



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Δυνατότητες Εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας
από το φωτισμό κτιρίων»*

Εισηγητής
Ιωάννης Μιμίκος

Επιβλέπων καθηγητής
Αντώνιος Τσικαλάκης

Χανιά 2011

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
1.1	Περιεχόμενα εικόνων	4
1.2	Περιεχόμενα πινάκων	7
1.3	Περίληψη	9
2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2.1	Η σημασία του φωτισμού στη ζωή μας	11
2.2	Η σημασία του φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας	12
2.3	Η σημασία του φωτισμού για τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)	13
2.3.1	Θεσμικό πλαίσιο – Τι είναι ο ΚΕΝΑΚ	13
2.3.2	Το κτίριο αναφοράς και το σύστημα φωτισμού	13
2.3.3	Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου	14
2.3.4	Ενεργειακή επιθεώρηση συστημάτων φωτισμού	16
3.	Ο ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	22
3.1	Το κτίριο ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης	22
3.2	Ηλιακή ακτινοβολία	22
3.2.1	Ηλιακοί χάρτες	23
3.3	Χωροθέτηση κτιρίου στο οικόπεδο	23
3.4	Σχήμα κτιρίου	24
3.5	Ανοίγματα και διαφανή στοιχεία του κελύφους	24
3.5.1	Πλευρικά ανοίγματα	25
3.5.2	Ανοίγματα οροφής	26
3.5.3	Διαφανείς τοίχοι και οροφές	28
3.5.4	Αίθρια	29
3.5.5	Διαφανή υλικά ανοιγμάτων	29
3.6	Διάρθρωση των εσωτερικών χώρων	33
3.6.1	Προσανατολισμός	33
3.6.2	Διάταξη χώρου και επιλογή υλικών	33
3.7	Περιβάλλον χώρος	34
3.7.1	Ηλιασμός ή σκιασμός κτιρίου	35
3.8	Ηλιοπροστατευτικές και ενισχυτικές διατάξεις	36
3.8.1	Ράφια φωτισμού	36
3.8.2	Σκίαστρα	37
3.8.3	Κανάλια φωτισμού ή φωτεινοί αγωγοί ή φωτοσωλήνες (light ducks ή sun ή ducks ή light wells ή light pipes)	41
3.8.4	Είδη φωτοσωλήνων	43

3.8.5	Κάτοπτρα εστίασης ηλιακού φωτός (ηλιοστάτες)	45
4.	ΤΟ ΦΩΣ	49
4.1	Η φύση του φωτός	49
4.2	Φάσμα Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	49
4.3	Φωτεινή δέσμη	51
4.4	Φωτεινή πηγή	52
4.5	Ανάκλαση του φωτός (Reflection)	52
4.6	Απορρόφηση του φωτός (Absorption)	54
4.7	Φως και χρώμα	54
4.8	Θερμοκρασία χρώματος (Colour temperature, T_c).....	56
5.	ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	58
5.1	Φωτεινή ενέργεια.....	58
5.2	Στερεά γωνία (Solid Angle, Ω).....	58
5.3	Φωτεινή ροή ή Φωτεινή ισχύς (Luminous Flux, Φ).....	58
5.4	Αποδοσή φωτεινής πηγής (α)	59
5.5	Ένταση φωτεινής πηγής (Luminous Intensity, I)	59
5.5.1	Πολικά Διαγράμματα	60
5.6	Νόμοι της φωτομετρίας	61
5.7	Λαμπρότητα ή Φωτεινότητα (Luminance, L)	62
5.7.1	Θάμβωση (Glare, G).	63
5.8	Φωτισμός επιφάνειας ή Στάθμη φωτισμού (Illuminance, E)	64
5.9	Τυπολόγιο Φωτομετρίας.....	65
6.	ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ	66
6.1	Λαμπτήρες πυράκτωσης.....	66
6.1.1	Κοινοί λαμπτήρες πυράκτωσης.....	66
6.1.2	Κατασκευαστικά μέρη λαμπτήρα πυράκτωσης	66
6.1.3	Είδη λαμπτήρων πυράκτωσης.....	68
6.1.4	Λαμπτήρες πυράκτωσης αλογόνου	70
6.1.5	Είδη λαμπτήρων πυράκτωσης αλογόνου	71
6.2	Λαμπτήρες εκκένωσης	73
6.2.1	Λαμπτήρες υδραργύρου χαμηλής πίεσης (φθορισμού).....	74
6.2.2	Ηλεκτρομαγνητικές και Ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις (<i>Ballast</i>)....	75
6.2.3	Είδη Λαμπτήρων Φθορισμού	77
6.2.4	Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης	80
6.2.5	Είδη λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης	81
6.2.6	Λαμπτήρες μικτού φωτισμού	83
6.2.7	Λαμπτήρες ξένου υψηλής πίεσης.....	84

6.2.8	Λαμπτήρες ατμών νατρίου	84
6.2.9	Ανακύκλωση λαμπτήρων εκκένωσης	86
6.3	Λαμπτήρες φωτισμού τύπου LED	89
6.3.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των LED	90
6.3.2	Εφαρμογές λαμπτήρων LED	91
6.4	Σύνοψη χαρακτηριστικών λαμπτήρων	92
7.	ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ	94
7.1	Φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων	94
7.1.1	Φωτιστική απόδοση του φωτιστικού σώματος	94
7.2	Κατηγορίες φωτιστικών σωμάτων	94
7.2.1	Κατάταξη ανάλογα με το ποσοστό της φωτεινής ροής.....	95
7.2.2	Κατάταξη ανάλογα με το βαθμό προστασίας	96
7.2.3	Κατάταξη σύμφωνα με τον τύπο προστασίας από ηλεκτροπληξία	97
7.3	Τύποι φωτιστικών σωμάτων εσωτερικών χώρων.....	97
7.3.1	Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες πυράκτωσης	97
7.3.2	Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού	98
7.3.3	Φωτιστικά ασφαλείας.....	99
7.3.4	Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή νατρίου	101
7.3.5	Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες LED	101
7.3.6	Φωτιστικά σώματα με οπτικές ίνες	101
7.3.7	Υβριδικά φωτιστικά σώματα	102
7.4	Ανταναστροφές.....	103
8.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΛΑΜΠΗΤΗΡΩΝ - ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ	105
8.1	Φωτοτεχνικά κριτήρια	105
8.2	Τεχνικά κριτήρια	109
8.3	Οικονομοτεχνικά κριτήρια	110
8.4	Οικολογικά – Περιβαλλοντικά κριτήρια	111
8.5	Μελέτες φωτισμού με τη μέθοδο της φωτεινής ροής (Favie)	112
8.5.1	Συντελεστής χρησιμοποίησης (η)	112
8.5.2	Συντελεστής συντήρησης (μ)	113
8.5.3	Εύρεση απαιτούμενου αριθμού φωτιστικών σωμάτων	114
9.	ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	115
9.1	Αισθητήρες	115
9.1.1	Αισθητήρες για τη μέτρηση μετακίνησης – θέσης.....	115
9.1.2	Αισθητήρες φωτισμού	116
9.1.3	Πυρανόμετρο.....	117
9.1.4	Πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών μεθόδων μέτρησης	118

9.2	Ενεργοποιητές	119
9.3	Συστήματα ρύθμισης τεχνητού φωτισμού.....	120
9.3.1	Σύγχρονα συστήματα ελέγχου φωτισμού	120
9.3.2	Χειροκίνητος τοπικός και απομακρυσμένος έλεγχος	120
9.3.3	Έλεγχος παρουσίας στο χώρο	121
9.3.4	Έλεγχος με χρονοπρογραμματισμό.....	122
9.3.5	Έλεγχος σύμφωνα με τον εξωτερικό φυσικό φωτισμό	123
9.4	Συστήματα ρύθμισης φυσικού φωτισμού.....	125
9.4.1	Ρυθμιζόμενα σκίαστρα	125
9.4.2	Κινούμενοι ηλιακοί συλλέκτες.....	126
9.5	Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BMS ή BEMS) και φωτισμός	127
9.5.1	«Έξυπνα κτίρια».....	127
9.5.2	BMS - Τι είναι και γιατί τα χρησιμοποιούμε	127
9.5.3	Γενική Αρχιτεκτονική συστημάτων BMS.....	128
9.5.4	Κεντρικό σύστημα παρακολούθησης.....	131
9.5.5	Τοπολογίες επικοινωνιών.....	132
9.5.6	Πρωτόκολλα επικοινωνιών	133
9.5.7	Τα BMS και ο φωτισμός	134
10.	Συμπεράσματα.....	136

1.1 Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 2.1:	Κατανάλωση ενέργειας για το φωτισμό ανάλογα με η χρήση	13
Εικόνα 3.1:	Σχηματική αναπαράσταση των φαινομένων τροχιών του ήλιου.....	22
Εικόνα 3.2:	Γωνία ύψους και αζιμούθιου του ήλιου.....	23
Εικόνα 3.3:	Ηλιακός χάρτης για γεωγραφικό πλάτος 36°	23
Εικόνα 3.4:	Ηλιασμός οικοδομής σε περίπτωση υποχώρησης στο οικόπεδο.....	24
Εικόνα 3.5:	Κτίριο επιμήκες κατά τον άξονα Β-Ν, σε κλιμακωτή διάταξη	24
Εικόνα 3.6:	Επίδραση της θέσης του παραθύρου στην κατανομή φυσικού φωτισμού	25
Εικόνα 3.7:	Διαμόρφωση του ανωφλίου και κατωφλίου των παραθύρων, για να αποφευχθεί η θάμβωση.....	26
Εικόνα 3.8:	Διάφορες διατάξεις ανοιγμάτων οροφής	26
Εικόνα 3.9:	Κατάλληλος σχεδιασμός (α) και προστασία (β) του οριζόντιου ανοίγματος για να αποφευχθεί η θάμβωση.	27
Εικόνα 3.10:	Ο συντελεστής φυσικού φωτισμού για διάφορα σχήματα α) καλυμμάτων και β) ανοιγμάτων.....	27
Εικόνα 3.11:	Προτεινόμενη τοποθέτηση ανοιγμάτων οροφής: α) χώρος χωρίς πλευρικά ανοίγματα, β) χώρος με πλευρικά ανοίγματα, γ) άνοιγμα οροφής κοντά σε βορινό τοίχο συμβάλει στην καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτός, δ) άνοιγμα οροφής σε χώρους με μεγάλο ύψους	28
Εικόνα 3.12:	Κατασκευή με δομικό υαλοστάσιο. Άποψη (α) εξωτερική (β) εσωτερική	29
Εικόνα 3.13:	Παροχή φυσικού φωτός σε ένα αίθριο	29

Εικόνα 3.14: Διαπερατότητα των διάφανων υλικών α)κάθετη πρόσπτωση / κάθετη διαπερατότητα, β) κάθετη πρόσπτωση / ημισφαιρική διαπερατότητα γ) ημισφαιρική πρόσπτωση / ημισφαιρική διαπερατότητα, δ)ανάκλαση.....	30
Εικόνα 3.15: Σχηματική αναπαράσταση πολλαπλών λειτουργιών πρισματικών υαλοπινάκων	30
Εικόνα 3.16: Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ανακατευθύνουν το φως.....	31
Εικόνα 3.17: Σχηματική αναπαράσταση ολογραφικών υαλοπινάκων.....	31
Εικόνα 3.18: (α) Σχηματική αναπαράσταση και (β) χρήση υαλοπινάκων ειδικής επεξεργασίας λείζερ.....	31
Εικόνα 3.19: Εσωτερική διάταξη χώρων κατοικίας – Διαγαμματική κάτοψη και τομή βιοκλιματικού κελύφους	33
Εικόνα 3.20: Κατανομή του φυσικού φωτισμού σε χώρο γραφείου.Ο συντελεστής ανάκλασης υπολογίστηκε για διαφορετικό μέγεθος ανοίγματος και ανάλογα με την ανακλαστικότητα της τοιχοποιίας.....	34
Εικόνα 3.21: Ηλιασμός και σκιασμός από τον περιβάλλοντα χώρο και από προεξοχές, για νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με 10ο απόκλιση προς τη Δύση,στις 12:00 το μεσημέρι το Δεκέμβριο, για γεωγραφικό πλάτος 38ο Β	35
Εικόνα 3.22: Έλεγχος ηλιασμού κατοικιών το Δεκέμβρη για ύψος ηλίου 30°	35
Εικόνα 3.23: Ανακλαστικά ράφια (α) εξωτερικά ή (β) εκατέρωθεν του ανοίγματος.....	36
Εικόνα 3.24: Συντελεστής φυσικού φωτισμού W) με χρήση και WO) χωρίς χρήση ραφιών φωτισμού.....	36
Εικόνα 3.25: α) κάθετες και β) οριζόντιες περσίδες	37
Εικόνα 3.26: Διάφορες διατάξεις περσίδων με ανακλαστική την άνω παρειά τους που συμβάλλουν να οδηγηθεί το φυσικό φως στην οροφή του χώρου.....	38
Εικόνα 3.27: Σκίαστρα με πάνελ.....	39
Εικόνα 3.28: Σκίαστρα με ρόλερ.....	39
Εικόνα 3.29: Ρολό	39
Εικόνα 3.30: Σκίαστρα με φωτοβολταϊκά πάνελ	40
Εικόνα 3.31: Σκίαστρα με φωτοβολταϊκές περσίδες	40
Εικόνα 3.32: Φωτοβολταϊκά που επιτρέπουν τη διέλευση φωτός	40
Εικόνα 3.33: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας φωτοσωλήνα	41
Εικόνα 3.34: Χρήση φωτοσωλήνα σε σταθμό μετρό στη Γερμανία.....	41
Εικόνα 3.35: Εφαρμογή φωτοσωλήνων σε εργοστάσιο στην Ελλάδα	42
Εικόνα 3.36: Εντύπωση φωτισμού εσωτερικού χώρου με φωτοσωλήνες	42
Εικόνα 3.37: Φωτοσωλήνας αλουμινίου.....	43
Εικόνα 3.38: Φωτοσωλήνας οπτικών ινών	44
Εικόνα 3.39: Εύκαμπτος σωλήνας αλουμινίου	44
Εικόνα 3.40:Ταυτόχρονος φυσικός φωτισμός και αερισμός	45
Εικόνα 3.41: Κάτοπτρο ενίσχυσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε φωτοσωλήνες. 46	
Εικόνα 3.42: α) Συλλογή και β) διάθεση φυσικού φωτός σε κτίριο με σύστημα Sunlight-Direct.....	46
Εικόνα 3.43: Μηχανισμός κατακράτησης υπερϊώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας σε σύστημα Himawari.....	47
Εικόνα 3.44: Τα μέρη του συλλέκτη φωτός του συστήματος Himawari.....	47
Εικόνα 3.45: Χρήση του συστήματος Himawari σε οικιακό περιβάλλον	47
Εικόνα 3.46: Πολλαπλοί συλλέκτες Himawari σε οροφή κτιρίου	48
Εικόνα 4.1: Παράσταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	49
Εικόνα 4.2: Ανάλυση του λευκού φωτός	50
Εικόνα 4.3: Αποκλίνουσα, παράλληλη, συγκλίνουσα φωτεινή δέσμη	52
Εικόνα 4.4: Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας σε πειραματική διάταξη.....	53

Εικόνα 4.5: Απεικόνιση χρωματικού τριγώνου CIE	56
Εικόνα 5.1: Απεικόνιση στερεάς γωνίας.....	58
Εικόνα 5.2: Εκπομπή φωτεινής ροής μέσα από στερεά γωνία	58
Εικόνα 5.3: Ένταση φωτεινής πηγής	59
Εικόνα 5.4: Καμπύλη φωτεινής έντασης και φωτομετρικό διάγραμμα.....	60
Εικόνα 5.5: Καμπύλη φωτεινής έντασης λαμπτήρα πυράκτωσης	61
Εικόνα 5.6: Ορισμός προσπίπτουσας γωνίας φωτεινής δέσμης	62
Εικόνα 5.7: Λαμπρότητα επιφάνειας	62
Εικόνα 6.1: Λαμπτήρας πυράκτωσης και τα μέρη που τον αποτελούν	68
Εικόνα 6.2: Διάφοροι τύποι κάλυκα	68
Εικόνα 6.3: Λαμπτήρες καθρέπτη με σκληρό γυαλί α) απλοί και β) έγχρωμοι.....	70
Εικόνα 6.4: α)Λαμπτήρες καθρέπτη και β) ανεστραμμένου καθρέπτη	70
Εικόνα 6.5: Λαμπτήρας ηλιακού φωτός	70
Εικόνα 6.6: Λαμπτήρες αλογόνου χαμηλής τάσης α)αλουμινίου και β)διχρωϊκοί	72
Εικόνα 6.7: Λαμπτήρες αλογόνου α)ευθύγραμμης μορφής, β)μορφής κάψουλας και γ)κοινού κάλυκα.....	72
Εικόνα 6.8: Λαμπτήρες αλογόνου κοινού κάλυκα τύπου καθρέπτη.....	72
Εικόνα 6.9: Ο λαμπτήρας EcoClassic της Philips.....	73
Εικόνα 6.10: Λειτουργία Λαμπτήρα φθορισμού.....	74
Εικόνα 6.11: Εκκινητής (Starter)	75
Εικόνα 6.12: α) Ηλεκτρονικά και β) Συμβατικό Ballast.....	76
Εικόνα 6.13: Φωτιστικό σώμα με περσίδες	76
Εικόνα 6.14: Κοινός λαμπτήρες φθορισμού.....	77
Εικόνα 6.15: Λαμπτήρες T5 και T8	77
Εικόνα 6.16: Σκαφάκι με ανακλαστήρες για χρήση με λαμπτήρες T5	77
Εικόνα 6.17: Ανατομία ενός λαμπτήρα CFL	79
Εικόνα 6.18: Λαμπτήρες φθορισμού α)έγχρωμοι, β)μαύρου φωτός (black light), γ) νέον	80
Εικόνα 6.19: Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης (HQL)	82
Εικόνα 6.20: Φασματική κατανομή λαμπτήρα ατμών υδραργύρου α)απλου, β)βελτιωμένου φάσματος.....	82
Εικόνα 6.21: Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης α)απλοί, β)με μεταλλικά αλογονίδια	83
Εικόνα 6.22: Λαμπτήρες αποστείρωσης, αποθεραπείας τραυμάτων, μαύρου φωτός.....	83
Εικόνα 6.23: Λαμπτήρας ξένου υψηλής πίεσης.....	84
Εικόνα 6.24: Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης.....	85
Εικόνα 6.25: Λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	85
Εικόνα 6.26: Σήμανση ανακυκλώμενου λαμπτήρα	86
Εικόνα 6.27: Ανακύκλωση λαμπτήρων εκκένωσης αερίου και προϊόντα	88
Εικόνα 6.28: Ανακύκλωση λαμπτήρων εκκένωσης αερίου και προϊόντα	88
Εικόνα 6.29: Τυπικά LED	89
Εικόνα 6.30: Λαμπτήρες LED	90
Εικόνα 7.1: Σχηματική παράσταση φωτιστικών σωμάτων με κατανομή φωτός	95
Εικόνα 7.2: Διάφορες μορφές σποτ.....	98
Εικόνα 7.3: Σκαφάκι	98
Εικόνα 7.4: Σκαφάκι με ανταυγαστήρα	98
Εικόνα 7.5: Φωτιστικό σώμα με πλαστικό κάλυμμα	99
Εικόνα 7.6: Φωτιστικό σώμα με περσίδες	99
Εικόνα 7.7: Παράδειγμα τοποθέτησης φωτιστικών ασφαλείας και σήμανσης.....	100
Εικόνα 7.8: Φωτιστικό ασφαλείας με λαμπτήρες LED	100
Εικόνα 7.9: Φωτιστικό σώμα ατμών υδραργύρου	101

Εικόνα 7.10: Διατάξεις φωτισμού με λαμπτήρες LED	101
Εικόνα 7.11: Διάταξη φωτισμού με οπτικές ίνες	102
Εικόνα 7.12: Υβριδικά φωτιστικά σώματα	103
Εικόνα 7.13: Τύποι αντανακλαστήρων	103
Εικόνα 7.14: Κατανομή φωτός με αντανακλαστήρα ευρείας δέσμης.....	104
Εικόνα 7.15: Κατανομή φωτός με αντανακλαστήρα συγκεντρωτικής δέσμης.....	104
Εικόνα 8.1: Παράδειγμα αποκωδικοποίησης χαρακτηριστικών λαμπτήρα φθορισμού	109
Εικόνα 8.2: Ετικέτα ενεργειακής απόδοσης λαμπτήρα	111
Εικόνα 8.3: Εξοικονόμηση και κατανάλωση ενέργειας τυπικών λαμπτήρων	112
Εικόνα 9.1: Περιγραφή λειτουργίας αισθητήρα ανακλώμενης δέσμης	116
Εικόνα 9.2: Ανιχνευτής κίνησης	116
Εικόνα 9.3: Αισθητήρας φωτισμού	117
Εικόνα 9.4: Πυρανόμετρο	118
Εικόνα 9.5: Διάφοροι ενεργοποιητές α) damper actuator, β) ανεμιστήρας, γ) ηλεκτροβάννα, δ) κινητές περσίδες, ε,στ) έλεγχος αερισμού.....	120
Εικόνα 9.6: Συνδεσμολογία αλέ ρετούρ διακόπτη.....	121
Εικόνα 9.7: Συνδεσμολογία φωτοκύτταρου.....	122
Εικόνα 9.8: α) Ψηφιακοί(STT) και β) αναλογικός χρονοδιακόπτης (ETS).....	122
Εικόνα 9.9: Διάγραμμα σύνδεσης χρονοδιακόπτη.....	123
Εικόνα 9.10: Εξοικονόμηση ενέργειας εκμεταλλευόμενοι το φυσικό φωτισμό.....	123
Εικόνα 9.11: Ρυθμιστές έντασης φωτισμού (dimmer).....	124
Εικόνα 9.12: Ο λαμπτήρας DULUX EL VARIO της OSRAM.....	124
Εικόνα 9.13: Παράδειγμα σύνδεσης τμήματος ελέγχου περιοχής φωτισμού	125
Εικόνα 9.14: Σκίαση κτιρίων με ρολά.....	126
Εικόνα 9.15: Σκίαση κτιρίων με περσίδες	126
Εικόνα 9.16: Κινούμενο σύστημα Himawari [3.8.5ii]	126
Εικόνα 9.17: Δομή ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (chip) μικροελεγκτή.....	129
Εικόνα 9.18: Γενική αρχιτεκτονική συστήματος BMS.....	130
Εικόνα 9.19: Περισσότερο αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική συστήματος BMS.....	130
Εικόνα 9.20: Γενική Διάταξη BMS.....	131
Εικόνα 9.21: Ποικίλα περιβάλλοντα παρακολούθησης συστήματος BMS	132
Εικόνα 9.22: Τοπολογίες επικοινωνιών	133
Εικόνα 9.23: Γενική διάταξη συστήματος BMS.....	134
Εικόνα 9.24: Διάταξη συστήματος BMS σε εμπορικό κέντρο	135

1.2 Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 2.1: Απαιτούμενες επί μέρους μελέτες της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίου	15
Πίνακας 2.2: Απαιτήσεις φωτισμού κτιρίου (εκτός κατοικίας)	16
Πίνακας 2.3: Τυπικές τιμές ωρών λειτουργίας ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια ύπαρξης φυσικού φωτισμού (T_D) και μή (T_N)	18
Πίνακας 3.1: Συντελεστής ανάκλασης ορισμένων οικοδομικών υλικών	34
Πίνακας 3.2: Ανακλαστικότητα ορισμένων χρωμάτων και έγχρωμων οικοδομικών υλικών .	34
Πίνακας 3.3: Ενδεικτικές τιμές φωτοσωλήνων.....	43
Πίνακας 4.1: Ολικό φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	50
Πίνακας 4.2: Φάσμα ορατού φωτός	51
Πίνακας 4.3: Πίνακας συντελεστών ανάκλασης επιφανειών που φωτίζονται από λευκό φως	54

Πίνακας 4.4: Πίνακας συντελεστών διαχέουσας ανάκλασης χρωματιστών επιφανειών που φωτίζονται από λευκό φως.....	54
Πίνακας 4.5: Πηγές φωτισμού και θερμοκρασία χρώματος.....	57
Πίνακας 5.1: Τιμές μέσης λαμπρότητας φωτεινών πηγών.....	63
Πίνακας 5.2: Σχέσεις φωτομετρίας.....	65
Πίνακας 6.1: Συγκριτικός πίνακας λαμπτήρων πυρακτώσεως και λαμπτήρων αλογόνου κοινού κάλυκα.....	72
Πίνακας 6.2: Πίνακας αντιστοίχισης ονομαστικής ισχύος κοινού.....	73
Πίνακας 6.3: Λαμπτήρες CFL α) κοινοί, β) με ενσωματωμένο φωτοκύτταρο.....	79
Πίνακας 6.4: Ενδεικτικοί τύποι LED.....	90
Πίνακας 6.5: Σύγκριση καταλληλότητας λαμπτήρων LED με κοινούς λαμπτήρες φθορισμού και πυράκτωσης ανάλογα με τις απαιτήσεις.....	93
Πίνακας 7.1: Διάκριση φωτιστικών σωμάτων ως προς την κατανομή φωτεινής ροής.....	96
Πίνακας 7.2: Βαθμοί προστασίας φωτιστικών σωμάτων από στερεά και υγρά σώματα.....	97
Πίνακας 7.3: Κλάσεις προστασίας φωτιστικών σωμάτων από ηλεκτροπληξία.....	97
Πίνακας 8.1: Δείκτες χρωματικής απόδοσης και ποιότητας λαμπτήρα.....	105
Πίνακας 8.2: Συνδυασμοί δείκτη Ra και θερμοκρασίας χρώματος για διάφορες εφαρμογές.....	106
Πίνακας 8.3: Δημιουργία αισθημάτων λόγω διαφορών φωτισμού.....	107
Πίνακας 8.4: Συνιστώμενες τιμές φωτεινής έντασης ανάλογα με το είδος δραστηριότητας.....	107
Πίνακας 8.5: Απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού σε Lux ανά είδος εργασίας.....	108
Πίνακας 8.6: Τυπικά μεγέθη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας.....	111
Πίνακας 8.7: Συντελεστής ανάκλασης τοίχων και οροφής.....	113
Πίνακας 8.8: Ενδεικτικός πίνακας εύρεσης συντελεστή χρησιμοποίησης.....	114
Πίνακας 9.1: Ηλεκτρολογικά σύμβολα διακοπών.....	121
Πίνακας 9.2: Πλεονεκτήματα ΚΣΠ σε συστήματα BMS.....	132

1.3 Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια προσπάθεια των δυνατοτήτων εξοικονόμηση ενέργειας από το φωτισμό κτιρίων. Πρώτα επισημαίνεται η μεγάλη σημασία του φωτισμού στην κατανάλωση ενέργειας και την καθημερινή ζωή. Αυτό έχει αναγνωριστεί από την ελληνική νομοθεσία για την ενεργειακή απόδοση που έχει θέσει κάποια πρότυπα για την ενεργειακή αποδοτικότητα στο φωτισμό.

Έχει περιγραφεί η σημασία του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό κτιρίων όπως επίσης και οι τρόποι αύξησης της χρήσης του.

Ο τεχνητός φωτισμός είναι μια πρόοδος των τελευταίων 150 χρόνων. Προκειμένου να κατανοηθεί η αποτελεσματική χρήση των πηγών του, έχει παρασχεθεί μια σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών του φωτός. Επιπλέον περιγράφονται τα φυσικά μεγέθη που απαιτούνται για την αξιολόγηση του τεχνητού φωτισμού. Αυτή η γνώση μπορεί να βοηθήσει οποιονδήποτε να καταλάβει τα τεχνικά εγχειρίδια των λαμπτήρων.

Περιγράφονται οι κύριες τεχνολογίες φωτισμού (λάμπες πυρακτώσεως αλογόνου, λαμπτήρες φθορισμού, LED), τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και οι συνήθειες εφαρμογές τους και παρουσιάζονται σε συγκριτικούς πίνακες ώστε να βοηθηθεί ο αναγνώστης στην επιλογή της καταλληλότερης λύσης.

Υπάρχει μια πολύ στενή σχέση μεταξύ του επιλεγμένου λαμπτήρα και του φωτιστικού που προορίζεται. Η δομή του συστήματος φωτισμού μπορεί να μειώσει σημαντικά την αξία του λαμπτήρα. Έτσι παρατίθενται κάποιες ιδέες ως προς το ποια φωτιστικά είναι πιο κατάλληλα για την χρήση που προορίζονται.

Αναφέρονται επίσης τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών πηνίων, των ανακλαστήρων και άλλων υλικών που βελτιώνουν την απόδοση της πηγής

Στη συνέχεια περιγράφονται τα κριτήρια για την καταλληλότερη επιλογή λαμπτήρα και φωτιστικού.

Τέλος περιγράφεται η σημασία των συσκευών αυτοματισμού στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Υπάρχουν αυτοματισμοί που μπορούν να ενεργήσουν είτε τοπικά ή ενσωματωμένοι σε ένα σύστημα διαχείρισης κτιρίου. Υπάρχουν συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, άλλες να ανιχνεύσουν παρουσία σε ένα χώρο ή να ρυθμίσουν την ένταση του φωτός στα επιθυμητά επίπεδα.

Τελευταίο αλλά όχι ασήμαντο η συντήρηση της εγκατάστασης φωτισμού μειώνει το ενεργειακό κόστος και βελτιώνει την οπτική άνεση.

Overview

This thesis presents a review of the energy saving opportunities lighting. First, the high importance of lighting in energy consumption and everyday life has been pinpointed. This has been recognized by the Greek Energy efficiency legislation which has set some standards for energy efficiency in lighting.

The importance of natural lighting inside buildings has been also described and new ways of increasing its use have been described.

Artificial lighting is a progress of the latest 150 years, in order to understand how to use more efficiently its sources, a short description of the light's attributes has been provided. Additionally, the physical quantities and units necessary to evaluate artificial lighting have been described. Such knowledge can help a lighting installer understand the data sheets of both bulbs and lighting sources.

The major lighting technologies (i.e. incandescent bulbs, halogen, metal-halide, Fluorescent and LED lamps) have been described in this thesis. Their special characteristics and their usual applications have been described along with a summary table to help the readers match the most appropriate solution for their applications.

There is a very close relationship between the selected bulb and the artificial lighting source. The structure of the lighting device may decrease significantly the value of the bulb used even though the latter has been very carefully selected. Thus, some ideas on which lighting devices are more suitable for each use have been provided. Advances in ballasts, reflectors and other materials which improve the efficiency of the lighting source have been also described.

Then the criteria for the most suitable selection of lighting device and bulb combination are described.

Finally, the importance of automation devices, sensors and actuators in further improvement of energy efficiency is described. There are automations which can either act individually or can be embedded in a Building Management System. There are devices which can be used for exploiting natural lighting, others which can detect presence in a room or to dim the light to improve visual comfort.

Last but not least, maintenance of the lighting installation will decrease energy costs and improve visual comfort.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η γνωριμία με τα βασικά φωτοτεχνικά μεγέθη, η κατάλληλη επιλογή λαμπτήρων και φωτιστικών σωμάτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις και την ενεργειακή τους ταυτότητα, καθώς και πως αυτή η επιλογή μπορεί να συνδυαστεί μέσω πλήθους αυτοματισμών με τα φυσικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και τα επίπεδα φυσικού φωτισμού που μπορεί να μας προσφέρει κάθε χώρος, ανάλογα με τη σχεδίαση του, με απώτερο σκοπό τα βέλτιστα επίπεδα φωτισμού στο χαμηλότερο ενεργειακό κόστος.

2.1 Η σημασία του φωτισμού στη ζωή μας

Ο μεγαλύτερος όγκος των ερεθισμάτων που δεχόμαστε είναι οπτικής φύσεως. Έρευνες έχουν αποδείξει πως το 85% των πληροφοριών που παίρνουμε από το περιβάλλον τις παίρνουμε από την όραση και μόνο το 15% με τις υπόλοιπες τέσσερις αισθήσεις. Φαίνεται λοιπόν πόσο σημαντική είναι η σημασία του φωτισμού στην ζωή μας και πόσο η σωστή εφαρμογή του μπορεί να βοηθήσει όχι μόνο στην δημιουργία άνετου φωτεινού περιβάλλοντος, αλλά και να συμβάλλει αποφασιστικά στην ψυχοσωματική μας ισορροπία και διάθεση.

Σωστός φωτισμός σημαίνει τρία πράγματα:

1. Οπτική άνεση, δηλαδή επάρκεια φωτισμού που επιτρέπει στην όραση μας να λειτουργεί χωρίς πρόβλημα
2. Σωστή απόδοση του περιβάλλοντος και της αρχιτεκτονικής του χώρου
3. Αισθητική θεατρικότητα και σκηνική παρουσία του χώρου

Για να φωτίσουμε σωστά κάθε χώρο πρέπει να εφαρμόσουμε σωστά τέσσερα είδη φωτισμού.

- Πρώτα τον «γενικό άπλετο φωτισμό» που μας επιτρέπει να κινούμαστε, και να ζούμε με οπτική άνεση.
- Κατόπιν τον «τοπικό φωτισμό εργασίας» όπου αυτός είναι απαραίτητος.
- Τρίτος στην σειρά έρχεται ο «ατμοσφαιρικός φωτισμός» που βοηθάει στο να φτιάξουμε "ζεστές γωνιές" στο χώρο αυτό
- Και τέλος έρχεται ο «θεατρικός φωτισμός» που συμβάλλει στο να τονίσουμε αισθητικά διάφορα σημεία του χώρου και να δημιουργήσουμε διακοσμητικά εφέ.

Οι διακοσμητικές εφαρμογές του φωτισμού (ατμοσφαιρικός και θεατρικός φωτισμός) είναι θέμα της δικής μας δημιουργικής φαντασίας. Ωστόσο τα δύο πρώτα είδη φωτισμού τα εφαρμόζουμε με πρωταρχικό γνώμονα την κάλυψη των φωτιστικών μας αναγκών και αποτελούν αντικείμενα φωτομετρικής μελέτης.

Ένας άλλος διαχωρισμός του φωτισμού που μπορεί να γίνει είναι σύμφωνα με την προέλευσή του. Έτσι τον χωρίζουμε:

- Στον **φυσικό φωτισμό** τον οποίο παίρνουμε από τον ήλιο.
- Στον **τεχνητό φωτισμό** τον οποίο παίρνουμε από τεχνητές πηγές.

Κάνοντας μία μικρή αναδρομή στην ιστορία της αρχιτεκτονικής, θα δούμε ότι η μορφή, το σχήμα, οι επιλογές των υλικών και των χρωμάτων έχουν πάντα σχέση με την εισαγωγή του φυσικού φωτός μέσα στα κτίρια. Τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού και η χωροθέτηση των δραστηριοτήτων αποτελούσαν για πολλούς αιώνες συστατικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής επίλυσης, με τα ανοίγματα να αποτελούν κυρίαρχο στοιχείο του κτιρίου. Τα υλικά κατασκευής (πέτρα και ξύλο) καθόριζαν αυτή τη σχέση, με αποτέλεσμα το φως να υπάρχει σχεδόν μόνο όπου ήταν απαραίτητο για τη λειτουργία του χώρου.

Με την εφεύρεση του λαμπτήρα πυρακτώσεως από τον Thomas Edison το 1879, τα πράγματα στην ιστορία του φωτισμού αλλάζουν. Το τεχνητό φως, ως απόλυτα ελεγχόμενο

μέσο, αντικαθιστά τα παράθυρα, τους φεγγίτες, τα ανοίγματα οροφής. Ο φωτισμός των χώρων δεν εξαρτάται πια από τη σχέση των ανοιγμάτων με το εξωτερικό περιβάλλον και το περιβάλλον. Η βιομηχανοποίηση, η μαζική παραγωγή και η δημιουργία νέων κατασκευαστικών υλικών και νέων τεχνολογικών δυνατοτήτων οδηγούν σε κτίρια με μεγαλύτερο βάθος, χαμηλότερο ύψος, που λειτουργούν ανεξάρτητα από το γύρω τους περιβάλλον και αδιάφορα προς αυτό.

Το μοντέρνο κίνημα από τις αρχές του 20ου αιώνα θα χρησιμοποιήσει τα επιτεύγματα της νέας τεχνολογίας με τρόπο δημιουργικό ώστε να εξελιχθεί η μορφή και η λειτουργία της κατοικίας και των άλλων κτιριακών μορφών, ενσωματώνοντας παράλληλα παραμέτρους κλιματικές και στοιχεία από το περιβάλλον.

Οι τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα αντίθετα χαρακτηρίζονται από μια οικονομία στο κόστος, τα υλικά, το χρόνο κατασκευής, όχι όμως και στον τομέα της ενέργειας, με τα συστήματα φυσικού φωτισμού να αγνοούνται τελείως και να δίνουν τη θέση τους στον τεχνητό φωτισμό. Ο τεχνητός φωτισμός όμως όταν χρησιμοποιείται αλόγιστα εκτός από το μεγάλο του λειτουργικό κόστος στον κτιριακό τομέα, έχει αποδειχθεί ότι συνδέεται με πολλά προβλήματα που εμφανίζονται στον άνθρωπο, όπως χρόνιοι πονοκέφαλοι, κόπωση, αλλεργίες, νόσο των Λεγεωνάριων, οφθαλμικά προβλήματα.

Έτσι τις τελευταίες δεκαετίες η αρχιτεκτονική σε παγκόσμιο επίπεδο κυριαρχείται από την εφαρμογή νέων τεχνολογιών και υλικών με στόχο τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου. Στο ενεργειακό πρόβλημα δίνεται απάντηση με κτίρια βιοκλιματικά, που προσαρμόζονται στο περιβάλλον και αξιοποιούν τους διαθέσιμους πόρους.

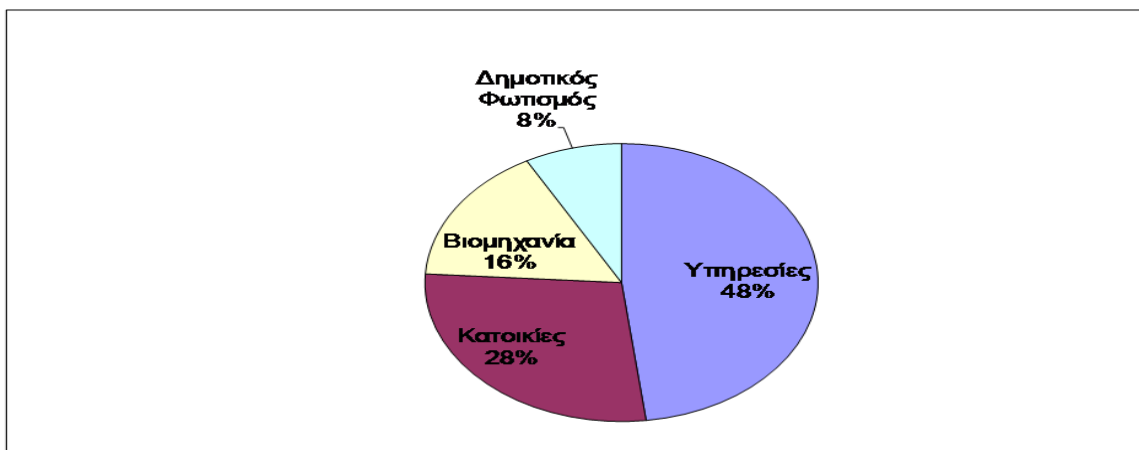
2.2 Η σημασία του φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας

Ο φωτισμός μπορεί να αγγίζει μέχρι και το 35% της συνολικής κατανάλωσης ενός κτιρίου ανάλογα με το είδος των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα μέσα σε αυτό. Η σωστή διαχείριση του φωτισμού είναι ένας από τους ευκολότερους τρόπους για να επιτευχθεί ουσιαστική εξοικονόμηση ενέργειας με πολύ μικρή επένδυση, συγκριτικά με άλλους τομείς και είναι ένα από τα πιο κοινά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που λαμβάνονται.

Για να υπογραμμιστεί η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό αρκεί να αναφερθεί ότι στον κύκλο ζωής μιας τυπικής εγκατάστασης φωτισμού το 3% των εξόδων αποτελούν το κόστος της αρχικής επένδυσης, ενώ το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας αποτελεί το 86%. Για να είναι επομένως ο σχεδιασμός του φωτισμού αποτελεσματικός, θα πρέπει όχι μόνο να εκπληρώνονται οι απαιτήσεις για τη δημιουργία ενός ποιοτικού χώρου, που έχει θετική επίπτωση στην ψυχολογική κατάσταση όσων ζουν ή εργάζονται σε αυτόν αλλά και η εγκατάσταση να καταναλώνει την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια.

Ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου διαφέρει και το ποσοστό που αντιστοιχεί στη συνολική κατανάλωση ενέργειας κτιρίων για το φωτισμό όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι κατηγορίες αυτές που έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο θα πρέπει να λαμβάνουν και τα πιο δραστικά μέτρα.

Με την αυξομειούμενη τάση στις τιμές του πετρελαίου, που συμπαρασύρουν και εκείνες του φυσικού αερίου, αλλά και την όλο και μεγαλύτερη ενεργειακή ζήτηση, ιδίως εκ μέρους των ταχέως αναπτυσσόμενων χωρών της ΝΑ Ασίας και την απειλητική αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η επιταγή για λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στον αναπτυσσόμενο κόσμο είναι πιο επιτακτική όσο ποτέ.



Εικόνα 2.1: Κατανάλωση ενέργειας για το φωτισμό ανάλογα με η χρήση

2.3 Η σημασία του φωτισμού για τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ)

2.3.1 Θεσμικό πλαίσιο – Τι είναι ο ΚΕΝΑΚ

Με τον Νόμο 3661- «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων» ΦΕΚ 89/19 Μαΐου 2008, εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» (ΕΕ L1 της 4.1.2003).

Ο Νόμος 3661 ενσωματώνει όλες τις διατάξεις της Οδηγίας, προβλέπει την έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων και διακρίνει πέντε βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν

1. στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και
2. στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 3) νέων και υφιστάμενων κτιρίων (άρθρα 4 και 5),
3. στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 6),
4. στις επιθεωρήσεις των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού (άρθρα 7 και 8) και
5. στην πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών (άρθρο 9).

2.3.2 Το κτίριο αναφοράς και το σύστημα φωτισμού

Ως κτίριο αναφοράς ορίζεται ένα κτίριο με την ίδια χρήση, προφίλ λειτουργίας, γεωμετρία (επιφάνεια χρήσιμων και κοινόχρηστων χώρων, επιφάνεια κλιματιζόμενων χώρων, επιφάνεια εξωτερικών τοίχων, επιφάνεια δαπέδων & επιφάνεια οροφής) και προσανατολισμό εξωτερικών δομικών στοιχείων, με το υπό σχεδίαση και μελέτη νέο κτίριο.

Το κτίριο αναφοράς έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά στοιχεία του όσο και στις εγκαταστάσεις Θέρμανσης/Ψύξης/Κλιματισμού (ΘΨΚ) καθώς και εγκαταστάσεις παραγωγής Ζεστού Νερού Χρήσης (ΖΝΧ). Για τα κτίρια εκτός κατοικίας, στο κτίριο αναφοράς περιλαμβάνονται και πρόσθετες απαιτήσεις για την χρήση και τις εγκαταστάσεις φωτισμού.

Το κτίριο αναφοράς καταλαμβάνει πάντα την κατηγορία Β, στην Ενεργειακή Ταξινόμηση.

Για τα κτίρια κατοικιών η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό δεν λαμβάνεται υπόψη ενώ συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς του ψυκτικού φορτίου.

Για τα κτίρια αναφοράς του τριτογενή τομέα ισχύουν τα εξής:

- Η στάθμη και η αντίστοιχη εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς.
- Ο φωτισμός γίνεται με λαμπτήρες φθορισμού, οι οποίοι διαθέτουν ηλεκτρονικό στραγγαλιστικό πηνίο με δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EEI) κατηγορίας A3. Εξαιρέση αποτελούν οι χώροι με ειδικές απαιτήσεις φωτισμού, όπως χειρουργεία, εμπορικά καταστήματα κ.α., όπου ο φωτισμός του κτιρίου αναφοράς λαμβάνεται όπως στο εξεταζόμενο κτίριο.
- Σε κοινόχρηστους χώρους ο έλεγχος του φωτισμού στο κτίριο αναφοράς απαιτείται να γίνεται με αυτόματο διακόπτη και αισθητήρα παρουσίας. Στις υπόλοιπες χρήσεις, καθώς και στους χώρους φυσικού φωτισμού, ο έλεγχος γίνεται με χειροκίνητο διακόπτη.
- Για κάθε χώρο φυσικού φωτισμού με επιφάνεια άνω των 25 m², ο τεχνητός φωτισμός που καλύπτει το χώρο πρέπει να ελέγχεται με χωριστούς διακόπτες, και να εξασφαλίζεται η δυνατότητα σβέσης του 50% των λαμπτήρων του χώρου.
- Το κτίριο αναφοράς ξενοδοχείου διαθέτει σύστημα ελέγχου ηλεκτροδότησης δωματίων μέσω ηλεκτρονικών καρτών.
- Το κτίριο αναφοράς τριτογενή τομέα, για κτίρια με επιφάνεια πάνω από 3.500 τμ., διαθέτει σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου (BEMS), για τον κεντρικό έλεγχο της λειτουργίας των Η/Μ εγκαταστάσεων.
- Λεπτομέρειες 5ο κεφάλαιο της οδηγίας TOTEE 20701-1/2010

2.3.3 Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου

Ο έλεγχος και η αξιολόγηση της απόδοσης του ενεργειακού σχεδιασμού επιτυγχάνεται με την Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης, η οποία εκπονείται κατά την αρχική φάση της μελέτης του κτιρίου, και συνδέεται άμεσα με την αρχιτεκτονική μελέτη και τη μελέτη των Η/Μ εγκαταστάσεων, διασφαλίζοντας έτσι την ορθότητα και τη συμβατότητα των μελετών, τη μείωση των πιθανοτήτων αστοχίας της κατασκευής και τη βελτιωμένη ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση. Η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης θα πρέπει να συνάδει με τον επιδιωκόμενο, από το Νόμο, στόχο για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης:

- εκπονείται τόσο για νέα όσο και για υφιστάμενα ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια άνω των 1000 τμ. (Ν. 3661, άρθρο 4, άρθρο 5), του οικιακού και του τριτογενή τομέα,
- αντικαθιστά την υφιστάμενη Μελέτη Θερμομόνωσης (άρθρο 13, Ν. 3661) και θα συμπεριλαμβάνεται στο φάκελο που υποβάλλεται στην αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία για την έκδοση οικοδομικής άδειας. Ο έλεγχος, η έγκριση και η παρακολούθηση της εφαρμογής της μελέτης ενεργειακής απόδοσης θα γίνεται σύμφωνα με τα ισχύοντα για την έκδοση οικοδομικών αδειών,
- δεν αναιρεί τις σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις εκπονούμενες μελέτες αλλά αποτελεί πρόσθετη μελέτη επί των μελετών: Αρχιτεκτονικής, Διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου, Θέρμανσης, Ψύξης, Ζεστού νερού Χρήσης και **Τεχνητού Φωτισμού**.

Στη Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης πρέπει να τεκμηριώνεται ότι το κτίριο ικανοποιεί τις υποχρεωτικές απαιτήσεις (όρια κατανάλωσης ενέργειας), ώστε να κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Β, όπως ορίζονται στον Κανονισμό.

Σύμφωνα με το Άρθρο 3, παρ. 2 και 3, η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης πραγματοποιείται α) για το κτιριακό κέλυφος και β) για τις Η/Μ εγκαταστάσεις.

α) Ο ενεργειακός σχεδιασμός του **κτιριακού κελύφους** θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- τη θέση και τον προσανατολισμό του κτιρίου,
- τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες,
- τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών του στοιχείων,
- την αεροστεγανότητα,
- το φυσικό αερισμό και εξαερισμό,
- τα παθητικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία,
- τις επιδιωκόμενες εσωτερικές κλιματικές συνθήκες

β) Ο ενεργειακός σχεδιασμός των **Η/Μ εγκαταστάσεων** αφορά:

- στα συστήματα Θέρμανσης και Ψύξης, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού κελύφους (με τις μέσες ελάχιστες και μέσες μέγιστες ωριαίες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος της περιοχής, για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα),
- στο σύστημα παραγωγής ΖΝΧ και
- **στο σύστημα τεχνητού φωτισμού.**

Πέραν των ανωτέρω υποχρεωτικών μελετών και παραμέτρων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, μπορούν να συνυπολογίζονται, κατά περίπτωση, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, άλλα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτροπαραγωγής που βασίζονται σε ΑΠΕ, τα συστήματα ΣΗΘ, τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου (τηλεθέρμανση, τηλεψύξη) καθώς και **η συμβολή του φυσικού φωτισμού.**

Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης	ΤΕΥΧΟΣ Α Ενεργειακός σχεδιασμός κτιριακού κελύφους	ΤΕΥΧΟΣ Β Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας στις Η/Μ εγκαταστάσεις			
		Μελέτη ενεργειακής αποδοτικότητας συστήματος θέρμανσης	Μελέτη ενεργειακής αποδοτικότητας συστήματος ψύξης (*)	Μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης συστήματος παραγωγής ΖΝΧ	Μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης συστήματος τεχνητού φωτισμού
Χρήση κτιρίου					
Γραφεία	✓	✓	✓		✓
Εκπαιδευτικό κτίριο Πρωτοβάθμιας / Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης	✓	✓	✓		✓
Εκπαιδευτικό κτίριο Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης	✓	✓	✓		✓
Νασοκομείο - Κλινική	✓	✓	✓	✓	✓
Διαγνωστικό κέντρο - Ιατρείο	✓	✓	✓	✓	✓
Ξενοδοχείο	✓	✓	✓	✓	✓
Εμπορικό κατάστημα	✓	✓	✓		✓
Αθλητική εγκατάσταση: Κλειστό γυμναστήριο	✓	✓	✓	✓	✓
Αθλητική εγκατάσταση: Κλειστό κολυβητήριο	✓	✓	✓	✓	✓
Μονοκατοικία	✓	✓	✓	✓	
Πολυκατοικία	✓	✓	✓	✓	
Αεροδρόμιο	✓	✓	✓		✓

Πίνακας 2.1: Απαιτούμενες επί μέρους μελέτες της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης κτιρίου

Παρατήρηση:

Παρατηρούμε ότι ο ΚΕΝΑΚ δε προβλέπει μελέτη ενεργειακής κατανάλωσης φωτισμού για κατοικίες. Αυτό συμβαίνει διότι συγκριτικά με τις άλλες κατηγορίες χρήσης κτιρίων η κατανάλωση φωτισμού στις κατοικίες είναι πολύ χαμηλή. Αυτό δε σημαίνει ότι μια προσεκτική μελέτη φωτισμού δεν προσφέρει μεγάλα ενεργειακά οφέλη και στις κατοικίες.

2.3.4 Ενεργειακή επιθεώρηση συστημάτων φωτισμού

i) Ελάχιστες απαιτήσεις

Για τον ορθό σχεδιασμό και τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση των συστημάτων τεχνητού φωτισμού, δίνεται πίνακας ελαχίστων απαιτήσεων, για κτίρια εκτός κατοικιών, που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή ή την ανακαίνιση ενός κτιρίου. Στον Πίνακα 2.2 δίνονται η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς (W/m^2) γενικού φωτισμού και η στάθμη φωτισμού (lux) για διάφορους χώρους του κτιρίου αναλόγως της λειτουργίας τους. Η τιμή της στάθμης φωτισμού, που δίνεται για κάθε χώρο, είναι η μέση απαιτούμενη εργονομική στάθμη. Τα κριτήρια φωτισμού περιγράφονται αναλυτικά στο EN 12464-1:2002. Επιλεγμένες τιμές του EN 12464-1: 2002 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα .

Χρήση κτιρίου	Χρήση Χώρου	Στάθμη Φωτισμού (lux)	Εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού (W/m^2)	Επίπεδο μέτρησης (m)
Κτίρια Γραφείων	Γραφεία	500	15	0.80
	Γραφεία open plan	500		
	Αίθουσες συνεδριάσεων	500		
Σχολεία – Εκπαιδευτικά ιδρύματα	Αίθουσες διδασκαλίας	300	15	0.80
	Αίθουσες διδασκαλίας ενηλίκων	500		
	Αίθουσες διαλέξεων	500		
Νοσοκομεία	Θάλαμος	100	15	0.80
	Εξεταστήριο	300		
	Εξέταση και Θεραπεία	1000		
Ξενοδοχεία	Αίθουσες εστιάσεων	-	10	
Αθλητικές εγκαταστάσεις	Αίθουσα άθλησης	300	10	0.10
Εμπορικά καταστήματα	Χώρος πωλήσεων	300	10	0.80
	Χώρος ταμείου	500		
Χώροι κυκλοφορίας κοινού	Διάδρομοι	100	15	0.10
	Σκάλες	150		

Πίνακας 2.2: Απαιτήσεις φωτισμού κτιρίου (εκτός κατοικίας)

ii) Διαδικασία επιθεώρησης συστήματος φωτισμού

Η ενεργειακή επιθεώρηση του συστήματος φωτισμού πραγματοποιείται στο πλαίσιο της επιθεώρησης και της ενεργειακής πιστοποίησης του κτιρίου.

Για το σύστημα φωτισμού, για κάθε ζώνη αλλά και στο σύνολο του κτιρίου καταγράφονται οι εξής παράμετροι:

- Η εγκατεστημένη ισχύς των λαμπτήρων και των φωτιστικών του χώρου (W),
- Η φωτεινή δραστηριότητα [lm/W] των λαμπτήρων, ανά τύπο λαμπτήρα, όπως αναγράφεται στις τεχνικές προδιαγραφές.

- Τα συστήματα ελέγχου λειτουργίας φωτισμού, όπως αισθητήρες στάθμης φωτισμού [Ix], αισθητήρες παρουσίας, χρονοδιακόπτες (ανάλογα με το ωράριο λειτουργίας του κτηρίου), σκίαση κ.ά.
- Το ποσοστό του χώρου που λαμβάνεται ως ζώνη φυσικού φωτισμού. Εκτιμάται το ποσοστό του κτιρίου ή της θερμικής ζώνης για το οποίο οι απαιτήσεις φωτισμού μπορούν να καλυφθούν με φυσικό φως από τα διαθέσιμα ανοίγματα.
- Η δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο. Ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου ή της θερμικής ζώνης εκτιμώνται οι ώρες που υπάρχει διαθέσιμος φυσικός φωτισμό T_D , όπως ορίζεται στον Πίνακα 2.3.
- Η απαίτηση για τεχνητό φωτισμό σε ένα χώρο. Ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και τις ώρες λειτουργίας του κτηρίου ή μιας ζώνης εκτιμώνται οι ώρες T_N που δεν υπάρχει διαθέσιμος φυσικός φωτισμό και είναι απαραίτητη η χρήση τεχνητού φωτισμού του χώρου, όπως ορίζεται στον Πίνακα 2.3.

Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Ώρες λειτουργίας ημέρας (T_D)	Ώρες λειτουργίας νύκτας (T_N)	Σύνολο ωρών ($T_T = T_D + T_N$)
		[h]	[h]	[h]
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο	1367	0	1367
	Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, δευτεροβάθμια εκπαίδευσης	1560	0	1560
	Τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας	1950	667	2617
	Φροντιστήριο, ωδείο	780	585	1365
Υγείας και κοινωνικής πρόνοια	Νοσοκομείο, κλινική	3276	4295	7571
	Αίθουσα ασθενών (5ωμάτια)	3276	3276	6552
	Χειρουργείο (τακτικό)	0	2080	2080
	Εξωτερικών ιατρείων	1560	520	2080
	Αγροτικό ιατρείο, υγιεινομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο	2340	780	3120
	Ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφονομείο	3276	4295	7571
Σωφρονισμού	Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	1430	477	1907
	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή	3276	3713	6989
Εμπορίου	Αστυνομική διεύθυνση	3276	2548	5824
	Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	2498	1248	3744
	Κατάστημα, φαρμακείο	1560	1248	2808
Γραφείων	Ινστιτούτο γυμναστικής, κούρσες, κομμωτήριο	2498	1248	3744
	Γραφείο	2080	520	2600
Βιομηχανίας & βιοτεχνίας	Βιβλιοθήκη	1040	520	1560
	Συνεργείο συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφείο, ξυλουργείο	2498	1248	3744
	Παρασκευαστήριο τροφίμων	2498	1248	3744
	Καθαριστήριο, σιδερωτήριο, οργανωμένο πλυντήριο ενδυμάτων	2498	1248	3744
Αποθήκευσης	Αποτελέσ κέντρο μηχανογράφησης	0	4368	4368
	Γενική αποθήκη, αποθήκη καταστήματος, αποθήκη μουσείου	0	3494	3494
Στάθμευσης & πρατηρίων καυσίμων	Χώρος στάθμευσης, πρατήριο υγρών καυσίμων, πλυντήριο αυτοκινήτων	2498	1872	4368

Βασικές κατηγορίες κτηρίων	Χρήσεις κτηρίων ή θερμικών ζωνών	Ώρες λειτουργίας ημέρας (T_D)	Ώρες λειτουργίας νύκτας (T_N)	Σύνολο ωρών ($T_T = T_N + T_D$)
		[h]	[h]	[h]
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	2912	2912	5824
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	3276	3713	6989
	θερινής λειτουργίας	2123	1953	4077
	χειμερινής λειτουργίας	1941	2718	4659
	Ξενώνας ετήσιας λειτουργίας	3276	3713	6989
	θερινής λειτουργίας	2123	1953	4077
	χειμερινής λειτουργίας	1941	2718	4659
	Οικτροφείο και κοιτώνας	3276	3713	6989
	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου, οικτροφείου κ.ά.	1456	2912	4368
Συνάθροισης κοινού	Κοινόχρηστος χώρος ξενοδοχείου, οικτροφείου κ.ά.	3276	5460	8736
	Εστιατόριο	1820	2548	4368
	Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	2912	2548	5460
	Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή	0	1248	1248
	Θέατρο, κινηματογράφος	0	2548	2548
	Χώρος συναυλιών	0	2184	2184
	Χώρος εκθέσεων, μουσείο	1820	364	2184
	Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	1300	260	1560
	Τράπεζα	1300	780	2080
	Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	1248	936	2184
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό καλυμβητήριο	2912	2184	5096	
Λουτρό (κοινόχρηστο)	2912	2184	5096	

Πίνακας 2.3: Τυπικές τιμές ωρών λειτουργίας ενός κτιρίου κατά τη διάρκεια ύπαρξης φυσικού φωτισμού (T_D) και μή (T_N)

Όσον αφορά στην ηλεκτρική κατανάλωση, συνήθως, δεν είναι δυνατό να μετρηθεί αναλυτικά. Τα δεδομένα για την ενεργειακή κατανάλωση των λαμπτήρων και των στραγγαλιστικών διατάξεων θα πρέπει να λαμβάνονται από καταλόγους κατασκευαστών. Τα δεδομένα που συλλέγονται θα πρέπει να δίνουν την δυνατότητα να υπολογισθεί η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για φωτισμό (σε kW) και η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για φωτισμό (σε kWh/yr) στο κτίριο.

Η καταγραφή των φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων πραγματοποιείται ανά ενότητα χώρων ενιαίας χρήσης και λειτουργικού ωραρίου.

Η έκθεση αποτελείται από το συμπληρωμένο έντυπο καταγραφής στοιχείων, περιλαμβανομένων των συστάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος.¹

Σχέδιο εντύπου Ενεργειακής Επιθεώρησης του συστήματος φωτισμού δίδεται παρακάτω.

1. Γενικά Στοιχεία		
ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	Γραφείο-κτίριο υπηρεσιών <input type="checkbox"/>	Αθλητική εγκατάσταση: <input type="checkbox"/>
	Εκπαιδευτικό κτίριο:	Κλειστό γυμναστήριο <input type="checkbox"/>
	Πρωτοβάθμιας-δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης <input type="checkbox"/>	Κλειστό κολυμβητήριο <input type="checkbox"/>
	Τριτοβάθμιας εκπαίδευσης <input type="checkbox"/>	Κατοικία:
	Νοσοκομείο <input type="checkbox"/>	Μονοκατοικία <input type="checkbox"/>
	Κλινική <input type="checkbox"/>	Πολυκατοικία <input type="checkbox"/>
	Ξενοδοχείο <input type="checkbox"/>	Αεροδρόμιο <input type="checkbox"/>
Εμπορικό / κατάστημα <input type="checkbox"/>	Άλλη: <input type="checkbox"/>	
	
Ταχυδρομική Διεύθυνση:		
Όνοματεπώνυμο υπευθύνου:	
	Ιδιοκτήτης <input type="checkbox"/> Διαχειριστής <input type="checkbox"/>	
	Άλλο.....	
Τηλέφωνο / Fax:		
Ηλεκτρονική Διεύθυνση:		

2. Ταυτοποίηση Κτιρίου	
Έτος κατασκευής κτιρίου:	
Ώρες λειτουργίας (διαμονής, απασχόλησης)/ ημέρα (h):	
Ύψος κτιρίου (m):	
Συνολικό εμβαδόν επιφάνειας κτιρίου E (m²):	
Συνολικός όγκος κτιρίου V (m³):	
Εμβαδόν τεχνητά φωτιζόμενης επιφάνειας E (m²):	
Ύψος φωτιζόμενων χώρων H (m):	
Έχει γίνει αλλαγή χρήσης του κτιρίου από το έτος εγκατάστασης του συστήματος φωτισμού;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/> Εάν ναι: Μερική <input type="checkbox"/> Ολική <input type="checkbox"/> Προσδιορίστε τις αλλαγές χρήσης:

Αριθμός χρηστών
Χρησιμοποιούνται συστήματα / τεχνικές αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/> Εάν ναι, αναφέρατε:

3. Ταυτοποίηση συστήματος τεχνητού φωτισμού (ο πίνακας συμπληρώνεται για κάθε τύπο φωτιστικού σώματος)

Τύπος φωτιστικού σώματος:	Με ανακλαστήρα	<input type="checkbox"/>	
	Με κάλυμμα	<input type="checkbox"/>	
	Άλλο (αναφέρατε)	<input type="checkbox"/>	
Χρήση χώρου:			
Αριθμός φωτιστικών:			
Ώρες λειτουργίας φωτιστικών:			
Αριθμός λαμπτήρων ανά φωτιστικό σώμα:			
			Ισχύς (W)
Τύπος λαμπτήρα:	Φθορισμού 125 εκ.	<input type="checkbox"/>	
	Φθορισμού 60 εκ.	<input type="checkbox"/>	
	PL μονός	<input type="checkbox"/>	
	PL ζυγός	<input type="checkbox"/>	
	Αλογόνου	<input type="checkbox"/>	
	Πυρακτώσεως	<input type="checkbox"/>	
	Άλλο (αναφέρατε)	<input type="checkbox"/>	
Συνολική ισχύς φωτιστικού σώματος (W):			
Τύπος στραγγαλιστικής διάταξης:	Μαγνητική	<input type="checkbox"/>	
	Ηλεκτρονική	<input type="checkbox"/>	
	Ηλεκτρονική με ρύθμιση	<input type="checkbox"/>	

4. Ταυτοποίηση συστημάτων αυτοματισμού

Υπάρχει ηλεκτρολογικό σχέδιο του συστήματος φωτισμού;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
Υπάρχει σύστημα κεντρικής διαχείρισης (BEMS);	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
Το σύστημα ελέγχου δείχνει ότι το σύστημα φωτισμού λειτουργεί σωστά;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>

Υπάρχουν αυτοματισμοί τοπικής εμβέλειας;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/> Εάν ναι: Αισθητήρες παρουσίας <input type="checkbox"/> Χρονοδιακόπτες <input type="checkbox"/> Αισθητήρες φυσικού φωτισμού <input type="checkbox"/> Άλλο <input type="checkbox"/> Προσδιορίστε.....
Υπάρχει διόρθωση Συντελεστή Ισχύος τοπικά ή κεντρικά;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>
Εφαρμόζεται πρόγραμμα συντήρησης;	ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>

5. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	
Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (από τα τιμολόγια των 2-3 τελευταίων ετών)	(kWh)/y _____
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό	(kWh)/y _____

6. Διαπιστώσεις / Υποδείξεις	

Ημερομηνία Επιθεώρησης: -----

Όνοματεπώνυμο Επιθεωρητή: -----

Α.Μ. Επιθεωρητή: -----

Αρ. Πρωτοκόλλου Επιθεώρησης: -----

Υπογραφή Επιθεωρητή:

Σφραγίδα:

3. Ο ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

3.1 Το κτίριο ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης

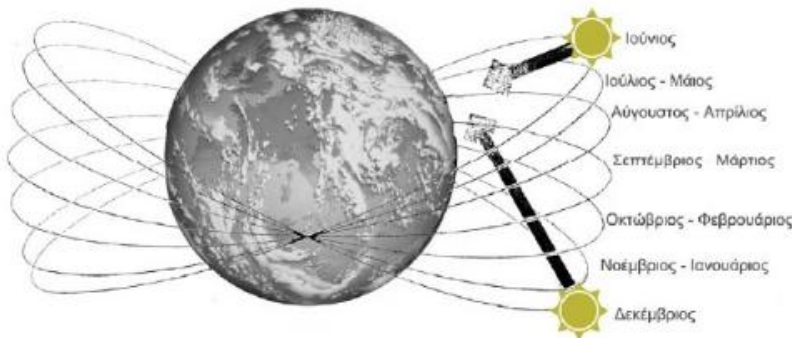
Η επάρκεια φυσικού φωτισμού αποτελεί συνθήκη για υγεία, ευ ζην και απόδοση. Ο διαθέσιμος φυσικός φωτισμός σε ένα κτίριο εξαρτάται από:

- Τη γεωγραφική θέση και το ύψος της θάλασσας του τόπου
- Το σχήμα του κτιρίου (βαθύ – ρηχό)
- Τον προσανατολισμό του κτιρίου και ανοιγμάτων
- Τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου (ανακλαστικότητα, απορρόφηση)
- Τη γεωμετρία του περιβάλλοντα χώρου (φυσικά ή τεχνητά εμπόδια)
- Τις τοπικές καιρικές συνθήκες (βροχή, ομίχλη, ηλιοφάνεια)
- Την εποχή του χρόνου, μήνα, ημέρα, ώρα
- Τη θέση και τις οπτικές ιδιότητες των επιφανειών στους εσωτερικούς χώρους
- Τη διάρθρωση των εσωτερικών χώρων²

3.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια του ηλίου περιλαμβάνει όλα τα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το ορατό φως αποτελεί το 46% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας, το 49% ανήκει στην υπέρυθη ακτινοβολία, την οποία αντιλαμβανόμαστε ως θερμότητα, ενώ το 5% ανήκει στην υπεριώδη και κοσμική ακτινοβολία την οποία δεν αντιλαμβανόμαστε.

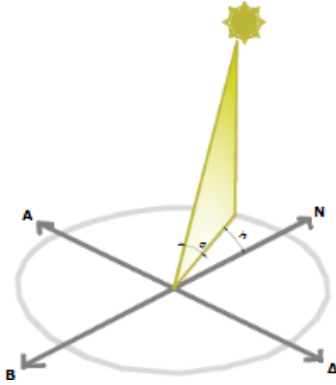
Προκειμένου να προσδιοριστεί ο ηλιασμός ενός κτιρίου υιοθετείται η παραδοχή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, δηλαδή θεωρείται ότι η γη παραμένει σταθερή, ενώ ο ήλιος κινείται. Οι φαινόμενες τροχιές ταυτίζονται ανα δύο μήνες εκτός του Δεκεμβρίου και του Ιουνίου όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση των φαινόμενων τροχιών του ήλιου

Για να συσχετιστούν οι φαινόμενες τροχιές του ήλιου με τα γεωμετρικά στοιχεία των κτιρίων, πρέπει να γνωρίζουμε τη θέση του ήλιου στον ουρανό και στον ορίζοντα αντίστοιχα. Η θέση αυτή προσδιορίζεται από δύο γωνίες :

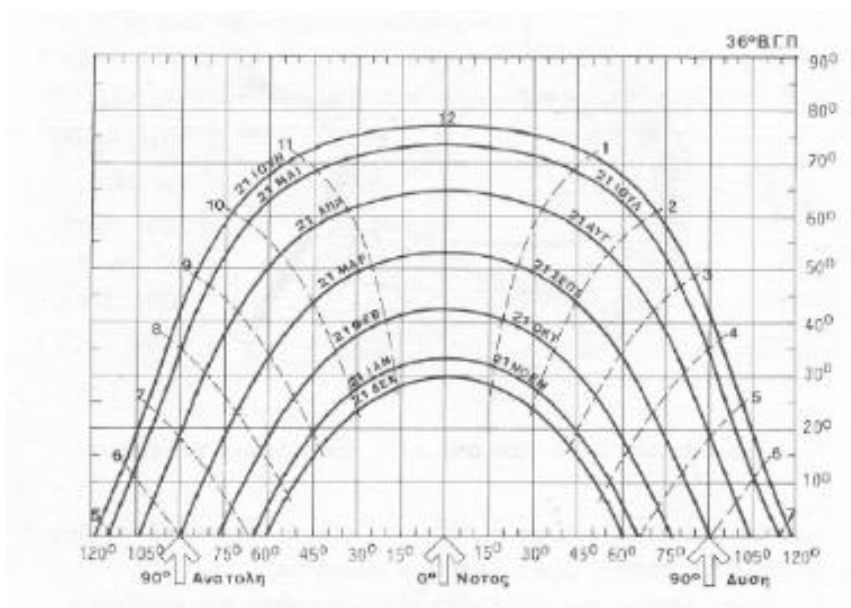
- **Γωνία ύψους (α):** ορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουρανό ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- **Γωνία αζιμούθιου (γ_{θ}):** ορίζεται από την ορθή προβολή της θέσης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο σε σχέση με τον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου



Εικόνα 3.2: Γωνία ύψους και αζιμούθιου του ήλιου

3.2.1 Ηλιακοί χάρτες

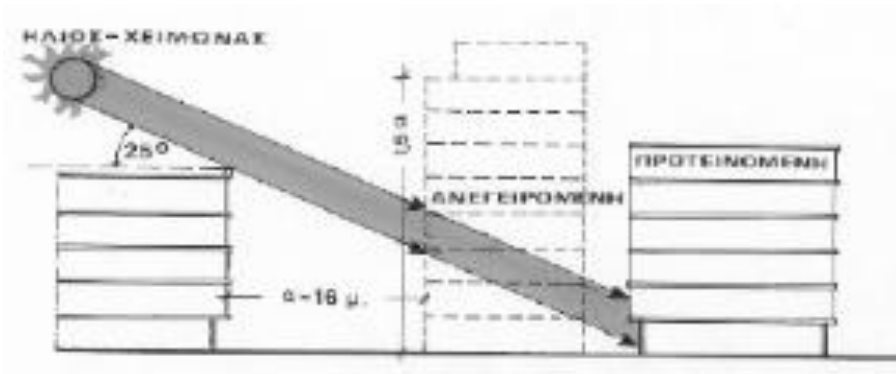
Ηλιακοί χάρτες ονομάζονται τα διαγράμματα, τα οποία απεικονίζουν τις φαινόμενες τροχιές το ηλίου στο επίπεδο ορθής προβολής για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Με τα διαγράμματα αυτά προσδιορίζεται η θέση του ήλιου για κάθε μήνα για όλες τις ώρες της ημέρας.²



Εικόνα 3.3: Ηλιακός χάρτης για γεωγραφικό πλάτος 36°

3.3 Χωροθέτηση κτιρίου στο οικόπεδο

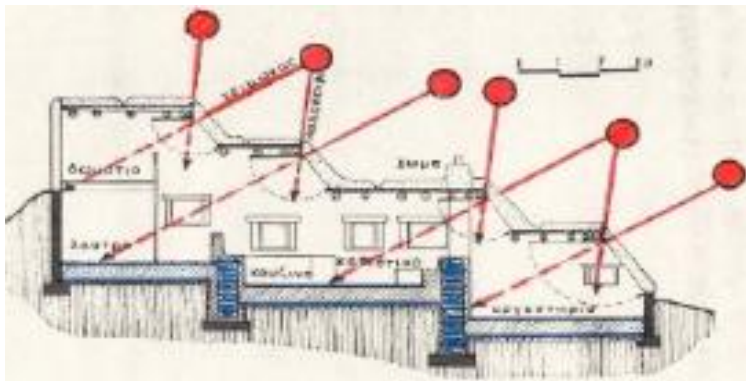
Η χωροθέτηση ενός νέου κτιρίου στο οικόπεδο οφείλει να διασφαλίζει νότιο προσανατολισμό της μεγαλύτερης όψης του. Ανεκτές είναι οι αποκλίσεις έως $\pm 30^\circ$. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό λόγω εμποδίων υφίσταται ένας εμπειρικός κανόνας, χρήσιμος στη φάση των προσχεδίων, ο οποίος καθορίζει ότι: για νότιο προσανατολισμό η απόσταση ανάμεσα στο χωροθετούμενο κτίριο και το εμπόδιο πρέπει να ισούται με 1,5 x το ύψος του εμποδίου.²



Εικόνα 3.4: Ηλιασμός οικοδομής σε περίπτωση υποχώρησης στο οικόπεδο

3.4 Σχήμα κτιρίου

Για το εύκρατο κλίμα της Ελλάδας το καταλληλότερο σχήμα είναι το επιμήκες κατά τον άξονα ανατολής – δύσης, γιατί προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Πρέπει να τηρούνται πάντα οι προϋποθέσεις ώστε να μην αυξάνεται το κλιματιστικό φορτίο του κτιρίου. Όταν το οικόπεδο είναι επιμήκες κατά τον άξονα βορρά – νότου επιλέγουμε λύσεις με όγκους σπαστούς ή κλιμακωτή οργάνωση του κτιρίου ώστε να φωτίζονται αρκετά οι πίσω χώροι όλες τις εποχές του χρόνου.²



Εικόνα 3.5: Κτίριο επιμήκες κατά τον άξονα B-N, σε κλιμακωτή διάταξη

3.5 Ανοίγματα και διαφανή στοιχεία του κελύφους

Τα ανοίγματα πρέπει να κατανέμονται σωστά στην όψη και να έχουν το κατάλληλο μέγεθος και σχήμα.

Προτείνονται μεγάλα μεγέθη ανοιγμάτων προς το νότιο προσανατολισμό, μετρίου μεγέθους στην ανατολική και δυτική οψη και μικρότερα ανοίγματα στο βορρά τα οποία πρέπει να διασφαλίζουν το φυσικό φωτισμό στους εσωτερικούς χώρους.

Τα διαφανή στοιχεία στο κελύφους του κτιρίου καθορίζουν την ποσότητα και την ποιότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός, καθώς και την οπτική επαφή των χρηστών με το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα ανοίγματα και διαφανή στοιχεία εξεταζόμενα ως προς το φυσικό φωτισμό, διακρίνονται σε:

- Πλευρικά ανοίγματα
- Ανοίγματα οροφής
- Διαφανείς τοίχους και οροφές
- Αίθρια και φωταγωγούς

Η σωστή χωροθέτηση, διαστασιολόγηση και προστασία των ανοιγμάτων, οι οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα και η αύξηση της λαμπρότητας των περιβάλλοντων επιφανειών του φωτιζόμενου χώρου, απόμακρύνουν τον κίνδυνο θάμβωσης και οπτικής δυσφορίας

3.5.1 Πλευρικά ανοίγματα

Το μέγεθος του ανοίγματος σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του φωτιζόμενου χώρου. Ένας εμπειρικός κανόνας καθορίζει ότι το ποσοστό του ανοίγματος ίσο με το 20% της επιφάνειας του φωτιζόμενου χώρου παρέχει ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτός και συγχρόνως αποφεύγονται οι υπερβολικές θερμικές απώλειες το χειμώνα, η υπερθέρμανση το καλοκαίρι και μειώνεται ο κίνδυνος θάμβωσης.

Η θέση του ανοίγματος στον τοίχο. Όσο πιο ψηλά είναι τοποθετημένο ένα άνοιγμα, τόσο πιο βαθιά φτάνει το φυσικό φως στο χώρο. Με την τοποθέτηση των ανοιγμάτων υψηλά, σε συνδυασμό με την αύξηση της ανακλαστικότητας του πίσω τοίχου του φωτιζόμενου χώρου, επέρχεται ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού σε όλο το βάθος.

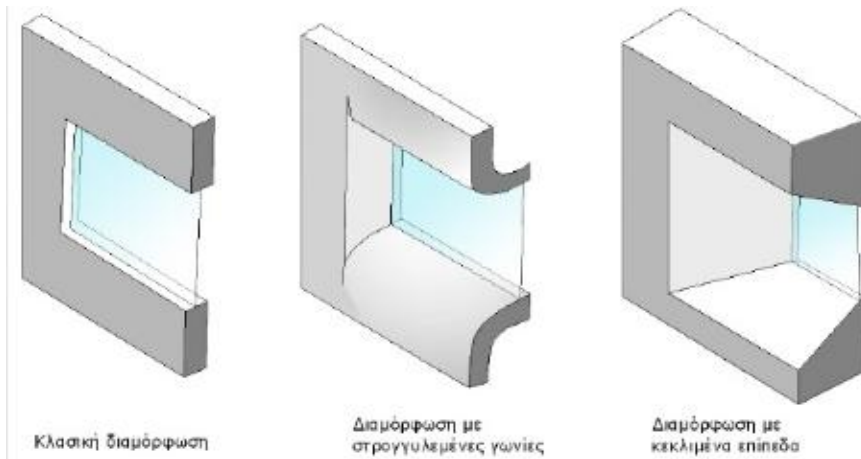


Εικόνα 3.6: Επίδραση της θέσης του παραθύρου στην κατανομή φυσικού φωτισμού

Το σχήμα του ανοίγματος επηρεάζει την κατανομή του φωτός στο χώρο. Με ανοίγματα μεγάλου πλάτους ο φωτισμός του χώρου διαμορφώνεται σε ζώνες διαφορετικής έντασης, παράλληλες προς τον τοίχο που φέρει το άνοιγμα. Με κατακόρυφα ανοίγματα ο φωτισμός διανέμεται σε μια ζώνη κάθετη προς τον τοίχο του ανοίγματος με αποτέλεσμα διαφορετική ένταση του φωτισμού στη διάρκεια της ημέρας. Αυτό ο τύπος ανοίγματος προσφέρει καλύτερο φωτισμό σε περιοχές απομακρυσμένες από το άνοιγμα, αλλά προκαλεί και μεγαλύτερη θάμβωση.

Πολλά μικρότερα ανοίγματα αντί για ένα μεγάλο μεγέθους συμβάλλουν σε καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτός στο χώρο.

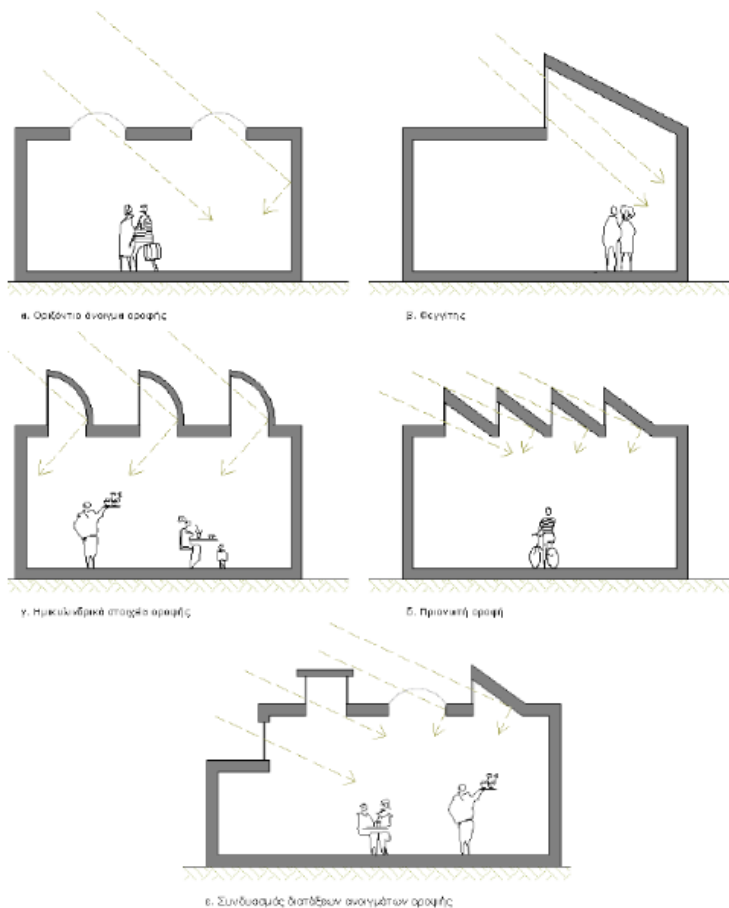
Διαμόρφωση των παραστάδων ή του ανωφλίου ή και της ποδιάς των παραθύρων με κλίση ή στρογγυλεμένες γωνίες, για να διευκολυνθεί η μετάβαση από τη φωτεινή περιοχή του παραθύρου στη μη φωτιζόμενη ζώνη της τοιχοποιίας, έτσι ώστε να αποφευχθεί η θάμβωση και να βελτιωθεί η οπτική άνεση.



Εικόνα 3.7: Διαμόρφωση του ανοφλίου και κατωφλίου των παραθύρων, για να αποφευχθεί η θάμβωση.

3.5.2 Ανοίγματα οροφής

Οριζόντια, κεκλιμένα ή κατακόρυφα, επίπεδα ή καμπυλόμορφα, υπερυψωμένα ή συνεπίπεδα ανοίγματα στην κορυφή είναι διατάξεις που επιτρέπουν τον φωτισμό των χώρων από ψηλά. Επιτρέπουν την εισχώρηση μεγαλύτερης ποιότητας φυσικού φωτός και ο άνωθεν φωτισμός κατανέμεται ομοιόμορφα στο χώρο παρέχοντας καλύτερες οπτικές συνθήκες.

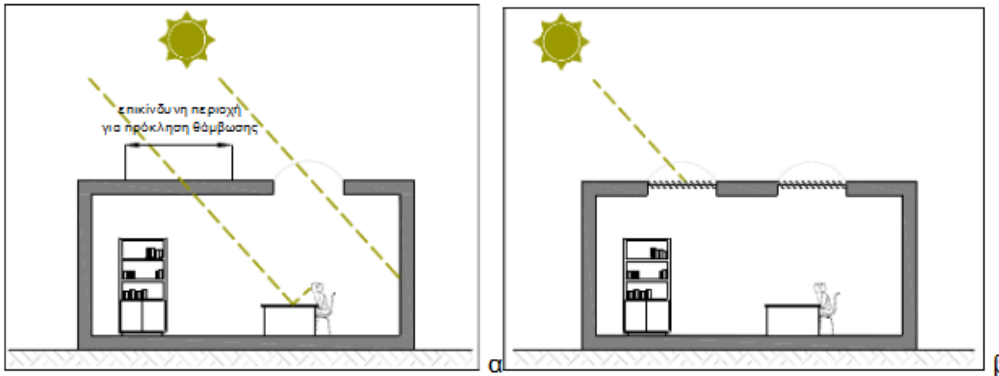


Εικόνα 3.8: Διάφορες διατάξεις ανοιγμάτων οροφής

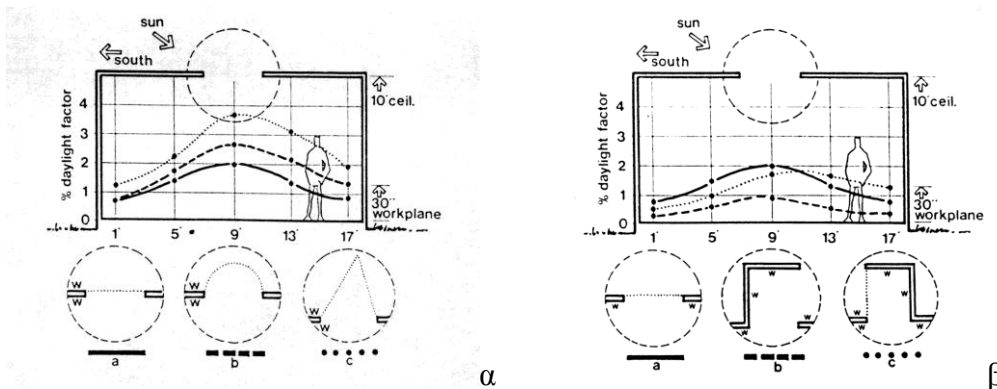
Τα οριζόντια ή ελαφρά κεκλιμένα ανοίγματα οροφής (skylights) εμφανίζουν μεγάλα πλεονεκτήματα:

- Επιτρέπουν την εισχώρηση περισσότερου φυσικού φωτός, σε αντίθεση με τα κατακόρυφα ανοίγματα που επιτρέπουν εισχώρηση του φωτός μέχρι 5 m.
- Συμβάλλουν στην ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού σε μεγάλη επιφάνεια του εσωτερικού χώρου.
- Είναι περιορισμένος ο κίνδυνος να σκιαστούν από εξωτερικά ή εσωτερικά εμπόδια.

Το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζουν είναι ο κίνδυνος θάμβωσης από το άμεσο ηλιακό φως. Τα ανοίγματα πρέπει να προβλέπονται σε θέσεις κατάλληλες έξω από την περιοχή που μπορεί να προκαλέσει θάμβωση ή ανάκλαση ή να προστατεύονται από περσίδες. Μπορεί επίσης να συνδυάζονται με αδιαφανείς υαλοπίνακες, με διαχυτικά φωτοδιαπερατά υλικά και με σκίαστρα/ ανακλαστήρες τοποθετημένα υπο κλίση.

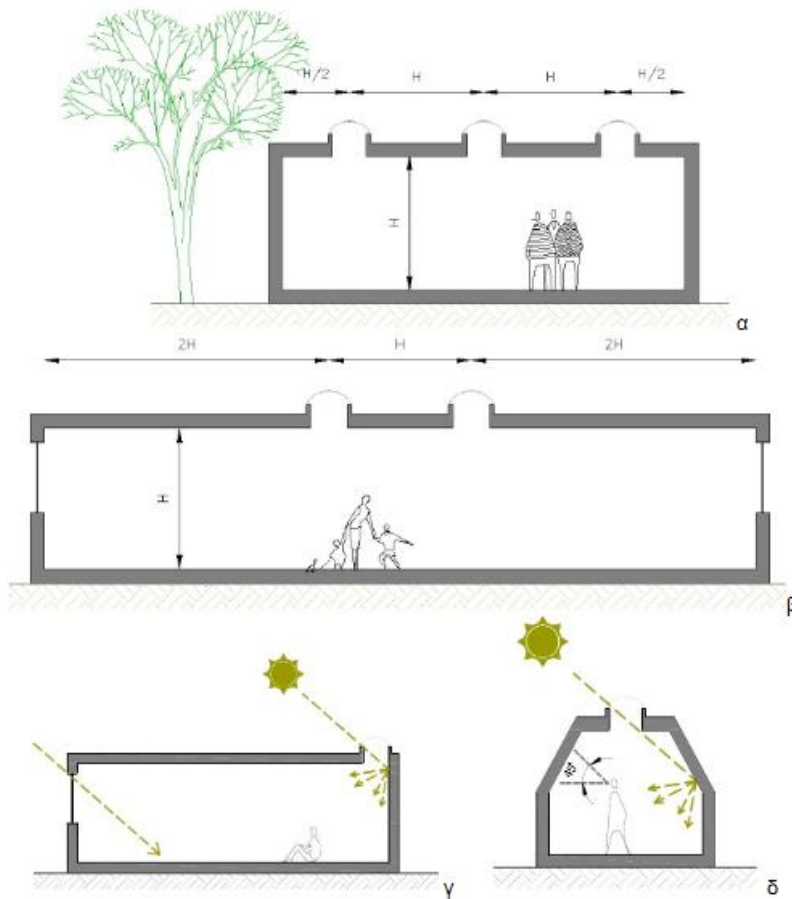


Εικόνα 3.9: Κατάλληλος σχεδιασμός (α) και προστασία (β) του οριζόντιου ανοίγματος για να αποφευχθεί η θάμβωση.



Εικόνα 3.10: Ο συντελεστής φυσικού φωτισμού για διάφορα σχήματα α) καλυμμάτων και β) ανοιγμάτων

Οι σχεδιαστικές προτάσεις που αφορούν τα οριζόντια ή ελαφρά κεκλιμένα ανοίγματα οροφής φαίνονται στο παρακάτω σχήμα ανάλογα με την περίπτωση.

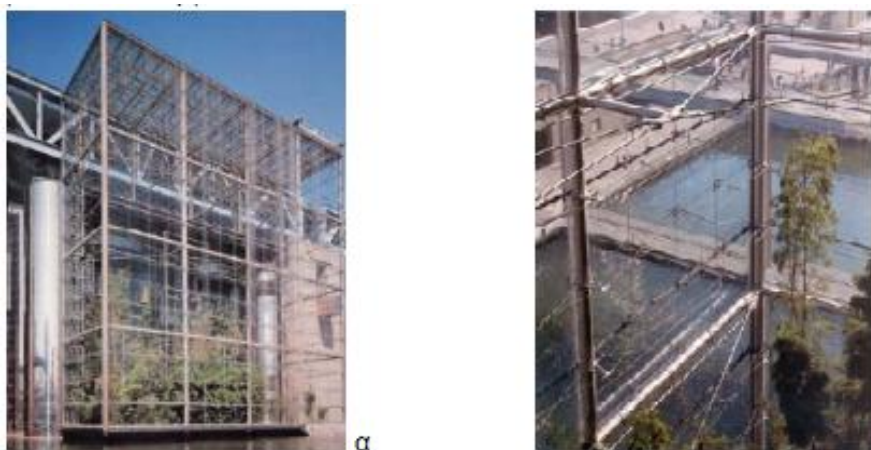


Εικόνα 3.11: Προτεινόμενη τοποθέτηση ανοιγμάτων οροφής: α) χώρος χωρίς πλευρικά ανοίγματα, β) χώρος με πλευρικά ανοίγματα, γ) άνοιγμα οροφής κοντά σε βορινό τοίχο συμβάλει στην καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτός, δ) άνοιγμα οροφής σε χώρους με μεγάλο ύψους

3.5.3 Διαφανείς τοίχοι και οροφές

Οι τοιχοποιίες κατασκευασμένες με υαλότουβλα ή άλλα ημιδιαφανή υλικά, πχ ακρυλικά, επιτρέπουν την είσοδο του φυσικού φωτός, το οποίο διαχέεται από το ημιδιαφανές υλικό, έτσι ώστε να δημιουργούνται εσωτερικές ζώνες με υψηλό επίπεδο διάχυτου φωτισμού.

Συχνά κατακόρυφα στοιχεία από γυαλί ή πλαστικό, διαφανή ή ημιδιαφανή διαμορφώνουν ολόκληρη την όψη του κτιρίου. Το αποτέλεσμα είναι μεγάλοι χώροι με υψηλό επίπεδο φωτισμού, απαιτείται όμως ειδική μελέτη στα υλικά κατασκευής και τις ειδικές θερμικές ιδιότητες τους, προκειμένου να μειωθεί το θερμικό και ψυκτικό φορτίο των κτιρίων.



Εικόνα 3.12: Κατασκευή με δομικό υαλοστάσιο. Αποψη (α) εξωτερική (β) εσωτερική

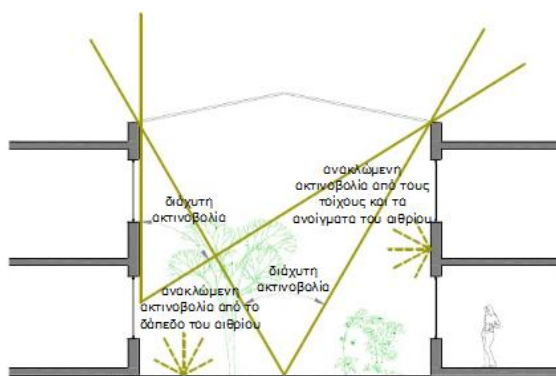
Οι οροφές μπορεί να κατασκευαστούν από υαλοπίνακες, υαλόπλακες ή άλλα πλαστικά υλικά διαφανείς ή ημιδιαφανείς. Οι ημιδιαφανείς καλύπτει πλεονεκτούν έναντι των διαφανών, διότι διαχέουν το φως και μειώνουν τον κίνδυνο της θάμβωσης για τους χρήστες.

Τοιχοποιίες και οροφές μπορεί να κατασκευαστούν και από διαφανή θερμομόνωση. Πρόκειται για ημιδιαφανές θερμομονωτικό υλικό, κυψελωτής δομής, κυρίως πολυκαρβονικής προέλευσης, που τοποθετείται στο διάκενο δίδυμου υαλοπίνακα με πλαίσιο.

3.5.4 Αίθρια

Η ύπαρξη αιθρίου είναι θετικό για το σχεδιασμό κτιρίων με μεγάλο όγκο και περίμετρο κάτοψης. Τα αίθρια καλύπτονται με γυάλινη οροφή και λειτουργούν ως χώροι θερμικής ανάσχεσης, που αυξάνουν την ποσότητα φυσικού φωτός στα μεγάλα και πολύπλοκα κτηριακά συγκροτήματα..

Η ποσότητα φυσικού φωτός, που φτάνει στους χώρους γύρω από το αίθριο εξαρτάται, εκτός από τη γεωμετρία του, από τη διαπερατότητα στο φως της οροφής του αιθρίου και από την ανακλαστικότητα των πλευρικών τοίχων και του δαπέδου του αιθρίου. Η επιρροή της ανακλαστικότητας των πλευρικών τοιχωμάτων είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνει το ύψος του αιθρίου. Τα ανώτερα τμήματα των τοιχωμάτων, όπου αρχίζουν οι πρώτες ανακλάσεις καθορίζουν και την κατανομή φωτισμού.



Εικόνα 3.13: Παροχή φυσικού φωτός σε ένα αίθριο

3.5.5 Διαφανή υλικά ανοιγμάτων

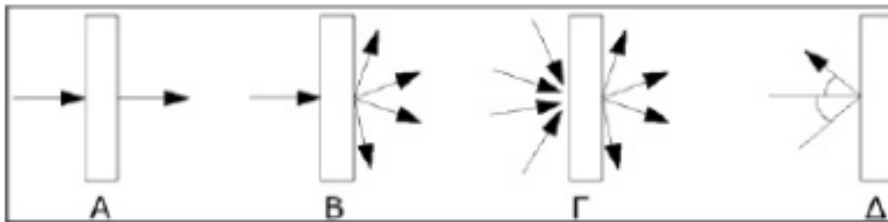
Για το σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού, είναι απαραίτητο να γνωρίζει ο μελετητής τις ιδιότητες των διαφανών υλικών, ώστε να προβαίνει στις ανάλογες επιλογές.

Η αξιολόγηση των διαφανών υλικών σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία, γίνεται με βάση τους τρεις συντελεστές: ανακλαστικότητα (α), απορροφητικότητα (β), διαπερατότητας (τ) και ισχύει:

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

Τα διαφανή υλικά, ανάλογα με τις ιδιότητες που έχουν:

- επιτρέπουν τη διέλευση διαφορετικού ποσοστού της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας,
- διασκορπίζουν το φως,
- ανακλούν την ακτινοβολία με κατοπτρικό τρόπο ή τη διαχέουν
- μεταβάλλουν το χρώμα

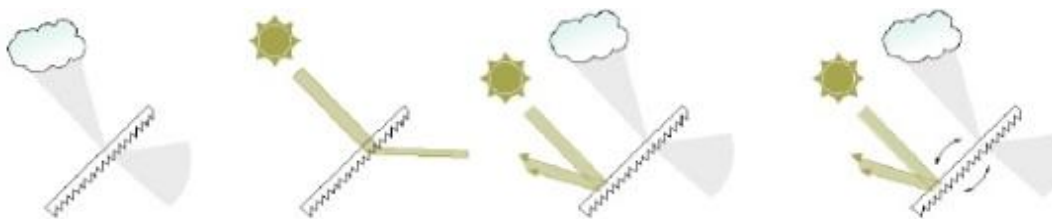


Εικόνα 3.14: Διαπερατότητα των διάφανων υλικών α)κάθετη πρόσπτωση / κάθετη διαπερατότητα, β) κάθετη πρόσπτωση / ημισφαιρική διαπερατότητα γ) ημισφαιρική πρόσπτωση / ημισφαιρική διαπερατότητα, δ)ανάκλαση

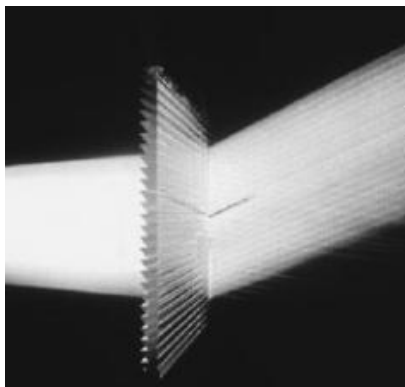
Για τη βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού χρησιμοποιούνται με αρκετή επιτυχία αλλά υψηλό κόστος, ειδικού τύπου υαλοπίνακες, οι οποίοι αλλάζουν την πορεία του φωτός και το κατευθύνουν προς το εσωτερικό του χώρου. Τέτοιοι υαλοπίνακες είναι οι:

ι) Πρισματικοί υαλοπίνακες

Είναι λεπτές, επίπεδες, πριονωτές διατάξεις κατασκευασμένες από ακρυλικό υλικό και τοποθετούνται μεταξύ δυο απλών υαλοπινάκων για να προστατεύονται από τη σκόνη. Συνήθως είναι σταθερές, αλλά μπορεί να είναι και κινητές υπο μορφή περσίδων. Χρησιμοποιούνται για να ανακατευθύνουν το φως στο βάθος του χώρου. Υπάρχει δυνατότητα, ανάλογα με την κατασκευή της πριονωτής διάταξης, να επιτρέψουν τη διέλευση ακτινοβολίας με συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης, παρέχοντας ηλιοπροστασία τους θερινούς μήνες χωρίς να περιορίζεται η διέλευση της χειμερινής ηλιακής ακτινοβολίας. Ενδείκνυται για ανοίγματα οροφής και πλευρικά ανοίγματα σε υψηλή στάθμη, επειδή διαταράσσουν την οπτική επαφή προς το εξωτερικό περιβάλλον.



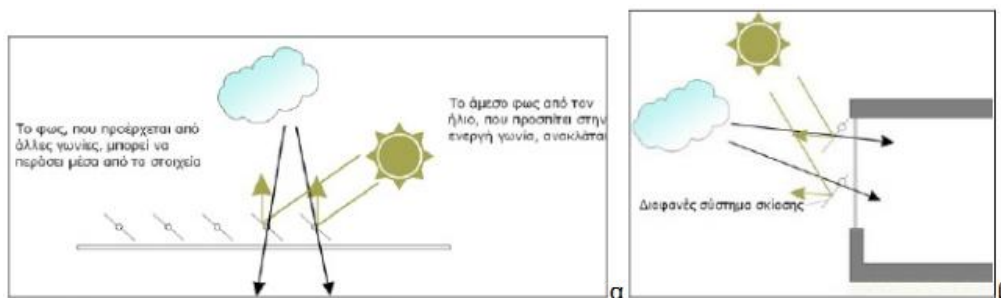
Εικόνα 3.15: Σχηματική αναπαράσταση πολλαπλών λειτουργιών πρισματικών υαλοπινάκων



Εικόνα 3.16: Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ανακατευθύνουν το φως

ii) Ολογραφικοί υαλοπίνακες

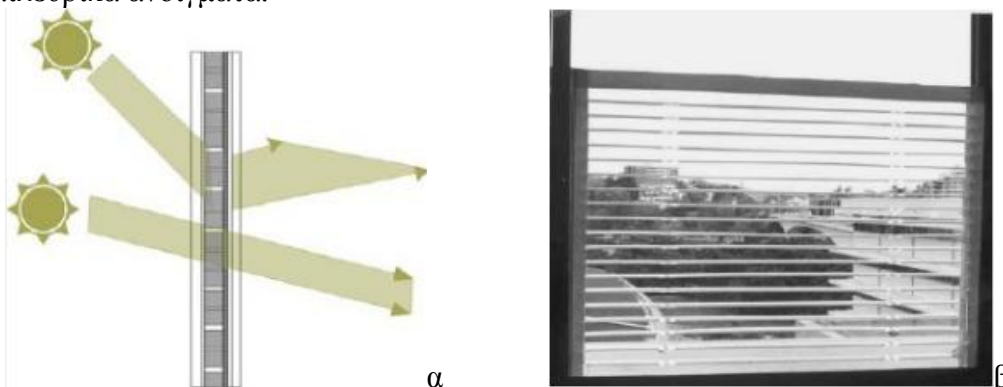
Αξιοποιούν το φαινόμενο της διάθλασης του φωτός για να μεταβάλλουν την κατεύθυνση προς συγκεκριμένες περιοχές συνήθως στην οροφή του χώρου. Τα ολογραφικά στοιχεία δεν είναι αποτελεσματικά ως προς την άμεση ακτινοβολία και γι' αυτό εφαρμόζονται στις βορεινές όψεις και σε ανοίγματα που σκιάζονται, τα οποία δέχονται μόνο διάχυτη ακτινοβολία. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιλεκτικά σκίαστρα τα οποία αποτρέπουν την άμεση ακτινοβολία, ενώ επιτρέπουν τη διέλευση της διάχυτης ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.17: Σχηματική αναπαράσταση ολογραφικών υαλοπινάκων

iii) Υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λέιζερ

Αποτελούνται από λεπτά ακρυλικά φύλλα στα οποία έχουν δημιουργηθεί παράλληλες εγκοπές με τη βοήθεια λέιζερ. Οι εγκοπές λειτουργούν ως μικροί εσωτερικοί καθρέφτες, οι οποίοι εκτρέπουν την εισερχόμενη άμεση ακτινοβολία, δίνοντας την ανοδική πορεία προς την οροφή του χώρου. Δεν διαταράσσουν την οπτική επαφή και γι' αυτό χρησιμοποιούνται και σε πλευρικά ανοίγματα.



Εικόνα 3.18: (α) Σχηματική αναπαράσταση και (β) χρήση υαλοπινάκων ειδικής επεξεργασίας λέιζερ

iv) Ανακλαστικοί υαλοπίνακες

Ανακλούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών, αλλά μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια.

v) Έγχρωμοι υαλοπίνακες

Με τη βοήθεια χημικής επεξεργασίας παρουσιάζουν χαμηλή θερμοπερατότητα, αλλά και μειωμένη φωτοδιαπερατότητα και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου.

vi) Απορροφητικοί υαλοπίνακες

Απορροφούν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (περιορίζουν τη θερμοπερατότητα χωρίς να μειώνουν σημαντικά τη φωτοδιαπερατότητα) και συνιστώνται για τη μείωση των ηλιακών κερδών ενός χώρου. Έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τους ανακλαστικούς, ότι δε δημιουργούν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου.

vii) Επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e)

Εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται). Συνιστώνται για τη μείωση των θερμικών απωλειών (το χειμώνα) ή κερδών (το καλοκαίρι) των κτιρίων, ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται.

viii) Θερμομονωτικοί υαλοπίνακες

Εκτός από τους συνηθεις διπλούς (ήτριπλούς) υαλοπίνακες, αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα έχουν υαλοπίνακες που στο διάκενό τους περιέχουν άλλοαέριο (π.χ. αργό) αντί για αέρα. Συνιστώνται σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους.

ix) Ηλεκτροχρωμικοί

Είναι υαλοπίνακες, των οποίων οι ιδιότητες (οπτικά χαρακτηριστικά, διαπερατότητα) μεταβάλλονται με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος.

x) Φωτοχρωμικοί

Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας.

xi) Θερμοχρωμικοί

Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμοι.

xii) Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων

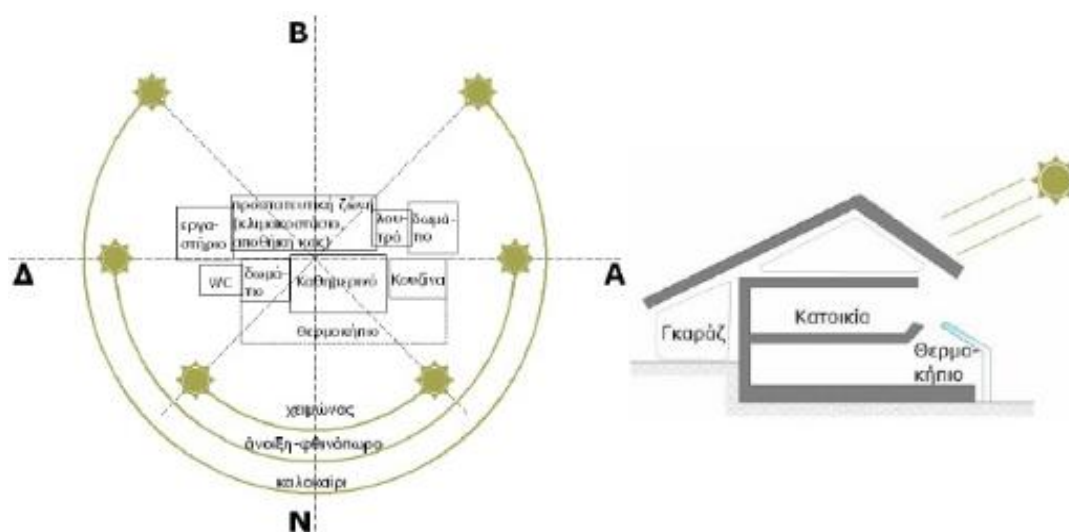
Με την εφαρμογή τάσης μετατρέπονται από γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς.²

3.6 Διάρθρωση των εσωτερικών χώρων

3.6.1 Προσανατολισμός

Ο προσανατολισμός των εσωτερικών χώρων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα, εξαρτώμενος από τη χρήση του χώρου. Η βορεινή πλευρά του κτιρίου είναι η πιο ψυχρή και λιγότερη φωτεινή. Για αυτό το λόγο στην πλευρά αυτή τοποθετούνται οι χώροι των οποίων η χρήση είναι ολιγόωρη και δεν απαιτούν έντονο φωτισμό (κλιμακοστάσια, αποθηκευτικοί χώροι, χώροι στάθμευσης), ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν ως ζώνη προστασίας από ψυχρούς ανέμους και ως ζώνη ανάσχεσης απωλειών.

Στη νότια πλευρά τοποθετούνται οι χώροι κύριας και πολύωρης χρήσης έτσι ώστε να απολαμβάνουν τα οφέλη της ηλιακής ενέργειας (φως, θερμότητα). Σε κτίρια όπως νοσοκομεία, γραφεία κλπ πρέπει να λαμβάνεται και η απαραίτητη μέριμνα για το σκιασμό τους προς αποφυγή της θάμβωσης που προκαλείται από το έντονο φως του ήλιου.



Εικόνα 3.19: Εσωτερική διάταξη χώρων κατοικίας – Διαγραμματική κάτοψη και τομή βιοκλιματικού κελύφους

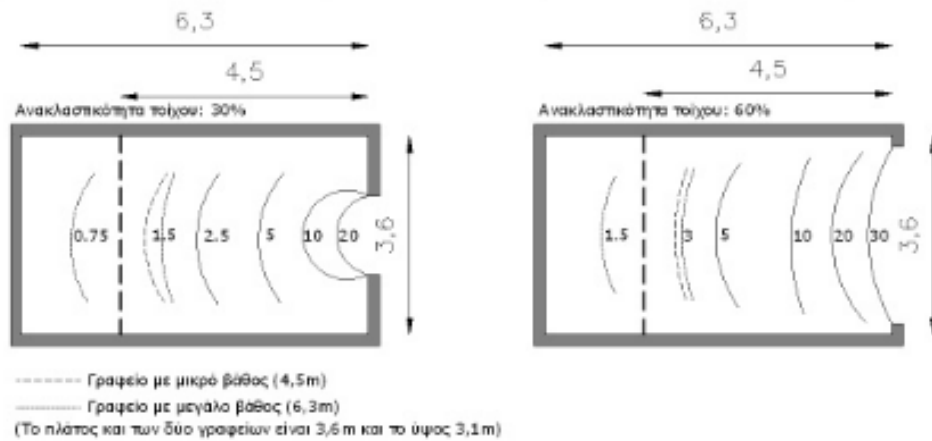
3.6.2 Διάταξη χώρου και επιλογή υλικών

Τα εσωτερικά συμπαγή διαχωριστικά στοιχεία εμποδίζουν τη φωτεινή ακτινοβολία να φτάσει στο βάθος του χώρου, ενώ οι ανοικτοί χώροι επιτρέπουν στο φως να διεισδύσει στα πίσω τμήματα του κτιρίου. Γενικά είναι αποδεκτό ότι για ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτός το βάθος του χώρου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 6-7 μ.

Η κατανομή του φυσικού φωτισμού επηρεάζεται επίσης από την ανακλαστικότητα των υλικών του φωτιζόμενου χώρου και γι' αυτό εάν είναι επιθυμητή η διείσδυση του φωτός σε μεγάλο βάθος, η οροφή πρέπει να έχει υψηλό συντελεστή ανάκλασης. Γενικά οι ανοιχτόχρωμες εσωτερικές τοιχοποιίες δημιουργούν την αίσθηση φωτεινού περιβάλλοντος, αυξάνοντας σε κάποιο βαθμό τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο.

Ως γενικός κανόνας για χώρους μεσαίου μεγέθους και ύψους προτείνονται οι παρακάτω συντελεστές ανάκλασης:

- Οροφή: 70-85%
- Κατακόρυφες επιφάνειες: 40-70%
- Δάπεδο: 15-40%²



Εικόνα 3.20: Κατανομή του φυσικού φωτισμού σε χώρο γραφείου. Ο συντελεστής ανάκλασης υπολογίστηκε για διαφορετικό μέγεθος ανοίγματος και ανάλογα με την ανακλαστικότητα της τοιχοποιίας.

3.7 Περιβάλλον χώρος

Το φως που εισέρχεται στο κτίριο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στις ανακλάσεις που υφίσταται στον περιβάλλοντα χώρο. Τα πεζοδρόμια, οι δρόμοι, οι πλακόστρωτες αυλές, η βλάστηση, το έδαφος, τα γύρω αντικείμενα και κτίρια ακτινοβολούν σημαντική ποσότητα φωτός προς το κτίριο η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν.

