

Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση λαμπτήρων LED για εσωτερικό φωτισμό γραφείων

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ, Αθήνα

5/26/2015



Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Χ. Λιάκος

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Εισαγωγή.....	4
--------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. Βασικές έννοιες φωτός	7
2.1.1. Χαρακτηριστικά φωτός	7
2.1.2. Βασικές μονάδες φωτισμού και όροι	7
2.1.3. Εμφάνιση χρώματος και απόδοση των χρωμάτων.....	11
2.2. Εξέλιξη του φωτισμού	13
2.3. Ηλεκτρικοί λαμπτήρες φωτισμού.....	16
2.3.1. Παραγωγή φωτός.....	16
2.3.2. Λαμπτήρες πυρακτώσεως.....	16
2.3.3. Λαμπτήρες φθορισμού MCF.....	18
2.3.4. Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού.....	20
2.3.5. Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης.....	21
2.3.6. Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης.....	22
2.3.7. Γραμμικοί λαμπτήρες βολφραμίου-αλογόνου.....	24
2.3.8. Λαμπτήρες βολφραμίου-αλογόνου χαμηλής τάσης.....	24
2.3.9. Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης.....	25
2.3.10. Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Εξέλιξη των LED.....	28
3.2. Η διαδικασία ανάπτυξης της τεχνολογίας.....	29
3.3. Η τεχνολογία.....	31

3.3.1. Ώθηση της τεχνολογίας και έλξη της αγοράς.....	33
3.3.2. Κόκκινες και πορτοκαλί λυχνίες LED.....	33
3.3.3. Αρχικές έρευνες στα πράσινα και μπλε LED.....	36
3.3.4. Αναζήτηση για ένα βιώσιμο μπλε LED.....	36
3.3.5. Εξειδικευμένα προϊόντα LED.....	38
3.4. Ο ανταγωνισμός με το συμβατικό φωτισμό.....	39
3.5. Η ανάπτυξη του κλάδου SSL.....	40
3.6. Οδικός φωτισμός.....	42
3.6.1. Σχεδιασμός και υλοποίηση των LED driver για εφαρμογές ηλιακού φωτισμού δρόμου.....	42
3.6.2. Περιγραφή της τεχνολογίας.....	43
3.6.3. LED για εφαρμογές οδικού φωτισμού.....	44
3.7. Φωτισμός σε κτίρια γραφείων.....	45
3.7.1. Αποδοτικότερος φωτισμός εξοικονόμησης στα γραφεία.....	46
3.7.2. Η χρήση ενέργειας σε κτίρια γραφείων.....	47
3.7.3. Η πραγματική κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό γραφείων.....	47
3.7.4. Η βελτίωση της τεχνολογίας λαμπτήρων.....	48
3.8. Απρόβλεπτα μονοπάτια εξέλιξης της τεχνολογίας.....	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Νομοθεσία και θεσμικά πλαίσια.....	50
4.2. Εισαγωγή στο πρόγραμμα DIALux.....	50
4.3. Εκθέσεις αποτελεσμάτων προγράμματος DIALux.....	56
4.3.1. Μελέτη περίπτωσης λαμπτήρων φθορισμού.....	56
4.3.2. Απεικόνιση χώρου με φωτισμό λαμπτήρων φθορισμού.....	66
4.3.3. Μελέτη περίπτωσης λαμπτήρων LED.....	67
4.3.4. Απεικόνιση χώρου με φωτισμό λαμπτήρων LED.....	76
4.4. Υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας.....	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. Εισαγωγή.....78

5.2. Παράθεση και σύγκριση αποτελεσμάτων.....78

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Αυτοματισμοί λειτουργίας.....80

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Βιβλιογραφία.....83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Η υπερκατανάλωση ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες απειλεί σοβαρά την ανθρωπότητα σε μια δίνη οικονομικών και περιβαλλοντικών δεινών. Η αλόγιστη σπατάλη ενέργειας στην καθημερινότητα, έχει οδηγήσει τη σύγχρονη γενιά στην ανάγκη λήψης νέων μέτρων και ανακάλυψης νέων τεχνολογιών, προκειμένου να διαφυλαχθούν οι φυσικοί πόροι του περιβάλλοντος. Όπως είναι γνωστό, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που είναι απαραίτητη για πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητά μας, χρειάζεται η άντληση και η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Τα οποία δεν θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι εξαντλούνται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από τον ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται. Η καύση των ορυκτών καυσίμων παράγει κάθε χρόνο 21,3 εκατομμύρια τόνους διοξείδιο του άνθρακα. Από αυτή την ποσότητα η μισή απορροφάται από την βιόσφαιρα της γης και η υπόλοιπη παραμένει στον ατμοσφαιρικό αέρα. Έτσι προκαλούνται σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που απειλούν τη βιωσιμότητα του πλανήτη, όπως οι κλιματικές αλλαγές, η όξινη βροχή, η υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Όπως προκύπτει λοιπόν, χρέος μας είναι η μετρίαση της κατανάλωσης και η εξοικονόμηση της ενέργειας.

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς κατανάλωσης ενέργειας είναι η ανάγκη του φωτισμού στη ζωή μας. Ένας τομέας που δεν έχει λάβει την αρμόζουσα προσοχή αναλογικά με το πόσο ενεργοβόρος είναι. Όπως προέκυψε από έρευνα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας – ΚΑΠΕ (www.cres.gr), κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει κατά μέσο όρο 13.994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Σε ό,τι αφορά την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν τα νοικοκυριά ετησίως το 6,6% χρησιμοποιείται για το φωτισμό. Η πλειοψηφία των οικιακών καταναλωτών χρησιμοποιούν λαμπτήρες φωτισμού τεχνολογίας πυρακτώσεως με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται από τους λαμπτήρες να μην αξιοποιείται για φωτισμό. Στη συνολική ποσότητα ισχύος (watt) ενός κοινού λαμπτήρα πυρακτώσεως, χρησιμοποιούνται για φωτισμό μόνο κάποια milliwatt. Το υπόλοιπο ποσό γίνεται θερμότητα.

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό εξαρτάται από την ισχύ των λαμπτήρων (watt) και το χρόνο λειτουργίας τους. Οι σύγχρονοι οικονομικοί λαμπτήρες, για το ίδιο επίπεδο φωτεινότητας με τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, έχουν 10 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής και απαιτούν το ένα πέμπτο της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Το κόστος αγοράς τους είναι μεν μεγαλύτερο αλλά το συνολικό οικονομικό όφελος κατά τη χρήση τους είναι σημαντικό ως αποτέλεσμα της χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος και της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους (1 λαμπτήρας χαμηλής κατανάλωσης αντιστοιχεί με 10 κοινούς λαμπτήρες). Στην πορεία της εργασίας θα χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένα παραδείγματα με ακριβείς αριθμούς προκειμένου να αποδειχθούν τα παραπάνω.

Ισχύς Λαμπτήρα Χαμηλής Κατανάλωσης (W)*	Ισχύς Κοινού Λαμπτήρα Πυρακτώσεως (W)
5	25
7	40
11	60
18	75
20	100
23	120

Πίνακας 1.1 Κατανάλωση ισχύος ανά είδος λαμπτήρα

Ένα από τα σημαντικότερα κίνητρα με άμεση επίδραση στην καθημερινότητά μας, είναι σαφέστατα και η οικονομική ευημερία, που επιτυγχάνεται από την αποφυγή περιττής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι όσο μεγαλύτερη εξοικονόμηση επιτύχουμε, τόσο μεγαλύτερο όφελος θα έχουμε. Η λύση η οποία προτείνεται, δεν είναι η μείωση της χρήσης, αλλά η αντικατάσταση της παρούσας τεχνολογίας φωτισμού με την τελευταίας γενιάς τεχνολογία LED, η οποία αποδεικνύεται να είναι οικονομικότερη και πιο φιλική προς το περιβάλλον. Σε μια εποχή που η οικολογική συνείδηση και η εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας έχει ξεκινήσει να γίνεται πράξη με αλματώδη βήματα, τα προϊόντα τεχνολογίας LED όχι μόνο αποτελούν την οικολογικότερη εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές πηγές φωτός αλλά θεωρούνται και το μέλλον του φωτισμού διατηρώντας άριστα επίπεδα ενεργειακής απόδοσης και υψηλά περιβαλλοντικά οφέλη. Ο οικονομικός φωτισμός με τεχνολογία LED βρίσκει την πλήρη εφαρμογή ως πράσινη πηγή φωτισμού.

Τα προϊόντα τεχνολογίας LED δεν περιέχουν επικίνδυνες χημικές ουσίες. Σε αντίθεση με άλλες παραδοσιακές μορφές του φωτισμού, τα προϊόντα τεχνολογίας LED δεν εκπέμπουν ακτινοβολία (UV) και δεν περιέχουν υδράργυρο. Η έλλειψη χρήσης επικίνδυνων υλών τα καθιστούν ασφαλή για χρήση σε οποιοδήποτε δωμάτιο κάνοντας ευκολότερη την ανακύκλωσή τους. Τα εξαρτήματα LED μπορούν να ανακυκλωθούν αφού συλλεχθούν από τους ειδικούς κάδους απόρριψης ηλεκτρικών / ηλεκτρονικών συσκευών. Με αυτόν τον τρόπο είναι φιλικά προς το περιβάλλον και ακίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Τα προϊόντα τεχνολογίας LED μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε σχέση με τις λάμπες πυρακτώσεως σε λιγότερο από το μισό σε σχέση με τις λάμπες οικονομίας CFL. Συνεπώς αντικαθιστώντας τους κοινούς λαμπτήρες με λαμπτήρες νέας πράσινης τεχνολογίας τύπου LED, μειώνεται όχι μόνο η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η παραγωγή επιβλαβών ουσιών τόσο στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στην επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος.

Χρέος όλων μας λοιπόν, αποτελεί ο σεβασμός προς το περιβάλλον και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται να έχουν όσο το δυνατόν οικολογικότερο σχεδιασμό.

Στα ακόλουθα κεφάλαια παρουσιάζεται ανάλυση των τεχνολογιών φωτισμού και η εξέλιξή τους με την πάροδο των χρόνων. Περιγράφονται ο τρόπος λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά της χρήσης φωτισμού με τεχνολογία LED. Γίνεται εφαρμογή της τεχνολογίας σε εσωτερικό φωτισμό κτιρίων επαγγελματικής χρήσης.

Παρουσιάζονται δύο υποθετικά σενάρια σύγκρισης για την περίπτωση που θα αναλύσουμε συνδυαστικά με τους αυτοματισμούς της. Στόχος αυτών είναι η παρουσίαση

της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση των παλιάς τεχνολογίας λαμπτήρων, με λαμπτήρες τεχνολογίας LED.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα συμπεράσματα των συγκρίσεων και προτείνονται μέτρα εφαρμογής για εξοικονόμηση ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

2.1 Βασικές έννοιες φωτός

2.1.1. Χαρακτηριστικά φωτός

- Φύση του φωτός

Το φως είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παρόμοιας φύσεως και συμπεριφοράς, με ραδιοκύματα στο ένα άκρο του φάσματος συχνοτήτων και ακτίνες Χ στο άλλο. Το εύρος στο οποίο το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο, καλύπτει ζώνη συχνοτήτων από περίπου 380 με 760 νανόμετρα (nm), ένα νανόμετρο είναι ένα μήκος κύματος του ενός εκατομμυριοστού (10⁶) του ενός χιλιοστού. Εντός των ορίων αυτών υπάρχουν διαφορές στο χρώμα, το λευκό φως είναι εκείνο στο οποίο μία περίπου ίση ποσότητα ενέργειας λαμβάνει χώρα σε όλες τις συχνότητες εντός της ζώνης συχνοτήτων.

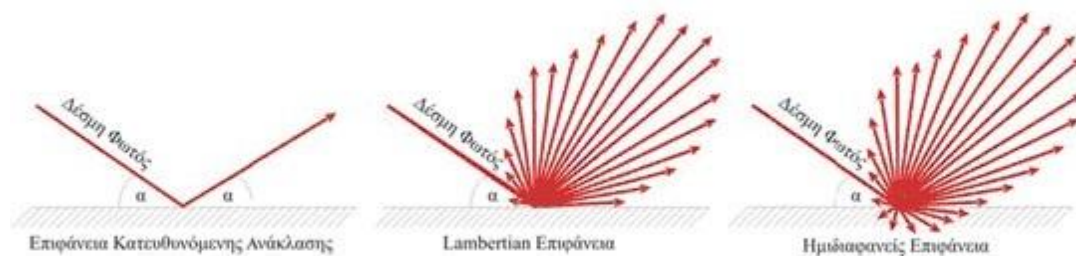
- Συχνότητα και χρώμα

Το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο σε συχνότητες στη μέση του φάσματος (πράσινο και κίτρινο φως) από εκείνες στα άκρα (κόκκινο και ιώδες). Κατά συνέπεια, περισσότερη δύναμη θα πρέπει να δαπανηθεί για να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα στο μάτι από το κόκκινο ή το ιώδες φως από ό, τι από το πράσινο ή το κίτρινο. Η περιοχή της ακτινοβολίας ακριβώς έξω από το ορατό φάσμα είναι γνωστή ως υπεριώδης (UV) και υπέρυθρη (IR). Και οι δύο είναι παρούσες στο φυσικό φως της ημέρας και εκπέμπονται σε κυμαινόμενες ποσότητες από τεχνητές πηγές φωτός. Η υπέρυθρη δίνει την επίδραση της θερμότητας, ενώ η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται για να διεγείρει το φθορισμό στις σκόνες σε λαμπτήρες φθορισμού. Το βραχύ κύμα UV προκαλεί το μαύρισμα του δέρματος και μπορεί να βλάψει τα μάτια, αλλά το UV μεγάλου μήκους κύματος, που χρησιμοποιείται για θεατρικούς ή σκοπούς οθόνης, καθώς και στις ντισκοτέκ, είναι ουσιαστικά αβλαβές.

2.1.2. Βασικές μονάδες φωτισμού και όροι

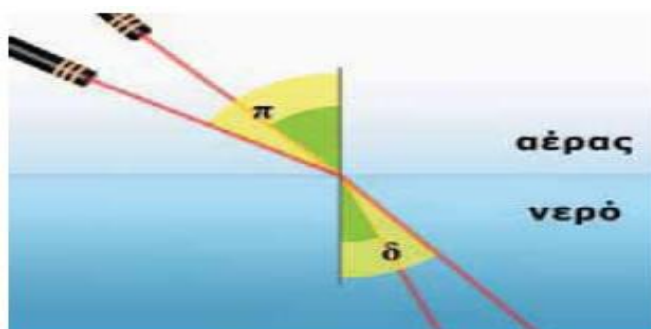
Η μέση φωτεινότητα σε μια επιφάνεια μειώνεται τόσο όσο το τετράγωνο της απόστασής του από την πηγή εκπομπής. Αυτός ο νόμος είναι γνωστός ως ο αντίστροφος του νόμου των τετραγώνων και είναι κοινός για όλες τις μορφές ακτινοβολίας.

Το φως αντανακλάται από μια γυαλιστερή (κατοπτρική) επιφάνεια με την ίδια γωνία όπως το χτυπά. Μια ιδανική επιφάνεια ματ (Lambertian) αντανακλά το φως προς διάφορες κατευθύνσεις ενώ μια ήμι-ματ επιφάνεια θα συμπεριφέρεται με τρόπο ενδιάμεσο των δυο προηγούμενων.



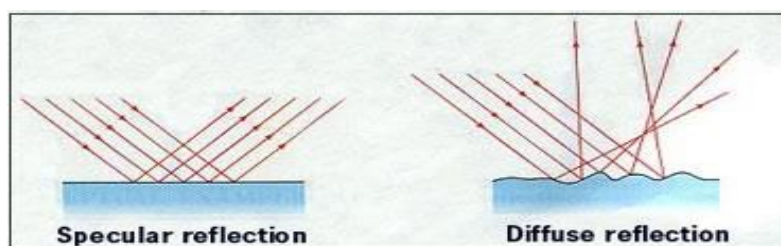
Εικόνα 2.1 Πρόσπτωση φωτός σε τρεις διαφορετικές επιφάνειες

Διάθλαση έχουμε, όταν το φως διέρχεται μέσα από μια επιφάνεια μεταξύ δύο μέσων (π.χ. από τον αέρα και το νερό, τον αέρα και το γυαλί). Η ακτίνα φωτός κάμπτεται και αυτή η ιδιότητα χρησιμοποιείται στην κατασκευή των φακών και των πρισμάτων.



Εικόνα 2.2 Δέσμη φωτός σε διάθλαση

Η διάχυση είναι η διασκόρπιση του φωτός όταν αυτό διέρχεται μέσω ενός δυσδιάκριτου μέσου (όπως οπάλ γυαλί ή πλαστικό). Το μέσο περιέχει έναν αριθμό σωματιδίων της ύλης, τα οποία αντανακλούν και διασκορπίζουν το φως που διέρχεται από αυτό. Ένας ενιαίος διαχύτης διασκορπίζει το φως εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις ενώ οι τμηματικοί διαχύτες επιτρέπουν κάποια κατευθυντήρια ροή του φωτός. Όλες αυτές οι ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν την κατεύθυνση και την κατανομή του φωτός από τεχνητές πηγές φωτός.

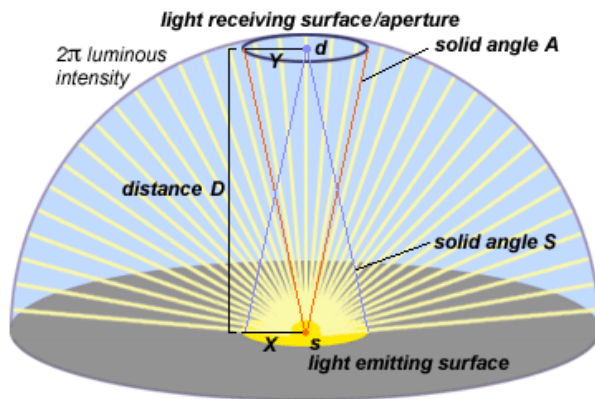


Εικόνα 2.3 Διάχυτη ακτινοβολία

Υπερβολικά φωτεινές περιοχές στο οπτικό πεδίο μπορεί, ξεχωριστά ή ταυτόχρονα, να εμποδίσουν την οπτική απόδοση (αντηλιά) ή να προκαλέσουν οπτική δυσφορία. Τα συστήματα φωτισμού στους περισσότερους εσωτερικούς χώρους εργασίας είναι απίθανο να προκαλέσουν σημαντική άμεση θάμβωση, αλλά ένας βαθμός αντηλιάς είναι πιθανός.

- Φωτεινή Ένταση I (Luminous intensity) [Cd]

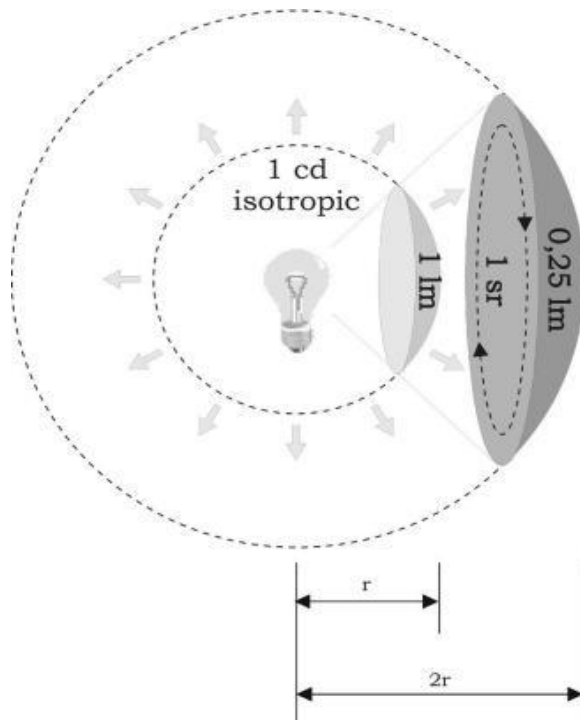
Μία φωτεινή πηγή δεν εκπέμπει ομοιόμορφα το φως που παράγει. Είναι επομένως χρήσιμο να οριστεί ένα νέο μέγεθος που θα καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου, το ποσό της Φωτεινής Ροής Φ που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Η φωτεινή ένταση I προς μία κατεύθυνση παρατηρήσεως είναι ο λόγος της εξερχόμενης φωτεινής ροής Φ από κάποια φωτεινή πηγή (ή στοιχείο της φωτεινής πηγής) διαμέσου ενός κοίλου κώνου απείρως μικρού ανοίγματος, προς την τιμή της στερεάς γωνίας δια την οποία διέρχεται η ροή αυτή, δηλαδή lm/srd . Η μονάδα της φωτεινής της έντασης είναι η candela. Αυτή είναι η ισχύς φωτός μιας πηγής φωτός σε μια δεδομένη κατεύθυνση. Η candela είναι η τυποποιημένη διεθνής (SI) μονάδα.



Εικόνα 2.4 Μέτρηση Φωτεινής έντασης

- Φωτεινή Ισχύς ή Φωτεινή Ροή (Luminous flux) [Lm]

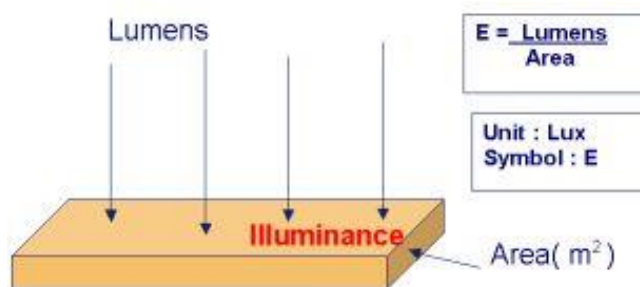
Η μονάδα φωτεινής ροής είναι το lumen. Αυτή είναι η ποσότητα του φωτός που περιέχεται σε ένα στερεακτίνο από μία πηγή με ένταση μιας candela σε όλες τις κατευθύνσεις. Εναλλακτικά, η ποσότητα του φωτός που πέφτει στην περιοχή της επιφάνειας ενός σφαιρικού αντικειμένου είναι η διάμετρος του αντικειμένου από την πηγή του.



Εικόνα 2.5 Μέτρηση Φωτεινής ροής

- Ένταση Φωτισμού Επιφάνειας E (Illuminance) [Lux]

Η ένταση φωτισμού μιας ετερόφωτης επιφάνειας είναι η φωτεινή ροή που πέφτει στη μονάδα επιφάνειας, δηλ. lm/m^2 . Η μέτρηση της έντασης φωτισμού E μιας επιφάνειας γίνεται με το φωτόμετρο. Αυτό αποτελείται από ένα φωτοστοιχείο που συνδέεται με ένα μιλιβολτόμετρο. Το μέγεθος της αναπτυσσόμενης ΗΕΔ στα άκρα του φωτοστοιχείου, άρα και η ένδειξη του μιλιβολτομέτρου, εξαρτώνται από την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του φωτοστοιχείου του οργάνου.

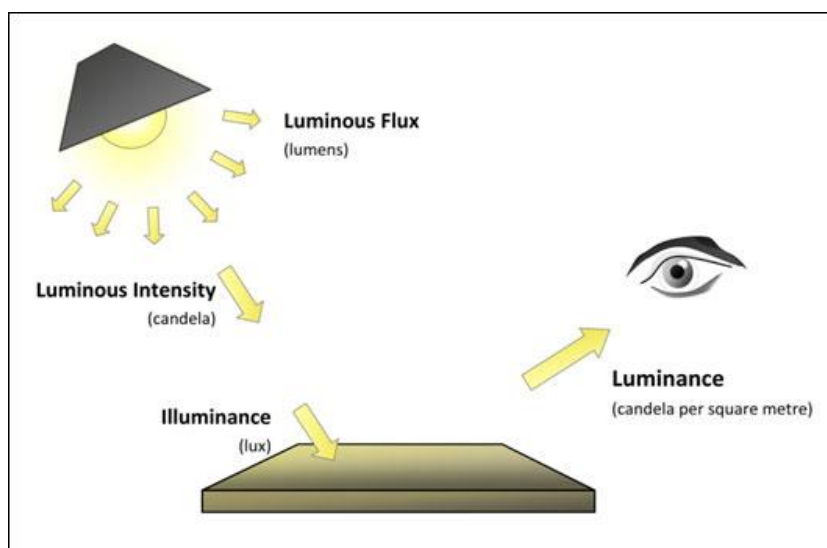


Εικόνα 2.6 Υπολογισμός έντασης φωτισμού σε επιφάνεια

- Λαμπρότητα (Luminance) [Cd/m^2]

Ορίζεται με το πηλίκο της Φωτεινής Έντασης I της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν S της επιφάνειας της πηγής το οποίο βλέπει ο παρατηρητής. Περιγράφει δηλαδή το φως το οποίο εκπέμπεται από μία περιοχή προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η λαμπρότητα αποτελεί βασικό μέγεθος της φωτοτεχνίας καθώς προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι το αίσθημα της φωτεινότητας των διαφόρων αντικειμένων. Τα διάφορα

αντικείμενα διακρίνονται από την λαμπρότητα με την οποία ακτινοβολούν το φως προς την κατεύθυνση του παρατηρητή. Δεν έχει καμία σημασία αν η επιφάνεια είναι αυτόφωτη (εκπέμπει φως) ή ετερόφωτη (δέχεται φως που είτε το ανακλά είτε το διαχέει). Η αποτελεσματικότητα (ή φωτεινή απόδοση) των λαμπτήρων μετριέται σε lumen ανά watt (lm / W).



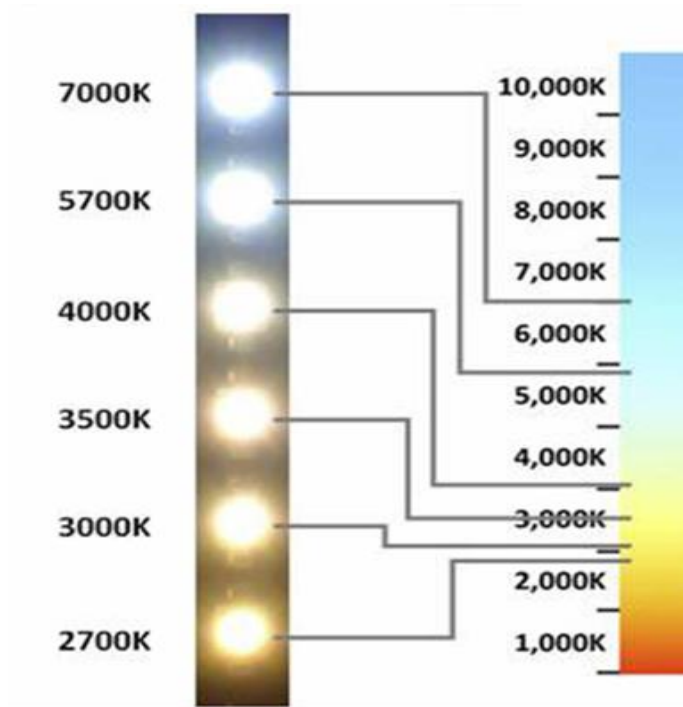
Εικόνα 2.7 Στάδια μετάβασης φωτός από την πηγή ως την λαμπρότητα στον δέκτη

2.1.3. Εμφάνιση χρώματος και απόδοση των χρωμάτων

Τα αντικείμενα τα βλέπουμε από το φως που αντανακλάται από αυτά. Αν έχουν την ιδιότητα να απορροφούν ορισμένα μήκη κύματος του φωτός και να αντανακλούν τα άλλα, φαίνονται χρωματισμένα. Μερικά χρώματα είναι καθαρά, δηλαδή, αποτελούνται από μία μόνο ζώνη συχνοτήτων φωτός. Άλλα, λαμβάνονται με ανάμιξη συχνοτήτων (για παράδειγμα, η ανάμιξη κόκκινο και πράσινο φως δίνει το αποτέλεσμα του κίτρινου). Προφανώς, αυτά τα χρώματα, τα οποία εμπίπτουν σε μία επιφάνεια, μπορεί να αντανακλώνται μόνον από αυτή. Κατά συνέπεια, αν φωτίζεται από το φως μόνο ενός χρώματος (π.χ. κίτρινο φως από μια λάμπα νατρίου), θα φαίνεται να είναι, ότι και το χρώμα. Αν το φως που πέφτει σε μια επιφάνεια είναι ελλιπές σε ορισμένα χρώματα (πχ κόκκινο και μπλε φως), αυτά τα χρώματα θα φαίνονται αδύναμα. Το μάτι δεν είναι σε θέση να διακρίνει μεταξύ καθαρών χρωμάτων και εκείνων που προέρχονται από ανάμιξη, έτσι σε μια εμφάνιση του χρώματος μιας πηγής φωτός (εμφανές χρώμα του φωτός που εκπέμπεται από αυτό) δεν υποδεικνύεται απαραίτητα απόδοση των χρωμάτων της (το χρώμα των αντικειμένων φαίνεται στο φως).

- Θερμοκρασία

Ένας τρόπος καθορισμού του χρώματος είναι η θερμοκρασία του χρώματος, η οποία μετράται σε βαθμούς Kelvin (K). Το χρώμα του φωτός που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή, επηρεάζει την ατμόσφαιρα ενός χώρου. Έτσι αν ένας χώρος φωτίζεται με λαμπτήρες πυρακτώσεως, μας δημιουργεί μια θερμή εντύπωση σε αντίθεση με την ψυχρή εντύπωση που μας δημιουργείται όταν ο ίδιος χώρος φωτίζεται με λαμπτήρες υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος.



Εικόνα 2.8 Θερμοκρασία χρωμάτων

- Χρωματική απόδοση

Η απόδοση του χρώματος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με ένα γενικό χρώμα-δείκτη απόδοσης (R_a). Ο δείκτης αυτός καθορίζει την πυκνότητα με την οποία το φως μιας φωτεινής πηγής αποδίδει τα χρώματα σε σύγκριση με άλλη πηγή που θεωρείται πρότυπη. Η σύγκριση δύο πηγών με κριτήριο το δείκτη χρωματικής απόδοσης δεν μπορεί να γίνει παρά μόνο όταν οι δύο πηγές έχουν την ίδια θερμοκρασία χρώματος. Άρα ο δείκτης R_a έχει σχετική (όχι απόλυτη) έννοια όταν λαμβάνεται σαν πηγή αναφοράς το μέλαν σώμα στους 3000°K , όπου ο δείκτης R_a είναι ίσος με 100.

2.2. Εξέλιξη του φωτισμού

Πολλούς αιώνες πριν, από την αρχή των χρόνων, οι δραστηριότητες των ανθρώπων επηρεάζονταν από την διαθεσιμότητα του φωτός της ημέρας και τυχόν τεχνητά μέσα φωτισμού του περιβάλλοντος. Από τα πρώτα χρόνια της ανθρωπότητας, οι άνθρωποι προσπάθησαν να δημιουργήσουν το φως και να απομακρύνουν το σκοτάδι.

Η αρχική πηγή φωτός ήρθε σχεδόν από ατύχημα και ο πρωταρχικός σκοπός της πυρκαγιάς αναμφισβήτητα δεν ήταν για φωτισμό. Στην αρχή, γυμνές φλόγες ήταν η μόνη διαθέσιμη πηγή των τεχνητών λαμπτήρων. Η απόλυτη ανακάλυψη, ότι ορισμένα υλικά καίγονται πιο εύκολα και λάμπουν πιο έντονα από ότι άλλα, άνοιξαν το δρόμο για τις πρώτες, έστω και πρωτόγονες λάμπες που συνήθως αποτελούνταν από τα σώματα ψαριών και λιπαρών ζώων. Συγκεκριμένα τοποθετούνταν φυτίλια από ινώδεις φλοιούς στα στόματα των ψαριών ή των ζώων.

