



Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ LED ΚΑΙ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ  
ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

**ΦΑΝΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

Επιβλέπων καθηγητής

**Δρ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ**

© 2016 ΦΑΝΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## Εξεταστική Επιτροπή

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Δημήτριος Παντελής, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος, Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.



## Ευχαριστίες

Με τη Διπλωματική Εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Θα ήθελα λοιπόν, με την αφορμή αυτή, να ευχαριστήσω όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου σε ολόκληρη τη φοιτητική μου πορεία.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας κ. Δημήτριο Παντελή, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την βοήθεια και για τις πολύτιμες συμβουλές κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο και τον κ. Αναστάσιο Σταματέλλο, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόκληρο το ανθρώπινο δυναμικό της Σχολής, για τις γνώσεις, τις εμπειρίες και τα βιώματα, που με ζήλο, όρεξη και υπομονή, τις περισσότερες φορές, μετέδωσε σε μένα και στους συμφοιτητές μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και φίλες για την συμπαράσταση, την ανοχή όλο το διάστημα της εργασίας καθώς και τη βοήθεια που λίγο πολύ όλοι μου προσέφεραν. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όλα τα εφόδια που μου έχουν προσφέρει και για την συνεχή υποστήριξή τους.



## Περίληψη

Στην σημερινή εποχή η τεχνολογία LED έχει γίνει ευρέως γνωστή και τείνει να καθιερωθεί σε όλους τους τομείς. Αυτό γίνεται διότι η χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι αυτή την στιγμή ο καλύτερος τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, τα LED υψηλής ισχύος παρέχουν υψηλή φωτεινότητα και υψηλή απόδοση στη χρήση τους ως πηγή φωτισμού. Αυτός είναι και ο λόγος που σταδιακά οι λαμπτήρες LED έχουν αντικαταστήσει τα υπόλοιπα είδη λαμπτήρων σε αρκετές εφαρμογές. Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης των ειδών φωτισμού και τα οφέλη που θα προκύψουν στην αντικατάσταση των ήδη υφιστάμενων στο κτίριο της βιβλιοθήκης του Βόλου.

Αρχικά γίνεται μία ιστορική αναδρομή για τα βασικότερα είδη των λαμπτήρων και επεξηγούνται και οι λόγοι που οδήγησαν στην ανακάλυψή τους. Έπειτα πραγματοποιείται αναλυτική παρουσίαση των συμβατικών τεχνολογιών φωτισμού (λαμπτήρες πυρακτώσεως, λαμπτήρες φθορισμού, λαμπτήρες νατρίου κ.α.). Στην συνέχεια πραγματοποιείται διεξοδική ανάλυση και παρουσίαση της τεχνολογίας LED. Παρουσιάζεται η αρχή που διέπει τη λειτουργία ενός λαμπτήρα LED και ο τρόπος που ο λαμπτήρας παράγει φως, η δομή ενός λαμπτήρα LED, όλες οι σημαντικές παράμετροι, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι τομείς που βρίσκει εφαρμογή η τεχνολογία αυτή. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούν τον φωτισμό (φωτεινή απόδοση, διάρκεια ζωής, δείκτης χρωματικής απόδοσης, θερμοκρασία χρώματος κ.α.) και γίνεται μία σύγκριση της τεχνολογίας LED με τις συμβατικές τεχνολογίες φωτισμού ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά.

Κατόπιν, προχωράμε στο κομμάτι όπου πραγματοποιούμε την μελέτη για την βιβλιοθήκη του Βόλου. Εδώ γίνεται μία καταμέτρηση του υφιστάμενου φωτισμού, στην βιβλιοθήκη, και παρουσίαση των χαρακτηριστικών του. Έπειτα παρουσιάζεται η πρόταση μας για τον φωτισμό αντικατάστασης τύπου LED και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε λαμπτήρα LED. Ακολουθεί η σύγκριση για την κατανάλωση ενέργειας, το κόστος αγοράς των λαμπτήρων όπως και για το κόστος συντήρησης μεταξύ του προτεινόμενου φωτισμού και του υφιστάμενου. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας μελέτης και προτείνονται

κάποιες επιπρόσθετες προτάσεις που σε συνδυασμό με την αντικατάσταση του φωτισμού θα μας επιφέρουν μεγαλύτερη οικονομία.



## Περιεχόμενα

Εξεταστική Επιτροπή .....	3
Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	7
Πίνακες.....	11
Εικόνες .....	13
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	15
1.1 Ιστορική αναδρομή των λαμπτήρων .....	15
1.2 Δημιουργία του πρώτου λαμπτήρα.....	15
1.3 Ιστορία λαμπτήρων φθορισμού .....	16
1.4 Η ιστορία των λαμπτήρων LED .....	17
Κεφάλαιο 2. Είδη και χαρακτηριστικά ηλεκτρικού λαμπτήρα .....	21
2.1 Λαμπτήρας πυρακτώσεως .....	21
2.2 Λαμπτήρες αλογόνου .....	22
2.3 Λαμπτήρες τόξου.....	23
2.3.1 Λαμπτήρες φθορισμού .....	24
2.3.2 Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης .....	26
2.3.3 Ατμών νατρίου .....	26
2.4 Λαμπτήρες LED .....	27
Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία LED.....	29
3.1 Ανάλυση λειτουργίας των λαμπτήρων LED .....	29
3.2 Διάρκεια Ζωής και αποτυχία.....	34
3.3 Χαρακτηριστικοί τρόποι λειτουργίας.....	34
3.4 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα χρήσης LED .....	36
3.4.1 Πλεονεκτήματα .....	36
3.4.2 Μειονεκτήματα.....	37
3.5 Εφαρμογές.....	39
Κεφάλαιο 4. Χαρακτηριστικά λαμπτήρων και σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών .....	41
4.1 Φωτεινή απόδοση .....	41

4.2 Ποιότητα φωτός.....	42
4.2.1 Θερμοκρασία χρώματος (CCT).....	42
4.2.2 Δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI) .....	43
4.3 Φωτισμός ή Ισχύς Φωτισμού.....	44
4.4 Διάρκεια ζωής .....	46
4.5 Θόρυβος RF και Flickering .....	47
4.6 Κόστος.....	48
4.7 Dimmer και χρήση σε dimmable λαμπτήρες.....	50
4.8 Συμπεράσματα.....	51
Κεφάλαιο 5. Αντικατάσταση λαμπτήρων στην βιβλιοθήκη του Βόλου .....	53
5.1 Πληροφορίες κτηρίου.....	54
5.2 Προτεινόμενος φωτισμός LED.....	56
5.3 Οικονομική μελέτη.....	62
5.3.1 Σύγκριση κατανάλωσης ρεύματος.....	63
5.3.2 Σύγκριση κόστους αγοράς.....	65
5.4 Αποτελέσματα οικονομικής σύγκρισης.....	70
Κεφάλαιο 6. Επιπρόσθετες προτάσεις.....	73
6.1 Συστήματα ελέγχου φωτισμού .....	73
6.2 Ενεργειακή Μελέτη.....	78
Βιβλιογραφία.....	81
Παράρτημα.....	83

## Πίνακες

Πίνακας 1: Αντιστοιχία χρωμάτων.....	33
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικοί τρόποι λειτουργίας λαμπτήρων LED .....	35
Πίνακας 3: Φωτεινή απόδοση τεχνολογιών φωτισμού .....	42
Πίνακας 4: Θερμοκρασία χρώματος και χρωματική απόδοση των διαφόρων τεχνολογιών ...	44
Πίνακας 5: Στοιχεία υφιστάμενου φωτισμού .....	55
Πίνακας 6: Στοιχεία προτεινόμενου φωτισμού .....	57
Πίνακας 7: Παρουσίαση του LED φωτισμού.....	62
Πίνακας 8: Κατανάλωση ρεύματος προτεινόμενου φωτισμού .....	64
Πίνακας 9: Κατανάλωση ρεύματος προτεινόμενου φωτισμού .....	65
Πίνακας 10: Κόστος αγοράς υφιστάμενου φωτισμού .....	67
Πίνακας 11: Κόστος αγοράς προτεινόμενου φωτισμού .....	68
Πίνακας 12: Κόστος εγκατάστασης/αντικατάστασης υφιστάμενου φωτισμού.....	69
Πίνακας 13: Κόστος εγκατάστασης/αντικατάστασης προτεινόμενου φωτισμού.....	70
Πίνακας 14: Συνολικά οικονομικά αποτελέσματα.....	71
Πίνακας 15: Απόσβεση επένδυσης.....	72



## Εικόνες

Εικόνα 1: Δομή λαμπτήρα πυρακτώσεως .....	21
Εικόνα 2: Το κύκλωμα λειτουργίας του λαμπτήρα φθορισμού και οι φάσεις λειτουργίας του εκκινητή (starter) .....	25
Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας των διόδων εκπομπής φωτός .....	30
Εικόνα 4: Δομή LED .....	31
Εικόνα 5: Κατασκευαστικό διάγραμμα LED .....	32
Εικόνα 6: Διακύμανση χρωμάτων ανάλογα με την θερμοκρασία .....	43
Εικόνα 7: Βέλτιστη περιοχή ορατότητας .....	45
Εικόνα 8: Διάγραμμα ετήσιου κέρδους .....	72
Εικόνα 9: Διάγραμμα απόσβεσης σε χρόνια .....	72
Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική ελέγχου φωτισμού Greengate .....	77
Εικόνα 11: Υπόμνημα συμβόλων .....	83
Εικόνα 12: Κάτοψη ισογείου .....	84
Εικόνα 13: Κάτοψη 1 <sup>ου</sup> ορόφου .....	85
Εικόνα 14: Κάτοψη 2 <sup>ου</sup> ορόφου .....	86
Εικόνα 15: Κάτοψη 3 <sup>ου</sup> ορόφου .....	87
Εικόνα 16: Κάτοψη 4 <sup>ου</sup> ορόφου .....	88
Εικόνα 17: Κάτοψη 5 <sup>ου</sup> ορόφου .....	89
Εικόνα 18: Αντίγραφο λογαριασμού Δ.Ε.Η. ....	90
Εικόνα 19: Πρόσθετα στοιχεία λογαριασμού .....	91
Εικόνα 20: Προσφορά λαμπτήρων LED .....	92



## **Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή**

### **1.1 Ιστορική αναδρομή των λαμπτήρων**

Η δημιουργία του λαμπτήρα ξεκίνησε πριν 150 χρόνια όταν οι εφευρέτες άρχισαν να εργάζονται πάνω σε μια λαμπρή ιδέα που θα μπορούσε να φέρει δραματικές αλλαγές στο πώς χρησιμοποιούμε την ενέργεια στα σπίτια και τα γραφεία μας. Αυτή η εφεύρεση άλλαξε τον τρόπο που σχεδιάζουμε τα κτίρια, αύξησε τον μέσο όρο της εργάσιμης ημέρας και ξεκίνησε νέες επιχειρήσεις. Οδήγησε επίσης σε νέες ανακαλύψεις σε ενεργειακά θέματα όπως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακές συσκευές και ηλεκτρικούς κινητήρες. Η εφεύρεση αυτή άλλαξε την καθημερινότητα όλων των ανθρώπων και βελτίωσε κατά πολύ την ζωή όλων μας.

Όπως όλες οι μεγάλες εφευρέσεις, ο ηλεκτρικός λαμπτήρας δεν μπορεί να αποδοθεί σε έναν και μόνο εφευρέτη. Ήταν το αποτέλεσμα πολλών μικρών ιδεών προηγούμενων εφευρετών που οδήγησαν σε αυτόν και κατ' επέκταση στους λαμπτήρες που χρησιμοποιούμε έως και σήμερα στα σπίτια μας.

### **1.2 Δημιουργία του πρώτου λαμπτήρα**

Για τον λαμπτήρα πυρακτώσεως το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας υποβλήθηκε από τους Henry Woodward και Matthew Evans, το 1874, σχεδόν πέντε χρόνια πριν την ανάπτυξη του γνωστού σε όλους μας, λαμπτήρα Edison. Ήταν πιθανότατα όμως, ο Γερμανός χημικός Herman Sprengel ο οποίος πρωτοστάτησε στην λαμπτήρα κενού το 1865. Αν και ο Edison δεν εφηύρε τον ηλεκτρικό λαμπτήρα πυρακτώσεως, ωστόσο ήταν αυτός που έθεσε τη θεωρία σε εφαρμογή και ο πρώτος που εμπορευματοποίησε το λαμπτήρα.

Η δομή του πρώτου επιτυχημένου λαμπτήρα Edison ήταν από ανθρακούχο νήμα βαμβακιού, εγκατεστημένο σε ένα γυάλινο κώδωνα κενού αέρος. Η διάρκεια ζωής του πρώτου λαμπτήρα Edison ήταν 45 ώρες. Αμέσως μετά ο Edison άρχισε να πειραματίζεται με τον άνθρακα, ως νήμα. Ο άνθρακας, ως νήμα ήταν πιο επιτυχημένος και σε μερικούς μήνες η παραγωγή των λαμπτήρων είχε αυξηθεί. Το 1879, ο Edison παρέθεσε την πρώτη δημόσια επίδειξη για τη νέα εφεύρεσή του στο Menlo Park του New Jersey. Ως και βαγόνια χρησιμοποιήθηκαν για να στεγάσουν το πλήθος των επισκεπτών που παρακολούθησαν 100 λαμπτήρες να ανάβουν, για το

φωτισμό των οδών, του εργαστηρίου και του σταθμού του Menlo Park. Κάθε λαμπτήρας είχε περίπου 100 ώρες διάρκεια ζωής, υπολογίστηκε πως απέδιδε 16 candle και κατανάλωνε περίπου 100W. Ως το 1880 ο Edison πειραματίζεται και με άλλα υλικά για τα νήματα, όπως το ξύλο, τα χόρτα, το μαλλί και το μπαμπού.

Στις 17 Ιανουαρίου του 1880, ο αριθμός διπλώματος ευρεσιτεχνίας 223898 δόθηκε στον Edison για τον ηλεκτρικό του λαμπτήρα. Το 1881, μόλις δύο χρόνια μετά τον πρώτο λαμπτήρα, το ατμόπλοιο «Columbia» φωτιζόταν με χιλιάδες από αυτούς. Εκτός των άλλων, ο Joseph Swan, θεωρείται επίσης εφευρέτης του λαμπτήρα πυρακτώσεως. Ο Swan δημοσιοποίησε την εφεύρεσή του σε περίπου 700 άτομα στο Newcastle-upon-Tyne στις 5 Φεβρουαρίου 1879.

### 1.3 Ιστορία λαμπτήρων φθορισμού

Η ιστορία των λαμπτήρων φθορισμού ξεκινάει κάπου στο 1856 με τον Heinrich Geissler ο οποίος ήταν ο πρώτος που κατάφερε να κατασκευάσει γυάλινο σωλήνα με αρκετά υψηλό κενό ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί έντονα η ακτινοβολία που παράγεται όταν ο σωλήνας διαρρέεται από ρεύμα. Το 1859 ο Alexandre Becquerel παρατήρησε ότι ορισμένα υλικά, όταν τοποθετηθούν μέσα σε ένα σωλήνα Geissler, παράγουν ακτινοβολία φθορισμού και έτσι κατασκεύασε τους πρώτους σωλήνες με επίστρωση τέτοιων ουσιών. Το 1896 ο Thomas Edison έκανε την πρώτη προσπάθεια κατασκευής λαμπτήρα φθορισμού για εμπορικούς σκοπούς, αλλά δεν προχώρησε σε μαζική παραγωγή λόγω της μεγάλης επιτυχίας του λαμπτήρα πυρακτώσεως. Ο McFarlan Moor ασχολήθηκε πιο σοβαρά με τους λαμπτήρες φθορισμού και με την βοήθεια της General Electric είχε αναπτύξει μια λειτουργική εκδοχή του λαμπτήρα μέχρι το 1912, η οποία όμως χρησιμοποιούσε ως αέριο άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα.

Την ίδια περίπου εποχή, ο Peter Cooper Hewitt δούλεψε πάνω σε έναν λαμπτήρα φθορισμού ο οποίος χρησιμοποιούσε ως αέριο ατμούς υδραργύρου και απαιτούσε μικρότερες τάσεις λειτουργίας από τους λαμπτήρες του Moor. Η ανάπτυξη των λαμπτήρων φθορισμού συνεχίστηκε ξεπερνώντας σιγά σιγά τα διάφορα προβλήματα στην λειτουργία τους και από το 1938 και μετά η εμπορική τους χρήση είναι συστηματική.

Οι πρώτοι CFL λαμπτήρες βγήκαν στην αγορά στα μέσα του 1980 με λιανική τιμή στα 25-35 δολάρια. Βασικό μειονέκτημα για τους καταναλωτές ήταν η υψηλή



τιμή τους καθώς και το μεγάλο και άχαρο σχήμα τους που τους έκανε δύσκολους στη χρήση. Επίσης είχαν χαμηλή και μη αξιόπιστη απόδοση φωτός. Οι βελτιώσεις που έγιναν έως το 1990 στους λαμπτήρες φωτισμού σε επίπεδο ενέργειας αλλά και απόδοσης τους έκαναν μια καλή επιλογή για οικιακή χρήση.

#### **1.4 Η ιστορία των λαμπτήρων LED**

Η αρχή έγινε το 1970 όπου έγινε η πρώτη αναφορά συμπαγούς διόδου εκπομπής φωτός από τον Βρετανό πειραματιστή H. J. Round of Marconi Labs όταν παρατήρησε φωταύγεια που παραγόταν από ένα κρύσταλλο πυριτίου ενώ χρησιμοποιούσε έναν ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου. Η δημιουργία του πρώτου LED έγινε στα μέσα της δεκαετίας του 1920 από τον Ρώσο Oleg Vladimirovich Losev. Η έρευνά του, που αφορούσε αυτή την καινοτόμα δημιουργία, παρόλο που διανεμήθηκε σε Ρωσικά, Γερμανικά και Βρετανικά επιστημονικά περιοδικά αγνοήθηκε και δεν βρήκε πρακτική εφαρμογή για αρκετές δεκαετίες. Αναφορά για υπεριώδεις εκπομπές από αρσενικούχο γάλλιο και από άλλα κράματα ημιαγωγίων έγινε το 1955 από τον Rubin Braunstein. Ο Braunstein παρατήρησε υπεριώδεις εκπομπές παραγόμενες από απλές σε δομή διόδους χρησιμοποιώντας κράματα GaSb, GaAs, InP, και Ge-Si σε θερμοκρασία δωματίου στους 77 βαθμούς Kelvin.

Η ανακάλυψη ότι το αρσενικούχο γάλλιο παρήγαγε υπέρυθρη ακτινοβολία, όταν δεχόταν ηλεκτρικό ρεύμα έγινε το 1961 από τους πειραματιστές Bob Biard και Gary Pittman που δούλευαν στην Texas Instruments. Οι προαναφερόμενοι διασφάλισαν την πιστοποίηση του έργου τους, λαμβάνοντας δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη δίοδο εκπομπής υπέρυθρου φωτός.

Η δημιουργία του πρώτου πρακτικά ορατού φάσματος (κόκκινο) LED έγινε από τον Nick Holonyak Jr το 1962, ενώ δούλευε στην General Electric Company. Πατέρας της διόδου εκπομπής φωτός θεωρείται ο Holonyak. Ο M. George Craford ένας πρώην απόφοιτος φοιτητής του Holonyak, εφηύρε το πρώτο κίτρινο LED και το 10 φορές πιο δυνατό κόκκινο και πορτοκαλί LED το 1972. Τα LED ορατού και υπεριώδους φάσματος ήταν υπερβολικά δαπανηρά μέχρι το 1968, σχεδόν 200\$ το τεμάχιο, έχοντας έτσι μικρή εφαρμογή. Η μαζική παραγωγή των LED ορατού φάσματος, χρησιμοποιώντας φωσφορούχο αρσενικούχο γάλλιο, έγινε από τον οργανισμό Monsanto Corporation το 1968 όπου παρήγαγε κόκκινα LED κατάλληλα για χρήση σε φωτεινές ενδείξεις. Η Packard (HP) εισήγαγε τις διόδους εκπομπής

φωτός το 1968 χρησιμοποιώντας αρχικά GaAsP υλικό παρεχόμενο από τη Monsanto. Η τεχνολογία αυτή αποδείχτηκε να έχει σημαντικές εφαρμογές σε αλφαριθμητικές οθόνες και εντάχθηκε η εφαρμογή της στα πρώιμα φορητά κομπιουτεράκια.

Οι πρώτοι λαμπτήρες LED για εμπορική χρήση χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως υποκατάστατα φωτεινών ενδείξεων με λαμπτήρες πυρακτώσεως, σε οθόνες, πρώτα σε ακριβούς εξοπλισμούς, όπως εργαστήρια και ηλεκτρονικά όργανα μετρήσεων, αργότερα σε συσκευές, όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα, τηλέφωνα, κομπιουτεράκια ακόμα και σε ρολόγια. Αυτοί οι κόκκινοι LED ήταν αρκετά φωτεινοί μόνο για τη χρήση ως φωτεινές ενδείξεις, καθώς η ένταση του φωτός δεν ήταν αρκετή για τον φωτισμό ενός χώρου. Αργότερα άλλα χρώματα έγιναν ευρέως διαθέσιμα και άρχισαν να έχουν εφαρμογές σε συσκευές και εξοπλισμό, καθώς η τεχνολογία υλικών των LED έγινε πιο προηγμένη, η παραγωγή φωτός αυξήθηκε, ενώ διατηρήθηκε η αποδοτικότητα και η αξιοπιστία τους σε αποδεκτό επίπεδο. Η εφεύρεση και εξέλιξη υψηλής ισχύος λευκού LED οδήγησε στη χρήση του για φωτισμό. Οι περισσότεροι LED παράχθηκαν σε τεμάχια των 5 mm T1<sup>3/4</sup> και 3 mm T1, αλλά με αυξανόμενη ισχύ, καθιστώντας έτσι αναγκαία την απαγωγή της υπερβολικής θερμότητας, ώστε να διατηρήσουν την αξιοπιστία τους. Για αυτό το λόγο υιοθετήθηκαν πιο σύνθετα τεμάχια για την αποδοτική απαγωγή της θερμότητας. Οι σύγχρονοι λαμπτήρες υψηλής ισχύος LED δε θυμίζουν σε τίποτα τους πρώιμους LED.

Ο πρώτος υψηλής φωτεινότητας μπλε LED παρουσιάστηκε από τον Shuji Nakamura της Nichia Corporation και βασίστηκε σε InGaN, δανειζόμενος στοιχεία εξέλιξης από την GaN πυρήνωση σε υποστρώματα ζαφείριου και την επίδειξη με p-type ενίσχυμένο GaN που αναπτύχθηκε από τους Isamu Akasaki και H. Amano στη Nagoya. Το 1995, ο Alberto Barbieri στο Εργαστήριο του Cardiff University (GB) ερεύνει την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία της υψηλής φωτεινότητας LED και επέδειξε ένα πολύ εντυπωσιακό αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας μια διάφανη επαφή που κατασκευάστηκε από οξειδίο του ινδίου και του κασσιτέρου (ITO), στις (AlGaInP / GaAs) LED. Η ύπαρξη των μπλε LED και LED υψηλής απόδοσης γρήγορα οδήγησε στην ανάπτυξη του πρώτου λευκού LED το οποίο υιοθέτησε τη χρήση Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (Yttrium aluminium garnet), ή "YAG», με επίστρωση φωσφόρου για να αναμειχθεί κίτρινο φως με μπλε για την παραγωγή φωτός που εμφανίζεται λευκό. Στο Nakamura απονεμήθηκε το 2006 Βραβείο Τεχνολογίας Millenium για την εφεύρεσή του.

