



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύγκριση φωτιστικών σωμάτων LED με φωτιστικά σώματα μαγνητικής επαγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Δ. Φάββα

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύγκριση φωτιστικών σωμάτων LED με φωτιστικά σώματα μαγνητικής επαγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Δ. Φάββα

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Κωνσταντίνος Καραγιαννόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2015

.....
Μαρία Δ. Φάββα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright© Μαρία Δ. Φάββα, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας τον επιβλέποντα καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών κ. Καραγιαννόπουλο Κωνσταντίνο για την άμεση βοήθεια και ανταπόκρισή του και τους καθηγητές κ. Θεοδώρου Νικόλαο και κ. Τσαραμπάρη Παναγιώτη για την πρόθυμη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή. Στη συνέχεια, θερμές ευχαριστίες οφείλω στα αδέρφια μου Αναστασία, Χαράλαμπο, Αποστόλη και Δωροθέα για την πρακτική και ηθική συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας και κατά την εν γένει σπουδαστική μου πορεία. Τέλος, ευχαριστίες αρμόζουν προ πάντων στους γονείς μου Δημήτριο και Αικατερίνη που με πολλούς κόπους και προσωπικές θυσίες μου έδωσαν τη δυνατότητα να σπουδάσω ένα από τα πιο πρακτικά και ενδιαφέροντα επιστημονικά αντικείμενα, αυτό του ηλεκτρολόγου μηχανικού, και έτσι να αποκτήσω όχι μόνο εφόδια για την επαγγελματική μου επιβίωση, αλλά και διευρυμένους ορίζοντες σκέψης και πνεύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πληθώρα από διαφορετικά είδη και ποικιλίες φώτων στην αγορά προκαλεί σύγχυση στην επιλογή αυτού που θα ταιριάζει καλύτερα στις συγκεκριμένες ανάγκες του καταναλωτή. Ο κάθε αγοραστής καλείται να συγκρίνει όχι μόνο τις τιμές, αλλά και την ενεργειακή κατανάλωση, τη φωτεινή ροή, το δείκτη χρωματικής απόδοσης, την ενεργειακή απόδοση και μια ολόκληρη γκάμα άλλων περιγραφών. Η ακόλουθη αξιολόγηση έχει σαν στόχο να παρέχει μία σύγκριση των φώτων που συχνά βρίσκονται ανταγωνιστές στις ίδιες εφαρμογές. Αυτά είναι τα φωτιστικά συστήματα LED και τα συστήματα μαγνητικής επαγωγής.

Είναι οι δύο πιο συνήθεις επιλογές εξοπλισμού για φωτισμό εξωτερικών και δυσπρόσιτων περιοχών λόγω της μακράς διάρκειας και του χαμηλού κόστους συντήρησής τους. Για παράδειγμα, συχνά χρησιμοποιούνται σε πεζοδρόμια, οδικό φωτισμό, σήραγγες, ράμπες στάθμευσης και εξωτερικούς χώρους όπου είναι δύσκολο να αλλάζονται οι λαμπτήρες σε τακτική βάση. Η έρευνα που διεξήχθη επικεντρώθηκε στην εφαρμογή των λαμπτήρων LED, επαγωγής και HPS σε οδικό φωτισμό.

Αρχικά, παρουσιάζονται ο τρόπος διεξαγωγής και τα αποτελέσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην πόλη του San Diego, όπου συγκρίνονται οι νέες τεχνολογίες, LED και επαγωγής, με τα παραδοσιακά φώτα HPS.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μία συγκριτική ανάλυση των δύο νέων τεχνολογιών ως προς τους κυριότερους παράγοντες διαφοροποίησής τους με παράλληλη αναφορά στα αποτελέσματα της έρευνας.

Λέξεις Κλειδιά:

Λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, LED, φωτιστικά συστήματα, δίοδοι εκπομπής φωτός, ενεργειακή απόδοση, κόστος συντήρησης, κόστος φωτισμού, σύγκριση νέων τεχνολογιών, οδικός φωτισμός

ABSTRACT

With so many different types and varieties of lights on the market, choosing one to best suits a customer needs can be downright confusing. Not only do we have to compare prices, but we also have to contend with watts, lumens, CRIs, energy efficiency, and a whole gamut of other descriptors. The following assessment's goal is to provide a side-by-side comparison of lights which often find themselves as competitors in the same application. These are led versus magnetic induction lamps.

Because LED and induction lights are long lasting and low maintenance, they are the two most common retrofit choices for outdoor and difficult to access lighting areas. For instance, they are often used in wallpacks, pole lights, street lights, tunnels, parking ramps and in the outdoor systems where it's inconvenient to change bulbs on a regular basis. The research conducted concentrated on the application of led, induction and HPS lamps in street lighting.

Initially, are shown the pattern and the results of the study conducted in the city of San Diego, where new technologies, LED and induction, are compared with conventional HPS lights.

The following chapter provides a comparative analysis of the two new technologies regarding their main differentiating factors with parallel reference to the results of the research.

Keywords:

Magnetic induction lamps, LED, lighting systems, light emitting diodes, energy efficiency, maintenance cost, lighting cost, comparing new technologies, street lighting

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	11
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	16
1.2.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ.....	17
1.2.3 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	18
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	18
1.3.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	19
1.3.2 ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ	21
1.3.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	22
1.3.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	24
1.3.5 ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	25
1.3.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	25
1.3.7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ	26
1.3.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	26
1.3.9 ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΝΥΧΤΕΡΙΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ	31
1.3.10 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ	31
1.3.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	33
1.3.12 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	34
1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	35
1.4.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	35
1.4.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	37
1.4.3 ΜΕΤΡΗΘΕΝΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	42
1.4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	46
1.4.5 ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	47
1.4.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	48
1.4.7 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	53
1.5 ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ.....	56
1.5.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	56
1.5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	56
1.5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ.....	57
1.5.4 ΤΟ ΧΡΩΜΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ	58

1.5.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	59
1.5.6	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	60
1.5.7	ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΤΕΙΝΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ	61
1.5.8	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ	66
1.6	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	66
1.6.1	ΔΗΛΩΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΣΟΠΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΤΟΠΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	66
1.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
1.8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΞΩΦΥΛΛΟ ΦΟΡΜΑΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	69
1.9	Παράρτημα Β: Μετρήσεις Τοποθεσίας.....	72
1.10	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ.....	87
1.11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	88
1.12	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ E: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ	93
1.13	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΙΜΩΝ LS-2 ΤΗΣ SDG&E	94
1.14	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ G: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ SAN DIEGO	106
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β	116
	2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	116
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ	118
	3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	118
3.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ.....	120
3.2	ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	125
3.3	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ S/P	130
3.4	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ	135
3.5	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ THD.....	137
3.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	142
3.7	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	147
3.8	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΚΡΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	152
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ	155
	4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	155
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε.....	156
	5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	156

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρχικά, παρατίθεται μια μελέτη προηγμένων και νέων τεχνολογιών φωτισμού οδών, η οποία πραγματοποιήθηκε στην πόλη του San Diego και η συγγραφή της ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2010. Τη χρηματοδότηση του συγκεκριμένου έργου ανέλαβε η εταιρεία San Diego Gas and Electric (SDG&E) με τον Jerine Ahmed ως διαχειριστή του έργου. Ο πρωταρχικός σκοπός του έργου αξιολόγησης ήταν να καθοριστούν εφικτές επιλογές εξοικονόμησης ενέργειας για το υπάρχων σύστημα φωτισμού των δρόμων της πόλης του San Diego. Αυτό επετεύχθη μέσω ενός πειράματος, κατά το οποίο η υπάρχουσα τεχνολογία φωτισμού συγκρίθηκε με πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούν φωτισμό ευρέως φάσματος. Ο στόχος της μελέτης ήταν να εκτιμηθούν οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας των προηγμένων τεχνολογιών και να αξιολογηθούν τα χαρακτηριστικά απόδοσης του φωτός, προκειμένου να προσδιοριστεί η καταλληλότητα των τεχνολογιών αυτών για εφαρμογές φωτισμού στην πόλη του San Diego.

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

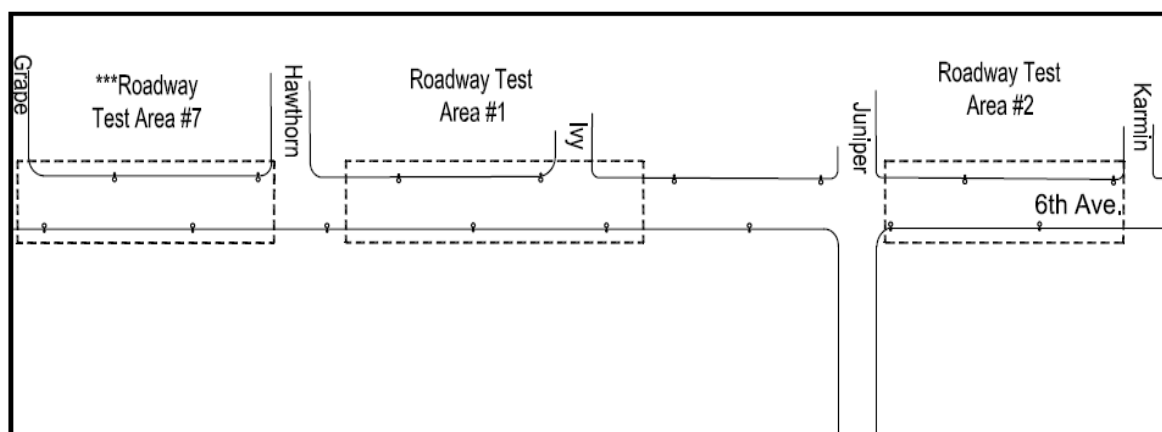
Η επικράτεια εξυπηρέτησης της San Diego Gas & Electric περιλαμβάνει 145.000 φώτα δρόμου, εκ των οποίων 105.000 συντηρούνται από δήμους. Το σύστημα φωτισμού ενός δρόμου λειτουργεί συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας, με συνολική κατανάλωση ενέργειας 58GWh το χρόνο στο διάγραμμα τιμών LS-2. Δεδομένης της δυνατότητας για σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας μέσω πιο αποτελεσματικών και ουσιαστικών σχεδίων φωτισμού των δρόμων, μια αξιολόγηση σχετικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα και τα χαρακτηριστικά φωτισμού διεξήχθη σε προηγμένες τεχνολογίες φωτισμού δρόμων. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε ο φωτισμός ευρέως φάσματος που παρέχεται από φωτεινές πηγές LED και επαγωγής.

Η εταιρεία Emerging Technologies Associates, με τον Daryl Dejean επικεφαλή, ανέλαβε τις αρχικές ρυθμίσεις του έργου, τον συντονισμό των προσπαθειών με την πόλη, το Τμήμα Ενέργειας, το μη κερδοσκοπικό οργανισμό International Dark Sky Association, και την επί τόπου αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του φωτός. Ο Michael Mutmansky της εταιρείας Clanton & Associates, της πόλης Boulder του Colorado ανέπτυξε και ανέλαβε την εκτέλεση του τμήματος έρευνας του έργου. Τέλος, Οι Δρ. Ron Gibbons και Chris Edwards του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Virginia (Virginia Tech Transportation Institute) ανέπτυξαν, πραγματοποίησαν και ανέφεραν τις δοκιμές 'απόδοσης' ορατότητας που περιγράφονται στην παρούσα έκθεση.

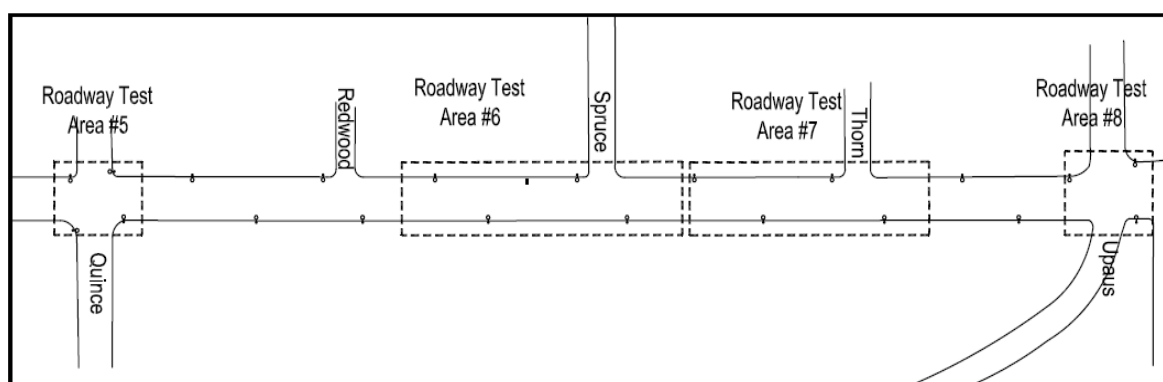
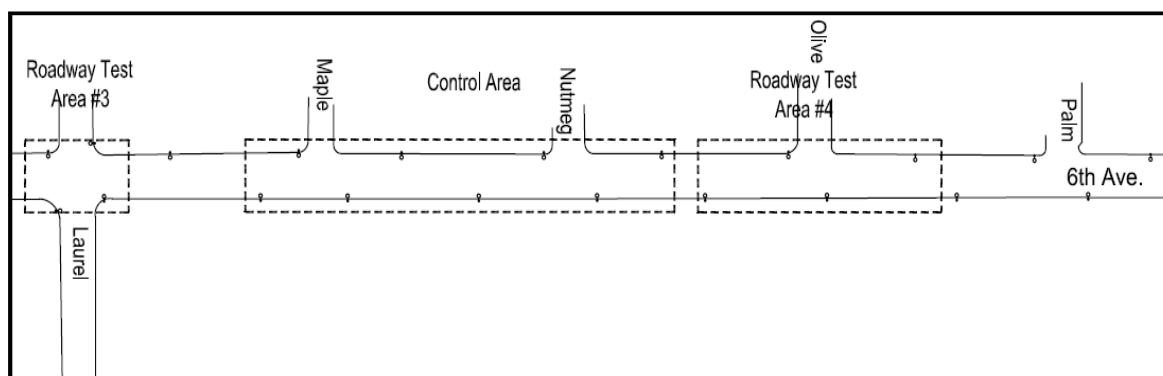
Ο φωτισμός των δρόμων της πόλης του San Diego απαιτεί λαμπτήρες ειδικών χαρακτηριστικών λόγω της συμφωνίας της με τους τοπικούς αστρονόμους του Αστεροσκοπείου Palomar: “Για λόγους συνέπειας με τους τοπικούς αστρονόμους, θα πρέπει να εξεταστούν μόνο τα 3000K, ως η θερμοκρασία χρώματος για κάθε μέσο φως δρόμου.” Η SDG&E τίμησε το αίτημα της πόλης να αξιολογήσει τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας των τεχνολογιών ευρέως φάσματος φωτισμού, συγκεκριμένα επαγωγής και LED, στην απαιτούμενη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος των 3000K (Correlated Color Temperature-CCT). Τα μειωμένα οφέλη ενεργειακής απόδοσης που οφείλονταν στη χαμηλότερη θερμοκρασία χρώματος (CCT) για φωτισμό δρόμων με χρήση LED ήταν πλήρως κατανοητά από την SDG&E. Το έργο συνεχίστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη (πόλη του San Diego). Επιπροσθέτως, έγινε κατανοητό ότι λόγω των μειωμένων οφελών της ενεργειακής απόδοσης, οι οικονομικές επιπτώσεις θα ήταν διαφορετικές από εκείνες που είχαν αναφερθεί σε παρόμοια έργα αξιολόγησης μέχρι σήμερα κατά τα οποία η θερμοκρασία χρώματος δεν αποτελούσε παράγοντα ή επιτρεπόταν να έχει υψηλότερη τιμή.

Το έργο αποτελείται από οχτώ διαφορετικές περιοχές δοκιμών. Όλες αυτές οι περιοχές βρίσκονται κατά μήκος ενός δρόμου που έχει χαρακτηριστεί ως εμπορικός/διανομής. Ενώ υπάρχουν και κάποιες κατοικίες στη μία πλευρά του δρόμου, είναι μέσα στην κεντρική περιοχή που έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή με μικτές χρήσεις. Κάθε περιοχή αποτελείται από τέσσερα φωτιστικά με διαφορετική φωτεινή πηγή και κατασκευαστή φωτιστικού. Τρεις περιοχές χρησιμοποιούν τεχνολογία LED, τρεις χρησιμοποιούν τεχνολογία επαγωγής και δύο την υπάρχουσα τεχνολογία Νατρίου Υψηλής Πίεσης (HPS) ως μέτρο σύγκρισης. Κάθε τεχνολογική περιοχή περιλαμβάνει μία διασταύρωση καθώς και δύο αυτοκινητόδρομους. Μετρήσεις ποσοτικού φωτός και ηλεκτρικής ενέργειας, φωτογραφίες, μία μελέτη φωτισμού που βασίστηκε στην υποκειμενική κρίση, δοκιμές ανίχνευσης ορατότητας αντικειμένου και ‘απόδοσης’ παρασχέθηκαν.

Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα κάποιων δοκιμών.



Σημείωση δοκιμαστικής περιοχής *7: Οι σκοτοπικές και φωτοπικές μετρήσεις καταγράφηκαν σε αυτή την περιοχή. Οι υπολογισμοί απόστασης ανίχνευσης (STV) πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή δοκιμής 7, που προσδιορίζεται στην εικόνα 3.



Περιοχη δοκιμής	Τεχνολογία	Watts/λαμπτήρα	Watts/φωτιστικό
1	Επαγωγής	165W	165W
2	Επαγωγής	150W	160W
3	Επαγωγής	165W	165W
4	LED	-	198W
5	LED	-	146W
6	LED	-	94W
7	υπάρχων HPS(αυτοκινητόδρομος)	250W	288W
8	υπάρχων HPS(διασταύρωση)	150W	180W

Αποτελέσματα του έργου

Τα αποτελέσματα του έργου αξιολόγησης υποδεικνύουν ότι μια αλλαγή στην τεχνολογία φωτισμού των δρόμων από την τρέχουσα τεχνολογία νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) σε μια προηγμένη τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιεί φωτισμό ευρέως φάσματος μπορεί να επιφέρει μια σειρά από οφέλη. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας (μέχρι 40%)
- Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) (γράφημα στο παράρτημα G: ανάλυση κόστους του κύκλου ζωής της πόλης του San Diego)
- Βελτιωμένη απόδοση των χρωμάτων (μια πιο ευχάριστη όψη εντός της πόλης του San Diego)
- Μειωμένα κόστη συντήρησης (μεγαλύτερη διάρκεια ζωής λαμπτήρα με αποτέλεσμα λιγότερες αντικαταστάσεις του λαμπτήρα)

Άλλα έμμεσα οφέλη περιλαμβάνουν μείωση της φωτορύπανσης και με προσεκτική επιλογή των φωτιστικών αντικατάστασης, μείωση των πιθανών κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία που συνδέονται με τους ανθρώπινους κίρκαδικούς ρυθμούς και την παραγωγή μελατονίνης.

Τα αποτελέσματα της υποκειμενικής έρευνας υποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει έντονη προτίμηση υπέρ ή κατά πηγών φωτισμού ευρέως φάσματος για φωτισμό οδών στην πόλη του San Diego. Αυτό συνεπάγεται ότι η κοινωνία θα αποδεχθεί μια ενδεχόμενη αλλαγή από φωτεινές πηγές HPS (πηγές ήπιου κίτρινου φωτός) σε άλλη πιο αποδοτική τεχνολογία που εκλαμβάνεται ως 'λευκό φως'. Τα αποτελέσματα του αντικειμενικού ελέγχου απόδοσης υποδηλώνουν ότι δεν παρατηρείται σημαντική μείωση της οπτικής απόδοσης με τη μείωση του επιπέδου φωτός που σχετίζεται με τις εναλλακτικές τεχνολογίες φωτισμού δρόμων με λαμπτήρες λευκού φωτός, το οποίο σημαίνει ότι μια αλλαγή από την υπάρχουσα τεχνολογία φωτισμού HPS σε πιο αποδοτική ευρέως φάσματος μπορεί να μην οδηγήσει σε μείωση των πραγματικών οφελών όσον αφορά την ασφάλεια, από την άποψη των αποστάσεων εντοπισμού και της απόδοσης οχημάτων.

Ορισμένοι παράγοντες θα πρέπει να εξεταστούν πριν ληφθεί οποιαδήποτε απόφαση για αλλαγή από τις υπάρχουσες τεχνολογίες φωτισμού σε προηγμένες ευρέως φάσματος. Ενώ η ενεργειακή απόδοση και τα χαρακτηριστικά απόδοσης φωτισμού είναι σημαντικοί παράγοντες για να ληφθούν υπ' όψη, η πόλη του San Diego, θα πρέπει επίσης να εξετάσει την επίπτωση του ευρέως φάσματος φωτισμού στην τοπική αστρονομική κοινότητα. Είναι αναγκαία η προσεκτική μελέτη των πιθανών μειονεκτημάτων μιας αλλαγής του φωτισμού των οδών προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οποιαδήποτε απόφαση είναι καλά προγραμματισμένη και όλα τα ενδεχόμενα προβλήματα είναι εκ των προτέρων γνωστά, κατανοητά και έχουν επιλυθεί πριν την πραγματοποίηση οποιασδήποτε ενέργειας. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη όλους τους παράγοντες η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών φωτισμού θα είναι περισσότερο επιτυχής και αποδεκτή.

Τα συμπεράσματα του συγκεκριμένου έργου αποσκοπούν στην απόδοση της βιωσιμότητας των τεχνολογιών ευρέως φάσματος σε εφαρμογές φωτισμού των οδών. Τα ευρήματα δεν προτείνουν ή εγκρίνουν μια συγκεκριμένη τεχνολογία. Ως εκ τούτου, οι αναγνώστες συνιστάται να ασκούν τη δική τους επί τόπου εκτίμηση της τεχνολογίας

ευρέως φάσματος με βάση συγκεκριμένες προϋποθέσεις και απαιτήσεις, καθώς και για οικονομικούς λόγους.

Παρόλο που δεν θεωρείται μέρος της αξιολόγησης, ίσως είναι σκόπιμο να εξεταστούν άλλες τεχνολογίες φωτισμού, εκτός από τις πηγές φωτός για οποιοδήποτε έργο αντικατάστασης της τεχνολογίας φωτισμού δρόμων του εύρους μιας πόλης. Μια δυνατότητα που αξίζει προσοχή είναι τα προσαρμοζόμενα συστήματα ελέγχου φωτισμού, τα οποία προσαρμόζουν τον φωτισμό εξόδου ενός μεμονωμένου συστήματος ή ολόκληρου του συστήματος φωτισμού του δρόμου με το περιβάλλον του με την εξασθένηση της έντασης. Η εφαρμογή αυτών των ελέγχων μπορεί να βελτιώσει την εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς και να μειώσει τη συντήρηση και τη φωτορύπανση. Για την πόλη του San Diego, τα προσαρμοζόμενα συστήματα φωτισμού θα μπορούσαν να συμβάλλουν στη μείωση των επιδράσεων του ευρέως φάσματος φωτισμού στην τοπική αστρονομική κοινότητα.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έργο αξιολόγησης της προηγμένης τεχνολογίας φωτισμού της πόλης του San Diego έχει σκοπό να παρέχει στην SDG&E και την πόλη του San Diego μια εκτίμηση των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας του φωτός ευρέως φάσματος που παρέχεται τόσο από φωτεινές πηγές LED όσο και επαγωγής, ενώ διατηρεί κρίσιμα χαρακτηριστικά φωτός απαραίτητα σε εφαρμογές φωτισμού δρόμων. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν ποιότητα φωτός, αισθητική, συντήρηση, δημόσια ασφάλεια για τους πεζούς και τους αυτοκινητιστές και την επίδραση στο περιβάλλον όπως η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επίδραση στον νυχτερινό ουρανό και την αστρονομική κοινότητα λόγω της εγγύτητας του Αστεροσκοπείου Palomar.

Οι ακριβείς στόχοι του έργου είναι:

1. Να καθοριστούν οι δυνατότητες μείωσης ενέργειας των προηγμένων τεχνολογιών φωτισμού δρόμων, LED και επαγωγής, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές HPS.
2. Να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά φωτός κάθε τεχνολογίας, προκειμένου να καθοριστεί εάν η ενεργειακή απόδοση είναι δυνατή χωρίς συμβιβασμό στην απόδοση του φωτός.
3. Να διεξαχθεί μία ανάλυση των οικονομικών επιπτώσεων (ανάλυση κόστους κύκλου ζωής) που επιφέρει κάθε τεχνολογία σε σύγκριση με την τεχνολογία HPS.
4. Να προσδιοριστούν εναλλακτικές τεχνολογίες φωτισμού που είναι κατάλληλες για αντικατάσταση των τεχνολογιών νατρίου υψηλής πίεσης.
5. Να συλλεχθούν και να αναλυθούν δεδομένα απόστασης ανίχνευσης στόχου υπό τις φωτεινές πηγές της δοκιμαστικής περιοχής, για την κατανόηση της

οπτικής απόδοσης των διαφόρων τεχνολογιών φωτισμού δρόμων και την επίδραση (θετική ή αρνητική) στη δημόσια ασφάλεια.

6. Να εκτιμηθούν υποκειμενικές γνώμες των πολιτών όσον αφορά τις διάφορες πηγές φωτός που ενδεχομένως να αποτελούν κατάλληλη επιλογή για αντικατάσταση των φωτιστικών της πόλης του San Diego.
7. Να εξακριβωθούν οι παράμετροι ή τα χαρακτηριστικά των προτεινόμενων τεχνολογιών, τα οποία μπορεί να είναι κρίσιμα στη διαδικασία αξιολόγησης της τεχνολογίας.

1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το τμήμα περιβαλλοντικών υπηρεσιών (ESD) της πόλης του San Diego έχει πραγματοποιήσει ενεργειακές βελτιώσεις σε ποικίλες υπάρχουσες εγκαταστάσεις της πόλης. Κατά τη διάρκεια μετατροπών των φωτιστικών σε νέο τύπο φωτισμού, φθορίζοντος φωτός, ανακαλύφθηκε ότι το ευρέως φάσματος, 'λευκό φως' είναι ικανό να ενισχύσει την οπτική οξύτητα. Η πόλη του San Diego προσπάθησε να διευρύνει την εφαρμογή φωτισμού ευρέως φάσματος, προκειμένου να καθορίσει τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει σε εξωτερικό φωτισμό.

Προκειμένου να εκτιμηθούν τα διάφορα είδη τεχνολογίας ευρέως φάσματος φωτισμού, η πόλη του San Diego και η SDG&E συνεργάστηκαν για να προσδιορίσουν και να αξιολογήσουν την προηγμένη τεχνολογία φωτισμού, η οποία μπορεί να ωφελήσει το κοινό. Σε μια συλλογική προσπάθεια του τμήματος Αναδυόμενων Τεχνολογιών (ET) της SDG&E, προγραμμάτων συνεργασίας τοπικών κυβερνητικών φορέων και της πόλης του San Diego πάρθηκε απόφαση να διεξαχθεί μία δοκιμή των προηγμένων τεχνολογιών με χρήση φωτεινών πηγών ευρέως φάσματος, όπως επαγωγής και LED στερεάς κατάστασης (SSL), ώστε να αξιολογηθούν τα οφέλη.

Η απόφαση βασίστηκε στο γεγονός ότι η τρέχουσα έρευνα υποδεικνύει ότι το ανθρώπινο μάτι μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα αντικείμενα σε χαμηλά επίπεδα φωτός όταν το φάσμα της πηγής είναι ευρύ, τόσο με μικρό όσο και με μεγάλο μήκος κύματος, κοινώς αντιληπτό ως 'λευκό φως'. Οι τεχνολογίες μεταλλικών αλογονιδίων, επαγωγής και LED με δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) μεγαλύτερο ή ίσο του 65 μπορούν να παράγουν περισσότερο 'λευκό φως' από έναν τυπικό λαμπτήρα HPS (με δείκτη χρωματικής απόδοσης κατά προσέγγιση 20), ή τους λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης (LPS), οι οποίοι χρησιμοποιούνται κοντά σε αστεροσκοπεία (με δείκτη απόδοσης κατά προσέγγιση 5). Σε προηγούμενη έρευνα έχει διαπιστωθεί ότι οι φωτεινές πηγές ευρέως φάσματος βελτιώνουν το χρόνο αντίληψης – αντίδρασης παρέχοντας στους χρήστες του οδοστρώματος καλύτερη περιφερειακή όραση. Πολλαπλές τεχνολογίες παράγουν λευκό φως με ελαφρώς διαφορετικές αποδόσεις και συνολικά οπτικά αποτελέσματα.

Το συγκεκριμένο έργο βασίστηκε στην εμπειρία και τα συμπεράσματα που αποκομήθηκαν από προηγούμενες μελέτες μετατροπής φωτισμού ευρέως φάσματος

που διεξήχθησαν στην Αλάσκα, το Μίσιγκαν και τη Νότια Καλιφόρνια. Το έργο είναι μοναδικό, διότι περιλαμβάνει τόσο δημόσιες εισροές όσο και αξιολογήσεις φωτισμού με χρήση υπερασύγχρονου εξοπλισμού συλλογής δεδομένων ώστε να συγκριθεί η αποτελεσματικότητα των δύο ανταγωνιστικών τεχνολογιών, LED και επαγωγής, σε σχέση με τη βασική περίπτωση της υπάρχουσας τεχνολογίας φωτισμού HPS. Τα αποτελέσματα των δοκιμών θα είναι μέρος ενός συνόλου δεδομένων, τα οποία θα συμβάλλουν στην αξιολόγηση του ρόλου της φασματικής κατανομής του λαμπτήρα και της ορατότητας υπό μεσοπικές συνθήκες φωτισμού. Αυτά τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν στην επανεξέταση του οργανισμού IESNA TM-12-06 'φασματικές επιδράσεις φωτισμού στην οπτική απόδοση σε μεσοπικά επίπεδα φωτός'. Το έργο επιπλέον θα επικυρώσει τους ισχυρισμούς των κατασκευαστών αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας, τα επίπεδα και τα χαρακτηριστικά του φωτός και θα μπορούσε στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί από άλλες πόλεις και υπηρεσίες των ΗΠΑ, προκειμένου να ληφθούν τεκμηριωμένες αποφάσεις ως προς την επιλογή νέας ενεργειακά αποδοτικής τεχνολογίας φωτισμού δρόμου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα του έργου ισχύουν για συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών πεδίου: δρόμος δύο λωρίδων (δηλαδή δύο λωρίδες κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση) με τα υπάρχοντα φωτιστικά HPS ισχύος 250W με συγκεκριμένη απόσταση στύλων και ύψος στήριξης του φωτιστικού. Η καθορισμένη αντικατάσταση απαιτεί θερμοκρασία χρώματος (CCT) 3000K. Επιπρόσθετα, η οικονομική ανάλυση βασίστηκε σε υποθέσεις όπως το κόστος ενέργειας, τα κόστη συντήρησης και φωτιστικών, τα οποία είναι συγκεκριμένα στην πόλη του San Diego. Οι αναγνώστες συνιστάται να χρησιμοποιούν τις δικές τους εκτιμήσεις και παραδοχές κόστους όταν είναι δυνατόν.

1.2.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ

Οι νέες τεχνολογίες φωτισμού δρόμων χαρακτηρίζονται από τα πιθανά οφέλη της βελτιωμένης απόδοσης, καλύτερα χαρακτηριστικά συντήρησης και βελτιωμένες δυνατότητες ελέγχου, οι οποίες προσφέρουν μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του κόστους συντήρησης, επιφέροντας συνολικό καθαρό κέρδος στην πόλη του San Diego και τους πολίτες της. Οι τεχνολογίες λευκού φωτός επίσης έχουν τη δυνατότητα για βελτιωμένη οπτική απόδοση και προτιμώμενη αισθητική, που μπορεί επίσης να έχει ως αποτέλεσμα ανυπολόγιστο αλλά αξιολογικό όφελος.

Οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν μέσω αυτού του έργου θα παρέχουν κατεύθυνση στην πόλη του San Diego για μελλοντικές εφαρμογές φωτισμού δρόμων. Επιπλέον, άλλοι δήμοι μελετούν παρόμοια συστήματα φωτισμού και τα αποτελέσματα του έργου μπορούν να τους παρέχουν τις κατάλληλες πληροφορίες όσον αφορά ζητήματα απόδοσης που σχετίζονται με το λευκό φως. Η δημοσίευση του έργου μπορεί

να προσφέρει γνώση στο κοινό για τμήματα σχεδιασμού και μεταβλητές νυχτερινής ορατότητας που αξίζει να εξεταστούν.

Το έργο αντιπροσωπεύει πρώιμα αποτελέσματα ως προς τις επιπτώσεις του 'λευκού φωτός' στο φωτισμό οδών και αυτοκινητόδρομων. Η έρευνα αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου συνόλου γνώσεων που μπορεί να επηρεάσει τις συστάσεις του μη κερδοσκοπικού οργανισμού Illuminating Engineering Society της Νότιας Αμερικής (IESNA) για το φωτισμό αυτοκινητόδρομων, και τελικά να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό οι πρακτικές σχεδιασμού της επιστημονικής κοινότητας φωτοτεχνίας στο σύνολό τους.

1.2.3 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προηγούμενες μελέτες των φωτιστικών LED διεξήχθησαν στο Oakland και το San Francisco μέσω του προγράμματος νεοεμφανιζόμενων τεχνολογιών της Pacific Gas & Electric (PG&E), με την υποστήριξη του Τμήματος Ενέργειας. Οι συγκεκριμένες μελέτες αξιολόγησαν έναν μικρότερο αριθμό φωτιστικών LED λιγότερης κατανάλωσης σε κατοικημένες περιοχές και επικεντρώθηκαν κατά κύριο λόγο στην ενεργειακή κατανάλωση και την οικονομική απόδοση. Δεν υπήρχε κάποια παράμετρος σε εφαρμογή σε αυτές τις μελέτες σχετικά με τη θερμοκρασία χρώματος της φωτεινής πηγής.

Για τη διεξαγωγή της μελέτης του Oakland οι ερευνητές επικοινωνήσαν με κατοίκους, ώστε να μάθουν εάν παρατήρησαν τον νέο φωτισμό και αν ναι, τους ζητήθηκε να διατυπώσουν τις προτιμήσεις τους. Η μελέτη δεν χρησιμοποίησε έναν καθορισμένο αριθμό ατόμων στο χώρο δοκιμής ταυτόχρονα. Ούτε η μελέτη του Oakland ούτε του San Francisco συμπεριέλαβε τα στοιχεία αντικειμενικής ορατότητας της αξιολόγησης της πόλης του San Diego, προκειμένου να προσομοιώσει την οδήγηση και να μελετήσει την απόδοση ανίχνευσης στόχου.

Οι Clanton & Associates και Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) πραγματοποίησαν πρόσφατα δύο παρόμοιες υποκειμενικές και αντικειμενικές έρευνες απόδοσης για το δήμο του Anchorage. Οι συγκεκριμένες μελέτες συμπεριέλαβαν την αξιολόγηση των φωτιστικών με δύο διαφορετικές εξόδους φωτός, σε μια προσπάθεια να αποδειχθεί η αντίληψη για τον προσαρμοζόμενο έλεγχο φωτισμού.

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το έργο αποτελείται από μια ενεργειακή αξιολόγηση, μια υποκειμενική έρευνα, και μια αντικειμενική έρευνα της απόδοσης για τη συλλογή ποσοτικών δεδομένων. Η ενεργειακή αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με αξιολόγηση των μετρήσεων ισχύος των

συστημάτων φωτισμού του δρόμου και με πολλαπλασιασμό των ωρών λειτουργίας για την παραγωγή τυπικών συνόλων χρήσης ενέργειας για το έτος. Το υποκειμενικό κομμάτι της έρευνας είχε ως στόχο να προσδιορίσει την αποδοχή από την κοινωνία των πηγών ευρέως φάσματος φωτισμού. Το αντικειμενικό κομμάτι είχε ως στόχο να καθορίσει τα μέτρα ορατότητας των πηγών ευρέως φάσματος μέσω της μεθόδου Ορατότητας Μικρού Στόχου (STV). Ο συνδυασμός υποκειμενικού και αντικειμενικού μέρους στοχεύει στην παροχή γνώσεων σχετικά με την ορατότητα που προσφέρεται από διάφορα φωτιστικά συστήματα και τις προτιμήσεις του κοινού για αυτές τις τεχνολογίες.

1.3.1 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

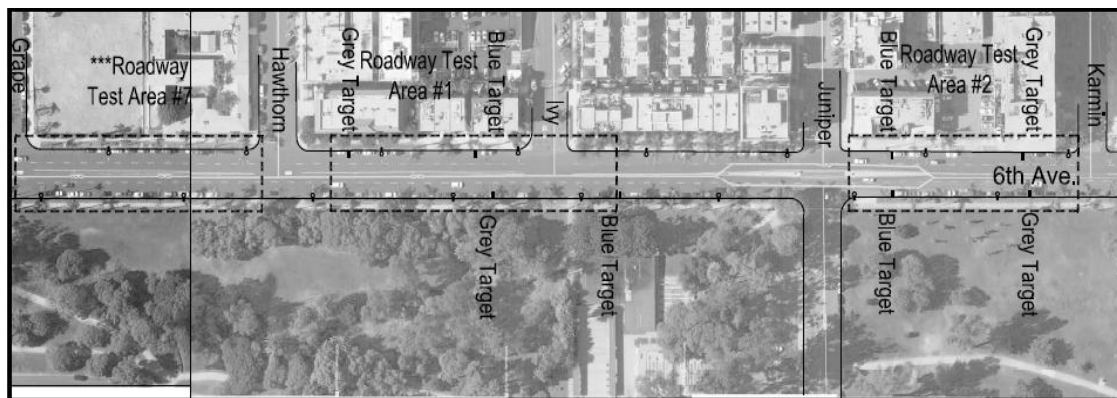
Η τοποθεσία των δοκιμών αποτελούνταν από αυτοκινητόδρομο τεσσάρων λωρίδων σε περιοχή κατοικιών με χαμηλό συντελεστή δόμησης και κατοικίες με υψηλό κατά μήκος της 6^{ης} λεωφόρου στην πόλη του San Diego. Η έκτη λεωφόρος είναι μια ομοιόμορφη έκταση δρόμου με προσανατολισμό βορρά-νότου με ομοιόμορφο πλάτος κατά προσέγγιση 62' και μια τυπική λωρίδα στάθμευσης στα ανατολικά, δύο λωρίδες κίνησης προς βορρά, δύο προς νότο, και μια λωρίδα στάθμευσης στη δυτική πλευρά. Υπήρχαν διάφορα τμήματα όπου το πλάτος μειωνόταν και υπήρχε μόνο χώρος στάθμευσης στην ανατολική πλευρά, ή ο χώρος στάθμευσης είχε ληφθεί προκειμένου να παρέχει μια λωρίδα αριστερής στροφής, ωστόσο ο αριθμός των λωρίδων κίνησης παρέμενε σταθερός. Το οδόστρωμα ήταν σχετικά επίπεδο στην πλειοψηφία των περιοχών όπου πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές (κατά προσέγγιση 14 τετράγωνα). Υπήρχε μια ελαφριά κατηφορική κλίση που ξεκινούσε από την οδό Laurel και συνέχιζε στην οδό Grape. Η περιοχή έχει χαρακτηριστεί ως εμπορική/διανομής. Ενώ υπάρχουν μερικές κατοικίες στην μια πλευρά του δρόμου, η 6^η λεωφόρος βρίσκεται μέσα στην περιοχή του κέντρου της πόλης που περιλαμβάνει μεικτές κατοικίες.

Ο δρόμος συνορεύει με το πάρκο Balboa στην ανατολική πλευρά και υπάρχει ένα απομονωμένο πεζοδρόμιο σε όλο το μήκος της περιοχής δοκιμής. Στη δυτική πλευρά υπάρχει μη απομονωμένο/απομονωμένο πεζοδρόμιο, ανάλογα με τις συνθήκες. Η δυτική πλευρά περιλαμβάνει επίσης πολυάριθμα κτίρια, από μικρότερα συνεχόμενα σπίτια μέχρι κατοικίες υψηλού συντελεστή δόμησης, καθώς και ορισμένα εμπορικά κτίρια. Υπάρχει ένα μείγμα δέντρων σε αμφότερες πλευρές του δρόμου (συμπεριλαμβανομένων και των φοινίκων), χωρίς κανένα να εμποδίζει το σύστημα φωτισμού του δρόμου σε σημαντικό βαθμό.

Η διαδρομή περιλάμβανε μια σειρά τμημάτων εναλλακτικού φωτισμού, εκτός από τις τρέχουσες τεχνολογίες οδοστρώματος. Οχτώ διαφορετικές περιοχές δοκιμών αξιολογήθηκαν σε αυτό το πείραμα. Οι περιοχές αυτές υποδεικνύονται στον πίνακα 1-1.

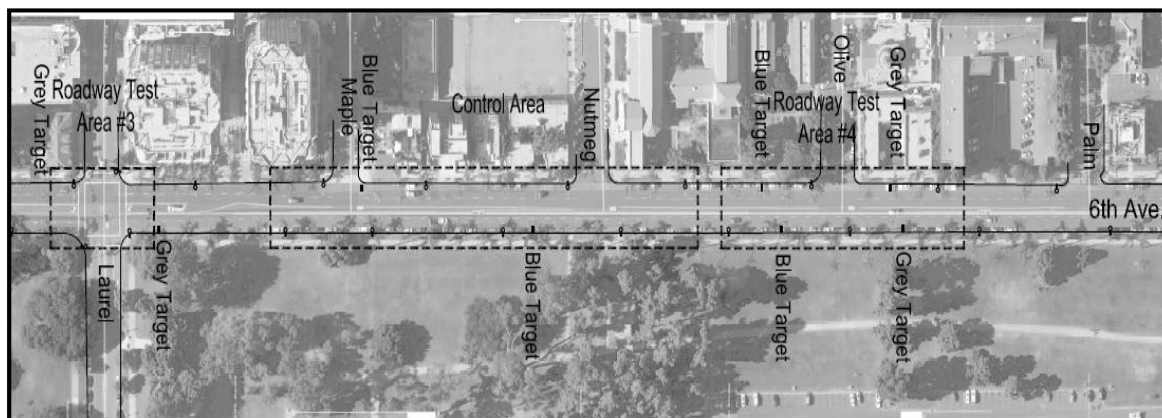
Περιοχή δοκιμής	Τεχνολογία	Watts/λαμπτήρα	Watts/φωτιστικό
1	Επαγωγής	165W	165W
2	Επαγωγής	150W	160W
3	Επαγωγής	165W	165W
4	LED	-	198W
5	LED	-	146W
6	LED	-	94W
7	υπάρχων HPS(αυτοκινητόδρομος)	250W	288W
8	υπάρχων HPS(διασταύρωση)	150W	180W

Πίνακας 1-1: Κατανάλωση ενέργειας συστήματος φωτισμού

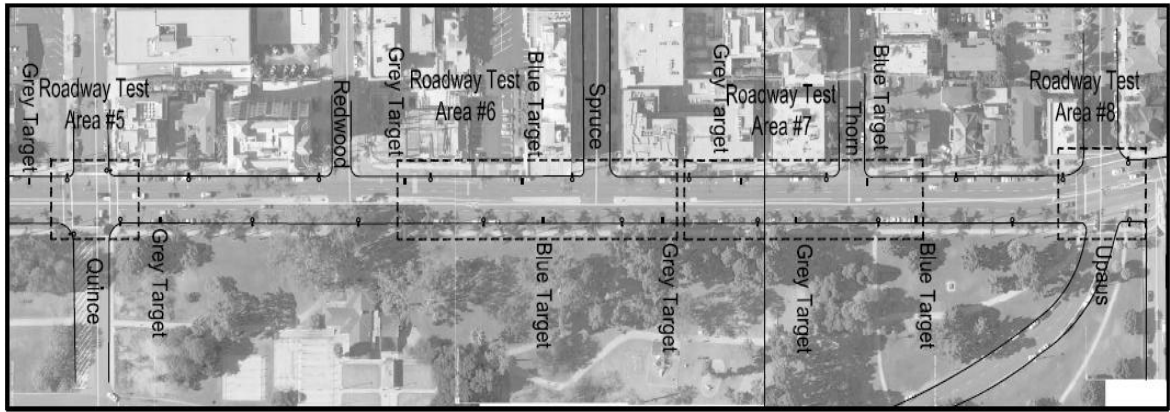


Εικόνα 1-1: Πειραματική τοποθεσία και εγκατάσταση για περιοχές δοκιμών *7, 1, 2

Σημείωση δοκιμαστικής περιοχής *7: Οι σκοτοπικές και φωτοπικές μετρήσεις καταγράφηκαν σε αυτή την περιοχή. Οι υπολογισμοί ανίχνευσης απόστασης (STV) πραγματοποιήθηκαν στην δοκιμαστική περιοχή 7, που προσδιορίζεται στην εικόνα 1-3.



Εικόνα 1-2: Πειραματική τοποθεσία και εγκατάσταση για περιοχές δοκιμών 3 και 4



Εικόνα 1-3: Πειραματική τοποθεσία και εγκατάσταση για περιοχές δοκιμών 5, 6, 7, 8

Οι στύλοι απείχαν μεταξύ τους κατά προσέγγιση 100' με κλιμακωτή διάταξη. Είχαν ύψος 25' και βραχίονα μήκους 8' με μια επιπλέον ύψωση 3' του βραχίονα, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα ύψος τοποθέτησης φωτιστικού 25'.

1.3.2 ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ

Η αξιολόγηση εκτίμησε τις διαφορετικές τεχνολογίες φωτεινών πηγών. Οι πηγές φωτός χαρακτηρίζονται από τη θερμοκρασία χρώματος και την ικανότητα χρωματικής απόδοσης. Η θερμοκρασία χρώματος (CCT), που δηλώνεται σε Kelvin, προσδιορίζει την 'θερμότητα' ή την 'ψυχρότητα' του χρώματος φωτός. Μια θερμοκρασία χρώματος της τάξεως των 2700K αντιπροσωπεύει ένα θερμό φως πυρακτώσεως. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, αντιπροσωπεύει ψυχρότερο φως. Για παράδειγμα μία πηγή τιμής 5500K ή 6500K φαίνεται πολύ μπλε σε σύγκριση με μία πηγή 2700K. Το φυσιολογικό φως του μεσημεριανού ήλιου έχει μια τυπική θερμοκρασία χρώματος 5000K, ενώ ο βόρειος γαλάζιος ουρανός 10.000-20.000K.

Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) περιγράφει ένα διαφορετικό χαρακτηριστικό της φωτεινής πηγής – όχι το πως φαίνεται η ίδια η πηγή, αλλά πόσο καλά φαίνονται τα χρώματα των αντικειμένων υπό το φως της πηγής. Οι κλίμακες αξιολόγησης κυμαίνονται από 1-100, όπου η υψηλότερη τιμή αντιπροσωπεύει μία καλύτερη χρωματική απόδοση. Το μεσημβρινό φως έχει τιμή 100.

Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές τις δοκιμές διέφεραν σημαντικά ως προς και τα δύο χαρακτηριστικά. Εν γένει, οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης (HPS) παράγουν χαμηλή θερμοκρασία χρώματος και πολύ χαμηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης. Οι λαμπτήρες LED, επαγωγής και άλλες πηγές 'λευκού φωτός' ευρέως φάσματος είναι κατά κανόνα ψυχρότεροι (θερμοκρασία χρώματος 4000K και υψηλότερη), αλλά χαρακτηρίζονται από πολύ καλύτερη χρωματική απόδοση με δείκτη CRI κοντά στα 80 ή ακόμα καλύτερα.

Περιοχή δοκιμής	Τεχνολογία	CCT	CRI
1	Επαγωγής	3000K	80
2	Επαγωγής	3000K	85
3	Επαγωγής	4000K	80
4	LED	3500K	> 70
5	LED	3500K	Άγνωστος
6	LED	3500K	Άγνωστος
7	υπάρχων HPS(αυτοκινητόδρομος)	2100K	20
8	υπάρχων HPS(διασταύρωση)	2100K	20

Πίνακας 1-2: Χαρακτηριστικά χρώματος φωτεινής πηγής

1.3.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τα φωτιστικά δοκιμάστηκαν σε πραγματικές συνθήκες ως προς τη θερμοκρασία χρώματος των φωτεινών πηγών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που δηλώνονται από τον κατασκευαστή στον πίνακα 1-3.

Οι διαφορές ανάμεσα στην πραγματική θερμοκρασία χρώματος και τη θερμοκρασία που δηλώνεται από τον κατασκευαστή είναι μικρές, ωστόσο υπάρχουν ορισμένες σημαντικές πτυχές αυτών των διαφορών που είναι σημαντικές για την κατανόηση του περιεχομένου της υποκειμενικής/αντικειμενικής έρευνας όπως ολοκληρώθηκε σε αυτό το έργο. Η πρώτη είναι η αντικειμενική αντίληψη του φωτός και πώς η θερμοκρασία χρώματος επηρεάζει αυτήν την αντίληψη. Σε χαμηλά επίπεδα φωτός, η αντίληψη των ανθρώπων έχει αυξηθεί με αυξημένα επίπεδα μπλε μηκών κύματος. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας χρώματος, οι πηγές με υψηλότερα μπλε μήκη κύματος έχουν υψηλότερη θερμοκρασία.

Όλα τα φωτιστικά έχουν σχεδιαστεί να παράγουν θερμοκρασία χρώματος κατά προσέγγιση 3000K σε μια προσπάθεια να μειωθούν οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στις δοκιμές, το οποίο είναι σημαντικό προκειμένου να αποφευχθεί η πιθανότητα οι υποκειμενικές έρευνες να δείξουν προτίμηση για ένα συγκεκριμένο προϊόν λόγω της θερμοκρασίας και όχι λόγω της απόδοσης του φωτιστικού όσον αφορά τη θάμβωση, την κατανομή του φωτός και τη γενικότερη αίσθηση που το φως προκαλεί στο δρόμο.

Ένα φωτιστικό LED ξεχωρίζει ως το μοναδικό προϊόν στο οποίο δεν φαίνεται να ταιριάζει η θερμοκρασία χρώματος του κατασκευαστή με την μετρούμενη. Ο λόγος αυτής της απόκλισης είναι υπό έρευνα.

Περιοχή δοκιμής	Τεχνολογία	Θερμ. Κατασκευαστή	Μετρηθείσα θερμ.
1	Επαγωγής	3000K	2930K
2	Επαγωγής	3000K	3250K
3	Επαγωγής	4000K	3625K
4	LED	3500K	3475K
5	LED	3500K	3500K
6	LED	3500K	4560K
7	υπάρχων HPS(αυτοκινητόδρομος)	2100K	Δεν μετρήθηκε
8	υπάρχων HPS(διασταύρωση)	2100K	Δεν μετρήθηκε

Πίνακας 1-3: Θερμοκρασία χρώματος κατασκευαστή σε σύγκριση με μετρηθείσα θερμοκρασία

Οι μετρήσεις έντασης φωτισμού ελήφθησαν όταν τα φωτιστικά εγκαταστάθηκαν στο τοπίο. Οι σκοτοπικές και φωτοπικές ενδείξεις έντασης φωτισμού ελήφθησαν με διπλό σκοτοπικό/φωτοπικό (S/P) φωτόμετρο SL-3101 της εταιρείας Solar Light Company και μετρήθηκε η λαμπρότητα οδοστρώματος στην ίδια τοποθεσία.



Εικόνα 1-4: Φωτόμετρο S/P (Solar Light Company)

Οι μετρήσεις του φωτομέτρου S/P και της λαμπρότητας πραγματοποιήθηκαν σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο 5 ποδιών επί 10 σε δρόμο μεταξύ στύλων, ώστε να ακολουθηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι οδηγίες της IESNA για φωτομετρικές μετρήσεις φωτιστικών συστημάτων δρόμων. Εφ' όσον οι στύλοι κατανέμονταν κλιμακωτά στο δρόμο, ήταν δύσκολο να καθοριστεί ένα δίκτυο μετρήσεων το οποίο θα λειτουργεί για κάθε κατάσταση, αλλά τα πλέγματα άρχισαν κατά προσέγγιση 2,5' στο δρόμο από την κεφαλή του φωτιστικού και 5' από την πλευρά της κεφαλής του φωτιστικού, σε μια προσπάθεια να τυποποιηθούν τα αποτελέσματα για σκοπούς

σύγκρισης. Οι δοκιμαστικές περιοχές στον αυτοκινητόδρομο (περιοχές 1, 2, 4, 6, και 7) μετρήθηκαν κατ' αυτόν τον τρόπο, αλλά οι στύλοι διασταύρωσης όχι.

Τα μετρηθέντα δεδομένα συμπεριλαμβάνονται στο παράρτημα C: Υπολογισμοί Τοποθεσίας. Εικόνες από τις φωτοπικές μετρήσεις των δοκιμαστικών περιοχών 4 και 6 συμπεριλαμβάνονται στο τμήμα 'αποτελεσμάτων' (τμήμα 1.4).

1.3.4 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το έργο αξιολόγησε υποκειμενικά και αντικειμενικά οχτώ διαφορετικά συστήματα φωτισμού, συμπεριλαμβανομένων δύο συστημάτων που αντιπροσωπεύουν τις υπάρχουσες συνθήκες φωτισμού στη δοκιμαστική περιοχή.

Υποκειμενική Αξιολόγηση:

1. Δύο ομάδες συμμετεχόντων αξιολόγησαν κάθε περιοχή συμπληρώνοντας μία έρευνα δεκατριών δηλώσεων.
2. Οι δηλώσεις βαθμολογήθηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί η αντίληψη της ασφάλειας του συστήματος φωτισμού, η προτίμηση για το 'χρώμα' του φωτός, και άλλες γενικές εντυπώσεις του φωτιστικού συστήματος.
3. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν για στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις απαντήσεις.

Αντικειμενική Αξιολόγηση 'Απόδοσης':

1. Ορισμένοι από τους συμμετέχοντες των ομάδων της υποκειμενικής έρευνας ταξίδεψαν με όχημα μέσα σε κάθε δοκιμαστική περιοχή (τρεις συμμετέχοντες τη φορά).
2. Οι συμμετέχοντες πατούσαν ένα κουμπί 'εντοπισμού' όταν εντόπιζαν ένα στόχο στο πλάι του δρόμου.
3. Ειδικός εξοπλισμός εγκατεστημένος στο αυτοκίνητο κατέγραφε τη θέση του, τη θέση του στόχου, το φωτεινό χώρο τη στιγμή που ο στόχος είχε αναγνωριστεί, καθώς και τις συνθήκες έντασης φωτισμού και λαμπρότητας κατά μήκος του οδοστρώματος.
4. Τα αποτελέσματα αυτά αναλύθηκαν προκειμένου να καθοριστεί η μέση απόσταση ανίχνευσης στόχου με κάθε ένα από τα συστήματα φωτισμού.

Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών αξιολογήσεων για να βρεθούν συσχετισμοί ως προς το πώς οι άνθρωποι βλέπουν τις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και πώς αυτές οι συνθήκες βαθμολογούνται με βάση τα τωρινά κριτήρια ορατότητας, ειδικά την απόσταση ανίχνευσης.

1.3.5 ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η υποκειμενική έρευνα φωτισμού αποτελείται από δεκατρείς δηλώσεις τις οποίες οι συμμετέχοντες βαθμολόγησαν σε μια κλίμακα 1-5 (διαφωνώ έντονα-συμφωνώ απόλυτα, αντιστοίχως). Την έρευνα διαχειρίστηκαν δύο ομάδες ατόμων, κάθε μία αποτελούμενη από δύο υπο-ομάδες. Οι δύο ομάδες αξιολόγησαν τον φωτισμό δρόμου σε οχτώ διαφορετικές περιοχές, και αποτελούνταν από 26 και 30 άτομα. Οι αξιολογήσεις συμπληρώθηκαν καθώς τα άτομα περιφέρονταν μέσα στις οχτώ περιοχές με συγκεκριμένη σειρά. Μέσα σε κάθε ομάδα, μία υπο-ομάδα ξεκίνησε με την δοκιμαστική περιοχή 1 και προχώρησε με σειρά: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ενώ η άλλη υπο-ομάδα ξεκίνησε με την περιοχή 4 και προχώρησε με σειρά: 5, 6, 7, 8, 1, 2, 3, 4. Και οι δύο ομάδες περιφέρονταν στις περιοχές κατά τη σειρά φωτισμού μέχρι να επιστρέψουν στην περιοχή από την οποία ξεκίνησαν.