Υλικό	Συντελεστής Ανάκλασης (%)	Υλικό	Συντελεστής Ανάκλασης (%)
Άσφαλτος	10	Πέτρα	5-50
Αλουμίνιο (γυαλιστερό)	70-85	Εφυαλωμένα πλακίδια (άσπρα)	60-90
Σκυρόδεμα	30-50	Χιόνι	60-75
Γυαλί διαυγές	7	Γρασίδι σκούρο πράσινο	10
Γυαλί ανακλαστικό	20-40	Γρασίδι ξεραμένο	35
Γυαλί με επικάλυψη καθρέπτη	80-90	Μέση φύτευση	25
Ξύλο	5-40		

Πίνακας 3.1: Συντελεστής ανάκλασης ορισμένων οικοδομικών υλικών

Χρώμα	Συντελεστής Ανάκλασης (%)	Χρώμα	Συντελεστής Ανάκλασης (%)
Μαύρο χρώμα	3	Κόκκινη λαδομπογιά	26
Μαύρο χρώμα (ματ)	5	Κόκκινα τούβλα	30
Μαύρη λαδομπογιά	9	Φυσικό σκυρόδεμα	35
Μαύρο σκυρόδεμα	10	Πράσινο	41
Σκούρο γκρι	9	Πορτοκαλί	42
Σκούρο πράσινο	11	Κίτρινο	43
Σκούρο καφέ	12	Ανοιχτό πράσινο	53
Καφέ σκυρόδεμα	15	Άσπρο	75
Σκούρο μπλε-γκρι	12	Ασημί	75

Πίνακας 3.2: Ανακλαστικότητα ορισμένων χρωμάτων και έγχρωμων οικοδομικών υλικών

3.7.1 Ηλιασμός ή σκιασμός κτιρίου

Ο ηλιασμός ή σκιασμός κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί γνωρίζοντας τη γεωμετρία του ήλιου στο συγκεκριμένο τόπο και τον προσανατολισμό των επιφανειών. Ο προσανατολισμός επιφάνειας περιγράφεται με τη βοήθεια δύο γωνιών:

- **Οριζόντια γωνία σκίασης (HSA)** είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αζιμουθίου της επιφάνειας (γ) και του ηλιακού αζιμουθίου ($\gamma\sigma$)

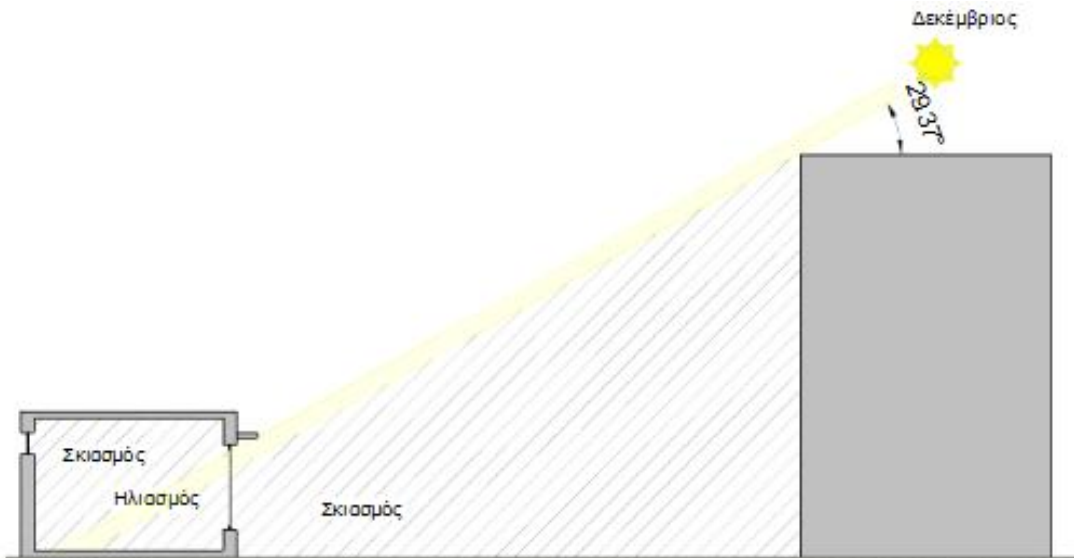
$$HSA = \gamma\sigma - \gamma \leq 90^\circ$$

Όπου αζιμούθιο επιφάνειας είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του τοπικού μεσημβρινού και την προβολή της καθέτου επί της επιφάνειας στο οριζόντιο επίπεδο.

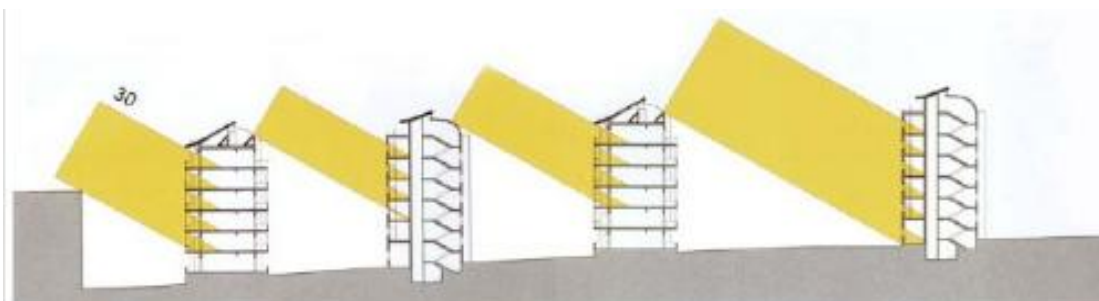
- **Κατακόρυφη γωνία σκίασης (VSA)** είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης του ήλιου σε σχέση με το επίπεδο της επιφάνειας μας και εξαρτάται από την οριζόντια γωνία σκίασης.

$$VSA = \tan^{-1}[\tan(a)/\cos(HSA)]$$

Γνωρίζοντας την κατακόρυφη γωνία σκίασης, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί ο ηλιασμός και σκιασμός των επιφανειών του κτιρίου, από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.²



Εικόνα 3.21: Ηλιασμός και σκιασμός από τον περιβάλλοντα χώρο και από προεξοχές, για νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με 10ο απόκλιση προς τη Δύση, στις 12:00 το μεσημέρι το Δεκέμβριο, για γεωγραφικό πλάτος 38ο Β



Εικόνα 3.22: Έλεγχος ηλιασμού κατοικιών το Δεκέμβρη για ύψος ηλίου 30°

3.8 Ηλιοπροστατευτικές και ενισχυτικές διατάξεις

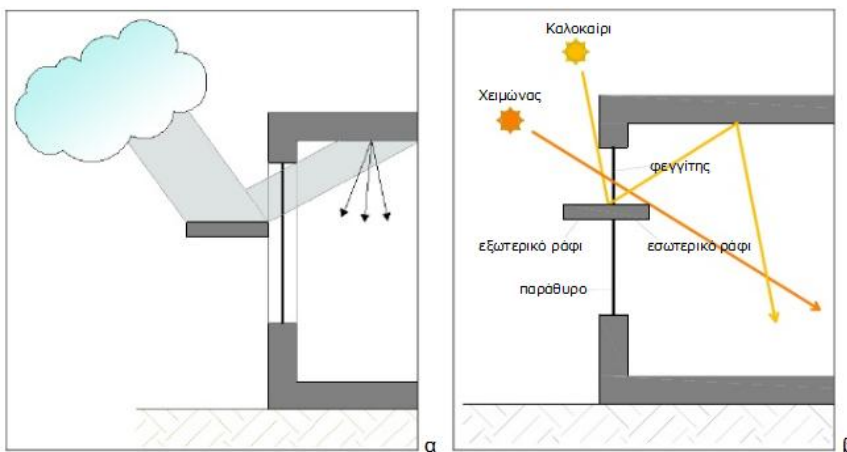
Υπάρχουν διατάξεις που εφαρμόζονται στα ανοίγματα για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός και τη βελτίωση της κατανομής του στο χώρο. Ορισμένες από αυτές είναι συγχρόνως και ηλιοπροστατευτικές διατάξεις.

3.8.1 Ράφια φωτισμού

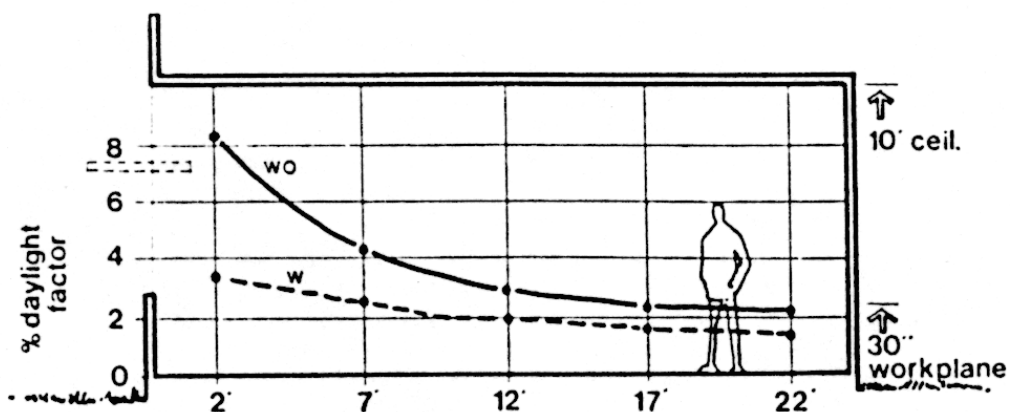
Είναι επίπεδα ή καμπύλα στοιχεία που τοποθετούνται στα ανοίγματα, πάνω από τη γραμμή της όρασης (πάνω από 2m). Συνήθως έχουν στυλπνή την άνω επιφάνεια τους (κατοπτρική επιφάνεια ή επιφάνεια που προκαλεί διάχυση), στην οποία ανακλάται η προσπίπτουσα φωτεινή ακτινοβολία και κατευθύνεται προς την οροφή του χώρου, ή διαχέεται αντίστοιχα, βελτιώνοντας έτσι την κατανομή του φωτισμού. Παράλληλα παρέχουν προστασία από τη θάμβωση και λειτουργούν ως ηλιοπροστατευτική διάταξη για το τμήμα του παραθύρου που βρίσκεται κάτω από αυτά.

Η κάτω πλευρά τους επίσης αντανακλά το φως που προέρχεται από το έδαφος και αυξάνει την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στο χώρο.

Τα ράφια φωτισμού κατασκευάζονται στην εξωτερική ή εσωτερική πλευρά ή εκατέρωθεν του υαλοστασίου και παοτελούν συγχρόνως στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης.



Εικόνα 3.23: Ανακλαστικά ράφια (α) εξωτερικά ή (β) εκατέρωθεν του ανοίγματος



Εικόνα 3.24: Συντελεστής φυσικού φωτισμού (W) με χρήση και (WO) χωρίς χρήση ραφιών φωτισμού

3.8.2 Σκίαστρα

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο διαθέσιμος φυσικός φωτισμός πλεονάζει. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε εξωτερικούς χώρους (βεράντες, ταράτσες), μπορεί όμως να συμβεί και σε κτίρια με μεγάλο συντελεστή διείσδυσης του φωτός (γυάλινα κτίρια) όπως και σε χώρους κοντά σε ανοίγματα. Προκειμένου αυτοί οι χώροι να αποκτήσουν ικανοποιητικές συνθήκες φωτισμού (προστασία από τη θάμβωση) κρίνεται αναγκαία η χρήση σκιάστρων. Μερικοί τύποι σκιάστρων που κυκλοφορούν στο εμπόριο παρουσιάζονται παρακάτω:

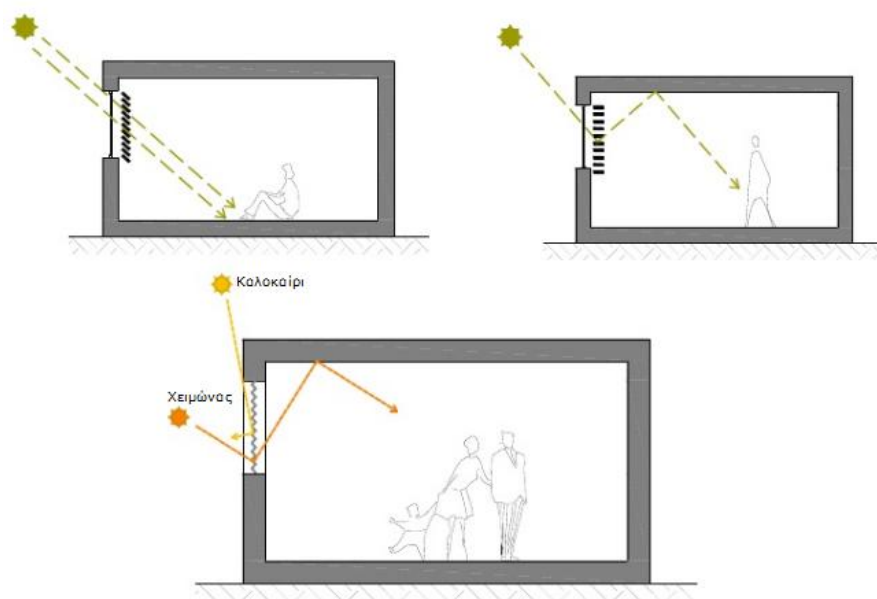
i) Ανακλαστές (Περσίδες)

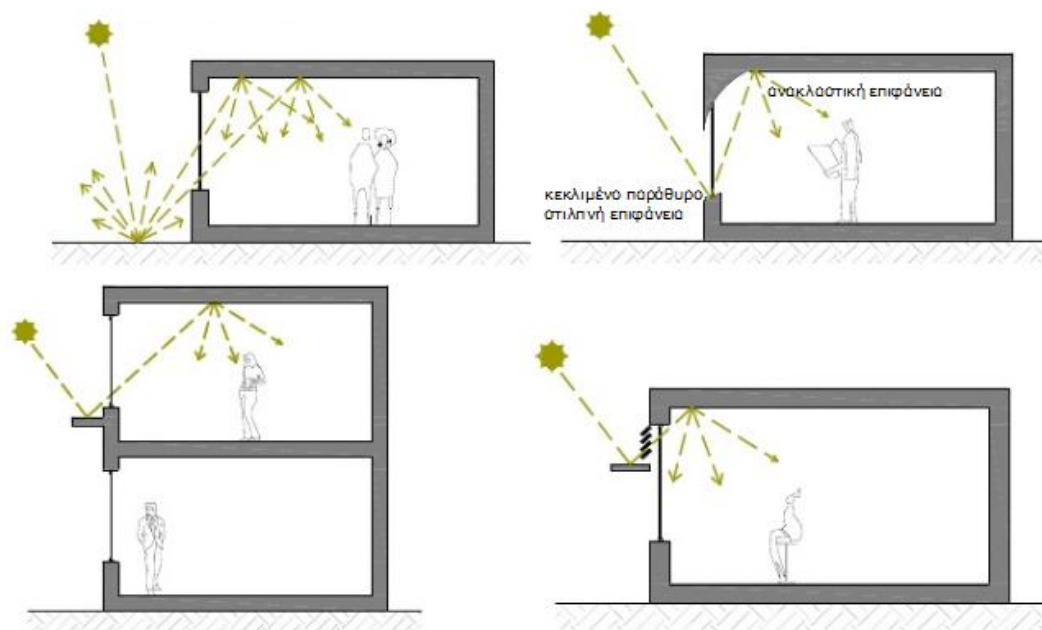
Εξωτερικές ή εσωτερικές περσίδες με ανακλαστική την άνω παρειά τους αυξάνουν την ποσότητα του φωτισμού που δέχεται ο χώρος, παρέχοντας συγχρόνως σκίασμό και προστασία από τη θάμβωση. Επίσης με τη χρησιμοποίηση ανακλαστών με μεγάλη ανακλαστικότητα αυξάνεται η διείσδυση του φωτός στο χώρο, ενώ με τη χρησιμοποίηση εσωτερικών ανακλαστών, που διαχέουν το φως εξασφαλίζεται καλύτερη κατανομή του φωτός στο χώρο.

Εάν χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες διατάξεις ακόμη και τα μικρά ανοίγματα παρέχουν ικανοποιητική ποσότητα φωτισμού.



Εικόνα 3.25: α) κάθετες και β) οριζόντιες περσίδες





Εικόνα 3.26: Διάφορες διατάξεις περσίδων με ανακλαστική την άνω παρειά τους που συμβάλλουν να οδηγηθεί το φυσικό φως στην οροφή του χώρου

ii) Σκίαστρα με πάνελ



Εικόνα 3.27: Σκίαστρα με πάνελ

iii) Σκίαστρα με ρόλερ



Εικόνα 3.28: Σκίαστρα με ρόλερ

iv) Σκίαστρα με ρολά



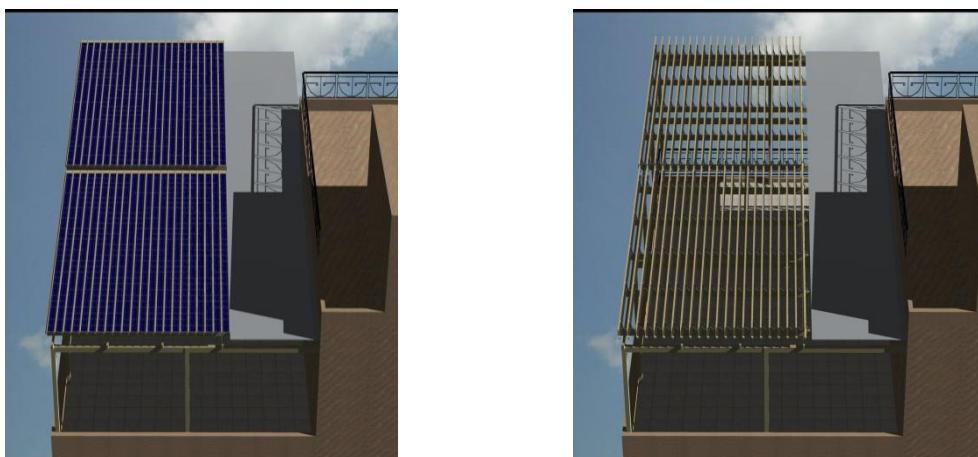
Εικόνα 3.29: Ρολό

ν) Σκίαστρα με φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα παραπάνω σκίαστρα μπορούν να συνδυαστούν με φωτοβολταϊκά στοιχεία και να συνεισφέρουν στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι τέτοια η οποία μπορεί να συνδυαστεί με πολλές εφαρμογές. Πρόκειται για υλικά ανθεκτικά και με ποικίλες ιδιότητες (εύκαμπτα, διαφανή) ανάλογα με τη χρήση που προορίζονται. Μερικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών στοιχείων για σκίαση φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 3.30: Σκίαστρα με φωτοβολταϊκά πάνελ



Εικόνα 3.31: Σκίαστρα με φωτοβολταϊκές περσίδες

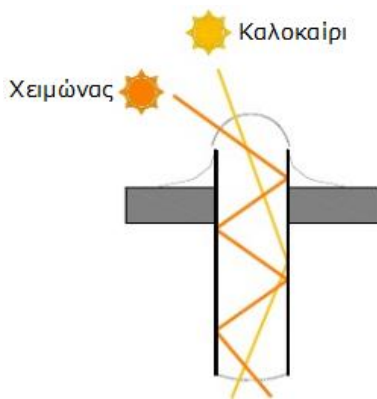


Εικόνα 3.32: Φωτοβολταϊκά που επιτρέπουν τη διέλευση φωτός

3.8.3 Κανάλια φωτισμού ή φωτεινοί αγωγοί ή φωτοσωλήνες (light ducts ή sun ή ducks ή light wells ή light pipes)

Είναι απλή κατασκευή, οποία εισάγει φως από την οροφή σε σκοτεινά σημεία των κτιρίων ακόμα και σε χαμηλότερους ορόφους. Πρόκειται για σωλήνα επιστρωμένο στο εσωτερικό του με υλικό μεγάλης ανακλαστικότητας (καθρέπτες, ελάσματα από αλουμίνιο ή βαμμένο με πολύ στιλπνά χρώματα) και φέρει διαφανή καλύμματα στα δύο άκρα του. Ο φωτοσωλήνας μπορεί να είναι ενιαίος κατακόρυφος ή να αποτελείται από τμήματα υπό κλίση.

Η απόδοσή του εξαρτάται από την ένταση φωτισμού στο επίπεδο του φωτοσωλήνα εξωτερικά, το ύψος του ηλίου, την ύπαρξη ή όχι γωνιών στο φωτοσωλήνα και από το λόγο του μήκους του προς τη διάμετρό του. Για αυξημένη απόδοση το μήκος του δε θα πρέπει να ξεπερνάει τα 10 m, δεδομένου ότι όσο αυξάνεται το μήκος του, μειώνεται σημαντικά η ένταση του φωτισμού.²



Εικόνα 3.33: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας φωτοσωλήνα



Εικόνα 3.34: Χρήση φωτοσωλήνα σε σταθμό μετρό στη Γερμανία



Εικόνα 3.35: Εφαρμογή φωτοσωλήνων σε εργοστάσιο στην Ελλάδα³



Εικόνα 3.36: Εντύπωση φωτισμού εσωτερικού χώρου με φωτοσωλήνες

Για την εγκατάσταση ενός φωτοσωλήνα πρέπει να γνωρίζουμε:

- **Την επιθυμητή διάμετρο του σωλήνα:** Εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος του χώρου που θέλουμε να φωτίσουμε. Στο εμπόριο κυκλοφορούν 9”,12”,16”,24” κλπ.
- **Το μήκος του φωτοσωλήνα:** Καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ ταβανιού και σκεπής. Η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να τηρείται είναι 05 m.
- **Τη κλίση του ταβανιού**
- **Τη κλίση της οροφής**

Η ποσότητα φωτοσωλήνων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε ένα χώρο εξαρτάται από τη διάμετρο του φωτοσωλήνα που επιλέξαμε τις διαστάσεις του χώρου και το μήκος του φωτοσωλήνα.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε έναν χώρο 16 m², με ύψος 2,5 m, απαιτούνται 4 φωτοσωλήνες 12”, μήκους 2m.⁴

Πρέπει να αναφερθεί ότι η εγκατάσταση φωτοσωλήνων είναι μια μόνιμη εγκατάσταση οπότε απαιτείται προσεκτική μελέτη. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη μόνωση των οπών. Τυπικές τιμές φωτοσωλήνων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Διάμετρος (Inch)	12''	16''	24''
Ενδεικτική τιμή σε Euro (€) για 2m φωτοσωλήνα	199	300	335
Ενδεικτική τιμή για κάθε επιπλέον μέτρο σωλήνα	15	22	30

Πίνακας 3.3: Ενδεικτικές τιμές φωτοσωλήνων

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης φωτοσωλήνων τα βλέπουμε παρακάτω:

- Εξοικονόμηση Ενέργειας Φωτισμού (40-80%)
- Άνετος και υγιής φυσικός φωτισμός
- Αποτελεσματικό για όλες τις συνθήκες ηλιοφάνειας
- Ικανοποιητικός μονωτής θερμότητας
- Εύκολο στη χρήση με ελάχιστη συντήρηση
- Εκτιμώμενη Διάρκεια Ζωής 35 έτη (εργοστασιακή εγγύηση 25 ετών)
- Αποπληρωμή εντός 4-6 ετών⁴

3.8.4 Είδη φωτοσωλήνων

Ο μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των εταιριών που κατασκευάζουν και διαθέτουν τους φωτοσωλήνες, έχει οδηγήσει σε διάφορους τύπους φωτοσωλήνων ανάλογα με το ανακλαστικό υλικό που χρησιμοποιούν.

i) Αλουμινίου



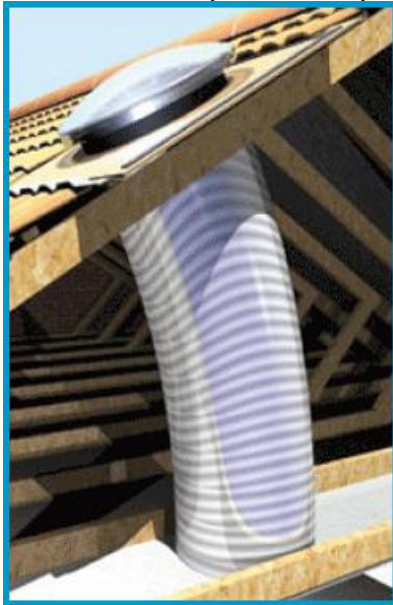
Εικόνα 3.37: Φωτοσωλήνας αλουμινίου

ii) 3M Οπτικών ινών



Εικόνα 3.38: Φωτοσωλήνας οπτικών ινών

iii) Εύκαμπτοι αλουμινίου



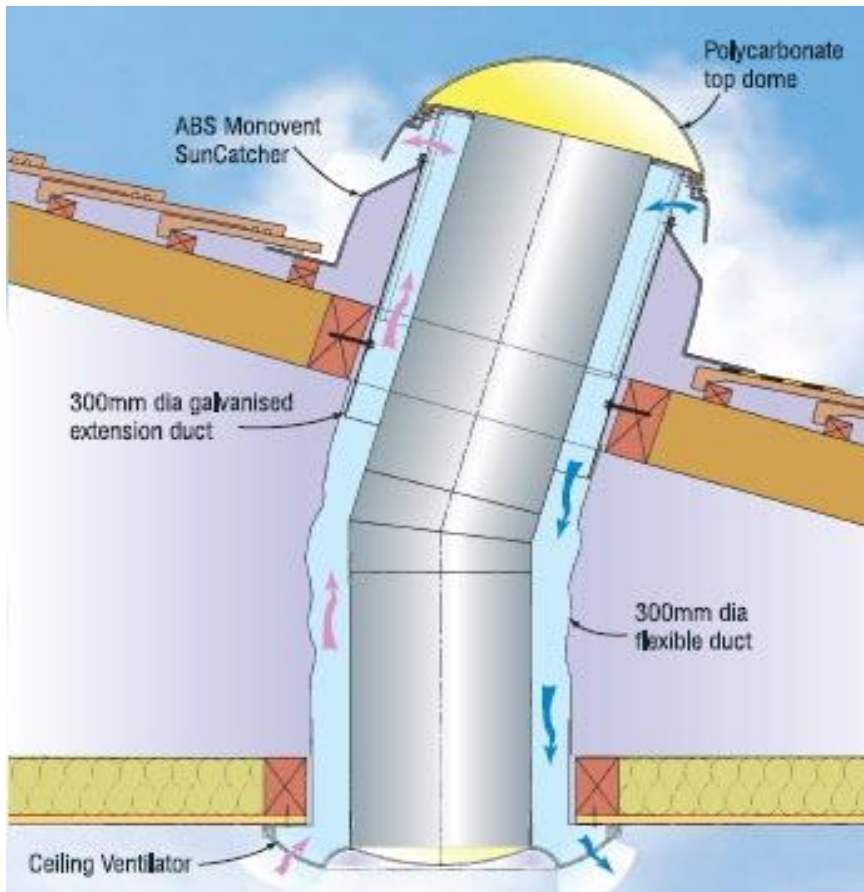
Εικόνα 3.39: Εύκαμπτος σωλήνας αλουμινίου

iv) Super silver φωτοσωλήνας

Σωλήνας αλουμινίου με καθαρό ασήμι και φυσικές αποθέσεις. Προσφέρει 98% ανακλαστικότητα.

v) Monovent - Suncatcher

Οι αγωγοί, με κατάλληλο σχεδιασμό, μπορούν επίσης να συνεισφέρουν στον φυσικό αερισμό των χώρων.



Εικόνα 3.40: Ταυτόχρονος φυσικός φωτισμός και αερισμός

3.8.5 Κάτοπτρα εστίασης ηλιακού φωτός (ηλιοστάτες)

Τα ηλιακά κάτοπτρα (ηλιοστάτες) χρησιμοποιούν καθρέφτες σε διάφορα σχήματα (παραβολικά, επίπεδα) ως ανακλαστήρες για να συγκεντρώσουν, κατευθύνουν, εστιάσουν την ηλιακή ενέργεια όπου είναι επιθυμητό. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε την προσπίπτουσα ποσότητα ηλιακής ενέργειας σε ένα δέκτη.

Τα ηλιακά κάτοπτρα είναι μια τεχνολογία γνωστή στον άνθρωπο από την αρχαιότητα. Χρησιμοποιήθηκαν ευρέως όπου ήταν εφικτό με την πάροδο του χρόνου κυρίως εκμεταλλευόμενοι τη θερμική ενέργεια του ήλιου. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των αναγκών για εκμετάλλευση όλο και περισσότερου φυσικού φωτισμού τα ηλιακά κάτοπτρα βρήκαν εφαρμογές και στο χώρο του φωτισμού κτιρίων. Μπορούν να συνδυαστούν με φωτοσωλήνες και να ενισχύσουν την απόδοσή τους.



Εικόνα 3.41: Κάτοπτρο ενίσχυσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε φωτοσωλήνες

i) Το σύστημα Sunlight-Direct

Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα παραβολικό κάτοπτρο σημειακής εστίασης, το οποίο συγκεντρώνει την προσπίπτουσα ηλιακή δέσμη σε ένα σημείο. Στο σημείο αυτό βρίσκεται η απόληξη αριθμού οπτικών ινών οι οποίες μέσω φωτοσωλήνα μεταφέρουν το ηλιακό φως στο εσωτερικό του κτιρίου. Εκεί ειδικά υβριδικά φωτιστικά σώματα διανέμουν το φως στο χώρο φτάνοντας τα 25000 Lm^5 [7.3.7].



β

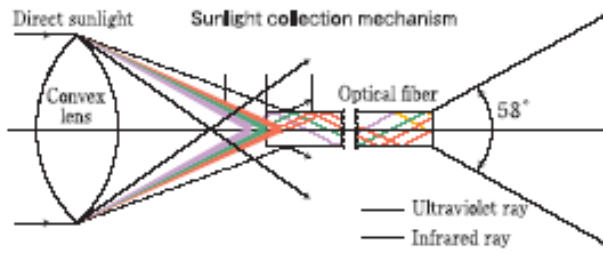
α

Εικόνα 3.42: α) Συλλογή και β) διάθεση φυσικού φωτός σε κτίριο με σύστημα Sunlight-Direct

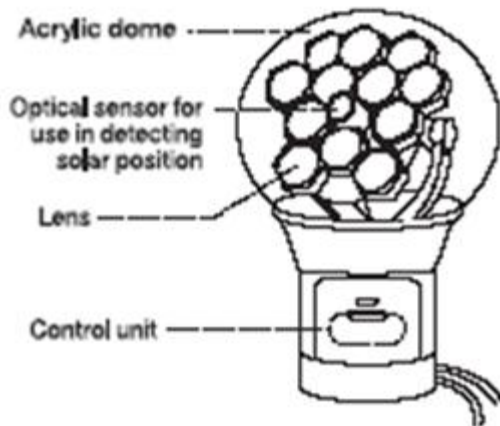
ii) Το σύστημα Himawari

Η λειτουργία του εν λόγω συστήματος μοιάζει με το σύστημα που είδαμε παραπάνω όσον αφορά το σύστημα διανομής εντός του κτιρίου. Ωστόσο κατά τη συλλογή του ηλιακού φωτός το σύστημα Himawari χρησιμοποιεί πολλαπλούς φακούς συγκέντρωσης οι οποίοι οδηγούν σε ένα σύστημα οπτικών ινών το πλήθος των οποίων εξαρτάται από το μέγεθος της κατασκευής. Διαθέτει αυτόματο σύστημα εντοπισμού του ήλιου για μέγιστη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Διαθέτει επίσης φακούς απορρόφησης της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας, και της υπέρυθρης με αποτέλεσμα χαμηλότερη εκπομπή θερμότητας.

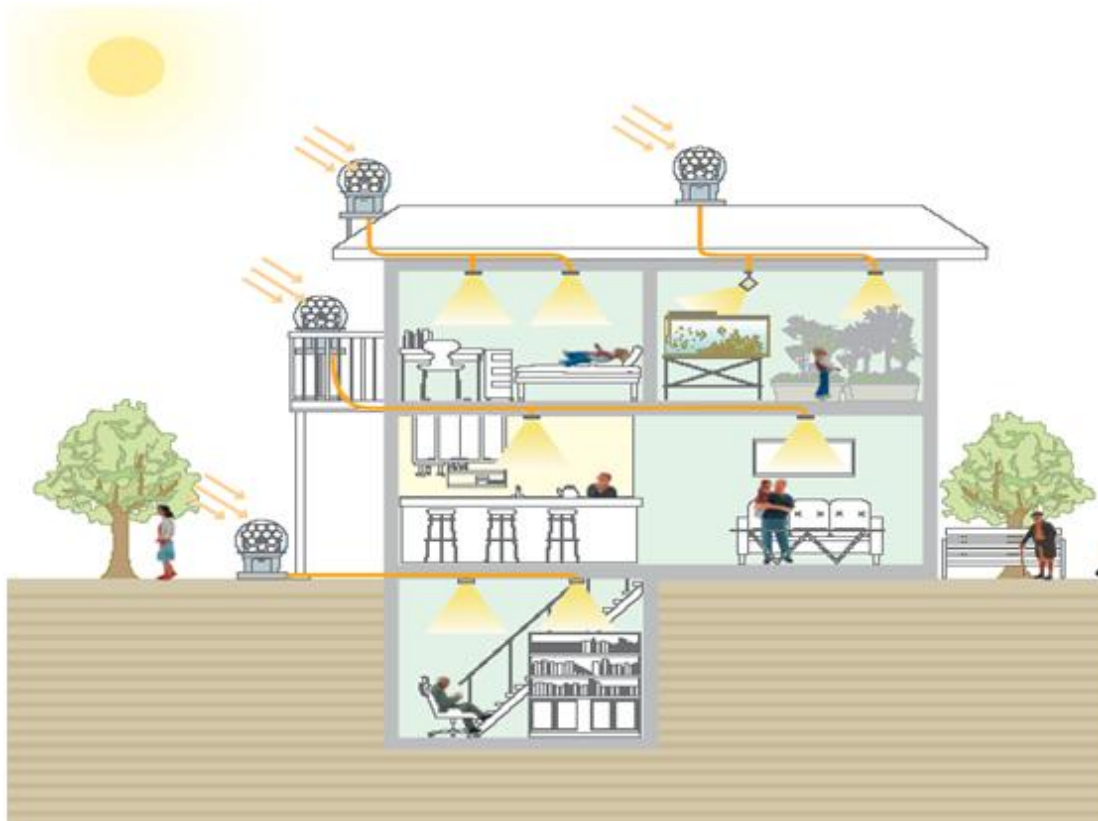
Πρέπει να γνωρίζουμε ότι η έξοδος των οπτικών ινών μεταφέρει πραγματικό ηλιακό φως και θερμότητα. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι αρκετά μεγάλη και πρέπει να τηρείται απόσταση ασφαλείας τουλάχιστον 20cm^6 .



Εικόνα 3.43: Μηχανισμός κατακράτησης υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας σε σύστημα Himawari



Εικόνα 3.44: Τα μέρη του συλλέκτη φωτός του συστήματος Himawari



Εικόνα 3.45: Χρήση του συστήματος Himawari σε οικιακό περιβάλλον



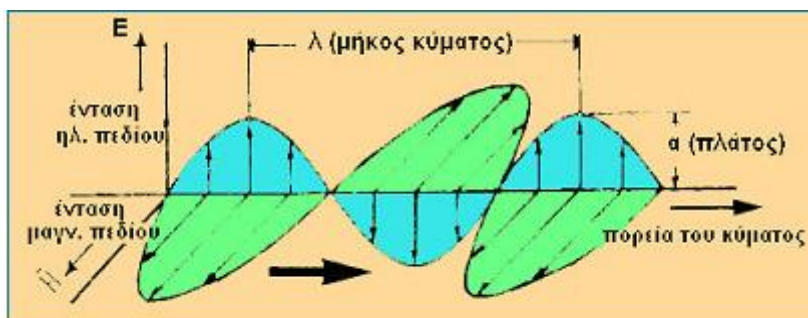
Εικόνα 3.46: Πολλαπλοί συλλέκτες Hiwari σε οροφή κτιρίου

4. ΤΟ ΦΩΣ

4.1 Η φύση του φωτός

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός ($c=299.792.458 \text{ m/s}$) αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη απ' την ταχύτητα του φωτός.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργούνται επίσης όταν ένα ηλεκτρόνιο κάποιου ατόμου χάνει μέρος της ενέργειάς του και μεταπίπτει σε χαμηλότερη τροχιά ή ενεργειακή στάθμη κοντά στον πυρήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθεί μια ταλάντωση που διαδίδεται πλέον στο χώρο με τη μορφή ενός ταυτόχρονα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Τα δύο αυτά πεδία είναι, αφενός μεν, κάθετα μεταξύ τους, αφετέρου και κάθετα με τη διεύθυνση διάδοσης του παραγόμενου κύματος, του λεγόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούσει σε κάποιο άτομο τα δύο συνδυαζόμενα αυτού πεδία μπορούν να προσφέρουν μεταφερόμενη ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα να το εξαναγκάσουν να μεταπηδήσει αυτό σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη.⁷



Εικόνα 4.1: Παράσταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

4.2 Φάσμα Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Το σύμπαν είναι διάχυτο από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το φως που εκπέμπεται από τα άστρα είναι μέρος του συνολικού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που συναντάται στο σύμπαν. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων της και αντίστοιχα την ενέργεια που μεταφέρει χωρίζεται σε περιοχές. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα (Hertzian), τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες (Infrared Rays), το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες (Ultra Violet), οι ακτίνες X (X-Rays) και οι ακτίνες γάμμα (Gamma Rays).

Όλες αυτές οι παραπάνω μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κινούνται (ταξιδεύουν) με την ταχύτητα φωτός και μπορούν ακόμη να διαπεράσουν και ορισμένα υλικά.

Περιοχές	Μήκος κύματος σε nm (1nm=10 ⁻⁹ m)
Κοσμικές ακτίνες	10 ⁻⁵
Ακτίνες γ	10 ⁻⁴
Ακτίνες Χ	10 ⁻³ - 10 ⁻¹
Υπεριώδες	1 - 10
Ορατό	10 ² - 10 ³ { 380 ιώδες μπλε πράσινο κίτρινο 780 κόκκινο
Υπέρυθρο	10 ⁴ - 10 ⁵
Μικροκύματα	10 ⁶ - 10 ⁹
Μικροκύματα και κύματα RADAR	10 ¹⁰ - 10 ¹⁴
Ραδιοφωνικά κύματα	10 ¹⁵ - 10 ¹⁶

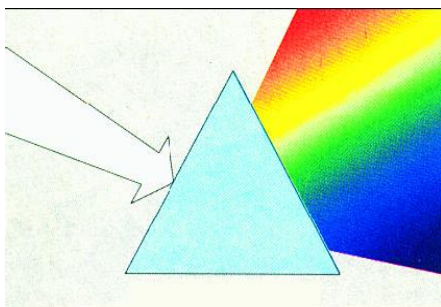
Πίνακας 4.1: Ολικό φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος της. Όταν το μήκος κύματος μιας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι μεταξύ 4000–7500 Å^ο (1 Angstrom = 10⁻¹⁰ m), τότε η ακτινοβολία έχει την ιδιότητα να διεγείρει το ανθρώπινο μάτι και ονομάζεται φωτεινή ακτινοβολία ή απλό φως. Εκτός από τη μονάδα Å^ο χρησιμοποιούνται και οι μονάδες μm = 10⁻⁶ m και nm = 10⁻⁹ m.

Μια φωτεινή ακτινοβολία ονομάζεται μονοχρωματική, όταν συνίσταται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα με περίπου ίδιο μήκος κύματος. Για παράδειγμα, η ακτινοβολία που αντιστοιχεί στο κόκκινο χρώμα έχει μήκος κύματος περίπου 7000 Å^ο ή 700 nm . Αντίθετα, όταν μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα με διαφορετικά μήκη κύματος ονομάζεται σύνθετη.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα σύνθετης ακτινοβολίας αποτελεί το λευκό φως που περιλαμβάνει όλα τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στην φωτεινή ακτινοβολία.

Αν δέσμη λευκού φωτός προσπέσει σε έδρα τριγωνικού πρίσματος, τότε αν στην άλλη έδρα τοποθετήσουμε ένα διάφραγμα, θα παρατηρήσουμε πάνω του μια έγχρωμη φωτεινή ταινία. Η ταινία θα φέρει τα χρώματα ερυθρό, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό, βαθύ κυανό και ιώδες. Τα χρώματα αυτά αντιστοιχούν στις μονοχρωματικές ακτινοβολίες στις οποίες αναλύεται το λευκό φως.



Εικόνα 4.2: Ανάλυση του λευκού φωτός

Η έγχρωμη ταινία που παίρνουμε στο διάφραγμα καλείται φάσμα του λευκού φωτός ή ορατό φάσμα. Με τον όρο φάσμα μιας ακτινοβολίας ονομάζουμε το σύνολο των συχνοτήτων που αντιστοιχούν στα φωτόνια της ακτινοβολίας.

ΧΡΩΜΑ	Μήκος κύματος σε \AA
Ερυθρό	7700 - 6400
Πορτοκαλί	6400 - 5900
Κίτρινο	5900 - 5500
Πράσινο	5500 - 4900
Κυανό	4900 - 4500
Ιώδες	4500 - 4000

Πίνακας 4.2: Φάσμα ορατού φωτός

Το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει τη μέγιστη ευαισθησία στην περιοχή με μήκος κύματος της τάξης των 5500\AA , που αντιστοιχεί στην περιοχή του πρασινοκίτρινου φωτός. Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί ο άνθρωπος βλέπει καλύτερα στο κίτρινο φως του λαμπτήρα νατρίου. Όπως το λευκό φως αναλύεται σε απλές μονοχρωματικές ακτινοβολίες, έτσι μπορεί και να ανασυντεθεί ξανά σε λευκό φως, με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τη συγκέντρωση όλων των μονοχρωματικών ακτινοβολιών σε ένα σημείο, με τη χρήση αντεστραμμένου πρίσματος. Το λευκό φως, εκτός από τις ακτινοβολίες μεταξύ ερυθρού και ιώδους χρώματος, περιέχει και άλλες ακτινοβολίες που δε διεγείρουν το ανθρώπινο μάτι, γι' αυτό και ονομάζονται αόρατες.

Οι αόρατες ακτινοβολίες που βρίσκονται πέρα από το ερυθρό χρώμα, ονομάζονται υπέρυθρες, ενώ αυτές που βρίσκονται πέρα από το ιώδες, ονομάζονται υπεριώδεις.

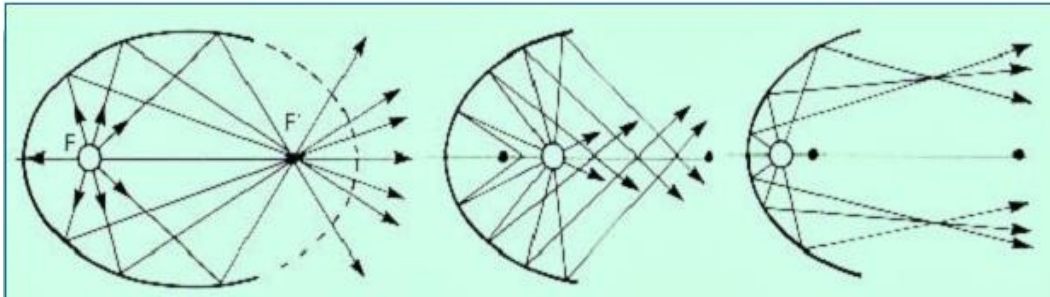
Η υπέρυθη ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τη φωτογράφιση αντικειμένων (με ειδικές ευπαθείς πλάκες), που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση, ανεξάρτητα αν υπάρχει φως. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει βιολογικές δράσεις, απορροφάται από το κοινό γυαλί και προκαλεί εκτός από τα χημικά φαινόμενα, το φθορισμό ορισμένων ουσιών και τον ιονισμό αερίων.⁷

4.3 Φωτεινή δέσμη

Το φως διαδίδεται ευθύγραμμα με τη μορφή ακτινών, που αποτελούνται από φωτόνια που εκπέμπει η φωτεινή πηγή.

Φωτεινή ακτίνα ονομάζουμε την ευθεία τροχιά την οποία ακολουθεί το φως κατά τη διάδοση του.

Ένα σύνολο από φωτεινές ακτίνες συνθέτει τη φωτεινή δέσμη. Μια φωτεινή δέσμη μπορεί να είναι αποκλίνουσα, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης προέρχονται από ένα σημείο, παράλληλη όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης είναι παράλληλες και συγκλίνουσα, όταν όλες οι ακτίνες της δέσμης κατευθύνονται σε ένα σημείο.⁷



Εικόνα 4.3: Αποκλίνουσα, παράλληλη, συγκλίνουσα φωτεινή δέσμη

4.4 Φωτεινή πηγή

Το σώμα που εκπέμπει φως ονομάζεται φωτεινή πηγή. Οι φωτεινές πηγές διακρίνονται στα αυτόφωτα σώματα, όπως είναι ο ήλιος και οι λαμπτήρες φωτισμού, και στα ετερόφωτα σώματα, όπως είναι μια λευκή επιφάνεια η οποία φωτίζεται. Τα ετερόφωτα σώματα δεν παράγουν από μόνα τους φως, αλλά εκπέμπουν το φως που δέχονται από άλλα αυτόφωτα σώματα. Η εκπομπή φωτός από τα αυτόφωτα σώματα συνήθως οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας τους. Κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 525 C εκπέμπει φως. Εκπομπή φωτός μπορεί να γίνει και από τη διέγερση των μορίων ενός αερίου, χωρίς να απαιτείται αύξηση της θερμοκρασίας τους, όπως συμβαίνει στους λαμπτήρες φθορισμού.

Τα ετερόφωτα σώματα ανάλογα με το βαθμό που επιτρέπουν να περάσει το φως από τη μάζα τους και τη δυνατότητα να διακρίνουμε πίσω από αυτά, διακρίνονται σε διαφανή, αδιαφανή και ημιδιαφανή.⁷

4.5 Ανάκλαση του φωτός (Reflection)

Μια επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως λεία όταν οι ανωμαλίες που παρουσιάζει έχουν βάθος μικρότερο από το μέσο μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας (περίπου 0,5 μm). Η εξωτερική επιφάνεια κάθε σώματος διαχωρίζει το σώμα από τον αέρα ή οποιοδήποτε άλλο μέσο το περιβάλλει. Επομένως η επιφάνεια ενός σώματος αποτελεί την διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων.

Όταν το φως προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων υφίσταται κανονική ή ανώμαλη ανάκλαση (διάχυση), ανάλογα με το αν η διαχωριστική επιφάνεια είναι λεία ή τραχειά.

Υποθέτουμε ότι στην επίπεδη αλλά όχι λεία επιφάνεια ενός τοίχου προσπίπτει μια παράλληλη φωτεινή δέσμη. Μετά την πρόσπτωση στην επιφάνεια, κάθε ακτίνα της δέσμης ακολουθεί τυχαία διεύθυνση, η οποία εξαρτάται από την ανωμαλία της επιφάνειας στο σημείο πρόσπτωσης. Το φαινόμενο ονομάζεται διαχέουσα ανάκλαση ή διάχυση του φωτός. Ως αποτέλεσμα της διάχυσης του φωτός είναι το να βλέπουμε στο εσωτερικό ενός δωματίου χωρίς να φωτίζεται απευθείας από τον ήλιο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ακτίνες του ήλιου διαχέονται στις διάφορες επιφάνειες και διασκορπίζονται προς όλες τις κατευθύνσεις.

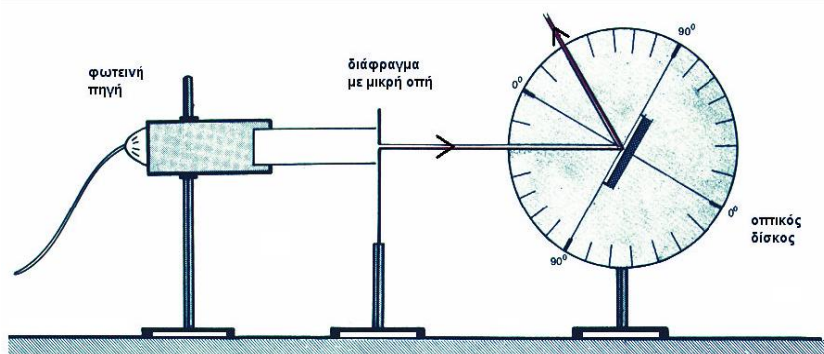
Αν σε μια λεία επιφάνεια, όπως είναι η επιφάνεια από ένα τζάμι, προσπέσει μια παράλληλη δέσμη φωτός, κάθε ακτίνα της δέσμης ακολουθεί μια ορισμένη διεύθυνση, ώστε η δέσμη και μετά την πρόσπτωση να παραμένει παράλληλη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κανονική ανάκλαση του φωτός. Οι λείες επιφάνειες οι οποίες προκαλούν το φαινόμενο της κανονικής ανάκλασης ονομάζονται ανακλαστικές επιφάνειες ή κάτοπτρα.

Μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων που περιγράφηκαν, στην πράξη συμβαίνουν πλήθος ανακλάσεων όπου η κάθε ακραία περίπτωση συμμετέχει σε κάποιο ποσοστό π.χ. Ημιδιαχέουσα ανάκλαση.

Ο όρος ανάκλαση είναι γενικός και περιλαμβάνει κάθε περίπτωση αλλαγής πορείας της φωτεινής δέσμης, χωρίς να προϋποθέτει αναγκαστικά την ύπαρξη λείας και στιλπνής επιφάνειας.

Το φαινόμενο της κανονικής ανάκλασης διέπεται από δύο νόμους, που ονομάζονται νόμοι της ανάκλασης του φωτός. Αυτοί είναι:

- **1ος Νόμος:** Η προσπίπτουσα ακτίνα, η ανακλώμενη και η ευθεία που είναι κάθετη στην ανακλαστική επιφάνεια στο σημείο πρόσπτωσης βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο πρόσπτωσης), το οποίο είναι κάθετο στην ανακλαστική επιφάνεια.
- **2ος Νόμος:** Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης.



Εικόνα 4.4: Ανάκλαση φωτεινής ακτίνας σε πειραματική διάταξη

Όταν δέσμη φωτός προσπέσει σε λεία επιφάνεια, θα ανακλαστεί από την επιφάνεια αυτή. Αν Φ είναι η προσπίπτουσα σε μια επιφάνεια φωτεινή ροή και $\Phi\rho$ η ανακλασθείσα, τότε το πηλίκο $\Phi\rho / \Phi$ ορίζει ένα μέγεθος που καλείται συντελεστής ανάκλασης ρ . Δηλαδή:

$$\rho = \frac{\Phi\rho}{\Phi}$$

Η μορφή της ανακλώμενης δέσμης και πρακτικά το είδος ανάκλασης καθορίζονται από την υφή της ανακλώμενης επιφάνειας. Η σύνθεση όμως της δέσμης, δηλαδή οι ακτινοβολίες από τις οποίες αποτελείται, και οι τυχόν διαφορές μεταξύ προσπίπτουσας και ανακλώμενης δέσμης εξαρτώνται από το υλικό της ανακλώμενης επιφάνειας.

Υπάρχουν υλικά όπου στην ανακλώμενη από αυτά δέσμη φωτός μπορεί να αλλάξει η μορφή και η έντασή της όχι όμως και η σύνθεσή της. Σε αυτά τα υλικά ο συντελεστής ανάκλασης είναι ανεξάρτητος του μήκους κύματος⁷.

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης ρ
Καθρέπτης	0,95 - 0,98
Λευκό πλαστικό χρώμα	0,70 - 0,80
Λευκό μάρμαρο	0,60 - 0,85
Αλουμίνιο (στιλπνό)	0,65 - 0,75
Χρώμιο (στιλπνό)	0,60 - 0,70
Νικέλιο (στιλπνό)	0,53 - 0,63
Αλουμίνιο (θαμπό)	0,55 - 0,60
Χρώμιο (ματ)	0,52 - 0,55

Νικέλιο (θαμπό)	0,48 - 0,52
Μπετόν	0,40 - 0,50
Παραπετάσματα κίτρινα	0,30 - 0,45
Τούβλα	0,10 - 0,30
Παραπετάσματα γκριζα	0,15 - 0,25
Παραπετάσματα ερυθρά	0,10 - 0,20
Μαύρο βελούδο	0,005 - 0,01

Πίνακας 4.3: Πίνακας συντελεστών ανάκλασης επιφανειών που φωτίζονται από λευκό φως

Για τις περιπτώσεις της διαχέουσας ανάκλασης, στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι συντελεστές ανάκλασης για τα κυριότερα χρώματα, σε τρεις αποχρώσεις για το καθένα, ανοιχτό, μέσο και βαθύ.

Χρώμα	Ανοιχτό	Μέσο	Βαθύ
Λευκό	0,8	0,7	-
Κίτρινο	0,7	0,5	0,3
Γκριζο	0,6	0,35	0,2
Πράσινο	0,6	0,3	0,12
Καφέ	0,5	0,25	0,08
Μπλε	0,5	0,2	0,05
Κόκκινο	0,35	0,2	0,1
Μαύρο	-	0,04	-

Πίνακας 4.4: Πίνακας συντελεστών διαχέουσας ανάκλασης χρωματιστών επιφανειών που φωτίζονται από λευκό φως

4.6 Απορρόφηση του φωτός (Absorption)

Το φως, κατά το πέρασμά του στο κενό, δεν υφίσταται καμιά μεταβολή. Όταν όμως διαπερνά υλικά σώματα, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό απορροφάται από αυτά. Αν Φ_r είναι το μέρος της φωτεινής ροής που απορροφάται από ένα υλικό πάχους x , όταν προσπέσει πάνω του φωτεινή ροή Φ , τότε το πηλίκο $\rho = \Phi_r / \Phi$ καλείται συντελεστής απορρόφησης ρ .

Η επιλεκτική απορρόφηση ακτινοβολιών επιτυγχάνεται στην πράξη με τη χρήση έγχρωμων φίλτρων. Τα φίλτρα δεν απορροφούν ομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές του φάσματος. Σε μη μονοχρωματικές ακτινοβολίες πρακτικά αλλάζουν τη φασματική σύνθεση της φωτεινής ροής που πέφτει πάνω τους. Η μεταβολή στο πάχος του φίλτρου προκαλεί και μεταβολή του χρώματος της ακτινοβολίας.⁷

4.7 Φως και χρώμα

Καθεμιά από τις ακτινοβολίες του ορατού φάσματος, όταν προσπίπτει στο ανθρώπινο μάτι, προκαλεί διαφορετικό φωτοερέθισμα, που ερμηνεύεται από τον άνθρωπο ως χρώμα. Η εντύπωση του χρώματος διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Το φως των διαφόρων φωτεινών πηγών διαφέρει στα ποσοστά των μονοχρωματικών ακτινοβολιών που εκπέμπει. Αυτή η διαφορά προσδιορίζεται από την ενεργειακή φασματική κατανομή του φωτός της πηγής.

Οι διάφορες επιφάνειες των σωμάτων απορροφούν, ολικά ή μερικά, διάφορα μήκη κύματος της ακτινοβολίας που πέφτει επάνω τους και ανακλούν τα υπόλοιπα. Ο συντελεστής απορρόφησης και ο συντελεστής ανάκλασης ενός υλικού δεν είναι ίδιος για όλα τα μήκη κύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το φως που φτάνει στο ανθρώπινο μάτι μετά από την ανάκλαση στην επιφάνεια ενός υλικού να μην είναι το ίδιο με αυτό που έστειλε η φωτεινή πηγή.

Το χρώμα ενός διαφανούς σώματος εξαρτάται από τις ακτινοβολίες που απορροφά το σώμα. Αν ένα διαφανές σώμα απορροφά όλες τις ακτινοβολίες εκτός από την ερυθρή, το σώμα θα έχει ερυθρό χρώμα.

