



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΥΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

ΘΑΝΑΣΑΣ ΒΕΛΑΪΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΑΜ: 7848

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡΟΣΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Θανασά Βελαΐτη Βασίλειου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/ δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη οδοφωτισμού. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις γενικές αρχές σχεδιασμού φωτισμού οδών και στους κύριους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του οδοφωτισμού. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, όπου αναλύονται τα κριτήρια χαρακτηρισμού των δρόμων και τα κριτήρια επιλογής στύλων και βραχιόνων των φωτιστικών σωμάτων. Τέλος στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φωτοτεχνικής μελέτης με τρία διαφορετικά φωτιστικά και πραγματοποιείται μια οικονομοτεχνική μελέτη προκειμένου να αναδειχθεί το καταλληλότερο φωτιστικό σώμα για τη συγκεκριμένη επιλογή.

Abstract

The subject of this thesis is the study and optimization of street lighting using multi-criteria methods. The first chapter presents the general principles of road lighting design and the key factors that must be considered. The second chapter analyzes the classification criteria for roads and the selection criteria for lighting poles and luminaires. Finally, the third chapter presents the results of a photometric study using three different luminaires and includes a techno-economic analysis to determine the most suitable lighting system. The study focuses on energy efficiency, lighting uniformity, and overall performance indicators, ensuring optimal illumination while minimizing energy consumption.

Λεξεις Κλειδια- Keywords

1. Οδοφωτισμός – Street lighting
2. Βελτιστοποίηση – Optimization
3. Πολυκριτηριακή ανάλυση – Multicriteria analysis
4. Φωτιστικά σώματα – Luminaires
5. Ενεργειακή κατανάλωση – Energy consumption
6. Φωτοτεχνική μελέτη – Lighting study
7. LED φωτισμός – LED lighting
8. Ομοιομορφία φωτισμού – Lighting uniformity
9. Δείκτες απόδοσης – Performance indicators
10. Ανάλυση φωτεινότητας – Luminance analysis

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού φωτισμού οδών	1
1.1.1 Αρχή Διάχυσης.....	1
1.1.2 Αρχή της κατοπτρικής ανάκλασης	2
1.2 Κύριοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του οδοφωτισμού	2
1.2.1 Μέση φωτεινότητα δρόμου σε Cd/m	2
1.2.2 Ομοιομορφία.....	2
1.2.3 Θάμβωση.....	3
1.2.4 Μέσος Φωτισμός Δρόμου	3
1.2.5 Ομοιομορφία φωτισμού U_E (L_{min}/L_{av})	4
1.2.6 Αναλογία Surround (SR).....	4
1.2.7 Δείκτης απόδοσης χρωμάτων.....	5
1.3 Ορολογία φωτομετρικών μεγεθών	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	8
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	8
2.1 Class M – Motorised traffic Αυτοκινητόδρομοι / Οδοί μηχανοκίνητων οχημάτων.....	8
2.2 Class P – Pedestrians and low speed areas - Πεζόδρομοι και οδοί ήπιας κυκλοφορίας.....	10
2.3 Κριτήρια βέλτιστου σχεδιασμού οδοφωτισμού.....	12

2.3.1	Δείκτης πυκνότητας ισχύος – Power Density Indicator	13
2.3.2	Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης – Annual Energy Consumption Indicator	14
2.4	Κριτήρια επιλογής διάταξης στύλων	15
2.5	Κριτήρια επιλογής βραχίονα φωτιστικού	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		19
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ		19
3.1	Δεδομένα της οδού.....	19
3.2	Υπολογισμός Κλάσης φωτισμού	21
3.3	Παρουσίαση της φωτοτεχνικής μελέτης	22
3.3.1	Πρώτη φωτοτεχνική μελέτη	22
3.3.1.1	Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε	22
3.3.1.2	Αποτελέσματα μελέτης από το DIALUX.....	24
3.3.2	Δεύτερη φωτοτεχνική μελέτη	28
3.3.2.1	Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη μελέτη.....	28
3.4	RMC320 [S60] IP66:LED-18/36W/3K.....	30
3.5	105-9772-70	30
3.5.1.1	Αποτελέσματα μελέτης από το DIALUX.....	31
3.5.2	Τρίτη φωτοτεχνική μελέτη	34
3.5.2.1	Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε	34
3.5.2.2	Αποτελέσματα μελέτης από το DIALUX.....	37
3.6	Συγκριτικά αποτελέσματα με βάση τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		44

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Αναλογία Surround (SR)	4
Εικόνα 2.1	Μέγιστη επιτρεπτή κλίση βραχίονα	17
Εικόνα 2.2	ιστοί και βραχίονες φωτιστικών	18
Εικόνα 3.1	Η κάτοψη της οδού διπλής κατεύθυνσης	19
Εικόνα 3.2	Τρισδιάστατη απεικόνιση της οδού	20
Εικόνα 3.3	Τρισδιάστατη απεικόνιση της οδού	20
Εικόνα 3.4	Τρισδιάστατη απεικόνιση της οδού	20
Εικόνα 3.5	Το φωτιστικό LUMA GEN2	22
Εικόνα 3.6	Διάταξη και γεωμετρικά στοιχεία φωτιστικού Philips.....	25
Εικόνα 3.8	Προδιαγραφές της μελέτης.....	25
Εικόνα 3.7	Αποτελέσματα από τη μελέτη με το λογισμικό DIALUX (επίπεδα και δείκτες φωτισμού)	26
Εικόνα 3.9	Σημαντικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας.....	27
Εικόνα 3.10	Το φωτιστικό we-ef RMC320	28
Εικόνα 3.11	Διάταξη και γεωμετρικά στοιχεία φωτιστικού we-ef.....	31
Εικόνα 3.12	Αποτελέσματα από τη μελέτη με το λογισμικό DIALUX (επίπεδα και δείκτες φωτισμού)	32
Εικόνα 3.13	Προδιαγραφές της μελέτης.....	33
Εικόνα 3.14	Σημαντικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας.....	33
Εικόνα 3.15	Το φωτιστικό GEWISS ROAD.....	34
Εικόνα 3.16	Διάταξη και γεωμετρικά στοιχεία φωτιστικού Gewiss	37
Εικόνα 3.17	Αποτελέσματα από τη μελέτη με το λογισμικό DIALUX (επίπεδα και δείκτες φωτισμού)	38
Εικόνα 3.18	Προδιαγραφές της μελέτης.....	39
Εικόνα 3.19	Σημαντικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας.....	39

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1	Είδη διατάξεων φωτιστικών σωμάτων	16
-----------	-----------------------------------	----

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1	απαιτήσεις φωτισμού κατά κλάση φωτισμού[3]	10
Πίνακας 2-2	Ενδεικτικοί υπολογισμοί δείκτη D_p για οδούς κλάσης M	14
Πίνακας 2-3	Ενδεικτικοί υπολογισμοί δείκτη D_E για οδούς κλάσης M	15
Πίνακας 3-1	Προδιαγραφές του φωτιστικού Luma Gen 2.....	23
Πίνακας 3-2	Προδιαγραφές του φωτιστικού we-ef RMC320	29
Πίνακας 3-3	Προδιαγραφές του φωτιστικού ROAD - MINI	35
Πίνακας 3-4	Συγκεντρωτικά ενεργειακά στοιχεία για τα τρία φωτιστικά	40
Πίνακας 3-5	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε φωτιστικού ανά χιλιόμετρο.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια πηγή φωτός που είναι τοποθετημένη σε ιστό είτε στην άκρη του δρόμου είτε εντός διαχωριστικής νησίδας για να παρέχει φωτισμό είναι γνωστή ως οδικός φωτισμός. Ο οδικός φωτισμός εξασφαλίζει ασφαλέστερη, άνετη και αποτελεσματική κίνηση των οχημάτων τη νύχτα.

Οι πρωταρχικοί στόχοι του οδοφωτισμού είναι

- Η αύξηση ή η ενίσχυση της κοινοτικής αξίας του δρόμου.

Να προαχθεί η ασφάλεια και η ευκολία.

- Η βελτίωση της ταχύτητας κυκλοφορίας και των συνθηκών ροής της κυκλοφορίας.[1]

1.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού φωτισμού οδών

Για τον σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού οδών, συνήθως χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες δύο γενικές αρχές

- Αρχή Διάχυσης
- Αρχή Κατοπτρικής Ανάκλασης

1.1.1 Αρχή Διάχυσης

Στο σχεδιασμό του οδικού φωτισμού, χρησιμοποιούνται λαμπτήρες εξοπλισμένοι με κατάλληλους ανακλαστήρες. Ο σχεδιασμός των ανακλαστήρων είναι τέτοιος ώστε να κατευθύνουν το φως προς τα κάτω και να το απλώνουν όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα στην επιφάνεια του δρόμου. Για να αποφευχθεί η αντανάκλαση, οι ανακλαστήρες είναι κατασκευασμένοι ώστε να έχουν η αποκοπή μεταξύ 30° και 45° , έτσι ώστε το νήμα της λάμπας να μην είναι ορατό παρά μόνο κάτω από τη λάμπα. Καθώς η επιφάνεια του δρόμου έχει διάχυτη

φύση προκαλεί την ανάκλαση ενός συγκεκριμένου τμήματος του προσπίπτοντος φωτός προς την κατεύθυνση του παρατηρητή και ως εκ τούτου η επιφάνεια του δρόμου φαίνεται φωτεινή στον παρατηρητή. [1]

1.1.2 Αρχή της κατοπτρικής ανάκλασης

Στην περίπτωση της αρχής της κατοπτρικής ανάκλασης, οι ανακλαστήρες καμπυλώνονται προς τα πάνω έτσι ώστε το φως να εκτοξεύεται στο δρόμο με πολύ μεγάλη γωνία πρόσπτωσης. Σε αυτή την περίπτωση, ο παρατηρητής μπορεί να δει τα αντικείμενα περίπου 30 μέτρα μακριά. Αυτή η μέθοδος φωτισμού δρόμου είναι κατάλληλη μόνο για ευθεία τμήματα του δρόμου. Αυτή η μέθοδος φωτισμού δρόμου είναι πιο οικονομική από τη μέθοδο διάχυσης, αλλά έχει από το μειονέκτημα ότι δημιουργεί θάμβωση στους παρατηρητές.[1]

1.2 Κύριοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του οδοφωτισμού

1.2.1 Μέση φωτεινότητα δρόμου σε Cd/m

Η φωτεινότητα του δρόμου είναι ένα μέτρο της ορατότητας του δρόμου. Είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει αν το εμπόδιο είναι ορατό, και βασίζεται στην αρχή του φωτισμού του δρόμου αρκετά ώστε να φαίνεται το περίγραμμα του εμποδίου. Η φωτεινότητα (Road Luminance) εξαρτάται από την κατανομή φωτός του φωτιστικού, τον σχεδιασμό εγκατάστασης του φωτισμού του δρόμου και τις ανακλαστικές ιδιότητες του οδοστρώματος. Όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο φωτεινότητας, τόσο καλύτερος είναι ο φωτισμός. Σύμφωνα με τα πρότυπα της κατηγορίας φωτισμού, το L_{av} , ο συντελεστής φωτεινότητας κυμαίνεται μεταξύ 0,3 και 2,0 Cd/m². [2]

1.2.2 Ομοιομορφία

Η ομοιομορφία είναι ένας δείκτης για τη μέτρηση της ομοιομορφίας της κατανομής του φωτός στο δρόμο, η οποία μπορεί να εκφραστεί ως συνολική ομοιομορφία (U_0) και μέση ομοιομορφία (U_1). Οι εγκαταστάσεις οδοφωτισμού

πρέπει να καθορίζουν την επιτρεπόμενη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης φωτεινότητας και της μέσης φωτεινότητας στο δρόμο, δηλαδή τη συνολική ομοιομορφία φωτεινότητας, η οποία ορίζεται ως ο λόγος της ελάχιστης φωτεινότητας προς τη μέση φωτεινότητα στο δρόμο. Η καλή συνολική ομοιομορφία διασφαλίζει ότι όλα τα σημεία και τα αντικείμενα στο δρόμο είναι επαρκώς φωτισμένα για να τα βλέπει ο οδηγός. Η αποδεκτή τιμή U_0 οδικού φωτισμού είναι 0,40.

