστικό είναι προστατευμένο από τη σκόνη και τα μεγάλα κύματα.

Μετά από τη συνοπτική παρουσίαση κάποιων βασικών, για τη συνέχεια, εννοιών, παρουσιάζονται επιγραμματικά τα σενάρια φωτισμού δρόμων που εξετάστηκαν :

- 1) Εφαρμογή του συστήματος 1 (CMH70W/T/UVC/U/942/G12), σε δρόμο τάξης φωτισμού CE2 (αστικός κύριος δρόμος μονής ή διπλής κατεύθυνσης για ταχύτητες μέχρι 65 km/h και περιορισμένο parking), με φωτιστικά εφοδιασμένα με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 70 W,
- 2) Εφαρμογή του συστήματος 2 (CMH150W/T/UVC/U/830/G12), σε δρόμο τάξης φωτισμού CE2 (αστικός κύριος δρόμος μονής ή διπλής κατεύθυνσης για ταχύτητες μέχρι 65 km/h και περιορισμένο parking), με φωτιστικά εφοδιασμένα με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 150 W,

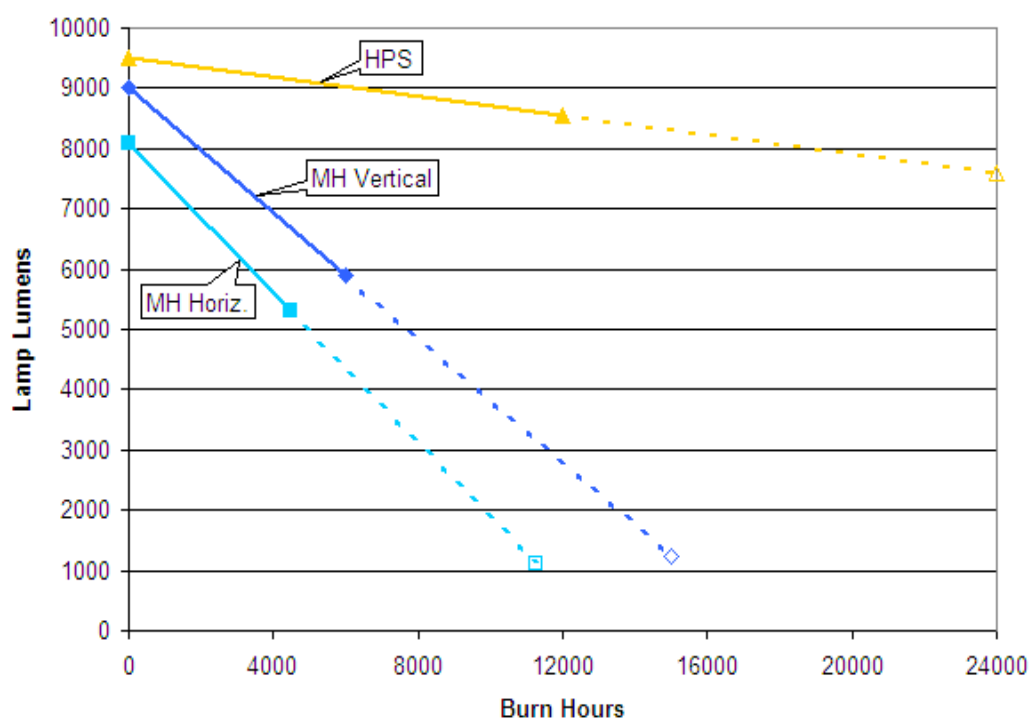
- 3) Εφαρμογή του συστήματος 3 (osram powerstar hqi-t 250W/D E40), σε δρόμο τάξης φωτισμού CE2 (αστικός κύριος δρόμος μονής ή διπλής κατεύθυνσης για ταχύτητες μέχρι 65 km/h και περιορισμένο parking), με φωτιστικά εφοδιασμένα με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 250 W,
- 4) Εφαρμογή του συστήματος 4 (Philips master HPI-T plus 400W/645 E40), σε δρόμο τάξης φωτισμού ME3a (επαρχιακός δρόμος μονής ή διπλής κατεύθυνσης, για ταχύτητες άνω των 65 km/h, με λίγες διασταυρώσεις και μικρή κινητικότητα πεζών), με φωτιστικά εφοδιασμένα με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 400 W,
- 5) Εφαρμογή των συστημάτων INTELUX, E-BOX, σε δρόμο τάξης φωτισμού ME3a (επαρχιακός δρόμος μονής ή διπλής κατεύθυνσης, για ταχύτητες άνω των 65 km/h, με λίγες διασταυρώσεις και μικρή κινητικότητα πεζών), με φωτιστικά εφοδιασμένα με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (MH) ισχύος 400 W,
- 6) Εφαρμογή των συστημάτων INTELUX, E-BOX, σε δρόμο τάξης φωτισμού ME1 (δρόμος πολύ υψηλών ταχυτήτων, αυτοκινητόδρομος π.χ εθνική οδός), με φωτιστικά εφοδιασμένα με λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) ισχύος 400 W.

Στην επόμενη παράγραφο περιγράφεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στις παραπάνω μελέτες φωτισμού, με στόχο τον προσδιορισμό της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας από τη χρήση των εξεταζόμενων συστημάτων.

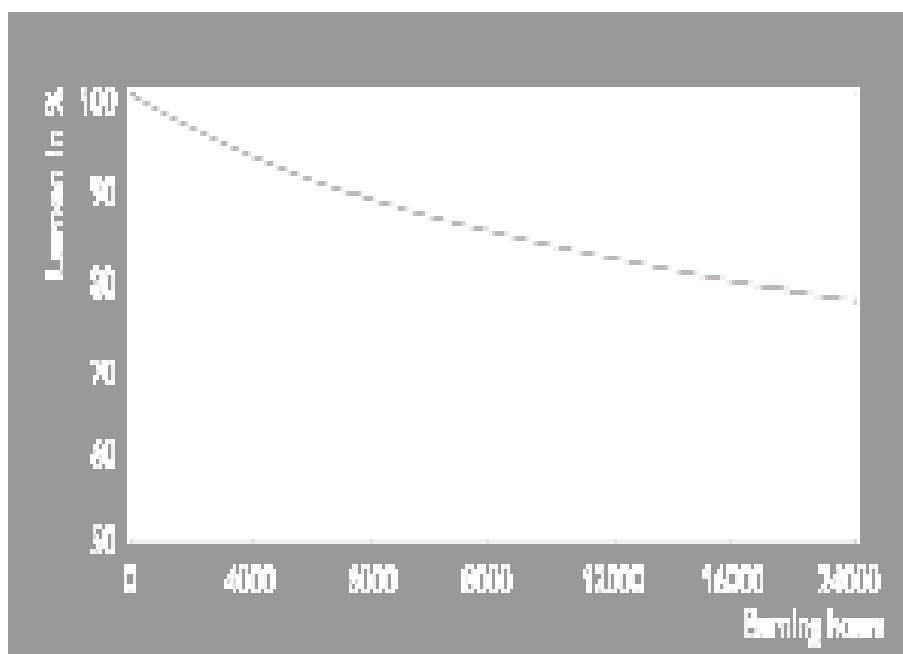
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μελέτη των περιπτώσεων που προαναφέρθηκαν δεν έγινε σε φυσικό περιβάλλον (δηλαδή εφαρμογή και μετρήσεις στους δρόμους) αλλά με τη βοήθεια του προγράμματος RELUX. Το πρόγραμμα RELUX αποτελεί λογισμικό σχεδιασμού συστημάτων φωτισμού, έναν εξομοιωτή με τον οποίο μπορούν να πραγματοποιηθούν μελέτες φωτισμού, όχι μόνο δρόμων αλλά και άλλων εξωτερικών και εσωτερικών χώρων, με κάθε λεπτομέρεια. Περιέχει μια μικρή, ενδεικτική βάση δεδομένων με φωτιστικά αλλά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εγκαταστήσει στο πρόγραμμα την επιθυμητή, για τη μελέτη του, βάση δεδομένων ή να επιλέξει φωτιστικό από τις on-line βάσεις δεδομένων, αφού το πρόγραμμα συνδέεται στο διαδίκτυο. Στην παρούσα εργασία, η επιλογή των φωτιστικών έγινε από τις on-line βάσεις δεδομένων, στην τύχη και με κριτήριο την πλήρωση των εκάστοτε αναγκών (τύπος φωτιστικού, φωτεινή ροή, τύπος και ηλεκτρική ισχύς λαμπτήρων κ.α.).

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες εκτιμώμενης μείωσης της φωτεινής ροής (lumen depreciation) για λαμπτήρες HPS και MH. Οι τιμές της μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα, αντικατοπτρίζουν την όλη επίδοση του κατά τη διάρκεια της ζωής του. Καθώς αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας ενός λαμπτήρα, η φωτεινή του απόδοση πέφτει. Το πόσο γρήγορα και ο τρόπος αυτής της μείωσης (γραμμικός, εκθετικός κτλ.) δεν είναι ξεκάθαρος και εξαρτάται από το λαμπτήρα και από μια σειρά απρόβλεπτων παραγόντων. Μετά από έρευνες, προέκυψαν οι καμπύλες του σχήματος 4.1, οι οποίες όπως φαίνεται είναι προσεγγιστικά γραμμικές και εκπροσωπούν μια γενική περίπτωση. Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται μια πρακτική περίπτωση καμπύλης μείωσης της φωτεινής ροής, στο λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης SON-T Comfort της εταιρείας Philips, που όπως φαίνεται προσεγγίζει, όντως τη γραμμική καμπύλη.



Σχήμα 4.1 : Τυπικές καμπύλες της μείωση της φωτεινής ροής λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) και μεταλλικών αλογονιδίων (MH) κατά τη διάρκεια της ζωής τους.



Σχήμα 4.2 : Καμπύλη της μείωση της φωτεινής ροής του λαμπτήρα Philips SON-T Comfort (HPS) κατά τη διάρκεια της ζωής του.

Η γενική ιδέα που ακολουθήθηκε στις επόμενες μελέτες με στόχο τη μείωση της καταναλισκόμενης ισχύος και συνεπώς την εξοικονόμηση ενέργειας είναι η ακόλουθη:

Υπολογίζοντας, με τη βοήθεια των διεθνών προτύπων ([13], [14], [15]), τον παράγοντα συντήρησης για κάθε περίπτωση δρόμου και λαμπτήρων και το χρόνο ζωής σε κάθε περίπτωση λαμπτήρα (πίνακας 4.1), μπορεί να εξαχθεί η καμπύλη της εκτιμώμενης μείωσης της φωτεινής ροής κατά τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων, εφόσον η εν λόγω γραμμική καμπύλη (σχήμα 4.1), κατασκευάζεται με τη βοήθεια των σημείων (0,100%) , (χρόνος ζωής, παράγοντας συντήρησης). Το ζητούμενο, όμως, σε μία σωστή σχεδίαση φωτισμού, είναι η διατήρηση των παραγόμενων επιπέδων φωτισμού σε μία όσο το δυνατό σταθερή τιμή κοντά στα όρια (λίγο πιο πάνω), που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα για κάθε περίπτωση. Συνεπώς, αφού βρούμε, με τη βοήθεια του RELUX, την τιμή που αντιστοιχεί στα όρια αυτά, ξεκινάει η ρύθμιση του φωτισμού (dimming) από τα εξεταζόμενα συστήματα (INTELUX, E-BOX, EDBs). Το dimming επιτελείται κάθε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. κάθε τρίμηνο), είναι βαθμιαίο και συνεχώς μειούμενο καθώς περνάει ο χρόνος, εφόσον μειώνεται γενικά και η φωτεινή ροή των λαμπτήρων (σχήμα 4.1).

Στη συνέχεια, και εφόσον έχουμε πλέον συγκεκριμενοποιήσει τη μείωση του φωτισμού που θέλουμε να πετύχουμε σε κάθε χρονικό διάστημα (π.χ. τρίμηνο), καταφεύγουμε στα διαγράμματα (ΕΝΟΤΗΤΑ 3) της καταναλισκόμενης ισχύος συναρτήσει των παραγόμενων επιπέδων φωτισμού και βρίσκουμε τις τιμές της μείωσης ισχύος που αντιστοιχούν στις επιθυμητές τιμές μείωσης φωτεινής ροής (να σημειωθεί εδώ, ότι θεωρούμε ότι η **εκατοστιαία** καμπύλη *καταναλισκόμενη ισχύος – ένταση φωτισμού* συμπίπτει προσεγγιστικά με την **εκατοστιαία** καμπύλη *καταναλισκόμενη ισχύος – φωτεινή ροή*) και στη συνέχεια από τη μείωση της ισχύος και γνωρίζοντας πόσες ώρες λειτουργούν οι λαμπτήρες κάθε μέρα, βρίσκουμε την εξοικονόμηση της ενέργειας που επιτυγχάνεται, και στις περιπτώσεις τεχνοοικονομικών, και τα χρήματα που εξοικονομούνται

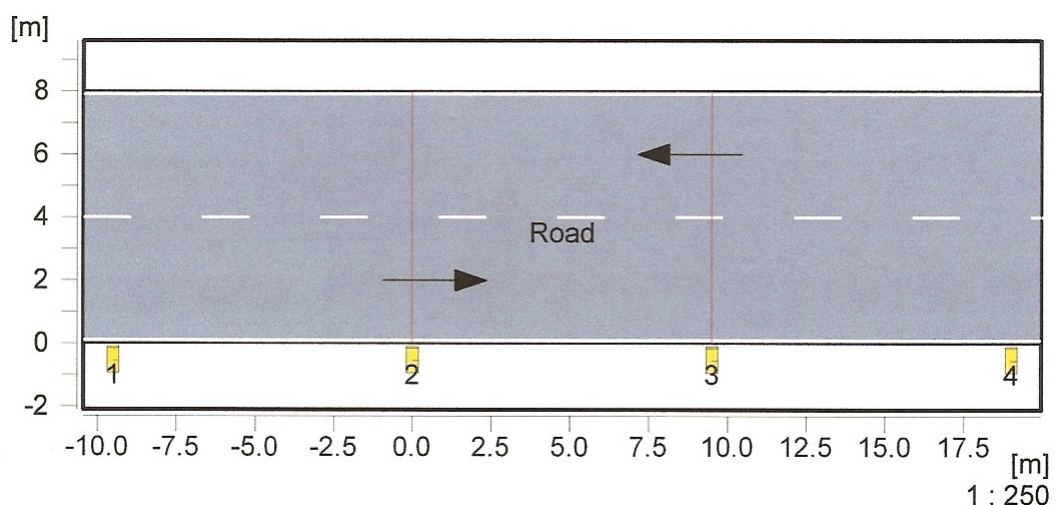
σε τελική ανάλυση. Όλα τα παραπάνω, θα φανούν καλύτερα στην πράξη, στις περιπτώσεις μελετών φωτισμού που ακολουθούν.

4.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (Case studies)

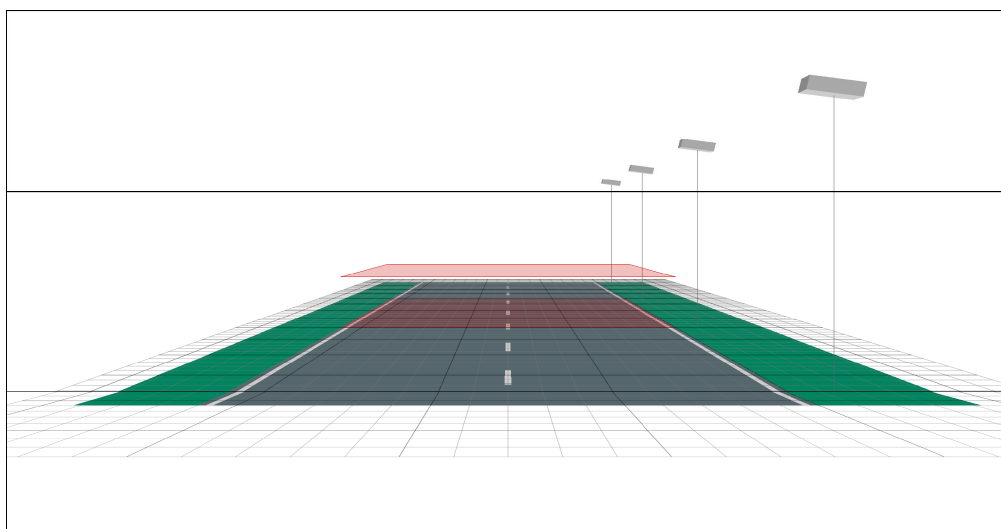
4.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 1 (CMH70W/T/UVB/U/942/G12), ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΤΑΞΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ CE2, ΜΕ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ (MH) ΙΣΧΥΟΣ 70 W.

4.3.1.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου

Στα σχήματα 4.3, 4.4, φαίνονται μια κάτοψη και μία τρισδιάστατη άποψη, αντίστοιχα, του δρόμου που εξετάζεται. Πρόκειται για αστικό, κύριο δρόμο διπλής κατεύθυνσης για ταχύτητες μέχρι 65 km/h και περιορισμένο parking. Τα ακριβή του στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Τα στοιχεία αυτά δεν επιλέχτηκαν τυχαία αλλά με γνώμονα την πλήρωση των προϋποθέσεων που τίθενται από τα διεθνή πρότυπα αναφορικά με την απαιτούμενη ένταση και ποιότητα του φωτισμού στη συγκεκριμένη τάξη φωτισμού.



Σχήμα 4.3 : Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 1



Σχήμα 4.4 : Τρισδιάστατη άποψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 1

Διαρρύθμιση δρόμου	Δρόμος χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος δρόμου	8.00 m
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία επιφάνειας δρόμου	R3
Συντελεστής ανακλαστικότητας δρόμου (q0)	0.08
Τοποθέτηση φωτιστικών	Δεξιά πλευρά του δρόμου
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών	9.50 m
Ύψος φωτομετρικού κέντρου (θεωρητική επιφάνεια στην οποία υπολογίζονται τα φωτομετρικά μεγέθη)	5.50 m
Απόσταση (πόσο εξέχει) του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο	-0.50 m
Κλίση φωτιστικού	10.00 degrees
Προσανατολισμός φωτιστικού	0.00 degrees

Πίνακας 4.2 : Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 1

Το είδος του φωτιστικού που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο SERIKA 70W MHL-E_SK-014, της εταιρείας AEC Illuminazione του οποίου τα αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται παρακάτω όπως ακριβώς αναγράφονται στο εγχειρίδιο του φωτιστικού :

SERIKA 70W MHL-E_SK-014 Street lighting fitting with street lighting optic SERIKA

Length: 795 mm, Width: 375 mm, Height: 275 mm

Efficiency: 68,5% (A30, ↓ 99.7% ↑ 0.3%)

Tot. system power: 87 W

Equipment: 1 x ME

Total luminous flux: 5700 lm

Luminous flux for emergency lighting: -----

Street lighting fitting suitable for post-top and on bracket applications.

