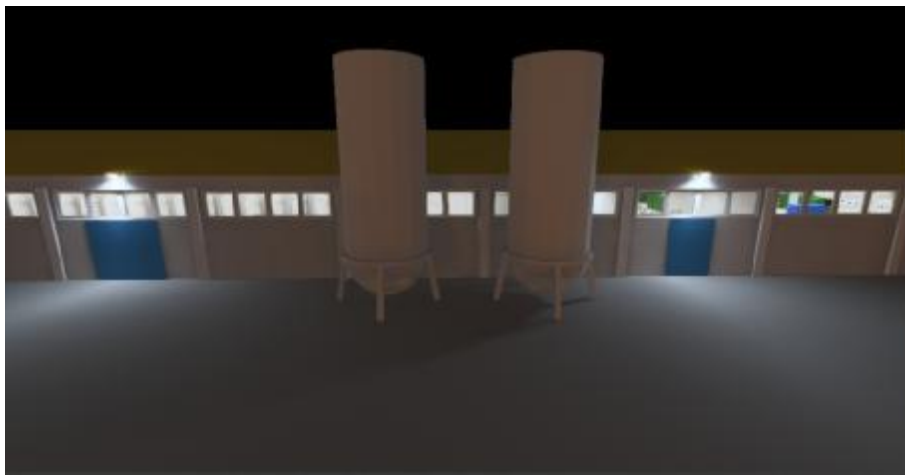


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1628



ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ

ΜΑΥΡΟΜΙΧΑΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2017

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
Κεφάλαιο 1. ΤΟ ΦΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.2 Το φως και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	7
1.3 Η όραση και ο ανθρώπινος οφθαλμός	8
1.3.1 Ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού	8
1.4 Θερμοκρασία χρώματος.....	9
1.5 Δείκτης χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών	10
1.6 Χρωματομετρία και χρωματικά συστήματα	11
Κεφάλαιο 2. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ	12
2.1 Στερεά γωνία	12
2.2 Φωτεινή ενέργεια.....	12
2.3 Φωτεινή ροή.....	13
2.4 Φωτεινή ένταση	13
2.4.1 Διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης.....	13
2.4.2 Επίπεδα μέτρησης φωτεινής έντασης	14
2.5 Ένταση φωτισμού.....	15
2.6 Λαμπρότητα	17
2.7 Θάμβωση.....	18
2.8 Φωτεινή και φωτιστική απόδοση	19
2.9 Ανάκλαση	19
2.10 Φωτομετρικός νόμος αντιστρόφου τετραγώνου.....	23
2.11 Φωτομετρικός νόμος συνημιτόνου.....	24
2.12 Φωτομετρικός νόμος lambert.....	25
Κεφάλαιο 3. ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ	26
3.1 Λαμπτήρες πυράκτωσης	26
3.1.2 Δομή και αρχή λειτουργίας λαμπτήρων πυράκτωσης.....	26
3.1.3 Καταπόνηση και χρόνος ζωής λαμπτήρων πυράκτωσης	27

3.1.4	Λαμπτήρες αλογόνου	28
3.1.5	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	29
3.2	Λαμπτήρες φθορισμού	30
3.2.1	Δομή και αρχή λειτουργίας	30
3.2.2	Μήκος κύματος ακτινοβολίας και χρώμα φωτός	31
3.2.3	Έναυση λαμπτήρων φθορισμού	32
3.2.4	Απόδοση	33
3.2.5	Διάρκεια ζωής	33
3.2.6	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	34
3.3	Λαμπτήρες επαγωγής	34
3.3.1	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	36
3.4	Λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης	36
3.4.α	Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης	37
3.4.α.1	Δομή	37
3.4.α.2	Έναυση και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας	38
3.4.α.3	Διάρκεια ζωής	39
3.4.α.4	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	39
3.4.α.5	Λαμπτήρες μικτού φωτισμού	39
3.4.β	Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων	39
3.4.β.1	Γενικά	39
3.4.β.2	Απόδοση και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας	41
3.4.β.3	Έναυση	41
3.4.β.4	Διάρκεια ζωής	41
3.4.β.5	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	42
3.4.γ	Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	42
3.4.γ.1	Δομή και αρχή λειτουργίας	42
3.4.γ.2	Έναυση και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας	43
3.4.γ.3	Διάρκεια ζωής	44
3.4.γ.4	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	45
3.4.δ	Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης	45
3.4.δ.1	Δομή και αρχή λειτουργίας	45
3.4.δ.2	Απόδοση, έναυση, φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας	46
3.4.δ.3	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα	47

3.5 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (light emitting diodes-led)	47
3.5.1 Δομή και αρχή λειτουργίας	47
3.5.2 Απόδοση, διάρκεια ζωής και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας.....	48
3.5.3 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα.....	49
3.6 Επιλογή και σύγκριση λαμπτήρων	49
Κεφάλαιο 4. ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	52
4.1 Φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων	52
4.1.1 Γενικά.....	52
4.2 Είδη φωτιστικών σωμάτων	52
4.2.1 Είδη φωτιστικών σωμάτων σχετικά με το χώρο που χρησιμοποιούνται	52
4.2.2 Είδη φωτιστικών σωμάτων σχετικά με το είδος των λαμπτήρων που τροφοδοτούν.....	53
4.2.2.α Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες πυρακτώσεως.....	53
4.2.2.β Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού.....	53
4.2.2.γ Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης.....	54
4.2.2.δ Φωτιστικά ειδικών χρήσεων.....	54
4.2.3 Είδη φωτιστικών σωμάτων σχετικά με τη κατανομή της φωτεινής ροής των λαμπτήρων μέσα στο χώρο	54
4.2.3.α Φωτιστικά έμμεσης δέσμης.....	54
4.2.3.β Φωτιστικά ημιέμμεσης δέσμης	55
4.2.3.γ Φωτιστικά άμεσης δέσμης.....	55
4.2.3.δ Φωτιστικά ημιάμεσης δέσμης	55
4.2.3.ε Φωτιστικά άμεσης και έμμεσης δέσμης.....	55
4.3 Φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικών σωμάτων.....	55
4.4 Η έννοια του συντελεστή χρησιμοποίησης.....	56
4.5 Συντήρηση και στοιχεία προστασίας φωτιστικών σωμάτων.....	56
4.6 Συντελεστές απομείωσης φωτεινής ροής.....	57
4.6.1 Μη αναστρέψιμοι συντελεστές απομείωσης φωτεινής ροής.....	57
4.6.2 Αναστρέψιμοι παράγοντες απομείωσης φωτεινής ροής	58
4.7 Εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού.....	58
4.7.1 Χρήση ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών πηνίων αντί ηλεκτρομαγνητικών.....	59
4.7.2 Κατάλληλη επιλογή λαμπτήρων	59
4.7.3 Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών σωμάτων.....	60

4.7.4 Αξιοποίηση ηλιακού φωτός	60
4.7.5 Χρήση τοπικών αυτοματισμών	61
4.7.6 Χρήση κεντρικού συστήματος διαχείρισης (bms).....	61
4.7.7 Σωστή και τακτική συντήρηση εγκαταστάσεων.....	62
4.7.8 Λαμπτήρες φθορισμού T5 αντί για T8	62
Κεφάλαιο 5. ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ	64
5.1 Γενικά.....	64
5.2 Εσωτερικός χώρος	64
5.3 Γραφεία	65
5.4 Εξωτερικός χώρος.....	65
5.5 Φωτοτεχνική μελέτη	66
5.5.1 Διάταξη και αριθμός φωτιστικών σωμάτων	67
5.5.2 Χαρακτηριστικά φωτιστικών που χρησιμοποιήθηκαν.....	68
5.5.3 Τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου κατόπιν φωτισμού	79
5.5.4 Μέτρηση έντασης φωτισμού σε διάφορες επιφάνειες.....	97
5.5.5 Ενεργειακή κατανάλωση	115
Βιβλιογραφία.....	118

ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία εκπονείται μία φωτοτεχνική μελέτη σε τμήμα εργοστασίου με τη βοήθεια του φωτοτεχνικού λογισμικού προγράμματος dialux evo 5.1. Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή στην επιστήμη της φωτοτεχνίας, όπου αναφέρονται στοιχεία για το φως και τα χαρακτηριστικά του, την αντίδραση του ανθρώπινου οφθαλμού σε αυτά, αλλά και στα βασικά μεγέθη και τους θεμελιώδεις νόμους της φωτοτεχνίας. Ύστερα, γίνεται αναφορά στα βασικότερα είδη λαμπτήρων που κυκλοφορούν στην αγορά με τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και στο φωτισμό εσωτερικών χώρων, όπου παρατίθενται ορισμένα βήματα που ακολουθούνται σε φωτοτεχνικές μελέτες, αλλά και σε μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας. Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με το πρακτικό κομμάτι, το οποίο γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού και περιλαμβάνει τον τρισδιάστατο σχεδιασμό όλων των χώρων με τα υπάρχοντα τους (μηχανολογικό εξοπλισμό και στοιχεία χώρων), καθώς και το φωτισμό αυτών, που απαιτεί την κατάλληλη επιλογή των λαμπτήρων με τον αριθμό τους, αλλά και το επιθυμητό αποτέλεσμα έντασης φωτισμού σε lux.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΦΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ

1.1 Εισαγωγή

Ο φωτισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη ζωή και τη ψυχολογία του ανθρώπου και μέσω αυτού μπορούμε να διακρίνουμε διάφορα αντικείμενα και πράγματα στη καθημερινή μας ζωή. Η φωτοτεχνία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τις μελέτες φωτισμού, δηλαδή τι είδος φωτισμού θα χρησιμοποιηθεί σε διάφορους χώρους, ποια η ένταση αυτού, τι λαμπτήρες θα χρησιμοποιηθούν, ποιο το κόστος της εγκατάστασης αλλά και το ενεργειακό κόστος και ποια η τελική αντίδραση του παρατηρητή στο χώρο (ευχάριστη - κουραστική..). Η οποιαδήποτε φωτοτεχνική μελέτη γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις φωτισμού του χώρου, όπου σε κάθε περίπτωση είναι διαφορετικές, ενώ ο τελικός σκοπός είναι η μέγιστη φωτεινή απόδοση με το μικρότερο δυνατό κόστος, καθώς και η καλή ποιότητα φωτισμού. Έχει παρατηρηθεί ότι απρόσεκτος και λανθασμένος φωτισμός μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο πολλές αρνητικές επιπτώσεις, όπως κόπωση στα μάτια, αίσθηση υπνηλίας, θάμβωση, τροχαία ατυχήματα λόγω δυσδιακρισίας των αντικειμένων ή από έντονο φωτισμό που προκαλεί θάμβωση και διάφορες αρνητικές επιπτώσεις στη ψυχολογία του ατόμου. Ακόμα μία λανθασμένη εγκατάσταση μπορεί να αποβεί πολύ δαπανηρή και να επιβαρύνει σημαντικά το κάτοχο της, χωρίς ιδιαίτερο λόγο.

1.2 Το φως και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

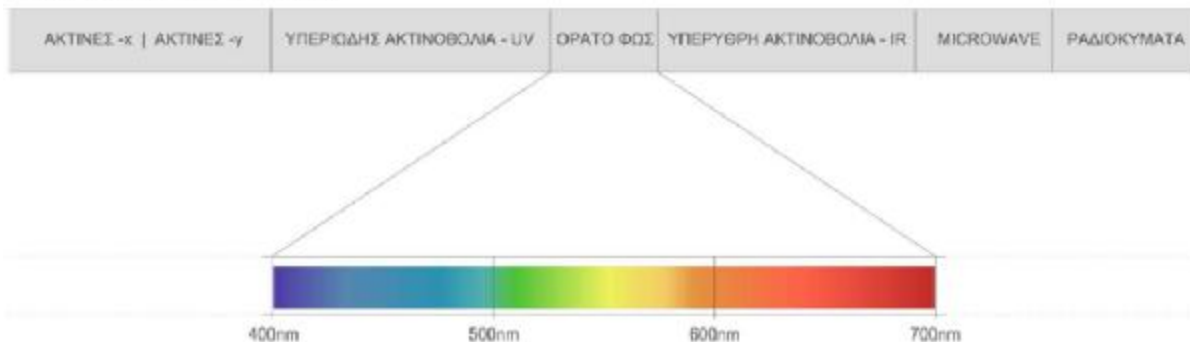
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αποτελείται από κύματα μαγνητικής και ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία διαδίδονται ταυτόχρονα στο χώρο. Όλα τα κύματα χαρακτηρίζονται από 2 παραμέτρους, το μήκος (λ) και τη συχνότητα κύματος(f), ενώ το γινόμενο των παραπάνω μας δίνει την τιμή της ταχύτητας μετάδοσης του κύματος (V) Το μήκος κύματος είναι η απόσταση που καλύπτεται από ένα κύκλο κύματος, ενώ η συχνότητα του κύματος σε (Hz) μας δείχνει πόσα κύματα διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο στο χρόνο του ενός δευτερολέπτου. Παρακάτω δίνεται η σχέση της ταχύτητας μετάδοσης των κυμάτων.

$$V = \lambda f \quad (1.1)$$

Η ταχύτητα μετάδοσης του φωτός αντιστοιχεί σε 300.000km/sec.

Τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν από 380nm έως 780nm είναι αυτά που μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος οφθαλμός και ουσιαστικά αποτελούν το ορατό φως. Οι 2 ακραίες τιμές παραπάνω του ορατού φωτός αντιστοιχούν στο τέλος της υπεριώδους(380nm) και στην αρχή της υπέρυθρης(780nm) ακτινοβολίας. Όλες οι ενδιάμεσες τιμές προκαλούν στον άνθρωπο την εντύπωση διαφορετικών χρωμάτων. Τέλος, ο φυσικός Ισαάκ Νεύτωνας με ένα απλό πείραμα το 17ο αιώνα μ.Χ. απέδειξε ότι όλες οι ακτινοβολίες στα διάφορα μήκη κύματος με όρια τις 2 τιμές παραπάνω περιέχονται στο λευκό φως. Παρακάτω, φαίνεται η χρωματική εντύπωση που δίνει κάθε μία ακτινοβολία ξεχωριστά στο δικό της μήκος κύματος.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



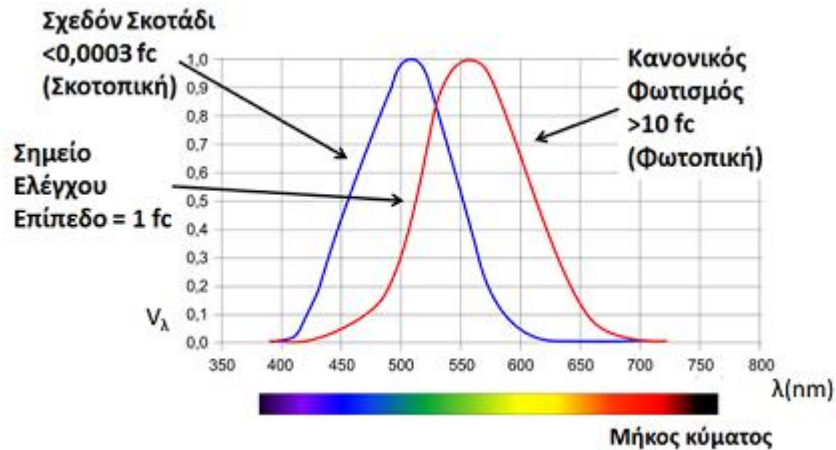
Εικόνα 1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που επηρεάζει το ανθρώπινο μάτι

1.3 Η όραση και ο ανθρώπινος οφθαλμός

Η ανθρώπινη όραση είναι μία εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία και μέσω αυτής μπορούμε να διακρίνουμε τα διάφορα αντικείμενα, τα χρώματα, αλλά και τη κίνηση μας στο χώρο. Όταν ο ανθρώπινος οφθαλμός βρεθεί σε ένα φωτεινό περιβάλλον τότε ερεθίζονται οι φωτοανιχνευτές του και προκαλούν κάποιες αντιδράσεις. Αυτές οι αντιδράσεις παράγουν ηλεκτρικά σήματα, τα οποία καταλήγουν με το οπτικό νεύρο στον εγκέφαλο και μέσω κάποιας κωδικοποίησης αυτών ο εγκέφαλος επιτυγχάνει τη λειτουργία της όρασης. Οι φωτοανιχνευτές του ανθρώπινου οφθαλμού χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, τα κωνία και τα ραβδία. Τα κωνία είναι υπεύθυνα για την αντίληψη των χρωμάτων, ενώ διεγείρονται όταν τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο είναι υψηλά (φως ημέρας). Αντίθετα τα ραβδία ενεργοποιούνται όταν τα επίπεδα φωτισμού ελαττώνονται, δηλαδή κυρίως όταν αρχίζει και βραδιάζει, ενώ υπάρχει και η περίπτωση τα επίπεδα φωτισμού να βρίσκονται κάπου στη μέση, οπότε έχουμε και τις 2 κατηγορίες φωτοανιχνευτών ενεργοποιημένες, όμως σε διαφορετικό βαθμό μεταξύ τους.

1.3.1 Η ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού

Το ορατό φως κυμαίνεται στα μήκη κύματος από 380nm έως 780nm. Το ανθρώπινο μάτι προσαρμόζεται σταδιακά σε αυτές τις τιμές και η μεγαλύτερη ευαισθησία του βρίσκεται κάπου στη μέση αυτών των τιμών, ενώ είναι λίγο διαφορετική τη μέρα και τη νύχτα. Ενδεικτικά, για τη μέρα το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει μέγιστη ευαισθησία στο μήκος κύματος των 555nm (πρασινοκίτρινο χρώμα) και για τη νύχτα στα 507nm (κυανοπράσινο χρώμα). Αντίθετα, όσο τα μήκη κύματος του φωτός πλησιάζουν τις 2 παραπάνω ακραίες τιμές η ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού μειώνεται και φτάνει στα χαμηλότερα επίπεδα της, δηλαδή στο κόκκινο και το μπλε χρώμα. Οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης παράγουν κίτρινο φως και οι χαμηλής πίεσης εκπέμπουν ακτινοβολία κοντά στα 590nm. Αυτός είναι ο κυριότερος λόγος που χρησιμοποιούνται για το φωτισμό μεγάλων αυτοκινητόδρομων, μικρών δρόμων, πλατειών, δηλαδή η μεγάλη ευαισθησία που παρουσιάζει ο ανθρώπινος οφθαλμός σε αυτά τα χρώματα και μήκη κύματος. Η καμπύλες ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού φαίνονται ενδεικτικά στο παρακάτω διάγραμμα. Η μπλε καμπύλη αναφέρεται για την όραση στο σκοτάδι, ενώ η κόκκινη για το φως της ημέρας.



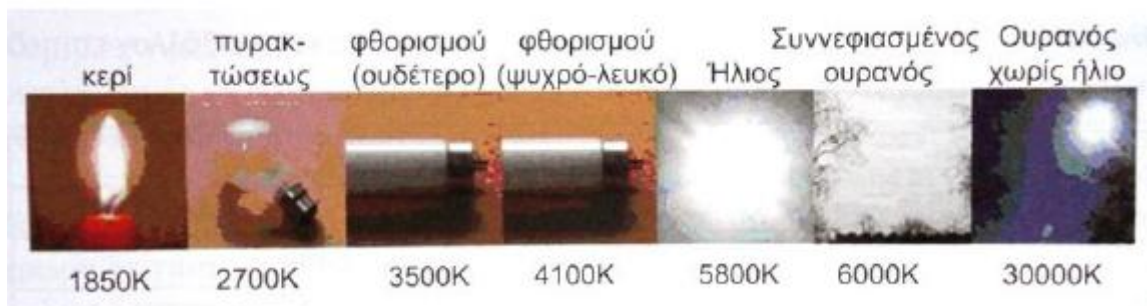
Εικόνα 2 Καμπύλες ευαισθησίας ανθρώπινου οφθαλμού

1.4 Θερμοκρασία χρώματος

Η θερμοκρασία χρώματος μετριέται σε βαθμούς kelvin και είναι ένας δείκτης που χαρακτηρίζει το χρώμα μίας φωτεινής πηγής, αλλά και την αντίληψη που θα δώσει στον παρατηρητή (θερμή-ψυχρή). Αυτή η έννοια είναι τελείως αντίθετη με αυτό που περιγράφουμε ως ζεστό η ψυχρό σώμα, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος, τόσο θερμότερη είναι η εντύπωση του παρατηρητή, ενώ όταν οι θερμοκρασίες χρώματος είναι μεγάλες η εντύπωση που προκύπτει από το φωτισμό της πηγής είναι ψυχρή. Όταν ένα σώμα θερμαίνεται, το χρώμα του μεταπηδάει από κόκκινο σε πορτοκαλί-πράσινο και τελικά μπλε. Για την εντύπωση του θερμού φωτισμού ευθύνονται οι ερυθρωπές ακτινοβολίες που περιέχονται στο φως, ενώ για την ψυχρή οι κυανές ακτινοβολίες. Αυτό το χαρακτηριστικό αναγράφεται σε όλους τους λαμπτήρες και δεν θα το λάβουμε σοβαρά υπόψιν για το φωτισμό ενός δρόμου η κάποιου εξωτερικού χώρου, καθώς εκεί παίζει σημαντικότερο ρόλο η φωτεινή ένταση και η ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού. Στη περίπτωση όμως όπου θέλουμε να φωτίσουμε έναν εσωτερικό χώρο (δωμάτιο, γραφείο) θα πρέπει οι λαμπτήρες να μην έχουν πολύ υψηλή θερμοκρασία χρώματος, διότι έχει παρατηρηθεί ότι όταν ο φωτισμός είναι αρκετά ψυχρός, ο παρατηρητής αισθάνεται άβολα. Ενδεικτικά, θερμοκρασίες χρώματος κάτω των 3300K θεωρούνται θερμές, μέχρι 5300K θεωρούνται ουδέτερες, ενώ πάνω από 5300K θεωρούνται ψυχρές. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως έχουν θερμή απόχρωση φωτισμού, οι φθορισμού ουδέτερη, ενώ οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης χωρίς φθορίζουσες επιστρώσεις που χρησιμοποιούνται για το φωτισμό δρόμων προκαλούν ψυχρή εντύπωση. Παρακάτω, φαίνεται ο ίδιος χώρος που έχει φωτιστεί με 3 διαφορετικούς τρόπους. Αριστερά με θερμοκρασίες χρώματος έως 2700K(θερμό), στη μέση έως 3500K(ουδέτερο) και δεξιά με 6000K(ψυχρό).



Εικόνα 3 Φωτισμός χώρου με 3 διαφορετικούς τρόπους



Εικόνα 4 Θερμοκρασίες χρώματος διάφορων φωτεινών πηγών

1.5 Δείκτης χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών

Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών (R_a) είναι ένα μέτρο που μας δείχνει το πόσο ρεαλιστικά μπορεί μία φωτεινή πηγή να αναπαραγάγει το χρώμα ενός αντικειμένου που φωτίζεται. Για να είναι ρεαλιστική η απεικόνιση του χρώματος του αντικειμένου που φωτίζεται, θα πρέπει η φωτεινή πηγή να έχει ευρεία φασματική κατανομή και να καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερα μήκη κύματος. Σε αντίθετη περίπτωση δεν έχουμε πιστή απεικόνιση του χρώματος του αντικειμένου ή αυτό φαίνεται μαύρο, καθώς η επιφάνεια του δεν αντανακλά πολλά μήκη κύματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η διεθνής επιτροπή φωτισμού CIE (Commission Internationale de l' Eclairage) δημιούργησε ένα γενικό κώδικα (color rendering index, CRI) με κλίμακα του 100 και όσο οι τιμές του δείκτη πλησιάζουν το 100, η απόδοση των χρωμάτων είναι ρεαλιστική, ενώ όσο μικραίνει και απομακρύνεται του 100 η ποιότητα χρώματος είναι κακή. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (100 - 4.6\Delta E_i) \quad (1.2)$$

όπου ΔE οι αποστάσεις στο χρωματικό χώρο.

Ανάλογα με το πόσο υψηλή ή χαμηλή είναι η τιμή αυτού του δείκτη, οι φωτεινές πηγές κατηγοριοποιούνται, καθώς σε κάποιες εφαρμογές παίζει πολύ σημαντικό ρόλο η πιστή αναπαραγωγή των χρωμάτων. Για παράδειγμα σε ένα μουσείο η μία έκθεση θα πρέπει οι

λαμπτήρες να έχουν πολύ καλή χρωματική απόδοση, ενώ αντίθετα στο φωτισμό ενός δρόμου αυτό μας αφήνει αδιάφορους, καθώς εκεί χρειαζόμαστε φωτισμό με ισχυρή ένταση. Παρακάτω, παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των δεικτών χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών σε σχέση με τη κλίμακα του 100.

Κατηγοριοποίηση Φωτεινών πηγών	Δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra (κατά CIE)	Εφαρμογή
1A	$Ra \geq 90$	Απαραίτητη η ακριβής απόδοση των χρωμάτων
1B	$90 \geq Ra \geq 80$	Απαραίτητη η καλή απόδοση των χρωμάτων
2	$80 \geq Ra \geq 60$	Απαραίτητη η μέτρια απόδοση των χρωμάτων
3	$60 \geq Ra \geq 40$	Ανακριβής απόδοση των χρωμάτων
4	$40 \geq Ra \geq 20$	Απόδοση των χρωμάτων άνευ σημασίας

Εικόνα 5 Κατηγοριοποίηση δείκτη χρωματικής απόδοσης

1.6 Χρωματομετρία και χρωματικά συστήματα

Για να μετρήσουμε και να περιγράψουμε τα χρώματα, έχουν δημιουργηθεί χρωματικά συστήματα. Το πιο γνωστό σύστημα είναι το RGB (red-green-blue), όπου μας δείχνει ότι όλα τα χρώματα μπορούν να προκύψουν από την κατάλληλη ανάμειξη των βασικών χρωμάτων, δηλαδή του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε. Υπάρχουν 3 συνδιασμοί ανάμειξης των βασικών χρωμάτων ανά 2 σε ίσες ποσότητες. Έτσι, πράσινο και κόκκινο μας δίνει το κίτρινο, κόκκινο και μπλε δίνει ιώδες, ενώ με την ανάμειξη πράσινου και μπλε χρώματος θα προκύψει το κυανό. Αυτά τα 3 χρώματα που προκύπτουν από την ανάμειξη των βασικών χρωμάτων ονομάζονται συμπληρωματικά. Τα βασικά χρώματα δεν προκύπτουν από την ανάμειξη άλλων χρωμάτων παρά μόνο από την κατάλληλη ανάμειξη των συμπληρωματικών χρωμάτων και πάλι σε ίσες ποσότητες. Υπάρχει και ένας τέταρτος συνδιασμός των παραπάνω χρωμάτων ανά 3 σε ίσες ποσότητες. Έτσι, τα 3 βασικά χρώματα μας δίνουν το λευκό χρώμα, ενώ τα 3 συμπληρωματικά μαζί μας δίνουν το μαύρο χρώμα. Ένα ακόμα χρωματικό σύστημα, λιγότερο γνωστό, που δημιουργήθηκε από τη διεθνή επιτροπή φωτισμού, είναι το x,y,z και δίνει 3 συναρτήσεις που ονομάζονται συναρτήσεις χρωματικής συνθέσεως και αντιστοιχούν στο κόκκινο, στο πράσινο και στο μπλε χρώμα. Η επιστήμη που ασχολείται με όλα τα παραπάνω ονομάζεται χρωματομετρία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ

2.1 Στερεά γωνία

Η στερεά γωνία είναι ένα μέγεθος θεωρητικό και μας βοηθάει να κατανοήσουμε κατά πόσο μία φωτεινή πηγή εκπέμπει προς όλες τις διευθύνσεις. Έχει ως μονάδα μέτρησης το στερακτίσιο, το οποίο ορίζεται ως μία στερεά γωνία ω με κορυφή το κέντρο μίας σφαίρας, η οποία τέμνει μία επιφάνεια της S που ισούται με το τετράγωνο της ακτίνας r της σφαίρας:

$$\omega = \frac{S}{r^2} \quad (2.1)$$

Επειδή το στερακτίσιο προκύπτει από πηλίκο επιφάνειας προς επιφάνεια είναι αδιάστατο μέγεθος. Αν θεωρήσουμε ότι η στερεά γωνία τέμνει όλη την επιφάνεια της σφαίρας, δηλαδή ίση με 4π , τότε η μέγιστη τιμή της υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_{max} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \quad (2.2)$$

Άρα, η στερεά γωνία μίας φωτεινής πηγής που εκπέμπει προς όλες τις διευθύνσεις, ισούται με 4π στερακτίσια. Τέλος, σε περίπτωση που μία στερεά γωνία δεν τέμνει κυκλική επιφάνεια μίας σφαίρας, αυτή υπολογίζεται ολοκληρώνοντας τα στοιχειώδη τμήματα της επιφάνειας.

2.2 Φωτεινή ενέργεια

Η ενέργεια που εκπέμπει μία πηγή ακτινοβολίας κατανέμεται ανομοιόμορφα στο φάσμα εκπομπής της και μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος κύματος λ . Η κατανομή της ενέργειας μπορεί να παρασταθεί με ένα διάγραμμα και καθορίζεται από τη φασματική ενέργεια ακτινοβολίας $W\lambda$. Άρα, η ενέργεια W σε ένα συγκεκριμένο φάσμα μήκους κύματος $\Delta\lambda=[a,b]$, προκύπτει από το ολοκλήρωμα της κατανομής στη ζώνη φάσματος.

$$dW(\lambda) = W\lambda \cdot d\lambda, \lambda \in [a, b] \quad (2.3)$$

$$W(\lambda) = \int_a^b W(\lambda) d\lambda, d\lambda=[a, b] \quad (2.4)$$

Στη περίπτωση όπου μιλάμε για φωτεινή ενέργεια, οι 2 παραπάνω τύποι μετατρέπονται, με το $a=380\text{nm}$ και το $b=780\text{nm}$, καθώς μέσα σε αυτά τα όρια γίνεται αντιληπτό το φως, οπότε έχουμε:

$$dW(\lambda) = W\lambda \cdot d\lambda, \lambda \in [380,780] \text{ nm} \quad (2.5)$$

$$W(\lambda) = \int_{380}^{780} W(\lambda) d(\lambda), d\lambda = [380.780] nm \quad (2.6)$$

Επειδή το ανθρώπινο μάτι δε διακρίνει με την ίδια ευαισθησία τις διάφορες ακτινοβολίες του ορατού φωτός, όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 1.3.1, για να οριστεί πλήρως η έννοια της φωτεινής ενέργειας, θα πρέπει ο τύπος (2.6) να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή $V(\lambda)$ που μας δείχνει τη φασματική ευαισθησία του οφθαλμού, δηλαδή:

$$W(\lambda) = \int_{380}^{780} W(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (2.7)$$

2.3 Φωτεινή ροή

Φωτεινή ροή ορίζεται το πηλίκο της εκπεμπόμενης ενέργειας μίας φωτεινής πηγής αμελητέου μεγέθους στη κορυφή ενός κώνου προς το χρόνο dt που εκπέμπεται η ενέργεια,

$$\Phi = \frac{dW(\lambda)}{dt} \quad (2.8)$$

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen(lm). Ο τύπος (2.8) εκφράζει ενέργεια προς μονάδα χρόνου. Για αυτό το λόγο εκτός από τον όρο φωτεινή ροή χρησιμοποιείται και ο όρος ισχύς.

2.4 Φωτεινή ένταση

Επειδή οι φωτεινές πηγές δεν εκπέμπουν ομοιόμορφα τη φωτεινή ροή τους μέσα στο χώρο, είναι απαραίτητο να ορίσουμε ένα μέγεθος, αυτό της φωτεινής έντασης που είναι και διανυσματικό. Μονάδα μέτρησης της είναι το candela(cd). Το 1candela ορίζεται ως το πηλίκο φωτεινής ροής ενός lm

που εκπέμπεται σε μία στερεά γωνία ενός στερακινίου,

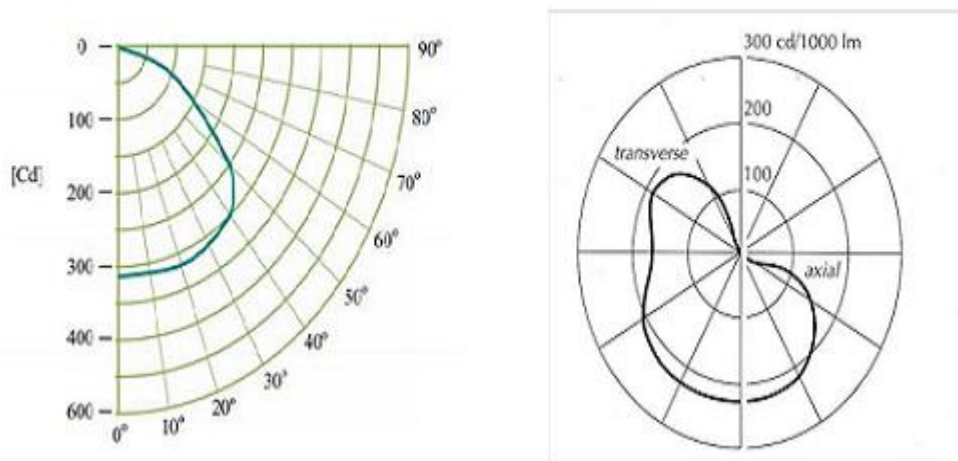
$$cd = \frac{lumen}{sterad} \quad (2.9)$$

2.4.1 Διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης

Όπως αναφέρθηκε στη προηγούμενη παράγραφο, η κατανομή της φωτεινής ροής των φωτιστικών σωμάτων γίνεται ανομοιόμορφα μέσα στο χώρο. Για αυτό το λόγο, όλα τα φωτιστικά σώματα χαρακτηρίζονται από διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης. Αυτά τα διαγράμματα, για να γίνουν κατανοητά από τους αναγνώστες ακολουθούν κάποιους συγκεκριμένους κανόνες. Ως σημείο αναφοράς θεωρείται το κέντρο συμμετρίας του φωτιστικού σώματος. Ο κατακόρυφος άξονας με αρχή το κέντρο συμμετρίας του φωτιστικού και κατεύθυνση προς τα κάτω αντιστοιχεί στις , ενώ ο άξονας που τέμνει κάθετα το κατακόρυφο αντιστοιχεί στις και στις . Για κάθε επιφάνεια που ορίζεται από κατακόρυφα

επίπεδα σχηματίζεται μία καμπύλη, η οποία ονομάζεται διάγραμμα κατανομής φωτεινής έντασης. Τα διαγράμματα πολικής κατανομής σχεδιάζονται για λαμπτήρες 1000lm φωτεινής ροής.