Από την άλλη πλευρά, για άνεση, η διαφορά στη φωτεινότητα μεταξύ των πιο φωτεινών και των πιο σκοτεινών περιοχών κατά μήκος της κεντρικής γραμμής της λωρίδας κυκλοφορίας, δηλαδή η διαμήκης ομοιομορφία, θα πρέπει να είναι περιορισμένη. Η καλή διαμήκης ομοιομορφία μειώνει το μοτίβο της υψηλής και χαμηλής φωτεινότητας στο δρόμο (δηλαδή το φαινόμενο ζέβρας), εξασφαλίζοντας έτσι άνετες συνθήκες οδήγησης. Ισχύει για μεγάλους και συνεχείς δρόμους.[2]

1.2.3 Θάμβωση

Η θάμβωση είναι η εκτυφλωτική αίσθηση που εμφανίζεται όταν η φωτεινότητα του φωτός υπερβαίνει το επίπεδο προσαρμογής του ανθρώπινου ματιού στο φως. Μπορεί να προκαλέσει ενόχληση και να μειώσει την ορατότητα του δρόμου. Μετριέται σε Αύξηση κατωφλίου (TI), που είναι η ποσοστιαία αύξηση της φωτεινότητας που απαιτείται για την αντιστάθμιση των επιπτώσεων της αντανάκλασης (δηλαδή, για να γίνει ο δρόμος εξίσου ορατός χωρίς αντανάκλαση). Το βιομηχανικό πρότυπο για τη θάμβωση στον οδικό φωτισμό είναι μεταξύ 10% και 20%.[2]

1.2.4 Μέσος Φωτισμός Δρόμου

Η μέση τιμή της φωτεινότητας κάθε σημείου μετριέται ή υπολογίζεται στα προκαθορισμένα σημεία του δρόμου σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς του CIE. Οι απαιτήσεις φωτισμού των λωρίδων κυκλοφορίας οχημάτων βασίζονται γενικά στη φωτεινότητα, αλλά οι απαιτήσεις φωτισμού των πεζοδρομίων βασίζονται κυρίως στον φωτισμό του δρόμου. Εξαρτάται από την

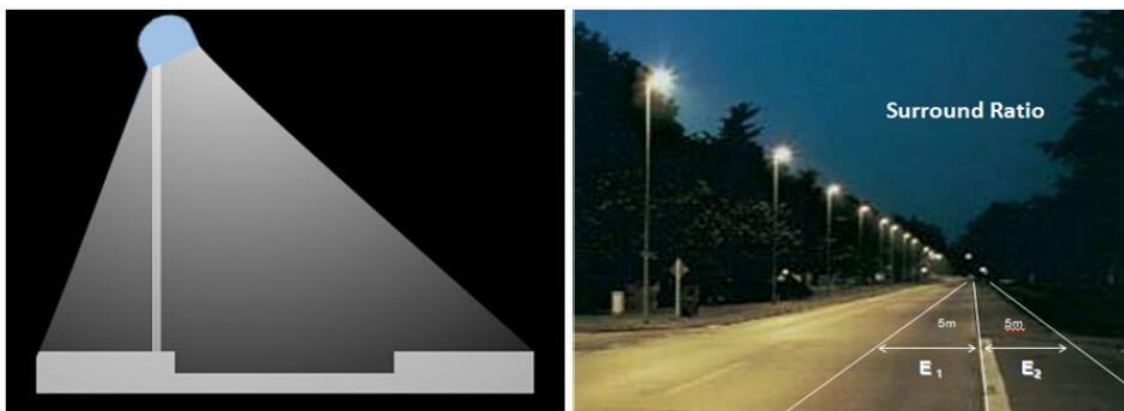
κατανομή φωτός των λαμπτήρων, τη φωτεινή ροή των λαμπτήρων και το σχεδιασμό εγκατάστασης του οδοφωτισμού, αλλά έχει μικρή σχέση με τα χαρακτηριστικά ανάκλασης του δρόμου. [2]

1.2.5 Ομοιομορφία φωτισμού U_E (L_{min}/L_{av})

Είναι η αναλογία της ελάχιστης φωτεινότητας προς τη μέση φωτεινότητα στο δρόμο. Για να υπάρχει ομοιομορφία, η πραγματική τιμή της διατηρούμενης μέσης φωτεινότητας δεν μπορεί να υπερβαίνει το 1,5 φορές την τιμή που υποδεικνύεται για την κατηγορία. [2]

1.2.6 Αναλογία Surround (SR)

Ο λόγος του μέσου οριζόντιου φωτισμού στην περιοχή πλάτους 5 μέτρων έξω από το οδόστρωμα προς τον μέσο οριζόντιο φωτισμό στον παρακείμενο δρόμο πλάτους 5 μέτρων. Ο οδικός φωτισμός δεν θα πρέπει να φωτίζει μόνο το δρόμο, αλλά και την παρακείμενη περιοχή, έτσι ώστε οι οδηγοί να μπορούν να βλέπουν γύρω αντικείμενα και να προβλέπουν πιθανά εμπόδια στο δρόμο (π. χ. πεζοί που πρόκειται να βγουν στο δρόμο). SR είναι η ορατότητα της περιμέτρου του δρόμου σε σχέση με τον ίδιο τον κεντρικό δρόμο. Σύμφωνα με τα πρότυπα της βιομηχανίας φωτισμού, το SR πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,50, καθώς αυτό είναι ιδανικό και επαρκές για τη σωστή προσαρμογή των ματιών. [2]



Εικόνα 1.1 Αναλογία Surround (SR)

1.2.7 Δείκτης απόδοσης χρωμάτων

Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης μετρά την ικανότητα των τεχνητών πηγών φωτός να εμφανίζουν ή να αναπαράγουν το χρώμα του δρόμου ή των αντικειμένων στο δρόμο σε σχέση με τις φυσικές πηγές φωτός. Η φυσική πηγή φωτός (ήλιος) έχει CRI 100. Όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης, τόσο καλύτερη είναι η ορατότητα. Συνιστάται $CRI \geq 70$ για όλους τους τύπους τάξεων οδικού φωτισμού.[2]

1.3 Ορολογία φωτομετρικών μεγεθών

Στις φωτοτεχνικές μελέτες που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3, πραγματοποιείται ο έλεγχος κάποιων συγκεκριμένων φωτομετρικών μεγεθών. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμο να αναλυθούν σε αυτό το σημείο κάποια φωτομετρικά μεγέθη[3]

- Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I): Είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας, από μία δεδομένη πηγή σε μία δεδομένη κατεύθυνση. Περιγράφει τη δύναμη μίας πηγής να παρέχει φως (δύναμη κεριού) προς κάθε κατεύθυνση, ενώ υπάρχει και η μέση ένταση προς ένα σύνολο κατευθύνσεων. Η μονάδα μέτρησης είναι η candela (cd), όπου $1 \text{ cd} = 1 \text{ lumen/steradian}$.
- Φωτεινή Ροή (Luminous Flux): Είναι η ακτινοβολού μενη ενέργεια (φως) που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή ή λαμβάνεται από μία επιφάνεια, ασχέτως των διευθύνσεων κατά τις οποίες αυτό κατανέμεται. Η μονάδα μέτρησης είναι το lumen (lm), το οποίο ορίζεται ως η ροή που εκπέμπεται μέσω στερεάς γωνίας 1 steradian από μία σημειακή πηγή ομοιόμορφης φωτεινής έντασης 1 cd.
- Φωτισμός ή Ισχύς Φωτισμού (Illuminance, E): Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το lux (lx), όπου $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$. Είναι το μέτρο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο οδόστρωμα.

- Λαμπρότητα (Luminance, L): Ορίζεται ως το πηλίκο $L=I /S$, όπου I η ένταση της φωτεινής πηγής και S η επιφάνειά της. Είναι η φωτεινή ένταση που ανακλάται από μία μοναδιαία επιφάνεια σε μία καθορισμένη διεύθυνση. Η μονάδα μέτρησης είναι το cd/m^2 . Ουσιαστικά η λαμπρότητα θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για τον οδικό φωτισμό, καθώς περιγράφει την κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος εξετάζοντας την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό.
- Ομοιομορφία Λαμπρότητας (Uniformity, U): Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό επάνω στο οδόστρωμα, πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας στο οδόστρωμα να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία), είτε για την ίδια τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία) και εκφράζεται ως λόγος μεταξύ των L_{min} , L_{max} , L_{av} , ελάχιστης, μέγιστης και μέσης, αντίστοιχα, λαμπρότητας στο σύνολο του οδοστρώματος.
- Αντίθεση Λαμπρότητας (Contrast, C): Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους. Αυτή η διαφορά λαμπρότητας αποτελεί την Αντίθεση Λαμπρότητας και δίδεται από την εξίσωση $C=(L_o - L_b)/L_b$, όπου L_o η λαμπρότητα του αντικειμένου και L_b η λαμπρότητα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται αυτό ορατό. Η τιμή της αντίθεσης κυμαίνεται από -1 έως $+\infty$. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται σαν φωτεινή εικόνα μέσα σε σκοτεινό περιβάλλον, ενώ συνήθως ο οδηγός αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σαν σκοτεινή φιγούρα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος, δηλαδή η αντίθεση λαμβάνει αρνητικές τιμές.
- Φωτεινότητα (Luminosity): Είναι η οπτική αίσθηση που υποδεικνύει ότι μία περιοχή φαίνεται ότι εκπέμπει περισσότερο ή λιγότερο φως. •

Ακτινοβολία (Beam): Είναι το τμήμα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από μία πηγή φωτός, όταν αυτή περιέχεται σε μία στερεά γωνία. Η στερεά γωνία εκτείνεται ως το λειτουργικό κέντρο του φωτός της πηγής, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης έντασης.

