

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ.
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ**

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ
ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021**

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Α' έκδοση

Αθήνα, Απρίλιος 2021

σχέδιο για διαβούλευση

Ομάδα Εργασίας για την σύνταξη της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας

Ονοματεπώνυμο	Ειδικότητα
Φραγκίσκος Τοπαλής	Δρ. ηλεκτρολόγος μηχανικός
Άρης Τσαγκρασούλης	Δρ. φυσικός
Λάμπρος Δούλος	Δρ. φυσικός
Παναγιώτης Κονταξής	ηλεκτρολόγος μηχανικός
Κωνσταντίνος Λάσκος	πολιτικός μηχανικός

Πρόλογος

σχέδιο για διαβούλευση

Περιεχόμενα

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΤΟΧΟΣ	1
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ - ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	1
1.3 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΨΥΧΟ-ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	1
1.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ - ΠΡΟΤΥΠΑ	4
1.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ	5
1.6 ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	7
1.7 ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	8
2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	9
2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	9
2.2 ΒΗΜΑΤΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΕΡΓΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	9
2.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	10
2.2.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	11
2.2.3 ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	11
2.2.4 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ – ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ	12
2.2.5 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	12
3 ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	13
3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	13
3.2 ΈΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
3.2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	19
3.2.2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΠΑΚΡΙΒΩΣ ΓΝΩΣΤΗ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ	20
3.2.3 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ	21
3.2.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	22
3.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΔΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ	24
3.3.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (F_M)	24
3.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ (F_{LF})	25
3.3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ (F_S)	27
3.3.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ (F_{LM})	28
3.3.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ (F_{SM})	28
3.3.6 ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ	28
3.4 ΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΩΝ	29
3.5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	31
3.5.1 ΜΕΣΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	32
3.5.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	32
3.5.3 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	33
3.6 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΑΜΒΩΣΗΣ	33
3.7 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΕΥΚΗ ΑΠΟΧΡΩΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ	36
3.7.1 ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	36
3.7.2 ΛΕΥΚΗ ΑΠΟΧΡΩΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	38
3.8 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	40
4 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ	42

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	42
4.2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	42
4.2.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΟΔΕΥΣΕΩΝ ΔΙΑΦΥΓΗΣ	43
4.2.2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	43
4.2.3 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΠΑΝΙΚΟΥ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	45
4.2.4 ΠΙΝΑΚΙΔΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	45
4.3 ΕΦΕΔΡΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	46
5 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ	47
5.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	47
5.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΟΧΛΗΤΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ	49
5.3 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΕΩΝ	51
5.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ	53
5.5 ΣΧΕΔΙΟ ΑΣΤΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ Η ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	54
6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	57
6.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	57
6.1.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	57
6.1.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΙΚΟΥΣ ΛΟΓΟΥΣ	63
6.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	66
6.2.1 ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	67
6.2.2 ΧΡΟΝΟΔΙΑΚΟΠΤΕΣ	68
6.2.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	68
6.2.4 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ / ΚΙΝΗΣΗΣ	69
6.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	69
6.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	71
6.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	75
6.4.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	75
6.4.2 ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	75
6.5 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	77
7 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΛΛΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	78
7.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΑΘΛΗΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	78
7.2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΜΟΥΣΕΙΩΝ	81
7.3 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΩΝ	84
7.3.1 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ	84
7.3.2 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ	85
8 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΥΚΟΛΥΝΣΗ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΑΣΗΣ	87
8.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	87
8.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	87
8.3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	89
9 ΑΝΘΡΩΠΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	91
9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	91
9.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	92
9.3 ΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	96

9.3.1	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΛΑΝΟΠΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	97
9.3.2	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΛΑΝΟΠΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	99
9.3.3	ΚΙΡΚΑΔΙΚΟ ΕΡΕΘΙΣΜΑ.....	99
10	ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ/ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	101
10.1	ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	101
10.2	ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ ΣΩΜΑ.....	101
10.3	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ	104
10.4	ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ	105
10.5	ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	106
11	ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	107
11.1	ΣΗΜΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	107
11.2	ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	107
11.2.1	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	108
11.2.2	ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	108
11.2.3	ΧΩΡΙΚΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	109
11.3	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	109
11.3.1	ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΣΕ ΦΥΣΙΚΟ ΦΩΣ	110
11.3.2	ΘΕΑ.....	111
11.3.3	ΈΚΘΕΣΗ ΣΕ ΗΛΙΑΚΟ ΦΩΣ.....	114
11.3.4	ΘΑΜΒΩΣΗ.....	115
12	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΦΩΤΙΣΜΟ.....	116
12.1	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	116
12.1.1	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	118
12.1.2	ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ	124
12.1.3	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	125
12.1.4	ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	133
12.1.5	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ.....	134
12.1.6	ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	138
12.2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ.....	139
13	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	141
13.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	141
13.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ.....	141
13.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	143
13.4	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΩΝ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	144
13.5	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	146
14	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	147
14.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	147
14.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	147
14.2.1	ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ Η ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	147
14.2.2	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	147
14.2.3	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΙΣΧΥΟΣ	148
14.2.4	ΚΟΣΤΟΣ ΦΟΡΟΛΟΓΗΣΗΣ	148

14.2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	148
14.2.6 ΠΡΟΕΞΟΦΛΗΤΙΚΟ ΕΠΙΤΟΚΙΟ	149
14.2.7 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΤΟ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	149
14.3 ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	150
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ – ΠΡΟΤΥΠΑ – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ	152
A.1. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ (Ε.Ε.)	152
A.2. ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (Ε.Ε.)	152
A.3. ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (Ε.Ε.)	153
A.4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΡΙΤΩΝ ΧΩΡΩΝ	154
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ, ΓΙΑ ΑΠΛΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	155
B.1. ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ	155
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	160
Γ.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΩΝΟΥ	160
Γ.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ CIE 40 (ΓΕΝΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ)	161
Γ.3. ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ (ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ)	163
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΝΗΘΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	165
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	167
E.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	167
E.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ L_{xx} LED ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΤΟΥΣ ΡΟΗΣ	168
E.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ UGR	169
E.4. ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΕΧΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΕΙΝΗΣ ΡΟΗΣ	171
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	172

1 Εισαγωγή

1.1 Στόχος

Στόχος της Τεχνικής Οδηγίας «Τεχνητός και φυσικός φωτισμός των κτιρίων» είναι:

- να προσδιορίσει τα απαραίτητα βήματα μίας ορθής και τεκμηριωμένης μελέτης φωτισμού,
- να καθορίσει τις απαιτήσεις φωτισμού για τον κατάλληλο σχεδιασμό ενός ανθρωποκεντρικού και βιώσιμου φωτισμού, ο οποίος ικανοποιεί την οπτική άνεση, την απόδοση και την ασφάλεια των χρηστών οι οποίοι έχουν απόκριση στο φως,
- να διευρύνει το πεδίο γνώσης για την επίδραση της ποσότητας και της ποιότητας του φωτισμού στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον,
- να αναδείξει τη σπουδαιότητα του φυσικού φωτισμού με χρήση μετρήσιμων μεγεθών, καθώς και τη συμβολή του στην εξοικονόμηση ενέργειας,
- να καθορίσει τη μεθοδολογία υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας και της επιτυγχανόμενης εξοικονόμησης ενέργειας για φωτισμό,
- να καθορίσει τον τρόπο οικονομοτεχνικής αξιολόγησης ενός έργου φωτισμού,
- να θέσει σε επαγρύπνηση τους μελετητές φωτισμού για τη σημασία του έργο τους λαμβάνοντας υπόψη τους μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία σχεδιασμού (integrative lighting) με την οποία παρέχεται φωτισμός όπου, όταν και όσο χρειάζεται (proper light at the proper time).

Η παρούσα οδηγία δεν δίνει ειδικές λύσεις, ούτε απαιτήσεις για αισθητικό ή ατμοσφαιρικό φωτισμό. Επιπλέον δεν περιορίζει την ελευθερία των μελετητών από το να εξερευνούν νέες τεχνικές και να κάνουν χρήση καινοτόμου εξοπλισμού και φωτιστικών σωμάτων.

1.2 Αντικείμενο - Περιοχή εφαρμογής

Η παρούσα Τεχνική Οδηγία αφορά στις εγκαταστάσεις τεχνητού φωτισμού κτιρίων και την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Η περιοχή εφαρμογής της εκτείνεται από τον περιβάλλοντα χώρο ενός κτιρίου έως και όλες τις εντός και επί του κτιρίου εγκαταστάσεις φωτισμού. Στις εξωτερικές εγκαταστάσεις δύναται να περιλαμβάνει από τον φωτισμό της πρόσοψης του κτιρίου, από απόσταση, μέχρι και χώρους στάθμευσης, οδούς, αθλητικές εγκαταστάσεις κ.λπ., (με την προϋπόθεση ότι η συνολική κατανάλωση των εγκαταστάσεων αυτών βαραίνει το κτίριο). Ξεχωριστά καλύπτονται ιδιαίτερες περιπτώσεις χρήσεων κτιριακών υποδομών όπως ο φωτισμός αθλητικών εγκαταστάσεων μουσείων και εμπορικών καταστημάτων.

1.3 Σπουδαιότητα και ψυχο-φυσιολογικές επιδράσεις του φωτισμού

Ο φωτισμός είναι κάτι περισσότερο από ένα μέσο που απλά διευκολύνει την όραση των χρηστών. Ο φωτισμός καθορίζει τη διάθεση καθώς και τους βιολογικούς μας ρυθμούς, διεγείρει, ηρεμεί και καθορίζει την αντίληψη του χωρικού περιβάλλοντος. Όλο και περισσότεροι ιδιοκτήτες και χρήστες συνειδητοποιούν τη σημασία ενός σύγχρονου ποιοτικού φωτισμού και αυτό έχει σαν συνέπεια οι μελετητές φωτισμού να είναι προετοιμασμένοι να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις των χρηστών τους.

Μια λέξη που μπορεί να χαρακτηρίσει σήμερα την κατάσταση στο φωτισμό, φυσικό και τεχνικό, είναι η «διεπιστημονικότητα». Αυτή η αλλαγή βασίζεται στη συμβιωτική σχέση μεταξύ τεχνολογικής ανάπτυξης, βελτίωσης του σχεδιασμού φωτισμού και, φυσικά, στην υιοθέτηση βιώσιμων αρχών σχεδιασμού. Η ψηφιοποίηση του φωτισμού σε συνδυασμό με την ευρεία χρήση της τεχνολογίας LED οδήγησε σε αυξημένη συνδεσιμότητα συσκευών, μεταξύ τους, φωτιστικά σώματα με αισθητήρες κ.λπ., προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων. Τα παραδοσιακά φωτιστικά σώματα τείνουν να γίνουν έξυπνες συσκευές, ικανές να συνδεθούν σε ένα δίκτυο που μεταδίδει πληροφορίες.

Καθώς το φως εμπλουτίζεται πλέον με πληροφορίες, είναι δυνατό όχι μόνο να αυξηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του ελέγχου, αλλά να συμπεριληφθούν πρόσθετες λειτουργίες όπως η δυνατότητα προσαρμογής της λειτουργίας του συστήματος φωτισμού σύμφωνα με τις προσδοκίες και τις ανάγκες ενός ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human Centric Lighting, HCL). Η τεχνολογία πλέον επιτρέπει εκτός από τη ρύθμιση της φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος και τη μεταβολή του ορατού φάσματος και κατ' επέκταση της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος της πηγής φωτός. Αυτή είναι και η βασική ιδέα του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Α.Φ.) που επηρεάζει την υγεία, την ευεξία και την παραγωγικότητα των χρηστών, παρέχοντας κατάλληλο φωτισμό όταν και όπου απαιτείται. Ως ανθρωποκεντρικός φωτισμός μπορεί να οριστεί ο φωτισμός που έχει πάντα πολύπλευρα αποτελέσματα στον άνθρωπο, α) τα οπτικά αποτελέσματα και β) τα μη οπτικά. Στα μη οπτικά αποτελέσματα συμπεριλαμβάνεται η συναισθηματική και η βιολογική επίδραση του φωτισμού.

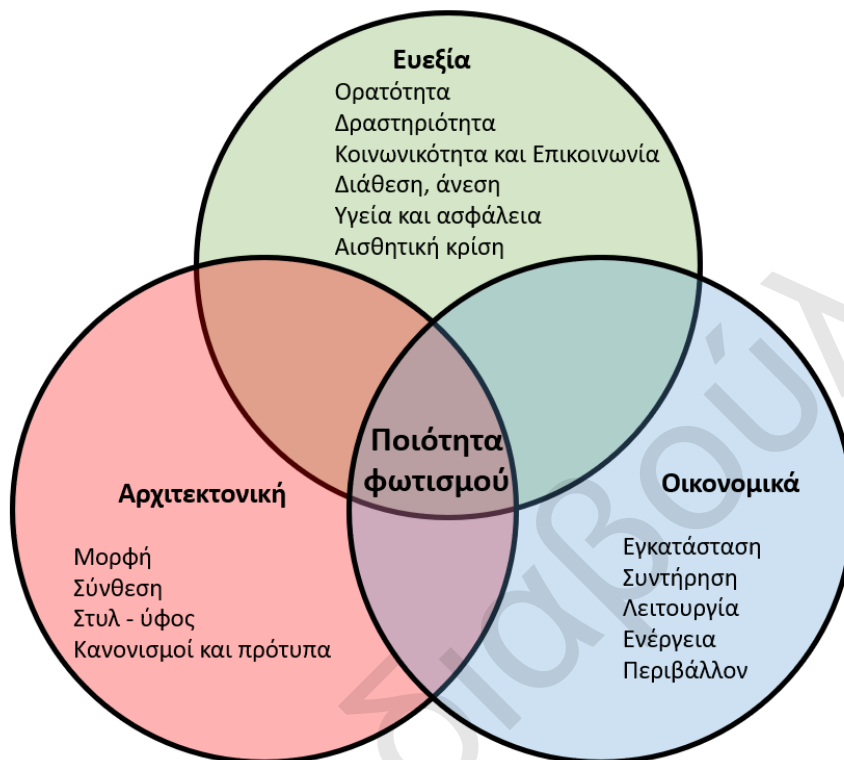
Ο φωτισμός με τα σημερινά δεδομένα έχει επίδραση στην υγεία, την ευεξία και την απόδοση των ανθρώπων με στοχευμένο και μακροπρόθεσμο τρόπο μέσω της υιοθέτησης ενός ολιστικού σχεδιασμού και αξιοποιώντας τις οπτικές, συναισθηματικές και βιολογικές επιπτώσεις του φωτός. Τα οπτικά αποτελέσματα του φωτισμού αφορούν τα επίπεδα φωτισμού, την ομοιομορφία και τον περιορισμό της θάμβωσης σε ένα χώρο. Οι παράγοντες αυτοί έχουν καθοριστική επίδραση στο πόσο γρήγορα και επιτυχημένα μπορούν να εκτελεστούν οι οπτικές εργασίες στο χώρο αυτό.

Η συναισθηματική επίδραση του φωτισμού εξαρτάται και από την οπτική άνεση (π.χ. μια άλλη παράμετρος είναι ο συμβολισμός) που επιτυγχάνεται μέσω της δημιουργίας μιας αρμονικής κατανομής φωτισμού σε κάθετες και οριζόντιες επιφάνειες, στην αυξημένη χρωματική απόδοση των φωτεινών πηγών και φωτιστικών και στον έλεγχο των αντανakλάσεων. Η οπτική άνεση δημιουργεί μια αίσθηση ευεξίας και συμβάλλει έτσι στην αύξηση της απόδοσης των χρηστών.

Η κατεύθυνση του φωτισμού, οι σκιές και το χρώμα των πηγών καθορίζουν την επίδραση του φωτισμού σε ένα χώρο. Το σύνολο αυτό των παραμέτρων, που συχνά περιγράφεται και ως οπτική ατμόσφαιρα, ουσιαστικά υπαγορεύει το πως βιώνει ένας άνθρωπος την ατμόσφαιρα ενός χώρου. Τέλος, η βιολογική επίδραση του φωτισμού αφορά στα μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας που έχουν βιολογική επίδραση στο ανθρώπινο σώμα. Η καλύτερη αναφορά είναι ο φυσικός φωτισμός (Φ.Φ.) με τη μεταβλητότητα στις εντάσεις, το ρυθμό και το φάσμα ακτινοβολίας. Αλλά και ο τεχνητός φωτισμός επηρεάζει το βιολογικό ρολόι του ανθρώπου, όπως είναι ο ρυθμός ύπνου-αφύπνισης και πολλών άλλων λειτουργιών. Όταν εφαρμόζεται κατάλληλα, ο φωτισμός βασίζεται στη δυναμικά μεταβαλλόμενη φωτεινή ροή και σε διαφορετικά φάσματα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η υψηλή ποιότητα φωτισμού (Σχήμα 1-1) σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τον κατάλληλο φωτισμό για το κατάλληλο μέρος. Τα επίπεδα φωτισμού για καθορισμένες οπτικές απαιτήσεις θα πρέπει να συνδυάζονται με την ευεξία και η κατανομή των λαμπροτήτων με τον ατομικό έλεγχο. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ρύθμιση του φάσματος και της θερμοκρασίας χρώματος των φωτεινών πηγών των

φωτιστικών, σε συνδυασμό με τον χρόνο κατά την διάρκεια της ημέρας. Τα εξωτερικά ανοίγματα, ο εισερχόμενος φυσικός φωτισμός και η θέα δεν θα πρέπει να παραμελούνται στον αρχικό σχεδιασμό ενός έργου.

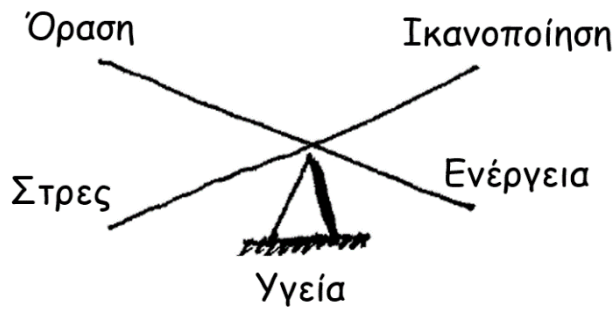


Σχήμα 1-1: Βασικά χαρακτηριστικά ενός ποιοτικού φωτισμού σε ένα έργο φωτισμού.

Η βιωσιμότητα και η εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να αφορούν έναν «ολοκληρωμένο» φωτισμό (integrative lighting), ο οποίος συμπεριλαμβάνει τόσο τα οπτικά όσο και τα μη οπτικά αποτελέσματα όπως αυτά περιγράφηκαν παραπάνω. Η πολυπλοκότητα στις αποφάσεις ενός έργου φωτισμού αυξάνεται:

- α) με την παραδοσιακή διαμάχη μεταξύ της επιλογής να υπάρχει «πλεονάζον» φωτισμός και της συμμόρφωσης με τα ενεργειακά πρότυπα,
- β) με τα μη οπτικά αποτελέσματα του φωτός και
- γ) με τη συμμετοχή σε αυτές των χρηστών, των ιδιοκτητών και των σχεδιαστών φωτισμού.

Όλοι οι παράγοντες αυτοί, παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των αποτελεσμάτων και έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (Σχήμα 1-2).



Σχήμα 1-2: Η υγεία του ανθρώπου στο κέντρο ενός «ολοκληρωμένου» φωτισμού.

Την τελευταία δεκαετία, η προσοχή εστιάσθηκε στην ενεργειακή αναβάθμιση με τα κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας να αποτελούν την αιχμή του δόρατος αυτής της στρατηγικής, μετατοπίζοντας όμως ελαφρώς το επίκεντρο από τον άνθρωπο στο κτιριακό περιβάλλον. Όμως τα τελευταία χρόνια, φαίνεται ότι στο επίκεντρο του σχεδιασμού φωτισμού επανέρχεται ο ανθρώπινος παράγοντας. Επιπλέον η χρήση του τεχνητού φωτισμού στο δομημένο περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο την οπτική αντίληψη και την ευεξία των ανθρώπων αλλά και το περιβάλλον (φωτορύπανση, περιορισμένη ανακύκλωση). Καθώς ο εξωτερικός φωτισμός εστιάζει στην ανάδειξη των κτιριακών προσόψεων και των εξωτερικών χώρων, οι νέες οδηγίες/νομοθεσία προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της υπερβολικής χρήσης του τεχνητού φωτισμού στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι ελλείψεις περιορισμών στον σχεδιασμό φωτισμού και της κατανάλωσης ενέργειας για τις περιοχές στο εξωτερικό των κτιρίων, όπως είναι οι προσόψεις των κτιρίων, οι αθλητικοί χώροι, οι χώροι αναψυχής κ.λπ. έχουν οδηγήσει σε κακό σχεδιασμό πολλών εγκαταστάσεων φωτισμού.

Στο μέλλον ο υφιστάμενος, στατικός φωτισμός δεν θα πληροί τις προαναφερόμενες απαιτήσεις είτε στον εσωτερικό είτε στον εξωτερικό χώρο. Η σύγχρονη τεχνολογία φωτισμού σε συνδυασμό με τους διεθνείς κανονισμούς, τεχνικές οδηγίες και τα ευρωπαϊκά πρότυπα μπορούν να προσφέρουν λύσεις και να παρέχουν μεγαλύτερη υποστήριξη από ποτέ.

1.4 Κανονισμοί - Πρότυπα

Η παρούσα τεχνική οδηγία δεν αντιβαίνει τα ισχύοντα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα, στα οποία θα πρέπει να ανατρέχει ο μελετητής φωτισμού ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. Στις περιπτώσεις που τα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα υπολείπονται στο καθορισμό ορίων και οδηγιών, η παρούσα οδηγία δίνει τις απαραίτητες κατευθύνσεις και προτείνει όρια βασισμένα στη διεθνή βιβλιογραφία.