Η ακόλουθη λίστα δηλώσεων περιέχονταν στην έρευνα. Δείτε Παράρτημα Α: Φόρμα Υποκειμενικής Έρευνας Φωτισμού για έντυπα έρευνας τυπικά για κάθε περιοχή.

1. 'Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της ημέρας'
2. 'Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας'
3. 'Ο φωτισμός είναι άνετος'
4. 'Υπάρχει υπερβολικό φως στο δρόμο'
5. 'Δεν υπάρχει αρκετό φως στο δρόμο'
6. 'Ο φωτισμός είναι ανομοιόμορφος'
7. 'Οι φωτεινές πηγές είναι εκτυφλωτικές'
8. 'Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε στο πεζοδρόμιο, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας'
9. 'Δεν μπορώ να διακρίνω τα χρώματα των αντικειμένων εξαιτίας του φωτισμού'
10. 'Ο φωτισμός επιτρέπει ασφαλή πλοήγηση του οχήματος'
11. 'Μου αρέσει το χρώμα του φωτός'
12. 'Θα μου άρεσε αυτό το είδος φωτισμού στους δρόμους της πόλης μου'
13. 'Πώς είναι ο φωτισμός αυτής της περιοχής σε σύγκριση με το φωτισμό παρόμοιων δρόμων της πόλης τη νύχτα?'

1.3.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Προκειμένου να επιτευχθεί μια σωστή αντικειμενική αξιολόγηση των εναλλακτικών τεχνολογιών φωτισμού κρίθηκε απαραίτητος ο ανθρώπινος παράγοντας εκτός από τις μετρήσεις φωτισμού. Για το σκοπό αυτό, το πειραματικό σχέδιο ενσωμάτωσε ένα μετρικό στοιχείο, σε αυτή την περίπτωση, την απόσταση ανίχνευσης αντικειμένου και μετρήσεις έντασης φωτισμού και λαμπρότητας. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση βελτιωμένης έκδοσης ενός κινητού

συστήματος μέτρησης του φωτισμού οδών (RLMMS) του τμήματος Lighting and Infrastructure Technology του Virginia Tech Transportation Institute. Η ικανότητα λήψης συνδυασμένων δεδομένων επέτρεψε στην ερευνητική ομάδα να συλλέγει συνεχώς απαντήσεις από συμμετέχοντες εκτός από τις μετρήσεις φωτισμού.

1.3.7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Το πειραματικό σχέδιο συμπεριέλαβε οχτώ συστήματα φωτισμού, έξι εκ των οποίων ήταν εναλλακτικές πηγές φωτός που εγκαταστάθηκαν για το συγκεκριμένο σχέδιο αξιολόγησης. Μία υπάρχουσα εγκατάσταση HPS χρησιμοποιήθηκε ως τμήμα ελέγχου και σύγκρισης. Το τμήμα όπου ο φωτισμός εγκαταστάθηκε ορίστηκε σε δύο συγκεκριμένες θέσεις: τυπικός αυτοκινητόδρομος και τυπική διασταύρωση. Τα είδη των οπτικών στόχων επίσης ποίκιλαν, με μικρούς στόχους τοποθετημένους σε όλες τις περιοχές και πεζούς τοποθετημένους στις διασταυρώσεις. Επιπρόσθετες πειραματικές μεταβλητές συμπεριέλαβαν το επίπεδο φωτισμού, το οποίο ελήφθη με χειρισμό της θέσης του στόχου σε κάθε τμήμα φωτισμού (π.χ., υψηλή και χαμηλή ένταση φωτισμού) και η σύγκριση του χρώματος με χρήση στόχων δύο συγκεκριμένων χρωμάτων (π.χ., μπλε και γκρι). Λεπτομέρειες της κάθε μεταβλητής παρουσιάζονται στον πίνακα 1-4.

Μεταβλητή	Περιγραφή
Φωτισμός	6 εναλλακτικές φωτεινές πηγές (3 επαγωγής και 3 LED), και η υπάρχουσα κατάσταση (HPS 250W)
Επίπεδο φωτισμού	Υψηλή (4.5-6.3 fc) και χαμηλή (2.1-3.1 fc) ένταση φωτισμού (θέση στόχου)
Χρώμα	Γκρι (18% ανακλαστικότητα) ή μπλε στόχος (6.2% ανακλαστικότητα)
Είδος στόχου	Στόχος STV ή πεζός
Τμήμα	Αυτοκινητόδρομος ή διασταύρωση

Πίνακας 1-4: Περιγραφές πειραματικών μεταβλητών αντικειμενικών δοκιμών

1.3.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

1.3.8.1 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Τριάντα-τέσσερις συμμετέχοντες προσφέρθηκαν να συμμετέχουν ως επιβάτες στο όχημα συλλογής δεδομένων, με τη βοήθεια του οποίου πραγματοποιήθηκε το αντικειμενικό κομμάτι του έργου. Οι συμμετέχοντες αυτοί συγκεντρώθηκαν από εθελοντές που βοήθησαν στο κομμάτι υποκειμενικής αξιολόγησης του έργου. Στην έρευνα συμμετείχαν τόσο αρσενικά όσο και θηλυκά άτομα, ηλικίας 18 ετών και άνω. Αξίζει να σημειωθεί ότι το φύλο και η ηλικία δεν ελέγχονταν για το συγκεκριμένο έργο, και επομένως δεν αναλύθηκαν. Ένα απλό ταξίδι μέσα από το σύνολο των δοκιμαστικών

περιοχών περιλάμβανε μέχρι τρεις επιβάτες, οι οποίοι εντόπιζαν τους στόχους από τις αντίστοιχες θέσεις τους στο μπροστινό ή πίσω κάθισμα του οχήματος.

1.3.8.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Πέρα από τις εγκαταστάσεις φωτισμού στο δρόμο, δύο συγκεκριμένα κομμάτια εξοπλισμού απαιτήθηκαν για το αντικειμενικό πείραμα 'απόδοσης'. Το πρώτο ήταν ένα σύνθετο σύστημα μέτρησης που αναπτύχθηκε για εγκαταστάσεις φωτισμού οδών. Το δεύτερο ήταν στόχοι ορατότητας που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να επιτρέπουν στους συμμετέχοντες του έργου να εντοπίζουν αντικείμενα.

1.3.8.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΚΙΝΗΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΟΔΩΝ (RLMMS)

Ο εξοπλισμός συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος περιείχε μια ποικιλία στοιχείων για συλλογή δεδομένων έντασης φωτισμού, λαμπρότητας, θερμοκρασίας χρώματος και απαντήσεων συμμετεχόντων. Το RLMMS δημιουργήθηκε από το τμήμα Lighting and Infrastructure Technology (LIT) στο VTTI ως μέθοδος συλλογής δεδομένων φωτισμού οδών, εκτός από τα δεδομένα απόκρισης των συμμετεχόντων. Ειδικά σχεδιασμένη συσκευή, που περιείχε τέσσερις αδιάβροχες κεφαλές Minolta για ανίχνευση της έντασης φωτισμού, τοποθετήθηκε οριζοντίως στην οροφή του οχήματος με τέτοιο τρόπο, ώστε οι δύο μετρητές να είναι τοποθετημένοι στα δεξιά και αριστερά των τροχών και οι άλλοι δύο κατά μήκος του άξονα του οχήματος. Ένας επιπλέον μετρητής έντασης φωτισμού τοποθετήθηκε κάθετα στο παρμπρίζ του οχήματος ως μέθοδος μέτρησης της θάμβωσης από τις εγκαταστάσεις φωτισμού. Οι αδιάβροχες κεφαλές ανίχνευσης και η κεφαλή ανίχνευσης Minolta στο παρμπρίζ συνδέθηκαν σε χωριστά όργανα Minolta T10, τα οποία απέστειλαν δεδομένα σε υπολογιστή συλλογής δεδομένων τοποθετημένο στο πορτ-μπαγκάζ του αυτοκινήτου.

Μία Συσκευή Ανίχνευσης Θέσης (GPS) NovaTel τοποθετήθηκε στο κέντρο των τεσσάρων μετρητών έντασης φωτισμού της οροφής του οχήματος και προσκολλήθηκε στην ειδικά σχεδιασμένη συσκευή. Η συσκευή GPS συνδέθηκε στο κουτί συλλογής δεδομένων μέσω USB και τα δεδομένα του γεωγραφικού πλάτους και μήκους της θέσης του οχήματος ενσωματώθηκαν στο γενικό αρχείο δεδομένων.

Δύο ξεχωριστές κάμερες τοποθετήθηκαν στο παρμπρίζ του οχήματος, η μία συνέλεγε έγχρωμες εικόνες από τον μπροστινό φωτεινό χώρο και η δεύτερη κάμερα συνέλεγε πληροφορίες ως προς τη λαμπρότητα του μπροστινού χώρου. Κάθε κάμερα συνδέθηκε σε αυτόνομο υπολογιστή, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με τον υπολογιστή συλλογής δεδομένων. Ο υπολογιστής αυτός ήταν υπεύθυνος για τη συλλογή της

έντασης φωτισμού, των ανθρωπίνων απαντήσεων (χρόνοι αντίδρασης), και τα δεδομένα του GPS, και συγχρόνιζε τις εικόνες της κάμερας του υπολογιστή με μια κοινή χρονική σήμανση. Ο επιπλέον εξοπλισμός στο εσωτερικό του οχήματος αποτελούνταν από μεμονωμένα κουτιά εισόδου για τις εισερχόμενες απαντήσεις των συμμετεχόντων και έναν ελεγκτή δικτύου της περιοχής (CAN) για συλλογή πληροφοριών δικτύου του οχήματος.

Κάθε στοιχείο του RLMMS ελέγχονταν από εξειδικευμένο πρόγραμμα λογισμικού το οποίο δημιουργήθηκε από το λογισμικό *LabVIEW™*. Τα μηχανήματα των υπολογιστών συγχρονίζονταν μέσω λογισμικού προγράμματος και οι ρυθμοί συλλογής δεδομένων ρυθμίστηκαν στα 20Hz. Ο ρυθμός λήψης της εικόνας του βίντεο ρυθμίστηκε στα 3,75 καρέ ανά δευτερόλεπτο (fps). Το τελικό αρχείο εξόδου που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της ανάλυσης περιείχε μία σφραγίδα συγχρονισμού, πληροφορίες του GPS (π.χ., γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος), κουτιά εισόδου, μεμονωμένες εικόνες από κάθε μία από τις κάμερες στο εσωτερικό του οχήματος, ταχύτητα οχήματος, απόσταση οχήματος και δεδομένα από κάθε έναν από τους μετρητές έντασης φωτισμού Minolta T-10 (4 συνολικά).

Στην εικόνα 1-5 που ακολουθεί παρουσιάζεται το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές του έργου. Στην εικόνα 1-6 φαίνεται το πειραματικό όχημα και η συσκευή με τις ενσωματωμένες αδιάβροχες κεφαλές Minolta, εκτός από τη μονάδα GPS και τις κάμερες που είναι τοποθετημένες στο εσωτερικό του οχήματος.



Εικόνα 1-5: Πειραματικό όχημα με στοιχεία RLMMS



Εικόνα 1-6: Στοιχεία RLMMS τοποθετημένα στο επάνω μέρος και το εσωτερικό του οχήματος

1.3.8.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΣΤΟΧΟΙ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

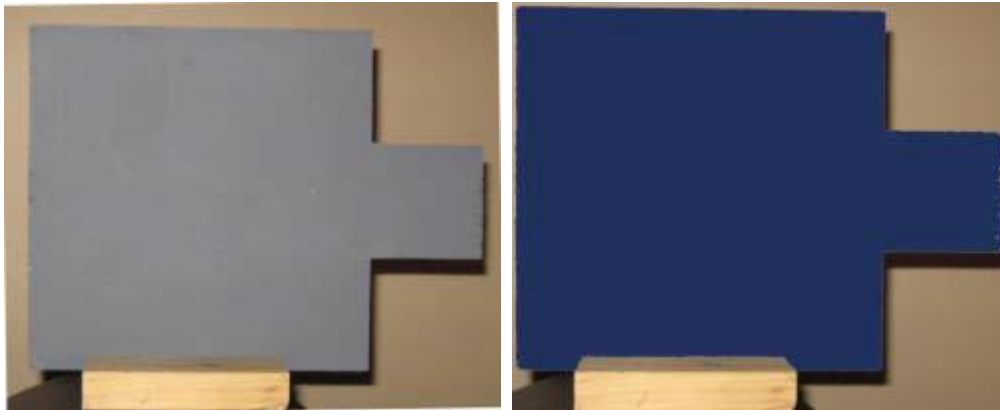
Η έρευνα απέδειξε την ύπαρξη σχέσεως μεταξύ ορισμένων μετρήσεων ορατότητας και της ανίχνευσης και αποφυγής ενός μικρού αντικείμενου στο οδόστρωμα. Η έρευνα επίσης απέδειξε τη σχέση μεταξύ αυτών των μετρήσεων και της συχνότητας ατυχημάτων τη νύχτα. Η μέθοδος που αποσκοπεί στον υπολογισμό αυτής της σχέσης είναι ο υπολογισμός Ορατότητας Μικρού Στόχου (STV).

Η μέθοδος STV (όπως καθορίστηκε από την IESNA RP-8) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του επιπέδου ορατότητας μιας σειράς στόχων κατά μήκος του δρόμου έχοντας λάβει υπόψη ορισμένους παράγοντες όπως: η λαμπρότητα των στόχων, η λαμπρότητα του άμεσου φόντου, το επίπεδο προσαρμογής του γειτονικού περιβάλλοντος, και η θάμβωση. Ο σταθμισμένος μέσος όρος του επιπέδου ορατότητας αυτών των στόχων δίνει ως αποτέλεσμα την τιμή STV.

Δύο είδη στόχων ορατότητας χρησιμοποιήθηκαν στον έλεγχο της απόδοσης. Ο πρώτος στόχος ήταν ένας στόχος STV κατασκευασμένος από ξύλινα τετράγωνα. Το δεύτερο είδος στόχου αποτελούσαν οι πεζοί. Τα αντικείμενα αυτά τοποθετήθηκαν κατά μήκος του οδοστρώματος και χρησιμοποιήθηκαν ως αντικείμενα ενδιαφέροντος στο κομμάτι του έργου που αφορούσε την απόδοση. Οι πεζοί τοποθετήθηκαν σε διαβάσεις διασταυρώσεων, ενώ οι υπόλοιποι στόχοι ήταν τοποθετημένοι κατά μήκος του οδοστρώματος.

Πρόκειται για επίπεδους κάθετους στόχους, μήκους 7 ιντσών σε κάθε πλευρά. Στη μία πλευρά υπάρχει επίσης ένα τεμαχίδιο διαστάσεων 2,375 ιντσών επί 2,375 ίντσες. Οι στόχοι παρουσιάζονται στην εικόνα 1-7. Υπήρχαν δύο πιθανά χρώματα στόχων, γκρι ή μπλε, ενώ οι βάσεις των στόχων (που παρουσιάζονται σαν ημιτελές ξύλο

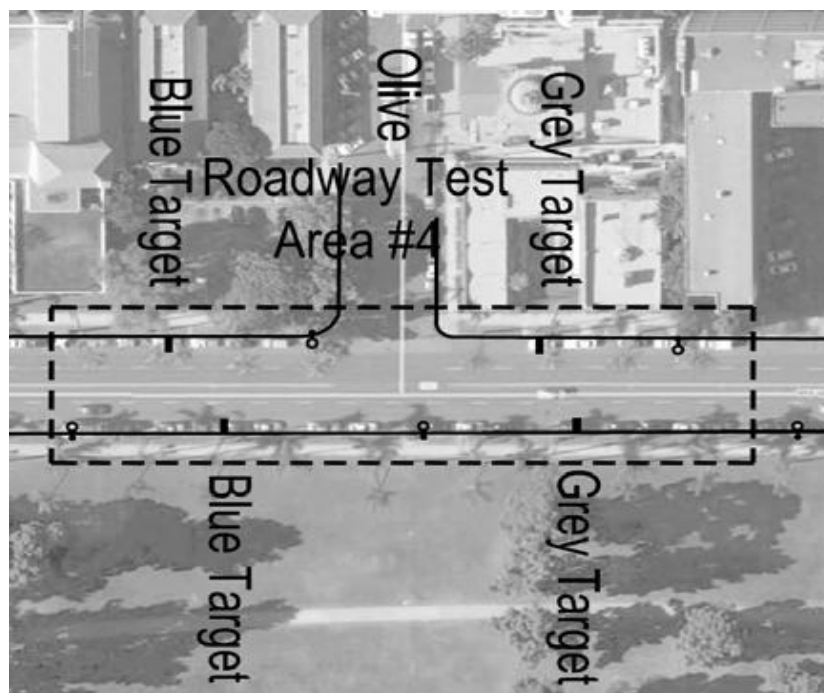
στις παρακάτω φωτογραφίες) βάφτηκαν ώστε να είναι παρόμοιες με την επιφάνεια του δρόμου.



Εικόνα 1-7: Παράδειγμα στόχων εντοπισμού κατά μήκος της πειραματικής διαδρομής

Οι στόχοι κάθε χρώματος τοποθετήθηκαν σε κάθε μία από τις δοκιμαστικές περιοχές με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθούν τα δύο επίπεδα των κάθετων επιπέδων έντασης φωτισμού. Στις βόρειες λωρίδες σημειώθηκε υψηλό επίπεδο έντασης φωτισμού με την τοποθέτηση του στόχου, ενώ στις νότιες χαμηλό επίπεδο κάθετης έντασης φωτισμού. Πριν την πραγματοποίηση του πειράματος, επιλέχθηκαν συγκεκριμένες περιοχές όπου η ένταση φωτισμού των στόχων ήταν σύμφωνη με τις βόρειες και νότιες κατευθύνσεις.

Οι στόχοι στήθηκαν στην άκρη της ακριανής λωρίδας του αυτοκινητόδρομου με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην χτυπηθούν από το όχημα των συμμετεχόντων και να μην εμποδίζουν την στάθμευση. Η εικόνα 1-8 που ακολουθεί, παρουσιάζει τις θέσεις των στόχων τύπου STV κοντά στην περιοχή δοκιμής 4.



Εικόνα 1-8: Πειραματική τοποθεσία και εγκατάσταση δοκιμαστικής περιοχής 4

Εκτός από τους μικρούς στόχους, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να εντοπίσουν τους πεζούς στις διασταυρώσεις ενδιαφέροντος. Οι πεζοί φορούσαν κράνη συγκεκριμένου χρώματος (κίτρινου ή άσπρου) και τοποθετήθηκαν στην πλευρά προσέγγισης της διάβασης σε κάθε διασταύρωση, η οποία διάβαση ήταν η πλησιέστερη προς την προσέγγιση του οχήματος. Οι πεζοί εμφανίστηκαν σε διασταυρώσεις τόσο στην βόρεια όσο και στην νότια διαδρομή του οχήματος. Μία ομάδα φοιτητών του τοπικού πανεπιστημίου χρησιμοποιήθηκαν ως βοηθοί, υποδύθηκαν τους πεζούς και παρακολούθησαν τους στόχους σε κάθε περιοχή δοκιμών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις διασταυρώσεις των οδών Laurel και Uras υπήρχε σημαντική σήμανση οδοστρώματος και εξειδικευμένο προσωπικό για τον έλεγχο της κυκλοφορίας λόγω του κλεισίματος της λωρίδας του δρόμου.

Ολόκληρη η περιοχή που περιείχε τα τμήματα φωτισμού ήταν κατά προσέγγιση μήκους 1,6 km. Οι εγκαταστάσεις αυτοκινητόδρομου και διασταύρωσης περιείχαν τον ίδιο αριθμό φωτιστικών και το μήκος κάθε τμήματος ήταν συγκρίσιμο μεταξύ του είδους των τμημάτων (αυτοκινητόδρομος ή διασταύρωση).

1.3.9 ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΝΥΧΤΕΡΙΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Ο καιρός το βράδυ της έρευνας ήταν συννεφιασμένος, 55°F και σχετικής υγρασίας 70%. Οι ήπιες νεφώσεις προκάλεσαν μερική φωτεινότητα του ουρανού πάνω από τις δοκιμαστικές περιοχές, ωστόσο τα κτίρια και οι δρόμοι είχαν σημαντικά υψηλότερη φαινόμενη λαμπρότητα, ως εκ τούτου η λαμπρότητα των σύννεφων δεν αποτελεί παράγοντα απόρριψης των δεδομένων της έρευνας.

Το πεζοδρόμιο ήταν στεγνό και καθαρό. Ο δρόμος ήταν κλειστός πριν την πρώτη έρευνα και παρέμεινε κλειστός από την τελευταία ομάδα έρευνας. Οι συμμετέχοντες είχαν τη δυνατότητα να εισέλθουν στον αυτοκινητόδρομο για να κάνουν τις εκτιμήσεις. Οι περισσότεροι από αυτούς συμπλήρωσαν τις αναφορές της έρευνας από το δρόμο ή το κράσπεδο του πεζοδρομίου παρά από το ενδιάμεσο πεζοδρόμιο.

1.3.10 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Η ομάδα φωτογράφησε την πειραματική περιοχή τη νύχτα της έρευνας και προέκυψαν οι ακόλουθες φωτογραφίες.



Εικόνα 1-9: Φωτογραφία πινακίδας που ενημερώνει για κλείσιμο της οδού



Εικόνα 1-10: Νυχτερινή φωτογραφία της ερευνητικής ομάδας υπό φωτισμό HPS

Παρατηρείται η φωτεινότητα του ουρανού πίσω από την ερευνητική ομάδα (κοιτάζοντας προς τα νότια και το κέντρο της περιοχής)



Εικόνα 1-11: Νυχτερινή φωτογραφία της ερευνητικής ομάδας υπό λευκό φωτισμό

1.3.11 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η εισήγηση του υποκειμενικού και αντικειμενικού έργου στους συμμετέχοντες έλαβε χώρα στο κτίριο War Memorial του Σαν Ντιέγκο. Μόλις ο προσανατολισμός και η επισκόπηση της βραδιάς ολοκληρώθηκε, η πρώτη ομάδα συμμετεχόντων μεταφέρθηκε με λεωφορείο στην πρώτη περιοχή δοκιμής που βρισκόταν στην 6^η Λεωφόρο. Εκεί ο οδηγός του (πειραματικού) οχήματος συγκέντρωσε τους πρώτους τρεις συμμετέχοντες για το αντικειμενικό κομμάτι της 'απόδοσης' του έργου. Οι συμμετέχοντες επέλεξαν μεταξύ αυτών ποιος θα καθόταν στο μπροστινό μέρος έναντι του πίσω. Μόλις αποφασίστηκε, τους ζητήθηκε να εισέλθουν στο όχημα και να επιθεωρήσουν τις εργασίες που περιλαμβάνονταν σ' αυτό το κομμάτι του έργου.

Ο ερευνητής, επίσης και οδηγός, επιθεωρούσε το πείραμα ενώ καθόταν στο σταθμευμένο πειραματικό όχημα. Ο ερευνητής επεσήμανε τα πλήκτρα του επιθεωρητή που είχαν τοποθετηθεί τόσο στα μπροστινά, όσο και στα πίσω καθίσματα σε περίπτωση που ανιχνευόταν ένας στόχος ορατότητας. Μετά την παρουσίαση των πλήκτρων, παρουσιάστηκε στους συμμετέχοντες ένα παράδειγμα στόχου.

Στους συμμετέχοντες δόθηκαν οδηγίες να πατήσουν ένα κουμπί απάντησης τη στιγμή που θα ανίχνευαν έναν από τους δύο στόχους ορατότητας και τους ζητήθηκε να ειδοποιήσουν τον ερευνητή στην περίπτωση που κάποιο κουμπί είχε πατηθεί τυχαία κατά τη διάρκεια της πειραματικής δοκιμής.

Πριν από το ξεκίνημα της πειραματικής οδήγησης, από τους συμμετέχοντες στο πίσω κάθισμα ζητήθηκε επίσης να κινηθούν προς τα εκεί από όπου θα μπορούσαν να δουν με άνεση την μπροστινή όψη του οδοστρώματος και συνεπώς να ανιχνεύσουν στόχους έξω από το παρμπρίζ (και όχι από τα πλευρικά παράθυρα). Από κάθε συμμετέχοντα ζητήθηκε να μην συνομιλεί ή υποδεικνύει στους άλλους συμμετέχοντες

όταν θα έχει εντοπίσει έναν στόχο, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο βαθμός στον οποίο θα επηρεαστούν οι αποστάσεις ανίχνευσης. Πριν την έναρξη της πειραματικής δοκιμής, ο ερευνητής ρώτησε αν οι συμμετέχοντες είχαν οποιαδήποτε ερώτηση ή ανησυχία σχετικά με την εργασία ανίχνευσης ή με αυτό που τους είχε ζητηθεί.

Όταν όλες οι ερωτήσεις είχαν τεθεί, ο ερευνητής τότε άνοιξε ένα αρχείο δεδομένων στη μηχανή συλλογής δεδομένων και άρχισε να καταγράφει. Αν ένας στόχος ήταν παρών στην τοποθεσία έναρξης (ή κοντά σε αυτήν), ο ερευνητής συμβούλεψε τους συμμετέχοντες να αγνοήσουν το στόχο και να ξεκινήσουν να ψάχνουν αφού τεθεί το όχημα σε κίνηση. Η τοποθεσία έναρξης μεταβαλλόταν κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνεδριών και εξαρτιόταν από την τοποθεσία των συμμετεχόντων της υποκειμενικής αξιολόγησης.

Το όχημα ανέπτυξε μέγιστη ταχύτητα 30 μίλια/ώρα που είναι η καθορισμένη ταχύτητα κατά μήκος της 6^{ης} Λεωφόρο και παρέμεινε στην πιο αριστερή λωρίδα σε κάθε κατεύθυνση του ταξιδιού. Εκτός από το να οδηγεί το όχημα, ο οδηγός επίσης κατέγραφε τις τοποθεσίες του στόχου ορατότητας. Κατά μήκος της διαδρομής, οι συμμετέχοντες πίεζαν τα κουμπιά κατά την ανίχνευση των στόχων και/ή των πεζών που βρίσκονταν στην άκρη του αυτοκινητόδρομου ή σε διαβάσεις διασταυρώσεων. Ο συνολικός χρόνος δοκιμής διήρκεσε κατά προσέγγιση 8 λεπτά. Αυτός ο χρόνος κατανεμήθηκε στην επιθεώρηση του πειράματος από τους συμμετέχοντες (2 λεπτά) και έπειτα στην συμμετοχή τους στην εργασία ανίχνευσης καθώς οδηγούνταν κατά μήκος της διαδρομής (~6 λεπτά). Συνολικά 12 δοκιμές διεξήχθησαν σε όλη τη διάρκεια της διαδρομής. Στο τέλος της διαδρομής, το όχημα επέστρεψε τους επιθεωρητές και παρέλαβε ένα νέο σύνολο συμμετεχόντων. Στο τέλος της βραδιάς, οι συμμετέχοντες της δοκιμής επεστράφησαν στο κτίριο Memorial και οι υπεύθυνοι τους ευχαρίστησαν για τη βοήθειά τους στην πραγματοποίηση του έργου.

1.3.12 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Δύο ξεχωριστές αναλύσεις δεδομένων διεξήχθησαν για δεδομένα ορατότητας και δεδομένα του αισθητήρα έντασης φωτισμού. Για την αντικειμενική ανάλυση ορατότητας ένα αρχικό καθάρισμα δεδομένων πραγματοποιήθηκε, όπου στόχοι εντοπίστηκαν μέσω συντεταγμένων GPS, απαντήσεις επαληθεύθηκαν, και πρόσθετες ανωμαλίες δεδομένων (ακραίες τιμές) αφαιρέθηκαν από το σύνολο των αναλύσεων. Για παράδειγμα, όλα τα δεδομένα που υπερέβαιναν τις τρεις τυπικές αποκλίσεις από τη μέση δεν συμπεριλήφθησαν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τιμές κατά προσέγγιση στα 100 μέτρα ή μεγαλύτερες να αφαιρεθούν από το σύνολο. Ένας επιπρόσθετος έλεγχος δεδομένων έγινε ώστε να διαπιστωθούν τυχόν άλλες ακραίες τιμές και να ελεγχθούν οι εικόνες που σχετίζονταν με το αρχείο δεδομένων. Τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν ελέγχοντας τα δεδομένα στο Arc Map και επαληθεύοντας τις πληροφορίες της εικόνας.

Τότε, ολόκληρο το αρχείο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των πλήκτρων εισόδου και διαστήματος, των πληροφοριών γεωγραφικού πλάτους και μήκους, των αντίστοιχων ονομάτων εικόνων από τις κάμερες χρώματος και λαμπρότητας, εισήχθη σε ένα λογισμικό Στατιστικής Ανάλυσης(SAS) για εξέταση και ανάλυση. Για παράδειγμα, ο υπολογισμός της απόστασης έγινε με την χρήση των συντεταγμένων γεωγραφικού πλάτους και μήκους για κάθε πάτημα πλήκτρου.

Στη συνέχεια, επανελέγχθηκε χρησιμοποιώντας τον υπολογισμό απόστασης που αποκτήθηκε από τα δεδομένα δικτύου του οχήματος. Όταν οι υπολογισμοί της απόστασης ολοκληρώθηκαν, το σύνολο δεδομένων πέρασε από έναν επιπρόσθετο έλεγχο δεδομένων για ακραίες τιμές και ανωμαλίες δεδομένων και έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις όπου απαιτήθηκε (π.χ., είτε διαγραφές για λανθασμένα πατήματα κουμπιών, διορθώσεις των καρτέ, ή διαγραφές ανώμαλων δεδομένων). Η Ανάλυση της Διακύμανσης (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε σαν στατιστικό εργαλείο για τη διερεύνηση των διαφορών μεταξύ των τύπων φωτισμού, τοποθεσίας φωτισμού, και μεταβλητών που σχετίζονταν με τους στόχους, όπως χρώμα στόχου για τους στόχους, χρώμα κράνους για τους πεζούς, και κάθετο επίπεδο φωτισμού.

Τα αντικειμενικά δεδομένα, όσον αφορά την ένταση φωτισμού, υπέστησαν την ίδια διαδικασία καθαρισμού όπως τα δεδομένα ορατότητας (ή απόσταση ανίχνευσης). Ολόκληρο το αρχείο δεδομένων ελέγχθηκε για ανωμαλίες και τμήματα επαληθεύτηκαν με πληροφορίες του GPS. Πρόσθετοι επιτόπιοι έλεγχοι διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας τις έγχρωμες εικόνες που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της οδήγησης για να επαληθευτούν το τμήμα τοποθεσίας και τα σημεία έναρξης/τερματισμού. Το καθαρισμένο αρχείο δεδομένων στη συνέχεια εισήχθη στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης (SAS). Τα δεδομένα έντασης φωτισμού έδωσαν μία προσέγγιση της έντασης του φωτός που φθάνει στην επιφάνεια του δρόμου, η οποία έδωσε περαιτέρω κατανόηση της απόδοσης των διαφορετικών τμημάτων φωτισμού.

1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι ακόλουθες ενότητες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα της υποκειμενικής έρευνας απόδοσης, επιπτώσεις ενέργειας και κόστους, μετρήσεις και υπολογισμούς φωτισμού.

1.4.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πολυάριθμες επιτόπιες μετρήσεις κατά τη διάρκεια πολλών απογευμάτων κρίθηκαν αναγκαίες, προκειμένου να συγκεντρωθούν τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά ισχύος τεχνολογιών HPS και προηγμένων τεχνολογιών φωτισμού οδών, χωρίς να σημειωθούν σημαντικές διακυμάνσεις στην κατανάλωση ισχύος.

Στη βασική περίπτωση φωτιστικών HPS, παρατηρήθηκε κατανάλωση κατά μέσο όρο 288 watts ανά φωτιστικό. Η εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση φωτιστικών HPS είναι 1200 kwh, βασιζόμενη σε 4165 ετήσιες ώρες λειτουργίας.

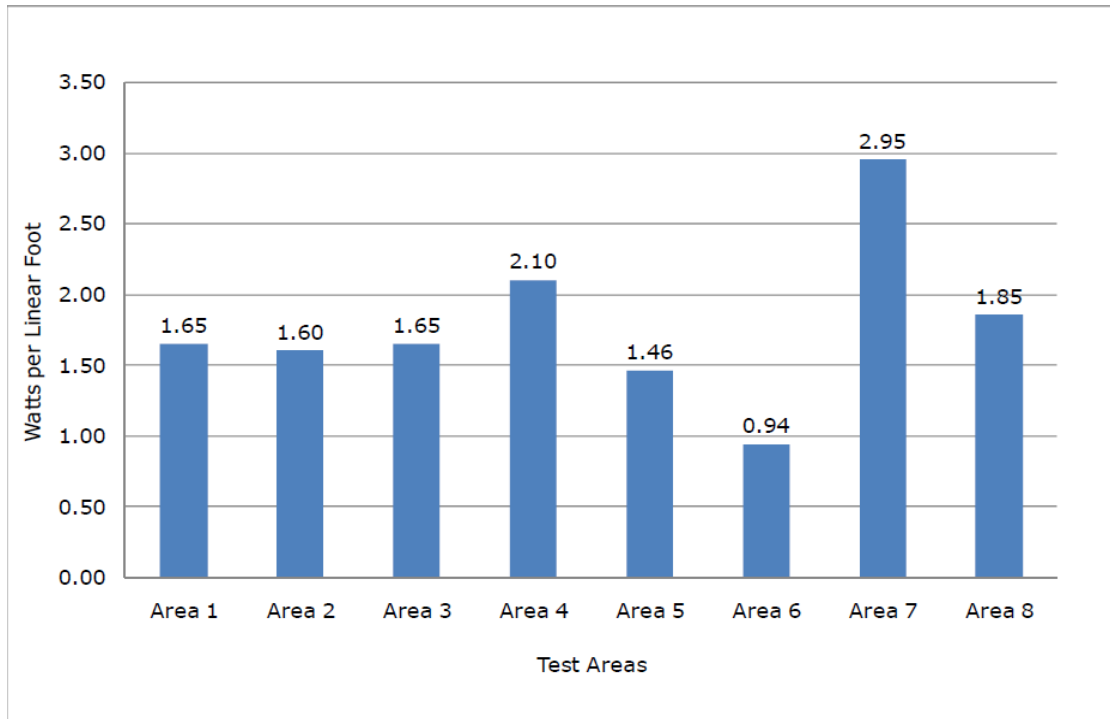
Η μέση κατανάλωση ισχύος των προηγμένων τεχνολογιών φωτισμού είναι 198 watts για φωτιστικά LED και 163 watts για φωτιστικά επαγωγής. Επομένως, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας προκύπτει 824 kwh για φωτιστικά LED και 679 kwh για επαγωγής, με αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας 375 kwh (31%) και 541 kwh (43%).

Τύπος φωτιστικού	Ισχύς (W)	Εξοικονόμηση Ενέργειας (W)	Εκτιμώμενη Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (4165hr/yr,kwh)	Εκτιμώμενη Ετήσια Εξοικονόμηση (4165hr/yr,kwh,%)
250W HPS τύπου III, πλήρους αποκοπής (βασική περίπτωση)	288	-	1200	-
LED	198	90	825	375 (31%)
Επαγωγής (μέση)	163	125	679	521 (43%)

Πίνακας 1-5: Ζήτηση και εξοικονόμηση ενέργειας

Το πλάτος του δρόμου σε όλες τις περιοχές δοκιμής ήταν εύλογα ομοιόμορφο, επομένως η ισχύς καθενός συστήματος εξαρτιόταν από την ισχύ του φωτιστικού και την απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σε κάθε περιοχή.

Η γραμμική πυκνότητα ισχύος ενός τυπικού οδοστρώματος υπολογίζεται στην ακόλουθη εικόνα 1-12 και αντιπροσωπεύει ένα στοιχείο της ευρεθείσας απόστασης μεταξύ των στύλων των δοκιμαστικών περιοχών (απόσταση στύλου από απέναντι στύλο 100 πόδια).



Εικόνα 1-12: Σύγκριση κατανάλωσης ισχύος για κάθε σύστημα φωτισμού βασισμένη σε τυπική απόσταση 100 ποδιών μεταξύ των στύλων (200 πόδια ανά πλευρά)

1.4.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Βασισμένη σε εκτιμήσεις κόστους και εξοικονόμησης της πόλης του San Diego, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της οικονομικής απόδοσης των βασικών φωτιστικών HPS, καθώς και φωτιστικών LED και επαγωγής. Η πόλη του San Diego υπολόγισε τόσο τον απλό χρόνο αποπληρωμής όσο και το κόστος του κύκλου ζωής κάθε τεχνολογίας, βασισμένη σε οικονομικό κύκλο ζωής 20 ετών.

Οι οικονομικές εκτιμήσεις είναι ευαίσθητες σε συγκεκριμένες μεταβλητές, όπως τα κόστη συντήρησης και ενέργειας, καθώς και το κόστος φωτιστικού. Αξίζει να σημειωθεί ιδιαιτέρως ότι οι εκτιμήσεις βασίζονται επίσης σε παραδοχές, όσον αφορά την διάρκεια ζωής του φωτιστικού, η οποία είναι συνάρτηση της διάρκειας όλων των τμημάτων του φωτιστικού (φωτεινές πηγές, παροχή ισχύος, στέγαση, επίστρωση κλπ). Οι ισχυρισμοί των κατασκευαστών για τη διάρκεια ζωής των φωτιστικών ποικίλλουν σημαντικά. Επιπροσθέτως, η δοκιμή βασίστηκε σε αντικαταστάσεις κεφαλών σε υπάρχουσες θέσεις στύλων, ενώ δεν σχεδιάστηκαν όλα τα συστήματα με ακριβή αντιστοιχία της απόδοσης. Οι αναγνώστες συνιστάται να χρησιμοποιούν τις δικές τους συγκεκριμένες εκτιμήσεις και υποθέσεις όσον αφορά το κόστος.

Οι παραδοχές κόστους και εξοπλισμού που έγιναν σε αυτή την ενότητα ισχύουν μόνο για την πόλη του San Diego, η οποία απαίτησε τα φωτιστικά να είναι θερμοκρασίας 3000K. Ως εκ τούτου, οι αναγνώστες θα πρέπει να λάβουν υπόψη τις δικές τους συγκεκριμένες μεταβλητές, όπως συντήρηση και κόστη ενέργειας και

φωτιστικού, πριν καταλήξουν σε συμπεράσματα σχετικά με τις δαπάνες που απαιτούνται για τα φωτιστικά LED ή επαγωγής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η διάρκεια ζωής του φωτιστικού είναι συνάρτηση όλων των συνιστωσών του κατασκευαστή του φωτιστικού (LEDs, στέγαση, επιστρώσεις, κ.λ.π), ηλεκτρικών και θερμικών ιδιοτήτων. Γι' αυτόν τον λόγο, οι ισχυρισμοί των κατασκευαστών ποικίλλουν σημαντικά. Οι υποθέσεις για το προσδόκιμο ζωής των LED βασίζονται σε 50.000 ώρες σύμφωνα με το Τμήμα Ενέργειας (U.S. DOE, 2009).

Η χαμηλότερη θερμοκρασία χρώματος επηρέασε την συνολική εξοικονόμηση ενέργειας του φωτιστικού LED. Η μείωση της θερμοκρασίας ενός δεδομένου τσιπ επιτυγχάνεται με αύξηση του αριθμού των φωσφόρων που περιέχονται στο υλικό ενθυλάκωσης, με αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσοστό της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από το ίδιο το τσιπ να απορροφάται πριν εξέλθει από το LED. Η μείωση αυτή επιφέρει αρνητική επίδραση στην αποτελεσματικότητα του τσιπ (λιγότερη παραγωγή φωτεινής ροής για δεδομένη κατανάλωση ενέργειας) και είχε ως αποτέλεσμα το φωτιστικό LED να χάνει κατά προσέγγιση 25-40% της εξοικονομούμενης ενέργειας σε σύγκριση με μια τυπική πηγή LED υψηλής θερμοκρασίας (5500K CCT). Οι αποσβέσεις του συγκεκριμένου έργου ήταν μεγαλύτερες από ότι έργων στα οποία ο παράγοντας CCT δεν ήταν βασικό κριτήριο.

Το κόστος ενέργειας κάθε φωτιστικού βασίστηκε στο διάγραμμα τιμών LS-2 της SGD&E από τον Ιούλιο του 2009 (βλέπε Παράρτημα F: Διάγραμμα τιμών LS-2 της SDG&E). Βάσει αυτού του διαγράμματος, τα φώτα του δρόμου τιμολογούνται ένα μηνιαίο ποσό που καθορίζεται με βάση τον τύπο και την ισχύ του λαμπτήρα, με την υπόθεση ότι οι ετήσιες ώρες λειτουργίας είναι 4165. Το έργο επικεντρώθηκε στην αντικατάσταση των φωτιστικών HPS και με τεχνολογία LED και με επαγωγής. Ο πίνακας 1-6 παρουσιάζει τις χρεώσεις για τα φώτα του δρόμου με βάση τις τιμές ισχύος της πόλης του San Diego.

Βασικές τιμές διαφόρων ειδών, της SGDE&E					
(Ενημερωμένη έκδοση με τα ποσοστά του Ιουλίου 2009)					
Λαμπτήρας		Μηνιαία Σύνολα			Ισοδύναμη Παραγωγή φωτεινής ροής
Είδος	Ισχύς	ΔΕΗ	Τιμή Ενέργειας	Συνολική Τιμή LS-2	
HPS	150	\$ 3,14	\$ 4,95	\$ 8,09	16.000
	250	\$ 5,14	\$ 8,02	\$13,16	27.000
Επαγωγής	85	\$ 1,22	\$ 2,18	\$ 3,40	6.000
	165	\$ 2,36	\$ 4,23	\$ 6,59	12.000
LED	109	\$ 1,56	\$ 2,80	\$ 4,36	4.995
	198	\$ 2,83	\$ 5,08	\$ 7,91	8.325

Πίνακας 1-6: Διάγραμμα τιμών με βάση το είδος του λαμπτήρα, της SDG&E

Ο υπολογισμός της απλής αποπληρωμής εξετάζει το συνολικό κόστος της επένδυσης και την εξοικονόμηση ενέργειας τόσο για τα φωτιστικά LED, όσο και επαγωγής. Και πάλι είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι η συγκεκριμένη αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση χαμηλότερης θερμοκρασίας χρώματος για φωτιστικά LED. Σε προηγούμενες αξιολογήσεις, η απλή αποπληρωμή κυμαινόταν από 7,4 έως 20,4 έτη με τη χρήση υψηλότερης θερμοκρασίας χρώματος φωτιστικών LED (PG&E 0714, PG&E 0727). Όσον αφορά τα φωτιστικά επαγωγής, η θερμοκρασία χρώματος δεν είχε σημαντική επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας όσο στην χαρακτηριστική απόδοση του λαμπτήρα, καθώς η γεννήτρια απαιτεί 163W ανεξάρτητα της θερμοκρασίας χρώματος του λαμπτήρα. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης ήταν 17,6 έτη απλής αποπληρωμής για λαμπτήρες LED και 7,0 έτη για επαγωγής.

Τύπος Φωτιστικού	Αρχική Επένδυση	Κόστος Εγκατάστασης	Συνολική Επένδυση	Κόστος Ενέργειας (τωρινό)	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Απλή Αποπληρωμή (έτη)
HPS 250W	-	-	-	\$ 157,92	-	-
LED	\$ 1.071	\$ 39	\$ 1.110	\$ 94,92	\$ 63,00	\$ 17,6
Επαγωγής	\$ 515	\$ 39	\$ 554	\$ 79,08	\$ 78,84	\$ 7,0

Πίνακας 1-7: Απλή αποπληρωμή βασισμένη μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας

Αξίζει να σημειωθεί ότι το αρχικό κόστος εγκατάστασης δεν αντικατοπτρίζει ενδεχόμενες μειωμένες τιμές, οι οποίες επηρεάζουν τους υπολογισμούς της αποπληρωμής.

1.4.2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η πόλη του San Diego επιτελεί την συντήρηση των φωτιστικών των οδών όταν οι λαμπτήρες καούν και αναλαμβάνει την αντικατάστασή τους. Προκειμένου να καθορισθεί το κόστος συντήρησης, έγινε η παραδοχή ότι τα φωτιστικά LED θα αντιμετώπιζαν ένα κλασματικό ποσοστό αποτυχίας της τάξεως του 10% (USDOE & PG&E, 2008) και οι λαμπτήρες επαγωγής 10% πριν τις 100.000 ώρες. Χάρη στην καινοτομία της τεχνολογίας LED, τα ποσοστά αποτυχίας θεωρούνται ισοδύναμα. Επιπροσθέτως, η διατήρηση της φωτεινής ροής των φωτιστικών LED υποτέθηκε ότι είναι 50.000 ώρες, ενώ της επαγωγής 80.000 επιπλέον ώρες. Κάθε αναγνώστης καλείται να κάνει τις δικές του παραδοχές σχετικά με το πιθανό ποσοστό αποτυχίας οποιασδήποτε τεχνολογίας, ώστε να καθορίσει τα κόστη συντήρησης που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Η διάρθρωση των τιμών για τέτοιου είδους συντήρηση παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα 1-8. Ο πίνακας περιλαμβάνει εκτιμώμενα κόστη που αφορούν τη χρήση φορτηγών καθώς και τον χρόνο για την ανάκτηση του ελέγχου της κυκλοφορίας.

Τιμές Αντικατάστασης Λαμπτήρων				
	1 Ώρα	15 Λεπτά	20 Λεπτά	30 Λεπτά
Εργασία	\$ 59,52	\$ 14,88	\$ 19,84	\$ 29,76
Φορτηγό	\$ 10,00	\$ 2,50	\$ 3,33	\$ 5,00
Σύνολο	\$ 69,52	\$ 17,38	\$ 23,17	\$ 34,76

Πίνακας 1-8: Τιμές αντικατάστασης των λαμπτήρων της πόλης του San Diego

Οι προηγμένες τεχνολογίες φωτισμού οδών υφίστανται διαφορετικό κύκλο συντήρησης από την υπάρχουσα τεχνολογία νατρίου υψηλής πίεσης, στην οποία όταν ο λαμπτήρας καεί, μπορεί απλά να αντικατασταθεί από ένα νέο λαμπτήρα. Σε αντίθεση με την τεχνολογία LED, όπου αν ένας λαμπτήρας καεί, μπορεί να χρειαστεί να αντικατασταθεί ολόκληρο το φωτιστικό. Η διάρθρωση των τιμών για αυτήν την περίπτωση, καθώς και για την αντικατάσταση ολόκληρου του υπάρχοντος φωτιστικού HPS, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα 1-9.

Τιμές Ηλεκτρολογικών Εργασιών				
	1 Ώρα	15 Λεπτά	20 Λεπτά	30 Λεπτά
Εργασία	\$ 68,49	\$ 17,12	\$ 22,83	\$ 34,25
Φορτηγό	\$ 10,00	\$ 2,50	\$ 3,33	\$ 5,00
Σύνολο	\$ 78,49	\$ 19,62	\$ 26,16	\$ 39,25

Πίνακας 1-9: Τιμές ηλεκτρολογικών εργασιών της πόλης του San Diego

Οι κατασκευαστές των φωτιστικών LED αξιολόγησαν σε αυτό το έργο το προσδόκιμο της διάρκειας ζωής από 50.000 έως 89.000 ώρες (κατά προσέγγιση 12-21 έτη σε 4165 ώρες λειτουργίας το χρόνο). Αυτή η αξιολόγηση χρησιμοποιεί ως διάρκεια ζωής των LED τις 50.000 ώρες. Η βασική περίπτωση των λαμπτήρων HPS 250W έχει αναμενόμενη διάρκεια 24.000 ώρες (κατά προσέγγιση 6 έτη), ενώ οι λαμπτήρες επαγωγής 100.000 (κατά προσέγγιση 24 έτη). Τόσο η τεχνολογία LED, όσο και επαγωγής απαιτούν ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτιστικό, ηλεκτρικά και θερμικά, για πλήρη διάρκεια ζωής. Εάν το φωτιστικό χαρακτηρίζεται από κακή ηλεκτρική και θερμική σχεδίαση, η διάρκεια της πηγής του φωτός επηρεάζεται δυσμενώς, με αποτέλεσμα πολύ μικρότερη διάρκεια.

Στα εκτιμώμενα κόστη συντήρησης, έγινε η παραδοχή ότι η επιθεώρηση, το φωτοκύτταρο και ο συνήθης καθαρισμός συνάδουν σε όλα τα φωτιστικά. Ως εκ τούτου, αυτοί οι παράγοντες δεν εξετάστηκαν στους υπολογισμούς εξοικονόμησης συντήρησης. Το τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής κάθε τεχνολογίας σε ώρες (με βάση δεδομένα και υποθέσεις της πόλης του San Diego) έχει ως εξής: HPS - 24.000, LED - 50.000, επαγωγής - 100.000. Η διάρκεια ζωής της τεχνολογίας επαγωγής βασίζεται σε αποδεδειγμένη διάρκεια ζωής ενός σωστά σχεδιασμένου φωτιστικού, τόσο ηλεκτρικά, όσο και θερμικά. Η επιτροπή Database for Energy Efficient Resources δηλώνει διάρκεια ζωής των LED 65.000 ώρες (DEER 2008). Ο χρόνος ζωής των LED βασίζεται στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής που παρέχεται από τον κατασκευαστή αυτή τη στιγμή.

Προκειμένου να απεικονιστεί σωστά ένα εύρος κόστους, καθώς και πληροφορίες εξοικονόμησης, δύο πίνακες (Πίνακες 1-10 και 1-11) δημιουργήθηκαν βασιζόμενοι σε κύκλο 100.000 ωρών (24 χρόνια) λόγω του προσδόκιμου ζωής των λαμπτήρων επαγωγής. Ο πίνακας 1-10 υποθέτει διάρκεια των LED 50.000 ώρες (12 χρόνια), ενώ ο πίνακας 1-11 65.600 ώρες (16 χρόνια).

Τύπος Φωτιστικού	Κόστος Συντήρησης	Εξοικονόμηση Συντήρησης	Κόστος Ενέργειας (τωρινό)	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Συνολικά Κόστη	Συνολική Εξοικονόμηση	Εξοικονόμηση	Αποπληρωμή
HPS 250W	\$ 7,36	-	\$ 157,92	-	\$ 165,28	-	-	-
LED	\$ 11,79	-\$ 4,43	\$ 94,92	\$ 63,00	\$ 106,71	\$ 58,57	35%	19,0
Επαγωγής	\$ 4,31	\$ 3,05	\$ 79,08	\$ 78,84	\$ 83,39	\$ 81,89	50%	6,8

Πίνακας 1-10: Εκτιμώμενα Ετήσια Κόστη και Εξοικονόμηση ανά Τεχνολογία (διάρκεια ζωής LED 50.000 ώρες)

Τύπος Φωτιστικού	Κόστος Συντήρησης	Εξοικονόμηση Συντήρησης	Κόστος Ενέργειας (τωρινό)	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Συνολικά Κόστη	Συνολική Εξοικονόμηση	Εξοικονόμηση	Αποπληρωμή
HPS 250W	\$ 7,36	-	\$ 157,92	-	\$ 165,28	-	-	-
LED	\$ 8,84	-\$ 1,48	\$ 94,92	\$ 63,00	\$ 103,76	\$ 61,52	37%	18,0
Επαγωγής	\$ 4,31	\$ 3,05	\$ 79,08	\$ 78,84	\$ 83,39	\$ 81,89	50%	6,8

Πίνακας 1-11: Εκτιμώμενα Ετήσια Κόστη και Εξοικονόμηση ανά Τεχνολογία (διάρκεια ζωής LED 65.600 ώρες)

Εκτιμώμενα κόστη της πώλης για κάθε τεχνολογία, ώστε να καθοριστούν τα ετήσια κόστη συντήρησης:

- Εργασία: \$23 για όλες τις αντικαταστάσεις
- Κόστος λαμπτήρα:
 - HPS - \$17,50 ανά λαμπτήρα
 - LED (10% αποτυχία) - \$111,00
 - Επαγωγής (10% αποτυχία) - \$55,40
- Τέλη διάθεσης:
 - HPS - \$4,50
 - LED - \$7,50
 - Επαγωγής - \$25,00

Προκειμένου να καταδειχθεί ο τρόπος υπολογισμού του ετήσιου κόστους συντήρησης, χρησιμοποιήθηκε το φωτιστικό LED του πίνακα 1-10. Το συνολικό κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα διάρκειας 50.000 ωρών ή 12 χρόνων ισούται με το άθροισμα της εργασίας (\$23), το κόστος λαμπτήρα (\$111) και το τέλος διάθεσης (\$7,50). Αυτός ο υπολογισμός έχει ως αποτέλεσμα ένα συνολικό κόστος ύψους \$141,59, το οποίο στη συνέχεια διαιρείται με το προσδόκιμο ζωής (12 έτη) αποδίδοντας ετήσιο κόστος συντήρησης \$11,79 το χρόνο. Εξαιτίας της αδυναμίας να εντοπιστούν επακριβώς οι πραγματικοί παράγοντες, αυτός ο υπολογισμός του κόστους συντήρησης δεν λαμβάνει

υπόψη το συντελεστή πληθωρισμού, το κλιμακούμενο κόστος ενέργειας, ή το μελλοντικό κόστος των LED, το οποίο αναμένεται να είναι πολύ μικρότερο σε 10 χρόνια. Υποτίθεται ότι η επιθεώρηση, το φωτοκύτταρο και ο συνήθης καθαρισμός συνάδουν σε όλα τα φωτιστικά. Για το λόγο αυτό, αυτά τα θέματα συντήρησης δεν εξετάστηκαν στους υπολογισμούς εξοικονόμησης.

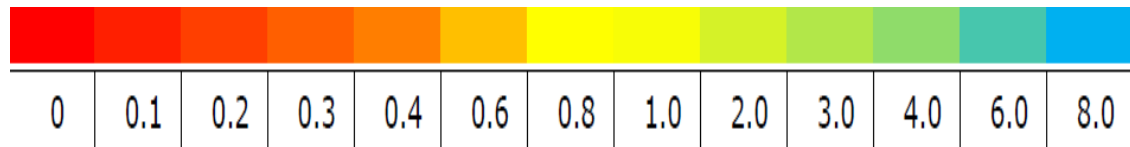
Η πόλη του San Diego υπολόγισε την αποπληρωμή με χρήση 20ετούς οικονομικής ανάλυσης του κύκλου ζωής. Η οικονομική ανάλυση βασίστηκε στη μελλοντική τιμή των εξόδων και εξοικονόμησης και τωρινών εξόδων προϊόντος. Εξαιτίας αβεβαιότητας του μελλοντικού κόστους προϊόντος, ειδικότερα όσον αφορά την τεχνολογία LED, η πόλη του San Diego χρησιμοποίησε μία συντηρητική προσέγγιση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν συμπεριλαμβάνοντας έναν συντελεστή πληθωρισμού της τάξεως του 2,5% το χρόνο για τις δαπάνες ενέργειας και εργασιών συντήρησης, ότι οι αποπληρωμές για LED και επαγωγή ανέρχονταν σε 35,5 και 6,5 έτη αντίστοιχα. Παράρτημα G: Η ανάλυση του κύκλου ζωής της πόλης του San Diego περιέχει το υπολογιστικό φύλλο που παρουσιάζει τους υπολογισμούς και τις παραδοχές που έγιναν για την επίτευξη αυτών των αποσβέσεων. Εν γένει, όταν ληφθούν υπ' όψη οι δαπάνες συντήρησης, η αποπληρωμή των LED είναι μεγαλύτερη από την απλή αποπληρωμή, ενώ η αποπληρωμή της επαγωγής βελτιώνεται ελαφρώς κατά έξι μήνες.

1.4.3 ΜΕΤΡΗΘΕΝΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Τα μετρηθέντα επίπεδα φωτισμού δύο δοκιμαστικών περιοχών (περιοχές 4 και 6) παρουσιάζονται στα ακόλουθα ψευδοχρωματικά διαγράμματα. Τα διαγράμματα των περιοχών 1, 2, και 7 μπορούν να βρεθούν στο Παράρτημα Β: Μετρήσεις τοποθεσίας.

Τα ψευδοχρωματικά διαγράμματα παρουσιάζονται σε μία προσεγγιστική λογαριθμική κλίμακα, ώστε να παρέχουν καλύτερο οπτικό διαχωρισμό των τιμών που βρίσκονται κοντά στο κατώτατο σημείο της κλίμακα (κάτω από 1,0 footcandles). Η κλίμακα είναι η ίδια για όλα τα διαγράμματα, ως εκ τούτου μπορούν να πραγματοποιηθούν σχετικές συγκρίσεις των επιπέδων φωτός στο δρόμο με ένα λογικό μέτρο ακριβείας.