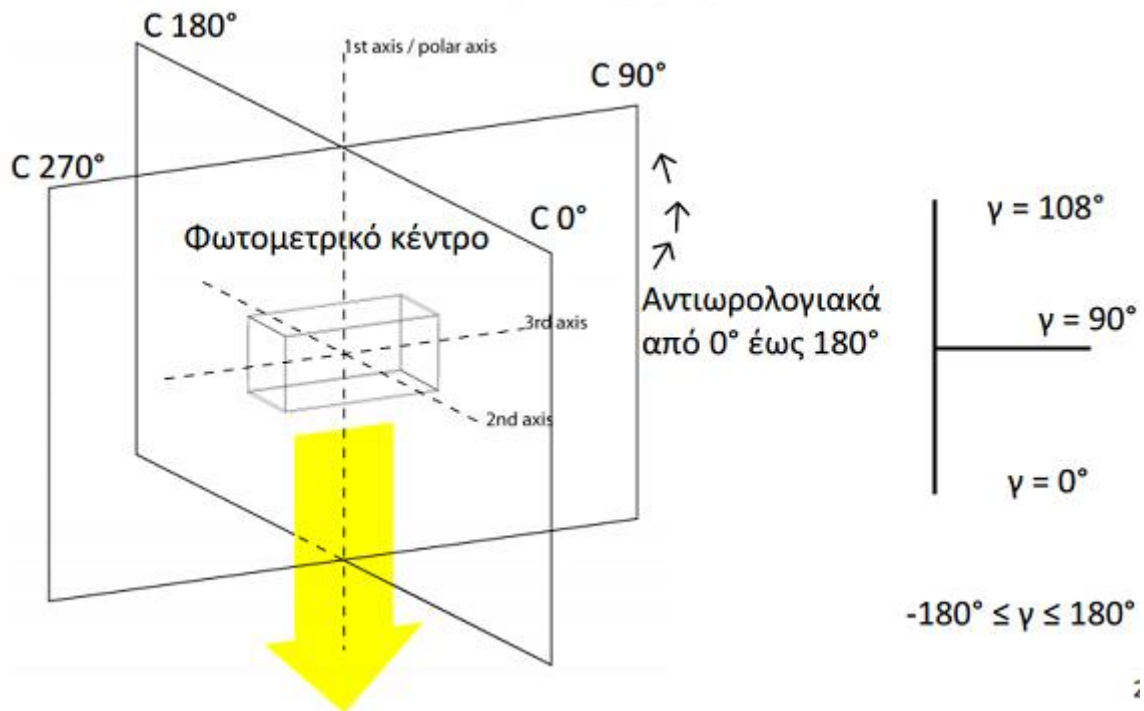
Διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης του φωτιστικού σώματος



Εικόνα 6 Διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης

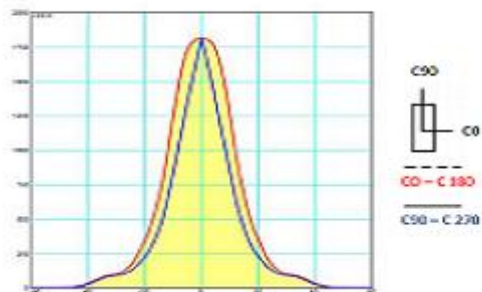
2.4.2 Επίπεδα μέτρησης φωτεινής έντασης

Η CIE έχει επιλέξει 3 διαφορετικές κατηγορίες για τη μέτρηση της φωτεινής έντασης, ενώ η τυποποίηση έχει πραγματοποιηθεί από την Ευρωπαϊκή επιτροπή τυποποίησης CENELEC(EN13032-1). Οι 3 κατηγορίες αφορούν τα επίπεδα A, B και C, από τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο τα C. Στα επίπεδα C, έχουμε τον άξονα περιστροφής που διέρχεται από το φωτομετρικό κέντρο του φωτιστικού, είναι κατακόρυφος και δεν ακολουθεί καθόλου τη κλίση του φωτιστικού σώματος, όταν αυτό είναι σε κεκλιμένη θέση όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

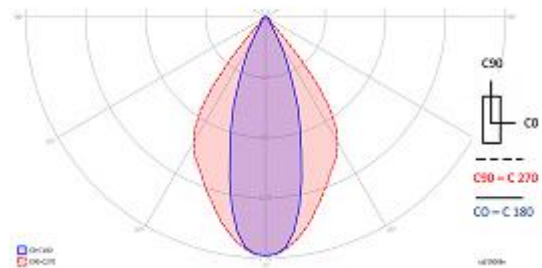


Εικόνα 7 Τα επίπεδα μέτρησης C

Διάγραμμα Καρτεσιανής Κατανομής



Διάγραμμα Πολικής Κατανομής



2.5 Ένταση φωτισμού

Οι λαμπτήρες του εμπορίου έχουν ασύμμετρη κατανομή της φωτεινής ροής τους μέσα στο χώρο. Η φωτεινή ένταση είναι το μέγεθος που μας δίνει το ποσό της φωτεινής ροής που προσπίπτει σε μία επιφάνεια. Ας θεωρήσουμε το φωτιστικό του παρακάτω σχήματος που προσδίδει φωτεινή ροή $d\Phi$ σε μία στοιχειώδη επιφάνεια dA . Η φωτεινή ένταση ορίζεται ως

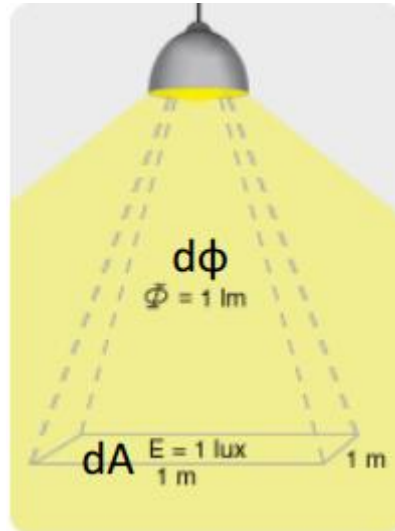
$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.10)$$

Εάν έχουμε ομοιόμορφο φωτισμό επιφάνειας, τότε η σχέση (2.10), μπορεί να μετασχηματιστεί ως:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.11)$$

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης είναι το ένα lux, το οποίο αντιστοιχεί με φωτεινή ροή ενός lumen που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου,

$$1Lux = \frac{1lumen}{m^2} \quad (2.12)$$



Εικόνα 8 Φωτισμός επιφάνειας

Εκτός όμως από το lux υπάρχουν και άλλες 2 μονάδες μέτρησης της φωτεινής έντασης λιγότερο διαδεδομένες. Η μονάδα foot-candle=fc=10lux , που χρησιμοποιείται κυρίως στις αγγλοσαξονικές χώρες και η μονάδα 1phot=10⁴ lux, η οποία δεν ανήκει στο διεθνές σύστημα μονάδων και χρησιμοποιείται για μετρήσεις πολύ υψηλών τιμών έντασης φωτισμού. Για να μετρηθεί η ένταση φωτισμού υπάρχουν διάφοροι μετρητές (luxmeters), οι οποίοι διαφέρουν ως προς το κόστος και την ακρίβεια μέτρησης, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Είναι ένα μέγεθος που πρέπει να λαμβάνουμε σοβαρά υπόψιν σε μία φωτοτεχνική μελέτη, διότι ο κάθε χώρος προορίζεται για διαφορετική χρήση και έχει διάφορες απαιτήσεις φωτισμού. Για αυτό το λόγο ανάλογα με τη χρήση του χώρου υπάρχουν προτεινόμενες τιμές έντασης φωτισμού. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικές από αυτές.

Χρήση Χώρου		Ενδεικτικές Τιμές σε LUX
Καταστήματα	Βιτρίνες	1000-5000
	Πάγκοι Δεγματοποίησης	500-700
	Ράφια	300-500
	Γενικός φωτισμός	50-500
Εστιατόρια-Bar	Γενικός φωτισμός	30 (minimum)
	Σημειακός φωτισμός	200-300
Εστιατόρια-Fast Food	Πάγκοι εξυπηρέτησης	500
	Γενικός φωτισμός	250-500
Φαρμακεία, Κοσμηματοπωλεία, Οπτικά		500
Τρόφιμα		250-500
Τυπογραφεία		1000
Γραφειακοί χώροι	Επιφάνεια εργασίας	400-500
	Αίθουσες γραφείων	400-500
	Σχεδιαστήρια	1000
	Αναμονή	120-150
	Διάδρομοι	120-150
Ιατρεία	Αναμονή	200
	Χώρος εξέτασης	600-1000
	Διάδρομοι	150
	Οδοντιατρείο	700
Χώροι πολιτισμού	Μουσεία γενικός φωτισμός	150
	Εκθέματα	300-600
	Ευαίσθητα εκθέματα	200 (maximum)
	Πολύ ευαίσθητα εκθέματα	50 (maximum)
	Κινηματογράφοι	150
Σχολεία	Θέατρα	150
	Αίθουσες	400-500
Κατοικία	Διάδρομοι	200
	Γενικός φωτισμός	100-150
	Σκάλες	150
	Δωμάτια	120
	Κουζίνα	250
	Παρασκευή φαγητού	400
	Τραπεζαρία	300

Εικόνα 9 Προτεινόμενες τιμές έντασης φωτισμού για διάφορους χώρους

2.6 Λαμπρότητα

Η λαμπρότητα είναι ένα μέγεθος που μας δείχνει πόσο φωτεινή αντιλαμβάνεται μία επιφάνεια ο παρατηρητής. Εάν όλες οι φωτεινές πηγές είχαν τις ίδιες διαστάσεις, τότε αυτό το μέγεθος δεν θα είχε πρακτικά κάποια σημασία. Θεωρώντας όμως 2 φωτεινές πηγές ίδιας φωτεινής έντασης αλλά διαφορετικών διαστάσεων, ο παρατηρητής θα αντιληφθεί πιο φωτεινή τη πηγή με τις μικρότερες διαστάσεις. Συνεπώς, η λαμπρότητα L ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής έντασης I μίας φωτεινής πηγής προς την επιφάνεια αυτής.

$$L = \frac{I}{S_1} \quad (2.13),$$

όπου S_1 η επιφάνεια της πηγής.

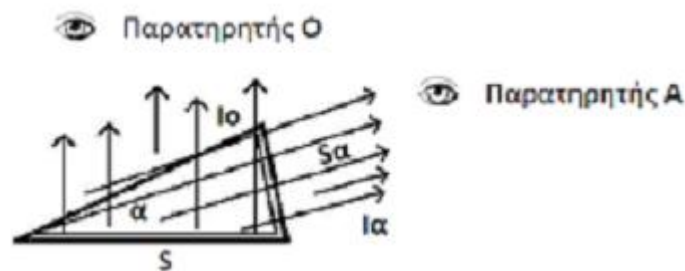
Οι φωτεινές πηγές με κριτήριο το πως παράγουν το φως τους χωρίζονται σε 2 κατηγορίες. Στις αυτόφωτες και στις ετερόφωτες. Οι πρώτες παράγουν από μόνες τους δικό τους φως, ενώ οι ετερόφωτες δέχονται φως από μία άλλη φωτεινή πηγή και είτε το ανακλούν είτε το διαχέουν. Για αυτό το λόγο αυτό το μέγεθος μας δείχνει τη φωτεινότητα των επιφανειών

(ετερόφωτες πηγές) και είναι αυτό που αντιλαμβανόμαστε ουσιαστικά ως παρατηρητές. Η λαμπρότητα των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να ελέγχεται και να περιορίζεται όταν ξεπερνάει κάποιες τιμές, διότι μεγάλες τιμές αυτής μπορούν να προκαλέσουν θάμβωση και να κάνουν τους παρατηρητές να αισθάνονται άβολα. Η λαμπρότητα μετράται σε $\frac{cd}{m^2}$ και επειδή η φωτεινή ένταση είναι διανυσματικό μέγεθος, συνεπάγεται ότι είναι και η λαμπρότητα, δηλαδή η τιμή της που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής εξαρτάται από τη θέση και τη γωνία αυτού που κοιτάει ένα φωτιστικό σώμα ή μία φωτισμένη επιφάνεια. Θεωρώντας το παρακάτω σχήμα, ο παρατηρητής Ο κοιτάζει κάθετα την επιφάνεια (ολόκληρη), ενώ ο παρατηρητής Α κοιτάζει την επιφάνεια υπό κάποια γωνία α, δηλαδή κάποιο μέρος αυτής. Σε αυτή τη περίπτωση, η επιφάνεια που βλέπει ο παρατηρητής Α ισούται με

$$S_2 = S_a \cos a \quad (2.14)$$

οπότε και η λαμπρότητα που αντιλαμβάνεται :

$$L_2 = \frac{I_A}{S_A \cos a} \quad (2.15)$$



Εικόνα 10 Αντίληψη της λαμπρότητας σε σχέση με τη γωνία παρατήρησης

2.7 Θάμβωση

Η θάμβωση είναι ένα σημαντικό μέγεθος το οποίο πρέπει να ελέγχεται, διότι μεγάλες τιμές αυτού μπορούν να περιορίσουν ένα μέρος της όρασης του παρατηρητή ή να διακόψουν συνολικά την όραση, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα όπως ατυχήματα στην οδήγηση, βλάβες στους οφθαλμούς και επίπτωση στην ψυχολογία των ατόμων. Μπορεί να προκύψει από άμεση οπτική επαφή με μία φωτεινή πηγή (άμεση θάμβωση), ή από ανακλώμενες δέσμες (ανακλώμενη θάμβωση). Η ανακλώμενη θάμβωση μπορεί να προκύψει κοιτώντας μία λεία επιφάνεια, όπως καθρέφτες, ή καθαρά τζάμια. Για να ελέγχουμε αυτό το φαινόμενο στις φωτοτεχνικές μελέτες, έχουν δημιουργηθεί 6 κλάσεις ποιότητας θάμβωσης σε μία κλίμακα.

$$G \ 0.8 \ 1.15 \ 1.5 \ 1.85 \ 2.2 \ 2.55 \quad (2.16)$$

και σε κάθε κλάση αντιστοιχούν 4 βηματικά επίπεδα εντάσεων φωτισμού.

$$250 \ 500 \ 1000 \ 2000 \ (\text{lux}) \quad (2.17)$$

Με βάση με τη διεθνή επιτροπή φωτισμού(CIE), αυτές οι κλάσεις αναφέρονται ως

S A B C D E (2.18)

Σύμφωνα με αυτές τις κλάσεις ποιότητας θάμβωσης, σχεδιάζεται το διάγραμμα λαμπροτήτων του φωτιστικού, το οποίο αναγράφεται στα περισσότερα φωτιστικά του εμπορίου, διότι μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για την επιλογή των φωτιστικών σωμάτων σε μία φωτοτεχνική μελέτη. Τα τελευταία χρόνια, η θάμβωση υπολογίζεται με μία πιο διαδεδομένη μέθοδο (UGR), η οποία λαμβάνει υπόψιν τη λαμπρότητα στους τοίχους και τις οροφές, αλλά και όλα τα φωτιστικά της εγκατάστασης. Έχουν δημιουργηθεί κάποια πρότυπα τιμών θάμβωσης, όπου ανάλογα με το χώρο που γίνεται η μελέτη δεν πρέπει να ξεπερνιούνται κάποιες από τις τιμές αυτές.

2.8 Φωτεινή και φωτιστική απόδοση

Η φωτεινή απόδοση (η) είναι το μέγεθος που μας δείχνει το ποσοστό της ισχύος της φωτεινής πηγής που μετατρέπεται σε ωφέλιμη φωτεινή ροή, αλλά και τις απώλειες αυτής που μετατρέπονται σε θερμότητα. Εκφράζεται με το πηλίκο της φωτεινής ροής του λαμπτήρα προς την ισχύ που καταναλώνει,

$$\eta = \frac{\Phi}{W} \quad (2.19)$$

και μετράται σε $\frac{lumen}{watt}$

Η φωτιστική απόδοση ηE εκφράζει το ποσοστό της συνολικής φωτεινής ροής Φ_{Σ} που αποδίδει μία λάμπα χωρίς τοιχώματα σε σχέση με τη φωτεινή ροή Φ που φτάνει στο χώρο,

$$\eta E = \frac{\Phi}{\Phi_{\Sigma}} \quad (2.20)$$

Η φωτεινή ροή δε φτάνει συνολικά στο χώρο, διότι τα τοιχώματα των φωτιστικών απορροφούν, ή ανακλούν ένα μέρος αυτής. Το μέρος της φωτεινής ροής που απορροφάται από τα τοιχώματα είναι μία απώλεια των φωτιστικών σωμάτων και ειδικά αν αυτά δεν έχουν καθαριστεί καλά έχοντας πιάσει σκόνη, αυτή η απώλεια αυξάνεται, καθώς και ότι επικάθεται στα τοιχώματα των φωτιστικών απορροφά μέρος της φωτεινής ροής.

2.9 Ανάκλαση

Μία ιδιότητα που έχουν τα αντικείμενα είναι να ανακλούν μία ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει επάνω τους, συνεπώς και με το φως συμβαίνει το ίδιο. Η ανάκλαση πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σε μία μελέτη φωτισμού, καθώς αν δεν προσεχθεί μπορεί να προκληθεί θάμβωση, ή λανθασμένη κατανομή του φωτός στο χώρο. Η ικανότητα των σωμάτων να ανακλούν το φως εκφράζεται με το συντελεστή ανάκλασης ρ , ο οποίος μας δείχνει το μέρος της φωτεινής ροής που ανακλάται όταν προσπίπτει σε ένα σώμα μία φωτεινή ακτινοβολία. Ορίζεται από το πηλίκο:

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\varphi} \quad (2.21)$$

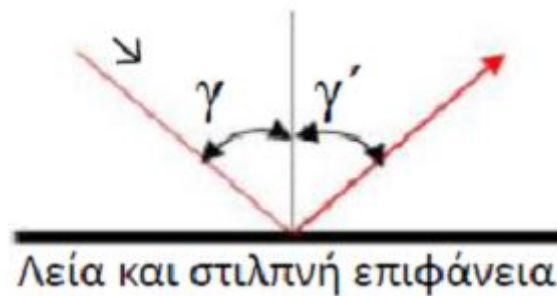
Όπου Φ_{ρ} η φωτεινή ροή που ανακλάται και Φ η φωτεινή ροή που προσπίπτει στο αντικείμενο. Υπάρχουν 4 είδη ανάκλασης. Κανονική, διαχέουσα, ημηδιαχέουσα, και μικτή. Η κανονική ανάκλαση διέπεται από το νόμο της κανονικής ανάκλασης που ορίζει ότι η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης. Ακόμα, η λαμπρότητα του ανακλώμενου φωτός ισούται με τη λαμπρότητα της πηγής επί το συντελεστή ανάκλασης,

$$L_A = \rho L \quad (2.22)$$

Το ίδιο ισχύει και για τη φωτεινή ένταση,

$$I_A = \rho I \quad (2.23)$$

Για να έχουμε αυτό το είδος ανάκλασης πρέπει να γίνει πρόπτωση μίας φωτεινής ακτινοβολίας σε μία πολύ λεία και στιλπνή επιφάνεια, ενώ αποτελεί πολύ λίγες από τις περιπτώσεις ανακλάσεων. .



Εικόνα 11 Κανονική ανάκλαση. Η γωνία πρόσπτωσης γ ισούται με τη γωνία ανάκλασης γ'

Στη δεύτερη περίπτωση το φως διαχέεται ομοιόμορφα προς όλες κατευθύνσεις, όπως συμβαίνει όταν δεχτεί ένας λευκός καθαρός τοίχος, ή μία ματ επιφάνεια μία φωτεινή ακτινοβολία. Για αυτό το λόγο και αυτή η περίπτωση ανάκλασης δεν είναι αρκετά συχνή.



Εικόνα 12 Διαχέουσα ανάκλαση

Η ημιδιαχέουσα ανάκλαση είναι η πιο συνηθισμένη περίπτωση και είναι παρόμοια με το προηγούμενο είδος ανάκλασης με τη διαφορά ότι εδώ το φως διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις, αλλά όχι ομοιόμορφα.



Εικόνα 13 Ημιδιαχέουσα ανάκλαση

Η τέταρτη περίπτωση (μικτή ανάκλαση) αποτελεί ένα συνδυασμό κανονικής και διαχέουσας ανάκλασης. Αυτό το φαινόμενο μπορούμε να το συναντήσουμε βλέποντας να προσπίπτει μία δέσμη φωτός σε μία καθαρή μεταλλική επιφάνεια. Έχει το πλεονέκτημα ότι η ανακλώμενη δέσμη διέπεται από το νόμο της κανονικής ανάκλασης, αλλά επειδή παράλληλα διαχέεται και προς άλλες κατευθύνσεις δεν προκαλεί έντονη θάμβωση.



Εικόνα 14 Μικτή ανάκλαση

Όλα τα υλικά ανακλούν έστω και λίγο το φως που προσπίπτει επάνω τους, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο. Ένα μικρό ποσοστό αυτών είναι ικανά να ανακλούν το φως σε όλα τα μήκη κύματος, δηλαδή η ανακλώμενη δέσμη έχει ακριβώς το ίδιο χρώμα με την προσπίπτουσα. Τα λευκά σώματα έχουν την ικανότητα αυτή, ενώ τα μαύρα κάνουν το ακριβώς αντίθετο, δηλαδή απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της φωτεινής ροής. Η μεγαλύτερη κατηγορία των υλικών όμως ανακλούν το φως σε μία συγκεκριμένη περιοχή του ορατού φάσματος. Παρακάτω, φαίνεται ένας πίνακας με τους συντελεστές ανάκλασης χρωμάτων για τα διάφορα χρώματα.

Χρώμα	Συντελεστής ανάκλασης φωτός (%)
Λευκό	75-90
Υπόλευκο	65-80
Ωχρα	50-60
Κίτρινο	50-70
Κόκκινο	10-30
Πράσινο	10-40
Μπλε	10-50
Μαύρο	1-10
Γκρι	10-75

Εικόνα 15 Συντελεστές ανάκλασης χρωμάτων

Εκτός όμως από το χρώμα των αντικειμένων, μεγάλη σημασία στην ανάκλαση έχει και η επιφάνεια των αντικειμένων. Ένα υλικό λείο έχει μεγαλύτερο συντελεστή ανάκλασης από ένα που η επιφάνεια του είναι τραχιά. Ακόμα και το ίδιο χρώμα να έχει, αυτό με τη λεία επιφάνεια έχει μεγαλύτερο συντελεστή ανάκλασης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές ανάκλασης ορισμένων υλικών.

Υλικό	Συντελεστής ανάκλασης φωτός (%)
Ανοδιωμένο-γυαλισμένο αλουμίνιο	70-80
Χρόμιο	65
Καθρέπτης	85-90
Χρωμιομένο πλαστικό	90
Μάρμαρο λευκό	60
Γυαλιστερό λευκό κεραμικό	70
Μπετόν	20-30
Σκούρος γρανίτης	10
Λευκός γρανίτης	75
Ανοξειδωτος χάλυβας	60
Νικέλιο	65
Νικέλιο ματ	40-50
Κεραμικό τούβλο	20
Τσιμεντόλιθος	15

Εικόνα 16 Συντελεστές ανάκλασης διάφορων υλικών

2.10 Φωτομετρικός νόμος αντιστρόφου τετραγώνου

Έχοντας ορίξει τα κυριότερα φωτομετρικά μεγέθη, μπορούμε να αναφερθούμε στους 3 βασικούς φωτομετρικούς νόμους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις φωτοτεχνικές μελέτες. Θεωρώντας μία σημειακή φωτεινή πηγή που εκπέμπει ομοιόμορφα τη φωτεινή της ένταση I μέσα στην επιφάνεια S μίας σφαίρας ακτίνας r , η φωτεινή ροή της ισούται με :

$$\Phi = I\omega \quad (2.24)$$

όπου ω η στερεά γωνία της φωτεινής έντασης. Η επιφάνεια ισούται με :

$$S = \omega \cdot r^2 \quad (2.25),$$

οπότε η ένταση φωτισμού :

$$I = \frac{\Phi}{S} = \frac{\omega \cdot I}{\omega \cdot r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (2.26)$$

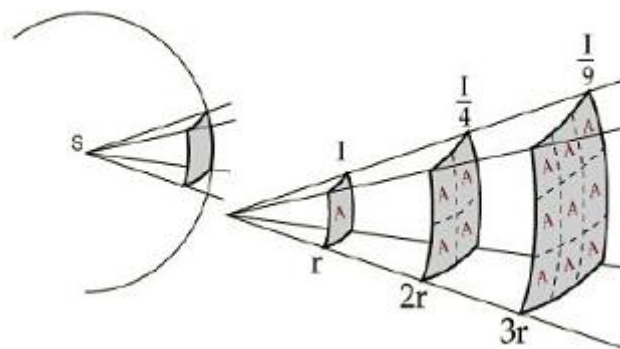
Αν κάνουμε τη παραδοχή ότι η επιφάνεια που φωτίζεται έχει μικρές διαστάσεις μπορεί να θεωρηθεί επίπεδη, οπότε θα δέχεται κάθετα τη φωτεινή ροή της πηγής σε όλα τα σημεία της και η απόσταση της d από τη πηγή θα ισούται με την ακτίνα της σφαίρας. Σύμφωνα με αυτά η (2.38) μετασχηματίζεται ως εξής :

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2.27)$$

Η (2.39) αποτελεί το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου και αν την εφαρμόσουμε για 2 σημεία και διαιρέσουμε κατά μέλη καταλήγουμε στην :

$$E_1 \cdot d_1^2 = E_2 \cdot d_2^2 \quad (2.28)$$

με d_1 και d_2 οι αποστάσεις των σημείων από τη φωτεινή πηγή. Πρακτικά, αυτό μας δείχνει ότι εάν έχουμε δεδομένη την απόσταση 2 σημείων από μία φωτεινή πηγή και γνωρίζουμε την ένταση φωτισμού στο ένα σημείο, τότε μπορούμε να την υπολογίσουμε και στο άλλο. Ακόμα, μία άλλη έκφραση του νόμου είναι ότι όταν μία πηγή φωτίζει μία επιφάνεια σε ακτίνα r , έχει φωτεινή ένταση I , ενώ όταν η ακτίνα γίνει τριπλάσια φωτίζεται μεγαλύτερη επιφάνεια αλλά με το $1/9$ της αρχικής φωτεινής έντασης, δηλαδή η φωτεινή ένταση είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης. Για να έχει ουσιαστικά αποτελέσματα αυτή η εφαρμογή, θα πρέπει οι διαστάσεις της φωτεινής πηγής να είναι αρκετές φορές μικρότερες από την απόσταση, έτσι ώστε η πηγή να μπορεί να θεωρείται σημειακή.



Εικόνα 17 Μείωση της φωτεινής έντασης σε σχέση με την απόσταση

2.11 Φωτομετρικός νόμος συνημιτόνου

Ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου μία επιφάνεια δέχεται κάθετα φωτεινή ροή από μία φωτεινή πηγή. Όταν η επιφάνεια S φωτίζεται υπό γωνία, τότε χρησιμοποιείται μία άλλη βοηθητική επιφάνεια S_1 , που δέχεται σε κάθετη διεύθυνση τη φωτεινή ροή και είναι εικονική. Η βοηθητική επιφάνεια ισούται με :

$$S_1 = S \cdot \cos \theta \quad (2.29)$$

όπου θ η γωνία που σχηματίζει η ένταση φωτισμού με την επιφάνεια. Η ένταση φωτισμού που επικρατεί σε αυτή την επιφάνεια ισούται με :

$$E_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{\Phi}{S \cdot \cos \theta} \quad (2.30)$$

και η ένταση της αρχικής επιφάνειας :

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.31)$$

Συνδυάζοντας τις 2 παραπάνω εξισώσεις καταλήγουμε στην :

$$E = E_1 \cdot \cos \theta \quad (2.32)$$

Η **(2.32)** καλείται νόμος του συνημιτόνου και είναι μία εφαρμογή που μπορεί να μας βοηθήσει στη μέτρηση της φωτεινής έντασης της πηγής. Μετασχηματίζοντας τη **(2.27)** έχουμε :

$$I = E \cdot d^2 \quad (2.33)$$

και

$$I_1 = \frac{E_1 \cdot d_1^2}{\cos \theta} \quad (2.34)$$

Η **(2.34)** , μας δείχνει ότι εάν γνωρίζουμε την ένταση φωτισμού σε ένα σημείο, την απόσταση και τη γωνία αυτού που σχηματίζει με τη φωτεινή πηγή, μπορούμε με έναν απλό υπολογισμό να μετρήσουμε τη φωτεινή ένταση της πηγής. Αυτά τα 3 μεγέθη δεν είναι αρκετά δύσκολο να είναι γνωστά, καθώς και η ένταση φωτισμού μπορεί να μετρηθεί εύκολα με ένα φωτόμετρο τοποθετημένο κατάλληλα.

2.12 Φωτομετρικός νόμος Lambert

Ο νόμος του Lambert θεωρεί μία επιφάνεια που όταν δέχεται μία φωτεινή ροή, τη διαχέει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, δηλαδή ένας παρατηρητής που θα κοιτάξει από διάφορες γωνίες θα αντιλαμβάνεται πάντα την ίδια λαμπρότητα. Κοιτάζοντας όμως από διάφορες γωνίες δε βλέπει πάντα την ίδια επιφάνεια σε μέγεθος παρά μόνο την ίδια λαμπρότητα. Για μία τυχαία γωνία ω ο παρατηρητής βλέπει επιφάνεια :

$$S_1 = S \cdot \cos \omega \quad (2.35),$$

Όπου S_1 η φαινόμενη επιφάνεια και S η συνολική. Σύμφωνα με τη **(2.13)** η φωτεινή ένταση δεν είναι ομοιόμορφη αφού ανάλογα με τη γωνία αλλάζει κάθε φορά η επιφάνεια, με δεδομένο ότι η λαμπρότητα παραμένει σταθερή. Η φωτεινή ένταση ισούται με :

$$I = L \cdot S_1 = L \cdot S \cdot \cos \omega \quad (2.36)$$

Η **(2.36)** μας δείχνει ότι όταν ο παρατηρητής βρίσκεται κάθετα στην επιφάνεια, η φωτεινή ένταση αποκτά τη μέγιστη τιμή της, ενώ όταν η γωνία τείνει στις 90^0 , η φωτεινή ένταση οδεύει προς το μηδέν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ

3.1 Λαμπτήρες πυράκτωσης

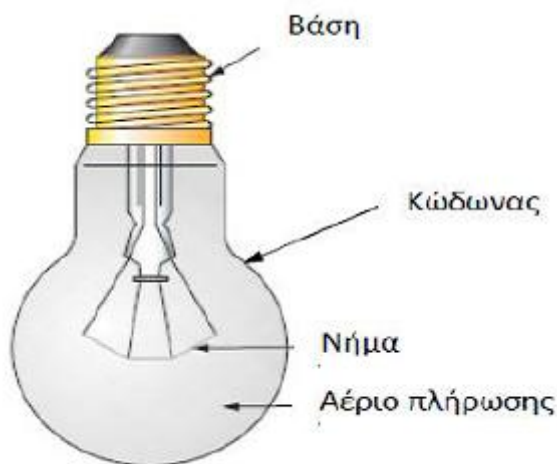
3.1.2 Δομή και αρχή λειτουργίας λαμπτήρων πυράκτωσης

Οι λαμπτήρες πυράκτωσης αποτελούνται από 4 βασικά χαρακτηριστικά. Το νήμα, τη βάση, το αέριο πλήρωσης και το κώδωνα. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη παραγωγή φωτεινής ακτινοβολίας από ένα θερμαινόμενο μεταλλικό νήμα. Όταν μία μεταλλική ράβδος θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, αρχικά αποκτά ένα κόκκινο χρώμα και όσο η θερμοκρασία αυξάνεται το φως της τείνει προς το λευκό. Οι θερμοκρασίες όμως που απαιτούνται για τη παραγωγή φωτεινής ακτινοβολίας ξεπερνούν τους 2000°C και η πλειοψηφία των μετάλλων έχει σημείο τήξης χαμηλότερο από αυτή τη τιμή. Εκτός όμως από το υψηλό σημείο τήξης για να μπορεί ένα μέταλλο να χρησιμοποιηθεί σαν νήμα, θα πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή και ελατότητα, χαμηλή πίεση ατμών και κατάλληλη ηλεκτρική αντίσταση. Το καταλληλότερο μέταλλο το οποίο συνδιάζει τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι το βολφράμιο με σημείο τήξης στους 3382°C και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται σε όλους τους λαμπτήρες πυράκτωσης. Το νήμα στους περισσότερους λαμπτήρες το συναντάμε ως περιελιγμένο ή ως περιελιγμένο σε ελικοειδές πηνίο. Αυτό το τέχνασμα γίνεται διότι η περιέλιξη του νήματος κάνει το λαμπτήρα πιο αποτελεσματικό. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του βολφραμίου είναι η μεγάλη μεταβολή της ηλεκτρικής του αντίστασης σε σχέση με τη θερμοκρασία, δηλαδή όταν θερμαίνεται παρουσιάζει μεγαλύτερη ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη της 10πλάσιας της αρχικής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στην έναυση του λαμπτήρα να έχουμε ένα ρεύμα σχετικά μεγάλης έντασης, το οποίο μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με αυτή τη συμπεριφορά του λαμπτήρα προσαρμόζεται και ο σχεδιασμός των επαφών των διακοπών που οδηγούν αυτά τα κυκλώματα. Όπως αναφέραμε παραπάνω, άλλα κατασκευαστικά στοιχεία του λαμπτήρα πυράκτωσης είναι ο κώδωνας και η βάση. Ο κώδωνας στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από μαλακό γυαλί, ενώ εάν θέλουμε αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες, μπορεί να κατασκευαστεί από πυρίμαχο γυαλί που είναι σκληρό. Εάν θέλουμε να πετύχουμε διάχυση φωτός, τότε ο κώδωνας επικαλύπτεται με λεπτή σκόνη πυριτίου. Σχετικά με τις βάσεις των λαμπτήρων τις περισσότερες θα τις συναντήσουμε βιδωτές.

Τέλος, το αέριο πλήρωσης το συναντάμε στους μεταγενέστερους λαμπτήρες και χρησιμοποιείται για το περιορισμό της εξάτμισης του νήματος με τον καιρό. Προτιμούνται τα αδρανή αέρια, όπως το άζωτο, το κρυπτό, το ξένο και το αργό, επειδή απορροφούν μικρό ποσό θερμότητας και δεν αντιδρούν με τα τοιχώματα του λαμπτήρα. Να σημειώσουμε ότι το ξένο λόγω του μεγάλου κόστους του χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές εφαρμογές.



Εικόνα 18 Λαμπτήρες πυράκτωσης

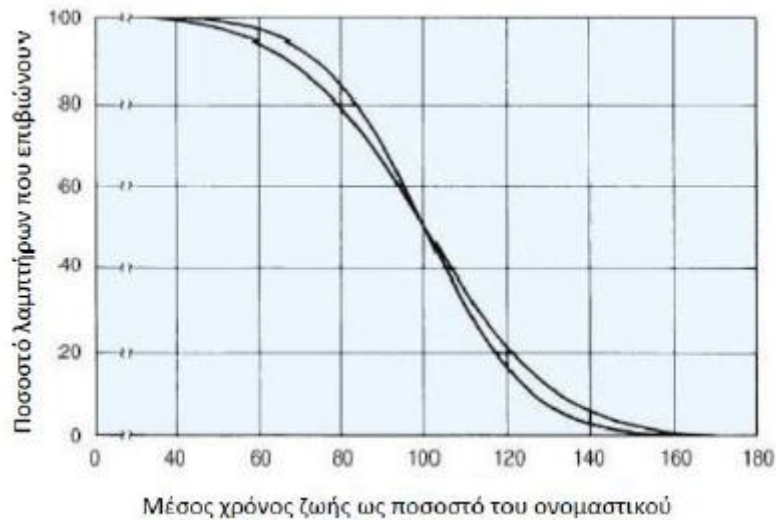


Εικόνα 19 Δομή λαμπτήρα πυράκτωσης

3.1.3 Καταπόνηση και χρόνος ζωής λαμπτήρων πυράκτωσης

Μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας των λαμπτήρων τα νήματα σταδιακά εξαερώνονται και μικραίνουν σε μέγεθος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ωμικής τους αντίστασης, δηλαδή διαρρέονται από μικρότερης έντασης ρεύμα και ακτινοβολούν λιγότερο. Ακόμα, με την εξαέρωση του νήματος έχουμε επικαθίσεις στον κώδωνα (μαύρισμα) με αποτέλεσμα τη μείωση της φωτεινής ροής. Όταν το μέγεθος του νήματος περιοριστεί σημαντικά, τότε ο λαμπτήρας καταστρέφεται. Ο χρόνος

ζωής αυτών των λαμπτήρων είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη τάση λειτουργίας τους. Εάν η τάση λειτουργίας είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική, τότε θα έχουμε μεγαλύτερη φωτεινή ροή, αλλά η καταπόνηση θα έρθει σε πολύ λιγότερο χρόνο από τη φυσιολογική λειτουργία του λαμπτήρα. Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει είναι η μεταχείριση από εμάς, δηλαδή το πόσες φορές ανοίγουν και κλείνουν, καθώς το ρεύμα έναυσης είναι σχετικά μεγάλο και επαναλαμβανόμενο καταστρέφει πιο γρήγορα το λαμπτήρα.