Η σχετική νομοθεσία έχει χωριστεί σε τρεις ομάδες προτύπων-κανονισμών, με σκοπό τη διευκόλυνση των μελετητών φωτισμού, ομάδες που συμβάλλουν συνολικά στη δημιουργία μια άρτιας σχεδιασμένης εγκατάστασης φωτισμού και παρατίθεται στο [Παράρτημα Ε: Νομοθεσία – Πρότυπα – Τεχνικές Οδηγίες](#). Αυτές είναι:

1. Οι νομοθετικές παραπομπές, οι οποίες είναι οδηγίες εφαρμογής την νομοθεσίας της ευρωπαϊκής ένωσης σε προϊόντα και εγκαταστάσεις σχετικά και με το φωτισμό ([ενότητα Ε.1](#)).

2. Τα πρότυπα εφαρμογής φωτισμού, τα οποία σχετίζονται με όλες τις διαδικασίες σχεδιασμού και μελέτης των εγκαταστάσεων φωτισμού (ενότητα E.2).
3. Τα πρότυπα προϊόντων φωτισμού, τα οποία δίνουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία ώστε όλες οι κατηγορίες φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων που θα χρησιμοποιηθούν σε μια εγκατάσταση φωτισμού να είναι σύννομα, κατάλληλα για τη χρήση τους, ενεργειακά αποδοτικά, και ασφαλή για τους χρήστες (ενότητα E.3).

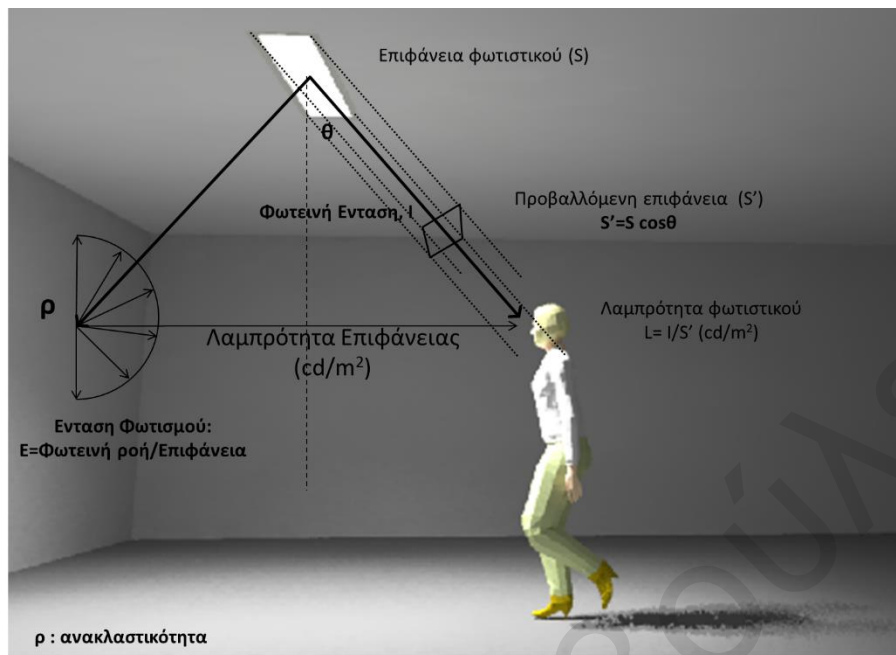
Υποβοηθητικά, σε περιπτώσεις που ανακύπτουν αντικείμενα που δεν πραγματεύεται η ανωτέρω νομοθεσία, μπορεί ο μελετητής να συμβουλευτεί τις τεχνικές οδηγίες και τα πρότυπα άλλων χωρών που αναφέρονται στην ενότητα E.4.

Τα όρια και οι περιορισμοί της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας έχουν εξαχθεί από τις εκδόσεις των διεθνών και ευρωπαϊκών προτύπων, κανονισμών και οδηγιών όπως ίσχυαν τη χρονική στιγμή έκδοσής της. Σε περίπτωση αναθεώρησης τους, ισχύει ότι προβλέπεται ανάλογα από την ελληνική νομοθεσία.

1.5 Βασικές έννοιες – σημειώσεις

Έννοια - Μέγεθος	Ορισμός
Φωτεινή ροή Φ [lm]: (Luminous flux)	Η φωτεινή ροή περιγράφει το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι ή αλλιώς την ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή.
Φωτεινή απόδοση η [lm/W]: (Luminous efficacy)	Φωτεινή απόδοση είναι ο λόγος της φωτεινής ροής που παράγεται από μια φωτεινή πηγή ή φωτιστικό σώμα προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς του. Τα όρια της οδηγίας αναφέρονται στην φωτεινή απόδοση του φωτιστικού σώματος
Φωτεινή ένταση I [cd, lm/sr]: (Luminous intensity)	Η φωτεινή ένταση περιγράφει την ποσότητα του φωτός [lm] που ακτινοβολείται προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση [sr].
Ένταση φωτισμού E [lx, lm/m ²]: (Illuminance)	Η ένταση φωτισμού περιγράφει την ποσότητα της φωτεινής ροής [lm] που προσπίπτει σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια [m ²].
Λαμπρότητα L [cd/m ²]: (Luminance)	Η λαμπρότητα περιγράφει την φωτεινή ένταση που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή ή ανακλάται από μία φωτιζόμενη επιφάνεια [cd] ως προς το μέγεθος της επιφάνειας αυτής [m ²]. Η λαμπρότητα είναι η μοναδική βασική παράμετρος φωτισμού που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οφθαλμός.
Ομοιομορφία U_o [-]: (Uniformity)	Ομοιομορφία είναι ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέση ένταση φωτισμού μιας συγκεκριμένης περιοχής και περιγράφει τις έντονες διακυμάνσεις της έντασης φωτισμού ενός χώρου. Σε ορισμένες περιπτώσεις ως ομοιομορφία ορίζεται και ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέγιστη ένταση φωτισμού. Σε αυτή τη περίπτωση αναφέρεται αναλυτικά ο λόγος των εντάσεων φωτισμού.

Έννοια - Μέγεθος	Ορισμός
Ομοιομορφία ελάχιστης προς μέγιστη τιμή U_d [-]: (Diversity Ratio)	Ομοιομορφία ελάχιστης προς μέγιστη τιμή είναι ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέγιστη ένταση φωτισμού μιας συγκεκριμένης περιοχής και περιγράφει τις έντονες διακυμάνσεις της έντασης φωτισμού ενός χώρου. Συνήθως συναντάται στις απαιτήσεις του συστήματος φωτισμού έκτακτης ανάγκης.
Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος CCT [K]: (Correlated Color Temperature)	Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος είναι ο χαρακτηρισμός μιας λευκής φωτεινής πηγής, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον επικρατέστερο χρωματικό τόνο της στην κλίμακα των θερμών (κίτρινου, κόκκινου), ουδέτερων και ψυχρών (μπλε) λευκών χρωμάτων σε σχέση με ένα ιδεατό μέλαν σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία του ίδιου λευκού τόνου στην αντίστοιχη θερμοκρασία (Kelvin).
Δείκτης χρωματικής απόδοσης R_a / CRI [-, 0-100]: (Color Rendering Index)	Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης είναι ένας μέσος λόγος σύγκρισης που εκφράζει το πόσο πιστά αποδίδονται 8 τυπικά χρώματα από το φωτισμό που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σε σύγκριση με μια φωτεινή πηγή αναφοράς συγκεκριμένης συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος. Στην περίπτωση που ο δείκτης εκφράζει το πόσο πιστά αποδίδονται τα 15 τυπικά χρώματα, τότε αυτός συμβολίζεται R_{a15}
Θάμβωση: (Glare)	Θάμβωση είναι η αίσθηση που παράγεται από υπερβολικά φωτεινές περιοχές ή υπερβολικά έντονες διαφορές στη λαμπρότητα, πάντα εντός του οπτικού πεδίου του παρατηρητή. Διακρίνεται: α) στη θάμβωση ανικανότητας (Disability glare) η οποία είναι η μορφή θάμβωσης που μειώνει την οπτική επίδοση, είναι εξαρτώμενη από την ποσότητα του φωτός που πέφτει στο μάτι και ελάχιστα από τη λαμπρότητα των πηγών που δημιουργούν τη θάμβωση ενώ το φάσμα της πηγής της θάμβωσης δεν έχει καμία επίδραση στη θάμβωση ανικανότητας και β) στη θάμβωση δυσφορίας (Discomfort glare) που προκαλεί δυσφορία, ανάλογα με τη λαμπρότητα των πηγών που προκαλούν θάμβωση, ανάλογα με το μέγεθος των πηγών θάμβωσης ενώ το φάσμα της πηγής της λάμψης έχει επίδραση στη θάμβωση δυσφορίας.
Φωτεινή μαρμαρυγή: (Flicker)	Η φωτεινή μαρμαρυγή περιγράφει το μέγεθος των διακυμάνσεων του παραγόμενου φωτός από μία φωτεινή πηγή, όταν αυτή τροφοδοτείται με εναλλασσόμενη τάση.
Παράγοντας φυσικού φωτισμού $P.F.F.$ [%]: (Daylight Factor)	Ο παράγοντας φυσικού φωτισμού (Π.Φ.Φ.) είναι ο λόγος της εσωτερικής (εντός ενός χώρου) προς την εξωτερική ένταση φυσικού φωτισμού (Φ.Φ.) μιας επιφάνειας και είναι επί της ουσίας μια υποκειμενική ποσότητα αξιολόγησης της ποιότητας Φ.Φ. ενός χώρου. Ο Π.Φ.Φ. υπολογίζεται σε συνθήκες πλήρους νεφοσκεπούς ουρανού και σύμφωνα με τον αντίστοιχο νεφοσκεπή ουρανό κατά CIE. Ως εκ τούτου ο Π.Φ.Φ. μπορεί να εκφράσει με αυτόν τον τρόπο μια μέση ετήσια σταθερή τιμή για τον έλεγχο της επίδρασης του Φ.Φ. σε έναν εσωτερικό χώρο.
Σημειώσεις: Στην παρούσα τεχνική οδηγία για τον υπολογισμό της επιφάνειας λαμβάνονται υπόψη οι εσωτερικές διαστάσεις των χώρων, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.	



Σχήμα 1-3: Συσχέτιση των βασικών φωτομετρικών μεγεθών

1.6 Λεξιλόγιο ορολογίας

Ελληνικός όρος	Αγγλικός όρος
Αισθητήρες παρουσίας / κίνησης	Occupancy sensors
Αισθητήρες φωτισμού	Photosensors
Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός	Human centric lighting
Αντιληπτικά προβλήματα χρονικώς μεταβαλλόμενου φωτός	Temporal light artefacts
Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού	Waste electrical and electronic equipment
Απόλυτη φωτομέτρηση	Absolute photometry
Ενοποιημένος φωτισμό	Integrative lighting
Επιφάνεια-περιοχή εργασίας	Task area
Εφεδρικός φωτισμός	Standby lighting
Θάμβωση ανικανότητας	Disability glare
Θάμβωση δυσφορίας	Discomfort glare
Θέση σε λειτουργία	Commissioning
Οδηγητής/τροφοδοτικό πηγών LED	Driver
Οδηγία ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας	Electromagnetic compatibility directive
Οδηγία χαμηλής τάσης	Low voltage directive
Περιβάλλουσα περιοχή	Surrounding area
Περιοχή υποβάθρου	Background area
Πινακίδες ασφαλείας	Safety signs
Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού για αισθητικούς λόγους	Aesthetic Control Strategies

Στροβοσκοπική επίδραση	Stroboscopic effect
Συντελεστή απόδοσης	Light output ratio
Σύστημα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων εκκένωσης αερίων χαμηλής ή υψηλής πίεσης	Ballast
Φαινόμενο αντιληπτικής πλάνης	Phantom array effect
Φωτεινή μαρμαρυγή	Flicker
Φωτισμός αποφυγής πανικού σε ανοιχτούς χώρους	Open area lighting-anti panic lighting
Φωτισμός ασφαλείας	Safety lighting
Φωτισμός έκτακτης ανάγκης	Emergency lighting
Φωτισμός οδύσεων διαφυγής	Escape route lighting
Φωτισμός περιοχών υψηλού κινδύνου	High risk task area lighting
Χειροκίνητος διακόπτης	Manual Switch
Χρονική διαμόρφωση φωτισμού	Temporal light modulation
Χρονοδιακόπτες	Time switches

1.7 Συντομογραφίες

Ελληνικές συντομογραφίες	
Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός	A.Φ.
Ζώνη Εκμετάλλευσης Φυσικού Φωτισμού	Z.E.Φ.Φ.
Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού	Π.Φ.Φ.
Φυσικός Φωτισμός	Φ.Φ.
Ξενόγλωσσες συντομογραφίες	
Constant Light Output	CLO
Daylight Factor	DF
Electromagnetic Compatibility	EMC
Electronic Dimmable Ballast	EDB
Energy Efficiency Labelling of Product directive	EELP
General Lighting Index	GLI
Human Centric Lighting	HCL
Light Output Ratio	LOR
Low Voltage Directive	LVD
Stroboscopic Visibility Measure	SVM
Task Lighting Index	TLI
Temporal Light Artefacts	TLA
Temporal Light Modulation	TLM
Waste Electrical and Electronic Equipment	WEEE

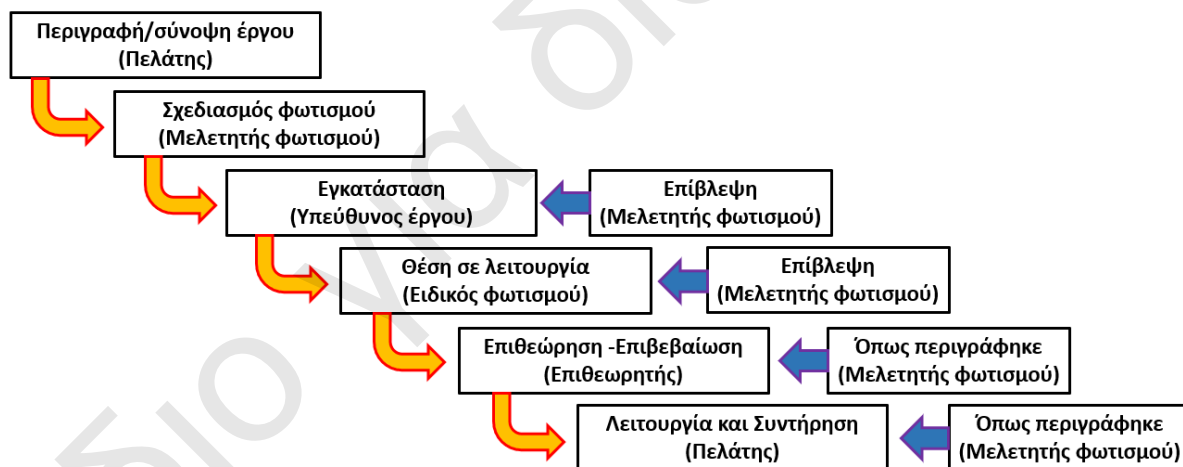
2 Ολοκληρωμένος σχεδιασμός συστήματος φωτισμού

2.1 Σκοπός της διαδικασίας σχεδιασμού

Σκοπός της διαδικασίας σχεδιασμού ενός συστήματος φωτισμού είναι:

- Ο σχεδιασμός ενός βιώσιμου και ποιοτικού συστήματος φωτισμού με βάση τις συστάσεις των σχετικών προτύπων εφαρμογής φωτισμού για την ευεξία των χρηστών και δημιουργία ενός ευχάριστου περιβάλλοντος.
- Η διασφάλιση ότι όλες οι απαιτήσεις φωτισμού ικανοποιούνται με ενεργειακά αποδοτικές λύσεις, φωτιστικών και συστημάτων ελέγχου, με δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους ενεργειακούς υπολογισμούς.
- Η καταγραφή όλης της πληροφορίας του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση, θέση σε λειτουργία, λειτουργία και συντήρηση του συστήματος φωτισμού σε βάθος χρόνου καθώς και η διαδικασία παροπλισμού και ανακύκλωσης.
- Η σύνταξη των εγγράφων που καθορίζουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού.

Ένα ολοκληρωμένος σχεδιασμός πρέπει να προβλέπει, να καταγράφει και να τεκμηριώνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζονται για την ορθή υλοποίηση και λειτουργία ενός έργου φωτισμού όπως παρουσιάζεται συνοπτικά στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2-1).



Σχήμα 2-1:Στάδια υλοποίησης ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού συστήματος φωτισμού.

2.2 Βήματα ολοκλήρωσης έργου φωτισμού

Τα βασικά βήματα για την ολοκλήρωση ενός έργου φωτισμού όπως φαίνονται και στο Σχήμα 2-1 παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες ενότητες και αναλυτικά στα αντίστοιχα κεφάλαια την παρούσας Τεχνικής Οδηγίας.

2.2.1 Σχεδιασμός συστήματος φωτισμού

Η προσέγγιση ενός καλοσχεδιασμένου συστήματος φωτισμού θα πρέπει να συνυπολογίζει:

- τις απαιτήσεις για τις οπτικές ανάγκες και εργασίες των χρηστών,
- τις απαιτήσεις των χρηστών καθώς κινούνται μέσα σε ένα χώρο,
- την αποδοχή περιορισμών που επιβάλλονται από τον πελάτη ή τη φύση ενός χώρου,
- τη θεώρηση διαφορετικών χρήσεων στο χώρο,
- τις ευκαιρίες που παρέχονται από το χώρο (π.χ. ευκολία στην απλούστευση μιας εγκατάστασης και της συντήρησης, επάρκεια φυσικού φωτισμού, μοτίβα χρήσης, κ.λπ.),
- τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος και της βιωσιμότητας,
- τις απαιτήσεις των χρηστών που αφορούν τις μη οπτικές, συναισθηματικές και βιολογικές πτυχές του φωτισμού.
- τις απαιτήσεις του φωτισμού έκτακτης ανάγκης - ασφαλείας όπου χρειάζεται.

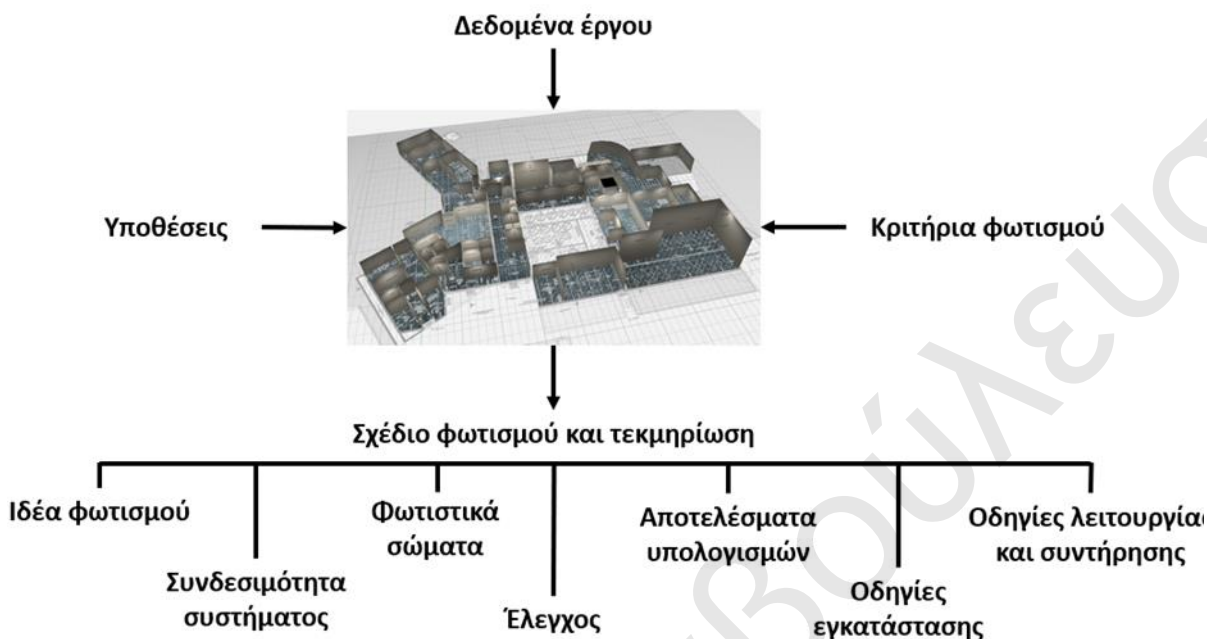
Ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα φωτισμού θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- το φωτισμό των επιφανειών εργασίας και των περιβαλλουσών περιοχών έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματική και αποδοτική εκτέλεση των εργασιών (βλ. κεφάλαιο 3 για εσωτερικούς χώρους και κεφάλαιο 5 για εξωτερικούς χώρους),
- το φωτισμό του χώρου για να διασφαλιστεί η ασφάλεια, η υγεία και η ευζωία κατά τη διάρκεια όλων των στιγμών (βλ. κεφάλαιο 4)
- το φωτισμό του χώρου για να διασφαλιστεί ένα άνετο και ευχάριστο περιβάλλον για εργασία και διαμονή (βλ. κεφάλαιο 8 και κεφάλαιο 9)
- την βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης φωτισμού σε όλο το κύκλο ζωής του συστήματος (βλ. κεφάλαιο 12). Οι ενεργειακές απαιτήσεις πρέπει να ελαχιστοποιούνται μέσω συνετού σχεδιασμού, εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.
- τον έλεγχο του κόστους του συστήματος φωτισμού καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (βλ. κεφάλαιο 14). Η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, αρχικού και λειτουργικού, μέσω ενός αποδοτικού σχεδιασμού, επιλογής εξοπλισμού, εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.

