



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση προγράμματος
αναβάθμισης αστικού φωτισμού**

Μελέτη Περίπτωσης: Δήμος Βύρωνα

Κωνσταντίνος Χ. Αθανασιάδης

Επιβλέπουσα: Δανάη Διακουλάκη

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Στην οικογένειά μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν θέμα την αξιολόγηση προγράμματος αναβάθμισης του αστικού φωτισμού του Δήμου Βύρωνα. Στόχος είναι η αξιολόγηση πιθανών σεναρίων αναβάθμισης του υπάρχοντος φωτιστικού δικτύου του Δήμου Βύρωνα, μέσω της αντικατάστασης των φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εγκατάσταση, με νέα, τεχνολογίας LED, αναλύοντας τα οικονομικά και ενεργειακά οφέλη σε κάθε περίπτωση.

Η εργασία αναπτύσσεται σε έξι Κεφάλαια. Το Κεφάλαιο 1, αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας, όπου αναφέρονται οι λόγοι για τους οποίους οι επεμβάσεις στο φωτιστικό δίκτυο αποτελούν σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι σε προσπάθειες εφαρμογής ενεργειακά και οικονομικά πιο βιώσιμων πρακτικών, σε δημόσιο επίπεδο.

Στο Κεφάλαιο 2, εισάγονται οι βασικές έννοιες και τα βασικά μεγέθη που αφορούν το φωτισμό. Παρουσιάζονται οι έννοιες της ανάκλασης, της θάμβωσης, του χρώματος και της θερμοκρασίας χρώματος, καθώς και τα μεγέθη της φωτεινής ροής, της φωτεινής έντασης, της έντασης φωτισμού, της λαμπρότητας, της ομοιομορφίας λαμπρότητας και της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής. Αναλύονται τα είδη φωτιστικών πηγών (λαμπτήρων) και φωτιστικών σωμάτων, καθώς και τα συστήματα στήριξης αυτών.

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται η σύνδεση του αστικού φωτισμού με ενεργειακές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Αναφέρονται πρακτικές και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας, τα οποία εφαρμόζονται σε διεθνές επίπεδο. Γίνεται επίσης αναφορά σε μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις του αστικού φωτισμού, τη φωτορύπανση, καθώς και σε τρόπους με τους οποίους αυτή μπορεί να μειωθεί.

Το Κεφάλαιο 4 αποτελεί το κομμάτι αυτό της παρούσας εργασίας, στο οποίο γίνεται αναφορά σε σημαντικές Ευρωπαϊκές κινήσεις για τη μείωση εκπομπών CO₂ μέσω προγραμμάτων, όπως το Σύμφωνο των Δημάρχων και το Σύμφωνο των Νησιών. Καταγράφονται οι δυνατότητες χρηματοδότησης και ο σκοπός των εκάστοτε προγραμμάτων, ενώ στο τέλος του Κεφαλαίου, παρουσιάζονται περιπτώσεις προγραμμάτων αναβάθμισης του αστικού φωτισμού, οι οποίες κατά την εφαρμογή τους προσέφεραν σημαντικά οφέλη σε οικονομικό και ενεργειακό επίπεδο.

Στο Κεφάλαιο 5, γίνεται η αξιολόγηση τριών σεναρίων αναβάθμισης, τα οποία κατασκευάστηκαν συγκεκριμένα για την οδό Καραολή & Δημητρίου, του Δήμου Βύρωνα. Αποτυπώνεται η υπάρχουσα κατάσταση καθώς και τα τρία σενάρια και γίνεται η εφαρμογή του κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας, με σκοπό να ιεραρχηθούν τα σενάρια βάσει της οικονομικής τους ελκυστικότητας. Επίσης, πραγματοποιείται Ανάλυση Ευαισθησίας, εξετάζοντας

την πιθανή αλλαγή στην ιεράρχηση των σεναρίων, ύστερα από μεταβολή στο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και στο κόστος εγκατάστασης των νέων φωτιστικών σωμάτων.

Το Κεφάλαιο 6 αποτελεί την σύνοψη των συμπερασμάτων τα οποία προκύπτουν από τις αναλύσεις των κατασκευασμένων σεναρίων. Γίνεται επίσης μια πρώτη αναγωγή των αποτελεσμάτων για το σύνολο του φωτιστικού δικτύου του Δήμου Βύρωνα και καταγράφονται πιθανά ενεργειακά και οικονομικά οφέλη.

ABSTRACT

This diploma thesis has as a main subject, the evaluation of an urban lighting upgrade program, concerning the Municipality of Byron. Its goal is to evaluate potential scenarios, regarding the current lighting grid upgrade of the Municipality of Byron, through the replacement of the current luminaires and lighting bulbs, with new, LED technology luminaires, while examining the economic and energy benefits, in all cases.

The present thesis spans over six chapters. Chapter 1 is the introduction of the thesis, where reasons are mentioned, as to why interventions to the lighting grid are an important and vital piece, in efforts to implement more viable energy and economic practices at a public level.

In Chapter 2, basic meanings and sizes regarding street lighting, are introduced. The meanings of reflection, glare, color, color temperature as well as the sizes of luminous flux, luminous intensity, luminous power and luminous efficiency are presented. The different types of lighting bulbs are analyzed along with the luminaires and the systems that support them.

In Chapter 3, a connection of urban lighting with energy and environmental parameters, is made. Practices and energy saving systems are presented, both of which are applied on an international level. There is also a reference to one of the most important side effects of urban lighting, light pollution, as well as in ways of reducing it.

Chapter 4 of this thesis, is the part in which references to important European initiatives are made. These initiatives, one of which is the Covenant of Mayors and the Covenant of Islands, aim to reduce the CO₂ emissions. Funding programs are registered as well as the aim of those programs. In the later parts of Chapter 4, public lighting upgrade programs with promising results, both financially and energy-wise, are presented.

In Chapter 5, there is an analysis of three upgrade scenarios, all constructed specifically for Karaoli & Dimitriou street, Byron. The current state of the lighting

grid is outlined as well as the three scenarios. Then, the criteria of NPV, is applied to all cases, with the aim of obtaining a hierarchy of said cases, regarding their economic attractiveness. A sensitivity analysis, is also carried out, to examine possible changes to the hierarchy, in case of potential changes in the cost of electrical power as well as the installation cost of the new luminaires.

Chapter 6 summarizes the results of the analysis of the constructed scenarios. These results are generalized for the total of the Municipality's lighting grid, and possible energy and economic benefits are registered.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Δανάη Διακουλάκη, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής και την αμέριστη συμπαράσταση της κατά την εκπόνηση αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2	ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	12
2.1	ΑΣΤΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	12
2.2	ΟΡΙΣΜΟΙ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	13
2.3	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	18
2.3.1	Βρετανικό πρότυπο BS 5489	18
2.3.2	Αμερικανικά πρότυπα	19
2.3.3	Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 1320	19
2.4	ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ	20
2.4.1	Πηγές Φωτισμού	20
2.4.2	Εναλλακτικές Πηγές Φωτισμού & Νέες Τεχνολογίες	35
2.5	ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ	38
2.5.1	Φωτομετρικά Στοιχεία Φωτιστικών Σωμάτων	39
2.5.2	Διατάξεις στήριξης φωτιστικών σωμάτων	43
2.5.3	Εγκάρσια και διαμήκης τοποθέτηση στύλων	45
3	ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	48
3.1	ΑΣΤΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	48
3.1.1	Πρακτικές Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Οδοφωτισμό	50
3.1.2	Συστήματα Ελέγχου Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Οδοφωτισμό 51	
3.1.3	Συστήματα Dimming σε Λαμπτήρες Εκκένωσης	53
3.2	ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗ	57
3.2.1	Φωτορύπανση Και Ενεργειακές Απώλειες	59
3.2.2	Έλεγχος της Φωτορύπανσης και Εξωτερικός Φωτισμός	61
4	ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ	63
4.1	ΤΟ ΣΥΜΦΩΝΟ ΤΩΝ ΔΗΜΑΡΧΩΝ	63
4.1.1	Μέσα Χρηματοδότησης Συμφώνου Δημάρχων	65
4.1.2	Ευρωπαϊκά Κονδύλια Διαχειριζόμενα σε Εθνικό και Περιφερειακό Επίπεδο 65	
4.1.3	Ευρωπαϊκά Κονδύλια Κεντρικά Διαχειριζόμενα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή	67

4.2	ΤΟ ΣΥΜΦΩΝΟ ΤΩΝ ΝΗΣΙΩΝ.....	69
4.2.1	Πηγές Χρηματοδότησης Συμφώνου των Νησιών	70
4.3	ΔΙΕΘΝΗ & ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	72
4.3.1	Άγκντ (Agde) – Γαλλία	72
4.3.2	Κοπεγχάγη (Copenhagen) – Δανία	73
4.3.3	Μαδρίτη (Madrid) – Ισπανία.....	74
4.3.4	Λος Άντζελες (Los Angeles) – Η.Π.Α	75
4.3.5	Δήμος Μαλεβιζίου, Κρήτη	76
5	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΟΔΟ ΚΑΡΑΟΛΗ & ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	77
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	77
5.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	78
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	82
5.3.1	Παρούσα Κατάσταση	82
5.3.2	Σενάριο αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες 125 Watt Hg	83
5.3.3	Σενάριο αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες 250 Watt Na.....	84
5.3.4	Σενάριο αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες 125 Watt Hg και λαμπτήρες 250 Watt Na.....	84
5.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	87
5.4.1	Μεταβολή στο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.	87
5.4.2	Μεταβολή στο κόστος εγκατάστασης φωτιστικών τεχνολογίας LED	91
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	97
	ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ CEN/TR 13201-ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ....	97

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σύγχρονη εποχή, κατά την οποία, η εξασφάλιση ενός αξιοπρεπούς βιοτικού επιπέδου απαιτεί ολοένα και αυξανόμενες ενεργειακές και κατά συνέπεια οικονομικές δαπάνες, είναι φανερό πόσο σημαντικές μπορεί να είναι πρακτικές βιώσιμης κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης, κατά την εφαρμογή των οποίων, συντελείται ο περιορισμός των ανωτέρω δαπανών και προωθείται η αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας.

Είναι γεγονός πως σε παγκόσμιο επίπεδο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, επιχειρούνται δράσεις προς αυτή την κατεύθυνση, είτε μέσω αυξανόμενης χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας είτε μέσω της ανάπτυξης συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά της παγκόσμιας προσπάθειας για την εφαρμογή βιώσιμότερων, οικονομικά και ενεργειακά, πολιτικών, δε θα μπορούσε να μη ληφθεί υπόψη η ανάπτυξη μεθόδων για την εξοικονόμηση ενέργειας από το φωτισμό του αστικού ιστού.

Ο αστικός φωτισμός αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της υποδομής κάθε σύγχρονης πόλης. Βασικός σκοπός των δημόσιων φωτιστικών εγκαταστάσεων, είναι η εξασφάλιση καλής ορατότητας στους χρήστες του οδικού δικτύου κατά τη διάρκεια της νύχτας ή γενικότερα όταν επικρατούν συνθήκες ανεπαρκούς φυσικού φωτισμού. Μέσω του επαρκούς φωτισμού, ο εκάστοτε χρήστης του δρόμου μπορεί να αντιληφθεί εγκαίρως τις κυκλοφοριακές συνθήκες και την παρουσία τυχόν εμποδίων, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα τροχαίων ατυχημάτων, προασπίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ανθρώπινη ζωή, αποφεύγοντας παράλληλα πιθανές οικονομικές απώλειες.

Πέρα από τις καθαρά οδικές και οδηγικές παραμέτρους, ένα σωστά σχεδιασμένο δίκτυο φωτιστικής εγκατάστασης, παρέχει αυξημένη αίσθηση ασφάλειας στους πολίτες, καθώς συντελεί στη μείωση της εγκληματικότητας. Επίσης, προάγει την πολιτιστική και καλλιτεχνική δραστηριότητα, καθώς ένα καλοσχεδιασμένο φωτιστικό σύστημα αναδεικνύει τα χαρακτηριστικά σημαντικών μνημείων, καλλιτεχνικών δράσεων και κτιρίων υψηλής αρχιτεκτονικής αξίας.

Η καταναλισκόμενη ενέργεια κατά τον φωτισμό του αστικού ιστού, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης μιας σύγχρονης πόλης. Περιλαμβάνοντας τα έξοδα συντήρησης της φωτιστικής εγκατάστασης, γίνεται αντιληπτό πως το συνολικό κόστος κατά τον ηλεκτροφωτισμό αποτελεί μια από τις σημαντικότερες δαπάνες του δημοτικού προϋπολογισμού.

Κατά συνέπεια, μελέτες που στοχεύουν στην κατάστρωση και αξιολόγηση πλάνων αναβάθμισης του φωτιστικού δικτύου, κατά την εφαρμογή των οποίων πληρούνται οι προϋποθέσεις αποτελεσματικού φωτισμού, παράλληλα με εξοικονόμηση σε ενεργειακό και οικονομικό επίπεδο, αποτελούν από τα σημαντικότερα εργαλεία στη διάθεση των τοπικών φορέων, μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η πορεία εναρμόνισης με τις παγκόσμιες κινήσεις για βιωσιμότερη ανάπτυξη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια τέτοια μελέτη αξιολόγησης πιθανών σεναρίων αναβάθμισης της φωτιστικής εγκατάστασης ενός από τους σημαντικότερους οδικούς άξονες του Δήμου Βύρωνα, της οδού Καραολή & Δημητρίου. Τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν, δύνανται να χρησιμοποιηθούν για την κατάρτιση σχεδίου αναβάθμισης του αστικού φωτισμού του Δήμου Βύρωνα, στο σύνολό του.

2 ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

2.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ως αστικός φωτισμός ορίζεται η παρεχόμενη υπηρεσία, από τον εκάστοτε αρμόδιο φορέα, με αντικειμενικό σκοπό την παροχή καλής ορατότητας στους χρήστες εξωτερικών χώρων κυκλοφορίας κατά τις ώρες του σκότους, συμβάλλοντας στην οδική ασφάλεια, τη ροή της κυκλοφορίας και τη δημόσια ασφάλεια (European Commission, 2007). Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση σταθερών εγκαταστάσεων φωτισμού, οι οποίες έχουν ως σκοπό να φωτίσουν τον περιβάλλοντα χώρο ενός πολεοδομικού ιστού, στον οποίο κινούνται άνθρωποι, οχήματα και ποδηλάτα με χαμηλές ταχύτητες, δηλαδή να παρέχουν φωτισμό στα παρακάτω σημεία:

- Δρόμους
- Πεζόδρομους
- Περιβάλλοντες χώρους κτιρίων
- Πάρκα
- Πλατείες
- Κήπους
- Προαστιακές οδούς

Ο «αστικός φωτισμός» σαν όρος αποτελεί κάτι σχετικά νέο για την Ελλάδα. Οι δημόσιες υπηρεσίες, στα έργα που προκηρύσσουν και αναθέτουν, εξακολουθούν να τον αναφέρουν ως «οδοφωτισμό», εντάσσοντάς τον στην ίδια κατηγορία με το φωτισμό οδικών αρτηριών και αυτοκινητοδρόμων. Όμως, τα ζητούμενα από μια εγκατάσταση αστικού φωτισμού είναι διαφορετικά από αυτά που απαιτούνται για τον ασφαλή και επαρκή φωτισμό ενός αυτοκινητοδρόμου.



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 – Παραδείγματα Αστικού Φωτισμού σε πλατεία και προαστιακή οδό

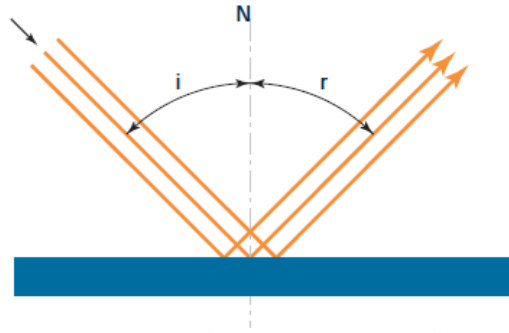
2.2 ΟΡΙΣΜΟΙ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Αν και σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν είναι η εκτεταμένη ανάλυση των φωτομετρικών χαρακτηριστικών του αστικού και οδικού φωτισμού, ούτε η εμβάθυνση στις μεθόδους υπολογισμού τους, στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν κάποια σχετικά στοιχεία. Επομένως, κρίνεται σκόπιμο να δοθούν μερικοί βασικοί ορισμοί χαρακτηριστικών φωτομετρικών στοιχείων (Φ.Β. Τοπαλής, 1994).

- **Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I):** Είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας, από μία δεδομένη πηγή σε μία δεδομένη κατεύθυνση. Περιγράφει τη δύναμη μίας πηγής να παρέχει φως (δύναμη κεριού) προς κάθε κατεύθυνση, ενώ υπάρχει και η μέση ένταση προς ένα σύνολο κατευθύνσεων. Η μονάδα μέτρησης είναι το **candela (cd)**, όπου **1 cd = 1 lumen/steradian**.
- **Φωτεινή Ροή (Luminous Flux):** Είναι η ακτινοβολούμενη ενέργεια (φως), που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή ή λαμβάνεται από μία επιφάνεια, ασχέτως των διευθύνσεων κατά τις οποίες αυτό κατανέμεται. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lumen (lm)**, το οποίο ορίζεται ως η ροή που εκπέμπεται μέσω στερεάς γωνίας **1 steradian** από μια σημειακή πηγή ομοιόμορφης φωτεινής έντασης **1 cd**.
- **Ισχύς Φωτισμού (Illuminance, E):** Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lux (lx)**, όπου **1 lux = 1 lumen/m²**. Είναι το μέτρο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο οδόστρωμα.
- **Λαμπρότητα (Luminance, L):** Ορίζεται ως το πηλίκο $L=I/S$, όπου I είναι η φωτεινή ένταση πηγής και S η επιφάνειά της. Είναι η φωτεινή ένταση που ανακλάται από μία μοναδιαία επιφάνεια σε καθορισμένη διεύθυνση. Η μονάδα μέτρησης είναι το **cd/m²**. Ουσιαστικά, η λαμπρότητα θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για τον οδοφωτισμό, καθώς περιγράφει την κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος, εξετάζοντας την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, πεζού ή ποδηλάτη, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό.
- **Ομοιομορφία Λαμπρότητας (Uniformity, U):** Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό επάνω στο οδόστρωμα, πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας στο οδόστρωμα να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία αυτή, εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία) είτε για την ίδια διεύθυνση με τον παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία) και εκφράζεται σαν λόγος μεταξύ των L_{min} , L_{max} , L_{av} , ελάχιστης, μέγιστης και μέσης, αντίστοιχα, λαμπρότητας στο σύνολο του οδοστρώματος.

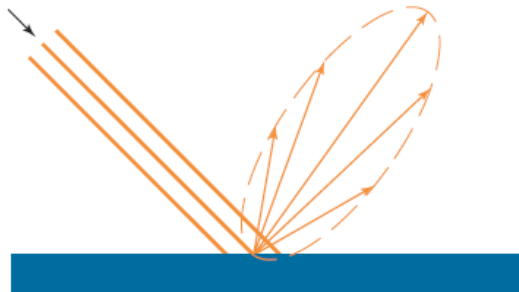
- **Αντίθεση Λαμπρότητας (Contrast, C):** Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους. Αυτή η διαφορά λαμπρότητας αποτελεί την **Αντίθεση Λαμπρότητας** και δίνεται από την εξίσωση $C=(L_o-L_b)/L_b$, όπου L_o η λαμπρότητα του αντικειμένου και L_b η λαμπρότητα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο αυτό γίνεται ορατό. Η τιμή της αντίθεσης κυμαίνεται από -1 έως $+\infty$. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται σαν φωτεινή εικόνα σε σκοτεινό περιβάλλον, ενώ συνήθως ο οδηγός, πεζός ή ποδηλάτης, αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σαν σκοτεινή εικόνα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος, δηλαδή η αντίθεση λαμβάνει αρνητικές τιμές.
- **Φωτεινότητα (Luminosity):** Είναι η οπτική αίσθηση που υποδεικνύει ότι μία περιοχή φαίνεται να εκπέμπει περισσότερο ή λιγότερο φως.
- **Ακτινοβολία (Beam):** Είναι το τμήμα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από μία πηγή φωτός, όταν αυτή περιέχεται σε μία στερεά γωνία. Η στερεά γωνία εκτείνεται ως το λειτουργικό κέντρο του φωτός της πηγής, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης έντασης.
- **Φωτεινή Απόδοση (Luminous Efficiency):** Ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από ένα ηλεκτρικό φωτιστικό σώμα, προς τη συνολική ηλεκτρική ισχύ της πηγής. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής απόδοσης είναι το **lumen/Watt**.
- **Θάμβωση (Glare):** Θάμβωση προκαλείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε να προκαλείται ενόχληση και μείωση της ικανότητας του παρατηρητή να διακρίνει αντικείμενα, εξαιτίας ακατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικής αντίθεσης. Ένα από τα είδη θάμβωσης είναι η «φυσιολογική» θάμβωση που προκαλείται από τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός στο οπτικό πεδίο, μειώνοντας την αντίθεση μεταξύ αντικειμένου και περιβάλλοντος. Δείκτης της εν λόγω μορφής θάμβωσης είναι το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα του περιβάλλοντος για να αποκατασταθεί η ορατότητα του αντικειμένου (**threshold increment, TI**).
- **Ανάκλαση (Reflection):** Η ανάκλαση παρουσιάζεται στις εξής μορφές (Lighting Research Center, 1999).

Κανονική ανάκλαση (Specular Reflection): Πρόκειται για την ιδανική περίπτωση ανάκλασης, κατά την οποία η δέσμη φωτός που προσπίπτει στην απόλυτα στιλπνή επιφάνεια ανακλάται με γωνία ίδια με τη γωνία ίδια με τη γωνία πρόσπτωσης χωρίς να διασκορπάζεται.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2 – Αναπαράσταση Κανονικής Ανάκλασης

Ημιδιαχέουσα ανάκλαση (Composed Reflection): Αποτελεί ένα είδος ανάκλασης κατά την οποία η δέσμη φωτός ανακλάται και διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 2.3 – Αναπαράσταση Διαχέουσας Ανάκλασης

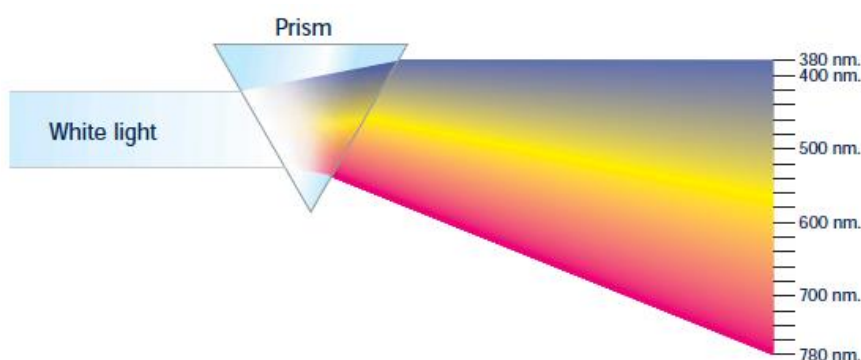
Μικτή Ανάκλαση (Mixed Reflection): Αποτελεί ένα είδος ανάκλασης το οποίο κατατάσσεται ανάμεσα στα δύο προηγούμενα, καθώς ένα τμήμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται, ενώ ένα άλλο τμήμα διασκορπίζεται.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4 – Αναπαράσταση Μικτής Ανάκλασης

Ορίζεται ως **συντελεστής ανάκλασης** το πηλίκο της ροής που ανακλάται από μια επιφάνεια προς τη ροή που προσπίπτει σε αυτή. Η ανάκλαση ως φαινόμενο και ο συντελεστής ανάκλασης σαν φωτομετρικό μέγεθος, παρουσιάζουν και πρακτικό ενδιαφέρον στις μελέτες φωτισμού δρόμων, δεδομένου ότι με βάση τις ιδιότητες ανάκλασής τους, τα οδοστρώματα ταξινομούνται σε κατηγορίες.

- **Χρώμα (Color):** Το χρώμα ορίζεται ως μια υποκειμενική ψυχοσωματική ερμηνεία του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Κάθε χρώμα συνιστά μια μονοχρωματική ακτινοβολία. Τα μήκη κύματος των ορατών αυτών ακτινοβολιών κυμαίνονται μεταξύ 380 nm και 780 nm. Οι ακτινοβολίες αυτές συνιστούν το φάσμα του ορατού φωτός, ενώ από τη μίξη τους, όπως πρώτος διαπίστωσε ο Isaac Newton, προκύπτει το λευκό φως. Τα αντικείμενα δεν έχουν και δεν παράγουν φως. Έχουν όμως τη δυνατότητα να ανακλούν, να διαχέουν και να απορροφούν τμήμα της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτά. Η εικόνα του χρώματος ενός αντικείμενου όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι, οφείλεται στην ιδιότητα αυτή των αντικειμένων να ανακλούν τμήμα του φωτός που προσπίπτει σε αυτά.



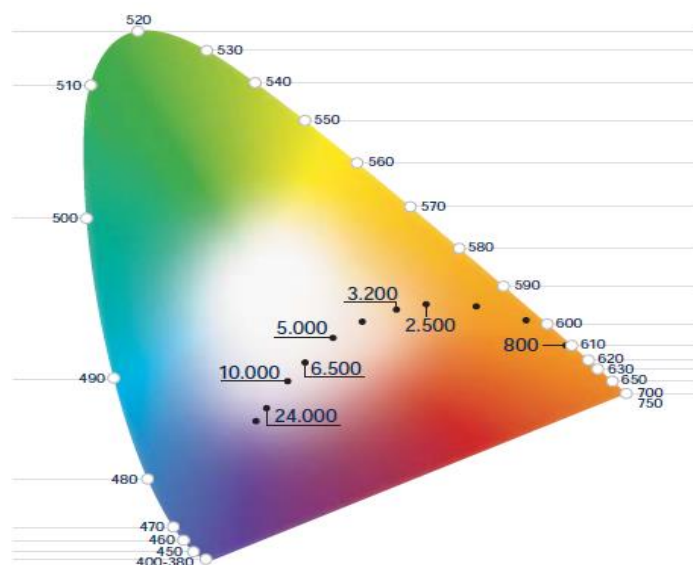
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 – Ανάλυση Λευκού Φωτός στα χρώματα του ορατού φάσματος, υπό πρίσμα

- **Ενεργειακή Φασματική Κατανομή:** Η ενεργειακή φασματική κατανομή, ως έννοια, αφορά στο σύνολο των μηκών κύματος ακτινοβολίας που περιλαμβάνει το φως μιας φωτεινής πηγής. Συγκεκριμένα, το ηλιακό φως περιέχει μεταξύ άλλων και όλο το φάσμα των μηκών κύματος ορατών ακτινοβολιών. Δεν ισχύει το ίδιο για τις τεχνητές πηγές φωτισμού (λαμπτήρες) των οποίων το φως ποικίλει σε χρωματική ακτινοβολία που περιέχει, ανάλογα με την ενεργειακή φασματική κατανομή του. Αξίζει να σημειωθεί πως το χρώμα που χαρακτηρίζει ένα αντικείμενο διαφέρει ανάλογα με την πηγή που το φωτίζει.
- **Θερμοκρασία Χρώματος:** Για τον ορισμό της θερμοκρασίας σώματος, είναι απαραίτητη η παρουσίαση του μέλανος σώματος του Max Planck. Το

μέλαν σώμα έχει τη βασική ιδιότητα να απορροφά κάθε εξωτερική ακτινοβολία. Το γεγονός αυτό προκαλεί όπως είναι αναμενόμενο, την ανύψωση της θερμοκρασίας του. Η αύξηση της θερμοκρασίας, ακολουθείται από εκπομπή ακτινοβολίας μέχρι να επανέλθει σε θερμοκρασιακή ισορροπία (temperature equilibrium). **Θερμοκρασία χρώματος**, λοιπόν, μιας φωτεινής πηγής είναι η θερμοκρασία αυτή, στην οποία όταν βρεθεί το μέλαν σώμα, τότε αυτό εκπέμπει φως ίδιας απόχρωσης με αυτό της πηγής. Μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας χρώματος είναι το **Kelvin (K°)**. Η θερμοκρασία χρώματος χρησιμοποιείται σαν έννοια και για να αποτυπώσει την εντύπωση που δημιουργεί το φως που παράγεται από μία φωτεινή πηγή. Εισάγονται έτσι, οι έννοιες του **Θερμού, ψυχρού** και **μέσου (ουδέτερου - λευκού)** φωτός, των οποίων οι θερμοκρασίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1. Οι παραπάνω έννοιες γίνονται αντιληπτές και από την **καμπύλη θερμοκρασίας μέλανος σώματος, T_c**, η οποία υποδεικνύει τα χρώματα που εκπέμπει το μέλαν σώμα ανάλογα με τη θερμοκρασία του και υπάγεται στο **χρωματικό χάρτη** της C.I.E (International Commission on Illumination).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 – Θερμοκρασίες Θερμού, Μέσου – Ουδέτερου και Ψυχρού Φωτός

Χαρακτηρισμός Φωτός	Θερμοκρασία χρώματος (K)
Θερμό (Warm)	<3.300
Μέσο – Ουδέτερο (Intermediate)	Από 3.300 έως 5.300
Ψυχρό (Cold)	>5.300



ΕΙΚΟΝΑ 2.6 – Χρωματικός Χάρτης (Chromaticity Diagram) της C.I.E

2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Για το σωστό φωτισμό ενός οδικού σημείου απαιτείται να πληρούνται σε αυτό ορισμένες μέγιστες και ελάχιστες τιμές φωτομετρικών στοιχείων του εφαρμοζόμενου φωτισμού. Κανονισμοί παρέχουν πίνακες με τα απαιτούμενα αυτά στοιχεία, τα οποία εξαρτώνται από το είδος του φωτιζόμενου τμήματος.

2.3.1 Βρετανικό πρότυπο BS 5489

Κατά τα βρετανικά πρότυπα (BS 5489) διαμορφώνονται κλάσεις οδικού φωτισμού, ανάλογα με το είδος και την κατάσταση της οδού. Τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα αφορούν μόνο διαμήκη τμήματα οδών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 – Κλάσεις Φωτισμού για διάφορα επίπεδα οδών

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ	
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΚΛΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ
Υψηλή	M1
Μέση	M2
Χαμηλή	M3
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΕΣ ΟΔΟΙ ΤΑΧΕΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΩΝ	ΚΛΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ
Φτωχός	M1
Καλός	M2
ΚΥΡΙΕΣ & ΔΕΥΤΕΡΕΟΥΣΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΤΗΡΙΕΣ	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΩΝ	ΚΛΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ
Φτωχός	M2
Καλός	M3
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΕΣ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΟΔΟΙ	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΩΝ	ΚΛΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ
Φτωχός	M4
Καλός	M5

Με βάση την κλάση φωτισμού που αντιστοιχεί στην εκάστοτε οδό, ορίζονται τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά, όπως αυτά διακρίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 – Απαιτήσεις Φωτισμού κατά Κλάση Φωτισμού

ΚΛΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	ΜΕΣΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ L_{av} (cd/m ²)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ U_o (L_{min}/L_{av})	ΑΡΧΙΚΟ ΠΙ (ΘΑΜΒΩΣΗ)	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ U_L (L_{min}/L_{max})	ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ (SR)
	Για όλες τις οδούς	Για όλες τις οδούς	Για όλες τις οδούς	Για οδούς χωρίς, ή με λίγους κόμβους	Για οδούς με διαβάσεις πεζών
M1	>2.0	>0.4	<10%	>0.7	>0.5
M2	>1.5	>0.4	<10%	>0.7	>0.5
M3	>1.0	>0.4	<10%	>0.5	>0.5
M4	>0.75	>0.4	<15%	-	-
M5	>0.5	>0.4	<15%	-	-

2.3.2 Αμερικανικά πρότυπα

Ανάλογα στοιχεία δίνονται και κατά τις αμερικάνικες προδιαγραφές του AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials). Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι απαιτήσεις σε φωτισμό διαμηκών τμημάτων οδών, βάσει του είδους της οδού και της πυκνότητας κίνησης πεζών και οχημάτων σε σχέση με χρήσεις γης, για ασφαλτικό οδόστρωμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4 – Απαιτήσεις Φωτισμού για ασφαλτικό οδόστρωμα, κατά AASHTO

ΕΙΔΟΣ ΟΔΟΥ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ (lux)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ $U_o (L_{min}/L_{av})$
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ		9	1:3
ΤΑΧΕΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	Μέτρια	14	1:3
	Μεγάλη	12	
	Κατοικημένη Περιοχή	9	
ΚΥΡΙΑ	Μέτρια	17	1:3
	Μεγάλη	13	
	Κατοικημένη Περιοχή	9	
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΑ	Μέτρια	12	1:4
	Μεγάλη	9	
	Κατοικημένη Περιοχή	6	
ΤΟΠΙΚΗ	Μέτρια	9	1:6
	Μεγάλη	7	
	Κατοικημένη Περιοχή	4	

2.3.3 Πρότυπο ΕΛΟΤ CEN/TR 1320

Το Ελληνικό Θεσμικό πλαίσιο για το φωτισμό δρόμων ακολουθεί τις οδηγίες του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 13201. Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 13201 έχει θεσπιστεί για το φωτισμό δρόμων και περιλαμβάνει ένα σύνολο προϋποθέσεων και κριτηρίων που πρέπει να πληρούνται ώστε ένας δρόμος να θεωρείται σωστά φωτισμένος. Τα κριτήρια αυτά δεν είναι ίδια για όλους τους δρόμους καθώς με τη σειρά τους εξαρτώνται από ένα σύνολο παραμέτρων, όπως η γεωμετρία του δρόμου, ο τύπος του οδοστρώματός του, η πυκνότητα της ροής κυκλοφορίας του, το είδος των χρηστών του και ένα πλήθος από άλλες παραμέτρους, οι οποίες αναλύονται περαιτέρω στο Παράρτημα Π-Α. Με βάση τις παραμέτρους αυτές οι δρόμοι κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες φωτισμού, κάθε μία από τις οποίες ορίζει και τα αντίστοιχα επίπεδα λαμπρότητας, ομοιομορφίας φωτισμού, ορίου θάμβωσης, περιβάλλοντος φωτισμού καθώς και τον τρόπο μετάβασης των χρηστών από φωτεινό σε σκοτεινό χώρο (οπτική καθοδήγηση).

2.4 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ

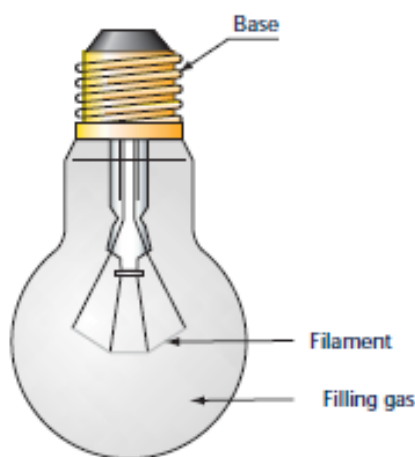
Ως φωτιστικό σύνολο νοείται η όλη διάταξη που περιλαμβάνει τη συσκευή ή τις συσκευές φωτισμού, μαζί με τη διάταξη στήριξης και προσανατολισμού τους, καθώς επίσης και την καλωδίωση και τα λοιπά ηλεκτρολογικά στοιχεία. Σε ένα δίκτυο αστικού φωτισμού υπάρχει ακόμη και το κουτί ελέγχου του δικτύου.

2.4.1 Πηγές Φωτισμού

Οι πηγές φωτισμού αποτελούν ουσιαστικά το πιο σημαντικό στοιχείο ενός συστήματος ηλεκτροφωτισμού, καθώς καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την οπτική ποιότητα του φωτισμού, την οικονομία, την απόδοση και γενικότερα την ενεργειακή θεώρηση του εφαρμοζόμενου συστήματος φωτισμού. Ως πηγές φωτισμού σε ένα σύστημα ηλεκτροφωτισμού, χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών ηλεκτρικοί λαμπτήρες. Σήμερα έχουν απομείνει ή χρησιμοποιούνται σε νέες εφαρμογές, λαμπτήρες **πυρακτώσεως, φθορισμού και εκκένωσης** (Zumtobel Staff, 2004).