Στοιχεία δείχνουν ότι οι πρώτες λάμπες που άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τους ανθρώπους χρονολογούνται από το 70.000 π.Χ. Οι πρώτες λάμπες είχαν απλή δομή - απλά ένα κέλυφος ή έναν κοίλο βράχο, το οποίο κατείχε κομμάτι βρύα εμποτισμένο με ζωικό λίπος που καίει με φλόγα. Από εκείνα τα χρόνια, οι άνθρωποι που χρησιμοποιούσαν και άλλα υλικά για τον κορμό του λαμπτήρα - τερακότα, μάρμαρο και μέταλλο και αντί για λίπος, χρησιμοποιήθηκε το λάδι (ψάρια και ελαιόλαδο). Το ελαιόλαδο, το οποίο ήταν σε αφθονία, διαπιστώθηκε χρήσιμο ως καύσιμο στους αρχέγονους λαμπτήρες. Έπειτα, για πρώτη φορά εμφανίστηκε σαν πηγή φωτός το κερί.

Επίσης συχνά προσέθεταν φυτίλι για την παράταση της καύσης της φλόγας και για τη σωστή εστίασή της. Οι λάμπες πετρελαίου ήταν η πιο διαδεδομένη μέθοδος φωτισμού μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα. Καθώς έκαναν την εμφάνιση τους οι πρώτες λάμπες πετρελαίου, αντιμετώπισαν προβλήματα με τροφοδοσίες πετρελαίου και τη συντήρηση του φυτιλιού, αλλά η ανακάλυψη, το 1830, λαμπτήρων από παραφίνη (ένα καύσιμο που αποστάζεται από τα ορυκτά έλαια) βρήκε χρήση με ένα χαμηλού ιξώδους μέσο που παρέχει το φυτίλι μονωμένα με τριχοειδή δράση. Η διάταξη αυτή αντικατέστησε όλες τις προηγούμενες μορφές που πέρασαν από λαμπτήρες πετρελαίου.

Μέχρι τα τέλη του 18^{ου} αιώνα, ελάχιστες ήταν ρηξικέλευθες αλλαγές στις λάμπες πετρελαίου από τους ρωμαϊκούς χρόνους. Σχεδόν όλες οι λάμπες πετρελαίου είχαν αδύναμη απόδοση φωτός και παρήγαγαν άφθονες ποσότητες καπνού και δυσάρεστες οσμές. Στη συνέχεια, στα μέσα της δεκαετίας του 1780, ήρθε μια πολύ αναμενόμενη επανάσταση. Ο Ami Argand, ένας επιστήμονας από τη Γενεύη, σε συνεργασία με τον συνάδελφό του Quinquet (Γάλλος χημικός), ανέπτυξε την αρχή, χρησιμοποιώντας μια λάμπα πετρελαίου με ένα κοίλο κυκλικό φυτίλι, το οποίο περιβάλλεται από ένα καπνοδόχο ποτήρι(Paton1978). Η αύξηση του φωτός ήταν δραματική. Ο αέρας που κυκλοφορούσε γύρω και μέσα στη φλόγα έκανε σχεδόν πλήρη καύση σε συνδυασμό με τη φωτεινή και σχεδόν χωρίς καπνό φλόγα. Ο δημόσιος φωτισμός στους δρόμους εξελίχθηκε ως αποτέλεσμα της μετατροπής των φώτων που στήθηκε από τα μέλη του καταναλωτικού κοινού που γιόρταζαν την εκκλησία και άλλα φεστιβάλ κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα. Οι πρώιμες μορφές του φωτισμού των δρόμων ήταν η βασική ιδέα και επίσης κρίθηκε

αναγκαίο για την ανώτερη τάξη και τους εύπορους να έχουν ατομικό συμπληρωματικό φωτισμό, με τη μορφή υπαλλήλων που μετέφεραν πυρσούς μπροστά τους.

Το φυσικό αέριο ήρθε στο προσκήνιο ως ένα υποπροϊόν του οπτάνθρακα, το οποίο είχε όλο και μεγαλύτερη ζήτηση στη βιομηχανία σιδήρου. Αρχικά αναφέρεται ως αέριο του άνθρακα.

Το 1792 ο Murdoch άναψε τα φώτα στο σπίτι του με τη χρήση φυσικού αερίου και από το 1798 είχε φωτίσει ολόκληρο το εργοστάσιό του με την ίδια μέθοδο (Gledhill 1987). Πολλοί θεωρούν τον Murdoch ως τον ιδρυτή της βιομηχανίας φωτισμού με αέριο. Η αρχή του καυστήρα Argand είχε καθιερωθεί στη βιομηχανία φωτισμού με πετρέλαιο, αλλά το 1809 ο Samuel Clegg το προσάρμοσε για τη χρήση με φυσικό αέριο (Gledhill 1987). Ωστόσο, η απουσία των μεθόδων καθαρισμού του αερίου και το αδύναμο φως εξόδου που εκπέμπουν οι λαμπτήρες αερίου καθυστέρησε την δημοτικότητα του φωτισμού με αέριο μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα.

Οι λαμπτήρες Argand ήταν αναμφίβολα μια τεράστια βελτίωση σε σχέση με προηγούμενες μορφές φωτός, αλλά λόγω της υψηλής φωτεινής εξόδου τους (σε σύγκριση με τις προηγούμενες πηγές) δεν ήταν καθολικά αποδεκτά. Οι πρώτες λάμπες και τα κεριά έπρεπε να φωτίζονται είτε από μια φωτιά με πυρόλιθο, χάλυβα ή ξύλο βουτηγμένα σε θείο ή εναλλακτικά από μια άλλη φλόγα. Το 1780 ο φώσφορος χρησιμοποιήθηκε για τους πρώτους συνδυασμούς εύφλεκτων υλικών. Οι πειραματιστές μελέτησαν τα οφέλη της δημιουργίας καλύτερου φωτισμού χρησιμοποιώντας έμμεσα καύσιμα. Στη δεκαετία του 1880 ο Count von Auer Welsbach εισήγαγε την πυράκτωση, σύμφωνα με την οποία η καύση του καυσίμου θερμαίνει ένα μεταξωτό ή βαμβακερό ύφασμα εμποτισμένο με ένα συνδυασμό θόριου και δημήτριου, το οποίο στη συνέχεια έλαμψε έντονα.

Καθώς ο χρόνος πέρασε, και ανακαλύφθηκαν νέες πηγές ενέργειας, εφευρέθηκαν και νέα είδη λαμπτήρων. Τον 19ο αιώνα, οι λάμπες κηροζίνης εισήχθησαν στη Γερμανία. Ήταν ένα δοχείο με κηροζίνη μέσα στο οποίο το φυτίλι που τοποθετήθηκε καιγότανε.

Τις τελευταίες δεκαετίες του 18ου αιώνα, πραγματοποιήθηκε η πρώτη εμπορική χρήση του φωταερίου για το φωτισμό του σπιτιού. Η χρήση του φωταερίου καθιερώθηκε καταναλωτικά μέσω των σωληνώσεων και οδήγησε στους λαμπτήρες. Στις αρχές του 19ου αιώνα, οι δρόμοι στις περισσότερες από τις πόλεις στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες είναι φωτισμένοι με τη χρήση φυσικού αερίου.

Στη συνέχεια, εμφανίστηκε μία από τις μεγαλύτερες εφευρέσεις της ανθρώπινης ιστορίας – η ηλεκτρική ενέργεια και οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες. Το 1801 ο Sir Humphrey Davy εφηύρε τον πρώτο ηλεκτρικό λαμπτήρα τόξου άνθρακα συνδέοντας δύο καλώδια στην μπαταρία επισυνάπτοντας μια λωρίδα κάρβουνο στο άλλο άκρο των καλωδίων.

Ο Sir Humphrey Davy απέδειξε στο Λονδίνο, το 1810, ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παροχή τεχνητού φωτός (φωτισμός Service Bureau 1949). Χρησιμοποίησε πολλές μπαταρίες για να αποδείξει την αρχή της λυχνίας τόξου όπου το φως παράγεται από ένα ηλεκτρικό τόξο που διέρχεται μεταξύ δύο ράβδων του άνθρακα, που είναι σχεδόν σε επαφή, όταν εφαρμόζεται μία υψηλή τάση σε αυτές.

Η πρώτη μόνιμη εγκατάσταση φωτισμού τόξου ολοκληρώθηκε στο Dungeness Lighthouse το 1862. Στις 14 Οκτώβρη 1878, οι λαμπτήρες τόξου χρησιμοποιήθηκαν για να φωτίσουν ένα γήπεδο ποδοσφαίρου στο Σέφιλντ.

Η εισαγωγή του πρώτου πρακτικού ηλεκτρικού λαμπτήρα δεν ήταν πολύ μακριά και στις 5 Φεβρουαρίου 1879, ο Swan παρουσίασε το λαμπτήρα με νήμα πυράκτωσης από άνθρακα σε ένα ακροατήριο περίπου 700 ατόμων στη Λογοτεχνική και Φιλοσοφική Εταιρεία του Newcastle upon Tyne.

Η αρχή πίσω από την καινοτομία Swan ήταν το να θερμαίνεται ένα νήμα μέχρι να φτάσει στη πυράκτωση, ενώ ταυτόχρονα ο αέρας να αντλείται μακριά από το περίβλημα του λαμπτήρα. Τα οφέλη αυτής της διαδικασίας ήταν ότι οι ξέχωροι θύλακες αέρα του νήματος, οι οποίοι είχαν προηγουμένως προκαλέσει μαύρισμα του λαμπτήρα, να απομονώνονται. Την ίδια περίπου ώρα ο Thomas Alvar Edison, που δραστηριοποιούνταν στις ΗΠΑ, είχε παρουσιάσει τη δική του εκδοχή για τον λαμπτήρα πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως του Swan κατασκευάστηκαν από μεταξωτή κλωστή, ενώ οι λαμπτήρες του Edison από βαμβακερό νήμα.

Ο Edison επινόησε τη μέθοδο σύνδεσης των λαμπτήρων στα ντουί χρησιμοποιώντας βιδωτή σύνδεση το οποίο αναφέρεται ακόμα και σήμερα ως βίδα Edison (ES). Κατά την περίοδο της αναγέννησης, για την παραγωγή τεχνητού φωτός χρησιμοποιούνταν λάμπες πετρελαίου και κεριά.

Ακόμα μια πρωτόγονη χρήση, χρειάστηκε και αυτή τελειοποίηση, έτσι κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1870, τόσο ο Τόμας Έντισον και ο Sir Joseph Swann εφήρυν τον ηλεκτρικό λαμπτήρα πυρακτώσεως (ο Edison με τη βελτίωση του 50χρονου διπλώματος ευρεσιτεχνίας). Αυτός λειτουργεί όταν ένα ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσω ενός νήματος, το οποίο θερμαίνεται και παράγει το φως. Αυτοί οι λαμπτήρες διήρκησαν λίγο γιατί ήταν αναποτελεσματικοί και εύθραυστοι, αλλά ήταν ένα τεράστιο άλμα προς τα εμπρός και μια καλή βάση για αυτό που ήρθε μετά.

Το 1898 ο Karl Aeur, ένας Γερμανός επιστήμονας, πρότεινε το νήμα από όσμιο για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και το 1903 η Siemens και Halske εισήγαγε τα νήματα από ταντάλιο.

Έπειτα ακολούθησε εκτεταμένη έρευνα για τα υλικά που θα χρησιμοποιούνταν για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως και το 1909 ανακαλύφθηκε ότι το βολφράμιο ήταν όλκιμο, δηλαδή μπορεί να έλκεται μέσω ειδικών μητρών, προκειμένου να παράγει ένα πολύ λεπτό σύρμα. Τα βασικά στοιχεία αυτής της διαδικασίας εξακολουθούν μέχρι και σήμερα να χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας βελτιώθηκε το 1920 όταν ένα νήμα του άνθρακα που χρησιμοποιήθηκε μέχρι τότε αντικαταστάθηκε με βολφράμιο και ο χώρος εντός του λαμπτήρα γέμιζε με ένα αέριο, το οποίο μείωσε την εξάτμιση του βολφραμίου με αποτέλεσμα να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

Οι λαμπτήρες πυράκτωσης βολφραμίου εμφανίζουν σημάδια φθοράς, με τη μορφή εξάτμισης του υλικού του νήματος που προσκολλάται στο εσωτερικό του περιβλήματος του

λαμπτήρα. Αυτό το υλικό που εξατμίζεται, χάνεται και τελικά συμβάλει στο τέλος του λαμπτήρα. Το 1925 εισήχθη ο λαμπτήρας ψυχρού φωτός ο οποίος μείωσε την φωτεινότητα της λάμπας.

Στο τέλος του 19ου αιώνα, ο φωτισμός των οχημάτων τυπικά βασιζόταν σε λαμπτήρες ακετυλενίου όπου το ακετυλενίου παρήχθη με προσθήκη νερού σε καρβίδιο του ασβεστίου.

2.3. Ηλεκτρικοί λαμπτήρες φωτισμού

2.3.1. Παραγωγή φωτός

Το φως μπορεί να παραχθεί μέσω ηλεκτρικής ενέργειας με τρεις κύριους τρόπους:

1. Πυράκτωση ή θερμοφωτεινότητα είναι η παραγωγή φωτός από τη θερμότητα. Το φως από μία λυχνία πυράκτωσης παράγεται με αυτόν τον τρόπο. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία του νήματος έως ότου να είναι πυρακτώσεως.

2. Ηλεκτρική εκκένωση είναι η παραγωγή φωτός από τη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ενός αερίου ή ατμού. Σε λαμπτήρες που χρησιμοποιούν την αρχή αυτή, τα άτομα του αερίου αναταράσσονται ή διεγείρονται από τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και αυτή η ατομική διέγερση παράγει φως και μερικές φορές UV και IR.

3. Φωσφορισμός και φθορισμός είναι οι διεργασίες μετατροπής αόρατης ενέργειας UV που εκπέμπεται κανονικά από μία ηλεκτρική εκκένωση σε ορατό φως. Το υλικό φωσφόρου ωθεί την υπεριώδη ενέργεια να κάνει δυνατή αυτή τη μετάβαση σε ορατό φως.

2.3.2. Λαμπτήρες πυρακτώσεως

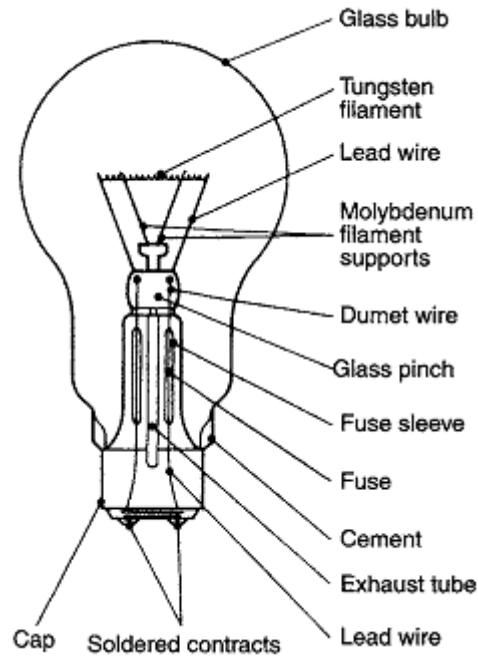
Οι ακόλουθες συντμήσεις χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν αυτές τις λάμπες:

- GLS - Γενικός τρόπος φωτισμού.
- TH - Βολφραμίου-αλογόνου.
- PAR - Ακολουθούμενη από λάμπα με διάμετρο σε όγδοα της ίντσας. (Πιεσμένοι λαμπτήρες πυράκτωσης με εσωτερική επίστρωση ανακλαστήρα.)
- R - Ακολουθούμενη από λάμπα με διάμετρο σε χιλιοστά (λαμπτήρες πυρακτώσεως φυσητού γυαλιού).

Λάμπα GLS

Ένας νημάτινος λαμπτήρας (πυρακτώσεως) συγκρατείται από στηρίγματα μολύβδου πυράκτωσης και συνδέεται με καλώδια τροφοδοσίας. Ένα ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται διαμέσου του νήματος αυξάνει τη θερμοκρασία του νήματος έτσι ώστε να καθίσταται πυρακτώσεως και να εκπέμπει φως και θερμότητα. Το εξωτερικό γυαλί του

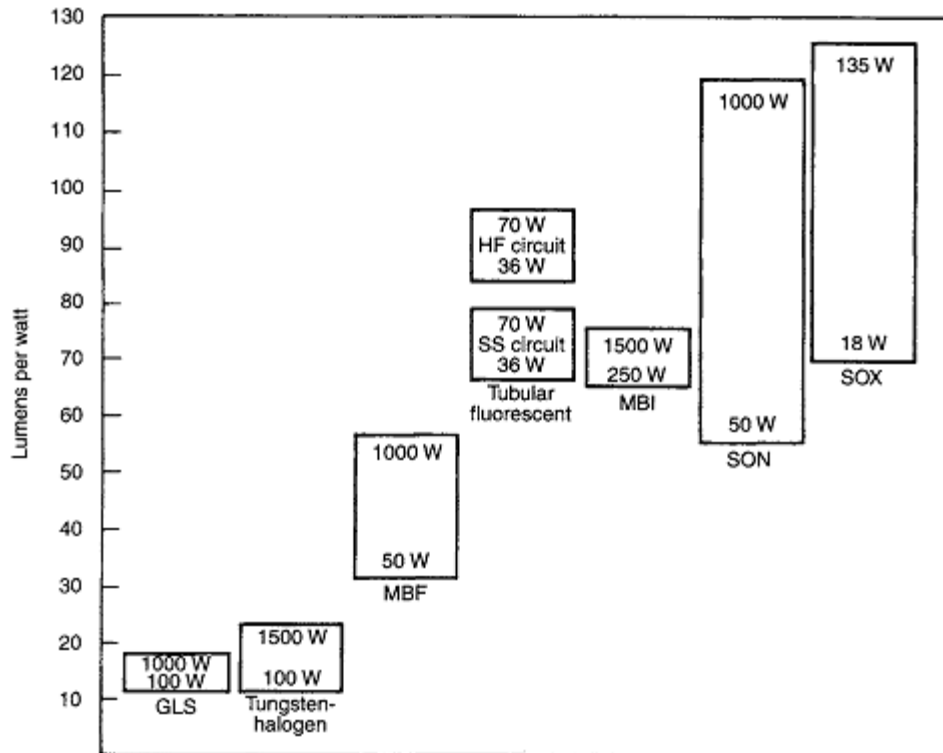
λαμπτήρα είναι συνήθως γεμάτο με ποσότητες αργού και αζώτου για να αναστέλλουν την εξάτμιση του βολφραμίου κατά μήκος του νήματος. Η λάμπα μπορεί να είναι εξωτερικά ή εσωτερικά χαραγμένη για να δώσει ένα φινιρίσμα, με αποτέλεσμα να διαχέεται το φως. Ο λαμπτήρας διαθέτει ένα κατάλληλο κάλυμμα ανάλογο με το μέγεθος και την ισχύ του.



Εικόνα 2.9 Λάμπα GLS

Οι χρήσεις τους είναι εγχώριες, εμπορικές και βιομηχανικές. Είναι το πιο γνωστό είδος πηγής φωτός, με πολλά πλεονεκτήματα (για παράδειγμα, χαμηλό αρχικό κόστος, άμεσο φως όταν ενεργοποιηθεί, καλή χρωματική απόδοση). Για τους λόγους αυτούς, υπάρχουν πολλές εφαρμογές. Η πολύ χαμηλή αποτελεσματικότητα είναι συχνά ο παράγοντας που αποκλείει την επιλογή των λαμπτήρων GLS.

Μέσος όρος ζωής : 1000 ώρες.



Εικόνα 2.10 Σύγκριση φωτεινής απόδοσης με βάση τα αρχικά lumens και τα συνολικών watt του κυκλώματος

2.3.3. Λαμπτήρες φθορισμού MCF

Οι συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- MCF σωληνοειδείς λαμπτήρες φθορισμού.
- MCFA σωληνοειδείς λαμπτήρες φθορισμού με καλώδιο γείωσης εξωτερικά του σωλήνα.

Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων θερμών καθόδων καθορίζεται από τον ρυθμό της εκπεμπόμενης επικάλυψης στα ηλεκτρόδια. Κάθε φορά που γίνεται η έναυση του λαμπτήρα κάποιες επικαλύψεις διαβρώνονται. Επίσης κατά την διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα συμβαίνει εξάτμιση του εκπεμπόμενου υλικού. Τα ηλεκτρόδια είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε αυτά τα φαινόμενα να είναι ελάχιστα. Το τέλος της διάρκειας της ζωής του λαμπτήρα συμβαίνει όταν είτε η επικάλυψη έχει απομακρυνθεί εξολοκλήρου από το ένα τουλάχιστον ηλεκτρόδιο είτε η απομένουσα επικάλυψη δεν εκπέμπει περαιτέρω. Επειδή κάποια ποσότητα του εκπεμπόμενου υλικού χάνεται από τα ηλεκτρόδια σε κάθε έναυση, η συχνότητα των εναύσεων επηρεάζει την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Η ονομαστική μέση διάρκεια ζωής των λαμπτήρων φθορισμού καθορίζεται σε συχνότητα εναύσεων κάθε τρεις ώρες.

Περιορισμένο εύρος, κυρίως για ψυχρά περιβάλλοντα.

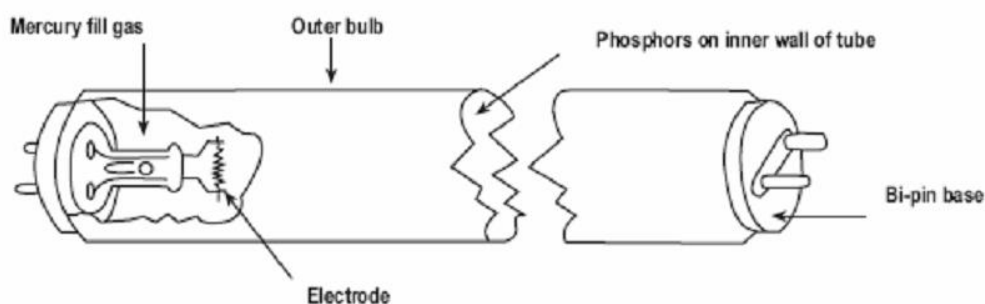
T12 - 38 χιλιοστά (1 1/2ίντσα) ονομαστική διάμετρος.

T8 - 26 χιλιοστά (1 ίντσα) ονομαστική διάμετρος.

T5 - 15mm (5/8ίντσας)ονομαστική διάμετρος.

Οι λαμπτήρες φθορισμού ανήκουν στην κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης χαμηλής πίεσης, μέσα στις οποίες το ορατό φως παράγεται κυρίως από επικαλύψεις φωσφόρου ενεργοποιούμενες από την προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία.

Μια χαμηλής πίεσης εκκένωση υδραργύρου δραστηριοποιείται σε ένα λεπτό τοίχωμα γυάλινου σωλήνα που είναι εσωτερικά επικαλυμμένος σε όλο το μήκος του από ένα επίχρισμα φωσφόρου. Αυτό εκπέμπει φως από την υπεριώδη ενέργεια που παράγεται από την απαλλαγή που επιτυγχάνει. Ένα ευρύ φάσμα σχημάτων και μεγεθών έχουν ισχύ από 4 έως 125 watts (W). Ο φώσφορος καθορίζει το χρώμα του φωτός που παράγεται και τις ιδιότητες χρωματικής απόδοσης του λαμπτήρα (Σχήμα 10.4). Η πλειοψηφία του φωτισμού γραφείων παρέχεται από λαμπτήρες φθορισμού και στις βιομηχανίες, είναι η καλύτερη επιλογή για νέες εγκαταστάσεις, παρά το φάσμα των λαμπτήρων εκκένωσης υψηλής πίεσης. Τα ηλεκτρονικά πηνία υψηλής συχνότητας αυξάνουν την αποτελεσματικότητά τους και δίνουν έναν πιο άνετο φωτισμό από την απουσία του τρεμοπαίγματος. Συνιστώνται οι τριφωσφορίζουσες ενώσεις που συνδυάζουν την υψηλή απόδοση φωτός με καλή απόδοση χρωμάτων. Πολλά άλλα λευκά φωτιστικά δημιουργήθηκαν καθώς και χρωματιστά για ειδικές εφαρμογές. Ο συνδυασμός των φωσφόρων γίνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη διέγερση από υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος 253.7 nm, το οποίο αποτελεί το βασικό μήκος κύματος που παράγεται από εκκένωση υδραργύρου χαμηλής πίεσης. Η πίεση του υδραργύρου διατηρείται στην τιμή των 1.07 Pa η οποία είναι η πίεση εξάτμισης του υγρού υδραργύρου στους 40 °C. Επιπρόσθετα στο σωλήνα υπάρχει ένα μείγμα ευγενών αερίων χαμηλής πίεσης (100-400 Pa) για την διευκόλυνση της εκκένωσης. Εκπέμπεται ορατή και υπεριώδης ακτινοβολία με μέγιστες τιμές στα 254, 313, 365, 405, 436, 546 και 578 nm.



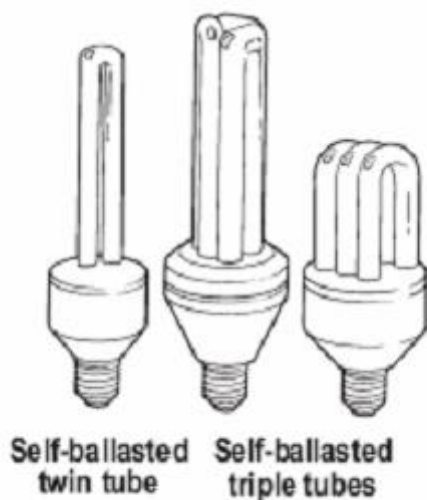
Εικόνα 2.11 Λαμπτήρας φθορισμού

2.3.4. Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

Οι λαμπτήρες αυτοί εμφανίστηκαν στην δεκαετία του 1980 και αποτελούν ένα νέο τύπο λαμπτήρα. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού εξοικονομούν πολλή ενέργεια και δίνουν μια πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους συμβατικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως. Η κατανάλωση ενέργειας είναι περίπου 25 τοις εκατό ενός ισοδύναμου λαμπτήρα GLS και η μέση διάρκεια ζωής του λαμπτήρα είναι πέντε έως δέκα φορές περισσότερο, μειώνοντας το κόστος συντήρησης. Ο λαμπτήρας λειτουργεί σε ψυχρότερη κατάσταση και δίνει στο φως καλές ιδιότητες χρωματικής απόδοσης με τη χρήση τριφωσφορικών. Επίσης, είναι μια συμπαγής εναλλακτική λύση στις συμβατικές λυχνίες φθορισμού.

Εφαρμογή:

Ένα ευρύ φάσμα εσωτερικών και εξωτερικών φωτιστικών γίνονται για εμπορικές χρήσεις, χρήσεις αναψυχής, πολιτιστικές, οικιακές και άλλες. Όσον αφορά την απόδοση του φωτός η Thorn 2D 16 W είναι συγκρίσιμη με μια λάμπα GLS 75 W. Δεδομένου ότι οι λαμπτήρες αυτού του τύπου δουλεύουν χωρίς να θερμαίνονται, μπορούν να σχεδιαστούν μικρά φωτιστικά με μεγάλη ποικιλία υλικών. Αποτελούνται από σωλήνα λυγισμένο σε σχήμα U, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



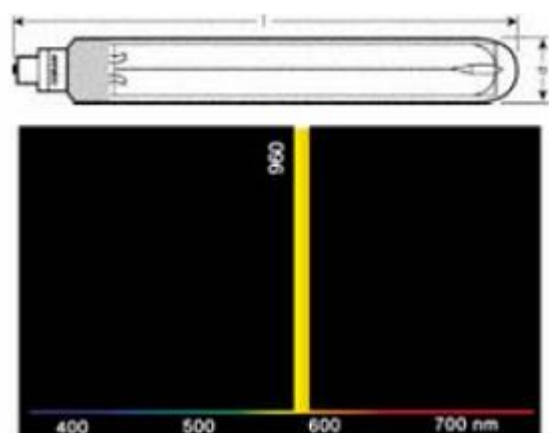
Εικόνα 2.12 Συμπαγής λαμπτήρας φωτισμού

Πλεονεκτήματα των λαμπτήρων φθορισμού είναι η απόδοσή τους (40-80 Lm/W), η ανάπτυξη μικρών θερμοκρασιών, η απόδοση φυσικού φωτός και η μικρή απαίτηση για συντήρηση. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 10,000 ώρες.

Οι μεγάλες εταιρείες φωτισμού τώρα εμπορεύονται λαμπτήρες πιο ισχυρού γραμμικού συμπαγή φθορισμού. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για φωτιστικά σώματα οροφής 600 • 600 mm.

2.3.5. Λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης

Στους λαμπτήρες εκκένωσης νατρίου χαμηλής πίεσης, το τόξο διέρχεται μέσω του αεροποιημένου νατρίου. Το φως που παράγεται από το τόξο χαμηλής πίεσης νατρίου είναι σχεδόν μονοχρωματικό σε μήκη κύματος 589.0 nm και 589.6 nm, κοντά στο κέντρο του ορατού φάσματος. Το αέριο έναυσης είναι το νέον με χαμηλές προσθήκες αργού, ξένου ή ήλιου. Για να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση στην μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε φωτεινή ισχύ μέσω εκκένωσης τόξου, η πίεση του νατρίου θα πρέπει να είναι 0.7 Pa, που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία του τοιχώματος του σωλήνα τόξου περίπου 260 °C, ενώ οποιαδήποτε σημαντική απόκλιση από την πίεση αυτή θα έχει αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης. Για τον λόγο αυτό ο σωλήνας τόξου είναι τοποθετημένος μέσα σε ένα περίβλημα κενού.



Εικόνα 2.13 Λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης και το διάγραμμα φασματικής κατανομής του

Οι συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- SOX απλής απόληξης, σωλήνες σχήματος U
- SLI διπλής απόληξης, γραμμικός σωλήνας

SOX

Η εκκένωση νατρίου χαμηλής πίεσης λειτουργεί σε ένα σχήμα U, είναι σωλήνας που περικλείεται σε έναν σωληνοειδές εξωτερικό λαμπτήρα το οποίο έχει μία ανακλαστική επίστρωση IR για να παρέχει θερμική μόνωση. Η εκκένωση έχει ένα χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα, και επιτυγχάνει υψηλή αποτελεσματικότητα περίπου 160 lm / W για την υψηλότερη ισχύ. Λόγω της μονοχρωματικής φύσης του φωτός εξόδου, η συσχετιζόμενη θερμοκρασία χρώματος και τα στοιχεία του δείκτη χρωματικής απόδοσης δεν εφαρμόζονται.

SOX-E

Η κατασκευή των λαμπτήρων SOX-E είναι παρόμοια με τους κανονικούς SOX εκτός από το ότι, με τη βελτίωση της θερμομόνωσης, μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες αποδοτικότητες. Με τη λειτουργία λαμπτήρων σε χαμηλότερη ισχύ, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας μόνο με μια μικρή μείωση στην απόδοση του φωτός. (Το επίθημα E υποδηλώνει οικονομία.)

Εφαρμογή:

SOX και SOX-E Τα αποτελέσματα υψηλής αποδοτικότητας ενέργειας - χαμηλού κόστους, φάνηκε ιδιαίτερα χρήσιμο ειδικά όταν εμπλέκονται πολλές ώρες λειτουργίας. Η κύρια χρήση τους, είναι για τους δρόμους, το φωτισμό ασφαλείας, τις υπόγειες διαβάσεις και τα μονοπάτια, όπου η κακή απόδοση χρωμάτων δεν είναι τόσο σημαντική. Ο χρόνος που χρειάζεται ο λαμπτήρας για να φθάσει σε πλήρη φωτεινότητα όταν ανάψει ο διακόπτης on (ο χρόνος που τρέχει) είναι περίπου 10 λεπτά. Σε ορισμένες εφαρμογές, οι λαμπτήρες SON μπορεί να θεωρηθούν ως μια εναλλακτική λύση.

Κύκλωμα λειτουργίας:

Το προστατευτικό πηνίο χρησιμοποιεί αντίδραση διαρροής του μετασχηματιστή ή ηλεκτρονική ανάφλεξη πηνίου. Διόρθωση συντελεστή ισχύος με πυκνωτή χρειάζεται και στις δύο περιπτώσεις.