Επιπλέον ο μελετητής του συστήματος φωτισμού:

- καθορίζει την επάρκεια φυσικού φωτισμού και τα μοτίβα παρουσίας μέσα στο χώρο όπου κρίνεται σκόπιμο. Με βάση αυτά περιγράφει τον κατάλληλο σύστημα ελέγχου του φωτισμού (βλ. κεφάλαιο 6 και κεφάλαιο 11).
- ταξινομεί όλες τις απαραίτητες και σχετικές πληροφορίες από την επίλυση της εγκατάστασης δημιουργώντας ένα χαρτοφυλάκιο πληροφοριών έργου. Σε αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνονται και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά φωτισμού όπως η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (CCT), ο χρωματικός δείκτης απόδοσης του λαμπτήρα ή φωτιστικού (CRI) κ.λπ. καθώς και τα σχετικά ηλεκτρικά και μηχανολογικά δεδομένα του επιλεγμένου εξοπλισμού στοιχεία απαραίτητα τόσο για την κατασκευή του έργου όσο και για την παραλαβή του (βλ. κεφάλαιο 10).

- Στην περίπτωση αναβάθμισης υφιστάμενου συστήματος φωτισμού λαμβάνει υπόψη του όλα τα απαραίτητα δεδομένα και περιορισμούς (βλ. κεφάλαιο 13).



Σχήμα 2-2: Διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος φωτισμού και τα έγγραφα τεκμηρίωσης.

Παρότι στο σύστημα φωτισμού θα πρέπει να χρησιμοποιείται εξοπλισμός, ο οποίος θα πρέπει να έχει πλήρη συμμόρφωση με τα σχετικά πρότυπα προϊόντων φωτισμού, ο σχεδιαστής φωτισμού μπορεί να κάνει χρήση νέων και καινοτόμων τεχνολογιών που δεν έχουν τυποποιηθεί ακόμα, αλλά με γραπτές τεκμηριώσεις, όπως για παράδειγμα στον Φ.Φ. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει πλήρη συμμόρφωση με τα σχετικά πρότυπα.

Το σύστημα φωτισμού προτείνεται, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του, να σχεδιάζεται από ένα άτομο ειδικό (Lighting Expert) στο σχεδιασμό συστημάτων φωτισμού.

2.2.2 Εγκατάσταση συστήματος φωτισμού

Ο μελετητής φωτισμού οφείλει να παρέχει τα σχέδια του συστήματος φωτισμού για την ορθή εφαρμογή της προτεινόμενης μελέτης φωτισμού για όλους τους χώρους ενός έργου φωτισμού. Αν χρειαστεί, μπορεί να παρέχει υπηρεσίες επίβλεψης και ελέγχου ότι ο εγκαταστάτης παρέχει και εγκαθιστά τον εξοπλισμό που έχει προδιαγραφεί από τη μελέτη ή ισοδύναμο με αυτόν εξοπλισμό, που έχει εγκριθεί για το έργο. Οι παράμετροι που καθορίζουν τον ισοδύναμο εξοπλισμό παρουσιάζονται αναλυτικά στην ενότητα 10.1.2.

2.2.3 Θέση σε λειτουργία συστήματος φωτισμού

Η θέση σε λειτουργία (commissioning) του συστήματος φωτισμού, και του συστήματος ελέγχου (ενότητα 6.4) αν έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις υποδείξεις της μελέτης, προτείνεται να πραγμα-

τοποιείται από ένα ειδικό άτομο που έχει την κατάλληλη γνώση και εμπειρία. Η ρύθμιση του συστήματος φωτισμού, καθώς επίσης και των παραμέτρων του συστήματος ελέγχου του φωτισμού (εάν υπάρχει) μπορεί να είναι μέρος της θέσης σε λειτουργίας του συστήματος.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν ο υπεύθυνος του έργου (π.χ. ο μελετητής φωτισμού) εγκρίνει ότι η εγκατάσταση του συστήματος φωτισμού ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις και τα κριτήρια που είχαν προδιαγραφεί στην μελέτη, και η εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία έχει επιβεβαιωθεί από τη διαδικασία επίβλεψης και ελέγχου από τον ίδιο. (ενότητα 10.1.2)

2.2.4 Επιθεώρηση – επιβεβαίωση

Η επιβεβαίωση της ορθής εγκατάστασης του συστήματος φωτισμού πρέπει να πραγματοποιείται από ειδικό με γνώσεις φωτισμού. Η επιβεβαίωση όταν χρειάζεται πραγματοποιείται με έλεγχο, μετρήσεις και υπολογισμούς. Ο έλεγχος θα πρέπει να επιβεβαιώνει τον σωστό τύπο, την κατάλληλη τοποθέτηση και στόχευση. Το αποτέλεσμα της είναι μια αναφορά ελέγχου του εξοπλισμού. Οι μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται με τη βοήθεια διακριβωμένου εξοπλισμού, ο οποίος θα έχει ικανοποιητική ακρίβεια για τη διαδικασία που χρειάζεται και θα χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή του. Οι μετρήσεις (ενότητα 13.2) ελέγχουν τη συμμόρφωση της εγκατάστασης, των τιμών σχεδιασμού ως προς τα σχετικά κριτήρια φωτισμού (ενότητα 3.1). Για ποσοτικά κριτήρια που δεν μπορούν να μετρηθούν επαρκώς π.χ. η θάμβωση τότε θα πρέπει να τεκμηριώνονται οι τιμές υπολογισμού τους. Το αποτέλεσμα αυτών είναι μια αναφορά επιβεβαίωσης της επίδοσης του συστήματος φωτισμού.

2.2.5 Λειτουργία - συντήρηση

Ο μελετητής φωτισμού οφείλει να παρέχει το πρόγραμμα συντήρησης (αλλαγή λαμπτήρων, καθαρισμός φωτιστικών σωμάτων κ.λπ.), το οποίο πρέπει να τηρείται από τον υπεύθυνο λειτουργίας του συστήματος φωτισμού ή/και της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Το πρόγραμμα έχει προκύψει από την επιλογή του συντελεστή συντήρησης καθώς και τις οδηγίες λειτουργίας του συστήματος φωτισμού στο στάδιο της μελέτης (ενότητα 3.3). Έτσι διασφαλίζεται η διατήρηση της λειτουργίας τους μέσα στις συνθήκες μελέτης/σχεδιασμού και άρα σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα για το σύνολο του κύκλου ζωής του. Σε ενδιάμεσα στάδια μπορούν να πραγματοποιούνται μετρήσεις για να καθορίσουν τον βέλτιστο χρόνο συντήρησης του συστήματος (ενότητα 13.2).

3 Εκπόνηση μελέτης φωτισμού εσωτερικών χώρων

3.1 Βασικές απαιτήσεις μελέτης φωτισμού

Για να θεωρείται ολοκληρωμένη και ορθή μια μελέτη φωτισμού θα πρέπει να ικανοποιεί τις ποσοτικές και ποιοτικές ανάγκες των χρηστών. Οι βασικές, αυτές, ανάγκες είναι η:

- α) η οπτική άνεση, η οποία συμβάλλει στην επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας και ποιότητας εργασίας,
- β) η οπτική απόδοση στην διατήρηση των ανωτέρω ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες εργασίας τόσο ποιοτικά όσο και χρονικά,
- γ) η ασφάλεια η οποία αν και αναφέρεται τελευταία είναι η σημαντικότερη.

Οι ανωτέρω ανάγκες χαρακτηρίζουν την διαδικασία εκπόνησης μιας μελέτης φωτισμού και για να επιτευχθούν θα πρέπει ο μελετητής να λάβει υπόψη του μια σειρά από παραμέτρους που συμβάλουν στην δημιουργία ενός αποδοτικού περιβάλλοντος φωτισμού συνυπολογίζοντας τόσο τον τεχνητό όσο και τον φυσικό φωτισμό. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

- η κατανομή της λαμπρότητας
- η ένταση φωτισμού
- η ομοιομορφία στην κατανομή της έντασης φωτισμού στον χώρο
- η μεταβλητότητα του φωτός (επίπεδα και χρώμα του φωτός)
- η χρωματική απόδοση και εμφάνιση του φωτός
- η θάμβωση
- η φωτεινή μαρμαρυγή

Συνολικά οι απαιτήσεις φωτισμού μπορούν να χωρισθούν:

- α) σε αυτές που αφορούν την επιφάνεια εργασίας ή το σχεδιασμό της περιοχής δραστηριότητας
- β) σε αυτές που αφορούν το χώρο ή το σχεδιασμό του.

Πίνακας 3-1: Καθορισμός των απαιτήσεων φωτισμού ανάλογα την επιφάνεια εργασίας ή το χώρο.

Αντικείμενο	Απαιτήσεις	Μέγεθος ελέγχου
Επιφάνεια εργασίας ή σχεδιασμός της περιοχής δραστηριότητας	Απαιτήσεις της επιφάνειας εργασίας ή της δραστηριότητας	Μέση ένταση φωτισμού E_m
		Ομοιομορφία U_o
		Χρωματική απόδοση R_a
		Θάμβωση R_{UGL}
Χώρος ή ο σχεδιασμός του	Για οπτική επικοινωνία και αναγνώριση αντικειμένων	Μέση κυλινδρική ένταση φωτισμού $E_{m,z}$
	Εμφάνιση του χώρου ως προς τη φωτεινότητα	Μέση ένταση φωτισμού τοίχων $E_{m,wall}$
		Μέση ένταση φωτισμού οροφής $E_{m,ceiling}$

Επιπλέον, στις περισσότερες περιοχές και χρήσεις υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται εξίσου, π.χ. το επίπεδο αναφοράς υπολογισμών να είναι στο δάπεδο στους διαδρόμους ή συμμόρφωση σε συγκεκριμένους περιορισμούς λαμπρότητας των φωτιστικών σωμάτων που προσπίπτει στις οθόνες των υπολογιστών στους χώρους των γραφείων.

Στον παρακάτω πίνακα (*Πίνακας 3-2*) παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά βήματα μιας μελέτης φωτισμού:

Πίνακας 3-2: Συνοπτικά βήματα μελέτης φωτισμού.

Βήματα μελέτης φωτισμού	Περιεχόμενο – περιγραφή βήματος
Φάση Α: προεργασία	
Αναγνώριση και καθορισμός των απαιτήσεων φωτισμού	Καθορισμός: α) Απαιτήσεων εργασίας - χρήσης (ένταση φωτισμού, λαμπρότητα, θάμβωση κ.λπ.), β) ατμόσφαιρας του χώρου γ) αντικειμένων που θα δοθεί έμφαση ή το αντίθετο, δ) κατεύθυνση του φωτισμού και ε) αλληλεπίδρασης φωτισμού με το χρήστη. Η επίσκεψη στο χώρο είναι επιθυμητή.
Καθορισμός των μεθόδων και τεχνικών φωτισμού	Επιλογή τεχνικών φωτισμού (ομοιόμορφος διάχυτος φωτισμός, εστιακός φωτισμός, τονισμού, υπόβαθρου κ.λπ.),
Προεπιλογή φωτιστικών σωμάτων	Προεπιλογή φωτιστικών σωμάτων με βάση την τεχνική φωτισμού (άμεσος ή διάχυτος φωτισμός κ.λπ.), την τεχνολογία των φωτιστικών σωμάτων (LED, φθορισμού, κ.λπ.), την κατανομή φωτισμού, το διάγραμμα κώνου, τη φωτεινή απόδοση του φωτιστικού σώματος κ.λπ.
Επιλογή λογισμικού υπολογισμού φωτισμού	Επιλογή λογισμικού που καλύπτει τις απαιτήσεις του CIE 171.
Φάση Β: Υπολογισμοί	
Χρήση λογισμικού υπολογισμού φωτισμού	Εισαγωγή των απαραίτητων παραμέτρων στο υπολογιστικό λογισμικό.
Καθορισμός γεωμετρικών δεδομένων	Καθορισμός γεωμετρικών διαστάσεων χώρου, συντελεστών ανάκλασης, επιφανειών εργασίας, περιβαλλουσών περιοχών, περιοχών υποβάθρου, ζωνών φυσικού φωτισμού, συντελεστή συντήρησης, εξωτερικών ανοιγμάτων κ.λπ.
Φωτομετρικοί υπολογισμοί με χρήση λογισμικού	Υπολογισμοί των υποχρεωτικών φωτομετρικών παραμέτρων με βάση το EN 12464, EN 12193, EN 13201 (Μέση ένταση φωτισμού ανά επιφάνεια εργασίας/περιβάλλουσας/υποβάθρου, τοίχους, οροφή, δείκτη UGR, ομοιομορφία, κυλινδρική ένταση φωτισμού κ.λπ.).
Επανελέγχος φωτομετρικών υπολογισμών	Γίνεται αναπροσαρμογή επιλογών των φωτιστικών σωμάτων και της τεχνικής φωτισμού ώστε να υπάρχει συμμόρφωση με τα πρότυπα και την ιδέα φωτισμού (concept) με τη χρήση του λογισμικού υπολογισμών.
Σύστημα ελέγχου φωτισμού	Γίνεται έλεγχος των χρήσεων των χώρων για να καθοριστεί η χρήση ή όχι συστήματος ελέγχου και επιλέγεται το καταλληλότερο εφόσον αυτό κρίνεται βιώσιμο.
Φωτισμός ασφαλείας	Επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων και φωτομετρικοί υπολογισμοί με τη χρήση του λογισμικού υπολογισμού σύμφωνα με το EN 1838.

Βήματα μελέτης φωτισμού	Περιεχόμενο – περιγραφή βήματος
Φάση Γ: Τεκμηρίωση	
Τελική επιλογή φωτιστικών σωμάτων	Μετά τη χρήση του λογισμικού υπολογισμού και την τελική συμμόρφωση της μελέτης με τα πρότυπα, πραγματοποιείται η τελική επιλογή των φωτιστικών σωμάτων και της τεχνικής φωτισμού. Ενδεικτικά για όλα τα φωτιστικά σώματα που έχουν χρησιμοποιηθεί προδιαγράφεται η φωτεινή ροή (lm), η εγκατεστημένη ισχύς (W), η φωτεινή απόδοση του φωτιστικού σώματος (lm/W), η διάρκεια ζωής, οι διαστάσεις, η φωτεινή επιφάνεια, ο δείκτης UGR, η χρωματική απόδοση, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, το πρωτόκολλο επικοινωνίας για πιθανή χρήση συστήματος ελέγχου π.χ. DALI, η συμβατότητα με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο ή σύστημα ελέγχου κ.λπ. Καθοριστικής σημασίας είναι η συμμόρφωση των φωτιστικών σωμάτων με τις Κοινοτικές Οδηγίες της Ε.Ε.
Δημιουργία παραδοτέων μελέτης φωτισμού	Δημιουργείται αναφορά με τα αποτελέσματα της φωτομετρικής ανάλυσης για κάθε ανεξάρτητο χώρο, λίστα των φωτιστικών σωμάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί, υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος ανά επιφάνεια χώρου, σχέδιο τοποθέτησης φωτιστικών σωμάτων με αντίστοιχο υπόμνημα στο οποίο παρουσιάζεται ο τύπος των φωτιστικών που έχουν χρησιμοποιηθεί (ισχύς, τύπος, διαστάσεις κ.λπ.), φωτομετρικά αρχεία όλων των φωτιστικών σωμάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί και το αρχείο υπολογισμών του προγράμματος που έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη, το πρόγραμμα συντήρησης της εγκατάστασης και ο συντελεστής συντήρησης.

3.2 Ένταση φωτισμού και περιοχές εργασίας

Οι απαιτήσεις φωτισμού ενός χώρου εξαρτώνται από τη χρήση αυτού, δηλαδή από τη φύση της δραστηριότητας όπου επιτελείται. Τα επίπεδα φωτισμού έχουν άμεση επίδραση στην ταχύτητα, στην ευκολία και στην αξιοπιστία με την οποία μπορούν να εκτελούνται οι οπτικές εργασίες. Οι απαιτήσεις αυτές ανά χρήση χώρου παρουσιάζονται στον αντίστοιχο πίνακα ([Πίνακας 3-3](#)) στον οποίο καταγράφονται τέσσερα μεγέθη: η στάθμη ή επίπεδο φωτισμού, το επίπεδο αναφοράς, η ομοιομορφία φωτισμού και ο δείκτης θάμβωσης. Περισσότερες χρήσεις χώρων δίνονται στο πρότυπο EN 12464-1.

Οι τιμές της έντασης (στάθμης) φωτισμού που καθορίζονται, ονομάζονται διατηρητέες μέσες τιμές E_m , και αποτελούν την ελάχιστη τιμή κάτω από την οποία η μέση ένταση φωτισμού στην επιφάνεια αναφοράς δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη σε όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος φωτισμού ([βλ. ενότητα 3.3](#)). Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να γίνουν δράσεις συντήρησης ή αντικατάστασης του συστήματος φωτισμού.

Ως ομοιομορφία φωτισμού ορίζεται ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέση ένταση φωτισμού μιας συγκεκριμένης περιοχής και περιγράφει τις έντονες διακυμάνσεις της έντασης φωτισμού ενός χώρου. Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, καθώς, οι έντονες διακυμάνσεις του φωτισμού γύρω από την επιφάνεια εργασίας μπορεί να οδηγήσουν σε οπτικό στρες και οπτική δυσφορία στον χρήστη εκτός και αν η έντονη αντίθεση αποτελεί μέρος της ιδέας φωτισμού (concept).

Όσον αφορά την αποφυγή της θάμβωσης, και τον δείκτη θάμβωσης UGR, γίνεται εκτενής αναφορά στην [ενότητα 3.6](#).

Πίνακας 3-3: Στάθμη, δείκτης θάμβωσης και ομοιομορφία γενικού (όχι ειδικού) φωτισμού ανά χρήση χώρου.

αα	Χρήση χώρου	E_m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης R_{UGL} [-]	Ομοιομορφία φωτισμού U_o min/av. [-]
1	Μονοκατοικία (κύριοι χώροι)	200	0,8	-	-
2	Διαμέρισμα πολυκατοικίας (κύριοι χώροι)	200	0,8	-	-
3	Κοιν. & βοηθ. θερμαινόμενοι χώροι Κατοικίας (κλιμ/σια, αποθήκες γενικής χρήσης κ.λπ.)	100	0,0	25	0,40
4	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου Lux	250	0,8	22	-
5	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου A και B	250	0,8	22	-
6	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου Γ και ξενώνα	250	0,8	22	0,40
7	Reception, Lobby	300	0,8	22	0,60
8	Αίθουσα εκδηλώσεων	300	0,8	22	0,60
9	Εσωτερική πισίνα - Spa	200	0,0	19	0,50
10	Χώροι προσωπικού	300	0,8	19	0,60
11	Αποδυτήρια	200	0,8	25	0,40
12	Πλυντήρια / Σιδερωτήρια	200	0,8	25	0,40
13	Κοιτώνες (οικοτροφείου, δομές φιλοξενίας κ.λπ.)	250	0,8	22	0,40
14	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Προσωρινής Διαμονής	100	0,0	25	0,40
15	Βοηθ. θερμ. χώροι Προσωρινής Διαμονής (κλιμ/σια, αποθήκες, λινοθήκες, χώρος αποσκευών, W.C. κ.λπ.)	100	0,8	25	0,40
16	Εστιατόριο (χώρος πελατών)	-	-	-	-
17	Ζαχαροπλαστείο, Καφενείο, Πρόχειρο γεύμα (χώρος πελατών)	300	0,8	22	0,60
18	Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	300	0,8	22	0,60
19	Μουσική σκηνή - κυρίως καθήμενοι (χώρος πελατών)	200	0,0	22	0,50
20	Σκηνή χώρου θεαμάτων	1.000	0,8	19	0,60
21	Χοροστάσιο, Bar - κυρίως όρθιοι (χώρος πελατών)	300	0,0	25	0,40
22	Αίθουσα Bowling	300	0,8	22	0,40
23	Χώρος ατομικών παιγνίων (π.χ. φρουτάκια)	300	0,8	22	0,40
24	Χώρος ομαδικών παιγνίων (τραπέζια, ρουλέττες κ.λπ.).	300	0,8	22	0,40
25	Χαρτοπαικτική λέσχη (κύρια αίθουσα)	300	0,8	22	0,40
26	Έκδοση εισιτηρίων	300	0,8	19	0,60
27	Foyer	200	0,8	22	0,40
28	Κουζίνα - Παρασκευαστήρια	500	0,8	22	0,60
29	Θέατρο, Κινηματογράφος (αίθουσα)	300	0,0	22	0,60
30	Χώρος εκθέσεων τέχνης, Μουσείο (κύριοι χώροι)	-	-	-	-
31	Εκθεσιακό Κέντρο	300	0,8	22	0,40
32	Βιβλιοθήκη (χώρος ανάγνωσης)	500	0,8	19	0,60
33	Βιβλιοθήκη (χώρος ραφιών)	200	90°	19	0,60
34	Αίθουσα συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	500	0,8	19	0,60
35	Τράπεζα (χώρος συναλλαγών)	300	0,8	19	0,60