- Φωτεινή Απόδοση: Ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής φωτεινής ροής που εκπέμπεται από ένα ηλεκτρικό φωτιστικό σώμα, προς τη συνολική ηλεκτρική ισχύ της πηγής. Μονάδα μέτρησης είναι το lumen/Watt.
- Συντελεστής Χρησιμοποίησης: Είναι το ποσοστό της φωτεινής ροής ενός φωτιστικού σώματος που χρησιμοποιείται για το φωτισμό του οδοστρώματος.
- Συντελεστής Συντήρησης: Είναι ο λόγος της τρέχουσας φωτεινής απόδοσης σε lumens του συστήματος φωτισμού προς την αντίστοιχη αρχική, μετά από απώλεια φωτός από διάφορους παράγοντες, όπως η συσσώρευση σκόνης, η βλάβη κάποιων λαμπτήρων, η ρύπανση των τοιχωμάτων της σήραγγας κλπ.
- Στάθμη Φωτισμού: Είναι η φωτεινή ροή που δέχεται το οδόστρωμα ανά μονάδα επιφάνειάς του.
- Θάμβωση: Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε να προκαλείται ενόχληση και μείωση της ικανότητας του παρατηρητή να διακρίνει αντικείμενα, εξαιτίας ακατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικών αντιθέσεων. Ένα από τα είδη θάμβωσης είναι η «φυσιολογική» θάμβωση, που προκαλείται από τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός στο οπτικό πεδίο, μειώνοντας την αντίθεση μεταξύ αντικειμένου και περιβάλλοντος. Δείκτης της εν λόγω μορφής θάμβωσης είναι το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα του περιβάλλοντος για να αποκατασταθεί η ορατότητα του αντικειμένου (Threshold Increment, TI).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Τα κριτήρια υπολογισμού της κλάσης φωτισμού, δηλαδή η κατηγοριοποίηση των οδών με βάση τις απαιτήσεις σε φωτισμό φαίνονται παρακάτω (τεχνική οδηγία ΤΟΤΤΕ)

2.1 Class M – Motorised traffic Αυτοκινητόδρομοι / Οδοί μηχανοκίνητων οχημάτων

Αφορά στο φωτισμό οδών και περιοχών, όπου οι κύριοι χρήστες είναι ως επί το πλείστον μηχανοκίνητα οχήματα τα οποία κινούνται με χαμηλές, μέσες ή υψηλές ταχύτητες. Το μέγεθος σχεδιασμού και αξιολόγησης του φωτισμού οδών κλάσης M είναι η λαμπρότητα (luminance) οδοστρώματος (σε cd/m^2). Η κλάση καθορίζεται με βάση γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού ή τμήματος αυτής, με βάση τα κριτήρια των παρακάτω πινάκων

Πίνακας 1.1. – 1^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού M κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)	Περιγραφή
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή (2)	$v \geq 100 \text{ km/h}$
	Υψηλή (1)	$70 < v < 100 \text{ km/h}$
	Μέση (-1)	$40 < v < 70 \text{ km/h}$
	Χαμηλή (-2)	$v \leq 40 \text{ km/h}$

Πίνακας 1.2. – 2^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού M κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)	Περιγραφή	
Κυκλοφοριακός φόρτος		Αυτοκινητόδρομοι, κατευθύνσεις πολλαπλών λωρίδων	Κατευθύνσεις δύο λωρίδων
	Υψηλός (1)	> 65% της μέγιστης χωρητικότητας	> 45% της μέγιστης χωρητικότητας
	Μέσος (0)	35%- 65% της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% της μέγιστης χωρητικότητας
	Χαμηλός (-1)	< 35% της μέγιστης χωρητικότητας	< 15% της μέγιστης χωρητικότητας

Πίνακας 1.3. – 3^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Μ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Σύνθεση χρηστών	Μεικτή με μεγάλο ποσοστό μη-μηχανοκίνητων (2)
	Μεικτή (1)
	Μόνο μηχανοκίνητα (0)

Πίνακας 1.4. – 4^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Μ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Όχι (1)
	Ναι (0)

Πίνακας 1.5. – 5^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Μ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)	Περιγραφή	
Πυκνότητα κόμβων		Διασταυρώσεις / km	Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων (km)
	Υψηλή (1)	> 3	< 3
	Μέση (0)	≤ 3	≥ 3

Πίνακας 1.6. – 6^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Μ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα (1)
	Απόντα (0)

Πίνακας 1.7. – 7^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Μ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)	
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός (1)	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί κ.λπ.
	Μέσος (0)	Συνήθεις καταστάσεις
	Χαμηλός (-1)	

Πίνακας 1.8. – 8^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού M κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ υψηλή (2)
	Υψηλή (1)
	Χαμηλή (0)

Η τελική επιλογή της κλάσης φωτισμού σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης: $M = 6 - VWS$ (1) Όπου M η αντίστοιχη κλάση φωτισμού και VWS το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων, σύμφωνα με τους Πίνακες 1.1-1.8.

Με βάση την κλάση φωτισμού που αντιστοιχεί στην οδό ορίζονται τα απαιτούμενα φωτομετρικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 2-1 απαιτήσεις φωτισμού κατά κλάση φωτισμού[3]

Κλάση Φωτισμού	Μέση Λαμπρότητα L_{av} (cd/m ²)	Συνολική Ομοιομορφία U_o (L_{min}/L_{av})	Αρχικό ΤΙ (θάμβωση)	Διαμήκης Ομοιομορφία U_L (L_{min}/L_{max})	Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου SR
	για όλες τις οδούς	για όλες τις οδούς	για όλες τις οδούς	για οδούς χωρίς, ή με λίγους κόμβους	για οδούς με διαβάσεις πεζών
M1	>2,0	>0,4	<10 %	>0,7	>0,5
M2	>1,5	>0,4	<10 %	>0,7	>0,5
M3	>1,0	>0,4	<10 %	>0,5	>0,5
M4	>0,75	>0,4	<15 %	-	-
M5	>0,5	>0,4	<15 %	-	-

2.2 Class P – Pedestrians and low speed areas - Πεζόδρομοι και Οδοί ήπιας κυκλοφορίας

Αφορά στο φωτισμό περιοχών κυκλοφορίας κυρίως πεζών, ποδηλάτων ή οδών μεικτής χρήσης αλλά ήπιας κυκλοφορίας. Ο ορισμός των κλάσεων φωτισμού P πραγματοποιείται μέσω των κριτηρίων που παρουσιάζονται στους τους Πίνακες 4.1-4.5.

Πίνακας 4.1. – 1^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Ρ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)	Περιγραφή
Ταχύτητα σχεδιασμού ή όριο ταχύτητας	Χαμηλή (1)	$v \leq 40$ km/h
	Πολύ χαμηλή – βάδισμα (0)	Ταχύτητα βαδίσματος

Πίνακας 4.2. – 2^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Ρ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Κυκλοφοριακός φόρτος	Υψηλός (1)
	Μέσος (0)
	Χαμηλός (-1)

Πίνακας 4.3. – 3^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Ρ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Σύνθεση χρηστών	Πεζοί, ποδηλάτες και μηχανοκίνητα (2)
	Πεζοί και μηχανοκίνητα (1)
	Πεζοί και ποδηλάτες (1)
	Πεζοί (0)
	Ποδηλάτες (0)

Πίνακας 4.4. – 4^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού Ρ κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα (1)
	Απόντα (0)

Πίνακας 4.5. – 5^ο κριτήριο επιλογής κλάσεων φωτισμού P κατά CEN/TR 13201-1:2014

Κριτήριο	Επιλογές - (Βάρος)	Περιγραφή
Φωτισμός περιβάλλοντος	Υψηλός (1)	Εμπορικοί οδοί, διαφημιστικές πινακίδες,
	Μέσος (0)	αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί κ.λπ.
	Χαμηλός (-1)	Συνήθεις καταστάσεις

Η τελική επιλογή της κλάσης φωτισμού σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται με το άθροισμα των βαρών κάθε κριτηρίου και με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης: $P = 6 - VWS[4]$

2.3 Κριτήρια βέλτιστου σχεδιασμού οδοφωτισμού

Οι μελέτες διεξήχθησαν σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα

α) EN 13201-1, 2014, Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes,

β) EN 13201-2, 2015, Road lighting - Part 2: Performance requirements,

γ) EN 13201-5, 2015, Road lighting - Part 5: Energy performance indicators και την τεχνική έκθεση της E.E.

δ) Revision of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Road Lighting, JRC Technical report and criteria proposal, EUR 29631 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978 -92 - 79-99077 -9, doi:10.2760/372897, JRC115406.

Με βάση τα πρότυπα αυτά ακολουθήθηκαν τα παρακάτω κριτήρια [5], [6], [7], [8]

- Τα ποσοτικά αποτελέσματα της εκάστοτε κλάσης φωτισμού (μέση λαμπρότητα ή μέση ένταση φωτισμού) να μην υπερβαίνουν το 10% των ελάχιστων από την κλάση απαιτούμενων έχοντας ήδη συνυπολογίσει και τον συντελεστή συντήρησης (maintenance factor).
- Η Ισχύς ανά χιλιόμετρο (W/km) να έχει επίσης τη χαμηλότερη δυνατή τιμή
- Φωτεινή απόδοση φωτιστικού μεγαλύτερη των 120lm/W για έτος εφαρμογής 2019 και μετά ως βασικό κριτήριο και προτεινόμενη τιμή 130lm/W ως πιο απαιτητικό κριτήριο.

- Θερμοκρασία χρώματος μικρότερη ή ίση των 3.000K.
- Το ποσοστό εκπομπής φωτεινής ροής προς τα πάνω του φωτιστικού σώματος στη θέση τοποθέτησής του (R_{ULO}) να είναι 0%

Και στις δύο μελέτες που ακολουθούν έχουν τηρηθεί όλα τα κριτήρια

Το πρότυπο EN13201.5 καθορίζει τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης μίας εγκατάστασης οδοφωτισμού. Οι δείκτες αυτοί καθορίζουν το πόσο αποδοτική είναι μία εγκατάσταση φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη τόσο την συνολική ισχύ του συστήματος όσο και την συνολική επιφάνεια της φωτιζόμενης περιοχής. Ο μελετητής θα πρέπει να υπολογίζει του δύο αυτούς δείκτες κατά το σχεδιασμό φωτισμού μίας νέας εγκατάστασης ή κατά το σχεδιασμό της αναβάθμισης υφιστάμενου συστήματος. Προτείνεται επίσης ο υπολογισμός των δεικτών αυτών για μία υφιστάμενη εγκατάσταση για λόγους σύγκρισης της αποδοτικότητας με μία νέα προτεινόμενη εγκατάσταση. Σε διαγωνιστικές διαδικασίες οδοφωτισμού οι δύο αυτοί δείκτες θα πρέπει να υπολογίζονται και να λαμβάνονται ως βαρύνον κριτήριο αξιολόγησης.

231 Δείκτης πυκνότητας ισχύος – Power Density Indicator

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \text{lx} \cdot \text{m}^2$$

όπου:

D_p: Δείκτης πυκνότητας ισχύος

P: Η συνολική ισχύς της εγκατάστασης φωτισμού

E_i : Η μέση ένταση οριζόντιου φωτισμού της υποπεριοχής i

A_i: Το εμβαδόν της υποπεριοχής i που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού

n: Ο αριθμός των φωτιζόμενων υποπεριοχών

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει την επίδοση του συστήματος φωτισμού στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος (οδόστρωμα, πεζοδρόμια, κ.λπ) φανερώνοντας

το ποσό της απορροφούμενης ενέργειας που αξιοποιείται για το σκοπό του οδοφωτισμού.