Lower part: Fiberglass reinforced technopolymer

Upper Part: Technopolymer upper canopy fiberglass reinforced

Attachment: post-top installation pole diam. 60-70-76mm, Installation with horizontal brackets diam. 60-70mm

Reflector: Moulded by drawing, anodized and polished 99,85% aluminium

Screws and Bolts: Stainless steel

Gaskets: Siliconic

Screen: Curved glass bowl

Gear tray: Technopolymer

Upper part colour: RAL 9003

Lower part colour: RAL 9002 (chassis Colour RAL 7030)

Insulation class: II

Protection degree of the control gear compartment: IP66

Protection degree of the optical compartment: IP66

Anticondensation filter

Cable clamp: IP68 in plastic

Optical Unit: Asymmetric for street lighting

On-Load Switch: Automatic

Marking: CE

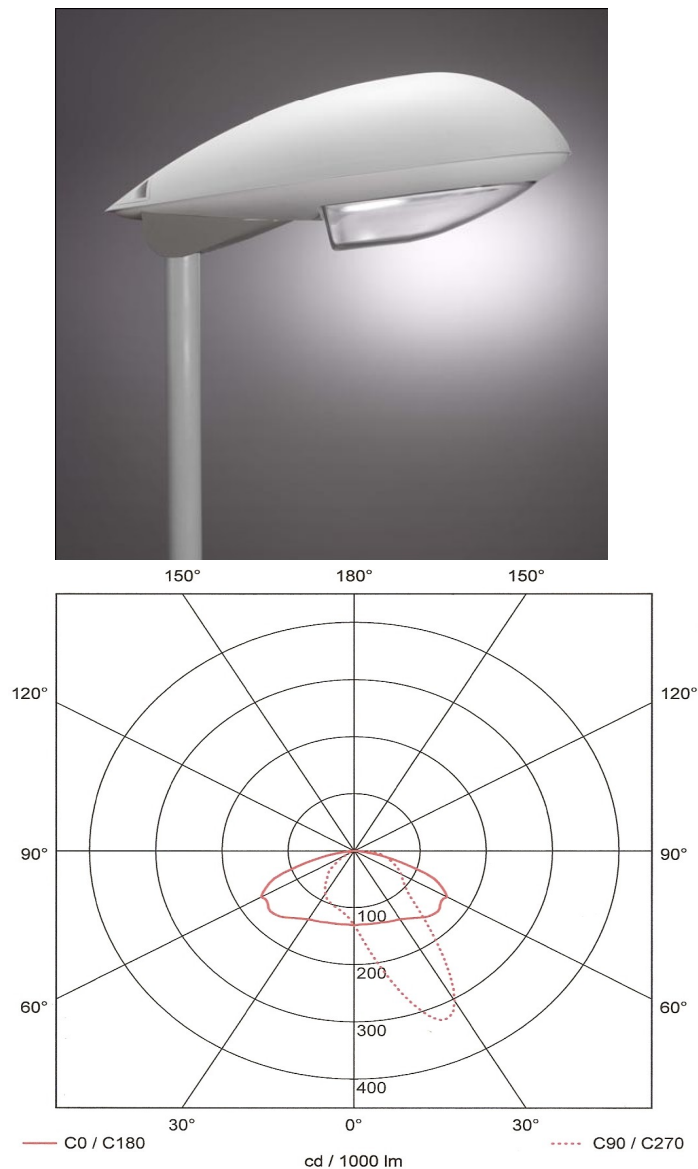
Fuse: Upon request

Ballast: 230 V (other voltage on request)

Ignitor: Superimposed type

Special wirings: On request bi-power wirings, electronic, dimmable electronic, automatic cut-out ignitor

Τα κυριότερα στοιχεία που θα πρέπει να παρατηρήσουμε, είναι ότι η ονομαστική ισχύς κατανάλωσης μαζί με το ballast του φωτιστικού δεν είναι 70 W αλλά 87 W, η συνολική φωτεινή ροή είναι 5700 lm και ότι ο βαθμός προστασίας του φωτιστικού είναι IP66. Στο σχήμα 4.5, που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια άποψη του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα.



Σχήμα 4.5 : Φωτιστικό **SERIKA 70W MHL-E_SK-014** και πολικό διάγραμμα

Έπειτα από το χαρακτηρισμό της τάξης φωτισμού του δρόμου, το σχεδιασμό των χαρακτηριστικών του και την επιλογή των φωτιστικών, ακολουθεί ο προσδιορισμός του παράγοντα συντήρησης για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Στο πρόγραμμα RELUX θέσαμε ως εισόδους :

- Το γεγονός ότι η μελέτη αφορά εξωτερικό χώρο (CIE 154:2003)

- Μέτρια ατμοσφαιρική ρύπανση (medium)
- Βαθμό προστασίας των φωτιστικών IP6X
- Πραγματοποίηση συντήρησης φωτιστικών και λαμπτήρων κάθε 1.5 χρόνο
- Τύπο λαμπτήρα MH (μεταλλικών αλογονιδίων)
- Χρόνο ετήσιας λειτουργίας 4000 ώρες

και η έξοδος έδωσε τιμή του παράγοντα συντήρησης 0.65 ([13], [14], [15]).

Μετά τον προσδιορισμό όλων των παραπάνω αναγκαίων παραγόντων, ξεκινάει ο υπολογισμός των φωτομετρικών στοιχείων, η τιμή των οποίων θα δείξει πόσο σωστά έχει γίνει ο σχεδιασμός. Η τάξη φωτισμού CE2, ορίζει δύο βασικά κριτήρια βάσει των οποίων κρίνεται ο φωτισμός ενός δρόμου :

1) Η οριζόντια μέση Ένταση Φωτισμού να ξεπερνάει τα 20 lux
(E horizontal Average > 20 lux)

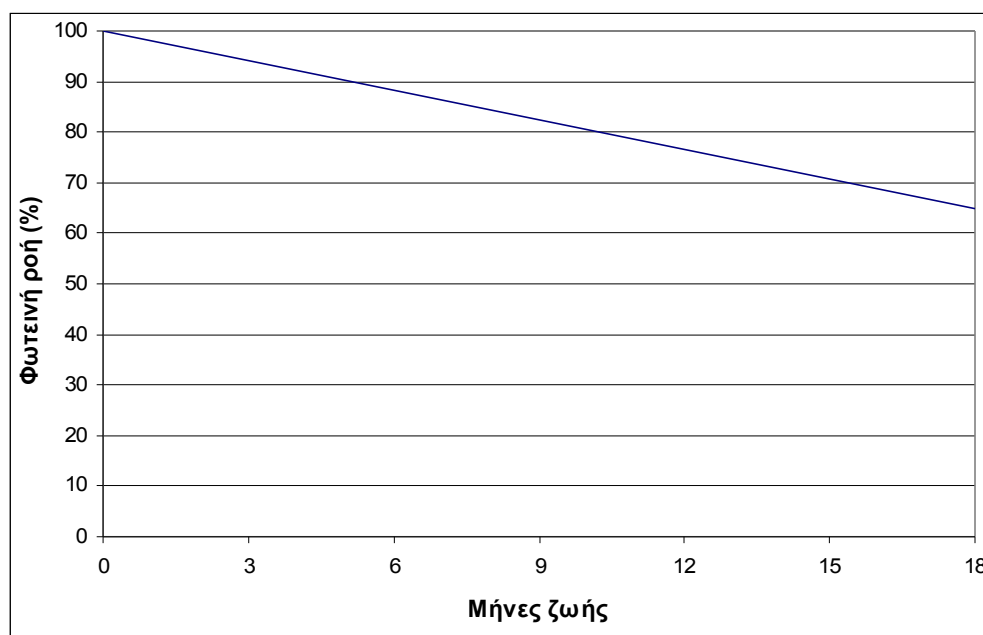
2) Ο λόγος της ελάχιστης οριζόντιας Έντασης Φωτισμού προς τη μέση να είναι μεγαλύτερος του 0.4 (E horizontal min/average > 0.4)

Οι τιμές της οριζόντιας μέσης έντασης φωτισμού και του λόγου της ελάχιστης προς τη μέση, στη συγκεκριμένη περίπτωση δρόμου και φωτιστικών, προέκυψαν 20.7 lux και 0.42, αντίστοιχα.

4.3.1.2 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου

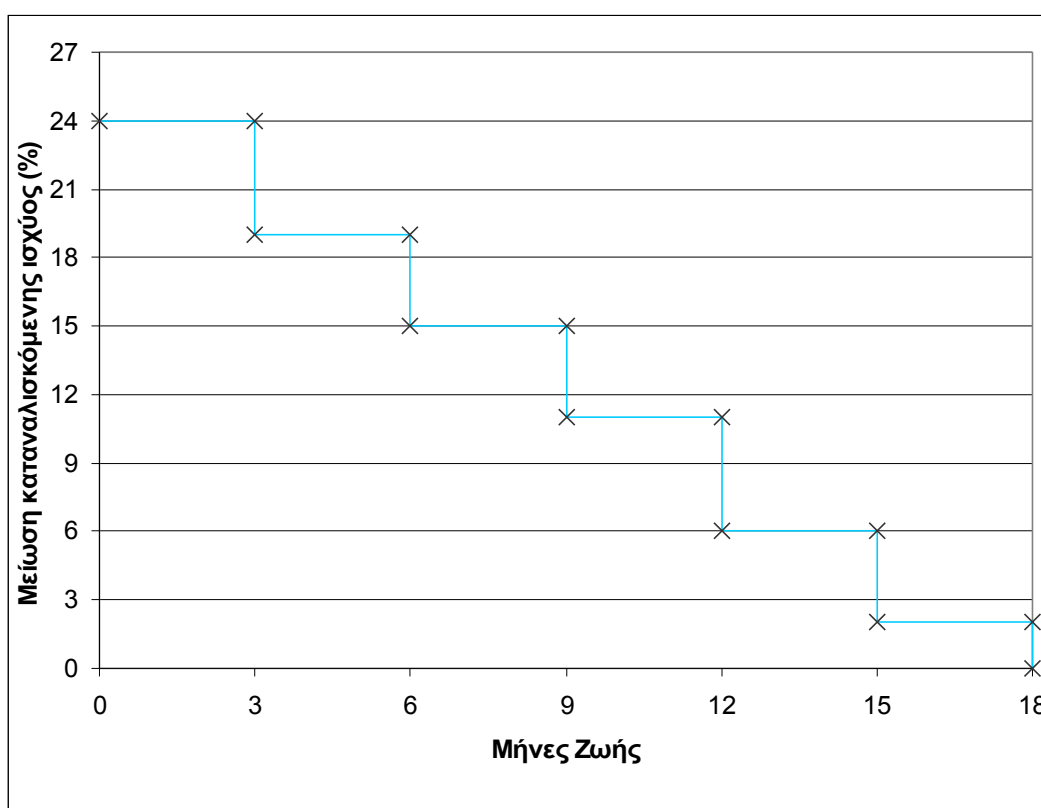
Μετά το σχεδιασμό του δρόμου και των χαρακτηριστικών του, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στην παράγραφο 4.2, υπολογίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη χρήση του συστήματος 1 σε αυτό το δρόμο.

Με τη βοήθεια του σχήματος 4.1 μπορεί να σχεδιαστεί η καμπύλη της εκτιμώμενης μείωσης της φωτεινής ροής για μια χρονική διάρκεια ίση με το χρόνο ζωής των λαμπτήρων ΜΗ (η συντήρηση γίνεται κάθε τέλος ζωής των λαμπτήρων), δηλαδή 18 μήνες (πίνακας 4.1). Η καμπύλη αυτή φαίνεται στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6 : Καμπύλη εκτιμώμενης μείωσης της φωτεινής ροής των λαμπτήρων κατά τη διάρκεια της ζωής τους, στο δρόμο της πρώτης περίπτωσης

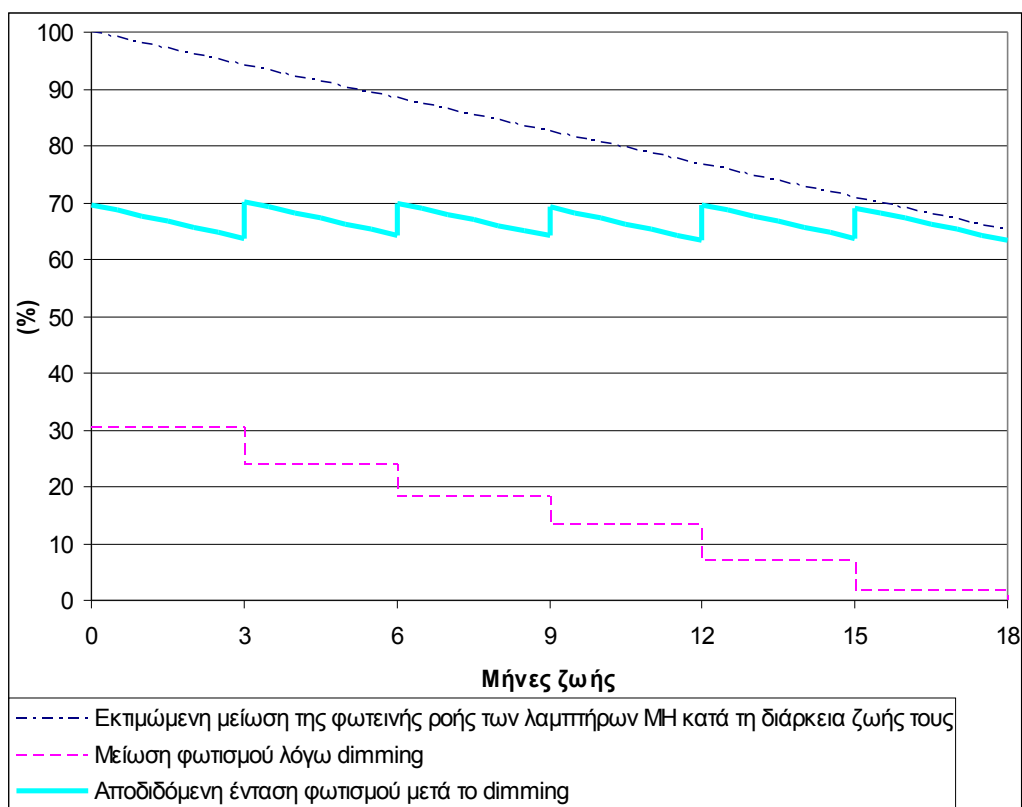
Η ρύθμιση φωτισμού (dimming) από το σύστημα 1, αποφασίστηκε να μεταβάλλεται κάθε τρίμηνο, με στόχο στο τέλος κάθε τριμήνου, η ένταση φωτισμού να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο των 20 lux. Να αναφερθεί εδώ ότι το σύστημα 1 επιτελεί συνεχή ρύθμιση φωτισμού (continuous dimming) και θεωρείται ότι έχει δυνατότητα να μειώνει την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 1 %. Μετά από πολλές δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.7.



Σχήμα 4.7 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 1

Από την καμπύλη, για το σύστημα 1, του σχήματος 3.54, της ενότητας 3.3.4.4, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (πάντα σε σχετικές τιμές). Στο σχήμα 4.8 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός

λαμπτήρα ΜΗ (ίδια με του σχήματος 4.6) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω dimming και της έντασης φωτισμού που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το dimming, έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα. **Το σχήμα αυτό, σε συνδυασμό με το σχήμα 4.6, αποτελούν, ουσιαστικά, τον πυρήνα, την κεντρική ιδέα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, με οδηγό την οποία, εκπονήθηκε ολόκληρη η παρούσα εργασία από την αρχή της.**



Σχήμα 4.8 : Σύστημα 1

Στο 65 % (maintenance factor) η ένταση φωτισμού, όπως ειπώθηκε στη σχεδίαση, ήταν 20,7 lux (συνεπώς το 100% αντιστοιχεί σε τιμή έντασης φωτισμού 31.8 lux). Από το παραπάνω σχήμα γίνεται εμφανής η προσπάθεια διατήρησης της αποδιδόμενης έντασης φωτισμού μετά το dimming κοντά στα 63.2 % (20.1 lux).

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, μπορεί να υπολογιστεί από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.7, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 87 W. Οπότε έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 3 \cdot 330 \cdot 87 \cdot (0.24 + 0.19 + 0.15 + 0.11 + 0.06 + 0.02) = \mathbf{66.32 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Με τον ίδιο τρόπο έχουμε και την εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο (κάποιος επενδυτής μπορεί να ενδιαφέρεται για εξοικονόμηση σε ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα) :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 37.04 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 59.43 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 9.50 μέτρα το ένα με το άλλο, σε απόσταση 200 m θα έχουμε 21 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 66.32 \cdot 21 = \mathbf{1392.72 \text{ kWh/200 m}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **12.84%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος. Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

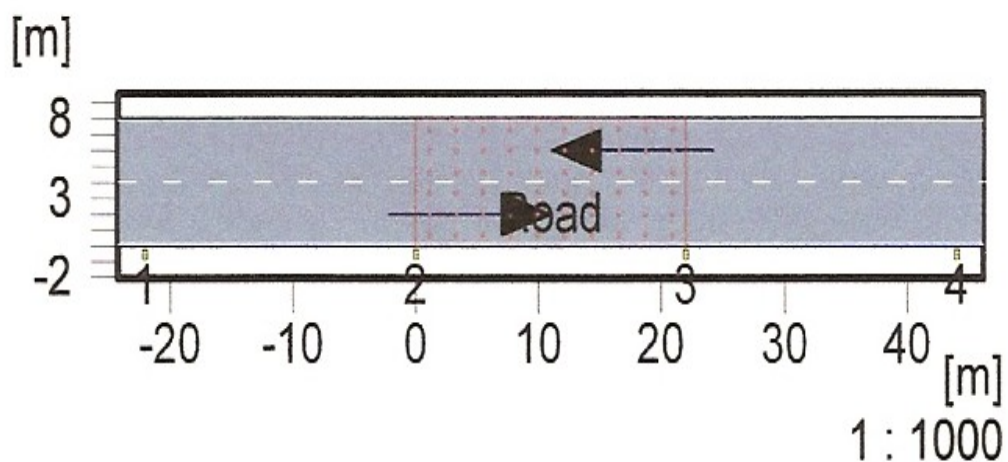
$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 777.76 \text{ kWh/200m}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 1248 \text{ kWh/200m}$$

**4.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 2
(CMH150W/T/UVC/U/830/G12), ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΤΑΞΗΣ
ΦΩΤΙΣΜΟΥ CE2, ΜΕ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ (MH) ΙΣΧΥΟΣ 150
W.**

4.3.2.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου

Ο δρόμος (σχήμα 4.9) έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτόν της προηγούμενης περίπτωσης, δηλαδή πρόκειται για αστικό, κύριο δρόμο διπλής κατεύθυνσης, χωρίς κεντρική νησίδα, για ταχύτητες μέχρι 65 km/h και περιορισμένο parking, με πλάτος 8 m και τοποθέτηση των φωτιστικών στη δεξιά πλευρά του δρόμου. Επίσης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών είναι ίδια. Το μόνο που αλλάζει είναι η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (22 m) και, φυσικά, τα ίδια τα φωτιστικά.



Σχήμα 4.9 : Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 2

Διαρρύθμιση δρόμου	Δρόμος χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος δρόμου	8.00 m
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία επιφάνειας δρόμου	R3
Συντελεστής ανακλαστικότητας δρόμου (q0)	0.08
Τοποθέτηση φωτιστικών	Δεξιά πλευρά του δρόμου
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών	22.00 m
Ύψος φωτομετρικού κέντρου (θεωρητική επιφάνεια στην οποία υπολογίζονται τα φωτομετρικά μεγέθη)	5.50 m
Απόσταση (πόσο εξέχει) του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο	-0.50 m
Κλίση φωτιστικού	10.00 degrees
Προσανατολισμός φωτιστικού	0.00 degrees

Πίνακας 4.3 : Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 2

Το είδος του φωτιστικού που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο KAOS 1 150W CDM-TT P0_KS1-021-p, της εταιρείας AEC Illuminazione του οποίου τα αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται παρακάτω όπως ακριβώς αναγράφονται στο εγχειρίδιο του φωτιστικού :

KAOS 1 150W CDM-TT P0_KS1-021-p Street lighting fitting with street lighting optic KAOS 1

Length: 622 mm, Width: 380 mm, Height: 211 mm

Efficiency: 76,7% (A30, ↓ 99.9% ↑ 0.1%)

Tot. system power: 168 W

Equipment: 1 x MT

Total luminous flux: 13000 lm

Luminous flux for emergency lighting: -----

Street lighting fitting suitable for post-top and on bracket applications.