Το χρώμα ενός αδιαφανούς σώματος εξαρτάται από τις ακτινοβολίες που το σώμα ανακλά, διαχέει και απορροφά.

Για να αποδώσει σωστά μια επιφάνεια το χρώμα της, πρέπει το φως που θα τη φωτίσει να περιέχει όλα τα μήκη κύματος των ακτινοβολιών, σε σωστή αναλογία. Το φως του ήλιου έχει αυτή την ιδιότητα και θεωρείται ιδανική πηγή φωτισμού, ενώ το φως των κοινών λαμπτήρων φθορισμού υστερεί σημαντικά σε αυτό. Το φως των λαμπτήρων πυράκτωσης προσεγγίζει το φως του ήλιου.

Επομένως, στον προσδιορισμό του χρώματος ενός αντικειμένου συντελούν δύο παράγοντες:

1. οι ανακλαστικές ιδιότητες του υλικού και,
2. η χρωματική απόδοση της φωτεινής πηγής.

Για τον προσδιορισμό του βαθμού πιστότητας των λαμπτήρων στην απόδοση των χρωμάτων, έχει ορισθεί ο δείκτης χρωματικής απόδοσης R_a αυτών.

Ο δείκτης αυτός συγκρίνει την πιστότητα με την οποία το φως μιας φωτεινής πηγής αποδίδει τα χρώματα, σε σύγκριση με μια άλλη πηγή που θεωρείται πρότυπη.

Η τελική όμως ερμηνεία ενός χρώματος επηρεάζεται και από το αισθητήριο της όρασης. Στις μονοχρωματικές ακτινοβολίες (π.χ. πράσινο, κόκκινο χρώμα) υπάρχει πλήρης αντιστοιχία μεταξύ χρώματος και ερεθίσματος, ενώ στα χρώματα που προκύπτουν από ανάμειξη απλών χρωμάτων (σύνθετα χρώματα) δεν υπάρχει τέτοια αντιστοιχία και η χρωματική εντύπωση δημιουργείται από το αίσθημα του επικρατούντος χρώματος.

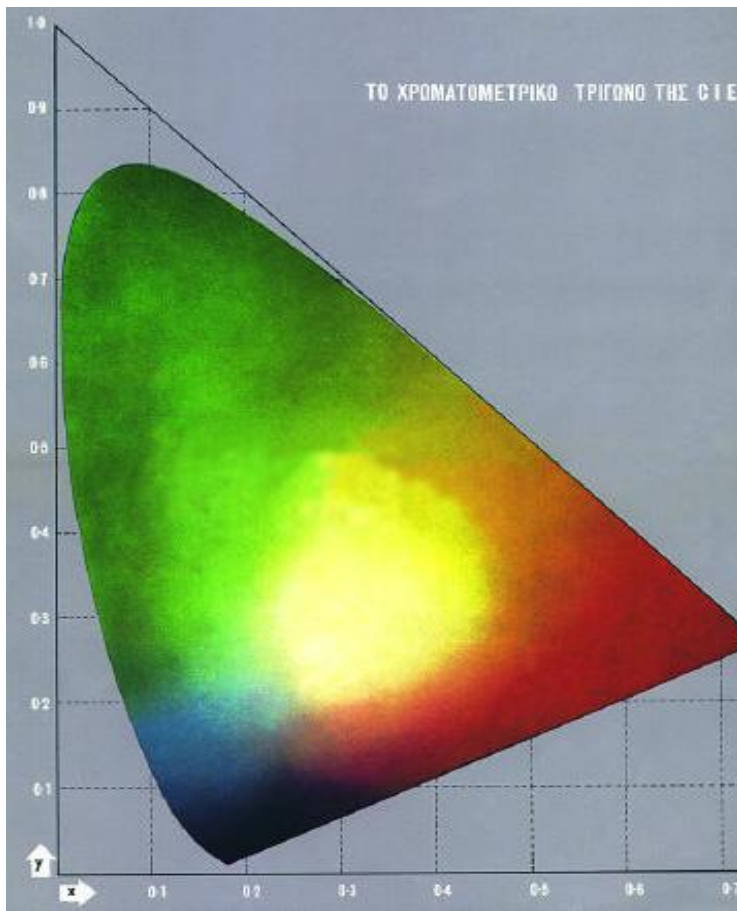
Η παραγωγή σύνθετων χρωμάτων μπορεί να γίνει με πρόσθεση απλών χρωμάτων σε διάφορες αναλογίες ή με αφαίρεση με τη βοήθεια φίλτρων.

Η πρόσθεση δύο χρωμάτων παράγει τρίτο χρώμα. Η πρόσθεση των τριών βασικών χρωμάτων, κόκκινου, πράσινου και μπλε δίνει λευκό χρώμα.

Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (C.I.E - Commission Internationale de l' Eclairage), για την κάλυψη της ανάγκης καθορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών ενός χρώματος, υιοθέτησε το 1931 ένα χρωματικό σύστημα που εξακολουθεί να ισχύει μέχρι σήμερα με μικρές τροποποιήσεις.

Το σύστημα της C.I.E. βασίζεται στη γενική αρχή κατά την οποία με μείξη τριών βασικών χρωμάτων σε διάφορες αναλογίες μπορεί να δημιουργηθεί οποιοδήποτε χρώμα. Το «χρωματικό επίπεδο» (επίπεδο απεικόνισης των χρωμάτων) αποτελείται από ορθογώνιο τρίγωνο στις κορυφές του οποίου έχουν τοποθετηθεί τρία κύρια χρώματα X (ερυθρό), Y (πράσινο) και Z (κυανό), με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Κάθε χρώμα χαρακτηρίζεται από τρεις συντεταγμένες X, Y, Z, οι οποίες καλούνται χρωματομετρικές συντεταγμένες. Αν είναι γνωστές οι δύο από τις τρεις συντεταγμένες, τότε προσδιορίζεται το σημείο του χρωματικού επιπέδου για το οποίο αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο χρώμα, από το άθροισμα $X + Y + Z = 1$.

Με το σύστημα του χρωματικού τριγώνου, οποιοδήποτε χρώμα καθορίζεται πλήρως όταν είναι γνωστές οι χρωματομετρικές του συντεταγμένες, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη πειραματική βοήθεια της φασματοφωτομετρίας.⁷



Εικόνα 4.5: Απεικόνιση χρωματικού τριγώνου CIE

4.8 Θερμοκρασία χρώματος (Colour temperature, T_c)

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σ' ένα χώρο, επηρεάζει τη γενικότερη εντύπωση που μας δίνει ο χώρος αυτός. Για παράδειγμα, ένας λαμπτήρας πυράκτωσης δημιουργεί συνήθως μια «θερμή» εντύπωση, λόγω του πλούσιου σε ερυθρές ακτινοβολίες φωτός του λαμπτήρα. Αντίθετα, ένας λαμπτήρας ατμών υδραργύρου μη διορθωμένου φάσματος δίνει μια «ψυχρή εντύπωση», λόγω του μεγάλου ποσοστού κυανής και κίτρινης ακτινοβολίας που περιέχει.

Επίσης, αν παρατηρήσουμε το εκπεμπόμενο φως λαμπτήρα πυράκτωσης για διάφορες τάσεις τροφοδοσίας, θα παρατηρήσουμε ότι όσο πιο μικρή είναι η τάση (μικρότερο ρεύμα, μικρότερη θερμοκρασία νήματος) τόσο «θερμότερη» εντύπωση μας δίνει το φως που εκπέμπει ο λαμπτήρας.

Για το θέμα αυτό μελετήθηκαν οι ιδιότητες μιας ιδανικής διάταξης που καλείται «μέλαν σώμα» και έχει την ιδιότητα να απορροφά όλες τις ακτινοβολίες που πέφτουν σ' αυτή.

Το μέλαν σώμα εκπέμπει ακτινοβολία με τη μορφή θερμότητας. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτό για κάθε θερμοκρασία αντιστοιχεί και σε ένα χρώμα. Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας στη οποία βρίσκεται το μέλαν σώμα και της χρωματικής εντύπωσης που

προκαλείται από την ακτινοβολία που αυτό εκπέμπει εκφράζεται σε βαθμούς της απόλυτης κλίμακας Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

Λαμπτήρες που η φωτεινή τους ακτινοβολία αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες χρώματος μικρότερες των 3300°K ονομάζονται «θερμοί» λαμπτήρες και το φάσμα τους είναι πλούσιο σε ερυθρές ακτινοβολίες.

Όσο αυξάνει η θερμοκρασία χρώματος, τόσο το φως του λαμπτήρα γίνεται λευκότερο (μέχρι τους 5000°K περίπου).

Λαμπτήρες που εκπέμπουν φωτεινή ακτινοβολία που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία χρώματος πάνω από 5000°K ονομάζονται «ψυχροί» λαμπτήρες και το φάσμα τους περιέχει μεγάλο ποσοστό κυανής ακτινοβολίας.⁷

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι θερμοκρασίες χρώματος μερικών πηγών φωτισμού.

Είδος φωτεινής πηγής	Θερμοκρασία χρώματος σε $^{\circ}\text{K}$
Ηλιακό φως	5800 – 6500
Σεληνόφως	4100
Λαμπτήρας προβολέα	3000 – 3200
Λαμπτήρας πυράκτωσης με διπλό νήμα	2700 – 2900
Λαμπτήρας πυράκτωσης με αέριο	2700
Λαμπτήρας Πυράκτωσης κενού	2500 – 2600
Κερί	1900 - 1950

Πίνακας 4.5: Πηγές φωτισμού και θερμοκρασία χρώματος

Παρατήρηση:

Όταν λέμε ότι ένας λαμπτήρας έχει θερμοκρασία, για παράδειγμα, 2700°K , εννοούμε ότι με μεγάλη προσέγγιση, το εκπεμπόμενο από αυτόν φως μοιάζει, όσον αφορά την ενεργειακή φασματική κατανομή του, με το φως που εκπέμπεται από το μέλαν σώμα στη θερμοκρασία των 2700°K .

5. ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

5.1 Φωτεινή ενέργεια

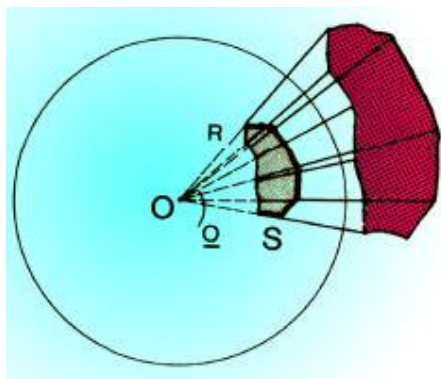
Φωτεινή ενέργεια Q καλείται η ενέργεια που διαδίδεται στο χώρο από μια φωτεινή πηγή με τη μορφή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μετριέται σε λουμενώρες (lumenh), που είναι μονάδες αντίστοιχες με τις βατώρες (Wh) της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Φωτομετρία εξετάζει την φωτεινή ενέργεια που εκπέμπουν οι διάφορες φωτεινές πηγές.

Φωτομετρικά μεγέθη καλούνται τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στη Φωτομετρία.

5.2 Στερεά γωνία (Solid Angle, Ω)

Ας θεωρήσουμε στο χώρο ένα σημείο O και μια κλειστή γραμμή τυχαίου σχήματος. Διάφορα σημεία αυτής της κλειστής γραμμής μπορούν να ενωθούν με ευθείες γραμμές με το σημείο O . Το μέρος του χώρου που περικλείεται και περιορίζεται από αυτές τις ευθείες γραμμές ονομάζεται στερεά γωνία με κορυφή το σημείο O .



Αν με κέντρο το σημείο O (κορυφή της στερεάς γωνίας) διαγράψουμε σφαίρα ακτίνας R , τότε ορίζεται μια επιφάνεια S στην επιφάνεια της σφαίρας. Το μέτρο της αντίστοιχης στερεάς γωνίας που σχηματίστηκε είναι:

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

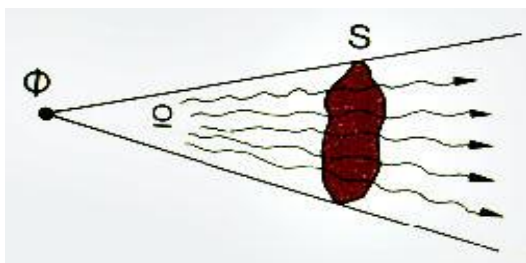
Από αυτή τη σχέση προκύπτει ότι η στερεά γωνία είναι αδιάστατος αριθμός. Αν έχουμε σφαίρα ακτίνας R και μια κλειστή γραμμή που ορίζει στην επιφάνεια της σφαίρας εμβαδόν $S = R^2$, τότε το κέντρο της σφαίρας και διάφορα σημεία της κλειστής γραμμής ορίζουν μια στερεά γωνία, που έχει μέτρο 1 sterad.

Εικόνα 5.1: Απεικόνιση στερεάς γωνίας

Επειδή η συνολική επιφάνεια μιας σφαίρας είναι $S = 4\pi R^2$, η στερεά γωνία που ορίζεται από ολόκληρη τη σφαίρα αντιστοιχεί σε γωνία $\Omega = 4\pi R^2 / R^2 = 4\pi$ (sterad).

Μονάδα της στερεάς γωνίας είναι το ένα στερεακτίσιο (1sterad ή sr).

5.3 Φωτεινή ροή ή Φωτεινή ισχύς (Luminous Flux, Φ)



Εικόνα 5.2: Εκπομπή φωτεινής ροής μέσα από στερεά γωνία

Η μαθηματική έκφραση $\Phi = \frac{dQ}{dt}$, δηλαδή το πηλίκο της στοιχειώδους ενέργειας που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή σε στοιχειώδη χρόνο δια του χρόνου αυτού, εκφράζει το φωτομετρικό μέγεθος που ονομάζεται φωτεινή ροή ή φωτεινή ισχύς.

Όταν ο ρυθμός με τον οποίο εκπέμπεται η φωτεινή ενέργεια από την πηγή είναι σταθερός, η φωτεινή ροή είναι

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Η φωτεινή ροή που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο η πηγή εκπέμπει φωτεινή ενέργεια.

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm).

5.4 Αποδοσή φωτεινής πηγής (α)

Οι ηλεκτρικές φωτεινές πηγές (λαμπτήρες) καταναλίσκουν ηλεκτρική ενέργεια την οποία μετατρέπουν σε ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας είναι φωτεινή. Η γνώση της φωτεινής ισχύος μας βοηθάει στον καθορισμό της απόδοσης του λαμπτήρα.

Η απόδοση ενός φωτιστικού σημείου ή σώματος εκφράζεται σε lm/W και μας δίνει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ισχύος ή ροής για κάθε Watt καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

$$a = \frac{\Phi}{P_{\eta\lambda}}$$

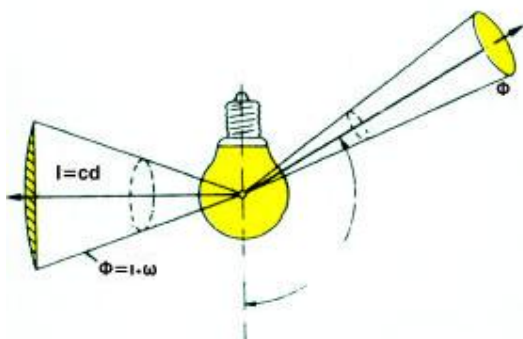
Όπου:

Φ : Φωτεινή Ροή λαμπτήρα

$P_{\eta\lambda}$: Καταναλισκόμενη από τον λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύ

5.5 Ένταση φωτεινής πηγής (Luminous Intensity, I)

Ορίζεται ως ένταση I μιας φωτεινής πηγής το ηλίκο της στοιχειώδους φωτεινής ροής $d\Phi$ που εκπέμπεται στο εσωτερικό μιας στοιχειώδους στερεάς γωνίας $d\omega$ προς τη στερεά αυτή γωνία. Δηλαδή, $I = d\Phi/d\omega$.



Εικόνα 5.3: Ένταση φωτεινής πηγής

Εάν η ένταση της φωτεινής πηγής είναι η ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις (ομοιόμορφη εκπομπή), τότε ισχύει:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Μονάδα μέτρησης της έντασης μιας φωτεινής πηγής είναι η candela (cd).

$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$ ή $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$

Ένα lumen είναι η φωτεινή ροή που εκπέμπεται εντός στερεάς γωνίας ενός sterad από φωτεινή πηγή ομοιόμορφης ακτινοβολίας έντασης μιας candela.

Παρατηρήσεις:

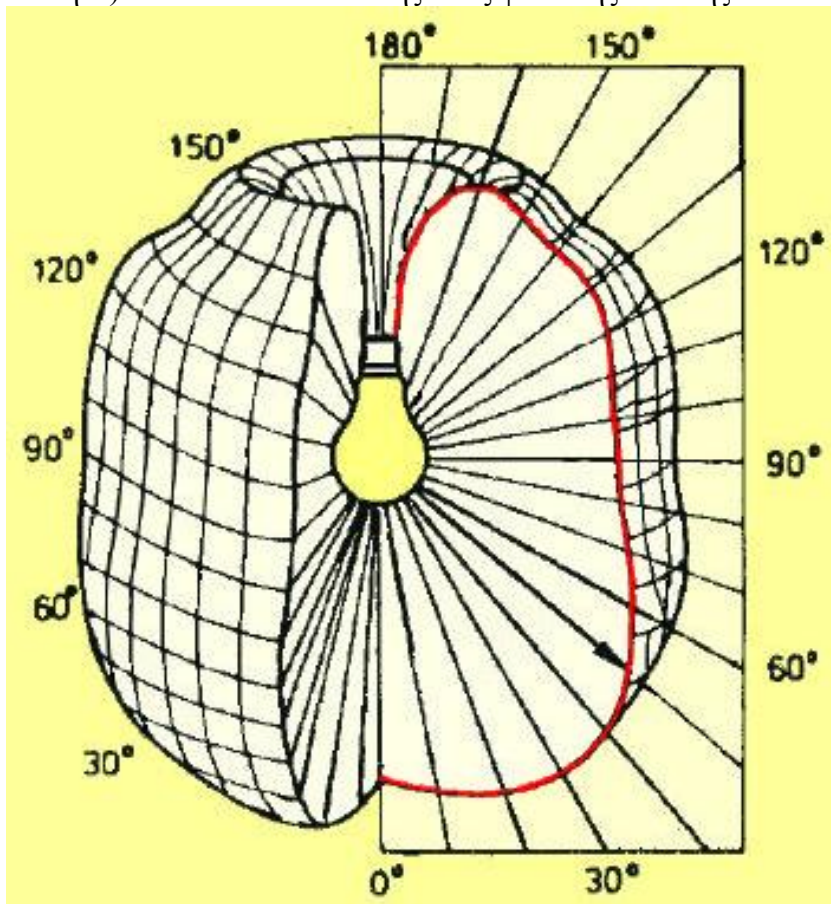
1. Μια candela ισούται με το 1/60 της έντασης ενός τετραγωνικού εκατοστού από την επιφάνεια «μέλανος σώματος» που βρίσκεται σε θερμοκρασία 1773 °C (θερμοκρασία τήξης λευκόχρυσου), αν θεωρηθεί ότι η επιφάνεια ακτινοβολεί κάθετα.
2. Αν μια σημειακή φωτεινή πηγή εκπέμπει ομοιόμορφα ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις, τότε η συνολικά εκπεμπόμενη φωτεινή ροή $\Phi_{\text{ολ}}$ θα είναι η φωτεινή ροή που περνά από στερεά γωνία $\omega=4\pi$ (sterad), δηλαδή θα είναι: $\Phi_{\text{ολ}} = 4\pi I$. Εάν η ένταση της σημειακής φωτεινής πηγής είναι $I = 1 \text{ cd}$, τότε από τη σχέση προκύπτει: $\Phi_{\text{ολ}} = 4\pi I = 4\pi$ (sterad cd) = 4π lumen = 12,56 lumen.
3. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι η ένταση είναι χαρακτηριστικό της πηγής. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση του φυσικού φωτισμού η ένταση του φωτός του ηλίου δεν εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου που βρισκόμαστε.

5.5.1 Πολικά Διαγράμματα

Στην πράξη, επειδή δεν υπάρχουν ιδανικές φωτεινές πηγές με ομοιόμορφη σφαιρική κατανομή του φωτός γύρω τους, η διανομή της φωτεινής έντασης στις διάφορες κατευθύνσεις δίνεται σε διάγραμμα πολικών συντεταγμένων με μορφή καμπύλης, η οποία ονομάζεται καμπύλη φωτεινής έντασης ή φωτομετρικό διάγραμμα ή πολικό διάγραμμα.

Όταν η φωτεινή πηγή παρουσιάζει διανομή της φωτεινής έντασης συμμετρική ως προς άξονα και έχει σε όλα τα επίπεδα την ίδια μορφή, τότε μπορεί να παρασταθεί με το μισό της μορφής της.

Επίσης, μπορεί να παρασταθεί με ένα στερεό συμμετρικό σώμα, που προκύπτει από την περιστροφή της καμπύλης έντασης φωτισμού του φωτιστικού σώματος γύρω από τον άξονα συμμετρίας του (φωτομετρικό στερεό). Καθένας από τους κύκλους, που συνιστούν το συμμετρικό σώμα αποτελεί το γεωμετρικό τόπο (σύνολο σημείων που έχουν την ίδια ιδιότητα) των κατευθύνσεων της ίδιας φωτεινής έντασης.



Εικόνα 5.4: Καμπύλη φωτεινής έντασης και φωτομετρικό διάγραμμα

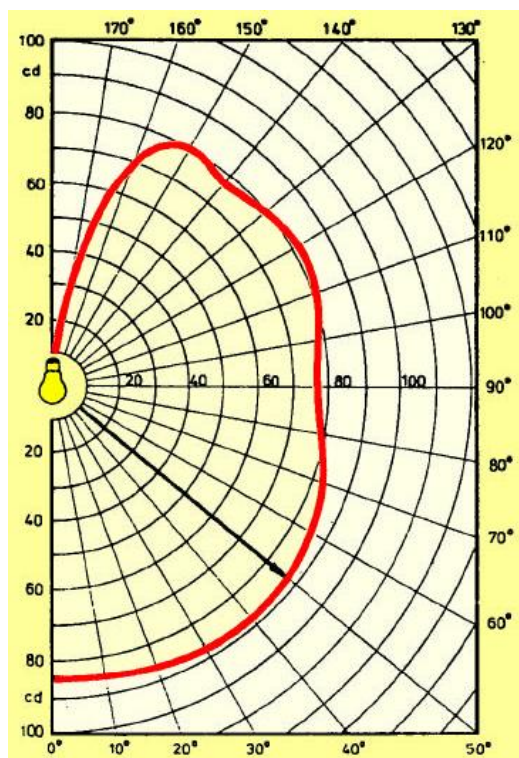
Από το παράδειγμα του λαμπτήρα της Εικόνα 5.4 και συγκεκριμένα από τις κατευθύνσεις διάδοσης του φωτός (σε μοίρες) με τα σημεία τομής της καμπύλης φωτεινής έντασης (παχιά γραμμή), παίρνουμε τις αντίστοιχες φωτεινές εντάσεις (με τη βοήθεια των κύκλων ίδιας φωτεινής έντασης):

1. στην κατεύθυνση των 40° αντιστοιχεί $I_{40} = 89$ cd
2. στην κατεύθυνση των 90° αντιστοιχεί $I_{90} = 78$ cd
3. στην κατεύθυνση των 180° αντιστοιχεί $I_{180} = 0$ cd

Άρα η ευνοϊκότερη περίπτωση έντασης φωτισμού από το συγκεκριμένο λαμπτήρα της Εικόνας 1.10.3γ βρίσκεται στην κατεύθυνση μεταξύ 30° και 50° και η χειρότερη στις 180° (πάνω από το λαμπτήρα).

Κάθε καμπύλη φωτεινής έντασης αναφέρεται συνήθως σε λαμπτήρα φωτεινής ροής 1000 lm, οπότε για την εύρεση της έντασης κάθε λαμπτήρα πολλαπλασιάζουμε την τιμή του διαγράμματος με τον κατάλληλο συντελεστή.

Για παράδειγμα, αν μελετάμε φωτιστικό σώμα λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης φωτεινής ροής 13500 lm, οι τιμές της φωτεινής έντασης που λαμβάνονται από το πολικό διάγραμμα θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή 13,5 (13500 / 1000 = 13,5).



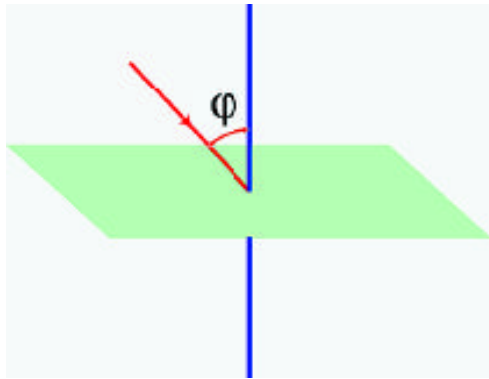
Εικόνα 5.5: Καμπύλη φωτεινής έντασης λαμπτήρα πυράκτωσης

5.6 Νόμοι της φωτομετρίας

1ος νόμος της φωτομετρίας: Ο φωτισμός μιας επιφάνειας από μια παράλληλη φωτεινή δέσμη είναι ανάλογος με το συνημίτονο της γωνίας με την οποία προσπίπτουν στην επιφάνεια οι ακτίνες της δέσμης.

$$E = \frac{\Phi * \cos\varphi}{S}$$

Η γωνία μετριέται ως προς την κάθετο στο φωτιζόμενο επίπεδο, δηλαδή είναι η γωνία που σχηματίζεται από τη διεύθυνση της προσπίπτουσας δέσμης με την κάθετο στο φωτιζόμενο επίπεδο.



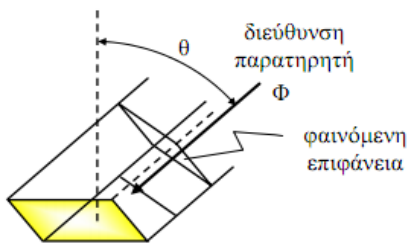
Εικόνα 5.6: Ορισμός προσπίπτουσας γωνίας φωτεινής δέσμης

2ος νόμος της φωτομετρίας: Ο φωτισμός που προκαλεί μια σημειακή φωτεινή πηγή σ' ένα σημείο μιας επιφάνειας είναι ανάλογος με την ένταση της φωτεινής πηγής, ανάλογος με το συνημίτονο της γωνίας με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες στη στοιχειώδη επιφάνεια και αντιστρόφως ανάλογος με το τετράγωνο της απόστασης της φωτεινής πηγής από το φωτιζόμενο σημείο.

$$E = \frac{I * \cos\varphi}{R^2}$$

5.7 Λαμπρότητα ή Φωτεινότητα (Luminance,L)

Η λαμπρότητα είναι βασικό μέγεθος της φωτοτεχνίας, γιατί προκαλεί στο ανθρώπινο μάτι το αίσθημα της φωτεινότητας των διαφόρων αντικειμένων. Τα διάφορα αντικείμενα διακρίνονται από τη λαμπρότητα με την οποία ακτινοβολούν το φως προς την κατεύθυνση του παρατηρητή. Δεν έχει καμιά σημασία αν η επιφάνεια εκπέμπει φως (δηλαδή είναι αυτόφωτη) ή δέχεται ακτινοβολία (είναι ετερόφωτη).



Εικόνα 5.7: Λαμπρότητα επιφάνειας

Ιδανικές σημειακές φωτεινές πηγές δεν υπάρχουν. Στην πράξη, οι φωτεινές πηγές έχουν διαστάσεις και η φωτεινή ενέργεια εκπέμπεται από συγκεκριμένη επιφάνεια. Αν παρατηρήσουμε δύο μη σημειακές φωτεινές πηγές διαφορετικών διαστάσεων αλλά ίδιας φωτεινής έντασης I, τότε έχουμε την εντύπωση ότι η πηγή με τις μικρότερες διαστάσεις είναι «λαμπρότερη» από την άλλη.

Με δεδομένο ότι η ένταση δεν αποτελεί μοναδικό κριτήριο για τη σύγκριση φωτεινών πηγών, καθορίστηκε ένα μέγεθος χαρακτηριστικό της επιφάνειας που φωτοβολεί, το οποίο ονομάζεται λαμπρότητα και συμβολίζεται με το L (Luminance). Αν η επιφάνεια παρατηρηθεί με τρόπο ώστε η διεύθυνση της όρασης να είναι κάθετη στην επιφάνεια, ως λαμπρότητα ορίζεται το πηλίκο:

$$L = \frac{I}{S}$$

όπου I είναι η ένταση της φωτεινής πηγής και S η επιφάνειά της.

Αν η επιφάνεια παρατηρηθεί υπό γωνία τότε η λαμπρότητα ορίζεται ως:

$$L = \frac{I}{dS * \cos\varphi}$$

Η λαμπρότητα μιας επιφάνειας σπάνια είναι ομοιογενής, γι' αυτό η παραπάνω σχέση δίνει τη «μέση λαμπρότητα» της επιφάνειας.

Μονάδα λαμπρότητας είναι το 1 Nit = 1 cd / m².

Υψηλές τιμές λαμπρότητας προκαλούν το ανεπιθύμητο φαινόμενο της θάμβωσης, που επηρεάζει την ικανότητα της όρασης.

Είδος πηγής	Λαμπρότητα σε cd/cm^2
Μεσημεριανός ήλιος	150000
Λαμπτήρας πυράκτωσης με διαφανή κώδωνα	200 - 2000
Λαμπτήρας ατμών Νατρίου	10 – 14
Λαμπτήρας ατμών Υδραργύρου υψηλής πίεσης	4 – 25
Λαμπτήρας πυράκτωσης με ματ κώδωνα	1 – 5
Φλόγα κεριού	0,7
Λαμπτήρας φθορισμού	0,35 – 0,75
Σελήνη	0,25

Πίνακας 5.1: Τιμές μέσης λαμπρότητας φωτεινών πηγών

Νόμος του Lambert: Αν η διεύθυνση της όρασης σχηματίζει με την κάθετο στην επιφάνεια γωνία φ και θεωρήσουμε ότι η φωτεινή πηγή και υπό αυτή τη γωνία έχει την ίδια ένταση I , τότε η λαμπρότητα δίνεται από τη σχέση:

$$L_{\varphi} = \frac{I}{S} \cos\varphi \quad (\text{με } \varphi \neq 90^{\circ})$$

Η σχέση αυτή αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του νόμου του Lambert, σύμφωνα με τον οποίο:

Το μέγεθος της λαμπρότητας μιας επιφάνειας εξαρτάται από τη διεύθυνση παρατήρησης.

5.7.1 Θάμβωση (Glare, G).

Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε κάποιος να αισθάνεται ενόχληση και μείωση της ικανότητας να διακρίνει αντικείμενα εξαιτίας της μη κατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας, λόγω υπερβολικών αντιθέσεων λαμπρότητας. Πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι η Θάμβωση μπορεί να αποφευχθεί όταν μεταξύ των σημείων του οπτικού πεδίου με την μέγιστη και την ελάχιστη λαμπρότητα ισχύει η σχέση:

$$(L_{\max} - L_{\min}) / L_{\min} \leq 10\%$$

Η θάμβωση παρουσιάζεται με τρεις μορφές:

- την **απόλυτη θάμβωση** (*dazzle*), η οποία οφείλεται σε υπερβολικά μεγάλη λαμπρότητα μέσα στο οπτικό πεδίο (τιμές μεγαλύτερες από 10.000 cd/m^2)
- την **ψυχολογική θάμβωση ή θάμβωση ενόχλησης** (*psychological glare, discomfort glare*), κατά την οποία δημιουργείται μία δυσφορία και έλλειψη άνεσης.
- τη **φυσιολογική θάμβωση ή θάμβωση ανικανότητας** (*physiological glare, disability glare*), η οποία όπως και η απόλυτη θάμβωση συνδέεται με τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός σε όλο το οπτικό πεδίο, το οποίο μειώνει την αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ ενός αντικειμένου και του περιβάλλοντος του. Αντιστοιχεί λοιπόν σε μια πρόσθετη λαμπρότητα (ισοδύναμη λαμπρότητα πέπλου-*Veiling Equivalent Luminance, Lseq*), που επικάθεται στο οπτικό πεδίο μειώνοντας την αντίθεση λαμπρότητας. Το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί ο φωτισμός του περιβάλλοντος για να γίνει ένα αντικείμενο ορατό και πάλι ορίζεται ως προσαύξηση κατωφλίου της λαμπρότητας του περιβάλλοντος (*Threshold Increment, TI*).

5.8 Φωτισμός επιφάνειας ή Στάθμη φωτισμού (Illuminance, E)

Ένα σώμα που δεν είναι αυτόφωτο, θεωρούμε ότι «φωτίζεται», όταν πάνω του προσπίπτει φωτεινή ροή. Το ποσό της φωτεινής ροής σε μια επιφάνεια, σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες, καθορίζει το βαθμό δυσκολίας ή ευκολίας για να διακρίνουμε το σώμα αυτό.

Αν θεωρήσουμε στοιχειώδη επιφάνεια εμβαδού dS πάνω στην οποία προσπίπτει κάθετα ποσότητα στοιχειώδους φωτεινής ροής $d\Phi$, τότε καλούμε φωτισμό E της επιφάνειας το πηλίκο $d\Phi / dS$, δηλαδή:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

Αν η φωτεινή ροή Φ είναι σταθερή και ομοιόμορφη (παράλληλη δέσμη φωτεινών ακτίνων) και προσπίπτει κάθετα σε επίπεδη επιφάνεια S , τότε ο φωτισμός της επιφάνειας δίνεται από τη σχέση:

$$E = \Phi/S.$$

Αν έχουμε μια παράλληλη δέσμη φωτός με φωτεινή ροή ένα lumen (1 lm) που προσπίπτει κάθετα σε επιφάνεια με εμβαδόν 1 m², τότε ο φωτισμός της επιφάνειας είναι:

$$E = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ Lux}^8$$

Παρατήρηση:

Η μέτρηση της ποσότητας φωτισμού E μιας επιφάνειας γίνεται με τα λουξόμετρα. Αυτά αποτελούνται από ένα φωτοστοιχείο που συνδέεται με ένα μιλιβολτόμετρο. Το μέγεθος της αναπτυσσόμενης ΗΕΔ στα άκρα του φωτοστοιχείου και επομένως η ένδειξη του μιλιβολτόμετρου εξαρτώνται από την ποσότητα φωτός που προσπίπτει στο φωτοστοιχείο. Τα λουξόμετρα δε φέρουν ηλεκτρική πηγή και διαφέρουν από τα φωτόμετρα που φέρουν ηλεκτρική πηγή και γαλβανόμετρο και χρησιμοποιούνται στον κινηματογράφο, την τηλεόραση και τα συστήματα προστασίας.⁷

5.9 Τυπολόγιο Φωτομετρίας

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις σημαντικότερες σχέσεις της φωτομετρίας:

Μέγεθος	Τύπος	Μονάδες
Μέτρο στερεάς γωνίας	$\Omega = \frac{S}{R^2}$	Sterad ή sr
Ένταση φωτεινής σημειακής πηγής (ομοιόμορφη εκπομπή)	$I = \frac{\Phi}{\omega}$	candela ή cd
Ολική φωτεινή ροή σημειακής πηγής (ομοιόμορφη εκπομπή)	$\Phi_{ολ} = 4\pi * I$	lumen ή lm
Φωτεινή ροή ή Φωτεινή ισχύς	$\Phi = \frac{dQ}{dt}$	lumen ή lm
Φωτισμός επιφάνειας από παράλληλη δέσμη (1ος νόμος φωτομετρίας)	$E = \frac{\Phi * \cos\varphi}{S}$	Lux ή lm/m ²
Φωτισμός στοιχειώδους επιφάνειας από σημειακή πηγή (2ος νόμος φωτομετρίας)	$E = \frac{I * \cos\varphi}{R^2}$	Lux ή cd/m ²
Λαμπρότητα επιφάνειας	$L = \frac{I}{S * \cos\varphi}$	Nit ή cd / m ²

Πίνακας 5.2: Σχέσεις φωτομετρίας

6. ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΠΗΓΕΣ

6.1 Λαμπτήρες πυράκτωσης

6.1.1 Κοινοί λαμπτήρες πυράκτωσης

Περιγραφή – Λειτουργία: Είναι ο παλιότερος τύπος ηλεκτρικής πηγής φωτός, ο οποίος παραμένει ακόμη σε ευρεία χρήση. Οι πρώτοι λαμπτήρες κατασκευάστηκαν από τον Τόμας Έντισον το 1891.

Οι λαμπτήρες αυτοί στηρίζουν τη λειτουργία τους στο φαινόμενο της θέρμανσης μεταλλικού νήματος, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, σύμφωνα με το φαινόμενο Joule. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, έχουμε μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα και ακτινοβολία φωτός, εντός του ορατού φάσματος.

Παρατηρήθηκε ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νήματος τόσο υψηλότερος είναι και ο βαθμός απόδοσης του λαμπτήρα. Όμως, η υψηλή θερμοκρασία του νήματος προκαλεί την εξάχνωσή του με αποτέλεσμα τη γρήγορη καταστροφή του. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του νήματος είναι το τουγκστένιο, επειδή έχει υψηλό σημείο τήξεως και απαιτείται σχετικά μεγάλο έργο για την εξαγωγή των ηλεκτρονίων του.

Αρχικά, επικράτησε η άποψη ότι ο κώδωνας του λαμπτήρα πρέπει να είναι κενός, για να αποφεύγεται το φαινόμενο της οξειδωσης του νήματος στις υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες εργάζεται. Αργότερα, διαπιστώθηκε ότι είναι προτιμότερο ο κώδωνας να περιέχει αδρανές αέριο υπό πίεση, για να περιορίζεται η διαφυγή ηλεκτρονίων από το νήμα και να αυξάνεται ο χρόνος ζωής του.

Σε κάθε περίπτωση όμως, η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων πυράκτωσης είναι μειωμένη, γιατί το νήμα τους συνεχώς αδυνατίζει ώσπου να λιώσει ή να κοπεί.

Δείκτης χρωματικής απόδοσης: Δίνουν ευχάριστο λευκό φως επειδή έχουν θερμοκρασία χρώματος 2800 °K . Με άριστα το 100 ο δείκτης Ra των λαμπτήρων πυρακτώσεως είναι σχεδόν 100. Έχουν δηλαδή πολύ καλή απόδοση χρωμάτων.

Κατανάλωση ισχύος: Η κατανάλωσή τους κυμαίνεται μεταξύ των 25 W και 150 W. Στο βαθμό που χρησιμοποιούνται για να βλέπουμε επαρκώς η κατανάλωσή τους είναι αρκετά μεγάλη.

Οικολογική επάρκεια: Εκπέμπουν ακτίνες UV και IR, δηλαδή καρκινογόνα στοιχεία, καθώς και και υψηλές θερμοκρασίες που αλλοιώνουν την ισορροπία του οικοσυστήματος.

Φωτιστική απόδοση: Από την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ο λαμπτήρας πυράκτωσης μετατρέπει σε φωτεινή ενέργεια μικρό μόνο ποσοστό, με αποτέλεσμα η φωτιστική απόδοση του λαμπτήρα να είναι περίπου 15 lm/W.

Φωτεινή ροή: Κυμαίνεται μεταξύ 400 και 2200 lm ανάλογα με την κατανάλωσή τους σε W.

Διάρκεια ζωής: Ο μέσος όρος ζωής όπως δίνεται από τους κατασκευαστές είναι 1000 ώρες, δηλαδή ιδιαίτερα χαμηλός.⁹

6.1.2 Κατασκευαστικά μέρη λαμπτήρα πυράκτωσης

Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας λαμπτήρας πυράκτωσης είναι το νήμα, τα στηρίγματα νήματος, ο κώδωνας, το αέριο και ο κάλυκας.

Το νήμα: κατασκευάζεται από το υλικό τουγκστένιο και έχει διάμετρο της τάξης των 10 μm, όση περίπου μια ανθρώπινη τρίχα. Παράγεται σε τρεις μορφές, την ευθύγραμμη, την ελικοειδή και τη μορφή της διπλής ελικοειδούς περιέλιξης. Με την ελικοειδή και τη διπλή ελικοειδή περιέλιξη, αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης του λαμπτήρα, μειώνεται το μέγεθος του νήματος απλουστεύεται η στήριξη του νήματος καθώς και η γενικότερη κατασκευή του λαμπτήρα. Επίσης, τέτοιας κατασκευής νήμα παρουσιάζει μικρότερη ενεργή επιφάνεια προς

το αέριο το οποίο περιέχει ο κώδωνας. Η τροφοδοσία του νήματος με ρεύμα γίνεται μέσω κατάλληλων αγωγών, που καλούνται αγωγοί προσαγωγής.

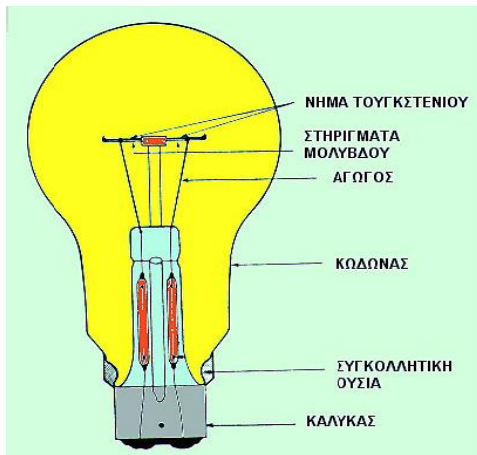
Τα στηρίγματα νήματος: Γενικά κατασκευάζονται από μεγάλης καθαρότητας μολυβδαίνιο, το οποίο είναι χημικά αδρανές με το τουνγκστένιο.

Ο κώδωνας: Περιέχει το νήμα και εμποδίζει το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα να το οξειδώσει και να το καταστρέψει. Οι λαμπτήρες μεγάλης ισχύος κατασκευάζονται από διαφανή κώδωνα ενώ οι μικρότερης ισχύος από θαμπό κώδωνα ή από γυαλί με προσμίξεις πυριτίου. Αν το αέριο πλήρωσης είναι το στοιχείο κρυπτό, ο κώδωνας είναι ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων.

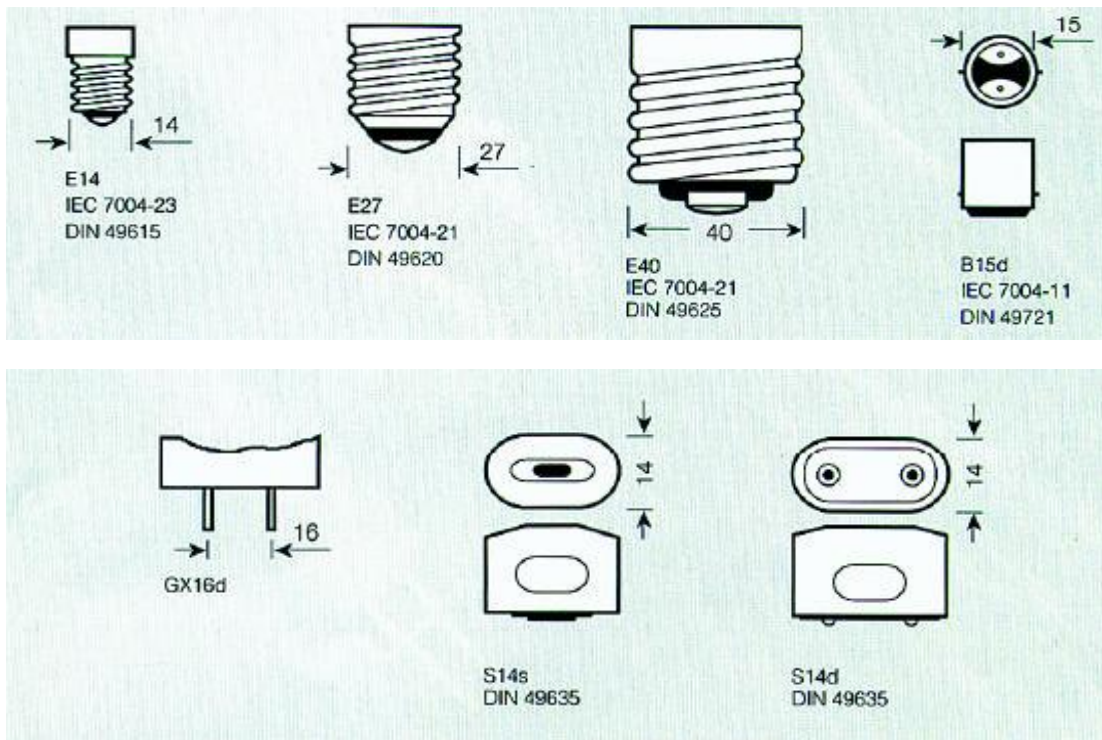
Το αέριο: Για την πρόληψη της πρόωρης εξάχνωσης (μετατροπή του στερεού σε αέριο) του νήματος, οι περισσότεροι τύποι λαμπτήρων πυράκτωσης άνω των 40W πληρούνται με αέριο. Έτσι, το νήμα μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης του λαμπτήρα. Το αέριο που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το αργό ή το άζωτο ή μίγμα αργού με άζωτο σε αναλογία 90 / 10. Όσο αυξάνεται η πίεση του αερίου, τόσο περιορίζεται η εξάχνωση του νήματος. Το αέριο βρίσκεται σε πίεση 0,9 ατμοσφαιρών, όταν το νήμα δε διαρρέεται από ρεύμα, και περίπου 1,5 ατμοσφαιρών, όταν ο λαμπτήρας βρίσκεται σε λειτουργία. Τα τελευταία χρόνια, το φαινόμενο της εξάχνωσης περιορίστηκε με τη χρήση των αλογόνων στοιχείων (χλώριο, ιώδιο και βρώμιο). Μέσα στον κώδωνα του λαμπτήρα τοποθετείται συνήθως μικρή ποσότητα ατμών ιωδίου, η οποία σχηματίζει χημική αντίδραση με τα στοιχεία της εξάχνωσης του τουνγκστενίου. Το προϊόν της χημικής αντίδρασης καλείται αλογονίδιο του τουνγκστενίου και επικάθεται στο νήμα του λαμπτήρα. Εκεί, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας διασπάται σε αλογόνο και τουνγκστένιο, το οποίο και αποθέτει πάνω στο νήμα. Το αλογόνο συμμετέχει σε νέο κύκλο αντίδρασης. Με τον τρόπο αυτό, στο νήμα επανέρχεται ποσότητα τουνγκστενίου και η συνολική εξάχνωση αυτού περιορίζεται. Επίσης, με τα στοιχεία της εξάχνωσης του τουνγκστενίου. Το προϊόν της χημικής αντίδρασης καλείται αλογονίδιο του τουνγκστενίου και επικάθεται στο νήμα του λαμπτήρα. Εκεί, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας διασπάται σε αλογόνο και τουνγκστένιο, το οποίο και αποθέτει πάνω στο νήμα. Το αλογόνο συμμετέχει σε νέο κύκλο αντίδρασης. Με τον τρόπο αυτό, στο νήμα επανέρχεται ποσότητα τουνγκστενίου και η συνολική εξάχνωση αυτού περιορίζεται. Επίσης, περιορίζεται στο ελάχιστο το φαινόμενο αμαύρωσης του λαμπτήρα, ακόμη και αν είναι μικρών διαστάσεων. Οι λαμπτήρες που λειτουργούν μ' αυτόν τον τρόπο ονομάζονται «λαμπτήρες ιωδίνης» και, επειδή το νήμα τους λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες, έχουν και καλύτερο βαθμό απόδοσης. Παρουσιάζουν χρόνο ζωής 2000 ώρες, χρόνο περίπου διπλάσιο από ένα κοινό λαμπτήρα πυράκτωσης. Κατασκευάζονται σε ελάχιστες διαστάσεις και παρέχουν σταθερή φωτεινή ροή. Οι κάλυκες στερεώνονται στον γυάλινο κώδωνα με τη χρήση ειδικής συγκολλητικής ουσίας.

Ο κάλυκας: Οι λαμπτήρες πυράκτωσης λειτουργούν ή στο κενό ή στην ατμόσφαιρα κάποιου αδρανούς αερίου. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητη η απομόνωση του νήματος από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτό πετυχαίνεται με την αεροστεγή επαφή του γυάλινου κώδωνα με το μεταλλικό κάλυκα (βάση στήριξης) του λαμπτήρα.

Οι κάλυκες κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις ύψους και διαμέτρου, τηρώντας διεθνείς προδιαγραφές. Οι δυο συνήθεις τύποι είναι ο βιδωτός, που βιδώνεται στη λυχνιολαβή (ντουϊ), και ο μπαγιονέτ, που στηρίζεται στη λυχνιολαβή με τη βοήθεια δύο προεξοχών. Ο πρώτος τύπος χαρακτηρίζεται με το γράμμα E (Edisson) και ο δεύτερος με το γράμμα B (Baïonnette). Τα γράμματα E και B ακολουθούνται από αριθμό που χαρακτηρίζει τη διάμετρο του κάλυκα σε χιλιοστά. Και οι δύο τύποι κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι: Βιδωτός τύπος (Edisson) E10 E14 E27 E40 και τύπος μπαγιονέτ (Bayonnette) B15 B22. Οι κάλυκες στερεώνονται στον γυάλινο κώδωνα με τη χρήση ειδικής συγκολλητικής ουσίας.



Εικόνα 6.1: Λαμπτήρας πυράκτωσης και τα μέρη που τον αποτελούν



Εικόνα 6.2: Διάφοροι τύποι κάλυκα

6.1.3 Είδη λαμπτήρων πυράκτωσης

i) Κοινοί λαμπτήρες

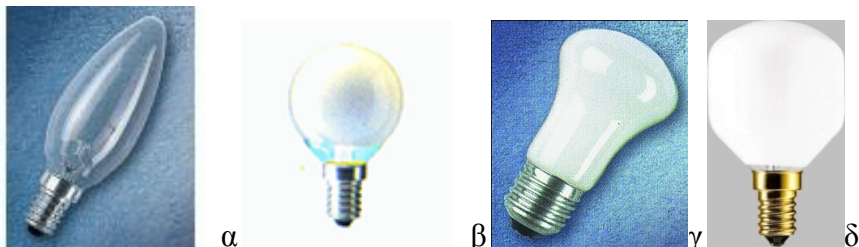
Οι κοινοί λαμπτήρες δίνουν ευχάριστο φως και χρησιμοποιούνται κυρίως για οικιακό φωτισμό. Διατίθενται με κάλυκα βιδωτό E27 ή μπαγιονέτ B22. Διακρίνονται σε :

Λαμπτήρες κεριά: Διακρίνονται σε κεριά μινιόν ματ και μινιόν διαφανή. Τα ματ κεριά δίνουν απαλό φως και τα διαφανή λαμπερό. Και οι δύο τύποι είναι κατάλληλοι για διακοσμητικό φωτισμό σε ποικίλους χώρους, όπως σε κατοικίες, ξενοδοχεία, εστιατόρια και ειδικά σε φωτιστικά σώματα τύπου πολυελαίου.

Λαμπτήρες σφαιρικοί: Διατίθενται στην αγορά σε κανονικό και σε μινιόν κάλυκα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για διακοσμητικό φωτισμό.

Λαμπτήρες Argenta: Οι λαμπτήρες τύπου Argenta δίνουν ευχάριστο φως που διαχέεται ομοιόμορφα, δημιουργώντας άνετη και όμορφη ατμόσφαιρα.

Λαμπτήρες Softone: Οι λαμπτήρες αυτοί έχουν μοντέρνο σχήμα που προσφέρεται για διακοσμητικές λύσεις και δίνουν ευχάριστο απαλό φως.



ii) Λαμπτήρες πυράκτωσης ειδικών χρήσεων

Λαμπτήρες χαμηλής τάσης: Διαθέτουν ίδια χαρακτηριστικά με τους κοινούς λαμπτήρες πυράκτωσης, αλλά λειτουργούν σε τάση τροφοδοσίας 24 ή 42 V.

Λαμπτήρες σηματοδότησης: Είναι λαμπτήρες ειδικού ενισχυμένου αντικραδασμικού τύπου. Χρησιμοποιούνται για τη σηματοδότηση δρόμων.

Λαμπτήρες εντόμων: Είναι λαμπτήρες με ειδικό κίτρινο ευχάριστο φως, που δεν προσελκύει τα έντομα. Είναι κατάλληλοι για το φωτισμό εξωτερικών χώρων.

Λαμπτήρες μορφής ράβδου: Είναι λαμπτήρες πυράκτωσης επιμήκεις σε λεπτή γραμμή. Είναι κατάλληλοι για τον εσωτερικό φωτισμό επίπλων και προθηκών.

Λαμπτήρες για ηλεκτρικές συσκευές: Είναι σωληνωτοί λαμπτήρες πυράκτωσης, για ραπτομηχανές, φούρνους, ψυγεία.

Λαμπτήρες ηλιακού φωτός: Οι λαμπτήρες ηλιακού φωτός μοιάζουν με τους κοινούς λαμπτήρες, αλλά διαθέτουν γυαλί μπλέ χρώματος, αποδίδοντας έτσι το φυσικό φως. Χρησιμοποιούνται για διάβασμα, σχεδίαση και σε εφαρμογές όπου απαιτείται σύγκριση χρωμάτων.

Λαμπτήρες καθρέφτη με σκληρό γυαλί: Διαθέτουν πολύ ισχυρή δέσμη, έχουν ελλειψοειδή διατομή και έχουν χρόνο ζωής 2000 ώρες. Εκτός του λευκού, διατίθενται και σε τέσσερα ακόμη χρώματα, μπλε, πράσινο, κόκκινο και κίτρινο. Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό βιτρινών, μουσείων, εκθέσεων, κήπων, εστιατορίων καθώς και για τη δημιουργία φωτιστικών εφέ. Ο λαμπτήρας με τάση λειτουργίας 12 V είναι κατασκευασμένος για χρήση σε πισίνες και σιντριβάνια.

Λαμπτήρες καθρέφτη: Οι λαμπτήρες καθρέφτη έχουν ιδιαίτερο σχήμα και φέρουν ειδικό καθρέφτη για τη δημιουργία ισχυρότερης δέσμης. Παράγουν κατά 20 % περισσότερο φως, έχουν διάρκεια ζωής 1000 ώρες και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές εσωτερικού φωτισμού. Στο εμπόριο, εκτός του απλού, κυκλοφορούν και οι έγχρωμοι.

Λαμπτήρες ανεστραμμένου καθρέφτη: Οι λαμπτήρες ανεστραμμένου καθρέφτη τοποθετούνται κυρίως σε φωτιστικά με ανακλαστήρα και χρησιμοποιούνται για τον απαλό

φωτισμό αντικειμένων. Λόγω της κατασκευής τους, το νήμα του λαμπτήρα δεν είναι άμεσα ορατό, με αποτέλεσμα την αποφυγή της θάμβωσης.⁷



Εικόνα 6.3: Λαμπτήρες καθρέπτη με σκληρό γυαλί α) απλοί και β) έγχρωμοι



Εικόνα 6.4: α) Λαμπτήρες καθρέπτη και β) ανεστραμμένου καθρέπτη



Εικόνα 6.5: Λαμπτήρας ηλιακού φωτός

6.1.4 Λαμπτήρες πυράκτωσης αλογόνου

Περιγραφή – Λειτουργία: Οι λαμπτήρες αυτοί αποτελούν την εξέλιξη των συμβατικών λαμπτήρων πυράκτωσης.