Οι εξελίξεις αποδίδονται σε παράλληλη ανάπτυξη άλλων τεχνολογιών ημιαγωγών καθώς και στις εξελίξεις στην οπτική και στην επιστήμη των υλικών. Η τάση αυτή ονομάζεται συνήθως Νόμος Haitz προς τιμήν του Δρ Roland Haitz.

Τον Δεκέμβριο του 2007, επιστήμονες στο Πανεπιστήμιο της Γλασκόβης υποστήριξαν ότι βρήκαν έναν τρόπο να καταστήσουν τους LED με υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, αποτυπώνοντας δισεκατομμύρια τρύπες πάνω τους χρησιμοποιώντας μια διαδικασία γνωστή ως λιθογραφία nanoimprint.

Η Cree εξέδωσε δελτίο τύπου στις 19 Νοεμβρίου 2008 για έναν πρωτοποριακό LED που βρισκόταν σε πειραματικό στάδιο και που επιτύγχανε 161 lumens / watt σε θερμοκρασία δωματίου. Η συνολική παραγωγή ήταν 173 lumens και η συσχετισμένη στρωματική θερμοκρασία χρώματος αναφέρθηκε στα 4689 K.

Μια νέα τεχνική που αναπτύχθηκε από τον Michael Bowers, έναν μεταπτυχιακό φοιτητή στο Πανεπιστήμιο Vanderbilt στο Nashville, περιλαμβάνει επίστρωση ενός μπλε LED με κβαντικές τελείες που εκπέμπουν ένα λευκό φως σε σχέση με το μπλε φως από τα LED. Η τεχνική αυτή δημιουργεί ένα ζεστό, υπόλευκο φως παρόμοιο με αυτό που παράγεται από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Τα Quantum dots είναι ημιαγωγιμοί νανοκρύσταλλοι που διαθέτουν μοναδικές οπτικές ιδιότητες. Το χρώμα των εκπομπών τους μπορεί να ρυθμιστεί από την ορατή περιοχή μέχρι όλο το υπέρυθρο φάσμα. Αυτό επιτρέπει στους κβαντικούς LED να δημιουργήσουν σχεδόν οποιοδήποτε χρώμα στο διάγραμμα CIE. Αυτό παρέχει περισσότερες επιλογές χρωμάτων και καλύτερη χρωματική απόδοση λευκών LED. Οι κβαντικοί LED είναι διαθέσιμοι στα ίδια είδη περιβλήματος, όπως οι παραδοσιακά φωσφορούχοι LED.



## Κεφάλαιο 2. Είδη και χαρακτηριστικά ηλεκτρικού λαμπτήρα

Οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες διακρίνονται, με κριτήριο τον τρόπο λειτουργίας τους, σε λαμπτήρες πυρακτώσεως, λαμπτήρες τόξου και LED.

### 2.1 Λαμπτήρας πυρακτώσεως

Θα ξεκινήσουμε με την ανάλυση του πρώτου είδους λαμπτήρα, των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως έχουν μέσα τους ένα λεπτό σπειροειδές σύρμα, το οποίο, όταν δοθεί εντολή για να ανάψει ο λαμπτήρας αυτό πυρακτώνεται (συμπεριφέρεται σαν αντίσταση). Επειδή το σύρμα αυτό δεν πρέπει να "καεί" και πρέπει να παραμένει συνέχεια πυρακτωμένο, για να παράγει φως, η λάμπα μέσα της έχει ένα αέριο που ονομάζεται αργό. Το αέριο αυτό επιτρέπει στο σύρμα να μείνει πυρακτωμένο (παράγοντας το φως) χωρίς να καεί.



Εικόνα 1: Δομή λαμπτήρα πυρακτώσεως

Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως κυμαίνεται περίπου σε 750 - 1500 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Όσο μεγαλύτερη ισχύς έχει ένας λαμπτήρας, αυτού του είδους, τόσο μικρότερη είναι και η ζωή του. Ο λαμπτήρας πυράκτωσης ανάβει μόνο όταν και οι δύο επαφές του ακουμπούν και στους δύο πόλους της μπαταρίας ή της πρίζας. Οι σημαντικότερες αιτίες μείωσης ζωής τους είναι:

1. Η εξάχνωση του βολφραμίου του νήματος. Αυτή είναι η κύρια αιτία φθοράς και "θανάτου" του λαμπτήρα πυράκτωσης. Με τον καιρό το πάχος του νήματος μειώνεται μέχρι να αποκοπεί στο σημείο όπου είναι λεπτότερο. Η

αιτία μαυρίσματος του λαμπτήρα είναι η μεταφορά του βολφραμίου, από την εξάχνωση, και η προσκόλληση του στα ψυχρότερα σημεία της φύσιγγας.

2. Αυξήσεις της τάσης. Οι αυξομειώσεις στην τάση μειώνει κατά πολύ την διάρκεια ζωής τους. Για παράδειγμα όταν πραγματοποιείται μία αύξηση περίπου του 5% παρατηρείται ελάττωση ζωής κατά 30%.
3. Τα ανάμματα (τον αριθμό τους) των λαμπτήρων αυτών. Όταν ανάβει ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως περνάει ρεύμα σχεδόν 12 φορές περισσότερο από το κανονικό σε χρόνο 1/10sec. Το προαναφερθέν συμβαίνει διότι, όταν είναι κρύο το νήμα βολφραμίου είναι περίπου 12 φορές μικρότερο σε σχέση με την αντίσταση που παρουσιάζει όταν είναι ζεστό. Παράλληλα με αυτό παράγεται θερμότητα η οποία είναι ανεπιθύμητη.

Γενικά στους λαμπτήρες πυρακτώσεως, μόνο ποσοστό 5-15% της μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια.

## 2.2 Λαμπτήρες αλογόνου

Στους λαμπτήρες πυρακτώσεως κατατάσσονται και οι λαμπτήρες ιωδίου ή αλλιώς αλογόνου.

Στην προσπάθειά τους για αύξηση της απόδοσης αλλά και της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων πυρακτώσεως, οι ερευνητές κατασκεύασαν τους λαμπτήρες χαλαζία - ιωδίου, γνωστούς ως λαμπτήρες αλογόνου καθώς ένας τυπικός λαμπτήρας αλογόνου έχει διάρκεια ζωής περίπου 2000 ώρες, σχεδόν διπλάσια από έναν τυπικό λαμπτήρα πυράκτωσης.

Οι λαμπτήρες αλογόνου δημιουργήθηκαν κατά την προσπάθεια για αύξηση της απόδοσης αλλά και της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Έτσι οι ερευνητές κατασκεύασαν τους λαμπτήρες χαλαζία - ιωδίου, γνωστούς ως λαμπτήρες αλογόνου, οι οποίοι έχουν διάρκεια ζωής περίπου 2000 ώρες, σχεδόν διπλάσια από έναν τυπικό λαμπτήρα πυράκτωσης.

Οι λαμπτήρες αλογόνου περιέχουν ένα αδρανές αέριο τύπου ιωδίου ή βρωμίου. Το αλογόνο εκπέμπει ένα λευκό φως που προσεγγίζει περισσότερο το φως της ημέρας. Σε αυτούς τους λαμπτήρες αναπτύσσεται θερμοκρασία που φθάνει τα 2.800°K και έχουν φωτεινή απόδοση περίπου 12 lm/W. Έχουν σχήμα σωληνοειδές με μικρή διάμετρο με αξονική διαμήκη διάταξη του νήματος βολφραμίου. Το γυαλί είναι χαλαζιακό και η θερμοκρασία του φθάνει τους 600° C όταν λειτουργεί ο λαμπτήρας. Με τη διαδικασία αυτή, εκτός του ότι «αναζωογονείται» το νήμα, με αποτέλεσμα την

αύξηση της ζωής του λαμπτήρα, αποφεύγεται και το μαύρισμα του περιβλήματος, που παρατηρείται στους κοινούς λαμπτήρες, από την προσκόλληση βολφραμίου στο εσωτερικό του. Δηλαδή έχουμε καταλυτική δράση του ιωδίου στην επανασύσταση του νήματος.

Το φως που εκπέμπουν οι λαμπτήρες αλογόνου είναι 20% περισσότερο από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και η διάρκεια ζωής τους φθάνει τις 2000 ώρες λειτουργίας. Υπάρχουν λαμπτήρες αλογόνου που λειτουργούν με 230 Volt και υπάρχουν και λιγότερο ενεργοβόροι που λειτουργούν με 12 Volt αλλά με την χρήση μετασχηματιστή.

Οι λαμπτήρες αλογόνου σωληνοειδούς σχήματος καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια ακόμη και αν διατίθενται πλέον και με τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να καταναλώνουν 20% λιγότερη ενέργεια από τους προκατόχους τους. Οι λαμπτήρες αλογόνου 230V διατίθενται τώρα και με « τυποποιημένους » κάλυκες: E27, E14. Αυτοί οι λαμπτήρες καταναλώνουν κατά μέσο όρο 30% λιγότερη ενέργεια από τους κλασικούς λαμπτήρες πυράκτωσης.

Ένας σημαντικός παράγοντας μείωσης της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων αλογόνου, όσο αφορά τον ανθρώπινο παράγοντα, είναι όταν έρχονται σε επαφή με το “γυμνό” μας χέρι. Όταν συμβαίνει αυτό αφήνουμε λάδια από το σώμα μας επάνω στο γυαλί του λαμπτήρα το οποίο απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες και να μειώνεται η ζωή του λαμπτήρα. Στους κοινούς λαμπτήρες το γυαλί βρίσκεται μακριά από το νήμα πυράκτωσης και δεν προκαλείται σοβαρό πρόβλημα όταν τους τοποθετούμε με γυμνό χέρι.

### **2.3 Λαμπτήρες τόξου**

Οι λαμπτήρες τόξου διακρίνονται στους επιμέρους τρεις τύπους λαμπτήρων πίεσης:

- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή λυχνίες υψηλής πίεσης υδραργύρου
- Λαμπτήρες ατμών νατρίου
- Λαμπτήρες φθορισμού

Στις πηγές αυτές το φως δεν παράγεται από τη θέρμανση των υλικών αλλά από τη διέγερση ατόμων αερίου ή ατμών σε πίεση χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής, όταν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα μέσα σε γυάλινους σωλήνες ή φύσιγγες που βρίσκονται

εγκατεστημένα μαζί με τα ηλεκτρόδια. Άρα συμπεραίνεται ότι και το φάσμα του φωτός τους δεν είναι συνεχές αλλά γραμμικό. Για την λειτουργία αυτών των πηγών χρησιμοποιείται τάση εναλλασσόμενη, υψηλή ή χαμηλή, ανάλογα του τύπου των λαμπτήρων της κατηγορίας αυτής, οι οποίοι και διακρίνονται σε λαμπτήρες αίγλης και λαμπτήρες τόξου.

### 2.3.1 Λαμπτήρες φθορισμού

Η συνηθέστερη εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας είναι οι σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού, με μια σειρά από διαφορετικές επικαλύψεις φωσφόρου για διαφορετικά αποτελέσματα φάσματος.

Ο λαμπτήρας φθορισμού αποτελείται από τρία στοιχεία:

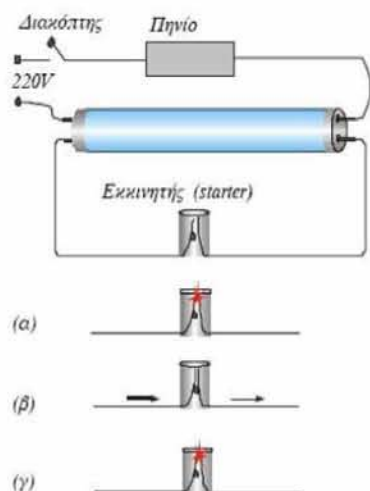
- i. Τα ηλεκτρόδια, που είναι συσκευές εκπομπής ηλεκτρονίων.
- ii. Τα αέρια, που περιέχουν μικρή ποσότητα σταγονιδίων υδραργύρου και μικρή ποσότητα υψηλής καθαρότητας σπάνιου αερίου (αργό, μείγμα αργού-νέον).
- iii. Τον φωσφόρο, που είναι η χημική επίστρωση στο εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα. Το ορατό φως από ένα λαμπτήρα φθορισμού παράγεται από τη δράση της υπερϊώδους ενέργειας στην επίστρωση του φωσφόρου στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα. Το μίγμα φωσφόρου μπορεί να αλλάξει το χρώμα του λαμπτήρα ή τη φασματική κατανομή ισχύος του.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λαμπτήρας φθορισμού θα πρέπει να λειτουργεί σε οριζόντια θέση. Η λειτουργία σε κατακόρυφη θέση προκαλεί μια μη ομοιόμορφη κατανομή των αερίων του λαμπτήρα με αποτέλεσμα τη μείωση του φωτός και της ομοιομορφίας του. Σε κάθετη θέση, τα σταγονίδια του υδραργύρου συγκεντρώνονται κοντά στην κάτω κάθοδο με αποτέλεσμα την αυξανόμενη επιδείνωση της που συνεπάγεται μείωση της ζωής της λάμπας.

Στην εικόνα που ακολουθεί (εικ.2) μπορούμε να δούμε την αρχή λειτουργίας του λαμπτήρα φθορισμού. Αρχικά κλείνοντας το διακόπτη ο λαμπτήρας δε διαρρέεται από ρεύμα, αλλά στον εκκινητή (starter) αρχίζει αμέσως εκκένωση μεταξύ των ηλεκτροδίων του και διαρρέεται από ρεύμα (εικόνα 2α). Το ένα ηλεκτρόδιο του εκκινητή είναι διμεταλλικό έλασμα και όταν διαρρέεται από ρεύμα θερμαίνεται, παραμορφώνεται και κλείνει το διάκενο μεταξύ των ηλεκτροδίων (εικόνα 2β). Εκείνη την στιγμή η εκκένωση σταματάει και το κύκλωμα διαρρέεται από ισχυρό ρεύμα.



Έχουμε ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρόδια να θερμαίνονται και να εκπέμπουν ηλεκτρόνια, ενώ ταυτόχρονα εξατμίζεται ο υδράργυρος. Επίσης με τη διακοπή της εκκένωσης το διμεταλλικό έλασμα δε διαρρέεται από ρεύμα, οπότε ψύχεται και το κύκλωμα διακόπτεται.



Εικόνα 2: Το κύκλωμα λειτουργίας του λαμπτήρα φθορισμού και οι φάσεις λειτουργίας του εκκινητή (starter)

Η διακοπή αυτή συνοδεύεται με ανάπτυξη τάσης στα άκρα του λαμπτήρα, μεγαλύτερης του δικτύου, και έτσι αρχίζει η εκκένωση μέσα από τους ατμούς υδραργύρου. Τα ηλεκτρόνια, επιταχυνόμενα από το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των ηλεκτροδίων, συγκρούονται με τα άτομα του υδραργύρου προκαλώντας του ηλεκτρονική διέγερση. Η αποδιέγερση των ατόμων του υδραργύρου έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας. Η υπεριώδης ακτινοβολία, όταν προσπίπτει στη φθορίζουσα ουσία, προκαλεί τη διέγερση των ατόμων της. Στη συνέχεια, όταν τα άτομα αποδιεγείρονται εκπέμπουν ορατό φως.

Στους λαμπτήρες φθορισμού κατατάσσονται και οι λαμπτήρες τύπου «Kompakt». Είναι λαμπτήρες που τοποθετούνται σε ντουί λαμπτήρων πυρακτώσεως (βιδωτό) και στον κάλυκά τους έχουν όλα τα εξαρτήματα που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο σωλήνας φθορισμού που διαθέτουν. Είναι πολύ οικονομικοί στην κατανάλωση, όσο και τα κοινά φωτιστικά φθορισμού και μπορούν να αντικαταστήσουν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως σε μία υπάρχουσα εγκατάσταση. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 8000 ώρες.

### 2.3.2 Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

Αποτελούνται από ένα σωλήνα εκκένωσης από χαλαζία, ο οποίος περιβάλλεται από γυάλινο κώδωνα από σκληρό γυαλί, του οποίου η εσωτερική επιφάνεια είναι επιστρωμένη με φθορίζουσα ουσία. Οι λαμπτήρες αυτοί χρειάζονται 2-3 λεπτά για να δώσουν την πλήρη φωτιστική τους ισχύ.

Έχουν μεγάλη φωτιστική απόδοση, αλλά το φως που δίνουν παραμορφώνει έντονα τα χρώματα (λείπει το κόκκινο χρώμα από το φάσμα της ακτινοβολίας τους). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό δρόμων, εργοστασίων, αποθηκών, υπαίθριων βιομηχανικών εγκαταστάσεων κλπ. Ένας λαμπτήρας ατμών υδραργύρου παράγει μπλε-πράσινο ορατό φως. Για να βελτιωθεί αυτό το χρώμα, τοποθετείται επίστρωση του φωσφόρου στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού περιβλήματος. Η υπεριώδης ενέργεια που παράγεται από το τόξο στο εσωτερικό του λαμπτήρα διεγείρει την επίστρωση φωσφόρου παράγοντας πρόσθετο ορατό φως, που βελτιώνει τη χρωματική απόδοση του λαμπτήρα. Τα κύρια χρώματα που προστίθενται από το φώσφορο είναι τα κόκκινα και τα πορτοκαλί.

Για καλύτερα φωτιστικά αποτελέσματα (εμπλουτισμός του φάσματος) υπάρχουν οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου μικτού φωτισμού, οι οποίοι έχουν επιπλέον και ένα νήμα πυρακτώσεως από βολφράμιο, το οποίο διορθώνει αρκετά το χρώμα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, αλλά φυσικά μειώνει την απόδοση.

Οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού αντικαθιστούν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως στον δημοτικό φωτισμό, στον φωτισμό μεγάλων χώρων κλπ.

### 2.3.3 Ατμών νατρίου

Διακρίνονται σε λαμπτήρες χαμηλής πίεσεως και υψηλής πίεσεως.

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου **χαμηλής πίεσεως** έχουν την μεγαλύτερη απόδοση απ' όλα τα είδη λαμπτήρων εκκενώσεως (περίπου τριπλάσια απ' ότι οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου). Εκπέμπουν μονοχρωματικό κίτρινο φως, για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μόνο για φωτισμό αυτοκινητοδρόμων, διασταυρώσεων ή όπου δεν ενδιαφέρει η σωστή απόδοση των χρωμάτων.

Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου **υψηλής πίεσεως** δίνουν φως χρυσόλευκο και έχουν μικρότερη απόδοση (περίπου διπλάσια των λαμπτήρων υδραργύρου). Χρησιμοποιούνται εκεί όπου μας ενοχλεί το μονοχρωματικό κίτρινο φως των

λαμπτήρων χαμηλής πίεσεως ή αντικαθιστούν τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, όταν θέλουμε υψηλότερες αποδόσεις.

## **2.4 Λαμπτήρες LED**

Η δίοδος εκπομπής φωτός (Light Emitting Diode) είναι μία ημιαγώγιμος δίοδος που εκπέμπει φως όταν ηλεκτρικό ρεύμα εφαρμόζεται με εμπρόσθια ορθή πόλωση προς τη συσκευή, όπως ακριβώς και σε ένα απλό κύκλωμα LED. Το αποτέλεσμα είναι μία μορφή ηλεκτροφωταύγειας, όπου ασυνεχές και στενού φάσματος φως εκπέμπεται από το πέρασμα p-n σε ένα συμπαγές υλικό.

Για τους λαμπτήρες Led παραπάνω πληροφορίες θα δοθούν στο κεφάλαιο που ακολουθεί, όπου θα γίνει εκτενής ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, του τρόπου λειτουργίας τους και των πλεονεκτημάτων τους ως προς τους άλλους λαμπτήρες.



## Κεφάλαιο 3. Τεχνολογία LED

Η ανακάλυψη των LED φέρνει επανάσταση στην αγορά φωτισμού και μεταλλάσει την βιομηχανία. Παρότι τα LED είναι ακόμη μια ακριβή τεχνολογία, οι τεράστιες επενδύσεις της βιομηχανίας επιφέρουν μείωση της τιμής του κατά 30% ετησίως με συνέπεια να εισχωρεί ταχύτατα σε όλες τις εφαρμογές. Οι προβλέψεις των ειδικών του κλάδου αναφέρουν ότι μέχρι το 2020 η αγορά των φωτιστικών LED θα ξεπεράσει τα 65 δις Ευρώ που θα αντιστοιχεί με το 65% της συνολικής αγοράς φωτιστικών. Άλλες εκτιμήσεις ανεβάζουν το ποσοστό αυτό έως και στο 90% της αγοράς.

Η εξέλιξη αυτή δημιουργεί νέα δυναμική και ανακατατάξεις στη παραδοσιακή βιομηχανία φωτισμού. Νέοι «παίχτες» από το χώρο των ημιαγωγών και των ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών συσκευών, εισέρχονται στην αγορά αλλά και πολλές νέες επιχειρήσεις βρίσκουν έδαφος για δραστηριοποίηση. Το κλειδί της επιτυχίας στο νέο περιβάλλον, είναι η επικέντρωση σε αυτό που κάνει το LED μοναδικό, δηλ. την τεχνολογία που δίνει την δυνατότητα νέων εφαρμογών με νέο design. Η επιτυχία στο χώρο σημαίνει συνεπώς απαραίτητα κατάλληλες συνεργασίες με άλλους κλάδους για την δημιουργία νέων εφαρμογών και νέων τάσεων αισθητικής.

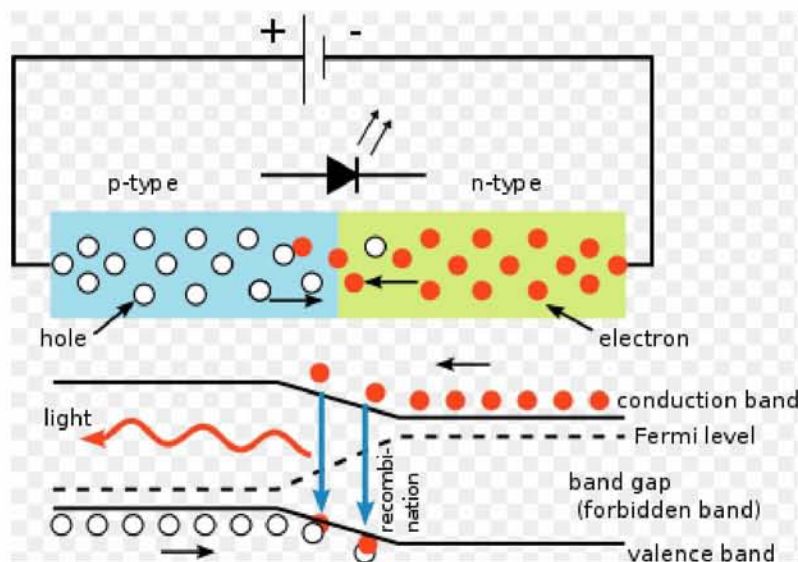
### 3.1 Ανάλυση λειτουργίας των λαμπτήρων LED

Η Δίοδος Εκπομπής Φωτός (LED) είναι ουσιαστικά, ένας ημιαγωγός ο οποίος, όταν του παρασχεθεί μία ηλεκτρική τάση, εκπέμπει φωτεινή ισχύ στενού φάσματος. Η αρχή λειτουργίας των φωτιστικών συστημάτων LED βασίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροφωταύγειας (electroluminescence). Κατά το φαινόμενο αυτό όταν ένα υλικό διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα εκπέμπει φωτισμό. Το LED είναι ένα κύκλωμα ημιαγωγών, δηλαδή μια επαφή «p-n», που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή ισχύ. Η δίοδος εκπομπής φωτός εκπέμπει φωτισμό όντας ορθά πολωμένη, δηλαδή εφαρμόζοντας συνεχή τάση στο «p», ή αλλιώς στον θετικό κλάδο της επαφής.

