



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

“Οδηγός Εφαρμογής Ευφυούς Οδικού Φωτισμού”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Άρης Πέτρου

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής, Σχολή ΗΜΜΥ, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

“Οδηγός Εφαρμογής Ευφυούς Οδικού Φωτισμού”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Άρης Πέτρου

Επιβλέπων: Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής, Σχολή ΗΜΜΥ, Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....

.....

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Γεώργιος Κορρές

Ιωάννης Γκόνος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

.....
Άρης Πέτρου, Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ

Copyright © Άρης Πέτρου 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, όταν μου ανέθεσε την διπλωματική αυτή εργασία, έχοντας ως μόνη διαπίστευση την όρεξη και το αυξανόμενο ενδιαφέρον μου για το αντικείμενο του φωτισμού. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την συμπαράσταση και τις υποδείξεις του, καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Η παρούσα προσπάθεια αφιερώνεται στην οικογένεια μου και τους φίλους μου, που με στήριζαν και με στηρίζουν.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η κατάθεση προτάσεων για τη σωστή εφαρμογή του προσαρμοστικού φωτισμού (adaptive lighting) στο οδικό δίκτυο.

Αρχικά, γίνεται μία εκτενής παρουσίαση της χρήσης του προσαρμοστικού οδοφωτισμού σε 7 χώρες της Ε.Ε., ενώ τονίζεται η ανάγκη αναθεώρησης των υπαρχόντων Προτύπων για την εφαρμογή νέων τεχνολογιών στο φωτισμό των οδών. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η τωρινή κατηγοριοποίηση των καταστάσεων φωτισμού των οδικών δικτύων στη χώρα μας, όπου επίσης διακρίνεται η έλλειψη ενός πλαισίου για την εφαρμογή προσαρμοστικού οδοφωτισμού. Στο επόμενο κεφάλαιο, κατατίθενται προτάσεις για τη σωστή εφαρμογή του adaptive lighting στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις δυνατές παραμέτρους, ενώ παράλληλα γίνεται μια πρώτη αναφορά στις νέες τεχνολογίες οι οποίες είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν στον οδοφωτισμό. Τέλος, παρουσιάζονται εκτενώς 3 είδη τεχνολογιών με ευρεία χρήση σε χώρες της Ε.Ε., οι οποίες συνδυάζουν ενεργειακή απόδοση και χαμηλό κόστος λειτουργίας και θα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο μελλοντικά στο φωτισμό των οδικών δικτύων.

Κατά την πραγμάτωση της εργασίας, μελετήθηκαν αναλυτικά δημοσιεύσεις κορυφαίων μελετητών του φωτισμού, ενώ παράλληλα παρουσιάστηκε για πρώτη φορά ένα σύνολο προτάσεων για την εφαρμογή προσαρμοστικού οδοφωτισμού στην Ελλάδα.

Λέξεις κλειδιά

Φωτισμός, προσαρμοστικός οδοφωτισμός, Πρότυπο, φωτισμός δρόμων, οδικός φωτισμός, οδοφωτισμός, προτάσεις, φωτιστικές κλάσεις, παράμετροι

Abstract

The purpose of this thesis is the submission of proposals for the proper application of adaptive lighting (adaptive lighting) on the roads.

Initially, there is an extensive presentation of the use of adaptive street lighting in 7 EU countries, while stressing the need to revise the existing Standards for implementing new technologies in street lighting. Then presents the current categorization of lighting conditions of the roads in our country, which is also characterized by lack of a framework for implementing adaptive street lighting. In the next chapter, proposals were submitted for the proper application of adaptive lighting in Greece, taking into account all possible factors, while a first reference to new technologies was made, that can be used in street lighting. Finally, an extensive presentation of three kinds of technologies widely used in EU countries, which combine energy efficiency and low cost of operation and will be increasingly used in future lighting of roads.

During the realization of the work, analytically posts were studied from leading scholars of lighting, while it was the first time that was presented a set of proposals to implement adaptive street lighting in Greece.

Key Words

Lighting, adaptive street lighting, standard, street lighting, suggestions, lighting classes, parameters

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	7
Abstract	9
1 Εισαγωγή	12
2 Ευφυής οδικός φωτισμός σε χώρες της Ε.Ε.	17
2.1 Ολλανδία	17
2.2 Γερμανία	19
2.3 Ην. Βασίλειο & Ιρλανδία	22
2.4 Φινλανδία	24
2.5 Νορβηγία	25
2.6 Πολωνία	27
2.7 Βουλγαρία	28
3 Κατηγοριοποίηση Οδικού Φωτισμού	31
3.1 Βασικοί στόχοι οδικού φωτισμού	31
3.2 Νομοθεσία οδικού φωτισμού στην Ελλάδα	31
3.3 Κατηγορίες οδικού φωτισμού	32
3.4 EN – 13201: 2014	36
4 Προτάσεις εφαρμογής προσαρμοστικού οδοφωτισμού	44
4.1 Τεχνολογίες Προσαρμοστικού οδοφωτισμού	44
4.2 Οδηγός Εφαρμογής Προσαρμοστικού Οδικού Φωτισμού	47
4.2.1 Σχεδίαση και συντήρηση	48
4.2.2 Εγκατάσταση	52
4.2.3 Πρόταση οδηγού εφαρμογής	54
5 Τεχνολογίες ευφυούς οδικού φωτισμού	63
5.1 Φωτιστικό σύστημα LED	63
5.2 Εφαρμογή adaptive lighting σε 'έξυπνη' πόλη	64
5.3 TALiSMaN	70
6 Συμπεράσματα	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	78
Βιβλιογραφία	87

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα οδικού φωτισμού, αποτελεί στις μέρες μας, ένα αναπόσπαστο κομμάτι της υποδομής κάθε σύγχρονης πόλης. Η καταναλισκόμενη ενέργεια στον φωτισμό των δρόμων αποτελεί σημαντικό μέρος της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται σε μία πόλη ενώ τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος συγκαταλέγονται, αδιαμφισβήτητα, στα κυριότερα έξοδα των περισσότερων μεγαλουπόλεων. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της χρήσης εξελιγμένων τεχνολογιών στον φωτισμό των οδικών αρτηριών, έχει αναμφίβολα πολλούς υποστηρικτές στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια. Αν και είναι γεγονός πως κάποιες χώρες είναι τεχνολογικά πιο ανεπτυγμένες από άλλες, η γενική εικόνα είναι η ίδια σε όλη την Γηραιά ήπειρο. Οι ερωτήσεις-κλειδιά που χρήζουν απάντησης είναι οι εξής:

- Ποια βασική τεχνολογία θα επικρατήσει, η *καλωδιακή* ή η *ασύρματη*;
- Ποιες λύσεις υπάρχουν για την αντιμετώπιση της έλλειψης ρύθμισης φωτεινότητας(dimming) στις οδικές αρτηρίες;
- Πώς η έλλειψη ρύθμισης φωτεινότητας επηρεάζει την οδική ασφάλεια και ποιο *Πρότυπο* πρέπει να ακολουθηθεί;
- Με ποιο τρόπο είναι δυνατό να ενημερωθούν και να εκπαιδευτούν οι υπεύθυνοι συντήρησης των οδών(Πολιτεία ή ιδιώτες), έτσι ώστε να εξοικειωθούν με τις καινοτόμες τεχνολογίες και να λαμβάνουν σωστές αποφάσεις αξιοποίησής του;



Εικόνα 1-1 Προσαρμοστικός οδικός φωτισμός στις Η.Π.Α.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στον οδοφωτισμό και μπορούν να περιγραφούν με τον όρο *προσαρμοστικός οδοφωτισμός*(adaptive street lighting). Ο προσαρμοστικός οδοφωτισμός κυμαίνεται από την απλή αντικατάσταση πεπαλαιωμένων φωτιστικών συστημάτων με αντίστοιχα τεχνολογίας LED, έως την εφαρμογή εξελιγμένων προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου

φωτισμού που παρέχουν ακριβώς το απαιτούμενο επίπεδο φωτός ως συνάρτηση του χρόνου κατά εκτιμώμενη ή πραγματική χρήση. Η πραγματική χρήση προσδιορίζεται είτε με τη χρήση τεχνολογίας αισθητήρων, όπως μετρητών τεχνολογίας ή μετεωρολογικών σταθμών διαπίστωσης της πραγματικής κατάστασης, είτε με χρήση χρονοδιακοπών όπως είναι για παράδειγμα ο αστρονομικός χρονοδιακόπτης. Ο προσαρμοστικός φωτισμός στις οδικές αρτηρίες αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- Καθορισμός του σεναρίου χρήσης για την περιοχή με την πάροδο του χρόνου και συνταίριασμα του με τη νομοθεσία.
- Σχεδιασμός της εγκατάστασης με γνώμονα τη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, δεδομένου του σεναρίου χρήσης και της νομοθεσίας της περιοχής, με βάση την τελευταία λέξη της τεχνολογίας εξοικονόμησης ενέργειας και της διαθέσιμης χρηματοδότησης.
- Επανακαθορισμός του σεναρίου χρήσης έτσι ώστε να επιτρέπει την πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας από την εξασθένιση ή τη διακοπή της λειτουργίας των φωτιστικών συστημάτων σε συγκεκριμένες περιόδους.
- Εφόσον η εξασθένιση του φωτός επιτρέπεται και είναι πρακτικά εφικτή, καθορισμός του τύπου εξασθένισης του φωτιστικού σώματος που απαιτείται με βάση τη χρήση και τις υπόλοιπες απαιτήσεις της περιοχής.

Ο προσαρμοστικός οδοφωτισμός αποτελείται ,λοιπόν, από κάποια πρακτικά βήματα τα οποία βασίζονται σε ορισμένες περίπλοκες αρχές και αναφορές. Όπως παρατηρούμε, η σωστή εφαρμογή του μέσω της δημιουργίας *Προτύπων* είναι απαραίτητη και έχει μια σημαντική επίδραση στην εφαρμογή τέτοιων νέων τεχνολογιών, καθώς τα *Πρότυπα* είναι Τεχνικές Εκθέσεις οι οποίες περιέχουν όλες τις αρχές και τις μελέτες πάνω στις οποίες στηρίζονται τα συστήματα προσαρμοστικού οδοφωτισμού.



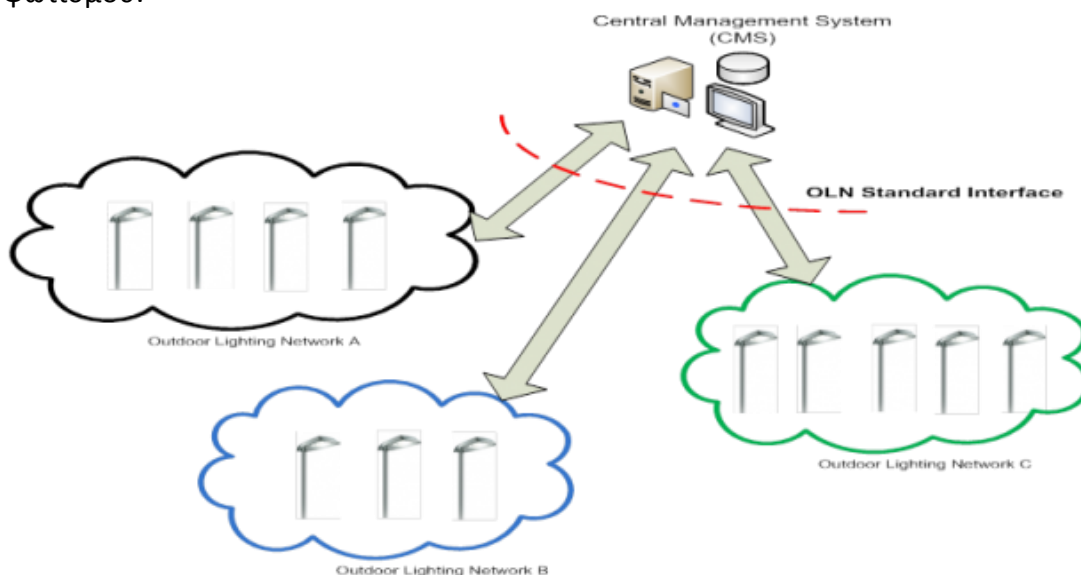
Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τις κατευθυντήριες γραμμές και την πολιτική η οποία είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί για τη σωστή αξιοποίηση της τεχνολογίας ευφυών συστημάτων οδικού φωτισμού διατυπώνοντας παράλληλα πρόταση για την εφαρμογή ενός νέου Προτύπου όσον αφορά τον προσαρμοστικό οδικό φωτισμό στην Ελλάδα.

Σήμερα, επικρατεί μία δικαιολογημένη σύγχυση ανάμεσα στις κυβερνήσεις των κρατών, σχετικά με το ποια *Πρότυπα* πρέπει να ισχύσουν για την ασφαλή εγκατάσταση και τη σωστή συντήρηση της νέας τεχνολογίας. Κάποια κράτη έχουν τις δικές τους απαρχαιωμένες «κατευθυντήριες γραμμές» όσον αφορά τον οδοφωτισμό, οι οποίες διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους. Επιπλέον, σε κάθε κράτος παρατηρείται το φαινόμενο, η τοπική αυτοδιοίκηση να αποφασίζει το αν θα ακολουθήσει τα

εκάστοτε *Πρότυπο* με την πλειονότητα των αποφάσεων να μην συνάδει με τις εθνικές κατευθυντήριες γραμμές. Η έκδοση του αναθεωρημένου οδηγού εφαρμογής προσαρμοστικού οδικού φωτισμού EN13201:2014 αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία θα στηριχθούν τα επόμενα χρόνια οι πολιτικές εφαρμογής προσαρμοστικού οδοφωτισμού στα κράτη – μέλη της Ε.Ε., δίνοντας λύση σε ένα χρόνιο πρόβλημα.

Μία άλλη διαφωνία που έχει δημιουργηθεί είναι η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί στον προσαρμοστικό φωτισμό. Κάποιοι τάσσονται υπέρ της καλωδιακής και κατά της ασύρματης, άλλοι θεωρούν λειτουργικότερη την ασύρματη ενώ δεν μπορεί να αποκλειστεί και ο συνδυασμός των 2 τεχνολογιών. Η χρήση ασύρματης τεχνολογίας στον φωτισμό των οδικών αρτηριών βέβαια, είναι ακόμα υπό έρευνα και έχει να αντιμετωπίσει πολλά προβλήματα όπως την εξασθένηση του σήματος από παρεμβολές βροχής, δέντρων ή κτηρίων κάτι που θα καθιστά επικίνδυνη τη χρήση του στον φωτισμό εξωτερικών χώρων.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί η κοινοπραξία μίας ομάδας μεγάλων εταιρειών, το TALQ consortium, η οποία έχει ως στόχο να προωθήσει την εφαρμογή των υπαίθριων συστημάτων δικτύου προσαρμοστικού φωτισμού μέσω της παράδοσης ενός πρωτοκόλλου λογισμικού για τη διασύνδεση των κεντρικών συστημάτων διαχείρισης με τα εξωτερικά δίκτυα φωτισμού και μέσω της διαχείρισης ενός προγράμματος προώθησης, πιστοποίησης και συμμόρφωσης. Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου λογισμικού θα είναι ανεξάρτητες από τις διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας που υπάρχουν σήμερα (π.χ. ασύρματη, ενσύρματη, κλπ) και θα είναι σε θέση να φιλοξενήσουν μελλοντικές βελτιώσεις των υπάρχουσών τεχνολογιών. Επιπλέον στόχος της κοινοπραξίας αυτής, είναι η θέσπιση ενός παγκοσμίως αποδεκτού *Προτύπου* που θα αφορά τη διασύνδεση του λογισμικού διαχείρισης για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ετερογενών δικτύων εξωτερικού φωτισμού, δημιουργώντας έτσι μία διαλειτουργικότητα μεταξύ των εξωτερικών δικτύων φωτισμού.



Εικόνα 1-2 Σύστημα Τηλεδιαχείρισης Οδοφωτισμού

Όπως γίνεται κατανοητό, ο καθορισμός και η έγκριση τέτοιων *Προτύπων* θα πρέπει να αποτελεί μια κοινή προσπάθεια μεταξύ της βιομηχανίας και του κράτους. Η μεν βιομηχανία οφείλει να εξελίξει την ασύρματη τεχνολογία και να βρει τρόπους

συνύπαρξης των 2 τεχνολογιών στον οδοφωτισμό, το δε κράτος να καθορίσει κάτω από ποιες συνθήκες θα επιλέγεται το επίπεδο φωτισμού ανά περιοχή.

Κεφάλαιο 2

Ευφυής οδικός φωτισμός σε χώρες της Ε.Ε.

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται η κατάσταση του φωτισμού των οδικών δικτύων 7 χωρών της Ε.Ε., καθώς και η ανάπτυξη της χρήσης προσαρμοστικού φωτισμού στα δίκτυα αυτά. Σε όλες τις χώρες παρατηρείται ένα «κενό» νομοθετικά όσον αφορά τα ευφυή δίκτυα φωτισμού αλλά συνάμα είναι έντονη η στροφή προς αυτά και όλα δείχνουν πως στο μέλλον, ο οδικός φωτισμός θα λειτουργεί εξ ολοκλήρου αυτοματοποιημένα.



Εικόνα 2-1 Προσαρμοστικός οδικός φωτισμός σε αυτοκινητόδρομο

2.1. Ολλανδία

Τα τελευταία χρόνια, η Ολλανδία έχει επικεντρωθεί στην εφαρμογή του προσαρμοστικού οδοφωτισμού στα οδικά δίκτυά της, καθώς το αρμόδιο υπουργείο το θεωρεί ως σημείο κλειδί στο πλάνο που έχουν σχεδιάσει για εξοικονόμηση ενέργειας.

Παρατίθενται στη συνέχεια κάποια βασικά στοιχεία σχετικά με τον φωτισμό των οδικών αρτηριών στη «χώρα της τουλίπας»:

Πίνακας 2-1 Στοιχεία Οδικού Φωτισμού στην Ολλανδία

Κάτοικοι	16,115,940
Εστίες φωτός	3,652,286
Κάτοικοι ανά εστία φωτός	4.4
Άνθρωποι που ταξιδεύουν κατά μέσο όρο	870,261
Εστίες φωτός ανά ταξιδιώτη	8.9
Εστίες φωτός ανά χλμ	26
Μέσος όρος ετήσιων ωρών λειτουργίας	4,100
Χρήση ανά κάτοικο	49 kWh/έτος

Όπως γίνεται κατανοητό από τον παραπάνω πίνακα, η Ολλανδία είναι μία εξαιρετικά καλά φωτισμένη χώρα, η οποία όμως σπαταλά μεγάλες ποσότητες ενέργειας γι αυτό το σκοπό.

Η ευθύνη για τη λειτουργία και τη συντήρηση του μεγαλύτερου μέρους του εξωτερικού φωτισμού υπάγεται στην Τοπική Αυτοδιοίκηση. Συνεπώς, το αρμόδιο υπουργείο δίνει έμφαση στην εκπαίδευση και τη μύηση των τοπικών αρχών στην τεχνολογία των ευφύων δικτύων φωτισμού και τα πρώτα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά με τις μεγαλύτερες πόλεις ήδη να χρησιμοποιούν προσαρμοστικό φωτισμό σε αρκετά μεγάλο μέρος τους. Επιπλέον, οι ολλανδικές αρχές προγραμματίζουν, το σύνολο των οδικών δικτύων στους αυτοκινητόδρομους να χρησιμοποιεί προσαρμοστικό φωτισμό και ήδη εργάζονται για τη δημιουργία ενός εθνικού *Προτύπου*, το οποίο κατά πάσα πιθανότητα θα ονομάζεται *Εγχειρίδιο Δυναμικού Εξωτερικού Φωτισμού στα Ολλανδικά Οδικά Δίκτυα*.

Έργα με χρήση προσαρμοστικού φωτισμού

Η Ολλανδία παρουσιάζει μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Έχει ήδη αποφασιστεί από τις ολλανδικές αρχές ότι ο οδοφωτισμός θα εφαρμόζεται πια μόνο υπό τη χρήση ευφύων αυτοματοποιημένων δικτύων. Σε αυτό το πλαίσιο, το 40% των οδικών δικτύων μίας εκ των μεγαλύτερων επαρχιών της χώρας φωτίζεται αυτοματοποιημένα, ενώ πολλοί δήμοι «τρέχουν» πιλοτικά προγράμματα adaptive lighting σε μικρότερη κλίμακα, αν και ορισμένοι από αυτούς αρχίζουν να τα εξελίσσουν και σε μεγαλύτερη κλίμακα από το αναμενόμενο. Επιπλέον, πολλές αρχές διερευνούν τις δυνατότητες για μείωση του αριθμού των εστιών φωτός, ειδικότερα σε δρόμους πολύ χαμηλής κίνησης, όμως η έλλειψη της κατάλληλης νομοθεσίας παρεμποδίζει αυτή τη διαδικασία. Τέλος η χρήση τεχνολογίας LED αναπτύσσεται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Η τεχνολογία LED γενικά αναφέρεται ως πολλά υποσχόμενη, αλλά συνάμα αρκετά πιο ακριβή σε σύγκριση με τη συμβατική τεχνολογία.



Εικόνα 2-2 Χώρος Στάθμευσης, Γκρόνιγκεν

Παραγωγοί και Ερευνητικά Κέντρα

Σήμερα υπάρχουν διάφοροι κατασκευαστές ευφύων συστημάτων φωτισμού στην Ολλανδία. Οι δύο μεγαλύτεροι από αυτούς, χρησιμοποιούν τα ίδια *Πρότυπα*, είτε

πρόκειται για επικοινωνίες ενσύρματες είτε για ασύρματες(RF). Αξίζει να αναφέρουμε πως ο μεγαλύτερος κατασκευαστής συστημάτων φωτισμού παγκοσμίως είναι μία ολλανδική εταιρεία και το γεγονός αυτό, δίνει τεράστια ώθηση στην ανάπτυξη δικτύων τελευταίας τεχνολογίας και στην πειραματική χρήση τους στην χώρα αυτή.

Δεν έχει γίνει προς το παρόν κάποια σημαντική προσπάθεια πάνω στην μελέτη και εξέλιξη του προσαρμοστικού φωτισμού από το μεγαλύτερο ολλανδικό ινστιτούτο ερευνών TNO. Σε γενικές γραμμές και τα πανεπιστήμια ακόμα, ψάχνουν τρόπους να λάβουν πρωτοβουλίες σχετικά με τα ευφυή δίκτυα ώστε να φανούν χρήσιμα είτε στη βιομηχανία κατασκευαστών είτε στο κράτος.

Οργανισμοί και Νομοθεσία

Όπως έχει αναφερθεί, προς το παρόν δεν υπάρχει ένα επίσημο *Πρότυπο* όσον αφορά τον προσαρμοστικό φωτισμό. Τη δημιουργία κάποιων κατευθυντήριων γραμμών που θα καθοδηγήσουν το κράτος και τη βιομηχανία, έχει αναλάβει ένας από τους σημαντικότερους οργανισμούς της χώρας στον τομέα αυτό, ο NSVV(Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde). Ο οργανισμός αυτός έχοντας αναπτύξει γνώσεις σχετικά με το θέμα μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, δημοσιεύει πολλά εξαιρετικά σημαντικά έγγραφα τα οποία μπορούν να βοηθήσουν την Τοπική Αυτοδιοίκηση να λάβει αποφάσεις σχετικά με τα ευφυή δίκτυα φωτισμού στις οδικές αρτηρίες. Παρόλα αυτά η δημιουργία ενός επίσημου *Προτύπου* είναι απαραίτητη.

2.2. Γερμανία

Στη Γερμανία, την ευθύνη για το φωτισμό των οδικών δικτύων την έχει η Τοπική Αυτοδιοίκηση, ενώ σε μικρότερους δήμους και κοινότητες, η δημόσια υπηρεσία έργων είναι υπεύθυνη για την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση του οδοφωτισμού. Σε πολλές περιπτώσεις, το προσωπικό των δήμων και των κοινοτήτων δε διαθέτει την κατάλληλη τεχνογνωσία σχετικά με τα συστήματα φωτισμού και αυτό καθιστά δυσκολότερη την εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού στα γερμανικά οδικά δίκτυα, καθώς η τεχνολογία των σύγχρονων συστημάτων ελέγχου και τηλεδιαχείρισης απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.

Ας παραθέσουμε κάποια στοιχεία σχετικά με την κατάσταση του οδοφωτισμού στη Γερμανία:

- Η μέση "πυκνότητα" των εγκατεστημένων φωτιστικών σωμάτων στη Γερμανία είναι περίπου 111 φωτιστικά σώματα ανά 1.000 κατοίκους. Με πληθυσμό περίπου 83,3 εκατομμύρια, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο συνολικός αριθμός των εγκατεστημένων φωτιστικών σωμάτων αγγίζει τα 9.5 εκατομμύρια.
- Είναι γεγονός ότι η εγκατεστημένη τεχνολογία του φωτισμού στη Γερμανία είναι ως επί το πλείστον απαρχαιωμένη. Το μερίδιο των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι περίπου 38 τοις εκατό.
- Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για το φωτισμό των οδικών δικτύων στη Γερμανία είναι περίπου 4 εκατομμύρια MWh ετησίως. Λαμβάνοντας υπόψη τις πρόσθετες δαπάνες για τη συντήρηση και την

ανακαίνιση, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μέσο κόστος λειτουργίας ανά φωτιστικό σώμα κυμαίνεται από 83-90 €.

- Υπολογίζεται ότι με τη χρήση προσαρμοστικού φωτισμού, συστημάτων ελέγχου και τηλεδιαχείρισης και χρήσης τεχνολογίας LED, θα εξοικονομηθεί περίπου το 50% της κατανάλωσης ενέργειας.



Εικόνα 2-3 Ευφυές δίκτυο οδικού φωτισμού, Γερμανία

Ευφυή Δίκτυα Φωτισμού στην Γερμανία

Τα έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στη Γερμανία με εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού και ευφυών δικτύων, έχουν πιλοτικό χαρακτήρα και προς το παρόν δεν έχει γίνει εγκατάσταση αυτής της τεχνολογίας σε ευρεία κλίμακα. Αυτό στο μέλλον πρόκειται να αλλάξει καθώς η Γερμανία θέλοντας να ανταποκριθεί στον ηγετικό της ρόλο στην διεθνή προστασία του κλίματος αλλά και αποσκοπώντας σε οικονομικά οφέλη, έχει ως στόχο τη μείωση κατά 40% της κατανάλωσης ενέργειας.

Στουτγάρδη

Στην πόλη της Στουτγάρδης, υπήρξε μια εγκατάσταση συστήματος τηλεδιαχείρισης φωτισμού του δρόμου σε μια νέα οικιστική ζώνη με 130 φωτιστικά σώματα. Συγκεντρώθηκαν διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας(ενσύρματα και ραδιοεπικοινωνίας) με σκοπό τη σύνταξη μιας τεχνοοικονομικής σύγκρισης.

Στην εγκατάσταση αυτή εφαρμόστηκαν τα ακόλουθα:

- Δυνατότητα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης ή εξασθένησης του φωτός του κάθε φωτιστικού σώματος
- Εγκατάσταση ηλεκτρονικών πηνίων σε κάθε φωτιστικό σώμα
- Μόνιμη παρακολούθηση των δυσλειτουργιών
- Μόνιμη τηλεδιαχείριση μέσω διαδικτύου
- Οπτική παρακολούθηση μέσω καμερών

Στα πλαίσια του έργου στην πόλη της Στουτγάρδης, αποδείχθηκε η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της χρήσης προσαρμοστικού οδοφωτισμού σε μια

συνοικία και επιπλέον αποκτήθηκε εμπειρία σχετικά με τα διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε μια τέτοια εγκατάσταση.

