



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Εξοικονόμηση ενέργειας στον αστικό οδικό φωτισμό»



**«Εφαρμογή στο Δήμο Νέας Σμύρνης μέσω φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων
του λογισμικού RELUX»**

Αντωνίου Αχιλλεία – Χρηστίνα

Κιούσης Βασίλειος

Επιβλέπων: Ιωάννης Τζουβαδάκης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Copyright © Αντωνίου Αχιλλεία - Χρηστίνα, Κιούσης Βασίλειος, 2013.

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 τους συγγραφείς.

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

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες προς τον κ. Ιωάννη Τζουβαδάκη, αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με το θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας στον αστικό οδικό φωτισμό, καθώς και για τη αμέριστη διάθεση και τη στήριξη καθ'όλη τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Ευχαριστούμε επίσης ιδιαίτερα τον κ. Φραγκίσκο Τοπαλή και τον κ. Ευάγγελο Μαδιά, καθηγητή και υποψήφιο διδάκτορα αντίστοιχα, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π., για την εξαιρετική συνεργασία και τις πολύτιμες συμβουλές τους για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Αφιερώσεις

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στην οικογένεια, τους φίλους και συμφοιτητές μας, προς αναγνώριση της ηθικής και υλικής συμπαράστασης που μας προσέφεραν καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μας στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναζήτηση των μεθόδων και των πρακτικών εκείνων που καθιστούν ένα δίκτυο αστικού οδικού φωτισμού όσο το δυνατόν πιο αποδοτικό κι ασφαλές για τους χρήστες της οδού, και μέσω των οποίων επιτυγχάνεται σημαντικό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Αναλύονται και αξιολογούνται οι μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενες πηγές φωτισμού, δίνοντας έμφαση στη συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία φωτισμού LED, ως η ενεργειακά βέλτιστη και περιβαλλοντικά φιλικότερη. Παρουσιάζονται οι γενικές συστάσεις και οι οδηγίες της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού (C.I.E.), όσο και τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 13201 που αφορούν στο φωτισμό των οδών και τα οποία έχουν πλέον ενσωματωθεί στην ελληνική νομοθεσία.

Επιχειρείται να υπολογιστεί το μέγεθος της ενεργειακής εξοικονόμησης, που προκύπτει από την υπόθεση εργασίας αντικατάστασης των υπάρχοντων φωτιστικών σωμάτων του δημοτικού διαμερίσματος της Νέας Σμύρνης, με φωτιστικά οδών τεχνολογίας LED, και με απόλυτη συμμόρφωση στις απαιτήσεις των προτύπων. Έπειτα από συλλογή δεδομένων από επί τόπου μετρήσεις σε χαρακτηριστικές οδούς του Δήμου, παρουσιάζονται τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα που προέκυψαν με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου προσομοίωσης φωτισμού RELUX κι υπολογίζονται τα ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από μια τέτοια επέμβαση, καθώς και η απλή περίοδος αποπληρωμής του απαιτούμενου κεφαλαίου. Εξετάζεται επιπλέον η υπόθεση χρησιμοποίησης οδοστρώματος με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες, όπως και η συμβολή ενός συστηματικού προγράμματος συντήρησης του δικτύου φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τα αποτελέσματα της εργασίας καταδεικνύουν την ανάγκη για σχεδιασμό του οδικού φωτισμού μέσω κατάλληλων φωτοτεχνικών μελετών. Ως πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή, προτείνεται μία μέθοδος χαρτογράφησης του δικτύου ηλεκτροφωτισμού, μέσω της οποίας θα συλλέγονται και θα καταγράφονται οι απαραίτητες πληροφορίες (ακριβής γεωγραφική θέση φωτιστικού, αριθμός και τύπος λαμπτήρων, ύψος ανάρτησης, ισχύς κλπ.).

Λέξεις – Κλειδιά

Οδικός φωτισμός, κατηγορίες φωτισμού, αποδοτικοί λαμπτήρες, αντικατάσταση φωτιστικών, φωτοεκπέμπουσες δίοδοι, προσομοιώσεις φωτισμού, συντήρηση εγκαταστάσεων, εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση εκπομπών αέριων ρύπων, απλή περίοδος αποπληρωμής.

Abstract

The subject of the present diploma thesis is the search of the practices and methods that will make an urban road lighting network as efficient and safe for the road users as possible, and by means of which a significant potential of energy savings is achieved. To date lighting sources used are analyzed and evaluated, emphasizing on the ever growing LED lighting technology, as the best suited in energy optimization and environmentally friendlier. General recommendations and guidelines by the International Commission on Illumination (C.I.E.) are presented, as well as the European Standards EN 13201 relating to road lighting, which have been incorporated in the Greek law.

An attempt is made to calculate the amount of energy savings, resulting from the working hypothesis of replacing the existing lighting fixtures of the municipal district of Nea Smyrni with LED road luminaires, while attaining full compliance with the Standards' requirements. After data collection from in situ measurements on typical streets of the Municipality, photometric results are presented with the help of the RELUX lighting simulation software, and the energy, economic and environmental benefits arising from such an intervention are calculated, as well as the simple payback period of the capital required. Also, the hypothesis of using road surfaces with improved reflective properties is examined, along with the contribution of a systematic road lighting maintenance routine in energy savings. The results of this thesis demonstrate the need for planning the road lighting system through appropriate illumination studies. As a first step in this direction, a mapping method of the road lighting network is proposed, by which the necessary data (exact geographic location of luminaires, number and type of lamps, mounting height, wattage, etc.) will be collected and recorded.

Key Words

Road lighting, lighting classes, energy efficient lamps, luminaire replacement, Light Emitting Diodes, LED, lighting simulations, maintenance of installations, energy savings, reduction of gas emissions, simple payback period.

Συντμήσεις και Ειδικοί Όροι

C.F.L.	Compact Fluorescent Lamp
C.I.E.	Commission Internationale de l'Éclairage
C.R.I.	Color Rendering Index
H.P.S.	High Pressure Sodium
I.E.S.N.A.	Illuminating Engineering Society of North America
I.P.C.C.	Intergovernmental Panel on Climate Change
L.E.D.	Light Emitting Diode
M.H.	Metal Halide
O.L.E.D.	Organic Light Emitting Diode
P.I.A.R.C.	Permanent International Association of Road Congresses
R.o.H.S.	Restriction of the use of certain Hazardous Substances
A.H.H.E.	Απόβλητα ειδών Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού
A.Π.Α.	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής
Δ.Ε.Η.	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
E.O.AN.	Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης
Λ.Ε.Α.	Λορίδα Έκτακτης Ανάγκης
M.H.K.	Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία
Ο.Σ.Μ.Ε.Ο.	Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας
Π.Δ.Σ.	Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις
Π.Ε.ΤΕ.Π.	Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές
Σ.Δ.Α.Ε.	Σχέδιο Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	Βασικές Έννοιες Φωτοτεχνίας.....	29
1.1	Γενικά.....	29
1.2	Βασικές Φωτοτεχνικές Μονάδες.....	30
1.2.1	Candela (Cd) – Καντέλα ή Κηρίο.....	30
1.2.2	Lumen (Lm) – Λούμεν.....	30
1.2.3	Lux (Lx) – Λουξ.....	30
1.3	Βασικά Φωτοτεχνικά Μεγέθη.....	30
1.3.1	Φωτεινή Ροή Φ (Luminous Flux).....	30
1.3.2	Φωτεινή Ένταση I (Luminous Intensity).....	31
1.3.3	Στερεά Γωνία Ω (Solid Angle).....	32
1.3.4	Ένταση Φωτισμού Επιφάνειας E (Illuminance).....	33
1.3.5	Απόδοση Φωτεινής Πηγής (Luminous Efficacy).....	33
1.3.6	Λαμπρότητα L (Luminance).....	34
1.3.7	Θάμβωση G (Glare).....	35
1.3.8	Φωτεινή Πάλμωση (Flicker Effect).....	36
1.3.9	Ανακλαστικότητα (Reflectance).....	36
1.4	Χρώμα.....	37
1.4.1	Θερμοκρασία Χρώματος T_c (Color Temperature).....	38
1.4.2	Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης CRI (Color Rendering Index).....	39
2	Πηγές Φωτισμού των Οδών.....	41
2.1	Κατηγορίες Πηγών Φωτισμού.....	41
2.2	Βασικά Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων.....	41
2.3	Λαμπτήρες Πυρακτώσεως (Incandescent Lamps).....	42
2.4	Λαμπτήρες Εκκενώσεως (Discharge Lamps).....	43
2.4.1	Στραγγαλιστικό Πηνίο (Ballast).....	43
2.4.2	Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Mercury Vapor Lamps) 43	
2.4.3	Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Χαμηλής Πίεσης – Φθορισμού (Fluorescent Lamps) ..	44
2.4.4	Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων (Metal Halide Lamps).....	44
2.4.5	Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Sodium Vapor Lamps).....	44
2.4.6	Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Sodium Vapor Lamps).....	44

2.5	Λαμπτήρες Επαγωγής (Induction Lamps).....	45
2.6	Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι LED (Light Emitting Diodes).....	45
3	Φωτιστικά Σώματα.....	49
3.1	Ορισμός και Δομή.....	49
3.2	Φωτοτεχνικά Χαρακτηριστικά.....	49
3.3	Κατηγοριοποίηση IP (Ingress Protection).....	52
3.4	Στήριξη Φωτιστικών Σωμάτων.....	54
3.4.1	Ιστοί Οδοφωτισμού.....	54
3.4.2	Βραχίονες Στήριξης.....	55
3.5	Διάταξη Φωτιστικών Σωμάτων.....	56
3.5.1	Εγκάρσια Τοποθέτηση.....	57
3.5.2	Διαμήκης Τοποθέτηση.....	57
4	Βάσεις Σχεδιασμού Αστικού Οδικού Φωτισμού.....	61
4.1	Συστήματα Φωτισμού.....	61
4.2	Φωτορρύπανση.....	62
4.2.1	Τρόποι Αντιμετώπισης της Φωτορρύπανσης.....	63
4.3	Κατηγοριοποίηση Οδοστρωμάτων σύμφωνα με τις Ανακλαστικές τους Ιδιότητες.....	64
4.4	Παρουσίαση Προτύπου EN-13201.....	66
4.4.1	Μέρος 1 ^ο – Επιλογή Κατηγοριών Φωτισμού.....	66
4.4.2	Μέρος 2 ^ο – Απαιτήσεις Επιδόσεων.....	72
4.4.3	Μέρος 3 ^ο – Υπολογισμός Επιδόσεων.....	76
4.4.4	Μέρος 4 ^ο – Μέθοδοι Μέτρησης Επιδόσεων Φωτισμού.....	87
5	Συντήρηση Εγκατάστασης Οδικού Φωτισμού.....	89
5.1	Πρόγραμμα Συντήρησης Εγκατάστασης Οδικού Φωτισμού.....	90
5.1.1	Καθαρισμός.....	90
5.1.2	Μηχανικός Έλεγχος.....	90
5.1.3	Οπτικός και Ηλεκτρολογικός Έλεγχος.....	90
5.1.4	Αντικατάσταση Λαμπτήρων.....	91
5.2	Συντελεστής Συντήρησης Εγκατάστασης MF (Maintenance Factor).....	91
5.3	Συντήρηση σε Εγκατάσταση με Φωτιστικά Τεχνολογίας LED.....	92
5.3.1	Σημειακή Αντικατάσταση Εξαρτημάτων.....	93
5.3.2	Καθαρισμός Φωτιστικού.....	93
5.3.3	Συντελεστής Συντήρησης MF σε Εγκαταστάσεις Τεχνολογίας LED.....	94

5.4	Διάθεση Αποβλήτων	95
6	Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Οδικό Φωτισμό	97
6.1	Γενικές Συστάσεις για τον Ελλαδικό Χώρο	98
6.2	Τεχνολογία Ελέγχου Φωτισμού Οδών	98
6.2.1	Χρονοδιακόπτες	98
6.2.2	Φωτοκύτταρα – Φωτοαισθητήρες	99
6.2.3	Διαβάθμιση Φωτισμού (Dimming)	99
6.3	Χρήση Φωτεινών Οδοστρωμάτων	100
6.4	Βελτιστοποίηση προγράμματος συντήρησης	100
7	Η Περίπτωση του Δήμου της Νέας Σμύρνης	101
7.1	Γενικά Στοιχεία για το Δήμο Νέας Σμύρνης	101
7.2	Το Σύμφωνο των Δημάρχων	103
7.3	Καταγραφή Ηλεκτρικής Κατανάλωσης και Βασικών Εκπομπών CO ₂ Οδικού Φωτισμού στο Δήμο Νέας Σμύρνης	103
7.4	Καταγραφή Υφιστάμενης Υποδομής Οδικού Φωτισμού	104
8	Σενάρια Προσομοίωσης Φωτισμού	107
8.1	Μετρήσεις Χαρακτηριστικών Αποστάσεων Εγκατάστασης Οδικού Φωτισμού	107
8.2	Το λογισμικό RELUX	111
8.3	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού 2ας Μαΐου (Σενάριο 1)	111
8.3.1	Κατηγορία Φωτισμού – 2ας Μαΐου	112
8.3.2	Επιλογή Φωτιστικού – 2ας Μαΐου	113
8.3.3	Προεπισκόπηση Οδού – 2ας Μαΐου	114
8.3.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – 2ας Μαΐου	115
8.4	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Αγίας Σοφίας (Σενάριο 1)	116
8.4.1	Κατηγορία Φωτισμού – Αγ. Σοφίας	118
8.4.2	Επιλογή Φωτιστικού – Αγ. Σοφίας	118
8.4.3	Προεπισκόπηση Οδού – Αγ. Σοφίας	119
8.4.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Αγ. Σοφίας	120
8.5	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Αγίας Φωτεινής (Σενάριο 1)	122
8.5.1	Κατηγορία Φωτισμού – Αγ. Φωτεινής	123
8.5.2	Επιλογή Φωτιστικού – Αγ. Φωτεινής	123
8.5.3	Προεπισκόπηση Οδού – Αγ. Φωτεινής	124
8.5.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Αγ. Φωτεινής	125

8.6	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Δαρδανελλίων (Σενάριο 1)	127
8.6.1	Κατηγορία Φωτισμού – Δαρδανελλίων	128
8.6.2	Επιλογή Φωτιστικού – Δαρδανελλίων.....	129
8.6.3	Προεπισκόπηση Οδού – Δαρδανελλίων	130
8.6.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Δαρδανελλίων	131
8.7	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Μεγάλου Αλεξάνδρου (Σενάριο 1).....	132
8.7.1	Κατηγορία Φωτισμού – Μεγ. Αλεξάνδρου	133
8.7.2	Επιλογή Φωτιστικού – Μεγ. Αλεξάνδρου	134
8.7.3	Προεπισκόπηση Οδού – Μεγ. Αλεξάνδρου.....	135
8.7.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Μεγ. Αλεξάνδρου	136
8.8	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 1)	137
8.8.1	Κατηγορία Φωτισμού – Ελ. Βενιζέλου.....	139
8.8.2	Επιλογή Φωτιστικού – Ελ. Βενιζέλου	140
8.8.3	Προεπισκόπηση Οδού – Ελ. Βενιζέλου.....	141
8.8.4	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Ελ. Βενιζέλου.....	142
8.9	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 2)	144
8.9.1	Επιλογή Φωτιστικού	144
8.9.2	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	146
8.10	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 3).....	148
8.10.1	Επιλογή Φωτιστικού	148
8.10.2	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	148
8.11	Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 4).....	151
8.11.1	Επιλογή Φωτιστικού	151
8.11.2	Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	151
9	Ενεργειακή και Οικονομική Αξιολόγηση Σεναρίων	155
9.1	Υπολογισμός Εγκατεστημένης Ισχύος.....	155
9.2	Υπολογισμός Υπάρχουσας Ετήσιας Ενεργειακής Κατανάλωσης.....	155
9.3	Σενάριο 1	156
9.3.1	Υπολογισμός Ετήσιας Ενεργειακής Κατανάλωσης.....	156
9.3.2	Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	156
9.3.3	Ετήσιο Οικονομικό Όφελος.....	157
9.3.4	Μείωση Εκπομπών CO ₂	158
9.3.5	Απόσβεση Κεφαλαίου.....	159

9.4	Σενάρια 2, 3 και 4.....	161
9.4.1	Ενεργειακή Αξιολόγηση	161
10	Επέκταση Σεναρίου 1 στο Σύνολο του Δήμου	163
11	Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	169
11.1	Συμπεράσματα.....	169
11.2	Προτάσεις	169
12	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	175

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 - Θερμό, ουδέτερο και ψυχρό φως	38
Πίνακας 3.1 – Προσδιορισμός του πρώτου χαρακτηριστικού ψηφίου κατηγοριοποίησης IP	52
Πίνακας 3.2 – Προσδιορισμός του δεύτερου χαρακτηριστικού ψηφίου κατηγοριοποίησης IP.....	53
Πίνακας 4.1 - Συντελεστής Αντίθεσης q_c	61
Πίνακας 4.2 - Ζώνες ελεγχόμενου εξωτερικού φωτισμού κατά CIE για τον περιορισμό της φωτορύπανσης.....	63
Πίνακας 4.3 - Διαχωρισμός οδοστρωμάτων κατά CIE ως προς την ανακλαστικότητα.....	64
Πίνακας 4.4 – Ομαδοποίηση καταστάσεων φωτισμού.....	70
Πίνακας 4.5 – Εκτίμηση παραμέτρων για την επιλογή κατηγορίας φωτισμού	71
Πίνακας 4.6 – Κατηγορίες φωτισμού ME για διάφορα χαρακτηριστικά της οδού	72
Πίνακας 4.7 – Προδιαγραφές κατηγοριών ME – Στεγνό οδόστρωμα	73
Πίνακας 4.8 – Προδιαγραφές κατηγοριών ME – Υγρό οδόστρωμα.....	73
Πίνακας 4.9 – Κατηγορίες φωτισμού CE για διάφορες περιοχές εμπλοκών	74
Πίνακας 4.10 – Προδιαγραφές κατηγοριών CE.....	74
Πίνακας 4.11 – Κατηγορίες φωτισμού S για διάφορα χαρακτηριστικά της οδού	74
Πίνακας 4.12 – Προδιαγραφές κατηγοριών S.....	75
Πίνακας 4.13 – Κατηγορίες φωτεινής έντασης για τον περιορισμό της θάμβωσης.....	75
Πίνακας 7.1 – Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του Δήμου Νέας Σμύρνης κι ισοδύναμες εκπομπές CO ₂	104
Πίνακας 8.1 – Χαρακτηριστικές αποστάσεις των οδών που μετρήθηκαν.....	110
Πίνακας 8.2 – Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των οδών	110
Πίνακας 8.3 – Σενάρια επέμβασης στις χαρακτηριστικές οδούς του Δήμου Νέας Σμύρνης	111
Πίνακας 8.4 – Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού 2ας Μαΐου	112
Πίνακας 8.5 –Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού S2	113
Πίνακας 8.6 – Προεπισκόπηση της οδού 2ας Μαΐου	114
Πίνακας 8.7 – Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού 2ας Μαΐου	115
Πίνακας 8.8 – Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Αγ. Σοφίας	118
Πίνακας 8.9 – Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5	118
Πίνακας 8.10 – Προεπισκόπηση της οδού Αγ. Σοφίας.....	120
Πίνακας 8.11 – Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Αγ. Σοφίας.....	120
Πίνακας 8.12 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Αγ. Φωτεινής.....	123
Πίνακας 8.13 - Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5	123
Πίνακας 8.14 – Προεπισκόπηση της οδού Αγ. Φωτεινής.....	125
Πίνακας 8.15 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Αγ. Φωτεινής	125
Πίνακας 8.16 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Δαρδενελίων.....	128
Πίνακας 8.17 - Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5	129
Πίνακας 8.18 - Προεπισκόπηση της οδού Δαρδενελίων	130
Πίνακας 8.19 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Δαρδενελίων.....	131
Πίνακας 8.20 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου.....	133
Πίνακας 8.21 - Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5	134
Πίνακας 8.22 – Προεπισκόπηση της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου.....	135

Πίνακας 8.23 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου	136
Πίνακας 8.24 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Ελ. Βενιζέλου	139
Πίνακας 8.25 - Απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού ME4b	139
Πίνακας 8.26 - Προεπισκόπηση της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 1)	141
Πίνακας 8.27 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 1)	143
Πίνακας 8.28 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 2)	146
Πίνακας 8.29 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 3)	149
Πίνακας 8.30 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 4)	152
Πίνακας 9.1 – Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύος	155
Πίνακας 9.2 – Υπάρχουσα ετήσια ενεργειακή κατανάλωση	155
Πίνακας 9.3 – Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (Σενάριο 1).....	156
Πίνακας 9.4 – Εξοικονόμηση ενέργειας (Σενάριο 1).....	156
Πίνακας 9.5 – Ετήσιο οικονομικό όφελος (Σενάριο 1).....	158
Πίνακας 9.6 – Ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ (Σενάριο 1)	159
Πίνακας 9.7 – Αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης φωτιστικών (Σενάριο 1).....	161
Πίνακας 9.8 – Απλή περίοδος απόσβεσης (Σενάριο 1)	161
Πίνακας 9.9 – Ποσοστό εξοικονόμησης Σεναρίων σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση.....	162
Πίνακας 10.1 – Αναγωγή καταναλώσεων πριν και μετά (Σενάριο 1)	164
Πίνακας 10.2 – Εξοικονόμηση ενέργειας στο Δήμο (Επέκταση Σεναρίου 1).....	164
Πίνακας 10.3 – Ετήσιο οικονομικό όφελος στο Δήμο (Επέκταση Σεναρίου 1).....	165
Πίνακας 10.4 – Ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1).....	166

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικ. 1.1 – Η συνάρτηση $V(\lambda)$ ή φωτομετρική καμπύλη</i>	29
<i>Εικ. 1.2 - Φωτεινή ένταση σημειακής πηγής</i>	31
<i>Εικ. 1.3 - Διάγραμμα πολικής κατανομής</i>	32
<i>Εικ. 1.4 - Στερεά Γωνία</i>	32
<i>Εικ. 1.5 - Ένταση Φωτισμού</i>	33
<i>Εικ. 1.6 - Σχηματική παράσταση του φωτομετρικού νόμου των αποστάσεων</i>	33
<i>Εικ. 1.7 – Κατοπτρική ανάκλαση</i>	36
<i>Εικ. 1.8 – Ημιδιαχέουσα ανάκλαση</i>	36
<i>Εικ. 1.9 – Διαχέουσα ανάκλαση</i>	37
<i>Εικ. 1.10 – Ανάλυση λευκού φωτός στο ορατό φάσμα</i>	37
<i>Εικ. 1.11 - Χρωματικός Χάρτης (Chromaticity Diagram) της C.I.E.</i>	39
<i>Εικ. 2.1 – Απόδοση συμβατικών πηγών φωτισμού στο χρόνο, συγκριτικά με την τεχνολογία LED</i>	47
<i>Εικ. 3.1 – Κατηγοριοποίηση των φωτιστικών κατά IESNA ως προς τη διάχυση του φωτός</i>	52
<i>Εικ. 3.2 – Ιστός φωτισμού με καμπύλο (αριστερά) κι ευθύγραμμο (δεξιά) βραχίονα</i>	56
<i>Εικ. 3.3 – Ιστοί φωτισμού με διπλό ή δίδυμο βραχίονα (αριστερά) και φωτισμός επί υψηλών ιστών (δεξιά)</i>	56
<i>Εικ. 3.4 - Μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών</i>	57
<i>Εικ. 3.5 - Χιαστί διάταξη φωτιστικών</i>	58
<i>Εικ. 3.6 - Αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών</i>	58
<i>Εικ. 3.7 - Κεντρική διάταξη φωτιστικών</i>	58
<i>Εικ. 3.8 - Αξονική διάταξη φωτιστικών</i>	58
<i>Εικ. 4.1 - Συμμετρικό σύστημα φωτισμού</i>	61
<i>Εικ. 4.2 - Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (counter-beam lighting)</i>	62
<i>Εικ. 4.3 - Ωφέλιμο φως και φωτορρύπανση από τυπικό φωτιστικό εξωτερικού χώρου</i>	63
<i>Εικ. 4.4 - Όρια ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό του συντελεστή Q_0</i>	65
<i>Εικ. 4.5 - Γωνίες από τις οποίες εξαρτάται ο συντελεστής λαμπρότητας</i>	77
<i>Εικ. 4.6 - Γωνίες παρατήρησης για το μέσο οδηγό - παρατηρητή</i>	77
<i>Εικ. 4.7 - Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας</i>	78
<i>Εικ. 4.8 - Θέσεις σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας σε μία λωρίδα κυκλοφορίας</i>	79
<i>Εικ. 4.9 - Θέση σημείων παρατήρησης σε σχέση με το πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας, σε διάφορους τύπους οδών</i>	81
<i>Εικ. 4.10 - Σύνορα της περιοχής για τον εντοπισμό των φωτιστικών που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς λαμπρότητας σε σημείο</i>	82
<i>Εικ. 4.11 - Θέσεις σημείων υπολογισμού της έντασης φωτισμού στη σχετική περιοχή</i>	84
<i>Εικ. 4.12 - Θέση και πλάτος λωρίδων για τον υπολογισμό του SR</i>	86
<i>Εικ. 7.1 - Όρια Δήμου Νέας Σμύρνης</i>	101
<i>Εικ. 7.2 - Πολεοδομικές ενότητες του δήμου Νέας Σμύρνης</i>	102
<i>Εικ. 7.3 - Κατανομή χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων στον οδοφωτισμό της Ν.Σμύρνης (2008)</i>	104
<i>Εικ. 7.4 - Κατανομή χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων στον οδοφωτισμό της Ν. Σμύρνης (2013)</i>	105
<i>Εικ. 7.5 – Χρησιμοποιούμενος λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης</i>	106
<i>Εικ. 7.6 – Χρησιμοποιούμενος λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης</i>	106
<i>Εικ. 8.1 – Χαρακτηριστικές αποστάσεις εγκατάστασης φωτισμού</i>	107

<i>Εικ. 8.2 – Υπολογισμός κλίσης βραχίονα φωτιστικού με μετρητή αποστάσεων laser</i>	108
<i>Εικ. 8.3 - Μετρητής αποστάσεων laser BOSCH DLE 70 Professional</i>	109
<i>Εικ. 8.4 – Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις</i>	109
<i>Εικ. 8.5 - Μερική άποψη του πεζόδρομου 2ας Μαΐου από ύψος 351 m</i>	111
<i>Εικ. 8.6 – Νυχτερινός φωτισμός στον πεζόδρομο 2ας Μαΐου, Μάιος 2013</i>	112
<i>Εικ. 8.7 – Φωτιστικό Milewide LED της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	114
<i>Εικ. 8.8 – Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό 2ας Μαΐου</i>	116
<i>Εικ. 8.9 - Μερική άποψη της οδού Αγ. Σοφίας από ύψος 998 m</i>	117
<i>Εικ. 8.10 – Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Αγ. Σοφίας, Μάιος 2013</i>	117
<i>Εικ. 8.11 – Φωτιστικό LEDway Road 704D της Cree & Ruud, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	119
<i>Εικ. 8.12 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Αγ. Σοφίας</i>	121
<i>Εικ. 8.13 - Μερική άποψη της οδού Αγ. Φωτεινής από ύψος 894 m</i>	122
<i>Εικ. 8.14 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Αγ. Φωτεινής, Μάιος 2013</i>	122
<i>Εικ. 8.15 - Φωτιστικό LEDway Road 702D της Cree & Ruud, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	124
<i>Εικ. 8.16 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Αγ. Φωτεινής</i>	126
<i>Εικ. 8.17 - Μερική άποψη της οδού Δαρδανελλίων από ύψος 754 m</i>	127
<i>Εικ. 8.18 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Δαρδανελλίων, Μάιος 2013</i>	128
<i>Εικ. 8.19 - Φωτιστικό LEDway Road 703D της Cree & Ruud, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	130
<i>Εικ. 8.20 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Δαρδανελλίων</i>	132
<i>Εικ. 8.21 - Μερική άποψη της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου από ύψος 963 m</i>	132
<i>Εικ. 8.22 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου, Μάιος 2013</i>	133
<i>Εικ. 8.23 - Φωτιστικό Selenium LED 55S της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	135
<i>Εικ. 8.24 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου</i>	137
<i>Εικ. 8.25 - Μερική άποψη της λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου από ύψος 1,47 km</i>	138
<i>Εικ. 8.26 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο), Μάιος 2013</i>	138
<i>Εικ. 8.27 - Φωτιστικό Selenium LED 92S της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	141
<i>Εικ. 8.28 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 1)</i>	143
<i>Εικ. 8.29 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (1)</i>	144
<i>Εικ. 8.30 – Φωτιστικό Selenium LED 74S της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα</i>	145
<i>Εικ. 8.31 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 2)</i>	147
<i>Εικ. 8.32 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 2)</i>	148
<i>Εικ. 8.33 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 3)</i>	150

<i>Εικ. 8.34 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 3).....</i>	<i>151</i>
<i>Εικ. 8.35 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 4).....</i>	<i>153</i>
<i>Εικ. 8.36 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 4).....</i>	<i>154</i>
<i>Εικ. 9.1 – Ετήσια κατανάλωση πριν και μετά (Σενάριο 1).....</i>	<i>157</i>
<i>Εικ. 9.2 – Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας (Σενάριο 1).....</i>	<i>157</i>
<i>Εικ. 9.3 – Ετήσια δαπάνη οδοφωτισμού πριν και μετά (Σενάριο 1)</i>	<i>158</i>
<i>Εικ. 9.4 – Ετήσιες εκπομπές CO₂ πριν και μετά (Σενάριο 1).....</i>	<i>159</i>
<i>Εικ. 9.5 – Ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας Σεναρίων σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση.....</i>	<i>162</i>
<i>Εικ. 10.1 – Ψηφιοποιημένος χάρτης οδικού δικτύου του Δήμου Νέας Σμύρνης, με τις τέσσερις κατηγορίες οδών</i>	<i>163</i>
<i>Εικ. 10.2 – Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στο Δήμο (Επέκταση Σεναρίου 1).....</i>	<i>165</i>
<i>Εικ. 10.3 – Ετήσια κατανάλωση ενέργειας στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)</i>	<i>165</i>
<i>Εικ. 10.4 – Ετήσια δαπάνη οδοφωτισμού στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)</i>	<i>166</i>
<i>Εικ. 10.5 – Ετήσιες εκπομπές CO₂ στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)</i>	<i>166</i>
<i>11.1 – Screenshot 1 της εικονικής εφαρμογής City Lights</i>	<i>170</i>
<i>11.2 - Screenshot 2 της εικονικής εφαρμογής City Lights</i>	<i>170</i>

Εισαγωγή

Οδικός Φωτισμός και Εξοικονόμηση Ενέργειας

Το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε ένα Δήμο, αφορά στον οδικό φωτισμό. Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος συγκαταλέγεται, αδιαμφισβήτητα, στα κυριότερα έξοδα των περισσότερων Δήμων. Τα δημόσια συστήματα φωτισμού, αποτελούν μια αντιπροσωπευτική περίπτωση για την εφαρμογή πολιτικής εξοικονόμησης ενέργειας.

Από έρευνα που έγινε στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, διαπιστώθηκε ότι η ετήσια κατανάλωση για το δημοτικό φωτισμό κυμαίνεται μεταξύ 40 και 80 kWh ανά κάτοικο ή μεταξύ 10 και 30 MWh ανά χιλιόμετρο οδού. Ωστόσο, πλήθος πόλεων της χώρας μας ξεπερνούν κατά πολύ, ακόμη και τα ανώτατα όρια της στατιστικής αυτής. Πρακτικά, δεν υπάρχει ελληνική πόλη που ο φωτισμός της να μην εμφανίζει ελάχιστο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας της τάξης του 50%.^[50]

Η Ευρώπη εφαρμόζει ήδη ευρύ φάσμα μέσων άσκησης πολιτικής που ενθαρρύνουν τη χρήση των ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού, μέσα που υπόκεινται σε τακτικές αναθεωρήσεις και επικαιροποιήσεις. Επίσης, η Ευρώπη έχει αναγνωρίσει το σημαντικό ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει ο δημόσιος τομέας στην ταχεία διείσδυση των εν λόγω τεχνολογιών στην αγορά μέσω δημοσίων συμβάσεων.^[44]

Ο Φωτισμός Στερεάς Κατάστασης (Solid State Lighting, SSL) είναι η πιο πρωτοποριακή τεχνολογία που αναδύεται στην αγορά. Βασίζεται σε φως εκπεμπόμενο από ημιαγώγιμα υλικά, τα οποία μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε φως, και περιλαμβάνει τις διόδους φωτισμού LED και OLED. Η τεχνολογία SSL χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε φωτεινούς σηματοδότες ρύθμισης κυκλοφορίας και σε φανούς αυτοκινήτων. Ήδη χρησιμοποιείται ευρύτερα σε φωτιζόμενες οθόνες και τηλεοράσεις και διεισδύει πλέον στην αγορά φωτισμού εν γένει. Τα προσεχή έτη, η τεχνολογία SSL θα γίνει η πιο ευέλικτη και ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία για γενικό φωτισμό και θα παρέχει φως υψηλής ποιότητας και οπτικής.^[16]

Οδικός Φωτισμός και Οδική Ασφάλεια

Κατά τη νυχτερινή περίοδο μειώνεται σημαντικά η ορατότητα, με αποτέλεσμα να γίνεται γενικά δυσκολότερη η οδήγηση. Δημοσιευμένες έρευνες αποδεικνύουν ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας, τα οδικά ατυχήματα είναι τριπλάσια από αυτά που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ημέρας.^[41] Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, στατιστικές αναλύσεις για την επιρροή του οδικού φωτισμού στην οδική ασφάλεια, δείχνουν ότι η απουσία ή η ανεπάρκεια του οδικού φωτισμού κατά τις νυχτερινές ώρες, φαίνεται να αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των νεκρών, συμπέρασμα που συμβαδίζει και με τα αποτελέσματα της έρευνας διεθνώς. Η αύξηση αυτή παρατηρείται ότι είναι μεγαλύτερη στις κατοικημένες περιοχές. Η οδική ασφάλεια μπορεί να αυξηθεί σημαντικά εάν εξασφαλιστεί ικανοποιητικός τεχνητός φωτισμός.^[34]

Σκοπός του Οδικού Φωτισμού

Σκοπός του οδικού φωτισμού είναι η παροχή της βέλτιστης οδικής ασφάλειας, προσδίδοντας συνθήκες καλής ορατότητας στους χρήστες της οδού. Ο σωστός οδικός φωτισμός πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα στους οδηγούς των οχημάτων να αντιλαμβάνονται έγκαιρα τα γεωμετρικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά της οδού, την οδοσήμανση, καθώς και τυχόν εμπόδια στο οδόστρωμα. Παράλληλα, να δημιουργεί αίσθημα ασφάλειας στους πεζούς και να βελτιώνει την εικόνα των πόλεων και γενικότερα του περιβάλλοντος χώρου.

Δομή της Εργασίας

Παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής αυτής εργασίας, μέσω συνοπτικής αναφοράς στο περιεχόμενο των κεφαλαίων της. Γενικότερα, η εργασία μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος (Κεφάλαια 1 – 6) παρουσιάζεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τον οδικό φωτισμό, τις προδιαγραφές και τους κανονισμούς που τον διέπουν, καθώς και οι πρακτικές μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας. Στο δεύτερο μέρος (Κεφάλαια 7 – 10) γίνεται η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στις δημοτικές εγκαταστάσεις φωτισμού του Δήμου της Νέας Σμύρνης, μέσω φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων του λογισμικού προσομοίωσης φωτισμού RELUX.

Στο πρώτο κεφάλαιο, ορίζονται οι θεμελιώδεις μονάδες και οι βασικές έννοιες του κλάδου της Φωτοτεχνίας, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση του μεγαλύτερου μέρους της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι πηγές φωτισμού των οδών και τα βασικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων, με έμφαση στην αναπτυσσόμενη τεχνολογία LED.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στα φωτιστικά σώματα και τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά τους, καθώς και στις διατάξεις στήριξης και τοποθέτησής τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι βάσεις σχεδιασμού του αστικού οδικού φωτισμού, με ιδιαίτερη αναφορά στις οδηγίες της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού (C.I.E.) και στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 13201.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αναπτύσσονται οι αρχές συντήρησης δικτύου οδικού φωτισμού, σε εγκαταστάσεις συμβατικής τεχνολογίας και εγκαταστάσεις τεχνολογίας LED.

Στο έκτο κεφάλαιο, προτείνονται μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας στον αστικό οδικό φωτισμό, τόσο για τον περιορισμό της ισχύος, όσο και για τον περιορισμό των ωρών λειτουργίας του συστήματος.

Στο έβδομο κεφάλαιο, δίνονται γενικά στοιχεία για το Δήμο της Νέας Σμύρνης και γίνεται η εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης της υποδομής οδικού φωτισμού και των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζονται με τη βοήθεια του λογισμικού RELUX, τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα που προκύπτουν από προσομοιώσεις φωτισμού σε χαρακτηριστικές οδούς του Δήμου, για διάφορα σενάρια.

Στο ένατο κεφάλαιο, υπολογίζεται το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που προκύπτει από την εφαρμογή κάθε σεναρίου, καθώς και το ετήσιο οικονομικό όφελος και το ποσοστό μείωσης εκπομπών CO₂. Υπολογίζεται ακόμη η απλή περίοδος αποπληρωμής για το βασικό σενάριο.

Στο δέκατο κεφάλαιο, γίνεται η επέκταση του βασικού σεναρίου σε όλη την έκταση του δημοτικού διαμερίσματος.

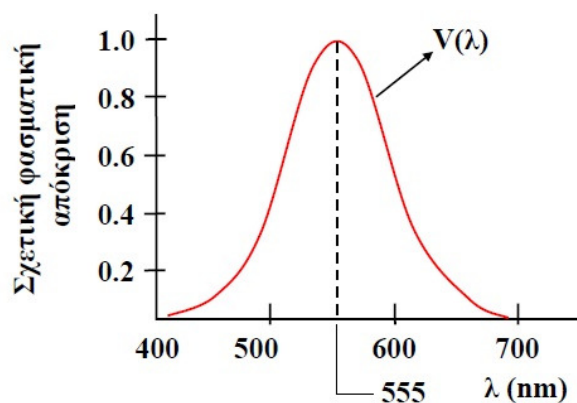
Ακολουθούν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις, καθώς και μια μέθοδος χαρτογράφησης του δικτύου που θα χρησιμεύσει σε κάθε φωτοτεχνική μελέτη και στη διαχείριση του οδικού φωτισμού.

1 Βασικές Έννοιες Φωτοτεχνίας

1.1 Γενικά

Ο ανθρώπινος οφθαλμός αντιλαμβάνεται ένα μικρό μόνο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το οποίο καλείται ορατό φως. Το φάσμα αυτό είναι δυνατόν να προέρχεται από φυσικές πηγές φωτός, όπως το φως της ημέρας, ή από τεχνητές πηγές φωτός, όπως οι διαφόρων τύπων λαμπτήρες. Εκτείνεται σε ακτινοβολίες με μήκος κύματος από 380 nm έως 780 nm και κάθε αλλαγή στην ποιότητα και την ποσότητα της ακτινοβολίας μέσα στα όρια αυτά, μεταφράζεται ως αίσθηση χρώματος και φωτεινότητας. Κάθε φωτεινή πηγή έχει μια χαρακτηριστική κατανομή για τα μήκη κύματος που τη συνθέτουν, το λεγόμενο **φάσμα εκπομπής της πηγής**.

Ο κλάδος της οπτικής επιστήμης που έχει ως αντικείμενο τις μετρήσεις φωτός στην ορατή περιοχή, ονομάζεται **Φωτοτεχνία**. Οι φωτοτεχνικές μονάδες λαμβάνουν υπ' όψιν το γεγονός ότι η απόκριση του ανθρώπινου οπτικού συστήματος στο φως μεταβάλλεται με το μήκος κύματος κι έτσι κάθε μήκος κύματος στο ορατό φάσμα σταθμίζεται διαφορετικά. Το 1924 ορίστηκε από την C.I.E. (Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού – Commission Internationale de l'Éclairage) η σχετική φασματική απόκριση του ανθρώπινου οφθαλμού, που καλείται καμπύλη φωτεινής αποδοτικότητας ή συνάρτηση $V(\lambda)$. Είναι ορισμένη στο διάστημα 360 – 830 nm, με μέγιστο στα 555 nm (περιοχή κιτρινοπράσινου χρώματος) κατά τη διάρκεια της ημέρας και 507 nm (περιοχή πρασινομπλέ χρώματος) κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Εικ. 1.1 – Η συνάρτηση $V(\lambda)$ ή φωτομετρική καμπύλη

Πηγή [33]

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα βασικά μεγέθη που υπεισέρχονται σε μια φωτοτεχνική μελέτη, σε συνδυασμό με τις παραμέτρους στις οποίες βασίζονται τα ποιοτικά κριτήρια σχεδιασμού του οδικού φωτισμού.

1.2 Βασικές Φωτοτεχνικές Μονάδες

1.2.1 Candela (Cd) – Καντέλα ή Κηρίο

Η Καντέλα είναι η θεμελιώδης μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Ένα κοινό κερί παράγει χαρακτηριστικά φωτεινή ένταση περίπου 1 Cd. Ειδικότερα, ορίζεται ως η φωτεινή ένταση μιας ισότροπης πηγής που εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία, σε μια δεδομένη κατεύθυνση, με συχνότητα 540×10^{12} Hz κι έχει ένταση ακτινοβολίας στην κατεύθυνση αυτή ίση με 1/683 Watt ανά στερεακτίνο.

1.2.2 Lumen (Lm) – Λούμεν

Το Lumen είναι μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής κι εκφράζει τη συνολική ποσότητα ορατού φωτός, που εκπέμπεται ομοιόμορφα από μια πηγή φωτοβολίας 1 Cd, μέσα σε στερεά γωνία 1 στερεακτινίου (Steradian, Sr). Είναι η πλέον βασική φωτομετρική μονάδα κι ορίζεται:

$$1 \text{ Lumen} = 1 \text{ Cd} \times 1 \text{ Steradian}$$

Σε όλη την επιφάνεια μιας σφαίρας αντιστοιχεί στερεά γωνία 4π στερεακτίνα. Έτσι, σύμφωνα με τον ορισμό, μια ισότροπη πηγή φωτός που ακτινοβολεί 1 Cd προς όλες τις κατευθύνσεις, έχει συνολική φωτεινή ροή $1 \text{ Cd} \times 4\pi \text{ Steradian} \approx 12,75 \text{ Lumens}$.

1.2.3 Lux (Lx) – Λουξ

Το Lux είναι η μονάδα φωτισμού που μετράει τη φωτεινή ισχύ σε μια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου από φωτεινή ροή 1 Lumen. Ορίζεται:

$$1 \text{ Lux} = 1 \text{ Lumen} / \text{m}^2$$

1.3 Βασικά Φωτοτεχνικά Μεγέθη

1.3.1 Φωτεινή Ροή Φ (Luminous Flux)

Η Φωτεινή Ροή Φ ορίζεται ως η στοιχειώδης φωτεινή ενέργεια dQ που εκπέμπεται στο ορατό φάσμα από μια φωτεινή πηγή, προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, στη μονάδα του χρόνου. Η ενέργεια αυτή δε διαχέεται απαραίτητα ομοιόμορφα, αλλά μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές πυκνότητας στο χώρο.

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

Υπολογίζεται από τα παρακάτω ολοκληρώματα για φωτοπική και σκοτοπική όραση. Φωτοπική καλείται η όραση που εκτελείται από τον ανθρώπινο οφθαλμό υπό συνθήκες καλού φωτισμού, ενώ η σκοτοπική εκτελείται υπό συνθήκες χαμηλού φωτισμού.

- **Φωτοπική Όραση**

$$\Phi = \kappa \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

Όπου:

κ : Η μέγιστη φασματική ευαισθησία για τη φωτοπική όραση (680 Lm/W)

$P(\lambda)$: Η ισχύς της ακτινοβολίας σε Watt

$V(\lambda)$: Η φασματική ευαισθησία για τη φωτοπική όραση

- **Σκοτοπική Όραση**

$$\Phi' = \kappa' \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot V'(\lambda) \cdot d\lambda$$

Όπου:

κ' : Η μέγιστη φασματική ευαισθησία για την σκοτοπική όραση (1700 Lm/W)

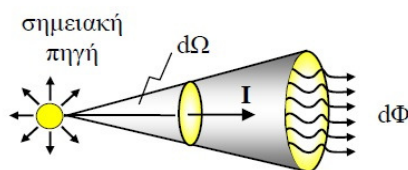
$P(\lambda)$: Η ισχύς της ακτινοβολίας σε Watt

$V'(\lambda)$: Η φασματική ευαισθησία για τη σκοτοπική όραση ^[32]

Μονάδα μέτρησης είναι το Lumen και ως μέγεθος αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός λαμπτήρα, αφού εκφράζει την παραγόμενη φωτεινή ισχύ του, ανεξάρτητα από το είδος του, τη θέση του και την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει.

1.3.2 Φωτεινή Ένταση I (Luminous Intensity)

Η Φωτεινή Ένταση I ορίζεται για μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, ως το πηλίκο της Φωτεινής Ροής $d\Phi$ που εκπέμπεται διαμέσου ενός κοίλου κώνου απειροελάχιστου ανοίγματος από μια σημειακή φωτεινή πηγή, προς την τιμή της στερεάς γωνίας $d\Omega$. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης είναι η Καντέλα και ισχύει:



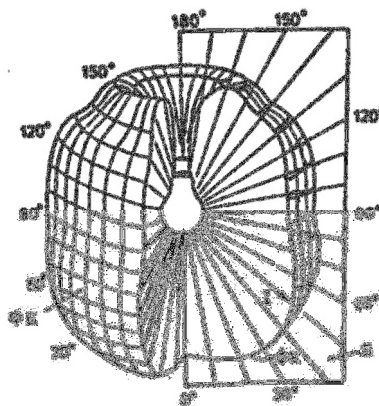
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Εικ. 1.2 - Φωτεινή ένταση σημειακής πηγής

Γίνεται προφανές, ότι ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση σε όλες τις κατευθύνσεις, προκύπτει η Φωτεινή Ροή της πηγής:

$$\Phi = \int_0^{4\pi} I d\Omega$$

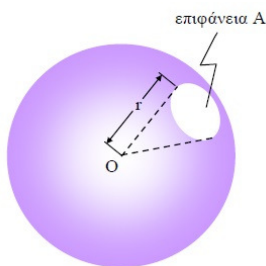
Δεδομένου ότι η φωτεινή ένταση δε διανέμεται απαραίτητως ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, μια πηγή φωτός χαρακτηρίζεται από τη διανομή της φωτεινής έντασης στον χώρο ορίζοντας το φωτομετρικό στερεό. Η κατανομή της έντασης σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας της πηγής, μπορεί να απεικονιστεί γραφικά με την καμπύλη φωτεινής εντάσεως, ή αλλιώς **διάγραμμα πολικής κατανομής**.



Εικ. 1.3 - Διάγραμμα πολικής κατανομής

1.3.3 Στερεά Γωνία Ω (Solid Angle)

Η Στερεά Γωνία Ω είναι το γεωμετρικό ανάλογο της επίπεδης γωνίας στον τρισδιάστατο χώρο. Ορίζεται ως το πηλίκο της επιφάνειας Α του τμήματος σφαίρας ακτίνας r και κέντρο το Ο, που αποκόπτεται από κώνο με κορυφή το κέντρο Ο της σφαίρας, προς το τετράγωνο της ακτίνας r.



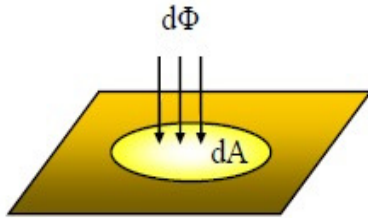
$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

Εικ. 1.4 - Στερεά Γωνία

Μονάδα μέτρησης της στερεάς γωνίας είναι το στερεακτίσιο (Sr) και είναι αδιάστατο μέγεθος. Πρακτικά, 1 στερεακτίσιο είναι η στερεά γωνία με την οποία ένας παρατηρητής βλέπει κάθετα μια επιφάνεια 1 m² που βρίσκεται σε απόσταση 1 m.

1.3.4 Ένταση Φωτισμού Επιφάνειας E (Illuminance)

Ως Ένταση Φωτισμού Επιφάνειας ή Φωτεινότητα E ορίζεται το πηλίκο της φωτεινής ροής $d\Phi$, που προσπίπτει κάθετα πάνω σε μια επιφάνεια, προς τη μονάδα επιφάνειας dA . Μονάδα μέτρησης της έντασης φωτισμού είναι το Lux.

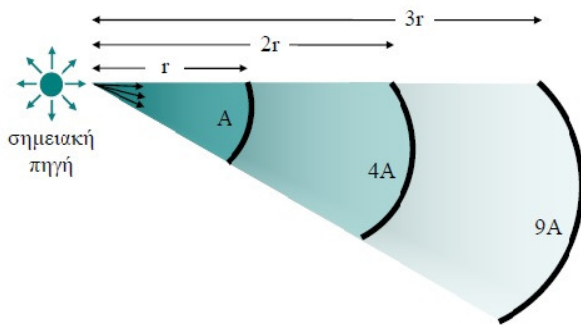


$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Εικ. 1.5 - Ένταση Φωτισμού

Η ένταση φωτισμού χαρακτηρίζει το αποτέλεσμα του φωτισμού σε μια επιφάνεια, που στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι το οδόστρωμα. Η φωτεινή ένταση χαρακτηρίζει το σώμα που φωτίζει, ενώ η ένταση φωτισμού το σώμα που φωτίζεται. Σε περίπτωση που η ακτινοβολία δεν προσπίπτει κάθετα, αλλά υπό γωνία, λαμβάνεται στον υπολογισμό μόνο η κάθετη συνιστώσα. Η τιμή της έντασης φωτισμού επηρεάζεται από τη συχνότητα και τη γωνία εκπομπής της ακτινοβολίας, καθώς κι από την απόσταση από τη φωτεινή πηγή.

Σύμφωνα με τον **φωτομετρικό νόμο των αποστάσεων**, ο φωτισμός που δέχεται μια επιφάνεια, κάθετα τοποθετημένη προς τη διεύθυνση της φωτεινής ροής μιας σημειακής πηγής σταθερής φωτοβολίας I , μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης.^[33]



$$E = \frac{I}{r^2}$$

Εικ. 1.6 - Σχηματική παράσταση του φωτομετρικού νόμου των αποστάσεων

Η φωτεινή ροή που εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή μέσα σε στερεά γωνία, κατανέμεται σε όλο και μεγαλύτερες επιφάνειες, με αποτέλεσμα η ένταση φωτισμού να μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή.^[33]

1.3.5 Απόδοση Φωτεινής Πηγής (Luminous Efficacy)

Οι ηλεκτρικές φωτεινές πηγές (λαμπτήρες) καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια την οποία μετατρέπουν σε ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας είναι φωτεινή. Ως Απόδοση Φωτεινής Πηγής ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ροής Φ που παράγει μια φωτεινή πηγή, προς την ηλεκτρική ισχύ P που καταναλώνει. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής απόδοσης είναι το Lm/Watt κι εκφράζεται μέσω του συντελεστή απόδοσης φωτεινής πηγής η :

$$n = \frac{\Phi}{P}$$

1.3.6 Λαμπρότητα L (Luminance)

Η λαμπρότητα χαρακτηρίζει το πώς αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής πόσο φωτίζει ένα φωτιστικό σώμα, ή ισοδύναμα πόση θάμβωση προκαλεί το φωτιστικό στον παρατηρητή. Ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης I μιας πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή, προς το εμβαδόν S της φαινόμενης φωτιστικής επιφάνειας και μετριέται σε $\text{Nit} = \text{Cd}/\text{m}^2$:

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

Όσο μεγαλύτερη είναι η φαινόμενη επιφάνεια, η φωτεινή ένταση διαχέεται σε μεγαλύτερο μέρος της θόνης του παρατηρητή, οπότε το φωτιστικό φαίνεται λιγότερο λαμπρό. Αντίθετα, αν ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται ότι δέχεται όλη τη φωτεινή ένταση σε ένα σημείο, τότε η λαμπρότητα απειρίζεται και το συγκεκριμένο σημείο θαμπώνει τον παρατηρητή. Σε αντίθεση με τη φωτεινότητα, η οποία εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ροής που προσπίπτει στο οδόστρωμα, η λαμπρότητα είναι το μέτρο της ποσότητας της φωτεινής έντασης, η οποία ανακλάται από το οδόστρωμα προς το μάτι του παρατηρητή. Η έννοια της λαμπρότητας είναι βασική στον σχεδιασμό οδικού φωτισμού και αναλύεται περισσότερο σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3.6.1 Ομοιομορφία Λαμπρότητας U (Uniformity)

Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό πάνω στο οδόστρωμα, πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας σε αυτό να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία), είτε για διεύθυνση που συμπίπτει με τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία). Διακρίνονται τρεις συντελεστές ομοιομορφίας^[32]:

- **Γενικός Συντελεστής Ομοιομορφίας U_0**

Ορίζεται ως ο λόγος L_{\min}/L_{med} , ή L_{\min}/L_{\max} , όπου L_{\min} , L_{med} , L_{\max} η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη λαμπρότητα αντίστοιχα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.

- **Συντελεστής Διαμήκους Ομοιομορφίας U_l**

Ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος L_{\min}/L_{\max} σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα της οδού. Η ανεπαρκής διαμήκης ομοιομορφία βλάπτει την άνεση και την ασφάλεια.

- **Συντελεστής Εγκάρσιας Ομοιομορφίας U_v**

Ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος L_{\min}/L_{\max} σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα της οδού. Καλή εγκάρσια ομοιομορφία επιτρέπει στον οδηγό να διακρίνει με ευκρίνεια την επιφάνεια της οδού σε όλο της το πλάτος.

1.3.6.2 Αντίθεση Λαμπρότητας C (Contrast)

Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους. Αυτή η διαφορά λαμπροτήτων αποτελεί την αντίθεση λαμπρότητας και δίδεται από την εξίσωση:

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

Όπου:

L_o : Η λαμπρότητα του αντικειμένου

L_b : Η λαμπρότητα του περιβάλλοντος χώρου

Η τιμή της αντίθεσης λαμπρότητας κυμαίνεται από -1 έως $+\infty$. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται ως φωτεινή εικόνα μέσα σε ένα σκοτεινό περιβάλλον. Συνήθως ο οδηγός αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σαν σκοτεινή φιγούρα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος (αρνητικές τιμές αντίθεσης).

Ορίζεται ακόμη ο **Συντελεστής Αντίθεσης Λαμπρότητας q_c** (contrast coefficient):

$$q_c = \frac{L}{E_v}$$

Όπου:

L : Η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου

E_v : Ο κατακόρυφος φωτισμός ενός αντικειμένου 0,2 m πάνω από την επιφάνεια του δρόμου, το οποίο αντικρύζει την κυκλοφορία που το προσεγγίζει.

1.3.7 Θάμβωση G (Glare)

Θάμβωση είναι η αίσθηση που δημιουργείται από λαμπρότητα εντός του οπτικού πεδίου, αρκετά μεγαλύτερη από τη λαμπρότητα στην οποία έχουν προσαρμοστεί οι οφθαλμοί και τέτοια ώστε να προκαλεί δυσφορία, μειωμένη οπτική οξύτητα ή και τα δύο. Προκύπτει είτε από υψηλές τιμές λαμπρότητας, είτε από υψηλές αντιθέσεις λαμπρότητας, είτε γενικότερα από κακή κατανομή της λαμπρότητας μέσα στο πεδίο οράσεως.

Διακρίνεται σε **φυσιολογική θάμβωση** (disability glare) και **ψυχολογική θάμβωση** (discomfort glare). Η πρώτη μορφή έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη οπτική εκτέλεση πράξεων και οπτική ικανότητα, ενώ η δεύτερη δημιουργεί αίσθημα δυσφορίας, χωρίς απαραίτητα να μειώνει την οπτική ικανότητα. Η μείωση της οπτικής οξύτητας ενός οδηγού εξαιτίας της θάμβωσης μπορεί να είναι αιτία ατυχήματος και το φαινόμενο αυτό λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν στον σχεδιασμό.^[37]

Ανεξάρτητα από τη μορφή της, η θάμβωση μπορεί να είναι άμεση ή ανακλώμενη. Η άμεση θάμβωση μπορεί να προκληθεί από ένα ιδιαίτερος φωτεινό φωτιστικό το οποίο θα βρεθεί εντός του οπτικού

πεδίου ενός παρατηρητή. Η ανακλώμενη θάμβωση μπορεί να εμφανιστεί στην περίπτωση που ο παρατηρητής δει την αντανάκλαση της φωτεινής πηγής σε μια λεία επιφάνεια. ^[30]

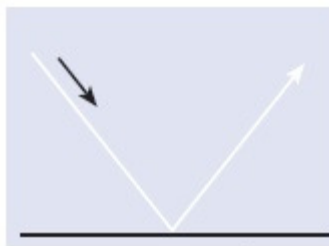
1.3.8 Φωτεινή Πάλμωση (Flicker Effect)

Η Φωτεινή Πάλμωση είναι το αποτέλεσμα της περιοδικής αλλαγής της λαμπρότητας στο πεδίο της όρασης, εξαιτίας της απόστασης μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.

1.3.9 Ανακλαστικότητα (Reflectance)

Ανάκλαση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο μια φωτεινή ακτίνα αλλάζει πορεία διάδοσης καθώς προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Εκφράζεται μέσω του συντελεστή ανάκλασης, που ορίζεται ως ο λόγος της ροής που ανακλάται από μία επιφάνεια, προς τη ροή που προσπίπτει σε αυτήν. Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι ανάκλασης: η κατοπτρική, η ημιδιαχέουσα και η διαχέουσα.

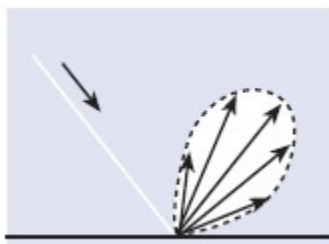
- **Κατοπτρική ανάκλαση** είναι η τέλεια ανάκλαση κι εμφανίζεται όταν το φως προσπίπτει σε μια τελείως λεία επιφάνεια κι ανακλάται με γωνία ανάκλασης, ίση με τη γωνία πρόσπτωσης.



Εικ. 1.7 – Κατοπτρική ανάκλαση

Πηγή: [13]

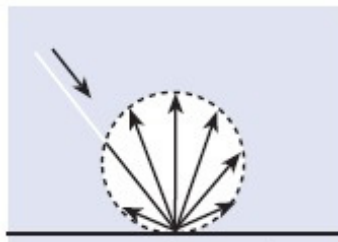
- **Ημιδιαχέουσα ανάκλαση** εμφανίζεται όταν μια ανώμαλη επιφάνεια αντανακλά το φως σε περισσότερες από μία γωνίες, όμως οι γωνίες αυτές αποκλίνουν ελάχιστα από τη γωνία πρόσπτωσης.



Εικ. 1.8 – Ημιδιαχέουσα ανάκλαση

Πηγή: [13]

- **Διαχέουσα ανάκλαση** εμφανίζεται όταν μια τραχειά επιφάνεια αντανακλά το φως σε πολλές διαφορετικές γωνίες. ^[13]



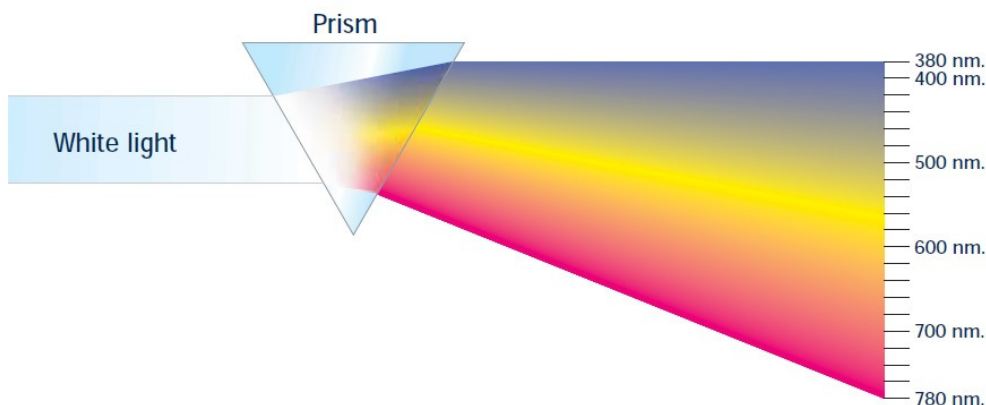
Εικ. 1.9 – Διαχέουσα ανάκλαση

Πηγή: [13]

Η ανακλαστικότητα εκφράζει την ανακλώμενη φωτεινή ροή από μια επιφάνεια. Οι σκούρες επιφάνειες απαιτούν υψηλότερη κι οι ανοιχτές χαμηλότερη στάθμη έντασης φωτισμού για να έχουν την ίδια εντύπωση λαμπρότητας.

1.4 Χρώμα

Το χρώμα είναι μια υποκειμενική ψυχοφυσιολογική ερμηνεία του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι φωτεινές αισθήσεις ή οι εικόνες που λαμβάνει το ανθρώπινο αισθητήριο της όρασης, αποστέλλονται στον εγκέφαλο κι ερμηνεύονται ως ένα σύνολο μονοχρωματικών αισθήσεων που μεταφράζουν το χρώμα του φωτός. Η αίσθηση της όρασης δεν αναλύει κάθε ακτινοβολία ή χρωματική αίσθηση ξεχωριστά. Σε κάθε ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος, αντιστοιχεί συγκεκριμένο χρώμα, σύμφωνα με την κατάταξη του φάσματος συχνοτήτων. Τα μήκη κύματος των ορατών αυτών ακτινοβολιών κυμαίνονται μεταξύ 380 έως 780 nm, ενώ από τη μίξη τους, όπως πρώτος διαπίστωσε ο Isaac Newton, προκύπτει το λευκό φως.



Εικ. 1.10 – Ανάλυση λευκού φωτός στο ορατό φάσμα

Πηγή: [10]

Τα αντικείμενα ούτε έχουν, ούτε παράγουν χρώμα, έχουν όμως οπτικές ιδιότητες ώστε να ανακλούν, να διαθλούν και να απορροφούν τα χρώματα του φωτός που λαμβάνουν. Η εικόνα του χρώματος ενός αντικειμένου όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι οφείλεται στην ιδιότητα των αντικειμένων να ανακλούν τμήμα του φωτός που προσπίπτει πάνω σ' αυτά.

1.4.1 Θερμοκρασία Χρώματος T_c (Color Temperature)

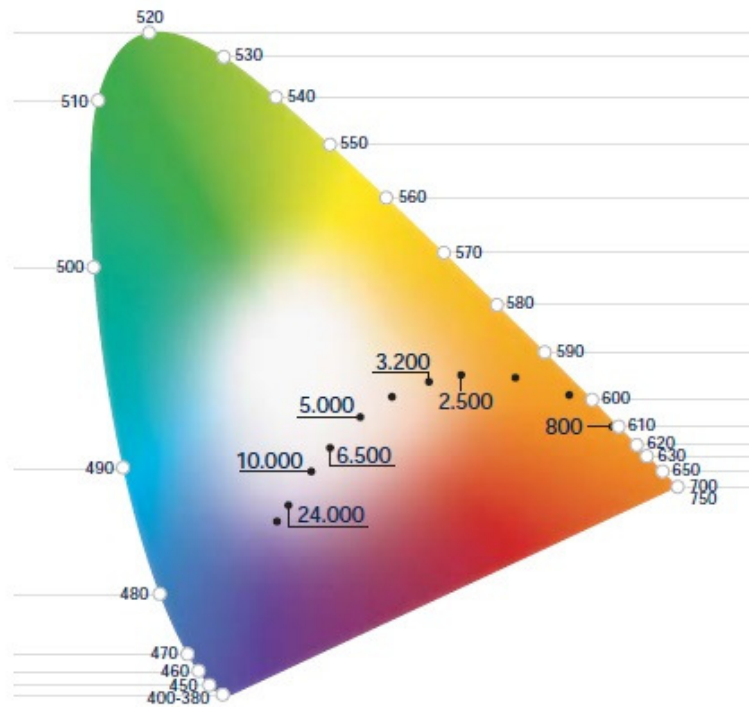
Για τον ορισμό της θερμοκρασίας σώματος, απαιτείται η παρουσίαση του μέλανος σώματος του Max Planck. Το **μέλαν σώμα** έχει τη βασική ιδιότητα να απορροφά κάθε εξωτερική ακτινοβολία, γεγονός που προκαλεί την ανύψωση της θερμοκρασίας του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ακολουθείται από εκπομπή ακτινοβολίας, μέχρι να επανέλθει σε θερμοκρασιακή ισορροπία. ^[40]

Θερμοκρασία χρώματος μιας φωτεινής πηγής, είναι αυτή στην οποία όταν βρεθεί το μέλαν σώμα, εκπέμπει φως ίδιας απόχρωσης με αυτό της πηγής. Η θερμοκρασία χρώματος χρησιμοποιείται σαν έννοια και για να αποτυπώσει την εντύπωση που δημιουργεί το φως που παράγει μία φωτεινή πηγή. Λόγω διαφορετικών υλικών, οι φωτεινές πηγές εκπέμπουν φως διαφορετικού χρώματος. Μονάδα μέτρησης του μεγέθους είναι το Kelvin (K) και πρακτικά δείχνει πόσο θερμό (προς το κίτρινο) ή ψυχρό (προς το μπλε) είναι το χρώμα που εκπέμπει η εκάστοτε φωτεινή πηγή. Εισάγονται έτσι οι έννοιες του θερμού, ψυχρού και μέσου (ουδέτερου ή λευκού) φωτός, οι θερμοκρασίες των οποίων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1.1 - Θερμό, ουδέτερο και ψυχρό φως

Χαρακτηρισμός Φωτός	Θερμοκρασία Χρώματος
Θερμό	< 3.300
Μέσο - Ουδέτερο	3.300 - 5.300
Ψυχρό	>5.300

Οι ανωτέρω έννοιες γίνονται αντιληπτές και από την καμπύλη θερμοκρασίας χρώματος μέλανος σώματος T_c , η οποία υποδεικνύει τα χρώματα που εκπέμπει το μέλαν σώμα ανάλογα με τη θερμοκρασία του και υπάγεται στο χρωματικό χάρτη της C.I.E., ο οποίος απεικονίζεται αμέσως παρακάτω.



Εικ. 1.11 - Χρωματικός Χάρτης (Chromaticity Diagram) της C.I.E.

Πηγή: [10]

1.4.2 Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης CRI (Color Rendering Index)

Ένα υλικό απορροφά ορισμένες ακτινοβολίες, άλλες περισσότερο κι άλλες λιγότερο. Το φαινόμενο αυτό καθορίζει και το χρώμα το οποίο εμφανίζει ένα αντικείμενο στον παρατηρητή. Έτσι, το φως δυο πηγών που έχουν διαφορετική φασματική κατανομή δύναται να αποδώσει το χρώμα του αντικειμένου κατά τελείως διαφορετικό τρόπο. Εισάγεται λοιπόν ο Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης, ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει μια φωτεινή πηγή και καθορίζει την πιστότητα με την οποία το φως της πηγής αυτής αποδίδει τα χρώματα, σε σχέση με μια πρότυπη πηγή. Συμβατικά, ο χρωματικός δείκτης 100 αντιπροσωπεύει το φως της ημέρας. Η σύγκριση της ικανότητας διάκρισης χρωμάτων υπό τεχνητές πηγές φωτισμού και από το φυσικό φως, αποτελεί τη βάση αυτού του μέτρου. ^[47]

2 Πηγές Φωτισμού των Οδών

2.1 Κατηγορίες Πηγών Φωτισμού

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

- **Πυρακτώσεως**, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην πυράκτωση νήματος με βάση το νόμο του Joule. Δε χρειάζονται βοηθητικές διατάξεις για να λειτουργήσουν.
- **Εκκενώσεως**, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στα φαινόμενα εκκενώσεως. Το φως προέρχεται από τον ιονισμό και τη διέγερση ατόμων του στοιχείου που βρίσκεται μέσα στον λαμπτήρα και το οποίο δίνει την ονομασία του στον λαμπτήρα π.χ. λαμπτήρας υδραργύρου, νατρίου κ.λ.π. Ανάλογα με την πίεση που επικρατεί στον θάλαμο εκκενώσεως διακρίνουμε τους λαμπτήρες εκκενώσεως σε ^[22]:
 - Λαμπτήρες Υψηλής Πιέσεως, στους οποίους επικρατεί πίεση περίπου 200 mm Hg.
 - Λαμπτήρες Χαμηλής Πιέσεως, στους οποίους επικρατεί πίεση περίπου 5 - 10 mm Hg.
- **Επαγωγής**, οι οποίοι αποτελούν μετεξέλιξη των λαμπτήρων εκκενώσεως, με το πλεονέκτημα της δημιουργίας εκκένωσης χωρίς τη χρήση ηλεκτροδίων.
- **Φωτοεκπεμπουσών Διόδων (LED)**, στην τεχνολογία των οποίων γίνεται ειδική αναφορά στο τέλος του κεφαλαίου.

2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων

Τα αποτελέσματα μιας μελέτης φωτισμού οδού, εξαρτώνται άμεσα από την επιλογή του λαμπτήρα που θα χρησιμοποιηθεί. Για την κατά το δυνατόν ορθότερη επιλογή ενός λαμπτήρα, ο εκάστοτε μελετητής οφείλει να λαμβάνει υπόψη, δεδομένης της ονομαστικής τάσης λειτουργίας του δικτύου στο οποίο θα συνδεθεί ο λαμπτήρας, τα παρακάτω σημαντικά χαρακτηριστικά ^{[40], [22]}:

- **Φωτεινή ροή** του λαμπτήρα.
- **Ονομαστική ισχύς** του λαμπτήρα, δηλαδή η καταναλισκόμενη από το λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύς σε Watt.
- **Φωτεινή ένταση** λαμπτήρα και **διάγραμμα πολικής κατανομής** αυτής.
- **Βαθμός απόδοσης** λαμπτήρα (η).
- **Ένταση ρεύματος λειτουργίας** σε συνδυασμό με τις χρησιμοποιούμενες στραγγαλιστικές διατάξεις.
- **Διάρκεια ζωής** του λαμπτήρα, δηλαδή το χρονικό διάστημα στο οποίο το 50% των λαμπτήρων, στατιστικά, συνεχίζει να λειτουργεί λαμβάνοντας υπ' όψιν την πτώση της φωτεινής ροής. Είναι αυτονόητο ότι όσο πιο σπάνια απαιτείται η αντικατάσταση λαμπτήρα σε

μία εγκατάσταση οδοφωτισμού, τόσο μεγαλύτερα είναι τα οικονομικά οφέλη που έχει ο εκάστοτε φορέας από την εγκατάσταση αυτή.

- **Δυνατότητα διαβάθμισης της ισχύος** του λαμπτήρα (dimming). Όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως με αλογόνα, έτσι και όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού και οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να υποστούν διαβάθμιση της ισχύος τους σχεδόν σε όλο το εύρος από 100% έως 0%. Όμως οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων δεν συνίστανται από τους κατασκευαστές για διαβάθμιση της ισχύος τους, επειδή αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτες αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα του φωτός τους και στην διάρκεια της ζωής τους. Η ισχύς των λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και αυτή των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου μπορεί να διαβαθμιστεί αλλά μόνο σε διακριτά επίπεδα.
- **Θερμοκρασία χρώματος και δείκτης χρωματικής απόδοσης** του λαμπτήρα. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης ενός λαμπτήρα αντικατοπτρίζεται στην ικανότητα του παρατηρητή να διακρίνει τα χρώματα των αντικειμένων του φωτιζόμενου χώρου. Ο ρόλος των ανωτέρω δεικτών πέρα από τη λειτουργικότητα επηρεάζει και την αισθητική της φωτιζόμενης εγκατάστασης. Λαμβάνονται, συνεπώς, ακόμα περισσότερο υπόψη σε περιπτώσεις φωτισμού δρόμων που βρίσκονται κοντά σε περιοχές με αυξημένη κίνηση πεζών ή περιοχών εμπορικού και αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος.
- **Φάσμα εκπομπής** του λαμπτήρα.
- **Τρόπος τοποθέτησης** του λαμπτήρα. Για ορισμένους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, μόνο ορισμένη θέση λειτουργίας επιτρέπεται για να αποφευχθεί αστάθεια στη λειτουργία. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού μπορούν συνήθως να χρησιμοποιηθούν σε κάθε θέση, αν και ορισμένες σημαντικές ιδιότητές τους, όπως η φωτεινή ροή τους σε συνάρτηση με την θερμοκρασία τους, μπορεί να εξαρτάται από τη θέση αυτή.
- **Διαστάσεις** του λαμπτήρα.
- **Χρόνος έναυσης και χρόνος επανέναυσης** λαμπτήρα. Τα δύο αυτά μεγέθη αφορούν κυρίως τους λαμπτήρες εκκένωσης. Ο χρόνος έναυσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία τόξου κι επομένως τη λειτουργία του λαμπτήρα, μέχρι αυτός να αποδώσει το 80% της συνολικής φωτεινής του ροής. Ο χρόνος επανέναυσης αφορά την περίπτωση προσωρινής διακοπής της λειτουργίας ενός λαμπτήρα, καθώς απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα, συνήθως της τάξης λίγων λεπτών, μέχρι το αέριο που αυτός περιέχει να επανέλθει σε μία χαμηλότερη θερμοκρασία για να μπορέσει να πραγματοποιήσει εκ νέου την εκκένωση.