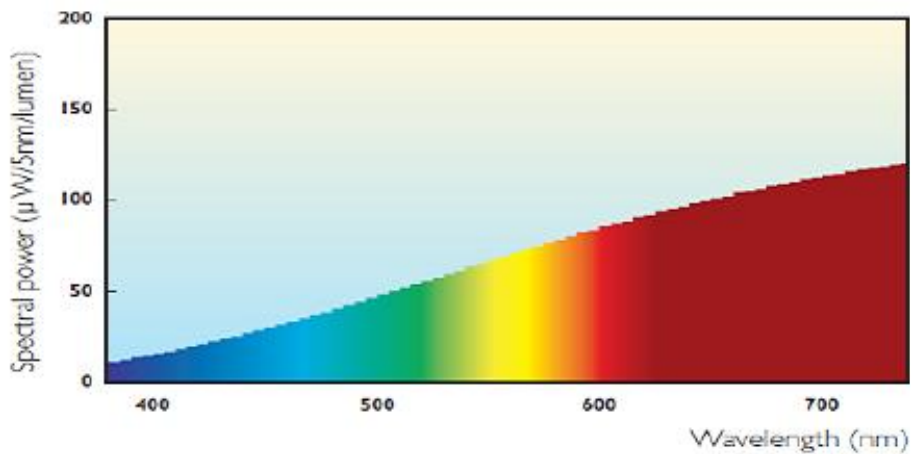
Εικόνα 20 Καμπύλη θνησιμότητας λαμπτήρων πυράκτωσης

3.1.4 Λαμπτήρες αλογόνου

Οι λαμπτήρες αλογόνου είναι μία σημαντική υποκατηγορία των λαμπτήρων πυράκτωσης. Έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους προηγούμενους, με τη διαφορά ότι στο αέριο πλήρωσης υπάρχει και κάποιο αλογόνο, όπως ιώδιο, χλώριο ή βρώμιο. Η χρήση του αλογόνου βοηθά σημαντικά στη μερική αποκατάσταση του νήματος από την εξάχνωση και συνεπώς στην αύξηση του χρόνου ζωής του λαμπτήρα. Καθώς ένα μέρος του νήματος εξαχνώνεται, κινείται προς τον κώδωνα όπου είναι πιο ψυχρός. Το αλογόνο αντιδρά με αυτά τα μόρια βολφραμίου και το διατηρεί σε αέρια κατάσταση. Τα μόρια που έχουν αντιδράσει κυκλοφορούν ελεύθερα και όταν πλησιάζουν το πυρακτωμένο νήμα διασπώνται και επικάθονται σχεδόν στην αρχική τους θέση. Με αυτό το τρόπο τα τοιχώματα δεν μαυρίζουν τόσο και το νήμα δε χάνει το μέγεθος του. Επειδή όμως επικάθονται τυχαία, το νήμα δεν αποκτά το αρχικό του σχήμα με αποτέλεσμα την αλλοίωση και γήρανση του.



Εικόνα 21 Λαμπτήρες αλογόνου



Εικόνα 22 Φάσμα ακτινοβολίας λαμπτήρων αλογόνου

3.1.5 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Οι λαμπτήρες πυράκτωσης είναι η κατηγορία που εφευρέθηκε από τις πρώτες. Για αυτό το λόγο δεν υπάρχουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους σημερινούς πέρα από το χαμηλό κόστος τους. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλή φωτεινή απόδοσή τους και η μικρή διάρκεια ζωής, δηλαδή δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία μελέτη φωτισμού όπου θέλουμε εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα, με τη πάροδο του χρόνου όπως αναφέραμε τα τοιχώματα μαυρίζουν με αποτέλεσμα την υποβίβαση της φωτεινής ακτινοβολίας. Οι Ευρωπαϊκές χώρες έχουν σχεδιάσει τη κατάργησή τους και για αυτό το λόγο τείνουν να εκλείψουν από το εμπόριο.

3.2 Λαμπτήρες φθορισμού

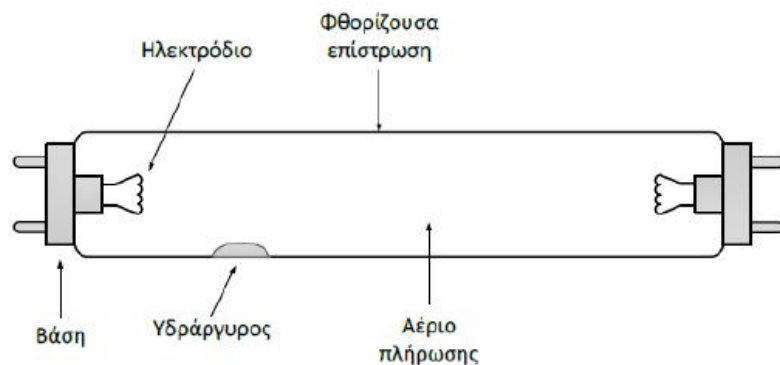
3.2.1 Δομή και αρχή λειτουργίας

Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης μαζί με κάποιο βοηθητικό αδρανές αέριο και φθορίζουσες επιστρώσεις. Όταν εφαρμοστεί μία τάση συγκεκριμένης τιμής στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα δημιουργείται ένα τόξο ρεύματος από τον ιονισμό του υδραργύρου, το οποίο παράγει ένα μικρό ποσοστό ορατής ακτινοβολίας, αλλά η περισσότερη ακτινοβολία είναι υπεριώδης. Η υπεριώδης ακτινοβολία ενεργοποιεί τις φθορίζουσες επιστρώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους ακτινοβολούν. Υπάρχουν πάρα πολλά είδη λαμπτήρων φθορισμού που ποικίλουν ως προς το σχήμα, το μέγεθος και την απόδοση τους. Γενικά, χαρακτηρίζονται από ένα αρχικό γράμμα που δηλώνει το σχήμα τους (σωληνοειδές, κυκλικό, ευθύγραμμο) και ένα αριθμό που εκφράζει τη διάμετρο τους σε όγδοα ίντσας. Για παράδειγμα λαμπτήρας φθορισμού T-12, Σωληνοειδής λαμπτήρας φθορισμού με διάμετρο 1.5 ίντσα ή 38mm.

Σχετικά με τα ηλεκτρόδια των λαμπτήρων υπάρχουν 2 κατηγορίες, ψυχρής και θερμής καθόδου. Τα πρώτα είναι μεταλλικοί κύλινδροι με τα άκρα τους κοντά το ένα στο άλλο και απαιτούν μία τάση γύρω στα 50V με ένα ρεύμα μικρής έντασης. Αυτή η κατηγορία είναι λιγότερο διαδεδομένη από τα ηλεκτρόδια θερμής καθόδου. Τα θερμής καθόδου αποτελούνται από ένα καλώδιο βολφραμίου μαζί με κάποια αλκαλική γαία. Η απαιτούμενη τάση λειτουργίας είναι γύρω στα 10V με ένα ρεύμα έντασης 1.5 A , ενώ η θερμοκρασία λειτουργίας τους ξεπερνά τους $1000^{\circ}C$. Ένα ακόμα σημαντικό κατασκευαστικό στοιχείο αυτών των λαμπτήρων είναι οι βάσεις τους, οι οποίες υπάρχουν σε πάρα πολλά διαφορετικά σχήματα ανάλογα με το είδος του λαμπτήρα. Η βάση όμως δεν αναλαμβάνει μόνο να εξασφαλίζει τη σωστή θέση λειτουργίας και τη στήριξη του λαμπτήρα, αλλά εκεί εδράζονται και όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που είναι απαραίτητα για σωστή λειτουργία και έναυση του λαμπτήρα. Το αέριο πλήρωσης αποτελείται από ένα ή από συνδυασμό κάποιων αδρανών αερίων, τα οποία διευκολύνουν τον ιονισμό του υδραργύρου.



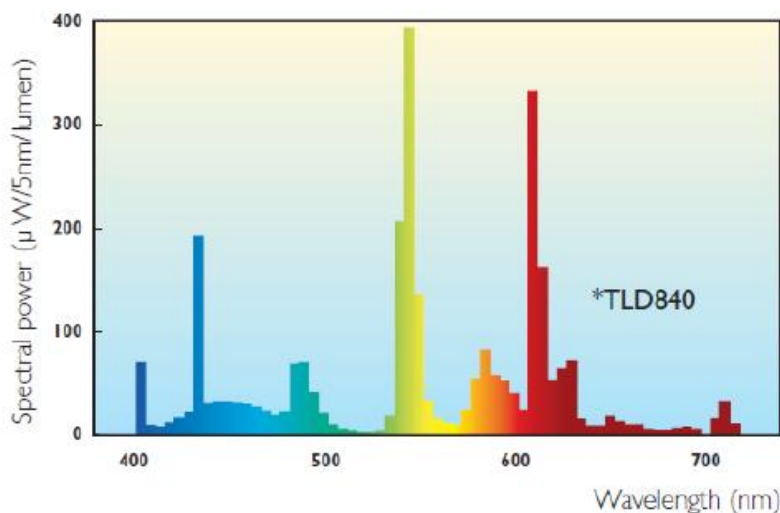
Εικόνα 23 Λαμπτήρες φθορισμού



Εικόνα 24 Δομή λαμπτήρων φθορισμού

3.2.2 Μήκος κύματος ακτινοβολίας και χρώμα φωτός

Το χρώμα φωτός που παράγεται από αυτούς τους λαμπτήρες εξαρτάται από τη σύσταση που θα έχουν οι φθορίζουσες επιστρώσεις στα τοιχώματα του, δηλαδή μπορούμε να διορθώσουμε το φάσμα επεμβαίνοντας στα μείγματα των επιστρώσεων. Τα μήκη της παραγόμενης φωτεινής ακτινοβολίας κυμαίνονται από 254mm-578mm.

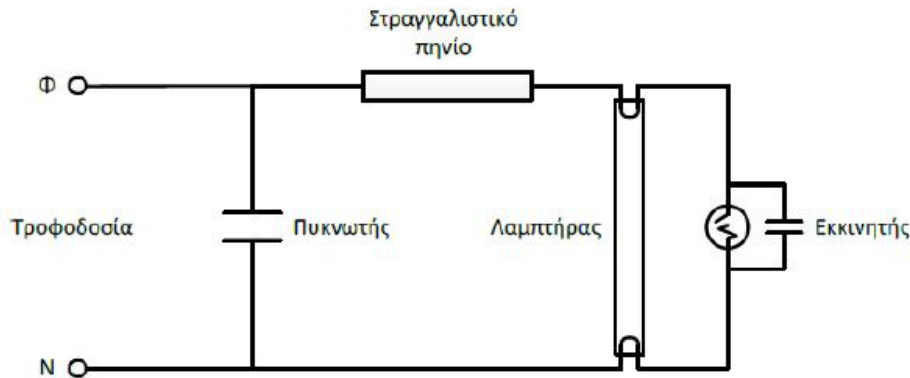


Εικόνα 25 Φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας λαμπτήρων φθορισμού

3.2.3 Έναυση λαμπτήρων φθορισμού

Για να ξεκινήσουν οι λαμπτήρες φθορισμού αρχικά θερμαίνονται μέχρι μία συγκεκριμένη θερμοκρασία και ύστερα εφαρμόζεται μία ικανή τάση για τον ιονισμό του αερίου που περιέχεται μέσα στο λαμπτήρα. Οι πρώτοι λαμπτήρες αυτής της κατηγορίας έμπαιναν σε λειτουργία με προθέρμανση και τη βοήθεια ενός χειροκίνητου διακόπτη. Οι σημερινοί ξεκινούν με τη βοήθεια ενός στραγγαλιστικού πηνίου (ballast) και ενός εκκινήτη (starter). Τα στραγγαλιστικά πηνία είναι απαραίτητα για την εκκίνηση αυτών των λαμπτήρων, καθώς χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των ρευμάτων μέσα στο λαμπτήρα. Ο εκκινήτης είναι μία διάταξη που αποτελείται από ένα σωλήνα με αέριο νέον, ένα πυκνωτή και μία εύκαμπτη σταθερή επαφή από διμεταλλικό έλασμα. Ο εκκινήτης συνδέεται σε σειρά με το δίκτυο, οπότε όταν μπει σε λειτουργία, δημιουργείται τόξο στο σωλήνα με το νέον, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται η επαφή και λυγίζοντας να κλείνει το κύκλωμα. Όταν κλείσει το κύκλωμα, ο λαμπτήρας και το στραγγαλιστικό πηνίο διαρρέονται από ρεύμα. Στο πηνίο δημιουργείται πτώση τάσης, η οποία περιορίζει τη τάση στο σωλήνα του εκκινήτη, με αποτέλεσμα να ψύχεται και η επαφή να ανοίγει. Όταν ανοίξει η επαφή επάγει μία υπέρταση της τάξης των 1000V στο στραγγαλιστικό πηνίο, το οποίο με τη σειρά του την εφαρμόζει στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα. Αυτή η τάση είναι κατάλληλη για τη δημιουργία των απαραίτητων τόξων στο λαμπτήρα, δηλαδή για την εκκίνηση του.

Εκτός όμως από τα συμβατικά (μαγνητικά) στραγγαλιστικά πηνία, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και τα ηλεκτρονικά, τα οποία έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα πρώτα. Ουσιαστικά, πρόκειται για ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία παίρνουν τη τάση του δικτύου και τη μετατρέπουν σε υψίσυχνη μερικών δεκάδων KHz. Υπερέχουν σε σχέση με τα συμβατικά στραγγαλιστικά πηνία, καθώς αυτά αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία τους, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων. Εκτός όμως από αυτό, οι λαμπτήρες που οδηγούνται από αυτές τις διατάξεις έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και οικονομική λειτουργία, επειδή όταν λειτουργούν με υψίσυχνη τάση, η απόδοση αυξάνεται. Τέλος, αποδίδεται σταθερό φως, δηλαδή αυτοί οι λαμπτήρες δεν τρεμοπαίζουν.



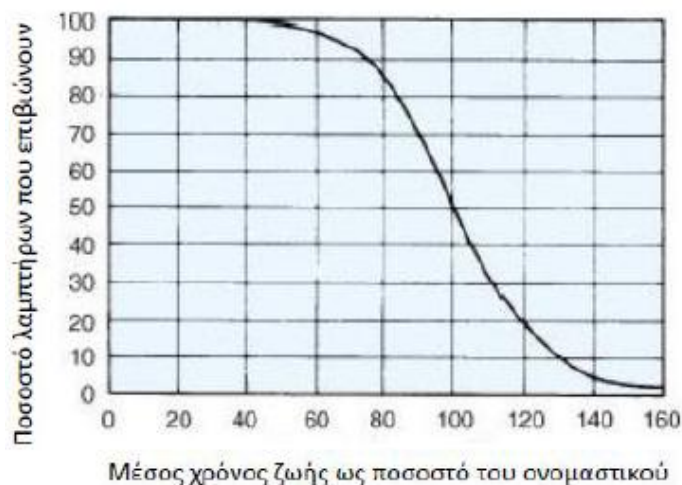
Εικόνα 26 Κύκλωμα λαμπτήρα φθορισμού

3.2.4 Απόδοση

Η απόδοση ενός λαμπτήρα φθορισμού εξαρτάται σε γενικές γραμμές από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και από τη πίεση των ατμών υδραργύρου στο εσωτερικό του. Η διάμετρος του όσο αυξάνεται, αυξάνει και η απόδοση του λαμπτήρα, καθώς μειώνει κάποιες απώλειες στο εσωτερικό του. Όταν όμως ξεπεράσει μία συγκεκριμένη τιμή μεγαλώνει και ένα άλλο ποσοστό απωλειών με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης. Άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση είναι το μήκος. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του λαμπτήρα, τόσο αυξάνεται η απόδοση του, καθώς με την αύξηση του μήκους μειώνονται οι απώλειες των ηλεκτροδίων.

3.2.5 Διάρκεια ζωής

Για να πάψει να λειτουργεί ένας λαμπτήρας φθορισμού θα πρέπει να έχουν καταστραφεί οι φθορίζουσες επιστρώσεις του ή να έχουν αλλοιωθεί τόσο ώστε να μην μπορούν να ακτινοβολήσουν. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής είναι η τάση λειτουργίας, η θερμοκρασία λειτουργίας, η συχνότητα έναυσης και οι προδιαγραφές των στραγγαλιστικών πηνίων. Εάν η τάση είναι χαμηλότερη από την ονομαστική, μπορεί να προκαλέσει επαναλαμβανόμενη λειτουργία των εκκινητών, ενώ αν είναι υψηλότερη προκαλεί γρηγορότερη έναυση, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ζωής του λαμπτήρα. Η εκκίνηση των λαμπτήρων δυσκολεύει, όσο η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή. Για αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί ειδικά στραγγαλιστικά πηνία, τα οποία διευκολύνουν την έναυση σε αυτές τις περιπτώσεις. Εάν όμως βρεθεί ένας τέτοιος λαμπτήρας σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τότε θα υπάρχει άμεση έναυση και μείωση του χρόνου ζωής. Ακόμα, εάν τα στραγγαλιστικά πηνία δεν έχουν τις κατάλληλες προδιαγραφές για συγκεκριμένες εφαρμογές, η λειτουργία του λαμπτήρα θα είναι μη φυσιολογική. Η κατηγορία λαμπτήρων με ηλεκτρόδια θερμής καθόδου επηρεάζεται από τη συχνότητα έναυσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα τόσο μειώνεται η διάρκεια ζωής, καθώς σε κάθε έναυση επέρχεται μία μικρή αλλοίωση στις επιστρώσεις. Να αναφερθεί ότι όσο αυξάνονται οι ώρες λειτουργίας του λαμπτήρα, επέρχεται υποβάθμιση της φωτεινής ροής του, για του ίδιους λόγους που συμβαίνει και στους λαμπτήρες πυράκτωσης. Παρακάτω, φαίνεται η καμπύλη θνησιμότητας για ένα μεγάλο αριθμό λαμπτήρων φθορισμού.



Εικόνα 27 Καμπύλη θνησιμότητας

3.2.6 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα

Αρχικά, οι πρώτοι λαμπτήρες φθορισμού είχαν πολλά προβλήματα όπως η χαμηλή απόδοση τους και η δύσκολη έναυση. Με τη βελτίωση όμως των στραγγαλιστικών πηνίων και των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών τους αυτά τα προβλήματα μειώνονται. Το βασικό μειονέκτημα τους είναι η χρήση εξωτερικού κυκλώματος για την εκκίνηση του και η δυσκολία εκκίνησης σε χαμηλές θερμοκρασίες. Όμως είναι ικανοί για το φωτισμό μεγάλων χώρων, καθώς έχει βελτιωθεί κατά πολύ η διάρκεια ζωής τους και η οικονομική λειτουργία τους.

3.3 Λαμπτήρες επαγωγής

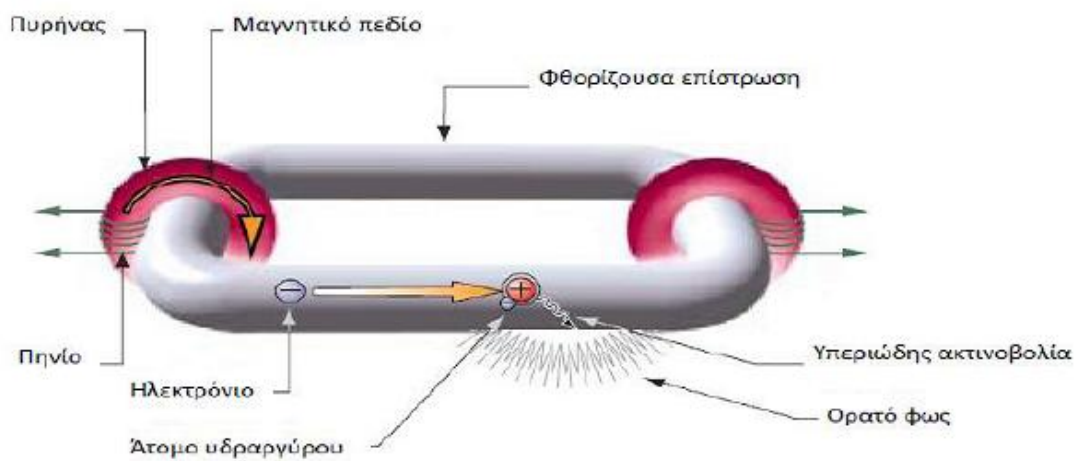
Οι λαμπτήρες επαγωγής είναι μία νέα τεχνολογία λαμπτήρων με μικρό πλήθος εφαρμογών και έχουν παρόμοια αρχή λειτουργίας με τους λαμπτήρες φθορισμού. Η διαφορά είναι ότι ο ιονισμός του υδραργύρου προκαλείται από ένα επαγωγικό πηνίο, το οποίο οδηγείται από γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι αρκετά υψηλές και φτάνουν τα 3MHz, ενώ οι θερμοκρασίες χρώματος που αποδίδονται είναι ενδιάμεσες και κυμαίνονται από 3000K έως 4000K.



Εικόνα 28 Λαμπτήρας επαγωγής



Εικόνα 29 Λαμπτήρας επαγωγής



Εικόνα 30 Δομή λαμπτήρων επαγωγής

3.3.1 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Είναι λαμπτήρες με πολλά πλεονεκτήματα αλλά επειδή η τεχνολογία δεν εξελιχθεί πάρα πολύ για τη βελτίωση τους, έχουν περιορισμένο πλήθος εφαρμογών. Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής τους που μπορεί να φτάσει και τις 100000 ώρες, δηλαδή 5πλάσια από τους υπόλοιπους λαμπτήρες. Έχουν πολύ καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης, ενώ εξαιτίας των υψηλών συχνοτήτων λειτουργίας δεν υπάρχει τρεμόπαιγμα. Ακόμα, είναι εύκολα συντηρήσιμοι και ικανοί για άμεση έναυση και επανέναυση. Όμως εξαιτίας της υψίσυχνης λειτουργίας τους υπάρχουν σημαντικές παρεμβολές, οι οποίες δεν έχουν επιλυθεί και τα φωτιστικά τους προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν το πρόβλημα. Επίσης, υπάρχει μεγάλο κόστος κατασκευής των λαμπτήρων αλλά και των φωτιστικών όπου εδράζονται, ενώ αυτά τα φωτιστικά είναι σχετικά δυσεύρετα.

3.4 Λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης

Στους λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης(High Intesity Discharge-HID) περιλαμβάνονται 4 σημαντικές κατηγορίες λαμπτήρων:

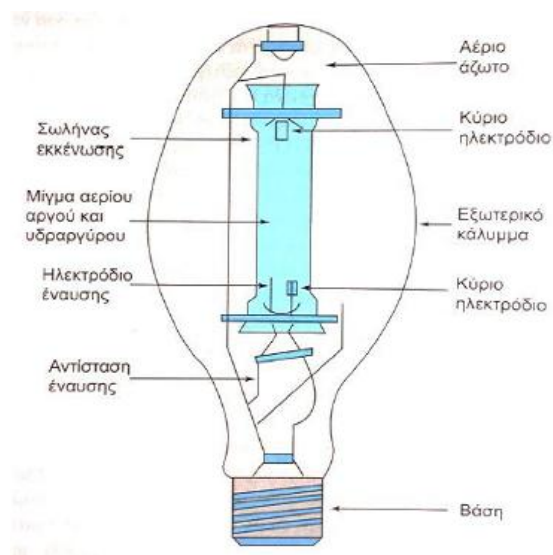
- A) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης
- B) Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων
- Γ) Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης
- Δ) Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

Σε όλους τους λαμπτήρες HID η φωτεινή ακτινοβολία παράγεται μέσω της εκκένωσης ηλεκτρικού τόξου, ενώ ο σωλήνας αποτελείται από ηλεκτρόδια βολφραμίου και στο εσωτερικό του περιέχει κάποιο αδρανές αέριο, όπως αργό ή ξένο και κάποιες ενώσεις μετάλλων οι οποίες ακτινοβολούν επίσης. Το αδρανές αέριο ιονίζεται σχετικά εύκολα σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ το φως που παράγεται εξαρτάται από το είδος του μετάλλου που περιέχεται στο λαμπτήρα. Το τοίχωμα του κώδωνα αποτελείται από ένα σκληρό ή μαλακό γυαλί, με σκοπό να προστατέψει το τόξο από τις εξωτερικές επιδράσεις του περιβάλλοντος, ενώ απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας που παράγεται από την εκκένωση. Σε περίπτωση που σπάσει το εξωτερικό περίβλημα, οι περισσότεροι λαμπτήρες αυτής της κατηγορίας έχουν ένα νήμα βολφραμίου που οξειδώνεται πολύ γρήγορα στο εξωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη καταστροφή του λαμπτήρα. Αυτό γίνεται διότι εάν συνεχιστεί η λειτουργία του, η υπεριώδης ακτινοβολία δεν απορροφάται από το τοίχωμα και η έκθεση του ανθρώπου πάνω από κάποια ώρα σε αυτήν μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας.

3.4.A Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

3.4.A.1 Δομή

Η φωτεινή ακτινοβολία σε αυτούς τους λαμπτήρες παράγεται μέσω του τόξου που προκαλείται από τους ατμούς υδραργύρου. Για να ιονιστεί ευκολότερα ο υδράργυρος παράγεται αρχικά ένα τόξο από το βοηθητικό αέριο πλήρωσης, το οποίο θερμαίνει τον υδράργυρο και τον εξατμίζει. Αποτελείται από το εξωτερικό περίβλημα, κατασκευασμένο από σκληρό ή μαλακό γυαλί και προστατεύει τα εσωτερικά του λαμπτήρα από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία που παράγεται. Στο εσωτερικό του λαμπτήρα υπάρχει ο σωλήνας εκκένωσης που αποτελείται από χαλαζία, καθώς αυτό το υλικό είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες. Στα άκρα αυτού του σωλήνα υπάρχουν 2 ηλεκτρόδια βολφραμίου, τα οποία με τη βοήθεια μίας ωμικής αντίστασης συνδέονται σε σειρά με το βοηθητικό ηλεκτρόδιο (έναυσης). Η χρήση του βοηθητικού ηλεκτροδίου γίνεται επειδή η τάση του δικτύου δεν είναι ικανή να ιονίσει το βοηθητικό αέριο, καθώς τα κύρια ηλεκτρόδια βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή ενός τέτοιου λαμπτήρα.



Εικόνα 31 Δομή λαμπτήρα υδραργύρου

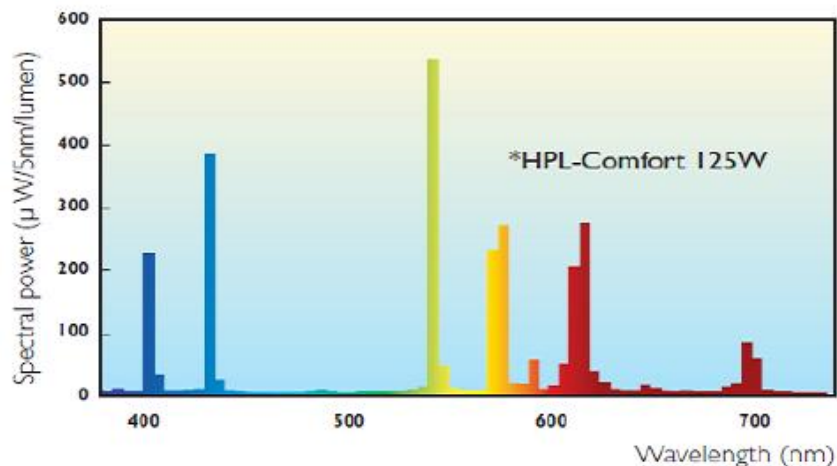


Εικόνα 32 Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

3.4.A.2 Έναυση και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αρχικά ιονίζεται το βοηθητικό αέριο και με τη θερμότητα που προκαλείται εξατμίζεται ο υδράργυρος και εκκενώνεται. Στην εκκίνηση του λαμπτήρα η τάση είναι χαμηλή, έχουμε τον ιονισμό του αερίου και παρατηρούμε ένα γαλαζωπό χρώμα ενώ μετά από μερικά λεπτά το φως μεταπίπτει σε κυανοπράσινο, όπου έχει σταθεροποιηθεί η λειτουργία του λαμπτήρα με τον υδράργυρο να έχει εξατμιστεί εντελώς. Να αναφερθεί ότι, εάν ο λαμπτήρας σβήσει, για να ξανά ανάψει θα πρέπει να ψυχθεί επαρκώς και να επαναληφθεί όλη η προηγούμενη διαδικασία. Ο χρόνος που απαιτείται κυμαίνεται από 3 έως 7 λεπτά.

Οι ακτινοβολίες που παράγονται αποδίδουν κυανοπράσινο φως και η εντύπωση που προκύπτει είναι ψυχρή. Υπάρχουν λαμπτήρες που στο εσωτερικό τους περιέχουν φθορίζουσες επιστρώσεις, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και του φάσματος εκπομπής ακτινοβολίας. Ανάλογα με τις αναμειξεις των επιστρώσεων μπορούν να παραχθούν θερμότερα ή ψυχρότερα χρώματα.



Εικόνα 33 Φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας λαμπτήρων υδραργύρου

3.4.A.3 Διάρκεια ζωής

Γενικά, αυτοί οι λαμπτήρες έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, η οποία πολλές φορές ξεπερνάει κατά πολύ την αναμενόμενη. Επειδή όμως με τη πάροδο του χρόνου επέρχεται υποβάθμιση της φωτεινής ροής, συνίστανται να γίνεται αντικατάσταση μέχρι τις 10000 ώρες λειτουργίας. Η καταπόνηση των λαμπτήρων επέρχεται από τη φθορά των ηλεκτροδίων του και από την σταδιακή εξάτμιση των μεταλλικών υλικών του που επικάθονται στα τοιχώματα του σωλήνα με τη πάροδο του χρόνου. Ακόμα, εάν η θέση του λαμπτήρα είναι οριζόντια, υπάρχει μία τάση στο να μετακινηθεί το τόξο προς τα επάνω. Αυτή η μετακίνηση μειώνει την απόδοση, αλλά καταπονεί και περισσότερο το λαμπτήρα.

3.4.A.4 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Ένα βασικό μειονέκτημα αυτών των λαμπτήρων είναι η χαμηλή φωτεινή απόδοση τους, η οποία κυμαίνεται από 30-65lm/w. Πρόκειται για παλαιά τεχνολογία λαμπτήρων για αυτό έχει σχεδιαστεί σταδιακά η απόσυρση τους από την Ευρωπαϊκή ένωση, καθώς ο υδράργυρος είναι ένα πολύ τοξικό υλικό και επικίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Ακόμα, με τη πάροδο του χρόνου επέρχεται υποβάθμιση της φωτεινής ροής, ενώ αποδίδεται σχετικά ψυχρός φωτισμός.

Ως πλεονέκτημα μπορούμε να πούμε ότι είναι η αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής τους και η ικανότητα τους να λειτουργούν σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό εξωτερικών χώρων, όπως πλατείες και δρόμους.

3.4.A.5 Λαμπτήρες μεικτού φωτισμού

Πρόκειται για λαμπτήρες που συνδιάζουν τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων πυράκτωσης και των λαμπτήρων εκκένωσης. Η αρχή λειτουργίας τους είναι παρόμοια με τη παραπάνω κατηγορία λαμπτήρων με τη διαφορά ότι ένα από τα κύρια ηλεκτρόδια συνδέεται σε σειρά με ένα περιελιγμένο νήμα βολφραμίου (ίδιο με του λαμπτήρα πυράκτωσης). Το νήμα σε αυτή τη περίπτωση παίζει το ρόλο του στραγγαλιστικού πηνίου, καθώς περιορίζει το ρεύμα στο εσωτερικό του λαμπτήρα και σταθεροποιεί την εκκένωση. Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να παράγουν και ερυθρωπές ακτινοβολίες με μεγαλύτερη απόδοση από τους λαμπτήρες πυράκτωσης, 20-30lm/w (μικρότερη από την απόδοση λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης). Παλιά η χρήση τους ήταν πολύ διαδεδομένη για το φωτισμό δρόμων, αλλά εξαιτίας της χαμηλής απόδοσης τους έχει περιοριστεί σε οικιστικές περιοχές.

3.4.B Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

3.4.B.1 Γενικά

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, με τη διαφορά ότι ο σωλήνας εκκένωσης εκτός από τον υδράργυρο περιέχει κάποια μεταλλικά αλογονίδια και αργό. Η λειτουργία των λαμπτήρων έχει σχέση με το κύκλο των αλογονιδίων, ο οποίος αποτελείται από 4 στάδια:

α) Όταν δημιουργηθεί η εκκένωση τα άτομα των μετάλλων οδεύουν από το τόξο προς τα τοιχώματα του σωλήνα, όπου βρίσκονται τα αλογόνα.

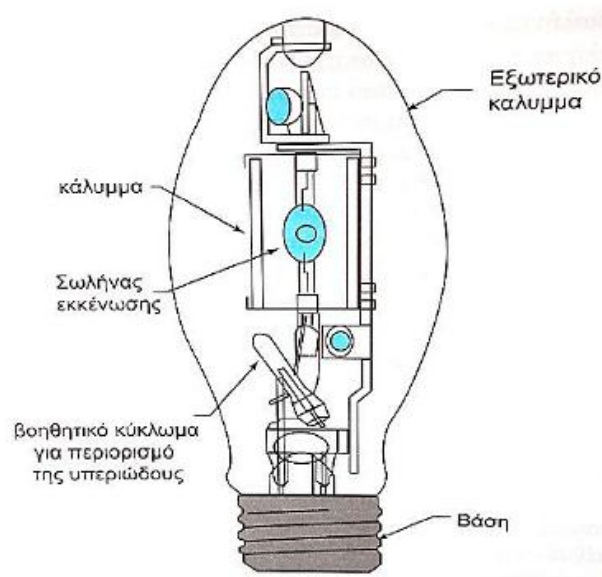
β) Σχηματίζονται μεταλλικά αλογονίδια, τα οποία δεν διαβρώνουν τα τοιχώματα.

γ) Τα μόρια των μεταλλικών αλογονιδίων όταν πλησιάσουν το τόξο, εξαιτίας της πολύ υψηλής θερμοκρασίας διασπώνται πάλι σε αλογόνα και μέταλλα.

δ) Τα μέταλλα ακτινοβολούν στο δικό τους φάσμα, ενώ τα αλογόνα επιστρέφουν στην αρχική τους θέση και γίνεται επανάληψη του κύκλου.



Εικόνα 34 Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

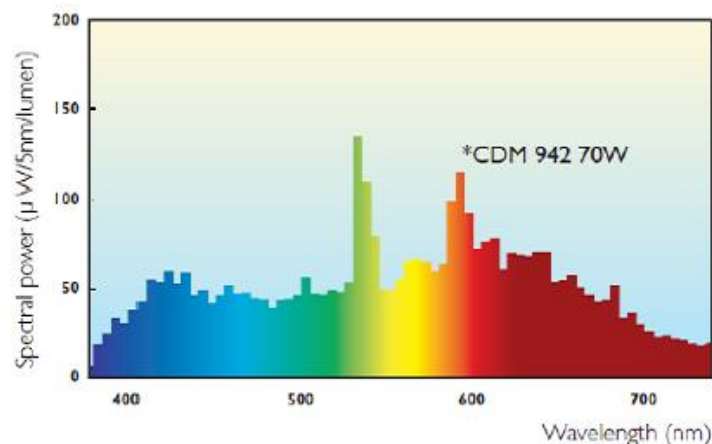


Εικόνα 35 Δομή λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων

3.4.B.2 Απόδοση και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας

Σε σχέση με τους λαμπτήρες υδραργύρου παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση, η οποία κυμαίνεται από 75lm/w έως 125lm/w, ενώ έχουν και καλύτερο δείκτη χρωματικής απόδοσης. Γενικά, παράγεται ισχυρό λευκό φως και μπορούμε να τους συναντήσουμε με επικαλύψεις φωσφόρου και κάποιες προσθήκες ιωδινών, όπως νάτριο, θάλλιο, σκάνδιο...