Lower part: Die-cast aluminium ring

Upper Part: Upper canopy in technopolymer or die-cast Aluminium

Closing catch: Stainless steel

Attachment: Die-cast aluminium for post-top installation pole diam. 60-76mm, with horizontal brackets, diam. 60x42mm

Reflector: Moulded by drawing, anodized and polished 99,85% aluminium

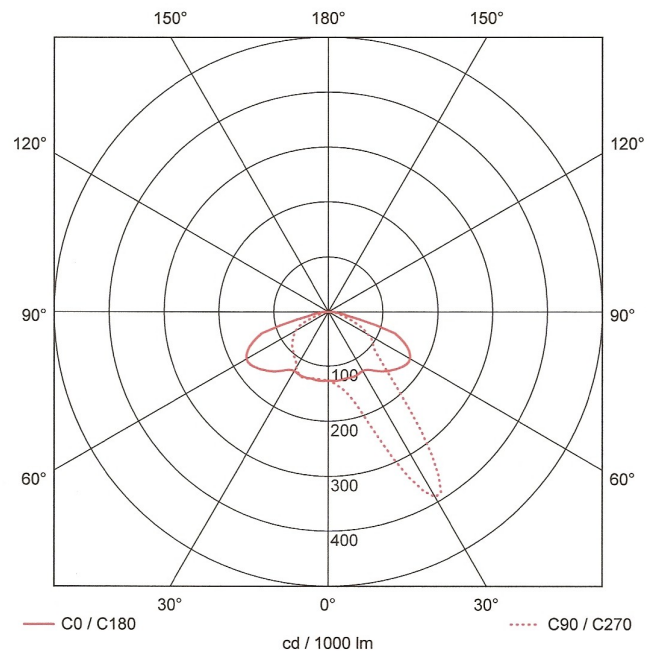
Screws and Bolts: Stainless steel

Gaskets: Siliconic
Screen: Flat tempered glass with thickness 4mm
Gear tray: Technopolymer
Upper part colour: RAL 7035
Lower part colour: RAL 7021
Insulation class: II
Protection degree of the control gear compartment: IP66
Protection degree of the optical compartment: IP66
Anticondensation filter
Cable clamp: Plastic membrane IP67
Optical Unit: Asymmetric for street lighting
On-Load Switch: Automatic
Marking: CE, ENEC
Fuse: Upon request
Ballast: 230 V (other voltage on request)
Ignitor: Superimposed type
Special wirings: On request bi-power wirings, electronic, dimmable electronic, automatic cut-out ignitor

Από τα παραπάνω στοιχεία, παρατηρούμε ότι η ονομαστική ισχύς κατανάλωσης μαζί με το ballast του φωτιστικού δεν είναι 150 W αλλά 168 W, η συνολική φωτεινή ροή είναι 13000 lm και ότι ο βαθμός προστασίας του φωτιστικού είναι IP66. Στο σχήμα 4.10 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια άποψη του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα.

Εφόσον όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τον παράγοντα συντήρησης και περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο, δεν αλλάζουν, ο παράγοντας συντήρησης, και σε αυτή τη μελέτη, έχει τιμή 0.65.

Οι τιμές της οριζόντιας μέσης έντασης φωτισμού και του λόγου της ελάχιστης προς τη μέση, στη συγκεκριμένη περίπτωση δρόμου και φωτιστικών, προέκυψαν 20.7 lux και 0.43, αντίστοιχα (πληρούνται τα κριτήρια για την τάξη φωτισμού CE2, E horizontal Average > 20 lux και E horizontal min/average > 0.4).



Σχήμα 4.10 : Φωτιστικό **KAOS 1 150W CDM-TT P0_KS1-021-p** και πολικό διάγραμμα

Παρακάτω παρατίθενται, ενδεικτικά, τα στοιχεία της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, από το πρόγραμμα RELUX :

Luminaire data

Manufacturer : AEC Illuminazione
Order No. : KAOS 1 150W CDM-TT P0_KS1-021-p
Luminaire name : KAOS 1
Equipment : 1 x MT 150 W / 13000 lm

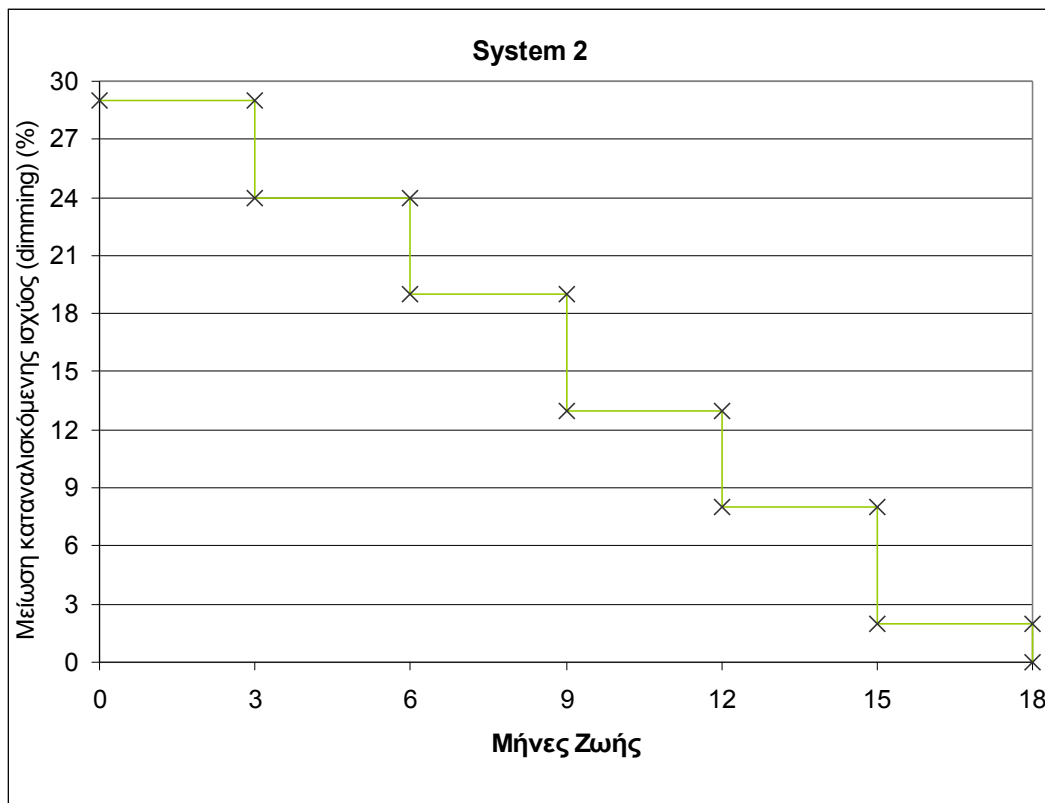
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 8.00 m	photometric centre height.(h):	5.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 22.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): -0.50 m
q0	: 0.08	Inclination	(δ): 10.00°
Right hand drivers		Reduction factor	: 0.65

Horizontal illuminance E

Average	: 20.7 lx	(CE2 min. 20)
Min / average	: 0.43	(CE2 min. 0.4)

4.3.2.2 **Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου**

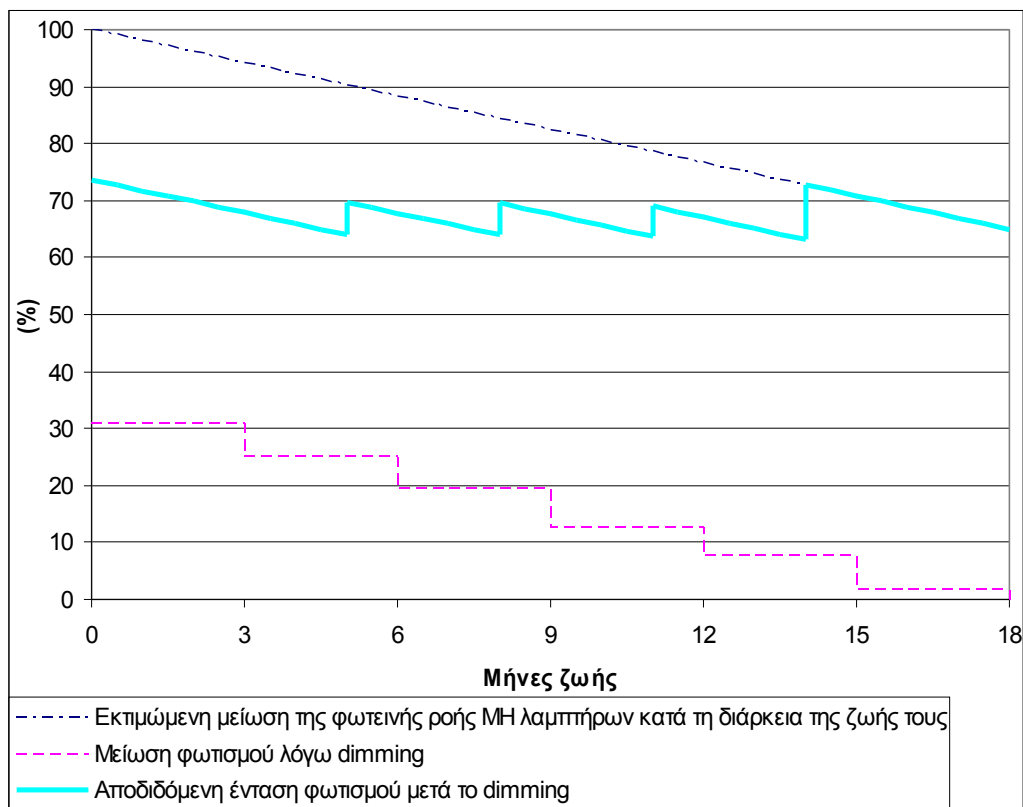
Η ρύθμιση φωτισμού (dimming) από το σύστημα 2, αποφασίστηκε να μεταβάλλεται και σε αυτή την περίπτωση, κάθε τρίμηνο, με στόχο στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος, η ένταση φωτισμού να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο των 20 lux. Να αναφερθεί εδώ ότι το σύστημα 2 επιτελεί συνεχή ρύθμιση φωτισμού (continuous dimming) και θεωρείται ότι έχει δυνατότητα να μειώνει την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 1 %. Μετά από πολλές δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.11.



Σχήμα 4.9 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 2

Από την καμπύλη, για το σύστημα 2, του σχήματος 3.54, της ενότητας 3.3.4.4, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (πάντα σε σχετικές τιμές). Στο σχήμα 4.12 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα ΜΗ (ίδια με του σχήματος 4.6) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω dimming και της έντασης φωτισμού που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το dimming, έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα.

Στο 65 % (maintenance factor) η ένταση φωτισμού ήταν 20,7 lux (συνεπώς το 100% αντιστοιχεί σε τιμή έντασης φωτισμού 31.8 lux). Από το παραπάνω σχήμα γίνεται εμφανής η προσπάθεια διατήρησης της αποδιδόμενης έντασης φωτισμού μετά το dimming κοντά στα 63.2 % (20.1 lux).



Σχήμα 4.12 : Σύστημα 2

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, υπολογίζεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.9, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 168 W. Οπότε έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 3 \cdot 330 \cdot 168 \cdot (0.29 + 0.24 + 0.19 + 0.13 + 0.08 + 0.02) = \mathbf{158 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Με τον ίδιο τρόπο έχουμε και την εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 88.15 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 141.4 \text{ kWh/φωτιστικό}$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 22 m το ένα με το άλλο, σε απόσταση 200 m θα έχουμε 9 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 158 \cdot 9 = 1422 \text{ kWh/200 m}$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **15.84%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος. Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 793.35 \text{ kWh/200m}$

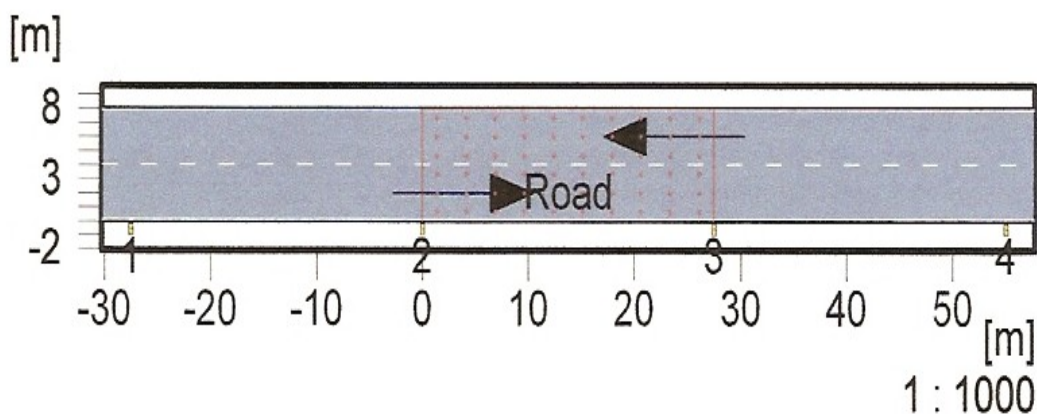
$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 1272.35 \text{ kWh/200m}$

4.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 3 (osram powerstar hqi-t 250W/D E40), ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΤΑΞΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ CE2, ΜΕ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ (MH) ΙΣΧΥΟΣ 250 W.

4.3.3.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου

Ο δρόμος (σχήμα 4.13) έχει ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτόν των περιπτώσεων 4.3.1, 4.3.2, δηλαδή πρόκειται για αστικό, κύριο δρόμο διπλής κατεύθυνσης, χωρίς κεντρική νησίδα, για ταχύτητες μέχρι 65 km/h και περιορισμένο parking, με πλάτος 8 m και τοποθέτηση των φωτιστικών στη δεξιά πλευρά του δρόμου. Όσον αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών παρατηρούμε διαφορές στην απόσταση μεταξύ των

φωτιστικών (27,5 m) και στο ύψος του φωτομετρικού κέντρου. Αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά του δρόμου και των φωτιστικών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4.



Σχήμα 4.13 : Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 3

Διαρρύθμιση δρόμου	Δρόμος χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος δρόμου	8.00 m
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία επιφάνειας δρόμου	R3
Συντελεστής ανακλαστικότητας δρόμου (q0)	0.08
Τοποθέτηση φωτιστικών	Δεξιά πλευρά του δρόμου
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών	27.50 m
Ύψος φωτομετρικού κέντρου (θεωρητική επιφάνεια στην οποία υπολογίζονται τα φωτομετρικά μεγέθη)	7.00 m
Απόσταση (πόσο εξέχει) του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο	-0.50 m
Κλίση φωτιστικού	10.00 degrees
Προσανατολισμός φωτιστικού	0.00 degrees

Πίνακας 4.4 : Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 3

Το είδος του φωτιστικού που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο SERIKA 250W MHL-E_SK-009 , της εταιρείας AEC Illuminazione του οποίου τα

αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται παρακάτω όπως ακριβώς αναγράφονται στο εγχειρίδιο του φωτιστικού :

SERIKA 250W MHL-E_SK-009 Street lighting fitting with street lighting optic SERIKA

Length: 795 mm, Width: 375 mm, Height: 275 mm

Efficiency: 77,7% (A30, ↓ 99.3% ↑ 0.7%)

Tot. system power: 274 W

Equipment: 1 x ME

Total luminous flux: 19000 lm

Luminous flux for emergency lighting: -----

Street lighting fitting suitable for post-top and on bracket applications.

Lower part: Fiberglass reinforced technopolymer

Upper Part: Technopolymer upper canopy fiberglass reinforced

Attachment: post-top installation pole diam. 60-70-76mm, Installation with horizontal brackets diam. 60-70mm

Reflector: Moulded by drawing, anodized and polished 99,85% aluminium

Screws and Bolts: Stainless steel

Gaskets: Siliconic

Screen: Curved glass bowl

Gear tray: Technopolymer

Upper part colour: RAL 9003

Lower part colour: RAL 9002 (chassis Colour RAL 7030)

Insulation class: II

Protection degree of the control gear compartment: IP66

Protection degree of the optical compartment: IP66

Anticondensation filter

Cable clamp: IP68 in plastic

Optical Unit: Asymmetric for street lighting

On-Load Switch: Automatic

Marking: CE

Fuse: Upon request

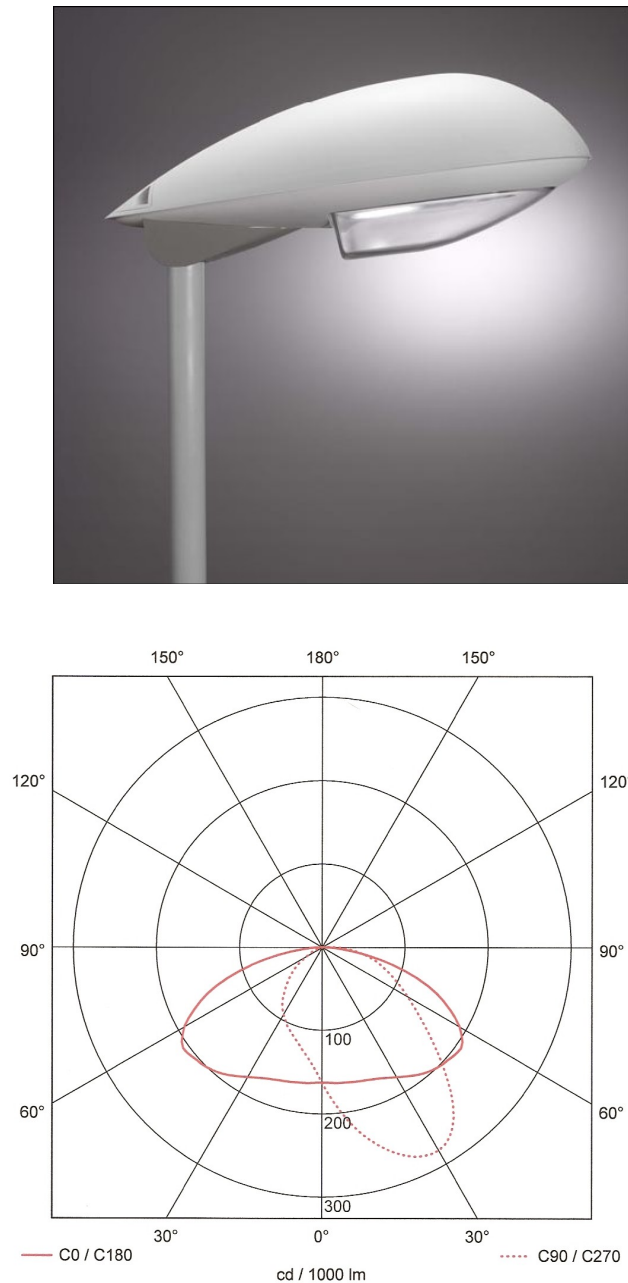
Ballast: 230 V (other voltage on request)

Ignitor: Superimposed type

Special wirings: On request bi-power wirings, electronic, dimmable electronic, automatic cut-out ignitor

Από τα παραπάνω στοιχεία, παρατηρούμε ότι η ονομαστική ισχύς κατανάλωσης μαζί με το ballast του φωτιστικού δεν είναι 250 W αλλά 274 W, η συνολική φωτεινή ροή είναι 19000 lm και ότι ο βαθμός προστασίας

του φωτιστικού είναι IP66. Στο σχήμα 4.14 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια άποψη του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα.



Σχήμα 4.14 : Φωτιστικό **SERIKA 250W MHL-E_SK-009** και πολικό διάγραμμα

Εφόσον όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τον παράγοντα συντήρησης και προσδιορίστηκαν σε προηγούμενη περίπτωση, δεν αλλάζουν, ο παράγοντας συντήρησης, και σε αυτή τη μελέτη, έχει τιμή 0.65.