2.3 Λαμπτήρες Πυρακτώσεως (Incandescent Lamps)

Η λειτουργία τους βασίζεται στη χρήση περιελιγμένου νήματος βολφραμίου το οποίο κατά την πυράκτωσή του εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως παρουσιάζουν εξαιρετικά καλό CRI ενώ η χρήση τους είναι πολύ απλή αφού δεν απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός για την έναυση και τη ρύθμισή τους. Η χρήση των εν λόγω λαμπτήρων υπήρξε ευρέως διαδεδομένη στο παρελθόν, ωστόσο η χαμηλή τους απόδοση (12-18 lm/W) και η μικρή διάρκεια ζωής τους (<1000h) οδήγησε στη σταδιακή αντικατάστασή τους ενώ πλέον θεωρούνται ανεπιθύμητοι για νέες εγκαταστάσεις. ^[23]

2.4 Λαμπτήρες Εκκένωσης (Discharge Lamps)

Η λειτουργία των λαμπτήρων εκκένωσης βασίζεται σε γενικές γραμμές στα φαινόμενα εκκένωσης και στο είδος αερίου που αυτοί περιλαμβάνουν, τα άτομα του οποίου διεγείρονται κατά την εκκένωση, παράγοντας ορατό φως. Χωρίζονται σε λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης και λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης και συγκεκριμένα στις εξής υποκατηγορίες:

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

2.4.1 Στραγγαλιστικό Πηνίο (Ballast)

Με την έννοια της εκκένωσης του αερίου αναφερόμαστε στη σύσταση τόξου μεταξύ των ηλεκτροδίων που βρίσκονται στα άκρα του λαμπτήρα. Για τη δημιουργία του τόξου απαιτείται να δοθεί στο κύκλωμα του λαμπτήρα ο κατάλληλος παλμός έναυσης, ο οποίος μπορεί να είναι πολλαπλάσιος της κανονικής τάσης λειτουργίας του λαμπτήρα. Τον παλμό αυτό δίνει μία διάταξη γνωστή ως ballast, ή στραγγαλιστικό πηνίο. Επειδή όμως κατά τη δημιουργία του τόξου η αντίσταση του αερίου τείνει να μηδενιστεί, το ballast λειτουργεί και ως αντίσταση περιορίζοντας την ανεξέλεγκτη αύξηση του ρεύματος μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Στους λαμπτήρες συναντώνται ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτρονικά ballast. Τα ηλεκτρονικά ballast συνεπάγονται οικονομία στη λειτουργία του λαμπτήρα και αύξηση του χρόνου ζωής του, καθώς εξασφαλίζουν καλύτερη απόδοση λαμπτήρα, λιγότερες απώλειες και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος. Επίσης, προσφέρουν πολλές δυνατότητες ελέγχου του φωτισμού καθώς παρέχουν τη δυνατότητα dimming και σύνδεσης με αισθητήρες φωτισμού, αλλά και ελέγχου μίας διάταξης έως και τεσσάρων λαμπτήρων με ένα μόνο ballast. Έχουν υψηλό συντελεστή συντήρησης, που με απλά λόγια σημαίνει ότι η απόδοση του λαμπτήρα δεν πέφτει κατά μεγάλο ποσοστό κατά τη διάρκεια ζωής του, ενώ περιορίζουν φαινόμενα θορύβου, όπως το τρεμόπαιγμα (flickering). Υστερούν όμως έναντι των ηλεκτρομαγνητικών στο αρχικό κόστος αγοράς τους, το οποίο κατά κανόνα είναι πολύ υψηλότερο, αλλά και στο μέγεθός τους, το οποίο είναι μεγαλύτερο από εκείνο ενός ηλεκτρομαγνητικού ballast. ^[40]

2.4.2 Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Mercury Vapor Lamps)

Πρόκειται για λαμπτήρες εκκένωσης αερίου στους οποίους δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο διαμέσου ατμών υδραργύρου για την παραγωγή φωτός. Αποτελούν καλή εναλλακτική έναντι των λαμπτήρων πυράκτωσης, καθώς παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση που κυμαίνεται από 35 έως 65 lm/W και αυξημένη διάρκεια ζωής 24000 h. Για τη σύνδεσή τους απαιτείται η χρήση ballast, ενώ σε περίπτωση που αυτό είναι ενσωματωμένο η απόδοση του λαμπτήρα πέφτει σημαντικά. Το φως που παράγεται είναι ένα φωτεινό λευκό με αυξημένη περιεκτικότητα σε μπλε και πράσινο λόγω της επίδρασης του υδραργύρου, το οποίο δεν προσφέρει καλή απόδοση των χρωμάτων. Προσθήκη φωσφόρου στο εσωτερικό του λαμπτήρα βελτιώνει σημαντικά το CRI. Οι λαμπτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται κατά

κόρον στο φωτισμό αθλητικών σταδίων και πλατειών, ενώ προτιμάται και σε περιπτώσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος. ^[23]

2.4.3 Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Χαμηλής Πίεσης – Φθορισμού (Fluorescent Lamps)

Οι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού έχουν μεγάλο μέγεθος που δυσκολεύει τον έλεγχο του φωτισμού, ενώ απαιτούν επιπλέον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ελέγχου της τάσης. Η απόδοσή τους, περί τα 80 lm/W, επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες περισσότερο από κάθε άλλο τύπο λαμπτήρα. Πλεονέκτημά τους είναι η απόδοση φωτός επάνω σε υγρό οδόστρωμα. Δεν χρησιμοποιούνται πλέον σε νέες εγκαταστάσεις, εξακολουθούν ωστόσο να χρησιμοποιούνται για φωτισμό σηράγγων και πινακίδων. ^[35]

Μια ειδική κατηγορία λαμπτήρων φθορισμού αποτελούν οι **συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL)**. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι παρόμοιος. Είναι μικρότερου μεγέθους λαμπτήρες από τους σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού και εμφανίζουν ανάλογα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε φωτισμό πεζοδρόμων. ^[22]

2.4.4 Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων (Metal Halide Lamps)

Αποτελεί παραλλαγή των λαμπτήρων ατμών υδρογόνου. Η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια, με τη διαφορά ότι εδώ η εκκένωση δημιουργείται διαμέσου ενός μίγματος ατμών υδραργύρου με μεταλλικά αλογονίδια. Η προσθήκη των μεταλλικών αλογονιδίων βελτιώνει το CRI, καθώς και την απόδοσή τους που κυμαίνεται από 75 έως 100 lm/W, ενώ η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 6.000 και 15.000 h. Επιβάλλεται και σε αυτή την περίπτωση η χρήση στραγγαλιστικού πηνίου. ^[23]

2.4.5 Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Sodium Vapor Lamps)

Οι εν λόγω λαμπτήρες αποτελούν την πιο δημοφιλή επιλογή για φωτισμό οδών υψηλής και μέσης κυκλοφορίας. Παρουσιάζουν υψηλή απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150 lm/W, μέτριο CRI και ικανοποιητική διάρκεια ζωής 15.000 έως 20.000 h. Το παραγόμενο φως χαρακτηρίζεται από τη χρυσωπή απόχρωση του. Προκειμένου να επιτευχθεί η υψηλή τάση που απαιτείται για την έναυση του λαμπτήρα χρησιμοποιούνται ειδικά ballast. Η σχετικά προσιτή τους τιμή, η μικρή ποσότητα υδραργύρου που περιέχουν και η δυνατότητα τους να αντικαθιστούν παλιούς, ενεργοβόρους και μη αποδοτικούς λαμπτήρες υδραργύρου, χωρίς να απαιτείται και η αντικατάσταση ballast, αποτελούν μερικούς ακόμα λόγους για τους οποίους οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης έχουν ευρύτατη εφαρμογή στο φωτισμό οδών. ^[23]

2.4.6 Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Sodium Vapor Lamps)

Πρόκειται για τους πιο αποδοτικούς λαμπτήρες, με την απόδοσή τους να φτάνει έως και 200 lm/W, ενώ παράλληλα είναι οι μοναδικοί λαμπτήρες των οποίων η απόδοση δεν μειώνεται, παρά ελάχιστα, με τη γήρανση. Η διάρκεια ζωής τους φτάνει τις 18.000 h. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, η σχεδόν μονοχρωματική (κίτρινη) ακτινοβολία που παράγουν, περιορίζει τη χρήση τους σε εφαρμογές όπου η αποτύπωση των χρωμάτων δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Είναι κατάλληλοι για εξωτερικό φωτισμό σε περιοχές με ομίχλη, ενώ βρίσκουν εφαρμογή και στο φωτισμό οδών και σηράγγων.

2.5 Λαμπτήρες Επαγωγής (Induction Lamps)

Το πιο ευάλωτο τμήμα των λαμπτήρων εκκένωσης είναι τα ηλεκτρόδιά τους, τα οποία λόγω των εκπομπών τους φθείρονται με το χρόνο, επηρεάζοντας ταυτόχρονα σε μεγάλο βαθμό τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων. Οι λαμπτήρες επαγωγής έχουν το πλεονέκτημα της δημιουργίας εκκένωσης χωρίς τη χρήση ηλεκτροδίων κι έτσι η διάρκεια ζωής τους φτάνει τις 60.000 h. Το σύστημα συνοδεύεται από ηλεκτρονικό εξοπλισμό διατήρησης της εκκένωσης που εξασφαλίζει εκκίνηση χωρίς flickering. Το λευκό φως που παράγουν αλλά και η υψηλή απόδοση έως 80 lm/W συγκαταλέγονται ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου συστήματος.

Το ιδιαίτερα υψηλό κόστος των λαμπτήρων επαγωγής όμως, τους καθιστά σχεδόν απαγορευτικούς σε καθημερινές εφαρμογές. Η χρήση τους συνίσταται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εύκολη η πρόσβαση για αντικατάσταση λαμπτήρα και έτσι απαιτείται μεγάλη διάρκεια ζωής του τελευταίου. Τέτοιες περιπτώσεις είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις με ψηλά ταβάνια, σήραγγες, κ.α. ^[40]

Το τελευταίο διάστημα πραγματοποιήθηκαν περιορισμένες πιλοτικές εφαρμογές αντικατάστασης φωτιστικών με συμβατικούς λαμπτήρες, από φωτιστικά με λαμπτήρες επαγωγής σε Δήμους της Αττικής (Πεντέλη, Μαραθώνας).

2.6 Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι LED (Light Emitting Diodes)

Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι LED είναι ημιαγώγιμες ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες παράγουν φωτεινή ακτινοβολία. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροφωταύγειας (electroluminescence), κατά τη διάρκεια του οποίου ένα υλικό εκπέμπει φως ως συνέπεια της διαρροής του από ηλεκτρικό ρεύμα. Η μεγάλη ποικιλία υλικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή φωτοδιόδων επιτρέπει την παραγωγή φωτός σε όλο το φάσμα της ορατής ακτινοβολίας. Η παραγωγή λευκού φωτός επιτυγχάνεται με την προσθήκη φωσφόρου σε LED μπλε φωτός. Όπως όλες οι τεχνολογίες λαμπτήρων, έτσι και τα LED παρουσιάζουν κάποια θετικά και κάποια αρνητικά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, τα **πλεονεκτήματα** των LED συνοψίζονται ως εξής:

- **Απόδοση:** η φωτεινή απόδοση των LED βαίνει διαρκώς αυξανόμενη έχοντας ξεπεράσει κατά πολύ αυτήν των λαμπτήρων πυράκτωσης, ενώ είναι πλέον συγκρίσιμη με αυτή των λαμπτήρων φθορισμού, ξεπερνώντας τα 100 lm/W. Μέχρι σήμερα επιβεβαιώνεται «ο νόμος του Haitz», σύμφωνα με τον οποίο η απόδοση των LED διπλασιάζεται κάθε 3 χρόνια.
- **Μέγεθος:** μπορούν να κατασκευαστούν σε πολύ μικρά μεγέθη, γεγονός που τα καθιστά εξαιρετικά εύχρηστα.
- **Διάρκεια ζωής:** η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το ρεύμα οδήγησής τους και από την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία κατά τη λειτουργία τους. Σωστή οδήγηση και απαγωγή θερμότητας μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας κατά 30% μετά από 60.000 h. Αναλόγως με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, η διάρκεια αυτή μπορεί να αυξηθεί και περαιτέρω.
- **Ανθεκτικότητα:** το γεγονός ότι τα LED είναι συσκευές στερεάς κατάστασης, τα καθιστά εξαιρετικά ανθεκτικά σε μηχανικές καταπονήσεις.

- **Dimming:** επιτρέπουν πολύ εύκολη ρύθμιση της φωτεινότητας τους με ηλεκτρονικό τρόπο.
- **Cycling:** είναι ιδανικά για εφαρμογές στις οποίες απαιτούνται διαρκείς εναύσεις και διακοπές, δεδομένου αφενός ότι αυτές δεν επηρεάζουν τη λειτουργία τους και τη διάρκεια ζωής τους και αφετέρου ότι ο χρόνος επανέναυσης τους είναι πολύ μικρός, σε αντίθεση για παράδειγμα με τους λαμπτήρες φθορισμού.
- **Φιλικά προς το περιβάλλον:** προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας ενώ παράλληλα δεν περιέχουν τοξικές ουσίες όπως μόλυβδο και υδράργυρο.

Αντιστοίχως, τα **μειονεκτήματα** των LED συνοψίζονται στη συνέχεια:

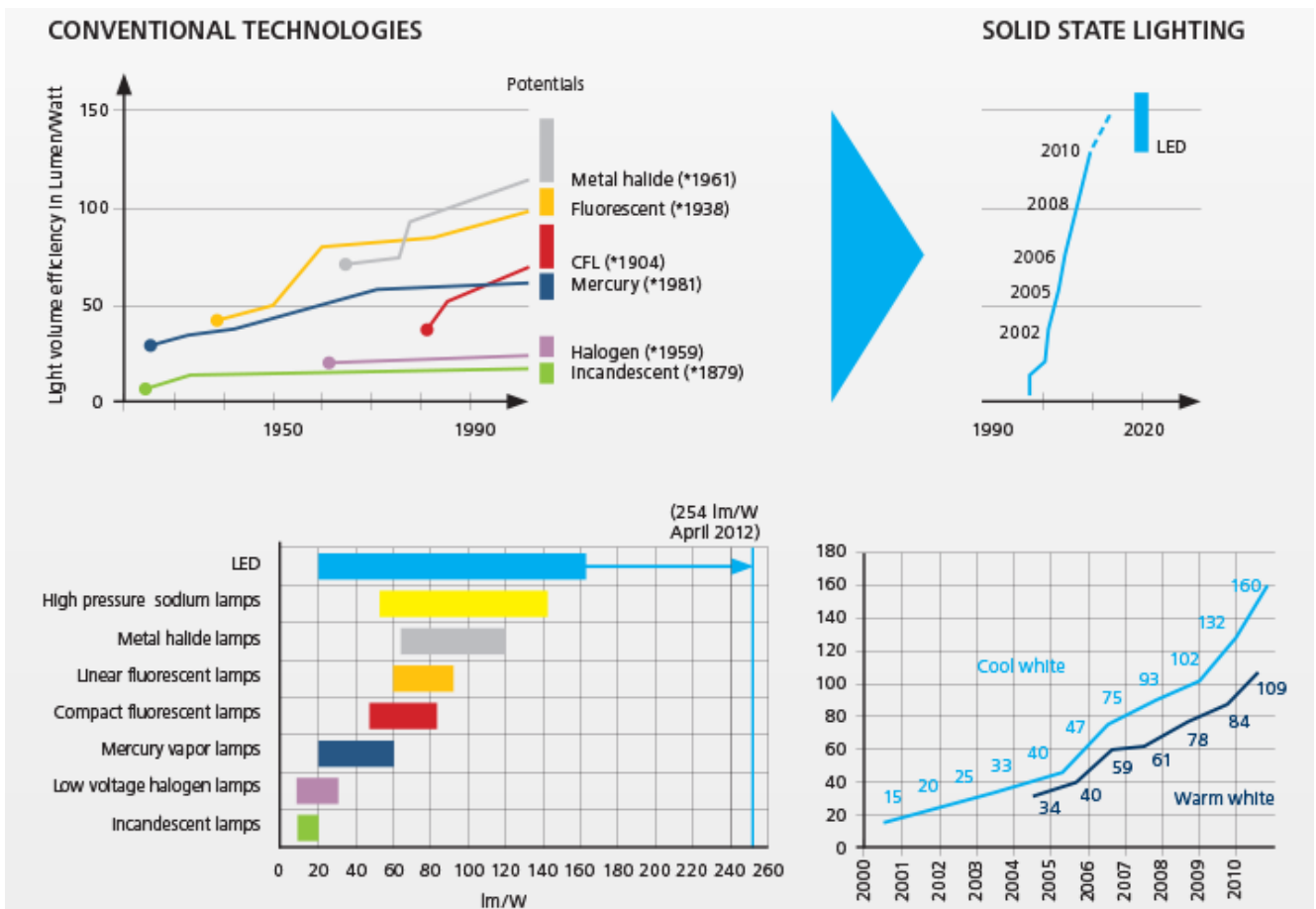
- **Υψηλό κόστος:** τη δεδομένη στιγμή το κόστος των LED είναι πιο υψηλό από το αντίστοιχο των περισσότερων συμβατικών πηγών φωτισμού. Μέχρι το 2015 ωστόσο, το κόστος προβλέπεται να πέσει αρκετά.
- **Εξάρτηση από τη θερμοκρασία:** η απόδοση και η σωστή λειτουργία τους εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία.
- **Λαμπερτιανή κατανομή:** σε αντίθεση με άλλες φωτεινές πηγές, τα LED δεν προσομοιάζουν σημειακή πηγή με σφαιρική κατανομή, αλλά η δέσμη φωτός τείνει να είναι περισσότερο κατευθυντική. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία τη χρήση πρόσθετων οπτικών σε εφαρμογές φωτισμού μεγάλων επιφανειών.

Με τη σταδιακή εξέλιξη της τεχνολογίας των LED άρχισε να διαφαίνεται η δυνατότητα εφαρμογής τους στο φωτισμό μεγάλων επιφανειών. Προέκυψε έτσι ένα νέο πεδίο εφαρμογών, στο οποίο αναφερόμαστε με τον όρο **Φωτισμός Στερεάς Κατάστασης** (Solid State Lighting) και περιλαμβάνει το γενικό φωτισμό, το φωτισμό εσωτερικών χώρων, το διακοσμητικό και αρχιτεκτονικό φωτισμό, καθώς και το φωτισμό οδών και εξωτερικών χώρων, με τη χρήση LED. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του εν λόγω τομέα, έπαιξε η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη, δεδομένου ότι ο φωτισμός καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των ηλεκτρικών καταναλώσεων που σχετίζονται με τις ανθρώπινες ανάγκες και δραστηριότητες. Η διαρκώς αυξανόμενη απόδοση και η μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι τα δύο χαρακτηριστικά που προκρίνουν το φωτισμό στερεάς κατάστασης ως την ιδανικότερη λύση για βιώσιμο φωτισμό. Στην εικόνα 2.1 φαίνεται η εξέλιξη της απόδοσης των συμβατικών τεχνολογιών στο χρόνο, σε σύγκριση με αυτή του φωτισμού στερεάς κατάστασης με τη χρήση LED.

Όσον αφορά στο φωτισμό δρόμων και εξωτερικών χώρων, τα LED είναι πλέον σε θέση να ικανοποιήσουν, αλλά και να υπερβούν όλες τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές και τις φωτοτεχνικές απαιτήσεις, ενώ παράλληλα ένα σύνολο χαρακτηριστικών τους, καθιστά τη χρήση τους μια εξαιρετικά αξιόλογη επιλογή:

- Μεγάλη και προβλέψιμη διάρκεια ζωής
 - Μεγάλο διάστημα μεταξύ προγραμματισμένων συντηρήσεων
 - Χαμηλό κόστος συντήρησης
- Αξιοπιστία
 - Αυξημένη οδική ασφάλεια
- Χαμηλή κατανάλωση
- Dimming

- Ρύθμιση σε συγκεκριμένα επίπεδα φωτισμού
- Μείωση κατανάλωσης και περιττού φωτισμού
- Μικρό μέγεθος
 - Μικροί, συμπαγείς και εύχρηστοι λαμπτήρες
- Υψηλός δείκτης CRI
 - Καλή απόδοση χρωμάτων
- Μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χρώματος
- Ταχεία έναυση και διακοπή λειτουργίας
- Ανθεκτικότητα και μηχανική αντοχή
- Συμβατά με την οδηγία περί περιορισμού επικίνδυνων υλικών (RoHS)
 - Εύκολη ανακύκλωση
- Υψηλή ποσότητα εκπεμπόμενου φωτός ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Χαμηλότερη προσέλκυση εντόμων
 - Χαμηλότερο κόστος συντήρησης
- Εύκολος περιορισμός θάμβωσης
 - Μειωμένη φωτορρύπανση



Εικ. 2.1 – Απόδοση συμβατικών πηγών φωτισμού στο χρόνο, συγκριτικά με την τεχνολογία LED

Πηγή: <http://www.omslighting.com/ledacademy/595/>

3 Φωτιστικά Σώματα

3.1 Ορισμός και Δομή

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 60598-1, **φωτιστικό σώμα** καλείται κάθε συσκευή φωτισμού η οποία διαχέει, φιλτράρει ή μετατρέπει φως το οποίο εκπέμπεται από έναν ή πολλούς λαμπτήρες και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα μέρη για την ανάρτηση, την τοποθέτηση και την προστασία των λαμπτήρων, εκτός από τους ίδιους τους λαμπτήρες, καθώς και τις τυχόν απαραίτητες βοηθητικές διατάξεις για τη ρύθμιση της τάσης και τη σύνδεση με το δίκτυο τροφοδοσίας.

Τα δομικά συστατικά ενός φωτιστικού σώματος είναι τα εξής:

- **Σώμα:** στοιχείο το οποίο στηρίζει το περιεχόμενο του φωτιστικού, κατασκευασμένο συνήθως από αλουμίνιο με επικάλυψη ηλεκτροστατικής βαφής.
- **Ανακλαστήρας:** εξάρτημα στο εσωτερικό του φωτιστικού, κατασκευασμένο από φύλλο αλουμινίου και διαμορφωμένο, ύστερα από επεξεργασία, σε κάτοπτρο με σχήμα τέτοιο ώστε να καθορίζει τη μορφή και την κατεύθυνση της φωτεινής ροής του λαμπτήρα στο χώρο σύμφωνα προς τα φωτοτεχνικά στοιχεία του φωτιστικού σώματος.^[24]
- **Διαφανές κάλυμμα:** επιφάνεια η οποία καλύπτει το φωτιστικό στην κατεύθυνση της φωτεινής ακτινοβολίας, κατασκευασμένη από πλαστικό (μόνο για χαμηλής ισχύος λαμπτήρα) ή γυαλί. Μπορεί να συνδυάζεται με φίλτρα για την προστασία ή ελάττωση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της φωτεινής ακτινοβολίας.
- **Εξοπλισμός ελέγχου:** κατάλληλες διατάξεις για τον έλεγχο της λειτουργίας και της τροφοδοσίας ανάλογα με τον τύπο λαμπτήρα που χρησιμοποιείται (π.χ. σταγαλιστικά πηνία, πυκνωτές και εκκινητές για λαμπτήρες εκκένωσης).

Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται στον οδικό φωτισμό είναι κυρίως οριζόντιας ή κατακόρυφης διάταξης, καθώς και διάταξης υψηλού ιστού. Υπάρχουν επίσης φωτιστικά σώματα για φωτισμό σηράγγων, χώρων στάθμευσης, πινακίδων σήμανσης, μεμονωμένων σημείων, καθώς και διακοσμητικού τύπου φωτιστικά.

3.2 Φωτοτεχνικά Χαρακτηριστικά

Τα οπτικά βοηθήματα που προαναφέρθηκαν (ανακλαστήρας, διαφανές κάλυμμα), επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου από την πηγή φωτισμού. Κατά συνέπεια γίνεται κατανοητό ότι ο σχεδιασμός πρέπει να αφορά στο ενιαίο σύνολο «πηγής φωτισμού – φωτιστικό σώμα».

Τα βασικά φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά ενός φωτιστικού σώματος δίδονται απο τον κατασκευαστή και είναι τα εξής:^{[8],[22],[35],[40]}

- **Συντελεστής Χρησιμοποίησης CU (Coefficient of Utilization):** είναι το ποσοστό της συνολικής φωτεινής ροής που φτάνει στην εξεταζόμενη επιφάνεια του οδοστρώματος.
- **Συντελεστής Απόδοσης Φωτιστικού LOR (Light Output Ratio):** Δείχνει τι ποσοστό από τη φωτεινή ροή του λαμπτήρα που έχει τοποθετηθεί στο φωτιστικό εκπέμπεται στο περιβάλλον. Σημαντικότετος παράγοντας στην επιλογή των φωτιστικών, αφού καταδεικνύει ότι τη διαφορά στο φωτισμό δεν την κάνουν οι λαμπτήρες, αλλά τα φωτιστικά (η οπτική και η καθαρότητα του ανακλαστήρα).
- **Συντελεστής Απαξίωσης Φωτισμού LLF (Light Loss Factor):** συντελεστής ο οποίος εκφράζει τις απώλειες στα φωτεινά χαρακτηριστικά του σώματος με το πέρασ του χρόνου. Η απαξίωση αυτή μειώνει την απόδοση του συστήματος του οδικού φωτισμού και λαμβάνεται υπ' όψιν στο σχεδιασμό του προγράμματος συντήρησης, το οποίο αναπτύσσεται σε επόμενο κεφάλαιο.
- **Διάγραμμα Καμπυλών Ίσου Φωτισμού (Isofootcandle Chart):** διάγραμμα που χρησιμεύει στην περιγραφή του φωτεινού αποτελέσματος ενός φωτιστικού σώματος τοποθετημένου σε δεδομένο ύψος πάνω στο οδόστρωμα.
- **Κατακόρυφη Διασπορά:** χαρακτηρίζεται ως βραχεία, μέση ή μακρά βάσει της απόστασης από το φωτιστικό σώμα που προσπίπτει η ακτίνα μέγιστης φωτεινής έντασης. Με βάση την κατάταξη του φωτιστικού σώματος ως προς την κατακόρυφη διασπορά, υπολογίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.
- **Πλευρική Διασπορά:** μέγεθος το οποίο καθορίζει τη μέγιστη ακτίνα πρόσπτωσης της φωτεινής έντασης του φωτιστικού κατά πλάτος του δρόμου. Με βάση την πλευρική διασπορά τα φωτιστικά σώματα κατατάσσονται σε πέντε τύπους, οι οποίοι αφορούν στο πλάτος του δρόμου και στην τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων:

- **Τύπος I:** Διασπορά κατάλληλη για ποδηλατόδρομους και διαβάσεις πεζών.



- **Τύπος II:** Διασπορά κατάλληλη για διαβάσεις πεζών μεγαλύτερου πλάτους από την αντίστοιχη Τύπου I και ποδηλατόδρομους.



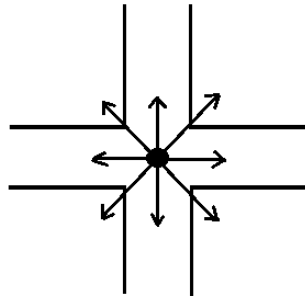
- **Τύπος III:** Διασπορά κατάλληλη για αυτοκινητόδρομους



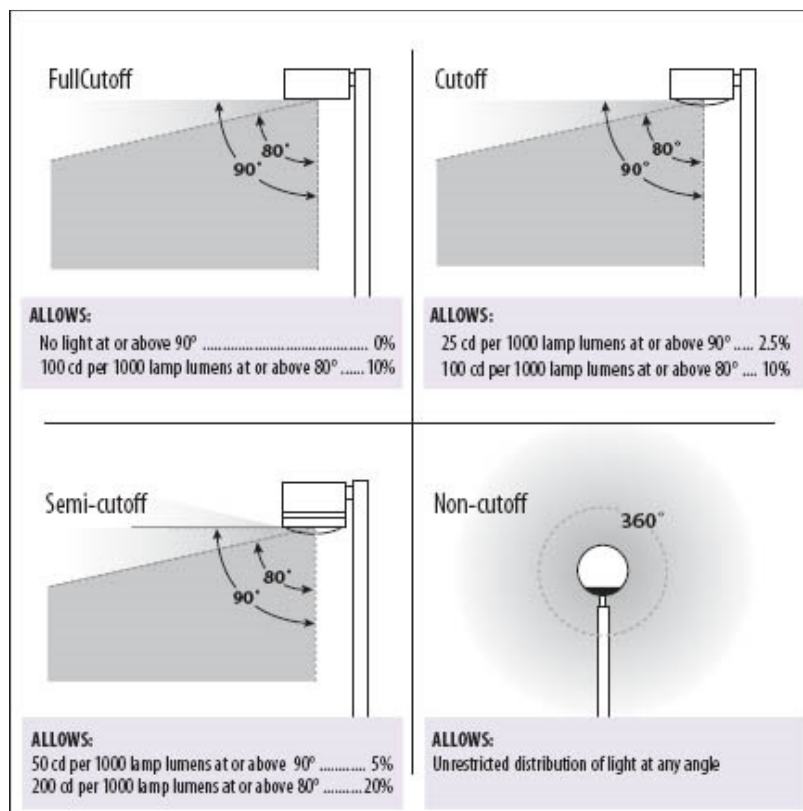
- **Τύπος IV:** Διασπορά κατάλληλη για χώρους πάρκινγκ, καθώς αφορά κυρίως φωτιστικά που στερεώνονται σε τοίχους.



- **Τύπος V:** Διασπορά κατάλληλη για περιπτώσεις φωτισμού προς κάθε κατεύθυνση όπως π.χ. στην περίπτωση διασταύρωσης. Αφορά κυρίως φωτιστικά που στερεώνονται σε υψηλούς ιστούς.



- **Έλεγχος διάχυσης του φωτός:** με βάση τον τρόπο διάχυσης του φωτός, τα φωτιστικά κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες, οι οποίες εικονίζονται και στην εικόνα 3.1. ^[9]
 - **Κατηγορία Non-cutoff:** τα φωτιστικά αυτά διαχέουν το φως προς όλες τις κατευθύνσεις προκαλώντας φωτορύπανση και θάμβωση στους οδηγούς, αποτελώντας παράλληλα τη λιγότερο αποδοτική λύση. Η χρήση τους σε φωτισμό οδών δεν συνίσταται.
 - **Κατηγορία Semi-cutoff:** τα φωτιστικά αυτά είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να διαχέουν το φως κάτω από τον ορίζοντα (επίπεδο 90°), αφήνοντας το πολύ ένα ποσοστό της τάξης του 5% να περνάει πάνω από το ύψος αυτό. Χρησιμοποιούνται εν γένει σε φωτισμό οδών, η ανάρτησή τους όμως δεν συνίσταται σε ιστούς χαμηλού ύψους, γιατί ενδέχεται να προκαλέσουν θάμβωση στους οδηγούς.
 - **Κατηγορία Cutoff:** είναι καλύτερα στον έλεγχο της διάχυσης φωτός από τα αντίστοιχα semi-cutoff, καθώς επιτρέπουν το πολύ ένα ποσοστό φωτός της τάξης του 2,5% να διαρρεύσει πάνω από το επίπεδο των 90° . Επίσης δεν συνίσταται η στήριξή τους σε υψηλούς ιστούς.
 - **Κατηγορία Full-cutoff:** δεν επιτρέπουν τη διαρροή φωτός άνω του επιπέδου των 90° και το κατευθύνουν προς την επιφάνεια υπό μία συγκεκριμένη γωνία που εξαρτάται από τα υπόλοιπα φωτομετρικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε φωτιστικού. Είναι τα πλέον κατάλληλα φωτιστικά για στήριξη σε υψηλούς ιστούς. Αποτελούν μία αξιόλογη λύση ενάντια στο φαινόμενο της φωτορύπανσης.



Εικ. 3.1 – Κατηγοριοποίηση των φωτιστικών κατά IESNA ως προς τη διάχυση του φωτός

Πηγή: [9]

3.3 Κατηγοριοποίηση IP (Ingress Protection)

Η κατηγοριοποίηση IP διαχωρίζει τα φωτιστικά σώματα ανάλογα με την προστασία έναντι εισόδου νερού και ξένων αντικειμένων, με τα γράμματα IP και ακολούθως δύο ψηφία αριθμούς, κατά τρόπο που φαίνεται στους παρακάτω Πίνακες.

Πίνακας 3.1 – Προσδιορισμός του πρώτου χαρακτηριστικού ψηφίου κατηγοριοποίησης IP

Πρώτο Χαρακτηριστικό Ψηφίο	Βαθμός Προστασίας	
	Σύντομη Περιγραφή	Ορισμός
0	Απροστάτευτο	-
1	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 50 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 50 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
2	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 12,5 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 12,5 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει

Πρώτο Χαρακτηριστικό Ψηφίο	Βαθμός Προστασίας	
	Σύντομη Περιγραφή	Ορισμός
3	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 2,5 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 2,5 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
4	Προστατευμένο έναντι συμπαγών ξένων αντικειμένων διαμέτρου 1,0 mm και άνω	Η δοκιμαστική σφαίρα διαμέτρου 1,0 mm δεν πρέπει να εισχωρήσει
5	Προστατευμένο από σκόνη	Η είσοδος σκόνης δεν αποτρέπεται πλήρως αλλά δε γίνεται σε βαθμό που επηρεάζει την ικανοποιητική λειτουργία
6	Στεγανό από σκόνη	Καμία είσοδος σκόνης

Πίνακας 3.2 – Προσδιορισμός του δεύτερου χαρακτηριστικού ψηφίου κατηγοριοποίησης IP

Δεύτερο Χαρακτηριστικό Ψηφίο	Βαθμός Προστασίας	
	Σύντομη Περιγραφή	Ορισμός
0	Απροστάτευτο	-
1	Προστατευμένο έναντι σταγόνων νερού που πέφτουν κάθετα	Σταγόνες νερού που πέφτουν κάθετα δεν έχουν βλαβερές επιπτώσεις
2	Προστατευμένο έναντι σταγόνων νερού που πέφτουν κάθετα όταν το φωτιστικό βρίσκεται υπό γωνία έως 15°	Σταγόνες νερού που πέφτουν κάθετα δεν έχουν βλαβερές επιπτώσεις όταν το φωτιστικό βρίσκεται υπό γωνία έως 15°
3	Προστατευμένο έναντι ψεκαζόμενου νερού	Νερό που ψεκάζεται υπό γωνία έως 60° δεν έχει βλαβερές επιπτώσεις
4	Προστατευμένο έναντι νερού	Νερό που πετάγεται στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση δεν έχει βλαβερές συνέπειες

Δεύτερο Χαρακτηριστικό Ψηφίο	Βαθμός Προστασίας	
	Σύντομη Περιγραφή	Ορισμός
5	Προστατευμένο έναντι εκτοξευμένου νερού	Νερό που εκτοξεύεται στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση δεν έχει βλαβερές συνέπειες
6	Προστατευμένο έναντι ισχυρά εκτοξευμένου νερού	Νερό που εκτοξεύεται με μεγάλη ισχύ στο φωτιστικό από κάθε κατεύθυνση δεν έχει βλαβερές συνέπειες
7	Προστατευμένο έναντι προσωρινής βύθισης σε νερό	Καμία είσοδος νερού στο φωτιστικό όταν αυτό βυθίζεται προσωρινά σε νερό με συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου
8	Προστατευμένο έναντι μόνιμης βύθισης σε νερό	Καμία είσοδος νερού στο φωτιστικό όταν αυτό βυθίζεται μόνιμα σε νερό με συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου

3.4 Στήριξη Φωτιστικών Σωμάτων

Η τοποθέτηση ενός φωτιστικού σώματος για οδικό φωτισμό στο επιθυμητό σημείο, προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων διατάξεων στήριξης. Ωστόσο, δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου το φωτιστικό σώμα στηρίζεται είτε σε υπάρχοντες ιστούς ή κατασκευές με τη χρήση απλώς ενός βραχίονα, είτε απευθείας, χωρίς βραχίονα, όπως σε σήραγγες. Στις περιπτώσεις ολοκληρωμένης διάταξης στήριξης, αυτή αποτελείται συνήθως από δύο επιμέρους τμήματα, τον ιστό και το βραχίονα. [39]

3.4.1 Ιστοί Οδοφωτισμού

Οι ιστοί οδοφωτισμού διακρίνονται ανάλογα με το ύψος τους σε:

- **συμβατικούς ιστούς**, ύψους μικρότερου από 20 m
- **υψηλούς ιστούς**, ύψους ίσου ή μεγαλύτερου από 20 m

Οι συμβατικοί ιστοί φέρουν φωτιστικά σώματα κορυφής ή βραχίονες με φωτιστικά σώματα, ενώ οι υψηλοί φέρουν στην κορυφή τους κινητή κεφαλή (στεφάνη), επί της οποίας αναρτώνται προβολείς και πιθανόν τα όργανα αφής των προβολέων.

Τα υλικά κατασκευής ενός συνήθους ιστού οδοφωτισμού είναι το αλουμίνιο και ο γαλβανισμένος ή ο ανοξείδωτος χάλυβας. Για την προστασία του υλικού πολλές φορές ο ιστός βάφεται ή επικαλύπτεται από πλαστικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και το ωπλισμένο σκυρόδεμα, αν κι αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης, ειδικά σε παραθαλάσσιες περιοχές. Οι διατομές των ιστών μπορεί να είναι κυκλικές, σταθερής ή μεταβλητής διαμέτρου, ή πολυγωνικές, εκτός των ιστών από σκυρόδεμα που είναι πάντα κυκλικής διατομής. Στους ιστούς περιλαμβάνονται και τα καλώδια τροφοδοσίας των φωτιστικών σωμάτων. Για την στήριξή τους, οι ιστοί από σκυρόδεμα εμπύγνεται στο έδαφος, ενώ οι μεταλλικοί κοχλιώνονται σε βάση από σκυρόδεμα.

Το **ύψος αναρτήσεως** (mounting height) του φωτιστικού σώματος, κατ' επέκταση και το ύψος του ιστού, επηρεάζει τα φωτεινά χαρακτηριστικά του παραγόμενου φωτισμού, καθώς και το εύρος της φωτιζόμενης περιοχής. Μεγαλύτερα ύψη ανάρτησης προσφέρουν καλύτερη ομοιομορφία και μείωση του φαινομένου της θάμβωσης, αλλά χαμηλότερη φωτεινότητα. Χαμηλότερα ύψη ανάρτησης εμφανίζουν μειωμένη ομοιομορφία και δημιουργείται η ανάγκη για μεγαλύτερο πλήθος φωτιστικών σωμάτων και τοποθέτησής τους πιο κοντά στο οδόστρωμα. Το συνήθες ύψος των ιστών ηλεκτροφωτισμού κυμαίνεται στα 9-15 m, ενώ για υψηλούς ιστούς εφαρμόζονται πολύ μεγάλα ύψη, της τάξης των 30 m και πάνω. Παράγοντες που μπορεί να περιορίζουν το ύψος είναι η ύπαρξη υπέργειων γραμμών κοινής ωφέλειας, παράπλευρα αεροδρόμια και η τοποθέτηση μέσα σε κατοικημένες περιοχές.^[14]

Οι προαναφερθέντες υψηλοί ιστοί δεν είναι απλώς πολύ ψηλά τοποθετημένα φωτιστικά σώματα, αλλά μία διαφορετική αντίληψη φωτισμού. Με τη χρήση τέτοιων ιστών αρκεί η τοποθέτηση λίγων στύλων, κι όχι απαραίτητα κοντά στο οδόστρωμα, για τον ομοιόμορφο φωτισμό μίας εκτεταμένης περιοχής, σε αντίθεση με το συνήθη γραμμικό φωτισμό των οδών. Φωτισμός επί υψηλών ιστών ενδείκνυται σε περιπτώσεις κόμβων, ισόπεδων και ανισόπεδων, σε σταθμούς διοδίων και στάθμευσης, σε οδούς με πολύ μεγάλα πλάτη και πολλές λωρίδες κυκλοφορίας κι εν γένει όπου απαιτείται ο φωτισμός ή η ορατότητα μίας εκτεταμένων διαστάσεων περιοχής. Αντενδείκνυται όμως για κατοικημένες περιοχές, όπου μπορεί να είναι ενοχλητικός.^[39]

3.4.2 Βραχίονες Στήριξης

Ο βραχίονας στήριξης του φωτιστικού σώματος αποτελεί συνήθως ξεχωριστό τεμάχιο από τον ιστό και στηρίζεται στην κορυφή του. Μπορεί να είναι ευθύγραμμος ή με καμπύλη, οριζόντιος ή ελαφρά κεκλιμένος. Οι βραχίονες επιλέγονται με βάση το βάρος και την επιφάνεια του φωτιστικού που προβλέπονται από τη μελέτη, από τους πίνακες των κατασκευαστών ή μετά από στατικό υπολογισμό. Το μήκος τους κυμαίνεται από 1,2 έως 4,5 m, ανάλογα με την απόσταση του ιστού από το οδόστρωμα και την επιθυμητή θέση του φωτιστικού σώματος σε σχέση με αυτούς. Η διατομή των βραχιόνων μπορεί να είναι κυκλική, κολουροκωνική ή ελλειψοειδής. Η ονομαστική διάμετρος της διατομής τους είναι ίση ή μεγαλύτερη από 50 mm. Η κλίση του βραχίονα δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από 15° λαμβανομένων πάντοτε υπ' όψιν και των συστάσεων του κατασκευαστή. Τέλος, οι βραχίονες μπορεί να είναι μονοί ή διπλοί (μονοπροέχοντες ή αμφιπροέχοντες).^{[36],[39]}

Διάφορα είδη διατάξεων στήριξης φωτισμού δίνονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικ. 3.2 – Ιστός φωτισμού με καμπύλο (αριστερά) και ευθύγραμμο (δεξιά) βραχίονα

Πηγή: [39]



Εικ. 3.3 – Ιστοί φωτισμού με διπλό ή δίδυμο βραχίονα (αριστερά) και φωτισμός επί υψηλών ιστών (δεξιά)

Πηγή: [39]

3.5 Διάταξη Φωτιστικών Σωμάτων

Οι θέσεις των ιστών οδοφωτισμού πρέπει να προσδιορίζονται με βασική κατεύθυνση την εξασφάλιση υψηλής στάθμης καθοδηγητικής ικανότητας των φωτιστικών σωμάτων και αισθητικής προβολής της εγκατάστασης (γεωμετρική τοποθέτηση των φωτιστικών από πλευράς υψομετρίας και οριζοντιογραφίας). Στόχος είναι ο περιορισμός της θάμβωσης και η εξασφάλιση ικανοποιητικής ομοιομορφίας φωτισμού.

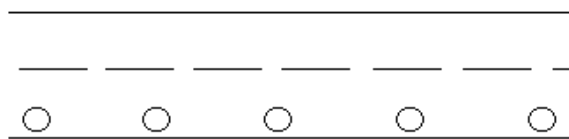
3.5.1 Εγκάρσια Τοποθέτηση

Πέρα από τη χρησιμότητά τους για τη στήριξη των σωμάτων φωτισμού, οι ιστοί παραπλεύρως του οδοστρώματος αποτελούν ένα πρόβλημα για την κυκλοφορία, καθώς περιορίζουν την ορατότητα και μπορεί να αποδειχθούν επικίνδυνοι για τα οχήματα που εκτρέπονται από την πορεία τους. Έτσι, οι ιστοί θα πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν μακρύτερα από την οριογραμμή της διερχόμενης κυκλοφορίας, σε συνάρτηση βέβαια και με τα διαθέσιμα μήκη βραχιόνων και τα απαιτούμενα φωτομετρικά χαρακτηριστικά. Από εκεί και πέρα, σε οδούς με μεγάλες ταχύτητες οι ιστοί ηλεκτροφωτισμού θα πρέπει να προστατεύονται από στηθαία ασφαλείας, εκτεταμένα σε όλο το μήκος τοποθέτησης ιστών. Οι ιστοί θα πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια απόσταση από το στηθαίο ώστε αυτό να μπορεί να παραμορφώνεται ελεύθερα. Η ελάχιστη αυτή απόσταση είναι 0,6 m, ενώ για συνήθεις περιπτώσεις προτείνεται απόσταση 2,0 m. Σε τμήματα με πεζοδρόμια, η ελάχιστη απόσταση των ιστών από την ακμή του πεζοδρομίου θα πρέπει να είναι 0,8 m και όχι μικρότερη από την αντίστοιχη απόσταση λοιπών στύλων δικτύων κοινής ωφελείας.

3.5.2 Διαμήκης Τοποθέτηση

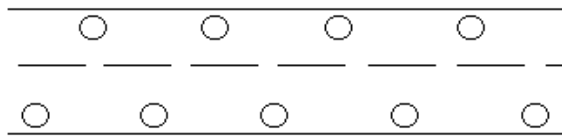
Σχετικά με τη διαμήκη τοποθέτηση τίθενται δύο ζητήματα, το είδος της διάταξης των φωτιστικών σωμάτων και η απόσταση επανάληψής τους. Ανάλογα με το είδος και το πλάτος της οδού και τις απαιτήσεις φωτισμού της υπό μελέτη εγκατάστασης, τα είδη διάταξης των φωτιστικών σωμάτων διακρίνονται ως εξής: ^{[39], [40]}

- **Μονόπλευρη Διάταξη (Single Sided):** Όλα τα φωτιστικά σώματα βρίσκονται στην ίδια πλευρά της οδού. Εφαρμόζεται κυρίως σε οδούς μικρού πλάτους, ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές φορές το απέναντι άκρο μπορεί να μην είναι επαρκώς ορατό. Κριτήριο για την επιλογή της συγκεκριμένης διάταξης μπορεί να αποτελέσουν παράγοντες όπως η ανάγκη για περισσότερο φωτισμό της μίας πλευράς της οδού, λόγω συχνότερης κυκλοφορίας πεζών και οχημάτων στη συγκεκριμένη πλευρά.



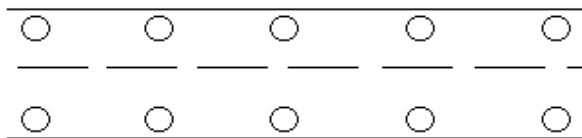
Εικ. 3.4 - Μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών

- **Χιαστί ή Εναλλασσόμενη Διάταξη (Staggered):** Τα φωτιστικά τοποθετούνται και στις δύο πλευρές της οδού, σε εναλλάξ θέσεις, κατά τέτοιο τρόπο ώστε η προβολή ενός φωτιστικού στην απέναντι πλευρά της οδού να καταλήγει στο μέσο του ευθύγραμμου τμήματος που ορίζουν τα δύο απέναντι φωτιστικά. Η επιλογή των φωτιστικών γίνεται συνήθως με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε φωτιστικό να μπορεί να φωτίζει επαρκώς το δρόμο καθ' όλο το πλάτος του. Η χιαστί διάταξη δίνει πολύ καλή φωτεινή κατανομή σε οδούς με μέτριο πλάτος, χρειάζεται όμως έλεγχο για αποφυγή σχηματισμού σκοτεινών κυματοειδών κηλίδων.



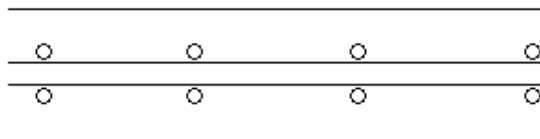
Εικ. 3.5 - Χιαστί διάταξη φωτιστικών

- **Αμφίπλευρη Διάταξη (Opposite):** Τα φωτιστικά τοποθετούνται και στις δύο πλευρές της οδού, γενικά σε απέναντι θέσεις το ένα από το άλλο, αναλαμβάνοντας έτσι έκαστο το φωτισμό του μισού πλάτους του δρόμου. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν υψηλότερες απαιτήσεις φωτισμού, τις οποίες η μονόπλευρη διάταξη δε μπορεί να καλύψει, όπως σε οδούς διπλής κυκλοφορίας ή οδούς μεγάλου πλάτους.



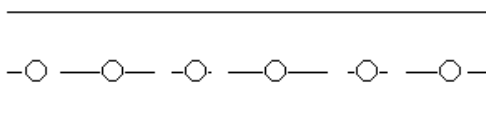
Εικ. 3.6 - Αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών

- **Κεντρική Διάταξη Δίδυμου Βραχίονα (Twin Brackets):** Οι ιστοί τοποθετούνται στον ενδιάμεσο χώρο διαιρεμένων οδών και διαθέτουν διπλούς βραχίονες. Η κεντρική διάταξη ενδείκνυται κυρίως για αυτοκινητόδρομους, για οδούς ταχείας κυκλοφορίας ή γενικότερα για περιπτώσεις οδών με νησίδα στο μέσο του οδοστρώματος, όπου επιτυγχάνεται ελάττωση του αριθμού ιστών και του μήκους της καλωδίωσης.



Εικ. 3.7 - Κεντρική διάταξη φωτιστικών

- **Αξονική Διάταξη (Catenary):** Στην αξονική διάταξη τα φωτιστικά βρίσκονται στο κέντρο του οδοστρώματος και αιωρούνται σε συρματοσκόινα, τα οποία με τη σειρά τους στερεώνονται συνήθως σε ιστούς στην άκρη της οδού ή παράπλευρα κτήρια. Εξασφαλίζει υψηλές τιμές ομοιομορφίας.^[40]



Εικ. 3.8 - Αξονική διάταξη φωτιστικών

Επίσης, η κεντρική διάταξη μπορεί να συνδυαστεί και με αμφίπλευρη, για μεγάλα πλάτη των εκατέρωθεν οδοστρωμάτων, ενώ για μεγάλους ενδιάμεσους χώρους, όπου οι κεντρικά τοποθετημένοι ιστοί θα βρίσκονταν πολύ μακριά από τα δύο οδοστρώματα, οι δύο κλάδοι φωτίζονται θεωρούμενοι ως ξεχωριστές οδοί, συνήθως με αμφίπλευρη διάταξη έκαστος.

Τέλος, το μήκος επανάληψης των φωτιστικών σωμάτων, δηλαδή η μεταξύ των ιστών απόσταση, είναι ένα μέγεθος που καθορίζεται με βάση τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. ^[39]

4 Βάσεις Σχεδιασμού Αστικού Οδικού Φωτισμού

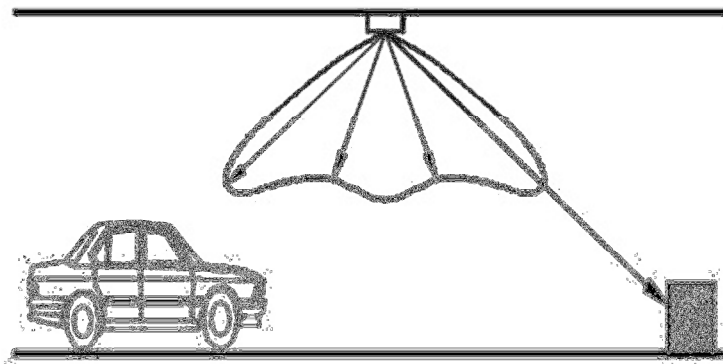
4.1 Συστήματα Φωτισμού

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων φωτισμού, το συμμετρικό και το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού, τα οποία καθορίζονται από τον συντελεστή αντίθεσης q_c που αντιπροσωπεύει το λόγο της λαμπρότητας προς την κατακόρυφη ένταση φωτισμού L/E_v , όπως δείχνει κι ο παρακάτω Πίνακας 4.1.

Πίνακας 4.1 - Συντελεστής Αντίθεσης q_c

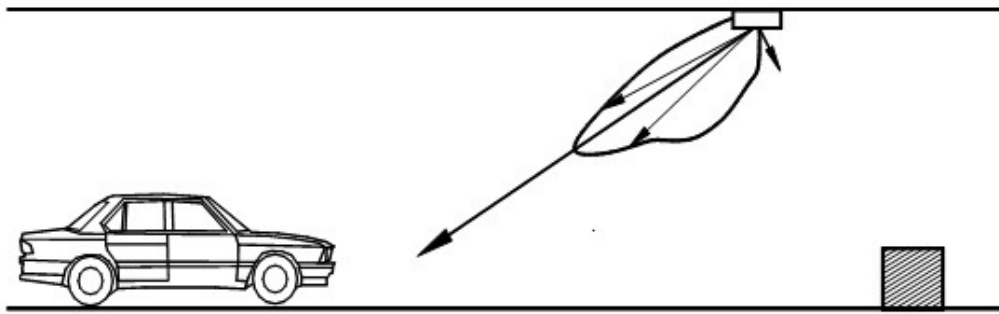
Σύστημα φωτισμού	Συντελεστής Αντίθεσης q_c
Συμμετρικό	$\leq 0,2$
Ασύμμετρο	$\geq 0,6$

Τα **συμμετρικά συστήματα** φωτισμού μπορούν να θεωρηθούν ως συμβατικός φωτισμός. Υπάρχει μία σημαντική διεθνής εμπειρία για αυτόν τον τύπο κατανομής και είναι στις περισσότερες χώρες το προτιμότερο σύστημα φωτισμού ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όλους τους τύπους λαμπτήρων. Στο συμμετρικό φωτισμό, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1, το φως κατευθύνεται με την ίδια ποσότητα τόσο στην κατεύθυνση της ροής των οχημάτων όσο και στην αντίθετη κατεύθυνση, με αποτέλεσμα η λαμπρότητα του δρόμου να είναι ίδια προς οποιαδήποτε κατεύθυνση κι αν κινείται ο οδηγός. Έτσι, αυτός ο φωτισμός ταιριάζει για κυκλοφοριακές ροές είτε μίας, είτε δύο κατευθύνσεων.



Εικ. 4.1 - Συμμετρικό σύστημα φωτισμού

Τα **ασύμμετρα συστήματα** μπορούν να χωρισθούν σε αυτά που η κύρια δέσμη ακτινοβολιών κατευθύνεται προς τον οδηγό (counter-beam lighting) και σε αυτά που η κύρια δέσμη έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτήν της κυκλοφορίας (pro-beam lighting). Συνήθως με τη χρήση του όρου ασύμμετρος εννοούμε το φωτισμό κατά τον οποίο το φως κατευθύνεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην αντίθετη προς τη ροή των οχημάτων κατεύθυνση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2. ^[37]



Εικ. 4.2 - Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (counter-beam lighting)

4.2 Φωτορρύπανση

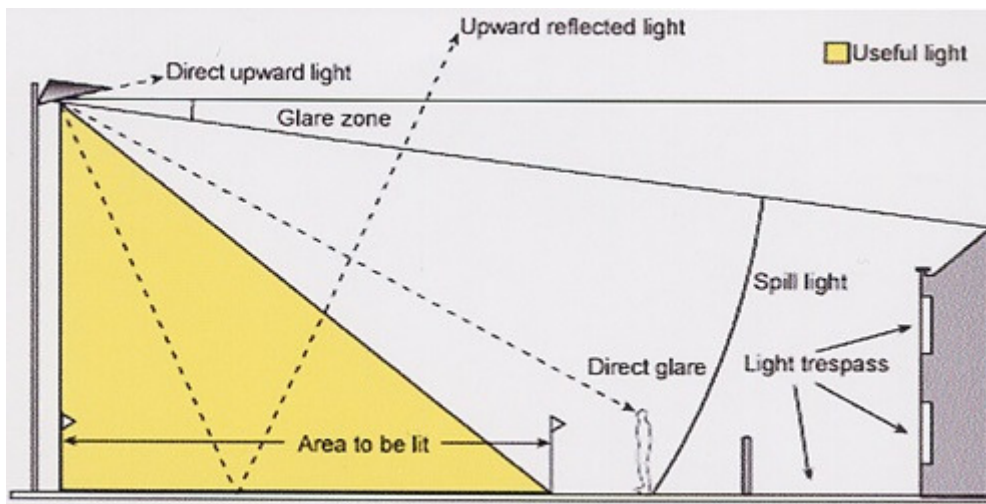
Η φωτορρύπανση είναι μια μορφή ρύπανσης κατά την οποία μια ποσότητα φωτός, κυρίως λόγω ανάκλασης, διαχέεται προς το περιβάλλον και προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Μερικά από αυτά είναι η θάμβωση, η ανεξέλεγκτη διάχυση του φωτός στο περιβάλλον (light trespass) και η λάμψη του νυχτερινού ουρανού (sky glow) στα αστικά κέντρα. Παρουσιάζεται σε φωτεινό φόντο στον ουράνιο θόλο, πάνω στον οποίο τα αστρονομικά αντικείμενα πρέπει να παρατηρηθούν. Το πρόβλημα στις αστρονομικές παρατηρήσεις δημιουργείται από την μείωση της αντίθεσης λαμπρότητας, που αποτελεί βασική αρχή της καλής ορατότητας. Το θάμβος δημιουργείται από μη ελεγχόμενο διασκορπισμένο φως από σωματίδια στο διάστημα και την ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτού του φωτός προέρχεται από τη φύση, ενώ ένα άλλο μέρος προέρχεται από ανθρώπινα προϊόντα. Οι κύριοι συντελεστές του φαινομένου είναι οι εξής:

1. το φως των αστεριών
2. η αστρική σκόνη (γαλαξίας)
3. τα σωματίδια στον αέρα
4. η σκόνη στην ατμόσφαιρα
5. η υγρασία, τα σύννεφα, η ομίχλη
6. η ατμοσφαιρική ρύπανση
7. ο υπερβολικός εξωτερικός φωτισμός

Οι συντελεστές 1, 2 και 3 είναι πηγές εκτός ατμόσφαιρας και δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου. Οι συντελεστές 4 και 5 αποτελούν τις κύριες πηγές που δημιουργούν το φωτεινό φόντο, αλλά είναι αποδεκτές μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι συντελεστές 6 και 7 αποτελούν πηγές που μπορούν να ελεγχθούν απόλυτα.

Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (C.I.E.), με τον οδηγό μείωσης της φωτορρύπανσης (Κώδικας Οδηγιών 126/1997), ασχολείται μόνο με το μέρος που αφορά στο φωτισμό. Οι υποδείξεις που δίνονται, βασίζονται σε φωτομετρικούς όρους ώστε να μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τους φωτοτεχνικούς. Το διαχεόμενο φως στον ορίζοντα, το οποίο ορίζεται με βάση το φως που παράγουν τα φωτιστικά σώματα που είναι εγκατεστημένα στους υπαίθριους χώρους, καλείται **χαμένο φως**. Το φως δηλαδή που χάνεται χωρίς να προσφέρει απολύτως τίποτα. Στην εικόνα φαίνεται η φωτεινή ακτινοβολία από φωτιστικό οδού, χωρισμένη σε ωφέλιμη (useful light), η οποία φωτίζει την περιοχή

για την οποία είναι τοποθετημένο το φωτιστικό, και μη ωφέλιμη (χαμένο φως), η οποία προκαλεί φωτορρύπανση δηλαδή απευθείας θάμβωση (direct glare) σε παρακείμενο παρατηρητή, διάχυση στο περιβάλλον, εν προκειμένω το χτιστό, και ενίσχυση του φωτεινού φόντου από το προς τα πάνω φως, ανακλώμενο και μη (upward reflected and direct upward light). [22]



Εικ. 4.3 - Ωφέλιμο φως και φωτορρύπανση από τυπικό φωτιστικό εξωτερικού χώρου

Πηγή: [11]

4.2.1 Τρόποι Αντιμετώπισης της Φωτορρύπανσης

Σε κάθε εγκατάσταση θα πρέπει να χρησιμοποιούνται φωτιστικά τα οποία να είναι σε θέση να παρέχουν αποτελεσματικό φωτισμό εκεί ακριβώς όπου απαιτείται. Τα φωτιστικά αυτά θα πρέπει να κάνουν χρήση των νέων αποδοτικών πηγών φωτισμού και να διαθέτουν ειδικά μελετημένους ανακλαστήρες, περσίδες και φακούς που θα περιορίζουν τόσο τη θάμβωση όσο και τη ανεξέλεγκτη διάχυση του φωτός στην ατμόσφαιρα. Δεν είναι λίγοι οι κατασκευαστές φωτιστικών που έχουν συγκεντρώσει τις προσπάθειες τους στην παραγωγή φωτιστικών που κάνουν αποτελεσματική χρήση της ενέργειας και πληρούν τους διεθνείς κανονισμούς σχετικά με τις συνιστώμενες γωνίες αποκοπής (cut-off angles). [47]

Σύμφωνα με τον κώδικα 126/1997, προτείνεται η δημιουργία ζωνών ελεγχόμενου εξωτερικού φωτισμού και δίδονται οι μέγιστες εκατοστιαίες ποσότητες φωτισμού που μπορούν να διαχέονται στον ορίζοντα από τον εξωτερικό φωτισμό που έχει εγκατασταθεί στις ζώνες αυτές. Οι ζώνες αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. [3]

Πίνακας 4.2 - Ζώνες ελεγχόμενου εξωτερικού φωτισμού κατά CIE για τον περιορισμό της φωτορρύπανσης

Ζώνη	Περιβάλλον	Φωτισμός	Προτεινόμενες ποσότητες χαμένου φωτισμού [%]
E1	Ύπαιθρος	Σκότος	0
E2	Αγροτική περιοχή	Χαμηλή λαμπρότητα	5
E3	Προάστιο	Μέση λαμπρότητα	15
E4	Αστικό κέντρο	Υψηλή λαμπρότητα	25

Όπου,

- **E1:** Περιλαμβάνει σκοτεινές περιοχές (δάση, βουνά) εθνικά πάρκα, περιοχές εξαιρετικού κάλλους
- **E2:** Αγροτικές περιοχές και γενικά επαρχιακές πόλεις
- **E3:** Κατοικημένες αστικές περιοχές
- **E4:** Κέντρα πόλεων

Αυτά τα υψηλότερα ποσοστά χαμένου φωτισμού, βασίζονται στα ποσοστά του παραγόμενου φωτισμού από τα υπάρχοντα εγκατεστημένα φωτιστικά στους εξωτερικούς χώρους. Δηλαδή εάν ένα εγκατεστημένο φωτιστικό σώμα παράγει 1.000 μονάδες, το χαμένο φως στη ζώνη E4 δεν πρέπει να είναι παραπάνω από 250 μονάδες. Ένα άλλο στοιχείο που περιλαμβάνεται στις οδηγίες, είναι η απόσταση που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των διαφόρων ζωνών, δηλαδή χρειάζονται:

- 1 km μεταξύ ζώνης E1 και E2
- 10 km μεταξύ ζώνης E1 και E2 και E3
- 100 km όμως μεταξύ ζώνης E1 και E3 και E4
- 1 km είναι αρκετό μεταξύ E2 και E3 και 10 km μεταξύ E2 και E4

4.3 Κατηγοριοποίηση Οδοστρωμάτων σύμφωνα με τις Ανακλαστικές τους Ιδιότητες

Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών της λαμπρότητας κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης φωτισμού, οι επιφάνειες των οδών ταξινομούνται ανάλογα με τις ιδιότητες ανάκλασης που παρουσιάζουν, με βάση περιγραφικές παραμέτρους αυτών. Τούτο διότι οι ανακλαστικές ιδιότητες του οδοστρώματος επηρεάζουν σημαντικά το επίπεδο λαμπρότητας αυτού, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση της εγκατάστασης. Το σύστημα κατάταξης των επιφανειών των οδών, σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (C.I.E.), ομαδοποιεί τις διάφορες επιφάνειες ανάλογα με την τιμή του κατοπτρικού συντελεστή S1, όπως αυτός ορίζεται παρακάτω, και διαχωρίζει τα στεγνά οδοστρώματα σε τέσσερις κατηγορίες, όπως φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4.3 - Διαχωρισμός οδοστρωμάτων κατά CIE ως προς την ανακλαστικότητα

Κατηγορία	Όρια Συντελεστή S1	Τιμή Q ₀	Είδος Ανάκλασης
R1	$S1 < 0,42$	0,10	κυρίως διάχυτη
R2	$0,42 < S1 < 0,85$	0,07	ελαφρώς διάχυτη
R3	$0,85 < S1 < 1,35$	0,08	ελαφρώς κανονική
R4	$S1 > 1,35$	0,08	κανονική

Υπολογίζονται οι εξής συντελεστές:

- **Μέσος Συντελεστής Ανακλαστικότητας Q₀:**

$$Q_0 = \frac{\int_{\Omega} q d\Omega}{\int_{\Omega} d\Omega}$$

- **Κατοπτρικός Συντελεστής S1:**

$$S1 = \frac{r(0,2)}{r(0,0)}$$

- **Κατοπτρικός Συντελεστής S2:**

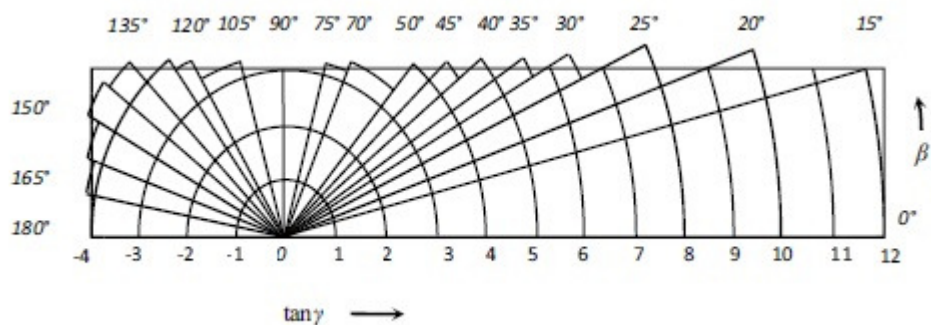
$$S2 = \frac{Q_0}{r(0,0)}$$

Όπου:

r (0,2): οι τιμές του μειωμένου συντελεστή λαμπρότητας r για $(\beta, \tan\gamma) = (0,2)$

r (0,0): οι τιμές του μειωμένου συντελεστή λαμπρότητας r για $(\beta, \tan\gamma) = (0,0)$

Ω: η στερεά γωνία και ορίζεται από τα όρια ολοκλήρωσης που δίδονται στην Εικ.4.4



Εικ. 4.4 - Όρια ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό του συντελεστή Q_0

Πηγή: [van Bommel W.J.M., de Boer J.B., Road Lighting, Kulwer Technische Boeken B.V., Deventer, 1980, p. 328]

Οι τιμές του μέσου συντελεστή ανακλαστικότητας Q_0 και του κατοπτρικού συντελεστή $S1$ επηρεάζουν το σχεδιασμό του οδικού φωτισμού. Όσο πιο υψηλή η τιμή του Q_0 τόσο μεγαλύτερη η απόσταση των φωτιστικών ή μικρότερη η απαιτούμενη ισχύς των λαμπτήρων. Υψηλές τιμές του $S1$ περιπλέκουν τη χωροθέτηση των φωτιστικών. Οι τιμές των συντελεστών Q_0 , $S1$ και $S2$ μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου λόγω φθοράς της επιφάνειας του οδοστρώματος ή επεμβάσεων σε αυτήν, προκαλώντας μεταβολή και στις τιμές της λαμπρότητας και της ομοιομορφίας λαμπρότητας της οδικής επιφάνειας. Μεταβολές των $S1$ και $S2$ επηρεάζουν διαφορετικά την κατανομή της λαμπρότητας. Αύξηση του συντελεστή $S1$ οδηγεί σε ραγδαία μείωση της συνολικής ομοιομορφίας U_0 , ενώ έχει μικρή επιρροή στη διαμήκη ομοιομορφία U_1 . Από την άλλη μεριά, αύξηση του $S2$ οδηγεί σε αύξηση και της συνολικής, αλλά και της διαμήκους ομοιομορφίας.^[20]

Για την περιγραφή των κατηγοριών πιο αναλυτικά έχουμε:

- **Κατηγορία R1:** οδόστρωμα από σκυρόδεμα, οδόστρωμα από άσφαλτο της οποίας τα συστατικά περιέχουν κατ' ελάχιστον 15% τεχνητές ουσίες στιλπνότητας (brighteners).

- **Κατηγορία R2:** οδόστρωμα από άσφαλτο της οποίας τα συστατικά περιέχουν κατ' ελάχιστον 60% χαλίκι (μέγεθος άνω των 10 mm), οδόστρωμα από άσφαλτο της οποίας τα συστατικά περιέχουν 10-15% τεχνητές ουσίες στιλπνότητας (brighteners).
- **Κατηγορία R3:** οδόστρωμα από άσφαλτο, η οποία αποτελείται από σκούρα συστατικά, σκληρή σύνθεση μετά από κάποιους μήνες χρήσης.
- **Κατηγορία R4:** οδόστρωμα από άσφαλτο με πολύ μαλακή σύνθεση. ^[1]

Στο μεγαλύτερο μέρος του οδικού δικτύου στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται οδοστρώματα κατηγορίας R3.

4.4 Παρουσίαση Προτύπου EN-13201

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζεται το πρότυπο EN-13201, το οποίο αφορά τον οδικό φωτισμό. Αποτελείται από τέσσερα μέρη:

CEN/TR 13201-01: «Φωτισμός οδών - Μέρος 1^ο: Επιλογή κατηγοριών φωτισμού», 2004

EN 13201-02: «Φωτισμός οδών - Μέρος 2^ο: Απαιτήσεις επιδόσεων», 2003

EN 13201-03: «Φωτισμός οδών - Μέρος 3^ο: Υπολογισμός επιδόσεων», 2007

EN 13201-04: «Φωτισμός οδών - Μέρος 4^ο: Μέθοδοι μέτρησης επιδόσεων φωτισμού», 2003

4.4.1 Μέρος 1^ο – Επιλογή Κατηγοριών Φωτισμού

Στο πρώτο μέρος καθορίζονται οι κατηγορίες φωτισμού και δίνονται τις κατευθύνσεις σχετικά με την εφαρμογή τους. Για τον σκοπό αυτό, περιλαμβάνει ένα σύστημα για να καθορίσει έναν υπαίθριο δημόσιο χώρο κυκλοφορίας ως προς τις παραμέτρους που σχετίζονται με φωτισμό. Δίνονται επίσης οι κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή της σχετικής περιοχής, στην οποία θα πρέπει να εφαρμόζονται οι απαιτήσεις κι οι υπολογισμοί επιδόσεων (Μέρη 2 και 3).

4.4.1.1 Όροι κι Ορισμοί

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί που χρησιμοποιούνται για την επιλογή κατάστασης φωτισμού και την ταξινόμησή τις σε κλάσεις, όπως περιγράφονται στο πρότυπο. Στην παρένθεση αναφέρεται ο συμβολισμός του όρου με τον οποίο αναγράφεται στους σχετικούς πίνακες.

- **Τύπος Χρήστη**
Ο χρήστης (άτομο ή όχημα) σε έναν υπαίθριο δημόσιο χώρο κυκλοφορίας.
- **Κυκλοφορία Μηχανοκίνητων (M)**
Μηχανοκίνητα οχήματα, εξαιρουμένων των οχημάτων χαμηλής ταχύτητας.
- **Αργά Κινούμενα Οχήματα (S)**
Μηχανοκίνητα οχήματα, ζώηλατα οχήματα και αναβάτες σε ζώα, με ταχύτητας έως 40 km/h.
- **Ποδηλάτες (C)**
Ποδηλάτες ή οδηγοί μοτοποδηλάτου, με μέγιστη ταχύτητα 50 km/h.