Τα εν λόγω γραφήματα είναι σημαντικά, ώστε να παρέχουν μια λογική οπτική αναπαράσταση της έντασης φωτισμού στην επιφάνεια του δρόμου, βασιζόμενα σε πραγματικές μετρήσεις. Η πραγματική απόδοση είναι επίσης χρήσιμη στην επιβεβαίωση των τιμών που υπολογίστηκαν για τα τμήματα του αυτοκινητόδρομου. Η διάκριση αυτή θα εξηγηθεί περαιτέρω στο Τμήμα 1.4.4 Υπολογισθείσες Τιμές Φωτισμού.

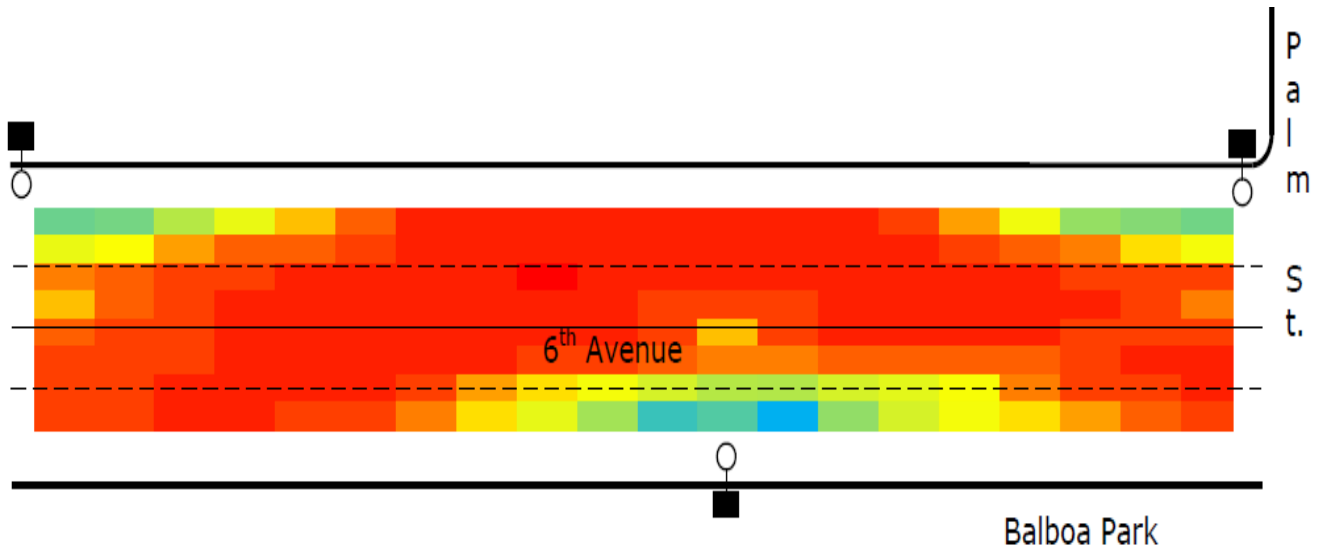


Εικόνα 1-13: Κλίμακα Απόδοσης Ψευδοχρωμάτων (fc)



Εικόνα 1-14: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 4 κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας

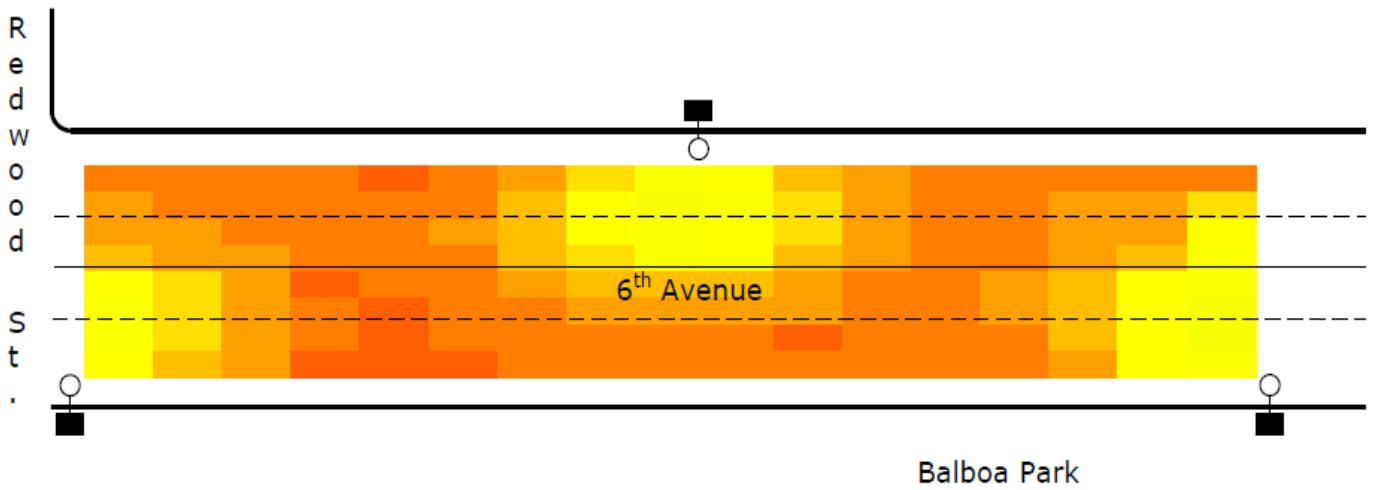
Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανομή επεκτείνεται ελαφρώς πέραν της λωρίδας στάθμευσης της κυκλοφορίας και δεν διασχίζει ολόκληρο το πλάτος του δρόμου.



Εικόνα 1-15: Δοκιμαστική περιοχή 4, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων



Εικόνα 1-16: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 6 κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας



Εικόνα 1-17: Δοκιμαστική περιοχή 6, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων

Μετρηθείσα Φωτοπική Ένταση Φωτισμού κατά βαθμό (fc)					
Δοκιμαστική Περιοχή	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μέση/Ελάχιστη	Μέγιστη/Ελάχιστη
1	0,9	3,2	0,2	4,3	16,0
2	0,7	3,3	0,1	7,2	33,0
4	0,7	8,0	0,0	-	-
6	0,5	1,0	0,3	1,8	3,3
7	1,7	7,6	0,6	2,9	12,7

Πίνακας 1-12: Πειραματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις δοκιμαστικές περιοχές

Τα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζουν τα επίπεδα φωτός, τα οποία παρέχονται από τα διαφορετικά φωτιστικά συστήματα που εξετάστηκαν, με τη χρήση χρωμάτων αντί τιμών. Η κατανομή του φωτός σε κάθε πλευρά του φωτιστικού και κατά μήκος του δρόμου αντιπροσωπεύεται ικανοποιητικά από τα συγκεκριμένα διαγράμματα, και η κατανομή από το υψηλό σημείο στα χαμηλά γίνεται επίσης κατανοητή. Για παράδειγμα, αν ληφθούν υπόψη οι πληροφορίες των παραπάνω εικόνων 1-15 και 1-17: η δοκιμαστική περιοχή 4 παρουσιάζει πολύ χαμηλότερες 'χαμηλές' τιμές, και πολύ υψηλότερες 'υψηλές' τιμές σε σύγκριση με την δοκιμαστική περιοχή 6, έτσι η ομοιομορφία πρόκειται να είναι χειρότερη. Παρόλο που το μέσο επίπεδο φωτός των τμημάτων του δρόμου δεν εμφανίζεται απευθείας στα διαγράμματα, είναι προφανές ότι η περιοχή 4 εμφανίζει χαμηλότερο μέσο όρο λόγω της επικράτησης των κατώτερων τιμών (περισσότερο κόκκινο) σε όλη την περιοχή μέτρησης.

Η κατανομή του φωτός των δοκιμαστικών περιοχών προέκυψε επίσης αρκετά διαφορετική. Η περιοχή 4 εμφανίζει μία γραμμική απόδοση και το φως δεν διανέμεται αρκετά στην απέναντι πλευρά του δρόμου, ενώ στην περιοχή 6 το φως διασχίζει τον δρόμο πολύ περισσότερο αποδίδοντας πιο αποτελεσματικά φως και στις δύο πλευρές του δρόμου. Το φωτιστικό της περιοχής 4 προορίζεται κατά κύριο λόγο για πολύ στενούς δρόμους και διαβάσεις πεζών και οι μετρήσεις υποδεικνύουν ότι το φωτιστικό έχει περιορισμένη κατανομή, η οποία το καθιστά ακατάλληλο για δρόμους τέτοιου πλάτους.

Μια σύγκριση των δοκιμαστικών περιοχών 6 (εικόνα 1-17) και 4 (εικόνα 1-15) δείχνει ότι η περιοχή 6 παρουσιάζει σημαντικά καλύτερη τοπική ομοιομορφία στο δρόμο (αν συγκριθεί το σχετικό μέγεθος της υψηλής έντασης φωτισμού των περιοχών κάτω από τα φωτιστικά σώματα κάθε δοκιμαστικής περιοχής), αλλά και σημαντικά καλύτερη συνολική ομοιομορφία. Μάλιστα, η εν λόγω περιοχή έχει την καλύτερη συνολική ομοιομορφία όλων των δοκιμαστικών περιοχών και οι εικόνες το απεικονίζουν αυτό σχηματικά.

1.4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΙΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο πίνακας 1-13 παρουσιάζει τους υπολογισμούς φωτισμού όλων των δρόμων των περιοχών, κανονικοποιημένη σε 100' απόσταση μεταξύ των στύλων. Έτσι δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης της απόδοσης των φωτιστικών συστημάτων σε ίσους όρους ανταγωνισμού και δίνονται επιπλέον πληροφορίες, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να αποκτηθούν στο πεδίο.

Οι υπολογισμοί λαμπρότητας οδοστρώματος περιλαμβάνονται, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να προέρχονται από βασικές μετρήσεις έντασης φωτισμού ή λαμπρότητας από το πεδίο. Η Λαμπρότητα Πέπλου και η Ορατότητα Μικρού Στόχου (STV) επίσης υπολογίστηκαν, διότι η λαμπρότητα είναι πολύ συγκεκριμένη γεωμετρικά και προέρχεται από στατιστική δειγματοληψία που πραγματοποιείται σε υπολογισμούς οδοστρώματος.

Δοκιμαστική Περιοχή	Λαμπρότητα (cd/m^2)					Ένταση φωτισμού κατά βαθμό (lux)					Λαμπρότητα Πέπλου	STV
	Μέση	Μεγ.	Ελαχ.	Μέση/Ελαχ.	Μεγ/Ελαχ.	Μέση	Μεγ.	Ελαχ.	Μέση/Ελαχ.	Μεγ/Ελαχ.	$L_{νμεγ}/L_{μέση}$	
1	0,49	0,92	0,29	1,69	3,17	9,34	17,3	4,56	2,05	3,8	0,17	2,09
2	0,4	0,85	0,24	1,67	3,54	8,41	23,2	3,11	2,7	7,45	0,17	1,97
3	0,4	0,58	0,28	1,43	2,07	8,78	16,8	3,2	2,74	5,24	0,11	1,85
4	0,34	1,27	0,07	4,86	18,1	9,21	40,1	1,36	6,77	29,5	0,1	1,61
5	0,71	1,15	0,47	1,51	2,45	8,67	10,9	7,1	1,22	1,54	0,24	2,15
6	0,25	0,43	0,18	1,39	2,39	3,85	5,22	2,68	1,44	1,95	0,23	1,16
7	2	2,98	1,19	1,68	2,5	33,3	52,8	17,8	1,87	2,96	0,2	3,85
8	1,24	2,46	0,79	1,57	3,11	18,7	25,1	13,6	1,38	1,84	0,26	2,84

Πίνακας 1-13: Υπολογισμοί φωτιστικών συστημάτων

Η περιοχή 6 αξίζει να παρατηρηθεί για ακόμη μία φορά. Παρουσιάζει μερικές από τις χαμηλότερες ('καλύτερες') τιμές ομοιομορφίας της έντασης φωτισμού σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες δοκιμαστικές περιοχές με μέση:ελάχιστη τιμή 1,44 και μέγιστη:ελάχιστη τιμή 1,95. Αυτό υπερβαίνει κατά πολύ τις απαιτήσεις ομοιομορφίας όλων των Κριτηρίων Έντασης Φωτισμού κατά IESNA, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 1-16 (Παράρτημα C: Υπολογισμοί Τοποθεσίας). Ύστερα από σύγκριση των τιμών αυτών με τις τιμές της περιοχής 4, καθίσταται προφανής για ακόμη μία φορά η ανομοιόμορφη απόδοση που συζητήθηκε παραπάνω σχετικά με τις μετρήσεις πεδίου.

Η απόδοση των συστημάτων αυτών συσχετίζεται με διάφορα επίπεδα των κριτηρίων κατά IESNA RP-8: Συνιστώμενη Πρακτική για Φωτισμό Οδών (IESNA 2005). Υπάρχουν τρεις τρέχουσες μέθοδοι όσον αφορά το σχεδιασμό φωτισμού στο RP-8, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου 'Έντασης Φωτισμού', της μεθόδου 'Λαμπρότητας' και της μεθόδου 'Ορατότητας Μικρού Στόχου'. Παρομοίως, η Αμερικανική ένωση κρατικών εθνικών οδών (AASHTO) χρησιμοποιεί τη μέθοδο 'Έντασης Φωτισμού' και τη

μέθοδο 'Λαμπρότητας' στα έγγραφα κριτηρίων σχεδιασμού, σε αντιστοιχία με το έγγραφο RP-8 της IESNA σχετικά με τις μεθόδους και τα ειδικά όρια.

Για τη συγκεκριμένη δοκιμή, ο φωτισμός συγκρίθηκε με χρήση μεθόδων υπολογισμού κατά IESNA και γενικά αποδεκτούς τροποποιητές απόδοσης φωτός, ώστε να παραχθεί ένας διατηρητέος υπολογισμός φωτισμού που είναι αναγκαίος για την επαλήθευση του σχεδιασμού. Οι μέθοδοι υπολογισμού του φωτισμού που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μέθοδοι 'Έντασης Φωτισμού' και 'Λαμπρότητας'. Τα επίπεδα των κριτηρίων της κατευθυντήριας γραμμής της IESNA μαζί με το επίπεδο απόδοσης που πληρούνται στους υπολογισμούς των δοκιμαστικών περιοχών υπάρχουν στο Παράρτημα C: Υπολογισμοί Τοποθεσίας.

Ας σημειωθεί ότι η IESNA ηγείται των αρχών που διέπουν τους κανόνες φωτισμού. Παρόλο που αρκετοί δήμοι μπορεί να έχουν τους δικούς τους κανόνες, πολλοί απορρέουν ή αναφέρονται στα πρότυπα της IESNA.

1.4.5 ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα αποτελέσματα της υποκειμενικής έρευνας έδειξαν σημαντικές διαφορές στις απαντήσεις των συμμετεχόντων σε εννέα εκ των δεκατριών δηλώσεων:

2. 'Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας'
5. 'Δεν υπάρχει αρκετό φως στο δρόμο'
6. 'Ο φωτισμός είναι ανομοιόμορφος'
8. 'Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε στο πεζοδρόμιο, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας'
9. 'Δεν μπορώ να διακρίνω τα χρώματα των αντικειμένων εξαιτίας του φωτισμού'
10. 'Ο φωτισμός επιτρέπει ασφαλή πλοήγηση'
11. 'Μου αρέσει το χρώμα του φωτός'
12. 'Θα μου άρεσε αυτό το είδος φωτισμού στους δρόμους της πόλης μου'
13. 'Πώς είναι ο φωτισμός αυτής της περιοχής σε σύγκριση με το φωτισμό παρόμοιων δρόμων της πόλης τη νύχτα?'

Οι συμμετέχοντες στην έρευνα δεν έδειξαν έντονη προτίμηση για τα εναλλακτικά συστήματα φωτισμού. Παρόλο που αυτό διαφέρει από τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών (Οικιστική αναφορά του Anchorage, 2008 και Εμπορική αναφορά του Anchorage, 2009), υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις διαδικασίες των δοκιμών, στην επιλογή φωτιστικού και φωτεινής πηγής, και στις συνθήκες τοποθεσίας, οι οποίες καθιστούν τις άμεσες συγκρίσεις δύσκολες.

- Η Δήλωση 1 (ασφαλές να περπατάτε κατά τη διάρκεια της ημέρας) είχε ως αποτέλεσμα οι περισσότεροι συμμετέχοντες να αισθάνονται ασφαλείς στις

δοκιμαστικές περιοχές. Δεν υπήρχαν πραγματικές διαφορές μεταξύ των περιοχών δοκιμής. Εν τούτοις, στη **Δήλωση 2 (ασφαλές να περπατάτε, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας)**, η πηγή λευκού φωτός της περιοχής 4 είχε την υψηλότερη βαθμολογία (οι συμμετέχοντες αισθάνθηκαν πιο ασφαλείς σε αυτήν την περιοχή απ' ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη). Και οι δύο υπάρχουσες φωτεινές πηγές των δοκιμαστικών περιοχών 7 και 8 βαθμολογήθηκαν σχεδόν το ίδιο και η πηγή λευκού φωτός της περιοχής 1 είχε την χαμηλότερη βαθμολογία.

- Στη **Δήλωση 8 (ασφαλές να περπατάτε, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας)**, η πηγή λευκού φωτός της περιοχής 4 είχε την υψηλότερη βαθμολογία και η πηγή λευκού φωτός της περιοχής 6 την χαμηλότερη. Οι φωτεινές πηγές των περιοχών 7 και 8 βαθμολογήθηκαν σχεδόν το ίδιο προς το μέσον της διάδοσης.
- Στη **Δήλωση 9 (δεν μπορώ να διακρίνω τα χρώματα)**, η πηγή λευκού φωτός της περιοχής 6 είχε την χαμηλότερη βαθμολογία (τα χρώματα αποδίδονταν με ακρίβεια) και οι υπάρχουσες πηγές των περιοχών 7 και 8 είχαν την υψηλότερη (τα χρώματα δεν αποδίδονταν με ακρίβεια). Στη δήλωση 11 οι συμμετέχοντες ρωτήθηκαν αν τους άρεσε το χρώμα του φωτός. Η πηγή της περιοχής 6 είχε εδώ την υψηλότερη βαθμολογία, ενώ αυτή των περιοχών 7 και 8 την χαμηλότερη.
- Στη **Δήλωση 12 (τους αρέσει το είδος φωτισμού για τους δρόμους της πόλης τους)**, οι συμμετέχοντες έδωσαν στο λευκό είδος φωτισμού της περιοχής 6 την υψηλότερη βαθμολογία, ενώ στο υπάρχων είδος φωτισμού της περιοχής 8 την χαμηλότερη.
- Στη **Δήλωση 13 (συγκρίνετε τον φωτισμό κάθε δοκιμαστικής περιοχής με τον υπάρχων φωτισμό των δρόμων)**, οι συμμετέχοντες κατέταξαν την πηγή της περιοχής 6 σε καλύτερη θέση από τις υπάρχουσες φωτεινές πηγές.

1.4.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Μια ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) των δεδομένων που σχετίζονταν με την απόσταση ανίχνευσης διεξήχθη, ώστε να προσδιοριστεί εάν προέκυψαν διαφορές μεταξύ των διαφόρων τμημάτων φωτισμού και ποιες είναι αυτές. Ακολούθως, η στατιστική μέθοδος Student Newman-Keuls (SNK) χρησιμοποιήθηκε, προκειμένου να εντοπιστεί πού προέκυψαν οι εν λόγω διαφορές. Τα αποτελέσματα της ANOVA παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-14 που ακολουθεί.

Πηγή	Τιμή F	Τιμή P	Σημαντικό
Είδος φωτισμού	3,03	0,0037	*
Τοποθεσία φωτισμού	1,39	0,238	
Είδος φωτισμού * Επίπεδο Έντασης φωτισμού	2,68	0,0139	*
Χρώμα Στόχου (στόχοι οδοστρώματος)	36,68	0,001	*
Είδος φωτισμού * Χρώμα Στόχου	1,57	0,1962	

Πίνακας 1-14: Τμήματα φωτισμού, Επίπεδα φωτισμού (Τοποθέτηση Στόχου), και αποτελέσματα της ANOVA όσον αφορά το Χρώμα του Στόχου

Η αρχική ανάλυση συνέκρινε το είδος και την τοποθεσία φωτισμού (δρόμος ή διασταύρωση). Σημαντικές διαφορές προέκυψαν ως προς το είδος φωτισμού και διεξήχθησαν συγκρίσεις των αποτελεσμάτων κατά ζεύγη με χρήση της ανάλυσης SNK. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στην εικόνα 1-18.

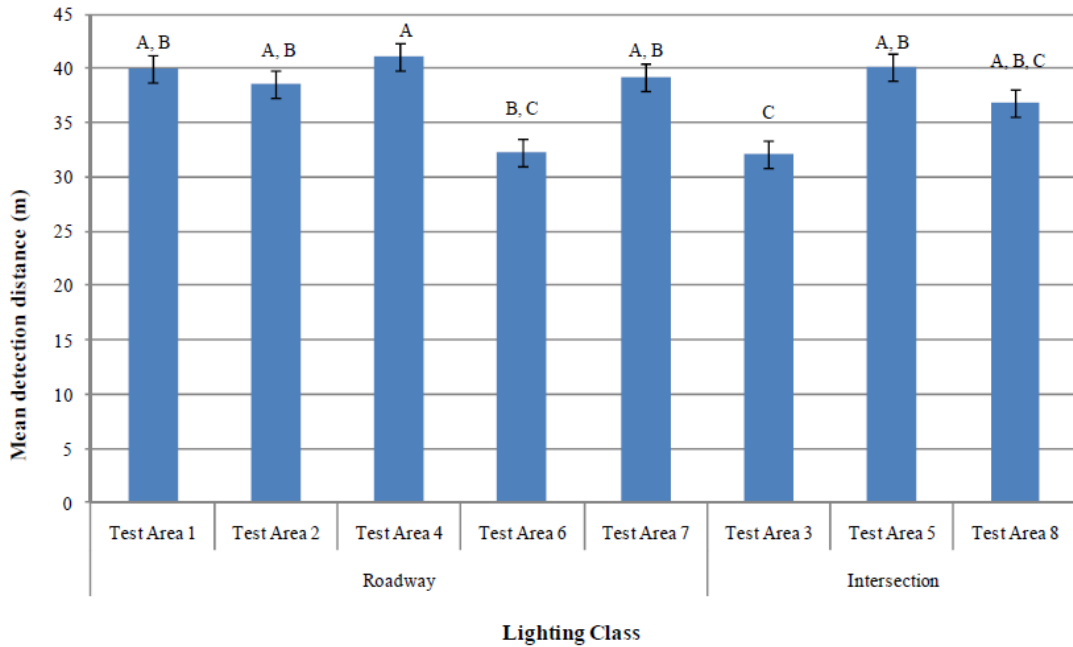
Τα γράμματα στην κορυφή των στηλών δείχνουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης SNK: ίδια γράμματα υποδεικνύουν ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων, τα οποία δεν παρουσιάζουν στατιστικές διαφορές. Οι στήλες που περιέχουν ίδια γράμματα δεν διαφέρουν σημαντικά η μία από την άλλη.

Για παράδειγμα, η δοκιμαστική περιοχή 4 είχε την καλύτερη μέση απόσταση εντοπισμού, ωστόσο δεν διέφερε σημαντικά από τις περιοχές 1, 2, 7, ή την πλειοψηφία των διατάξεων φωτισμού της διασταύρωσης, εξαιρουμένης της περιοχής 3, καθώς αυτά τα είδη φωτισμού χαρακτηρίζονται με το ίδιο γράμμα 'Α'.

Με σύγκριση μόνο κατά ομάδες (δρόμος εναντίον διασταύρωσης), τα τμήματα δρόμου είχαν παρόμοια αποτελέσματα, ωστόσο η περιοχή 4 είχε σημαντικά μεγαλύτερες αποστάσεις ανίχνευσης ($M=41,1$ μέτρα) από την περιοχή 6 ($M=32,2$ μέτρα). Πρακτικά, με ταχύτητα 30 m/h ($13,4$ m/s) η διαφορά 9 μέτρων μεταξύ των δύο περιοχών είναι λιγότερη από ένα δευτερόλεπτο για έναν οδηγό.

Μια σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε επίσης μεταξύ των διαφόρων τμημάτων φωτισμού, όπου η περιοχή 4 είχε κατά πολύ, μεγαλύτερη απόσταση εντοπισμού σε σχέση με την περιοχή 3 της ομάδας των διασταυρώσεων ($M=32,5$ μέτρα). Με αναζήτηση συγκεκριμένα στην ομάδα των διασταυρώσεων, η περιοχή 3 παρουσίασε αρκετά μικρότερες αποστάσεις εντοπισμού σε σχέση με την περιοχή 8 ($M=36,8$ μέτρα) ή την περιοχή 5 ($M=40,2$ μέτρα).

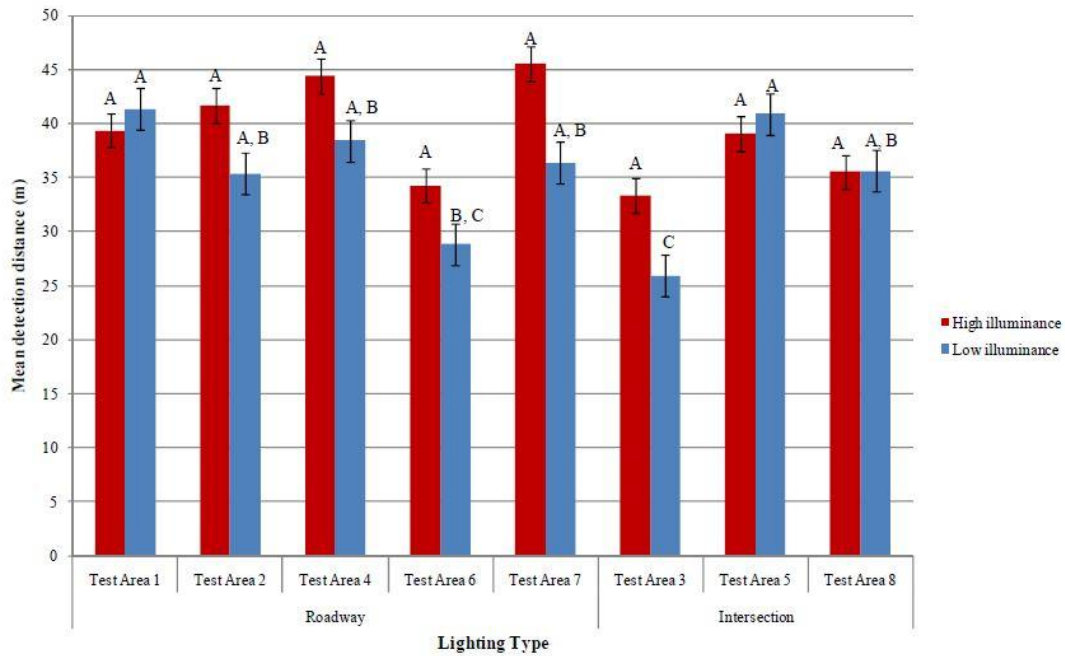
Συνολικά, μεταξύ των τμημάτων και ομάδων φωτισμού, οι εναλλακτικές τεχνολογίες φωτισμού δεν διέφεραν σημαντικά ως προς τις αποστάσεις ανίχνευσης σε σύγκριση με τον υπάρχον φωτισμό δρόμων ή διασταυρώσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν συγκρίσιμες αποστάσεις ανίχνευσης σε όλα τα είδη του συστήματος φωτισμού, με τις περιοχές 6 και 3 να χαρακτηρίζονται από μικρότερες αποστάσεις. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο φωτισμού (ή τοποθέτηση στόχου) κατέρρευσε σε όλες τις ομάδες της συγκεκριμένης ανάλυσης και διερευνάται σε επόμενη σύγκριση.



Εικόνα 1-18: Συγκρίσεις είδους και τοποθεσίας φωτισμού

Η εικόνα 1-19 δείχνει μια άλλη ανάλυση, η οποία συνέκρινε το κάθετο επίπεδο έντασης φωτισμού του στόχου (υψηλό έναντι χαμηλού όπως ρυθμίζεται από την τοποθέτηση του στόχου) και την τοποθεσία που φωτίζεται (δρόμος ή διασταύρωση). Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η γενική τάση δείχνει ότι περισσότερος φωτισμός παρέχει καλύτερες αποστάσεις ανίχνευσης σε όλα τα είδη φωτισμού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ., δοκιμαστικές περιοχές 1 και 5), οι τάσεις φαίνεται να έχουν αντιστραφεί με χαμηλή ένταση φωτισμού να παρέχει μεγαλύτερες μέσες αποστάσεις εντοπισμού. Το αποτέλεσμα αυτό θα μπορούσε πιθανόν να οφείλεται στην τοποθέτηση του στόχου και την περιβάλλουσα ακαταστασία. Για παράδειγμα, οι στόχοι που τοποθετήθηκαν σε θέσεις διασταυρώσεων θα μπορούσαν να έχουν παρεμποδιστεί από πεζούς. Οι στόχοι που είχαν τοποθετηθεί πάνω στο δρόμο θα μπορούσαν να έχουν επηρεαστεί από την παρουσία ή απουσία παρκαρισμένων αυτοκινήτων, επηρεάζοντας έτσι τις αποστάσεις.

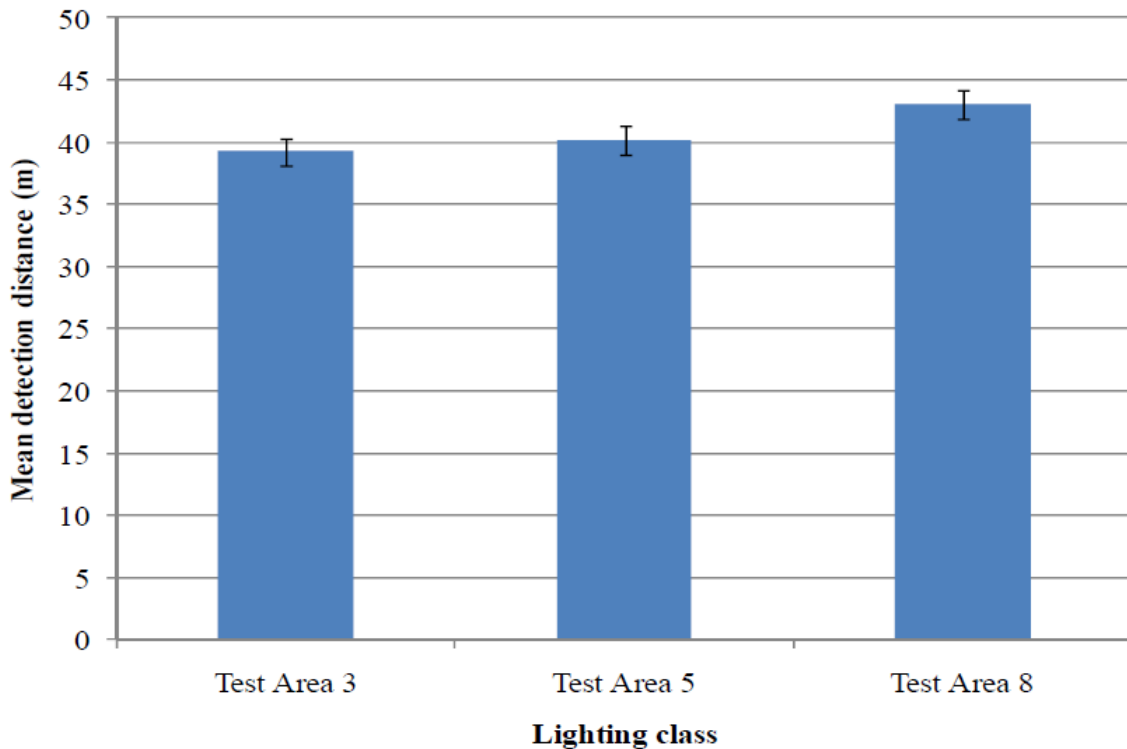


Εικόνα 1-19: Υψηλό και χαμηλό επίπεδο φωτισμού και τοποθεσία φωτισμού

Εξετάζοντας ειδικότερα κάθε ομάδα (δρόμος ή διασταύρωση), η δοκιμαστική περιοχή 6, σύμφωνα και με τα αρχικά δεδομένα που αφορούσαν την απόσταση ανίχνευσης, είχε ακόμη την μικρότερη απόσταση, είτε με υψηλό είτε με χαμηλό επίπεδο φωτισμού. Η περιοχή 3 ακολούθησε την ίδια τάση με το προηγούμενο αποτέλεσμα, παρουσιάζοντας ξανά την μικρότερη απόσταση παρά τα υψηλά ή χαμηλά επίπεδα έντασης φωτισμού εντός των διασταυρώσεων. Συνολικά, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η γενική τάση υποδεικνύει ότι υψηλότερα επίπεδα έντασης φωτισμού παρέχουν μεγαλύτερες αποστάσεις εντοπισμού. Και πάλι, οι τάσεις αυτές ήταν σταθερές σε όλα τα είδη των στόχων και μια ειδική ανάλυση προκειμένου να εξεταστούν πληροφορίες όσον αφορά τους πεζούς και τους στόχους παρέχεται σε επόμενο τμήμα.

Η εικόνα 1-20 δείχνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η οποία συνέκρινε τα είδη στόχων εντός των δοκιμαστικών περιοχών. Η αρχική σύγκριση αφορούσε τους πεζούς που είχαν χρησιμοποιηθεί ως στόχοι και έδειξε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των θέσεων των πεζών. Αυτό υποδεικνύει ότι ανεξάρτητα των συνθηκών φωτισμού (δοκιμαστικές περιοχές 3, 5, 8), καμία αξιοσημείωτη διαφορά δεν προέκυψε ως προς τις αποστάσεις εντοπισμού.

Τα αποτελέσματα έδειξαν συγκρίσιμες αποστάσεις ανίχνευσης πεζών είτε με εναλλακτικές τεχνολογίες φωτισμού είτε με υπάρχουσες. Καμία σημαντική επίδραση δεν παρατηρήθηκε με τη χρήση των εναλλακτικών. Οποσδήποτε, φαίνεται να είναι συγκρίσιμες με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις φωτισμού.

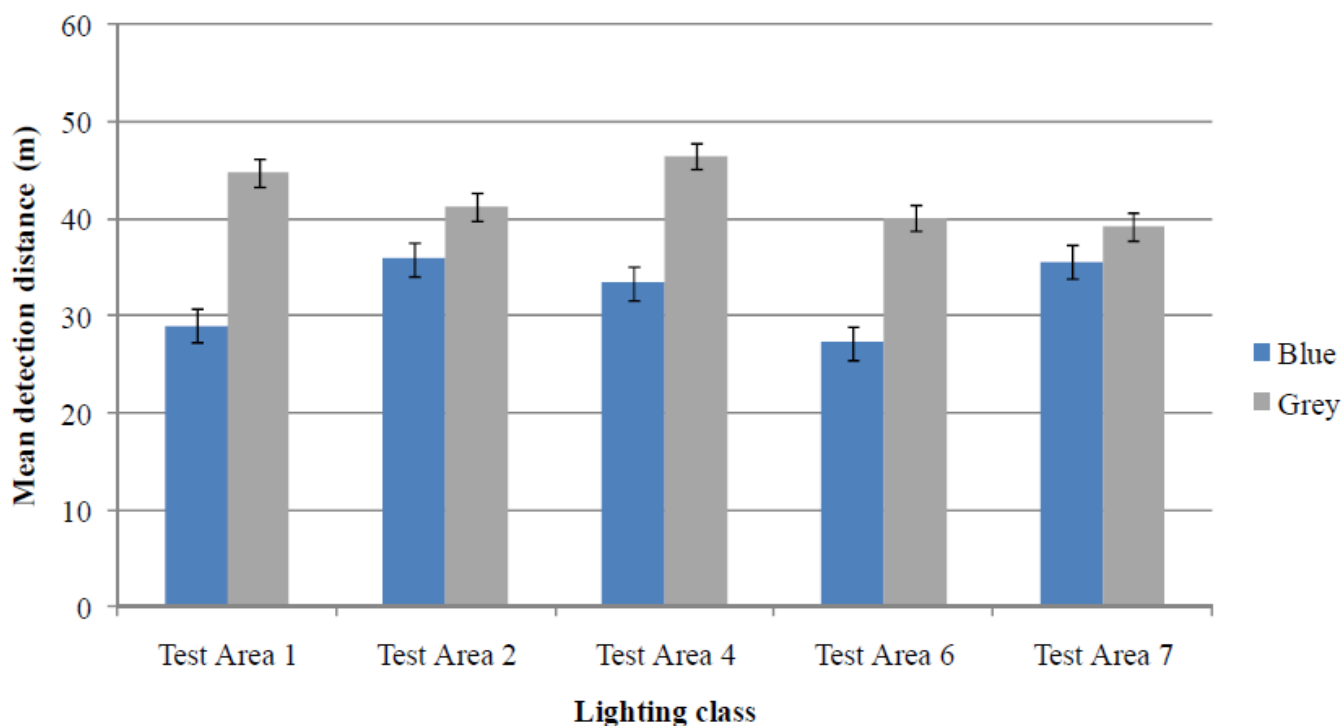


Εικόνα 1-20: Απόδοση ως προς την ανίχνευση πεζών στο τμήμα των διασταυρώσεων

Η επόμενη σύγκριση αφορά το χρώμα του στόχου μόνο κατά μήκος των οδικών τμημάτων που περιείχαν τόσο μπλε όσο και γκρι στόχους. Όπως αποτυπώνεται στο σχήμα 1-21, ο γκρι στόχος είχε μεγαλύτερες αποστάσεις ανίχνευσης σε όλα τα τμήματα φωτισμού σε σύγκριση με τον μπλε. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το μπλε χρώμα που χρησιμοποιείται στο στόχο ορατότητας είναι πιο σκούρο με λιγότερη ανακλαστικότητα, το οποίο μπορεί να εμποδίσει την αντίθεση και έτσι μειώθηκε η πιθανή ανίχνευση του στόχου στα διάφορα τμήματα φωτισμού.

Κατά την επανεξέταση της σύγκρισης σε όλη την υπάρχουσα εγκατάσταση, οι αποστάσεις εντοπισμού δεν διέφεραν σημαντικά ανάμεσα στα δύο χρώματα στόχων. Οι μεγαλύτερες διαφορές σημειώθηκαν στις εγκαταστάσεις των περιοχών 1, 4, και 6, όπου η απόσταση εντοπισμού, όσον αφορά τον γκρι στόχο ήταν $M=44,8$ m, $M=47,8$ m, $M=40,1$ m αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις αποστάσεις του μπλε, οι οποίες ήταν $M=29,1$ m, $M=32,8$ m, $M=27,8$ m αντίστοιχα. Οι μπλε στόχοι ορατότητας δεν φάνηκαν να επωφελούνται από τον λευκό φωτισμό σε αυτές τις συγκεκριμένες θέσεις φωτισμού.

Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων υπέδειξαν ότι η μικρότερη ανακλαστικότητα του μπλε στόχου έπαιξε κεντρικό ρόλο στον εντοπισμό του στόχου. Οποσδήποτε, η εμφανής αντίθεση κάθε στόχου μπορεί να ήταν επιζήμια για ορισμένες από τις τεχνολογίες φωτισμού. Περαιτέρω συμπληρωματικές αναλύσεις, όσον αφορά την αντίθεση, θα πραγματοποιηθούν σε μεταγενέστερη ημερομηνία.



Εικόνα 1-21: Σύγκριση του χρώματος του στόχου κατά μήκος των οδικών τμημάτων

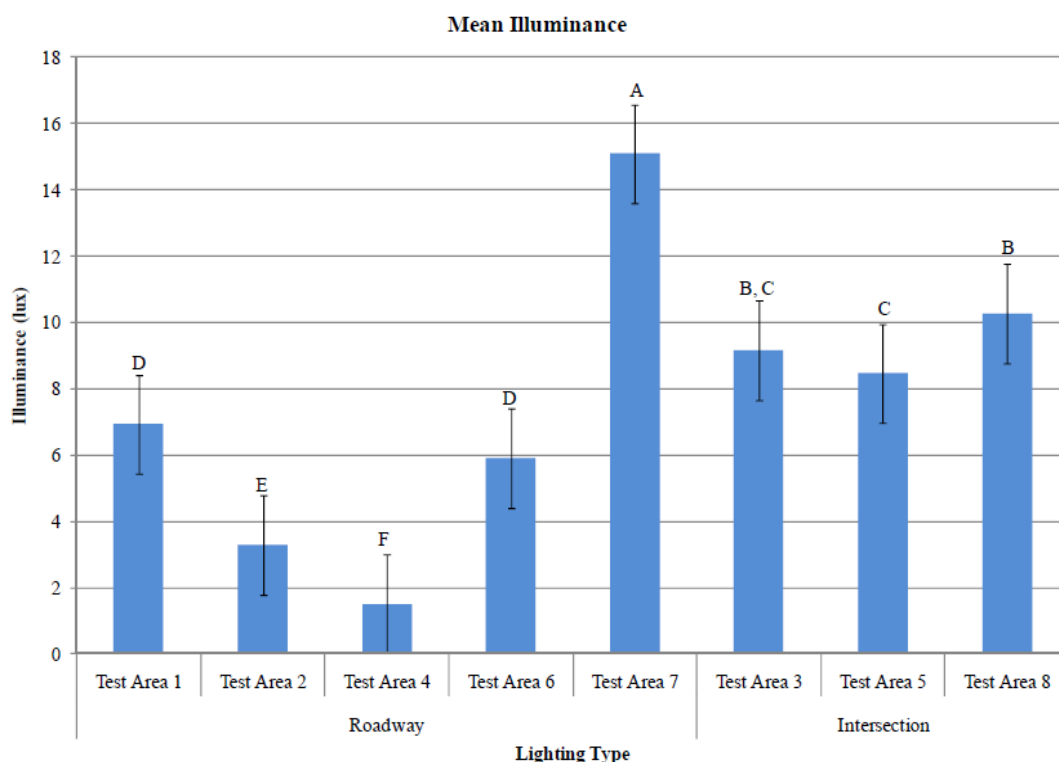
1.4.7 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Τα συλλεχθέντα αποτελέσματα από τους τέσσερις αισθητήρες έντασης φωτισμού που ήταν τοποθετημένοι στην οροφή του οχήματος συνδυάστηκαν και παρουσιάζονται παρακάτω. Οι δύο αισθητήρες τοποθετήθηκαν κατά μήκος του άξονα του οχήματος (εμπρόσθιο και πίσω μέρος) και οι άλλοι δύο πάνω από κάθε μία από τις πορείες των τροχών (αριστερά και δεξιά). Ορισμένες ασυνέπειες στις εγκαταστάσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ του εμπρόσθιου και πίσω αισθητήρα, ωστόσο οι ασυνέπειες αυτές πιθανόν οφείλονταν σε ανωμαλίες στη συλλογή δεδομένων, οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα τα επίπεδα της έντασης φωτισμού να καταρρεύσουν σε ολόκληρη τη θέση του αισθητήρα και να χωριστούν σε τμήματα φωτισμού.

Η εγκατάσταση της περιοχής 6 παρείχε στο τμήμα του οδοστρώματος λογική ομοιομορφία, αλλά προσέφερε τα χαμηλότερα επίπεδα έντασης φωτισμού ανάμεσα σε όλα τα εναλλακτικά συστήματα φωτισμού δρόμων, το οποίο ήταν ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα λόγω της ισχύος εξόδου. Το σύστημα της περιοχής 4 παρείχε χαμηλότερη μέση ένταση φωτισμού, αλλά αυτό οφειλόταν σε μη ομοιόμορφη κατανομή του φωτός και στο γεγονός ότι οι μετρήσεις ελήφθησαν στις λωρίδες κίνησης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του φωτός περιοριζόταν στη λωρίδα στάθμευσης κατά κύριο λόγο.

Μεταξύ των περιοχών της διασταύρωσης, η περιοχή 3 είχε την υψηλότερη μέση ένταση φωτισμού σε σύγκριση με τις πηγές ευρέως φάσματος. Παρόμοια με

την εγκατάσταση της περιοχής 6, η δοκιμαστική περιοχή 5 παρουσίαζε τα χαμηλότερα επίπεδα μέσης έντασης φωτισμού κατά μήκος των διαδρομών.



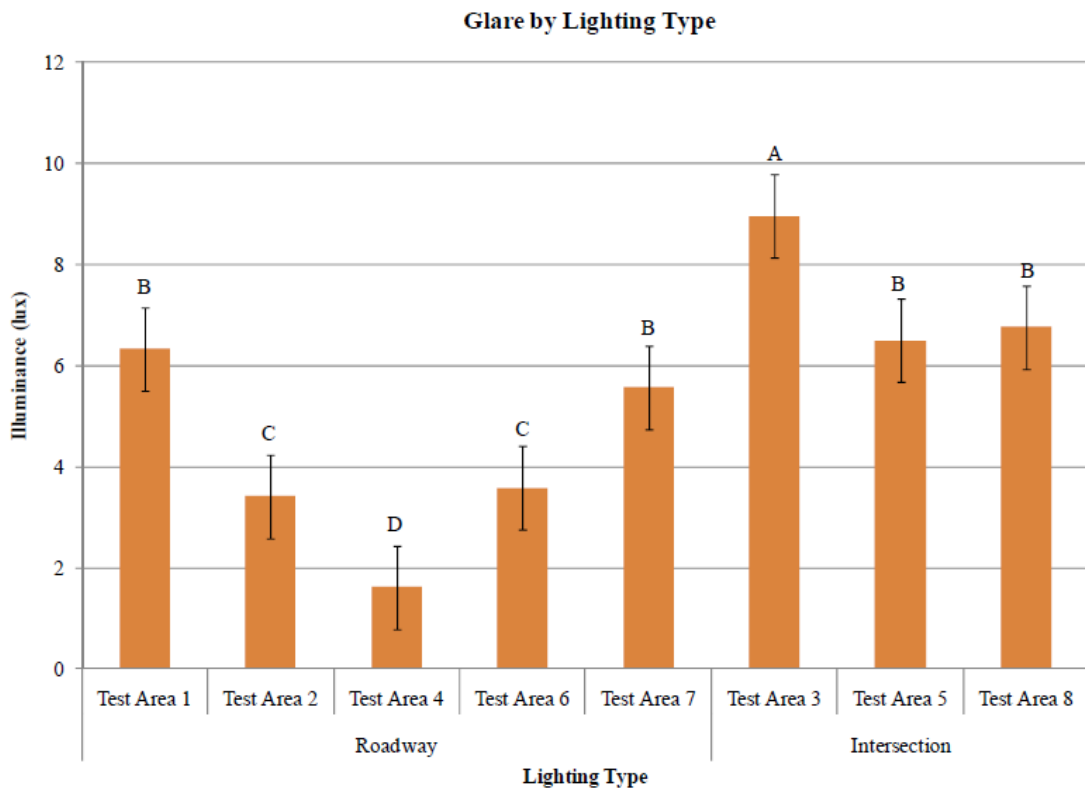
Εικόνα 1-22: Επίπεδα Μέσης Έντασης Φωτισμού που σημειώθηκε ότι κατέρρευσαν από τους αισθητήρες οροφής

Ο πέμπτος μετρητής τοποθετήθηκε στο παρμπρίζ του οχήματος και παρείχε μία εναλλακτική παράμετρο εκτίμησης της θάμβωσης που παρατηρήθηκε κατά την οδήγηση εντός καθενός από τα τμήματα φωτισμού. Τα επίπεδα της μέσης έντασης φωτισμού υπολογίστηκαν επίσης για κάθε εγκατάσταση με βάση το μετρητή θάμβωσης και τα αποτελέσματα παρέχονται στην ακόλουθη εικόνα 1-23. Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις δρόμου (π.χ., όχι τοποθεσίες διασταύρωσης), η υψηλότερη μέση ένδειξη του μετρητή θάμβωσης ελήφθη στην δοκιμαστική περιοχή 1, χωρίς ωστόσο σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιοχών 1 και 7.

Οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις εναλλακτικού φωτισμού δρόμων ήταν γενικά σύμφωνες με τις σημαντικά χαμηλότερες ενδείξεις που ελήφθησαν στην περιοχή 4. Με την επανεξέταση των περιοχών διασταύρωσης, η υψηλότερη ένδειξη μέσης θάμβωσης σημειώθηκε στην περιοχή 3, χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ της περιοχής 5 και του υπάρχοντος φωτισμού διασταύρωσης.

Τα συνολικά αποτελέσματα υπέδειξαν ότι παρόλες τις ανησυχίες ως προς τη θάμβωση των νέων τεχνολογιών φωτισμού, η πλειοψηφία των LED έδειξε να έχει λιγότερες επιπτώσεις ή βρισκόταν στο ίδιο επίπεδο με τις υπάρχουσες τεχνολογίες φωτισμού. Σε αυτό το έργο, οι εγκαταστάσεις επαγωγής εμφάνισαν υψηλότερες

ενδείξεις θάμβωσης σε σχέση είτε με τον υπάρχων φωτισμό δρόμου, είτε με την τεχνολογία LED.



Εικόνα 1-23: Επίπεδα μέσης θάμβωσης ανά τοποθεσία

Ως τελική ανάλυση ελήφθησαν μια σειρά τιμών για κάθε ένα από τα είδη φωτισμού μεταξύ των τμημάτων φωτισμού, στις οποίες συμπεριλήφθηκαν η μέγιστη και ελάχιστη ένταση φωτισμού, καθώς και ένας υπολογισμός της ομοιομορφίας για κάθε ένα από τα τμήματα. Οι εν λόγω πληροφορίες παρέχονται στον ακόλουθο Πίνακα 1-15.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το φωτιστικό της δοκιμαστικής περιοχής 4 εμφάνισε πολύ χαμηλή ένταση φωτισμού σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα και διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής ότι ήταν ακατάλληλο για τον αυτοκινητόδρομο. Η κεντρική λωρίδα του δρόμου δεν φωτιζόταν σε τόσο υψηλό επίπεδο όσο η ακριανή λωρίδα και αυτό απεικονίζεται στα δεδομένα.

Δοκιμαστική Περιοχή	Ελάχιστη Ένταση Φωτισμού	Μέγιστη Ένταση Φωτισμού	Αναλογία Ομοιομορφίας (Μεγ. προς ελαχ.)
1 Επαγωγής	3,87	14,58	3,75
2 Επαγωγής	2,14	8,00	3,74
3 Επαγωγής	3,80	20,22	5,32
4 LED	0,77	2,41	3,13
5 LED	2,98	22,68	7,60
6 LED	3,66	9,11	2,49
7 HPS (αυτοκινητόδρομος)	2,84	26,88	9,47
8 HPS (διασταύρωση)	2,20	33,64	15,30

Πίνακας 1-15: Μετρήσεις Έντασης Φωτισμού

1.5 ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ

1.5.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Τα αποτελέσματα του έργου επηρεάστηκαν αναπόφευκτα από ορισμένους παράγοντες που δεν μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ή να ελεγχθούν δεδομένων των περιορισμών του πειράματος. Δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί το ότι οι τοποθεσίες όλων των φωτιστικών ήταν καθορισμένες και σχεδιασμένες για την υπάρχουσα κατάσταση – φωτιστικό HPS 250W. Με άλλα λόγια, η απόσταση και το ύψος στερέωσης όλων των εναλλακτικών συστημάτων δεν βελτιστοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη δοκιμή φωτιστικού, αλλά αντίθετα εγκαταστάθηκαν στην θέση των υπαρχόντων φωτιστικών HPS.

Τα εναλλακτικά συστήματα που αξιολογήθηκαν παρήγαγαν αισθητά λιγότερο φως σε πολύ χαμηλότερη κατανάλωση από το υπάρχον σύστημα. Τα υπάρχοντα φωτιστικά παρέχουν από 3,5 έως 9 φορές μεγαλύτερη μέση ένταση φωτισμού και 5 έως 8 φορές μεγαλύτερη λαμπρότητα σε σύγκριση με τα εναλλακτικά συστήματα. Είναι μια σκόπιμη σύγκριση, ανεξάρτητα της ισχύος, διότι η αλλαγή σε πηγή ευρέως φάσματος φωτισμού μετατρέπει ολόκληρη την οπτική απόδοση του συστήματος φωτισμού των δρόμων.

1.5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Το έργο από άποψη ενέργειας έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες ως προς τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης (μέχρι 40%) και του συνδεδεμένου φορτίου, ενώ συνέχιζε να διατηρεί ένα συγκρίσιμο επίπεδο οπτικής απόδοσης. Δίνεται ξεκάθαρη ευκαιρία να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και οι δημοτικοί φόροι μέσω

ενός προγράμματος αντικατάστασης φωτιστικών κατά το οποίο οι υπάρχουσες φωτεινές πηγές HPS αλλάζουν σε πηγές ευρέως φάσματος.

Οι τεχνολογίες ευρέως φάσματος που συζητήθηκαν έχουν βελτιώσει σημαντικά το προσδόκιμο ζωής του λαμπτήρα σε σύγκριση με παλαιότερες τεχνολογίες φωτεινών πηγών HPS ή MH. Αυτό θα οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση των περιόδων συντήρησης και μείωση των συνολικών εξόδων που σχετίζονται με τη συντήρηση.

Λόγω της φύσεως των φωτεινών πηγών LED, τα συστήματα LED που δοκιμάστηκαν αντικατοπτρίζουν εν μέρει διαφορετική κατανάλωση ενέργειας, διότι δεν υπάρχουν 'τυπικά' πακέτα αντικατάστασης λαμπτήρων. Αυτό θα συνεχίσει να ισχύει με τα φωτιστικά LED καθώς η βιομηχανία εξελίσσεται.

Ωστόσο, ένα πλεονέκτημα της τεχνολογίας LED είναι η δυνατότητα η δέσμη φωτεινής ροής να μπορεί να ρυθμιστεί, ώστε να καλύψει τις ανάγκες των συνθηκών του δρόμου πιο εύκολα και σε μικρότερες αυξήσεις από τις αυξήσεις ισχύος των παραδοσιακών λαμπτήρων HPS, MH και επαγωγής. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ένας σχεδιαστής φωτιστικών να πληροί ένα πρότυπο χωρίς να το υπερβαίνει σε πολύ μεγάλο βαθμό, το οποίο θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του σχεδίου φωτισμού, ανεξάρτητα των υπολοίπων οφελών που μπορούν να θεωρηθούν λόγω της ευρύτητας του φάσματος του φωτός.

1.5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ

Οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν να αυξηθούν σημαντικά μέσω της εφαρμογής του Προσαρμοζόμενου συστήματος Ελέγχου Φωτισμού Δρόμων (ASC). Αυτή η προσέγγιση είναι πέραν του σκοπού αυτού του έργου, ωστόσο είναι μια σημαντική τεχνολογία που αξίζει να σημειωθεί. Το σύστημα ASC παρέχει προηγμένο έλεγχο των φώτων του δρόμου. Σε κάθε μεμονωμένο στυλο δίνεται συγκεκριμένη διεύθυνση που μπορεί να ελεγχθεί αυτόματα από μια απομακρυσμένη τοποθεσία. Τα οφέλη σχετικά με τον προσαρμοζόμενο φωτισμό σε ένα δημόσιο σύστημα μεγάλης κλίμακας αυτού του τύπου περιλαμβάνουν:

- ❖ Μειωμένη φωτορύπανση κατά τη διάρκεια των χρονικών περιόδων πλήγματος
- ❖ Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας
- ❖ Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής λαμπτήρα
- ❖ Δυνατότητα ανταπόκρισης της ζήτησης
- ❖ Μειωμένη πιθανότητα επιβλαβούς φωτός/αλληλεπιδράσεων της ανθρώπινης υγείας
- ❖ Πιο εξελιγμένος έλεγχος και διαχείριση του συστήματος
- ❖ Βελτιωμένες ενημερώσεις όσον αφορά τη συντήρηση και δρομολόγηση των φορτηγών

Ένας συνδυασμός μιας αλλαγής της τεχνολογίας του φωτός και ενός ASC συστήματος θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση κατά 30% των ωρών λειτουργίας και κατά 40% της κατανάλωσης ενέργειας, έχοντας ως αποτέλεσμα μία συνδυασμένη μείωση της χρήσης ενέργειας κατά 60%. Η εξοικονόμηση αυξάνεται λόγω της βελτίωσης της συλλογής πληροφοριών, της συντήρησης και της ενδεχόμενης ανταπόκρισης στη ζήτηση.