Επαφή «p-n» ονομάζουμε την παράθεση δύο τμημάτων του ημιαγωγού. Το ένα έχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου «n») και το άλλο περίσσεια οπών, ή αλλιώς έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων (ημιαγωγός τύπου «p»). Έτσι, μετατρέπεται το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τον ημιαγωγό σε φωτεινή ισχύ. Τα

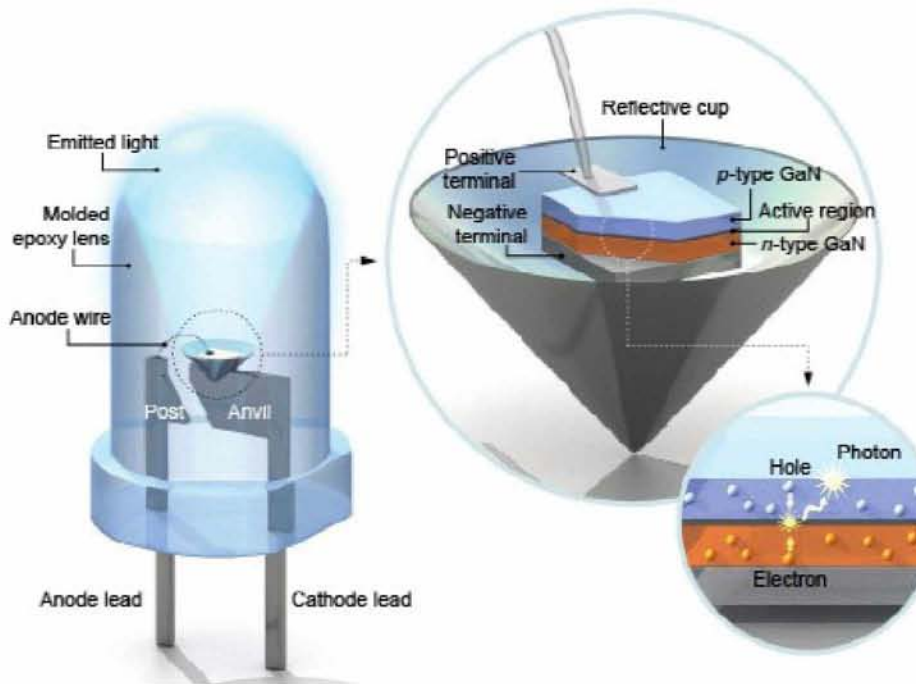
ηλεκτρόνια φέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Η έλλειψη ηλεκτρονίου, ύστερα από την διέγερσή του, ονομάζεται οπή.

Όταν συνδέεται ξανά το ηλεκτρόνιο με την οπή, συμβαίνει η εκπομπή φωτονίου με ενέργεια περίπου ίση προς το ενεργειακό χάσμα. Η συχνότητα, το μήκος κύματος και η ενέργεια που έχει το φωτόνιο αλλάζει εύκολα μέσω της επιλογής κατασκευαστικών υλικών με διάφορα ενεργειακά χάσματα. Κατά συνέπεια, με αυτόν τον τρόπο αλλάζει και ο χρωματισμός των φωτονίων. Τα LED κατασκευάζονται με σκοπό να δίνουν μεγάλο αριθμό φωτονίων κατά την λειτουργία τους και μάλιστα, λόγω του πλαστικού περιβλήματος στο οποίο μπορούν να περιέχονται, στέλνουν την φωτεινή ροή προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αρχή λειτουργίας των διόδων εκπομπής φωτός.



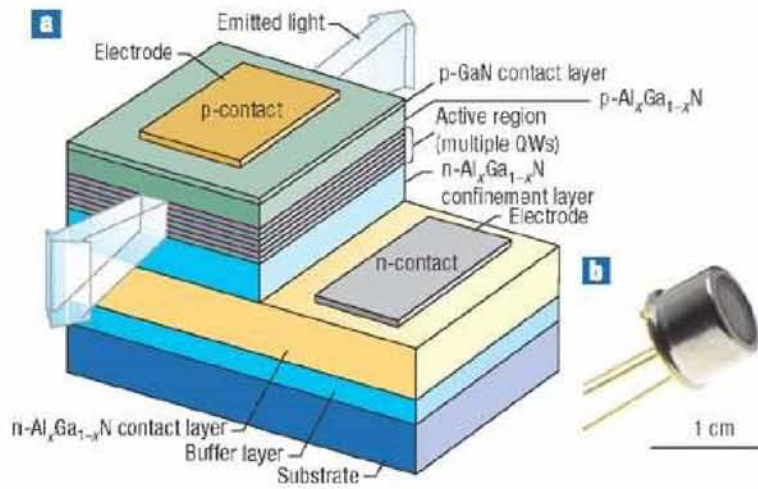
Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας των διόδων εκπομπής φωτός

Όπως σε κάθε δίοδο, έτσι και η δίοδος εκπομπής φωτός, κατασκευάζεται από ένα μικροκύκλωμα ημιαγώγιμου υλικού εμποτισμένο με διάφορες προσμείξεις για τη δημιουργία της ένωσης «p-n». Το ρεύμα διαπερνά από την άνοδο (p), στην κάθοδο (n) και ποτέ ανάποδα. Σε περίπτωση που ένα ηλεκτρόνιο συναντήσει μια οπή κατεβαίνει σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη απελευθερώνοντας ένα φωτόνιο και μέσω αυτού, φωτεινή ενέργεια. Τα κατασκευαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις διόδους εκπομπής φωτός έχουν διάκενο ενέργειας που αντιστοιχεί σε ορατές, σχεδόν υπέρυθρες και σχεδόν υπεριώδεις ακτινοβολίες. Το ενεργειακό διάκενο των υλικών που αποτελούν την «p-n» ένωση, ευθύνονται για το μήκος κύματος, άρα και για το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται από τα LED. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια απεικόνιση της κατασκευαστικής δομής ενός LED.



Εικόνα 4: Δομή LED










Το κέντρο, μιας διόδου εκπομπής φωτός, αποτελείται από μία διόδο η οποία τοποθετείται εντός ενός ανακλαστήρα και στερεώνεται εκεί με τη χρήση μαλακού χάλυβα, ο οποίος συνδέεται με ένα ζεύγος ηλεκτρικά καλώδια. Το μέγεθος της διόδου είναι περίπου 0.25mm. Η διόδος αυτή για να λειτουργήσει με ισχύ 0.1Watt χρειάζεται ρεύμα περίπου ίσο με 10mA. Ο φωτισμός παράγεται κατά την διαρροή του ρεύματος από την επαφή (p) στην επαφή (n) των δύο υλικών. Ο ανακλαστήρας, το μέγεθος του μικροκυκλώματος και το σχήμα του φακού, είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν το πλάτος και το σχήμα της δέσμης φωτός που παράγεται. Ένα λεπτομερές κατασκευαστικό διάγραμμα, μιας διόδου εκπομπής φωτός, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 5: Κατασκευαστικό διάγραμμα LED**

Τα φωτιστικά συστήματα LED μπορούν να εκπέμψουν υπέρυθη ακτινοβολία με μήκος κύματος από 830nm έως 940nm αλλά και υπεριώδη ακτινοβολία. Το χρωματικό αποτέλεσμα της φωτεινής δέσμης των LED έχει να κάνει με το υλικό των ημιαγωγών, καθώς και με τα χημικά πρόσθετα και το περίβλημά τους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί είναι κυρίως ενώσεις αρσενίου, γαλλίου και αργιλίου ή ενώσεις ινδίου, γαλλίου και αργιλίου. Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας ο οποίος δείχνει την αντιστοιχία των χρωμάτων, που παράγουν τα LED, σε σχέση με το μήκος κύματος, την πτώση τάσης και τα υλικά των ενώσεων που χρησιμοποιούνται για το καθένα.



	Χρώμα	Εύρος Μήκους Κύματος (nm)	Πτώση Τάσης ( $\Delta V$ )	Υλικό Ημιαγωγού
	Υπερυθρές	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.63$	αρσενικούχο γάλλιο ( $\text{GaAs}$ ) αρσενικούχο γαλλίου αλουμινίου ( $\text{AlGaAs}$ )
	Κόκκινο	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	αρσενικούχο γαλλίου αλουμινίου ( $\text{AlGaAs}$ ) αρσενικούχο γάλλιο φωσφόρου ( $\text{GaAsP}$ ) φωσφίδιο αλουμινίου γαλλίου ινδίου ( $\text{AlGaInP}$ ) φωσφίδιο γαλλίου (III) ( $\text{GAP}$ )
	Πορτοκαλί	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	αρσενικούχο γάλλιο φωσφόρου ( $\text{GaAsP}$ ) φωσφίδιο αλουμινίου γαλλίου ινδίου ( $\text{AlGaInP}$ ) φωσφίδιο γαλλίου (III) ( $\text{GAP}$ )
	Κίτρινο	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	αρσενικούχο γάλλιο φωσφόρου ( $\text{GaAsP}$ ) φωσφίδιο αλουμινίου γαλλίου ινδίου ( $\text{AlGaInP}$ ) φωσφίδιο γαλλίου (III) ( $\text{GAP}$ )
	Πράσινο	$500 < \lambda < 570$	$1.98 < \Delta V < 4.0$	φωσφίδιο αλουμινίου γαλλίου ινδίου ( $\text{AlGaInP}$ ) φωσφίδιο γαλλίου (III) ( $\text{GAP}$ ) φωσφίδιο αλουμινίου γαλλίου ( $\text{AlGaP}$ ) νιτρίδιο γαλλίου (III) ( $\text{GaN}$ )
	Μπλε	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	σεληνιούχος ψευδάργυρος ( $\text{ZnSe}$ ) νιτρίδιο ινδίου του γαλλίου ( $\text{InGaN}$ )
	Μωβ	$400 < \lambda < 450$	$2.78 < \Delta V < 4.0$	νιτρίδιο ινδίου του γαλλίου ( $\text{InGaN}$ )
	Υπεριώδες	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	νιτρίδιο του βορίου νιτρίδιο αργιλίου ( $\text{AlN}$ )
	Λευκός	ευρύ φάσμα	$\Delta V = 3.5$	μπλε / UV δίοδος σε συνδυασμό με φωσφορούχα

Πίνακας 1: Αντιστοιχία χρωμάτων

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός LED παράγουν ακτινοβολία σε πολύ μικρό φάσμα το οποίο είναι σχεδόν ενός χρώματος. Για να μεγαλώσει το φάσμα αυτό χρησιμοποιούνται φώσφοροι, οι οποίοι διεγείρονται από την ακτινοβολία των διόδων εκπομπής φωτός. Πέρα από τα κόκκινα, τα πορτοκαλί και τα πράσινα LED, υπάρχουν και τα λευκά LED. Τα λευκά LED είναι δυο ειδών. Το πρώτο είδος χρησιμοποιεί φώσφορο, ο οποίος απορροφά το μπλε χρώμα και το εκπέμπει ξανά σαν λευκό. Το είδος αυτό είναι το προτιμότερο αφού οι φώσφοροι μπορούν να ακτινοβολήσουν πολλά και διαφορετικά είδη λευκού φωτός. Το δεύτερο είδος, χρησιμοποιεί συνδυασμό από λυχνίες που εκπέμπουν διαφορετικά χρώματα τα οποία συνδέονται σε ένα ενιαίο λευκό. Ανάλογα με την εφαρμογή, των φωτιστικών συστημάτων LED, υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής της θερμοκρασίας χρώματος που απαιτείται. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται φασματική διαφορά του ψυχρού λευκού φωτός με το ζεστό λευκό φως.

### 3.2 Διάρκεια Ζωής και αποτυχία

Οι λαμπτήρες LED υπόκεινται σε πολύ περιορισμένη φθορά σε χαμηλές θερμοκρασίες και σε χαμηλά ρεύματα. Η διάρκεια ζωής τους, σύμφωνα με τους κατασκευαστές, κυμαίνονται από 15.000 έως 100.000 ώρες λειτουργίας αλλά υπάρχουν παράγοντες που μπορούν να μειώσουν ή να παρατείνουν την διάρκεια ζωής τους, όπως οι μεταβολές στην θερμότητα και στο ρεύμα. Το πιο κοινό σύμπτωμα αποτυχίας των LED είναι η σταδιακή μείωση του φωτός και η μείωση της αποτελεσματικότητάς τους. Στους λαμπτήρες LED είναι πολύ σπάνιο να παρατηρηθεί ξαφνική αποτυχία. Με την ανάπτυξη των LED υψηλής ισχύος οι συσκευές αυτές υποβάλλονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερα ρεύματα από τα παραδοσιακά στοιχεία, γεγονός που προκαλεί πίεση στο υλικό και μπορεί να προκαλέσει πρόωμη υποβάθμιση του φωτός εξόδου. Ο κύριος παράγοντας για την καλή απόδοση των λαμπτήρων LED είναι η θερμοκρασία. Σύμφωνα με τους περισσότερους κατασκευαστές η προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας είναι οι 25°C. Το φως εξόδου των LED αυξάνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και σταθεροποιείται, ανάλογα με τον τύπο, περίπου στους -30° C.

### 3.3 Χαρακτηριστικοί τρόποι λειτουργίας

Οι λαμπτήρες LED ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, διακρίνονται σε αυτούς που λειτουργούν :

- άμεσα, με την τάση του δικτύου 230 V και
- έμμεσα, με τη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου.

Πιο συγκεκριμένα:

Οι λαμπτήρες LED με λειτουργία στην τάση του δικτύου 230 V, συναντώνται στην πράξη στις δυο παρακάτω μορφές:

1. χωρίς τη δυνατότητα ρύθμισης έντασης φωτισμού (non dimmable) και
2. με δυνατότητα ρύθμισης έντασης φωτισμού (dimmable)

Οι λαμπτήρες LED με λειτουργία ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου διαθέτουν τα γενικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικοί τρόποι λειτουργίας λαμπτήρων LED			
Αρ.	Χαρακτηρισμός λειτουργίας LED	Χαρακτηριστικό λειτουργίας	Περιγραφή και τεχνικά χαρακτηριστικά
1	Σταθερής τάσης	Χωρίς ρύθμιση της έντασης φωτισμού (non dimmable)	Τροφοδοτικό σταθερής τάσης για: i. 24 V ii. 12 V iii. 10 V
		Με ρύθμιση της έντασης φωτισμού (dimmable)	Τροφοδοτικό σταθερής τάσης για: ➤ DALI ➤ 3DIM ➤ EASY ➤ 1..10 V  Σύστημα ρύθμισης έντασης φωτισμού (dimmer) σταθερής τάσης για: ➤ DALI ➤ 1..10 V ➤ DMX
2	Σταθερού ρεύματος	Χωρίς ρύθμιση της έντασης φωτισμού (non dimmable)	Τροφοδοτικό σταθερού ρεύματος για: Ø 350mA Ø 500mA Ø 700mA Ø 1000mA
		Με ρύθμιση της έντασης φωτισμού (dimmable)	Τροφοδοτικό σταθερού ρεύματος για: ➤ DALI ➤ 3DIM ➤ EASY ➤ 1..10 V  Σύστημα ρύθμισης έντασης φωτισμού (dimmer) σταθερού ρεύματος για: ➤ DALI ➤ DMX

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικοί τρόποι λειτουργίας λαμπτήρων LED

Η απόφαση επιλογής ενός ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου λαμπτήρων LED εξαρτάται από:

1. το μέγεθος της εγκατάστασης του φωτισμού,
2. τις απαιτήσεις που αφορούν τον τρόπο και τις δυνατότητες ελέγχου αυτού,
3. την φιλικότητα των ελέγχων προς το χρήστη και
4. το εύρος των οικονομικών εκτιμήσεων για την εγκατάσταση αυτή.

### 3.4 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα χρήσης LED

Παρακάτω αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των LED για διάφορους σκοπούς.

#### 3.4.1 Πλεονεκτήματα

Παρακάτω αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που μπορούμε να έχουμε από τη χρήση των LED.

- Το βασικότερο όφελος από τα φώτα LED είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Οι λαμπτήρες LED έχουν εξαιρετικούς χρόνους λειτουργίας.
- Ενεργειακή απόδοση. Έχουν ενεργειακή απόδοση της τάξης, περίπου, 80%-90% σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς και συμβατικούς λαμπτήρες. Το παραπάνω σημαίνει ότι περίπου το 80%, ή και παραπάνω, μετατρέπεται σε φως ενώ το υπόλοιπο 20% μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως για παράδειγμα θερμότητα.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Οι περισσότεροι συμβατικοί λαμπτήρες φθορισμού περιέχουν μία πληθώρα υλικών, όπως για παράδειγμα ο υδράργυρος, που είναι επικίνδυνα για το περιβάλλον. Σε αντίθεση οι λαμπτήρες LED είναι απαλλαγμένοι από τοξικές ουσίες.
- Ανθεκτική ποιότητα. Τα LED είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και έχουν κατασκευαστεί με ανθεκτικό υλικό.
- Μηδενικές εκπομπές UV. Ο LED φωτισμός παράγει λίγο υπέρυθρο φως και είναι κοντά σε μηδενικές εκπομπές UV. Εξαιτίας αυτού, ο φωτισμός LED είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για τα εμπορεύματα και τα υλικά που είναι ευαίσθητα στη θερμότητα αλλά και για το φωτισμό ευαίσθητων, σε UV, αντικειμένων ή υλικών.
- Σχεδίαση και ευελιξία. Τα LED μπορούν να κατασκευαστούν σε διάφορα σχήματα και μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να έχουμε την κατάλληλη παραγωγή φωτισμού ανάλογα με την χρήση τους.
- Λειτουργούν σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Τα LED είναι ιδανικά για τη λειτουργία με κρύο και χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίας. Στους λαμπτήρες φθορισμού οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία τους.

- Διάχυση φωτός. Τα LED έχουν σχεδιαστεί για να εστιάζουν το φως προς μια συγκεκριμένη θέση, χωρίς την χρήση ενός εξωτερικού ανακλαστήρα, επιτυγχάνοντας υψηλότερη απόδοση εφαρμογής από ότι ο συμβατικός φωτισμός. Καλά σχεδιασμένα συστήματα φωτισμού LED είναι σε θέση να παραδώσουν το φως πιο αποτελεσματικά στην επιθυμητή θέση.
- Άμεσος Φωτισμός και συχνή εναλλαγή. Τα φώτα LED παράγουν αμέσως φως όταν τεθούν σε λειτουργία. Αυτό είναι μεγάλο πλεονέκτημα για την χρήση τους σε έργα υποδομής, κατά την οδήγηση και για τα φώτα σηματοδότησης. Επίσης, τα φώτα LED μπορούν να απενεργοποιούνται συχνά χωρίς να επηρεάζεται η διάρκεια ζωής ή εκπομπή φωτός τους. Σε αντίθεση, οι παραδοσιακοί λαμπτήρες μπορεί να χρειαστούν αρκετά δευτερόλεπτα για να φθάσουν σε πλήρη φωτεινότητα και η συχνή ενεργοποίηση/απενεργοποίηση μειώνει δραστικά το προσδόκιμο της λειτουργικής ζωής τους.
- Χαμηλή τάση. Μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής τάσης είναι επαρκής για τον φωτισμό LED. Αυτό τα κάνει κατάλληλα για την χρήση τους σε εξωτερικό περιβάλλον με την σύνδεσή τους με μία εξωτερική πηγή ηλιακής ενέργειας. Το συγκεκριμένο είναι μεγάλο πλεονέκτημα διότι έχει επεκταθεί η χρήση τους σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα.
- Με τα LED επιτυγχάνεται μεγαλύτερη φωτεινή ροή (lumens) ανά watt ηλεκτρικής ισχύος από ότι με τις λάμπες πυρακτώσεως.
- Δεν καίγονται όπως οι συμβατικοί λαμπτήρες, αλλά σταδιακά χάνουν τη φωτεινότητά τους.
- Λόγω του μικρού μεγέθους τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ μικρές συσκευές και κατασκευές, όπως τυπωμένα κυκλώματα, ηλεκτρονικές συσκευές καθώς και πίνακες ενδείξεων.
- Μπορούν να εκπέμψουν συγκεκριμένης χρωματικής απόδοσης φως, χωρίς τη χρησιμοποίηση εξωτερικών φίλτρων, οπότε δεν πραγματοποιείται μείωση της φωτεινής ροής.

### **3.4.2 Μειονεκτήματα**

Αν και τα LED έχουν πολλά πλεονεκτήματα, παρόλα αυτά, δεν παύουν να έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Τα βασικότερα τα αναλύουμε παρακάτω:

- Για να δουλέψει ένα LED χρειάζεται να είναι ορθά πολωμένο. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, κυρίως σε εφαρμογές εναλλασσόμενης τάσης, οι λαμπτήρες LED έχουν ενσωματωμένους ανορθωτές.
- Τα λευκά και ψυχρά λευκά LED με υψηλή θερμοκρασία χρώματος εκπέμπουν περισσότερο μπλε φως, σε σχέση με τους συμβατικούς λαμπτήρες, οδηγώντας σε έντονη φωτιστική ρύπανση από μπλε φως.
- Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα των LED είναι φυσικά το κόστος αγοράς. Όμως η τεχνολογία εξελίσσεται καθημερινά και το κόστος αγοράς τους γίνεται πιο προσιτό. Επίσης συνυπολογίζοντας το μειωμένο κόστος συντήρησης, λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, το κόστος αγοράς και λειτουργίας μειώνεται περαιτέρω.
- Τα LED αποτελούνται από μικροσκοπικά λαμπάκια και ένα κύκλωμα που τα επιτρέπει να λειτουργούν όπως πρέπει. Όλο το σύνολό τους, αν και δεν ζεσταίνεται συνήθως, είναι ευαίσθητο στις υψηλές θερμοκρασίες. Αν για κάποιο λόγο ζεσταθεί, υπάρχει κίνδυνος να αστοχήσει κάποιο μέρος του κυκλώματος κι έτσι να μην λειτουργεί όλο το κύκλωμα, οπότε να χρειάζεται όλο αντικατάσταση.
- Ένα άλλο μειονέκτημα των LED είναι ότι είναι ευαίσθητα στην τάση. Αν για κάποιο λόγο εφαρμοστεί τάση μεγαλύτερη από την προτεινόμενη, τότε αυτά καταστρέφονται.
- Παράγουν κατευθυνόμενο κυρίως φως. Το συγκεκριμένο, μερικές φορές μας εξυπηρετεί και δεν θα λέγαμε ότι αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των LED. Τα LED κατευθύνουν το φως που παράγουν προς μία κατεύθυνση συγκεκριμένα, κάνοντας έτσι δυσκολότερη τη διάχυση. Πιο συγκεκριμένα, ένα σύνολο από μικρά LED που φωτίζουν προς διάφορες κατευθύνσεις δεν θα μας δώσει μία ομοιόμορφη διαχυτικότητα φωτός όπως θα μας έδινε για παράδειγμα, μία λάμπα πυρακτώσεως. Αντίστοιχα σε έναν κρυφό φωτισμό, αν δεν τοποθετηθούν επιδέξια, μπορεί να μη φαίνεται το απαλό ομοιόμορφο φως, αλλά μικρές "έντονες" λάμπες επάνω στον τοίχο, που παράγονται από κάθε LED.