Αναλυτικότερα, όλα τα χρησιμοποιούμενα είδη λαμπτήρων έχουν ως εξής

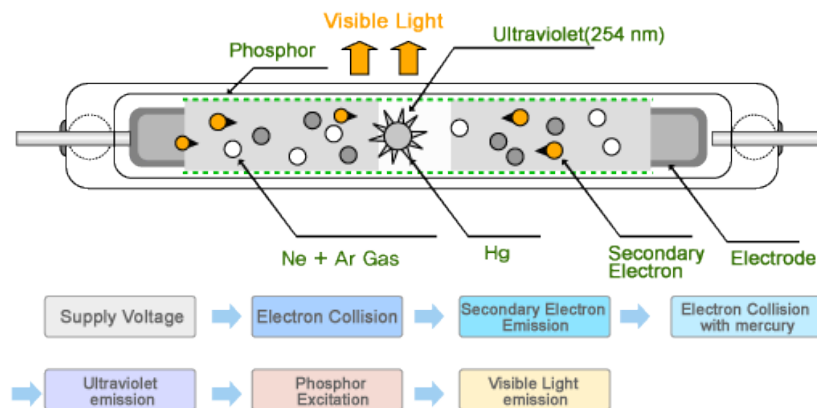
- **Λαμπτήρες Πυρακτώσεως (Incandescent):** Οι λαμπτήρες αυτού του είδους ήταν κάποτε οι πιο δημοφιλείς, καθώς ήταν απλοί, φθηνοί και η εγκατάστασή τους ήταν εύκολη. Αναπαρήγαγαν σωστά τα χρώματα και το μικρό τους μέγεθος επέτρεπε εύκολο έλεγχο του εκπεμπόμενου φωτός. Ωστόσο, η χαμηλή τους φωτεινή απόδοση και ο περιορισμένος χρόνος ζωής τους, τους έχει θέσει πλέον ανεπιθύμητους σε νέες εγκαταστάσεις. Τα κύρια μέρη ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι το **νήμα, τα άκρα στήριξης, το αέριο πλήρωσης, το γυάλινο περίβλημα και η βάση του.**



ΕΙΚΟΝΑ 2.7 – Δομή Λαμπτήρα Πυρακτώσεως

- **Λαμπτήρες Φθορισμού (Fluorescent):** Ομοίως με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, δεν χρησιμοποιούνται πλέον σε νέες εγκαταστάσεις, εξακολουθούν, ωστόσο, να χρησιμοποιούνται για φωτισμό σηράγγων

και πινακίδων. Το μεγάλο τους μέγεθος δυσχεραίνει τον έλεγχο του φωτισμού. Οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν, όπως θα αναλυθεί παρακάτω, επιπλέον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ελέγχου της τάσης, η δε φωτεινή τους απόδοση επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες περισσότερο από κάθε άλλο είδος λαμπτήρα. Πλεονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός της βελτιωμένης απόδοσης του φωτός τους επάνω σε βρεγμένο οδόστρωμα. Η δομή και η συνοπτική αρχή λειτουργίας ενός τυπικού λαμπτήρα φθορισμού φαίνεται παρακάτω.



ΕΙΚΟΝΑ 2.8 – Δομή και Αρχή Λειτουργίας Λαμπτήρα Φθορισμού

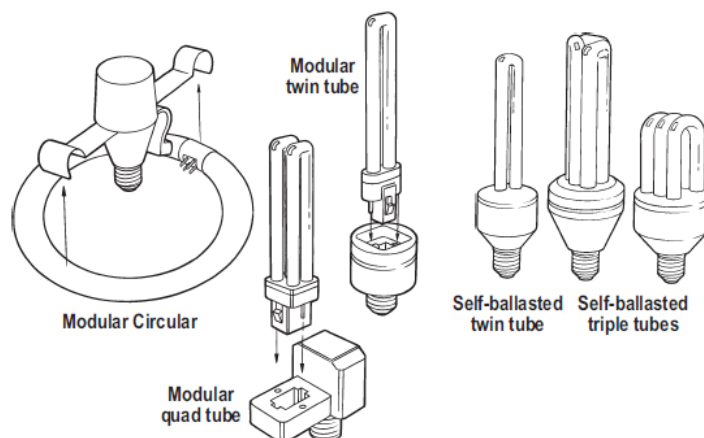
Αναλυτικότερα, ένας λαμπτήρας φθορισμού αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Γυάλινο Εξωτερικό Σωλήνα
- Φθοριούχος (ή φωσφορίζουσα) πούδρα
- **Ηλεκτρόδια**, σχεδιασμένα από νήμα βολφραμίου με επικάλυψη αλκαλικών οξειδίων, μεταξύ των οποίων λαμβάνει χώρα η εκκένωση με την εκπομπή ηλεκτρονίων
- **Αέριο στο εσωτερικό του σωλήνα**, το οποίο συνίσταται από κορεσμένο υδράργυρο σε συνδυασμό με ένα αδρανές αέριο (νέον, αργό)
- **Βάσεις στήριξης** του σωληνοειδούς λαμπτήρα
- Ballast*, εκκινήτη (starter) καθώς και πυκνωτή διόρθωσης συνημιτόνου

Η σύνδεση του λαμπτήρα στο δίκτυο από μόνη της δεν επαρκεί για την εκκίνησή του. Τη διαδικασία εκκίνησης εξυπηρετεί ο starter. Πρόκειται για ένα διμεταλλικό έλασμα με την απόσταση ενδιάμεσα στα ηλεκτρόδιά του να είναι αρκετά μικρή, ώστε κατά τη σύνδεση του λαμπτήρα με το δίκτυο να δημιουργείται **εκκένωση αίγλης**. Το διάκενο του ελάσματος κλείνει, ο εκκινήτης και τα ηλεκτρόδια διαρρέονται από ρεύμα, το οποίο με τη σειρά του θερμαίνει τα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα ώστε αυτά να εκπέμψουν ηλεκτρόνια και να ξεκινήσει η διαδικασία της εκκένωσης. Κατά τη διαδικασία της κανονικής εκκένωσης, η εκκένωση αίγλης διακόπτεται και τα ελάσματα του starter

επανέρχονται στην αρχική τους θέση. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ο υδράργυρος συναντάται στο σωλήνα εκκένωσης του λαμπτήρα και σε υγρή και σε αέρια μορφή, ιδανικά υπό πίεση 0.8 Pa, σε συνδυασμό με πίεση αδρανούς αερίου περί τα 2.500 Pa. Υπό αυτές τις συνθήκες, το 90% της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ανήκει στη ζώνη του υπεριώδους και σε μήκος κύματος 253,7 nm. Σε γενικές γραμμές η ποσότητα υδραργύρου στους λαμπτήρες φθορισμού είναι πολύ μικρή, γεγονός που τους καθιστά φιλικούς προς το περιβάλλον ενώ παράλληλα έχουν σχετικά υψηλό συντελεστή απόδοσης (περί τα 80 lm/W). Η θερμοκρασία χρώματος του φωτός ενός λαμπτήρα φθορισμού κυμαίνεται μεταξύ 2.700 K και 6.500 K με ένα ασυνεχές διάγραμμα φάσματος κατανομής. Η φθορίζουσα πούδρα που επικαλύπτει τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα αποτελεί σημαντικό δομικό στοιχείο του λαμπτήρα καθώς το είδος και η σύνθεση της, όπως και στους λαμπτήρες υδραργύρου, έτσι και στους λαμπτήρες φθορισμού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη θερμοκρασία χρώματος του παραγόμενου φωτός και την απόδοση του λαμπτήρα. Ανάλογα με τη θερμοκρασία χρώματός τους οι λαμπτήρες φθορισμού κατατάσσονται σε λαμπτήρες λευκού φωτός ημέρας (daytime white light - για $T > 5.000\text{K}$), λαμπτήρες ουδέτερου λευκού φωτός (Neutral White light - $3.000\text{K} < T < 5.000\text{K}$) και λαμπτήρες θερμού λευκού φωτός (Warm white light - $T < 3.000\text{K}$). Γενικά πάντως, το λευκό φως που παράγουν έχει άριστη χρωματική απόδοση και αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα των λαμπτήρων φθορισμού. Οι ονομαστικές τιμές του λαμπτήρα επιτυγχάνονται μετά από πέντε λεπτά λειτουργίας. Έχει κατοχυρωθεί οι λαμπτήρες φθορισμού να ονομάζονται με τη χρήση ενός γράμματος που υποδηλώνει το σχήμα τους κι ενός αριθμού που υποδεικνύει τη διάμετρό τους σε όγδοα της ίντσας. Για παράδειγμα, ένα σωληνοειδής (T: Tubular) λαμπτήρας φθορισμού διαμέτρου 12mm (0.5 inches) φέρει την ονομασία T-4. Στην αγορά συναντώνται λαμπτήρες φθορισμού T-4 έως και T-17 (με διάμετρο 17/8 της ίντσας που ισούται με 2.125 inches). Το μήκος τους, τέλος, κυμαίνεται μεταξύ 100 mm και 2.440 mm. Ο μέσος χρόνος ζωής των λαμπτήρων φθορισμού κυμαίνεται μεταξύ 10.000 και 36.000 ωρών ζωής. Ένας λαμπτήρας παύει να λειτουργεί όταν η επικάλυψη των ηλεκτροδίων έχει εξατμιστεί πλήρως, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει εκπομπή ηλεκτρονίων και εν συνεχεία εκκένωση. Ο χρόνος ζωής και η αρτιότητα της λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού εξαρτώνται επίσης από το είδος των ballast, από την τάση του δικτύου και από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Στον επόμενο Πίνακα 2.5, παρατίθενται κάποια βασικά γεωμετρικά (διάμετρος, μήκος) και φωτοτεχνικά (φωτεινή ροή, φωτεινή απόδοση) χαρακτηριστικά τυπικών σωληνοειδών λαμπτήρων φθορισμού, ανάλογα με την ονομαστική ηλεκτρική ισχύ τους.



ΕΙΚΟΝΑ 2.9 – Τυπικοί Λαμπτήρες Φθορισμού

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5 – Χαρακτηριστικά Τυπικών Σωληνοειδών Λαμπτήρων Φθορισμού

Ονομαστική Ισχύς (W)	Φωτεινή Ροή (lm)	Απόδοση (lm/W)	Διάμετρος (mm)	Μήκος (mm)
18	1350	75.00	26	590
18	1150	63.88	26	590
18	1100	61.11	26	590
18	1000	55.55	26	590
36	3350	93.05	26	1200
36	2850	79.16	26	1200
36	2600	72.22	26	1200
36	2350	65.27	26	1200
58	5200	89.65	26	1500
58	4600	79.31	26	1500
58	4100	70.68	26	1500
58	3750	64.65	26	1500

Υποκατηγορία των λαμπτήρων φθορισμού αποτελούν οι **συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (compact fluorescent lamps)**. Η ηλεκτρική ισχύς τους κυμαίνεται μεταξύ 5W και 55W, ενώ η διάμετρός τους συνήθως είναι 5/8 της ίντσας (T-5). Συναντώνται σε τρεις μορφές:

- **CFL (Compact Fluorescent Lamps)** με ενσωματωμένο ηλεκτρονικό ballast και κάλυκα τύπου λαμπτήρα πυρακτώσεως (βιδωτό ή μπαγιονέ)
- **CFL με κάλυκα για σύνδεση σε ειδική υποδοχή με εξωτερικό ηλεκτρομαγνητικό Ballast***
- **CFL με κάλυκα για σύνδεση σε ειδική υποδοχή με εξωτερικό ηλεκτρονικό Ballast**

Η τελευταία μορφή CFL είναι ρυθμιζόμενη σε ότι αφορά την ένταση φωτισμού των λαμπτήρων (dimmable).

Ο Πίνακας 2.6 περιλαμβάνει συγκεντρωμένα ορισμένα χαρακτηριστικά τυπικών CFL λαμπτήρων. Στην πρώτη στήλη οι λαμπτήρες κατατάσσονται κατά αύξουσα ονομαστική ηλεκτρική ισχύ. Η δεύτερη στήλη παραθέτει την αντίστοιχη φωτεινή ροή για κάθε λαμπτήρα, η τρίτη την απόδοσή του σε lm/W, η τέταρτη το πλάτος του σε mm, η πέμπτη το μήκος του σε mm και η τελευταία στήλη τον τύπο της υποδοχής του λαμπτήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6 – Χαρακτηριστικά Τυπικών Συμπαγών Λαμπτήρων Φθορισμού

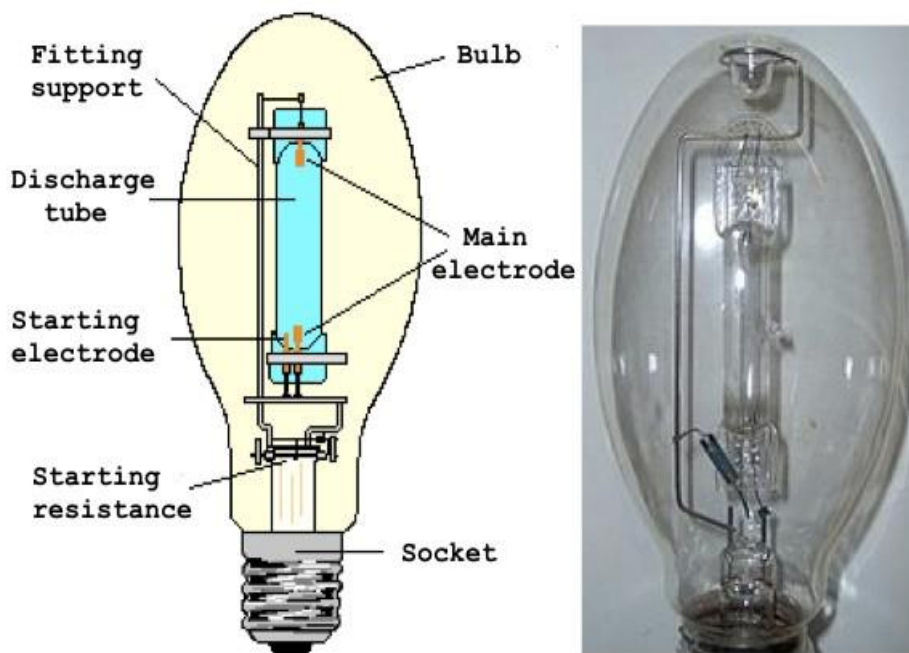
Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance lm/W	Width in mm	Length L in mm	Lamp holder
18	750	41.66	38	225	2G11
24	1200	50.00	38	320	2G11
36	1900	52.77	38	415	2G11
40	2200	55.00	38	535	2G11
55	3000	54.54	38	535	2G11

Αν και μικρότερων διαστάσεων, οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού επιμένουν να διατηρούν την υψηλή απόδοση και το χρώμα των σωληνωτών λαμπτήρων φθορισμού, χαρακτηριστικά τα οποία σε συνδυασμό με την εύκολη τοποθέτησή τους (ειδικά της πρώτης κατηγορίας CFL), τους έχουν καταστήσει ιδιαίτερα δημοφιλείς τα τελευταία χρόνια.

* **Ballast** (Σ. Μανιάς, 1997): Με την έννοια της εκκένωσης του αερίου αναφερόμαστε στην σύσταση τόξου μεταξύ των ηλεκτροδίων που βρίσκονται στα άκρα του λαμπτήρα. Για τη δημιουργία του τόξου απαιτείται να δοθεί στο κύκλωμα του λαμπτήρα ο κατάλληλος παλμός έναυσης, ο οποίος μπορεί να είναι πολλαπλάσιος της κανονικής τάσης λειτουργίας του λαμπτήρα. Τον παλμό αυτό δίνει μία διάταξη γνωστή ως **ballast**, ή **στραγγαλιστικό πηνίο**. Επειδή όμως κατά τη δημιουργία του τόξου η αντίσταση του αερίου τείνει να μηδενιστεί, το ballast λειτουργεί και ως αντίσταση περιορίζοντας την ανεξέλεγκτη αύξηση του ρεύματος μεταξύ των ηλεκτροδίων. Στους λαμπτήρες συναντώνται ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτρονικά ballasts. Τα ηλεκτρονικά ballasts συνεπάγονται οικονομία στη λειτουργία του λαμπτήρα και αύξηση του χρόνου ζωής του, καθώς εξασφαλίζουν καλύτερη απόδοση λαμπτήρα, λιγότερες απώλειες και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος. Επίσης, προσφέρουν πολλές δυνατότητες ελέγχου του φωτισμού καθώς παρέχουν τη δυνατότητα dimming και σύνδεσης με αισθητήρες φωτισμού, αλλά και ελέγχου μίας διάταξης έως και τεσσάρων λαμπτήρων με ένα μόνο ballast. Έχουν υψηλό συντελεστή συντήρησης, που με απλά λόγια σημαίνει ότι η απόδοση του λαμπτήρα δεν πέφτει κατά μεγάλο ποσοστό κατά τη διάρκεια ζωής του, ενώ περιορίζουν φαινόμενα θορύβου όπως αυτό του flickering. Υστερούν όμως έναντι των ηλεκτρομαγνητικών στο αρχικό κόστος αγοράς τους, το οποίο κατά κανόνα είναι πολύ υψηλότερο, αλλά και στο μέγεθός τους, το οποίο είναι μεγαλύτερο από εκείνο ενός ηλεκτρομαγνητικού ballast.

- **Λαμπτήρες Εκκένωσης (Discharge):** Η λειτουργία των λαμπτήρων εκκένωσης βασίζεται σε γενικές γραμμές στα φαινόμενα εκκενώσεως και στο είδος αερίου που αυτοί περιλαμβάνουν, τα άτομα του οποίου διεγείρονται κατά την εκκένωση παράγοντας ορατό φως. Χωρίζονται σε λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης και λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης και συγκεκριμένα στις εξής υποκατηγορίες:
- **Λαμπτήρες Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Mercury Vapor Lamps):** Οι λαμπτήρες υδραργύρου υποσκέλισαν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως στις περισσότερες περιπτώσεις. Αν και το αρχικό τους κόστος είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των λαμπτήρων πυρακτώσεως, καθώς είναι ακριβότεροι και απαιτούν ελεγκτές τάσης, η καλή τους απόδοση και η σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής τους, τους καθιστούν πιο συμφέροντες. Το ελαφρά κυανό χρώμα που εκπέμπουν είναι σε γενικές γραμμές αποδεκτό, ενώ το μέγεθός τους επιτρέπει ικανοποιητικό έλεγχο του φωτισμού. Μια βελτιωμένη εκδοχή αυτού του τύπου είναι λαμπτήρες υδραργύρου με επικάλυψη φωσφόρου. Τα δομικά στοιχεία ενός λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι τα εξής:
 - Σωλήνας εκκένωσης (σωλήνας τόξου). Είναι ο κύριος σωλήνας του λαμπτήρα στον οποίο λαμβάνει χώρα η δημιουργία τόξου.
 - Βοηθητικός Σωλήνας. Περιλαμβάνει τον πρώτο σωλήνα και διαθέτει επίστρωση αποτελούμενη από φθοριούχες ουσίες.
 - Ηλεκτρόδια. Χωρίζονται σε κύρια και βοηθητικά.
 - Γυάλινο περίβλημα, συνήθως σχήματος οβάλ.
 - Βάση του λαμπτήρα.
 - Αέριο και σταγόνα υδραργύρου, οι ιδιότητες των οποίων εξυπηρετούν τη διαδικασία εκκένωσης.

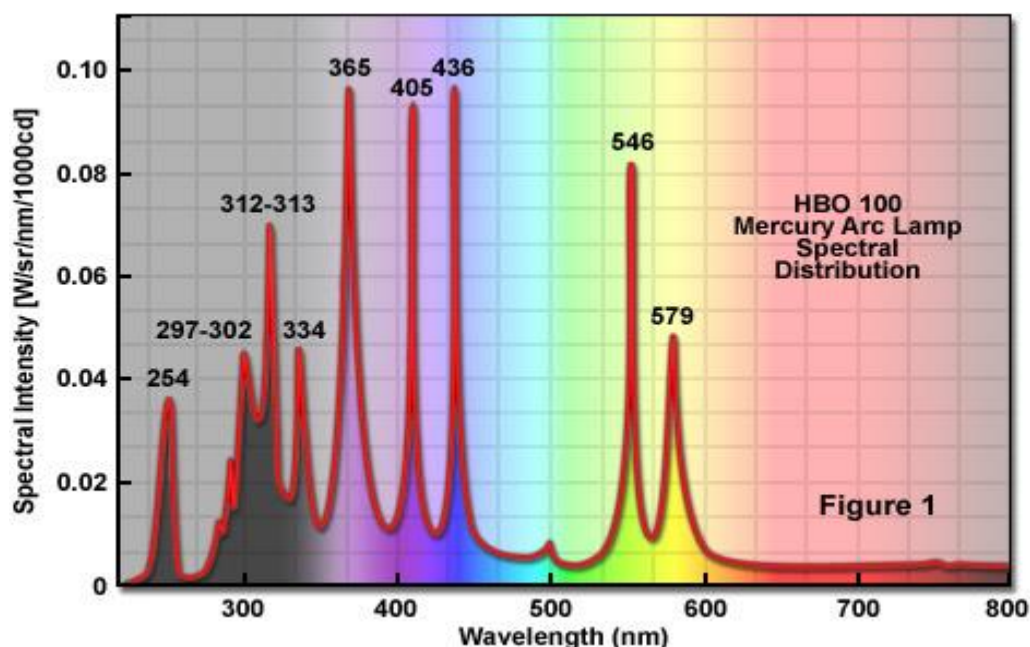
Η εκκένωση στους λαμπτήρες υδραργύρου λαμβάνει χώρα στο σωλήνα εκκένωσης, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από χαλαζία και περιλαμβάνει μια ελάχιστη ποσότητα υδραργύρου κι ένα αδρανές αέριο, συνήθως αργό, προς διευκόλυνση της δημιουργίας τόξου έναυσης. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε άκρο του σωλήνα βρίσκεται ένα κύριο ηλεκτρόδιο και ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο ή ηλεκτρόδιο εκκίνησης. Τα ηλεκτρόδια κατά κανόνα είναι τύπου οξειδίου μετάλλου στα οποία το υλικό εκπομπής είναι εμποτισμένο μέσα σε σπειροειδές σύρμα βολφραμίου. Κατά την εκκίνηση του λαμπτήρα, μία μεγάλη διαφορά δυναμικού αναπτύσσεται μεταξύ του κύριου και του βοηθητικού ηλεκτροδίου με αποτέλεσμα τον ιονισμό του αερίου. Ο ιονισμός του αερίου ακολουθείται από τη δημιουργία τόξου μεταξύ των δύο κύριων, πλέον, ηλεκτροδίων.



ΕΙΚΟΝΑ 2.10 – Δομή Λαμπτήρα Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης

Η αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωλήνα που προκαλείται από την ανωτέρω διαδικασία οδηγεί στη σταδιακή εξάτμιση του υδραργύρου και κατά συνέπεια στην αύξηση της πίεσης του αερίου, η οποία μπορεί να κυμανθεί από 200 kPa μέχρι και 400 kPa. Ο χρόνος που απαιτείται μέχρι να εξατμιστεί ο υδράργυρος και ο λαμπτήρας να αποδώσει το 80% της μέγιστης φωτεινής του ροής είναι περίπου 4 λεπτά (χρόνος έναυσης). Στην περίπτωση που ο λαμπτήρας σβήσει, ο χρόνος που απαιτείται μέχρι την ψύξη του αερίου ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί εκ νέου τόξο (χρόνος επανέναυσης) κυμαίνεται μεταξύ 3 και 7 λεπτών. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη λειτουργία των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης ανήκει κατά ένα μέρος στο ορατό φάσμα, αλλά ένα αξιόλογο τμήμα της ανήκει στο υπεριώδες φάσμα. Συνήθως ο σωλήνας εκκένωσης περιλαμβάνεται μέσα σε ένα δεύτερο σωλήνα, ο οποίος επικαλύπτεται με μία ειδική φωσφορίζουσα πούδρα. Η πούδρα φιλτράρει την υπεριώδη ακτινοβολία με τέτοιο τρόπο ώστε να τη μετατρέπει σε ορατό φως. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι λαμπτήρες υδραργύρου που δε διαθέτουν αυτή την ειδική επίστρωση εκπέμπουν λιγότερο φως από τους λαμπτήρες που τη διαθέτουν. Σε ότι αφορά τη φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης, αξίζει να αναφερθεί ότι το φάσμα του αποτελείται από τέτοια μήκη κύματος ώστε το φως που παράγεται να δίνει την εντύπωση ενός ελαφρώς πράσινου – μπλε χρώματος, που είναι γενικότερα αποδεκτό και χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια για το φωτισμό δρόμων κυρίως μέσης και χαμηλής κυκλοφορίας, ενώ προτιμάται ιδιαίτερα σε φωτισμό εξωτερικών χώρων χαμηλών θερμοκρασιών. Η φασματική κατανομή ενός λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης φαίνεται

στην εικόνα 3.1. Για τη βελτίωση της χρωματικής απόδοσης των εν λόγω λαμπτήρων χρησιμοποιείται τέτοια επίστρωση φωσφόρου ώστε να εκπέμπεται ακτινοβολία και σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (κοντά στο κόκκινο χρώμα) και εν τέλει να δίνεται για το χρώμα του φωτός ενός λαμπτήρα υδραργύρου η εντύπωση ενός χαρακτηριστικού λευκού χρώματος παρόμοιο με το χρώμα του πάγου.



ΕΙΚΟΝΑ 2.11 – Φάσμα Εκπομπής Λαμπτήρα Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης

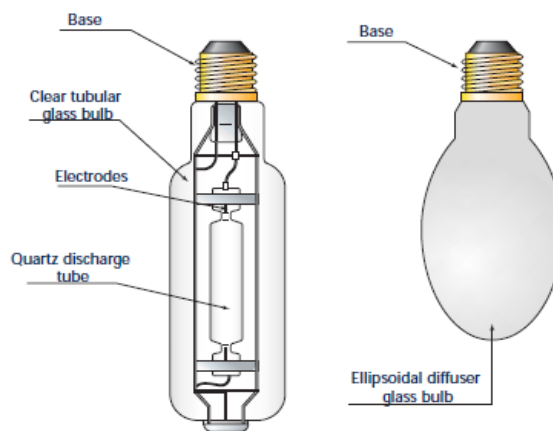
Ο χρόνος ζωής ενός λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης κυμαίνεται περί τις 16.000 ώρες λειτουργίας. Φυσικά, καθ' όλο αυτό το χρονικό διάστημα ο λαμπτήρας δεν έχει την ίδια απόδοση. Το κύκλωμα λειτουργίας του προϋποθέτει την ύπαρξη ballast, οι απώλειες του οποίου αγγίζουν το 15% της ισχύος του λαμπτήρα. Συγκεντρωμένα χαρακτηριστικά τυπικών λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης ανάλογα με την ηλεκτρική τους ισχύ παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 2.7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7 – Χαρακτηριστικά Τυπικών Λαμπτήρων Ατμών Υδραργύρου Υψηλής Πίεσης

Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance Lm/W	Diametre \varnothing in mm	Length L in mm	Lamp holder
50	1800	36.00	55	130	E-27
80	3800	47.50	70	156	E-27
125	6300	50.40	75	170	E-27
250	13000	52.00	90	226	E-40
400	22000	55.00	120	290	E-40
700	38500	55.00	140	330	E-40
1000	58000	58.00	165	390	E-40

- **Λαμπτήρες Μετάλλων Αλογονιδίων (Metal Halide Lamps):** Πρόκειται για μια μορφή λαμπτήρων υδραργύρου στην οποία μαζί με τον υδραργύρο συνυπάρχουν και στοιχεία ιωδίου, τα οποία αναβαθμίζουν τόσο τη φωτεινή απόδοση, όσο και τη χρωματική απόδοση των επιφανειών, ενώ οι λαμπτήρες αυτού του είδους επιτρέπουν και ικανοποιητικό φωτεινό έλεγχο. Βασικό μειονέκτημά τους είναι η σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής. Δομικά στοιχεία των εν λόγω λαμπτήρων αποτελούν τα εξής:

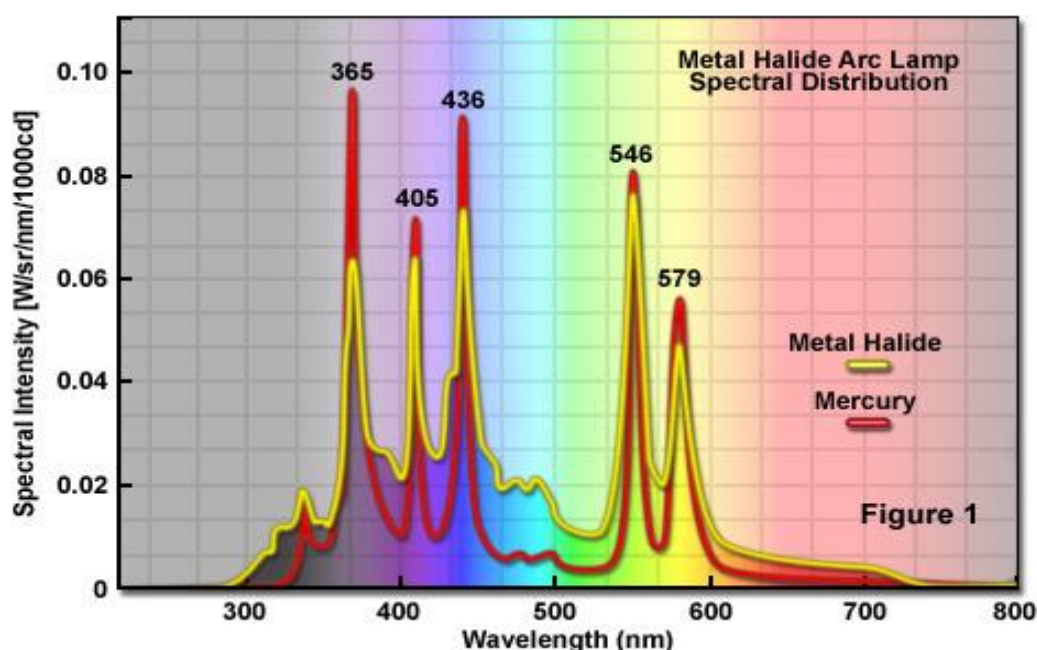
- Σωλήνας εκκένωσης, συνήθως κατασκευασμένος από χαλαζία.
- Ηλεκτρόδια, όμοια με αυτά που συναντώνται στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου.
- Αέρια πλήρωσης του σωλήνα εκκένωσης. Αυτά είναι συνήθως ένα μίγμα αδρανών αερίων (κυρίως νέον και αργόν), ελάχιστου υδραργύρου και των κατάλληλων αλογονιδίων.
- Αέρια εκτός του σωλήνα εκκένωσης. Αυτό συμβάλλει στη διατήρηση ίσης πίεσης εντός και εκτός του σωλήνα εκκένωσης. Πρόκειται κυρίως για νέον και σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και άζωτο.
- Βάση στήριξης του λαμπτήρα.



ΕΙΚΟΝΑ 2.12 – Δομή Λαμπτήρα Μεταλλικών Αλογονιδίων

Και στην περίπτωση των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων ο σωλήνας εκκένωσης περιλαμβάνει μία ελάχιστη ποσότητα υδραργύρου σε συνδυασμό με αδρανές αέριο (συνήθως νέον και αργόν). Επιπρόσθετα, όμως, περιλαμβάνονται και διάφορα μεταλλικά αλογονίδια. Κατά την εκκένωση, οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο σωλήνα εκκένωσης οδηγούν στη διάσπαση των αερίων σε μέταλλα και αλογονίδια. Το χρώμα που παράγεται από τη διάσπαση αυτή, παρουσιάζει εντυπωσιακές ομοιότητες με το χρώμα του φωτός της ημέρας και αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό και σαφώς ένα μεγάλο πλεονέκτημα των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων. Η κίνηση

των μετάλλων και των αλογονιδίων κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα τα ωθεί προς τα ψυχρά τοιχώματα του σωλήνα, όπου και επανενώνονται, μέχρι πάλι να επιστρέψουν στον κεντρικό πυρήνα της εκκένωσης, όπου και διασπώνται εκ νέου. Αυτή η διαδικασία αποτελεί τον κύκλο που χαρακτηρίζει τη λειτουργία ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων. Ανάλογα με τα μέταλλα που περιλαμβάνει ένας λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων μπορεί να παράγει φως ενός στενού φάσματος ή πολλών διακριτών μηκών κύματος. Προκειμένου να παραχθεί όμως ένα ομοιογενές φάσμα προς επίτευξη λευκού φωτός, ο λαμπτήρας περιέχει την κατάλληλη αναλογία συγκεκριμένων αλογονιδίων. Η φασματική κατανομή του για την περίπτωση αυτή απεικονίζεται παρακάτω.



ΕΙΚΟΝΑ 2.13 – Φάσμα Εκπομπής Λαμπτήρα Μεταλλικών Αλογονιδίων

Η ύπαρξη αλογονιδίων σε αυτό τον τύπο λαμπτήρων καθιστά πιο περίπλοκη τη διαδικασία εκκίνησής τους, με αποτέλεσμα να απαιτείται συνήθως μεγαλύτερος παλμός έναυσης από εκείνο των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης. Επιπλέον, οι μικρές διαστάσεις των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων χαμηλής, κυρίως, ηλεκτρικής ισχύος αποτρέπουν την ύπαρξη ηλεκτροδίων εκκίνησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτούνται τα ανάλογα ballasts για την εκκίνηση και την επίτευξη της διαδικασίας της εκκένωσης. Οι μικρές τους διαστάσεις συνεπάγονται επίσης ανάπτυξη μεγαλύτερων θερμοκρασιών. Έτσι, ο χρόνος επανεκκίνησης είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τους λαμπτήρες υδραργύρου και σε ακραίες περιπτώσεις αγγίζει τα 15 λεπτά. Ο χρόνος ζωής τους ξεκινάει από 6.500 ώρες, με την πρόοδο της τεχνολογίας όμως αυξάνεται συνεχώς και σε ορισμένους λαμπτήρες αγγίζει τις 20.000 ώρες. Το κόστος αγοράς τους είναι αρκετά υψηλό. Η χρωματική και ενεργειακή τους απόδοση όμως (η οποία κυμαίνεται περί τα 100 lm/W), το ευχάριστο

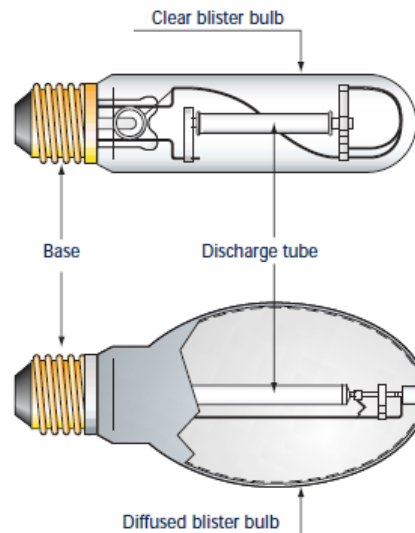
περιβάλλον που δημιουργούν και η χαμηλή περιεκτικότητά τους σε υδράργυρο έχουν οδηγήσει στη χρήση λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων σε ποικίλες εφαρμογές με τις κυριότερες από αυτές να είναι σε εμπορικά κέντρα, αστικές περιοχές, διάφορους εξωτερικούς χώρους όπως πλατείες και πεζόδρομους και σε ορισμένες περιπτώσεις και δρόμους χαμηλής και μέσης κυκλοφορίας. Ο Πίνακας 2.8 περιλαμβάνει συγκεντρωμένα ορισμένα φωτοτεχνικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά τυπικών συμπαγών λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8 – Χαρακτηριστικά Τυπικών Συμπαγών Λαμπτήρων Μεταλλικών Αλογονιδίων

Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance Lm/W	Diametre \varnothing in mm	Length L in mm	Lamp holder
35	3400	97.14	19	100	G12
75	5500	73.33	25	84	G12
150	12500	83.33	25	84	G12

- **Λαμπήρες Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Sodium Vapor Lamps):** Σε πολλές περιπτώσεις υποσκέλισαν τους λαμπτήρες υδραργύρου. Χαρακτηρίζονται από το λευκόχρυσο φως που εκπέμπουν, ενώ η χρωματική απόδοση των επιφανειών είναι μέτρια. Απαιτούν ελεγκτές τάσης. Κάποιοι κατασκευαστές παρέχουν πλέον διατάξεις με αναβαθμισμένη χρωματική απόδοση και βοηθητικούς λαμπτήρες που λειτουργούν μετά από στιγμιαίες πτώσεις τάσης, μέχρι να αποκατασταθεί ποσοστό της πλήρους λειτουργίας του κύριου λαμπτήρα. Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένας λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης είναι τα παρακάτω:
 - Σωλήνας εκκένωσης. Κατασκευάζεται συνήθως από πολυκρυσταλλική αλουμίνα, έτσι ώστε να είναι ανθεκτικός σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και στις χημικές αντιδράσεις με το αέριο νάτριο.
 - Εξωτερικός σωλήνας. Ο σωλήνας αυτός εξασφαλίζει τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του λαμπτήρα ενώ επίσης προστατεύει τα μέταλλα του σωλήνα εκκένωσης από χημική προσβολή.
 - Αέρια στο εσωτερικό του σωλήνα. Τα αέρια αυτά είναι το νάτριο, στο οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο η φασματική κατανομή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, αργόν ή ξένον και υδράργυρος.