Οι επικαλύψεις φωσφόρου στα τοιχώματα χρησιμοποιούνται για να μειώνεται η θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα, ενώ οι προσθήκες ιωδινών για το παραπάνω λόγο, αλλά και για την επίτευξη διαφορετικών χρωμάτων. Για παράδειγμα, με κατάλληλους συνδυασμούς των παραπάνω μπορούμε να δούμε λαμπτήρες αυτής της κατηγορίας να ακτινοβολούν σε πράσινο πορτοκαλί και ιώδες χρώμα. Ακόμα, επειδή τα περισσότερα μέταλλα που ακτινοβολούν δε παράγουν μήκη κύματος σε συνεχόμενο φάσμα, τα παραπάνω στοιχεία που αναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται και για τη βελτίωση του φάσματος εκπομπής.



Εικόνα 36 Φάσμα λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων

3.4.B.3 Έναυση

Η εκκίνηση αυτών των λαμπτήρων είναι παρόμοια με αυτή των λαμπτήρων υδραργύρου. Η διαφορά όμως είναι ότι επειδή υπάρχουν αλογονίδια μέσα στο σωλήνα, η απαιτούμενη τάση έναυσης είναι υψηλότερη. Μερικοί λαμπτήρες χαμηλής ισχύος δεν περιέχουν ηλεκτρόδια εκκίνησης, καθώς το μέγεθος του σωλήνα είναι πολύ μικρό. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ειδικά στραγγαλιστικά πηνία, τα οποία παράγουν παλμούς υψηλής τάσης. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι μεγαλύτερη από αυτή των λαμπτήρων υδραργύρου, οπότε ο χρόνος έναυσης και σταθεροποίησης του τελικού χρώματος είναι αρκετά μεγάλος και μπορεί να φτάσει και τα 10 λεπτά, ενώ η επανέναυση μπορεί να φτάσει τα 15 λεπτά, ανάλογα με το είδος του λαμπτήρα.

3.4.B.4 Διάρκεια ζωής

Όπως αναφέρθηκε στη προηγούμενη παράγραφο, εάν η θέση του λαμπτήρα δεν είναι κατακόρυφη το τόξο έχει μία τάση να γείρει προς τα επάνω, με αποτέλεσμα να έχουμε μία

αρνητική αλλαγή των χαρακτηριστικών του λαμπτήρα και τη μείωση της διάρκειας ζωής του. Στους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, αυτό το πρόβλημα είναι πολύ πιο έντονο, καθώς δεν εξατμίζονται όλα τα αλογονίδια, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πίεσης, συνεπώς και του χρώματος. Ακόμα, το τόξο πλησιάζει στα τοιχώματα και καταπονεί το λαμπτήρα.

Ένας άλλος λόγος που μειώνει το χρόνο ζωής του λαμπτήρα είναι η σταδιακή εξάτμιση των ηλεκτροδίων του. Για τη σωστή λειτουργία του λαμπτήρα δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιεί τα ίδια ηλεκτρόδια με αυτά των λαμπτήρων υδραργύρου. Η διαφορά είναι ότι τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους λαμπτήρες, εξατμίζονται πιο γρήγορα από τα προηγούμενα. Με τη πάροδο του χρόνου αυτοί οι λαμπτήρες παρουσιάζουν σημαντικές χρωματικές αλλαγές και υποβάθμιση του δείκτη χρωματικής απόδοσης. Συνεπώς, σε εφαρμογές όπου απαιτείται καλή χρωματική απόδοση, η αντικατάσταση ενός τέτοιου λαμπτήρα θα γίνει πιο σύντομα από την τελική καταστροφή του.

3.4.B.5 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

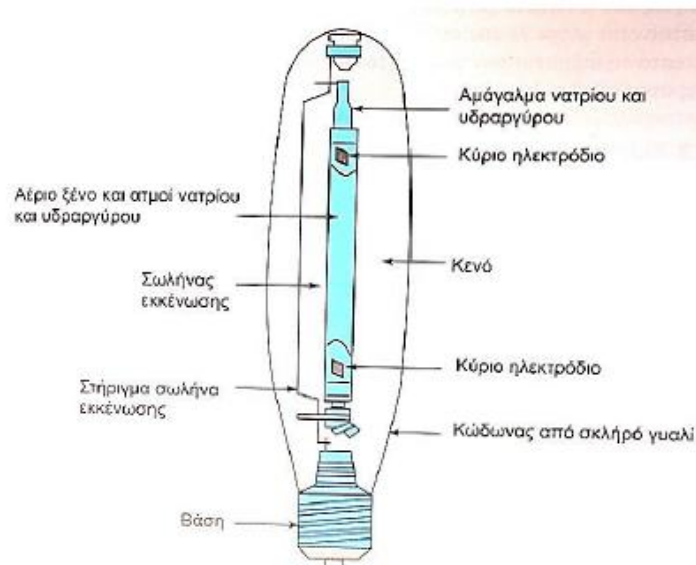
Τα βασικότερα πλεονεκτήματα τους είναι η υψηλή απόδοση και η καλή ποιότητα φωτός που παράγουν. Μπορούν όπως προαναφέρθηκε με κατάλληλες προσθήκες να διορθωθεί το φάσμα και η θερμοκρασία χρώματος του λαμπτήρα. Είναι κατάλληλοι για φωτισμό σταδίων, βιτρίνων καταστημάτων, γραφείων και γενικά όπου χρειάζεται ισχυρό και καλής ποιότητας φως.

Όμως, επειδή υπάρχει πολυπλοκότητα κατασκευής, το κόστος τους είναι σχετικά υψηλό. Ακόμα, υπάρχει μεγάλος χρόνος έναυσης και επανέναυσης, με αποτέλεσμα να μην είναι κατάλληλοι για απότομες διακοπές τροφοδοσίας. Όταν πλησιάζουν προς στο τέλος της λειτουργίας τους, επέρχεται υποβάθμιση της φωτεινής ροής και σημαντικές χρωματικές αλλαγές.

3.4.Γ Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

3.4.Γ.1 Δομή και αρχή λειτουργίας

Η παραγόμενη φωτεινή ακτινοβολία βασίζεται στη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω ατμών νατρίου. Αυτοί οι λαμπτήρες αποτελούνται από 2 σωλήνες που είναι ο ένας ενσωματωμένος μέσα στον άλλον. Το υλικό του πρώτου σωλήνα είναι πολυκρυσταλλική αλουμίνη, η οποία έχει υψηλό σημείο τήξης, έτσι ώστε να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας του λαμπτήρα. Ακόμα, επειδή αυτό το υλικό είναι διαφανές παρέχει μεγάλη φωτεινή απόδοση. Ο ρόλος του κώδωνα είναι να προστατέψει το εσωτερικό του λαμπτήρα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, δηλαδή να κρατήσει τη πίεση και τη θερμοκρασία του λαμπτήρα σταθερή και για αυτό το λόγο κατασκευάζεται από σκληρό γυαλί. Στο σωλήνα εκκένωσης εκτός από το νάτριο περιέχεται και μία ποσότητα ξένου μαζί με ένα αμάγαλμα υδραργύρου, με σκοπό τη βοήθεια της εκκίνησης του λαμπτήρα, αλλά και την αύξηση της πίεσης λειτουργίας με τη χρήση του υδραργύρου. Παρακάτω, φαίνεται η δομή ενός λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης.



Εικόνα 37 Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης



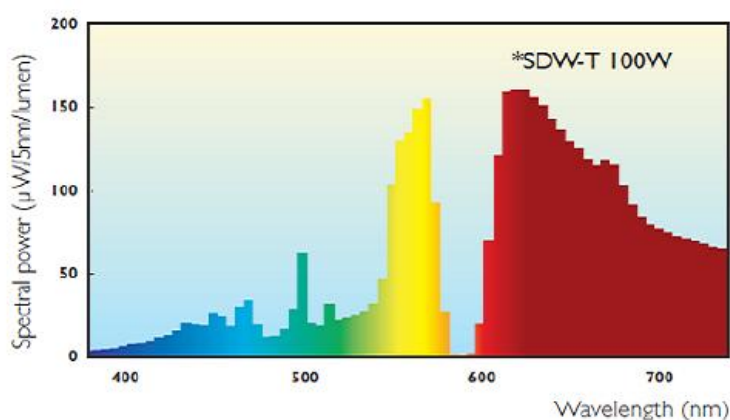
Εικόνα 38 Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

3.4.Γ.2 Έναυση και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας

Το μέγεθος του σωλήνα εκκένωσης αυτών των λαμπτήρων είναι αρκετά μικρό, με αποτέλεσμα να μην διαθέτουν βοηθητικό ηλεκτρόδιο έναυσης. Για αυτό το λόγο, διαθέτουν κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα με εκκινήτη και στραγγαλιστικό πηνίο. Όπως και στους λαμπτήρες υδραργύρου, για να γίνει η έναυση αρχικά ιονίζεται το βοηθητικό αέριο που θερμαίνει το μέταλλο και το ατμοποιεί. Αυτοί οι λαμπτήρες για να ξεκινήσουν να λειτουργούν δέχονται στο εσωτερικό τους ένα παλμό υψηλής τάσης και συχνότητας από το ηλεκτρονικό κύκλωμα τους, ο οποίος ιονίζει το αέριο έναυσης και αυτό με τη σειρά του θερμαίνει το

νάτριο. Για να σταθεροποιηθεί πλήρως το χρώμα και η απόδοση του λαμπτήρα μετά την έναυση, πρέπει να περάσει ένας χρόνος της τάξης των 10 λεπτών.

Οι παραπάνω λαμπτήρες ακτινοβολούν σχεδόν σε όλο το ορατό φάσμα, ενώ η χρωματική αντίληψη από εμάς είναι το κίτρινο χρώμα. Αυτοί οι λαμπτήρες δεν παρουσιάζουν καθόλου καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει καλή ευκρίνεια των πραγμάτων. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί με την αύξηση της πίεσης του νατρίου μέσα στο σωλήνα. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ποιότητα του φωτός που παράγεται και το ποσοστό της ακτινοβολίας σε περισσότερα μήκη κύματος, κάτι όμως που είναι εις βάρος της απόδοσης και της διάρκειας ζωής του λαμπτήρα. Ανάλογα επομένως με την εφαρμογή που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το λαμπτήρα επιλέγουμε ανάμεσα σε απόδοση ή σε ποιότητα φωτός.



Εικόνα 39 φάσμα λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

3.4.Γ.3 Διάρκεια ζωής

Γενικά, είναι λαμπτήρες με υψηλή διάρκεια ζωής. Περιέχουν παρόμοια ηλεκτρόδια με αυτά που έχουν οι λαμπτήρες υδραργύρου, ενώ το μέγεθος του τόξου που είναι μικρό (αφού είναι μικρός και ο σωλήνας εκκένωσης) βοηθάει πολύ στην αύξηση της διάρκειας ζωής του, η οποία φτάνει τις 24000 ώρες. Η καταπόνηση των λαμπτήρων επέρχεται με τη σταδιακή αύξηση της τάσης λειτουργίας τους. Με τη πάροδο του χρόνου, τα ηλεκτρόδια σταδιακά εξαχνώνονται, με αποτέλεσμα το μαύρισμα των τοιχωμάτων, το οποίο απορροφά ακτινοβολία και θερμαίνεται παραπάνω ο κώδωνας. Αυτή η διαδικασία εξατμίζει περισσότερη ποσότητα νατρίου από την αρχική, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης και της τάσης του λαμπτήρα. Ένας άλλος λόγος αντικατάστασης αυτών των λαμπτήρων είναι όταν δεν λειτουργεί φυσιολογικά το ηλεκτρονικό κύκλωμα του φωτιστικού. Εάν το κύκλωμα δεν είναι ικανό να τροφοδοτήσει με επαρκή τάση έναυση το λαμπτήρα, τότε αυτός τείνει να ανάψει, ψύχεται και επαναλαμβάνεται ο κύκλος, με αποτέλεσμα ο λαμπτήρας να μην ανάψει ποτέ κανονικά. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι εξαιτίας του μικρού τόξου που παράγουν, η θέση λειτουργίας τους όποια και να είναι επηρεάζει ελάχιστα τα χαρακτηριστικά και τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

3.4.Γ.4 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτών των λαμπτήρων είναι η υψηλή απόδοση τους, η οποία είναι η δεύτερη μεγαλύτερη μετά από τους χαμηλής πίεσης σε αυτή τη κατηγορία και φτάνει τα 150lm/w. Δεν προκαλούν έντονη θάμβωση, ενώ έχουν υψηλή διάρκεια ζωής. Για αυτό το λόγο, είναι ικανοί για φωτισμό εξωτερικών χώρων, όπως μεγάλων αυτοκινητόδρομων, πόλεων, βιομηχανιών. Το μειονέκτημα τους όμως είναι ότι παρουσιάζουν κακό δείκτη χρωματικής απόδοσης, καθώς στην αντίληψη μας κυριαρχεί το κιτρινωπό φως. Έτσι δεν ενδείκνυται καθόλου η χρήση τους για φωτισμό εμπορικών χώρων, μουσείων, γραφείων και γενικά εσωτερικών χώρων.

3.4.Δ Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

3.4.Δ.1 Δομή και αρχή λειτουργίας

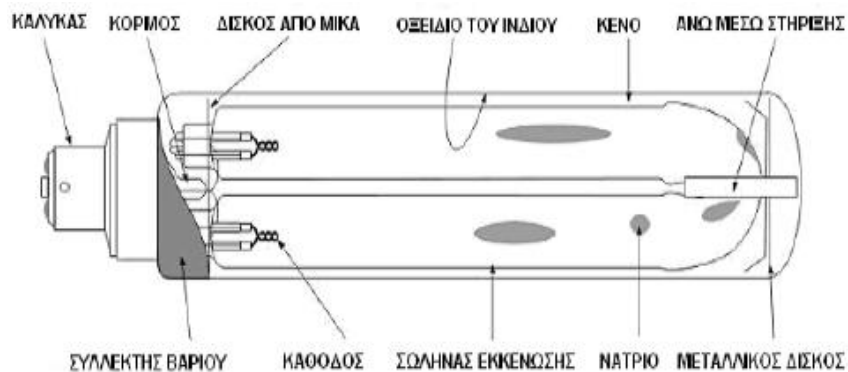
Είναι λαμπτήρες που μοιάζουν με αυτούς του φθορισμού, καθώς και οι 2 λειτουργούν με χαμηλή πίεση. Η φωτεινή ακτινοβολία παράγεται μέσω του ιονισμού ατμών νατρίου και το χρώμα που αντιλαμβανόμαστε είναι κιτρινωπό. Εκτός από το νάτριο μέσα στο σωλήνα εκκένωσης περιέχεται βοηθητικό αέριο έναυσης (νέο), το οποίο μπορεί να αναμειχθεί με κάποια άλλα αδρανή αέρια όπως ξένο ή αργό για να έχει ο λαμπτήρας καλύτερα χαρακτηριστικά. Τους συναντάμε σε 2 διαφορετικά είδη:

α) Λαμπτήρας με επίμηκες σχήμα,

β) Λαμπτήρας με σχήμα U

Οι λαμπτήρες με επίμηκες σχήμα μοιάζουν με τους λαμπτήρες φθορισμού, καθώς ο σωλήνας εκκένωσης τους έχει καλά σφραγισμένα 2 ηλεκτρόδια στα άκρα του και αποτελείται από συγκεκριμένο είδος γυαλιού, το οποίο αντέχει στο νάτριο και στις υψηλές θερμοκρασίες.

Οι λαμπτήρες με σχήμα U έχουν αναδιπλωμένο το σωλήνα εκκένωσης, με τα 2 τους άκρα να βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Με τη κατασκευή τους προσπαθούν να πετύχουν την ομοιόμορφη κατανομή του νατρίου στο σωλήνα εκκένωσης, καθώς αυτό τείνει προς τα ψυχρότερα σημεία του λαμπτήρα, με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται και να βοηθάει στο σχηματισμό τόξου των αερίων που περιέχει ο λαμπτήρας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας λαμπτήρας αυτής της κατηγορίας με τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά.



Εικόνα 40 Δομή λαμπτήρα ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης



Εικόνα 41 Λαμπτήρας ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

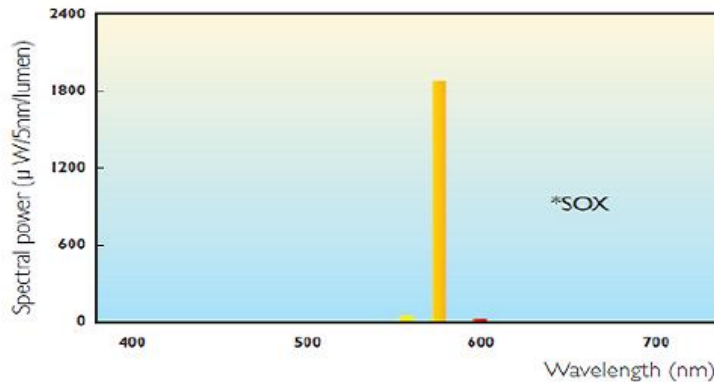
3.4.Δ.2 Απόδοση, έναυση, φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας

Αυτοί οι λαμπτήρες διαθέτουν την υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τους λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης και φτάνει τα 180lm/w. Για να επιτευχθεί αυτή η απόδοση, θα πρέπει η πίεση του νατρίου μέσα στο σωλήνα να είναι συγκεκριμένη (0.7ρα) και οποιαδήποτε απόκλιση από αυτή τη τιμή επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του λαμπτήρα.

Η έναυση του λαμπτήρα είναι παρόμοια με αυτή των λαμπτήρων υδραργύρου, καθώς αρχικά ιονίζεται το βοηθητικό αέριο (κοκκινωπό χρώμα κατά την εκκίνηση), το οποίο θερμαίνει το νάτριο μέχρι να το φέρει σε αέρια κατάσταση και να ιονιστεί (κιτρινωπό χρώμα). Ο χρόνος που απαιτείται για να σταθεροποιηθεί η λειτουργία και το χρώμα του λαμπτήρα κυμαίνεται από 7 έως 15 λεπτά, ενώ έχουν το πλεονέκτημα ότι η επανέναυση μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα σε αντίθεση με τους άλλους λαμπτήρες αυτής της κατηγορίας.

Το μήκος κύματος που εκπέμπουν αυτοί οι λαμπτήρες βρίσκεται στα 589nm, με παραγωγή καθαρά κιτρινωπού χρώματος. Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης είναι πάρα πολύ κακός, καθώς δεν μπορούν να διαχωριστούν τα χρώματα των αντικειμένων, για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιούνται για φωτισμό εσωτερικών χώρων, όπως και λαμπτήρες νατρίου υψηλής

πίεσης. Όμως, η χρήση τους είναι κατάλληλη για φωτισμό δρόμων, λιμανιών, αεροδρομίων και γενικά πολλών εξωτερικών χώρων, επειδή σε αυτό το μήκος κύματος που ακτινοβολούν πλησιάζουν το σημείο όπου παρουσιάζει μέγιστη ευαισθησία ο ανθρώπινος οφθαλμός κατά τη νύχτα (507nm). Παρακάτω, φαίνεται το φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας ενός τέτοιου λαμπτήρα.



Εικόνα 42 Φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας λαμπτήρων ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

3.4.Δ.3 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Βασικά πλεονεκτήματα αυτών των λαμπτήρων είναι η υψηλή απόδοση τους, η δυνατότητα γρήγορης επανέναυσης και η σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής τους που φτάνει τις 18000ώρες. Ακόμα, στο κιτρινωπό φως, ο ανθρώπινος οφθαλμός παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία. Σαν μειονεκτήματα, μπορούμε να θεωρήσουμε το μεγάλο μέγεθος αυτών των λαμπτήρων και την κακή ποιότητα φωτός, καθώς έχουμε παραγωγή ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, η οποία τους συνιστά ακατάλληλους για το φωτισμό εσωτερικών χώρων.

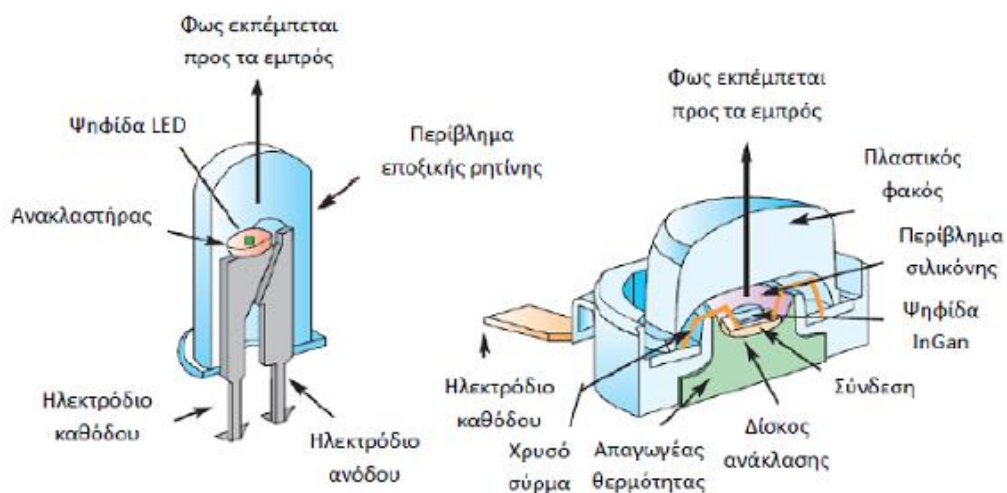
3.5 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (light emitting diodes-led)

3.5.1 Δομή και αρχή λειτουργίας

Αυτοί οι λαμπτήρες αποτελούνται από αγώγιμα υλικά υψηλής καθαρότητας, ενώ η φωτεινή ακτινοβολία παράγεται με την εφαρμογή μίας τάσης στα άκρα τους της τάξης του 1V έως 3V και ρεύμα 1mA-100mA. Για να λειτουργήσουν αυτοί οι λαμπτήρες θα πρέπει η εφαρμοζόμενη τάση να είναι συνεχής. Μαζί με τα αγώγιμα υλικά, έχουμε προσθήκη άλλων 2 ειδών υλικών: Τύπου n με περίσσεια αρνητικών φορτίων (ηλεκτρονίων) και τύπου p με περίσσεια θετικών φορτίων (οπών). Αυτά χωρίζονται μέσα στο ημιαγώγιμο υλικό, σχηματίζοντας μία μικρή διεπιφάνεια και όταν εφαρμοστεί μία τάση με τη παραπάνω τιμή έχουμε μετακίνηση των αρνητικών και θετικών φορτίων προς την διεπιφάνεια, με αποτέλεσμα τη παραγωγή φωτονίων. Επειδή απαιτείται συνεχής τάση για τη λειτουργία τους, διαθέτουν κατάλληλα dc τροφοδοτικά, τα οποία υποβιβάζουν και ανορθώνουν τη τάση του δικτύου. Στο μέρος όπου εδράζεται το ημιαγώγιμο υλικό, η επιφάνεια του είναι μονωτική και ανακλαστική και για αυτό το λόγο η παραγόμενη φωτεινή ροή εκπέμπεται προς τα επάνω.



Εικόνα 43 Λαμπτήρες led



Εικόνα 44 Δομή λαμπτήρων led

3.5.2 Απόδοση, διάρκεια ζωής και φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας

Γενικά είναι λαμπτήρες με πολλά πλεονεκτήματα, αλλά η απόδοσή τους είναι χαμηλή και κυμαίνεται από 10lm/w έως 25lm/w. Ωστόσο, η τεχνολογία συνεχώς εξελίσσεται με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσής τους και εργαστηριακές δοκιμές έχουν πετύχει απόδοση μεγαλύτερη της 5πλάσιας της παραπάνω τιμής. Η βελτίωση της απόδοσης από τη κατασκευή των φωτιστικών, των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων τους, αλλά και από την οπτική γεωμετρία που πρέπει να είναι τέτοια ώστε ένα μέρος της παραγόμενης φωτεινής ροής να απορροφάται από τις διατάξεις στήριξης. Μέχρι σήμερα όμως σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή απόδοση, η αντικατάσταση άλλων λαμπτήρων με led είναι αδύνατη.

Η διάρκεια ζωής τους είναι εξαιρετικά μεγάλη και κυμαίνεται από 50000 έως 100000 ώρες λειτουργίας. Αυτός ο χρόνος ξεπερνάει το χρόνο ζωής σχεδόν όλων των άλλων λαμπτήρων αλλά μειώνεται όταν οι αυτοί λειτουργούν με μικρότερη φωτεινή ροή από την ονομαστική τους. Συνήθως όμως, υπάρχει πιο σύντομη αντικατάσταση από το παραπάνω διάστημα, καθώς με τη πάροδο του χρόνου υποβαθμίζεται η φωτεινή ροή τους και η αντικατάσταση γίνεται σε πολλές περιπτώσεις όταν φτάσουν στο 70% της αρχικής φωτεινής ροής τους.

Το τελικό χρωματικό αποτέλεσμα που προκύπτει εξαρτάται από το συνδυασμό των πρόσθετων που χρησιμοποιούνται, αλλά και από τα ημιαγωγικά υλικά που αποτελούνται κυρίως από ενώσεις φωσφόρου, γαλλίου, ινδίου, αρσενικού και αργιλίου. Συνεπώς, δεν μπορούμε να δείξουμε ένα συγκεκριμένο φάσμα ακτινοβολίας, καθώς αυτό διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Τα led μετατρέπουν απευθείας την ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή, η οποία είναι στενού φάσματος-μονοχρωματική-λευκή. Με τα κατάλληλα ημιαγωγικά υλικά και τους συνδυασμούς των πρόσθετων μπορούν να επιτευχθούν διάφορα χρώματα, όπως πράσινο, μπλε, κόκκινο, πορτοκαλί και κίτρινο, ενώ με τη χρήση φθορίζουσων επιστρώσεων στα τοιχώματα μπορεί να ρυθμιστεί η θερμοκρασία χρώματος του φωτός που παράγεται.

3.5.3 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Βασικό πλεονέκτημα τους είναι η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής τους, αλλά και η οικονομική λειτουργία τους. Ακόμα, μπορούν να εκκινούν και να επανεκκινούν άμεσα, αφού δε χρειάζεται να προθερμανθούν για να λειτουργήσουν. Είναι ανθεκτικοί σε κραδασμούς, ενώ η τεχνολογία τους αυξάνεται καθημερινά, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και των χρωμάτων παραγωγής τους. Χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση οδών, για διακοσμητικό φωτισμό, για φωτισμό εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, όπου δεν έχουμε απαιτήσεις πολύ υψηλών τιμών απόδοσης φωτισμού.

Όμως, επειδή είναι σχετικά καινούργια τεχνολογία το κόστος ορισμένων λαμπτήρων παραμένει αρκετά υψηλό, εξαιτίας της ύπαρξης τροφοδοτικού ανόρθωσης και συστήματος ψύξης (απαιτείται σε λαμπτήρες μεγαλύτερης ισχύος). Με τη πάροδο του χρόνου υποβαθμίζεται η φωτεινή ροή τους και συνήθως έχουμε πιο σύντομη αντικατάσταση τους, ενώ είναι αναξιόπιστοι σε περιβάλλον με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά και με έντονες διακυμάνσεις θερμοκρασίας. Τέλος, παλαιότερα θεωρούταν ένα είδος ψυχρού φωτισμού κάτι που δεν έχει επιλυθεί πλήρως έως και σήμερα.

3.6 Επιλογή και σύγκριση λαμπτήρων

Η επιλογή των λαμπτήρων για μία μελέτη δεν είναι κάτι εύκολο και προκαθορισμένο, καθώς εξαρτάται από πάρα πολλές διαφορετικές παραμέτρους. Για παράδειγμα σε ένα μουσείο μας ενδιαφέρει πάρα πολύ η θερμοκρασία χρώματος και η ποιότητα φωτός, στο φωτισμό ενός δρόμου η υψηλή απόδοση και η ευαισθησία που θα παρουσιάσουν οι άνθρωποι στο φωτισμό αυτό με αδιάφορη τη ποιότητα φωτός, στο φωτισμό μίας βιομηχανίας η σχετικά υψηλή απόδοση με το μικρότερο κόστος (αυτό είναι επιθυμητό παντού), ενώ στο φωτισμό ενός παιδικού δωματίου θα πρέπει ο φωτισμός να μην τυφλώνει και να προκαλεί ευχάριστη εντύπωση. Άλλοι παράμετροι επιλογής είναι οι συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης. Για παράδειγμα, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας λαμπτήρας φθορισμού χωρίς φωτιστικό προστασίας σε εφαρμογή εξωτερικού φωτισμού, καθώς ξέρουμε ότι παρουσιάζουν δυσλειτουργίες σε χαμηλές θερμοκρασίες και εξωτερικές επιδράσεις περιβάλλοντος. Ένας λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης δεν είναι κατάλληλος σε εφαρμογές όπου

έχουμε έντονους κραδασμούς, επειδή όπως αναφέρθηκε υπάρχει σημαντική αλλαγή των χαρακτηριστικών του προς το χειρότερο με την αλλαγή της θέσης λειτουργίας τους. Συμπερασματικά, σε κάθε μελέτη προσπαθούμε να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου είδους λαμπτήρα που θα χρησιμοποιήσουμε, έτσι ώστε να ταιριάζει περισσότερο από όλους στην συγκεκριμένη εγκατάσταση και τα αρνητικά του στοιχεία να μας αφήνουν όσο το δυνατόν περισσότερο αδιάφορους.

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα είδη των λαμπτήρων, θα πρέπει να παραθέσουμε τα ονομαστικά μεγέθη τους σε κάποιους πίνακες. Εκτός από τα μεγέθη που αναγράφονται παρακάτω, σημαντικά επίσης είναι το κόστος αγοράς του λαμπτήρα, ο πραγματικός χρόνος ζωής, καθώς σε πολλούς λαμπτήρες με το καιρό υποβαθμίζεται η φωτεινή ροή τους και μπορεί να είναι ανεπαρκής, με αποτέλεσμα την αντικατάστασή τους, αλλά και οι καμπύλες θνησιμότητας τους. Τα υπόλοιπα ονομαστικά μεγέθη των λαμπτήρων φαίνονται παρακάτω :

Όνομα λαμπτήρα	Εύρος ροής εξόδου (lm)	Εύρος ισχύος (W)	Φωτεινή απόδοση (lm/W)	Θερμοκρασία χρώματος (K)	Δείκτης χρωματικής απόδοσης R _a
Πυρακτώσεως					
Κοινός	5-12000	1-1000	8-14	2500-2700	100
Αλογόνου	40-50000	4-2000	15-25	2700-3200	100
Φθορισμού					
T12	1000-15000	25-140	50-80	3000-6500	50-90
T8	650-6200	13-70	50-96	2700-17000	50-98
T5	120-8850	6-120	20-93	2700-17000	82-95
CFL (χωρίς σύστημα ελέγχου)	250-9000	8-120	30-70	2700-6500	85-90
CFL (με σύστημα ελέγχου)	100-1500	5-30	20-50	2700	>80
Ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης					
Μεταλλικών αλογονιδίων					
Σωλήνα χαλαζία	5200-200000	85-2050	60-98	3000-6000	60-90
Κεραμικού σωλήνα	1600-26000	20-250	65-97	3000-4400	78-93
Ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (SOX)					
Ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (SON)					
Κοινός	4300-130000	85-1040	53-142	1900-2100	19-25
Διορθωμένου φάσματος	12500-37000	165-430	75-86	2150	65
Λευκού φωτός	1800-5000	45-115	40-44	2500	83
Επαγωγής					
LED	20-220	1-5	30-100	2685-6500	40-85

Εικόνα 45 Ονομαστικά μεγέθη λαμπτήρων

Όνομα λαμπτήρα	Χρόνος έναυσης	Ρύθμιση	Χρόνος ζωής (h)
Πυρακτώσεως			
Κοινός	Άμεση	Εύκολη, έως 0%	1000
Αλογόνου	Άμεση	Εύκολη, έως 0%	1500-5000
Φθορισμού			
T12	30 s	Περιορισμένη, έως 25%	8000-12000
T8	30 s	Εύκολη, έως 2%	8000-17000
T5	30 s	Εύκολη, έως 2%	8000-17000
CFL (χωρίς ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου)	15-90 s	Ορισμένοι, έως 5%	Έως 15000
CFL (με ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου)	60 s	Ορισμένοι, έως 20%	5000-15000
Ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης	4 min	Όχι	8000-10000
Μεταλλικών αλογονιδίων			
Σωλήνα χαλαζία	1-8 min	Όχι	2000-7000
Κεραμικού σωλήνα	2 min	Περιορισμένη	6000-10000
Ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης (SOX)	10-20 min	Όχι	15000-20000
Ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (SON)			
Κοινός	3-7 min	Περιορισμένη, έως 25%	10000-20000
Διορθωμένου φάσματος	5 min	Περιορισμένη, έως 25%	10000-14000
Λευκού φωτός	2 min	Όχι	6000-9000
Επαγωγής	1 min	Όχι	60000
LED	Άμεση	Εύκολη, έως 0%	15000-60000

Εικόνα 46 Ονομαστικά μεγέθη λαμπτήρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

4.1 Φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων

4.1.1 Γενικά

Φωτιστικά σώματα είναι οι διατάξεις εκείνες, οι οποίες στερεώνουν και τροφοδοτούν με ηλεκτρικό ρεύμα τους λαμπτήρες, ενώ παράλληλα μπορούν να ελέγξουν τη κατανομή της φωτεινής τους έντασης μέσα στο χώρο. Για τη φυσιολογική λειτουργία μίας φωτοτεχνικής μελέτης, δεν αρκεί να έχουν επιλεγθεί μόνο οι κατάλληλοι λαμπτήρες, αλλά και τα απαραίτητα φωτιστικά τους. Στο εμπόριο τα φωτιστικά υπάρχουν σε πάρα πολλά είδη, όπως χωνευτά, βιδωτά, αυτόνομα σε ράγες, με περσίδες ή χωρίς, με ανακλαστήρες, βιομηχανικής ή οικιακής χρήσης. Για να είναι ένα φωτιστικό κατάλληλο και επιθυμητό για μία μελέτη, θα πρέπει να τηρεί τις παρακάτω προδιαγραφές:

α) Να κατανέμει τη φωτεινή ροή των λαμπτήρων μέσα στο χώρο χωρίς σημαντικές απώλειες και να αποφεύγεται η θάμβωση.

β) Να προστατεύει τους λαμπτήρες από μηχανικές καταπονήσεις, όπως κραδασμούς, αλλά και από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

γ) Να συμβαδίζει με τις λειτουργικές και αρχιτεκτονικές συνθήκες του χώρου που θα χρησιμοποιηθεί.

δ) Να είναι εύκολα συντηρήσιμο, αλλά και το κόστος συντήρησης να είναι σχετικά χαμηλό.

ε) Η λειτουργία του να είναι ασφαλής και το λειτουργικό του κόστος μικρό.

στ) Να έχει σχετικά υψηλή φωτιστική απόδοση.

4.2 Είδη φωτιστικών σωμάτων

4.2.1 Είδη φωτιστικών σωμάτων σχετικά με το χώρο που χρησιμοποιούνται

Τα φωτιστικά σώματα, σε σχέση με το χώρο που θα φωτίσουν χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

α) Σε φωτιστικά εσωτερικού γενικού φωτισμού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης, που μπορούν να τοποθετηθούν στην οροφή, το δάπεδο, ή το τοίχο.

β) Σε φωτιστικά τοπικού φωτισμού και εσωτερικών διακοσμήσεων, τα οποία μπορεί να είναι φορητά ή σταθερής τοποθέτησης.