### 3.5 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές των LED μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. Ορατή απεικόνιση: όπου το φως κατευθύνεται περισσότερο ή λιγότερο στο ανθρώπινο μάτι για να μεταφέρει ένα μήνυμα ή μια έννοια.

Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το χαμηλό κόστος συντήρησης και το μικρό μέγεθος των σημερινών LED έχει οδηγήσει στην εφαρμογή τους σε μια πληθώρα εγκαταστάσεων και εξοπλισμού για την ορατή απεικόνιση όπως σε πίνακες αποτύπωσης και σηματοδότες. Τοποθετούνται σε μεγάλες επιφάνειες για την αποτύπωση δεδομένων και μηνυμάτων στα στάδια, στους σταθμούς των τρένων και των λεωφορείων, στα αεροδρόμια, στα λιμάνια, στους δρόμους ως πινακίδες ή ως σηματοδότες, στις συναυλίες. Εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και των μικρών χρόνων απόκτησης, τα LED χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία ως σηματοδότες φρένων και στροφής (φλας). Έτσι αυξάνεται και ο παράγοντας ασφάλειας που μπορεί να παρέχει ένα όχημα αφού ο οδηγός έχει στην διάθεσή του περισσότερο χρόνο αντίδρασης.

2. Φωτισμός

Με την εξέλιξη των LED υψηλής απόδοσης και ισχύος έγινε δυνατή η χρήση τους για φωτισμό και φωταγωγήση. Τα LED χρησιμοποιούνται στα φώτα των δρόμων ή σε αρχιτεκτονικές κατασκευές που απαιτείται φωτισμός με εναλλαγή χρωμάτων. Επίσης χρησιμοποιούνται και ως κύρια φώτα στα αυτοκίνητα, στις μοτοσυκλέτες και στα ποδήλατα.

Επίσης, τα LED χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στον φωτισμό ενυδρείων. Μπορούν να παρέχουν το απαιτούμενο φως με μικρότερη εκπομπή θερμότητας και έτσι βοηθούν στην συντήρηση της βέλτιστης θερμοκρασίας του ενυδρείου. Επειδή μπορούν να παράγουν φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος είναι ιδανικά για να παρέχουν ένα συγκεκριμένο χρώμα-φάσμα για τον χρωματισμό των κοραλλιών, των ψαριών, των ανεμώνων κ.α.

Τα LED είναι ακόμα ιδανικά για χρήση στις τηλεοράσεις, στους φορητούς υπολογιστές και στους προβολείς (projectors) DLP.

3. Μη ορατές εφαρμογές

Το φως έχει και άλλες χρήσεις έκτος από την όραση. Τα LED χρησιμοποιούνται για μερικές από αυτές της εφαρμογές. Αυτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: i) επικοινωνία ii) αισθητήρες iii) αλληλεπίδραση φωτός με την ύλη.

Το φως των LED μπορεί να τροποποιηθεί πολύ γρήγορα και έτσι χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες και στις οπτικές επικοινωνίες ελεύθερου χώρου. Αυτές περιλαμβάνουν τα τηλεχειριστήρια των τηλεοράσεων και των βίντεο, όπου χρησιμοποιούνται τα LED υπερύθρου. Οι οπτομονωτές χρησιμοποιούν ένα LED και μια φωτοδίοδο ή ένα φωτοτρανζίστορ για να παρέχουν ένα «μονοπάτι» σήματος με ηλεκτρική μόνωση μεταξύ δυο διαδρομών. Αυτοί είναι αρκετά χρήσιμοι στον ιατρικό εξοπλισμό, όπου τα σήματα από τον αισθητήρα χαμηλής τάσης που είναι συνδεδεμένος με τον ανθρώπινο οργανισμό πρέπει να είναι ηλεκτρικά μονωμένα.

Πολλά συστήματα αισθητήρων χρησιμοποιούν το φως ως πηγή σήματος. Τα LED είναι ιδανική πηγή για να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις των αισθητήρων. Χρησιμοποιούνται στους αισθητήρες κίνησης ή στις οθόνες αφής εντοπίζοντας το φως που ανακλάται από το δάχτυλο ή την ακίδα.

Μια άλλη χρήση των LED είναι στις καλλιέργειες φυτών κυρίως γιατί είναι ενεργειακά αποδοτικά, παράγουν θερμότητα που δεν είναι ικανή να τα καταστρέψει γιατί είναι μικρή, και μπορούν να παρέχουν την βέλτιστη οπτική συχνότητα για την ανάπτυξή τους.



## Κεφάλαιο 4. Χαρακτηριστικά λαμπτήρων και σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών του ηλεκτρικού φωτισμού ξεκινώντας από τα βασικά χαρακτηριστικά του καθενός, όπως:

- φωτεινή απόδοση
- ποιότητα φωτός
- φωτισμός ή ισχύς Φωτισμού
- διάρκεια ζωής
- θόρυβος
- κόστος
- dimmer και χρήση σε dimmable λαμπτήρες

### 4.1 Φωτεινή απόδοση

Η φωτεινή απόδοση (lm/W) ενός λαμπτήρα δηλώνει την φωτεινή ροή που παράγει ένας λαμπτήρας ανά Watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος δηλαδή το πόσο φως παράγουν σε σχέση με το πόση ενέργεια καταναλώνουν. Η μέγιστη θεωρητική φωτεινή απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί μετατρέποντας όλη την ενέργεια σε ορατό φως είναι 683 lm/W. Στη πράξη πολύ μικρότερες τιμές επιτυγχάνονται συνήθως μεταξύ 10 και 150 lm/W.

Υψηλότερη φωτεινή απόδοση από όλα τα είδη λαμπτήρων παρουσιάζουν οι λαμπτήρες νατρίου (Na) χαμηλής πίεσης που έχουν φωτεινή απόδοση μέχρι και 200lm/W. Οι κύριες εφαρμογές του λαμπτήρα αφορούν φωτισμό δρόμων, λιμανιών και αμαξοστασίων. Οι λαμπτήρες αυτοί είναι διαθέσιμοι σε ισχύς από 18W έως 180W. Επόμενοι είναι οι λαμπτήρες LED οι οποίοι παρουσιάζουν φωτεινή απόδοση που φτάνει έως και 150 lm/W. Στην τρίτη θέση ακολουθούν οι λαμπτήρες νατρίου (Na) υψηλής πίεσης με φωτεινή απόδοση μέχρι και 140 lm/W.

Χαμηλότερη φωτεινή απόδοση παρουσιάζουν οι λαμπτήρες πυρακτώσεως με φωτεινή απόδοση περίπου 12 lm/W. Υπάρχουν όμως και λαμπτήρες πυράκτωσης με απόδοση 25 lm/W, αυτοί οι λαμπτήρες ονομάζονται "λαμπτήρες ιωδίου - χαλαζία" (ευρύτερα γνωστοί ως λαμπτήρες αλογόνου). Έπειτα ακολουθούν οι λαμπτήρες υδραργύρου με φωτεινή απόδοση που κυμαίνεται από 30 έως και 65 lm/W και οι

λαμπτήρες φθορισμού με φωτεινή απόδοση από 50 έως 110 lm/W. Παρακάτω δίνεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας της φωτεινής απόδοσης των διαφόρων τεχνολογιών φωτισμού.

<b>Είδος Λαμπτήρα</b>	<b>Φωτεινή απόδοση (lm/W)</b>
<b>Πυρακτώσεως</b>	12-25
<b>Υδραργύρου</b>	30-65
<b>Φθορισμού</b>	50-70
<b>Συμπαγείς Φθορισμού</b>	70-110
<b>Νατρίου υψηλής πίεσης</b>	80-140
<b>Νατρίου χαμηλής πίεσης</b>	90-200
<b>LED</b>	80-150

Πίνακας 3: Φωτεινή απόδοση τεχνολογιών φωτισμού

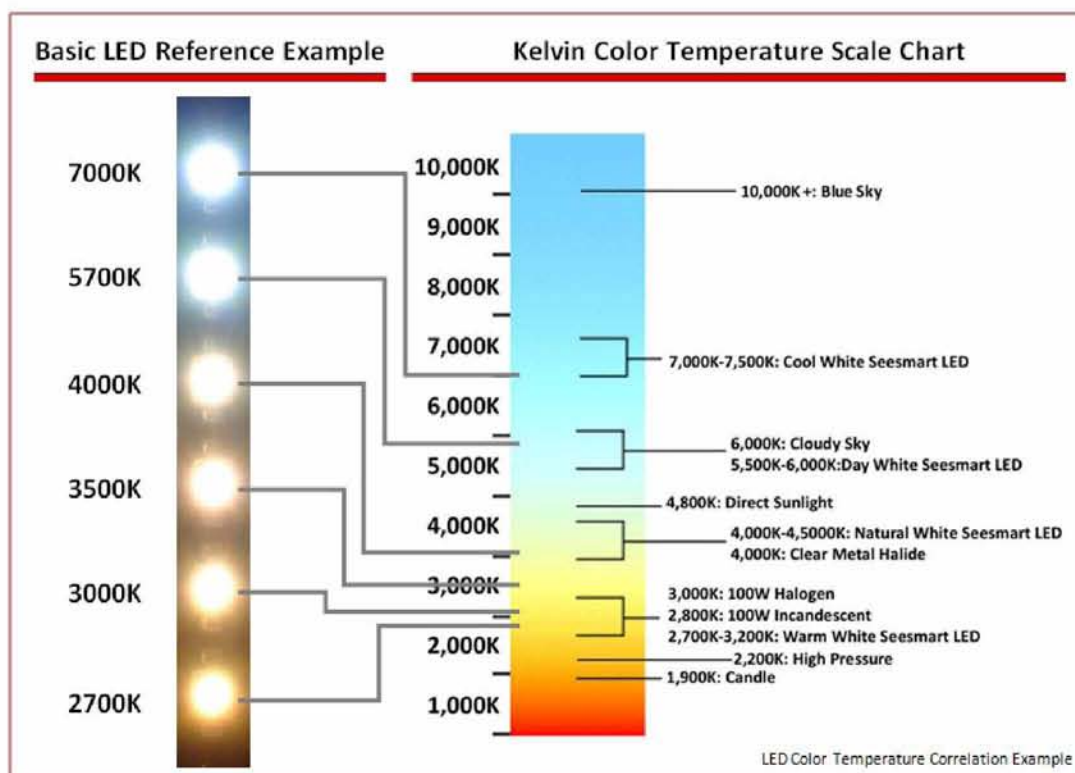
## 4.2 Ποιότητα φωτός

Το χρώμα είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της οπτικής ανάγνωσης και κατανόησης του περιβάλλοντός μας. Είναι απαραίτητο για το διαχωρισμό της λεπτομέρειας και την οπτική απόδοση του παρατηρητή. Σχετίζεται με τις επιφάνειες και τα αντικείμενα του χώρου αλλά και με τις πηγές του φωτός. Η ποιότητα του χρώματος μίας τεχνολογίας φωτισμού περιγράφεται από δύο βασικά μεγέθη. Το πρώτο μέγεθος είναι η θερμοκρασία χρώματος (CCT) και το δεύτερο ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI).

### 4.2.1 Θερμοκρασία χρώματος (CCT)

Την διακύμανση των χρωμάτων από τα πιο ψυχρά ως και τα πιο θερμά την ονομάζουμε χρωματική θερμοκρασία και η κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της είναι η κλίμακα Kelvin. Όσο πιο ψυχρά είναι τα χρώματα τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος, ενώ όσο δείχνει πιο θερμή η χροιά κατεβαίνει η χρωματική θερμοκρασία. Λόγω διαφορετικών υλικών, οι φωτεινές πηγές εκπέμπουν φως διαφορετικού χρώματος. Αυτό μετριέται σε βαθμούς Kelvin και πρακτικά δείχνει πόσο θερμό (προς το κίτρινο) ή ψυχρό (προς το μπλε) είναι το χρώμα που εκπέμπει η εκάστοτε φωτεινή πηγή. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία τόσο πιο ζεστό θα είναι το φως. Όσο μεγαλύτερη τόσο πιο ψυχρό. Όταν είναι περίπου

στα μέσα είναι λευκό ουδέτερο. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε την διακύμανση των χρωμάτων.



Εικόνα 6: Διακύμανση χρωμάτων ανάλογα με την θερμοκρασία

#### 4.2.2 Δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI)

Οι ιδιότητες της χρωματικής απόδοσης των φωτεινών πηγών των λαμπτήρων καθορίζονται μέσω του δείκτη χρωματικής απόδοσης ( Color Rendering Index - CRI), ο οποίος με την σειρά του υποδεικνύει και την ποιότητα του φωτισμού των λαμπτήρων. Ο δείκτης CRI μπορεί να πάρει τιμές από 0 μέχρι 100, με το φυσικό υπαίθριο φως να έχει δείκτη CRI ίσο με 100. Ουσιαστικά η απόδοση του φυσικού φωτός στα χρώματα αποτελεί το μέτρο σύγκρισης για όλες τις πηγές φωτός. Για την περίπτωση λαμπτήρων φθορισμού ο δείκτης CRI κυμαίνεται γύρω στα 50-60, ενώ στην περίπτωση λαμπτήρων LED ο CRI, ανάλογα με την μάρκα του λαμπτήρα, είναι μεγαλύτερος από 80. Οι λαμπτήρες LED υψηλής ισχύος μπορούν να επιτύχουν τιμές μέχρι και 98 CRI.

Τεχνολογία Λαμπτήρα	Θερμοκρασία Χρώματος (Kelvin)	Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης (CRI)
Πυρακτώσεως	2800-3100	~100
Υδραργύρου	3400-5000	20-40
Φθορισμού	3000-4000	60-85
Συμπαγείς Φθορισμού	2500-3000	80-90
Νατρίου υψηλής πίεσης	1800-2300	20-30
Νατρίου χαμηλής πίεσης	1600-2100	10-20
LED	2500-7500	75-98

Πίνακας 4: Θερμοκρασία χρώματος και χρωματική απόδοση των διαφόρων τεχνολογιών

Με βάση τις τιμές που παρατηρούμε στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε εύκολα ότι οι λαμπτήρες LED είναι η μόνη τεχνολογία λαμπτήρων που παράγει θερμά και ψυχρά χρώματα και ταυτόχρονα παρουσιάζει τον υψηλότερο δείκτη χρωματικής απόδοσης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες λαμπτήρων.

### 4.3 Φωτισμός ή Ισχύς Φωτισμού

Φωτισμός ή αλλιώς ισχύς φωτισμού ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το lux (lx), όπου  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$ . Είναι η φωτεινή ροή που προσπίπτει σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια, μακριά από μία φωτεινή πηγή. Η τιμή αυτή επηρεάζεται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας και την απόσταση από την πηγή. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από τη φωτεινή πηγή, τόσο μικρότερη θα είναι η φωτεινότητα. Βέβαια πολλές φορές συμβαίνει λαμπτήρας με λιγότερα lm να αποδώσει ίδια ή και περισσότερα lux.

Στην καθημερινή μας ζωή θα δούμε παρακάτω τις ποσότητες φωτισμού που μας προσφέρει η φυσική πηγή φωτός, ο ήλιος.

Για παράδειγμα με καλοκαιρινή ηλιοφάνεια

- στον ανοικτό χώρο 100.000 lux
- στη σκιά δένδρου 10.000 lux
- στο εσωτερικό δωματίου 2.000 lux
- Με πανσέληνο στο ύπαιθρο 0,25 lux

Για κάθε δραστηριότητα χρειάζεται η κατάλληλη ποσότητα φωτισμού σε Lux π.χ. σε αίθουσες διδασκαλίας 300 Lux. Σε καταστήματα self-service 500 Lux κλπ. Η απαιτούμενη για κάθε δραστηριότητα ποσότητα φωτισμού διαφοροποιείται ανάλογα και με την ηλικία των ατόμων.

Ελάχιστες απαιτήσεις σε φωτισμό ανάλογα με την ηλικία των ατόμων που ζουν και εργάζονται μέσα σε δωμάτιο 10 m<sup>2</sup> που φωτίζεται με λαμπτήρες.

Για ηλικία 40 ετών : 1380lux

Για ηλικία 10 ετών : 400lux

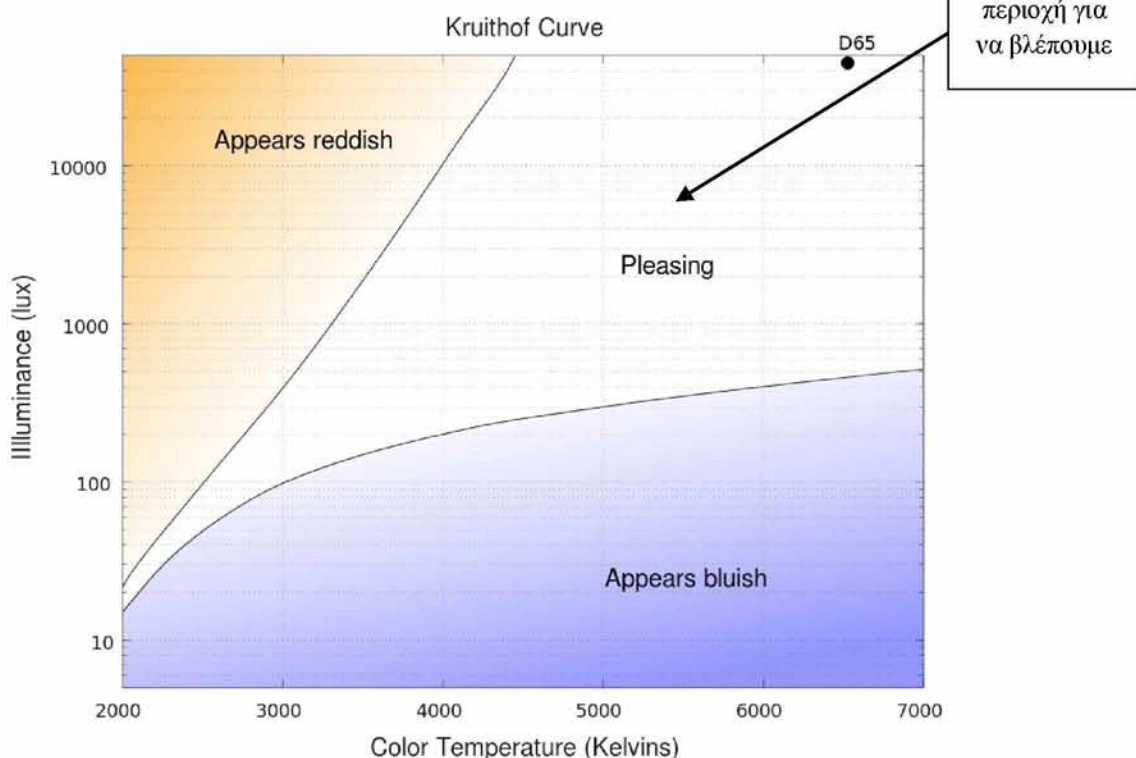
Για ηλικία 20 ετών : 450lux

Για ηλικία 30 ετών : 730lux

Για ηλικία 50 ετών : 2950lux

Για ηλικία 60 ετών : 8300lux

Στην παρακάτω εικόνα θα δούμε την περιοχή όπου είναι κατάλληλα τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων, ισχύς φωτισμού και θερμοκρασία χρώματος, για την καλύτερη επιλογή για τον φωτισμό που θα χρησιμοποιήσουμε.



Εικόνα 7: Βέλτιστη περιοχή ορατότητας

Για την φωτεινή ισχύ δεν θα δώσουμε παράδειγμα σύγκρισης διότι περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά της ποιότητας του φωτός που τα αναλύσαμε προηγουμένως. Επομένως μπορούμε να καταλάβουμε την διαφορά του κάθε είδος

λαμπτήρα. Θα δώσουμε όμως ένα παράδειγμα για τα χαρακτηριστικά του φωτισμού που χρειάζεται να έχουμε σε έναν εργασιακό χώρο για την καλύτερη απόδοση. Το παράδειγμα αυτό το έχουμε βρει από μελέτη που έχει γίνει για το πώς επιδρά ο φωτισμός στον άνθρωπο κατά την διάρκεια της ημέρας.

Παράδειγμα: Το συγκεκριμένο αφορά εργασιακό χώρο και θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά ανάλογα με τις ώρες τις ημέρας.

#### **I. Ξεκίνημα της ημέρας εργασίας στις 9:00**

- Πολύ υψηλή ένταση του φωτός και ψυχρό φως
- 500lux και περισσότερα και θερμοκρασία στα 5000K - 5500K

#### **II. Διάλλειμα 12:00-13:00**

- Σημαντικά χαμηλότερη ένταση και ζεστό χρώμα φωτός
- 300lux με θερμοκρασία 3000K
- Θετική επίδραση στην πέψη

#### **III. Στην διάρκεια της εργάσιμης ημέρας**

- Υψηλή ένταση του φωτός και πολύ ψυχρή θερμοκρασία
- 500lux με θερμοκρασία 5500K

#### **IV. Στο τέλος της εργάσιμης ημέρας**

- Υψηλή ένταση του φωτός και ελαφριά μείωση της θερμοκρασίας του φωτισμού
- 500lux με θερμοκρασία 5500 - 4500K

Στην μελέτη που διαβάσαμε και πήραμε το παραπάνω παράδειγμα έχει γίνει η αντίστοιχη έρευνα για πολλούς χώρους που βρισκόμαστε στην καθημερινότητα μας. Τέτοια παραδείγματα μας βοηθάνε ώστε να γίνει η καταλληλότερη επιλογή του φωτισμού για κάθε χώρο.

### **4.4 Διάρκεια ζωής**

Η διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα είναι ο αριθμός των ωρών λειτουργίας του, όταν το 50% μιας μεγάλης ομάδας λαμπτήρων της ίδιας κατηγορίας καταστρέφονται αλλά και όταν το φως του λαμπτήρα πέσει κάτω από ένα ποσοστό (συνήθως 70 %) οπότε στη διάρκεια ζωής δεν προσμετρείται το χρονικό διάστημα της μειωμένης φωτιστικής απόδοσης. Παρακάτω δίνονται οι ώρες λειτουργίας για τα βασικά είδη λαμπτήρων, όπως τις δίνουν οι κατασκευαστές.

- Ένας λαμπτήρας πυράκτωσης έχει διάρκεια ζωής περίπου 750 - 1500 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του τόσο μικρότερη είναι η ζωή του. Ο λαμπτήρας πυράκτωσης ανάβει μόνο όταν και οι δύο επαφές του ακουμπούν και στους δύο πόλους της μπαταρίας ή της πρίζας. Στις περιπτώσεις που η λάμπα δεν ανάβει, έχει κοπεί (καεί από υπερβολική αύξηση του ηλεκτρικού ρεύματος απότομα) το σύρμα.
- Για τους λαμπτήρες φθορισμού η διάρκεια ζωής ξεπερνά τις 6.000 ώρες και φθάνει έως τις 15.000 ώρες. Οι λαμπτήρες φθορισμού φτάνουν την μέγιστη διάρκεια ζωής τους εφ' όσον δεν τους ανοιγοκλείνουμε συχνά οπότε μειώνεται πολύ η διάρκεια ζωής τους.
- Στους λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 14.000 έως 18.000 ώρες, ενώ για τους λαμπτήρες χαμηλής πίεσης από 20.000 έως 24.000 ώρες.
- Οι διόδοι εκπομπής φωτός LED μπορούν να διαρκέσουν πάνω από 3 φορές περισσότερο από τα φωτιστικά φθορισμού με αναμενόμενη διάρκεια ζωής πάνω από 35.000 ώρες και μπορεί να φτάσει και έως 80.000 ώρες λειτουργίας.