Πίνακας 2-2 Ενδεικτικοί υπολογισμοί δείκτη D_p για οδούς κλάσης M

Κλάση	Τύπος φωτεινής πηγής φωτιστικού σώματος			
	Υδραργύρου	Μεταλλικών αλογονιδίων	Νατρίου υψηλής πίεσης	LED
	mW · lux ⁻¹ · m ⁻²			
M1	-	45	34-41	25-32
M2	100	50	31-40	24-27
M3	84	47	34-38	23-25
M4	90	60	34-42	23
M5	86	30	38-45	24
M6	85	37	45-49	20-27

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι για κλάση δρόμου M4 και για λαμπτήρες LED, ο δείκτης D_p πρέπει να λαμβάνει ελάχιστη τιμή 23% ή 0,023

232 Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης - Annual Energy Consumption Indicator

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j) Wh}{A m^2}$$

όπου:

D_E : Ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης

P_j : Η συνολική ισχύς της εγκατάστασης φωτισμού το χρονικό διάστημα λειτουργίας j

t_j : Η διάρκεια της περιόδου λειτουργίας j

A : Το εμβαδόν της που φωτίζεται από το σύστημα φωτισμού

m : Ο αριθμός διαφορετικών περιόδων λειτουργίας

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει την επίδοση του συστήματος φωτισμού κατά τη διάρκεια του έτους στην περιοχή ενδιαφέροντος. Με το δείκτη αυτό γίνεται σαφές το ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας που αξιοποιείται για το σκοπό του οδοφωτισμού.

Πίνακας 2-3 Ενδεικτικοί υπολογισμοί δείκτη D_E για οδούς κλάσης M

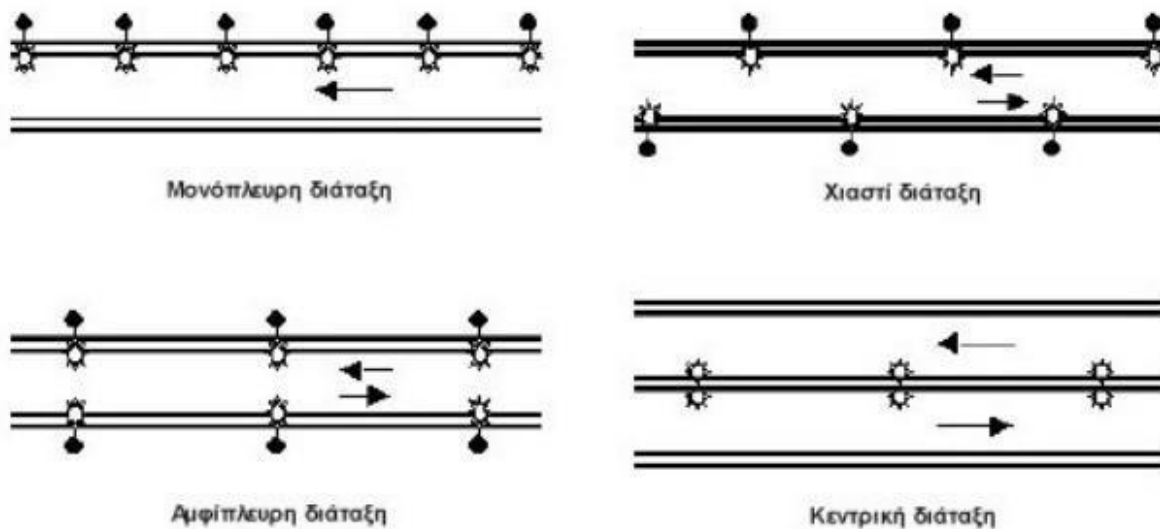
Κλάση	Τύπος φωτεινής πηγής φωτιστικού σώματος			
	Υδραργύρου	Μεταλλικών αλογονιδίων	Νατρίου υψηλής πίεσης	LED
	kWh·m ⁻² για 4000h λειτουργίας			
M1	-	5.0	4.0-5.3	3.0-3.8
M2	10.8	4.6	3.2-4.2	2.4-2.4
M3	6.0	3.6	2.5-2.6	1.5
M4	5.0	3.1	1.8-2.4	1.1
M5	3.2	0.9	1.1-1.6	0.8
M6	1.9	0.6	0.2-1.2	0.4-0.5

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι για κλάση δρόμου M4 και για λαμπτήρες LED, ο δείκτης D_E πρέπει να λαμβάνει ελάχιστη τιμή 1.1% ή 0,001

2.4 Κριτήρια επιλογής διάταξης στύλων

Τα είδη διάταξης δίνονται στην Εικόνα 7.13 και έχουν ως εξής: [3]

- Μονόπλευρη διάταξη: Όλα τα φωτιστικά σώματα βρίσκονται στην ίδια πλευρά της οδού.
- Χιαστί διάταξη: Τα φωτιστικά τοποθετούνται και στις δύο πλευρές, σε εναλλάξ θέσεις.
- Αμφίπλευρη διάταξη: Τα φωτιστικά τοποθετούνται και στις δύο πλευρές της οδού, γενικά σε απέναντι θέσεις.
- Κεντρική διάταξη: Οι στύλοι τοποθετούνται στον ενδιάμεση νησίδα διαιρεμένων οδών και διαθέτουν διπλούς βραχίονες.

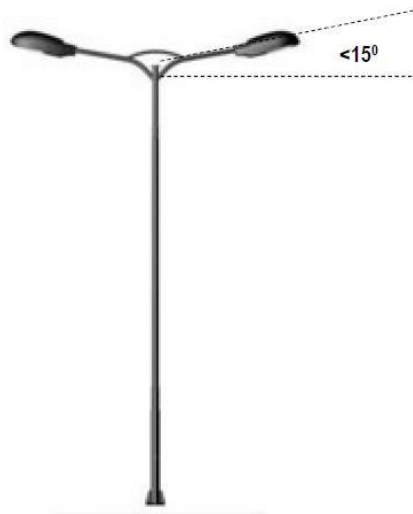


Σχήμα 2.1 Είδη διατάξεων φωτιστικών σωμάτων

Η επιλογή της διάταξης που θα εφαρμοστεί εξαρτάται κυρίως από το είδος και πλάτος της οδού, καθώς και από το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού. Η μονόπλευρη διάταξη εφαρμόζεται κυρίως σε οδούς μικρού πλάτους ($<1-1,5 \times \text{Ύψος Ανάρτησης}$) ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές φορές το απέναντι άκρο μπορεί να μην είναι επαρκώς ορατό. Η χιαστί διάταξη δίνει πολύ καλή φωτεινή κατανομή σε οδούς με μέτριο πλάτος ($1,5 -2 \times \text{Ύψος Ανάρτησης}$), χρειάζεται, όμως, έλεγχος για αποφυγή σχηματισμού σκοτεινών κυματοειδών κηλίδων. Η αμφίπλευρη διάταξη εφαρμόζεται σε οδούς με μεγάλα πλάτη, ενώ η κεντρική βρίσκει εφαρμογή σε διαχωρισμένες οδούς, όπου επιτυγχάνεται ελάττωση του αριθμού στύλων και του μήκους της καλωδίωσης. 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 στύλοι θα βρίσκονταν πολύ μακριά από τα δύο οδοστρώματα, οι δύο κλάδοι φωτίζονται θεωρούμενοι ως ξεχωριστές οδοί, συνήθως με αμφίπλευρη διάταξη έκαστος.

2.5 Κριτήρια επιλογής βραχίονα φωτιστικού

- Η διατομή των βραχιόνων μπορεί να είναι κυκλική, κολουροκωνική ή ελλειψοειδής, με ονομαστική διάμετρο διατομής τουλάχιστον 50 mm
- Η εσωτερική διάμετρος του βραχίονα θα είναι τουλάχιστον 28 mm, χωρίς προεξοχές που εμποδίζουν την διέλευση των καλωδίων. Η κατασκευή τους θα εξασφαλίζει την κάμψη των καλωδίων με καμπύλωση ακτίνας $R \geq 75$ mm
- Το άκρο των βραχιόνων διαμορφώνεται με ελάχιστο μήκος και ονομαστική διαμέτρου σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 40 -2, ώστε να προσαρμόζεται το φωτιστικό σώμα με ενσφήνωση του ενός τεμαχίου μέσα στο άλλο, σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης
- Ο διαμήκης άξονας του φωτιστικού σώματος θα έχει κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο σχηματίζοντας γωνία από 0° έως 15°

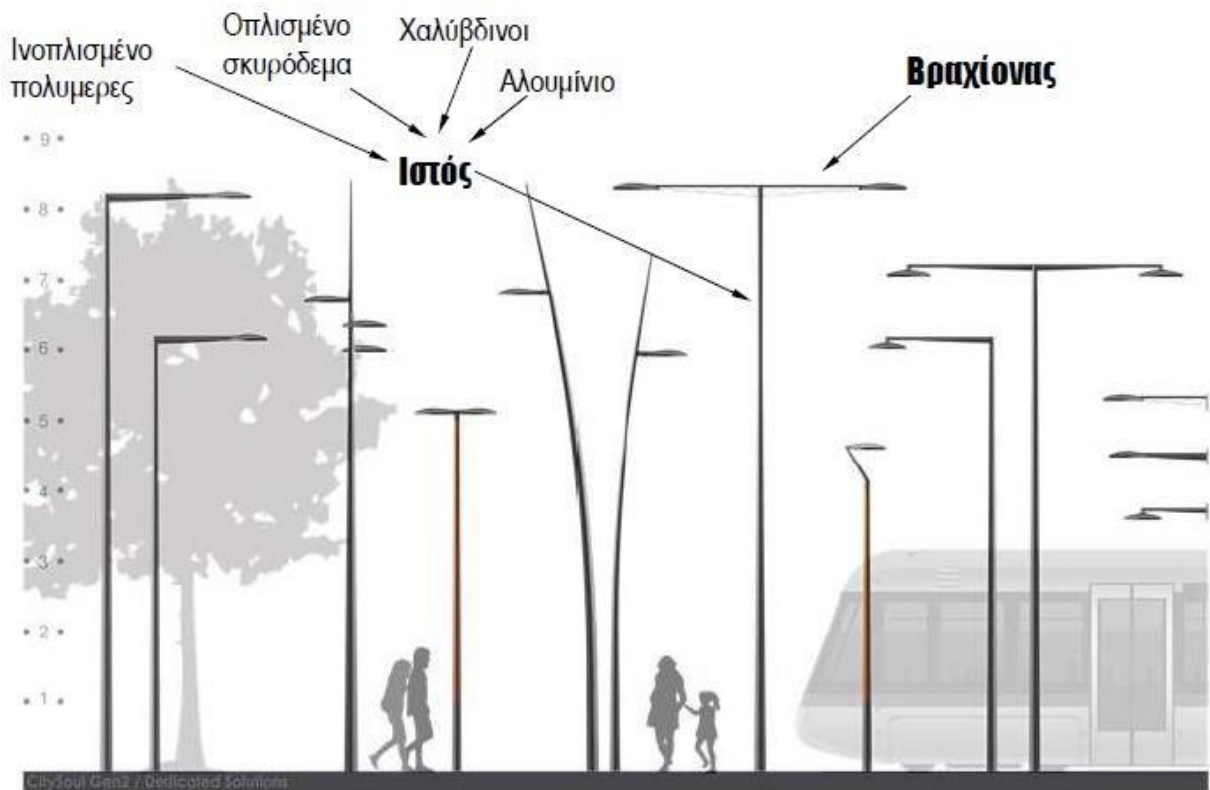


Εικόνα 2.1 Μέγιστη επιτρεπτή κλίση βραχίονα

- Όταν από τη μελέτη ασφάλισης της οδού προκύπτει η ανάγκη για βραχίονες μήκους $> 3,0$ m, τότε οι βραχίονες διαμορφώνονται σε δύο στελέχη, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, σύμφωνα με τη σχετική στατική μελέτη
- Το μέγιστο μήκος (οριζόντιας προβολής) του βραχίονα φωτιστικών σωμάτων (μεταξύ ιστού και κέντρου του φωτιστικού) δεν επιτρέπεται να