2.3.6. Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης

Αρχή λειτουργίας: Το φως παράγεται από την δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ατμού νατρίου. Κατασκευάζονται από δύο σωλήνες, ο εσωτερικός όπου παράγεται το τόξο είναι από πολυκρυσταλλική αλουμίνα, ανθεκτική στην προσβολή από νάτριο σε υψηλές θερμοκρασίες με υψηλό σημείο τήξης. Περιέχει ξένο για την έναυση και μικρή ποσότητα υδραργύρου-νατρίου το οποίο μερικώς εξατμίζεται όταν ο λαμπτήρας φτάσει την θερμοκρασία λειτουργίας. Ο εξωτερικός σωλήνας είναι κενός και χρησιμεύει για να εμποδίσει χημική προσβολή από τα μεταλλικά τμήματα του τόξου του σωλήνα καθώς και να διατηρεί την θερμοκρασία.

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλο το ορατό φάσμα, κυρίως όμως μεταξύ 550 και 650 nm, σε αντίθεση με αυτούς της χαμηλής πίεσης που εκπέμπουν κυρίως στα 589 nm. Αυξάνοντας την πίεση του νατρίου, πρακτικά αυξάνεται το ποσοστό της ακτινοβολίας σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Όμως η διάρκεια ζωής και η απόδοση μειώνονται.

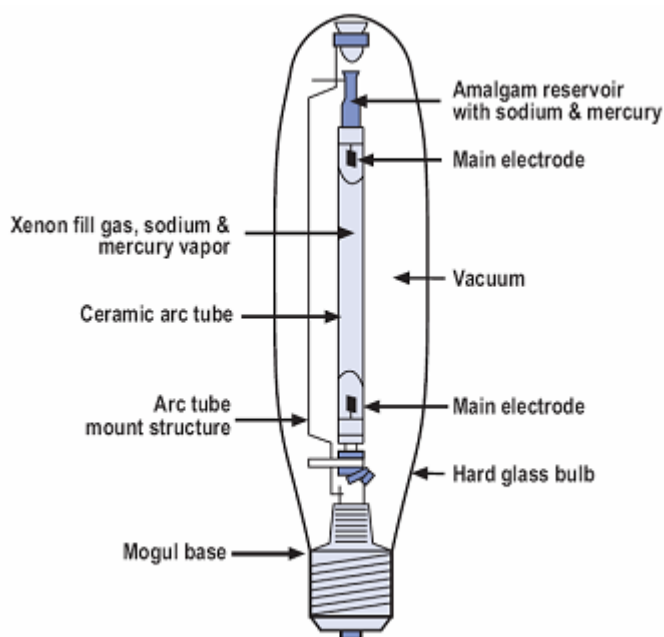
Καθώς οι λαμπτήρες νατρίου δεν περιλαμβάνουν ηλεκτρόδιο έναυσης παρέχεται παλμός υψηλής τάσης και συχνότητας για τον ιονισμό του ξένου. Αφού γίνει η έναυση, ο λαμπτήρας θερμαίνεται μέχρι να φτάσει την πλήρη φωτεινότητα σε περίπου 10 λεπτά, κατά την διάρκεια των οποίων το χρώμα μεταβάλλεται.

Επειδή η πίεση λειτουργίας των λαμπτήρων είναι χαμηλότερη από αυτή των λαμπτήρων υδραργύρου, ο χρόνος επανέναυσης είναι μικρότερος. Η επανέναυση θα γίνει σε λιγότερο από 1 λεπτό και η προθέρμανσή του σε 3 με 4 λεπτά.

Οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης χρησιμοποιούν παρόμοια ηλεκτρόδια με αυτά των λαμπτήρων υδραργύρου. Το γεγονός αυτό συνδυαζόμενο με την μικρότερη διάμετρο του σωλήνα του τόξου δίνει στους λαμπτήρες αυτούς εξαιρετική διατήρηση της φωτεινής ροής.

Οι συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- SON
- SON-E διάχυση ελλειψοειδούς εξωτερικής λυχνίας, μονής απόληξης
- SON-T εξωτερικός σωληνωτός λαμπτήρας μονής απόληξης
- SON-TD εξωτερικός σωληνωτός λαμπτήρας διπλής απόληξης
- SON-RSON με εσωτερικό ανακλαστήρα
- SONDL-ESON με βελτιωμένη απόδοση χρωμάτων
- SONDL-TSON με αυξημένη απόδοση χρωμάτων



Εικόνα 2.14 Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης

2.3.7. Γραμμικοί λαμπτήρες βολφραμίου-αλογόνου

Η πυράκτωση βολφραμίου γίνεται μεταξύ των φύλλων μόλυβδου που συνδέονται με τις επαφές σε κεραμικά καλύμματα σε κάθε άκρο του λεπτού σωλήνα με χαλαζία στο εσωτερικό του. Η πλήρωση αερίου στο εσωτερικό του σωλήνα περιλαμβάνει αλογόνο, το οποίο αναγεννά την απώλεια βολφραμίου από τη πυράκτωση. Λειτουργεί σε υψηλότερη θερμοκρασία και σε ένα αέριο υψηλότερης πίεσης από τους λαμπτήρες GLS. Η λάμπα παρέχει λευκότερο φως και βελτιωμένη απόδοση. Οι λαμπτήρες τύπου K έχουν το διπλάσιο του μέσου όρου ζωής ενός πρότυπου λαμπτήρα GLS.

Εφαρμογή:

Απεικόνιση, έκθεση, εμπορική, φωτογραφική, φωτισμός αυτοκινήτων, καθώς και ασφάλεια και φωταγωγήση. Είναι κατάλληλοι όπου υπάρχει άμεση απαίτηση φωτισμού ή καλή απόδοση χρωμάτων με εμφάνιση ζεστού χρώματος. Το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι χαμηλό. Οι λαμπτήρες χρησιμοποιούνται επίσης σε φωτισμό της απεικόνισης, επειδή η πηγή είναι συμπαγής και μπορεί να παραχθεί λάμψη. Δεδομένου ότι δεν απαιτούνται εργαλεία ελέγχου, μπορούν να γίνουν μικρά φωτιστικά για τους λαμπτήρες αλογόνου βολφραμίου.

Μέσος όρος ζωής:

4000 ώρες για 100-3000W (τύπου K)

2000 ώρες για 500-2000W (τύπου K)

2.3.8. Λαμπτήρες βολφραμίου-αλογόνου χαμηλής τάσης

Ένας συμπαγής λαμπτήρας βολφραμίου-αλογόνου που λειτουργούν σε χαμηλή τάση (12 V) συνδυάζεται με ακριβείας πολύπλευρο γυάλινο ανακλαστήρα. Λόγω των επιστροφών του, ο ανακλαστήρας επιτρέπει περίπου το 50 τοις εκατό της θερμότητας να διαβιβάζεται προς τα πίσω, ενώ αντανακλά το φως προς τα εμπρός σε μια ελεγχόμενη ακτίνα. Επιλογή από διάφορες γωνίες για τις ακτίνες είναι διαθέσιμη. Η λάμπα παρέχει ένα λευκό φως, βελτιωμένη απόδοση και έλεγχο ακτινοβολίας καθώς και μεγαλύτερη μέση διάρκεια ζωής από τις συμβατικές λάμπες επίδειξης. Ψυχρότερο εσωτερικό, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί το κόστος συντήρησης και λειτουργίας, όταν συγκριθεί με τα συμβατικά φωτάκια σημειακής προβολής τύπου PAR 38 . Πρόσθετα φίλτρα χρώματος επεκτείνουν το πεδίο εφαρμογής που προορίζεται για προβολή.

Εφαρμογή:

Αυτές οι λάμπες είναι κατάλληλες για απεικόνιση, έκθεση, εμπορικό και οικιακό φωτισμό. Ο συμπαγής σχεδιασμός τους επέτρεψε ποικιλία σχεδιασμού σημειακού φωτισμού, κάποια ενσωματώνοντας τον απαραίτητο μετασχηματιστή για να υποβιβάζει την τάση στα 12 V.

Μέσος όρος ζωής: 3.000 ώρες.

Κύκλωμα λειτουργίας: Μετασχηματιστής συρμάτων περιελίξεων ή ηλεκτρονικοί μετασχηματιστές για σύνδεση με παροχή 240V.

2.3.9. Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης (Mercury Vapor Lamps)

Οι συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

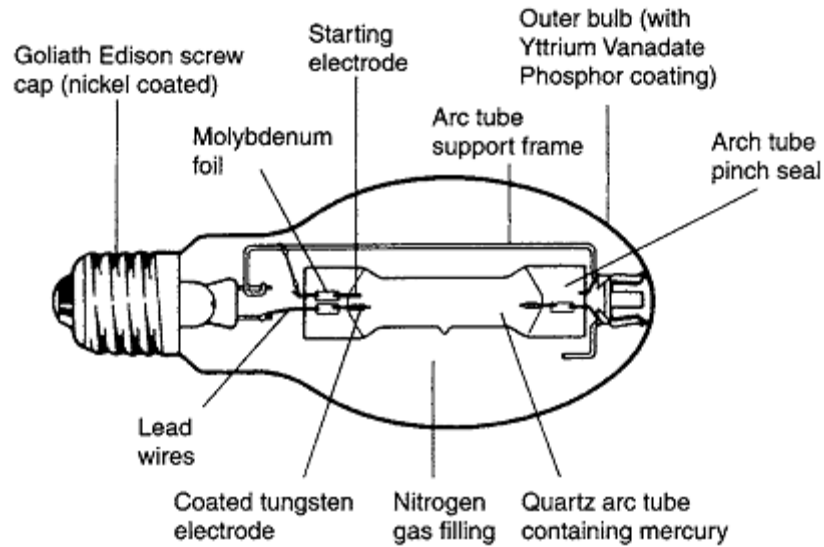
- MBF υδραργύρου υψηλής πίεσης με επικάλυψη φωσφόρου.
- MBFRMBF με εσωτερικό ανακλαστήρα.
- MBTF Συνδυασμός MBF λαμπτήρα και λαμπτήρα πυρακτώσεως.

Αρχή λειτουργίας:

Το φως παράγεται από την δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ατμών υδραργύρου, ενώ η έναυση διευκολύνεται από την ύπαρξη αερίου αργού σε ιονισμένη μορφή. Το αρχικό τόξο δημιουργείται από τον ιονισμό του αργού, ενώ η παραγόμενη από αυτό θερμότητα προκαλεί την εξάτμιση του υδραργύρου, και αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου να εξατμιστεί όλη η ποσότητα υδραργύρου. Η ποσότητα του υδραργύρου εντός του λαμπτήρα θα καθορίσει ουσιαστικά την τελική πίεση λειτουργίας, η οποία κυμαίνεται από 200 έως 400 kPa, στην πλειοψηφία των λαμπτήρων.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου έχουν γενικά μεγάλη μέση διάρκεια ζωής. Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως τύπου οξειδίου μετάλλου, στα οποία το υλικό εκπομπής, αποτελούμενο από αρκετά οξείδια μετάλλων, είναι εμποτισμένο μέσα σε σπειροειδές σύρμα βολφραμίου. Τα ηλεκτρόδια θερμαίνονται στην κατάλληλη θερμοκρασία εκπομπής ηλεκτρονίων από την ενέργεια του τόξου. Κατά την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα αυτό το υλικό εξατμίζεται αργά και διασκορπίζεται στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα του τόξου. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός λευκού κατάλοιπου στην εσωτερική επιφάνεια το οποίο σταδιακά μαυρίζει. Έπειτα φθείρονται τα ηλεκτρόδια και ο λαμπτήρας σταματάει να ανάβει.

Εκτός από τον φωτισμό δρόμων, οι λαμπτήρες υδραργύρου χρησιμοποιούνται και σε βιομηχανικούς χώρους, φωτισμό σταδίων, πλατειών και γενικότερα εξωτερικών χώρων. Ο συγκεκριμένος τύπος λαμπτήρων προτιμάται σε περιπτώσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος.



Εικόνα 2.15 Λαμπτήρας υδραργύρου υψηλής πίεσης

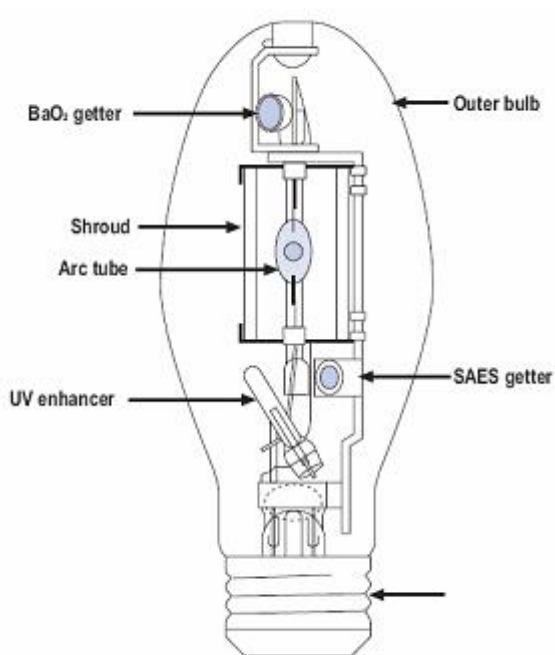
2.3.10 Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

Μοιάζουν πολύ κατασκευαστικά με τους λαμπτήρες υδραργύρου. Η μεγαλύτερη διαφορά είναι ότι ο σωλήνας του τόξου μεταλλικών αλογονιδίων εμπεριέχει διάφορα μεταλλικά αλογονίδια επιπρόσθετα με τον υδράργυρο και το αργό. Όταν ο λαμπτήρας φτάσει την τελική θερμοκρασία λειτουργίας, τα μεταλλικά αλογονίδια στο σωλήνα εξατμίζονται μερικώς. Όταν οι ατμοί των αλογονιδίων πλησιάσουν την υψηλή θερμοκρασία του κεντρικού πυρήνα της εκκένωσης, διασπώνται σε αλογονίδια και μέταλλα, όπου τα τελευταία ακτινοβολούν το φάσμα τους. Καθώς τα άτομα των αλογονιδίων και των μετάλλων κινούνται πλησίον του ψυχρότερου τοιχώματος του σωλήνα, επανενώνονται και ξεκινά ξανά ο κύκλος. Σε σύγκριση με τους λαμπτήρες υδραργύρου, η απόδοση αυτών των λαμπτήρων είναι σημαντικά βελτιωμένη, η οποία κυμαίνεται στα επίπεδα του 75-125 lm/W, χωρίς τις απώλειες του ballast.

Η μέθοδος για την εκκίνηση των περισσότερων λαμπτήρων κάτω των 150W αυτού του τύπου, είναι ίδιος με αυτόν των λαμπτήρων υδραργύρου. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της παρουσίας του αλογονιδίου, απαιτείται υψηλότερο επίπεδο τάσης έναυσης σε σύγκριση με τους λαμπτήρες υδραργύρου. Λόγω των εξαιρετικά μικρών διαστάσεων του σωλήνα τους, οι λαμπτήρες κάτω από 175W δεν χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια έναυσης. Αυτοί οι λαμπτήρες απαιτούν ειδικά κυκλώματα ballasting τα οποία περιλαμβάνουν μια ηλεκτρονική συσκευή που παράγει παλμούς υψηλής τάσης για την έναυση του λαμπτήρα. Συγκεκριμένα μοντέλα λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων, όμως, μπορούν να λειτουργήσουν με ballasts λαμπτήρων υδραργύρου σε ειδικές περιπτώσεις.

Καθώς ο λαμπτήρας θερμαίνεται, θα παρατηρηθούν αλλαγές στον χρωματισμό, οφειλόμενες στην εξάτμιση κάθε φορά των διαφόρων αλογονιδίων, μέχρι να φτάσει το χρώμα και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ισορροπίας μετά από 2-10 λεπτά, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα.

Η μέση διάρκεια ζωής ενός λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων κυμαίνεται από 7,500 έως 20,000 ώρες.



Εικόνα 2.16 Λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων

Οι συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- MBI εκκένωση υψηλής πίεσης με μεταλλικά αλογονίδια.
- MBIL γραμμικό τόξο διπλής απόληξης.
- MBIFMBI με επίστρωση φωσφόρου.
- CSI συμπαγής πηγή εκκένωσης με ιωδιούχα μέταλλα.

Τύπος	Power [W]	Απόδοση [Lm/W]*	Υποβάθμιση **	Μέση διάρκεια ζωής [ώρες]	Χρόνος εκκίνησης [min]	Χρόνος επανεκκίνησης [min]
Νατρίου Υψηλής Πίεσης	35 – 1,000	51 - 130	9 - 10	7,500 – 32,000	3 - 4	0.5 - 1
Ατμών Υδραργύρου	50 – 1,250	24 – 60	11 – 25	12,000 – 24,000	5 – 7	3 – 6
Ατμών Μεταλλικών Αλογονιδίων	20 – 2,000	69 - 115	20 - 23	7,500 – 20,000	2 - 5	10 – 20

* Συμπεριλαμβάνεται ο υπολογισμός της ισχύος ballast (ηλεκτρομαγνητικών).

** Ποσοστό μείωσης της φωτεινής ισχύος στο 40% της διάρκειας ζωής.

Πίνακας 2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων υψηλής έντασης εκκένωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1.Εξέλιξη των LED

Πολύ λίγα είναι γνωστά σχετικά με τον εφευρέτη των LED. Όπως αποδεικνύεται, η ιστορία αφορά ένα νεαρό και εξαιρετικά ταλαντούχο επιστήμονα ο οποίος πέρασε την επαγγελματική ζωή του ως τεχνικός σε αρκετά σοβιετικά εργαστήρια και τελικά πέθανε από την πείνα το 1942 κατά τον αποκλεισμό του Λένινγκραντ, στην ηλικία των 39. Το όνομά του ήταν Oleg Vladimirovich Losev. Ο Losev δεν έλαβε καμία επίσημη εκπαίδευση, αλλά κατά τη διάρκεια της σύντομης ερευνητικής καριέρας του δημοσίευσε 43 εργασίες σε κορυφαία ρωσικά, βρετανικά και Γερμανικά ερευνητικά περιοδικά και χορηγήθηκαν 16 διπλώματα ευρεσιτεχνίας, στα οποία ήταν ο μοναδικός συγγραφέας. Έκανε μια σειρά από σημαντικές ανακαλύψεις στα ηλεκτρονικά στερεάς κατάστασης, συμπεριλαμβανομένου του πρώτου ενισχυτή και γεννήτριας ημιαγωγών στερεάς κατάστασης. Το 1924 το περιοδικό *The Wireless World and Radio Review* έγραψε ότι "ο κος O.Losev της Ρωσίας έχει κάνει σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα παγκόσμια φήμη σε σχέση με τις ανακαλύψεις του". Ωστόσο, η συμβολή Losev στην επιστήμη και στην τεχνολογία έχει πλέον ουσιαστικά ξεχαστεί από την ευρύτερη ερευνητική κοινότητα.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1920, ο Losev παρατήρησε εκπομπή φωτός από οξειδίο του ψευδαργύρου και στους κρυσταλλικούς διόδους ανόρθωσης από καρβίδιο του πυριτίου που χρησιμοποιούνται στους δείκτες των ραδιοφώνων, όταν ένα ρεύμα εισέρχεται μέσω αυτών. Το πρώτο έγγραφο του Losev για την εκπομπή των διόδων καρβιδίου του πυριτίου, με τίτλο «Luminous carborundum [silicon carbide] detector and detection with crystals », δημοσιεύθηκε το 1927 από το περιοδικό *Telegrafiyai Telefoniya Bez Pronodon* (ασύρματη τηλεγραφία και τηλεφωνία) στο Νίζνι Νόβγκοροντ στη Ρωσία. Ακολούθησαν σημαντικές δημοσιεύσεις σε βρετανικές και γερμανικές εφημερίδες σύντομα. Θα αποτελούσε ουσιαστικά την ανακάλυψη αυτών που ξέρουμε τώρα για το LED. Στο πρώτο του βιβλίο σχετικά με τα LED, ο Losev καθιέρωσε το ισχύον κατώτατο όριο για την έναρξη της εκπομπής φωτός από το σημείο επαφής ανάμεσα σε ένα μεταλλικό σύρμα και ένα κρύσταλλο από καρβίδιο του πυριτίου, και κατέγραψε το φάσμα του φωτός. Στα 16 έγγραφα που δημοσιεύθηκαν μεταξύ του 1924 και του 1930 προβλέπεται μια ολοκληρωμένη μελέτη των LED και περιγραφή των εφαρμογών τους. Ο Losev παρουσίασε την «κρύα» (μη-θερμική) μορφή εκπομπής, μετρημένη στο κατώτατο όριό της, αναγνώρισε ότι η εκπομπή LED σχετίζεται με τη δραστικότητα της διόδου και μέτρησε τα χαρακτηριστικά τάσης ρεύματος της συσκευής λεπτομερώς. Επίσης, μελετήθηκε η εξάρτηση της θερμοκρασίας της εκπομπής μέχρι τη θερμοκρασία του υγροποιημένου αέρα (κυρίως ένα μίγμα με βάση το άζωτο των αερίων που χρησιμοποιούνται κατά το χρόνο) και διαμόρφωσε την εκπομπή LED στη συχνότητα των 78,5 kHz με την εφαρμογή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος στην επαφή. Το 1929, ο Losev δημοσίευσε λεπτομερείς μετρήσεις των φασμάτων LED και παρατήρησε καθαρά την εξάρτησή τους από την τρέχουσα.

Ο Losev ήταν ο πρώτος που κατανόησε τις δυνατότητες του LED στις τηλεπικοινωνίες. Στην εισαγωγή του διπλώματος ευρεσιτεχνίας του, με τίτλο «Light Relay», το οποίο κατατέθηκε το 1927 και χορηγήθηκε στις 31 Δεκεμβρίου του 1929, έγραψε: «Η προτεινόμενη εφεύρεση χρησιμοποιεί το γνωστό φαινόμενο της φωταύγειας του ανιχνευτή ανθρακοπυριτίου και αποτελείται από την χρήση ενός τέτοιου ανιχνευτή σε οπτικό ρελέ για τον σκοπό της ταχείας τηλεγραφικής και τηλεφωνικής επικοινωνίας, τη μετάδοση εικόνων και άλλων εφαρμογών όταν ένα ελαφρύ σημείο επαφής φωταύγειας χρησιμοποιείται ως πηγή φωτός συνδέεται απευθείας σε ένα κύκλωμα του διαμορφωμένου ρεύματος».

3.2. Η διαδικασία ανάπτυξης της τεχνολογίας

Η δίοδος εκπομπής φωτός (LED), εμφανίστηκε πρώτη φορά στην αγορά το 1960 και είναι τώρα έτοιμη για να αντικαταστήσει τους περισσότερους ηλεκτρικούς λαμπτήρες με μια υψηλής τεχνολογίας εναλλακτική λύση γνωστή ως φωτισμός στερεάς κατάστασης (SSL). Αν ο SSL επιτυγχάνει λίγο από την αναμενόμενη δυναμική του, θα υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας και χρήματος σε σύγκριση με τους υπάρχοντες λαμπτήρες (πυρακτώσεως και φθορισμού), ώθηση ριζοσπαστικών προσεγγίσεων για το σχεδιασμό φωτισμού και προϊόντων, και ενσωμάτωση με ηλεκτρονικά κυκλώματα για τη διευκόλυνση εκπληκτικών εφαρμογών. Μέχρι το 2013, η αντικατάσταση των λαμπτήρων SSL είναι κοινή σε καταστήματα και έχουν φθάσει σε ένα κόστος αρκετά χαμηλό για να είναι ελκυστικοί για πολλούς καταναλωτές. Οι επιχειρήσεις με προϊόντα SSL κατακλύζουν την βιομηχανία φωτισμού: οι παραγωγοί φωτιστικών LED όπως είναι η Cree κάνουν αντικατάσταση σε λαμπτήρες στερεάς κατάστασης ενώ εταιρείες με νέο επιχειρηματικό ξεκίνημα όπως η Sora και Bridge Lux δημιουργούν νέες συσκευές φωτισμού στερεάς κατάστασης και επιχειρήσεις όπως η Samsung και Sharp με εμπειρία σε συναφείς τεχνολογίες, τώρα ανταγωνίζονται τους παραδοσιακούς κατασκευαστές λαμπτήρων της Philips, Osram-Sylvania και GE στις νεοεκκολληθείσες βιομηχανίες φωτισμού στερεάς κατάστασης.

Η ανάπτυξη των προϊόντων SSL απαιτήσε ένα λαβύρινθο εξέλιξης της τεχνολογίας, με λανθασμένες εκκινήσεις και απροσδόκητες στροφές. Οι πολλές χιλιάδες ερευνητές και οι οργανισμοί που ανέπτυξαν αυτές τις τεχνολογίες πειραματίστηκαν με ελάχιστα κατανοητά υλικά, πρωτοστάτησαν σε μεθόδους κατασκευής, και επανασχεδίασαν συμπληρωματικές τεχνολογίες, όπως επικαλυπτικά, φωσφορίζουσες, ηλεκτρονικούς οδηγούς, νεροχύτες θερμότητας, και λοιπούς εξοπλισμούς για να δημιουργήσουν τις ιδιότητες της εκπομπής φωτός που απαιτείται. Καθώς αυτοί αλληλεπιδράσαν και διαγωνίστηκαν, δημιούργησαν νέες αγορές και χρήστες για τις τεχνολογίες τους, από τις αρχικές κόκκινες ενδείξεις της αριθμομηχανής και οθονών παρακολούθησης, πινακίδες, φλας, φώτα φρένων, φανάρια, αρχιτεκτονικό φωτισμό, και οπίσθιο φωτισμό για κινητές συσκευές και τηλεοράσεις. Χιλιάδες χαρακτηριστικά και χρώματα που αναπτύχθηκαν συνδυάστηκαν για να κάνουν το σημερινό αποτελεσματικό λευκό φως.

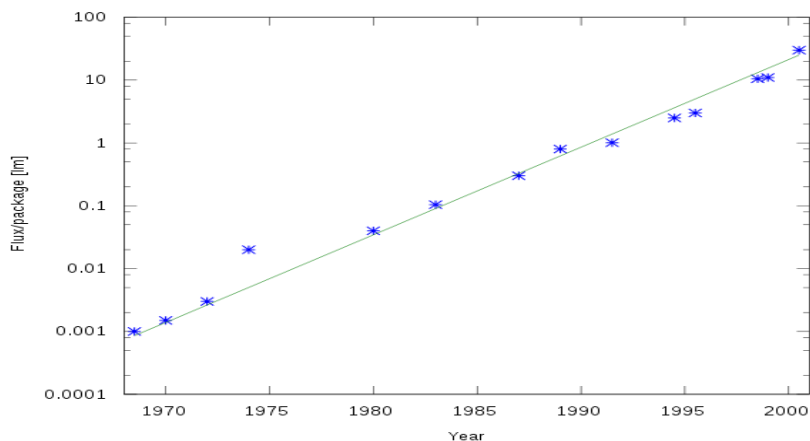
Η ανάπτυξη φωτισμού στερεάς κατάστασης δεν ήταν σε καμία περίπτωση μια διακριτή εκδήλωση, αλλά αυξήθηκε από πολλές γενιές της τεχνολογίας, της καινοτομίας, καθώς και της εξειδίκευσης. Για πρώτη φορά οι ενδεικτικές λυχνίες LED, κάνουν σταθερά

βήματα σε εξειδικευμένες αγορές που παρέχονται κερδοφόρες ευκαιρίες ανόδου για να βοηθήσουν την προώθηση της επιστήμης και της τεχνολογίας LED, που επηρεάζουν όχι μόνο την αποτελεσματικότητα και το κόστος, αλλά και καθιστούν ζωτικής σημασίας τη δημιουργία τεχνικών εκπομπής λευκού φωτός για γενικό φωτισμό. Τα κόστη παρουσίασαν κατακόρυφη πτώση μέσω της συνεχούς βελτίωσης της αντίθετης τεχνολογίας κατασκευής εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων των συσκευών ημιαγωγών μέσα στα LED. Τα σημερινά προϊόντα φωτισμού στερεάς κατάστασης ανοίγουν μια εποχή πειραματισμού προϊόντων και ανταγωνισμού που υπόσχεται νέα χαρακτηριστικά και αρχιτεκτονικές που είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Δεν μπορούν απλά να οδηγήσουν σε διαφορετικά συστήματα καλωδίωσης και φωτιστικών τα στερεάς κατάστασης φωτιστικά, αλλά αυτού του είδους φώτα του μέλλοντος μπορεί να ενσωματώνουν τις δυνατότητες των LED που φαίνονται εντελώς ξένες προς τα υφιστάμενα φωτιστικά σώματα - για παράδειγμα, συσκευές μετάδοσης δεδομένων που επεκτείνουν (και υπερβαίνουν) το εύρος ζώνης των ασύρματων routers- ανίχνευση και εξάλειψη συνθηκών που προκαλούν βλάβες - αυτόματη προσαρμογή του χρώματος, της έντασης και της κατεύθυνσης για τις ανάγκες των χρηστών- και ρύθμιση του κικκάδιου ρυθμού.

Αυτό είναι διπλά ενδιαφέρον γιατί, όπως και οι περισσότερες βιομηχανίες, η νέα βιομηχανία SSL αναπτύσσεται σε ανταγωνισμό με υφιστάμενες τεχνολογίες φωτισμού. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, οι κυρίαρχοι κατασκευαστές λαμπτήρων στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη ήταν οι Philips, Osram Sylvania-, και η GE, Toshiba. Όλες ήταν χαμηλής κερδοφορίας προσφέροντας εμπόρευμα φθηνών λαμπτήρων αυξάνοντας τις προμήθειες από κινέζικα εργοστάσια, αλλά και από άλλες χώρες λιγότερο ανεπτυγμένες. Παρά τις προσπάθειες βελτίωσης, η απόδοση των συμβατικών λαμπτήρων φαίνεται να έχει φθάσει στα θεμελιώδη φυσικά όρια. Σε αντίθεση, έρευνα από το 1970 έως το 2000 οδήγησε το φως των LED προς τα πάνω περίπου 30% ετησίως, με κόστος πτώσης περίπου 20% το χρόνο, γεγονός που υποδηλώνει τη σύγκλιση με τον παραδοσιακό φωτισμό το 2010-2015 (Haitz et al., 1999). Οι κορυφαίες εταιρείες φωτισμού πρόβλεψαν την κίνηση προς την στερεά κατάσταση φωτισμού.

Τα ευρήματα παρέχουν μια επισκόπηση των βασικών διαδικασιών που περιλαμβάνουν την εξέλιξη της τεχνολογίας και των προϊόντων, καθώς δημιουργείται μια νέα βιομηχανία. Αυτό αποδίδει ένα τυποποιημένο πορτρέτο που συμπίπτει με ευρήματα που αναφέρθηκαν από προηγούμενους ερευνητές για άλλες βιομηχανίες. Η τεχνολογία LED πέρασε μια σειρά από αναπτυξιακά στάδια, καθένα από τα οποία ήταν ηγετικά στην ανάπτυξη των προϊόντων που είναι κατάλληλα για συγκεκριμένα τμήματα της αγοράς. Σε πολλές περιπτώσεις, επιχειρήσεις που εισάγουν LED οι οποίες σχετίζονται με εξειδικευμένες αγορές ανέπτυξαν τεχνολογίες και εξειδικευμένα προϊόντα, με τρόπους που βασίστηκαν στην ειδίκευση συναφών βιομηχανιών ώστε τα κέρδη από αυτά τα προϊόντα να ωθήσουν στην περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της τεχνολογίας, ήταν μεγάλοι οι αριθμοί των επιστημόνων, συμπεριλαμβανομένων των βασικών ατόμων που ανέπτυξαν μεγάλα τεχνολογικά επιτεύγματα. Η επιτυχής εμπορική ανάπτυξη και οι δαπάνες εθνικών ερευνών, ενίσχυσαν τη βάση της τεχνολογίας με τρόπους που ώθησαν την επιτυχία της τεχνολογίας και, παρά τις σημαντικές διαφορές των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, οδήγησαν στη σημερινή εμφάνιση του φωτισμού στερεάς κατάστασης.