#### 4.5 Θόρυβος RF και Flickering

Τα switching τροφοδοτικά που χρησιμοποιούνται στους λαμπτήρες LED, τα ηλεκτρονικά μέρη που χρησιμοποιούνται στους λαμπτήρες φθορισμού και τα dimmer που χρησιμοποιούνται με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής συχνότητας και φορτώνουν τις γραμμές του ηλεκτρικού ρεύματος με θόρυβο υψηλής συχνότητας. Ενώ αυτές οι εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων συνήθως δεν αποτελούν πρόβλημα, υπάρχουν περιπτώσεις που η παρουσία τους μπορεί να είναι προβληματική με αποτέλεσμα η αυξανόμενη χρήση των ηλεκτρονικών συστημάτων που τις προκαλούν να δημιουργεί ένα ζήτημα που θα χρίζει ιδιαίτερης προσοχής.

Επειδή το νήμα σε μια λάμπα πυρακτώσεως έχει σημαντική θερμική αδράνεια, τα dimmer που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της φωτεινότητάς τους, δεν παράγουν αισθητό flickering, παρά την chopped κυματομορφή εξόδου τους. Αντίθετα, το flickering είναι αισθητό στους λαμπτήρες φθορισμού, όπου η συχνότητά του είναι διπλάσια της συχνότητας τροφοδοσίας, δηλαδή 100 Hz για τροφοδοσία 50

Hz. Flickering μπορεί επίσης να παρατηρηθεί και σε ορισμένα συστήματα LED, αλλά μπορεί να μειωθεί με προσεκτικό σχεδιασμό της τροφοδοσίας τους.

Ο δείκτης flickering είναι ένας λόγος που έχει καθιερωθεί για τη μέτρηση των μεταβολών της εξόδου μιας πηγής. Ορίζεται ως ο λόγος του εμβαδού της κυματομορφής εξόδου του φωτός που βρίσκεται πάνω από το μέσο επίπεδο φωτός και του συνολικό εμβαδού της κυματομόρφης εξόδου του φωτός στη διάρκεια ενός κύκλου και παίρνει τιμές μεταξύ μηδέν και ένα.

Σε μετρήσεις που έχουν γίνει, η αντιληπτικότητα του flickering μπορεί να είναι υποκειμενική, ιδιαίτερα σε συχνότητες άνω των 75 Hz. Η μεγάλη πλειοψηφία των λαμπτήρων LED που έχουν δοκιμαστεί δεν παρουσιάζουν εμφανές flickering, πολλοί έχουν την ίδια ή μικρότερη εμφάνιση του φαινομένου από λαμπτήρες αλογόνου και λαμπτήρες πυρακτώσεως. Ακόμη και με τους δείκτη έως 0.5, το flickering δεν έγινε αμέσως αντιληπτό, όμως για εκείνους που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στο φαινόμενο, τα αποτελέσματα έδειξαν πιθανή εκδήλωση καταπόνησης των ματιών και πονοκεφάλους, αν χρησιμοποιείται λανθασμένο είδους λαμπτήρα για φωτισμό εργασίας ή για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.

Για την αποφυγή στροβοσκοπικών φαινομένων καλύτερη θα ήταν η χρήση λαμπτήρων LED με δείκτη μικρότερου του 0.1. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το φαινόμενο του flickering δεν είναι χαρακτηριστικό όλων των LED φωτισμού αλλά εμφανίζεται σε φθηνότερα και χαμηλότερης ποιότητας προϊόντα.

## **4.6 Κόστος**

Η συντήρηση του φωτισμού μπορεί να είναι μια δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία, ιδιαίτερα σε δημόσια κτίρια όπου η χρήση είναι συνεχής. Στο παρελθόν, η φυσική και οικονομική προσπάθεια που απαιτείται για τη διατήρηση του φωτισμού σε ικανοποιητικά επίπεδα στα δημόσια κτίρια έχει δημιουργήσει ελλείμματα στον προϋπολογισμό που δύσκολα μπορεί να φανταστεί κανείς.

Ο φωτισμός LED μειώνει δραματικά το κόστος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα για ζητήματα δημόσιων κτιριακών εγκαταστάσεων, κυρίως λόγω της δυνατότητας προσαρμογής του στα παλαιότερα συστήματα καθώς και την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες. Στη διαχείριση των δημόσιων κτιρίων, όπως και σε κάθε εγκατάσταση ή συντήρηση κτιρίων, ο χρόνος είναι χρήμα, και επειδή η αλλαγή των λαμπτήρων LED συμβαίνει πολύ λιγότερο συχνά απ' ό



συνήθως με τον παραδοσιακό φωτισμό, οι ανάγκες χρήσης του ανθρώπινου δυναμικού μεταφέρεται σε άλλα θέματα.

Το αρχικό κόστος του εξοπλισμού λαμπτήρων LED μπορεί να τρομάζει, όμως θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η εξοικονόμηση χρημάτων θα αρχίσει να φαίνεται μέσα σε πέντε χρόνια το πολύ, αν όχι νωρίτερα, καθώς η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων είναι δέκα ετών, αν όχι μεγαλύτερη. Αυτή η παρατήρηση σημαίνει ότι ένα σχεδιασμός που θα περιέχει αρχικά μεγαλύτερο κόστος υλοποίησης, στην πορεία θα αποδειχτεί ως μελλοντικά οικονομικότερος και πιο βιώσιμος.

Τα οικονομικά οφέλη μπορούν να επικεντρωθούν σε δύο βασικούς παράγοντες που είναι η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και το μικρότερο κόστος συντήρησης που απαιτείται από την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων. Θα μπορούσε να πει κανείς ότι από ένα σημείο και μετά ο φωτισμός τεχνολογίας LED αυτοσυντηρείται και αυτό δεν θα ήταν υπερβολή. Στο διαδίκτυο υπάρχει μια πληθώρα εφαρμογών που μπορεί να βοηθήσουν στον υπολογισμό της προβλεπόμενης απόδοσης της επένδυσης σε ένα κτίριο από την εγκατάσταση λαμπτήρων LED καθώς επίσης και να αποδείξουν το οικονομικό πλεονέκτημα που παρουσιάζουν μακροπρόθεσμα οι λαμπτήρες στερεάς κατάστασης έναντι των παραδοσιακότερων. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τρία βασικά χαρακτηριστικά, που έχουν αναλυθεί εκτεταμένα στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο κύκλος ζωής, η θερμοκρασία και το χρώμα.

Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να συνδυαστούν με τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των έξυπνων κτιρίων και να αποτελέσουν μια μεγάλη μακροχρόνια οικονομική ανάσα. Ο φωτισμός LED μπορεί να ρυθμιστεί σε θέμα έντασης όπως και σε θέμα λειτουργίας εύκολα χωρίς να επηρεαστεί καθόλου η διάρκεια ζωής του. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές με αισθητήρες, όπου η λειτουργία των λαμπτήρων μπορεί να διακοπεί όταν η περιοχή φωτισμού δεν είναι σε χρήση, ή η ένταση φωτισμού μπορεί να μειωθεί, όταν το φως στον εξωτερικό χώρο διατηρεί ικανοποιητικά επίπεδα. Έχει ήδη αναφερθεί ότι ένας καλά σχεδιασμένος λαμπτήρας μπορεί να διατηρήσει το 90% της αρχικής εξόδου του, ακόμα και μετά από λειτουργία 70.000 ωρών, ο οποίος είναι σχεδόν διπλάσιος από τη διάρκεια ζωής των πηγών φθορισμού. Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό ότι με την πάροδο του χρόνου, οι ανάγκες σε αντικατάσταση προβληματικών λαμπτήρων μειώνεται, κάτι που μειώνει δραματικά το συνολικό κόστος φωτισμού ενός κτιρίου.

Όπως έχει αποδειχθεί και από τις προηγούμενες ενότητες, τα πλεονεκτήματα του φωτισμού LED έναντι των παραδοσιακών τεχνολογιών φωτισμού, μπορούν να επεκταθούν και στα χαρακτηριστικά θερμοκρασίας λειτουργίας όπως επίσης και στην ποιότητα φωτισμού λόγω της μεγαλύτερης εκπομπής ποικιλίας χρωμάτων, έντασης της φωτεινότητάς τους καθώς και της χρωματικής θερμοκρασίας τους. Η ικανότητα των LED να λειτουργούν σε περιβάλλοντα όπου οι παραδοσιακές λύσεις φωτισμού απαιτούν την προσθήκη ειδικών τεχνολογιών για την σωστότερη λειτουργία τους, αυξάνει ακόμα περισσότερο τα οικονομικά οφέλη σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες φωτισμού. Οι λύσεις που προσφέρει η τεχνολογία φωτισμού LED συμβάλλουν τεράστια σε εξοικονόμηση χρημάτων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους και αυτό μπορεί να αποδειχθεί μόνο με την οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης ή/και της συντήρησης ενός συστήματος φωτισμού.

Η επένδυση σε λαμπτήρες LED είναι μονόδρομος και επιτακτική πλέον ανάγκη. Αρκεί η επένδυση που θα κάνουμε να αφορά προϊόντα επώνυμα, με υψηλές αποδόσεις και εγγυήσεις, και όχι προϊόντα χωρίς πιστοποιήσεις και σωστά τεχνικά χαρακτηριστικά.

Στο επόμενο κεφάλαιο όπου γίνεται η οικονομική μελέτη για το κτίριο της βιβλιοθήκης του Βόλου θα παρουσιάσουμε την οικονομική σύγκριση των λαμπτήρων LED με τους συμβατικούς λαμπτήρες.

#### **4.7 Dimmer και χρήση σε dimmable λαμπτήρες**

Αρχικά θα δώσουμε τον ορισμό του dimmer, πριν εξηγήσουμε το αντίστοιχο χαρακτηριστικό των λαμπτήρων.

Dimmer: Τα DIMMERS είναι ηλεκτρονικοί μηχανισμοί με τους οποίους μπορούμε να ρυθμίζουμε την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται σε ωμικά και επαγωγικά φορτία όπως είναι οι λαμπτήρες, οι αντιστάσεις θέρμανσης, μερικοί μετασχηματιστές και μερικοί ηλεκτροκινητήρες.

Ελαττώνοντας το φωτισμό πετυχαίνουμε και οικονομία στη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και παράταση ζωής στις λάμπες φωτισμού εξοικονομώντας έτσι και χρήματα. Μείωση του φωτισμού κατά 10% επιφέρει οικονομία ηλεκτρικής ενέργειας 5% και διπλασιασμό στο χρόνο ζωής των λυχνιών. Μείωση του φωτισμού κατά 25% κάνει οικονομία στην κατανάλωση 20% και τετραπλασιάζει το χρόνο ζωής των λυχνιών.

Βέβαια για να χρησιμοποιήσουμε dimmer για να ελέγξουμε τον φωτισμό μας και να έχουμε οικονομία θα πρέπει οι λαμπτήρες να είναι dimmable. Δηλαδή θα πρέπει οι λαμπτήρες να έχουν την ικανότητα να φέγγουν και σε χαμηλότερη ένταση και να ανάβουν όταν σε αυτούς εφαρμοστεί χαμηλότερη τάση από αυτήν που χρειάζονται. Έτσι τους dimmable λαμπτήρες μπορούμε να τους κάνουμε να φέγγουν λιγότερο ή περισσότερο.

Οι λαμπτήρες LED έχουν εξελιχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα να είναι λίγοι οι LED που να μην είναι dimmable. Οι λαμπτήρες LED με αυτό το χαρακτηριστικό λειτουργούν άψογα με dimmer αυξομείωσης. Η χρήση των λαμπτήρων πυρακτώσεως σε συστήματα dimmer γινόταν αρκετά συχνά. Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν προβλήματα συμβατότητας με τα συστήματα dimmer. Γι' αυτό το είδος λαμπτήρων θα πρέπει να επιλεγεί εκείνος ο λαμπτήρας που αναγράφει καθαρά στη συσκευασία του ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αυτά τα συστήματα dimmer. Τα υπόλοιπα είδη λαμπτήρων δεν συνεργάζονται εύκολα με τα συστήματα dimmer.

Επομένως βλέπουμε ακόμα έναν τομέα στον οποίο οι λαμπτήρες LED υπερτερούν σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη λαμπτήρων.

#### **4.8 Συμπεράσματα**

Από όλα τα παραπάνω είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι εάν θέλουμε να βελτιώσουμε τον φωτισμό μας ως προς την ποιότητα αλλά και ως προς το κόστος θα πρέπει να επιλέξουμε τους λαμπτήρες LED. Για την μελέτη που θα ακολουθήσει στο παρακάτω κεφάλαιο οι λαμπτήρες LED επιλέχθηκαν σύμφωνα με τους χώρους στους οποίους θα χρησιμοποιηθούν, επιλέχθηκαν σωστά χαρακτηριστικά του φωτισμού έτσι ώστε να μπορούν να συνεργαστούν με συστήματα ελέγχου για την επίτευξη μεγαλύτερης μείωσης της κατανάλωσης.



## Κεφάλαιο 5. Αντικατάσταση λαμπτήρων στην βιβλιοθήκη του Βόλου

Δεδομένου του ολοένα αυξανόμενου ενεργειακού κόστους υπάρχει μία προσπάθεια εξοικονόμησης / μείωσης κατανάλωσης. Η προσπάθεια αυτή, τονίζουμε, θα πρέπει να γίνει τόσο στο κομμάτι του φωτισμού, όσο και στο κομμάτι του HVAC (θέρμανση (H), εξαερισμός (V), κλιματισμός (AC)). Η παρούσα ανάλυση πραγματεύεται μόνο τον φωτισμό και είναι για το κτίριο της βιβλιοθήκης του Βόλου. Ο φωτισμός σε ένα κτίριο αντιπροσωπεύει:

- Την άμεση κατανάλωση (ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό) 15-20%.
- Την έμμεση κατανάλωση, 15-20% της ηλεκτρικής ενέργειας, σε Kw θερμικά. Αυτή η θερμική ενέργεια θα πρέπει να απομακρυνθεί από το κτίριο με βάση το συνολικό COP του συστήματος (σε περίπτωση ψύξης – σε θέρμανση είναι θερμικό κέρδος). Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το 20-25% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης ενός κτιρίου γραφείων αποδίδεται σε φωτισμό.

Δύο είναι οι βασικές στρατηγικές μείωσης της κατανάλωσης φωτισμού (σημειώστε ότι οι στρατηγικές δεν είναι διαζευκτικές. Η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται αν αυτά συνδυαστούν):

- A. Αντικατάσταση του λαμπτήρα ή και του φωτιστικού.
- B. Ενσωμάτωση συστήματος ελέγχου.

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε αντικατάσταση των λαμπτήρων που υπάρχουν, με αντίστοιχης φωτεινότητας, στην βιβλιοθήκη του Βόλου. Επίσης, θα παρουσιάσουμε τον υπάρχοντα φωτισμό του κτηρίου, θα κάνουμε την μελέτη για την αντικατάσταση με LED λαμπτήρες και θα υπολογίσουμε το κέρδος που θα έχουμε από αυτή την αντικατάσταση.

Για την μελέτη που θα ακολουθήσει πρέπει να σημειώσουμε ότι επειδή έχουμε μείωση της εγκατεστημένης ισχύος δεν θα χρειαστεί αλλαγή της παροχής από την ΔΕΗ (ή αλλαγή μετασχηματιστή, στην περίπτωση που υπάρχει) ούτε αλλαγή των ασφαλιστικών διατάξεων (πινάκων).

## 5.1 Πληροφορίες κτηρίου

Το κτήριο της βιβλιοθήκης του Βόλου είναι ένα πεντάροφο κτήριο με υψηλές απαιτήσεις σε φωτισμό, λόγω της χρήσης του. Τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν, σε αυτό το κεφάλαιο, βασίζονται στα σχέδια του κτηρίου, σε πληροφορίες που ελήφθησαν ύστερα από συζήτηση με αρμόδιο άτομο του κτηρίου και από λογαριασμούς της Δ.Ε.Η. του προαναφερθέντος κτηρίου. Όλα τα παραπάνω υπάρχουν στο υπόμνημα στο τέλος της εργασίας. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι δεν λαμβάνουμε υπόψη καταναλώσεις ρεύματος από το σύστημα κλιματισμού ή από άλλες συσκευές αλλά η οικονομική μελέτη θα γίνει μόνο για την κατανάλωση του φωτισμού. Επιπλέον, οι λογαριασμοί στο παράρτημα χρησίμευσαν για να πάρουμε μόνο την τιμή της κιλοβατώρας (kWh) διότι στους λογαριασμούς συμπεριλαμβάνονται οι καταναλώσεις και των λοιπών ηλεκτρικών συσκευών.

Αρχικά, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο φωτισμός του κτηρίου είναι δώδεκα ώρες (8:00-20:00) και είναι για όλους τους ορόφους και τις αίθουσες που υπάρχουν στο κτήριο. Σύμφωνα με το παραπάνω μπορούμε να καταλάβουμε ότι υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης λόγω των ωρών λειτουργίας. Επειδή το ωράριο αυτό αφορά όλο το κτήριο θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τον υπάρχοντα φωτισμό (λαμπτήρες) σε όλο το κτήριο και τον αριθμό αυτών.

Στον πίνακα που ακολουθεί θα δοθούν οι λαμπτήρες του κτηρίου, ο αριθμός αυτών και η κατανάλωση τους (ανά λαμπτήρα).

<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Αριθμός λαμπτήρων</i>	<i>Ισχύς (Watt)</i>
1	Fluorescent Tube 1.2m 6500k Tri proof	30	36W
2	Fluorescent Tube 1.2m 6500k	196	36W
3	Fluorescent Tube 1.5m 6500k	40	58W
4	Fluorescent Tube 0,6m 6500k	2100	18W
5	R7S J118 2700k	26	100W
6	Floodlight 200W 6500k	3	400W
7	GX5.3 MR16	27	35W
8	G24-2 18W/840 4000k	50	18W
9	G24-3 26W/830 3000k	190	26W
10	T5 12W Exit Lights	110	12W
11	E27 Globe 30W CFL	70	30W
12	GU10 Spot 50W 2700k	55	50W
13	E27 Spot R50 40W	18	40W
	<b>Σύνολο</b>	<b>2915</b>	<b>-</b>

**Πίνακας 5: Στοιχεία υφιστάμενου φωτισμού**

Όπως βλέπουμε από τον παραπάνω πίνακα έχουμε έναν μεγάλο αριθμό λαμπτήρων. Για την αντικατάσταση αυτών απευθυνθήκαμε σε αρμόδια εταιρία, από όπου μας δόθηκε μία λίστα λαμπτήρων LED κατάλληλη για την αντικατάσταση των ήδη εγκατεστημένων λαμπτήρων. Παρακάτω θα δώσουμε αναλυτικά τους λαμπτήρες που προτείνονται.

## **5.2 Προτεινόμενος φωτισμός LED**

Εδώ θα παρουσιάσουμε τους λαμπτήρες που προτείνουμε για την αντικατάσταση των παραπάνω. Τα στοιχεία που θα δώσουμε είναι από την εταιρία ΠΙΝΝΟ η οποία μας πρότεινε τους κατάλληλους λαμπτήρες για να πραγματοποιηθεί η αντικατάσταση, όπως επίσης μας έδωσε και όλα τα στοιχεία που χρειαστήκαμε για να κάνουμε την μελέτη για το οικονομικό όφελος που θα έχουμε από αυτή την αντικατάσταση.

Παρακάτω θα δώσουμε σε έναν πίνακα, αντίστοιχο με τον παραπάνω, τα στοιχεία των λαμπτήρων LED και έπειτα θα δώσουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του κάθε λαμπτήρα LED.

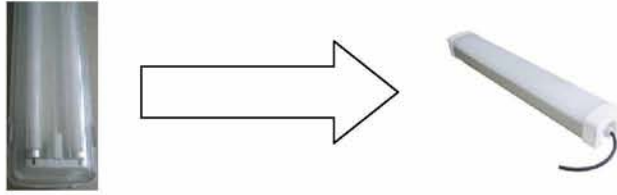


<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Αριθμός λαμπτήρων</i>	<i>Ισχύς (Watt)</i>
1	LED Alum Tri Proof 1.2m	15	40W
2	LED T8 Tube 1.2m	196	18W
3	LED T8 Tube 1.5m	40	23W
4	LED Panel 600x600	525	40W
5	LED R7S	26	10W
6	LED Floodlight 200W	3	200W
7	LED MR16 Spot	27	5W
8	LED Downlight 5 inch	50	9W
9	LED Downlight 8 inch	95	18W
10	LED Exit Lights	110	3W
11	LED Globe E27	70	15W
12	LED Spot GU10	55	5W
13	LED R50 E27	18	4W
	<b>Σύνολο</b>	<b>1230</b>	-

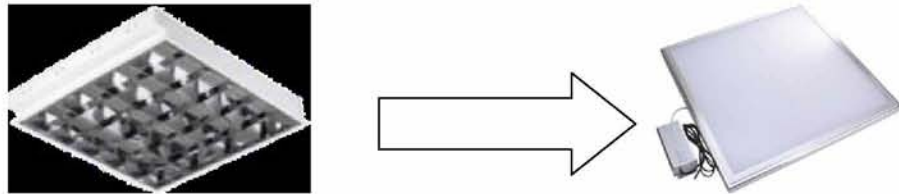
**Πίνακας 6: Στοιχεία προτεινόμενου φωτισμού**

Ο αριθμός που υπάρχει σε κάθε λαμπτήρα από τους ήδη τοποθετημένους είναι αντίστοιχα και στους λαμπτήρες LED ο προτεινόμενος για την αντικατάστασή του. Εάν παρατηρήσουμε αυτούς τους δύο πίνακες θα δούμε ότι η ισχύς για τους λαμπτήρες LED είναι μικρότερη, αλλά όπου εμφανίζεται μεγαλύτερη ισχύς ο αριθμός των λαμπτήρων μειώνεται. Αυτό θα το εξηγήσουμε ευθύς αμέσως για την κάθε περίπτωση που συμβαίνει:

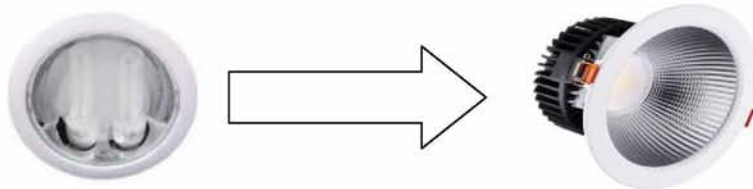
1. Στην αντικατάσταση του σωλήνα φθορισμού 1.2m (αρ.1) επειδή το κάθε φωτιστικό χρειάζεται δύο τέτοιους λαμπτήρες αλλά η αντικατάσταση γίνεται με ενιαίο φωτιστικό σώμα LED, και όχι απλά με λαμπτήρες που τοποθετούνται στο υπάρχον φωτιστικό, βλέπουμε την διαφορά στην ισχύ. Επειδή όμως πριν χρειαζόμασταν δύο σωλήνες φθορισμού καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει τελικά μείωση της ισχύς.