Οι τιμές της οριζόντιας μέσης έντασης φωτισμού και του λόγου της ελάχιστης προς τη μέση, στη συγκεκριμένη περίπτωση δρόμου και φωτιστικών, προέκυψαν 21.2 lux και 0.42, αντίστοιχα (πληρούνται τα κριτήρια για την τάξη φωτισμού CE2, E horizontal Average > 20 lux και E horizontal min/average > 0.4). Παρακάτω παρατίθενται, ενδεικτικά, τα στοιχεία της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, από το πρόγραμμα RELUX :

Luminaire data

Manufacturer : AEC Illuminazione
 Order No. : SERIKA 250W MHL-E_SK-009
 Luminaire name : SERIKA
 Equipment : 1 x ME 250 W / 19000 lm

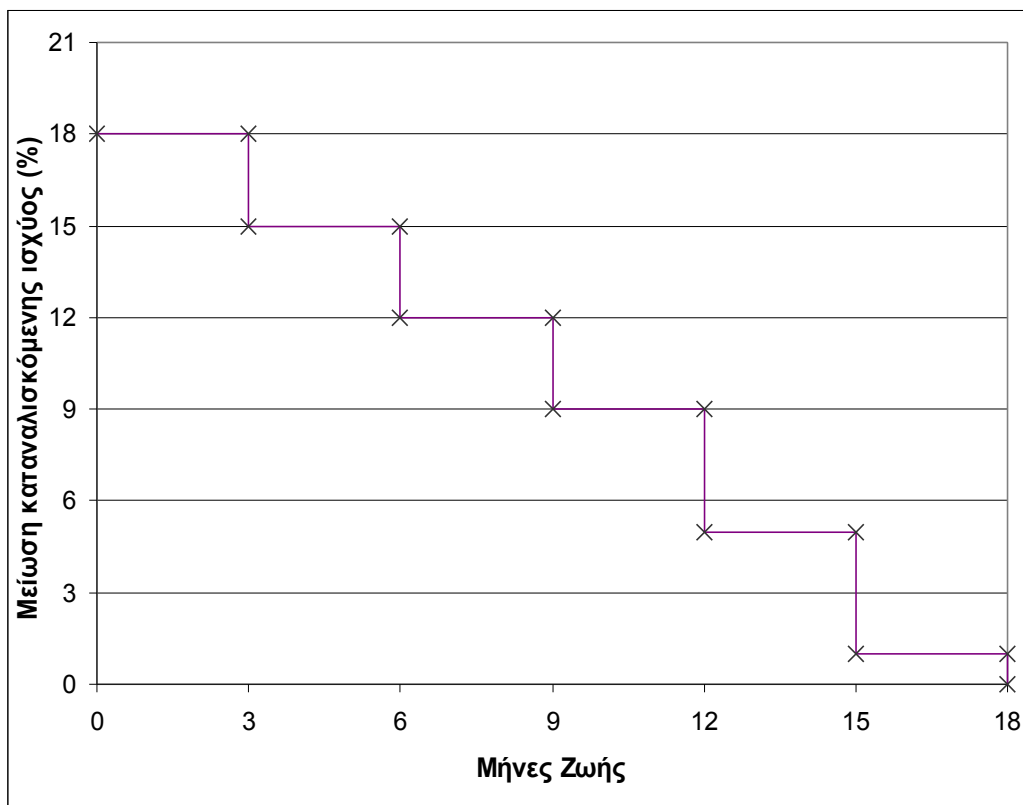
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 8.00 m	photometric centre height.(h):	7.00 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 27.50 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): -0.50 m
q0	: 0.08	Inclination	(δ): 10.00°
Right hand drivers		Reduction factor	: 0.65

Horizontal illuminance E

Average	: 21.2 lx	(CE2 min. 20)
Min / average	: 0.42	(CE2 min. 0.4)

4.3.3.2 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου

Η ρύθμιση φωτισμού (dimming) από το σύστημα 3, αποφασίστηκε να μεταβάλλεται και σε αυτή την περίπτωση, κάθε τρίμηνο, με στόχο στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος, η ένταση φωτισμού να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο των 20 lux. Να αναφερθεί εδώ ότι το σύστημα 3 επιτελεί συνεχή ρύθμιση φωτισμού (continuous dimming) και θεωρείται ότι έχει δυνατότητα να μειώνει την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 1 %. Μετά από δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.15.

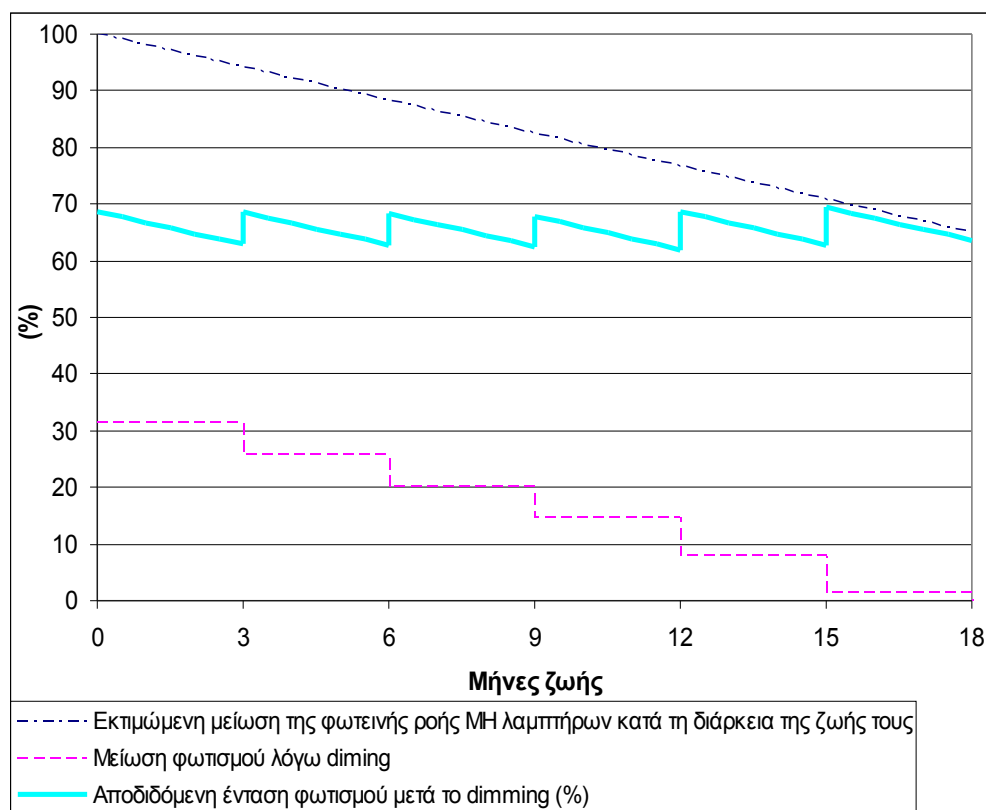


Σχήμα 4.15 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του *dimming* από το σύστημα 3

Από την καμπύλη, για το σύστημα 3, του σχήματος 3.54, της ενότητας 3.3.4.4, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (πάντα σε σχετικές τιμές). Στο σχήμα 4.16 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα MH (ίδια με του σχήματος 4.6) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω *dimming* και της έντασης φωτισμού που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το *dimming*, έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα.

Στο 65 % (maintenance factor) η ένταση φωτισμού ήταν 21,2 lux (συνεπώς το 100% αντιστοιχεί σε τιμή έντασης φωτισμού 32.6 lux). Από το παραπάνω σχήμα γίνεται εμφανής η προσπάθεια διατήρησης της

αποδιδόμενη έντασης φωτισμού μετά το dimming κοντά στα 61.66 % (20.1 lux).



Σχήμα 4.16 : Σύστημα 3

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, υπολογίζεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.15, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 274 W. Οπότε έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 3 \cdot 330 \cdot 274 \cdot (0.18 + 0.15 + 0.12 + 0.09 + 0.05 + 0.01) = \mathbf{162,76}$$

kWh/φωτιστικό

Με τον ίδιο τρόπο έχουμε και την εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 89.5 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 146.48 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 27.5 m το ένα με το άλλο, σε απόσταση 300 m θα έχουμε 11 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 162.76 \cdot 11 = \mathbf{1790.32 \text{ kWh/300 m}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **10%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος. Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

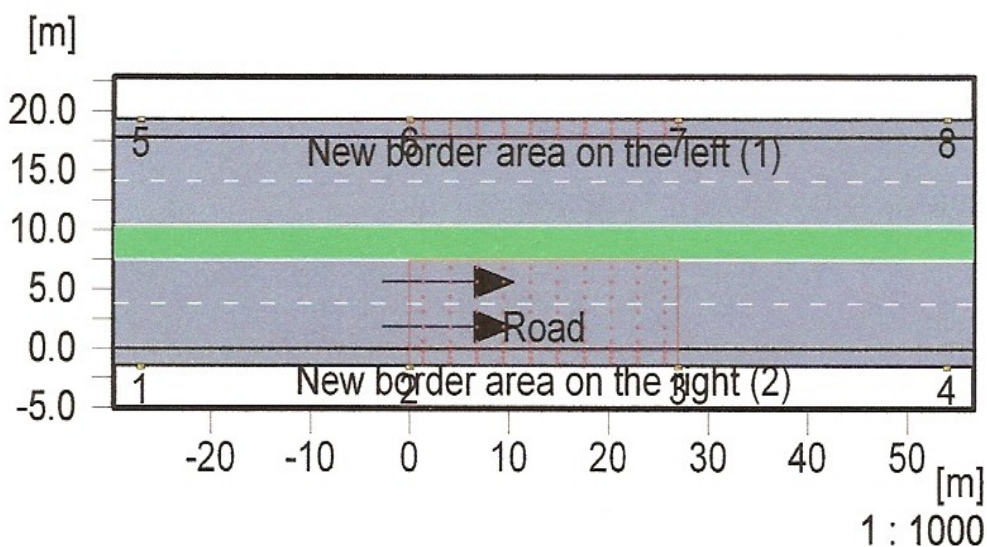
$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 984.7 \text{ kWh/300m}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 1611.3 \text{ kWh/300m}$$

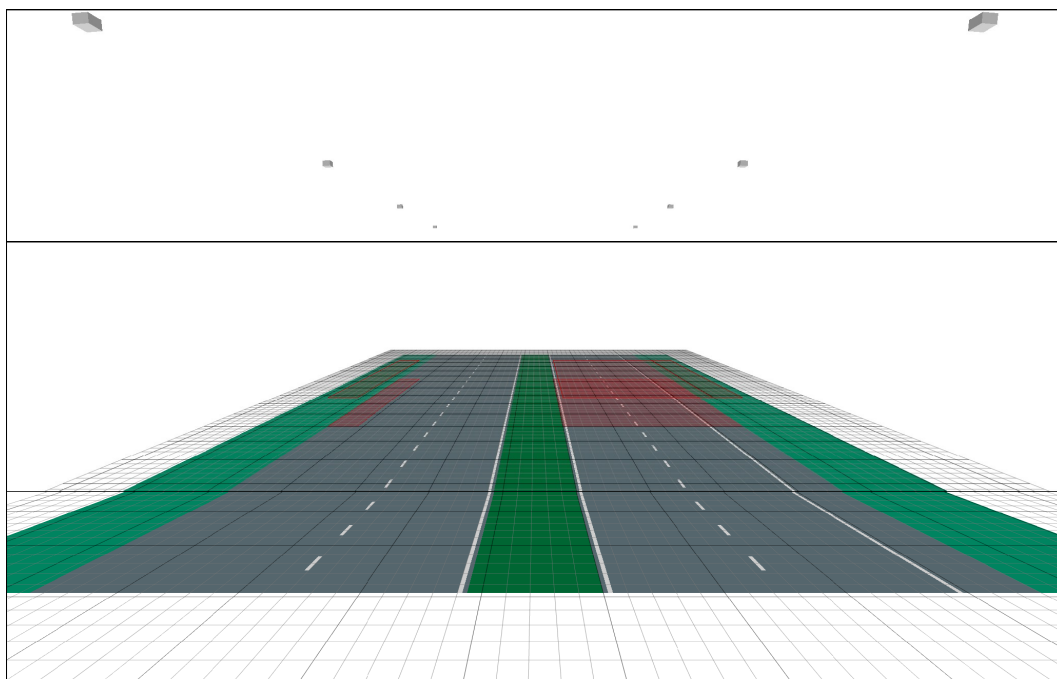
4.3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 4 (Philips master HPI-T plus 400W/645 E40), ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΤΑΞΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ME3a, ΜΕ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ (MH) ΙΣΧΥΟΣ 400 W.

4.3.4.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου

Στα σχήματα 4.17, 4.18, φαίνονται μια κάτοψη και μία τρισδιάστατη άποψη, αντίστοιχα, του δρόμου που εξετάζεται. Πρόκειται για επαρχιακό δρόμο μονής ή διπλής κατεύθυνσης, για ταχύτητες άνω των 65 km/h, με λίγες διασταυρώσεις και μικρή κινητικότητα πεζών. Τα ακριβή του στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5. Τα στοιχεία αυτά δεν επιλέχθηκαν τυχαία αλλά με γνώμονα την πλήρωση των προϋποθέσεων που τίθενται από τα διεθνή πρότυπα αναφορικά με την απαιτούμενη λαμπρότητα και ποιότητα φωτισμού στη συγκεκριμένη τάξη φωτισμού.



Σχήμα 4.17 : Κάτοψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 4



Σχήμα 4.18 : Τρισδιάστατη άποψη του δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 4

Διαρρύθμιση δρόμου	Δρόμος χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος δρόμου	7.50 m
Πλάτος κεντρικής νησίδας	2.80 m
Αριθμός λωρίδων	2 (προς κάθε κατεύθυνση)
Κατηγορία επιφάνειας δρόμου	R3
Συντελεστής ανακλαστικότητας δρόμου (q_0)	0.07
Τοποθέτηση φωτιστικών	Και στις δύο πλευρές του δρόμου
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών	27.00 m
Ύψος φωτομετρικού κέντρου (θεωρητική επιφάνεια στην οποία υπολογίζονται τα φωτομετρικά μεγέθη)	14.00 m
Απόσταση (πόσο εξέχει) του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο	-1,50 m
Κλίση φωτιστικού	5.00 degrees
Προσανατολισμός φωτιστικού	0.00 degrees

Πίνακας 4.5 : Χαρακτηριστικά δρόμου στον οποίο εφαρμόζεται το σύστημα 4

Το είδος του φωτιστικού που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο Paris Grey (28213), της εταιρείας Lanzini, του οποίου τα αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται παρακάτω όπως ακριβώς αναγράφονται στο εγχειρίδιο του φωτιστικού :

28213 street luminaire Paris Grey

Length: 366 mm, Width: 720 mm, Height: 300 mm

Efficiency: 65,4% (A40, ↓ 99.7% ↑ 0.3%)

Tot. system power: 400 W

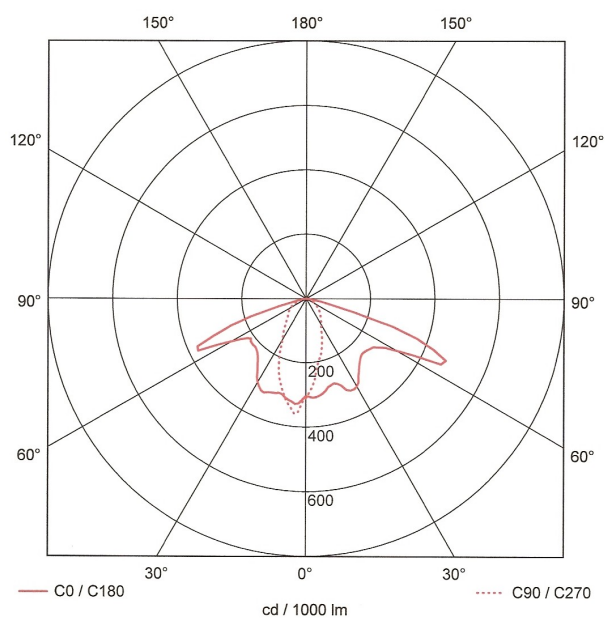
Equipment: 1 x MT

Total luminous flux: 34000 lm

Luminous flux for emergency lighting: -----

Streetlight suitable to light either narrow or wide avenues, thanks to its max. power of 400W and to the high efficiency of the optic, which allow to get a high and diffused luminance on the pavement of the road. Body in diecast aluminium. Painting is made by means of polyester powders in orange-peel metallized grey. Adjusting holder in die-cast aluminium. Flat transparent glass diffuser, 5 mm thick, tempered, heat-proof and crash-proof. Silicone gaskets. Reflector in pure aluminium, 0.8 mm thick, with anodized and polished surface. Cut-off optic. Outside bolts and screws in inox steel. This streetlight can be installed on either horizontal or vertical poles, with diameter Ψ 76mm to Ψ 60mm. Goniometer for inclination adjustment: angle adjusting width 90°. Routine and unscheduled maintenance are easier, thanks to the clips opening system of the upper body; installation is the only time when tools must be used. Opening rotation of the upper body is on the road side. Supporting tray for electrical control gear removable and equipped with fast connectors, is in thermo-plastic material. First brand electrical components: electro-mechanical or electronic ballast, superimposed or pulse ignitor, power factor correction capacitor with discharge resistance, tinned copper cables with silicone sheath. Ceramic lampholder type E40, thermo-plastic disconnecting-switch. Streetlight in insulation class II. Streetlight available on request in insulation class I (without disconnecting-switch). Protection degree IP66 (optic) / IP44 (gear-box).

Η ονομαστική ισχύς κατανάλωσης είναι συνολικά 400 W, η συνολική φωτεινή ροή είναι 34000 lm και ο βαθμός προστασίας του φωτιστικού είναι IP66. Στο σχήμα 4.19, που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια άποψη του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα.



Σχήμα 4.19 : Φωτιστικό **Paris Grey (28213)** και πολικό διάγραμμα

Εφόσον όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τον παράγοντα συντήρησης και προσδιορίστηκαν σε προηγούμενη περίπτωση, δεν αλλάζουν, ο παράγοντας συντήρησης, και σε αυτή τη μελέτη, έχει τιμή 0.65.

Η τάξη φωτισμού ME3a, ορίζει τέσσερα βασικά κριτήρια βάσει των οποίων κρίνεται ο φωτισμός ενός δρόμου :

- 1) Η μέση Λαμπρότητα να ξεπερνάει τη 1 cd/m^2
(Luminance average $> 1 \text{ cd/m}^2$),
- 2) Ο λόγος της ελάχιστης Λαμπρότητα προς τη μέση να είναι μεγαλύτερος του 0.4 (Luminance min/average > 0.4),
- 3) Η διαμήκης ομοιομορφία να ξεπερνά το 0.7 (Longitudinal uniformity UI > 0.7),
- 4) Η αύξηση κατωφλίου να μην είναι μεγαλύτερη του 15 (Threshold increment < 15)

Οι τιμές της μέσης λαμπρότητας, του λόγου της ελάχιστης προς τη μέση, της διαμήκου ομοιομορφίας και της αύξησης του κατωφλίου στη συγκεκριμένη περίπτωση δρόμου και φωτιστικών, προέκυψαν 1.17 cd/m^2 , 0.54, 0.8 και 5, αντίστοιχα (πληρούνται τα κριτήρια για την τάξη φωτισμού ME3a). Παρακάτω παρατίθενται, ενδεικτικά, τα στοιχεία της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, από το πρόγραμμα RELUX :

Luminaire data

Manufacturer : Lanzini
Order No. : 28213
Luminaire name : Paris Grey
Equipment : 1 x MT 400 W / 34000 lm

Road layout	: with central reservation	Luminaire placing	: Both sides
Width of roadway	(b): 7.50 m	photometric centre height.(h):	14.00 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 27.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): -1.50 m
q0	: 0.07	Inclination	(δ): 5.00°
Right hand drivers		Reduction factor	: 0.65

Luminance

Observer location 1	: x=-60.00m, y=1.88m, z=1.50m
Average	: 1.17 cd/m^2 (ME3a min. 1)
U0 (min/average)	: 0.58 (ME3a min. 0.4)

Observer location 2	: x=-60.00m, y=5.63m, z=1.50m
Average	: 1.25 cd/m^2 (ME3a min. 1)
U0 (min/average)	: 0.54 (ME3a min. 0.4)