Χρήση τεχνολογίας LED στη Γερμανία

Η τεχνολογία LED έχει τεράστιες δυνατότητες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον οδοφωτισμό. Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε μεγάλη πρόοδος σε αυτόν τον τομέα. Παρόλα αυτά, το κόστος της επένδυσης της τεχνολογίας LED είναι υψηλό, ακόμη και αν υπάρχουν σημαντικές μειώσεις στο κόστος συντήρησης και ενέργειας κατά την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. Σε συνδυασμό με τα ευφυή δίκτυα συστημάτων ελέγχου, η τεχνολογία LED δείχνει την ισχύ της διότι η εξασθένιση των φωτιστικών μπορεί να προκύψει πολύ πιο δύσκολα σε σύγκριση με τη συμβατική τεχνολογία.

Οι εγκαταστάσεις με LED στη Γερμανία αναμένεται μέχρι το 2018 να αποτελούν το 27% του συνόλου των εγκαταστάσεων οδικού φωτισμού και οι αρμόδιες αρχές έχουν στόχο το ποσοστό αυτό να «αγγίξει» το 80% το 2020. Ας μην ξεχνάμε άλλωστε πως στη Γερμανία δραστηριοποιούνται περισσότερες από 40 εταιρείες κατασκευής ημιαγωγών LED.



Εικόνα 2-4 Αμβούργο, οδοφωτισμός με LED

Όσον αφορά την υπάρχουσα νομοθεσία για τον προσαρμοστικό οδικό φωτισμό στη Γερμανία, τα πράγματα είναι αρκετά μπερδεμένα. Κάθε κρατίδιο, ακολουθεί τη δική του ενεργειακή πολιτική, συνεπώς κάποια χρησιμοποιούν τον EN 13201 ενώ άλλα τον προσαρμόζουν σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Παράλληλα, ως μία χώρα υπέρμαχος της κλιματικής αλλαγής, ακολουθεί τα *Πρότυπα* EN 15900 και EN 16001 σε όλα τα νέα ενεργειακά συστήματα που εγκαθίστανται. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό το πόσο απαραίτητη είναι η δημιουργία Ενιαίου *Προτύπου* για τον οδικό φωτισμό, το οποίο θα ακολουθείται από όλα τα κρατίδια και θα περιέχει όλες τις παραμέτρους για τη χρήση νέων τεχνολογιών.

2.3. Ηνωμένο Βασίλειο & Ιρλανδία

Ο εξωτερικός φωτισμός στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Ο νυχτερινός ουρανός πάνω από την Αγγλία είναι πιο φωτεινός από οποιαδήποτε άλλη ευρωπαϊκή χώρα με εξαίρεση ίσως τις Κάτω Χώρες. Παράλληλα, έντονο είναι το φαινόμενο της φωτορύπανσης το οποίο έχει σημαντικές, περιβαλλοντικές κυρίως, επιπτώσεις.

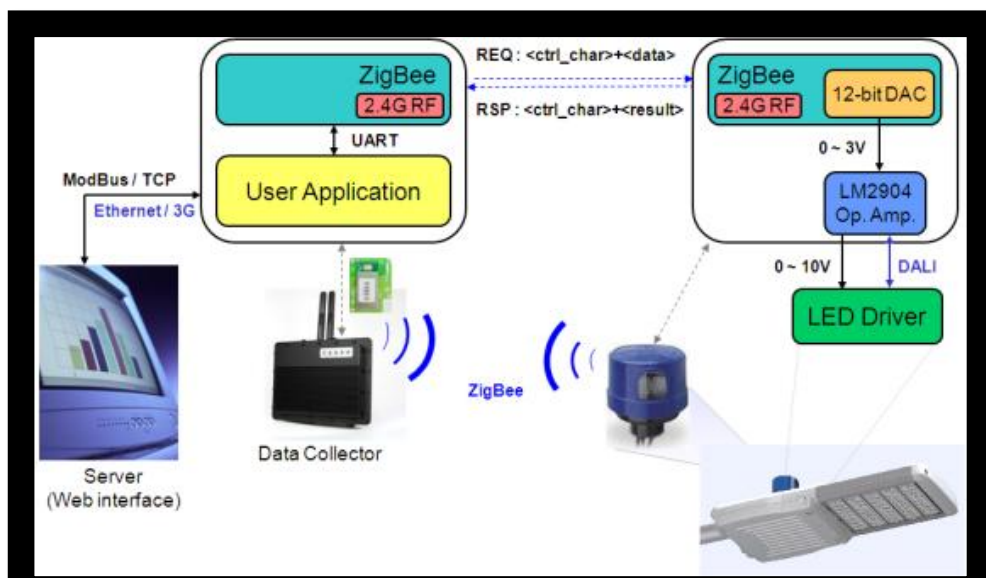
Σήμερα, περίπου το 90% του Ηνωμένου Βασιλείου φωτίζεται με λαμπτήρες νατρίου, οι οποίοι υπερβαίνουν κατά πολύ την απαίτηση της κυβέρνησης για μέτρο φωτισμού της τάξης των 100 lm/W.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, καθώς και το γεγονός ότι υπάρχει η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας, Κυβέρνηση και Τοπική Αυτοδιοίκηση οφείλουν να προωθήσουν τη χρήση νέων τεχνολογιών στον οδοφωτισμό, όπως για παράδειγμα τη χρήση φωτιστικών τεχνολογίας LED, τη χρήση λευκού φωτός ή τη χρήση ηλεκτρονικών εργαλείων ελέγχου αντί των παλαιών μαγνητικών κάτι που θα εξοικονομούσε άμεσα το 10% της κατανάλωσης ενέργειας. Αναλυτικότερα:

Χρήση Λευκού Φωτός: Το Η.Β. υπήρξε η πρώτη χώρα στον κόσμο που αναγνώρισε ότι το λευκό φως παρέχει καλύτερες συνθήκες οπτικής επαφής για τους αυτοκινητιστές, ενώ παράλληλα βελτιώνει την ορατότητα σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού. Το 2003 οι αρμόδιοι φορείς μετέβαλαν του εθνικούς κανονισμούς οδοφωτισμού, έτσι ώστε να επιτραπεί μία πτώση του επιπέδου φωτισμού μίας τάξης φωτισμού, εάν χρησιμοποιούνται λευκά φώτα σε κατοικημένη περιοχή. Περαιτέρω έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι αυτό θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας και σχεδιάζεται να συμπεριληφθεί αυτή η αλλαγή στην επόμενη ενημέρωση του BS.

LEDs: Τα LEDs έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, προσφέρουν εξαιρετικό έλεγχο φωτισμού και είναι όλο και πιο ενεργειακά αποδοτικές. Μονάδες LED ικανές να φωτίζουν δρόμους εντός αστικής ζώνης στο σωστό επίπεδο, ήταν διαθέσιμες εδώ και πολλά χρόνια και πρόσφατα μεγαλύτερες μονάδες LED, ικανές να φωτίζουν ακόμα και αυτοκινητόδρομους, ήρθαν στην αγορά με σκοπό την καθιέρωσή τους.

Συστήματα Κεντρικής Διαχείρισης(CMS): τα συστήματα CMS έχουν τη δυνατότητα να επιτρέπουν τον έλεγχο κάθε φωτιστικού σώματος, έχοντας ελάχιστο κόστος. Το σύστημα αυτό, όχι μόνο εξοικονομεί χρήματα μέσω της μείωσης της έντασης του φωτισμού, αλλά και εξασφαλίζει ότι το σύστημα φωτισμού θα λειτουργεί πάντα στη μέγιστη απόδοση. Τέλος, μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τη συντήρηση ενός φωτιστικού σώματος έτσι ώστε να προβλέπεται η αντικατάστασή του προτού εξασθενίσει ολοκληρωτικά, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται κίνδυνοι ατυχημάτων και να συντηρείται έτσι η δημόσια ασφάλεια κατά τις νυχτερινές ώρες.



Εικόνα 2-5 Σύστημα CMS

Παράλληλα με τα παραπάνω, το Ινστιτούτο Επαγγελματιών Φωτισμού (ILP) στο Ηνωμένο Βασίλειο, κατέθεσε τις ακόλουθες προτάσεις για την καλύτερη αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών στον οδοφωτισμό, οι οποίες και πιθανότατα θα συμπεριληφθούν στις εθνικές οδηγίες:

- Οι αρχές οφείλουν να εξασθενούν τον φωτισμό των οδικών αρτηριών με χρήση συστημάτων CMS ή προκαθορισμένου ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητο:
 - Σε διαδρομές ταχείας κυκλοφορίας θα παρέχεται ο σωστός φωτισμός σε πλήρη εξάρτηση με την ροή της κίνησης. Όταν για παράδειγμα η ροή στην οδό είναι χαμηλή, τα επίπεδα φωτισμού οφείλουν να εξασθενούν
 - Σε κατοικημένες περιοχές, μετά από διαβουλεύσεις με τους κατοίκους και τις τοπικές αρχές, θα υπάρξει εξασθένιση του φωτισμού κατά 50% από τις 8:00 πμ και θα εξεταστεί η περαιτέρω εξασθένιση κατά 30% αν είναι δυνατόν από τα μεσάνυχτα έως τις 5:00 πμ. Για την εξασφάλιση της ασφάλειας των κατοίκων παρόλη την εξασθένιση του οδοφωτισμού, θα εξεταστεί η χρήση τοπικών ανιχνευτών παρουσίας οι οποίοι θα αυξάνουν τα επίπεδα φωτισμού, με το που ανιληφθούν παρουσία πεζών ή οχημάτων.
- Είναι απαραίτητη η διατήρηση της ομοιομορφίας του φωτισμού σε οδικές αρτηρίες εντός και εκτός αστικής ζώνης και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπάρξει απενεργοποίηση των φωτιστικών σωμάτων για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα της μέρας.
- Μία απενεργοποίηση των συστημάτων φωτισμού θα μπορούσε να συζητηθεί μόνο για απομονωμένες, αραιοκατοικημένες περιοχές και μετά από διαβουλεύσεις με όλες τις ενδιαφερόμενες πλευρές (κατοίκους, τοπικές αρχές).

2.4. Φινλανδία

Ο οργανισμός ELY centres είναι υπεύθυνος για τον προγραμματισμό, τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη συντήρηση του φωτισμού στους αυτοκινητόδρομους. Ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων που ανήκει στους οργανισμούς αυτούς αγγίζει τα 230.000, ενώ η συνολική κατανάλωση ενέργειας είναι 150 GWh.

Η Τοπική Αυτοδιοίκηση κατέχει το μεγαλύτερο μέρος των εγκαταστάσεων φωτισμού εντός αστικής ζώνης. Στη Φινλανδία υπάρχουν 336 δήμοι οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για 1.100.000 φωτιστικές μονάδες και η συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται ότι είναι 650 GWh.

Στη Φινλανδία αντιστοιχούν 4,2 κάτοικοι ανά φωτιστικό σώμα. Η χαμηλή αυτή τιμή μπορεί να εξηγηθεί από τη χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού στη χώρα η οποία είναι περίπου 16 κάτοικοι/km².

Ευφυής οδικός φωτισμός στην Φινλανδία

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών, στη Φινλανδία, υπάρχουν αρκετά τμήματα αυτοκινητόδρομων όπου έχουν εγκατασταθεί ευφυή συστήματα ελέγχου φωτισμού. Ο κύριος σκοπός των συστημάτων αυτών είναι να εξοικονομεί ενέργεια και να μειώνει το κόστος συντήρησης του φωτισμού των οδικών αρτηριών, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά ούτε την ασφάλεια της οδήγησης ούτε την ποιότητα του φωτισμού. Από την άποψη ενός μηχανικού, αυτό σημαίνει την παροχή των βέλτιστων επιπέδων φωτεινότητας σε συνάρτηση με την πραγματική ανάγκη για φωτισμό. Μερικά παραδείγματα έργων με χρήση ευφυών συστημάτων ελέγχου οδοφωτισμού στους αυτοκινητόδρομους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2-2 Τμήματα Οδικών δικτύων όπου έγινε χρήση προσαρμοστικού οδοφωτισμού

Τμήμα	Μήκος
Kolmperä-Lohjanharju	17km
Muurla-Lohja	20km
Ring Road III	5km
Vuosaari Harbour Road	3km
Västersundom-Harabacka	31km

Σε όλα τα παραπάνω τμήματα των αυτοκινητόδρομων, το σύστημα συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τη ροή της κυκλοφορίας, τον καιρό και τη φωτεινότητα και καθορίζει τα επίπεδα φωτισμού βασισμένο σε αυτές. Η βασική ιδέα των συστημάτων ελέγχου είναι η ίδια, αλλά η τεχνολογία, το λογισμικό και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται διαφέρει ανάλογα με το τμήμα του οδικού δικτύου.

Η φινλανδική υπηρεσία Μεταφορών και ο οργανισμός ELY έχουν ορίσει μία πολιτική κατά την οποία όλες οι νέες εγκαταστάσεις φωτισμού σε οδικά δίκτυα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να εξασθενούν το φωτισμό όποτε κρίνεται απαραίτητο. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μονάδων ελέγχου σε κάθε νέο σύστημα.

Επιπλέον, κάποιες από τις μεγαλύτερες πόλεις της Φινλανδίας έχουν αρχίσει να αναβαθμίζουν και να εκσυγχρονίζουν τα συστήματα ελέγχου του φωτισμού τους. Για παράδειγμα, οι πόλεις του Tampere και του Jyväskylä έχουν βελτιστοποιήσει τον φωτισμό στις οδικές αρτηρίες τους μέσω της χρήσης του συστήματος ελέγχου C2 Smartlight. Ακόμα και μικρότερες κοινότητες της φινλανδικής επαρχίας, άρχισαν σιγά - σιγά να γνωρίζουν τις δυνατότητες των υπαίθριων συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η εφαρμογή των συστημάτων αυτών στον

φωτισμό των οδών επαρχιακών πόλεων και κοινοτήτων είναι η έλλειψη γνώσεων και εμπειρίας από πιλοτικά προγράμματα, καθώς και η έλλειψη οικονομικών πόρων.



Εικόνα 2-6 οδικός φωτισμός στην πόλη Jyväskylä, Φινλανδία

Τεχνολογία LED στην Φινλανδία

Οι εγκαταστάσεις φωτισμού με LED στη Φινλανδία είναι ως επί το πλείστον εγκαταστάσεις δοκιμών και συνήθως αποτελούνται από μικρές ποσότητες φωτιστικών σωμάτων (από 1 έως 30). Εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 100 εγκαταστάσεις υπαίθριες πιλοτικές εγκαταστάσεις με LED και συνολικά 1000 λαμπτήρες αυτής της τεχνολογίας.

Οι εμπειρίες παλαιότερων ετών από τις πρώτες εγκαταστάσεις LED στην Φινλανδία άφησαν κυρίως αρνητικές εντυπώσεις. Ωστόσο, κατά τα τελευταία 2 χρόνια, έχει υπάρξει σημαντική βελτίωση στην οπτική των φωτιστικών συστημάτων με LED, στην αύξηση της διάρκειας ζωής τους, στο σχεδιασμό και την κατασκευή τους που γίνεται ολοένα και φθηνότερη. Επίσης, αρχίζει σιγά – σιγά και αποκτάται τεχνογνωσία, όχι μόνο από τους κατασκευαστές, αλλά και από του αρμόδιους κρατικούς φορείς, σχετικά με την τεχνολογία αυτή αλλά παρόλα αυτά το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας στον οδοφωτισμό παραμένουν τα υψηλά κόστη.

2.5. Νορβηγία

Το 1996 εγκαταστάθηκε το πρώτο δοκιμαστικό δίκτυο προσαρμοστικού φωτισμού στην Νορβηγία, με χρήση ενός ευφυούς συστήματος ελέγχου.

Ένα από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή τη δοκιμή, ήταν η ανάγκη για αλλαγές στα εθνικά Πρότυπα, τα οποία από δω και στο εξής έπρεπε να επιτρέπουν την αλλαγή των επιπέδων φωτεινότητας στα οδικά δίκτυα σε συνάρτηση με παραμέτρους όπως η κυκλοφοριακή πυκνότητα ή οι καιρικές συνθήκες σε ένα δρόμο.

Τα κατάλληλα μέσα επίπεδα για τον οδοφωτισμό μπορούν να επιλεγούν μετά από διάφορες διαδικασίες που περιγράφονται σε πρότυπα όπως το BS 5489 ή τα EN 13201 1-4. Προσωρινές αλλαγές στις παραμέτρους οι οποίες λαμβάνονται υπ' όψιν

κατά την επιλογή των επιπέδων φωτισμού επιτρέπουν την προσαρμογή, δηλαδή μία ελεγχόμενη μείωση της φωτεινότητας. Η χρήση προσαρμοστικού φωτισμού στα οδικά δίκτυα μπορεί να παρέχει σημαντικές μειώσεις στην κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με την παλαιότερη τεχνολογία και μπορεί να αυξήσει την ενεργειακή αποδοτικότητα του οδικού φωτισμού.



Εικόνα 2-7 Αυτοκινητόδρομος, Νορβηγία

Οι απαιτήσεις του φωτισμού, όπως έχουν καθοριστεί για τις διάφορες περιοχές οδικής κυκλοφορίας στο σημερινό ευρωπαϊκό *Πρότυπο* οδοφωτισμού παρουσιάζουν κάποιες αντιφάσεις, οι οποίες περιορίζουν την εξάπλωση της χρήσης προσαρμοστικού φωτισμού στα οδικά δίκτυα. Είναι απαραίτητη λοιπόν, η τροποποίηση στη διαδικασία επιλογής των κατάλληλων επιπέδων φωτισμού καθώς και στις συναφείς απαιτήσεις ποιότητας που περιέχονται στους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Η παραπάνω διαπίστωση οδήγησε τη Νορβηγία και άλλες σκανδιναβικές χώρες να συμμετέχουν ενεργά στη CIE και στο CEN αποσκοπώντας στην τροποποίηση των παλαιών *Προτύπων* ή ακόμα και στη δημιουργία νέων, τα οποία θα επιτρέπουν στις κυβερνήσεις να χρησιμοποιούν τις δυνατότητες του προσαρμοστικού οδοφωτισμού για εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και για τη μείωση της εκπομπής ρύπων CO₂.

Σήμερα στη Νορβηγία έχουν εγκατασταθεί περίπου 25.000 φωτιστικά σώματα με ευφυή συστήματα ελέγχου.

Η πόλη του Όσλο έχει εγκαταστήσει περί τα 9.000 φωτιστικά σώματα με χρήση νέων τεχνολογιών και ηγείται μεταξύ των άλλων πόλεων στην ανάθεση και εκτέλεση πιλοτικών σχεδίων προσαρμοστικού φωτισμού. Τα αποτελέσματα αυτών των πιλοτικών προγραμμάτων έχουν αποδείξει τη χρησιμότητα της διασύνδεσης δυναμικών δικτύων οδικού φωτισμού στην σταδιακή μετατροπή της πόλης σε Smart City.

Λόγω της προσωρινής έλλειψης της κατάλληλης νομοθεσίας, οι τοπικές αρχές του Όσλο σε συνεργασία με τη Νορβηγική Διεύθυνση Δημοσίων Οδών συνέταξαν κάποια άρθρα με τις απαραίτητες παραμέτρους έτσι ώστε οι νέες εγκαταστάσεις φωτισμού οδικών δικτύων να είναι εφοδιασμένες με ευφυή συστήματα ελέγχου. Περιείχαν επίσης οδηγίες σχετικά με τη χρήση ανοικτών πρωτοκόλλων με καθορισμένες

διεπαφές για την επικοινωνία μεταξύ των οδηγών και τα τμήματα ελέγχου ή μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων και των συστημάτων ελέγχου.



Εικόνα 2-9 Χρήση ηλιακής ενέργειας στον οδοφωτισμό, Νορβηγία

2.6. Πολωνία

Το 2007, εγκαταστάθηκαν στις πόλεις Ροζναή και Kalisz τα πρώτα 'ευφυή' συστήματα οδικού φωτισμού, εγκαινιάζοντας έτσι μία νέα εποχή τηλεδιαχείρισης του φωτισμού στην Πολωνία.

Τα οφέλη των προγραμμάτων αυτών ήταν οικονομικά και οικολογικά, καθώς οδήγησαν στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, σε περίπτωση μικρότερης κυκλοφοριακής ροής οχημάτων από τα προβλεπόμενα επίπεδα, υπήρχε η δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινότητας έτσι ώστε να επιτευχθεί πρόσθετη εξοικονόμηση. Παράλληλα βελτιώθηκε η ασφάλεια της κυκλοφορίας με αποτέλεσμα τη μείωση των ατυχημάτων στους δρόμους.

Μετά την αποδεδειγμένη επιτυχία των εγκαταστάσεων τηλεδιαχείρισης σε Ροζναή και Kalisz, οι αρχές εγκατέστησαν το μεγαλύτερο σύστημα τηλεδιαχείρισης στην Ευρώπη στη διασταύρωση ενός από τους μεγαλύτερους αυτοκινητόδρομους της Πολωνίας, αισιοδοξώντας για ανάλογα αποτελέσματα.

Τεχνολογία LED στην Πολωνία

Είναι σε ισχύ εδώ και λίγα χρόνια οι πρώτες πολύ μικρές εγκαταστάσεις LED στην Πολωνία. Το συμπέρασμα για τον ήδη εγκατεστημένο φωτισμό LED στα οδικά δίκτυα, βασισμένο σε απόψεις τελικών χρηστών αλλά και σε ορισμένα επιστημονικά πειράματα που παρουσιάζονται σε συνέδρια, είναι ότι οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις ποικίλουν σε ποιότητα και θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως τα πρώτα πιλοτικά προγράμματα για την περαιτέρω αξιολόγηση της τεχνολογίας αυτής. Επιπλέον, κάποιες από τις εγκαταστάσεις είναι εξοπλισμένες με φωτοβολταϊκά πάνελ και μικρές ανεμογεννήτριες, εξοικονομώντας ενέργεια σε μεγαλύτερο ποσοστό και μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων CO₂. Παρόλα αυτά, κοιτάζοντας από την οικονομική σκοπιά, τέτοιες εγκαταστάσεις δεν μπορούν προς το παρόν να ανταγωνιστούν εγκαταστάσεις με HPS ή CPO φωτιστικά σώματα.



Εικόνα 2-10 Φωτισμός LED σε διάβαση πεζών, Πολωνία

Τέλος πρέπει να τονιστεί ο σημαντικός ρόλος της ακριβής νομοθεσίας πάνω στην οποία στηρίζεται η εύρυθμη λειτουργία του φωτισμού των οδικών δικτύων. Η έλλειψη της κατάλληλης νομοθεσίας σχετικά με τη χρήση προσαρμοστικού οδοφωτισμού αποτελεί την κύρια αιτία των καθυστερήσεων ή ακόμη και της εγκατάλειψης των επενδύσεων στον εκμοντερνισμό του φωτισμού των οδικών αρτηριών εντός και εκτός αστικής ζώνης στην Πολωνία. Είναι σαφές ότι η βελτίωση της υφιστάμενης νομοθεσίας μέσω της δημιουργίας νέων *Προτύπων* θα επιταχύνει την ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα με πολλαπλά οικονομικά και οικολογικά οφέλη για την χώρα.

2.7. Βουλγαρία

Στη γειτονική χώρα, έχει υπάρξει σημαντική ανάπτυξη στη χρήση προσαρμοστικού φωτισμού στις οδικές αρτηρίες τα τελευταία χρόνια.

Στις μεγαλύτερες πόλεις, χρησιμοποιούνται τελευταίας τεχνολογίας συστήματα ελέγχου οδικού φωτισμού μέσω ραδιοσυχνοτήτων, με βάση ένα φωτοκύτταρο το οποίο εκπέμπει ραδιοσήματα για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση, από τις υπαίθριες εξόδους φωτισμού στους σταθμούς μετασχηματιστών και ηλεκτρικών πινάκων διανομής φωτισμού. Επιπλέον, σε αρκετές περιοχές εκτός αστικής ζώνης, έχουν κατασκευαστεί υπαίθρια συστήματα ελέγχου φωτισμού, τα οποία μειώνουν το εκπεμπόμενο φως κατά το δεύτερο μισό της νύχτα, με αποτέλεσμα την μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Πολλές ιδιωτικές εταιρείες, οι οποίες δραστηριοποιούνται τα τελευταία χρόνια στη βουλγαρική αγορά ενέργειας, άρχισαν τα τελευταία χρόνια να προσφέρουν 'ευφυή' υπαίθρια συστήματα φωτισμού. Αυτά περιλαμβάνουν τις ηλεκτρονικές μονάδες που είναι τοποθετημένες στα φωτιστικά σώματα και στους υπαίθριους πίνακες φωτισμού. Έχουν τη δυνατότητα να διαβιβάζουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των φωτιστικών στο κέντρο ελέγχου μέσω του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ή μέσω GPRS. Τέλος επιτρέπουν τη μετάδοση των σημάτων ελέγχου διαβάθμισης του εκπεμπόμενου φωτός προς τις ομάδες των φωτιστικών.

Οι εγκαταστάσεις προσαρμοστικού φωτισμού στη Βουλγαρία αναλυτικά είναι οι εξής:

- Ο οδικός φωτισμός στο δήμο Smolyan ανακατασκευάστηκε το 2009 με την ενσωμάτωση ενός 'ευφυούς' τεχνολογικά συστήματος ελέγχου. Η ενεργοποίηση και η απενεργοποίηση των φωτιστικών πραγματοποιείται μέσω των σημάτων του ηλεκτρικού ελεγκτή με ενσωματωμένο αστρονομικό ημερολόγιο με τις χρονικές στιγμές της ανατολής και της δύσης του ηλίου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, 644 φωτιστικά σώματα κατά μήκος της κεντρικής λεωφόρου της πόλης διαβαθμίζονται μέσω GPRS έτσι ώστε να εκπέμπουν το ήμισυ της συνήθους ποσότητας φωτός κατά το υπόλοιπο της νύχτας μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας κατά 40%. Ακόμα, λόγω της ύπαρξης του 'ευφυούς' συστήματος ελέγχου, υπάρχει η δυνατότητα όλες οι παράμετροι φωτισμού να παρακολουθούνται ανά πάσα ώρα και στιγμή. Μετά την ανακατασκευή του οδικού φωτισμού, ο λογαριασμός ηλεκτρικού ρεύματος της πόλης μειώθηκε κατά 30% παρόλες τις αυξήσεις στα τιμολόγια, συνεπώς η χρήση προσαρμοστικού φωτισμού στην πόλη Smolyan βελτίωσε κατά πολύ τα οικονομικά του δήμου.



Εικόνα 2-11 Οδικός φωτισμός μέσω ραδιοκυμάτων στην πόλη Vratsa, Βουλγαρία

- Στην πόλη της Vratsa ο έλεγχος του φωτισμού στην κεντρική λεωφόρο γίνεται μέσω ραδιοκυμάτων. Το σύστημα επιτρέπει τη μετάδοση σημάτων για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση, την εξασθένιση έως 50%, αλλά το κέντρο αποστολής δεν λαμβάνει πίσω τις πληροφορίες από τα φωτιστικά και ηλεκτρικές πίνακες διανομής.
- Στους δήμους Belene, Byala καθώς και τις πόλεις Veliko Tarnovo και Stara Zagora έχουν υλοποιηθεί εξωτερικά συστήματα ελέγχου φωτισμού, με βάση έναν ελεγκτή GPRS με ενσωματωμένο αστρονομικό ημερολόγιο για τις χρονικές στιγμές της ανατολής και της δύσης του ηλίου, με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα για κάθε ημέρα του έτους. Τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης του συστήματος περιλαμβάνουν:

 - Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τον φωτισμό των οδών.
 - Ευέλικτο έλεγχο και διαχείριση του εξωτερικού συστήματος φωτισμού.
 - Αυξημένη αποτελεσματικότητα της τεχνικής συντήρησης.