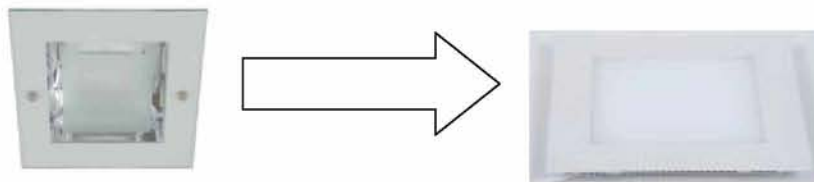
2. Για τους σωλήνες φθορισμού 0,6m 6500k (αρ.4) βλέπουμε ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στα τεμάχια που προτείνουμε για αντικατάσταση. Αυτό οφείλεται στο ότι κι εδώ αλλάζουμε όλο το φωτιστικό σώμα, όπου χρησιμοποιούσε τέσσερις λάμπες φθορισμού, με ένα πάνελ LED που μας δίνει τον φωτισμό που χρειαζόμαστε. Έτσι αντί για να έχουμε από το φωτιστικό ισχύ 72Watt έχουμε 40Watt. Με αυτό τον τρόπο μειώνουμε την συνολική ισχύ μας.



3. Επιπλέον, μείωση στον αριθμό των λαμπτήρων παρατηρούμε για τους G24-3 26W (αρ.9) διότι το φωτιστικό σώμα που χρησιμοποιεί αυτό το είδος λαμπτήρων θέλει δύο από αυτούς, ενώ η αντικατάσταση από τον LED Downlight είναι ένα ενιαίο φωτιστικό σώμα.



4. Στον αριθμό των λαμπτήρων G24-2 18W/840 4000k (αρ.8) δεν παρατηρούμε μείωση, παρόλο που και γι' αυτούς η αντικατάσταση γίνεται από ένα ενιαίο φωτιστικό σώμα LED, διότι το υπάρχον φωτιστικό σώμα δέχεται μόνο έναν λαμπτήρα αυτού του είδους.



Πριν προχωρήσουμε στην οικονομική ανάλυση θα παραθέσουμε μία λίστα με τους LED λαμπτήρες με τα πλήρη χαρακτηριστικά τους, όπως μας δόθηκαν από την εταιρία.

<i>Αρ.</i>	<i>Εικόνα</i>	<i>Χαρακτηριστικά Λαμπτήρα</i>	<i>Ισχύς (Watt)</i>	<i>Θερμοκρασία Χρώματος</i>	<i>Φωτεινή απόδοση (ανά λαμπτήρα)</i>
1		<b>Name:</b> TRI PROOF LIGHTS 40W <b>Model:</b> E-T11TP01-40W <b>LED brand &amp; type:</b> Taiwan 2835 <b>Beam Angle:</b> 200° <b>Operating Voltage:</b> 100-277V <b>CRI:</b> >80	40W	6000°K	4400lm
2		<b>Name:</b> T8 TUBES 18W <b>Model:</b> EX-T7T8T02-18W <b>LED brand &amp; type:</b> Hongli2835 <b>Beam Angle:</b> 180° <b>Operating Voltage:</b> AC200-240V <b>CRI:</b> 80	18W	4000°K	2250lm
3		<b>Name:</b> T8 TUBES 23W <b>Model:</b> EX-T7T8T04-23W <b>LED brand &amp; type:</b> Hongli2835 <b>Beam Angle:</b> 180° <b>Operating Voltage:</b> AC100-240V <b>CRI:</b> 80	23W	4000°K	2800lm
4		<b>Name:</b> PANEL LIGHTS 40W <b>Model:</b> P-T3TPL01-40W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar4014 <b>Beam Angle:</b> 120° <b>Operating Voltage:</b> AC200-240V <b>CRI:</b> >80	40W	4000°K	3200lm
5		<b>Name:</b> R7S R7S 10W <b>Model:</b> E-T2R7SA-10W <b>LED brand &amp; type:</b> Sanan 2835 <b>Beam Angle:</b> 360° <b>Operating Voltage:</b> 220V-240V <b>CRI:</b> >80	10W	3000°K	1250lm

6		<p><b>Name:</b> FLOODLIGHTS 200W <b>Model:</b> S-T1FL09-200W <b>LED brand &amp; type:</b> Samsung <b>Beam Angle:</b> 120° <b>Operating Voltage:</b> 100-277V AC <b>CRI:</b> &gt;70</p>	200W	6500°K	20000lm
7		<p><b>Name:</b> SPOTS MR16 5W <b>Model:</b> EX-T8SP03-5W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar <b>Beam Angle:</b> 30° <b>Operating Voltage:</b> DC12V <b>CRI:</b> 80</p>	5W	2700°K	350lm
8		<p><b>Name:</b> DOWNLIGHTS 9W <b>Model:</b> S-T12DL01-9W <b>LED brand &amp; type:</b> Edison <b>Beam Angle:</b> 100° <b>Operating Voltage:</b> AC200-240V <b>CRI:</b> &gt;80</p>	9W	4000°K	750lm
9		<p><b>Name:</b> DOWNLIGHTS 18W <b>Model:</b> PR-T1DL01-18W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar2835 <b>Beam Angle:</b> 120° <b>Operating Voltage:</b> AC100-240V <b>CRI:</b> &gt;80</p>	18W	4000°K	1800lm
10		<p><b>Type:</b> Hanging <b>Materials:</b> Aluminium &amp; Acrylic 1.2V 600mah Ni-Cd batteries Emergency operation time 3 hours <b>Watt:</b> 3W <b>Input Voltage:</b> AC220-240V 50-60Hz</p>	3W	6500°K	200lm

11		<b>Name:</b> GLOBES E27 15W <b>Model:</b> EX-T8GL20-15W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar2835 <b>Beam Angle:</b> 190° <b>Operating Voltage:</b> AC85-265V <b>CRI:</b> 80	15W	4000°K	1300lm
12		<b>Name:</b> SPOTS GU10 6W <b>Model:</b> EX-T8SP11-6W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar <b>Beam Angle:</b> 30° <b>Operating Voltage:</b> AC220V/AC110V <b>CRI:</b> 80	5W	2700°K	550lm
13		<b>Name:</b> R50 E27 4W <b>Model:</b> EX-T8R50-4W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar2835 <b>Beam Angle:</b> 150° <b>Operating Voltage:</b> AC220V/AC110V <b>CRI:</b> 80	4W	2700°K	350lm

Πίνακας 7: Παρουσίαση του LED φωτισμού

Ο πίνακας της προσφοράς, που έγινε από την εταιρία ΠΙΝΝΟ, βρίσκεται στο παράρτημα και περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για τους λαμπτήρες, όπως τις διαστάσεις, που εδώ δεν είχαμε λόγο να τις παρουσιάσουμε. Όπως βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα μας δίνεται η θερμοκρασία χρώματος, ο δείκτης χρωματικής απόδοσης, η φωτεινή απόδοση, η τάση και άλλα χρήσιμα στοιχεία για τον κάθε λαμπτήρα. Όλα τα στοιχεία που δίνονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλου είδους μελέτες, όπως είναι για την ομοιομορφία του φωτισμού που γίνεται με την χρήση του λογισμικού της DIALUX.

### 5.3 Οικονομική μελέτη

Πριν ξεκινήσουμε πρέπει να πούμε ότι η εταιρία μας δίνει εγγύηση για τους λαμπτήρες LED για πέντε χρόνια, έτσι αποφασίσαμε να κάνουμε όλες τις οικονομικές συγκρίσεις μέσα σε αυτό το διάστημα. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι οι λαμπτήρες LED έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από αυτή των 15.000 ωρών. Η επιλογή αυτού του διαστήματος της μελέτης, που είναι μικρό, θα δούμε στην συνέχεια ότι

είναι αρκετό για να πάρουμε σημαντικές πληροφορίες για την επιλογή του φωτισμού. Οι ώρες των πέντε αυτών χρόνων προκύπτουν από τις ημέρες που η βιβλιοθήκη λειτουργεί και εξαιρούνται αργίες και διακοπές.

Στους υπολογισμούς μας έχουμε πάρει την τιμή της κιλοβατώρας όπως αυτή είναι διαμορφωμένη στα σημερινά δεδομένα από τον λογαριασμό της Δ.Ε.Η. του κτιρίου.

### **5.3.1 Σύγκριση κατανάλωσης ρεύματος**

Θα ξεκινήσουμε παραθέτοντας αρχικά έναν πίνακα όπου θα υπολογίζουμε την συνολική κατανάλωση ρεύματος με τον υφιστάμενο φωτισμό. Σε αυτό τον πίνακα έχουμε πάρει τον συνολικό αριθμό των λαμπτήρων, από κάθε είδος, και υπολογίζουμε την κατανάλωση του ρεύματος σε βάθος χρόνου μίας πενταετίας.

<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΦΩΤΙΣΜΟ</b>						
<b>Αρ.</b>	<b>Τύπος λαμπτήρα</b>	<b>Ποσότητα</b>	<b>Ισχύς Watt</b>	<b>15000 (hours)</b>	<b>Κόστος kWh</b>	<b>Συνολικό κόστος ενέργειας (euro)</b>
1	Fluorescent Tube 1.2m 6500k Trip roof	30	36W	15	0,120 €	1.944,00 €
2	Fluorescent Tube 1.2m 6500k	196	36W	15	0,120 €	12.700,80 €
3	Fluorescent Tube 1.5m 6500k	40	58W	15	0,120 €	4.176,00 €
4	Fluorescent Tube 0.6m 6500k	2100	18W	15	0,120 €	68.040,00 €
5	R7S J118 2700k	26	100W	15	0,120 €	4.680,00 €
6	Floodlight 200W 6500k	3	400W	15	0,120 €	2.160,00 €
7	GX5.3 MR16	27	35W	15	0,120 €	1.701,00 €
8	G24-2 18W/840 4000k	50	18W	15	0,120 €	1.620,00 €
9	G24-3 26W/830 3000k	190	26W	15	0,120 €	8.892,00 €
10	T5 12W Exit Lights	110	12W	15	0,120 €	2.376,00 €
11	E27 Globe 30W CFL	70	30W	15	0,120 €	3.780,00 €
12	GU10 Spot 50W 2700k	55	50W	15	0,120 €	4.950,00 €
13	E27 Spot R50 40W	18	40W	15	0,120 €	1.296,00 €
<b>Σύνολο</b>		<b>2.915</b>				<b>118.315,80 €</b>

Πίνακας 8: Κατανάλωση ρεύματος προτεινόμενου φωτισμού

Ο υπολογισμός έγινε με τον εξής τρόπο: αφού υπολογίσαμε την συνολική ισχύ για κάθε τύπο λαμπτήρα, έπειτα την μετατρέψαμε σε kilowatt (kW) και μετά κάναμε απλό πολλαπλασιασμό με τις ώρες για να πάρουμε τις συνολικές κιλοβατώρες (kWh). Τέλος πολλαπλασιάσαμε με την τιμή της κιλοβατώρας για να πάρουμε το συνολικό κόστος.

Έπειτα, θα ακολουθήσει ο αντίστοιχος πίνακας για τους λαμπτήρες LED.



<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ LED ΦΩΤΙΣΜΟ (ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ)</b>						
<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Ισχύς Watt</i>	<i>15000 (hours)</i>	<i>Κόστος kWh</i>	<i>Συνολικό κόστος ενέργειας (euro)</i>
<b>1</b>	LED Alum Tri Proof 1.2m	15	40W	15	0,120€	1.080,00€
<b>2</b>	LED T8 Tube 1.2m	196	18W	15	0,120€	6.350,40€
<b>3</b>	LED T8 Tube 1.5m	40	23W	15	0,120€	1.656,00€
<b>4</b>	LED Panel 60x60cm	525	40W	15	0,120€	37.800,00€
<b>5</b>	LED R7S	26	10W	15	0,120€	468,00€
<b>6</b>	LED Floodlight 200W	3	200W	15	0,120€	1.080,00€
<b>7</b>	LED MR16 Spot	27	5W	15	0,120€	243,00€
<b>8</b>	LED Downlight 5 inch	50	9W	15	0,120€	810,00€
<b>9</b>	LED Downlight 8 inch	95	18W	15	0,120€	3.078,00€
<b>10</b>	LED Exit Lights	110	3W	15	0,120€	594,00€
<b>11</b>	LED Globe E27	70	15W	15	0,120€	1.890,00€
<b>12</b>	LED Spot GU10	55	5W	15	0,120€	495,00€
<b>13</b>	LED R50 E27	18	4W	15	0,120€	129,60€
<b>Σύνολο</b>		<b>1230</b>				<b>55.674,00€</b>

Πίνακας 9: Κατανάλωση ρεύματος προτεινόμενου φωτισμού

Με μία απλή πράξη μπορούμε να δούμε ότι, σε βάθος χρόνου μίας πενταετίας, το κέρδος μας μόνο από την κατανάλωση ρεύματος ανέρχεται στο ποσό των 62.641,8€.

### 5.3.2 Σύγκριση κόστους αγοράς

Σε αυτό το κομμάτι θα πραγματοποιήσουμε την σύγκριση του συνολικού κόστους αγοράς των λαμπτήρων. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι όσο αφορά τους υπάρχοντες λαμπτήρες, αναφερόμαστε σε συνολική αγορά αυτών και λαμβάνοντας υπόψη την διάρκεια ζωής (life time) του κάθε τύπου λαμπτήρα, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, συμπεριλαμβάνουμε και την αντικατάσταση αυτών μέσα στο χρονικό διάστημα της πενταετίας. Για τους λαμπτήρες LED, όπως θα δούμε και από τον αντίστοιχο πίνακα, δεν θα υπάρχει καμία αντικατάσταση λαμπτήρα, λόγω της διάρκειας ζωής τους που είναι πολύ πάνω από τις 15000 ώρες λειτουργίας αλλά και λόγω του ότι θα βρίσκονται μέσα στο διάστημα της εγγύησης. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι, από την επίσκεψή μας στο κτίριο αλλά και από τις πληροφορίες που πήραμε, πάνω από το 50% των λαμπτήρων είναι εκτός λειτουργίας. Για το κτίριο

έχει ήδη δοθεί πρόταση για την αντικατάσταση των λαμπτήρων, γι' αυτό κι εμείς κάνουμε μελέτη σαν να πρέπει να γίνει επιλογή φωτισμού εξ' αρχής.

Έτσι αρχικά θα παρουσιαστεί ο πίνακας κόστους αγοράς του υφιστάμενου φωτισμού. Οι τιμές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υφιστάμενο φωτισμό είναι ενδεικτικές και αρκετά χαμηλές.

<b>ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</b>					
<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Κόστος τεμαχίου €</i>	<i>Αντικαταστάσεις</i>	<i>Κόστος αγοράς</i>
<b>1</b>	Fluorescent Tube 1.2m 6500k Trip roof	30	4,51€	2	270,60€
<b>2</b>	Fluorescent Tube 1.2m 6500k	196	4,51€	2	1.767,92€
<b>3</b>	Fluorescent Tube 1.5m 6500k	40	6,32€	2	505,60€
<b>4</b>	Fluorescent Tube 0.6m 6500k	2100	2,71€	2	11.382,00€
<b>5</b>	R7S J118 2700k	26	2,71€	4	281,84€
<b>6</b>	Floodlight 200W 6500k	3	6,32€	3	56,88€
<b>7</b>	GX5.3 MR16	27	2,71€	5	365,85€
<b>8</b>	G24-2 18W/840 4000k	50	2,71€	2	271,00€
<b>9</b>	G24-3 26W/830 3000k	190	2,71€	2	1.029,80€
<b>10</b>	T5 12W Exit Lights	110	4,51€	2	992,20€
<b>11</b>	E27 Globe 30W CFL	70	4,51€	2	631,40€
<b>12</b>	GU10 Spot 50W 2700k	55	2,71€	5	745,25€
<b>13</b>	E27 Spot R50 40W	18	4,51€	5	405,90€
<b>Σύνολο</b>		<b>2.915</b>			<b>18.706,24€</b>

**Πίνακας 10: Κόστος αγοράς υφιστάμενου φωτισμού**

Το επόμενο βήμα είναι να παρουσιάσουμε τον πίνακα για τα κόστη αγοράς των λαμπτήρων LED σύμφωνα με τις τιμές που έχουμε λάβει από την προσφορά.

<b>ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</b>					
<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Κόστος τεμαχίου €</i>	<i>Αντικαταστάσεις</i>	<i>Κόστος αγοράς</i>
1	LED Alum Tri Proof 1.2m	15	40,44€	1	606,60€
2	LED T8 Tube 1.2m	196	7,08€	1	1.387,68€
3	LED T8 Tube 1.5m	40	8,38€	1	335,20€
4	LED Panel 60x60cm	525	21,61€	1	11.345,25€
5	LED R7S	26	11,5€	1	299,00€
6	LED Floodlight 200W	3	128,89€	1	386,67€
7	LED MR16 Spot	27	3,79€	1	102,33€
8	LED Downlight 5 inch	50	11,17€	1	558,50€
9	LED Downlight 8 inch	95	12,51€	1	1.188,45€
10	LED Exit Lights	110	8,47€	1	931,70€
11	LED Globe E27	70	12,64€	1	884,80€
12	LED Spot GU10	55	9,48€	1	521,40€
13	LED R50 E27	18	5,18€	1	93,24€
<b>Σύνολο</b>		<b>1.230</b>			<b>18.640,82€</b>

Πίνακας 11: Κόστος αγοράς προτεινόμενου φωτισμού

Έχοντας τα αποτελέσματα από τους δύο παραπάνω πίνακες μπορούμε να δούμε ότι παρόλο που ο LED φωτισμός θεωρείται ακόμα ακριβός, μας συμφέρει εάν θελήσουμε να τον τοποθετήσουμε εξ' αρχής. Αυτό συμβαίνει διότι μειώθηκε αισθητά ο αριθμός των λαμπτήρων από 2.915 σε 1.230.

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα εργατικά κόστη που απαιτούνται για την αλλαγή κάθε λαμπτήρα για τον υφιστάμενο φωτισμό αλλά και για τον προτεινόμενο φωτισμό. Αυτό το κόστος ουσιαστικά είναι το κόστος τοποθέτησης αλλά και αντιπροσωπεύει και το κόστος αλλαγής του κάθε λαμπτήρα. Για το κόστος εγκατάστασης των λαμπτήρων του υφιστάμενου φωτισμού έχουμε δώσει μία πολύ μικρή τιμή σε σχέση με την τιμή εγκατάστασης των λαμπτήρων LED.

Αρχικά θα δοθεί ο πίνακας για τα κόστη εγκατάστασης/αντικατάστασης του υφιστάμενου φωτισμού.

<b>ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ/ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</b>					
<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Κόστος εγκατάστασης €</i>	<i>Αντικαταστάσεις</i>	<i>Συνολικό κόστος</i>
<b>1</b>	Fluorescent Tube 1.2m 6500k Trip roof	30	3,00€	2	180,00€
<b>2</b>	Fluorescent Tube 1.2m 6500k	196	3,00€	2	1.176,00€
<b>3</b>	Fluorescent Tube 1.5m 6500k	40	3,00€	2	240,00€
<b>4</b>	Fluorescent Tube 0.6m 6500k	2100	3,00€	2	12.600,00€
<b>5</b>	R7S J118 2700k	26	3,00€	4	312,00€
<b>6</b>	Floodlight 200W 6500k	3	3,00€	3	27,00€
<b>7</b>	GX5.3 MR16	27	3,00€	5	405,00€
<b>8</b>	G24-2 18W/840 4000k	50	3,00€	2	300,00€
<b>9</b>	G24-3 26W/830 3000k	190	3,00€	2	1.140,00€
<b>10</b>	T5 12W Exit Lights	110	3,00€	2	660,00€
<b>11</b>	E27 Globe 30W CFL	70	3,00€	2	420,00€
<b>12</b>	GU10 Spot 50W 2700k	55	3,00€	5	825,00€
<b>13</b>	E27 Spot R50 40W	18	3,00€	5	270,00€
<b>Σύνολο</b>		<b>2.915</b>			<b>18.555,0€</b>

Πίνακας 12: Κόστος εγκατάστασης/αντικατάστασης υφιστάμενου φωτισμού

Παρακάτω δίνουμε τον αντίστοιχο πίνακα για τον προτεινόμενο φωτισμό.

<b>ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ/ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</b>					
<i>Αρ.</i>	<i>Τύπος λαμπτήρα</i>	<i>Ποσότητα</i>	<i>Κόστος εγκατάστασης €</i>	<i>Αντικαταστάσεις</i>	<i>Συνολικό κόστος</i>
1	LED Alum Tri Proof 1.2m	15	15,00€	1	225,00€
2	LED T8 Tube 1.2m	196	15,00€	1	2.940,00€
3	LED T8 Tube 1.5m	40	15,00€	1	600,00€
4	LED Panel 60x60cm	525	15,00€	1	7.875,00€
5	LED R7S	26	15,00€	1	390,00€
6	LED Floodlight 200W	3	15,00€	1	45,00€
7	LED MR16 Spot	27	15,00€	1	405,00€
8	LED Downlight 5 inch	50	15,00€	1	750,00€
9	LED Downlight 8 inch	95	15,00€	1	1.425,00€
10	LED Exit Lights	110	15,00€	1	1.650,00€
11	LED Globe E27	70	15,00€	1	1.050,00€
12	LED Spot GU10	55	15,00€	1	825,00€
13	LED R50 E27	18	15,00€	1	270,00€
<b>Σύνολο</b>		<b>1.230</b>			<b>18.450,0€</b>

Πίνακας 13: Κόστος εγκατάστασης/αντικατάστασης προτεινόμενου φωτισμού

Επομένως σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες βλέπουμε ότι το συνολικό όφελος από την τοποθέτηση των LED λαμπτήρων, όσο αφορά την αγορά και την τοποθέτηση, είναι 171,24€. Το συγκεκριμένο κέρδος μπορεί να φαντάζει μικρό, αλλά εάν λάβουμε υπόψη ότι έχουμε πάρει μικρές τιμές για τον υφιστάμενο φωτισμό και ότι η διάρκεια υπολογισμού είναι μία πενταετία, μπορούμε να καταλάβουμε ότι το κέρδος μας μετά από αυτό το διάστημα είναι πολύ μεγαλύτερο.

#### **5.4 Αποτελέσματα οικονομικής σύγκρισης**

Αφού έχουμε κάνει όλες τις παραπάνω συγκρίσεις είμαστε σε θέση να δώσουμε ένα τελικό αποτέλεσμα. Σε όλες τις συγκρίσεις, για το χρονικό διάστημα που έγιναν, παρατηρήσαμε ότι οι λαμπτήρες LED υπερτερούν του υφιστάμενου φωτισμού. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει συνοπτικά τα αποτελέσματα των συγκρίσεων που πραγματοποιήθηκαν για οικονομική μελέτη για την εγκατάσταση του LED φωτισμού.

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>				
<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b>	<b>ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ (LED)</b>	<b>ΚΕΡΔΟΣ</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΟ ΚΕΡΔΟΣ</b>
<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	118.315,80€	55.674,00€	62.641,80€	52,94%
<b>ΑΓΟΡΑ &amp; ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	18.706,24€	18.640,82€	65,42€	0,35%
<b>ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b>	18.555,00€	18.450,00€	105,00€	0,57%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	155.577,04€	92.764,82€	62.812,22€	40,37%

Πίνακας 14: Συνολικά οικονομικά αποτελέσματα

Παρατηρούμε ότι ο φωτισμός LED είναι οικονομικότερος σε όλους τους τομείς. Στο διάστημα που πραγματοποιήθηκε η μελέτη μας το μεγάλο κέρδος φαίνεται στην κατανάλωση, όμως εάν γίνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα θα διαπιστώσουμε ότι και στην συντήρηση το ποσοστό κέρδους θα μεγαλώσει λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής των λαμπτήρων LED. Η επίσημη διάρκεια ζωής του φωτιστικού LED φτάνει, ονομαστικά, τις 40-80.000 ώρες με την λειτουργία που έχουμε στο κτίριο μας, δηλαδή για μέση λειτουργία 12 ώρες/ημέρα, 22 ημέρες/μήνα, αυτό αντιστοιχεί σε 12-13 χρόνια. Επίσης, στους υπολογισμούς δεν έχουμε λάβει υπόψη τον φωτισμό που παραμένει σε λειτουργία μετά το 12ώρο. Εάν υπολογίσουμε κι αυτό, μπορούμε να καταλάβουμε ότι το κέρδος μας θα είναι μεγαλύτερο.