αα	Χρήση χώρου	E_m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης R_{UGL} [-]	Ομοιομορφία φωτισμού U_o min/av. [-]
36	Χώροι συναλλαγών (ταμεία, ασφαλιστικά ταμεία κ.λπ.)	300	0,8	22	0,60
37	Αίθουσα γυμναστηρίου, χοροδιδασκαλείο	300	0,8	22	0,40
38	Χώρος διακίνησης κοινού - Check In	500	0,8	19	0,70
39	Χώρος ελέγχου επιβατών - αποσκευών	300	0,8	19	0,60
40	Χώροι αναμονής	200	0,8	22	0,40
41	Λουτρό (κοινόχρηστο)	200	0,8	22	0,40
42	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Συνάθροισης Κοινού	100	0,0	25	0,40
43	Βοηθ. θερμ. χώροι Συνάθροισης Κοινού (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	100	0,8	25	0,40
44	Αίθουσα διδασκαλίας 1-βάθμιας & 2-βάθμιας εκπαίδευσης	300	0,8	19	0,60
45	Αίθουσα διδασκαλίας 3-βάθμιας εκπαίδευσης	500	0,8	19	0,60
46	Αίθουσα διδασκαλίας φροντιστηρίου	300	0,8	19	0,60
47	Νηπιαγωγείο (αίθουσα απασχόλησης και δραστηριοτήτων)	300	0,8	22	0,40
48	Νηπιαγωγείο (αίθουσα χαλάρωσης-ύπνου)	100	0,8	22	0,40
49	Κουζίνα - Προετοιμασία Φαγητού	500	0,8	22	0,60
50	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Εκπαίδευσης	100	0,0	25	0,40
51	Βοηθ. θερμ. χώροι Εκπαίδευσης (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	100	0,8	25	0,40
52	Δωμάτια ασθενών (πτέρυγα)	100	0,8	19	0,40
53	Μονάδα Εντατικής Θεραπείας - Αυξημένης Φροντίδας	300	0,0	19	0,60
54	Χειρουργείο (τακτικό)	1.000	0,8	19	0,60
55	Εξωτερικά ιατρεία (αίθουσα εξέτασης)	500	0,8	19	0,60
56	Αίθουσες θεραπειών - αιμοδοσίας	1.000	0,8	19	0,70
57	Αίθουσες - διάδρομοι αναμονής	200	0,0	22	0,40
58	Εργαστήρια	500	0,8	19	0,60
59	Φυσικοθεραπευτήριο - Γυμναστήριο	300	0,8	22	0,40
60	Αγροτικό ιατρείο, Υγειονομικός σταθμός	500	0,8	19	0,60
61	Κοιτώνες Ψυχιατρείου, ΑΜΕΑ, Ευγηρίας, Βρεφοκομείου	100	0,0	19	0,40
62	Βρεφικός - Παιδικός σταθμός (χώρος φροντίδας)	200	0,8	22	0,40
63	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Υγείας	100	0,0	25	0,40
64	Βοηθ. θερμ. χώροι Υγείας (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C., λινόθηκες, απόβλητα κ.λπ.)	100	0,8	25	0,40
65	Κρατητήριο, Αναμορφωτήριο, Φυλακή (αίθουσα κρατουμένων)	200	0,8	22	0,40
66	Κρατητήριο, Αναμορφωτήριο, Φυλακή (αίθουσα ύπνου)	100	0,8	22	0,40
67	Αίθουσα επισκεπτηρίου	300	0,8	22	0,60
68	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Σωφρονισμού	100	0,0	25	0,40

αα	Χρήση χώρου	E _m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης R _{UGL} [-]	Ομοιομορφία φωτισμού U _o min/av. [-]
69	Βοηθ. θερμ. χώροι Σωφρονισμού	100	0,8	25	0,40
70	Κατάστημα	300	0,8	22	0,40
71	Υπεραγορά τροφίμων	300	0,8	22	0,40
72	Κυλικείο - Κατάστημα υγιειν.ενδ. χωρίς τραπεζοκαθίσματα.	200	0,8	22	0,40
73	Κουρείο, κομμωτήριο	500	0,8	19	0,60
74	Ινστιτούτο αισθητικής, παροχή υπηρεσιών καλλωπισμού	300	0,8	19	0,60
75	Διάδρομοι κίνησης και αναμονής εμπορικών κέντρων, στεγασμένα αίθρια κ.λπ.	100	0,0	25	0,40
76	Κοιν. & βοηθ. θερμαινόμενοι χώροι Εμπορίου (διάδρομοι - πλήν χώρων κίνησης εμπορικών κέντρων -, κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	100	0,8	25	0,40
77	Κλειστά γραφεία	500	0,8	19	0,60
78	Ανοιχτοί γραφειακοί χώροι	500	0,8	19	0,60
79	Εντευκτήριο	400	0,8	22	0,40
80	Αρχείο	200	0,8	25	0,40
81	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Γραφείων	100	0,0	25	0,40
82	Βοηθ. θερμ. χώροι Χώροι Γραφείων (κλιμ/σια, αποθήκες, χώροι φωτοτυπικών, W.C.)	100	0,8	25	0,40
83	Κερκίδες κλειστού γηπέδου	100	0,0	25	0,40
84	Κλειστό γήπεδο, χώροι αθλητών	200	0,8	25	0,40
85	Κερκίδες κλειστού κολυμβητηρίου	100	0,0	25	0,40
86	Κλειστό κολυμβητήριο, χώροι αθλητών	200	0,8	25	0,40
87	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Αθλητικών Εγκαταστάσεων	100	0,0	25	0,40
88	Βοηθ. θερμ. χώροι Αθλητικών Εγκαταστάσεων (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	100	0,8	25	0,40
89	Εκκλησία (> 50 άτ.)*	200	0,0	22	0,40
90	Μικρή Εκκλησία - Παρεκκλήσι (≤ 50άτ.)*	200	0,0	22	0,40
91	Χώρος λατρείας (σε κτίριο άλλης χρήσης)*	200	0,0	22	0,40
92	Είσοδος-έξοδος ραμπών κατά τη νύχτα, εσωτερικές ράμπες, λωρίδες κίνησης και διαβάσεις πεζών σε χώρους θέσεων στάθμευσης (εσωτερικοί χώροι)	75	0,0	25	0,40
93	Περιοχές χώρων στάθμευσης (κλειστές σε ευρύ κοινό, πχ γραφείων)	75	0,0	-	0.25
94	Περιοχές χώρων στάθμευσης (ανοιχτές σε ευρύ κοινό με πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών, πχ εμπορικά κέντρα, αθλητικές εγκαταστάσεις κλπ)	150	0,0	-	0.40
Σημειώσεις *Οι συγκεκριμένες τιμές προτείνονται αποκλειστικά για τον υπολογισμό των ενεργειακών καταναλώσεων και δεν αποτελούν υποχρέωση για χρήση σε μελέτη ή εγκατάσταση.					

3.2.1 Περιοχές φωτισμού

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464-1 οι περιοχές φωτισμού καθορίζονται, όχι επακριβώς, αλλά ανάλογα με τη χρήση, τη διαμόρφωση και το μέγεθος του χώρου. Συνεπώς, ο μελετητής είναι υπεύθυνος για τον ορισμό τους σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες του έργου. Υπάρχουν τρεις περιοχές φωτισμού:

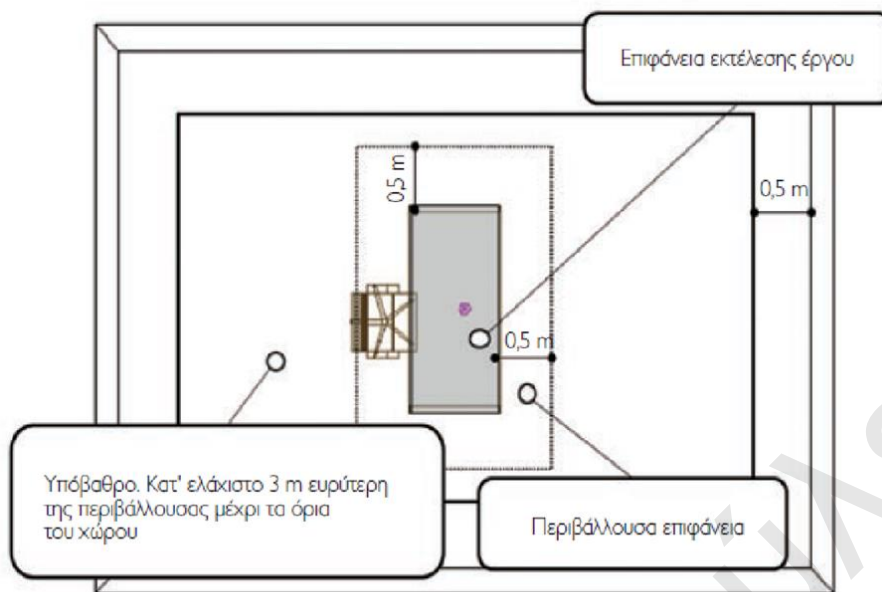
- η επιφάνεια εκτέλεσης έργου (ή εργασίας),
- η περιβάλλουσα επιφάνεια και
- η επιφάνεια υποβάθρου

με τις ελάχιστες αναλογίες διαστάσεων των τριών επιφανειών να παρουσιάζονται στο [Σχήμα 3-1](#).

Ως επιφάνεια εργασίας ορίζεται η περιοχή στην οποία εκτελείται η οπτική εργασία. Σε περίπτωση που ως επιφάνεια εργασίας ορίζεται η επιφάνεια του γραφείου, τότε οι διαστάσεις του (π.χ. 1,6m x 0,8m) μπορεί να είναι μια τέτοια επιλογή.

Η ένταση φωτισμού στην περιβάλλουσα επιφάνεια, από την επιφάνεια εργασίας, πρέπει να σχετίζεται με την ένταση φωτισμού της επιφάνειας εργασίας και πρέπει να παρέχει μια ισορροπημένη κατανομή λαμπρότητας σύμφωνα με την κλίμακα βηματικής διαβάθμισης της έντασης φωτισμού, όπως αυτή προτείνεται στο πρότυπο EN 12665 (5 / 7,5 / 10 / 15 / 20 / 30 / 50 / 75 / 100 / 150 / 200 / 300 / 500 / 750 / 1000lx). Η περιβάλλουσα επιφάνεια πρέπει να καλύπτει μια ζώνη με πλάτος τουλάχιστον 0,5m γύρω από την επιφάνεια εργασίας εντός του οπτικού πεδίου των χρηστών.

Σε εσωτερικούς χώρους εργασίας, ιδιαίτερα σε αυτούς όπου δεν υπάρχει φυσικός φωτισμός, πρέπει να φωτιστεί ένα μεγάλο μέρος της περιοχής όπου λαμβάνουν χώρα οι εκάστοτε εργασίες. Αυτή η περιοχή, που είναι γνωστή ως επιφάνεια υποβάθρου, πρέπει να καλύπτει μια ζώνη πλάτους τουλάχιστον 3m πέρα από την περιβάλλουσα επιφάνεια και μέχρι τα όρια του χώρου και η ένταση φωτισμού να είναι τουλάχιστον το 1/3 της τιμής της περιβάλλουσας επιφάνειας. Τέλος, ανάλογα με τις ανάγκες μπορεί να υπάρχει μια περιφερειακή περιοχή πλάτους 0,5m (στα όρια του χώρου), όπου δεν υπάρχει ανάγκη για κάποια επίπεδα φωτισμού.

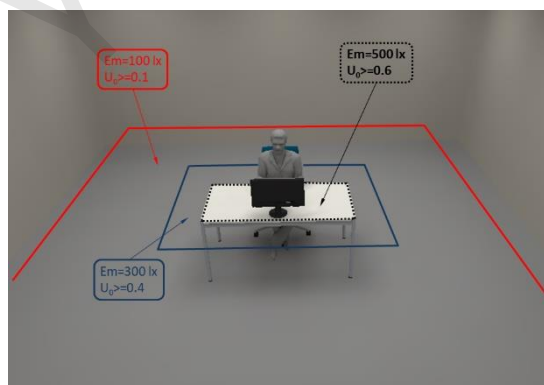


Σχήμα 3-1: Επιφάνεια εργασίας, περιβάλλουσα επιφάνεια και επιφάνεια υποβάθρου.

Πίνακας 3-4: Αντιστοίχιση έντασης φωτισμού στις διαφορετικές επιφάνειες φωτισμού

Επιφάνεια	Ένταση φωτισμού E_m [lx]				
Επιφάνεια εργασίας	150	200	300	500	750
Περιβάλλουσα επιφάνεια	150	150	200	300	500
Επιφάνεια υποβάθρου	50	50	67	100	167

Η δυνατότητα διαχωρισμού της επιφάνειας εργασίας συνοδεύεται και από διαφορετικές απαιτήσεις όχι μόνο όσον αφορά στις μέσες εντάσεις φωτισμού, αλλά και της ομοιομορφίας. Στην επιφάνεια εργασίας η ομοιομορφία (U_o) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τις ελάχιστες τιμές του αντίστοιχου πίνακα (Πίνακας 3-3) ενώ στην περιβάλλουσα επιφάνεια και στην επιφάνεια υποβάθρου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,40 και 0,10 αντίστοιχα.



Σχήμα 3-2: Διατηρητέα μέση ένταση φωτισμού και ομοιομορφία στην επιφάνεια εργασίας.

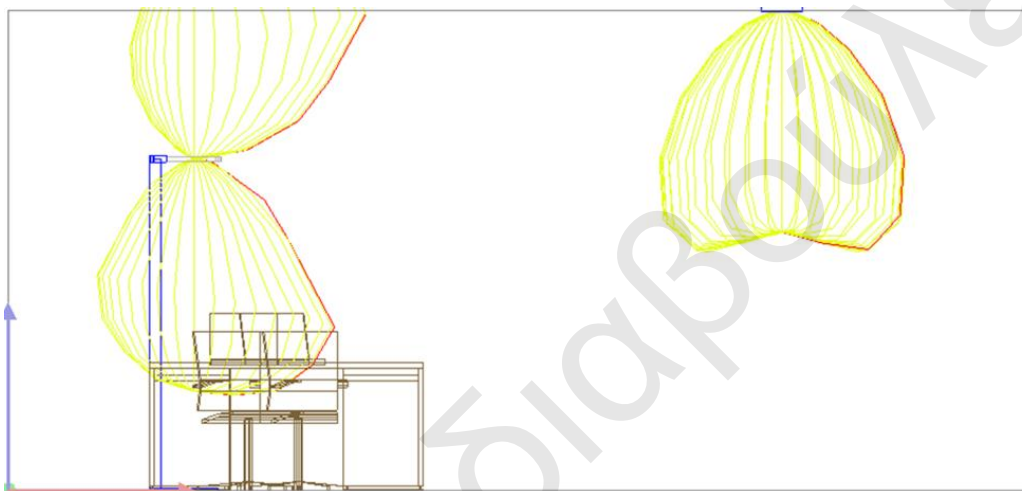
3.2.2 Φωτισμός χώρων που δεν είναι επακριβώς γνωστή η χρήση τους

Όπως προαναφέρθηκε ο μελετητής θα πρέπει να ορίσει τις περιοχές-επιφάνειες της μελέτης φωτισμού καθώς επίσης και να αιτιολογήσει τον ορισμό αυτών. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να γίνει

αυτό π.χ. δεν είναι γνωστή η χρήση του χώρου ή των θέσεων εργασίας τότε υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές:

- α) Ολόκληρος ο χώρος ορίζεται ως επιφάνεια εργασίας με τις αντίστοιχες απαιτήσεις έντασης φωτισμού και ομοιομορφίας (π.χ. για γραφεία 500lx, $U_o \geq 0,6$) ή
- β) Ολόκληρος ο χώρος φωτίζεται ομοιόμορφα $U_o \geq 0,40$ με ένα επίπεδο φωτισμού που επιλέγει ο μελετητής (π.χ. 100lx) και όταν καθοριστούν οι επιφάνειες εργασίας τότε αυτές φωτίζονται κατάλληλα όπως προβλέπεται από τις απαιτήσεις της χρήσης του (π.χ. για γραφεία 500lx, $U_o \geq 0,6$ στη συγκεκριμένη περιοχή του χώρου).

Μία περίπτωση που τα επίπεδα φωτισμού διαφοροποιούνται στην επιφάνεια εργασίας από αυτά της περιβάλλουσας επιφάνειας παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3-3).



Σχήμα 3-3: Διαφοροποίηση συστημάτων φωτισμού ανάμεσα σε περιοχή εργασίας και περιβάλλουσα περιοχή.

3.2.3 Τροποποίηση έντασης φωτισμού για ειδικές περιπτώσεις

Σε ειδικές περιπτώσεις ο μελετητής μπορεί να τροποποιήσει την ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου σύμφωνα με την κλίμακα βηματικής διαβάθμισης της έντασης φωτισμού, όπως αυτή προτείνεται στο πρότυπο EN 12665. Για παράδειγμα, ένα τμήμα της κλίμακας αντιπροσωπεύουν οι τιμές 5 / 7,5 / 10 / 15 / 20 / 30 / 50 / 75 / 100 / 150 / 200 / 300 / 500 / 750 / 1000lx. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί για διάφορους λόγους. Για την αύξηση των απαιτούμενων επιπέδων φωτισμού μπορεί να ισχύει κάποιο ή περισσότερα από τα παρακάτω:

- Η οπτική εργασία είναι κρίσιμη.
- Τα λάθη από τη συγκεκριμένη εργασία έχουν αυξημένο κόστος επιδιόρθωσης.
- Η ακρίβεια, η υψηλότερη παραγωγικότητα ή η υψηλή συγκέντρωση είναι ύψιστης σημασίας.
- Οι λεπτομέρειες στην επιφάνεια εργασίας έχουν ασυνήθιστα μικρό μέγεθος ή χαμηλή αντίθεση.
- Η ολοκλήρωση της εργασίας έχει ασυνήθιστα μεγαλύτερη διάρκεια.
- Η επιφάνεια εργασίας ή η γενικότερη περιοχή έχει μικρά επίπεδα φυσικού φωτισμού.
- Η οπτική ικανότητα του χρήστη είναι χαμηλότερη του κανονικού

Καθώς η γήρανση του ανθρώπινου οφθαλμού μειώνει τα επίπεδα φωτισμού που αντιλαμβάνεται ο χρήστης είναι λογικό να επιλέγονται υψηλότερα επίπεδα για να εξυπηρετούνται τα ηλικιωμένα άτομα (βλ. Κεφάλαιο 8).

Εφόσον ο μελετητής αποφασίσει να αυξήσει τα επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας, αφού πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις, π.χ. από **500lx → 750lx** (σύμφωνα με τη βηματική διαβάθμιση όπως περιγράφηκε παραπάνω) θα πρέπει να επιλέξει υποχρεωτικά φωτιστικό σώμα με δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimmable), έτσι ώστε να μπορεί να ρυθμίζεται η στάθμη φωτισμού και αντίστροφα στα κατάλληλα όρια π.χ. **750lx → 500lx**. Ενδείκνυται ο σχεδιασμός φωτισμού να ακολουθεί τις επιφάνειες εργασίας για αποφυγή υπερκατανάλωσης. Επιπλέον ο μελετητής μπορεί να σχεδιάσει το σύστημα φωτισμού έτσι ώστε τα επιπλέον απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού π.χ. τα επιπλέον 250lx να δίνονται με τοπικό φωτισμό (π.χ. επιδαπέδιο ή επιτραπέζιο φωτιστικό σώμα). Στην περίπτωση αυτή σχεδιασμού ο τοπικός φωτισμός περιλαμβάνεται στην καταμέτρηση ισχύος για το σύστημα φωτισμού. Στον ενεργειακό σχεδιασμό δεν προσλαμβάνεται η τοπική αύξηση φωτισμού ως αύξηση του ορίου της εγκατεστημένης ισχύος.

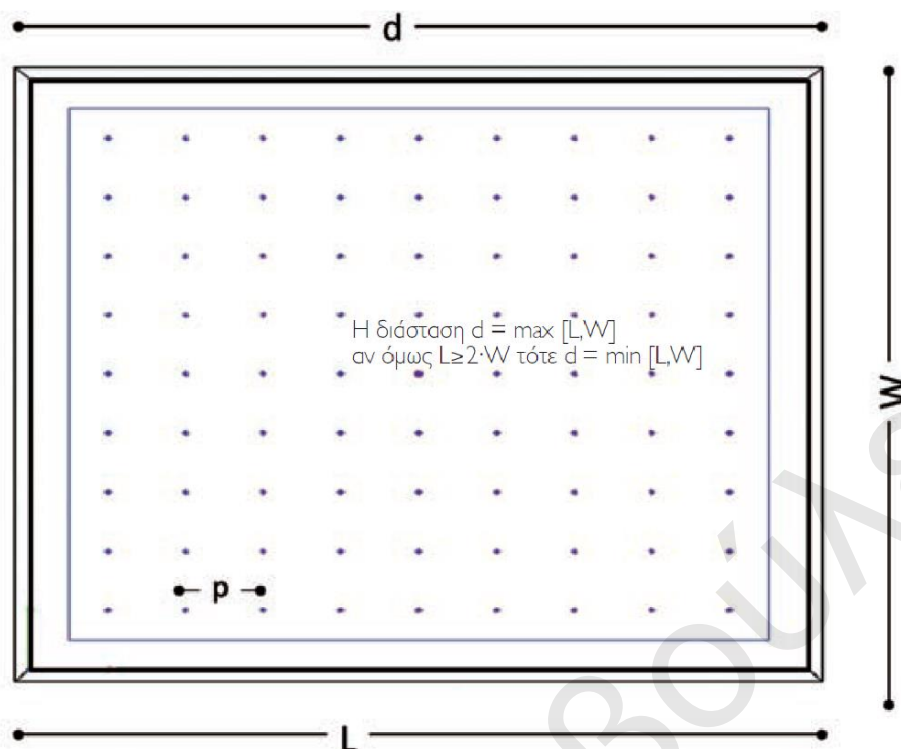
Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να υπάρξει και μείωση των επιπέδων φωτισμού εφόσον συντρέχουν κάποιες από τις παρακάτω αιτίες:

- Οι λεπτομέρειες στην επιφάνεια εργασίας έχουν ασυνήθιστα μεγάλο μέγεθος ή υψηλή αντίθεση.
- Η ολοκλήρωση της εργασίας έχει ασυνήθιστα μικρότερη διάρκεια.