γ) Σε φωτιστικά όπου προορίζονται για φωτισμό εξωτερικών χώρων, όπως δρόμων, λιμανιών, κ.α.

4.2.2 Είδη φωτιστικών σχετικά με το είδος των λαμπτήρων που τροφοδοτούν

Τα φωτιστικά ανάλογα με το είδος των λαμπτήρων που τροφοδοτούν, χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- A) Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες πυρακτώσεως
- B) Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού
- Γ) Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης
- Δ) Φωτιστικά ειδικών χρήσεων

4.2.2.α Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες πυρακτώσεως

Καθώς οι λαμπτήρες πυράκτωσης παρουσιάζουν σοβαρά μειονεκτήματα και τείνουν να καταργηθούν, τα φωτιστικά τους δεν έχουν αξιόλογο ενδιαφέρον. Ο συνηθέστερος τύπος είναι χωνευτό φωτιστικό διακοσμητικού χαρακτήρα που τοποθετείται σε ψευδοροφές (SPOT).

4.2.2.β Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού

Μέχρι σήμερα, οι λαμπτήρες φθορισμού θεωρούνται οι καταλληλότεροι για τον αποδοτικό φωτισμό μεγάλων εσωτερικών χώρων, όπως γραφείων, ή βιομηχανικών χώρων και για αυτό το λόγο περιέχουν τους περισσότερους τύπους φωτιστικών. Η επιλογή του είδους των περσιδών και των λαμπτήρων φθορισμού των παραπάνω φωτιστικών εξαρτώνται από τη διαμόρφωση και τις διαστάσεις της οροφής ενός χώρου, τις διαστάσεις αυτού, αλλά και από τις απαιτήσεις του, δηλαδή για πιο είδος εργασίας προορίζεται. Υπάρχουν 3 διαφορετικές κατηγορίες:

- 1) Απλά σώματα ή σκαφάκια. Είναι τα πιο απλά είδη φωτιστικών λαμπτήρων φθορισμού και χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία, όπου η εμφάνιση τους είναι αδιάφορη.
- 2) Φωτιστικά σώματα βιομηχανικού τύπου με ανταυγαστήρα. Είναι φωτιστικά, τα οποία κατευθύνουν τη δέσμη φωτός προς τα κάτω, ενώ παράλληλα προστατεύουν τους λαμπτήρες από τις επικαθήσεις ρύπων στο επάνω μέρος τους.
- 3) Φωτιστικά με πλαστικό κάλυμμα ή περσιδες. Είναι φωτιστικά που χρησιμοποιούνται σε χώρους, όπου παίζει σημαντικό ρόλο η εμφάνιση των φωτιστικών και τοποθετούνται κυρίως σε ψευδοροφές.

4.2.2.γ Φωτιστικά κατάλληλα για λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής έντασης

Αυτός ο τύπος φωτιστικών προτιμάται σε περιπτώσεις όπου η απόσταση των λαμπτήρων από το δάπεδο είναι μεγαλύτερη των 5 μέτρων, ενώ όλα τα κυκλώματα που απαιτούνται για την έναυση και τη λειτουργία των λαμπτήρων τοποθετούνται μέσα σε ειδικές μονάδες.

4.2.2.δ Φωτιστικά ειδικών χρήσεων

Είναι τύποι φωτιστικών, οι οποίοι είναι εξειδικευμένοι για ειδικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα φωτισμός εξωτερικού χώρου, όπου επικρατούν ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.

4.2.3 Είδη φωτιστικών σωμάτων σχετικά με τη κατανομή της φωτεινής ροής των λαμπτήρων μέσα στο χώρο

Ανάλογα με το πως κατανέμουν τα φωτιστικά τη φωτεινή ροή τους μέσα στο χώρο, χωρίζονται σε 5 κατηγορίες. Αυτό γίνεται διότι ο κάθε χώρος έχει τις δικές του απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα σε κάποιες περιπτώσεις θέλουμε να αποφύγουμε την έντονη θάμβωση, ή μπορεί να θέλουμε να τονίσουμε ένα συγκεκριμένο τμήμα ενός χώρου. Η διαφορετική κατανομή της φωτεινής ροής επιτυγχάνεται μέσω ειδικών ανακλαστήρων που περιέχουν τα φωτιστικά, χωρίς σημαντικές απώλειες και είναι κατασκευασμένοι από κατάλληλο αλουμίνιο, ή ειδικό γυαλί. Οι 5 κατηγορίες αναφέρονται παρακάτω:

- A) Φωτιστικά έμμεσης δέσμης
- B) Φωτιστικά ημιέμμεσης δέσμης
- Γ) Φωτιστικά άμεσης δέσμης
- Δ) Φωτιστικά ημιάμεσης δέσμης
- E) Φωτιστικά άμεσης και έμμεσης δέσμης

4.2.3.A Φωτιστικά έμμεσης δέσμης

Σε αυτή τη περίπτωση, το φωτιστικό κατευθύνει όλη τη φωτεινή ροή προς το επάνω μέρος και ο φωτισμός επιτυγχάνεται μόνο μέσω της ανάκλασης. Το φωτιστικό θα πρέπει να έχει μία απόσταση τουλάχιστον μισού μέτρου από την οροφή, έτσι ώστε να έχουμε σωστό οπτικό αποτέλεσμα. Δε θεωρείται ιδιαίτερα οικονομική λύση, ενώ θα πρέπει να αποφεύγεται σε περιπτώσεις όπου η οροφή είναι ακαλαίσθητη ή δεν είναι καθαρή.

4.2.3.β Φωτιστικά ημιέμμεσης δέσμης

Αυτά τα φωτιστικά μοιάζουν με τα προηγούμενα, με τη διαφορά ότι εδώ αντί να έχουμε μεταφορά όλης της φωτεινής ροής προς τα επάνω, μεταφέρεται το μεγαλύτερο μέρος αυτής, δηλαδή λίγο παραπάνω από το 60%.

4.2.3.Γ Φωτιστικά άμεσης δέσμης

Αυτά τα φωτιστικά κατευθύνουν όλη τη φωτεινή ροή ή τουλάχιστον παραπάνω από το 90% αυτής προς τα κάτω. Ο άμεσος φωτισμός μπορεί να είναι σημειακός, δηλαδή να τονίζει ένα συγκεκριμένο τμήμα ενός χώρου ή κάποια αντικείμενα και επιτυγχάνεται μέσω ανακλαστήρων, όπου συγκεντρώνουν όλη τη φωτεινή ροή του φωτιστικού σε μία στενή δέσμη φωτός. Εναλλακτικά, υπάρχει και ο κατευθυνόμενος άμεσος φωτισμός, όπου τα φωτιστικά εκπέμπουν τη φωτεινή ροή τους σε ευρεία γωνία και χρησιμοποιείται για φωτισμό σπιτιών, κτιρίων και γενικά εξωτερικών χώρων. Επειδή η δέσμη των φωτιστικών σε αυτή τη περίπτωση φτάνει άμεσα στον παρατηρητή, για να αποφεύγεται η έντονη θάμβωση, θα πρέπει η δέσμη να ελέγχεται και να κατευθύνεται προς τα σωστά σημεία. Θεωρείται οικονομική λύση, ενώ τα αντικείμενα τονίζονται καλύτερα σε σχέση με τον έμμεσο φωτισμό.

4.2.3.Δ Φωτιστικά ημιάμεσης δέσμης

Αυτή η περίπτωση μοιάζει με τη δεύτερη, με τη διαφορά ότι αντί για το 60% της φωτεινής ροής που πάει προς τα επάνω έχουμε λιγότερο από 40%. Είναι ευχάριστος φωτισμός χωρίς να δημιουργεί έντονες σκιές και κατάλληλος για την εκτέλεση λεπτομερών εργασιών.

4.2.3.Ε Φωτιστικά άμεσης και έμμεσης δέσμης

Αυτά τα φωτιστικά αποτελούν τη μικτή περίπτωση των παραπάνω και είναι παρόμοια με τα φωτιστικά ημιάμεσης και ημιέμμεσης δέσμης. Η φωτεινή ροή που φτάνει προς τα επάνω ισούται με αυτή που φτάνει προς τα κάτω. Θεωρείται οικονομική λύση, ενώ εάν τοποθετούνται σωστά τα φωτιστικά, έχουμε αποφυγή της θάμβωσης.

4.3 Φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά φωτιστικών σωμάτων

Τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών που λαμβάνονται υπόψιν σε μία μελέτη είναι ο συντελεστής απόδοσης τους, ο συντελεστής χρησιμοποίησης και το πολικό διάγραμμα κατανομής φωτεινής έντασης. Σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης του φωτιστικού βλέπουμε πόσο ενεργοβόρο είναι αυτό, ενώ με το διάγραμμα κατανομής φωτεινής έντασης εξάγουμε συμπεράσματα για το αν θα προκαλέσει θάμβωση κατά τη λειτουργία του ή αν θα τονίσει κάποια συγκεκριμένα σημεία ή τμήματα ενός χώρου. Τα υπόλοιπα κριτήρια για την αξιολόγηση ενός φωτιστικού, είναι η ευκολία συντήρησής του, ο χρόνος ζωής του και το αρχικό του κόστος.

4.4 Η έννοια του συντελεστή χρησιμοποίησης

Μία σημαντική παράμετρος που λαμβάνεται υπόψιν στις μελέτες φωτισμού είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης των φωτιστικών σωμάτων. Είναι δεδομένο ότι το κάθε φωτιστικό έχει μία δικιά του φωτιστική απόδοση, η οποία δεν αλλάζει, καθώς εξαρτάται από τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά. Το ποσό όμως της ωφέλιμης φωτεινής ροής διαφέρει όταν το ίδιο φωτιστικό χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικούς χώρους. Για παράδειγμα, εάν οι τοίχοι και το δάπεδο σε ένα χώρο είναι βρώμικα, ή έχουν μικρό συντελεστή ανάκλασης, θα φτάσει μικρότερο μέρος της φωτεινής ροής από ότι σε ένα πιο καθαρό χώρο με υψηλότερους συντελεστές ανάκλασης, ή εάν το φωτιστικό έχει τοποθετηθεί σε μεγάλο ύψος από το επίπεδο εργασίας, η φωτεινή δέσμη θα απλώσει και θα εξασθενήσει. Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι εκτός από τη φωτιστική απόδοση του σώματος, είναι σημαντικό να ορίσουμε και το συντελεστή χρησιμοποίησης, καθώς παρότι η απόδοση είναι ίδια, η ωφέλιμη φωτεινή ροή που φτάνει στο χώρο διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Αυτό το μέγεθος εξαρτάται από τους 3 παρακάτω παράγοντες:

α) Από το είδος του φωτιστικού σώματος.

β) Από τη γεωμετρία του χώρου.

γ) Από τους συντελεστές ανάκλασης τοίχων, οροφής δαπέδου και αναλογίας κοιλότητας κυρίως χώρου.

Εάν γνωρίζουμε τους παραπάνω συντελεστές και κάποια στοιχεία του χώρου και του φωτιστικού, τότε μπορούμε με συγκεκριμένους μαθηματικούς τύπους να υπολογίσουμε το συντελεστή χρησιμοποίησης του φωτιστικού.

4.5 Συντήρηση και στοιχεία προστασίας φωτιστικών σωμάτων

Η συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων σε ένα χώρο είναι πολύ σημαντική, καθώς έλλειψη αυτής συνεπάγεται λιγότερη φωτεινή ροή στο χώρο και ενεργειακή σπατάλη. Τα βασικότερα προβλήματα που προκύπτουν στα φωτιστικά με τη πάροδο του χρόνου είναι η ρύπανση τους, η μείωση της φωτεινής ροής των λαμπτήρων τους εξαιτίας της γήρανσης και ο αποχρωματισμός ορισμένων ανακλαστών που περιέχουν. Με έναν απλό τακτικό καθαρισμό, ή μία σύντομη αντικατάσταση ενός λαμπτήρα που αποδίδει πολύ λιγότερο από το αρχικό του, μειώνονται σημαντικά οι απώλειες της φωτεινής ροής. Εάν ένας ανακλαστήρας έχει αποχρωματιστεί, έχει αλλάξει ο αρχικός συντελεστής ανάκλασης του με αποτέλεσμα να απορροφά ένα μέρος της ωφέλιμης ροής. Η συντήρηση των φωτιστικών εξαρτάται ακόμα και από το που αυτά είναι τοποθετημένα, αλλά και από το πόσο εύκολα επιτρέπουν κάποιες από τις παραπάνω εργασίες που αναφέρθηκαν.

Για την αποφυγή της θάμβωσης και της έκθεσης των ατόμων σε υπεριώδη ακτινοβολία, τα φωτιστικά σώματα περιέχουν ορισμένα στοιχεία προστασίας, όπως φακούς, διαχύτες, περσίδες και πτερύγια. Οι φακοί είναι κατάλληλοι για να κατευθύνουν το φως σε ορισμένη κατεύθυνση, οι διαχύτες το διαχέουν, ενώ οι περσίδες και τα πτερύγια είναι κατασκευασμένοι για την αποτροπή της θάμβωσης.

4.6 Συντελεστές απομείωσης φωτεινής ροής

Με τη πάροδο του χρόνου σε κάθε εγκατάσταση φωτισμού, υπάρχει μείωση της αρχικής φωτεινής ροής, κάτι που εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Για αυτό το λόγο, εάν χρειαζόμαστε σε ένα χώρο μία συγκεκριμένη τιμή έντασης φωτισμού, όπως για παράδειγμα 1000lux, θα πρέπει αυτή η τιμή να υπολογισθεί παραπάνω από την αρχική δηλαδή από 1100 και πάνω, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψιν οι παράγοντες που συντελούν στη μείωση της φωτεινής ροής και τα επίπεδα φωτισμού να είναι τα επιθυμητά με τη πάροδο του χρόνου. Υπάρχουν παράγοντες που μπορούν να αποφευχθούν με ανθρώπινη επέμβαση, δηλαδή με τη συντήρηση, ή με τη σωστή σχεδίαση της εγκατάστασης και κάποιοι παράγοντες που δεν μπορούμε να επεμβούμε.

4.6.1 Μη αναστρέψιμοι συντελεστές απομείωσης φωτεινής ροής

Οι συντελεστές που μειώνουν τη φωτεινή ροή με το καιρό και δεν μπορούν να ελεγχθούν με ανθρώπινη επέμβαση, είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος λειτουργίας, η τάση λειτουργίας των λαμπτήρων, οι συντελεστές απωλειών των στραγγαλιστικών πηνίων και η ελάττωση της επιφάνειας των φωτιστικών σωμάτων.

Η θερμοκρασία που επικρατεί κοντά στο φωτιστικό, είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει και μειώνει κατά κύριο λόγο τη ροή των λαμπτήρων φθορισμού. Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των παρατηρείται μία σχετική μείωση της φωτεινής ροής αυτών των λαμπτήρων, ενώ για τους άλλους τύπους λαμπτήρων αυτός ο παράγοντας θεωρείται σχεδόν αμελητέος.

Όλοι οι λαμπτήρες είναι κατασκευασμένοι για να λειτουργούν με μία ονομαστική τάση λειτουργίας. Υπάρχουν τύποι λαμπτήρων που επιδέχονται αποκλίσεις από αυτή τη τιμή, αλλά ορισμένοι παρουσιάζουν δυσλειτουργίες, ή μείωση της διάρκειας ζωής τους όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης, οι λαμπτήρες φθορισμού και ορισμένοι εκκένωσης υψηλής έντασης. Επειδή η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο δεν είναι σταθερή και όταν αυτή είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη υπάρχει μία απόκλιση της ονομαστικής τάσης του δικτύου, η οποία κυμαίνεται από (-10%) – (+10%) αντίστοιχα. Χαμηλότερη τάση λειτουργίας, μπορεί να κάνει λαμπτήρες φθορισμού να αναβοσβήνουν χωρίς να εκκινούν, ή μπορεί να τους δυσκολέψει πολύ την εκκίνηση τους, προκαλώντας προβλήματα στα κυκλώματα έναυσης. Σε περιπτώσεις που έχουμε υψηλότερη τάση δικτύου, θα έχουμε μεγαλύτερη καταπόνηση στους λαμπτήρες πυράκτωσης, οι οποίοι αφενός θα φωτοβολούν περισσότερο από το ονομαστικό τους και αφετέρου θα μειωθεί σημαντικά η διάρκεια ζωής τους.

Κανένα στραγγαλιστικό πηνίο δεν μπορεί να πετύχει απόδοση της τάξης του 100%, καθώς πρόκειται για ένα κύκλωμα με πραγματικά στοιχεία, το οποίο έχει απώλειες. Όπως έχει αναφερθεί υπάρχουν πάρα πολύ διαφορετικοί τύποι στραγγαλιστικών πηνίων, οι οποίοι διαφέρουν ως προς το κόστος, τα υλικά κατασκευής τους και την απόδοσή τους. Στη περίπτωση όπου έχουν χρησιμοποιηθεί στραγγαλιστικά πηνία, που δεν έχουν τις απαραίτητες προδιαγραφές υλικών και φυσιολογικής λειτουργίας των λαμπτήρων και με μοναδικό κριτήριο επιλογής το κόστος τους, τότε η μείωση της φωτεινής ροής της εγκατάστασης θα είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη, καθώς κάτι τέτοιο θα μπορούσε να οδηγήσει σε συντομότερη αντικατάσταση λαμπτήρων που οδηγούνται από τέτοια κυκλώματα.

Τέλος, υπάρχει ακόμα ένας μη αναστρέψιμος συντελεστής απομείωσης φωτεινής ροής, ο οποίος αναφέρεται στην ελάττωση της αρχικής επιφάνειας των φωτιστικών σωμάτων. Δεν είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες, καθώς δεν αφορά όλους τους χώρους και

τύπου φωτιστικών και για αυτό το λόγο δεν υπάρχουν ιδιαίτερα πειραματικά δεδομένα για αυτό. Συγκεκριμένα, τα φωτιστικά που είναι κατασκευασμένα από ευαίσθητα υλικά, ή φωτιστικά που λειτουργούν σε χώρους όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (π.χ κουζίνες εστιατορίων), με τη πάροδο του χρόνου θα επέλθει μία ελάττωση στην αρχική επιφάνεια τους, με αποτέλεσμα να έχουμε απώλειες φωτεινής ροής.

4.6.2 Αναστρέψιμοι παράγοντες απομείωσης φωτεινής ροής

Εκτός από τους μη αναστρέψιμους συντελεστές απομείωσης φωτεινής ροής υπάρχουν και οι παράγοντες, όπου μπορούμε να επέμβουμε και να βελτιώσουμε την απόδοση της εγκατάστασης. Αυτοί οι παράγοντες έχουν να κάνουν με τη ρύπανση του χώρου, τη ρύπανση των φωτιστικών σωμάτων, τη μείωση της ροής των λαμπτήρων με τη πάροδο του χρόνου, αλλά και με την καταστροφή αυτών.

Η συσσώρευση ρύπων σε ένα χώρο μειώνει την ανακλαστικότητα του δαπέδου και των τοίχων, με αποτέλεσμα να απορροφάται ένα μέρος της ωφέλιμης ροής και να έχουμε απώλειες. Στην περίπτωση όπου έχουμε τον ίδιο χώρο να φωτίζεται με τα ίδια φωτιστικά σε αριθμό και είδος, όταν αυτός είναι καθαρός η φωτεινή αντίληψη διαφέρει αρκετά από όταν αυτός δεν είναι. Για να προσδιοριστεί αυτός ο συντελεστής καθορίζεται το είδος του φωτισμού που θα χρησιμοποιηθεί (άμεσος-έμμεσος), η βαρύτητα συνθηκών ρύπανσης του χώρου (είναι διαφορετική σε μία οικία από ότι μία βιομηχανία) και το χρονικό διάστημα που θα επέλθει η ρύπανση.

Στα φωτιστικά με τη πάροδο του χρόνου επικάθονται ρύποι, με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της ανακλαστικότητας των στοιχείων τους. Για να προσδιοριστεί αυτός ο συντελεστής, καθορίζεται και πάλι η βαρύτητα συνθηκών ρύπανσης του χώρου, η συχνότητα καθαρισμού και το είδος του φωτιστικού σώματος. Ορισμένα φωτιστικά εκπέμπουν άμεσα το φως, χωρίς ενδιάμεσα στοιχεία. Αυτά δεν επηρεάζονται τόσο από αυτόν τον παράγοντα, για αυτό και θεωρούνται πολύ ανθεκτικά στη ρύπανση, σε αντίθεση με αυτά που χρησιμοποιούν περσίδες ή ανακλαστήρες. Ένας τακτικός καθαρισμός του χώρου και των φωτιστικών (όταν αυτό είναι εφικτό), μπορεί να επιφέρει οφέλη φωτεινής απόδοσης και καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

Στην αρχή μίας εγκατάστασης, όλοι οι λαμπτήρες λειτουργούν και είναι καινούργιοι. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο όμως με το καιρό η φωτεινή ροή μειώνεται, ενώ όλοι οι λαμπτήρες έχουν μία διάρκεια ζωής κατά προσέγγιση. Για να μην έχουμε σημαντικές απώλειες από λαμπτήρες, που είτε έχει μειωθεί σημαντικά η φωτεινή ροή τους, είτε έχουν καταστραφεί, θα πρέπει να γίνεται μία τακτική αντικατάσταση αυτών.

4.7 Εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού

Μπορούμε να πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού με πάρα πολλούς και διάφορους τρόπους, οι οποίοι έχουν σχέση με τα στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε, τους αυτοματισμούς, την αντικατάσταση-συντήρηση, την αξιοποίηση του ηλιακού φωτός, το είδος φωτισμού που χρησιμοποιούμε, αλλά και με την αρχιτεκτονική του χώρου, όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου. Παρακάτω, θα αναφερθούν οι σημαντικότεροι παράγοντες εξοικονόμησης ενέργειας για νέες εγκαταστάσεις, αλλά και για είδη υπάρχουσες.

4.7.1 Χρήση ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών πηνίων αντί ηλεκτρομαγνητικών

Όπως έχει αναφερθεί, τα ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα συμβατικά, αλλά η χρήση τους ενδείκνυται, καθώς βελτιώνουν κατά πολύ τα χαρακτηριστικά του λαμπτήρα και αυτή η διαφορά κόστους αποσβένεται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αφού μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως και 25%. Γενικά, τα ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία έχουν μικρότερες απώλειες από τα συμβατικά, εξαιτίας της υψίσυχνης λειτουργίας τους, ενώ η απόδοση και η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα βελτιώνονται. Επειδή έχουμε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καλύτερη απόδοση, μειώνεται το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων, ενώ για να πετύχουμε το ίδιο φωτεινό αποτέλεσμα σε ένα χώρο, μπορεί να χρειαζόμαστε μικρότερο αριθμό λαμπτήρων και φωτιστικών. Ακόμα, παρέχεται η δυνατότητα οδήγησης έως τεσσάρων λαμπτήρων με το ίδιο στραγγαλιστικό πηνίο, κάτι που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με τα ηλεκτρομαγνητικά στραγγαλιστικά πηνία. Τέλος, όταν χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία, έχουμε τη δυνατότητα ρύθμισης φωτεινής ροής και την ένταξη συστήματος κεντρικής διαχείρισης στην εγκατάσταση φωτισμού, κάτι που συνεπάγεται περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Παρακάτω, φαίνονται 2 ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία :



Εικόνα 47 Ηλεκτρονικό στραγγαλιστικό πηνίο



Εικόνα 48 Ηλεκτρονικό στραγγαλιστικό πηνίο

4.7.2 Κατάλληλη επιλογή λαμπτήρων

Στο εμπόριο κυκλοφορούν πάρα πολλά διαφορετικά είδη λαμπτήρων, με τη τεχνολογία τους να εξελίσσεται καθημερινά, με στόχο το χαμηλότερο δυνατό κόστος, τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας φωτισμού. Μία έρευνα αγοράς από το μελετητή είναι απαραίτητη σε κάθε περίπτωση, καθώς μπορούμε να βρούμε λαμπτήρες με τα ίδια χαρακτηριστικά, αλλά με διαφορετική απόδοση. Σε περιπτώσεις όπου δεν έχουμε υψηλές απαιτήσεις ποιότητας φωτισμού, μπορούν να επιλεγθούν λαμπτήρες, οι οποίοι να μην έχουν ιδιαίτερα καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης, αλλά αρκετά υψηλότερη απόδοση. Οι λαμπτήρες που εκπέμπουν ψυχρό φωτισμό έχουν υψηλότερη απόδοση σε βάρος της ποιότητας φωτισμού (σε ορισμένους χώρους αυτό είναι αδιάφορο). Σε μία εγκατάσταση με λαμπτήρες παλαιότερης τεχνολογίας, που είναι αρκετά δαπανηροί, μία αντικατάσταση αυτών, εάν είναι εφικτή μπορεί να επιφέρει σε μερικά χρόνια οικονομικά οφέλη. Αναφορικά, σε μία καινούργια εγκατάσταση φωτισμού η κατάλληλη επιλογή λαμπτήρων μπορεί να

επιφέρει εξοικονόμηση παραπάνω από 25%, σε αντίθεση με μία εγκατάσταση όπου θα γίνει άστοχη επιλογή λαμπτήρων.

4.7.3 Κατάλληλη επιλογή φωτιστικών σωμάτων

Η επιλογή των φωτιστικών σωμάτων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση της εγκατάστασης και όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 4.1, θα πρέπει να εξετάζεται από πολλές και διαφορετικές παραμέτρους. Οι κυριότεροι παράγοντες αναφορικά με την εξοικονόμηση είναι το λειτουργικό του κόστος, η κατάλληλη κατανομή φωτεινής έντασης, ο χαμηλός συντελεστής συντήρησης του, αλλά και η ποιότητα των τεχνικών του χαρακτηριστικών. Διάφορα επιμήκη φωτιστικά αναφέρεται ότι έχουν υψηλότερη απόδοση από τα αντίστοιχα με τετράγωνο σχήμα. Σε μία βιομηχανία, όπου ο βαθμός ρύπανσης είναι μεγάλος, εάν δε χρησιμοποιηθούν ανθεκτικά φωτιστικά στη ρύπανση, τότε οι απώλειες φωτεινής ροής θα είναι μεγάλες. Γενικά, μία λανθασμένη επιλογή φωτιστικών, μπορεί να επιβαρύνει οικονομικά την εγκατάσταση.

4.7.4 Αξιοποίηση ηλιακού φωτός

Το ηλιακό φως είναι πολύ σημαντικό και όταν το εκμεταλλευόμαστε σωστά, υπάρχουν οικονομικά οφέλη στις εγκαταστάσεις. Οι πιο απλές μέθοδοι για τη διέλευση του ηλιακού φωτός σε ένα χώρο, είναι τα παράθυρα, οι φωταγωγοί, τα ράφια φωτισμού και τα ανοίγματα οροφής. Σε ένα χώρο όπου δεν εισέρχεται ικανοποιητική ποσότητα ηλιακού φωτός, είτε επειδή δεν έχουν σχεδιαστεί καλά κάποια από τα παραπάνω στοιχεία, είτε επειδή ο προσανατολισμός του κτιρίου δεν είναι κατάλληλος, μπορεί κυρίως τις απογευματινές ώρες να χρειάζονται να λειτουργούν παραπάνω φωτιστικά σώματα για να έχουμε επιθυμητό αποτέλεσμα φωτισμού, κάτι που συνεπάγεται παραπάνω κατανάλωση ενέργειας και θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί σε ένα χώρο με περισσότερο φυσικό φωτισμό.

Η ανεξέλεγκτη ροή ηλιακού φωτός όμως μέσα σε ένα χώρο μπορεί να προκαλέσει και κάποια ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως θάμβωση ή αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου και για αυτό το λόγο υπάρχει η ανάγκη ελέγχου. Οι πιο απλές μέθοδοι περιορισμού του φυσικού φωτός, είναι με τη χρήση σκιάστρων, πτερυγίων, υαλοπινάκων, κουρτινών και περσίδων. Όλα τα παραπάνω αναφέρονται σε κάποιους μηχανισμούς, οι οποίοι περιορίζουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ένα χώρο, με ή χωρίς ανθρώπινη επέμβαση. Για παράδειγμα, με τη ρύθμιση της κλίσεως των περσίδων, ή τοποθετώντας τις κουρτίνες σε κατάλληλες θέσεις, καθορίζουμε πόση ακτινοβολία θα εισέλθει στο χώρο.

Εκτός όμως από τα παραπάνω, ο έλεγχος του φυσικού φωτισμού μπορεί να επιτευχθεί και με τη χρήση κάποιων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και αισθητήρων. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες αφής-σβέσης ελέγχουν τότε η ένταση του ηλιακού φωτός ελαχιστοποιείται και ενεργοποιείται τότε ο τεχνητός φωτισμός. Αντίθετα, κατά τις πρωινές ώρες όπου εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία, απενεργοποιείται ο τεχνητός φωτισμός ή ένα μέρος αυτού. Τέλος, μπορούμε να έχουμε ρύθμιση της τιμής της φωτεινής έντασης του τεχνητού φωτισμού, ή οποία με κατάλληλο συνδυασμό του φυσικού φωτός μπορεί να επιφέρει τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού στο χώρο. Να αναφερθεί ότι, για τα παραπάνω συστήματα εάν δεν έχει γίνει κατάλληλη μελέτη, μπορούν αντί για εξοικονόμηση ενέργειας να επιφέρουν οικονομική επιβάρυνση, εξαιτίας του υψηλού αρχικού τους κόστους ή της λανθασμένης χρήσης τους, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει απόσβεση.

4.7.5 Χρήση τοπικών αυτοματισμών

Εκτός από τα 2 αυτόματα συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, πολύ διαδεδομένοι είναι οι αισθητήρες κίνησης και οι χρονοδιακόπτες, οι οποίοι δεν προορίζονται απαραίτητα για τον έλεγχο του φυσικού φωτός. Οι αισθητήρες κίνησης, ενεργοποιούν τον τεχνητό φωτισμό όταν αντιληφθούν την κίνηση ενός ατόμου μέσα σε ένα χώρο και τον απενεργοποιούν μετά από λίγη ώρα. Με αυτή τη τεχνική, αποφεύγεται η άσκοπη λειτουργία φωτιστικών που μπορεί να έχουν ξεχαστεί αναμμένα ή δεν εξυπηρετούν κάτι κατά τη λειτουργία τους. Η χρήση τους είναι πολύ διαδεδομένη σε σημεία όπου κατά κύριο λόγο δεν χρειάζονται να λειτουργούν συνεχόμενα τα φωτιστικά (π.χ. τουαλέτες επαγγελματικών χώρων). Πρέπει όμως να ρυθμίζεται κατάλληλα ο χρόνος ενεργοποίησης-απενεργοποίησης, διότι αν είναι πολύ μικρός αυτό είναι ανεπιθύμητο και πρέπει να γίνεται επανάληψη.

Οι χρονοδιακόπτες είναι συστήματα, τα οποία ρυθμίζουν πότε θα απενεργοποιήσουν το τεχνητό φωτισμό σε κατάλληλα διαστήματα. Για παράδειγμα, υπάρχουν κάποιες ώρες, κατά τις οποίες δεν προβλέπεται η συνεχόμενη χρήση των φωτιστικών (π.χ. εξωτερικός νυχτερινός φωτισμός τις πρωινές ώρες) και με την επέμβαση του χρονοδιακόπτη αυτό σταματάει τη κατάλληλη στιγμή. Αυτό βέβαια μπορεί να γίνει και χειροκίνητα, εάν υπάρχει ένα άτομο κατάλληλο να εξυπηρετεί αυτή τη δουλειά. Παρακάτω, φαίνεται ένας αισθητήρας κίνησης και ένας χρονοδιακόπτης φωτισμού :



Εικόνα 49 Αισθητήρας κίνησης



Εικόνα 50 Χρονοδιακόπτης φωτισμού

4.7.6 Χρήση κεντρικού συστήματος διαχείρισης (bms)

Το κεντρικό σύστημα διαχείρισης (building management system) αποτελεί ολοκληρωμένη λύση εξοικονόμησης ενέργειας και η σωστή χρήση του μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση έως και 35%. Να αναφερθεί ότι, εκτός από το φωτισμό τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται και σε άλλες καταναλώσεις, όπως θέρμανση-ψύξη κτιρίων, αυτόματο πότισμα, λειτουργία μηχανών κ.α. Ουσιαστικά, πρόκειται για την διασύνδεση των παραπάνω αυτοματισμών με τη βοήθεια ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (plc), ο οποίος "καταλαβαίνει" κάποιες παραμέτρους και ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί συστήματα αντίστοιχα. Η χρήση τέτοιων συστημάτων δεν είναι συνηθισμένη σε μικρά κτίρια, καθώς το κόστος εγκατάστασης με την τεχνοοικονομική μελέτη είναι αρκετά υψηλό και δεν αποσβένεται εύκολα. Αυτή η λύση προτιμάται σε μεγάλους χώρους όπου υπάρχουν πολλές καταναλώσεις και η ανάγκη ελέγχου είναι απαραίτητη. Ακόμα, εάν θέλουμε να έχουμε πολλούς αυτοματισμούς σε ένα χώρο, τότε αυτή η λύση συνίσταται, καθώς ο έλεγχος δεν γίνεται μεμονωμένα, αλλά συνολικά, με αποτέλεσμα το κόστος της εγκατάστασης να είναι διαφορετικό και μεγαλύτερο

όταν θέλουμε να εγκαταστήσουμε όλους τους αυτοματισμούς και τις μονάδες ελέγχου τους ξεχωριστά. Συνοπτικά, όπως όλα τα plc ένα σύστημα αποτελείται από:

α) Τις εισόδους, δηλαδή όλα τα απαραίτητα στοιχεία (θερμόμετρα, μετρητές κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας) που δίνουν στον ελεγκτή πληροφορίες για την υπάρχουσα κατάσταση.

β) Τις εξόδους, δηλαδή οι διάφοροι ηλεκτρονόμοι που ενεργοποιούν, ή απενεργοποιούν συστήματα παίρνοντας κατάλληλες εντολές.

γ) Τους ψηφιακούς ελεγκτές, που εκτελούν εντολές λειτουργίας.

δ) Το κατάλληλο λογισμικό που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μέσω αυτού, ρυθμίζουμε τις επιθυμητές παραμέτρους.



Εικόνα 51 Ψηφιακός ελεγκτής

4.7.7 Σωστή και τακτική συντήρηση εγκαταστάσεων

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.6.2, υπάρχουν ορισμένοι συντελεστές απομείωσης φωτεινής ροής, οι οποίοι είναι αναστρέψιμοι και ο καθένας παίζει το ρόλο του ξεχωριστά για την απόδοση της εγκατάστασης. Εάν ακολουθείται ένα αυστηρό πρόγραμμα συντήρησης από τις επιχειρήσεις, όπως καθαρισμός χώρου, φωτιστικών, αντικατάσταση κατεστραμμένων λαμπτήρων, τότε μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

4.7.8 Λαμπτήρες φθορισμού T5 αντί για T8

Μέχρι και σήμερα, για τον αποδοτικό φωτισμό μεγάλων εσωτερικών χώρων χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι λαμπτήρες φθορισμού. Στις νέες εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται οι λαμπτήρες φθορισμού T5, οι οποίοι είναι πιο εξελιγμένοι και οδηγούνται από ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία. Πρακτικά, μπορούν να είναι αποδοτικότεροι έως και 20% παραπάνω από τους λαμπτήρες T8 που οδηγούνται από συμβατικά στραγγαλιστικά πηνία. Η αντικατάσταση σε παλαιότερες εγκαταστάσεις θα πρέπει

να γίνεται μόνο εάν οι είδη υπάρχοντες λαμπτήρες είναι αρκετοί σε αριθμό και οδηγούνται από ηλεκτρομαγνητικά στραγγαλιστικά πηνία. Σε αντίθετη περίπτωση, αυτό δεν έχει ιδιαίτερο νόημα, καθώς η διαφορά στην κατανάλωση είναι αρκετά μικρή, ενώ το κόστος αντικατάστασης υψηλό, καθώς τα φωτιστικά των λαμπτήρων T8 δεν είναι κατάλληλα για τους λαμπτήρες T5, με αποτέλεσμα να πρέπει να αντικατασταθούν και αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ

5.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρασταθεί μία μελέτη που εκπονείται σε ένα τμήμα εργοστασίου παραγωγής καλωδίων με τη βοήθεια του φωτοτεχνικού υπολογιστικού προγράμματος dialux evo 5.1. Η μελέτη περιλαμβάνει το φωτισμό του εσωτερικού, του εξωτερικού χώρου και των γραφείων, ο οποίος χωρίζεται σε 4 διαφορετικές φωτεινές σκηνές. Ακόμα, θα γίνει αναφορά στα φωτιστικά και τους λαμπτήρες που χρησιμοποιήθηκαν, τις συνθήκες που λειτουργούν, στις αριθμητικές τιμές έντασης φωτισμού που επικρατούν σε διάφορες επιφάνειες και στο ενεργειακό κόστος της εγκατάστασης.