- **Πεζοί (P)**
Πεζοί, συμπεριλαμβανομένων και των ατόμων που χρησιμοποιούν αναπηρικό αμαξίδιο.
- **Τυπική Ταχύτητα Κύριου Χρήστη**
Η εκτιμώμενη τυπική ταχύτητα χρηστών, που καθορίζεται από τον κύριο τύπο χρήστη της σχετικής περιοχής. Σε περίπτωση που ο κύριος τύπος χρήστη είναι συνδυασμός κυκλοφορίας μηχανοκίνητων κι ενός ή περισσότερων από τους άλλους τύπους χρηστών, η μηχανοκίνητη κυκλοφορία λαμβάνεται ως ο κύριος τύπος χρήστη. Σημειώνεται ότι για σκοπούς φωτισμού, ευρείες κατηγορίες ταχυτήτων είναι επαρκείς. Ως εκ τούτου η τυπική ταχύτητα εκτιμάται, αντί να υπολογίζεται, βάσει παραμέτρων του οδικού δικτύου.
- **Σχετική Περιοχή**
Μέρος της υπό εξέταση περιοχής δημόσιας κυκλοφορίας.
- **Περιοχή Κυκλοφοριακών Εμπλοκών**
Σχετική περιοχή όπου ρεύματα μηχανοκίνητης κυκλοφορίας τέμνονται μεταξύ τους ή με κυκλοφορία άλλου τύπου χρηστών.
- **Κυκλοφοριακή Ροή Οχημάτων**
Ο αριθμός των οχημάτων που περνάει από μια διατομή της οδού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και στις δυο κατευθύνσεις. Υπολογίζεται ως Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΜΗΚ). Σημειώνεται πως αν και δεν είναι απαραίτητο για το φωτισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κυκλοφοριακή ροή ανά λωρίδα και να γίνει σύνθεση των αποτελεσμάτων.
- **Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία - ΜΗΚ**
Η συνολική κυκλοφορία μετρημένη σε ένα διάστημα μιας χρονικής περιόδου ημερών, διαιρεμένη με τον αριθμό των ημερών του συγκεκριμένου διαστήματος.
- **Ανισόπεδος Κόμβος**
Κόμβος με υψομετρικό διαχωρισμό όπου η σύνδεση των οδών γίνεται με μία ή περισσότερες ράμπες.
- **Ισόπεδος Κόμβος**
Περιοχή όπου δύο ή περισσότερες οδοί ενώνονται ή διασταυρώνονται, στο ίδιο επίπεδο.
- **Βαθμός Δυσκολίας στην Πλοήγηση**
Ο βαθμός της απαιτούμενης προσπάθειας από τον χρήστη του οδικού δικτύου, ως αποτέλεσμα των πληροφοριών που του εμφανίζονται, να επιλέξει διαδρομή και λωρίδα κυκλοφορίας, να διατηρήσει ή να αλλάξει ταχύτητα ή θέση στο οδόστρωμα. Η οπτική καθοδήγηση που παρέχεται από το οδικό δίκτυο συμπεριλαμβάνεται σε αυτήν την πληροφορία.
- **Κίνδυνος Εγκληματικότητας**
Κίνδυνος εγκληματικότητας στην εξεταζόμενη περιοχή, συγκριτικά με τον κίνδυνο εγκληματικότητας στην ευρύτερη περιοχή.
- **Πολυπλοκότητα Οπτικού Πεδίου**
Η ποσότητα του φωτισμού και άλλων οπτικών στοιχείων που υπάρχουν στο οπτικό πεδίο του χρήστη και μπορεί να παραπλανούν, να ενοχλούν ή να αποσπούν την προσοχή του, π.χ. διαφημιστικές πινακίδες. Παρόλο που η οπτική καθοδήγηση που παρέχεται στον χρήστη από το οδικό δίκτυο και το περιβάλλον μπορεί να είναι επαρκής, τέτοια στοιχεία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στον εντοπισμό αντικειμένων υψηλής προτεραιότητας, όπως οι φωτεινοί σηματοδότες ή άλλοι χρήστες του δικτύου που αλλάζουν κατεύθυνση.
- **Επίπεδο Φωτισμού Περιβάλλοντος Χώρου**

Αξιολογείται το επίπεδο φωτισμού του περιβάλλοντος χώρου, κατατάσσοντάς το σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

- Υπεραστικό, για αγροτικές περιοχές και γενικά επαρχιακές πόλεις
- Αστικό, για κατοικημένες αστικές περιοχές
- Κεντρικό, για κέντρα πόλεων

- **Κύριος Τύπος Καιρού**

Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου.

4.4.1.2 Εκτίμηση Βασικών και Ειδικών Παραμέτρων

Οι συστάσεις φωτισμού εξαρτώνται από τη γεωμετρία της σχετικής περιοχής, καθώς και από χρονικές και κυκλοφοριακές συνθήκες. Για την περιγραφή κι αξιολόγηση των συνθηκών αυτών, εισάγονται οι παρακάτω βασικές και οι ειδικές παράμετροι:

- **Βασικές Παράμετροι**

Είναι οι παράμετροι που αποτελούν τα βασικά στοιχεία στο πλαίσιο ομαδοποίησης των κατάστασεων φωτισμού (Πίνακας 4.4):

- Σχετική περιοχή
- Κύριος τύπος χρήστη
- Άλλοι επιτρεπόμενοι χρήστες
- Αποκλειόμενοι χρήστες
- Τυπική ταχύτητα κύριου τύπου χρήστη

- **Ειδικές Παράμετροι**

Είναι οι παράμετροι που καθορίζουν ειδικές επιλογές στο πλαίσιο ταξινόμησης των κατάστασεων φωτισμού (Πίνακας 4.5):

- **Γεωμετρικές Παράμετροι**
 - Διαχωρισμός λωρίδων με κεντρική νησίδα
 - Είδος κόμβων
 - Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων
 - Πυκνότητα ισόπεδων κόμβων
 - Περιοχή κυκλοφοριακών εμπλοκών
 - Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας

Σημείωση 1: Ως **κυκλοφοριακή εμπλοκή** ορίζεται ένα γεγονός όπου συμμετέχουν δύο ή περισσότεροι χρήστες της οδού, κατά το οποίο ο ένας εκτελεί κάποια ασυνήθιστη (μη τυπική) ενέργεια που θέτει τον άλλο χρήστη σε κίνδυνο σύγκρουσης και τον αναγκάζει να εκτελέσει έναν ελιγμό αποφυγής ατυχήματος.^[41]

Σημείωση 2: **Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας** θεωρούνται τα μέτρα που λαμβάνονται για τη μείωση της ταχύτητας των αυτοκινήτων, όπως για παράδειγμα η κατασκευή παρτεριών, η τοποθέτηση

υπερυψωμένων εμποδίων (σαμαράκια) σε δρόμους με συνδυασμένη κυκλοφορία αυτοκινήτων και πεζών κ.λ.π.

- **Κυκλοφοριακές Παράμετροι**
 - Κυκλοφοριακή ροή οχημάτων
 - Κυκλοφοριακή ροή ποδηλατών
 - Κυκλοφοριακή ροή πεζών
 - Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση
 - Σταθμευμένα οχήματα
 - Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου
 - Κίνδυνος εγκληματικότητας

- **Περιβαλλοντικές κι Εξωτερικές Παράμετροι**
 - Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου
 - Επίπεδο φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου
 - Κύριος τύπος καιρού

Πίνακας 4.4 – Ομαδοποίηση καταστάσεων φωτισμού

Τυπική Ταχύτητα Κύριων Χρηστών (km/h)	Τύποι Χρηστών στην ίδια Σχετική Περιοχή			Κατάσταση Φωτισμού
	Κύριοι Χρήστες	Επιτρεπόμενοι Χρήστες	Αποκλειόμενοι Χρήστες	
> 60	Μηχανοκίνητα οχήματα		Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες Πεζοί	A1
		Αργά κινούμενα οχήματα	Ποδηλάτες Πεζοί	A2
		Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες Πεζοί		A3
> 30 και ≤ 60	Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα	Ποδηλάτες Πεζοί		B1
	Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες	Πεζοί		B2
	Ποδηλάτες	Πεζοί	Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα	C1
> 5 και ≤ 30	Μηχανοκίνητα οχήματα Πεζοί		Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες	D1
		Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες		D2
	Μηχανοκίνητα οχήματα Ποδηλάτες	Αργά κινούμενα οχήματα Πεζοί		D3
	Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες Πεζοί			D4
Ταχύτητα βαδίσματος	Πεζοί		Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες	E1
		Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες		E2

Πίνακας 4.5 – Εκτίμηση παραμέτρων για την επιλογή κατηγορίας φωτισμού

Παράμετροι		Δυνατές Επιλογές
Γεωμετρικές	Διαχωρισμός λωρίδων	Ναι Όχι
	Είδος κόμβων	Ανισόπεδοι Ισόπεδοι
	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων	< 3 km ≥ 3 km
	Πυκνότητα ισόπεδων κόμβων	< 3 ισόπεδοι κόμβοι/km ≥ 3 ισόπεδοι κόμβοι/km
	Περιοχή κυκλοφοριακών εμπλοκών	Ναι Όχι
	Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Ναι Όχι
Κυκλοφοριακές	Ημερήσια κυκλοφοριακή ροή οχημάτων	< 4.000 4.000 - 7.000 7.000 - 15.000 15.000 - 25.000 25.000 - 40.000 > 40.000
	Κυκλοφοριακή ροή ποδηλατών	Κανονική Υψηλή
	Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Κανονική Υψηλή
	Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση	Κανονικός Υψηλός
	Σταθμευμένα οχήματα	Υπάρχουν Δεν υπάρχουν
	Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου	Απαιτείται Δεν απαιτείται
	Κίνδυνος εγκληματικότητας	Κανονικός Υψηλός
Περιβαλλοντικές κι Εξωτερικές	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Κανονική Υψηλή
	Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Χαμηλό - Υπεραστικό Κανονικό - Αστικό Υψηλό - Κέντρο πόλης
	Κύριος τύπος καιρού	Υγρός Ξηρός

4.4.2 Μέρος 2^ο – Απαιτήσεις Επιδόσεων

Σε αυτό το μέρος του προτύπου ορίζονται, σύμφωνα με φωτοτεχνικές απαιτήσεις, οι κατηγορίες φωτισμού του οδικού δικτύου. Στόχος είναι η κάλυψη των οπτικών αναγκών των χρηστών του δικτύου, λαμβάνοντας υπ' όψιν και περιβαλλοντικές πτυχές του οδικού φωτισμού. Οι απαιτήσεις των κατηγοριών φωτισμού αντανακλούν την κατηγορία χρηστών του οδικού δικτύου ή τον τύπο της οδού. Ορίζονται έτσι οι παρακάτω κατηγορίες φωτισμού:

- **Κατηγορίες ME**
Προορίζονται για οδηγούς μηχανοκίνητων οχημάτων και για χρήση σε αυτοκινητόδρομους ή οδούς που επιτρέπουν μεσαίες έως υψηλές ταχύτητες.
- **Κατηγορίες CE**
Προορίζονται επίσης για οδηγούς μηχανοκίνητων οχημάτων, αλλά για χρήση σε περιοχές εμπλοκών, όπως εμπορικές οδούς, ισόπεδους κόμβους ορισμένης πολυπλοκότητας, κυκλικές διασταυρώσεις κτλ. Οι κατηγορίες αυτές έχουν εφαρμογή ακόμα και για πεζούς και ποδηλάτες.
- **Κατηγορίες S και A**
Προορίζονται για πεζούς και ποδηλάτες για χρήση σε διαβάσεις πεζών, ποδηλατόδρομους και λωρίδες έκτακτης ανάγκης (Λ.Ε.Α.).
- **Κατηγορίες ES**
Προορίζονται, ως πρόσθετη κατηγορία, για περιπτώσεις όπου ο δημόσιος φωτισμός είναι αναγκαίος για την αναγνώριση προσώπων κι αντικειμένων και σε περιοχές με υψηλότερο του κανονικού κίνδυνο εγκληματικότητας.
- **Κατηγορίες EV**
Προορίζονται, ως πρόσθετη κατηγορία, για περιπτώσεις όπου οι κάθετες επιφάνειες είναι απαραίτητο να είναι ορατές, όπως σε σταθμούς διοδίων, ανισόπεδων κόμβων κ.λ.π.

Οι κατηγορίες **ME** βασίζονται στη **λαμπρότητα** της οδικής επιφάνειας. Οι κατηγορίες **CE**, **S**, και **A** βασίζονται στη **φωτεινότητα** της επιφάνειας του οδοστρώματος. Οι κατηγορίες **ES** βασίζονται στην ημικυκλινδρική φωτεινότητα, ενώ οι κατηγορίες **EV** στη φωτεινότητα κατακόρυφου επιπέδου. Οι μέθοδοι για τον υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών, αναπτύσσονται στο 3^ο μέρος του προτύπου. ^[4]

Στους παρακάτω πίνακες περιγράφονται οι κατηγορίες φωτισμού **ME**, καθώς κι οι φωτοτεχνικές προδιαγραφές που τις διέπουν.

Πίνακας 4.6 – Κατηγορίες φωτισμού ME για διάφορα χαρακτηριστικά της οδού

Χαρακτηριστικά της Οδού		Κατηγορία Φωτισμού
Οδοί ταχείας κυκλοφορίας με διαχωριστική νησίδα, χωρίς διασταυρώσεις και με πλήρη έλεγχο των προσβάσεων (αυτοκινητόδρομοι, οδοί ταχείας κυκλοφορίας)		
Πυκνότητα κυκλοφορίας και πολυπλοκότητα χάραξης οδού	Υψηλή	ME1
	Μεσαία	ME2
	Χαμηλή	ME3
Οδοί ταχείας κυκλοφορίας, διπλής κατεύθυνσης		

Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός των διαφορετικού τύπου χρηστών	Ελλιπής Καλός	ME1 ME2
Σημαντικές αστικές αρτηρίες, ακτινωτό οδικό δίκτυο, οδοί διανομής κυκλοφορίας		
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός των διαφορετικού τύπου χρηστών	Ελλιπής Καλός	ME2 ME3
Συνδετήριες οδοί μικρότερης σημασίας, συλλεκτήριες οδοί, τοπικές οδοί		
Έλεγχος κυκλοφορίας και διαχωρισμός των διαφορετικού τύπου χρηστών	Ελλιπής Καλός	ME4 ME5

Πίνακας 4.7 – Προδιαγραφές κατηγοριών ME – Στεγνό οδόστρωμα

Κατηγορία Φωτισμού	Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού			Δείκτης Θάμβωσης TI (%)	Φωτισμός Περιβάλλοντος Χώρου SR
	Μέση Λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία		
	L_{μ} (cd/m ²)	U_o	U_l		
	(ελάχιστη διατηρηθείσα)	(ελάχιστη)	(ελάχιστη)		
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3B	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Δεν απαιτείται

Πίνακας 4.8 – Προδιαγραφές κατηγοριών ME – Υγρό οδόστρωμα

Κατηγορία Φωτισμού	Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού				Δείκτης Θάμβωσης TI (%)	Φωτισμός Περιβάλλοντος Χώρου SR
	Μέση Λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία	Συνολική Ομοιομορφία		
	L_{μ} (cd/m ²)	U_o	U_l	$U_{0,wet}$		
	(ελάχιστη διατηρηθείσα)	(ελάχιστη)	(ελάχιστη)	(ελάχιστη)		
MEW1	2,00	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW2	1,50	0,40	0,60	0,15	10	0,50
MEW3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,50
MEW4	0,75	0,40	-	0,15	15	0,50
MEW5	0,50	0,35	-	0,15	15	0,50
MEW6	0,30	0,35	-	0,15	15	Δεν απαιτείται

Στους παρακάτω πίνακες περιγράφονται οι κατηγορίες φωτισμού CE, καθώς κι οι φωτοτεχνικές προδιαγραφές που τις διέπουν.

Πίνακας 4.9 – Κατηγορίες φωτισμού CE για διάφορες περιοχές εμπλοκών

Περιοχή Εμπλοκών		Κατηγορία Φωτισμού
Κυκλικοί κόμβοι χωρίς σήμανση		
Πολυπλοκότητα	Υψηλή	CE1
	Κανονική	CE2
	Μικρή	CE3
Περιοχές αναμονής		
Πολυπλοκότητα	Υψηλή	CE1
	Κανονική	CE3
	Μικρή	CE5

Πίνακας 4.10 – Προδιαγραφές κατηγοριών CE

Κατηγορία Φωτισμού	Οριζόντια Ένταση Φωτισμού	
	E_{μ} (lux)	U_0
	(ελάχιστη διατηρηθείσα)	(ελάχιστη τιμή)
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

Στους παρακάτω πίνακες περιγράφονται οι κατηγορίες φωτισμού S, καθώς κι οι φωτοτεχνικές προδιαγραφές που τις διέπουν.

Πίνακας 4.11 – Κατηγορίες φωτισμού S για διάφορα χαρακτηριστικά της οδού

Περιγραφή Οδού	Κατηγορία Φωτισμού
Οδοί υψηλού κύρους	S1
Έντονη νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες	S2
Μέτρια νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες	S3
Μικρή νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες	S4
Μικρή νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος	S5

Ελάχιστη νυχτερινή χρήση από πεζούς ή ποδηλάτες που αφορά αποκλειστικά παράπλευρες ιδιότητες Απαραίτητο να διατηρείται ο τοπικός ή ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του περιβάλλοντος	S6
Οδοί όπου η απαιτούμενη οπτική καθοδήγηση παρέχεται μόνο από το άμεσο φως των φωτιστικών	S7

Πίνακας 4.12 – Προδιαγραφές κατηγοριών S

Κατηγορία φωτισμού	Οριζόντια Ένταση Φωτισμού	
	E_{μ} (lux)	E_{\min} (lux)
	(ελάχιστη διατηρηθείσα)	(ελάχιστη τιμή)
S1	15,0	5,0
S2	10,0	3,0
S3	7,5	1,5
S4	5,0	1,0
S5	3,0	0,6
S6	2,0	0,6
S7	μη καθορισμένη	μη καθορισμένη
* Για λόγους ομοιομορφίας, η πραγματική τιμή της διατηρηθείσας μέσης έντασης φωτισμού δεν πρέπει να ξεπερνά πάνω από 1,5 φορές την ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού που καθορίζεται για κάθε κλάση.		

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 13201 για το φωτισμό οδών, έχει θεσπίσει μεταξύ άλλων τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται ώστε να αποτρέπεται η θάμβωση του οδηγού. Στα πλαίσια αυτών των κανόνων, οι οδοί χαρακτηρίζονται από κατηγορίες φωτεινής έντασης, ανάλογα με τον τύπο των φωτιστικών που χρησιμοποιούνται για το φωτισμό τους, όπως αυτές φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.13 – Κατηγορίες φωτεινής έντασης για τον περιορισμό της θάμβωσης

Κατηγορίες	Μέγιστη Φωτεινή Ένταση σε cd/klm			Λοιπές Απαιτήσεις
	στις 70°	στις 80°	στις 90°	
G1	-	200	50	Καμία
G2	-	150	30	Καμία
G3	-	100	20	Καμία
G4	500	100	10	Μηδενική φωτεινή ένταση πάνω από τις 95°
G5	350	100	10	Μηδενική φωτεινή ένταση πάνω από τις 95°
G6	350	100	0	Μηδενική φωτεινή ένταση πάνω από τις 95°

Οι κατηγορίες G1, G2 και G3 αντιστοιχούν στα φωτιστικά κατηγορίας semi-cutoff και cutoff, ενώ οι G4, G5 και G6 στα φωτιστικά κατηγορίας full-cutoff.

4.4.3 Μέρος 3^ο – Υπολογισμός Επιδόσεων

Στο τρίτο μέρος του προτύπου περιγράφονται οι μέθοδοι υπολογισμού των ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδικού φωτισμού. Οι μέθοδοι αυτές, μέσω συμπεφωνημένων διαδικασιών, οδηγούν σε ομοιόμορφα αποτελέσματα από διαφορετικές πηγές. Δίνονται οι ορισμοί και περιγράφονται οι συμβάσεις και οι μαθηματικές διαδικασίες που υιοθετούνται στον υπολογισμό των φωτομετρικών επιδόσεων των εγκαταστάσεων οδικού φωτισμού, που σχεδιάζονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

4.4.3.1 Μέθοδος Λαμπρότητας

Η ορατότητα του οδοστρώματος για έναν παρατηρητή, δεν καθορίζεται από την ένταση φωτισμού του, αλλά από τη λαμπρότητα της οδικής επιφάνειας. Η λαμπρότητα σε ένα σημείο του οδοστρώματος εξαρτάται από:

- την ένταση φωτισμού
- την κατεύθυνση παρατήρησης και πρόσπτωσης του φωτός
- το χρώμα και την ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος
- την κατάσταση του οδοστρώματος (υγρό, στεγνό)

Ένα τραχύ οδόστρωμα για παράδειγμα, με καινούρια επιφάνεια κυκλοφορίας, διαχέει ομοιόμορφα το φως, ενώ ένα λείο ανομοιόμορφα.

➤ Υπολογισμός της λαμπρότητας σε σημείο

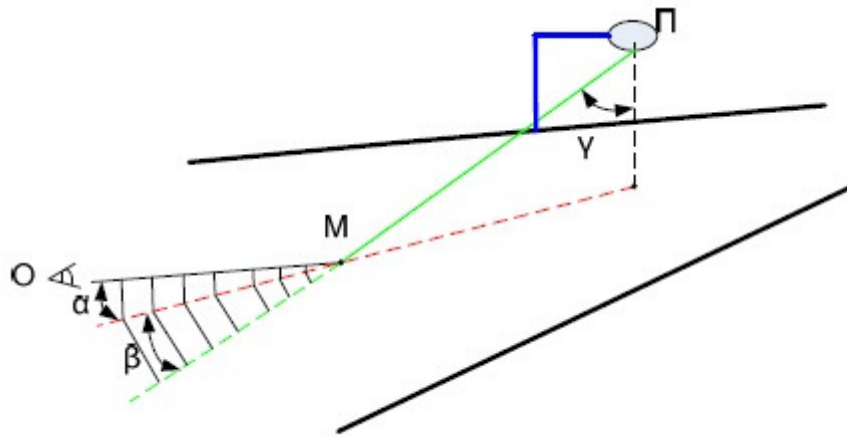
Η λαμπρότητα σε ένα πολύ υγρό οδόστρωμα, με σχεδόν κατοπτρική ανάκλαση του φωτός, εξαρτάται περισσότερο από τη λαμπρότητα της πηγής και λιγότερο από την ένταση φωτισμού στο συγκεκριμένο σημείο.

Θεωρούμε σημείο M στην επιφάνεια του οδοστρώματος, το οποίο φωτίζεται από την πηγή Π και το βλέπει ο παρατηρητής Ο με λαμπρότητα L_M . Η L_M είναι ανάλογη της έντασης φωτισμού E_M στο σημείο M και αυτή η αναλογία εκφράζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$L_M = q \times E_M$$

Ο συντελεστής q εξαρτάται από τις γωνίες α , β , και γ όπου:

- α : η γωνία παρατήρησης από το οριζόντιο επίπεδο (που μετράται στο κατακόρυφο επίπεδο)
- β : η γωνία μεταξύ των δύο κατακόρυφων επιπέδων (προσπτώσεως και παρατήρησης)
- γ : η γωνία προσπτώσεως του φωτός

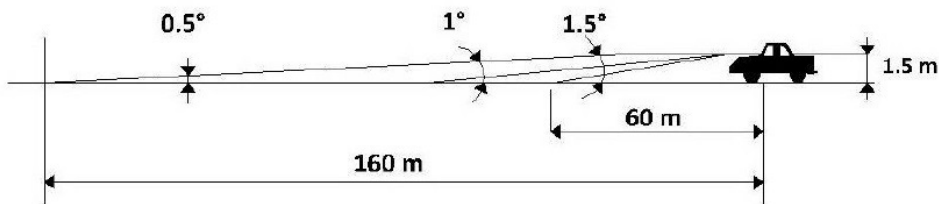


Εικ. 4.5 - Γωνίες από τις οποίες εξαρτάται ο συντελεστής λαμπρότητας

Πηγή: [30]

Ένας οδηγός παρατηρεί το τμήμα του δρόμου που βρίσκεται σε απόσταση 60 έως 160 m μπροστά από το όχημά του και το μάτι του βρίσκεται σε ύψος 1,5m από την οδό. Υπό αυτές τις συνθήκες η γωνία παρατηρήσεως είναι:

$$0.5^\circ \leq \alpha \leq 1.5^\circ$$



Εικ. 4.6 - Γωνίες παρατηρήσεως για το μέσο οδηγό - παρατηρητή

Πηγή:[29]

Στην πράξη, μεταξύ των δύο γωνιών (0.5° και 1.5°), ο συντελεστής q είναι ανεξάρτητος της γωνίας παρατηρήσεως και επομένως η τελευταία μπορεί να θεωρηθεί σταθερή και ίση με 1° . Για $\alpha = 1^\circ$ ο συντελεστής λαμπρότητας q μπορεί να μετρηθεί συναρτήσει των γωνιών β και γ μόνο, δηλαδή $q = q(\beta, \gamma)$.

Για τον υπολογισμό της λαμπρότητας σε σημείο είναι πιο πρακτική η χρήση του τύπου:

$$L = \frac{I \times r \times \Phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2}$$

Όπου:

L: η διατηρηθείσα λαμπρότητα σε cd/m²

I: η φωτεινή ένταση κατά διεύθυνση ορισμένη από το σύστημα συντεταγμένων σε cd/klm

r: ο μειωμένος συντελεστής λαμπρότητας, $r = q \times \cos^3 \gamma$

Φ: η αρχική φωτεινή ροή των λαμπτήρων σε κάθε φωτιστικό σε klm

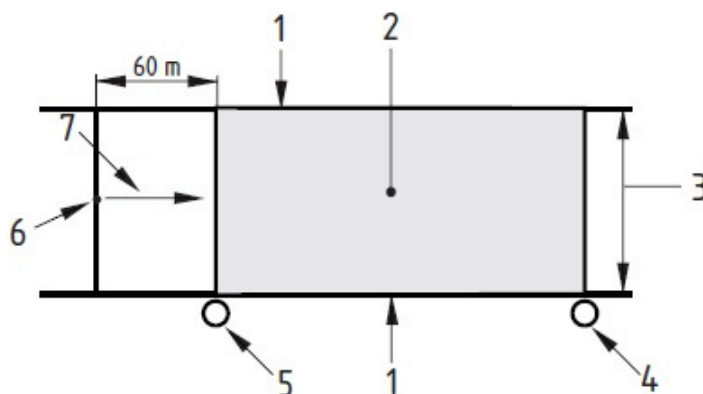
MF: το γινόμενο του συντελεστή συντήρησης του λαμπτήρα με το συντελεστή συντήρησης του φωτιστικού

H: το ύψος ανάρτησης των φωτιστικών πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος σε m

Η συνολική λαμπρότητα σε σημείο είναι ίση με τη συνολική συμβολή όλων των φωτιστικών σωμάτων.

➤ Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας

Σύμφωνα με το πρότυπο, κατά τη διαμήκη διεύθυνση της σχετικής περιοχής, το πεδίο υπολογισμού θα πρέπει να περιλαμβάνει δύο φωτιστικά στην ίδια σειρά, με το πρώτο φωτιστικό να βρίσκεται 60 m μπροστά από τον παρατηρητή. Όταν υπάρχουν περισσότερες από μία σειρές φωτιστικών και η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών διαφέρει μεταξύ των διάφορων σειρών, το πεδίο υπολογισμού θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ δύο φωτιστικών στη σειρά με την μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φωτιστικών.



Εικ. 4.7 - Πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας

Πηγή: [27]

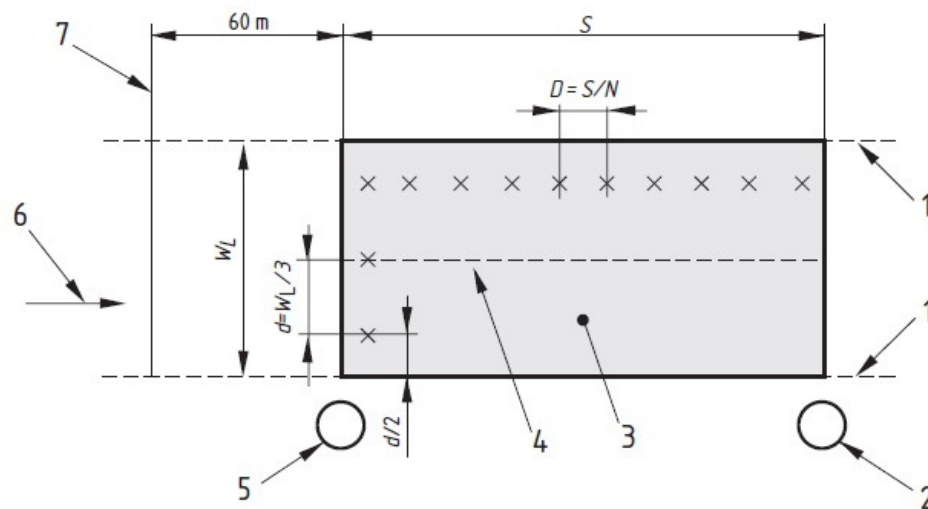
Επεξήγηση σχήματος:

1. Όρια της σχετικής περιοχής
2. Πεδίο υπολογισμού

3. Πλάτος της περιοχής
4. Τελευταίο φωτιστικό στην περιοχή υπολογισμού
5. Πρώτο φωτιστικό στην περιοχή υπολογισμού
6. Παρατηρητής
7. Διεύθυνση παρατήρησης

➤ **Θέση σημείων υπολογισμού λαμπρότητας**

Τα σημεία υπολογισμού της λαμπρότητας θα πρέπει να ισαπέχουν μεταξύ τους στο πεδίο υπολογισμού. Οι θέσεις τους σύμφωνα με το πρότυπο φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικ. 4.8 - Θέσεις σημείων υπολογισμού της λαμπρότητας σε μία λωρίδα κυκλοφορίας

Πηγή: [27]

Επεξήγηση σχήματος:

1. Όριο της λωρίδας
2. Τελευταίο φωτιστικό στο πεδίο υπολογισμού
3. Πεδίο υπολογισμού
4. Κεντρική γραμμή της λωρίδας
5. Πρώτο φωτιστικό στο πεδίο υπολογισμού
6. Κατεύθυνση παρατήρησης
7. Θέση του παρατηρητή

Το \times δηλώνει τις θέσεις των σημείων μέτρησης στην εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση.

Η απόσταση μεταξύ των σημείων στην εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση υπολογίζεται ως εξής:

- Στη **διαμήκη** διεύθυνση:

$$D = \frac{S}{N}$$

Όπου:

D: η απόσταση μεταξύ των σημείων στη διαμήκη διεύθυνση σε m

S: η απόσταση μεταξύ δύο φωτιστικών στην ίδια σειρά σε m

N: ο αριθμός των σημείων μέτρησης στη διαμήκη διεύθυνση με τις ακόλουθες τιμές:

- Για $S \leq 30$ m, τότε $N=10$
- Για $S > 30$ m, ο μικρότερος ακέραιος δίνει $D \leq 3$ m

Η πρώτη εγκάρσια γραμμή σημείων υπολογισμού βρίσκεται σε απόσταση $D/2$ μετά το πρώτο φωτιστικό.

- Στην **εγκάρσια** διεύθυνση:

Η απόσταση μεταξύ των σημείων υπολογισμού δίνεται από την εξίσωση:

$$d = \frac{W_L}{3}$$

Όπου

d: η απόσταση μεταξύ σημείων στην εγκάρσια διεύθυνση σε m

W_L: το πλάτος της λωρίδας σε m

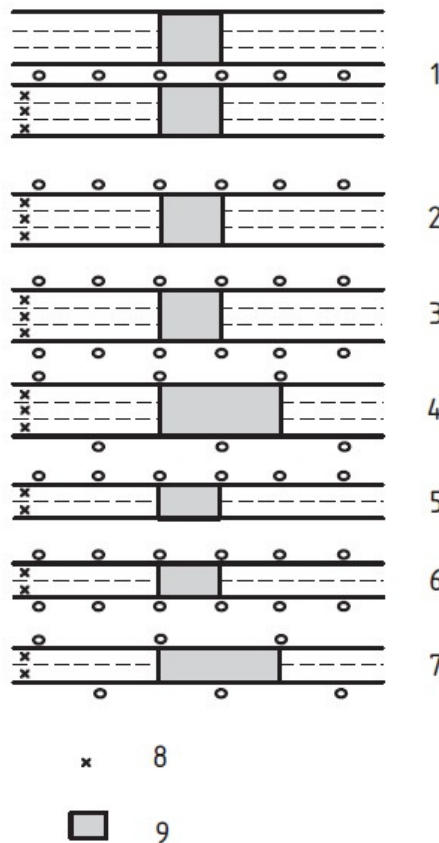
Τα ακραία σημεία υπολογισμού βρίσκονται σε απόσταση $d/2$ από τα όρια της λωρίδας.

➤ **Θέση του παρατηρητή**

Για να μετρήσουμε τη λαμπρότητα θα πρέπει το μάτι του παρατηρητή να βρίσκεται 1,5 m πάνω από το επίπεδο του δρόμου. Στην εγκάρσια διεύθυνση ο παρατηρητής θα πρέπει να βρίσκεται στο κέντρο κάθε λωρίδας. Η μέση λαμπρότητα, η συνολική ομοιομορφία και ο δείκτης θάμβωσης θα πρέπει να υπολογίζεται σε όλο το οδόστρωμα για κάθε θέση του παρατηρητή. Η διαμήκης ομοιομορφία πρέπει να υπολογίζεται για την κεντρική γραμμή κάθε λωρίδας.

Επεξήγηση σχήματος 4.9:

1. Οδός με έξι λωρίδες και κεντρική διάταξη φωτιστικών
2. Οδός με τρεις λωρίδες και μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών
3. Οδός με τρεις λωρίδες και αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών
4. Οδός με τρεις λωρίδες και χιαστί διάταξη φωτιστικών
5. Οδός με δύο λωρίδες και μονόπλευρη διάταξη φωτιστικών
6. Οδός με δύο λωρίδες και αμφίπλευρη διάταξη φωτιστικών
7. Οδός με δύο λωρίδες και χιαστί διάταξη φωτιστικών
8. Θέση παρατηρητή
9. Πεδίο υπολογισμού



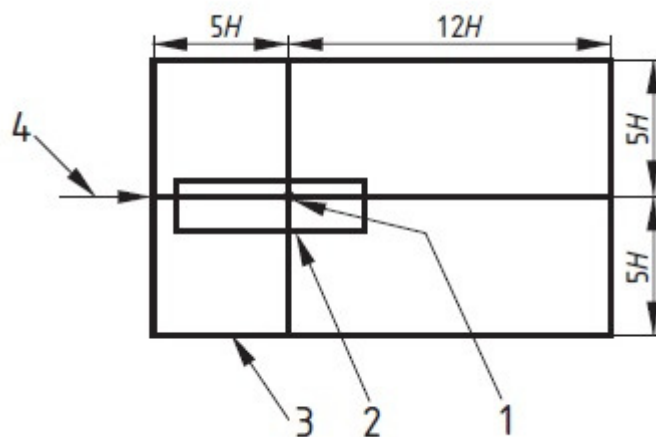
Εικ. 4.9 - Θέση σημείων παρατήρησης σε σχέση με το πεδίο υπολογισμού της λαμπρότητας, σε διάφορους τύπους οδών

Πηγή: [27]

➤ Φωτιστικά σώματα που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς

Τα σύνορα της περιοχής για τον εντοπισμό των φωτιστικών σωμάτων που θα περιληφθούν στους υπολογισμούς της λαμπρότητας σε σημείο καθορίζονται ως εξής:

- Το σύνορο στην εγκάρσια διεύθυνση, για κάθε πλευρά του παρατηρητή, να είναι τουλάχιστον πέντε φορές το ύψος ανάρτησης H εκατέρωθεν του σημείου υπολογισμού.
- Το σύνορο που βρίσκεται μακρύτερα από τον παρατηρητή να απέχει τουλάχιστον δώδεκα φορές το ύψος ανάρτησης H από το σημείο υπολογισμού στην αντίθετη από την κατεύθυνση προς τον παρατηρητή.
- Το σύνορο που είναι πιο κοντά στον παρατηρητή να απέχει τουλάχιστον πέντε φορές το ύψος ανάρτησης H από το σημείο υπολογισμού στην κατεύθυνση προς τον παρατηρητή.



Εικ. 4.10 - Σύνορα της περιοχής για τον εντοπισμό των φωτιστικών που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς λαμπρότητας σε σημείο

Πηγή: [27]

Επεξήγηση σχήματος:

1. Σημείο υπολογισμού
2. Σύνορο του πεδίου υπολογισμού
3. Σύνορο της περιοχής εντοπισμού των φωτιστικών.
4. Κατεύθυνση παρατήρησης

4.4.3.2 Μέθοδος Φωτεινότητας (Έντασης Φωτισμού)

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-3 μπορούν να υπολογισθούν οι εξής φωτεινότητες:

- Οριζόντια ένταση φωτισμού
- Ημισφαιρική ένταση φωτισμού
- Ημικυλινδρική ένταση φωτισμού
- Κατακόρυφη ένταση φωτισμού

➤ Υπολογισμός της οριζόντιας έντασης φωτισμού σε σημείο

Τα σημεία υπολογισμού πρέπει να τοποθετούνται στο επίπεδο του δρόμου, στη σχετική περιοχή. Η οριζόντια ένταση φωτισμού σε σημείο πρέπει να υπολογίζεται από τον τύπο:

$$E = \frac{I \times \cos^3 \gamma \times \Phi \times MF}{H^2}$$

όπου:

E: η διατηρηθείσα οριζόντια ένταση φωτισμού στο σημείο σε lux

I: η φωτεινή ένταση κατά διεύθυνση ορισμένη από το σύστημα συντεταγμένων σε cd/klm

γ : η γωνία προσπτώσεως του φωτός στο σημείο σε μοίρες

Φ : η αρχική φωτεινή ροή των λαμπτήρων σε κάθε φωτιστικό σε klm

MF: το γινόμενο του συντελεστή συντήρησης του λαμπτήρα με το συντελεστή συντήρησης του φωτιστικού

H: το ύψος ανάρτησης των φωτιστικών, πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος, σε μέτρα

Η συνολική ένταση φωτισμού σε σημείο είναι ίση με τη συνολική συμβολή όλων των φωτιστικών σωμάτων.

➤ **Πεδίο υπολογισμού της έντασης φωτισμού**

Το πεδίο υπολογισμού θα πρέπει να λαμβάνεται όπως στο Σχήμα 4.9.

➤ **Θέση σημείων υπολογισμού της έντασης φωτισμού**

Τα σημεία υπολογισμού της έντασης φωτισμού θα πρέπει να ισαπέχουν μεταξύ τους στο πεδίο υπολογισμού και το πλήθος τους θα πρέπει να επιλέγεται ως εξής:

- Στη **διαμήκη** διεύθυνση:

$$D = \frac{S}{N}$$

Όπου:

D: η απόσταση μεταξύ των σημείων στη διαμήκη διεύθυνση σε m

S: η απόσταση μεταξύ δύο φωτιστικών στην ίδια σειρά σε m

N: ο αριθμός των σημείων μέτρησης στη διαμήκη διεύθυνση με τις ακόλουθες τιμές:

- Για $S \leq 30$ m, τότε $N=10$
- Για $S > 30$ m, ο μικρότερος ακέραιος δίνει $D \leq 3$ m

Η πρώτη εγκάρσια γραμμή σημείων υπολογισμού βρίσκεται σε απόσταση $D/2$ μετά το πρώτο φωτιστικό.

- Στην **εγκάρσια** διεύθυνση:

Η απόσταση μεταξύ των σημείων υπολογισμού δίνεται από την εξίσωση:

$$d = \frac{W_r}{n}$$

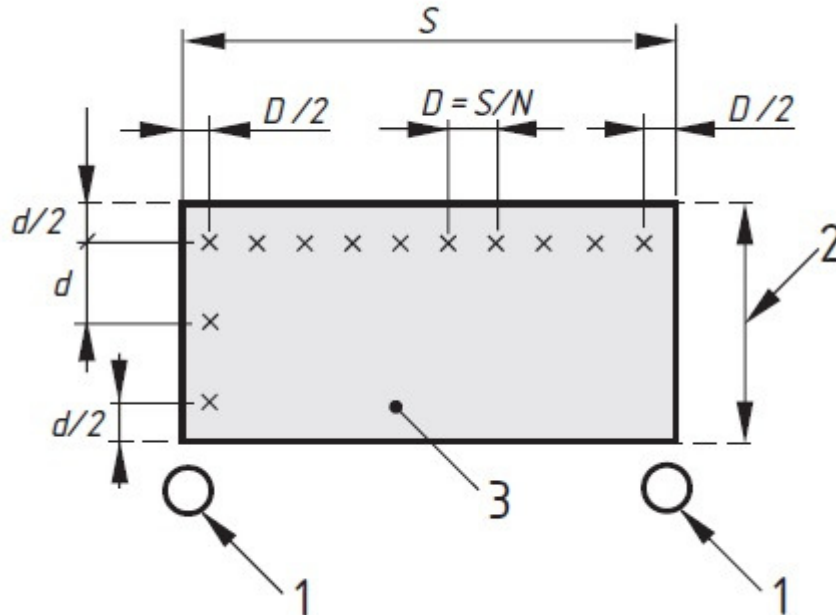
Όπου

d: η απόσταση μεταξύ σημείων στην εγκάρσια διεύθυνση σε m

W_r : το πλάτος της σχετικής περιοχής σε m

n: το πλήθος των σημείων στην εγκάρσια διεύθυνση το οποίο είναι ≥ 3 και συγκεκριμένα ο μικρότερος ακέραιος που δίνει $d \leq 1,5 \text{ m}$

Τα ακραία σημεία υπολογισμού βρίσκονται σε απόσταση $D/2$ στη διαμήκη διεύθυνση και $d/2$ στην εγκάρσια διεύθυνση, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.11.



Εικ. 4.11 - Θέσεις σημείων υπολογισμού της έντασης φωτισμού στη σχετική περιοχή

Πηγή: [27]

Επεξήγηση σχήματος:

1. Φωτιστικό
2. Πλάτος της σχετικής περιοχής W_r
3. Πεδίο υπολογισμού

Το x δηλώνει τις θέσεις των σημείων μέτρησης στην εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση.

➤ **Φωτιστικά σώματα που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς**

Φωτιστικά σώματα τα οποία είναι τοποθετημένα μέσα σε απόσταση ίση με πέντε φορές το ύψος ανάρτησης H από το σημείο υπολογισμού, θα πρέπει να περιλαμβάνονται στον υπολογισμό.

4.4.3.3 Υπολογισμός Ποιοτικών Χαρακτηριστικών

➤ **Χαρακτηριστικά Λαμπρότητας**

Μέση Λαμπρότητα (Average Luminance): θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των τιμών της λαμπρότητας στα σημεία του πλέγματος, του πεδίου υπολογισμού.

Συνολική Ομοιομορφία (Overall Uniformity): θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο λόγος της χαμηλότερης λαμπρότητας, που εντοπίζεται στα σημεία του πλέγματος, προς τη μέση λαμπρότητα.

Διαμήκης Ομοιομορφία (Longitudinal Uniformity): θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο λόγος της χαμηλότερης προς την υψηλότερη λαμπρότητα στη διαμήκη διεύθυνση, κατά μήκος της κεντρικής γραμμής κάθε λωρίδας, συμπεριλαμβανομένης της Λ.Ε.Α. όταν πρόκειται για αυτοκινητόδρομο. Το πλήθος των σημείων στη διαμήκη διεύθυνση (N) και η μεταξύ τους απόσταση θα πρέπει να είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της μέσης λαμπρότητας.

Η θέση του παρατηρητή θα πρέπει να είναι στην ίδια ευθεία με τη σειρά των σημείων υπολογισμού.

Δείκτης Θάμβωσης - Αύξηση Κατωφλίου TI (Threshold Increment): αποτελεί μια άλλη μέθοδο έκφρασης της επίδρασης της θάμβωσης. Ένα αντικείμενο το οποίο είναι οριακά ορατό, στο κατώφλι της ορατότητας, θα πάψει να είναι ορατό και θα ενσωματωθεί στο περιβάλλον όταν θα εμφανιστεί φυσιολογική θάμβωση. Το ποσοστό στο οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα περιβάλλοντος για να γίνει ξανά ορατό το αντικείμενο είναι γνωστό ως αύξηση κατωφλίου. Η τιμή του TI εξαρτάται από: ^[30]

- την διανομή του φωτός από το φωτιστικό μεταξύ 70° και 90° στο κατακόρυφο επίπεδο
- την λαμπρότητα του δρόμου
- την διάταξη των φωτιστικών
- το ύψος ανάρτησης
- την θέση του παρατηρητή

Η τιμή του TI υπολογίζεται από την σχέση:

$$TI = \frac{65}{L_{ave}^{0,8}} \times L_v \%$$

Όπου:

L_v: η ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου (veiling luminance) σε cd/m² για ένα παρατηρητή ο οποίος βλέπει σε ευθεία παράλληλη προς τον διαμήκη άξονα του δρόμου και 1° κάτω από το οριζόντιο επίπεδο

L_{ave}: η αρχική μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου σε cd/m², υπολογισμένη για φωτιστικά σε καινούρια κατάσταση και για λαμπτήρες που εκπέμπουν την αρχική φωτεινή ροή σε lm

Η λαμπρότητα L_v υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$L_v = 10 \times \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2}$$

Όπου:

Ε_κ: η ένταση φωτισμού σε lux, βασισμένη στην αρχική φωτεινή ροή σε lumens, που παράγεται από το κ-οστό φωτιστικό σε καινούρια κατάσταση και σε επίπεδο ομαλό στην ευθεία θέασης και στο ύψος του οφθαλμού του παρατηρητή

θ_κ: η γωνία μεταξύ της ευθείας θέασης και της ευθείας από τον παρατηρητή στο κέντρο του κ-οστού φωτιστικού

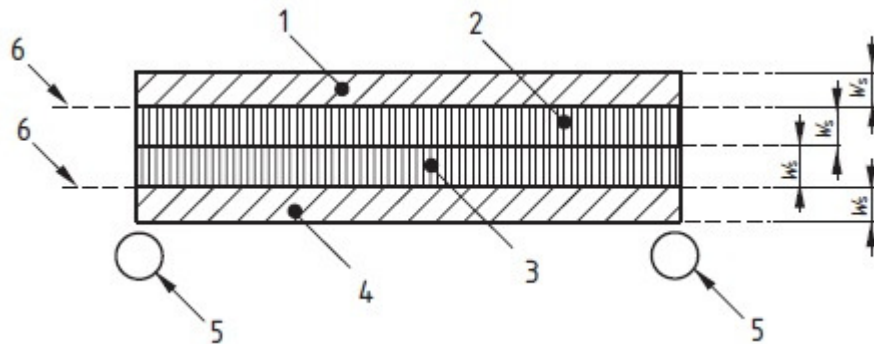
Η εξίσωση αυτή είναι έγκυρη για τιμές: $0,05 < L_{ave} < 5 \text{ cd/m}^2$ και $1,5 < \theta_k < 60^\circ$. Η σταθερά 10 είναι έγκυρη για παρατηρητή ηλικίας 23 ετών. Για άλλες ηλικίες, οι σταθερές μπορούν να υπολογίζονται από τη σχέση:

$$9,86 \times \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right]$$

Όπου A η ηλικία του παρατηρητή σε έτη.

Φωτισμός Περιβάλλοντος Χώρου SR (Surround Ratio): υπολογίζεται ως ο λόγος της μέσης έντασης φωτισμού σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων, ή μικρότερες αν υπάρχουν εμπόδια, δίπλα στην άκρη του οδοστρώματος, έξω από αυτό, προς τη μέση ένταση φωτισμού σε λωρίδες πλάτους 5 μέτρων επί του οδοστρώματος. Χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$SR = \frac{\text{Μέση ένταση φωτισμού λωρίδας 1} + \text{Μέση ένταση φωτισμού λωρίδας 4}}{\text{Μέση ένταση φωτισμού λωρίδας 2} + \text{Μέση ένταση φωτισμού λωρίδας 3}}$$



Εικ. 4.12 - Θέση και πλάτος λωρίδων για τον υπολογισμό του SR

Πηγή: [27]

Επεξήγηση σχήματος:

1. Λωρίδα 1
2. Λωρίδα 2
3. Λωρίδα 3
4. Λωρίδα 4
5. Φωτιστικό
6. Άκρη του οδοστρώματος

W_s : πλάτος λωρίδας για τον υπολογισμό του SR

➤ **Χαρακτηριστικά Φωτεινότητας (Έντασης Φωτισμού)**

Μέση Ένταση Φωτισμού (Average Illuminance): θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των τιμών της έντασης φωτισμού στα σημεία του πλέγματος, στο πεδίο υπολογισμού.

Ελάχιστη Ένταση Φωτισμού (Minimum Illuminance): θα πρέπει να λαμβάνεται η χαμηλότερη τιμή της έντασης φωτισμού, που εντοπίζεται στα σημεία του πλέγματος.

Ομοιομορφία Έντασης Φωτισμού (Uniformity of Illuminance): θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο λόγος της χαμηλότερης τιμής της έντασης φωτισμού, που εντοπίζεται στα σημεία του πλέγματος, προς τη μέση τιμή αυτής.

4.4.4 Μέρος 4^ο – Μέθοδοι Μέτρησης Επιδόσεων Φωτισμού

Στο τέταρτο μέρος του προτύπου διευκρινίζονται οι διαδικασίες για την πραγματοποίηση φωτομετρικών και σχετικών μετρήσεων σε εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού, ενώ δίνονται συμβουλές για τη χρήση των συσκευών μέτρησης της λαμπρότητας και της έντασης φωτισμού. Ο στόχος είναι να καθιερωθούν συμβάσεις και διαδικασίες για τη μέτρηση του φωτισμού σε οδικές εγκαταστάσεις. Οι συμβάσεις για τη θέση του παρατηρητή και τη θέση των σημείων μέτρησης είναι αυτές που υιοθετούνται στο τρίτο μέρος, EN 13201-3, το οποίο αναλύθηκε προηγουμένως. Αναγνωρίζονται οι συνθήκες που μπορεί να οδηγήσουν σε ανακρίβειες και δίδονται προληπτικά μέτρα για την ελαχιστοποίησή τους.

5 Συντήρηση Εγκατάστασης Οδικού Φωτισμού

Το κόστος συντήρησης είναι ένα σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους του κύκλου ζωής ενός συστήματος οδικού φωτισμού. Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του συστήματος, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το περιορισμό του κόστους αυτού. Κύριο αίτιο για την πραγματοποίηση συντήρησης σε μια εγκατάσταση οδοφωτισμού αποτελεί η με το χρόνο απώλεια της φωτεινής ροής των λαμπτήρων της. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, οι οποίοι ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες: τους μη αναστρέψιμους και τους αναστρέψιμους συντελεστές απωλειών φωτεινής ροής.

Οι **μη αναστρέψιμοι συντελεστές** αποδίδονται στις αντικειμενικές συνθήκες λειτουργίας και τον τρόπο λειτουργίας των φωτιστικών που από τη φύση τους δεν είναι δυνατόν να μεταβληθούν ή που το κόστος μεταβολής τους είναι απαγορευτικό. Οι σημαντικότεροι από τους συντελεστές αυτούς είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Τάση λειτουργίας φωτιστικού
- Στραγγαλιστικό πηνίο (ballast)
- Απομείωση επιφάνειας φωτιστικού σώματος
- Τρόπος λειτουργίας φωτιστικού σώματος

Οι **αναστρέψιμοι συντελεστές** αποδίδονται σε συνθήκες και χαρακτηριστικά λειτουργίας που μπορούν να μεταβληθούν με ανθρώπινη επέμβαση, όπως για παράδειγμα με την τακτική συντήρηση και καθαρισμό της εγκατάστασης φωτισμού αλλά και του χώρου. Οι σημαντικότεροι από τους συντελεστές αυτούς είναι οι εξής:

- Μείωση φωτεινής ροής λαμπτήρων λόγω γήρανσης (μέσω του συντελεστή LLD)
- Ρύπανση φωτιστικού σώματος (μέσω του συντελεστή LDD)
- Ρύπανση επιφανειών χώρου (μέσω του συντελεστή RSDD)
- Καταστροφή και αντικατάσταση λαμπτήρων (μέσω του συντελεστή LBO)

Το γινόμενο όλων των ανωτέρω συντελεστών, αναστρέψιμων και μη, παρέχει το **συνολικό συντελεστή απωλειών φωτός LLF (Light Loss Factor)**.^[38]

Πρέπει να σημειωθεί ότι για μερικούς από τους παράγοντες απωλειών, υπάρχουν πειραματικά και εμπειρικά δεδομένα που επιτρέπουν τον υπολογισμό τους. Τούτο όμως δεν συμβαίνει για κάποιους άλλους παράγοντες, για τους οποίους μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για ένα μεθοδικό υπολογισμό τους. Στην περίπτωση αυτή, η εκτίμηση της τιμής τους επαφίεται στην κρίση και την εμπειρία του μελετητή. Σε συνδυασμό, αυτοί οι παράγοντες μπορούν να μειώσουν την παραγωγή φωτός κατά 20 έως 60%.^[18]

5.1 Πρόγραμμα Συντήρησης Εγκατάστασης Οδικού Φωτισμού

Το πρόγραμμα της συντήρησης περιλαμβάνει επισκέψεις συνεργείου, το οποίο απαρτίζεται από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό, στην εγκατάσταση για την πραγματοποίηση συγκεκριμένων ενεργειών. Η συχνότητα των επισκέψεων εξαρτάται από:

- τη φύση της οδικής εγκατάστασης (αστικού περιβάλλοντος, γενικής χρήσης, αυτοκινητόδρομος)
- τη σημασία της γύρω περιοχής καθώς και τη κατηγοριοποίηση των οδών, αν πρόκειται για οδούς αστικού περιβάλλοντος
- το κλίμα και το βαθμό ρύπανσης της ατμόσφαιρας ^[2]

Οι ενέργειες που πραγματοποιούνται σε κάθε επίσκεψη περιλαμβάνουν:

- τον καθαρισμό του λαμπτήρα
- τη σωστή εστίαση του λαμπτήρα
- τον καθαρισμό του σώματος του φωτιστικού και κυρίως των οπτικών εξαρτημάτων
- τον έλεγχο των βοηθητικών κυκλωμάτων
- τον έλεγχο των μηχανικών μερών του συστήματος

5.1.1 Καθαρισμός

Ο βαθμός στον οποίο ο αερομεταφερόμενος ρύπος και η ρύπανση μειώνει την παραγωγή φωτός, εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα της σφράγισης των φωτιστικών, δηλαδή την IP βαθμονόμηση, και την ποιότητα του περιβάλλοντος. Γενικά, όσο πιο βαριά ρυπογόνα είναι η ζώνη ή/και υψηλής κυκλοφορίας η περιοχή, τόσο πιο συχνόί πρέπει να είναι οι κύκλοι καθαρισμού, για παράδειγμα κάθε 8.000 ώρες. ^[2]

5.1.2 Μηχανικός Έλεγχος

Περιλαμβάνει περιοδικό έλεγχο σε ετήσια περίπου βάση, του ιστού, του εδάφους, του βραχίονα, των υποστηριγμάτων, της κατευθυντικότητας του βραχίονα και όλων των λοιπών μηχανικών μερών όπως βίδες, παξιμάδια κ.λ.π. ^[31]

5.1.3 Οπτικός και Ηλεκτρολογικός Έλεγχος

Ο οπτικός και ηλεκτρολογικός έλεγχος περιλαμβάνει:

- Έλεγχο κάθε 12 ή 18 μήνες της γείωσης του ιστού, των υποστηριγμάτων και των σηματοδοτών μαζί με το φωτισμό
- Έλεγχο της μόνωσης όλων των μεταλλικών στοιχείων της εγκατάστασης
- Περιοδικός έλεγχος, κάθε δύο έτη, του δικτύου διανομής
- Περιοδικός έλεγχος, κάθε δύο έτη, των επαφών στο εσωτερικό του ιστού και στο τμήμα από το βραχίονα έως τον λαμπτήρα

- Περιοδικές μετρήσεις της έντασης φωτισμού και της λαμπρότητας των λωρίδων κυκλοφορίας [31]

5.1.4 Αντικατάσταση Λαμπτήρων

Εκτός των παραπάνω, το συνεργείο της συντήρησης πραγματοποιεί και την αντικατάσταση των λαμπτήρων σημειακά ή ομαδικά. Πιο αναλυτικά:

Σημειακή αντικατάσταση είναι η διαδικασία αντικατάστασης ενός λαμπτήρα όταν και μόνο όταν αυτός αποτύχει. Αρκετοί Δήμοι και εταιρείες διανομής ηλεκτρισμού εξαρτώνται από τις εκθέσεις της αστυνομίας ή τις κλήσεις των πολιτών για να εντοπίσουν τέτοιες διακοπές λειτουργίας. Η μεθοδολογία αυτή, η οποία είναι γενικά αποδεκτή στις αναπτυγμένες χώρες, αποτελεί μια ακριβή επιλογή, ειδικά εάν οι δαπάνες εργατικού δυναμικού είναι υψηλές. Άλλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου, είναι οι διαφορές που παρατηρούνται στην παραγωγή φωτός ανάμεσα σε νέους λαμπτήρες που αντικαταστάθηκαν και στους παλιούς που πλησιάζουν στην αστοχία και αποδίδουν σημαντικά λιγότερο φως.

Ομαδική αντικατάσταση είναι η διαδικασία περιοδικής αντικατάστασης των λαμπτήρων, σε ένα καθορισμένο χρονικό πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό καθορίζεται από τη χρονική στιγμή που το συνολικό κόστος της εγκατάστασης, της ενεργειακής χρήσης και της αντικατάστασης, βρεθεί στο ελάχιστό του. Σε πολλές περιπτώσεις, μια ομαδική αντικατάσταση που λαμβάνει χώρα στα 2/3 έως 3/4 της εκτιμώμενης διάρκειας ζωής των λαμπτήρων, παρέχει το συνδυασμό των κατώτατων αποδεκτών επιπέδων φωτισμού και των περιορισμένων διακοπών λειτουργίας που παράγουν το χαμηλότερο κόστος. Αποτελεί την πιο οικονομική μέθοδο, αλλά και την πιο πρακτική και ασφαλή, καθώς πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποφεύγοντας τον κίνδυνο έκθεσης του συνεργείου στην νυχτερινή κίνηση, ενώ δεν προκαλείται θόρυβος στη γειτονιά. Επίσης, κατά τη διάρκεια των εργασιών, το δίκτυο φωτισμού δεν τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό, γεγονός που ελαχιστοποιεί την πιθανότητα ατυχήματος. [7], [31]

Μια καλή πρακτική φαίνεται να είναι, μετά το πέρας των πρώτων 100 ωρών λειτουργίας της εγκατάστασης, μια επίσκεψη για την καταγραφή του ποσοστού των λαμπτήρων που απέτυχαν σύντομα μετά την πρώτη έναυση.

5.2 Συντελεστής Συντήρησης Εγκατάστασης MF (Maintenance Factor)

Ένα από τα κύρια δεδομένα εισόδου στο σχεδιασμό του οδικού φωτισμού είναι ο συντελεστής συντήρησης του συστήματος. Ο συντελεστής αυτός είναι προϊόν δύο ξεχωριστών συντελεστών και εφαρμόζεται στη διαδικασία σχεδιασμού, ώστε να διασφαλιστεί ότι το επίπεδο του φωτισμού δεν θα πέσει ποτέ κάτω από το συνιστώμενο, για την κάθε κατηγορία οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN-13201. Οι συντελεστές, που το γινόμενό τους δίνει το συντελεστή MF, είναι οι εξής:

- **Συντελεστής Συντήρησης της Φωτεινής Ροής του Λαμπτήρα LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor):** ο λόγος της εκπεμπόμενης φωτεινής ροής του λαμπτήρα σε δεδομένη στιγμή της διάρκειας ζωής του, προς την εκπεμπόμενη φωτεινή ροή στην αρχή της διάρκειας

ζωής του. Η τιμή του συντελεστή λαμβάνεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη του λαμπτήρα, στοιχείο που παρέχεται από τον κατασκευαστή.

- **Συντελεστής Συντήρησης του Φωτιστικού LMF** (Luminaire Maintenance Factor): ο λόγος του εκπεμπόμενου φωτός του φωτιστικού σε μια δεδομένη στιγμή της διάρκειας ζωής του, προς το εκπεμπόμενο φως στην αρχή της διάρκειας ζωής του. Η τιμή του συντελεστή επηρεάζεται από την ποιότητα στεγανότητας (κατηγοριοποίηση IP) του φωτιστικού, την περιβαλλοντική ρύπανση της περιοχής και από τη συχνότητα καθαρισμού. Λαμβάνεται συνήθως από τους πίνακες της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού C.I.E. ή από τον κατασκευαστή του φωτιστικού. ^[5]

Στην τελική επιλογή των τιμών των συντελεστών αυτών εισέρχεται η κρίση του μελετητή, καθώς οι τιμές από τους κατασκευαστές αφορούν σε εργαστηριακές συνθήκες οι οποίες διαφέρουν, εν γένει, από τις πραγματικές συνθήκες της εγκατάστασης φωτισμού.

Ο συντελεστής MF λαμβάνει συνήθως τιμές από 0,7 έως 0,9 ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα, την ισχύ του, την προστασία του φωτιστικού, την τοποθεσία και τη συχνότητα συντήρησης. Στο σχεδιασμό, η τιμή του συντελεστή πολλαπλασιάζεται με την μέση ένταση φωτισμού ή τη μέση λαμπρότητα της οδικής επιφάνειας στην αρχή της λειτουργίας του συστήματος, για να προκύψουν οι αντίστοιχες ελάχιστες διατηρηθείσες μέσες τιμές E_{av} ή L_{av} στο τέλος της περιόδου συντήρησης. Αυτό σημαίνει ότι με μείωση του συντελεστή MF, προκύπτουν χαμηλότερες τιμές των φωτοτεχνικών μεγεθών στο τέλος της περιόδου συντήρησης. Εάν ο περιοριστικός παράγοντας στο σχεδιασμό είναι τα μέσα επίπεδα φωτισμού, τότε μείωση του συντελεστή MF θα οδηγήσει σε μειωμένη βέλτιστη απόσταση μεταξύ των ιστών των φωτιστικών σωμάτων. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερο αριθμό ιστών και φωτιστικών στην εγκατάσταση, το οποίο οδηγεί σε αύξηση του κόστους επένδυσης, αλλά και του κόστους λειτουργίας (ενεργειακή κατανάλωση και συντήρηση). ^[6]

Τα προγράμματα σχεδιασμού μέσω προσομοιώσεων φωτισμού, όπως αυτό που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, υπολογίζουν αυτές τις ελάχιστες διατηρηθείσες τιμές φωτεινότητας και λαμπρότητας. Προφανώς, οι αρχικές τιμές των μεγεθών αυτών θα είναι αρκετά υψηλότερες αμέσως μετά την εγκατάσταση του συστήματος και υπολογίζονται από το κλάσμα των E_{av} ή L_{av} προς το συντελεστή MF.

Για μελέτες για φωτισμού ανοικτής οδοποιίας στην Ελλάδα, λαμβάνεται συντελεστής συντήρησης εγκατάστασης MF=0,7 σύμφωνα με τις Οδηγίες Συντάξεως Μελετών Οδοποιίας. ^[36]

5.3 Συντήρηση σε Εγκατάσταση με Φωτιστικά Τεχνολογίας LED

Επιπρόσθετα παρατίθενται κάποιες παρατηρήσεις και προτάσεις που αφορούν εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού τεχνολογίας LED, λόγω των ιδιοτήτων της τεχνολογίας αυτής και των διαφορών από τα συστήματα συμβατικής τεχνολογίας.

Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς λαμπτήρες εκκένωσης HID (Νατρίου, Μεταλλικών Αλογονιδίων κ.λ.π.), οι λαμπτήρες LED γενικά δεν αστοχούν με διακοπή λειτουργίας, ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας. Για το λόγο αυτό στα LED, ο **συντελεστής θνησιμότητας LBO** πλησιάζει τη

μονάδα και η επιρροή του στην εκτίμηση του συντελεστή απωλειών φωτός LLF είναι σχεδόν αμελητέα. Αυτό που συμβαίνει, ύστερα από μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας των LED, είναι μια απαξίωση της φωτεινής ροής τους. Παρόλα αυτά, ένα καλό φωτιστικό οδών αυτής της τεχνολογίας μπορεί να παράγει άνω του 80% της αρχικής φωτεινής ροής του ύστερα από 100.000 ώρες, ήτοι 25 έτη για τυπικές εγκαταστάσεις.

Ασφαλώς εκτιμάται ότι ύστερα από ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα, οι πηγές φωτισμού θα είναι πιο αποδοτικές, διαφορετικά σχεδιασμένες και μηχανικά μη συμβατές με τα σημερινά φωτιστικά σώματα. Δεδομένου ότι και οι σημερινοί λαμπτήρες LED δε θα είναι διαθέσιμοι, δεν έχει νόημα ο σχεδιασμός με τη μέθοδο της αντικατάστασης λαμπτήρων, όπως θα είχε για παράδειγμα εάν επρόκειτο για λαμπτήρες εκκένωσης HID. Μελλοντικά, το οικονομικά λογικό θα είναι η αντικατάσταση των φωτιστικών με τα εκάστοτε, τελευταίας τεχνολογίας, διαθέσιμα.

Με δεδομένη τη μεγάλη διάρκεια ζωής των LED, αλλάζει ριζικά η προσέγγιση του σχεδιασμού ενός μακροπρόθεσμου προγράμματος συντήρησης. Τα δύο σημαντικά θέματα που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η σημειακή αντικατάσταση εξαρτημάτων και ο καθαρισμός του φωτιστικού. Πιο αναλυτικά: ^[12]

5.3.1 Σημειακή Αντικατάσταση Εξαρτημάτων

Αντίθετα από τα συστήματα τεχνολογίας εκκένωσης HID, στα οποία αποτυγχάνουν οι λαμπτήρες, οι εκκινητές και τα στραγγαλιστικά πηνία, στα συστήματα LED προς αντικατάσταση είναι μόνο οι οδηγοί, δηλαδή τα ηλεκτρονικά κυκλώματα για την οδήγηση των LED. Τα κυκλώματα αυτά σήμερα, εκτιμάται ότι έχουν 100.000 ώρες ζωής, οπότε οι αντικαταστάσεις αναμένονται αρκετά σπάνιες, πιθανόν λιγότερες από 1% στη διάρκεια ζωής του συστήματος.

Η διατήρηση αποθέματος αντικατάστασης σε εξαρτήματα κρίνεται μη πρακτική, καθώς ολόκληρο το φωτιστικό καλύπτεται από εγγύηση του κατασκευαστή για τα πρώτα 5 με 10 έτη. Έτσι προτείνεται η αντικατάσταση ολόκληρης της μονάδας σε περίπτωση περιστασιακής αποτυχίας. Αυτό θα επιτρέψει στην αρχή διαχείρισης μεγαλύτερη ευελιξία εάν χρησιμοποιηθούν στο μέλλον προϊόντα διαφορετικής γενιάς ή διαφορετικού κατασκευαστή.

5.3.2 Καθαρισμός Φωτιστικού

Λόγω της σχετικά πρόσφατης χρησιμοποίησης της τεχνολογίας LED στον οδικό φωτισμό, δεν υπάρχουν εκτενή δεδομένα πεδίου που να περιγράφουν ένα ακριβές πρόγραμμα καθαρισμού για διαφορετικούς τύπους περιβάλλοντος. Τα φωτιστικά LED παράγουν πολύ λιγότερη θερμότητα στα οπτικά τους μέρη σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικής τεχνολογίας, οπότε αναμένεται λιγότερη σκόνη να επικάθεται σε αυτά, από όση συνηθίζεται σε φωτιστικά εξωτερικού χώρου. Για το λόγο αυτό αναμένεται να παρατηρηθεί σημαντικά χαμηλότερος **συντελεστής απαξίωσης λόγω ρύπων LDD** (Luminaire Dirt Depreciation) στα φωτιστικά LED. Παρακάτω δίνονται κάποια βήματα για την εκτίμηση της συχνότητας καθαρισμού των φωτιστικών:

- Έλεγχος των επιπέδων φωτισμού αμέσως μετά την εγκατάσταση των φωτιστικών, στην ίδια στάθμη, ακριβώς κάτω από το φωτιστικό, σε διάφορους ιστούς, με χρήση λουξόμετρου. Αποθήκευση των μετρήσεων.

- Σε ετήσια βάση, επανέλεγχος των επιπέδων φωτισμού στις ίδιες θέσεις και σύγκριση των μετρήσεων.
- Συνιστάται ο έλεγχος να πραγματοποιείται την ίδια περίοδο του έτους για να αποφεύγονται διαφορές λόγω θερμοκρασίας.
- Στα LED συχνά παρατηρείται μια αρχική αύξηση στην παραγωγή φωτός πριν ξεκινήσει η απαξίωση, οπότε δεν αποκλείεται μετρήσεις μετά από το πρώτο έτος να είναι υψηλότερες από τις αρχικές.
- Όταν τα επίπεδα φωτισμού, ύστερα από κάποια έτη, έχουν μειωθεί κατά ποσοστό άνω του 10%, να πραγματοποιείται πλύση από χαμηλά με υψηλή πίεση στους φακούς και κατόπιν να επανελέγχονται τα επίπεδα φωτισμού. Εάν δεν παρατηρείται σημαντική βελτίωση, ίσως χρειασθεί να καθαριστούν οι φακοί από κοντά με βρεγμένο πανί.
- Περιοδικός επανέλεγχος των επιπέδων φωτισμού, ώστε τελικά να σχεδιαστεί ένα πρόγραμμα καθαρισμού βασισμένο στη συχνότητα που απαιτείται για να διατηρηθούν τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού. ^[12]

5.3.3 Συντελεστής Συντήρησης MF σε Εγκαταστάσεις Τεχνολογίας LED

Ο συντελεστής συντήρησης MF ενός συστήματος οδικού φωτισμού με LED, δίνεται από τη σχέση:

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

Όπου:

LLMF, LMF: οι συντελεστές όπως ορίστηκαν προηγουμένως

LSF: ο συντελεστής επιβίωσης του λαμπτήρα (Lamp Survival Factor), δηλαδή το καθορισμένο ποσοστό λαμπτήρων που σε δεδομένη στιγμή, υπό καθορισμένες συνθήκες, εξακολουθούν να λειτουργούν βάσει καθορισμένων συνθηκών και συχνότητας έναυσης - απενέναυσης.

Στους λαμπτήρες LED η απώλεια της φωτεινής ροής μπορεί να αποφευχθεί, εν μέρει, με αύξηση της έντασης του ρεύματος και οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή LLMF. Επίσης, λόγω της αξιοπιστίας της τεχνολογίας LED, προβλέπονται ελάχιστες αστοχίες λαμπτήρων σε μικρό διάστημα μετά την έναρξη λειτουργίας, γι' αυτό και ο συντελεστής LSF λαμβάνει τιμές που πλησιάζουν τη μονάδα. Όπως προαναφέρθηκε, στα LED παρατηρείται μικρότερη συσσώρευση σκόνης αλλά και εντόμων, λόγω χαμηλότερης εκπομπής θερμικής και υπεριώδους ακτινοβολίας, γεγονός που οδηγεί τους κατασκευαστές να αναπροσαρμόζουν προς τα πάνω τις τιμές του συντελεστή LMF που λαμβάνουν από την C.I.E. ^{[15], [19]}

Συνεπώς, με τη λήψη κατάλληλων μέτρων, αλλά και τη χρησιμοποίηση φωτιστικών LED από αξιόπιστες εταιρείες, είναι δυνατή η επιλογή υψηλότερης τιμής του συντελεστή συντήρησης από τον μελετητή, από την οποία θα προκύψουν, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά οφέλη.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, στις προσομοιώσεις φωτισμού, ελήφθη συντηρητικά κατά Ο.Σ.Μ.Ε.Ο., συντελεστής συντήρησης MF = 0,7.

5.4 Διάθεση Αποβλήτων

Κατά την αντικατάσταση ενός συστήματος φωτισμού με ένα άλλο παράγονται απόβλητα. Η συμβατική ρήτρα απόδοσης, απαιτεί από τις εταιρείες εγκατάστασης να χρησιμοποιούν τους σχετικούς διαύλους για τη συλλογή και ανακύκλωση των συστημάτων φωτισμού που αντικαθίστανται, σύμφωνα με την οδηγία σχετικά με τα Απόβλητα ειδών Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) του Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης (Ε.Ο.ΑΝ.).^[43]

Τα ανακυκλώσιμα είδη περιλαμβάνουν όλα τα φωτιστικά σώματα καθώς και όλα τα είδη λαμπτήρων όπως LED, σωληνοειδείς φθορισμού, συμπαγείς φθορισμού, καθώς και εκκενώσεως υψηλής πίεσεως όπως νατρίου, υδραργύρου, μεταλλικών αλογονιδίων.

Τα φωτιστικά παραδίδονται στις δύο συμβεβλημένες εγχώριες μονάδες ανακύκλωσης και από τα υλικά τους προκύπτουν μέταλλα σιδηρούχα, χαλκός, αλουμίνιο, γυαλί, πλαστικό κ.λ.π., τα οποία σε πολύ μεγάλο ποσοστό επαναχρησιμοποιούνται. Τα προϊόντα ειδικής διαχείρισης που προκύπτουν, προωθούνται σε εταιρείες με ειδική άδεια για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Όσο για τους λαμπτήρες, δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα εργοστάσιο επεξεργασίας. Κατά συνέπεια, οι λαμπτήρες αποθηκεύονται προσωρινά, μέχρις ότου συγκεντρωθούν επαρκείς ποσότητες, οπότε και αποστέλλονται για επεξεργασία σε εξειδικευμένες μονάδες στο εξωτερικό. Προκύπτουν έτσι μέταλλα, γυαλί, πούδρα φθορισμού, υδράργυρος, τα οποία αφού επεξεργαστούν και καθαριστούν, επαναχρησιμοποιούνται.^[46]

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στους λαμπτήρες υδραργύρου, οι οποίοι περιέχουν τη μεγαλύτερη, σε σχέση με τους υπόλοιπους λαμπτήρες εκκένωσης, ποσότητα υδραργύρου, το οποίο είναι εξαιρετικά τοξικό μέταλλο. Οι λαμπτήρες αυτοί χρησιμοποιούνταν ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα για οδικό φωτισμό, ενώ εδώ και κάποια χρόνια αντικαθίστανται μαζί με άλλης τεχνολογίας (π.χ. νατρίου), κατά τη διάρκεια ανακατασκευών στα συστήματα φωτισμού.^[31]

6 Μέτρα Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Οδικό Φωτισμό

Οποιοδήποτε μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει να προϋποθέτει τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του προτύπου για την κατηγορία φωτισμού κάθε οδού. Εξοικονόμηση ενέργειας στον οδικό φωτισμό σημαίνει μειωμένη κατανάλωση σε κιλοβατώρες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με περιορισμό της απαιτούμενης ισχύος είτε με μείωση των ωρών λειτουργίας του συστήματος.