είναι μεγαλύτερο του 27% του ύψους του ιστού μετρημένο μεταξύ του κέντρου του φωτιστικού και της επιφάνειας κύλισης της οδού

- Οι βραχίονες είναι γαλβανισμένοι εν θερμώ, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN ISO 1461 και εάν προβλέπεται από τη μελέτη, φέρουν και ηλεκτροστατική βαφή
- Κάθε βραχίονας σχεδιάζεται για να στηρίζει ένα φωτιστικό με χαρακτηριστικά βάρους και επιφάνειας σύμφωνα με τη μελέτη (και τουλάχιστον βάρους 26 kg και επιφάνειας 0,25 m²)
- Οι βραχίονες επιλέγονται, από πίνακες κατασκευαστών ή μετά από στατικό υπολογισμό, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τη μελέτη



Συμβατικοί ιστοί <20 μ, Υψηλοί ιστοί >=20 μ

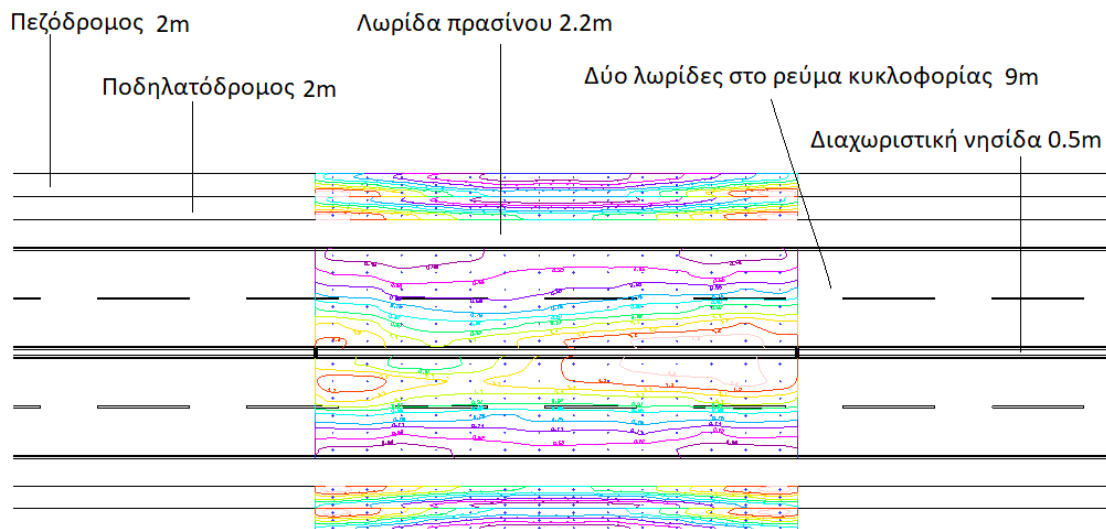
Εικόνα 2.2 ιστοί και βραχίονες φωτιστικών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

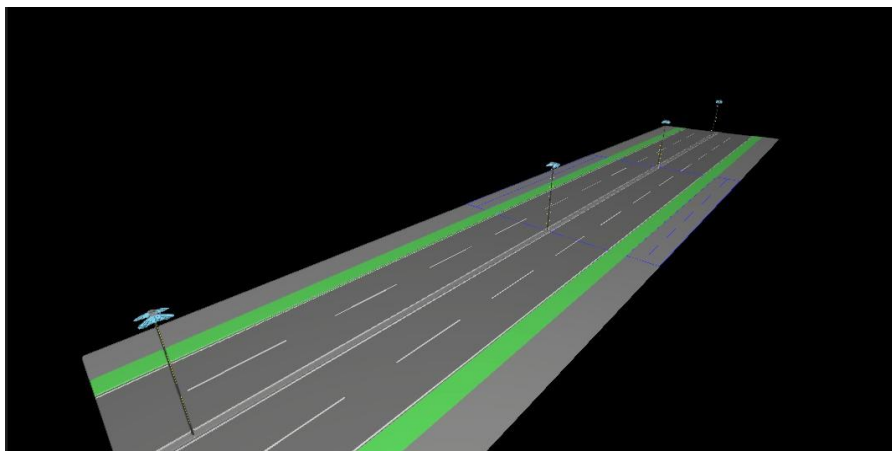
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ

3.1 Δεδομένα της οδού

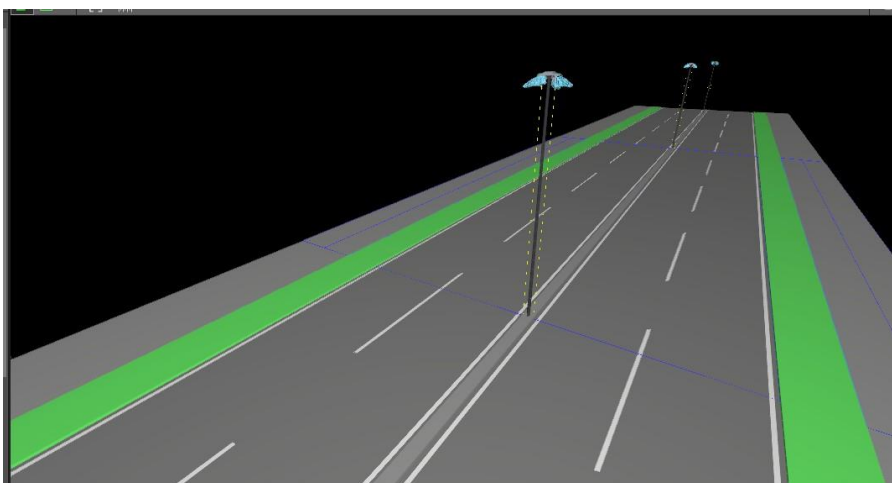
- Ευθύγραμμη οδός, διπλής κατεύθυνσης (δυο λωρίδες ανά κατεύθυνση) με διαχωριστικό διάζωμα
- Πλάτος οδού: 9m ανά κατεύθυνση
- Πλάτος διαζώματος: 0.5m
- Συνολικό πλάτος: 18.5m
- Τύπος ασφάλτου :R3
- Συντελεστής ανάκλασης οδοστρώματος ρ_0 :0,07.
- Διάταξη των φωτιστικών: Διπλά φωτιστικά σώματα ανά ιστό σε διάταξη στο κέντρο της νησίδας,
- Κλάση φωτισμού :M4



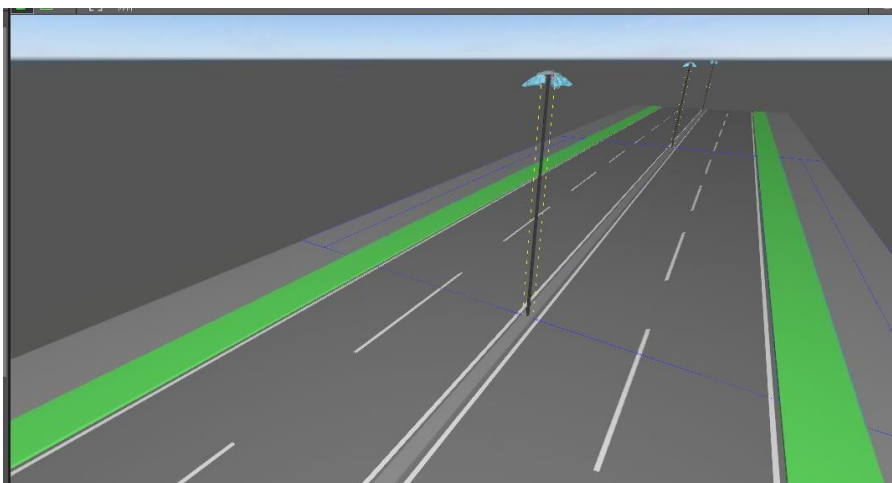
Εικόνα 3.1 Η κάτοψη της οδού διπλής κατεύθυνσης



Εικόνα 3.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση της οδού



Εικόνα 3.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση της οδού



Εικόνα 3.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση της οδού

3.2 Υπολογισμός Κλάσης φωτισμού

Ο υπολογισμός της κλάσης φωτισμού πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του επόμενου πίνακα και με βάση τα κριτήρια των πινάκων 1.1 έως 1.8

Τυπική ταχύτητα κυρίων χρηστών	60km/h
Πυκνότητα κυκλοφορίας καθ' όλη τη διάρκεια της νύκτας	Μέτρια, 40% της μέγιστης πυκνότητας
Κύριοι χρήστες	Μηχανοκίνητα οχήματα
Άλλοι χρήστες	Αργά κινούμενα οχήματα, πεζοί και ποδηλάτες μικρής πυκνότητας
Διαχωρισμός λωρίδων	Ναι
Πυκνότητα διασταυρώσεων (intersection)	>3 ανά km
Σταθμευμένα οχήματα	Όχι
Επίπεδο λαμπρότητας περιβάλλοντος	Υψηλό
Βαθμός δυσκολίας στην οδήγηση	Δύσκολος
Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Κανονική
Γεωμετρικά μέτρα για μείωση κυκλοφορίας	Όχι
Κίνδυνος εγκληματικότητας	-
Αναγνώριση προσώπου	-

Όλα τα κριτήρια συνδυάστηκαν και προέκυψε κλάση M=4

Υπολογίστηκε και κλάση φωτισμού για τον ποδηλατόδρομο και τον πεζόδρομο με βάση τα κριτήρια των πινάκων 4.1 -4.5. Προέκυψε κλάση φωτισμού P=6

3.3 Παρουσίαση της φωτοτεχνικής μελέτης

Διεξήχθησαν τρεις μελέτες με τρία διαφορετικά φωτιστικά δρόμου. Ακολουθεί η παρουσίαση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων και των τριών μεθόδων καθώς και η σύγκριση μεταξύ των δεδομένων που προέκυψαν

331 Πρώτη φωτοτεχνική μελέτη

3311 Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε

Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας PHILIPS, της σειράς LUMA GEN2. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα

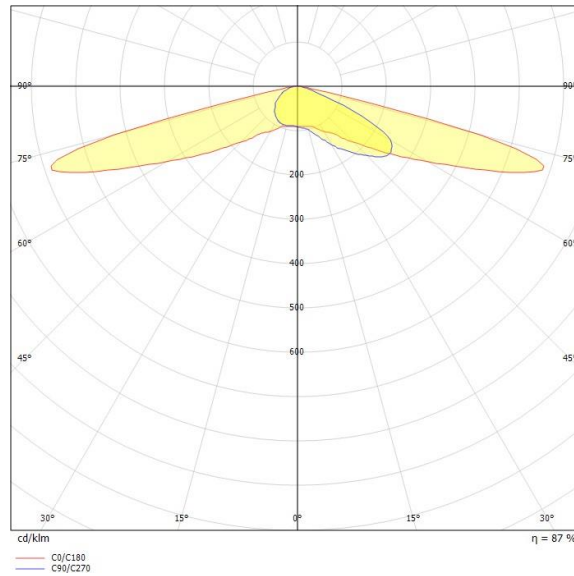


Εικόνα 3.5 Το φωτιστικό LUMA GEN2

Πίνακας 3-1 Προδιαγραφές του φωτιστικού Luma Gen 2

Τύπος	Φωτιστικό δρόμου
Σχήμα	Ορθογώνιο Παραλληλόγραμμο
Διαστάσεις (Μήκος x πλάτος x ύψος)	146mm x 360m x 658m
Τύπος φωτισμού	Άμεσος
Κατανομή φωτεινής έντασης	Προς τα κάτω
Τύπος λαμπτήρα	LED
Απόχρωση	Θερμό λευκό 3000 K
Φωτεινή απόδοση	149 (Lumen/watt)
Ισχύς	56W
Φωτεινή ροή	8362lm
Χρωματική απόδοση Ra	74
Κωδικός προϊόντος	LUMA GEN2 BGP704 1 XLED95 -4S/740 DW50
Datasheet	https://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-street/luma-gen2#page=&layout=100

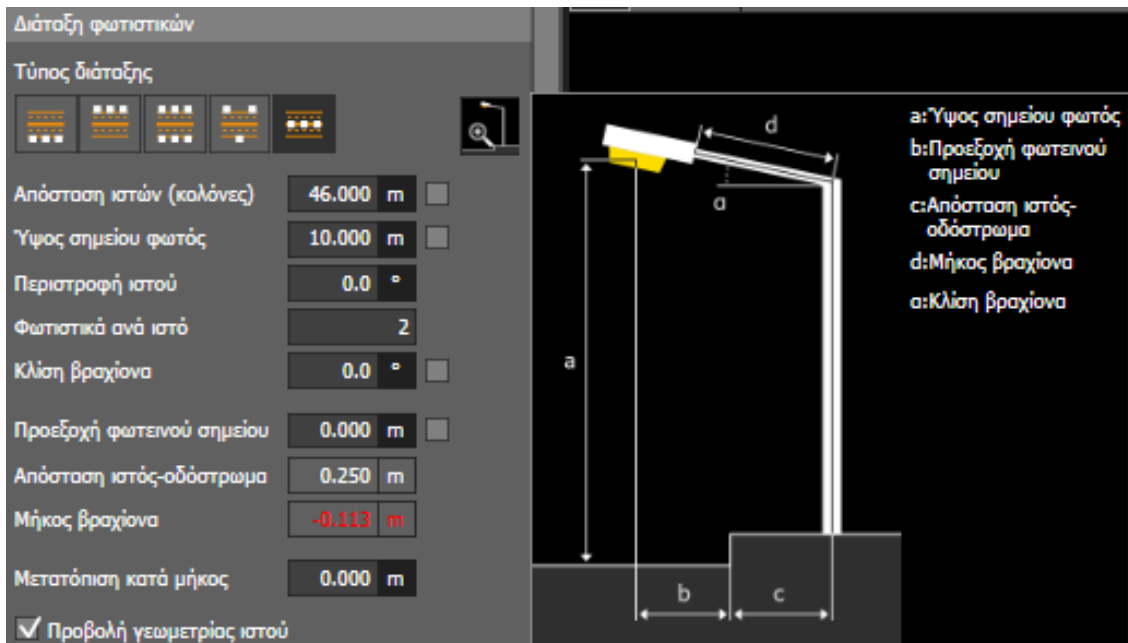
Πολικό διάγραμμα



3312 Αποτελέσματα μελέτης από το DIALUX

Οι στύλοι (10m) τοποθετήθηκαν σε απόσταση 46 m μεταξύ τους. Και στα δύο οδοστρώματα τα επίπεδα λαμπρότητας δεν υπερβαίνουν το 10% της ελάχιστης τιμής (0.77 cd/m^2). Επίσης όλοι οι υπόλοιποι συντελεστές, δηλαδή ομοιομορφίας (U_0 και U_1), δείκτης θάμβωσης TI και δείκτης φωτισμού όμορων περιοχών EIR είναι εντός ορίων.

Επιπρόσθετα εντός ορίων είναι και οι εντάσεις φωτισμού στους ποδηλατόδρομους και στους πεζόδρομους



Εικόνα 3.6 Διάταξη και γεωμετρικά στοιχεία φωτιστικού Philips

Όνομα		ΟΔΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ
Βελτίωση		Αποτελέσματα: 1
Συντελεστής συντήρησης		0.800
Διάταξη φωτιστικών 1		BGP704 T25 1 xLED95-45/840 DM13
Εξοπλισμός		1 x LED95-45/840
Απόσταση ιστών (κολόνες)	[m]	46.000
Ύψος σημείου φωτός	[m]	10.000
Κλίση βραχίονα	[°]	0.0
Προεξοχή φωτεινού σημείου	[m]	0.000
Περιστροφή ιστού	[°]	0.0
Φωτιστικά ανά ιστό		2
Απόσταση ιστός-οδόστρωμα	[m]	0.250

Εικόνα 3.7 Προδιαγραφές της μελέτης

Πεδίο αξιολόγησης (M4)					Οδόστρωμα 2 (M4)	
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	0.75	0.77 ✓	
U_o		✓	≥	0.40	0.52 ✓	
U_l		✓	≥	0.60	0.68 ✓	
TI	[%]	✓	≤	15	11 ✓	
R_{EI}		✓	≥	0.30	0.55 ✓	
Πεδίο αξιολόγησης (M4)					Οδόστρωμα 1 (M4)	
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	0.75	0.77 ✓	
U_o		✓	≥	0.40	0.52 ✓	
U_l		✓	≥	0.60	0.68 ✓	
TI	[%]	✓	≤	15	11 ✓	
R_{EI}		✓	≥	0.30	0.55 ✓	
Πεδίο αξιολόγησης (P5)					Ποδηλατόδρομος 2 (P5)	
E_m	[lx]	✓	≥	3.00	≤ 4.50	4.43 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.60		2.86 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P5)					Ποδηλατόδρομος 1 (P5)	
E_m	[lx]	✓	≥	3.00	≤ 4.50	4.43 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.60		2.86 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P6)					Πεζοδρόμιο 2 (P6)	
E_m	[lx]	✓	≥	2.00	≤ 3.00	2.10 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.40		1.07 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P6)					Πεζοδρόμιο 1 (P6)	
E_m	[lx]	✓	≥	2.00	≤ 3.00	2.10 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.40		1.07 ✓

Εικόνα 3.8 Αποτελέσματα από τη μελέτη με το λογισμικό DIALUX (επίπεδα και δείκτες φωτισμού)

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι τιμές του συντελεστή χρησιμοποίησης, τα στοιχεία του χρησιμοποιηθέντος φωτιστικού, η απόσταση των φωτιστικών και το ύψος των ιστών

Ο δείκτης πυκνότητας ισχύος και ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης , καθώς και η ισχύς/ km και η κατανάλωση ενέργειας έχουν όλα πολύ χαμηλές τιμές

Ισχύς / χλμ	[W/km]	3036
Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	552
D_e	[kWh/m ² έτος]	0.462
D_p	[W/(k [*] m ²)]	0.012

Εικόνα 3.9 Σημαντικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας

332 Δεύτερη φωτοτεχνική μελέτη

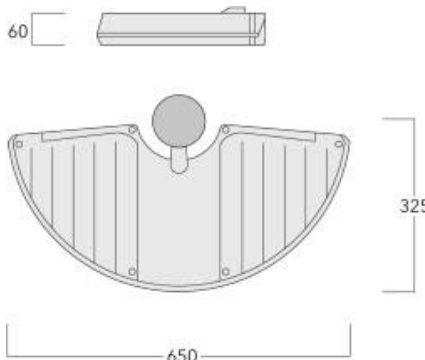
3321 Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη μελέτη

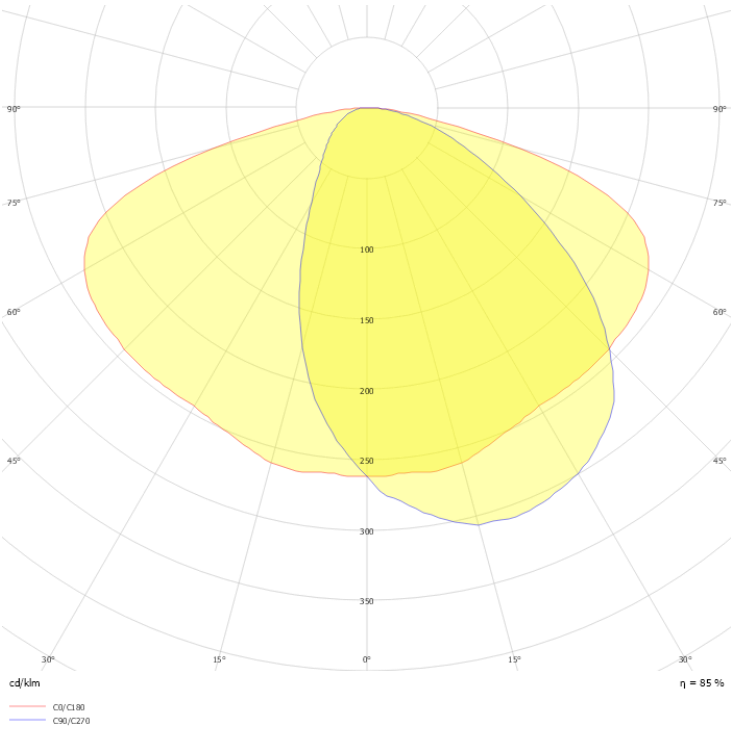
Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας we-ef, της σειράς RMC. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα



Εικόνα 3.10 Το φωτιστικό we-ef RMC320

Πίνακας 3-2 Προδιαγραφές του φωτιστικού we-ef RMC320

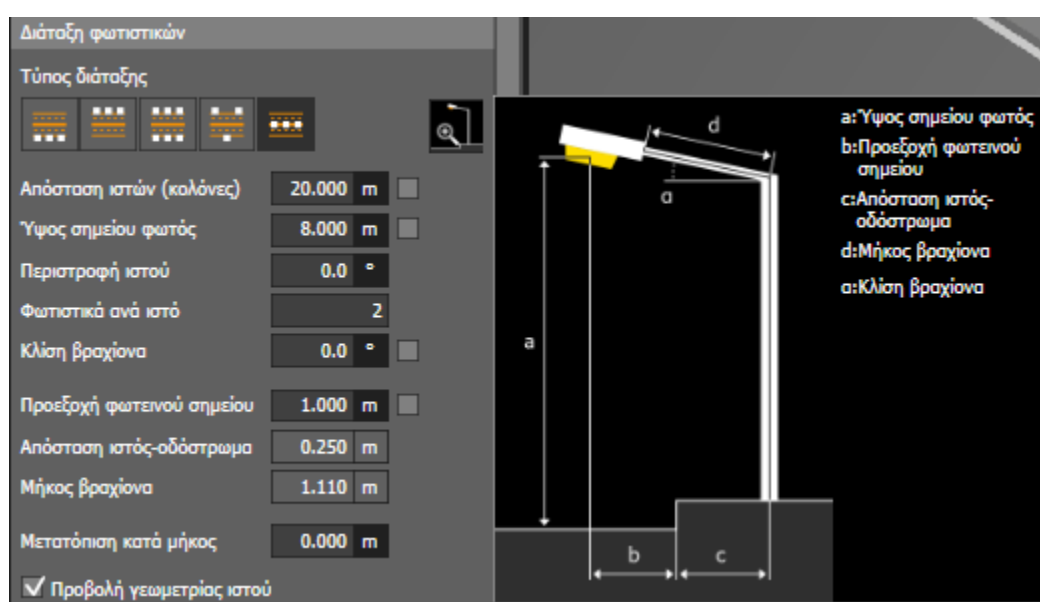
Τύπος	Φωτιστικό δρόμου
Σχήμα	Ημικύκλιο
Διαστάσεις (Μήκος x πλάτος x ύψος)	
Τύπος φωτισμού	Άμεσος
Κατανομή φωτεινής έντασης	Προς τα κάτω
Τύπος λαμπτήρα	LED
Απόχρωση	Θερμό λευκό 3000 K
Φωτεινή απόδοση	123 (Lumen/watt)
Ισχύς	41W
Φωτεινή ροή	5940lm
Χρωματική απόδοση Ra	70

<p>Πολικό διάγραμμα</p>	
<p>Κωδικός προϊόντος</p>	<p>3.4 RMC320 [S60] IP66:LED- 18/36W/3K 3.5 105-9772-70</p>
<p>Datasheet</p>	<p>https://www.wef.com/asia/products/family/rmc320</p>

3511 Αποτελέσματα μελέτης από το DIALUX

Οι στύλοι (8m) τοποθετήθηκαν σε απόσταση 20m μεταξύ τους. Όλοι οι συντελεστές, δηλαδή λαμπρότητας L_m , ομοιομορφίας (U_0 και U_1), δείκτης θάμβωσης TI και δείκτης φωτισμού όμορων περιοχών EIR είναι εντός ορίων.

Επιπρόσθετα εντός ορίων είναι και οι εντάσεις φωτισμού στους ποδηλατόδρομους και στους πεζόδρομους




Εικόνα 3.11 Διάταξη και γεωμετρικά στοιχεία φωτιστικού we-ef

Πεδίο αξιολόγησης (M4)	▼	Οδόστρωμα 2 (M4)				
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	0.75	0.95 ✓	
U_o		✓	≥	0.40	0.40 ✓	
U_l		✓	≥	0.60	0.91 ✓	
TI	[%]	✓	≤	15	10 ✓	
R_{EI}		✓	≥	0.30	0.44 ✓	
Πεδίο αξιολόγησης (M4)	▼	Οδόστρωμα 1 (M4)				
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	0.75	0.95 ✓	
U_o		✓	≥	0.40	0.40 ✓	
U_l		✓	≥	0.60	0.91 ✓	
TI	[%]	✓	≤	15	10 ✓	
R_{EI}		✓	≥	0.30	0.44 ✓	
Πεδίο αξιολόγησης (P5)	▼	Ποδηλατόδρομος 2 (P5)				
E_m	[lx]	✓	≥	3.00	≤ 4.50	4.25 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.60		3.64 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P5)	▼	Ποδηλατόδρομος 1 (P5)				
E_m	[lx]	✓	≥	3.00	≤ 4.50	4.25 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.60		3.64 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P6)	▼	Πεζοδρόμιο 2 (P6)				
E_m	[lx]	✓	≥	2.00	≤ 3.00	2.83 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.40		2.42 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P6)	▼	Πεζοδρόμιο 1 (P6)				
E_m	[lx]	✓	≥	2.00	≤ 3.00	2.83 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.40		2.42 ✓

Εικόνα 3.12 Αποτελέσματα από τη μελέτη με το λογισμικό DIALUX (επίπεδα και δείκτες φωτισμού)

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι τιμές του συντελεστή χρησιμοποίησης, τα στοιχεία του χρησιμοποιηθέντος φωτιστικού, η απόσταση των φωτιστικών και το ύψος των ιστών

Όνομα	ΟΔΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ	
Βελτίωση		Αποτελέσματα: 1
Συντελεστής συντήρησης		0.800
Διάταξη φωτιστικών 1	RMC320 [560] IP66:LED-18/36W/3Κ (105-977	▼
Εξοπλισμός	18 x LED-18/36W/730 - 3000K	▼
Απόσταση ιστών (κολόνες)	[m]	20.000
Ύψος σημείου φωτός	[m]	8.000
Κλίση βραχίονα	[°]	0.0
Προεξοχή φωτεινού σημείου	[m]	1.000
Περιστροφή ιστού	[°]	0.0
Φωτιστικά ανά ιστό		2
Απόσταση ιστός-οδόστρωμα	[m]	0.250
Μήκος βραχίονα	[m]	1.110

Εικόνα 3.13 Προδιαγραφές της μελέτης

Ο δείκτης πυκνότητας ισχύος και ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης , καθώς και η ισχύς/ km και η κατανάλωση ενέργειας έχουν όλα πολύ χαμηλές τιμές

Ισχύς / χλμ	[W/km]	4100
Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	328
D_e	[kWh/m ² έτος]	0.631
D_p	[W/(lx*m ²)]	0.013

Εικόνα 3.14 Σημαντικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας

352 Τρίτη φωτοτεχνική μελέτη

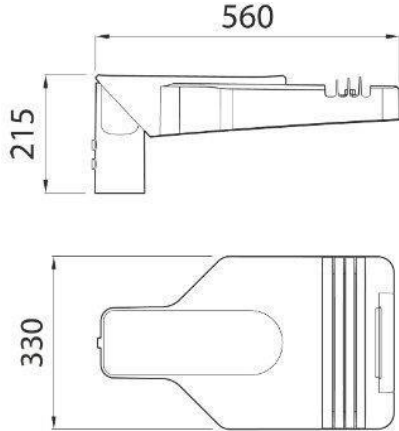
3521 Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε

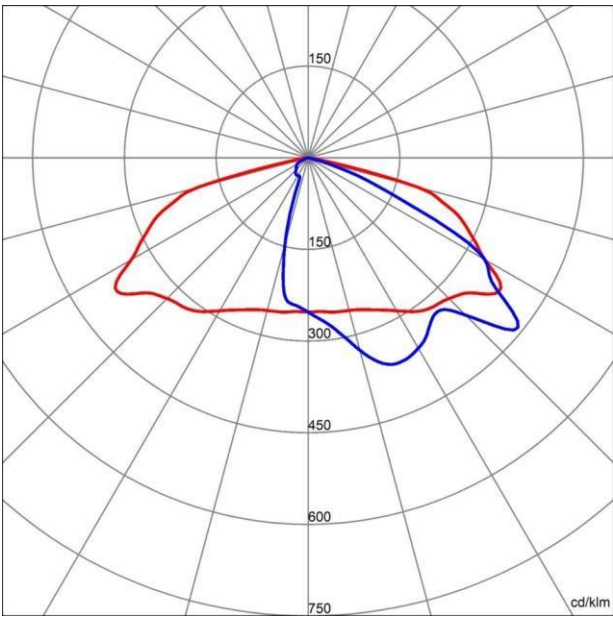
Το φωτιστικό που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας GEWISS, της σειράς ROAD. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα



Εικόνα 3.15 Το φωτιστικό GEWISS ROAD

Πίνακας 3-3 Προδιαγραφές του φωτιστικού ROAD – MINI

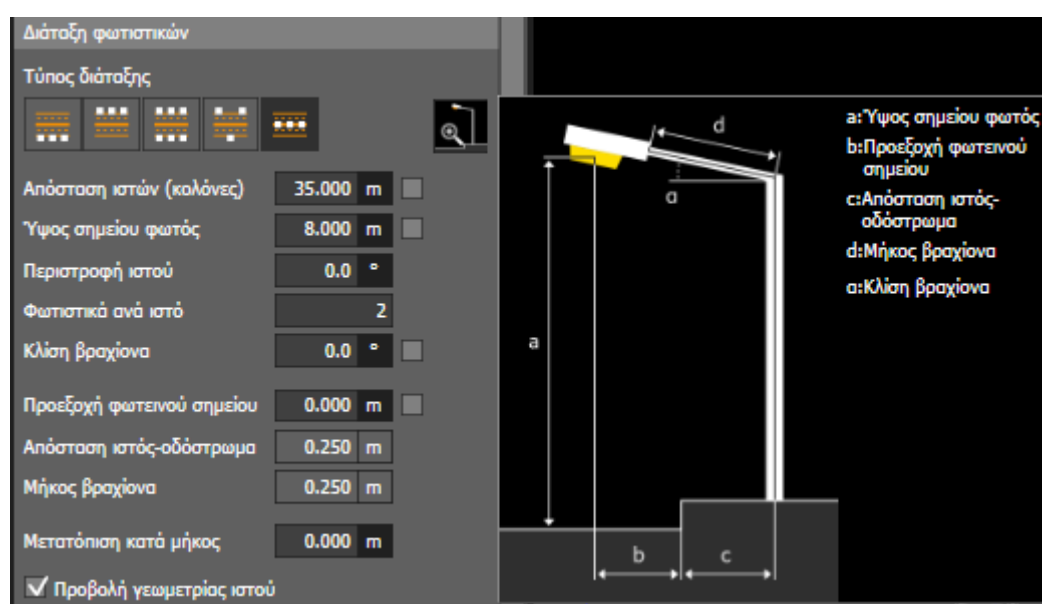
Τύπος	Φωτιστικό δρόμου
Σχήμα	Ορθογώνιο παραλληλόγραμμο
Διαστάσεις (Μήκος x πλάτος x ύψος)	
Τύπος φωτισμού	Άμεσος
Κατανομή φωτεινής έντασης	Προς τα κάτω
Τύπος λαμπτήρα	LED
Απόχρωση	Θερμό λευκό 3000 K
Φωτεινή απόδοση	109 (Lumen/watt)
Ισχύς	74W
Φωτεινή ροή	8100lm
Χρωματική απόδοση Ra	70

<p>Πολικό διάγραμμα</p>	
<p>Κωδικός προϊόντος</p>	<p>RMC320 [S60] IP66:LED-18/36 W/3K 105-9772-70</p>
<p>Datasheet</p>	<p>GWR5612B30K.pdf (gewiss.com)</p>

3522 Αποτελέσματα μελέτης από το DIALUX

Οι στύλοι (8m) τοποθετήθηκαν σε απόσταση 35m μεταξύ τους. Όλοι οι συντελεστές, δηλαδή λαμπρότητας Lm, ομοιομορφίας (U_0 και U_1), δείκτης θάμβωσης TI και δείκτης φωτισμού όμορων περιοχών EIR είναι εντός ορίων.