Longitudinal uniformity

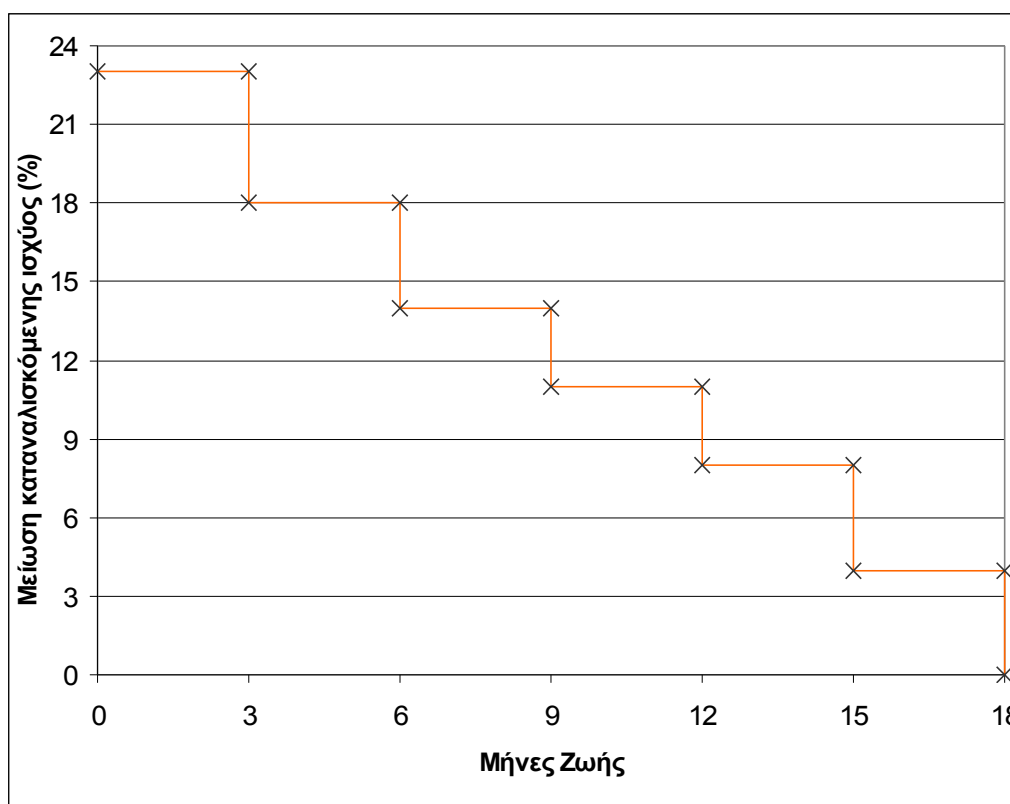
UI (B1: x = -60.00, y = 1.88, z = 1.50)	: 0.8	(ME3a min. 0.7)
UI (B2: x = -60.00, y = 5.63, z = 1.50)	: 0.95	(ME3a min. 0.7)

Glare/ surrounding brightness

TI (B1: y=1.88m)	: 5 %	(ME3a max. 15)
SR	: 1.45	(ME3a min. 0.5)

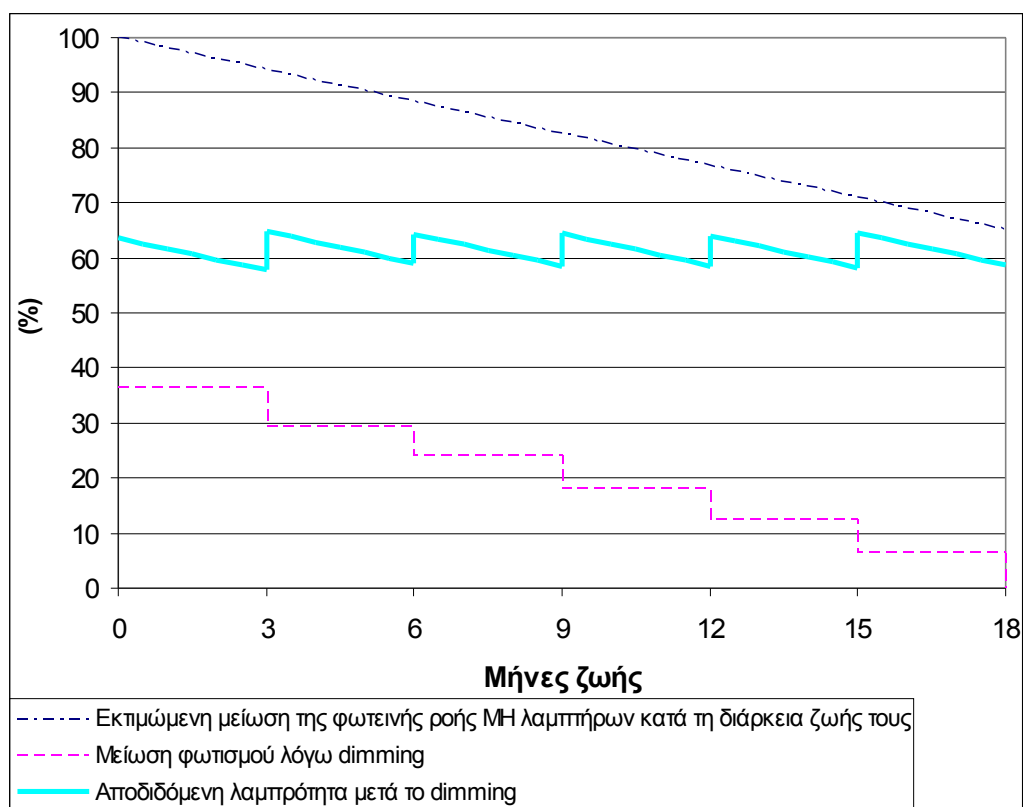
4.3.4.2 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου

Η ρύθμιση φωτισμού (dimming) από το σύστημα 4, αποφασίστηκε να μεταβάλλεται και σε αυτή την περίπτωση, κάθε τρίμηνο, με στόχο στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος, η λαμπρότητα να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο της 1 cd/m². Να αναφερθεί εδώ ότι το σύστημα 4 επιτελεί συνεχή ρύθμιση φωτισμού (continuous dimming) και θεωρείται ότι έχει δυνατότητα να μειώνει την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 1 %. Μετά από δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 4.20.



Σχήμα 4.20 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από το σύστημα 4

Από την καμπύλη, για το σύστημα 4, του σχήματος 3.54, της ενότητας 3.3.4.4, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (ή λαμπρότητας, πάντα σε σχετικές τιμές). Στο σχήμα 4.21 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της εκτιμώμενης σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα MH (ίδια με του σχήματος 4.6) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω dimming και της λαμπρότητας που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το dimming, έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.21 : Σύστημα 4

Στο 65 % (maintenance factor) η ένταση φωτισμού ήταν 1.17 cd/m^2 , (συνεπώς το 100% αντιστοιχεί σε τιμή έντασης φωτισμού 1.81 cd/m^2). Από το παραπάνω σχήμα γίνεται εμφανής η προσπάθεια διατήρησης της

αποδιδόμενη λαμπρότητα μετά το dimming κοντά στα 58 % (1.05 cd/m²).

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, υπολογίζεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.19, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 400 W. Οπότε έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 3 \cdot 330 \cdot 400 \cdot (0.23 + 0.18 + 0.14 + 0.11 + 0.08 + 0.04) = \mathbf{309 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Με τον ίδιο τρόπο έχουμε και την εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 162.4 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 261.4 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 27 m το ένα με το άλλο, σε απόσταση 1 km (μιλάμε πλέον για μεγάλο δρόμο), θα έχουμε 37 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 309 \cdot 37 = \mathbf{11429 \text{ kWh/ km}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **13%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος. Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 6007 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 9670 \text{ kWh/ km}$$

4.3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ INTELUX, E-BOX, ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΤΑΞΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ3α, ΜΕ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ (ΜΗ) ΙΣΧΥΟΣ 400 W.

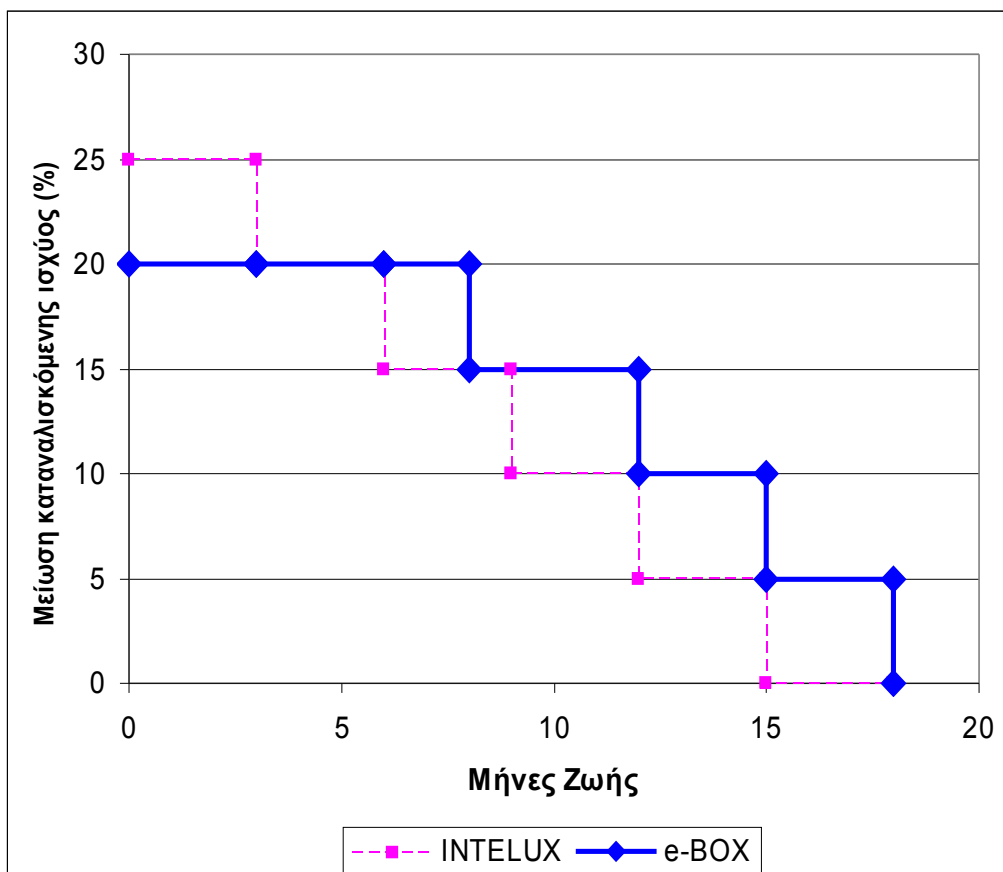
4.3.5.1 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου

Ο δρόμος, τα φωτιστικά και γενικά όλη η μελέτη φωτισμού που πραγματοποιήθηκε στην παράγραφο 4.3.4.1 για την περίπτωση του συστήματος 4, ισχύει και σε αυτήν την περίπτωση. Συνεπώς, μένει να εξεταστεί η ρύθμιση φωτισμού (dimming) που επιτελείται από το INTELUX και το E-BOX.

Όσον αφορά το INTELUX, η ρύθμιση φωτισμού (dimming) αποφασίστηκε να μεταβάλλεται κάθε τρίμηνο, ενώ στην περίπτωση του E-BOX, κρίθηκε απαραίτητη (για βέλτιστο dimming) μια μικρή μεταβολή στο χωρισμό του δεύτερου εξαμήνου, το οποίο τελικά διασπάστηκε από 6^ο – 8^ο μήνα, από 8^ο - 12^ο μήνα. Όλα αυτά έχουν στόχο στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος, η λαμπρότητα να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο της 1 cd/m².

Είναι σημαντικό να αναφερθεί εδώ μία διαφορά των δύο εξεταζόμενων συστημάτων κεντρικού ελέγχου με τα EDBs που μελετήθηκαν στις προηγούμενες εφαρμογές. Τα συστήματα έναυσης και λειτουργίας (EDBs), πραγματοποιούν συνεχή ρύθμιση φωτισμού (continuous dimming) και θεωρήθηκε ότι έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 1 %. Το INTELUX και το E-BOX αντίθετα, μειώνουν την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 5 %. Μετά από δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που

πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται σε κοινό διάγραμμα για INTELUX και E-BOX στο σχήμα 4.22.

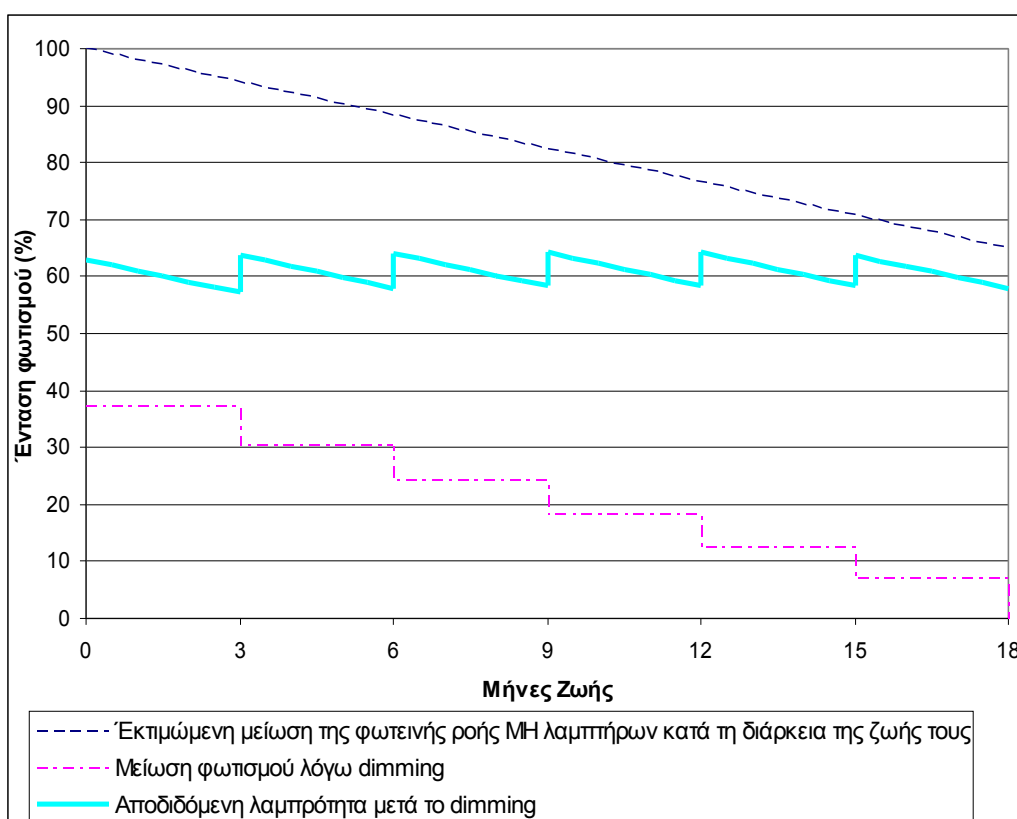


Σχήμα 4.22 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από τα συστήματα INTELUX και E-BOX

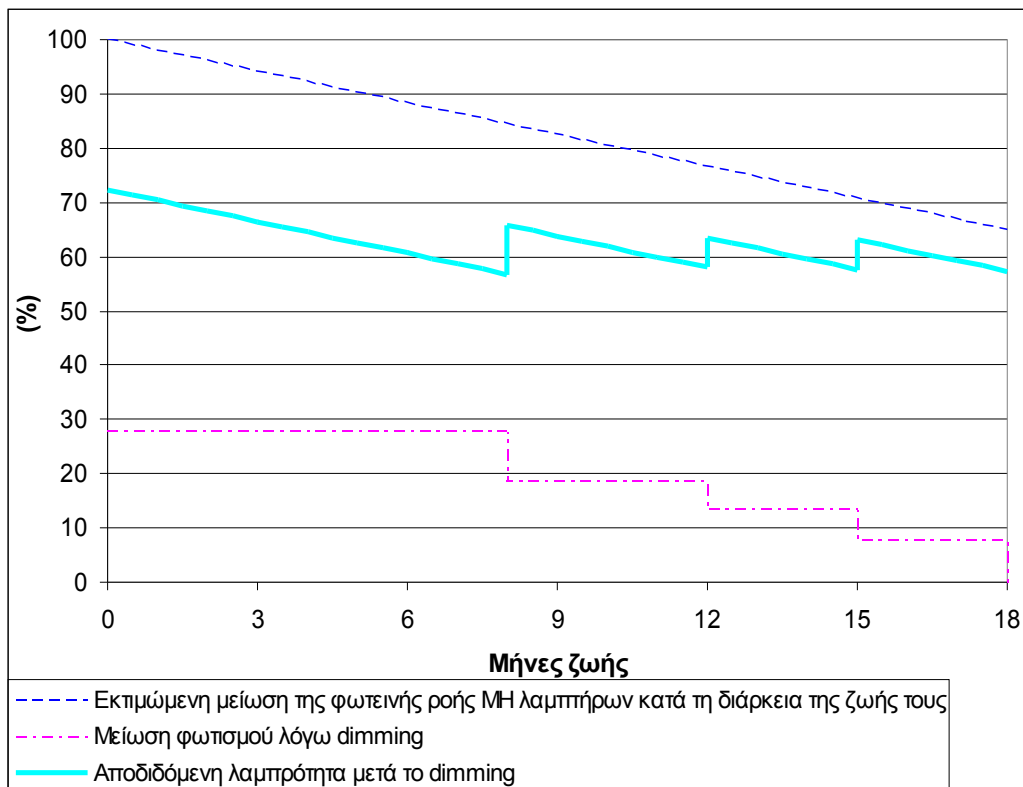
Από την καμπύλη, για το σύστημα 4, του σχήματος 3.32, της ενότητας 3.3.3.3, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (ή λαμπρότητας, πάντα σε σχετικές τιμές). Στο σχήμα 4.23 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της εκτιμώμενης σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα MH (ίδια με του σχήματος 4.6) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω dimming και

της λαμπρότητας που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το dimming για την περίπτωση του INTELUX και στο σχήμα 4.23 το ανάλογο διάγραμμα για την περίπτωση του E-BOX (σχήμα 4.24), έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα.

Στο 65 % (maintenance factor) η ένταση φωτισμού ήταν 1.17 cd/m^2 , (συνεπώς το 100% αντιστοιχεί σε τιμή έντασης φωτισμού 1.81 cd/m^2). Από τα δύο προηγούμενα σχήματα γίνεται εμφανής η προσπάθεια διατήρησης της αποδιδόμενης λαμπρότητας μετά το dimming κοντά στα 58 % (1.05 cd/m^2).



Σχήμα 4.23 : Σύστημα INTELUX



Σχήμα 4.24 : Σύστημα E-BOX

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, υπολογίζεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.22 για κάθε περίπτωση, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 400 W.

Για το **INTELUX** έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 3 \cdot 330 \cdot 400 \cdot (0.25 + 0.20 + 0.15 + 0.10 + 0.05) = \mathbf{297}$$

kWh/φωτιστικό

Η εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 178.2 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 277.2 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Και η εξοικονόμηση για ένα χιλιόμετρο (37 φωτιστικά) :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 299 \cdot 37 = \mathbf{10989 \text{ kWh/ km}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **12.5%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος.

Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 6594 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 10257 \text{ kWh/ km}$$

Για το **E-BOX** έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} =$$

$$330 \cdot 400 \cdot (3 \cdot 0.20 + 3 \cdot 0.20 + 2 \cdot 0.20 + 4 \cdot 0.15 + 3 \cdot 0.10 + 3 \cdot 0.05) = \mathbf{350}$$

kWh/φωτιστικό

Η εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 159 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 291 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Και η εξοικονόμηση για ένα χιλιόμετρο (37 φωτιστικά) :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 350 \cdot 37 = \mathbf{12943 \text{ kWh/ km}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **14.72%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος.

Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 5861 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 10745 \text{ kWh/ km}$$

4.3.5.2 Οικονομική ανάλυση

Εφόσον είναι γνωστές οι τιμές των προϊόντων INTELUX, E-BOX είναι εφικτή η πραγματοποίηση μιας οικονομοτεχνικής μελέτης από την οποία θα προκύψουν εκτιμήσεις για τα βασικότερα κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων, που είναι η έντοκη περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης (DPB) και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR).