Και σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα φωτισμού πρέπει να καλύπτει τις μεγαλύτερες ανάγκες φωτισμού και με δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimmable) το σύστημα φωτισμού να προσαρμόζεται ή να προγραμματίζεται στα χαμηλότερα επίπεδα φωτισμού π.χ. **500lx → 300lx**.

3.2.4 Καθορισμός πλέγματος υπολογισμών για τη σχεδίαση εγκαταστάσεων φωτισμού

Επειδή η βάση των υπολογισμών είναι οι μέσες (διατηρητέες) τιμές έντασης φωτισμού E_m , καθορίζεται επίσης και ελάχιστος αριθμός σημείων υπολογισμού, ο οποίος μεταβάλλεται ανάλογα με τις διαστάσεις του χώρου. Μ' αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η τροποποίηση των μέσων τιμών αλλά και της ομοιομορφίας λόγω υιοθέτησης διαφορετικών κανάβων υπολογισμού στην ίδια φωτοτεχνική ανάλυση (με διαίρεση της μέγιστης διάστασης του χώρου προς την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων). Αυτή η σχέση παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3-4). Να σημειωθεί πως τα λογισμικά υπολογισμού προσδιορίζουν αυτόματα τον αριθμό των υποχρεωτικών σημείων υπολογισμού κατά EN 12464-1, εφόσον αυτό έχει επιλεγθεί στις ρυθμίσεις τους.



Σχήμα 3-4: Πλέγμα υπολογισμού της έντασης φωτισμού.

Είναι επιθυμητό τα κελιά πλέγματος να προσεγγίζουν σχήμα τετραγώνου. Επίσης, η αναλογία μήκους προς πλάτος ενός κελιού του πλέγματος να διατηρείται μεταξύ 0,5 και 2. Ενδεικτικές τιμές του μήκους ενός χώρου και των ελαχίστων σημείων του πλέγματος και της μεταξύ τους απόστασης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3-5: Ενδεικτικές τιμές του μήκους ενός χώρου και των ελαχίστων σημείων του πλέγματος και της μεταξύ τους απόστασης.

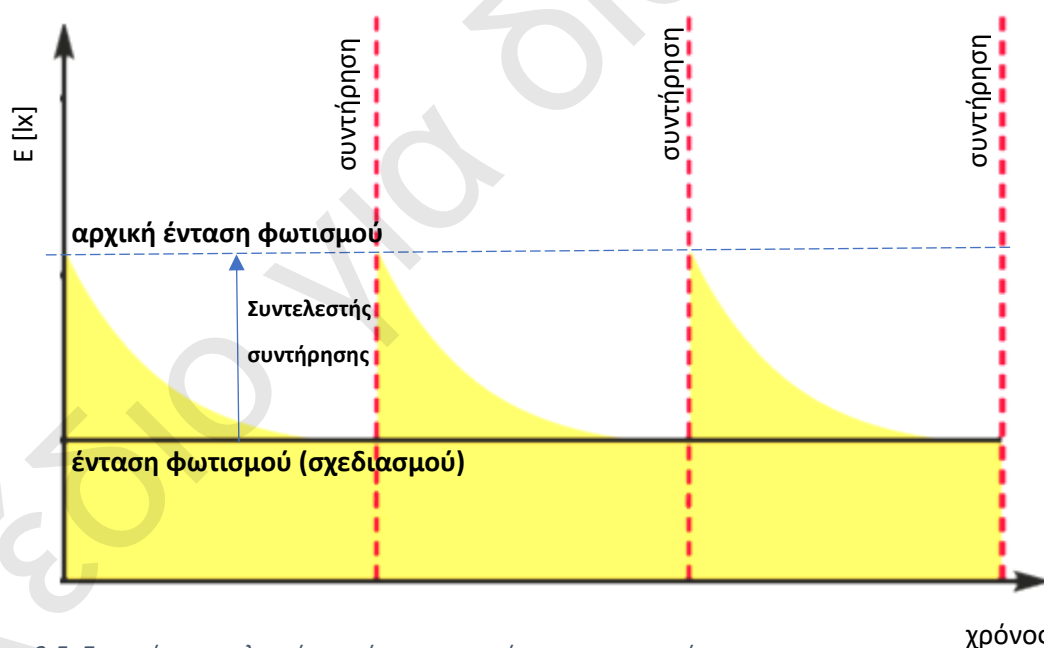
Μήκος του χώρου d [m]	Μέγιστη διάσταση μεταξύ σημείων του πλέγματος p [m]	Ελάχιστος αριθμός σημείων πλέγματος
2,0	0,3	6
3,0	0,4	7
5,0	0,6	8
10,0	1,0	10
15,0	1,3	11
20,0	1,6	12
Όπου d είναι η μεγαλύτερη διάσταση της περιοχής υπολογισμού (m), ωστόσο εάν η αναλογία της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη πλευρά είναι ≥ 2 , τότε το d γίνεται η μικρότερη διάσταση της περιοχής υπολογισμού και p ≤ 10 m, είναι η μέγιστη διάσταση ενός κελιού του πλέγματος		

3.3 Μεταβολή της απόδοσης του συστήματος φωτισμού με την πάροδο του χρόνου

Με την πάροδο του χρόνου, η φωτεινή ροή που παρέχεται από ένα σύστημα φωτισμού μειώνεται καθώς οι φωτεινές πηγές και τα φωτιστικά γερνούν και συσσωρεύουν ρύπους κ.λπ. Πρέπει να τονισθεί ότι η απαίτηση για συγκεκριμένη μέση (διατηρητέα) ένταση φωτισμού E_m ανά είδος δραστηριότητας αναφέρεται στο τέλος του κύκλου συντήρησης του συστήματος. Ο κύκλος καθορίζεται από το μελετητή, ο οποίος εκτιμά τις εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. ρύπανση στους χώρους) και το χρονοδιάγραμμα συντήρησης (π.χ. πρώτο έτος), αλλά εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος (π.χ. γήρανση φωτεινών πηγών).

3.3.1 Συντελεστής συντήρησης του συστήματος φωτισμού (f_m)

Όλα τα προηγούμενα συγχωνεύονται στο συντελεστή συντήρησης (f_m) που είναι ο λόγος της φωτεινής ροής κατά τη στιγμή της συντήρησης προς την αρχική φωτεινή ροή κατά την εγκατάσταση του συστήματος. Τυχόν μικρή τιμή του, που μπορεί να οφείλεται σε ένα επιλεγμένο διευρυμένο χρονοδιάγραμμα συντήρησης (χωρίς συχνό καθαρισμό και αλλαγή φωτεινών πηγών μόνο όταν τεθούν εκτός λειτουργίας) οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους αγοράς των φωτιστικών σωμάτων διότι χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος αριθμός φωτιστικών. Προτείνεται να επιλέγονται προγράμματα συντήρησης και επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων ώστε οι τιμές του συντελεστή συντήρησης να είναι υψηλές.



Σχήμα 3-5: Σημασία συντελεστή συντήρησης συστήματος φωτισμού.

Αναλυτικότερα, οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή συντήρησης (f_m) είναι:

- η καθαρότητα του χώρου,
- τα διαστήματα συντήρησης του χώρου,
- οι ανακλαστικότητες των επιφανειών (τοίχοι, οροφή, δάπεδο),

- το είδος φωτισμού των φωτιστικών σωμάτων (άμεσου, έμμεσου, μεικτού),
- ο δείκτης προστασίας των φωτιστικών σωμάτων,
- τα διαστήματα συντήρησης φωτιστικών σωμάτων,
- το είδος των λαμπτήρων,
- οι ώρες λειτουργίας των λαμπτήρων σε ετήσια βάση,
- ο τύπος των τροφοδοτικών διατάξεων (ballast, driver),
- το διάστημα αλλαγής των λαμπτήρων,
- τα διαστήματα αλλαγής όλων των λαμπτήρων ταυτόχρονα και η δυνατότητα αλλαγής μεμονωμένου λαμπτήρα εφόσον αστοχήσει.

Ο υπολογισμός του συντελεστής συντήρησης f_m γίνεται από τον τύπο:

$$f_m = f_{LF} \cdot f_s \cdot f_{LM} \cdot f_{SM} \quad [\text{εξ. 3-1}]$$

όπου	f_m [-]	ο συντελεστής συντήρησης του συστήματος φωτισμού
	f_{LF} [-]	ο συντελεστής διατήρησης φωτεινής ροής (luminous flux factor) όπως αναλύεται στην <i>ενότητα 3.3.2</i>
	f_s [-]	ο συντελεστής επιβίωσης (survival factor) όπως αναλύεται στην <i>ενότητα 3.3.3</i>
	f_{LM} [-]	ο συντελεστής συντήρησης των φωτιστικών σωμάτων (luminaire maintenance factor) όπως αναλύεται στην <i>ενότητα 3.3.4</i>
	f_{SM} [-]	ο συντελεστής συντήρησης των επιφανειών των χώρων (surface maintenance factor) όπως αναλύεται στην <i>ενότητα 3.3.5</i>

Επισημαίνεται ότι για τον υπολογισμό του συντελεστή συντήρησης f_m στις εξωτερικές εγκαταστάσεις (οδοί και περιβάλλοντες εξωτερικοί χώροι του κτιρίου) ο συντελεστής συντήρησης των επιφανειών των χώρων (surface maintenance factor) λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα ($f_{SM} = 1$).

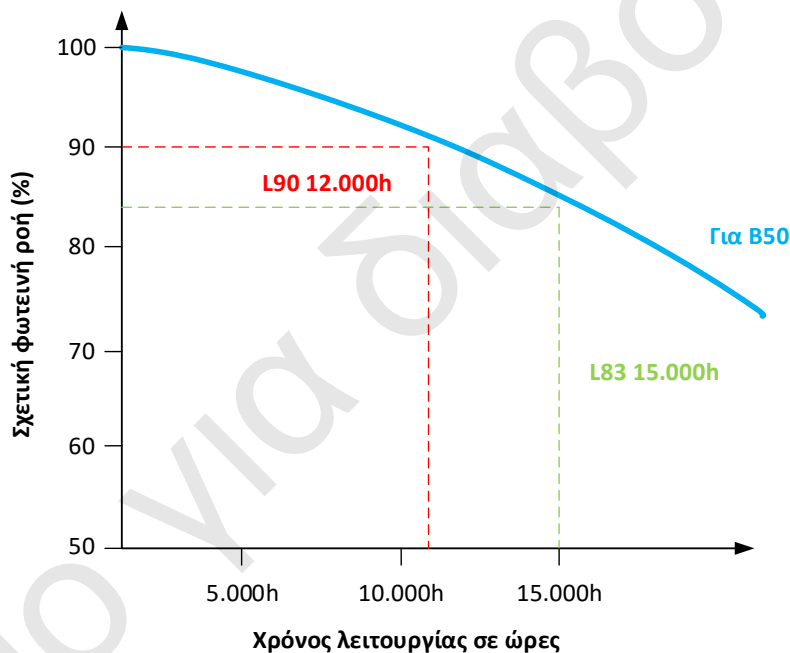
3.3.2 Συντελεστής διατήρησης φωτεινής ροής (f_{LF})

Η παραγόμενη φωτεινή ροή όλων των φωτεινών πηγών, LED, αλογόνου, μεταλλικών αλογονιδίων, φθορισμού κ.λπ. μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Η ποσότητα του φωτός που παράγεται από μια συγκεκριμένη φωτεινή ροή σε κάποια μελλοντική στιγμή αναφέρεται ως συντελεστής διατήρησης της φωτεινής ροής.

Για τους συμβατικούς λαμπτήρες π.χ. αλογόνου, CFL, γραμμικοί φθορισμού ο δηλωμένος από τον κατασκευαστή χρόνος ζωής αντιστοιχεί σε ώρες λειτουργίας όπου το 50% των συνολικών δειγμάτων θα έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας (χρόνος ημίσειας ζωής), σε ιδανικές συνθήκες εργαστηρίων, και εκτός των φωτιστικών σωμάτων που επιβαρύνουν την λειτουργία τους. Για παράδειγμα αν σε έναν λαμπτήρα αλογόνου αναγράφεται η τιμή των 1.000h τότε αυτό σημαίνει πως αν κάποιος αγόραζε 100 αντίστοιχους λαμπτήρες, μόνο οι 50 θα ξεπερνούσαν τις 1.000 ώρες λειτουργίας πριν τεθούν εκτός λειτουργίας.

Στους λαμπτήρες LED όμως, υπάρχει διαφορετικός ορισμός για τη διάρκεια ζωής τους. Αν οι λαμπτήρες LED τοποθετηθούν σε κατάλληλο φωτιστικό σώμα το οποίο έχει προδιαγραφές CE για τον αντίστοιχο λαμπτήρα, δηλαδή έχουν πραγματοποιηθεί οι αντίστοιχοι έλεγχοι ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (Electromagnetic compatibility, EMC) και σύμφωνα με την οδηγία χαμηλής τάσης LVD, και ψύχεται κατάλληλα, τότε ο λαμπτήρας αυτός μπορεί να μην τεθεί ποτέ εκτός λειτουργίας. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως και η εκπεμπόμενη φωτεινή ροή θα διατηρείται επ' αόριστον στα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού. Για αυτό στη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων LED δίνεται ο χρόνος ζωής τους συνδυαζόμενος με το ποσοστό της φωτεινής ροής (στο οποίο έχει απομειωθεί) στο βάθος χρόνου λειτουργίας τους μαζί με το ποσοστό πλήθους αυτών που θα έχουν λιγότερη φωτεινή από αυτή που αναφέρεται (Σχήμα 3-6).

Αυτό περιγράφεται από την εξής μορφή $L_{xx}B_{yy} ZZ.ZZZh$ (π.χ. $L_{80}B_{10} 50.000h$), όπου L_{xx} το ποσοστό απομείωσης της φωτεινής ροής (π.χ. $L_{80} = 80\%$ της αρχικής φωτεινής ροής), B_{yy} το ποσοστό των πηγών στο οποίο η φωτεινή ροή έχει απομειωθεί από το ποσοστό που δίνεται το L_{xx} (π.χ. B_{10} , το 10% των πηγών θα έχουν φωτεινή ροή μικρότερη του 80%) και $ZZ.ZZZh$ οι ώρες στις οποίες επιτυγχάνεται (π.χ. στις 50.000h). Σε περίπτωση που δίνεται μόνο η τιμή L_{xx} , αυτή αντιστοιχεί πάντα για B_{50} .



Σχήμα 3-6: Φωτεινή ροή λαμπτήρων LED συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας τους.

Παράδειγμα χρόνου διάρκειας ζωής LED (Σχήμα 3-6) σε σχέση με την απομείωση της φωτεινής ροής (L_{90} και L_{83} , φωτεινή ροή στο 90% και 83% αντίστοιχα) σε βάθος χρόνου για πλήθος λαμπτήρων 50% του συνολικού αριθμού (B_{50}). Η αντίστοιχη καμπύλη για διαφορετικό πλήθος π.χ. B_{10} θα είναι διαφορετική για το ίδιο προϊόν LED.

Οι μελετητές φωτισμού θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τα ανωτέρω όταν διαστασιολογούν μια εγκατάσταση φωτισμού, καθώς ένα φωτιστικό ή ένας λαμπτήρας θα πρέπει να φτάνει σε μια ελάχιστη φωτεινή ροή στο τέλος της «ζωής» του. Σε αρκετές περιπτώσεις ο κατασκευαστής των φωτιστικών σωμάτων δίνει την τιμή των ωρών για το L_{70} ενώ ο μελετητής χρειάζεται τις ώρες για το L_{90} . Με χρήση του αντίστοιχου πίνακα (Πίνακας 3-6) μπορεί να εξαχθεί η πληροφορία που χρειάζεται ανάλογα με την αρχική πληροφορία του κατασκευαστή.

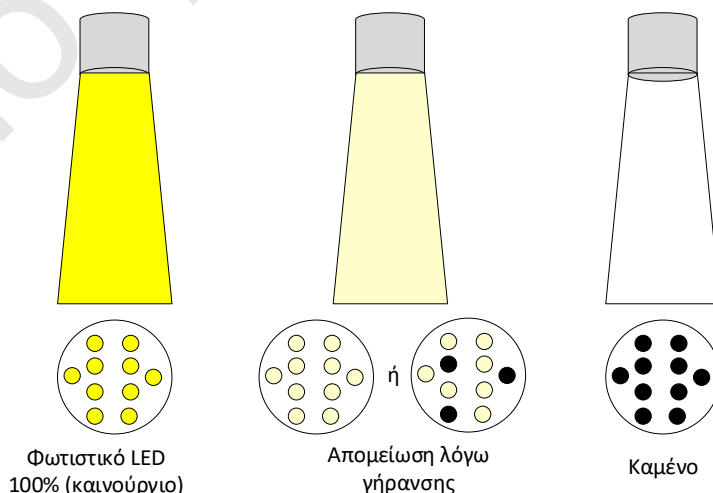
Πίνακας 3-6: Τυπικές τιμές του συντελεστή f_{LF}

Διάρκεια ζωής L_x		Τιμές f_{LF}			
Ώρες	x	15.000	30.000	50.000	70.000
50.000	70	0,90	0,81	0,70	-
	80	0,94	0,87	0,80	-
	90	0,97	0,94	0,90	-
70.000	70	0,93	0,86	0,78	0,70
	80	0,95	0,91	0,85	0,80
	90	0,98	0,96	0,93	0,90
100.000	70	0,95	0,90	0,94	0,78
	80	0,97	0,94	0,89	0,86
	90	0,98	0,97	0,95	0,93

Στην περίπτωση που ο παραπάνω πίνακας δεν περιλαμβάνει τις τιμές που αναζητούνται, μπορεί να γίνει χρήση του προτύπου ISO/CIE TS 22012 στο οποίο δίνεται μεγάλο εύρος τιμών του συντελεστή f_{LF} .

3.3.3 Συντελεστής επιβίωσης (f_S)

Ο συντελεστής επιβίωσης εκφράζει τη πιθανότητα μία φωτεινή πηγή ή/και ένα φωτιστικό σώμα να συνεχίσουν να λειτουργούν μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε μερικούς λαμπτήρες η διάρκεια ζωής τους μεταβάλλεται από τη συχνότητα της διακοπής της λειτουργίας τους. Οι κατασκευαστές δίνουν πίνακες με την τιμή του συντελεστή επιβίωσης. Στην περίπτωση που ένας λαμπτήρας ή φωτιστικό σώμα σταματήσει να λειτουργεί θα πρέπει να ληφθεί η απόφαση αν θα αντικατασταθεί άμεσα ή όχι. Συνεπώς, η τιμή του συντελεστή έχει άμεση σχέση με το πρόγραμμα αντικατάστασης τους. Αν γίνει άμεση αντικατάσταση του λαμπτήρα που σταμάτησε να λειτουργεί η τιμή του συντελεστή είναι μονάδα. Αυτό, όμως, είναι σε πολλές περιπτώσεις αντισυμβατικό, ιδιαίτερα σε ένα χώρο που πρέπει να σταματήσει η λειτουργία του για να γίνει η αντικατάσταση. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των φωτιστικών LED η τιμή του συντελεστή είναι μονάδα, καθώς η πιθανότητα να μην λειτουργεί καθόλου ένα φωτιστικό LED είναι πολύ μικρή. Μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα για μερική λειτουργία ενός φωτιστικού LED (Σχήμα 3-7). Οπότε στα LED θεωρείται $f_{LF} \times f_S = L_{xx}$



Σχήμα 3-7: Πλήρης και μερική λειτουργία φωτιστικού LED.

3.3.4 Συντελεστής συντήρησης φωτιστικών (f_{LM})

Ο συντελεστής συντήρησης φωτιστικών εκφράζει τη σχετική παραγωγή φωτός από το φωτιστικό λόγω των ρύπων που επικαθονται στις φωτεινές πηγές, στα οπτικά συστήματα του φωτιστικού και σε ότι σχετίζεται με το φωτιστικό σώμα και επηρεάζει την εξερχόμενη από αυτό φωτεινή ροή. Ο σχεδιασμός, οι περιβαλλοντικοί ρύποι και το πρόγραμμα συντήρησης των φωτιστικών σωμάτων εσωτερικών χώρων επιδρούν καταλυτικά στην τιμή του f_{LM} . Στα φωτιστικά σώματα εξωτερικών χώρων σημαντικό ρόλο παίζει, στη σχεδίαση τους, και ο βαθμός προστασίας IP. Τυπικές τιμές του συντελεστή f_{LM} , υπάρχουν σε πίνακες στο πρότυπο ISO/CIE TS 22012.

3.3.5 Συντελεστής συντήρησης επιφανειών των χώρων (f_{SM})

Ο συντελεστής συντήρησης επιφανειών των χώρων σχετίζεται με την κατανομή της φωτεινής ροή που παράγεται από τα φωτιστικά. Επηρεάζεται από τις τιμές των ανακλαστικότητων των επιφανειών του χώρου (οροφή, δάπεδο, τοίχοι) και συνεπώς με τη ρύπανση από τις δραστηριότητες και το περιβάλλον και τη συχνότητα καθαρισμού και συντήρησης αυτών. Τυπικές τιμές του συντελεστή f_{SM} , υπάρχουν σε πίνακες στα πρότυπα CIE 097 και ISO/CIE TS 22012.