- Το 2010 ο δήμος του Sungurlare ανακατασκεύασε τις εγκαταστάσεις οδοφωτισμού. Περίπου 1000 ξεπερασμένα φωτιστικά σώματα υδραργύρου και λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης αντικαταστάθηκαν από 2700 φωτιστικά LED των 40 W. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησε η ουγγρική εταιρεία Ecolight, ο δήμος αυτός ήταν ο πρώτος δήμος της Ε.Ε. στον οποίο όλοι οι οικισμοί φωτίζονταν με LED.

Νομοθεσία: Οι αρχές της Βουλγαρίας, συνειδητοποιώντας τα πολλαπλά οφέλη της χρήσης του προσαρμοστικού φωτισμού σχεδιάζουν τη θέσπιση κανόνων σε ένα *Πρότυπο* για την καλύτερη αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής. Σχεδιάζεται λοιπόν, η αναθεώρηση του σημερινού *Προτύπου* οδοφωτισμού μέσω της προσθήκης νέων απαιτήσεων για τα συστήματα ελέγχου, π.χ. κάθε νέα ή ανακατασκευασμένη εξωτερική εγκατάσταση φωτισμού στο μέλλον πρέπει να σχεδιάζεται με βάση την προσαρμογή του φωτισμού μέσω ενός 'ευφυούς' συστήματος ελέγχου, το οποίο θα επιτρέπει διαβαθμίσεις στο εκπεμπόμενο φως. Τέλος, είναι απαραίτητες νέες τροποποιήσεις του βουλγαρικού νόμου σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και η προσθήκη νέων κανονισμών, προκειμένου να συμπεριληφθεί ο οδικός φωτισμός στην ομάδα των τεχνικών συστημάτων με ελεγχόμενη ενεργειακή απόδοση, πράγμα που θα τονώσει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον φωτισμό των οδικών αρτηριών.

Κεφάλαιο 3 Κατηγοριοποίηση Οδικού Φωτισμού

3.1. Βασικοί Στόχοι Οδικού Φωτισμού

Σύμφωνα με τον CIE, υπάρχουν 3 βασικοί στόχοι του οδοφωτισμού:

- Να παρέχει άριστες συνθήκες ορατότητας κατά τις νυχτερινές ώρες, έτσι ώστε όλοι οι χρήστες του οδικού δικτύου να αναγνωρίζουν τους άλλους χρήστες της οδού, να παρατηρούν έγκαιρα τη σηματοδότηση και να βλέπουν τους κινδύνους.
- Να φωτίζει επαρκώς κατά τη διάρκεια της μέρας, υπόγειες διαβάσεις και σήραγγες έτσι ώστε επιτρέπει σε οδηγούς που εισέρχονται σε τέτοιες οδικές δομές την επιτυχή και ασφαλή μετάβασή τους από το τεχνητό φως στο φως της ημέρας και τούμπαλιν.
- Να βελτιώνει την άποψη του περιβάλλοντος κατά τις νυχτερινές ώρες, π.χ. για την αύξηση της αναγνωσιμότητας μιας αστικής περιοχής.

Οι σχετικές απαιτήσεις φωτισμού έχουν να κάνουν με τα κριτήρια ποιότητας της φωτεινότητας και / ή το επίπεδο φωτισμού, τη διαφορετική ομοιομορφία ανά περιοχή, τον περιορισμό της αντανάκλασης, τη μοντελοποίηση, καθώς και με την εμφάνιση και απόδοση των χρωμάτων. Εκτός από αυτά τα φωτομετρικά κριτήρια, σε όλα τα *Πρότυπα Οδικού Φωτισμού* δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο κόστος της απόκτησης, εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας - συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης ενέργειας - του συστήματος φωτισμού.

3.2. Νομοθεσία Οδικού Φωτισμού στην Ελλάδα

Στη χώρα μας ισχύει το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13201/2004 από τον Ιανουάριο του 2005, το οποίο αποτελείται από 4 μέρη:

- Το ΕΛΟΤ CEN/TR 13201.01:2005: Επιλογή Κατηγοριών Φωτισμού
- Το ΕΛΟΤ EN 13201.02/2004: Απαιτήσεις Επιδόσεων
- Το ΕΛΟΤ EN 13201.03/2004: Υπολογισμός Επιδόσεων
- Το ΕΛΟΤ EN 13201.04/2004: Μέθοδοι Μέτρησης Επιδόσεων Φωτισμού

Το πρώτο μέρος αποτελεί ένα σύνολο οδηγιών, δηλαδή δεν είναι υποχρεωτικό, ενώ τα υπόλοιπα 3 μέρη είναι υποχρεωτικά. Με υπουργική απόφαση έχει οριστεί ότι οι κανόνες, τα στοιχεία, τα μεγέθη και οι προδιαγραφές υλικών για τη σύνταξη μελετών και την εκτέλεση έργων οδικού φωτισμού θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τα *Πρότυπα* ΕΛΟΤ.

Στο πρώτο μέρος, ορίζονται οι κατηγορίες φωτισμού ενός δρόμου ή μιας περιοχής καθώς και η μεθοδολογία για την επιλογή των καταστάσεων φωτισμού ανά δρόμο ή περιοχή.

Στο δεύτερο μέρος έχοντας επιλέξει την κατηγορία φωτισμού του δρόμου ή της περιοχής, επιλέγονται από πίνακες τα φωτοτεχνικά δεδομένα που πρέπει να εφαρμοστούν στην μελετώμενη περιοχή.

Παρατηρείται και στη χώρα μας η έλλειψη ενός ενιαίου Προτύπου για τον προσαρμοστικό οδοφωτισμό, πράγμα που εξηγεί σε μεγάλο βαθμό την μη πραγματοποίηση πιλοτικών προγραμμάτων adaptive street lighting. Είναι απαραίτητες λοιπόν, οι τροποποιήσεις της υπάρχουσας νομοθεσίας έτσι ώστε να γίνεται εφικτή η μελλοντική εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων στον ελλαδικό χώρο.

3.3. Κατηγορίες Φωτισμού

Σκοπός της εισαγωγής κατηγοριών φωτισμού είναι να διευκολυνθούν οι μελετητές στη σύνταξη των μελετών των εγκαταστάσεων οδοφωτισμού καθώς και στη χρησιμοποίηση των προϊόντων και υπηρεσιών του οδικού φωτισμού στις χώρες μέλη CEN.

Χρησιμοποιώντας τις κατηγορίες φωτισμού που καθιερώθηκαν στο ΕΛΟΤ EN 13201.02/2004, θα διατυπωθεί στην παρούσα εργασία πρόταση κανονισμών για την βέλτιστη εφαρμογή adaptive lighting στον οδικό φωτισμό.

Αρχικά επιχειρείται στον Πίνακα 1 μία ομαδοποίηση των καταστάσεων φωτισμού όπου η κατάσταση φωτισμού εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Ταχύτητα του κύριου χρήστη του δρόμου
- Τύπος κύριου χρήστη του δρόμου, επιπλέον επιτρεπόμενος/οι χρήστης/ες, αποκλειόμενος τύπος χρήστη

Γενικά τύποι χρηστών ενός δρόμου είναι μηχανοκίνητα οχήματα, οχήματα βραδείας κίνησης όπως ποδήλατα και πεζοί.

Πίνακας 3-1 Κατηγοριοποίηση καταστάσεων οδοφωτισμού

Πίνακας 1- Ομαδοποίηση περιπτώσεων φωτισμού				
Ταχύτητα του κύριου χρήστη (km/h)	Τύπος χρηστών ανά σχετική περιοχή			Καταστάσεις φωτισμού
	Κύριος Χρήστης	Άλλοι επιτρεπόμενοι χρήστες	Απαγορευμένοι χρήστες	
>60	Κυκλοφορία αυτοκινήτων		Αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες, πεζοί	A1
		Αργά κινούμενα οχήματα	Ποδηλάτες, πεζοί	A2
		Αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες		A3
>30 και ≤60	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα	Ποδηλάτες, πεζοί		B1
	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες	Πεζοί		B2
	Ποδηλάτες	Πεζοί	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα	C1
>5 και ≤30	Ποδηλάτες	Πεζοί		C1

Πίνακας 3-1(συνέχεια) Κατηγοριοποίηση καταστάσεων οδοφωτισμού

>5 και ≤30	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, πεζοί		Αργά κινούμενα οχήματα, πεζοί	D1
		Αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες		D2
	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, ποδηλάτες	Αργά κινούμενα οχήματα, πεζοί		D3
	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα, πεζοί, ποδηλάτες			D4
Ταχύτητα βαδίσματος	Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες, πεζοί			D4
	Πεζοί		Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες	E1
		Κυκλοφορία αυτοκινήτων, αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες		E2

Στη συνέχεια εξετάζεται η επιλογή της κλάσης φωτισμού του δρόμου η οποία καθορίζεται από τα εξής:

- Καιρικές συνθήκες
- Ύπαρξη διαζώματος
- Απόσταση μεταξύ ανισόπεδων κόμβων και διασταυρώσεων
- Ύπαρξη περιοχής εμπλοκής
- Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου. Η πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου αναφέρεται σε στοιχεία στο οπτικό πεδίο του χρήστη του δρόμου, τα οποία είναι πιθανό να του αποσπάσουν την προσοχή με αποτέλεσμα τη μη έγκαιρη διάκριση των σηματοδοτών ή των πινακίδων κυκλοφορίας. Τέτοια στοιχεία είναι οι διαφημίσεις, οι φωτεινές στήλες ή τα υπερβολικά φωτισμένα κτήρια.
- Φωτεινότητα περιβάλλοντος
- Δυσκολίες στην οδήγηση

Πιο αναλυτικά παρατίθενται στον πίνακα 3-2:

Πίνακας 3-2 Πίνακας παραμέτρων που εξετάζονται κατά την κατηγοριοποίηση του οδικού φωτισμού

Πίνακας 2 – Παράμετροι		
Παράμετροι		Επιλογές
Περιοχή (γεωμετρικά χαρακτηριστικά)	Διαχωρισμός λωρίδων ή δρόμων	Ναι όχι
	Τύπος διασταυρώσεων	Ανισόπεδοι κόμβοι ισόπεδοι κόμβοι
	Αποστάσεις μεταξύ ανισόπεδων κόμβων – αποστάσεις μεταξύ γεφυρών	>3km ≤3km
	Πυκνότητα ισόπεδων κόμβων	< 3 IK/km ≥ 3 IK/km
	Περιοχή σύγκρουσης	Όχι ναι
	Γεωμετρικά μέτρα ήπιας κυκλοφορίας	Όχι ναι
Κυκλοφοριακά δεδομένα	Κυκλοφοριακή ροή σε οχήματα ανά ημέρα	• <4 000 • 4000 έως 7000 • 7000 έως 15000 • 15000 έως 25000 • 25000 έως 40000 • >40000
	Κυκλοφ. ροή ποδηλάτων	Φυσιολογική Υψηλή
	Κυκλοφοριακή ροή πεζών	Φυσιολογική Υψηλή
	Δυσκολία στην οδήγηση	Φυσιολογική Υψηλή
	Σταθμευμένα οχήματα	Δεν υπάρχουν Υπάρχουν
	Αναγνώριση προσώπων	Δεν απαιτείται Απαιτείται
	Εγκληματικότητα	Φυσιολογική Υψηλή
Περιβαλλοντικές και λοιπές εξωτερικές επιδράσεις	Υπάρχων φωτισμός περιβάλλοντος	Υπεραστικός Αστικός Κέντρο πόλης
	Καιρικές συνθήκες	Στεγνά Υγρά

Επιπλέον, οι χώρες – μέλη του CEN έχουν κατηγοριοποιήσει τον φωτισμό στις εξής 5 κλάσεις, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 13201-2:2004 :

- Οι κλάσεις **ME** αφορούν αυτοκινητόδρομους(σε ορισμένες χώρες αφορούν και δρόμους αστικών περιοχών), που επιτρέπουν μέσες ή υψηλές ταχύτητες κυκλοφορίας(μεγαλύτερες από 60 km/h)
- Οι κλάσεις **CE** αφορούν αυτοκινητόδρομους αλλά για χρήση στις περιοχές σύγκρουσης(διασταυρώσεις), όπως είναι για παράδειγμα εμπορικοί δρόμοι, οδικοί κόμβοι καθώς και ποδηλατοδρόμοι, πεζόδρομοι και υπόγειες διαβάσεις πεζών.
- Οι κλάσεις **S** και **A**, προορίζονται για ποδηλατοδρόμους και πεζόδρομους, στις Λωρίδες Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.) των αυτοκινητόδρομων και άλλες οδικές περιοχές που βρίσκονται κατά μήκος των αυτοκινητόδρομων, κατοικημένους δρόμους, πεζόδρομους, προαύλια σχολείων και περιοχές χώρων στάθμευσης.
- Οι κλάσεις **ES**, προορίζονται ως πρόσθετη κατηγορία σε περιπτώσεις όπου ο δημόσιος φωτισμός είναι απαραίτητος για τον προσδιορισμό των προσώπων και των

αντικειμένων και σε ορισμένες περιοχές με υψηλότερη από το μέσο όρο εγκληματικότητα.

- Οι κλάσεις **ΕV**, προορίζονται ως πρόσθετη κατηγορία στην περίπτωση που οι κάθετες επιφάνειες οφείλουν να είναι ορατές όπως για παράδειγμα σε σταθμούς διοδίων. Υπάρχουν επιπλέον άλλοι 20 πίνακες στο ΕΛΟΤ EN 13201, οι οποίοι καθορίζουν τις καταστάσεις φωτισμού ανά κλάση και βοηθούν στην επιλογή των φωτοτεχνικών δεδομένων. Ως παραδείγματα μπορούμε να σχεδιάσουμε τους 2 πρώτους πίνακες Α1 και Α2 για τις κλάσεις ΜΕ:

Πίνακας 3-3 πίνακας διαχωρισμού κατάστασης οδοφωτισμού Α1 συναρτήσει του τύπου οδοστρώματος

Πίνακας Α.1 - Καταστάσεις Φωτισμού Α1												
Βασικός τύπος καιρού	Διαχωρισμός κατευθύνσεων κυκλοφορίας	Τύπος Διασταυρώσεων		Κυκλοφοριακή ροή σε οχήματα ανά ημέρα								
		Ανισόπεδοι κόμβοι	Ισόπεδοι κόμβοι	<15000			15000 έως 25000			>25000		
		Αποστάσεις μεταξύ των Α.Κ. σε km	Πυκνότητα Διασταυρώσε ις/km	←	.	→	←	.	→	←	.	→
Στεγνό	Ναι	>3		ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2
		≤3		ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
			<3	ME5	ME4a	ME3a	ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2
			≥3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
	Όχι	>3		ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1
		≤3		ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
			<3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
			≥3	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME4a
Υγρό	Εξέτασε όπως για στεγνό οδόστρωμα αλλά επέλεξε τις αντίστοιχες κατηγορίες ΜΕW											

Αξίζει να αναφερθεί ότι και οι 2 πίνακες διαχωρίζουν τις καταστάσεις φωτισμού όσον αφορά τη θάμβωση και βοηθούν στην επιλογή των κατάλληλων δεικτών και παραμέτρων για τον περιορισμό της.

Πίνακας 3-4 Κατηγοριοποίηση οδοφωτισμού συναρτήσει της πολυπλοκότητας οπτικού πεδίου

Πίνακας Α.2 — συνιστώμενη επιλογή από τη σειρά					
Ζώνες σύγκρουσης	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίο	Δυσκολία οδήγησης	Περιβάλλον φωτισμός		
			Χαμηλός	Μεσαίος	Υψηλός
Ναι	Κανονικό	Κανονική	←	←	
		Μεγαλύτερη της κανονικής	.	.	→
	Υψηλό	Κανονική	←	.	.
		Μεγαλύτερη της κανονικής	.	→	→
Όχι				→	

3.4. EN – 13201: 2014

Το 2014, εκδόθηκε η αναθεωρημένη έκδοση του *Πρότυπου* EN – 13201, εμπλουτισμένο με οδηγίες για την εφαρμογή προσαρμοστικού φωτισμού στα οδικά δίκτυα. Σε αυτήν την Τεχνική Έκθεση, καταγράφεται μια σειρά από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για τις διάφορες συνθήκες φωτισμού - περιοχές μηχανοκίνητης κυκλοφορίας, περιοχές συγκρούσεων, περιοχές χαμηλής ταχύτητας. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν την ταχύτητα, τη σύνθεση της κυκλοφοριακής ροής, τη λειτουργία και τη συνολική διαμόρφωση του δρόμου, καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η επιλογή κατηγορίας οδικού φωτισμού πριν το αναθεωρημένο *Πρότυπο* γινόταν με χρήση των πιο επαχθών τιμών των παραμέτρων, ωστόσο δεν λαμβάνονταν υπ όψιν οι μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως οι μεταβολές στις καιρικές συνθήκες ή τυχόν αλλαγές στην προβλεπόμενη κυκλοφοριακή ροή λόγω κάποιου μεμονωμένου περιστατικού. Χρονικές μεταβολές στις παραμέτρους που εξετάζονται κατά την επιλογή της κατηγορίας φωτισμού θα μπορούσαν να επιτρέψουν, ή να απαιτήσουν, την προσαρμογή του κανονικού επιπέδου μέσης φωτεινότητας ή φωτισμού, συνήθως με τη μείωσή του. Οι πιο σημαντικές παράμετροι στο πλαίσιο αυτό είναι ο όγκος της κυκλοφορίας, η σύνθεση της κυκλοφορίας, οι ιδιότητες αντανάκλασης του οδοστρώματος σε πραγματικό χρόνο και η τρέχουσα κατάσταση του οδοστρώματος (σκοτάδι, φως, ξηρό, υγρό, αλμυρό, χιονισμένο), καθώς επίσης και η ατμοσφαιρική φωτεινότητα είναι πιθανό να έχει μια επιρροή.

Οι κλάσεις φωτισμού, λοιπόν, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες πλέον:

- Κλάση **M**, όπου ο κύριος χρήστης είναι τα μηχανοκίνητα οχήματα και οι επιτρεπόμενες ταχύτητες είναι οι μεσαίες και οι υψηλές
- Κλάση **C**, που προορίζεται για τον φωτισμό περιοχών εμπλοκής, δηλαδή περιοχών όπου διασταυρώνονται κυκλοφοριακά ρεύματα
- Κλάση **P**, όπου ο κύριος χρήστης είναι πεζοί και οι επιτρεπόμενες ταχύτητες είναι οι χαμηλές

Κατά το EN 13201 – 1, το προσαρμοστικό επίπεδο φωτισμού ή επίπεδα θα πρέπει να είναι ο μέσος όρος φωτεινότητας ή φωτισμού που επιλέγεται από μια τάξη ή τάξεις του ίδιου πίνακα από τον οποίο έχει επιλεγεί η κανονική τάξη φωτισμού. Όταν χρησιμοποιείται προσαρμοστικός οδοφωτισμός, είναι σημαντικό οι αλλαγές στο μέσο επίπεδο φωτισμού να μην επηρεάζουν τα άλλα ποιοτικά κριτήρια, έξω από τα όρια που προβλέπονται στο σύστημα των M, C ή P κλάσεων φωτισμού. Η μείωση του φωτισμού από κάθε πηγή φωτός κατά το ίδιο ποσό χρησιμοποιώντας τεχνικές ρύθμισης της έντασης δεν θα επηρεάσει τη φωτεινότητα ή την ομοιομορφία του περιβάλλοντος ή την αντίθεση αντικειμένου, αλλά θα οδηγήσει σε αύξηση των ορίων αντίθεσης. Η μείωση του μέσου επιπέδου φωτισμού απενεργοποιώντας κάποια φωτιστικά σώματα τα οποία δεν πληρούν γενικά τις απαιτήσεις ποιότητας δεν συνιστάται.

Όταν το πρότυπο διακύμανσης των τιμών των παραμέτρων είναι ευρέως γνωστό, από τα πρακτικά των σταθμών παρακολούθησης της κυκλοφορίας (TMS) και τους μετεωρολογικούς σταθμούς (AWS) στους διαδρόμους κυκλοφορίας, ή μπορεί εύλογα να υποτεθεί, όπως σε πολλές κατοικημένες περιοχές, προτείνεται η χρήση ενός απλού χρονικού συστήματος ελέγχου. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να προτιμάται ένα διαδραστικό σύστημα ελέγχου το οποίο να συνδέεται με τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσέγγιση θα επιτρέψει την ενεργοποίηση της κανονικής

τάξης φωτισμού σε περίπτωση οδικών έργων, σοβαρών ατυχημάτων, κακών καιρικών συνθηκών ή κακής ορατότητας.

Στη συνέχεια παρατίθενται παραδείγματα της διαδικασίας επιλογής της κλάσης φωτισμού **M**, όπως ορίζεται στο αναθεωρημένο EN 13201. Επιπλέον σε παράρτημα του οδηγού, παρέχονται πρόσθετες οδηγίες σχετικά με το επίπεδο των απαιτήσεων ανά κατηγορία χρησιμοποιώντας 2 μεθόδους:

- Τη μέγιστη μέση διατηρητέα φωτεινότητα
- Τη μέση διατηρητέα φωτεινότητα του φωτισμού ή τιμές εντός της περιοχής μεταξύ των ελάχιστων και μέγιστων τιμών φωτεινότητας

Πίνακας 3-5 παράμετροι για την επιλογή κλάσεων M

Παράμετρος	Επιλογές	Περιγραφή		Σταθμισμένη τιμή V_w
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	$v \geq 100$ km/h		2
	Υψηλή	$70 < v < 100$ km/h		1
	Μέτρια	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Χαμηλή	$v \leq 40$ km/h		-2
Κυκλοφοριακή ροή		Αυτοκινητόδρομοι, δρόμοι πολλών λωρίδων	Δρόμοι δύο λωρίδων	
	Υψηλή	>65% της μέγιστης χωρητικότητας	>45% της μέγιστης χωρητικότητας	1
	Μέτρια	35% - 65% της μέγιστης χωρητικότητας	15% - 45% της μέγιστης χωρητικότητας	0
	Χαμηλή	<35% της μέγιστης χωρητικότητας	<15% της μέγιστης χωρητικότητας	1
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων			2
	Μικτή			1
	Μόνο μηχανοκίνητα			0
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι			1
	Ναι			0
Πυκνότητα διασταυρώσεων		Διασταυρώσεις/km	A/K, απόσταση μεταξύ γεφυρών, km	
	Υψηλή	>3	<3	1
	Μέτρια	≤3	≥3	0
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα			1
	Μη παρόντα			0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	Βιτρίνες καταστημάτων, αθλητικές εγκαταστάσεις, σταθμοί MMM, φωτιζόμενες ρυθμιζόμενες πινακίδες		1
	Μέτρια	Συνήθης κατάσταση		0
	Χαμηλή			-1
Δυσκολία οδήγησης	Πολύ δύσκολη			2
	Δύσκολη			1
	Εύκολη			0

Με τον ίδιο τρόπο επιλέγονται και οι **C**, **P** κλάσεις. Γενικά μπορούμε να αντιστοιχίσουμε τις **M** κλάσεις στις **ME** του προτύπου του 2004, τις **C** κλάσεις στις **CE** και τις **P** κλάσεις στις **S**. Οι κλάσεις A, ES και EV δεν υπάρχουν.

Τα κριτήρια ελέγχου ποιότητας του οδικού φωτισμού για την κλάση **M**, είναι η μέση λαμπρότητα του οδοστρώματος (L_{av}), η συνολική (U_o) και η διαμήκης ομοιομορφία (U_l), το κατώφλι προσαύξησης (f_{TI}) και ο δείκτης λαμπρότητας περιβάλλοντος χώρου (R_s).

Πίνακας 3-6 απαιτήσεις κλάσεων φωτισμού M

Κλάση φωτισμού	Επιφάνεια του δρόμου				Κατώφλι προσαύξησης περιβάλλοντος χώρου	Δείκτης λαμπρότητας
	Ξηρή			Υγρή		
	Lav (cd/m2)	Uo	Ul	Uo	fTI (%)	Rs
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

Εφαρμογή του EN13201-1:2014

Ο EN13201-1:2014 προσδιορίζει τις κατηγορίες φωτισμού οι οποίες ορίζονται στο 13201-2 και δίνει κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την επιλογή της κατάλληλης κατηγορίας για μια δεδομένη κατάσταση.

Η απόφαση για το κατά πόσο ένα δρόμος πρέπει να φωτίζεται ορίζεται στην εθνική πολιτική για τον οδικό φωτισμό κάθε κράτους, η οποία ποικίλει από χώρα σε χώρα και από δήμο σε δήμο. Η αναθεωρημένη τεχνική έκθεση δεν παρέχει τα κριτήρια βάσει των οποίων θα ληφθούν αποφάσεις σχετικά με τον οδοφωτισμό κάθε περιοχής, ούτε και για το πώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια εγκατάσταση φωτισμού. Οι μέθοδοι που παρουσιάζονται στην έκθεση αυτή είναι απαραίτητο να θεωρούνται σαν σημεία εκκίνησης μιας συνολικής προσέγγισης της εφαρμογής προσαρμοστικού οδοφωτισμού. Συνεπώς, μελετώντας τον EN13201:2014 κατανοούμε ότι εισάγονται γενικές παράμετροι και γενικές απαιτήσεις φωτισμού στα οδικά δίκτυα. Για την επιλογή της κατάλληλης κατηγορίας φωτισμού είναι αναγκαία η μελέτη των μοναδικών χαρακτηριστικών κάθε οδού, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις γενικές παραμέτρους όπως οι εξής:

- Γεωμετρία του δρόμου
- Σήμανση
- Οπτική περιβάλλοντος
- Δυσκολίες πλοήγησης
- Έλλειψη ορατότητας
- Τοπικές καιρικές συνθήκες
- Χρήστες οδού
- Ειδικοί χρήστες οδού (ηλικιωμένοι, άτομα με προβλήματα όρασης)

Οι οπτικές ανάγκες των χρηστών του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων της νύχτας ή υπό μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες, καθώς και τα οφέλη

από τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και τις πιθανές περιβαλλοντικές βελτιώσεις είναι μερικά από τα ζητήματα που δικαιολογούν τη χρήση προσαρμοστικού οδικού φωτισμού. Όπως αναφέρεται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας υπάρχει ποικιλία μέσων, συσκευών και μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ευφυή έλεγχο μιας εγκατάστασης φωτισμού οδών.

Τα συστήματα ελέγχου κυμαίνονται από σύνθετες έως πολύ απλές εφαρμογές. Στο παράρτημα του EN13201-1:2014 γίνεται εκτενής αναφορά στην επιλογή του σωστού επιπέδου φωτισμού όταν χρησιμοποιείται προσαρμοστικός οδοφωτισμός, καθώς παρέχει μια λεπτομερή αξιολόγηση της φωτεινότητας και των επιπέδων φωτισμού.

Επιπλέον, σημαντική είναι και η ανανέωση των απαρχαιωμένων και ασύμφορων εγκαταστάσεων. Στην τεχνική έκθεση προτείνεται η λήψη περισσότερων προσαρμοσμένων επιπέδων φωτισμού με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας με τη χρήση νέων σχεδίων και τεχνολογιών. Η αναβάθμιση των συστημάτων φωτισμού και ελέγχου θα δώσει μια καλή σχέση κόστους - οφέλους και σύντομες περιόδους απόσβεσης.

3.5. Παράδειγμα εφαρμογής οδικού φωτισμού σε δρόμο

Στο παρόν υποκεφάλαιο επιλέγεται μία πολυσύχναστη λεωφόρος της Αθήνας, η Λεωφόρος Μεσογείων και γίνεται προσπάθεια εφαρμογής ευφυούς οδικού φωτισμού σύμφωνα με το EN13201:2004 και στη συνέχεια σύμφωνα με την αναθεωρημένη έκδοσή του. Τα συμπεράσματα του παραδείγματος θα χρησιμοποιηθούν και στα επόμενα κεφάλαια για τη διατύπωση πρότασης σχετικά με τη σωστή εφαρμογή του προσαρμοστικού οδοφωτισμού στην Ελλάδα.