1.5.4 ΤΟ ΧΡΩΜΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Η θερμοκρασία του χρώματος ενός συστήματος φωτισμού είναι μία μεταβλητή που χρήζει προσεκτικής εξέτασης, εάν μια πηγή ευρέως φάσματος πρόκειται να εγκριθεί από την πόλη του San Diego και την SDG&E. Παρόλο που δεν συμπεριλαμβάνεται στο σκοπό αυτής της αναφοράς, μελέτες έχουν δείξει ότι η αποφυγή φωτός μικρού μήκους κύματος είναι προτιμότερη για την χλωρίδα και την πανίδα καθώς και για τις ανθρώπινες επιδράσεις.

Είναι δυνατόν να έχουμε 'λευκό φως' λιγότερων μηκών κύματος από αυτά που προκαλούν ανησυχία. Αυτός είναι ο λόγος που δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη θερμοκρασία χρώματος της σελήνης (4125°K). Επιπλέον έρευνα θα είναι απαραίτητη, προκειμένου να κατανοηθούν πλήρως αυτές οι αλληλεπιδράσεις, αλλά πρόσφατες έρευνες υποδεικνύουν ότι αυτή είναι μία σταθερή προσέγγιση του ζητήματος.

Υπάρχει κάτι παραπάνω στο φάσμα από την τιμή της απλής θερμοκρασίας χρώματος της φωτεινής πηγής, όπως η κατανομή συχνότητας του φωτός που είναι επίσης ένα σημαντικό στοιχείο αυτού. Ενώ ο δείκτης χρωματικής απόδοσης παρέχει κατά κάποιο τρόπο γνώση όσον αφορά αυτό το στοιχείο της απόδοσης του φωτός, δεν αποτελεί μια πλήρη εικόνα της κατανομής. Τα διαγράμματα φασματικής κατανομής της εξόδου της φωτεινής πηγής είναι ο καλύτερος τρόπος ώστε να αρχίσουν να κατανοούνται πλήρως οι πηγές φωτός. Η αξία των εν λόγω διαγραμμάτων εξετάζεται περαιτέρω στο τμήμα 1.5.5 Ανάλυση Υποκειμενικής Έρευνας.

Τα φωτιστικά LED της δοκιμαστικής περιοχής 6 παρουσίασαν μια σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία χρώματος από τις υπόλοιπες ελεγχθείσες περιοχές της ομάδας. Η πηγή της εν λόγω απόκλισης είναι υπό έρευνα. Ωστόσο, η μεγαλύτερη εκπομπή μπλε φωτός από την φωτεινή πηγή είχε ορισμένες επιδράσεις στα αποτελέσματα των υποκειμενικών δοκιμών και μπορεί να είχε μια παρόμοια επίδραση στα αποτελέσματα των αντικειμενικών δοκιμών.

Πρώτον, η υψηλότερη θερμοκρασία χρώματος έχει ως αποτέλεσμα μια ψυχρότερη απόχρωση (όχι πολύ έντονα ψυχρότερη σε σύγκριση με άλλες πηγές ευρέως φάσματος που δοκιμάστηκαν εδώ). Η διαφορά είναι ανεπαίσθητη από αισθητικής πλευράς. Ωστόσο, η συγκεκριμένη διαφορά μπορεί να είναι πολύ σημαντική σε σχέση με την πραγματική αντίληψη της φωτεινής απόδοσης από τη συγκεκριμένη

πηγή, καθώς η αυξημένη παραγωγή μπλε χρώματος θα έχει ως αποτέλεσμα η αντίληψη του φωτός να γίνεται σε υψηλότερα επίπεδα απ' ό τι είναι στην πραγματικότητα. Αυτό μπορεί να επηρέασε τα αποτελέσματα της εν λόγω περιοχής και αυξήθηκε η αντίληψη του επιπέδου καταλληλότητας του φωτός σε σχέση με τις άλλες περιοχές.

Δεύτερον, κατά τη λειτουργία των άλλων συστημάτων LED υπήρχε μία μικρή κύρωση ως προς τη φωτεινή ροή λόγω περιορισμών της θερμοκρασίας χρώματος που τέθηκαν επί των αρχικών παραμέτρων της έρευνας. Η υπάρχουσα τεχνολογία LED παρουσιάζει υψηλότερη παραγωγή φωτεινής ροής ανά watt για υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας χρώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας ή αυξημένες τιμές ισχύος στα 5500K ή 6500K κατά περίπου 25% σε σύγκριση με το στόχο αυτού του έργου για θερμοκρασία χρώματος 3000K. Εφ' όσον τα φωτιστικά της περιοχής 6 είχαν μετρηθεί περίπου στα 4500K, μπορεί να είχαν ένα πλεονέκτημα απόδοσης 10% την οποία τα άλλα συστήματα LED που δοκιμάστηκαν δεν είχαν. Τα συστήματα επαγωγής δεν υφίστανται το εν λόγω πρόστιμο απόδοσης με τη θερμοκρασία χρώματος.

1.5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα αποτελέσματα δεν υπέδειξαν μία έντονη προτίμηση ως προς τις πηγές λευκού φωτός. Τόσο οι υπάρχουσες πηγές όσο και οι εναλλακτικές πηγές είχαν βαθμολογηθεί το ίδιο στην έκθεση υποκειμενικής έρευνας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πηγές λευκού φωτός θα γίνουν αποδεκτές από την κοινωνία και θα μπορούσε η πόλη του San Diego να στραφεί σε μία από αυτές τις εναλλακτικές φωτεινές πηγές.

Στην δήλωση 8 της έρευνας, σχετικά με το αίσθημα ασφάλειας κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι ερωτηθέντες δήλωσαν προτίμηση για φωτισμό HPS έναντι μερικών εναλλακτικών πηγών 'λευκού φωτός'. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εν λόγω προτίμηση δεν παρατηρήθηκε σε παρόμοιες ερευνητικές μελέτες. Μερικοί άνθρωποι μπορεί πράγματι να προτιμούν το θερμό χρώμα μιας φωτεινής πηγής HPS. Μια άλλη εξήγηση σχετίζεται με το αστικό περιβάλλον της πόλης του San Diego. Η κοντινή αστρονομική κοινότητα απαιτεί φώτα δρόμου νατρίου χαμηλής πίεσης (LPS) στην περιοχή του αστεροσκοπείου. Η συνολική όψη ενός συστήματος HPS ίσως δίνει την αίσθηση ότι είναι αρκετά αποδεκτό και όχι τόσο 'υπερβολικό' όσο λευκότερες πηγές, διότι οι κάτοικοι της κοινωνίας του San Diego μπορεί να είναι πολύ πιο συνηθισμένοι στο πολύ θερμό, μονοχρωματικό πορτοκαλί χρώμα των πηγών LPS. Ένα φωτιστικό νατρίου υψηλής πίεσης σίγουρα δίνει την αίσθηση ότι είναι πολύ πιο λευκό σε σχέση με ένα νατρίου χαμηλής πίεσης όταν συγκρίνονται αποκλειστικά αυτές οι δύο τεχνολογίες.

Τα αποτελέσματα επίσης τονίζουν τη σημασία αξιολόγησης φωτεινών πηγών για μεμονωμένες πόλεις. Ένα σύστημα που προτιμάται σε μία περιοχή μπορεί να μην προτιμάται σε μία άλλη. Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο Anchorage δείχνουν

μία έντονη προτίμηση ως προς το λευκό φως. Η αυξημένη αίσθηση της φωτεινότητας που οι λευκές πηγές μπορεί να δίνουν σε μια υποκειμενική ανάλυση μπορεί να μην είναι τόσο αισθητή σε μια νότια τοποθεσία όπως το San Diego, όπου το φως της ημέρας είναι πιο σταθερό όλο τον χρόνο.

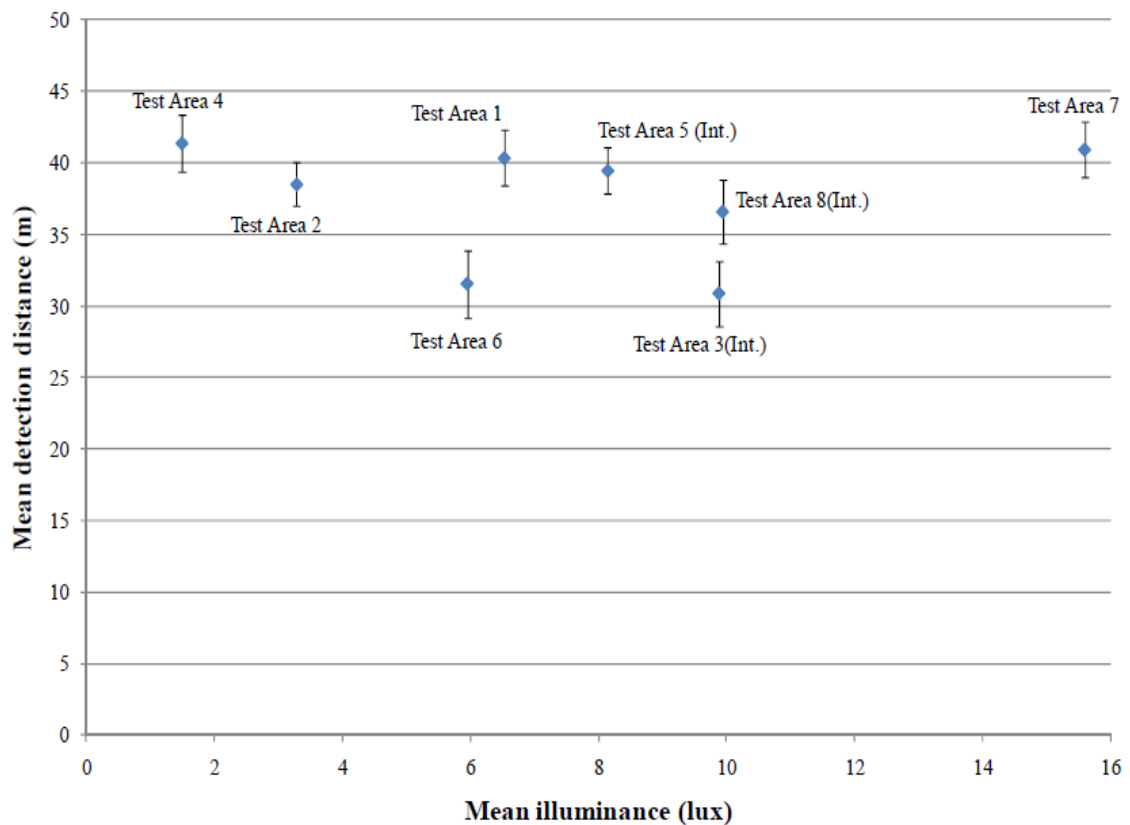
1.5.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Τα αποτελέσματα του τμήματος του έργου που σχετίζεται με την ορατότητα έδειξαν ότι οι ισοδύναμες αποστάσεις ανίχνευσης αντικειμένου επετεύχθησαν για χαμηλότερα επίπεδα έντασης φωτισμού οδοστρώματος υπό πηγές λευκού φωτός, σε σύγκριση με υψηλότερα επίπεδα έντασης υπό πηγές HPS, το οποίο συνάδει με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών. Επιπροσθέτως, εξαιρουμένων δύο φωτιστικών, τα εναλλακτικά δεν ήταν στατιστικώς διαφορετικά από την υπάρχουσα εγκατάσταση.

Τα φωτιστικά LED της περιοχής 6 παρήγαγαν αισθητά χαμηλότερη ένταση φωτισμού και επιπλέον μικρότερη απόσταση εντοπισμού. Τα αποτελέσματα των φωτιστικών επαγωγής της δοκιμαστικής περιοχής 3 της ομάδας των διασταυρώσεων μπορεί να επηρεάστηκαν από άλλα εμπόδια στη διασταύρωση της οδού Laurel. Τα φωτιστικά LED της περιοχής 4 δεν κρίθηκαν κατάλληλα για αυτό τον τύπο οδοστρώματος, διότι απέδωσαν χαμηλότερο φωτισμό και κακή ομοιομορφία. Τα φωτιστικά της εν λόγω περιοχής είχαν, ωστόσο, την υψηλότερη απόδοση, όσον αφορά την ανίχνευση, και χαμηλότερη τιμή θάμβωσης. Είναι πιθανό η χαμηλή θάμβωση να είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες αποστάσεις εντοπισμού. Επιπλέον, το φως κατανέμονταν έντονα στις λωρίδες στάθμευσης στις πλευρές του δρόμου, πέραν των μετρητών έντασης φωτισμού του οχήματος, αλλά σε ιδανική θέση για το στόχο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο τέσσερα φωτιστικά χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε τοποθεσία δοκιμής. Αυτό σημαίνει ότι ο παρατηρητής δεν ήταν πιθανόν εντός της περιοχής δοκιμής όταν έγινε η παρατήρηση των στόχων. Ζητήματα προσαρμογής ενδέχεται να ήταν εμφανή. Εάν χρησιμοποιούνταν περισσότερα φωτιστικά, ώστε να γινόταν το τμήμα δοκιμών μεγαλύτερο, ίσως παρατηρούνταν μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων φωτισμού. Στην ιδανική περίπτωση, μία περιοχή δοκιμής θα έχει 8 έως 12 φωτιστικά σε ομοιόμορφο μοτίβο ώστε να καταστεί δυνατή μία κατάσταση προσαρμογής από την πλευρά του παρατηρητή πριν οι στόχοι γίνουν ορατοί.

Ο συνδυασμός όλων των αποτελεσμάτων υποδεικνύει ότι οι πηγές λευκού φωτός παρέχουν ισοδύναμη ή καλύτερη οπτική απόδοση σε σχέση με τα υπάρχοντα φωτιστικά HPS. Οι εναλλακτικές φωτεινές πηγές χαρακτηρίζονται από λιγότερη θάμβωση και ισοδύναμη απόδοση σε χαμηλότερο επίπεδο φωτισμού δρόμου.



Εικόνα 1-24: Συνολική μέση απόσταση ανίχνευσης και επίπεδα έντασης φωτισμού με ανάλογα με τον φωτισμό και την τοποθεσία

1.5.7 ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΤΕΙΝΟΥ ΟΥΡΑΝΟΥ

Η πόλη του San Diego έχει μια μακρά παράδοση έρευνας και εκπαίδευσης σε θέματα αστρονομίας στα κοντινά αστεροσκοπεία. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της κοινωνίας και όλες οι πηγές επίγειου φωτισμού πλησίον του αστεροσκοπείου προκαλούν υποβάθμιση στην ικανότητα του αστεροσκοπείου να πραγματοποιήσει λειτουργική έρευνα τη νύχτα. Το πλήρες φάσμα των επιπτώσεων του φωτισμού είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής της παρούσας έκθεσης, αλλά υπάρχουν σαφείς επιπτώσεις τις οποίες η επιστημονική κοινότητα θα ήθελε να ληφθούν υπόψη σε οποιαδήποτε διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ορισμένες από αυτές παρατίθενται παρακάτω:

- 1. Να μειωθεί η ποσότητα του φωτός τη νύχτα, όπου είναι δυνατόν.** Αυτό βασίζεται στην οικολογικά ορθή αρχή ότι υπάρχει κατάλληλη ποσότητα φωτός για μια συγκεκριμένη εργασία, και περισσότερο φως δεν ισοδυναμεί με καλύτερο φωτισμό. Στην πραγματικότητα, σε πολλές περιπτώσεις, περισσότερο φως μπορεί να προκαλέσει μειωμένη ορατότητα λόγω θάμβωσης και άλλων

παραγόντων που σχετίζονται με την εφαρμογή φωτεινών πηγών υψηλής φωτεινής ροής.

- 2. Να μειωθεί η ποσότητα του φωτός που εφαρμόζεται λανθασμένα.** Αυτό αναφέρεται σε φωτεινές πηγές οι οποίες εφαρμόζουν αναποτελεσματικά φως σε ένα έργο, με αποτέλεσμα μία σημαντική ποσότητα φωτός να σπαταλάται σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, οι εσφαλμένα τοποθετημένοι προβολείς παράγουν ένα σημαντικό ποσό της ουράνιας λάμψης, ειδικά σε σύγκριση με το ποσοστό του φωτός που παρέχουν πραγματικά στην περιοχή.
- 3. Να εξαλειφθούν οι πηγές φωτορύπανσης όπου αυτό είναι δυνατόν.** Αρκετά φώτα εκπέμπουν μία ποσότητα φωτός μικρής γωνίας προς τα πάνω, ακόμα και όταν φωτίζουν επαρκώς το χώρο με έναν κατά τα άλλα κατάλληλο τρόπο. Η φωτορύπανση προκαλείται κατά μεγάλο μέρος από το φως που πάει χαμένο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η προσεκτική επιλογή φωτιστικών με καλύτερη απόδοση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη συνολική επίδραση του φωτιστικού.
- 4. Να βελτιωθεί η ποιότητα του φωτός.** Αυτό συμβάλλει στη μείωση της θάμβωσης, η οποία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα ως προς το πως γίνεται αντιληπτό το φως, καθώς και για την αντίληψη της καταλληλότητας του φωτός.
- 5. Να ελεγχθεί η φασματική κατανομή του φωτός.** Αυτό είναι σημαντικό, ειδικά όσον αφορά θέματα της αστρονομίας, και κατά κάποιο τρόπο σε σύγκρουση με τις γενικές ανάγκες ή τα οφέλη του φωτισμού. Η αστρονομική κοινότητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το φως μικρού μήκους κύματος (μπλε άκρο του φάσματος), επομένως επιθυμούν να ελαχιστοποιήσουν αυτού του είδους τη φωτορύπανση. Αυτό αποτελεί τουλάχιστον ένα τμήμα της επιθυμίας τους να χρησιμοποιηθούν φωτεινές πηγές νατρίου χαμηλής πίεσης (LPS) σε ακτίνα 30 μιλίων γύρω από τα αστεροσκοπεία.
- 6. Να χρησιμοποιηθούν έλεγχοι για τη μείωση των φώτων, όπου αυτό είναι δυνατόν.** Αυτό μοιάζει με την περίπτωση νούμερο 1, αλλά γίνεται μία διαφορετική προσέγγιση του ζητήματος, σύμφωνα με την οποία το περιττό φως είναι σπατάλη ενέργειας. Επιπλέον, ενίοτε, τα επίπεδα δραστηριότητας (σε δρόμους, χώρους στάθμευσης, κλπ) είναι αρκετά χαμηλά, ώστε τα επίπεδα φωτός να μπορούν να μειωθούν (αν όχι απενεργοποιηθούν) για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των συνθηκών. Αυτό απαιτεί μια κατάλληλη προσέγγιση του σχεδιασμού για ορθή εφαρμογή. Αλλά υπάρχουν πιθανόν σημαντικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας (και μείωσης φωτορύπανσης) με τη χρήση προσαρμοζόμενου ελέγχου.

Οι φωτεινές πηγές LPS που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με τα παρατηρητήρια αποτελούν διακριτή φωτεινή πηγή με ορισμένα χαρακτηριστικά ιδιαίτερα επωφελή για την αστρονομική κοινότητα. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι το σχετικά μεγάλο μήκος κύματος του μεγαλύτερου μέρους του φωτός (η κυριότερη κορυφή εκπομπής είναι στα 589nm) απέχει λίγο από τα μη επιτρεπτά μήκη κύματος.

Επιπλέον, η πηγή είναι ουσιαστικά μονοχρωματική, παράγοντας ιδιαίτερα λίγο φως, εκτός της αιχμής, σε μήκη κύματος των 589nm. Αυτό σημαίνει ότι η αστρονομική

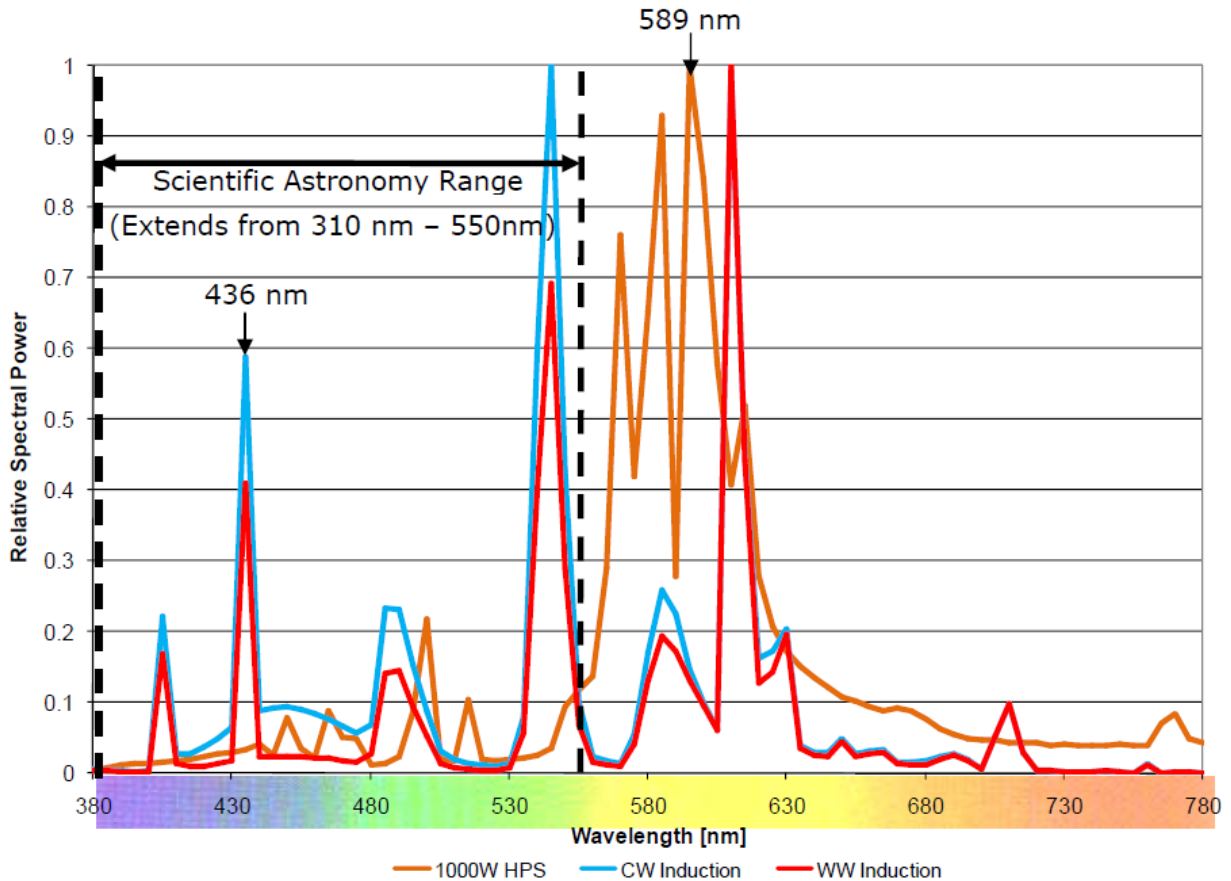
κοινότητα έχει τη δυνατότητα να φιλτράρει τους αισθητήρες στο συγκεκριμένο μήκος κύματος με φίλτρο απότομης αποκοπής, και να εξαλείψει αυτό το τμήμα του φάσματος πολύ αποτελεσματικά χωρίς να επηρεάσει άλλα πολύ χρήσιμα μήκη κύματος.

Οι πηγές HPS έχουν ένα πληρέστερο φάσμα, και είναι επομένως πιο δύσκολο να φιλτραριστούν, αν και οι κυριότερες κορυφές εκπομπής βρίσκονται επίσης στα 589nm. Ωστόσο, είναι επίσης στο θερμότερο (μεγαλύτερο μήκος κύματος) άκρο του φάσματος, έτσι η εκπομπή φωτός αυτής της πηγής είναι γενικά προτιμότερη, αλλά σε μικρότερο βαθμό απ' ότι το LPS. Υπάρχει αισθητή βελτίωση, όσον αφορά τη χρωματική απόδοση και τη συνολική όψη του περιβάλλοντος κατά τις νυχτερινές ώρες, με χρήση φώτων HPS σε σύγκριση με τα φώτα LPS.

Οι πηγές ευρέως φάσματος αποτελούν πηγή σοβαρής ανησυχίας για την αστρονομική κοινότητα, διότι γίνονται πλέον επαρκώς αποτελεσματικές, ώστε να ανταγωνιστούν με τα φώτα HPS, όσον αφορά τη φωτεινή απόδοση, και υπάρχει ευρύ κίνημα να αρχίσει να αντικαθίσταται η παλαιότερη τεχνολογία HPS με πηγές ευρέως φάσματος μεγαλύτερης διάρκειας, όπως πηγές LED και επαγωγής.

Υπάρχουν αρκετά όρια της συχνότητας εκπομπής που σχετίζεται με τις πηγές ευρέως φάσματος, τα οποία προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία στην αστρονομική κοινότητα. Εκπομπή μικρότερη των 555nm είναι ιδιαίτερα ανησυχητική. Πολλές φωτεινές πηγές LED έχουν δημιουργηθεί γύρω από μια βασική εκπομπή εύρους 440-460nm, με τους φωσφόρους να τη μετατρέπουν σε μεγαλύτερο μήκος κύματος. Αυτή η έντονη κορυφή εκπομπής ανήκει σε ένα ιδιαίτερα επιζήμιο φάσμα για τους αστρονομικούς σκοπούς.

Ο φωτισμός επαγωγής έχει παρόμοια κορυφή εκπομπής στα 436nm, και ως εκ τούτου εμπίπτει στην ίδια σφαίρα ανησυχίας.

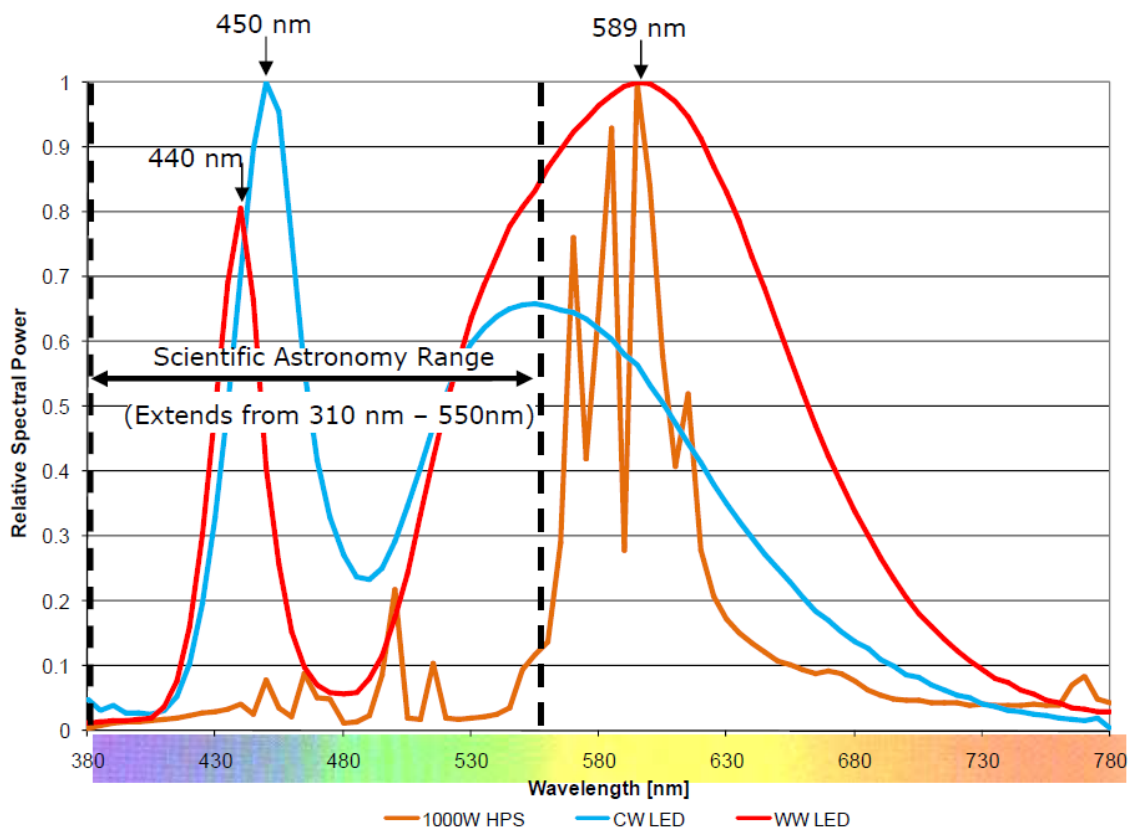


Εικόνα 1-25: Καμπύλες φασματικής κατανομής ενέργειας για σύγκριση πηγών HPS και επαγωγής

Είναι αξιοσημείωτη στην εικόνα 1-25 η σχετικά μη ομοιόμορφη κατανομή φωτός των φωτεινών πηγών HPS. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα κατανομών σε ολόκληρο το ορατό φάσμα με αρκετές σημαντικές κορυφές γύρω από την περιοχή των 589nm.

Οι δύο λαμπτήρες επαγωγής του παραπάνω διαγράμματος επίσης παρουσιάζουν σχετικά μεγάλες κορυφές, μία στα 436nm (η βασική συχνότητα εκπομπής του αερίου του υδραργύρου στο δοχείο) και δύο άλλες βασικές κορυφές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα μήκη κύματος της βασικής εκπομπής των φωσφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στο δοχείο.

Ο λαμπτήρας επαγωγής θερμού λευκού (WW) φωτός είχε θερμοκρασία χρώματος 3000K, ενώ ο λαμπτήρας ψυχρού λευκού (CW) 4000K. Παρατηρείται μία διαφορά στις κορυφές των δύο φωτεινών πηγών. Ενώ η πραγματική συχνότητα αιχμής δεν μετατοπίζεται, το σχετικό μέγεθος των δύο κορυφών μικρότερου μήκους κύματος είναι μικρότερο για τον λαμπτήρα επαγωγής των 3000K. Επιπλέον, ολόκληρο το φάσμα από 380nm έως 600nm είναι επίσης μικρότερο. Αυτό οδήγησε σε μικρότερο ποσοστό της συνολικής απόδοσης στην μη επιτρεπτή περιοχή σε σύγκριση με τον λαμπτήρα επαγωγής των 4000K.



Εικόνα 1-26: Καμπύλες φασματικής κατανομής ενέργειας για σύγκριση πηγών HPS και LED

Η εικόνα 1-26 δείχνει το ίδιο φασματικό διάγραμμα HPS, αυτή τη φορά συγκρινόμενο με δύο λαμπτήρες LED. Ο λαμπτήρας LED θερμού λευκού είχε θερμοκρασία 3100K, ενώ ο λαμπτήρας ψυχρού 5500K. Σε αυτή την περίπτωση είναι προφανές ότι το αρχικό τσιπ LED επιλέχθηκε ώστε να προκαλέσει τις αλλαγές φωτός από τα 450nm του θερμού λευκού στα 440nm του ψυχρού λευκού. Οι φώσφοροι που χρησιμοποιήθηκαν για την απόδοση διαφέρουν επίσης σημαντικά και φαίνεται να έχουν μια πολύ πιο συνεχή καμπύλη σε σύγκριση με τους λαμπτήρες επαγωγής.

Οι σχετικές κορυφές των δύο LED διαφέρουν αρκετά, και είναι σαφές ότι η επιλογή ενός θερμότερου λευκού θα οδηγήσει σε μείωση της εκπομπής του φωτός στο εύρος που απασχολεί τους αστρονόμους.

Η ομάδα συζητά ορισμένες μεθόδους, προκειμένου να καθοριστούν τα όρια της εκπομπής φωτός αυτής της περιοχής. Η προσέγγιση αυτή εξακολουθεί να αναπτύσσεται, αλλά η βασική αρχή πίσω από την προσέγγιση είναι να καθοριστούν ποσοστιαία όρια εξόδου του φωτός για την φωτεινή πηγή εντός ορισμένων περιοχών. Μπορεί να υπάρχουν δύο διαφορετικά όρια, ένα για ένα εύρος μικρότερων μηκών κύματος (πιθανόν από 310nm έως 450nm), και ένα μεγαλύτερο εύρος (από 450nm έως 550nm). Θα μπορούσαν στη συνέχεια να οριστούν ποσοστιαία όρια εξόδου με βάση τις περιοχές εγγύτητας στο αστεροσκοπείο, έτσι ώστε οι περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα να έχουν αυστηρότερα ποσοστιαία όρια του εύρους εκπομπής.

1.5.8 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΩΝ

Η διαφορά ανάμεσα σε φωτισμό αυτοκινητόδρομου και φωτισμό οδού γίνεται πιο σημαντικό να εξεταστεί, καθώς η τρέχουσα πεποίθηση είναι ότι απαιτούν διαφορετικές οπτικές εργασίες να εκτελεστούν επαρκώς. Οι τρέχουσες συστάσεις της IESNA καθιερώθηκαν όταν η τεχνολογία HPS αποτελούσε το καθορισμένο πρότυπο για φωτισμό αυτοκινητόδρομων και οδών, έτσι οι συνθήκες απόδοσης του αναδυόμενου φωτισμού ευρέως φάσματος δεν θεωρούνται επί του παρόντος. Οι κατευθυντήριες γραμμές όσον αφορά τον φωτισμό δρόμων της πόλης του San Diego βρίσκονται υπό εξέταση και αυτή η μεταβλητή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο συγκεκριμένο έγγραφο προκειμένου να καθιερωθούν κατάλληλες διαδικασίες υπολογισμού για τις πηγές ευρέως φάσματος.

1.6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Οι μελλοντικές συστάσεις περιλαμβάνουν την επανάληψη αυτού του έργου σε διαφορετικές τοποθεσίες, ώστε να συγκριθούν για παρόμοια αποτελέσματα. Επιπροσθέτως, με έλεγχο των φωτεινών πηγών σε δυο διαφορετικά επίπεδα απόδοσης φωτός και επανάληψη της διαδικασίας θα εξεταζόταν η έννοια του Προσαρμοζόμενου Ελέγχου Φωτισμού. Η έννοια αυτή αναγνωρίζει ότι το τρέχων κριτήριο φωτισμού προβλέπει το χειρότερο σενάριο, αλλά η χειρότερη περίπτωση εμφανίζεται περιστασιακά. Τον περισσότερο καιρό, τα κριτήρια και τα επίπεδα φωτισμού θα μπορούσαν να μειωθούν σε απόκριση προς την ώρα της ημέρας, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες.

1.6.1 ΔΗΛΩΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΣΟΠΙΚΟΥ ΚΑΙ ΣΚΟΤΟΠΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Πρόσφατα, η IESNA δημοσίευσε μια Δήλωση Θέσης (IESNA PS-02-09) αναφορικά με τη 'Χρήση Συναρτήσεων Φασματικής Στάθμισης για Συμμόρφωση με τις Συστάσεις IES'. Η έρευνα έδειξε ότι άλλες συναρτήσεις φασματικής στάθμισης μπορεί να είναι χρήσιμες στην αξιολόγηση της ακτινοβολίας που παράγει η ανθρώπινη οπτική αίσθηση. Η συνειδητοποίηση αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη άλλων πιθανών συναρτήσεων φασματικής στάθμισης που με τη σειρά τους έχουν παραποιήσει τον αληθινό ορισμό της φωτοπικής φωτεινής ροής. Η IESNA έχει διαπιστώσει ότι, προς το παρόν, δεν υπάρχει επαρκής έρευνα που να υποστηρίζει την εφαρμογή οποιασδήποτε εναλλακτικής λύσης όσον αφορά τη φωτοπική φωτεινή απόδοση.

Αυτή η δήλωση θέσης της IESNA ξεκαθαρίζει ότι όλοι οι υπολογισμοί που τροποποιούν τη φωτοπική φωτεινή ροή δεν υποστηρίζονται ως κατάλληλη μέθοδος υπολογισμού.

Σαν αποτέλεσμα, οι υπολογισμοί φωτισμού και οι προβλέψεις εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούν 'τροποποιημένη' φωτεινή ροή (αναλογία S/P φωτεινής ροής, για παράδειγμα) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση σύγκρισης της απόδοσης διαφόρων συστημάτων φωτισμού.

1.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το συγκεκριμένο έργο αξιολόγησης καταδεικνύει ότι οι προηγμένες τεχνολογίες φωτισμού δρόμων, οι οποίες χρησιμοποιούν φωτεινές πηγές LED και επαγωγής ευρέος φάσματος μπορούν να προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας έως και 40%, χωρίς να αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του φωτός που απαιτούνται από τα φώτα του δρόμου.

Μόνο δύο εκ των δοκιμαστικών περιοχών που αξιολογήθηκαν στα πλαίσια αυτού του έργου (περιοχές 4 και 6 – και στις δύο χρησιμοποιήθηκαν λαμπτήρες LED) δεν πληρούσαν τα κριτήρια IESNA σύμφωνα με το RP-8. Όλες οι υπόλοιπες δοκιμαστικές περιοχές (περιοχές 1, 2, 3, 5, 7, 8) πληρούσαν τα κριτήρια, πέρα από την εξοικονόμηση ενέργειας που προσέφεραν. Επομένως, η αξιολόγηση υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει σημαντική μείωση της οπτικής απόδοσης με μείωση του επιπέδου φωτός στις προηγμένες τεχνολογίες φωτισμού δρόμων οι οποίες χρησιμοποιούν πηγές 'λευκού φωτός' ευρέος φάσματος, ιδιαίτερα πηγές επαγωγής.

Το υποκειμενικό κομμάτι του έργου υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει έντονη προτίμηση υπέρ ή κατά των πηγών 'λευκού φωτός' ευρέος φάσματος για τα φώτα των δρόμων της πόλης του San Diego. Αυτό σημαίνει ότι η κοινωνία θα δεχθεί μια ενδεχόμενη αλλαγή από τους ήπιους κιτρινωπούς λαμπτήρες HPS σε πηγές λευκού φωτός.

Τα αποτελέσματα της υποκειμενικής έρευνας και των δοκιμών απόδοσης παρέχουν ως λογικό σημείο εκκίνησης να επανεξεταστούν οι παραδοσιακές μέθοδοι φωτισμού, βασιζόμενοι στις νέες τεχνολογίες φωτισμού και την καλύτερη κατανόηση της οπτικής απόδοσης των διαφόρων συστημάτων.

Ενώ η IESNA καθυστερεί να υιοθετήσει νέες φιλοσοφίες σχεδιασμού στηριζόμενη στην αλλαγή της τεχνολογίας, γίνονται κινήσεις για την αντιμετώπιση ορισμένων αποκλίσεων στην απόδοση και τον σχεδιασμό οι οποίες έχουν γίνει εμφανείς στα υπάρχοντα πρότυπα φωτισμού δρόμων.

Όταν ληφθεί απόφαση για αλλαγή σε φωτισμό ο οποίος χρησιμοποιεί φωτεινές πηγές ευρέος φάσματος, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που ενδέχεται να είναι

μοναδικοί και χρήζουν προσεκτικής εξέτασης. Κάθε πόλη θα πρέπει να εξετάσει τα οικονομικά της, σε ότι αφορά τη συντήρηση και εγκατάσταση, καθώς και τα ισχύοντα τοπικά πρότυπα. Τα αποτελέσματα του έργου αξιολόγησης δείχνουν τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας των πηγών ευρέος φάσματος, LED και επαγωγής. Ωστόσο, στην ανάλυση κόστους του κύκλου ζωής φαίνεται η σημασία της εξέτασης όλων των πτυχών του φωτισμού δρόμων, όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα κάθε πόλης.

Τα μέλη της επιτροπής Φωτισμού Δρόμων, (οι συντάκτες του RP-8), αναπτύσσουν μία προσέγγιση για το διαχωρισμό φωτισμού αυτοκινητόδρομων και οδών σε δύο ξεχωριστά σύνολα συστάσεων, διότι υπάρχουν ελαφρώς διαφορετικές οπτικές εργασίες που σχετίζονται με τις δύο αυτές δραστηριότητες, καθώς επίσης και διαφορετικές ταχύτητες, κίνδυνοι σύγκρουσης, και θέματα πλοήγησης.

Υπάρχει μια τεχνική και ερευνητική επιτροπή εντός της IESNA στην οποία έχει ανατεθεί νέα έρευνα για τα ζητήματα που σχετίζονται με τους υπολογισμούς επιρροής της ορατότητας ευρέος φάσματος: η Επιτροπή Μεσοπικού Φωτός. Υπάρχει νέα έρευνα επί του παρόντος, η οποία χρηματοδοτείται στο πλαίσιο της εστίασης της επιτροπής στον προσδιορισμό κατάλληλων διαδικασιών που θα υιοθετηθούν από τις επιτροπές σχεδίασης της IESNA για τη δημιουργία πρότυπων σχεδίων φωτισμού που αντιμετωπίζουν κατάλληλα τον πλήρη αντίκτυπο του φάσματος και τη χρωματική απόδοση.

1.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΞΩΦΥΛΛΟ ΦΟΡΜΑΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ



San Diego Nighttime Street Lighting Subjective Evaluation

<i>First Name</i>		Surveyor #
<i>Last Name</i>		

Thank you for participating in this important research on behalf of the City of San Diego and San Diego Gas and Electric! We are trying to understand the effect of different lighting systems for potential application throughout the City. The main goal is to understand public acceptance of various street lighting systems. Please respond to each of the questions with that goal in mind.

General Questions

G1. Do you live in San Diego?

Yes _____ No _____

G2. Do you live within three blocks of the 6th Avenue test area?

Yes _____ No _____

G3. Please provide the ZIP Code of your primary residence.

ZIP Code _____

Demographic Questions

D1	Gender	M	F	(circle one)
D2	Age	(in years)		

Τυπικό φύλλο δοκιμής δρόμου (Δοκιμαστική Περιοχή #1)

Υποκειμενική Αξιολόγηση Οδικού Φωτισμού της πόλης του
San Diego

Δοκιμαστική Περιοχή #1
6^η, από Hawthorn προς Ivy

Επόπτης #

S1. Καιρικές Συνθήκες ___ Καθαρός Ουρανός ___ Συννεφιά ___ Βροχή ___ Ομίχλη ___

S2. Συνθήκες Εδάφους ___ Στεγνοί Δρόμοι ___ Βρεγμένοι Δρόμοι ___

Όλες οι δηλώσεις του πίνακα που ακολουθεί (με εξαίρεση την #1) αναφέρονται στον φωτισμό της άμεσης περιοχής γύρω σας, κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Παρακαλώ βαθμολογείτε κατά πόσο συμφωνείτε με κάθε μία από τις ακόλουθες δηλώσεις όσον αφορά το φωτισμό, σε μια κλίμακα από 1 έως 5, με το 1 να αντιπροσωπεύει το 'διαφωνώ έντονα' και το 5 το 'συμφωνώ απόλυτα'.

ΔΗΛΩΣΕΙΣ	Διαφωνώ απόλυτα	έντονα.....	Ουδέτερος.....	Συμφωνώ	Δεν γνωρίζω
1 Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της ημέρας	1	2	3	4	5 ΔΓ
2 Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας	1	2	3	4	5 ΔΓ
3 Ο φωτισμός είναι άνετος	1	2	3	4	5 ΔΓ
4 Υπάρχει υπερβολικό φως στο δρόμο	1	2	3	4	5 ΔΓ
5 Δεν υπάρχει αρκετό φως στο δρόμο	1	2	3	4	5 ΔΓ
6 Ο φωτισμός είναι ανομοιόμορφος	1	2	3	4	5 ΔΓ
7 Οι φωτεινές πηγές είναι εκτυφλωτικές	1	2	3	4	5 ΔΓ
8 Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε στο πεζοδρόμιο, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας	1	2	3	4	5 ΔΓ
9 Δεν μπορώ να διακρίνω τα χρώματα των αντικειμένων εξαιτίας του φωτισμού	1	2	3	4	5 ΔΓ
10 Ο φωτισμός επιτρέπει ασφαλή πλοήγηση του οχήματος	1	2	3	4	5 ΔΓ
11 Μου αρέσει το χρώμα του φωτός	1	2	3	4	5 ΔΓ
12 Θα μου άρεσε αυτό το είδος φωτισμού στους δρόμους της πόλης μου	1	2	3	4	5 ΔΓ
13 Πώς είναι ο φωτισμός αυτής της περιοχής σε σύγκριση με το φωτισμό παρόμοιων δρόμων της πόλης τη νύχτα?					
Πολύ χειρότερος	Χειρότερος	Περίπου ίδιος	Καλύτερος	Πολύ καλύτερος	
14 Γράψτε επιπρόσθετα σχόλια παρακάτω.					

Τυπικό φύλλο δοκιμής διασταύρωσης (Δοκιμαστική Περιοχή #3)

Υποκειμενική Αξιολόγηση Οδικού Φωτισμού της πόλης του
San Diego

Δοκιμαστική Περιοχή #3
Διασταύρωση Laurel

Επόπτης #

S1. Καιρικές Συνθήκες ___ Καθαρός Ουρανός ___ Συννεφιά ___ Βροχή ___ Ομίχλη ___

S2. Συνθήκες Εδάφους ___ Στεγνοί Δρόμοι ___ Βρεγμένοι Δρόμοι ___

Όλες οι δηλώσεις του πίνακα που ακολουθεί (με εξαίρεση τη #1) αναφέρονται στον φωτισμό της άμεσης περιοχής γύρω σας, κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Παρακαλώ βαθμολογείτε κατά πόσο συμφωνείτε με κάθε μία από τις ακόλουθες δηλώσεις όσον αφορά το φωτισμό, σε μια κλίμακα από 1 έως 5, με το 1 να αντιπροσωπεύει το 'διαφωνώ έντονα' και το 5 το 'συμφωνώ απόλυτα'.

ΔΗΛΩΣΕΙΣ	Διαφωνώ απόλυτα	έντονα.....	Ουδέτερος.....	Συμφωνώ	Δεν γνωρίζω
1 Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της ημέρας	1	2	3	4	5 ΔΓ
2 Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε εδώ, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας	1	2	3	4	5 ΔΓ
3 Ο φωτισμός είναι άνετος	1	2	3	4	5 ΔΓ
4 Υπάρχει υπερβολικό φως στο δρόμο	1	2	3	4	5 ΔΓ
5 Δεν υπάρχει αρκετό φως στο δρόμο	1	2	3	4	5 ΔΓ
6 Ο φωτισμός είναι ανομοιόμορφος	1	2	3	4	5 ΔΓ
7 Οι φωτεινές πηγές είναι εκτυφλωτικές	1	2	3	4	5 ΔΓ
8 Θα ήταν ασφαλές να περπατάτε στο πεζοδρόμιο, μόνοι, κατά τη διάρκεια της νύχτας	1	2	3	4	5 ΔΓ
9 Δεν μπορώ να διακρίνω τα χρώματα των αντικειμένων εξαιτίας του φωτισμού	1	2	3	4	5 ΔΓ
10 Ο φωτισμός επιτρέπει ασφαλή πλοήγηση του οχήματος	1	2	3	4	5 ΔΓ
11 Μου αρέσει το χρώμα του φωτός	1	2	3	4	5 ΔΓ
12 Θα μου άρεσε αυτό το είδος φωτισμού στους δρόμους της πόλης μου	1	2	3	4	5 ΔΓ
13 Πώς είναι ο φωτισμός αυτής της περιοχής σε σύγκριση με το φωτισμό παρόμοιων δρόμων της πόλης τη νύχτα?					
Πολύ χειρότερος	Χειρότερος	Περίπου ίδιος	Καλύτερος	Πολύ καλύτερος	
14 Γράψτε επιπρόσθετα σχόλια παρακάτω.					

1.9 Παράρτημα Β: Μετρήσεις Τοποθεσίας

Μετρήσεις δοκιμαστικής περιοχής #1



Εικόνα 1-27: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 1 κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας

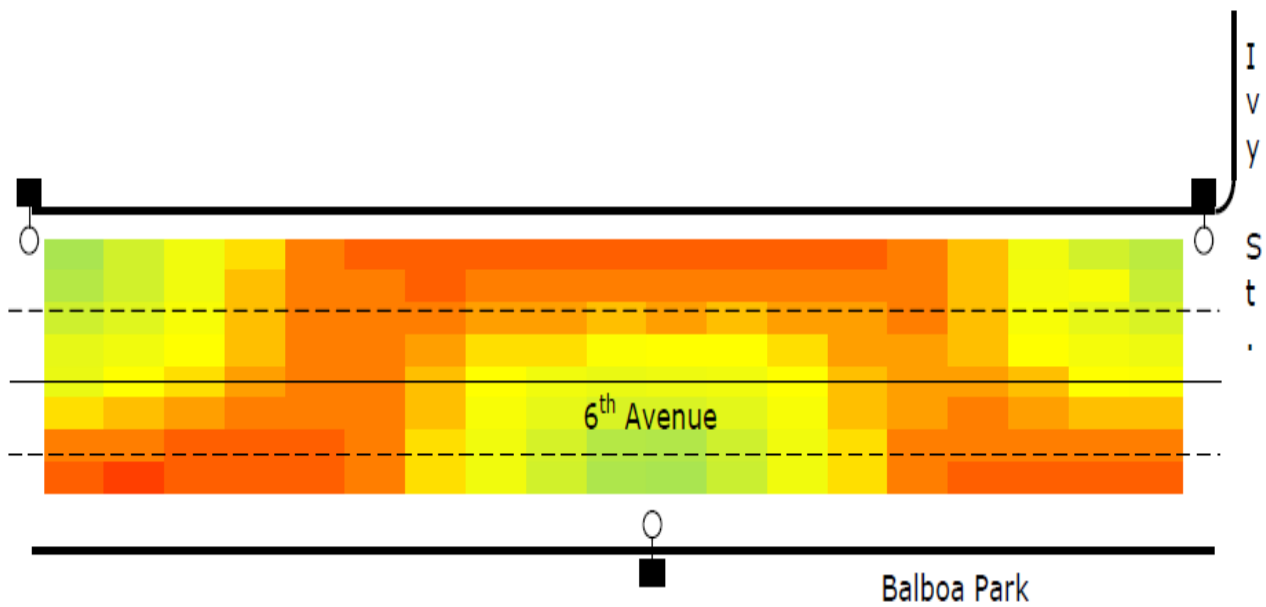


Figure 28: Test Area 1; Measured Photopic False Color Rendering.