Παρόλο που δεν έχουν ερευνηθεί σε σχέση με τις περιόδους μετά τη δημιουργία της βιομηχανίας, η ανάπτυξη της τεχνολογίας πριν από μια νέα βιομηχανία έχει μελετηθεί ιδιαίτερα από τους οικονομολόγους της εξέλιξης της βιομηχανίας και των τεχνολογικών αλλαγών και από τους ιστορικούς των επιχειρήσεων και της τεχνολογίας. Ευρήματα των ερευνητών, και συναφών εργασιών σχετικά με τα οικονομικά, την κοινωνιολογία, και τη διαχείριση, παρέχει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε τη διαφορά από το φωτισμό στερεάς κατάστασης σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.



Εικόνα 3.1 Ανάπτυξη της τεχνολογίας

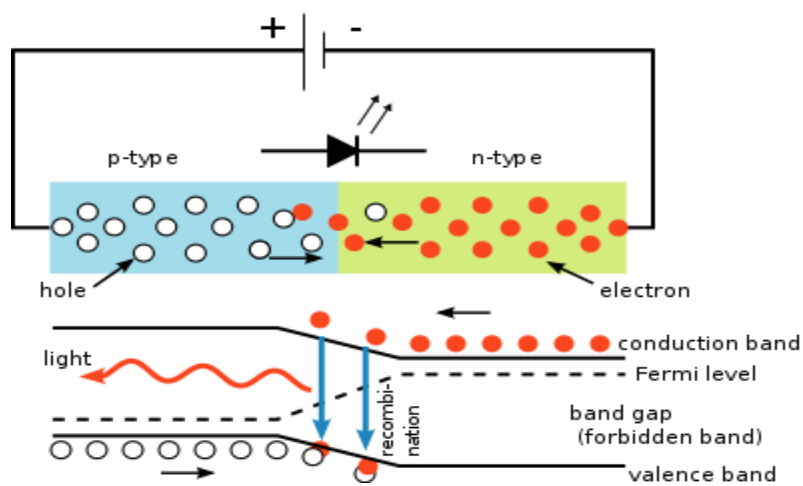
3.3. Η τεχνολογία

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός είναι συσκευές ημιαγωγών που εκπέμπουν φως. Αυτό προέκυψε από ανακαλύψεις και εξερευνήσεις στην επιστήμη των υλικών και της μηχανικής. Οι ερευνητές τους, είχαν αρχικά λίγο περισσότερο περιέργεια σχετικά με τις δυνατότητες για το τι αυτά τα υλικά θα μπορούσαν να γίνουν. Οι ημιαγωγοί είναι κατά το ήμισυ υλικά που άγουν ηλεκτρικό ρεύμα και άλλο τόσο μονώνουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι ημιαγωγοί διαφορετικών τύπων αποτελούνται από άτομα με ξεχωριστές ιδιότητες που καθορίζουν την κρυσταλλική δομή και τις προοπτικές ιδιοτήτων εκπομπής φωτός. Για παράδειγμα, το πυρίτιο και ο άνθρακας εμφανίζονται στην τέταρτη στήλη της δεύτερης και τρίτης σειράς του περιοδικού πίνακα των στοιχείων, πράγμα που συνεπάγεται συγκεκριμένους αριθμούς ηλεκτρονίων σε εκείνα τα άτομα στις εξωτερικές τους τροχιές, έτσι το πυρίτιο ανήκει στην ομάδα IV των ημιαγωγών και το πυρίτιο και το καρβίδιο, τα οποία συνδυάζουν δύο στοιχεία της τέταρτης στήλης, ανήκουν σε μια ομάδα IV ένωσης ημιαγωγών. Η ομάδα IV ημιαγωγών και οι ενώσεις γενικά, δεν είναι σε θέση να παράγουν φως. Ιδιαίτερα σημαντικά για την ανάπτυξη των LEDs έχουν τα στοιχεία της ομάδας III-V ημιαγωγών, υλικά όπως το νιτρίδιο του γαλλίου που συνδυάζει άτομα τρίτης και πέμπτης στήλης του περιοδικού πίνακα των στοιχείων. Η εκπομπή φωτός LED από τα υπεριώδη μέσα από τα ορατά και υπέρυθρα χρώματα μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μείγματα των διαφόρων ομάδων ατόμων III και V.

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ημιαγωγών αλλάζουν ριζικά όταν οι μικροσκοπικές ποσότητες άλλων ατόμων αναμιγνύονται σε αυτά. Όταν ένα στρώμα ημιαγωγού

περιλαμβάνει μερικά άτομα που είναι θετικά με την έννοια ότι έχουν την τάση να συλλάβουν ελεύθερα ηλεκτρόνια, ονομάζονται ημιαγωγοί p-τύπου. Όταν περιλαμβάνει μερικά άτομα τα οποία είναι αρνητικά ως προς το ότι εύκολα εγκαταλείπουν επιπλέον ηλεκτρόνια, ονομάζονται ημιαγωγοί n-τύπου. Η προσθήκη αυτών των ατόμων στους ημιαγωγούς ονομάζεται ντόπινγκ: ο ημιαγωγός είναι νοθευμένος με τα άτομα. Τα πρώτα πειράματα με ημιαγωγούς μέρδεψαν τους επιστήμονες στα Bell Labs με περίεργες και απροσδόκητες συμπεριφορές, που αποδείχθηκε ότι τους οδήγησαν σε γειτονικούς τομείς των ημιαγωγών που είχαν κατά λάθος P- και n-τύπου προσμίξεις αντίστοιχα (Gertner, 2012). 2 στρώματα P- και n-τύπου ημιαγωγών μαζί δημιουργούν μία δίοδο, η οποία επιτρέπει στην ηλεκτρική ενέργεια να ρέει προς μία μόνο κατεύθυνση. Με τα σωστά στοιχεία, η ροή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω διόδων προκαλεί εκπομπή φωτός, στην οποία περίπτωση είναι μία δίοδος εκπομπής φωτός. Οι δίοδοι εκπομπής φωτός μπορούν να κατασκευαστούν σε δίοδους λέιζερ, με την ενσωμάτωση υλών που αντανακλούν το φως στο εσωτερικό ενός τμήματος και έτσι να τονωθεί περαιτέρω η εκπομπή του φωτός. Οι δίοδοι του λέιζερ χρησιμοποιούνται για παράδειγμα σε δείκτες λέιζερ και σε επικοινωνιακές οπτικές ίνες.

Για την κατασκευή διόδων εκπομπής φωτός, χρειάζεται ένα υπόστρωμα επί του οποίου μπορούν να αποτεθούν στρώματα ημιαγωγών p- και n-τύπου. Τα στρώματα ημιαγωγών πρέπει να κατατεθούν από κορυφή έτσι ώστε τα άτομα να παραταχθούν στο υπόστρωμα και το στρώμα ή να ταιριάζουν καλά το ένα με το άλλο: η κακή ευθυγράμμιση μπορεί να προκαλέσει ανομοιομορφία και ατέλειες στην κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού και να προκαλέσει αναστολή των επιθυμητών ηλεκτρονικών και οπτικών ιδιοτήτων. Η κατάταξη των στρωμάτων από κορυφή ονομάζεται επίταξη. Η επίταξη κατά προσέγγιση, είναι μια μαζική κατασκευή που περιβάλλει το υπόστρωμα με ένα θερμό αέριο, γνωστό ως ατμός, του οποίου τα μόρια περιέχουν άτομα που πρόκειται να κατατεθούν σε μια στρώση p- ή N-τύπου. Η προσέγγιση αυτή, ως εκ τούτου ονομάζεται επίταξη αέριας φάσης ή χημική εναπόθεση ατμών. Όταν οι ατμοί περιέχουν ειδικές οργανικές χημικές ουσίες που μεταφέρουν στοιχεία ομάδας III, η διαδικασία αυτή, ονομάζεται χημική εναπόθεση οργανικών μεταλλικών ατμών (MOCVD). Οι πολύπλοκες μηχανές κατασκευής που περιέχουν το υπόστρωμα και ελέγχουν τη ροή του ατμού πάνω από αυτό, ονομάζονται αντιδραστήρες MOCVD.



Εικόνα 3.2 Αρχή λειτουργίας φωτοεκπομπών

3.3.1. Ώθηση της τεχνολογίας και έλξη της αγοράς: εξειδικευμένα εφαλτήρια

Η ανάπτυξη των LED έχει χαρακτηριστεί από την αργή και σταδιακή βελτίωση και τη δημιουργία νέων υλικών με πολλαπλούς συνεισφέροντες επί δεκαετίες και με πολλές διαπιστώσεις άλλων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας δεν ήταν ευθύ μονοπάτι, αλλά περισσότερο σαν λαβύρινθος με πολλά πιασμάτα. Οι ερευνητές έπρεπε να επιλέξουν σε πραγματικό χρόνο, έρευνες, που οι πορείες τους να βασίζονται σε ατελή γνώση και την επιθυμία να προωθήσουν την επιστημονική γνώση και να παράγουν προϊόντα. Πορείες στιγματίστηκαν από πολλές στάσεις και εκκινήσεις, με αρχικά πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που δεν οδήγησαν πουθενά, και τεχνολογίες που αρχικά φάνηκαν αντίξοες οι συνθήκες, αλλά οδήγησαν σε σημαντικές ανακαλύψεις. Μια τέτοια αβέβαιη τεχνολογία ήταν το νιτρίδιο του γαλλίου (GaN), που δεν είχε ερευνηθεί από το 1974 μέχρι να ξεπεραστούν οι δυσκολίες του π-ντόπινγκ την περίοδο 1989-1991. Το νιτρίδιο του γαλλίου GaN αργότερα όχι μόνο οδήγησε σε σημαντικά προϊόντα όπως το μπλε LED και μπλε λέιζερ, αλλά επίσης και το λευκό φως LED. Διαδοχικές τεχνολογίες απέδωσαν μια σειρά από προϊόντα, το πρώτο ήταν κόκκινες και πορτοκαλί λυχνίες LED, μετά τα αδύναμα πράσινα και μπλε LEDs, και, τέλος, το πιο φωτεινό μπλε και το λευκό φως LED, ενώ συνεχίζονται οι εργασίες για την ανάπτυξη αποτελεσματικών πράσινων LEDs.



Εικόνα 3.3 GaN phosphorus white led

3.3.2. Κόκκινες και πορτοκαλί λυχνίες LED

Οι εργασίες για την ανάπτυξη μεγαλύτερου μέρους των ενώσεων των ημιαγωγών III-V ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1950, και τα υλικά αυτά αποδείχθηκε ότι είναι αποδοτικοί εκπομπείς φωτός και έγιναν το πρώτο θεμέλιο για την ανάπτυξη των LED. Ο Heinrich Welker, ένας Γερμανός επιστήμονας των υλικών που έκανε σημαντικές αρχικές συνεισφορές στον τομέα, εργάστηκε σε μια θυγατρική της Westinghouse στο Παρίσι, όπου ανέπτυξε ένα τρανζίστορ περίπου την ίδια ώρα που συνέβαινε παράλληλη εργασία στα Bell Labs. Από το 1951 έως το 1961, ο Welker, επικεφαλής της Τμήματος Φυσικής στερεάς κατάστασης της Siemens-Schuckertwerk, ανέπτυξε τις ενώσεις III-V για να αντικαταστήσει τους ημιαγωγούς πυριτίου. Από τη δεκαετία του 1960 υπέρυθρα LED και λέιζερ με βάση το αρσενικό του γαλλίου (GaAs) είχαν εργαστεί για ομάδες σε RCA, η GE, η IBM, και το MIT. Ο Thomas J. Watson ερευνητής της IBM, NY και πολλοί ενεργοί ερευνητές που εργάζονται πάνω στο αρσενικό του γαλλίου και σε συνδυασμό αργιλίου-γαλλίου αρσενικού (AlGaAs) και συσκευές GaAs.

Οι ερευνητές σε αυτά τα εργαστήρια μεγάλων βιομηχανιών υποκινούνταν από επιστημονική περιέργεια και από τις εφαρμογές σε νέα υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Οι εργαζόμενοι της GE, Nick Holonyak ο νεότερος και ο Sam F. Bevacqua ανέφεραν την εκπομπή ορατού φωτός το 1962 χρησιμοποιώντας φωσφορούχο αρσενικό (GaAsP) LED. Ο Holonyak οραματίστηκε εφαρμογές για τις συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των προειδοποιητικών λυχνιών και αριθμητικές και αλφαριθμητικές οθόνες. Η ομάδα καταθέτει το GaAsP από τις πηγές αερίων χημικών ουσιών στην κορυφή των υποστρωμάτων GaAs, σε μία τεχνική γνωστή ως επίταξη αέριας φάσης, δημιουργώντας επιτυχώς τα LED. Ωστόσο, αυτές οι πρώιμες συσκευές είχαν πολλά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένων την ταχεία υποβάθμιση της εξόδου φωτός. Η GE ήταν η πρώτη που πούλησε μικρές εμπορικές ποσότητες GaAsP(φωσφορούχο αρσενικό) LED στις αρχές του 1960 στην τιμή των 260 δολαρίων, αλλά ήταν Monsanto Corporation, η οποία ανέπτυξε διαδικασίες μαζικής παραγωγής για τα LED. Το 1968, στήθηκε ένα εργοστάσιο που παρήγαγε GaAsP(φωσφορούχο αρσενικό του γαλλίου) χαμηλού κόστους. Τα LEDs της Monsanto βασίστηκαν σε GaAsP p-n κόμβων που καλλιεργούνται σε υποστρώματα GaAs, και εκπέμπουν φως στο ορατό κόκκινο φάσμα. Εκείνη την εποχή, η Monsanto είχε συνεργαστεί με την Hewlett-Packard (HP) με την ιδέα ότι ο Monsanto θα παρέχει την πρώτη ύλη για LED της HP. Ωστόσο, η HP ανησυχούσε για μια ενιαία πηγή για τις πρώτες ύλες της και άρχισε να παράγει το δικό της GaAsP.

Από τις πρώτες εφαρμογές των LEDs φωσφορούχου αρσενικού του γαλλίου (GaAsP) ήταν οι ενδεικτικές λυχνίες για πλακέτες κυκλωμάτων, για παράδειγμα, μια ένδειξη κατάστασης για την επεξεργασία των δεδομένων στο σύστημα κεντρικών υπολογιστών της IBM 360. Οι φορείς παραγωγής του Texas ήταν επίσης ενεργοί στην ανάπτυξη LED για εμπορική χρήση κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, αλλά οι πωλήσεις ήταν χαμηλές, καθώς οι τιμές για τα LED ήταν περίπου \$ 130 για ένα και μόνο LED. Δεδομένου ότι τα υλικά αυτά βελτιώθηκαν και έπεσαν σε τιμή, χρησιμοποιήθηκαν σε βίντεο και τηλεχειριστήρια ήχου και ως πηγές για τοπική επικοινωνία μιας περιοχής.

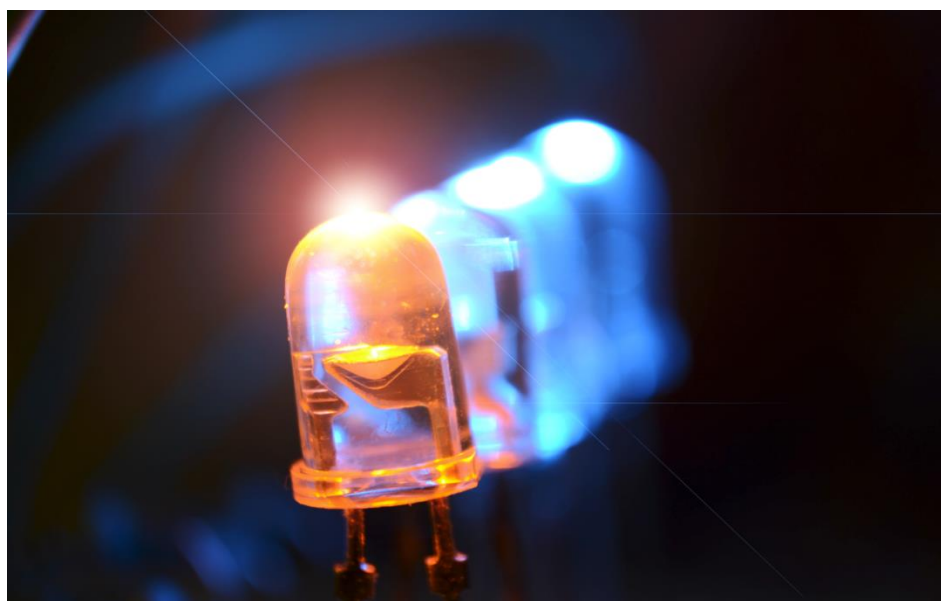
Οι υπολογιστές και τα ρολόγια ήταν σημαντικές αναδυόμενες αγορές για αυτά τα πρώτα LED από τα τέλη του 1960 έως τα μέσα της δεκαετίας του 1970, και αρκετές αμερικανικές και ιαπωνικές επιχειρήσεις ήταν πολύ δραστήριες στην ανάπτυξη των LED και στα προϊόντα που χρησιμοποιούσαν. Το πρώτο ψηφιακό ρολόι με οθόνη LED αναπτύχθηκε από την Hamilton Watch Company. Αριθμητικές ενδείξεις σε υπολογιστές τσέπης ήταν μια άλλη σημαντική αρχική εφαρμογή των LEDs. Ωστόσο, αρχικά το φως των LED ήταν πολύ αμυδρό για να διαβάσεις εύκολα στο φως της ημέρας και εκτοπίστηκαν από οθόνες υγρών κρυστάλλων σε ρολόγια και υπολογιστές στη δεκαετία του 1980.

Το 1979, η Monsanto, η οποία είχε δημιουργήσει αριθμομηχανές LED και παρακολουθούσε οθόνες από το 1968, πούλησε την οπτικοηλεκτρονική επιχείρησή της και τελικά έγινε μέλος της Ταϊβανέζικης κατασκευαστικής LED, Everlight Electronics. Ο M. George Craford, ένας από τους κορυφαίους ερευνητές LED της Monsanto, πήγε στην HP, όπου έγινε ο κεντρικός ερευνητής του έργου της τεχνολογίας LED και των επιχειρήσεών τους. Η HP συνέχισε να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των LED μέχρι το 1999, μέχρις ότου διαχώρισε τις επιχειρήσεις LED και επιστημονικών οργάνων της σε Agilent Corporation. Η Agilent συνίδρυσε τη Lumileds Lighting Corporation το 1999 ως

κοινοπραξία με τη Philips Corporation, και το 2005 η Agilent πούλησε το μερίδιό της Lumileds στη Philips. Ενώ τα υλικά GaAsP έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην πρώιμη βιομηχανία LED, προέκυψαν τεχνικοί περιορισμοί του εν λόγω υλικού και σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως για χαμηλού κόστους, χαμηλής φωτεινότητας κόκκινα LED για τις ενδεικτικές λυχνίες.

Μια άλλη σημαντική εξέλιξη στον τομέα LED ήταν η ανάπτυξη των GaP (φωσφορικό γάλλιο) και GaAsP LEDs που ενσωματώνουν οπτικά ενεργές προσμίξεις. Το έργο αυτό ήταν πρωτοπόρο στην AT & T Bell Labs από μια ερευνητική ομάδα που αναπτύσσει διαδικασίες παραγωγής για κάλυψη με βάση το κόκκινο και το πράσινο LED. Ενώ το GaP(φωσφορικό γάλλιο) δεν εκπέμπει φως μόνο του, εκπέμπει έντονα το φως όταν ενισχύεται με άζωτο. Μια ομάδα στο AT & T ανέφερε την πρώτη επίδειξη της ανάπτυξης αποδοτικών LED και μέσω μιας σειράς τεχνικών εξελίξεων ήταν σε θέση να βελτιώσει την αποδοτικότητά της με μία τάξη μεγέθους σε σχέση με προηγούμενα υλικά. Η προσέγγιση βοηθήθηκε από καινοτομίες υλικών κατασκευής: μέχρι το τέλος του 1960, ράβδοι κρυστάλλων του GaP καλλιεργήθηκαν από τήγματα σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση ώστε να γίνονταν διαθέσιμα και κατάλληλα για να κοπούν σε υποστρώματα.

Παρ' όλα αυτά τα GaP και GaAsP δεν θα παραμείνουν κυρίαρχα επ' αόριστον. Το 1992, ωθούμενη (εμπειρογνώμονες του κλάδου μας λένε) από την εργασία GaAsP και την ανάπτυξη των MOCVD αντιδραστήρων, το φωσφορικό γάλλιο ινίδιο αλουμινίου(AlInGaP) δημιούργησε πολλές αγορές που ήταν αδύνατες με τα προηγούμενα GaAsP και το GaP υλικά, δεδομένου ότι αύξησε απόδοση φωτός ελαφρά από 1-2 σε 10-20 lumens ανά Watt της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εξελίξεις αυτές ανοίγουν την αγορά για τα πίσω φώτα των αυτοκινήτων και αργότερα για τα φανάρια. Τα φωτεινά κόκκινα LED εν συντομία γίνονταν με AlGaAs στις αρχές της δεκαετίας του 1990, αλλά σήμερα οι έντονες κόκκινες και πορτοκαλί λυχνίες LED γίνονται με AlInGaP. Οι δίοδοι GaP εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για πολλές ενδεικτικές λυχνίες LED.



Εικόνα 3.4 Χρωματιστές λυχνίες LED

3.3.3. Αρχικές έρευνες στα πράσινα και μπλε LED

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν τα αδύναμα πράσινα και στη συνέχεια τα μπλε LED. Το πράσινο LED που χρησιμοποιούσε τα άζωτο ενισχυμένο με GaP (GaP: N), άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως για τη χαμηλή φωτεινότητα πράσινων ενδείξεων. Σε μια πρώιμη εφαρμογή, η AT&T χρησιμοποιούσε τα πράσινα LED στις τηλεφωνικές γραμμές της. Αυτά τα πράσινα LED δεν ήταν πολύ φωτεινά, παρόλα αυτά, άρχισαν να συμπληρώνουν το φάσμα χρωμάτων που διατίθενται από τα LED παρακινώντας την εξέταση των αιτήσεων που διεύρυνε μια μεγαλύτερη γκάμα χρωμάτων.

Η RCA, μια από τους πρώτους ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά πρωτοπόρους, οραματίστηκε ότι οι τηλεοράσεις, μια ημέρα θα είναι αρκετά λεπτές για να κρεμιούνται σε έναν τοίχο. Το όραμα της RCA για μια επίπεδη οθόνη απαιτούσε την ανάπτυξη της νέας εκπομπής φωτός που θα μπορούσε να αντικαταστήσει τους καθοδικούς σωλήνες που θα χρησιμοποιούσε τρία πιστόλια ηλεκτρονίων για την εμφάνιση έγχρωμων εικόνων. Ένας κύριος υποστηρικτής του οράματος της RCA ήταν ο James Tietjen, Διευθυντής της RCA για την Materials Research Division. Ο Tietjen συνειδητοποίησε ότι τα κόκκινα LED που χρησιμοποιούν τη τεχνολογία GaAsP και τα πράσινα LEDs που χρησιμοποιούν GaP: N ήταν ήδη διαθέσιμα, αλλά αυτό που χρειαζόταν για να ολοκληρωθεί η οθόνη ήταν ένα φωτεινό μπλε LED.

3.3.4. Αναζήτηση για ένα βιώσιμο μπλε LED

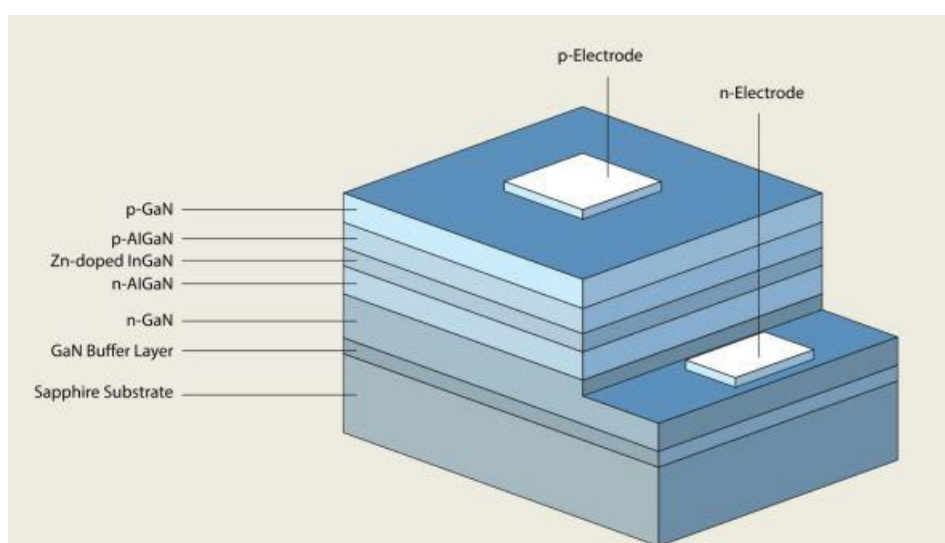
Για πάνω από 25 χρόνια πριν από την ανάπτυξη των μεθόδων που χρησιμοποιούσαν το GaN για να κάνουν ανώτερης τεχνολογίας μπλε και πράσινους πομπούς φωτός, τα περισσότερα εμπορικά και πανεπιστημιακά εργαστήρια είχαν εργαστεί στην ένωση ημιαγωγών II-VI, όπως ZnS, ZnSe, και ZnMgS. Παρά το γεγονός ότι μεγάλα ποσά χρημάτων δαπανήθηκαν σε αυτές τις προσπάθειες δεν απέφεραν βιώσιμα εμπορικά προϊόντα, κυρίως λόγω του μικρού χρόνου ζωής. Όπως είδαμε νωρίτερα, οι δίοδοι ηλεκτροφωταύγειας GaN, είχε αποδειχθεί σε εργαστήρια της RCA στη δεκαετία του 1970, αλλά η εταιρεία μείωσε την έρευνα σε αυτόν τον τομέα, ως αποτέλεσμα των ανταγωνιστικών προβλημάτων σε βασικές επιχειρήσεις της. Μόνο μερικές ομάδες, κυρίως στην Ιαπωνία, προσπαθούσαν να λύσουν τα τρία μεγάλα προβλήματα που είχαν ανατρέψει προηγούμενοι ερευνητές: η έλλειψη κατάλληλων υποστρωμάτων, θερμικά προβλήματα μεταφοράς λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ανάπτυξης, και η αδυναμία να επιτευχθεί p-τύπου ντόπινγκ. Ο πιο σημαντικός από αυτούς τους ερευνητές ήταν ο Isamu Akasaki του Πανεπιστημίου Ναγκόγια (που χρηματοδοτείται εν μέρει από την Matsushita Electric Industrial Company) και ο Shuji Nakamura στην Nichia.

Το 1992, το πρώτο ορατό μπλε και πράσινο τριπλό στρώμα InGaN της Nichia (διπλής ετεροδομής) LED έχει βελτίωση της αποτελεσματικότητας του 10%. Ο Nakamura συνέχισε να τροποποιεί το βιομηχανικό πρότυπο χημικής εξάτμισης και εναπόθεσης εξοπλισμού για να επιτευχθεί η ομοιομορφία, νανόμετρων με λεπτές στρώσεις που απαιτούνται για να εκπέμπουν άφθονο μπλε φως. Αργότερα ο Nakamura χρησιμοποίησε το InGaN για να παράγει τα πρώτα παλμικά και συνεχή μπλε λέιζερ που λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου, κάτι που άλλοι θεωρούσαν αδύνατο. Τα μπλε λέιζερ InGaN της

Nichia οδηγήθηκαν γρήγορα σε εμπορικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των DVD-ROM και δίσκους Blue-ray, επειδή η πυκνότητα των δεδομένων θα μπορούσε να είναι περίπου τέσσερις φορές υψηλότερη χρησιμοποιώντας το μικρότερο μήκος κύματος του μπλε φωτός λέιζερ.

Τα LED InGaN ήταν μια καμπή για τη βιομηχανία φωτισμού καθώς ήταν καθοριστικής σημασίας για το λευκό φωτισμό LED. Σε αντίθεση το κόκκινο, πράσινο και μπλε που διευκολύνουν τις έγχρωμες οθόνες, τα τρία χρώματα αυτά μπορούν να αναμιχθούν για να δημιουργήσουν ένα συνδυασμό αντιληπτό ως λευκό. Τα κόκκινα και πράσινα μέρη του φάσματος μπορεί επίσης να δημιουργηθούν από μπλε λαμπερό φως επάνω σε φωσφορίζουσες ουσίες, χημικές ουσίες που εκπέμπουν φως όταν διεγείρονται από τα ηλεκτρόνια ή φωτόνια. Μέρος του μπλε φωτός υψηλότερης ενέργειας από λυχνίες LED μπορεί να μετατραπεί με φωσφορίζουσες ουσίες σε μειωμένης ενέργειας φως των χρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων κόκκινο, πράσινο και κίτρινο. Καθώς οι φωσφορίζουσες ουσίες ήταν η βασική επιχειρηματική δραστηριότητα της Nichia, η εταιρεία ήταν σε θέση να παράγει λευκό φως από LED συνδυάζοντας μπλε LED με κίτρινες φωσφορίζουσες ουσίες - ένα συνδυασμό των χρωμάτων που φαίνεται ως λευκό.

Το 1996, η Nichia εισήγαγε το πρώτο λευκό LED, καλύπτοντας ένα μπλε LED με κίτρινο γρανάτη ύπτριο αλουμινίου (YAG) φωσφόρου. Οι λευκές λυχνίες LED με βάση τις φωσφορίζουσες ουσίες έχουν μια κατανομή χρώματος που καθορίζεται από το πάχος του φωσφόρου, εξαλείφοντας την ανάγκη για ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου για την εξισορρόπηση εξόδου του κόκκινου, πράσινου και μπλε LED. Έτσι, το φωτεινό μπλε LED επέτρεψε να αναπτυχθεί ένα απλό λευκό φως LED και να αναλάβει πιο παραδοσιακές τεχνολογίες φωτισμού που είχε αναπτυχθεί τα προηγούμενα 100 χρόνια. Η εξέλιξη αυτή πυροδότησε μια σειρά διαφορών για διπλώματα ευρεσιτεχνίας, που τελικά θα καταλήξει σε διασυννοριακές συμφωνίες χορήγησης αδειών, αλλά μόνο μετά από χρόνια αγωγές.



Εικόνα 3.5 Υλικά σύνθεσης LED

3.3.5. Υποκατάστατα : εξειδικευμένα προϊόντα LED

Οι τεχνολογικές τροχιές που περιγράφονται παραπάνω εφάρμοσαν εναλλακτικά υλικά ημιαγωγών για την επίτευξη αποτελεσματικής παραγωγής διαφορετικών χρωμάτων του φωτός. Εν περιλήψει, αυτές οι τροχιές προέκυψαν από μια διαδικασία καινοτομίας με πολλά αξιόλογα χαρακτηριστικά. Κανένας οργανισμός δεν οδήγησε μόνος του στην καινοτομία LED και καμία οργάνωση που επιδιώκει ξεχωριστές προσεγγίσεις, πολλές από τις οποίες τελικά θα είναι σημαντικές για την τεχνολογία. Έργα της R&D, διεγέρθηκαν με δυνητικές αγορές, καθώς και από αντίληψη τεχνολογικού δυναμικού. Η πρόοδος ήταν επεισοδιακή, καθοδηγούμενη από τη θεωρία, αλλά με τον πειραματικό επίκεντρο για στην καινοτομία στα υλικά και την κατασκευή. Ορισμένες τεχνολογικές οδοί απορρίφθηκαν ως αδιέξοδες, αλλά αργότερα αποδείχθηκε ότι ήταν πολύ παραγωγικές. Πολυάριθμες οριακές καινοτομίες ήταν απαραίτητες για την ανάπτυξη δύο υλικών με επιθυμητές ιδιότητες, καθώς και τις μεθόδους κατασκευής κατάλληλων συσκευών για τα υλικά αυτά. Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη εξηγεί πώς η αναδυόμενη καινοτομία μπορεί να προκύψει από ένα πολύπλοκο πρότυπο της εξερεύνησης μεταξύ των δυνητικών αγορών και εναλλακτικών τεχνολογιών.