EN13201:2004

Αρχικά, η Λεωφόρος Μεσογείων αποτελεί μία λεωφόρο που συνδέει τα βόρεια και ανατολικά προάστια της Αθήνας με το κέντρο της πόλης. Παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές στην κυκλοφοριακή ροή κατά τη διάρκεια της μέρας, συνεπώς είναι προτιμότερο να μελετηθεί ο φωτισμός σε 4 διαφορετικές χρονικές περιόδους.



Εικόνα 3-1 Τμήμα της Λεωφόρου Μεσογείων

Επιλέγονται 4 χρονικές περίοδοι (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 και Δt_4):

- Δt_1 : από τη στιγμή που ανάβουν τα φωτιστικά σώματα μέχρι τις 22:00 (το τέλος της βραδινής αιχμής)
- Δt_2 : από τις 22:00 μέχρι τα μεσάνυχτα
- Δt_3 : από τα μεσάνυχτα μέχρι τις 6:00 (πρωινή ώρα αιχμής)
- Δt_4 : από τις 6:00 μέχρι το σβήσιμο

Στη συνέχεια επιλέγουμε την κατάσταση φωτισμού της λεωφόρου, σύμφωνα με τις παραμέτρους του παρακάτω πίνακα, γνωρίζοντας ότι το όριο ταχύτητας είναι 50km/h, αφού πρόκειται για κατοικημένη περιοχή:

Πίνακας 3-7 Παράμετροι για την επιλογή κατάστασης φωτισμού της Λεωφόρου Μεσογείων		
Τυπική ταχύτητα κύριου χρήστη	>30 και ≤60 km/h	
Τύπος χρήστη	Κύριος χρήστης	Μηχανοκίνητα οχήματα Οχήματα βραδείας χρήσης
	Άλλοι επιτρεπόμενοι χρήστες	Ποδηλάτες Πεζοί

Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, επιλέγουμε κατάσταση φωτισμού **B1**. Συνεπώς, οι πίνακες που θα μας βοηθήσουν για την επιλογή της κατάλληλης κλάσης φωτισμού είναι οι εξής:

Πίνακας 3-8 προτεινόμενο εύρος κλάσεων φωτισμού

Βασικός τύπος καιρού	Γεωμετρικές μετρήσεις για κυκλοφοριακή ηρεμία	Πυκνότητα διακλάδωσης Διακλαδώσεις/ χμ	Δυσκολία έργου πλοήγησης	Κυκλοφοριακή ροή οχημάτων					
				<7000			≥ 7000		
				←	0	→	←	0	→
ξηρός	όχι	<3	κανονική	ME6	ME5	ME4β	ME5	ME4β	ME3γ
			Υψηλότερη από την κανονική	ME5	ME4β	ME3γ	ME5	ME4β	ME3γ
		≥3	κανονική	ME5	ME4β	ME3γ	ME4β	ME4β	ME3γ
			Υψηλότερη από την κανονική	ME4β	ME3γ	ME2	ME3γ	ME3γ	ME2
	ναι			Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά επέλεξε -1 μόνο για την περιοχή κυκλοφοριακής ηρεμίας					
	υγρός			Επιλογή όπως παραπάνω αλλά επέλεξε MEW σειρές					
Όταν η χρήση των κριτηρίων φωτισμού δεν είναι πρακτική , η ένταση του φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί .Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.									

Πίνακας 3-9 προτεινόμενη επιλογή από το διαθέσιμο εύρος(κατάσταση Β1)

Πίνακας 5-5: Προτεινόμενη εκτίμηση από το διαστέλλον ευρος (κατάσταση D1)								
Περιοχή συγκρούσεων	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Παρκαρισμένα οχήματα	Φωτεινότητα περιβάλλοντος					
			χαμηλή		μεσαία		υψηλή	
			Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων		Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων		Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων	
			κανονική	υψηλή	κανονική	υψηλή	κανονική	υψηλή
όχι	κανονική	όχι	←	0	←	0	0	0
		ναι	0	→	0	→	→	→
	Υψηλή	όχι	0	0	0	0	0	0
		ναι	0	0	→	→	→	→
ναι			→ ^α					

Για περιοχή συγκρούσεων, η φωτεινότητα είναι με βάση το συνιστώμενο σχέδιο κριτηρίων. Όμως, όπου η προβολή των αποστάσεων είναι σύντομη και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση των κριτηρίων φωτισμού, η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.

Στον επόμενο πίνακα, παρατίθενται τα επιπλέον χαρακτηριστικά της Λεωφόρου Μεσογείων.

Πίνακας 3-10 Αποτίμηση παραμέτρων για τη Λεωφόρο Μεσογείων

	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4
Καιρικές συνθήκες	Ξηρός καιρός			
Μέτρα για τη μείωση της ταχύτητας	Όχι			
Πυκνότητα διασταυρώσεων	≥ 3 /km			
Δυσκολία στην πλοήγηση	Φυσιολογική			
Περιοχή εμπλοκής	Όχι			
Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Όχι			
Σταθμευμένα οχήματα	Μη παρόντα			
Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων	Χαμηλή			
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια
Κυκλοφοριακή ροή	?	?	?	?

Για τον προσδιορισμό της κυκλοφοριακής ροής ανά διάστημα θεωρούμε αρχικά πως είναι εκφρασμένη σε οχήματα ανά ημέρα. Για ευκολία, ανάγουμε τα 7000 οχήματα/μέρα σε 292 οχήματα/ώρα κατά μέσο όρο διότι η ροή των οχημάτων θα υπολογιστεί σε χρονικά διαστήματα μερικών ωρών. Επιπλέον, θεωρούμε τα 292 οχήματα/ώρα ως τη μέση ωριαία κυκλοφοριακή ροή. Είναι εύκολο να εκτιμηθεί αν κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής, η κυκλοφοριακή ροή ξεπερνάει τη μέση ωριαία κυκλοφοριακή ροή μέσω της παρατήρησης της Λεωφόρου. Με βάση τα παραπάνω, επιλέγεται η κλάση ανά χρονικό διάστημα όπως φαίνεται στον πίνακα 3-11.

Πίνακας 3-11 Κλάση Λεωφόρου Μεσογείων ανά χρονική περίοδο

	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή(≥ 292 οχ./h)	Μέτρια(≥ 292 οχ./h)	Χαμηλή(< 292 οχ./h)	Υψηλή(≥ 292 οχ./h)
Κλάση	ME4b	ME4b	ME5	ME4b

Τέλος, στον πίνακα 3-12 παρουσιάζονται τα όρια των κλάσεων σύμφωνα με το 13201-1:2004:

Πίνακας 3-12 κλάσεις φωτισμού δρόμου ανά χρονική περίοδο

Χρονική περίοδος	Κλάση	Απαιτήσεις κλάσης				
		Lav (cd/m ²)	Uo	UI	fTI (%)	Rs
Δt1	ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,5
Δt2	ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,5
Δt3	ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,5
Δt4	ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,5

Αναθεωρημένη έκδοση του EN13201

Η αποτίμηση των παραμέτρων για την εφαρμογή του προσαρμοστικού οδικού φωτισμού σύμφωνα με την αναθεωρημένη έκδοση του EN13201 που εκδόθηκε το 2014, παρουσιάζεται στον πίνακα 3-13:

Πίνακας 3-13 παράμετροι για την επιλογή κλάσεων φωτισμού M για τη Λεωφόρο Μεσογείων

Παράμετρος	Επιλογές	Σταθμισμένη τιμή V _w	Επιλεχθείσα τιμή V _w			
			Δt1	Δt2	Δt3	Δt4
Όριο ταχύτητας	Πολύ υψηλή	2				
	Υψηλή	1				
	Μέτρια	-1	-1	-1	-1	-1
	Χαμηλή	-2				
Κυκλοφοριακή ροή	Υψηλή	1	1			1
	Μέτρια	0		0		
	Χαμηλή	-1			-1	
Σύνθεση κυκλοφοριακής ροής	Μικτή με υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητων	2				
	Μικτή	1	1	1	1	1
	Μόνο μηχανοκίνητα	0				
Ύπαρξη διαζώματος	Όχι	1				
	Ναι	0	0	0	0	0
Πυκνότητα διασταυρώσεων	Υψηλή	1	1	1	1	1
	Μέτρια	0				
Σταθμευμένα οχήματα	Παρόντα	1				
	Μη παρόντα	0	0	0	0	0
Λαμπρότητα περιβάλλοντος χώρου	Υψηλή	1	1			
	Μέτρια	0		0	0	0
	Χαμηλή	-1				
Δυσκολία πλοήγησης	Πολύ δύσκολη	2				
	Δύσκολη	1				
	Εύκολη	0	0	0	0	0
Άθροισμα V _{ws}			3	1	0	2
Κλάση			M3	M5	M6	M4

Στον πίνακα 3-13 η επιλογή των κλάσεων M έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

$$M = 6 - V_{ws}$$

, όπου V_{ws} είναι το άθροισμα των τιμών V_w .

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε σύμφωνα με το αναθεωρημένο πρότυπο EN13201 του 2014 τις κλάσεις και τις απαιτήσεις τους για κάθε χρονικό διάστημα:

Πίνακας 3-14 κλάσεις φωτισμού δρόμου ανά χρονική περίοδο

Χρονική περίοδος	Κλάση	Απαιτήσεις κλάσης				
		Lav (cd/m ²)	Uo	UI	fTI (%)	Rs
Δt1	M3	1,00	0,40	0,60	15	0,5
Δt2	M5	0,50	0,35	0,40	15	0,5
Δt3	M6	0,30	0,35	0,40	20	0,5
Δt4	M4	0,75	0,40	0,60	15	0,5

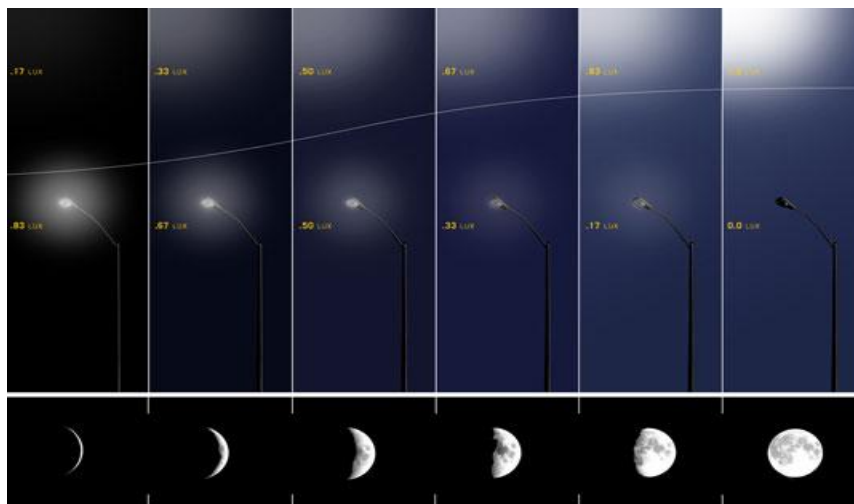
Κεφάλαιο 4

Προτάσεις εφαρμογής προσαρμοστικού οδοφωτισμού

Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά γίνεται συνοπτική παρουσίαση των τεχνολογιών προσαρμοστικού οδοφωτισμού που είναι δυνατόν να εγκατασταθούν στην Ελλάδα. Στη συνέχεια κατατίθενται προτάσεις για την κατάλληλη επιλογή της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί ανά περιοχή φωτισμού όπως φαίνεται στον πίνακα 1 του κεφαλαίου 3.3, λαμβάνοντας υπ όψιν και τις παραμέτρους του πίνακα 2, κεφάλαιο 3.3.

4.1. Τεχνολογίες προσαρμοστικού οδοφωτισμού

Οι εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι των υποδομών σε αστικές και μη αστικές περιοχές, ενώ η καταναλισκόμενη ενέργεια στο φωτισμό δρόμων αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται σε μία πόλη. Συνεπώς τα τελευταία χρόνια δημιουργήθηκε η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας από τον φωτισμό παράλληλα με τη μείωση της εκπομπής των ρύπων, πυροδοτώντας ένα κύμα ανακατασκευής των υπάρχοντων συστημάτων φωτισμού σε όλο τον κόσμο. Ήδη, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2, σε πολλές χώρες της Ε.Ε. έχουν εφαρμοστεί πιλοτικά προγράμματα εγκατάστασης συστημάτων προσαρμοστικού οδικού φωτισμού και σε λίγα χρόνια οι αρχές ευελπιστούν το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων αυτών να χρησιμοποιηθεί 'έξυπνες' τεχνολογίες. Προσωρινές λύσεις όπως η αντικατάσταση των φωτιστικών λαμπτήρων υδραργύρου υψηλής πίεσης με αντίστοιχους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης δεν συνιστώνται διότι η ενέργεια που εξοικονομείται είναι ελάχιστη και το κέρδος μικρό.



Εικόνα 4-1 Εξασθένιση έντασης φωτισμού με χρήση ρολογιού

Συστήματα Ελέγχου Οδικού Φωτισμού

Οι βασικές λειτουργίες των συστημάτων ρύθμισης του οδικού φωτισμού είναι 2:

- Να τίθενται εκτός λειτουργίας όσα φωτιστικά δεν είναι απαραίτητα να λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Το σύστημα ρυθμίζει την φωτεινή απόδοση των φωτιστικών έτσι ώστε να παράγεται όσος φωτισμός χρειάζεται.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν τα συστήματα ελέγχου οδικού φωτισμού είναι οι εξής:

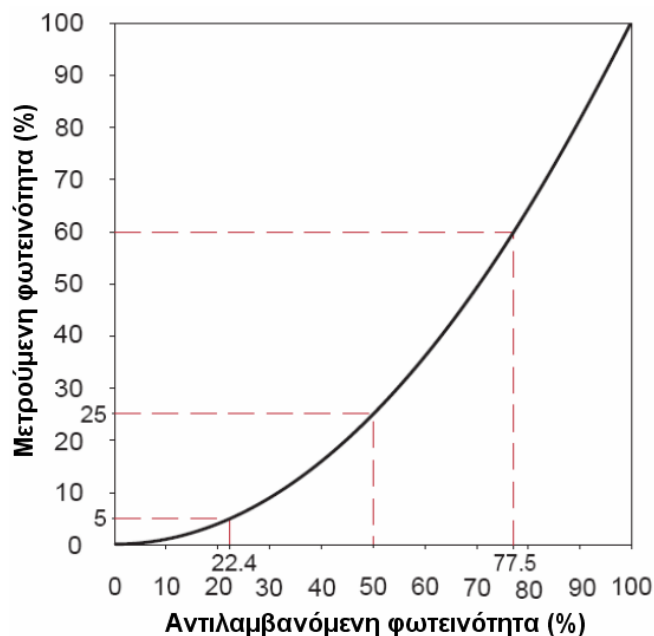
- Τεχνολογία ρύθμισης φωτισμού(dimming technology)
- Τεχνολογία ελέγχου φωτισμού



Εικόνα 4-2 Χρήση ηλιακά φορτιζόμενων φωτιστικών ιστών

Τεχνολογία Ρύθμισης Φωτισμού

Η δυνατότητα ρύθμισης της έντασης του φωτισμού (dimming) περιγράφεται σαν όρος του ποσοστού της μέγιστης παραγωγής φωτισμού της μετρούμενης φωτεινότητας και της αντιλαμβανόμενης φωτεινότητας.



Εικόνα 4-3 Θεωρητική συνάρτηση μεταξύ της μετρούμενης φωτεινότητας και της αντιλαμβανόμενης φωτεινότητας

Η τεχνολογία ρύθμισης του οδικού φωτισμού χωρίζεται σε 5 κατηγορίες:

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

Στην πρώτη κατηγορία υπάρχει η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας έως 20%, στις επόμενες 3 κατηγορίες έως 30% ενώ στην τελευταία κατηγορία έως 42%.

Τεχνολογία Ελέγχου Φωτισμού

Η τεχνολογία ελέγχου του οδικού φωτισμού χωρίζεται σε 2 κατηγορίες:

- Έλεγχος μέσω ενσωματωμένων χρονοδιακοπών
- Έλεγχος μέσω απομακρυσμένων συστημάτων

Με τη χρησιμοποίηση των λεγόμενων 'ηλεκτρικών κουτιών' (Electrical Boxes), υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής του ελέγχου μέσω χρονοδιακοπών και σε μεμονωμένα φωτιστικά αλλά και σε ομάδες φωτιστικών. Η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας αγγίζει το 20%.

Ο έλεγχος μέσω απομακρυσμένων συστημάτων, αφορά 'έξυπνα' ηλεκτρονικά συστήματα με δυνατότητα σύνδεσης με κάποιο κέντρο ελέγχου φωτισμού το οποίο μπορεί να βρίσκεται χιλιόμετρα μακριά (απομακρυσμένα συστήματα) και η εξοικονόμηση ενέργειας κυμαίνεται από 20-30%.

Τεχνολογία LED

Οι σύγχρονες απαιτήσεις στον φωτισμό δρόμων εκφρασμένες μέσω των κανονισμών και οδηγιών, απαιτούν ποικιλία λύσεων και ευελιξία από την πλευρά της βιομηχανίας φωτισμού. Οι πηγές φωτισμού LED, μέσω του μικρού του μεγέθους δίνουν την δυνατότητα για σχεδίαση φακών με μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα. Η απόδοση των LED, η οποία κινείται με εκρηκτικούς ρυθμούς, πλέον καθιστά τα LED ικανά να ανταπεξέλθουν στις περισσότερες περιπτώσεις οδικού φωτισμού. Επιπλέον, η διάρκεια ζωής τους είναι 2 και 3 φορές μεγαλύτερη από τη διάρκεια ζωής των συμβατικών λαμπτήρων HID που χρησιμοποιούνται ευρέως στον οδικό φωτισμό, ενώ παράλληλα καταναλώνουν σημαντικά λιγότερη ενέργεια από τους λαμπτήρες HID, έχοντας την ίδια φωτεινή ροή. Τέλος, κάτι που καθιστά τα LED ιδανικά για χρήση στον οδοφωτισμό είναι η δυνατότητά τους να ορίζουν τη δέσμη του φωτός αξιοποιώντας στο μέγιστο το φως των λαμπτήρων, σε αντίθεση με τους κοινούς λαμπτήρες που εκπέμπουν το φως προς όλες τις κατευθύνσεις, ενισχύοντας τη φωτορύπανση.

Στην αγορά κυριαρχούν 2 μεγάλες κατηγορίες φακών LED για τον φωτισμό των οδών, αυτοί με *συμμετρική* κατανομή και αυτοί με *ασύμμετρη*. Η επιλογή του φακού εξαρτάται από τις προδιαγραφές της εφαρμογής.



Εικόνα 4-4 Φωτιστικά LED σε λεωφόρο

- *Συμμετρική κατανομή:* είναι οι πρώτοι φακοί που κατασκευάστηκαν για LED και στοχεύουν στην αντικατάσταση των υπάρχοντων φωτιστικών στις οδικές υποδομές. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι οι φακοί αυτοί χρειάζονται περισσότερη ισχύ για να φωτίσουν ένα δρόμο σωστά σε σύγκριση με τους ασύμμετρους.
- *Ασύμμετρη κατανομή:* είναι η βελτιστοποίηση των συμμετρικών φακών και χρησιμοποιούνται σε σύγχρονες εφαρμογές φωτισμού δρόμων. Το χαρακτηριστικό των φακών αυτών είναι ότι είναι συμμετρικοί στο επίπεδο C0-C180 (παράλληλα με το δρόμο δηλαδή) και ασύμμετροι στο επίπεδο C90-C270 (κάθετα στον διαμήκη άξονα του δρόμου).

4.2. Οδηγός Εφαρμογής Προσαρμοστικού Οδικού Φωτισμού

Ο οδικός φωτισμός έχει σκοπό τη δημιουργία ενός καλά φωτισμένου νυχτερινού περιβάλλοντος για οδηγούς και πεζούς, ώστε να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν έγκαιρα τα αντικείμενα που υπάρχουν στον ορίζοντά τους. Οι διάφορες χρήσεις του οδοφωτισμού, επιβάλλουν διαφορετικές απαιτήσεις σχετικά με το είδος και την ένταση του φωτισμού και ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη τεχνολογιών adaptive lighting και την ολοένα και αυξανόμενη χρήση LED, οι απαιτήσεις γίνονται ολοένα και πιο πολύπλοκες. Για την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων στους ανθρώπους και στο περιβάλλον λόγω κακής χρήσης του φωτισμού στις οδούς, έχουν δημιουργηθεί *Τεχνικές Εκθέσεις* ή *Πρότυπα*. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα *Πρότυπα* αποτελούνται από κανόνες και προδιαγραφές, οι οποίες ρυθμίζουν τον οδοφωτισμό και εξασφαλίζουν τη σωστή χρήση του από πολλές απόψεις. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια κατάθεσης μιας πρότασης ενός οδηγού εφαρμογής, ο οποίος ρυθμίζει τον οδικό φωτισμό με χρήση τεχνολογιών adaptive lighting, ενώ παράλληλα αναλύονται εκτενώς οι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπ' όψιν για τη σχεδίαση ενός συστήματος οδικού φωτισμού.

Με την έκδοση του αναθεωρημένου προτύπου EN13201:2014, το οποίο αναφέρεται στον προσαρμοστικό οδοφωτισμό, κάθε χώρα της Ε.Ε. προβλέπεται να χρησιμοποιεί την τεχνική έκθεση αυτή, σαν βάση για την πολιτική εφαρμογής οδικού φωτισμού και να την προσαρμόζει σύμφωνα με τις ανάγκες της. Στον οδηγό εφαρμογής που προτείνεται στην παρούσα εργασία, ο EN13201:2014 αποτελεί το σημείο εκκίνησης

και το μέσο καθορισμού των περισσότερων παραμέτρων για την σωστή εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στον οδικό φωτισμό.

4.2.1. Σχεδίαση και συντήρηση

Αρχικά, είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι οι εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού αλλοιώνουν την εμφάνιση του δρόμου και του οδικού περιβάλλοντος τόσο κατά τη διάρκεια της μέρας όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να δίνεται προσοχή από τους μηχανικούς φωτισμού στα παρακάτω θέματα:

i. Κατά την ημέρα :

- επιλογή των αναρτήσεων των φωτιστικών, π. χ. ιστοί με ή χωρίς βραχίονες, συρματόσχοινα ανάρτησης, ή άμεση στήριξη στα κτήρια
- σχέδιο και χρώμα των ιστών φωτισμού
- κλίμακα και ύψος των ιστών φωτισμού ή άλλων στοιχείων ανάρτησης των φωτιστικών σε σχέση με το ύψος των παρακείμενων κτιρίων, δέντρα και άλλα εμφανή αντικείμενα.
- θέση των ιστών φωτισμού σε σχέση με την φυσική αξία του περιβάλλοντος
- σχέδιο, μήκος και κλίση των βραχιόνων των ιστών
- κλίση των φωτιστικών σωμάτων
- επιλογή των φωτιστικών σωμάτων

ii. Κατά τις νυχτερινές ώρες:

- χρώμα του φωτός
- απόδοση του χρώματος του φωτός
- ύψος τοποθέτησης των φωτιστικών σωμάτων
- εμφάνιση των φωτιστικών σωμάτων σε λειτουργία
- εμφάνιση της πλήρους εγκατάστασης σε λειτουργία
- οπτική καθοδήγηση από το άμεσο φως του φωτιστικού
- μείωση των επιπέδων φωτισμού για κάποιες περιόδους.
- ελαχιστοποίηση του φωτός που εκπέμπεται σε κατευθύνσεις που δεν είναι απαραίτητο ούτε επιθυμητό:
- σε αγροτικές ή προαστιακές περιοχές, η αδιάκριτη άποψη των εγκαταστάσεων οδικού φωτισμού που φαίνονται από μια απόσταση
- φως που εκπέμπεται επάνω από τον οριζόντιο, που όταν διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα κρύβει τη φυσική θέα των αστεριών και εμποδίζει την αστρονομική παρατήρηση. Φως που εκπέμπεται επάνω από τον οριζόντιο μπορεί να περιοριστεί.

Σχεδίαση

Ο μηχανικός πρέπει να επιλέγει την σωστή κατηγορία οδικού φωτισμού, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν συνήθως σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, έτσι ώστε να παρέχεται επαρκής φωτεινότητα της γενικής σκηνής και να μεγιστοποιείται η αντίθεση μεταξύ των αντικειμένων και του φόντου.

Ενώ στις περισσότερες συνθήκες φωτισμού ο στόχος είναι να φωτίζονται τα αντικείμενα και όχι το φόντο (*θετική αντίθεση*), στις περισσότερες περιπτώσεις **οδικού** φωτισμού για την κυκλοφορία των οχημάτων ισχύει το αντίθετο (*αρνητική αντίθεση*). Η σχετικά μικρή ποσότητα φωτός που είναι διαθέσιμη θα πρέπει να χρησιμοποιείται στο μέγιστο αποτέλεσμα για το φωτισμό του οδοστρώματος και την αποκάλυψη της σιλουέτας αντικειμένων που βρίσκονται τοποθετημένα πλησίον ή εντός του δρόμου. Εξαιρέσεις σε αυτήν την προσέγγιση σχεδίασης οδικού φωτισμού αποτελούν οι *βοηθητικές οδοί*, οι *πεζόδρομοι* και οι *χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων σε αστικά κέντρα*.

Επιπλέον, η εγκατάσταση φωτισμού είναι απαραίτητο να δίνει οπτική καθοδήγηση αποκαλύπτοντας την πορεία του δρόμου, ιδιαίτερα σε T-διασταυρώσεις και στροφές. Η λειτουργία του φωτισμού θα πρέπει να επιτευχθεί με την προσεκτική τοποθέτηση του φωτιστικού εξοπλισμού, συμπληρώνοντας τη λωρίδα και την άκρη των σημάτων οδοστρώματος.

Ακόμη, η έντονη αντανάκλαση του φωτός στο οδόστρωμα, μειώνει την αντίθεση ανάμεσα στα αντικείμενα και το φόντο της, με αποτέλεσμα η ορατότητά τους να είναι μειωμένη. Στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητο οι σχεδιαστές της εγκατάστασης οδικού φωτισμού να λαμβάνουν υπ όψιν τους την παράμετρο προσάυξης κατωφλίου(TI) και τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια της για κάθε κατηγορία οδικού φωτισμού.

Ο οδικός φωτισμός οφείλει να παρέχει ένα αίσθημα ασφάλειας εκτός από τα οχήματα και της πεζούς χρήστες των οδών. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει έτσι ώστε να θεωρείται της δρόμος ασφαλής είναι η ύπαρξη οπτικής άνεσης, η οποία θα εξασφαλίζει την ικανότητα των πεζών να διακρίνουν της προθέσεις αλλά και την ταυτότητα των άλλων χρηστών του δρόμου, είτε αυτοί είναι πεζοί είτε οχήματα. Ακόμη, άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην ασφάλεια μίας οδού είναι να υπάρχει επαρκής φωτισμός ώστε ο πεζός να είναι σε θέση να εντοπίσει τυχόν εμπόδια στην επιφάνεια οδοστρώματος καθώς επίσης και να αντιλαμβάνεται πιθανούς κινδύνους από ενέργειες άλλων χρηστών της οδού, από μια ασφαλή απόσταση. Τέλος, ένας πεζός είναι απαραίτητο να αναγνωρίζει τις πινακίδες, συνεπώς κατά τη σχεδίαση πρέπει να υπάρχει ειδική μέριμνα για τον επαρκή φωτισμό των πινακίδων κυκλοφορίας.

Συντήρηση

Τα προγράμματα συντήρησης μιας εγκατάστασης φωτισμού περιλαμβάνουν την αντικατάσταση της φωτεινής πηγής, τον καθαρισμό του φωτιστικού σώματος, την απομάκρυνση των χαλασμένων εξαρτημάτων, τον έλεγχο των μεταπλαστικών συναρμογών, των οπτικών στοιχείων, καθώς και των οθονών που είναι υπεύθυνες για την ευθυγράμμιση και παρακολούθηση της λειτουργίας. Είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί η συχνότητα των επισκέψεων συντήρησης.