Έχει ειπωθεί αρκετές φορές στην παρούσα εργασία ότι τα INTELUX, E-BOX είναι συστήματα κεντρικού ελέγχου, δηλαδή μπορούν να ελέγχουν ομάδες φωτιστικών. Το INTELUX έχει ονομαστική φαινόμενη ισχύ 5.7 kVA και το E-BOX, 5.8 kVA. Επίσης, στην παράγραφο 3.3.3.2 της ενότητας 3 είχε βρεθεί πειραματικά ότι ο συντελεστής ισχύος για φορτίο ονομαστικής ενεργού ισχύος 1500 W (6 λαμπτήρες των 250 W) σταθεροποιείται στο 0.74 και για τα δύο συστήματα. Οπότε μπορεί έτσι να βρεθεί η ονομαστική φαινόμενη ισχύς του φορτίου και στη συνέχεια του κάθε λαμπτήρα. Αυτή βρέθηκε ότι είναι 338 VA, πράγμα που σημαίνει ότι το INTELUX μπορεί να ελέγξει ταυτόχρονα 16 φωτιστικά ενώ το E-BOX, 17. Αν αναχθούν αυτά τα νούμερα στο km σημαίνει ότι και στις δύο περιπτώσεις χρειάζονται 3 τεμάχια/ km.

Η βιομηχανική τιμή της kWh, σύμφωνα και με τους αναλυτικούς πίνακες τιμολογίων της Δ.Ε.Η. ([16]), είναι ίση με 0.085 ευρώ και το αρχικό κόστος επένδυσης (τιμές προϊόντων και κόστους εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένου και του Φ.Π.Α) υπολογίζεται σε 7140 ευρώ για το INTELUX και σε 5926.2 ευρώ για το E-BOX. Επιπλέον, θεωρήθηκε ότι, εκτός από το ετήσιο κόστος συντήρησης και τις υπόλοιπες λειτουργικές δαπάνες, τα συστήματα δεν παθαίνουν καθολική βλάβη και ότι συνεχίζουν να λειτουργούν μέχρι το τέλος της περιόδου εξέτασης (20 χρόνια). Αυτό σημαίνει ότι το κόστος εγκατάστασης υπολογίζεται άπαξ, στην αρχή του πρώτου έτους της επένδυσης. Τέλος, να αναφερθεί ότι οι υπολογισμοί έγιναν για τιμές επιτοκίου αναγωγής $i = 5\%$, 7.5% , 10% , μια και το επιτόκιο

αναγωγής για επενδύσεις σε συστήματα φωτισμού κυμαίνεται συνήθως στο 5% - 10% ([17]). Θεωρήθηκε σκόπιμο να μην παρουσιαστούν όλοι οι υπολογισμοί και οι πράξεις για αυτό τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 4.6.

	INTELUX	E-BOX
DPB (για $i = 5\%$)	17 χρόνια	11 χρόνια
DPB (για $i = 7.5\%$)	26 χρόνια	13 χρόνια
DPB (για $i = 10\%$)	> 30 χρόνια	17 χρόνια
IRR (20ετής περίοδος εξέτασης)	6.33 %	11.05 %

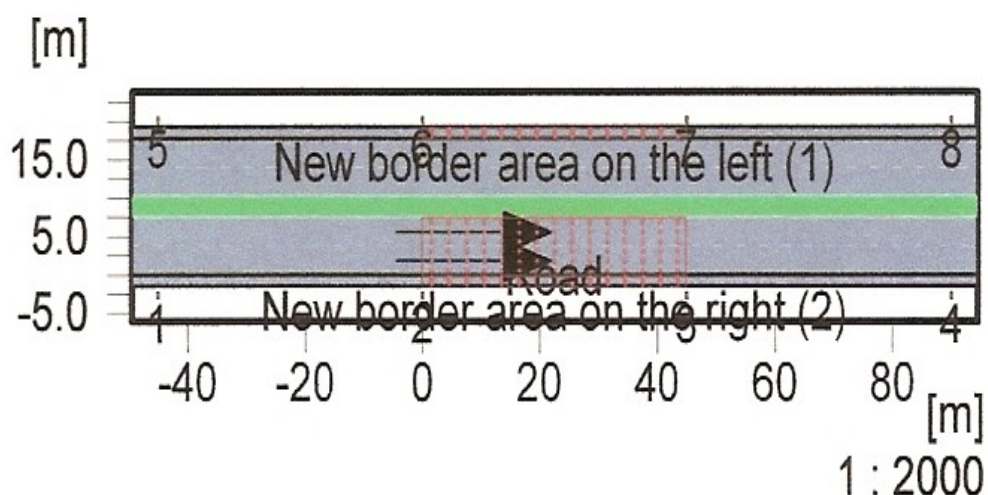
Πίνακας 4.6 : Οικονομικά μεγέθη των επενδύσεων εγκατάστασης των συστημάτων INTELUX και E-BOX στο δρόμο της παραγράφου 4.3.5

Παρατηρούμε ότι το σύστημα E-BOX υπερτερεί κατά μεγάλο βαθμό του συστήματος INTELUX, σε αυτή την περίπτωση. Ένα γενικό σχόλιο, πάντως, που θα μπορούσε να γίνει είναι, ότι η επένδυση και για τα δύο συστήματα παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλούς οικονομικούς δείκτες (ειδικά στην περίπτωση του INTELUX) και δεν κρίνεται, σε καμία περίπτωση, ιδιαίτερα συμφέρουσα.

4.3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ INTELUX, E-BOX, ΣΕ ΔΡΟΜΟ ΤΑΞΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ1, ΜΕ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ ΝΑΤΡΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (HPS) ΙΣΧΥΟΣ 400 W.

4.3.6.1 Σχεδιασμός φωτισμού του δρόμου

Ο δρόμος που εξετάζεται στην παρούσα περίπτωση, αποτελεί πραγματικό δρόμο και συγκεκριμένα ένα τμήμα της Εγνατίας Οδού (ΤΜΗΜΑ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑ – ΣΤΡΥΜΟΝΑΣ), [18]. Στο σχήμα 4.25, φαίνεται μια κάτοψη του δρόμου που εξετάζεται. Πρόκειται για δρόμο τάξης φωτισμού ΜΕ1, πολύ υψηλών ταχυτήτων, αυτοκινητόδρομο. Τα ακριβή του στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7. Τα στοιχεία αυτά δεν επιλέχτηκαν τυχαία αλλά είναι τα ίδια με αυτά που προσδιορίστηκαν από τους αρμόδιους μηχανικούς κατά τη διάρκεια της πραγματοποίησης της μελέτης του τμήματος αυτού της εγνατίας οδού.



Σχήμα 4.25 : Κάτοψη του δρόμου με φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, στον οποίο εφαρμόζονται τα συστήματα INTELUX και E-BOX

Διαρρύθμιση δρόμου	Δρόμος χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος δρόμου	7.50 m
Πλάτος κεντρικής νησίδας	2.80 m
Αριθμός λωρίδων	2 (και προς τις δύο κατευθύνσεις)
Κατηγορία επιφάνειας δρόμου	R3
Συντελεστής ανακλαστικότητας δρόμου (q0)	0.07
Τοποθέτηση φωτιστικών	Και στις δύο πλευρές του δρόμου
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών	45.00 m
Ύψος φωτομετρικού κέντρου (θεωρητική επιφάνεια στην οποία υπολογίζονται τα φωτομετρικά μεγέθη)	12.00 m
Απόσταση (πόσο εξέχει) του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο	-2.50 m
Κλίση φωτιστικού	5.00 degrees
Προσανατολισμός φωτιστικού	0.00 degrees

Πίνακας 4.7 : Χαρακτηριστικά του δρόμου με φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης, στον οποίο εφαρμόζονται τα συστήματα INTELUX και E-BOX

Στην αυθεντική μελέτη, χρησιμοποιήθηκε το φωτιστικό SRP 832/400T BOWL με λαμπτήρα SONT 400 W της εταιρείας Philips (συνολική ισχύς 440 W, συνολική φωτεινή ροή 55000 lm. Επειδή η χρησιμοποίηση, στην παρούσα μελέτη, του ίδιου ακριβώς φωτιστικού δεν ήταν δυνατή (δεν υπήρχε στη βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε), έγινε επιλογή φωτιστικού με όσο το δυνατόν ομοιότερα χαρακτηριστικά με το SRP 832/400T BOWL, για να είναι πιο ρεαλιστική η μελέτη. Το είδος του φωτιστικού που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο SR 200 5NA553E1TT22GB, της εταιρείας Siteco, του οποίου τα αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται παρακάτω όπως ακριβώς αναγράφονται στο εγχειρίδιο του φωτιστικού :

5NA553E1TT22GB Street light SR 200

Length: 870 mm, Width: 358 mm, Height: 216 mm

Efficiency: 80,5% (A30, ↓ 100.0% ↑ 0.0%)
Tot. system power: 440 W

Equipment: 1 x ST
Total luminous flux: 55000 lm
Luminous flux for emergency lighting: -----

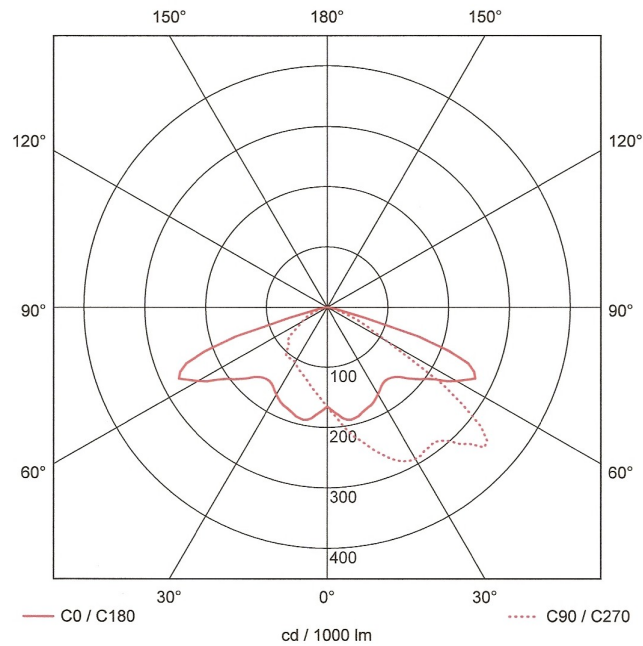
upper housing and gear tray made of glas fibre reinforced polyester
with NEMA
radial facetted reflector
flat cover glass
Degree of protection:IP 65
Protection class: II
Mounting type:: pylon annex, pylon top

default position, LP 40, RP 3

Τα κυριότερα στοιχεία που θα πρέπει να παρατηρήσουμε, είναι ότι η ονομαστική ισχύς κατανάλωσης μαζί με το ballast του φωτιστικού είναι 440 W, η συνολική φωτεινή ροή είναι 55000 lm και ότι ο βαθμός προστασίας του φωτιστικού είναι IP65. Συνεπώς, είναι εμφανής η ομοιότητα μεταξύ

των βασικών ποιοτικών χαρακτηριστικών (ονομαστική ισχύς και φωτεινή ροή) των δύο προαναφερθέντων φωτιστικών. Στο σχήμα 4.26, που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια άποψη του φωτιστικού και το πολικό του διάγραμμα. Αν και δεν ήταν δυνατή η παράθεση του πολικού διαγράμματος του φωτιστικού SRP 832/400T BOWL, αναφέρεται ότι είναι ανάλογο με αυτό του παρακάτω σχήματος χωρίς να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές (πρακτικά ίδια).





Σχήμα 4.26 : Φωτιστικό **SR 200 5NA553E1TT22GB** και πολικό διάγραμμα

Έπειτα από το χαρακτηρισμό της τάξης φωτισμού του δρόμου, το σχεδιασμό των χαρακτηριστικών του και την επιλογή των φωτιστικών, ακολουθεί ο προσδιορισμός του παράγοντα συντήρησης για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Στο πρόγραμμα RELUX θέσαμε ως εισόδους :

- Το γεγονός ότι η μελέτη αφορά εξωτερικό χώρο (CIE 154:2003)
- Μέτρια ατμοσφαιρική ρύπανση (medium)
- Βαθμό προστασίας των φωτιστικών IP6X
- Πραγματοποίηση συντήρησης φωτιστικών και λαμπτήρων κάθε 3 χρόνια
- Τύπο λαμπτήρα HPS (νατρίου υψηλής πίεσης)

- Χρόνο ετήσιας λειτουργίας 4000 ώρες

και η έξοδος έδωσε τιμή του παράγοντα συντήρησης 0.75 ([13], [14], [15]).

Η τάξη φωτισμού ME1, ορίζει δύο βασικά κριτήρια βάσει των οποίων κρίνεται ο φωτισμός ενός δρόμου :

- 1) Η μέση Λαμπρότητα να ξεπερνάει τις 2 cd/m^2
(Luminance average $> 2 \text{ cd/m}^2$),
- 2) Ο λόγος της ελάχιστης Λαμπρότητα προς τη μέση να είναι μεγαλύτερος του 0.4 (Luminance min/average > 0.4),
- 3) Η διαμήκης ομοιομορφία να ξεπερνά το 0.7 (Longitudinal uniformity $UI > 0.7$),
- 4) Η αύξηση κατωφλίου να μην είναι μεγαλύτερη του 10 (Threshold increment < 10)

Οι τιμές της μέσης λαμπρότητας, του λόγου της ελάχιστης προς τη μέση, της διαμήκου ομοιομορφίας και της αύξησης του κατωφλίου στη συγκεκριμένη περίπτωση δρόμου και φωτιστικών, προέκυψαν 2.42 cd/m^2 , 0.74, 0.72 και 8, αντίστοιχα (πληρούνται τα κριτήρια για την τάξη φωτισμού ME1). Παρακάτω παρατίθενται, ενδεικτικά, τα στοιχεία της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, από το πρόγραμμα RELUX :

Luminaire data

Manufacturer : Siteco
 Order No. : 5NA553E1TT22GB/
 Luminaire name : SR 200
 Equipment : 1 x ST 400 W / 55000 lm

Road layout	: with central reservation	Luminaire placing	: Both sides
Width of roadway	(b): 7.50 m	photometric centre height.(h):	12.00 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 45.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): -2.50 m
q0	: 0.07	Inclination	(δ): 5.00°
Right hand drivers		Reduction factor	: 0.75

Luminance

Observer location 1 : x=-60.00m, y=1.88m, z=1.50m
 Average : 2.42 cd/m² (ME1 min. 2)
 U0 (min/average) : 0.77 (ME1 min. 0.4)

Observer location 2 : x=-60.00m, y=5.63m, z=1.50m
 Average : 2.58 cd/m² (ME1 min. 2)
 U0 (min/average) : 0.74 (ME1 min. 0.4)

Longitudinal uniformity

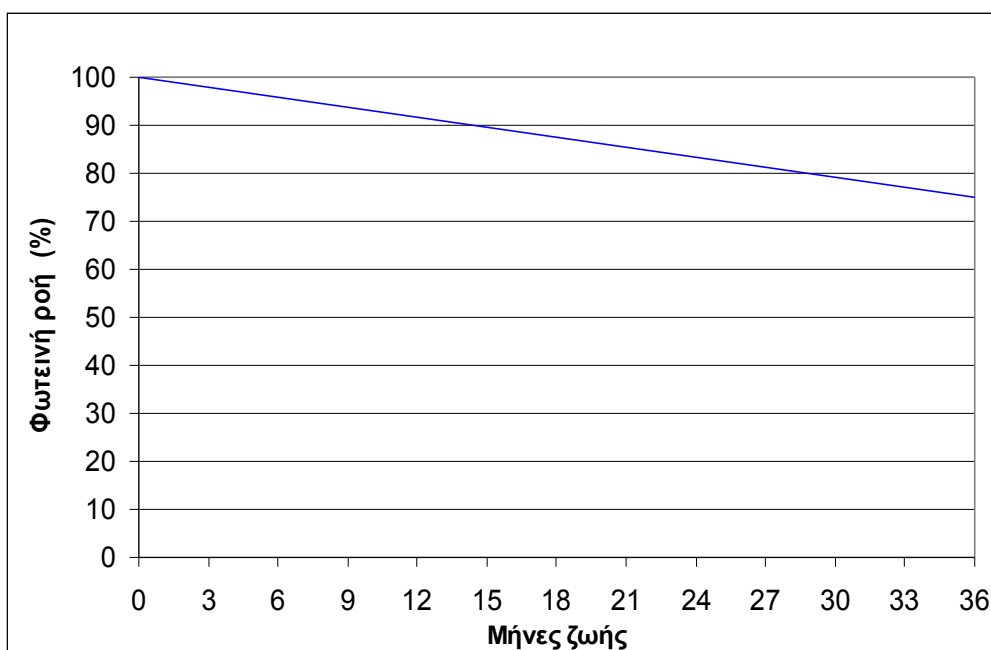
UI (B1: x = -60.00, y = 1.88, z = 1.50) : 0.72 (ME1 min. 0.7)
 UI (B2: x = -60.00, y = 5.63, z = 1.50) : 0.79 (ME1 min. 0.7)

Glare/ surrounding brightness

TI (B1: y=1.88m) : 8 % (ME1 max. 10)
 SR : 0.6 (ME1 min. 0.5)

4.3.6.2 Dimming και εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό του δρόμου

Εφόσον έχει υπολογιστεί ο παράγοντας συντήρησης για τη συγκεκριμένη μελέτη (=0.75), με τη βοήθεια του σχήματος 4.1 μπορεί να σχεδιαστεί η εκτιμώμενη καμπύλη της μείωσης της φωτεινής ροής για μια χρονική διάρκεια ίση με το χρόνο ζωής των λαμπτήρων HPS (η συντήρηση γίνεται κάθε τέλος ζωής των λαμπτήρων), δηλαδή 36 μήνες (πίνακας 4.1). Η καμπύλη αυτή φαίνεται στο σχήμα 4.27.



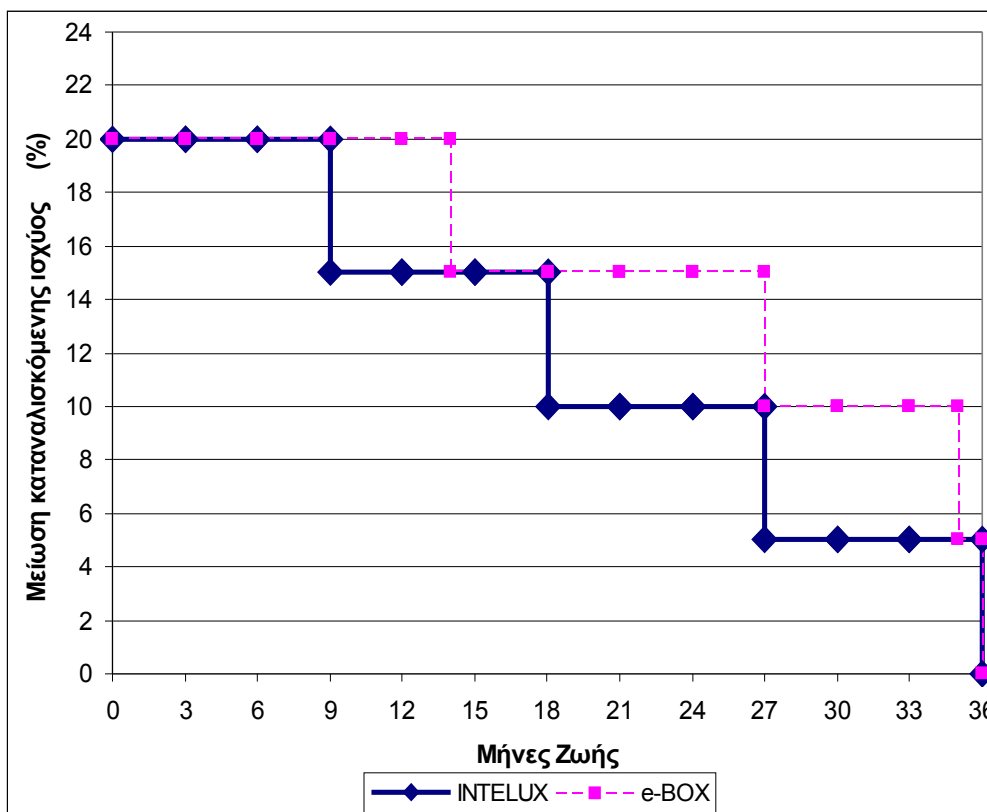
Σχήμα 4.27 : Εκτιμώμενη καμπύλη της μείωση της φωτεινής ροής των λαμπτήρων HPS κατά τη διάρκεια της ζωής τους, στο δρόμο ME1 της έκτης περίπτωσης (4.3.6)

Με το πέρας του μισού χρόνου ζωής των λαμπτήρων (18 μήνες), πραγματοποιήθηκε επιτόπια μέτρηση της λαμπρότητας στον πραγματικό χώρο του δρόμου που μελετάται (Εγνατία Οδός, τμήμα Ασπροβάλτα – Στρυμόνας). Η λαμπρότητα που μετρήθηκε, αποδείχθηκε πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίστηκε ότι θα έπρεπε να έχει ο δρόμος βάσει των ορίων και του RELUX παρόλο που τα χαρακτηριστικά του δρόμου και των φωτιστικών παρέμεναν ίδια. Αυτό το φαινόμενο δεν αποτελεί μοναδικό γεγονός, αλλά είναι πολύ συνηθισμένο, οι μελέτες φωτισμού γενικά και ιδιαίτερα δρόμων να υπερδιαστασιολογούνται είτε ως αποτέλεσμα κακού σχεδιασμού είτε ‘για καλό και για κακό’ με σκοπό τη διατήρηση των επιπέδων φωτισμού πάνω από τα όρια. Εν πάσει περιπτώσει, όμως, είναι γεγονός ότι με αυτό τον τρόπο, υπερκαταναλώνεται ενέργεια άσκοπα. Στη συνέχεια λοιπόν, αναλύονται και εκτιμούνται τεχνοοικονομικά, ξεχωριστά τα δύο μοντέλα μελέτης (θεωρητικό ,πραγματικό).