Από την αντικατάσταση του υφιστάμενου φωτισμού με τους λαμπτήρες LED τα οφέλη θα είναι πολλά. Εκτός από τα παραπάνω οικονομικά αποτελέσματα θα έχουμε ακόμα μηδενισμό της ακτινοβολίας στους χώρους εργασίας και μελέτης, εξοικονόμηση χώρου και καλαισθησία, ασφαλή αθόρυβη και απρόσκοπτη λειτουργία. Ένα μεγάλο κέρδος είναι και η μείωση θερμότητας. Επειδή η βιβλιοθήκη έχει μεγάλο αριθμό λαμπτήρων, η μελέτη για το κέρδος από την μείωση της θερμότητας θα έχει μεγάλο ενδιαφέρον.

Στον επόμενο πίνακα θα παρουσιάσουμε τον χρόνο απόσβεσης του κεφαλαίου σε σχέση με το εάν κρατήσουμε τον υφιστάμενο φωτισμό.

ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ-ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ				
ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ	ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΕ ΧΡΟΝΙΑ
8	6,70	62.812,22€	9.379,96€	1,99
12	4,46		14.069,94€	1,32
14	3,83		16.414,93€	1,14
16	3,35		18.759,92€	0,99

Πίνακας 15: Απόσβεση επένδυσης



Εικόνα 8: Διάγραμμα ετήσιου κέρδους



Εικόνα 9: Διάγραμμα απόσβεσης σε χρόνια

Σύμφωνα με τον πίνακα και τα διαγράμματα που προέκυψαν από την μελέτη μας, μπορούμε να δούμε ότι θα κάνουμε απόσβεση σε 1,32 χρόνια και το συνολικό μας κέρδος στο χρονικό διάστημα της μελέτης θα είναι 62.812,22€. Στο επόμενο κεφάλαιο θα προτείνουμε κάποιες συνδυαστικές λύσεις που σε συνδυασμό με την αντικατάσταση του υφιστάμενου φωτισμού θα μας αποφέρουν μεγαλύτερο οικονομικό και ενεργειακό κέρδος.



## Κεφάλαιο 6. Επιπρόσθετες προτάσεις

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναλύθηκε η στρατηγική βελτίωσης του ίδιου του «εκπομπού» φωτός (λαμπτήρες). Είναι σημαντικό όμως να δούμε και άλλους τρόπους που συνδυάζονται με την αντικατάσταση των λαμπτήρων και μας υπόσχονται εξοικονόμηση ενέργειας.

### 6.1 Συστήματα ελέγχου φωτισμού

Στην βιβλιοθήκη του Βόλου, όπως είδαμε από τις πληροφορίες που πήραμε για το κτίριο, η συνεχής λειτουργία του φωτισμού είναι δώδεκα ώρες (8:00-20:00). Είναι προφανές ότι υπάρχουν τεράστια περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας δεδομένου των ωρών λειτουργίας του φωτισμού. Οι βασικότερες από τις λύσεις που θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας είναι:

- Χρονοπρογραμματισμός ανά χώρο. Προτείνεται συγκεκριμένη ώρα έναυσης και σβέσης για τα γραφεία, κλιμακοστάσια και lobby με εξωτερικό φωτισμό.

#### **Δυνατότητα εξοικονόμησης: 10-18%**

Παρόμοιες λύσεις, σε άλλες μελέτες μου μελετήσαμε, έδειξαν ότι τα κλιμακοστάσια κατά την διάρκεια 07:00 – 09:00 «ντιμάρονται» στο 70%.

- Έλεγχος βάσει ανθρώπινης παρουσίας (Real Occupancy Control Strategy – ROCS)

#### **Δυνατότητα εξοικονόμησης: 9-12%**

Σε παρόμοιες μελέτες η λύση αυτή εφαρμόστηκε σε χώρους όπως: W.C., διάδρομοι (όταν δεν ανιχνεύεται κίνηση, ντιμάρονται στο 20%), meeting room, χώροι εργασίας.

- Έλεγχος βάσει φυσικού φωτισμού (Daylight Harvesting Control Strategies – DHCS, Constant Illuminance Control Strategies – CICS).

#### **Δυνατότητα εξοικονόμησης: 17-22%**

Για την χώρα μας ο ήλιος είναι μία πηγή ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Όταν ο ήλιος λάμπει ειδικοί αισθητήρες θα ντιμάρουν δυναμικά την αντίστοιχη ζώνη στην οποία βρίσκονται.

Παρακάτω θα δούμε τι θα πρέπει να εξασφαλίζει ένα σύστημα ελέγχου φωτισμού για γραφειακούς χώρους:

- Ευελιξία.

Στους γραφειακούς χώρους, και ειδικά σε ένα κτίριο όπως είναι η βιβλιοθήκη, οι αλλαγές και οι ανακατατάξεις είναι συχνές. Γι' αυτό τον λόγο χρειαζόμαστε μία πλήρη κτιριακή προσέγγιση για να καλύψει τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου κτιρίου, που έχει χώρους εργασίας και δημιουργίας. Κατά συνέπεια το σύστημα ελέγχου φωτισμού πρέπει να είναι τόσο ευέλικτο ώστε να καλύπτει τις συνεχείς αλλαγές. Κατά συνέπεια είναι απόλυτη ανάγκη ο έλεγχος να γίνεται ανά φωτιστικό. Μία απάντηση σε αυτό είναι το σύστημα DALI.

Το σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface - Ψηφιακή διεπαφή φωτισμού με δυνατότητα διευθυνσιοδότησης) είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο διασύνδεσης για ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου με δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινότητας, το οποίο προσφέρει μεγαλύτερη λειτουργικότητα και ευκολία στη χρήση. Επιτρέπει τη δυνατότητα ελέγχου έως και 64 συστημάτων DALI ECG σε έως και 16 ομάδες, με υψηλό βαθμό ευελιξίας μέσω μιας γραμμής ελέγχου δύο αγωγών, είτε ανεξάρτητα είτε σε λειτουργία Broadcast (κοινή λειτουργία ομάδας φωτιστικών). Ο χειρισμός της μεταγωγής και της ρύθμισης της φωτεινότητας πραγματοποιείται μέσω της γραμμής ελέγχου. Δεν απαιτείται η χρήση ρελέ. Οι σημαντικές πληροφορίες, όπως η κατάσταση των λαμπτήρων, αποθηκεύονται στο σύστημα ελέγχου και είναι διαθέσιμες στον ελεγκτή.

- Πλήρης κάλυψη των παρακάτω απαιτήσεων:
  - **Χρονοπρογράμματα:** Ένα παράδειγμα αφορά τις ώρες λειτουργίας της βιβλιοθήκης. Ο χρόνος μείωσης της φωτεινότητας όταν δεν ανιχνεύεται κίνηση είναι μεγαλύτερος τα Σαββατοκύριακα.
  - **Έλεγχος παρουσίας (πραγματικός):** Εξασφαλίζεται με ανιχνευτές κίνησης στον χώρο εργασίας. Αυτός ο ανιχνευτής ελέγχει 3-4m<sup>2</sup> εργασιακού χώρου. Ένα συνηθισμένο λάθος είναι η τοποθέτηση ανιχνευτή σε μεγάλες ζώνες, π.χ. 100m<sup>2</sup>. Αυτό δεν αποτελεί τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας φωτισμού.
  - **Daylight Linking Control:** Ειδικός ανιχνευτής (φωτόμετρο) τοποθετείται στον κάθε χώρο εργασίας και μετράει δυναμικά την ποσότητα φωτός που έχει διαθέσιμη ο κάθε εργαζόμενος – φοιτητής με

σκοπό να ντιμάρει τον φωτισμό συνεχώς ώστε να μην υπερβαίνει την συγκεκριμένη τιμή. Με δεδομένη την Ελληνική ηλιοφάνεια, και μόνο αυτή η λειτουργία καταλήγει σε αξιοσημείωτα επίπεδα εξοικονόμησης.

- Σύνδεση με τον κλιματισμό.

Ανάλογα με το υπάρχον σύστημα κλιματισμού, που υπάρχει την βιβλιοθήκη, τα συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σχετικά με αυτή την λύση, μπορεί να είναι πολύ φθηνά. Μερικά από τα συστήματα που προτείνονται είναι:

- **Σύστημα FCU:** Αυτό το σύστημα συνήθως το έχουν και οι πιο φτηνοί θερμοστάτες. Ουσιαστικά είναι η απλή «επαφή παραθύρου». Αυτή την επαφή μπορούμε να την ελέγξουμε με τον ανιχνευτή και όταν περάσει ένα χρονικό διάστημα, που θα οριστεί, που είναι ανοιχτό κάποιο παράθυρο το FCU σβήνει.
- **Σύστημα VRV:** Εντελώς αντίστοιχα, όλες οι εσωτερικές μονάδες VRV (VRV σημαίνει μεταβαλλόμενος όγκος ψυκτικού) έχουν στο «σώμα» τους «ψυχή» επαφή την οποία απλά ελέγχουμε.
- **Απλά «σπλιτάκια»:** Όλα τα σύγχρονα split units & multi-splits διαθέτουν αντίστοιχη «ψυχή επαφή».

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου φωτισμού είναι το Greengate. Το Greengate είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου φωτισμού που λειτουργεί με τον πλέον αποδοτικό τρόπο, σύμφωνα με τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων κτιρίων. Το φάσμα της Greengate έχει την ευελιξία να καλύψει εφαρμογές από ένα απλό γραφειακό χώρο έως το μεγαλύτερο εμπορικό συγκρότημα, όπως εμπορικά κέντρα και κτιριακές εγκαταστάσεις. Επομένως, πιστεύουμε ότι είναι μία πολύ καλή λύση και για το κτίριο της βιβλιοθήκης.

Το Greengate προσφέρει στον χρήστη τα εξής :

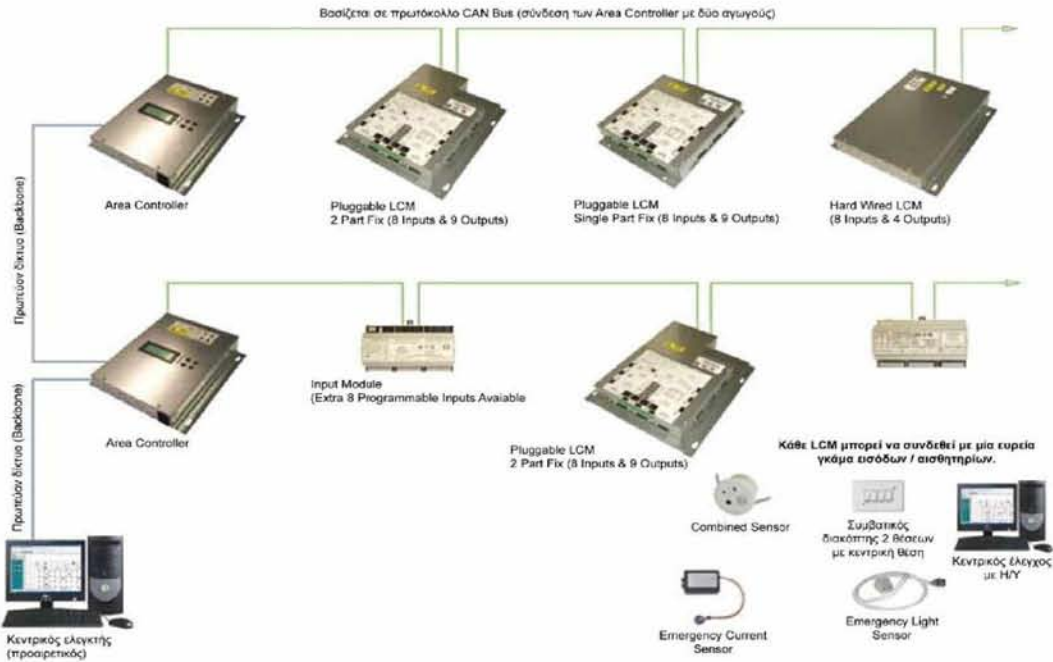
- Ομαδοποίηση φωτιστικών και αισθητήρων για διαμερισματοποίηση χώρων.
- Τοποθέτηση διακοπών για τοπικό έλεγχο.
- Καθορισμός χώρων κυκλοφορίας διαδρόμων που πρέπει να παραμένουν φωτισμένα καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου.
- Καθορισμός των ζωνών φυσικού φωτισμού.

- Υποστήριξη ελέγχου φωτισμού (dimming) τεχνολογίας, διευθυνσιοδοτούμενο σύστημα DALI.
- Δυνατότητα ελέγχου κάθε φωτιστικού είτε on/off είτε dimming.
- Σύνδεση υπολογιστή με το σύστημα για πλήρη και δυναμική παραμετροποίηση αυτού.
- Περιοδικός έλεγχος λειτουργίας (functional test) του συστήματος φωτισμού ασφαλείας.

Το σύστημα αυτοματισμού **Greengate** περιλαμβάνει τα εξής:

- **Πλήρης Φωτομετρική Μελέτη**  
Τοποθέτηση των φωτιστικών στην βέλτιστη θέση, προσθήκη τοπικών διακοπών και κατανομή των κυκλωμάτων φωτισμού με στόχο την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας διατηρώντας, παράλληλα την μέγιστη άνεση των εργαζομένων.
- **Έλεγχος Παρουσίας**  
Χρήση αισθητήρων για έλεγχο φωτεινότητας ή απενεργοποίηση του φωτισμού σε συγκεκριμένους χώρους.
- **Κεντρικός Έλεγχος**  
Χρήση χρονοπρογραμμάτων σε ημερήσια ή και εβδομαδιαία βάση ανά χώρο/επίπεδο. Δυναμικός έλεγχος και αλλαγή χρονοπρογραμμάτων.
- **Χρήση και Υπολογισμός Φυσικού Φωτισμού**  
Επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου λαμπρότητας φωτισμού με συνδυασμό του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού και του ελέγχου (dimming) του τεχνητού φωτισμού.

Ένα παράδειγμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος ελέγχου φωτισμού Greengate παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική ελέγχου φωτισμού Greengate

Κάποια από τα κύρια μέρη του συστήματος είναι:

1. Ελεγκτής περιοχής (Area Controller Unit – ACU)

Κάθε σύστημα Spectrum χρειάζεται τουλάχιστον έναν ελεγκτή Περιοχής για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των τοπικών μονάδων. Από τον ελεγκτή Περιοχής εκκινούν τα τρία δίκτυα CANbus που συνδέουν όλες τις μονάδες LCM (μέχρι 80).

2. Μονάδες ελέγχου φωτισμού (Local Control Module – LCM)

Μονάδα που τοποθετείται στον χώρο (πάνω από την ψευδοροφή), ανάλογα με την πυκνότητα των φωτιστικών. Ελέγχει μέχρι 9 ανεξάρτητα φωτιστικά (on/off, DSI, 1-10V, DALI Broadcast ή addressable). **(9 dimmer output)**. Συνδέεται με μέχρι 4 συνδυασμένους αισθητήρες κίνησης – φωτόμετρο). **(4 analogue input)** Συνδέεται με μέχρι 4 εισόδους (ψυχρές επαφές, π.χ. διακόπτης χώρου). **(4 digital input)**

3. Συνδυασμένος αισθητήρας (Combined Head – CH)

Ο αισθητήρας αυτός είναι ταυτόχρονα ανιχνευτής παρουσίας, μετρητής φυσικού φωτισμού και δέκτης υπεριώθρων. Συνήθως τοποθετείται στην οροφή του χώρου.

## 6.2 Ενεργειακή Μελέτη

Το τελευταίο που μπορούμε να προτείνουμε, και ίσως και το καλύτερο, είναι να πραγματοποιηθεί στην βιβλιοθήκη μία ενεργειακή επιθεώρηση από κάποιον αρμόδιο έτσι ώστε η πρόταση μας για την αλλαγή φωτισμού, αλλά και για τον έλεγχό του, να συνδυαστεί και με άλλες αλλαγές για την επίτευξη του καλύτερου αποτελέσματος.

Στα πλαίσια μίας ενεργειακής επιθεώρησης ο επιθεωρητής επεξεργάζεται τα διαθέσιμα δεδομένα και πληροφορίες γύρω από το κτίριο. Τα κύρια βήματα για την πραγματοποίηση της Ενεργειακής Επιθεώρησης, επιγραμματικά, είναι:

1. Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες.
2. Ο προσδιορισμός των εσωτερικών συνθηκών του κτιρίου ή/και των θερμικών ζωνών του όπως, θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός, κ.α.
3. Ο προσδιορισμός των εσωτερικών κερδών (άτομα, μηχανήματα /συσκευές), ανάλογα την χρήση του κτιρίου ή της θερμικής ζώνης.
4. Η καταγραφή ή αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου (επαλήθευση σχεδίων).
5. Η καταγραφή της ποιότητας κατασκευής και των θερμοφυσικών ιδιοτήτων & τεχνικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων του κτιρίου, διαφανών και αδιαφανών.
6. Ο προσδιορισμός της αεροστεγανότητας των ανοιγμάτων, ανάλογα με τον τύπο ανοιγμάτων που διαθέτει το κτίριο.
7. Η καταγραφή των συστημάτων και δομικών στοιχείων σκιασμού (ηλιοπροστασία), καθώς και της μορφολογίας και τεχνητών εμποδίων του περιβάλλοντα χώρου.
8. Η καταγραφή του συστήματος θέρμανσης του κτιρίου.
9. Η καταγραφή του συστήματος ψύξης.
10. Η καταγραφή του συστήματος μηχανικού αερισμού.
11. Η καταγραφή του συστήματος ύγρανσης.
12. Η καταγραφή του συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.
13. Η καταγραφή του συστήματος φωτισμού.
14. Η καταγραφή διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και διαχείρισης ενέργειας του κτιρίου (BEMS).
15. Η καταγραφή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιοθερμικά συστήματα, φωτοβολταϊκά), τα οποία μπορεί και να είναι συμπληρωματικά

συστήματα για την θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης του κτιρίου.

16. Η καταγραφή συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), τα οποία μπορεί και να είναι συμπληρωματικά ή/και συστήματα για την θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης του κτιρίου.
17. Η καταγραφή των προγραμματισμένων και μη επεμβάσεων που πρέπει να γίνουν στο κτίριο για την ενεργειακή του αναβάθμιση.

Αφού πραγματοποιηθούν οι παραπάνω ενέργειες θα οδηγηθούμε στην ενεργειακή κατηγορία που ανήκει το κτήριο και έπειτα θα γίνουν προτάσεις για την βελτίωσή του. Πιστεύουμε ότι οι προτάσεις που θα γίνουν, σύμφωνα με παρόμοιες μελέτες, θα αφορούν:

1. Μείωση των θερμικών απωλειών του κελύφους
  - Αεροστεγάνωση κουφωμάτων και υαλοστασίων
  - Προσθήκη νυχτερινής μόνωσης στα ανοίγματα
  - Αντικατάσταση μονών υαλοστασίων με διπλά
  - Θερμομόνωση δωματίων και εξωτερικών τοίχων
2. Αύξηση της απόδοσης των Η/Μ εγκαταστάσεων
  - Διαρκής συντήρηση και εκσυγχρονισμός των εγκαταστάσεων θέρμανσης/κλιματισμού
  - Ρύθμιση συστήματος κλιματισμού
  - Ρύθμιση συστήματος θέρμανσης για πιο αποδοτική λειτουργία
  - Σύνδεση συστήματος ελέγχου με κεντρικό σύστημα τηλεδιαχείρισης
3. Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του φυσικού δροσισμού χώρων
  - Τοποθέτηση ηλιοπροστασίας
  - Νυχτερινός δροσισμός κοινόχρηστων χώρων
  - Αύξηση του φυσικού αερισμού των εσωτερικών χώρων
4. Εξοικονόμηση ενέργειας για τον φωτισμό των εσωτερικών χώρων
  - Μείωση των επιπέδων φωτισμού
  - Ρύθμιση τεχνητού φωτισμού σε κοινόχρηστους χώρους
  - Βελτίωση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους
5. Ενσωμάτωση συστημάτων ΑΠΕ στα κτήρια

- Δημιουργία ηλιακών χώρων στο κτήριο
- Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστοιχιών στην οροφή

Η πρόταση αυτή είναι και η αποτελεσματικότερη, διότι γίνεται πλήρης ανάλυση των χαρακτηριστικών του κτηρίου και μπορεί να γίνει συνδυαστική εφαρμογή των προτάσεων για αποτελεσματικότερες λύσεις.