Ο **περιορισμός της ισχύος** μπορεί να γίνει με συγκεκριμένα μέτρα όπως:

- Αντικατάσταση των παλαιών λαμπτήρων με νέους, πιο αποδοτικούς και μεγαλύτερης διάρκειας ζωής
- Απομάκρυνση περιττών λαμπτήρων σε περιπτώσεις υπερφωτισμένων οδών
- Αντικατάσταση παλαιών φωτιστικών με νέα, καλύτερης διάχυσης φωτός και υψηλότερου βαθμού στεγανότητας
- Χρήση οδοστρωμάτων με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες
- Βελτιστοποίηση του προγράμματος συντήρησης
- Διαβάθμιση της ισχύος του συστήματος (dimming), για συγκεκριμένες ώρες, με κυκλοφοριακά κριτήρια

Η **μείωση των ωρών λειτουργίας** μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κατάλληλων αυτοματισμών όπως φωτοκύτταρα, χρονοδιακόπτες κ.ά., προκειμένου ο φωτισμός να ενεργοποιείται όταν υπάρχει λόγος και στην ποσότητα που είναι αναγκαίος.

Οι παράμετροι που έχουν παρουσιαστεί στο πρότυπο EN13201 είναι σχετικές κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να ποικίλουν στις διαφορετικές ώρες κατά τη διάρκεια της νύχτας και επίσης στις διαφορετικές εποχές του έτους, κατά συνέπεια οι εξεταζόμενες περιπτώσεις φωτισμού μπορούν να ποικίλουν κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων. Σημαντικές διαφορές στις τιμές των παραμέτρων μπορεί να υπάρξουν σε διαφορετικές περιόδους της νύχτας, ιδίως στην φωτεινότητα του περιβάλλοντος και στην κυκλοφοριακή ροή. Για αυτόν το λόγο μία πιο λεπτομερής ανάλυση της κυκλοφοριακής ροής μπορεί να είναι απαραίτητη, από αυτή που παρέχεται από την μέση ημερήσια κυκλοφοριακή ροή (ΜΗΚ).^[25]

Συνεπώς το ίδιο το πρότυπο καθοδηγεί τις υπηρεσίες λειτουργίας των εγκαταστάσεων φωτισμού ανάλογα με τις παραμέτρους που εμφανίζονται, να κατατάσσουν τον φωτιζόμενο δρόμο ή την φωτιζόμενη περιοχή, για διάφορες ώρες κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε διαφορετικές κατηγορίες φωτισμού και συνεπώς να μειώνουν την στάθμη φωτισμού στις περιοχές αυτές για τις συγκεκριμένες ώρες.

Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η στάθμη φωτισμού κατά την πρώτη περίοδο λειτουργίας μίας εγκατάστασης φωτισμού, καθώς και η περίοδος μετά την αντικατάσταση των λυχνιών και τον καθαρισμό των φωτιστικών, όπου για συντελεστή συντήρησης π.χ. 0,70 η στάθμη φωτισμού θα είναι κατά 43% μεγαλύτερη από την επιθυμητή, για συντελεστή συντήρησης π.χ. 0,60 η στάθμη φωτισμού θα είναι κατά 67% μεγαλύτερη από την επιθυμητή, κ.ο.κ. Στις περιπτώσεις αυτές συνυπολογίζοντας τις προαναφερθέντες παραμέτρους, πιθανόν να επιβάλλεται, η μείωση του επιπέδου φωτισμού, για κάποιες χρονικές περιόδους της νύχτας.^[42]

6.1 Γενικές Συστάσεις για τον Ελλαδικό Χώρο

Διάφορες μέθοδοι μείωσης του φωτισμού μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να υπάρξει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποιες περιόδους κατά την νύχτα.

Ο πιο απλός τρόπος που εφαρμόζεται στις εγκαταστάσεις οδοφωτισμού στην Ελλάδα είναι μέσω διπλού στραγγαλιστικού πηνίου (ballast) που εφαρμόζεται στο φωτιστικό και ιδιαίτερου καλωδίου μέσω του οποίου δίδεται εντολή από επαφή χρονοδιακόπτη για μεταγωγή σε συνθήκες μειωμένου επιπέδου φωτισμού κατά 50%. Στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται οικονομία στη κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας για αυτές τις ώρες έως και 40%.

Φυσικά υπάρχουν και άλλες πιο δαπανηρές, όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης, μέθοδοι, που μπορούν γραμμικά να μειώνουν το επίπεδο φωτισμού από το 100% έως και 20% του αρχικού, οι οποίες μπορούν μετά από τεχνοοικονομική μελέτη να εφαρμόζονται, λαμβάνοντας σαν κριτήριο όχι αποκλειστικά το οικονομικό κόστος, αλλά και τις περιβαλλοντικές πτυχές.

Άλλη μία βασική προϋπόθεση στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και βελτίωση της ποιότητας των εγκαταστάσεων φωτισμού είναι η τακτική προληπτική συντήρηση.

Τα σύγχρονα φωτιστικά σώματα με λαμπτήρες βελτιωμένης απόδοσης, υψηλής απόδοσης ανακλαστήρες και ηλεκτρονικά όργανα έναυσης, έχουν υψηλή αποδοτικότητα και παρουσιάζουν υψηλές τιμές ομοιομορφίας φωτισμού. Συνεπώς η αντικατάσταση παλαιών φωτιστικών σωμάτων παρωχημένης τεχνολογίας, μπορεί και να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και να δημιουργήσει καλύτερες συνθήκες φωτισμού.

Πρέπει να προτιμούνται φωτιστικά σώματα προστασίας IP 65 και IP 66, επειδή η απόδοση τους λόγω ρύπανσης μειώνεται λιγότερο.

Ειδικά για τον δημοτικό φωτισμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί λευκό φως, αντικαθιστώντας τους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης που δίνουν κίτρινο φως και τους λαμπτήρες υδραργύρου που έχουν μικρή απόδοση, με φωτιστικά τεχνολογίας LED, τα οποία έχουν υψηλότερη θερμοκρασία χρώματος και υψηλότερο δείκτη χρωματικής απόδοσης, με αποτέλεσμα να προσφέρουν πιο ευχάριστο περιβάλλον, καλύτερη ευκρίνεια και ποιότητα φωτισμού.^[42]

6.2 Τεχνολογία Ελέγχου Φωτισμού Οδών

6.2.1 Χρονοδιακόπτες

Από τις πιο παλιές μεθόδους ελέγχου του εξωτερικού φωτισμού είναι αυτή με χρήση χρονοδιακοπών. Οι χρονοδιακόπτες προσαρμόζουν το φως ανάλογα με τις εποχιακές και χρονικές αλλαγές. Χρησιμοποιούνται για τη θέση σε λειτουργία ή την παύση του εκάστοτε συστήματος φωτισμού σε προκαθορισμένες στιγμές κατά την διάρκεια της ημέρας. Επίσης στην περίπτωση φωτισμού ενός χώρου κατά την διάρκεια μόνο της νύχτας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση του οδοφωτισμού, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ηλιακός χρονοδιακόπτης (solar timer) προγραμματισμένος να αναβοσβήνει τα φώτα λαμβάνοντας υπόψη και την εποχιακή αλλαγή της διάρκειας της ημέρας.

6.2.2 Φωτοκύτταρα – Φωτοαισθητήρες

Τα φωτοκύτταρα είναι κυκλώματα σιλικόνης τα οποία αντιδρούν στην ύπαρξη φωτός και μετατρέπουν την φωτεινή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αντίθεση με τους χρονοδιακόπτες οι οποίοι λειτουργούν με βάση τον χρόνο δηλαδή την ώρα που θα πρέπει να ανάψουν ή να σβήσουν τα φώτα, τα φωτοκύτταρα αντιδρούν με βάση τα επίπεδα φωτισμού του περιβάλλοντος ώστε να ελέγξουν το σύστημα. Αυτή η ιδιότητα προσδίδει τόσο ευχρηστία όσο και αξιοπιστία στην χρησιμοποίησή τους.

Φωτοαισθητήρας είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου η οποία ρυθμίζει την έξοδο ενός συστήματος φωτισμού ανάλογα με την ένταση φωτισμού που αυτή μετρά. Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα στεγανά προσαρμοσμένο μέσα σε κέλυφος από πλαστική ύλη. Περιλαμβάνει ένα φωτοκύτταρο και ένα κύκλωμα το οποίο μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα που δίνει το φωτοκύτταρο σε κατάλληλο σήμα ελέγχου. Οι φωτοαισθητήρες συναντώνται σε δύο είδη: αυτούς που απλά εξυπηρετούν τη θέση σε λειτουργία ή την παύση του συστήματος φωτισμού και αυτούς που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία (ballast) για την επίτευξη διαβάθμισης της έντασης φωτισμού.

Παρά τα σαφή πλεονεκτήματα των φωτοαισθητήρων θα πρέπει να προσεχθεί η θέση τοποθέτησης τους, η συντήρησή τους και η σωστή τους ρύθμιση έτσι ώστε να αντιδρούν στις μεταβολές εξωτερικής φωτεινότητας κατά τον επιθυμητό τρόπο.^[37]

Τα φωτοκύτταρα μειώνουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, από 25 έως 30%, στην εγκατάσταση φωτισμού καθώς περιορίζουν τις νυχτερινές ώρες λειτουργίας στις απολύτως απαραίτητες για την κάλυψη των απαιτήσεων φωτισμού.

6.2.3 Διαβάθμιση Φωτισμού (Dimming)

Με τη χρήση της τεχνολογίας διαβάθμισης φωτισμού, οι διαχειριστές μιας εγκατάστασης οδικού φωτισμού αυξάνουν ή μειώνουν τα επίπεδα φωτισμού σύμφωνα με προκαθορισμένα προγράμματα λειτουργίας, όπως τα εξής:

- Πρόγραμμα για διόρθωση υπερδιαστασιολόγησης τμήματος οδικού φωτισμού, προορισμένο να αντισταθμίσει τη σταδιακή, με το χρόνο, μείωση της απόδοσης των λαμπτήρων. Με το πρόγραμμα αυτό μειώνεται η ηλεκτρική ισχύς στους νέους λαμπτήρες με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας και τη διατήρηση σταθερών επιπέδων φωτισμού ανάμεσα στους κύκλους συντήρησης.
- Πρόγραμμα για μείωση επιπέδων φωτισμού, όταν αυτό κρίνεται ασφαλές. Το πρόγραμμα αυτό βρίσκει εφαρμογή σε οδούς με αυξημένη κυκλοφορία τις πρώτες νυχτερινές ώρες και μειωμένη για το υπόλοιπο της νύχτας. Η μείωση αυτή είναι δυνατόν να επιτευχθεί ακίνδυνα, αρκεί να παρέχονται οι αναλογίες αντίθεσης που απαιτούνται.^[31]

Με τα συστήματα διαβάθμισης φωτισμού (dimming) στις εγκαταστάσεις αστικού οδικού φωτισμού επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται από 20 έως 40%.

6.3 Χρήση Φωτεινών Οδοστρωμάτων

Η ανακλαστικότητα του οδοστρώματος είναι παράγοντας που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς της λαμπρότητας. Οδοστρώματα που στη σύνθεση της στρώσης κυκλοφορίας τους περιέχονται ανοιχτόχρωμα αδρανή, είναι γνωστά ως φωτεινά οδοστρώματα και εμφανίζουν βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες. Η χρήση τέτοιων οδοστρωμάτων, κατηγορίας ανακλαστικότητας R1, μειώνει την ηλεκτρική ισχύ που απαιτείται από το σύστημα φωτισμού για τη διατήρηση της λαμπρότητας στα επιθυμητά επίπεδα, επιτυγχάνοντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της προσέγγισης πολλαπλασιάζονται όταν εφαρμόζεται σε νέα εγκατάσταση οδικού φωτισμού, όπου αναμένεται μείωση του απαιτούμενου αριθμού των φωτιστικών, που συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, όπως επίσης και του κόστους συντήρησης.^[17]

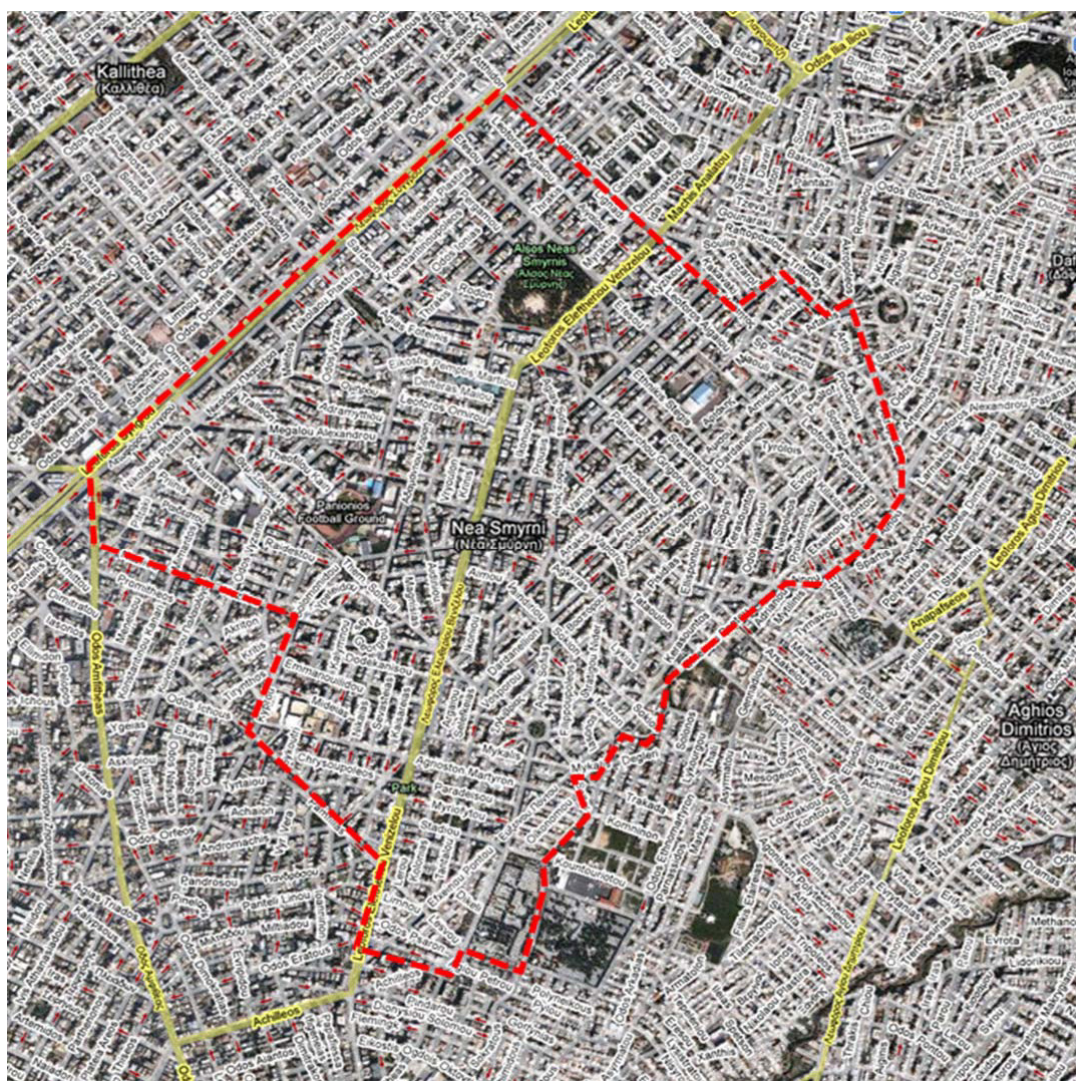
6.4 Βελτιστοποίηση προγράμματος συντήρησης

Ο συντελεστής συντήρησης εγκατάστασης υπεισέρχεται στους υπολογισμούς για να διασφαλίσει ότι το επίπεδο φωτισμού δεν θα πέσει ποτέ κάτω από το συνιστώμενο, για την κάθε κατηγορία οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN-13201. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, με τη διαμόρφωση ενός κατάλληλου προγράμματος συντήρησης, σε συνδυασμό με χρήση νέων ανθεκτικών φωτιστικών που επηρεάζονται ελάχιστα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το χρόνο, είναι δυνατή η επιλογή αυξημένου συντελεστή συντήρησης μιας εγκατάστασης οδικού φωτισμού, που θα οδηγήσει σε περιορισμό της ισχύος, δηλαδή εξοικονόμηση ενέργειας.

7 Η Περίπτωση του Δήμου της Νέας Σμύρνης

7.1 Γενικά Στοιχεία για το Δήμο Νέας Σμύρνης

Η Νέα Σμύρνη είναι ένας από τους Δήμους στα νότια προάστια της Αθήνας, καταλαμβάνει έκταση 3,5 χιλιάδων στρεμμάτων περίπου και σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ (2011) αριθμεί 73.090 μόνιμους κατοίκους, ωστόσο ο πραγματικός της πληθυσμός εκτιμάται σήμερα κοντά στους 97.000 κατοίκους. Σημαντικό στατιστικό στοιχείο που προκύπτει από την απογραφή 2011, είναι ότι ο Δήμος Νέας Σμύρνης κατατάσσεται τέταρτος μέσα στους πιο πυκνοκατοικημένους δήμους με μόνιμο πληθυσμό, σε όλη την Ελλάδα. Βόρεια συνορεύει με την Αθήνα και τη Δάφνη, ανατολικά με τον Άγιο Δημήτριο, νότια με το Παλαιό Φάληρο και δυτικά με την Καλλιθέα. Τα όρια του δήμου Νέας Σμύρνης φαίνονται στην εικόνα.



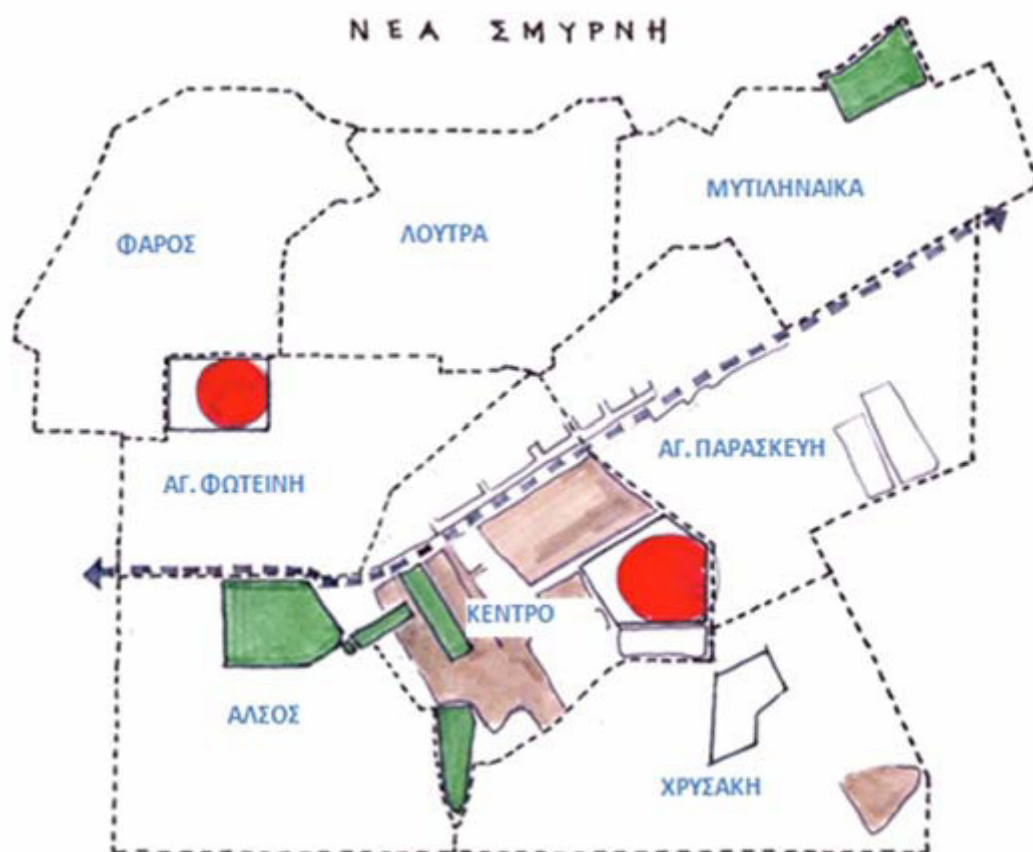
Εικ. 7.1 - Όρια Δήμου Νέας Σμύρνης

Πηγή: Google Maps

Απέχοντας 5 χιλιόμετρα από το Σύνταγμα και 0,5 χιλιόμετρα από το παραλιακό μέτωπο, έχει καλή κεντροβαρική θέση. Η μορφολογία του εδάφους παρουσιάζει σημαντικές ανωφέρειες από δυτικά προς τα ανατολικά της πόλης. Το κλίμα είναι εύκρατο μεσογειακό, με τα γενικά χαρακτηριστικά της Αττικής, επηρεαζόμενο από τη θάλασσα και τον Υμηττό.

Ο πληθυσμός είναι καθαρά αστικός και οι συνοικίες της πόλης είναι σχεδόν ομογενοποιημένες. Πλέον δεν υπάρχει δυνατότητα επέκτασης (είναι ολόκληρη εντός σχεδίου πόλης) και αναπτύσσεται μόνο κατά ύψος. Η γειτνίαση με το Κέντρο της Αθήνας, εκτός της μεγάλης ώθησης στην κατοικία, οδήγησε στην ανάπτυξη μεγάλης αγοράς παροχής υπηρεσιών, κυρίως γύρω από τη λεωφόρο Συγγρού. Για τον ίδιο λόγο, δεν υπήρξε εγκατάσταση οχλουσών δραστηριοτήτων (εργοστάσια, υπερτοπικό εμπόριο, κλπ.). Η τοπική αγορά, η οποία αναπτύσσεται με μεγαλύτερη έμφαση στο κέντρο της πόλης, χαρακτηρίζεται από δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών (χώροι εστίασης, λιανικό εμπόριο, κλπ.).

Ο Δήμος Νέας Σμύρνης υπάγεται χωροταξικά στο λεκανοπέδιο Αττικής, ενώ διοικητικά ανήκει στη Νομαρχία Αθηνών, αποτελείται από ένα Δημοτικό Διαμέρισμα και χωρίζεται σε 8 Πολεοδομικές Ενότητες – Συνοικίες, όπως φαίνεται στην εικόνα.^[48]



Εικ. 7.2 - Πολεοδομικές ενότητες του δήμου Νέας Σμύρνης

Πηγή: [48]

- ΠΕ1 - Φάρος
- ΠΕ2 - Αγία Φωτεινή

- ΠΕ3 - Άλσος
- ΠΕ4 - Κέντρο
- ΠΕ5 - Χρυσάκη
- ΠΕ6 - Αγία Παρασκευή
- ΠΕ7 - Μυτιληναίικα
- ΠΕ8 – Λουτρά

7.2 Το Σύμφωνο των Δημάρχων

Το Σύμφωνο των Δημάρχων (Covenant of Mayors) είναι η κυριότερη ευρωπαϊκή κίνηση κατά της κλιματικής αλλαγής, στην οποία συμμετέχουν τοπικές και περιφερειακές αρχές, οι οποίες δεσμεύονται εθελοντικά να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση και τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις περιοχές τους. Με τη δέσμευσή τους, οι υπογράφωντες το Σύμφωνο σκοπεύουν να επιτύχουν και να υπερβούν το στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 20% έως το 2020. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, αναπτύσσονται Σχέδια Δράσης για την Αειφόρο (Βιώσιμη) Ενέργεια (Σ.Δ.Α.Ε.), εφαρμόζονται δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο σε δημόσιους όσο και ιδιωτικούς τομείς του Δήμου και οργανώνονται ημέρες ενέργειας. Οι προσπάθειες αυτές υποστηρίζονται ισχυρά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Γραφείο του Συμφώνου των Δημάρχων και τις Δομές Υποστήριξης.

Ο Δήμος Νέας Σμύρνης εισχώρησε σε αυτή την πρωτοβουλία τον Απρίλιο του 2011 κι έχει αναπτύξει σχέδιο δράσης στο οποίο γίνεται αναφορά σε μέτρα και δράσεις που θα υλοποιήσει και σε κάποιες περιπτώσεις έχει ήδη ξεκινήσει να υλοποιεί. Μέσω του Σ.Δ.Α.Ε., τίθενται συγκεκριμένοι στόχοι, προτεραιότητες, αλληλουχίες ενεργειών και χρονοδιαγράμματα που υποδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο οι στόχοι θα επιτευχθούν. Περιγράφεται η υφιστάμενη ενεργειακή κατάσταση εντός των ορίων του Δήμου μετατρέποντας την καταναλισκόμενη ενέργεια σε εκπομπές CO₂ και υπολογίζεται η εξοικονόμηση που θα προκύψει μέσω μέτρων που αφορούν σε ενεργειακές επεμβάσεις σε κτήρια, μεταφορές, οδοφωτισμό, καθώς και τον οικιακό και τριτογενή τομέα.^[45]

7.3 Καταγραφή Ηλεκτρικής Κατανάλωσης και Βασικών Εκπομπών CO₂ Οδικού Φωτισμού στο Δήμο Νέας Σμύρνης

Εντός των ορίων του Δήμου Νέας Σμύρνης οι συνολικές εκπομπές CO₂ υπολογίστηκαν σε 383.890 t, με έτος αναφοράς το 2008, με χρήση τυπικών συντελεστών εκπομπών βασισμένων στις Οδηγίες IPCC 2006. Συγκεκριμένα για την ηλεκτρική ενέργεια, ο τυπικός συντελεστής είναι 1,149 tCO₂/MWh. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού του Δήμου Νέας Σμύρνης για φωτισμό οδών και πλατειών σε φυσικές μονάδες (kWh) δεν ήταν διαθέσιμη. Ωστόσο, γνωρίζοντας ότι οι συνολικές δαπάνες για οδοφωτισμό το 2008 ανήλθαν σε 386.204 € και θεωρώντας μια μέση τιμή ηλεκτρισμού για οδοφωτισμό περίπου (0,129€/kWh) προκύπτει ετήσια κατανάλωση 2.994 MWh, ενώ οι αντίστοιχες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανέρχονται σε 3.440 tCO₂. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι

καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας που επιβαρύνουν αποκλειστικά το Δήμο, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων αφορά το φωτισμό οδών και πλατειών, σε ποσοστό 77%.^[48]

Πίνακας 7.1 – Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του Δήμου Νέας Σμύρνης κι ισοδύναμες εκπομπές CO₂

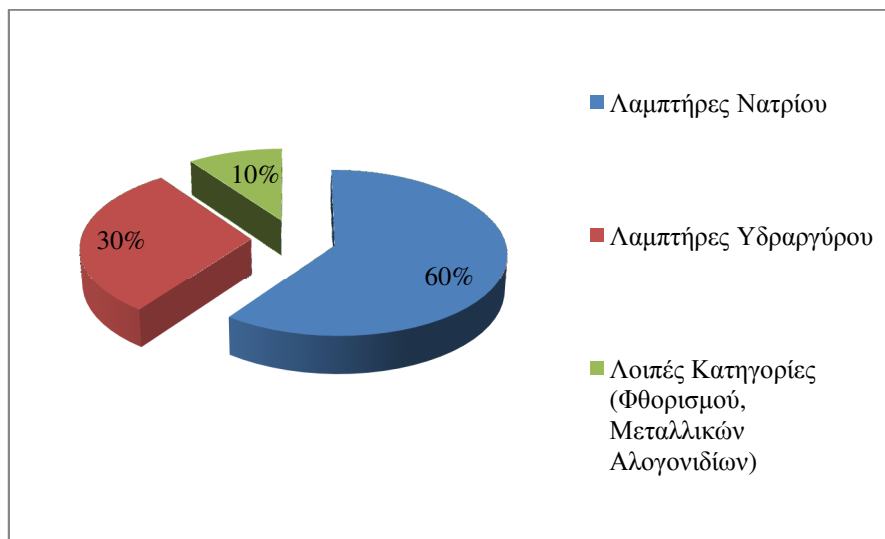
Κατηγορία	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας	Ισοδύναμες Εκπομπές CO ₂
	(MWh)	(t)
Δημοτικά κτήρια, εξοπλισμός/εγκαταστάσεις	910	1.046
Δημοτικός δημόσιος φωτισμός	2.994	3.440

7.4 Καταγραφή Υφιστάμενης Υποδομής Οδικού Φωτισμού

Για την εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης της υποδομής του συστήματος οδικού φωτισμού, αναζητήθηκαν στοιχεία από τις Τεχνικές Υπηρεσίες του Δήμου Νέας Σμύρνης κι ειδικότερα από το Τμήμα Ηλεκτροφωτισμού και το Τμήμα Έργων και Πολεοδομικών Εφαρμογών. Διαπιστώθηκε ότι στο Δήμο δεν υπάρχει προς το παρόν μια χαρτογράφηση του δικτύου οδικού φωτισμού, η οποία θα έδινε πληροφορίες για το ακριβές σημείο του φωτιστικού, τον αριθμό των λαμπτήρων φωτιστικών, την ισχύ, τον τύπο του φωτιστικού και του λαμπτήρα κ.α. Τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούσαν στους χρησιμοποιούμενους λαμπτήρες, οι οποίοι είναι κυρίως νατρίου υψηλής και χαμηλής πίεσης, καθώς κι υδραργύρου, ενώ υπάρχει κι ένας μικρός αριθμός λαμπτήρων φθορισμού και μεταλλικών αλογονιδίων. Από τα στοιχεία βάσης του έτους 2008, που αφορούν στις ετήσιες δαπάνες κατανάλωσης ηλεκτρισμού για οδικό φωτισμό, ο αριθμός των λαμπτήρων εκτιμήθηκε περί τους 3.800, με την τότε ενδεικτική κατανομή:

- 60% λαμπτήρες Na
- 30% λαμπτήρες Hg
- 10% λοιπές κατηγορίες (φθορισμού και μεταλλικών αλογονιδίων)

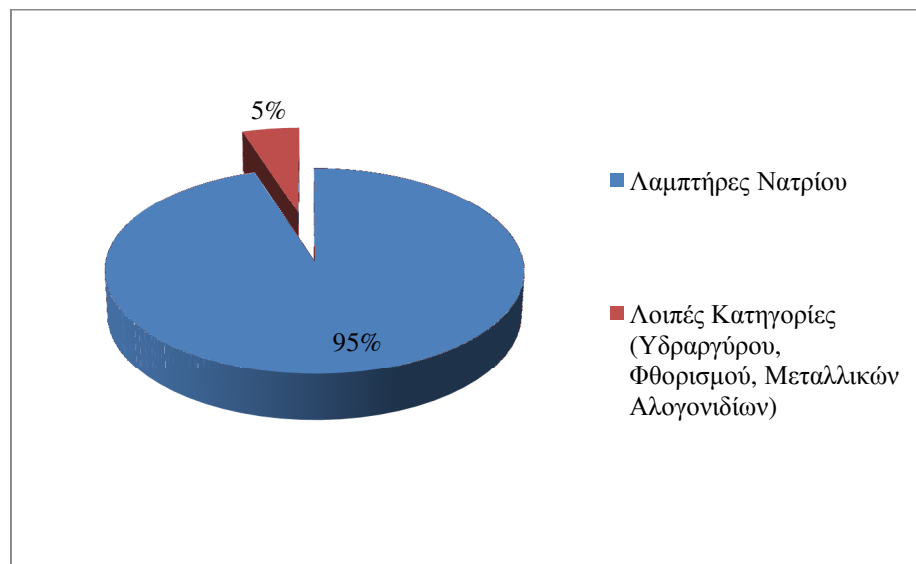
Εικ. 7.3 - Κατανομή χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων στον οδοφωτισμό της Ν.Σμύρνης (2008)



Έκτοτε ο Δήμος εφαρμόζει πρόγραμμα αντικατάστασης των ενεργοβόρων λαμπτήρων στον οδικό φωτισμό με άλλους ενεργειακά αποδοτικότερους, με σκοπό τη μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος του προγράμματος είναι η μείωση εκπομπών ΑΦΘ το 2015 σε 269 t CO₂, μέσω αντικατάστασης των υφιστάμενων λαμπτήρων Hg χρόνου ζωής 16.000 h, με λαμπτήρες Na υψηλής πίεσης χρόνου ζωής 28.000 h και αντικατάστασης του 20% των υφιστάμενων λαμπτήρων Na, κυρίως σε δρόμους και σημεία με έντονο φωτισμό, με λαμπτήρες LED χρόνου ζωής 50.000 h. Προς το παρόν, το σύνολο σχεδόν των λαμπτήρων Hg έχει αντικατασταθεί από λαμπτήρες Na, ενώ δεν έχει γίνει κάποια αντικατάσταση λαμπτήρων Na από λαμπτήρες LED. Έτσι τα σημερινά ποσοστά κατανομής λαμπτήρων στο Δήμο διαμορφώνονται ως εξής:

- 95% λαμπτήρες Na
- 5% λοιπές κατηγορίες (Hg, φθορισμού και μεταλλικών αλογονιδίων)

Εικ. 7.4 - Κατανομή χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων στον οδοφωτισμό της Ν. Σμύρνης (2013)

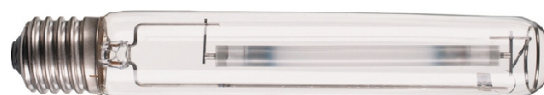


Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι λαμπτήρα Na είναι:

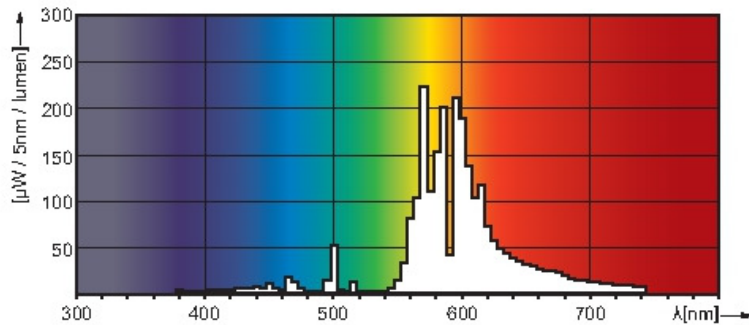
- Νατρίου Υψηλής Πίεσης 250 W, της εταιρείας Philips

Κωδικός Προϊόντος: (MASTER SON-T PIA Plus 250W/220 E40 1SL)

MASTER SON-T PIA Plus 250W/220 E40 1SL



Φωτομετρικά δεδομένα



Εικ. 7.5 – Χρησιμοποιούμενος λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης

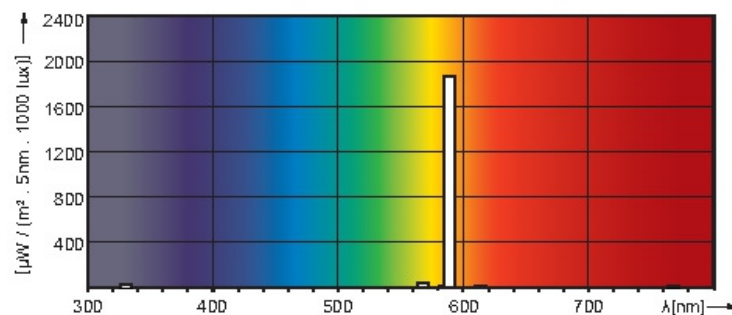
Πηγή: www.philips.gr

- Νατρίου Χαμηλής Πίεσης 55 W, της εταιρείας Philips
Κωδικός Προϊόντος: (SOX 55W BY22d 1SL)

SOX 55W BY22d 1SL



Φωτομετρικά δεδομένα



Εικ. 7.6 – Χρησιμοποιούμενος λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης

Πηγή: www.philips.gr

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά κι οι προδιαγραφές των λαμπτήρων δίνονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή.

Με τα διαθέσιμα αυτά στοιχεία δεν είναι δυνατή η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης όσον αφορά τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά και τα επίπεδα φωτισμού των οδών, η οποία μπορεί να αποτυπωθεί μόνο από μετρήσεις πεδίου με ειδικά όργανα, όπως είναι το λουξόμετρο και λαμπρόμετρο. Μπορεί όμως να γίνει καλή προσέγγιση της ενεργειακής κατανάλωσης της εγκατάστασης.

8 Σενάρια Προσομοίωσης Φωτισμού

8.1 Μετρήσεις Χαρακτηριστικών Αποστάσεων Εγκατάστασης Οδικού Φωτισμού

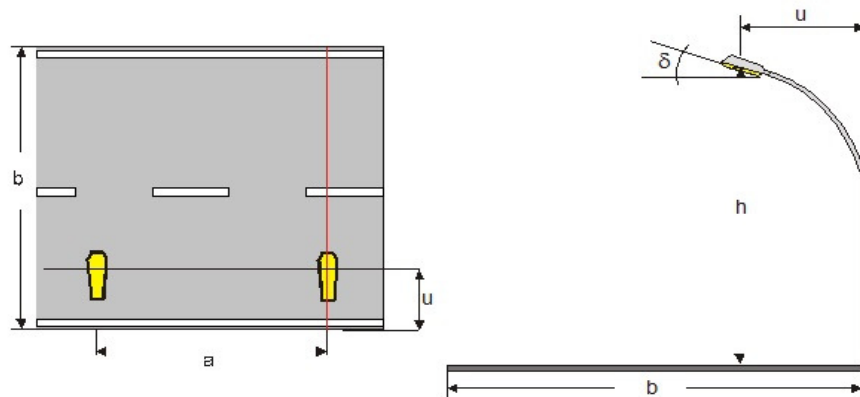
Με τις κατευθύνσεις του προτύπου EN13201 είναι δυνατόν να γίνει μια αρχική εκτίμηση της οικογένειας κατηγορίας φωτισμού μιας οδού αστικής περιοχής:

- Οι διαδημοτικές οδοί αντιστοιχούν στις κατηγορίες ME
- Οι τοπικές αστικές οδοί αντιστοιχούν στις κατηγορίες CE
- Οι πεζόδρομοι αντιστοιχούν στις κατηγορίες S

Για την ακριβή κατηγοριοποίηση όμως, είναι απαραίτητη η συλλογή των στοιχείων εκείνων που έχουν καθοριστικό ρόλο σε μια φωτοτεχνική μελέτη. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε αντιπροσωπευτικές οδούς ανά κατηγορία φωτισμού. Πιο συγκεκριμένα, ως αντιπροσωπευτική για την κατηγορία ME επιλέχθηκε η κύρια διαδημοτική αρτηρία του Δήμου, η λεωφόρος Ελευθερίου Βενιζέλου. Ως αντιπροσωπευτικό δείγμα κατηγορίας φωτισμού CE, επιλέχθηκαν 3 τοπικές οδοί (Αγίας Σοφίας, Αγίας Φωτεινής και Μεγάλου Αλεξάνδρου) που αποτελούν κύριους άξονες σύνδεσης της περιοχής με το εμπορικό κέντρο, ενώ συμπεριλήφθηκε και τμήμα της οδού Δαρδανελλίων το οποίο έχει υποστεί τις πιο πρόσφατες, από το Δήμο, παρεμβάσεις φωτισμού. Για την κατηγορία S επιλέχθηκε ο κεντρικός πεζόδρομος 2ας Μαΐου. Συνοψίζοντας:

- Διαδημοτική οδός: Ελευθερίου Βενιζέλου
- Τοπική οδός : Αγίας Σοφίας
Αγίας Φωτεινής
Δαρδανελλίων
Μεγάλου Αλεξάνδρου
- Πεζόδρομος: 2ας Μαΐου

Οι μετρήσεις αφορούν στην καταγραφή των χαρακτηριστικών αποστάσεων εγκατάστασης φωτισμού της κάθε οδού, όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικ. 8.1 – Χαρακτηριστικές αποστάσεις εγκατάστασης φωτισμού

Πηγή: Relux

Όπου:

a: Απόσταση μεταξύ φωτιστικών σωμάτων

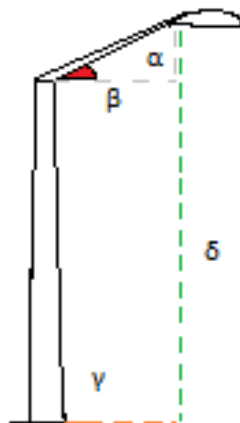
b: Πλάτος οδοστρώματος

u: Απόσταση της εστίας του φωτιστικού σώματος από το ρείθρο του πεζοδρομίου

h: Ύψος ανάρτησης

δ: Γωνία φωτιστικού σώματος ως προς το οριζόντιο επίπεδο

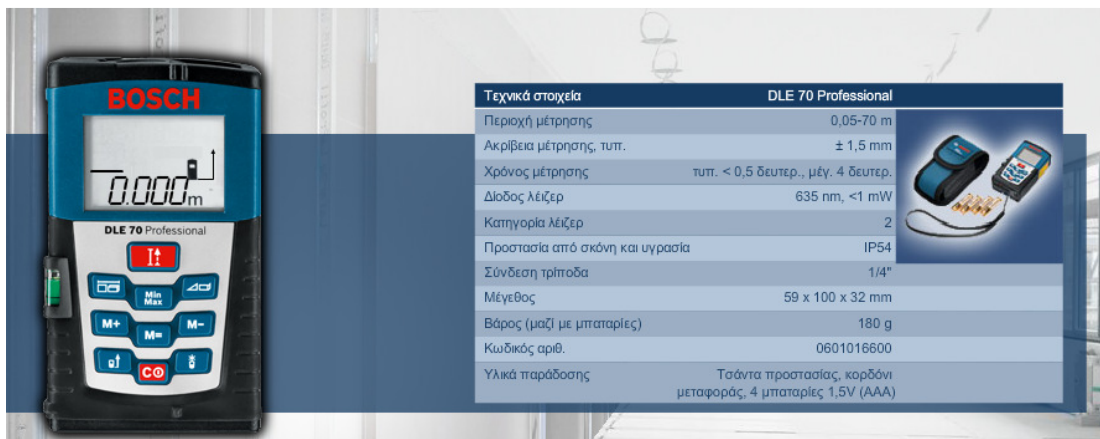
Η γωνία του φωτιστικού σώματος ως προς το οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται μέσω της μέτρησης συγκεκριμένων αποστάσεων. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, η απόσταση a ισούται με τη διαφορά του ύψους δ της εστίας του φωτιστικού σώματος από το ύψος του ιστού, ενώ η απόσταση β ισούται με την γ , ως η απόσταση της προβολής της εστίας του φωτιστικού από τη βάση του ιστού. Οι δύο αυτές αποστάσεις είναι εύκολο να μετρηθούν με μετρητή αποστάσεων laser κι η ζητούμενη γωνία υπολογίζεται μέσω της εφαπτομένης της.



Εικ. 8.2 – Υπολογισμός κλίσης βραχίονα φωτιστικού με μετρητή αποστάσεων laser

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως κατά μήκος μεγάλου μέρους του οδικού δικτύου, εκτός από την εγκατάσταση φωτισμού του Δήμου, υπάρχουν και ιστοί της Δ.Ε.Η. που φέρουν φωτιστικά σώματα. Η συμβολή της εγκατάστασης της Δ.Ε.Η. μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα φωτισμού. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας λήφθηκαν υπ' όψιν μόνο οι δημοτικές εγκαταστάσεις.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο μετρητής αποστάσεων laser BOSCH DLE 70 Professional, καθώς και μετροταινίες 8 και 30 m.



Εικ. 8.3 - Μετρητής αποστάσεων laser BOSCH DLE 70 Professional

Πηγή: www.bosch.com



Εικ. 8.4 – Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, μαζί με τα απαραίτητα για μια φωτοτεχνική μελέτη γενικά γνωρίσματα κάθε οδού, συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 8.1 – Χαρακτηριστικές αποστάσεις των οδών που μετρήθηκαν

Οδός	b	a	h	u	δ
	(m)	(m)	(m)	(m)	(deg)
Ελ. Βενιζέλου (προς Αθήνα)	6,00	35,00	9,50	0,85	10°
Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)	6,00	35,00	9,50	0,85	10°
Αγ. Σοφίας	8,00	25,00	9,20	0,30	10°
Αγ. Φωτεινής	10,00	25,00	9,20	0,80	10°
Δαρδανελλίων	6,00	28,00	7,00	1,20	0°
Μεγ. Αλεξάνδρου	8,00	21,00	10,50	0,65	15°
2ας Μαΐου	10,00	16,00	5,00	0,50	10°

Πίνακας 8.2 – Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των οδών

Οδός	Τύπος Οδού	Διάταξη Φωτιστικών	Ύπαρξη Διαχωριστικής Νησίδας	Ύπαρξη Σταθμευμένων Οχημάτων	Αριθμός Λωρίδων	Αριθμός Ιστών
Ελ. Βενιζέλου (προς Αθήνα)	Διαδημοτική	Μονόπλευρη	Όχι	Ναι	2	74
Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)	Διαδημοτική	Μονόπλευρη	Όχι	Ναι	2	74
Αγ. Σοφίας	Τοπική	Μονόπλευρη	Όχι	Όχι	2	36
Αγ. Φωτεινής	Τοπική	Χιαστί	Όχι	Ναι	2	40
Δαρδανελλίων	Τοπική	Μονόπλευρη	Όχι	Ναι	2	10
Μεγ.Αλεξάνδρου	Τοπική	Μονόπλευρη	Όχι	Ναι	2	37
2ας Μαΐου	Πεζόδρομος	Κεντρική	Ναι	Όχι	2	19

Τα στοιχεία αυτά, αποτελούν τη βάση δεδομένων για τη διερεύνηση σεναρίων επέμβασης στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις φωτισμού των επιλεγμένων οδών, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και την αναβάθμιση της ποιότητας φωτισμού. Το βασικό σενάριο που διερευνάται, αφορά στην αντικατάσταση των υπάρχοντων συμβατικών φωτιστικών σε όλες τις χαρακτηριστικές οδούς, με φωτιστικά τεχνολογίας LED.

Ιδιαίτερα για τη διαδημοτική οδό Ελ. Βενιζέλου, διερευνάται στην προτεινόμενη εγκατάσταση, η επίδραση της αύξησης του συντελεστή συντήρησης, καθώς και η επίδραση χρήσης οδοστρώματος με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες. Συγκεντρωτικά έχουμε:

Πίνακας 8.3 – Σενάρια επέμβασης στις χαρακτηριστικές οδούς του Δήμου Νέας Σμύρνης

Σενάριο 1	Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED
Σενάριο 2	Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED Αύξηση του συντελεστή συντήρησης εγκατάστασης MF από 0,70 σε 0,90
Σενάριο 3	Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED Χρήση οδοστρώματος με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες κατηγορίας R1
Σενάριο 4	Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED Αύξηση του συντελεστή συντήρησης εγκατάστασης MF από 0,70 σε 0,90 Χρήση οδοστρώματος με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες κατηγορίας R1

8.2 Το λογισμικό RELUX

Οι προσομοιώσεις φωτισμού γίνονται με τη χρήση του λογισμικού RELUX. Το λογισμικό RELUX είναι πρόγραμμα προσομοίωσης δισδιάστατων και τρισδιάστατων γεωμετριών, με εξειδίκευση στη χρήση διανυσματικών αρχείων φωτομετρίας και πληθώρα εργαλείων σχετικά με τον τεχνητό και φυσικό φωτισμό. Επιπλέον, οι επιλογές εξόδου δεδομένων (outputs) που προσφέρει, το καθιστούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο. Το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο ώστε να καλύπτει από το φάσμα της απλής φωτομέτρησης μίας γεωμετρίας, μέχρι την παρουσίαση ενός ποιοτικού τρισδιάστατου μοντέλου.

8.3 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού 2ας Μαΐου (Σενάριο 1)

Η οδός 2ας Μαΐου έχει πεζοδρομηθεί από το 2003 και μαζί με άλλους δύο πεζόδρομους (25ης Μαρτίου και Ειρήνης) οριοθετεί την κεντρική πλατεία της Νέας Σμύρνης. Ανήκει στην κατηγορία φωτισμού S και μερική άποψη της οδού απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στην παρακάτω εικόνα.



Εικ. 8.5 - Μερική άποψη του πεζόδρομου 2ας Μαΐου από ύψος 351 m

Η ακόλουθη φωτογραφία είναι ενδεικτική του νυχτερινού φωτισμού στον πεζόδρομο 2ας Μαΐου.



Εικ. 8.6 – Νυχτερινός φωτισμός στον πεζόδρομο 2ας Μαΐου, Μάιος 2013

8.3.1 Κατηγορία Φωτισμού – 2ας Μαΐου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές κι οι ειδικές παράμετροι που καθορίζουν την κατηγορία φωτισμού της οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

Πίνακας 8.4 – Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού 2ας Μαΐου

Κατηγοριοποίηση Οδού	2ας Μαΐου
Τυπική ταχύτητα κύριων χρηστών	Ταχύτητα βαδίσματος
Κύριοι χρήστες	Πεζοί
Επιτρεπόμενοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες
Κατάσταση Φωτισμού: E2	
Κίνδυνος εγκληματικότητας	Κανονικός
Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου	Δεν απαιτείται
Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Υψηλή
Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Υψηλό - Αστικό κέντρο
Κατηγορία Φωτισμού: S2	

Οι ελάχιστες φωτοτεχνικές απαιτήσεις φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία φωτισμού S2, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8.5 –Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού S2

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]	
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ελάχιστη Φωτεινότητα
		E_{μ} (lux)	E_{min} (lux)
2ας Μαΐου	S2	10,00	3,00

Για λόγους ομοιομορφίας, η πραγματική τιμή της διατηρηθείσας μέσης έντασης φωτισμού δεν πρέπει να ξεπερνά πάνω από 1,5 φορές την ελάχιστη μέση ένταση φωτισμού που καθορίζεται για κάθε κατηγορία.

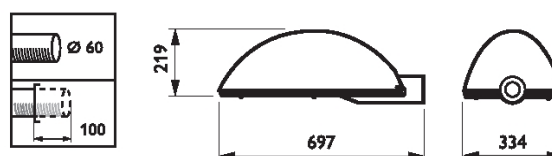
8.3.2 Επιλογή Φωτιστικού – 2ας Μαΐου

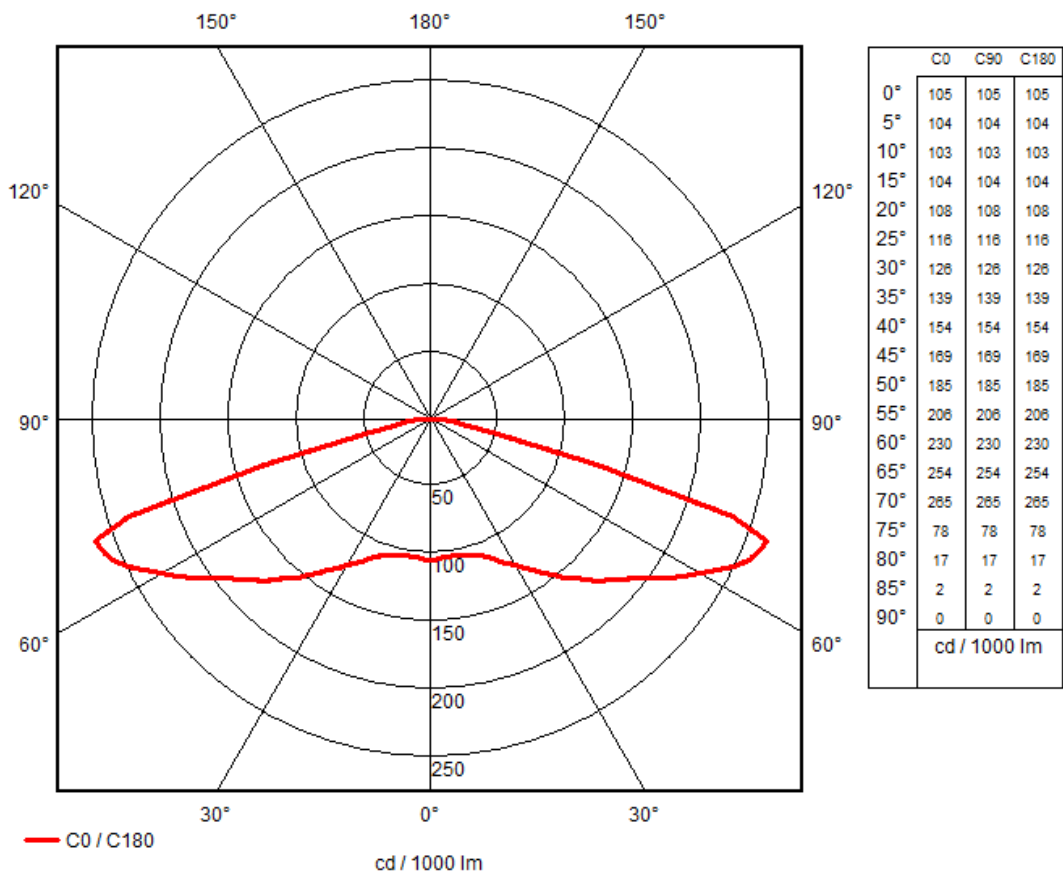
Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό BRS421 T15S/GRN24 της οικογένειας Milewide LED από την εταιρεία Philips ισχύος 24,4 W, συνολικής φωτεινής ροής 2.088 lm και απόδοσης 86 Lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής 100.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του, καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

MileWide LED BRS421



Dimensional drawing





Εικ. 8.7 – Φωτιστικό Milewide LED της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.philips.gr

8.3.3 Προεπισκόπηση Οδού – 2ας Μαΐου

Εξετάστηκε η οδός στο σύνολό της, μήκους 318 μέτρων. Μετρήθηκαν επί τόπου 19 δημοτικοί ιστοί με διπλά φωτιστικά, δηλαδή συνολικά 38 φωτιστικά σώματα σε κεντρική διάταξη.

Τα απαραίτητα για την προσομοίωση φωτισμού δεδομένα εισόδου στο λογισμικό RELUX, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.6 – Προεπισκόπηση της οδού 2ας Μαΐου

Προεπισκόπηση Οδού	2ας Μαΐου
Διαρρύθμιση οδού	Με κεντρική νησίδα
Πλάτος οδού (b) ανά κατεύθυνση	5,00
Πλάτος κεντρικής νησίδας	0,00
Αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση	1
Κατηγορία οδοστρώματος	R3
Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος (q0)	0,08
Τύπος φωτιστικού	Philips BRS421 T15S/GRN24
Διάταξη φωτιστικών	Κεντρική, με δίδυμο βραχίονα

Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (α)	16,00
Ύψος ανάρτησης (h)	5,00
Απόσταση της προβολής του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο (u)	0,50
Κλίση φωτιστικού (δ)	10,00
Συντελεστής συντήρησης	0,70

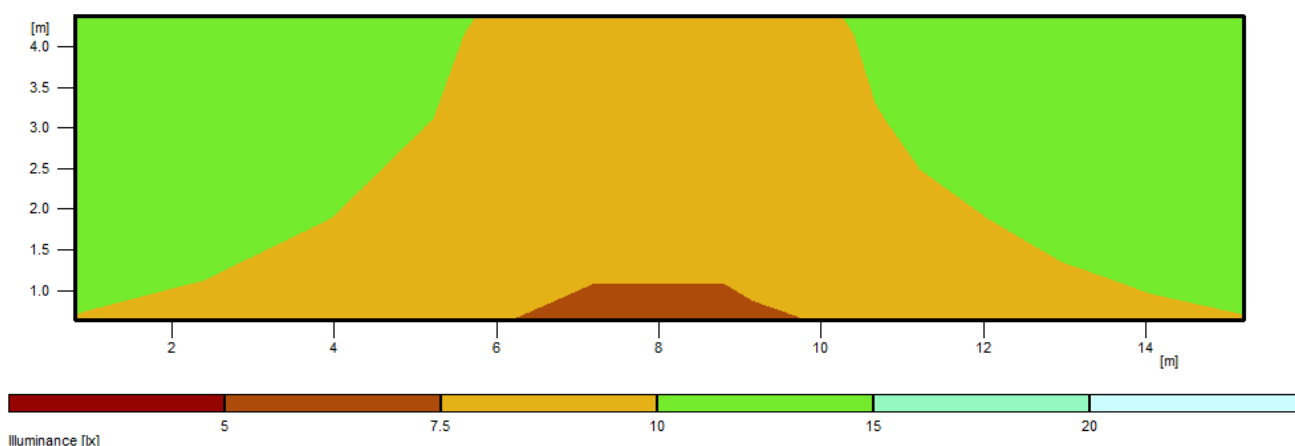
8.3.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – 2ας Μαΐου

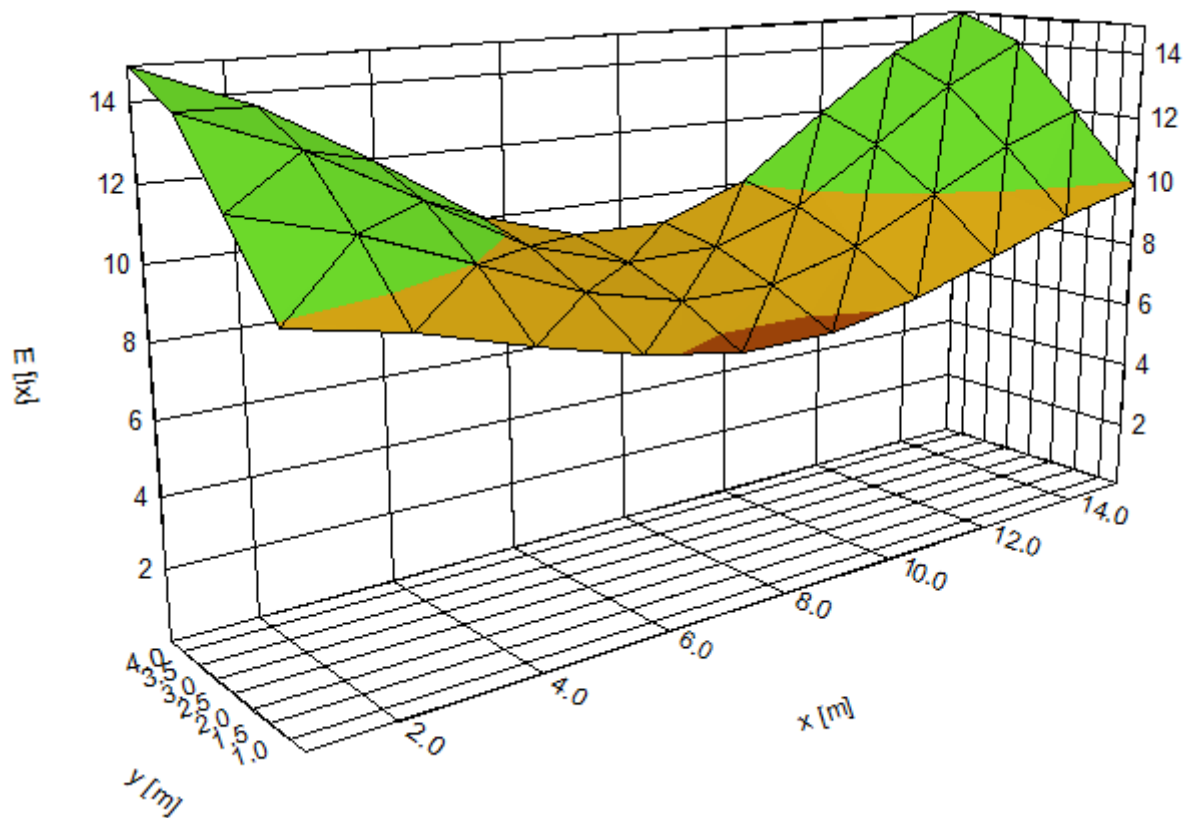
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα ελάχιστα όρια φωτεινότητας κι ελάχιστης φωτεινότητας και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.7 – Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού 2ας Μαΐου

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού		Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]			
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ελάχιστη Φωτεινότητα	Φωτεινότητα	Ελάχιστη Φωτεινότητα
		E_{μ} (lux)	E_{min} (lux)		
2ας Μαΐου	S2	10,00	3,00	10,40	7,20

Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της οριζόντιας έντασης φωτισμού, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται ικανοποιητική ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.



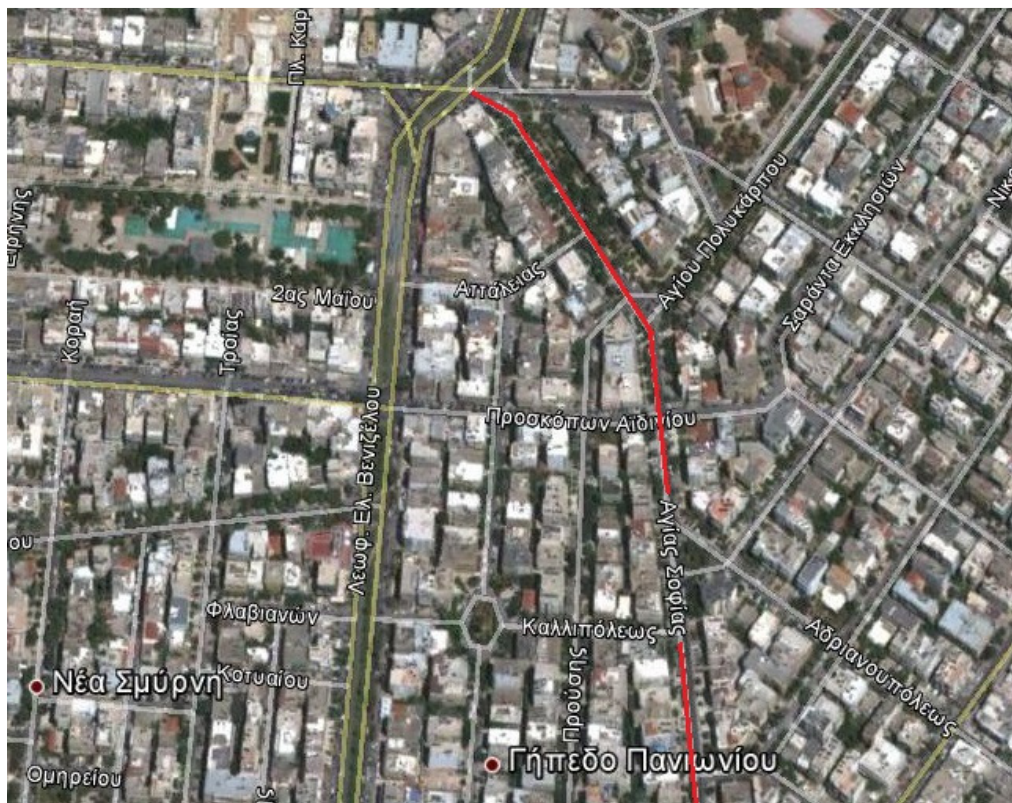


Εικ. 8.8 – Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό 2ας Μαΐου

Πηγή: RELUX

8.4 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Αγίας Σοφίας (Σενάριο 1)

Η οδός Αγίας Σοφίας είναι τοπική οδός του δήμου Νέας Σμύρνης κι ανήκει στην κατηγορία φωτισμού CE. Παρουσιάζει αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο τα τελευταία χρόνια αναλαμβάνοντας μέρος της κυκλοφορίας της Ελ. Βενιζέλου, της οποίας η διατομή υποβαθμίστηκε κυκλοφοριακά με την ένταξη του τραμ. Μερική άποψη της οδού απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 8.9 - Μερική άποψη της οδού Αγ. Σοφίας από ύψος 998 m

Πηγή: Google Maps

Η ακόλουθη φωτογραφία είναι ενδεικτική του νυχτερινού φωτισμού στην οδό Αγίας Σοφίας.



Εικ. 8.10 – Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Αγ. Σοφίας, Μάιος 2013

8.4.1 Κατηγορία Φωτισμού – Αγ. Σοφίας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές κι οι ειδικές παράμετροι που καθορίζουν την κατηγορία φωτισμού της οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

Πίνακας 8.8 – Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Αγ. Σοφίας

Κατηγοριοποίηση Οδού	Αγ. Σοφίας
Τυπική ταχύτητα κύριων χρηστών	> 5 και ≤ 30 km/h
Κύριοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα Πεζοί
Επιτρεπόμενοι χρήστες	Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες
Κατάσταση Φωτισμού: D2	
Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Όχι
Κίνδυνος εγκληματικότητας	Κανονικός
Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου	Δεν απαιτείται
Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση	Κανονικός
Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Κανονική
Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Κανονικό - Αστικό
Κατηγορία Φωτισμού: CE5	

Οι ελάχιστες φωτοτεχνικές απαιτήσεις φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία φωτισμού CE5, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8.9 – Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5

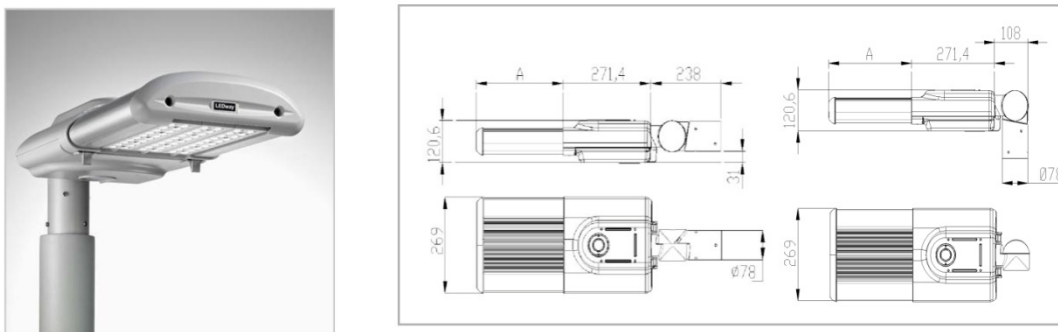
Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]	
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o
Αγ. Σοφίας	CE5	7,50	0,40

8.4.2 Επιλογή Φωτιστικού – Αγ. Σοφίας

Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό LXDTM704D της οικογένειας LEDWAY Road από την εταιρεία Cree and Ruud Lighting, ισχύος 92W, συνολικής φωτεινής ροής 8.540 lm και φωτεινής απόδοσης 93 lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής

100.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

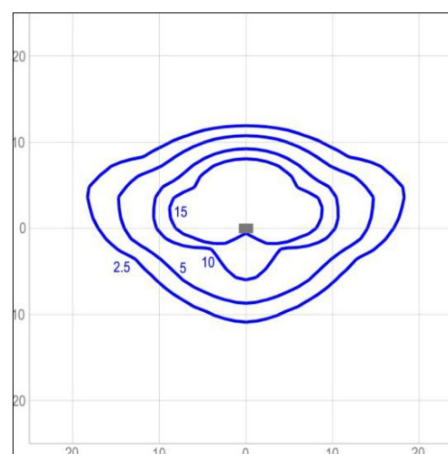
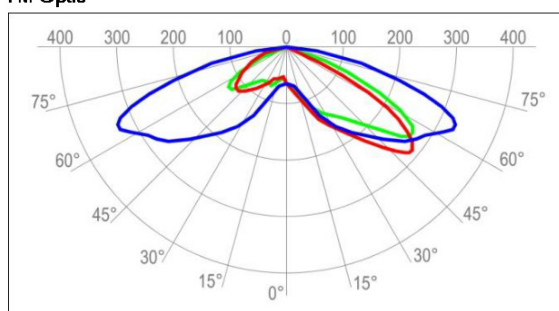
LEDWAY Road – 7 Mount for post top and arm installation



Order codes	Light bars	Number of LEDs	Power System W			"A"
			@350mA	@525mA	@700mA (Standard Version)	
LXD#704D*	2	40	45	67	92	270 mm

For information on luminous flux for each current please see the photometric user guide on our webpage.

TM Optic



Εικ. 8.11 – Φωτιστικό LEDway Road 704D της Cree & Ruud, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.cree.com

8.4.3 Προεπισκόπηση Οδού – Αγ. Σοφίας

Εξετάστηκε το τμήμα της οδού από τη διασταύρωση με την οδό Ψαρών, στα σύνορα με το Δήμο Παλαιού Φαλήρου, μέχρι το ύψος της πλατείας Σκατζουράκη, μήκους 1.166 μέτρων. Στο τμήμα αυτό μετρήθηκαν επί τόπου 36 φωτιστικά σώματα σε μονόπλευρη διάταξη, τα οποία αφορούν δημοτικούς ιστούς. Επίσης παρατηρήθηκε ύπαρξη διάσπαρτων φωτιστικών σε στύλους της ΔΕΗ, τα οποία όπως έχει αναφερθεί δεν λαμβάνονται υπόψη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Το υπόλοιπο τμήμα της οδού εξαιρέθηκε αφού παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως μικρότερο πλάτος οδοστρώματος και μονή κατεύθυνση κυκλοφορίας.

Τα απαραίτητα για την προσομοίωση φωτισμού δεδομένα εισόδου στο λογισμικό RELUX, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.10 – Προεπισκόπηση της οδού Αγ. Σοφίας

Προεπισκόπηση Οδού	Αγίας Σοφίας
Διαρρύθμιση οδού	Χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος οδού (b)	8,00
Πλάτος κεντρικής νησίδας	-
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία οδοστρώματος	R3
Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος (q0)	0,08
Κίνηση στην οδό	Εκ δεξιών
Τύπος φωτιστικού	Cree and Ruud LXDTM704D
Διάταξη φωτιστικών	Μονόπλευρη εκ δεξιών
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (α)	25,00
Υψος ανάρτησης (h)	9,20
Απόσταση της προβολής του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο (u)	0,30
Κλίση φωτιστικού (δ)	10,00
Συντελεστής συντήρησης	0,70

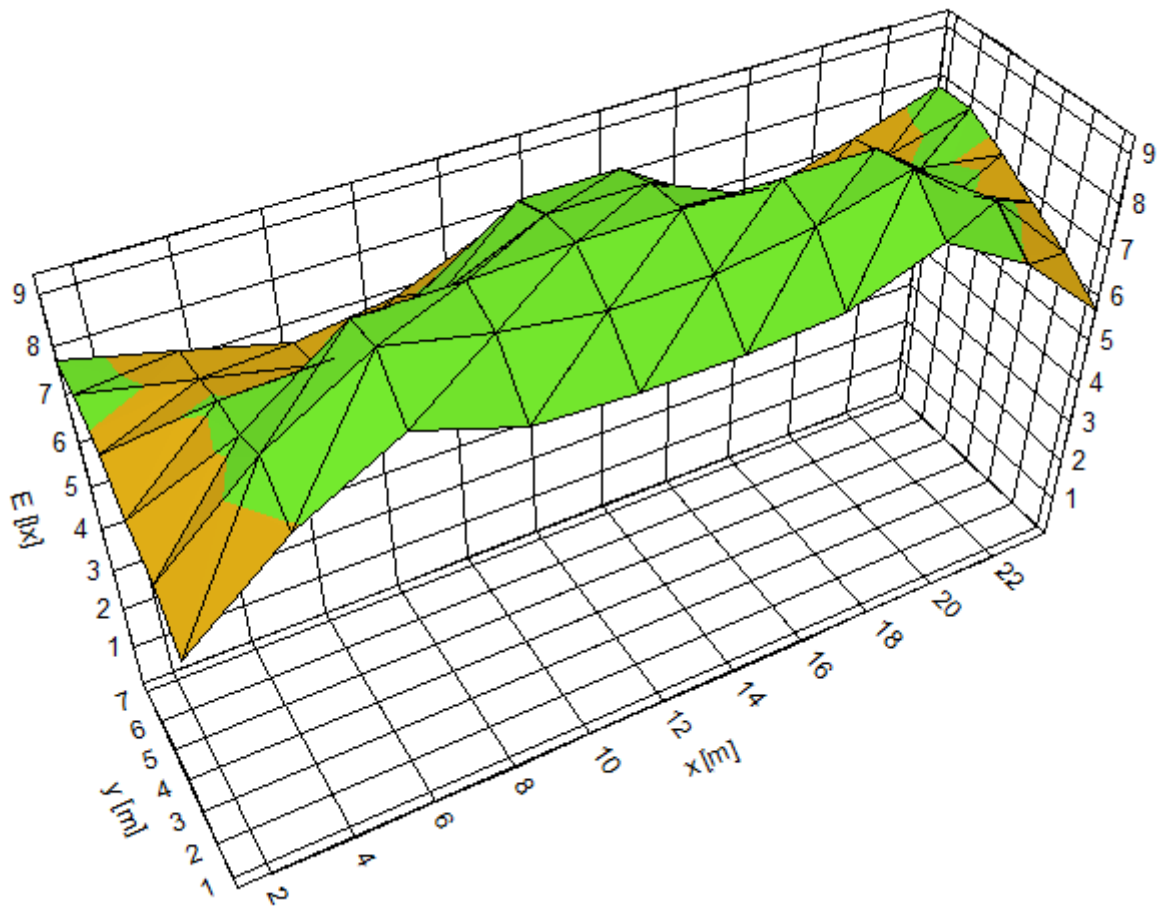
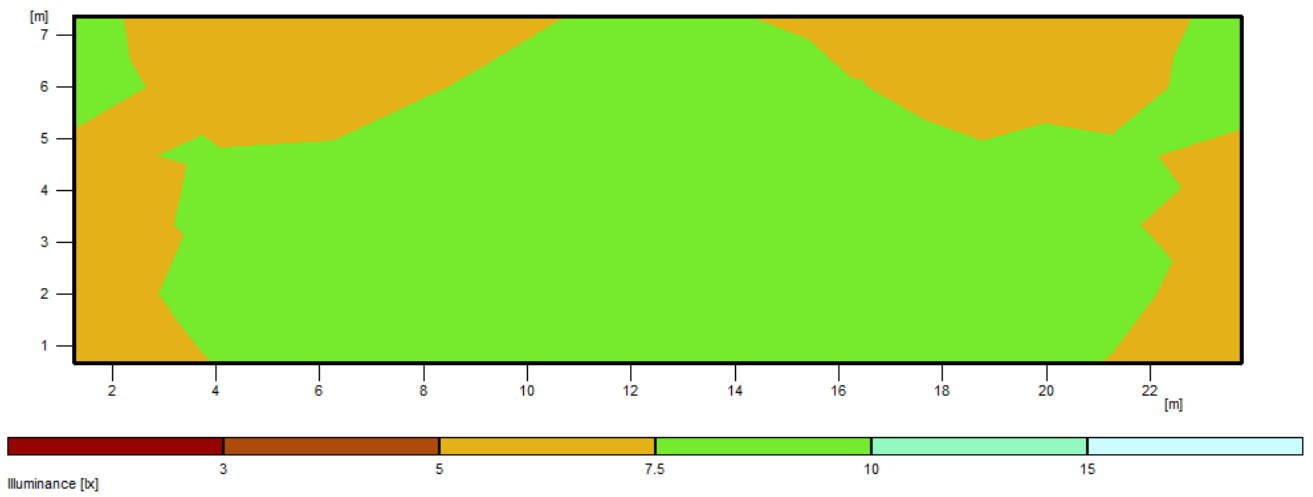
8.4.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Αγ. Σοφίας

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα ελάχιστα όρια φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.11 – Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Αγ. Σοφίας

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού		Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]			
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας	Φωτεινότητα	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o	E_{μ} (lux)	$U_o = E_{\min}/E_{\mu\alpha}$
Αγ. Σοφίας	CE5	7,50	0,40	7,82	0,73

Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της οριζόντιας έντασης φωτισμού, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται αρκετά καλή ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.