Οι τεχνολογικές τροχιές που προέκυψαν, που δημιούργησαν αποτελεσματικά μέσα για τη παραγωγή διαφορετικών χρωμάτων του φωτός LED, δημιούργησαν μια σειρά από εξειδικευμένα προϊόντα LED. Τα LED έχουν υποκαταστήσει αποδοτικότερα τις παλαιότερες τεχνολογίες φωτισμού σε μια αυξανόμενη λίστα ειδικών προϊόντων. Τα LED έχουν βρει εφαρμογή σε ενδεικτικές λυχνίες, οθόνες αριθμομηχανών, σήμανση, φλας, φώτα, προβολείς, φανάρια και τα φώτα έκτακτης ανάγκης, και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε οδικό φωτισμό, υπαίθρια φώτα, αρχιτεκτονικό φωτισμό, και οπίσθιο φωτισμό για κινητές συσκευές και τηλεοράσεις. Τα σήματα κυκλοφορίας ήταν μια πρόωρη εφαρμογή LED, όπως τα φανάρια LED που υπόσχονταν μια εκτεταμένη διάρκεια ζωής, μειώνοντας τη συχνότητα των δύσκολων αλλαγών βολβού, και αποκλείοντας τη πιθανότητα να καούν ξαφνικά. Διάφορα άλλα εξωτερικά περιβάλλοντα όπως ο αρχιτεκτονικός φωτισμός υιοθέτησαν επίσης εγκαίρως τα LED. Σήμερα, τα συστήματα φωτισμού LED, τουλάχιστον τεχνικά, είναι ικανά να αντικαταστήσουν σχεδόν κάθε συμβατική πηγή φωτισμού στη χρήση.



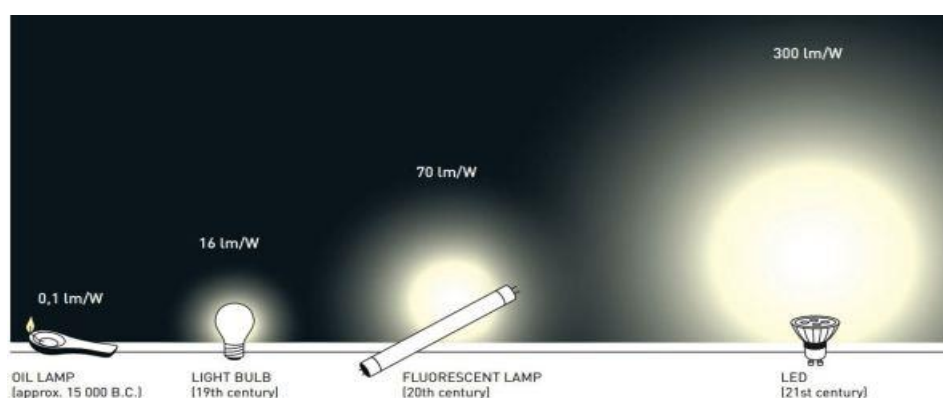
Εικόνα 3.6 Φάσμα χρωμάτων λαμπτήρων LED

3.4. Ο ανταγωνισμός με τον συμβατικό φωτισμό

Οι συμβατικές τεχνολογίες λαμπτήρων είχαν κακή απόδοση μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ορατό φως, που κυμαίνονται από 5% για τους λαμπτήρες πυρακτώσεως έως 28% για τους λαμπτήρες φθορισμού (Haitzetal, 1999. Haitz και Tsao, 2011). Λαμβάνοντας υπόψη τα όρια των δυνατοτήτων των συμβατικών τεχνολογιών φωτισμού, αυτές οι τεχνολογίες φαίνεται ανέφικτο να κάνουν κάποιο σημαντικό άλμα στην απόδοση μετατροπής στο εγγύς μέλλον. Αντίθετα, από το 1999, τα LED είχαν μια θεαματική βελτίωση στην αποτελεσματικότητα των κόκκινων λαμπτήρων και οι λυχνίες LED και τα λέιζερ είχαν απόδοση μετατροπής της τάξης του 50-60%, στο υπέρυθρο και το κόκκινο τμήμα του φάσματος. Ως εκ τούτου, αν τα SSL θα μπορούσαν να επιτύχουν μια τέτοια απόδοση σε όλο το ορατό φάσμα, τότε πηγές φωτός με απόδοση μετατροπής μεγαλύτερη από 50% φαινόταν εύλογο από την πλεονεκτική θέση του 1999 (Haitz και Τσάο, 2011, σ. 21). Η συνεχής βελτίωση από τότε έχει όντως πραγματοποιήσει μεγάλα κέρδη και έκανε τα SSL ανταγωνιστικά για πολλές εφαρμογές.

Η αντίστροφη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας μεταξύ των SSL και των συμβατικών λαμπτήρων εξαρτάται από το κόστος αγοράς, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, και το κόστος αντικατάστασης. Οι λαμπτήρες πυράκτωσης, για χρήση τριών ωρών ημερησίως κατά μέσο όρο των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ, το εκ των προτέρων κόστος της επιλογής SSL αντί των λαμπτήρων πυρακτώσεως επιστρέφεται σε 1,8 χρόνια αν οι λαμπτήρες SSL κοστίζουν 12 δολάρια (ως διαθέσιμο τώρα) , και από φθορισμού σε SSL σε 17 χρόνια εάν το κόστος των λαμπτήρων SSL πέσει στα 6 δολάρια. Σε περιοχές με τις υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και στη Νέα Υόρκη ή την Ιαπωνία, καθώς και για τους λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται οκτώ ώρες την ημέρα, η υψηλότερη τιμή των λαμπτήρων SSL που είναι 12\$, καταβάλλεται σε 4 μήνες έναντι των λαμπτήρων πυρακτώσεως ή 6\$ δολάρια σε 2,4 χρόνια έναντι των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού.

Η διαδικασία εξέλιξης της τεχνολογίας επηρεάζεται από επιστήμονες και μηχανικούς, οι επιχειρήσεις και των εθνικών πολιτικών, καθώς και τις αγορές που λειτουργούν ως εφελθτήριο για τη χρηματοδότηση της ανάπτυξης και να παρέχει κατευθύνσεις για τη μάθηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην προσπάθεια για τη βελτίωση των επιδόσεων του προϊόντος και να μειωθεί το κόστος παραγωγής.



Εικόνα 3.7 Ιστορική εξέλιξη των λαμπτήρων

3.5. Η ανάπτυξη του κλάδου SSL

Αρχίζοντας περίπου το 2005, μεγάλος αριθμός των επιχειρήσεων άρχισαν να εισέρχονται στην βιομηχανία των λαμπτήρων SSL, δημιουργώντας πολλά νέα προϊόντα. Η είσοδός τους περιορίστηκε από τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας, μόνο σε επιλεγμένα τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η εμπορική έκθεση φωτισμού της Βόρειας Αμερικής Light Fair, το 2010 και το 2011, από πολύ λίγα προϊόντα SSL που είχε δείξει άλλες χρονιές, τώρα οι λαμπτήρες SSL ήταν το κυρίαρχο είδος φωτισμού που παρουσίαζε, όπως και όλες οι επιχειρήσεις φωτισμού που είχαν αναπτύξει σχέδια για να εισέλθουν σε αυτή τη νέα αγορά. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι λαμπτήρες LED άρχισαν να εμφανίζονται στα περισσότερα καταστήματα ανεφοδιασμού σπιτιού το 2012, και από τα τέλη του Γενάρη του 2013 κατάσταση της Amazon στο διαδίκτυο, διαφημίζεται για την πώληση σχεδόν 15.000 διαφορετικών προϊόντων λαμπτήρων LED. Μια άλλη ένδειξη της ανάπτυξης αυτής της βιομηχανίας είναι ένας εμπορικός κατάλογος που δημοσιεύθηκε από το περιοδικό LEDs Magazine, για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της βιομηχανίας, απαριθμώντας μεγάλο αριθμό επιχειρήσεων που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη σύνδεση των προϊόντων SSL και την μεταποίησή τους, καθώς και επιχειρήσεις που ασχολούνται με προϊόντα SSL.

Παγκοσμίως, ο αριθμός των εταιρειών που ασχολείται με τη νέα βιομηχανία αυξήθηκε από 127 το 2005 σε 891 το 2011. Τα πραγματικά νούμερα είναι πολύ υψηλότερα, δεδομένου ότι πολλές σχετικές επιχειρήσεις δεν έχουν καταγραφεί. Στη Βόρεια Αμερική, όπου τα δεδομένα είναι πιο αντιπροσωπευτικά, ο αριθμός των επιχειρήσεων αυξήθηκε από 60 το 2005 σε 455 το 2011. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, επίσης, ο αριθμός των επιχειρήσεων αυξήθηκε από 23 το 2005 σε 110 το 2007. Οι αριθμοί των βρετανικών επιχειρήσεων που περιλαμβάνονται στον κατάλογο έπεσαν στη συνέχεια, αλλά και πολλές από τις επιχειρήσεις που έχουν διαγραφεί, συνέχισαν να διαφημίζουν τις υπηρεσίες τους σε ιστοσελίδες του διαδικτύου. Ο κατάλογος δημοσιεύτηκε στην αγγλική γλώσσα και, αν κρίνουμε από διάφορες εμπορικές πηγές, φαίνεται να μην αντιπροσωπεύει τους ακριβείς αριθμούς των επιχειρήσεων, ιδίως σε μη αγγλόφωνα έθνη. Παρ' όλα αυτά, τα στοιχεία είναι ενδεικτικά της παγκόσμιας σκοπιάς της βιομηχανίας και της άνθησης της δραστηριότητας σε ασιατικά έθνη, συμπεριλαμβανομένης της Ιαπωνίας, της Ταϊβάν και της Κίνας.

Συνιστώσες της αλυσίδας εφοδιασμού περιλαμβάνουν τα τσιπ LED και τα πακέτα που τα ενσωματώνουν, σειρές LED και ηλεκτρικές μονάδες που ενσωματώνουν τα LED για να παράγουν φως, διαχείριση οπτικού φωτός, απαγωγούς θερμότητας για την απομάκρυνση της περίσσειας θερμότητας από τα LED, δοκιμές και μετρήσεις συσκευών και υπηρεσιών, ηλεκτρονικά είδη για την οδήγηση, συνδέσεις, έλεγχο φωτισμού LED και υπηρεσίες για το σχεδιασμό και την κατασκευή τσιπς LED. Κάθε ένα από αυτά είχε ραγδαία αύξηση σε πολλές επιχειρήσεις τουλάχιστον από το 2009. Μετά την ημερομηνία αυτήν, ο κατάλογος έχει μια πτώση στον αριθμό των επιχειρήσεων που περιλαμβάνονται, αλλά όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν είναι ρεαλιστική αυτή η φαινομενική πτώση. Οι βασικές εφαρμογές του φωτισμού είναι πλέον οι μεγάλες οθόνες και τα σημάδια, αλλά σε μερικά χρόνια άλλες εφαρμογές θα εισαχθούν στη βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω: φωτισμός στην ιατρική και τη βιομηχανία, οπίσθιος φωτισμός για κινητές συσκευές, τα φώτα σηματοδότησης, και τα φώτα του οχήματος.

Η εθνική πολιτική έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της βιομηχανία σε διάφορες χώρες, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, της Ιαπωνίας και της Ταϊβάν, αλλά ιδιαίτερα στην Κίνα. Όπως αποκαλύφθηκε σε πολλές συνεντεύξεις εμπειρογνομόνων, η κινεζική κυβέρνηση είχε επενδύσει δισεκατομμύρια δολάρια για να υποστηρίξει την ανάπτυξη της εγχώριας κατασκευής λαμπτήρων SSL. Αυτά τα τεράστια ποσά χρησιμοποιούνταν για να πληρώσουν για τις εγκαταστάσεις παραγωγής, που επιδοτούνταν κατά το ήμισυ του κόστους των αντιδραστήρων MOCVD που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή τσιπς για LED, και επιδοτούν την αγορά τεράστιου αριθμού φωτιστικών και λαμπτήρων SSL σε επαρχίες και τοπικές περιοχές (οι οποίοι έπρεπε να είναι τουλάχιστον κατά το 70%, της προστιθέμενης αξίας, κατασκευασμένοι στην Κίνα για να είναι επιλέξιμοι για επιδοτήσεις) για φωτισμό των δρόμων και άλλες χρήσεις. Εάν αυτή η στρατηγική θα επιτρέψει στους Κινέζους κατασκευαστές να γίνουν μόνιμα ανταγωνιστικοί με κορυφαίους διεθνείς παραγωγούς παραμένει ασαφής. Οι ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα προέκυψαν από τις αρχικές επαρχιακές και τοπικές αγορές SSL, αλλά αυτές οι ανησυχίες έχουν αντιμετωπιστεί με τον περιορισμό των επιδοτήσεων σε περίπου 6-7 μεγάλους κατασκευαστές SSL και με την απαίτηση ότι οι δοκιμές της ποιότητας και της απόδοσης να περάσει στους κατασκευαστές πριν την πληρωμή. Η κυβέρνηση είχε επίσης επενδύσει σε έρευνες SSL από την Κινεζική Ακαδημία Επιστημών. Η τεράστια επένδυση της κινεζικής κυβέρνησης είναι προφανής, δεδομένου ότι επιδιώκουν να αναπτύξουν μια βιομηχανία που αποτελεί εθνική προτεραιότητα για να βοηθήσει στην επίλυση των ενεργειακών προβλημάτων της χώρας και να οικοδομήσουν μια αναγκαία υποδομή φωτισμού, και να είναι μια πολύτιμη επένδυση εξαγωγών στο μέλλον.

Ούσα η βιομηχανία SSL σε πρώιμο στάδιο, το μέλλον της είναι δύσκολο να προβλεφθεί, καθώς και οι διαχειριστές πολλών επιχειρήσεων SSL αγωνίζονται να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις σε αυτήν την ιδιαίτερα ανταγωνιστική και περίπλοκη βιομηχανία. Μερικές από τις πολλές αβεβαιότητες συμπεριλαμβανομένου το ποιες επιχειρήσεις θα είναι σε θέση να παραμείνουν πρωταγωνιστικές στον κλάδο, πώς ο ανταγωνισμός θα ποικίλει στον βιομηχανικό τομέα, ο κορεσμός των δυνητικών αγορών επιδεινώνεται από τη μακράς διάρκειας ζωή του προϊόντος, την ανάπτυξη και τις επιπτώσεις των προτύπων, καθώς και τις μελλοντικές εφαρμογές των SSL, συμπεριλαμβανομένων αυτών με ενσωματωμένα χειριστήρια και επικοινωνίες. Η βιομηχανία βρίσκεται αντιμέτωπη με μια συναρπαστική και προκλητική ανερχόμενη εξέλιξη, ακριβώς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και οι βιομηχανίες κινητών τηλεφώνων πέρασαν από τα πρόωρα χρόνια με πολύ πειραματισμό σχεδιασμού πριν από τη σταδιακή ανάπτυξη των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων που έχουν φτάσει να γίνουν αποδεκτά ως κοινό σημείο πλέον.

3.6. Οδικός φωτισμός

Τα υπαίθρια συστήματα φωτισμού συνήθως σχεδιάζονται και λειτουργούν με διάφορους στόχους στο μυαλό. Αυτά περιλαμβάνουν τη συμμόρφωσή τους προς τα πρότυπα φωτισμού (δηλαδή παροχή του ελάχιστου απαιτούμενου φωτισμού σε ορισμένες περιοχές), την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και τη βελτίωση της άνεσης των χρηστών (η οποία οφείλεται εν μέρει στην τυπική συμμόρφωση) και την αισθητική.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στα συστήματα φωτισμού φέρουν χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί να είναι χρήσιμα για την επίτευξη αυτών των στόχων, όπως είναι τα φωτιστικά πολλαπλών καταστάσεων (π.χ. διαθέτει περισσότερα από δύο επίπεδα φωτός), οι σύνθετες ή αναπροσαρμόσιμες γεωμετρίες, διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας (δηλαδή νυχτερινή ή έκτακτης ανάγκης) και, τελευταίο, που βασίζεται σε αισθητήρες δυναμικού ελέγχου. Αν και χρήσιμα, τα χαρακτηριστικά αυτά αυξάνουν δραματικά τον αριθμό των πιθανών καταστάσεων του συστήματος φωτισμού, καθιστώντας το σχεδιασμό του ένα πολύ πολύπλοκο καθήκον.

3.6.1. Σχεδιασμός και υλοποίηση των LED Driver για εφαρμογές ηλιακού φωτισμού δρόμου

Αρχικά, τα LED χρησιμοποιήθηκαν ως ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που εκπέμπει φως σε ένα ορισμένο μήκος κύματος και ένα μοναδικό χρώμα (κόκκινο, πράσινο, μπλε, κλπ). Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ της ελάχιστης ενέργειας του δεσμού αγωγιμότητας και τη μέγιστη ενέργεια από τον δεσμό σθένους. Η ένταση του φωτός LED εξαρτάται από το ρεύμα που περνά μέσα από αυτό σε άμεση λειτουργία. Σήμερα, τα λευκά LED εμφανίστηκαν στον τομέα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας φωτισμού ως μια πολλά υποσχόμενη λύση. Στην πραγματικότητα, καταναλώνουν πολύ λιγότερο από ό, τι οι συμβατικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι CFL (λαμπτήρες φθορισμού μικρού μεγέθους). Η συσκευή φωτισμού LED χαρακτηρίζεται από την απουσία συστατικών που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως κάνουν οι λαμπτήρες CFL. Τα φωτιστικά σώματα LED χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής (> 50.000 ώρες), υψηλότερη φωτεινή απόδοση (> 80%) και εξοικονόμηση ενέργειας,

Η δίοδος εκπομπής φωτός (LED) αποδεικνύεται ως η πιο ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία για εφαρμογές φωτισμού. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εφαρμογές έχουν επικεντρωθεί στην αντικατάσταση των υφιστάμενων μονάδων οδικού φωτισμού με πιο αποδοτικά ενεργειακά συστήματα οδικού φωτισμού LED χωρίς κανένα έλεγχο για να επωφεληθούν τον τρόπο χρήσης του. Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό των LED είναι η ικανότητά τους να μειώνουν το επίπεδο φωτισμού τους, χωρίς καμία σημαντική επίπτωση στη διάρκεια ζωής τους και το χρώμα τους.

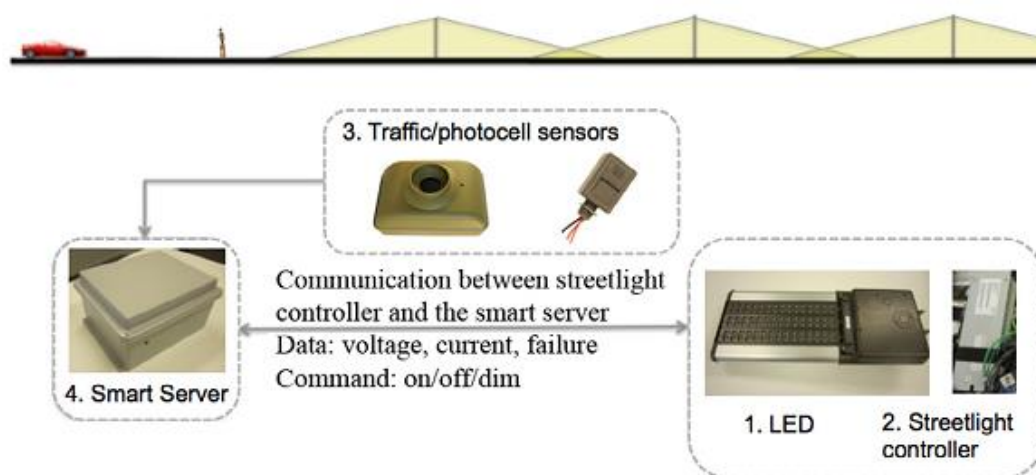
3.6.2. Περιγραφή της τεχνολογίας

Η αποδεδειγμένη τεχνολογία είναι ένα έξυπνο δευτέρου επιπέδου απαιτούμενο σύστημα φωτισμού LED για εφαρμογές φωτισμού δρόμου, που επιτρέπει την αυξομείωση της ροής φωτισμού, καθώς και δυνατότητα ανίχνευσης κίνησης μέσα από ένα κεντρικό χειριστήριο. Τα σημαντικότερα σημεία της συγκεκριμένης τεχνολογίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Χρήση του φωτισμού LED για εξοικονόμηση ενέργειας, βελτίωση της ποιότητας φωτισμού, και εξοικονόμηση των υποδομών
- Ενσωμάτωση των ελεγκτών συστήματος φωτισμού δρόμου για την ενεργοποίηση δευτέρου επιπέδου και απαιτούμενες ευαίσθητες λειτουργίες.
- Ενσωμάτωση αισθητήρων κίνησης για την ανίχνευση κίνησης με σκοπό την ελαχιστοποίηση εξόδου φωτός κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης.
- Χρήση του έξυπνου server για να εκτελέσει τον έλεγχο του φωτός της περιοχής.

Το σύστημα περιλαμβάνει τα εξής:

(1)φωτιστικά σώματα LED, (2) ελεγκτής οδικού φωτισμού, (3) αισθητήρες κίνησης / φωτοκύτταρο και (4) έναν έξυπνο διακομιστή, όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 3.8 Απεικόνιση τεχνολογίας

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε όλες οι λυχνίες LED να ανάβουν μετά την δύση του ηλίου, και η έντασή τους φωτός να μειώνεται το βράδυ για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας. Αρκετοί αισθητήρες κίνησης έχουν αναπτυχθεί για να ανιχνεύουν τα πόδια και την κυκλοφορία των οχημάτων. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν εισροές ώστε οι έξυπνοι διακομιστές να επιτρέπουν το δυνάμωμα της έντασης του φωτός από τις

μονάδες LED σε 100% για περίπου πέντε λεπτά όταν δεν ανιχνεύεται κίνηση πεζών / όχημα. Οι λυχνίες LED διακόπτονται ταυτόχρονα με την ανατολή.

3.6.3. LED για εφαρμογές οδικού φωτισμού

Σε γενικές γραμμές, τρεις είναι οι βασικοί τύποι λαμπτήρων που είναι κοινοί για υπαίθριες εφαρμογές φωτισμού: υψηλής έντασης εκκένωσης (HID), φθορισμού και πυρακτώσεως. Μεταξύ αυτών, λαμπτήρες HID είναι οι πιο διαδεδομένοι που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές οδικού φωτισμού. Οι πιο κοινοί λαμπτήρες HID είναι ατμών υδραργύρου (MV), μεταλλικών αλογονιδίων (MH) και νατρίου υψηλής πίεσης (HPS). Από αυτούς τους τρεις τύπους, οι HPS και MH είναι κυρίαρχοι. Οι λαμπτήρες MH προσφέρουν ανώτερη ποιότητα χρώματος με ένα φωτεινό λευκό φως εξόδου, ενώ οι περισσότεροι λαμπτήρες HPS προσφέρουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε βάρος της απόδοσης χρώματος με την παραγωγή πορτοκαλί φωτός.

Οι πηγές LED είναι σε στάδιο να γίνουν η πλέον ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία για υπαίθριες εφαρμογές φωτισμού. Σε σύγκριση με τα HID, τα LED μπορούν να παρέχουν συγκρίσιμα φωτεινότερη απόδοση, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, παρέχουν καλύτερη ποιότητα φωτός και έχουν στιγμιαία ανταπόκριση. Επιπλέον, τα LED δεν περιέχουν υδράργυρο, ελαχιστοποιώντας έτσι τα ζητήματα διάθεσης. Αξιοσημείωτη μελέτη από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, το Irvine αποκαλύπτει ότι ορισμένα χρώματα LED μπορεί να περιέχουν μεταλλικά τοξικές ουσίες, όπως μόλυβδο και αρσενικό. Επίσης, σύμφωνα με το Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center (PPRC), σήμερα τα LED δεν έχουν ταξινομηθεί ως επικίνδυνα απόβλητα, και διατίθενται σε χωματερές.

Πρόσφατα, η επαγωγή φωτισμού έχει γίνει μια πηγή φωτός ενδιαφέροντος για πολλές υπαίθριες εφαρμογές φωτισμού. Παρόμοια με τα LED, οι λαμπτήρες φωτισμού προσφέρουν υψηλή ενεργειακή αποτελεσματικότητα (lumens / watt), και υψηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI). Οι κατασκευαστές υποστηρίζουν τη λειτουργική ζωή τους πάνω από 60.000 ώρες, αλλά ο ισχυρισμός αυτός δεν έχει αποδειχθεί ακόμα. Μερικά μειονεκτήματα του φωτισμού επαγωγής περιλαμβάνουν τα ακόλουθα σημεία: (1) ο φωτισμός επαγωγής απαιτεί ειδική υποδοχή, επειδή το σχήμα του λαμπτήρα είναι μεγάλο, το οποίο μπορεί να είναι μια πρόκληση για τις παλαιότερες εφαρμογές και (2) ο φωτισμός επαγωγής περιέχει υδράργυρο, σε αντίθεση με τα LED που είναι χωρίς υδράργυρο. Αυτή η περιεκτικότητα σε υδράργυρο στον φωτισμό επαγωγής δημιουργεί προβλήματα διάθεσης.

Ελεγκτής φωτισμού δρόμων

Ο ελεγκτής οδικού φωτισμού ενεργεί ως διεπαφή μεταξύ του φωτιστικού LED και του έξυπνου εξυπηρετητή. Αυτός ο ελεγκτής επιτρέπει πληροφορίες δημοσκοπήσεων, όπως αποτυχίες, συναγερμοί, τάση, ρεύμα, ισχύς, ενέργεια, τον αριθμό των ωρών καύσης από τα φώτα του δρόμου, και επιτρέπει την εφαρμογή της εντολής ρύθμισης έντασης για τον έλεγχο του φωτός ανάλογα με τα σήματα του έξυπνου διακομιστή.

Κίνηση αισθητήρα / φωτοκύτταρο

Οι αισθητήρες κίνησης τοποθετούνται πάνω στο δρόμο για να καταστεί δυνατή η ανίχνευση της μετατόπισης των μεταφορών (τόσο οχημάτων όσο και πεζών). Σε γενικές γραμμές, οι προβολείς των οχημάτων επιτρέπουν την ορατότητα μόνο περίπου 100 μέτρα μπροστά. Όσον αφορά την ένταση του φωτισμού στους δρόμους, όταν το όχημα είναι τουλάχιστον 100 m μπροστά από το πρώτο πόλο φωτός, θα συμβάλει στη βελτίωση της προβολής πέρα από αυτό που παρέχεται από τους προβολείς. Ένα φωτοκύτταρο χρησιμοποιείται επίσης για να ανάβει και να σβήνει όλα τα φωτιστικά LED κατά το ηλιοβασίλεμα και την ανατολή του ηλίου, αντίστοιχα.

Έξυπνος διακομιστής

Ο έξυπνος διακομιστής είναι υπεύθυνος για την καταγραφή της κατάστασης του λαμπτήρα, τη χρήση ενέργειας και τις ώρες λειτουργίας από τους ελεγκτές φωτισμού στους δρόμους, τη συλλογή δεδομένων από τους αισθητήρες κίνησης / φωτοκύτταρου και τον έλεγχο της κατάστασης φωτός (ON / OFF / Dim) μέσω των ελεγκτών.

3.7. Φωτισμός σε κτίρια γραφείων

Ο φωτισμός αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε εμπορικά κτίρια. Η εξοικονόμηση ενέργειας ωφελεί επίσης το περιβάλλον μέσω χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου. Ως αποτέλεσμα, οι ιδιοκτήτες κτιρίων είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικούς ελέγχους φωτισμού για τη μείωση χρήσης ενέργειας για φωτισμό. Έχει αναφερθεί ότι η ενσωμάτωση του τεχνητού φωτισμού με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών φωτιστικών σωμάτων και συστημάτων συγκομιδής ημέρας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της όρασης. Είναι εξαιρετικά δύσκολο να έχουμε ακριβή εκτίμηση του τεχνητού φωτισμού και της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας με το φως της ημέρας που συνδέονται με ελέγχους φωτισμού λόγω των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ τεχνητού φωτισμού, φωτισμού ημέρας και κέρδος ηλιακής θερμότητας.

Οι βασικές απαιτήσεις για τις βέλτιστες συνθήκες φωτισμού μέσα σε εσωτερικούς χώρους μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- α) την υγεία και την ασφάλεια
- β) οπτική απόδοση
- γ) την αισθητική και
- δ) την προσωπική άνεση

Όταν προσπαθούμε να δημιουργήσουμε ένα περιβάλλον γραφείου, το οποίο να είναι τόσο αισθητικά ευχάριστο όσο και αποδεκτό στο μάτι, είναι σύνηθες να περιλαμβάνει:

- α) η ανάλυση των οπτικών εργασιών που είναι πιθανό να συναντώνται μέσα σε ένα γραφείο

- β) μια ισορροπία μεταξύ της ποσότητας του φωτός της ημέρας που εισέρχεται σε ένα εσωτερικό γραφείο και οι αντίστοιχες απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού
- γ) η παροχή ενός περιβάλλοντος που είναι απαλλαγμένο τόσο από εκτυφλωτικό φως όσο και από σχετικούς περισπασμούς.

Κατά την εξέταση της υγείας και ασφάλειας του προσωπικού, ο φωτισμός των γραφείων θα πρέπει ιδανικά να δίνει τη δυνατότητα στο προσωπικό μέσα στην αίθουσα να διεξάγουν κανονικά τα καθήκοντά τους, κατά τρόπο που, υπό κανονικές συνθήκες, θεωρείται ασφαλές. Ο φωτισμός που παρέχεται δεν πρέπει, υπό οποιοσδήποτε συνθήκες, να θέτει το προσωπικό στο δωμάτιο σε κίνδυνο. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί για την ασφάλεια τους η περίπτωση εκκένωσης των χώρων. Είναι σημαντικό να μην παραβλέψουμε τόσο την αισθητική όσο και την προσωπική άνεση κατά την εξέταση των βέλτιστων συνθηκών φωτισμού γραφείου.

3.7.1. Αποδοτικότερος φωτισμός για εξοικονόμηση στα γραφεία

Τα κράτη μέλη θα πρέπει να συμμορφώνονται με την Οδηγία 2000/55 / EC σχετικά με τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για τα στραγγαλιστικά πηνία που προορίζονται για τους λαμπτήρες φθορισμού. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό σε κτίρια γραφείων ρυθμίζεται από την οδηγία 2002/91/EC για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Σημαντική εξοικονόμηση μπορεί να επιτευχθεί με τον καλύτερο σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού και ελέγχου: πιο αποτελεσματικοί ανακλαστήρες, διαφορετικό επίπεδο φωτός ανάλογα με τη λειτουργία, αποδοτική χρήση του φυσικού φωτός και χρήση των αισθητήρων φωτισμού πληρότητας. Επιπλέον, η διαχείριση του φωτισμού σε βοηθητικούς χώρους μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Αν και η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων φθορισμού έχει αναφερθεί να είναι 5-10 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των λαμπτήρων πυρακτώσεως, και η φωτεινή απόδοση τους πέντε φορές μεγαλύτερη, ως εκ τούτου, απελευθερώνοντας χαμηλότερα φορτία θερμότητας, είναι μεγάλο το κόστος εγκατάστασης νέων συσκευών. Όπως αποκάλυψε ένα πρόγραμμα φωτισμού στη Στοκχόλμη το 1989, το μέγεθος και το σχήμα του λαμπτήρα και το βάρος της νέας τεχνολογίας ήταν παράμετροι που επηρεάζουν την αποδοχή αυτής της τεχνολογίας. Επιπλέον, ο συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού, εάν υιοθετηθεί ευρέως, έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τα φορτία αιχμής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το υψηλό κόστος εγκατάστασης της προχωρημένης / νέας τεχνολογίας εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο, ήταν αποθαρρυντικός παράγοντας για την υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας. Οι περιοδικές πληρωμές στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος και τα δάνεια για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία μέχρι σήμερα.