Εικόνα 1-28: Δοκιμαστική περιοχή 1, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων

Test Area 1 - Photopic and Scotopic Data																				
POLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	POLE
P	3.2	2.1	1.2	0.7	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	1.2	2.1	2.7	Ivy Street
S	3.8	2.6	1.4	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	1.3	2.4	3.4	
P	2.9	2.1	1.2	0.6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	1.1	1	2.4		
S	3.5	2.5	1.3	0.7	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.6	1.2	2.1	2.9	
P	2.2	1.7	1	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	1	1.5	1.9	
S	2.6	2	1.1	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	1.1	1.7	2.3	
P	1.5	1.2	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.9	0.8	0.8	0.7	0.5	0.5	0.6	0.8	1.1	1.3	
S	1.7	2.4	0.9	0.6	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	1	0.9	0.9	0.7	0.5	0.4	0.6	0.9	1.2	1.6	
P	1.4	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.6	0.8	1.2	1.4	1.3	1.2	0.8	0.6	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	
S	1.1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.4	0.6	0.9	1.3	1.6	1.6	1.4	0.9	0.6	0.4	0.5	0.6	0.9	0.25	
P	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	1	1.5	1.9	1.9	1.6	1	0.6	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6	
S	0.7	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	1.1	1.8	2.3	2.2	1.8	1.1	0.7	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	
P	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	1.2	2	2.9	3	2.2	1.2	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
S	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	1.4	2.4	3.6	3.6	2.6	1.4	0.7	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	
P	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	1.2	2.1	3.1	3.2	2.3	1.2	0.7	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	
S	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.7	1.4	2.6	3.8	3.9	2.8	1.5	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	

POLE
Balboa Park

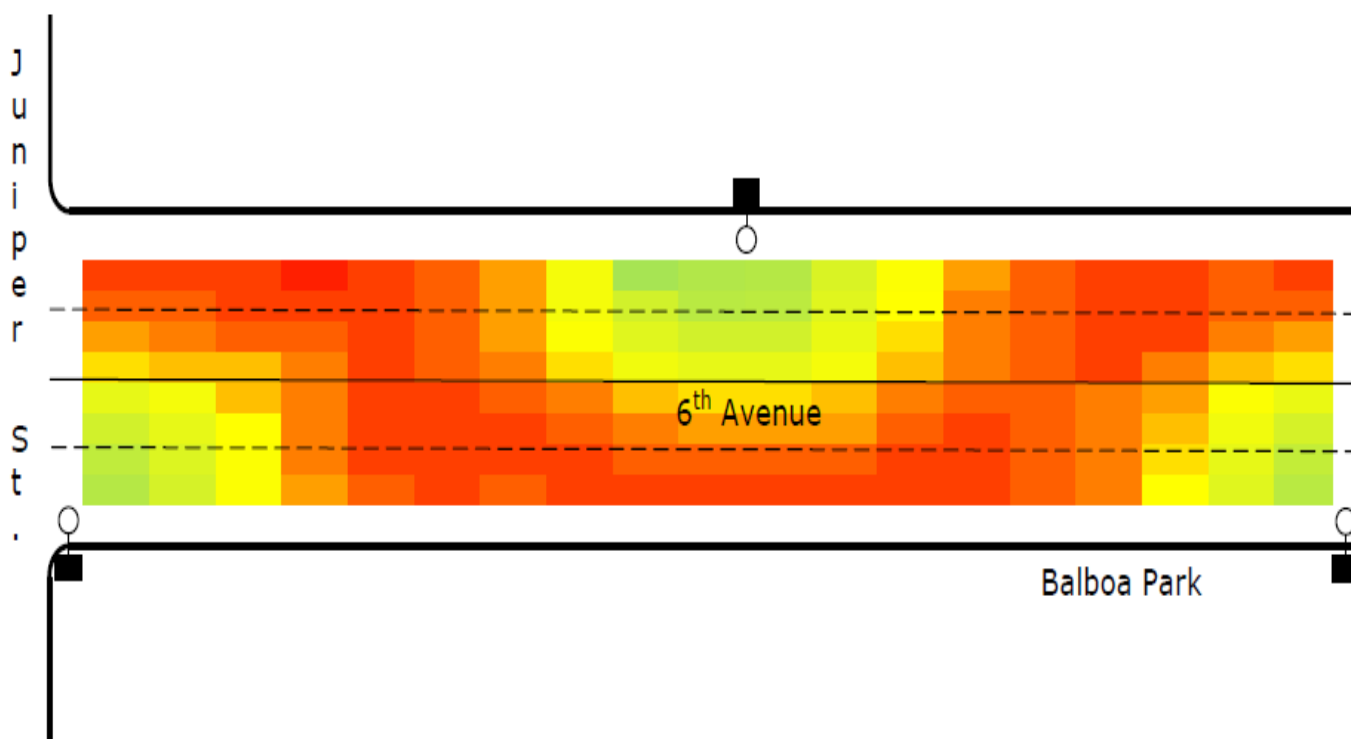
Test Area 1 - Luminance Data																				
POLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	POLE
Lum	0.86	0.52	0.39	0.19	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.1	0.1	0.14	0.15	0.28	0.46	0.65	Ivy Street
Lum	0.76	0.48	0.31	0.19	0.14	0.1	0.13	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.12	0.1	0.11	0.17	0.31	0.41	0.72	
Lum	0.53	0.39	0.25	0.17	0.12	0.1	0.11	0.12	0.14	0.16	0.15	0.16	0.11	0.12	0.12	0.15	0.25	0.3	0.46	
Lum	0.38	0.32	0.21	0.14	0.12	0.12	0.12	0.16	0.19	0.23	0.21	0.2	0.22	0.13	0.16	0.16	0.22	0.27	0.44	
Lum	0.24	0.22	0.18	0.13	0.11	0.11	0.14	0.21	0.28	0.31	0.3	0.28	0.2	0.16	0.15	0.13	0.16	0.22	0.22	
Lum	0.15	0.17	0.14	0.11	0.13	0.11	0.17	0.25	0.37	0.46	0.43	0.36	0.24	0.16	0.11	0.11	0.14	0.17	0.2	
Lum	0.1	0.09	0.09	0.08	0.09	0.11	0.17	0.28	0.49	0.68	0.65	0.46	0.3	0.16	0.11	0.1	0.11	0.12	0.11	
Lum	0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.1	0.15	0.27	0.54	0.74	0.85	0.51	0.29	0.18	0.08	0.09	0.09	0.08	0.1	

POLE
Balboa Park

Μετρήσεις δοκιμαστικής περιοχής #2



Εικόνα 1-29: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 2 κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας



Εικόνα 1-30: Δοκιμαστική περιοχή 2, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων

Test Area 2 - Photopic and Scotopic Data

		POLE																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Juniper Street	P	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.5	1.1	3.3	3	2.9	1.9	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	
	S	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.7	1.5	3.1	4.1	4	2.6	1.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
	P	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	1.1	2.1	2.8	2.7	1.7	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
	S	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.7	1.5	2.9	3.7	3.7	2.4	1.1	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
	P	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5	0.9	1.7	2.1	2.1	1.4	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5
	S	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.6	1.2	2.3	2.8	2.8	2	1	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6
	P	0.7	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3	0.4	0.7	1.2	1.5	1.5	1.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.4	0.6	0.7	
	S	0.8	0.6	0.8	0.5	0.2	0.3	0.5	0.9	1.7	2	2	1.5	0.8	0.5	0.4	0.3	0.5	0.8	1	
	P	1.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.9	1.4	
	S	2	1.4	0.8	0.5	0.2	0.2	0.4	0.5	0.8	0.9	1	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.7	1.3	1.9	
	P	2.1	1.5	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.6	1.2	2	
	S	2.7	1.9	1.1	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.8	1.7	2.7	
	P	2.6	1.8	0.9	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	1.5	2.5	
	S	3.4	2.4	1.2	0.6	0.3	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.4	0.6	1	2.1	3.4	
	P	2.9	2	0.9	0.5	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.8	1.7	2.8	

Balboa Park

Test Area 2 - Luminance Data

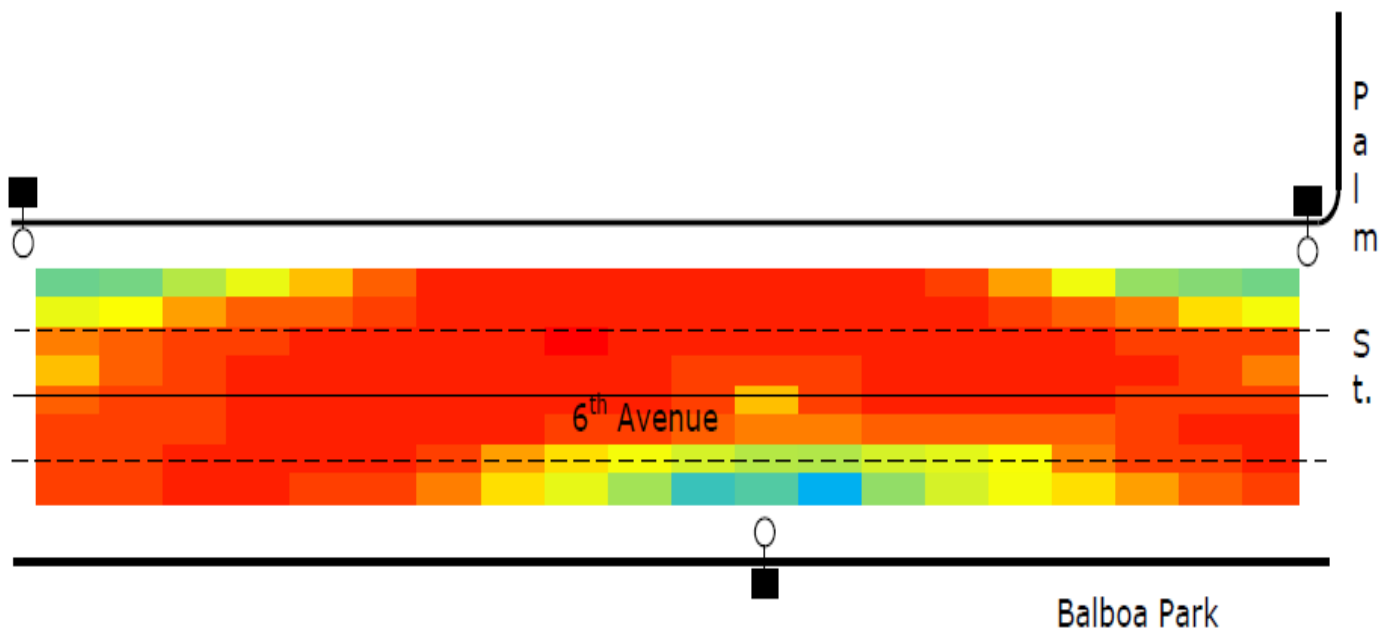
		POLE																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Juniper Street	Lum	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.11	0.15	0.32	0.51	0.63	0.63	0.46	0.21	0.09	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07
	Lum	0.1	0.1	0.08	0.07	0.07	0.11	0.15	0.3	0.49	0.7	0.66	0.38	0.21	0.12	-9	0.07	0.08	0.1	0.1
	Lum	0.12	0.11	0.09	0.07	0.07	0.09	0.12	0.21	0.41	0.51	0.42	0.32	0.18	0.11	0.09	0.08	0.12	0.12	0.18
	Lum	0.18	0.15	0.1	0.07	0.07	0.08	0.1	0.2	0.33	0.37	0.34	0.26	0.14	0.13	0.1	0.08	0.1	0.14	0.24
	Lum	0.3	0.35	0.2	0.12	0.09	0.09	0.1	0.14	0.2	0.22	0.23	0.21	0.13	0.11	0.11	0.11	0.16	0.24	0.47
	Lum	0.52	0.38	0.23	0.14	0.1	0.08	0.08	0.11	0.14	0.17	0.17	0.18	0.1	0.09	0.1	0.14	0.21	0.34	0.58
	Lum	0.72	0.46	0.3	0.14	0.1	0.09	0.09	0.1	0.1	0.16	0.15	0.13	0.1	0.11	0.13	0.16	0.16	0.53	0.86

Balboa Park

Μετρήσεις δοκιμαστικής περιοχής #4



Εικόνα 1-31: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 4 κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας



Εικόνα 1-32: Δοκιμαστική περιοχή 4, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων

Test Area 4 - Photopic and Scotopic Data

POLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	POLE
P	5	4.7	2.9	1.4	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	1.2	3.8	4.3	4.8	Palm Street
S	6.9	6.4	3.9	1.8	0.7	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1.7	2.6	6.4	6.7	
P	1.4	0.9	0.5	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	
S	1.7	0.9	0.6	0.3	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.5	1	1.4	
P	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
S	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	
P	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	
S	0.8	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2	0.4	
P	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
S	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	
P	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	
S	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	
P	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.7	1.1	2	2.9	3	2	1.6	1	0.4	0.2	0.2	0.1	
S	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.2	0.6	0.8	1.4	2.4	4.2	3.7	2.8	2.2	1.3	0.5	0.2	0.1	0.1	
P	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.5	3.4	6.4	5.7	8	3.9	2	1.1	0.7	0.5	0.3	0.2	
S	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.9	2	4.7	8.9	8.1	5.7	5.4	2.8	1.5	1	0.6	0.3	0.2	

POLE

Balboa Park

Test Area 4 - Luminance Data

POLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	POLE
Lum	1.5	1.27	1.04	0.45	0.21	0.12	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.1	0.14	0.83	1.32	2	Palm Street
Lum	0.53	0.22	0.15	0.12	0.09	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.14	0.1	0.16	0.19	0.35	
Lum	0.14	0.1	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.16	0.04	0.06	0.06	0.08	
Lum	0.27	0.11	0.07	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.04	0.03	0.08	0.03	0.05	0.07	0.11	
Lum	0.09	0.09	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.17	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.08	0.07	
Lum	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.06	0.05	0.09	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07	0.05	0.04	
Lum	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04	0.06	0.13	0.24	0.33	0.52	0.83	0.93	0.62	0.44	0.28	0.13	0.08	0.06	0.5	
Lum	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.08	0.12	0.21	0.52	1.22	1.67	1.66	1.69	1.11	0.57	0.32	0.23	0.15	0.1	0.05	

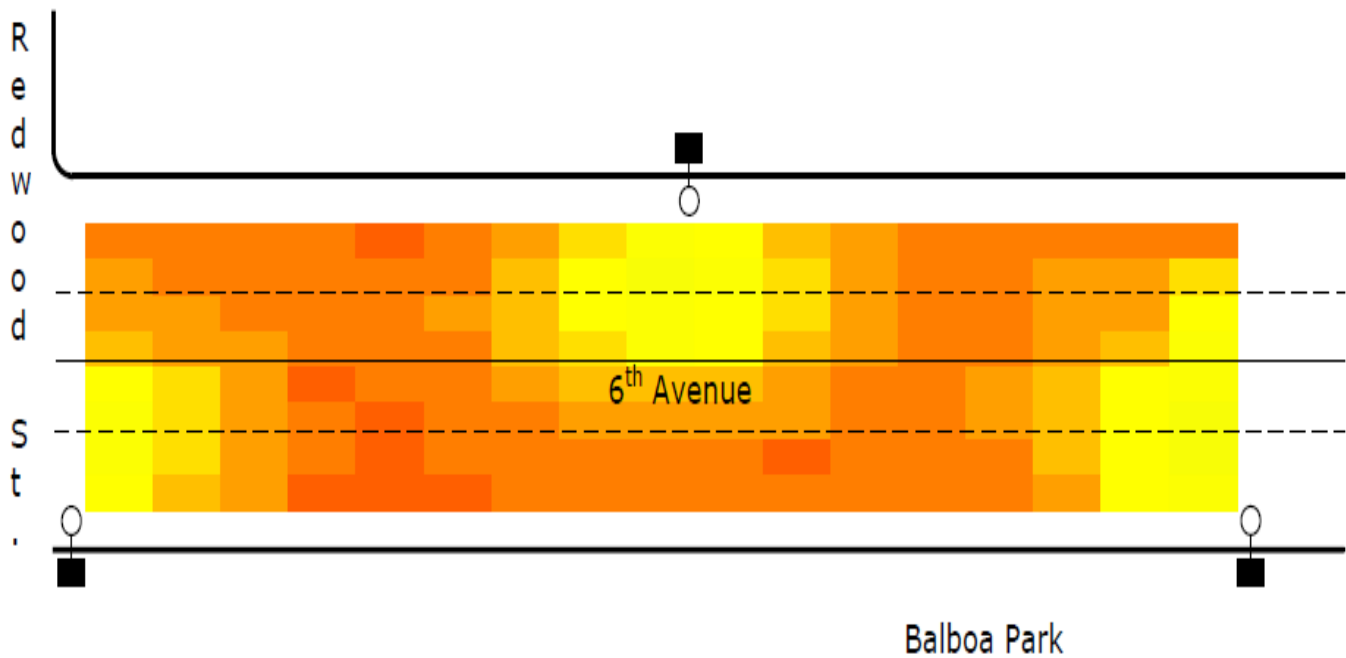
POLE

Balboa Park

Μετρήσεις δοκιμαστικής περιοχής #6



Εικόνα 1-33: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 6 κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας



Εικόνα 1-34: Δοκιμαστική περιοχή 6, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων

Test Area 6 - Photopic and Scotopic Data																		
																	POLE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Redwood Street	P	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	
	S	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.3	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
	P	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7
	S	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.9	1.2	1.4	1.3	1	0.7	0.6	0.5	0.7	0.7	0.5
	P	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.8
	S	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.3	1	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.5
	P	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9
	S	1	0.8	0.7	0.6	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1	0.8	0.6	0.6	0.8	0.9	0.6
	P	0.8	0.7	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9
	S	1.2	1	0.8	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1	0.9	0.8	0.6	0.6	0.7	1	1.2	1.4
	P	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1
	S	1.3	1	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.4
	P	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	1
	S	1.3	1	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	1.2	1.4
	P	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9
	S	1.2	1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	1.2	1.4

POLE

POLE

Balboa Park

Test Area 6 - Luminance Data																		
																	POLE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Redwood Street	Lum	0.12	0.19	0.11	0.11	0.1	0.12	0.11	0.15	0.26	0.31	0.24	0.17	0.15	0.14	0.11	0.12	0.16
	Lum	0.23	0.17	0.13	0.11	0.11	0.11	0.14	0.16	0.27	0.32	0.32	0.23	0.18	0.12	0.15	0.14	0.2
	Lum	0.18	0.16	0.13	0.1	0.12	0.12	0.14	0.16	0.26	0.31	0.25	0.2	0.16	0.14	0.14	0.14	0.21
	Lum	0.21	0.17	0.13	0.1	0.12	0.11	0.13	0.19	0.2	0.28	0.26	0.21	0.16	0.15	0.15	0.17	0.24
	Lum	0.15	0.14	0.14	0.1	0.12	0.14	0.2	0.25	0.32	0.19	0.17	0.13	0.15	0.12	0.14	0.28	0.26
	Lum	0.13	0.15	0.12	0.11	0.12	0.17	0.18	0.24	0.25	0.15	0.16	0.12	0.12	0.12	0.15	0.23	0.24

POLE

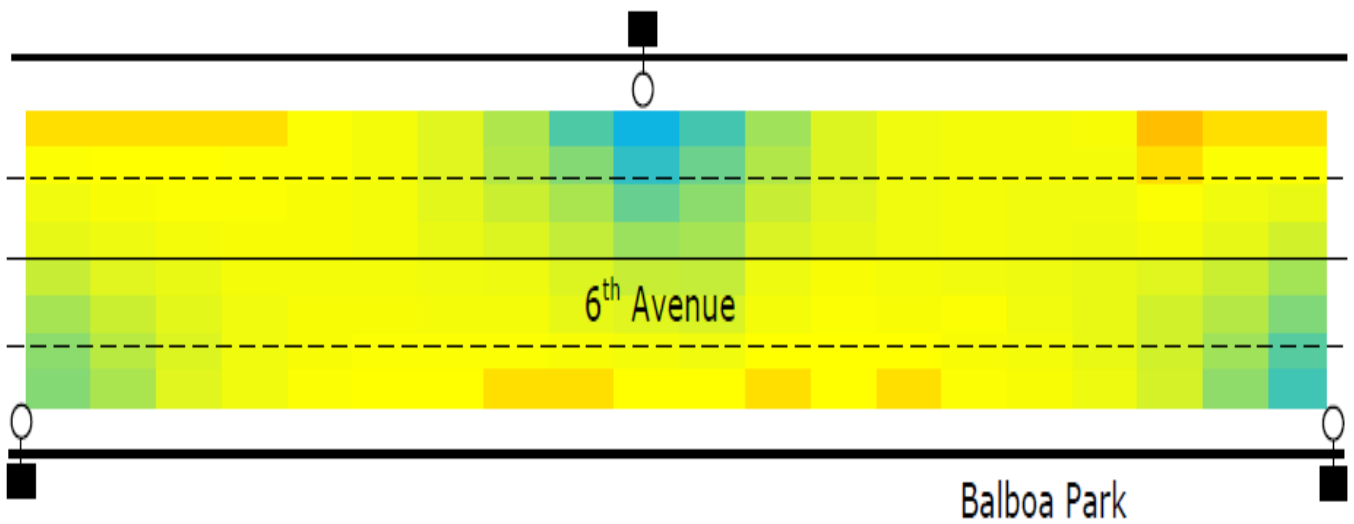
POLE

Balboa Park

Μετρήσεις δοκιμαστικής περιοχής #7



Εικόνα 1-35: Φωτογραφίες δοκιμαστικής περιοχής 7 κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας



Εικόνα 1-36: Δοκιμαστική περιοχή 7, μετρηθείσα φωτοπική απόδοση ψευδοχρωμάτων

Test Area 7 - Photopic and Scotopic Data

POLE																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	1.1	1.7	3.1	5.8	7.6	6.1	3.5	1.8	1.2	1.1	1.1	1	0.6	0.7	0.7
S	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	1.2	2.3	4.3	5.8	4.7	2.6	1.3	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
P	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	1.7	2.9	4.3	6.7	5	3	1.8	1.2	1.1	1.1	1.1	0.7	0.9	0.9
S	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	1.2	2.2	3.2	5.1	3.9	2.2	1.3	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6
P	1.2	1	0.9	0.9	1	1.1	1.6	2.3	3.2	5.1	4.1	2.4	1.7	1.2	1.1	1.2	1.2	0.9	1.2	1.4
S	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1.1	1.7	2.3	3.9	3.1	1.8	1.2	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9
P	1.5	1.3	1.1	1	1	1.1	1.4	1.8	2.5	3.6	3.3	1.9	1.5	1.2	1.1	1.2	1.3	1.1	1.5	2.1
S	1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	1	1.4	1.8	2.7	2.5	1.4	1	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	1	1.4
P	2.4	1.7	1.4	1.1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.8	2.4	2.5	1.3	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.7	2.3	3.4
S	1.6	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.9	1	1.3	1.8	1.9	1	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.3	1.6	2.4
P	3.3	2.3	1.6	1.2	1	1	1.1	1.1	1.5	1.7	1.9	1.1	0.9	1	0.9	1.2	1.4	2.1	2.9	4.4
S	2.3	1.6	1.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1	1.2	1.4	0.7	0.6	0.6	0.5	0.8	0.9	1.4	2	3.2
P	4.1	2.8	1.8	1.2	1	0.9	0.9	0.9	1	1.1	1.2	0.8	0.8	0.8	1	1.1	1.4	2.1	3.5	5.6
S	2.9	2	1.2	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	1.4	2.5	4
P	4.3	3.2	1.7	1.2	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	1	1.3	2	4	6.2
S	3.1	2.3	1.2	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.9	1.4	2.9	4.5

POLE

POLE

Balboa Park

Test Area 7 - Luminance Data

POLE																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lum	0.22	0.19	0.2	0.2	0.22	0.3	0.32	0.97	1.52	2	1.6	0.85	0.46	0.36	0.31	0.29	0.32	0.26	0.21	0.23
Lum	0.27	0.26	0.24	0.23	0.24	0.26	0.51	0.77	1.12	1.81	1.35	0.73	0.43	0.35	0.31	0.33	0.3	0.29	0.26	0.27
Lum	0.36	0.3	0.26	0.26	0.26	0.27	0.4	0.54	0.78	0.94	0.98	0.65	0.4	0.31	0.32	0.32	0.36	0.33	0.31	0.42
Lum	0.48	0.35	0.29	0.29	0.29	0.32	0.4	0.48	0.62	0.96	0.93	0.48	0.35	0.33	0.31	0.31	0.38	0.36	0.37	0.53
Lum	0.62	0.41	0.39	0.3	0.26	0.25	0.31	0.34	0.49	0.62	0.64	0.31	0.31	0.28	0.3	0.34	0.38	0.43	0.53	0.9
Lum	0.81	0.65	0.39	0.29	0.25	0.24	0.27	0.25	0.38	0.42	0.47	0.29	0.25	0.25	0.31	0.32	0.37	0.54	0.67	1.1
Lum	0.98	0.7	0.44	0.32	0.26	0.21	0.22	0.22	0.26	0.31	0.34	0.27	0.22	0.22	0.26	0.28	0.39	0.54	0.85	1.35
Lum	1.19	0.95	0.44	0.31	0.23	0.24	0.2	0.19	0.21	0.24	0.22	0.18	0.22	0.18	0.24	0.25	0.34	0.47	0.9	1.5

POLE

POLE

Balboa Park

**Σύγκριση Νυχτερινού Συστήματος
Διασταυρώσεις (δοκιμαστικές περιοχές 3, 5, 8)**



Εικόνα 1-37: Δοκιμαστική περιοχή 3



Εικόνα 1-38: Δοκιμαστική περιοχή 5



Εικόνα 1-39: Δοκιμαστική περιοχή 8

**Σύγκριση Νυχτερινού Συστήματος
Δρόμος (δοκιμαστικές περιοχές 1, 2, 4, 6, 7)**



Εικόνα 1-40: Δοκιμαστική περιοχή 1



Εικόνα 1-41: Δοκιμαστική περιοχή 2



Εικόνα 1-42: Δοκιμαστική περιοχή 4



Εικόνα 1-43: Δοκιμαστική περιοχή 6



Εικόνα 1-44: Δοκιμαστική περιοχή 7

Τυπική Φωτεινή Σκηνή που Καταγράφηκε με RLMMS



1.10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

Είδος οδού και πυκνότητα κίνησης πεζών		Κριτήρια Έντασης Φωτισμού Πεζοδρομίου R3 (lux)	Αναλογία Ομοιομορφίας $E_{μέση}/E_{ελαχ.}$	Αναλογία Λαμπρότητας Πέπλου $L_{νμεγ.}/L_{μέση}$
Είδος οδού	Πυκνότητα κίνησης πεζών			
Ταχείας Κυκλοφορίας	Υψηλή	14	3,0	0,3
	Μέτρια	12	3,0	0,3
	Χαμηλή	9	3,0	0,3
Κύρια	Υψηλή	17	3,0	0,3
	Μέτρια	13	3,0	0,3
	Χαμηλή	9	3,0	0,3
Συλλεκτήρια	Υψηλή	12	4,0	0,4
	Μέτρια	9	4,0	0,4
	Χαμηλή	6	4,0	0,4
Τοπική	Υψηλή	9	6,0	0,4
	Μέτρια	7	6,0	0,4
	Χαμηλή	4	6,0	0,4

Πίνακας 1-16: Πίνακας Κριτηρίων Έντασης Φωτισμού κατά IESNA RP-8

Είδος οδού και πυκνότητα κίνησης πεζών		Μέση Λαμπρότητα $L_{μέση} (cd/m^2)$	Αναλογία Ομοιομορφίας $L_{μέση}/L_{ελαχ.}$	Αναλογία Ομοιομορφίας $L_{μεγ.}/L_{ελαχ.}$	Αναλογία Λαμπρότητας Πέπλου $L_{νμεγ.}/L_{μέση}$
Είδος οδού	Πυκνότητα κίνησης πεζών				
Ταχείας Κυκλοφορίας	Υψηλή	1,0	3,0	5,0	0,3
	Μέτρια	0,8	3,0	5,0	0,3
	Χαμηλή	0,6	3,5	6,0	0,3
Κύρια	Υψηλή	1,2	3,0	5,0	0,3
	Μέτρια	0,9	3,0	5,0	0,3
	Χαμηλή	0,6	3,5	6,0	0,3
Συλλεκτήρια	Υψηλή	0,8	3,0	5,0	0,4
	Μέτρια	0,6	3,5	6,0	0,4
	Χαμηλή	0,4	4,0	8,0	0,4
Τοπική	Υψηλή	0,6	6,0	10,0	0,4
	Μέτρια	0,5	6,0	10,0	0,4
	Χαμηλή	0,3	6,0	10,0	0,4

Πίνακας 1-17: Πίνακας Κριτηρίων Λαμπρότητας κατά IESNA RP-8

Δοκιμαστική Περιοχή	Κριτήρια Λαμπρότητας κατά IESNA RP-8 που πληρούνται	Κριτήρια Έντασης Φωτισμού κατά IESNA RP-8 που πληρούνται
1 Επαγωγής	Διανομής: Χαμηλή	Διανομής: Μέτρια
2 Επαγωγής	Διανομής: Χαμηλή	Διανομής: Χαμηλή
3 Επαγωγής	Διανομής: Χαμηλή	Διανομής: Χαμηλή
4 LED	κανένα	κανένα
5 LED	Διανομής: Μέτρια	Διανομής: Χαμηλή
6 LED	κανένα	κανένα
7 HPS (αυτοκινητόδρομος)	Κύριος: Υψηλή	Κύριος: Υψηλή
8 HPS (διασταύρωση)	Κύριος: Υψηλή	Κύριος: Υψηλή

Πίνακας 1-18: Κριτήρια Συστημάτων Φωτισμού κατά IESNA που πληρούνται

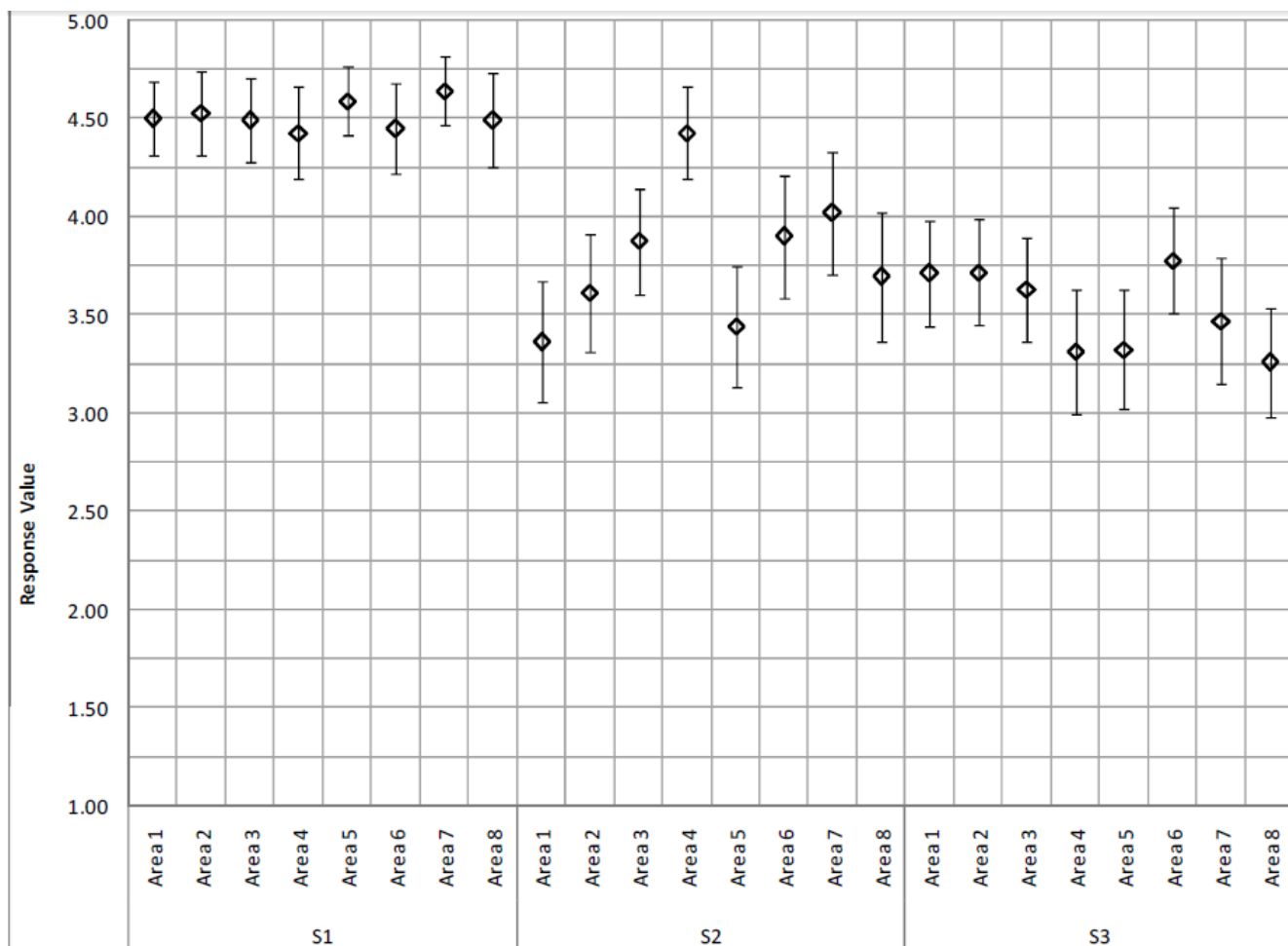
Στον πίνακα 1-18, παρατηρείται ότι ενώ υπάρχει μία γενική αντιστοιχία μεταξύ της μεθόδου 'Έντασης Φωτισμού' και της μεθόδου της 'Λαμπρότητας' ως προς το επίπεδο του σχεδιασμού οδοστρώματος που πληρούται, η δοκιμαστική περιοχή 1 παρουσιάζει μια ασυμφωνία με βάση τις διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού. Στην πραγματικότητα αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, διότι οι δύο μέθοδοι δεν είχαν βαθμονομηθεί αποτελεσματικά. Μάλιστα, λόγω των διαφορετικών υπολογισμών που πραγματοποιούνται για κάθε μέθοδο είναι αδύνατον να βαθμονομηθούν έτσι ώστε οι υπολογισμοί να συμφωνούν πάντα.

1.11 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τα ενενήντα πέντε τοις εκατό διαστήματα εμπιστοσύνης κατασκευάστηκαν γύρω από τη μέση βαθμολογία κάθε δήλωσης. Τα διαστήματα αυτά συγκρίθηκαν, επίσης, σε όλα τα είδη φωτισμού. Σημαντικές διαφορές των απαντήσεων προσδιορίζονται από τη σύγκριση των διαστημάτων εμπιστοσύνης. Όταν τα διαστήματα δεν συμπίπτουν, η διαφορά θεωρείται στατιστικώς σημαντική στο 95% επίπεδο εμπιστοσύνης.

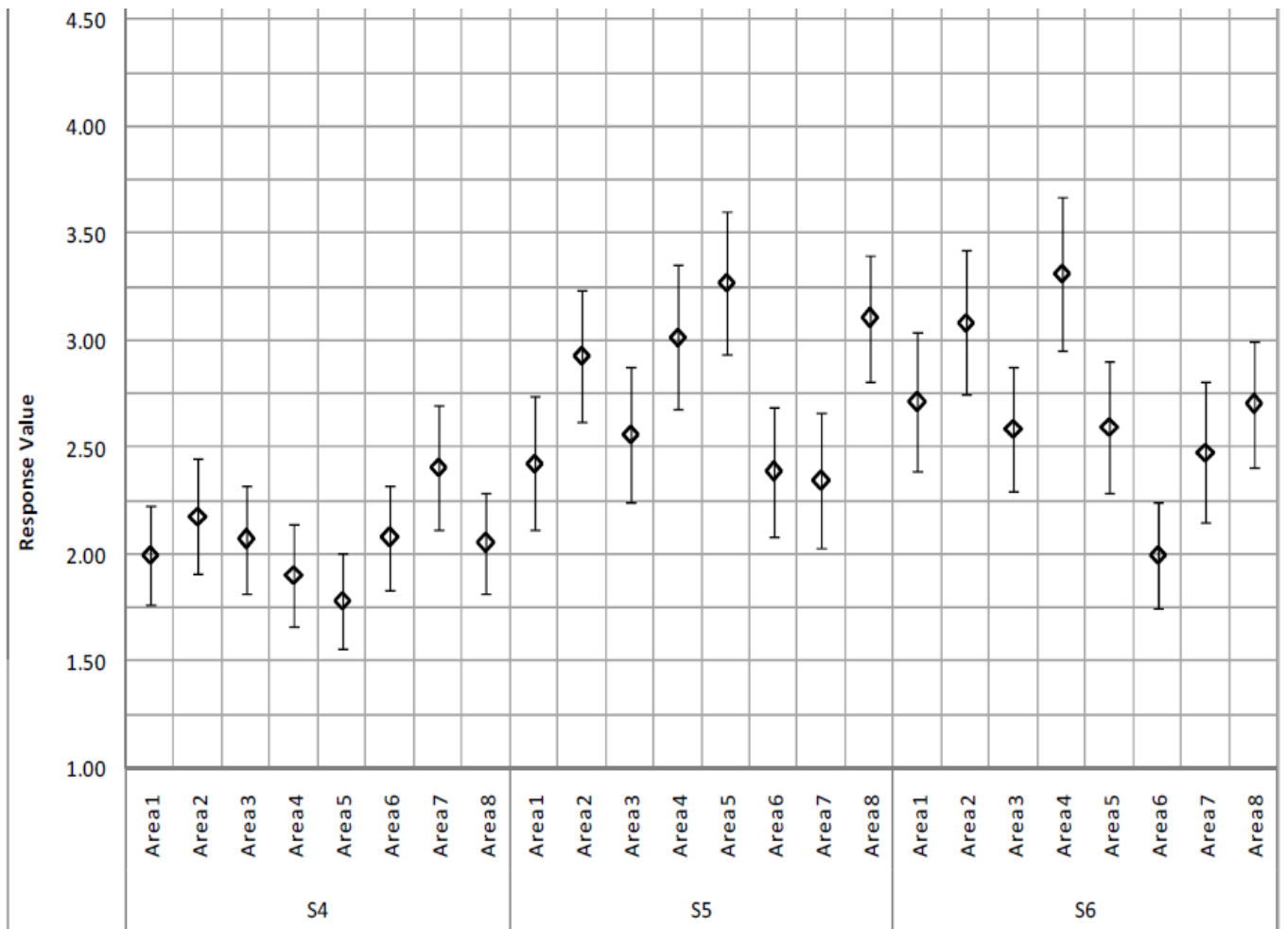
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια στατιστικώς σημαντική διαφορά αναφέρεται σε διαφορές στα αποτελέσματα οι οποίες πολύ πιθανόν (με βεβαιότητα 95%) δεν συνέβησαν τυχαία. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι διαφορές είναι σημαντικές με την πρακτική έννοια της λέξης. Επιπλέον, μια διαφορά η οποία δεν θεωρείται στατιστικώς σημαντική, δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να είναι μεγάλης σημασίας.

Τα επίπεδα εμπιστοσύνης που προέκυψαν για όλες τις δηλώσεις της έρευνας παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα.



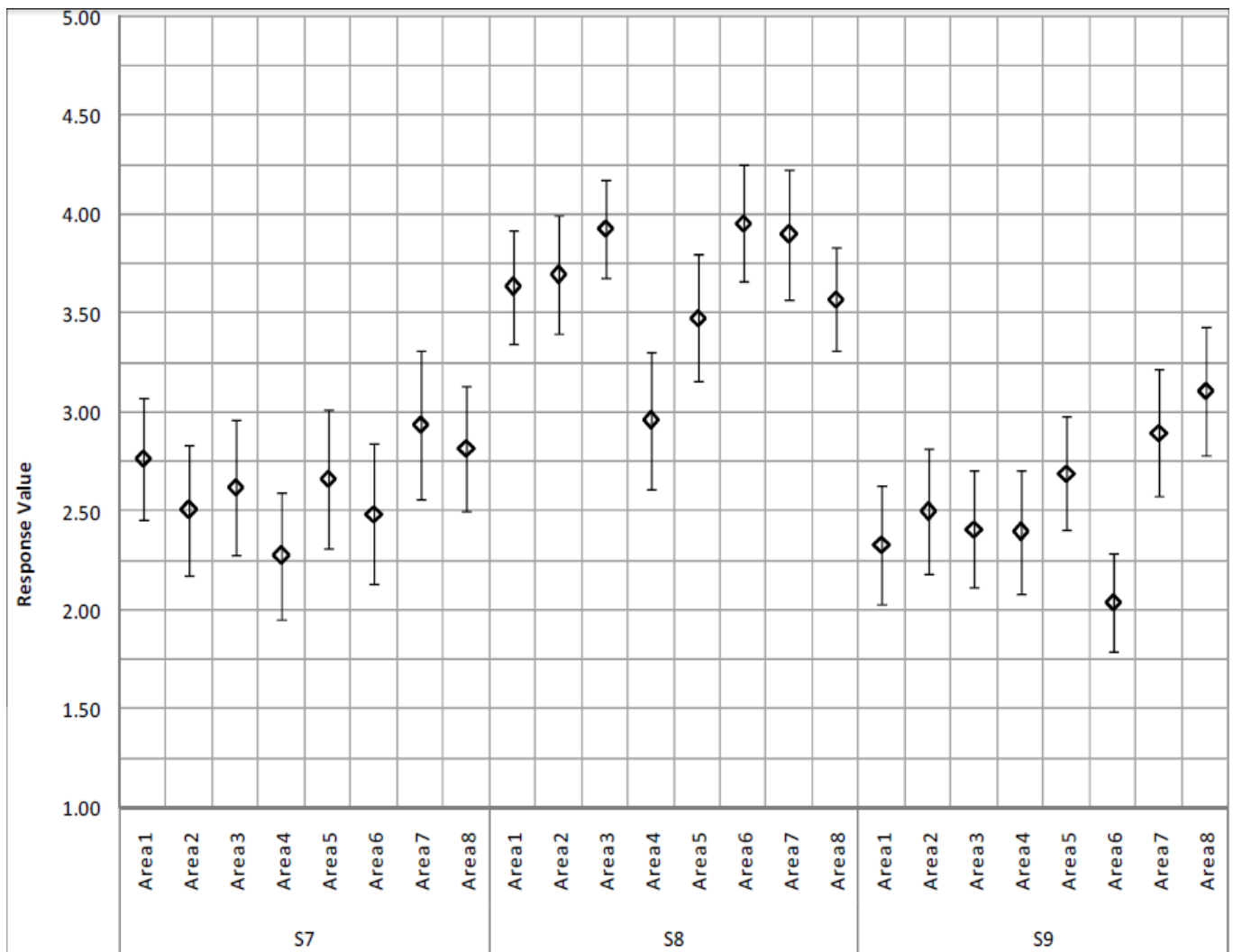
Περιοχή κατά Ερώτηση

Εικόνα 1-45: Διαστήματα εμπιστοσύνης για τις δηλώσεις S1, S2, και S3



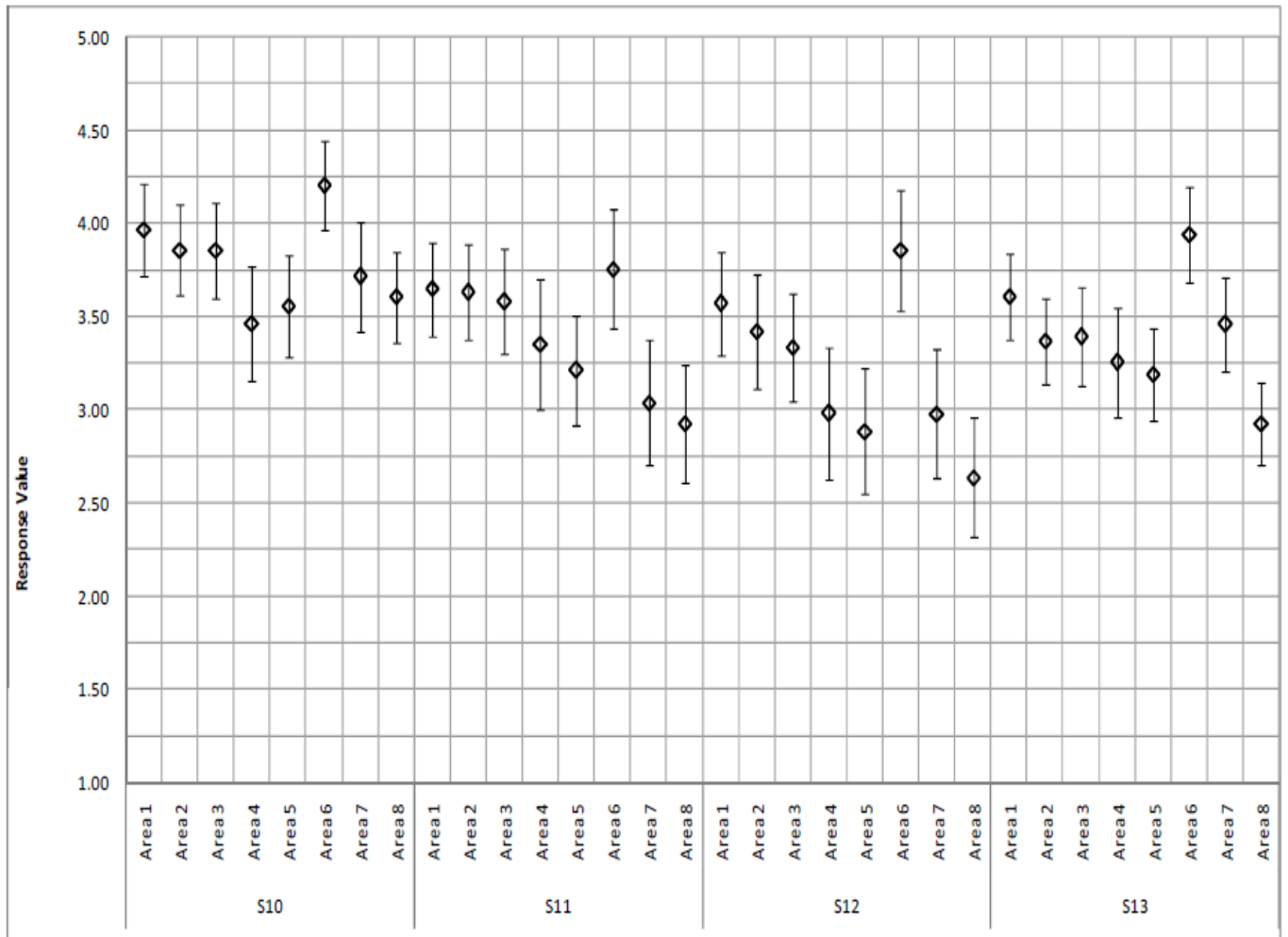
Περιοχή κατά Ερώτηση

Εικόνα 1-46: Διαστήματα εμπιστοσύνης για τις δηλώσεις S4, S5, και S6



Περιοχή κατά Ερώτηση

Εικόνα 1-47: Διαστήματα εμπιστοσύνης για τις δηλώσεις S7, S8, και S9



Περιοχή κατά Ερώτηση

Εικόνα 1-48: Διαστήματα εμπιστοσύνης για τις δηλώσεις S10, S11, S12, και S13

1.12 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Τα αποτελέσματα της ANOVA που πραγματοποιήθηκαν βάσει των κατά μέσο όρο δεδομένων έντασης φωτισμού φαίνονται στον Πίνακα 1-19 και οι συγκρίσεις κατά ζεύγη της ανάλυσης SNK ανάμεσα σε κάθε είδος φωτισμού απεικονίζονται στην εικόνα 1-22. Όπως ήταν αναμενόμενο, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των τύπων φωτισμού. Η υπάρχουσα εγκατάσταση δρόμου HPS εμφάνισε τα υψηλότερα επίπεδα έντασης φωτισμού σε σύγκριση με τις εναλλακτικές τεχνολογίες φωτισμού.

Πηγή	Τιμή-F	Τιμή-P	Σημαντικό
Είδος Φωτισμού (αισθητήρες οροφής μόνο)	112,47	<0,0001	*
Είδος Φωτισμού (μετρητής θάμβωσης μόνο)	36,28	<0,0001	*

Πίνακας 1-19: Αποτελέσματα της ANOVA όσον αφορά τα επίπεδα Έντασης Φωτισμού της οροφής και των αισθητήρων θάμβωσης για τις τοποθεσίες φωτισμού

1.13 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΙΜΩΝ LS-2 ΤΗΣ SDG&E

San Diego Gas & Electric Company

Revised Cal. P.U.C. Sheet No. 21065-E

San Diego, California

Canceling Revised Cal. P.U.C. Sheet No. 20835-E

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LS-2

φύλλο 1

ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ

Βρίσκει εφαρμογή στην παροχή υπηρεσιών σε κυβερνητικούς οργανισμούς και περιοχές φωτισμού για το φωτισμό δρόμων, αυτοκινητόδρομων και άλλων οδικών αρτηριών, καθώς και σε άλλες εταιρικές υπηρεσίες για το φωτισμό δρόμων μη αποκλειστικής χρήσης που είναι προσβάσιμοι στο κοινό, σε περίπτωση που ο πελάτης διαθέτει το σύνολο της εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένων υπόγειων γραμμών από ένα κεντρικό σημείο σύνδεσης.

Επικράτεια

Σε όλη την περιοχή που εξυπηρετείται από την υπηρεσία.

Τιμές

Περιγραφή-LS-2	Transm	Distr	PPP	ND	CTC	RS	TRAC	UDC Σύνολο
<u>Ατμοί</u>								
<u>Υδραργύρου*</u>								
<u>Τιμή A</u>								
175 7000	0,58	R 2,80	I (0,01)	R 0,03		0,04	I	3,44 R
250 10000	0,81	R 3,90	I (0,01)	R 0,05		0,05	I	4,80
400 20000	1,28	R 6,14	I (0,02)	R 0,07		0,08	I	7,55 R
700 35000	2,17	R 10,41	I (0,03)	R 0,12		0,14	I	12,81 R
1000 55000	3,06	R 14,70	I (0,05)	R 0,18		0,19	I	18,08 R
<u>Τιμή B</u>								
175 7000	0,58	R 4,33	I (0,01)	R 0,03		0,04	I	4,97 R
250 10000	0,81	R 5,43	I (0,01)	R 0,05		0,05	I	6,33
400 20000	1,28	R 7,67	I (0,02)	R 0,07		0,08	I	9,08 R
<u>Επιπλέον</u>								
<u>Χρέωση για</u>								
<u>Υπηρεσία</u>								
			0,42					0,42
<u>Σειράς</u>								
175 7000			0,78					0,78
250 10000			1,41					1,41
400 20000								
700 35000								
HPSV								
<u>Τιμή A</u>								
50 4000	0,16		0,77	I 0,00	R 0,01	0,01	I	0,95
70 5800	0,28		1,35	I 0,00	R 0,02	0,02	I	1,67 I

100	9500	0,39	R	1,88	I	(0,01)	R	0,02	0,02	I	2,30	R
150	16000	0,54		2,58	I	(0,01)	R	0,03	0,03	I	3,17	I
200	22000	0,68	R	3,28	I	(0,01)	R	0,04	0,04	I	4,03	R
250	30000	0,87	R	4,18	I	(0,01)	R	0,05	0,05	I	5,14	
310	37000	1,06	R	5,11	I	(0,02)	R	0,06	0,07	I	6,28	R
400	50000	1,32	R	6,35	I	(0,02)	R	0,08	0,08	I	7,81	R
1000	140000	3,06	R	14,70	I	(0,05)	R	0,18	0,19	I	18,08	R

*Κλειστό στις νέες εγκαταστάσεις από 10 Ιουνίου, 1979

(Continued)

1C11

Issued by

Date Filed Dec 29, 2008

Advice Ltr. No. 2053-E

Lee Schavrie

Effective Jan 1, 2009

Decision No. -----

Senior Vice President
Regulatory Affairs

Resolution No. -----

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LS-2

φύλλο 2

ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ

Τιμές (συνέχεια)

Περιγραφή-LS-2	Transm	Distr	PPP	ND	CTC	RS	TRAC	UDC Σύνολο
<u>HPSV</u>								
<u>Τιμή Β</u>								
50 4000	0,16	2,30	I 0,00	R 0,01		0,01	I	2,48
70 5800	0,28	2,88	I 0,00	R 0,02		0,02	I	3,20 I
100 9500	0,39	R 3,41	I (0,01)	R 0,02		0,02	I	3,83 R
150 16000	0,54	4,10	I (0,01)	R 0,03		0,03	I	4,69
200 22000	0,68	R 4,81	I (0,01)	R 0,04		0,04	I	5,56 R
250 30000	0,87	R 5,71	I (0,01)	R 0,05		0,05	I	6,67
310 37000	1,06	R 6,64	I (0,02)	R 0,06		0,07	I	7,81 R
400 50000	1,32	R 7,88	I (0,02)	R 0,08		0,08	I	9,34 R
1000 140000	3,06	R 16,23	I (0,05)	R 0,18		0,19	I	19,61 R
<u>Μείωση για</u>								
<u>Στραγγαλιστικό</u>								
<u>Πηνίο</u>								
<u>Αντιδραστήρα</u>								
<u>120 Volt</u>								
50 4000		(\$0,09)						(\$0,09)
70 5800		(0,20)						(0,20)
100 9500		(0,26)						(0,26)
150 16000		(0,24)						(0,24)
<u>Επιπλέον</u>								
<u>Χρέωση για</u>								
<u>Υπηρεσία</u>								
<u>Σειράς</u>								
50 4000		0,49						0,49
70 5800								
100 9500								
150 16000		0,02						0,02
200 22000		0,51						0,51
250 30000								
<u>LPSV</u>								
<u>Τιμή Α</u>								
35 4800	0,19	0,89	I 0,00	R 0,01		0,01	I	1,10
55 8000	0,24	R 1,17	I 0,00	R 0,01		0,02	I	1,44
90 13500	0,40	R 1,93	I (0,01)	R 0,02		0,03	I	2,37 R
135 22500	0,57	R 2,75	I (0,01)	R 0,03		0,04	I	3,38
180 33000	0,65	R 3,14	I (0,01)	R 0,04		0,04	I	3,86

<u>Επιπλέον</u> <u>Χρέωση για</u> <u>Υπηρεσία</u> <u>Σειράς</u>												
-												
35	4800											
55	8000											
90	13500									0,49	0.49	
135	22500									0,86	0,86	
180	33000									0,56	0,56	
Λαμπτήρες Πυρακτώσεως <u>Τιμή Α(ενέργεια</u> <u>μόνο)</u>												
	1000	0,20	R	0,97	I	0,00	R	0,01	0,01	I	1,19	R
	2500	0,45	R	2,16	I	(0,01)	R	0,03	0,03	I	2,66	
	4000	0,82	R	3,94	I	(0,01)	R	0,05	0,05	I	4,85	R
	6000	1,13	R	5,40	I	(0,02)	R	0,06	0,07	I	6,64	R
	10000	1,69	R	8,11	I	(0,03)	R	0,10	0,11	I	9,98	R

(Continued)

2C11

Issued by

Date Filed

Dec 29, 2008

Advice Ltr. No. 2053-E

Lee Schavrie

Effective

Jan 1, 2009

Decision No. -----

Senior Vice President
Regulatory Affairs

Resolution No. -----

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LS-2

φύλλο 3

ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ

Τιμές (συνέχεια)

Περιγραφή-LS-2	Transm	Distr	PPP	ND	CTC	RS	TRAC	UDC Σύνολο
<u>Λαμπτήρες</u> <u>Πυρακτώσεως</u> <u>Τιμή Β</u> 6000	1,13	6,93	(0,02)	0,06		0,07		8,17
<u>Αλογονούχα</u> <u>Μέταλλα</u> <u>Τιμή Α</u> 100 8500	0,37	1,76	(0,01)	0,02		0,02		2,16
175 12000	0,58	2,76	(0,01)	0,03		0,04		3,40
250 18000	0,80	3,84	(0,01)	0,05		0,05		4,73
400 32000	1,23	5,92	(0,02)	0,07		0,08		7,28
<u>Τιμή Β</u> 100 8500	0,37	3,29	(0,01)	0,02		0,02		3,69
175 12000	0,58	4,29	(0,01)	0,03		0,04		4,93
250 18000	0,80	5,37	(0,01)	0,05		0,05		6,26
400 32000	1,23	7,45	(0,02)	0,07		0,08		8,81
<u>Επαγωγή</u> <u>Τιμή Α-5-</u> <u>Λαμπτήρας</u> 55 3500	0,76	3,67	(0,01)	0,04		0,05		4,51
85 6000	1,21	5,80	(0,02)	0,07		0,08		7,14
<u>Επαγωγή</u> <u>Τιμή Α-1-</u> <u>Λαμπτήρας</u> 40.....3440	0,11	0,53	-	0,01		0,01		0,66
50.....3495	0,14	0,67	-	0,01		0,01		0,83
55.....3500	0,15	0,73	0,00	0,01		0,01		0,90
80.....6528	0,22	1,07	-	0,01		0,01		1,31
85.....6000	0,24	1,13	0,00	0,01		0,01		1,39
100.....8800	0,28	1,33	-	0,02		0,02		1,65
150.....12800	0,42	2,00	(0,01)	0,02		0,03		2,46
165.....12000	0,46	2,20	(0,01)	0,03		0,03		2,71
200.....16800	0,56	2,67	(0,01)	0,03		0,03		3,28
250.....21040	0,70	3,34	(0,01)	0,04		0,04		4,11
300.....24480	0,83	4,00	(0,01)	0,05		0,05		4,92
400.....32640	1,11	5,34	(0,02)	0,06		0,07		6,56

<u>Μη</u> <u>τυποποιημένος</u> <u>Λαμπτήρας</u> Χρέωση Ενέργειας \$/kWh/λαμπτήρα/ Μήνα	\$0,00801	\$0,03234	\$(0,00012)	\$0,00046	\$0,00050	\$0,04119
---	-----------	-----------	-------------	-----------	-----------	------------------

Συνιστώσες τιμών

Οι συνολικές τιμές της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (UDC Total) που φαίνονται παραπάνω αποτελούνται από τις ακόλουθες συνιστώσες (σε περίπτωση εφαρμογής): (1) Έξοδα Μεταφοράς (Trans), (2) Έξοδα Διανομής (Distr), (3) Έξοδα Προγράμματος Δημοσίου Σκοπού (PPP), (4) Δαπάνες Παροπλισμού Πυρηνικών εγκαταστάσεων (ND), (5) Έξοδα Συνεχούς Ανταγωνισμού Μετάδοσης (CTC), (6) Υπηρεσίες Αξιοπιστίας (RS), και (7) Συνιστώσα Ρύθμισης Τελικής Τιμής (TRAC).

(Continued)

3C17

Issued by

Date Filed

Jun 1, 2009

Advice Ltr. No. 2053-E

Lee Schavrie

Effective

Jul 1, 2009

Decision No. -----

Senior Vice President
Regulatory Affairs

Resolution No. -----

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LS-2

φύλλο 4

ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ**ΤΙΜΕΣ (συνέχεια)**

Οι συνολικές τιμές της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (UDC) που φαίνονται στους παραπάνω πίνακες αποκλείουν τυχόν επιβαρύνσεις στο εμπόρευμα που σχετίζονται με το διάγραμμα EECC και το διάγραμμα DWR-BC (Department of Water Resources Bond Charge).

Οι πελάτες ορισμένης άμεσης πρόσβασης απαλλάσσονται από το TRAC όπως ορίζεται στο άρθρο 1 – Ορισμοί.

Διαφορικά Τέλη Δικαιούχου

Ένα διαφορικό τέλος της τάξης του 5,78% θα εφαρμοστεί στις μηνιαίες χρεώσεις που υπολογίζονται βάσει του συγκεκριμένου διαγράμματος για τους πελάτες εντός των εταιρικών ορίων της πόλης του San Diego. Τέτοια διαφορικά τέλη δικαιόχρησης πρέπει να αναγράφονται και να προστίθενται ως ξεχωριστό στοιχείο στους λογαριασμούς που παρέχονται στους εν λόγω πελάτες.

ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

1. **Περιορισμένη συντήρηση.** Η περιορισμένη συντήρηση περιλαμβάνει τα ακόλουθα:
 - a. Ανανέωση των λαμπτήρων ύστερα από την αρχική εγκατάσταση από τον πελάτη.
 - b. Αντικατάσταση των γυάλινων εξαρτημάτων και του εξοπλισμού των φωτιστικών, που θα χρεώνεται στον πελάτη στις δημοσιευθείσες προτεινόμενες τιμές λιανικής πώλησης των κατασκευαστών συν τους ισχύοντες φόρους.
 - c. Καθαρισμός των γυάλινων εξαρτημάτων κατά της στιγμή της αντικατάστασης του λαμπτήρα.

Η συντήρηση του λαμπτήρα πυρακτώσεως είναι περιορισμένη στους λαμπτήρες πυρακτώσεως που συντηρούνται από την δημόσια υπηρεσία πριν τις 10 Ιουνίου, 1979.

Οι υπηρεσίες συντήρησης δεν θα παρέχονται όταν, κατά την κρίση της ηλεκτρικής εταιρείας, ένας αδικαιολόγητος κίνδυνος ή δαπάνη θα προέκυπτε λόγω της θέσης, του ύψους τοποθέτησης ή άλλων λόγων.

Ο πελάτης οφείλει να παρέχει, να εγκαθιστά, να κατέχει και να συντηρεί όλο τον εξοπλισμό πέραν του κεντρικού σημείου σύνδεσης, εκτός από την εν λόγω περιορισμένη συντήρηση όπως προβλέπεται παραπάνω.

2. **Εγκατάσταση στύλων ηλεκτρικής ενέργειας από τον πελάτη.** Τα φώτα του δρόμου που ανήκουν σε κυβερνητικούς φορείς, θα εξυπηρετούνται από στύλους της ΔΕΗ, οι οποίοι εξυπηρετούνται από εναέριες δευτερεύουσες υπηρεσίες, όπου ο κυβερνητικός φορέας κατέχει όλα τα φώτα δρόμου εντός της δικαιοδοσίας του και

έχει υπογράψει σύμβαση με την ηλεκτρική εταιρεία. Η εγκατάσταση όλων των φώτων θα πραγματοποιείται από τον κυβερνητικό φορέα ή τον εργολάβο του.

3. Είδος υπηρεσίας. Οι υπηρεσίες σε πολλαπλούς λαμπτήρες θα παρέχονται υπό τη διαθέσιμη δευτερεύουσα τάση ή κατ' επιλογή της ΔΕΗ, 480 volts. Οι λαμπτήρες σε σειρά θα εξυπηρετούνται μόνο από τα υπάρχοντα κυκλώματα σειράς.
4. Ώρες καύσης. Οι λαμπτήρες θα λειτουργούν από το βράδυ μέχρι το φως της ημέρας, το οποίο σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα της εταιρείας ισοδυναμεί με περίπου 4.165 ώρες λειτουργίας το χρόνο.
5. Μετεγκατάσταση των εγκαταστάσεων. Η μετεγκατάσταση των εγκαταστάσεων κατόπιν αιτήματος του πελάτη ή λόγω κυβερνητικών απαιτήσεων θα γίνεται με την προϋπόθεση ότι ο πελάτης θα πληρώσει το πραγματικό κόστος που επιφέρει μια τέτοια μετεγκατάσταση.