Επιπρόσθετα εντός ορίων είναι και οι εντάσεις φωτισμού στους ποδηλατόδρομους και στους πεζόδρομους




Εικόνα 3.16 Διάταξη και γεωμετρικά στοιχεία φωτιστικού Gewiss

Πεδίο αξιολόγησης (M4)	▼	Οδόστρωμα 2 (M4)				
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	0.75	0.92 ✓	
U_o		✓	≥	0.40	0.40 ✓	
U_l		✓	≥	0.60	0.62 ✓	
TI	[%]	✓	≤	15	11 ✓	
R_{EI}		✓	≥	0.30	0.51 ✓	
Πεδίο αξιολόγησης (M4)	▼	Οδόστρωμα 1 (M4)				
L_m	[cd/m ²]	✓	≥	0.75	0.92 ✓	
U_o		✓	≥	0.40	0.40 ✓	
U_l		✓	≥	0.60	0.62 ✓	
TI	[%]	✓	≤	15	11 ✓	
R_{EI}		✓	≥	0.30	0.51 ✓	
Πεδίο αξιολόγησης (P5)	▼	Ποδηλατόδρομος 2 (P5)				
E_m	[lx]	✓	≥	3.00	≤ 4.50	4.30 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.60		2.17 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P5)	▼	Ποδηλατόδρομος 1 (P5)				
E_m	[lx]	✓	≥	3.00	≤ 4.50	4.30 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.60		2.17 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P6)	▼	Πεζοδρόμιο 2 (P6)				
E_m	[lx]	✓	≥	2.00	≤ 3.00	2.83 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.40		1.31 ✓
Πεδίο αξιολόγησης (P6)	▼	Πεζοδρόμιο 1 (P6)				
E_m	[lx]	✓	≥	2.00	≤ 3.00	2.83 ✓
E_{min}	[lx]	✓	≥	0.40		1.31 ✓

Εικόνα 3.17 Αποτελέσματα από τη μελέτη με το λογισμικό DIALUX (επίπεδα και δείκτες φωτισμού)

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι τιμές του συντελεστή χρησιμοποίησης, τα στοιχεία του χρησιμοποιηθέντος φωτιστικού, η απόσταση των φωτιστικών και το ύψος των ιστών

Όνομα	ΟΔΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ	
Βελτίωση		Αποτελέσματα: 1
Συντελεστής συντήρησης		0.800
Διάταξη φωτιστικών 1	ROAD[5] MINI 2M HUGE 730 1A BIPOWER CL	
Εξοπλισμός	1 x LED Module 730 @1A	
Απόσταση ιστών (καλόνες)	[m]	35.000
Ύψος σημείου φωτός	[m]	8.000
Κλίση βραχίονα	[°]	0.0
Προεξοχή φωτεινού σημείου	[m]	0.000
Περιστροφή ιστού	[°]	0.0
Φωτιστικά ανά ιστό		2
Απόσταση ιστός-οδόστρωμα	[m]	0.250
Μήκος βραχίονα	[m]	0.250

Εικόνα 3.18 Προδιαγραφές της μελέτης

Ο δείκτης πυκνότητας ισχύος και ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης , καθώς και η ισχύς/ km και η κατανάλωση ενέργειας έχουν όλα πολύ χαμηλές τιμές.

Ισχύς / χλμ	[W/km]	4292
Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	592
D_e	[kWh/m ² έτος]	0.651
D_p	[W/(lx [*] m ²)]	0.014




Εικόνα 3.19 Σημαντικοί δείκτες κατανάλωσης ενέργειας

3.6 Συγκριτικά αποτελέσματα με βάση τους δείκτες ενεργειακής επίδοσης και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας και η ισχύς ανά χιλιόμετρο καθώς και ο δείκτης πυκνότητας ισχύος και ο ετήσιος δείκτης ενεργειακής κατανάλωσης, συγκεντρωτικά και για τα τρία χρησιμοποιούμενα φωτιστικά.

Σημαντική παρατήρηση: Το κάθε φωτιστικό αποτελείται από δύο λαμπτήρες και ως εκ τούτου οι τιμές του παρακάτω πίνακα πρέπει να υποδιπλασιαστούν προκειμένου να πάρουμε πραγματική εικόνα.

Πίνακας 3-4 Συγκεντρωτικά ενεργειακά στοιχεία για τα τρία φωτιστικά

 <p>PHILIPS LUMA GEN2</p>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Ισχύς / χλμ</td> <td>[W/km]</td> <td>3036</td> </tr> <tr> <td>Κατανάλωση ενέργειας</td> <td>[kWh/έτος]</td> <td>552</td> </tr> <tr> <td>D_e</td> <td>[kWh/m² έτος]</td> <td>0.462</td> </tr> <tr> <td>D_p</td> <td>[W/(lx²m²)]</td> <td>0.012</td> </tr> </tbody> </table>	Ισχύς / χλμ	[W/km]	3036	Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	552	D_e	[kWh/m ² έτος]	0.462	D_p	[W/(lx ² m ²)]	0.012
Ισχύς / χλμ	[W/km]	3036											
Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	552											
D_e	[kWh/m ² έτος]	0.462											
D_p	[W/(lx ² m ²)]	0.012											
 <p>we-ef RMC320 Pole mounted</p>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Ισχύς / χλμ</td> <td>[W/km]</td> <td>4100</td> </tr> <tr> <td>Κατανάλωση ενέργειας</td> <td>[kWh/έτος]</td> <td>328</td> </tr> <tr> <td>D_e</td> <td>[kWh/m² έτος]</td> <td>0.631</td> </tr> <tr> <td>D_p</td> <td>[W/(lx²m²)]</td> <td>0.013</td> </tr> </tbody> </table>	Ισχύς / χλμ	[W/km]	4100	Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	328	D_e	[kWh/m ² έτος]	0.631	D_p	[W/(lx ² m ²)]	0.013
Ισχύς / χλμ	[W/km]	4100											
Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	328											
D_e	[kWh/m ² έτος]	0.631											
D_p	[W/(lx ² m ²)]	0.013											
 <p>GEWISS</p>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Ισχύς / χλμ</td> <td>[W/km]</td> <td>4292</td> </tr> <tr> <td>Κατανάλωση ενέργειας</td> <td>[kWh/έτος]</td> <td>592</td> </tr> <tr> <td>D_e</td> <td>[kWh/m² έτος]</td> <td>0.651</td> </tr> <tr> <td>D_p</td> <td>[W/(lx²m²)]</td> <td>0.014</td> </tr> </tbody> </table>	Ισχύς / χλμ	[W/km]	4292	Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	592	D_e	[kWh/m ² έτος]	0.651	D_p	[W/(lx ² m ²)]	0.014
Ισχύς / χλμ	[W/km]	4292											
Κατανάλωση ενέργειας	[kWh/έτος]	592											
D_e	[kWh/m ² έτος]	0.651											
D_p	[W/(lx ² m ²)]	0.014											

Με βάση τις τιμές του Πίνακας 2-2 και Πίνακας 2-3 και δεδομένου ότι τα φωτιστικά διαθέτουν λαμπτήρες LED (Οπότε πρέπει $D_p \leq 0.23$ από Πίνακας 2-2) προκύπτει ότι μόνο το πρώτο φωτιστικό (PHILIPS) πληροί εν τέλει όλες τις ενεργειακές προδιαγραφές ($D_e/2=0.462/2=0.231$)

Πίνακας 3-5

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε φωτιστικού ανά χιλιόμετρο

Φωτιστικό	Απόσταση ανά φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα	Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικών (με δύο λαμπτήρες) ανά χιλιόμετρο
PHILIPS	1000m/46m/φωτιστικό = 22φωτιστικά	56W	2x56Wx22x4000h= 9856kWh
WE-EF	1000 m /20 m = 50 φωτιστικά	41W	2x41Wx40x4000h= 16400kWh
GEWISS	1000 m /35 m = 29 φωτιστικά	74W	2x74Wx29x4000h= 17168kWh

Και από αυτούς τους υπολογισμούς φαίνεται ότι υπερτερεί το πρώτο φωτιστικό έναντι των άλλων δύο ως προς την κατανάλωση ενέργειας .

Και οι τρεις μελέτες συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 3-6

Συγκεντρωτικά συγκριτικά αποτελέσματα

Φωτιστικό	PHILIPS	WE-EF	GEWISS
Αριθμός φωτιστικών ανά km	22	50	29
Ύψος στύλων	10	8	8
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	9856kWh	16400kWh	17168kWh

Εγκατεστημένη ισχύς ανά φωτιστικό	56W	41W	74W
Κόστος προμήθειας ανά φωτιστικό	400€	460€	430€

Επιπλέον λιγότεροι στύλοι ανά km συνεπάγεται λιγότερες καλωδιώσεις και λιγότερα πύλαρ. Συμπερασματικά το φωτιστικό της πρώτης μελέτης αποδεικνύεται πιο αποτελεσματικό και άρα πιο οικονομικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη οδοφωτισμού είναι μια σύνθετη διαδικασία. Περιλαμβάνει σε πρώτη φάση τον χαρακτηρισμό της υπό μελέτη οδού και κατόπιν τη δοκιμή πολλών φωτιστικών μέχρι να βρεθεί το κατάλληλο από φωτοτεχνική αλλά και από οικονομοτεχνική άποψη. Η εύρεση του κατάλληλου φωτιστικού είναι μια επίπονη διαδικασία διότι πρέπει να συνδυαστούν πάρα πολλοί παράγοντες όπως είναι η γεωμετρία του δρόμου, το είδος του δρόμου, τα πα ρακείμενα πεζοδρόμια ή/και ποδηλατόδρομοι, το είδος του οδοστρώματος κ.α..Εκτός αυτών των παραγόντων, πρέπει επίσης να συνυπολογιστεί και ο οικονομικός παράγοντας, δηλαδή το πλήθος των φωτιστικών ανά χιλιόμετρο. Με τις δυνατότητες των φωτιστικών led συνεχώς να βελτιώνονται, είναι δυνατόν πλέον να επιτύχουμε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων χωρίς να θυσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ομοιομορφίας, της λαμπρότητας και της θάμβωσης. Αυτό φαίνεται και στις τρεις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία, στις οποίες έχουμε αποστάσεις ανά στύλο 4 0m, 20m και 35m αντίστοιχα. Οι μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των στύλων σε συνδυασμό με την μικρή ισχύ των λαμπτήρων των φωτιστικών, συνεπάγονται τεράστια οικονομία. Τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών led συνεχώς βελτιώνονται και στο μέλλον θα προφέρουν στους μελετητές μεγαλύτερες δυνατότητες για βέλτιστο συνδυασμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://www.tutorialspoint.com/what-is-street-lighting-objective-principle-advantages-and-disadvantages>
- [2] <https://www.zgsm-china.com/blog/key-factors-to-consider-in-the-design-of-road-lighting-projects.html>
- [3] <https://www.tsanak.gr/documents/civil/roadlighting.pdf>
- [4] “ Σχεδιασμός και έλεγχος εγκαταστάσεων οδοφωτισμού”, Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ
- [5] EN 13201-1, 2014, Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes,
- [6] EN 13201-2, 2015, Road lighting - Part 2: Performance requirements, [7] EN 13201-5, 2015, Road lighting - Part 5: Energy performance indicators και την τεχνική έκθεση της Ε.Ε.
- [8] Revision of the EU Green Public Procurement (GPP) Criteria for Road Lighting, JRC Technical report and criteria proposal, EUR 29631 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2 019, ISBN 978 -92 - 79-99077 -9, doi:10.2760 /372897, JRC115406.