Εικ. 8.12 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Αγ. Σοφίας

8.5 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Αγίας Φωτεινής (Σενάριο 1)

Η οδός Αγίας Φωτεινής είναι τοπική οδός του δήμου Νέας Σμύρνης κι ανήκει στην κατηγορία φωτισμού CE. Μερική άποψη της οδού απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 8.13 - Μερική άποψη της οδού Αγ. Φωτεινής από ύψος 894 m

Πηγή: Google Maps

Η ακόλουθη φωτογραφία είναι ενδεικτική του νυχτερινού φωτισμού στην οδό Αγίας Φωτεινής.



Εικ. 8.14 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Αγ. Φωτεινής, Μάιος 2013

8.5.1 Κατηγορία Φωτισμού – Αγ. Φωτεινής

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές κι οι ειδικές παράμετροι που καθορίζουν την κατηγορία φωτισμού της οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

Πίνακας 8.12 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Αγ. Φωτεινής

Κατηγοριοποίηση οδού	Αγ. Φωτεινής
Τυπική ταχύτητα κύριων χρηστών	> 5 και ≤ 30 km/h
Κύριοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα Πεζοί
Επιτρεπόμενοι χρήστες	Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες
Κατάσταση φωτισμού: D2	
Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Όχι
Κίνδυνος εγκληματικότητας	Κανονικός
Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου	Δεν απαιτείται
Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση	Κανονικός
Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Κανονική
Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Κανονικό - Αστικό
Κατηγορία φωτισμού: CE5	

Οι ελάχιστες φωτοτεχνικές απαιτήσεις φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία φωτισμού CE5, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8.13 - Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5

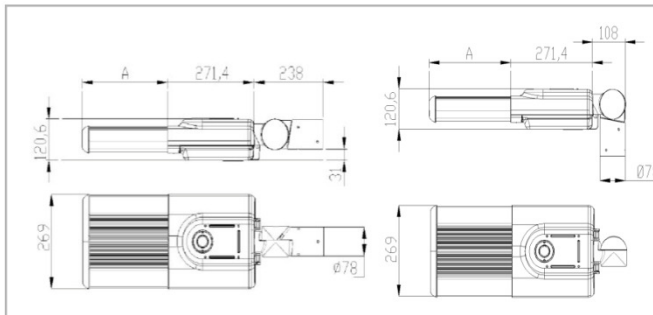
Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]	
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o
Αγ. Φωτεινής	CE5	7,50	0,40

8.5.2 Επιλογή Φωτιστικού – Αγ. Φωτεινής

Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό LXDT5702D της οικογένειας LEDWAY Road από την εταιρεία Cree and Ruud Lighting, ισχύος 50 W, συνολικής φωτεινής ροής 4.270 lm και φωτεινής απόδοσης 85 lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής

100.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

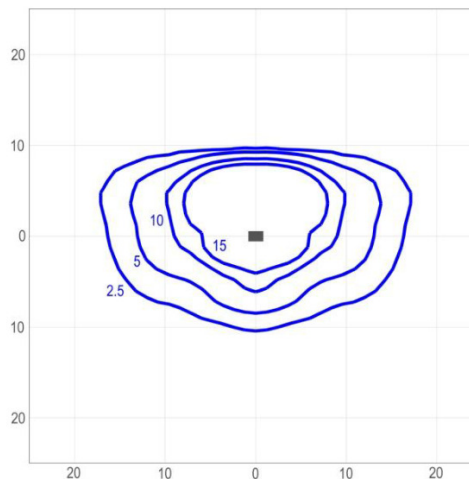
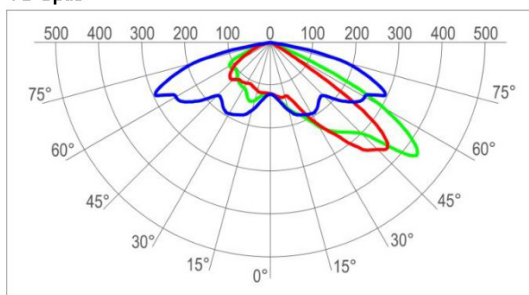
LEDWAY Road – 7 Mount for post top and arm installation



Order codes	Light bars	Number of LEDs	Power System W			"A"
			@350mA	@525mA	@700mA (Standard Version)	
LXD##702D*	2	20	25	37	50	156 mm

For information on luminous flux for each current please see the photometric user guide on our webpage.

TS Optic



40 LED @700mA 6 mt. height isolux diagram

Εικ. 8.15 - Φωτιστικό LEDway Road 702D της Cree & Ruud, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.cree.com

8.5.3 Προεπισκόπηση Οδού – Αγ. Φωτεινής

Εξετάστηκε το τμήμα της οδού από τη διασταύρωση με την οδό Ελ.Βενιζέλου, μέχρι τη διασταύρωση με την οδό Νικ. Πλαστήρα, μήκους 600 μέτρων. Στο τμήμα αυτό μετρήθηκαν επί τόπου 40 φωτιστικά σώματα σε εναλλασσόμενη διάταξη. Το υπόλοιπο τμήμα της οδού, από την εκκλησία της Αγ.Φωτεινής μέχρι τη διασταύρωση με την οδό Ελ.Βενιζέλου εξαιρέθηκε, καθώς φωτίζεται από παραδοσιακά φωτιστικά διαφορετικής διάταξης.

Τα απαραίτητα για την προσομοίωση φωτισμού δεδομένα εισόδου στο λογισμικό RELUX, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.14 – Προεπισκόπηση της οδού Αγ. Φωτεινής

Προεπισκόπηση Οδού	Αγίας Φωτεινής
Διαρρύθμιση οδού	Χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος οδού (b)	10,00
Πλάτος κεντρικής νησίδας	-
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία οδοστρώματος	R3
Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος (q0)	0,08
Κίνηση στην οδό	Εκ δεξιών
Τύπος φωτιστικού	Cree and Ruud LXDTS702D
Διάταξη φωτιστικών	Χιαστί
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (α)	25,00
Υψος ανάρτησης (h)	9,20
Απόσταση της προβολής του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο (u)	0,80
Κλίση φωτιστικού (δ)	10,00
Συντελεστής συντήρησης	0,70

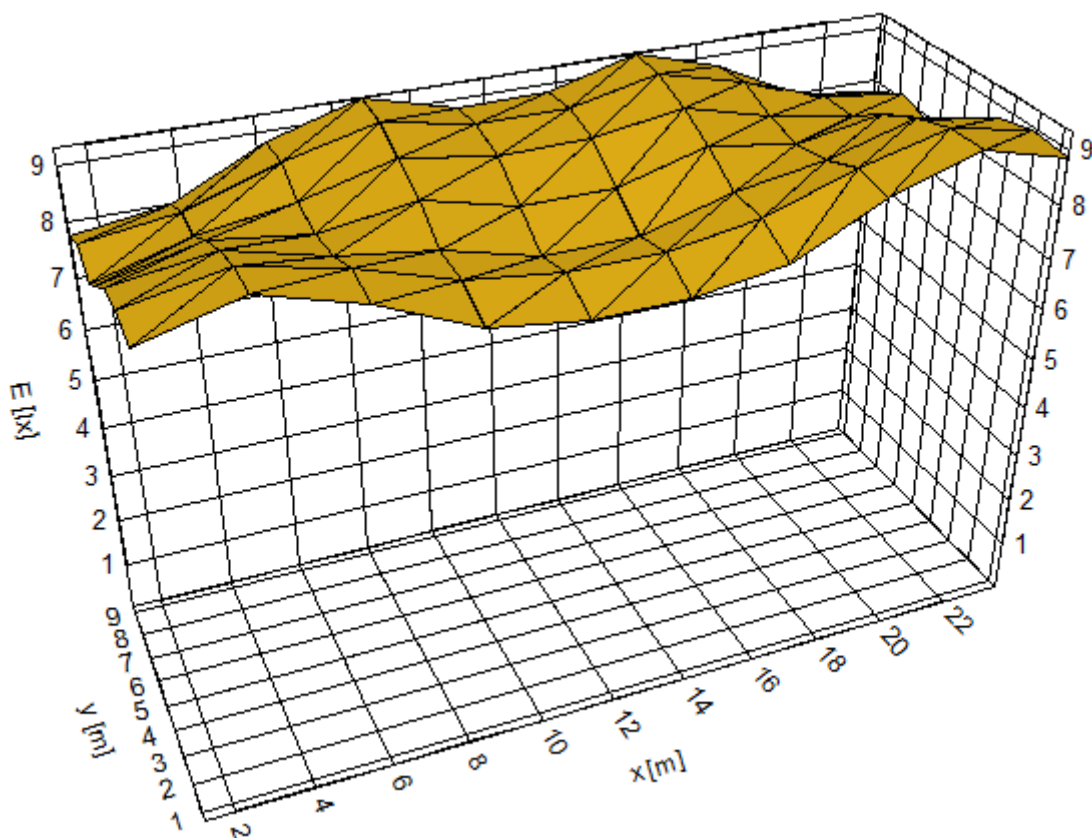
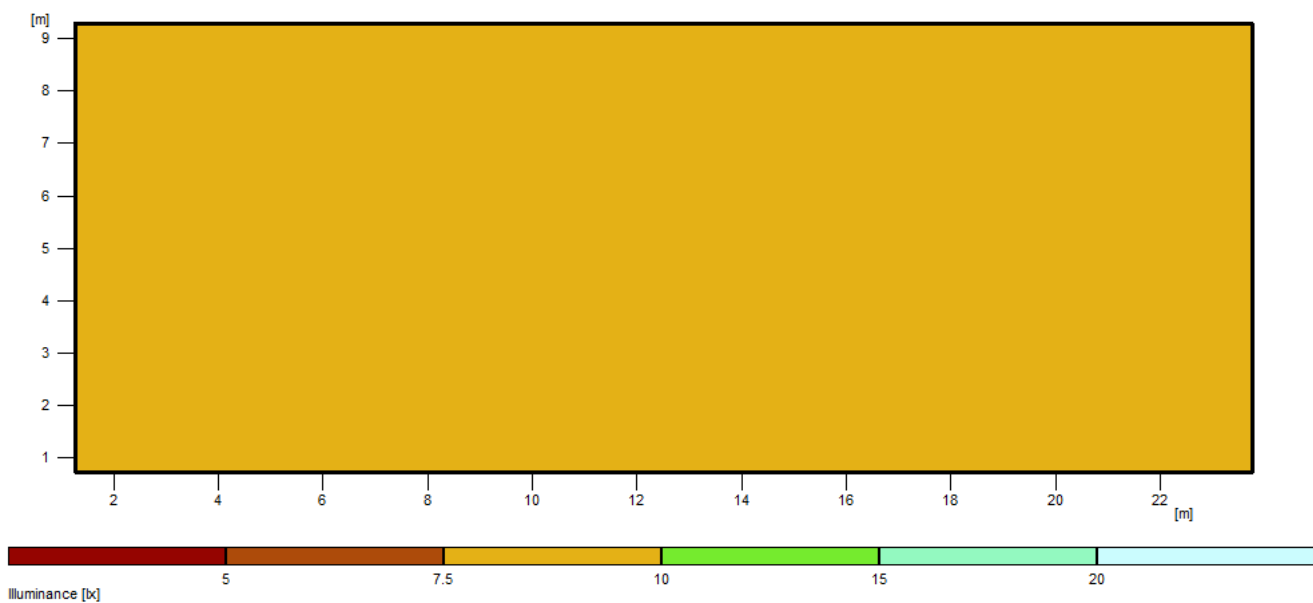
8.5.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Αγ. Φωτεινής

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα ελάχιστα όρια φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.15 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Αγ. Φωτεινής

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού		Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]		Φωτεινότητα	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας		
		E_{μ} (lux)	U_o	E_{μ} (lux)	$U_o = E_{\min}/E_{\mu\alpha}$
Αγ. Φωτεινής	CE5	7,50	0,40	8,58	0,90

Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της οριζόντιας έντασης φωτισμού, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται άριστη ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.



Εικ. 8.16 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Αγ. Φωτεινής

8.6 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Δαρδανελλίων (Σενάριο 1)

Η οδός Δαρδανελλίων είναι τοπική οδός του δήμου Νέας Σμύρνης κι ανήκει στην κατηγορία φωτισμού CE. Έπειτα από την πρόσφατη ανάπλαση σε τμήμα της οδού, έχουν τοποθετηθεί νέοι ιστοί και φωτιστικά σώματα. Μερική άποψη της οδού απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 8.17 - Μερική άποψη της οδού Δαρδανελλίων από ύψος 754 m

Πηγή: Google Maps

Η ακόλουθη φωτογραφία είναι ενδεικτική του νυχτερινού φωτισμού στην οδό Δαρδανελλίων.



Εικ. 8.18 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Δαρδανελλίων, Μάιος 2013

8.6.1 Κατηγορία Φωτισμού – Δαρδανελλίων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές κι οι ειδικές παράμετροι που καθορίζουν την κατηγορία φωτισμού της οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

Πίνακας 8.16 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Δαρδανελλίων

Κατηγοριοποίηση οδού	Δαρδανελλίων
Τυπική ταχύτητα κύριων χρηστών	> 5 και ≤ 30 km/h
Κύριοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα Πεζοί
Επιτρεπόμενοι χρήστες	Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες
Κατάσταση φωτισμού: D2	
Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Όχι
Κίνδυνος εγκληματικότητας	Κανονικός
Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου	Δεν απαιτείται
Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση	Κανονικός
Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Κανονική
Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Κανονικό - Αστικό
Κατηγορία φωτισμού: CE5	

Οι ελάχιστες φωτοτεχνικές απαιτήσεις φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία φωτισμού CE5, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

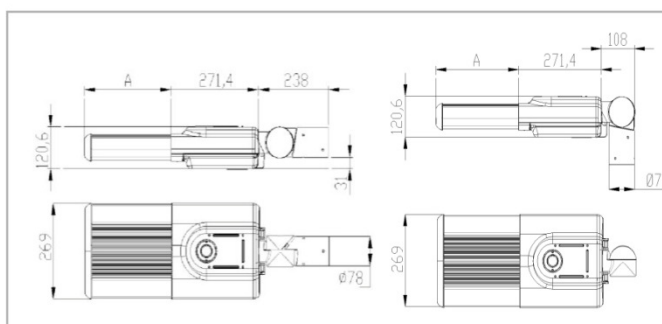
Πίνακας 8.17 - Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]	
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o
Δαρδανελλίων	CE5	7,50	0,40

8.6.2 Επιλογή Φωτιστικού – Δαρδανελλίων

Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό LXDTM703D της οικογένειας LEDWAY Road από την εταιρεία Cree and Ruud Lighting, ισχύος 72 W, συνολικής φωτεινής ροής 6.405 lm και φωτεινής απόδοσης 89 lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής 100.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

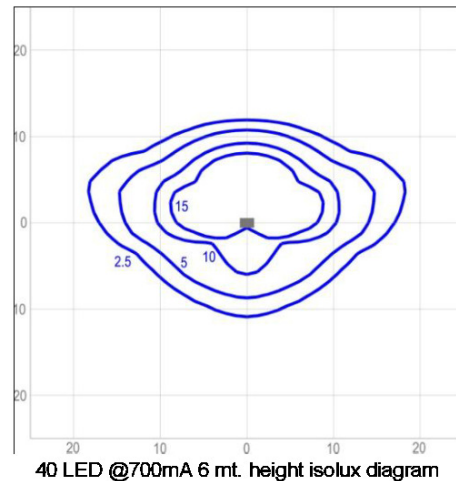
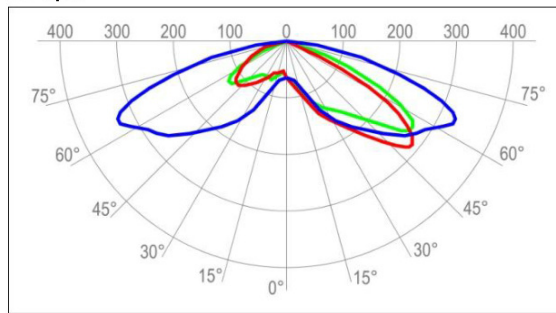
LEDWAY Road – 7 Mount for post top and arm installation



Order codes	Light bars	Number of LEDs	Power System W			"A"
			@350mA	@525mA	@700mA (Standard Version)	
LXD##703D*	3	30	36	52	72	156 mm

For information on luminous flux for each current please see the photometric user guide on our webpage.

TM Optic



Εικ. 8.19 - Φωτιστικό LEDway Road 703D της Cree & Ruud, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.cree.com

8.6.3 Προεπισκόπηση Οδού – Δαρδανελλίων

Εξετάστηκε το τμήμα της οδού στο οποίο πραγματοποιήθηκε πρόσφατη ανάπλαση, από τη διασταύρωση με την οδό Αγίας Σοφίας, μέχρι τη διασταύρωση με την οδό Θεμ. Σοφούλη, μήκους 291 μέτρων. Στο τμήμα αυτό μετρήθηκαν επί τόπου 10 φωτιστικά σώματα σε μονόπλευρη διάταξη.

Τα απαραίτητα για την προσομοίωση φωτισμού δεδομένα εισόδου στο λογισμικό RELUX, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.18 - Προεπισκόπηση της οδού Δαρδανελλίων

Προεπισκόπηση Οδού	Δαρδανελλίων
Διαρρύθμιση οδού	Χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος οδού (b)	6,00
Πλάτος κεντρικής νησίδας	-
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία οδοστρώματος	R3
Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος (q0)	0,08
Κίνηση στην οδό	Εκ δεξιών
Τύπος φωτιστικού	Cree and Ruud LXDTM703D
Διάταξη φωτιστικών	Μονόπλευρη εκ δεξιών
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (α)	28,00
Υψος ανάρτησης (h)	7,00
Απόσταση της προβολής του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο (u)	1,20
Κλίση φωτιστικού (δ)	0,00
Συντελεστής συντήρησης	0,70

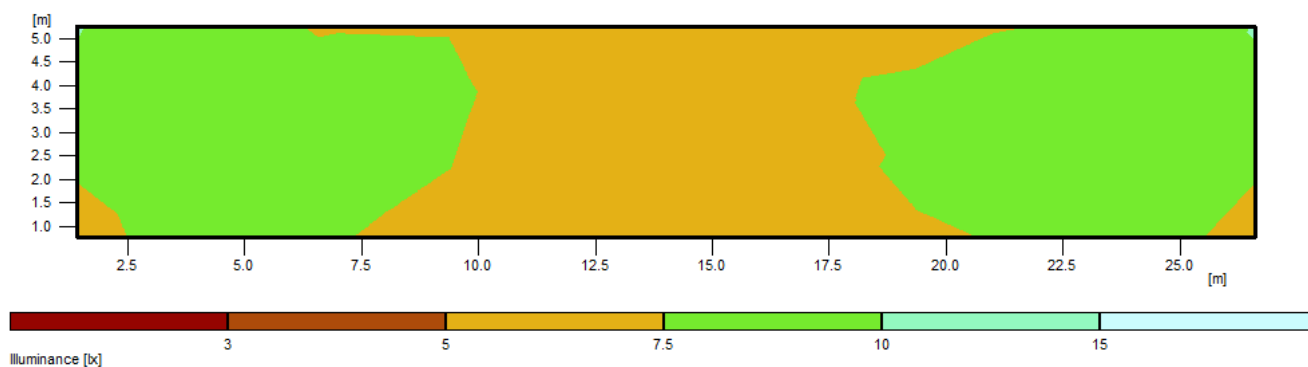
8.6.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Δαρδανελλίων

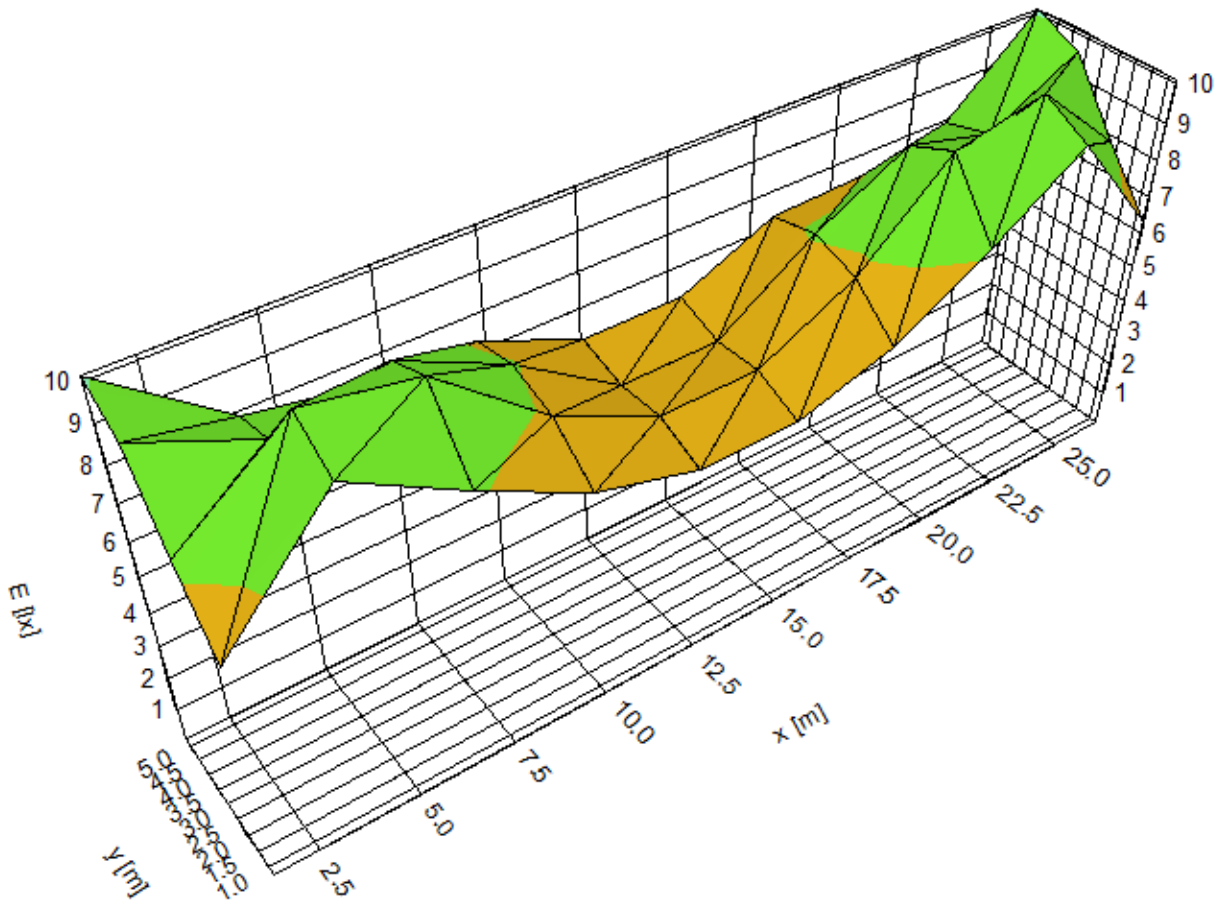
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα ελάχιστα όρια φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.19 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Δαρδανελλίων

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού		Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]			
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας	Φωτεινότητα	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o		
Δαρδανελλίων	CE5	7,50	0,40	7,70	0,70

Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της οριζόντιας έντασης φωτισμού, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται καλή ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.





Εικ. 8.20 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Δαρδανελλίων

8.7 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Μεγάλου Αλεξάνδρου (Σενάριο 1)

Η οδός Μεγάλου Αλεξάνδρου είναι τοπική αστική οδός του δήμου Νέας Σμύρνης κι ανήκει στην κατηγορία φωτισμού CE. Μερική άποψη της οδού απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 8.21 - Μερική άποψη της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου από ύψος 963 m

Πηγή: Google Maps

Η ακόλουθη φωτογραφία είναι ενδεικτική του νυχτερινού φωτισμού στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου.



Εικ. 8.22 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου, Μάιος 2013

8.7.1 Κατηγορία Φωτισμού – Μεγ. Αλεξάνδρου

8.7.2 Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές κι οι ειδικές παράμετροι που καθορίζουν την κατηγορία φωτισμού της οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

Πίνακας 8.20 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου

Κατηγοριοποίηση οδού	Μεγ. Αλεξάνδρου
Τυπική ταχύτητα κύριων χρηστών	> 5 και ≤ 30 km/h
Κύριοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα Πεζοί
Επιτρεπόμενοι χρήστες	Αργά κινούμενα οχήματα Ποδηλάτες
Κατάσταση φωτισμού: D2	
Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Όχι
Κίνδυνος εγκληματικότητας	Κανονικός
Αναγνωρισιμότητα χαρακτηριστικών προσώπου	Δεν απαιτείται
Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση	Κανονικός
Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Κανονική
Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Κανονικό - Αστικό
Κατηγορία φωτισμού: CE5	

Οι ελάχιστες φωτοτεχνικές απαιτήσεις φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία φωτισμού CE5, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8.21 - Ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού CE5

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]	
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o
Μεγ. Αλεξάνδρου	CE5	7,50	0,40

8.7.3 Επιλογή Φωτιστικού – Μεγ. Αλεξάνδρου

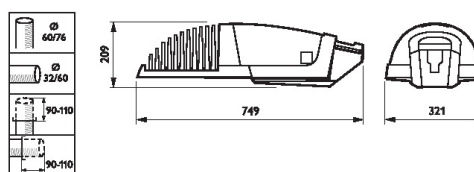
Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό BGP340 LED55S/640 DM της οικογένειας Selenium LED από την εταιρεία Philips, ισχύος 55 W, συνολικής φωτεινής ροής 4.810 lm και απόδοσης 86 lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής 60.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

Selenium LED

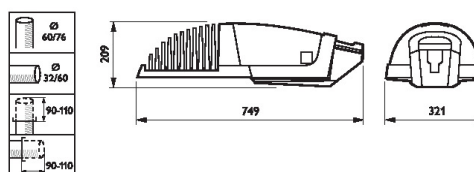
BGP340 LED55S/640 PSU I DM FG 48/60



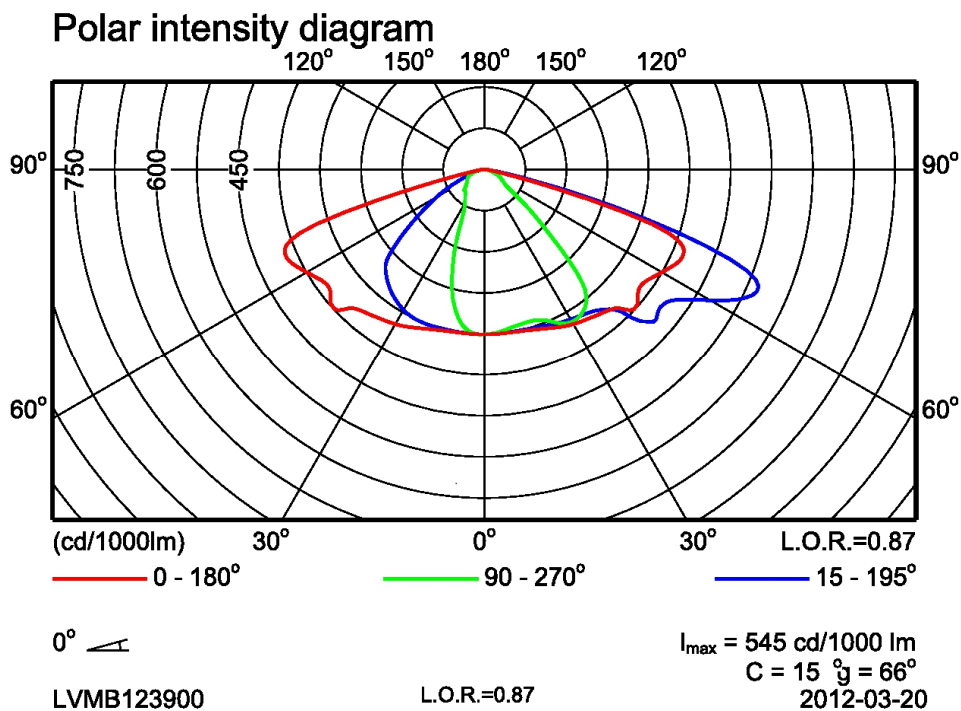
Dimensional drawing



BGP340 LED55S/640 PSU I DM FG 48/60



BGP340 LED55S/640 PSU I DM FG 48/60



Εικ. 8.23 - Φωτιστικό Selenium LED 55S της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.philips.gr

8.7.4 Προεπισκόπηση Οδού – Μεγ. Αλεξάνδρου

Εξετάστηκε η οδός στο σύνολό της, μήκους 1.028 μέτρων, ενώ μετρήθηκαν επί τόπου 37 φωτιστικά σώματα σε μονόπλευρη διάταξη.

Τα απαραίτητα για την προσομοίωση φωτισμού δεδομένα εισόδου στο λογισμικό RELUX, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.22 – Προεπισκόπηση της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου

Προεπισκόπηση Οδού	Μεγ. Αλεξάνδρου
Διαρρύθμιση οδού	Χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος οδού (b)	8,00
Πλάτος κεντρικής νησίδας	-
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία οδοστρώματος	R3
Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος (ρ_0)	0,08
Κίνηση στην οδό	Εκ δεξιών
Τύπος φωτιστικού	Philips BGP340 LED55S/640 DM
Διάταξη φωτιστικών	Μονόπλευρη εκ δεξιών
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (α)	21,00
Υψος ανάρτησης (h)	10,50

Απόσταση της προβολής του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο (u)	0,65
Κλίση φωτιστικού (δ)	15,00
Συντελεστής συντήρησης	0,70

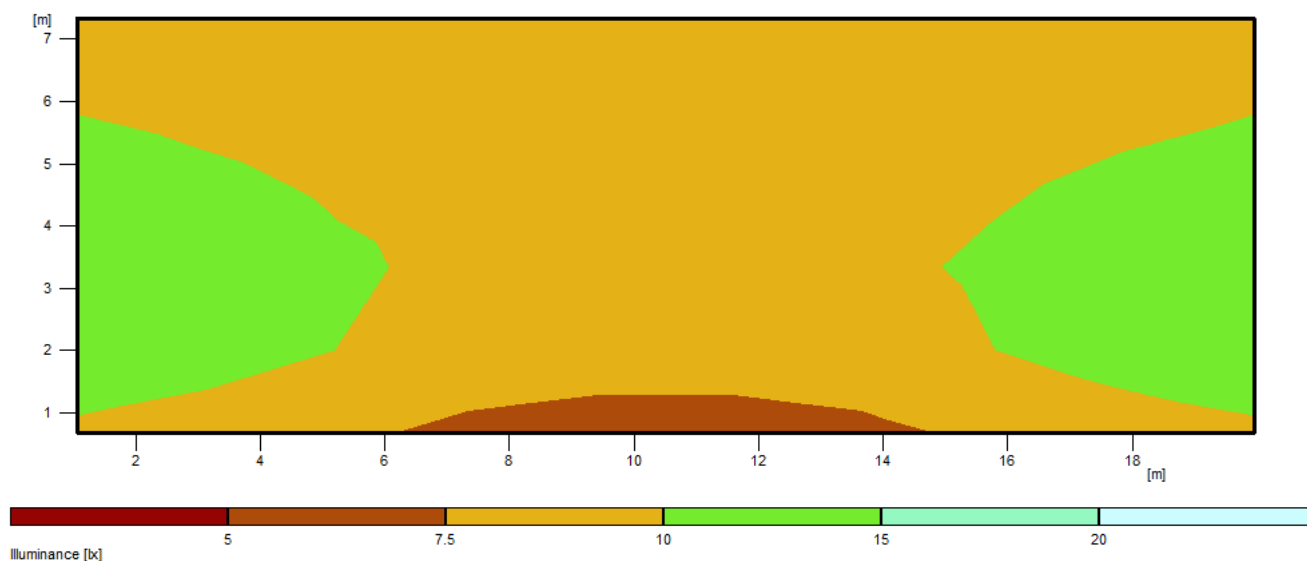
8.7.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Μεγ. Αλεξάνδρου

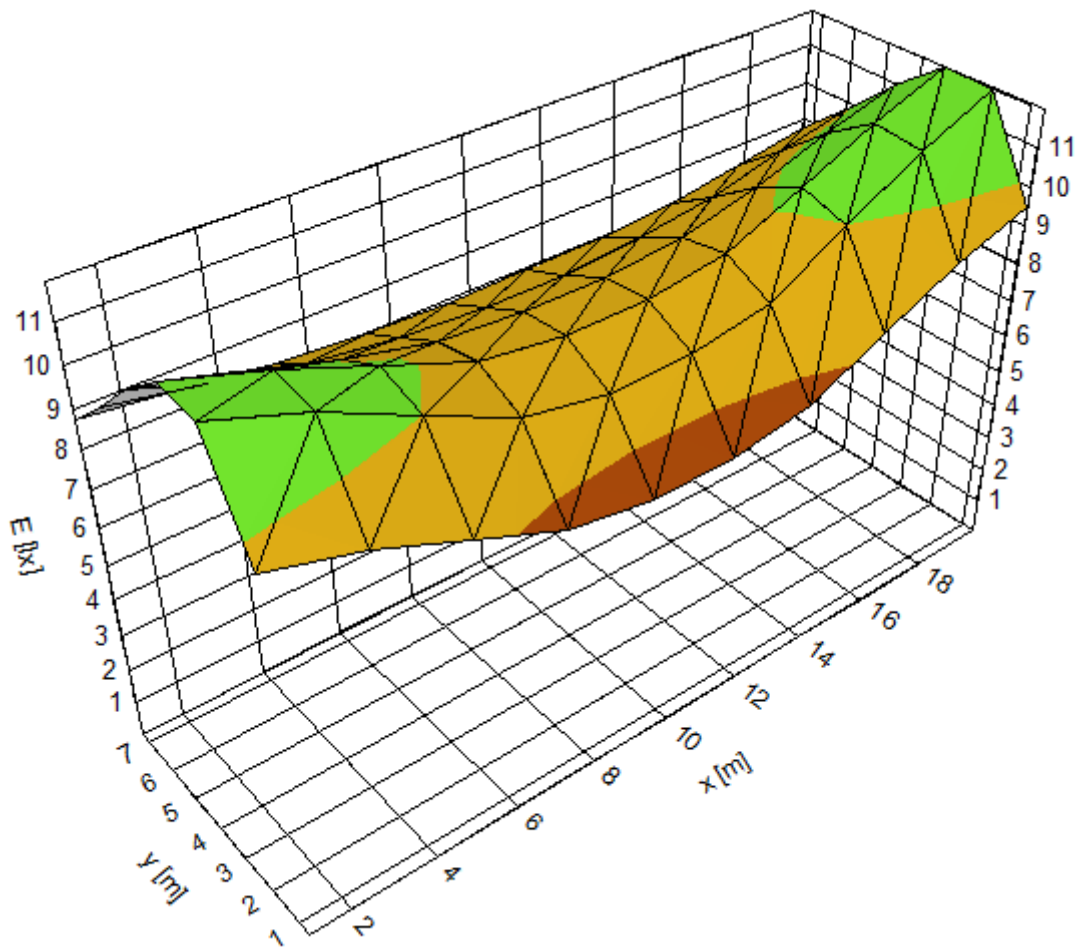
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα ελάχιστα όρια φωτεινότητας κι ομοιομορφίας φωτεινότητας και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.23 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Μεγ. Αλεξάνδρου

Στοιχεία Οδού		Ελάχιστες Απαιτήσεις Φωτισμού		Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού	
		[CEN/TR 13201-2]			
Οδός	Κατηγορία Οδού	Επίπεδο Αναφοράς Φωτεινότητας	Ομοιομορφία Φωτεινότητας	Φωτεινότητα	Ομοιομορφία Φωτεινότητας
		E_{μ} (lux)	U_o	E_{μ} (lux)	$U_o = E_{min}/E_{\mu}$
Μεγ. Αλεξάνδρου	CE5	7,50	0,40	9,30	0,72

Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω φαίνεται η κατανομή της οριζόντιας έντασης φωτισμού, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται καλή ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.

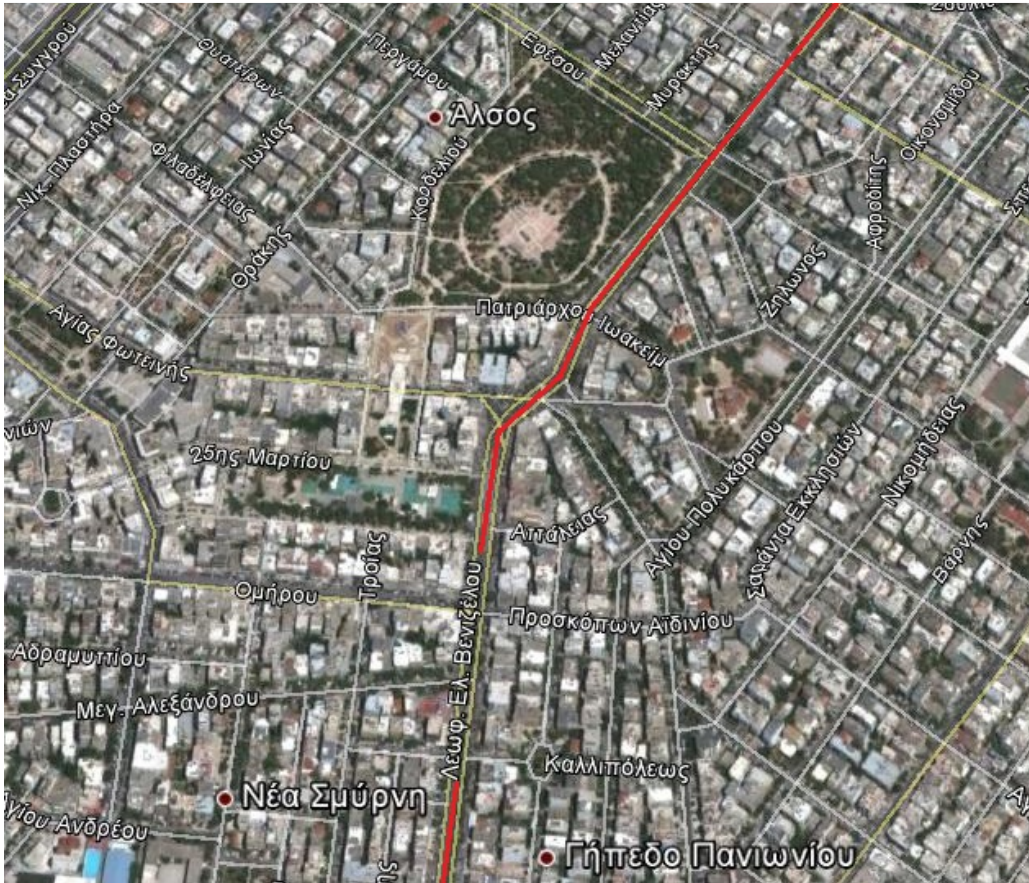




Εικ. 8.24 - Κατανομή έντασης φωτισμού σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου

8.8 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 1)

Η λεωφόρος Ελευθερίου Βενιζέλου αποτελεί κεντρικό οδικό άξονα της Νέας Σμύρνης κι αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα διαδημοτικής οδού, κατηγορίας φωτισμού ΜΕ. Μερική άποψη της οδού απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 8.25 - Μερική άποψη της λεωφόρου Ελ. Βενιζέλου από ύψος 1,47 km

Πηγή: Google Maps

Η ακόλουθη φωτογραφία είναι ενδεικτική του νυχτερινού φωτισμού στην οδό Ελ. Βενιζέλου.



Εικ. 8.26 - Νυχτερινός φωτισμός στην οδό Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο), Μάιος 2013

8.8.1 Κατηγορία Φωτισμού – Ελ. Βενιζέλου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικές κι οι ειδικές παράμετροι που καθορίζουν την κατηγορία φωτισμού της οδού, σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201-2.

Πίνακας 8.24 - Κατηγοριοποίηση κατά EN 13201-2 της οδού Ελ. Βενιζέλου

Κατηγοριοποίηση οδού	Ελ. Βενιζέλου
Τυπική ταχύτητα κύριων χρηστών	> 30 και ≤ 60 km/h
Κύριοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα Αργά κινούμενα οχήματα
Επιτρεπόμενοι χρήστες	Ποδηλάτες Πεζοί
Κατάσταση φωτισμού: B1	
Κύριος τύπος καιρού	Ξηρός
Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Όχι
Πυκνότητα ισόπεδων κόμβων	≥ 3 ισόπεδοι κόμβοι/km
Βαθμός δυσκολίας στην πλοήγηση	Κανονικός
Ημερήσια κυκλοφοριακή ροή οχημάτων	> 7.000
Περιοχή κυκλοφοριακών εμπλοκών	Όχι
Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Κανονική
Σταθμευμένα οχήματα	Υπάρχουν
Επίπεδο φωτισμού περιβάλλοντος χώρου	Κανονικό - Αστικό
Κυκλοφοριακή ροή ποδηλατών	Κανονική
Κατηγορία φωτισμού: ME4b	

Οι φωτοτεχνικές απαιτήσεις λαμπρότητας κι ομοιομορφίας λαμπρότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία φωτισμού ME4b, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8.25 - Απαιτήσεις φωτισμού για την κατηγορία φωτισμού ME4b

Στοιχεία Οδού		Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού			Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου
		Μέση λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία		
Οδός	Κατηγορία Οδού	L_{μ} (cd/m ²)	U_0	U_1	TI (%)	SR
		ελάχιστη διατηρηθείσα	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	μέγιστη αρχική τιμή	ελάχιστη τιμή
Ελ. Βενιζέλου	ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5

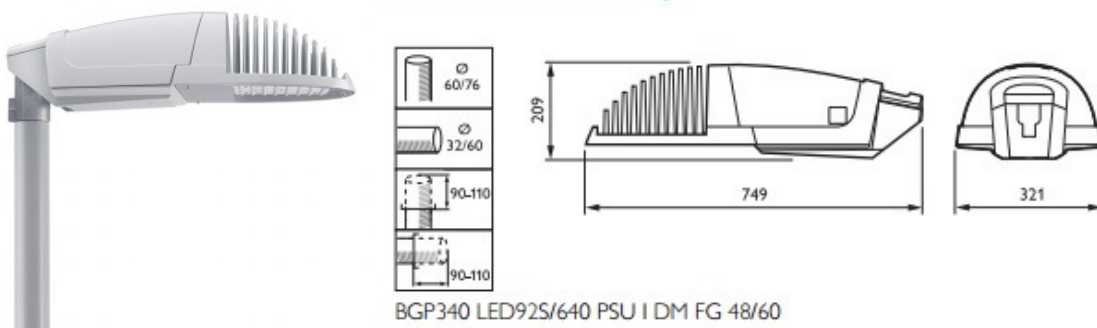
8.8.2 Επιλογή Φωτιστικού – Ελ. Βενιζέλου

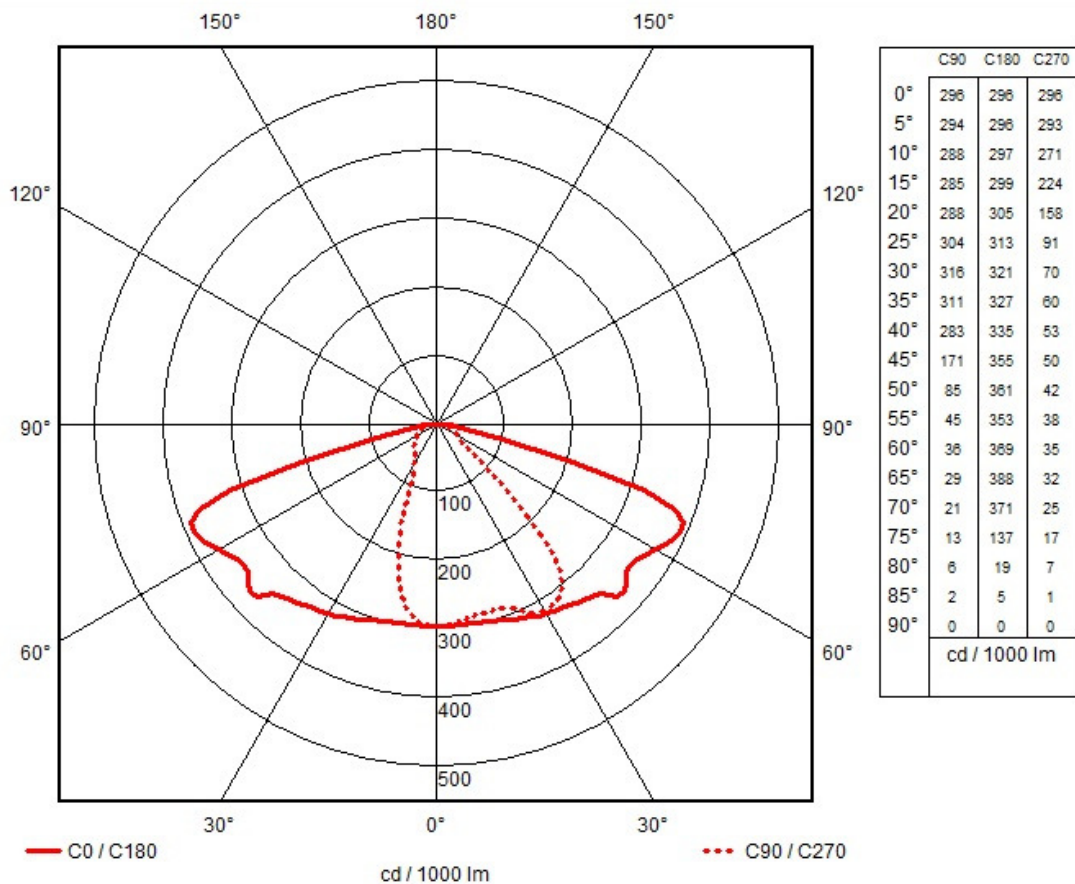
Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό BGP340 LED92S/640 DM της οικογένειας Selenium LED από την εταιρεία Philips, ισχύος 89 W, συνολικής φωτεινής ροής 7.906 lm και απόδοσης 89 lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής 60.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

Selenium LED

BGP340 LED92S/640 PSU I DM FG 48/60

Dimensional drawing





Εικ. 8.27 - Φωτιστικό Selenium LED 92S της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.philips.gr

8.8.3 Προεπισκόπηση Οδού – Ελ. Βενιζέλου

Εξετάστηκε το τμήμα της οδού που ανήκει στο Δήμο της Νέας Σμύρνης, από τη διασταύρωση με την οδό Κράτητος μέχρι τη διασταύρωση με την οδό Ψαρών, συνολικού μήκους 2.419 μέτρων. Στο τμήμα αυτό μετρήθηκαν επί τόπου 74 φωτιστικά σώματα σε μονόπλευρη διάταξη και για κάθε κατεύθυνση, δηλαδή 148 φωτιστικά στο σύνολο της οδού.

Τα απαραίτητα για τη μελέτη φωτισμού δεδομένα εισόδου στο λογισμικό πακέτο RELUX, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8.26 - Προεπισκόπηση της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 1)

Προεπισκόπηση Οδού	Ελ. Βενιζέλου
Διαρρύθμιση οδού	Χωρίς κεντρική νησίδα
Πλάτος οδού (b)	6,00
Πλάτος κεντρικής νησίδας	-
Αριθμός λωρίδων	2
Κατηγορία οδοστρώματος	R3
Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος (q0)	0,08
Κίνηση στην οδό	Εκ δεξιών

Τύπος φωτιστικού	Philips BGP340 LED92S/640 DM
Διάταξη φωτιστικών	Μονόπλευρη εκ δεξιών
Απόσταση μεταξύ των φωτιστικών (α)	35,00
Υψος ανάρτησης (h)	9,50
Απόσταση της προβολής του φωτιστικού από το πεζοδρόμιο (u)	0,85
Κλίση φωτιστικού (δ)	10,00
Συντελεστής συντήρησης	0,70

Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι η λεωφόρος Ελ. Βενιζέλου έχει τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας (δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση), αλλά διακόπτεται κεντρικά από τις γραμμές του τραμ. Έτσι, εξετάζονται οι δύο κατευθύνσεις ως ανεξάρτητες μεταξύ τους κι η εν προκειμένω μελέτη έχει ισχύ για καθεμιά από τις δύο κατευθύνσεις ξεχωριστά, αφού παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά.

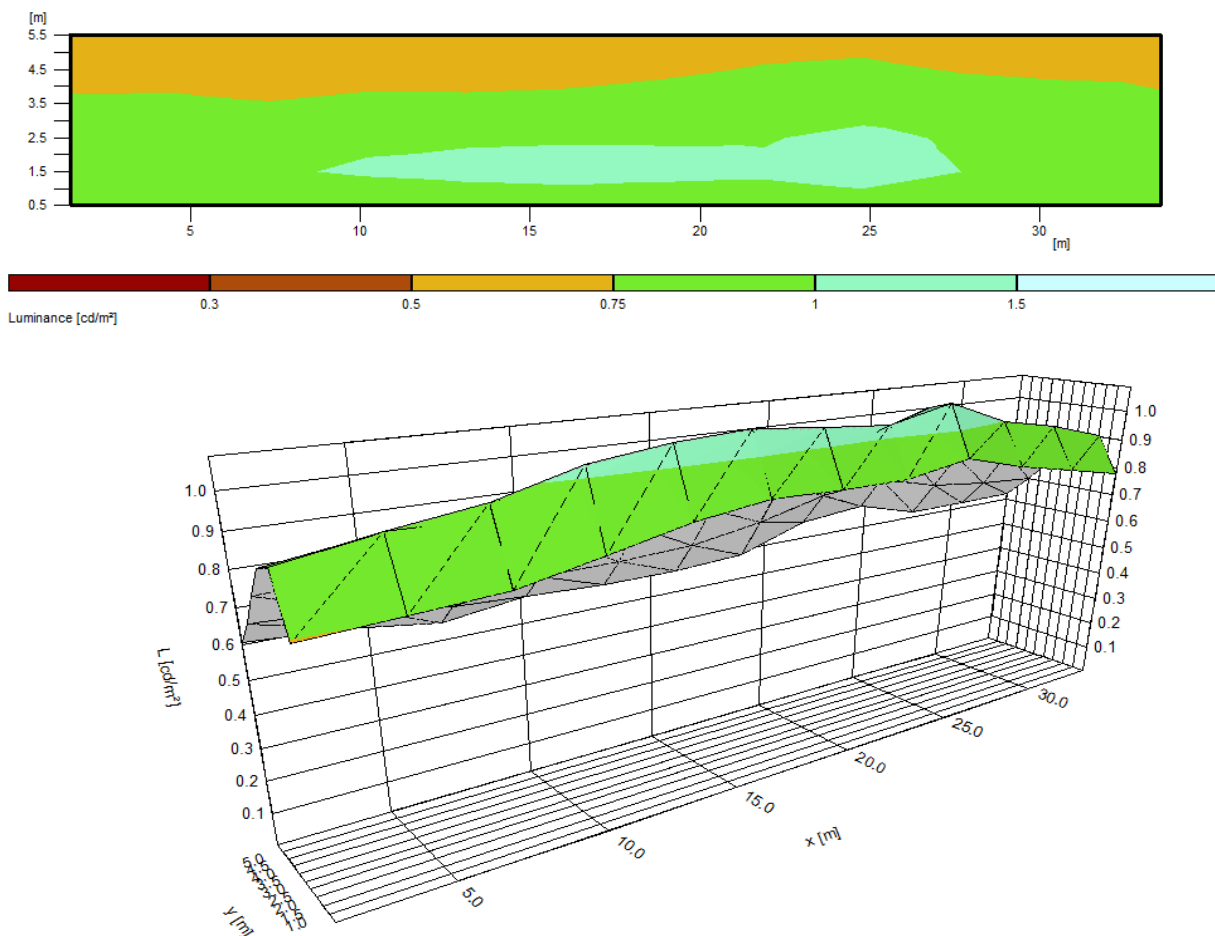
8.8.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού – Ελ. Βενιζέλου

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα όρια του προτύπου και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολουθώντας και αναλυτικά στο παράρτημα.

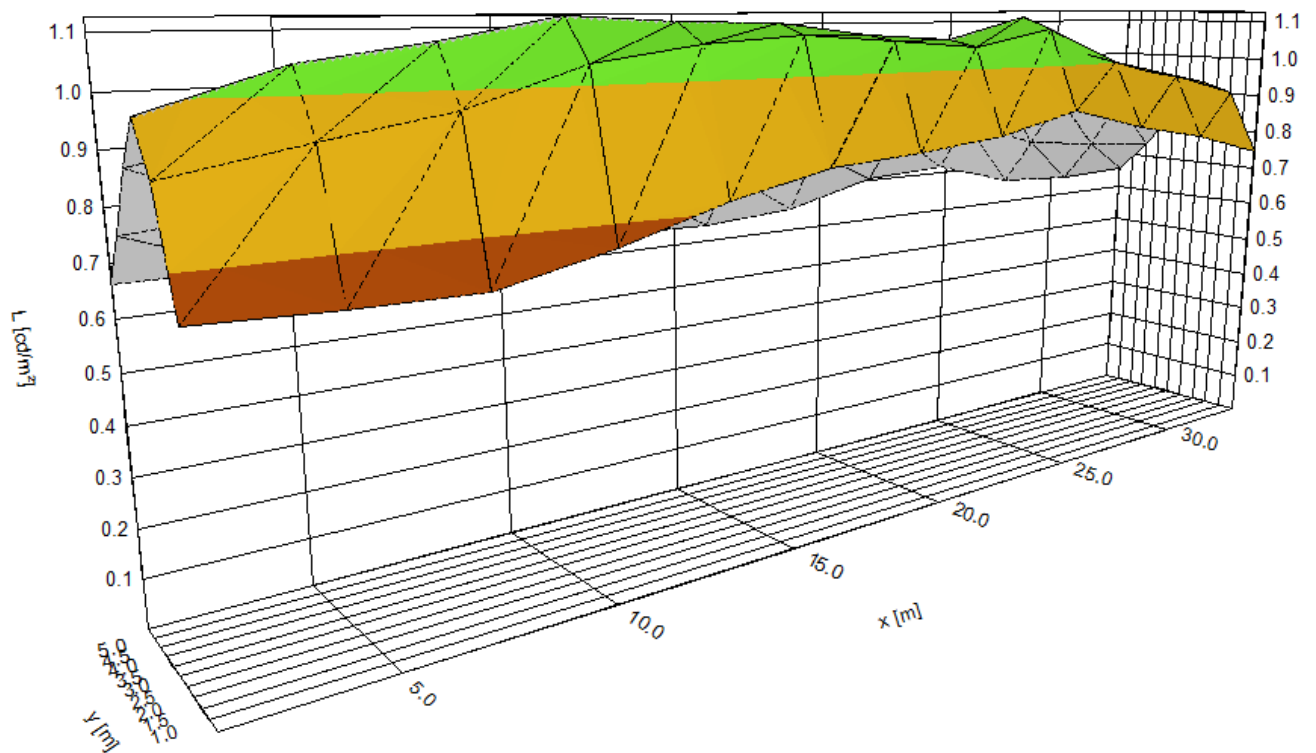
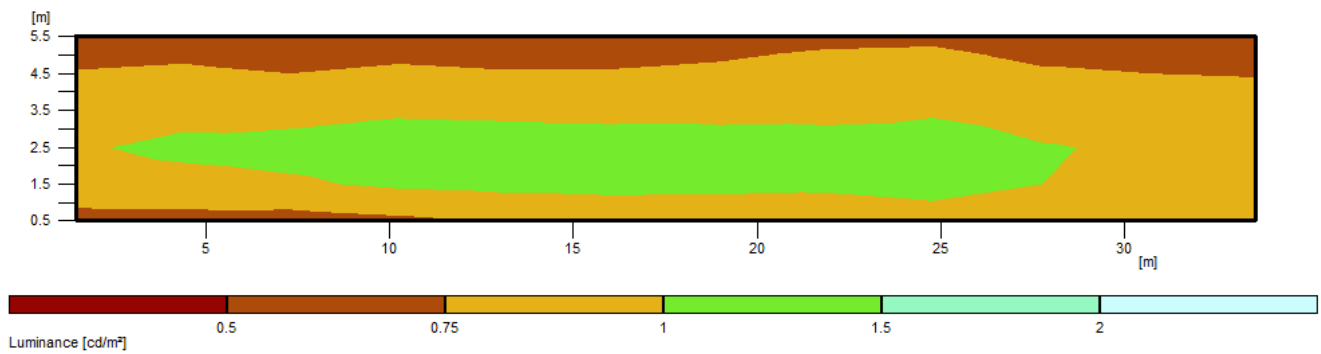
Πίνακας 8.27 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 1)

Στοιχεία Οδού		Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού			Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου
		Μέση λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία		
Οδός	Κατηγορία Οδού	L_{μ} (cd/m ²)	U_0	U_1	ΤΙ (%)	SR
Ελ. Βενιζέλου	ME4b	ελάχιστη διατηρηθείσα	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	μέγιστη αρχική τιμή	ελάχιστη τιμή
Απαιτήσεις Προτύπου		0,75	0,40	0,50	15	0,50
Παρατηρητής 1		0,82	0,67	0,83	7	0,61
Παρατηρητής 2		0,86	0,72	0,88	8	0,61

Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω παρατίθενται οι κατανομές της λαμπρότητας για κάθε μία από τις δύο εξεταζόμενες θέσεις παρατήρησης, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται καλή συνολική ομοιομορφία και πολύ καλή διαμήκης ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.



Εικ. 8.28 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 1)



Εικ. 8.29 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (1)

8.9 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 2)

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η επιρροή του αυξημένου συντελεστή συντήρησης εγκατάστασης MF. Κρατώντας όλα τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου σταθερά, αυξάνεται η τιμή του MF από 0,70 αρχικά, σε 0,90.

8.9.1 Επιλογή Φωτιστικού

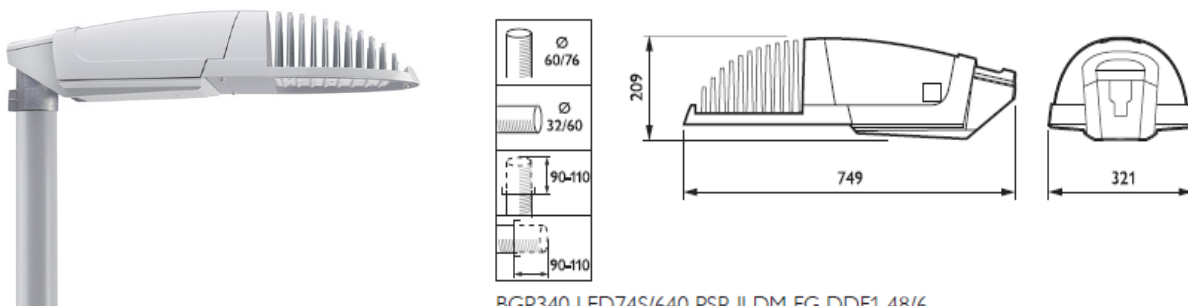
Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό BGP340 LED74S/640 DM της οικογένειας Selenium LED από την εταιρεία Philips, ισχύος 71 W, συνολικής φωτεινής ροής 6.372 lm και απόδοσης 89 lm/W. Πρόκειται για φωτιστικό με στεγανότητα κατηγορίας IP66 και διάρκεια ζωής 60.000 ώρες. Συνολικά, οι προδιαγραφές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτιστικού

παρουσιάζονται στο παράρτημα, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή. Παρακάτω εικονίζεται το εν λόγω φωτιστικό με τις διαστάσεις του καθώς και το πολικό του διάγραμμα.

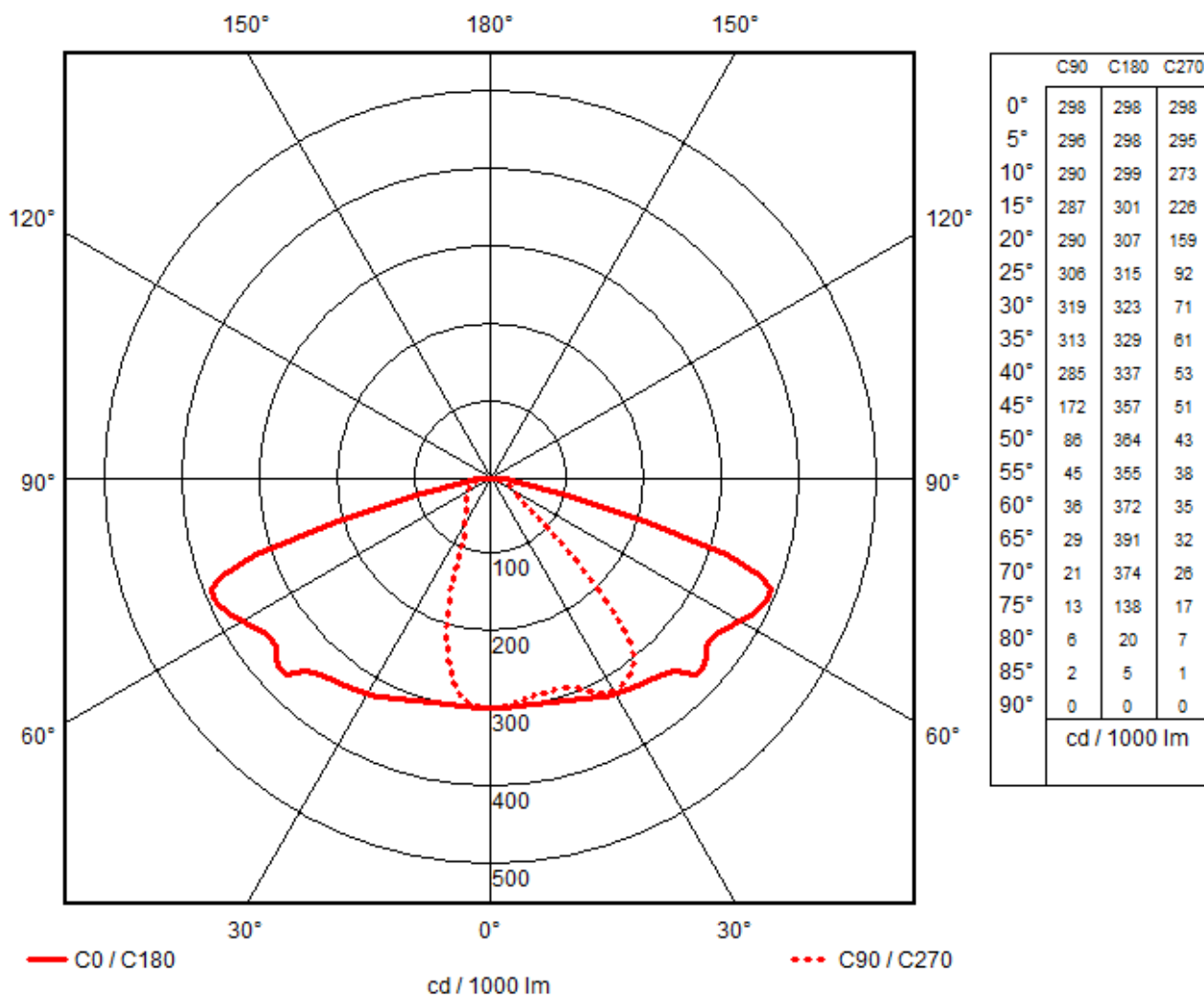
Selenium LED

BGP340 LED74S/640 PSR II DM FG DDF1 48/6

Dimensional drawing



BGP340 LED74S/640 PSR II DM FG DDF1 48/6



Εικ. 8.30 – Φωτιστικό Selenium LED 74S της Philips, διαστάσεις και πολικό διάγραμμα

Πηγή: www.philips.gr

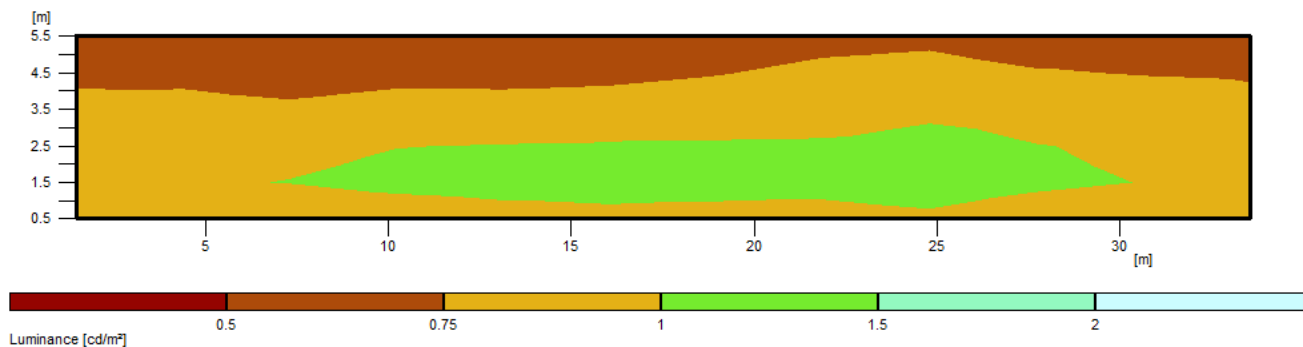
8.9.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού

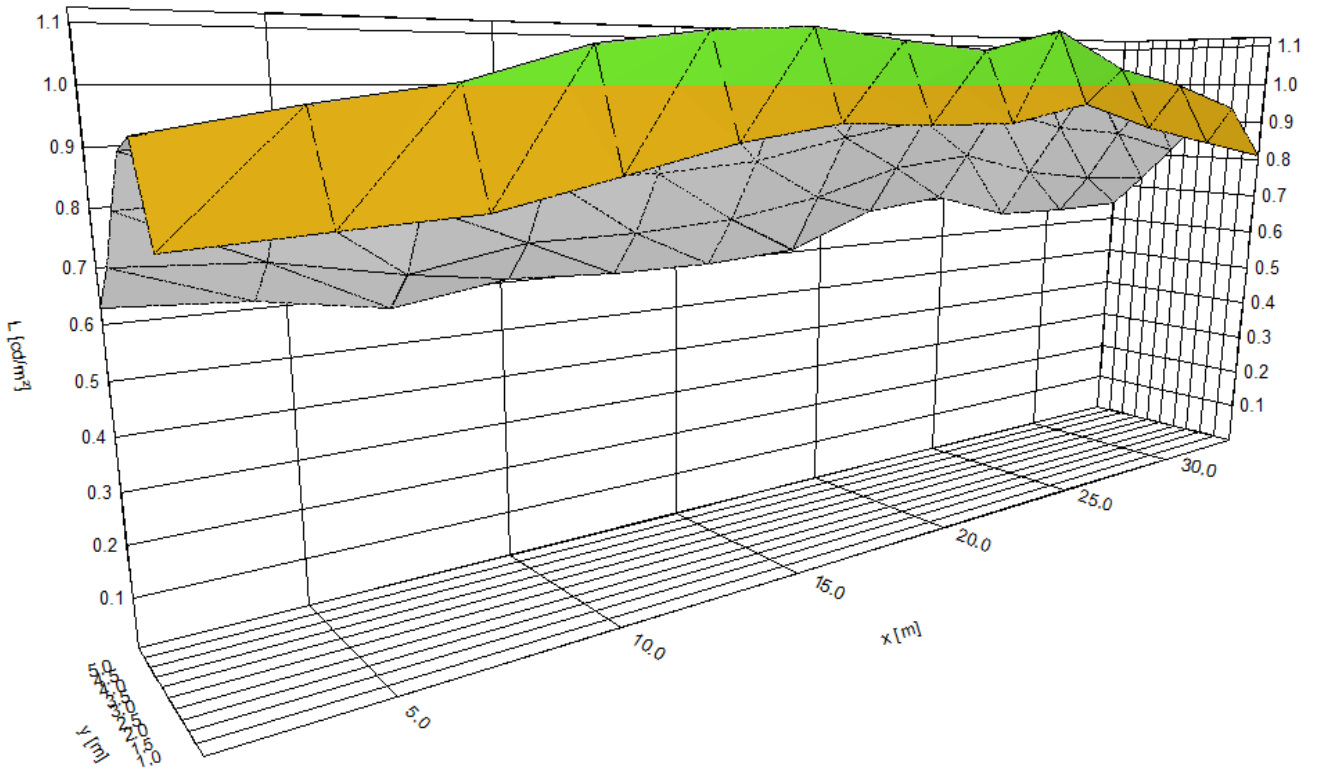
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα όρια του προτύπου και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.28 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 2)

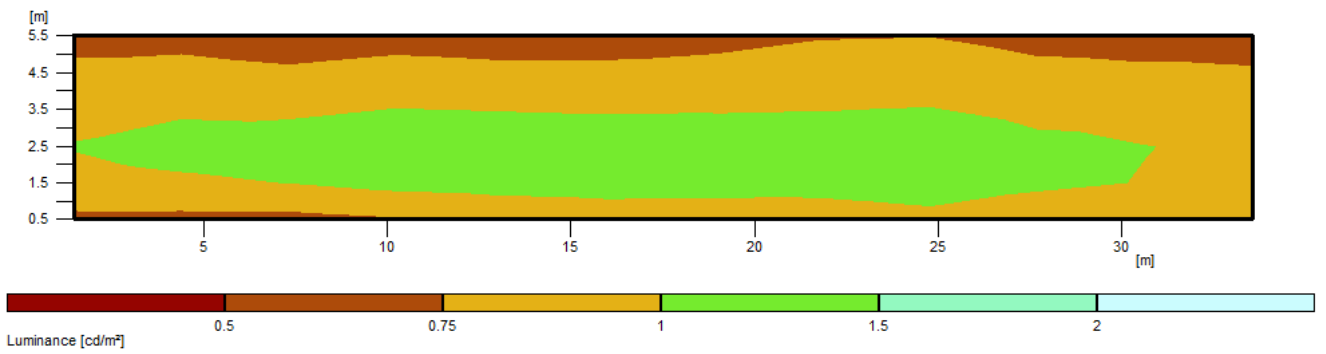
Στοιχεία Οδού		Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού			Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου
		Μέση λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία		
Οδός	Κατηγορία Οδού	L_{μ} (cd/m ²)	U_0	U_1	ΤΙ (%)	SR
Ελ. Βενιζέλου	ME4b	ελάχιστη διατηρηθείσα	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	μέγιστη αρχική τιμή	ελάχιστη τιμή
Απαιτήσεις Προτύπου		0,75	0,40	0,50	15	0,50
Παρατηρητής 1		0,85	0,67	0,83	7	0,61
Παρατηρητής 2		0,90	0,72	0,88	8	0,61

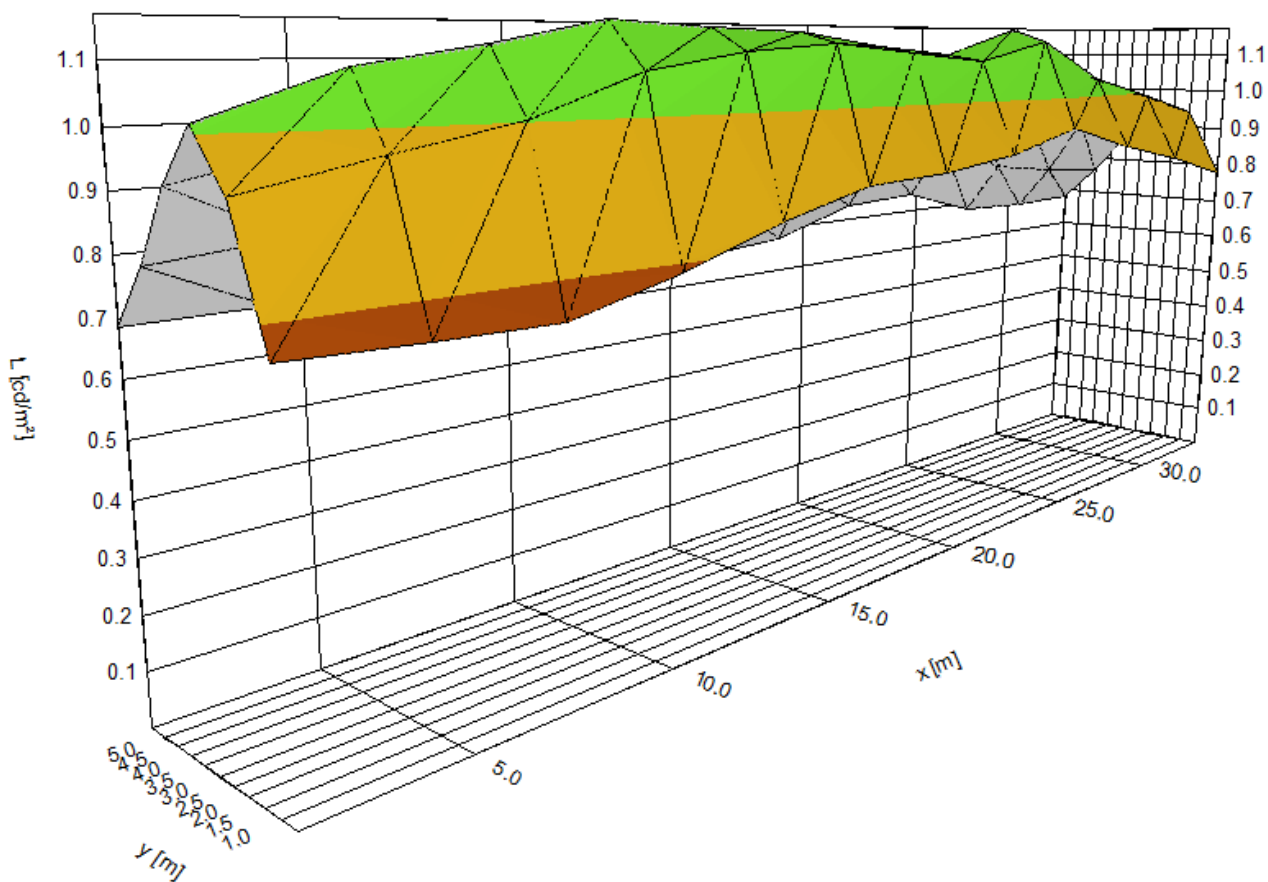
Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω παρατίθενται οι κατανομές της λαμπρότητας για κάθε μία από τις δύο εξεταζόμενες θέσεις παρατήρησης, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται καλή συνολική ομοιομορφία και πολύ καλή διαμήκης ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία.