3.3.6 Τυπικές τιμές

Ο μελετητής είναι υπεύθυνος για την κατάλληλη επιλογή των φωτιστικών σωμάτων με βάση τις παραμέτρους που επηρεάζουν τον συντελεστή συντήρησης (τοποθέτηση στην οροφή ή κρεμαστό, προστασία έναντι σκόνης IP, αυτοκαθαριζόμενο ή όχι, διάρκεια ζωής φωτεινής πηγής κ.λπ.) και τον καθορισμό του προγράμματος συντήρησης, έτσι ώστε ο συντελεστής συντήρησης να έχει την υψηλότερη δυνατή τιμή. Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3-6) παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή συντήρησης για διάφορες παραδοχές. Σε περίπτωση που οι παράμετροι διαφέρουν ο μελετητής θα πρέπει να παρουσιάζει την κατάλληλη τεκμηρίωση.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η διάρκεια ζωής των LED L_{xx} είναι μέρος του προσδιορισμού του γινομένου του συντελεστή συντήρησης f_m . Έτσι δε δύναται να χρησιμοποιείται μεγαλύτερος συντελεστής f_m στις μελέτες π.χ. 0,80 από ότι του ποσοστού απομείωσης της φωτεινής ροής L_{xx} στη συγκεκριμένη διάρκεια ζωής των LED π.χ. L_{70} ή 0,70. Θα πρέπει να αναζητούνται οι κατάλληλες προδιαγραφές και οι αντίστοιχοι χρόνοι διάρκειας των LED π.χ. για συντελεστή συντήρησης $f_m=0,8$, τότε θα πρέπει να αναζητούνται προϊόντα LED με υψηλή διάρκεια ζωής στα L_{90} ή L_{85} . Σε αντίθετη περίπτωση, αν δίνεται από τον κατασκευαστή των LED προδιαγραφή L_{70} 50.000h τότε ο μελετητής θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την τιμή L_{84} με ωφέλιμη διάρκεια ζωής 25.000h, όπως δίνεται από το ISO/CIE TS 22012, για να χρησιμοποιήσει στις μελέτες τιμή f_m ίση με 0,80. Με λίγα λόγια η διάρκεια ωφέλιμης ζωής για L_{70} μπορεί να είναι παραπλανητική αφού η φωτεινή ροή θα έχει απομειωθεί περισσότερο από τον προβλεπόμενο χρόνο της μελέτης. Ο μελετητής θα πρέπει με τη χρήση του ISO/CIE TS 22012 να αναζητεί τις αντίστοιχες ώρες διάρκειας ωφέλιμης ζωής εφόσον έχει ως μοναδική πληροφορία το L_{70} .

Πίνακας 3-7: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή συντήρησης για ενδεικτικά προγράμματα συντήρησης και χρήσεις χώρων για LED και συμβατικές φωτεινές πηγές.

Τεχνολογία φωτεινής πηγής		Ενδεικτικές τιμές συντελεστή συντήρησης f_m για εσωτερικούς χώρους	Χρήσεις
LED	Συμβατικές φωτεινές πηγές		
$L_{90} 50.000h$	-	0,85	Control rooms, πολύ καθαροί χώροι, μόνο χρήση LED με υψηλή διάρκεια ζωής στο L_{90}
$L_{85} 50.000h$ $L_{80} 60.000h$	Πολύ καθαρός χώρος, καθαρισμός φωτιστικών κάθε 1 έτος, λειτουργία λαμπτήρων 2.000 ώρες/έτος, φωτιστικά άμεσου φωτισμού με τάση να συσσωρεύουν ελάχιστη σκόνη	0,80	Γραφεία, καθαροί χώροι, χρήση LED με κανονική διάρκεια ζωής στο L_{90} , πολύ υψηλή διάρκεια ζωής στο L_{80} , χρήση συμβατικών φωτεινών πηγών με συχνή συντήρηση
$L_{90} 50.000h$ $L_{80} 70.000h$	-	0,80	Εργοστάσια, μέτριας καθαριότητας χώροι, χρήση LED με υψηλή διάρκεια ζωής στο L_{90}
-	Χώρος τυπικής καθαρότητας, συντήρηση φωτιστικών ανά 3 έτη, λειτουργία λαμπτήρων 2.000 ώρες/έτος, φωτιστικά έμμεσου / άμεσου φωτισμού με κανονική συλλογή σκόνης	0,70	Εργοστάσια, μέτριας καθαριότητας χώροι, χρήση συμβατικών φωτεινών πηγών με συχνή συντήρηση

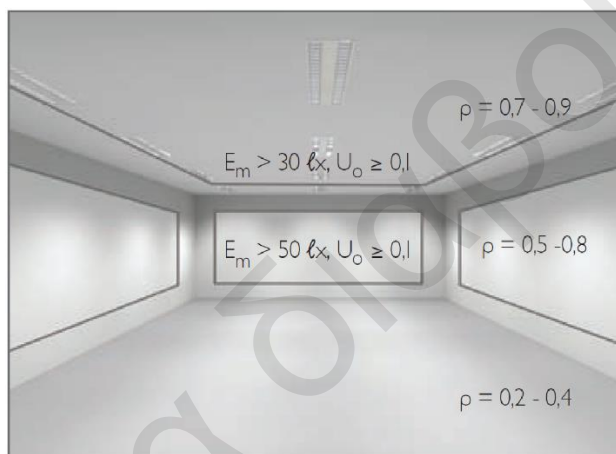
3.4 Ισορροπημένη κατανομή λαμπροτήτων

Η παροχή μόνο της απαιτούμενης έντασης φωτισμού σε κάποιο χώρο, στο οριζόντιο επίπεδο, δεν εξασφαλίζει μονοσήμαντα συνθήκες οπτικής άνεσης η οποία σαν συνθήκη καθορίζεται από την απουσία δυσφορίας. Οπτική δυσφορία μπορεί να προκληθεί από ένα αριθμό αιτιών στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και οι προσδοκίες καθώς και η συνάφεια της σχεδίασης με τη χρήση του χώρου. Επειδή αυτή αφορά το σύνολο του οπτικού πεδίου αντιμετωπίζεται διαφορετικά από την ικανότητα εκτέλεσης κάποιου έργου όπου ενδιαφέρει μόνο το τμήμα του οπτικού πεδίου που καλύπτει την επιφάνεια εργασίας.

Επιπρόσθετα, με δεδομένο ότι ο φωτισμός σε κάποιο χώρο παρέχει τη δυνατότητα στο μάτι να λαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες από το περιβάλλον, η όποια διαταραχή αυτής της σύνδεσης μπορεί να προκαλέσει δυσφορία. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η διαφοροποίηση των κατανομών λαμπρότητας ανάμεσα σε αυτά που οφείλονται σε φωτισμό και αυτών στην ανακλαστικότητα των αντικειμένων του χώρου. Η ύπαρξη πολύ λαμπρών μικρών περιοχών στην περιφερειακή όραση προκαλεί την εξέταση τους με την κεντρική. Αν δεν υπάρξει λόγος να εξετασθούν περαιτέρω η κεντρική όραση επιστρέφει στην προηγούμενη κατάσταση όμως η ύπαρξη των περιοχών αυτών προκαλεί δυσφορία. Το μάτι δεν αντιλαμβάνεται την ένταση φωτισμού αλλά τη λαμπρότητα των διαφόρων επιφανειών που βρίσκονται στο οπτικό του πεδίο. Για την ακρίβεια εκτιμά την διαφοροποίηση της λαμπρότητας των επιφανειών σε σχέση με τις γειτονικές τους, δηλαδή πρακτικά πραγματοποιεί μια υ-

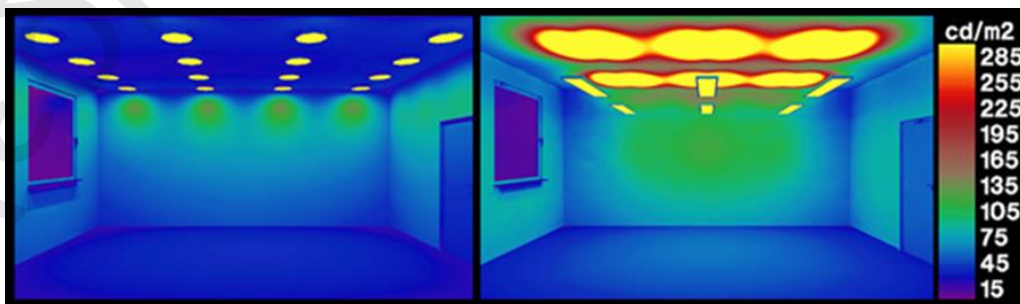
ποκειμενική εκτίμηση. Συνεπώς η κατανομή λαμπροτήτων στο οπτική πεδίο είναι σημαντικός παράγοντας κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και έχει σαν σκοπό να αποφευχθούν π.χ. σχεδιασμοί που να μην πληρούν τις απαιτήσεις για τα επίπεδα φωτισμού στην οριζόντια επιφάνεια εργασίας αλλά οι λαμπρότητες των υπόλοιπων επιφανειών είναι πολύ μικρές (στην ακραία περίπτωση μαύρο δωμάτιο).

Η λαμπρότητα εξαρτάται από τον φωτισμό που προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια, από τις φυσικές της ιδιότητες, π.χ. την ανακλαστικότητα, την υφή κ.λπ. αλλά και τη θέση του παρατηρητή. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα αντί να προτείνονται απαιτήσεις φωτισμού απευθείας σε τιμές λαμπροτήτων, δίνονται απαιτήσεις σε μονάδες έντασης φωτισμού ταυτόχρονα με τιμές ανακλαστικότητας των επιφανειών. Τυπικές τιμές της μέσης έντασης φωτισμού και τα εύρη των ανακλαστικότητας για οροφές και τοίχους μαζί με την σχετική ομοιομορφία παρουσιάζονται στο [Σχήμα 3-8](#). Οι τιμές αυτές μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Για παράδειγμα σε γραφεία και εκπαιδευτικά κτίρια οι τιμές έντασης φωτισμού που παρουσιάζονται στο [Σχήμα 3-8](#) αυξάνονται σε 50lx για την οροφή και 75lx για τους τοίχους.



Σχήμα 3-8: Περιοχές τιμών ανακλαστικότητας και εντάσεως φωτισμού επιφανειών.

Ένας γενικός κανόνας που μπορεί να εφαρμοσθεί σε τυπικές χρήσεις γραφείου είναι ο λόγος λαμπροτήτων ανάμεσα στην επιφάνεια εκτέλεσης κάποιου έργου για στις γειτονικές επιφάνειες να μην είναι μεγαλύτερος από 3:1, ανάμεσα στην επιφάνεια εκτέλεσης έργου και στους γειτονικούς τοίχους να μην είναι μεγαλύτερος από 5:1 και ανάμεσα στην επιφάνεια εκτέλεσης έργου και τις επιφάνειες που βρίσκονται περιφερειακά στο οπτικό πεδίο (μακρινοί τοίχοι) να μην είναι μεγαλύτερη από 10:1.

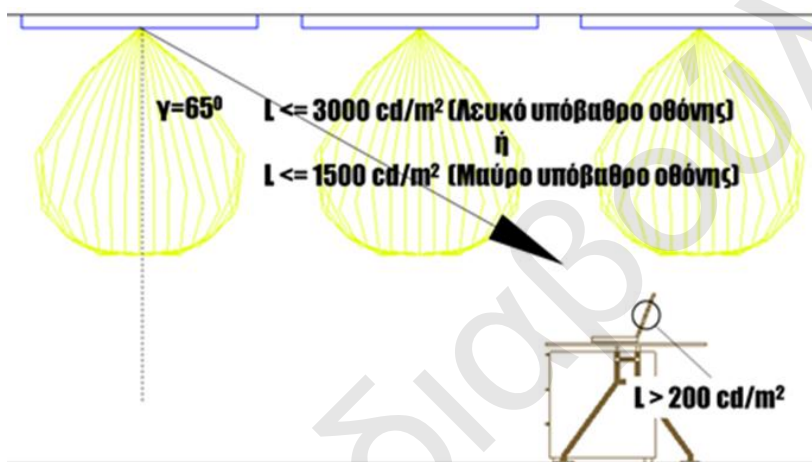


Σχήμα 3-9: Κατανομές λαμπροτήτων σε χώρο με διαφορετικά συστήματα φωτισμού (αφ. άμεσο και δεξ. έμμεσο-έμμεσο).

Μια ειδική περίπτωση είναι και η αύξηση της λαμπρότητας της οροφής λόγω χρήσης κάποιου έμμεσου συστήματος φωτισμού, λαμπρότητα η οποία συνίσταται να βρίσκεται στο εύρος 500-1.500 cd/m² ([Σχήμα 3-9](#)).

Η ικανότητα εκτέλεσης κάποιας εργασίας σε υπολογιστή εξαρτάται τόσο από την λαμπρότητα της οθόνης τους όσο φυσικά και από την λαμπρότητα του περιβάλλοντος. Ειδικά ενδιαφέρει η λαμπρότητα των φωτιστικών σε γωνίες μεγαλύτερες των 65 μοιρών από το ναδίρ. Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3-10) εμφανίζονται τα όρια των λαμπροτήτων όταν χρησιμοποιηθεί οθόνη με λαμπρότητα $>200\text{cd/m}^2$. Η κλίση της οθόνης θεωρείται 15° .

Γενικά σε έναν χώρο γραφείων η τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε από το ημιεπίπεδο φωτισμού C που είναι παράλληλο προς την κατεύθυνση της επιφάνειας της οθόνης των υπολογιστών, η λαμπρότητα του φωτιστικού σώματος για εύρος γωνιών $\gamma\ 65^\circ - 85^\circ$ θα πρέπει να είναι μικρότερη των 3.000cd/m^2 (εφόσον στο χώρο υπάρχουν οθόνες υπολογιστών υψηλής λαμπρότητας). Σε διαφορετικές περιπτώσεις υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις για την επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων.



Σχήμα 3-10: Όριο λαμπρότητας φωτιστικών για την αποφυγή ενοχλητικών ανακλάσεων στην οθόνη. Σε περίπτωση οθόνης με $L \leq 200\text{cd/m}^2$ τα όρια λαμπρότητας είναι 1.500cd/m^2 (κανονικές συνθήκες γραφείων) και 1.000cd/m^2 (υψηλές απαιτήσεις πχ σχέδια CAD) και ανάλογα την πολικότητα της οθόνης, ενώ για οθόνες $L > 200\text{cd/m}^2$ τα όρια είναι αντίστοιχα είναι 3.000cd/m^2 και 1.500cd/m^2 .

3.5 Ποιότητα του εσωτερικού φωτισμού

Το πρότυπο EN 12464-1 τονίζει τη σημασία της ποιότητας του φωτισμού στον εσωτερικό χώρο. Εκτός από τον απαραίτητο φωτισμό για την εκτέλεση εργασιών, απαιτείται κατακόρυφος φωτισμός για τον χώρο που καταλαμβάνουν τα άτομα. Ο κατακόρυφος φωτισμός είναι απαραίτητος για την ενίσχυση της οπτικής επικοινωνίας μεταξύ των ατόμων που χρησιμοποιούν κάποιο χώρο (ευκολότερη αναγνώριση εκφράσεων), της τρισδιάστατης ανάδειξης προσώπων και δομικών χαρακτηριστικών αλλά και της βιολογικής επίδρασης του φωτισμού στους χρήστες. Η ποιότητα του φωτισμού εκφράζεται με τους όρους

- μέση κυλινδρική ένταση φωτισμού,
- μοντελοποίηση φωτισμού και
- κατευθυντικός φωτισμός.

Η βιολογική επίδραση του φωτισμού στους χρήστες αναλύεται στο [κεφάλαιο 9](#).

3.5.1 Μέση κυλινδρική ένταση φωτισμού

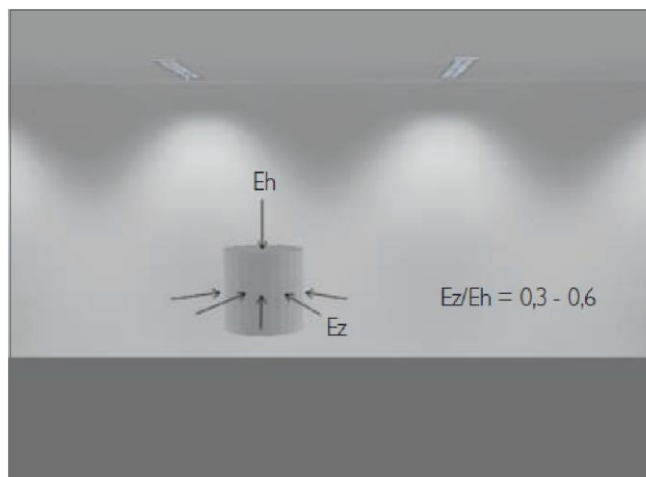
Προκειμένου να ενισχυθεί η προαναφερθείσα οπτική επικοινωνία θα πρέπει να φωτίζεται επαρκώς ο όγκος του χώρου στον οποίο δραστηριοποιούνται οι χρήστες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέση κυλινδρική ένταση φωτισμού. Η διατηρητέα μέση κυλινδρική ένταση φωτισμού (E_z) είναι η μέση τιμή της έντασης φωτισμού στην κατακόρυφη πλευρά ενός νοητού κυλίνδρου γύρω από το πρόσωπο των χρηστών (Σχήμα 3-11) και σύμφωνα με το EN 12464-1 δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 50lx σε γενικούς χώρους κυκλοφορίας. Σε μέρη όπου η καλή οπτική επικοινωνία είναι ζωτικής σημασίας, π.χ. σε γραφεία, αίθουσες συσκέψεων ή αίθουσες διδασκαλίας, η E_z μπορεί να αυξηθεί και στα 150lx. Αυτές οι τιμές πρέπει να επιτυγχάνονται στα 1,2m πάνω από το επίπεδο του δαπέδου για καθήμενα άτομα και 1,6m πάνω από το επίπεδο του δαπέδου για όρθια άτομα (Σχήμα 3-11). Και στις δύο περιπτώσεις, η ομοιομορφία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,10.



Σχήμα 3-11: Διατηρητέα μέση κυλινδρική ένταση φωτισμού (E_z).

3.5.2 Δείκτης μοντελοποίησης

Η μοντελοποίηση είναι ένα ποιοτικό κριτήριο για την τρισδιάστατη αντίληψη ατόμων και αντικειμένων σε ένα δωμάτιο. Εκφράζει την ισορροπία μεταξύ διάχυτου και κατευθυντικού φωτός και καθορίζεται από την αναλογία κυλινδρικής έντασης φωτισμού (E_z) προς την οριζόντια ένταση φωτισμού (E_h) σε ένα δεδομένο σημείο (συνήθως 1,2m πάνω από το επίπεδο του δαπέδου). Σύμφωνα με τη νέα έκδοση του EN 12464-1, μια τιμή μεταξύ 0,30 και 0,60 (του λόγου E_z/E_h) είναι ένας δείκτης καλής μοντελοποίησης, για μια ομοιόμορφη κατανομή φωτιστικών στην οροφή, διότι τα πρόσωπα και τα σώματα δεν είναι πολύ δραματικά σκιασμένα ή έντονα φωτισμένα (Σχήμα 3-12).



Σχήμα 3-12: Κυλινδρική προς οριζόντια ένταση φωτισμού.

3.5.3 Κατευθυντικός φωτισμός

Ο κατευθυντικός φωτισμός μπορεί να δώσει έμφαση στις λεπτομέρειες μιας οπτικής εργασίας, να διευκολύνει την πραγματοποίηση της ή να συμβάλει στην καλύτερη προβολή κάποιων αντικειμένων. Ωστόσο, απαιτείται προσοχή καθώς, θα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία ενοχλητικών σκιών. Το EN 12464-1 επισημαίνει την ανάγκη αποφυγής της δημιουργίας πολλαπλών σκιών, οι οποίες μπορεί να προκληθούν από τον κατευθυντικό φωτισμό που μπορεί να δημιουργηθεί από την ύπαρξη περισσοτέρων από μία φωτεινών πηγών και μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση τους χρήστες. Στο σχεδιασμό φωτισμού η χρήση πολλαπλών στρωμάτων φωτισμού μπορεί να αντιμετωπίσει το συγκεκριμένο πρόβλημα (π.χ. ομοιόμορφος φωτισμός υπόβαθρου 100lx).

3.6 Περιορισμός της θάμβωσης

Απαραίτητο χαρακτηριστικό της ποιότητας του σχεδιασμού ενός συστήματος φωτισμού είναι και η ελαχιστοποίηση των συνθηκών οπτικής δυσφορίας. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα του φωτισμού εξαρτάται τόσο από παραμέτρους που μπορούν να εκτιμηθούν αντικειμενικά (αντίθεση, επίπεδα φωτισμού, λαμπρότητα πηγών, φωτεινότητα επιφανειών, φάσμα και χρωματική απόδοση) αλλά και από παραμέτρους που χρειάζεται να διερευνηθούν με συμπεριφορικές αναλύσεις (π.χ. επίδραση θέας).

Ο φωτισμός παρέχει την δυνατότητα καταγραφής πληροφοριών από το οπτικό περιβάλλον, και όποια διαταραχή αυτής της σύνδεσης (μάτι-περιβάλλον) μπορεί να προκαλέσει δυσφορία. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η διαφοροποίηση των κατανομών λαμπρότητας ανάμεσα σε αυτά που οφείλονται σε φωτισμό και αυτών από την ανακλαστικότητα των αντικειμένων του χώρου. Η ύπαρξη πολύ λαμπρών μικρών περιοχών στην περιφερειακή όραση προκαλεί την εξέταση τους με την κεντρική. Αν δεν υπάρξει λόγος να εξετασθούν περαιτέρω η κεντρική όραση επιστρέφει στην προηγούμενη κατάσταση όμως η ύπαρξη των περιοχών αυτών προκαλεί δυσφορία.

Η εμφάνιση θάμβωσης μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά την άνεση των χρηστών καθώς επίσης και την απόδοσή τους. Η εκτίμησή της πραγματοποιείται με τη χρήση ενός αριθμού δεικτών μετά από συσχέτιση υποκειμενικών αντιδράσεων με αντικειμενικές παραμέτρους. Ενώ είναι σχετικά εύκολο να

μετρηθούν διάφορα μεγέθη (λαμπρότητες, κατανομή φωτισμού κ.λπ.) σε κάποιο χώρο, η εκτίμηση των υποκειμενικών αντιδράσεων από τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν τον χώρο επηρεάζεται και από παραμέτρους όπως π.χ. η θέα, δηλ. το περιεχόμενο της εικόνας έχει σημαντική επίδραση στην εμφάνιση ή όχι θάμβωσης.