Σε παλαιές εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού, ο έλεγχος για τυχόν μη λειτουργικών φωτιστικών σωμάτων γινόταν με επισκέψεις κατά της νυχτερινές ώρες. Σε εγκαταστάσεις προσαρμοστικού οδικού φωτισμού, ο έλεγχος της πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικών συστημάτων παρακολούθησης.

Η συχνότητα αντικατάστασης των φωτεινών πηγών καθορίζεται από την τοπική πολιτική που ακολουθείται, το κόστος και τον τύπο φωτεινής πηγής που χρησιμοποιείται. Οι αποφάσεις δεν θα πρέπει να γίνονται καθαρά για οικονομικούς λόγους, αλλά θα πρέπει να λαμβάνει όλους της παρακάτω παράγοντες υπόψη:

- τον συντελεστή επιβίωσης λαμπτήρα(καθορίζεται από τον κατασκευαστή)
- τον παράγοντα συντήρησης φωτεινής ροής για το συγκεκριμένο συνδυασμό φωτεινής πηγής – ελέγχου μηχανισμού φωτός(καθορίζεται από τον κατασκευαστή)
- το σύστημα διακύμανσης της κατανάλωσης ενέργειας
- την πιθανότητα παρεμπόδισης κυκλοφορίας στο οδόστρωμα
- την ευκολία πρόσβασης και έκταση διαχείρισης της κυκλοφορίας
- την απαιτούμενη συχνότητα νυχτερινού ελέγχου
- τη συχνότητα ανάγκης καθαρισμού των φωτιστικών σωμάτων, σχετικά με το τοπικό περιβάλλον
- το συνολικό ποσοστό των διακοπών που μπορεί να γίνει ανεκτό οποιαδήποτε στιγμή χωρίς βλάβη στο επίπεδο και στην ποιότητα του φωτισμού
- τη συχνότητα επιθεωρήσεων για την ασφάλεια των ηλεκτρικών συστημάτων
- τη συχνότητα επιθεωρήσεων για την ασφάλεια της κατασκευής των στύλων φωτισμού καθώς και των συστημάτων που τις υποστηρίζουν
- την επίδραση διακοπών φωτισμού στην ασφάλεια της οδού
- την επίδραση διακοπών φωτισμού στο ηλεκτρικό σύστημα και ιδιαίτερα στο συστήματα αυτομάτου ελέγχου

Δρόμοι με περιορισμένη πρόσβαση συντήρησης

Αυτοκινητόδρομοι, δρόμοι διπλής κατεύθυνσης, ανισόπεδων κόμβων και γέφυρες δημιουργούν πρόσθετα προβλήματα συντήρησης των εγκαταστάσεων φωτισμού που σχετίζονται με θέματα ασφάλειας και κόστους και τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή των ρυθμίσεων φωτισμού. Τέτοια προβλήματα είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπ όψιν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού μιας εγκατάστασης. Οι παράγοντες που πρέπει να υπολογιστούν περιλαμβάνουν:

- την επίδραση των ασυνεχών λωρίδων έκτακτης ανάγκης
- τις ανάγκες της λωρίδας εργασιών, για όλους τους τύπους εργασιών συντήρησης του οδικού δικτύου
- την ανάγκη να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος τραυματισμού για το προσωπικό συντήρησης του οδοφωτισμού
- την ανάγκη ελαχιστοποίησης των καθυστερήσεων στην οδική κυκλοφορία
- την ανάγκη εκτροπής της κυκλοφορίας σε μία ή δύο λωρίδες όταν οι εργασίες συντήρησης το απαιτούν
- τη χρήση εργασιών συντήρησης χωρίς την ανάγκη περιορισμού της οδικής κυκλοφορίας
- τις συνέπειες και το κόστος της διαχείρισης της οδικής κυκλοφορίας

Περιβάλλον

Τα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με τον οδικό φωτισμό λαμβάνονται σοβαρά υπ όψιν από τους μηχανικούς κατά το σχεδιασμό ενός νέου ή κατά την

αντικατάσταση ενός παλαιού συστήματος φωτισμού. Πιο αναλυτικά, τα θέματα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι σχεδιαστές, περιλαμβάνουν:

- ελαχιστοποίηση του οχληρού φωτός
- παρεμπόδιση επαρκούς φωτισμού του οδοστρώματος από στοιχεία της φύσης
- εμφάνιση κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας
- επιπτώσεις της εγκατάστασης φωτισμού στην χλωρίδα και στην πανίδα
- συγκεκριμένα περιβαλλοντικά ζητήματα στο πλαίσιο της τοπικής πολιτικής σχεδιασμού της εγκατάστασης

Επιπλέον, η ασφάλεια των χρηστών υπερισχύει της αισθητικής σε περίπτωση σύγκρουσης συμφερόντων μεταξύ αυτών των δύο παραγόντων. Τέλος, θα πρέπει να ζητείται η γνώμη μηχανικών φωτισμού, ή άλλων ειδικών σε θέματα εμφάνισης και αισθητικής.

Εμφάνιση

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο σχεδιασμός και η χωροθέτηση του οδικού φωτισμού καθώς και του υπόλοιπου οδικού εξοπλισμού μπορεί να διαφοροποιήσει αισθητά την αισθητική μίας οδού, ακόμη και αν αυτό δεν μπορεί να εκτιμηθεί συνειδητά. Σε είδη δρόμων όπως μία γέφυρα, ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των στύλων φωτισμού μπορεί να συμβάλλει θετικά στην αρχιτεκτονική της περιοχής. Στις περιπτώσεις αυτές, η χωροθέτηση θα πρέπει να σχετίζεται με την αρχιτεκτονική και το φόντο του τοπίου. Για παράδειγμα, σε αστικές ζώνες με κτήρια, δέντρα, γρασίδι και πεζούς χρήστες του οδοστρώματος, ο εξοπλισμός του οδικού φωτισμού πρέπει να είναι όσο πιο διακριτικός γίνεται.

Κατά τις νυχτερινές ώρες, ο σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού πρέπει να συμβάλλει θετικά στη βελτίωση του νυχτερινού περιβάλλοντος. Ειδικότερα, ο σχεδιασμός πρέπει να εξασφαλίζει μία ευχάριστη και ελκυστική ατμόσφαιρα σε περιοχές με έντονη ροή πεζών ή οχημάτων. Επιπλέον, σε αστικές ζώνες είναι σημαντικό ο φωτισμός να παρέχει ασφάλεια στους χρήστες του δρόμου, βοηθώντας στην έγκαιρη αντίληψη των προθέσεων άλλων χρηστών, χωρίς ωστόσο να αμελούνται και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα.

Η εμφάνιση του χρώματος των πηγών φωτισμού είναι ανάλογη ενός μεγέθους, της σχετικής θερμοκρασίας χρώματος(TCP). Οι τιμές της TCP κατηγοριοποιούνται σε 3 ομάδες όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4-1 TCP ανά ομάδα εμφάνισης χρώματος

Εμφάνιση χρώματος	TCP (°K)
Ζεστό	<3300
Ενδιάμεσο	3300 το 5300
Κρύο	>5300

4.2.2. Εγκατάσταση

Τοποθέτηση Ιστών Οδικού Φωτισμού

Μια από τις πιο δύσκολες πτυχές του σχεδιασμού οδικού φωτισμού είναι η χωροθέτηση των ιστών φωτισμού. Κάθε δρόμος είναι διαφορετικός και παρουσιάζει διαφορετικές προκλήσεις. Ιδιαίτερα σε έναν ήδη εγκατεστημένο δρόμο, υπάρχουν πολλά τοπογραφικά και φυσικά χαρακτηριστικά που μπορούν να καθορίσουν τόσο τα κατάλληλα όσο και τα ακατάλληλα σημεία για την τοποθέτηση στύλων.

Διασταυρώσεις, διαβάσεις πεζών, στροφές, κλίσεις και κορυφές των λόφων συναντώνται συχνά σε ένα οδικό δίκτυο και ο φωτισμός τους μπορεί να απαιτήσει συμβιβασμούς. Συνολικά, οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε αυτά, τα ακόλουθα:

- εναέριες γραμμές μεταφοράς ενέργειας ή άλλο εμπόδιο
- υπόγειες γραμμές μεταφοράς ενέργειας ή άλλων υπηρεσιών κοινής ωφέλειας ή απόφραξη
- δέντρα, συμπεριλαμβανομένης της δυνητικής ανάπτυξης και του υπολογισμού για το καλοκαιρινό φύλλωμα
- τυχόν ζημιές στα κράσπεδα
- υποχρέωση ευθυγράμμισης με τα όρια ιδιοκτησίας
- ανάγκη ελαχιστοποίησης οχληρού φωτός, ιδίως όταν αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει παράθυρα οικιών
- ανάγκη να λαμβάνεται υπ' όψιν η θέα από τις κατοικίες πολιτών
- εύκολη προσβασιμότητα στη συντήρηση

Επίδραση Δέντρων

Κατά την εγκατάσταση ιστών φωτισμού είναι απαραίτητη η τοποθέτησή τους έτσι ώστε να μην απαιτείται ουσιαστική περικοπή των δέντρων και να λαμβάνεται υπόψη η πλήρης εξάπλωση τους. Αναλυτικότερα, οι στύλοι φωτισμού σε οδούς θα πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται προβλήματα όπως:

- η λανθασμένη λειτουργία φωτοκύτταρου
- μειωμένη πρόσβαση στη συντήρηση
- βλάβες σε φωτιστικά σώματα, σε έργα θεμελίωσης ή σε ηλεκτρικά καλώδια

Ιστοί φωτισμού και κίνδυνοι

Πολλά ατυχήματα περιλαμβάνουν ένα μηχανοκίνητο όχημα που εγκαταλείπει το οδόστρωμα, και εφόσον το όχημα συγκρούεται με ένα στύλο φωτισμού, η σοβαρότητα των τραυμαμάτων των επιβατών μπορεί να αυξηθεί. Ο αριθμός αυτών των συγκρούσεων είναι πιθανό να μειωθεί με αυξημένη απομάκρυνση των στύλων φωτισμού από την άκρη του οδοστρώματος. Στον παρακάτω πίνακα, προτείνονται οι ελάχιστες αποστάσεις από την άκρη του οδοστρώματος, ανά κατηγορία δρόμου. Η κατηγοριοποίηση έγινε με παράγοντα τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα.

Πίνακας 4-2 Πίνακας ελάχιστων αποστάσεων από το οδόστρωμα συναρτήσει του ορίου ταχύτητας

Ταχύτητα οχήματος (km/h)	Οριζόντια απόσταση (m)
≤50	0.8
≤80	1.0
≤100	1.5
≤120	1.5

Επιλογή ύψους στύλων

Κατά την επιλογή του ύψους των ιστών οδοφωτισμού, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπ' όψιν όλοι οι τεχνικοί και οικονομικοί περιορισμοί και η, κατά τη διάρκεια της ημέρας, εμφάνιση. Για αισθητικούς λόγους, το ύψος της τοποθέτησης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει εκείνη των γειτονικών κτιρίων.

Συνηθισμένα ύψη τοποθέτησης είναι 5 m και 6 m για οδούς εντός αστικής ζώνης, 8 m, 10 m και 12 m για οδούς ταχείας κυκλοφορίας, 12 m και 15 m για δρόμους υψηλής ταχύτητας με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση και αυτοκινητοδρόμους.

Ρυθμίσεις φωτιστικών σωμάτων

Υπάρχουν πολλές μεταβλητές για να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης οδοφωτισμού. Οι σχεδιαστές οφείλουν να εκτιμήσουν την ευκολία της συντήρησης, το κόστος διαχείρισης της κυκλοφορίας και την ασφάλεια των εργαζομένων του οδικού δικτύου. Τα διαφορετικά είδη εγκαταστάσεων φωτισμού των οδικών δικτύων είναι τα εξής:

- *ιστοί αντίθετα στο δρόμο*: χρησιμοποιούνται σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας
- *τμηματική εγκατάσταση*: χρησιμοποιείται σε οδούς αστικών περιοχών
- *μονής όψης*: χρησιμοποιούνται σε στενούς δρόμους καθώς και σε ευρέως χωρισμένα οδοστρώματα
- *δίδυμο κεντρικών ιστών*: χρησιμοποιούνται σε οδούς ταχείας κυκλοφορίας διότι παρέχουν σαφή οπτική καθοδήγηση για τη διαδρομή μέσα στους κόμβους
- *συνδυασμός διδύμου στο κέντρο και αντίθετων ιστών*: χρησιμοποιούνται σε περιοχές συγχώνευσης ή διαίρεσης του οδοστρώματος όπου ένας είδος εγκατάστασης φωτισμού είναι ανεπαρκές
- *αξονικός διάμεσος φωτισμός*: χρησιμοποιείται σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους και τα φωτιστικά σώματα έχουν μια κατανομή του φωτός με μία ισχυρή συνιστώσα εγκάρσιας.
- *φωτισμός υψηλού ιστού*: χρησιμοποιούνται όπου διατάξεις του οδοστρώματος, η απρόσκοπτη θέα και οι περιορισμοί στην τοποθέτηση των στύλων φωτισμού αποκλείουν συμβατικό φωτισμό, π.χ. σε μεγάλες διασταυρώσεις, σε ανισόπεδους κόμβους και σε σταθμούς διοδίων

Βιωσιμότητα Εγκατάστασης Φωτισμού

Υπάρχουν μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη βελτίωση της βιωσιμότητας μίας εγκατάστασης οδικού φωτισμού.

Για να επιτευχθεί μια βιώσιμη λύση δεν απαιτείται σημαντική οικονομική επένδυση, αλλά μία σωστή εκτίμηση των επιπτώσεων του σχεδίου από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Μαζί με τεχνολογικές λύσεις, όπως η χρήση ενεργειακά αποδοτικών πηγών φωτός και ελέγχων στη φωτεινότητα μέσω dimming, καθώς και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, απλές πρακτικές, όπως η επιλογή της κατάλληλης κατηγορίας φωτισμού και η χρήση των μεταβλητών φωτισμού μπορεί να συμβάλει στο να καταστεί πιο βιώσιμη μια εγκατάσταση.

Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φωτισμού, ο σχεδιασμός θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο βιώσιμος ενώ παράλληλα να πληροί τις απαιτούμενες παραμέτρους σχεδιασμού, που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου 4.2.1.

4.2.3. Πρόταση οδηγού εφαρμογής

Το νομοθετικό πλαίσιο του προσαρμοστικού οδοφωτισμού θα περιγράφει ξεχωριστά για κάθε κατηγορία φωτισμού του πίνακα 1 - λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις παραμέτρους του πίνακα 2 – την τεχνολογία και τον τρόπο χρήσης της που θα χρησιμοποιείται ανά περίπτωση. Προτού ξεκινήσει η παραπάνω διαδικασία, θεωρήσαμε αναγκαία τη γραφή κάποιων γενικών προτάσεων εφαρμογής για τον προσαρμοστικό οδοφωτισμό, οι οποίοι θα ισχύουν για κάθε κατάσταση οδικού φωτισμού και είναι σε πλήρη συνάρτηση με ορισμένες παραμέτρους του πίνακα 2. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η συγγραφή των σεναρίων και των παραμέτρων με βάση τα οποία καταγράφηκαν οι κανόνες σχετικά με τις ώρες λειτουργίας ανά περίοδο και την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων.

Συνεπώς:

Φωτιστικά σώματα οδικών δικτύων

Τα φωτιστικά σώματα των οδών τίθενται σε λειτουργία το ηλιοβασίλεμα και απενεργοποιούνται με την ανατολή της επόμενης ημέρας. Η κατανάλωση ενέργειας τους επηρεάζεται από τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Αυτό εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση, την εποχή, τον καιρό, και το τοπικό περιβάλλον. Στην Ελλάδα λόγω του γεωγραφικού μήκους και πλάτους της χώρας κατά τη χειμερινή περίοδο θέτουμε όρια λειτουργίας 17:00 – 7:30, ενώ κατά τη θερινή περίοδο 20:00 – 6:30.

Κυκλοφοριακή ροή

Για να προσεγγιστεί ο πραγματικός όγκος της κυκλοφοριακής ροής των οχημάτων σε ένα δρόμο, προτείνεται να εξετάζονται 5 διαφορετικές ώρες ανά ημέρα για τις μέρες της εβδομάδας και αντίστοιχα 5 διαφορετικές για το Σάββατο και την Κυριακή, οπότε η ροή στους δρόμους είναι περισσότερη. Επιπλέον, θεωρούμε ως σταθερή ταχύτητα σε κατοικημένες περιοχές τα 50km/h, το οποίο είναι και το όριο ταχύτητας και αντίστοιχα σε αυτοκινητόδρομους τα 120km/h.

Φωτισμός αστικών κέντρων

Σε εκείνα τα τμήματα των αστικών κέντρων καθώς και σε κοινόχρηστους χώρους αναψυχής με σημαντική κυκλοφορία πεζών, πρέπει να προβλέπεται φωτισμός σε κατακόρυφα επίπεδα, εκτός από τα οριζόντια, για να γίνεται πιο εύκολος ο εντοπισμός των πεζών.

Στις αστικές περιοχές, ο αποδοτικός φωτισμός του οδοστρώματος για την κίνηση της κυκλοφορίας δεν πρέπει να αποτελεί πρωταρχικό μέλημα των μηχανικών σχεδίασης.

Τα αστικά κέντρα εξυπηρετούν πολλούς χρήστες με διαφορετικές, και ενίοτε αντικρουόμενες ανάγκες, συνεπώς είναι απαραίτητο να καταρτιστεί ένα γενικό σχέδιο το οποίο θα περιέχει όλους τους σχετικούς στόχους του οδοφωτισμού στις αστικές ζώνες κατά σειρά αντιληπτής σημασίας. Οι στόχοι αυτοί είναι:

- η ύπαρξη κατάλληλου φωτισμού έτσι ώστε να αποτρέπεται ο κίνδυνος από τα κινούμενα οχήματα για τους πεζούς
- ο φωτισμός να είναι ανάλογος με τον όγκο της κυκλοφορίας της οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των ποδηλάτων
- για τη σχεδίαση της εγκατάστασης φωτισμού και την επιλογή του εξοπλισμού να λαμβάνεται υπ όψιν η αρχιτεκτονική της περιοχής και το αστικό τοπίο
- να γίνεται έλεγχος του φωτισμού των διαφημίσεων για την αποφυγή φωτορύπανσης και ατυχημάτων
- να γίνεται έλεγχος του ήδη υπάρχοντος φωτισμού των κτηρίων και εντάσσεται ομαλά στο σχέδιο φωταγώγησης της περιοχής
- να γίνεται έλεγχος των προσωρινών φωτιστικών εφέ κατά τη διάρκεια εκδηλώσεων ή εορτών
- να ελέγχεται ο φωτισμός των πινακίδων κατεύθυνσης και η σχέση του με άλλα φωτεινά υλικά
- να ελέγχεται η ανάμειξη του οδικού φωτισμού με άλλες φωτεινές πηγές εντός αστικών κέντρων, όπως φωτισμός σε στάσεις λεωφορείων ή σε περίπτερα
- να υπάρχει μέριμνα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ιδιοκτησίας από το σκνηρό φως
- να υπάρχει μέριμνα για την προστασία των εγκαταστάσεων από τυχαία ή σκόπιμη ζημιά
- να αποφεύγεται η ακαταστασία στο οδικό δίκτυο
- να διευκολύνεται η μελλοντική συντήρηση των εγκαταστάσεων



Εικόνα 4-5 Μείωση φωτεινότητας με dimming συναρτήσει της φωτεινότητας περιβάλλοντος

Γενικές προτάσεις χρήσης ευφυούς οδικού φωτισμού

- i. Σε αστικές περιοχές, σε ώρες που τα εμπορικά καταστήματα παραμένουν ανοικτά και συνεπώς ο υπάρχων φωτισμός περιβάλλοντος είναι υπεραρκετός, η φωτεινότητα στις οδούς είναι απαραίτητο να μειωθεί με *dimming* έως και 40%, καθώς δεν τίθεται θέμα επικινδυνότητας ή αναγνώρισης προσώπων.
- ii. Σε αστικές οδούς με υψηλό δείκτη εγκληματικότητας, παραβλέπεται ο παραπάνω κανόνας και κατά τις νυχτερινές ώρες δεν επιτρέπεται να υπάρξει μείωση της φωτεινότητας με *dimming* περισσότερο από 15%.
- iii. Σε αστικές οδούς με υψηλό δείκτη εγκληματικότητας, συστήνεται η εγκατάσταση φωτιστικών LED για τη βελτίωση της ορατότητας και καλύτερη αναγνώριση προσώπων κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- iv. Σε δρόμους όπου η κυκλοφοριακή ροή δεν υπερβαίνει τα 4.000 οχήματα ανά ημέρα, συστήνεται η μείωση του οδικού φωτισμού έως και 80% κατά τη διάρκεια της νύχτας με *step-by-step dimming*. Το *step-by-step dimming* θα γίνεται ως εξής:

Υποθέτοντας ότι η νύχτα διαρκεί 10 ώρες, τις πρώτες 8 ώρες έχουμε μείωση της φωτεινότητας κατά 10% ανά ώρα, έως ότου φτάσουμε στο επιθυμητό όριο που έχουμε θέσει το οποίο θα συνεχιστεί έως την ανατολή του Ηλίου. Θα χρησιμοποιείται σύστημα αυτομάτου ελέγχου συγχρονισμένο ημερολογιακά με την εκάστοτε περιοχή.

- v. Σε οδούς με κυκλοφοριακή ροή 4.000 έως 7.000 οχημάτων ανά ημέρα, συστήνεται η μείωση της φωτεινότητας κατά 70% με *step-by-step dimming* όπως περιγράφηκε παραπάνω.
- vi. Σε οδούς με κυκλοφοριακή ροή 7.000 έως 15.000 οχημάτων ανά ημέρα, συστήνεται η μείωση της φωτεινότητας κατά 50% με *step-by-step dimming* ως εξής:

Μείωση κατά 25% τις πρώτες 4 νυχτερινές ώρες και στη συνέχεια μείωση κατά επιπλέον 25% της φωτεινότητας για το υπόλοιπο της νύχτας.

- vii. Σε δρόμους με κυκλοφοριακή ροή 15.000 έως 25.000 οχημάτων ανά ημέρα, συστήνεται η μείωση της φωτεινότητας κατά 30% με *step-by-step dimming*, κατά αντιστοιχία με την αμέσως προηγούμενη περίπτωση.
- viii. Σε δρόμους κυκλοφοριακής ροής 25.000 έως 40.000 οχημάτων ανά ημέρα,

συστήνεται η μείωση της φωτεινότητας με *dimming* κατά 20% κατά τις ώρες 12:30 – 5:30.

- ix. Σε δρόμους όπου η κυκλοφοριακή ροή υπερβαίνει τα 40.000 οχήματα ανά ημέρα, συστήνεται η μείωση του οδικού φωτισμού έως 10% κατά τις ώρες 12:30 – 5:30.
- x. Σε αυτοκινητόδρομους, είναι απαραίτητο να μην μειώνεται ποτέ ο φωτισμός στις διασταυρώσεις και να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον φωτισμό των διασταυρώσεων ανισόπεδων κόμβων.
- xi. Είναι απαραίτητο να φωτίζονται σωστά οι διαβάσεις πεζών και οι Λ.Ε.Α., συνεπώς δεν θα υπάρξει μείωση με *dimming* της φωτεινότητας σε τέτοιες περιπτώσεις και επιπλέον συστήνεται η χρήση φωτιστικών LED.
- xii. Σε οδικές αρτηρίες με μεγάλες αποκλίσεις της κυκλοφοριακής ροής των οχημάτων ανά περίοδο, όπως για παράδειγμα σε κεντρικές λεωφόρους νησιών, είναι απαραίτητη η μείωση του φωτός με *dimming* τουλάχιστον κατά 50% τις νυχτερινές ώρες κατά τις περιόδους ιδιαίτερα μειωμένης ροής οχημάτων(χειμερινή περίοδος σε νησιά).
- xiii. Σε περιοχές όπου κατά ένα μεγάλο διάστημα του χρόνου επικρατεί υγρασία ή/και υψηλά ποσοστά βροχόπτωσης, συστήνεται η χρήση φωτιστικών LED και επιτρέπεται η μείωση της φωτεινότητας έως και 20% κατά τις νυχτερινές ώρες με χρήση *dimming*.
- xiv. Συστήνεται η χρησιμοποίηση ηλιακών φωτιστικών συστημάτων LED, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως τα νησιά, όπου η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι ο οδηγός για την ενεργειακή αυτονομία των περιοχών αυτών, παράλληλα με το κατά πολύ χαμηλότερο κόστος που θα επιβαρύνει τους κατοίκους.
- xv. Σε οδικές αρτηρίες που χρησιμοποιούνται από ποδηλάτες, η δεξιά λωρίδα του δρόμου συστήνεται να εξασθενεί με *step-by-step dimming* ανά μία ώρα από τη στιγμή που σκοτεινιάσει έως ότου φτάσει στο 50% της αρχικής έντασης φωτισμού.
- xvi. Φωτίζονται χωρίς καθόλου εξασθένιση κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι διαβάσεις πεζών εντός αστικών περιοχών ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια όλων των χρηστών του δρόμου.

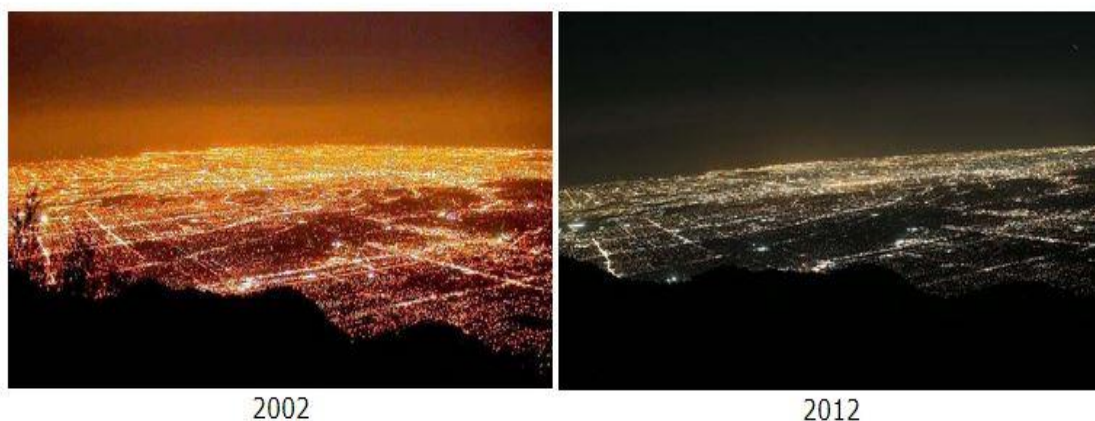
- xvii. Σε ακτίνα 500 μέτρων από κεντρικούς σταθμούς Μ.Μ.Μ. όπως λεωφορείων, αστικών και υπεραστικών, και τρένων συστήνεται η μη εξασθένιση του οδοφωτισμού περισσότερο από 20%, καθώς αφορούν οδούς με μεγάλη κυκλοφοριακή ροή από όλα τα είδη των χρηστών.
- xviii. Σε ακτίνα 1 χλμ. από κεντρικά λιμάνια και αεροδρόμια συστήνεται η μη εξασθένιση του οδικού φωτισμού για λόγους ασφαλείας και λόγω της αυξημένης ροής των οδών επί 24ώρου βάσεως.
- xix. Σε περιοχές όπου κατά ένα μεγάλο μέρος του χρόνου καλύπτονται από χιόνι, είναι απαραίτητη η λειτουργία του οδοφωτισμού στο 70% της μέγιστης έντασης του κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς η ορατότητα είναι αισθητά βελτιωμένη λόγω της παρουσίας λευκού χιονιού.