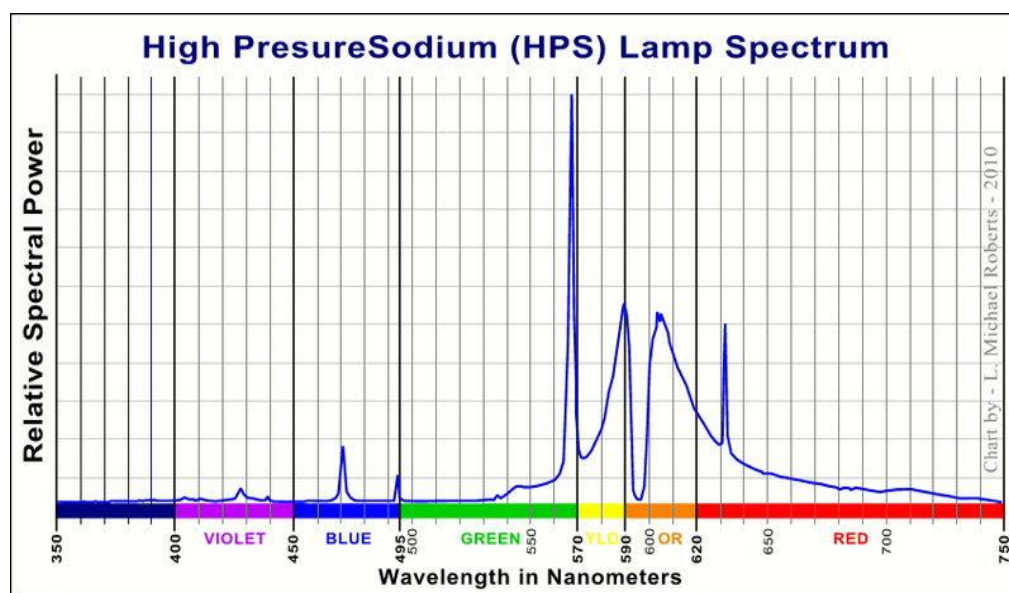
- Κύρια ηλεκτρόδια. Δεν υπάρχουν ηλεκτρόδια έναυσης (βοηθητικά). Τα κύρια ηλεκτρόδια παρουσιάζουν ίδια δομικά χαρακτηριστικά με εκείνα των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης.
- Εκκινητής (starter), κύριος ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει και βοηθητικός. Ο βοηθητικός εκκινητής χρησιμεύει στον περιορισμό του peak της τάσης έναυσης που απαιτείται κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα.



ΕΙΚΟΝΑ 2.14 – Δομή και σχήματα Λαμπτήρων Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης

Στους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης, το φως παράγεται από τη δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος με τη βοήθεια των ατμών υδραργύρου και νατρίου, με τους ατμούς νατρίου να είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για τη φύση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η έναυση πραγματοποιείται με την παροχή του απαραίτητου παλμού υψηλής τάσης και συχνότητας, ενώ εξυπηρετείται από το ξένο που βρίσκεται στο σωλήνα τόξου. Η ποσότητες υδραργύρου και νατρίου που βρίσκονται στον ίδιο σωλήνα εξατμίζονται μερικώς κατά την κανονική λειτουργία του λαμπτήρα και όταν αυτό φτάσει στην ανάλογη θερμοκρασία. Μετά την έναυση ο λαμπτήρας χρειάζεται περίπου δέκα λεπτά μέχρι να αποδώσει την πλήρη φωτεινή ροή του, χρονικό διάστημα κατά το οποίο μεταβάλλεται ελαφρώς και το χρώμα του παραγόμενου φωτός. Αν και ο χρόνος έναυσης είναι σχετικά μεγάλος, ο χρόνος επανέναυσης του λαμπτήρα είναι της τάξης μόλις 1 – 3 λεπτών, μέγεθος πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο των λαμπτήρων υδραργύρου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη χαμηλότερη πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό των λαμπτήρων νατρίου υψηλής πίεσης σε σχέση με την πίεση του εσωτερικού των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης. Η ονομαστική διάρκεια ζωής των λαμπτήρων νατρίου αγγίζει μέχρι και τις 32.000 ώρες. Εκτός από το μεγάλο, σε γενικές γραμμές χρόνο

ζωής, οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης χαρακτηρίζονται κι από μεγάλη απόδοση, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 90 lm/W και 120 lm/W. Δεν προκαλούν θάμβωση και διευκολύνουν τη διάκριση των αντικειμένων γι' αυτό άλλωστε βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή και στον οδοφωτισμό. Έχουν όμως κακό δείκτη χρωματικής απόδοσης λόγω της φασματικής κατανομής τους η οποία συνεπάγεται σχεδόν εκπομπή μονοχρωματικού φωτός, κάτι που συμβαίνει ακόμα πιο έντονα στους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω. Το εκπεμπόμενο φως ανήκει κυρίως στο φάσμα μεταξύ 550 nm και 650 nm και απεικονίζεται παρακάτω.



ΕΙΚΟΝΑ 2.15 – Φάσμα Εκπομπής Λαμπτήρων Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης

Στον Πίνακα 2.9 παρατίθενται ορισμένα βασικά γεωμετρικά και φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης σωληνοειδούς σχήματος. Η πρώτη στήλη τους κατατάσσει με αύξουσα σειρά ανάλογα με την ονομαστική ηλεκτρική ισχύ τους, η δεύτερη για κάθε ονομαστική ισχύ παρουσιάζει ένα αντίστοιχο τυπικό μέγεθος φωτεινής ροής, η τρίτη τυπική τάξη συντελεστή απόδοσης, η τέταρτη διάμετρο σε mm, η πέμπτη μήκος σε mm και η τελευταία στήλη είδος κάλυκα για κάθε λαμπτήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9 – Χαρακτηριστικά Τυπικών Λαμπτήρων Ατμών Νατρίου Υψηλής Πίεσης

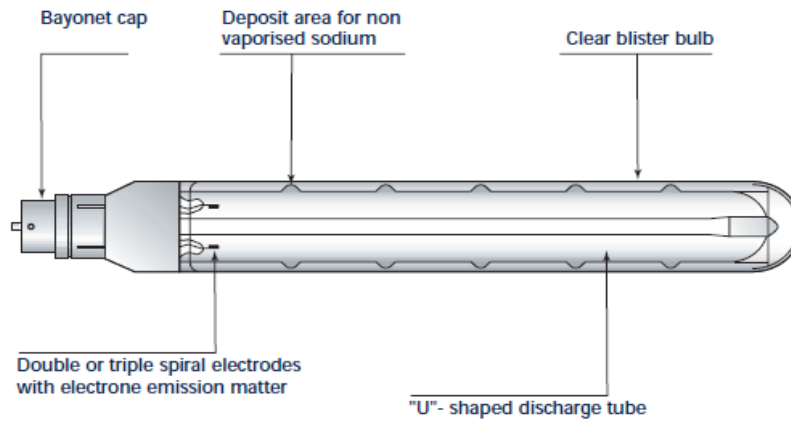
Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance lm/W	Diametre \varnothing in mm	Length L in mm	Lamp holder
50	4000	80.00	40	155	E-27
70	6500	92.85	40	155	E-27
100	10000	100.00	45	210	E-40
150	17000	113.33	45	210	E-40
250	33000	132.00	45	255	E-40
400	55500	138.75	45	285	E-40
600	90000	150.00	55	285	E-40
1000	130000	130.00	65	400	E-40

Η σχετικά προσιτή τους τιμή, η μικρή ποσότητα υδραργύρου που περιέχουν και η δυνατότητα τους να αντικαθιστούν παλιούς ενεργοβόρους και μη αποδοτικούς λαμπτήρες υδραργύρου χωρίς να απαιτείται και η αντικατάσταση ballast, αποτελούν μερικούς ακόμα λόγους για τους οποίους οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης έχουν ευρύτατη εφαρμογή στο φωτισμό δρόμων υψηλής και μέσης, κυρίως, κυκλοφορίας.

- **Λαμπτήρες Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Sodium Vapor Lamps):** Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί το έντονο φως που εκπέμπουν, στο οποίο οφείλεται η φτωχή χρωματική απόδοση των επιφανειών, ωστόσο είναι ιδανικό σε περιπτώσεις ομίχλης. Ένα βασικό μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός πως στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν μεγάλο μήκος, με συνέπεια να καθίστανται δύσχρηστοι. Τα δομικά τους στοιχεία είναι τα εξής:

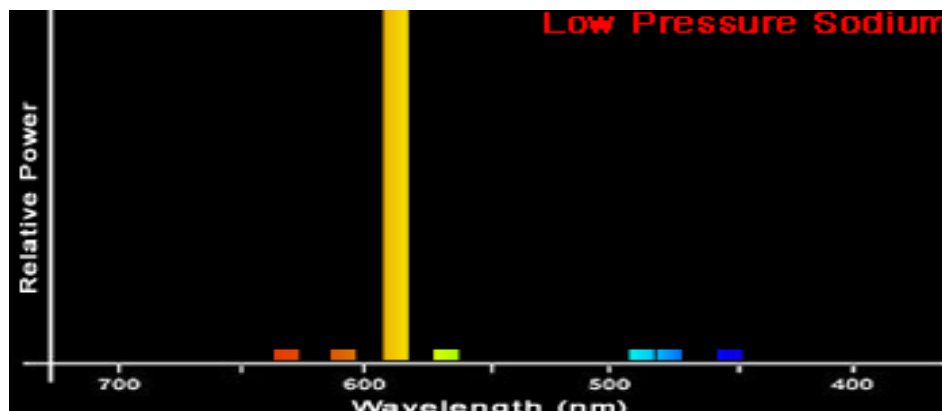
- Σωλήνας εκκένωσης, σχήματος U. Το σχήμα αυτό δεν είναι τυχαίο καθώς μεταξύ άλλων παρέχει και καλύτερη θερμική μόνωση. Οι μικρές χαρακτηριστικές οπές κατά μήκος του σωλήνα, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση του αερίου νατρίου κατά την κατασκευή του λαμπτήρα.
- Αέρια στο εσωτερικό του σωλήνα. Αποτελούνται από νάτριο και νέον ή αργόν.
- Ηλεκτρόδια. Αποτελούνται από ένα τριπλό νήμα βολφραμίου ώστε να διατηρούνται μεγάλες ποσότητες εκπεμπόμενου υλικού.
- Περίβλημα κενού. Περιλαμβάνει το σωλήνα εκκένωσης, ενώ είναι επιστρωμένο εσωτερικά με οξείδιο του ιωδίου, για ανάκλαση ορισμένων εκπεμπόμενων προς αυτό, ακτινοβολιών καθώς και διατήρηση της θερμοκρασίας του περιλαμβανόμενου σωλήνα τόξου.
- Βάση τύπου μπαγιονέ.
- Ballast. Αναφέρεται ως βασικό δομικό συστατικό ενός λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, καθώς είναι απαραίτητο για τον περιορισμό του αναπτυσσόμενου ρεύματος. Σε αυτό τον τύπο λαμπτήρα το ballast το οποίο χρησιμοποιείται είναι τύπου αυτομετασχηματιστή.
- Πυκνωτής διόρθωσης συνημιτόνου.

Εξαιτίας της δομής των λαμπτήρων νατρίου χαμηλής πίεσης, και συγκεκριμένα των ειδικών θερμομονωτικών υλικών τους, επιτυγχάνεται εξάτμιση του νατρίου με τη χαμηλότερη δυνατή απώλεια θερμότητας και κατά συνέπεια υψηλός συντελεστής απόδοσης των λαμπτήρων. Το νέον χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της διαδικασίας έναυσης και την ανάπτυξη αρκετής θερμότητας ώστε να εξατμιστεί το νάτριο.



ΕΙΚΟΝΑ 2.16 – Δομή Λαμπτήρα Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

Το τόξο διέρχεται μέσω του εξατμισμένου νατρίου και οδηγεί στην παραγωγή φωτός σχεδόν μονοχρωματικού, καθώς όπως φαίνεται και παρακάτω στο διάγραμμα φασματικής κατανομής η παραγόμενη ακτινοβολία είναι ουσιαστικά μονοχρωματική και συγκεκριμένα μηκών κύματος 589nm και 589,6 nm. Το χρώμα της παραγόμενης ακτινοβολίας είναι ένα χαρακτηριστικό κίτρινο. Η απόδοσή του είναι αρκετά υψηλή καθώς αγγίζει τα 200 lm/W. Ο λαμπτήρας λειτουργεί με την ονομαστική φωτεινή του ροή 10 λεπτά μετά την έναρξη της λειτουργίας του. Παρά τον υψηλό χρόνο έναυσης, ο λαμπτήρας μπορεί να σβήσει και να επαναλειτουργήσει σχεδόν άμεσα δηλαδή έχει μηδενικό χρόνο επανέναυσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πίεση του νατρίου είναι αρκετά χαμηλή, ώστε η παρεχόμενη τάση από μόνη της να αρκεί για την επαναδημιουργία του τόξου. Το φως που παράγουν οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης εξυπηρετεί στη διάκριση αντικειμένων με υψηλή ευκρίνεια, καθιστά όμως σχεδόν αδύνατη τη διάκριση χρωμάτων λόγω της μονοχρωματικής του φύσης. Οι λαμπτήρες αυτοί, λοιπόν, συνίστανται για περιπτώσεις συχνής εμφάνισης ομίχλης όπου δεν ενδιαφέρει η υψηλή χρωματική απόδοση αλλά η εξασφάλιση της ορατότητας και της διάκρισης αντικειμένων από πλευράς παρατηρητή. Γενικότερα προορίζονται για φωτισμό δρόμων μέσης και κυρίως υψηλής κυκλοφορίας



ΕΙΚΟΝΑ 2.17 – Φάσμα Εκπομπής Λαμπτήρα Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

Τέλος, στον επόμενο πίνακα 2.10 καταγράφονται τα γεωμετρικά και φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά τυπικών λαμπτήρων ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, βάσει της ονομαστικής τους ισχύος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10 – Χαρακτηριστικά Τυπικών Λαμπτήρων Ατμών Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

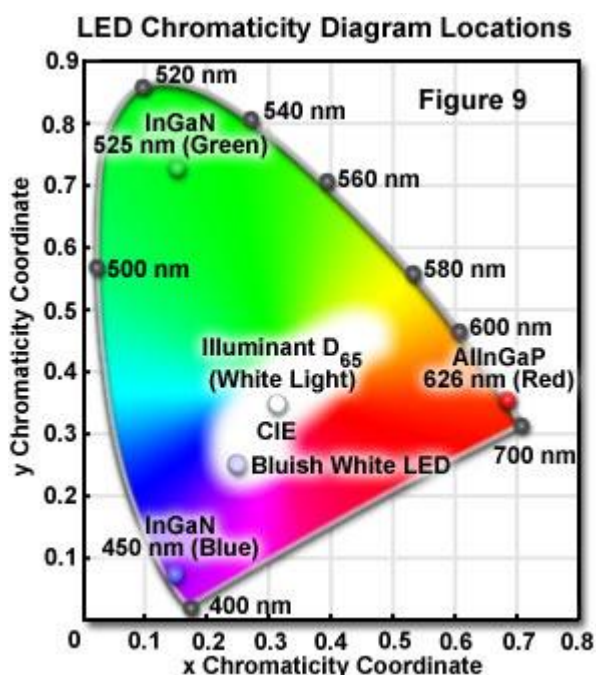
Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance Lm/W	Diametre \varnothing in mm	Length L in mm	Lamp holder
26	3500	134.61	55	215	BY-22d
36	5750	159.72	55	310	BY-22d
66	10700	162.12	55	425	BY-22d
91	17000	186.81	70	530	BY-22d
131	25000	190.83	70	775	BY-22d

2.4.2 Εναλλακτικές Πηγές Φωτισμού & Νέες Τεχνολογίες

Ενώ οι προαναφερθέντες τύποι πηγών φωτισμού χρησιμοποιούνται στη συντριπτική πλειοψηφία των δικτύων αστικού και οδικού φωτισμού, αξίζει να τονιστεί πως τα τελευταία χρόνια, υπάρχει ρεύμα μεταστροφής κατά το σχεδιασμό φωτιστικών δικτύων. Νέες τεχνολογίες και διαφορετικές πηγές φωτισμού κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο στις φωτιστικές εφαρμογές, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην προσπάθεια μείωσης αερίων εκπομπών (κυρίως CO₂) και κατ'επέκταση στην ενεργειακή εξοικονόμηση η οποία με τη σειρά της οδηγεί και σε εξοικονόμηση χρηματικών πόρων. Οι δύο κυριότερες πηγές φωτισμού που ικανοποιούν τη νέα τάση είναι οι **φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (Light Emitting Diodes – L.E.D)** καθώς και οι **λαμπτήρες επαγωγής (Induction Lamps)**.

- **Φωτοεκπέμπουσες Δίοδοι (LEDs):** Τα LED είναι ημιαγωγοί p-n οι οποίοι έχουν εν ολίγοις την ιδιότητα να μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια απευθείας σε φως, με την εφαρμογή τάσης στα άκρα τους. Μεγάλο τους πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι μπορούν να παράγουν ένα μεγάλο εύρος φωτεινής ακτινοβολίας, δηλαδή διάφορα χρώματα, ανάλογα με το συνδυασμό των ημιαγώγιμων υλικών που τα συνιστούν. Ειδικότερα οι δίοδοι παραγωγής λευκού φωτός αποτελούν το πιο πρόσφατο τεχνολογικό επίτευγμα σε σχέση με τα υπόλοιπα χρώματα και ταυτόχρονα ένα πολλά υποσχόμενο μέσο φωτισμού. Όπως στους περισσότερους λαμπτήρες εκκένωσης, έτσι και στις φωτοεκπέμπουσες δόδους το λευκό φως παράγεται με τη χρήση φθοριούχου επίστρωσης, η οποία στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόζεται σε LED παραγωγής ιώδους χρώματος. Σε αντίθεση με τις περισσότερες τεχνητές πηγές παραγωγής φωτός, τα LED δεν παράγουν υπεριώδη ή υπέρυθρη ακτινοβολία. Η φασματική κατανομή του παραγόμενου φωτός

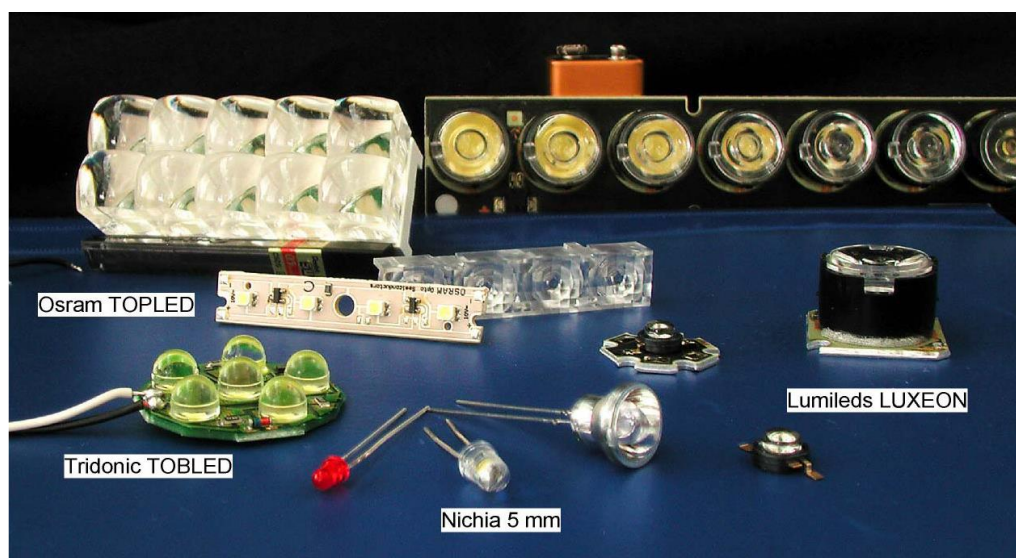
εξαρτάται από το μέγεθος της χαμηλής τάσης που θα εφαρμοστεί στις διόδους.



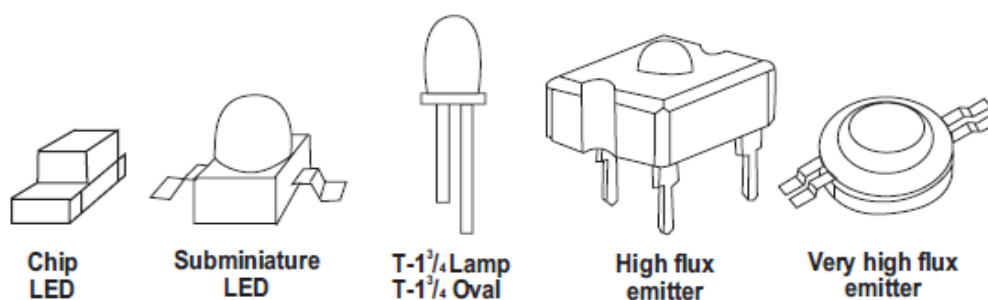
ΕΙΚΟΝΑ 2.18 – Χρωματικός Χάρτης LED

Το chip στο οποίο παράγεται το φως είναι συνήθως κύβος πλευράς μόλις 0,25mm. Όπως, άλλωστε φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν, το μεγαλύτερο ποσοστό του όγκου ενός LED καταλαμβάνει η κάψουλα τοποθέτησης του chip. Το chip συνίσταται από ημιαγώγιμα υλικά υψηλής καθαρότητας με περιορισμένες ποσότητες προσθέτων, τα οποία παράγουν είτε υλικά τύπου-n, με περίσσεια ηλεκτρονίων ή υλικά τύπου-p, με περίσσεια οπών. Τα δύο υλικά διαχωρίζονται μέσα στο ίδιο κομμάτι του ημιαγωγού δημιουργώντας διεπιφάνεια. Η διάρκεια ζωής μιας διόδου τύπου LED μπορεί να ξεπεράσει τις 100.000 ώρες. Δεν ισχύει το ίδιο και για τις φωτοεκπέμπουσες διόδους παραγωγής λευκού φωτός, όπου η εκπομπή ιώδους φωτός διασπά τα μόρια πολυμερούς μειώνοντας έτσι το χρόνο ζωής των λευκών LED στις 7.000 – 10.000 ώρες. Σε ότι αφορά την απόδοσή τους, τα έγχρωμα LED έχουν ξεπεράσει σε απόδοση τις φιλτραρισμένες συμβατές πηγές παραγωγής φωτός. Η απόδοση όμως των λευκών LED (~ 20 lm/W) είναι ικανή να ανταγωνιστεί το πολύ την απόδοση των λαμπτήρων αλογόνου. Ένας βασικός λόγος για τον οποίον αυτό συμβαίνει είναι το γεγονός ότι η απόδοση των LED είναι αντιστρόφως ανάλογη της αναπτυσσόμενης σε αυτά θερμοκρασίας, γεγονός που επιβάλλει την ενεργό ψύξη τους. Η χαμηλή, λοιπόν, απόδοση, σε συνδυασμό με την επίσης χαμηλή φωτεινή ροή ανά LED (1~100 lm όταν ένας λαμπτήρας αλογόνου 50W παράγει περίπου 1.000lm) και το υψηλό κόστος αγοράς τους, έχουν καταστήσει τη χρήση των LED σε εφαρμογές φωτισμού

αρκετά περιορισμένη, χωρίς αυτό όμως να αποκλείει τη μελλοντική τους διάδοση καθώς πρόκειται για μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία.

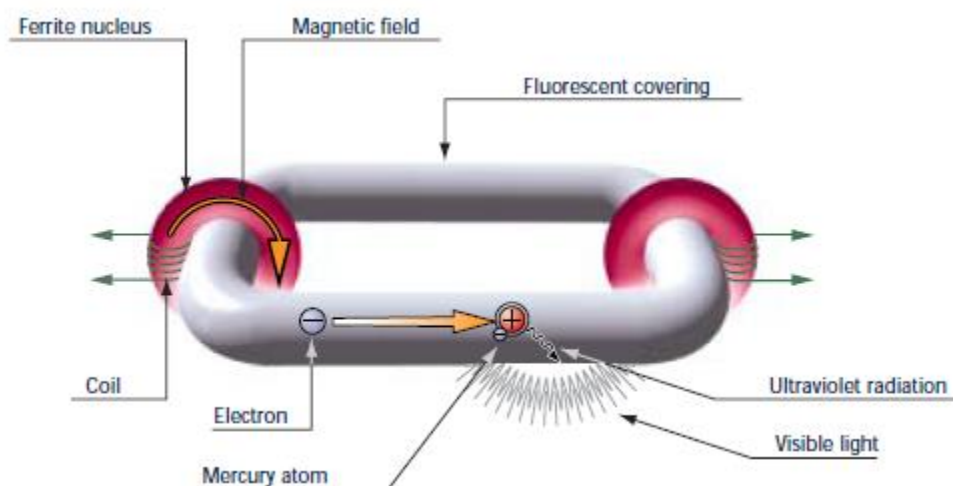


ΕΙΚΟΝΑ 2.19 – Άποψη Τυπικών LED, διαθέσιμων στην αγορά



ΕΙΚΟΝΑ 2.20 – Συνήθεις Μορφές Φωτοεκπέμπουσων Διόδων

- **Λαμπτήρες Επαγωγής (Induction Lamps):** Το πιο ευάλωτο τμήμα των λαμπτήρων εκκένωσης είναι τα ηλεκτρόδιά τους, τα οποία λόγω των εκπομπών τους φθείρονται με το χρόνο, επηρεάζοντας ταυτόχρονα σε μεγάλο βαθμό το χρόνο ζωής των λαμπτήρων. Οι **λαμπτήρες επαγωγής** έχουν το πλεονέκτημα της δημιουργίας εκκένωσης χωρίς τη χρήση ηλεκτροδίων κι έτσι ο χρόνος ζωής τους φτάνει τις 60.000 ώρες. Ειδικότερα, στις **λάμπες φθορισμού υψηλής ισχύος χωρίς ηλεκτρόδια** η δημιουργία του απαραίτητου για την εκκένωση μαγνητικού πεδίου γίνεται από δύο δαχτυλίδια φερρίτη, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 2.21 – Λαμπτήρας Φθορισμού Υψηλής Ισχύος χωρίς ηλεκτρόδια (λαμπτήρας επαγωγής)

Το σύστημα συνοδεύεται από ηλεκτρονικό εξοπλισμό διατήρησης της εκκένωσης που εξασφαλίζει εκκίνηση χωρίς flickering, υψηλή απόδοση του λαμπτήρα (ως 80lm/W) και φωτεινή ροή μέχρι και 12.000lm. Το φως τους είναι λευκό, γεγονός που αποτελεί ένα ακόμα πλεονέκτημά τους. Το ιδιαίτερα υψηλό κόστος των λαμπτήρων επαγωγής όμως τους καθιστά σχεδόν απαγορευτικούς σε καθημερινές εφαρμογές. Η χρήση τους συνίσταται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι εύκολη η πρόσβαση για αντικατάσταση λαμπτήρα και έτσι απαιτείται μεγάλη διάρκεια ζωής του τελευταίου. Τέτοιες περιπτώσεις είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις με ψηλά ταβάνια, τούνελ, κ.α. Στον Πίνακα 2.11 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τεχνικά χαρακτηριστικά δύο τυπικών λαμπτήρων επαγωγής, ονομαστικής ισχύος 100 Watt και 150 Watt αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11 – Τεχνικά Χαρακτηριστικά Λαμπτήρων Επαγωγής 100W και 150W

Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance lm/W	Width in mm	Length L in mm	Lamp holder	R.I. Ra	Chromatic degree
100 W	8000	80.00	139	313	-	80 (840/835)	1 B
150 W	12000	80.00	139	414	-	80 (840/835)	1 B

2.5 ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

Το φωτιστικό σώμα αποτελεί ουσιαστικά τη συσκευή φωτισμού, καθώς περιέχει τη φωτεινή πηγή, όπως και διατάξεις υποβοήθησης των οπτικών χαρακτηριστικών. Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός φωτιστικού σώματος είναι η φωτεινή πηγή, στοιχείο που εξετάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους, ο ανακλαστήρας, το διαφανές κάλυμμα της διάταξης και το σώμα. Όπως φάνηκε, οι λαμπτήρες εκκένωσης και φθορισμού απαιτούν και συσκευές

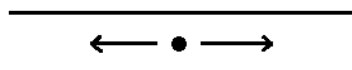
ελέγχου της τάσης του ρεύματος, οι οποίες τοποθετούνται και αυτές εντός του φωτιστικού σώματος. Βασική χρήση του φωτιστικού σώματος, πέραν του να προστατέψει τη φωτεινή πηγή από βλαβερούς εξωτερικούς παράγοντες, είναι η σύνδεση της εν λόγω πηγής με το δίκτυο τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ό,τι αφορά τα υλικά κατασκευής ενός φωτιστικού σώματος, οι ανακλαστήρες είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο, το διαφανές κάλυμμα είναι κατασκευασμένο είτε από πλαστικό είτε από γυαλί, με τη δεύτερη περίπτωση να αποτελεί μονόδρομο για περιπτώσεις υψηλής τάσης – θερμοκρασίας λειτουργίας του λαμπτήρα. Τέλος, το σώμα που περικλείει την όλη διάταξη, κατασκευάζεται από διάφορα υλικά, στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων, αποτελείται από αλουμίνιο, επικαλυμμένο με ηλεκτροστατική βαφή.

2.5.1 Φωτομετρικά Στοιχεία Φωτιστικών Σωμάτων

Τα βασικά φωτομετρικά στοιχεία ενός φωτιστικού σώματος και στοιχεία φωτιστικής λειτουργίας του, παρέχονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή και είναι τα εξής:

- **Κατακόρυφη Διασπορά:** Ανάλογα με την απόσταση του σημείου πρόσπτωσης της **μέγιστης φωτεινής έντασης** από το φωτιστικό σώμα, η κατακόρυφη διασπορά αναλύεται σε βραχεία, μέση ή μακρά. Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ των ιστών στήριξης των φωτιστικών σωμάτων. Πιο συνήθης είναι η μέση διασπορά, δεδομένου ότι η βραχεία απαιτεί μικρότερη απόσταση φωτιστικών, συνεπώς και περισσότερους ιστούς στύλους, δηλαδή μεγαλύτερο κόστος. Από την άλλη, η μακρά διασπορά συνεπάγεται τη χρήση φωτιστικών τύπου semi cut-off, με αποτέλεσμα ενδεχόμενη φωτορρύπανση και θάμβωση.
- **Πλευρική Διασπορά:** Το μέγεθος αυτό καθορίζει τη **μέγιστη ακτίνα πρόσπτωσης** της φωτεινής έντασης του φωτιστικού κατά πλάτος του οδοστρώματος. Με βάση την πλευρική διασπορά τα φωτιστικά σώματα κατατάσσονται σε πέντε τύπους. Οι τύποι αυτοί αφορούν στο πλάτος του δρόμου και στην τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων και είναι οι εξής:

- **Τύπος I:**



Διασπορά κατάλληλη για ποδηλατόδρομους και διαβάσεις πεζών.

- **Τύπος II:**



Διασπορά κατάλληλη για διαβάσεις πεζών με πλάτος μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του Τύπου I και για ποδηλατόδρομους.

- **Τύπος III:**



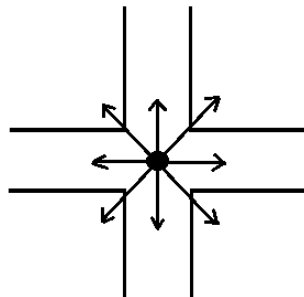
Διασπορά κατάλληλη για αυτοκινητοδρόμους.

- **Τύπος IV:**



Κατάλληλη διασπορά, κυρίως για χώρους στάθμευσης, καθώς αφορά σε φωτιστικά σώματα που στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθετούνται επιτοίχια.

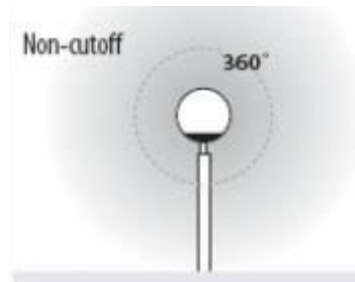
- **Τύπος V:**



Κατάλληλη διασπορά για περιπτώσεις φωτισμού προς κάθε κατεύθυνση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση διασταύρωσης. Αφορά κυρίως σε φωτιστικά τα οποία στερεώνονται σε υψηλούς ιστούς.

- **Συντελεστής Χρησιμοποίησης (Coefficient of Utilization – CU):** Δίνει πληροφορίες σχετικά με το ποσοστό της φωτεινής ροής του λαμπτήρα, το οποίο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού καθώς και οι ανακλαστήρες, επιτρέπουν να φτάσει τελικά στο υπό μελέτη σημείο το οδοστρώματος.
- **Έλεγχος Διάχυσης του Φωτός:** Βάσει του τρόπου διάχυσης του φωτός, τα φωτιστικά σώματα χωρίζονται στις εξής τέσσερις κατηγορίες:
 - Φωτιστικά σώματα τύπου **non cutoff**: Στα συγκεκριμένα φωτιστικά σώματα, το φως διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις, προκαλώντας φαινόμενα θάμβωσης και συμβάλλοντας στη

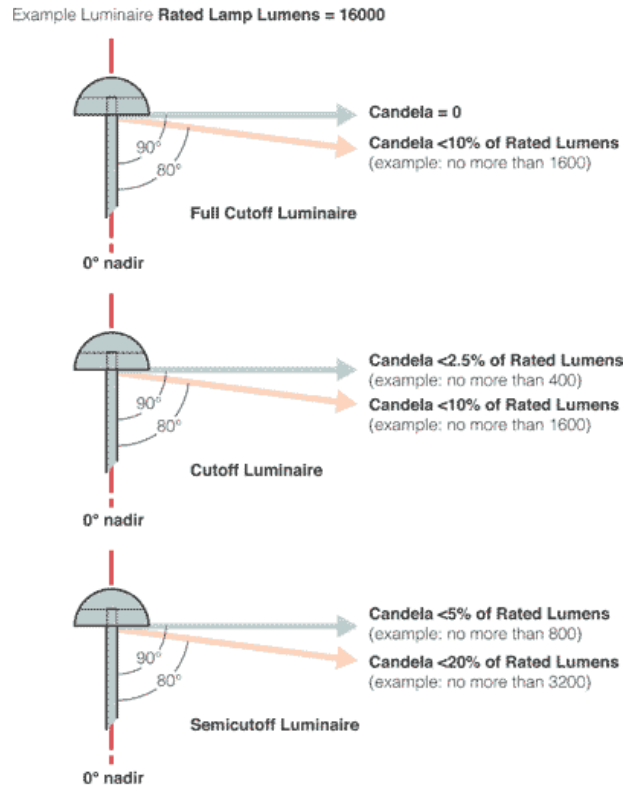
φωτορρύπανση, αποτελώντας τη λιγότερο αποδοτική λύση. Η χρήση τους σε φωτισμό δρόμων δεν συνίσταται.