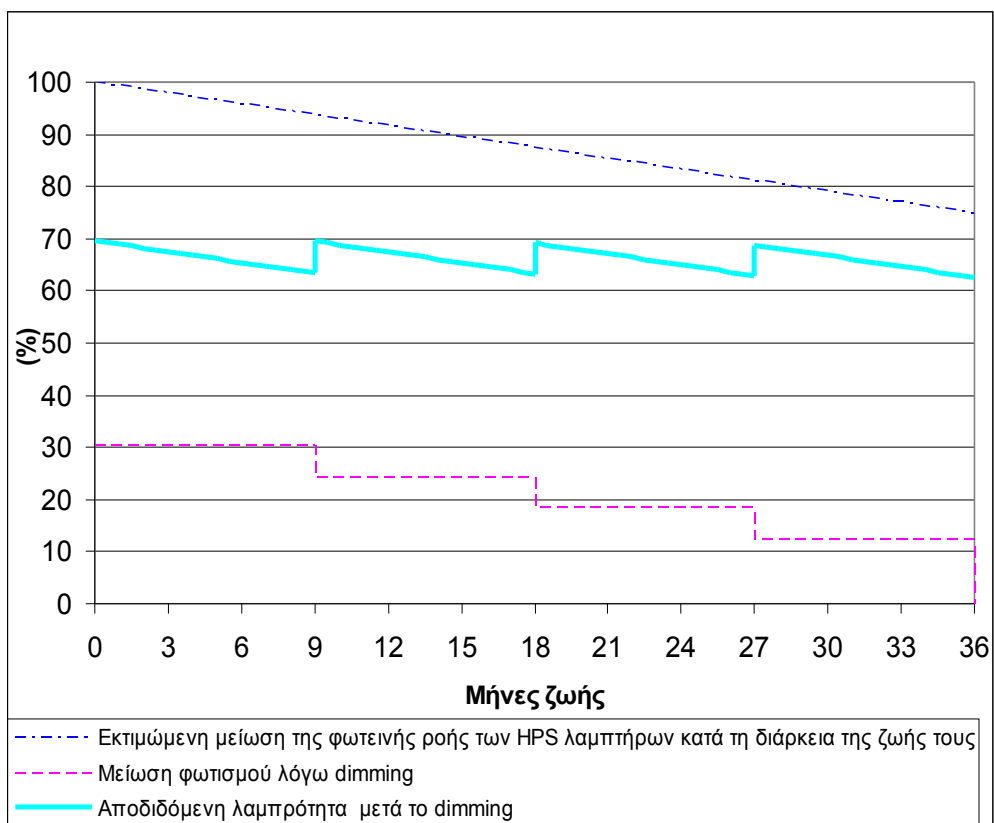
4.3.6.2.1 Τεχνοοικονομική μελέτη θεωρητικού μοντέλου

Με βάση τα δεδομένα του θεωρητικού μοντέλου, όσον αφορά το INTELUX, η ρύθμιση φωτισμού (dimming) αποφασίστηκε να μεταβάλλεται κάθε τρίμηνο, ενώ στην περίπτωση του E-BOX, κρίθηκε απαραίτητη (για βέλτιστο dimming) μια μικρή μεταβολή στο χωρισμό του τρίτου εξαμήνου - το οποίο τελικά διασπάστηκε από 12^ο – 14^ο μήνα και από 14^ο - 18^ο μήνα- και μια μεταβολή στο τελευταίο τρίμηνο -το οποίο τελικά διασπάστηκε από 33^ο – 35^ο μήνα και από 35^ο - 36^ο μήνα- . Στόχος ήταν, στο τέλος κάθε τριμήνου, η λαμπρότητα να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο των 2 cd/m². Κατά το dimming, το INTELUX και το E-BOX, μειώνουν την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 5 %. Μετά από δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται σε κοινό διάγραμμα για INTELUX και E-BOX στο σχήμα 4.28.

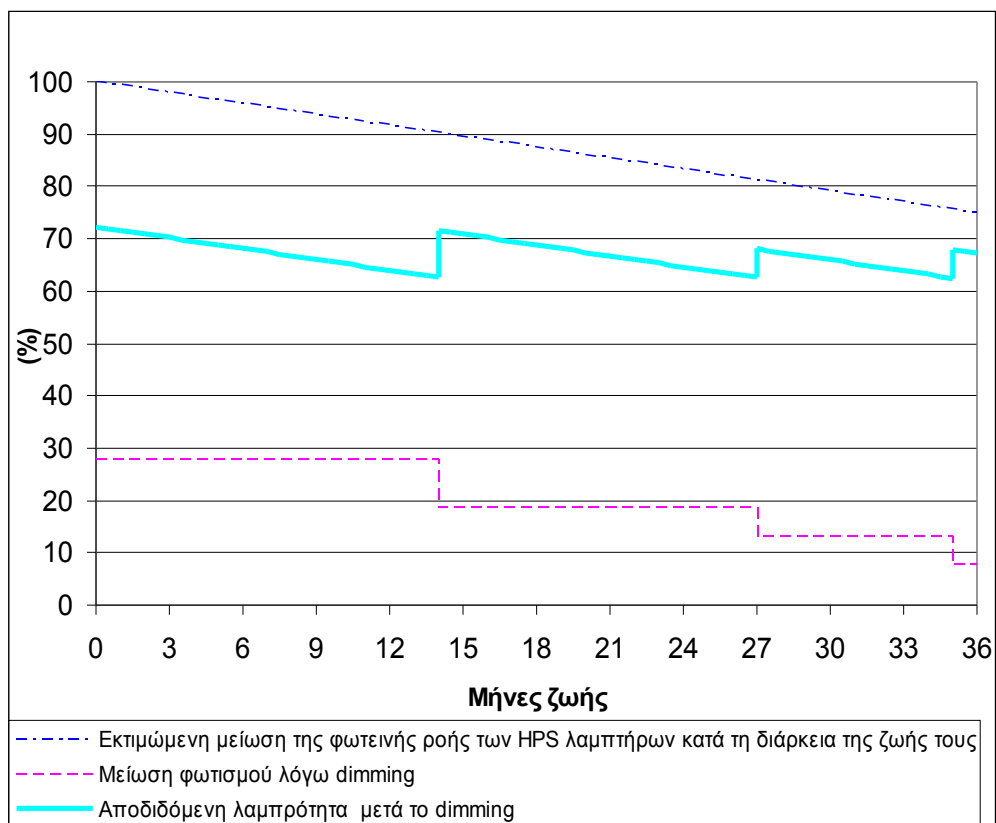
Από την καμπύλη, για το σύστημα 4, του σχήματος 3.32, της ενότητας 3.3.3.3, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (ή λαμπρότητας, πάντα σε σχετικές τιμές). Στο σχήμα 4.29 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της εκτιμώμενης σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα HPS (ίδια με του σχήματος 4.27) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω dimming και της λαμπρότητας που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το dimming για την περίπτωση του INTELUX και στο σχήμα 4.30 το ανάλογο διάγραμμα για την περίπτωση του E-BOX, έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.28 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από INTELUX και E-BOX



Σχήμα 4.29 : INTELUX



Σχήμα 4.30 : E-BOX

Στο 75 % (maintenance factor) η ένταση φωτισμού ήταν 2.42 cd/m^2 , (συνεπώς το 100% αντιστοιχεί σε τιμή έντασης φωτισμού 3.21 cd/m^2). Από τα δύο προηγούμενα σχήματα γίνεται εμφανής η προσπάθεια διατήρησης της αποδιδόμενης λαμπρότητας μετά το dimming κοντά στα 63.86 % (2.05 cd/m^2).

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, υπολογίζεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.28 για κάθε περίπτωση, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 440 W.

Για το **INTELUX** έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{653.4 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Η εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 174.24 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 326.7 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 457.38 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 24 μηνών}} = 544.5 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 30 μηνών}} = 609.84 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 45 μέτρα το ένα με το άλλο, σε απόσταση 1000 m θα έχουμε 22 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{14375 \text{ kWh/ km}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **12.5%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος.
Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 3833 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 7187 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 10062 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 24 μηνών}} = 11980 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 30 μηνών}} = 13417 \text{ kWh/ km}$$

Για το **E-BOX** έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{813 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Η εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 174 \text{ kWh/φωτιστικό}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 349 \text{ kWh/φωτιστικό}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 494 \text{ kWh/φωτιστικό}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 24 μηνών}} = 624 \text{ kWh/φωτιστικό}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 30 μηνών}} = 733 \text{ kWh/φωτιστικό}$

Και η εξοικονόμηση για ένα χιλιόμετρο (22 φωτιστικά) :

$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = 17890 \text{ kWh/ km}$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **15.56%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος.

Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 3833 \text{ kWh/ km}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 7667 \text{ kWh/ km}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 10861 \text{ kWh/ km}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 24 μηνών}} = 13736 \text{ kWh/ km}$

$E_{\text{εξοικονόμησης 30 μηνών}} = 16132 \text{ kWh/ km}$

Δεδομένου ότι το INTELUX μπορεί να ελέγξει ταυτόχρονα 16 φωτιστικά ενώ το E-BOX 17, χρειάζονται 2 τεμάχια/ km και στις δύο περιπτώσεις, για να καλυφθούν τα υπάρχοντα φωτιστικά.

Θεωρείται βιομηχανική τιμή της kWh 0.085 ευρώ ([16]), και αρχικό κόστος επένδυσης (τιμές προϊόντων και κόστους εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένου και του Φ.Π.Α) 4760 ευρώ για το INTELUX και 3950.8 ευρώ για το E-BOX. Επιπλέον, θεωρείται ότι, εκτός από το ετήσιο κόστος συντήρησης και τις υπόλοιπες λειτουργικές δαπάνες, τα συστήματα δεν παθαίνουν καθολική βλάβη και ότι συνεχίζουν να λειτουργούν μέχρι το τέλος της περιόδου εξέτασης (20 χρόνια). Αυτό

σημαίνει ότι το κόστος εγκατάστασης υπολογίζεται άπαξ, στην αρχή του πρώτου έτους της επένδυσης. Τέλος, να αναφερθεί ότι οι υπολογισμοί έγιναν για τιμές επιτοκίου αναγωγής $i = 5\%$, 7.5% , 10% , μια και το επιτόκιο αναγωγής για επενδύσεις σε συστήματα φωτισμού κυμαίνεται συνήθως στο $5\% - 10\%$ ([17]). Θεωρήθηκε σκόπιμο να μην παρουσιαστούν όλοι οι υπολογισμοί και οι πράξεις για αυτό τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 4.6.

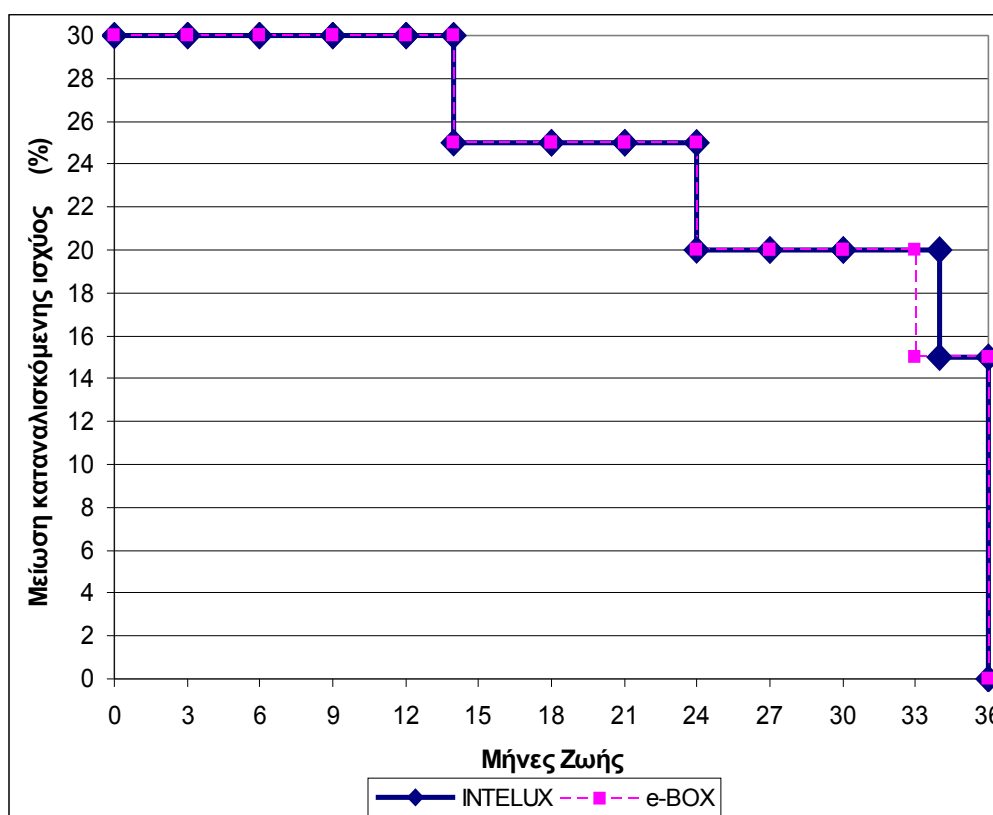
	INTELUX	E-BOX
DPB (για $i = 5\%$)	18 χρόνια	10 χρόνια
DPB (για $i = 7.5\%$)	27 χρόνια	12 χρόνια
DPB (για $i = 10\%$)	> 30 χρόνια	16 χρόνια
IRR (20ετής περίοδος εξέτασης)	6.17 %	11.73 %

Πίνακας 4.8 : Οικονομικά μεγέθη των επενδύσεων εγκατάστασης των συστημάτων INTELUX και E-BOX στο δρόμο της παραγράφου 4.3.6 (θεωρητικό μοντέλο)

Παρατηρούμε ότι το σύστημα E-BOX υπερτερεί κατά μεγάλο βαθμό του συστήματος INTELUX και σε αυτή την περίπτωση. Η επένδυση, για την περίπτωση του INTELUX, κρίνεται αδιαμφισβήτητα μη συμφέρουσα. Από την άλλη η περίπτωση του E-BOX, αν και δεν είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα, παρουσιάζει κάποιο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για επιτόκιο αναγωγής ίσο με 5% (ο IRR για 10ετή περίοδο εξέτασης είναι 5.46%).

4.3.6.2.2 Τεχνοοικονομική μελέτη πραγματικού μοντέλου

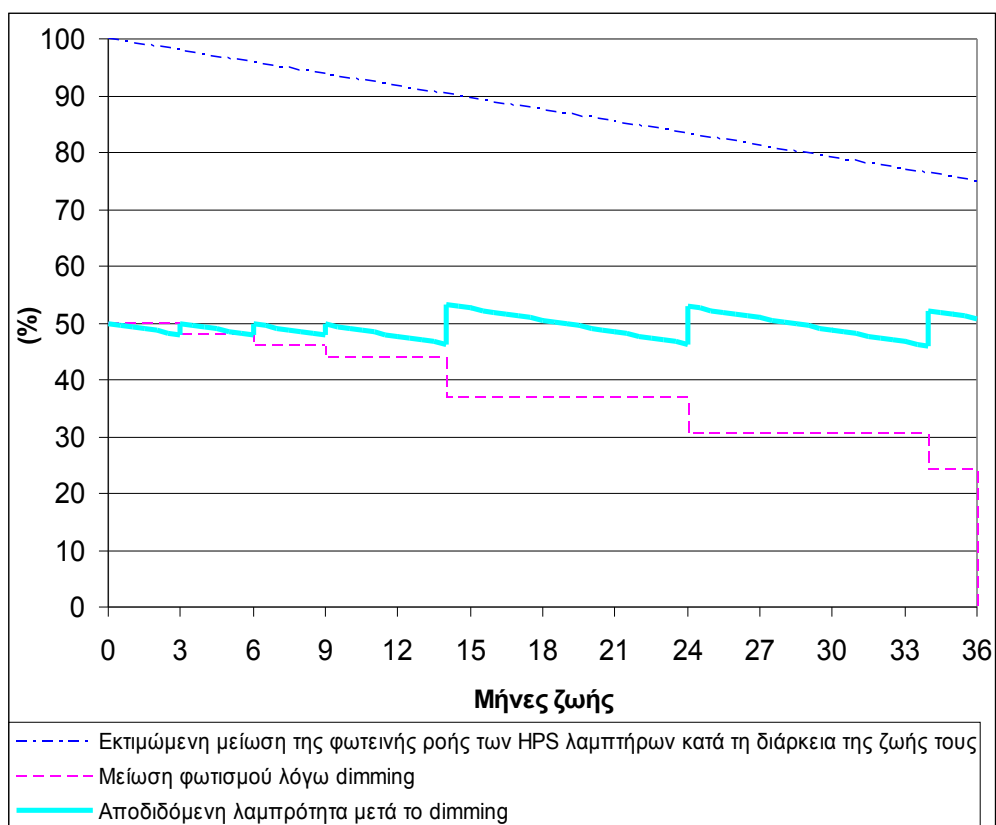
Με βάση τα δεδομένα του πραγματικού μοντέλου, όσον αφορά το INTELUX, η ρύθμιση φωτισμού (dimming) αποφασίστηκε να μεταβάλλεται κάθε τρίμηνο εκτός από το τρίτο εξάμηνο -το οποίο τελικά διασπάστηκε από 12^ο – 14^ο μήνα και από 14^ο - 18^ο μήνα- και το τελευταίο – το οποίο διασπάστηκε από 30^ο – 34^ο μήνα και από 34^ο - 36^ο μήνα, ενώ στην περίπτωση του E-BOX, κρίθηκε απαραίτητη (για βέλτιστο dimming) μια μικρή μεταβολή στο χωρισμό του τρίτου εξαμήνου -το οποίο τελικά διασπάστηκε από 12^ο – 14^ο μήνα και από 14^ο - 18^ο μήνα-. Στόχος ήταν, στο τέλος κάθε τριμήνου, η λαμπρότητα να παίρνει τη μικρότερη τιμή της, η οποία όμως να μην πέφτει ποτέ κάτω από το όριο των 2 cd/m². Κατά το dimming, το INTELUX και το E-BOX, μειώνουν την καταναλισκόμενη ισχύ με βήματα του 5 %. Μετά από δοκιμές, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια, η μείωση ισχύος κατανάλωσης που πραγματοποιήθηκε μέσω του dimming, φαίνεται σε κοινό διάγραμμα για INTELUX και E-BOX στο σχήμα 4.31. Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες σχεδόν συμπίπτουν.