Η απόφαση για το αν ο φωτισμός θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ή να μεταβληθεί μέσω dimming ξέχωρα από τις παραπάνω προτάσεις πρέπει να γίνεται μόνο μετά από πλήρη διαβούλευση με τα ενδιαφερόμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένης της αστυνομικής αρχής και των εκπροσώπων των χρηστών του οδικού δικτύου, μαζί με μια συνολική εκτίμηση των κινδύνων.

Χρήση ευφυούς οδικού φωτισμού ανά κατάσταση φωτισμού

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους παραπάνω γενικούς κανόνες προχωράμε στην πρόταση ενός συνόλου κανόνων για τη χρήση προσαρμοστικού οδοφωτισμού σε κάθε κατάσταση οδικού φωτισμού. Οι καταστάσεις περιγράφονται αναλυτικά στο πίνακα 4-2.

View from Mt. Wilson



Εικόνα 4-6, Πόρτλαντ με διαφορά 10 ετών

Πίνακας 4-3 Προτάσεις χρήσης adaptive lighting ανά κατηγορία οδοφωτισμού

Κατάσταση Φωτισμού	Προτάσεις χρήσης προσαρμοστικού φωτισμού
A1	Πρόκειται για αυτοκινητοδρόμους ή οδούς ταχείας κυκλοφορίας, συνεπώς δεν υπάρχει εξασθένιση του οδοφωτισμού σε διασταυρώσεις και Λ.Ε.Α., ενώ παράλληλα εξετάζοντας τις γενικές προτάσεις αποφασίζεται η εξασθένιση του φωτός κατά τις νυχτερινές ώρες σε συνάρτηση με την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων.
A2	Πρόκειται για αυτοκινητοδρόμους ή οδούς ταχείας κυκλοφορίας, συνεπώς δεν υπάρχει εξασθένιση του οδοφωτισμού σε διασταυρώσεις και Λ.Ε.Α., ενώ παράλληλα εξετάζοντας τις γενικές προτάσεις αποφασίζεται η εξασθένιση του φωτός κατά τις νυχτερινές ώρες σε συνάρτηση με την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων.
A3	Πρόκειται για αυτοκινητοδρόμους ή οδούς ταχείας κυκλοφορίας, συνεπώς δεν υπάρχει εξασθένιση του οδοφωτισμού σε διασταυρώσεις

	και Λ.Ε.Α., ενώ παράλληλα εξετάζοντας τις γενικές προτάσεις αποφασίζεται η εξασθένιση του φωτός κατά τις νυχτερινές ώρες σε συνάρτηση με την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων. Επιπλέον, λαμβάνονται υπ' όψιν οι ρυθμίσεις που βρίσκονται στους γενικούς κανόνες και αφορούν τους ποδηλάτες.
B1	Πρόκειται για οδούς ταχείας κυκλοφορίας εντός πόλεων, όπου οι χρήστες είναι αργά κινούμενα οχήματα, ποδηλάτες και πεζοί, συνεπώς δεν υπάρχει εξασθένιση του φωτός σε διασταυρώσεις, σε διαβάσεις πεζών και επιπλέον, λαμβάνονται υπ' όψιν οι ρυθμίσεις που βρίσκονται στους γενικούς κανόνες και αφορούν τους ποδηλάτες. Ακόμη, μελετώντας την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων γίνεται η αντιστοιχία με τις γενικές προτάσεις, έτσι ώστε να αποφασιστεί ο τρόπος εξασθένισης του φωτός. Καθ' ότι πρόκειται για αστικές περιοχές, δίνεται έμφαση στον συνεχή φωτισμό σημείων με υψηλή εγκληματικότητα, για μεγαλύτερη ασφάλεια των πολιτών.
B2	Αντίστοιχα με την κατάσταση B1, δεν υπάρχει εξασθένιση φωτός σε διασταυρώσεις και διαβάσεις πεζών, ενώ δίνεται περισσότερη έμφαση στον φωτισμό των ποδηλατοδρόμων, καθ' ότι οι ποδηλάτες λογίζονται ως κύριοι χρήστες των οδών αυτών. Επιπλέον, δεν αμελείται ο φωτισμός σημείων υψηλής εγκληματικότητας, όπου σύμφωνα με τις γενικές προτάσεις, είναι απαραίτητο να είναι συνεχής και απαγορεύεται η μείωση της φωτεινότητας με dimming πάνω από το επιτρεπτό όριο του 15%. Λαμβάνεται υπ' όψιν επίσης και το γεγονός ότι πολλά εμπορικά καταστήματα είναι πιθανόν να μένουν ανοικτά κατά τις πρώτες νυχτερινές ώρες, συνεπώς συστήνεται η εξασθένιση με dimming της έντασης φωτισμού έως 40% και στη συνέχεια η σταδιακή αύξηση της, μετά το κλείσιμο των εμπορικών καταστημάτων.
C1	Στην προκείμενη κατάσταση φωτισμού, οι επιτρεπόμενοι χρήστες είναι ποδηλάτες και πεζοί, συνεπώς σύμφωνα με τις γενικές προτάσεις, δεν υπάρχει εξασθένιση της έντασης φωτισμού σε διαβάσεις πεζών και υπάρχει σταδιακή εξασθένιση του φωτισμού έως 50% στους ποδηλατοδρόμους. Ακόμη, δεν παραβλέπονται οι περιοχές με υψηλό δείκτη εγκληματικότητας.
D1	Πρόκειται για οδούς με αργά κινούμενα οχήματα και πεζούς, συνεπώς σύμφωνα με τις γενικές προτάσεις, η εξασθένιση του φωτός με dimming γίνεται σε συνάρτηση με την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων ανά περιοχή. Επιπλέον, δεν υπάρχει εξασθένιση σε διαβάσεις πεζών και λαμβάνονται υπ' όψιν οι περιοχές με υψηλό δείκτη εγκληματικότητας.
D2	Αντίστοιχα με την κατάσταση D1, με τη μόνη διαφορά ότι προστίθενται ποδηλάτες στους χρήστες συνεπώς υπάρχει εξασθένιση της έντασης του φωτισμού με step-by-step dimming έως 50% στους ποδηλατοδρόμους.
D3	Όμοια με την D2.

D4	Αντίστοιχα με τις D1,D2,D3 ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον συνεχή φωτισμό των διαβάσεων πεζών, καθώς και των διασταυρώσεων, καθ' όσον οι οδοί χρησιμοποιούνται εξίσου από οχήματα, πεζούς, ποδηλάτες κάτι που καθιστά δυσκολότερη την ασφαλή συνύπαρξή τους κατά τις νυχτερινές ώρες.
E1	Πρόκειται για πεζόδρομους χωρίς την παρουσία οχημάτων ή ποδηλάτων, συνεπώς εξετάζεται η λειτουργία ή όχι εμπορικών καταστημάτων, ο δείκτης εγκληματικότητας καθώς και οι διαβάσεις πεζών και λαμβάνονται υπ' όψιν οι γενικές προτάσεις σχετικά με την ένταση του φωτισμού.
E2	Αντίστοιχα με την κατάσταση E1, με τη διαφορά ότι υπάρχει η πιθανότητα κίνησης οχημάτων ή ποδηλάτων αργά, συνεπώς συστήνεται προσοχή στο συνεχή φωτισμό των διαβάσεων πεζών και στη σταδιακή εξασθένιση του φωτισμού στη δεξιά λωρίδα των οδών όπου κινούνται οι ποδηλάτες.

Επιλογή φωτιστικής κλάσης ανά περίπτωση

Η διαδικασία επιλογής της φωτιστικής κλάσης ακολουθεί τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Επιλογή της κλάσης φωτισμού από το σχετικό πίνακα. Στο παράρτημα Α περιέχονται όλοι οι σχετικοί πίνακες σχετικά με την επιλογή της κατάλληλης φωτιστικής κλάσης Α.1 –Α.8.

Βήμα 2: Αξιολόγηση του κινδύνου για τον εντοπισμό συγκεκριμένων αναγκών φωτισμού για το δρόμο, όπως π.χ. τις συγκεκριμένες τοπικές καιρικές συνθήκες και την τοπογραφία της περιοχής.

Βήμα 3: Εάν είναι απαραίτητο, ρύθμιση του φωτισμού μία τάξη πάνω ή κάτω με βάση τους εκτιμώμενους κινδύνους. Η προσαρμογή κανονικά δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 1 κλάση πάνω ή κάτω.

Βήμα 4: Εκτίμηση των αναγκών φωτισμού για να κρίνουν κατά πόσον διαφορετικές κατηγορίες φωτισμού εφαρμόζονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές της νύχτας λόγω των αλλαγών στη ροή της κυκλοφορίας ή σε άλλες παραμέτρους. Εφόσον συντρέχουν τέτοιες μεταβολές, δημιουργείται ένα προφίλ φωτισμού για το καθεστώς μεταβολής του επιπέδου φωτισμού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Αναλυτικά οι κλάσεις φωτισμού παρουσιάζονται στο **παράρτημα Α**.

Κεφάλαιο 5

Τεχνολογίες ευφυούς οδικού φωτισμού

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται εκτενώς οι τεχνολογίες software και hardware οι οποίες χρησιμοποιούνται στον προσαρμοστικό οδοφωτισμό, αναλύοντας παραδείγματα εφαρμογών των τεχνολογιών αυτών που έλαβαν χώρα σε χώρες του εξωτερικού. Πολλά από τα παρακάτω παραδείγματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και στη χώρα μας, ιδιαίτερα η εφαρμογή του TALiSMaN.

5.1. Φωτιστικό σύστημα LED

Ένα σαφές μειονέκτημα ενός συμβατικού συστήματος φωτισμού είναι ότι στερείται της απαραίτητης ευελιξίας για τυχόν μετεγκατάσταση των φωτεινών πηγών, και αυτό καθιστά υπερβολικά δύσκολη την αποκατάστασή ολόκληρου του συστήματος φωτισμού όταν αυτό αφορά μεγάλες περιοχές όπως π.χ. έναν δρόμο ταχείας κυκλοφορίας. Στη σύγχρονη εποχή, η άμεση χρήση ενέργειας στο φωτισμό σε ένα οδικό δίκτυο πρέπει να ρυθμίζεται σε πραγματικό χρόνο για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού βασίζεται στην ενσωμάτωση του αυτοματισμού, των Η/Υ καθώς και της επικοινωνίας μεταξύ των δικτύων στο ίδιο το σύστημα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Σε ένα συμβατικό σύστημα φωτισμού, μια πηγή φωτός μπορεί να είναι απλώς η ενεργοποίηση / απενεργοποίηση με το χέρι, ενώ, αντίθετα σε ένα έξυπνο σύστημα, οι διάφορες προκαθορισμένες λειτουργίες φωτισμού προεγκατεστημένες στο σύστημα φωτισμού, είτε ενσύρματα είτε ασύρματα, για να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες του χρήστη. Εκτός αυτού, συνήθως, ένα βαριά φορτωμένο σύστημα φωτισμού απαιτεί ένα διακόπτη υψηλής χωρητικότητας, και απαιτεί μεγάλο όγκο καλωδίων για να οδηγήσει ένα μακρινό φορτίο. Αντιθέτως, σε ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού ένα φορτίο τροφοδοτείται απευθείας από έναν οδηγό εξόδου, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί η ισχύς ενός διακόπτη όταν το σύστημα είναι βαριά φορτωμένο και απλώς απαιτεί μια μακρά γραμμή σήματος να οδηγεί σε ένα μακρινό φορτίο. Επιπλέον, ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού μπορεί να γίνει με ροοστάτη και να ελεγχθεί μέσω ενός χρονοδιακόπτη. Όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα, ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού LED περιλαμβάνει έναν ανορθωτή που ακολουθείται από μια διόρθωσης συντελεστή ισχύος και, στη συνέχεια, από ένα μετατροπέα DC / DC.

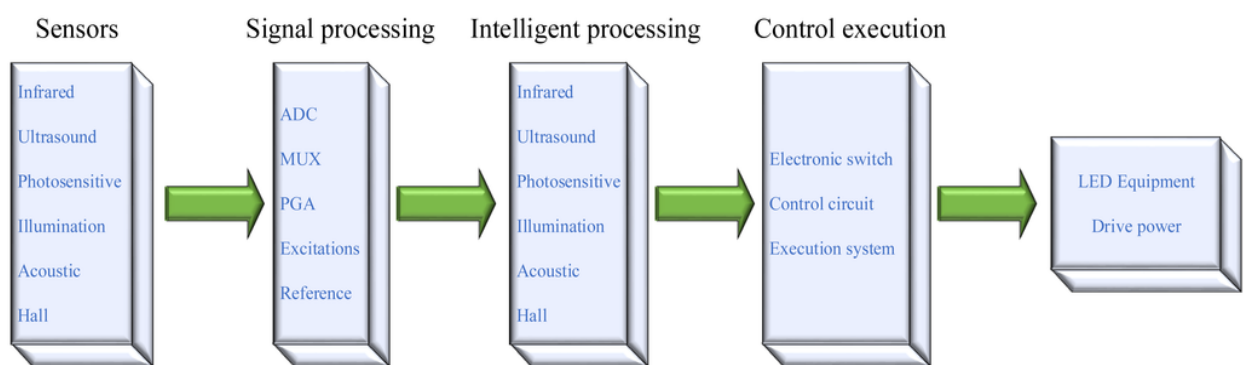


Εικόνα 5-1 σύστημα οδοφωτισμού με χρήση LED

Κατά κανόνα, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τον ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό, η χρήση των πηγών φωτός υψηλής απόδοσης, καθώς και η ανάπτυξη των έξυπνων τεχνικών φωτισμού. Μια απεικόνιση των τελευταίων είναι η θερμική υπέρυθρη τεχνική ανίχνευσης, με τη χρήση των οποίων, ο φωτισμός συγκεκριμένων χώρων μπορεί να ενεργοποιηθεί / απενεργοποιηθεί αυτόματα όταν δεν υπάρχει κάποιος παρών. Αξίζει να τονιστεί επίσης ότι ένα σύστημα φωτισμού μπορεί να γίνει προσαρμοστικό, έτσι ώστε η φωτεινότητα να διατηρείται σε σταθερό επίπεδο,

λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά της ηλιοφάνειας. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές της δεκαετίας του 1970, οι ανεπτυγμένες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν πράσινες τεχνολογίες φωτισμού λόγω οικολογικών ανησυχιών.

Ένα σύστημα οδοφωτισμού με χρήση LED έχει ενσωματωμένη μια ευρεία ποικιλία αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων IR, με υπερήχους, φωτός, φωνής καθώς και αισθητήρες Hall. Με αυτόν τον τρόπο, διάφορα είδη ανιχνεύοντων σημάτων μπορούν να υποβάλλονται σε επεξεργασία κατά τέτοιο τρόπο που ένα σύστημα φωτισμού LED μπορεί να λειτουργεί με έξυπνο τρόπο. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα μία ποικιλία ασυρμάτων μονάδων επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των ZigBee, WLAN, TCP / IP, LAN μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα έξυπνο σύστημα οδοφωτισμού με LED.



Εικόνα 5-2 Λειτουργία Συστήματος Φωτισμού LED

Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος οδοφωτισμού LED είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπ' όψιν οι συνθήκες λειτουργίας, τυχόν περιορισμοί για τα ηλεκτρικά και οπτικά συστήματα, το κόστος, το λογισμικό οδήγησης που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και ο αναμενόμενος χρόνος ζωής του συστήματος. Με τον παραπάνω τρόπο εγκαθίστανται τα τελευταία χρόνια συστήματα φωτισμού LED σε οδικές αρτηρίες αλλά και σε κτήρια, μειώνοντας αισθητά το ενεργειακό κόστος λειτουργίας τους.

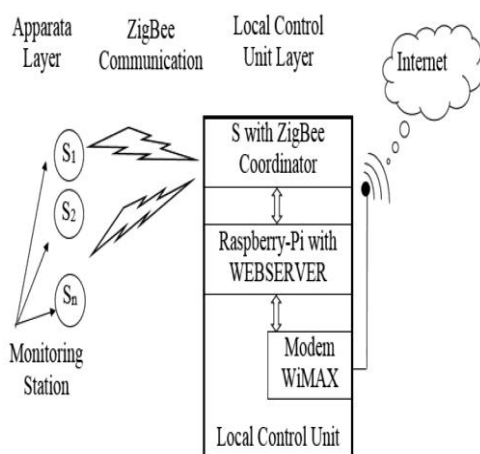
5.2. Εφαρμογή adaptive street lighting σε 'έξυπνη' πόλη

Το πρόγραμμα Smart City (SC) αλλάζει ως επί το πλείστον την παραδοσιακή έννοια της πόλης. Μια 'έξυπνη' πόλη καθιστά δυνατή την ανάπτυξη στρατηγικών παρακολούθησης και αυτοματοποίησης οι οποίες διασφαλίζονται από έξυπνες συσκευές και συσκευές επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολλές εφαρμογές. Μέσα σε αυτό το ευρύ πλαίσιο, ο δημόσιος φωτισμός, όντας ο μεγαλύτερος καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας, έχει πρόσφατα προσελκύσει το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας. Οι επιστήμονες, συνδυάζοντας το παράδειγμα των smart cities με τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας και τις νέες τεχνολογίες φωτισμού, έχουν συλλάβει συστήματα adaptive street lighting τα οποία φάνταζαν αδιανόητα λίγα χρόνια πριν και τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της εξοικονόμησης ενέργειας και συνεπώς την εξοικονόμηση χρημάτων.

Η παρακάτω εφαρμογή παρουσιάζει το πώς μία νησίδα λαμπτήρων σε περιοχή χωρίς δίκτυο ADSL ή 3G, είναι δυνατό να διαχειριστεί αποτελεσματικά εφαρμόζοντας τις

αρχές της έξυπνης πόλης. Η αρχή αυτή λοιπόν, χωρίζει την περίπλοκη δομή της νησίδας σε στρώματα τα οποία συνδέονται με στρώματα επικοινωνίας. Κάθε στρώμα χρησιμοποιεί καινοτόμες τεχνολογίες για να καταστεί δυνατή η εφαρμογή των στρατηγικών της 'έξυπνης' πόλης. Για παράδειγμα, ο φανοστάτης εκμεταλλεύεται ορισμένες καινοτόμες τεχνολογίες, τόσο για την προμήθεια (φωτοβολταϊκά πάνελ), καθώς και για τον έλεγχο (δίκτυο ZigBee και Raspberry-Pi). Επιπλέον, για να αντιμετωπιστεί η απουσία του ADSL και του δικτύου 3G, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες WiMAX που επιτρέπουν τον πλήρη έλεγχο της νησίδας από έναν απομακρυσμένο σταθμό.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος έχει σχεδιαστεί ως μια ιεραρχική δομή στρωμάτων για τον πλήρη έλεγχο των ενοτήτων που αποτελούνται από αισθητήρες, ενεργοποιητές και τοπικές κάρτες ελέγχου. Κάθε στρώμα πραγματοποιεί κάποιες δραστηριότητες ελέγχου και μεταδίδει πληροφορίες στα άλλα στρώματα. Η αρχιτεκτονική προβλέπει τρία στρώματα: *οργάνων*, *τοπικού ελέγχου* και *τηλεχειρισμού*.



Εικόνα 5-3 Αρχιτεκτονική adaptive lighting σε μία 'έξυπνη' πόλη

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή, καθώς συναντώνται σε αρκετές εφαρμογές προσαρμοστικού οδοφωτισμού.

ZigBee

Το ZigBee είναι ένα πρότυπο για ασύρματη επικοινωνία με βάση το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4. Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση διάφορων συσκευών μεταξύ τους δημιουργώντας ένα δίκτυο πλέγματος χωρίς κεντρική ισχυρή συσκευή, αλλά με διανεμημένους κόμβους ικανούς να μεταφέρουν δεδομένα μέσω όλων των ενδιαμέσων μορίων. Τόσο το Wi-Fi, όσο και το Bluetooth έχουν υψηλότερα bit rates από το ZigBee, αλλά η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας και η μείωση του αριθμού των συσκευών που απαρτίζουν το δίκτυο δείχνουν ότι η τεχνολογία ZigBee είναι η καταλληλότερη για να δημιουργήσουμε δίκτυα αισθητήρων για εφαρμογές όπου η κατανάλωση ισχύος θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Επιπλέον, μελέτες απέδειξαν ότι η ZigBee είναι πιο προσιτή από πλευράς κατανάλωσης ενέργειας και κόστους σε σύγκριση με ανταγωνιστικές τεχνολογίες.

Η επικοινωνία μεταξύ των φανοστατών στη νησίδα έχει επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το πρότυπο ZigBee ως εξής: χρησιμοποιείται μια τοπολογία πλέγματος με ένα συντονιστή, routers (ονομάζεται επίσης πρωτεύον) και κόμβων τερματικής συσκευής (που ονομάζεται επίσης δευτερεύον). Η πρώτη ελέγχει το σχηματισμό και την ασφάλεια των δικτύων, η δεύτερη διευρύνει το φάσμα των δικτύων, ενώ ο τελευταίος εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες ανίχνευσης ή ελέγχου.

RaspBerry-Pi

Ο ρόλος του συντονιστή είναι η ενσωμάτωση του υπολογιστικού μέρους του συστήματος. Για το σκοπό αυτό, έχει υιοθετηθεί η κάρτα RaspBerry Pi, η οποία εξασφαλίζει υψηλή υπολογιστική ισχύ και τη διασύνδεση με άλλες συσκευές, όπως το μόντεμ WiMAX.

Ο RaspBerry Pi είναι ένας χαμηλού κόστους (~25 €) βασικός υπολογιστής που περιέχεται σε έναν πίνακα κυκλωμάτων μεγέθους πιστωτικής κάρτας και διαθέτει θύρες για HDMI, USB 2.0, σύνθετο βίντεο, αναλογικό ήχο, Διαδίκτυο και κάρτα SD. Ο υπολογιστής τρέχει εξ ολοκλήρου σε λογισμικό ανοιχτού κώδικα και είναι σε θέση να εκτελέσει πολλές εφαρμογές όπως: φύλλα Excel, επεξεργασία κειμένου, παιχνίδια, και αναπαραγωγή βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Το RaspBerry είναι το κέντρο του συστήματος, δεδομένου ότι επιτρέπει την απεικόνιση της κατάστασης ολόκληρου του συστήματος φωτισμού. Είναι συνδεδεμένο με το τοπικό σταθμό παρακολούθησης μέσω του δικτύου ZigBee για τη διαχείριση των διαφορετικών φανοστατών. Επιπλέον, είναι σε θέση να λαμβάνει πληροφορίες από τους δευτερεύοντες φανοστάτες καθώς και από τις κάρτες του αισθητήρα παρουσίας που επιτρέπει την παρακολούθηση του νησιού.

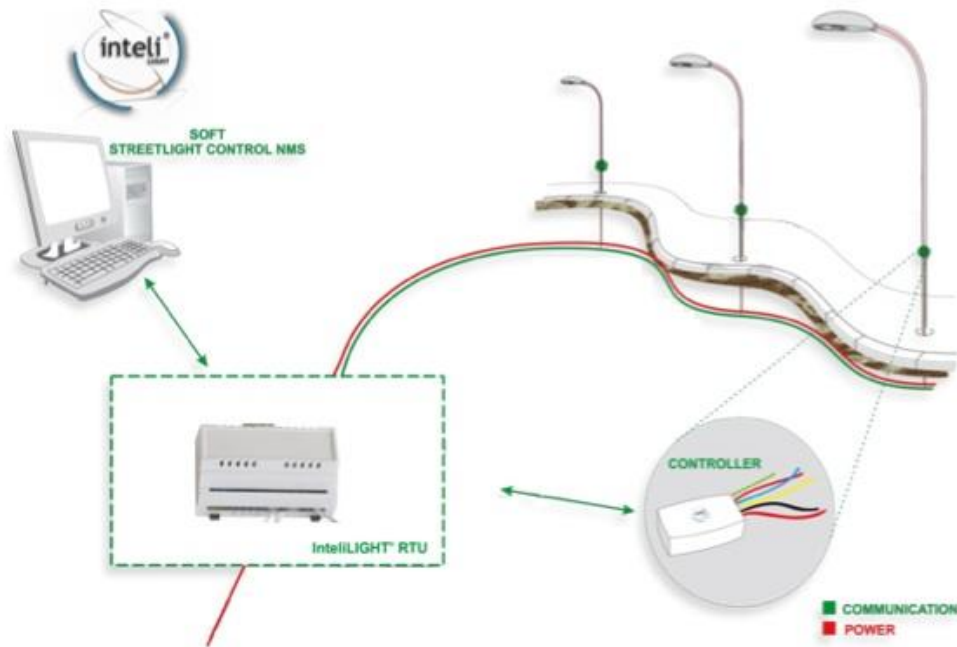
Μαζί, το RaspBerry και ο τοπικός σταθμός παρακολούθησης συνθέτουν το σταθμό ελέγχου βάσης του συντονιστή, η οποία λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των φανοστατών.

WiMAX

Το WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι η τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για να συνδέσετε την Τοπική Μονάδα Ελέγχου με το World Wide Web. Είναι βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.16 και έχει στόχο να παρέχει σύνδεση στο Διαδίκτυο σε περιοχές όπου η κανονική υπηρεσία DSL εξακολουθεί να είναι δύσκολη και δαπανηρή για την εγκατάστασή της ή σε τμήματα πόλεων που δεν φτάνουν σήματα 3G/4G.

Ο λόγος για την επιλογή της τεχνολογίας WiMAX είναι ότι σε ορισμένα τμήματα της πόλης, όπως π.χ. πολύ μακριά από το κέντρο της πόλης, μερικές φορές, υπάρχει πολύ σπάνια εισχώρηση των τηλεπικοινωνιακών γραμμών πράγμα που καθιστά δύσκολη την κάλυψη της ραδιοεπικοινωνίας. Στις καλύτερες περιπτώσεις με καθαρά οπτική επαφή, η ραδιοζεύξη μπορεί να καλύψει έως και 70 χιλιόμετρα. Άλλες τεχνολογίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση της εξ αποστάσεως επικοινωνίας, όπως το 3G, δορυφορική επικοινωνία, WiFi ή ADSL, αλλά καμία δεν προσφέρει τις δυνατότητες της τεχνολογίας WiMAX. Εξαιρώντας το ADSL που χρειάζεται ένα καλώδιο του οποίου η τοποθέτηση θα μπορούσε να είναι εξαιρετικά δαπανηρή σε αυτούς τους τομείς, και του WiFi του οποίου η κάλυψη είναι εξαιρετικά μικρή (μικρότερη από 100 m), οι δορυφορικές επικοινωνίες προσφέρουν παγκόσμια κάλυψη, αλλά το μερίδιό τους είναι συνήθως πολύ πιο ακριβό από ό, τι της τεχνολογίας WiMAX ή της 3G. Επιπλέον, δεν είναι πάντα κερδοφόρο να

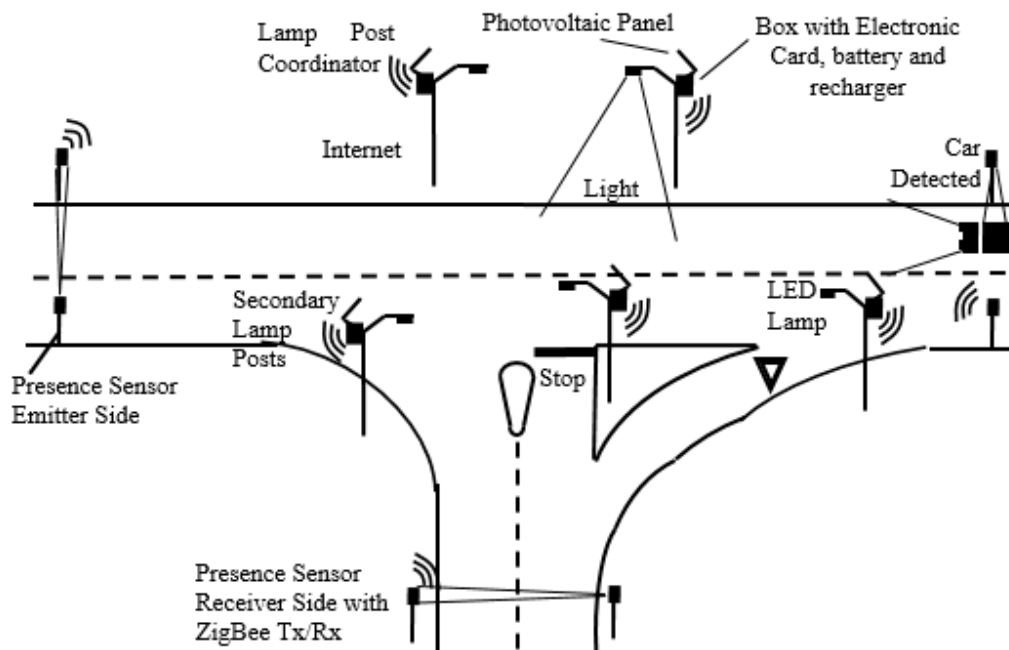
δημιουργηθεί ένα δίκτυο 3G, καθ' ότι σε πολλές περιοχές δεν υπάρχει ενεργό δίκτυο εκ των προτέρων. Για τους λόγους αυτούς, η WiMAX είναι η καταλληλότερη τεχνολογία για αυτή την εφαρμογή προσαρμοστικού οδοφωτισμού σε μία 'έξυπνη' πόλη.