Εικ. 8.31 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 2)





Εικ. 8.32 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 2)

8.10 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 3)

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η επιρροή της χρήσης οδοστρώματος με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες. Κρατώντας όλα τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου σταθερά, επιλέγεται κατηγορία ανακλαστικότητας R1, από R3 αρχικά.

8.10.1 Επιλογή Φωτιστικού

Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό BGP340 LED74S/640 DM της οικογένειας Selenium LED από την εταιρεία Philips, όπως και στο προηγούμενο σενάριο.

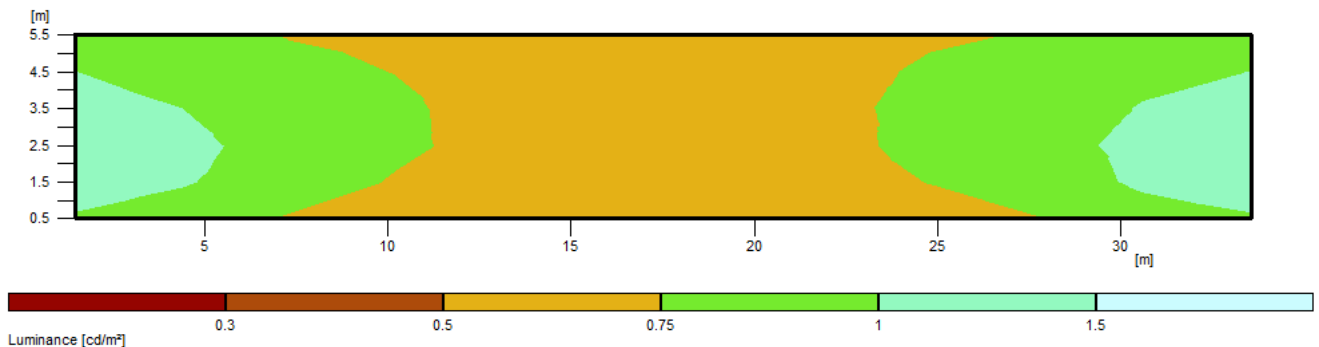
8.10.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού

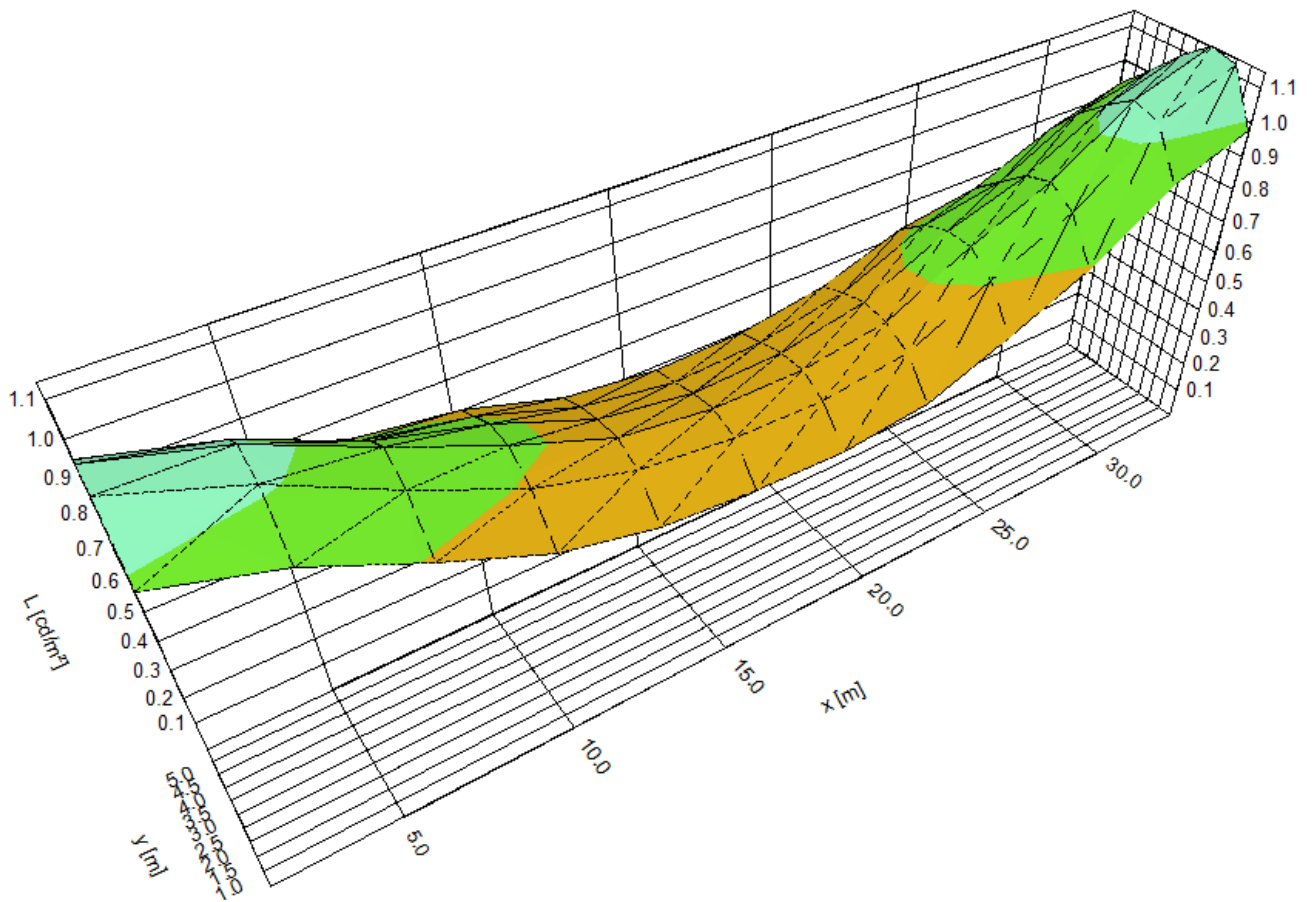
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα όρια του προτύπου και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.29 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 3)

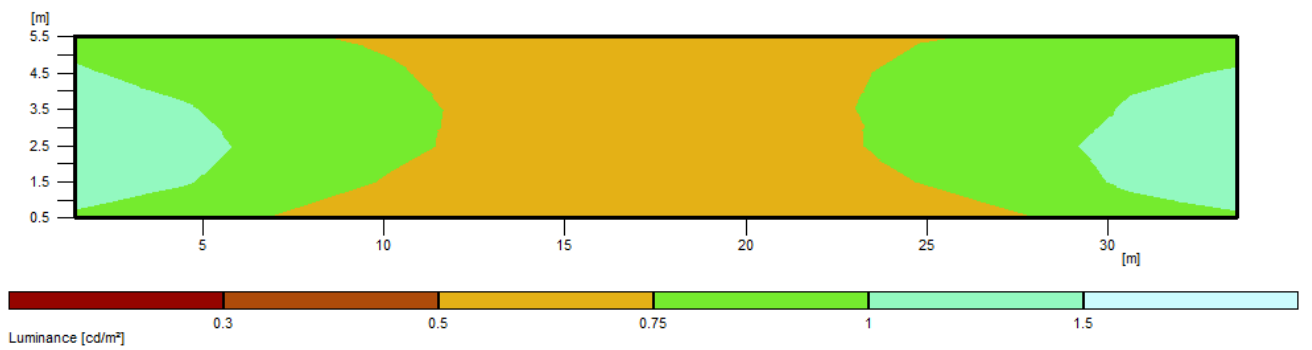
Στοιχεία Οδού		Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού			Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου
		Μέση λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία		
Οδός	Κατηγορία Οδού	L_{μ} (cd/m ²)	U_0	U_1	ΤΙ (%)	SR
Ελ. Βενιζέλου	ME4b	ελάχιστη διατηρηθείσα	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	μέγιστη αρχική τιμή	ελάχιστη τιμή
Απαιτήσεις Προτύπου		0,75	0,40	0,50	15	0,50
Παρατηρητής 1		0,80	0,63	0,54	6	0,61
Παρατηρητής 2		0,81	0,63	0,61	7	0,61

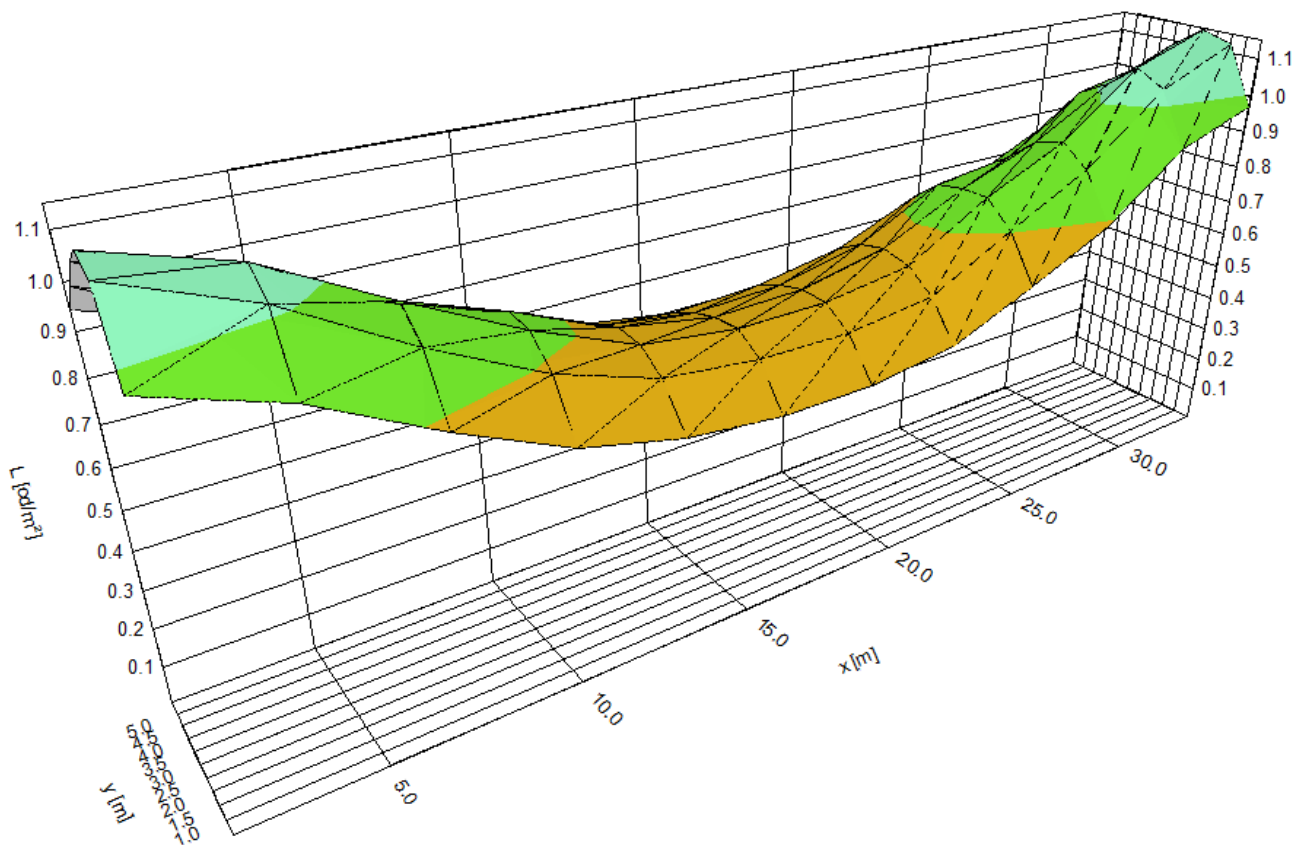
Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω παρατίθενται οι κατανομές της λαμπρότητας για κάθε μία από τις δύο εξεταζόμενες θέσεις παρατήρησης, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται καλή συνολική ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία και οριακή διαμήκης ομοιομορφία στη θέση παρατήρησης 1, ενώ στη θέση παρατήρησης 2 κρίνεται ικανοποιητική.





Εικ. 8.33 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 3)





Εικ. 8.34 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 3)

8.11 Προσομοίωση Φωτισμού της Οδού Ελευθερίου Βενιζέλου (Σενάριο 4)

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η επιρροή από το συνδυασμό αυξημένου συντελεστή συντήρησης και χρήσης οδοστρώματος με βελτιωμένες ανακλαστικές ιδιότητες. Κρατώντας όλα τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου σταθερά, επιλέγεται $MF = 0,90$ και κατηγορία ανακλαστικότητας R1.

8.11.1 Επιλογή Φωτιστικού

Έπειτα από αρκετές δοκιμές που έγιναν, μέσα από μια ευρεία ποικιλία φωτιστικών κατάλληλων για φωτισμό οδών, επιλέχθηκε τελικά το φωτιστικό BGP340 LED55S/640 DM της οικογένειας Selenium LED από την εταιρεία Philips, όπως και στην οδό Μεγ. Αλεξάνδρου στο Σενάριο 1.

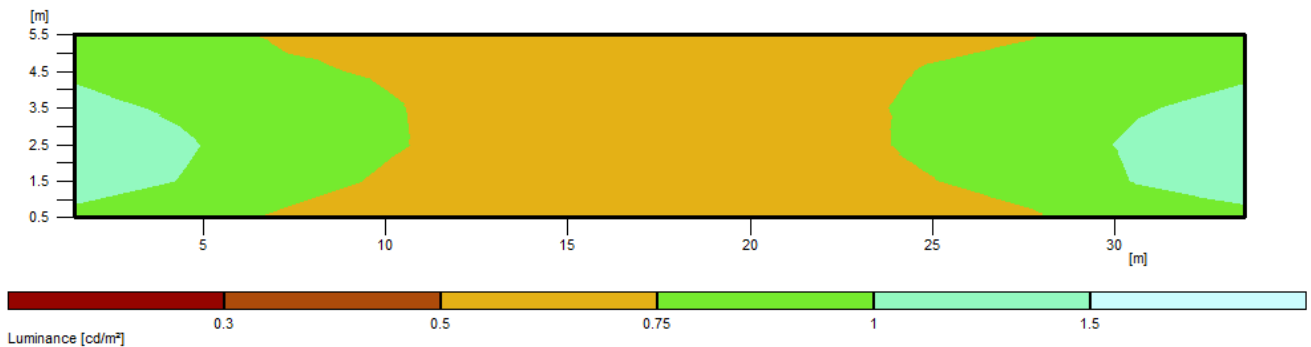
8.11.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Φωτισμού

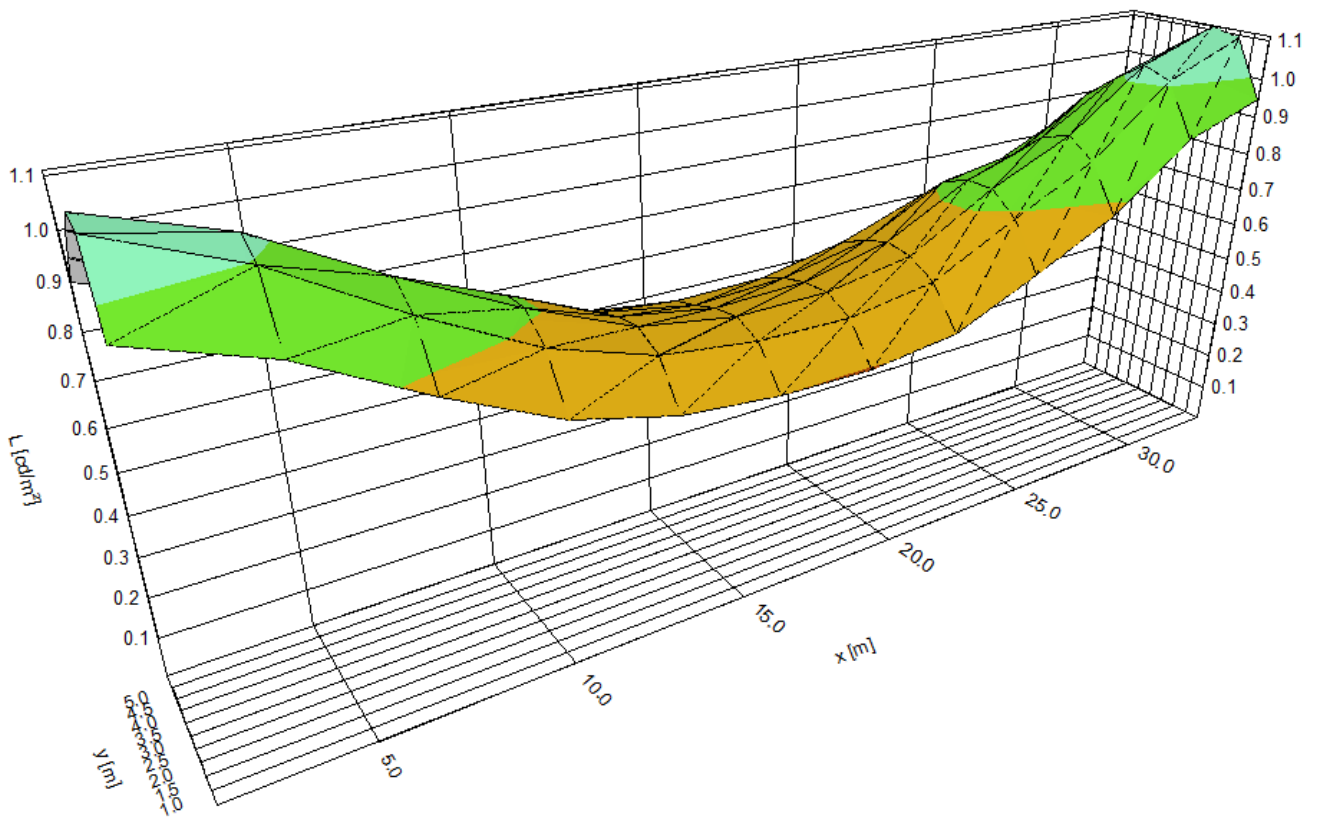
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φωτισμού με τη χρήση του λογισμικού RELUX υπερκαλύπτουν τα όρια του προτύπου και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 8.30 - Αποτελέσματα προσομοίωσης φωτισμού της οδού Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 4)

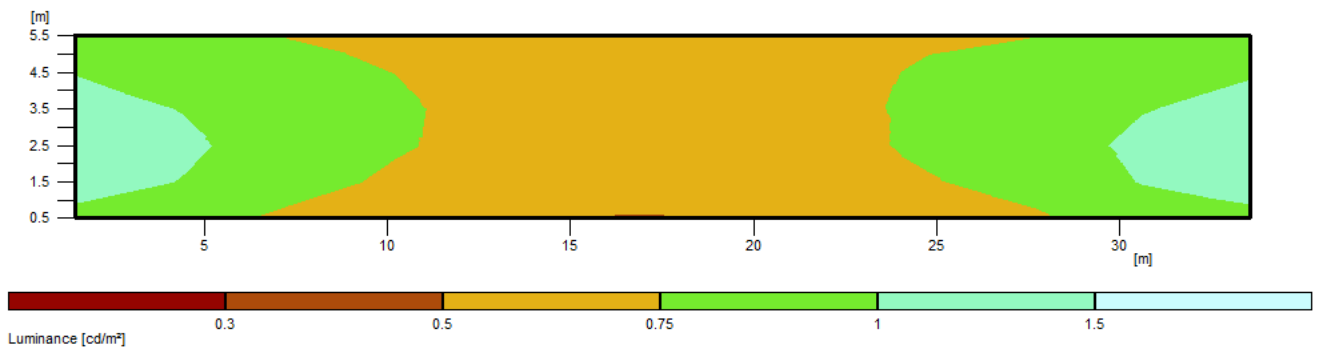
Στοιχεία Οδού		Λαμπρότητα Οδοστρώματος της Οδού			Δείκτης Θάμβωσης	Φωτισμός περιβάλλοντος χώρου
		Μέση λαμπρότητα	Συνολική Ομοιομορφία	Διαμήκης Ομοιομορφία		
Οδός	Κατηγορία Οδού	L_{μ} (cd/m ²)	U_0	U_1	ΤΙ (%)	SR
Ελ. Βενιζέλου	ME4b	ελάχιστη διατηρηθείσα	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	μέγιστη αρχική τιμή	ελάχιστη τιμή
Απαιτήσεις Προτύπου		0,75	0,40	0,50	15	0,50
Παρατηρητής 1		0,78	0,63	0,54	6	0,61
Παρατηρητής 2		0,79	0,63	0,61	6	0,61

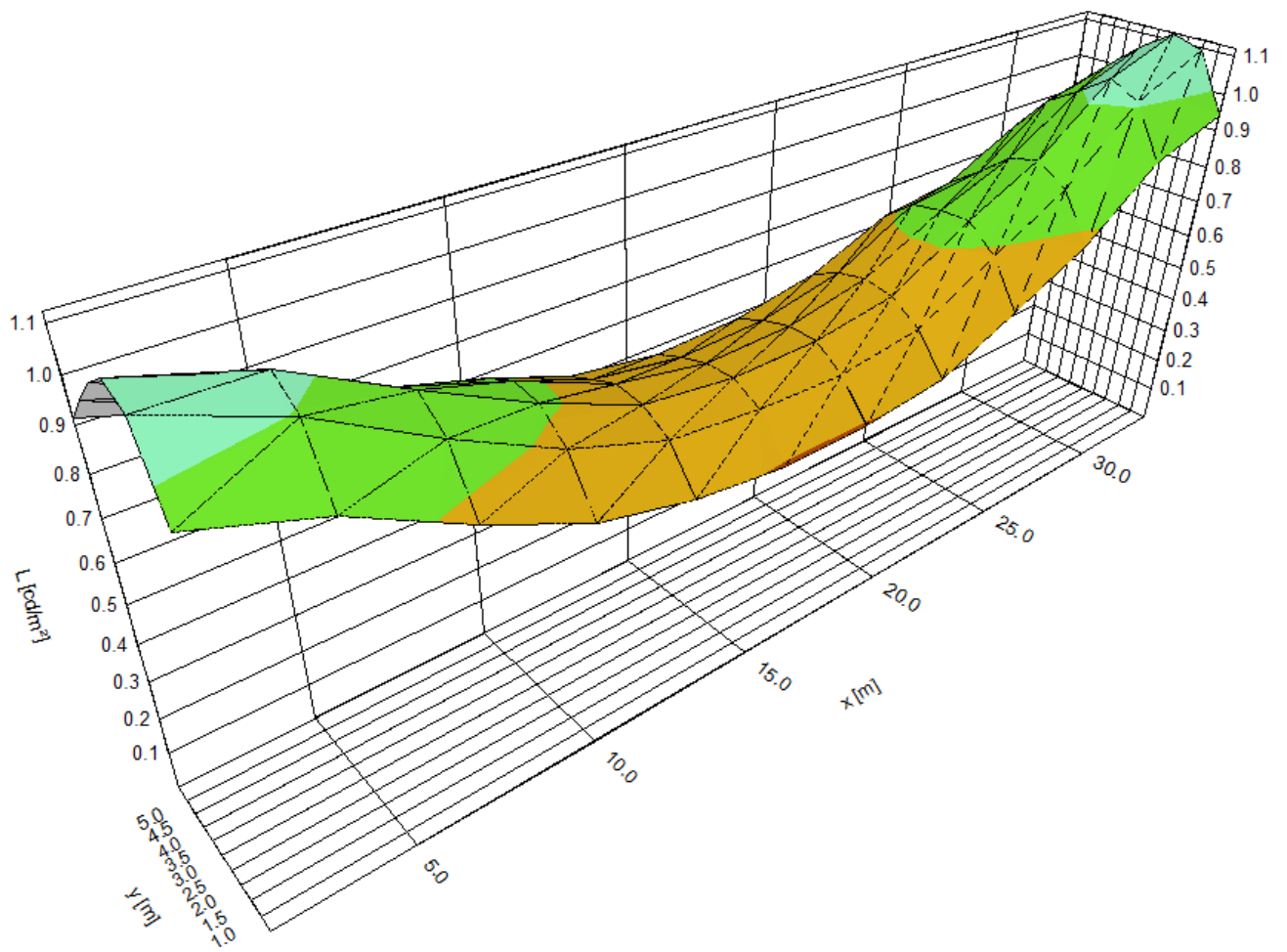
Τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις του προτύπου. Παρακάτω παρατίθενται οι κατανομές της λαμπρότητας για κάθε μία από τις δύο εξεταζόμενες θέσεις παρατήρησης, στην περιοχή υπολογισμού ανάμεσα σε δύο φωτιστικά, με τη χρήση ψευδοχρωμάτων. Παρατηρείται καλή συνολική ομοιομορφία, χωρίς σκοτεινά σημεία και οριακή διαμήκης ομοιομορφία στη θέση παρατήρησης 1, ενώ στη θέση παρατήρησης 2 κρίνεται ικανοποιητική.





Εικ. 8.35 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 1, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 4)





Εικ. 8.36 - Κατανομή λαμπρότητας για τη θέση παρατήρησης 2, σε 2-διάστατη και 3-διάστατη απεικόνιση στην οδό Ελ. Βενιζέλου (Σενάριο 4)

9 Ενεργειακή και Οικονομική Αξιολόγηση Σεναρίων

9.1 Υπολογισμός Εγκατεστημένης Ισχύος

Αρχικά, γίνεται ο υπολογισμός της υπάρχουσας ενεργειακής απαίτησης σε kW κάθε φωτιστικού σώματος, προσαυξάνοντας την ισχύ του αντίστοιχου λαμπτήρα κατά 25%, ώστε να ληφθεί υπ'όψιν κι η πρόσθετη ισχύς του στραγγαλιστικού πηνίου (ballast). Πολλαπλασιάζοντας με τον αριθμό των φωτιστικών, υπολογίζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για κάθε οδό και τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 9.1 – Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύος

Οδός	Τύπος Λαμπτήρα	Ισχύς Λαμπτήρα (W)	Προσαύξηση λόγω Ballast	Ισχύς Φωτιστικού (W)	Αριθμός Φωτιστικών	Συνολική Ισχύς (kW)
2ας Μαΐου	MH	70	1,25	87,50	38	3,33
Αγ. Σοφίας	HPS	250	1,25	312,50	36	11,25
Αγ. Φωτεινής	HPS	250	1,25	312,50	40	12,50
Ελ. Βενιζέλου	HPS	250	1,25	312,50	148	46,25
Δαρδανελλίων	HPS	250	1,25	312,50	10	3,13
Μεγ. Αλεξάνδρου	HPS	250	1,25	312,50	37	11,56

9.2 Υπολογισμός Υπάρχουσας Ετήσιας Ενεργειακής Κατανάλωσης

Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος εξαρτάται από την ισχύ και τις ώρες λειτουργίας του. Εμπειρικά, έχει διαπιστωθεί ότι ο μικρότερος χρόνος λειτουργίας του οδοφωτισμού κατά τη θερινή περίοδο είναι περίπου 9 ώρες, ενώ ο μεγαλύτερος χρόνος λειτουργίας τη χειμερινή περίοδο είναι 13 ώρες. Επομένως, κατά την διάρκεια του έτους η μέση ημερήσια λειτουργία του συστήματος ηλεκτροφωτισμού είναι 11 ώρες, τιμή που αντιστοιχεί σε 4.015 ώρες λειτουργίας το χρόνο. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της υπάρχουσας ετήσιας κατανάλωσης για κάθε οδό, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 9.2 – Υπάρχουσα ετήσια ενεργειακή κατανάλωση

Οδός	Συνολική Ισχύς (kW)	Ετήσιες Ημέρες Λειτουργίας	Μέσες Ημερήσιες Ώρες Λειτουργίας	Ετήσια Κατανάλωση (kWh)
2ας Μαΐου	3,33	365	11	13.350
Αγ. Σοφίας	11,25	365	11	45.169
Αγ. Φωτεινής	12,50	365	11	50.188
Ελ. Βενιζέλου	46,25	365	11	185.694
Δαρδανελλίων	3,13	365	11	12.547
Μεγ. Αλεξάνδρου	11,56	365	11	46.423

9.3 Σενάριο 1

9.3.1 Υπολογισμός Ετήσιας Ενεργειακής Κατανάλωσης

Με την τοποθέτηση ενεργειακά αποδοτικότερων φωτιστικών τεχνολογίας LED, αναμένεται σημαντική μείωση της απαιτούμενης ισχύος του συστήματος, συνεπώς και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού της ετήσιας κατανάλωσης για την κάθε οδό, όπως προκύπτουν μετά την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού.

Πίνακας 9.3 – Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (Σενάριο 1)

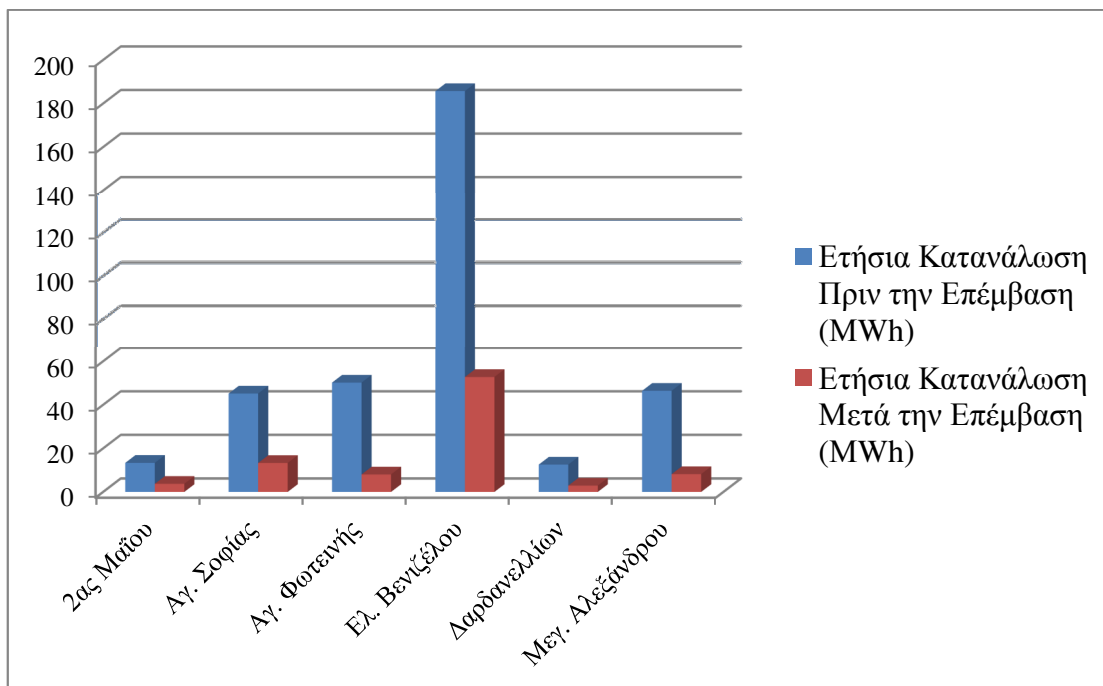
Οδός	Τύπος Λαμπτήρα	Ισχύς Φωτιστικού (W)	Αριθμός Φωτιστικών	Συνολική Ισχύς (W)	Ετήσιες Ώρες Λειτουργίας	Ετήσια Κατανάλωση (kWh)
2ας Μαΐου	LED	24,4	38	927	4.015	3.723
Αγ. Σοφίας	LED	92	36	3.312	4.015	13.298
Αγ. Φωτεινής	LED	50	40	2.000	4.015	8.030
Ελ. Βενιζέλου	LED	89	148	13.142	4.015	52.767
Δαρδανελλίων	LED	72	10	720	4.015	2.891
Μεγ. Αλεξάνδρου	LED	55	37	2.035	4.015	8.171

9.3.2 Εξοικονόμηση Ενέργειας

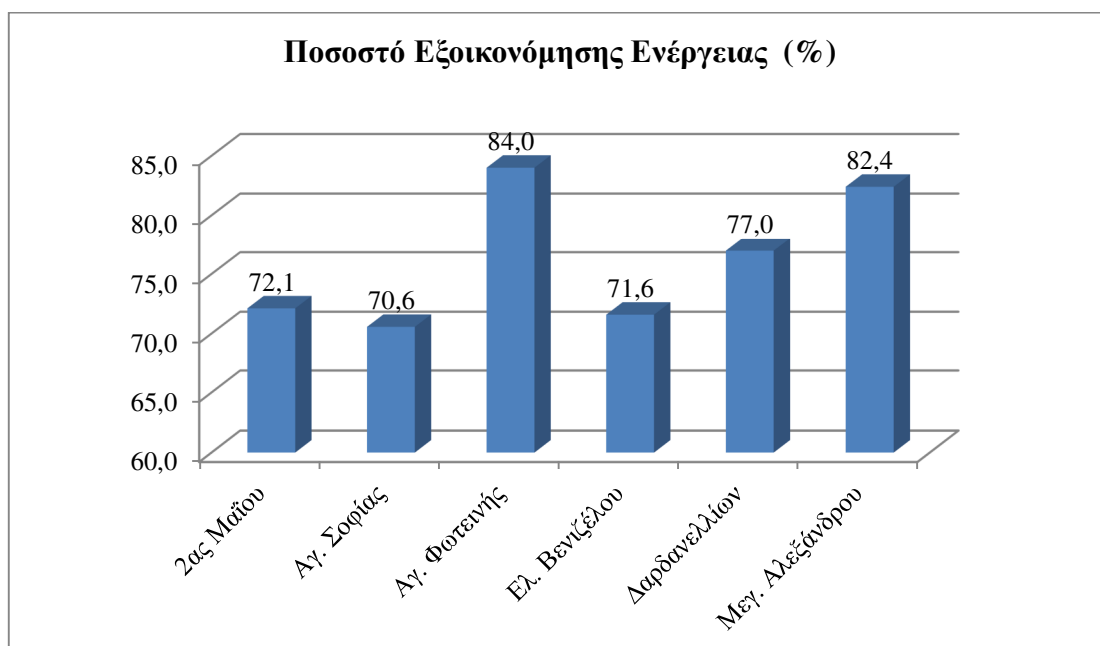
Μέσω της διαφοράς της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας, πριν και μετά την αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών σωμάτων από φωτιστικά LED, υπολογίζεται το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας. Όπως γίνεται αντιληπτό από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί, η εξοικονόμηση που προκύπτει από την επέμβαση αυτή είναι εντυπωσιακή.

Πίνακας 9.4 – Εξοικονόμηση ενέργειας (Σενάριο 1)

Οδός	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)		Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας (%)
	Πριν	Μετά	
2ας Μαΐου	13,35	3,72	72,1
Αγ. Σοφίας	45,17	13,30	70,6
Αγ. Φωτεινής	50,19	8,03	84,0
Ελ. Βενιζέλου	185,69	52,77	71,6
Δαρδανελλίων	12,55	2,89	77,0
Μεγ. Αλεξάνδρου	46,42	8,17	82,4



Εικ. 9.1 – Ετήσια κατανάλωση πριν και μετά (Σενάριο 1)



Εικ. 9.2 – Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας (Σενάριο 1)

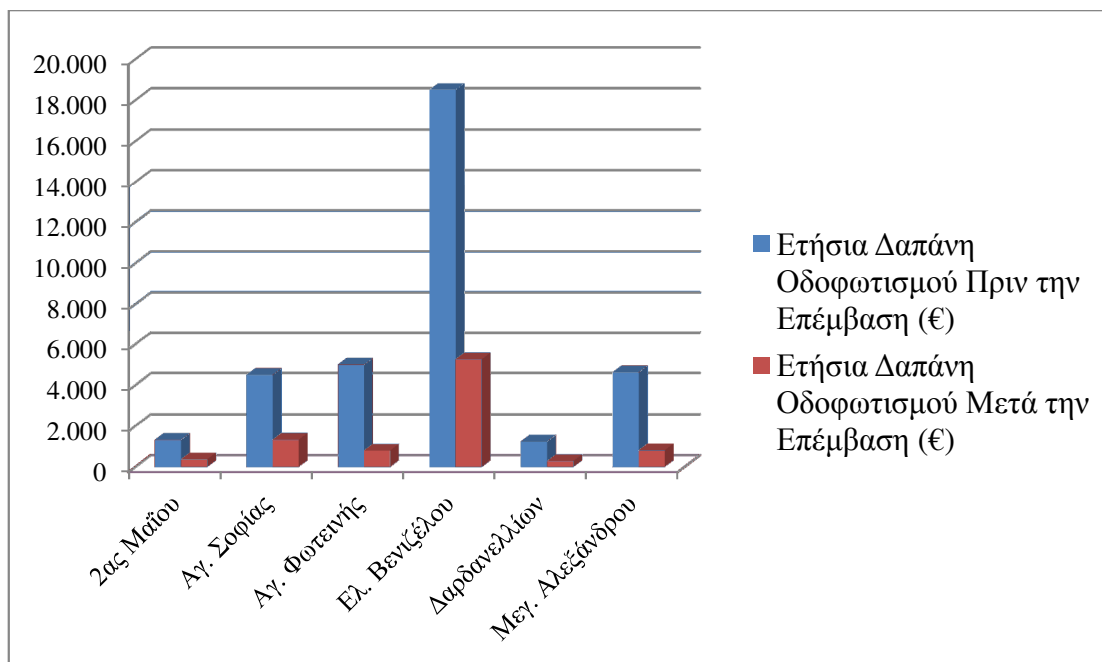
9.3.3 Ετήσιο Οικονομικό Όφελος

Από το τιμολόγιο Γ-4 για φωτισμό οδών και πλατειών, του τιμοκαταλόγου ανταγωνιστικών και ρυθμιζόμενων χρεώσεων της ΔΕΗ για το έτος 2013, λαμβάνεται η τιμή χρέωσης 0,08103 €/kWh, η

οποία συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ 23% προκύπτει 0,09967 €/kWh. Το ετήσιο οικονομικό όφελος παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 9.5 – Ετήσιο οικονομικό όφελος (Σενάριο 1)

Οδός	Χρέωση Ενέργειας (€/kWh)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ετήσια Δαπάνη Οδοφωτισμού (€)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ετήσια Δαπάνη Οδοφωτισμού (€)	Ετήσιο Οικονομικό Όφελος (€)
		Πριν		Μετά		
2ας Μαΐου	0,09967	13,35	1.330,5	3,72	371,0	959,5
Αγ. Σοφίας	0,09967	45,17	4.501,8	13,30	1.325,3	3.176,5
Αγ. Φωτεινής	0,09967	50,19	5.002,0	8,03	800,3	4.201,7
Ελ. Βενιζέλου	0,09967	185,69	18.507,5	52,77	5.259,1	13.248,4
Δαρδανελλίων	0,09967	12,55	1.250,5	2,89	288,1	962,4
Μεγ. Αλεξάνδρου	0,09967	46,42	4.626,9	8,17	814,3	3.812,5



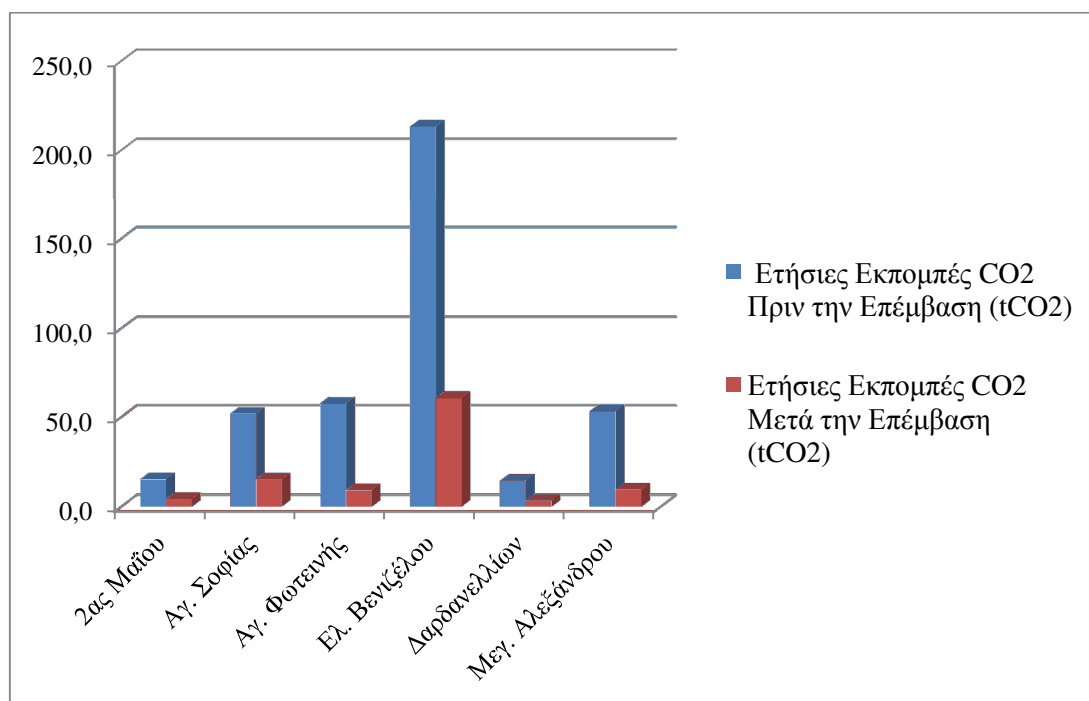
Εικ. 9.3 – Ετήσια δαπάνη οδοφωτισμού πριν και μετά (Σενάριο 1)

9.3.4 Μείωση Εκπομπών CO₂

Επιτυγχάνοντας μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για φωτισμό οδών μέσω αποδοτικότερων φωτιστικών, εκτός από οικονομικό, προκύπτει κι αντίστοιχο περιβαλλοντικό όφελος. Με τη χρήση του τυπικού συντελεστή εκπομπών CO₂ για την ηλεκτρική ενέργεια, ο οποίος ισούται με 1,149 tCO₂/MWh, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η αναμενόμενη μείωση των εκπομπών που προκύπτει από την επέμβαση και παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 9.6 – Ετήσια μείωση εκπομπών CO₂ (Σενάριο 1)

Οδός	Τυπικός Συντελεστής Εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ (tCO ₂)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ (tCO ₂)	Ετήσια Μείωση Εκπομπών CO ₂ (tCO ₂)
		Πριν		Μετά		
2ας Μαΐου	1,149	13,35	15,3	3,72	4,2	11,1
Αγ. Σοφίας	1,149	45,17	51,9	13,30	15,3	36,6
Αγ. Φωτεινής	1,149	50,19	57,6	8,03	9,2	48,4
Ελ. Βενιζέλου	1,149	185,69	213,3	52,77	60,6	152,7
Δαρδανελλίων	1,149	12,55	14,4	2,89	3,3	11,1
Μεγ. Αλεξάνδρου	1,149	46,42	53,4	8,17	9,4	44,0



Εικ. 9.4 – Ετήσιες εκπομπές CO₂ πριν και μετά (Σενάριο 1)

9.3.5 Απόσβεση Κεφαλαίου

Στο σημείο αυτό, γίνεται μια προκαταρκτική ανάλυση της οικονομικής απόσβεσης του κεφαλαίου για κάθε επέμβαση που εξετάστηκε προηγουμένως. Αυτό θα δώσει μια πρώτη εκτίμηση της οικονομικής βιωσιμότητας κάθε επέμβασης. Το κριτήριο που θα χρησιμοποιηθεί είναι αυτό της **Απλής Περιόδου Αποπληρωμής, Α.Π.Α.** (Simple Payback Period, SPP), δηλαδή του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την αποπληρωμή της πρότασης από το ετήσιο οικονομικό όφελος, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η επίδραση του επιτοκίου αναγωγής, η διάρκεια ζωής της επένδυσης και οι μεταβολές του κόστους ενέργειας. Η σχέση που θα χρησιμοποιηθεί είναι η εξής:

$$\text{Α. Π. Α.} = \frac{\text{Αρχικό Κόστος}}{\text{Ετήσιο Οικονομικό Όφελος}}$$

Όπου:

Αρχικό Κόστος: Το κόστος για την αγορά και τοποθέτηση των φωτιστικών που προτείνονται σε κάθε περίπτωση.

Ετήσιο Οικονομικό Όφελος: Το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας, σε κάθε περίπτωση, καθώς και από τις μειωμένες δαπάνες συντήρησης της εγκατάστασης.

Για την εφαρμογή του κριτηρίου έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Το κόστος των εργατικών εκτιμήθηκε στα 30€ ανά φωτιστικό. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνεται η απεγκατάσταση του παλιού και η τοποθέτηση του νέου φωτιστικού. Όσον αφορά την αντικατάσταση λαμπτήρων και στραγγαλιστικών πηνίων (ballast) της συμβατικής τεχνολογίας, εκτιμήθηκαν εργατικά 15€ ανά εξάρτημα.
- Το κόστος της συντήρησης που αφορά στον καθαρισμό του φωτιστικού σώματος και των λαμπτήρων, θεωρήθηκε αμετάβλητο και για τα δύο συστήματα, πριν και μετά την επέμβαση, και για το λόγο αυτό δεν επηρεάζει το ετήσιο οικονομικό όφελος. Στην πραγματικότητα, αναμένεται η συντήρηση του συστήματος LED να είναι οικονομικότερη, για τους λόγους που αναφέρθηκαν εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο.
- Με διάρκεια ζωής 60.000 ώρες για τα φωτιστικά LED και ετήσια λειτουργία 4.015 ώρες, αναμένεται κύκλος ζωής 15 έτη. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, οι λαμπτήρες HPS με διάρκεια ζωής 28.000 ώρες ήτοι 7 έτη, αναμένεται να αντικατασταθούν δυο φορές. Στο ίδιο διάστημα οι λαμπτήρες MH με διάρκεια ζωής 10.000 ώρες ήτοι 2,5 έτη, αναμένεται να αντικατασταθούν τουλάχιστον 6 φορές. Τα ballast με διάρκεια ζωής περί τα 10 έτη, αναμένεται να αντικατασταθούν μια φορά στα 15 έτη.
- Εκτιμάται κόστος αγοράς 25 € ανά λαμπτήρα HPS, 17 € ανά λαμπτήρα MH και 20 € ανά ballast.
- Κόστος αντικατάστασης για το σύστημα με λαμπτήρες HPS και ballast:
 $2 \times (25 + 15) + 1 \times (20 + 15) = 115 \text{ €}$ για κάθε φωτιστικό στα 15 έτη, άρα 7,67 €/έτος.
- Ετήσιο κόστος αντικατάστασης για το σύστημα με λαμπτήρες MH και ballast:
 $6 \times (17 + 15) + 1 \times (20 + 15) = 227 \text{ €}$ για κάθε φωτιστικό στα 15 έτη, άρα 15,14 €/έτος.

Επίσης, μετά από συζητήσεις με τον υπεύθυνο του τομέα Ηλεκτροφωτισμού του Δήμου και με τους κατασκευαστές των φωτιστικών, σημειώνεται ότι οι προσφορές για ομαδική αντικατάσταση φωτιστικών σωμάτων, περιλαμβάνουν συνήθως έκπτωση 30%.

Πίνακας 9.7 – Αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης φωτιστικών (Σενάριο 1)

Οδός	Αριθμός Φωτιστικών	Αρχική Τιμή Μονάδας Φωτιστικού (€)	Τιμή Μονάδας Φωτιστικού με έκπτωση 30% (€)	Κόστος Αγοράς (€)	Εργατικά (€)	Αρχικό Κόστος (€)
2ας Μαΐου	38	950	665	25.270	1.140	26.410
Αγ. Σοφίας	36	1.000	700	25.200	1.080	26.280
Αγ. Φωτεινής	40	1.000	700	28.000	1.200	29.200
Ελ. Βενιζέλου	148	740	518	76.664	4.440	81.104
Δαρδανελλίων	10	1.000	700	7.000	300	7.300
Μεγ. Αλεξάνδρου	37	640	448	16.576	1.110	17.686

Πίνακας 9.8 – Απλή περίοδος απόσβεσης (Σενάριο 1)

Οδός	Αρχικό Κόστος (€)	Ετήσιο Οικονομικός Όφελος (€)		Α.Π.Α. (έτη)
		Από Εξοικονόμηση Ενέργειας	Από Μειωμένες Δαπάνες Συντήρησης	
2ας Μαΐου	26.410,0	959,5	575,3	17,2
Αγ. Σοφίας	26.280,0	3.176,5	276,1	7,6
Αγ. Φωτεινής	29.200,0	4.201,7	306,8	6,5
Ελ. Βενιζέλου	81.104,0	13.248,4	1.135,2	5,6
Δαρδανελλίων	7.300,0	962,4	76,7	7,0
Μεγ. Αλεξάνδρου	17.686,0	3.812,5	283,8	4,3

Επενδύσεις με απλή περίοδο αποπληρωμής μικρότερη από 10 έτη, κρίνονται συμφέρουσες. Εν προκειμένω, στη διαδημοτική και στις τέσσερις τοπικές οδούς η επέμβαση προκρίνεται, ενώ στον πεζόδρομο 2ας Μαΐου, χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

9.4 Σενάρια 2, 3 και 4

9.4.1 Ενεργειακή Αξιολόγηση

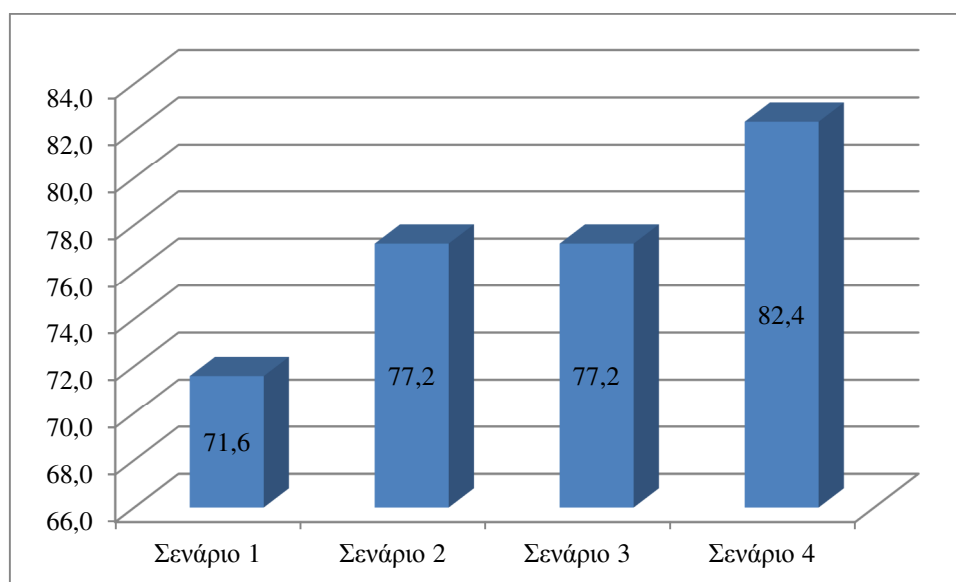
Τόσο με την αύξηση του συντελεστή συντήρησης σε 0,90 (Σενάριο 2), όσο και με τη χρήση οδοστρώματος κατηγορίας R1 (Σενάριο 3), δίνεται η δυνατότητα τοποθέτησης φωτιστικού χαμηλότερης ισχύος (71 W), σε σχέση με το φωτιστικό που επιλέχθηκε στο Σενάριο 1 (89 W).

Με το συνδυασμό και των δύο παραπάνω επεμβάσεων (Σενάριο 4), επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση, με τοποθέτηση φωτιστικού ακόμη χαμηλότερης ισχύος (55 W).

Τα αποτελέσματα, σε σύγκριση με την υπάρχουσα κατάσταση, αλλά και το Σενάριο 1, παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 9.9 – Ποσοστό εξοικονόμησης Σεναρίων σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση

Οδός Ελ.Βενιζέλου	Τύπος λαμπτήρα	Ισχύς Φωτιστικού (W)	Αριθμός φωτιστικών	Συνολική Ισχύς (W)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ποσοστό Εξοικονόμησης (%)
Υπάρχουσα κατάσταση	HPS	312,5	148	46.250	185,69	-
Σενάριο 1	LED	88,8	148	13.142	52,77	71,6
Σενάριο 2	LED	71,2	148	10.538	42,31	77,2
Σενάριο 3	LED	71,2	148	10.538	42,31	77,2
Σενάριο 4	LED	55,0	148	8.140	32,68	82,4



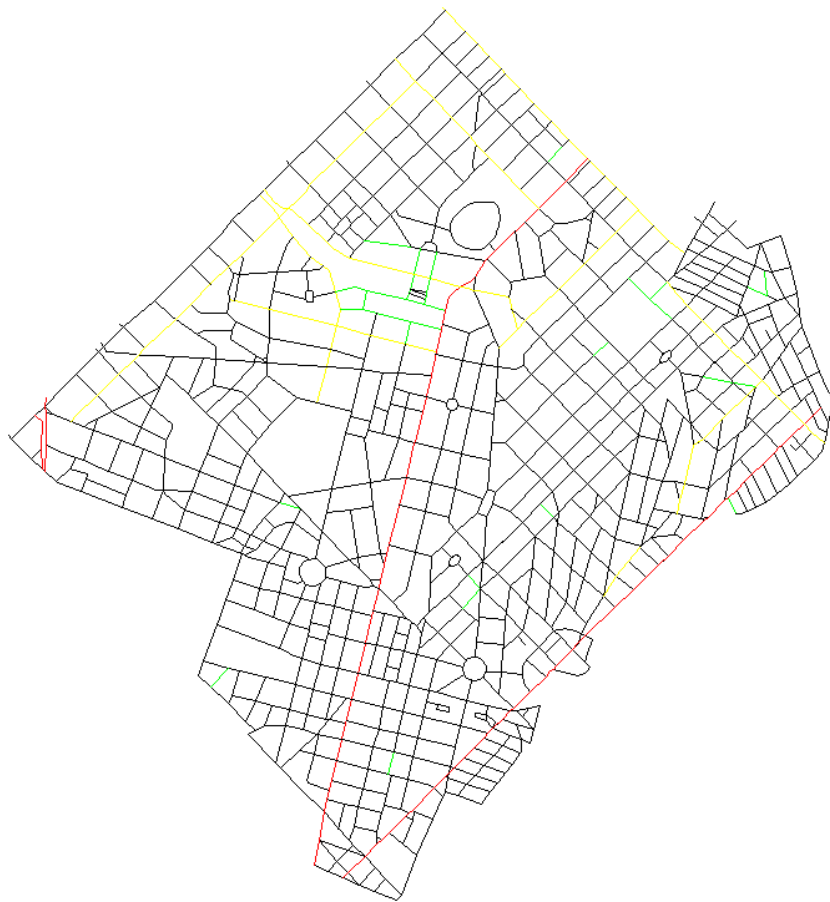
Εικ. 9.5 – Ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας Σεναρίων σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση

Όπως παρατηρείται, σε σχέση με το Σενάριο 1, επιτυγχάνεται περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας κατά 5,6 % με τα Σενάρια 2 και 3, ενώ με το Σενάριο 4 κατά 10,8 %. Το Σενάριο 2 βέβαια, δεν επιφέρει καμία μεταβολή στο αρχικό κόστος επένδυσης, σε αντίθεση με τα Σενάρια 3 και 4 που προϋποθέτουν την αλλαγή στρώσης κυκλοφορίας του οδοστρώματος, επέμβαση γενικώς δαπανηρή.

10 Επέκταση Σεναρίου 1 στο Σύνολο του Δήμου

Για την επέκταση του Σεναρίου 1 σε όλη την έκταση του Δήμου, αξιοποιήθηκε το Μητρώο Οδών που ανακτήθηκε από τις τεχνικές υπηρεσίες του Δήμου και αφορά το μήκος κάθε οδού του οδικού δικτύου ανά οικοδομικό τετράγωνο. Υπολογίστηκε συνολικό μήκος δικτύου περίπου 100 km.

Στον ψηφιοποιημένο χάρτη του Δήμου που παραχωρήθηκε από τον Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, έγινε διαχωρισμός του οδικού δικτύου σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, βάσει επί τόπου επισκόπησης των οδών, αλλά και πληροφοριών που εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Google Maps, όπως πλάτη οδοστρωμάτων, ύπαρξη σταθμευμένων οχημάτων, ύπαρξη διαχωριστικής νησίδας κ.ά..



Εικ. 10.1 – Ψηφιοποιημένος χάρτης οδικού δικτύου του Δήμου Νέας Σμύρνης, με τις τέσσερις κατηγορίες οδών

Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- ΔΙΑΔ:** Διαδημοτικές οδοί, με συνολικό μήκος 4,7 km
- ΤΟΠ1:** Τοπικές οδοί με μια σειρά φωτιστικών, με συνολικό μήκος 85,6 km
- ΤΟΠ2:** Τοπικές οδοί με δύο σειρές φωτιστικών, με συνολικό μήκος 7,6 km
- ΠΕΖ:** Πεζόδρομοι, με συνολικό μήκος 2,5 km

Έγινε η παραδοχή ότι όλες οι διαδημοτικές οδοί αντιστοιχούν σε κατηγορία φωτισμού ME4b, όλες οι τοπικές σε κατηγορία CE5 και όλοι οι πεζόδρομοι σε S2.

Επίσης, έγινε αναγωγή των καταναλώσεων του Σεναρίου 1 ανά χιλιόμετρο και χρησιμοποιήθηκαν ως αντιπροσωπευτικές των κατηγοριών φωτισμού τους. Με τον τρόπο αυτό λήφθηκε ανηγμένη κατανάλωση για τις ME4b από την αντίστοιχη στην οδό Ελ.Βενιζέλου, για τις CE5 με δυο σειρές φωτιστικών από την αντίστοιχη στην οδό Αγ. Φωτεινής, για τις CE5 με μια σειρά φωτιστικών από τον μέσο όρο των αντίστοιχων στις οδούς Αγ. Σοφίας, Δαρδανελλίων,Μεγ. Αλεξάνδρου και για τις S2 από την αντίστοιχη στην οδό 2ας Μαΐου.

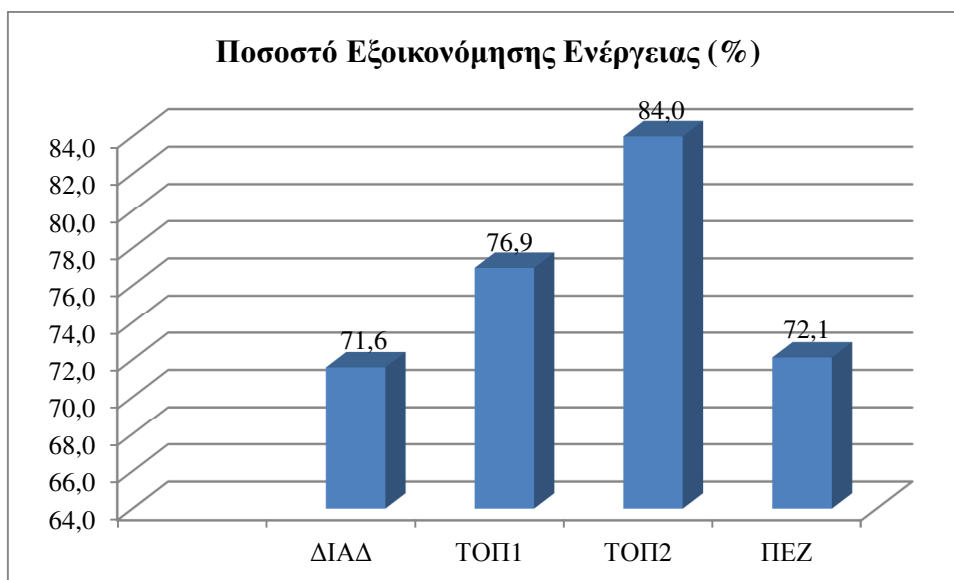
Για κάθε κατηγορία οδών με δεδομένη την ανηγμένη τιμή της κατανάλωσης ενέργειας και το συνολικό μήκος της, υπολογίζεται η κατανάλωση ενέργειας πριν και μετά, άρα και η εξοικονόμηση από την επέμβαση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10.1 – Αναγωγή καταναλώσεων πριν και μετά (Σενάριο 1)

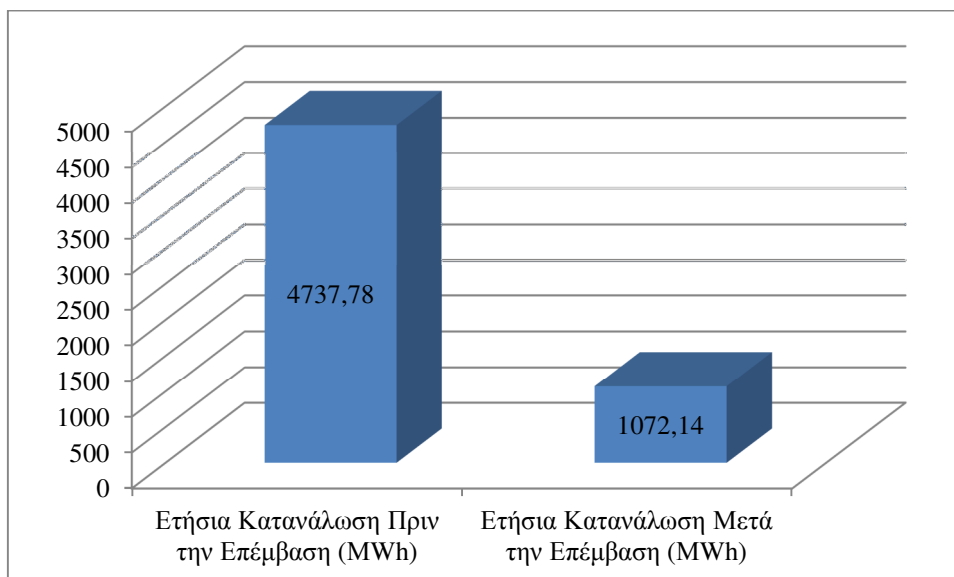
Οδός	Μήκος Οδού (m)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)		Ανηγμένη Κατανάλωση (MWh/km)	
		Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
2ας Μαΐου	318	13,35	3,72	41,98	11,71
Αγ. Σοφίας	1.166	45,17	13,30	38,74	11,40
Αγ. Φωτεινής	600	50,19	8,03	83,65	13,38
Ελ. Βενιζέλου	2.419	185,69	52,77	76,76	21,81
Δαρδανελλίων	291	12,55	2,89	43,12	9,93
Μεγ. Αλεξάνδρου	1.028	46,42	8,17	45,16	7,95

Πίνακας 10.2 – Εξοικονόμηση ενέργειας στο Δήμο (Επέκταση Σεναρίου 1)

Κατηγορίες Οδών	Ανηγμένη Κατανάλωση (MWh/km)		Μήκος Κατηγορίας (km)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)		Εξοικονόμηση Ενέργειας (MWh)	Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας (%)
	Πριν	Μετά		Πριν	Μετά		
ΔΙΑΔ	76,76	21,81	4,726	362,79	103,09	259,70	71,6
ΤΟΠ1	42,34	9,76	85,938	3.638,43	838,94	2.799,49	76,9
ΤΟΠ2	83,65	13,38	7,572	633,37	101,34	532,03	84,0
ΠΕΖ	41,98	11,71	2,458	103,19	28,77	74,41	72,1



Εικ. 10.2 – Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας στο Δήμο (Επέκταση Σεναρίου 1)

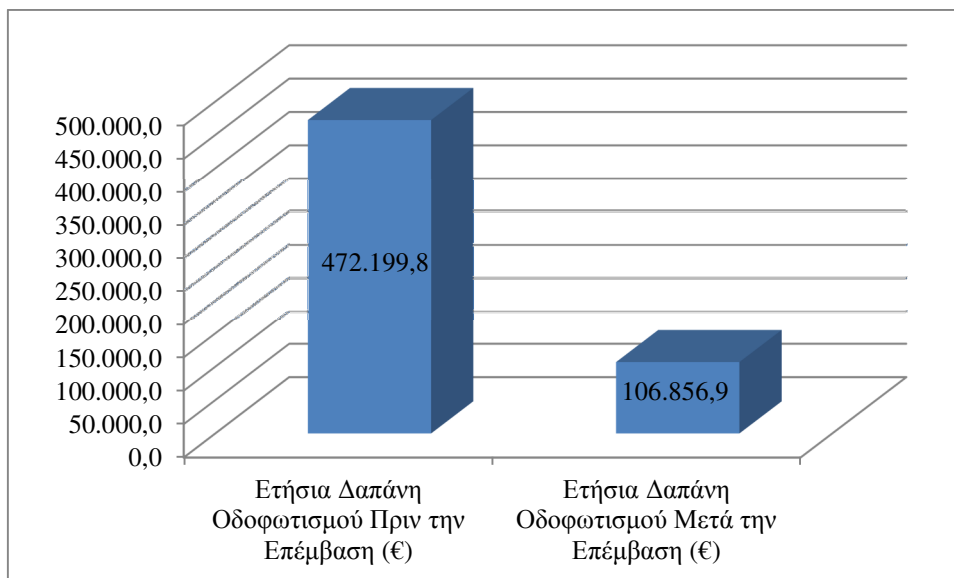


Εικ. 10.3 – Ετήσια κατανάλωση ενέργειας στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)

Υπολογίζονται ακόμη το ετήσιο οικονομικό όφελος:

Πίνακας 10.3 – Ετήσιο οικονομικό όφελος στο Δήμο (Επέκταση Σεναρίου 1)

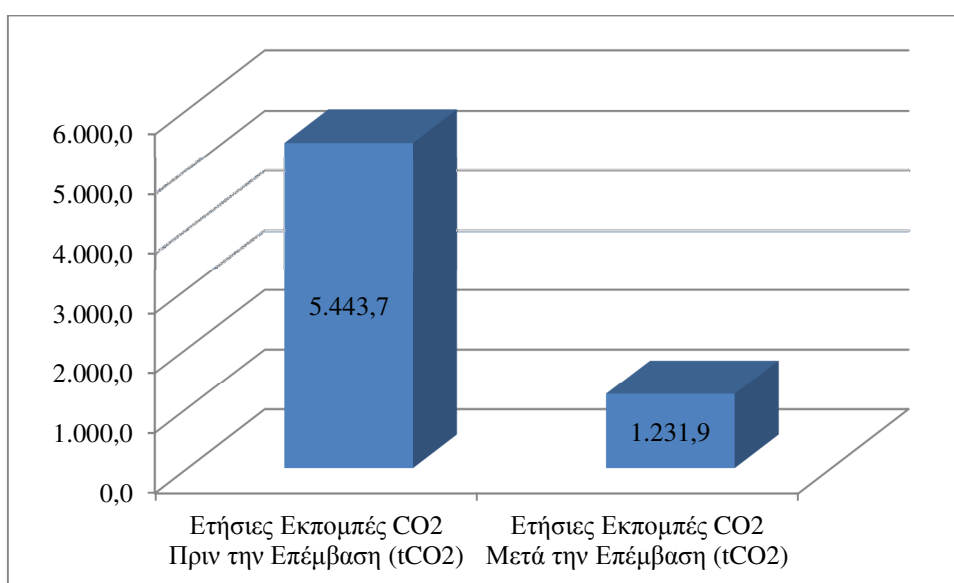
Κατηγορίες Οδών	Χρέωση Ενέργειας (€/kWh)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)		Ετήσια Δαπάνη Οδοφωτισμού (€)		Ετήσιο Οικονομικό Όφελος (€)
		Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	
ΔΙΑΔ	0,09967	362,79	103,09	36.158,2	10.274,7	25.883,5
ΤΟΠ1	0,09967	3.638,43	838,94	362.631,0	83.614,5	279.016,5
ΤΟΠ2	0,09967	633,37	101,34	63.126,0	10.100,2	53.025,8
ΠΕΖ	0,09967	103,19	28,77	10.284,6	2.867,4	7.417,2



Εικ. 10.4 – Ετήσια δαπάνη οδοφωτισμού στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)

Πίνακας 10.4 – Ετήσια μείωση εκπομπών CO₂ στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)

Κατηγορίες Οδών	Τυπικός Συντελεστής Εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ (tCO ₂)	Ετήσια Κατανάλωση (MWh)	Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ (tCO ₂)	Ετήσια Μείωση Εκπομπών CO ₂ (tCO ₂)
		Πριν		Μετά		
ΔΙΑΔ	1,149	362,79	416,8	103,09	118,5	298,4
ΤΟΠ1	1,149	3.638,43	4.180,6	838,94	963,9	3.216,6
ΤΟΠ2	1,149	633,37	727,7	101,34	116,4	611,3
ΠΕΖ	1,149	103,19	118,6	28,77	33,1	85,5



Εικ. 10.5 – Ετήσιες εκπομπές CO₂ στο Δήμο πριν και μετά την επέμβαση (Επέκταση Σεναρίου 1)

Από την επέκταση του Σεναρίου 1 στο σύνολο του Δήμου, προέκυψαν συνολικά τα ακόλουθα οφέλη:

- **Εξοικονόμηση ενέργειας 3.666 MWh, δηλαδή ποσοστό 77,4%**
- **Ετήσιο οικονομικό όφελος 357.343 €**
- **Μείωση εκπομπών CO₂ κατά 4.212 t**

11 Συμπεράσματα - Προτάσεις

11.1 Συμπεράσματα

Από τη συνολική ενασχόληση με το θέμα του δημοτικού οδικού φωτισμού, καταρχήν παρατηρείται έλλειψη αρχείου με στοιχεία που αφορούν την υποδομή και την καταναλισκόμενη ενέργεια του οδικού φωτισμού, γεγονός που δυσκολεύει την όποια προσέγγιση στο θέμα. Συμπεραίνεται ότι υπάρχει σημαντικό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας. Παρά τις πρόσφατες επεμβάσεις για μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης, παρατηρείται ότι ο ρόλος του μελετητή φωτισμού είναι υποβαθμισμένος, με αποτέλεσμα αυτές να μην συνοδεύονται από αντίστοιχες φωτοτεχνικές μελέτες ώστε να εκτιμάται το επίπεδο και η ποιότητα φωτισμού.

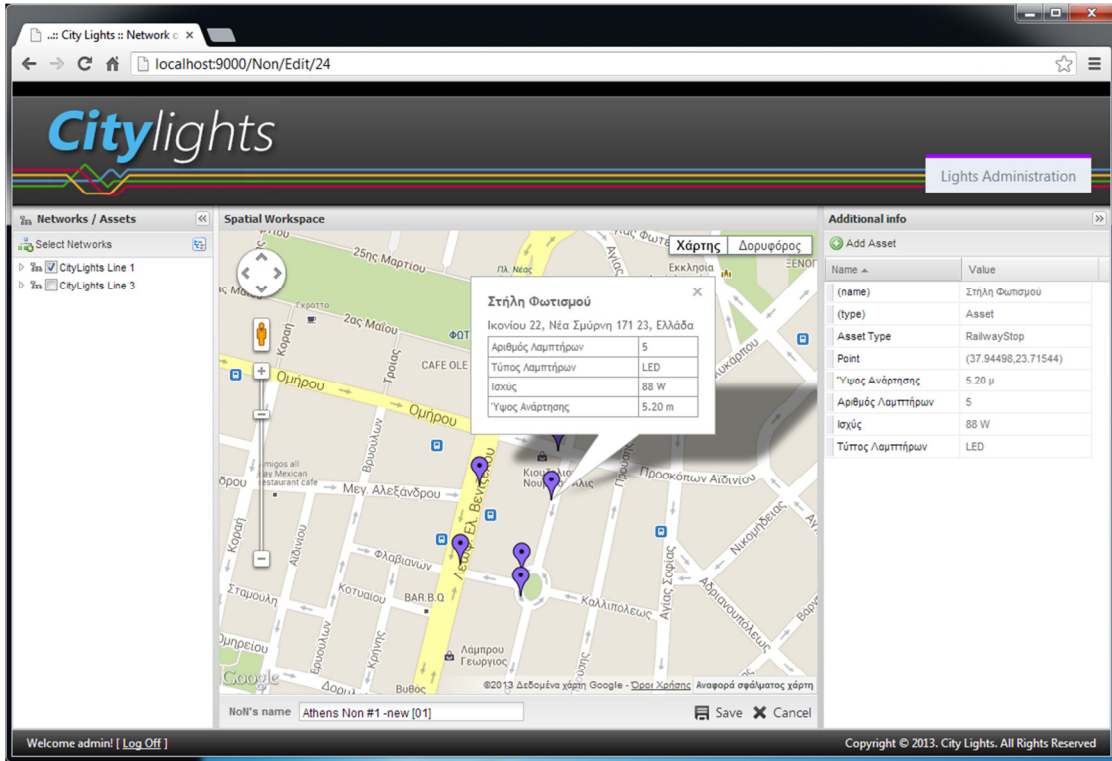
Η τεχνολογία LED στον οδικό φωτισμό εξελίσσεται ραγδαία και αναμένεται να αντικαταστήσει τις συμβατικές τεχνολογίες. Προς το παρόν, υπάρχει επιφυλακτικότητα ως προς την εφαρμογή της, λόγω υψηλού αρχικού κόστους και έλλειψης στοιχείων για τη μακροχρόνια απόδοσή της. Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καταφαίνεται αξιόλογο ενεργειακό, οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος.