(continued)

4C14

Issued by

Date Filed

Jun 1, 2009

Advice Ltr. No. 2090-E

Lee Schavrien

Effective

Jul 1, 2009

Decision No. -----

Senior Vice President
Regulatory Affairs

Resolution No. -----

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LS-2

φύλλο 5

ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ**ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ** (συνέχεια)

6. Αλλαγή της τιμής. Όπου τα συστήματα λειτουργούν στα πλαίσια του παρόντος διαγράμματος ή έχουν αλλάξει από την τιμή Α στην τιμή Β, πρέπει να εγκρίνονται από την εταιρεία ως προς την κατασκευή και την θέση και η εταιρεία έχει δικαίωμα να αρνηθεί να παραχωρήσει τις τιμές αυτές, εάν το σύστημα δεν ανταποκρίνεται στα πρότυπα των άλλων συστημάτων που λειτουργούν βάσει του παρόντος διαγράμματος.
7. Συμβόλαια. Ένα συμβόλαιο για περίοδο όχι μικρότερη ενός χρόνου και όχι μεγαλύτερη από πέντε χρόνια μπορεί να απαιτηθεί για υπηρεσίες στα πλαίσια του συγκεκριμένου διαγράμματος και εν συνεχεία θα παραμείνει σε ισχύ από έτος σε έτος μέχρι να τερματιστεί.
8. Διακοπή λόγω μη πληρωμής. Εάν διακοπεί η λειτουργία των φώτων δρόμου ενός πελάτη λόγω μη πληρωμής του μηνιαίου λογαριασμού ηλεκτρικής ενέργειας, ο πελάτης θα κληθεί να πληρώσει πρόστιμο \$10,00 ανά φως, με μια ελάχιστη χρέωση \$50,00. Αυτό το πρόστιμο είναι επιπλέον της χρέωσης υπηρεσιών επανεγκατάστασης και της κανονικής πίστωσης καταβολών.
9. Συγχρονισμένος προσαρμογέας βοηθητικής συσκευής ισχύος. Η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι διαθέσιμη, σύμφωνα με τους όρους και τις προϋποθέσεις που αναφέρονται παρακάτω, για μηνιαία χρέωση \$0,81 ανά συσκευή συν μια διοικητική επιβάρυνση \$60,00 ανά λογαριασμό ανά περίοδο συμβολαίου συν χρεώσεις ενέργειας σύμφωνα με τις τιμές που αναφέρονται στο διάγραμμα Α.
 - a. Μία τυπική εγκατάσταση πρέπει να αποτελείται από μια ατομική συγχρονισμένη βοηθητική συσκευή, εγκατεστημένη στο διακοσμητικό στυλό φωτισμού ενός πελάτη.
 - b. Αυτό το ποσοστό είναι διαθέσιμο μόνο σε κυβερνητικές φορείς, που είναι ο κατ' εξοχήν πελάτης για υπηρεσίες διακοσμητικού οδικού φωτισμού. Μία γραπτή αίτηση και σύμβαση παροχής υπηρεσιών απαιτείται για την λειτουργία σε συνδυασμό με στύλους φωτισμού οδών που ανήκουν σε πελάτες.
 - c. Ο πελάτης θα κατέχει και θα εγκαθιστά τον απαιτούμενο συγχρονισμένο προσαρμογέα βοηθητικής συσκευής και ο εγκατεστημένος προσαρμογέας πρέπει να παραμείνει στην αποκλειστική ιδιοκτησία του πελάτη.
 - d. Η εγκατάσταση των διακοσμήσεων φωτιστικών του αιτούντος οφείλει να τηρεί τις προδιαγραφές τις εταιρείες.
 - e. Οι διατάξεις της εν λόγω υπηρεσίας θα πρέπει να είναι σύμφωνες με το νόμο

14.1 της δημόσιας επιχείρησης ηλεκτρισμού, Απαγορεύσεις και Περιορισμοί Διατάξεων, Τομέας Β.1.α.

- f. Ο αιτών θα πρέπει να καθορίσει τον αριθμό συγχρονισμένων βοηθητικών προσαρμογέων ισχύος που απαιτούνται. Η χρέωση θα βασίζεται στην ανά μονάδα ισχύ που απαιτείται για την διακόσμηση και τις ώρες λειτουργίες που καθορίζονται από τον αιτούντα στην αίτηση και σύμβαση παροχής υπηρεσιών. Η ανά μονάδα ισχύς δεν πρέπει να υπερβαίνει την τάξη των 300 watt που έχει οριστεί από τους κατασκευαστές για κάθε συσκευή.
- g. Κατά τη στιγμή της εγκατάστασης του προσαρμογέα και στη συνέχεια κάθε μήνα μέχρι να αφαιρεθεί ο προσαρμογέας, ο πελάτης θα καλείται να πληρώνει τη μηνιαία χρέωση.
- h. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει η χορήγηση της άδειας για την εγκατάσταση φωτιζόμενων διακοσμητικών για χρήση με συγχρονισμένο βοηθητικό προσαρμογέα στους στύλους που ανήκουν στον πελάτη να δώσει στον αιτούντα πρόσθετα δικαιώματα.

(continued)

5C1

Issued by

Date Filed Jun 29, 1999

Advice Ltr. No. 1174-E-A

William L. Reed

Effective Jul 1, 1999

Decision No. 99-05-051

Vice President
Chef Regulatory Officer

Resolution No. -----

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LS-2

φύλλο 6

ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΙ - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΛΑΤΩΝ**ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (συνέχεια)**

10. **Χρέωση:** Ο λογαριασμός ενός πελάτη υπολογίζεται πρώτα σύμφωνα με τις συνολικές τιμές και συνθήκες που αναφέρονται παραπάνω. Οι ακόλουθες ρυθμίσεις γίνονται ανάλογα με την επιλογή που ισχύει για τον πελάτη:
- Οι πελάτες της **Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού** λαμβάνουν τις υπηρεσίες εφοδιασμού και διανομής αποκλειστικά από τη ΔΕΗ. Ο λογαριασμός του πελάτη βασίζεται στις συνολικές τιμές που εξετάστηκαν παραπάνω. Η συνιστώσα ΕΕCC προσδιορίζεται με πολλαπλασιασμό της τιμής ΕΕCC αυτού του διαγράμματος κατά τη διάρκεια του τελευταίου μήνα με τη συνολική χρήση του πελάτη.
 - Οι πελάτες με άμεση πρόσβαση (direct access-DA) και οι πελάτες συνάθροισης κοινοτήτων (community choice aggregation-CCA) αγοράζουν ενέργεια από φορέα παροχής που δεν ανήκει στη ΔΕΗ και συνεχίζουν να λαμβάνουν υπηρεσίες από τη ΔΕΗ. Οι λογαριασμοί για έναν DA και CCA πελάτη υπολογίζονται σαν να ήταν πελάτης της ΔΕΗ, στη συνέχεια με πίστωση του λογαριασμού με τη συνιστώσα ΕΕCC, όπως συμβαίνει με την εξυπηρέτηση πελατών της ΔΕΗ, συμπεριλαμβανομένης της κατάλληλης επιβάρυνσης κόστους (cost responsibility surcharge-CRS), εάν υπάρχει.
 - Οι πελάτες εικονικής άμεσης πρόσβασης λαμβάνουν υπηρεσίες εφοδιασμού και διανομής αποκλειστικά από τη ΔΕΗ. Ένας πελάτης που λαμβάνει εικονική υπηρεσία άμεσης πρόσβασης πρέπει να έχει εγκατεστημένο έναν μετρητή πραγματικού χρόνου, ο οποίος θα χρησιμοποιείται για ωριαία καταγραφή, δεδομένου ότι ο παράγοντας ΕΕCC μεταβάλλεται ωριαία. Ο λογαριασμός ενός πελάτη εικονικής άμεσης πρόσβασης υπολογίζεται σαν να ήταν πελάτης της ΔΕΗ, στη συνέχεια με πίστωση του λογαριασμού με τη συνιστώσα ΕΕCC, όπως συμβαίνει με την εξυπηρέτηση πελατών της ΔΕΗ και προσθέτοντας τον ωριαίο παράγοντα ΕΕCC. Ο ωριαίος παράγοντας ΕΕCC προσδιορίζεται με πολλαπλασιασμό της ωριαίας ενέργειας που χρησιμοποιείται κατά την περίοδο χρέωσης με το ωριαίο κόστος ενέργειας.

Τίποτα σε αυτό το διάγραμμα δεν απαγορεύει σε έναν έμπορο ή χρηματιστή να διαπραγματευτεί με τους πελάτες ως προς τη μέθοδο με την οποία ο πελάτης τους θα πληρώσει την επιβάρυνση CTC.

11. **Άλλες ισχύουσες διατιμήσεις:** Οι κανόνες 21, 23 και το διάγραμμα E-Depart εφαρμόζονται σε πελάτες με γεννήτριες.
12. **Φορτία λαμπτήρα:** Η ΔΕΗ μπορεί να παρέχει υπηρεσίες στα πλαίσια του παρόντος διαγράμματος για λαμπτήρες φωτισμού δρόμων που δεν αναφέρονται σε αυτό το

διάγραμμα (μη τυποποιημένοι λαμπτήρες), υπό την προϋπόθεση ότι ένα φορτίο λαμπτήρων, συμπεριλαμβανομένων των λαμπτήρων ισχύος και μπάλλαστ, μπορεί να εγκατασταθεί με ακρίβεια από τη ΔΕΗ.

13. Χρεώσεις για μη-τυποποιημένους λαμπτήρες: Η χρέωση ενός μη-τυποποιημένου ενεργειακού λαμπτήρα χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί μία μηνιαία χρέωση ανά λαμπτήρα για μη τυποποιημένους λαμπτήρες. Οι λαμπτήρες αυτού του είδους είναι λαμπτήρες για τους οποίους μία μηνιαία χρέωση δεν αναφέρεται σε αυτό το διάγραμμα. Η μηνιαία χρέωση για μη-τυποποιημένους λαμπτήρες βάσει του διαγράμματος υπολογίζεται έχοντας αρχικά υπολογίσει το ισχύον μέσο μηνιαίο φορτίο λαμπτήρα, σε kWh, για το λαμπτήρα.

(continued)

6C14

Issued by

Date Filed Mar 23, 2009

Advice Ltr. No. 2070-E

Lee Schavrien

Effective Apr 22, 2009

Decision No. -----

Senior Vice President
Regulatory Affairs

Resolution No. -----

1.14 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ SAN DIEGO

Ανάλυση Κόστους του Κύκλου Ζωής (LCC)

- Προσδιορισμός επαναλαμβανόμενων 20ετών εξόδων
- Αξιολόγηση εκείνης της τεχνολογίας LED ή επαγωγής που αναδύεται

Παραδοχές:

- Όχι στραγγαλιστικό πηνίο
- Όχι φωτοηλεκτρικά κύτταρα
- Δεν εξετάζονται άλλα κόστη στην παρούσα ανάλυση

	180 Watt LPS	250 Watt HPS	165 Watt Επαγωγής	198 Watt LED
<u>Δεδομένα</u>				
Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)	\$ 550,00	\$ 175,00	\$ 515,00	\$ 1.071,00
Κόστος λαμπτήρα	\$ 25,00	\$ 17,50	\$ 100,00	\$ 900,00
Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)	15.000	24.000	100.000	50.000
Μηνιαία Τιμή Ενέργειας	\$ 9,89	\$ 13,16	\$ 6,59	\$ 7,91
Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα	\$ 4,50	\$ 3,50	\$ 25,00	\$ 7,50
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)	\$ 52,68	\$ 44,17	\$ 148,17	\$ 930,67
<u>Υπολογισμοί</u>				
Ετήσια κόστη ενέργειας	\$ 118,68	\$ 157,92	\$ 79,08	\$ 94,92
Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας	3,61	5,77	24,04	12,02
No. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια	5,5	3,5	0,83	1,66
Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα	7,38	4,76	1,36	2,43
<u>Κόστος του κύκλου ζωής</u>				
Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)	\$ 589	\$ 214	\$ 554	\$ 1.110
20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)	\$ 3.107	\$ 4.135	\$ 2.071	\$ 2.485
20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα	\$ 389	\$ 210	\$ 202	\$ 2.264
20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής	\$ 4.085	\$ 4.559	\$ 2.827	\$ 5.860
Ετήσια Έξοδα LC	\$ 204	\$ 228	\$ 141	\$ 293
	180 Watt LPS	250 Watt HPS	165 Watt Επαγωγής	198 Watt LED

Υπολογισμός εξόδων αντικατάστασης λαμπτήρα:

- Η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα καθορίζει τη συχνότητα των αλλαγών
- Το κόστος των λαμπτήρων σταθμίζεται ανάλογα με:

Πληθωρισμό:

- Λήξη της 20ετούς περιόδου που προσδιορίζεται με κλασματική διάρκεια ζωής του λαμπτήρα

20ετής οικονομική ανάλυση του κύκλου ζωής φωτισμού των δρόμων

Δεδομένα

- 2 Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)
- 3 Κόστος λαμπτήρα
- 4 Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)
- 5 **Μηνιαία Τιμή Ενέργειας**
- 6 Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα
- 7 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)

Υπολογισμοί

- 8 Ετήσια χρήση (Ωρες/έτος)
- 9 Ετήσια κόστη ενέργειας 1.309
- 10 Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας
- 11 Νο. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια
- 12 Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα

13 Κόστος του κύκλου ζωής

- 14 Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)
- 15 20ετής δαπάνες ενέργειας (χωρίς πληθωρισμό)
- 16 20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)
- 17 20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα
- 18 **20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής**
- 19 **Ετήσια Κόστη LC**

Συντελεστής Πληθωρισμού

2,5%

	150 Watt	250 Watt
	HPS	HPS
	\$ 150,00	\$ 175,00
	\$ 15,00	\$ 17,50
	24.000	24.000
	\$ 8,09	\$ 13,16
	\$ 3,00	\$ 3,50
	\$ 41,17	\$ 44,17
	4160	4160
	\$ 97,08	\$ 157,92
	5,77	5,77
	3,5	3,5
	4,76	4,76
	\$ 189	\$ 214
	\$ 1.942	\$ 3.158
	\$ 2.542	\$ 4.135
	\$ 196	\$ 210
	\$ 2.927	\$ 4.559
	\$ 146	\$ 228
	150 Watt	250 Watt
	HPS	HPS

Συντελεστής Πληθωρισμού Λαμπτήρα

- ❖ "1's" καθορίζεται για κάθε αντικατάσταση λαμπτήρα
- ❖ Για το 20ό έτος, ευθύνεται για μερική κατανάλωση του λαμπτήρα με δεκαδικό ή κλάσμα
- ❖ Ο συντελεστής πληθωρισμού λαμβάνει υπόψη τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα
- ❖ Συντελεστής Λαμπτήρα = Συντελεστής Συντήρησης

Έτος	Συντελεστής Πολλ.
1	1,025
2	1,051
3	1,077
4	1,104
5	1,131
6	1,160
7	1,189
8	1,218
9	1,249
10	1,280
11	1,312
12	1,345
13	1,379
14	1,413
15	1,448
16	1,485
17	1,522
18	1,560
19	1,599
20	1,639
Μ.Ο.	1,309

Συντελεστές Πληθωρισμού Λαμπτήρων

Έτος	Μέτρηση Αντικ/σης	Συντελεστής
1		
2		
3	1	1,077
4		
5		
6		
7	1	1,189
8		
9		
10	1	1,280
11		
12		
13		
14	1	1,413
15		
16		
17	1	1,522
18		
19		
20	0,55	0,896

5,55	7,38
Αριθμός	Συντελεστής
Λαμπτήρων	Πληθωρισμού

Ετήσια Τιμή Πληθωρισμού	2,5%
--------------------------------	-------------

ηper	1
ργmt	0
PV	\$1,00

Επαγωγής

Διάρκεια Λαμπτήρα	100.000	Ώρες
Ετήσια Καύση	4160	Ώρες
Διάρκεια Λαμπτήρα	24,04	Έτη

Έτος	Συντελεστής Πολλ.
1	1,025
3	1,077
5	1,131
7	1,189
9	1,249
11	1,312
13	1,379
16	1,485
18	1,560
20	1,639

Έτος	Μέτρηση Αντικ/σης	Συντελεστής
1		
3		
5		
7		
9		
11		
13		
16		
18		
20	0,83	1,36

Συντελεστές Πληθωρισμού Λαμπτήρων

Αριθμός Λαμπτήρων	Συντελεστής Πληθωρισμού
----------------------	----------------------------

Συντελεστής Πληθωρισμού Λαμπτήρα

- Ο πληθωρισμός λαμπτήρα είναι το προϊόν του ετήσιου πληθωρισμού και των εξόδων λαμπτήρα
- Ο ρυθμός πληθωρισμού μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί

20ετής οικονομική ανάλυση του κύκλου ζωής φωτισμού των δρόμων

Δεδομένα

- 2 Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)
 3 Κόστος λαμπτήρα
 4 Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)
 5 **Μηνιαία Τιμή Ενέργειας**
 6 Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα
 7 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)

Υπολογισμοί

- 8 Ετήσια χρήση (Ωρες/έτος)
 9 Ετήσια κόστη ενέργειας 1.309
 10 Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας
 11 Νο. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια
 12 Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα

13 Κόστος του κύκλου ζωής

- 14 Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)
 15 20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)
 16 20ετής δαπάνες ενέργειας (χωρίς πληθωρισμό)
 17 20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα

18 20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής

19 Ετήσια Κόστη LC

Συντελεστής Πληθωρισμού

2,5%

85 Watt Επαγωγής	85 Watt Επαγωγής
\$ 450,00	\$ 515,00
\$ 75,00	\$ 100,00
100.000	100.000
\$ 3,40	\$ 6,59
\$ 20,00	\$ 25,00
\$ 118,17	\$ 148,17
4160	4160
\$ 40,80	\$ 79,08
24,04	24,04
0,83	0,83
1,36	1,36
\$ 489	\$ 554
\$ 816	\$ 1.582
\$ 1.068	\$ 2.071
\$ 161	\$ 202
\$ 1.719	\$ 2.827
\$ 86	\$ 141
85 Watt Επαγωγής	85 Watt Επαγωγής

20ετή έξοδα κύκλου ζωής – Προσδιορισμός των εξόδων

- Αρχικό φωτιστικό + εγκατάσταση
- Ενέργεια με πληθωρισμό
- Δαπάνες συντήρησης (κόστη λαμπτήρα)
- Όχι στραγγαλιστικό πηνίο, φωτοηλεκτρικά κύτταρα, ή άλλα κόστη που να εξετάζονται στην παρούσα ανάλυση

Δεδομένα

- 1 Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)
- 2 Κόστος λαμπτήρα
- 3 Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)
- 4 **Μηνιαία Τιμή Ενέργειας**
- 5 Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα
- 6 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)

Υπολογισμοί

- 7 Ετήσια χρήση (Ωρες/έτος)
- 8 Ετήσια κόστη ενέργειας (συμπ/νου του πληθωρισμού)
- 9 Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας
- 10 Νο. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια
- 11 Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα

Κόστος του κύκλου ζωής

- 12 Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)
- 13 20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)
- 14 20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα
- 15 **20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής**

16 Ετήσια Κόστη LC

Συντελεστής Πληθωρισμού

2,5%

250 Watt	165 Watt
<u>HPS</u>	<u>Επαγωγής</u>
\$ 175,00	\$ 515,00
\$ 17,50	\$ 100,00
24.000	100.000
\$ 13,16	\$ 6,59
\$ 3,50	\$ 25,00
\$ 44,17	\$ 148,17
4160	4160
\$ 157,92	\$ 79,08
5,77	24,04
3,5	0,83
4,76	1,36
\$ 214	\$ 554
\$ 4.135	\$ 2.071
\$ 210	\$ 202
\$ 4.559	\$ 2.827
<u>\$ 228</u>	<u>\$ 141</u>
250 Watt	165 Watt
<u>HPS</u>	<u>Επαγωγής</u>

Διάφορα έξοδα αντικειμένου – προσδιορισμός εξόδων

- Κόστος υλικών
- Τιμές LS – 2 της SDG&E
- Ενέργεια με πληθωρισμό κατά μέσο όρο 20 ετών
- Σταθμισμένα κόστη λαμπτήρα

<u>Δεδομένα</u>	165 Watt
Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)	<u>Επαγωγής</u>
Κόστος λαμπτήρα	\$ 515,00
Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)	\$ 100,00
Μηνιαία Τιμή Ενέργειας	100.000
Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα	\$ 6,59
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)	\$ 25,00
<u>Υπολογισμοί</u>	\$ 148,17
Ετήσια κόστη ενέργειας	\$ 79,08
Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας	24,04
No. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια	0,83
Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα	1,36
<u>Κόστος του κύκλου ζωής</u>	
Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)	\$ 554
20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)	\$ 2.071
20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα	<u>\$ 202</u>
20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής	\$ 2.827

Υπολογισμός αποπληρωμής Επιτροπής Ενέργειας της California (CEC)

- Απλή αποπληρωμή
- Για τις μετατροπές δεν αφαιρείται το κόστος της υπάρχουσας τεχνολογίας
- Πρέπει να είναι μικρότερη από 10 έτη για δάνεια CEC

Δεδομένα

- 1 Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)
- 2 Κόστος λαμπτήρα
- 3 Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)
- 4 **Μηνιαία Τιμή Ενέργειας**
- 5 Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα
- 6 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)

Υπολογισμοί

- 7 Ετήσια χρήση (Ωρες/έτος)
- 8 Ετήσια κόστη ενέργειας
- 9 Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας
- 10 Νο. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 έτη
- 11 Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα

Κόστος του κύκλου ζωής

- 12 Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)
- 13 20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)
- 14 20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα
- 15 **20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής**
- 16 **Ετήσια Κόστη LC**

Συντελεστής Πληθωρισμού

2,5%

150 Watt	85 Watt
HPS	Επαγωγής
\$ 150,00	\$ 450,00
\$ 15,00	\$ 75,00
24.000	100.000
\$ 8,09	\$ 3,40
\$ 3,00	\$ 20,00
\$ 41,17	\$ 118,17
4160	4160
\$ 97,08	\$ 40,80
5,77	24,04
3,5	0,83
4,76	1,36
\$ 189	\$ 489
\$ 2.542	\$ 1.068
\$ 196	\$ 161
\$ 2.927	\$ 1.719
\$ 146	\$ 86
<u>150 Watt</u>	<u>85 Watt</u>
HPS	Επαγωγής
Αποπληρωμή CEC 85 W Επ	

150 Watt HPS

8,7

Υπολογισμός αποπληρωμής με χρήση Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LC):

- LC
- Για τις μετατροπές μπορεί να μην αφαιρεθεί το κόστος της υπάρχουσας τεχνολογίας

	250 Watt HPS	165 Watt Επαγωγής
<u>Δεδομένα</u>		
1 Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)	\$ 175,00	\$ 515,00
2 Κόστος λαμπτήρα	\$ 17,50	\$ 100,00
3 Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)	24.000	100.000
4 Μηνιαία Τιμή Ενέργειας	\$ 13,16	\$ 6,59
6 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)	\$ 44,17	\$ 148,17
<u>Υπολογισμοί</u>		
8 Ετήσια κόστη ενέργειας (συμπ/νου του πληθωρισμού)	\$ 157,92	\$ 79,08
9 Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας	5,77	24,04
10 Νο. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια	3,5	0,83
11 Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα	4,76	1,36
<u>Κόστος του κύκλου ζωής</u>		
12 Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)	\$ 214	\$ 554
13 20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)	\$ 4.135	\$ 2.071
14 20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα	\$ 210	\$ 202
15 20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής	\$ 4.559	\$ 2.827
16 Ετήσια Κόστη LC	<u>\$ 228</u>	<u>\$ 141</u>
Συντελεστής Πληθωρισμού	250 Watt	165 Watt
2,5%	HPS	Επαγωγής
	165 W Επ	
250 Watt HPS	6,4	Αποπληρωμή

Σύγκριση αποπληρωμών μεταξύ HPS, Επαγωγής, LED – Μη αναμενόμενα αποτελέσματα:

- Κόστη λαμπτήρα
- Πληθωρισμός εξαρτώμενος από κόστη LC
- Δεν αποπληρώνονται οι λαμπτήρες LED θερμοκρασίας 3500K

Δεδομένα

1 Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)

6 Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)

Υπολογισμοί

8 Ετήσια κόστη ενέργειας (συμπ/νου του πληθωρισμού)

9 Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας

10 Νο. Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 χρόνια

11 Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα

Κόστος του κύκλου ζωής

12 Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)

13 20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)

14 20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα

15 **20ετή Έξοδα Κύκλου Ζωής**

16 **Ετήσια Κόσμη LC**

Συντελεστής Πληθωρισμού

2,50%

Αποπληρωμές

250 W HPS

250 Watt HPS	165 Watt Επαγωγής	198 Watt LED
\$ 175,00	\$ 515,00	\$ 1.071,00
\$ 44,17	\$ 148,17	\$ 930,67
\$ 157,92	\$ 79,08	\$ 94,92
5,77	24,04	12,02
3,5	0,83	1,66
4,76	1,36	2,43
\$ 214	\$ 554	\$ 1.110
\$ 4.135	\$ 2.071	\$ 2.485
\$ 210	\$ 202	\$ 2.264
\$ 4.559	\$ 2.827	\$ 5.860
\$ 228	\$ 141	\$ 293
250 Watt HPS	165 Watt Επαγωγής	198 Watt LED

LC	CEC
165 Watt Επαγωγή	
6,4	7,0

LC	CEC
198Watt LED	
(17,1)	17,6

Συμπέρασμα:

- Τα οικονομικά αποτελέσματα προτείνουν την επαγωγή
- Οι μετατροπές με λαμπτήρες LED θερμοκρασίας 3500K δεν αποπληρώνονται
- Κάθε οργανισμός θα έχει μοναδικές συνθήκες, οι οποίες δεν εξετάζονται σε αυτή την ανάλυση
- Σημείωση: Οι δαπάνες και η ισχύς των LED αυξήθηκαν λόγω της θερμοκρασίας χρώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση των δύο τεχνολογιών, LED και επαγωγής, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τα αποτελέσματα της υποκειμενικής και αντικειμενικής έρευνας, η οποία πραγματοποιήθηκε στην πόλη του San Diego. Η διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, όσον αφορά την καταλληλότερη επιλογή για φωτισμό δρόμων, επιτυγχάνεται με συγκριτική ανάλυση των τεχνολογιών ως προς τους παρακάτω τομείς:

- **Απόδοση**

Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής εκφράζει την ποσότητα των παραγόμενων Lumen ανά καταναλισκόμενο W.

- **Φασματική κατανομή**

Η φασματική κατανομή της εξόδου, ενός φωτιστικού συστήματος, είναι η μέτρηση της ποσότητας φωτός την οποία παράγει για κάθε μήκος κύματος.

- **Συντελεστή S/P**

Ο δείκτης «S/P» ή αλλιώς η αναλογία της σκοτοπικής/φωτοπικής ακτινοβολίας μιας φωτεινής πηγής, είναι το πηλίκο της φωτεινής ροής μιας πηγής φωτός ως προς την φωτοπική συνάρτηση ευαισθησίας $V(\lambda)$, δια την φωτεινή ροή ως προς την σκοτοπική συνάρτηση ευαισθησίας $V'(\lambda)$.

- **Διάρκεια ζωής**

Ένα μείζον θέμα για την επιλογή λαμπτήρων φωτισμού εξωτερικών χώρων είναι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής τους. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σημαίνει μειωμένο κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων, και σε ορισμένες περιπτώσεις μηδενική συντήρηση.

- **Συντελεστή ισχύος και THD**

Συντελεστής ισχύος: Όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής ισχύος, τόσο αυξάνονται οι απώλειες στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, όσο χαμηλός είναι ο συντελεστής ισχύος, τόσο αυξημένο είναι το ενεργειακό κόστος για τη λειτουργία ενός φωτιστικού συστήματος.

Συντελεστής THD: Η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης και του ρεύματος του συστήματος είναι δυνατό να επηρεάσει τις απώλειες ενέργειας των φωτιστικών συστημάτων και επομένως το ενεργειακό κόστος για τον φωτισμό ενός χώρου.

- **Ανάλυση κόστους φωτισμού**

Το κόστος αποτελεί ίσως τον κυριότερο παράγοντα επιλογής ενός φωτιστικού και η τεchnοοικονομική ανάλυση κρίνεται απαραίτητη κατά την επιλογή του τύπου λαμπτήρα, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για τον φωτισμό ενός χώρου.

- **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

- Εξοικονόμηση ενέργειας – Μείωση εκπομπών
- Χρήση υδραργύρου

➤ Ανακύκλωση

Λόγω της ανάγκης σε παγκόσμιο επίπεδο για την αντιμετώπιση του φαινομένου της παγκόσμιας θέρμανσης και της κλιματικής αλλαγής, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες συνδέονται με τη χρήση ενός τύπου λαμπτήρα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή για φωτισμό οδών.

- **Αντοχή σε ακραίες θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος**

Τα φωτιστικά συστήματα, για χρήση σε οδικό φωτισμό, ανάλογα την εποχή και τον τόπο στον οποίο βρίσκονται, υπόκεινται σε ακραίες θερμοκρασίες, πολύ συχνά, ίσως και συνέχεια. Κάποια φωτιστικά συστήματα εμφανίζουν καλύτερη λειτουργία και απόδοση υπό μεγαλύτερες θερμοκρασίες και άλλα σε χαμηλούς βαθμούς κελσίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ

3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

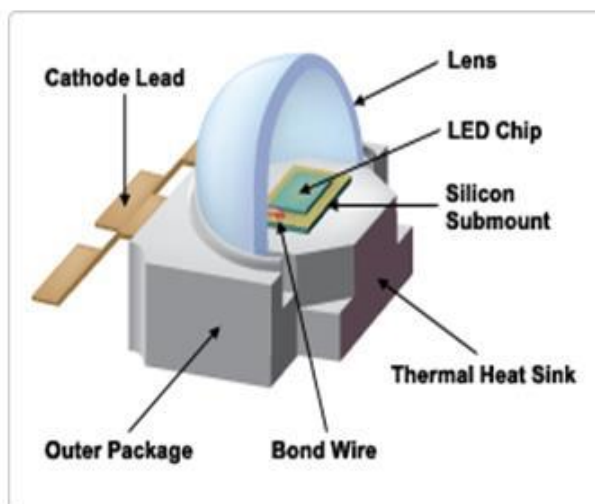
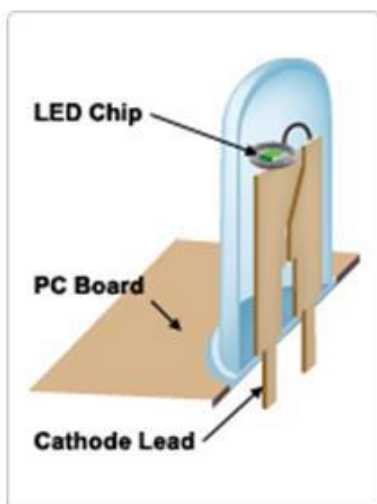
Light Emitting Diodes (LED)

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 ημιαγωγικών υλικών που τα συνιστούν. Ειδικότερα οι διόδους 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 διόδους 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 υπέρυθη ακτινοβολία. Η φασματική κατανομή του παραγόμενου φωτός εξαρτάται από το μέγεθος της χαμηλής τάσης που θα εφαρμοστεί στις διόδους.

Τα στοιχεία LED χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

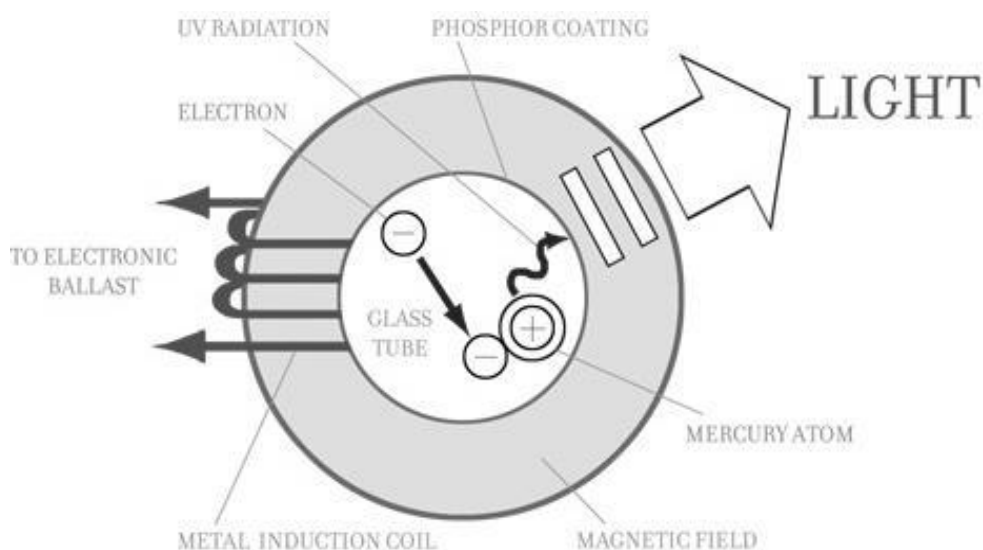
- LED ετεροεπαφής υψηλής εντάσεως
- LED εκπομπής άκρου
- LED εκπομπής επιφάνειας

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι συνήθως ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενίου.



Λαμπτήρες επαγωγής

Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των λαμπτήρων φθορισμού, με μία όμως διαφορά. Οι λαμπτήρες φθορισμού χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια για να διεγείρουν τα άτομα υδραργύρου που βρίσκονται μέσα στο σωλήνα. Αντίθετα, στους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής **κανένα** ηλεκτρόδιο δεν υπάρχει μέσα στον λαμπτήρα και η μετάδοση της ενέργειας γίνεται με την αρχή της επαγωγής, δηλαδή με μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από τον **σφραγισμένο** σωλήνα του λαμπτήρα, μέσω δύο πηνίων.



3.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Μια διαφορά μεταξύ των λαμπτήρων LED και των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής αποτελεί η ενεργειακή τους απόδοση. Ως ενεργειακή απόδοση ή απόδοση μετατροπής, ονομάζουμε την ποσότητα του φωτός που εκπέμπει ένας λαμπτήρας προς ένα δεδομένο ποσό ενέργειας. Η μονάδα μέτρησης της απόδοσης είναι τα Lumen/Watt ή πιο σύντομα L/W.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εσωτερικού επαγωγέα έχουν απόδοση 60-78 Lm/W, ενώ οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εξωτερικού επαγωγέα 75-85 Lm/W. Η απόδοση των φωτιστικών συστημάτων LED έχει μεγάλο εύρος τιμών ανάλογα με τον εκάστοτε τύπο και την αρχιτεκτονική του. Είναι χαρακτηριστικό ότι εμπορικά διαθέσιμα είναι συστήματα φωτισμού LED τα οποία παρουσιάζουν απόδοση από 17 Lm/W έως και 200 Lm/W.

Στην περίπτωση, ωστόσο, των συστημάτων φωτισμού LED οι υψηλές αυτές αποδόσεις επιτυγχάνονται σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες και σε εργαστηριακό περιβάλλον με την μέση απόδοση των εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων φωτισμού LED να είναι 46 Lm/W σύμφωνα με το Τμήμα Ενέργειας των ΗΠΑ (με εύρος απόδοσης σε πραγματικές συνθήκες 17 – 79 Lm/W).

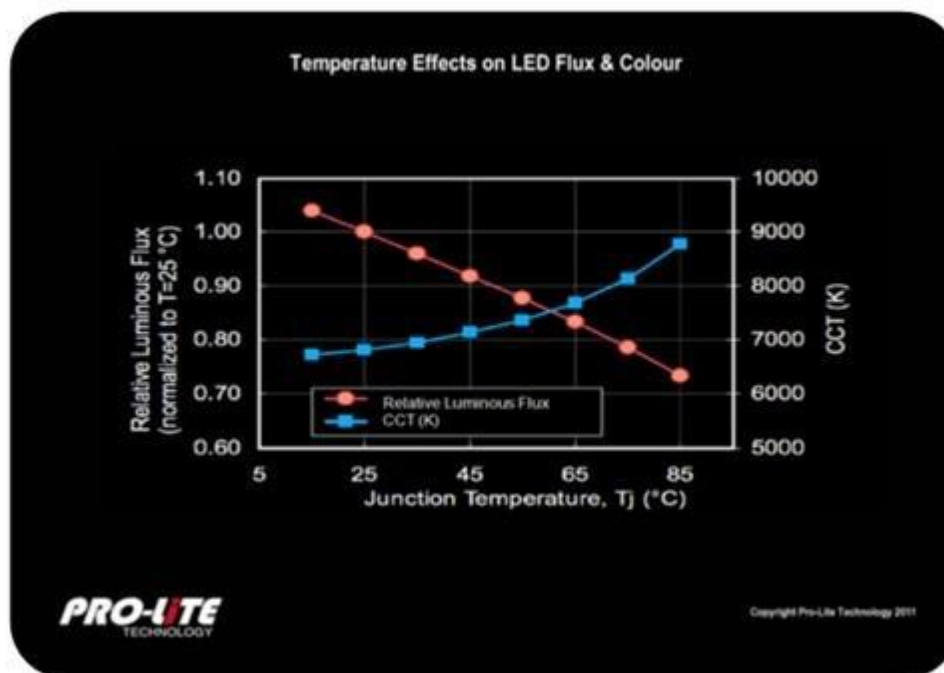
Είναι πάρα πολύ δύσκολο να επιτύχουμε υψηλή ενεργειακή απόδοση στους λαμπτήρες LED, προς το παρόν, σε πραγματικές συνθήκες και ειδικά σε συνθήκες οδικών φωτισμών, λόγω των τρομερά υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό τους.

Το LED ως συσκευή αποτελείται από διάφορα επιμέρους εξαρτήματα. Υπάρχει η ψηφίδα η οποία εκλύει σχεδόν μονοχρωματική μπλε ακτινοβολία, ο φώσφορος ο οποίος απορροφά την μπλε, και επανακτινοβολεί λευκή με κάποιες απώλειες. Υπάρχει ακόμα ο προστατευτικός φακός της ψηφίδας, καθώς και η βάση στην οποία όλα τα παραπάνω τοποθετούνται. Όλα τα επιμέρους αυτά εξαρτήματα, συμβάλλουν με διαφορετικό τρόπο στην γήρανση του LED ως συνόλου λόγω θερμότητας.

Υπάρχουν πολλά υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της ψηφίδας. Οι κατασκευαστές LED σπάνια δίνουν πληροφορίες για την θερμική απόδοση των υλικών αυτών. Τα στοιχεία που παρέχουν αφορούν το LED ως σύνολο και όχι κάθε εξάρτημα ξεχωριστά. Υπάρχει μια απόλυτη θερμοκρασία πέραν της οποίας η ψηφίδα παύει να λειτουργεί. Όταν όμως η ψηφίδα βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη κάποιων ορίων, αλλάζει το φάσμα εκπομπής της πέραν του μονοχρωματικού μπλε. Ακόμη και μια μικρή αλλαγή στο φάσμα ακτινοβολίας της ψηφίδας έχει την δυνατότητα να επηρεάσει την ικανότητα του φωσφόρου να απορροφήσει την ακτινοβολία, με αποτέλεσμα την πτώση της απόδοσης του LED.

Οι φώσφοροι είναι τα συστατικά που επηρεάζονται πιο πολύ από την αύξηση της θερμοκρασίας τους. Χάνουν την απόδοσή τους όσον αφορά την απορρόφηση

συγκεκριμένων μηκών κύματος, ρίχνοντας την ολική απόδοση. Μάλιστα, οι φώσφοροι που εκλύουν το κόκκινο χρώμα έχουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην αύξηση της θερμοκρασίας, και η επίλυση αυτού του ζητήματος αποτελεί πεδίο επιστημονικής έρευνας.



Εικόνα 3-1: Μεταβολή φωτεινής ροής / Θερμοκρασίας χρώματος με θερμοκρασία διεπιφάνειας

Ο προστατευτικός φακός της ψηφίδας του LED πρέπει να είναι ανθεκτικός και συνάμα οπτικά καθαρός. Η τελευταία παράμετρος είναι το πρόβλημα που προκύπτει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η έκθεση του φακού σε υψηλές θερμοκρασίες του προσδίδει ένα κιτρινωπό χρώμα, αλλάζοντας το φάσμα εκπομπής της ψηφίδας και κατά συνέπεια την απόδοση του LED. Επιπλέον, η βάση θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη να αντέχει υψηλές θερμοκρασίες και για μεγάλη διάρκεια. Σε μερικές περιπτώσεις παίρνει κιτρινωπό χρώμα και επηρεάζει με τον δικό του τρόπο την απόδοση του LED. Σε ανακοίνωσή της η εταιρεία Cree το 2010 δήλωσε πως, «ο κύριος λόγος ποιοτικής υποβάθμισης και γήρανσης του LED είναι η ίδια του η βάση».

Φυσικά, η συνολική έξοδος ενός φωτιστικού εξαρτάται επίσης από το πόσο φως απορροφάται από το ίδιο το φωτιστικό, καθώς η απορρόφηση φωτός αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω βρώμικων καλυμμάτων γυαλιού ή πλαστικού που λειτουργούν ως ανακλαστικές επιφάνειες [39]. Αν τα φωτιστικά δεν καθαρίζονται και δεν συντηρούνται τακτικά, η συνεισφορά στη συνολική μείωση της απόδοσης μπορεί να είναι μεγαλύτερη από εκείνη της πηγής.

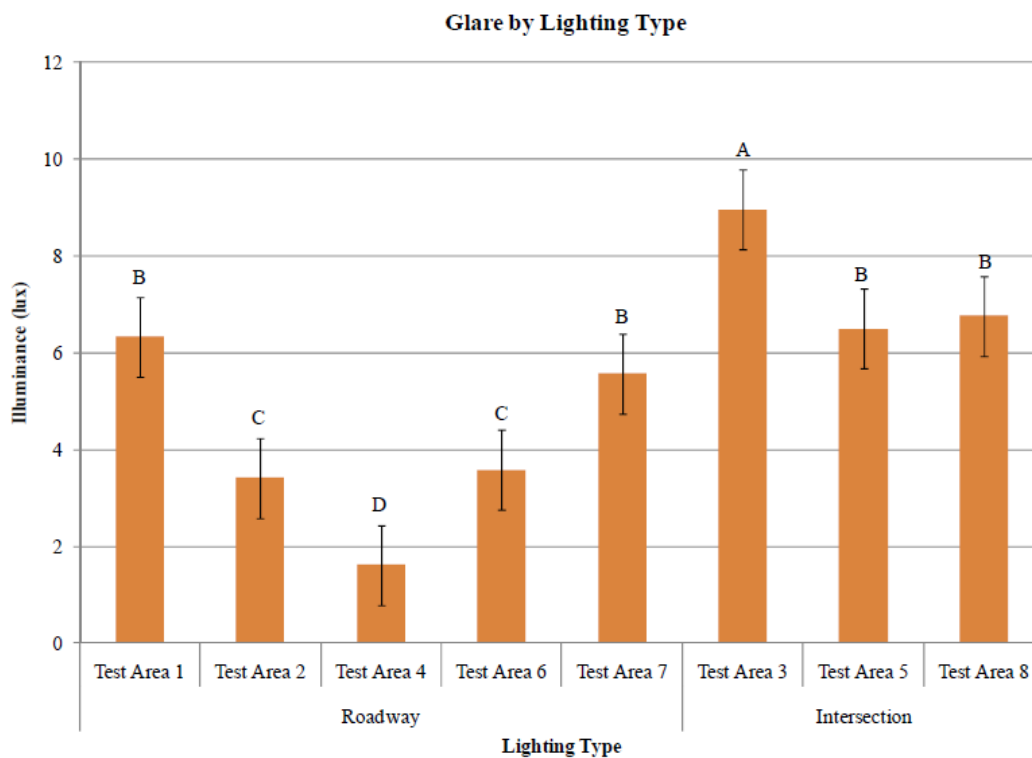
Όσον αφορά τα εξεταζόμενα φωτιστικά, σύμφωνα και με τις παραπάνω παρατηρήσεις εύλογα προέκυψε ότι οι αποδόσεις τους, όπως παρουσιάζονται και στον πίνακα, είναι 42,05 L/W για το φωτιστικό LED των 198 W, ενώ για το φωτιστικό

επαγωγής των 165 W είναι 72,72 L/W. Ο επαγωγικός λαμπτήρας παράγει φωτεινή ροή των 12.000 L, ενώ ο λαμπτήρας LED 8325 L.

Δοκιμαστική Περιοχή	Λαμπρότητα (cd/m ²)					Ένταση φωτισμού κατά βαθμό (lux)					Λαμπρότητα Πέπλου	STV
	Μέση	Μεγ.	Ελαχ.	Μέση/Ελαχ.	Μεγ/Ελαχ.	Μέση	Μεγ.	Ελαχ.	Μέση/Ελαχ.	Μεγ/Ελαχ.	$L_{Vμεγ}/L_{μέση}$	
1	0,49	0,92	0,29	1,69	3,17	9,34	17,3	4,56	2,05	3,8	0,17	2,09
2	0,4	0,85	0,24	1,67	3,54	8,41	23,2	3,11	2,7	7,45	0,17	1,97
3	0,4	0,58	0,28	1,43	2,07	8,78	16,8	3,2	2,74	5,24	0,11	1,85
4	0,34	1,27	0,07	4,86	18,1	9,21	40,1	1,36	6,77	29,5	0,1	1,61
5	0,71	1,15	0,47	1,51	2,45	8,67	10,9	7,1	1,22	1,54	0,24	2,15
6	0,25	0,43	0,18	1,39	2,39	3,85	5,22	2,68	1,44	1,95	0,23	1,16
7	2	2,98	1,19	1,68	2,5	33,3	52,8	17,8	1,87	2,96	0,2	3,85
8	1,24	2,46	0,79	1,57	3,11	18,7	25,1	13,6	1,38	1,84	0,26	2,84

Πίνακας 3-1: Υπολογισμοί Φωτιστικών Συστημάτων

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εμφανίζουν σαφώς καλύτερη ενεργειακή απόδοση από τους λαμπτήρες LED για οδικό φωτισμό. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της έρευνας, από τους μετρητές του οχήματος τα φωτιστικά LED των δοκιμαστικών περιοχών 5 και 6 προσέφεραν τα χαμηλότερα επίπεδα έντασης φωτισμού ανάμεσα σε όλα τα συστήματα εναλλακτικού φωτισμού δρόμων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της έρευνας. Ένα αποτέλεσμα αναμενόμενο λόγω της ισχύος εξόδου. Ενώ και το φωτιστικό LED της περιοχής 4 παρείχε χαμηλότερη μέση ένταση φωτισμού. Αυτό οφειλόταν σε μη ομοιόμορφη κατανομή του φωτός και στο γεγονός ότι οι μετρήσεις ελήφθησαν στις λωρίδες κίνησης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του φωτός περιοριζόταν στη λωρίδα στάθμευσης κατά κύριο λόγο. Το φωτιστικό επαγωγής της περιοχής 3 παρουσίασε υψηλότερη μέση ένταση φωτισμού μεταξύ των πηγών ευρέως φάσματος της διασταύρωσης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, από τον πέμπτο μετρητή στο παρμπρίζ του οχήματος (εικόνα 3-2), οι εγκαταστάσεις επαγωγής εμφάνισαν, ωστόσο, υψηλότερες ενδείξεις θάμβωσης σε σχέση είτε με τον υπάρχων φωτισμό δρόμου είτε με την τεχνολογία LED. Αυτό ίσως προέκυψε λόγω λανθασμένης μελέτης.



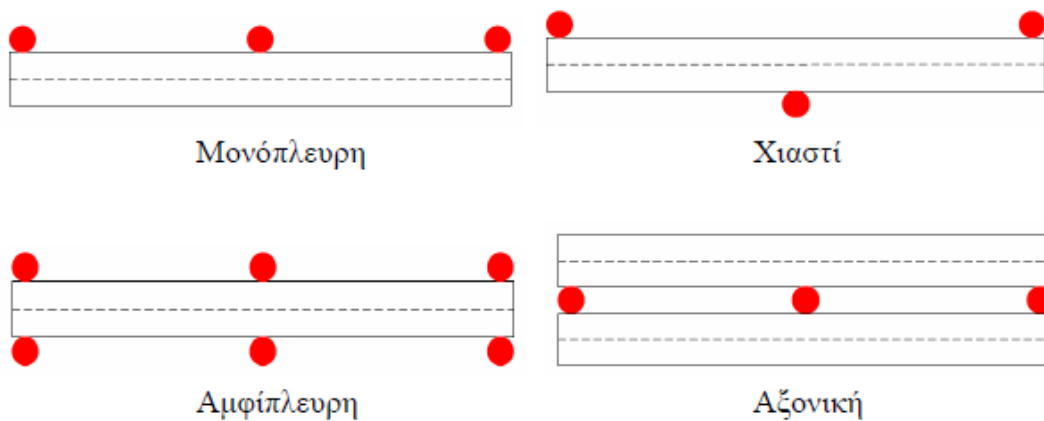
Εικόνα 3-2: Επίπεδα μέσης θάμβωσης ανά τοποθεσία

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 5m 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 προτείνεται να έχει τιμή μεγαλύτερη από 0,5.

Η καλή οπτική καθοδήγηση επιτυγχάνεται όταν η σειρά των φωτιστικών σωμάτων δίνει μία σαφή και μη παραπλανητική ένδειξη της πορείας του δρόμου.

Κάποιες βασικές έννοιες απαραίτητες για τον φωτισμό δρόμων είναι οι εξής:

- Καθορισμός θέσης: ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιασθεί να τοποθετηθούν οι ιστοί φωτισμού, δηλαδή μονόπλευρη, χιαστί, αμφίπλευρη και αξονική.



Εικόνα 3-3: Τρόποι τοποθέτησης ιστών φωτισμού

- Σχεδιασμός: Ο καθορισμός του κατάλληλου ιστού φωτισμού είναι σημαντικός για την ορθή λειτουργία του συστήματος, αφού ανάλογα με το ύψος του έχουμε αύξηση ή μείωση της αποτελεσματικότητας του φωτιστικού. Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα, θα πρέπει να συνυπολογίζονται η απόσταση και η πλευρική θέση των φωτιστικών όπως και ο τύπος και η απόδοση του φωτιστικού. Αυξάνοντας το ύψος του ιστού μπορεί να μειωθεί η ανεπιθύμητη θάμβωση και να καλυφθεί η φωτεινότητα. Γενικά με την αύξηση του ύψους στήριξης του φωτιστικού επιτρέπεται μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των ιστών φωτισμού. Το ύψος των ιστών πρέπει να κυμαίνεται από 7 έως 12m.
- Απόσταση φωτιστικών: Η απόσταση μεταξύ των φωτιστικών συχνά επηρεάζεται από την θέση των χρησιμοποιούμενων πόλων, την διαθέσιμη περιοχή και την γεωμετρία του δρόμου.

Στα πλαίσια της έρευνας, οι τοποθεσίες όλων των φωτιστικών ήταν καθορισμένες και σχεδιασμένες για την υπάρχουσα κατάσταση HPS 250W, δηλαδή η απόσταση και το ύψος στερέωσης των εναλλακτικών συστημάτων πραγματοποιήθηκαν στη θέση των υπαρχόντων φωτιστικών HPS. Ενδεχομένως, με σωστή διάταξη των φωτιστικών και κατάλληλη επιλογή απόστασης και ύψους να αποφεύγονταν οι υψηλές τιμές θάμβωσης και να επιτυγχάνονταν καλύτερη ομοιομορφία στο σύνολο. Η υψηλή θάμβωση δικαιολογεί επίσης την ελαφρώς μειωμένη απόσταση ορατότητας που παρατηρήθηκε σε κάποιες περιοχές με εγκαταστάσεις επαγωγής, όπου η περιοχή 3 (φωτιστικά επαγωγής) εμφάνισε χαμηλότερη απόσταση εντοπισμού και η δοκιμαστική περιοχή 4 (φωτιστικά LED) είχε την καλύτερη μέση απόσταση εντοπισμού, ωστόσο δεν διέφερε σημαντικά από τις περιοχές 1, 2 (φωτιστικά επαγωγής) ή την πλειοψηφία των διατάξεων φωτισμού της διασταύρωσης (φωτιστικά επαγωγής, LED, HPS). Αλλά όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην περιοχή 4 το φως κατανέμονταν έντονα στις λωρίδες στάθμευσης, στις πλευρές του δρόμου, πέραν των μετρητών έντασης φωτισμού αλλά σε ιδανική θέση για τον στόχο. Επιπλέον, εάν χρησιμοποιούνταν περισσότερα φωτιστικά ώστε να γινόταν το τμήμα δοκιμών μεγαλύτερο, ίσως παρατηρούνταν μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων φωτισμού. Όσον αφορά το υποκειμενικό κομμάτι της έρευνας οι συμμετέχοντες δεν έδειξαν έντονη προτίμηση ανάμεσα στα δύο είδη φωτισμού.

Τέλος, να σημειωθεί ότι στο σύνολό τους οι μετρήσεις δεν έλαβαν υπ' όψιν τον ρυθμιστικό παράγοντα «S/P», για τον οποίο θα γίνει αναφορά παρακάτω. Βέβαια, ο παράγοντας «S/P» θα τους διαφοροποιήσει ακόμα περισσότερο σε σχέση με την ενεργειακή τους απόδοση. Αν και οι κατασκευαστές φωτιστικών συστημάτων LED, για οδικό φωτισμό, τα τελευταία χρόνια έχουν κάνει μεγάλη προσπάθεια να εξομαλύνουν τις παραπάνω διαφορές με μεγάλη επιτυχία, εν τούτοις οι ενεργειακές αποδόσεις των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής είναι ακόμα, έστω και ελάχιστα, υψηλότερες.

3.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Το φως αποτελείται από ένα μίγμα ακτινοβολιών, τα χρώματα (μονοχρωματικές ακτινοβολίες) που γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι και έχουν μήκη κύματος από 380nm έως 760nm καθώς μεταβάλλονται από το μωβ χρώμα (380-420nm) προς το κόκκινο χρώμα (630-760nm), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [36]:

<u>Color</u>	<u>Wavelength (nm)</u>
<u>Red</u>	<u>760 - 630</u>
<u>Orange</u>	<u>630 - 590</u>
<u>Yellow</u>	<u>590 - 560</u>
<u>Green</u>	<u>560 - 490</u>
<u>Blue</u>	<u>490 - 440</u>
<u>Indigo</u>	<u>440 - 420</u>
<u>Violet</u>	<u>420 - 380</u>

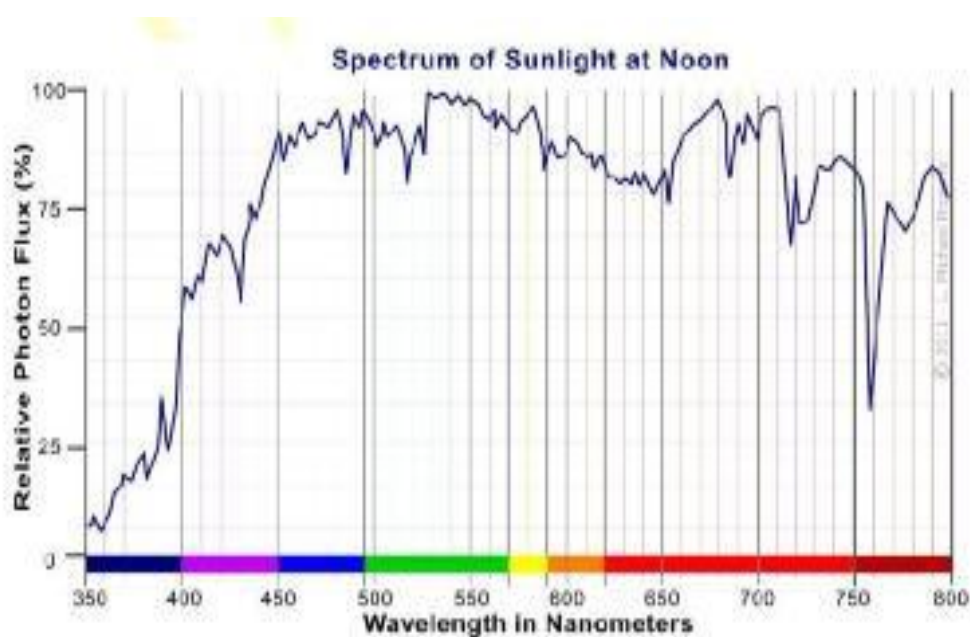
Πίνακας 3-2: Μήκη κύματος μονοχρωματικών ακτινοβολιών

Το χρώμα, δηλαδή, που γίνεται αντιληπτό από το μάτι υπάρχει μέσα στο φως που το μάτι το βλέπει άχρωμο. Οι διάφορες αποχρώσεις των σωμάτων που βλέπουμε γύρω μας δε σημαίνει ότι ζούμε σε έναν κόσμο έγχρωμων αντικειμένων, παρά μόνο ότι οι επιφάνειες αυτών ανακλούν ένα ορισμένο τμήμα από το φως που τις φωτίζει. Το φως των διαφόρων φωτεινών πηγών ποικίλει σε ποσοστό χρωματικής ακτινοβολίας που περιέχει. Αυτό καθορίζεται από την ενεργειακή φασματική κατανομή του.