Εικόνα 5-4 Τεχνολογία WiMAX

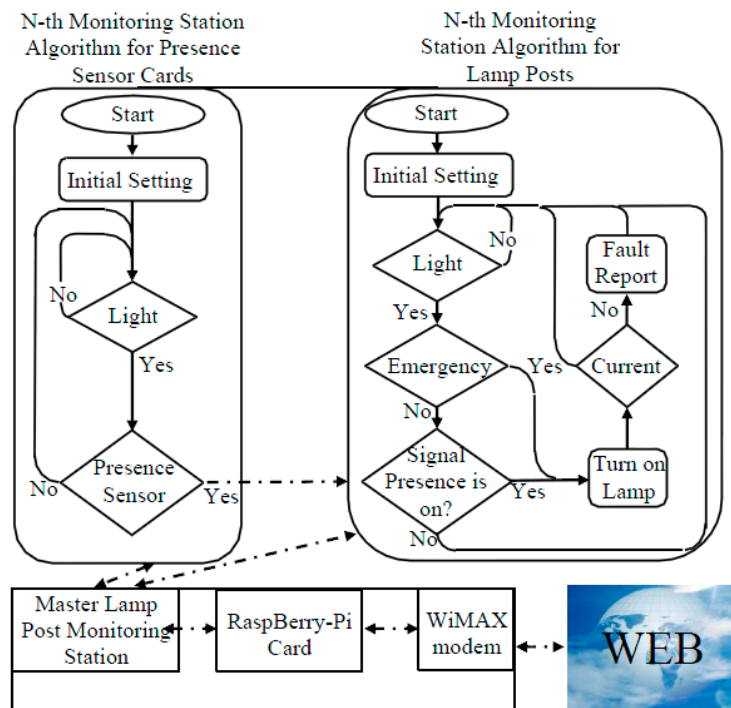
Εφαρμογή σε έξυπνη πόλη

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται ο σχεδιασμός της εφαρμογής αυτής σε μία διασταύρωση της 'έξυπνης' πόλης.



Εικόνα 5-5 Σχεδιασμός εφαρμογής προσαρμοστικού οδοφωτισμού σε διασταύρωση

Ενώ στο παρακάτω διάγραμμα ροής, κατανοούμε την στρατηγική διαχείρισης του συστήματος οδοφωτισμού.



Εικόνα 5-6 Ροή στρατηγικής διαχείρισης συστήματος οδικού φωτισμού

Μέσω μίας ηλεκτρονικής κάρτας, ελέγχεται αν το ηλιακό φως είναι χαμηλότερο ενός σταθερού ορίου, το οποίο έχει οριστεί εκ των προτέρων, και στην περίπτωση αυτή περιμένει έως ότου οι αισθητήρες σηματοδοτήσουν την παρουσία ενός κινούμενου οχήματος ή πεζού. Όταν συμβαίνει αυτό, η μονάδα ελέγχου ενεργοποιεί το φωτισμό για ένα σταθερό χρονικό διάστημα, ο αισθητήρας ρεύματος ξεκινά τις μετρήσεις και, σε περίπτωση ανίχνευσης σφάλματος, ένας συναγερμός αποστέλλεται στον κύριο λαμπτήρα. Αν δεν ανιχνευτεί σφάλμα, ο μικροελεγκτής αποθηκεύει τις τρέχουσες τιμές. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ο Συντονιστής ζητά τα δεδομένα από τους δευτερεύοντες φανοστάτες και τα διαθέτει στο Διαδίκτυο. Στην περίπτωση ατόμων που αντιμετωπίζουν δυσκολίες και χρειάζονται φως για τις δραστηριότητές τους, θα είναι σε θέση να ανάψουν τα φώτα, πατώντας ένα από τα κουμπιά έκτακτης ανάγκης που βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις σε κάθε οδό.

Η ηλεκτρονική κάρτα, που ονομάζεται επίσης σταθμό παρακολούθησης, χρησιμοποιείται σε δύο εκδόσεις: η πρώτη ανιχνεύει την παρουσία ενός οχήματος και ονομάζεται αισθητήρας παρουσίας, ενώ η δεύτερη διαχειρίζεται το φανοστάτη και ονομάζεται Σταθμός Παρακολούθησης Φανοστατών.

Η πρώτη έκδοση(αισθητήρες) είναι τοποθετημένη κοντά στο δρόμο περίπου 45 μέτρα από τη διασταύρωση. Ενεργοποιούνται όταν το φως του ήλιου είναι χαμηλότερο από ένα σταθερό όριο. 'Διαβάζουν' ένα φωτοηλεκτρικό αισθητήρα και αν η ακτίνα φωτός του διακόπτεται από το πέρασμα ενός αυτοκινήτου ή ενός πεζού, η κάρτα ελέγχου στέλνει ένα ασύρματο σήμα στη νησίδα από φανοστάτες μέσω του δικτύου ZigBee. Όταν αυτό το σήμα λαμβάνεται από τους σταθμούς παρακολούθησης φανοστατών οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με ένα ZigBee Tx / Rx, θα ανάψει το φως.

Ο σταθμός παρακολούθησης πραγματοποιείται με τη χρήση ενός μικροελεγκτή που διαχειρίζεται, επίσης, τις ασύρματες μεταδόσεις. Η απλή διαχείριση των φανοστατών λοιπόν, πραγματοποιείται χωρίς σχετικές δυσκολίες, αλλά για την 'έξυπνη' διαχείριση, οι ανάγκες συντήρησης απαιτούν έναν ευρύτερο και βαθύτερο έλεγχο των φανοστατών. Για να ανταποκριθεί σε αυτές τις απαιτήσεις, ένας αισθητήρας ρεύματος τοποθετείται απευθείας επί των φανοστατών και διαβάζεται από το σταθμό παρακολούθησης, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις δραστηριότητες του κάθε λαμπτήρα και την κατανάλωση ενέργειας. Αυτές οι πληροφορίες αποθηκεύονται στη μνήμη του μικροελεγκτή και στέλνονται στο σταθμό παρακολούθησης φανοστατών.

Ο σταθμός παρακολούθησης επικοινωνεί με τους αισθητήρες μέσω του δικτύου ZigBee και συλλέγει δεδομένα που προέρχονται από κάθε φανοστάτη. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι διαθέσιμα για την ανάλυση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του λαμπτήρα. Προφανώς, εάν ο λαμπτήρας στη θέση ν, δεν επικοινωνεί ή στέλνει λάθος δεδομένα, ο σταθμός θα στείλει ένα αίτημα παρέμβασης προς ένα απομακρυσμένο διαχειριστή για να λύσει το πρόβλημα.

Όλα τα παραπάνω καθιστούν δυνατό έναν εύκολο έλεγχο των φανοστατών από έναν απομακρυσμένο σταθμό και επιτρέπουν τον εύκολο προγραμματισμό των τυχόν ενεργειών συντήρησης από τον μηχανικό.

5.3. TALiSMaN

Το TALiSMaN αποτελεί ένα πειραματικό σχέδιο διαχείρισης ενός δικτύου οδικού φωτισμού, ικανό, σύμφωνα με προγράμματα προσομοιώσεων να παρέχει φωτισμό στα οδικά δίκτυα με σημαντική βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, συντελώντας σε μεγάλη μείωση των ενεργειακών δαπανών.

Αρχικά εξετάζεται η έννοια του αποτελεσματικού οδικού φωτισμού, τόσο από τη σκοπιά του αυτοκινητιστή, όσο και από τη σκοπιά του πεζού.

Πεζός

Από τη σκοπιά του πεζού, ο αποτελεσματικός οδικός φωτισμός πρέπει να συντελεί στην αποφυγή εμποδίων και την ασφαλή πλοήγηση, την αναγνώριση των άλλων πεζών (αναγνώριση προσώπου), και να τους κάνει να αισθάνονται πιο ασφαλείς. Μη αναγνωρίσιμα εμπόδια μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμό των πεζών. Έτσι, ένα αποτελεσματικό σύστημα φωτισμού των δρόμων οφείλει να βελτιώνει την ικανότητά τους να ανιχνεύουν τα εμπόδια στο δρόμο τους. Διαισθητικά, η ανίχνευση εμποδίων βελτιώνεται όσο αυξάνεται η ένταση φωτισμού. Ωστόσο, οι πεζοί αρχίζουν να αποφευχθούν εμπόδια σε μια απόσταση μεταξύ 6 έως 7 m, ανεξάρτητα από αυτήν. Παρόλα αυτά, η αναγνώριση προσώπου των άλλων πεζών απαιτεί σημαντικά υψηλότερη φωτεινότητα σε σχέση με ανίχνευση εμποδίου. Έχει αναφερθεί ότι ένα σύστημα οδοφωτισμού στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο φωτισμού για τους πεζούς θα πρέπει να επιτρέπει την αναγνώριση των άλλων χρηστών του δρόμου και σε απόσταση 4 m. Παρ' όλα αυτά, οι πεζοί προτιμούν να αποφευχθεί η σύγκρουση με ένα άλλο σε μια απόσταση περίπου 8 με 9 μ. Στο σύστημα TALiSMaN, μοντελοποιήθηκε μέσω αλγορίθμων η χρησιμότητα του φωτισμού για την αποφυγή

εμποδίων από τους πεζούς, την ασφαλή πλοήγησή τους και την αναγνώριση προσώπων με την ενσωμάτωση των παραπάνω προϋποθέσεων.

Ο φωτισμός των οδών για την αντίληψη της ασφάλειας των πεζών μελετήθηκε από τους Haas και de Kort χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές διανομές φωτός: συμβατική, αύξουσα και φθίνουσα. Σε μια συμβατική κατανομή του φωτός, όλα τα φώτα του δρόμου στην περιοχή δοκιμής έχουν την ίδια φωτεινότητα. Σε μια φθίνουσα κατανομή του φωτός, τα φώτα του δρόμου στο άμεσο περιβάλλον των υποκειμένων έχουν υψηλότερη φωτεινότητα, ενώ τα πιο μακρινά ήταν σταδιακά χαμηλότερης φωτεινότητας. Μια αύξουσα διανομή είναι το αντίθετο αυτού. Με βάση την πρακτική των πειραμάτων τους, οι συμμετέχοντες εξέφρασαν ότι είχαν μια παρόμοια, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καλύτερη αίσθηση της ασφάλειας, ενώ τα φώτα του δρόμου ήταν σε μια κατανομή φθίνουσα. Ανάμεσα σε όλες τις διανομές φως που μελετήθηκαν, η αύξουσα κατανομή του φωτός ήταν η λιγότερο ευνοημένη από τους συμμετέχοντες.

Αυτοκινητιστής

Από την σκοπιά του αυτοκινητιστή, ο φωτισμός των οδικών δικτύων βοηθάει να επεκτείνει και να διευρύνει την οπτική του πέραν εκείνης που προσφέρεται από τους προβολείς του οχήματος. Αυτό του επιτρέπει να εντοπίσει πιθανούς κινδύνους προς την κατεύθυνση του ταξιδιού του. Σε γενικές γραμμές, ένα αποτελεσματικό σύστημα οδοφωτισμού μελετά τη μέση φωτεινότητα, το μοτίβο φωτεινότητας (επίσης γνωστή ως ομοιομορφία), το όριο προσαύξησης και το δείκτη περιβάλλοντος. Μεταξύ αυτών των παραγόντων, η μέση φωτεινότητα και η ομοιομορφία επηρεάζουν την ικανότητά των αυτοκινητιστών να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους.

Η επίδραση των διαφόρων φωτισμών και της ομοιομορφίας στην ανίχνευση κινδύνων έχει μελετηθεί εκτενώς. Αυτές οι μελέτες έδειξαν ότι οι αυτοκινητιστές έχουν καλύτερες επιδόσεις στην ανίχνευση κινδύνου όταν η φωτεινότητα και η ομοιομορφία αυξάνονται. Η ανίχνευση κινδύνου συνδέεται συνήθως με την εγγύτητα του κινδύνου στο όχημα είτε σε χρόνο είτε σε απόσταση, στο οποίο κατάλληλοι ελιγμοί είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν για την αποφυγή σύγκρουσης και να μειωθεί έτσι η πιθανότητα πρόκλησης σωματικών βλαβών σε άλλους χρήστες του οδικού δικτύου. Η απόσταση αυτή, αντικατοπτρίζεται ως η απόσταση ακινητοποίησης, όπου ένας αυτοκινητιστής θα πρέπει να είναι σε θέση να σταματήσει το όχημά του με ασφάλεια μετά τον εντοπισμό ενδεχόμενου κινδύνου. Συνήθως, η απόσταση ακινητοποίησης είναι μεταξύ 60 m έως 160 m και βασίζεται σε παράγοντες όπως στην ταχύτητα του οχήματος, στις συνθήκες του οδοστρώματος, και στον χρόνο αντίδρασης του αυτοκινητιστή.

Για τη μοντελοποίηση του οδικού φωτισμού για ένα αυτοκινητιστή, θεωρούμε ότι απαιτείται ένα τμήμα του δρόμου μπροστά από αυτούς που πρέπει να φωτίζεται, ως εκ τούτου, να επιτρέπει την ανίχνευση πιθανών κινδύνων εντός της τροχιάς τους και να φέρει το όχημά τους σε μια στάση.

Εφαρμογή του TALISMaN

Με βάση τα προτεινόμενα μοντέλα χρήσης, δύο παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν: (1) τα μήκη των απαιτούμενων φωτισμένων οδικών τμημάτων είναι πεπερασμένα, δηλαδή 150 m και 100 m για πεζούς και οδηγούς, αντίστοιχα και (2) στο πλαίσιο

αυτών απαιτούνται διαφορετικά σχέδια φωτός για τους πεζούς και τους αυτοκινητιστές. Το TaLisMan εκμεταλλεύεται αυτές τις ιδιότητες με τη σταδιακή προσαρμογή του φωτισμού του δρόμου, σύμφωνα με τις ανάγκες διαφορετικών χρηστών του οδικού δικτύου και βελτιώνει την ενεργειακή τους απόδοση με την ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας. Επιπλέον, ανιχνεύει τους χρήστες του οδικού δικτύου και μοιράζεται τις πληροφορίες αυτές με τα κοντινά συστήματα οδοφωτισμού. Μετά την παραλαβή των πληροφοριών, τα συστήματα φωτισμού «συνεργάζονται» για να δημιουργήσουν τις καλύτερες δυνατές συνθήκες φωτισμού οι οποίες ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών του οδικού δικτύου, αποφεύγοντας παράλληλα τον φωτισμό του δρόμου σε υψηλότερα επίπεδα, καθώς έτσι απλά χάνεται άσκοπα ενέργεια.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σχέση μεταξύ της απόστασης του φωτιστικού συστήματος με το χρήστη της οδού και της επιθυμητής φωτεινότητας.

Πίνακας 5-1 Σχέση μεταξύ απόστασης φωτιστικού σώματος με τους χρήστες και φωτεινότητας συστήματος

Είδος χρήστη	Απόσταση από το φωτιστικό σύστημα, d (m)	Φωτεινότητα συστήματος
Πεζός	$0 \leq d < 30$	100%
	$30 \leq d < 60$	80%
	$60 \leq d < 90$	60%
	$90 \leq d < 120$	40%
	$120 \leq d \leq 150$	20%
	$d > 150$	0%
Αυτοκινητιστής	$0 \leq d \leq 100$	100%
	$d > 100$	0%

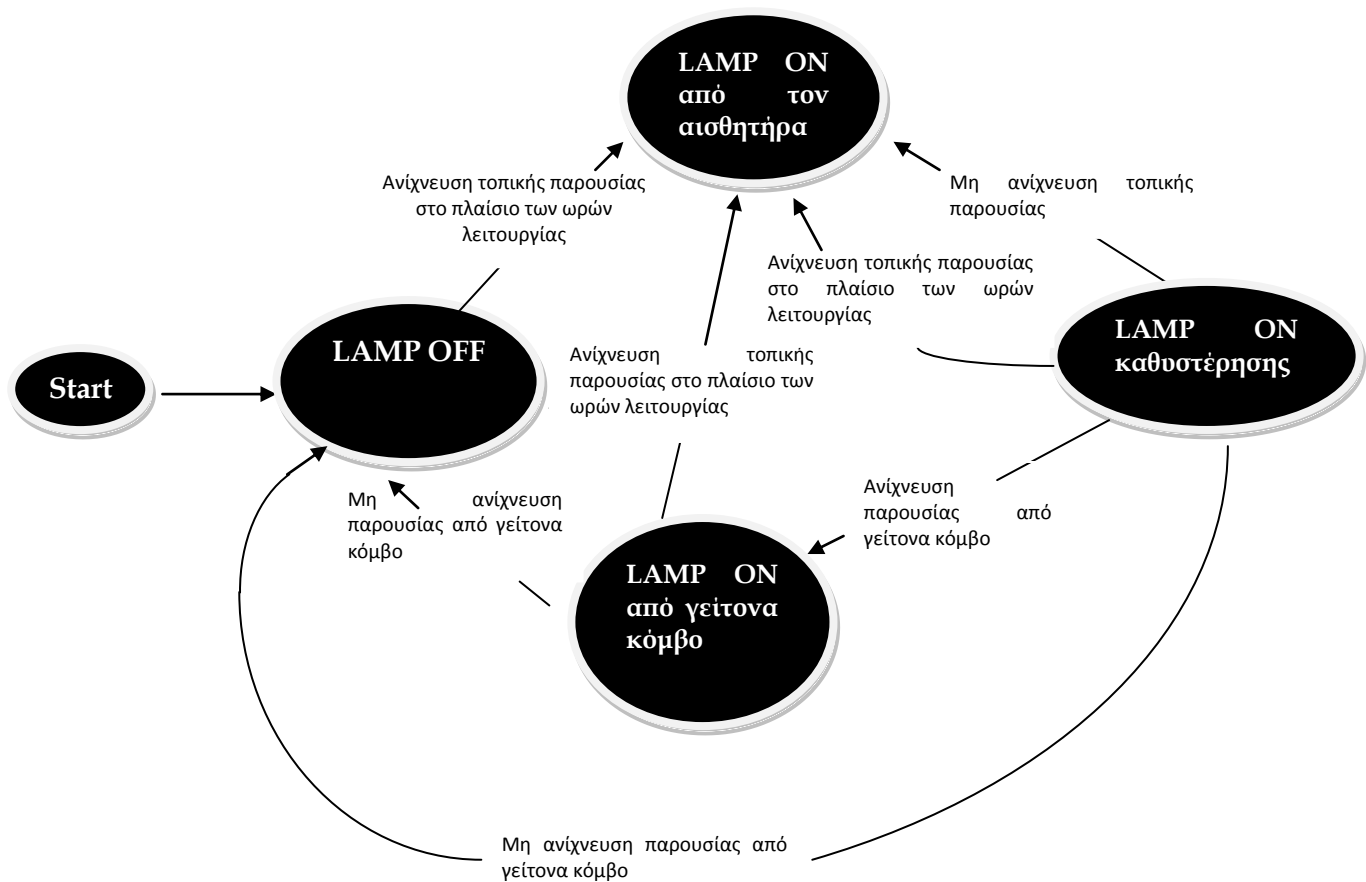
Αντί να βασιζόμαστε σε ένα απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου για τη διαχείριση της λειτουργίας του συστήματος φωτισμού, το TALiSMaN εφαρμόζεται πάνω σε έναν ασύρματο αισθητήρα κόμβου [wireless sensor node (WSN)]. Κάθε σύστημα οδοφωτισμού θα ενσωματώνει έναν ασύρματο αισθητήρα κόμβου με μία μονάδα ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Αυτό επιτρέπει να δημιουργηθεί μία ζεύξη πολλαπλών κόμβων με τα φωτιστικά συστήματα γειτονικών οδών με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Το δίκτυο είναι χρονικά συγχρονισμένο, και κάθε φωτιστικό σώμα είναι προγραμματισμένο εκ των προτέρων με πληροφορίες για την τοποθεσία του και τη μοναδική του ταυτοποίηση, τα οποία μοιράζεται με τα υπόλοιπα κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης δικτύου.



Εικόνα 5-7 Χρήση ασύρματων αισθητήρων σε κόμβους οδικών δικτύων

Λειτουργία Συστήματος

Για να εφαρμοστεί προοδευτικός έλεγχος στον οδοφωτισμό, βασισμένος είτε στην ανίχνευση της παρουσίας από τους τοπικούς αισθητήρες είτε σε πληροφορίες που μεταδίδονται από γειτονικούς κόμβους, ορίζονται 4 διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας: «LAMP ON από τον αισθητήρα», «LAMP ON από γείτονα κόμβο», «LAMP ON καθυστέρησης» και «LAMP OFF». Μεταξύ αυτών καταστάσεων λειτουργίας, η «LAMP OFF» και «LAMP ON από τον αισθητήρα» μοιράζονται μεταξύ γειτονικών κόμβων αισθητήρων χρησιμοποιώντας τη μονάδα ασύρματης Επικοινωνία.

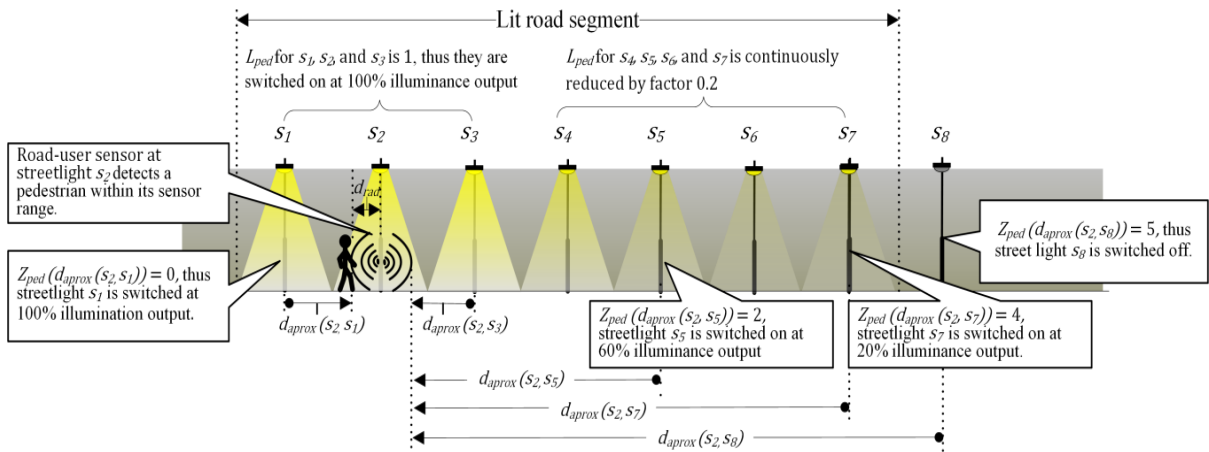


Ρύθμιση Φωτισμού

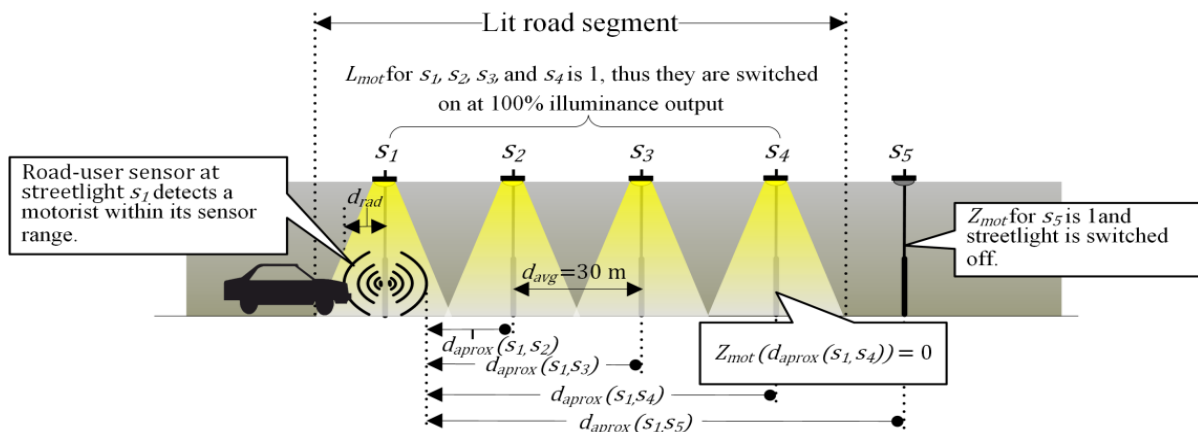
Ο οδοφωτισμός ρυθμίζεται για την εξοικονόμηση ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα τη βέλτιστη χρησιμότητα της ύπαρξης φωτισμού στο οδικό δίκτυο. Ωστόσο, η δημιουργία ενός φωτισμένου τμήματος του δρόμου που θα ικανοποιεί τις ανάγκες διαφορετικών χρηστών του οδικού δικτύου απαιτεί συντονισμό μεταξύ των διαφόρων φωτιστικών συστημάτων. Αυτό οφείλεται στις παραδοχές που έχει ένας

αισθητήρας χρηστών της οδού, όπως την περιορισμένη εμβέλεια ανίχνευσης και την πεπερασμένη κάλυψη από το σχήμα της δέσμης του φωτιστικού σώματος. Ο συντονισμός μεταξύ των συστημάτων αυτών διευκολύνεται με την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την παρουσία των χρηστών του οδικού δικτύου, με άλλους κόμβους εντός των απαιτούμενων φωτισμένων οδικών τμημάτων. Με την ανταλλαγή αυτών των πληροφοριών, η σχετική απόσταση με τους εντοπισμένους χρήστες του οδικού δικτύου μπορεί να προσεγγιστεί χρησιμοποιώντας την Ευκλείδεια απόσταση από τον πλησιέστερο κόμβο με αισθητήρα. Ενώ η ακριβής θέση ενός χρήστη του οδικού δικτύου είναι άγνωστη, οι κόμβοι λήψης «υποθέτουν» ότι οι εντοπισμένοι χρήστες του οδικού δικτύου βρίσκονται στην «καλύτερη δυνατή» απόσταση από αυτούς. Αυτή η προσεγγιστική σχετική απόσταση, d_{approx} υποθέτει ότι ο χρήστης του οδικού δικτύου βρίσκεται πάντα στην πλησιέστερη ακμή της περιοχής του αισθητήρα.

Στα παρακάτω σχήματα διακρίνεται η ρύθμιση του φωτισμού όταν ανιχνεύεται πεζός ή κινούμενο όχημα.