Η Κοινοτική Οδηγία 98/11/EG έγινε μέρος της ελληνικής εθνικής νομοθεσίας από τον Σεπτέμβριο του 1999 και αποτελεί τη νομική βάση για την ταξινόμηση της ενεργειακής απόδοσης των οικιακών λαμπτήρων. Έχει ως στόχο να απεικονίσουν την ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων για τους καταναλωτές (Α έως Ζ) και έτσι θα την καταστήσει ευκολότερο για τους αγοραστές να επιλέξουν τα καλύτερα και πιο αποδοτικά ενεργειακά προϊόντα. Ένα επιτυχημένο έργο αντικατάστασης λαμπτήρων στην Ελλάδα περιλάμβανε την

αντικατάσταση 120.000 λαμπτήρων κατά την περίοδο 2000-2001 σύμφωνα με τις εκτιμήσεις μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας 12 GWh. Το πρόγραμμα συντονίστηκε από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) και παρείχαν φορολογικά κίνητρα στους πελάτες για την αντικατάσταση λαμπτήρων (δηλαδή σταδιακή καταβολή του σχετικού κόστους της επένδυσης μέσω των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος). Εφαρμόστηκε κυρίως στα νησιά που δεν συνδέονται με το ηπειρωτικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Πολλοί οργανισμοί επισημαίνουν ότι ο κτιριακός τομέας αποτελεί βασικό τομέα για χαμηλού κόστους εξοικονόμηση ενέργειας μετριασμού της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, στις 25 χώρες της ΕΕ, ο συνολικός χώρος γραφείων έφθασε 1139 km², το 2004, με αύξηση κατά 2% ανά έτος, με αποτέλεσμα σε 22,78 km² νέο χώρο γραφείων ανά έτος σύμφωνα με τον Van Tichelen κ.ά.. Ο κύριος στόχος ήταν να αξιολογηθεί η χρήση των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας για φωτισμό, τα επίπεδα ευαισθητοποίησης, τα κριτήρια αποδοχής για αποδοτικότερες τεχνολογίες φωτισμού, οι τρέχουσες πρακτικές και συμπεριφορές που σχετίζονται με το φωτισμό σε κτίρια γραφείων σε εταιρείες που ασχολούνται με το εμπόριο και τις υπηρεσίες. Οι δυνατότητες ενσωμάτωσης και αποδοχής αποδοτικών τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας για τον φωτισμό και την προθυμία να πληρώνουν και να υιοθετήσουν τέτοιες τεχνολογίες αφού μια ενημερωτική συνάντηση διερευνήθηκαν επίσης, αξιολογούνται.

3.7.2. Η χρήση ενέργειας σε κτίρια γραφείων

Τα εμπορικά κτίρια, και κυρίως τα κτίρια γραφείων, κατατάσσονται μεταξύ των κτιρίων που παρουσιάζουν την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Η συνολική ετήσια χρήση ενέργειας στα κτίρια γραφείων κυμαίνεται στο εύρος 100-1000kWh /m² ετησίως, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, τη χρήση και τον τύπο του εξοπλισμού γραφείου, τα επιχειρησιακά προγράμματα, τον τύπο του φακέλου, τη χρήση των συστημάτων HVAC, το είδος του φωτισμού, κ.λπ. Στη Βόρεια Ευρώπη, η ενεργειακή ένταση γραφείου κυμαίνεται σε 269-350kWh/m² ετησίως και για τα γραφεία σε όλη την Ευρώπη, είναι περίπου 306kWh/m² ετησίως, με μέση τιμή ηλεκτρικού δείκτη 150kWh / m² και μέσο δείκτη καυσίμου 158kWh / m² ετησίως. Πρόσφατα, μια απογραφή της χρήσης ενέργειας σε 123 σουηδικά κτίρια γραφείων διαφόρων ηλικιών, αποκάλυψε ότι τα κτίρια γραφείων έχουν μια ενεργειακή ένταση 210kWh / m² ετησίως κατά μέσο όρο, με υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο. Ο ηλεκτρικός φωτισμός είναι ένας τομέας στον οποίο είναι δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας σε λογικό κόστος σε νέα κτίρια. Μια πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι οι επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό είναι ένα από τους πιο οικονομικά αποτελεσματικούς τρόπους για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και πολλές μελέτες δείχνουν ότι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό θα μπορούσε να μειωθεί κατά 50% με τη χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας.

3.7.3. Η πραγματική κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό γραφείων

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο φωτισμός είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Στη Σουηδία, για παράδειγμα, ο

φωτισμός αντιπροσωπεύει περίπου το 10% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα, και αυτή η περιοχή προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας. Σε εμπορικά κτίρια, ο φωτισμός αποτελεί γενικά το 20-45% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά αυτό διαφέρει πολύ από το ένα κτίριο στο άλλο και η κατανάλωση του ηλεκτρικού φωτισμού μπορεί μερικές φορές να είναι το 40% της ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας σε ορισμένα κτίρια. Το πιο σημαντικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο (80-90%) του φωτισμού που παράγεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος φωτισμού, το κόστος της ηλεκτρικής εγκατάστασης φωτισμού συνήθως αντιπροσωπεύει μόνο το 15% του συνολικού κόστους, ενώ η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λειτουργία αντιπροσωπεύει περίπου το 70% του συνολικού κόστους. Στη Σουηδία, ο φωτισμός κανονικά αντιπροσωπεύει το 25-30% της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μη οικιστικά κτίρια. Όσον αφορά το μέσο όρο της LPD, ο Hanselaar κ.ά. σημειώνει ότι αυτός ο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη την απαίτηση για τη μέση φωτεινότητα. Σύμφωνα με τον Borg, ένα υπάρχον γραφείο (στη Σουηδία) χρησιμοποιεί περίπου 23kWh / m² ετησίως για ηλεκτρικό φωτισμό, ενώ μια σύγχρονη προηγμένη εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο 11kWh / m² ετησίως. Εάν ενσωματωθεί στην εγκατάσταση η πληρότητα και αισθητήρες για το φως της ημέρας, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τα φώτα μπορεί να κατέβει τόσο χαμηλά όσο 5 kWh / m² ετησίως.

Σε άλλες χώρες, ο Σανταμούρης κ.ά. ανέφερε τα ευρήματα μιας μεγάλης εκστρατείας παρακολούθησης σε 186 κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα, όπου παρακολουθείται η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, καθώς και η κατανάλωση για τον εξοπλισμό γραφείου. Τα δεδομένα για ηλεκτρικό φωτισμό έδειξαν μέση χρήση της ενέργειας που κυμαίνεται από 15 έως 25kWh / m² ετησίως, ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου. Περίπου το 50% των κτιρίων παρουσίασε κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό κατώτερη των 11kWh / m² ετησίως, ενώ για την πλειονότητα των κτιρίων (86%), η κατανάλωση ήταν λιγότερο από 20kWh / m² ετησίως.

3.7.4. Βελτίωση της τεχνολογίας λαμπτήρων

Αν και οι λαμπτήρες φθορισμού T5 υπάρχουν εδώ και 15 χρόνια, πρόσφατα στατιστικά στοιχεία (για τη Σουηδία) δείχνουν ότι πολλές από τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις φωτισμού εξακολουθούν να χρησιμοποιούν T8 ή ακόμη και μεγαλύτερης ηλικίας λαμπτήρες T12, οι οποίοι έχουν πολύ χαμηλότερη φωτεινή απόδοση (lm / W). Η αντικατάσταση T12 με λαμπτήρες T8 μπορεί να εξοικονομήσουν έως και 10% της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ δίνουν 10% περισσότερο φως. Νεότεροι λαμπτήρες 16mm T5 έχουν ακόμη υψηλότερες αποδοτικότητες (90 - 104 lm / W), επιτυγχάνοντας μείωση κατά 40% στη χρήση ενέργειας (σε σύγκριση με τους λαμπτήρες T12 60lm / W με μαγνητικά στραγγαλιστικά πηνία), αλλά αυτοί οι λαμπτήρες χρειάζονται διαφορετικά εξαρτήματα.

Πρόσφατες στατιστικές στη Σουηδία δείχνουν ότι οι λαμπτήρες φθορισμού με συμβατικά στραγγαλιστικά πηνία αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ήμισυ (46%) της εγκατεστημένης πυκνότητα ισχύος ηλεκτροφωτισμού στα γραφεία. Επίσης, τις παραδοσιακές λάμπες πυρακτώσεως αντιπροσωπεύουν το 12% της συνολικής εγκατεστημένης πυκνότητα ισχύος φωτισμού.

Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως που έχουν αντικατασταθεί με CFL είναι άμεσα πιο οικονομικοί και παρέχουν έως και 15 φορές αύξηση της αντοχής για αυτούς τους τύπους λαμπτήρων. Η αλλαγή σωλήνα συμβατικού φθορισμού με ένα σωλήνα T5 μπορεί να επιτρέψει την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση έως και 80% και την ίδια στιγμή να επιτύχει φώς χωρίς τρεμόπαιγμα. Επίσης, οι νέοι λαμπτήρες, ειδικά οι λαμπτήρες T5, περιέχουν λιγότερο υδράργυρο από τα μεγαλύτερα λαμπτήρες και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, πράγμα που σημαίνει ότι λιγότεροι λαμπτήρες πρέπει να απορρίπτονται στο

χρόνο.

Σύμφωνα με τον Borg, οι περισσότεροι τα σημερινά ενεργειακά αποδοτικά σενάρια χρησιμοποιούν τις σύγχρονες τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες στην αγορά, πράγμα που σημαίνει εκτεταμένη χρήση της πληρότητας και των αισθητήρων ημέρας, T5 ή πηγές φωτός αλογονιδίων και αποδοτικά φωτιστικά. Οι τρέχουσες προβλέψεις αποκαλύπτουν, ωστόσο, ότι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) θα πρέπει να παρέχουν την πλειοψηφία των πηγών φωτός από το 2035. Η αποτελεσματικότητα του φωτός LED αυξάνεται πολύ γρήγορα και έχει σχεδόν διπλασιαστεί από κάθε άλλη χρονιά. Το 2009, ήταν διαθέσιμα τα λευκά LED με αποτελεσματικότητα 100 lm/W. Ωστόσο, αναμένεται ότι πιο παραδοσιακές πηγές φωτισμού, θα πρέπει να παίξουν τον κυρίαρχο ρόλο για κάποιο χρονικό διάστημα ακόμα, πράγμα που σημαίνει ότι θα είναι πιθανό να παράσχει σημαντικές ευκαιρίες εξοικονόμησης ενέργειας στο άμεσο μέλλον.

Άλλες στρατηγικές που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις ηλεκτροφωτισμού είναι οι εξής:

- Βελτίωση στην τεχνολογία στραγγαλιστικού πηνίου.
- Βελτίωση φωτιστικών
- Η χρήση του φωτισμού εργασίας / περιβάλλοντος.
- Βελτίωση του συντελεστή συντήρησης
- Βελτίωση του συντελεστή εκμετάλλευσης
- Μείωση των διατήρησαν τα επίπεδα φωτισμού
- Μείωση του χρόνου ενεργοποίησης.
- Χρήση του εγχειριδίου / αυτόματη αντιθαμβωτική λειτουργία και την πληρότητα των αισθητήρων.

3.8. Απρόβλεπτα μονοπάτια εξέλιξης της τεχνολογίας

Η τεχνολογική πρόοδος είναι σταδιακή. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας SSL πήρε μισό αιώνα από τη δεκαετία του 1950 τουλάχιστον, μέχρι την διαθεσιμότητα του λευκού φωτός από μπλε LED με φώσφορο το 1997, με τη συνεχή ανάπτυξη των πιο προηγμένων λαμπτήρων LED στη συνέχεια. Οι εργασίες στις τεχνολογίες LED με εμπορικές υποσχέσεις σημειώθηκαν για πάνω από τρισήμισια χρόνια, συμπεριλαμβανομένων της επιτυχίας του Holonyak το 1962. Υπήρξαν εξαιρετικές ανακαλύψεις βασισμένες σε προηγούμενες εξελίξεις που είχαν προχωρήσει επί δεκαετίες. Η αποτελεσματικότητα βελτιώθηκε σταδιακά προς το 100% από το 1968 μέχρι και το 2003, και το κόστος ανά αυλό βελτιωνόταν σταθερά από το 1968 μέχρι το 2010.

Η τεχνολογική πρόοδος έχει πολλά μονοπάτια που είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Στη βιομηχανία SSL, ένα παράδειγμα είναι η διαλείπουσα ανάπτυξη των λαμπτήρων GaN, τα GaN LED R&D τα οποία προέκυψαν νωρίς στην RCA, αλλά στη συνέχεια εγκαταλείφθηκαν σταδιακά από όλους σχεδόν τους ερευνητές και άλλα φαινομενικά πιο ελπιδοφόρα υλικά συνεχίστηκαν, μέχρι τη δεκαετία του 1980 και του 1990, όταν το αυτοσάντερ υλικό GaN τελικά επιτυγχάνει θεαματική επιτυχία. Παρόμοια διακλάδωση της δραστηριότητας και δυσκολία πρόβλεψης συνέβη σε μικρότερη κλίμακα σε μεμονωμένα ερευνητικά έργα.

Η επανάληψη της εφευρετικής δραστηριότητας είναι κοινή, αλλά οι πολλαπλές δραστηριότητες μπορεί να διαφέρουν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και το καθένα μπορεί να έχει περιορισμένες πιθανότητες επιτυχίας. Για την τεχνολογίαSSL, ακόμη και μη δημοφιλείς προσεγγίσεις (όπως το GaN) έτειναν να έχουν πολλαπλούς ερευνητές, έτσι ώστε αν κάποιος ερευνητής δεν λειτούργησε σε ένα γενικό θέμα, θα το έκανε ένας άλλος. Αυτή η επικάλυψη της εφευρετικής δραστηριότητας μπορεί να είναι χρήσιμη: κάθε ερευνητής έχει μόνο μια πιθανότητα επιτυχίας, τα αποτελέσματα της έρευνας συνήθως διαφέρουν σε σημαντικούς θέματα, όπως οι μέθοδοι και τα εργαλεία, καθώς και οι ικανότητες που αποκτήθηκαν μέσω της έρευνας ενίσχυσαν τη μελλοντική δουλειά των ερευνητών (Schmookler, 1966 , σελ. 189-195).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Νομοθεσία και θεσμικά πλαίσια

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του KENAK στα κτίρια του τριτογενούς τομέα ορίζει ότι για επιφάνεια κτιρίου ή θερμικής ζώνης μεγαλύτερη από 15 m² ο τεχνητός φωτισμός του πρέπει να είναι κατανεμημένος σε περισσότερα του ενός κυκλώματα και να ελέγχεται με χωριστούς διακόπτες. Σε χώρους όπου δεν υπάρχει συνεχής παρουσία ατόμων, όπως σε τουαλέτες, δευτερεύοντες διαδρόμους, βοηθητικούς χώρους αλλά ακόμη και σε ατομικά γραφεία συνιστάται η χρήση αισθητήρων ανίχνευσης παρουσίας για τον έλεγχο του φωτισμού. Στους χώρους με φυσικό φωτισμό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο διαχωρισμός των ζωνών που καλύπτονται από φυσικό φωτισμό και να εξασφαλίζεται η δυνατότητα ελέγχου/σβέσης τουλάχιστον του 50% των λαμπτήρων που βρίσκονται εντός αυτών, μέσω αισθητήρων φωτισμού ή η δυνατότητα συνεχούς ρύθμισης της φωτεινότητας των λαμπτήρων μέσω κατάλληλου συστήματος ελέγχου του φωτισμού.

Καθορίζεται ότι στο υπό μελέτη κτίριο, καθώς και στο κτίριο αναφοράς η φωτεινή δραστηριότητα (απόδοση) είναι κατ' ελάχιστον 55 lm/W.

Με βάση τον KENAK σε γραφεία γενικά, λογιστήρια και τράπεζες πρέπει να έχουμε 150-200 lux και συγκεκριμένα στο ύψος επιπέδου εργασίας πρέπει να έχουμε σίγουρα 750 lm.

4.2 Εισαγωγή στο πρόγραμμα DIALux.

Η επιλογή των φωτιστικών και λαμπτήρων που θα χρησιμοποιηθούν θα γίνει σύμφωνα με την νομοθεσία, όπως ορίζει ο KENAK, για την ένταση και τη φωτεινή ισχύ που απαιτείται στο εσωτερικό κτιρίων εργασίας και με τη χρήση του προγράμματος **DIALux**.

Στο πρόγραμμα αρχικά θέτουμε τα εισαγωγικά στοιχεία μελέτης(ονομ/μο, στοιχεία επικοινωνίας και άλλες πληροφορίες) όπως αυτά θέλουμε να εμφανίζονται στην έκθεση αναφοράς του προγράμματος.

Βοηθός φωτός DIALux

Στοιχεία μελέτης
Πληκτρολογήστε εδώ όλα τα στοιχεία σχετικά με τη μελέτη, το χώρο και το μελετητή.

Ιδιότητες μελέτης

Όνομα μελέτης:

Όνομα χώρου:

Περιγραφή μελέτης:

Πεδία δεδομένων με ελεύθερη ονομασία, που εμφανίζονται στο εξώφυλλο της μελέτης:

Όνομα πεδίου:	Τιμή:
1. Partner for Contact	<input type="text"/>
2. Order No.	<input type="text"/>
3. Company	<input type="text"/>
4. Customer No.	<input type="text"/>
5. <input type="text"/>	<input type="text"/>

Για να αποθηκεύσετε τα ονόματα πεδίων για μελλοντικές μελέτες, κάντε κλικ εδώ.

Υπεύθυνος επεξεργασίας

Υπεύθυνος επεξεργασίας:

Τηλέφωνο:

ΦΑΞ:

E-Mail:

Εταιρεία:

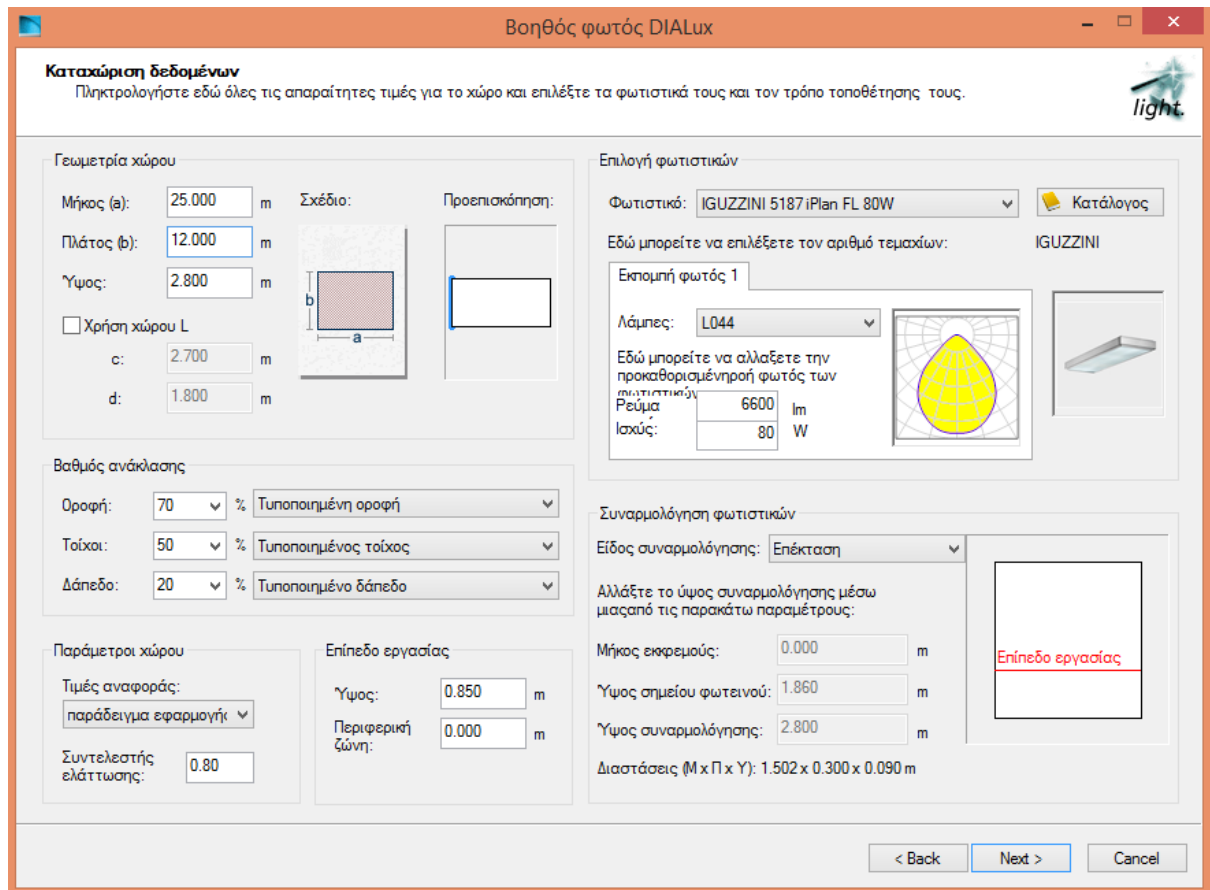
Διεύθυνση:

Λογότυπο της εταιρίας:

Για να αποθηκεύσετε τα δεδομένα για το μελετητή για μελλοντικές μελέτες, κάντε κλικ εδώ.

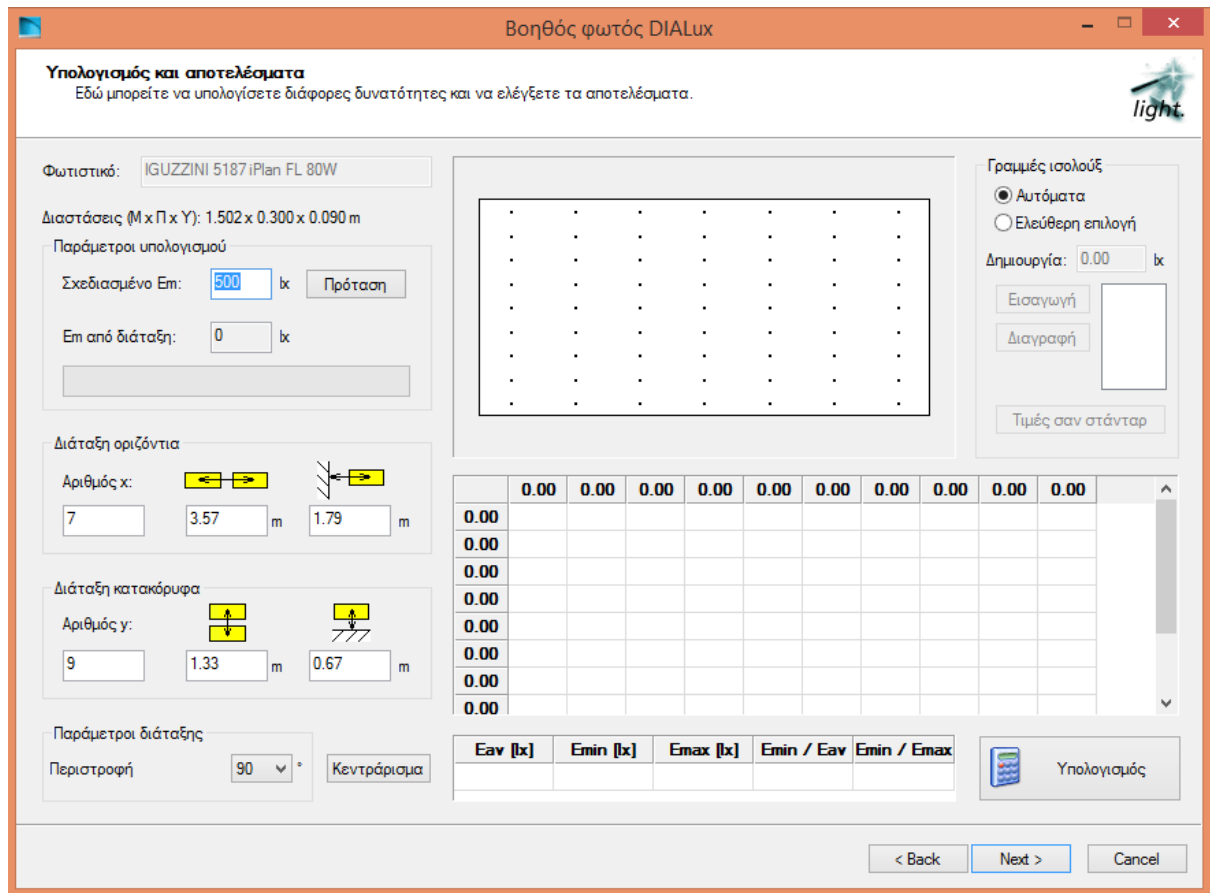
Εικόνα 4.1 Στοιχεία μελέτης

Στη 2^η σελίδα μελέτης του προγράμματος εισάγουμε τα στοιχεία του χώρου (μήκος, πλάτος, ύψος) και το ύψος επιπέδου εργασίας που είναι το σημείο αναφοράς για την μέτρηση της έντασης φωτός με βάση τον ΚΕΝΑΚ. Επιλέγουμε τον τύπο υλικού των τοίχων, δαπέδου και οροφής από την βάση δεδομένων του λογισμικού, ή την τυποποιημένη τους μορφή, προκειμένου το πρόγραμμα να ορίσει τους σωστούς συντελεστές ανάκλασης. Στη συνέχεια γίνεται η επιλογή των φωτιστικών που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Υπάρχει μια αρκετά μεγάλη βάση δεδομένων του προγράμματος με καταλόγους εταιρειών κατασκευής λαμπτήρων και φωτιστικών ή εισάγουμε τον κατάλογο επιλογής μας μέσω του ιστότοπου της εταιρείας. Στην περίπτωση που αναλύθηκε, χρησιμοποιήσαμε λαμπτήρες και φωτιστικά της εταιρείας **iGuzzini illuminazione S.p.A**, μιας διεθνούς και γνωστής Ιταλικής εταιρείας που η βάση δεδομένων της υπήρχε ήδη καταχωρημένη στο πρόγραμμα. Ακόμη έχουμε την επιλογή αν θα ρυθμίσουμε την αρχική ισχύ και ένταση φωτισμού (μέσω στραγγαλιστικού πηνίου) ή θα διατηρήσουμε την προκαθορισμένη του κατασκευαστή. Τα φωτιστικά που χρησιμοποιήσαμε και στις 2 περιπτώσεις είναι τύπου **χωνευτά οροφής**, γι' αυτό και το πρόγραμμα δε μας δίνει την επιλογή ρύθμισης μήκους εκκρεμούς.



Εικόνα 4.2 Καταχώριση δεδομένων χώρου

Στην 3^η σελίδα μελέτης έχουμε το στάδιο υπολογισμού. Εδώ, ορίζουμε τη μέση ένταση φωτισμού(σε lux) που θέλουμε να έχουμε στον χώρο μας και το πρόγραμμα υπολογίζει την κατανομή και τον αριθμό φωτιστικών σωμάτων που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν καθώς και σε τι απόσταση θα τοποθετηθούν το ένα με το άλλο. Στην δική μας ανάλυση, χρησιμοποιήθηκε διαφορετική ένταση για κάθε μια από τις 2 περιπτώσεις καθώς όπως προκύπτει μετά τους υπολογισμούς είχαν διαφορετική απόδοση τα 2 συστήματα. Επειδή λοιπόν ο KENAK ορίζει ως κατώτατο επιθυμητό όριο μέσου φωτισμού σε εσωτερικό κτιρίων εργασίας τα 150 lux και στην περίπτωση του φωτισμού με λαμπτήρες φθορισμού είχαμε περίπτωση με αρκετά χαμηλότερο επίπεδο, αυξήσαμε το μέσο Σχεδιασμένο E_m προκειμένου η τελική απόδοση να ναι κοντά στο όριο. Στην περίπτωση σχεδιασμού με **led** ορίσαμε **$E_m = 250 \text{ lux}$** , ενώ στο σχεδιασμό με **λαμπτήρες φθορισμού**, **$E_m = 330 \text{ lux}$** . Στη συνέχεια δε συμπληρώνουμε κάποια άλλη παράμετρο και προχωράμε πατώντας το κουμπί υπολογισμός.



Εικόνα 4.3 Υπολογισμός και αποτελέσματα (εισαγωγή αρχικών στοιχείων προς υπολογισμό)

Αφού λοιπόν ολοκληρωθεί το στάδιο του υπολογισμού προκύπτει μία σελίδα αναφοράς με τα στοιχεία για το κάθε φωτιστικό στον χώρο η οποία έχει την παρακάτω μορφή. Μας δίνει ακόμη τη δυνατότητα να αλλάξουμε κάποιες επιλογές στο σύστημα, όπως την προτεινόμενη εγκατεστημένη ισχύ καθώς και τη μορφή διάταξης των φωτιστικών.

Βοηθός φωτός DIALux

Υπολογισμός και αποτελέσματα
Εδώ μπορείτε να υπολογίσετε διάφορες δυνατότητες και να ελέγξετε τα αποτελέσματα.

Φωτιστικό: IGUZZINI 5187iPlan FL 80W

Διαστάσεις (Μ x Π x Υ): 1.502 x 0.300 x 0.090 m

Παράμετροι υπολογισμού

Σχεδιασμένο Em: 500 lx

Em από διάταξη: 0 lx

Διάταξη οριζόντια

Αριθμός x: m m

Διάταξη κατακόρυφα

Αριθμός y: m m

Παράμετροι διάταξης

Περιστροφή: 90°

Γραμμές ισολούξ

Αυτόματα
 Ελεύθερη επιλογή

Δημιουργία: 0.00 lx

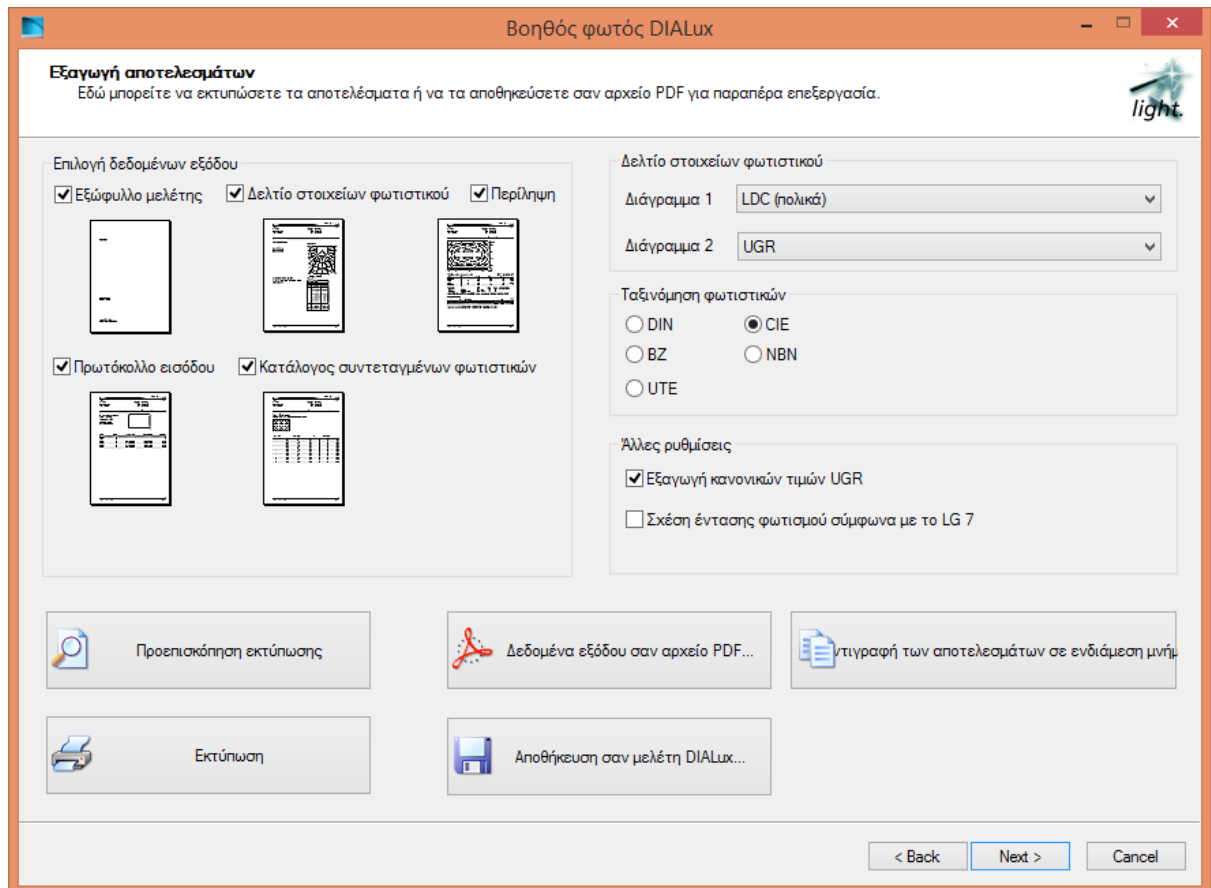
	0.09	0.28	0.47	0.66	0.84	1.03	1.22	1.41	1.59	1.78	1.97
12.40	225	250	290	327	360	397	430	455	481	483	476
12.21	236	265	314	357	399	442	484	514	542	545	536
12.01	255	290	343	393	439	491	536	569	601	604	593
11.82	266	303	363	417	470	526	574	611	644	647	636
11.62	266	309	370	431	482	540	593	632	665	669	656
11.43	273	317	382	444	497	557	612	651	685	689	676
11.23	284	330	397	462	517	580	636	677	711	714	703

Eav [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Eav	Emin / Emax
587	224	823	0.38	0.27

< Back

Εικόνα 4.4 Υπολογισμός και αποτελέσματα (κατανομή φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με τα δεδομένα που δώσαμε)

Εφόσον δεν θέλουμε να πραγματοποιήσουμε κάποια αλλαγή στο σχέδιο μελέτης, προχωράμε στο επόμενο στάδιο που είναι και το τελικό φύλλο εργασίας και παρουσιάζεται ως εξής:



Εικόνα 4.5 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Εδώ γίνεται επιλογή των δεδομένων εξόδου που θέλουμε να εμφανίσει το πρόγραμμα σαν αναφορά. Επίσης μας δίνεται η επιλογή της ρύθμισης της ταξινόμησης των φωτιστικών σύμφωνα με τις προδιαγραφές που θα ορίσουμε (din, cie, bz, nbh, ute). Επιλέγουμε ταξινόμηση κατά **CIE**.