Το εξατμιζόμενο από το νήμα βολφράμιο απορροφάται από το αλογόνο και στη συνέχεια, μετά από χημική διάσπαση, επικάθεται ξανά πάνω στο νήμα, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της συνολικής εξάχνωσής του.

Συγκρινόμενοι με τους συμβατικούς λαμπτήρες πυράκτωσης, παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση και διπλάσια τουλάχιστον διάρκεια ζωής. Οι λαμπτήρες αλογόνων διατίθενται σε πολλούς τύπους. Κυκλοφορούν στο εμπόριο και με κοινό κάλυκα, για άμεση και εύκολη αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης. Όσον αφορά το ηλεκτρικό τους κύκλωμα, για τη λειτουργία των λαμπτήρων πυράκτωσης αλογόνου απαιτείται μόνο λυχνιολαβή και ακροδέκτες.

Δείκτης χρωματικής απόδοσης: Δίνουν λαμπερό φως, λευκότερο από τους κοινούς λαμπτήρες πυράκτωσης, έχουν θερμοκρασία χρώματος 3000 – 3300 °K. Και σε αυτήν την κατηγορία λαμπτήρων ο δείκτης είναι 100

Κατανάλωση Ισχύος: Λειτουργούν με χαμηλή τάση (όπου απαιτείται επιπλέον μετασχηματιστής στα 6,12 ή 24 V) και με την τάση δικτύου 230 V. Η κατανάλωσή του κυμαίνεται μεταξύ 50 και 300 W. Οι λαμπτήρες χαμηλών καταναλώσεων χρησιμεύουν κυρίως στον ειδικό φωτισμό που σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν αρκετοί, έτσι ώστε να φωτιστεί επαρκώς ένας χώρος. Εν προκειμένω δηλαδή, οι χαμηλές καταναλώσεις που σχετίζονται με τον ένα λαμπτήρα δεν ισχύουν πλέον. Οι λαμπτήρες υψηλών καταναλώσεων χρησιμεύουν στο γενικό φωτισμό και καταναλώνουν πολλή ενέργεια.

Οικολογική επάρκεια: Η κατηγορία λαμπτήρων αλογόνου είναι ιδιαίτερα αντι-οικολογική, καθώς οι εκπομπές τους σε ακτίνες UV και R είναι ιδιαίτερα υψηλές. Εκπέμπουν επίσης ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες.

Φωτεινή ροή: Κυμαίνεται μεταξύ 60 και 50000 lm.

Φωτιστική απόδοση: Μέχρι 25 lm/W

Διάρκεια ζωής: Η διάρκεια ζωής που δίνεται από τους κατασκευαστές κυμαίνεται μεταξύ 2000 και 3000 ωρών ενώ για κάποιο είδος λαμπτήρων μπορεί να φτάσει και τις 5000 ώρες. Και σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται συχνά αλλαγή λαμπτήρων.⁹

6.1.5 Είδη λαμπτήρων πυράκτωσης αλογόνου

Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης, αλουμινίου: Οι λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης 6 ή 12 V, με κάτοπτρο από αλουμίνιο, χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη αντικειμένων σε μουσεία, σε καταστήματα, σε αίθουσες ψυχαγωγίας και στις κατοικίες. Είναι οι πλέον κατάλληλοι λαμπτήρες για ξύλινες ψευδοροφές και γενικότερα σε εφαρμογές όπου η ανάπτυξη θερμότητας είναι ανεπιθύμητη. Έχουν χρόνο ζωής 2000 ώρες.

Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης – dichroic (διχροϊκοί): Οι λαμπτήρες αυτοί χάρη στο κυλινδρικό σχεδιασμό του καυστήρα που περιέχουν και ο οποίος έχει υποστεί επεξεργασία υπέρυθρης επίστρωσης (infrared coating IRC), αποτελούν τους αποδοτικότερους λαμπτήρες dichroic της αγοράς με φωτισμό υψηλής ποιότητας. Έχουν μέση διάρκεια ζωής 5.000 ώρες, θερμοκρασία χρώματος, 3150°K και είναι UV Block (λαμπτήρες που εκπέμπουν φάσμα υπεριώδους ακτινοβολίας από 290 ως 320 nm, το λεγόμενο βιολογικό φάσμα λόγω της ευαισθησίας του σώματος σε αυτό το φάσμα). Έχουν ψυχρή ομοιογενή δέσμη φωτός προς τα εμπρός, δηλαδή στέλνουν την θερμότητα προς τα πίσω και δεν θερμαίνουν τα φωτιζόμενα αντικείμενα. Με την αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων με dichroic πετυχαίνεται μέχρι 40% εξοικονόμηση ενέργειας, μέχρι 40% λιγότερη θερμότητα και μέχρι 66% μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό καταστημάτων, ξενοδοχείων, εστιατορίων και εκθέσεων.

Λαμπτήρες αλογόνων ευθύγραμμης μορφής: Είναι λαμπτήρες ιωδίνης δύο άκρων. Λειτουργούν στα 230 V, με θερμοκρασία χρώματος 2900 °K και χρόνο ζωής 2000 – 3000 ώρες. Χρησιμοποιούνται σε προβολείς για εξωτερικό φωτισμό και σε ειδικά φωτιστικά για το φωτισμό δαπέδου, τοίχων και οροφής εσωτερικών χώρων. Πρέπει να διατηρούνται καθαροί ακόμα και από δακτυλικά αποτυπώματα. Πριν από την έναρξη λειτουργίας τους, πρέπει να καθαρίζονται με οινόπνευμα. Λειτουργούν σε οριζόντια θέση, με μικρές αποκλίσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές.

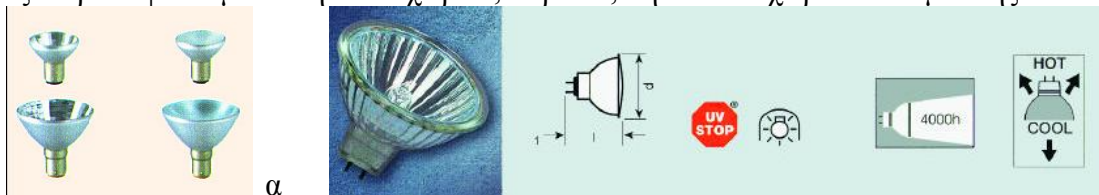
Λαμπτήρες αλογόνων μορφής κάψουλας: Οι διάφοροι τύποι λαμπτήρων αλογόνου μορφής κάψουλας μπορούν να παρέχουν λαμπερό πλούσιο φως. Διατίθενται σε διαφανές και ματ γυαλί. Έχουν μέση διάρκεια ζωής περίπου 4000 ώρες, ενώ οι τύποι 24V περίπου 3000 ώρες. Κυκλοφορούν και στα 230V με κάλυκα μπαγιονέτ B15d με μέση διάρκεια ζωής 2000 ώρες.

Είναι ιδανικοί για το φωτισμό χώρων εργασίας καθώς και για εφαρμογές διακοσμητικού φωτισμού, εφόσον τοποθετηθούν στα κατάλληλα φωτιστικά σώματα.

Λαμπτήρες αλογόνου κοινού κάλυκα: Οι διάφοροι τύποι λαμπτήρων αυτής της μορφής δίνουν ευχάριστο και λαμπερό φωτισμό. Λειτουργούν στα 230 V και φέρουν κάλυκα E27 ή E14 για άμεση αντικατάσταση των κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με ροοστάτες. Διακρίνονται σε χαμηλής ισχύος (40-150W) και σε υψηλής ισχύος (1000 W) και έχουν μέση διάρκεια ζωής 2000 ώρες.

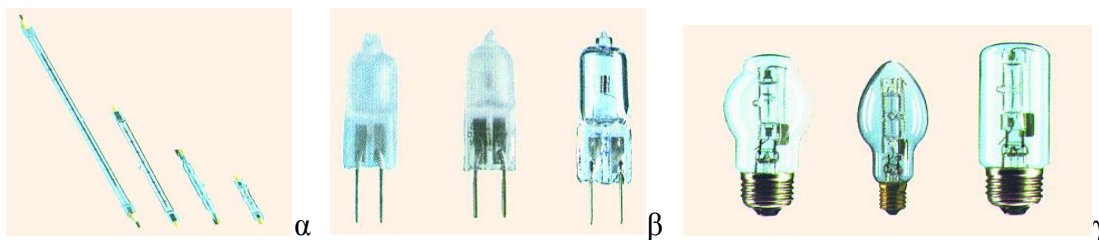
Διατίθενται σε σχήμα σωληνωτό ή αχλαδωτό, με διαφανές ή ματ γυαλί. Επίσης διατίθενται και λαμπτήρες καθρέπτη.

Οι λαμπτήρες χαμηλής ισχύος είναι κατάλληλοι για εσωτερικό και εξωτερικό γενικό φωτισμό σε κατοικίες, εστιατόρια και ξενοδοχεία. Χρησιμοποιούνται για τον εσωτερικό και εξωτερικό φωτισμό αθλητικών χώρων, πάρκων, κήπων και χώρων στάθμευσης.⁷



β

Εικόνα 6.6: Λαμπτήρες αλογόνου χαμηλής τάσης α)αλουμινίου και β)διχροϊκοί



Εικόνα 6.7: Λαμπτήρες αλογόνου α)ευθύγραμμης μορφής, β)μορφής κάψουλας και γ)κοινού κάλυκα



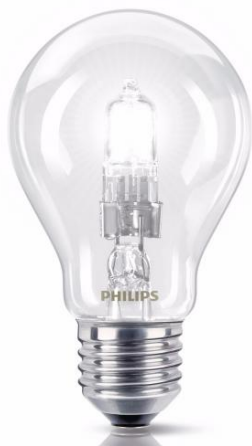
Εικόνα 6.8: Λαμπτήρες αλογόνου κοινού κάλυκα τύπου καθρέπτη

	Λαμπτήρες πυρακτώσεως	Λαμπτήρες αλογόνου
Τάση λειτουργίας (Volt)	230	230
Κατανάλωση ισχύος (Watt)	25 - 150	40 - 1000
Θερμοκρασία χρώματος / Δείκτης χρωματικής απόδοσης (oK/Ra)	2800 / ≈100	3000-3300 / 100
Φωτιστική απόδοση (lumen/Watt)	15	25
Φωτεινή ροή (lumen)	400 - 2200	60 - 30000
Διάρκεια ζωής (hours)	1000	2000 - 3000

Πίνακας 6.1: Συγκριτικός πίνακας λαμπτήρων πυρακτώσεως και λαμπτήρων αλογόνου κοινού κάλυκα

Ο λαμπτήρας EcoClassic (Philips): Αποτελεί μια καινούρια πρόταση λαμπτήρα πυράκτωσης αλογόνου όπου προσφέρει:

- Ίδανικό σχήμα: Ίδια εμφάνιση / αίσθηση με τον τυπικό λαμπτήρα
- Άμεση εκκίνηση: Άμεσο φως με το άνοιγμα του διακόπτη
- Δημιουργία άνετης ατμόσφαιρας: Πλήρως ρυθμιζόμενος έως και μια απαλή λάμψη
- Μακρά διάρκεια: Διπλάσια ζωή από αυτή του κοινού λαμπτήρα¹⁰



Εικόνα 6.9: Ο λαμπτήρας EcoClassic της Philips

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας αντιστοίχισης ονομαστικής ισχύος διαφόρων κοινών λαμπτήρων πυράκτωσης με τους αντίστοιχους λαμπτήρες EcoClassic.

Κοινός λαμπτήρας πυράκτωσης	Λαμπτήρας EcoClassic
40W	28W
60W	42W
75W	53W
100W	70W
150W	105W
200W	140W

Πίνακας 6.2: Πίνακας αντιστοίχισης ονομαστικής ισχύος κοινού λαμπτήρα πυράκτωσης και λαμπτήρα EcoClassic

6.2 Λαμπτήρες εκκένωσης

Από τους λαμπτήρες εκκένωσης, οι τύποι που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι: ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης (λαμπτήρες φθορισμού), λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης (απλοί, διορθωμένου φάσματος, με μεταλλικά ιωδίδια), λαμπτήρες μικτού φωτισμού, λαμπτήρες ξένου υψηλής πίεσης, λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης και ειδικοί λαμπτήρες εκκένωσης.

Η λειτουργία όλων των παραπάνω λαμπτήρων στηρίζεται στα φαινόμενα που συμβαίνουν κατά την εκκένωση αερίου στο εσωτερικό τους. Η φωτεινή τους ακτινοβολία προέρχεται καταρχήν από τον ιονισμό και στη συνέχεια από τη διέγερση των ατόμων στοιχείου το οποίο βρίσκεται μέσα στο λαμπτήρα δίνοντας και την αντίστοιχη ονομασία του λαμπτήρα. Έτσι, έχουμε λαμπτήρες υδραργύρου, νατρίου, νέου, αργού κλπ.

Για πρακτικούς λόγους, οι λαμπτήρες εκκένωσης διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες, τους λαμπτήρες χαμηλής και τους λαμπτήρες υψηλής πίεσης. Ο διαχωρισμός αυτός, αν και είναι γενικός, έχει να κάνει με την πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό του λαμπτήρα.

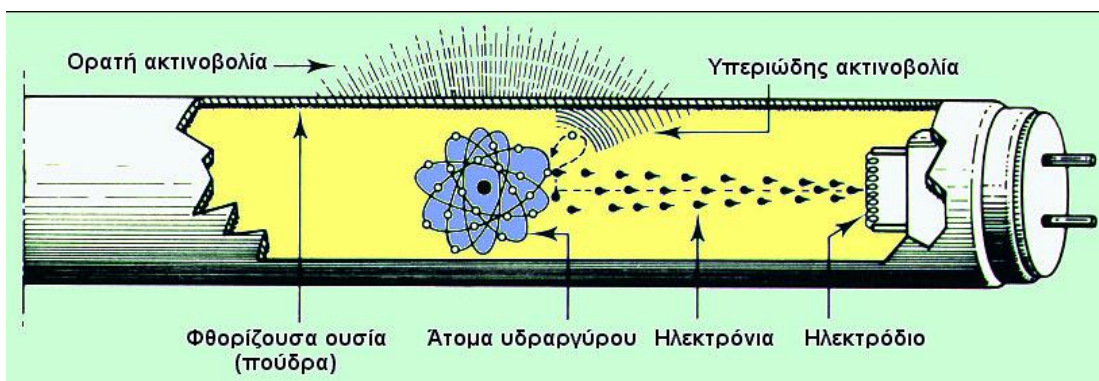
Γενικά, λαμπτήρες με πίεση μεγαλύτερη από 200 mm Hg καλούνται ως υψηλής πίεσης και λαμπτήρες με πίεση 5 – 10 mm Hg καλούνται ως χαμηλής πίεσης.

Το είδος της εκκένωσης που γίνεται σ' αυτούς τους λαμπτήρες είναι εκκένωση τόξου. Γι' αυτό το λόγο και πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντίσταση σε σειρά. Στην πράξη, χρησιμοποιείται στραγγαλιστικό πηνίο (ballast). Εξαιρέση αποτελεί ο λαμπτήρας ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης, για τον οποίο αντί στραγγαλιστικού πηνίου χρησιμοποιείται μετασχηματιστής.

6.2.1 Λαμπτήρες υδραργύρου χαμηλής πίεσης (φθορισμού)

Περιγραφή – Λειτουργία: Ο λαμπτήρας φθορισμού είναι λαμπτήρας εκκένωσης ατμών υδραργύρου χαμηλής πίεσης, με τοιχώματα καλυμμένα από φθορίζουσα ουσία. Διατίθεται σε ευθύγραμμη ή σε κυκλική μορφή, σε διάμετρο 16, 26 και 38 mm. Περιέχει προσμίξεις ευγενών αερίων (νέον και αργόν) και υδράργυρο, με τη μορφή αραιού αερίου με πίεση 5.10-3 mmHg, σε θερμοκρασία 40 °C. Στα άκρα του σωλήνα βρίσκονται δύο ηλεκτρόδια που έχουν τη μορφή σύνθετων νημάτων. Με τα ηλεκτρόδια πετυχαίνεται θερμιονική εκπομπή ηλεκτρονίων απαραίτητη για τη λειτουργία του λαμπτήρα.

Όταν στο λαμπτήρα ασκηθεί η κατάλληλη τιμή τάσης, στο εσωτερικό του λαμπτήρα προκαλείται εκκένωση αερίου από την οποία παράγεται υπεριώδης (αόρατη) ακτινοβολία. Για τη μετατροπή της αόρατης ακτινοβολίας σε ορατή, η εσωτερική επιφάνεια του γυάλινου σωλήνα καλύπτεται με φθορίζουσες ουσίες (πούδρα), όπως άλατα πυριτίου, βολφραμίου και βορίου, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την υπεριώδη ακτινοβολία σε ακτινοβολίες του ορατού φάσματος. Το είδος της φθορίζουσας ουσίας καθορίζει και το φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός.



Εικόνα 6.10: Λειτουργία Λαμπτήρα φθορισμού

Δείκτης χρωματικής απόδοσης: Στην κατηγορία αυτή ο δείκτης κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 82 και 85. Δηλαδή η απόδοση των χρωμάτων είναι μέτρια

Κατανάλωση ισχύος: Οι καταναλώσεις κυμαίνονται μεταξύ των 6 και 120 W, με πιο συνηθισμένες τιμές μεταξύ των 18 και 80 W.

Οικολογική επάρκεια: Οι λαμπτήρες φθορίου παρουσιάζουν ένα επιπλέον πρόβλημα σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες. Περιέχουν υδράργυρο ο οποίος είναι ιδιαίτερα τοξικός.

Φωτεινή ροή: Οι λαμπτήρες των 6 W εκπέμπουν κατά τους κατασκευαστές 240 lm, ενώ των 120 W εκπέμπουν 9000 lm. Ωστόσο αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως (μεταξύ των 18 και 80 W) εκπέμπουν 900 έως 6150 lm.

Φωτιστική απόδοση: Οι ποσότητες αυτές των lm σε σχέση με τα W του κάθε λαμπτήρα αποτελεί ένα πολύ καλό πλεονέκτημα της κατηγορίας αυτής των λαμπτήρων.

Διάρκεια ζωής: Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων αυτών είναι μεγάλη και κυμαίνεται μεταξύ 5000 και 10000 ωρών, που σημαίνει μεγάλη οικονομία ως προς την αναγκαιότητα αντικατάστασής τους.⁹

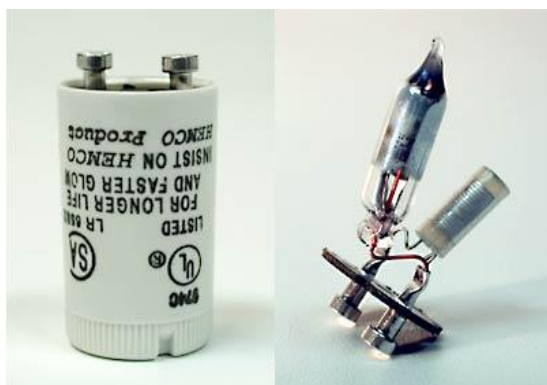
6.2.2 Ηλεκτρομαγνητικές και Ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις (*Ballast*)

Το ηλεκτρικό κύκλωμα των λαμπτήρων φθορισμού μπορεί να περιλαμβάνει μαγνητικό μπάλαστ με εκκινητή (στάρτερ) ή ηλεκτρονικό μπάλαστ (υψηλής συχνότητας HF).

Ηλεκτρομαγνητικό Ballast: Η βασική διάταξη που απαιτείται για την έναυση ενός λαμπτήρα φθορισμού. Προκειμένου να λειτουργήσει χρειάζεται τον εκκινητή (starter). Ο εκκινητής προκαλεί την προθέρμανση των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα και δημιουργεί την απαιτούμενη υψηλή τάση, που είναι απαραίτητη για την έναυση του λαμπτήρα. Στα φωτιστικά σώματα αντιστοιχεί ένα starter ανά λαμπτήρα.

Αποτελείται από λευκό κυλινδρικό περίβλημα από πολυκαρμπονάτ, το οποίο περιέχει:

1. Ένα μικρό σωλήνα εκκένωσης με αέριο νέον που περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόδια, το ένα σταθερό και το άλλο κινητό (διμεταλλική επαφή).
2. Έναν αντιπαρασιτικό πυκνωτή, για την εξάλειψη των ραδιοφωνικών παρασίτων.



Εικόνα 6.11: Εκκινητής (Starter)

Ηλεκτρονικό Ballast: Η εξέλιξη των starter έφερε στην αγορά τον τύπο του ηλεκτρονικού εκκινητή (υψηλής συχνότητας ballast - HF ballast) που προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, από οικονομικής και λειτουργικής άποψης.

Έχει σχεδιαστεί για την έναυση των λαμπτήρων φθορισμού και παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Παράταση της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων κατά 30%, χάρη στην προθέρμανση των ηλεκτροδίων έναυσης. Η οικονομία συντήρησης που επιτυγχάνεται επιτρέπει τη γρήγορη απόσβεση του κόστους του ηλεκτρονικού starter.
2. Επιτρέπει ένα σημαντικό αριθμό αναμμάτων (100.000), που αντιστοιχεί στη διάρκεια ζωής των φωτιστικών σωμάτων.
3. Με το πέρας της ζωής του, ο λαμπτήρας τίθεται εκτός κυκλώματος. Και έτσι αποφεύγονται άσκοπες προσπάθειες ανάμματος, όπως επίσης και οι ενοχλητικοί συνεχείς σπινθηρισμοί, οι επαναλαμβανόμενες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές και οι κίνδυνοι φθοράς του φωτιστικού από υπερθέρμανση των ηλεκτροδίων του λαμπτήρα.
4. Τέλεια έναυση χωρίς αναλαμπές
5. Αυτόματη εκ νέου έναυση του λαμπτήρα, σε περίπτωση διακοπών ή αντικατάστασης του.
6. Έναυση σε χαμηλές θερμοκρασίες ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$).
7. Δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινότητας του λαμπτήρα (dimming) μέσω αισθητήρων και ρυθμιστών φωτισμού (dimmers). Η ρύθμιση αυτή είναι αδύνατη με συμβατικά ballast. Το χαρακτηριστικό αυτό, αλλά γενικότερα, η δυνατότητα ρύθμισης και ελέγχου του φωτιστικού με σήματα χαμηλής τάσης στο ballast, καθιστούν τα φωτιστικά κατάλληλα για τη λειτουργία τους με απλούς αυτοματισμούς.

8. Δυνατότητα ένταξης της εγκατάστασης φωτισμού σε σύστημα κεντρικής διαχείρισης κτιρίων (BMS).
9. Βελτίωση της ποιότητας του φωτισμού διότι η λειτουργία των ηλεκτρονικών ballast σε υψηλές συχνότητες (>24 kHz) εξαλείφει τα εγγενή μειονεκτήματα των συμβατικών ηλεκτρομαγνητικών όπως το βούισμα και το τρεμόσβημα τα οποία προκαλούνται από τη χαμηλή συχνότητα λειτουργίας τους (50 Hz).
10. Δυνατότητα λειτουργίας περισσότερων λαμπτήρων (έως 4) με 1 μόνο ηλεκτρονικό ballast και κατά συνέπεια μικρότερες απώλειες. Αντιθέτως, το συμβατικό ηλεκτρομαγνητικό ballast δεν μπορεί να λειτουργήσει με περισσότερους από 2 λαμπτήρες.

Εκτιμάται γενικώς ότι η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ballast αντί των συμβατικών ηλεκτρομαγνητικών ballast (στραγγαλιστικών πηνίων) μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας έως 25%.¹¹

Τέλος, επισημαίνεται ότι εντός ολίγων ετών δεν θα επιτρέπεται η διάθεση των ενεργοβόρων ηλεκτρομαγνητικών ballast σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



α



β

Εικόνα 6.12: α) Ηλεκτρονικά και β) Συμβατικό Ballast

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι φωτιστικό σώμα όπως αυτό της Εικόνα 6.13 με ισχύ 4*18W και ηλεκτρονικό ballast, συνολικής κατανάλωσης 74W προσφέρει μέση εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι και 15%.



Εικόνα 6.13: Φωτιστικό σώμα με περσίδες

6.2.3 Είδη Λαμπτήρων Φθορισμού

ι) Κοινοί λαμπτήρες φθορισμού

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

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

T5 και T8: Οι λαμπτήρες T5 αποτελούν τη νέα γενιά λαμπτήρων φθορισμού. Λειτουργούν μόνο με ηλεκτρονικό ballast, άρα τα φωτιστικά με λαμπτήρες αυτού του τύπου έχουν όλα τα πλεονεκτήματα που περιγράφονται παραπάνω. Οι διαστάσεις των λαμπτήρων T5 είναι διαφορετικές από τις διαστάσεις των συμβατικών λαμπτήρων T8 και T12, άρα δεν είναι δυνατόν να τους αντικαταστήσουν σε υφιστάμενα φωτιστικά.

Ένα τυπικό φωτιστικό για χρήση με λαμπτήρα T5 φαίνεται στην Εικόνα 6.16.Ο συνδυασμός λαμπτήρων με ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις με φωτιστικά όπως αυτό που ανακλούν το μεγαλύτερο του φωτός μπορεί να μας δώσει μια ικανοποιητική ποσότητα φωτός με μεγάλα ενεργειακά οφέλη.

Η απόδοση του συστήματος λαμπτήρα T5 και ballast (απαραιτήτως ηλεκτρονικού) μπορεί να προσεγγίσει τα 92 lm/W (αναλόγως του τύπου και της ονομαστικής ισχύος του λαμπτήρα). Η απόδοση του συμβατικού συστήματος λαμπτήρα T8 και ballast (ηλεκτρομαγνητικού) δεν μπορεί να υπερβεί τα 76 lm/W. Άρα, η απόδοση των λαμπτήρων T5 μπορεί να είναι έως και 21% υψηλότερη της απόδοσης των λαμπτήρων T8 με συμβατικό ballast. Όταν όμως οι T8 λειτουργούν με ηλεκτρονικό ballast τότε οι διαφορές στην απόδοση με τους λαμπτήρες T5 μειώνονται αισθητά.



Εικόνα 6.14: Κοινοί λαμπτήρες φθορισμού



Εικόνα 6.15: Λαμπτήρες T5 και T8



Εικόνα 6.16: Σκαφάκι με ανακλαστήρες για χρήση με λαμπτήρες T5

ii) Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL)

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού CFL (*Compact Fluorescent Lamps*), ή «ηλεκτρονικοί λαμπτήρες οικονομικής κατανάλωσης», είναι ένα σύγχρονο είδος των λαμπτήρων, που λειτουργούν όπως λαμπτήρες φθορισμού, αλλά σε πολύ μικρότερο μέγεθος. Χαρακτηρίζονται από τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το μεγάλο χρόνο ζωής.

Οι λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας CFL, λόγω της κατασκευής τους, χρειάζονται ένα χρονικό διάστημα προθέρμανσης, μέχρι να φτάσουν την θερμοκρασία βέλτιστης λειτουργίας. Το χρονικό αυτό διάστημα μπορεί να είναι έως και τρία λεπτά για κάποιους λαμπτήρες CFL.

Πετυχαίνουν τη βέλτιστη οικονομική λειτουργία τους, αν μένουν αναμμένοι για τουλάχιστον 15 λεπτά κάθε φορά. Αν ο λαμπτήρας χρησιμοποιείται σε σημείο όπου μένει αναμμένος αρκετές ώρες την κάθε φορά, τότε η διάρκεια ζωής του είναι συνήθως από 8πλάσια έως και πάνω από 15πλάσια από τη διάρκεια ζωής μιας συνηθισμένης λάμπας πυρακτώσεως.

Σημαντική επίδραση στη λειτουργία των λαμπτήρων CFL έχει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος λειτουργίας. Οι λαμπτήρες CFL αποδίδουν τα μέγιστα σε θερμοκρασίες δωματίου. Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να κάνουν τους λαμπτήρες CFL να αποδίδουν λιγότερο φως ή, σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, ακόμα και να μην ανάβουν.

Επίσης οι κραδασμοί συχνά επηρεάζουν τις ηλεκτρονικές διατάξεις σε σημείο ακόμα και να σταματήσουν να λειτουργούν.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι λάμπες CFL επειδή χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις (ballast) [6.2.2] μπορούν να ελεγχθούν από σύστημα ελέγχου φωτισμού. Ωστόσο θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι ποτέ οι συνήθειες CFL δε πρέπει να εγκαθίστανται σε τέτοιο κύκλωμα. Υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένοι λαμπτήρες CFL διαθέσιμοι στο εμπόριο για τέτοιες εφαρμογές.

Οι καταναλωτές πρέπει να γνωρίζουν ότι οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες, διαφημίζονται ευρέως αυτόν τον καιρό, εκτός των 5mg υδραργύρου σε υγρή μορφή που περιέχουν ο καθένας και τον κίνδυνο ανά πάσα στιγμή να μολύνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον ή και να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων που θα έρθουν σε επαφή με τον υδράργυρο, εκπέμπουν και ακτινοβολία την οποία πολλοί ερευνητές προσομοιάζουν με αυτή των κινητών τηλεφώνων.

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες:

- **με εξωτερικό μπάλαστ:** Αυτά τα συστήματα είναι πιο ακριβά αλλά έχουν μικρότερο κόστος διάρκειας ζωής σε σύγκριση με τα συστήματα των CFL με ενσωματωμένο ballast επειδή οι ξεχωριστές μονάδες βάσης / ballast είναι αναχρησιμοποιήσιμες και μπορούν να διαρκέσουν για 3 έως 5 αντικαταστάσεις λαμπτήρων. Επίσης συνίστανται σε περιπτώσεις φωτιστικών με λίγες διεξόδους αέρα, εφόσον οι μονάδες βάσης αυτές επηρεάζονται από υψηλές θερμοκρασίες.
- **με ενσωματωμένο σύστημα εσωτερικής έναυσης:** Προσφέρουν μεγάλη ευκολία στην άμεση αντικατάσταση κοινών λαμπτήρων αφού κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία καλύκων [6.1.2] ενώ μπορούν να συνδυάζουν στο ηλεκτρονικό τους κύκλωμα ενσωματωμένο σύστημα ρύθμισης φωτισμού (dimming) και φωτοκύτταρο[9.3.5].

Για επαγγελματική, βιομηχανική και για οικιακή χρήση και πλέον, η χρήση τους είναι πολύ διαδεδομένη σε κάθε είδους εφαρμογής φωτισμού.

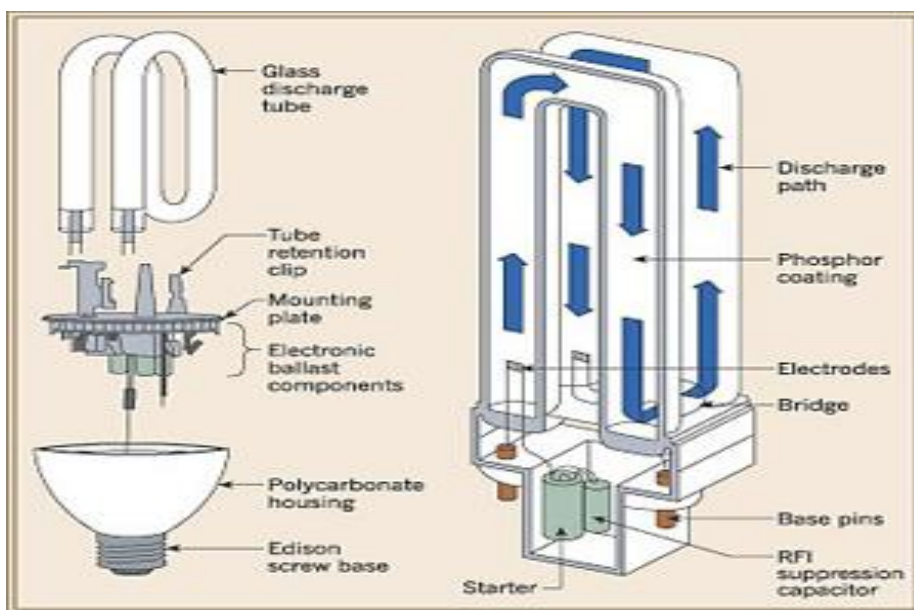


α



β

Πίνακας 6.3: Λαμπτήρες CFL α) κοινοί, β) με ενσωματωμένο φωτοκύτταρο



Εικόνα 6.17: Ανατομία ενός λαμπτήρα CFL

iii) Ειδικοί τύποι λαμπτήρων φθορισμού

Λαμπτήρες απόχρωσης 79: Με θερμοκρασία χρώματος 3800 °K τονίζουν το κόκκινο και ροζ χρώμα και χρησιμοποιούνται σε βιτρίνες κρεοπωλείων, καταστήματα αλλαντικών, ανθοπωλεία, για την ανάδειξη των ζεστών τόνων και των κόκκινων χρωμάτων κ.λπ.

Λαμπτήρες απόχρωσης 89: Με θερμοκρασία χρώματος 10.000 °K, ο οποίος δίνει ψυχρή αίσθηση, χρησιμοποιούνται για το φωτισμό ενυδρείων και συναφών εφαρμογών.

Λαμπτήρες μαύρου φωτός: Είναι λαμπτήρες υπεριωδών ακτίνων και φέρουν ως περίβλημα γυάλινο φίλτρο με προσμίξεις κοβαλτίου, που έχει ως στόχο τη σημαντική ελάττωση της ακτινοβολίας στην ορατή περιοχή. Βρίσκει εφαρμογές στην αναζήτηση πλαστών (χαρτονομίσματα, γραμματόσημα), στη διαφήμιση, στην ορυκτολογία και στην αναζήτηση ελαττωματικών βιομηχανικών προϊόντων (μεταλλουργία, υφαντουργία).

Λαμπτήρες φθορισμού με εξωτερικό κάλυμμα προστασίας: Είναι λαμπτήρες φθορισμού με αντιθραυστική προστασία και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές φωτισμού χώρων όπου παράγονται, διανέμονται ή πωλούνται είδη τροφίμων. Χάρη στη διαφανή επικάλυψη του λαμπτήρα, σε περίπτωση σπασίματος του, κάθε κομμάτι γυαλιού παραμένει στη θέση του

προστατεύοντας τα προϊόντα που φωτίζονται και το περιβάλλον εργασίας. Αναγνωρίζονται από το μπλέ δαχτυλίδι που υπάρχει γύρω από το λαμπτήρα.

Έγχρωμοι λαμπτήρες φθορισμού: Χρησιμοποιούνται για διακοσμητικό φωτισμό και τη δημιουργία φωτιστικών εφέ.

Λαμπτήρες φθορισμού με ένα σημείο εφαρμογής: Είναι λαμπτήρες που διαθέτουν ντουί με ένα άκρο και όχι με δύο, όπως όλοι οι άλλοι (μονοπολικό ντουί). Έχουν σχεδιαστεί ειδικά για χρήση σε φωτιστικά αντιακρηκτικού τύπου, για εφαρμογές σε διυλιστήρια, ορυχεία, εργαστήρια και γενικά σε χώρους όπου εγκυμονεί ο κίνδυνος της έκρηξης (αντιακρηκτικοί).

Λαμπτήρες φθορισμού ταχείας αψής: Αυτοί οι λαμπτήρες έχουν εξωτερικό ηλεκτρόδιο εκκίνησης, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται σάρτερ για την έναυση τους. Για αποτελεσματική άμεση έναυση, πρέπει και η εγκατάσταση να είναι εξοπλισμένη με πηνία άμεσης έναυσης (rapid start).

Λαμπτήρες ανάπτυξης φυτών: Αυτοί οι λαμπτήρες εκπεμπουν στο φάσμα του μπλε και του κόκκινου που απορροφάται από τη χλωροφύλλη και χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση.

Λαμπτήρες μαυρίσματος: Είναι λαμπτήρες υπεριώδων ακτίνων και εκπέμπουν ακτίνες UVA και UVB που συμβάλλουν στο μαύρισμα της επιδερμίδας.

Οι λαμπτήρες φθορισμού ψυχρής καθόδου (Φωτεινοί σωλήνες Νέον): είναι υαλοσωλήνες που περιέχουν αδρανή αέρια και δε διαθέτουν εκκινητές και ηλεκτρόδια πυράκτωσης. Με την έναυση του λαμπτήρα, η υψηλή τάση ρεύματος που διαπερνά τον σωλήνα, ιονίζει τα αέρια δημιουργώντας υπεριώδεις ακτινοβολίες. Το υπεριώδες φως στη συνέχεια διεγείρει το στρώμα φωσφόρου που βρίσκεται εσωτερικά στον φλοιό του λαμπτήρα, παράγοντας το ορατό φως. Ενώ το αρχικό κόστος μπορεί να είναι υψηλό, η ψυχρή κάθοδος αποδίδει οικονομικά μακροπρόθεσμα, σε σύγκριση με άλλα συστήματα φωτισμού. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές φωτεινών επιγραφών. Το χρώμα του φωτός που εκπέμπουν εξαρτάται από το είδος του ευγενούς αερίου το οποίο περιέχουν και από το χρώμα των γυάλινων περιβλημάτων των σωλήνων. Η φωτιστική απόδοση των φωτεινών σωλήνων κυμαίνεται μεταξύ 20 και 30 lm / W. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 6000 ώρες και δεν επηρεάζεται από τη συχνότητα έναυσης.⁷



Εικόνα 6.18: Λαμπτήρες φθορισμού α)έγχρωμοι, β)μαύρου φωτός (black light), γ) νέον

6.2.4 Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης

Περιγραφή – Λειτουργία: Ο λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης αποτελεί χαρακτηριστική εφαρμογή εκκένωσης τόξου μέσω ατμών υδραργύρου. Αποτελείται από ένα μικρό σωλήνα εκκένωσης από γυαλί χαλαζία στα άκρα του οποίου είναι συντηγμένα δύο κύρια ηλεκτρόδια και ένα βοηθητικό.

Ο μικρός σωλήνας εκκένωσης περιέχει το ευγενές αέριο αργό και υδράργυρο με τη μορφή σταγόνων. Σε σειρά με το βοηθητικό ηλεκτρόδιο συνδέεται ωμική αντίσταση. Η όλη διάταξη τοποθετείται μέσα σε γυάλινο κώδωνα, ο οποίος συνήθως είναι γεμάτος με αδρανές αέριο, για την απαγωγή της θερμότητας.

Ο χρόνος που μεσολαβεί από την έναυση μέχρι την πλήρη λειτουργία του λαμπτήρα κυμαίνεται από 3 έως 5 λεπτά. Το υλικό κατασκευής του σωλήνα εκκένωσης είναι ο χαλαζίας, επειδή παρουσιάζει αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής και επιτρέπει να περνά από αυτόν, εκτός του ορατού, και το υπεριώδες μέρος της παραγόμενης ακτινοβολίας.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, όπως όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης, απαιτούν ένα στραγγαλιστικό πηνίο για τη σταθεροποίηση της εκκένωσης και για τον περιορισμό του ρεύματος λειτουργίας. Το στραγγαλιστικό πηνίο δημιουργεί μια διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος, οπότε για την αντιστάθμισή τους συνδέεται πυκνωτής παράλληλα στα άκρα της συνδεσμολογίας.

Για την επαναλειτουργία του λαμπτήρα μετά το σβήσιμό του απαιτείται ορισμένο χρονικό διάστημα για την ψύξη του και για την υγροποίηση ξανά των ατμών υδραργύρου.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου κατασκευάζονται συνήθως σε δύο τύπους, τους σωληνοειδείς και τους αχλαδωτούς.

Έχουν μεγάλη φωτιστική απόδοση, αλλά το φως που δίνουν παραμορφώνει έντονα τα χρώματα (λείπει το κόκκινο χρώμα από το φάσμα της ακτινοβολίας τους). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό δρόμων, εργοστασίων, αποθηκών, υπαίθριων βιομηχανικών εγκαταστάσεων κλπ.

Διακρίνονται σε απλούς λαμπτήρες, διορθωμένου φάσματος, με μεταλλικά αλογονίδια και λαμπτήρες μικτού φωτισμού.

6.2.5 Είδη λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

i) Απλοί λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, υψηλής πίεσης (HQL)

Οι λαμπτήρες εκκένωσης ατμών υδραργύρου, υψηλής πίεσης είναι οι παλαιότεροι λαμπτήρες εκκένωσης. Παρότι η ποιότητα του φωτός που παράγουν είναι σχετικά φτωχή και η απόδοσή τους αρκετά περιορισμένη, επειδή οι λαμπτήρες αυτοί είναι φθηνοί χρησιμοποιούνται ακόμη με μεγάλη συχνότητα στον οδικό φωτισμό ή στο φωτισμό βιομηχανικών χώρων.

Δείκτης χρωματικής απόδοσης: Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα, διαπιστώνουμε ότι κυριαρχεί το κίτρινο και το μπλέ χρώμα, ενώ λείπει σχεδόν τελείως το ερυθρό που είναι απαραίτητο για την δημιουργία ευχάριστης εντύπωσης του φωτός. Ο δείκτης Ra κυμαίνεται μεταξύ 42-52 και θεωρείται ιδιαίτερα χαμηλός.

Κατανάλωση ισχύος: 50-1000 W

Οικολογική επάρκεια: Παρατηρείται το φαινόμενο υπέρμετρων ακτίνων UV και IR όπως επίσης περιέχουν υδράργυρο που είναι ιδιαίτερα τοξικός.

Φωτεινή ροή: Η φωτεινή ροή κυμαίνεται μεταξύ 1600-58000 lm

Φωτιστική απόδοση: Η απόδοσή τους κυμαίνεται στα 55 lm/W

Διάρκεια ζωής: 22000 ώρες (για ισχύ 50 έως 400 W) και 14000 ώρες (για ισχύ 700 έως 1000 W).

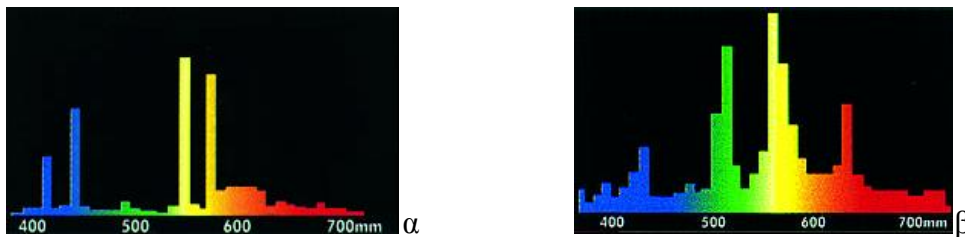


Εικόνα 6.19: Λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης (HQL)

ii) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, βελτιωμένου φάσματος:

Το πρόβλημα της κακής χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου ξεπεράστηκε με την επίχριση των εσωτερικών τοιχωμάτων του εξωτερικού κώδωνα με φθορίζουσα ουσία, η οποία εμπλουτίζει το φάσμα εκπομπής του λαμπτήρα με ερυθρά μήκη κύματος. Επίσης, η φθορίζουσα ουσία μετατρέπει το μεγαλύτερο μέρος της άορατης υπεριώδους ακτινοβολίας που παράγεται κατά την εκκένωση σε ακτινοβολία ορατού φάσματος, με αποτέλεσμα τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λαμπτήρα έως και 60 lm/W.

Ευρέως χρησιμοποιείται και ο λαμπτήρας υψηλής πίεσης, με εσωτερικό καθρέφτη, για τον προσανατολισμό της δέσμης φωτός προς μία κυρίως κατεύθυνση. Έχει χρόνο ζωής 22000 ώρες και λειτουργεί σε οποιαδήποτε θέση λειτουργίας.



Εικόνα 6.20: Φασματική κατανομή λαμπτήρα ατμών υδραργύρου α)απλου, β)βελτιωμένου φάσματος

iii) Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, υψηλής πίεσης, με μεταλλικά αλογονίδια (HQI)

Στους λαμπτήρες υδραργύρου, για ακόμη μεγαλύτερη ενεργειακή φασματική κατανομή, εκτός της φθορίζουσας ουσίας, ο εμπλουτισμός μπορεί να γίνει και με τη χρήση μερικών ενώσεων ιωδίου. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται μεταλλικά ιωδία ή αλογονίδια (Metal Halide) και συμμετέχουν στην εκκένωση των ατμών υδραργύρου αποδίδοντας ακτινοβολίες με μήκη κύματος όπου το ενεργειακό φάσμα είναι φτωχό ή κενό. Εκπέμπουν ουδέτερο, λευκό φως. Θερμοκρασία χρώματος 3000 – 4000 °K.

Οι δύο τύποι που κυκλοφορούν, σωληνωτοί ή ελλειψοειδείς, διατίθενται με κάλυκα μονό ή διπλό (δύο άκρων).

Το ηλεκτρικό τους κύκλωμα απαιτεί μαγνητικό μπάλαστ και κατάλληλη συσκευή έναυσης – εκκινήτη ή ηλεκτρονικό μπάλαστ (μέχρι 150 W).

Δείκτης χρωματικής απόδοσης: Εκπέμπουν ουδέτερο, λευκό φως. Θερμοκρασία χρώματος 3000 – 4000 °K. Ο δείκτης Ra κυμαίνεται μεταξύ 65 και 95 μονάδων, με κύρια αιχμή μεταξύ των 80 και 92W.

Κατανάλωση ισχύος: Οι καταναλώσεις κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 2000 W.

Οικολογική επάρκεια: Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται το φαινόμενο υπέρμετρων ακτίνων UV και IR όπως επίσης περιέχουν υδράργυρο που είναι ιδιαίτερα τοξικός.

Φωτεινή ροή: Η φωτεινή ροή κυμαίνεται μεταξύ των 1400 και 35000 lm.

Φωτιστική απόδοση: Η απόδοσή τους κυμαίνεται στα 80-90 lm/W η οποία θεωρείται αρκετά υψηλή.

Διάρκεια ζωής: Κυμαίνεται μεταξύ 3000 και 10000 ωρών χαρακτηριστικό που τους καθιστά ιδιαίτερα οικονομικούς.



Εικόνα 6.21: Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης α)απλοί, β)με μεταλλικά αλογονίδια

Εκτός από τα παραπάνω είδη λαμπτήρων, κατασκευάζονται επίσης λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, πολύ υψηλής πίεσης, για τον εξοπλισμό προβολέων και για τις κινηματογραφικές μηχανές.

Σε αυτούς τους λαμπτήρες η εκκένωση γίνεται σε πολύ μικρό χώρο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία λαμπρότητας πολύ υψηλής τιμής. Επίσης, κατασκευάζονται λαμπτήρες ειδικών χρήσεων που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές επεξεργασίες, στις γραφικές τέχνες, σε ινστιτούτα αισθητικής, σε θεραπευτικές και αποστειρωτικές συσκευές και σε φωτοτυπικά μηχανήματα. Σ' αυτή τη κατηγορία ανήκουν και οι λαμπτήρες μαύρου φωτός. Οι λαμπτήρες αυτοί διατίθενται σε τύπους TL και TLD και χρησιμοποιούνται για διαχωρισμούς χρωμάτων, στη βιομηχανία τροφίμων, στην αρχαιολογία, στην εγκληματολογία και στις τράπεζες, για την ανίχνευση πλαστών χαρτονομισμάτων.



Εικόνα 6.22: Λαμπτήρες αποστείρωσης, αποθεραπείας τραυμάτων, μαύρου φωτός

6.2.6 Λαμπτήρες μικτού φωτισμού

Οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού συνδυάζουν χαρακτηριστικά λαμπτήρων πυράκτωσης και λαμπτήρων εκκένωσης. Αντικαθιστούν άμεσα τους λαμπτήρες πυράκτωσης και παρέχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Αυτά τα χαρακτηριστικά τους καθιστούν κατάλληλους για εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα φωτισμού από αυτά που έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν οι λαμπτήρες πυράκτωσης.

Οι λαμπτήρες ατμών υδραργύρου μπορούν να μετατραπούν σε λαμπτήρες μικτού φωτισμού, με την προσθήκη νήματος από βολφράμιο μεταξύ του εξωτερικού κώδωνα και του σωλήνα εκκένωσης.

Ο λαμπτήρας μικτού φωτισμού λειτουργεί χωρίς στραγγαλιστικό πηνίο και η σταθεροποίηση της εκκένωσης με τον ταυτόχρονο περιορισμό του ρεύματος γίνεται με τη σύνδεση σε σειρά του νήματος βολφραμίου με το σωλήνα εκκένωσης. Κατά τη λειτουργία του λαμπτήρα, το νήμα πυρακτώνεται, εκπέμποντας ακτινοβολίες με μήκη κύματος στην ερυθρή περιοχή του φάσματος, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του φάσματος της συνολικά εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

Οι λαμπτήρες μικτού φωτισμού έχουν ικανοποιητικό σχετικό βαθμό απόδοσης (22 lm/W) και μεγάλη διάρκεια ζωής (5000 ώρες). Μπορούν να αντικαταστήσουν το λαμπτήρα πυράκτωσης, χωρίς προβλήματα εγκατάστασης.

Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό δρόμων, χώρων στάθμευσης, πρατηρίων καυσίμων και εργαστηρίων.

6.2.7 Λαμπτήρες ξένου υψηλής πίεσης

Για τον φωτισμό μεγάλων εξωτερικών επιφανειών, χρησιμοποιούνται προβολείς με λαμπτήρες από γυαλί χαλαζία. Περιέχουν το ευγενές αέριο ξένο, υπό υψηλή πίεση.

Το μήκος των λαμπτήρων αυτών μπορεί να φτάσει το 1,5 m και η ισχύς τους κυμαίνεται από 150 έως 2000 W. Για την λειτουργία τους απαιτείται συσκευή παραγωγής υψηλής τάσης. Μετά την έναυση, ο λαμπτήρας αποδίδει αμέσως την πλήρη φωτιστική του ισχύ.

Το φως των λαμπτήρων αυτών είναι λευκό, παρόμοιο με το φως του ήλιου, και αποδίδει με μεγάλη πιστότητα τα χρώματα των αντικειμένων.



Εικόνα 6.23: Λαμπτήρας ξένου υψηλής πίεσης

6.2.8 Λαμπτήρες ατμών νατρίου

i) Λαμπτήρας ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

Είναι ο λαμπτήρας εκκένωσης με το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (μέχρι 200 lm/W). Αποτελείται από το σωλήνα εκκένωσης που μπορεί να είναι μορφής ευθύγραμμης ή σχήματος U. Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει, σε πολύ μικρή πίεση ($5 \cdot 10^{-3}$ mm της στήλης υδραργύρου Hg), ποσότητα νατρίου και μίγμα αερίου νέου με αργόν. Η πίεση αυτή μαζί με τη θερμοκρασία 260 °C αποτελούν τις καλύτερες προϋποθέσεις για εκκένωση. Η

θερμοκρασία των 260 °C επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή της έντασης λειτουργίας του λαμπτήρα.

Η λειτουργία του λαμπτήρα αυτού είναι παρόμοια με τη λειτουργία του λαμπτήρα ατμών υδραργύρου. Η εκκένωση γίνεται αρχικά μέσω των ατμών του νέον, δίνοντας φως ερυθρού χρώματος. Στη συνέχεια, το μεταλλικό νάτριο εξαχνούται και ιονίζεται και έτσι επιτυγχάνεται εκκένωση μέσω αυτού. Το παραγόμενο φως είναι μονοχρωματική ακτινοβολία κίτρινου χρώματος, με μήκος κύματος 5890 Å. Στην περιοχή αυτή, το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζει τη μέγιστη ευαισθησία του. Το φως αυτό παρουσιάζει μεγάλη διεισδυτικότητα σε ομιχλώδεις περιβάλλον ή σε περιβάλλον με σκόνη. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το μεγάλο βαθμό απόδοσης του λαμπτήρα, τον καθιστά ως την πλέον κατάλληλη πηγή φωτός για το φωτισμό οδικών αρτηριών.

Προφανώς, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου απαιτείται απόδοση χρωμάτων.



Εικόνα 6.24: Λαμπτήρες ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης

ii) Λαμπτήρες ατμών νατρίου, υψηλής πίεσης

Σε λαμπτήρα ατμών νατρίου, αν αυξηθεί η πίεση του μέχρι τα 200 mm Hg, παρατηρείται μείωση της απόδοσης του λαμπτήρα αλλά και εμφάνιση νέων ακτινοβολιών, διαφορετικών από την κίτρινη μονοχρωματική ακτινοβολία. Το φως του λαμπτήρα ατμών υψηλής πίεσης έχει χρώμα χρυσόλευκο και αντιστοιχεί σε θερμοκρασία χρώματος 2300 °K.

Σε σχέση με τους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης, οι λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης παρουσιάζουν περίπου διπλάσιο βαθμό απόδοσης (έως 120 lm/W).

Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου οι λαμπτήρες ατμών νατρίου, χαμηλής πίεσης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, λόγω της μονοχρωματικής τους ακτινοβολίας. Και αυτοί οι λαμπτήρες παράγονται σε δύο διαφορετικές εξωτερικές μορφές: ν με σωληνοειδή διαφανή κώδωνα ν με κώδωνα μορφής αχλαδιού με εσωτερικό φθορίζον επίχρισμα.

Με ισχύ 35 – 1000 W, η παρεχόμενη φωτεινή τους ροή είναι 2400 – 120000 lm. Το ηλεκτρικό τους κύκλωμα απαιτεί μαγνητικό μπάλαστ, με κατάλληλη συσκευή έναυσης – εκκινητή, ή ειδικό ηλεκτρονικό μπάλαστ.



Εικόνα 6.25: Λαμπτήρας ατμών νατρίου υψηλής πίεσης

6.2.9 Ανακύκλωση λαμπτήρων εκκένωσης

Η τοξικότητα του υδράργυρου που περιέχουν οι λαμπτήρες εκκένωσης μπορεί να προκαλέσει τεράστιες ζημιές στο περιβάλλον και στον άνθρωπο γι' αυτό και η διάθεση τους σε αυτό πρέπει να γίνεται κατόπιν ειδικής επεξεργασίας. Σήμερα υπάρχουν εταιρίες που αναλαμβάνουν την ανακύκλωση των λαμπτήρων εκκένωσης. Η διαδικασία που ακολουθείται για την ανακύκλωση μπορεί να χωριστεί στα παρακάτω βήματα:

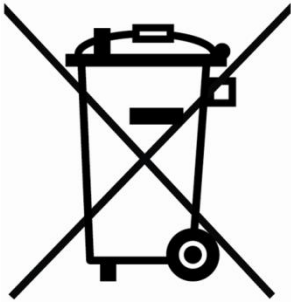
i) Συλλογή των λαμπτήρων

Αυτή πραγματοποιείται σε δημοτικά σημεία συλλογής πανελλαδικά και σε συνεργαζόμενα καταστήματα λιανικής (καταστήματα λαμπτήρων κα ηλεκτρολογικού υλικού, πολυκαταστήματα κλπ).

Επίσης η συλλογή των αποβλήτων λαμπτήρων μπορεί να γίνει από μη οικιακούς χρήστες (B2B), όπως:

- τους εγγεγραμμένους στο συλλογικό σύστημα παραγωγούς λαμπτήρων
- τις εργοληπτικές εταιρείες ιδιωτικών και δημοσίων έργων, που ασχολούνται με ανακαινίσεις κτηρίων και αντικατάσταση φωτιστικών ειδών γενικότερα
- τους μεγάλους τελικούς χρήστες του ιδιωτικού, δημοσίου και του ευρύτερου δημοσίου τομέα.