Εικόνα 5-8 Ανίχνευση Πεζού



Εικόνα 5-9 Ανίχνευση Κινούμενου Οχήματος

Κάθε φορά που πεζοί και αυτοκινητιστές ανιχνεύονται ταυτόχρονα, οι παραπάνω ρυθμίσεις παύουν να ισχύουν και η οδός φωτίζεται στο μέγιστο δυνατό. Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί ότι παρέχεται βέλτιστα φωτισμένο περιβάλλον και για τα 2 είδη χρηστών.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και προοπτικές του ευφυούς οδικού φωτισμού

Ο οδικός φωτισμός αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο λειτουργίας και διακόσμησης σε ένα αστικό περιβάλλον. Βοηθά στην εξασφάλιση της ασφάλειας των χρηστών μιας οδού αλλά και στην πρόληψη εγκλημάτων σε δημόσιους χώρους. Εν έτη 2016, ο οδοφωτισμός αντιπροσωπεύει το 53% του συνολικού φωτισμού παγκοσμίως, ενώ οι εγκαταστάσεις οδικού φωτισμού το 35 – 45% του προϋπολογισμού ενός Δήμου.

Στη χώρα μας είναι αρκετές οι περιπτώσεις που λόγω των δυσμενών οικονομικών συνθηκών, πολλές δημοτικές αρχές επιλέγουν να περιορίσουν το φωτισμό των δημόσιων χώρων, διακυβεύοντας την ασφάλεια των κατοίκων της περιοχής κατά τις νυχτερινές ώρες. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό, δίνει η εφαρμογή συστημάτων προσαρμοστικού οδοφωτισμού που έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλή σε χώρες όπως η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται τεχνολογίες ευφύων συστημάτων, οι οποίες είναι δυνατόν να μειώσουν το ενεργειακό κόστος από το φωτισμό κατά 70%, μειώνοντας παράλληλα το κόστος συντήρησης και αυξάνοντας την αίσθηση της ασφάλειας στους χρήστες των οδών. Επιπλέον, συνεισφέρουν στη μείωση των εκπομπών ρύπων διοξειδίου του άνθρακα, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων και ιδιαίτερα των κατοίκων των μεγαλουπόλεων.

Η ανάπτυξη συστημάτων ευφυούς οδικού φωτισμού, έκανε επιτακτική την ανάγκη αναθεώρησης των υπαρχόντων Προτύπων για τον οδοφωτισμό, κάτι που έγινε το 2014 με την αναθεώρηση του πρώτου μέρους του EN13201. Το EN13201-2014 έχει βασιστεί στην τεχνική έκθεση του CIE και αποτελεί το θεσμικό πλαίσιο πάνω στο οποίο βασίζονται οι μηχανικοί για την εγκατάσταση και συντήρηση των εγκαταστάσεων προσαρμοστικού οδοφωτισμού.

Η σωστή εφαρμογή του προσαρμοστικού φωτισμού στις οδικές αρτηρίες είναι απαραίτητο να γίνεται λαμβάνοντας υπ όψιν παραμέτρους όπως το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της χώρας, το κλίμα, τις ανάγκες των κατοίκων, την εγκληματικότητα της περιοχής καθώς και επίσης την αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος στο οποίο γίνεται η εγκατάσταση. Στο κεφάλαιο 4 έγιναν συγκεκριμένες προτάσεις εφαρμογής dimming για κάθε κατάσταση φωτισμού καθώς και προτάσεις αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού με αντίστοιχους λαμπτήρες τεχνολογίας LED.

Στο κεφάλαιο 5 έγινε μια αναλυτική παρουσίαση τριών τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια εγκατάσταση οδικού φωτισμού, μειώνοντας κατά πολύ την κατανάλωση ενέργειας και την φωτορύπανση, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια των χρηστών του δρόμου.

Στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια έχουν εγκατασταθεί αρκετά συστήματα διαχείρισης οδικού φωτισμού και αναμένονται πολλά περισσότερα. Στο μέλλον, ο ευφυής φωτισμός των οδικών δικτύων θα αποτελεί σημαντικό κομμάτι των Έξυπνων Πόλεων ('Smart Cities') και είναι απαραίτητο το πλαίσιο για τη σωστή εφαρμογή του να ανανεώνεται συχνότερα. Καθημερινά νέες τεχνολογίες κάνουν την εμφάνισή τους και οι συνεχείς αναθεωρήσεις των Προτύπων για τον οδικό φωτισμό θα δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών στις οδούς, μειώνοντας συνεχώς το ενεργειακό κόστος και συμβάλλοντας στην συνεχή βελτίωση της ζωής των κατοίκων.

Παράρτημα

ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΛΑΣΕΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Το παράρτημα Α περιέχει όλες τις κλάσεις φωτισμού ανά κατάσταση που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4, καθώς και αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την επιλογή τους.

Α.1 Καταστάσεις φωτισμού και επιλογή της φωτιστικής κλάσης

Πίνακας Α.1

Κύριος τύπος καιρού	Διαχωρισμός των οδοστρωμάτων	Τύπος των κόμβων		Ροή της κυκλοφορίας οχημάτων τη μέρα								
		Ανισόπεδοι	Διασταυρώσεις	<15.000			15.000 έως 25.000			>25.000		
		Απόσταση, απόσταση ανάμεσα σε γέφυρες χμ	Πυκνότητα Διασταυρώσεις/χμ	←	0	→	←	0	→	←	0	→
Ξηρός	Ναι	>3		ME5	ME4α	ME3α	ME4α	ME3α	ME2	ME4α	ME3α	ME2
		≤3		ME4α	ME3α	ME2	ME4α	ME3α	ME2	ME3α	ME2	ME1
			< 3	ME5	ME4α	ME3α	ME5	ME4α	ME3α	ME4α	ME3α	ME2
			≥3	ME4α	ME4α	ME3α	ME4α	ME3α	ME2	ME3α	ME2	ME1
	Όχι	>3		ME4α	ME3α	ME2	ME3α	ME2	ME1	ME3α	ME2	ME1
		≤3		ME3α	ME2	ME1	ME3α	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
			<3	ME4α	ME4α	ME3α	ME4α	ME3α	ME2	ME3α	ME2	ME1
			≥3	ME4α	ME3α	ME2	ME3α	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
Υγρός				Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά επέλεξε MEW κατηγορίες								

Πίνακας Α.2

Περιοχή σύγκρουσης	Πολυπλοκότητα του οπτικού πεδίου	Δυσκολία του έργου πλοήγησης	Φωτεινότητα περιβάλλοντος		
			χαμηλή	μεσαία	υψηλή
όχι	κανονικό	κανονικό	←	←	0
		υψηλότερο από το κανονικό	0	0	→
	υψηλό	κανονικό	←	0	0
		υψηλότερο από το κανονικό	0	→	→
ναι			→ ^α		
^α . Για περιοχή συγκρούσεων, η φωτεινότητα είναι με βάση το συνιστώμενο σχέδιο κριτηρίων. Όμως , όπου η προβολή των αποστάσεων είναι σύντομη και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση των κριτηρίων φωτισμού , η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.					

Πίνακας Α.3

Βασικός τύπος καιρού	Πυκνότητα διασταύρωσης	Ροή της κυκλοφορίας των οχημάτων					
		< 7000			≥ 7000		
		←	0	→	←	0	→
ξηρός	<3	ME5	ME5	ME4α	ME4α	ME3α	ME3α
	≥ 3	ME5	ME4α	ME3α	ME4α	ME2	ME3α
υγρός		Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά διαλέγεις MEW σειρές					

A2. Καταστάσεις φωτισμού - κατάσταση A2

Πίνακας Α.4

Περιοχή συγκρούσεων	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Δυσκολία έργου πλοήγησης	Φωτεινότητα περιβάλλοντος		
			χαμηλή	μεσαία	ψηλή
όχι	κανονική	κανονική	←	←	0
		Υψηλότερη από την κανονική	0	0	→
	υψηλή	κανονική	←	0	0
		Υψηλότερη από την κανονική	0	→	→
ναι			→ ^α		
^α Για περιοχή συγκρούσεων, η φωτεινότητα είναι με βάση το συνιστώμενο σχέδιο κριτηρίων. Όμως, όπου η προβολή των αποστάσεων είναι σύντομη και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση των κριτηρίων φωτισμού, η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.					

A.3- Καταστάσεις φωτισμού - κατάσταση A3

Πίνακας Α.5

Βασικός τύπος καιρού		Διακλαδώσε ις/χμ	Συχνότητα κυκλοφορίας οχημάτων											
			<7000			≥ 7000 και < 15000			≥ 1500 0 και < 2500 0	≥ 25000				
			←	0	→	←	0	→	←	0	→	←	0	→
ξηρός	ναι	< 3	ME5	ME5	ME4α	ME5	ME5	ME4α	ME5	ME4α	ME3β	ME4α	ME3β	ME3β
		≥ 3	ME5	ME4α	ME3β	ME5	ME4α	ME3β	ME4α	ME3β	ME2	ME3β	ME2	ME2
	όχι	<3	ME5	ME4α	ME3β	ME5	ME4α	ME3β	ME4α	ME3β	ME2	ME3β	ME2	ME2
		≥3	ME4α	ME3β	ME3β	ME4α	ME3β	ME2	ME3β	ME2	ME2	ME3β	ME2	ME1
υγρός			Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά διάλεξε MEW σειρές											

Πίνακας Α.6

Περιοχή συγκρούσεων	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Παρκαρισμένα οχήματα	Δυσκολία έργου πλοήγησης	Φωτεινότητα περιβάλλοντος		
				χαμηλή	μεσαία	υψηλή
όχι	κανονική	όχι	κανονική	←	←	0
			Υψηλότερη από την κανονική	0	0	→
		ναι	κανονική	←	0	→
			Υψηλότερη από την κανονική	0	→	→
	υψηλή	όχι	κανονική	←	0	0
			Υψηλότερη από την κανονική	0	→	→
		ναι	κανονική	0	0	→
			Υψηλότερη από την κανονική	→	→	→
ναι				→ ^α		
Για περιοχή συγκρούσεων, η φωτεινότητα είναι με βάση το συνιστώμενο σχέδιο κριτηρίων. Όμως , όπου η προβολή των αποστάσεων είναι σύντομη και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση των κριτηρίων φωτισμού , η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα Α.3						

Α4. Καταστάσεις φωτισμού - κατάσταση Β1

Πίνακας Α.7

Βασικός τύπος καιρού	Γεωμετρικές μετρήσεις για κυκλοφοριακή ηρεμία	Πυκνότητα διακλάδωσης Διακλαδώσεις/ χμ	Δυσκολία έργου πλοήγησης	Κυκλοφοριακή ροή οχημάτων					
				<7000			≥ 7000		
				←	0	→	←	0	→
ξηρός	όχι	<3	κανονική	ME6	ME5	ME4β	ME5	ME4β	ME3γ
			Υψηλότερη από την κανονική	ME5	ME4β	ME3γ	ME5	ME4β	ME3γ
		≥3	κανονική	ME5	ME4β	ME3γ	ME4β	ME4β	ME3γ
			Υψηλότερη από την κανονική	ME4β	ME3γ	ME2	ME3γ	ME3γ	ME2
	ναι			Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά επέλεξε -1 μόνο για την περιοχή κυκλοφοριακής ηρεμίας					
	υγρός			Επιλογή όπως παραπάνω αλλά επέλεξε MEW σειρές					
Όταν η χρήση των κριτηρίων φωτισμού δεν είναι πρακτική , η ένταση του φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί .Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.									

Πίνακας Α.8

Περιοχή συγκρούσεων	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Παρκαρισμένα οχήματα	Φωτεινότητα περιβάλλοντος					
			χαμηλή		μεσαία		υψηλή	
			Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων		Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων		Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων	
			κανονική	υψηλή	κανονική	υψηλή	κανονική	υψηλή
όχι	κανονική	όχι	←	0	←	0	0	0
		ναι	0	→	0	→	→	→
	Υψηλή	όχι	0	0	0	0	0	0
		ναι	0	0	→	→	→	→
ναι			→ ^α					
Για περιοχή συγκρούσεων, η φωτεινότητα είναι με βάση το συνιστώμενο σχέδιο κριτηρίων. Όμως , όπου η προβολή των αποστάσεων είναι σύντομη και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση των κριτηρίων φωτισμού , η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.								

A.5 Καταστάσεις φωτισμού - κατάσταση B2

Πίνακας Α.9

Βασικός τύπος καιρού	Γεωμετρικές μετρήσεις για κυκλοφοριακή ηρεμία	Πυκνότητα διακλάδωσης Διακλαδώσεις/χ μ	Δυσκολία έργου πλοήγησης	Κυκλοφοριακή ροή οχημάτων					
				< 7000			≥7000		
				←	0	→	←	0	→
ξηρός	όχι	< 3	κανονική	ME5	ME5	ME4β	ME4β	ME4β	ME3γ
			Υψηλότερη από την κανονική	ME4β	ME4β	ME3γ	ME4β	ME4β	ME3γ
		≥ 3	κανονική	ME4β	ME3γ	ME2	ME3γ	ME3γ	ME2
			Υψηλότερη από την κανονική	ME3γ	ME3γ	ME2	ME3γ	ME3γ	ME2
	ναι			Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά επέλεξε -1 μόνο για την περιοχή κυκλοφοριακής ηρεμίας					
	υγρός			Επιλογή όπως παραπάνω αλλά επέλεξε MEW σειρές					
Όταν η χρήση των κριτηρίων φωτισμού δεν είναι πρακτική , η ένταση του φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.									

Πίνακας Α.10

Περιοχή συγκρούσεων	Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Παρκαρισμένα οχήματα	Φωτεινότητα περιβάλλοντος					
			χαμηλή		μεσαία		υψηλή	
			Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων		Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων		Κυκλοφοριακή ροή ποδηλάτων	
			κανονική	υψηλή	κανονική	υψηλή	κανονική	υψηλή
όχι	κανονική	όχι	←	0	←	0	0	0
		ναι	0	→	0	→	→	→
	Υψηλή	όχι	0	0	0	0	0	0
		ναι	0	0	→	→	→	→
ναι			→ ^α					

^α Για περιοχή συγκρούσεων, η φωτεινότητα είναι με βάση το συνιστώμενο σχέδιο κριτηρίων. Όμως, όπου η προβολή των αποστάσεων είναι σύντομη και άλλοι παράγοντες αποτρέπουν τη χρήση των κριτηρίων φωτισμού, η ένταση φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συγκρίσιμες CE κατηγορίες προς τις προτεινόμενες ME κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 3.

A.6 Καταστάσεις φωτισμού - κατάσταση C1

Πίνακας Α.11 – Προτεινόμενες κατηγορίες φωτισμού

Γεωμετρικές μετρήσεις για κυκλοφοριακή ηρεμία	Κίνδυνος εγκλήματος	Αναγνώριση προσώπου	Κυκλοφοριακή ροή ποδηλατών					
			κανονική			υψηλή		
			←	0	→	←	0	→
όχι	κανονικός	Μη απαραίτητη	S6	S5	S4	S5	S4	S3
	Υψηλότερος από το κανονικό	απαραίτητη	S5	S4	S3	S4	S3	S2
			S4	S3	S2	S3	S2	S1
ναι			S3	S2	S1	S3	S2	S1
Εναλλακτικές Α κατηγορίες του συγκρινόμενου επιπέδου φωτισμού προς τις προτεινόμενες S κατηγορίες μπορεί να βρεθεί στον πίνακα 4. Επιπρόσθετα ES και κατηγορίες προς τις προτεινόμενες S κατηγορίες μπορεί να βρεθεί στον πίνακα 5.								

Πίνακας Α.12 Προτεινόμενη επιλογή από σειρά

Φωτισμός περιβάλλοντος		
χαμηλός	μεσαίος	υψηλός
←	0	→

A.7 Καταστάσεις φωτισμού- καταστάσεις D1 και D2

Πίνακας A.13

Γεωμετρικές μετρήσεις για κυκλοφοριακή ηρεμία	Κίνδυνος εγκλήματος	Αναγνώριση προσώπου	Δυσκολία πλοήγησης	Κυκλοφοριακή ροή πεζών					
				κανονική			υψηλή		
				←	0	→	←	0	→
όχι	κανονικός	Μη απαραίτητη	Κανονική	CE5	CE5	CE4	CE5	CE4	CE3
			Υψηλότερη από την κανονική	CE5	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
		Απαραίτητη	Κανονική	CE4	CE4	CE4	CE4	CE4	CE3
			Υψηλότερη από την κανονική	CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
	Υψηλότερος από το κανονικό	Κανονική	CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE3	
		Υψηλότερη από την κανονική	CE4	CE3	CE2	CE3	CE2	CE2	
ναι				Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά επέλεξε ≤ 4 μόνο για την περιοχή κυκλοφοριακής ηρεμίας					
Πρόσθετες ES και EV κατηγορίες παράλληλα προς τις προτεινόμενες CE κατηγορίες, μπορεί κανείς να βρει στον πίνακα 5									

Πίνακας A.14 Προτεινόμενη επιλογή από σειρά

Φωτισμός περιβάλλοντος		
χαμηλός	μεσαίος	υψηλός
←	0	→

A.8 Καταστάσεις φωτισμού – καταστάσεις D3 και D4

Πίνακας A.15

Γεωμετρικές μετρήσεις για κυκλοφοριακή ηρεμία	Παρκαρισμένα οχήματα	Δυσκολία πλοήγησης	Κυκλοφοριακή ροή πεζών και ποδηλάτων					
			κανονική			υψηλή		
			←	0	→	←	0	→
όχι	όχι	κανονική	S6	S5	S4	S5	S4	S3
		Υψηλότερη από την κανονική	S5	S4	S3	S4	S3	S2
	ναι	κανονική	S5	S4	S3	S4	S3	S2
		Υψηλότερη από την κανονική	S4	S3	S2	S3	S2	S1
ναι			Επιλογή όπως παραπάνω, αλλά επέλεξε ≤ 4 μόνο για την περιοχή κυκλοφοριακής ηρεμίας					
Εναλλακτικές Α κατηγορίες του συγκρινόμενου επιπέδου φωτισμού προς τις προτεινόμενες S κατηγορίες μπορεί να βρεθεί στον πίνακα 4. Επιπρόσθετα ES και EV κατηγορίες προς τις προτεινόμενες S κατηγορίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 5.								

Πίνακας Α. 16

Πολυπλοκότητα οπτικού πεδίου	Κίνδυνος εγκλήματος	Αναγνώριση προσώπου	Φωτισμός περιβάλλοντος		
			χαμηλός	μεσαίος	υψηλός
κανονική	κανονικός	Μη απαραίτητη	←	0	0
	Υψηλότερος από το κανονικό	απαραίτητη	←	0	→
			0	→	→
υψηλή	κανονικός	Μη απαραίτητη	0	0	0
	Υψηλότερος από το κανονικό	απαραίτητη	0	→	→
			→	→	→

A.9 Καταστάσεις φωτισμού - κατάσταση E1

Πίνακας Α.17

Κίνδυνος εγκλήματος	Αναγνώριση προσώπου	Κυκλοφοριακή ροή πεζών					
		κανονική			υψηλή		
		←	0	→	←	0	→
κανονική	Μη απαραίτητη	S6	S5	S4 ^α	S5	S4	S3 ^β
	απαραίτητη	S5	S4	S3 ^α	S4	S3	S2 ^β
Υψηλότερη από την κανονική			S3	S2	S1 ^α	S2	S1
^α Εναλλακτικές Α κατηγορίες του συγκρινόμενου επιπέδου φωτισμού προς τις προτεινόμενες S κατηγορίες μπορεί να βρει στον πίνακα 4.							
^β Πρόσθετες ES και EV κατηγορίες παράλληλα προς τις προτεινόμενες S και CE κατηγορίες, μπορεί κανείς να βρει στον πίνακα 5							

A.10. Καταστάσεις φωτισμού – κατάσταση E2

Πίνακας A.19

Κίνδυνος εγκλήματος	Αναγνώριση προσώπου	Κυκλοφοριακή ροή πεζών					
		κανονική			υψηλή		
		←	0	→	←	0	→
κανονική	Μη απαραίτητη	S5	S4	S3 ^α	S4	S3	S2 ^β
	απαραίτητη	S3	S2	S1 ^α	S3	S2	S1 ^β
Υψηλότερη από την κανονική		S2	S1	CE2 ^α	S2	S1	CE2 ^β
^α Εναλλακτικές Α κατηγορίες του συγκρινόμενου επιπέδου φωτισμού προς τις προτεινόμενες S κατηγορίες μπορεί να βρεθεί στον πίνακα 4.							
^β Πρόσθετες ES και EV κατηγορίες παράλληλα προς τις προτεινόμενες S και CE κατηγορίες, μπορεί κανείς να βρει στον πίνακα 5							

Πίνακας A.20 Προτεινόμενη επιλογή από σειρά

Φωτισμός περιβάλλοντος		
χαμηλός	μεσαίος	υψηλός
←	0	→

Βιβλιογραφία

- [1] Τοπαλής Φ. Β., 1994. Φωτοτεχνία, Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [2] Πρότυπο 13201-1-2014(οδηγίες ως προς την επιλογή φωτιστικών κλάσεων στον προσαρμοστικό οδοφωτισμό
- [3] Πρότυπο BS 5489-1:2013
- [4] E-street initiative Work Package 4.1 - *Development of legislation, recommendations and standards*
- [5] E-street initiative Work Package 4.2 – *National guidelines*
- [6] E-street initiative Work Package 4.3 - *Market penetration and procurement activities*
- [7] M.B.Kostic, L.S.Djokic, “Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting”
- [8] D.C.Pritchard, “LIGHTING”, fifth edition
- [9] USAID. Energy Efficient Street Lighting Guidelines. USAID, 2010.
- [10] Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Λάμπρος Οικονόμου, Σταυρούλα Κουρτέση. *ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2010
- [11] BCH A10 – 217 PSP Adaptive Lighting Guide www.powersmart.com
- [12] J. D. Lee, K.Y. Nam, S.H. Jeong, S.B. Choi, H.S. Ryoo and D.K. Kim, “Development of ZigBee based Street Light Control System”, in *Proc. of Power Systems Conference and Exposition PSCE '06 2006 IEEE PES*, pp. 2236 – 2240, 29 Oct. – 01 Nov., 2006
- [13] M.A.D. Costa, G.H. Costa, A.S. dos Santos, L. Schuch and J.R. Pinheiro, “A high efficiency autonomous street lighting system based on solar energy and LEDs”, in *Proc. of Power Electronics Conference, 2009*, pp. 265 – 273, 27 Sept. – 01 Oct. 2009
- [14] Bhardwaj, S. Syed, A.A. Ozcelebi, T. Lukkien, J. Power-managed smart lighting using a semantic interoperability architecture. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2011, 57, 420–427.
- [15] International Energy Agency, *Light's Labour's Lost: Policies for Energy-efficient Lighting*, France: IEA, 2006.
- [16] K. Pease, “A Review of Street Lighting Evaluations: Crime Reduction Effects,” *Surveillance of Public Space: CCTV, Street Lighting and Crime Prevention*, vol. 10, pp. 47-76, 1999

- [17] Warwickshire County Council, "Part Night Lighting". [Online]. Available: <http://www.warwickshire.gov.uk/partnightlighting>
- [18] J. Zhang, G. F. Qiao, G. M. Song, H. T. Sun and J. Ge, "Group decision making based autonomous control system for street lighting," *Measurement*, vol. 43, no. 1, pp. 108 - 116, 2013
- [19] N. Zotos, C. Stergiopoulos, K. Anastasopoulos, G. Bogdos, E. Pallis and C. Skianis, "Case Study of A Dimmable Outdoor Lighting System with Intelligent Management and Remote Control," in *Proc. Int. Conf. Telecommunications and Multimedia (TEMU)*, Chania, 2012, pp. 43-48
- [20] E. Nefedov, M. Maksimainen, S. Sierla, C. W. Yang, P. Flikkema, I. Kosonen and T. Luttinen, "Energy efficient traffic-based street lighting automation," in *Proc. IEEE 23rd Int. Symp. Industrial Electronics*, Istanbul, 2014, pp. 1718 - 1723
- [21] S. P. Lau, G. V. Merrett and N. M. White, "Energy-Efficient Street Lighting through Embedded Adaptive Intelligence," in *Proc. Int. Conf. Advanced Logistics and Transport*, Tunisia, 2013, pp. 53 -58
- [22] T. Fujiyama, C. Childs, D. Boampong and N. Tyler, "Investigation of Lighting Levels for Pedestrians: Some Questions about Lighting Levels of Current Lighting Standards," in *Proc. Int. Conf. Walking in the 21st Century*, Zurich, 2005, pp.1-13
- [23] Tan, Y.K.; Huynh, T.P.; Wang, Z.Z. Smart personal sensor network control for energy saving in DC grid powered LED lighting system. *IEEE Trans. Smart Grid* 2013, 4, 669–676.
- [24] Lee, C.K.; Li, S.N. Hui, S.Y. A design methodology for smart LED lighting systems powered by weakly regulated renewable power grids. *IEEE Trans. Smart Grid* 2011, 2, 548–554
- [25] Thomas D. Baenziger, BE Elec., "Energy Management in Lighting Systems", INTELUX AG, www.intelux.com, 2000
- [26] EN 13201-1, "Road Lighting-Part 1: Selection of Lighting Classes", European Committee for Standardization CEN, Ιούλιος 2004
- [27] EN 13201-2, "Road Lighting-Part 2: Performance Requirements", European Committee for Standardization CEN, Νοέμβριος 2003
- [28] EN 13201-3, "Road Lighting-Part 3: Calculation of Performance", European Committee for Standardization CEN, Νοέμβριος 2003
- [29] EN 13201-4, "Road Lighting-Part 4: Methods of Measuring Light Performance", European Committee for Standardization CEN, Νοέμβριος 2003
- [30] Προσχέδιο EN 13201-5, "Road Lighting-Part 5: Energy Efficiency Requirement", European Committee for Standardization CEN, Σεπτέμβριος 2007

- [31] CIE 115-2010, "Lighting of roads for motor and pedestrian traffic", CIE, 2010
- [32] EN 13201-1, "Road Lighting-Part 1: Selection of Lighting Classes", European Committee for Standardization CEN, Δεκέμβριος 2014
- [33] BS 5489-1:2013, "Code of practice for the design of road lighting-Part 1: Lighting of roads and public amenity areas", BSI, Δεκέμβριος 2012
- [34] TALQ Consortium, www.talq-consortium.org
- [35] Lutron Electronics, Inc., www.lutron.com
- [36] Philips Lighting, www.lighting.philips.com
- [37] ZigBee Alliance, www.zigbee.org
- [38] Luminext, www.luminext.eu
- [39] Echelon, www.echelon.com
- [40] Lites Project, www.lites-project.eu
- [41] C2 Smartlight, www.c2is.fi
- [42] Sielight, www.sielight.gr
- [43] Leotek Street Light, "A Municipal Guide for Converting to LED Street Lighting", Οκτώβριος 2013
- [44] Rico-Secades, M.; Garcia, J.; Cardesin, J.; Calleja, A.J., "Using Tapped-Inductor Converters as LED Drivers" Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE Volume 4, 8-12 Οκτώβριος 2006 Page(s):1794 - 1800
- [45] J. M. Carrasco, L. G. Franquelo, J. T. Bialasiewicz, E. Galvan, R. C. P. Guisado, M. A. M. Prats, J. I. Leon, and N. Moreno-Alfonso "Power electronics systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey". IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 4, pp. 1002–1016, Ιούνιος 2006.
- [46] N. Mutoh, M. Ohno, and T. Inoue. "A method for MPPT control while searching for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 4, pp.1055–1065, Αύγουστος 2006
- [47] R. Brémond, V. Bodard, E. Dumont and A. Nouailles-Mayeur, "Target Visibility Level and Detection Distance on A Driving Simulator," *Lighting Research and Technology*, pp. 1-14, 2012.
- [48] D. A. Schreuder, *Road Lighting for Safety*, London: Thomas Telford Ltd., 1998.

[49] S. P. Hoogendoorn and W. Daamen, "Free Speed Distributions for Pedestrian Traffic," *Transportation Research Board: 85th Annual Meeting*, 2006