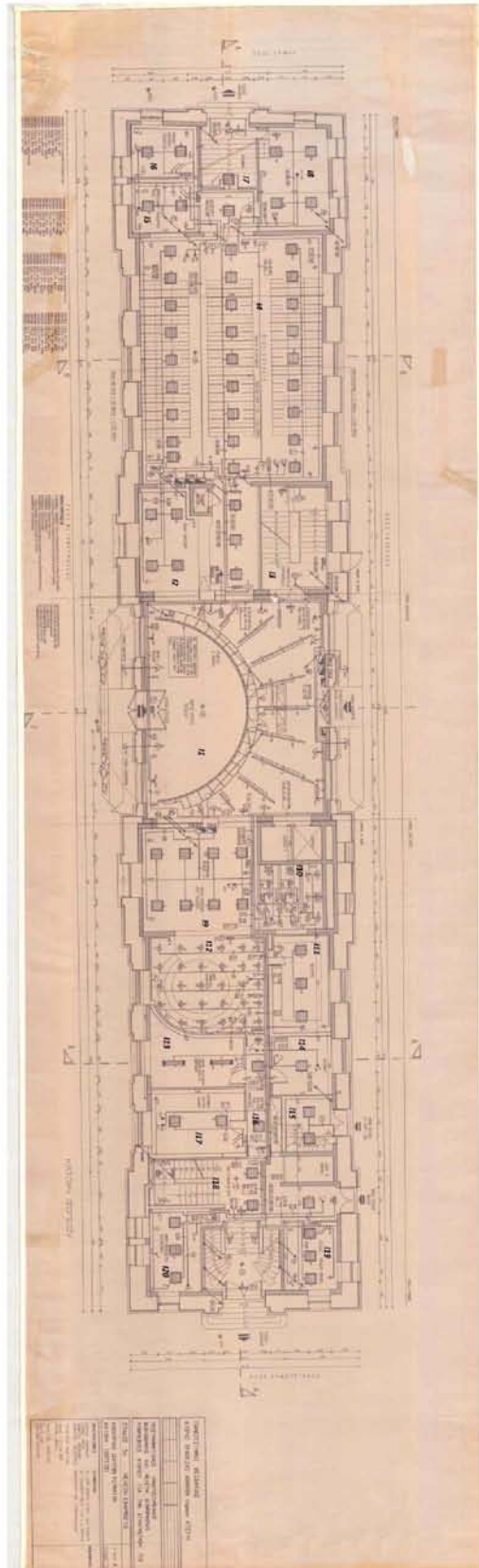


## Βιβλιογραφία

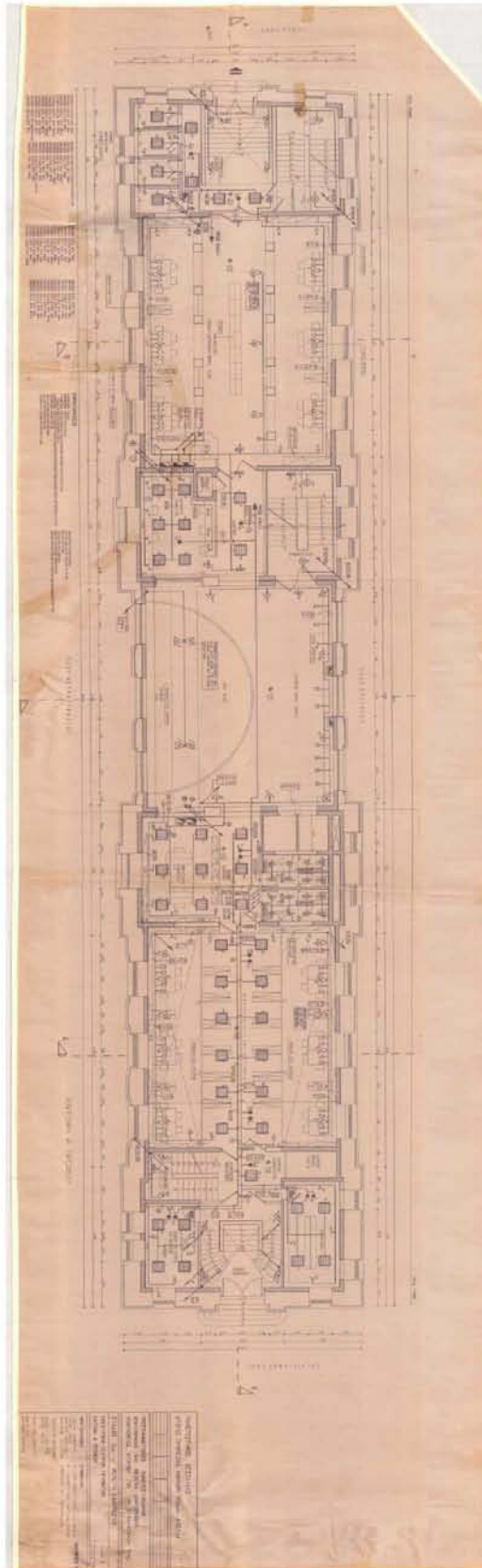
- [1] S.O. Kasap, Principles of Electronic Materials and Devices, Second Edition, (Mc Graw-Hill, New York, 2002)
- [2] J.Singh, Semiconductor Optoelectronics, Physics and Technology, (Mc Graw-Hill, New York, 1995)
- [3] Ron Lenk, Carol Lenk, Practical Light Design with LEDs. Willy (2011)
- [4] Schubert, E. Fred (2003) Light-Emitting Diodes. Cambridge University Press
- [5] Σημειώσεις Φωτισμού, Β. Παπαδοπούλου, ΤΕΙ Αθήνας, Σχολή Γραφικών και Καλλιτεχνικών Σπουδών, Τμήμα Διακοσμητικής.
- [6] ΚΑΡΥΣΤΗΝΑΙΟΥ ΜΑΡΙΑ – ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ , “Εφαρμογές διόδων εκπομπής φωτός – μελέτη και ανάπτυξη νέου προϊόντος”, Διπλωματική εργασία, ΜΠΙΛΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, Χανιά, Σεπτέμβριος 2014
- [7] Wikipedia, “ Δίοδος εκπομπής φωτός ”,  
[http:// el.wikipedia.org/wiki/Δίοδος\\_εκπομπής\\_φωτός](http://el.wikipedia.org/wiki/Δίοδος_εκπομπής_φωτός)
- [8] Σταμάτης Καραγιάννης,” Εξοικονόμηση ενέργειας φωτισμού σε γραφειακούς χώρους”, Τεχνική ανάλυση, χώρος Σ.Μ. Α.Ε., Δεκέμβριος 2014  
[www.horos.gr](http://www.horos.gr)
- [9] 1<sup>ο</sup> ΕΠΑΛ Αργυρούπολης, Σημειώσεις μαθήματος: Ειδική θεματική Δραστηριότητα, Θέμα: Ηλεκτρικές πηγές φωτός
- [10] Δημήτριος Παναγιώτης Τ. Νικολάου, “Η εφαρμογή των LED στον φωτισμό δρόμων και οι προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας”, Διπλωματική εργασία, Φραγκίσκος Τοπαλής, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Σεπτέμβριος 2013
- [11] Α. Τζιαμπάζης, Β. Τζιαμπάζη, “Τεχνολογία υλικών & εξαρτημάτων”, Β' έκδοση, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 1993.
- [12] Μαρμαράς, Ν., 2010, Εισαγωγή στην Εργονομία, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ
- [13] Σ. Μανιάς, «Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος», Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [14] Κ. Α. Καρύμπακα, “Γενική ηλεκτρονική”, Θεσσαλονίκη 2001.
- [15] Κ.Ε. Σαββάκης, “Τεχνολογία Υλικών, Υλικά τεχνολογικών εφαρμογών”, Γ' έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2002.
- [16] Α.Ι. Τσακίρη, “Φωτοτεχνία”, Αθήνα 2004
- [17] Γ. Ιωαννίδης, “Θάμβωση εσωτερικών χώρων”, Εργαστήριο Φωτοτεχνίας ΤΕΙ Πειραιά, Αθήνα 2011
- [18] EN 12464-1:2011: Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places
- [19] ISO 8995-1 (CIE S 008), Lighting of work places - Part 1: Indoor



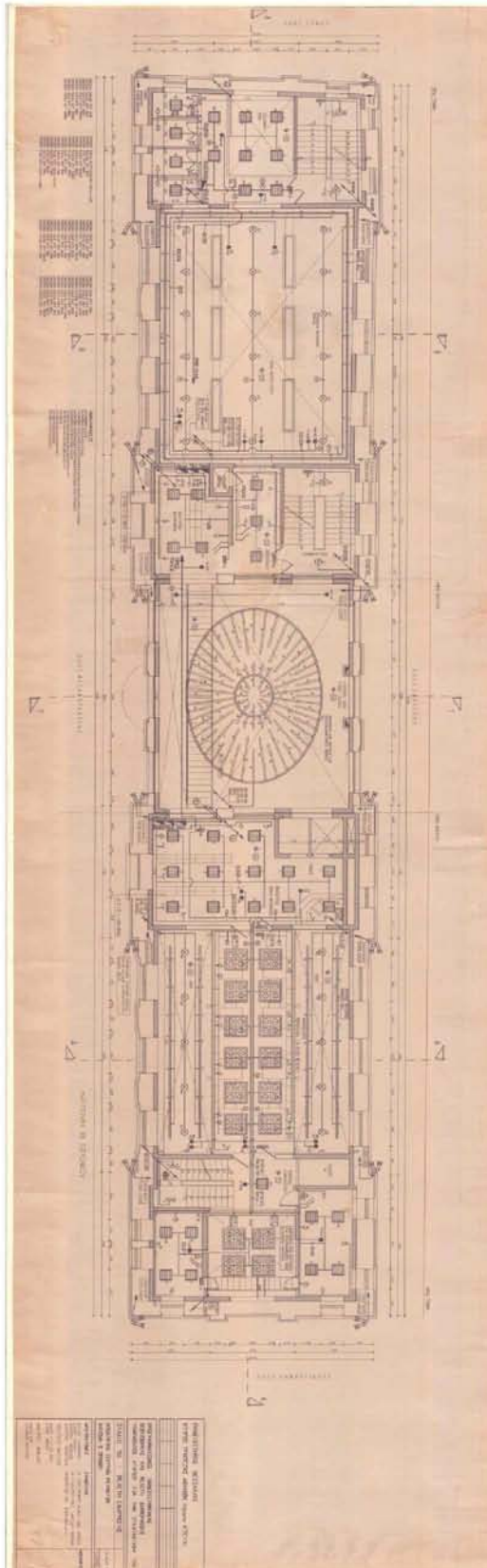




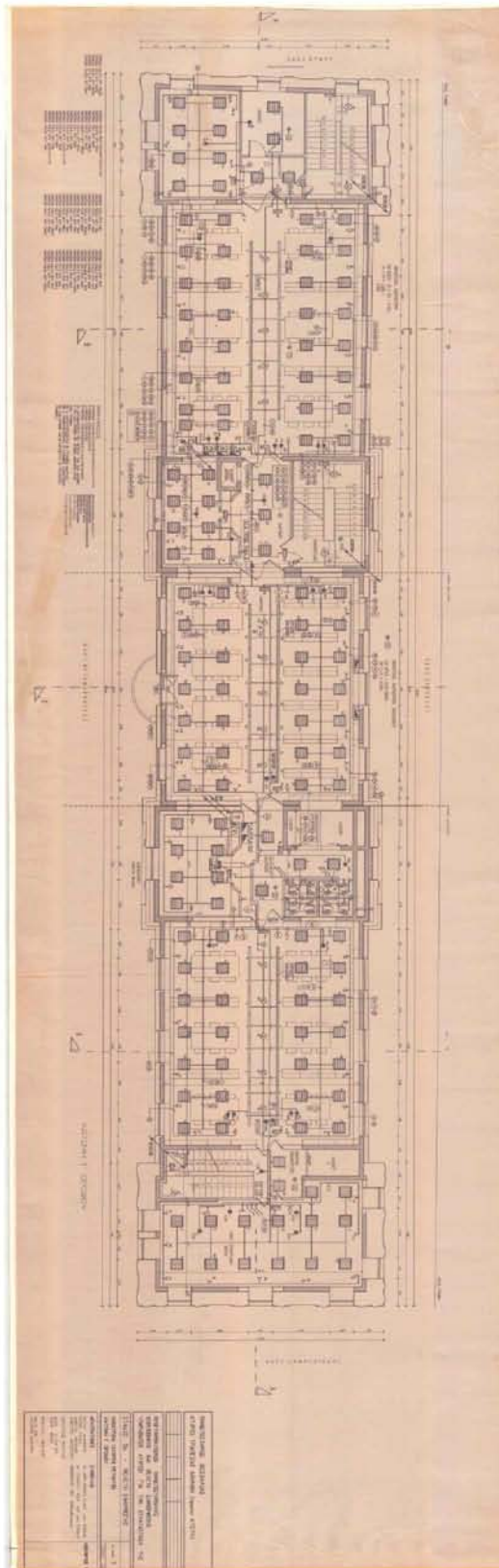
Εικόνα 12: Κάτοψη ισογείου



Εικόνα 13: Κάτοψη 1<sup>ου</sup> ορόφου



Εικόνα 14: Κάτοψη 2<sup>ου</sup> ορόφου



Εικόνα 15: Κάτοψη 3<sup>ου</sup> ορόφου







Στην συνέχεια θα προσθέσουμε τα στοιχεία από τους λογαριασμούς της Δ.Ε.Η. για το κτήριο μας. Στους λογαριασμούς θα λάβουμε υπόψη ότι, όπως αναφέραμε και κατά την διάρκεια της μελέτης, πάνω από το 50% των λαμπτήρων είναι εκτός λειτουργίας. Επίσης μέσα στην συνολική κατανάλωση συμπεριλαμβάνεται και η κατανάλωση των υπόλοιπων ηλεκτρικών συσκευών.

ΔΕΗ		ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε.		Σελίδα 1 από 2	
ΧΑΛΚΟΚΟΝΔΥΛΙ 30 - 104 32 ΑΘΗΝΑ Α.Φ.Μ. 090000045 ΔΟΥ Φ.Α.Ε ΑΘΗΝΩΝ		ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ / ΔΗΜΟΥ & ΝΕΡΙΤ		ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΤΙΚΟΣ	
ΚΑΤΑΣΤΗΜΑ Δ/ΝΣΗ Πληροφορίες Βλάβες	ΥΠΟΤ. ΜΕΓ. ΠΕΛΑΤΩΝ ΛΑΡΙΣΑΣ Ηρώων Πολυτεχνείου 165 Λάρσα 41223 2410 230380 Φαξ: 2410 555418 1050	ΟΝΟΜΑΜΟ - Δ/ΝΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΑΡΓΟΝΑΥΤΩΝ-ΦΙΛΕΛΛΗΝΩΝ 38221 ΒΟΛΟΣ	Δ/ΝΣΗ ΑΚΙΝΗΤΟΥ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ 38333 ΒΟΛΟΣ ΑΦΜ: 090055634		
ΑΡ. ΠΑΡΑΣΤΑΤΙΚΟΥ ΛΟΓ. ΣΥΜΒΟΛΑΙΟΥ ΚΩΔΙΚΟΣ ΠΕΛΑΤΗ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΚΑΤΑΒΟΛΗ €	610000421475 300000005490 1000010896 ΒΓ (Εμπορικής Χρήσης)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΤΗΡΙΟ 24/02/16			
Α/Α ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΤΑΜΑΛΩΣΗΣ	ΗΜΕΡΕΣ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΛΑΤΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ
1032440125	03/02/2016	01/01/2016 - 31/01/2016	31	4010 01 01 000001	4 84120126 - 01 2
1. ΧΡΕΩΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ			2. ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ		
137,60 kW X 6,00000 €/kW		825,60		ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Η/Ε (€)	175,99
Ισχύς - Σύνολο (€)		825,60		ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Η/Ε (€)	276,99
22.399,80 kWh X 0,06428 €/kWh		1.439,86		ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ (€)	692,14
16.266,90 kWh X 0,05062 €/kWh		823,43		ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΛΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ (ΕΤΜΕΑΡ) (€)	391,31
Ενέργεια - Σύνολο (€)		2.263,29		ΛΟΙΠΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ (€)	17,01
ΙΣΧΥΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ - Σύνολο (€)		3.088,89			
ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2 38.666,70 kWh X 0,00595 €/kWh		230,07			
<b>ΣΥΝΟΛΟ 1.:</b>		<b>3.318,96</b>		<b>ΣΥΝΟΛΟ 2.:</b>	<b>1.553,44</b>
<b>ΑΞΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (1+2):</b>					<b>4.872,40</b>
ΕΦΚ (N.3336/05)		193,33			
ΕΙΔ. ΤΕΛ. 5%ο Ν.2093/92		23,37			
ΠΑΡΟΥΣ. ΣΤΡΟΓΓ.		0,40			
ΠΡΟΗΓ. ΣΤΡΟΓΓ.		0,27			
<b>ΓΙΑ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΠΛΗΡΩΝΕΤΕ :</b>					<b>5.089,77</b>
13,00% X 5.065,73 =					658,54
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Φ.Π.Α. (€)</b>					<b>5.748,31</b>
Κωδικός Μετρήτη: 430022454		Συμφ. Ισχύ. Παροχής: 800kVA		Εγκ. Ισχύ. Παροχής: 640kVA	
ΖΩΝΕΣ ΙΣΧΥΟΣ		Μετρήσεις (kW)			
Ενδιάμεσο	129,90	25/01/2016 - 10:00			
Αρχμή	133,20	25/01/2016 - 12:00			
Ελάχιστο	67,80	26/01/2016 - 02:00			
Σύνολο Κατανάλωσης:		38.666,70 Ενέργειών (kWh)		0,00 Αρχμών (kVarh)	
εμφ: 0,0000	συνφ: 1,000	Σ.ΠΡΣ: 1,000	Α: 1,03333 (31 / 30)	ΧΜΖ: 137,600	Σ.ΧΡΣ: 39,0%
ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ: ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΗΜΕΡΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ			ΑΛΗΘΗ ΠΡΟΘΕΣΜΙΑΣ ΠΛΗΡΩΜΗΣ: Τετάρτη, 24/02/2016		

Εικόνα 18: Αντίγραφο λογαριασμού Δ.Ε.Η.

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/2/2015	28/2/2015	4.350,00 €	724,10	22.978,50
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/3/2015	31/3/2015	4.832,00 €	801,69	24.297,30
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/4/2015	30/4/2015	4.197,23 €	775,82	20.459,10
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/5/2015	31/5/2015	3.882,64 €	801,69	20.748,60
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/6/2015	30/6/2015	4.787,23 €	775,82	25.975,50
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/7/2015	31/7/2015	5.462,64 €	801,69	29.133,60
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/8/2015	31/8/2015	5.408,00 €	801,69	31.097,20
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/9/2015	30/9/2015	5.225,00 €	775,82	28.182,90
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/10/2015	31/10/2015	3.882,87 €	801,69	20.956,00
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/11/2015	30/11/2015	4.410,00 €	775,82	23.975,00
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ-ΕΡΜΟΥ (ΒΟΛΟΣ)	84120126-01	1/12/2015	31/12/2015	5.951,87 €	801,69	34.680,00

Εικόνα 19: Πρόσθετα στοιχεία λογαριασμού

Παρακάτω θα δοθεί αναλυτικός πίνακας με την προσφορά που μας έχει δοθεί από την εταιρία ΠΙΝΝΟ. Στον πίνακα θα περιλαμβάνονται όλα τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων καθώς και οι τιμές και οι ποσότητες των λαμπτήρων LED.



### IINNO Quotation

1410, 147/ Wanda Center  
Donggang Road, Dongcheng District  
Dongguan City, Guangdong Province  
523000 - China  
Tel : 0086 (0)769 23010151/2  
www.iinno-led.com  
Asia | Middle East | Africa | Europe | USA

**Order Number:**  
**Invoice number:** 20161011-2  
**Date:** 0  
**Contact person:** SARIDAKIS GEORGE  
**e-mail:**  
**Telephone:** 0030 697 765 6763

**Bill To:**  
**Address:**  
**VAT:**  
**Telephone:**  
**Contact Person :**

**Ship To:**  
**Address:**  
**VAT:**  
**Telephone:**  
**Contact Person :**

NO	Item Code	Bar Code	Picture	Description (Specifications)	Watts	Color Kelvin	Luminous Flux	Dimensions (mm)	Qty Pcs	Unit Price (euro)	Total Price (euro)	Warranty (yrs)	Certifications	Comments/Notes
<b>SPOTS</b>														
1	21352	5056038213528		<b>Name:</b> SPOTS MR16 5W <b>Model:</b> EX-T85P03-5W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar <b>Beam Angle:</b> 30° <b>Operating Voltage:</b> DC12V <b>CRI:</b> 80	5W	2700°K	350lm	D50x52	27	3,79 €	102,31 €	5yrs	CE ROHS	IP40
2	86334	5055956863341		<b>Name:</b> SPOTS GU10 6W <b>Model:</b> EX-T85P11-6W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar <b>Beam Angle:</b> 30° <b>Operating Voltage:</b> AC220V/AC110V <b>CRI:</b> 80	6W	2700°K	550lm	D50x58	55	9,48 €	521,40 €	5yrs	CE ROHS	IP40
<b>GLOBES</b>														
3	86138	5055956861385		<b>Name:</b> GLOBES E27 15W <b>Model:</b> EX-T8GL20-15W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar2835 <b>Beam Angle:</b> 190° <b>Operating Voltage:</b> AC85-265V <b>CRI:</b> 80	15W	4000°K	1300lm	D80x150	70	12,64 €	884,80 €	5yrs	CE ROHS PSE	IP40
<b>R50</b>														
4	86170	5055956861705		<b>Name:</b> R50 E27 4W <b>Model:</b> EX-T8R50-4W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar2835 <b>Beam Angle:</b> 150° <b>Operating Voltage:</b> AC220V/AC110V <b>CRI:</b> 80	4W	2700°K	350lm	D50x84	18	5,18 €	93,24 €	5yrs	CE ROHS	IP40
<b>R75</b>														
5	83325	5055956833252		<b>Name:</b> R75 R75 10W <b>Model:</b> E-T2R75A-10W <b>LED brand &amp; type:</b> Sanan 2835 <b>Beam Angle:</b> 360° <b>Operating Voltage:</b> 220V-240V <b>CRI:</b> >80	10W	3000°K	1250lm	118x22	26	11,50 €	299,00 €	5yrs	CE ROHS	IP20
<b>DOWNLIGHTS</b>														
6	82913	5055956829132		<b>Name:</b> DOWNLIGHTS 5W <b>Model:</b> S-T12DL01-5W <b>LED brand &amp; type:</b> Edison <b>Beam Angle:</b> 100° <b>Operating Voltage:</b> AC200-240V <b>CRI:</b> >80	5W	4000°K	750lm	D100x52	50	11,17 €	558,50 €	5yrs	CE ROHS	Cut out: D95 IP54
7	83486	5055956834860		<b>Name:</b> DOWNLIGHTS 18W <b>Model:</b> PR-T1DL01-18W <b>LED brand &amp; type:</b> Epistar2835 <b>Beam Angle:</b> 120° <b>Operating Voltage:</b> AC100-240V <b>CRI:</b> >80	18W	4000°K	1800lm	D225x33	95	12,51 €	1.188,45 €	5yrs	CE TUV EMC LVD ROHS ERP 6000	Cut out: D210 IP43

T8 TUBES														
8	89803	5055956898039		Name: T8 TUBES 18W Model: EX-T7T8T02-18W LED brand & type: Hongli2835 Beam Angle: 180° Operating Voltage: AC200-240V CRI: >80	18W	4000°K	2250lm	D25x1198	196	7,08 €	1.387,58 €	5yrs	TUV CE ROHS	IP20
9	89809	5055956898091		Name: T8 TUBES 23W Model: EX-T7T8T04-23W LED brand & type: Hongli2835 Beam Angle: 180° Operating Voltage: AC100-240V CRI: >80	23W	4000°K	2800lm	D25x1498	40	8,38 €	335,20 €	5yrs	TUV CE ROHS	IP20
TRI PROOF LIGHTS														
10	82444	5055956824441		Name: TRI PROOF LIGHTS 40W Model: E-T11TP01-40W LED brand & type: Taiwan 2835 Beam Angle: 200° Operating Voltage: 100-277V CRI: >80	40W	6000°K	4400lm	1200x94x83	15	40,44 €	606,60 €	5yrs	UL CUL ETL TUV	IP66
PANEL LIGHTS														
11	81974	5055956819744		Name: PANEL LIGHTS 40W Model: P-T3TPI01-40W LED brand & type: Epistar4014 Beam Angle: 120° Operating Voltage: AC200-240V CRI: >80	40W	4000°K	3200lm	595x595x9	525	21,61 €	11.345,25 €	5yrs	CE ROHS CB SAA TUV GS	IP20
FLOODLIGHTS														
12	24964	5056038249640		Name: FLOODLIGHTS 200W Model: S-T1FLO9-200W LED brand & type: Samsung Beam Angle: 120° Operating Voltage: 100-277V AC CRI: >70	200W	6500°K	20000lm	519x424x133	3	128,89 €	386,67 €	5yrs	CE TUV GS SAA UL	IP65
EXIT LIGHTS														
13	88396	5055956883967		Type: Hanging Materials: Aluminium & Acrylic 1.2V 600mah Ni-Cd batteries Emergency operation time 3 hours Watt: 3W Input Voltage: AC220-240V 50-60Hz	3W	6500°K	200lm	345x21x147	110	8,47 €	951,70 €	5yrs	CE TUV GS SAA UL	With test button and indicator lamps
									1230	<b>Total</b>	<b>18.640,82 €</b>			

For & on behalf of  
iINNO LTD: intelligent-innovations  
Authorized Signature

Authorized Signature

Εικόνα 20: Προσφορά λαμπτήρων LED