5.2 Εσωτερικός χώρος

Ο χώρος που εκπονείται η μελέτη είναι ένα τμήμα εργοστασίου παραγωγής καλωδίων με διαστάσεις:

Μήκος = 104m

Πλάτος = 53.8m

Ύψος = 4.5m(ύψος των τοίχων)

Πάχος τοίχων = 0.2m

Η κορυφή της στέγης φτάνει στα 6.3m

Στοιχεία που περιλαμβάνονται:

α) Κολώνες στήριξης διαστάσεων 40cmX40cm, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 6m κατά μήκος του κτιρίου και 14.2m ή 12.9m κατά πλάτος, καθώς οι 2 μεσαίες πλευρές του κτιρίου (toll) έχουν διαφορετικό πλάτος από τις 2 ακραίες.

β) Παράθυρα διαστάσεων 1.35mX1.2m με αρχικό ύψος ανάρτησης 2.67m κολλητά μεταξύ τους και περιμετρικά όλου του κτιρίου. Το πάχος τους είναι 0,12m.

γ) Σιδερένιοι ορθογώνιοι σωλήνες (στρατζαριστά) για τη στήριξη των φωτιστικών διαστάσεων 4cmX4cm σε ύψος 4.5m.

δ) Διάφορα δοκάρια επιμήκη και υπό κλίση που αποτελούν το σκελετό της στέγης.

ε) Τοίχοι και πόρτες, όπου χωρίζουν διάφορα συγκροτήματα μηχανημάτων ή τον κυρίως χώρο από την αποθήκη.

στ) Μηχανολογικός εξοπλισμός αποτελούμενος από διάφορα μηχανήματα, σωληνώσεις και ηλεκτρικούς πίνακες και χειριστήρια μηχανημάτων.

5.3 Γραφεία

Τα γραφεία αποτελούν ένα ξεχωριστό κτίριο με διαστάσεις:

Μήκος = 20m

Πλάτος = 5m

Ύψος = 2.52m

Το πάχος των τοίχων είναι 0.2m

Στοιχεία που περιλαμβάνονται:

α) Μία κουζίνα με 2 τραπεζαρίες.

β) 2 γραφεία ξεχωριστά μεταξύ τους.

γ) Ένα μπάνιο.

δ) Ένα διάδρομο.

ε) Μερικά παράθυρα για την επίτευξη καλού φυσικού φωτισμού τις πρωινές ώρες.

5.4 Εξωτερικός χώρος

Διαστάσεις εξωτερικού χώρου:

Μήκος = 183.6m

Πλάτος = 114m

Στοιχεία που περιλαμβάνονται:

α) Τα φωτιστικά με τους στύλους τους περιμετρικά του χώρου.

β) Ένα στέγαστρο αυτοκινήτων με μέσω ύψος 2.25m και διαστάσεις 18mX4m και ένα αποθηκευτικό στέγαστρο μέσου ύψους 4.5m και διαστάσεων 54mX10m.

γ) Μία ράμπα για κοντίνερ.

δ) Σειρές από κάγκελα διαστάσεων 2cmX2cm και ύψους 1.5m, τα οποία αποτελούν τη περίφραξη του κτιρίου. Τα κάγκελα απέχουν μεταξύ τους 20cm.

ε) 2 σιλό.

στ) Μερικά δέντρα περιμετρικά του κτιρίου, μερικά αμάξια, καθώς και η εξωτερική πόρτα εισόδου.

ζ) Ένα φυλάκιο στη πόρτα εισόδου διαστάσεων 4mX3.5m και ύψους 2.8m.

5.5 Φωτοτεχνική μελέτη

Η φωτοτεχνική μελέτη πραγματοποιείται με τη βοήθεια του λογισμικού dialux eno 5.1. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε μία τρισδιάστατη απεικόνιση των κτιρίων, των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, καθώς και των εμπεριεχομένων μηχανημάτων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δέχεται αρχικά μία κάτοψη των κτιρίων και των μηχανημάτων σε δισδιάστατο σχέδιο cad. Η απευθείας τρισδιάστατη απεικόνιση των παραπάνω, με την εισαγωγή φωτογραφιών στο χώρο, είναι σχεδόν αδύνατη για μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα όπως είναι ένα εργοστάσιο. Επομένως, πάνω στο αρχικό σχέδιο κατόψεως κτίζονται με τη βοήθεια των εργαλείων του λογισμικού όλα τα στοιχεία των κτιρίων (κολώνες, τοίχοι, παράθυρα, δοκοί στέγης, κ.α.), καθώς και ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Οι δυνατότητες του παραπάνω προγράμματος είναι μεγάλες αλλά δεν γίνεται να είναι ίδιες με αυτές ενός επαγγελματικού λογισμικού cad 3d, οπότε και το μεγαλύτερο μέρος της δουλειάς της μελέτης, είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση εσωτερικών-εξωτερικών χώρων με τα υπάρχοντα τους.

Όταν πραγματοποιηθεί αυτή η απεικόνιση, το δεύτερο στοιχείο είναι να επιλεγούν οι θέσεις των φωτιστικών σωμάτων στους διάφορους χώρους κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνουν ένα κατάλληλο σε ένταση και ομοιόμορφο φωτισμό, αλλά και να εξυπηρετούν τις λειτουργικές ανάγκες του εργοστασίου, όπως:

α) Το ελάχιστο ύψος που μπορούν να τοποθετηθούν τα φωτιστικά εξαρτάται και από τη διέλευση περονοφόρων οχημάτων (κλάρκ) στους χώρους του εργοστασίου, τα οποία κατά τη διέλευση τους δεν πρέπει να βρίσκουν εμπόδιο πάνω στα φωτιστικά. Αυτό υποχρεώνει τα σώματα στη συγκεκριμένη περίπτωση να βρίσκονται σε ύψος περίπου 4.5 μέτρων (όσο είναι το ύψος των τοίχων).

β) Για να επιτευχθεί ομοιόμορφος φωτισμός, θα πρέπει να επιλεγούν λαμπτήρες με κατάλληλο διάγραμμα φωτεινής έντασης.

Στις θέσεις χειρισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ορισμένα επιτόπια φωτιστικά, τα οποία δεν έχουν συμπεριληφθεί στη συγκεκριμένη μελέτη, διότι συνήθως τα μηχανήματα έχουν αυτόνομο εσωτερικό φωτισμό.

Στους μεγάλους χώρους (νοσοκομεία, βιομηχανίες, μεγάλα γραφεία, κ.α.) για την επίτευξη αποδοτικού φωτισμού έως και σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού, όπως επιλέχθηκαν και εδώ, διότι διαθέτουν σχετικά υψηλή απόδοση (lm/w), καλή ομοιομορφία φωτισμού, λόγω μεγάλου μεγέθους φωτίζουσας επιφάνειας,

καθώς και καλό δείκτη χρωματικής απόδοσης που κάνει ευδιάκριτα τα διάφορα στοιχεία των χώρων.

Επίσης σε μία μεγάλη εγκατάσταση, λόγω του πλήθους των φωτιστικών υπάρχει και οικονομικό πρόβλημα σχετικά με το κόστος των φωτιστικών των διαφόρων τύπων, αλλά και το ενεργειακό κόστος, όπως προς το παρών τα φωτιστικά τύπου led για τέτοιους χώρους είναι σαφώς ακριβότερα από τα αντίστοιχα φθορισμού για την επίτευξη του ίδιου φωτεινού αποτελέσματος σαν αρχικό κόστος εγκατάστασης.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η στήριξη των φωτιστικών εντός του εργοστασιακού χώρου γίνεται με τη βοήθεια κοίλων ράβδων ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις 4cmX4cm (στρατζαριστά) και μήκους 6m, οι οποίες για να μην διακόπτεται η σειρά των φωτιστικών σωμάτων είναι ενωμένες στα άκρα τους σχηματίζοντας μία ενιαία σειρά. Οι ράβδοι με τη σειρά τους αναρτώνται από τα δομικά στοιχεία της οροφής με κυκλικούς άξονες φ10mm ανά τακτά διαστήματα. Τα φωτιστικά βιδώνονται με κατάλληλες βίδες πάνω στις ράβδους. Η καλωδίωση τροφοδοσίας οδεύει παράλληλα προς τις ράβδους και όπου είναι δυνατόν εντός αυτών.

Για τα γραφεία επίσης επιλέχθηκαν φωτιστικά φθορισμού υψηλής αποδόσεως, με στερέωση στην οροφή.

Για τον εξωτερικό φωτισμό χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά πάνω σε στύλους με λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης για τον περιφερειακό φωτισμό, καθώς διαθέτουν πολύ υψηλή απόδοση και δεν ενδιαφέρει ιδιαίτερα η χρωματική απόδοση σε αυτή τη περίπτωση. Επί του κτιρίου εξωτερικά τοποθετήθηκαν προβολείς με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων, ώστε να είναι ευκρινής ο χώρος γύρω από το εργοστάσιο για τυχόν νυχτερινές εξωτερικές διελεύσεις περνοφόρων οχημάτων, ή φορτηγών. Ακόμα, παρέχουν τον απαραίτητο φωτισμό για να λειτουργούν σωστά οι εξωτερικές κάμερες ασφαλείας του εργοστασίου.

Στο αποθηκευτικό στέγαστρο χρησιμοποιήθηκαν φωτιστικά σώματα φθορισμού εξωτερικού χώρου στηριγμένα στην οροφή, τα οποία εξαιτίας της μεγάλης φωτιστικής επιφάνειας τους καλύπτουν τη μεγάλη επιφάνεια του χώρου. Στο στέγαστρο αυτοκινήτων φωτιστικά με λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης χαμηλής ισχύος.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν φωτεινές σκηνές μέσω του λογισμικού, με τις οποίες απεικονίζονται τα φωτεινά αποτελέσματα στους διάφορους χώρους και στο τέλος παρατίθενται κάποιοι αριθμητικοί υπολογισμοί έντασης φωτισμού που επικρατούν στην επιφάνεια εργασίας και σε άλλες επιφάνειες.

5.5.1 Διάταξη και αριθμός φωτιστικών σωμάτων

Ο εργοστασιακός χώρος κατά πλάτος χωρίζεται από 4 σειρές με κολώνες και κάθε μία από αυτές τις σειρές αποτελεί ένα toll. Για κάθε toll (εκτός από το κομμάτι της αποθήκης) έχουν τοποθετηθεί 4 σειρές βιομηχανικών φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες φθορισμού, με ύψος ανάρτησης στα 4.5 μέτρα και 11 φωτιστικά ανά σειρά. Η απόσταση των κέντρων των φωτιστικών σωμάτων κατά μήκος είναι περίπου 4.1 μέτρα, ενώ κατά πλάτος 6 μέτρα. Συνολικά αντιστοιχούν 44 φωτιστικά σώματα για κάθε toll και 176 φωτιστικά για την κάλυψη όλου του χώρου εκτός της αποθήκης. Οι διαστάσεις του εργοστασιακού χώρου είναι 91.7 μέτρα κατά μήκος και 53.8 μέτρα κατά πλάτος.

Για την αποθήκη έχουν χρησιμοποιηθεί 2 σειρές με 13 φωτιστικά η κάθε μία, δηλαδή 26 φωτιστικά για τη κάλυψη του χώρου. Οι αποστάσεις, το ύψος ανάρτησης και το είδος των φωτιστικών είναι όμοια με την προηγούμενη περίπτωση, αλλά υπάρχει η διαφορά ότι ο προσανατολισμός τους είναι κατά 90 μοίρες διαφορετικός από τα φωτιστικά του εργοστασιακού χώρου. Αυτή η διάταξη έχει επιλεγεί έτσι για να εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες της αποθήκης. Οι διαστάσεις της αποθήκης είναι 12.3 μέτρα κατά μήκος και 53.8 μέτρα κατά πλάτος.

Στο κτίριο των γραφείων έχουν χρησιμοποιηθεί φωτιστικά σώματα επαγγελματικού φωτισμού με λαμπτήρες φθορισμού και ύψος ανάρτησης τους είναι 2.5 μέτρα. Ο φωτισμός του κάθε γραφείου αποτελείται από μία σειρά 2 φωτιστικών σωμάτων, όπου η απόσταση των κέντρων τους είναι περίπου 1.6 μέτρα. Η κουζίνα περιέχει 2 σειρές φωτιστικών με απόσταση κέντρων 1 μέτρο και απόσταση μεταξύ των 2 σειρών 3.2 μέτρα. Στο μπάνιο υπάρχει 1 σειρά με 2 φωτιστικά led, σε απόσταση μεταξύ τους 2 μέτρα. Στο διάδρομο υπάρχει επίσης μία σειρά αποτελούμενη από 2 φωτιστικά, τα οποία απέχουν μεταξύ τους 5.45 μέτρα. Οι διαστάσεις των γραφείων είναι 3X3.75 μέτρα. Η κουζίνα έχει διαστάσεις 7.3X6.2 μέτρα και το μπάνιο 2.8X2.5 μέτρα.

Για το φωτισμό της περίφραξης του κτιρίου έχουν χρησιμοποιηθεί φωτιστικά δρόμου με λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης. Κατά μήκος της περίφραξης υπάρχουν 2 σειρές φωτιστικών με 9 φωτιστικά και ύψος ανάρτησης τεσσάρων μέτρων, ενώ η απόσταση των κέντρων τους είναι 20.4 μέτρα. Κατά πλάτος της περίφραξης υπάρχουν άλλες 2 σειρές αποτελούμενες από 4 φωτιστικά σώματα, τα οποία είναι τοποθετημένα ανά 18.5 μέτρα. Αυτές οι αποστάσεις επιλέχθηκαν αφενός για να υπάρχει η απαιτούμενη κάλυψη φωτισμού της περίφραξης και αφετέρου να μην υπάρχει ενεργειακή σπατάλη και μεγάλο κόστος εγκατάστασης.

Επί του κτιρίου εξωτερικά, κατά πλάτος υπάρχουν 2 σειρές 5 φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων σε ύψος ανάρτησης 4.5 μέτρων. Η απόσταση τους εξαρτάται σε αυτή τη περίπτωση από το πλάτος του κάθε toll, καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν υπάρχει παντού το ίδιο πλάτος. Έτσι, για τα 2 μικρότερα toll η απόσταση είναι 12.6 μέτρα, ενώ για τα μεγαλύτερα είναι 14.15 μέτρα. Κατά μήκος του κτιρίου είναι τοποθετημένες άλλες 2 σειρές 3 φωτιστικών σωμάτων η κάθε μία. Το ύψος ανάρτησης είναι όμοιο με την προηγούμενη περίπτωση, αλλά δεν υπάρχει ομοιόμορφη απόσταση μεταξύ τους, καθώς είναι τοποθετημένα τα περισσότερα πάνω από πόρτες εισόδων-εξόδων.

Στο στέγαστρο αυτοκινήτων υπάρχει μία σειρά 3 φωτιστικών με λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής ισχύος σε ύψος ανάρτησης 2.2 μέτρων και είναι τοποθετημένα ανά 6 μέτρα.

Τέλος, το αποθηκευτικό στέγαστρο περιέχει μία σειρά 11 φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες φθορισμού εξωτερικού χώρου. Η απόσταση των κέντρων τους είναι περίπου 4.9 μέτρα και το ύψος ανάρτησης τους 4.5 μέτρα.

5.5.2 Χαρακτηριστικά φωτιστικών που χρησιμοποιήθηκαν

Για τη φωτιστική κάλυψη όλου του χώρου, έχουν χρησιμοποιηθεί 7 διαφορετικοί τύποι φωτιστικών σωμάτων. Σε αυτή τη παράγραφο, θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και τα διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης, που δίνονται από το υπολογιστικό πρόγραμμα ως έξοδοι.

1) Φωτιστικό με λαμπτήρα φθορισμού για τη κάλυψη του εσωτερικού χώρου συμπεριλαμβανομένης και της αποθήκης.

Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

Site / LAMP 7142330 HILUX IP43 INT 2X28/54W 2xT16 54W/840 / Luminaire data sheet (2xT16 54W/840)

DIALux

LAMP 7142330 HILUX IP43 INT 2X28/54W 2xT16 54W/840

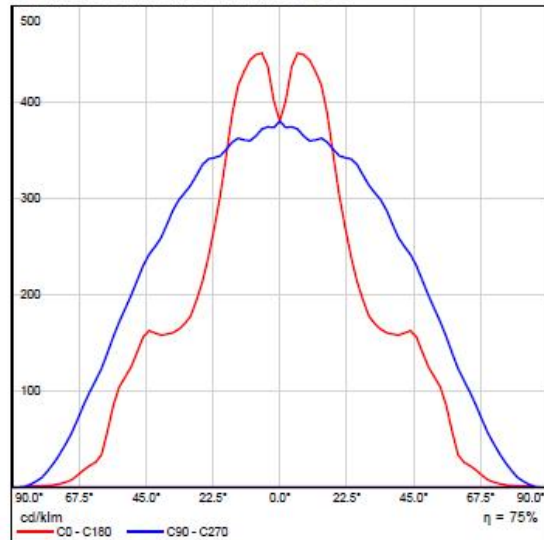


Industrial luminaire model HI-LUX IP43 LAMP brand. Made of steel sheet painted in shiny white. High purity aluminium intensive optics and polycarbonate diffuser. With IP43. For 2 T5 of 28/54W.

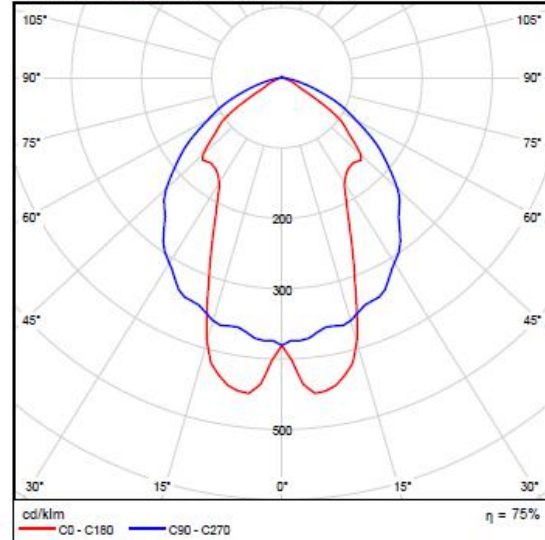
Light output ratio: 74.56%
Lamp luminous flux: 8900 lm
Luminaire Luminous Flux: 6636 lm
Power: 115.0 W
Light yield: 57.7 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα φωτιστικού:

Luminous emittance 1 / Linear LDC

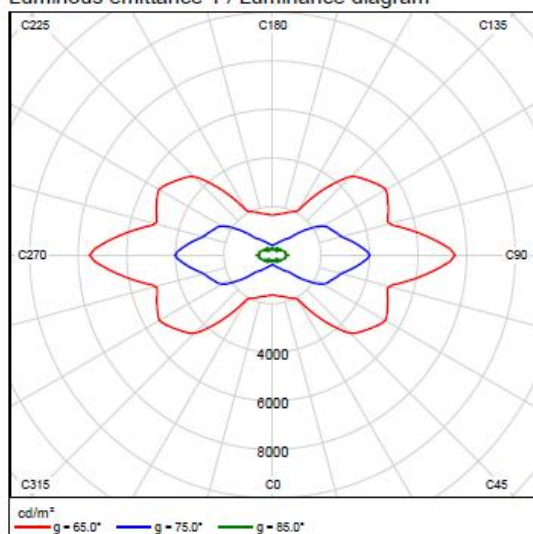


Luminous emittance 1 / Polar LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας φωτιστικού:

Luminous emittance 1 / Luminance diagram



2) Φωτιστικό με λαμπτήρα φθορισμού τοποθετημένο στα γραφεία-χαρακτηριστικά:

LAMP 6442120 DINAMIC LC PARA 2X35/49/80W AND. 2xT16 35W/840

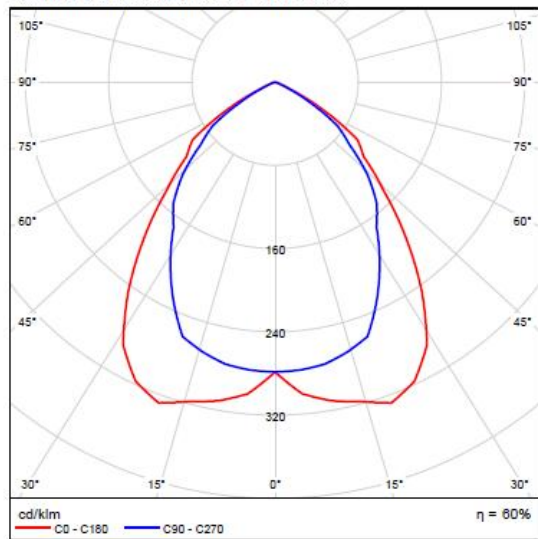


Suspended or surface mounted structure model DINAMIC LC PARA 2X35/49/80W AND., LAMP brand. Made of matt silver anodised extruded aluminium. Model for T5 2X35/49/80W lamp and multi-power control gear included. Direct light. With aluminium parabolic reflector. Insulation class I.

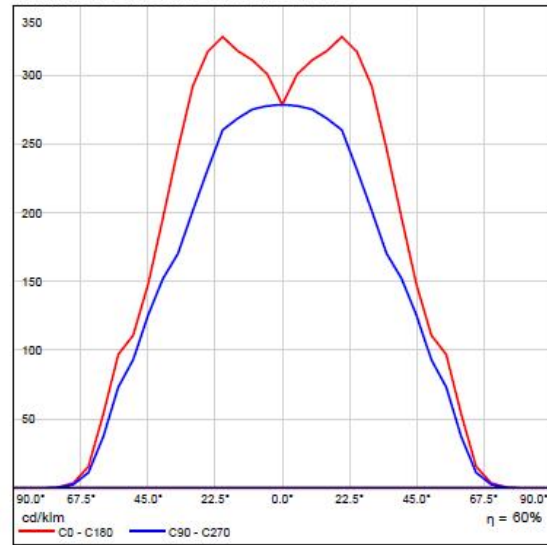
Light output ratio: 59.57%
Lamp luminous flux: 7300 lm
Luminaire Luminous Flux: 4349 lm
Power: 79.0 W
Light yield: 55.0 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα:

Luminous emittance 1 / Polar LDC



Luminous emittance 1 / Linear LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας:

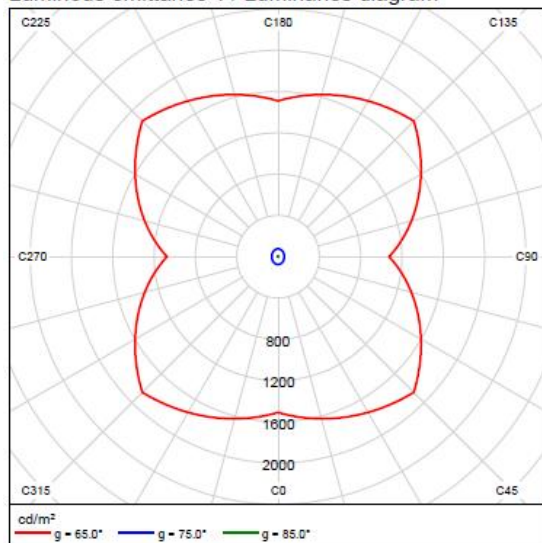
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

DIALux

Site / LAMP 6442120 DINAMIC LC PARA 2X35/49/80W AND. 2xT16 35W/840 / Luminaire data sheet (2xT16 35W/840)

Luminous emittance 1 / Luminance diagram



3) Φωτιστικό με λαμπτήρα led για το φωτισμό του μπάνιου των γραφείων:

LAMP 10844020 IMAG G2 TRACK 1200 NW FL WH 1xL1691-1LED-9,2

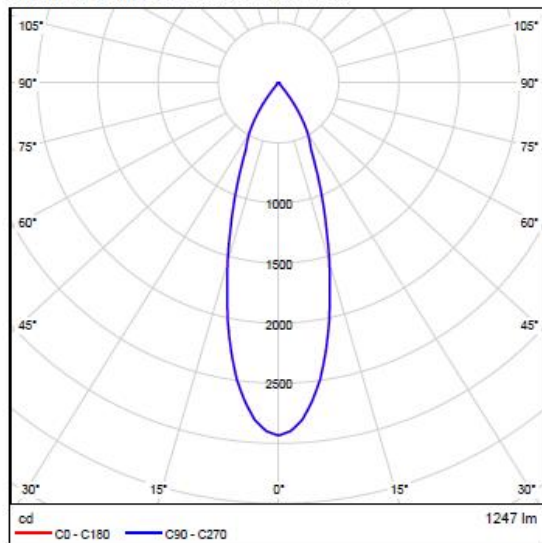


Multi-directional three-phase track projector model IMAG G2 TRACK 1200 NW FL WH., LAMP brand. Manufactured with aluminium die casting and polycarbonate finished in texturized white. Passive dissipation for thermal management. Model for COB LED. With neutral white colour temperature and control gear included. High quality aluminium Spot reflector. Insulation class II.

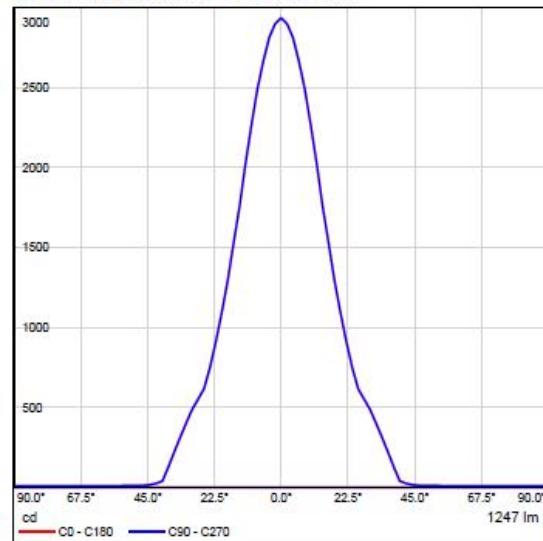
Absolute photometry
Luminaire Luminous Flux: 1244 lm
Power: 11.2 W
Light yield: 111.1 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα:

Luminous emittance 1 / Polar LDC

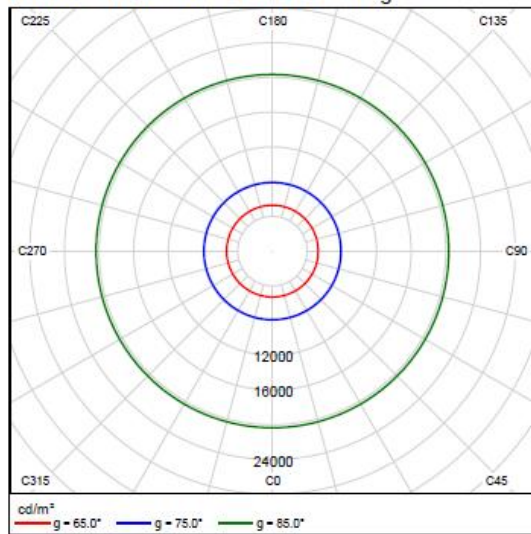


Luminous emittance 1 / Linear LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας:

Luminous emittance 1 / Luminance diagram



4) Φωτιστικό με λαμπτήρα μεταλλικών αλογονιδίων τοποθετημένο στις γωνίες του κτιρίου εξωτερικά:

LAMP 6641553 MINI PROA HIT G12 150W 1xHIT 150W/942

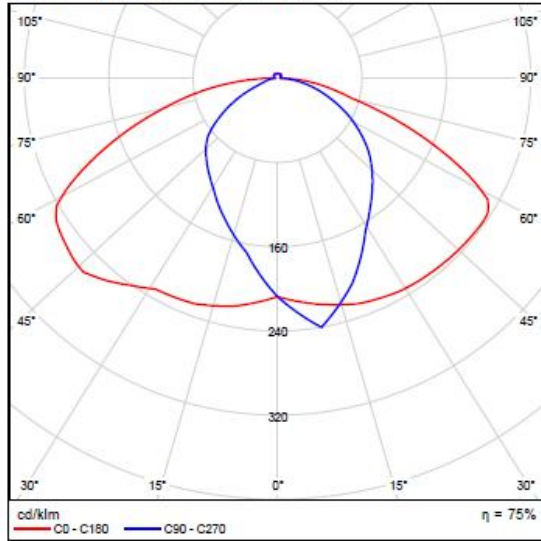


Outside direct radiation luminaire model MINI PROA, LAMP brand .
 Manufactured in aluminium injection lacquered in textured grey
 colour
 and serigraphed tempered glass. Its goniometer allows for swivelling
 of
 the light between 60° and -60°. With optical pathways, an IP65 and
 electrical set. For 1 HIT G12 of 150W.

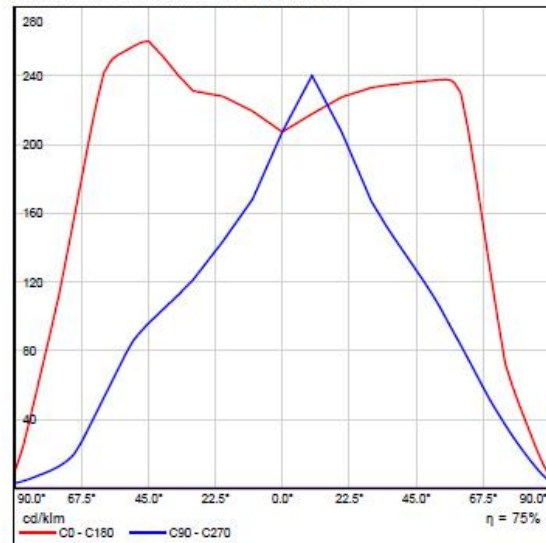
Light output ratio: 74.91%
 Lamp luminous flux: 12700 lm
 Luminaire Luminous Flux: 9513 lm
 Power: 169.9 W
 Light yield: 56.0 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα:

Luminous emittance 1 / Polar LDC



Luminous emittance 1 / Linear LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας:

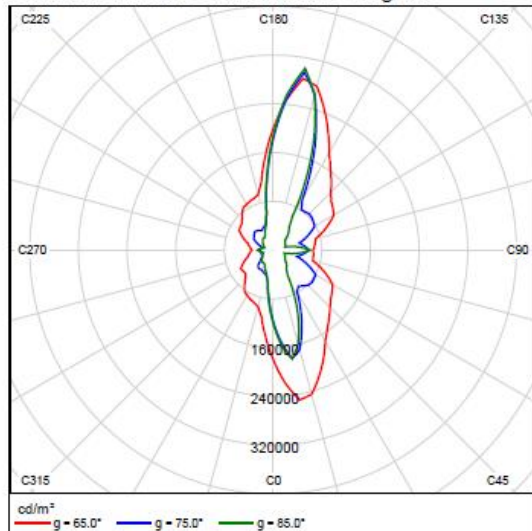
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

Site / LAMP 6641553 MINI PROA HIT G12 150W 1xHIT 150W/942 / Luminaire data sheet (1xHIT 150W/942)

DIALux

Luminous emittance 1 / Luminance diagram



5) Φωτιστικό με λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης για το φωτισμό της περιφράξης του κτιρίου:

LAMP 6901333 MINI ECO HST 100W 1xHST E40 100W

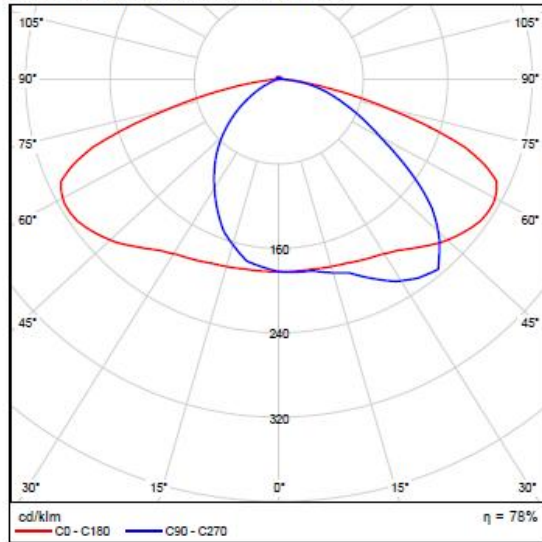


Street light to adapt to grounding rod model MINI ECO , LAMP brand. Manufactured in aluminium injection lacquered in texturised grey and texturised dark grey. Securing system compatible with columns with precise diameters of 60-76mm and grounding rods with precise diameters of 48-60mm. Class I and electromagnetic equipment. For 1 HST of 100W E40.

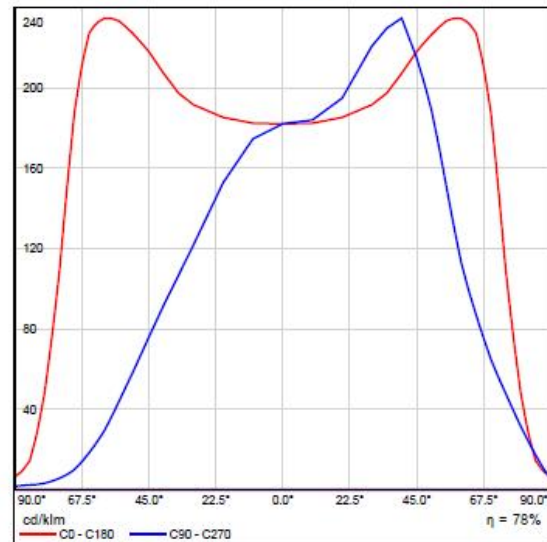
Light output ratio: 78.00%
Lamp luminous flux: 10700 lm
Luminaire Luminous Flux: 8346 lm
Power: 114.5 W
Light yield: 72.9 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα:

Luminous emittance 1 / Polar LDC

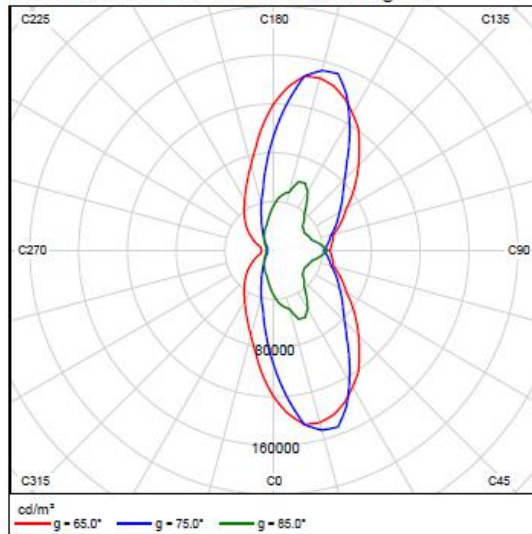


Luminous emittance 1 / Linear LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας:

Luminous emittance 1 / Luminance diagram



6) Φωτιστικό με λαμπτήρα ατμών νατρίου υψηλής πίεσης για το φωτισμό του στεγάστρου των αυτοκινήτων:

LAMP 6901313 MINI ECO HIT/HST/HIE/HSE 70W 1xHIE 70W/942

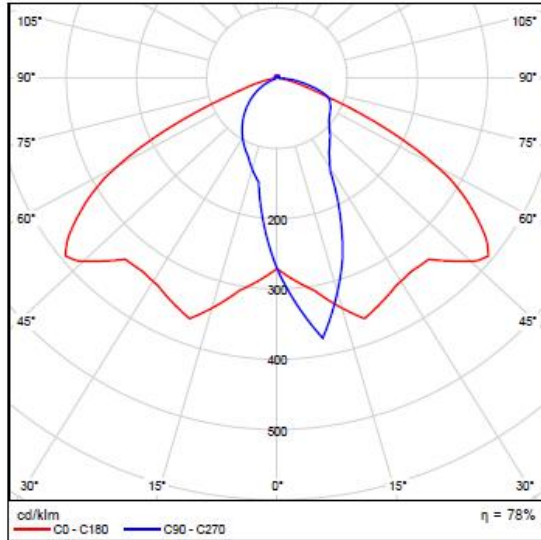


Street light to adapt to grounding rod model MINI ECO , LAMP brand. Manufactured in aluminium injection lacquered in texturised grey and texturised dark grey. Securing system compatible with columns with precise diameters of 60-76mm and grounding rods with precise diameters of 48-60mm. Class I and electromagnetic equipment. For 1 HST/HIT/HIE/HSE of 70W E27.