Από τη δεκαετία του '80 άρχισε να αλλάζει η θέση της επιφάνειας εργασίας από οριζόντια σε κατακόρυφη λόγω της συνεχούς αυξανόμενης χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτή η τροποποίηση της θέσης της κεφαλής έφερε στο οπτικό πεδίο μεγάλο τμήμα της πρόσοψης και της οροφής με αυξημένες τιμές λαμπρότητας. Λαμβάνοντας υπόψη τη σημερινή επικράτηση της χρήσης υπολογιστών σε χώρους γραφείων, ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τυχόν φαινόμενα θάμβωσης να μπορούν να μειωθούν σημαντικά.

Θάμβωση ορίζεται ως «η αίσθηση που προκαλείται όταν η λαμπρότητα στο οπτικό πεδίο είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την λαμπρότητα στην οποία είναι προσαρμοσμένα τα μάτια και προκαλεί ενόχληση, δυσφορία ή μείωση της απόδοσης ή/και της ορατότητας». Ανάμεσα στα είδη θάμβωσης που παρατηρούνται, στο εσωτερικό των κτιρίων ενδιαφέρει η:

1. Θάμβωση ανικανότητας (Disability glare, φυσιολογική θάμβωση). Το είδος αυτό της θάμβωσης εμποδίζει την όραση χωρίς αναγκαστικά να προκαλεί δυσφορία. Συνήθως όταν δημιουργηθεί, η αντίδραση είναι άμεση με τροποποίηση της θέσης εργασίας (δηλ. με τροποποίηση της διεύθυνσης παρατήρησης).
2. Θάμβωση δυσφορίας (Discomfort glare, ψυχολογική θάμβωση). Σε αυτό το είδος θάμβωσης προκαλείται απλώς δυσφορία χωρίς απαραίτητα να επηρεάζεται η ικανότητα εκτέλεσης κάποιας εργασίας. Το γεγονός ότι μπορεί να μην ανιχνεύεται άμεσα όταν συμβαίνει δεν σημαίνει όμως ότι συσσωρευτικά δεν παρατηρούνται αντιδράσεις (π.χ. πονοκέφαλοι).

Συχνά παρατηρούνται και τα δύο είδη θάμβωσης ταυτόχρονα και υπάρχει αντικειμενική δυσκολία στο να διαχωρισθεί η αιτία. Στην περίπτωση της θάμβωσης δυσφορίας έχουν αναπτυχθεί αρκετοί δείκτες των οποίων ο υπολογισμός βασίζεται γενικώς σε τέσσερις παραμέτρους:

- Την λαμπρότητα της πηγής
- Την λαμπρότητα του υποβάθρου
- Το μέγεθος και τον αριθμό των πηγών
- Τη σχετική τους θέση ως προς τον παρατηρητή

Ανάλογα την εξεταζόμενη εγκατάσταση φωτισμού υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού της θάμβωσης:

- Εσωτερικές εγκαταστάσεις-τεχνητός φωτισμός (πλην αθλητικών εγκαταστάσεων) EN 12464 - 1: Unified Glare Rating (UGR). (βλ. παρακάτω)
- Εσωτερικές εγκαταστάσεις-φυσικός φωτισμός EN 17037: Daylight Glare Probability (DGP). ([Ενότητα 11.2](#))
- Εξωτερικές εγκαταστάσεις και εσωτερικές αθλητικές εγκαταστάσεις-τεχνητός φωτισμός EN 12464-2, EN 12193: Glare Rating (R_{GL}). ([Ενότητα 5.1](#))
- Οδοφωτισμός EN 13201: Threshold Increment (f_{TI})

Η θάμβωση που προκαλείται από τα φωτιστικά σώματα σε εσωτερικές εγκαταστάσεις φωτισμού μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CIE Unified Glare Rating (UGR). Αυτή η μέθοδος βασίζεται στον τύπο:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad [\text{εξ. 3-2}]$$

όπου	L_B [cd/m ²]	η λαμπρότητα του υποβάθρου, η οποία υπολογίζεται ως E_{ind}/π , όπου E_{ind} είναι η κατακόρυφη ένταση φωτισμού στα μάτια του παρατηρητή
	L [cd/m ²]	η μέση λαμπρότητα των φωτεινών μερών του φωτιστικού στην κατεύθυνση του παρατηρητή
	ω [sr]	η στερεά γωνία των φωτεινών μερών κάθε φωτιστικού που είναι ορατά από τη θέση του παρατηρητή
	p [-]	ο δείκτης θέσης Guth για κάθε ανεξάρτητο φωτιστικό

Η μεθοδολογία αυτή έχει περιορισμούς όσον αφορά κάποια φωτιστικά συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Δεν ισχύει δε όταν οι πηγές έχουν πολύ μεγάλες διαστάσεις (π.χ. φωτεινές οροφές) είτε πολύ μικρές (π.χ. προβολείς σε μακρινή απόσταση).

Εναλλακτικά η εκτίμηση του δείκτη UGR μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση πινάκων, οι οποίοι παρουσιάζουν αποτελέσματα του δείκτη για ένα συνδυασμό διαστάσεων χώρου (19 χώροι) και ανακλαστικότητας. Ο πίνακας UGR είναι μοναδικός για κάθε φωτιστικό αφού δημιουργείται με βάση τη κατανομή της φωτεινής έντασης (πολικό διάγραμμα) που είναι μοναδική για κάθε τύπο φωτιστικού. Εφόσον δεν δίνεται από τον κατασκευαστή, ο μελετητής μπορεί να εξαγάγει τον πίνακα UGR από τα λογισμικά υπολογισμών με την προσθήκη του φωτομετρικού αρχείου του εξεταζόμενου φωτιστικού σώματος. Οι επιφάνειες των χώρων έχουν τυπικές τιμές ανακλαστικότητας, 20% για το δάπεδο, 30-50% για τους τοίχους και έως 70% για την οροφή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λευκοί τοίχοι ή οροφές με υψηλότερη ανακλαστικότητα (75-90%), όπως συμβαίνει σε αρκετούς εσωτερικούς χώρους, δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτή τη προσέγγιση. Αναλυτικός πίνακας εύρους τιμών ανακλαστικότητας ανά υλικό ή χρώμα παρουσιάζεται στο [Παράρτημα Γ: Ανακλαστικότητα συνήθων υλικών](#). Οι υπολογισμοί βασίζονται στην υπόθεση ότι ο παρατηρητής είναι τοποθετημένος στο μέσο του τοίχου της μιας πλευράς του χώρου που περιγράφεται από το πρότυπο και παρατηρεί τα φωτιστικά τοποθετημένα είτε κατά μήκος είτε κατά πλάτος των αξόνων του δωματίου (δεν λαμβάνεται υπόψη η περίπτωση που κάποιος παρατηρητής κοιτάει διαγώνια στον άξονα των φωτιστικών). Για αυτό το λόγο και ο πίνακας UGR χωρίζεται σε 2 μέρη. Τα φωτιστικά σώματα είναι τοποθετημένα σε πλέγμα όπου το μέσο των φωτιστικών βρίσκεται σε απόσταση 0,25 φορές την απόσταση H μεταξύ του επιπέδου του φωτιστικού και του ύψους των ματιών του παρατηρητή (SHR, space-height ratio). Τα μεσαία σημεία των φωτιστικών που βρίσκονται πλησιέστερα στους τοίχους απέχουν το μισό αυτής της απόστασης από τον τοίχο.

Όταν επιλέγονται φωτιστικά, πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να συγκρίνονται πίνακες με τον ίδιο λόγο απόστασης προς ύψος (SHR) και λαμπτήρες με την ίδια φωτεινή ροή. Επίσης, σε περίπτωση ύπαρξης διαφορετικών τύπων φωτιστικών σωμάτων στη ίδια εγκατάσταση, ο κάθε τύπος φωτιστικού σώματος εξετάζεται με τον δικό του πίνακα UGR. Το UGR εκτός από τους τυποποιημένους πίνακες από τους κατασκευαστές, υπολογίζεται και από τα λογισμικά μελετών φωτισμού εισάγοντας όμως εκ νέου παρατηρητές σε όποια θέση ή θέσεις επιθυμεί ο μελετητής. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται μια περίπτωση φωτιστικού και των διορθωμένων τιμών του δείκτη UGR.

Πίνακας 3-8: Ενδεικτικός πίνακας δήλωσης UGR από κατασκευαστή φωτιστικού σώματος.

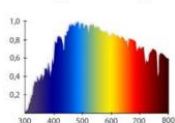
Τιμές UGR										SHR=0,25	
ρ Οροφή		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Τοίχοι		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Δάπεδο		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Μέγεθος Χώρου X Y		Οπτική κατεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα του φωτιστικού					Οπτική κατεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα του φωτιστικού				
2H	2H	12,0	12,8	12,2	13,0	13,2	12,0	12,8	12,2	13,0	13,2
	3H	11,8	12,5	12,1	12,8	13,0	11,9	12,6	12,1	12,8	13,0
	4H	11,8	12,4	12,1	12,7	12,9	11,8	12,4	12,1	12,7	13,0
	6H	11,7	12,3	12,0	12,6	12,9	11,7	12,3	12,0	12,6	12,9
	8H	11,7	12,2	12,0	12,5	12,8	11,7	12,2	12,0	12,5	12,8
	12H	11,6	12,2	12,0	12,5	12,8	11,6	12,2	12,0	12,5	12,8
4H	2H	11,8	12,4	12,1	12,7	12,9	11,8	12,4	12,1	12,7	13,0
	3H	11,6	12,2	12,0	12,5	12,8	11,7	12,2	12,0	12,5	12,8
	4H	11,6	12,0	11,9	12,4	12,7	11,6	12,0	12,0	12,4	13,7
	6H	11,6	11,9	11,9	12,2	12,6	11,5	11,9	11,9	12,3	12,6
	8H	11,4	11,8	11,9	12,2	12,6	11,5	11,8	11,9	12,2	12,6
	12H	11,4	11,7	11,8	12,1	12,5	11,4	11,7	11,9	12,1	12,6
8H	4H	11,4	11,8	11,9	12,2	12,6	11,5	11,8	11,9	12,2	12,6
	6H	11,4	11,5	11,8	12,0	12,5	11,4	11,7	11,8	12,1	12,5
	8H	11,3	11,5	11,8	12,0	12,5	11,3	11,6	11,8	12,0	12,5
	12H	11,3	11,5	11,7	11,9	12,4	11,3	11,5	11,8	11,9	12,4
12H	4H	11,4	11,7	11,8	12,1	12,5	11,4	11,7	11,9	12,1	12,6
	6H	11,3	11,5	11,8	12,0	12,5	11,3	11,8	11,8	12,0	12,5
	8H	11,3	11,5	11,7	11,9	12,4	11,3	11,8	11,8	11,9	12,4

3.7 Χρωματική απόδοση και λευκή απόχρωση του φωτός

Δύο εξίσου σημαντικές παραμέτρους στο σχεδιασμό φωτισμού είναι η χρωματική απόδοση και η λευκή απόχρωση του φωτισμού που εκπέμπει ένα σύστημα τεχνητού φωτισμού. Και οι δυο παράμετροι περιγράφουν έμμεσα το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μιας πηγής, καθώς τα τμήματά της (nm) στο ορατό φάσμα, το ανθρώπινο μάτι τα αντιλαμβάνεται ως χρώμα.

3.7.1 Χρωματική απόδοση

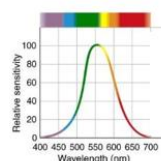
Το πόσο πιστά αποδίδονται τα χρώματα ή το χρώμα μιας επιφάνειας ή ενός αντικειμένου εξαρτάται από το ορατό φάσμα εκπομπής της φωτεινής πηγής που το φωτίζει, τη φασματική απόκριση της επιφάνειας ή του αντικειμένου (η οποία εκφράζει την ανακλώμενη ακτινοβολία που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι) και τον παρατηρητή καθώς ο κάθε άνθρωπος αντιλαμβάνεται με διαφορετικό τρόπο τα χρώματα λόγω της χρωματικής του ευαισθησίας (Σχήμα 3-13). Με λίγα λόγια, εξετάζεται εάν υπάρχουν τα απαραίτητα μήκη κύματος ή τα αντίστοιχα «χρώματα» στο φάσμα εκπομπής της πηγής έτσι ώστε η ανακλώμενη ακτινοβολία να αποδώσει τα χρώματα όπως όταν το αντικείμενο θα φωτιζονταν από μια τυπική πηγή. Οι τεχνητές φωτεινές πηγές με πλήρες και συνεχές φάσμα εκπομπής είναι αυτές οι οποίες φωτοβολούν με το φαινόμενο της πυράκτωσης (π.χ. αλογόνου πυράκτωσης).

Φάσμα ορατής ακτινοβολίας
φωτεινής πηγής

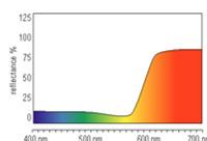
Φωτεινή πηγή (α)



Παρατηρητής (γ)

Φασματική
ευαισθησία
ανθρώπινου ματιού

Αντικείμενο (β)

Φασματική απόκριση
χρωματικού στόχου

Σχήμα 3-13: Παράμετροι που επηρεάζουν το πόσο πιστά αποδίδονται τα χρώματα ή το χρώμα μιας επιφάνειας ή ενός αντικειμένου.

Η χρωματική απόδοση ενός συστήματος φωτισμού ελέγχεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464 με τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (R_a ή CRI). Κάθε χώρος έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές (π.χ. γραφεία ≥ 80) με τον δείκτη να κυμαίνεται από 0 έως 100 (πιστή απόδοση χρώματος φωτεινής πηγής σε σύγκριση με τυπική πηγή συνεχούς φάσματος). Ο δείκτης χρωματικής απόδοσης R_a ή CRI είναι ένας μέσος λόγος σύγκρισης που εκφράζει το πόσο πιστά αποδίδονται 8 τυπικά χρώματα (Σχήμα 3-14α) από το φωτισμό που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή σε σύγκριση με μια τυπική φωτεινή πηγή αναφοράς συγκεκριμένης συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος. Στην περίπτωση που ο δείκτης εκφράζει το πόσο πιστά αποδίδονται τα 15 τυπικά χρώματα (Σχήμα 3-14α & β), τότε αυτός συμβολίζεται με R_{a15} .

Κυρίως του μικρού αριθμού των εξεταζόμενων χρωμάτων το αμερικάνικο πρότυπο ANSI/IES TM-30-18, έχει ενσωματώσει 2 δείκτες για την αξιολόγηση της χρωματικής απόδοσης,

α) δείκτης χρωματικής πιστότητας R_f (Fidelity Index),

β) δείκτης κορεσμού R_g (Gamut Index)

και ένα τυποποιημένο γράφημα περιγραφής της μεταβολής κορεσμού και της απόχρωσης των χρωμάτων (Color Vector Graphic). Να σημειωθεί πως ο δείκτης R_f του αμερικάνικου πρότυπου υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο με τον R_a με τη σημαντική διαφορά ότι ο δείκτης R_f υπολογίζεται από το μέσο όρο 99 χρωμάτων (Σχήμα 3-15) αντί 8 (Σχήμα 3-14α).

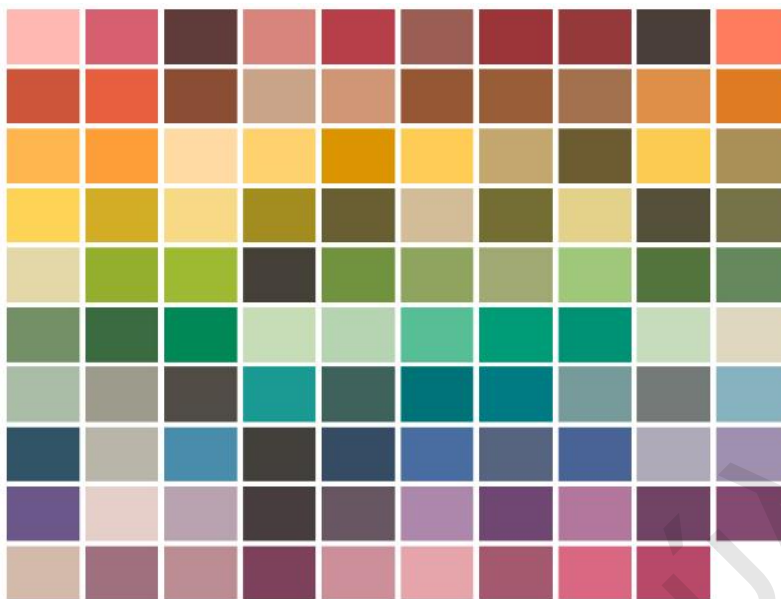


(α)



(β)

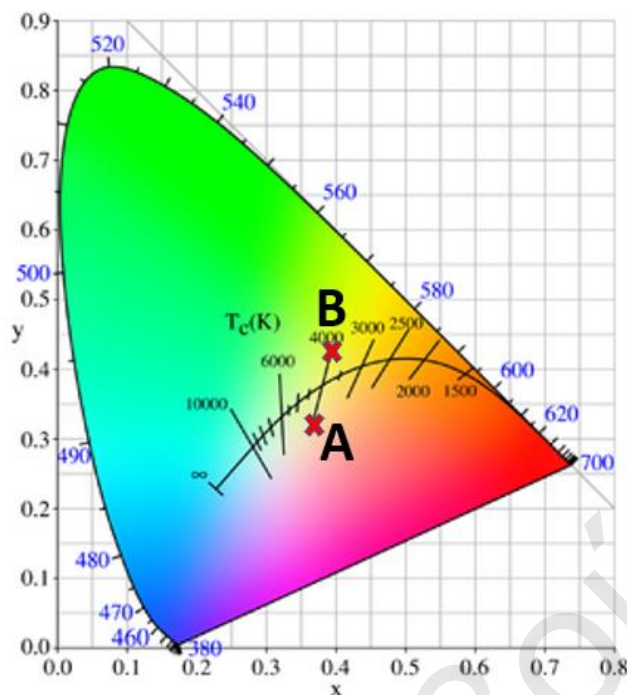
Σχήμα 3-14: Δείγματα χρωμάτων για τις δοκιμές των φασμάτων φωτεινών πηγών και του καθορισμού του δείκτη R_a ή CRI όπως έχουν καθοριστεί από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (CIE) με τη χρήση 8 βασικών χρωμάτων (α) και 7 επιπρόσθετων χρωμάτων για το δείκτη R_{a15} (β).



Σχήμα 3-15: Δείγματα χρωμάτων για τις δοκιμές των φασμάτων φωτεινών πηγών και του καθορισμού του δείκτη χρωματικής πιστότητας R_f (Fidelity Index).

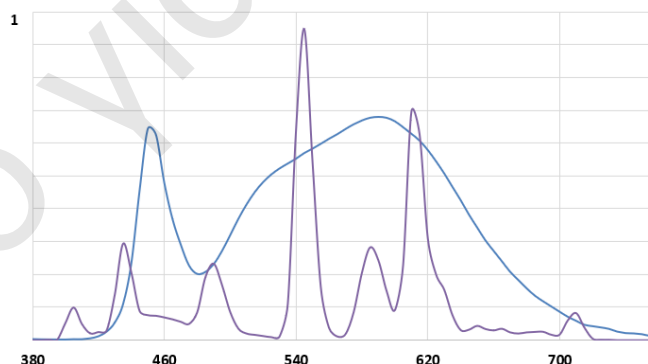
3.7.2 Λευκή απόχρωση φωτισμού

Η απόχρωση φωτισμού μιας λευκής πηγής εκφράζεται με τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος CCT (Correlated Color Temperature) [K]. Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος είναι ο χαρακτηρισμός μιας λευκής φωτεινής πηγής, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον επικρατέστερο χρωματικό τόνο της, στην κλίμακα των θερμών (κίτρινου, κόκκινου), ουδέτερων και ψυχρών (μπλε) λευκών αποχρώσεων σε σχέση με ένα ιδεατό μέλαν σώμα που εκπέμπει ακτινοβολία του ίδιου λευκού τόνου στην αντίστοιχη θερμοκρασία (Kelvin). Θερμές σε χρωματική απόχρωση πηγές θεωρούνται οι φωτεινές πηγές με CCT <3.300K, ενώ ψυχρές οι πηγές με CCT >5.300K. Οι ενδιάμεσες τιμές καθορίζουν μια φωτεινή πηγή στο ουδέτερο λευκό. Η μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος μπορεί να παρουσιαστεί στο χρωματικό χάρτη της CIE με τη Planckian καμπύλη (Σχήμα 3-16). Επειδή στην πραγματικότητα στο σύνολο των πηγών υπάρχουν περισσότερες διαφοροποιήσεις της λευκής απόχρωσης πέραν της Planckian καμπύλης, η θερμοκρασία χρώματος αναφέρεται ως συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος. Αυτές οι τιμές βρίσκονται πάνω και κάτω από την Planckian καμπύλη ενώ οι κάθετες γραμμές που τέμνουν την Planckian καμπύλη καθορίζουν το συσχετισμό. Όσο πιο μακριά βρίσκονται οι τιμές αυτές από την Planckian καμπύλη τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφοροποίηση. Η διαφοροποίηση αυτή εκφράζεται με τον όρο $D(u,v)$, όπου όταν $D(u,v) = 0$ τότε η πηγή είναι πάνω στην Planckian καμπύλη. Εν τέλει δύο διαφορετικές πηγές (A και B) με την ίδια συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (π.χ. 4.000K) δύναται να διαφέρουν αρκετά εφόσον έχουμε $D(u,v) \gg 0$ για τη μια και $D(u,v) \ll 0$ για την άλλη.