Υπάρχει κάτι παραπάνω στο φάσμα από την τιμή της απλής θερμοκρασίας χρώματος της φωτεινής πηγής, όπως η κατανομή συχνότητας του φωτός που είναι επίσης ένα σημαντικό στοιχείο αυτού. Ενώ ο δείκτης χρωματικής απόδοσης παρέχει κατά κάποιο τρόπο γνώση όσον αφορά αυτό το στοιχείο της απόδοσης του φωτός, δεν αποτελεί μια πλήρη εικόνα της κατανομής. Τα διαγράμματα φασματικής κατανομής της εξόδου της φωτεινής πηγής είναι ο καλύτερος τρόπος ώστε να αρχίσουν να κατανοούνται πλήρως οι πηγές φωτός.

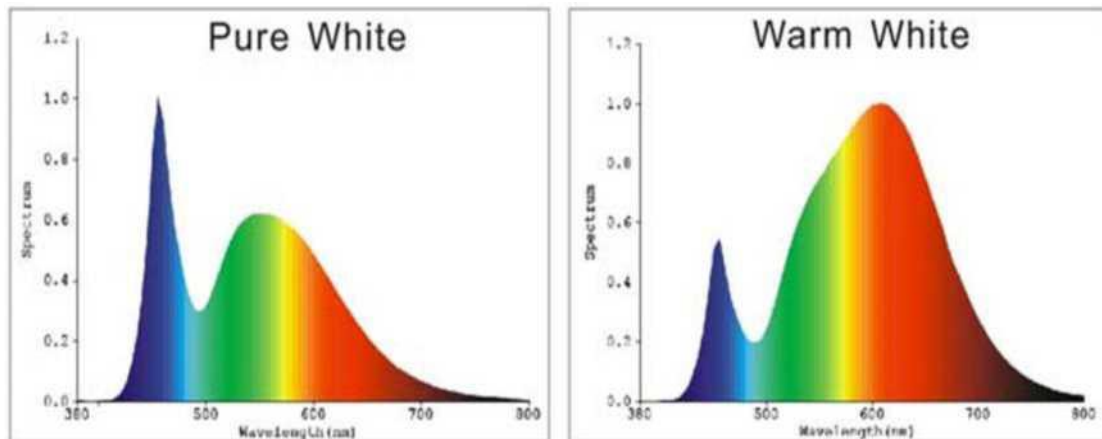
Η φασματική κατανομή μετράται με ένα όργανο το οποίο ονομάζεται φασματόμετρο (spectrometer). Το όργανο αυτό μετράει την ποσότητα εξόδου σε κάθε μήκος κύματος και τα δεδομένα του σχεδιάζονται σε ένα διάγραμμα, με δεδομένα την ένταση του φωτός σε σχέση με το μήκος κύματος. Ως μέτρο σύγκρισης για την φασματική κατανομή εξόδου των λαμπτήρων έχουμε την φασματική κατανομή του φωτός του ηλίου, η οποία προφανώς δεν είναι ίδια όλες τις ώρες της ημέρας. Το ηλιακό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζει χρωματική θερμοκρασία 20000K με καθαρό και γαλανό ουρανό. Αυτή φθάνει έως και τους 4000K όταν ο ήλιος δύει. Πολύ μεγάλο, λοιπόν, ρόλο στην φασματική κατανομή του ηλιακού φωτός παίζει η γωνία του ήλιου την δεδομένη χρονική περίοδο αλλά και την ώρα της ημέρας, η ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά και οι καιρικές συνθήκες.

Το παρακάτω διάγραμμα αποτελεί, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [21] μία τυπική φασματική κατανομή του ηλιακού φωτός, με αίθριο καιρό, το μεσημέρι.



Εικόνα 3-4: Φασματικό διάγραμμα ηλιακού φωτός υπό συνθήκες

Το τελικό οπτικό αποτέλεσμα των λαμπτήρων LED έχει εξάρτηση από το υλικό των ημιαγωγών, τα χημικά πρόσθετα και το περίβλημα του φωτιστικού σώματος. Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι συνήθως ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου ή ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και αρσενίου [23].



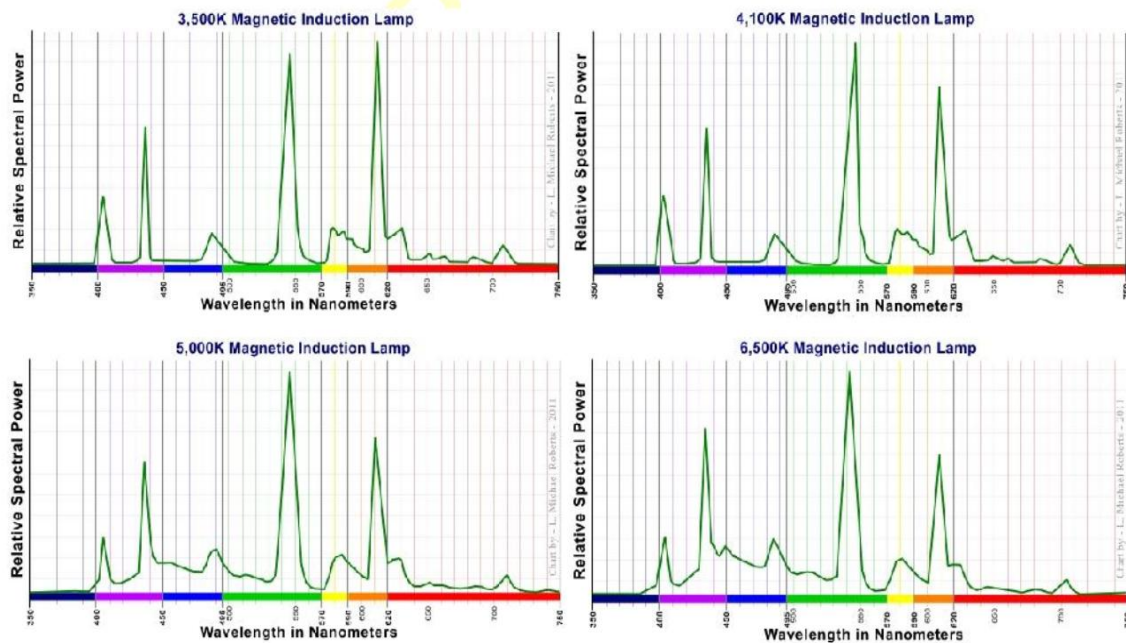
Εικόνα 3-5: Φασματική διαφορά εκπομπής του ψυχρού λευκού με το ζεστό λευκό [23]

Η ακτινοβολία η οποία παράγεται από την ψηφίδα του LED είναι πολύ μικρού φάσματος, σχεδόν μονοχρωματική. Η διεύρυνση του φάσματος είναι δυνατό να επιτευχθεί με την χρήση φωσφόρων, οι οποίοι διεγείρονται από την ακτινοβολία του LED. Διατίθενται κόκκινα, πράσινα και πορτοκαλί LED, καθώς και λευκά τα οποία είναι δυο ειδών:

- Με χρήση φωσφόρου, ο οποίος απορροφά το μπλε και το επανεκπέμπει ως λευκό.
- Με χρήση ενός συνδυασμού από ψηφίδες οι οποίες εκπέμπουν διαφορετικό χρώμα (κόκκινο, πράσινο, μπλε). Τα μεμονωμένα χρώματα αναμειγνύονται σε ένα ενιαίο λευκό χρώμα.

Το πρώτο είδος, που μας απασχολεί, είναι προτιμότερο από τους κατασκευαστές, καθώς οι φώσφοροι είναι δυνατό να ακτινοβολήσουν διάφορα είδη λευκού φωτός. Επομένως, υφίσταται ποικιλία στις διαθέσιμες θερμοκρασίες χρώματος, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο και οφείλει να επιλέγεται σε άμεση συνάρτηση με την εφαρμογή [23].

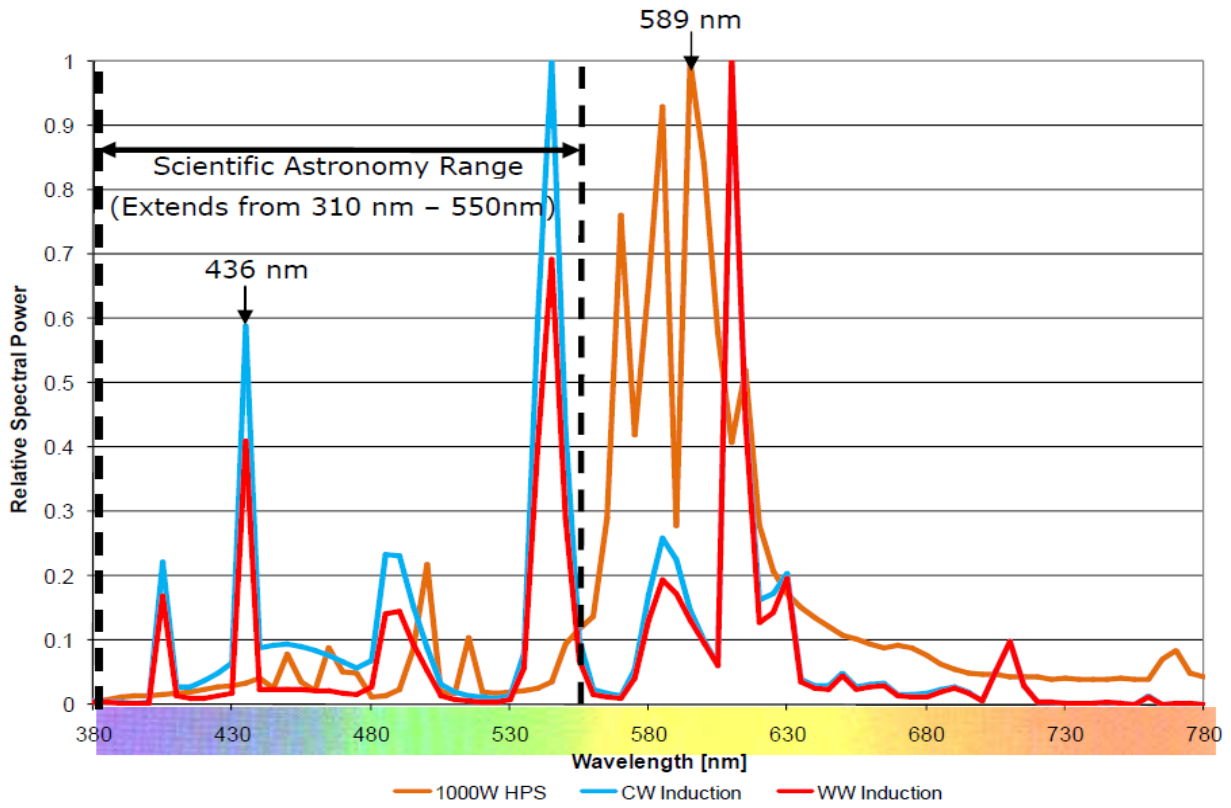
Όσον αφορά τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, η φασματική κατανομή εξαρτάται από την εκάστοτε υλοποίηση και τη θερμοκρασία χρώματος την οποία παράγουν. Τυπικές φασματικές κατανομές λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής δίδονται στο παρακάτω σχήμα.



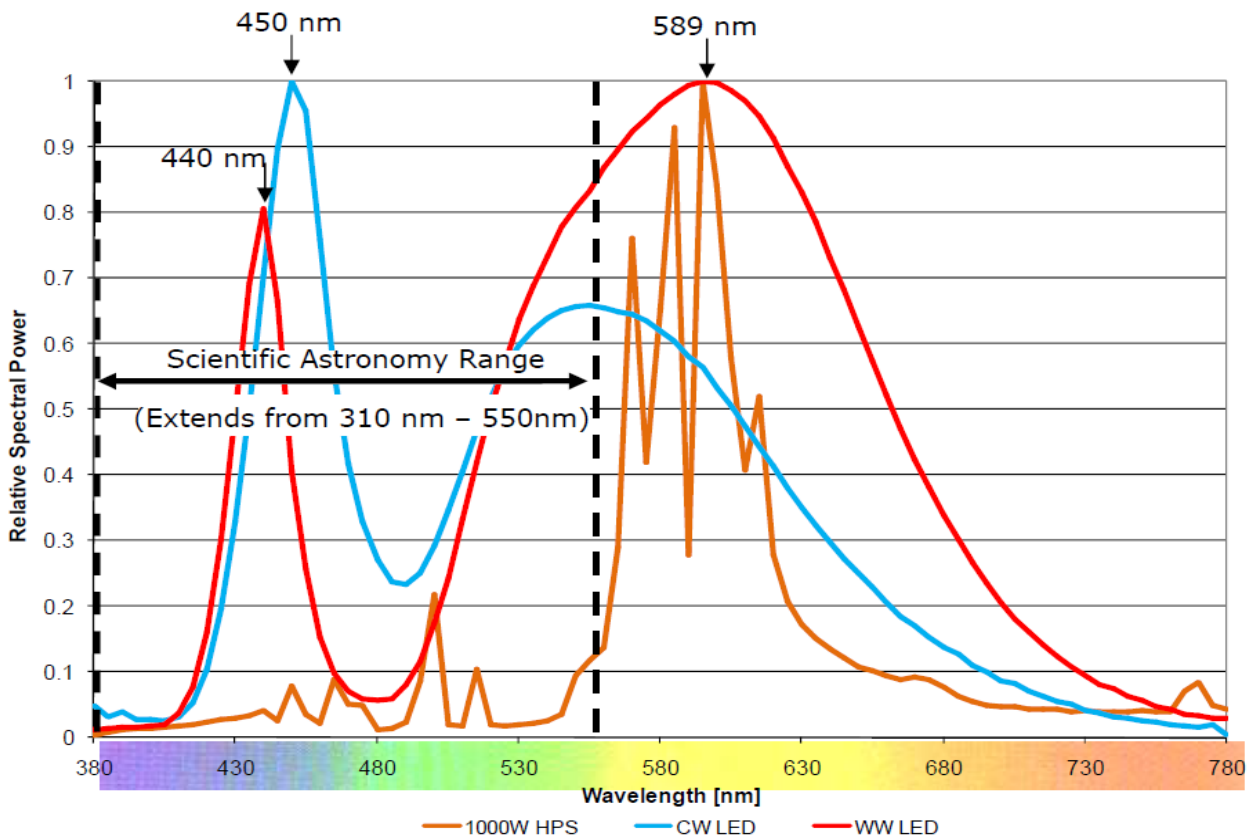
Εικόνα 3-6: Τυπικές φασματικές κατανομές λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής [22]

Στη περίπτωση της πόλης του San Diego, όπου και διεξήχθη η έρευνα, η φασματική κατανομή αποτελεί επιπλέον παράγοντα ελέγχου λόγω της εγγύτητας του αστροσκοπίου. Η αστρονομική κοινότητα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το φως μικρού μήκους κύματος και επιδιώκει να μειωθεί αυτού του είδους η φωτορύπανση.

Στη συνέχεια, ακολουθούν τα φασματικά διαγράμματα που προέκυψαν για τις φωτεινές πηγές της έρευνας. Τα διαγράμματα αυτά συνάδουν με τις πληροφορίες της βιβλιογραφίας.



Εικόνα 3-7: Καμπύλες φασματικές κατανομής για σύγκριση πηγών HPS και επαγωγής



Εικόνα 3-8: Καμπύλες φασματικές κατανομής για σύγκριση πηγών HPS και LED

Όπως φαίνεται, οι λαμπτήρες επαγωγής παρουσιάζουν ελαφρώς καλύτερες φασματικές κατανομές εξόδου από αυτές των λαμπτήρων LED, το οποίο είναι λογικό, καθώς οι καμπύλες των λαμπτήρων δίχως ηλεκτρόδια έχουν τις ακμές τους μετατοπισμένες αριστερότερα, με αποτέλεσμα να έχουν ελάχιστα μεγαλύτερους δείκτες «S/P». Ο δείκτης S/P αναλύεται στην επόμενη ενότητα. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τις ανησυχίες των αστρονόμων, παρατηρούμε ότι ορισμένες κορυφές εκπομπής και των λαμπτήρων επαγωγής, αλλά και των λαμπτήρων LED ανήκουν σε ένα ιδιαίτερο επιζήμιο φάσμα για τους αστρονομικούς σκοπούς.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο κομμάτι της μελέτης, οι δύο λαμπτήρες επαγωγής του παραπάνω διαγράμματος παρουσιάζουν σχετικά μεγάλες κορυφές, μία στα 436nm (η βασική συχνότητα εκπομπής του αερίου του υδραργύρου στο δοχείο) και δύο άλλες βασικές κορυφές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα μήκη κύματος της βασικής εκπομπής των φωσφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στο δοχείο.

Ο λαμπτήρας επαγωγής θερμού λευκού (WW) φωτός είχε θερμοκρασία χρώματος 3000K, ενώ ο λαμπτήρας ψυχρού λευκού (CW) 4000K. Είναι εμφανές ότι το σχετικό μέγεθος των δύο κορυφών μικρότερου μήκους κύματος είναι μικρότερο για τον λαμπτήρα επαγωγής των 3000K και ολόκληρο το φάσμα από 380nm έως 600nm είναι επίσης μικρότερο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο λαμπτήρας θερμού λευκού να αποδίδει μικρότερο ποσοστό της εξόδου του στην μη επιτρεπτή περιοχή.

Ο λαμπτήρας LED θερμού λευκού είχε θερμοκρασία 3100K, ενώ ο λαμπτήρας ψυχρού 5500K. Σε αυτή την περίπτωση, είναι προφανές ότι το αρχικό τσιπ LED επιλέχθηκε, ώστε να προκαλέσει τις αλλαγές φωτός από τα 450nm του θερμού λευκού στα 440nm του ψυχρού λευκού. Ακόμη, οι φώσφοροι που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται να έχουν μια πολύ πιο συνεχή καμπύλη σε σύγκριση με τους λαμπτήρες επαγωγής.

Οι σχετικές κορυφές των δύο LED διαφέρουν αρκετά, και είναι σαφές ότι η επιλογή ενός θερμότερου λευκού, όπως και στην περίπτωση των λαμπτήρων επαγωγής, θα οδηγήσει σε μείωση της εκπομπής του φωτός στο εύρος που απασχολεί τους αστρονόμους. Επιπλέον, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [23] κρίνεται σωστή η επιλογή φωτεινών πηγών που εκπέμπουν φωτισμό σε θερμές αποχρώσεις του λευκού φωτός, διότι έχουν μεγάλη επιρροή στην έκκριση μελατονίνης.

3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ S/P

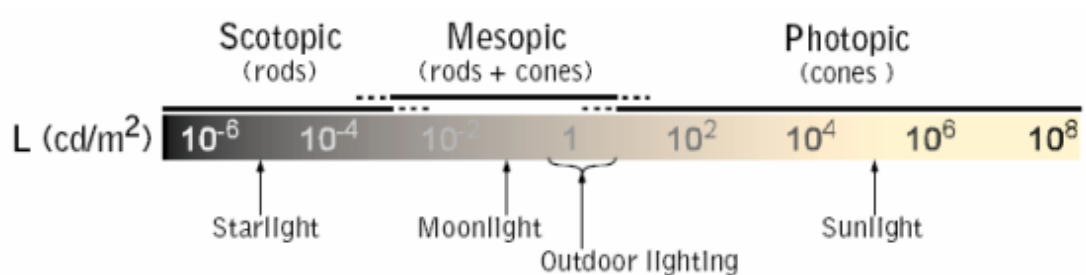
Το πώς οι άνθρωποι βλέπουν και επηρεάζονται ψυχολογικά από το φωτισμό υπήρξε αντικείμενο πολλών μελετών και συζητήσεων επί σειρά ετών. Περιγράφοντας το φως ως "lumen output" σε ένα πλάνο έργου μπορούμε να περιγράψουμε και να προσδιορίσουμε πόσο φως χρειάζεται για να πραγματοποιήσουμε μια σειρά εργασιών.

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται σε ποικίλα είδη και χρώματα, η απλή μέτρηση των lumens αποδεικνύεται ανεπαρκής στο να προβλέψουμε πόσο καλά μπορούν να δουν οι άνθρωποι. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα αποτελούν οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης που παράγουν πολλά lumens μεν, μόνο δύο χρώματα (κίτρινο και γκρι) δε. Η ικανότητα να διακρίνουμε τις λεπτομέρειες πέρα από το περίγραμμα των αντικειμένων χάνεται κάτω από αυτή την πηγή φωτός. Έτσι, είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του συντελεστή VEL.

Visually Effective Lumens

Οι φωτεινές ακτίνες όταν προσπέσουν στο μάτι μας περνούν τα διαφανή στοιχεία του (τον κερατοειδή, το υδατοειδές υγρό, το φακό και το υαλοειδές σώμα), που λέγονται και διαθλαστικά μέσα, και συγκεντρώνονται στον αμφιβληστροειδή (ωχρά κηλίδα). Οι ακτίνες αυτές ερεθίζουν τους φωτοανιχνευτές του ανθρώπινου οφθαλμού προκαλώντας φωτοχημικές αντιδράσεις. Υπάρχουν δύο κατηγορίες φωτοανιχνευτών: τα ραβδία και τα κωνία, που έχουν παρόμοια κατασκευή αλλά είναι ευαίσθητα σε διαφορετικά επίπεδα φωτισμού. Τα ραβδία είναι ευαίσθητα σε πολύ χαμηλά επίπεδα φωτισμού και φθάνουν στην μέγιστη απόδοσή τους σε μέτρια επίπεδα φωτισμού. Σε μεγαλύτερα επίπεδα φωτισμού η απόδοσή τους δεν εξαρτάται από τον ίδιο τον φωτισμό. Επίσης, δεν αντιλαμβάνονται χρώμα και ξεχωρίζουν μόνο μαύρο, άσπρο και αποχρώσεις του γκριζού. Τα κωνία αντίθετα είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητα στον χαμηλό φωτισμό, ανταποκρίνονται όμως σε υψηλά επίπεδα φωτισμού, ενώ σε αυτά δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο κορεσμού.

Η περιοχή της λαμπρότητας μέσα στην οποία υπάρχει η αίσθηση της όρασης χωρίζεται σε τρεις περιοχές:



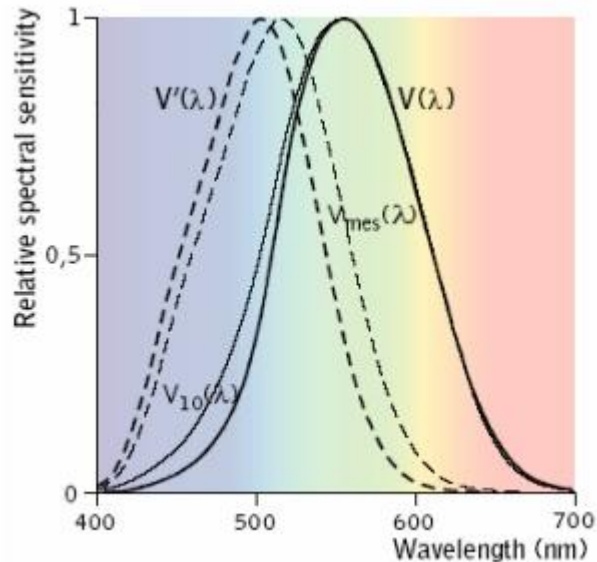
Εικόνα 3-9: Φωτοπική, Μεσοπική και Σκοτοπική περιοχή λαμπρότητας

- Φωτοπική περιοχή (φως ημέρας): στην περίπτωση αυτή η λαμπρότητα είναι μεγαλύτερη από 10 cd/m^2 και η όραση οφείλεται κυρίως στα κωνία.
- Σκοτοπική περιοχή (έναστρος ουρανόσ): η λαμπρότητα είναι μικρότερη από cd/m^2 και η όραση οφείλεται αποκλειστικά στα ραβδία.
- Μεσοπική περιοχή: η περιοχή αυτή είναι το μεταβατικό στάδιο από το ένα είδος όρασης στον άλλο. Η λαμπρότητα είναι από 0.001 έως 3 cd/m^2 . Στην περιοχή αυτή συνεισφέρουν στην αίσθηση της όρασης όλα τα είδη των φωτοανιχνευτών. Οι προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούν τα φωτομετρικά

μεγέθη στην περίπτωση φωτισμού δρόμων (μεταξύ 0.5 και 2 cd/m^2) βρίσκονται στην μεσοπική περιοχή. Κατά την νυκτερινή οδήγηση, η όποια βοήθεια λαμβάνει ο οδηγός από τους προβολείς του οχήματος που οδηγεί, περιορίζονται σε ένα πολύ συγκεκριμένο εύρος, με αποτέλεσμα η δημιουργούμενη μέση λαμπρότητα να βρίσκεται στην μεσοπική περιοχή. Τα ονομαστικά lumens ενός λαμπτήρα έχουν ισχύ εφόσον ο ανθρώπινος οφθαλμός λειτουργεί σε φωτοπικές συνθήκες. Όταν ένας λαμπτήρας γίνεται αντιληπτός σε μεσοπικές συνθήκες λαμπρότητας, τότε τα αποδιδόμενα lumens μεταβάλλονται ανάλογα με την φασματική κατανομή που παρουσιάζει ο λαμπτήρας. Εάν το φάσμα του λαμπτήρα είναι πλούσιο σε μικρά μήκη κύματος, τότε η απόδοσή του στην μεσοπική περιοχή αυξάνεται, εάν είναι πλούσιο σε μεγάλα μήκη κύματος αυτή μειώνεται. Συνεπώς μια μελέτη φωτισμού που γίνεται με την χρήση των ονομαστικών lumens του λαμπτήρα, δεν θα ικανοποιεί και τις προδιαγραφές φωτισμού.

Με σκοπό να δοθεί μία βάση για συγκρίσεις ακτινοβολιών με διαφορετικά μήκη κύματος, η C.I.E. εισήγαγε δύο συναρτήσεις σχετικής φασματικής ευαισθησίας: (1) την $V(\lambda)$ για την φωτοπική όραση, καθορίστηκε στην περιοχή από 360 έως 830nm και έχει μέγιστη τιμή στα 555nm, (2) την $V'(\lambda)$ για την σκοτοπική όραση, καθορίστηκε στην περιοχή από 380 έως 780nm και έχει μέγιστη τιμή στην περιοχή 506 έως 508nm. Για την μεσοπική όραση, δεν έχουμε μόνο μια καμπύλη φασματικής ευαισθησίας αλλά μια οικογένεια καμπυλών που εξασφαλίζουν την ομαλή μετάβαση από το ένα είδος της όρασης στο άλλο. Τα φαινόμενα που επηρεάζουν την μεσοπική όραση είναι τα εξής:

- Το χρωματικό φαινόμενο, το οποίο αναφέρεται στην ασυμφωνία φωτεινότητας-λαμπρότητας, μια κατάσταση δηλαδή κατά την οποία ακτινοβολίες ίσης λαμπρότητας παρουσιάζουν διαφορετική φωτεινότητα, εάν αυτές είναι έντονα χρωματισμένες.
- Σε χαμηλές λαμπρότητες, ακτινοβολίες με φασματική κατανομή πλούσια σε μικρά μήκη κύματος φαίνονται λαμπρότερες από άλλες που είναι φτωχές στα μικρά μήκη κύματος. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται μάλλον στην συνεισφορά των ραβδίων, η οποία σε μικρές λαμπρότητες είναι αναλογικά μεγαλύτερη και ονομάζεται φαινόμενο Purkinje.
- Οι καμπύλες φασματικής ευαισθησίας στην μεσοπική περιοχή συνιστούν μια οικογένεια καμπυλών, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή λαμπρότητας. Οι καμπύλες αυτές θα πρέπει επιπροσθέτως να βρίσκονται ανάμεσα στην φωτοπική και σκοτοπική καμπύλη και να εξασφαλίζουν ομαλή μετάβαση από την φωτοπική στην σκοτοπική όραση.



Εικόνα 3-10: Συναρτήσεις $V(\lambda)$ και $V'(\lambda)$

Τα υπάρχοντα φωτόμετρα, τα οποία λαμβάνουν μετρήσεις σύμφωνα με την καμπύλη CIE, είναι λανθασμένα, καθώς μετράνε μόνο την φωτοπική απόκριση του ανθρώπινου οφθαλμού, σε ένα πολύ στενό κώνο της όρασης και δεν λαμβάνουν υπόψη τη συμβολή της σκοτοπικής όρασης. Ακόμη, ο επιστημονικά αποδεδειγμένος έλεγχος της κόρης του οφθαλμού από τις συνιστώσες στο μπλε χρώμα της σκοτοπικής όρασης αγνοείται εντελώς.

Οι κανονισμοί του επιπέδου φωτισμού που βασίζονται σε επίπεδα έντασης φωτισμού από μετρήσεις συμβατικών μετρητών CIE αναγκάζουν τους ανθρώπους να σπαταλούν ενέργεια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εταιρείες φωτισμού έπρεπε να εγκαταστήσουν φωτιστικά επαγωγής μεγαλύτερης ισχύος από όση απαιτούνταν για καλή όραση, αν και οι άνθρωποι μπορούν να δουν καλύτερα υπό λαμπτήρες επαγωγής και να τους αντιληφθούν ως πιο φωτεινούς από τους λαμπτήρες τους οποίους αντικαθιστούν. Αυτό έπρεπε να γίνει λόγω του ότι τα φωτόμετρα αγνοούν τη σκοτοπική όραση.

Μία πολύ καλύτερη μέθοδος υπολογισμού των επιπέδων φωτός θα ήταν οι ληφθέντες μετρήσεις να πολλαπλασιαστούν με το δείκτη S/P της φωτεινής πηγής, ώστε να καθοριστούν τα Visually Effective Lumens ή Visually Effective Lux (VEL – μερικές φορές αναφέρεται ως "Pupil Lumens" ή PL). Είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του συντελεστή VEL/PL, παρά μόνο η λήψη μετρήσεων από συμβατικούς μετρητές, προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλο είδος φωτισμού που θα πληροί τα επίπεδα φωτός.

Ας δούμε όμως πώς λειτουργεί πραγματικά:

Χρησιμοποιώντας ένα συμβατικό μετρητή φωτός ή φασματομέτρο, το φως μετράται ώστε να προσδιοριστεί η καμπύλη ευαισθησίας φωτοπικής όρασης. Χρησιμοποιώντας την ίδια φωτεινή πηγή, με ένα φωτόμετρο βαθμονομημένο στο

σκοτοπικό, προσδιορίζεται η καμπύλη σκοτοπικής ευαισθησίας. Οι ενδείξεις που προκύπτουν αποτελούν το δείκτη S/P που μπορεί να εκφραστεί ως ενιαίος αριθμός.

Να σημειωθεί πως για να γίνει αντιληπτή καλύτερα η έννοια του δείκτη S/P, μπορούμε να την συνδέσουμε με την θερμοκρασία χρώματος μιας φωτεινής πηγής, όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία χρώματος, τόσο πιο υψηλός είναι ο δείκτης S/P. Αυτό συμβαίνει διότι, όσο πιο υψηλή η θερμοκρασία CCT τόσο πιο αριστερά μετατοπισμένο είναι το φάσμα εκπομπής του, δηλαδή προς το πεδίο της σκοτοπικής όρασης.

Με πολλαπλασιασμό της αναλογίας S/P επί την φωτεινή ροή που παράγεται από ένα φωτιστικό σύστημα προκύπτει ο συντελεστής VEL (Visually Effective Lumens), για συσχέτισμό της ενεργειακής απόδοσης του κάθε λαμπτήρα, με την ευαισθησία που προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι.

Σε πρόσφατα συνέδρια, ορισμένοι μελετητές ενθάρρυναν τους κατασκευαστές να καθορίσουν τη φωτοπική/σκοτοπική (S/P) αναλογία των λαμπτήρων, ώστε όταν τους επιλέγουν να επιτυγχάνεται καλύτερος σχεδιασμός, απόδοση και καλύτερη όραση για τους αγοραστές.

Συμπερασματικά, ο συντελεστής S/P είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τον καθορισμό της απόδοσης φωτός μιας φωτεινής πηγής, η οποία γίνεται αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Διότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η απόδοση των λαμπτήρων, όπως αυτή μετράται σε Lm/W, προκύπτει από μετρήσεις οι οποίες γίνονται με εργαστηριακά όργανα και δεν αντιπροσωπεύει πλήρως την απόδοση την οποία αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το φαινόμενο αυτό έχει ως συνέπεια ορισμένοι τύποι λαμπτήρων να φαίνονται λαμπρότεροι στο ανθρώπινο μάτι και να δίνουν καλύτερη ποιότητα φωτός, παρά το γεγονός ότι με βάση τις εργαστηριακές μετρήσεις έχουν την ίδια απόδοση φωτός, λόγω του ότι οι μετρήσεις γίνονται με βάση μόνο την φωτοπική όραση με αποτέλεσμα να αγνοούνται σημαντικές παράμετροι για την λειτουργία και την ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού, όπως η συσχέτιση φωτοπικής/σκοτοπικής όρασης και ο συντελεστής S/P. Επομένως, με βάση τα ανωτέρω, είναι δυνατό να αξιολογήσουμε την απόδοση ενός λαμπτήρα με βάση την απόδοση, η οποία γίνεται αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Η ιδεατή περίπτωση για την παροχή φωτός με υψηλό VEL είναι μια πηγή η οποία παράγει φως, του οποίου η φασματική κατανομή προσεγγίζει την φασματική κατανομή του ηλιακού φωτός.

Την καλύτερη επιλογή λοιπόν, σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [19], [20], [22], [23], [36] αποτελεί μία φωτεινή πηγή που χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν πιο ευρεία φασματική έξοδο, και από μεγάλο ποσοστό μπλε εξόδου, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί η σκοτοπική όραση και η διάμετρος της κόρης του οφθαλμού να μειωθεί για βελτίωση της οπτικής οξύτητας. Οι λαμπτήρες επαγωγής, αν και τα δεδομένα τους είναι κοντά σε αυτά των λαμπτήρων LED, είναι προτιμότεροι, αποτελώντας πιο οικονομικά βιώσιμες και αποδοτικές πηγές τεχνητού φωτός και αποδίδοντας τη μέγιστη ποσότητα φωτός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον ανθρώπινο οφθαλμό – Visually Effective Lumens.

3.4 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ

Ένα μείζον θέμα για την επιλογή λαμπτήρων φωτισμού εξωτερικών χώρων είναι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής τους. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σημαίνει μειωμένο κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων, και σε ορισμένες περιπτώσεις, μηδενική συντήρηση.

Οι κατασκευαστές των φωτιστικών LED, όπως έχει ήδη αναφερθεί εκτίμησαν σε αυτό το έργο το προσδόκιμο της διάρκειας ζωής από 50.000 έως 89.000 ώρες (κατά προσέγγιση 12-21 έτη σε 4165 ώρες λειτουργίας το χρόνο). Αυτή η αξιολόγηση χρησιμοποίησε ως διάρκεια ζωής των LED τις 50.000 ώρες, ενώ οι λαμπτήρες επαγωγής έχουν αναφερόμενη διάρκεια 100.000 ωρών (κατά προσέγγιση 24 έτη). Αμφότερες οι τεχνολογίες απαιτούν ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτιστικό για πλήρη διάρκεια ζωής. Όπως είναι αναμενόμενο, εάν το φωτιστικό χαρακτηρίζεται από κακή ηλεκτρική και θερμική σχεδίαση, η διάρκεια της πηγής του φωτός επηρεάζεται δυσμενώς, με αποτέλεσμα πολύ μικρότερη διάρκεια.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των λαμπτήρων επαγωγής είναι η έλλειψη ηλεκτροδίων εσωτερικά του λαμπτήρα και επίσης ο αεροστεγής θάλαμος – σωλήνας φθορισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο λαμπτήρας στο εσωτερικό του να παραμένει σχεδόν αναλλοίωτος και να μην επηρεάζεται από τις εκάστοτε εξωτερικές συνθήκες. Έτσι, κατασκευαστικά και μόνο οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής υπερτερούν των λαμπτήρων LED. Οι λαμπτήρες οδικού φωτισμού λειτουργούν κάτω από διάφορες συνθήκες, τις περισσότερες φορές αντίξοες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζονται αρκετά ανθεκτικά κατασκευαστικά μέρη. Όπως αναφέρθηκε, οι κατασκευαστές δίνουν μέγιστο χρόνο ζωής στους λαμπτήρες επαγωγής 100.000 ώρες. Αυτό βέβαια είναι πλασματικό, καθώς οι λαμπτήρες επαγωγής άρχισαν να εφαρμόζονται πρόσφατα στον φωτισμό δρόμων, έτσι έχουν μικρή ιστορία για να συγκριθούν οι επιδόσεις τους και οι εκτιμήσεις περιορίζονται σε δοκιμές υπό εργαστηριακές συνθήκες. Εφ' όσον όμως οι λαμπτήρες κατασκευαστικά ευνοούν τον μεγάλο χρόνο ζωής, αυτό το νούμερο θα μπορούσε, ωστόσο, να είναι πραγματικό.

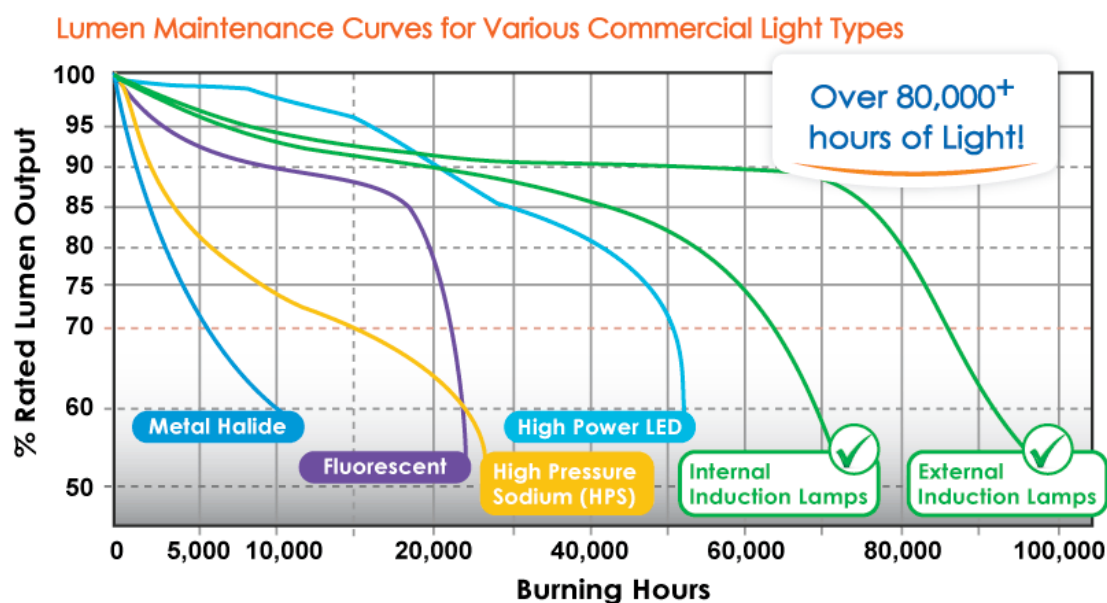
Όσον αφορά τους λαμπτήρες LED, ένα μεγάλο μειονέκτημα είναι, πέρα από το κατασκευαστικό κομμάτι, η ευαισθησία τους στις υψηλές θερμοκρασίες. Η υπερβολική θερμότητα επηρεάζει τόσο την βραχυπρόθεσμη όσο και τη μακροπρόθεσμη απόδοση των LED. Κίτρινα και κόκκινα LED είναι τα πιο ευαίσθητα χρώματα, ενώ τα μπλε λιγότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα βραχυπρόθεσμα (αλλά αναστρέψιμα αποτελέσματα) της υπερθέρμανσης να περιλαμβάνουν αλλαγή του χρώματος καθώς και μειωμένη εκπομπή φωτός. Τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα λόγω της υποβάθμισης των περιφερειακών εξαρτημάτων είναι η επιταχυνόμενη υποτίμηση των lumens και μικρότερη ωφέλιμη ζωή. Τα φωτιστικά LED περιλαμβάνουν ψύκτρες, οι οποίες συχνά είναι ενσωματωμένες στο σχεδιασμό του εξαρτήματος, με στόχο να επιτευχθεί μέγιστος χρόνος ζωής.



Εικόνα 3-11: Φωτιστικό επαγωγής (αριστερά) και φωτιστικό LED (δεξιά)

Ως διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα θεωρείται η ωφέλιμη διάρκεια ζωής, όχι απλώς το χρονικό διάστημα που ο λαμπτήρας εξαγει κάποιο φως. Προκειμένου να καθοριστεί ο ωφέλιμος χρόνος ενός λαμπτήρα, είναι ανάγκη να ληφθεί υπ’ όψιν η “διατήρηση της φωτεινής ροής” (Lumen Maintenance). Η διατήρηση της φωτεινής ροής αποτελεί ένα μέτρο του πόσο καλά ένας λαμπτήρας διατηρεί την φωτεινή απόδοσή του, καθώς με το πέρασμα του χρόνου η φωτεινότητα φθίνει.

Το ακόλουθο διάγραμμα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [23] απεικονίζει τις καμπύλες διατήρησης φωτεινής ροής διαφόρων τεχνολογιών φωτισμού, και δείχνει πότε ο λαμπτήρας θα πρέπει να αντικατασταθεί.



Εικόνα 3-12: Καμπύλες διατήρησης φωτεινής ροής για διάφορους εμπορικούς τύπους λαμπτήρων

Εμείς θα επικεντρωθούμε στις δύο τεχνολογίες, LED και επαγωγής, που μας ενδιαφέρουν.

Οι λαμπτήρες, πρέπει σύμφωνα με τους ειδικούς, να αντικαθίστανται όταν η έξοδός τους σε Lumen είναι κάτω του 70% από την αρχική, καθώς εκτός του ότι

εξαιρούνται πια από τους διεθνείς κανονισμούς φωτισμού, η διαφορά τους είναι ορατή και με γυμνό μάτι. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή αποτελεί το όριο του 70%. Είναι φανερό πως κάτω από αυτό το όριο η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων μειώνεται εκθετικά. Φαίνεται ξεκάθαρα λοιπόν πως οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής έχουν έως και 40% παραπάνω ωφέλιμο χρόνο ζωής από τους λαμπτήρες LED για οδικό φωτισμό.

Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η φωτεινή απόδοση των LED πέφτει απότομα μετά τις 50.000 ώρες, ενώ οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εξακολουθούν να παράγουν περισσότερο από 60% της ονομαστικής ισχύος εξόδου μετά από 90.000 ώρες. Αυτό σημαίνει ότι οι λαμπτήρες επαγωγής έχουν μεγαλύτερη "περίοδο χάριτος" για αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων. Οι παρατηρήσεις αυτές δικαιολογούν τις εκτιμήσεις των ειδικών της έρευνας για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων επαγωγής καθώς και την υπόθεση ότι η διατήρηση της φωτεινής ροής των φωτιστικών LED είναι 50.000 ώρες, ενώ της επαγωγής 80.000 επιπλέον ώρες. Αν και οι δύο τεχνολογίες εξελίσσονται διαρκώς και οι τιμές και αποδόσεις τους είναι τομείς διαρκούς βελτίωσης, εν τούτοις μέχρι και σήμερα τα φωτιστικά συστήματα LED δεν έχουν κατορθώσει να ξεπεράσουν τα φωτιστικά επαγωγής στο συγκεκριμένο τομέα. Προβλέπεται, ωστόσο, περαιτέρω αύξηση της διάρκειάς τους [40] σύμφωνα και με προβλέψεις, οι οποίες προέρχονται από βελτιώσεις στην εσωτερική κβαντική απόδοση (ο λόγος των εγχυόμενων ηλεκτρονίων προς τα εκπέμποντα φωτόνια στην ενεργό περιοχή), από βελτιώσεις της απόδοσης εκπομπής (ο αριθμός των φωτονίων που δημιουργούνται στην ενεργή περιοχή και εκπέμπονται έξω από το κάλυμμα του LED), από βελτιώσεις των φωσφορικών επικαλύψεων και βελτιώσεις στην απόδοση σκέδασης (ο λόγος των φωτονίων που εκπέμπονται από το φώσφορο προς τον αριθμό όλων των φωτονίων που προέρχονται από το τσιπ).

Αξίζει να σημειωθεί, τέλος ότι οι ρυθμοί μείωσης της απόδοσης των λαμπτήρων με την πάροδο του χρόνου αφενός ποικίλουν ανάλογα με την υλοποίηση του εκάστοτε κατασκευαστή και είναι δυνατόν να επηρεαστούν σημαντικά και να μεταβληθούν ανάλογα με τις θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος, στις οποίες θα κληθούν να λειτουργήσουν, όπως θα εξεταστεί αναλυτικά και παρακάτω.

3.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ THD

➤ Συντελεστής Ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα κριτήριο του πόσο αποτελεσματικά μια ηλεκτρική διάταξη μετατρέπει την είσοδο του ρεύματος και της τάσης σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια (ενεργό ισχύ). Ο συντελεστής ισχύος ορίζεται ως ο λόγος της ενεργού ισχύος που καταναλώνει μια διάταξη προς την φαινόμενη ισχύ της. Για γραμμικά φορτία ο συντελεστής ισχύος ταυτίζεται με το $\cos\phi$, όπου ϕ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ της

κυματομορφής ρεύματος και τάσης του φορτίου. Ο συντελεστής ισχύος, χωρίς την ύπαρξη αρμονικών συνιστωσών, ορίζεται από την σχέση:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\phi_1)}{V_1 \cdot I} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos(\phi_1)$$

Η γωνία ϕ_1 συμβολίζει την διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και της θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύματος. Σε ιδανικές περιπτώσεις, όπου δεν υπάρχουν αρμονικές συνιστώσες μεγαλύτερης τάξης, ο πρώτος όρος ισούται με μονάδα και το μόνο στοιχείο που επηρεάζει τον προσδιορισμό του συντελεστή είναι το είδος του φορτίου που καθορίζεται από την γωνία.

Η πραγματική ισχύς είναι η ικανότητα του κυκλώματος να δουλεύει σε δεδομένη χρονική στιγμή. Η φαινομένη ισχύς είναι το προϊόν του ρεύματος και της τάσης του κυκλώματος. Οι συσκευές που περιλαμβάνουν μόνο στοιχεία αντίστασης, όπως για παράδειγμα οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, δεν έχουν επίδραση στον συντελεστή ισχύος τους, αφού δεν έχουν καθόλου απώλειες με αποτέλεσμα η φαινομένη να είναι ίση με την ενεργό. Οποιαδήποτε συσκευή (όπως τα εξεταζόμενα συστήματα) περιλαμβάνει μετασχηματιστές και πυκνωτές θα έχει επίδραση, λόγω των απωλειών που επιφέρουν αυτά τα στοιχεία. Γι' αυτό ευθύνονται οι ποσότητες ενέργειας οι οποίες αποθηκεύονται στο φορτίο και επιστρέφουν στην πηγή καθώς και τα μη γραμμικά φορτία, τα οποία διαταράσσουν την κυματομορφή του ρεύματος. Το κλάσμα λοιπόν του συντελεστή, έχει μεγαλύτερο παρονομαστή απ' τον αριθμητή του, με αποτέλεσμα, προφανώς, ο συντελεστής ισχύος να είναι κάτω της μονάδας. Λόγω του χαμηλού συντελεστή ισχύος, αυξάνονται οι απώλειες στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κι έτσι αυξάνεται το ενεργειακό κόστος για τη λειτουργία του φωτιστικού συστήματος, αφού απαιτείται μεγαλύτερη φαινομένη ισχύς από το δίκτυο για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Δηλαδή, πρέπει το φωτιστικό σύστημα να καλύψει τις απώλειες σε ενεργό ισχύ. Και τα δύο συστήματα, LED και επαγωγής, παρουσιάζουν υψηλούς συντελεστές ισχύος. Τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα προέκυψαν από τη μελέτη της βιβλιογραφίας [22], [25], [26], [29], [43], [44], [45], καθώς και στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην πόλη του San Diego, δεν συμπεριλαμβάνονται τέτοιου είδους εκτιμήσεις.

Είδος Λαμπτήρα	Συντελεστής Ισχύος
Επαγωγής	90% - 98%
LED	43% - 97,5%

Πίνακας 3-3: Σύγκριση συντελεστή ισχύος λαμπτήρων επαγωγής και LED

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής έχουν συντελεστές ισχύος που κυμαίνονται από 90% έως και 98%, σύμφωνα πάντα και με τους κατασκευαστές τους, στις νεότερες εκδόσεις τους. Οι απώλειες, οι οποίες ουσιαστικά κατεβάζουν τον συντελεστή ισχύος, πέρα από τις απώλειες στην τροφοδοσία τους λόγω των παθητικών στοιχείων, είναι πρώτον οι στατικές απώλειες στον πυρήνα τους, με τις οποίες σχετίζονται τα φαινόμενα

υστέρησης. Δεύτερον, είναι οι δυναμικές, πάλι στον πυρήνα, οι οποίες σχετίζονται με τα παρασιτικά φαινόμενα. Σύμφωνα με πειραματικά αποτελέσματα, όσο αυξάνεται η τάση, με σταθερή ισχύ, αυξάνονται γραμμικά και οι συνολικές απώλειες, δηλαδή το άθροισμα των δυναμικών με τις στατικές, άρα μειώνεται ο συντελεστής ισχύος. Βέβαια, στα συστήματα οδικού φωτισμού, οι λαμπτήρες βρίσκονται υπό υψηλές ισχύς και τάσεις. Η υψηλή ισχύς σε συνδυασμό με την υψηλή τάση, μειώνουν τις απώλειες φθάνοντας στα 4W με το πολύ 6W και έτσι δίνουν συντελεστές ισχύος έως και 95%.

Οι λαμπτήρες LED χαρακτηρίζονται από ελαφρώς μειωμένο συντελεστή ισχύος. Η μειωμένη απόδοση προκύπτει λόγω αυξημένων απωλειών που προκύπτουν από τα παθητικά στοιχεία και τη μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας τους. Γίνεται, όμως, μια σοβαρή προσπάθεια και με τα σημερινά δεδομένα άκρως επιτυχημένη, προκειμένου να αυξηθεί ο συντελεστής ισχύος των φωτιστικών συστημάτων LED. Οι επιστήμονες στοχεύουν κυρίως στα παθητικά τους στοιχεία και ποιο συγκεκριμένα στην τροφοδοσία τους. Επίσης, γίνεται μεγάλη προσπάθεια από τους κατασκευαστές για την μείωση της θερμοκρασίας.

➤ Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης Τάσης και Ρεύματος (THD)

Η αρμονική συνιστώσα μπορεί να ορισθεί ως ένα ημιτονοειδές κύμα (τάσης ή ρεύματος), το οποίο έχει συχνότητα που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της βασικής συχνότητας. Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης των αρμονικών συνιστωσών είναι η δημιουργία της παραμορφωμένης κυματομορφής. Η κυματομορφή αυτή είναι περιοδική αλλά όχι ημιτονοειδής.

Οι αρμονικές συνιστώσες των παραμορφωμένων κυματομορφών τάσεων και ρευμάτων σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, είναι κυρίως τρίτης και πέμπτης τάξης προερχόμενες από τις γεννήτριες και τους μετασχηματιστές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα, η διάδοση των αρμονικών στα ηλεκτρικά δίκτυα ενισχύεται από την χρήση μη γραμμικών φορτίων. Η ροή των αρμονικών ρευμάτων στο δίκτυο μεταφοράς παράγει δύο κυρίως αποτελέσματα. Πρώτον, προκαλούνται αυξημένες απώλειες στην γραμμή λόγω της αύξησης της RMS τιμής του ρεύματος. Το επιδερμικό φαινόμενο είναι κάτι που επιδρά αρνητικά στις απώλειες, αφού αυξάνει την αντίσταση του καλωδίου όσο αυξάνει η συχνότητα, με αποτέλεσμα να αυξάνουν και οι απώλειες. Ένα άλλο πολύ σημαντικό αποτέλεσμα της ροής αρμονικών ρευμάτων στην γραμμή είναι η δημιουργία αρμονικών πτώσεων τάσης στο δίκτυο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ένα «αδύναμο» σύστημα (μικρή ισχύς βραχυκύκλωσης) να είναι ευαίσθητο σε αυτές τις αρμονικές της τάσης.

Η ύπαρξη σημαντικών ποσοστών αρμονικών συνιστωσών στην τάση και την ένταση του ρεύματος των ηλεκτρικών δικτύων είναι ικανή, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να προκαλέσει δυσάρεστες συνέπειες στα ίδια τα ηλεκτρικά δίκτυα, σε παρακείμενα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Μια βασική συνέπεια της ύπαρξης αρμονικών συνιστωσών, είναι η εμφάνιση συντονισμού στα ηλεκτρικά δίκτυα. Συντονισμός είναι δυνατό να

παρουσιαστεί, όταν στο δίκτυο χρησιμοποιούνται συστοιχίες πυκνωτών για αντιστάθμιση της άεργου ισχύος. Στη συχνότητα συντονισμού ενός κυκλώματος RLC έχουμε εξίσωση της επαγωγικής με την χωρητική αντίδραση. Αποτέλεσμα του συντονισμού είναι η δημιουργία υπερτάσεων ή και υπερεντάσεων, κοντά στην συχνότητα συντονισμού, με αντίστοιχα καταστρεπτικά αποτελέσματα για τον εξοπλισμό του δικτύου.

Στην περίπτωση μας, τα επιμέρους κομμάτια των φωτιστικών συστημάτων, όπως η τροφοδοσία τους, παρουσιάζουν κατά την λειτουργία τους ανώτερες αρμονικές. Έτσι, τα καλώδια των στοιχείων αυτών, λόγω της άεργου ισχύος που καταναλώνουν, υπερφορτίζονται και ανεβάζουν θερμοκρασία, μειώνοντας τον συντελεστή ισχύος. Έτσι, ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης μας δίνει ουσιαστικά το πόσο παραμορφώνονται, η τάση και το ρεύμα, που δίνονται από την τροφοδοσία στο δίκτυο. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης, τόσο μειώνεται ο συντελεστής ισχύος. Παρακάτω, φαίνεται η εξίσωση του συντελεστή ισχύος σε σχέση με τον συντελεστή ολικής αρμονικής παραμόρφωσης THD.

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \cdot \cos(\phi_1)$$

Η παρακάτω εξίσωση μας δίνει την σχέση του συντελεστή αρμονικής παραμόρφωσης THD. Ο αριθμητής εδώ δίνει, χωρίς τον υπολογισμό της θεμελιώδους συνιστώσας, την ενεργό τιμή του σήματος. Ο παρονομαστής αναφέρεται στην ενεργό τιμή της θεμελιώδους συνιστώσας ενώ η F_0 είναι η dc συνιστώσα.

$$THD = \frac{\sqrt{F^2 - F_1^2}}{F_1} = \frac{\sqrt{F_0^2 + \sum_{n=2}^{\infty} F_n^2}}{F_1}$$

Τα συνιστάμενα όρια της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης είναι $THD < 5\%$ και του ρεύματος $THD < 32\%$. Η υπέρβαση των ορίων αυτών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών ενέργειας, και επομένως την αύξηση του ενεργειακού κόστους για τον φωτισμό ενός χώρου. Η ολική αρμονική παραμόρφωση είναι δυνατόν να βελτιωθεί με τη χρήση πρόσθετων στοιχείων στο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός συστήματος φωτισμού και παρατηρείται μεγάλο εύρος τιμών, ανάλογα με τις υλοποιήσεις των κατασκευαστών για τα εκάστοτε συστήματα φωτισμού.

Οι τροφοδοσίες των συστημάτων φωτισμού με μετασχηματιστές τύπου «πυρήνα - πηνίου» καταναλώνουν από 10% έως και 20% παραπάνω ενέργεια από την ονομαστική των λαμπτήρων, ενώ οι ηλεκτρονικού τύπου τροφοδοσίες καταναλώνουν από 4% έως το πολύ 9% παραπάνω ενέργεια σε σχέση με την ονομαστική.