11.2 Προτάσεις

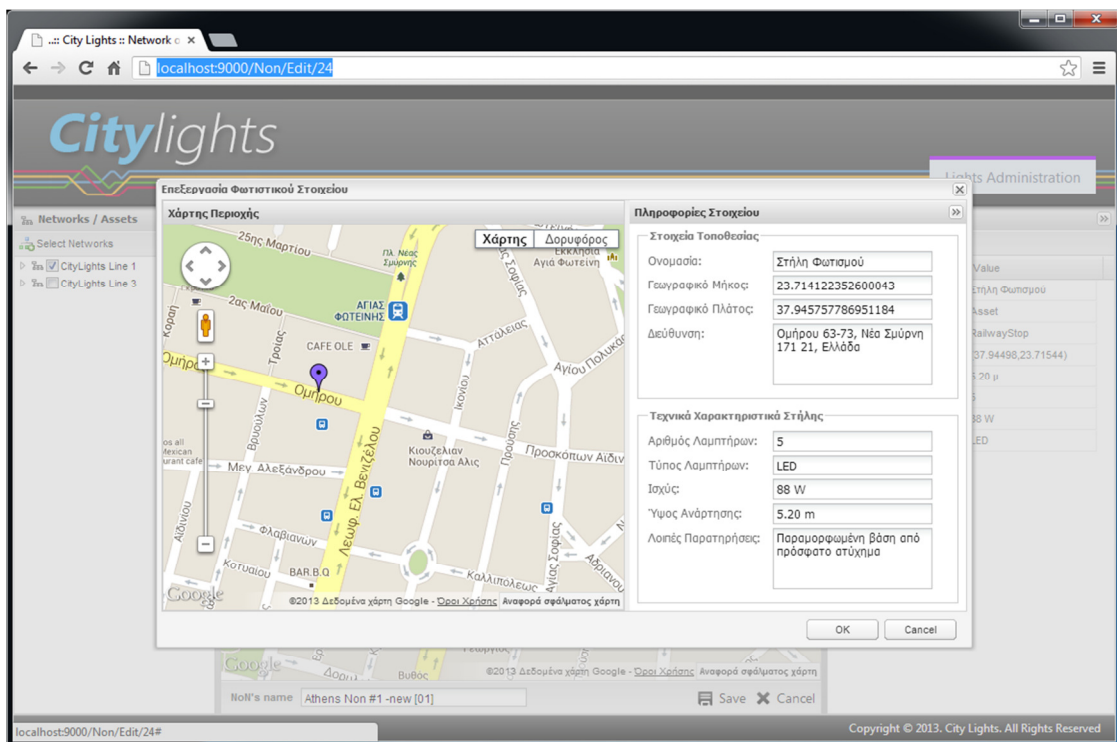
Πέρα από τις ευρωπαϊκές μας υποχρεώσεις, το κράτος και ο ευρύτερος δημόσιος τομέας θα πρέπει να πάρουν σοβαρά πλέον μέτρα για μείωση της ζήτησης ενέργειας, όχι μόνο για περιβαλλοντικούς, αλλά και οικονομικούς λόγους. Πρέπει άμεσα να συμφωνηθεί η εισαγωγή νέας τιμής μονάδος για τα έργα φωτισμού, που δεν θα μετράει φωτιστικά σημεία, με αποτέλεσμα να συνδέει το εμπορικό κέρδος της εργοληπτικής εταιρίας με την πώληση περισσότερων τεμαχίων φωτιστικών σωμάτων, παρά θα προσδιορίζει το κόστος απόκτησης και συντήρησης της φωτιστικής εγκατάστασης ανά cd/m² ανά km για την εκάστοτε κατηγορία οδού. Με αυτόν τον τρόπο θα μετακυλίεται πρακτικά η ευθύνη της ενεργειακής απόδοσης στην εργοληπτική εταιρεία ή τον εκάστοτε παραχωρησιούχο. Από την καθιέρωση μιας νέας τιμής μονάδος για τα έργα δημόσιου φωτισμού, με αναφορά στην κατανάλωση ενέργειας και την επίδοση φωτισμού, θα ασκηθεί πίεση στην κατεύθυνση αποδοτικών μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Ως προς το ζήτημα της διαχείρισης του δημοτικού φωτισμού, θα πρέπει καταρχήν να ξεκινήσει μια διαδικασία καταγραφής της υφιστάμενης υποδομής. Προτείνεται μια μέθοδος χαρτογράφησης του δικτύου οδοφωτισμού, μέσω της οποίας θα συλλέγονται και θα καταγράφονται τα απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία μια βάσης δεδομένων, που θα μπορεί να αξιοποιηθεί από τον εκάστοτε μελετητή φωτισμού. Μέσω μιας απλής εφαρμογής με ενσωματωμένο σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων, εξειδικευμένο συνεργείο 2 – 3 ατόμων θα μπορεί να καταγράψει γενικά και ειδικά χαρακτηριστικά κάθε ιστού οδοφωτισμού του δικτύου, όπως ακριβή γεωγραφική θέση, αριθμό και τύπο λαμπτήρων, ονομαστική ισχύ φωτιστικού, ύψος ανάρτησης, ημερομηνία τελευταίας αντικατάστασης, πληροφορίες για την κατάσταση του οδοστρώματος κ.α., καθώς και τυχόν βλάβες. Η βάση θα μπορεί να ενημερώνεται είτε απ'ευθείας μέσω διαδικτύου, είτε στο γραφείο. Θα είναι έτσι

δυνατή η απομακρυσμένη πρόσβαση στις πληροφορίες εκείνες που είναι απαραίτητες για μια φωτοτεχνική μελέτη, ενώ θα δίνεται μια συνολική πλέον, κι όχι μεμονωμένη, εικόνα για την κατάσταση του δικτύου. Παρακάτω απεικονίζονται δύο screenshots μια τέτοιας εφαρμογής (City Lights).



11.1 – Screenshot 1 της εικονικής εφαρμογής City Lights



11.2 - Screenshot 2 της εικονικής εφαρμογής City Lights

Βιβλιογραφία – Αναφορές

- [1] CIE/PIARC, “Road Surfaces and Lighting”, Joint Technical Report CIE/PIARC, 1984.
- [2] Commission Internationale de l’Eclairage, “Depreciation of Installations and their Maintenance”, Report No. 33, C.I.E. Publications, 1977. (Revision CIE 33.1-1996).
- [3] Commission Internationale de l’Eclairage, “Guidelines for Minimizing Sky Glow”, Report 126, C.I.E. Publications, Vienna, 1997.
- [4] Commission Internationale de l’Eclairage, “Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic”, Report 115, C.I.E. Publications, 2010.
- [5] Commission Internationale de l’Eclairage, “The Maintenance of Outdoor Lighting Systems”, Report 154, C.I.E. Publications, 2003.
- [6] County Surveyors Society, “Review of Luminaire Maintenance Factors”, U.K., 2008.
- [7] Illuminating Engineering Society of North America, “Design Guide for Roadway Lighting Maintenance”, New York, 2003.
- [8] Illuminating Engineering Society of North America, “The IESNA Lighting Handbook”, 9th Edition, New York, 2000.
- [9] Illuminating Engineering Society of North America, “The IESNA Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires”, New York, 2007.
- [10] Indalux, “Lighting Engineering Handbook”, 2002.
- [11] Institution of Lighting Professionals, “Guidance Notes for the Reduction of Obtrusive Light”, I.L.P., 2011.
- [12] Leotek Electronics, “A Municipal Guide for Converting to LED Street Lighting”, U.S.A., 2013.
- [13] Lighting Research Center, “Illumination Fundamentals”, LRC Publications, 2000.
- [14] Minnesota Department of Transportation, Office of Traffic Engineering, “Roadway Lighting Design Manual”, 2010.
- [15] Mockey Coureaux I.O., Manzano E., “The Energy Impact of Luminaire Depreciation on Urban Lighting, Energy for Sustainable Development”, 2013.
- [16] Photonics21 Strategic Research Agenda, “Lighting the Way Ahead”, European Technology Platform Photonics21, Germany, 2010.
- [17] Stark R., “Road Surface’s Reflectance Influences Lighting Design”, Portland Cement Association, 1986.

- [18] United States Environmental Protection Agency, “Lighting Maintenance”, E.P.A., U.S.A., 1995.
- [19] VM BL Street & Urban Lighting February 2011, “Maintenance Factors for Siteco LED Outdoor Luminaires”, 2011.
- [20] Ylinen A. - M., Pellinen T., Valtonen J., Puolakka M., Halonen L., “Investigation of Pavement Light Reflection Characteristics. Road Materials and Pavement Design”, Vol. 12, No. 3, 2011.
- [21] Zumtobel Staff, “The Lighting Handbook”, 2011.
- [22] Βαλσαμάκης Μ., «Φωτισμός δρόμων και εξοικονόμηση ενέργειας», Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2008.
- [23] Γιαγιάννος Σ., «Σχεδιασμός αυτόνομου φωτιστικού δρόμων και εξωτερικών χώρων με LED – Εφαρμογή στις πλατείες κέντρου του Ε.Μ.Π.», Διπλωματική εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2013.
- [24] Δεριτζής Π., Σιώμος Β., «Φωτισμός οδών πόλεων», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1992.
- [25] ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01, «Φωτισμός οδών – Μέρος 1: Επιλογή κατηγοριών φωτισμού», 2004
- [26] ΕΛΟΤ EN 13201-02, «Φωτισμός οδών – Μέρος 2: Απαιτήσεις επιδόσεων», 2003
- [27] ΕΛΟΤ EN 13201-03, «Φωτισμός οδών – Μέρος 3: Υπολογισμός επιδόσεων», 2007
- [28] ΕΛΟΤ EN 13201-04, «Φωτισμός οδών – Μέρος 4: Μέθοδοι μέτρησης επιδόσεων φωτισμού», 2003
- [29] Ευθυμιάτος Δ., «Φως και Ήχος», Αθήνα, 1985.
- [30] Ιωαννίδης Γ., «Φωτισμός Δρόμου», Αιγάλεω 2012
- [31] Κοκολάκης Ε., «Μελέτη εξοικονόμησης ενέργειας σε εγκαταστάσεις αστικού οδικού φωτισμού: Πιλοτική εφαρμογή στο Δήμο Βούλας Αττικής», Διπλωματική εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2009.
- [32] Μαρουλής Γ., «Οικονομικός Φωτισμός», Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου, Ηράκλειο, 2010.
- [33] Μήτσου Γ., Εργαστηριακές Ασκήσεις των Μαθημάτων Φυσική Ι και ΙΙ, Τμήμα Φυσικής Χημείας & Τεχνολογίας Υλικών, Τ.Ε.Ι. Αθηνών
- [34] Μιτζάλης Ν., «Διερεύνηση της Επιρροής του Φωτισμού στη Συχνότητα και στη Σοβαρότητα των Οδικών Ατυχημάτων», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2010.

- [35] Μπαρτσακούλιας Π., «Μεταβολές στις προδιαγραφές και τα οικονομοτεχνικά στοιχεία εγκαταστάσεων οδικού φωτισμού που προκύπτουν από την υιοθέτηση της μεσοπικής θεώρησης», Διπλωματική εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2006.
- [36] Ο.Μ.Ο.Ε., «Οδηγίες Συντάξεως Μελετών Η/Μ έργων σηράγγων και φωτισμού υπαίθριων οδικών έργων», 2004.
- [37] Παπαδημητρίου Γ., «Βέλτιστος σχεδιασμός ενεργειακών εγκαταστάσεων σε αυτοκινητόδρομους», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Η.Μ.Μ.Υ., Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2002.
- [38] Τοπαλής Φ.Β., «Φωτοτεχνία, Βασικές αρχές Φωτομετρίας και Μελέτες Φωτισμού», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1994.
- [39] Τσανακτσίδης Δ., Τσίτσουλας Δ., «Σύγχρονα συστήματα εξοπλισμού των οδών», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2003.
- [40] Τσιώνος Γ., «Εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό δρόμων – Πιλοτική εφαρμογή στο Δήμο Χαλανδρίου», Διπλωματική εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2010.
- [41] Φραντζεσκάκης Ι., Γκόλιας Ι., «Οδική Ασφάλεια», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994.

Ιστοσελίδες στο Διαδίκτυο

- [42] Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση 13 «Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Οδοφωτισμό»
www.ggde.gr/dmdocuments
- [43] Κριτήρια της Ε.Ε. για τις Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις
http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/criteria/street_lighting_el.pdf
- [44] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0889:FIN:EL:HTML>
- [45] http://www.covenantofmayors.eu/about/covenant-of-mayors_en.html
- [46] <http://www.eoan.gr/el/content/13>
- [47] www.greekarchitects.gr
- [48] www.neasmirni.gr
- [49] www.philips.com
- [50] www.stilvi.gr

12 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Προσομοίωση Φωτισμού

Installation : 2ας Μαΐου

Project number : 01 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού
Installation : 2ας Μαΐου
Project number : 01 - ΣΕΝΑΠΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 PHILIPS/2013-06-07 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BRS421 T15 S GRN24/- No ()

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: PHILIPS/2013-06-07 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

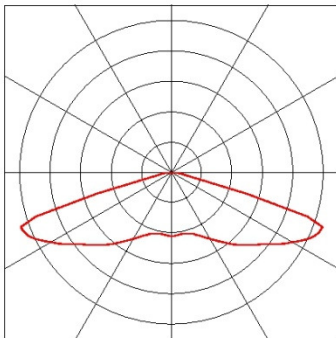
BRS421 T15 S GRN24/- No

Luminaire data

Luminaire efficiency : 87%
Luminaire efficacy : 85.57 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 23 57 98 100 87
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 30.0 / 30.0
Control gear :
System power : 24.4 W
Length : 697 mm
Width : 334 mm
Height : 219 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : GRN24-2S/830
Colour : -
Luminous flux : 2400 lm

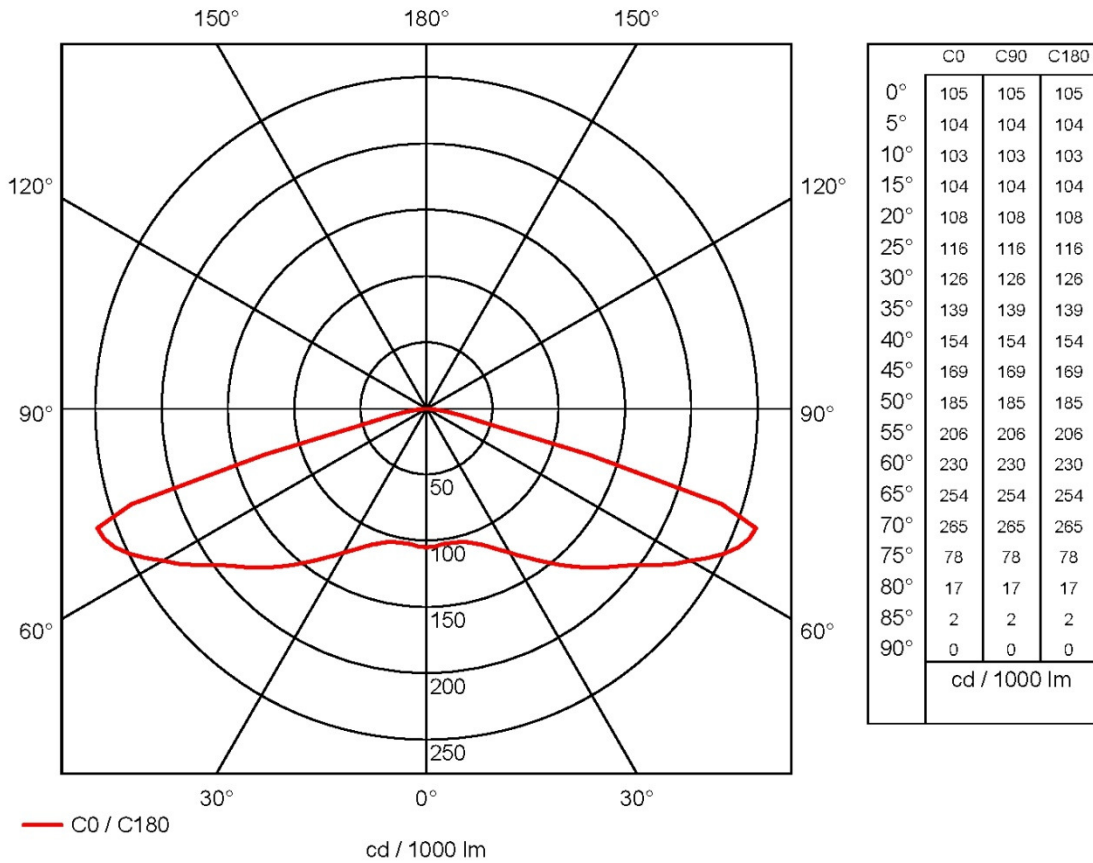


Object : Προσομοίωση Φωτισμού
 Installation : 2ας Μαΐου
 Project number : 01 - ΣΕΝΑΠΙΟ 1
 Date : 05.2013



1.1 PHILIPS/2013-06-07 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BRS421 T15 S GRN24/- No ()

1.1.2 LDC



Manufacturer : PHILIPS/2013-06-07 Eulumdat/1 B- Efficiency factor : 87%
 Order number : Luminaire efficacy : 85.57 lm/W
 Luminaire name : BRS421 T15 S GRN24/- No Light distribution : rotationally symmetric
 Equipment : 1 x GRN24-2S/830 / 2400 lm Beam Angle : 148.0° C0-C180
 Dimensions : L 697 mm x W 334 mm x H 219 mm
 File name : BRS421 T15 1xGRN24-2S_830 S.ld

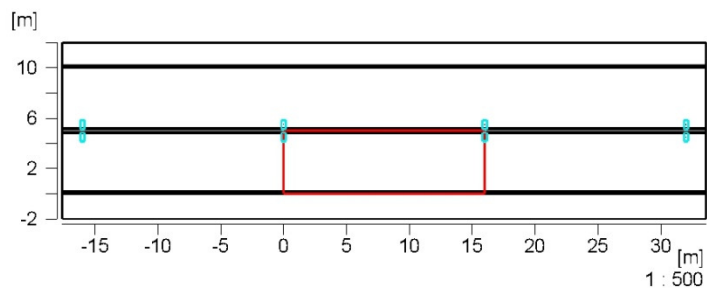
Object : Προσομοίωση Φωτισμού
Installation : 2ας Μαΐου
Project number : 01 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 2ας Μαΐου

2.1 Description, 2ας Μαΐου

2.1.1 Floor plan



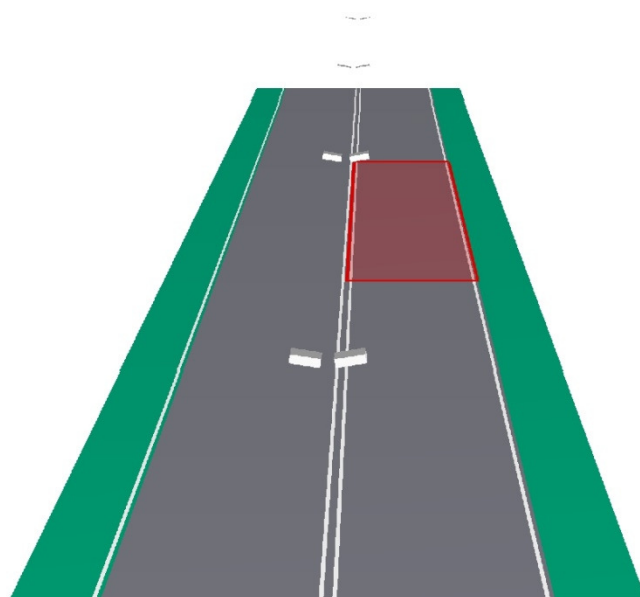
Road		Luminaire type	:BRS421 T15 S GRN24/- No
Road layout	: with central reservation	Luminaire placing	: Central reservation (two rows)
Width of roadway	: 5.00 m	photometric centre height	: 5.00 m
No. of lanes	: 1	Luminaire spacing	: 16.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 0.50 m
q0	: 0.08	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού
Installation : 2ας Μαΐου
Project number : 01 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, 2ας Μαΐου

2.1.2 3D view, View 4



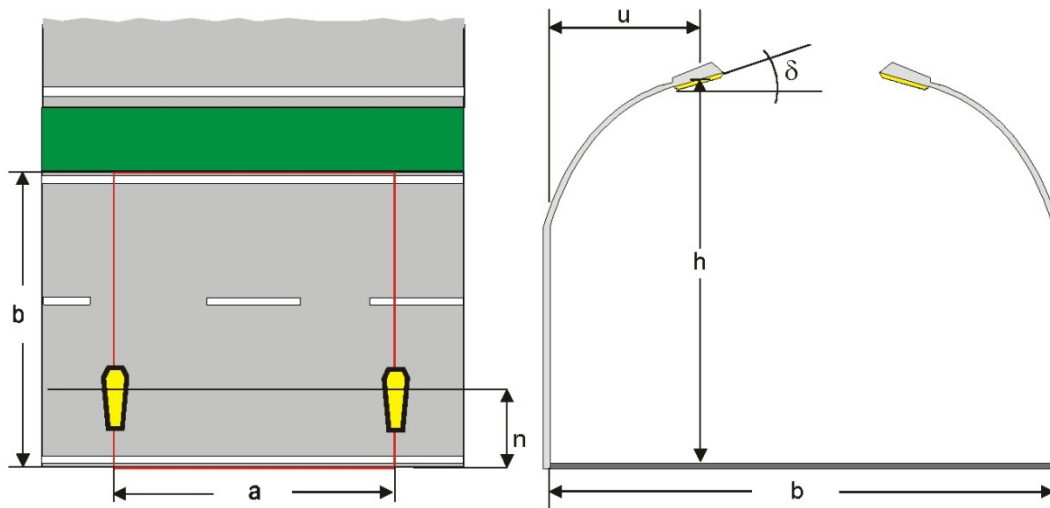
Object : Προσομοίωση Φωτισμού
 Installation : 2ας Μαΐου
 Project number : 01 - ΣΕΝΑΠΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 2ας Μαΐου

2.2 Summary, 2ας Μαΐου

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : PHILIPS/2013-06-07 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
 Order No. : BRS421 T15 S GRN24/- No
 Luminaire name : BRS421 T15 S GRN24/- No
 Equipment : 1 x GRN24-2S/830 / 2400 lm

Road layout : with central reservation
 Width of roadway (b) : 5.00 m
 No. of lanes : 1
 Road surface category : R3
 q_0 : 0.08
 Right hand drivers

Luminaire placing : Central reservation (two rows)
 photometric centre height. (h) : 5.00 m
 Luminaire spacing (a) : 16.00 m
 Luminaires - outreach (u) : 0.50 m
 Inclination (δ) : 10.00°
 Maintenance factor : 0.70

Horizontal illuminance E

Average : 10.4 lx (S2 min. 10)
 Minimum : 7.2 lx (S2 min. 3)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού
 Installation : 2ας Μαΐου
 Project number : 01 - ΣΕΝΑΠΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 2ας Μαΐου

2.3 Calculation results, 2ας Μαΐου

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]	[14.8]	13.7	11.9	10.1	9.1	9.1	10.1	11.9	13.7	[14.8]
4.38	14	12.8	11.2	9.6	8.8	8.8	9.6	11.2	12.8	14
3.13	12	11.1	10	8.8	8.1	8.1	8.8	10	11.1	12
1.88	9.9	9.3	8.4	7.7	(7.2)	(7.2)	7.7	8.4	9.3	9.9
0.63										
	0.80	2.40	4.00	5.60	7.20	8.80	10.40	12.00	13.60	15.20
	Illuminance [lx]									

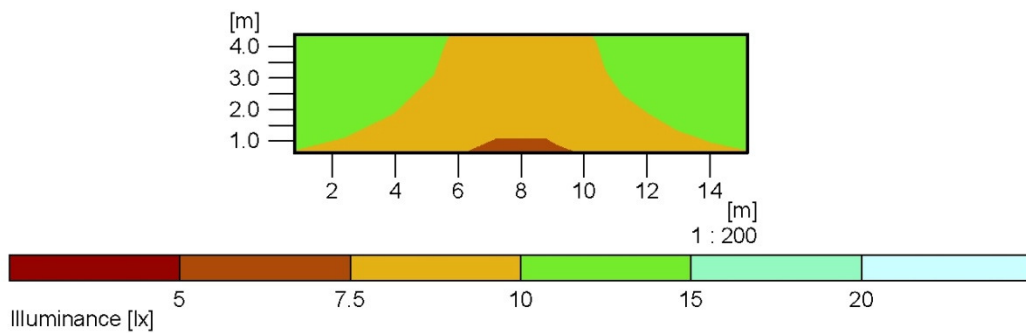
Height of the reference plane	:	0.00 m
Average illuminance	Eav	: 10.4 lx
Minimum illuminance	Emin	: 7.2 lx
Maximum illuminance	E _{max}	: 14.8 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.45 (0.69)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 2.07 (0.48)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού
Installation : 2ας Μαΐου
Project number : 01 - ΣΕΝΑΠΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, 2ας Μαΐου

2.3.2 Pseudo colours, Road (E horizontal)



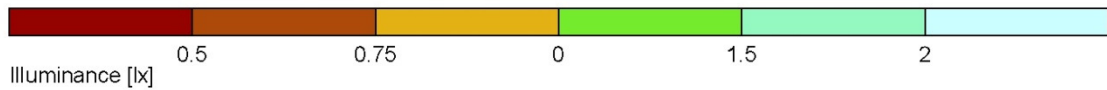
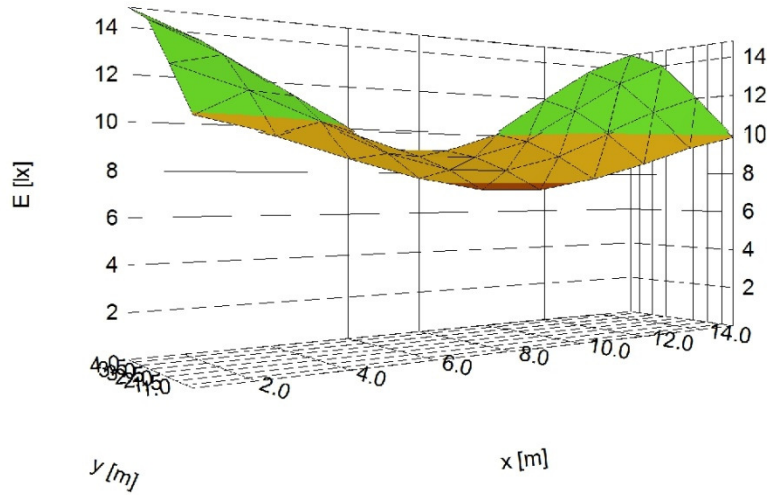
Height of the reference plane	:	0.00 m
Average illuminance	Eav	: 10.4 lx
Minimum illuminance	Emin	: 7.2 lx
Maximum illuminance	Emax	: 14.8 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.45 (0.69)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 2.07 (0.48)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού
Installation : 2ας Μαΐου
Project number : 01 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, 2ας Μαΐου

2.3.3 3D mountain plot, Road (E horizontal)



Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 RUUD, Ledway Road TM 40Led (LXDTM704D**)

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: RUUD

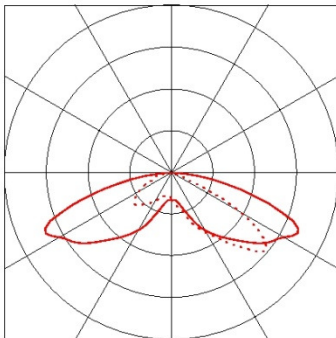
LXDTM704D Ledway Road TM 40Led**

Luminaire data

Luminaire efficiency : 73.24%
Luminaire efficacy : 67.99 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 25 68 95 100 73
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 35.4 / 25.7
Control gear :
System power : 92 W
Length : 541 mm
Width : 269 mm
Height : 121 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : 40 LED 700mA
4K
Colour : 4000
Luminous flux : 8540 lm
Colour reproduction : 75

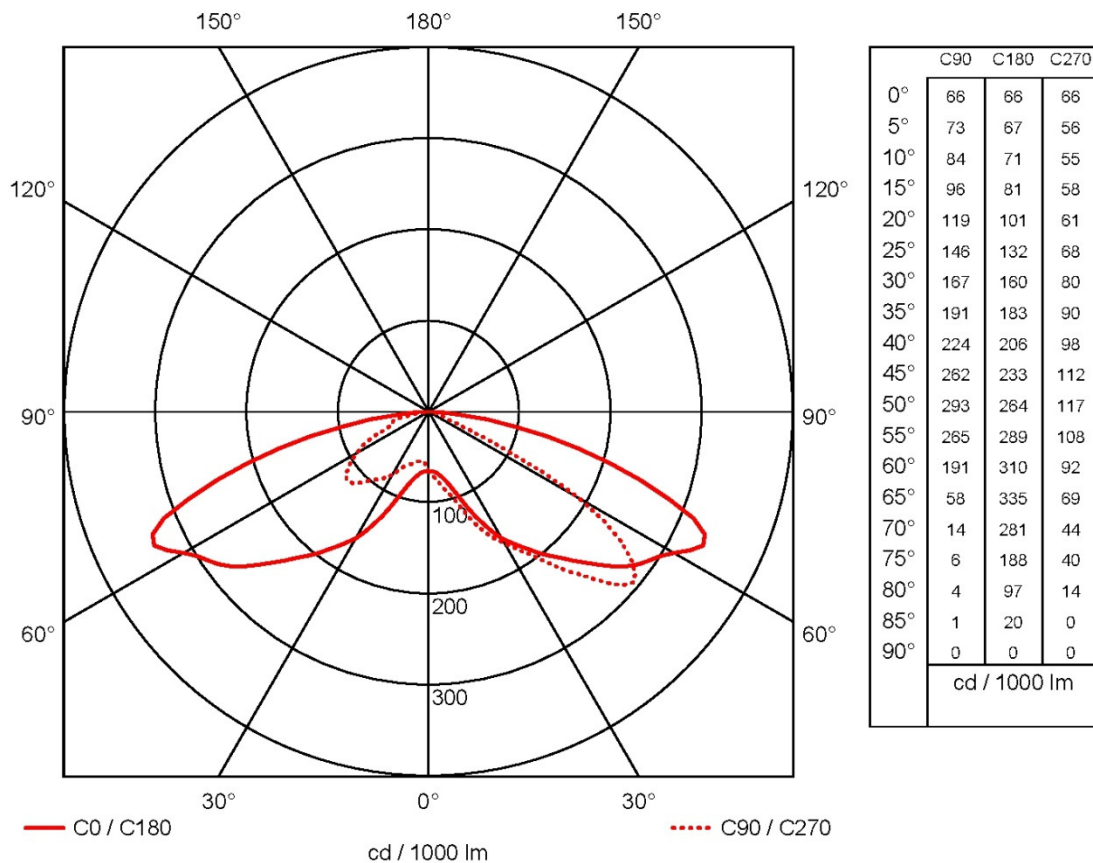


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



1.1 RUUD, Ledway Road TM 40Led (LXDTM704D**)

1.1.2 LDC



Manufacturer : RUUD
 Order number : LXDTM704D**
 Luminaire name : Ledway Road TM 40Led
 Equipment : 1 x 40 LED 700mA 4K / 8540 lm
 Dimensions : L 541 mm x W 269 mm x H 121 mm
 File name : LXDTM704D-ITL64223.LDT

Efficiency factor : 73.24%
 Luminaire efficacy : 67.99 lm/W
 Light distribution : sym. to C90-C270
 Beam Angle : 148.8° C0-C180
 59.5° C90
 -- C270

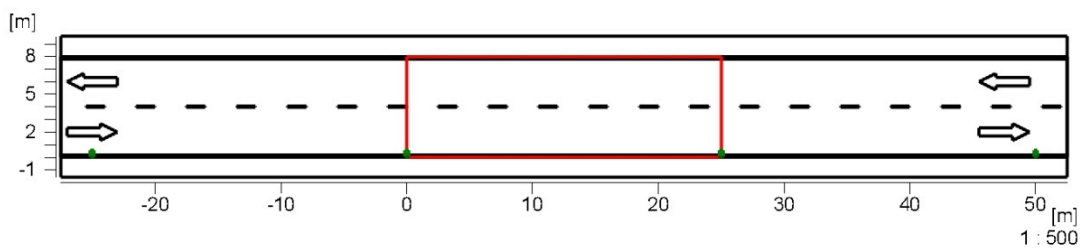
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 Αγ. Σοφίας

2.1 Description, Αγ. Σοφίας

2.1.1 Floor plan



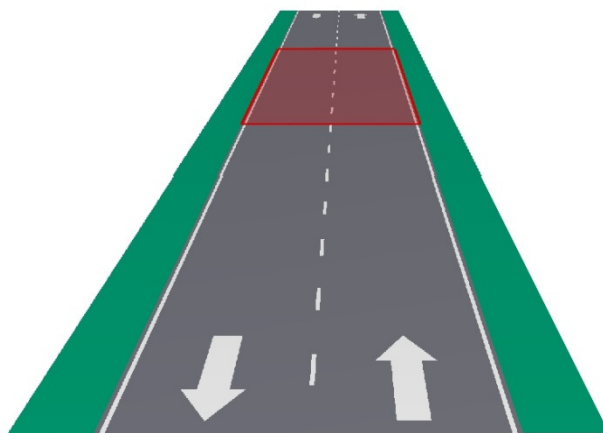
Road		Luminaire type	: LXDTM704D**
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 8.00 m	photometric centre height	: 9.20 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 25.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 0.30 m
q0	: 0.08	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Αγ. Σοφίας

2.1.2 3D view, View 4



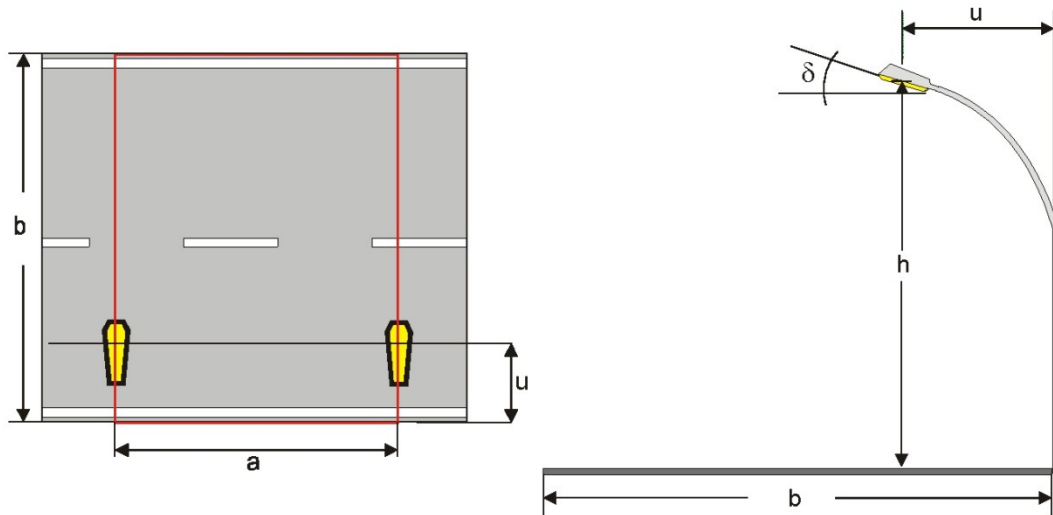
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Αγ. Σοφίας

2.2 Summary, Αγ. Σοφίας

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : RUUD
 Order No. : LXDTM704D**
 Luminaire name : Ledway Road TM 40Led
 Equipment : 1 x 40 LED 700mA 4K / 8540 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway (b)	: 8.00 m	photometric centre height. (h)	: 9.20 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing (a)	: 25.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach (u)	: 0.30 m
q0	: 0.08	Inclination (delta)	: 10.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.70

Horizontal illuminance E

Average	: 7.82 lx	(CE5 min. 7.5)
Min / average	: 0.73	(CE5 min. 0.4)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Αγ. Σοφίας

2.3 Calculation results, Αγ. Σοφίας

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

7.33	7.72	7.14	6.61	6.85	7.67	7.67	6.85	6.61	7.14	7.72
6.00	7.77	7.29	6.83	7.59	8.82	8.82	7.59	6.83	7.29	7.77
4.67	7.33	7.59	7.69	8.28	9.12	9.12	8.28	7.69	7.59	7.33
3.33	6.82	7.7	9.17	9.18	9.23	9.23	9.18	9.17	7.7	6.82
2.00	6.36	8.1	9.35	8.86	8.57	8.57	8.86	9.35	8.1	6.36
0.67	(5.71)	7.4	8.51	7.79	7.66	7.66	7.79	8.51	7.4	(5.71)
	1.25	3.75	6.25	8.75	11.25	13.75	16.25	18.75	21.25	23.75
	Illuminance [lx]									

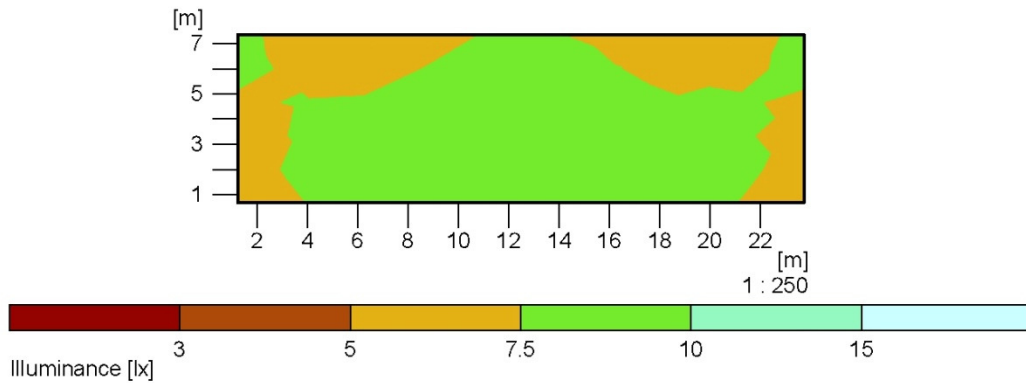
Height of the reference plane	:	0.00 m
Average illuminance	Eav	: 7.82 lx
Minimum illuminance	Emin	: 5.71 lx
Maximum illuminance	E _{max}	: 9.35 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.37 (0.73)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.64 (0.61)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, Αγ. Σοφίας

2.3.2 Pseudo colours, Road (E horizontal)



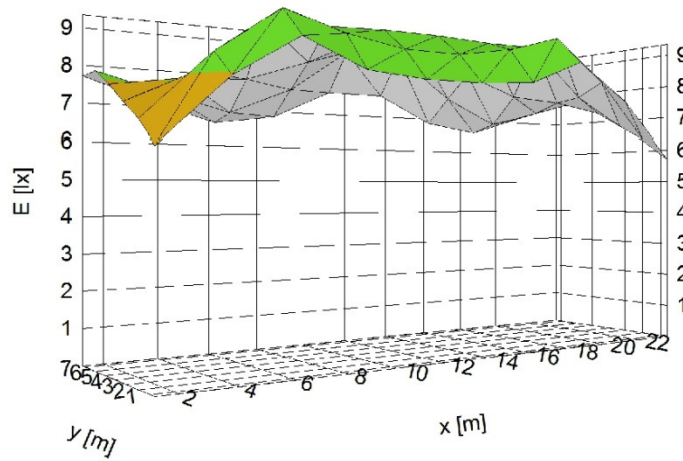
Height of the reference plane	:	0.00 m
Average illuminance	Eav	: 7.82 lx
Minimum illuminance	Emin	: 5.71 lx
Maximum illuminance	Emax	: 9.35 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.37 (0.73)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.64 (0.61)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Σοφίας
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 02 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Αγ. Σοφίας

2.3.3 3D mountain plot, Road (E horizontal)



Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 RUUD, Ledway Road TS 20Led (LXDTS702D**)

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: RUUD

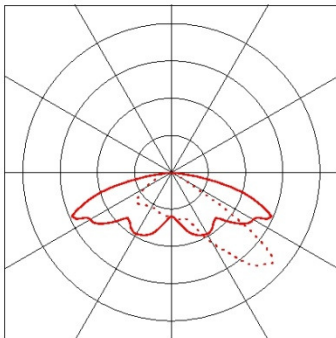
LXDTS702D Ledway Road TS 20Led**

Luminaire data

Luminaire efficiency : 82.95%
Luminaire efficacy : 70.84 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 32 73 97 100 83
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 34.2 / 23.8
Control gear :
System power : 50 W
Length : 427 mm
Width : 269 mm
Height : 121 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : 20 LED 700mA
4K
Colour : 4000
Luminous flux : 4270 lm
Colour reproduction : 75

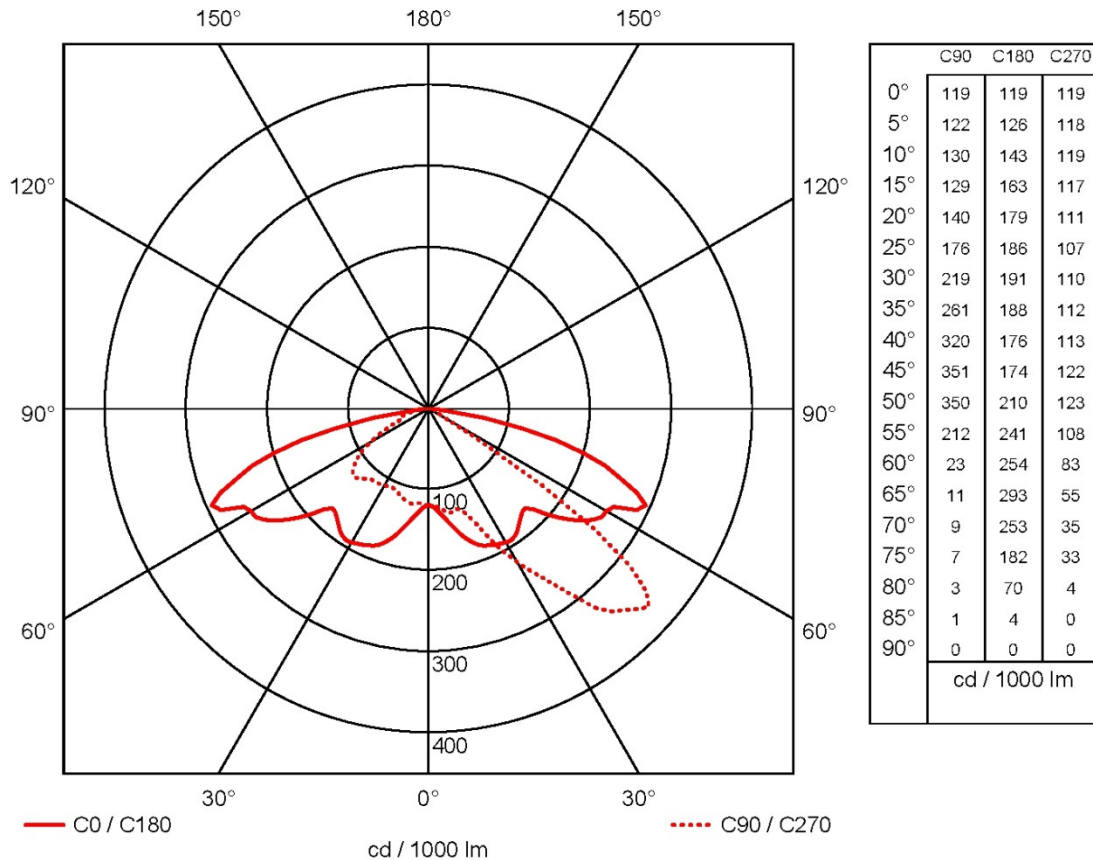


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



1.1 RUUD, Ledway Road TS 20Led (LXDTS702D**)

1.1.2 LDC



Manufacturer : RUUD
 Order number : LXDTS702D**
 Luminaire name : Ledway Road TS 20Led
 Equipment : 1 x 20 LED 700mA 4K / 4270 lm
 Dimensions : L 427 mm x W 269 mm x H 121 mm
 File name : LXDTS702D-ITL66635.LDT

Efficiency factor : 82.95%
 Luminaire efficacy : 70.84 lm/W
 Light distribution : sym. to C90-C270
 Beam Angle : 145.4° C0-C180
 54.8° C90
 -- C270

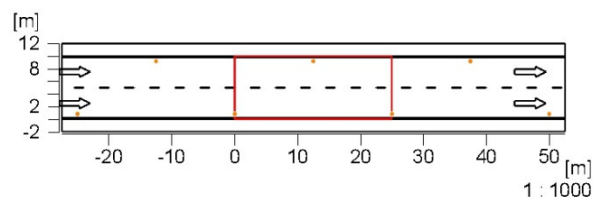
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 Αγ. Φωτεινής

2.1 Description, Αγ. Φωτεινής

2.1.1 Floor plan



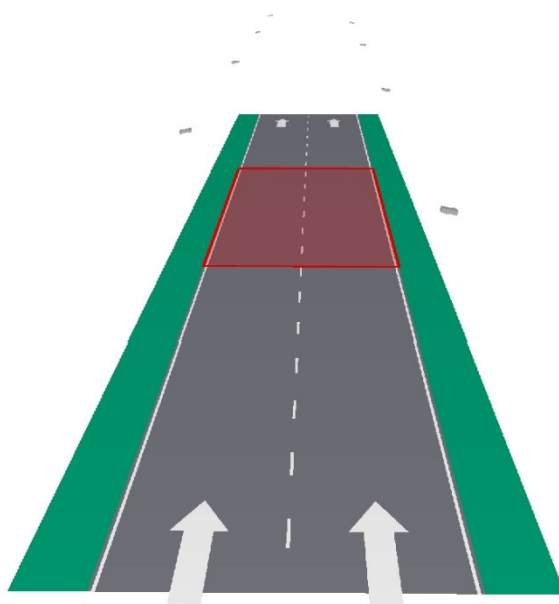
Road		Luminaire type	: LXDTS702D**
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Staggered layout
Width of roadway	: 10.00 m	photometric centre height	: 9.20 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 25.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 0.80 m
q0	: 0.08	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Αγ. Φωτεινής

2.1.2 3D view, View 4



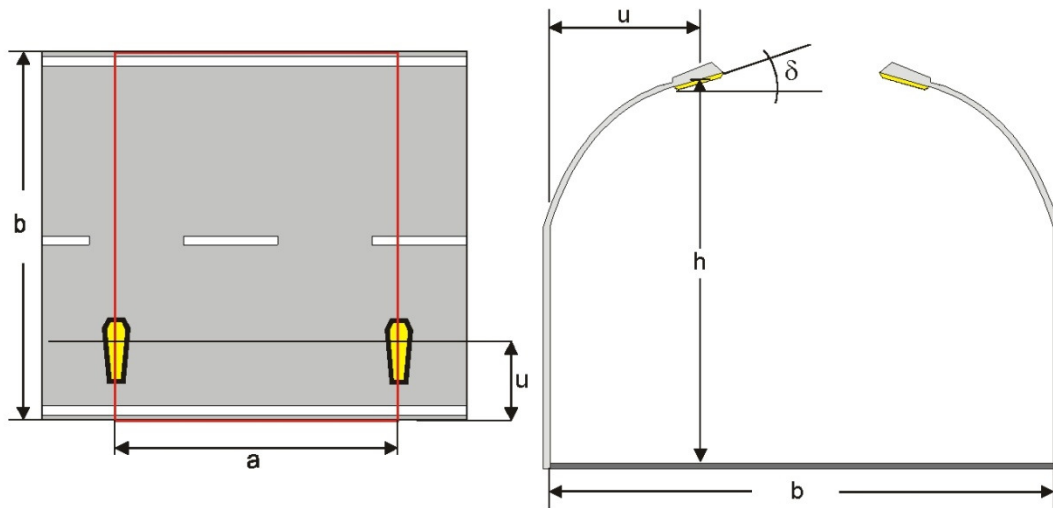
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Αγ. Φωτεινής

2.2 Summary, Αγ. Φωτεινής

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : RUUD
 Order No. : LXDTS702D**
 Luminaire name : Ledway Road TS 20Led
 Equipment : 1 x 20 LED 700mA 4K / 4270 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Staggered layout
Width of roadway (b)	: 10.00 m	photometric centre height. (h)	: 9.20 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing (a)	: 25.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach (u)	: 0.80 m
q0	: 0.08	Inclination (δ)	: 10.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.70

Horizontal illuminance E

Average	: 8.58 lx	(CE5 min. 7.5)
Min / average	: 0.9	(CE5 min. 0.4)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Αγ. Φωτεινής

2.3 Calculation results, Αγ. Φωτεινής

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

9.29	(7.75)	7.99	8.8	[9.31]	8.86	8.86	[9.31]	8.8	7.99	(7.75)
7.86	8.07	8.33	8.87	9.27	8.95	8.95	9.27	8.87	8.33	8.07
6.43	7.88	8.33	8.6	9.05	8.78	8.78	9.05	8.6	8.33	7.88
5.00	8.31	8.75	8.49	8.75	8.31	8.31	8.75	8.49	8.75	8.31
3.57	8.78	9.05	8.6	8.33	7.88	7.88	8.33	8.6	9.05	8.78
2.14	8.95	9.27	8.87	8.33	8.07	8.07	8.33	8.87	9.27	8.95
0.71	8.86	[9.31]	8.8	7.99	(7.75)	(7.75)	7.99	8.8	[9.31]	8.86
	1.25	3.75	6.25	8.75	11.25	13.75	16.25	18.75	21.25	23.75
	Illuminance [lx]									

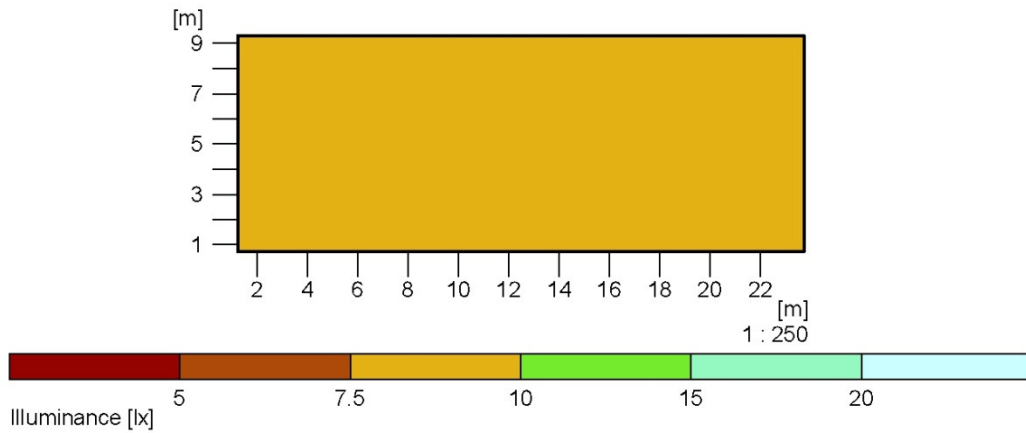
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 8.58 lx
Minimum illuminance	Emin	: 7.75 lx
Maximum illuminance	Emax	: 9.31 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.11 (0.9)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.2 (0.83)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, Αγ. Φωτεινής

2.3.2 Pseudo colours, Road (E horizontal)



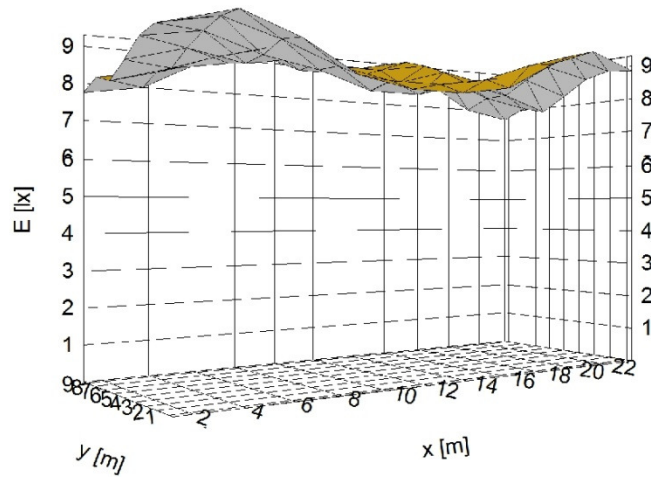
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 8.58 lx
Minimum illuminance	Emin	: 7.75 lx
Maximum illuminance	Emax	: 9.31 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.11 (0.9)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.2 (0.83)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Αγίας Φωτεινής
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 03 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Αγ. Φωτεινής

2.3.3 3D mountain plot, Road (E horizontal)



Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 RUUD, Ledway Road TM 30Led (LXDTM703D**)

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: RUUD

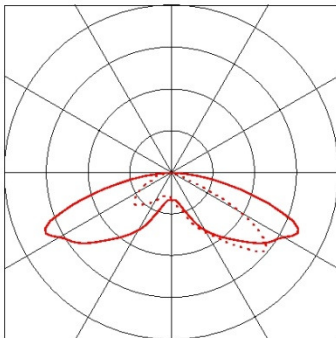
LXDTM703D Ledway Road TM 30Led**

Luminaire data

Luminaire efficiency : 73.24%
Luminaire efficacy : 65.15 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 25 68 95 100 73
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 36.6 / 26.4
Control gear :
System power : 72 W
Length : 427 mm
Width : 269 mm
Height : 121 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : 30 LED 700mA
4K
Colour : 4000
Luminous flux : 6405 lm
Colour reproduction : 75

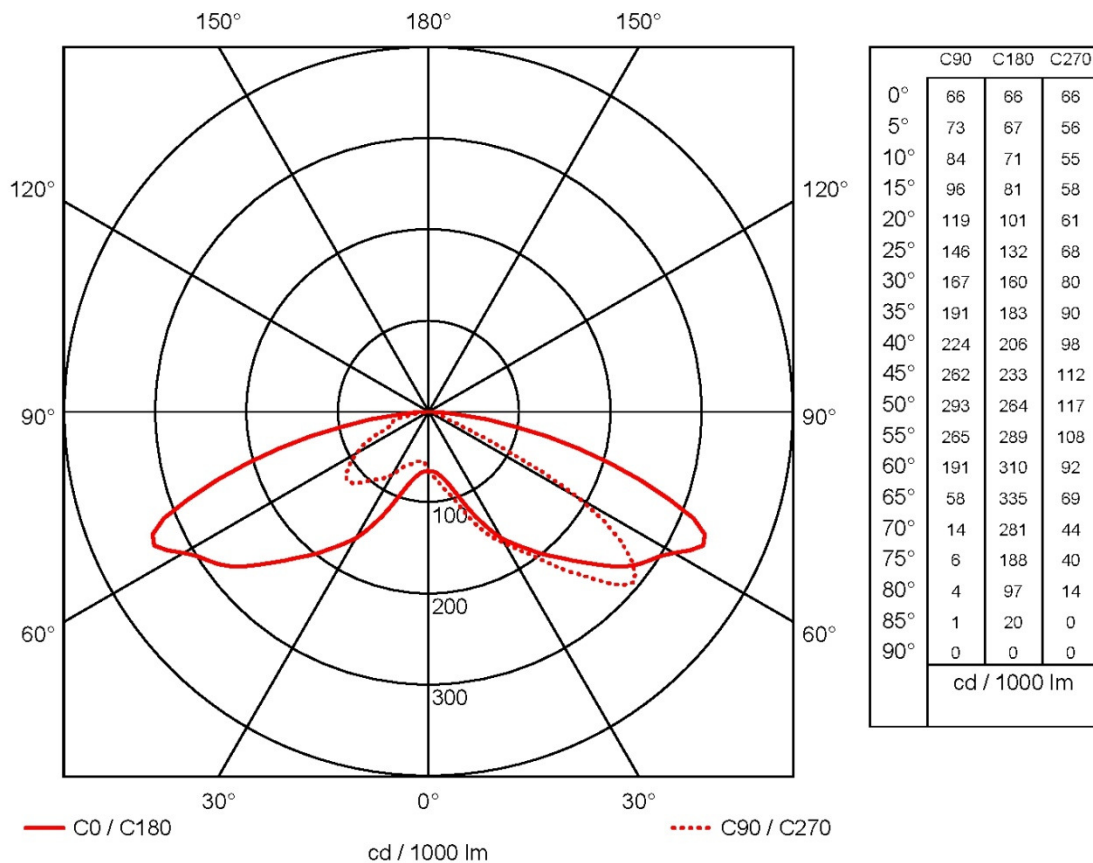


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



1.1 RUUD, Ledway Road TM 30Led (LXDTM703D**)

1.1.2 LDC



Manufacturer	: RUUD	Efficiency factor	: 73.24%
Order number	: LXDTM703D**	Luminaire efficacy	: 65.15 lm/W
Luminaire name	: Ledway Road TM 30Led	Light distribution	: sym. to C90-C270
Equipment	: 1 x 30 LED 700mA 4K / 6405 lm	Beam Angle	: 148.8° C0-C180
Dimensions	: L 427 mm x W 269 mm x H 121 mm		: 59.5° C90
File name	: LXDTM703D-ITL64223.LDT		-- C270

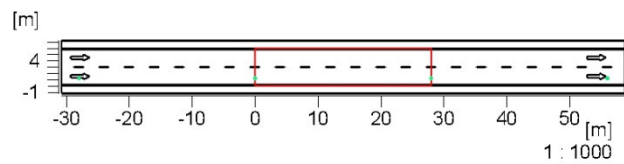
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 Δαρδανελλίων

2.1 Description, Δαρδανελλίων

2.1.1 Floor plan



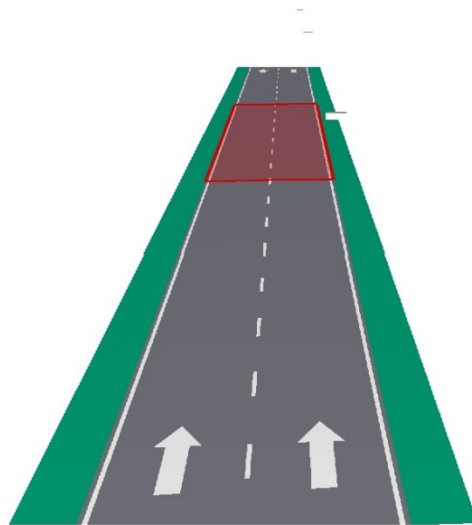
Road		Luminaire type	: LXDTM703D**
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 6.00 m	photometric centre height	: 7.00 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 28.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 1.20 m
q0	: 0.08	Inclination	: 0.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Δαρδανελλίων

2.1.2 3D view, View 4



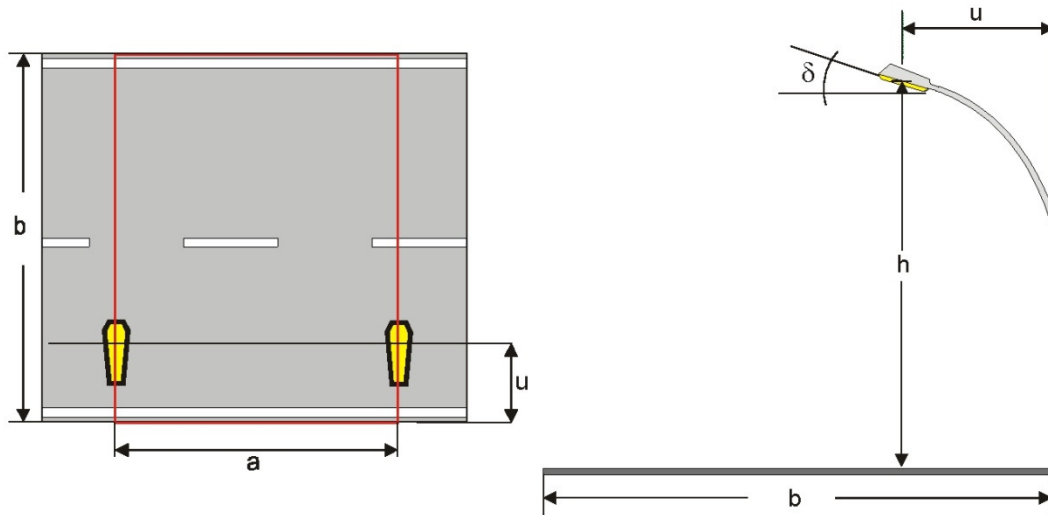
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013

RELUX[®]
 light simulation tools

2 Δαρδανελλίων

2.2 Summary, Δαρδανελλίων

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : RUUD
 Order No. : LXDTM703D**
 Luminaire name : Ledway Road TM 30Led
 Equipment : 1 x 30 LED 700mA 4K / 6405 lm

Road layout : without central reservation
 Width of roadway (b) : 6.00 m
 No. of lanes : 2
 Road surface category : R3
 q_0 : 0.08
 Right hand drivers

Luminaire placing : Right row
 photometric centre height. (h) : 7.00 m
 Luminaire spacing (a) : 28.00 m
 Luminaires - outreach (u) : 1.20 m
 Inclination (δ) : 0.00°
 Maintenance factor : 0.70

Horizontal illuminance E

Average : 7.7 lx (CE5 min. 7.5)
 Min / average : 0.7 (CE5 min. 0.4)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Δαρδανελλίων

2.3 Calculation results, Δαρδανελλίων

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]	[10.1]	7.9	7.4	7.3	6.1	6.1	7.3	7.4	7.9	[10.1]
5.25	9.6	8.3	8.9	7.6	5.7	5.7	7.6	8.9	8.3	9.6
3.75	7.8	10	9.5	7.2	5.9	5.9	7.2	9.5	10	7.8
2.25	6.3	9.3	7.7	6.2	(5.4)	(5.4)	6.2	7.7	9.3	6.3
0.75										
	1.40	4.20	7.00	9.80	12.60	15.40	18.20	21.00	23.80	26.60
	Illuminance [lx]									

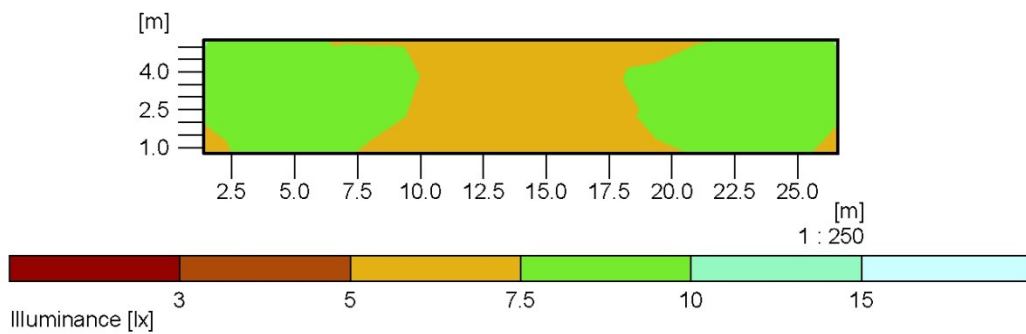
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 7.7 lx
Minimum illuminance	Emin	: 5.4 lx
Maximum illuminance	E _{max}	: 10.1 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.44 (0.7)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.89 (0.53)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, Δαρδανελλίων

2.3.2 Pseudo colours, Road (E horizontal)



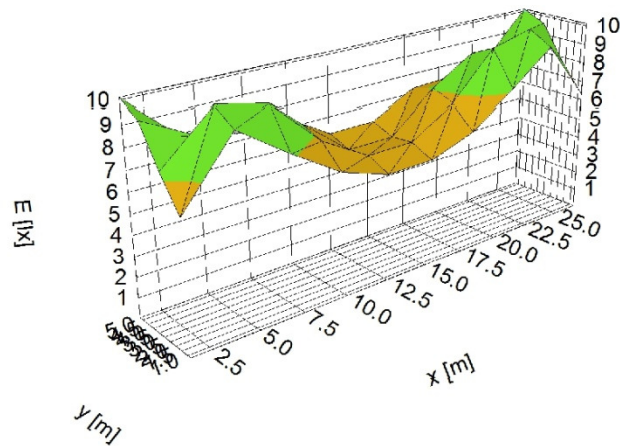
Height of the reference plane	:	0.00 m
Average illuminance	Eav	: 7.7 lx
Minimum illuminance	Emin	: 5.4 lx
Maximum illuminance	Emax	: 10.1 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.44 (0.7)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.89 (0.53)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Δαρδανελλίων
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 04 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Δαρδανελλίων

2.3.3 3D mountain plot, Road (E horizontal)



Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED55S/- No ()

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

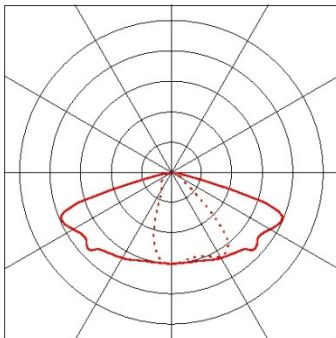
BGP340 DM LED55S/- No

Luminaire data

Luminaire efficiency : 87%
Luminaire efficacy : 87.32 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 45 79 98 100 87
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 31.7 / 16.5
Control gear :
System power : 55 W
Length : 749 mm
Width : 321 mm
Height : 207 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : LED55S/640/-
Colour : -
Luminous flux : 5520 lm

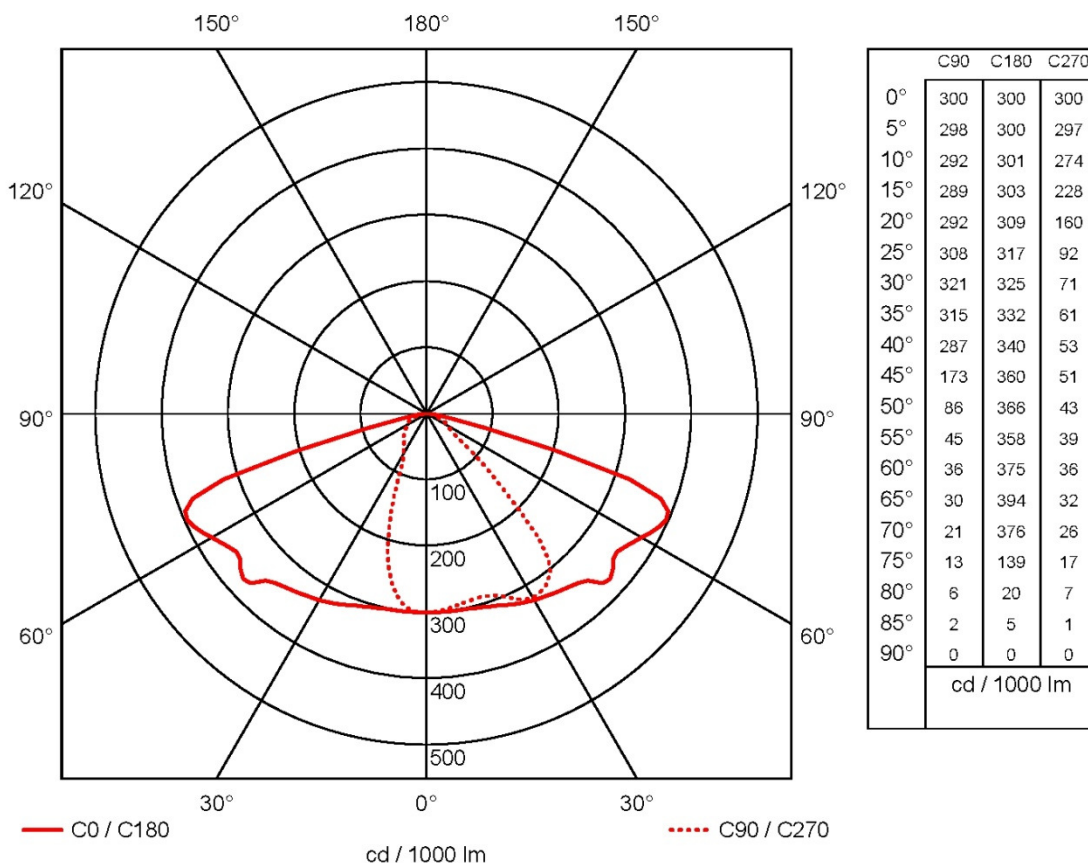


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED55S/- No ()

1.1.2 LDC



Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B- Efficiency factor : 87%
 Order number : Luminaire efficacy : 87.32 lm/W
 Luminaire name : BGP340 DM LED55S/- No Light distribution : sym. to C90-C270
 Equipment : 1 x LED55S/640/- / 5520 lm Beam Angle : 145.7° C0-C180
 Dimensions : L 749 mm x W 321 mm x H 207 mm 40.7° C90
 File name : BGP340 1xLED55S_640 DM.ltd 10.2° C270

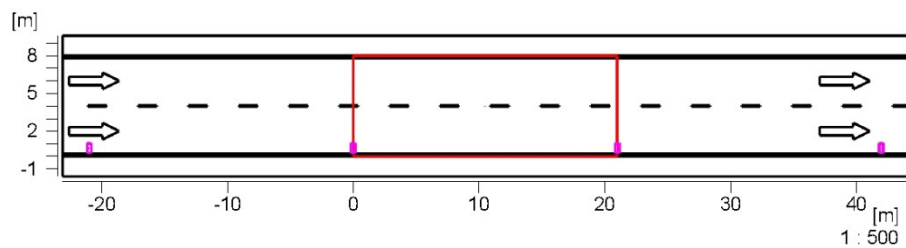
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 Μεγ. Αλεξάνδρου

2.1 Description, Μεγ. Αλεξάνδρου

2.1.1 Floor plan



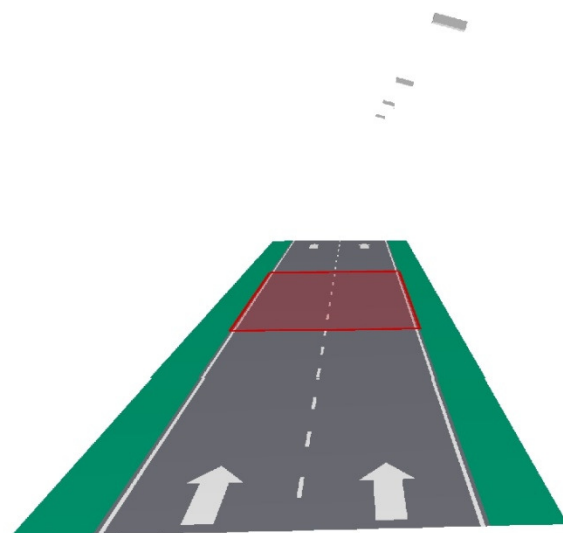
Road		Luminaire type	: BGP340 DM LED55S/- No
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 8.00 m	photometric centre height	: 10.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 21.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 0.65 m
q0	: 0.08	Inclination	: 15.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Μεγ. Αλεξάνδρου

2.1.2 3D view, View 4



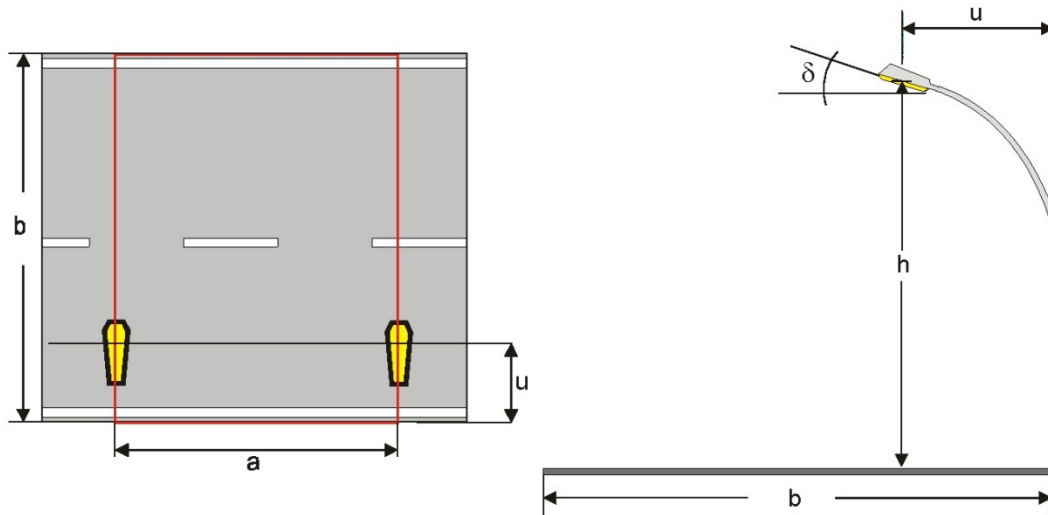
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Μεγ. Αλεξάνδρου