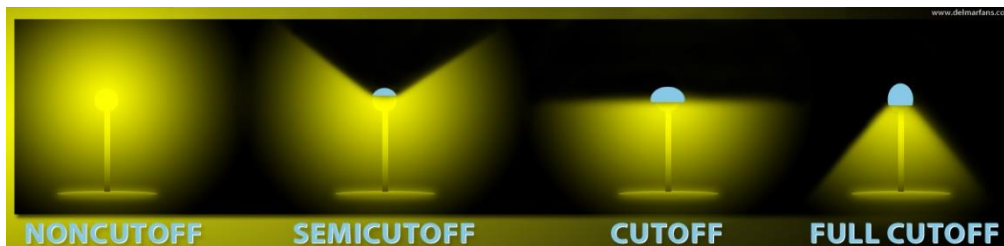
ΕΙΚΟΝΑ 2.22 – Σχηματική Αναπαράσταση φωτιστικού σώματος τύπου non cutoff

- Φωτιστικά σώματα τύπου semi cutoff. Τα συγκεκριμένα είναι κατασκευασμένα με τρόπο τέτοιο ώστε να διαχέουν το φως κάτω από το οριζόντιο επίπεδο (επίπεδο 90°), επιτρέποντας ένα ποσοστό 5% το πολύ, να διαχέεται πάνω από το επίπεδο αυτό. Η χρήση τους προορίζεται κυρίως σε φωτισμό δρόμων, η ανάρτησή τους όμως δεν συνίσταται σε ιστούς χαμηλού ύψους καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο πρόκλησης θάμβωσης.
- Φωτιστικά σώματα τύπου cutoff. Είναι καλύτερα στον έλεγχο της διάχυσης του φωτός από τα αντίστοιχα semi cutoff, καθώς επιτρέπουν το πολύ ένα ποσοστό της τάξης του 2,5% να διαχυθεί πάνω από το επίπεδο των 90° . Όπως συμβαίνει και στα φωτιστικά σώματα τύπου semi cutoff, έτσι και σε αυτά, δε συνίσταται η τοποθέτησή τους σε υψηλούς ιστούς.
- Τέλος, τα φωτιστικά σώματα τύπου full cutoff, τα οποία δεν επιτρέπουν τη διαρροή φωτός, άνωθεν του επιπέδου των 90° και παράλληλα το κατευθύνουν προς την επιφάνεια (οδόστρωμα) υπό μια συγκεκριμένη γωνία, η οποία εξαρτάται από τα υπόλοιπα φωτομετρικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε φωτιστικού σώματος. Είναι τα πλέον κατάλληλα φωτιστικά σώματα για στήριξη σε υψηλούς ιστούς, ενώ αποτελούν μια από τις πιο αξιόλογες λύσεις, στην προσπάθεια καταπολέμησης της φωτορρύπανσης.

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι απεικονίσεις για τις περιπτώσεις semi cutoff, cutoff, full cutoff καθώς και η σύγκριση φωτισμού όλων των τύπων φωτιστικών σωμάτων που αναφέρθηκαν.



ΕΙΚΟΝΑ 2.23 – Περιπτώσεις semi cutoff, full cutoff, cutoff.



ΕΙΚΟΝΑ 2.24 – Συγκριτική απεικόνιση φωτισμού όλων των τύπων φωτιστικών σωμάτων.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί, πως το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 13201 για το φωτισμό των δρόμων, το οποίο έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.4 και αναλύεται στο Παράρτημα Π-Α, έχει θεσπίσει, μεταξύ άλλων, τις προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούνται, ώστε να αποτρέπονται φαινόμενα θάμβωσης. Στα πλαίσια αυτών των κανονισμών, οι δρόμοι κατατάσσονται σε κλάσεις – κατηγορίες, φωτεινής έντασης, ανάλογα με τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούνται για το φωτισμό τους. Οι κατηγορίες αυτές καταγράφονται στον επόμενο Πίνακα 2.12.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.12 – Κλάσεις δρόμων ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα φωτιστικά σώματα

Class	Maximum luminous intensity in cd/klm			Other requirements
	at 70° ¹⁾	at 80° ¹⁾	at 90° ¹⁾	
G1		200	50	None
G2		150	30	None
G3		100	20	None
G4	500	100	10	Luminous intensities above 95° ¹⁾ to be zero
G5	350	100	10	Luminous intensities above 95° ¹⁾ to be zero
G6	350	100	0	Luminous intensities above 95° ¹⁾ to be zero
¹⁾ Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.				

Οι κλάσεις G1, G2 και G3 αντιστοιχούν σε semi cutoff και cut off φωτιστικά σώματα, ενώ οι κατηγορίες G4, G5 και G6 αντιστοιχούν στα full cutoff φωτιστικά σώματα.

2.5.2 Διατάξεις στήριξης φωτιστικών σωμάτων

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

Το υλικό κατασκευής ενός συνήθους στύλου ηλεκτροφωτισμού είναι το αλουμίνιο και ο γαλβανισμένος ή ανοξείδωτος χάλυβας. Για την προστασία του υλικού, πολλές φορές ο στύλος βάφεται ή επικαλύπτεται από ειδικές πλαστικές επικαλύψεις. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και το οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο όμως, αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης, ειδικά σε παραθαλάσσιες περιοχές. Οι διατομές των στύλων μπορεί να είναι κυκλικές, σταθερής ή μεταβλητής διαμέτρου, ή πολυγωνικές. Οι στύλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι πάντοτε κυκλικής διατομής. Για τη στήριξή τους, οι στύλοι από σκυρόδεμα εμπύγνυνται στο έδαφος, ενώ οι μεταλλικοί κοχλιώνονται σε βάση από σκυρόδεμα.

Το ύψος τοποθέτησης του φωτιστικού σώματος, άρα κατ'επέκταση το ύψος του στύλου, επηρεάζει τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου φωτισμού, καθώς και το εύρος της φωτιζόμενης περιοχής. Μεγαλύτερα ύψη προσφέρουν ευρύτερη και πιο ομοιόμορφη κάλυψη, παράλληλα με μείωση

της θάμβωσης, αλλά χαμηλότερη φωτεινότητα. Χαμηλότερα ύψη οδηγούν σε μεγαλύτερο πλήθος φωτιστικών σωμάτων και σε τοποθέτηση πλησιέστερα στο οδόστρωμα. Το συνήθες ύψος των στύλων ηλεκτροφωτισμού είναι 3 έως 15 μέτρα ενώ για πολύ υψηλούς ιστούς, τα ύψη μπορούν να φτάσουν την τάξη των 30 μέτρων και άνω. Παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν – περιορίσουν το ύψος των ιστών, είναι η ύπαρξη υπέργειων γραμμών κοινής ωφέλειας, παράπλευρα αεροδρόμια καθώς και η τοποθέτηση σε κατοικημένες περιοχές.

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

Ο βραχίονας στήριξης του φωτιστικού σώματος, αποτελεί συνήθως ξεχωριστό τεμάχιο από το στύλο και στηρίζεται στην κορυφή του τελευταίου. Μπορεί να είναι ευθύγραμμος ή καμπυλωτός, οριζόντιος ή ελαφρά κεκλιμένος. Το μήκος του κυμαίνεται από τα 1,2 – 4,5 μέτρα, αναλόγως της απόστασης του στύλου από το οδόστρωμα και της επιθυμητής θέσης του φωτιστικού σώματος σε σχέση με το οδόστρωμα. Οι βραχίονες στήριξης ενδέχεται να είναι μονοί ή διπλοί (μονοπροέχοντες ή αμφιπροέχοντες).



ΕΙΚΟΝΑ 2.25 – Διάφορα είδη φωτιστικών σωμάτων και βραχιόνων στήριξης.

2.5.3 Εγκάρσια και διαμήκης τοποθέτηση στύλων

Ανάλογα με το είδος του δρόμου, με την περιοχή στην οποία αυτός βρίσκεται και γενικότερα με τις απαιτήσεις φωτισμού της υπό μελέτη εγκατάστασης, τα φωτιστικά σώματα διατάσσονται με διάφορους τρόπους κατά μήκος του δρόμου. Σκοπός σε κάθε περίπτωση είναι ο χρήστης του δρόμου, να μην θαμβώνεται και ταυτόχρονα να λαμβάνει την εικόνα ενός ομοιογενώς φωτισμένου δρόμου, χωρίς να δημιουργούνται σκοτεινά διάκενα, μέσα στα οποία τα διάφορα αντικείμενα δε θα είναι ορατά.

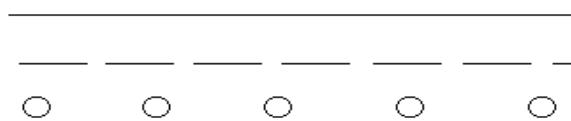
Εγκάρσια Τοποθέτηση

Πέρα από τη χρησιμότητά τους για τη στήριξη των σωμάτων φωτισμού, οι στύλοι παραπλεύρως του οδοστρώματος αποτελούν ένα πρόβλημα για την κυκλοφορία, καθώς περιορίζουν την ορατότητα και μπορεί να αποδειχθούν επικίνδυνοι σε περίπτωση εκτροπής οχήματος από την πορεία του. Έτσι, οι στύλοι θα πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν μακρύτερα από την οριογραμμή της διερχόμενης κυκλοφορίας, σε συνάρτηση βέβαια, με τα διαθέσιμα μήκη βραχιόνων και τα απαιτούμενα φωτομετρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Από εκεί και πέρα, σε οδούς στις οποίες αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες, οι στύλοι οδοφωτισμού θα πρέπει να προστατεύονται από στηθαία ασφαλείας, εκτεταμένα σε όλο το μήκος τοποθέτησης στύλων. Οι στύλοι θα πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια απόσταση από το στηθαίο, ώστε αυτό να μπορεί να παραμορφώνεται ελεύθερα. Η ελάχιστη απόσταση είναι 0,6 μέτρα ενώ για τις περισσότερες περιπτώσεις προτείνεται απόσταση 2 μέτρων. Σε τμήματα με πεζοδρόμια, η ελάχιστη απόσταση των στύλων από την ακμή του πεζοδρομίου θα πρέπει να είναι 0,8 μέτρα και όχι μικρότερη από την αντίστοιχη απόσταση λοιπών στύλων δικτύων κοινής ωφέλειας. Κατά τους αμερικανικούς κανονισμούς, οι στύλοι επιτρέπεται να μην προστατεύονται από στηθαίο, σε αυτή την περίπτωση όμως, θα πρέπει να εφαρμόζονται ειδικά μελετημένες διατάξεις στήριξης, που έχουν τη δυνατότητα να καταλύονται σε περίπτωση σύγκρουσης οχήματος σε αυτές.

Διαμήκης Τοποθέτηση

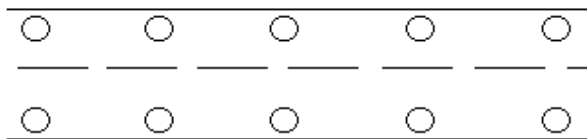
Σχετικά με τη διαμήκη τοποθέτηση των στύλων, τίθενται δύο ζητήματα. Το είδος της διάταξης των φωτιστικών σωμάτων και η απόσταση επανάληψής τους. Τα είδη διάταξης έχουν ως εξής:

- **Μονόπλευρη Διάταξη:** Όλα τα φωτιστικά σώματα βρίσκονται στην ίδια πλευρά της οδού.



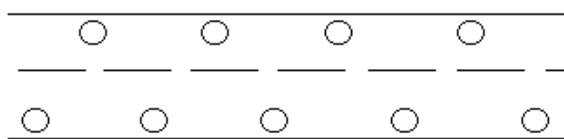
ΕΙΚΟΝΑ 2.26 – Μονόπλευρη Διάταξη φωτιστικών

- **Αμφίπλευρη Διάταξη:** Τα φωτιστικά τοποθετούνται και στις δύο πλευρές της οδού, γενικά σε απέναντι θέσεις.



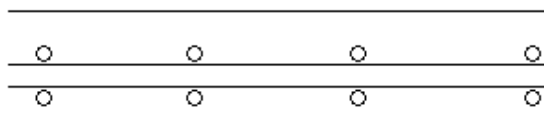
EIKONA 2.27 – Αμφίπλευρη Διάταξη φωτιστικών

- **Χιαστί Διάταξη:** Τα φωτιστικά τοποθετούνται και στις δύο πλευρές, σε εναλλάξ θέσεις.

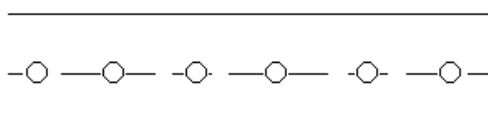


EIKONA 2.28 – Χιαστί Διάταξη φωτιστικών

- **Κεντρική Διάταξη:** Οι στύλοι τοποθετούνται στον ενδιάμεσο χώρο διαιρεμένων οδών. Υποκατηγορία της κεντρικής αποτελεί η **αξονική διάταξη** κατά την οποία είναι επιτακτική ανάγκη η χρήση διπλών βραχιόνων.



EIKONA 2.29 – Κεντρική Διάταξη φωτιστικών



EIKONA 2.30 – Αξονική Διάταξη φωτιστικών

Η επιλογή της διάταξης που θα εφαρμοστεί, εξαρτάται κυρίως από το είδος και το πλάτος της οδού, καθώς και από το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού. Η μονόπλευρη διάταξη εφαρμόζεται κυρίως σε οδούς μικρού πλάτους (<1 – 1,5 x Ύψος Ανάρτησης), ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές φορές το απέναντι άκρο της οδού μπορεί να μην είναι επαρκώς ορατό. Η χιαστί διάταξη δίνει πολύ καλή φωτεινή κατανομή σε οδούς με μέτριο πλάτος (1,5 – 2 x Ύψος Ανάρτησης), χρειάζεται όμως έλεγχος για αποφυγή σχηματισμού σκοτεινών κυματοειδών κηλίδων. Η αμφίπλευρη διάταξη εφαρμόζεται σε οδούς με μεγάλα πλάτη, ενώ η κεντρική βρίσκει εφαρμογή σε διαχωρισμένες οδούς, όπου

επιτυγχάνεται ελάττωση του αριθμού απαιτούμενων στύλων καθώς και του μήκους της καλωδίωσης. Επίσης, μπορεί να συνδυαστεί και με αμφίπλευρη διάταξη, για μεγάλα πλάτη των εκατέρωθεν οδοστρωμάτων, ενώ για μεγάλους ενδιάμεσους χώρους, όπου οι κεντρικά τοποθετημένοι στύλοι θα βρίσκονταν πολύ μακριά από τα δύο οδοστρώματα, οι δύο κλάδοι φωτίζονται θεωρούμενοι ως ξεχωριστές οδοί, συνήθως με αμφίπλευρη διάταξη έκαστος.

Τέλος, το μήκος επανάληψης των φωτιστικών σωμάτων, δηλαδή η απόσταση μεταξύ των στύλων, είναι ένα μέγεθος το οποίο καθορίζεται με βάση τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Οι αμερικανικές προδιαγραφές δίνουν τον εξής τύπο, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό αυτό.

$$S = \frac{LL * CU * LLD * LDD}{Eh * W}$$

Όπου:

LL (Lamp Lumens): Η αρχική φωτεινή ροή του φωτιστικού σώματος, που δίνεται από τον κατασκευαστή (σε lumen).

CU (Coefficient of Utilization): Ο συντελεστής χρήσης.

LLD (Lamp Lumen Depreciation factor): Ο συντελεστής απαξίωσης του φωτισμού, που σύμφωνα με τις αμερικανικές προδιαγραφές, μπορεί να ληφθεί ίσος με 0,80.

LDD (Luminaire Dirt Depreciation factor): Ο συντελεστής απαξίωσης λόγω ρύπανσης και σκόνης, ίσος με 0,90 κατά τα αμερικανικά πρότυπα.

Eh: Το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού (βλ. Παράγραφο 2.3)

W (Width): Το πλάτος της οδού, μαζί με τα ερείσματα, σε μέτρα.

Τυπικές αποστάσεις προκύπτουν στα 50 – 80 μέτρα για υπεραστικές οδούς.

3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στη σημερινή εποχή, είναι γεγονός, από τη στιγμή που πολλοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί δείκτες, έχουν φτάσει σε κρίσιμα όρια, έχουν ξεκινήσει προσπάθειες ενεργειακής και ταυτόχρονα περιβαλλοντικής αφύπνισης τόσο σε κρατικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο φυσικών προσώπων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ωστόσο, θα γίνει αναφορά στα στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τον φωτισμό του αστικού ιστού και όχι στο σύνολο της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για όλες τις υπόλοιπες χρήσεις. Επίσης, παρουσιάζονται τρόποι και συστήματα εξοικονόμησης της καταναλισκόμενης ενέργειας, με σκοπό τόσο το οικονομικό και ενεργειακό όφελος, αλλά επίσης την μείωση της σημαντικότερης μορφής ρύπου κατά το φωτισμό, τη φωτορύπανση.

3.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής και του Υπουργείου Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, προκύπτει πως για το έτος 2013 η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, ανήλθε στις **51.168.377 GWh**. Από αυτές, οι **883.335 GWh**, αντιστοιχούν στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το φωτισμό οδών (ΕΛΣΤΑΤ, 2013). Επομένως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τον οδοφωτισμό αντιστοιχεί στο **1,72%** της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι καταναλώσεις για τον φωτισμό οδών ανά μεγάλη γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια και νομό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 – Δεδομένα Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας Ελληνικής Επικράτειας, 2013

Μεγάλη Γεωγραφική Περιοχή, Περιφέρεια, Νομός	Σύνολο κατανάλωσης σε GWh	Κατανάλωση για οδοφωτισμό σε GWh
Σύνολο Ελλάδας	51.168.377	883.335
Βόρεια Ελλάδα	15.276.053	278.467
Ανατολική Μακεδονία – Θράκη	2.408.745	44.861
Έβρος	518.528	10.605
Ξάνθη	438.476	8.320
Ροδόπη	454.735	4.257
Δράμα	358.592	9.170
Καβάλα	638.415	12.509
Κεντρική Μακεδονία	8.085.424	138.688
Ημαθία	548.696	15.566

Θεσσαλονίκη	4.808.564	65.445
Κιλκίς	408.157	4.588
Πέλλα	555.177	13.821
Πιερία	525.398	12.481
Σέρρες	594.950	11.760
Χαλκιδική	644.482	15.027
Δυτική Μακεδονία	958.728	24.663
Γρεβενά	126.254	3.755
Καστοριά	156.276	4.166
Κοζάνη	495.303	11.323
Φλώρινα	180.895	5.418
Θεσσαλία	3.823.155	70.256
Καρδίτσα	415.133	14.560
Λάρισα	1.320.695	20.927
Μαγνησία	1.616.857	19.004
Τρίκαλα	470.470	15.766
Κεντρική Ελλάδα	14.599.749	278.831
Ήπειρος	1.246.599	34.162
Άρτα	286.290	11.806
Θεσπρωτία	177.558	6.663
Ιωάννινα	646.856	10.470
Πρέβεζα	135.894	5.223
Ιόνιοι Νήσοι	963.284	28.833
Ζάκυνθος	183.659	10.134
Κέρκυρα	451.728	10.608
Κεφαλληνία	180.358	4.492
Λευκάδα	147.538	3.599
Δυτική Ελλάδα	2.505.992	76.556
Αιτωλοακαρνανία	664.020	16.715
Αχαΐα	1.327.192	30.885
Ηλεία	514.779	28.956
Στερεά Ελλάδα	7.206.381	63.752
Βοιωτία	3.728.184	11.057
Εύβοια	1.379.924	19.945
Ευρυτανία	44.258	1.664
Φθιώτιδα	1.926.428	26.430
Φωκίδα	127.587	4.656
Πελοπόννησος	2.677.493	75.527
Αργολίδα	618.049	15.233
Αρκαδία	332.101	11.878
Κορινθία	805.203	21.029
Λακωνία	378.185	10.339
Μεσσηνία	543.955	17.048
Αττική	16.226.441	224.493
Νήσοι Αιγαίου – Κρήτη	5.066.134	101.544
Βόρειο Αιγαίο	688.936	18.750
Λέσβος	334.999	9.737
Σάμος	157.578	3.809

Χίος	196.359	5.204
Νότιο Αιγαίο	1.685.671	34.592
Δωδεκάνησα	1.099.786	27.830
Κυκλάδες	585.885	6.762
Κρήτη	2.691.527	48.202
Ηράκλειο	1.295.239	17.773
Λασιθί	367.350	10.312
Ρέθυμνο	339.753	5.723
Χανιά	689.186	14.393

Με μια πρώτη ανάγνωση των ανωτέρω στατιστικών στοιχείων, φαίνεται πως μόνο στην Αττική, ο αστικός φωτισμός, αποτελεί το **25%** της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, για αντίστοιχη χρήση.

3.1.1 Πρακτικές Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Οδοφωτισμό

Οι κυριότερες εφαρμόσιμες πρακτικές, οι οποίες οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό δρόμων είναι οι εξής (European Commission – Green Light Procurement):

- **Αντιστάθμιση της απόσβεσης της φωτεινής ισχύος των λαμπτήρων.** Καθώς όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης, συμπεριλαμβανόμενων των λαμπτήρων φθορισμού, παρουσιάζουν μείωση της φωτεινής τους ισχύος και ροής, κατά τη διάρκεια της ζωής τους λόγω γήρανσης των λαμπτήρων και λόγω ρύπανσης του φωτιστικού σώματος που τους περιλαμβάνει, εφαρμόζεται σε κάθε σύστημα οδοφωτισμού ένας συντελεστής συντήρησης ίσος με 0,75. Αυτό σημαίνει πως το επίπεδο έντασης φωτισμού είναι κατά 25% ισχυρότερο με τους νέους λαμπτήρες, από αυτό που χρειάζεται. Όταν οι λαμπτήρες φτάσουν στο τέλος της ζωής τους, το επίπεδο φωτισμού έχει μειωθεί σε αυτό του αρχικού σχεδιασμού. Με τη χρήση ενός συστήματος ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας σε φωτισμό δρόμων, το οποίο διαθέτει συνεχή έλεγχο της διαβάθμισης του φωτισμού, το επίπεδο έντασης του φωτισμού μπορεί να ρυθμιστεί εξ αρχής σε αυτό του αρχικού σχεδιασμού. Με το κατάλληλο σύστημα ελέγχου, το 12,5% της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να εξοικονομηθεί.
- **Αντιστάθμιση υπερεκτιμημένης αρχικής σχεδίασης της έντασης του φωτισμού.** Κατά τα αρχικά στάδια σχεδιασμού μιας φωτιστικής εγκατάστασης, πολλές παράμετροι είναι άγνωστες. Επομένως, η αρχική σχεδίαση στηρίζεται σε παραδοχές και υποθέσεις, οι οποίες εξυπηρετούν το χειρότερο σενάριο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, σε πολλές περιπτώσεις, το επίπεδο έντασης του φωτισμού να είναι υψηλότερο από το απαιτούμενο. Με τη χρήση συστήματος ελέγχου της διαβάθμισης της έντασης του φωτισμού, η αρχική υπερεκτιμημένη σχεδίαση, μπορεί να αντισταθμιστεί. Η πρακτική αυτή μπορεί να

οδηγήσει σε μια ουσιαστική εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, της τάξης του 25%. Είναι προφανές πως η εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτή την περίπτωση είναι άμεση συνάρτηση του βαθμού υπερεκτίμησης κατά τον αρχικό σχεδιασμό, ο οποίος προσδιορίζεται στην πράξη, όταν οι πραγματικές παράμετροι σχεδίασης της φωτιστικής εγκατάστασης γίνονται γνωστές.

- **Μείωση της έντασης φωτισμού αναλόγως του ωραρίου.** Σύμφωνα με αυτή την πρακτική, είναι δυνατόν να υπάρξει αξιοποίηση των φυσικών αποθεμάτων φωτισμού ή της μείωσης της πυκνότητας της κυκλοφορίας των χρηστών του δρόμου, ειδικά κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες, για να επιτευχθεί εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, μειώνοντας το επίπεδο έντασης του φωτισμού. Με τη χρήση χρονοδιακοπών, αισθητήρων κίνησης (οχημάτων και πεζών) ή αισθητήρων του επιπέδου του φυσικού φωτισμού, όπως αυτό επηρεάζεται κατά την ανατολή ή δύση του ηλίου, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση της έντασης του επιπέδου φωτισμού κατά 50%, με αντίστοιχα αποτελέσματα και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

3.1.2 Συστήματα Ελέγχου Εξοικονόμησης Ενέργειας στον Οδοφωτισμό

Στη σημερινή εποχή, γίνεται όλο και πιο φανερό η ανάγκη για αποδοτικότερη χρήση της παραγόμενης ενέργειας. Αν και η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να πάρει πολλές μορφές, η αποδοτικότερη χρήση του οδοφωτισμού ειδικότερα, θα απαλλάξει την κοινωνία από σημαντικά έξοδα που προορίζονται για την ηλεκτρική ενέργεια και θα μειώσει τις απαιτήσεις για νέους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με άμεση συνέπεια την μείωση χρήσης άνθρακα και παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα. Οι εν λόγω μειώσεις δεν είναι εφικτές, χωρίς την παράλληλη ελάττωση των απαιτήσεων του αστικού φωτισμού σε επιτρεπτά επίπεδα, όπως αυτά καθορίζονται από τα Διεθνή Πρότυπα. Έτσι, το θέμα της εξοικονόμησης ενέργειας, απασχολεί όλο και περισσότερο τους σχεδιαστές, κατασκευαστές αλλά και τους χρήστες των φωτιστικών διατάξεων (Jacobs A. 2000).

Με ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας είναι δυνατή μια εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30%. Γενικότερα, ένα τέτοιο σύστημα, εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας, πρέπει επίσης να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Να μην ενοχλεί τους χρήστες. Η ρύθμιση του φωτισμού δεν πρέπει να γίνεται αντιληπτή και κατ'επέκταση ενοχλητική. Επιβάλλεται, λοιπόν, να είναι ομαλή.
- Να έχει ένα λογικό χρόνο απόσβεσης της όλης επένδυσης (competitive Return Of Investment – ROI).

- Να συμμορφώνεται με τα ισχύοντα Διεθνή Πρότυπα Φωτισμού, καθώς και με τα Διεθνή Πρότυπα για τις ηλεκτρικές συσκευές. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα διαβάθμισης της φωτεινής ροής των λαμπτήρων εκκένωσης ειδικότερα, πρέπει να ακολουθούν τις Κοινοτικές Οδηγίες περί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας 89/336/EEC.
- Θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερο και φιλικό προς τον εγκαταστάτη και το χρήστη, αξιόπιστο συνεπώς όσον αφορά στην προσδοκώμενη εξοικονόμηση ενέργειας. Πολύπλοκοι αυτοματισμοί χαμηλής χρησιμότητας συνήθως παραμένουν ανενεργοί λόγω αδυναμίας του χρήστη να πραγματοποιήσει τους απαραίτητους χειρισμούς.
- Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ελαττώνεται. Βέβαια, αυτό είναι αναπόφευκτο σε περίπτωση διαδοχικών εναύσεων, όταν η διαβάθμιση του φωτισμού επιτυγχάνεται κλιμακωτά από διακόπτες ομάδων φωτιστικών σωμάτων. Επιπρόσθετα, μεγάλη συχνότητα εναύσεων – σβέσεων, οδηγεί σε επικαθίσεις αλκαλικών οξειδίων στην κοιλότητα του φωτιστικού σώματος, με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της αποδιδόμενης από το λαμπτήρα, φωτεινής ροής. Αντίθετα, όταν διαβαθμίζεται ομαλά η φωτεινή ροή των λαμπτήρων, η διάρκεια ζωής τους σε ορισμένες περιπτώσεις παρατείνεται. Στους λαμπτήρες φθορισμού, η διάρκεια ζωής τους παρατείνεται κατά 50% όταν υφίστανται διαβάθμιση της φωτεινής ροής τους κατά 30%, ενώ αντίστοιχα στους λαμπτήρες ατμών υψηλής πίεσης νατρίου, η αντίστοιχη παράταση της διάρκειας ζωής τους φτάνει στο 200%, δηλαδή τριπλάσια της αναμενόμενης, μειώνοντας έτσι σημαντικά τα κόστη συντήρησης. Επιπλέον, παρατείνεται και η διάρκεια ζωής των συμβατικών ballasts.
- Η συμπεριφορά των λαμπτήρων δεν πρέπει να παρουσιάζει αστάθεια, η οποία εκδηλώνεται με παροδικές στιγμιαίες μεταπτώσεις της λαμπρότητάς τους (τρεμόπαιγμα – flickering). Έτσι, η κλιμάκωση του φωτισμού με διακόπτες παύσεως λειτουργίας ομάδων φωτιστικών σωμάτων, σε περίπτωση περίσσειας φωτισμού, κρίνεται ακατάλληλη γιατί εκτελείται από διαδοχικές εναύσεις και σβέσεις των λαμπτήρων, γεγονός που προκαλεί την ασταθή συμπεριφορά των λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης. Έντονη συχνότητα εναύσεων – σβέσεων στους συγκεκριμένους λαμπτήρες, συντελεί στην επιτάχυνση της γήρανσης τους όπως επίσης και σημαντική απώλεια της φωτεινής ροής τους με την πάροδο του χρόνου.

Τα συστήματα ελέγχου εξοικονόμησης ενέργειας στον οδοφωτισμό βασίζονται σε μία ή και στις δύο από τις εξής τεχνικές:

- Συνεχής Διαβάθμιση Φωτισμού (dimming) – χωρίς διακριτά επίπεδα.
- Διακριτά Επίπεδα Φωτισμού με έλεγχο διακοπών.

3.1.3 Συστήματα Dimming σε Λαμπτήρες Εκκένωσης

Οι σύγχρονες φωτεινές πηγές, μεταξύ αυτών και οι λαμπτήρες εκκένωσης, με εξαίρεση τους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης και υψηλής απόδοσης, επιδέχονται διαβάθμιση της φωτεινής ροής τους, από 100% έως 50% τουλάχιστον. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης με ισχύ άνω των 100 Watt επιδέχονται ομαλή διαβάθμιση της φωτεινής ροής τους έως 20% και αυτοί άνω των 250 Watt έως 2% (T. Baenziger, 2000). Γενικότερα, διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

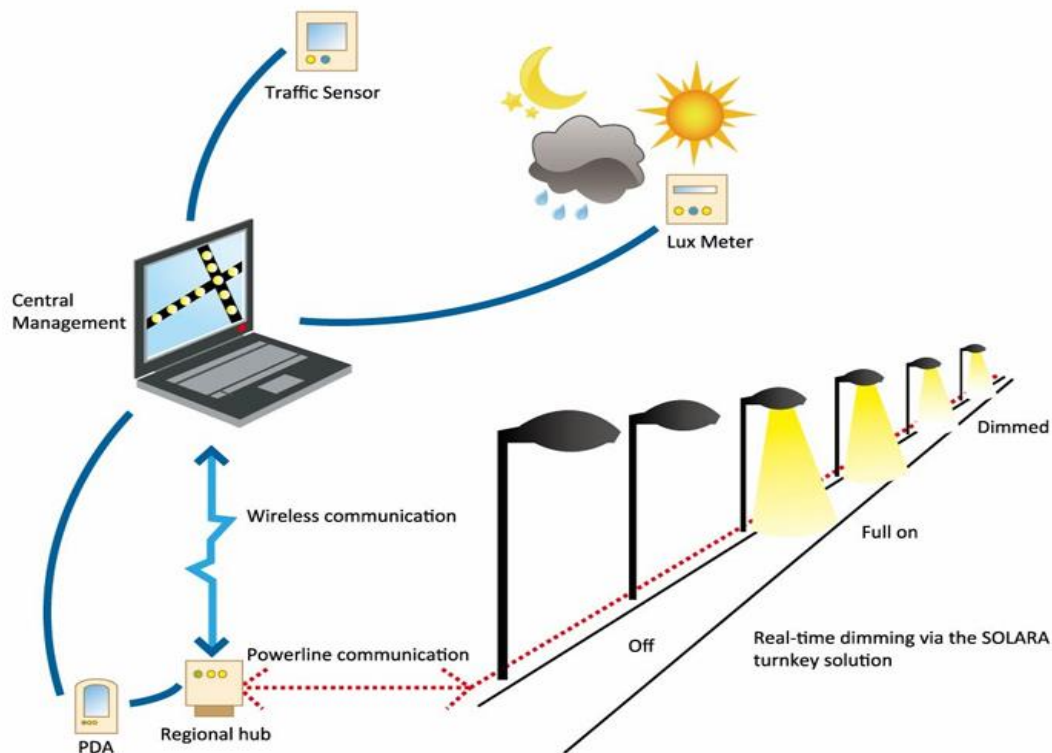
- **Λαμπτήρες Φθορισμού:** Τα συστήματα dimming των λαμπτήρων φθορισμού, δεν μπορούν να επιτύχουν τον πλήρη περιορισμό της φωτεινής ροής - συνήθως η ρύθμιση αυτή μπορεί να φτάσει το 10% της μέγιστης τιμής. Επίσης, η θερμοκρασία του χρώματος δε μεταβάλλεται σημαντικά. Το dimming επιτυγχάνεται με τη μείωση της ροής του ρεύματος, διατηρώντας την πλήρη τάση έναυσης και παρέχοντας την απαραίτητη τάση επανέναυσης. Απαραίτητη είναι επίσης η θέρμανση των ηλεκτροδίων, εκτός από την περίπτωση λαμπτήρων ψυχρής καθόδου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκπομπή ηλεκτρονίων σε όλες τις διαβαθμίσεις της έντασης. Το dimming με ηλεκτρομαγνητικό ballast επιτυγχάνεται με μείωση της τάσης του πρωτεύοντος πηνίου του μετασχηματιστή. Η μεγάλη πλειοψηφία των διαθέσιμων ρυθμιζόμενων ballasts είναι ηλεκτρονικού τύπου. Είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν με ταχείας έναυσης και συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού. Τα ηλεκτρονικά ballasts είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ογκώδη, συγκρινόμενα με τους προγενέστερους αυτομετασχηματιστές. Ένα ακόμα πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός πως η χρήση τους, μειώνει την εκδήλωση του φαινομένου flickering. Λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (20 – 50 kHz) και η ένταση του ρεύματος μειώνεται με τη συντόμευση της περιόδου ροής του ρεύματος κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου. Τα περισσότερα ηλεκτρονικά ballasts προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας ανάλογη με τη μείωση στη φωτεινή ροή.
- **Λαμπτήρες υψηλής έντασης εκκένωσης:** Παρόλο που οι λαμπτήρες εκκένωσης είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν στο 100% της ισχύος τους, υπάρχει περιθώριο εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσω του ηλεκτρονικού ελέγχου ρύθμισης της φωτεινής ροής. Η τεχνολογία του dimming δε μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης. Σε κάποιες περιπτώσεις, η εφαρμογή του θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα. Ωστόσο, σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα dimming, η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα θα είναι ίδια με τη διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα που δεν υπόκειται σε ηλεκτρονική ρύθμιση της φωτεινής του ροής. Η αργή έναυση και η καθυστέρηση επανέναυσης, τα οποία χαρακτηρίζουν τους λαμπτήρες αυτού του τύπου, ισχύουν και στην

περίπτωση που εφαρμόζεται σύστημα dimming. Οι λαμπτήρες αυτοί, ανταποκρίνονται σε αλλαγές μέσω του dimming, αρκετά πιο αργά από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορισμού, με τους τυπικούς χρόνους ρύθμισης μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης φωτεινής ροής να είναι μεταξύ 3 και 10 λεπτών. Συστήνεται, οι λαμπτήρες αυτοί να ξεκινούν τη λειτουργία τους σε πλήρη ισχύ και το dimming να εφαρμόζεται μετά την πλήρη προθέρμανση του λαμπτήρα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η απόδοση του λαμπτήρα και η χρωματική απόδοση είναι ικανοποιητικές για ρυθμίσεις που φτάνουν μέχρι το 50% της μέγιστης τιμής. Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου παρουσιάζουν πολύ μικρή μεταβολή στο χρώμα, για ρυθμίσεις της φωτεινής ροής από 100% έως 25%. Στην περίπτωση των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων, η εμφάνιση και η σύσταση του χρώματος αρχίζει να μεταβάλλεται όταν η ρύθμιση της φωτεινής ροής μειωθεί κάτω του 80% της μέγιστης. Για λαμπτήρες μεγάλης ισχύος, η αλλαγή του χρώματος ξεκινά στο 60% της μέγιστης φωτεινής ροής, όπου έχουμε τη χαρακτηριστική μπλε – πράσινη απόχρωση, που προκύπτει από τους ατμούς υδραργύρου. Η εμφάνιση του χρώματος στην περίπτωση των τυπικών λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, δεν αλλοιώνεται σημαντικά, μέχρι τη ρύθμιση κοντά στο 50% της μέγιστης τιμής της φωτεινής ροής. Κάτω από το 50% εμφανίζεται ένα ισχυρό κίτρινο χρώμα, χαρακτηριστικό που συνήθως συναντάται στους λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης.