Οι λαμπτήρες LED παρουσιάζουν αρκετά πιο αυξημένο συντελεστή THD, με την καλύτερη περίπτωση τους, για φωτιστικό σύστημα οδικού φωτισμού, να φθάνει το 22%. Ακολουθεί ένας πίνακας με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από παλαιότερη εργαστηριακή έρευνα για διάφορους τύπους λαμπτήρων LED.

Tested lamp	Harmonic [%]				
	Fund	3 rd	5 th	7 th	THD _i
Philips 4 W	100	34.61	6.28	22.27	63.05
Philips 5 W	100	36.92	7.16	19.81	63.83
Philips 7 W	100	32.34	11.60	23.40	64.23
Osram 4 W	100	89.24	70.65	51.19	173.92
Osram 4.5 W	100	91.72	77.47	59.43	157.76
Osram 6 W	100	91.96	77.05	58.51	174.37
Osram 8 W	100	22.25	15.04	2.34	30.94
Evenzo 3 W	100	90.70	77.34	58.89	164.45
Bright 5 W	100	86.65	75.92	61.75	167.25
Cash 7 W	100	91.23	74.81	56.41	168.22
Toshiba 5.5 W	100	73.40	45.40	35.62	106.34

Πίνακας 3-4: Αποτελέσματα συντελεστών THD

Παρατηρούμε ότι, μερικοί από τους λαμπτήρες LED που δοκιμάστηκαν, παράγουν αρκετά υψηλά επίπεδα αρμονικών, μη αποδεκτά.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, οι οποίοι χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές τροφοδοσίες, καταναλώνουν από 2% έως και 5% παραπάνω ενέργεια σε σχέση με την ονομαστική τους. Αυτό τους καθιστά ίσως τους ανώτατους στον τομέα αυτό, με ελάχιστες απώλειες.

Συμπερασματικά, τα φωτιστικά συστήματα LED, σε εφαρμογές οδικού φωτισμού, υστερούν αρκετά στον τομέα της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος και της τάσης που εξετάσαμε στην ενότητα αυτή. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι πολύ ανώτεροι στον τομέα αυτό. Γίνονται σημαντικές προσπάθειες, στις μέρες μας, όμως, να μειωθεί αρκετά το ποσοστό του συντελεστή THD στα φωτιστικά συστήματα LED. Ακόμα όμως δεν υπάρχει θέμα σύγκρισης των δύο τεχνολογιών στο ζήτημα αυτό. Η σύγκριση των δύο τεχνολογιών ως προς τον συντελεστή THD, πραγματοποιήθηκε με βάση μόνο τη μελέτη της βιβλιογραφίας, καθώς στην μελέτη της SDG&E δεν περιλαμβάνονται τέτοιου είδους αποτελέσματα.

3.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Καθώς αυξάνεται το κόστος της ενέργειας, οι κυβερνήσεις και οι δήμοι ψάχνουν τρόπους μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στις δημόσιες υποδομές. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για τον φωτισμό δρόμων, έως και 10%, μπορεί να προσφέρει τεράστια εξοικονόμηση κόστους σε ολόκληρη την κλίμακα μιας πόλης, αλλά στις μέρες μας, ίσως μιας ολόκληρης χώρας. Ένα από τα πιο σοβαρά λοιπόν, προς εξέταση των ειδικών, θέματα για τον φωτισμό δρόμων και γενικά για τον φωτισμό μεγάλης κλίμακας, είναι το κόστος.

Το κόστος της παροχής φωτισμού δρόμων αποτελείται από δύο συνιστώσες: το αρχικό κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος. Δυστυχώς, το αρχικό κόστος επένδυσης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το λειτουργικό κόστος που είναι πολύ πιο σημαντικό για όλη την διάρκεια ζωής της εγκατάστασης φωτισμού. Κατά την τεχνοοικονομική μελέτη μιας εγκατάστασης φωτισμού πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις παράγοντες κόστους:

- Το κόστος της αρχικής επένδυσης
- Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας για τον φωτισμό
- Το κόστος της συντήρησης

Οι αρχικές μετρήσεις της έρευνας συμπεριέλαβαν δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά ισχύος των δύο τεχνολογιών. Η μέση κατανάλωση ισχύος προέκυψε 198 watts για φωτιστικά LED και 163 watts για φωτιστικά επαγωγής. Συνεπώς, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας προέκυψε 824 kwh για φωτιστικά LED και 679 kwh για επαγωγής, με αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας 375 kwh (31%) και 541 kwh (43%).

Τύπος φωτιστικού	Ισχύς (W)	Εξοικονόμηση Ενέργειας (W)	Εκτιμώμενη Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (4165hr/yr,kwh)	Εκτιμώμενη Ετήσια Εξοικονόμηση (4165hr/yr,kwh,%)
LED	198	90	825	375 (31%)
Επαγωγής (μέση)	163	125	679	521 (43%)

Πίνακας 3-5: Ζήτηση και εξοικονόμηση ενέργειας

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιοχές δοκιμής το πλάτος του δρόμου ήταν εύλογα ομοιόμορφο, επομένως η ισχύς καθενός συστήματος εξαρτιόταν από την ισχύ του φωτιστικού και την απόσταση μεταξύ των φωτιστικών σε κάθε περιοχή.

Η χαμηλότερη θερμοκρασία χρώματος (αύξηση του αριθμού των φωσφόρων που περιέχονται στο υλικό ενθυλάκωσης) επηρέασε την συνολική εξοικονόμηση ενέργειας του φωτιστικού LED, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα και συνετέλεσε στο να χάσει το φωτιστικό LED κατά προσέγγιση 25-40% της εξοικονομούμενης ενέργειας σε σύγκριση με μια τυπική πηγή LED υψηλής θερμοκρασίας (5500K CCT).

Εν συνεχεία, υπολογίστηκε η ενεργειακή απόδοση και απόδοση φωτεινής ροής, όπου επικράτησαν και πάλι τα φωτιστικά επαγωγής. Τα αποτελέσματα προέκυψαν σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Βασικές τιμές διαφόρων ειδών, της SGDE&E						
(Ενημερωμένη έκδοση με τα ποσοστά του Ιουλίου 2009)						
Λαμπτήρας		Μηνιαία Σύνολα			Ισοδύναμη Παραγωγή φωτεινής ροής	Ενεργειακή Απόδοση (L/W)
Είδος	Ισχύς	ΔΕΗ	Τιμή Ενέργειας	Συνολική Τιμή LS-2		
Επαγωγής	165	\$ 2,36	\$ 4,23	\$ 6,59	12.000	72,72
LED	198	\$ 2,83	\$ 5,08	\$ 7,91	8.325	42,05

Πίνακας 3-6: Διάγραμμα τιμών με βάση το είδος του λαμπτήρα, της SDG&E

Προκειμένου να δοθεί μία εκτίμηση του συνολικού κόστους των εξεταζόμενων φωτιστικών, η πόλη του San Diego συμπεριέλαβε τα κόστη συντήρησης και ενέργειας καθώς και το κόστος του φωτιστικού βασιζόμενη σε οικονομικό κύκλο ζωής 20 ετών. Στη μελέτη αναφέρθηκε ότι οι εκτιμήσεις βασίζονται σε παραδοχές, όσον αφορά την διάρκεια ζωής του φωτιστικού, η οποία είναι συνάρτηση όλων των συνιστωσών του κατασκευαστή του φωτιστικού (LEDs, στέγαση, επιστρώσεις, κλπ), ηλεκτρικών και θερμικών ιδιοτήτων.

Επιπλέον, οι υποθέσεις που έγιναν σε αυτή την ενότητα ισχύουν μόνο για την πόλη του San Diego, η οποία είχε ως αίτημα να χρησιμοποιηθούν φωτιστικά θερμοκρασίας 3000K λόγω της συμφωνίας με το τοπικό αστεροσκοπείο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αναφορικά με το κόστος ενέργειας του εκάστοτε συστήματος φωτισμού και το κόστος αρχικής επένδυσης, αλλά και εγκατάστασης των λαμπτήρων, οι οποίοι θα απαιτηθούν για τον φωτισμό του χώρου για 20 έτη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στον πίνακα αυτό, πραγματοποιήθηκε και ο υπολογισμός της απλής αποπληρωμής, η οποία εξετάζει το συνολικό κόστος της επένδυσης και την εξοικονόμηση ενέργειας. Και πάλι η θερμοκρασία χρώματος είχε σημαντική επίδραση στον χρόνο της απλής αποπληρωμής των φωτιστικών LED, ο οποίος προέκυψε 17,6 έτη, ενώ για φωτιστικά επαγωγής 7,0 έτη.

Τύπος Φωτιστικού	Αρχική Επένδυση	Κόστος Εγκατάστασης	Συνολική Επένδυση	Κόστος Ενέργειας (τρωινό)	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Απλή Αποπληρωμή (έτη)
LED	\$ 1.071	\$ 39	\$ 1.110	\$ 94,92	\$ 63,00	\$ 17,6
Επαγωγής	\$ 515	\$ 39	\$ 554	\$ 79,08	\$ 78,84	\$ 7,0

Πίνακας 3-7: Απλή αποπληρωμή βασιζόμενη μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας

Όσον αφορά το κόστος συντήρησης, για τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων της έρευνας έγινε η παραδοχή ότι τα φωτιστικά LED θα αντιμετώπιζαν ένα κλασματικό ποσοστό αποτυχίας της τάξης του 10% (USDOE & PG&E, 2008) και οι λαμπτήρες επαγωγής 10% πριν τις 100.000 ώρες.

Η διάρθρωση των τιμών για τέτοιου είδους συντήρηση παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Ο πίνακας περιλαμβάνει εκτιμώμενα κόστη που αφορούν τη χρήση φορητών καθώς και τον χρόνο για την ανάκτηση του ελέγχου της κυκλοφορίας.

Τιμές Αντικατάστασης Λαμπτήρων				
	1 Ώρα	15 Λεπτά	20 Λεπτά	30 Λεπτά
Εργασία	\$ 59,52	\$ 14,88	\$ 19,84	\$ 29,76
Φορητό	\$ 10,00	\$ 2,50	\$ 3,33	\$ 5,00
Σύνολο	\$ 69,52	\$ 17,38	\$ 23,17	\$ 34,76

Πίνακας 3-8: Τιμές αντικατάστασης των λαμπτήρων της πόλης του San Diego

Επιπλέον, έγινε η παραδοχή ότι η επιθεώρηση, το φωτοκτύταρο και ο συνήθης καθαρισμός συνάδουν σε όλα τα φωτιστικά. Προκειμένου, λοιπόν, να απεικονιστεί σωστά ένα εύρος κόστους, καθώς και πληροφορίες εξοικονόμησης, δημιουργήθηκε ο ακόλουθος πίνακας:

Τύπος Φωτιστικού	Κόστος Συντήρησης	Εξοικονόμηση Συντήρησης	Κόστος Ενέργειας (τρωινό)	Εξοικονόμηση Ενέργειας	Συνολικά Κόστη	Συνολική Εξοικονόμηση	Εξοικονόμηση	Αποπληρωμή
LED	\$ 11,79	-\$ 4,43	\$ 94,92	\$ 63,00	\$ 106,71	\$ 58,57	35%	19,0
Επαγωγής	\$ 4,31	\$ 3,05	\$ 79,08	\$ 78,84	\$ 83,39	\$ 81,89	50%	6,8

Πίνακας 3-9: Εκτιμώμενα Ετήσια Κόστη και Εξοικονόμηση ανά Τεχνολογία (διάρκεια ζωής LED 50.000 ώρες)

Το συνολικό κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα LED διάρκειας 50.000 ωρών ή 12 χρόνων ισούται με το άθροισμα της εργασίας (\$23), το κόστος λαμπτήρα (\$111) και το τέλος διάθεσης (\$7,50). Αυτός ο υπολογισμός έχει ως αποτέλεσμα ένα συνολικό κόστος \$141,59, το οποίο στη συνέχεια διαιρείται με το προσδόκιμο ζωής (12 έτη), αποδίδοντας ετήσιο κόστος συντήρησης \$11,79 το χρόνο, όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα. Ωστόσο, ο υπολογισμός του κόστους συντήρησης δεν λαμβάνει υπόψη το συντελεστή πληθωρισμού, το κλιμακούμενο κόστος ενέργειας, ή το μελλοντικό κόστος των LED, το οποίο αναμένεται να είναι πολύ μικρότερο σε 10 χρόνια. Αντίστοιχα, το ετήσιο κόστος συντήρησης για το φωτιστικό επαγωγής, με δεδομένα τα έξοδα εργασίας (\$23), το κόστος λαμπτήρα (\$55,40) και το τέλος διάθεσης (\$25,00), προέκυψε \$4,31. Συμπεριλαμβάνοντας, ωστόσο, έναν συντελεστή πληθωρισμού της τάξεως του 2,5% το χρόνο για τις δαπάνες ενέργειας και εργασιών συντήρησης, οι αποπληρωμές για LED και επαγωγής έγιναν σε 35,5 και 6,5 έτη αντίστοιχα. Εν γένει, όταν ληφθούν υπόψη οι δαπάνες συντήρησης, η αποπληρωμή των LED είναι

μεγαλύτερη από την απλή αποπληρωμή, ενώ η αποπληρωμή της επαγωγής βελτιώνεται ελαφρώς κατά έξι μήνες.

Εν τέλει, συνυπολογίζοντας όλους τους παραπάνω παράγοντες, το συνολικό κόστος προκύπτει:

Δεδομένα	165 Watt Επαγωγής	198 Watt LED
Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)	\$ 515,00	\$ 1.071,00
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)	\$ 148,17	\$ 930,67
Υπολογισμοί		
Ετήσια κόστη ενέργειας (συμπεριλαμβανομένου του πληθωρισμού)	\$ 79,08	\$ 94,92
Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας	24,04	12,02
No.Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 έτη	0,83	1,66
Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα	1,36	2,43
Κόστος του κύκλου ζωής		
Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)	\$ 554	\$ 1.110
20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)	\$ 2.071	\$ 2.485
20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα	\$ 202	\$ 2.264
20ετή έξοδα Κύκλου Ζωής	\$ 2.827	\$ 5.860
Ετήσια έξοδα LC	\$ 141	\$ 293

Αποπληρωμές

LC	CEC	LC	CEC
<u>165 Watt Επαγωγή</u>		<u>198 Watt LED</u>	
6,4	7,0	(17,1)	17,6

Πίνακας 3-10: Συγκεντρωτικός πίνακας εξόδων

Δεδομένα	165 Watt Επαγωγής	198 Watt LED
Έξοδα λαμπτήρα και φωτιστικού (υλικών μόνο)	\$ 515,00	\$ 1.071,00
Κόστος λαμπτήρα	\$ 100,00	\$ 900,00
Διάρκεια λαμπτήρα (ώρες)	100.000	50.000
Μηνιαία Τιμή Ενέργειας	\$ 6,59	\$ 7,91
Τέλος διάθεσης του λαμπτήρα	\$ 25,00	\$ 7,50
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα (συμπεριλαμβανομένων των εργασιών)	\$ 148,17	\$ 930,67
Υπολογισμοί		
Ετήσια κόστη ενέργειας	\$ 79,08	\$ 94,92
Έτη για να αντικατασταθεί ο λαμπτήρας	24,04	12,02
Νο.Αντικατάστασης του λαμπτήρα σε 20 έτη	0,83	1,66
Συντελεστής πληθωρισμού αντικατάστασης λαμπτήρα	1,36	2,43
Κόστος του κύκλου ζωής		
Αρχικό κόστος του φωτιστικού (υλικών και εργασιών)	\$ 554	\$ 1.110
20ετής δαπάνες ενέργειας (με πληθωρισμό)	\$ 2.071	\$ 2.485
20ετής δαπάνες συντήρησης λαμπτήρα	\$ 202	\$ 2.264
20ετή έξοδα Κύκλου Ζωής	\$ 2.827	\$ 5.860
Ετήσια έξοδα LC	\$ 141	\$ 293

Πίνακας 3-11: Συγκεντρωτικός πίνακας εξόδων

Το κόστος αγοράς των λαμπτήρων επαγωγής μπορεί να τρομάζει, ωστόσο γίνεται κατανοητό ότι η εξοικονόμηση χρημάτων αρχίζει να φαίνεται μέσα στα επόμενα έτη και οι λαμπτήρες επαγωγής αποδεικνύονται οικονομικότεροι και πιο βιώσιμοι.

Όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες, ο λαμπτήρας μαγνητικής επαγωγής παράγει περισσότερη φωτεινή ροή ενώ καταναλώνει και λιγότερη ενέργεια, προσφέροντας ετήσια εξοικονόμηση της τάξης του 43% έναντι του 31% που προσφέρει το φωτιστικό LED. Επιπλέον, στην εκτενή ανάλυση του κόστους συντήρησης των δύο φωτιστικών συστημάτων σε διάρκεια 20 ετών, παρατηρούμε ότι το κόστος συντήρησης του συστήματος LED υπερβαίνει κατά πολύ αυτό του λαμπτήρα μαγνητικής επαγωγής, ενώ και η διάρκεια του φωτιστικού επαγωγής είναι μεγαλύτερη. Τα οικονομικά οφέλη μπορούν να επικεντρωθούν σε δύο βασικούς παράγοντες του πίνακα, που είναι τα έξοδα 20ετούς κύκλου ζωής και τα ετήσια έξοδα LC, που σημειώνονται στις δύο

τελευταίες γραμμές των παραπάνω πινάκων, όπου διαπιστώνεται για μία ακόμη φορά η υπεροχή του φωτιστικού επαγωγής.

Επομένως, φαίνεται ξεκάθαρα, πως και στο θέμα του κόστους, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής είναι σαφώς ανώτεροι των φωτιστικών LED, έχοντας μικρότερο κόστος με καλύτερες αποδόσεις. Το αποτέλεσμα αυτό της έρευνας είναι λογικό, ωστόσο προέκυψε με βάση τις τιμές της δεδομένης χρονικής περιόδου, με πληθωρισμό της τάξεως του 2,5%, και βασίστηκε σε υποθέσεις όπως το κόστος ενέργειας και συντήρησης τα οποία είναι συγκεκριμένα στην πόλη του San Diego. Επομένως, δεν αντικατοπτρίζει ενδεχόμενες μειωμένες τιμές οι οποίες επηρεάζουν τους υπολογισμούς της αποπληρωμής. Τα φωτιστικά συστήματα LED, θέλοντας να ανταγωνιστούν αυτά των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, έχουν μειώσει αρκετά τις τιμές τους, ανεβάζοντας ταυτόχρονα τις επιδόσεις τους, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί αισθητά και το κόστος συντήρησης. Ωστόσο, οι λαμπτήρες επαγωγής παραμένουν οικονομικότεροι.

3.7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

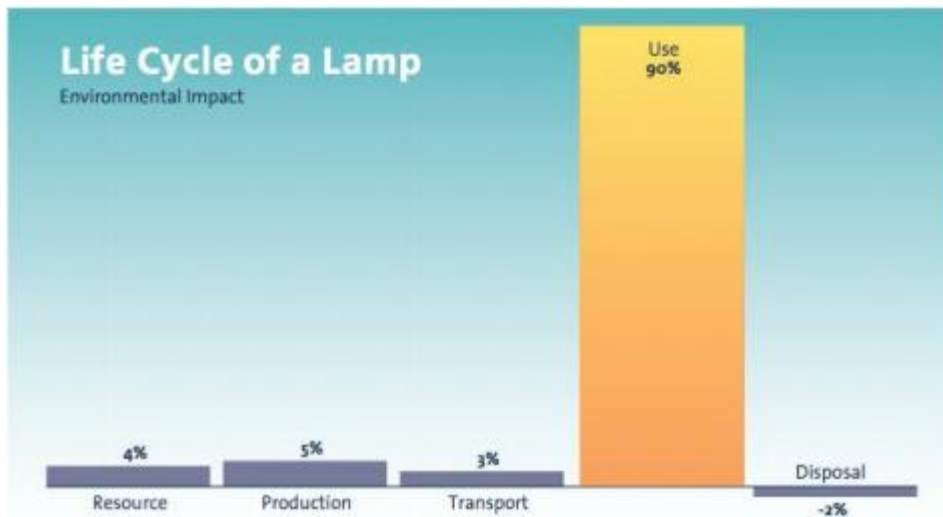
Καθώς συνειδητοποιούμε τις επιπτώσεις των ενεργειών μας στο περιβάλλον, λαμβάνονται όλο και περισσότερα μέτρα για την προστασία αυτού και των φυσικών πόρων. Έτσι, προσπαθούμε, πλέον, όσο εξελίσσουμε την τεχνολογία να την κάνουμε όλο και πιο φιλική προς το περιβάλλον, με γνώμονα την μείωση του φαινομένου της παγκόσμιας θέρμανσης και της αλλαγής του κλίματος του πλανήτη. Ιδιαίτερα στον τομέα του οδικού φωτισμού, μιας και τα φωτιστικά συστήματα διαρρέονται από υψηλές τάσεις, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, και είναι σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας.

Συνεπώς, προκρίνεται η χρήση ενεργειακά αποδοτικών λαμπτήρων είτε προς αντικατάσταση παλαιότερων, είτε προς εγκατάσταση σε νέα φωτιστικά συστήματα. Η αγορά νέων λαμπτήρων θα πρέπει πάντοτε να έχει ως στόχο τον εργονομικό, περιβαλλοντικά συνετό και οικονομικά αποδοτικό φωτισμό ενός χώρου. Οι λαμπτήρες φωτισμού θεωρούνται περιβαλλοντικά αποδοτικοί, αν μπορούν να πετύχουν την ίδια απόδοση με τους συμβατικούς λαμπτήρες, καταναλώνοντας, ωστόσο, λιγότερη ενέργεια.

Μπορούμε να συγκρίνουμε, ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας, τα φωτιστικά συστήματα, σύμφωνα με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον που μπορεί να επιφέρουν. Οι τρεις, σημαντικότεροι, τομείς που εξετάζουμε είναι η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, η χρήση του υδραργύρου και η ανακύκλωση των πρώτων υλών από τα οποία κατασκευάζονται.

➤ Μείωση εκπομπών

Ο φωτισμός αντιστοιχεί στο 19% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού παγκοσμίως και στο 14% σε ευρωπαϊκό επίπεδο.



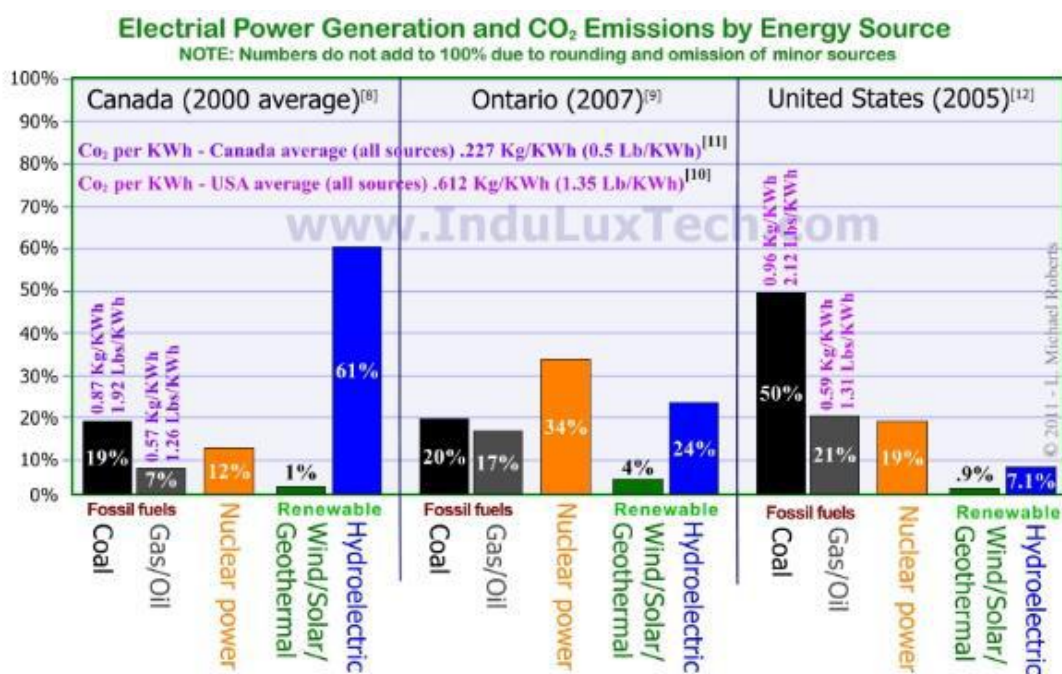
Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής ενός λαμπτήρα διαφέρουν σημαντικά από εκείνες άλλων προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια. Η βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων ενός λαμπτήρα σημαίνει και εξοικονόμηση ενέργειας. Οι ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας έως και κατά 70% και μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής μέχρι και 15 φορές μεγαλύτερη από ότι οι ισοδύναμοι μη οικονομικοί λαμπτήρες. Επιπλέον, σε αντίθεση με άλλα προϊόντα, οι λαμπτήρες φωτισμού έχουν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο χρήσης τους (έως και 90% ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα) και όχι κατά τα στάδια παραγωγής, μεταφοράς και διάθεσης.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συντελεί, σε ένα μεγάλο ποσοστό, στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει διότι, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, γίνεται από την χρήση κυρίως άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αυτό συνεπάγεται, μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με προφανή επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Αντιθέτως, εξοικονόμηση ενέργειας σημαίνει, εκτός από εξοικονόμηση χρημάτων, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Κάθε κιλοβατώρα που εξοικονομείται ισοδυναμεί με 1kg CO_2 λιγότερο στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές θεωρείται ότι αποτελούν το βασικότερο ανθρωπογενές αέριο θερμοκηπίου με σημαντική συμβολή στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και κατ' επέκταση των κλιματικών αλλαγών που αυτή επιφέρει. Ο ενεργειακός τομέας και συγκεκριμένα ο τομέας ηλεκτροπαραγωγής, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι η κύρια πηγή εκπομπών. Υπολογίζεται ότι το 30% των συνολικών εκπομπών CO_2 οφείλεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Ο ενεργειακός τομέας εξακολουθεί να είναι ισχυρά εξαρτώμενος από τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, φυσικό

αέριο), παρά τις προσπάθειες που καταβάλλονται για την υποκατάσταση τους από άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας με μηδενικές εκπομπές CO₂ π.χ ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκτιμάται ότι το 85% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως καλύπτεται από τα ορυκτά καύσιμα.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την παραγωγή ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής σε σύγκριση με αυτές του Καναδά σε διαφορετικές βέβαια χρονολογικές περιόδους [27].



Εικόνα 3-13: Ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση τις εκπομπές ανά τομέα

Είναι εμφανές πως η μείωση της ενέργειας για τον φωτισμό, έμμεσα, συμβάλει αρκετά στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, άρα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρακτικά, λιγότερη ενέργεια σημαίνει και λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ιδιαίτερα για τον οδικό φωτισμό, τα φωτιστικά συστήματα απαιτούν μεγάλες ποσότητες ισχύος για την παραγωγή της απαιτούμενης φωτεινής ροής. Για την σύγκριση των συστημάτων φωτισμού που εξετάζουμε, πρέπει, ουσιαστικά, να εξετάσουμε την ενέργεια που καταναλώνουν.

Τύπος φωτιστικού	Ισχύς (W)	Εξοικονόμηση Ενέργειας (W)	Εκτιμώμενη Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (4165hr/yr,kwh)	Εκτιμώμενη Ετήσια Εξοικονόμηση (4165hr/yr,kwh,%)
LED	198	90	825	375 (31%)
Επαγωγής (μέση)	163	125	679	521 (43%)

Πίνακας 3-12: Ζήτηση και εξοικονόμηση ενέργειας

Εφ' όσον σε προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι τα φωτιστικά επαγωγής καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια, σημαίνει ότι προκαλούν έμμεσα πολύ λιγότερες εκπομπές CO_2 σε σύγκριση με τα φωτιστικά LED. Τα αποτελέσματα αυτά, ωστόσο, προέκυψαν τη δεδομένη στιγμή της έρευνας. Μέχρι σήμερα, οι δίοδοι εκπομπής φωτός, με τις βελτιώσεις που υφίστανται συνεχώς, είναι σχεδόν εξίσου αποδοτικοί με τους λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, οπότε καταναλώνουν και ίδιες περίπου ποσότητες ενέργειας για την λειτουργία τους. Με την απόδοση τους λοιπόν ελαφρώς χειρότερη από αυτή των λαμπτήρων μαγνητικής επαγωγής, τα φωτιστικά LED παράγουν, έμμεσα, πολύ μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, ελαφρώς όμως περισσότερες από αυτές των λαμπτήρων επαγωγής.

➤ Χρήση υδραργύρου

Σχεδόν όλες οι καινούριες τεχνολογίες χρησιμοποιούν υδράργυρο στο εσωτερικό του περιβλήματος του λαμπτήρα, προκειμένου να λειτουργήσουν. Όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδραση του υδραργύρου, πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις βασικοί παράγοντες:

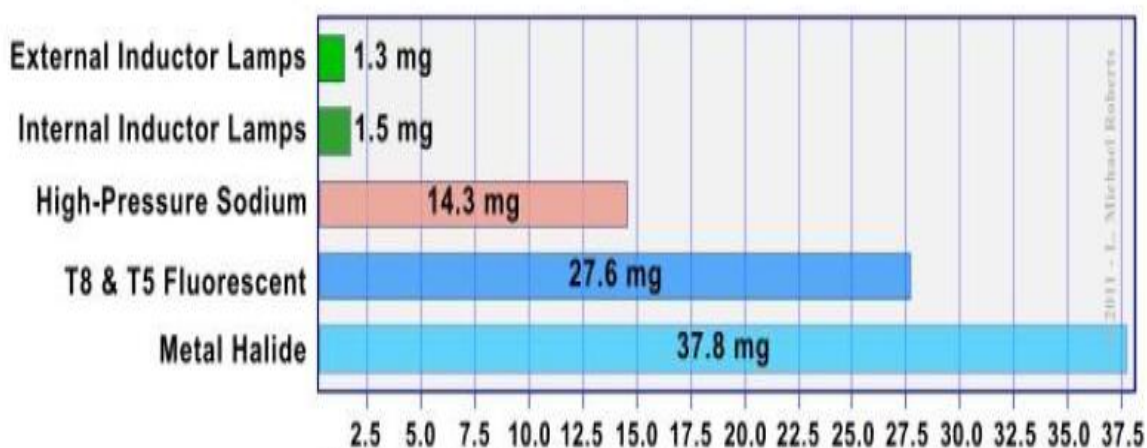
- Το είδος του υδραργύρου (στερεό ή υγρό) το οποίο υπάρχει στους λαμπτήρες
- Η ποσότητα του υδραργύρου στο συγκεκριμένο είδος λαμπτήρα
- Η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα, η οποία θα καθορίσει τη χρησιμοποιούμενη ποσότητα υδραργύρου για κάθε ώρα λειτουργίας του

Ο υγρός υδράργυρος, που είναι η πιο συνηθισμένη μορφή για φωτισμό, αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο. Εάν ο λαμπτήρας σπάσει, ο υδράργυρος μπορεί να βρει το δρόμο του μέσα σε ρωγμές στο δάπεδο. Με τον καιρό το πτητικό υγρό υδραργύρου θα εξατμιστεί μολύνοντας τοπικά την ατμόσφαιρα. Όσο περισσότερο υγρό διαθέτει ο λαμπτήρας, τόσο περισσότερο θα διαρκέσει η μόλυνση.

Ο υδράργυρος μπορεί να αναμιχθεί με άλλα μέταλλα, σε στερεά μορφή, που ονομάζεται αμάλαμα. Αυτό το είδος υδραργύρου χρησιμοποιείται στις λάμπες επαγωγής. Είναι παρόμοιο με το ευρέως χρησιμοποιούμενο αμάλαμα αργύρου που χρησιμοποιείται σε οδοντικά σφραγίσματα. Η στερεά μορφή υδραργύρου αποτελεί μικρότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα σε σχέση με τον υγρό, καθώς η μικρή μάζα αμαλάματος μπορεί εύκολα να ανακτηθεί (πάντα με γάντια μιας χρήσεως) σε περίπτωση που ο λαμπτήρας επαγωγής σπάσει και ως εκ τούτου μπορεί να απορριφθεί κατάλληλα με ελάχιστο ή καθόλου κίνδυνο τοπικά μολυσμένης περιοχής. Το στερεό αμάλαμα υδραργύρου είναι επίσης απλούστερο να ανακυκλωθεί στο τέλος της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα. Ο υδράργυρος μπορεί να ανακτηθεί από τα απόβλητα αμαλάματος μέσω μιας διαδικασίας απόσταξης και έπειτα να επαναχρησιμοποιηθεί σε νέα προϊόντα. Ωστόσο, εάν το αμάλαμα καταλήξει σε αποτεφρωμένα απόβλητα, ο υδράργυρος μπορεί να ελευθερωθεί στο περιβάλλον λόγω των υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διαδικασία αποτέφρωσης. Γι' αυτό, ολοένα και περισσότερες τοπικές κοινότητες θέτουν περιορισμούς, όσον αφορά την αποτέφρωση αποβλήτων που περιέχουν υδράργυρο.

Οι λαμπτήρες επαγωγής χρησιμοποιούν τη μικρότερη ποσότητα υδραργύρου σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα φωτισμού που χρησιμοποιούν υδράργυρο, με βάση την αρχική ποιότητα και ποσότητα που χρησιμοποιείται ανά 20.000 ώρες της διάρκειας του λαμπτήρα. Είναι, ως εκ τούτου, πολύ πιο φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς χρησιμοποιούν πολύ λίγο υδράργυρο. Επιπρόσθετα, ο υδράργυρος είναι σε στερεά μορφή, μειώνοντας τον κίνδυνο μόλυνσης σε περίπτωση θραύσης και καθιστώντας την ανάκτηση για ανακύκλωση απλούστερη.

Το παρακάτω διάγραμμα οπτικοποιεί αυτές τις πληροφορίες για τα πιο κοινά είδη βιομηχανικών, εμπορικών και λιανικών τεχνολογιών φωτισμού [29].



Εικόνα 3-14: Κατανάλωση υδραργύρου ανά 20.000 ώρες λειτουργίας

Οι λαμπτήρες LED, από την άλλη, δεν χρησιμοποιούν υδράργυρο για τη λειτουργία τους, οπότε δεν έχουν καμία επίδραση στο περιβάλλον στον τομέα αυτό. Χρησιμοποιούν, ωστόσο, μόλυβδο και αρσενικό κατά την κατασκευή τους, αλλά οι ποσότητες είναι μικρές και δεν επιδρούν όσο ο υδράργυρος. Οπότε, προφανώς, στο συγκεκριμένο τομέα δεν υπάρχει θέμα σύγκρισης των συστημάτων επαγωγής με τα συστήματα LED.

➤ Ανακύκλωση

Ένα φωτιστικό σύστημα χαρακτηρίζεται φιλικότερο προς το περιβάλλον με βάση την ποσότητα των υλικών του που είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν. Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής έχουν το πλεονέκτημα ότι κατασκευάζονται από γυαλί, αποτελούνται από μεταλλικά συστατικά, και πολύ λίγο πλαστικό (ως επί το πλείστον η μόνωση του πηνίου επαγωγής), επομένως τα υλικά τους ανακυκλώνονται εύκολα, ενώ και το αμάλγαμα υδραργύρου, όπως έχει ήδη αναφερθεί αφαιρείται εύκολα.

Οι λαμπτήρες LED, αντιθέτως, κατασκευάζονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από πλαστικό, ακολουθούμενο από μέταλλο. Ενώ το μέταλλο θα μπορούσε να ανακυκλωθεί, υπάρχει σε μικρές ποσότητες και ο διαχωρισμός του από τα υπόλοιπα συστατικά δε θα ήταν οικονομικός. Κατά συνέπεια, αυτού του είδους οι λαμπτήρες

είναι πιο δύσκολο να ανακυκλωθούν και συνήθως καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Το γεγονός αυτό αποτελεί μεγάλο λάθος, διότι ενώ η ποσότητα του τοξικού υλικού σε κάθε ένα LED είναι μικρή, συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστοιχίες. Έτσι, αυξάνεται ο αριθμός των λαμπτήρων LED, οι οποίοι καταλήγουν σε χωματερές με επακόλουθη συσσώρευση ουσιών, οι οποίες κρίνονται επιβλαβείς για το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου. Ωστόσο, γίνεται μεγάλη προσπάθεια για ανακύκλωση των συγκεκριμένων λαμπτήρων, και όλο και μεγαλύτερο ποσοστό τους γίνεται ανακυκλώσιμο από εταιρείες διαχείρισης αποβλήτων, οι οποίες συλλέγουν και ανακυκλώνουν τα συστήματα LED έναντι μικρής χρέωσης. Η διαδικασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει σύνθλιψη των λαμπτήρων και διαχωρισμό τους. Στη συνέχεια, το γυαλί διέρχεται μέσω ενός μαγνητικού πεδίου, το οποίο μπορεί να αφαιρέσει οποιοδήποτε σιδηρούχο μέταλλο και με κατάλληλη διαδικασία αφαιρείται το αλουμίνιο και ο μόλυβδος που περιέχεται. Το γυαλί μπορεί, στη συνέχεια, να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα προϊόντα, όπως μπορεί και το αλουμίνιο. Καθώς το γυαλί δεν αποικοδομείται κατά τη διάρκεια της ανακύκλωσης, μπορεί να ανακυκλωθεί πολλές φορές.

Επιπλέον, οι λαμπτήρες με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον, αφού χρειάζονται λιγότερες αντικαταστάσεις σε μεγάλη χρονική περίοδο, άρα έχουν και την απαίτηση λιγότερων πρώτων υλών. Στον τομέα αυτό, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, υπερτερούν και πάλι οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, καθώς χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι τα συστήματα επαγωγής προσφέρουν καλύτερα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, συγκρινόμενα με τα συστήματα LED και αποτελούν ορθή περιβαλλοντική επιλογή όταν όλες οι πτυχές της τεχνολογίας των λαμπτήρων ληφθούν υπόψη.

3.8 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΚΡΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφίες [41], [42] όλα τα είδη συστημάτων φωτισμού, σχεδιάζονται πειραματικά υπό συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου, δηλαδή περίπου στους 25°C. Σε εξωτερικές συνθήκες, προφανώς, οι πειραματικές θερμοκρασίες συναντώνται σπάνια και τα φωτιστικά συστήματα οδικού φωτισμού, σίγουρα, ανάλογα την εποχή και τον τόπο στον οποίο βρίσκονται, υπόκεινται σε ακραίες θερμοκρασίες πολύ συχνά, ίσως και συνέχεια. Κάποια φωτιστικά συστήματα εμφανίζουν καλύτερη λειτουργία και απόδοση υπό μεγαλύτερες θερμοκρασίες και άλλα σε χαμηλότερες. Μεγάλη εξάρτηση από την θερμοκρασία παρουσιάζει η τροφοδοσία των φωτιστικών συστημάτων, στην οποία μπορεί να δημιουργηθεί σοβαρότατο πρόβλημα από υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, μπορεί ο λαμπτήρας να λειτουργεί κανονικά χρησιμοποιώντας

ειδικές συσκευασίες με ψήκτρες με σκοπό την απαγωγή της επιπλέον θερμότητας, όσο αυτό είναι δυνατόν.

Οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, λόγω του σχεδιασμού τους και της τοποθέτησης του πηνίου εμφανίζουν πολύ καλές αντοχές σε ακραίες συνθήκες. Σε υψηλές θερμοκρασίες, λειτουργούν έως και τους 50°C χωρίς κανένα πρόβλημα, ενώ πάνω από αυτή τη θερμοκρασία λειτουργούν με μειωμένο χρόνο ζωής κυρίως λόγω του συστήματος τροφοδοσίας (η ανώτατη θερμοκρασία λειτουργίας του είναι 50°C). Όσον αφορά τις χαμηλές θερμοκρασίες, οι λαμπτήρες λειτουργούν κανονικά από -35°C έως -50°C, ενώ ακόμα και στους -40°C διατηρούν το 85% της απόδοσής τους σε Lumen.

Τα φωτιστικά συστήματα LED, όπως προαναφέρθηκε, ανεβάζουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο κύκλωμά τους και παράγουν πολύ λίγη υπέρυθη ακτινοβολία IR, εκτός φυσικά αν έχουν σχεδιαστεί για το σκοπό αυτό. Οι συμβατικοί λαμπτήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε πολύ μεγάλο ποσοστό, σε θερμότητα και όχι σε φως. Αντιθέτως, τα συστήματα LED μετατρέπουν σε πολύ μεγάλο ποσοστό την ενέργεια που τους δίνουμε σε φως, έχοντας μικρές απώλειες. Η σχεδίαση τους είναι τέτοια που το 60% με 90% της κατανάλωσης της ενέργειάς τους χάνεται ως θερμότητα μέσα στο ίδιο τους το τσιπ. Δεδομένου ότι η περιοχή που παράγει φως είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με το υπόλοιπο φωτιστικό σύστημα LED και λόγω του χαμηλού επιπέδου ισχύος, τα LED αισθάνονται δροσερά στην αφή και στην πραγματικότητα εξωτερικεύουν πολύ λίγη θερμότητα. Προφανώς, οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι ένα σημαντικό εμπόδιο για τις διόδους εκπομπής φωτός και λειτουργούν πολύ πιο αποτελεσματικά σε χαμηλές θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου, έχοντας περισσότερα lm/W, από ότι σε θερμοκρασίες δωματίου. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια να διατηρηθεί το τσιπ κάτω από την θερμοκρασία διασταύρωσης, η οποία είναι βέβαια δύσκολο να μετρηθεί και εκτιμάται μέσω της θερμοκρασίας της συσκευασίας και της θερμοκρασίας του μολύβδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να μειώνεται αισθητά η εκπομπή φωτός, καθώς φυσικά και ο χρόνος ζωής των LED. Στην πραγματικότητα, η θερμότητα που παράγεται στη βάση του τσιπ πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά για να διατηρηθεί η φωτεινή ροή. Τα τσιπ των LED είναι συνήθως σχεδιασμένα για να λειτουργούν στη θερμοκρασία διασταύρωσης των 25°C και κάθε αύξηση αυτής προκαλεί σημαντική μείωση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής τους. Οι σχεδιαστές έχουν ως στόχο να βελτιστοποιήσουν τη θερμική τους διαχείριση, για να έχουν την δυνατότητα να διασκορπίσουν τη θερμότητα που παράγουν. Φυσικά, αυτό τον σκοπό έχουν οι ψήκτρες. Έτσι, οι λαμπτήρες LED λειτουργούν με άριστη απόδοση σε συνθήκες περιβάλλοντος έως και τους 40°C. Υψηλότερες θερμοκρασίες θα οδηγήσουν σε κρίσιμη αποτυχία σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Κάτι πολύ σημαντικό είναι ότι το μέγεθος της ψήκτρας των φωτιστικών αυτών συστημάτων, καθορίζει, προφανώς εν μέρει, και το κόστος τους.

Ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας των αποδεκτών θερμοκρασιών αντοχής, όπως προέκυψε από τη μελέτη της βιβλιογραφίας [32], [41], [42], [46].

Φωτεινή πηγή	Αποδεκτές θερμοκρασίες περιβάλλοντος		
	Ελάχιστη θερμοκρασία εκκίνησης	Ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας	Ύψιστη θερμοκρασία
LED	-50°C	-50°C	30-40°C
Επαγωγής	-40°C	-40°C	40-65°C

Πίνακας 3-13: Αποδεκτές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

Όσον αφορά τις συνθήκες βροχής, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής, καθώς και τα φωτιστικά συστήματα LED αντιμετωπίζουν, άψογα, κάθε αντιξοότητα μέσω των προηγμένων τύπων των συσκευασιών που τα περιβάλλουν. Σε συνθήκες χιονιού και ιδιαίτερα σε συνθήκες πάγου, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής λόγω της μεγάλης θερμότητας που αναπτύσσουν στο σημείο που εγχύεται η φωτεινή τους ροή, μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν παρουσιάζουν κανένα απολύτως πρόβλημα, καθώς λιώνουν τον πάγο. Αντίθετα, τα φωτιστικά συστήματα LED, παρουσιάζουν πρόβλημα όταν είναι εκτεθειμένα σε χιονόνερο, χιόνι, ή περισσότερο, στον πάγο. Δεδομένου ότι τα LED, όπως είδαμε προηγουμένως, παράγουν πολύ λίγη θερμότητα, στο σημείο που εκτίθεται στο περιβάλλον, δηλαδή το σημείο που προβάλλει το φως, καθώς δεν παράγεται υπέρυθρη ακτινοβολία, συχνά δεν έχουν την ικανότητα να λιώσουν οποιαδήποτε συσσώρευση πάγου.

Συμπερασματικά, οι λαμπτήρες επαγωγής υπερτερούν έναντι των συστημάτων LED όταν εκτεθούν σε ακραίες συνθήκες. Τα LED, βέβαια, αποδίδουν πολύ πιο αποδοτικά σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά υπό αυτές τις συνθήκες επικρατούν και συνθήκες χιονιού ή πάγου, με αποτέλεσμα η φωτεινή ροή που εκπέμπουν τα LED να μειώνεται αισθητά λόγω του πάγου. Σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες οι λαμπτήρες επαγωγής είναι καλύτεροι, λόγω του υψηλότερου σημείου αντοχής τους (πάνω από 50°C). Ωστόσο, γίνεται μεγάλη προσπάθεια από τους κατασκευαστές, προκειμένου να αυξηθούν οι αντοχές και των δύο ειδών λαμπτήρων σε εφαρμογές οδικού φωτισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθίσταται προφανές από όλα τα παραπάνω ότι η αξιολόγηση και επιλογή ενός συστήματος φωτισμού είναι συνάρτηση ποικίλων παραγόντων. Οι πληροφορίες που προέκυψαν από τη μελέτη των χαρακτηριστικών των δύο τεχνολογιών φωτισμού μέχρι και σήμερα έρχονται να επιβεβαιώσουν τα ευρήματα της έρευνας, η οποία πραγματοποιήθηκε στην πόλη του San Diego. Αμφότερες οι τεχνολογίες εξελίσσονται διαρκώς και οι τιμές και οι αποδόσεις τους είναι τομείς διαρκούς βελτίωσης. Εν τούτοις, παρόλο που οι διαφορές τους υπόκεινται συνεχείς μεταβολές, με αποτέλεσμα να μειώνονται αισθητά, οι λαμπτήρες μαγνητικής επαγωγής εξακολουθούν να εμφανίζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα LED.

Τα συστήματα επαγωγής, υπερτερούν λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, της καλής ποιότητας φωτισμού τον οποίο προσφέρουν και γίνεται αντιληπτός από τον ανθρώπινο οφθαλμό, της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, η οποία προκύπτει από την απόδοσή τους, του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης που παρουσιάζουν και κατά συνέπεια του χαμηλότερου κόστους φωτισμού που προσφέρουν. Επιπλέον, θεωρούνται φιλικότεροι προς το περιβάλλον με σχεδόν όλα τα υλικά τους να είναι ανακυκλώσιμα, αν και στο εσωτερικό τους περιέχουν υδράργυρο, ο οποίος ωστόσο είναι σε στερεά μορφή και μαζεύεται εύκολα σε περίπτωση θραύσης.

Τα συστήματα φωτισμού LED συναγωνίζονται, ωστόσο, τα συστήματα επαγωγής με τρομερά βελτιωμένες αποδόσεις και σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών με την απουσία πάγου, αποκτούν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντί τους. Αντίθετα, σε κανονικές και μεγάλες θερμοκρασίες, και η απόδοση και ο χρόνος ζωής τους μειώνονται αισθητά και ως εκ τούτου ανεβαίνει το κόστος συντήρησής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Database for Energy Efficient Resources (DEER). 2008. California Public Utilities Commission, <http://www.energy.ca.gov/deer>

[2] Lewin, Ian. «Visibility Factors in Outdoor Lighting Design, part 2.» The Lighting Journal, Early 2000. Institution of Lighting Engineers, Rugby, UK.

[3] IESNA PS-02-09. «Use of Spectral Weighting Functions for Compliance with IES Recommendations», 2009.

[4] IESNA RP-8 «Recommended Practice for Street Lighting» Illuminating Engineering Society of North America. 2005. New York, New York.

[5] Pacific Gas and Electric Company (PG&E). January 2008. Emerging Technology Program. «Application Assessment Report 0714», http://www.etcc-ca.com/images/stories/pdf/ETCC_Report_460.pdf

[6] Pacific Gas and Electric Company (PG&E). December 2008. Emerging Technology Program. «Application Assessment Report 0727». http://www.etcc-ca.com/index.php?option=com_content&task=view&id=2841&Itemid=72

[7] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο www.philips.com

[8] RLW Analytics, Inc. October 2003. «PIER CA Outdoor Lighting Baseline Assessment Study P500-03-082-A-18» California Energy Commission, CA and New Buildings Institute, White Salmon, Washington.

[9] U.S. DOE Building Technologies Program, «Lifetime of White LEDs: PNNL-SA-50957», June 2009.

[10] U.S. DOE Solid-State Lighting Technology Demonstration Gateway Program and PG&E Emerging Technologies Program, «Demonstration Assessment of Light Emitting Diode (LED) Street Lighting, Phase III Continuation». Oakland, CA, November 2008.

[11] U.S. DOE Solid-State Lighting Technology Demonstration Gateway Program and PG&E Emerging Technologies Program, «LED Street Lighting». San Francisco, CA, December 2008.

[12] Sohel UDDIN, Hussain SHAREEF, Azah MOHAMED, Mahammad A HANNAN, «Harmonics and thermal characteristics of low wattage LED lamps», Dept. of Electrical, Electronic & Systems Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia.

[13] Sohel UDDIN, Hussain SHAREEF, Azah MOHAMED, Mahammad A HANNAN, «Investigation of harmonic generation from dimmable LED lamps», Dept. of Electrical, Electronic & Systems Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia.

[14] Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας, Τμήμα ανάπτυξης αγοράς, Διεύθυνση ενεργειακής πολιτικής και σχεδιασμού, «Τομείς εφαρμογής ενεργειακά αποδοτικών δημόσιων προμηθειών».

[15] Ιστοσελίδα στο διαδίκτυο <http://www.buy-smart.info/downloads9/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%822>

[16] LED inside, LED advanced technology and innovative application, http://www.ledinside.com/knowledge/2012/7/what_is_led

[17] AZO CLEANTECH – Recycling of LED lights, http://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=249#Recycling_of_LEDs

[18] FUTURE ENERGY SOLUTIONS – Environmental Aspects of Magnetic Induction Lamps, <http://www.futureenergysolutions.us/lighting/environmental-aspects-magnetic-induction-lamps>

[19] Bauer Energy, <http://www.bauerenergy.com/el/induction-lamps.html>

[20] Global Induction Lighting, <http://globalinductionlighting.com/visually-effective-lighting/>

[21] P. Lutkevich, D. McLean και J. Cheung, FHWA Lighting Handbook, New Jersey: Parsons Brinckerhoff, 2012.

[22] Michael Roberts, «*The Science Behind Adattsi Magnetic Induction Lighting*», Adattsi Sustainable Energy Products And Solutions, 2012.

[23] Δημήτριος Νικολάου, «*Η Εφαρμογή Των Led Στον Φωτισμό Δρόμων Και Οι Προοπτικές Εξοικονόμησης Ενέργειας*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (artemis.cslab.ntua.gr), 2014.

[24] Da Silva M.F, Schlittler M.E., Fraytag J., Chagas N.B, «*Analysis of losses in the core of an electrodeless fluorescent lamp*», Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE, pp. 1-5, Lake Buena Vista, FL, 2013.

[25] Gacio D., Alonso J.M., Garcia J., Campa L., «*PWM Series Dimming for Slow-Dynamics HPF LED Drivers: the High-Frequency Approach*», Industrial Electronics, IEEE, vol. 59, num. 4, pp. 1717-1727, 2012.

[26] Pinto R.A, Cosetin M.R., Roncalio J.G., Melo M, «*High-Power-Factor Street Lighting System to Supply LEDs without Energy Consumption during the Peak Load Time*», IECON 2011 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, IEEE, pp. 2947-2952, Melbourne VIC, Australia, 2011.

[27] L. M. Roberts, «*Environmental Aspects of Magnetic Induction Lamps*», Indulux Technologies Inc., 2014.

[28] Wind Energy – The facts, <http://www.wind-energy-the-facts.org/>

[29] Econolux Industries, «*Econolux Induction Lights Vs. Led Lights*», Hong Kong, 2012.

[30] Anibal De Almeida, Bruno Santos, Bertoldi Paolo, Michel Quicheron, «*Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science Direct, Elsevier, vol. 34, pp. 30-48, 2014.

[31] Dongjing Liu, Yang D.G., Rongbin Ren, Fengze Hou, «*Reliability study on high power LED with chip onboard*», Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP) 12th International Conference, IEEE, pp. 1-4, Shanghai, China, 2011.

[32] Cole M., Martin K., Walton M., Throckmorton M., «*Lighting in extreme temperature environments: The highs and the lows*», PCIC Europe 2010 Conference Record, IEEE, pp. 1-8, Oslo, 2010.

[33] Moon-Hwan Chang, Diganta Das, P.V. Varde, Michael Pecht, «*Light emitting diodes reliability review*», Microelectronics Reliability, Reliability of High-Power LED Packaging and Assembly, Science Direct, Elsevier, vol. 52, num. 5, pp. 762-782, 2012.

[34] Yinong Liu, Jibing Chen, Wei Guo, Wenfei Zhang, «*Research on thermal shock test for the optical and electrical properties of white LEDs*», Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP) 13th International Conference, IEEE, pp. 1526-1529, Guilin, 2012.

[35] Eugene Hong, Nadarajah Narendran «*A Method for Projecting Useful Life of LED Lighting Systems*», Third International Conference on Solid State Lighting, SPIE Digital Library, vol. 5187, San Diego, California, 2004.

[36] Βαλσαμάκης Μάριος, «*Φωτισμός δρόμων και εξοικονόμηση ενέργειας*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (artemis.cslab.ntua.gr), 2008.

[37] Καρυστηναίου Μαρία - Μαργαρίτα, «*Εφαρμογές διόδων εκπομπής φωτός – Μελέτη και ανάπτυξη νέου προϊόντος*», Πολυτεχνείο Κρήτης, 2014.

[38] Αλαφογιάννης Δημοσθένης, «*Μια Σύγκριση Φωτιστικών Σωμάτων Μαγνητικής Επαγωγής Με Φωτιστικά Σώματα LED Σε Εφαρμογές Στον Οδοφωτισμό*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (artemis.cslab.ntua.gr), 2014.

[39] David DiLaura, Kevin Houser, Richard Mistrick, Gary Steffy, «*The IESNA Lighting Handbook*», 10th ed., Illuminating Engineering Society of North America, 2011, ISBN # 978-0-87995-241-9.

[40] Solid-state lighting research and development: Multi-year program, Navigant Consulting, Inc., May 2014, prepared for Lighting Research and Development Building Technologies Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Dept. of Energy,
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2014_web.pdf

[41] Ντάγγας Σπυρίδων, «*Συγκριτική ανάλυση των νέων τεχνολογιών φωτισμού εξοικονόμησης ενέργειας*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (artemis.cslab.ntua.gr), 2014.

[42] Γιαγιάννος Σταύρος, «*Σχεδιασμός αυτόνομου φωτιστικού δρόμων και εξωτερικών χώρων με LED: Εφαρμογή στις πλατείες κέντρου του ΕΜΠ*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (artemis.cslab.ntua.gr), 2013.

[43] Saito W., Domon T., Omura, I., Nitta T., Kakiuchi Y, Tsuda K., Yamaguchi M., «*Demonstration of Resonant Inverter Circuit for Electrodeless Fluorescent Lamps Using High Voltage GaN-HEMT*», Power Electronics Specialists Conference, IEEE, pp 3324-3329, 2008.

[44] Oleg A. Popov, Robert Chandler, «*Ferrite-free high power electrodeless fluorescent lamp operated at a frequency of 160-1000 kHz*», *Plasma Sources Science and Technology*, IOP Science, vol. 11, num. 2, 2002.

[45] Arias, M, Lamar D.G., Linera F.F., Balocco D., «*Design of a Soft-Switching Asymmetrical Half-Bridge Converter as Second Stage of an LED Driver for Street Lighting Application*», *Power Electronics, IEEE*, vol. 27, num. 3, pp. 1608-1621, 2012.

[46] D. Wharmby, «*Electrodeless lamps for lighting: a review.*» *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings*, τόμ. 140, αρ. 6, pp. 465-473, 1993.