Οι λαμπτήρες πρέπει να τοποθετούνται στους ειδικούς κάδους με προσοχή για να μη σπάσουν και χωρίς τη συσκευασία τους. Οι ευθύγραμμοι λαμπτήρες τοποθετούνται ξεχωριστά στο πίσω μέρος του ειδικού κάδου των σημείων λιανικής. Οι λαμπτήρες που ανακυκλώνονται φέρουν το παρακάτω σήμα.



Εικόνα 6.26: Σήμανση ανακυκλώμενου λαμπτήρα

ii) Αποθήκευση και μεταφορά στο χώρο επεξεργασίας

Μετά τη συλλογή τους, τα απόβλητα των λαμπτήρων μεταφέρονται σε ειδικά αδειοδοτημένους χώρους προσωρινής αποθήκευσης ΑΗΗΕ από μεταφορείς που, σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 117/2004, διαθέτουν την άδεια συλλογής μεταφοράς ΑΗΗΕ και είναι εγγεγραμμένοι σε σχετικό Μητρώο που τηρείται στην αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ.

Στη συνέχεια γίνεται διασυνοριακή μεταφορά των αποβλήτων λαμπτήρων αφού στην Ελλάδα, δεν υπάρχει εργοστάσιο επεξεργασίας αποβλήτων λαμπτήρων με τη βοήθεια ειδικά αδειοδοτημένης εταιρείας για τη διασυνοριακή μεταφορά επικινδύνων αποβλήτων.

Η Επεξεργασία των αποβλήτων λαμπτήρων γίνεται σε εγκαταστάσεις του εξωτερικού (Βέλγιο, Γερμανία) που έχουν λάβει έγκριση περιβαλλοντικών όρων και άδεια διαχείρισης ΑΗΗΕ από τις αρμόδιες αρχές της χώρας τους και έχουν εισάγει πιστοποιημένα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης.

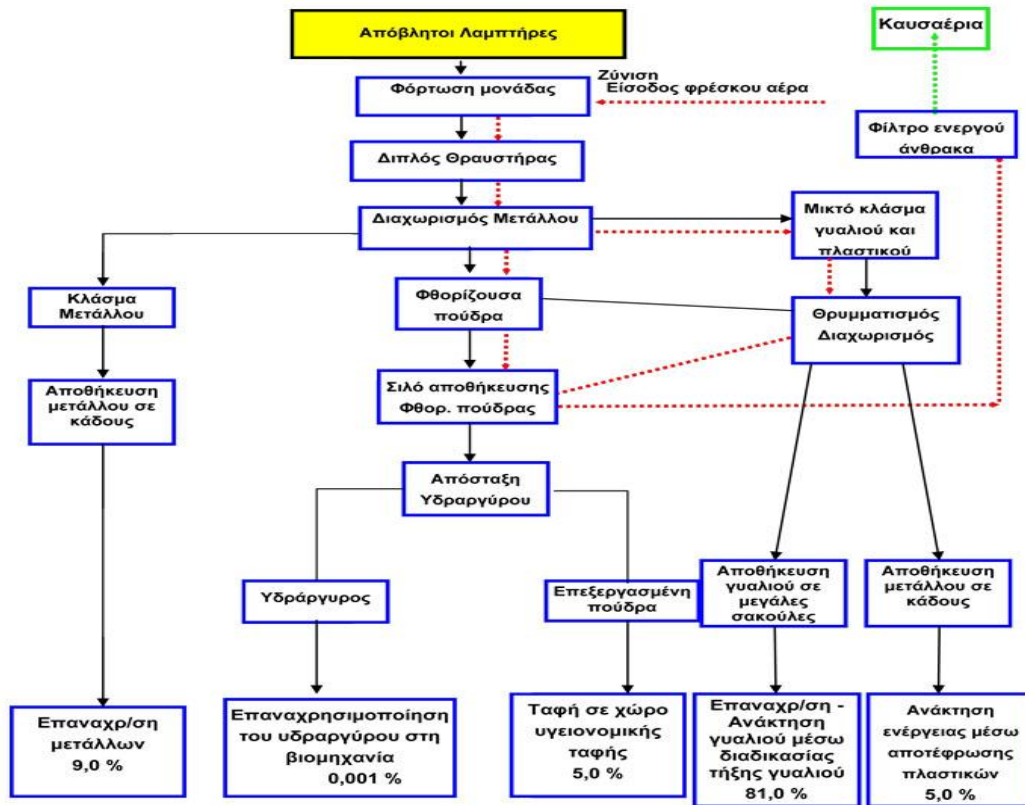
iii) Επεξεργασία των λαμπτήρων

Υπάρχουν δύο ειδών διαδικασίες επεξεργασίας που μπορεί να ακολουθήσει ο ανακυκλωτής: η μέθοδος κοπής άκρων/ώθησης αέρα (*end-cut/air-push*) και η μέθοδος κοπής/κοσκινίσματος (*cut-sieve*).

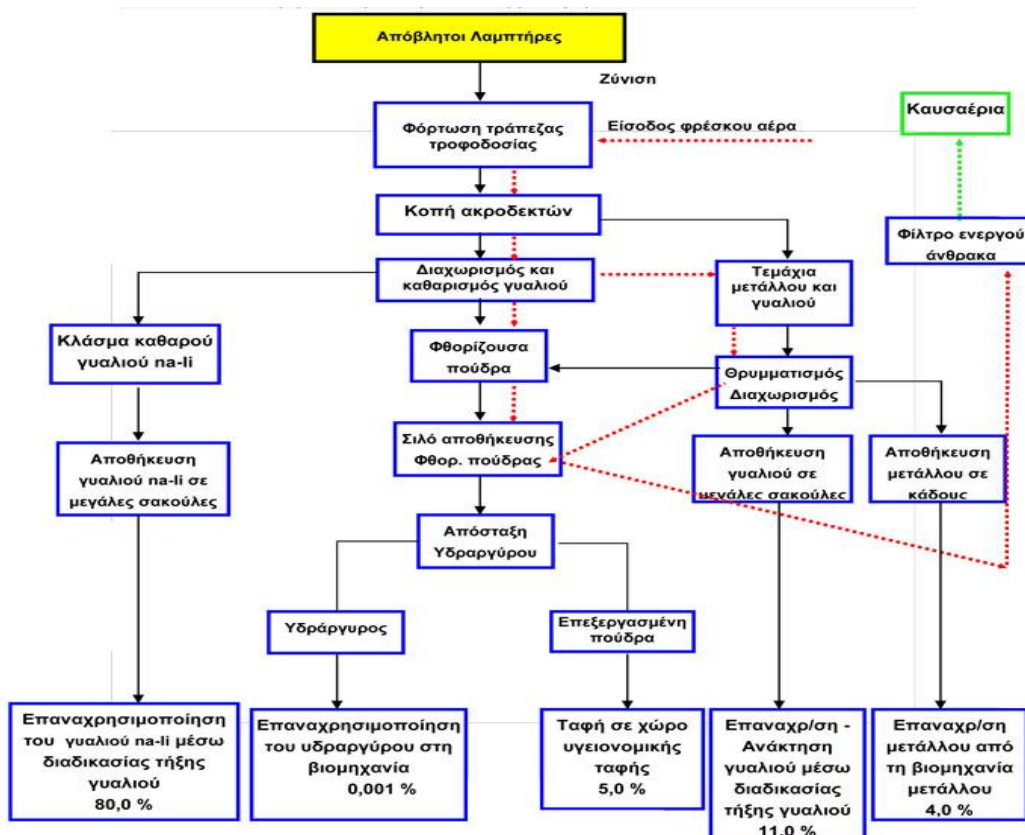
Η μέθοδος κοπής άκρων/ώθησης αέρα εφαρμόζεται στους ευθύγραμμους λαμπτήρες φθορισμού. Κατά την είσοδο των αποβλήτων στην γραμμή επεξεργασίας, ένας ανιχνευτής διαπιστώνει την ποσότητα της φθορίζουσας πούδρας που περιέχουν και καταγράφει τα τεχνικά στοιχεία της πούδρας στον υπολογιστή. Στη συνέχεια, κόβονται τα άκρα των λαμπτήρων και μέσω της εισόδου φρέσκου αέρα, υπό πίεση, αφαιρείται από τον γυάλινο σωλήνα η πούδρα που περιέχει υδράργυρο και προωθείται στη διαδικασία απόσταξης στους 600 °C. Τα άκρα των λαμπτήρων προωθούνται σε διαδικασία κοπής/κοσκινίσματος. Το κενό γυαλί περνάει από ανιχνευτή μετάλλου, θρυμματίζεται και αποθηκεύεται σε μεγάλους σάκους, έτσι ώστε να είναι εύκολη η αποθήκευσή του και η μεταφορά του.

Τα υλικά που προκύπτουν από την επεξεργασία των λαμπτήρων είναι:

- **Γυαλί:** Η ποσότητα γυαλιού χρησιμοποιείται για την κατασκευή καινούργιων λαμπτήρων. Το ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις υαλοποιίες αντί της άμμου με αποτέλεσμα:
 1. τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, καθώς το ανακυκλωμένο γυαλί ρευστοποιείται πιο εύκολα από την άμμο
 2. την εξόρυξη λιγότερων φυσικών πρώτων υλών
- **Μέταλλα:** Ανακυκλώνονται πλήρως στη βιομηχανία μετάλλων.
- **Υδράργυρος:** Ανακτάται και καθαρίζεται πλήρως. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ξανά.
- **Σκόνες φθορισμού:** Εξουδετερώνονται και στη συνέχεια θάβονται σε ειδικούς χώρους υγειονομικής ταφής, χωρίς επιβάρυνση για το περιβάλλον¹².



Εικόνα 6.27: Ανακύκλωση λαμπτήρων εκκένωσης αερίου και προϊόντα



Εικόνα 6.28: Ανακύκλωση λαμπτήρων εκκένωσης αερίου και προϊόντα

6.3 Λαμπτήρες φωτισμού τύπου LED

Περιγραφή – Λειτουργία: Δίοδος Εκπομπής Φωτός (*LED, Light Emitting Diode*), αποκαλείται ένας ημιαγωγός ο οποίος εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία στενού φάσματος όταν του παρέχεται μία ηλεκτρική τάση κατά τη φορά ορθής πόλωσης.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από την χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται, και μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται, και, κατά συνέπεια, το χρώμα του, εξαρτάται από το χάσμα ενέργειας των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του περάσματος p-n

Μια δίοδος εκπομπής φωτός είναι στην ουσία μια ένωση pn που έχει κατασκευαστεί από ένα ημιαγωγό άμεσου ενεργειακού χάσματος, όπως για παράδειγμα το GaAs, και στην οποία η επανασύνδεση των ζευγών ηλεκτρονίων – οπών (ZHO) έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων.

Ο φωτισμός με χρήση λαμπτήρων LED αναφέρεται και ως φωτισμός στερεάς κατάστασης (*Solid-State Lighting, SSL*).

Σύμφωνα με την τάση λειτουργίας τους χωρίζονται σε χαμηλής τάσης και υψηλής τάσης.

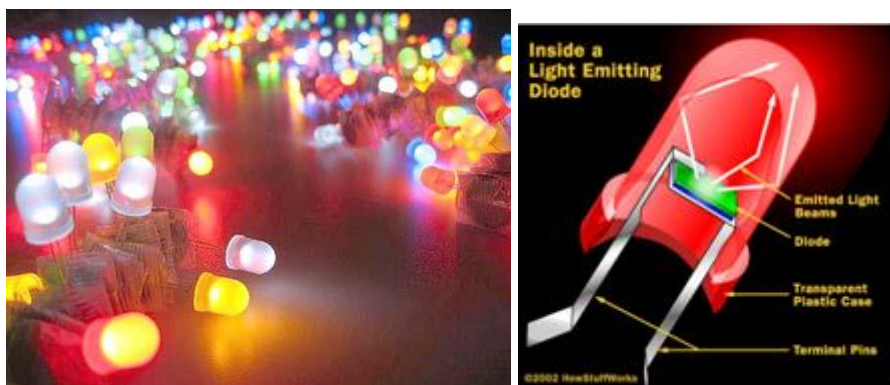
Δείκτης απόδοσης χρωμάτων: Οι δείκτες κυμαίνονται μεταξύ 80 (στα 6000 K) και 93 (στα 3000 K).

Κατανάλωση ισχύος: Οι καταναλώσεις των λαμπτήρων φωτοδιόδων είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Ο κάθε λαμπτήρας μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0,17 έως 3 W, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μέχρι τα 4 W.

Οικολογική επάρκεια: Οι εν λόγω λαμπτήρες δεν εκπέμπουν θερμότητα, ακτίνες UV και IR. Είναι κατά συνέπεια απολύτως οικολογικοί και μπορούν να έχουν χρήση σε οποιαδήποτε εφαρμογή.

Φωτεινή ροή: Ένας λαμπτήρας LED ισχύος 1 W εκπέμπει 55 lm.

Διάρκεια ζωής: Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων φωτοδιόδων κυμαίνεται μεταξύ 60000 και 100000 ωρών.



Εικόνα 6.29: Τυπικά LED



Εικόνα 6.30: Λαμπτήρες LED

	Φωτεινή ροή (Lm)	Ισοδύναμα Κοινών Λαμπτήρων (W)	Χρώματα
3W E27	240-270	20-30	Θερμό Λευκό
1,5W (spot)-12V	90-110	5-7	Θερμό Λευκό, Ουδέτερο Λευκό, Ψυχρό Λευκό,Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε
3,5W E27	330	30	Θερμό Λευκό
3W E14	230	20	Λευκό

Πίνακας 6.4: Ενδεικτικοί τύποι LED

6.3.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των LED

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των LEDs είναι:

- Παράγουν περισσότερο φως ανά W συγκριτικά με της λάμπες πυράκτωσης.
- Εκπέμπουν φως συγκεκριμένου χρώματος χωρίς την χρήση φίλτρων που απαιτούν οι παραδοσιακοί μέθοδοι φωτισμού. Είναι πιο αποδοτικά και χαμηλώνουν το αρχικό κόστος.
- Είναι πολύ μικρά (μικρότερα από 2mm) και μπορούν να τοποθετηθούν σε πινάκες αποτύπωσης.
- Έχουν γρήγορη απόκριση. Μια τυπική κόκκινη LED μπορεί να έρθει σε κατάσταση πλήρους φωτεινότητας σε χρόνο microsecond. Τα LED που χρησιμοποιούνται ως συσκευές επικοινωνίας έχουν ακόμα μικρότερους χρόνους απόκρισης.
- Σε αντίθεση με τις κοινές πηγές φωτός, τα LED εκπέμπουν πολύ λίγη θερμότητα σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας που μπορεί να προκαλέσει ζημιά σε ευαίσθητα αντικείμενα ή κατασκευές. Η ενέργεια που χάνεται διαχέεται ως θερμότητα μέσω της βάσης του LED.
- Έχουν μεγάλους χρόνους ζωής. Οι ώρες λειτουργίας τους είναι αριθμός τεράστιος συγκριτικά με αυτόν των λαμπτήρων πυράκτωσης που κυμαίνεται από 1.000 έως 2.000 ώρες και των λαμπτήρων φθορισμού που κυμαίνεται από 10.000 έως 15.000 ώρες.
- Όντας στοιχεία στερεάς κατάστασης, είναι δύσκολο να υποστούν ζημιά από κραδασμούς όπως συμβαίνει με τις λάμπες πυράκτωσης και φθορισμού.

- Μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να εστιάζουν το φως σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή περιοχή. Οι λάμπες πυράκτωσης και φθορισμού απαιτούν ένα εξωτερικό ανακλαστήρα για να συλλέγει το φως και να το κατευθύνει με ένα χρήσιμο τρόπο.
- Δεν περιέχουν υδράργυρο όπως οι λάμπες φθορισμού.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα των λαμπτήρων LED υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία πρέπει να λαμβάνουμε υπ' όψιν κατά την επιλογή τους. Μερικά από αυτά είναι:

- Είναι ακριβότερα στην αγορά τους απ' ότι οι κοινές τεχνολογίες φωτισμού. Όμως αυτό το κόστος αντισταθμίζεται με την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που έχουν.
- Έχουν ισχυρή εξάρτηση από της θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν στον χώρο που τα περιβάλλει. Σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών, τα LED μπορούν να υπερθερμανθούν και να υποστούν ζημιά.
- Είναι αρκετά ευαίσθητα στη τάση και κατ' επέκταση στο ρεύμα που τα τροφοδοτεί. Έτσι πολλές φορές χρησιμοποιούνται σειρές αντιστάσεων ή πηγές ελέγχου του ρεύματος.
- Τα περισσότερα ψυχρού λευκού LED έχουν φάσμα που διαφέρει σημαντικά από αυτό ενός ακτινοβολέα μελανού σώματος όπως ο ήλιος ή ο λαμπτήρας πυράκτωσης. Αυτό σημαίνει ότι το χρώμα κάποιων αντικειμένων μπορεί να φαίνεται διαφορετικό κάτω από μια LED ψυχρού λευκού απ' ότι θα φαινόταν κάτω από το φως του ήλιου ή κάτω από μια λάμπα πυράκτωσης.

6.3.2 Εφαρμογές λαμπτήρων LED

Οι εφαρμογές των LED μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

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

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

ii) Φωταγωγή, όπου το φως από τα LED ανακλάται από αντικείμενα για να μπορούν αυτά να είναι ορατά.

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

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

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

iii) Παραγωγή φωτός για μέτρηση και αλληλεπίδραση με διαδικασίες που δεν γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι.

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

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

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

Μια άλλη χρήση των LED είναι στις καλλιέργειες φυτών κυρίως γιατί είναι ενεργειακά αποδοτικά, παράγουν θερμότητα που δεν είναι ικανή να τα καταστρέψει γιατί είναι μικρή, και μπορούν να παρέχουν την βέλτιστη οπτική συχνότητα για την ανάπτυξή τους.¹³

6.4 Σύνοψη χαρακτηριστικών λαμπτήρων

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η σωστή επιλογή λαμπτήρα είναι μια διαδικασία που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Απαιτεί μια πολύ καλή γνώση των διαθέσιμων λαμπτήρων στην αγορά και των οικονομικών και τεχνικών χαρακτηριστικών τους, και εξαρτάται άμεσα από τη χρήση για την οποία προορίζονται και το επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας που θέλουμε να επιτύχουμε. Παρακάτω παρατίθεται συγκριτικός πίνακας καταλληλότητας τυπικών λαμπτήρων ανάλογα με τη χρήση που προορίζονται.

Επειδή η επιλογή του κατάλληλου λαμπτήρα συμπληρώνεται με την κατάλληλη επιλογή φωτιστικό σώματος το επόμενο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο ρόλο των φωτιστικών σωμάτων στο φωτισμό ενός χώρου.

	LED	Φθορισμού	Πυράκτωσης
Η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι η κύρια προτεραιότητα	Είναι η καλύτερη επιλογή		
Το κόστος είναι σημαντικός παράγοντας		Καλό είναι να τις εξετάζουμε ως λύση	
Μας νοιάζει μόνο το κόστος κτήσης			Καλύτερη επιλογή
Χρειαζόμαστε μακρά διάρκεια ζωής	Με το σωστό σχεδιασμό αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή		
Μεγάλος αριθμός On/off	Οποσδήποτε		
Ακραίες	Ικανοποιητικές και		Αν είναι

θερμοκρασίες	σαφώς καλύτερες από του φθορισμού		υπερβολικά ακραίες αποτελούν τη βέλτιστη λύση
Χρειάζομαι τη θερμότητα για άλλες χρήσεις			Παραμένει η καλύτερη επιλογή
Χρειάζομαι πιστότητα χρώματος (render)	Αρκετά ικανοποιητική λύση	Όχι ιδιαίτερα ικανοποιητική λύση	Παραμένει η κορυφαία επιλογή

Πίνακας 6.5: Σύγκριση καταλληλότητας λαμπτήρων LED με κοινούς λαμπτήρες φθορισμού και πυράκτωσης ανάλογα με τις απαιτήσεις

7. ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

7.1 Φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων

Φωτιστικό σώμα είναι κάθε διάταξη που διαμορφώνει την κατανομή στο χώρο της φωτεινής ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από έναν ή περισσότερους λαμπτήρες. Κάθε φωτιστικό σώμα πρέπει να διαθέτει τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Να παρέχει την κατάλληλη στήριξη στους λαμπτήρες, στα εξαρτήματα λειτουργίας τους (όπου απαιτείται) και στους αγωγούς σύνδεσης.
2. Να διανέμει κατάλληλα τη φωτεινή ροή του λαμπτήρα.
3. Να έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε η παραγόμενη από τον λαμπτήρα θερμότητα να παραμένει σε τέτοια όρια, που να μην επηρεάζεται η λειτουργία του.
4. Να είναι εύκολη η εγκατάσταση και η συντήρησή του.
5. Να είναι καλαίσθητο και να εναρμονίζεται με το περιβάλλον.

Ο σχεδιασμός των σύγχρονων φωτιστικών έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές βελτιώσεις στο βαθμό αποδοτικότητας τους σε σύγκριση με την παλαιότερη γενιά φωτιστικών σωμάτων. Η ανακαίνιση παλαιότερων εγκαταστάσεων φωτισμού και η χρησιμοποίηση σύγχρονων συστημάτων φωτισμού μπορεί να εξασφαλίσει βελτιωμένες συνθήκες οπτικής άνεσης και σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα και η απλή αντικατάσταση των βαμμένων λευκών ανακλαστήρων σε ένα φωτιστικό φθορισμού (βαθμός ανάκλασης περίπου 70%) με ανακλαστήρες από αλουμίνιο (βαθμός ανάκλασης έως και 95%) μπορεί να έχει σημαντικά οφέλη στην εξοικονόμηση ενέργειας στις εγκαταστάσεις φωτισμού σε ένα κτίριο, αφού αυξάνει σημαντικά την ποσότητα φωτός που εκπέμπεται από το φωτιστικό.

7.1.1 Φωτιστική απόδοση του φωτιστικού σώματος

Η πλέον σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε μελέτη φωτισμού είναι η φωτιστική απόδοση του φωτιστικού σώματος. Η υπόθεση ότι δύο φωτιστικά ομοίων διαστάσεων και με τον ίδιο αριθμό και τύπο λαμπτήρων έχουν την ίδια φωτιστική απόδοση είναι λανθασμένη, αφού στην πραγματικότητα αυτή διαφέρει σημαντικά από φωτιστικό σε φωτιστικό ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Ως φωτιστική απόδοση ενός φωτιστικού σώματος ορίζεται ο λόγος της ακτινοβολούμενης φωτεινής ροής από το φωτιστικό σώμα προς τη φωτεινή ροή που εκπέμπει ο λαμπτήρας του φωτιστικού σώματος:

$$\eta = \Phi_{\text{φωτ}} / \Phi_{\text{λαμ}}$$

Εκφράζεται επί τοις εκατό και εξαρτάται από την κατασκευή του φωτιστικού και το υλικό, από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι ανακλαστήρες ή άλλο οπτικό του σύστημα που χρησιμοποιείται για τη διανομή του φωτός στο χώρο.

Τα πολικά διαγράμματα των φωτιστικών σωμάτων [5.5.1] αποτελούν επίσης πολύ σημαντικό παράγοντα για την κατάλληλη επιλογή τους διότι γνωρίζοντας τη μορφή της φωτεινής δέσμης μπορούμε να αξιοποιήσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα τη διαθέσιμη φωτεινή ισχύ και να επιλέξουμε το πλέον κατάλληλο φωτιστικό για την εφαρμογή μας.¹⁴

7.2 Κατηγορίες φωτιστικών σωμάτων

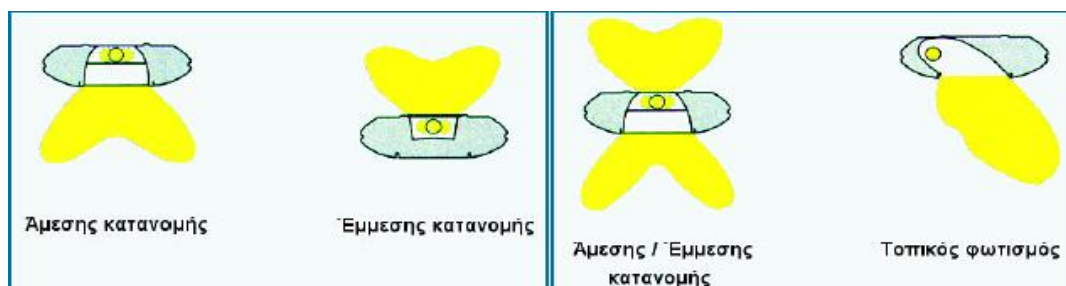
Τα φωτιστικά σώματα εσωτερικών χώρων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Ανάλογα με το ποσοστό της φωτεινής ροής η οποία διαχέεται προς τα κάτω.
2. Ανάλογα με το βαθμό προστασίας του φωτιστικού σώματος έναντι του νερού και της σκόνης.

3. Ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτρικής μόνωσης του φωτιστικού σώματος.

Για κάθε κατηγορία, οι πίνακες που ακολουθούν μας δίνουν την αντίστοιχη διάκριση μεταξύ των φωτιστικών σωμάτων.

7.2.1 Κατάταξη ανάλογα με το ποσοστό της φωτεινής ροής



Εικόνα 7.1: Σχηματική παράσταση φωτιστικών σωμάτων με κατανομή φωτός.

Με τον **άμεσο φωτισμό**, ποσοστό μεγαλύτερο του 90 % της φωτεινής ροής των λαμπτήρων στέλνεται άμεσα προς τα κάτω, στο επίπεδο εργασίας. Οι απώλειες από απορρόφηση τοίχων και οροφής είναι μικρές και ο βαθμός απόδοσης του φωτισμού του χώρου είναι μεγάλος. Επειδή η οροφή φωτίζεται ελάχιστα, ο φωτισμός αυτός κρύβει τυχόν ακαλαίσθητα στοιχεία της (δοκοί, σιδηροκατασκευές κ.λπ.). Ο φωτισμός αυτός δημιουργεί σκιές, τονίζοντας έτσι την τρίτη διάσταση των αντικειμένων. Χρησιμοποιείται όπου απαιτείται να διακρίνουμε λεπτομέρειες, κυρίως σε εφαρμογές τοπικού φωτισμού.

Με τον **έμμεσο φωτισμό**, ποσοστό μεγαλύτερο του 90 % στέλνεται προς την οροφή, απ' όπου μετά από ανάκλαση επιστρέφει στο επίπεδο εργασίας. Ο φωτισμός αυτός έχει μεγάλες απώλειες, λόγω απορρόφησης στην οροφή και στους τοίχους του φωτιζόμενου χώρου, με συνέπεια το μικρό βαθμό απόδοσης. Χαρακτηριστικό του είναι ότι οι λαμπτήρες δεν είναι εμφανείς (κρυφός φωτισμός). Επειδή το φως έρχεται στα φωτιζόμενα αντικείμενα από όλες τις κατευθύνσεις, δεν υπάρχουν σκιές, με αποτέλεσμα ο παρατηρητής να μην μπορεί να διακρίνει τις προεξοχές από τις εσοχές στα αντικείμενα που παρατηρεί.

Ο φωτισμός αυτός δημιουργεί μια αίσθηση χαλαρότητας και ενδείκνυται για χώρους αναμονής.

Οι περισσότερο ήπιες μορφές φωτισμού είναι ο ημιάμεσος και ο ημιέμμεσος. Ο ομοιόμορφος φωτισμός αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση.

Σε πολλές εφαρμογές φωτισμού, για διάφορους λόγους, χρησιμοποιούνται λαμπτήρες φθορισμού. Επειδή όμως διαθέτουν μεγάλη φωτιστική επιφάνεια και το φως το οποίο παρέχουν είναι διάχυτο, πρέπει να συνδυάζονται με προβολείς τοπικού φωτισμού, για να αναδεικνύονται οι λεπτομέρειες των φωτιζόμενων αντικειμένων.

Κατηγορία Φωτιστικού Σώματος	Κατανομή (%) της φωτεινής ροής ως προς το οριζόντιο επίπεδο	
	Προς τα πάνω	Προς τα κάτω
Άμεσο	0 - 10	90 - 100
Ημι - άμεσο	10 - 40	60 - 90
Διαχυτικό (Ομοιόμορφο)	40 - 60	40 - 60
Ημι - έμμεσο	60 - 90	10 - 40
Έμμεσο	90 - 100	0 - 10

Πίνακας 7.1: Διάκριση φωτιστικών σωμάτων ως προς την κατανομή φωτεινής ροής.

7.2.2 Κατάταξη ανάλογα με το βαθμό προστασίας

Κάθε φωτιστικό σώμα χαρακτηρίζεται από τον κατασκευαστή του με το δείκτη προστασίας IP και με δύο αριθμούς, π.χ. IP 44. Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στο βαθμό προστασίας από εισχώρηση στερεών σωμάτων ή σκόνη και ο δεύτερος αναφέρεται στο βαθμό προστασίας από νερό.

Βαθμός προστασίας	Προστασία από στερεά σώματα	Προστασία από υγρά
0	Δεν υπάρχει καμία προστασία έναντι της εισχώρησης ξένων σωμάτων	Δεν υπάρχει καμία προστασία έναντι του νερού.
1	Μεγαλύτερα των 50 mm	Προστασία από νερό που στάζει κάθετα.
2	Μεγαλύτερα των 12 mm (πχ προστασία από επαφή με τα δάχτυλα)	Προστασία από σταγόνες νερού (για γωνία κλίσης μέχρι 15° από την κατακόρυφο).
3	Μεγαλύτερα των 2,5 mm (πχ εργαλεία, καλώδια)	Προστασία από βροχή (για γωνία πτώσης βροχής μέχρι 60° από την κατακόρυφο).
4	Μεγαλύτερα του 1mm (πχ λεπτά εργαλεία, λεπτά σύρματα)	Προστασία από υγρό το οποίο ο ρίχνεται με οποιαδήποτε γωνία στο φωτιστικό σώμα.
5	Υπάρχει προστασία από τη σκόνη σε τέτοιο βαθμό, ώστε η σκόνη που εισχωρεί να μην δημιουργεί προβλήματα.	Προστασία από νερό το οποίο ο εκτοξεύεται πάνω στο φωτιστικό σώμα από όλες τις κατευθύνσεις.
6	Υπάρχει απόλυτη προστασία από τη σκόνη.	Προστασία από ρίψη υπο πίεση, ισοδύναμη με θαλάσσια κύματα, από όλες τις κατευθύνσεις.
7		Προστασία από νερό, σε βύθιση σε μικρό βάθος και σε μικρή χρονική διάρκεια.
8		Προστασία από βύθιση διαρκείας

		σε μεγάλο βάθος.
--	--	------------------

Πίνακας 7.2: Βαθμοί προστασίας φωτιστικών σωμάτων από στερεά και υγρά σώματα

7.2.3 Κατάταξη σύμφωνα με τον τύπο προστασίας από ηλεκτροπληξία

Τα φωτιστικά σώματα ταξινομούνται σύμφωνα με τον τύπο προστασίας από ηλεκτροπληξία ως: Κλάση 0, Κλάση I, Κλάση II και Κλάση III. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την κατάταξη των φωτιστικών σωμάτων με κριτήριο την ηλεκτρική τους προστασία.

Κατηγορία φωτιστικού σώματος	Σύμβολο	Περιγραφή ηλεκτρικής προστασίας
0		Φωτιστικό σώμα το οποίο δε διαθέτει βίδα γείωσης και διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Η προστασία από ηλεκτροπληξία εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση.
I		Φωτιστικό σώμα το οποίο διαθέτει βίδα γείωσης ή επαφή γείωσης. Η προστασία από ηλεκτροπληξία δεν εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση, αλλά περιέχει ένα επιπρόσθετο μέτρο ασφαλείας, με τη μορφή μέσων για τη σύνδεση των προσιτών αγωγίων μερών στον αγωγό προστασίας (γείωσης) της σταθερής συρμάτωσης της εγκατάστασης, έτσι που να μην μπορούν να τεθούν υπό τάση τα προσιτά αυτά αγωγίμα μέρη, σε περίπτωση αστοχίας της βασικής μόνωσης.
II	II	Η προστασία από ηλεκτροπληξία δεν εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση, αλλά έχουν προβλεφθεί επιπρόσθετα μέτρα ασφαλείας, όπως διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Δε διαθέτει επαφή ή βίδα γείωσης.
III	III	Φωτιστικό σώμα το οποίο προορίζεται για πολύ χαμηλές τάσεις τροφοδοσίας. Η προστασία από ηλεκτροπληξία βασίζεται στο γεγονός ότι το φωτιστικό λειτουργεί με πολύ χαμηλή τάση, η οποία δε δημιουργεί κανένα κίνδυνο για τον άνθρωπο. Ένα φωτιστικό σώμα αυτής της Κλάσης δεν πρέπει να είναι εφοδιασμένο με μέσα για γείωση προστασίας.

Πίνακας 7.3: Κλάσεις προστασίας φωτιστικών σωμάτων από ηλεκτροπληξία

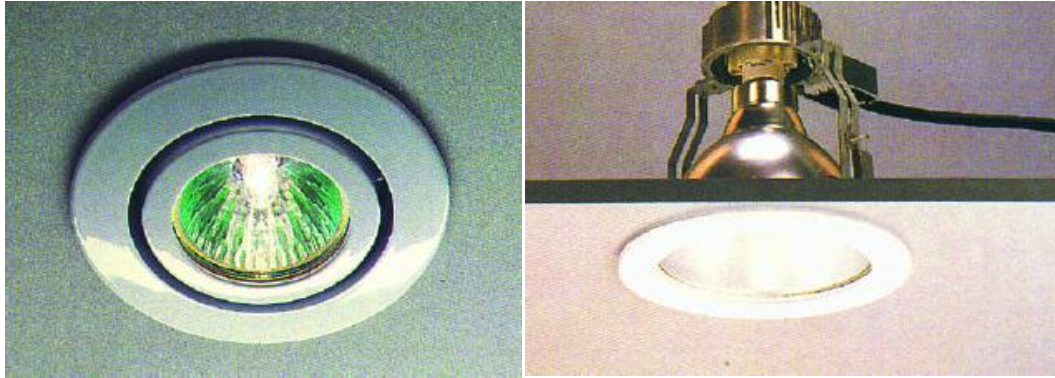
7.3 Τύποι φωτιστικών σωμάτων εσωτερικών χώρων

Τα φωτιστικά σώματα γενικής χρήσης τα οποία κυκλοφορούν στην αγορά μπορούν να καταταγούν σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

7.3.1 Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες πυράκτωσης.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία φωτιστικών σωμάτων, κυρίως διακοσμητικού χαρακτήρα. Η χρήση των περισσοτέρων απ' αυτά σωμάτων είναι αποτέλεσμα απλής επιλογής και όχι φωτοτεχνικής μελέτης. Είναι αυτονόητο ότι στις μέρες μας με το ενεργειακό πρόβλημα συνεχώς να εντείνεται μια απλή επιλογή λόγω ευκολίας δε συνίσταται ενώ προτείνεται ακόμα και για τις πιο απλές εφαρμογές η συμβουλή ενός ειδικού. Τα κοινά φωτιστικά σώματα αυτού του τύπου όταν η κατασκευή τους το επιτρέπει (μέγεθος, κάλυκας) μπορούν να δεχτούν και άλλα είδη λαμπτήρων (CFL, LED, αλογόνου κλπ)

Στις μελέτες φωτισμού, δύο τύποι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αυτοί ανήκουν στην κατηγορία φωτιστικών σωμάτων σημειακού φωτισμού (τύπος SPOT). Τα SPOT μπορούν να τοποθετηθούν είτε εσωτερικά σε ψευδοροφές είτε εξωτερικά, με τη μορφή μικρών προβολέων.



Εικόνα 7.2: Διάφορες μορφές σποτ

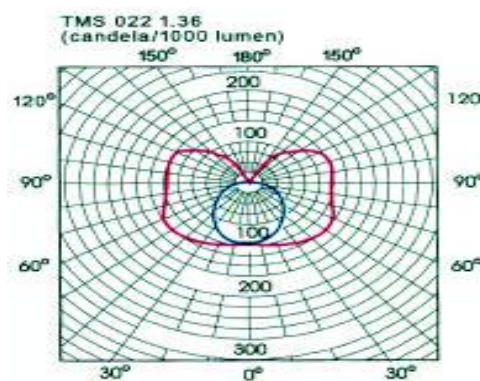
7.3.2 Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι περισσότεροι τύποι φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιούνται στις μελέτες φωτισμού. Διακρίνονται σε:

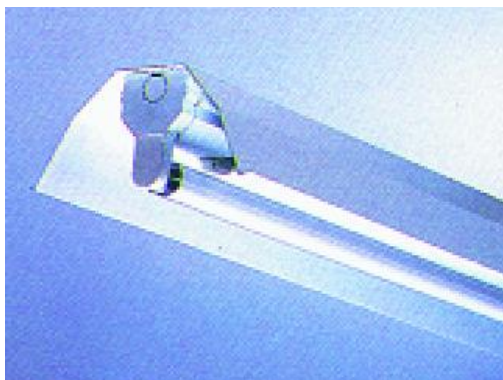
Απλά φωτιστικά σώματα ή σκαφάκια: Τα σκαφάκια απλού ή βιομηχανικού τύπου αποτελούν την απλούστερη μορφή φωτιστικού σώματος φθορισμού. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η εξωτερική εμφάνιση του φωτιστικού σώματος δεν έχει σημασία.



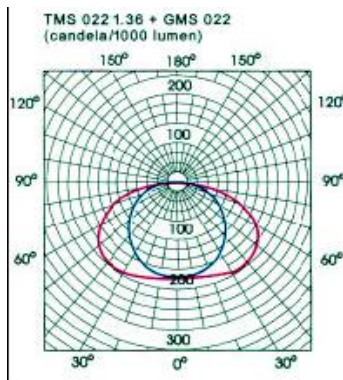
Εικόνα 7.3: Σκαφάκι



Σκαφάκια βιομηχανικού τύπου με αντανακστήρες



Εικόνα 7.4: Σκαφάκι με αντανακστήρα



Φωτιστικά σώματα με πλαστικό κάλυμμα: Υπάρχουν διάφορα είδη πλαστικού καλύμματος, όπως διαφανές, πρισματικό, γαλακτόχρουν κ.λπ. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές φωτισμού εσωτερικών χώρων, όπου η εμφάνιση του φωτιστικού σώματος έχει και διακοσμητική σημασία.



Εικόνα 7.5: Φωτιστικό σώμα με πλαστικό κάλυμμα

Φωτιστικά σώματα με περσίδες: Αποτελούνται από περσίδες με ανακλαστικά υλικά ώστε να διανέμουν το φως καλύτερα και να βελτιώνουν τη φωτιστική απόδοσή τους [7.1.1].



Εικόνα 7.6: Φωτιστικό σώμα με περσίδες

Φωτιστικά σώματα ειδικών εφαρμογών: Τέτοια φωτιστικά σώματα διαθέτουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως το να είναι στεγανά, αντιαεκρηκτικά, κατάλληλα για ιατρικές εφαρμογές κλπ.

7.3.3 Φωτιστικά ασφαλείας

Όλα τα σύγχρονα φωτιστικά σώματα φθορισμού μπορούν να εξοπλιστούν με συνδεσμολογία και εξαρτήματα για λειτουργία με αυτόματο σύστημα φωτισμού ασφαλείας, εφόσον το επιτρέπουν οι διαστάσεις του φωτιστικού. Κατά τη διακοπή της τάσης τροφοδότησης της εγκατάστασης, ανάβει ένας από τους λαμπτήρες του φωτιστικού, περίπου στο 20% της ονομαστικής φωτεινής ροής του. Τα χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος είναι τα εξής:

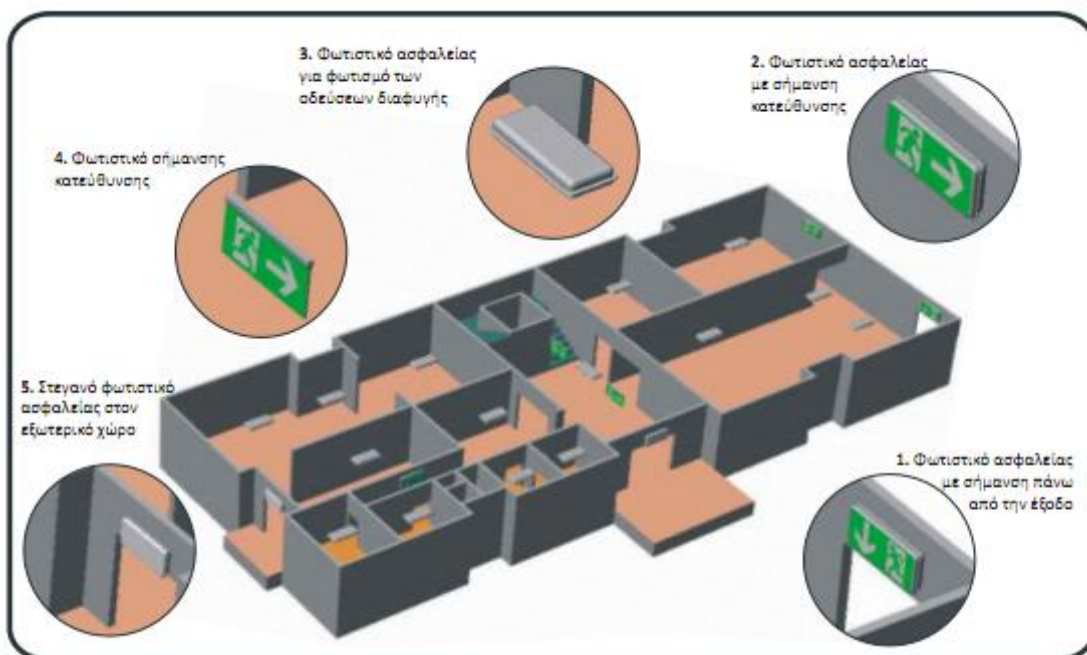
1. Μόνιμη λειτουργία. Το φωτιστικό λειτουργεί κανονικά, με την τάση τροφοδοσίας του δικτύου.
2. Αντιστροφή της τάσης με ηλεκτρονικό μετατροπέα (inverter), παρέχοντας προστασία έναντι ολικής εκφόρτισης της μπαταρίας.
3. Μπαταρία νικελίου – καδμίου.
4. Ενδεικτική λυχνία (LED), για την παρουσία τροφοδοσίας και τη φόρτιση της μπαταρίας.
5. Χρόνος επαναφόρτισης της μπαταρίας, 24 ώρες.

6. Αυτονομία για μία ώρα. Είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη αυτονομία, ανάλογα με το φορτίο που υποστηρίζει η μπαταρία.

Στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιούνται αυτόνομα φωτιστικά σώματα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Επαναφορτιζόμενο φωτιστικό ασφαλείας με έναν ή δύο λαμπτήρες φθορισμού, ισχύος συνήθως 8 W.
2. Λειτουργεί (ανάβει), όταν υπάρξει διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος.
3. Έχει αυτόματη επαναφορά, όταν αποκατασταθεί η τάση στο δίκτυο, και παραμένει σε κατάσταση ετοιμότητας.
4. Διαθέτει μπουτόν για τον έλεγχο λειτουργίας του λαμπτήρα.
5. Έχει αυτονομία 6 - 7 ώρες για συνεχή λειτουργία ενός λαμπτήρα ή 3,5 ώρες για τη λειτουργία και των δύο.

Έχουν εφαρμογές σε καταστήματα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, τράπεζες, εργοστάσια, σχολεία, θέατρα, κλιμακοστάσια κλπ.



Εικόνα 7.7: Παράδειγμα τοποθέτησης φωτιστικών ασφαλείας και σήμανσης

Πλέον στο εμπόριο μπορούμε να βρούμε και φωτιστικά ασφαλείας με λαμπτήρες LED. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι οι μικρές καταναλώσεις με αποτέλεσμα αυτονομία που μπορεί να φτάνει και τις 30 ώρες.

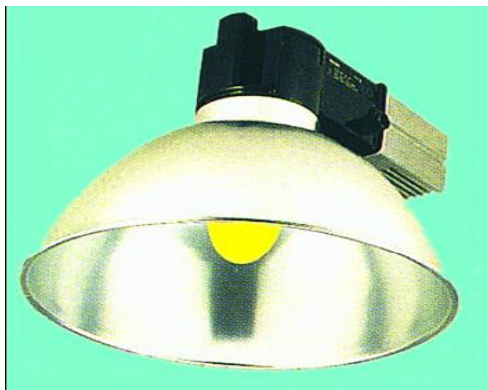


Εικόνα 7.8: Φωτιστικό ασφαλείας με λαμπτήρες LED

7.3.4 Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή νατρίου

Ο πλέον συνηθισμένος τύπος είναι ο τύπος «καμπάνα», με ανακλαστήρα στενής ή ευρείας δέσμης. Είναι κατάλληλος για εσωτερικούς χώρους με ύψος μεγαλύτερο από 5m και για ένα λαμπτήρα ατμών υδραργύρου ή νατρίου υψηλής πίεσης, ισχύος 250W, 400W.

Χρησιμοποιείται για το φωτισμό βιομηχανικών χώρων, αποθηκευτικών χώρων, σταθμών αυτοκινήτων και κλειστών αθλητικών χώρων, όπως γήπεδα, γυμναστήρια κλπ.



Εικόνα 7.9: Φωτιστικό σώμα ατμών υδραργύρου

7.3.5 Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες LED

Είναι φωτιστικά σώματα που μπορούν να περιέχουν σε κατάλληλες επιφάνειες έως και μερικές χιλιάδες διόδους φωτοεκπομπής (LED). Οι διόδοι φωτοεκπομπής έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης, πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (100.000 ώρες λειτουργίας), μικρές διαστάσεις (μερικά χιλιοστά), μεγάλη αντοχή σε χτυπήματα και κραδασμούς, δεν εκπέμπουν υπέρυθρες ή υπεριώδεις ακτινοβολίες και έχουν πολύ μικρή κατανάλωση [Παρ.6.3].



Εικόνα 7.10: Διατάξεις φωτισμού με λαμπτήρες LED

7.3.6 Φωτιστικά σώματα με οπτικές ίνες

Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως είναι:

- ο φωτισμός πολύ μικρών χώρων, όπως οι βιτρίνες καταστημάτων και πίνακες ανακοινώσεων,
- ο φωτισμός σε χώρους με αυξημένη υγρασία, όπως είναι οι πισίνες, σε χώρους με επικίνδυνα εύφλεκτα αέρια και γενικά σε εφαρμογές όπου το ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα,

- ο φωτισμός έργων τέχνης, όπου απαιτείται πολύ μικρή εκπομπή θερμότητας και μηδαμινή υπερϊώδης ακτινοβολία,
- ο φωτισμός στη σηματοδότηση της κυκλοφορίας των οχημάτων και διαφημιστικών επιγραφών.

Τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται και σε πλήθος άλλων εφαρμογών. Κάθε σύστημα οπτικών ινών αποτελείται:

1. από τη φωτεινή πηγή,
2. από την οπτική ίνα και
3. από την απόληξη της οπτικής ίνας.

Η φωτεινή πηγή περιλαμβάνει την ανάλογη λυχνία, τα απαραίτητα φίλτρα και ένα μικρό ανεμιστήρα ψύξης. Παράγει και εκπέμπει το φως προς το βύσμα, όπου ενώνονται όλες οι οπτικές ίνες της διάταξης. Μέσα στη φωτεινή πηγή και μεταξύ της λυχνίας και του βύσματος, παρεμβάλλονται φίλτρα για τον περιορισμό της υπερϊώδους και της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα χρησιμοποίησης περιστρεφόμενου δίσκου με διάφορα χρωματιστά φίλτρα, για τη δημιουργία φωτιστικών εφέ. Η οπτική ίνα που φτάνει από την πηγή μέχρι το χώρο που απαιτείται να φωτιστεί, έχει συνήθως μήκος 8-9 μέτρα. Η ελεύθερη απόληξη της οπτικής ίνας παρέχει το φως που έχει μεταφερθεί μέσω της ίνας με τη μορφή δέσμης γωνίας 60ο. Με ειδικά μηχανήματα δίνεται η δυνατότητα να μεγαλώσει ή να μικρύνει η δέσμη, δίνοντας στον φωτιζόμενο χώρο την ατμόσφαιρα που απαιτεί η εφαρμογή. Η πολύ μικρή διατομή των οπτικών ινών και η δυνατότητα πολλαπλών αναχωρήσεων από το βύσμα προσφέρουν απεριόριστες δυνατότητες φωτισμού.



Εικόνα 7.11: Διάταξη φωτισμού με οπτικές ίνες

7.3.7 Υβριδικά φωτιστικά σώματα

Είναι φωτιστικά τα οποία περιέχουν ένα κοινό ηλεκτρικό φωτιστικό (όπως για λαμπτήρες φθορισμού και πυρακτώσεως) και ένα φωτιστικό οπτικών ινών. Συχνά το φωτιστικό οπτικών ινών είναι ένα στοιχείο διασποράς που μετατρέπει τις εξαιρετικά κατευθυντικές δέσμες φωτός σε μι πιο επιθυμητή δομή. Τα υβριδικά φωτιστικά σώματα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τεχνολογίες αξιοποίησης φυσικού φωτισμού μέσα σε κτίρια όπως οι φωτοσωλήνες. Καθώς τα επίπεδα φωτισμού του ήλιου μεταβάλλονται ένας ανιχνευτής φωτισμού (πυρανόμετρο [9.1.3]) ενημερώνει για τη μεταβολή το σύστημα και αυτό με τη σειρά του ρυθμίζει τον τεχνητό φωτισμό στα ανάλογα επίπεδα.



Εικόνα 7.12: Υβριδικά φωτιστικά σώματα

7.4 Ανταυγαστήρες

Στις φωτοτεχνικές εφαρμογές, πολλές φορές απαιτείται να δώσουμε διάφορες μορφές (παράλληλη, συγκεντρωτική, διαχεόμενη κ.λπ.) και κατευθύνσεις στην ανακλώμενη δέσμη. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση στα φωτιστικά σώματα ανταυγαστήρων κατάλληλου σχήματος και υλικού. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί ο αριθμός των λαμπτήρων και των φωτιστικών που θα χρησιμοποιηθούν για την παροχή της απαιτούμενης ποσότητας φωτισμού σε έναν συγκεκριμένο χώρο με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται (εξοικονόμηση ενέργειας, χαμηλότερο κόστος επένδυσης για φωτισμό).

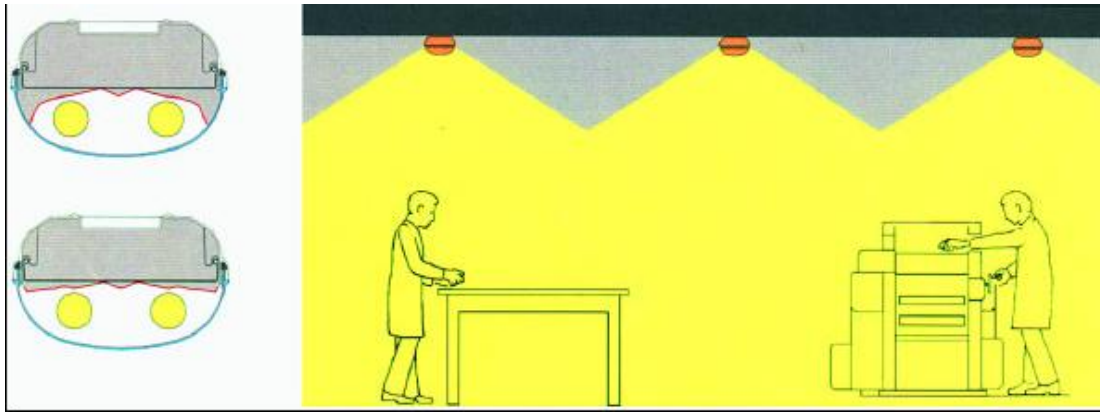
Ειδικότερα, όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας, τα οφέλη σύμφωνα με διεθνείς μελέτες υπολογίζεται ότι μπορεί να είναι της τάξης το 20% έως 50%.



Εικόνα 7.13: Τύποι ανταυγαστήρων

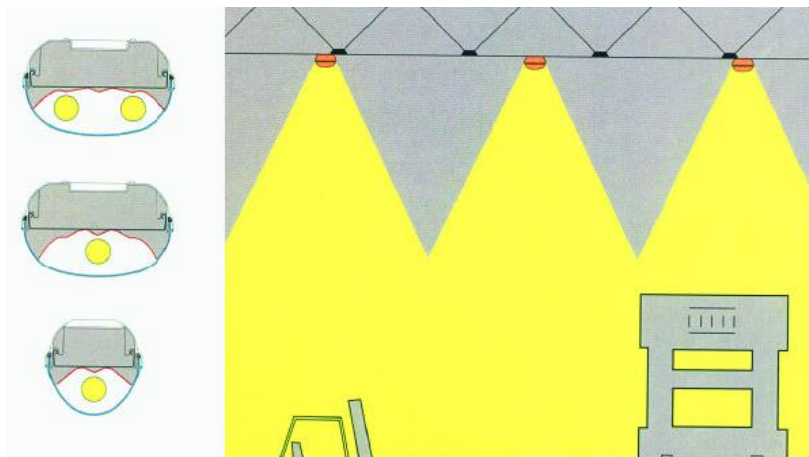
Συνήθως, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι ανταυγαστήρων:

- **Ανταυγαστήρες ευρείας δέσμης** για χρήση σε χώρους με ύψος από 3 έως 6 μέτρα.



Εικόνα 7.14: Κατανομή φωτός με ανταυγαστήρα ευρείας δέσμης

- **Ανταυγαστήρες συγκεντρωτικής δέσμης** για χρήση σε χώρους με ύψος πάνω από 4 μέτρα ή όπου απαιτείται έντονος φωτισμός.



Εικόνα 7.15: Κατανομή φωτός με ανταυγαστήρα συγκεντρωτικής δέσμης

- **Ανταυγαστήρες ασύμμετρης δέσμης** για χρήση σε χώρους όπου υπάρχει ανάγκη για ακριβή εστίαση της φωτεινής ροής στο επίπεδο εργασίας.

8. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ - ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ

Για την επιλογή του κατάλληλου λαμπτήρα λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από κριτήρια που μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω 4 κατηγορίες:

1. Φωτοτεχνικά κριτήρια
2. Οικονομοτεχνικά κριτήρια
3. Τεχνικά κριτήρια
4. Οικολογικά – Περιβαλλοντικά κριτήρια.

8.1 Φωτοτεχνικά κριτήρια

Στα φωτοτεχνικά κριτήρια υπάγονται η Θερμοκρασία χρώματος (T_c) και ο Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης (R_a)

Η **Θερμοκρασία χρώματος (T_c)** προσδιορίζει την απόχρωση του φωτός και μετριέται σε βαθμούς Kelvin ($^{\circ}K$). Θερμοκρασία χρώματος μικρότερη από 3300 K δίνει θερμή εντύπωση, μεταξύ 3300 – 5000 $^{\circ}K$ δίνει ουδέτερη λευκή εντύπωση και μεγαλύτερη από 5000 oK δίνει ψυχρή εντύπωση.

Ο **Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης (R_a ή CRI ή IRC)** προσδιορίζει το βαθμό πιστότητας στην απόδοση των χρωμάτων σε σχέση με την απόδοσή τους, όταν φωτίζονται από πρότυπη φωτεινή πηγή.