Δύο βασικά συστήματα συνεχούς διαβάθμισης φωτισμού είναι διαθέσιμα. Το **κεντρικό σύστημα ελέγχου**, όπου ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα από φωτιστικά σώματα ελέγχεται από έναν κεντρικό ελεγκτή (**Source Controller**) και το **αποκεντρωμένο σύστημα ελέγχου**, όπου ο ελεγκτής είναι μέρος του φωτιστικού σώματος (**Unit Source Controller** στην περίπτωση λαμπτήρα υψηλής έντασης εκκένωσης ή **Υψηλής Συχνότητας Ηλεκτρονικό Ballast** στην περίπτωση λαμπτήρα φθορισμού).

Ένα βασικό κεντρικό σύστημα ελέγχου διαβάθμισης φωτισμού αποτελείται από τρία στοιχεία:

- Τον κεντρικό ελεγκτή (Source Controller)
- Ένα φωτοηλεκτρικό κελί (Photoelectric Cell), τοποθετημένο κεντρικά στη ζώνη ελέγχου των φωτιστικών και
- Μία κεντρική μονάδα ελέγχου (Central Control Unit) η οποία συνδέει το φωτοηλεκτρικό κελί με τον κεντρικό ελεγκτή κάθε ομάδας φωτιστικών σωμάτων.



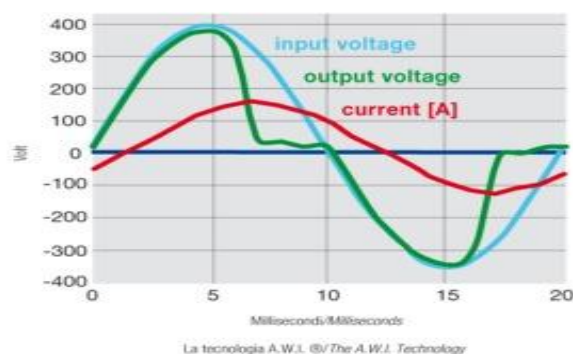
EIKONA 3.1 – Ευφυές Σύστημα Κεντρικού Ελέγχου Οδοφωτισμού

Με τη χρήση της αναφερθείσας τεχνολογίας, οι λαμπτήρες μπορούν να ελεγχθούν σε ένα επίπεδο φωτισμού από 100% έως και 50%, που ισοδυναμεί σε εξοικονόμηση ενέργειας από 100% έως 45% για την περίπτωση λαμπτήρων φθορισμού και από 100% έως 65% στην περίπτωση λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης (Indalux Lighting Engineering Handbook).

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες στην περίπτωση των κεντρικών συστημάτων ελέγχου διαβάθμισης του φωτισμού, είναι οι εξής:

- **Συστήματα βασισμένα σε μετασχηματιστή:** Οι μετασχηματιστές αποτελούν έναν απλό τρόπο διαβάθμισης του επιπέδου φωτισμού. Μόνο οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης είναι κατάλληλοι για αυτά τα συστήματα, σε επίπεδα διαβάθμισης της φωτεινής ροής τους.
- **Συστήματα βασισμένα σε ηλεκτρονικό μετασχηματιστή:** Βασίζονται στην τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος με τρανζίστορ. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των συστημάτων που βασίζονται σε συμβατικούς μετασχηματιστές. Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους έναντι των συστημάτων με συμβατικούς μετασχηματιστές είναι η μη αναγκαιότητα συντήρησής τους, το μικρότερο μέγεθος και η χαμηλότερη τιμή αγοράς τους.
- **Συστήματα Τεχνολογίας Non Critical Waveform Intersection (NCWI):** Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει αναπτυχθεί ειδικά για τη διαβάθμιση της

φωτεινής ροής σε λαμπτήρες εκκένωσης. Κάθε λαμπτήρας εκκένωσης μπορεί να διαβαθμιστεί με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, αρκεί να λειτουργεί με μαγνητικό ballast και να μην υπάρχει πυκνωτής αντιστάθμισης στο φωτιστικό σώμα. Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος μπορεί να γίνει κεντρικά, στη γραμμή του κεντρικού ελεγκτή (Source Controller). Ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα, τα επίπεδα διαβάθμισης της ροής, κυμαίνονται από 100% έως 20%. Ενώ κάθε τεχνολογία διαβάθμισης της φωτεινής ροής, οδηγεί σε αλλαγή χρωματικής θερμοκρασίας και σε αλλαγή του δείκτη χρωματικής απόδοσης, με τη χρήση της τεχνολογίας NCWI, οι αλλαγές αυτές κρατούνται στο ελάχιστο, έτσι ώστε να μην γίνονται αντιληπτές από το χρήστη. Η βασική αρχή της τεχνολογίας NCWI έγκειται στην τροφοδότηση του φωτιστικού σώματος με την τάση κορυφής κάθε μισή περίοδο και στην παροχή ρεύματος κατά το low state της τάσης για κάθε μισή περίοδο (Eloholma M. et al. 2004).



ΕΙΚΟΝΑ 3.2 – Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας τεχνολογίας NCWI

Στην περίπτωση των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου, διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

- **Βηματικό Σύστημα διαβάθμισης με tapped ballast:** Το ballast προσαρμόζεται με επιπρόσθετο τύλιγμα, το οποίο εισέρχεται στο κύκλωμα με ρελέ. Αυτό διαβαθμίζει – μειώνει, τόσο την ηλεκτρική όσο και τη φωτεινή ισχύ του λαμπτήρα. Προφανώς αποτελεί σύστημα το οποίο δεν προσφέρει συνεχή διαβάθμιση.
- **Ηλεκτρονικό ballast υψηλής συχνότητας:** Ευρέως διαδεδομένο σύστημα στους λαμπτήρες φθορισμού. Το ballast λειτουργεί τον σωλήνα εκκένωσης του λαμπτήρα σε υψηλές συχνότητες (10 – 30 kHz). Τα ηλεκτρονικά ballasts υψηλών συχνοτήτων μπορούν να διαβαθμίσουν το επίπεδο φωτισμού, ελεγχόμενα από μια τάση έως 10 V. Η απόδοση του λαμπτήρα μειώνεται δραματικά όταν χρησιμοποιούνται τέτοια συστήματα διαβάθμισης.

3.2 ΦΩΤΟΥΠΑΝΣΗ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας του φωτισμού, αποτελεί και κομμάτι της ιστορίας της τεχνολογικής εξέλιξης του ανθρώπου. Παρενέργεια αυτής της τεχνολογίας, μια ιδιαίτερη μορφή ρύπανσης, αποτελεί ο υπερβολικός φωτισμός. Η φωτεινή ρύπανση εμποδίζει την παρατήρηση του νυκτερινού ουρανού, επηρεάζει τους βιολογικούς ρυθμούς των έμβιων όντων και αποτελεί αιτία πρόκλησης ατυχημάτων. Παράλληλα, το εκπεμπόμενο προς τον ουρανό φως, αποτελεί σημαντική ενεργειακή απώλεια.

Για εκατομμύρια χρόνια τα πλάσματα της φύσης ζούσαν και ζουν, ακολουθώντας τις ημερήσιες εναλλαγές του φωτός και του σκότους. Ο άνθρωπος αποτέλεσε το πρώτο και μοναδικό είδος, τουλάχιστον μέχρι και σήμερα, το οποίο ξέφυγε από αυτόν τον φυσικό καταναγκασμό και επέκτεινε τη δράση του και στο σκοτεινό τμήμα του εικοσιτετραώρου. Η ιστορία του ανθρώπινου είδους αλλάζει δραματικά και ραγδαία με την τιθάσευση της φωτιάς και τη χρήση των πρώτων τεχνητών φωτιστικών πηγών. Αρχικά, η γυμνή φλόγα της ανοικτής εστίας χρησιμοποιήθηκε και ως μέσο φωτισμού. Στη συνέχεια, μέσα από αργή εξέλιξη χιλιάδων χρόνων η φλόγα, καλυμμένη ή ακάλυπτη, παρέμεινε το μόνο και κύριο φωτιστικό μέσο. Η μεγάλη επανάσταση στον τεχνητό φωτισμό σημειώνεται κατά τον 19^ο αιώνα με την εφεύρεση του ηλεκτροφωτισμού.

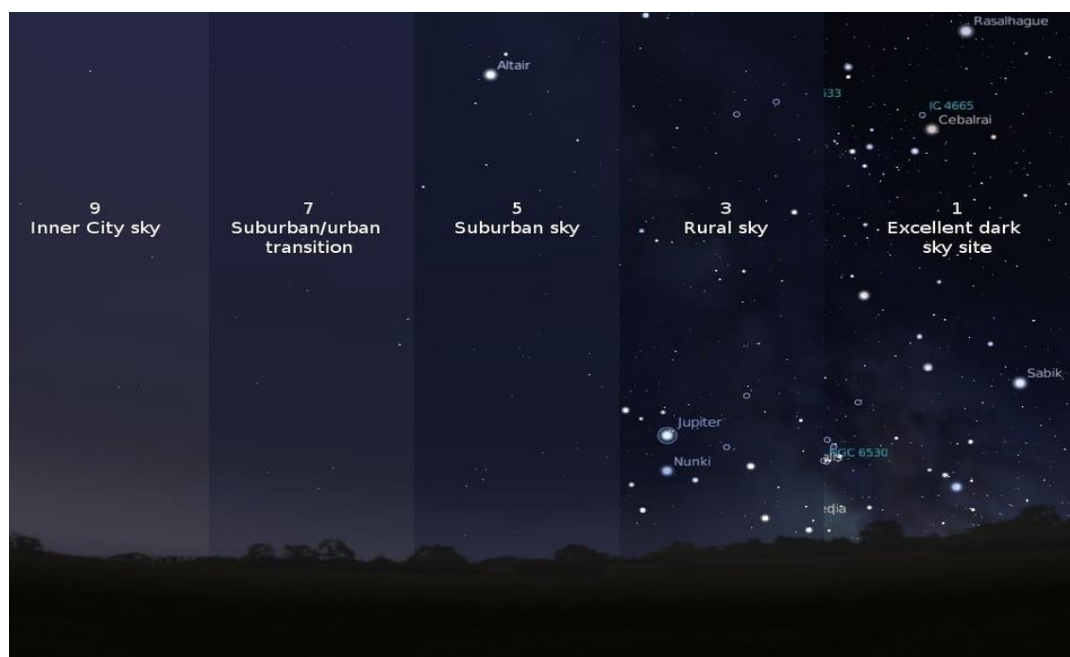
Η διάδοση του ηλεκτροφωτισμού στη συνέχεια, είναι ραγδαία. Από χρόνο σε χρόνο, η εξελισσόμενη τεχνολογία του φωτισμού παρέχει νέες και αποδοτικότερες τεχνικές και συσκευές φωτισμού. Το φωτεινό τμήμα του ημερονυκτίου επιμηκύνεται κατά βούληση και στα μεγάλα αστικά κέντρα, πρακτικά δεν νυκτώνει ποτέ. Στις αναπτυσσόμενες αλλά και στις αναπτυσσόμενες πλέον, χώρες, η ζωή είναι κυριολεκτικά αδιανόητη, αν όχι αδύνατη, σε περίπτωση έλλειψης του ηλεκτρικού φωτός.

Κατά την περίοδο των τελευταίων ετών ωστόσο, άρχισε να αναπτύσσεται έντονος σκεπτικισμός τον οποίο διαδέχθηκε ακόμα εντονότερος προβληματισμός. Η γενικότερη ευαισθητοποίηση στα θέματα περιβάλλοντος συμπεριλαμβάνει πλέον και τον αφύσικο νυκτερινό φωτισμό. Ο υπερβολικός φωτισμός έπαυσε να θεωρείται ένα ανώδυνο επακόλουθο του σύγχρονου τρόπου ζωής και πλέον αποτελεί ρύπο.

Το φαινόμενο του υπερβολικού φωτισμού δεν είναι απλό γνώρισμα των αστικών περιοχών. Είναι άμεσα συνυφασμένο με την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ζωή των πόλεων. Το φαινόμενο αυτό δεν περιορίζεται όμως μόνο στις πόλεις. Η άνοδος του βιοτικού επιπέδου στις δυτικές κοινωνίες, με την παράλληλη έλλειψη δημιουργίας πολιτισμικών συνηθειών, ικανών να ενσωματώνουν την τεχνολογική πρόοδο με περιβαλλοντική ευαισθησία, έχει επεκτείνει το πρόβλημα και στις ημιαστικές περιοχές.

Η φωτεινή ρύπανση, ο ενοχλητικός ή απλά ανεπιθύμητος φωτισμός, είναι εύκολα αναγνωρίσιμος στο νυκτερινό περιβάλλον. Οι κύριες πηγές του είναι ο οδικός φωτισμός, οι διαφημιστικές κατασκευές, ο φωτισμός ασφαλείας εξωτερικών χώρων, ο φωτισμός αθλητικών και άλλων εγκαταστάσεων μαζί με πολλές ακόμα εφαρμογές. Η οπτική ενόχληση που προκαλείται από αυτές τις φωτεινές πηγές μπορεί να συνοδεύεται από σημαντικότερες παρενέργειες. Η θάμβωση από εξαιρετικά λαμπρές πηγές φωτός, οι οποίες βρίσκονται στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή, μπορεί να προκαλέσει μέχρι και προσωρινή τύφλωση, ειδικά σε περιπτώσεις ηλικιωμένων ατόμων και ατόμων με αδύναμη όραση.

Το έντονο θάμβος των λαμπτήρων φωτισμού των δρόμων, οι εκθαμβωτικά φωτισμένες βιτρίνες (ακόμα και σε ώρες που δεν κυκλοφορούν πιθανοί πελάτες) και οι περίεργα φωτισμένες όψεις των κτιρίων, μας στερούν μια σημαντική αισθητική εμπειρία, τη θέα έναστρου ουρανού. Σε όλες τις σύγχρονες πόλεις, μόνο ένας μικρός αριθμός άστρων είναι ορατός. Συγκεκριμένα, στις μεγαλουπόλεις, μόνο η Σελήνη είναι ορατή. Αυτό οφείλεται στη σκέδαση του φωτός στα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα, ο αέρας πάνω από τις πόλεις να φωτοβολεί και να καταπνίγει το φυσικό φώς των άστρων. Το φαινόμενο αυτό, είναι περισσότερο γνωστό ως φωτορύπανση. Η συνύπαρξη των σκεδαστών του φωτός (ρύποι) και της πληθώρας φωτεινών πηγών, καθιστούν το φαινόμενο της φωτορύπανσης τόσο έντονο στα μεγάλα αστικά κέντρα. Στην Εικόνα 3.3 διακρίνονται στοιχεία του νυκτερινού ουρανού τα οποία δεν είναι δυνατόν να παρατηρηθούν, όσο εντονότερο γίνεται το φαινόμενο της φωτορύπανσης.



ΕΙΚΟΝΑ 3.3 – Απεικόνιση του νυκτερινού ουρανού σε διάφορα επίπεδα φωτορύπανσης

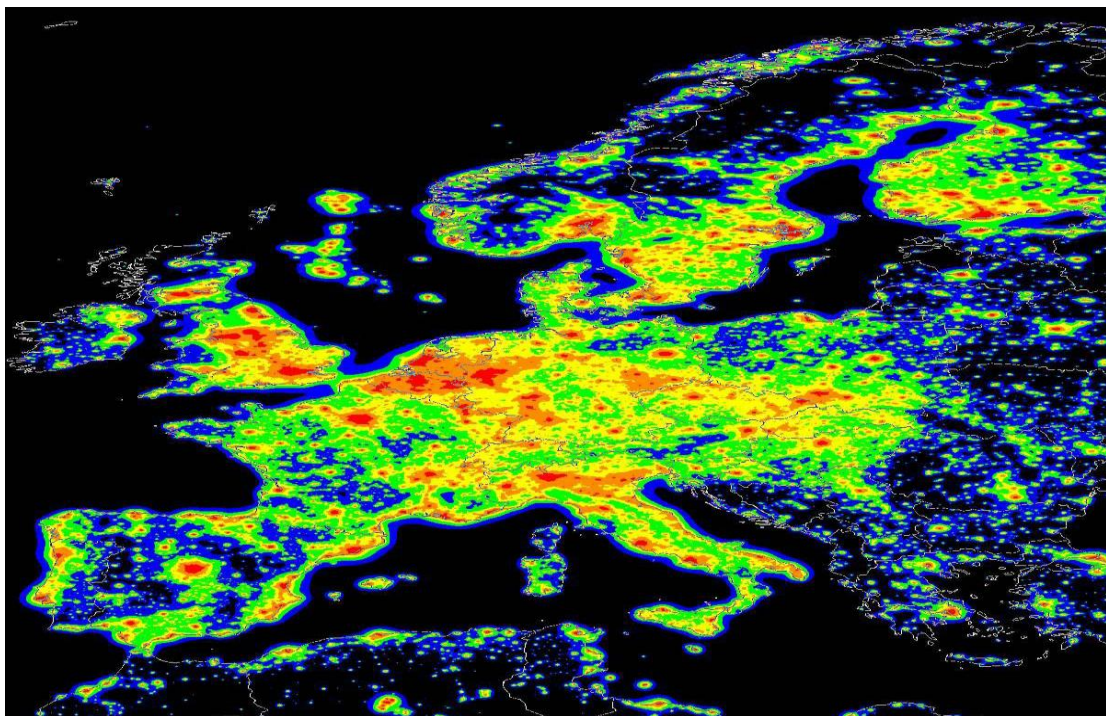
3.2.1 Φωτορύπανση Και Ενεργειακές Απώλειες

Η ενέργεια που καταναλώνεται στον εξωτερικό φωτισμό δεν είναι εύκολο να γίνει με ακρίβεια γνωστή. Ο οδικός φωτισμός εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει περίπου το 1,5% της συνολικής φωτεινής ενέργειας. Ο εξωτερικός φωτισμός για τις οικίες, τους χώρους εμπορικού ενδιαφέροντος, τη βιομηχανία και τις υπόλοιπες παρόμοιες χρήσεις, δαπανά ένα άγνωστο ποσό ενέργειας. Ακόμα μεγαλύτερη απροσδιοριστία υπάρχει σχετικά με τις απώλειες της φωτεινής ενέργειας. Πολύ περισσότερο, όταν οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από διάφορες συνιστώσες, όπως ο πληθυσμός, το κλίμα, το οικονομικό περιβάλλον, η τεχνολογία των φωτιστικών και διάφορες ακόμα παράμετροι. Μια επιπλέον ασάφεια, προκύπτει από τη δυσκολία προσδιορισμού του όρου «απώλειες φωτεινής ενέργειας». Σε γενικές γραμμές, κάθε μη χρήσιμο φως, αποτελεί απώλεια. Μεγάλο ποσοστό αυτού του μη χρήσιμου φωτός αντιστοιχεί σε φωτιστικά σώματα τα οποία στοχεύουν πάνω από τον ορίζοντα.

Παρόλα αυτά, η τεχνολογία των δορυφορικών επισκοπήσεων, μπορεί να δώσει μια πρώτη εκτίμηση των απωλειών φωτεινής ενέργειας. Αυτή η εκτίμηση αφορά προφανώς, το ποσοστό της φωτεινής ενέργειας που συλλαμβάνεται από δορυφόρους. Πρόκειται δηλαδή για φως που κατευθύνεται προς τον ουρανό, άμεσα ή έμμεσα μέσω ανάκλασης στο έδαφος ή με σκέδαση στα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Ενεργειακή απώλεια, όμως, δεν είναι μόνο το φως που κατευθύνεται προς τον ουρανό. Στις συνολικές απώλειες θα πρέπει να υπολογιστεί και η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα στα φωτιστικά σώματα, καθώς και η φωτεινή ενέργεια που δε φτάνει ποτέ στον ουρανό, είτε λόγω απόκρυψης από εμπόδια (φυσικά ή τεχνητά) και τέλος την ενέργεια που απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Από την άποψη αυτή, γίνεται αντιληπτό, πως η εκτιμώμενη απώλεια ενέργειας, μέσω της επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων, αποτελεί το κάτω όριο του αντίστοιχου μεγέθους. Από τις δορυφορικές εικόνες προκύπτει, πως οι απώλειες φωτεινής ενέργειας κυμαίνονται μεταξύ 0,1% και 0,2% της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. (Isobe S. & Hamamura S.)



ΕΙΚΟΝΑ 3.4 – Δορυφορική απεικόνιση της Ευρώπης κατά τις νυκτερινές ώρες



ΕΙΚΟΝΑ 3.5 – Δορυφορική απεικόνιση της έντασης της εκπεμπόμενης φωτεινής ενέργειας

3.2.2 Έλεγχος της Φωτορύπανσης και Εξωτερικός Φωτισμός

Ο εξωτερικός φωτισμός προσδιορίζει και χαρακτηρίζει το νυκτερινό περιβάλλον όσον αφορά στην ασφάλεια, την αισθητική και τη θέαση του φυσικού περιβάλλοντος και του νυκτερινού ουρανού. Επιπρόσθετα όμως πρέπει:

- Να ελαχιστοποιεί τη φωτορύπανση, τη θάμβωση και γενικότερα τη φωτεινή όχληση.
- Να εξοικονομεί ενέργεια, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις ανάγκες νυκτερινής ασφάλειας, πρακτικότητας, χρησιμότητας και πολιτισμικών ή εθιμικών συνηθειών.
- Να αποτρέπει την υποβάθμιση του αστικού νυκτερινού περιβάλλοντος.

Οι παραπάνω απαιτήσεις, είναι αρκετές φορές, αντικρουόμενες και δεν είναι εύκολο να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα. Επιπρόσθετα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνήθειες και οι ιδιαιτερότητες κάθε τόπου. Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη σύνταξης στη χώρα μας ενός κανονισμού για τις εγκαταστάσεις εξωτερικού φωτισμού. Τα πλεονεκτήματα από την ύπαρξη του εν λόγω κανονισμού θα είναι:

- Ασφαλές, φιλικό και φυσικό περιβάλλον.
- Κατάλληλα φωτισμένοι δρόμοι χωρίς ενοχλητικό φωτισμό.
- Αρμονική συνύπαρξη εμπορικών περιοχών και περιοχών κατοικίας.
- Αποτελεσματικός και αποδοτικός εμπορικός φωτισμός, με ταυτόχρονη αποφυγή του ενεργοβόρου και ενοχλητικού ανταγωνισμού.
- Σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και κατά συνέπεια μείωση των εκπομπών CO₂.

Στα πλαίσια αυτά η CIE υποδεικνύει τη χρήση τεσσάρων ζωνών που προσδιορίζουν την ευαισθησία στο οχληρό φως (CIE, Commission Internationale de l'Eclairage – Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού). Το σύστημα αυτό προτείνει τη χρήση τεσσάρων επιπέδων, E1 μέχρι E4. Κάθε κανονισμός εξωτερικού φωτισμού θα πρέπει να προσδιορίζει τα μέγιστα επίπεδα φωτισμού. Τα επίπεδα αυτά καθώς και τα ειδικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων και των φωτεινών πηγών, καθορίζονται αφού ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές συνήθειες κάθε περιοχής, οι διαφορετικές χρήσεις, η κοινωνική αποδοχή κτλ. Οι ζώνες αυτές είναι:

- **Ζώνη E1:** Περιοχή με ουσιαστικά σκοτεινές περιοχές. Τέτοιες περιοχές αποτελούν οι εθνικοί δρυμοί, περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους, περιοχές που περιλαμβάνουν αστρονομικά παρατηρητήρια ή

κατοικημένες περιοχές στις οποίες οι κάτοικοι έχουν εκφράσει την ισχυρή επιθυμία για εξαιρετικά περιορισμένη φωτεινή όχληση.

- **Ζώνη E2:** Περιοχές χαμηλής περιβαλλοντικής λαμπρότητας. Αυτές είναι συνήθως αγροτικές και περιαστικές περιοχές.
- **Ζώνη E3:** Περιοχές με μέσα επίπεδα περιβαλλοντικού φωτισμού. Πρόκειται κυρίως για αστικές περιοχές.
- **Ζώνη E4:** Περιοχές με υψηλά επίπεδα περιβαλλοντικού φωτισμού. Περιλαμβάνονται σε αυτές, οι αστικές περιοχές με εμπορικές χρήσεις και έντονες νυκτερινές δραστηριότητες.

4 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει σημαντική κινητοποίηση σε διεθνές επίπεδο, σχετικά με τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν συγκροτηθεί δράσεις, με σκοπό την επίτευξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων.

4.1 ΤΟ ΣΥΜΦΩΝΟ ΤΩΝ ΔΗΜΑΡΧΩΝ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, το 2008, έθεσε σε εφαρμογή ένα από τα σημαντικότερα σχέδια για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της τάξης του 20%. Παράλληλα, έθεσε ως στόχο, να γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες θα καλύπτουν το 20% των αναγκών. Η κίνηση αυτή, αποτέλεσε τη βάση, πάνω στην οποία ευρωπαϊκές τοπικές και περιφερειακές αρχές, οικοδόμησαν το Σύμφωνο των Δημάρχων (The Covenant of Mayors, 2008).

Πρόκειται για μία από τις σημαντικότερες ευρωπαϊκές κινήσεις, στον τομέα της ενεργειακής αφύπνισης και εφαρμογής βιώσιμων πρακτικών. Στο Σύμφωνο των Δημάρχων, συμμετέχουν ευρωπαϊκοί Δήμοι και Περιφέρειες, οι οποίες δεσμεύονται εθελοντικά να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις περιοχές τους. Με τη δέσμευσή τους, οι υπογράφωντες, σκοπεύουν να επιτύχουν και να υπερβούν το στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για τη μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 20% έως το 2020.

Η ανάπτυξη του Συμφώνου των Δημάρχων, έγινε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αποσκοπώντας στην προώθηση και στήριξη των προσπάθειών, που καταβάλλονταν από τους τοπικούς φορείς, για την εφαρμογή πολιτικών σχετικών με τη βιώσιμη ενέργεια, από τη στιγμή που η δέσμη μέτρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μείωση των εκπομπών, τέθηκε σε εφαρμογή. Είναι πράγματι προφανές, το γεγονός ότι οι τοπικές κυβερνήσεις παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερα εάν ληφθεί υπόψη ότι το 80% της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂ συνδέονται με την αστική δραστηριότητα (EUROSTAT, 2014).

Το Σύμφωνο των Δημάρχων, αντιμετωπίζεται από τα ευρωπαϊκά θεσμικά όργανα, ως ένα εξαιρετικό μοντέλο πολυεπίπεδης διακυβέρνησης, καθώς ουσιαστικά αποτελεί τη μοναδική πρωτοβουλία, η οποία κινητοποιεί τους τοπικούς φορείς ανά την Ευρώπη, γύρω από την επίτευξη των στόχων μείωσης εκπομπών, οι οποίοι έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η διαδικασία σύμφωνα με την οποία, οι υπογράφωντες το Σύμφωνο, μετατρέπουν την πολιτική δέσμευσή τους ως προς την εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων και πρακτικών, περιλαμβάνει τη σύνταξη της Βασικής Απογραφής Εκπομπών και την υποβολή Σχεδίου Δράσης για τη Βιώσιμη Ενέργεια. Εντός ενός έτους από την ημερομηνία υπογραφής του Συμφώνου από την εκάστοτε τοπική αρχή, το εν λόγω Σχέδιο πρέπει να έχει κατατεθεί, περιγράφοντας τις βασικές δράσεις που πρόκειται να αναληφθούν.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των Σχεδίων Δράσης, είναι πολύπλευρα και δεν περιορίζονται μόνο στην ενεργειακή εξοικονόμηση. Προκύπτουν νέες, σταθερές και εξειδικευμένες θέσεις εργασίας, σαφώς πιο υγιεινό περιβάλλον και αυξημένη ποιότητα ζωής, βελτιώνεται η οικονομική ανταγωνιστικότητα, ενώ ταυτόχρονα οι τοπικοί φορείς απολαμβάνουν μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία. Μια ακόμα πολύ σημαντική συνεισφορά των εφαρμοζόμενων Σχεδίων Δράσης, προκύπτει από τη σύνταξη των Συγκριτικών Αξιολογήσεων Επιδόσεων Αριστείας. Πρόκειται για μια βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει βέλτιστες πρακτικές οι οποίες έχουν υποβληθεί και εφαρμοστεί από υπογράφωντες το Σύμφωνο. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων, σε συνδυασμό με τον κατάλογο των προς έγκριση Σχεδίων Δράσης, αποτελεί πηγή άντλησης ιδεών και γνώσης, για τους ενδιαφερόμενους.

Μολονότι υπάρχει αύξηση του ενδιαφέροντος, από πλευράς Δήμων και Περιφερειών, να ενταχθούν στο Σύμφωνο των Δημάρχων, υπάρχουν ανασταλτικοί παράγοντες, οι οποίοι υπερισχύουν της πολιτικής θέλησης για την ένταξη σε αυτό. Οικονομικοί –κυρίως- αλλά και τεχνικοί λόγοι, οδηγούν σε αδυναμία ανταπόκρισης των τοπικών αρχών, στις δεσμεύσεις τις οποίες έχουν αναλάβει. Για το λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί ένα ειδικό καθεστώς, στα πλαίσια του Συμφώνου, με τη συμμετοχή δικτύων, τα οποία είναι σε θέση να βοηθήσουν τους υπογράφοντες να φτάσουν στην εκπλήρωση των στόχων τους. Τα δίκτυα αυτά είναι γνωστά ως Συντονιστές του Συμφώνου.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ορίζει ως Συντονιστές του Συμφώνου, τις υπηρεσίες δημόσιας διοίκησης, οι οποίες παρέχουν στρατηγική καθοδήγηση, σε επίπεδο οικονομικής και τεχνικής υποστήριξης, στους φορείς που υπογράφουν το Σύμφωνο αλλά δε διαθέτουν τις απαραίτητες τεχνικές δεξιότητες ή τους οικονομικούς πόρους, για να ολοκληρώσουν τις δράσεις στις οποίες δεσμεύονται. Οι Συντονιστές του Συμφώνου, είναι αποκεντρωμένες αρχές, σε επίπεδο κατώτερο του εθνικού, όπως περιφέρειες, δημοσίου χαρακτήρα ομάδες Δήμων, εθνικοί οργανισμοί ενέργειας, επαρχίες και τοπικές αρχές.

Μία ακόμα σημαντική δράση του Συμφώνου των Δημάρχων είναι η δημιουργία του δικτύου των Υποστηρικτών του Συμφώνου. Πρόκειται για τοπικές αρχές, οι οποίες έχουν αναλάβει το ρόλο της μεγιστοποίησης του αντίκτυπου της

πρωτοβουλίας μέσω δραστηριοτήτων προώθησης, διασύνδεσης και ανταλλαγής πληροφοριών.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το Σύμφωνο των Δημάρχων, αντιμετωπίζεται από τους ευρωπαϊκούς φορείς, ως μία πρωτοβουλία ύψιστης σημασίας. Πέρα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Σύμφωνο των Δημάρχων απολαμβάνει τη θεσμική υποστήριξη πολύ σημαντικών φορέων, όπως η Επιτροπή Περιφερειών, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Στην παράγραφο 4.1.1 παρουσιάζονται χρηματοδοτικά μέσα, με τη χρήση των οποίων οι υπογράφωντες το Σύμφωνο μπορούν να αντλήσουν πόρους, με σκοπό την επίτευξη των στόχων τους.

4.1.1 Μέσα Χρηματοδότησης Συμφώνου Δημάρχων

Στην προσπάθεια την οποία καταβάλλουν οι υπογράφωντες το Σύμφωνο, να επιτύχουν ή και να υπερβούν τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 20%, είναι απαραίτητη η εύρεση χρηματοδότησης και τεχνικής υποστήριξης, μέσω των οποίων, τα Σχέδια Δράσης τους για τη Βιώσιμη Ενέργεια, θα μπορέσουν να εφαρμοστούν επιτυχώς.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται μια ενδεικτική λίστα των προγραμμάτων και πρωτοβουλιών χρηματοδότησης αλλά και τεχνικής υποστήριξης που παρέχονται στους Υπογράφωντες το Σύμφωνο.

4.1.2 Ευρωπαϊκά Κονδύλια Διαχειριζόμενα σε Εθνικό και Περιφερειακό Επίπεδο

Η Ευρωπαϊκή Πολιτική Συνοχής αποτελείται από τρία κύρια χρηματοδοτικά μέσα:

- Το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ)
- Το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ)
- Το Ταμείο Συνοχής

Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στις υπάρχουσες κατοικίες:

- Σε κάθε Κράτος Μέλος, οι δαπάνες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στις υπάρχουσες κατοικίες, θα είναι επιλέξιμες έως το 4% του συνολικού κονδυλίου του ΕΤΠΑ.
- Τα Κράτη Μέλη θα πρέπει να τροποποιήσουν τις υφιστάμενες προτεραιότητες ώστε να καταναείμουν εκ νέου τα εισπραχθέντα κεφάλαια

του ΕΤΠΑ, προς μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στις υπάρχουσες κατοικίες.

- Δεν απαιτείται επίσημη έγκριση των Επιχειρησιακών Προγραμμάτων από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
- Τα Κράτη Μέλη δεν χρειάζεται να περιμένουν προκειμένου να εφαρμόσουν τις απαραίτητες αλλαγές.

Jessica – Παροχή Τεχνικής & Οικονομικής Βοήθειας: Το Jessica – Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas (Κοινή Ευρωπαϊκή Υποστήριξη για Βιώσιμες Επενδύσεις σε Αστικές Περιοχές) – είναι μία πρωτοβουλία, η οποία αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων, σε συνεργασία με την Τράπεζα Ανάπτυξης, του Συμβουλίου της Ευρώπης. Στο πλαίσιο της υποβολής Σχεδίων Δράσης για Βιώσιμη Ενέργεια, τα Κράτη Μέλη ή οι περιφέρειες, έχουν τη δυνατότητα να κάνουν χρήση των διαρθρωτικών ταμείων, με σκοπό την υλοποίηση επενδύσεων, σε έργα τα οποία αποτελούν μέρος ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Οι εν λόγω επενδύσεις, δύνανται να έχουν τη μορφή ιδίων κεφαλαίων, δανείων ή/και εγγυήσεων.

JASPERS – Παροχή Τεχνικής Βοήθειας: Το JASPERS – Joint Assistance to Support Projects in European Regions (Κοινή Βοήθεια για τη Στήριξη Σχεδίων στις Ευρωπαϊκές Περιφέρειες) – παρέχει βοήθεια σε τεχνικό επίπεδο, σε 12 Κράτη Μέλη της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, κατά την προετοιμασία Σχεδίων για Βιώσιμη Ενέργεια, που υποβάλλονται από τοπικούς φορείς των εν λόγω κρατών, για τη χρηματοδότηση μέσω επιδοτήσεων των Διαρθρωτικών Ταμείων και του Ταμείου Συνοχής. Στόχος είναι η αύξηση της ποσότητας και της ποιότητας των Σχεδίων που θα αποστέλλονται για έγκριση στις υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η βοήθεια του JASPERS, η οποία παρέχεται δωρεάν, προσανατολίζεται στην επιτάχυνση της απορρόφησης των διαθέσιμων κεφαλαίων.

Πρόγραμμα συνεργασίας INTERREG IV A: Το πρόγραμμα υποστηρίζει την διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ όλων των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος είναι η ενίσχυση ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των περιφερειών της Ευρώπης, καθώς και η εξεύρεση λύσεων στα προβλήματα τα οποία ανακύπτουν. Η βασική ιδέα είναι η αναπαραγωγή, ταχύτερα, επιτυχημένων πολιτικών και στρατηγικών που έχουν εφαρμοστεί σε άλλες παρόμοιες περιπτώσεις. Ενίοτε, χρηματοδοτούνται πιλοτικές δράσεις και υλικές επενδύσεις.