Πατώντας το κουμπί **δεδομένα εξόδου σαν αρχείο PDF** εμφανίζεται η έκθεση αναφοράς του προγράμματος για τα στοιχεία που εισάγαμε.

4.3. Εκθέσεις αποτελεσμάτων προγράμματος Dialux

4.3.1. Μελέτη περίπτωσης λαμπτήρων φθορισμού

Παρακάτω παρουσιάζεται η έκθεση αναφοράς του προγράμματος Dialux για την περίπτωση λαμπτήρων φθορισμού όπως έγινε εξαγωγή από το πρόγραμμα.

Μελέτη 1

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

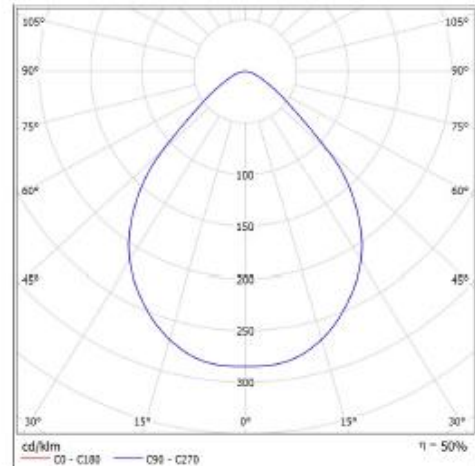
Ημερομηνία: 03.01.2015
Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
 Τηλέφωνο
 Φαξ
 e-Mail

IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W / Δελτίο στοιχείων φωτιστικού



Εκπομπή φωτός 1:



Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 100
 Κωδικός ροής CIE: 70 94 99 100 50

5187 :
 Ceiling-mounted luminaire, designed to use T16 linear fluorescent lamps. Optical assembly with painted, extruded aluminium lateral profiles, plastic end caps. Optical assembly consists of super-pure aluminium reflectors. The methacrylate diffuser screen has micropisms and, combined with a milky polycarbonate diffuser film, allows optimum diffusion of the direct light and luminance control $L < 1,500 \text{ cd/m}^2$ for $\alpha 765^\circ$ (35W). Luminaire suitable for use in environments with video terminals in accordance with EN 12464-1. Ceiling-mounted version complete with plate for fitting on ceiling and anti-fall safety cables.

5187.001 - Indoor ceiling-mounted luminaire - 1500x300 mm H 50 mm - 2X35(49W T16 - White
 L044 - Lamp Linear fluorescent lamp 35W GS 4000 K

Εκπομπή φωτός 1:

Αξιολόγηση θόμβωσης κατά UGR											
μ. Όροση	70	75	80	90	95	98	99	99	99	99	
μ. Τάση	50	70	90	90	90	90	90	90	90	90	
μ. Ισχύς	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Υψόμετρο πάτου h	Οπτική κατακόρυγη γωνία προς τον άξονα λάμπας					Οπτική κατακόρυγη γωνία προς τον άξονα λάμπας					
2H	2H	13,2	14,2	13,5	14,4	14,6	13,2	14,2	13,5	14,4	14,6
3H	3H	12,4	14,3	12,7	14,6	14,8	12,4	14,3	12,7	14,6	14,8
4H	4H	12,1	14,4	12,6	14,7	14,9	12,1	14,4	12,9	14,7	14,9
6H	6H	12,6	14,4	12,9	14,7	15,0	12,6	14,4	13,9	14,7	15,0
8H	8H	12,6	14,4	14,0	14,7	15,0	12,6	14,4	14,0	14,7	15,0
12H	12H	12,6	14,3	14,0	14,6	15,0	12,6	14,3	14,0	14,6	15,0
4H	2H	12,3	14,1	12,6	14,4	14,7	12,3	14,1	12,6	14,4	14,7
3H	3H	12,4	14,3	14,0	14,7	15,0	12,4	14,3	14,0	14,7	15,0
6H	6H	12,8	14,4	14,2	14,8	15,1	12,8	14,4	14,2	14,8	15,1
8H	8H	14,0	14,5	14,4	14,9	15,2	14,0	14,5	14,4	14,9	15,2
8H	8H	14,0	14,5	14,4	14,9	15,3	14,0	14,5	14,4	14,9	15,3
12H	12H	14,0	14,5	14,5	14,9	15,3	14,0	14,5	14,5	14,9	15,3
8H	4H	12,8	14,2	14,2	14,7	15,1	12,8	14,2	14,2	14,7	15,1
6H	6H	14,0	14,4	14,5	14,9	15,3	14,0	14,4	14,5	14,9	15,3
8H	8H	14,1	14,5	14,6	14,9	15,4	14,1	14,5	14,6	14,9	15,4
12H	12H	14,2	14,5	14,7	14,9	15,4	14,2	14,5	14,7	14,9	15,4
8H	4H	12,8	14,2	14,3	14,7	15,1	12,8	14,2	14,3	14,7	15,1
6H	6H	14,0	14,4	14,5	14,8	15,3	14,0	14,4	14,5	14,8	15,3
8H	8H	14,1	14,4	14,6	14,9	15,4	14,1	14,4	14,6	14,9	15,4

Παράδειγμα της μέσης παρατηρητή ως συνιστώσα φωτιστικού

S = 1,0H	+0,8 / -1,4	+0,9 / -1,4
S = 1,5H	+2,0 / -2,4	+2,0 / -2,4
S = 2,0H	+3,6 / -3,2	+3,6 / -3,2

Σύντομα ονόματα Προσθητικός δείκτης

BR02	BR02
-6,2	-6,2

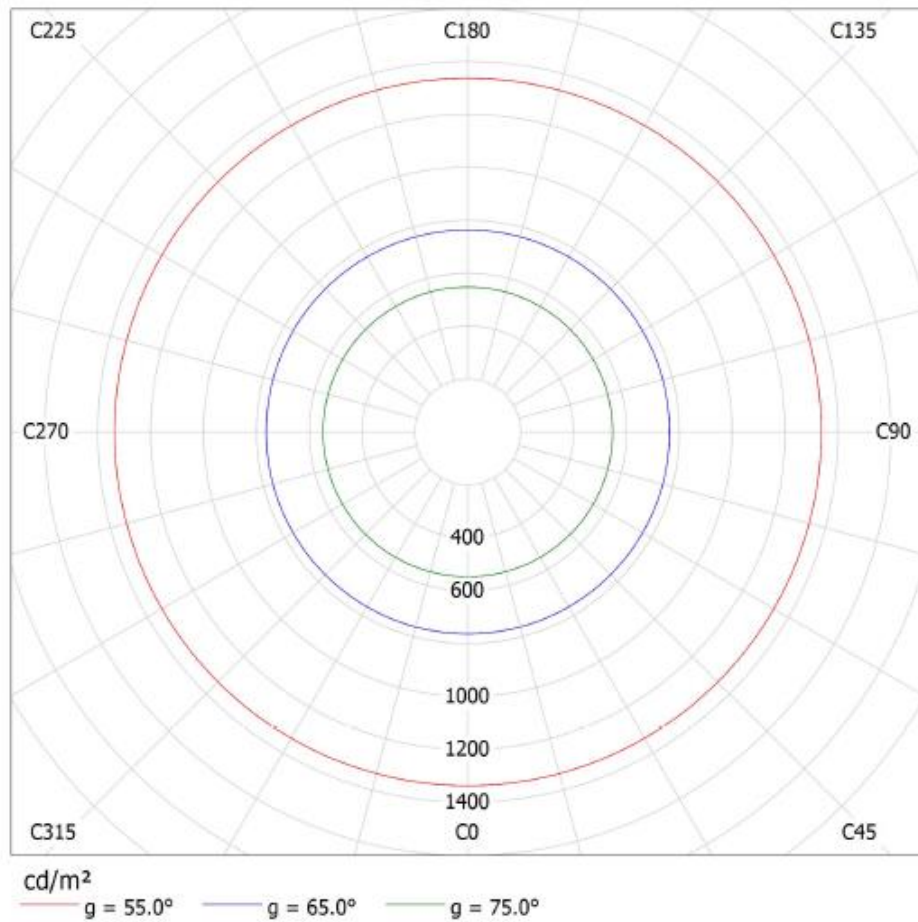
(Αναφορικοί δείκτες σε τεράστιες αναφορές με BR02 σε συνολικό φωτιστικό)

Συστατικά:
 •1 x
 •1 x Source 1

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
Τηλέφωνο
Φαξ
e-Mail

IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W / Διάγραμμα πυκνότητας φωτεινότητας

Φωτιστικό: IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W
Λάμπες: 2 x L044



IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W / Πίνακας έντασης φωτός

Φωτιστικό: IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W
Λάμπες: 2 x L044

Gamma	C 0°
0.0°	285
5.0°	284
10.0°	281
15.0°	271
20.0°	257
25.0°	240
30.0°	221
35.0°	196
40.0°	164
45.0°	124
50.0°	73
55.0°	46
60.0°	30
65.0°	19
70.0°	13
75.0°	8.52
80.0°	5.01
85.0°	2.21
90.0°	0.00

Τιμές σε cd/klm

IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W / Πίνακας πυκνότητας φωτεινότητας

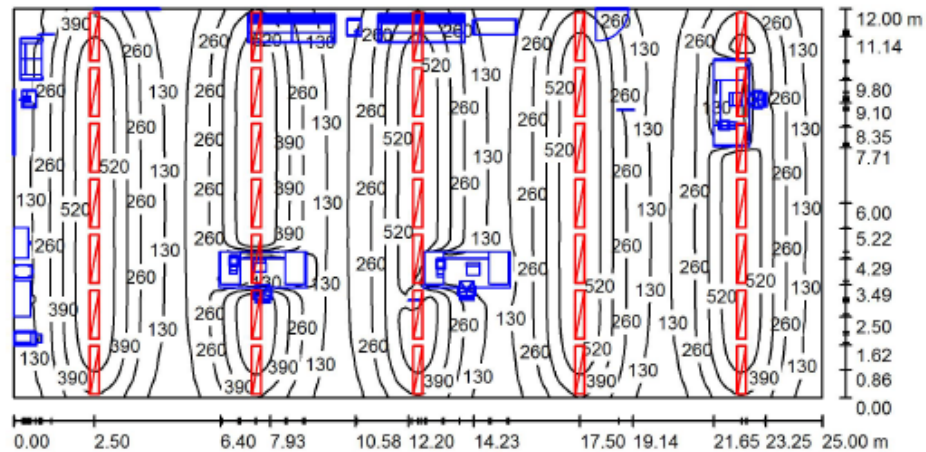
Φωτιστικό: IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W
Λάμπες: 2 x L044

Gamma	C 0°
0.0°	4733
5.0°	4748
10.0°	4738
15.0°	4667
20.0°	4553
25.0°	4408
30.0°	4249
35.0°	3986
40.0°	3569
45.0°	2922
50.0°	1897
55.0°	1336
60.0°	991
65.0°	763
70.0°	630
75.0°	547
80.0°	480
85.0°	423

Τιμές σε Candela/m².

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
Τηλέφωνο
Φαξ
e-Mail

Εσωτερικός χώρος 1 / Περίληψη



Ύψος χώρου: 2.800 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.800 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:179

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Επίπεδο εργασίας	/	311	21	648	0.067
Δάπεδο	20	282	18	466	0.064
Οροφή	70	57	39	95	0.687
Τοίχοι (4)	50	101	16	684	/

Επίπεδο εργασίας:

Ύψος: 0.850 m
Κάναβος: 128 x 128 Σημεία
Περιφερική ζώνη: 0.000 m

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	35	IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W (1.000)	3319	6600	80.0
			Συνολικά: 116182	Συνολικά: 231000	2800.0

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $9.33 \text{ W/m}^2 = 3.00 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 300.00 m^2)

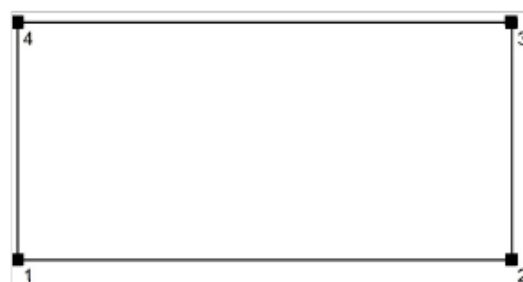
Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
Τηλέφωνο
Φαξ
e-Mail

Εσωτερικός χώρος 1 / Πρωτόκολλο εισόδου

Ύψος του επιπέδου εργασίας: 0.850 m
Περιφερική ζώνη: 0.000 m

Συντελεστής συντήρησης: 0.80

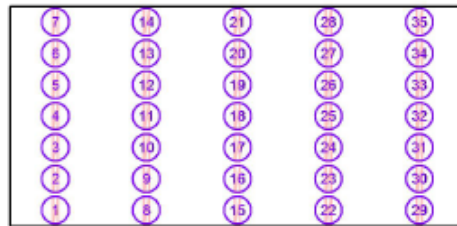
Ύψος χώρου: 2.800 m
Βασική επιφάνεια: 300.00 m²



Επιφάνεια	Rho [%]	από ([m] [m])	προς ([m] [m])	Μήκος [m]
Δάπεδο	20	/	/	/
Οροφή	70	/	/	/
Τοίχος 1	50	(0.000 0.000)	(25.000 0.000)	25.000
Τοίχος 2	50	(25.000 0.000)	(25.000 12.000)	12.000
Τοίχος 3	50	(25.000 12.000)	(0.000 12.000)	25.000
Τοίχος 4	50	(0.000 12.000)	(0.000 0.000)	12.000

Εσωτερικός χώρος 1 / Φωτιστικά (λίστα συντεταγμένων)**IGUZZINI 5187 iPlan FL 80W**

3319 lm, 80.0 W, 1 x 2 x L044 (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).



Αρ.	Θέση [m]			Περιστροφή [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	2.500	0.857	2.800	0.0	0.0	0.0
2	2.500	2.571	2.800	0.0	0.0	0.0
3	2.500	4.286	2.800	0.0	0.0	0.0
4	2.500	6.000	2.800	0.0	0.0	0.0
5	2.500	7.714	2.800	0.0	0.0	0.0
6	2.500	9.429	2.800	0.0	0.0	0.0
7	2.500	11.143	2.800	0.0	0.0	0.0
8	7.500	0.857	2.800	0.0	0.0	0.0
9	7.500	2.571	2.800	0.0	0.0	0.0
10	7.500	4.286	2.800	0.0	0.0	0.0
11	7.500	6.000	2.800	0.0	0.0	0.0
12	7.500	7.714	2.800	0.0	0.0	0.0
13	7.500	9.429	2.800	0.0	0.0	0.0
14	7.500	11.143	2.800	0.0	0.0	0.0
15	12.500	0.857	2.800	0.0	0.0	0.0
16	12.500	2.571	2.800	0.0	0.0	0.0
17	12.500	4.286	2.800	0.0	0.0	0.0
18	12.500	6.000	2.800	0.0	0.0	0.0
19	12.500	7.714	2.800	0.0	0.0	0.0
20	12.500	9.429	2.800	0.0	0.0	0.0
21	12.500	11.143	2.800	0.0	0.0	0.0
22	17.500	0.857	2.800	0.0	0.0	0.0
23	17.500	2.571	2.800	0.0	0.0	0.0
24	17.500	4.286	2.800	0.0	0.0	0.0
25	17.500	6.000	2.800	0.0	0.0	0.0
26	17.500	7.714	2.800	0.0	0.0	0.0
27	17.500	9.429	2.800	0.0	0.0	0.0
28	17.500	11.143	2.800	0.0	0.0	0.0

Εσωτερικός χώρος 1 / Φωτιστικά (λίστα συντεταγμένων)

Αρ.	Θέση [m]			Περιστροφή [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
29	22.500	0.857	2.800	0.0	0.0	0.0
30	22.500	2.571	2.800	0.0	0.0	0.0
31	22.500	4.286	2.800	0.0	0.0	0.0
32	22.500	6.000	2.800	0.0	0.0	0.0
33	22.500	7.714	2.800	0.0	0.0	0.0
34	22.500	9.429	2.800	0.0	0.0	0.0
35	22.500	11.143	2.800	0.0	0.0	0.0

Εσωτερικός χώρος 1 / Φωτοτεχνικά αποτελέσματα

Συνολική φωτεινή ροή: 116182 lm
 Συνολική ισχύς: 2800.0 W
 Συντελεστής συντήρησης: 0.80
 Περιφερική ζώνη: 0.000 m

Επιφάνεια	Μέση ένταση φωτισμού [lx]			Συντελεστής ανάκλασης [%]	Μέσος Πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m ²]
	Άμεσα	έμμεσα	συνολικά		
Επίπεδο εργασίας	273	39	311	/	/
Δάπεδο	244	38	282	20	18
Οροφή	0.00	57	57	70	13
Τοίχος 1	75	44	119	50	19
Τοίχος 2	34	46	80	50	13
Τοίχος 3	71	42	113	50	18
Τοίχος 4	24	34	58	50	9.22

Ομοιομορφίες στο επίπεδο εργασίας

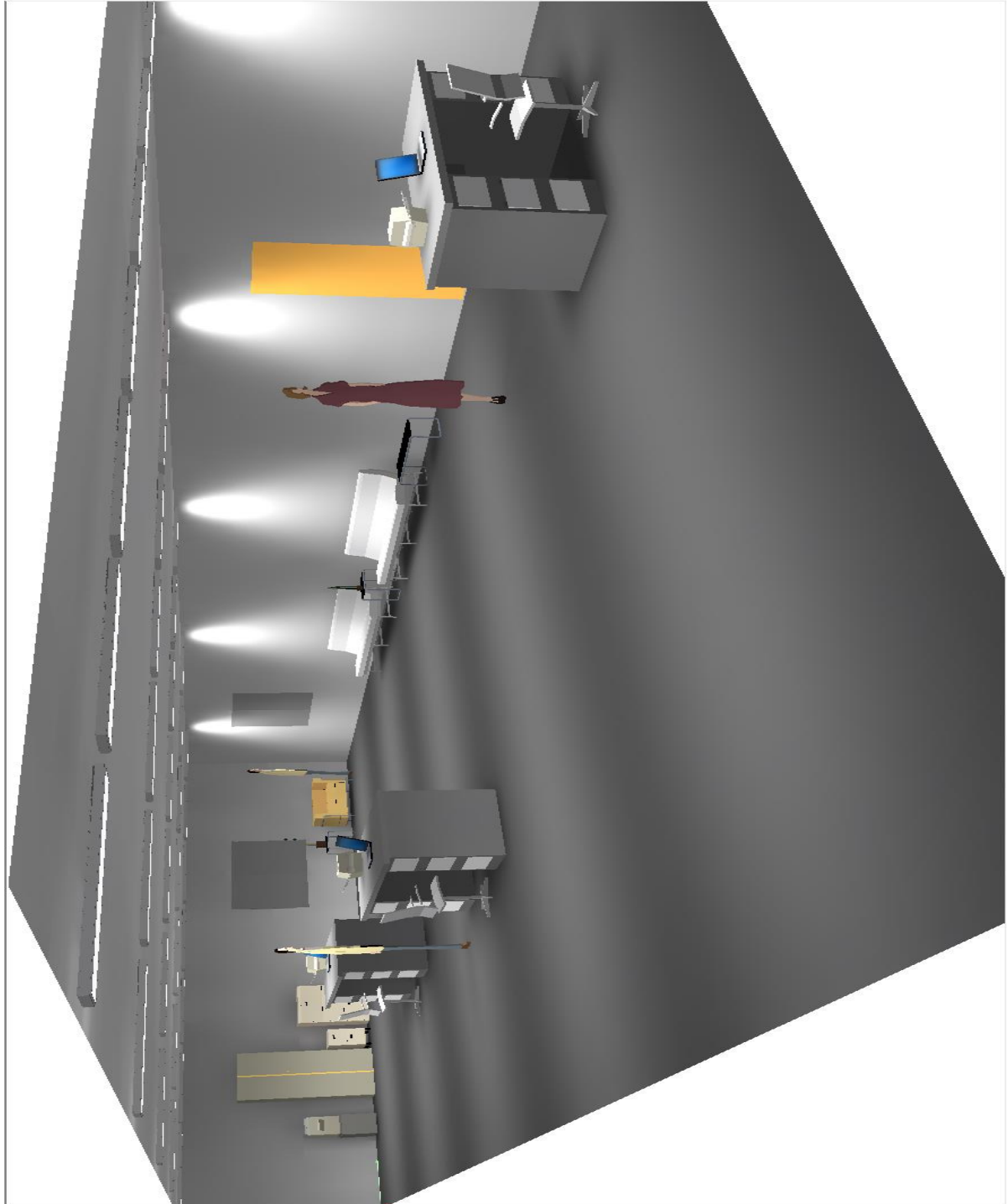
E_{min} / E_m : 0.067 (1:15)

E_{min} / E_{max} : 0.032 (1:31)

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: 9.33 W/m² = 3.00 W/m²/100 lx (Βασική επιφάνεια: 300.00 m²)

4.3.2. Απεικόνιση χώρου με φωτισμό λαμπτήρων φθορισμού

Με μία διαφορετική λειτουργία του προγράμματος DiaLux σχεδιάστηκε αντιπροσωπευτικά η μορφή του χώρου με εφαρμογή λαμπτήρων φθορισμού, εξασφαλίζοντας με το πρόγραμμα την ακριβή ποσότητα φωτεινότητας, αντανάκλασης και σκίασης (όπου υπάρχουν αντικείμενα) δημιουργώντας έτσι μία ρεαλιστική εικόνα του πραγματικού χώρου, που η απεικόνισή του φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.6 Εσωτερικός χώρος κτιρίου γραφείων με λαμπτήρες φθορισμού

4.3.3. Μελέτη περίπτωσης λαμπτήρων LED

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η έκθεση αναφοράς του προγράμματος Dialux για την περίπτωση λαμπτήρων LED όπως έγινε εξαγωγή από το πρόγραμμα.

Μελέτη 1

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

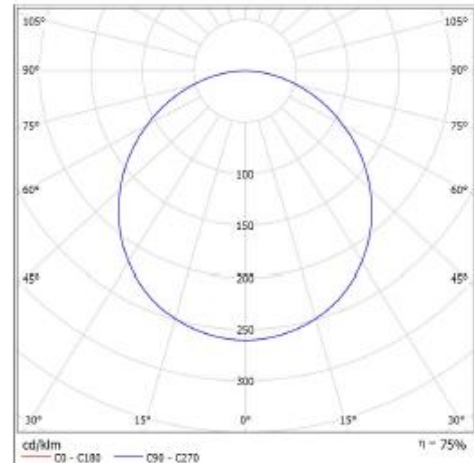
Ημερομηνία: 03.01.2015
Υπεύθυνος επεξεργασίας: ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
Τηλέφωνο
Φαξ
e-Mail

IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W / Δελτίο στοιχείων φωτιστικού



Εκπομπή φωτός 1:



Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 100
Κωδικός ροής CIE: 47 78 95 100 75

ME84 :
Direct emission recessed or ceiling-mounted luminaire designed to use neutral white 4000K high colour rendering LEDs. The optical assembly consists of an anodised extruded frame, a methacrylate diffuser screen for general light emission and a painted sheet metal rear closing base. The LEDs are arranged inside the perimeter and the driver is housed in the product. Lifetime LEDs with residual flow at 80% (L80): 50,000 h at Ta 25°.

9695 :
Accessory for installation in plasterboard false ceiling for square versions

ME84.D12 - iPlan - 596 x 596 mm h 26 mm - 50W - neutral white LED 6200 lm - electronic control gear - general light optic - Aluminium
9695.D15 - Accessory for installation - Grey
LL39 - Lamp nr. 14 X 12 leds neutral white

Εκπομπή φωτός 1:

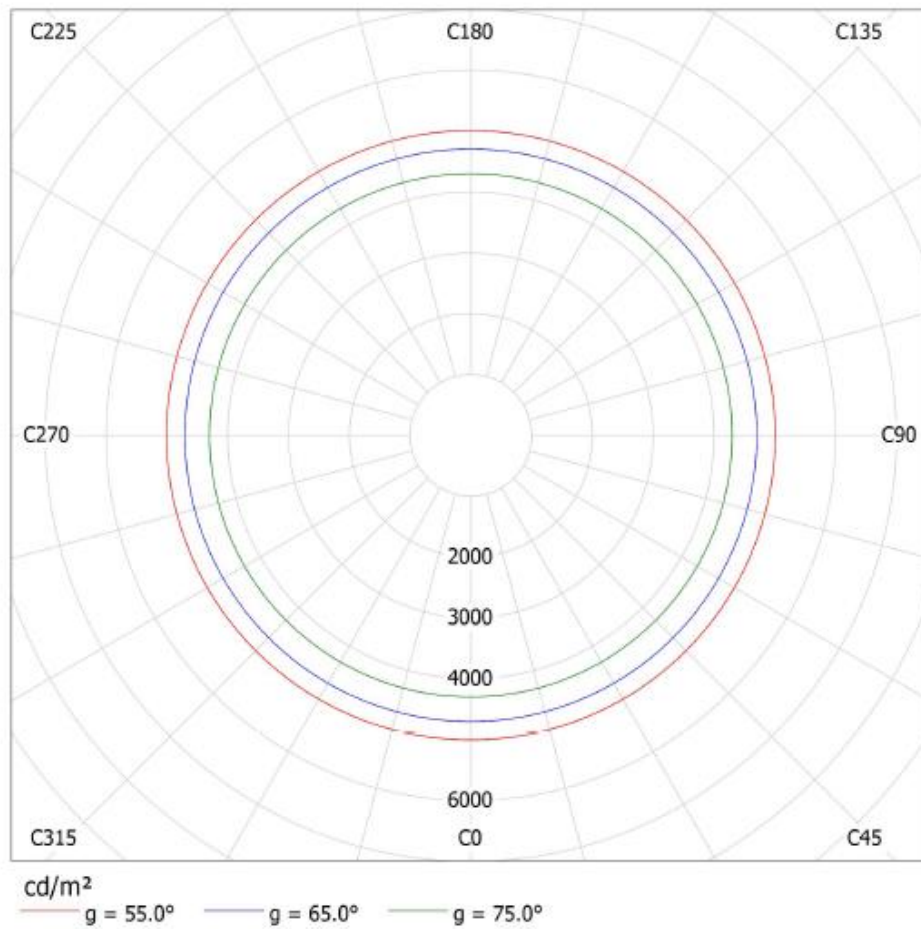
Αξιολόγηση θάμβωσης κατά UGR											
μ. Δοσολ	70	75	80	85	90	95	100	90	85	80	
μ. Τάση	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
μ. Διάμετρο	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
Πλευράς μέτρου γ	Οπτική καταβύθιση ανάμεσα προς τον άξονα λάμπας					Οπτική καταβύθιση περιέλιξη προς τον άξονα λάμπας					
2H	2H	20.2	19.5	18.5	19.8	20.8	19.2	18.5	18.5	19.8	20.0
	3H	19.8	19.0	18.1	21.3	21.8	19.8	21.0	20.1	21.3	21.6
	4H	20.5	21.6	20.8	21.9	22.2	20.5	21.6	20.8	21.9	22.2
	6H	21.8	22.1	21.4	22.4	22.7	21.8	22.1	21.4	22.4	22.7
	8H	21.2	22.2	21.5	22.5	22.9	21.2	22.2	21.5	22.5	22.9
4H	12H	21.3	22.3	21.7	22.6	23.0	21.3	22.3	21.7	22.6	23.0
	2H	20.9	20.0	19.2	20.3	20.6	18.0	20.0	19.2	20.3	20.6
	3H	20.7	21.7	21.1	22.0	22.3	20.7	21.7	21.1	22.0	22.3
	4H	21.5	22.4	21.9	22.7	23.1	21.5	22.4	21.9	22.7	23.1
	6H	22.2	22.9	22.6	23.3	23.7	22.2	22.9	22.6	23.3	23.7
8H	12H	22.4	23.1	22.9	23.5	23.9	22.4	23.1	22.9	23.5	23.9
	4H	22.6	23.2	23.1	23.7	24.1	22.6	23.2	23.1	23.7	24.1
	6H	22.7	23.2	23.1	23.7	24.1	22.7	23.2	23.1	23.7	24.1
	8H	23.8	23.5	23.5	24.0	24.4	23.0	23.5	23.5	24.0	24.4
	12H	23.3	23.7	23.6	24.2	24.7	23.3	23.7	23.6	24.2	24.7
12H	4H	21.9	22.5	22.3	22.9	23.4	21.9	22.5	22.3	22.9	23.4
	6H	22.7	23.2	23.2	23.7	24.2	22.7	23.2	23.2	23.7	24.2
	8H	23.1	23.6	23.6	24.0	24.5	23.1	23.6	23.6	24.0	24.5
Παράδειγμα για άλλες αποστάσεις, για οποιαδήποτε συνθήκη S											
S = 1.0H	+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1					
S = 1.5H	+0.2 / -0.3					+0.2 / -0.3					
S = 2.0H	+0.4 / -0.6					+0.4 / -0.6					
Σύνταξη πινάκας Προσθητικός Πόρος	B036					B036					
Προσθητικός Πόρος	4.7					4.7					

Συστατικά:
• 1 x
• 1 x Source 1

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
 Τηλεφωνο
 Φαξ
 e-Mail

IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W / Διάγραμμα πυκνότητας φωτεινότητας

Φωτιστικό: IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W
 Λάμπες: 1 x LL39



IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W / Πίνακας έντασης φωτός

Φωτιστικό: IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W
Λάμπες: 1 x LL39

Gamma	C 0°
0.0°	261
5.0°	259
10.0°	256
15.0°	250
20.0°	243
25.0°	233
30.0°	221
35.0°	207
40.0°	191
45.0°	173
50.0°	154
55.0°	134
60.0°	114
65.0°	93
70.0°	72
75.0°	52
80.0°	33
85.0°	15
90.0°	0.00

Τιμές σε cd/klm

IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W / Πίνακας πυκνότητας φωτεινότητας

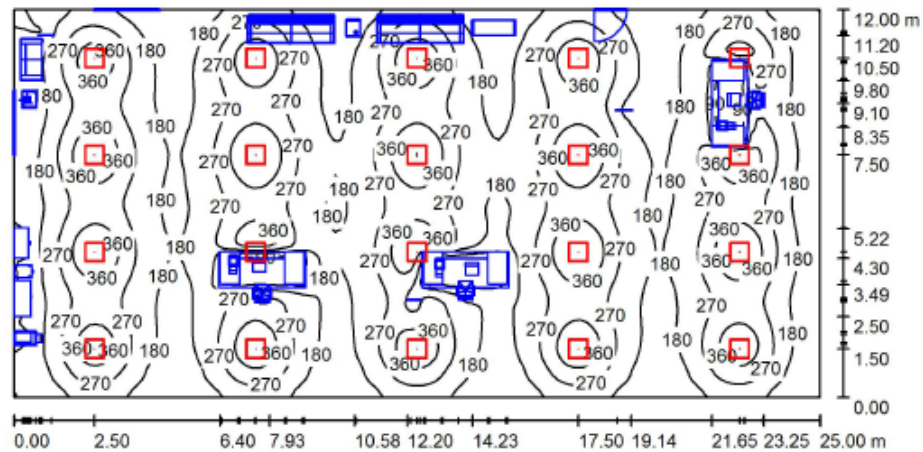
Φωτιστικό: IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W
Λάμπες: 1 x LL39

Gamma	C 0°
0.0°	5574
5.0°	5568
10.0°	5558
15.0°	5547
20.0°	5531
25.0°	5506
30.0°	5468
35.0°	5413
40.0°	5338
45.0°	5242
50.0°	5137
55.0°	5007
60.0°	4858
65.0°	4704
70.0°	4517
75.0°	4299
80.0°	4054
85.0°	3781

Τιμές σε Candela/m².