Πρότυπες φωτεινές πηγές με δείκτη χρωματικής απόδοσης 100 θεωρούνται:

- ο ήλιος (φυσική φωτεινή πηγή) και
- ο λαμπτήρας πυράκτωσης (τεχνητή φωτεινή πηγή)

Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης R_a αποτελεί σημαντικό κριτήριο της ποιότητας των λαμπτήρων φθορισμού. Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή ενός λαμπτήρα, όπου υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις στην απόδοση των χρωμάτων (π.χ. σε μια βιομηχανία υφασμάτων), αλλά είναι αμελητέος για τον φωτισμό, για παράδειγμα, ενός αυτοκινητοδρόμου, όπου η ιδανική λύση προσφέρεται από λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, που παρέχουν μόνο κίτρινο (μονοχρωματικό) φως.

Στην επιλογή του είδους των λαμπτήρων, αν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις στην απόδοση των χρωμάτων, βαρύτητα δίνεται στη φωτιστική απόδοση (lm/W), γιατί αυτό αποτελεί το βασικότερο στοιχείο της οικονομικής λειτουργίας μιας εγκατάστασης φωτισμού.

Οι απαιτήσεις στην ποιότητα φωτός είναι διαφορετικές για κάθε χώρο. Οι διάφοροι συνδυασμοί της θερμοκρασίας χρώματος T_c και του δείκτη χρωματικής απόδοσης R_a δίνουν διαφορετικό φωτιστικό αποτέλεσμα. Ο κατάλληλος συνδυασμός των δεικτών αυτών για κάθε χώρο υποδεικνύεται από σχετικές προδιαγραφές διεθνούς αποδοχής. Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται μερικά παραδείγματα εφαρμογών, με παραμέτρους την επιθυμητή ποιότητα φωτός, τον ελάχιστο δείκτη χρωματικής απόδοσης και τη συνιστώμενη θερμοκρασία χρώματος του φωτός.

Δείκτης R_a	Είδος φωτεινής πηγής
92 – 97	Λαμπτήρας φθορισμού υψηλής ποιότητας
80 – 90	Λαμπτήρας φθορισμού καλής ποιότητας, τύπος De Luxe
70 – 80	Λαμπτήρας φθορισμού Standard white
50 – 60	Λαμπτήρας φθορισμού Standard warm white

Πίνακας 8.1: Δείκτες χρωματικής απόδοσης και ποιότητας λαμπτήρα

Επιθυμητή ποιότητα φωτός	Ελάχιστος δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra	Συνιστώμενη θερμοκρασία χρώματος Tc σε °K	Παραδείγματα εφαρμογών
Καλύτερη δυνατή	90	6500 – 7400	Βιομηχανίες υφασμάτων, τυπογραφία, γραφικές τέχνες.
	90	4000	Μουσεία, χώροι ιατρικών εξετάσεων.
Καλή	80	4000	Κατοικίες, σχολεία, γραφεία, μεγάλα καταστήματα.
	80	3000	Καταστήματα τροφίμων, αίθουσες συνεδρίων, χώροι υποδοχής.
Μέση	60	—	Διάδρομοι, σκάλες, μηχανουργεία.
Καμιά	—	—	Βαριά βιομηχανία, αποθήκες, χώροι στάθμευσης.

Πίνακας 8.2: Συνδυασμοί δείκτη Ra και θερμοκρασίας χρώματος για διάφορες εφαρμογές

Η στάθμη φωτισμού (Lux) σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία χρώματος (Tc) οφείλονται για το αίσθημα που δημιουργεί ο φωτισμός (ευχάριστο, καταθλιπτικό κ.λπ.). Το ανθρώπινο μάτι αποκτά τη μέγιστη οξύτητα όρασης σε στάθμες φωτισμού από 10.000 έως 20.000 Lux.

Ο κακός φωτισμός προκαλεί κούραση, βλάπτει την υγεία, μειώνει την απόδοση των εργαζομένων και αποτελεί αιτία ατυχημάτων. Ανάλογα με το χώρο και το είδος εργασίας, απαιτείται και διαφορετική ποσότητα φωτισμού.

Επίσης, στην επιλογή της στάθμης φωτισμού ενός χώρου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ηλικία αυτών που διαμένουν ή εργάζονται σ' αυτόν. Οι ηλικιωμένοι έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις φωτισμού.

Όμως, στις εγκαταστάσεις φωτισμού λαμβάνουμε υπόψη:

- τη λαμπρότητα του επιπέδου εργασίας (επιφάνεια της οποίας ο φωτισμός μας ενδιαφέρει),
- τη λαμπρότητα των επιφανειών του περιβάλλοντος χώρου και κυρίως
- το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας,

οπότε η στάθμη φωτισμού E λαμβάνει συνήθως τις ακόλουθες τιμές:

- για φωτισμό διαδρόμων και εσωτερικών χώρων οι οποίοι δε χρησιμοποιούνται συχνά 20 - 200 Lux,
- για γενικό φωτισμό χώρων εργασίας, 200 - 2000 Lux,
- για τοπικό ή συμπληρωματικό φωτισμό, 2000 - 20000 Lux.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρεται η απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού για ορισμένους χώρους εργασίας ή διαμονής. Από την προσεκτική μελέτη του πίνακα, ο ενδιαφερόμενος μπορεί κατ' αντιστοιχία να αντιληφθεί τις ανάγκες φωτισμού οποιουδήποτε χώρου, αρκεί να του δοθούν οι σχετικές προδιαγραφές του χώρου.

Έχοντας υπόψη την απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού E σε Lux μιας επιφάνειας, μπορούμε να επιλέξουμε τους κατάλληλους λαμπτήρες (φωτεινή ροή σε lumen [5.3]) και τα φωτιστικά (συντελεστή απόδοσης [7.1.1]).

Στάθμη φωτισμού σε Lux	Χρωματική εντύπωση του φωτός		
	Θερμό	Ενδιάμεσο	Ψυχρό
< 500	Ευχάριστο	Ουδέτερο	Καταθλιπτικό
500 – 1000	Έντονο	Ευχάριστο	Ουδέτερο
1000 – 2000			
2000 – 3000			
> 3000	Αφύσικο	Έντονο	Ευχάριστο

Πίνακας 8.3: Δημιουργία αισθημάτων λόγω διαφορών φωτισμού

Είδος Δραστηριότητας	Φωτεινή ένταση (lux)
Προσανατολισμός στο χώρο	15-30
Γενικής φύσης εργασία, μικρή λεπτομέρεια	50-100
Μέσης ακρίβεια εργασία	250-500
Λεπτή εργασία	500-1000
Υψηλής ακρίβεια εργασία	1000-2000

Πίνακας 8.4: Συνιστώμενες τιμές φωτεινής έντασης ανάλογα με το είδος δραστηριότητας

8.2 Τεχνικά κριτήρια

Στα τεχνικά κριτήρια υπάγονται: η θέση λειτουργίας, οι συνθήκες λειτουργίας ή θερμοκρασία περιβάλλοντος, η τάση λειτουργίας, οι διαστάσεις του λαμπτήρα και ο κάλυκας-λυχνιολαβή.

Η θέση λειτουργίας προσδιορίζει τη θέση του λαμπτήρα κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και μετριέται σε μοίρες από τον οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα. Υπάρχει συγκεκριμένη θέση λειτουργίας για κάθε ομάδα λαμπτήρων και πρέπει να ακολουθείται για να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία και η βέλτιστη απόδοση του λαμπτήρα.

Οι συνθήκες λειτουργίας ή θερμοκρασία περιβάλλοντος προσδιορίζει τα όρια της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου του λαμπτήρα, μέσα στα οποία εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη έναυση και λειτουργία του λαμπτήρα. Μετριέται σε βαθμούς της κλίμακας Κελσίου.

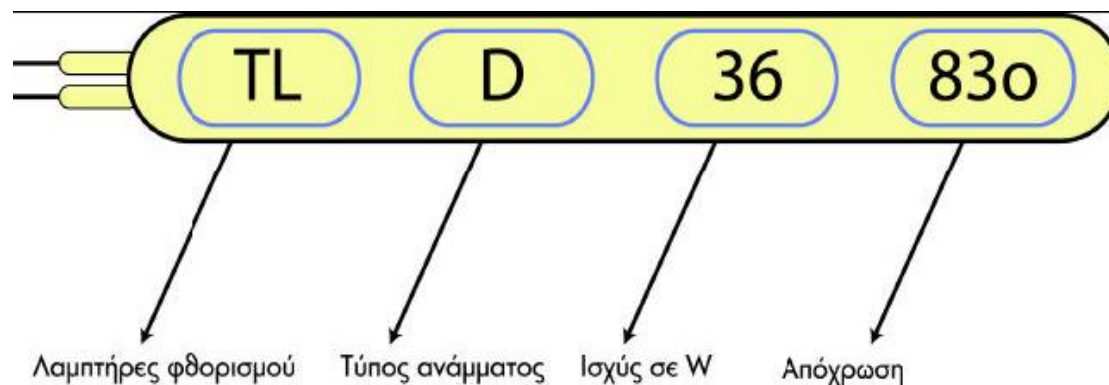
Η τάση λειτουργίας προσδιορίζει την περιοχή τάσης του δικτύου με την οποία τροφοδοτείται ο λαμπτήρας ή τα όργανα έναυσης και λειτουργίας του λαμπτήρα, ανάλογα με τον τύπο του, για την εξασφάλιση της κανονικής λειτουργίας του λαμπτήρα. Μετριέται σε volt.

Οι διαστάσεις και ο κάλυκας – λυχνιολαβή όπως αυτές αναγράφονται για τον κάθε λαμπτήρα [Παρ. 6.1.2].

Η χρήση που προορίζεται ο φωτισμός (εσωτερικός – εξωτερικός, ασφαλείας κλπ) καθορίζει το είδος φωτιστικού σώματος που θα χρησιμοποιήσουμε [Παρ.1].

Τα ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του λαμπτήρα προσδιορίζουν τον τρόπο έναυσης και λειτουργίας του λαμπτήρα. Ο τύπος κάθε λαμπτήρα φθορισμού περιλαμβάνει αριθμούς και γράμματα που επιτρέπουν την αναγνώριση αυτών των χαρακτηριστικών.

Παρακάτω, παρατίθεται ένα παράδειγμα αποκωδικοποίησης των χαρακτηριστικών αυτών. Ο τύπος ανάμματος μπορεί να είναι ο κλασικός, δηλαδή με μπάλαστ και στάρτερ (D), ο ηλεκτρονικός (HF) και ο ταχείας εκκίνησης (M).



Εικόνα 8.1: Παράδειγμα αποκωδικοποίησης χαρακτηριστικών λαμπτήρα φθορισμού

Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι και η «απόχρωση». Οι εταιρείες κατασκευής λαμπτήρων τους προσφέρουν σε 11 διαφορετικές αποχρώσεις του λευκού φωτός καθεμία από τις οποίες είναι κατάλληλη για το φωτισμό ορισμένου χώρου. Δηλαδή, ένα γραφείο θα πρέπει να φωτίζεται με λάμπες που δεν κουράζουν τα μάτια, ένα κατάστημα ενδυμάτων με λάμπες που αποδίδουν καλύτερα τα χρώματα, ένας χώρος υποδοχής με λάμπες που δημιουργούν ευχάριστη ατμόσφαιρα κ.λπ. Κάθε «απόχρωση» αναφέρεται σε συγκεκριμένους δείκτες χρωματικής απόδοσης Ra και θερμοκρασίας χρώματος T_c . Π.χ. η «απόχρωση» 830 του παραδείγματος αναφέρεται σε $R_a = 85$ και σε $T_c = 3000$ °K.

Για να δημιουργείται ένα ευχάριστο ψυχολογικό αίσθημα στα άτομα που ζουν και εργάζονται σε ένα χώρο, εκτός από την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού (ισχύς και αριθμός

λαμπτήρων), πρέπει οι λαμπτήρες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν να διαθέτουν και την κατάλληλη «απόχρωση».

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του λαμπτήρα καθώς και η χρήση που προορίζεται (εσωτερικός – εξωτερικός φωτισμός, φωτισμός ασφαλείας κλπ) καθορίζουν και το είδος φωτιστικού σώματος που θα χρησιμοποιήσουμε.

8.3 Οικονομοτεχνικά κριτήρια

Στα Οικονομοτεχνικά κριτήρια υπάγονται η απόδοση και ο χρόνος ζωής του λαμπτήρα.

Η απόδοση του λαμπτήρα εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ροής που αποδίδει ο λαμπτήρας σε σχέση με την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει και εκφράζεται σε lm/W.

Ο χρόνος ζωής του λαμπτήρα αναφέρεται στην αναμενόμενη χρονική διάρκεια ζωής του λαμπτήρα και μετριέται σε ώρες.

Συχνά αναφέρονται και οι όροι:

- Μέσος χρόνος ζωής, που είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο το 50% τουλάχιστον των υπό δοκιμή λαμπτήρων παραμένει σε λειτουργία.
- Οικονομικός χρόνος ζωής, που είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο ο λαμπτήρας διατηρεί το 80% τουλάχιστον της ονομαστικής φωτεινής ροής του.

Το αρχικό κόστος αγοράς και το κόστος λειτουργίας των πηγών φωτισμού είναι δυο πολύ βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη σωστή επιλογή λαμπτήρα και εξαρτώνται άμεσα από τους δύο προηγούμενους.

ΤΥΠΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ					
Τύπος λαμπτήρα	Φωτεινή απόδοση (lm/W)	Διάρκεια ζωής (Ωρες)	Συγκριτικό αρχικό κόστος αγοράς	Συγκριτικό λειτουργικό κόστος	Ενεργειακή κλάση
Πυρακτώσεως Νήματος	10-15	1000	Χαμηλό	Πολύ Υψηλό	E, F, G
Πυρακτώσεως Αλογόνου	16-22	2000-4000	Υψηλό	Υψηλό	C, D
Σωληνωτοί φθορισμού	65-95	10000-16000	Χαμηλό	Χαμηλό	
Συμπαγείς φθορισμού	50-85	8000-15000	Χαμηλό	Χαμηλό	A, B
Εκκενώσεως ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης	40-60	6000-16000	Υψηλό	Χαμηλό	
Εκκενώσεως μεταλλικών ατμών υψηλής πίεσης	70-95	6000-16000	Υψηλό	Χαμηλό	
Εκκενώσεως ατμών νατρίου υψηλής πίεσης	70-125	24000	Υψηλό	Χαμηλό	
Εκκενώσεως ατμών νατρίου χαμηλής πίεσης	100-200	20000	Υψηλό	Χαμηλό	
Φωτοεκπέμπουσες	> 200	50000	Υψηλό	Χαμηλό	A

δίοδοι					
--------	--	--	--	--	--

8.4 Οικολογικά – Περιβαλλοντικά κριτήρια

Στα Οικολογικά – Περιβαλλοντικά κριτήρια υπάγονται η περιεκτικότητα πιθανών βλαβερών ουσιών για το περιβάλλον και η εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας.

Η περιεκτικότητα πιθανών βλαβερών ουσιών για το περιβάλλον αναφέρεται στην περιεκτικότητα, ή μη, υλικών που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του λαμπτήρα και που

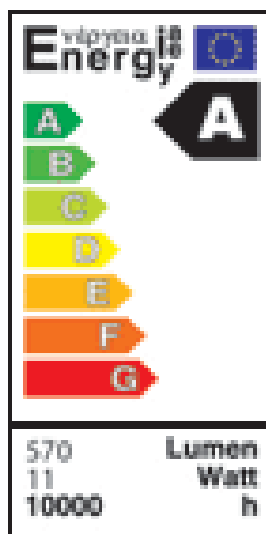
Πίνακας 8.6: Τυπικά μεγέθη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας ταυτόχρονα μπορεί να είναι βλαβερά για τον άνθρωπο και το

περιβάλλον.

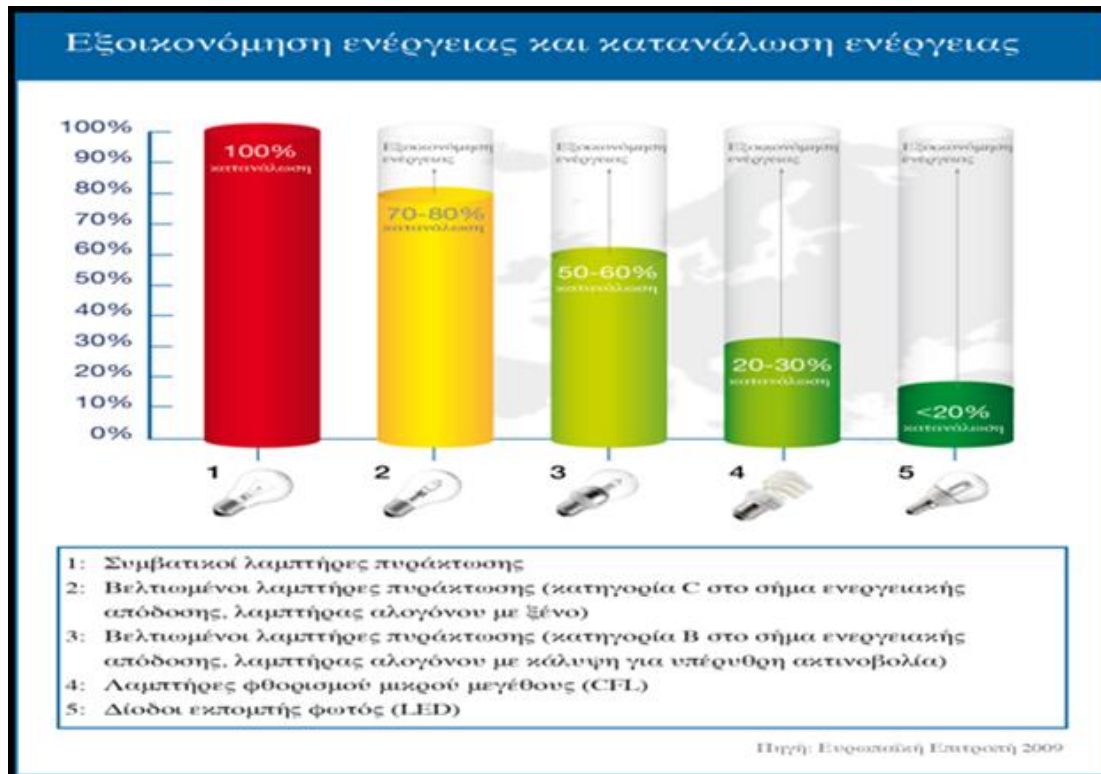
Η εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας αναφέρεται στην εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το λαμπτήρα.

Υπάρχει σχετική οδηγία από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την υποχρεωτική ένδειξη της κατανάλωσης ενέργειας των λαμπτήρων. Η ένδειξη αυτή, που υπάρχει στη συσκευασία των λαμπτήρων (ENERGY EFFICIENCY LABEL), ενημερώνει τον καταναλωτή για:

1. Την ενεργειακή κατάταξη από A έως G (7 κατηγορίες κατανάλωσης). Όσο πιο κοντά βρίσκεται ο λαμπτήρας στην κατηγορία A, τόσο λιγότερη ενέργεια καταναλώνει.
2. Την ένταση φωτός του λαμπτήρα σε lumens
3. Την κατανάλωση ρεύματος του λαμπτήρα σε Watt
4. Τη μέση διάρκεια ζωής του λαμπτήρα σε ώρες



Εικόνα 8.2: Ετικέτα ενεργειακής απόδοσης λαμπτήρα



Εικόνα 8.3: Εξοικονόμηση και κατανάλωση ενέργειας τυπικών λαμπτήρων

8.5 Μελέτες φωτισμού με τη μέθοδο της φωτεινής ροής (Favie)

Η μέθοδος μελέτης φωτισμού που θα περιγραφεί οφείλεται στο μελετητή φωτισμού J.W Favie και βασίζεται κυρίως σε εμπειρικά δεδομένα.

Αν θεωρήσουμε επίπεδο εργασίας εμβαδού S , στο οποίο προσπίπτει φωτεινή ροή Φ_n , ο μέσος φωτισμός θα δίνεται από τη σχέση:

$$E = \Phi_n / S$$

Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή χρησιμοποίησης η , τότε ο μέσος φωτισμός θα δίνεται από τη σχέση:

$$E = \eta * \Phi_0 / S$$

ή

$$\Phi_0 = E * S / \eta$$

Η σχέση αυτή παρέχει την απαιτούμενη συνολική φωτεινή ροή Φ_0 του λαμπτήρα ή των λαμπτήρων, για δεδομένο χώρο και με γνωστό το συντελεστή χρησιμοποίησης του φωτιστικού σώματος.

8.5.1 Συντελεστής χρησιμοποίησης (η)

Η φωτεινή ροή που εξέρχεται από ένα φωτιστικό σώμα είναι πάντα μικρότερη από τη φωτεινή ροή Φ_0 , η οποία αποδίδεται από τον λαμπτήρα ή τους λαμπτήρες του σώματος αυτού, λόγω απορρόφησης. Επίσης, στο επίπεδο εργασίας του φωτιζόμενου χώρου, μόνο ένα μέρος από αυτή τη φωτεινή ροή προσπίπτει σε αυτό. Το υπόλοιπο μέρος προσπίπτει στην οροφή και στους τοίχους του χώρου και κάποιο ποσοστό του επιστρέφει στο επίπεδο εργασίας. Η συνολική φωτεινή ροή που προσπίπτει άμεσα ή έμμεσα στο επίπεδο εργασίας ονομάζεται ωφέλιμη ροή Φ_n .

Η ωφέλιμη φωτεινή ροή εξαρτάται από τον τύπο του φωτιστικού σώματος, κυρίως από τον τύπο διανομής του φωτός από αυτό (π.χ άμεσος φωτισμός), από τις διαστάσεις του φωτιζόμενου χώρου (μήκος l , πλάτος του χώρου w και ύψος h του φωτιστικού σώματος από το επίπεδο εργασίας) και από την ανακλαστικότητα των τοίχων r_w και της οροφής r_c .

Καλείται συντελεστής χρησιμοποίησης η του φωτιστικού σώματος το πηλίκο:

$$n = \Phi_n / \Phi_0$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης λαμβάνεται από τους μελετητές φωτισμού από κατάλληλους πίνακες [Πίνακας 8.8]. Αυτοί δίνουν το συντελεστή χρησιμοποίησης η σε καινούργιες εγκαταστάσεις, για συγκεκριμένους λαμπτήρες και φωτιστικά, σε συνάρτηση με:

- το συντελεστή απόδοσης του φωτιστικού v (με κατανομή % της φωτεινής ροής προς τα κάτω),
- το δείκτη χώρου k και τους συντελεστές ανάκλασης της οροφής r_c και των τοίχων r_w .

Ο δείκτης χώρου k παίρνει τιμές από 1 έως 10 και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k = (2l + 8w) / 10h$$

όπου: l = το μήκος του χώρου που πρόκειται να φωτιστεί

w = το πλάτος του χώρου

h = η κατακόρυφη απόσταση του επιπέδου εργασίας από το φωτιστικό σώμα.

Ως επίπεδο εργασίας λαμβάνεται συνήθως οριζόντιο επίπεδο το οποίο απέχει από το δάπεδο 80 εκατοστά. Αυτή η απόσταση αντιστοιχεί στο σύνηθες ύψος των γραφείων, θρανίων, πάγκων εργασίας κ.λπ.. Στην περίπτωση της μελέτης φωτισμού διαδρόμων, για να μπορούμε να βλέπουμε όταν βαδίζουμε, λαμβάνεται ως επίπεδο εργασίας το ύψος των 25 -30 εκατοστών. Οι ανακλαστικές ιδιότητες των τοίχων r_w και της οροφής r_c για πρακτικούς λόγους, κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες

Συντελεστής ανάκλασης τοίχων r_w		Συντελεστής ανάκλασης οροφής r_c	
0,1	Για σκούρα χρώματα	0,3	Για μέσα χρώματα
0,3	Για μέσα χρώματα	0,5	Για ανοιχτά χρώματα
0,5	Για ανοιχτά χρώματα	0,7	Για πολύ ανοιχτά έως λευκά χρώματα

Πίνακας 8.7: Συντελεστής ανάκλασης τοίχων και οροφής

8.5.2 Συντελεστής συντήρησης (μ)

Ο συντελεστής συντήρησης μ της εγκατάστασης είναι συνδυασμός του βαθμού ρύπανσης του χώρου στον οποίο βρίσκεται το φωτιστικό σώμα και της περιόδου καθαρισμού του.

Κάθε φωτιστικό σώμα δέχεται ρύπανση η οποία μπορεί να είναι ελαφρά, μέση ή υψηλή. Επιπρόσθετα, η κατάσταση του φωτιστικού σώματος δεν εξαρτάται μόνο από τη ρύπανση του χώρου αλλά και από τη συχνότητα καθαρισμού του φωτιστικού σώματος. Έτσι, κάθε κατηγορία ρύπανσης υποδιαιρείται σε τρεις υποκατηγορίες A, B, ή C, που αντιστοιχούν στον καθαρισμό του φωτιστικού σώματος μία φορά κάθε ένα, δύο, ή τρία έτη αντίστοιχα.

Ο συντελεστής συντήρησης λαμβάνεται υπόψη, για να υπολογίσουμε:

- τον πραγματικό φωτισμό ενός χώρου από δεδομένο φωτιστικό σώμα ή
- τον απαιτούμενο φωτισμό που πρέπει να παρέχει ένα φωτιστικό σώμα σε δεδομένες απαιτήσεις φωτισμού μιας επιφάνειας.

Για την υλοποίηση των φωτοτεχνικών μελετών, οι μελετητές φωτισμού

χρησιμοποιούν κατάλληλα λογισμικά προγράμματα διαφόρων εταιρειών, όπως Philips, Hofmeister, Pissano, Zuntobel, Lighting Technologies. Το εντυπωσιακό είναι ότι ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να βλέπει, εκτός από τα πολικά διαγράμματα του φωτιστικού και του λαμπτήρα, την τιμή του φωτισμού σε κάθε σημείο του χώρου (επίπεδο εργασίας, πλαϊνός τοίχος, οροφή κ.λπ.). Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα της τρισδιάστατης απεικόνισης του χώρου όπου είναι αναρτημένα τα φωτιστικά, προτείνει καλύτερες λύσεις και κάνει πλήρη οικονομοτεχνική μελέτη.

ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΝΟΝΙΑ ΘΕΤΑΙΣΤΑΘΗ										ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ		
ΤΥΠΟΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ	η	r_c 0.7			0.3			r_c 0.3				ρ_A	ρ_B	ρ_C
ΗΜΙΑΜΕΣΟΣ	%	r_{μ} 0.5			0.3			0.1						
20	1	0.27	0.21	0.17	0.25	0.20	0.16	0.23	0.19	0.15	ΒΑΘΜΟΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΚΑΜΠΑΝΕΣ 1.23	1.40	X	
	1.2	0.32	0.26	0.21	0.30	0.24	0.20	0.27	0.23	0.19				
	1.5	0.38	0.32	0.27	0.35	0.30	0.26	0.33	0.28	0.24				
	2	0.46	0.40	0.35	0.43	0.37	0.33	0.39	0.35	0.32	ΒΑΘΜΟΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΜΕΣΟΣ 1.45	1.00	X	
	2.5	0.51	0.46	0.41	0.47	0.43	0.39	0.44	0.40	0.36				
	3	0.55	0.50	0.45	0.51	0.47	0.43	0.47	0.44	0.40				
	80	4	0.60	0.56	0.52	0.56	0.52	0.49	0.52	0.49	0.46	ΒΑΘΜΟΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΥΨΗΛΟΣ X	X	X
		5	0.64	0.60	0.56	0.60	0.56	0.53	0.56	0.53	0.50			
		6	0.66	0.63	0.59	0.62	0.59	0.56	0.58	0.56	0.53			
		8	0.70	0.67	0.64	0.66	0.63	0.61	0.61	0.59	0.57			
10	0.72	0.70	0.67	0.68	0.65	0.63	0.64	0.62	0.60					
ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ ΣΩΜΑ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ														
2	1	0.29	0.23	0.19	0.28	0.23	0.19	0.28	0.23	0.19				
	1.2	0.35	0.29	0.25	0.34	0.29	0.25	0.33	0.28	0.25				
	1.5	0.42	0.37	0.33	0.41	0.36	0.33	0.41	0.36	0.33				
	2	0.52	0.47	0.44	0.51	0.47	0.44	0.50	0.47	0.44				

Πίνακας 8.8: Ενδεικτικός πίνακας εύρεσης συντελεστή χρησιμοποίησης

8.5.3 Εύρεση απαιτούμενου αριθμού φωτιστικών σωμάτων

Για την υλοποίηση της μελέτης ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Καθορισμός της απαιτούμενης τιμής φωτισμού [Πίνακας 8.4, Πίνακας 8.5]
2. Επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού σώματος
3. Επιλογή του κατάλληλου λαμπτήρα
4. Υπολογισμός του δείκτη χώρου (κ) [Παρ.8.5.1]
5. Εύρεση του δείκτη συντήρησης (μ) και του συντελεστή χρησιμοποίησης (η) [Πίνακας 8.8]
6. Υπολογισμός απαιτούμενης φωτεινής ροής [Παρ.8.5]
7. Εύρεση απαιτούμενου συνολικού αριθμού φωτιστικών σωμάτων.⁷

9. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Όσο αποδοτικό και αν είναι ένα σύστημα φωτισμού, εάν χρησιμοποιείται όταν αυτό δεν είναι απαραίτητο ή εάν παρέχει υψηλότερα επίπεδα φωτισμού από εκείνα που απαιτούνται, τότε αναπόφευκτα θα σπαταληθεί ενέργεια. Τα σύγχρονα μέσα ελέγχου φωτισμού εμποδίζουν τέτοιου είδους σπατάλες. Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού είναι μηχανισμοί που ρυθμίζουν τη λειτουργία μιας εγκατάστασης φωτισμού, αντιδρώντας σε κάποιο εξωτερικό σήμα το οποίο συνήθως προέρχεται από κάποιο αισθητήρα (Παρ. 1) ή χειροκίνητα.

Ο ΚENAK βάσει των οδηγιών TOTEE-Πρότυπο ΕΛΟΤ EN15232.2007- διακρίνει 4 κατηγορίες αυτοματισμών από το πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα Α έως το καθόλου αυτοματοποιημένο Δ. Για να βαθμολογηθεί ένα κτίριο σύμφωνα με την κατηγορία, πχ Γ, οι αυτοματισμοί που περιλαμβάνονται θα πρέπει να είναι τουλάχιστον αυτοί που περιγράφονται για αυτήν την κατηγορία ή σε ανώτερη από αυτήν.

Οι κατηγοριοποιήσεις αφορούν:

- Συστήματα παραγωγής, διανομής ή εκπομπής θερμότητας/ψύξης
- Συστήματα αερισμού κτιρίων τριτογενή τομέα

Η κατηγορία Α θεωρείται ότι εξοικονομεί την περισσότερη ενέργεια στα ενεργειακά υποσυστήματα θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού και φωτισμού και είναι η μόνη που περιέχει την περίπτωση αυτοματισμών BMS ενώ η κατηγορία Δ δεν περιλαμβάνει κανένα σύστημα ελέγχου. Το κτίριο αναφοράς [Παρ.2.3.2] ανήκει στην κατηγορία Γ.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μία κατοικία με αυτοματισμούς τύπου Α:

- Θεωρείται ότι έχει μείωση κατανάλωσης για θέρμανση ίση με 19% και
- Μείωση των βοηθητικών (Παρασιτικών) καταναλώσεων Ηλεκτρισμού κατά 8%

9.1 Αισθητήρες

Αισθητήρας ονομάζεται κάθε διάταξη η οποία μπορεί να μετατρέψει μια φυσική μεταβλητή (μετακίνηση, φωτισμός, θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, στάθμη υγρού και πολλά άλλα) σε ηλεκτρική τάση. Αυτή με τη σειρά της μπορεί να προσαρμοστεί σε βαθμίδα μετατροπής αναλογικής σε ψηφιακή μορφή με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία της. Φυσικά πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν αισθητήρες που μετατρέπουν τη φυσική μεταβλητή σε άλλη μορφή ενέργειας (πχ μηχανική) ωστόσο αυτοί δε θα μας απασχολήσουν. Η φύση και οι εφαρμογές των αισθητήρων καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο.

Χρησιμοποιούνται ευρέως σε τομείς όπως βιομηχανικούς, δημόσιους, στρατιωτικούς και οικιακούς. Οι αρχές της φυσικής που χρησιμοποιούνται στους αισθητήρες είναι πολυάριθμες και οι αισθητήρες που διατίθενται σήμερα είναι χιλιάδες. Μερικοί από αυτούς περιλαμβάνουν: αισθητήρες μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, μέτρησης ροής ισχύος, μέτρησης επιπέδων συγκέντρωσης CO₂, κίνησης / παρουσίας.

Παρακάτω θα εξετάσουμε τους τύπους των αισθητήρων που αφορούν την παρούσα εργασία και είναι οι αισθητήρες κίνησης και φωτισμού.

9.1.1 Αισθητήρες για τη μέτρηση μετακίνησης – θέσης

Οι αισθητήρες αυτοί ανιχνεύουν μεταβολές στη θέση ενός αντικειμένου. Είναι πάρα πολλοί οι τύποι αυτών των αισθητήρων και ανάλογα με το φυσικό μέγεθος που μετρείται μπορούμε να τους χωρίσουμε στους αισθητήρες βασισμένους:

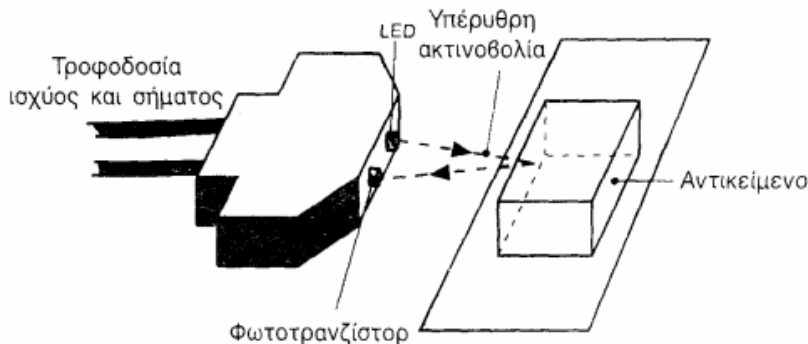
- στην μεταβολή αυτεπαγωγής
- στην μεταβολή χωρητικότητας πυκνωτή

- στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο
- στη μεταβολή μαγνητικού πεδίου
- στη μεταβολή ποτενσιομέτρου
- σε οπτικά φαινόμενα

Οι οπτικοί αισθητήρες, που μας απασχολούν περισσότερο, αποτελούνται από μία πηγή φωτός και έναν ανιχνευτή. Οι πηγές φωτός, είναι συχνά φωτοдиодοι (LED), και οι ανιχνευτές είναι φωτοτρανζίστορ πυριτίου. Χρησιμοποιείται συνήθως οπτικό ή υπέρυθρο φως αν και συνήθως προτιμάται το υπέρυθρο που πάσχει λιγότερο από το φαινόμενο της συμβολής που μπορεί να πραγματοποιηθεί από γειτονικές πηγές φωτός. Η πηγή εκπέμπει φως το οποίο ανιχνεύεται από το φωτοτρανζίστορ.

Μία οπτική μέθοδος είναι αυτή της διαπερατότητας, στην οποία η πηγή φωτός και ο ανιχνευτής βρίσκονται απέναντι ο ένας από τον άλλο, οπότε όταν ανιχνευτεί διακοπή της φωτεινής δέσμης διαπιστώνεται η ύπαρξη κάποιου αντικειμένου.

Μία άλλη οπτική μέθοδος είναι αυτή του αισθητήρα ανακλώμενης οπτικής δέσμης, στον οποίο η πηγή φωτός στερεώνεται δίπλα –δίπλα. Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η βασική αρχή του αισθητήρα ανακλώμενης δέσμης.



Εικόνα 9.1: Περιγραφή λειτουργίας αισθητήρα ανακλώμενης δέσμης

Η ελάχιστη απόσταση προσέγγισης, στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ο αισθητήρας εξαρτάται από την ισχύ της εκπεμπόμενης φωτεινής δέσμης, την ευαισθησία του φωτοτρανζίστορ και τη φύση του αντικειμένου που ανακλά.

Γενικά, οι αισθητήρες μετακίνησης βασίζονται σε οπτικά φαινόμενα, χρησιμοποιούν πηγή φωτός και συνδυάζουν την μετακίνηση ως αλλαγή της πορείας δέσμης φωτός που πέφτει στον φωτοανιχνευτή.



Εικόνα 9.2: Ανιχνευτής κίνησης

9.1.2 Αισθητήρες φωτισμού

Οι φωτοαισθητήρες στηρίζονται κυρίως στα φαινόμενα της φωτοεκπομπής, της φωτοαγωγιμότητας και της φωτοβολταϊκής δράσης.

1. Τα φωτοκύτταρα (cell) είναι διατάξεις των οποίων η ωμική αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνεται το φως (φαινόμενο της φωτοαγωγιμότητας). Είναι χρήσιμα για την

- ανίχνευση φωτεινών πηγών ή την παρακολούθηση της φωτεινότητας του χώρου κίνησης. Εύκολη συνδεσμολογία, εμφανίζουν όμως αργή απόκριση.
2. Οι φωτοδιόδοι (photodiode) μπορούν να ταξινομηθούν ως ποτενσιομετρικοί αισθητήρες ακτινοβολίας διότι η ακτινοβολία παράγει τάση σε μια ημιαγώγιμη επαφή. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην ανίχνευση της παρουσίας, της έντασης και του μήκους κύματος της ακτινοβολίας UV-NIR. Το πλεονέκτημα των φωτοδιόδων σε σχέση με τα φωτοκύτταρα είναι: η μεγαλύτερη ευαισθησία, ο ταχύτερος χρόνος απόκρισης, το μικρότερο μέγεθος και η καλύτερη γραμμικότητα και σταθερότητα.
 3. Με τα φωτοτρανζίστορ (phototransistor) η ευαισθησία μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο από τις φωτοδιόδους.



Εικόνα 9.3: Αισθητήρας φωτισμού

9.1.3 Πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Επίσης, χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της ανακλώμενης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (albedo) όταν τοποθετείται απέναντι στη θάλασσα.

Ο αισθητήρας του πυρανόμετρου είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι καλυμμένη από ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόκριση του οργάνου είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται σε επιστήμες όπως η μετεωρολογία, η κλιματολογία και η φυσική. Επιπρόσθετα το πυρανόμετρο είναι πολύ χρήσιμο όσον αφορά μελέτες που είναι σχετικές με την ηλιακή ενέργεια. Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μετεωρολογικούς σταθμούς αλλά βρίσκουν εφαρμογή και σε κτίρια για τη μέτρηση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού.



Εικόνα 9.4: Πυρανόμετρο

9.1.4 Πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών μεθόδων μέτρησης

Ο συνδυασμός των αισθητηρίων με τις σύγχρονες ηλεκτρονικές διατάξεις επιτρέπει:

Υψηλή ταχύτητα: Γενικά, τα υπό μέτρηση φυσικά μεγέθη υπόκεινται σε πολύ γρήγορες μεταβολές. Η σύγχρονη ηλεκτρονική τεχνολογία επιτρέπει ταχύτητες πολλών χιλιάδων μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα αυτή είναι απαραίτητη για μετρήσεις αυτοματισμού και κάνει το ηλεκτρονικό όργανο κατάλληλο για μετρήσεις τόσο της σταθερής κατάστασης λειτουργίας, όσο και του μεταβατικού φαινομένου. Η εισβολή της ψηφιακής στον τομέα των μετρήσεων γίνεται συνεχώς όλο και πιο βαθιά. Ταυτόχρονα δεν θα ήταν σωστό να αποσιωπηθεί η ανάπτυξη που προήλθε από τους μικροεπεξεργαστές, οι οποίοι χάρη στην ικανότητά τους να προσαρμόζονται στις πιο ποικίλες συνθήκες, να προγραμματίζονται εύκολα και να διαθέτουν μία απέραντη δυνατότητα αλλαγής προγραμματισμού, επιτρέπουν την υλοποίηση μεθόδων μέτρησης που παλαιότερα ήταν αδιανόητες στην ηλεκτρική οργανολογία.

Μεγάλη ποικιλία μεθόδων προσέγγισης ενός προβλήματος μέτρησης: Οι μέθοδοι προσέγγισης ενός προβλήματος μέτρησης μπορούν να είναι άμεσες, όπως στις μετρήσεις ηλεκτρονικών μεγεθών και χαρακτηριστικών. Στην περίπτωση όμως που πρόκειται για παράδειγμα για την προσπάθεια απόκτησης ενός μετρήσιμου φαινομένου που παράγεται από μία εξωτερική επίδραση: π.χ. θερμική, οπτική κλπ, τότε τα μεγέθη πρέπει να μετρηθούν έμμεσα. Αυτή είναι η συνηθέστερη περίπτωση όταν χρησιμοποιείται κάποια τεχνική που επιτρέπει την μετατροπή της μέτρησης ενός μεγέθους σε εκείνη ενός άλλου που δεν έχει τίποτε κοινό με το αρχικό. Η γενικά μεγάλη ποικιλία μεθόδων μέτρησης στις οποίες φυσικά προστίθεται η δυνατότητα επεξεργασίας σημάτων με βάση διάφορες μαθηματικές μεθόδους και τεχνικές, εμπλουτίζει αναμφισβήτητα την κυριαρχία των ηλεκτρονικών μεθόδων μέτρησης.

Εξαιρετική ευαισθησία: Ένα από τα πιο σπουδαία χαρακτηριστικά των ηλεκτρονικών μεθόδων συνίσταται στο να κάνει το ηλεκτρικό σήμα περισσότερο ευαίσθητο στη διακύμανση του μετρούμενου μεγέθους.

Πολύ μικρή κατανάλωση: Όταν η διακύμανση του σήματος της πηγής είναι περιορισμένη το σήμα οδηγείται στο ηλεκτρονικό σύστημα για να εξασφαλιστεί η ενίσχυσή του. Η παρέμβαση ενισχυτικών διατάξεων μεγάλης σύνθετης αντίστασης εισόδου και διατάξεων που προσαρμόζουν κατάλληλα τη σύνθετη αντίσταση επιτρέπει όχι μόνο την ελάττωση της καταναλωμένης ισχύος, αλλά επίσης με τη χρήση διατάξεων αντίστασης εξόδου μηδενικής σχεδόν τιμής, το σήμα να μπορεί να επενεργήσει σε διάφορα είδη φορτίου.

Μεγάλη ευχέρεια στη μετάδοση από απόσταση: Συχνά συμβαίνει τα σημεία μετρήσεων να βρίσκονται απομακρυσμένα από τα όργανα μετρήσεων ή από το χώρο όπου πρέπει να

χρησιμοποιηθεί το μετρούμενο φυσικό μέγεθος. Στην προκειμένη περίπτωση, οι σύγχρονες ηλεκτρονικές μέθοδοι παρέχουν στις περισσότερες εφαρμογές τα μόνα μέσα κατάλληλης μετάδοσης.

Μεγάλη αξιοπιστία: Πρόκειται για το αποτέλεσμα της ανάπτυξης της ηλεκτρονικής προς την ολοκλήρωση σύνθετων διαδικασιών. Έτσι, μπορούμε να έχουμε σε ένα και μοναδικό τυπωμένο κύκλωμα ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και μετατροπής δεδομένων που περιλαμβάνει διαφορετικές διατάξεις, όπως μετατροπείς, φίλτρα, ενισχυτές, πολυπλέκτες, κυκλώματα δειγματοληψίας και συγκράτησης, κλπ, πράγμα που συνεπάγεται στον ελάχιστο αριθμό συνδέσεων στη διάταξη, με συνέπεια την αύξηση της αξιοπιστίας.¹⁵

9.2 Ενεργοποιητές

Οι ενεργοποιητές είναι αυτοί που αναλαμβάνουν την έξοδο ενός συστήματος ελέγχου. Αν μπορούσαμε να παρομοιάσουμε τους αισθητήρες με τα αισθητήρια όργανά ενός ανθρώπου (αυτιά, μάτια κλπ) τότε οι ενεργοποιητές θα ήταν τα χέρια και τα πόδια του. Η επιλογή τους βασίζεται σε δύο κριτήρια:

- Την στρατηγική ελέγχου που χρησιμοποιούμε καθώς και
- τον τύπο του εξοπλισμού που πρέπει να ελεγχθεί.

Η ισχύς του ενεργοποιητή πρέπει να ανταποκρίνεται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Η χρονική απόκριση θα πρέπει να είναι μικρή ειδικά σε συστήματα που ενέχουν θέματα ασφάλειας ή χειρισμό βλαβών.

Θα πρέπει σε περίπτωση βλάβης του ενεργοποιητή η θέση ελέγχου να είναι σε ασφαλή λειτουργία.

Η ακρίβεια, η συμβατότητα με το δίκτυο, η ευκολία συντήρησης και ρύθμισης είναι μερικά κριτήρια επιλογής ακόμα.¹⁵



α



β



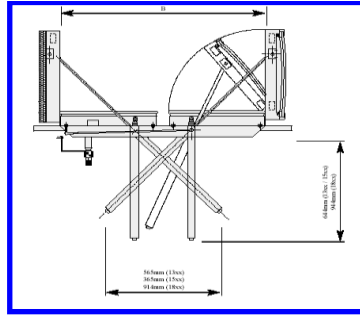
γ



δ



ε



στ

Εικόνα 9.5: Διάφοροι ενεργοποιητές α) damper actuator, β) ανεμιστήρας, γ) ηλεκτροβόνα, δ) κινητές περσίδες, ε,στ) έλεγχος αερισμού

9.3 Συστήματα ρύθμισης τεχνητού φωτισμού

Τα συστήματα ρύθμισης φωτισμού αποτελούν πλέον σημαντικό στοιχείο κάθε σύγχρονης εγκατάστασης φωτισμού. Η χρήση των συστημάτων αυτών εξασφαλίζει:

- μείωση των δαπανών για φωτισμό
- υψηλά επίπεδα οπτικής άνεσης.
- βέλτιστη λειτουργία των εγκαταστάσεων
- μείωση της σπατάλης ενέργειας που συνεπάγεται ευεργετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον

Όλα αυτά είναι εφικτά λόγω των τεχνολογικών επιτευγμάτων των τελευταίων ετών.

9.3.1 Σύγχρονα συστήματα ελέγχου φωτισμού

Τα πλέον αποδοτικά συστήματα ελέγχου φωτισμού, από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας περιλαμβάνουν:

- Χειροκίνητο τοπικό έλεγχο
- Έλεγχο παρουσίας στο χώρο
- Έλεγχο με χρονοπρογραμματισμό

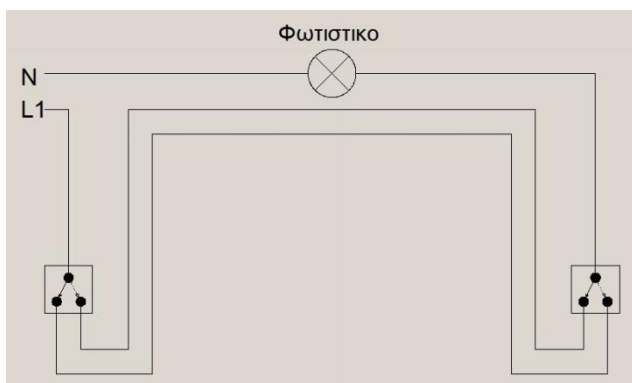
9.3.2 Χειροκίνητος τοπικός και απομακρυσμένος έλεγχος

Ο έλεγχος του φωτισμού ενός χώρου από τοπικούς διακόπτες εγκατεστημένους σε προκαθορισμένες θέσεις κυρίως εκεί που λαμβάνουν χώρα οι κύριες εργασίες, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αξιοσημείωτη εξοικονόμηση ενέργειας και σημαντική βελτίωση της ικανοποίησης όσων ζουν και εργάζονται στο χώρο αυτόν.

Ο τοπικός έλεγχος παρέχει πολύ μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του φωτισμού στο χώρο εργασίας σε σύγκριση με την πλέον διαδεδομένη κατάσταση, στην οποία το σύνολο του φωτισμού του χώρου ελέγχεται από μια σειρά από διακόπτες τοποθετημένους στην κεντρική είσοδο του χώρου.

Η χρήση διακοπών αλέ ρετούρ προσφέρει μπορεί να βοηθήσει ακόμα περισσότερο στον έλεγχο. Η συνδεσμολογία του κυκλώματος στους διακόπτες αλέ ρετούρ είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος του φωτισμού χρησιμοποιώντας όποιον διακόπτη εξυπηρετεί κάθε φορά.

Οι διακόπτες μπορεί να διαθέτουν και τηλεχειριζόμενο έλεγχο για ακόμα μεγαλύτερη ευκολία στον τοπικό έλεγχο.



Εικόνα 9.6: Συνδεσμολογία αλέ ρετούρ διακόπτη

Διακόπτης διπολικός	
Διακόπτης τριπολικός	
Διακόπτης διαδοχής διπλής διακοπής	
Διακόπτης διαδοχής (κομμιτατέρ)	
Διακόπτης εναλλαγής (αλέ ρετούρ)	
Διακόπτης εναλλαγής (αλέ ρετούρ) ενδιάμεσος	

Πίνακας 9.1: Ηλεκτρολογικά σύμβολα διακοπών

9.3.3 Έλεγχος παρουσίας στο χώρο

Τα συστήματα αυτά θέτουν εκτός λειτουργίας την εγκατάσταση φωτισμού, όταν δεν είναι δυνατόν να ανιχνεύσουν παρουσία ή κίνηση ατόμων στο χώρο για ένα προκαθορισμένο διάστημα. Όταν παρουσία ή κίνηση ανιχνευτούν, τότε το σύστημα φωτισμού τίθεται ξανά σε λειτουργία. Είναι σημαντικό να υπάρχει ενσωματωμένος μηχανισμός χρονοκαθυστέρησης στο σύστημα, εφόσον ο χρήστης μπορεί να παραμένει ακίνητος για μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ βρίσκεται στο χώρο, αλλά δεν επιθυμεί να τεθεί εκτός λειτουργίας το σύστημα φωτισμού πριν αυτός αποχωρήσει από το χώρο.

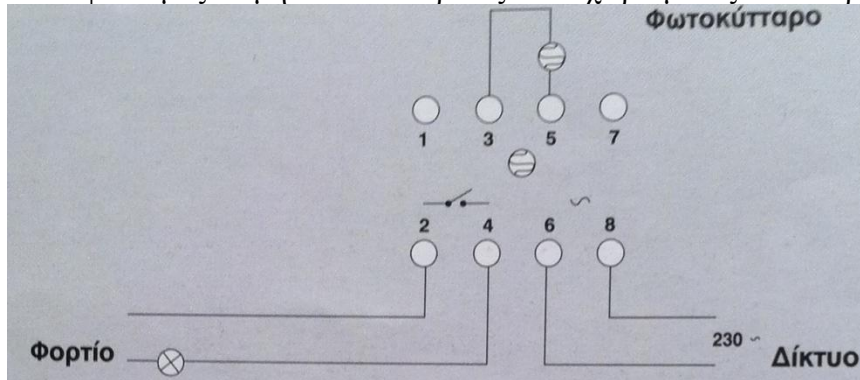
Η εξοικονόμηση ενέργειας από το κάθε είδος ανιχνευτή παρουσίας και κίνησης θα διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής που καλείται να καλύψει, καθώς και η χρήση του χώρου. Σε γενικές γραμμές έχει υπολογιστεί ότι αυτή μπορεί να είναι της τάξης του 35% έως 45%.

Η επιλογή των ανιχνευτών παρουσίας θα πρέπει να γίνεται με προσοχή, καθώς διαφορετικοί τύποι λειτουργούν σε διαφορετικούς βαθμούς ευαισθησίας. Εάν ο έλεγχος φωτισμού με ανιχνευτές παρουσίας είναι κατάλληλος για ένα χώρο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο που αυτός χρησιμοποιείται. Πιο κατάλληλοι είναι οι χώροι μικρών γραφείων, βοηθητικών διαδρόμων, προθαλάμων, αιθουσών διδασκαλίας, τουαλετών, αποθηκών.

Γενικά θα πρέπει να ισχύει, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ:

- Σε μεγάλους χώρους ένας αισθητήρας ανά 30 m²
- Ένας αισθητήρας ανά δωμάτιο

- Ο φωτισμός να μην είναι κεντρικός αλλά χωρισμένος κατά περιοχές ελέγχου.



Εικόνα 9.7: Συνδεσμολογία φωτοκύτταρου

9.3.4 Έλεγχος με χρονοπρογραμματισμό

Με αυτό το είδος ελέγχου η εγκατάσταση φωτισμού τίθεται εκτός λειτουργίας σε έναν κεντρικό πίνακα την ίδια ώρα κάθε ημέρα, που μπορεί για παράδειγμα να συμπίπτει με το τέλος της εργάσιμης μέρας..

Είναι σημαντικό να περιλαμβάνει τοπικό χειρισμό, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να τεθεί σε λειτουργία η εγκατάσταση φωτισμού εάν κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο σε κάποιες περιπτώσεις. Οι εντολές μπορούν να προέλθουν από ποικιλία συσκευών, καθώς και από το κεντρικό σύστημα διαχείρισης του κτιρίου (BMS).¹⁵

Διακρίνονται σε:

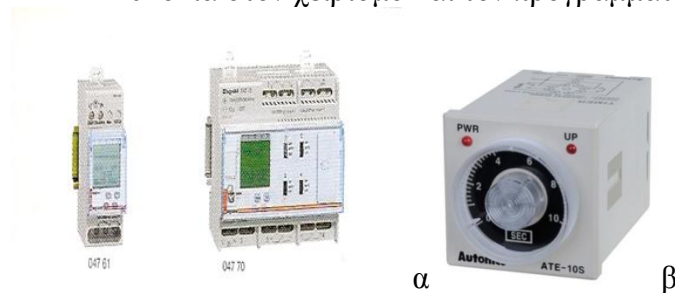
i) Προγραμματιζόμενους αναλογικούς χρονοδιακόπτες, ETS

Ενεργοποιούν μια μεταγωγική επαφή σε προεπιλεγμένους χρόνους, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης ενός κυκλώματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Παρέχεται η δυνατότητα ημερησίου και εβδομαδιαίου προγραμματισμού, ενώ παρέχουν αυτονομία μέχρι 72 ώρες.