Πρόγραμμα συνεργασίας INTERREG IV B: Στο πλαίσιο αυτού του είδους της συνεργασίας, επιτρέπονται πιλοτικά έργα, προετοιμασία επενδύσεων αλλά και περιορισμένες επενδύσεις.

4.1.3 Ευρωπαϊκά Κονδύλια Κεντρικά Διαχειριζόμενα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή

Διαπεριφερειακή συνεργασία INTERREG IV C: Πρόκειται για πρόγραμμα το οποίο εστιάζει αυστηρά στην ανταλλαγή εμπειριών και σε ορισμένες περιορισμένες πιλοτικές πρωτοβουλίες, όπως τη δοκιμή μεθοδολογιών και εργαλείων. Δεν υπάρχει δυνατότητα υλοποίησης επενδύσεων.

Πρόγραμμα URBACT: Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα ανταλλαγής και μάθησης, απευθυνόμενο σε τοπικούς φορείς που προωθούν τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Αντίστοιχο του INTERREG IV C, προωθεί την ανταλλαγή πληροφοριών και εμπειριών, χωρίς την δυνατότητα άντλησης χρηματικών πόρων για την υλοποίηση επενδύσεων.

Horizon 2020: Το πρόγραμμα Horizon 2020 (Ορίζοντας 2020), τέθηκε σε εφαρμογή το 2014, σε συνέχεια του προγράμματος Intelligent Energy – Europe (European Commission, IEE, <https://ec.europa.eu/energy/intelligent>). Το Horizon 2020, αποτελεί ένα μέσο χρηματοδότησης, το οποίο υποστηρίζεται από την εφαρμογή Innovation Union, μίας πρωτοφανούς και εμβληματικής πρωτοβουλίας, στο πλαίσιο της κίνησης «Ευρώπη 2020», η οποία έχει ως στόχο τη διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας της Ευρώπης σε παγκόσμιο επίπεδο. Το Horizon 2020, ένα πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας, 80 δις ευρώ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, θα εστιάζει στην επιστημονική αριστεία, στη βιομηχανική υπεροχή και στην αντιμετώπιση των κοινωνικών προκλήσεων.

Μηχανισμός ELENA: Το ELENA – European Local Energy Assistance (Ευρωπαϊκή Βοήθεια για Τοπικά Ενεργειακά Προγράμματα), είναι ένας μηχανισμός που παρέχει επιδοτήσεις για τεχνική βοήθεια. Περιέχει ένα ευρύ φάσμα επιλέξιμων πηγών χρηματοδότησης και παροχής τεχνικής βοήθειας για τους υπογράφοντες το Σύμφωνο, οι οποίες περιλαμβάνουν: μελέτες σκοπιμότητας και αγοράς, κατάστρωση επενδυτικών προγραμμάτων και επιχειρησιακών σχεδίων, ενεργειακούς ελέγχους, προετοιμασία διαδικασιών για την υποβολή προσφορών και συμβατικών διακανονισμών καθώς και ανάθεση της διαχείρισης των επενδυτικών προγραμμάτων. Πρωταρχικός στόχος είναι η σύμπτυξη των επιμέρους τοπικών Σχεδίων Δράσης σε μορφή μεγαλύτερων επενδύσεων έτσι ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερες πιθανότητες έγκρισης. Οι δράσεις που παρουσιάζονται στα Σχέδια αυτά των Δήμων και των Περιφερειών, αλλά και τα επενδυτικά προγράμματα, πρέπει να χρηματοδοτούνται από άλλα μέσα, όπως δάνεια, την ΕΕΥ ή τα Διαρθρωτικά Ταμεία. Η κύρια χρηματοδότηση του μηχανισμού ELENA προέρχεται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα, Ευφυής Ενέργεια, με έναν ετήσιο προϋπολογισμό της τάξης των 15 εκατομμυρίων ευρώ. Στο μηχανισμό ELENA συμπεριλαμβάνονται διάφορες επιπρόσθετες δράσεις:

- **ELENA-KfW:** Αυτός ο νέος μηχανισμός τεχνικής βοήθειας δημιουργήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με το γερμανικό όμιλο KfW. Στήριζει επενδυτικά σχέδια μεσαίου μεγέθους με κόστος χαμηλότερο των 50 εκ. ευρώ εστιάζοντας στις πιστώσεις ρύπων.
- **ELENA-CEB:** Το ELENA-CEB έχει αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με την Τράπεζα Ανάπτυξης του Συμβουλίου της Ευρώπης με σκοπό να παρέχει τεχνική βοήθεια για την ανάπτυξη επενδυτικών σχεδίων, στόχος των οποίων είναι η κοινωνική στέγαση.
- **EBRD-ELENA:** Ο μηχανισμός EBRD-ELENA στηρίζει την προετοιμασία και την κινητοποίηση χρηματοδοτικών πόρων για επενδύσεις στη βιώσιμη ενέργεια από τοπικές και περιφερειακές αρχές καθώς και άλλους δημόσιους οργανισμούς. Ο μηχανισμός θα καλύπτει έως και το 90% του συνολικού κόστους τεχνικής υποστήριξης που απαιτείται για την προετοιμασία και εφαρμογή επενδύσεων για βιώσιμη ενέργεια σε επίπεδο Δήμων και Περιφερειών, όπως ενεργειακές και οικονομικές μελέτες, προσδιορισμός και προετοιμασία Σχεδίων, επιχειρηματικός σχεδιασμός, δημιουργία μονάδων υλοποίησης των Σχεδίων, σύνταξη φακέλων πρόσκλησης υποβολής προσφορών και εκκίνηση της διαδικασίας υποβολής προσφορών. Ο μηχανισμός υποστηρίζει πέντε είδη επενδυτικών σχεδίων ενεργειακής απόδοσης με τη χρηματοδότηση του EBRD:
 1. Σχέδια που αφορούν δημοτικά κτήρια
 2. Σχέδια για τη θέρμανση αστικών περιοχών.
 3. Σχέδια για αστικές μεταφορές.
 4. Σχέδια για τοπικές υποδομές
 5. Επενδύσεις σε υποδομές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

Πρωτοβουλία Smart Cities: Στους υπογράφοντες το Σύμφωνο, στα πλαίσια της πολιτικής δέσμευσής τους, για την επίτευξη των στόχων του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και μείωσης των εκπομπών, παρέχεται ένα ακόμη εργαλείο από το οποίο μπορούν να επωφεληθούν. Η πρωτοβουλία Smart Cities (Εξυπνες Πόλεις) θα υποστηρίξει έναν περιορισμένο αριθμό ευρύτερων Σχεδίων, εστιασμένων στον τεχνολογικό τομέα, που υποβάλλονται από πόλεις και περιφέρειες και περιλαμβάνουν πρωτοπόρα μέτρα για τη βιώσιμη χρήση και παραγωγή ενέργειας. Η εν λόγω κίνηση, θα βασιστεί σε υπάρχουσες πρωτοβουλίες του Στρατηγικού Σχεδίου Ενεργειακών Τεχνολογιών (ΣΣΕΤ), ιδιαίτερα στην Πρωτοβουλία Solar Europe και στην Πρωτοβουλία European Electricity Grid όπως και σε μια σύμπραξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα για Κτίρια και Πράσινα Αυτοκίνητα σε Πανευρωπαϊκό επίπεδο, η οποία δημιουργήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Σχεδίου για την Ανάκαμψη της Οικονομίας.

Ευρωπαϊκό Ταμείο Ενεργειακής Απόδοσης: Πρόκειται για ένα νεοσυσταθέν ταμείο επενδύσεων για Σχέδια Ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, το οποίο

δημιουργήθηκε το 2011. Το ταμείο αυτό θα χρησιμοποιεί σαν βασική χρηματοδότηση τα 146 εκ. ευρώ από το Ευρωπαϊκό Σχέδιο για την Ανάκαμψη της Οικονομίας τα οποία δεν έχουν δαπανηθεί και θα συμπληρωθεί με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων. Το ταμείο θα εστιάσει σε επενδύσεις σε κτιριακές και ενεργειακές υποδομές σε τοπικό επίπεδο, σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθώς και σε ενεργειακά αποδοτικότερες αστικές μετακινήσεις.

Μηχανισμός χρηματοδότησης των Δήμων – Municipal Finance Facility (MFF):

Το Municipal Finance Facility είναι μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της Ευρωπαϊκής Τράπεζας για την Ανασυγκρότηση και την Ανάπτυξη (ΕΤΑΑ). Αφορά τις χώρες οι οποίες εντάχθηκαν στην ΕΕ το 2004 (Τσεχία, Εσθονία, Ουγγαρία, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία, Σλοβακία και Σλοβενία, Βουλγαρία και Ρουμανία) και έχει ως κύριο σκοπό την προώθηση δανεισμού μικρών και μεσαίων Δήμων των εν λόγω χωρών, από εμπορικές τράπεζες, για την άντληση χρηματικών πόρων απαραίτητων για την επιτυχή εφαρμογή των Σχεδίων Δράσης για Βιώσιμη Ενέργεια. Παράλληλα με τους Δήμους και τις Περιφέρειες, προωθείται και ο αντίστοιχος δανεισμός των Επιχειρήσεων Διανομής Ενέργειας των χωρών αυτών, από εμπορικές τράπεζες.

4.2 ΤΟ ΣΥΜΦΩΝΟ ΤΩΝ ΝΗΣΙΩΝ

Το Σύμφωνο των Νησιών είναι μια εθελοντική πολιτική δέσμευση που αποτελεί το εργαλείο με το οποίο οι αρχές των νησιών θα εισάγουν στην πολιτική τους την υποχρέωση να βοηθήσουν την επίτευξη των στόχων αειφορίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2020. Το Σύμφωνο των Νησιών είναι διαμορφωμένο με παρόμοιο τρόπο όπως το Σύμφωνο των Δημάρχων και λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες των Ευρωπαϊκών νησιών. Οι υπογράφωντες το Σύμφωνο των Νησιών αναλαμβάνουν σημαντικές δεσμεύσεις όπως:

- Την υπέρβαση των στόχων που έθεσε η Ε.Ε. για το 2020, μειώνοντας τις εκπομπές CO₂ στις επικράτειές τους κατά τουλάχιστον 20%.
- Την υποβολή ενός Αειφόρου Νησιωτικού Ενεργειακού Σχεδίου Δράσης (ISEAP), το οποίο θα περιλαμβάνει μια απογραφή εκπομπών, και θα περιγράφει πως θα επιτευχθούν οι στόχοι καθώς και τα χρηματοδοτήσιμα έργα προτεραιότητας.
- Την υποβολή έκθεσης υλοποίησης τουλάχιστον κάθε δεύτερο χρόνο μετά την υποβολή του Σχεδίου Δράσης για αξιολόγηση, για σκοπούς εποπτείας και επαλήθευσης.
- Την διοργάνωση Ημερών Ενέργειας, σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς, επιτρέποντας στους πολίτες να επωφεληθούν άμεσα από τις ευκαιρίες και τα παρεχόμενα πλεονεκτήματα της ευφυούς χρήσης της ενέργειας και να

πληροφορούν τακτικά τα τοπικά μέσα για τις εξελίξεις αναφορικά με την πρόοδο του Σχεδίου Δράσης.

- Την παρακολούθηση και συνεισφορά στις εκδηλώσεις που διοργανώνονται από Ευρωπαϊκά Ιδρύματα, σχετικά με το Σύμφωνο των Νησιών και το Σύμφωνο των Δημάρχων.
- Την κινητοποίηση ενεργειακά αειφόρων επενδύσεων στις αντίστοιχες επικράτειές τους.

4.2.1 Πηγές Χρηματοδότησης Συμφώνου των Νησιών

Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Ενεργειακής Ανάκαμψης – European Energy Recovery Program (EERP): Τον Μάρτιο του 2009 η Ε.Ε. διέθεσε 3,98 δισεκατομμύρια ευρώ για να βοηθήσει στην ανάκαμψη της Ευρωπαϊκής οικονομίας. Στις 4 Μαρτίου 2010, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επέλεξε 43 κύρια διασυνοριακά έργα υποδομής, επιχορηγώντας με 2,3 δισεκατομμύρια ευρώ 31 σημαντικά έργα φυσικού αερίου και 12 έργα ηλεκτρικών διασυνδέσεων. Είναι το μεγαλύτερο ποσό που η Ε.Ε. έχει δαπανήσει ποτέ για ενεργειακές υποδομές. Με τη συγχρηματοδότηση τμημάτων αυτών των έργων μέχρι και 50%, η συνεισφορά της Ε.Ε. θα βοηθήσει στην αύξηση των επενδύσεων του ιδιωτικού τομέα κατά 22 δισεκατομμύρια. Δυστυχώς, οι περισσότερες από αυτές τις επενδύσεις υποδομών αφορούν συμβατικές μορφές ενέργειας και τη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα. Στις 9 Δεκεμβρίου 2009, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε 15 έργα στο πλαίσιο του προγράμματος EEPR στους τομείς της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) και της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Το συνολικό ποσό της χρηματοδοτικής στήριξης σε εννέα έργα υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι 565 εκατομμύρια ευρώ.

Το Σύμφωνο των Δημάρχων & το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Ενεργειακής Ανάκαμψης: Τον Ιανουάριο του 2008, σχεδόν 100 δήμαρχοι από όλη την Ευρώπη υπέγραψαν το υποστηριζόμενο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή «Σύμφωνο των Δημάρχων», μια δέσμευση από τους Δημάρχους να υπερβούν τον στόχο μείωσης των εκπομπών κατά 20% το 2020, που έθεσε η Ε.Ε. Από τότε και μέχρι τον Ιανουάριο του 2011 σχεδόν 2200 τοπικές Ευρωπαϊκές αρχές έχουν υπογράψει το Σύμφωνο. Η πρωτοβουλία έχει λάβει επαίνους από τους ηγέτες της Ε.Ε., ωστόσο λειτουργεί με ένα σχετικά λιτό προϋπολογισμό. Τον Μάιο του 2010 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποσχέθηκε να αυξήσει σημαντικά το διαθέσιμο ποσό για τη χρηματοδότηση τέτοιων έργων, χρησιμοποιώντας αδιάθετα χρήματα από το Ευρωπαϊκό ενεργειακό πρόγραμμα για την ανάκαμψη (EERP) σύμφωνα με τον κανονισμό 1233/2010. Ο Επίτροπος Ενέργειας της Ε.Ε. Oettinger ανέφερε ότι 146 εκατομμύρια ευρώ αδιάθετων κονδυλίων θα γίνουν διαθέσιμα για την ενίσχυση τοπικών και αστικών ενεργειακών έργων. Οι αρχές των νησιών που έχουν υπογράψει το Σύμφωνο των Δημάρχων θα δικαιούνται να λάβουν μέρος αυτής της χρηματοδότησης.

NER 300: Το “NER300” είναι ένα χρηματοοικονομικό εργαλείο το οποίο διαχειρίζονται από κοινού η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και τα Κράτη Μέλη (www.ner300.com). Το άρθρο 10 (α) 8 της αναθεωρημένης οδηγίας περί εμπορίας εκπομπών 2009/29/ΕΚ περιέχει την πρόβλεψη να διαθέσει 300 εκατομμύρια δικαιώματα CO₂ στο απόθεμα για τους νεοεισερχόμενους στο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (ΣΕΕ), για την επιδότηση εγκαταστάσεων καινοτόμων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS). Τα μερίδια θα πωλούνται στην αγορά του άνθρακα και το ποσό που θα συγκεντρωθεί – το οποίο μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 4,5 δισεκατομμύρια ευρώ, αν κάθε μερίδιο πωλείται προς 15 ευρώ - θα διατεθεί για την συγχρηματοδότηση τέτοιων έργων. Το δεύτερο εξάμηνο του 2011 τα Κράτη-Μέλη θα μπορούν να διαπραγματευθούν με την Επιτροπή συγκεκριμένα έργα που θα επιθυμούσαν να υλοποιήσουν. Θα πρέπει ωστόσο, ως σύνολο, να συμφωνήσουν στο χαρτοφυλάκιο των επιτυχουσών προτάσεων πριν η Επιτροπή δεσμευτεί ότι θα χρηματοδοτήσει κάποιο έργο.

ELENA FACILITY: Για να διευκολυνθεί η κινητοποίηση κεφαλαίων για επενδύσεις στην αειφόρο ενέργεια σε τοπικό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων έχει ιδρύσει το μέσο παροχής τεχνικής βοήθειας ELENA (European Local ENergy Assistance), που χρηματοδοτείται μέσω του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη». Το ELENA καλύπτει ένα μέρος του κόστους της τεχνικής υποστήριξης που είναι αναγκαία για την προετοιμασία, την υλοποίηση και την χρηματοδότηση του επενδυτικού προγράμματος, όπως είναι οι μελέτες σκοπιμότητας και αγοράς, ο σχεδιασμός προγραμμάτων, τα επιχειρηματικά σχέδια, οι ενεργειακές επιθεωρήσεις, η προετοιμασία όρων προσφορών, και συνοπτικά, οτιδήποτε είναι αναγκαίο για να καταστούν τα αειφόρα ενεργειακά έργα των πόλεων έτοιμα για χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕΠ).

Επενδύσεις Ιδιωτικού Κεφαλαίου: Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι υπάρχουν ακόμη σημαντικά περιθώρια για ανάπτυξη των επενδύσεων με ιδιωτικά κεφάλαια στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη. Ο χρηματοοικονομικός τομέας, συμπεριλαμβανομένων των ιδιωτικών μετοχικών κεφαλαίων και κεφαλαίων επιχειρηματικού κινδύνου, πρέπει να προσαρμόσει το προφίλ κινδύνου, για να μπορεί να επενδύσει περισσότερο στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ) με δυνητικά μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων αυξάνει τη διάθεση πόρων σε ενεργειακά έργα (7 δις/έτος για το 2009 και το 2010) και έχει ενισχύσει τη συμβολή της στους τομείς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και της Ενεργειακής Απόδοσης. Σκοπεύει να υποστηρίξει τις λιγότερο ώριμες αγορές εντός και εκτός της Ε.Ε. και να ευνοήσει την ανάπτυξη λιγότερο αναπτυγμένων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (όπως η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα ή τα βιοκαύσιμα).

4.3 ΔΙΕΘΝΗ & ΕΓΧΩΡΙΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Θα πρέπει να θεωρείται δεδομένο, πως ήδη σε Ευρωπαϊκό αλλά και διεθνές επίπεδο, έχει ήδη ξεκινήσει η μετάβαση σε νέες τεχνολογίες φωτισμού του αστικού ιστού, με κύριους εκφραστές αυτής της προσπάθειας, μεγάλα αστικά κέντρα, σε χώρες με ισχυρές οικονομίες, όπως η Γαλλία, η Γερμανία, η Μεγάλη Βρετανία και οι Σκανδιναβικές χώρες, χωρίς αυτό, βέβαια, να σημαίνει πως δεν υπάρχουν παραδείγματα και από την υπόλοιπη Ευρώπη.

4.3.1 Άγκντ (Agde) – Γαλλία

Παραθαλάσσια περιοχή της Νότιας Γαλλία, με 22.800 κατοίκους, πλησίον της Μονπελιέ. Αποτελεί τουριστικό θέρετρο, με πληθώρα μνημείων και κλασσικών κτιρίων. Λόγω της παλαιότητας της πόλης, υπήρχε η απαίτηση, αρχικά αναβάθμισης της συνολικής υποδομής του ηλεκτρικού δικτύου, ενώ στον τομέα του αστικού φωτισμού οι επιλογές έπρεπε να είναι τέτοιες ώστε να αναδεικνύεται η κλασσική αύρα της πόλης, με παράλληλη στροφή προς πρακτικές βιώσιμης ενέργειας. Οι αρχές της πόλης, ανέθεσαν το έργο μέσω διαγωνισμού σε ιδιωτική εταιρία (Citelum), το 2007, με τα αποτελέσματα να είναι τα εξής:

- Αλλαγή του 81% της υπάρχουσας εγκατάστασης, των 10.077 λαμπτήρων.
- Αύξηση των φωτιστικών σωμάτων κατά 8,5%.
- Χρήση λαμπτήρων led, λευκού (θερμού) φωτός.
- Εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων με δυνατότητα λειτουργίας μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ.
- Εγκατάσταση συστήματος τηλεχειρισμού και διαχείρισης πραγματικού χρόνου, όλης της εγκατάστασης.
- Εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 22%



ΕΙΚΟΝΑ 4.1 – Φωτιστική εγκατάσταση, Agde, Γαλλία

4.3.2 Κοπεγχάγη (Copenhagen) – Δανία

Πρωτεύουσα της Δανίας, η Κοπεγχάγη, μια πόλη 530.000 κατοίκων αποτελεί, ίσως σε παγκόσμιο επίπεδο, την πρωτοπόρο σε εφαρμογή οικολογικών τεχνολογιών βιώσιμης ενέργειας, στα πλαίσια της προσπάθειάς της να είναι η πρώτη πόλη στον κόσμο με μηδενικές εκπομπές CO₂, έως το 2025. Στην πορεία προς αυτό το σκοπό, το πρόγραμμα αναβάθμισης του αστικού δικτύου φωτισμού της Κοπεγχάγης επιδεικνύει τα εξής:

- Αντικατάσταση 20.000 λαμπτήρων, με νέους, τεχνολογίας LED.
- Αντικατάσταση 8.000 φωτιστικών σωμάτων, με νέα, τα οποία κάνουν χρήση αισθητήρων κίνησης, καιρικών συνθηκών και οδικής κυκλοφορίας, ενώ είναι εξοπλισμένα με ασύρματη τεχνολογία δικτύωσης.
- Εγκατάσταση συστήματος dimming, το οποίο λειτουργεί σε σύζευξη με τους παραπάνω αισθητήρες.
- Χρήση υπερσύγχρονου συστήματος ελέγχου και επίβλεψης του φωτιστικού δικτύου, με χρήση ασύρματης τεχνολογίας ασφαλούς σύνδεσης.
- Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 57% και των εκπομπών CO₂ κατά 50%.





ΕΙΚΟΝΑ 4.2 – Φωτιστικές εγκαταστάσεις, Κοπεγχάγη, Δανία

4.3.3 Μαδρίτη (Madrid) – Ισπανία

Πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη της Ισπανίας, η Μαδρίτη των 3,5 εκατομμυρίων κατοίκων, έχει καταστρώσει σε συνεργασία με τη Philips, το μεγαλύτερο σχέδιο αναβάθμισης αστικού φωτισμού, παγκοσμίως.

- Αντικατάσταση του 100% της υπάρχουσας εγκατάστασης των 225.000 λαμπτήρων.
- Χρήση 84.000 λαμπτήρων τεχνολογίας LED.
- Οι υπόλοιποι 141.000 ενεργειακά αποδοτικότεροι λαμπτήρες, θα κάνουν χρήση τεχνολογιών βιώσιμης ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετημένα στα φωτιστικά σώματα.
- Χρήση συστήματος κεντρικού ελέγχου, πραγματικού χρόνου, του συστήματος και δυνατότητα καθορισμού του επιπέδου φωτισμού, μέσω συνεχόμενης διαβάθμισης (dimming).
- Εξοικονόμηση ενεργειακής κατανάλωσης, της τάξης του 44%, με τα οικονομικά οφέλη, να χρησιμοποιούνται για την χρηματοδότηση της επένδυσης, έτσι ώστε τελικά η επιβάρυνση των δημοτών να είναι μηδενική.

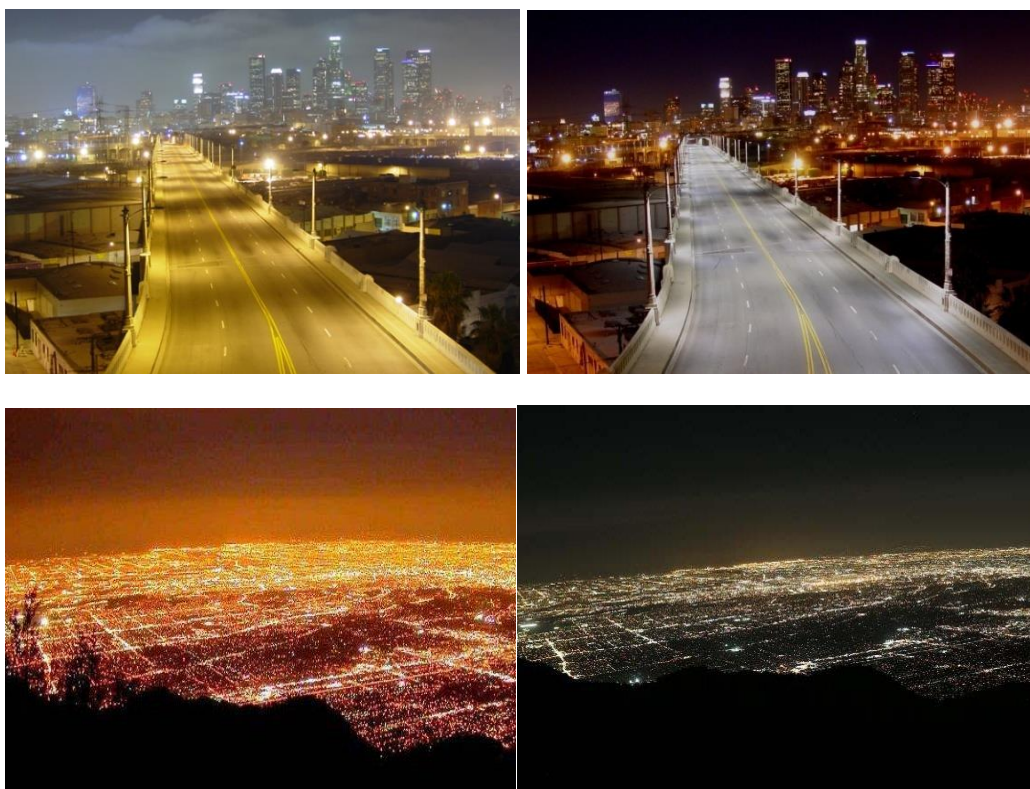


ΕΙΚΟΝΑ 4.3 – Λαμπτήρας τεχνολογίας LED, Μαδρίτη, Ισπανία

4.3.4 Λος Άντζελες (Los Angeles) – Η.Π.Α

Η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη των Η.Π.Α, με πληθυσμό 4 εκατομμύρια κατοίκους, το Los Angeles, έχει ήδη από το 2012 εφαρμόσει το μέχρι πρότινος μεγαλύτερο σχέδιο αναβάθμισης οδοφωτισμού. Τα έξοδα για το φωτισμό της πόλης, αποτελούσαν το 30% του συνολικού της προϋπολογισμού, σε ετήσια βάση. Χρησιμοποιήθηκε εξ ολοκλήρου τεχνολογία LED στο κομμάτι των λαμπτήρων και πραγματικά οι αριθμοί είναι εντυπωσιακοί:

- Αντικατάσταση 209.000 λαμπτήρων με νέους, τεχνολογίας LED.
- Χρήση ελεγχόμενου συστήματος dimming, συνεχούς διαβάθμισης έντασης φωτισμού.
- Μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 40%, που αντιστοιχεί σε 40.500 tn CO₂.
- Μείωση κατά 63% της ενεργειακής κατανάλωσης (αξίζει να σημειωθεί πως οι αρχικές εκτιμήσεις, έκαναν λόγο για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, κοντά στο 40%)
- Συμπεριλαμβανομένων των εξόδων συντήρησης, υπολογίζεται πως το 2017, τα οφέλη από την εν λόγω επένδυση, θα αγγίζουν τα 10 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο.
- Σημαντικότερη μείωση του φαινομένου της φωτορύπανσης.



ΕΙΚΟΝΑ 4.4 – Χαρακτηριστική απεικόνιση των διαφορών πριν & μετά τη χρήση LED, Λος Άντζελες, ΗΠΑ

4.3.5 Δήμος Μαλεβιζίου, Κρήτη

Ο Δήμος Μαλεβιζίου αποτελεί Δήμο που συστάθηκε μέσω του προγράμματος Καλλικράτης. Προέκυψε από τη συνένωση των προϋπαρχόντων Δήμων Γαζίου, Κρουσώνα και Τυλίσου, ενώ ο πληθυσμός του ανέρχεται σε 25.000 κατοίκους. Μέσω του προγράμματος JESSICA (βλ. Κεφάλαιο 3) προέβη σε κατάστρωση σχεδίου για την αναβάθμιση του αστικού φωτισμού.

- Αντικατάσταση περίπου 3.000 λαμπτήρων τεχνολογίας φθορισμού, ατμών υδραργύρου και ατμών υψηλής πίεσης νατρίου, με νέους, τεχνολογίας LED.
- Εγκατάσταση συστήματος dimming, συνεχούς διαβάθμισης της φωτεινής έντασης.
- Εκτιμώμενη ενεργειακή εξοικονόμηση της τάξης των 550.000 kWh, που μεταφράζεται σε ποσοστιαία εξοικονόμηση ενέργειας, της τάξης του 71,5%
- Αντίστοιχη μείωση των εκπομπών CO₂, 70% ή 470 tn CO₂.
- Μείωση του κόστους συντήρησης, η οποία προκύπτει κυρίως από την εγγύηση κατασκευαστή των νέων λαμπτήρων και τον σαφώς αυξημένο αναμενόμενο χρόνο ζωής, η οποία αγγίζει το εντυπωσιακό 99%.

5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΟΔΟ ΚΑΡΑΟΛΗ & ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται και αξιολογούνται τρία πιθανά σενάρια αναβάθμισης της υπάρχουσας κατάστασης των εγκαταστάσεων αστικού φωτισμού, επί της οδού Καραολή & Δημητρίου, στο Δήμο Βύρωνα.

Η οδός Καραολή & Δημητρίου αποτελεί βασικό οδικό άξονα του Δήμου Βύρωνα, με έντονες εμπορικές δραστηριότητες καθώς και υψηλή κυκλοφορία οχημάτων και πεζών, τόσο κατά τις πρωινές όσο και κατά τις απογευματινές – βραδινές ώρες. Πρόκειται για οδό δύο κατευθύνσεων, όπου ενδιάμεσά τους βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα πάρκα του Δήμου, σε όλο το μήκος της.

Η οικονομική ανάλυση, εκπονήθηκε για τη συγκεκριμένη οδό, με σκοπό να αντληθούν πληροφορίες οι οποίες κατά τη συνέχεια θα μπορούν να χρησιμεύσουν κατά την επέκταση της αναβάθμισης των φωτιστικών εγκαταστάσεων, στο σύνολο του Δήμου.

Τα τρία σενάρια τα οποία κατασκευάστηκαν, αφορούν στην αντικατάσταση φωτιστικών σωμάτων, της παρούσας κατάστασης, με νέα, τεχνολογίας LED. Στο σύνολό τους, τα αναφερθέντα σενάρια, θα αξιολογηθούν με όρους Καθαρής Παρούσας Αξίας, σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας, με στόχο να υπολογιστεί το συνολικό κόστος φωτισμού, λαμβάνοντας υπόψη την διαφορετική χρονική κατανομή των σχετικών δαπανών. Συγκεκριμένα:

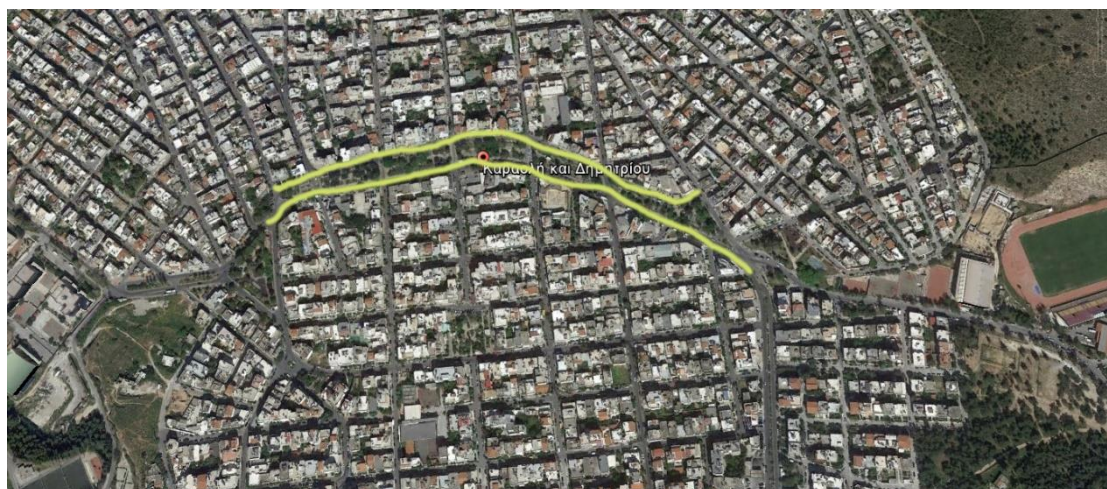
- Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων τα οποία κάνουν χρήση λαμπτήρων ατμών υψηλής πίεσης υδραργύρου. Εξετάζεται πρώτο, καθώς σύμφωνα με τις επιταγές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι λαμπτήρες υδραργύρου, θα πρέπει σταδιακά να αποσυρθούν από τις εφαρμογές αστικού φωτισμού.
- Το δεύτερο σενάριο κατασκευάστηκε, με στόχο να αναλυθεί οικονομικά, η πιθανή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων τα οποία κάνουν χρήση λαμπτήρων τεχνολογίας ατμών υψηλής πίεσης νατρίου. Δεν αφορά στο σύνολο των λαμπτήρων νατρίου, παρά μόνο σε αυτούς με ονομαστική ισχύ 250 Watt.

- Το τρίτο σενάριο, αποτελεί το συνδυασμό των δύο πρώτων, με στόχο να αναλυθεί οικονομικά μία αναβάθμιση μεγάλης κλίμακας, κατά την οποία θα έχουμε αντικατάσταση του μεγαλύτερου μέρους της παρούσας φωτιστικής εγκατάστασης.

Από τη συγκριτική αξιολόγηση των τριών σεναρίων, με τη χρήση του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσας Αξίας, θα προκύψει αυτό το οποίο θεωρείται το πιο οικονομικά συμφέρον για το Δήμο, σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας.

Επίσης, θα πραγματοποιηθεί μία Ανάλυση Ευαισθησίας, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν η ιεράρχηση των σεναρίων που προέκυψε είναι ευαίσθητη σε πιθανές μεταβολές κρίσιμων παραμέτρων. Ειδικότερα, θα εξετασθούν μεταβολές:

- **Στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας:** Θα εξετασθούν οι περιπτώσεις αύξησης κατά 5% και 15% αντίστοιχα, στην τιμή βάσης 0,13 € ανά kWh.
- **Στο κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων τεχνολογίας LED:** Θα εξετασθούν οι περιπτώσεις αύξησης του κόστους κατά 10% αλλά και της πιθανής μείωσής του, κατά 10% αντίστοιχα.



ΕΙΚΟΝΑ 5.1 – Δορυφορική απεικόνιση της οδού Καραολή & Δημητρίου, Δήμος Βύρωνα

5.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Ο Δήμος Βύρωνα έχει προχωρήσει μέσω της Τεχνικής του Υπηρεσίας, στη χαρτογράφηση της οδού, σε επίπεδο μετρητών και φωτιστικών σωμάτων. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Δήμου, η οδός Καραολή & Δημητρίου, καλύπτεται από τρεις μετρητές ηλεκτρικής κατανάλωσης, στους οποίους αντιστοιχούν φωτιστικά σώματα και λαμπτήρες, όπως φαίνονται στον Πίνακα 5.1. Ο πρώτος μετρητής με Αριθμό Μητρώου Δ.Ε.Η 08064698, βρίσκεται στη 78

συμβολή των οδών Καραολή & Δημητρίου – Γρηγορίου Ε', ο δεύτερος με Αριθμό Μητρώου Δ.Ε.Η 18522899 στη συμβολή των οδών Καραολή & Δημητρίου – Παλαιών Πατρών Γερμανού και ο τρίτος, με Αριθμό Μητρώου Δ.Ε.Η 18522914 βρίσκεται επί της οδού Καραολή & Δημητρίου, στον αρ. 105.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 – Στοιχεία φωτιστικής εγκατάστασης στην οδό Καραολή & Δημητρίου

ΑΜ ΜΕΤΡΗΤΗ	ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ			
	Τεμάχια	Watt	Τύπος	Ύψος Ιστού
18522899	22	250	Na	9 m
	22	70	Na	3 m
	45	125	Hg	3 m
08064698	20	250	Na	9 m
	20	70	Na	3 m
	28	125	Hg	3 m
18522914	17	250	Na	9 m
	17	70	Na	3 m
	20	125	Hg	3 m

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.1, για το φωτισμό της οδού Καραολή & Δημητρίου, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τύποι λαμπτήρων. Ατμών υψηλής πίεσης Νατρίου και ατμών υψηλής πίεσης Υδραργύρου. Οι λαμπτήρες Νατρίου, χωρίζονται σε 250 Watt και 70 Watt, ενώ οι Υδραργύρου αποτελούνται από λαμπτήρες αποκλειστικά 125 Watt.