Υπεύθυνος επεξεργασίας ΦΩΤΗΣ ΥΠΕΡΜΑΧΟΣ
Τηλέφωνο
Φαξ
e-Mail

Εσωτερικός χώρος 1 / Περίληψη



Ύψος χώρου: 2.800 m, Ύψος συναρμολόγησης: 2.800 m, Συντελεστής συντήρησης: 0.80

Τιμές σε Lux, Κλίμακα 1:179

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Επίπεδο εργασίας	/	243	21	455	0.088
Δάπεδο	20	214	17	319	0.077
Οροφή	70	49	37	72	0.747
Τοίχοι (4)	50	116	12	233	/

Επίπεδο εργασίας:

Ύψος: 0.850 m
Κάναβος: 128 x 128 Σημεία
Περιφερική ζώνη: 0.000 m

Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία (Συντελεστής διόρθωσης)	Φ (Φωτιστικό) [lm]	Φ (Λάμπες) [lm]	P [W]
1	20	IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W (Τύπος 1)* (1.000)	4678	6240	58.0

*Αλλαγμένα τεχνικά στοιχεία

Συνολικά: 93561

Συνολικά:
124800

1160.0

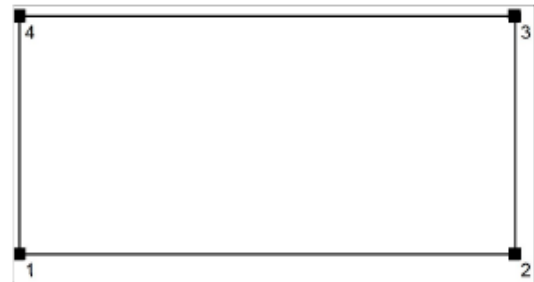
Ειδικό φορτίο σύνδεσης: $3.87 \text{ W/m}^2 = 1.59 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Βασική επιφάνεια: 300.00 m^2)

Εσωτερικός χώρος 1 / Πρωτόκολλο εισόδου

Ύψος του επιπέδου εργασίας: 0.850 m
Περιφερική ζώνη: 0.000 m

Συντελεστής συντήρησης: 0.80

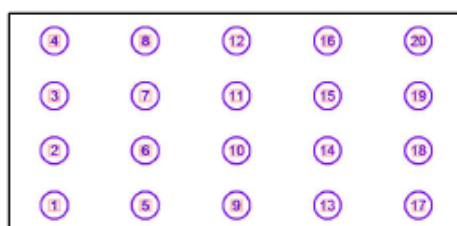
Ύψος χώρου: 2.800 m
Βασική επιφάνεια: 300.00 m²



Επιφάνεια	Rho [%]	από ([m] [m])	προς ([m] [m])	Μήκος [m]
Δάπεδο	20	/	/	/
Οροφή	70	/	/	/
Τοίχος 1	50	(0.000 0.000)	(25.000 0.000)	25.000
Τοίχος 2	50	(25.000 0.000)	(25.000 12.000)	12.000
Τοίχος 3	50	(25.000 12.000)	(0.000 12.000)	25.000
Τοίχος 4	50	(0.000 12.000)	(0.000 0.000)	12.000

Εσωτερικός χώρος 1 / Φωτιστικά (λίστα συντεταγμένων)**IGUZZINI ME84_9695 iPlan LED 58W (Τύπος 1)**

4678 lm, 58.0 W, 1 x 1 x Καθορισμένο από το χρήστη (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).



Αρ.	Θέση [m]			Περιστροφή [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	2.500	1.500	2.800	0.0	0.0	0.0
2	2.500	4.500	2.800	0.0	0.0	0.0
3	2.500	7.500	2.800	0.0	0.0	0.0
4	2.500	10.500	2.800	0.0	0.0	0.0
5	7.500	1.500	2.800	0.0	0.0	0.0
6	7.500	4.500	2.800	0.0	0.0	0.0
7	7.500	7.500	2.800	0.0	0.0	0.0
8	7.500	10.500	2.800	0.0	0.0	0.0
9	12.500	1.500	2.800	0.0	0.0	0.0
10	12.500	4.500	2.800	0.0	0.0	0.0
11	12.500	7.500	2.800	0.0	0.0	0.0
12	12.500	10.500	2.800	0.0	0.0	0.0
13	17.500	1.500	2.800	0.0	0.0	0.0
14	17.500	4.500	2.800	0.0	0.0	0.0
15	17.500	7.500	2.800	0.0	0.0	0.0
16	17.500	10.500	2.800	0.0	0.0	0.0
17	22.500	1.500	2.800	0.0	0.0	0.0
18	22.500	4.500	2.800	0.0	0.0	0.0
19	22.500	7.500	2.800	0.0	0.0	0.0
20	22.500	10.500	2.800	0.0	0.0	0.0

Εσωτερικός χώρος 1 / Φωτοτεχνικά αποτελέσματα

Συνολική φωτεινή ροή: 93561 lm
 Συνολική ισχύς: 1160.0 W
 Συντελεστής συντήρησης: 0.80
 Περιφερική ζώνη: 0.000 m

Επιφάνεια	Μέση ένταση φωτισμού [lx]			Συντελεστής ανάκλασης [%]	Μέσος Πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m ²]
	Άμεσα	έμμεσα	συνολικά		
Επίπεδο εργασίας	206	37	243	/	/
Δάπεδο	176	38	214	20	14
Οροφή	0.00	49	49	70	11
Τοίχος 1	89	40	129	50	20
Τοίχος 2	68	41	109	50	17
Τοίχος 3	82	39	121	50	19
Τοίχος 4	51	32	83	50	13

Ομοιομορφίες στο επίπεδο εργασίας

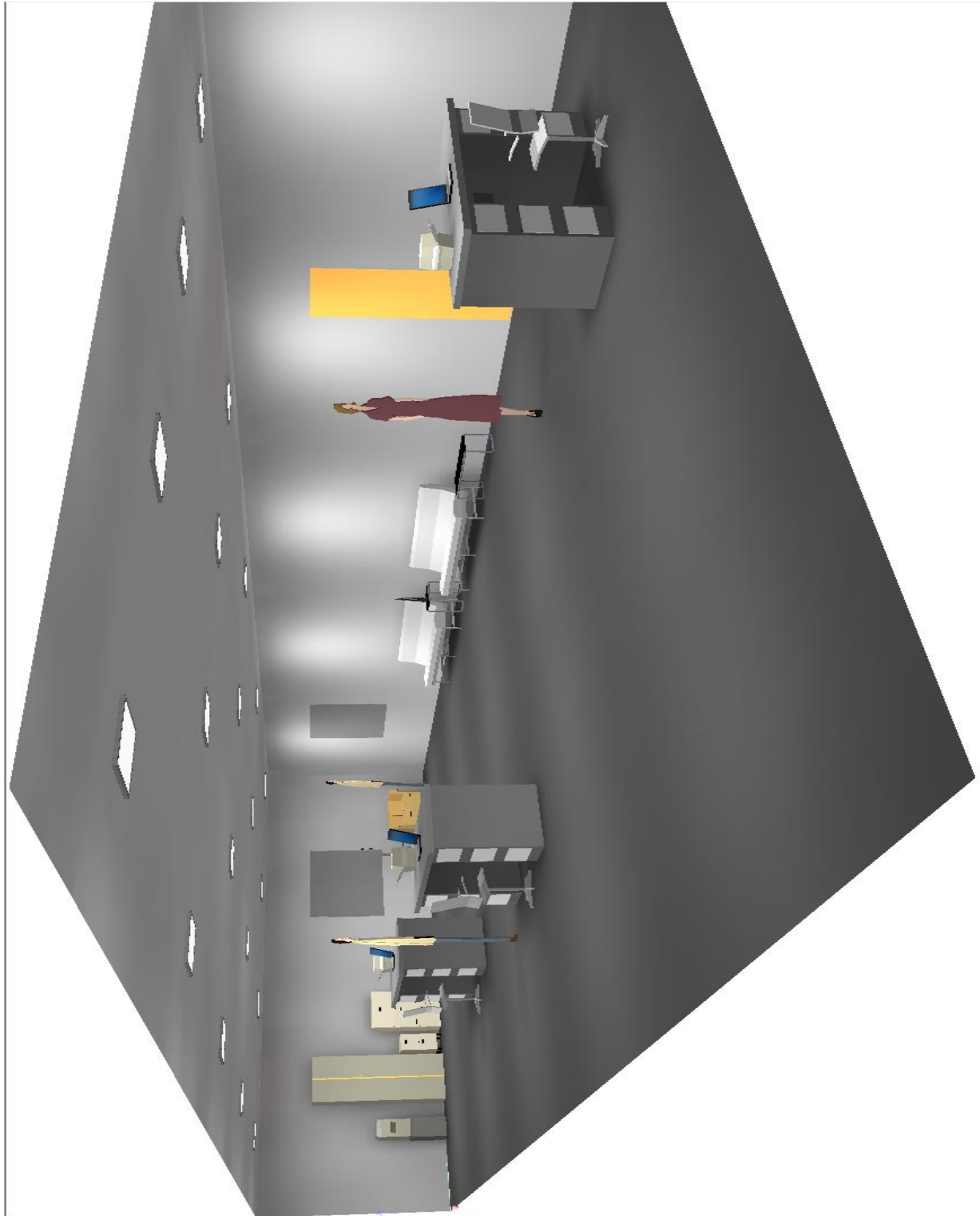
E_{min} / E_m : 0.088 (1:11)

E_{min} / E_{max} : 0.047 (1:21)

Ειδικό φορτίο σύνδεσης: 3.87 W/m² = 1.59 W/m²/100 lx (Βασική επιφάνεια: 300.00 m²)

4.3.4. Απεικόνιση χώρου με φωτισμό λαμπτήρων LED

Αντίστοιχα σχεδιάστηκε ο εσωτερικός χώρος με τοποθέτηση λαμπτήρων LED και παρακάτω παρουσιάζεται η οπτική του απεικόνιση.



Εικόνα 4.7 Εσωτερικός χώρος κτιρίου γραφείων με λαμπτήρες LED

4.4. Υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας

Θεωρώντας 10 ώρες λειτουργίας των γραφείων ημερησίως και 5 ημέρες τη βδομάδα για ένα χρόνο (χωρίς υπολογισμό αργιών) έχουμε:

$$52\text{weeks/year} * 5\text{days/week} = 260 \text{ days/year,}$$

$$260 \text{ days/year} * 10 \text{ hr/day} = 2600 \text{ hr/year}$$

a) Λαμπτήρες φθορισμού
 $2600 \text{ hr/yr} * 2800 \text{ W} = \mathbf{7200 \text{ kWh/yr}}$
 $2600 \text{ hr/yr} * 9,33 \text{ W/m}^2 = \mathbf{24 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}}$

b) Λαμπτήρες LED
 $2600 \text{ hr/yr} * 1160 \text{ W} = \mathbf{3016 \text{ kWh/yr}}$
 $2600 \text{ hr/yr} * 3,87 \text{ W/m}^2 = \mathbf{10 \text{ kWh/m}^2/\text{yr}}$

Παρατηρούμε τη μεγαλύτερη υπεροχή των λαμπτήρων LED με 3016 kWh/yr έναντι των 7200 kWh/yr που καταναλώνουν τα φωτιστικά φθορισμού. Δηλαδή κατανάλωση παραπάνω από **διπλάσια** από αυτή των Led. Επομένως η εξοικονόμηση ενέργειας είναι:

$$7200 \text{ kWh/yr} - 3016 \text{ kWh/yr} = \mathbf{4184 \text{ kWh/yr}}$$

Με την τιμή της κιλοβατώρας στα 0,14 €, η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται **μόνο από τον φωτισμό** είναι:

$$\mathbf{7200 \text{ kWh/yr} * 0,14 \text{ €/kWh} = 1008 \text{ €/yr}}$$
$$\mathbf{3016 \text{ kWh/yr} * 0,14 \text{ €/kWh} = 422,24 \text{ €/yr}}$$

$$\Rightarrow 1008 \text{ €/yr} - 422,24 \text{ €/yr} = \mathbf{585,76 \text{ €/yr}}$$

Το πραγματικό όφελος από την εξοικονόμηση ενέργειας, είναι πολύ μεγαλύτερο εάν υπολογίσουμε και τα οφέλη από την προστασία του περιβάλλοντος, λόγω λιγότερης εκμετάλλευσης ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και λιγότερων ωρών λειτουργίας των σταθμών παραγωγής. Σημαντικότερο όλων, είναι οι μειωμένες εκπομπές ρύπων από τα εργοστάσια παραγωγής, λόγω μικρότερης ζήτησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.1. Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι αναμφίβολα ο ταχύτερος, ο οικονομικότερος και ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα καθώς και για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της χρήσης τους. Το σκεπτικό της εξοικονόμησης ενέργειας βασίζεται στην προσπάθεια για εξεύρεση τρόπων που θα μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού που καταναλώνει ενέργεια, χωρίς να επηρεάζονται οι συνθήκες άνεσης των χρηστών. Με το τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση της ζήτησης ενέργειας και συνεπώς μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Στη παρούσα μελέτη έγινε σύγκριση της απόδοσης των κοινών λαμπτήρων φθορισμού, που χρησιμοποιούνται κυρίως για τεχνητό φωτισμό γραφείων, σε σχέση με αυτή των λαμπτήρων LED, προκειμένου να αποδειχθεί η αναγκαιότητα της αντικατάστασης για την επίτευξη μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας.

5.2. Παράθεση και σύγκριση αποτελεσμάτων

Η εφαρμογή των δύο μεθόδων φωτισμού που μελετήθηκαν προκειμένου να συγκρίνουμε την κατανάλωση ενέργειας και των δύο έγινε με το πρόγραμμα Dialux. Το πρόγραμμα προτιμήθηκε σαν μέθοδος υπολογισμού διότι έχει αναλυτική περιγραφή της ενέργειας που καταναλώνεται και της ταξινόμησης φωτιστικών στον χώρο. Δίνεται η επιλογή λαμπτήρων από τη βάση δεδομένων του προγράμματος, διαφορετικά δίνεται η επιλογή να εγκατασταθεί εξ αρχής μια βάση δεδομένων λαμπτήρων από την σελίδα της εταιρείας κατασκευής τους. Οι λαμπτήρες που τέθηκαν σε σύγκριση ήταν ο λαμπτήρας φθορισμού 5187 iPlan FL και ο λαμπτήρας ME84_9695 iPlan Led της ιταλικής εταιρείας iGuzzini illuminazione S.p.A . Από την μία έχουμε έναν κοινό λαμπτήρα φθορισμού που χρησιμοποιείται για εσωτερικό φωτισμό επαγγελματικών κτιρίων και από την άλλη ένα λαμπτήρα τεχνολογίας Led χωρίς πολλές ιδιαιτερότητες για να είναι αντικείμενα συγκρίσιμα.

Το πρόγραμμα έχει δύο λειτουργίες ανάλυσης, την τεχνική ανάλυση στην οποία παρουσιάζονται η απόδοση, οι καταναλώσεις και η εγκατάσταση των σωμάτων και την χωροθετική ανάλυση, που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να σχεδιάσει τον χώρο όπως επιθυμεί και με ότι αντικείμενα ορίσει και στη συνέχεια υπολογίζει τους συντελεστές ανάκλασης και παρουσιάζει την οπτική ανάλυση του χώρου όπως θα είναι στη πραγματικότητα.

Σκοπός μας, από την σύγκριση των δύο μεθόδων φωτισμού και της κατανάλωσης που έχει η κάθε μία, είναι να αποδείξουμε ποια από τις δύο είναι οικονομικότερη και αποδοτικότερη

και να καταστήσουμε μετρήσιμη, την εξοικονόμηση που υλοποιείται από την αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων με νέους τεχνολογίας LED. Ακολουθεί ο συγκριτικός πίνακας των αντίστοιχων χαρακτηριστικών των δύο μεθόδων όπως αυτά προέκυψαν από τις μελέτες των περιπτώσεων.

	a)Λαμπτήρας Φθορισμού 5187 iPlan FL	b)Λαμπτήρας LED ME84_9695 iPlan Led
Αρχικά στοιχεία λαμπτήρα	80 W/6600 lm	58 W/6240 lm
Αριθμός λαμπτήρων	35	20
Συνολική ισχύς	2800 W	1160 W
Σχεδιασμένη φωτεινή ροή	231000 lm	124800 lm
Συνολική φωτεινή ροή – (Πραγματική Απόδοση σε φως)	116182 lm	93561 lm
Αρχική ένταση φωτεινής εκπομπής (Σχεδιασμένο E _m)	330 lx	250 lx
Πραγματικό E _m	311 lx	243 lx
Συντελεστές ομοιομορφίας στο επίπεδο εργασίας	E _{min} /E _m = 0,067 E _{min} /E _{max} = 0,032	E _{min} /E _m = 0,088 E _{min} /E _{max} = 0,047
Ειδικό φορτίο σύνδεσης	9,33 W/m² = 3 W/m²/100lx	3,87 W/m² = 1,59 W/m²/100lx

Πίνακας 5.1 Σύγκριση στοιχείων λαμπτήρων Φθορισμού - LED

Από τα δεδομένα του πίνακα παρατηρούμε ότι παρόλο που τα φωτιστικά Led είναι χαμηλότερης ισχύος, απαιτείται και μικρότερος αριθμός φωτιστικών για την πλήρη κάλυψη των επαρκών επιπέδων φωτισμού(όπως ορίζει ο KENAK) δηλαδή μεγαλύτερη ένταση με μικρότερη κατανάλωση. Διαιρώντας την ελάχιστη ένταση φωτεινής εκπομπής με την πραγματική ένταση φωτεινής εκπομπής, λαμβάνουμε το συντελεστή ομοιομορφίας. Το μέγεθος δηλαδή που εκφράζει την κατανομή φωτός στο χώρο. Όσο μεγαλύτερος ο

συντελεστής, τόσο μικρότερες οι διακυμάνσεις φωτεινότητας. Τα φωτιστικά Led έχουν μεγαλύτερο συντελεστή ομοιομορφίας. Αυτό σημαίνει, μικρότερες διακυμάνσεις της φωτεινότητας μέσα σε ένα χώρο, δηλαδή μεγαλύτερη ομοιομορφία φωτισμού. Επίσης, στη σύγκριση της σχεδιασμένης φωτεινής ροής με την πραγματική, παρατηρούμε ότι υπάρχει μικρότερη απόκλιση, που σημαίνει καλύτερη απόδοση λαμπτήρα. Το ίδιο φαίνεται και στη σύγκριση του σχεδιασμένου Em με το πραγματικό, που ερμηνεύει τη φωτεινή ροή σε φωτεινή ένταση ανά τετραγωνικό μέτρο. Καταλήγουμε λοιπόν στην τελική αξιολόγηση των λαμπτήρων που είναι η κατανάλωση ισχύος για κάθε τετραγωνικό εσωτερικής δόμησης του κτιρίου που έχουμε ορίσει. Οι λαμπτήρες φθορισμού καταναλώνουν $5,46 \text{ W/m}^2$ παραπάνω από την κατανάλωση των Led.

Από τα αποτελέσματα της σύγκρισης του παραπάνω κεφαλαίου λοιπόν, αποδεικνύεται ότι η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται είναι η μείωση της κατανάλωσης σε κάτι παρά πάνω από το μισό της αρχικής. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει υπολογιστεί ο χρόνος ζωής των λαμπτήρων, ο οποίος είναι 50000 ώρες για τα LED, σε αντίθεση με του φθορισμού, που είναι 10000 ώρες. Ακόμη θεωρήσαμε ενιαίο κοστολόγιο κατανάλωσης ρεύματος χωρίς να υπολογίσουμε φθηνότερες τιμές για μικρότερες καταναλώσεις.

Οπότε αν υπολογίσουμε και το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων φθορισμού που θα είναι 5 φορές συχνότερο από των λαμπτήρων LED και σχετικά φθηνότερη αγορά της κιλοβατώρας, τότε η εξοικονόμηση χρημάτων θα ήταν σίγουρα ακόμη μεγαλύτερη.

Πέρα από το οικονομικό όφελος που έχουμε από την αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων με λαμπτήρες τεχνολογίας LED, έχουν και περισσότερη ομοιομορφία στην κατανομή φωτός στο χώρο. Έτσι το ανθρώπινο μάτι λειτουργεί πιο ξεκούραστα για περισσότερη ώρα.

Παράρτημα I

Αυτοματισμοί λειτουργίας

Εξοικονόμηση Ενέργειας είναι η συμπεριφορά που οδηγεί στο αποτέλεσμα λιγότερης κατανάλωσης ενέργειας. Όπως για παράδειγμα, το κλείσιμο των φώτων του δωματίου όταν φεύγουμε, είναι μια συμπεριφορά που βοηθά στη εξοικονόμηση ενέργειας. Σε περιπτώσεις όμως που εμπλέκονται πολλά άτομα και συχνές αλλαγές συνθηκών, δε μπορούμε να βασιστούμε στην τήρηση της τυπικής συμπεριφοράς.

Η εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού σε χώρους όπου δεν χρειάζεται μόνιμος φωτισμός αποτελεί ένα ακόμα μέτρο για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό. Ο αισθητήρας ενεργοποιεί το φωτιστικό ώστε να λειτουργεί μόνο όταν υπάρχει κίνηση και για χρόνο τον οποίο μπορεί να καθορίσει ο χρήστης.

Υπάρχει επίσης η επιλογή των αισθητήρων φωτισμού με φωτοκύτταρα που ανάβουν και σβήνουν τα φώτα ανάλογα με τη διαθέσιμη ποσότητα φωτός ημέρας καθώς και οι χρονοδιακόπτες, που ρυθμίζουν το άναμμα και σβήσιμο των φώτων ανάλογα με τη χρήση των χώρων. Σε κάθε περίπτωση, τον καλύτερο τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό αποτελεί η μέγιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού και η ορθολογική χρήση του τεχνητού φωτισμού αναλόγως του χώρου και των αναγκών μας.

Έχοντας σαν στόχο λοιπόν τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας που μπορούμε να επιτύχουμε στο τομέα του φωτισμού, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τη σωστή διαχείριση του, η οποία αφορά τον συνδυασμό των οικονομικότερων λαμπτήρων με τους κατάλληλους αυτοματισμούς τους. Αυτοί είναι:



1. Ανιχνευτής κίνησης – παρουσίας

Ο ανιχνευτής κίνησης ενεργοποιεί το φωτιστικό μόνο όταν υπάρχει κίνηση και για χρόνο τον οποίο καθορίζει ο χρήστης. Με τον ανιχνευτή κίνησης εξοικονομούμε έως και 40% στην κατανάλωση της ενέργειας καθώς ο φωτισμός ενεργοποιείται μόνο όποτε τον έχουμε ανάγκη. Εφαρμόζεται τόσο σε εξωτερικούς χώρους όσο και σε εσωτερικούς, όπως σκάλες, διαδρόμους, αποθήκες, γκαράζ, κλπ. Ο ανιχνευτής κίνησης μπορεί να εγκατασταθεί σε χώρους που δεν απαιτείται τα φώτα να είναι αναμμένα συνέχεια, για παράδειγμα στις τουαλέτες. Η εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτές της περιπτώσεις φτάνει το 80%. Ο ανιχνευτής κίνησης εξασφαλίζει άνεση, ασφάλεια και εξοικονόμηση ενέργειας.



2. Φωτοκύτταρο – ανιχνευτής φωτός

Το φωτοκύτταρο ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το φωτιστικό ανάλογα με την διαθέσιμη ποσότητα φωτός στον χώρο. Όταν το φυσικό φως είναι αρκετό (ημέρα) το φωτιστικό είναι σβηστό. Όταν το φυσικό φως είναι χαμηλό (σούρουπο, βράδυ) ο ανιχνευτής φωτός ανάβει το φωτιστικό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρους που χρειαζόμαστε φωτισμό συνέχεια αλλά το επίπεδο του φωτισμού δεν θα επηρεάσει την απόδοση, όπως διάδρομοι και προθάλαμοι.



3. Χρονοδιακόπτης φωτισμού

Με τον χρονοδιακόπτη επιλέγουμε ποιες ώρες θα μένουν αναμμένα τα φωτιστικά. Επιλέγουμε της ώρες που επιθυμούμε και τους χώρους που θέλουμε να φωτίσουμε. Εγκαθιστούμε τον χρονοδιακόπτη στην ίδια γραμμή με τα φωτιστικά, και τον προγραμματίζουμε. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρους υποδοχής, σε εισόδους ή σε εξωτερικό φωτισμό κτιρίων που θέλουμε τα φώτα να παραμένουν ανοιχτά συγκεκριμένες ώρες.



4. Ρυθμιστής έντασης φωτισμού (dimmer)

Με τον ρυθμιστή καθορίζουμε την ένταση του φωτισμού. Έτσι επιλέγουμε το βέλτιστο επίπεδο έντασης. Για παράδειγμα σε ένα χώρο που κατά την διάρκεια της ημέρας δεν φωτίζεται επαρκώς, αλλά δεν χρειάζεται και τον τεχνητό φωτισμό να λειτουργεί στο 100%, ο ρυθμιστής έντασης (dimmer), είναι απαραίτητος. Καταλληλότερη εφαρμογή στον χώρο των γραφείων εργασίας.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε προσεγγιστικά την ποσότητα ρεύματος που μπορούμε να εξοικονομήσουμε με την χρήση αυτοματισμών φωτισμού.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ %
Έλεγχος με ανιχνευτές κίνησης	έως 40%
Έλεγχος με αισθητήρες φωτεινότητας	έως 50%
Έλεγχος με χρονοδιακόπτη φωτισμού	έως 50%
Έλεγχος με ρυθμιστή έντασης (dimmer)	έως 35%

Αντικατάσταση ενεργοβόρων λαμπτήρων με νέας τεχνολογίας LED	έως 80%
---	---------

Πίνακας 5.2 Ποσοστό επιτυχίας εξοικονόμησης ενέργειας με τον αντίστοιχο αυτοματισμό

Οι ανάγκες φωτισμού αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα στη καθημερινή μας ζωή και απαιτούν σημαντικά ποσά ενέργειας. Ο σωστός σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού, η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, η χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, η επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων και η σωστή συντήρησή τους αποτελούν μόνο μερικά μέτρα για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό. Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τη θεωρητική ανάλυση των δύο τεχνολογιών, καθίσταται εμφανής η υπεροχή της τεχνολογίας LED σε σχέση με αυτή των κοινών λαμπτήρων φθορισμού και κρίνεται αναγκαία η αντικατάστασή τους για εξοικονόμηση ενέργειας. Ο συνδυασμός των λαμπτήρων με τους αντίστοιχους ηλεκτρονικούς αυτοματισμούς επιφέρει μείωση της κατανάλωσης χρημάτων, ρεύματος, ενέργειας, ορυκτών καυσίμων και επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Διανύοντας εποχή που η λεπτομέρεια μετράει και η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία, δε νοείται να μην την χρησιμοποιούμε προς όφελός μας και για τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος.

Βιβλιογραφία

Boomsma, C., & Steg, L. (2013). The effect of information and values on acceptability of reduced street lighting.

E.J. Gago, T. Muneer , M. Knez , H. Köster (2014). Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load.

Igor Wojnicki, Sebastian Ernst, Leszek Kotulski, Adam Sedziwy (2013). Advanced street lighting control.

Manisa Pipattanasomporn , Saifur Rahman, Isaac Flory, Yonael Teklu (2014). Engineering design and assessment of a demand-sensitive LED streetlighting system.

M. Fathi, A. Chikouche and M. Abderrazak (2011). Design and realization of LED Driver for solar street lighting applications.

Nikolay Zheludev (2007). The life and times of the LED — a 100-year history.

Prashant Kumar Sooria, Moheet VishwasbaSchool (2013). Lighting control strategy for energy efficient office lightingsystem design.

R.P. Pantoni, D. Brandrão, Cleber Costa da Fonseca (2014). Public street lighting remote operation and supervision system. N.A.Smith Lighting chapter 21.3-21.31

Sertac, Görgülüa, Nazmi Ekren (2014). Energy saving in lighting system with fuzzy logic controller which uses light-pipe and dimmable ballast.

Simons, K.L., Sanderson, S.W., (2014). Light emitting diodes and the lighting revolution: The emergence of a solid-state lighting industry.

<http://www.led-professional-symposium.com/press/lps-press-releases/important-led-and-oled-lighting-technology-insights-trends-and-innovations-were-presented-at-the-3rd-led-professional-symposium-expo-in-bregenz-austria>

<http://www.darksky.org/assets/documents/Reports/IDA-Blue-Rich-Light-White-Paper.pdf>

<http://www.epic-assoc.com/sources/members-area/proceedings/04billy.pdf>

<http://www.econews.gr/2013/10/29/energeia-elstat-107280/#>

<http://www.energychanges.gr/%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%83-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%85/>

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AF%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CF%82_%CE%95%CE%BA%CF%80%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%AE%CF%82_%CE%A6%CF%89%CF%84%CF%8C%CF%82

<http://www.led-professional-symposium.com/press/lps-press-releases/important-led-and-oled-lighting-technology-insights-trends-and-innovations-were-presented-at-the-3rd-led-professional-symposium-expo-in-bregenz-austria>

http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode

<http://www.darksky.org/assets/documents/Reports/IDA-Blue-Rich-Light-White-Paper.pdf>

<http://www.epic-assoc.com/sources/members-area/proceedings/04billy.pdf>

<http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#>

http://www.ipet.gr/digitech2/images/digitech_images/oi19.jpg

<http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-C201/368/2458,9402/images/img8>

<http://light.physics.auth.gr/images/enc/speculardiffuse.jp>

<http://www.ikatech.net/eng/images/photunit4a.gif>

<http://www.eplantscience.com/index/algae/images/f5.12.jpg>

<http://www.hkems.com/LED/images/QA/Illuminance.jpg>

<http://www.enablingenvironments.com.au/portals/0/Images/lighting.jpg>

<http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu3-1>

<http://www.oleng.eu/fotismos-exoikonomisi-energeias-2/>

<http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu3-5>

<https://ledm.gr/images/computers/images/lightemp.png>