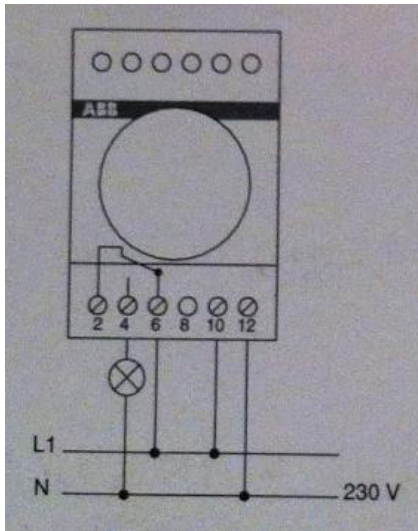
ii) Προγραμματιζόμενους ψηφιακούς χρονοδιακόπτες, STT

Ελέγχονται από μικροεπεξεργαστή και παρέχουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης πλήθους κυκλωμάτων αυτοματισμού. Προσφέρουν :

- Ημερήσιο και εβδομαδιαίο προγραμματισμό
- Επιλογή θερινής και χειμερινής ώρας
- Χειροκίνητη παράκαμψη του προγράμματος λειτουργίας
- Ευανάγνωστη οθόνη υγρών κρυστάλλων
- Ευκολία στον χειρισμό και τον προγραμματισμό¹⁶



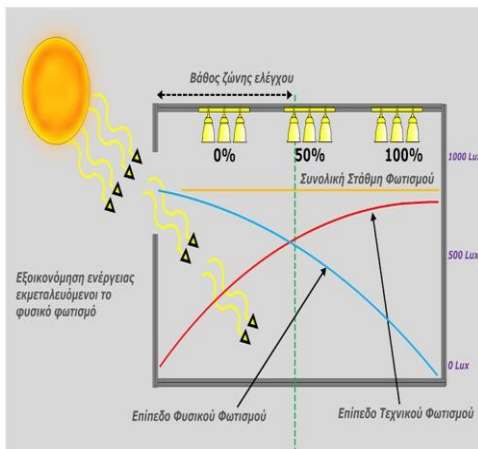
Εικόνα 9.8: α) Ψηφιακοί(STT) και β) αναλογικός χρονοδιακόπτης (ETS)



Εικόνα 9.9: Διάγραμμα σύνδεσης χρονοδιακόπτη

9.3.5 Έλεγχος σύμφωνα με τον εξωτερικό φυσικό φωτισμό

Το φωτοκύτταρο – αισθητήρας φωτός ημέρας μπορεί είτε να είναι τοποθετημένο στον εξωτερικό χώρο είτε στον εσωτερικό, αλλά στραμμένο προς τα έξω για τη μέτρηση μόνον του διαθέσιμου φυσικού φωτός. Μπορεί να είναι και τοποθετημένο στον εσωτερικό χώρο για τη σταθερή ρύθμιση του φωτισμού στο χώρο (φυσικού και τεχνητού).



Εικόνα 9.10: Εξοικονόμηση ενέργειας εκμεταλλευόμενοι το φυσικό φωτισμό

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα ελέγχου σύμφωνα με τον εξωτερικό φωτισμό διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

i) Συστήματα που θέτουν εντός/εκτός λειτουργίας την εγκατάσταση φωτισμού

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βέλτιστα αποτελέσματα σε χώρους με έντονη παρουσία φυσικού φωτός και ελάχιστη χρήση διακοπών, για παράδειγμα σε περιοχές κοντά στα παράθυρα. Επιπλέον, είναι σημαντικό στα συστήματα αυτά να υπάρχει ενσωματωμένο αυτόματο σύστημα διακοπής με χρονική καθυστέρηση.

ii) Συστήματα ελέγχου της φωτεινής ροής (dimming)

Τα συστήματα ελέγχου φωτεινής ροής δίνουν τη δυνατότητα μεταβάλλοντας την τάση και ως εκ τούτου τη μέση ισχύ του λαμπτήρα να διαφοροποιούν την ένταση του φωτός.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ρυθμιστών (dimmer). Η κατασκευή τους παλαιότερα στηριζόταν στη λειτουργία ενός ποτενσιόμετρου ή μεταβλητής αντίστασης. Ωστόσο αυτές οι

διατάξεις είναι ενεργοβόρες και έχουν χαμηλή απόδοση λόγω του ότι το συνολικό ρεύμα διαρρέει τη διάταξη με αποτέλεσμα μεγάλες θερμικές απώλειες. Η εξέλιξη στα ηλεκτρονικά έφερε τα σύγχρονα dimmers με χρήση ανορθωτικών διατάξεων (θυρίστορ) τα οποία έχουν καλύτερη απόδοση και κάνουν τον έλεγχο πιο εύκολο και ασφαλή.

Τα συστήματα αυτά διασφαλίζουν ότι το σύνολο φυσικού και τεχνητού φωτισμού πάντοτε ικανοποιεί τα σχεδιαζόμενα επίπεδα φωτισμού. Η μέτρηση του συνολικού επιπέδου φωτισμού γίνεται με σκοπό την προσαρμογή του τεχνητού φωτισμού, έτσι ώστε να αντισταθμιστούν χαμηλά επίπεδα του φυσικού φωτισμού. Εάν μόνο η παρουσία φυσικού φωτισμού ικανοποιήσει τα σχεδιαζόμενα επίπεδα φωτισμού, τότε το σύστημα περιορίζει την ποσότητα τεχνητού φωτισμού στο χώρο, εξασφαλίζοντας σημαντικά οφέλη από άποψη εξοικονόμησης ενέργειας. Ο έλεγχος μπορεί να είναι χειροκίνητος ή αυτόματος.¹⁴

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι για απλές εφαρμογές στο εμπόριο διατίθενται λαμπτήρες τύπου με ενσωματωμένα συστήματα dimming CFL. Τέτοιος λαμπτήρας φαίνεται στην Εικόνα 9.12. Παρέχει δύο στάθμες φωτισμού μία στο 50% της πλήρους ισχύος φωτισμού και μια ακόμα μικρότερη. Είναι μια πρακτική λύση όπου ο φωτισμός πρέπει να ρυθμίζεται με μικρό κόστος εγκατάστασης. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος λαμπτήρας είναι ακατάλληλος για εγκατάσταση σε υπάρχον σύστημα dimming.

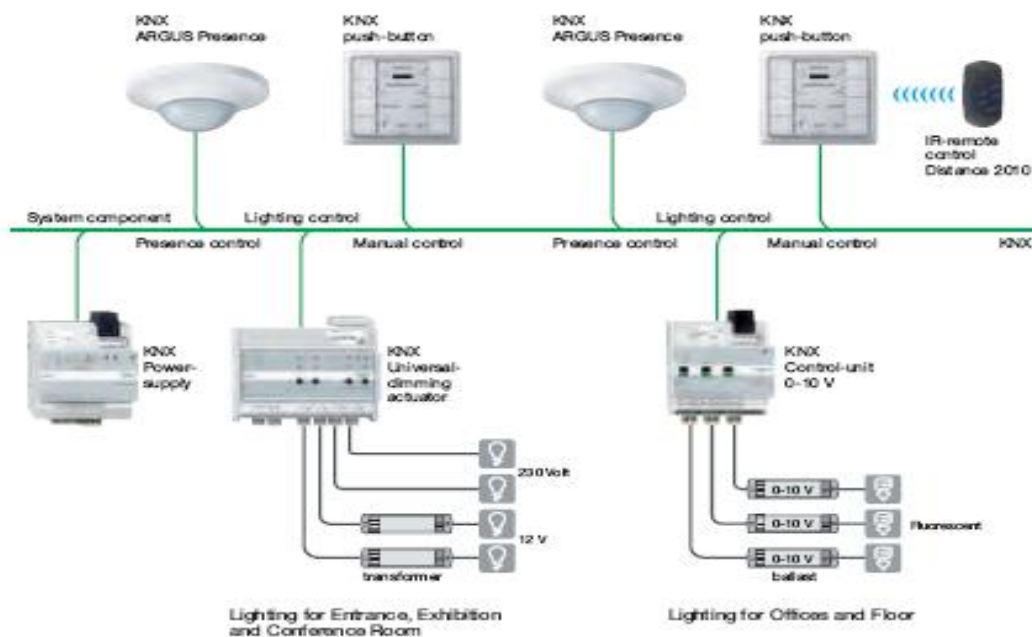


Εικόνα 9.11: Ρυθμιστές έντασης φωτισμού (dimmer)



Εικόνα 9.12: Ο λαμπτήρας DULUX EL VARIO της OSRAM

Το παρακάτω σχήμα μας περιγράφει πως μπορούμε να συνδυάσουμε όλους τους αυτοματισμούς που είδαμε παραπάνω για να ελέγξουμε μια περιοχή φωτισμού σε ένα σύστημα. Το σύστημα μπορεί να διαθέτει και τηλεχειριζόμενο τοπικό έλεγχο.



Εικόνα 9.13: Παράδειγμα σύνδεσης τμήματος ελέγχου περιοχής φωτισμού

9.4 Συστήματα ρύθμισης φυσικού φωτισμού

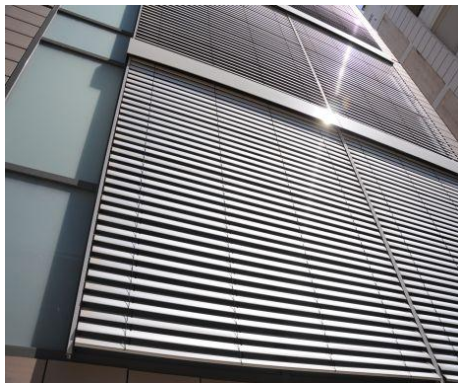
9.4.1 Ρυθμιζόμενα σκίαστρα

Η επιμελής διαχείριση του φυσικού φωτισμού σε ένα κτίριο, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της σωστής μελέτης και είναι αποτέλεσμα συνδυασμένης κάλυψης των αναγκών σε παροχή φωτός αλλά και ελέγχου της ηλιακής, θερμικής ακτινοβολίας.

Τα συστήματα σκίασης που μελετήσαμε στο Κεφ. παρέχουν ικανοποιητικό έλεγχο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Ωστόσο η δυνατότητα ελέγχου αυτών των συστημάτων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις, μπορεί να βελτιώσει ακόμα περισσότερο την απόδοσή τους. Ειδικά στην περίπτωση των εξωτερικών διατάξεων κρίνεται αναγκαίο να υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης μέσω κάποιου μηχανισμού ο οποίος να ελέγχεται είτε χειροκίνητα, είτε μηχανικά, είτε αυτόματα μέσω κεντρικού συστήματος. Σήμερα μπορούμε να βρούμε στο εμπόριο αυτοματοποιημένα συστήματα που περιλαμβάνουν οριζόντιες ή κάθετες περσίδες, ρολά και πάνελ.



Εικόνα 9.14: Σκίαση κτιρίων με ρολά



Εικόνα 9.15: Σκίαση κτιρίων με περσίδες



9.4.2 Κινούμενοι ηλιακοί συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες (κάτοπτρα, ηλιοστάτες, φωτοβολταϊκά πάνελ) μπορούν να αποδώσουν το μέγιστο των δυνατοτήτων τους όταν τους δίνεται η δυνατότητα να ακολουθούν την πορεία του ήλιου ώστε η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων να είναι πάντα η βέλτιστη.



Εικόνα 9.16: Κινούμενο σύστημα Himawari [3.8.5ii]

9.5 Συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (BMS ή BEMS) και φωτισμός

Οι τεχνικές και οι αυτοματισμοί που αναφέρθηκαν παραπάνω μας παρέχουν μια σχετική ευελιξία στον έλεγχο του φωτισμού αρκετά ικανοποιητική όταν πρόκειται για μικρές εγκαταστάσεις. Ωστόσο οι συνθήκες μέσα και έξω από τα κτίρια αλλάζουν συνεχώς εξαιτίας των διαφόρων μετεωρολογικών συνθηκών, τη μόλυνση του αέρα, το ποσοστό χρήσης του κάθε χώρου και το είδος των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα μέσα σε αυτούς. Γι' αυτό, οι συνθήκες που επικρατούν μέσα σε ένα κτίριο είναι δυναμικές και δύσκολο να προβλεφθούν από μεμονωμένα συστήματα ελέγχου.

Η αποδοτική λειτουργία του κτιρίου συνολικά, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με αποδοτικά συστήματα ελέγχου και διαχείρισης. Αυτά τα συστήματα, έχοντας τη δυνατότητα να παρακολουθούν όλους αυτούς τους παράγοντες που επηρεάζουν τις διάφορες μεταβλητές μέσα σε ένα κτίριο, μειώνουν τις ενεργειακές απώλειες ενώ ταυτόχρονα βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Επειδή διαφορετικοί χρήστες χρησιμοποιούν το εκάστοτε περιβάλλον ανάλογα με τις ανάγκες τους, έξυπνα συστήματα θα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα στον κάθε χρήστη να ρυθμίσει την κάθε παράμετρο σύμφωνα με αυτές.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια αυτά τα συστήματα διαχείρισης κτιρίων ήταν οικονομικά συμφέροντα μόνο για μεγάλα κτίρια και εγκαταστάσεις. Παρ' όλα αυτά τα τελευταία χρόνια έγιναν προσιτά και για μεμονωμένα κτίρια κατοικίας λόγω του ανταγωνισμού που έδωσε ώθηση στην έρευνα και υλοποίηση όλο και καλύτερων συστημάτων.

9.5.1 «Έξυπνα κτίρια»

Ο όρος έξυπνα κτίρια εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80. Αρχικά αφορούσε κτίρια με καινοτόμες κατασκευαστικές τεχνολογίες και αυτοματισμούς, με ιδιαίτερη έμφαση στην μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Πλέον, «έξυπνα κτίρια» χαρακτηρίζονται αυτά που κατασκευάστηκαν με τις τελευταίες τεχνικές και τεχνολογίες με σκοπό να βελτιώσουν την απόδοση αλλά και διαχείριση τους. Αυτά τα κτίρια παρέχουν άνεση, ασφάλεια, και οικονομία στους ιδιοκτήτες, διαχειριστές και χρήστες τους. Δεδομένου ότι το πραγματικό κόστος του οικοδομήματος περιλαμβάνει πολλά περισσότερα από το κόστος κατασκευής, το συνολικό κόστος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν.

Τα έξυπνα κτίρια ανταποκρίνονται συνεχώς στις αλλαγές μέσα και γύρω από αυτά χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της πληροφορικής και επικοινωνίας. Έξυπνα υλικά και συστήματα ελέγχου και επικοινωνίας συνεχώς βελτιώνονται και εγκαθίστανται στα κτίρια. Ωστόσο το πρώτο βήμα για τα κτίρια του μέλλοντος είναι ο ψηφιακός έλεγχος και διαχείριση των συστημάτων.

9.5.2 BMS - Τι είναι και γιατί τα χρησιμοποιούμε

Ένα χαρακτηριστικό των μεγάλων κατασκευών και οικοδομικών συγκροτημάτων είναι το μεγάλο σύστημα διακλαδώσεων και εγκαταστάσεων που περιέχουν. Αυτές οι εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν θέρμανση – ψύξη, εξαερισμό, ηλεκτρικό δίκτυο, φωτισμό, υγιεινή, συστήματα πληροφοριών και επικοινωνιών, συστήματα ασφαλείας και πολλά άλλα. Αυτά τα συστήματα πρέπει συνεχώς να ελέγχονται και να διαχειρίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις προκειμένου να παρέχουν βέλτιστη άνεση και λειτουργικότητα με το μικρότερο δυνατόν ενεργειακό κόστος.

Τα πρώτα BEMS εμφανίστηκαν το 1970 στις ΗΠΑ με «Κεντρική» αντίληψη. Ο κεντρικός σταθμός βασιζόταν σε μικροϋπολογιστή ο οποίος περιείχε την «ευφυΐα» του συστήματος ενώ τα λοιπά τμήματα του εξοπλισμού ακολουθούσαν εντολές και ήταν ρελέ ή

συνδέσεις σε αισθητήρες και ενεργοποιητές. Αρχικά η εποπτεία της λειτουργίας αυτών των συστημάτων ήταν περιορισμένη στην παρακολούθηση προβλημάτων λειτουργίας, ωστόσο τα εποπτικά συστήματα εξελίχθηκαν σε ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης. Η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών απέδωσε ευφυΐα σε όλα αυτά τα συστήματα δίνοντας και κάποιες δυνατότητες επεξεργασίας. Η εποπτεία ενεργειακής κατανάλωσης ήρθε να συμπληρώσει τα συστήματα διαχείρισης με αποτέλεσμα μεγάλα οικονομικά οφέλη.

Κάπως έτσι εμφανίστηκαν τα συστήματα διαχείρισης κτιρίων (Building Management Systems - BMS) ή συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων (Building Energy Management System - BEMS) με τη μορφή που έχουν σήμερα. Πέρα από την εποπτεία, τα συστήματα αυτά φροντίζουν για τη χαμηλότερη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

Μερικά από τα καθήκοντα των BMS μπορούν να χωριστούν στα ακόλουθα:

i) Διαχείριση και εποπτεία κατανάλωσης ενέργειας:

- Άνοιγμα / κλείσιμο συσκευών ανάλογα με το χρόνο ή τη παρουσία στο χώρο
- Μείωση της ισχύος αιχμής
- Εξασφάλιση της ιδανικής λειτουργίας θέρμανσης – ψύξης, αερισμού
- Ρύθμιση του τεχνητού και φυσικού φωτισμού
- Αποθήκευση δεδομένων για τον μετέπειτα έλεγχο της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου

ii) Διαχείριση συστημάτων ασφαλείας:

- Μείωση του ανθρώπινου παράγοντα
- Ταυτοποίηση προσώπων με ηλεκτρονικά μέσα
- Ιεραρχική πρόσβαση σε χώρους
- Αντικλεπτικοί συναγερμοί
- Συναγερμοί πυρκαγιάς
- Ανιχνευτές επικίνδυνων αερίων

iii) Διαχείριση πληροφοριών:

- Εσωτερικές τηλεφωνικές συνδέσεις
- Δορυφορικές επικοινωνίες
- Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο
- Πρόσβαση στο διαδίκτυο
- Διακίνηση ηλεκτρονικών δεδομένων

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες δεν αντιμετωπίζονται αυτόνομα και τοπικά σε κάθε διακριτό χώρο αλλά ενσωματώνονται στο ολοκληρωμένο σύστημα του κτιρίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διασύνδεση των αυτοματισμών και την αλληλοεπίδραση των διακριτών λειτουργιών.¹⁷

9.5.3 Γενική Αρχιτεκτονική συστημάτων BMS

Τα κύρια συστήματα που αποτελούν ένα σύστημα BMS φαίνονται στην Εικόνα 9.18 και είναι :

i) Οι αισθητήρες

Αναλαμβάνουν να το ενημερώνουν για οποιαδήποτε μεταβολή στις υπό παρακολούθηση παραμέτρους. Είναι η είσοδος του συστήματος.[9.1]

ii) Οι ενεργοποιητές

Αναλαμβάνουν να πραγματοποιούν τις απαραίτητες μεταβολές όπως άνοιγμα / κλείσιμο φωτισμού , ηλεκτρικών βανών, λεβήτων και γενικά οποιουδήποτε συστήματος είναι συνδεδεμένο πάνω σε αυτό. Είναι η έξοδος του συστήματος.[9.2]

iii) Η κεντρική μονάδα

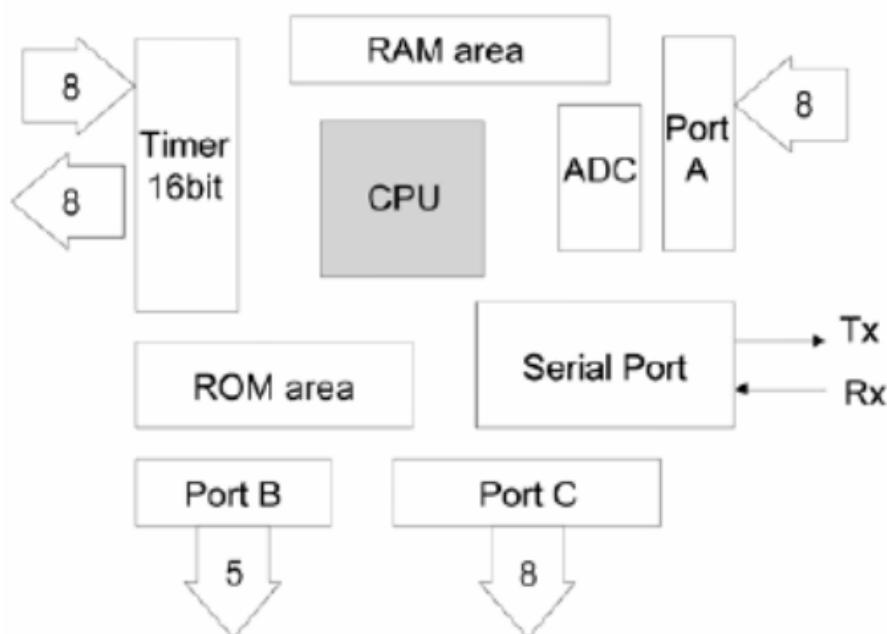
Είναι το μυαλό του συστήματος. Αποτελείται από ένα μικροελεγκτή και πλήθος βοηθητικών συστημάτων. Αναλαμβάνει τη λήψη της πληροφορίας, την επεξεργασία της ανάλογα με τον προγραμματισμό που διαθέτει και κατόπιν την εκτέλεση των ανάλογων επεμβάσεων στο κτίριο μέσω των ενεργοποιητών.

Ο μικροελεγκτής είναι ένας τύπος επεξεργαστή, ουσιαστικά μια παραλλαγή μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) ελέγχου χαμηλού και μεσαίου κόστους, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα (από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές έως παιχνίδια), ηλεκτρικές συσκευές και κάθε είδους αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα.

Τα βασικά τους γνωρίσματα είναι η δυνατότητα προγραμματισμού, το μικρό κόστος τους, οι μικρές γεωμετρικές διαστάσεις και οι χαμηλές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας κατάφερε να δώσει τέτοιες ολοκληρώσεις στα chips έτσι ώστε την τελευταία δεκαετία εμφανίστηκαν απλά ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία στην αρχή περιείχαν:

- Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)
 - Μνήμη (ROM και RAM)
 - Μερικές παράλληλες ψηφιακές εισόδους / εξόδους
- Σήμερα οι μικροελεγκτές μπορούν να συνδυάζουν περισσότερες συσκευές όπως:
- Ένα σύστημα timer για την εκτέλεση εργασιών σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα
 - Ports σύγχρονης και ασύγχρονης επικοινωνίας για τη δυνατότητα ροής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών μικροελεγκτών ή άλλων συσκευών όπως ενός ή περισσότερων PC's
 - Μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, έτσι ώστε να έχει ο μικροελεγκτής τη δυνατότητα να επεξεργάζεται αναλογικά σήματα.
 - Πληθώρα άλλων συστημάτων.

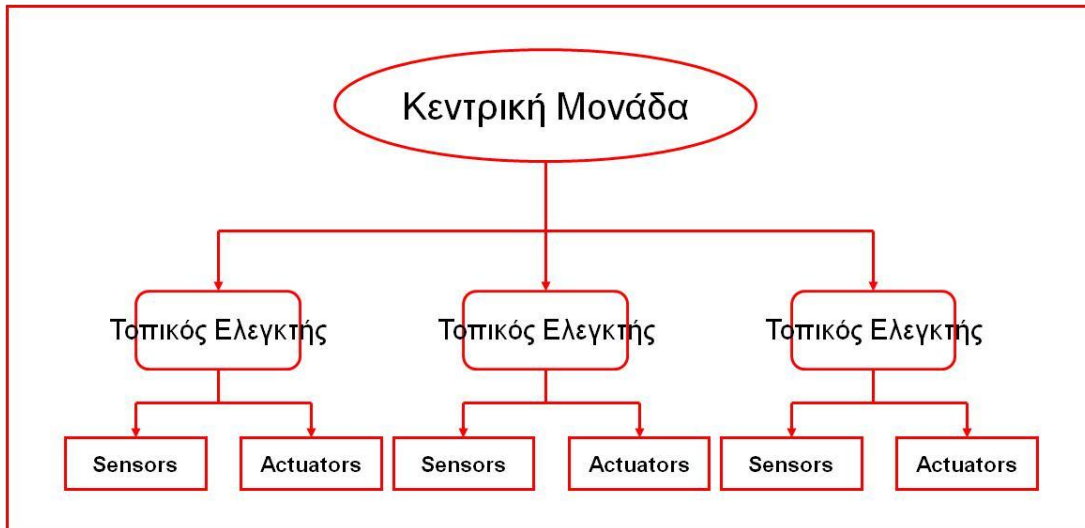


Εικόνα 9.17: Δομή ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (chip) μικροελεγκτή

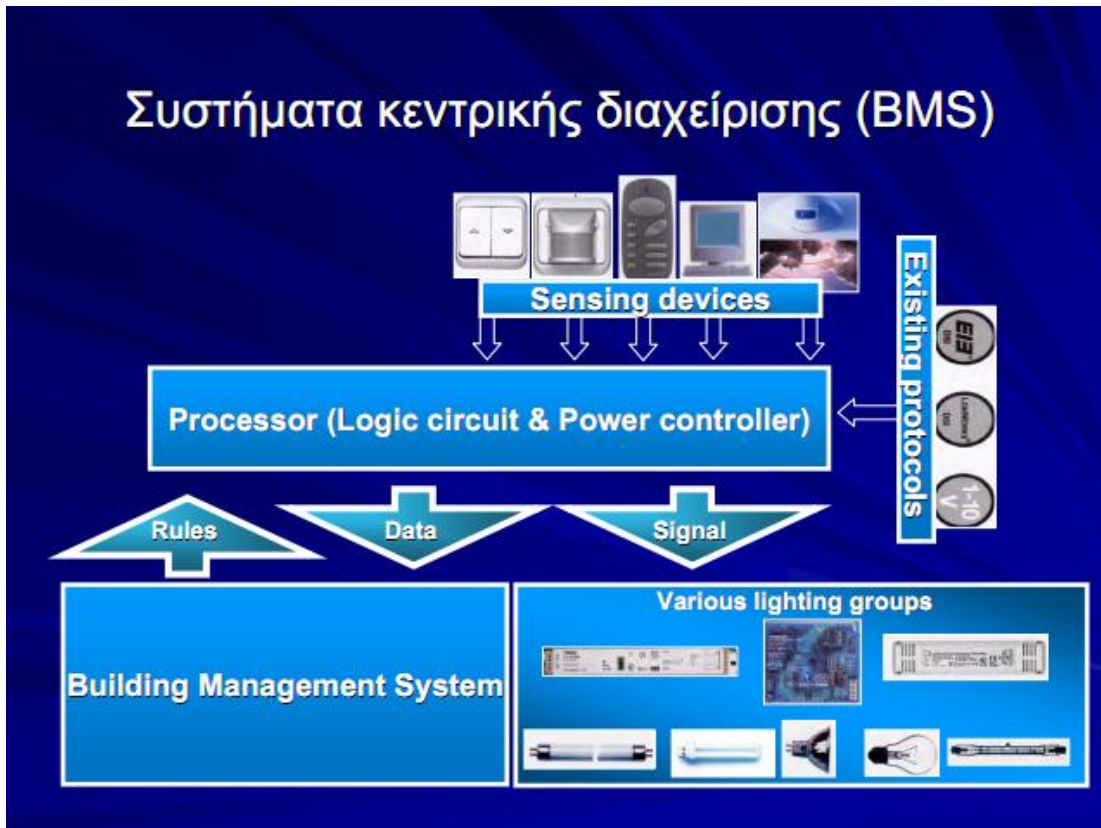


Εικόνα 9.18: Γενική αρχιτεκτονική συστήματος BMS

Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελεί τη βασική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος BMS. Ωστόσο μας δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα ημιαυτόνομα συστήματα με τοπικούς ελεγκτές για μια πιο αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική. Κάτι τέτοιο φαίνεται στην Εικόνα 9.19



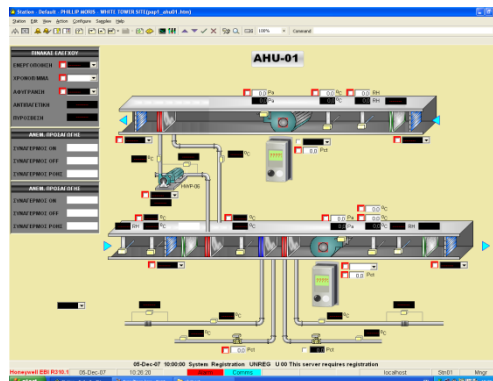
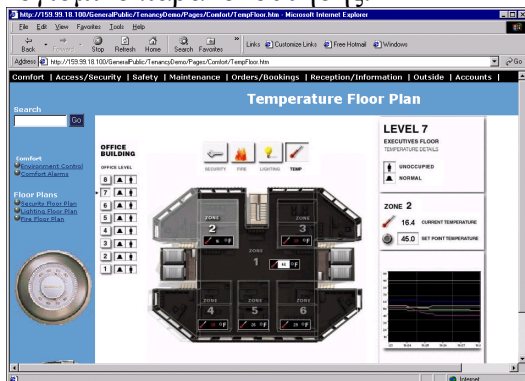
Εικόνα 9.19: Περισσότερο αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική συστήματος BMS

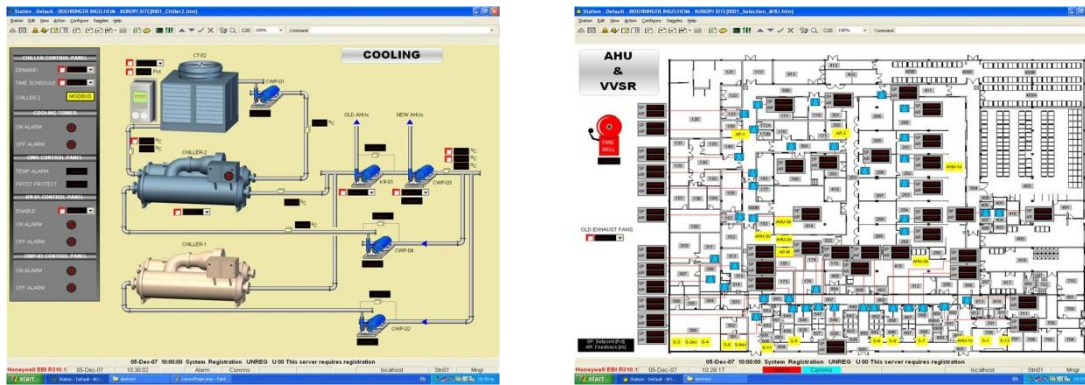


Εικόνα 9.20: Γενική Διάταξη BMS

9.5.4 Κεντρικό σύστημα παρακολούθησης

Κάθε σύστημα BMS απαιτεί έναν **κεντρικό σταθμό παρακολούθησης (Operator Workstation, OWS)** όπου αποτελεί το μέσο επικοινωνίας του χειριστή με το σύστημα αυτοματισμού. Εκεί υπάρχει η δυνατότητα οπτικοποίησης των ελεγχόμενων εγκαταστάσεων και μπορεί να είναι οποιοσδήποτε απομακρυσμένος Η/Υ εφοδιασμένος με το κατάλληλο λογισμικό παρακολούθησης.





Εικόνα 9.21: Ποικίλα περιβάλλοντα παρακολούθησης συστήματος BMS

Τα **πλεονεκτήματα κεντρικού συστήματος παρακολούθησης** μπορούμε να τα δούμε στον παρακάτω πίνακα

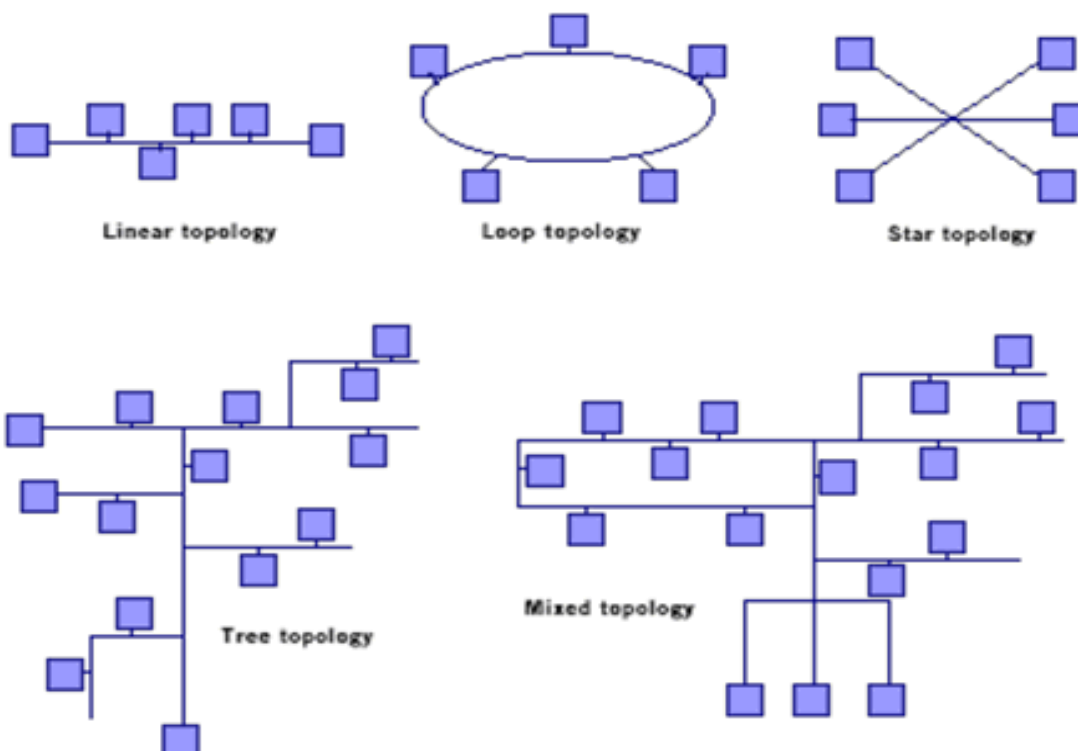
Λειτουργία	Πλεονέκτημα
Άμεσος ψηφιακός έλεγχος εγκαταστάσεων	Βελτίωση συνθηκών λειτουργίας θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού, φωτισμού Εξοικονόμηση ενέργειας
Αυστηρός χρονοπρογραμματισμός ελεγχόμενων εγκαταστάσεων	Εξοικονόμηση ενέργειας
Τροποποίηση των παραμέτρων λειτουργίας μέσω λογισμικού	Αποφυγή ανεπιθύμητων τροποποιήσεων σε ηλεκτρολογικούς πίνακες, μηδενισμός επιπλέον καλωδιώσεων κλπ.
Παρακολούθηση εγκαταστάσεων σε πραγματικό χρόνο	Εντοπισμός προβλημάτων εν τη γενέσει τους και πριν αυτά γίνουν αντιληπτά στους χρήστες του κτιρίου ή προκαλέσουν σοβαρές βλάβες
Γραφική απεικόνιση του συνόλου εγκαταστάσεων σε μια οθόνη Η/Υ ανεξαρτήτως μεγέθους κτιρίου	Άμεση πληροφόρηση, παρέμβαση, εποπτεία και έλεγχος εγκαταστάσεων.
Αυτόματη καταμέτρηση παραμέτρων λειτουργίας συσκευών (ώρες λειτουργίας, καταναλώσεις κλπ)	Δημιουργία προγράμματος προληπτικής συντήρησης χωρίς επιπλέον έξοδα.
Καταγραφή και εμφάνιση στατιστικών στοιχείων οποιασδήποτε παραμέτρου λειτουργίας	Έλεγχος ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου και δυνατότητα βελτιστοποίησης λειτουργίας των εγκαταστάσεων
Υποστήριξη τοπικών και απομακρυσμένων συνδέσεων Η/Υ	Παρακολούθηση κτιρίου από περισσότερους του ενός ή/και απομακρυσμένους σταθμούς εργασίας.

Πίνακας 9.2: Πλεονεκτήματα ΚΣΠ σε συστήματα BMS

9.5.5 Τοπολογίες επικοινωνιών

Οι τοπολογίες επικοινωνιών καθορίζουν τον τρόπο σύνδεσης του OWS με τα διάφορα στοιχεία. Αυτές είναι:

- **Δακτύλιος:** Η πληροφορία μεταφέρεται γύρω από το δακτύλιο προς μία κατεύθυνση και μόνο. Κάθε μονάδα αναγνωρίζει αν η πληροφορία είναι για αυτήν ώστε να ανταποκριθεί ή όχι
- **Ιεραρχική δομή ή δομή δέντρου:** Η επικοινωνία ακολουθεί δενδροειδή δομή
- **Σημείο-προς σημείο:** Η απλούστερη προσέγγιση με την οποία ο κεντρικός ελεγκτής συνδέεται με τους τερματικούς σταθμούς
- **Αστέρας:** Όπως το Σημείο-προς σημείο αλλά συνδέονται περισσότερες μονάδες στο OWS.
- **Διάυλος:** Οι διάφορες μονάδες επικοινωνούν ανεξάρτητα μεταξύ τους και τα σημεία OWS. Είναι πολύ εύκολη η επεκτασιμότητα του δικτύου.¹⁵



Εικόνα 9.22: Τοπολογίες επικοινωνιών

9.5.6 Πρωτόκολλα επικοινωνιών

Ως **πρωτόκολλο επικοινωνίας** ορίζεται ένα σύνολο κανόνων συμφωνημένων και από τα δυο επικοινωνούντα μέρη και που εξυπηρετούν την μεταξύ τους ανταλλαγή πληροφοριών. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι δηλαδή μια δέσμη κανόνων στους οποίους στηρίζεται η επικοινωνία των συσκευών (συνήθως, αλλά όχι πάντα, υπολογιστών) σε ένα δίκτυο. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τη μορφή, το χρόνο και τη σειρά μετάδοσης των πληροφοριών στο δίκτυο. Εκτελούν, επίσης, έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων στη διάρκεια μετάδοσης των πληροφοριών¹⁸.

Αποτέλεσμα των διαφορετικών μεθόδων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τον καθορισμό των κανόνων αυτών, τις αυξανόμενες απαιτήσεις, αλλά και τον ανταγωνισμό των εταιριών που δεν επιτρέπει την από κοινού θέσπιση τους, είναι η ύπαρξη πολλών και διαφορετικών πρωτοκόλλων στα συστήματα ελέγχου.

Η επιλογή του εξοπλισμού ενός συστήματος βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα πρωτόκολλα επικοινωνίας που μπορούν να υποστηρίξουν οι συσκευές οπότε θα πρέπει να λαμβάνεται πολύ σοβαρά υπ' όψιν ειδικά κατά το σχεδιασμό του συστήματος

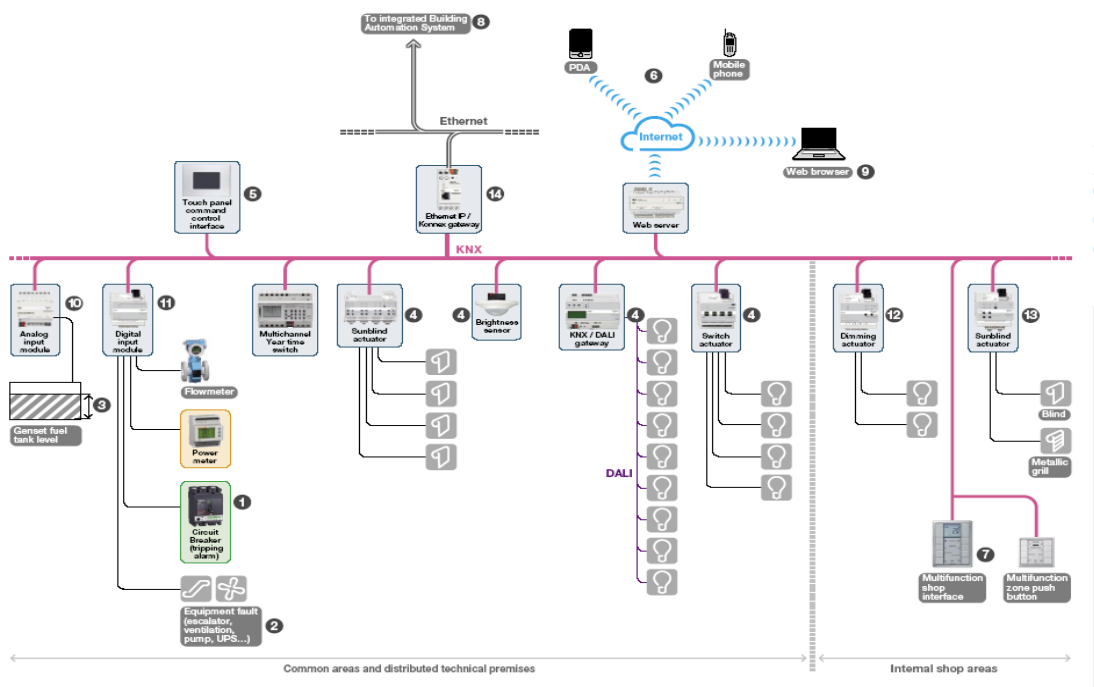
Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα γι' αυτό το σκοπό είναι:

- BACNET
- ARCNET
- BitBus
- CAN
- EIBUS
- LonWorks
- PROFIBUS
- Και αρκετά άλλα στηριζόμενα στα στανταρτς RS-232, RS-422, or RS-485

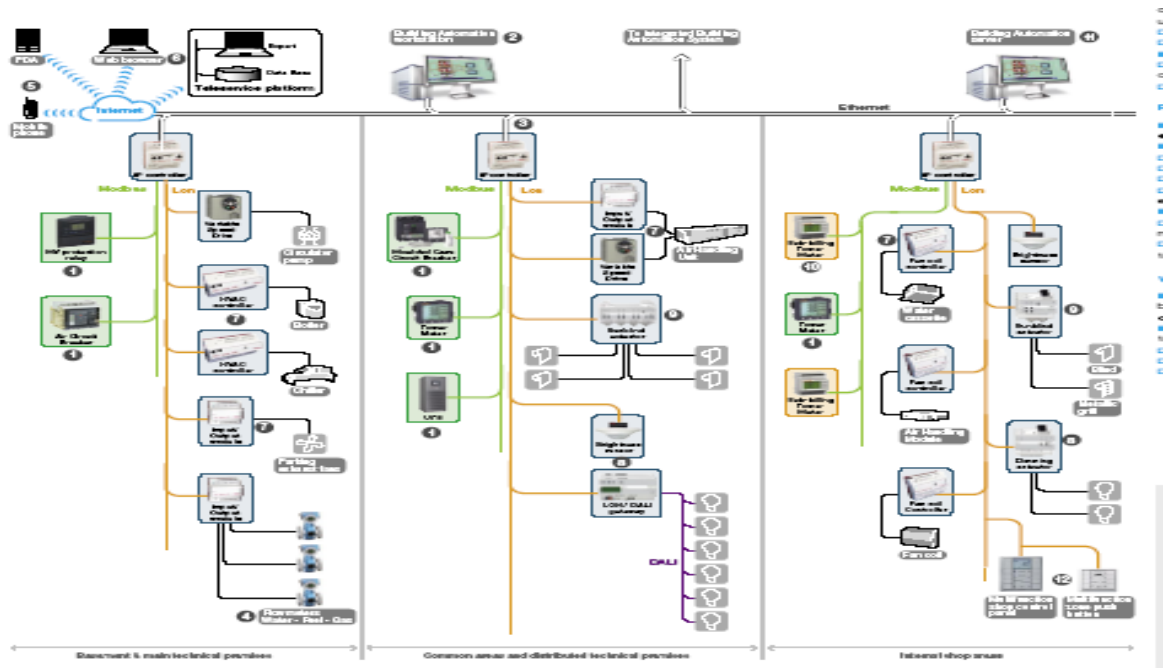
9.5.7 Τα BMS και ο φωτισμός

Τα BMS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών για το φωτισμό κτιρίων. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι όλοι οι αυτοματισμοί και σημεία ελέγχου φωτισμού μπορούν να ελεγχθούν από το κεντρικό σύστημα. Μπορεί επιπλέον να ελεγχθεί η σκίαση ενός χώρου σταθμίζοντας τις ανάγκες για φωτισμό συνεισφέροντας έτσι και στη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται πως μπορούμε να συνδυάσουμε τον έλεγχο του φωτισμού σε δύο περιπτώσεις (απλά κτίρια, εμπορικά κέντρα), με πλήθος άλλων αυτοματισμών οι οποίοι όλοι μαζί υπακούν τις εντολές ενός κεντρικού συστήματος.



Εικόνα 9.23: Γενική διάταξη συστήματος BMS



Εικόνα 9.24: Διάταξη συστήματος BMS σε εμπορικό κέντρο

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα διάφορα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, καθιστούν προφανές το γεγονός ότι γενικότερα υπάρχει σημαντικό δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας από το φωτισμό κτιρίων και υπάρχουν ποικίλες μέθοδοι που εξυπηρετούν το σκοπό αυτό. Είτε αυτά αφορούν μικρές εγκαταστάσεις, είτε μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα μπορούμε να χωρίσουμε το σχεδιασμό τους στα σενάρια που υπάρχουν για τα υφιστάμενα κτίρια και αυτά για τα νεόδμητα κτίρια. Είναι προφανές ότι η εφαρμογή των μεθόδων σε καινούριες εγκαταστάσεις είναι πιο αποδοτικές από ότι σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ακολουθώντας τη σωστή μεθοδολογία δεν μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και σε αυτά.

Για τον κατάλληλο σχεδιασμό του φωτισμού αρχικά πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του κάθε χώρου χωριστά που θέλουμε να φωτίσουμε. Αυτά περιλαμβάνουν: Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου (μήκος πλάτος ύψος), καθορίζουν την ποσότητα φωτιστικών σωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν

Τα υλικά κατασκευής τοιχοποιίας και λοιπών ανακλαστικών επιφανειών καθορίζουν την ανακλαστικότητα του χώρου

Η χρήση για την οποία προορίζεται ο χώρος αυτός καθορίζει το είδος φωτισμού που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε (άπλετος φωτισμός, φωτισμός εργασίας, ατμοσφαιρικός φωτισμός κλπ)

Κάθε κτίριο ανάλογα με τη θέση του στο χώρο είναι ένας συλλέκτης ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια, εκτός των άλλων, είναι φορέας του πολύτιμου φυσικού φωτός και στην ουσία αποτελεί και τη μόνη πηγή του. Η δυνατότητα να συλλέξουμε όσο περισσότερο φυσικό φως και να το διοχετεύσουμε στο εσωτερικό του κτιρίου σε συνδυασμό με μία προσεκτική μελέτη και γνώση των τεχνολογιών που είναι διαθέσιμες όπως αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο μας προσφέρει τεράστια ενεργειακά οφέλη αλλά και πολύ καλές συνθήκες εργασίας και διαβίωσης μέσα σε αυτό.

Ο τεχνητός φωτισμός αποτελεί μεγάλο τεχνολογικό επίτευγμα του περασμένου αιώνα και ήρθε να συμπληρώσει τις ελλείψεις φωτός όπου ο φυσικός φωτισμός δεν ήταν διαθέσιμος. Ανάλογα με το είδος φωτισμού που θέλουμε να εφαρμόσουμε υπάρχει πληθώρα λαμπτήρων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ανάλογα με την περίπτωση. Στο Κεφάλαιο έγινε μια εκτενής αναφορά των τύπων λαμπτήρα που διατίθενται αυτή τη στιγμή καθώς και τα χαρακτηριστικά που διέπουν κάθε τύπο. Έτσι διαχωρίστηκε η καταλληλότητα των λαμπτήρων για διαφορετικές εργασίες, για φωτισμό εξωτερικών χώρων κλπ. Η κατάλληλη επιλογή λαμπτήρα απαιτεί πολύ καλή τεχνογνωσία και γνώση της υπάρχουσας κατάστασης στην αγορά κάθε στιγμή.

Πολλές φορές, κυρίως σε υφιστάμενα κτίρια, τα φωτιστικά σώματα καθορίζουν σε μεγάλο ποσοστό το είδος λαμπτήρα που θα χρησιμοποιηθεί. Σε νεόδμητα κτίρια το κόστος και η διαθεσιμότητα είναι ο λόγος που θα μας περιορίσει στην επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού οπότε κατ' επέκταση και του λαμπτήρα που θα χρησιμοποιηθεί. Στο Κεφάλαιο έγινε αναφορά στα είδη των φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με τη χρήση που προορίζονται και το είδος λαμπτήρα που υποστηρίζουν.

Όπως βλέπουμε η επιλογή λαμπτήρα / φωτιστικού είναι μια αλληλένδετη διαδικασία αφού το κατάλληλο φωτιστικό θα διανέμει στο χώρο το κατάλληλο φως από τον κατάλληλο λαμπτήρα που έχουμε επιλέξει. Η όλη διαδικασία πρέπει να ακολουθείται από μια οικονομική ανάλυση κόστους εγκατάστασης, κόστους λειτουργίας και ενεργειακής ταυτότητας της εγκατάστασης ώστε να μιλάμε για μια βιώσιμη επένδυση.

Ο συνδυασμός του φυσικού φωτισμού με τον τεχνητό είναι σήμερα η βασικότερη επιδίωξη κάθε σχεδιαστή. Η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του φυσικού φωτός κυρίως εξαιτίας των καιρικών φαινομένων καθιστά αναγκαία την ύπαρξη δυνατότητας παρακολούθησης και ελέγχου της υπάρχουσας κατάστασης κάθε στιγμή και της αυτόματης

προσαρμογής των επιπέδων τεχνητού φωτισμού ώστε το φωτιστικό αποτέλεσμα να είναι πάντα το ίδιο. Οι αυτοματισμοί που υπάρχουν σήμερα διαθέσιμοι για το σκοπό αυτό είναι πάρα πολλοί και είδαμε πως αυτοί λειτουργούν στο Κεφάλαιο. Είτε αυτοί αφορούν τοπικό χειρισμό είτε είναι ενσωματωμένοι σε Κεντρικά Συστήματα Διαχείρισης (BMS) εξοικονομούν σημαντικά ποσά ενέργειας και μετατρέπουν το κτίριο σε έναν ζωντανό οργανισμό που συνεχώς προσαρμόζεται στις ανάγκες των χρηστών.

Τα βέλτιστα επίπεδα φωτισμού, κατανάλωσης, ενεργειακής απόδοσης και όλων αυτών των παραμέτρων που εμπλέκονται στο σχεδιασμό του φωτισμού καθορίζονται από διεθνή πρότυπα και οδηγίες όπως αυτές διαμορφώνονται για κάθε περιοχή. Στην Ελλάδα ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK), εκτός των άλλων, περιλαμβάνει όλες τις οδηγίες που καθορίζουν τα διεθνή πρότυπα για το φωτισμό και πλέον αποτελεί τον βασικό οδηγό για κάθε σχεδιαστή.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μεγαλύτερη απειλή στη σωστή και σε βάθος χρόνου λειτουργία κάθε εγκατάστασης αποτελεί η φθορά που έρχεται με το χρόνο. Η απόδοση μιας εγκατάστασης φωτισμού μειώνεται με το χρόνο λόγω της επικάλυψης ρύπων στις επιφάνειες των φωτιστικών και των λαμπτήρων, της γήρανσης των υλικών των φωτιστικών τα οποία συμμετέχουν στην εκπομπή φωτός (ανακλαστήρες, περσίδες, διαχύτες κ.λπ.) καθώς και της γήρανσης των λαμπτήρων και των ballast.

Όσο και να λαμβάνουμε υπ' όψιν την ποιότητα των υλικών κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης αν δεν υπάρχει ένα συντονισμένο σχέδιο συντήρησης τότε οι ενεργειακές απώλειες είναι τεράστιες.

Εξειδικευμένοι φορείς που διεξήγαγαν μετρήσεις σε εγκαταστάσεις φωτισμού κτιρίου γραφείων διαπίστωσαν ότι η μείωση του φωτισμού στις πλημμελώς συντηρημένες εγκαταστάσεις υπερβαίνει το 40% ενώ αν η συντήρηση είναι τακτική τότε η μείωση δεν υπερβαίνει το 25%. Οι μετρήσεις που έγιναν σε τυπικούς επαγγελματικούς χώρους οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι εξοικονομείται ενέργεια της τάξης του 15% εάν:

τα φωτιστικά καθαρίζονται ανά έτος

ταυτόχρονη αντικατάσταση του 1/3 των λαμπτήρων (έστω και αν λειτουργούν).

Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τους φορείς που διεξήγαγαν τις μετρήσεις, στην πλημμελώς συντηρημένη εγκατάσταση ο καθαρισμός και η αντικατάσταση των λαμπτήρων γίνονταν ανά 3 χρόνια.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί και ο παράγοντας συντελεστής ισχύος. Το πρόβλημα του χαμηλού συντελεστή ισχύος στις εγκαταστάσεις φωτισμού είναι θεωρητικά μάλλον αμελητέο, δεδομένου ότι οι σοβαροί κατασκευαστές ενσωματώνουν στα φωτιστικά τους τα απαραίτητα εξαρτήματα (πυκνωτές κ.λπ.) που βελτιώνουν τον συντελεστή ισχύος. Σημειώνεται πάντως ότι, ειδικά στα φωτιστικά με ηλεκτρονικά ballast και ρυθμιστές, η διόρθωση αυτή αφορά συνήθως μόνο στον συντελεστή διαφοράς φάσης ($\cos\phi$). Όμως, αυτές οι ηλεκτρονικές διατάξεις παράγουν αρμονικά ρεύματα τα οποία είναι αρκετά δύσκολο να μειωθούν. Αυτό έχει σαν συνέπεια την εμφάνιση χαμηλού συντελεστή ισχύος ($\text{power factor} \ll 1$) ακόμη και αν ο συντελεστής διαφοράς φάσης προσεγγίζει τη μονάδα ($\cos\phi \gg 0,9$). Η εξάλειψη των αρμονικών διαταραχών είναι ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα και απαιτεί υψηλό κόστος το οποίο δύσκολα αποσβένεται. Αν οι αρμονικές δεν δημιουργούν άλλα λειτουργικά προβλήματα, τότε η επένδυση για την εξάλειψή τους είναι συνήθως ασύμφορη. Σε κάθε περίπτωση πάντως πρέπει να επιδιώκεται η εφικτή βελτίωση του συντελεστή διαφοράς φάσης. Έτσι απαιτείται:

η χρησιμοποίηση φωτιστικών με διορθωμένο $\cos\phi$ και

διόρθωση κεντρικά στην περίπτωση που υπάρχουν οδεύσεις καλωδίων μεγάλου μήκους, εφ' όσον φυσικά δεν πρόκειται για πελάτες μέσης τάσης οπότε η διόρθωση είναι συμβατική υποχρέωση.

Βιβλιογραφία

-
- ¹ Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-1/2010 «Αναλυτικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης»
- ² Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010 «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων»
- ³ Ιστοσελίδα εταιρείας Solarlight Energy Systelms <http://www.solarlight.gr>
- ⁴ Ιστοσελίδα εταιρείας Tubzzz <http://tubzzz.com/be/index.php>
- ⁵ Ιστοσελίδα εταιρείας Sunlight Direct <http://www.sunlight-direct.com/>
- ⁶ Ιστοσελίδα εταιρείας La Forêt Engineering Co.,Ltd. http://www.himawari-net.co.jp/e_page-index01.html
- ⁷ «Ειδικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις» Α' Τεύχος (ΤΕΕ) (Δημητρόπουλος Βασίλειος, Βαρβατσουλάκης Μιχαήλ, Κουτουλάκος Χρήστος, Γεωργιάκης Θεόδωρος)
- ⁸ «Φωτοτεχνία», Τοπαλής, Οικονόμου, Κουρτέσης, 2010
- ⁹ Περιοδικό «ΚΤΙΡΙΟ» Τεύχος 134/2009
- ¹⁰ Τεχνικό φυλλάδιο 872790025198225 της Phillips
- ¹¹ Περιοδικό «Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση», Άρθρο «Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων» του Φ.Β.Τοπαλή
- ¹² Ιστοσελίδα εταιρείας Ανακύκλωση Συσκευών Α.Ε. <http://www.electrocycle.gr/site/>
- ¹³ <http://el.wikipedia.org/wiki/LED>
- ¹⁴ Περιοδικό «ΚΤΙΡΙΟ» Τεύχος 179/2006
- ¹⁵ Εκπαιδευτικό υλικό εργαστηρίου ΣΑΕ «Αισθητήρια μετατροπείς και εφαρμογές τους στα ΣΑΕ»
- ¹⁶ «Σύστημα proM (Υλικά ράγας) – Κατάλογος τεχνικών χαρακτηριστικών», ABB
- ¹⁷ «Environmental Design Of Urban Buildings», Mat Santamouris
- ¹⁸ http://el.wikipedia.org/wiki/Πρωτόκολλο_επικοινωνίας