Στον Πίνακα 5.2 αποτυπώνεται η συγκεντρωτική κατάσταση των φωτιστικών σωμάτων της οδού και το ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο λαμπτήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 – Συγκεντρωτικά στοιχεία φωτιστικών σωμάτων και ποσοστά ενεργειακής κατανάλωσης

Συγκεντρωτικά Στοιχεία Φωτιστικών Σωμάτων		
Τύπος	Τεμάχια	Συνολικά Watt
250 Na	59	14750
70 Na	59	4130
125 Hg	93	11625
Σύνολο Δρόμου (Watt)		30505
% 250 Na		48,35
% 70 Na		13,54
% 125 Hg		38,11

Τα στοιχεία που αφορούν στο κόστος της ηλεκτρικής κατανάλωσης, ελήφθησαν απευθείας από τους επίσημους λογαριασμούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρικής Ενέργειας, οι οποίοι παραχωρήθηκαν από το Δήμο στα πλαίσια συνεργασίας του για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας και εξετάσθηκαν σε βάθος τριετίας, δηλαδή την περίοδο 2011 έως και 2013. Παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.3 και αποτελούν τα επίσημα στοιχεία για το έτος 2011. Αξίζει να σημειωθεί πως οι διαφορές ανάμεσα στις τιμολογήσεις κατά τα έτη 2011 – 2013 είναι πολύ μικρές, σε βαθμό που να θεωρούνται αμελητέες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 – Κατανάλωση και κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ανά μετρητή

ΑΜ Μετρητή	Περίοδος Κατανάλωσης	kWh	Πληρωτέα
08064698	23/12/2010 – 21/12/2011	58191	7267,67
18522899	23/12/2010 – 21/12/2011	48758	6279,78
18522914	23/12/2010 – 21/12/2011	23692	3395,71
ΣΥΝΟΛΟ			17303,2

Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Βύρωνα, η συχνότητα αλλαγής των λαμπτήρων Νατρίου, είναι μία φορά ανά έτος ενώ για τους λαμπτήρες Υδραργύρου φτάνει τις τρεις φορές ετησίως. Οι μετασχηματιστές, ανεξαρτήτως τύπου λαμπτήρα, αντικαθιστώνται με νέους ανά τριετία.

Τα κόστη των παραπάνω, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Τεχνικής και Οικονομικής Υπηρεσίας του Δήμου Βύρωνα, συνοψίζονται στον Πίνακα 5.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 – Κόστη λαμπτήρων και μετασχηματιστών

Τύπος Λαμπτήρα	Κόστος Λαμπτήρα	Κόστος Μετασχηματιστή
250 Watt Na	11,5 €/τεμάχιο	11,5 €/τεμάχιο
70 Watt Na	7,6 €/τεμάχιο	0
125 Watt Hg	1,98 €/τεμάχιο	5,3 €/τεμάχιο

Βάσει των παραπάνω στοιχείων, προκύπτει η αντιστοίχιση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και των τύπων των χρησιμοποιούμενων λαμπτήρων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5 – Αντιστοίχιση ετήσιου κόστους κατανάλωσης και τύπων λαμπτήρων

Τύπος Λαμπτήρα	Ποσοστό Ηλεκτρικής Κατανάλωσης	Ετήσιο Κόστος Κατανάλωσης (€)
250 Watt Na	48,35%	8366,1
70 Watt Na	13,54%	2342,85
125 Watt Hg	38,11%	6594,25
ΣΥΝΟΛΟ		17303,2

Για την ανάλυση των τριών σεναρίων, τα οποία αναφέρονται στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου αλλά και της παρούσας κατάστασης, εφαρμόζεται το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value – NPV). Οι παραδοχές που έγιναν στα πλαίσια της ανάλυσης παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Η τιμή της kWh ορίζεται στα 0,13€, σύμφωνα με τα στοιχεία του επίσημου τιμοκαταλόγου της Δ.Ε.Η. Συγκρινόμενη με το μέσο όρο της τιμής της kWh, όπως προκύπτει από τα στοιχεία των τριών μετρητών, παρατηρείται πως οι δύο, βρίσκονται σε απόλυτη ταύτιση.
- Σαν χρόνος ημερήσιας λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων, επιλέχθηκαν οι δέκα (10) ώρες. Η τιμή αυτή αποτελεί το μέσο όρο ημερήσιας λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων, σε περίοδο ενός έτους, καθώς έξι από τους δώδεκα μήνες τα φωτιστικά λειτουργούν 9 ώρες ανά ημέρα και τους υπόλοιπους έξι, λειτουργούν 11 ώρες ημερησίως.
- Για τον υπολογισμό του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά φωτιστικό σώμα, από τα φωτιστικά τεχνολογίας LED, χρησιμοποιήθηκε ο εξής τύπος:

$$\text{Κόστος} = \frac{\text{Watt} * 365 \text{ ημέρες} * 10 \text{ ώρες ανά ημέρα} * 0,13\text{€ ανά kWh}}{1000 \text{ Watt ανά kWh}}$$

- Σχετικά με την ισχύ των φωτιστικών LED, τα οποία προορίζονται για την αντικατάσταση των υπαρχόντων φωτιστικών, επιλέχθηκαν φωτιστικά LED 80 Watt για την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούν λαμπτήρες 250 Watt Na, ενώ για τα φωτιστικά που χρησιμοποιούν λαμπτήρες 125 Watt Hg, επιλέχθηκαν φωτιστικά LED 55 Watt. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από τις προτάσεις μεγάλων κατασκευαστών φωτιστικών σωμάτων (Philips, Sylvania, OSRAM) και από μελέτες της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Βύρωνα, στα πλαίσια της ενεργοποίησης του Δήμου για την εφαρμογή ενεργειακά βιώσιμων πρακτικών.
- Η τιμή των φωτιστικών 80 Watt LED, διαμορφώνεται στα 450 € ανά φωτιστικό σώμα. Αντίστοιχα, τα φωτιστικά των 55 Watt, έχουν ένα κόστος της τάξεως των 370 €. Οι τιμές προκύπτουν σαν μέσος όρος των τιμών των αντίστοιχων φωτιστικών σωμάτων μεγάλων κατασκευαστών, όπως αναφέρονται στους επίσημους τιμοκαταλόγους αυτών.
- Ανεξαρτήτως κατασκευαστή, για τα φωτιστικά σώματα που κάνουν χρήση τεχνολογίας LED, παρέχεται επίσημη εγγύηση πενταετούς διάρκειας η οποία καλύπτει το φωτιστικό σώμα στο σύνολό του.

- Η συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων LED αφορά στην αλλαγή της πλακέτας των λαμπτήρων, η οποία σύμφωνα με τις πιο συντηρητικές προβλέψεις, ανεξαρτήτως κατασκευαστή, χρειάζεται αλλαγή κάθε 4 χρόνια. Το κόστος της πλακέτας στα φωτιστικά σώματα των 80 Watt ανέρχεται στα 100 € και το αντίστοιχο για τα φωτιστικά σώματα των 55 Watt, στα 80€.
- Το επιτόκιο που επιλέχθηκε κατά την εφαρμογή του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσας Αξίας, είναι το 5%, καθώς ο Δήμος θεωρείται μη κερδοσκοπικός φορέας, συνεπώς έγινε η επιλογή ενός επιτοκίου κοντά στο ισχύον τραπεζικό.
- Αναφορικά με την παρούσα κατάσταση, βάσει των επισήμων στοιχείων της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Βύρωνα, το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων Na, ονομαστικής ισχύος 250 Watt ανέρχεται στα 11,5 € ανά τεμάχιο, το αντίστοιχο των λαμπτήρων Na, ονομαστικής ισχύος 70 Watt, ανέρχεται στα 7,6 € ανά τεμάχιο και τέλος, το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt, ανέρχεται στα 1,98 € ανά τεμάχιο.
- Η συχνότητα αντικατάστασης των λαμπτήρων Na, ανεξαρτήτως ονομαστικής ισχύος, γίνεται σε ετήσια βάση. Οι λαμπτήρες Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt, αντικαθίστώνται τρεις (3) φορές στη διάρκεια ενός έτους. Τα στοιχεία αυτά, αποτελούν επίσημα στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Βύρωνα.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, ανά σενάριο που κατασκευάστηκε, καθώς και η αξιολόγηση της παρούσας κατάστασης της φωτιστικής εγκατάστασης. Στο τέλος, συγκρίνονται τα σενάρια, σε όρους Καθαρής Παρούσας Αξίας. Επίσης, εκπονήθηκε και Ανάλυση Ευαισθησίας, μεταβάλλοντας την τιμή της αξίας της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και την τιμή των φωτιστικών σωμάτων, τεχνολογίας LED.

5.3.1 Παρούσα Κατάσταση

Στην παρούσα κατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία των Πινάκων 5.2, 5.3, 5.4 και 5.5, έχουμε τα εξής δεδομένα, όπως φαίνονται στον Πίνακα 5.6. Τα

ο Κόστος Αλλαγής αφορά στο κόστος αντικατάστασης του αντίστοιχου τύπου λαμπτήρα, ενώ το Κόστος Περιφερειακών, αφορά στο κόστος αντικατάστασης των μετασχηματιστών, όπως ορίζεται στον Πίνακα 5.4. Η τιμή της Καθαρής Παρούσας Αξίας η οποία προκύπτει από τον Πίνακα 5.6 είναι τα **150.208,95 €**.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6 – Δεδομένα ανάλυσης NPV, παρούσα κατάσταση

ΕΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΑΛΛΑΓΗΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ			ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ
	250W Na	70W Na	125W Hg	250W Na	70W Na	125W Hg	250W Na	70W Na	125W Hg	
1	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	678,5	0	492,9	20153,92
2	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	0	0	0	18982,52
3	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	0	0	0	18982,52
4	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	678,5	0	492,9	20153,92
5	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	0	0	0	18982,52
6	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	0	0	0	18982,52
7	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	678,5	0	492,9	20153,92
8	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	0	0	0	18982,52
9	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	0	0	0	18982,52
10	8366,1	2342,85	6594,25	678,5	448,4	552,42	678,5	0	492,9	20153,92

5.3.2 Σενάριο αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες 125 Watt Hg

Κατά το σενάριο αυτό, εξετάζουμε μέσω κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας, την αντικατάσταση του συνόλου (93) των φωτιστικών σωμάτων της οδού Καραολή & Δημητρίου, τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες ατμών Hg ονομαστικής ισχύος 125 Watt, με φωτιστικά τεχνολογίας LED, ονομαστικής ισχύος 55 Watt. Οι τιμές των φωτιστικών LED, το κόστος συντήρησης αλλά και ο τρόπος υπολογισμού του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρονται στην παράγραφο 5.2. Στον Πίνακα 5.7, καταγράφονται τα δεδομένα για την εφαρμογή του κριτηρίου της Καθαρής Παρούσας Αξίας, για το εν λόγω σενάριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7 – Δεδομένα ανάλυσης NPV, σενάριο αντικατάστασης λαμπτήρων Hg 125 Watt

ΕΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ			ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ
	250W Na	70W Na	55W LED	250W Na	70W Na	55W LED	250W Na	70W Na	55W LED	
1	8366,1	2342,85	2427,07	1357	448,4	0	0	0	34410	49351,4175
2	8366,1	2342,85	2427,07	678,5	448,4	0	0	0	0	14262,9175
3	8366,1	2342,85	2427,07	678,5	448,4	0	0	0	0	14262,9175
4	8366,1	2342,85	2427,07	1357	448,4	7440	0	0	0	22381,4175
5	8366,1	2342,85	2427,07	678,5	448,4	0	0	0	0	14262,9175
6	8366,1	2342,85	2427,07	678,5	448,4	0	0	0	0	14262,9175
7	8366,1	2342,85	2427,07	1357	448,4	0	0	0	0	14941,4175
8	8366,1	2342,85	2427,07	678,5	448,4	7440	0	0	0	21702,9175
9	8366,1	2342,85	2427,07	678,5	448,4	0	0	0	0	14262,9175
10	8366,1	2342,85	2427,07	1357	448,4	0	0	0	0	14941,4175

Στο Κόστος Συντήρησης, περιλαμβάνεται το κόστος περιφερειακών για τις περιπτώσεις λαμπτήρων Na, ονομαστικής ισχύος 250 και 70 Watt, ενώ για τα φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED, το Κόστος Συντήρησης υπολογίζεται βάσει οδηγιών του κατασκευαστή, για αλλαγή της πλακέτας των λαμπτήρων LED κάθε 4 χρόνια. Οι αντίστοιχες τιμές αναφέρονται στην Παράγραφο 5.2. Σχετικά με το Κόστος Εγκατάστασης, αυτό υπολογίζεται μόνο για την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων που κάνουν χρήση λαμπτήρων Hg, καθώς η υπόλοιπη φωτιστική εγκατάσταση, παραμένει ως έχει. Η τιμή NPV που προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 5.7 είναι **156.165,62 €**.

5.3.3 Σενάριο αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες 250 Watt Na

Στο δεύτερο σενάριο το οποίο εξετάζεται, εφαρμόζεται το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας, στην περίπτωση αντικατάστασης του συνόλου (59) των φωτιστικών σωμάτων, τα οποία κάνουν χρήση λαμπτήρων ατμών νατρίου υψηλής πίεσης, ονομαστικής ισχύος 250 Watt, με φωτιστικά τεχνολογίας LED, ονομαστικής ισχύος 80 Watt. Βάσει των δεδομένων και των παραδοχών που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2, σχεδιάζεται ο Πίνακας 5.8, στον οποίο καταγράφονται τα δεδομένα για την εφαρμογή του κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας, στο συγκεκριμένο σενάριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8 – Δεδομένα ανάλυσης NPV, σενάριο αντικατάστασης λαμπτήρων Na 250 Watt

ΕΙΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ			ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ
	80W LED	70W Na	125W Hg	80W LED	70W Na	125W Hg	80W LED	70W Na	125W Hg	
1	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	1045,32	26550	0	0	39220,46
2	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	552,42	0	0	0	12177,56
3	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	552,42	0	0	0	12177,56
4	2239,64	2342,85	6594,25	5900	448,4	1045,32	0	0	0	18570,46
5	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	552,42	0	0	0	12177,56
6	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	552,42	0	0	0	12177,56
7	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	1045,32	0	0	0	12670,46
8	2239,64	2342,85	6594,25	5900	448,4	552,42	0	0	0	18077,56
9	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	552,42	0	0	0	12177,56
10	2239,64	2342,85	6594,25	0	448,4	1045,32	0	0	0	12670,46

Στο Κόστος Συντήρησης, περιλαμβάνεται το κόστος περιφερειακών για τις περιπτώσεις λαμπτήρων Na και Hg, ονομαστικής ισχύος 70 και 125 Watt αντίστοιχα, ενώ για τα φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED, το Κόστος Συντήρησης υπολογίζεται βάσει οδηγίων του κατασκευαστή, για αλλαγή της πλακέτας των λαμπτήρων LED κάθε 4 χρόνια. Οι αντίστοιχες τιμές αναφέρονται στην Παράγραφο 5.2. Σχετικά με το Κόστος Εγκατάστασης, αυτό υπολογίζεται μόνο για την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων που κάνουν χρήση λαμπτήρων Na – 250 Watt, καθώς η υπόλοιπη φωτιστική εγκατάσταση, παραμένει ως έχει. Η τιμή NPV που προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 5.8 είναι **129.692,73 €**.

5.3.4 Σενάριο αντικατάστασης φωτιστικών σωμάτων τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες 125 Watt Hg και λαμπτήρες 250 Watt Na

Στο τρίτο σενάριο, αναλύεται οικονομικά, μέσω κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας, ο συνδυασμός του πρώτου και δεύτερου σεναρίου, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 5.3.2 και 5.3.3 αντίστοιχα. Πρόκειται για ένα πιο ολοκληρωμένο πλάνο αναβάθμισης της υπάρχουσας φωτιστικής εγκατάστασης, καθώς περιλαμβάνει την αντικατάσταση του συνόλου των φωτιστικών σωμάτων (93) τα οποία κάνουν χρήση λαμπτήρων Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt καθώς και του συνόλου (59) των φωτιστικών

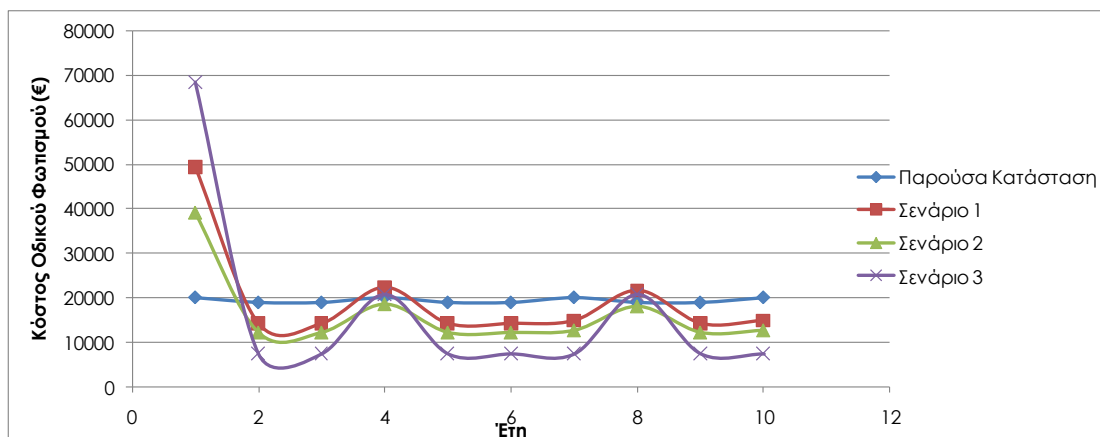
σωμάτων που χρησιμοποιούν λαμπτήρες Na, ονομαστικής ισχύος 250 Watt. Για την αντικατάσταση των εν λόγω φωτιστικών σωμάτων, έχουν επιλεγεί φωτιστικά τεχνολογίας LED, ονομαστικής ισχύος 55 και 80 Watt αντίστοιχα. Οι τιμές των φωτιστικών LED, το κόστος συντήρησης αλλά και ο τρόπος υπολογισμού του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρονται στην παράγραφο 5.1. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ο Πίνακας 5.9, στον οποίο αποτυπώνονται τα δεδομένα για την εφαρμογή του κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας για το τρίτο και τελευταίο σενάριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9 – Δεδομένα ανάλυσης NPV, σενάριο ταυτόχρονης αντικατάστασης λαμπτήρων Na 250 Watt και λαμπτήρων Hg 125 Watt

ΕΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ			ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ			ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ
	80W LED	70W Na	55W LED	80W LED	70W Na	55W LED	80W LED	70W Na	55W LED	
1	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	26550	0	34410	68417,96
2	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96
3	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96
4	2239,64	2342,85	2427,07	5900	448,4	7440	0	0	0	20797,96
5	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96
6	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96
7	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96
8	2239,64	2342,85	2427,07	5900	448,4	7440	0	0	0	20797,96
9	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96
10	2239,64	2342,85	2427,07	0	448,4	0	0	0	0	7457,96

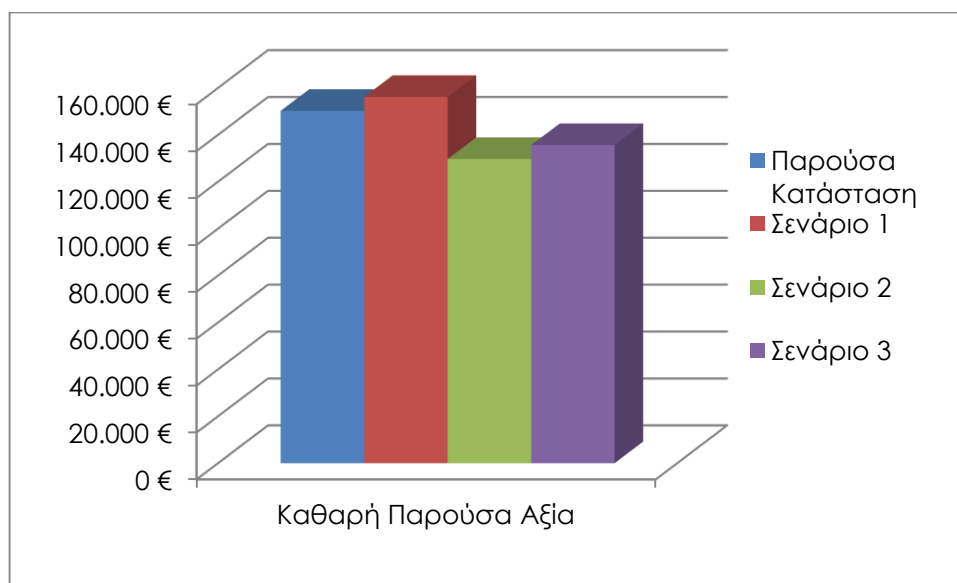
Στο Κόστος Συντήρησης, περιλαμβάνεται το κόστος περιφερειακών για την περίπτωση λαμπτήρων Na, ονομαστικής ισχύος 70 Watt, ενώ για τα φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED, το Κόστος Συντήρησης υπολογίζεται βάσει οδηγιών του κατασκευαστή, για αλλαγή της πλακέτας των λαμπτήρων LED κάθε 4 χρόνια. Οι αντίστοιχες τιμές αναφέρονται στην Παράγραφο 5.1. Σχετικά με το Κόστος Εγκατάστασης, αυτό υπολογίζεται για την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων που κάνουν χρήση λαμπτήρων Na – 250 Watt και Hg – 125 Watt, καθώς η υπόλοιπη φωτιστική εγκατάσταση, παραμένει ως έχει. Η τιμή NPV που προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 5.9 είναι **135.649,40 €**.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται μέσω διαγραμμάτων, μια απεικόνιση των διαφοροποιήσεων των τριών σεναρίων που κατασκευάστηκαν με την παρούσα κατάσταση, τόσο σε επίπεδο χρονικής κατανομής του συνολικού κόστους για τον ηλεκτροφωτισμό, όσο και σε επίπεδο οικονομικής ελκυστικότητας σε όρους Καθαρής Παρούσας Αξίας. Στο Διάγραμμα 5.1 που ακολουθεί, γίνεται φανερό ότι και τα τρία σενάρια αναβάθμισης, συνεπάγονται υψηλότερο κόστος στην αρχή της περιόδου, λόγω της αναγκαίας εγκατάστασης νέων φωτιστικών σωμάτων, ενώ κατά τα επόμενα έτη, το κόστος κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1 – Χρονική κατανομή κόστους οδικού φωτισμού Παρούσας Κατάστασης και Σεναρίων 1,2,3

Αντίστοιχα, η διαγραμματική απεικόνιση των τιμών NPV, οι οποίες έχουν προκύψει κατά την ανάλυση της παρούσας κατάστασης και των τριών σεναρίων που κατασκευάστηκαν (Παράγραφοι 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3 και 5.3.4), φαίνονται στο διάγραμμα 5.2:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2 – Συγκριτική απεικόνιση, σε όρους NPV, Παρούσας Κατάστασης και Σεναρίων 1,2,3

Γίνεται φανερό από τα δεδομένα της ανάλυσης, πως βάσει κριτηρίου Καθαρής Παρούσας Αξίας, το οικονομικά πιο συμφέρον σενάριο, είναι το Σενάριο 2, κατά το οποίο θα γίνει αντικατάσταση των φωτιστικών τα οποία χρησιμοποιούν λαμπτήρες Na, ονομαστικής ισχύος 250 Watt, με νέα, τεχνολογίας LED και ονομαστικής ισχύος 80 Watt. Ακολουθεί το Σενάριο 3, κατά το οποίο θα υπάρξει αντικατάσταση του συνόλου των φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούν λαμπτήρες Na, ονομαστικής ισχύος 250 Watt καθώς και λαμπτήρων Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt. Η περίπτωση του

Σεναρίου 1, της αντικατάστασης δηλαδή μόνο των φωτιστικών που κάνουν χρήση λαμπτήρων Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt, κρίνεται οριακά μη συμφέρουσα, συγκρινόμενη με την παρούσα κατάσταση. Δεδομένου όμως, πως η Ευρωπαϊκή Ένωση, καθιστά την αντικατάσταση των λαμπτήρων Hg, υποχρεωτική, οδηγούμαστε στο να προτείνουμε το Σενάριο 3, δηλαδή την πλήρη αναβάθμιση του υπάρχοντος συστήματος, με την αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούν λαμπτήρες Na – 250 Watt και αυτών που χρησιμοποιούν λαμπτήρες Hg – 125 Watt.

5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Στην παράγραφο αυτή, θα εξετασθεί η ευαισθησία των τριών σεναρίων που κατασκευάστηκαν, καθώς και της παρούσας κατάστασης, στην μεταβολή σημαντικών παραμέτρων, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 5.1. Εξετάζονται οι περιπτώσεις μεταβολής στο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και στο κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων, τεχνολογίας LED.

5.4.1 Μεταβολή στο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικά, εξετάζεται η περίπτωση της αύξησης του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (αύξηση τιμής kWh) κατά 5%.

Σύμφωνα με τις παραδοχές που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2, η τιμή βάσης ανά kWh κυμαίνεται στα 0,13 €. Επομένως με μία αύξηση της τάξης του 5%, η προκύπτουσα νέα τιμή είναι τα 0,1365 € ανά kWh.

Η διαφοροποίηση που προκύπτει σε σχέση με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.1, εντοπίζεται στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου, καθώς αυτό είναι συνάρτηση του κόστους κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η νέα τιμή NPV που προκύπτει, κυμαίνεται στα **154.296,04 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή σε σύγκριση με την αρχική, κατά **2,72%**.

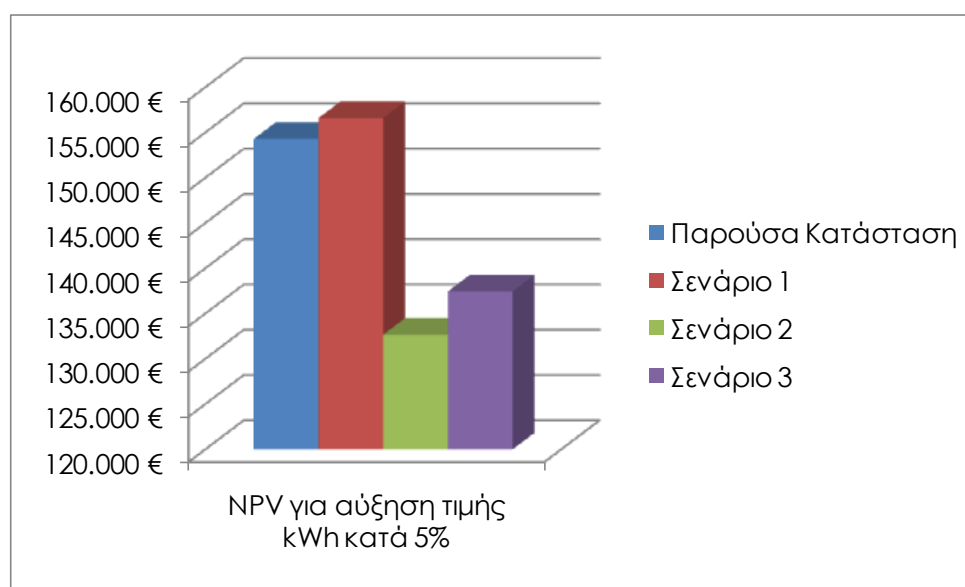
Είναι φανερό πως και στην περίπτωση του πρώτου σεναρίου (αναβάθμιση μέσω αντικατάστασης λαμπτήρων Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt), η διαφοροποίηση με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.2, εντοπίζεται στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η τιμή NPV που προκύπτει κατά την αύξηση της τιμής της kWh, κατά 5%, αντιστοιχεί σε **156.593,18 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή σε σύγκριση με την αρχική, κατά **0,27%**.

Στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου, παρατηρείται, πως η διαφοροποίηση με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.3, εντοπίζεται στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η νέα τιμή NPV η οποία

προκύπτει από την αύξηση της τιμής της kWh κατά 5%, αντιστοιχεί σε **132.668,43 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή συγκρινόμενη με την αρχική ανάλυση του δευτέρου σεναρίου, της τάξης του **2,94%**.

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, όπως και στις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις, η διαφοροποίηση από την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.4, εντοπίζεται μόνο στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η τιμή NPV η οποία προκύπτει από την ανάλυση των νέων δεδομένων, αντιστοιχεί σε **137.451,16 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή συγκρινόμενη με την αρχική ανάλυση του τρίτου σεναρίου, κατά **1,32%**.

Συγκεντρωτικά, οι νέες τιμές NPV που προκύπτουν από την ανάλυση της πιθανής αύξησης του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας κατά 5%, φαίνονται στο διάγραμμα 5.3.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3 – Συγκριτική απεικόνιση, σε όρους NPV, Παρούσας Κατάστασης και Σεναρίων 1,2,3 ύστερα από πιθανή αύξηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, κατά 5%

Στη συνέχεια, εξετάζεται η περίπτωση αύξησης του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της αύξησης τιμής ανά kWh, κατά 15%. Η αρχική τιμή βάσης ανά kWh, ανέρχεται στα 0,13 €, συνεπώς μετά από αύξηση κατά 15%, η νέα τιμή που προκύπτει είναι τα 0,1495 €.

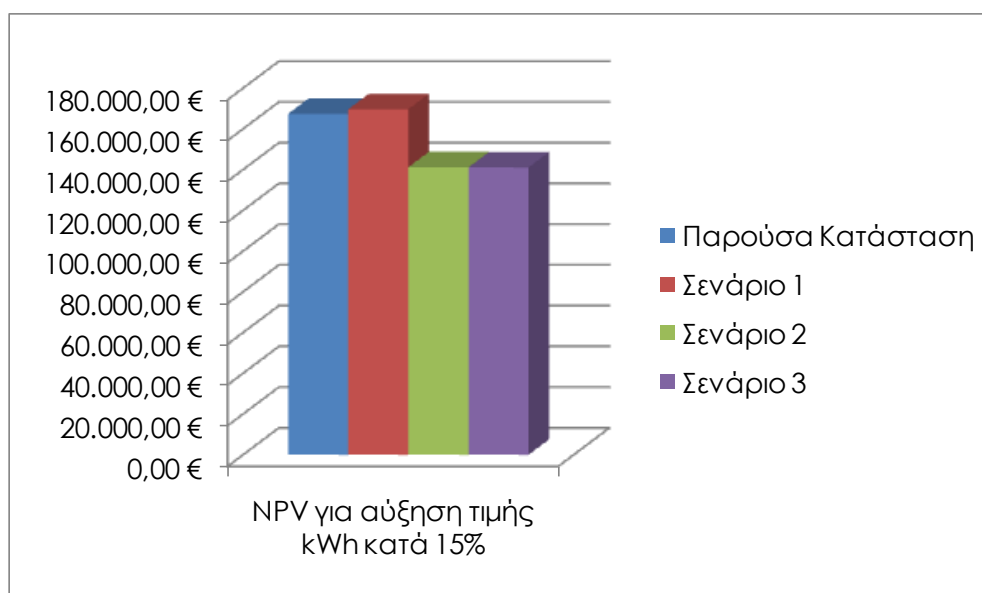
Όπως και στην περίπτωση της αύξησης τις τιμής ανά kWh κατά 5%, έτσι και στην περίπτωση αύξησης κατά 15%, η διαφοροποίηση σε σύγκριση με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.1, για την παρούσα κατάσταση, εντοπίζεται στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η τιμή NPV που προκύπτει από την ανάλυση των νέων δεδομένων, αντιστοιχεί σε **167.410,12 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή συγκρινόμενη με την αρχική ανάλυση κατά **11,45%**.

Είναι φανερό πως και στην περίπτωση της ανάλυσης του πρώτου σεναρίου (αναβάθμιση μέσω αντικατάστασης λαμπτήρων Hg, ονομαστικής ισχύος 125 Watt), η διαφοροποίηση με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.2, εντοπίζεται στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η τιμή NPV που προκύπτει κατά την αύξηση της τιμής της kWh, κατά 15%, αντιστοιχεί σε **169.622,60 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή σε σύγκριση με την αρχική, κατά **8,61%**.

Στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου, παρατηρείται, πως η διαφοροποίηση με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.3, εντοπίζεται στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η νέα τιμή NPV η οποία προκύπτει από την αύξηση της τιμής της kWh κατά 15%, αντιστοιχεί σε **141.171,24 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή συγκρινόμενη με την αρχική ανάλυση του δεύτερου σεναρίου, της τάξης του **8,85 %**.

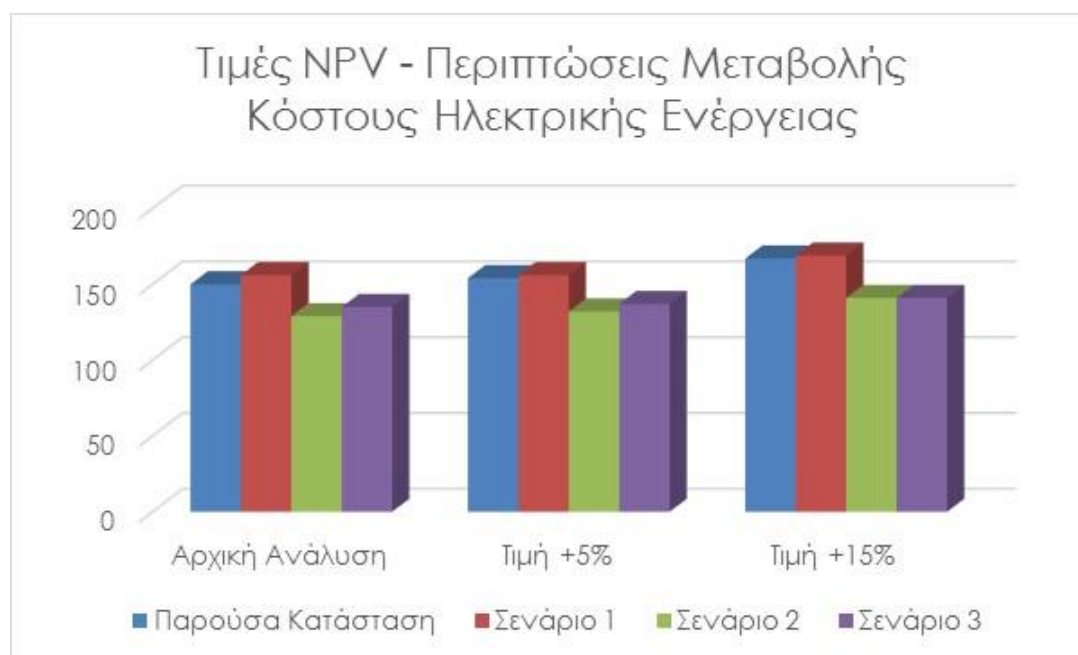
Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, όπως και στις τρεις προηγούμενες περιπτώσεις, η διαφοροποίηση από την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.4, εντοπίζεται μόνο στο κόστος λειτουργίας των λαμπτήρων, ανεξαρτήτως τύπου. Η τιμή NPV η οποία προκύπτει από την ανάλυση των νέων δεδομένων, μετά από αύξηση της τιμής ανά kWh κατά 15%, αντιστοιχεί σε **141.054,66 €**, παρουσιάζοντας ποσοστιαία μεταβολή συγκρινόμενη με την αρχική ανάλυση του τρίτου σεναρίου, κατά **3,98 %**.