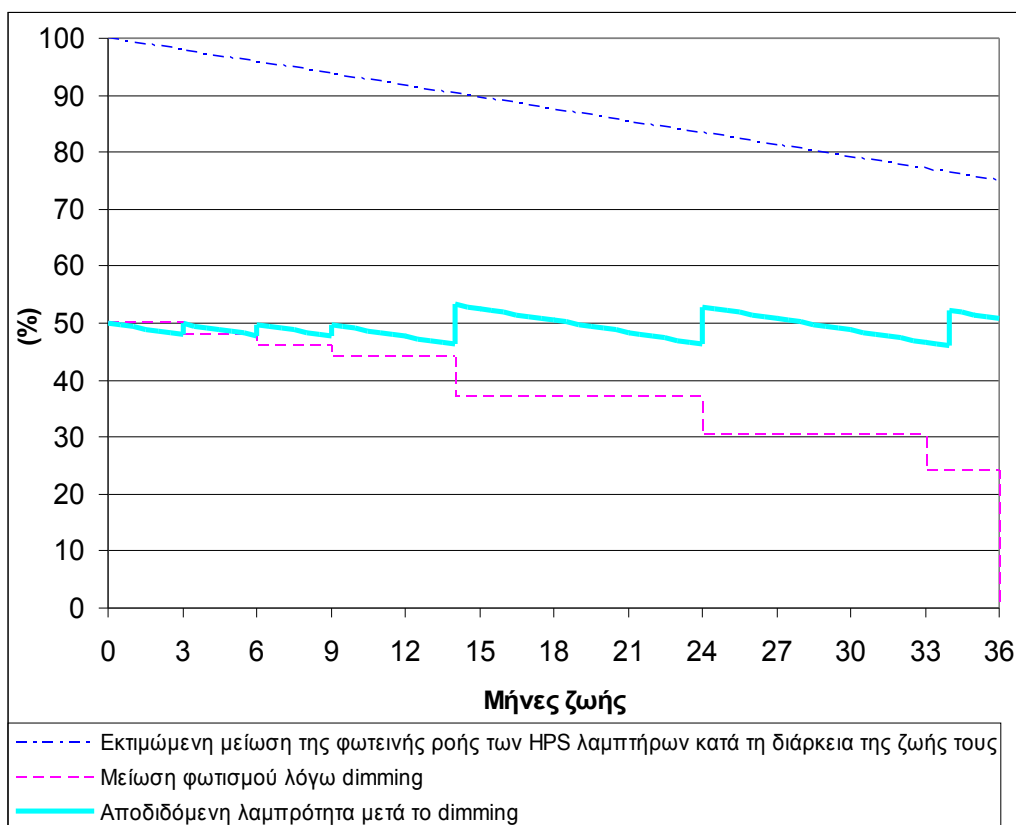
Σχήμα 4.31 : Μείωση καταναλισκόμενης ισχύος που επιτυγχάνεται μέσω του dimming από INTELUX και E-BOX

Από την καμπύλη, για το σύστημα 4, του σχήματος 3.32, της ενότητας 3.3.3.3, μπορούν να αντιστοιχισθούν οι τιμές μείωσης της καταναλισκόμενης ισχύος με τις αντίστοιχες μείωσης της έντασης φωτισμού (ή λαμπρότητας, πάντα σε σχετικές τιμές).

Η λαμπρότητα που μετρήθηκε με το πέρας του μισού χρόνου ζωής των λαμπτήρων (18 μήνες που αντιστοιχούν με το 87.5% στην καμπύλη της εκτιμώμενης μείωσης της φωτεινής ροής), ήταν ίση με 3.8 cd/m^2 . Συνεπώς, το 100 % της καμπύλης αντιστοιχεί σε 4.34 cd/m^2 και το 75 % (maintenance factor) σε 3.26 cd/m^2 . Στο σχήμα 4.32 παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα, οι καμπύλες της εκτιμώμενης σταδιακής μείωσης της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα HPS (ίδια με του σχήματος 4.27) κατά τη διάρκεια ζωής του, της μείωσης του φωτισμού λόγω dimming και της λαμπρότητας που τελικά αποδίδεται από τα φωτιστικά μετά το dimming για την περίπτωση του INTELUX και στο σχήμα 4.33 το ανάλογο διάγραμμα για την περίπτωση του E-BOX, έτσι ώστε να κατανοηθούν καλύτερα τα αποτελέσματα. Στα σχήματα φαίνεται η προσπάθεια διατήρησης της αποδιδόμενης λαμπρότητας μετά το dimming κοντά στα 47.2 % (2.05 cd/m^2).



Σχήμα 4.32 : INTELUX



Σχήμα 4.33 : E-BOX

Τελικά, η ενέργεια που εξοικονομείται κατά τη διάρκεια της ζωής των λαμπτήρων, υπολογίζεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και των αξόνων του σχήματος 4.30 για κάθε περίπτωση, γνωρίζοντας ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 11 ώρες τη μέρα (330 ώρες το μήνα) και ότι η ονομαστική ισχύς κάθε φωτιστικού μαζί με το λαμπτήρα είναι 440 W.

Για το **INTELUX** έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{1307 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Η εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 174.24 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 261.4 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 348.6 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 24 μηνών}} = 435.8 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 30 μηνών}} = 523 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 45 μέτρα το ένα με το άλλο, σε απόσταση 1000 m θα έχουμε 22 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{28750 \text{ kWh/ km}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **25%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος. Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 5750 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 11500 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 16611 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 21402.5 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 13417 \text{ kWh/ km}$$

Για το **E-BOX** έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{1307 \text{ kWh/φωτιστικό}}$$

Η εξοικονόμηση για κάθε εξάμηνο :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 174.24 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 261.4 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 755 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 24 μηνών}} = 973 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 30 μηνών}} = 1147 \text{ kWh/φωτιστικό}$$

Εφόσον τα φωτιστικά απέχουν 45 μέτρα το ένα με το άλλο, σε απόσταση 1000 m θα έχουμε 22 φωτιστικά που σημαίνει εξοικονόμηση :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 36 μηνών}} = \mathbf{28750 \text{ kWh/ km}}$$

Ποσό το οποίο αγγίζει το **25%** της συνολικής καταναλισκόμενης ισχύος. Επίσης, για κάθε εξάμηνο έχουμε :

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 5750 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 12 μηνών}} = 11500 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 18 μηνών}} = 16611 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 21402.5 \text{ kWh/ km}$$

$$E_{\text{εξοικονόμησης 6 μηνών}} = 13417 \text{ kWh/ km}$$

Θεωρώντας ακριβώς τα ίδια πράγματα με το θεωρητικό μοντέλο, τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης του πραγματικού μοντέλου, παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 4.7.

	INTELUX	E-BOX
DPB (για $i = 5\%$)	7 χρόνια	6 χρόνια
DPB (για $i = 7.5\%$)	8 χρόνια	7 χρόνια
DPB (για $i = 10\%$)	10 χρόνια	7 χρόνια
IRR (10ετής περίοδος εξέτασης)	11.82 %	16.71 %

Πίνακας 4.9 : Οικονομικά μεγέθη των επενδύσεων εγκατάστασης των συστημάτων INTELUX και E-BOX στο δρόμο της παραγράφου 4.3.6 (πραγματικό μοντέλο)

Παρατηρούμε ότι το σύστημα E-BOX υπερτερεί και σε αυτή την πραγματική περίπτωση του συστήματος INTELUX. Επίσης είναι καταφανής η δραματική αύξηση των οικονομικών δεικτών των επενδύσεων που τις καθιστούν ικανοποιητικές και αρκετά συμφέρουσες. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή αυτή η αύξηση, αρκεί μόνο να ειπωθεί, ότι στην καλύτερη περίπτωση του θεωρητικού μοντέλου η έντοκη περίοδος αποπληρωμής ήταν 10 χρόνια, ίση, δηλαδή, με την έντοκη περίοδο αποπληρωμής της χειρότερης περίπτωσης του πραγματικού μοντέλου.

ΕΝΟΤΗΤΑ 5

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Ανασκόπηση της εργασίας – Συμπεράσματα

Η ρύθμιση φωτισμού στους δρόμους, αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι στην προσπάθεια που γίνεται σήμερα για εξοικονόμηση ενέργειας παγκοσμίως, μια και ο φωτισμός δρόμων, χαρακτηρίζεται ως ένα από τα μεγαλύτερα έξοδα (κόστος και ενέργεια) μιας σύγχρονης πόλης αλλά και γενικότερα μιας χώρας αν λάβουμε υπόψη και τις εθνικές οδικές αρτηρίες. Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί, πολλές διαφορετικές τεχνικές με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ισχύος και, συνεπώς ενέργειας, στο φωτισμό δρόμων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν έξι διαφορετικά συστήματα για ρύθμιση φωτισμού δρόμων (dimming), δύο συστήματα κεντρικού ελέγχου (INTELUX, E-BOX) και τέσσερα EDBs (συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων MH με δυνατότητα ρύθμισης στάθμης φωτισμού), που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση φωτισμού μεμονωμένων φωτιστικών.

Τα συστήματα INTELUX και E-BOX είναι συμβατά και μπορούν να εφαρμοστούν σε εγκαταστάσεις με διάφορους τύπους λαμπτήρων. Στην περίπτωση μας εξετάστηκαν σε δρόμους με φωτιστικά λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) και μεταλλικών αλογονιδίων (MH), ισχύος 400 W, οι οποίοι, άλλωστε είναι οι καταλληλότεροι τύποι λαμπτήρων για φωτισμό δρόμων. Από την άλλη, τα τέσσερα EDBs (*CMH70W/T/UVC/U/942/G12* , *CMH150W/T/UVC/U/830/G12* , *osram powerstar hqi-t 250W/D E40*, *Philips master HPI-T plus 400W/645 E40*) είναι κατασκευασμένα για χρήση, αποκλειστικά, σε φωτιστικά με λαμπτήρες MH συγκεκριμένης, σε κάθε περίπτωση ισχύος (70 W, 150 W, 250 W, 400 W, αντίστοιχα).

Κατά τον πειραματικό προσδιορισμό των ηλεκτρικών μεγεθών για κάθε σύστημα ρύθμισης φωτισμού προέκυψε, ότι, αναφορικά με την ποιότητα ισχύος, ο συντελεστής ισχύος αποδείχτηκε ικανοποιητικός για τα συστήματα κεντρικού ελέγχου (0.74) και πολύ υψηλός για τα EDBs (0.93 – 0.995), ενώ η εκπομπή αρμονικών στο δίκτυο διατηρείται, για όλα τα συστήματα, σε χαμηλά, εντός ορίων, επίπεδα. Επίσης, εκτός από τη διαπίστωση της ποιοτικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων συστημάτων, βασικός σκοπός της πειραματικής διαδικασίας ήταν η εξαγωγή των

καμπυλών της σχετικής κατανάλωσης ισχύος συναρτήσει της σχετικής παραγωγής φωτισμού.

Στις μελέτες φωτισμού που ακολούθησαν, με τη βοήθεια του προγράμματος RELUX, πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός των εκάστοτε δρόμων όπου θα εφαρμοστεί το κάθε σύστημα, και στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες της σχετικής κατανάλωσης ισχύος συναρτήσει της σχετικής παραγωγής φωτισμού, έτσι ώστε να ποσοτικοποιηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση. Τέλος, στην περίπτωση των συστημάτων κεντρικού ελέγχου (INTELUX, E-BOX), όπου οι τιμές των προϊόντων είναι γνωστές, εκπονήθηκε συμπληρωματική οικονομική μελέτη.

Τα τρία πρώτα συστήματα έναυσης (EDBs), μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας που μπορούν να επιτύχουν, αφού μελετήθηκαν στον ίδιο δρόμο, τάξης φωτισμού CE2, στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας (παράγοντας συντήρησης = 0.65). Αυτό που άλλαζε κάθε φορά ήταν το είδος και η τοποθέτηση των φωτιστικών μια και κάθε EDB, ρυθμίζει λαμπτήρες συγκεκριμένης ισχύος (70 W, 150 W, 250 W). Τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας την επιτυγχάνει το σύστημα 2 (*CMH150W/T/UVC/U/830/G12*), εξοικονομώντας ποσοστό 15.83 % επί της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, αντίθετα το σύστημα 3 (*osram powerstar hqi-t 250W/D E40*) εξοικονομεί μόλις το 10 %. Κάπου ενδιάμεσα, στο 12.83 %, βρίσκεται το σύστημα 1 (*CMH70W/T/UVC/U/942/G12*).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να ξεκαθαριστεί κάτι πολύ σημαντικό. Τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας ίσως φαντάζουν μικρά, αλλά πρέπει να γίνει κατανοητό ότι σε όλες τις μελέτες φωτισμού που πραγματοποιήθηκαν, θεωρήθηκε ως δεδομένο στοιχείο, ότι στο τέλος του μεσοδιαστήματος συντήρησης (τέλος διάρκειας ζωής λαμπτήρων), το παραγόμενο ποσό φωτισμού πρέπει να βρίσκεται λίγο πάνω από τα καθορισμένα όρια, δηλαδή, ότι στην αρχή του μεσοδιαστήματος συντήρησης ο δρόμος φωτίζεται με όσο το δυνατό λιγότερο φωτισμό. **Με**

άλλα λόγια, αυτό σημαίνει ότι τα ποσοστά που υπολογίζονται, εκφράζουν την ελάχιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση του κάθε συστήματος. Στην πραγματικότητα οι μελέτες είναι συνήθως υπερδιαστασιολογημένες και μια τέτοια μελετήθηκε στην παράγραφο 4.3.5.2.2.

Στη συνέχεια, το σύστημα 4 (*Philips master HPI-T plus 400W/645 E40*), το E-BOX και το INTELUX μελετήθηκαν κατά την εφαρμογή τους σε δρόμο τάξης φωτισμού ME3a με ακριβώς τα ίδια φωτιστικά και λαμπτήρες MH 400 W. Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας (14.72 % επί της συνολικής κατανάλωσης), πραγματοποιήθηκε από το σύστημα E-BOX, ενώ η μικρότερη από το σύστημα INTELUX (12.5 %). Το σύστημα 4 εξοικονόμησε ποσοστό 13.06 %. Κατά την οικονομική ανάλυση που ακολούθησε για τα E-BOX, INTELUX οι οικονομικοί δείκτες ήταν γενικά απογοητευτικοί με το E-BOX να χαρακτηρίζεται από έντοκη περίοδο αποπληρωμής 11, 13, 17 χρόνια για επιτόκιο αναγωγής 5%, 7.5%, 10%, αντίστοιχα και εσωτερικό βαθμό απόδοσης για 20ετή περίοδο εξετασης ίσο με 11.05%, ενώ το INTELUX από έντοκη περίοδο αποπληρωμής 17, 26, >30 χρόνια για επιτόκιο αναγωγής 5%, 7.5%, 10%, αντίστοιχα και εσωτερικό βαθμό απόδοσης για 20ετή περίοδο εξετασης ίσο με 6.33%. Οι οικονομικοί δείκτες είναι μεν χαμηλοί αλλά μην ξεχνάμε ότι αναφερόμαστε, πάντα, στις χειρότερες περιπτώσεις, στις πιο απαισιόδοξες προβλέψεις.

Τέλος, εξετάστηκε και μια εφαρμογή των συστημάτων E-BOX και INTELUX σε ένα πραγματικό δρόμο (ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ, Τμήμα Ασπροβάλτας – Στρυμόνα), τάξης ME1, με φωτιστικά λαμπτήρων HPS 400 W. Σύμφωνα με το θεωρητικό μοντέλο, δηλαδή αυτό με τις απαισιόδοξες προβλέψεις, το σύστημα INTELUX επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 12.5 % και σε αυτή την περίπτωση, ενώ το E-BOX, 15.6 %. Τα οικονομικά μεγέθη παρέμειναν πολύ χαμηλά, ιδιαίτερα για το INTELUX, που χαρακτηρίζεται από έντοκη περίοδο αποπληρωμής 18, 27, > 30 χρόνια για επιτόκιο αναγωγής 5%, 7.5%, 10%, αντίστοιχα και εσωτερικό βαθμό απόδοσης για 20ετή περίοδο εξέτασης ίσο με 6,17%. Από την άλλη μεριά, το E-BOX παρουσιάζει πολύ υψηλότερους δείκτες, αν

και χαμηλούς γενικά, έντοκη περίοδο αποπληρωμής 10, 12, 16 χρόνια για επιτόκιο αναγωγής 5%, 7.5%, 10%, αντίστοιχα και εσωτερικό βαθμό απόδοσης για 20ετή περίοδο εξέτασης ίσο με 11.73%. Σύμφωνα, τώρα, με το πραγματικό μοντέλο, που προέκυψε από επιτόπου μετρήσεις της λαμπρότητας, τόσο το σύστημα INTELUX, όσο και το E-BOX, επιτυγχάνουν εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 25 %. Όσον αφορά τους οικονομικούς δείκτες, δε, η διαφορά είναι κάτι παραπάνω από εμφανής με το INTELUX να χαρακτηρίζεται από έντοκη περίοδο αποπληρωμής 7, 8, 10 χρόνια για επιτόκιο αναγωγής 5%, 7.5%, 10%, αντίστοιχα και εσωτερικό βαθμό απόδοσης για 10ετή, πλέον, περίοδο εξέτασης ίσο με 11,82% και το E-BOX αντίστοιχα από έντοκη περίοδο αποπληρωμής 6, 7, 7 χρόνια για επιτόκιο αναγωγής 5%, 7.5%, 10% και εσωτερικό βαθμό απόδοσης για 10ετή, πλέον, περίοδο εξέτασης ίσο με 16,71%. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι τελικά το E-BOX είναι ένα πιο συμφέρον προϊόν από το INTELUX, με μεγαλύτερες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Dr. Nguyen van Tien, Mr. Yodsak Unhavaithaya, Dr. Nguyen Nang tinh, 'Lighting control in street lighting-An overview of the state of the art in technology and application'

[2] INTELUX manual, www.intelux.com/intelux/english/inhalt.html

[3] M.B. Kostic, L.S. Djokic, 'Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting'

**[4] 'ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (Εργαστηριακός προσδιορισμός των παραμέτρων ευαισθησίας των συστημάτων ελέγχου
Ανάλυση των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου φωτισμού)'**

[5] Publication CIE No 70, 'The measurement of absolute luminous intensity distributions', (1987).

[6] Publication CIE 121, 'The photometry and goniophotometry of Luminaires' (1996).

[7] International Light, Instruction Manual, IL 1700 Research Radiometer,
<http://www.intl-light.com/>

[8] A. Choi, K. Song, Y. Kim, The characteristics of photosensors and electronic dimming ballasts in daylight responsive dimming systems, Building and Environment, 40 (2005) 39-50.

[9] NLPIP, Specifier Report: Dimming electronic ballasts, 7 (3) 1999.

[10] Achieving quality and reliability of supply In modern buildings - Paper taken from ERA Report 99-0560 *Optimising Building Services: Making Business Sense*, www.era.co.uk

[11] NLPIP, Lighting Answers Power Quality - Robert Wolsey

[12] Lighting Handbook, 8th edition

[13] CIE Document 'Maintenance of indoor electric lighting systems', Status 2005 & 1995 (marked 'CIE')

[14] ZVEI Document 'Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für Beleuchtung' (Service Life Behaviour of Discharge Lamps for Lighting) Statuw July 2005 (marked with 'ZVEI')

[15] Philips OEM Catalogue 2003/4 (marked 'Philips')

[16] Αναλυτικός πίνακας τιμολογίου Δ.Ε.Η. 2008

[17] MB Kostic, LS Djokic, D Pojatar and N Strbac,
'Influence of the Theory of Mesopic Vision on Road Lighting Design'

[18] Π-Ι ΖΑΝΝΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΕΠΕ, 'ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΟΔΩΝ
ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΣΥΡΑΓΓΩΝ, Τμήμα Ασπροβάλτας – Στρυμόνας'

[19] Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, 'Φωτοτεχνία', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
(1994).

[20] Reverberi manual

[21] BS 5489-1 and BS EN 13201-2: 2003

[22] David M. Keith, 'Alliance for lighting information – Lamp lumen appreciation'

[23] IESNA LM-51-00, 2000, 'Electrical and Photometric Measurements of HID Lamps'

[24] Μ. Κτενιαδάκης, 'Εξοικονόμηση και Διαχείριση ενέργειας', Έκδοση Ι, 10/9/99

[25] RELUX manual