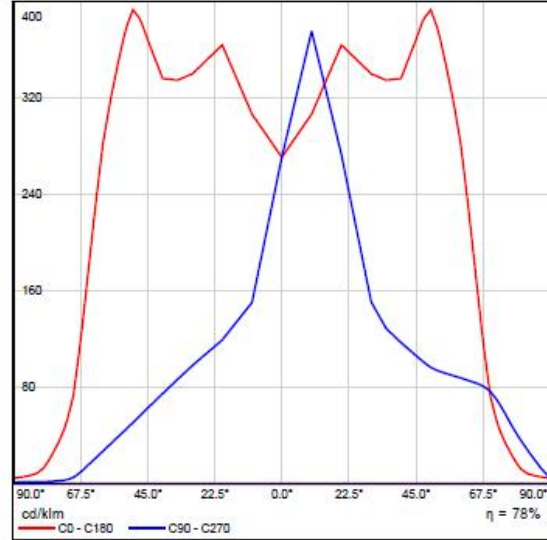
Light output ratio: 78.03%
Lamp luminous flux: 4900 lm
Luminaire Luminous Flux: 3823 lm
Power: 63.1 W
Light yield: 46.0 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα:

Luminous emittance 1 / Polar LDC



Luminous emittance 1 / Linear LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας:

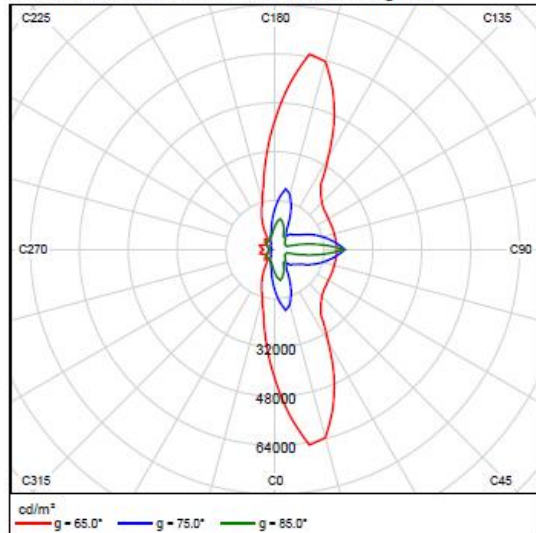
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

DIALux

Site / LAMP 6901313 MINI ECO HIT/HST/HIE/HSE 70W 1xHIE 70W/942 / Luminaire data sheet (1xHIE 70W/942)

Luminous emittance 1 / Luminance diagram



7) Φωτιστικό με λαμπτήρα φθορισμού τοποθετημένο στο στέγαστρο της αποθήκης:

LAMP 6841033 STEP T5 1X28/54W 1xT16 54W/840

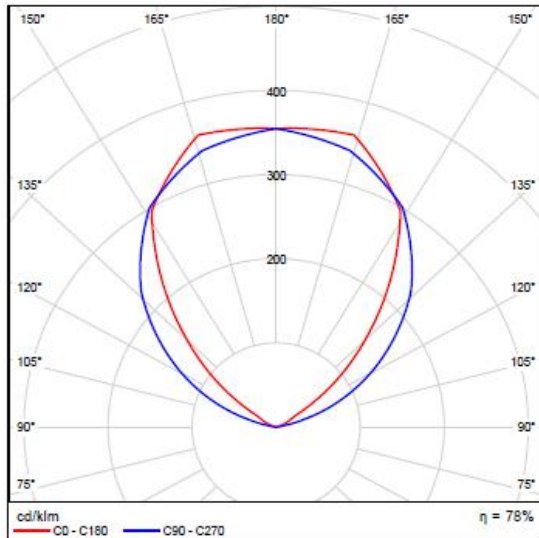


Model of luminaire recessed to soil or to pared STEP of LAMP brand, made in a profile of aluminium extrusion coated in grey colour apoxi polyester, with bright aluminium reflector of symmetric high purity, frame of stainless steel and moderated protection glass 6mm thickness with rubber gaskets for an IP67 protection, for T-5 of 1x28/54W

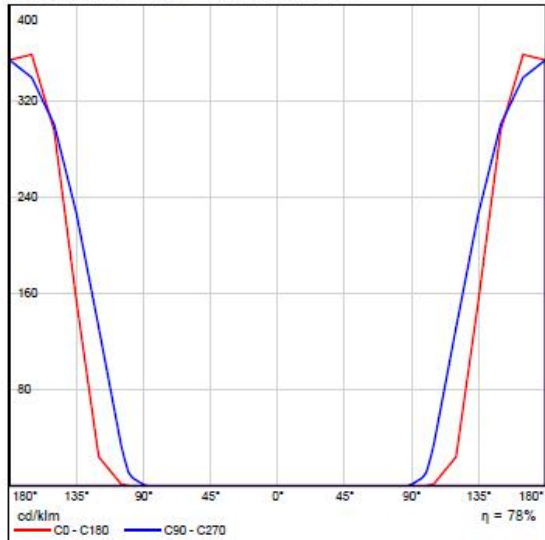
Light output ratio: 77.74%
 Lamp luminous flux: 4450 lm
 Luminaire Luminous Flux: 3460 lm
 Power: 58.0 W
 Light yield: 59.6 lm/W

Πολικό και καρτεσιανό διάγραμμα:

Luminous emittance 1 / Polar LDC

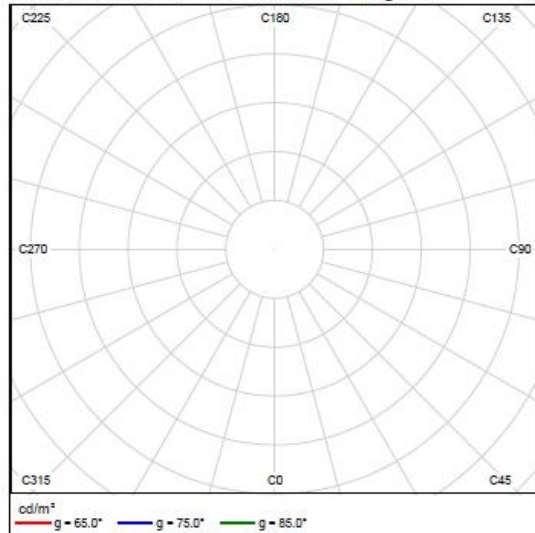


Luminous emittance 1 / Linear LDC



Διάγραμμα φωτεινότητας:

Luminous emittance 1 / Luminance diagram

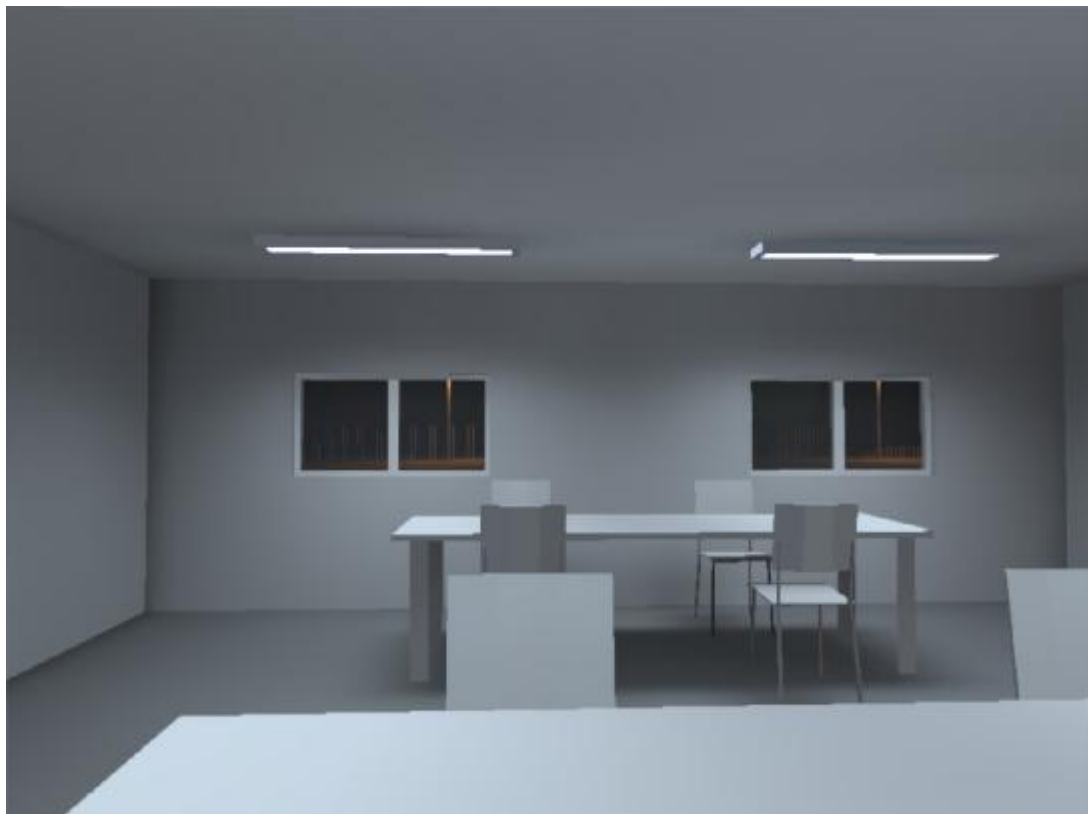


5.5.3 Τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου κατόπιν φωτισμού

Σε αυτή τη παράγραφο θα αναπαρασταθούν τα οπτικά αποτελέσματα που έδωσε το υπολογιστικό πρόγραμμα ύστερα από το φωτισμό, για το χώρο που σχεδιάστηκε. Αρχικά, θα δοθούν 4 εικόνες, οι οποίες αφορούν το ξεχωριστό κτίριο των γραφείων του εργοστασίου:



Εικόνα 52 Γραφείο χώρου



Εικόνα 53 Κουζίνα χώρου



Εικόνα 54 Μπάνιο γραφείων



Εικόνα 55 Διάδρομος

Οι επόμενες εικόνες αναφέρονται στο κυριότερο τμήμα του εργοστασίου, εκεί όπου περιλαμβάνεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός, αλλά και στο τμήμα της αποθήκης:



Εικόνα 56 Διάφορα μηχανήματα



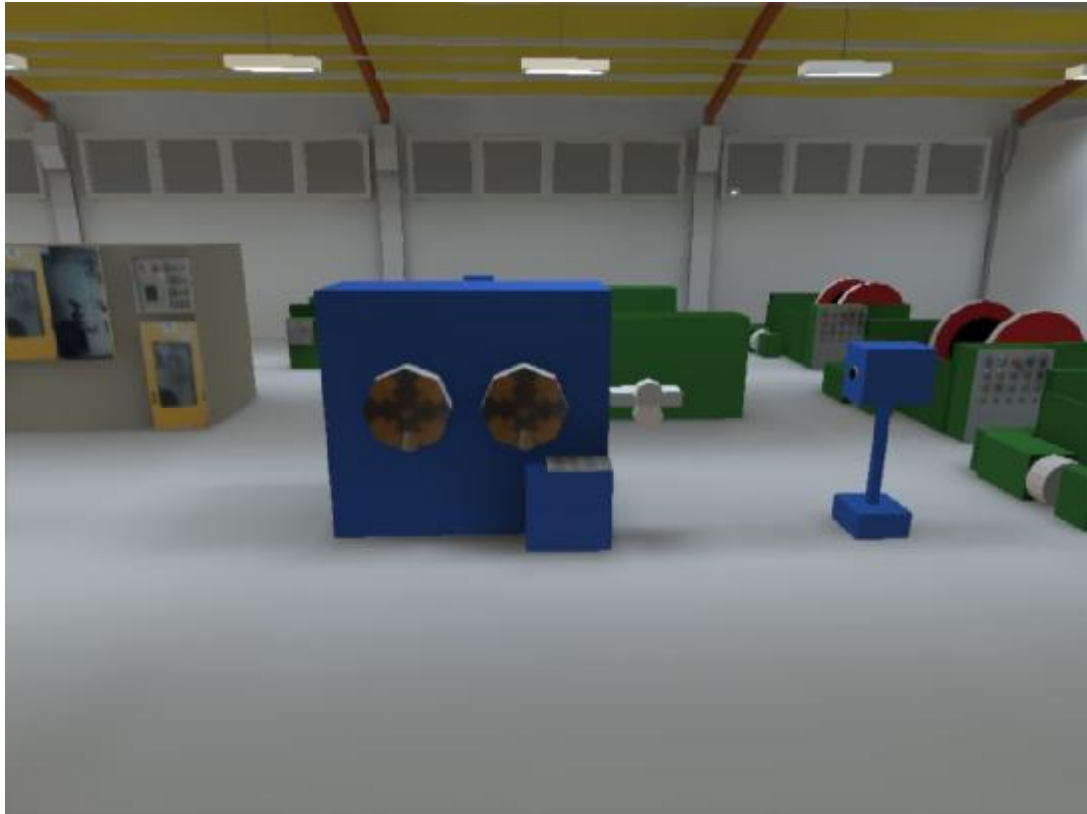
Εικόνα 57 Τμήμα δοκιμής υψηλής τάσεως



Εικόνα 58 Άποψη χώρου



Εικόνα 59 2 Γραμμές μηχανημάτων με αύλακες ψύξεως



Εικόνα 60 Συσκευαστικές μηχανές



Εικόνα 61 Άποψη διάφορων μηχανημάτων



Εικόνα 62 Άποψη διάφορων μηχανημάτων



Εικόνα 63 Μηχάνημα με εκτυλίκτριες



Εικόνα 64 3 Πίνακες



Εικόνα 65 Γραμμή παραγωγής

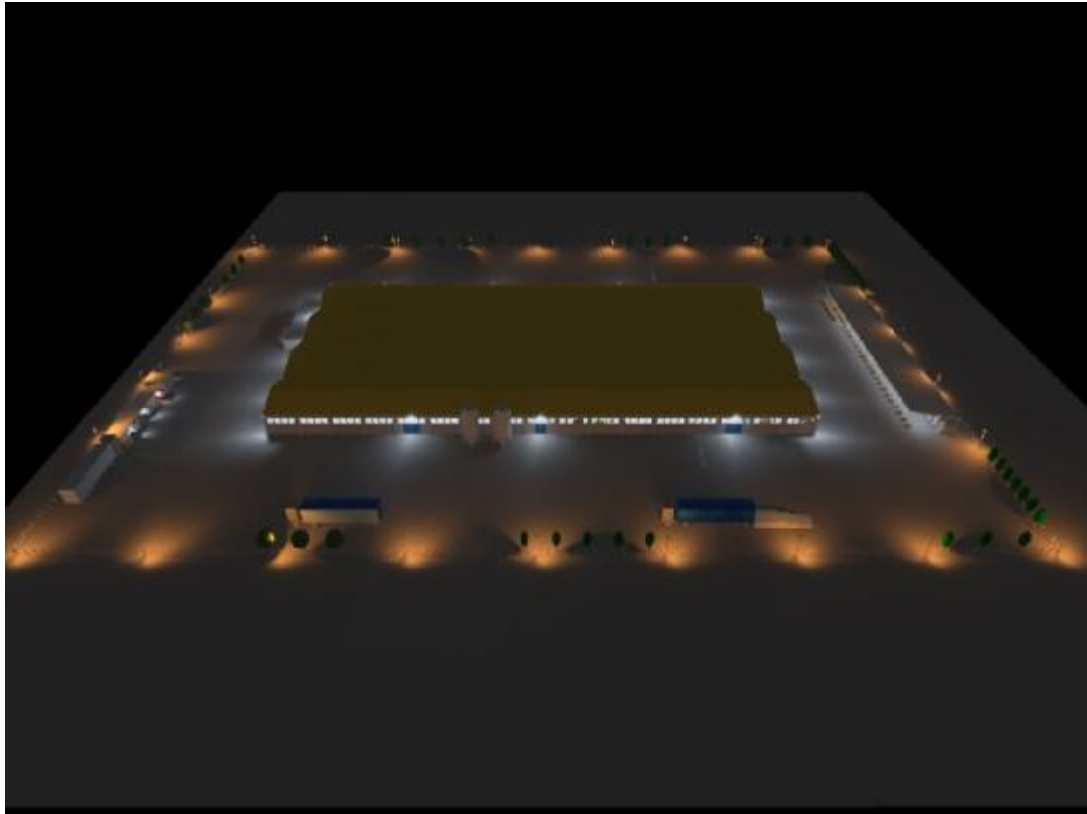


Εικόνα 66 Γραμμές μηχανημάτων



Εικόνα 67 Αποθηκευτικός χώρος

Μετά από τον εσωτερικό χώρο με το μηχανολογικό εξοπλισμό και την αποθήκη, θα αναπαρασταθεί η εξωτερική άποψη του τμήματος του εργοστασίου:



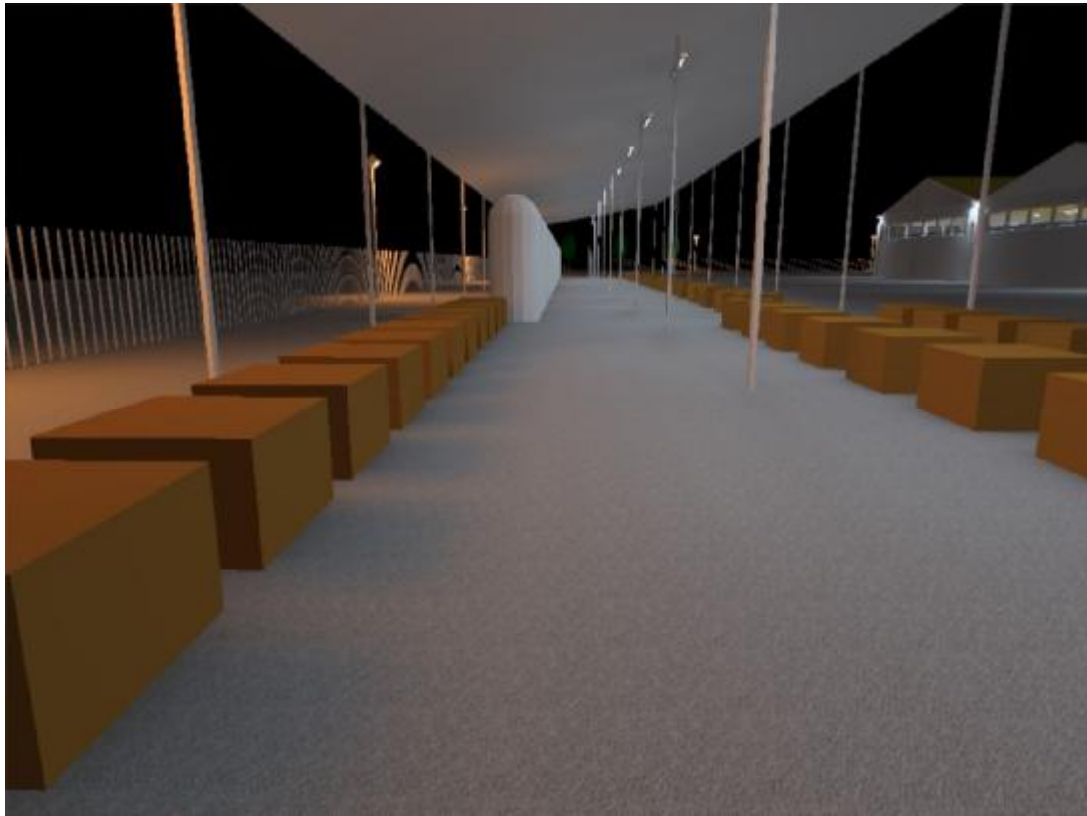
Εικόνα 68 Ο χώρος όπως φαίνεται από ψηλά



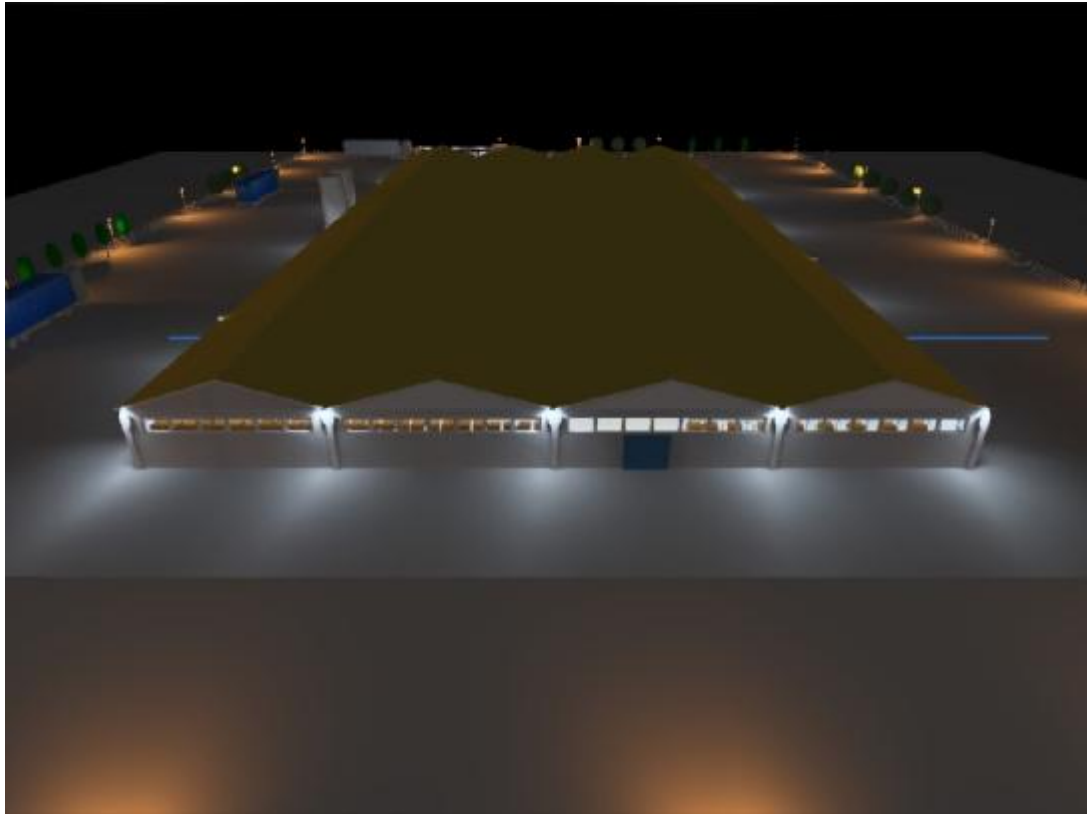
Εικόνα 69 Η εξωτερική είσοδος



Εικόνα 70 Εξωτερική άποψη χώρου



Εικόνα 71 Αποθηκευτικό στέγαστρο



Εικόνα 72 Εξωτερική άποψη



Εικόνα 73 Εξωτερική άποψη και κτίριο γραφείων

5.5.4 Μέτρηση έντασης φωτισμού σε διάφορες επιφάνειες

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, ανάλογα με τη χρήση του κάθε χώρου υπάρχουν προτεινόμενες τιμές έντασης φωτισμού. Γενικά, ο φωτισμός χαρακτηρίζεται σε σχέση με τις τιμές της έντασης του. Έτσι, έως τη τιμή των 100lux, ο φωτισμός χαρακτηρίζεται ως χαμηλός, πάνω από 200lux χαρακτηρίζεται ενδιάμεσος, πάνω από 500lux ισχυρός και πάνω από 1000lux πολύ ισχυρός.

Στη συγκεκριμένη φωτοτεχνική μελέτη, έχουν φωτιστεί 3 κομμάτια του χώρου, τα οποία ποικίλουν ως προς τις απαιτήσεις έντασης φωτισμού. Αυτά τα κομμάτια είναι ο κυρίως χώρος (εσωτερικός), όπου περιλαμβάνεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός, ο εξωτερικός χώρος και το κτίριο των γραφείων. Στον εσωτερικό χώρο, χρειάζεται ένας ενδιάμεσος φωτισμός, δηλαδή η τιμή του πρέπει να κυμαίνεται στα 200lux και να μην πέφτει πολύ παρακάτω από αυτή την τιμή. Για τον εξωτερικό χώρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαμηλός φωτισμός, καθώς δεν εκπονούνται εργασίες με υψηλή απαίτηση φωτισμού, ενώ για το κτίριο των γραφείων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ισχυρός φωτισμός, δηλαδή άνω των 500lux. Σε κάθε περίπτωση, η ένταση φωτισμού πρέπει να υπολογίζεται στο 125% της ονομαστικής, καθώς με τη πάροδο του χρόνου η απόδοση των λαμπτήρων μειώνεται, οπότε υπάρχει μείωση και στα επίπεδα έντασης φωτισμού του χώρου.

Το υπολογιστικό πρόγραμμα, δίνει ως έξοδο τις τιμές της έντασης φωτισμού (μέγιστες-ελάχιστες και μέσες) για επιλεγμένες επιφάνειες, όπου είναι επιθυμητό να γίνει μέτρηση.

Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης της κατανομής της έντασης φωτισμού στις διάφορες επιφάνειες, αλλά και η αναπαράσταση των καμπύλων ίσων τιμών, όπου φαίνεται η επίδραση της ακτινοβολίας της φωτεινής πηγής πάνω στην επιφάνεια. Οι επιφάνειες βρίσκονται στο ύψος του επίπεδου εργασίας (0,8m) με εξαίρεση αυτή του γραφείου, όπου βρίσκεται στα 0,75m. Στον εσωτερικό χώρο έχουν ληφθεί 3 επιφάνειες υπολογισμού, όπου η μία αφορά ένα χειριστήριο και η άλλη το τμήμα της αποθήκης. Για κάθε επιφάνεια θα δίνονται 3 έξοδοι του προγράμματος που αναφέρθηκαν παραπάνω:

α) Που βρίσκεται η επιφάνεια πάνω στην κάτοψη, καθώς και οι επικρατούσες τιμές έντασης φωτισμού επάνω της.

β) Η ομοιομορφία της έντασης φωτισμού επάνω στην επιφάνεια, η οποία αναπαριστάται μέσω ενός πίνακα, ο οποίος είναι συνάρτηση της θέσης με την ένταση φωτισμού. Το κελί (0,0) του πίνακα αφορά το κέντρο του ορθογωνίου της επιφάνειας.

γ) Οι καμπύλες ίσων τιμών, οι οποίες είναι και πάλι ένας δείκτης ομοιομορφίας της έντασης φωτισμού, που αναπαριστάται με διαφορετικό τρόπο.

Για τη πρώτη επιφάνεια (επίπεδο εργασίας), με διαστάσεις 12mX7m έχουμε:

A) Θέση της επιφάνειας στο χώρο:

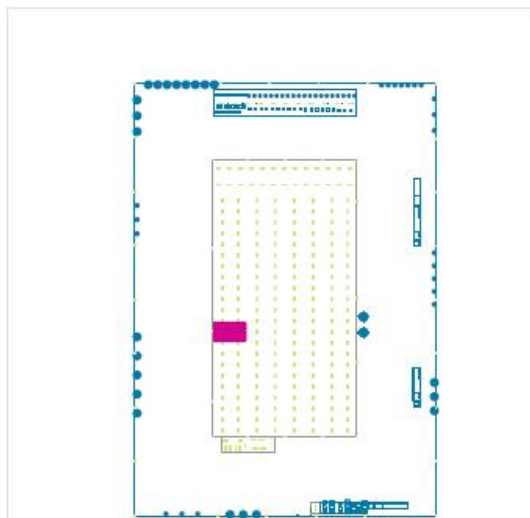
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

DIALux

Site / ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ / Results overview / Εσωτερικός χώρος

ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	242	115	361	0.475	0.319

Εδώ βλέπουμε ότι η μέση τιμή της έντασης είναι 242lux, που αντιστοιχεί σε ενδιάμεσο φωτισμό και είναι το επιθυμητό. Εάν ληφθεί υπόψιν η υποβάθμιση της φωτεινής έντασης με τον καιρό θα φτάσουμε την ελάχιστη τιμή των $242/1.25 = 193.6\text{lux}$, οπότε είμαστε και πάλι σε φυσιολογικά επίπεδα.

B) Ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας:

ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Value chart [lx]

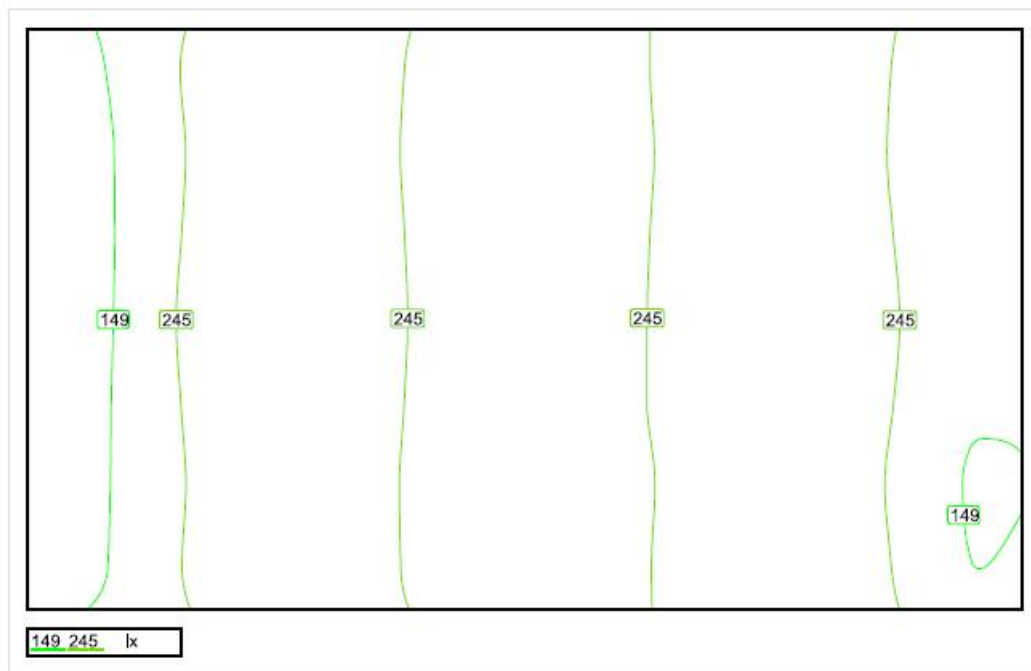
m	-5.455	-4.364	-3.273	-2.182	-1.091	0.000	1.091	2.182	3.273	4.364	5.455
3.000	128	223	340	346	200	176	194	337	336	249	153
2.000	119	215	326	331	195	176	190	323	325	245	150
1.000	115	219	341	348	200	176	194	340	340	252	154
0.000	116	226	361	361	204	176	197	354	361	261	156
-1.000	121	221	341	348	199	175	201	339	339	252	154
-2.000	125	215	325	328	194	175	188	323	323	243	143
-3.000	128	220	337	331	197	174	192	334	335	250	149

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 242 lx, Min: 115 lx, Max: 361 lx, Min/average: 0.475, Min/max: 0.319,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών:

ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

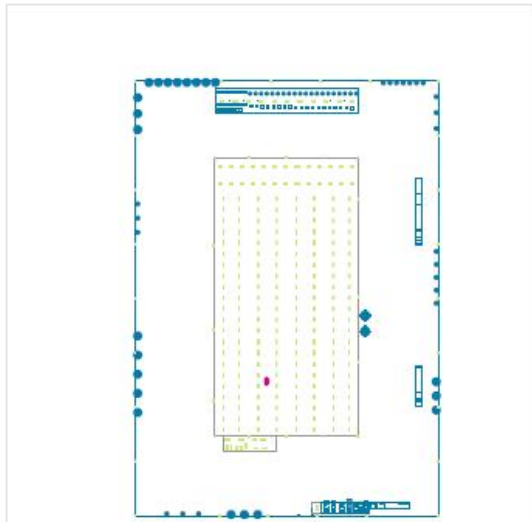


Perpendicular illuminance (Grid)
Mean (actual): 242 lx, Min: 115 lx, Max: 361 lx, Min/average: 0.475, Min/max: 0.319,

Η δεύτερη επιφάνεια με διαστάσεις 0.5m x 2m αφορά ένα χειριστήριο:

A) Θέση της επιφάνειας:

ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	146	145	147	0.993	0.986

Εδώ βλέπουμε ότι η μέση τιμή της έντασης είναι κάτω από τα φυσιολογικά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο χειριστήριο βρίσκεται στη μέση του room, δηλαδή στη μεγαλύτερη απόσταση από τα φωτιστικά, καθώς αυτά είναι κοντά στις άκρες. Σε αυτή την περίπτωση αν δεν επαρκεί η ένταση, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα είδος βοηθητικού φωτισμού κοντά ή μέσα στη συσκευή κάτι που σε αυτή τη μελέτη δεν αναπαριστάται.

B) Ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας:

ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ

Value chart [lx]

m	0.000
0.857	146
0.571	147
0.286	145
0.000	146
-0.286	145
-0.571	146
-0.857	146

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 146 lx, Min: 145 lx, Max: 147 lx, Min/average: 0.993, Min/max: 0.986,

Επειδή η επιφάνεια είναι μικρή σε διαστάσεις, το πρόγραμμα σε αυτή τη περίπτωση δεν μπορεί να κάνει αναπαράσταση των καμπύλων ίσων τιμών.

Η τρίτη επιφάνεια του εσωτερικού χώρου βρίσκεται στην αποθήκη και έχει διαστάσεις 3.5mX3.5m.

A) Θέση της επιφάνειας:

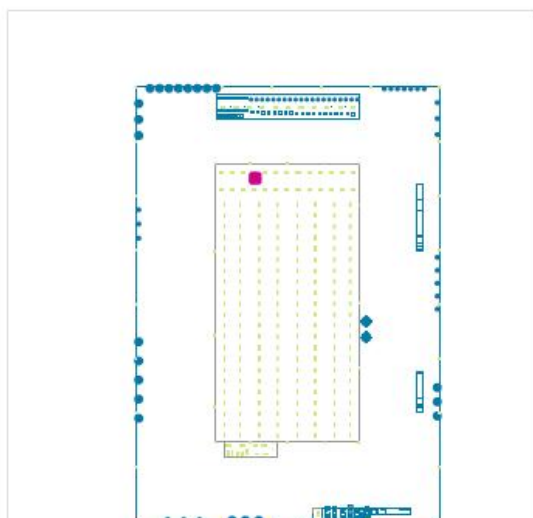
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

Site / ΑΠΟΘΗΚΗ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ / Results overview / Αποθήκη

DIALux

ΑΠΟΘΗΚΗ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	204	136	357	0.667	0.381

Η μέση τιμή που επικρατεί είναι 204lux και είναι παρόμοια με αυτή του επιπέδου εργασίας.

B) Ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας:

ΑΠΟΘΗΚΗ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Value chart [lx]

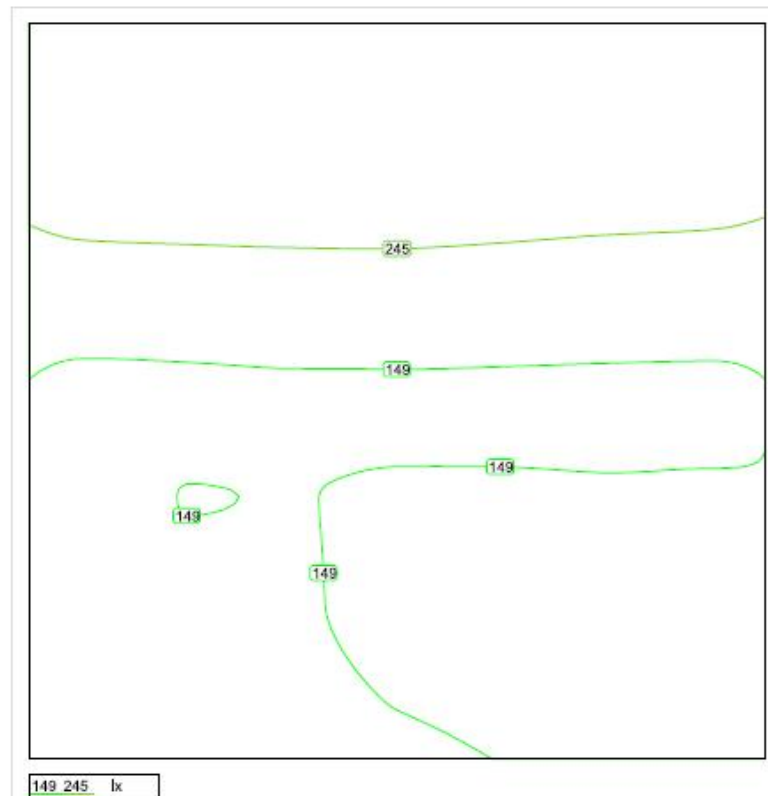
m	-1.500	-1.000	-0.500	0.000	0.500	1.000	1.500
1.500	339	353	357	354	341	330	325
1.000	290	298	302	300	292	284	278
0.500	208	209	212	214	211	205	203
0.000	138	140	144	144	143	141	140
-0.500	136	149	149	151	151	150	151
-1.000	147	144	147	153	153	152	152
-1.500	136	141	144	149	150	149	149

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 204 lx, Min: 136 lx, Max: 357 lx, Min/average: 0.667, Min/max: 0.381,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών:

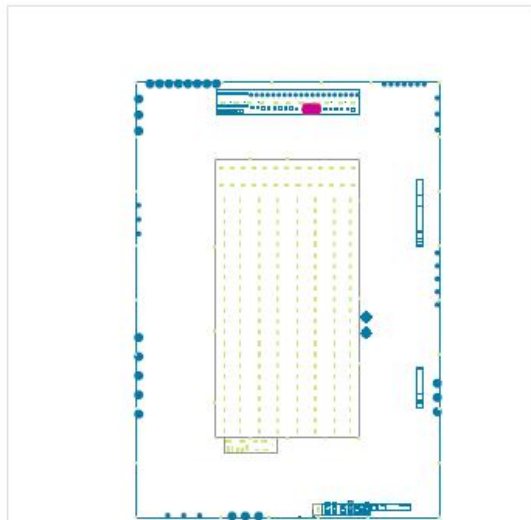
ΑΠΟΘΗΚΗ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



Για τον εξωτερικό χώρο έχουμε άλλες 3 επιφάνειες που αφορούν το αποθηκευτικό στέγαστρο, τη περίφραξη του κτιρίου και τις γωνίες του. Για την επιφάνεια του στεγάστρου διαστάσεων 6mX3m, έχουμε:

A) θέση της επιφάνειας:

ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ ΑΠΟΘΗΚΗΣ1



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	74	40	118	0.541	0.339

Η μέση τιμή έντασης φωτισμού είναι στα 74 lux και αντιστοιχεί σε χαμηλό φωτισμό, καθώς ο σκοπός του φωτισμού είναι να φαίνονται τα υπάρχοντα του στεγάστρου το βράδυ. Παρόμοια τιμή έντασης επικρατεί και στις άλλες 2 επιφάνειες εξωτερικού χώρου.

B) Ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας:

ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ ΑΠΟΘΗΚΗΣ1

Value chart [lx]

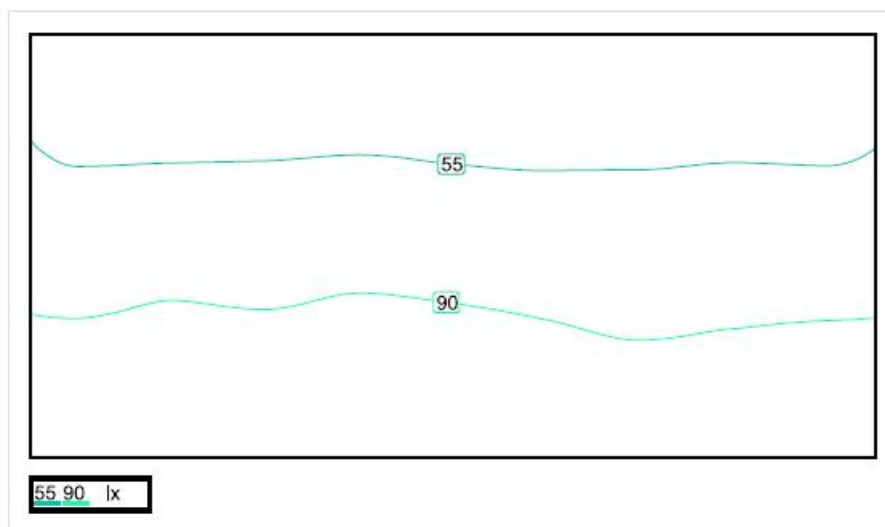
m	-2.667	-2.000	-1.333	-0.667	0.000	0.667	1.333	2.000	2.667
1.125	40	41	41	42	43	41	41	41	41
0.375	61	62	63	65	61	59	59	62	61
-0.375	85	90	87	92	89	85	81	84	85
-1.125	108	110	114	118	113	106	101	102	107

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 74 lx, Min: 40 lx, Max: 118 lx, Min/average: 0.541, Min/max: 0.339,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών:

ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ ΑΠΟΘΗΚΗΣ1

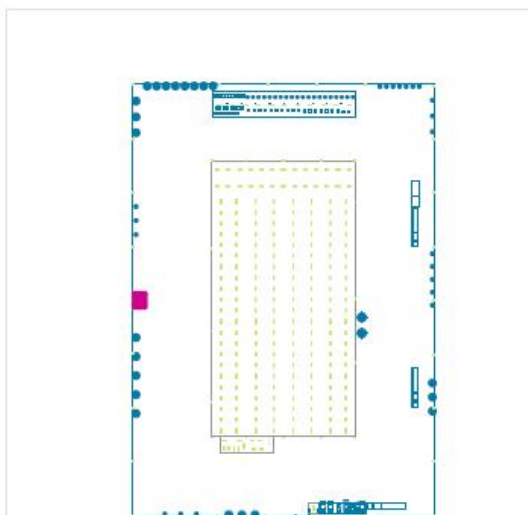


Scale: 1 : 50

Η επόμενη επιφάνεια με διαστάσεις 6mX5m που θα εξετασθεί είναι αυτή που βρίσκεται κοντά στη περίφραξη:

A) Θέση επιφάνειας πάνω στη κάτοψη:

ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	69	17	180	0.246	0.094

B) Ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας:

ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ

Value chart [lx]

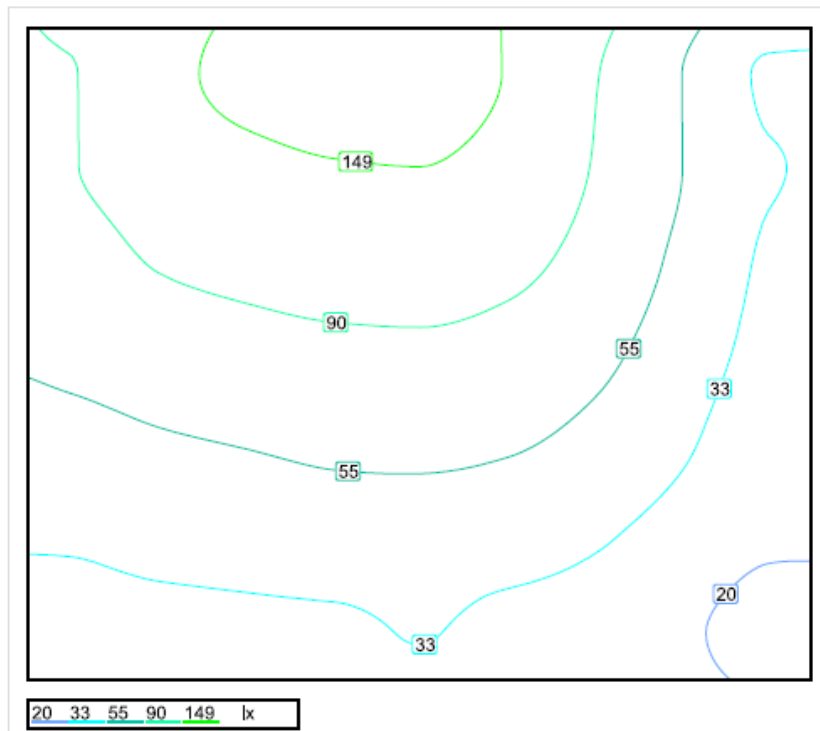
m	-2.667	-2.000	-1.333	-0.667	0.000	0.667	1.333	2.000	2.667
2.143	90	133	164	176	180	147	93	55	32
1.429	89	116	134	146	149	127	89	55	34
0.714	75	93	103	110	113	102	77	50	32
0.000	62	71	77	82	83	77	62	42	29
-0.714	46	51	55	59	60	57	48	35	25
-1.429	35	39	41	44	43	41	35	28	21
-2.143	27	28	30	31	34	30	27	22	17

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 69 lx, Min: 17 lx, Max: 180 lx, Min/average: 0.246, Min/max: 0.094,

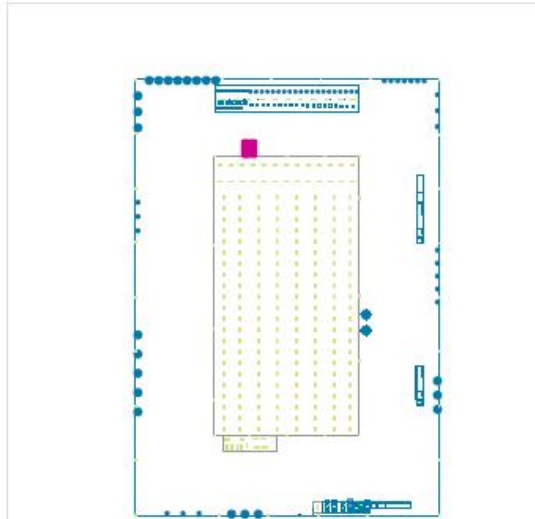
Γ) Καμπύλες ίσων τιμών:

ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ



A) Επιφάνεια στις γωνίες του κτιρίου-θέση (5mX6m) :

ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΚΤΙΡΙΟΥ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	78	22	202	0.282	0.109

B) Ομοιομορφία φωτισμού:

ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Value chart [lx]

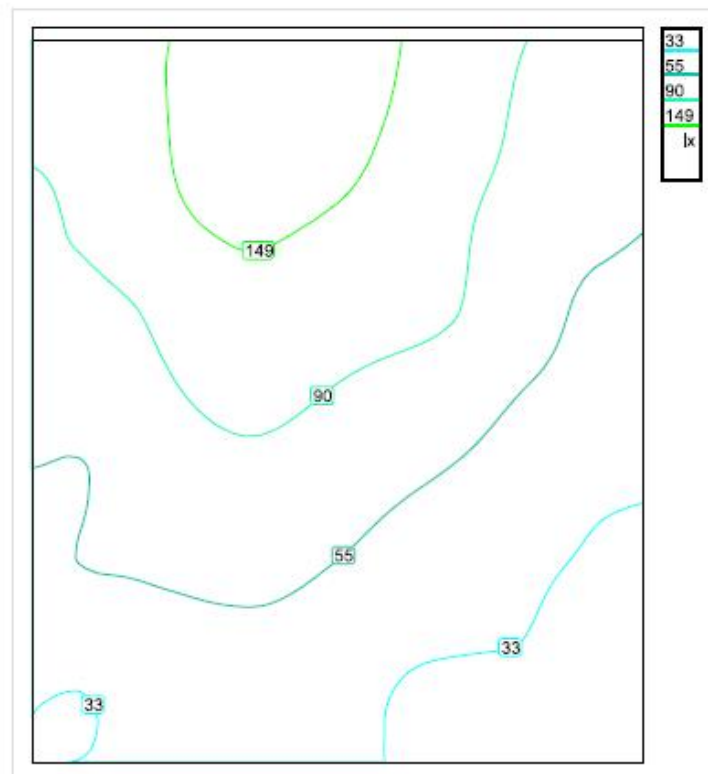
m	-2.143	-1.429	-0.714	0.000	0.714	1.429	2.143
2.667	95	147	202	180	133	92	60
2.000	92	145	192	166	122	86	58
1.333	92	135	155	138	108	77	58
0.667	73	99	132	107	97	76	48
0.000	63	85	102	88	75	56	42
-0.667	54	72	81	69	56	45	35
-1.333	55	59	64	55	43	38	31
-2.000	38	48	49	43	36	34	24
-2.667	32	39	38	38	28	23	22

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 78 lx, Min: 22 lx, Max: 202 lx, Min/average: 0.282, Min/max: 0.109,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών:

ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΚΤΙΡΙΟΥ



Scale: 1 : 50

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 78 lx, Min: 22 lx, Max: 202 lx, Min/average: 0.282, Min/max: 0.109,

Τέλος, για το κτίριο των γραφείων έχουν χρησιμοποιηθεί άλλες 3 επιφάνειες, οι οποίες αφορούν το γραφείο, τη κουζίνα και ένα διάδρομο. Για την επιφάνεια του γραφείου με διαστάσεις 1.3mX0.65m, έχουμε:

A) Θέση της επιφάνειας στην κάτοψη:

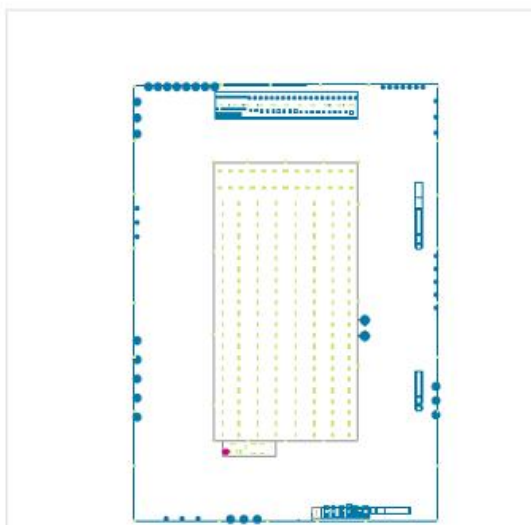
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

DIALux

Site / ΓΡΑΦΕΙΟ / Results overview / Γραφείο

ΓΡΑΦΕΙΟ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	619	436	718	0.704	0.607

Η μέση τιμή της έντασης που επικρατεί για την επιφάνεια του γραφείου είναι 619lux. Οι προτεινόμενες τιμές έντασης σε χώρους γραφείων εκτός των σχεδιασθηρίων είναι 500lux. Υπολογίζοντας και την υποβάθμιση της ροής των λαμπτήρων με τον καιρό, έχουμε

$619/1.25 = 495.2\text{lux}$, δηλαδή μία τιμή, η οποία σχεδόν ταυτίζεται με την προτεινόμενη των 500lux.

B) Ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας:

ΓΡΑΦΕΙΟ

Value chart [lx]

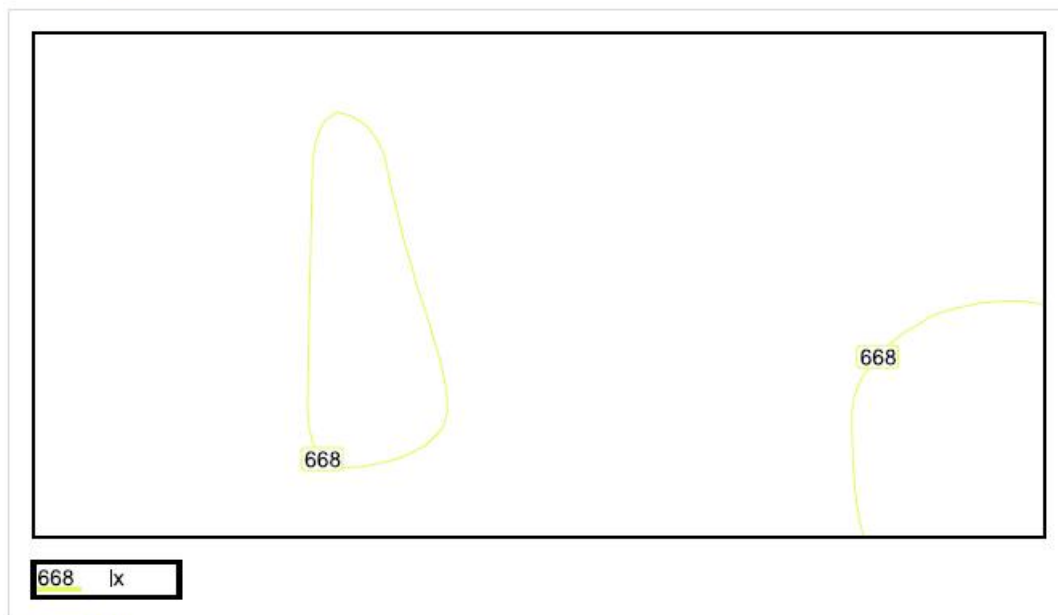
m	-0.520	-0.260	0.000	0.260	0.520
0.163	611	670	636	436	567
-0.162	613	671	661	603	718

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 619 lx, Min: 436 lx, Max: 718 lx, Min/average: 0.704, Min/max: 0.607,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών:

ΓΡΑΦΕΙΟ



Scale: 1 : 10

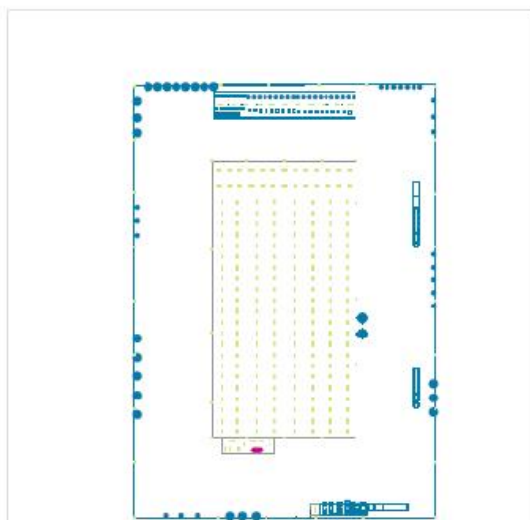
Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 619 lx, Min: 436 lx, Max: 718 lx, Min/average: 0.704, Min/max: 0.607,

Για τη κουζίνα, με διαστάσεις 3mX0.8m, έχουμε:

A) Θέση επιφάνειας:

ΚΟΥΖΙΝΑ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	483	356	604	0.737	0.589

Εδώ έχουμε μέση τιμή 483lux και εάν υποβαθμιστεί θα φτάσει τα $483/1.25 = 386.4\text{lux}$. Αυτές οι τιμές είναι λίγο παραπάνω από τις προτεινόμενες, καθώς αυτές για τέτοιους χώρους είναι έως 300lux. Αυτό θα παρατηρηθεί και στην αμέσως επόμενη επιφάνεια του διαδρόμου και γίνεται αφενός επειδή δεν υπάρχει αυστηρός περιορισμός σε τυχόν μικρές αποκλίσεις των προτεινόμενων τιμών και αφετέρου επειδή δεν είναι πρακτικό σε κάθε σημείο του χώρου να τοποθετείται διαφορετικός τύπος φωτιστικών και λαμπτήρων, διότι η εγκατάσταση γίνεται αρκετά πιο πολύπλοκη και πιθανόν δαπανηρή.

B) Ομοιομορφία φωτισμού :

ΚΟΥΖΙΝΑ

Value chart [lx]

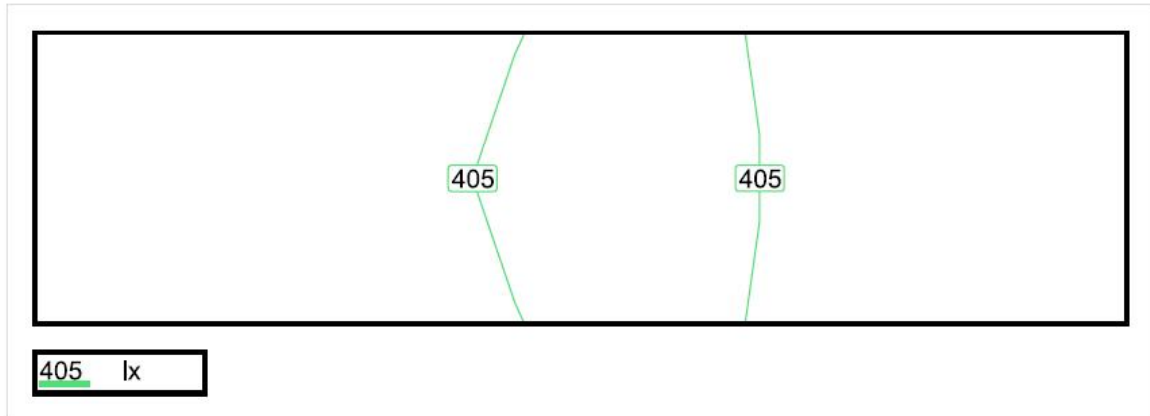
m	-1.286	-0.857	-0.429	0.000	0.429	0.857	1.286
0.000	604	532	426	356	390	491	584

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 483 lx, Min: 356 lx, Max: 604 lx, Min/average: 0.737, Min/max: 0.589,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών :

ΚΟΥΖΙΝΑ



Scale: 1 : 25

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 483 lx, Min: 356 lx, Max: 604 lx, Min/average: 0.737, Min/max: 0.589,

Η τελευταία επιφάνεια είναι του διαδρόμου με διαστάσεις 9mX2m.

A) Θέση της επιφάνειας:

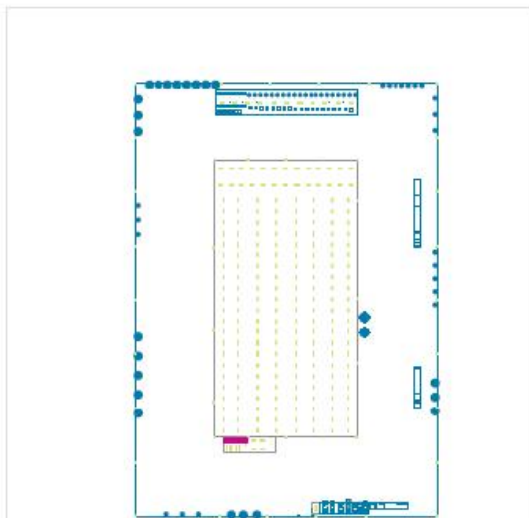
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

Site / ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ / Results overview / Γραφία

DIALux

ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ



Result	Mean (target)	Min	Max	Min/average	Min/max
Perpendicular illuminance [lx]	227	21	580	0.093	0.036

Εδώ έχουμε μέση τιμή 227lux και αν υποβαθμιστεί $227/1.25 = 181.6\text{lux}$, με προτεινόμενη τιμή στους διαδρόμους έως 150lux.

B) Ομοιομορφία φωτισμού :

ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ

Value chart [lx]

m	-4.000	-3.000	-2.000	-1.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000
0.000	21	70	279	580	391	119	83	212	285

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 227 lx, Min: 21 lx, Max: 580 lx, Min/average: 0.093, Min/max: 0.036,

Γ) Καμπύλες ίσων τιμών :

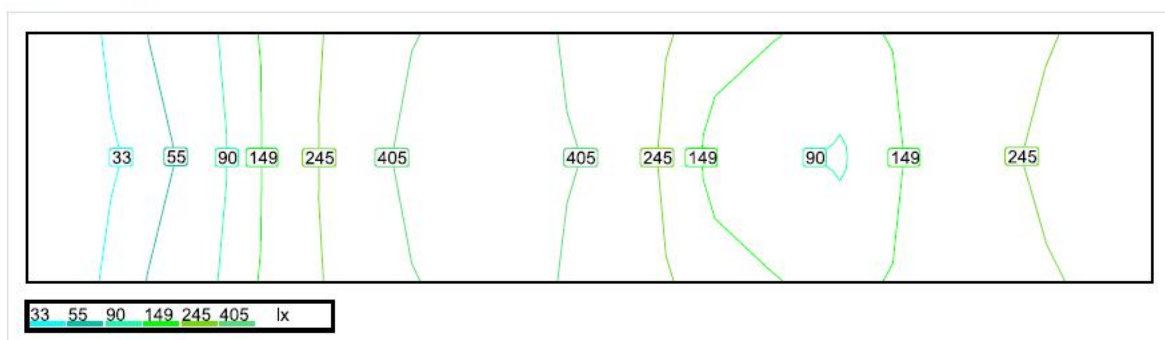
Φωτοτεχνία 14

11/24/2015

DIALux

Site / ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ / Isolines / Γραφεία / Perpendicular illuminance

ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ



Scale: 1 : 50

Perpendicular illuminance (Grid)

Mean (actual): 227 lx, Min: 21 lx, Max: 580 lx, Min/average: 0.093, Min/max: 0.036,

5.5.5 Ενεργειακή κατανάλωση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για τη κάλυψη του εργοστασιακού χώρου εκτός της αποθήκης χρειάζονται 176 φωτιστικά σώματα, ενώ για κάθε toll 44 φωτιστικά. Το κάθε φωτιστικό από αυτά περιέχει 2 λαμπτήρες των 54W, οπότε η κατανάλωση του είναι 108W.

Έτσι, όταν σε 1 toll λειτουργούν και οι 4 σειρές φωτιστικών, τότε η ισχύς που καταναλώνεται είναι :

$$P_{toll} = 44.108 = 4752W \quad (5.1)$$

Στην περίπτωση όπου λειτουργούν και οι 16 σειρές των φωτιστικών, τότε ισχύς αντιστοιχεί σε :

$$P_{total} = 176.108 = 19008W \quad (5.2)$$

Κάθε μία σειρά σε λειτουργία απαιτεί ισχύ :

$$P_S = 11.108 = 1188W \quad (5.3)$$

Για την αποθήκη η κάθε σειρά απαιτεί ισχύ :

$$P_{S1} = 13.108 = 1404W \quad (5.4),$$

ενώ και οι 2 σειρές απαιτούν :

$$P_{ap} = 26.108 = 2808W \quad (5.5)$$

Στο κτίριο των γραφείων τα φωτιστικά που χρησιμοποιήθηκαν περιέχουν 2 λαμπτήρες των 35W, δηλαδή σύνολο 70W. Για το κάθε γραφείο απαιτείται ισχύς :

$$P_{gr} = 2.70 = 140W \quad (5.6)$$

Για την κουζίνα έχουμε :

$$P_k = 4.70 = 320W \quad (5.7)$$

Για το διάδρομο έχουμε :

$$P_d = 2.70 = 140W \quad (5.8)$$

Για το μπάνιο έχουν χρησιμοποιηθεί 2 spot με λαμπτήρες led των 11.2W, οπότε έχουμε:

$$P_b = 2.11.2 = 22.4W \quad (5.9)$$

Οπότε, η μέγιστη κατανάλωση των κτιρίων του γραφείου αντιστοιχεί με :

$$P_{total1} = P_{gr} + P_k + P_d + P_b = 622.4W \quad (5.10)$$

και η μέγιστη κατανάλωση ισχύος του εσωτερικού χώρου αντιστοιχεί σε :

$$P_{maxin} = P_{total} + P_{ap} + P_{total1} = 22438.4W \quad (5.11)$$

Για την περιφραξη του εξωτερικού χώρου αναφέραμε ότι τοποθετήθηκαν 2 σειρές με 9 φωτιστικά σώματα και άλλες 2 με 4, οπότε συνολικά 26 φωτιστικά. Ο λαμπτήρας του κάθε φωτιστικού απαιτεί ισχύ 100W για τη λειτουργία του, οπότε η συνολική ισχύς που απαιτείται για το φωτισμό της περιφραξης είναι :

$$P_{out1} = 26 \cdot 100 = 2600W \quad (5.12)$$

Επί του κτιρίου υπάρχουν 16 φωτιστικά, καθένα από τα οποία καταναλίσκει 150W. Επομένως η ισχύς που απαιτείται για τον εξωτερικό φωτισμό τοπικά του κτιρίου είναι:

$$P_{out2} = 16 \cdot 150 = 2400W \quad (5.13)$$

Στο στέγαστρο των αυτοκινήτων έχουμε 3 φωτιστικά των 70W, οπότε η ισχύς που απαιτείται:

$$P_1 = 3 \cdot 70 = 210W \quad (5.14)$$

και στο αποθηκευτικό στέγαστρο 11 φωτιστικά των 54W, οπότε η συνολική ισχύς :

$$P_2 = 11 \cdot 54 = 594W \quad (5.15)$$

Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να καταναλώνεται από τον εξωτερικό χώρο αντιστοιχεί με :

$$P_{maxout} = P_{out1} + P_{out2} + P_1 + P_2 = 5804W \quad (5.16)$$

Στην ακραία περίπτωση όπου όλα τα φωτιστικά της εγκατάστασης είναι σε λειτουργία τότε καταναλώνεται η μέγιστη ισχύς όλης της εγκατάστασης που αντιστοιχεί με :

$$P_{max} = P_{maxin} + P_{maxout} = 28242.4W \quad (5.17)$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[1] ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

<http://eclass.teipir.gr/openeaclass/modules/document/file.php/ELEC101/I.%20CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%98%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%82/1.%20CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%83%CF%84%CE%B7%20%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1.pdf>

[2] ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑΣ 2016 (ECLASS)

<http://eclass.teipat.gr/eclass/modules/document/index.php?course=487171&openDir=/57f74393q1ut>

[3] ΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1784/1/12_chapter_11.pdf

[4] ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΛΟΓΟΝΟΥ

https://www.google.gr/search?q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%85&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjcqil5dXRAhUB2BQKHQVgCZoQ_AUIBigB#imgrc=wiS_ZGMTyvcvWmM%3A

[5] ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

https://www.google.gr/search?q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%85&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjcqil5dXRAhUB2BQKHQVgCZoQ_AUIBigB&dpr=1.25#tbm=isch&q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%85

[1%CE%B5%CF%82+%CE%B5%CF%80%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B7%CF%82&imgrc=zhfqCfewqXF73M%3A](#)

[6] ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ LED

https://www.google.gr/search?q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%85&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjcgil5dXRAhUB2BQKHQVgCZoQ_AUIBigB&dpr=1.25#tbm=isch&q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+LE&imgrc=RyVMBR4-lgc2GM%3A

[7] ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΩΝ

https://www.google.gr/search?q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%85&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjcgil5dXRAhUB2BQKHQVgCZoQ_AUIBigB&dpr=1.25#tbm=isch&q=%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD+%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CF%89%CE%BD&imgrc=_

[8] ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hle/2010/MaroulisGiorgos/attached-document-1273482116-890922-17878/Maroulis2010.pdf>

[9] Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟΥ

http://kodipheet.chem.uoi.gr/fifth_conf/pdf_synedriou/teyxos_C/6_ΟΛΟΤΕΧΝΟ/2_ΟΛΟΤΕΧΝΟ.pdf

[10] ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

<https://www.google.gr/search?q=%CE%9B%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8E%CE%BD+%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%81%CE%B3%CF%8D%CF%81>

https://www.google.gr/search?q=%CE%9B%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8E%CE%BD+%CE%BD%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85+%CF%85%CF%88%CE%B7%CE%BB%CE%AE%CF%82+%CF%80%CE%AF%CE%B5%CF%83%CE%B7%CF%82&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwipkNSI093RAhXBIsAKHdvlBsEQ_AUIBigB#imgrc=_

[11] ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΑΤΜΩΝ ΝΑΤΡΙΟΥ

https://www.google.gr/search?q=%CE%9B%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8E%CE%BD+%CE%BD%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85+%CF%85%CF%88%CE%B7%CE%BB%CE%AE%CF%82+%CF%80%CE%AF%CE%B5%CF%83%CE%B7%CF%82&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiv24OO1N3RAhXhIJoKHavPBx0Q_AUIBigB#q=%CE%9B%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B5%CF%82+%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8E%CE%BD+%CE%BD%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85+%CF%85%CF%88%CE%B7%CE%BB%CE%AE%CF%82+%CF%80%CE%AF%CE%B5%CF%83%CE%B7%CF%82&tbm=isch&tbs=rmg:CZSijbCUez9AljjSrKOyWfvxbzH6hf0v5WupqQmCh6SeYcpKNt-1RYqHN66ZWton1Lo6vydZ_1kUqR5rJQw7bXuDN1ioSCdKso7JZ-_1FvEZZyXLd3oM5JKhIJMfqF_1S_1la6kREBGmln9o-ToqEgmpCYKHpJ5hyhF4rDkyl5glACoSCUo237VFioc3EZUXKrfIzXfYKhIJrpla2ifUuj_oRcmxto-JYKNIqEgm_1J1n-RSpHmhELFsSBxvay3yoSCclDDtte4M3WEWRYrvQ4U0NT

[12] ΧΡΟΝΟΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%80%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%B1\(bal last\)&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwieoZ3C1t3RAhXDYJoKHebSAAMQ_AUIBigB#tbm=isch&q=%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%80%CF%84%CE%B5%CF%82+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D](https://www.google.gr/search?q=%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%80%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%B1(bal last)&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwieoZ3C1t3RAhXDYJoKHebSAAMQ_AUIBigB#tbm=isch&q=%CF%87%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%80%CF%84%CE%B5%CF%82+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D)

[13] ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%80%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%B1\(bal last\)&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioZ3C1t3RAhXDYJoKHebSAAMQ_AUIBigB#tbm=isch&q=%CE%91%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%95%CF%82+%CE%9A%CE%99%CE%9D%CE%97%CE%A3%CE%97%CF%82](https://www.google.gr/search?q=%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%80%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%B1(bal last)&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioZ3C1t3RAhXDYJoKHebSAAMQ_AUIBigB#tbm=isch&q=%CE%91%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%95%CF%82+%CE%9A%CE%99%CE%9D%CE%97%CE%A3%CE%97%CF%82)

[14] ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΤΑΓΓΑΛΙΣΤΙΚΑ ΠΗΝΙΑ

<http://www.us.all.biz/el/ilektronik-straghghalistik-pina-ghia-toys-bgg1062230>

[15] ΣΤΡΑΓΓΑΛΙΣΤΙΚΑ ΠΗΝΙΑ

https://www.google.gr/search?q=%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%80%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%B1&biw=1024&bih=483&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi5uoTZ2N3RAhXjBZoKHf8qAZYQ_AUIBigB#tbm=isch&q=%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%80%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%B1&imgrc=87yN9D8EcvB_M%3A

[16] ΠΙΝΑΚΙΔΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΕΩΣ

https://www.google.gr/search?q=high+voltage&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi_rer5hdbTAhUFtBoKHSahDh4Q_AUIBigB&biw=1024&bih=472

[17] ΠΙΝΑΚΙΔΕΣ ΕΞΟΔΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ

https://www.google.gr/search?q=high+voltage&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi_rer5hdbTAhUFtBoKHSahDh4Q_AUIBigB&biw=1024&bih=472#tbm=isch&q=EXIT

ΒΙΒΛΙΑ

[1] Φωτοτεχνία δεύτερη έκδοση, εκδότες :

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Λάμπρος Οικονόμου

Σταυρούλα Κουρτέση