Συγκεντρωτικά, οι νέες τιμές NPV που προκύπτουν από την ανάλυση της πιθανής αύξησης του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας κατά 15%, φαίνονται στο διάγραμμα 5.4.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4 – Συγκριτική απεικόνιση, σε όρους NPV, Παρούσας Κατάστασης και Σεναρίων 1,2,3 ύστερα από πιθανή αύξηση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας, κατά 15%

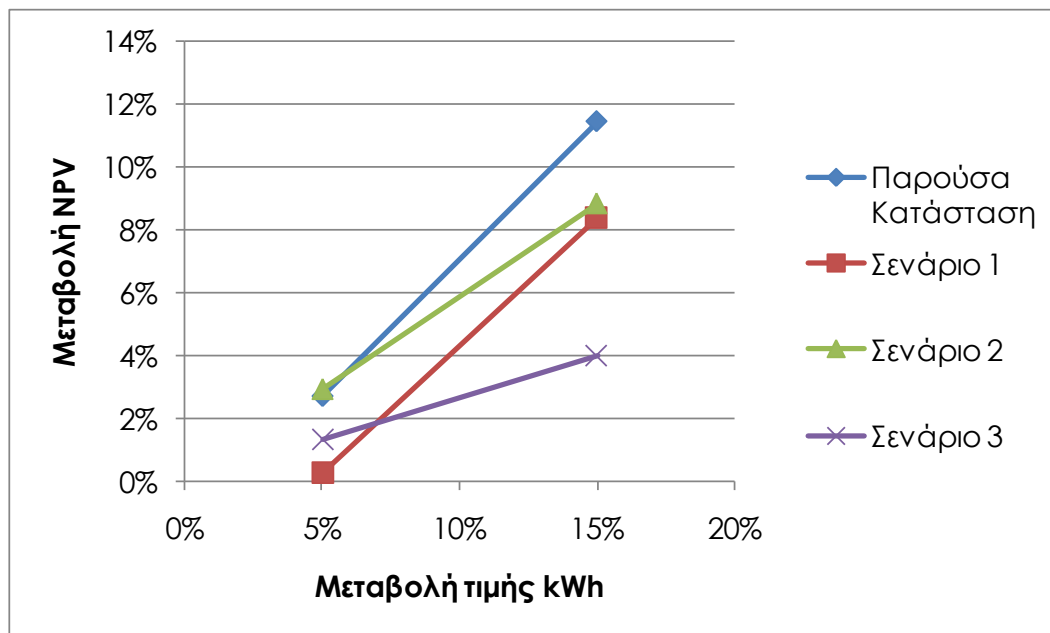
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας και τις ανάλυσης των παραγράφων 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3 και 5.3.4, καταστρώνεται το διάγραμμα 5.5. Είναι φανερό πως με την περαιτέρω αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής κατανάλωσης, αυξάνει και η απόκλιση των Σεναρίων 2 και 3, συγκρινόμενα με την παρούσα κατάσταση, ενώ το Σενάριο 1, συγκλίνει προς την παρούσα κατάσταση. Είναι χαρακτηριστικό, πως το Σενάριο 3, στην περίπτωση της αύξησης της τιμής ανά kWh κατά 15%, καταλήγει να θεωρείται το πιο συμφέρον από τα υπόλοιπα, καθώς έχει τη χαμηλότερη τιμή NPV, ίση με 141.054,66 €.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5 – Σύγκριση ιεράρχησης αρχικής ανάλυσης και περιπτώσεων μεταβολής στο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Στη συνέχεια, αποτυπώνεται διαγραμματικά η ποσοστιαία μεταβολή των τιμών NPV των τριών σεναρίων που κατασκευάστηκαν, καθώς και της παρούσας κατάστασης, συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της τιμής ανά kWh, 5 και 15 % αντίστοιχα.

Παρατηρώντας τις κλίσεις των ευθειών του διαγράμματος 5.6, συμπεραίνουμε πως το Σενάριο 3 είναι το πιο σταθερό, σε πιθανές μεταβολές του κόστους της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αντίθετα, το Σενάριο 1 καθώς και η παρούσα κατάσταση, εξαρτώνται έντονα από πιθανές μεταβολές του. Το δεύτερο σενάριο αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6 – Διαγραμματική απεικόνιση ποσοστιαίας μεταβολής τιμών NPV Παρούσας Κατάστασης και Σεναρίων 1,2,3 συναρτήσει ποσοστιαίας μεταβολής της τιμής ανά kWh

5.4.2 Μεταβολή στο κόστος εγκατάστασης φωτιστικών τεχνολογίας LED

Θα αναλυθούν οι περιπτώσεις μείωσης της τιμής του κόστους εγκατάστασης των φωτιστικών LED, κατά 10% καθώς και η περίπτωση της αντίστοιχης, κατά 10%, αύξησής της.

Αρχικά, θα εξετασθεί η περίπτωση μείωσης του κόστους εγκατάστασης κατά 10%. Σύμφωνα με τις παραδοχές που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2, το κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών LED, ονομαστικής ισχύος 55 Watt, ανέρχεται στα 370 €. Συνεπώς, με μείωση κατά 10%, η νέα τιμή κόστους για τα εν λόγω φωτιστικά διαμορφώνεται στα 333 €. Αντίστοιχα, για τα φωτιστικά ονομαστικής ισχύος 80 Watt, τα οποία κοστολογούνται στα 450 €, η προκύπτουσα τιμή, με μείωση 10%, διαμορφώνεται στα 405 €.

Είναι προφανές πως η ανάλυση γίνεται μόνο για τα τρία σενάρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί και όχι για την παρούσα κατάσταση, καθώς το κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών LED, δεν επηρεάζει την παρούσα κατάσταση.

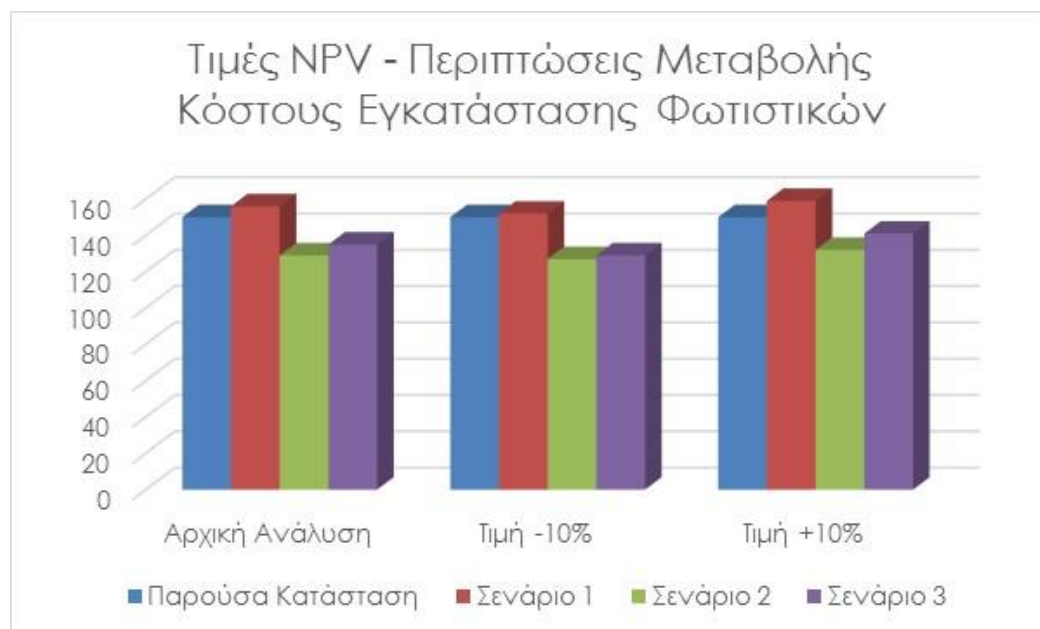
Η ανάλυση έγινε με την ίδια μέθοδο που εφαρμόστηκε στην παράγραφο 5.4.1 και οι τιμές NPV που προέκυψαν για τα τρία σενάρια, αντιστοιχούν σε **152.888,48 €** και ποσοστιαία μεταβολή συγκρινόμενη με την αρχική ανάλυση της παραγράφου 5.3.2 κατά **-2,1%**, για το πρώτο σενάριο (αντικατάσταση λαμπτήρων Hg 125 Watt), σε **127.164,16 €** και ποσοστιαία μεταβολή κατά

-1,94%, για το δεύτερο σενάριο (αντικατάσταση λαμπτήρων Na 250 Watt) και σε **129.843,69 €** και ποσοστιαία μεταβολή **-4,27%**, για το τρίτο και τελευταίο σενάριο (αντικατάσταση λαμπτήρων Hg 125 Watt και λαμπτήρων Na 250 Watt).

Στη συνέχεια, εξετάζεται η περίπτωση αύξησης του κόστους εγκατάστασης κατά 10%. Σύμφωνα με τις παραδοχές που αναφέρονται στην παράγραφο 5.2, το κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών LED, ονομαστικής ισχύος 55 Watt, ανέρχεται στα 370 €. Συνεπώς, με αύξηση κατά 10%, η νέα τιμή κόστους για τα εν λόγω φωτιστικά διαμορφώνεται στα 407 €. Αντίστοιχα, για τα φωτιστικά ονομαστικής ισχύος 80 Watt, τα οποία κοστολογούνται στα 450 €, η προκύπτουσα τιμή, με αύξηση 10%, διαμορφώνεται στα 495 €.

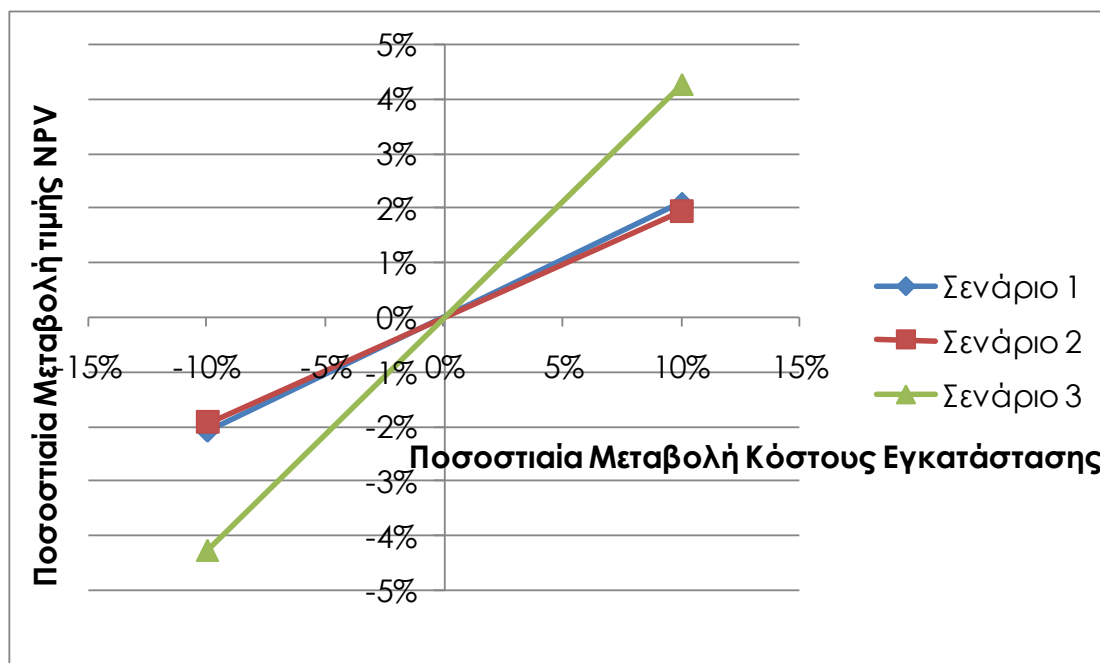
Οι τιμές NPV που προκύπτουν, ύστερα από αύξηση 10% στο κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών LED, για τα τρία σενάρια, αντιστοιχούν σε **159.442,76 €** για το πρώτο σενάριο (αντικατάσταση λαμπτήρων Hg 125 Watt), σε **132.221,30 €** για το δεύτερο σενάριο (αντικατάσταση λαμπτήρων Na 250 Watt) και σε **141.455,12 €** για το τρίτο και τελευταίο σενάριο (αντικατάσταση λαμπτήρων Hg 125 Watt και λαμπτήρων Na 250 Watt). Οι ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών NPV, συγκρινόμενες με τις αρχικές αναλύσεις των παραγράφων 5.3.2, 5.3.3 και 5.3.4, είναι **2,1%**, **1,94%** και **4,27%** αντίστοιχα για τα τρία κατασκευασμένα σενάρια.

Στο διάγραμμα 5.7 φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές NPV για την παρούσα κατάσταση και τα σενάρια 1, 2 και 3, στις περιπτώσεις μεταβολής του κόστους εγκατάστασης των νέων φωτιστικών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.7 – Σύγκριση ιεράρχησης αρχικής ανάλυσης και περιπτώσεων μεταβολής στο κόστος εγκατάστασης νέων φωτιστικών

Αντίστοιχα, καταγράφοντας τις ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών NPV για τα τρία κατασκευασμένα σενάρια, συναρτήσει των ποσοστιαίων μεταβολών στο κόστος εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων LED (+/- 10%), είναι δυνατόν να απεικονιστεί διαγραμματικά η ευαισθησία του εκάστοτε σεναρίου στις εν λόγω μεταβολές.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.8 – Ποσοστιαία μεταβολή τιμής NPV συναρτήσει ποσοστιαίας μεταβολής κόστους εγκατάστασης φωτιστικών σωμάτων, Σενάρια 1,2,3

Είναι φανερό από το διάγραμμα 5.8 πως το πιο ευαίσθητο σενάριο σε μεταβολές της τιμής κόστους εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων LED, είναι το Σενάριο 3. Ωστόσο, στις δύο εξεταζόμενες μεταβολές, δεν υπάρχει αλλαγή στην ιεράρχηση των τριών κατασκευασμένων σεναρίων, όπως αυτή έγινε κατά την αρχική ανάλυση. Το δεύτερο σενάριο εξακολουθεί να αποτελεί την οικονομικά πιο συμφέρουσα επιλογή, ακολουθούμενο από το τρίτο σενάριο. Το πρώτο σενάριο σε κάθε περίπτωση, εξακολουθεί να θεωρείται μη συμφέρον, συγκρινόμενο με την παρούσα κατάσταση. Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί, πως σε πιθανή περαιτέρω μείωση της τιμής κόστους εγκατάστασης των νέων φωτιστικών τεχνολογίας LED, το τρίτο σενάριο, θα κρίνεται ως το πιο συμφέρον.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επιχείρησε να αναδείξει την αναγκαιότητα και τις δυνατότητες αναβάθμισης των συστημάτων αστικού φωτισμού, μελετώντας κατ' αρχήν το σχετικό θεσμικό πλαίσιο και τις υπάρχουσες τεχνολογικές λύσεις. Στη συνέχεια, πραγματοποίησε μία μελέτη περίπτωσης ώστε να υπολογισθούν τα ενεργειακά και οικονομικά οφέλη ενός προγράμματος αναβάθμισης και προσδιορισθεί η οικονομική αποδοτικότητα του εγχειρήματος.

Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν και αναλύθηκαν τρία σενάρια αναβάθμισης της υπάρχουσας φωτιστικής εγκατάστασης, στην οδό Καραολή & Δημητρίου, στο Δήμο Βύρωνα.

Η οικονομική ανάλυση κατέστησε προφανές, πως δύο από τα σενάρια τα οποία κατασκευάστηκαν, το δεύτερο (αντικατάσταση φωτιστικών σωμάτων που κάνουν χρήση λαμπτήρων Na – 250 Watt, με νέα, τεχνολογίας LED, ονομαστικής ισχύος 80 Watt) και το τρίτο (αντικατάσταση φωτιστικών σωμάτων που κάνουν χρήση λαμπτήρων Hg – 125 Watt, με νέα, τεχνολογίας LED, ονομαστικής ισχύος 55 Watt), παρουσιάζουν σημαντικά ενεργειακά και κατά συνέπεια οικονομικά οφέλη.

Σε ενεργειακό επίπεδο, η εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου, μπορεί να αποφέρει μια εξοικονόμηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, της τάξεως του 30%. Αντίστοιχα, το ενεργειακό όφελος του τρίτου σεναρίου, ανέρχεται σε ένα ποσοστό της τάξης του 46%. Το καθαρό ετήσιο όφελος, σε όρους Καθαρής Παρούσας Αξίας ανέρχεται στα 3200 και 2190 € αντίστοιχα.

Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός πως κατά την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε ως προς πιθανές διακυμάνσεις του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και του κόστους εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων LED, η ιεράρχηση της ελκυστικότητας των σεναρίων δεν επηρεάστηκε σημαντικά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της ανάλυσης καθώς και το ευρύτερο ενεργειακό και περιβαλλοντικό πλαίσιο στο οποίο οι σύγχρονοι Δήμοι και Περιφέρειες καλούνται να λειτουργήσουν, το σενάριο το οποίο θεωρείται ιδανικό, είναι το τρίτο σενάριο.

Παρόλο που η σύγκριση του με το δεύτερο σενάριο, σε όρους NPV, δεν το ορίζει σαν το πιο ελκυστικό υπάρχουν δύο παράμετροι που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή του. Αρχικά, από τη στιγμή που θα πρέπει να υπάρξει εναρμόνιση με τις επιταγές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με τη χρήση λαμπτήρων Hg, ο Δήμος είναι αναγκασμένος να προχωρήσει σε αλλαγή των λαμπτήρων αυτού του τύπου. Δεύτερον, η ανάλυση ευαισθησίας

έδειξε, πως σε περίπτωση αυξητικής τάσης του κόστους κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και σε περίπτωση μείωσης του κόστους εγκατάστασης των φωτιστικών σωμάτων τεχνολογίας LED, το τρίτο σενάριο καθίσταται το πιο ελκυστικό.

Αξίζει να σημειωθεί, πως παρόλο που κατά την ανάλυση ευαισθησίας, εξετάσθηκε τόσο η περίπτωση της αύξησης του κόστους εγκατάστασης των νέας τεχνολογίας φωτιστικών σωμάτων, όσο και η μείωσή του, θεωρείται πιθανότερο σενάριο η μείωση του, όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις νέων τεχνολογιών.

Από τη στιγμή που τα ενεργειακά οφέλη είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τα οικονομικά, αναμένεται με την εφαρμογή του σεναρίου που θα επιλεγεί, σημαντική μείωση στα δημοτικά τέλη για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο, δεδομένης της οικονομικής κατάστασης μεγάλου ποσοστού των δημοτών.

Εκτός από τα οικονομικά και ενεργειακά οφέλη που θα προκύψουν, αναμένεται η αναβάθμιση του φωτιστικού δικτύου, να έχει θετική επίδραση σε περιβαλλοντικό επίπεδο, κυρίως μέσω της μείωσης των εκπομπών CO₂ αλλά και μέσω του περιορισμού της φωτορύπανσης.

Τέλος, στα θετικά θα πρέπει να συμπεριληφθεί η ενίσχυση του αισθήματος ασφάλειας των πολιτών, μέσω του επαρκούς αστικού φωτισμού.

Γενικεύοντας τα παραπάνω συμπεράσματα και επιχειρώντας την εφαρμογή του τρίτου σεναρίου στο σύνολο της παρούσας φωτιστικής εγκατάστασης του Δήμου, οι πρώτες εκτιμήσεις πιθανών οικονομικών και ενεργειακών ωφελειών, είναι ενθαρρυντικές. Συγκεκριμένα, στο Δήμο Βύρωνα, σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής του Υπηρεσίας, λειτουργούν περίπου 15.000 φωτιστικά σώματα. Η κατανάλωση των φωτιστικών αυτών σωμάτων κυμαίνεται περίπου στα 8 εκατομμύρια kWh ετησίως, ενώ το κόστος κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στο ποσό των 1,1 εκατομμυρίων €. Αν τα δεδομένα της ανάλυσης της οδού Καραολή & Δημητρίου αναχθούν στο σύνολο του φωτιστικού δικτύου, είναι φανερό το πόσο σημαντικό όφελος μπορεί να προκύψει τόσο ενεργειακά (εξοικονόμηση της τάξης των 3,5 εκ kWh) όσο και οικονομικά (εξοικονόμηση κοντά στις 500.000 €). Θα πρέπει βέβαια να αναφερθεί πως το κόστος για την αλλαγή του συνόλου των φωτιστικών σωμάτων, είναι τόσο υψηλό, κοντά στα 4,3 εκατομμύρια €, που θεωρείται αδύνατο να εφαρμοστεί σε ένα στάδιο. Η μελέτη της σταδιακής εφαρμογής πλάνου αναβάθμισης του συνόλου του φωτιστικού δικτύου θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baenziger T., "Energy Management in Lighting Systems", Intelux, 2000
- British Standards 5489-1:2013
- C.I.E, "Light as a True Visual Quantity – Principles of Measurement", C.I.E pub. 41
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού – Δ.Ε.Η, Τιμοκατάλογος Ηλεκτρικής Ενέργειας, 2014
- Eloholma M. et al, "Luminance and visibility in road lighting – Conditions, measurements and analysis", Helsinki University of Technology – Lighting Laboratory, 2004
- European Commission, "Μελέτη EuP Lot9: Δημόσιος Οδικός Φωτισμός", Ιανουάριος 2007
- European Commission, "Street Lighting and Traffic Lights Technical Background Report", Green Light Procurement
- EUROSTAT, "Energy, Transport and Environment Indicators", 2014 edition
- Indalux, "Lighting Engineering Handbook"
- Isobe S., Hamamura S., "Light energy loss and its application to estimate a global energy usage", 1999
- Isobe S., Hamamura S., "Light Pollution and its energy loss", Astrophysical and Space Science 243, 2000
- Jacobs A., "SynthLight Handbook Chapter 1 – Fundamentals", London Metropolitan University – Low Energy Architecture Research Unit LEARN
- Lighting Research Center – Rensselaer Polytechnic Institute, "Illumination Fundamentals", 2001
- Μανιάς Σ., "Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος", εκδ. Παπασωτηρίου, 1997
- Τοπαλής Φ., "Φωτοτεχνία", εκδ. ΕΜΠ, 1994
- US Dept of Transportation – Federal Highway Administration, "Manual on street and highways lighting – Millennium Edition", 2000
- Zumtobell Staff, "Lighting Handbook – 1st edition", 2004

Ιστοτόποι:

- www.darksky.org
- www.osram.com
- www.philips.com
- www.sylvania.com
- <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ CEN/TR 13201-ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι βασικές παράμετροι αξιολόγησης ενός δρόμου παρατίθενται στον Πίνακα Π.1 και κατατάσσουν, όπως φαίνεται στην τελευταία στήλη, τους δρόμους σε διάφορες καταστάσεις φωτισμού:

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.1 – Βασικές Παράμετροι Αξιολόγησης Δρόμων: Χρήστες και αναπτυσσόμενη ταχύτητα

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

Εκτός από τις βασικές παραμέτρους αξιολόγησης ενός δρόμου, είναι απαραίτητο να υπάρξει μια αποτύπωση και των ειδικών παραμέτρων αξιολόγησης. Η χρήση των εν λόγω παραμέτρων γίνεται με τη μορφή ερωτηματολογίου, όπου ο σχεδιαστής για να κάνει κατάταξη του δρόμου, απαντά στην αντίστοιχη ερώτηση, ξεκινώντας από την πρώτη. Σε περίπτωση αρνητικής απάντησης, προχωρά στην επόμενη ερώτηση. Στην ερώτηση που θα απαντηθεί με θετικό τρόπο, πρώτη, γίνεται η αντιστοίχιση με την εκάστοτε κατηγορία δρόμου, η οποία βρίσκεται στην αριστερή στήλη.

Οι αντίστοιχες ειδικές παράμετροι παρατίθενται στον Πίνακα Π.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.2 – Ειδικές Παράμετροι Αξιολόγησης Δρόμων

SYMBOL	TITLE	OPTIONS
A1	Separation of carriageways	a) Yes b) No
A2	Type of junctions	a) Interchanges b) Intersections
A3	Frequency of junctions	
A3a	Interchange spacing	a) > 3 km b) \leq 3 km
A3b	Intersection density	a) < 3 intersections/km b) \geq 3 intersections/km
A4	Conflict area	a) No b) Yes
A5	Geometric measures for traffic calming	a) No b) Yes
T1	Traffic flow	
T1a	Vehicles	a) < 4000 b) 4000 to 7000 c) 7000 to 15000 d) 15000 to 25000 e) 25000 to 40000 f) > 40000
T1b	Cyclists	a) Normal b) High
T1c	Pedestrians	a) Normal b) High
T2	Difficulty of navigational task	a) Normal b) Higher than normal
T3	Parked vehicles	a) Not present b) Present
T4	Facial recognition	a) Unnecessary b) Necessary
T5	Crime risk	a) Normal b) Higher than normal
E1	Complexity of visual field	a) Normal b) High
E2	Ambient brightness levels	a) Low b) Medium c) High
E3	Main weather type	a) Dry b) Wet

Οι διάφορες καταστάσεις φωτισμού σε συνδυασμό με τις ανωτέρω ειδικές παραμέτρους οδηγούν στην τελική κατάταξη του δρόμου σε κατηγορίες (κλάσεις) φωτισμού. Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται διάφορες κλάσεις φωτισμού για κάθε κατάσταση φωτισμού αλλά και οι ελάχιστες απαιτήσεις φωτισμού (όρια) για κάθε κλάση.

Ο Πίνακας Π.3 αφορά κατηγορίες φωτισμού ΜΕ για καταστάσεις φωτισμού Α1:

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.3 – Κατηγορίες Φωτισμού ΜΕ για καταστάσεις φωτισμού Α1

Main weather type

Τα σύμβολα \rightarrow ο και \leftarrow προκύπτουν από επιπλέον ειδικές παραμέτρους όπως φαίνεται στον Πίνακα Π.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.4 – Επεξήγηση Συμβόλων

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	\leftarrow	\leftarrow	o
		Higher than normal	o	o	\rightarrow
	High	Normal	\leftarrow	o	o
		Higher than normal	o	\rightarrow	\rightarrow
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22 .				

Για καταστάσεις φωτισμού Α2 η κλάση φωτισμού ΜΕ δίνει τον παρακάτω Πίνακα, Π.5.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.5 – Κατηγορίες Φωτισμού ΜΕ για καταστάσεις φωτισμού Α2

Main weather type (E3)	Intersection density (A3b)	Traffic flow Vehicles (T1a)					
		< 7000			> 7000		
		←	o	→	←	o	→
Dry	< 3 intersections/km	5	5	4a	4a	3a	3a
	≥ 3 intersections/km	5	4	3a	4a	3a	2
Wet		MEW class					

Τα ανωτέρω σύμβολα προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα, Π.6.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.6 – Επεξήγηση Συμβόλων

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
			Low	Medium	High
No	Normal	Normal	←	←	o
		Higher than normal	o	o	→
	High	Normal	←	o	o
		Higher than normal	o	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22				

Ομοίως, για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού Α3 έχουμε:

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.7 – Κατηγορίες Φωτισμού ΜΕ για καταστάσεις φωτισμού Α3

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

Όπου τα σύμβολα \rightarrow , \circ και \leftarrow προκύπτουν με βάση τα κριτήρια του Πίνακα Π.8.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.8 – Επεξήγηση Συμβόλων

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Parked vehicles (T3)	Difficulty of navigational task (T2)	Ambient brightness levels (E2)		
				Low	Medium	High
No	Normal	Not present	Normal	←	←	o
			Higher than normal	o	o	→
		Present	Normal	←	o	→
			Higher than normal	o	→	→
	High	Not present	Normal	←	o	o
			Higher than normal	o	→	→
		Present	Normal	o	o	→
			Higher than normal	→	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22					

Για τις καταστάσεις φωτισμού B1 και B2, οι κατηγορίες φωτισμού ME προκύπτουν από τους Πίνακες Π.9 και Π.10 αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.9 – Κατηγορίες Φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού B1

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

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.10 – Κατηγορίες Φωτισμού ME για καταστάσεις φωτισμού B2

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

¹Όταν η χρήση της λαμπρότητας ως κριτήριο είναι μη πρακτική, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο η ένταση φωτισμού. Συγκρίσιμες CE και ME κατηγορίες φωτισμού βρίσκονται στον Πίνακα Π.23.

Τα σύμβολα για τις δύο ανωτέρω καταστάσεις φωτισμού προκύπτουν από τον ακόλουθο πίνακα, Π.11.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.11 – Επεξήγηση Συμβόλων

Conflict area (A4)	Complexity of visual field (E1)	Parked vehicles (T3)	Ambient brightness levels (E2)					
			Low		Medium		High	
			Traffic flow Cyclists (T1b)		Traffic flow Cyclists (T1b)		Traffic flow Cyclists (T1b)	
			Normal	High	Normal	High	Normal	High
No	Normal	Not present	←	o	←	o	o	o
		Present	o	→	o	→	→	→
	High	Not present	o	o	o	o	o	o
		Present	o	o	→	→	→	→
Yes	For conflict areas, luminance is the recommended design criterion. However, where viewing distances are short and other factors prevent the use of luminance criteria, illuminance may be used. Comparable CE classes to recommended ME classes can be found in next Table 4-22							

Στον Πίνακα Π.12 φαίνονται οι κατηγορίες φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού C1.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.12 – Κατηγορίες Φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού C1

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

Ακολουθεί ο πίνακας Π-Α.13 με κατηγορίες φωτισμού CE για σύνολο καταστάσεων D1 και D2.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.13 – Κατηγορίες Φωτισμού CE για καταστάσεις φωτισμού D1 και D2

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

Τα σύμβολα των πινάκων Π.12 και Π.13 αντλούνται από τον παρακάτω πίνακα, Π.14.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.14 – Επεξήγηση Συμβόλων

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

Για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού D3 και D4 και για κατηγορίες δρόμου S έχουμε τον παρακάτω πίνακα, Π.15.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.15 – Κατηγορίες Φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού D3 και D4

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

Τα σύμβολα του ανωτέρω πίνακα προκύπτουν από διάφορες παραμέτρους όπως υποδεικνύει ο Πίνακας Π.16.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.16 – Επεξήγηση Συμβόλων

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

Ακολουθούν τέλος κατηγορίες S για το σύνολο καταστάσεων φωτισμού E1 και E2. Για το πρώτο σύνολο καταστάσεων έχουμε τους Πίνακες Π.17 και Π.18.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.17 – Κατηγορίες Φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού E1

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

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.18 – Κατηγορίες Φωτισμού S για καταστάσεις φωτισμού E2

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

Για τις ανωτέρω καταστάσεις τα σύμβολα προκύπτουν από τον Πίνακα Π.14.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανωτέρω κατηγοριοποίηση προχωράμε στην παράθεση των ορίων ορισμένων φωτοτεχνικών μεγεθών όπως αυτά θεσπίζονται από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για τον οδοφωτισμό για διάφορες κατηγορίες δρόμων. Συγκεκριμένα, για τις κατηγορίες ME που αφορούν δρόμους μεσαίων και μεγάλων ταχυτήτων με βασικούς χρήστες τα μηχανοκίνητα οχήματα, έχουν θεσπιστεί τα παρακάτω όρια φωτισμού:

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.19 – Όρια Φωτισμού για κατηγορίες ME

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry road surface condition			Disability glare	Lighting of surroundings
	L in cd x m^{-2} [minimum maintained]	U_0 [minimum]	U_1 [minimum]	TI in % ¹⁾ [maximum]	SR ²⁾ [minimum]
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b			0.6		
ME3c			0.5		
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b			0.5		
ME5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	-
¹⁾ An increase of 5% in TI can be permitted where low luminance light sources are used.					
²⁾ This criterion may be applied only where there are no traffic areas with their own requirements adjacent to the carriageway.					

Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν τις παραπάνω κατηγορίες, όπως παρατηρείται κι από τον Πίνακα Π.19, είναι τα εξής:

- **Ελάχιστη διατηρηθείσα τιμή μέσης λαμπρότητας (L):** Υποδεικνύει την ελάχιστη τιμή της μέσης λαμπρότητας που πρέπει να διατηρείται στην εγκατάσταση ώστε το μάτι του οδηγού να προσαρμόζεται εύκολα στα δεδομένα του δρόμου και να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες άνετης και ασφαλούς οδήγησης.
- **Ομοιομορφία λαμπρότητας (U_0):** Είναι το πηλίκο της ελάχιστης λαμπρότητας προς την αντίστοιχη μέση ή μέγιστη τιμής της. Επηρεάζει εξίσου την άνεση του οπτικού πεδίου του οδηγού.
- **Διαμήκης ομοιομορφία (U_1):** Ορίζεται ως το ελάχιστο πηλίκο της ελάχιστης προς τη μέγιστη λαμπρότητα σε ευθείες παράλληλες προς τον διαμήκη άξονα του οδοστρώματος. Τιμές κάτω των προβλεπόμενων ορίων συνεπάγονται εναλλαγές σκοτεινών και φωτεινών περιοχών στο πεδίο όρασης του οδηγού καθιστώντας έτσι δυσχερείς τις συνθήκες οδήγησης.

- **Δείκτης Θάμβωσης TI (Threshold Increment):** Ο δείκτης TI υποδεικνύει το ποσοστό αύξησης της λαμπρότητας του περιβάλλοντος το οποίο επιβάλλεται ώστε να είναι ορατά τα αντικείμενα του δρόμου από τον οδηγό. Είναι προφανές λοιπόν ότι, εκτός από την ένταση φωτισμού του δρόμου και τα χαρακτηρισικά και τη θέση ανάρτησης των φωτιστικών, ο δείκτης αυτός εξαρτάται και από την εκάστοτε θέση παρατήρησης.
- **Δείκτης Λαμπρότητας περιβάλλοντος Χώρου (SR –Surround Ratio):** Για τον σωστό φωτισμό του περιβάλλοντος χώρου θεωρούμε την αναλογία της μέσης λαμπρότητας σε λωρίδες πλάτους 5m (ή μικρότερες αν δεν επιτρέπει ο χώρος) δίπλα στην άκρη του οδοστρώματος προς την μέση λαμπρότητα σε λωρίδες πλάτους 5 m πάνω στο οδόστρωμα. Με την χρήση της αναλογίας αυτής γίνεται σωστός και ο φωτισμός του περιβάλλοντος χώρου του δρόμου, με σκοπό τα ψηλά αντικείμενα που βρίσκονται στον χώρο αυτό να γίνονται ορατά από τους οδηγούς. Ο λόγος φωτεινότητας περιβάλλοντος χώρου SR προτείνεται να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0.5.

Για τις αντίστοιχες κλάσεις φωτισμού CE, τα όρια των απαραίτητων φωτοτεχνικών μεγεθών παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα, Π.20.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.20 – Όρια Φωτισμού για κατηγορίες CE

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

Οι κλάσεις φωτισμού CE αφορούν σε περιπτώσεις όπου η μέτρηση της λαμπρότητας δεν είναι καθοριστικής σημασίας, όπως σε περιπτώσεις όπου το πεδίο όρασης του οδηγού δεν εκτείνεται σε απόσταση 60 μέτρων, όπως προβλέπει το πρότυπο για τη μέτρηση της λαμπρότητας. Το φωτομετρικό μέγεθος που παρουσιάζει, συνεπώς, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην παρούσα περίπτωση είναι η ένταση φωτισμού, η οποία ακολουθείται από το αντίστοιχο μέγεθος της ομοιομορφίας της. Οι κατηγορίες CE αφορούν σε δρόμους κοντά σε διασταυρώσεις, με υψηλή πιθανότητα ατυχήματος και γενικότερα δρόμους των λεγόμενων περιοχών σύγκρουσης.

Οι κατηγορίες S και A αναφέρονται σε πεζόδρομους ή δρόμους με συχνή παρουσία πεζών και ποδηλατών, πλησίον κατοικημένων περιοχών ή παράπλευρων σε αυτοκινητόδρομους. Τα αντίστοιχα όρια για αυτές τις κατηγορίες είναι τα εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.21 – Όρια Φωτισμού για κατηγορίες S

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

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.22 – Όρια Φωτισμού για κατηγορίες A

Class	Hemispherical illuminance	
	E _{hs} in Lux [minimum maintained]	U _o [minimum]
A1	5	0.15
A2	3	0.15
A3	2	0.15
A4	1.5	0.15
A5	1	0.15
A6	performance not determined	performance not determined

Ο Πίνακας Π.23, τέλος, παρουσιάζει κατά στήλες τις συγκρίσιμες κατηγορίες δρόμων.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.23 – Συγκρίσιμες Κατηγορίες Δρόμων

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