2.2 Summary, Μεγ. Αλεξάνδρου

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
 Order No. : BGP340 DM LED55S/- No
 Luminaire name : BGP340 DM LED55S/- No
 Equipment : 1 x LED55S/640/- / 5520 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 8.00 m	photometric centre height.	(h): 10.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 21.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): 0.65 m
q0	: 0.08	Inclination	(δ): 15.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.70

Horizontal illuminance E

Average	: 9.3 lx	(CE5 min. 7.5)
Min / average	: 0.72	(CE5 min. 0.4)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Μεγ. Αλεξάνδρου

2.3 Calculation results, Μεγ. Αλεξάνδρου

2.3.1 Table, Road (E horizontal)

[m]	8,7	8,5	8,1	8	7,9	7,9	8	8,1	8,5	8,7
7.33	9,8	9,4	8,9	8,6	8,5	8,5	8,6	8,9	9,4	9,8
6.00	11	10,4	9,7	9,2	9,1	9,1	9,2	9,7	10,4	11
4.67	[11.9]	11,2	10,3	9,5	9,2	9,2	9,5	10,3	11,2	[11.9]
3.33	[11.9]	11,1	10	8,9	8,5	8,5	8,9	10	11,1	[11.9]
2.00	9,5	8,8	7,9	7	(6.6)	(6.6)	7	7,9	8,8	9,5
0.67										
	1.05	3.15	5.25	7.35	9.45	11.55	13.65	15.75	17.85	19.95
	Illuminance [lx]									

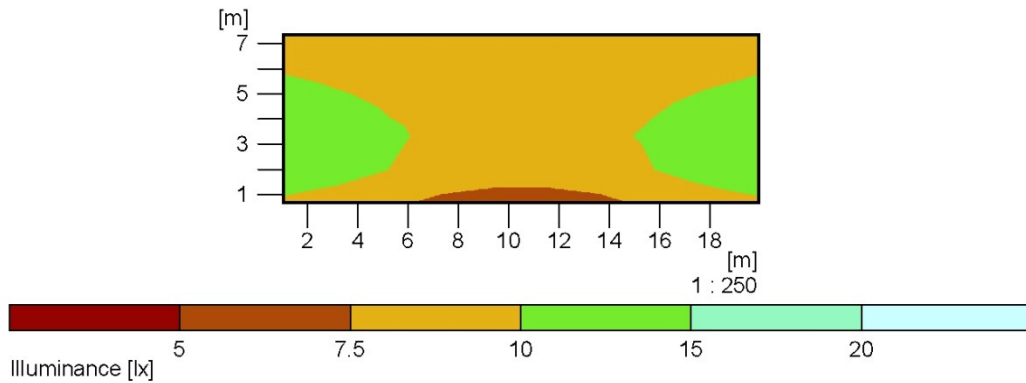
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 9.3 lx
Minimum illuminance	Emin	: 6.6 lx
Maximum illuminance	E _{max}	: 11.9 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.4 (0.72)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.8 (0.56)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, Μεγ. Αλεξάνδρου

2.3.2 Pseudo colours, Road (E horizontal)



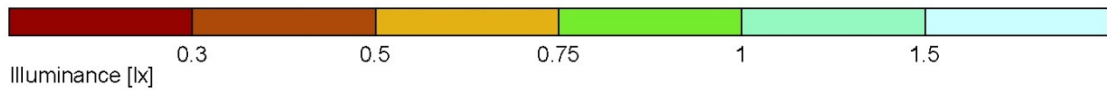
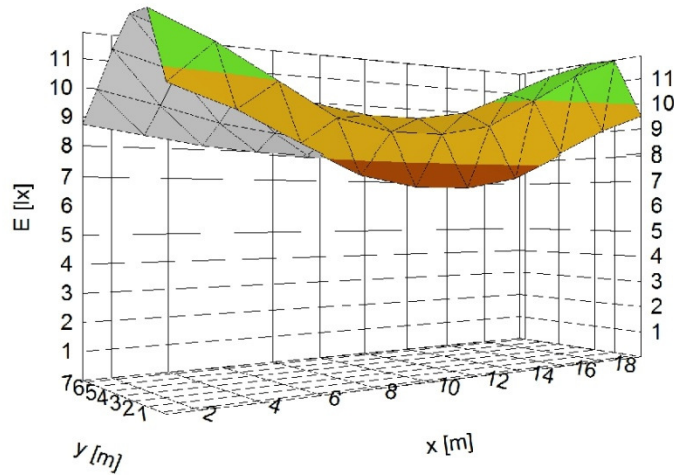
Height of the reference plane		: 0.00 m
Average illuminance	Eav	: 9.3 lx
Minimum illuminance	Emin	: 6.6 lx
Maximum illuminance	Emax	: 11.9 lx
Uniformity U ₀	min/average	: 1 : 1.4 (0.72)
Uniformity g ₂	min/max	: 1 : 1.8 (0.56)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Μεγάλου Αλεξάνδρου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 05 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Μεγ. Αλεξάνδρου

2.3.3 3D mountain plot, Road (E horizontal)



Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α.Αντωνίου, Β.Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED92S/- No ()

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

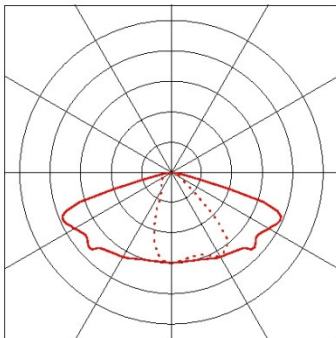
BGP340 DM LED92S/- No

Luminaire data

Luminaire efficiency : 86%
Luminaire efficacy : 89.1 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 45 79 98 100 86
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 33.5 / 18.2
Control gear :
System power : 88.8 W
Length : 749 mm
Width : 321 mm
Height : 207 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : LED92S/640/-
Colour : -
Luminous flux : 9200 lm

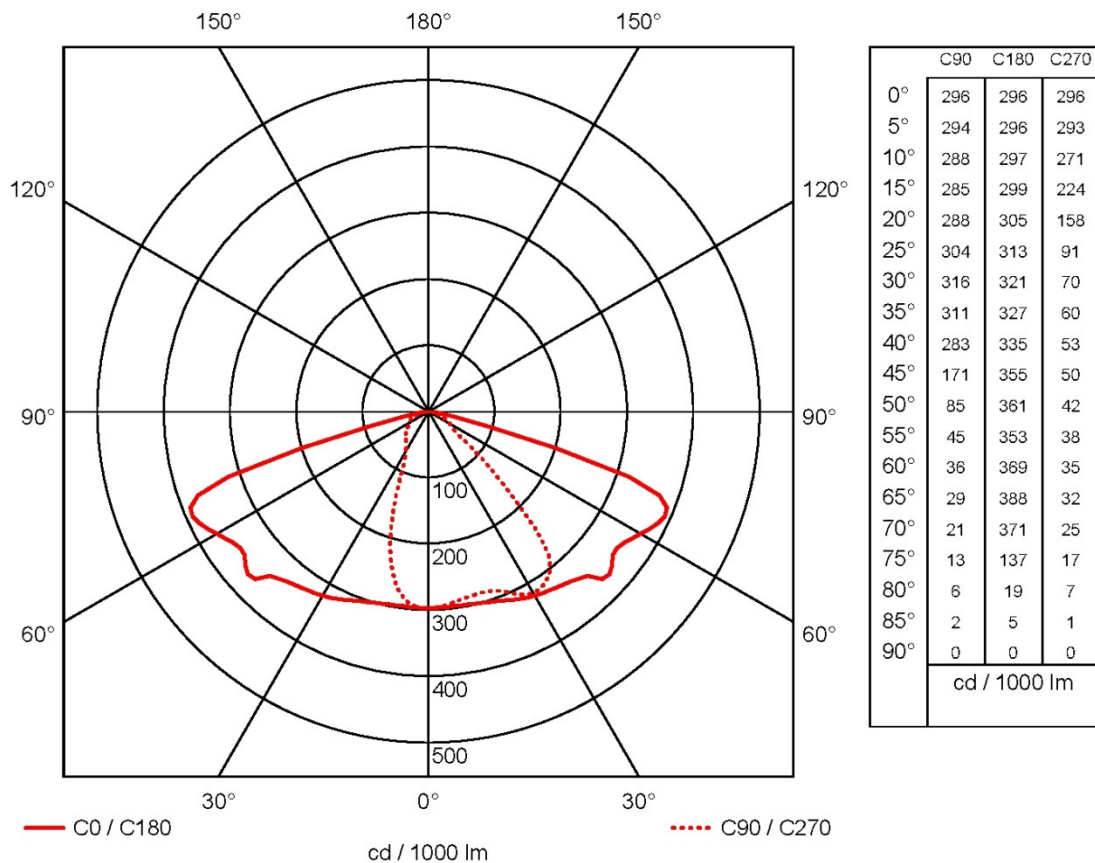


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED92S/- No ()

1.1.2 LDC



Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B- Efficiency factor : 86%
 Order number : Luminaire efficacy : 89.1 lm/W
 Luminaire name : BGP340 DM LED92S/- No Light distribution : sym. to C90-C270
 Equipment : 1 x LED92S/640/- / 9200 lm Beam Angle : 145.7° C0-C180
 Dimensions : L 749 mm x W 321 mm x H 207 mm 40.7° C90
 File name : BGP340 1xLED92S_640 DM.ltd 10.2° C270

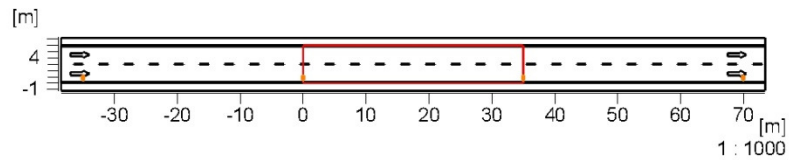
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1 Description, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.1 Floor plan



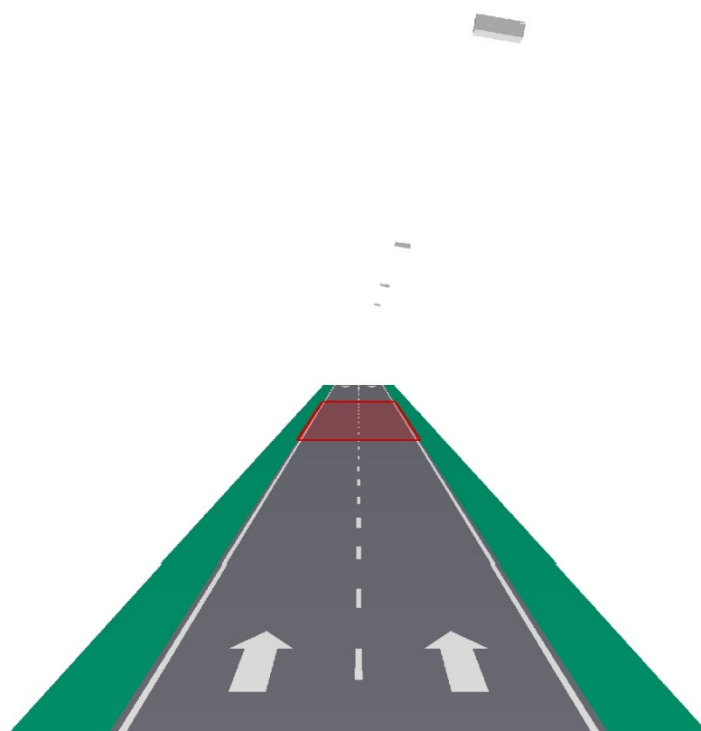
Road		Luminaire type	: BGP340 DM LED92S/- No
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 6.00 m	photometric centre height	: 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 35.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 0.85 m
q0	: 0.08	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.2 3D view, View from the left



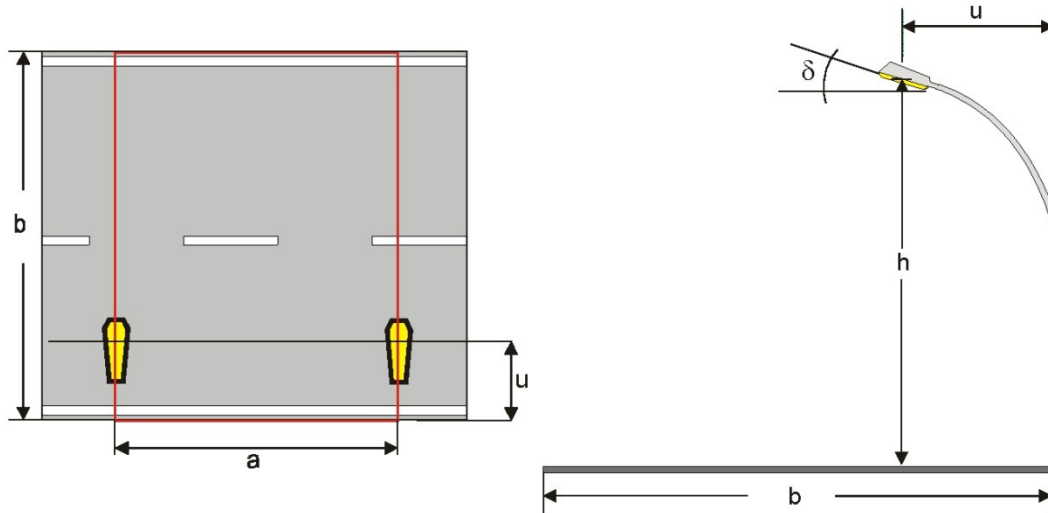
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2 Summary, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
 Order No. : BGP340 DM LED92S/- No
 Luminaire name : BGP340 DM LED92S/- No
 Equipment : 1 x LED92S/640/- / 9200 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 6.00 m	photometric centre height.	(h): 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 35.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): 0.85 m
q0	: 0.08	Inclination	(δ): 10.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.70

Luminance

Observer location 1 : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m
 Average : 0.82 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.67 (ME4b min. 0.4)

Observer location 2 : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m
 Average : 0.86 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.72 (ME4b min. 0.4)

Longitudinal uniformity

UI (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) : 0.83 (ME4b min. 0.5)
 UI (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) : 0.88 (ME4b min. 0.5)

Glare/ surrounding brightness

TI (B2: y=4.50m) : 8 % (ME4b max. 15)
 SR : 0.61 (ME4b min. 0.5)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2 Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.1 Table, Road (L)

[m]	0.61	0.59	0.55	0.58	0.57	0.57	0.58	0.66	0.68	0.62	0.62	0.62
5.50	0.61	0.59	0.55	0.58	0.57	0.57	0.58	0.66	0.68	0.62	0.62	0.62
4.50	0.68	0.67	0.63	0.67	0.67	0.68	0.71	0.77	0.79	0.74	0.71	0.7
3.50	0.78	0.79	0.76	0.8	0.79	0.81	0.85	0.88	0.91	0.86	0.84	0.78
2.50	0.87	0.9	0.91	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	1.05	0.97	0.93	0.88
1.50	0.9	0.94	0.97	1.03	1.06	1.07	1.05	1.04	1.08	1	0.96	0.9
0.50	0.74	0.76	0.77	0.81	0.86	0.89	0.88	0.88	0.92	0.86	0.82	0.78
	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

Observer location 1 : x = -60, y = 1.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.82 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.55 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.67
 Threshold increment TI : 7 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.83

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
 Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.2 Table, Road (L)

[m]	0,66	0,66	(0,62)	0,66	0,64	0,64	0,65	0,71	0,72	0,66	0,65	0,66
5.50	0,76	0,78	0,75	0,78	0,76	0,77	0,8	0,83	0,84	0,77	0,75	0,74
4.50	0,89	0,93	0,92	0,97	0,95	0,94	0,95	0,96	0,97	0,9	0,88	0,84
3.50	0,98	1,05	1,08	[1,13]	1,11	1,11	1,08	1,06	1,12	1,02	0,97	0,93
2.50	0,88	0,93	0,97	1,04	1,07	1,08	1,07	1,05	1,09	1	0,96	0,9
1.50	0,67	0,66	0,66	0,71	0,77	0,82	0,83	0,85	0,89	0,84	0,8	0,75
0.50	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

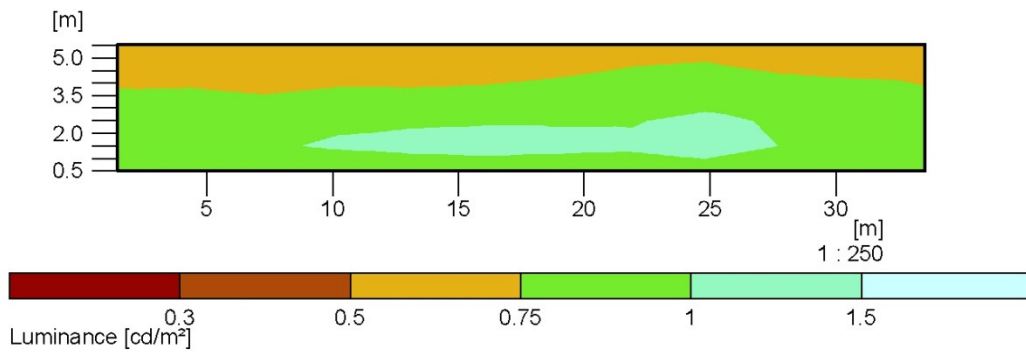
Observer location 2 : x = -60, y = 4.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.86 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.62 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.72
 Threshold increment TI : 8 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.88

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.3 Pseudo colours, Road (L)



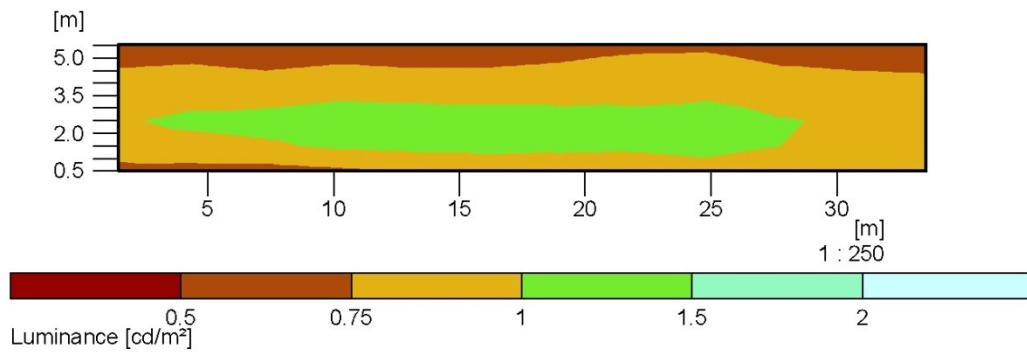
Observer location 1	: x = -60, y = 1.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.82 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.55 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.67
Threshold increment	TI : 7 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.83

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.4 Pseudo colours, Road (L)



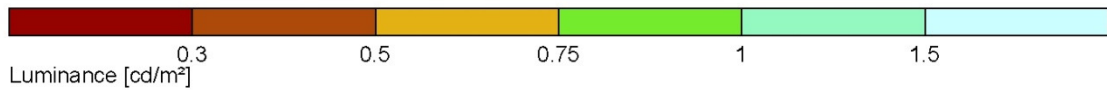
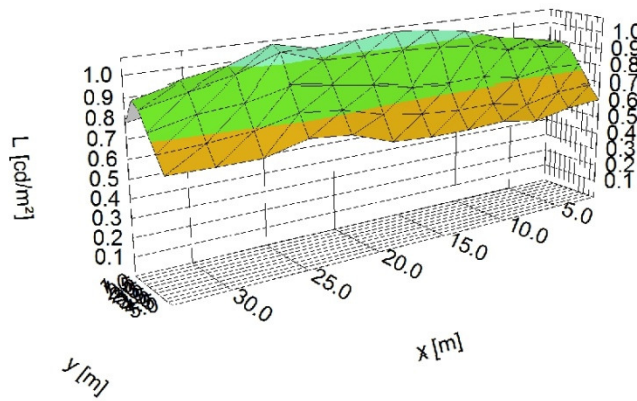
Observer location 2		: x = -60, y = 4.5, z = 1.5
Average luminance	Lav	: 0.86 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin	: 0.62 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm	: 0.72
Threshold increment	TI	: 8 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax	: 0.88

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.5 3D mountain plot, Road (L)

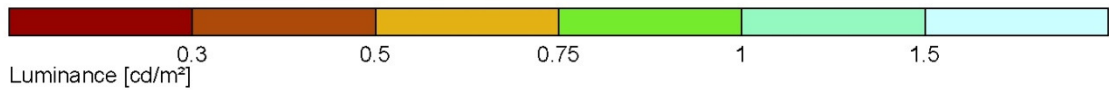
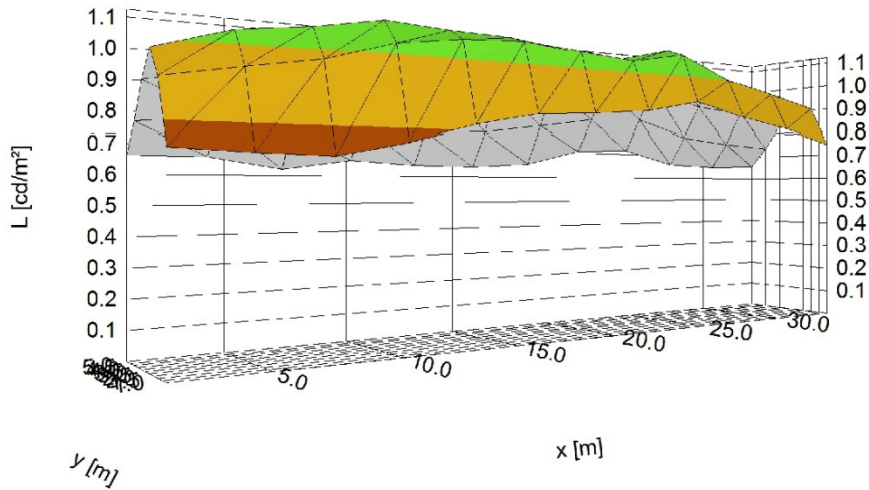


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 1
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.6 3D mountain plot, Road (L)



Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED
- Αύξηση του συντελεστή συντήρησης MF από 0,70 σε 0,90

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED74S/- No ()

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

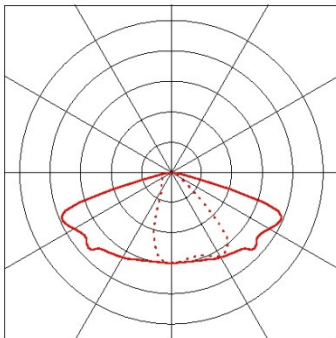
BGP340 DM LED74S/- No

Luminaire data

Luminaire efficiency : 87%
Luminaire efficacy : 89.93 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 45 79 98 100 87
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 32.7 / 17.5
Control gear :
System power : 71.2 W
Length : 749 mm
Width : 321 mm
Height : 207 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : LED74S/640/-
Colour : -
Luminous flux : 7360 lm

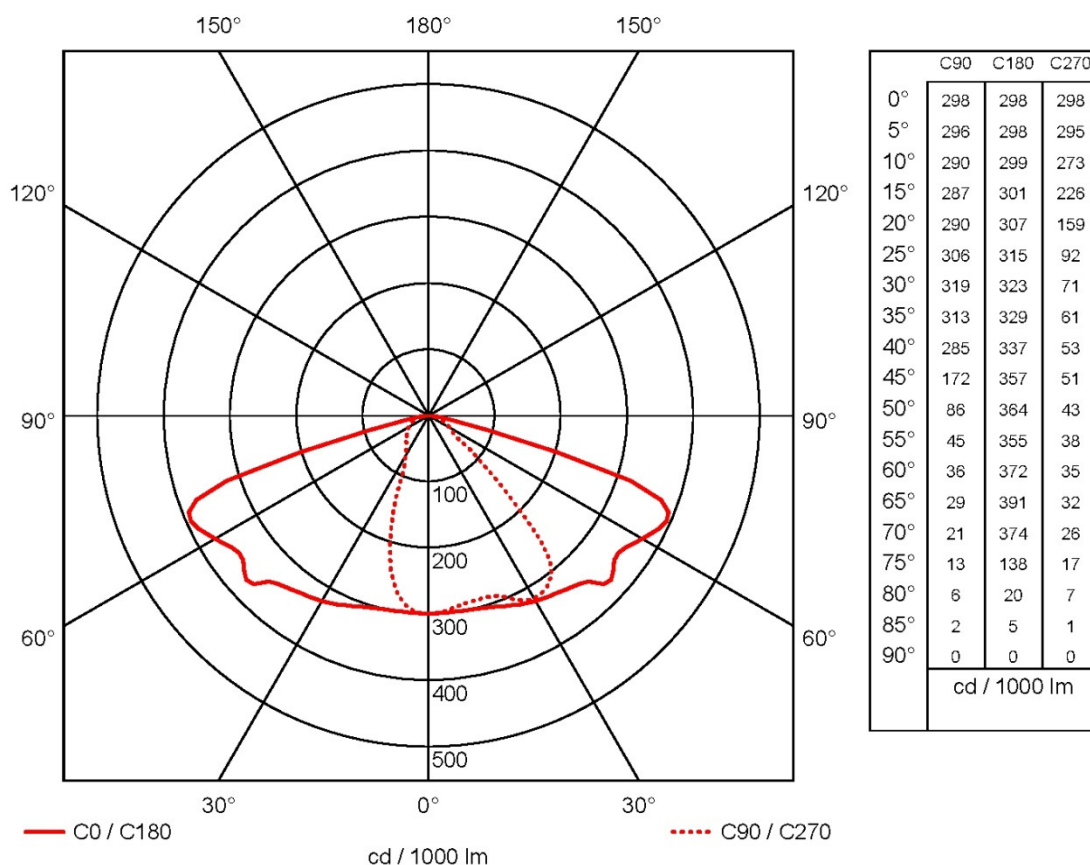


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
 Date : 05.2013



1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED74S/- No ()

1.1.2 LDC



Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B- Efficiency factor : 87%
 Order number : Luminaire efficacy : 89.93 lm/W
 Luminaire name : BGP340 DM LED74S/- No Light distribution : sym. to C90-C270
 Equipment : 1 x LED74S/640/- / 7360 lm Beam Angle : 145.7° C0-C180
 Dimensions : L 749 mm x W 321 mm x H 207 mm 40.7° C90
 File name : BGP340 1xLED74S_640 DM.ltd 10.2° C270

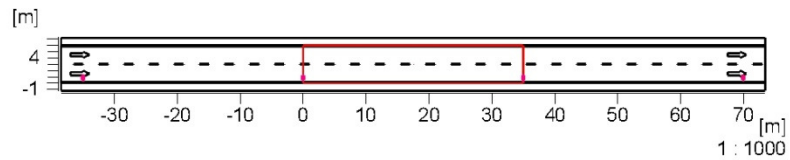
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1 Description, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.1 Floor plan



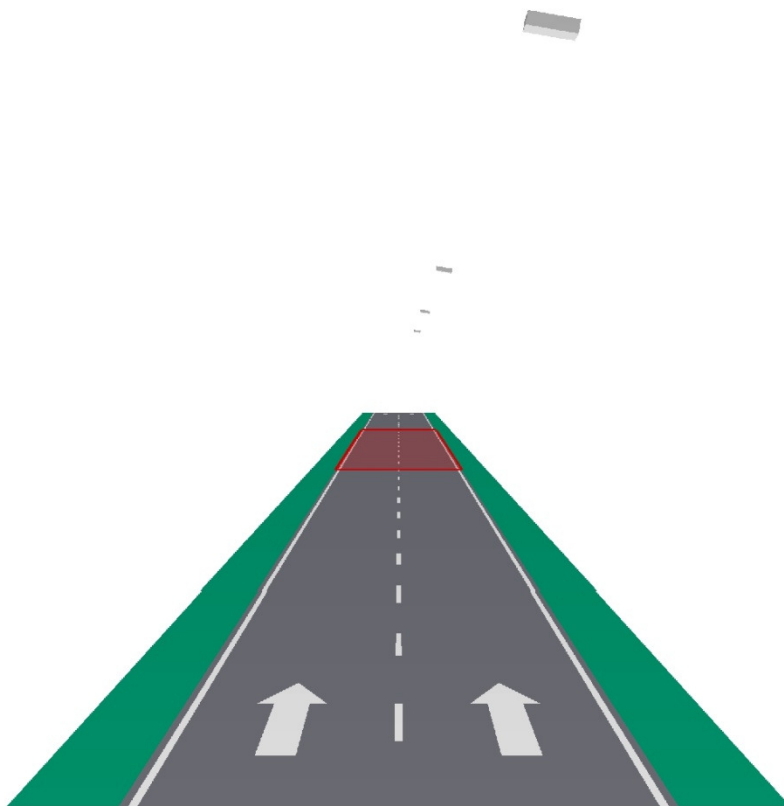
Road		Luminaire type	: BGP340 DM LED74S/- No
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 6.00 m	photometric centre height	: 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 35.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	: 0.85 m
q0	: 0.08	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.2 3D view, View from the left



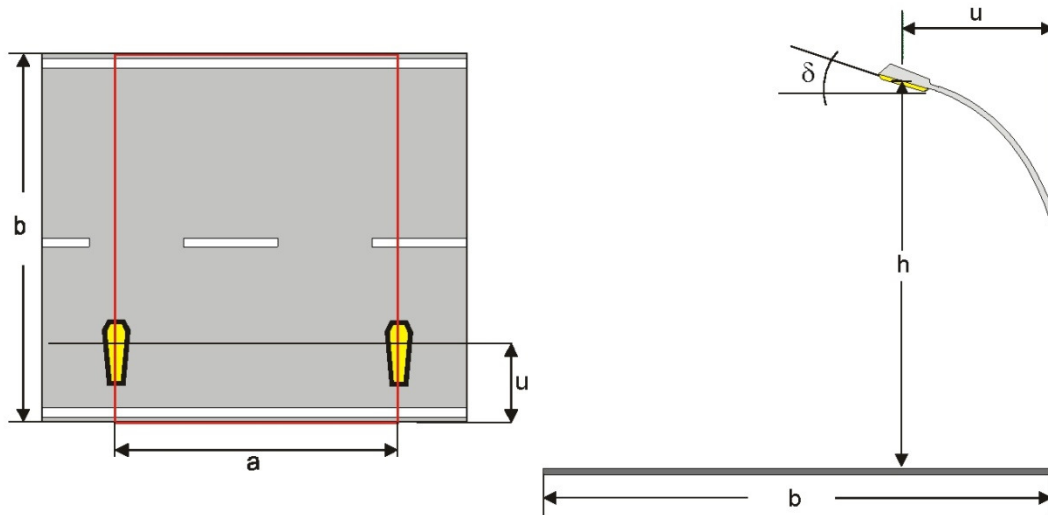
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
 Date : 05.2013



2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2 Summary, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
 Order No. : BGP340 DM LED74S/- No
 Luminaire name : BGP340 DM LED74S/- No
 Equipment : 1 x LED74S/640/- / 7360 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 6.00 m	photometric centre height.	(h): 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 35.00 m
Road surface category	: R3	Luminaires - outreach	(u): 0.85 m
q0	: 0.08	Inclination	(δ): 10.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.90

Luminance

Observer location 1 : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m
 Average : 0.85 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.67 (ME4b min. 0.4)

Observer location 2 : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m
 Average : 0.9 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.72 (ME4b min. 0.4)

Longitudinal uniformity

UI (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) : 0.83 (ME4b min. 0.5)
 UI (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) : 0.88 (ME4b min. 0.5)

Glare/ surrounding brightness

TI (B2: y=4.50m) : 8 % (ME4b max. 15)
 SR : 0.61 (ME4b min. 0.5)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
 Date : 05.2013



2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.1 Table, Road (L)

[m]	0.63	0.61	(0.57)	0.61	0.59	0.59	0.61	0.68	0.71	0.64	0.64	0.65
5.50	0.71	0.7	0.65	0.69	0.69	0.7	0.74	0.8	0.82	0.77	0.74	0.73
4.50	0.81	0.82	0.79	0.83	0.82	0.84	0.88	0.91	0.94	0.89	0.87	0.81
3.50	0.9	0.94	0.94	1	1.01	1.02	1.02	1.02	1.09	1.01	0.96	0.91
2.50	0.93	0.97	1.01	1.07	1.1	[1.12]	1.09	1.08	[1.12]	1.04	1	0.94
1.50	0.77	0.78	0.8	0.84	0.9	0.92	0.92	0.92	0.95	0.89	0.85	0.81
0.50	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

Observer location 1 : x = -60, y = 1.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.85 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.57 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.67
 Threshold increment TI : 7 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Lmax : 0.83

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
 Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.2 Table, Road (L)

[m]	0.69	0.69	(0.65)	0.68	0.67	0.66	0.68	0.73	0.74	0.68	0.67	0.68
5.50	0.79	0.81	0.78	0.81	0.79	0.8	0.83	0.86	0.87	0.8	0.78	0.77
4.50	0.92	0.97	0.95	1	0.99	0.98	0.98	0.99	1.01	0.93	0.92	0.87
3.50	1.01	1.09	1.12	(1.17)	1.16	1.15	1.12	1.1	1.16	1.06	1	0.96
2.50	0.92	0.96	1	1.08	1.11	1.13	1.11	1.09	1.13	1.04	0.99	0.94
1.50	0.7	0.69	0.68	0.73	0.8	0.85	0.86	0.88	0.93	0.87	0.83	0.78
0.50	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

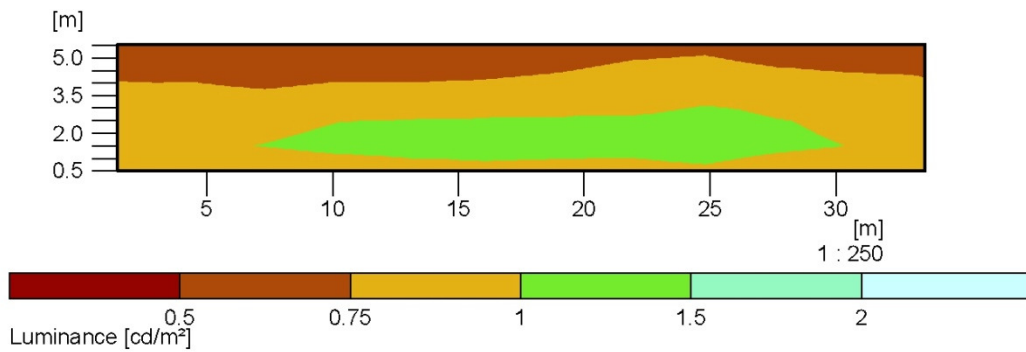
Observer location 2 : x = -60, y = 4.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.9 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.65 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.72
 Threshold increment TI : 8 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.88

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.3 Pseudo colours, Road (L)



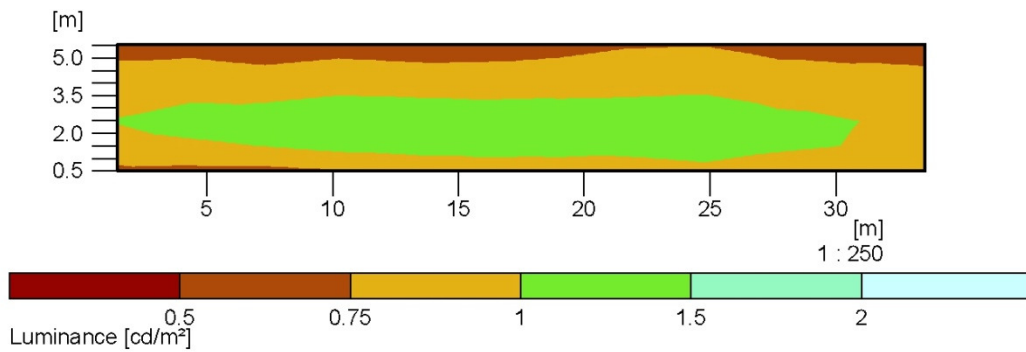
Observer location 1	: x = -60, y = 1.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.85 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.57 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.67
Threshold increment	TI : 7 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.83

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.4 Pseudo colours, Road (L)



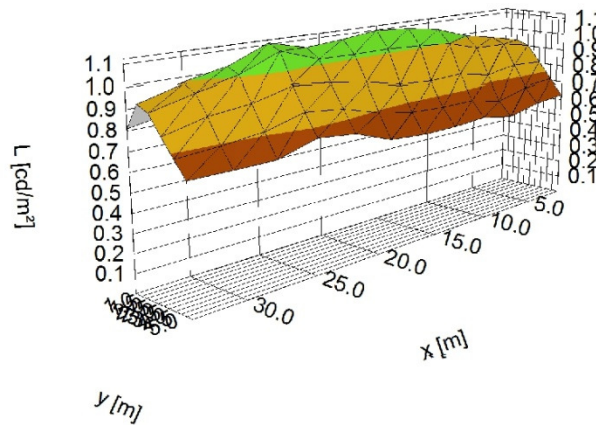
Observer location 2	: x = -60, y = 4.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.9 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.65 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.72
Threshold increment	TI : 8 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.88

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.5 3D mountain plot, Road (L)

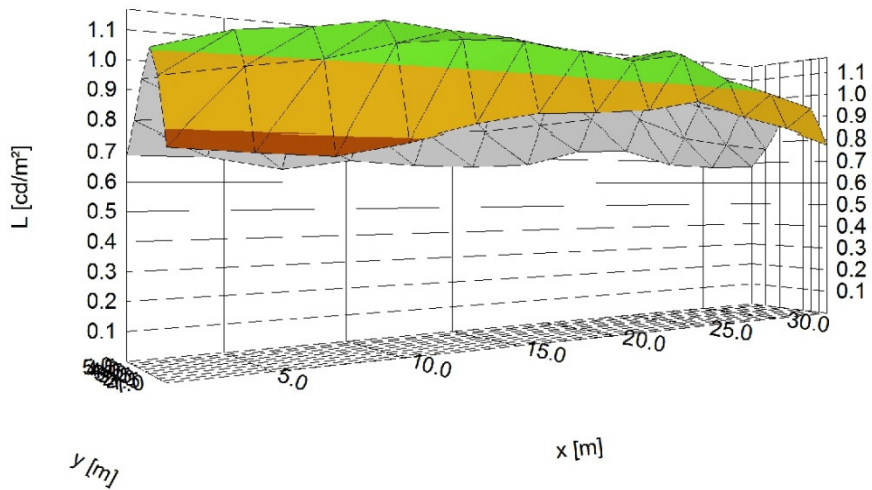


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.6 3D mountain plot, Road (L)



Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED
- Αλλαγή τύπου οδοστρώματος από κατηγορία R3 σε κατηγορία R1

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED74S/- No ()

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

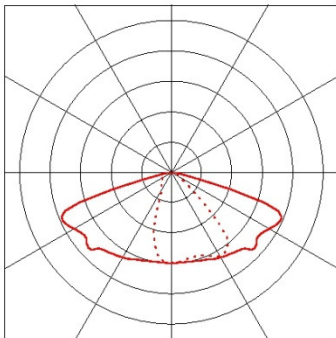
BGP340 DM LED74S/- No

Luminaire data

Luminaire efficiency : 87%
Luminaire efficacy : 89.93 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 45 79 98 100 87
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 32.7 / 17.5
Control gear :
System power : 71.2 W
Length : 749 mm
Width : 321 mm
Height : 207 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : LED74S/640/-
Colour : -
Luminous flux : 7360 lm

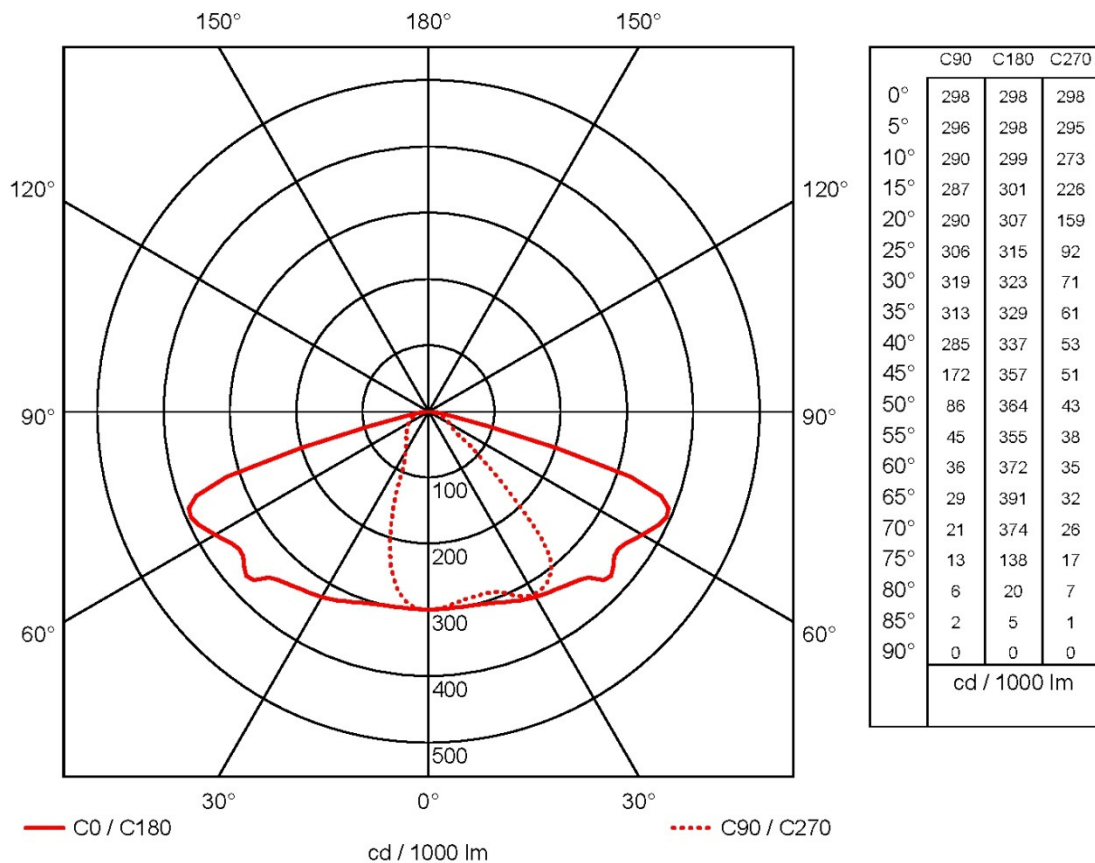


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
 Date : 05.2013



1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED74S/- No ()

1.1.2 LDC



Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B- Efficiency factor : 87%
 Order number : Luminaire efficacy : 89.93 lm/W
 Luminaire name : BGP340 DM LED74S/- No Light distribution : sym. to C90-C270
 Equipment : 1 x LED74S/640/- / 7360 lm Beam Angle : 145.7° C0-C180
 Dimensions : L 749 mm x W 321 mm x H 207 mm 40.7° C90
 File name : BGP340 1xLED74S_640 DM.ltd 10.2° C270

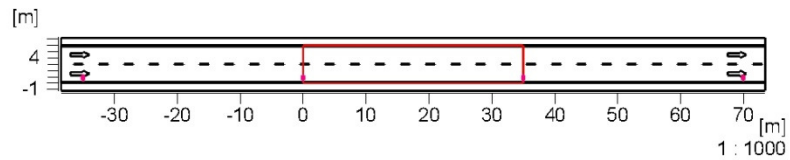
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1 Description, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.1 Floor plan



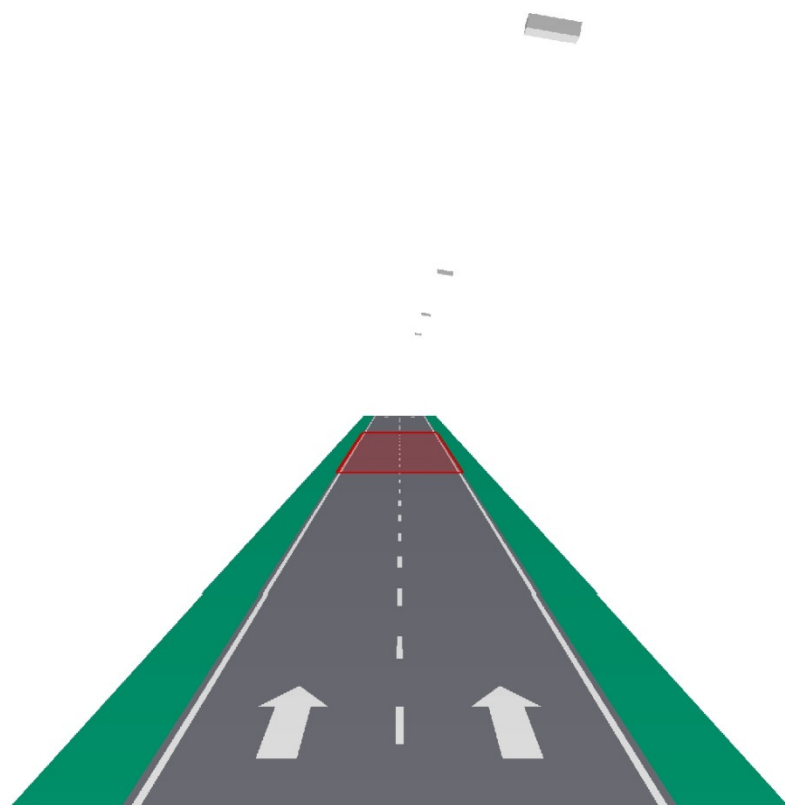
Road		Luminaire type	: BGP340 DM LED74S/- No
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 6.00 m	photometric centre height	: 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 35.00 m
Road surface category	: R1	Luminaires - outreach	: 0.85 m
q0	: 0.1	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.2 3D view, View from the left



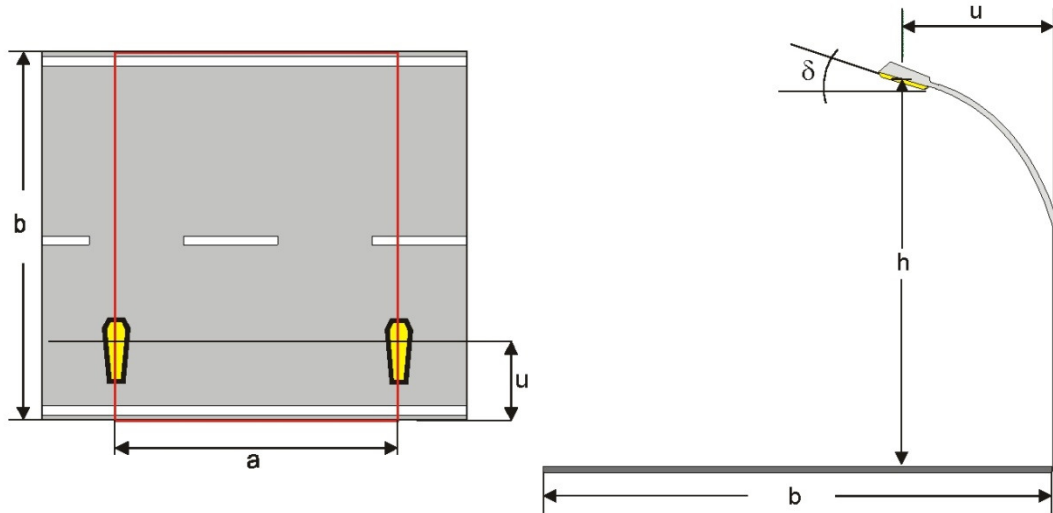
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
 Date : 05.2013



2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2 Summary, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
 Order No. : BGP340 DM LED74S/- No
 Luminaire name : BGP340 DM LED74S/- No
 Equipment : 1 x LED74S/640/- / 7360 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 6.00 m	photometric centre height.	(h): 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 35.00 m
Road surface category	: R1	Luminaires - outreach	(u): 0.85 m
q0	: 0.1	Inclination	(δ): 10.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.70

Luminance

Observer location 1 : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m
 Average : 0.8 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.63 (ME4b min. 0.4)

Observer location 2 : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m
 Average : 0.81 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.63 (ME4b min. 0.4)

Longitudinal uniformity

UI (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) : 0.54 (ME4b min. 0.5)
 UI (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) : 0.61 (ME4b min. 0.5)

Glare/ surrounding brightness

TI (B2: y=4.50m) : 7 % (ME4b max. 15)
 SR : 0.61 (ME4b min. 0.5)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
 Date : 05.2013



2 Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.1 Table, Road (L)

[m]	0.93	0.84	0.74	0.7	0.62	0.59	0.59	0.64	0.72	0.76	0.86	0.93
5.50	1	0.92	0.8	0.75	0.65	0.61	0.62	0.67	0.78	0.82	0.95	1
4.50	1.08	1	0.87	0.78	0.67	0.63	0.64	0.69	0.81	0.89	1.01	1.08
3.50	1.14	1.05	0.91	0.79	0.68	0.64	0.65	0.68	0.81	0.91	1.06	1.14
2.50	1.13	1.02	0.87	0.73	0.65	0.62	0.61	0.64	0.76	0.87	1.04	1.13
1.50	0.97	0.88	0.73	0.61	0.54	(0.51)	(0.51)	0.54	0.63	0.74	0.9	0.98
0.50	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

Observer location 1 : x = -60, y = 1.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.8 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.51 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.63
 Threshold increment TI : 6 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.54

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
 Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.2 Table, Road (L)

[m]	0.94	0.85	0.77	0.72	0.63	0.6	0.6	0.65	0.74	0.77	0.87	0.94
5.50	0.94	0.85	0.77	0.72	0.63	0.6	0.6	0.65	0.74	0.77	0.87	0.94
4.50	1.02	0.94	0.83	0.77	0.67	0.63	0.64	0.69	0.8	0.83	0.97	1.01
3.50	1.1	1.02	0.89	0.8	0.69	0.65	0.66	0.71	0.82	0.89	1.02	1.09
2.50	1.15	1.07	0.93	0.8	0.69	0.66	0.66	0.69	0.82	0.92	1.08	1.15
1.50	1.13	1.02	0.86	0.73	0.64	0.61	0.61	0.64	0.75	0.86	1.04	1.12
0.50	0.96	0.87	0.72	0.6	0.54	(0.51)	(0.51)	0.54	0.63	0.74	0.9	0.97
	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

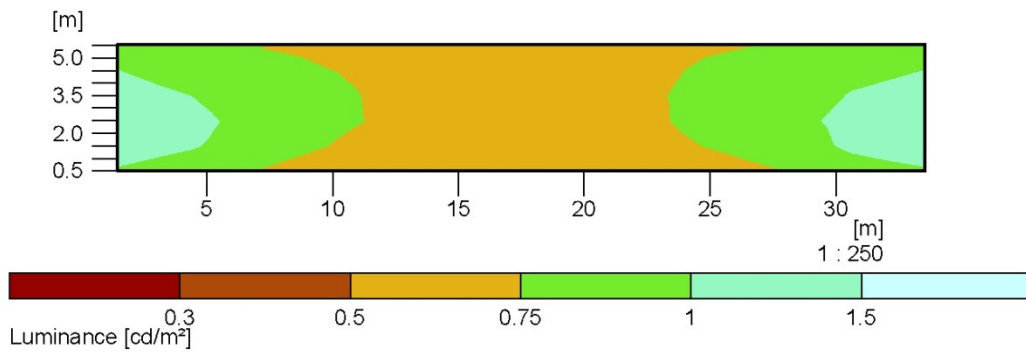
Observer location 2 : x = -60, y = 4.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.81 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.51 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.63
 Threshold increment TI : 7 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.61

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.3 Pseudo colours, Road (L)



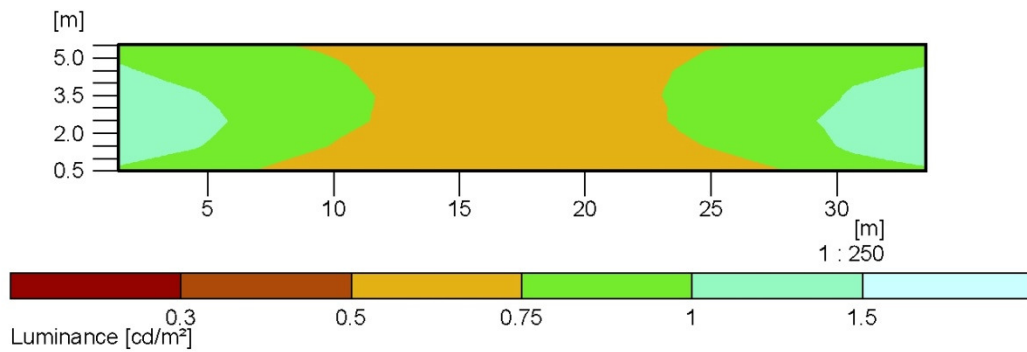
Observer location 1	: x = -60, y = 1.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.8 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.51 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.63
Threshold increment	TI : 6 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.54

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.4 Pseudo colours, Road (L)



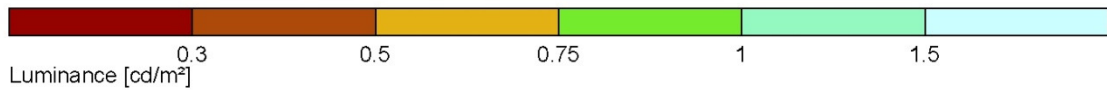
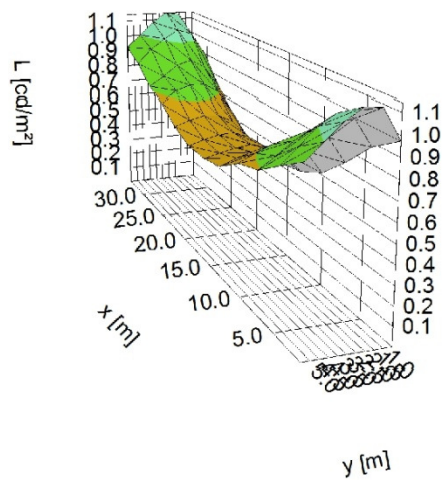
Observer location 2	: x = -60, y = 4.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.81 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.51 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.63
Threshold increment	TI : 7 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.61

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.5 3D mountain plot, Road (L)

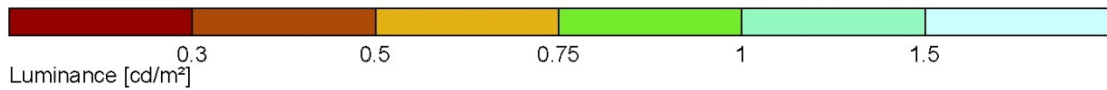
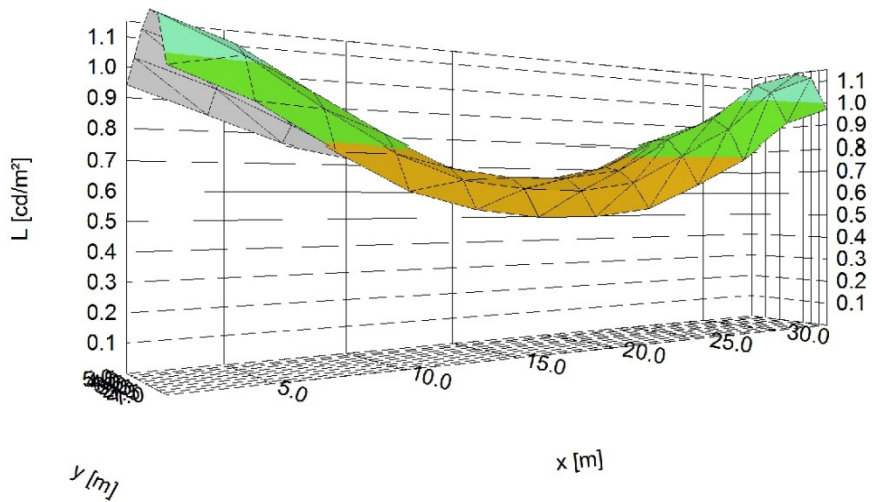


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 3
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.6 3D mountain plot, Road (L)



Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου

Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης

Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4

Customer : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Processed by : Α. Αντωνίου, Β. Κιούσης

Date : 05.2013

Project description:

- Αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών με φωτιστικά τεχνολογίας LED
- Αύξηση συντελεστή συντήρησης MF από 0,70 σε 0,90
- Αλλαγή τύπου οδοστρώματος από κατηγορία R3 σε κατηγορία R1

The following values are based on exact calculations on calibrated lamps, luminaires and their arrangement. In practice, gradual divergences can occur.

Guarantee claims for luminaire data are excluded.

Relux and the luminaire manufacturers accept no liability for consequential damage and damage which is occasioned to the user or to third parties.

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

1 Luminaire data

1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED55S/- No ()

1.1.1 Data sheet

Manufacturer: PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00

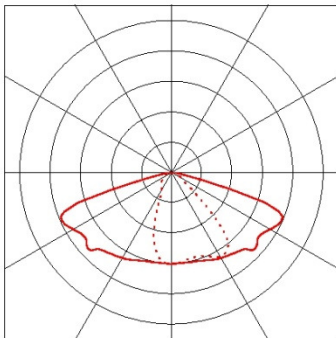
BGP340 DM LED55S/- No

Luminaire data

Luminaire efficiency : 87%
Luminaire efficacy : 87.32 lm/W
Classification : ? 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 45 79 98 100 87
UGR 4H 8H (20%, 50%, 70%)
C0 / C90 : 31.7 / 16.5
Control gear :
System power : 55 W
Length : 749 mm
Width : 321 mm
Height : 207 mm

Equipped with

Quantity : 1
Designation : LED55S/640/-
Colour : -
Luminous flux : 5520 lm

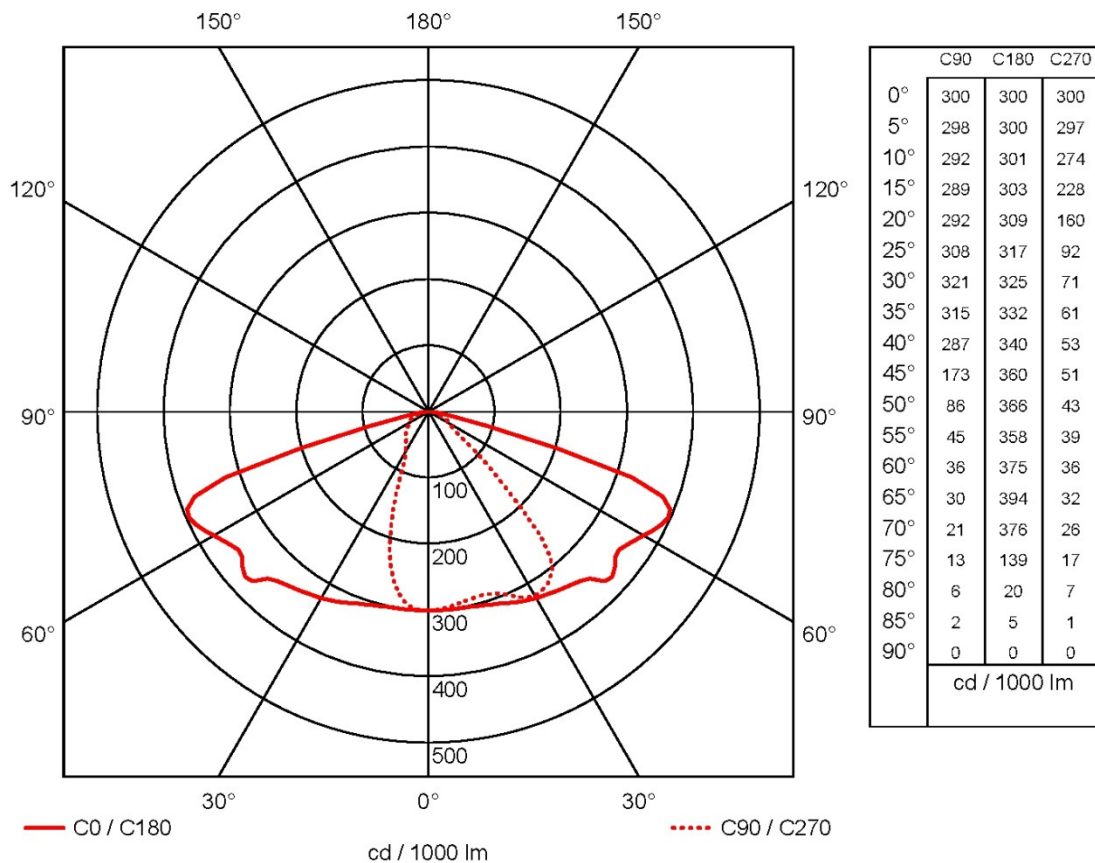


Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
 Date : 05.2013



1.1 PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00, BGP340 DM LED55S/- No ()

1.1.2 LDC



Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B- Efficiency factor : 87%
 Order number : Luminaire efficacy : 87.32 lm/W
 Luminaire name : BGP340 DM LED55S/- No Light distribution : sym. to C90-C270
 Equipment : 1 x LED55S/640/- / 5520 lm Beam Angle : 145.7° C0-C180
 Dimensions : L 749 mm x W 321 mm x H 207 mm 40.7° C90
 File name : BGP340 1xLED55S_640 DM.ltd 10.2° C270

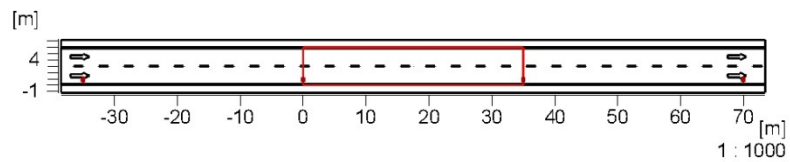
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1 Description, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.1 Floor plan



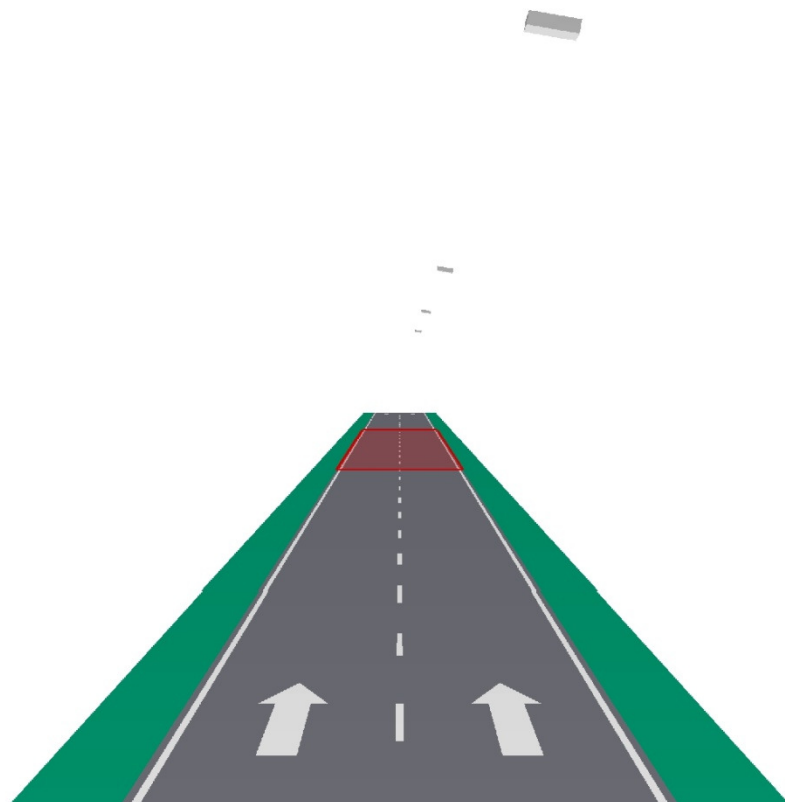
Road		Luminaire type	: BGP340 DM LED55S/- No
Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	: 6.00 m	photometric centre height	: 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	: 35.00 m
Road surface category	: R1	Luminaires - outreach	: 0.85 m
q0	: 0.1	Inclination	: 10.00°

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.1 Description, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.1.2 3D view, View from the left



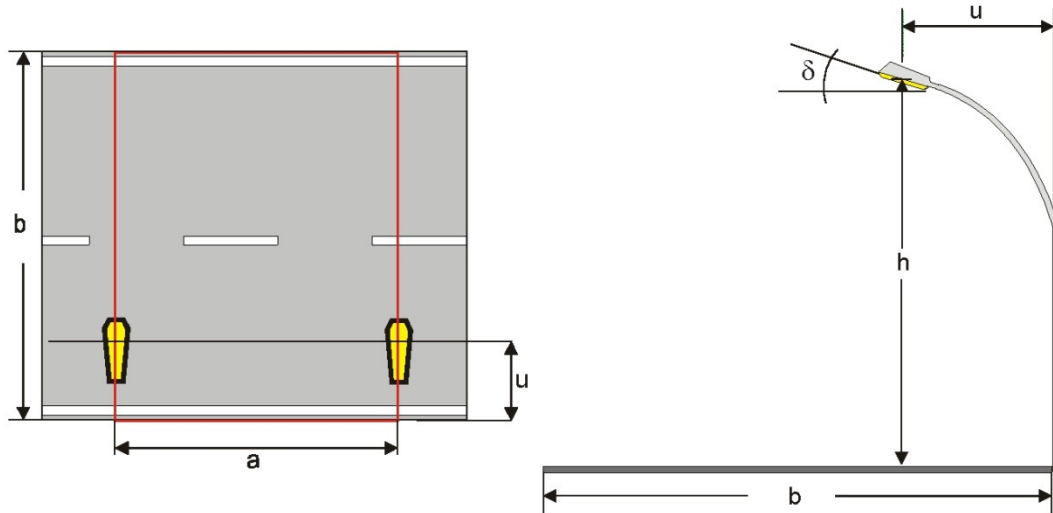
Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
 Date : 05.2013



2 ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2 Summary, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.2.1 Result overview, Road



Luminaire data

Manufacturer : PHILIPS/2013-05-24 Eulumdat/1 B-Tilt = 0.00
 Order No. : BGP340 DM LED55S/- No
 Luminaire name : BGP340 DM LED55S/- No
 Equipment : 1 x LED55S/640/- / 5520 lm

Road layout	: without central reservation	Luminaire placing	: Right row
Width of roadway	(b): 6.00 m	photometric centre height.	(h): 9.50 m
No. of lanes	: 2	Luminaire spacing	(a): 35.00 m
Road surface category	: R1	Luminaires - outreach	(u): 0.85 m
q0	: 0.1	Inclination	(δ): 10.00°
Right hand drivers		Maintenance factor	: 0.90

Luminance

Observer location 1 : x=-60.00m, y=1.50m, z=1.50m
 Average : 0.78 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.63 (ME4b min. 0.4)

Observer location 2 : x=-60.00m, y=4.50m, z=1.50m
 Average : 0.79 cd/m² (ME4b min. 0.75)
 Uo (min/average) : 0.63 (ME4b min. 0.4)

Longitudinal uniformity

UI (B1: x = -60.00, y = 1.50, z = 1.50) : 0.54 (ME4b min. 0.5)
 UI (B2: x = -60.00, y = 4.50, z = 1.50) : 0.61 (ME4b min. 0.5)

Glare/ surrounding brightness

TI (B2: y=4.50m) : 6 % (ME4b max. 15)
 SR : 0.61 (ME4b min. 0.5)

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
 Date : 05.2013



2 Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.1 Table, Road (L)

[m]	0.9	0.81	0.72	0.68	0.6	0.57	0.58	0.62	0.7	0.74	0.84	0.9
5.50	0.98	0.89	0.78	0.73	0.63	0.59	0.6	0.65	0.76	0.8	0.92	0.98
4.50	1.05	0.97	0.84	0.76	0.65	0.61	0.62	0.67	0.79	0.86	0.99	1.05
3.50	1.11	1.03	0.89	0.77	0.66	0.63	0.63	0.66	0.79	0.89	1.03	1.11
2.50	1.1	0.99	0.84	0.71	0.63	0.6	0.59	0.62	0.74	0.84	1.01	1.09
1.50	0.95	0.85	0.71	0.59	0.53	0.5	(0.49)	0.52	0.62	0.72	0.88	0.95
0.50	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

Observer location 1 : x = -60, y = 1.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.78 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.49 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.63
 Threshold increment TI : 6 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.54

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
 Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
 Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
 Date : 05.2013



2.3 Calculation results, Ελ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.2 Table, Road (L)

[m]	0.92	0.83	0.74	0.7	0.61	0.58	0.59	0.63	0.72	0.75	0.85	0.91
5.50	0.92	0.83	0.74	0.7	0.61	0.58	0.59	0.63	0.72	0.75	0.85	0.91
4.50	0.99	0.91	0.8	0.75	0.65	0.61	0.62	0.67	0.78	0.81	0.94	0.99
3.50	1.07	0.99	0.87	0.78	0.68	0.63	0.64	0.69	0.79	0.87	0.99	1.06
2.50	1.12	1.04	0.9	0.77	0.67	0.64	0.64	0.67	0.8	0.89	1.05	1.12
1.50	1.1	0.99	0.84	0.71	0.62	0.6	0.59	0.62	0.73	0.84	1.01	1.09
0.50	0.94	0.84	0.7	0.58	0.52	(0.49)	(0.49)	0.52	0.61	0.72	0.87	0.94
	1.46	4.38	7.29	10.21	13.13	16.04	18.96	21.88	24.79	27.71	30.63	33.54
	Luminance [cd/m ²]											

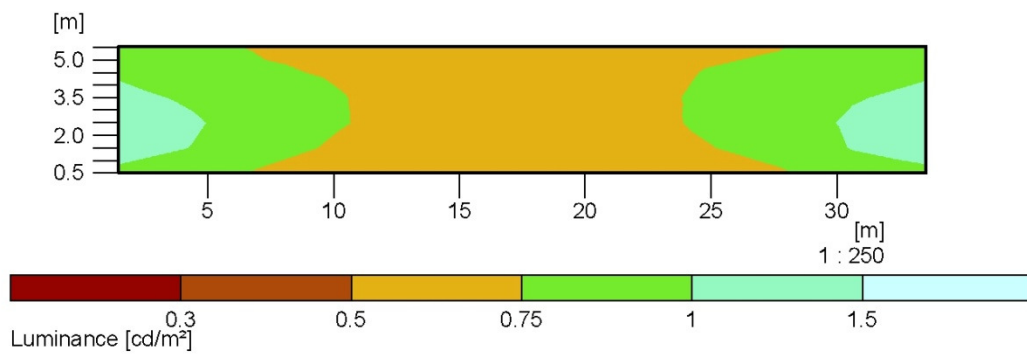
Observer location 2 : x = -60, y = 4.5, z = 1.5
 Average luminance Lav : 0.79 cd/m²
 Minimum luminance Lmin : 0.49 cd/m²
 Overall uniformity Uo Lmin/Lm : 0.63
 Threshold increment TI : 6 %
 Longitudinal uniformity UI Lmin/Llmax : 0.61

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.3 Pseudo colours, Road (L)



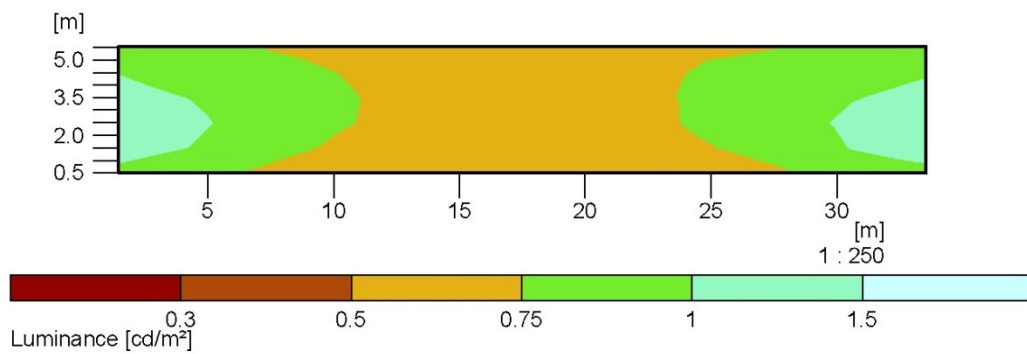
Observer location 1	: x = -60, y = 1.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.78 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.49 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.63
Threshold increment	TI : 6 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.54

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013

RELUX[®]
light simulation tools

2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.4 Pseudo colours, Road (L)



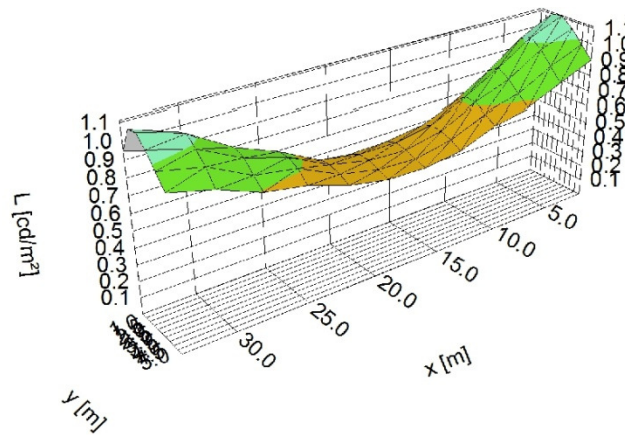
Observer location 2	: x = -60, y = 4.5, z = 1.5
Average luminance	Lav : 0.79 cd/m ²
Minimum luminance	Lmin : 0.49 cd/m ²
Overall uniformity U _o	Lmin/Lm : 0.63
Threshold increment	TI : 6 %
Longitudinal uniformity U _l	Llmin/Llmax : 0.61

Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.5 3D mountain plot, Road (L)



Object : Προσομοίωση Φωτισμού Ελευθερίου Βενιζέλου
Installation : Δήμος Νέας Σμύρνης
Project number : 06 - ΣΕΝΑΡΙΟ 4
Date : 05.2013



2.3 Calculation results, ΕΛ. Βενιζέλου (προς Φάληρο)

2.3.6 3D mountain plot, Road (L)