Σχήμα 3-16: Χρωματικός χάρτης της CIE με τη Planckian καμπύλη.

Η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος μιας πηγής δεν μπορεί να υποκαταστήσει τις πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν μόνο από την πλήρη κατανομή της ορατής ακτινοβολίας που εκπέμπει μια πηγή. Μπορεί έμμεσα σε ορισμένες περιπτώσεις να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα ανά περιοχή φάσματος όπως για παράδειγμα μια θερμή πηγή θα έχει περισσότερη ακτινοβολία στην περιοχή με το κόκκινο χρώμα, ενώ μια ψυχρή στην περιοχή με το μπλε. Για τις πηγές με ουδέτερο λευκό δεν μπορεί να αποδοθεί κάποια πληροφορία για το φάσμα ακτινοβολιών, καθώς δυο πηγές με την ίδια τιμή 4.000K μπορούν να έχουν τελείως διαφορετική κατανομή ακτινοβολίας (Σχήμα 3-17).



Σχήμα 3-17: Πηγές φωτισμού με συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος 4.000K αλλά διαφορετική κατανομή ισχύος στο ορατό φάσμα η οποία δεν γίνεται αντιληπτή από την οπτική λειτουργία του ανθρώπινου ματιού. Η βιολογική επίδραση δύναται να είναι διαφορετική.

Από την άλλη πλευρά η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος των πηγών έχει συσχετισθεί με τη ψυχολογική και συναισθηματική επίδραση του φωτισμού στον άνθρωπο. Τα επίπεδα φωτισμού και η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος έχουν συσχετιστεί με βάση την ημερήσια μεταβολή του φυσικού φωτισμού. Οι υψηλότερες τιμές φωτισμού έχουν συνδεθεί με ψυχρές αποχρώσεις λευκού χρώματος (αντιστοίχηση με μεσουράνηση του ήλιου σε μπλε ουράνιο θόλο) ενώ οι χαμηλότερες τιμές

φωτισμού έχουν συνδεθεί με θερμές αποχρώσεις λευκού χρώματος (ηλιοβασίλεμα ή ανατολή). Διαφοροποιήσεις σε αυτές τις συσχετίσεις μπορούν να θεωρηθούν είτε ως αφύσικες ή είτε ως μη ευχάριστες από τους χρήστες (π.χ. ψυχρός φωτισμός σε εστιατόριο με επίπεδα φωτισμού 20-100lx).

Τέλος, η επίδραση του φάσματος των πηγών φωτισμού και της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος στις βιολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο είναι σημαντική και για αυτό αναλύεται ξεχωριστά σε άλλη παράγραφο που αφορά τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό (βλ. κεφάλαιο 9).

3.8 Χρονική διαμόρφωση φωτισμού

Τα σύγχρονα συστήματα φωτισμού διαφέρουν πολύ στο βαθμό που παρουσιάζονται μεταβολές φωτισμού κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους (χρονική διαμόρφωση φωτισμού, Temporal Light Modulation TLM). Αυτό οφείλεται κυρίως στον τρόπο που χρησιμοποιείται το ηλεκτρονικό σύστημα οδήγησης και με τον τρόπο που οδηγούν και ελέγχουν τη φωτεινή πηγή ή το φωτιστικό σώμα. Ενώ στα φωτιστικά σώματα παλαιάς τεχνολογίας υπήρχε παρόμοια συμπεριφορά στα χαρακτηριστικά της χρονικής διαμόρφωσης φωτισμού ανεξαρτήτως του κατασκευαστή τους (π.χ. τα ηλεκτρομαγνητικά ballast για οδήγηση T8 λαμπτήρων), στα συστήματα φωτισμού LED υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στους κατασκευαστές.

Οι επιδράσεις της χρονικής διαμόρφωσης φωτισμού είναι γνωστές και μπορούν να επηρεάσουν την οπτική αντίληψη του ανθρώπου, την νευροβιολογία του αλλά και τη γενικότερη επίδοσή του με δυσμενείς τρόπους. Τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην οπτική αντίληψη ενός ανθρώπινου παρατηρητή είναι γνωστά με τον όρο Temporal Light Artefacts (TLAs). Γνωστά παραδείγματα τέτοιων ανεπιθύμητων ενεργειών είναι η φωτεινή μαρμαρυγή (flicker), η στροβοσκοπική επίδραση (stroboscopic effect) και τα αντιληπτικά προβλήματα χρονικώς μεταβαλλόμενου φωτός (phantom array effect).

Ο όρος flicker (φωτεινή μαρμαρυγή) αναφέρεται σε άμεσα ορατές διαμορφώσεις μιας στατικής πηγής φωτός σε σχετικά χαμηλές συχνότητες (<80Hz) και σε μικρά επίπεδα διαμόρφωσης τις οποίες παρατηρεί ένας στατικός παρατηρητής.

Η στροβοσκοπική επίδραση (stroboscopic effect) είναι το αποτέλεσμα που μπορεί να γίνει ορατό σε έναν στατικό παρατηρητή όταν ένα κινούμενο ή περιστρεφόμενο αντικείμενο φωτίζεται από μια υπό διαμόρφωση φωτεινή πηγή σε υψηλότερες συχνότητες (>80Hz μέχρι 2kHz) και μεγαλύτερα επίπεδα διαμόρφωσης.

Στο φαινόμενο του phantom array effect παρατηρείται αλλαγή στο αντιληπτό σχήμα ή στις χωρικές θέσεις αντικειμένων, που προκαλείται από ένα οπτικό ερέθισμα φωτός, όταν η λαμπρότητα ή η φασματική κατανομή κυμαίνεται με το χρόνο, για έναν μη στατικό παρατηρητή σε ένα στατικό περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό θα μπορούσε να γίνει αντιληπτό από ένα μέσο άτομο όταν κάνει ένα «σακούλιασμα» στα μάτια προς μια μικρή πηγή φωτός που έχει περιοδική διακύμανση. Τότε η φωτεινή πηγή μπορεί να γίνει αντιληπτή ως μια σειρά χωρικά εκτεταμένων σημειακών πηγών φωτισμού.

Οι δυσμενείς τρόποι επίδρασης της χρονικής διαμόρφωσης φωτισμού στον άνθρωπο μπορεί να είναι ο πονοκέφαλος και η καταπόνηση των ματιών. Τα προϊόντα φωτισμού (πηγές) που εμφανίζουν μαρμαρυγή ή στροβοσκοπικό φαινόμενο θεωρούνται φωτιστικά σώματα κακής ποιότητας και **δεν επιτρέπεται** η χρήση τους από 1/9/2021, σύμφωνα με τον κανονισμό (EU) 2019/2020.

Αυτή τη στιγμή για την περιγραφή των χαρακτηριστικών της χρονικής διαμόρφωσης φωτισμού των συστημάτων φωτισμού υπάρχουν αρκετά συστήματα μετρήσεων κάτω από διαφορετικά πρότυπα.

Μεταξύ αυτών, είναι η κυρίαρχη συχνότητα (dominant frequency), το βάθος της διαμόρφωσης (modulation depth), ο δείκτης flicker, η ολοκληρωμένη μέτρηση κυματισμού μικρότερη από 80Hz γνωστή ως P_{stLM} και η στροβοσκοπική μέτρηση ορατότητας (Stroboscopic Visibility Measure, SVM). Οι τιμές αυτών των δεικτών θα πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές. Πιο συγκεκριμένα, για να περιοριστούν οι δυσμενείς τρόποι επίδρασης της χρονικής διαμόρφωσης φωτισμού στον άνθρωπο τα συστήματα φωτισμού θα πρέπει να λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (>15kHz) ή με τροφοδοσία DC. Επιπρόσθετα τα κριτήρια αποδοχής για τις μετρήσεις TLA εξαρτώνται τόσο από την ορατότητα όσο και από την κρισιμότητα της εφαρμογής. Για παράδειγμα, σε ένα εργοστάσιο ή στους αθλητικούς χώρους η απουσία στροβοσκοπικών εφέ είναι κρίσιμη σε σχέση με την ασφαλή λειτουργία των μηχανημάτων και της τηλεοπτικής μετάδοσης στα αθλήματα, ενώ για ορισμένες άλλες εφαρμογές φωτισμού τα στροβοσκοπικά εφέ αντιμετωπίζονται σπάνια ως ζήτημα. Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός και των δύο μετρήσεων και των κριτηρίων αποδοχής τους εξαρτάται από την εφαρμογή του φωτισμού. Σύμφωνα με τις υποχρεωτικές οδηγίες της Ε.Ε. από το 2021, για κοινές εφαρμογές (σπίτι, γραφείο κ.λπ.) ο δείκτης για τη φωτεινή μαρμαρυγή P_{stLM} σε πλήρες φορτίο πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος της μονάδας. Ο δείκτης $P_{st}=1$ προσομοιώνει τη συμπεριφορά μιας λάμπας πυρακτώσεως, που γίνεται αντιληπτή από έναν μέσο παρατηρητή, όταν παραμορφώνεται από τη τάση τροφοδοσίας της. Τα πρότυπα καθορίζουν τα μέγιστα επίπεδα διαταραχών τάσης τροφοδοσίας που μπορεί να παράγει ο οικιακός ηλεκτρικός εξοπλισμός (π.χ. πλυντήρια, κουζίνες, κλιματιστικά) στην τάση δικτύου. Οποιαδήποτε άλλη πηγή ελέγχεται με αυτήν την τιμή. Όσον αφορά τη μέτρηση του στροβοσκοπικής επίδρασης θα πρέπει να είναι $SVM \leq 0,9$ από 1/9/2021 και από $SVM \leq 0,4$ από 1/9/2024. Στο όριο ανιχνευσιμότητας, όπου $P_{st}=1$ ή $SVM=1$, ένας υποθετικός μέσος παρατηρητής μπορεί να ανιχνεύσει φωτεινή μαρμαρυγή ή στροβοσκοπικό αποτέλεσμα, αντίστοιχα, με πιθανότητα 50%. Για αυτές τις μετρήσεις, μια χαμηλότερη τιμή σημαίνει ότι η φωτεινή μαρμαρυγή είναι λιγότερο πιθανό να παρατηρηθεί και μια υψηλότερη τιμή σημαίνει ότι το αποτέλεσμα είναι πιο πιθανό να παρατηρηθεί. Για αυτό η τήρηση των ορίων είναι εξαιρετικά σημαντική.

Για το τρίτο φαινόμενο, το phantom array effect, η έρευνα βρίσκεται σε εξέλιξη για τον προσδιορισμό ενός συστήματος μέτρησης για τον ποσοτικό προσδιορισμό αυτού του φαινομένου. Για τη σημαντικότητα της παραμέτρου αυτής θα πρέπει να αναφερθεί πως είναι κυρίως ορατό σε υπαίθριες νυχτερινές καταστάσεις, όπου υπάρχει υψηλή αντίθεση λαμπρότητας, παρατηρώντας π.χ. τα φώτα φρένων σε ένα αυτοκίνητο. Μπορεί επίσης να είναι ορατό και σε εσωτερικούς χώρους, εάν μια έντονα διαμορφωμένη πηγή φωτός με σκοτεινό φόντο (όπως ένα εστιακό σποτ σε μια σκοτεινή οροφή) είναι στο άμεσο οπτικό πεδίο ενός παρατηρητή που κινεί γρήγορα τα μάτια του. Έτσι μπορεί να σχηματιστεί στον αμφιβληστροειδή μια σειρά από εικόνες του ίδιο αντικειμένου π.χ. των άκρων του φωτιστικού που είναι στο ορατό πεδίου του κινούμενου παρατηρητή.

4 Φωτισμός έκτακτης ανάγκης

4.1 Γενικά στοιχεία

Το σύστημα φωτισμού έκτακτης ανάγκης τίθεται σε λειτουργία όταν υπάρχει διακοπή της ηλεκτρικής παροχής της εγκατάστασης, που έχει ως συνέπεια την παύση της λειτουργίας του συστήματος τεχνητού φωτισμού. Η τροφοδοσία του συστήματος έκτακτης ανάγκης γίνεται από κάποια άλλη ανεξάρτητη πηγή (H/Z, μπαταρίες, κ.λπ.). Στόχος του είναι η μείωση της πιθανότητας να σημειωθεί κάποιο ατύχημα λόγω της μειωμένης ορατότητας των χρηστών. Ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

- τον φωτισμό ασφαλείας και
- τον εφεδρικό φωτισμό.

Ο φωτισμός ασφαλείας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες,

- τον φωτισμό οδεύσεων διαφυγής,
- τον φωτισμό περιοχών υψηλού κινδύνου και
- τον φωτισμό αποφυγής πανικού σε ανοιχτούς χώρους.

4.2 Φωτισμός ασφαλείας

Ο φωτισμός ασφαλείας διασφαλίζει ότι οι εργασίες με υψηλό κίνδυνο ατυχήματος μπορούν να τερματιστούν με ασφάλεια και ότι τα άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με τις εγκαταστάσεις μπορούν να εξέλθουν με ασφάλεια από τους χώρους σε περίπτωση γενικής διακοπής ρεύματος. Τα φωτιστικά ασφαλείας θα πρέπει να τοποθετούνται σε τέτοια σημεία ώστε να υπάρχει επαρκής φωτισμός στα κρίσιμα σημεία του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να τοποθετούνται σε ύψος μέχρι δύο μέτρα από το δάπεδο, ώστε να υπάρχει επαρκής φωτισμός και να εξασφαλίζεται η απαραίτητη ορατότητα. Τα σημεία, στα οποία θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την εγκατάσταση φωτιστικών ασφαλείας είναι:

- σε κάθε έξοδο που θα χρησιμοποιηθεί σε κατάσταση ανάγκης
- σε σκάλες, ώστε κάθε σκαλοπάτι να δέχεται άμεσο φωτισμό
- σε κάθε αλλαγή επιπέδου (π.χ. ράμπα ή πλατύσκαλο)
- σε κάθε σταθμό πρώτων βοηθειών
- σε κάθε σταθμό πυρόσβεσης και συναγερμό πυρκαγιάς
- στην εξωτερική πλευρά εξόδων ασφαλείας.
- σε σημεία που χρησιμοποιούνται από άτομα με ειδικές ανάγκες (συσκευές διαφυγής, τουαλέτες, περιοχές επικοινωνίας και ασφαλείας)
- σε κάθε σημείο διασταύρωσης διαδρόμων
- σε κάθε σημείο αλλαγής κατεύθυνση

4.2.1 Φωτισμός οδεύσεων διαφυγής

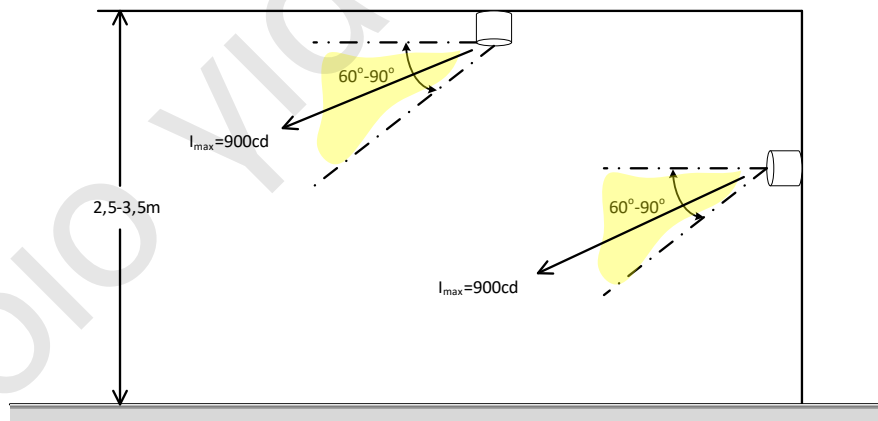
Οι οδεύσεις διαφυγής πρέπει να φωτίζονται επαρκώς ώστε να διασφαλιστεί ότι οι εργαζόμενοι και οι επισκέπτες μπορούν να φτάσουν σε ασφαλή περιοχή το συντομότερο δυνατό σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Αυτό απαιτεί:

- Φωτιζόμενες ή φωτεινές πινακίδες ασφαλείας για τη σήμανση της διαδρομής διαφυγής
- Φωτιστικά που φωτίζουν τις οδεύσεις διαφυγής

Οι περιορισμοί στον φωτισμό των οδεύσεων διαφυγής παρουσιάζονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 4-1). Στο Σχήμα 4-1 δίνεται η τιμή της μέγιστης φωτεινής έντασης ($I_{\max}$) οδεύσεων διαφυγής για γωνίες αζιμουθίου (γ) μεταξύ 60° και 90° προς την κατακόρυφο (πληροφορία που, εύκολα, μπορεί να εξαχθεί από το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού). Για άλλα ύψη χώρων οριζοντίων οδεύσεων διαφυγής και άλλες οδεύσεις διαφυγής, τα όρια που καθορίζονται από το πρότυπο EN 1838 δεν πρέπει να υπερβαίνονται.

Πίνακας 4-1: Περιορισμοί στον φωτισμό των οδεύσεων διαφυγής

Ένταση φωτισμού (ελάχιστη) E [lx]	Ομοιομορφία U_d (min/max) [-]	Δείκτης χρωματικής απόδοσης R_a [-]
≥ 1	$\geq 1:40$	≥ 40
Σημειώσεις 1. Οι τιμές του πίνακα ισχύουν για οδεύσεις διαφυγής μέχρι 2m πλάτος. Για πλάτος μεγαλύτερο των 2m, αντιμετωπίζονται ως φωτισμός αποφυγής πανικού σε ανοιχτούς χώρους. (βλ. παράγραφο 4.2.3). 2. Επισημαίνεται ότι η ομοιομορφία που αναφέρεται στον πίνακα είναι η ομοιομορφία ελάχιστης προς μέγιστη τιμή και όχι η ομοιομορφία ελάχιστης προς μέση τιμή που χρησιμοποιείται για το γενικό φωτισμό.		



Σχήμα 4-1: Περιοχές οδεύσεων διαφυγής όπου δεν πρέπει να υπερβαίνονται οι μέγιστες τιμές

4.2.2 Φωτισμός περιοχών υψηλού κινδύνου

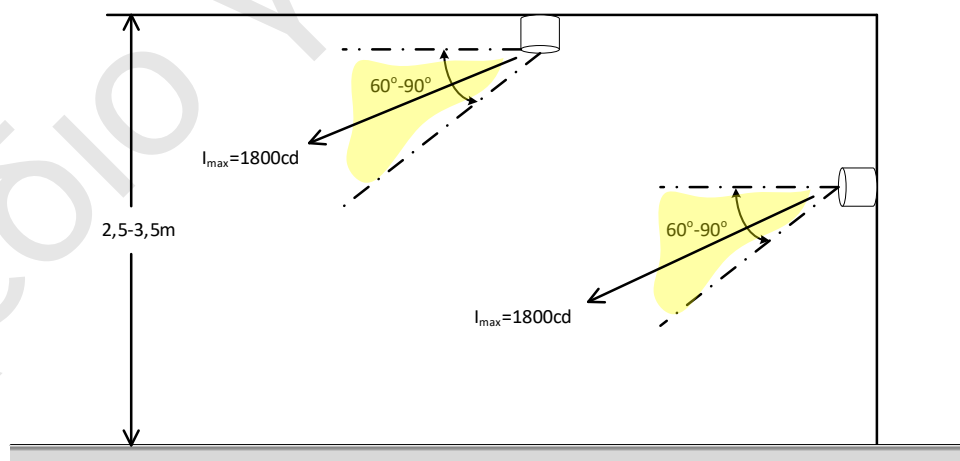
Η πιθανότητα ατυχήματος είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε ορισμένες περιοχές, όπως για παράδειγμα:

- Εργαστήρια με αυξημένο κίνδυνο λόγω πραγματοποίησης επικίνδυνων πειραμάτων (πρόκληση εκρήξεων ή πυρκαγιάς, απελευθέρωση παθογόνων, τοξικών ή ραδιενεργών ουσιών σε επικίνδυνες ποσότητες).
- Χώροι εργασίας που πρέπει να παραμένουν σκοτεινοί για τεχνικούς λόγους.
- Περιοχές με κινούμενα μηχανήματα που μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά από διακοπή ρεύματος.
- Σημεία ελέγχου για συστήματα που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση, όπως κέντρα ελέγχου και αίθουσες ελέγχου για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, χημικές και μεταλλουργικές εγκαταστάσεις καθώς και χώρους εργασίας με εξοπλισμό που πρέπει να λειτουργεί ώστε να διακόψει ή να τερματίσει τη διαδικασία παραγωγής με ασφάλεια.
- Χώροι εργασίας κοντά σε ζεστά λουτρά ή λάκκους χύτευσης που δεν μπορούν να ασφαλιστούν από φράγματα προστασίας για λόγους παραγωγής.

Οι περιορισμοί στον φωτισμό των οδεύσεων διαφυγής παρουσιάζονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 4-2). Στο Σχήμα 4-2 δίνεται η τιμή της μέγιστης φωτεινής έντασης ($I_{\max}$) οδεύσεων διαφυγής για γωνίες αζιμουθίου (γ) μεταξύ 60° και 90° προς την κατακόρυφο (πληροφορία που, εύκολα, μπορεί να εξαχθεί από το πολικό διάγραμμα του φωτιστικού). Για άλλα ύψη χώρων οριζοντίων οδεύσεων διαφυγής και άλλες οδεύσεις διαφυγής, τα όρια που καθορίζονται από το πρότυπο EN 1838 δεν πρέπει να υπερβαίνονται.

Πίνακας 4-2: Περιορισμοί στον φωτισμό περιοχών υψηλού κινδύνου

Μέση ένταση φωτισμού E_{av} [lx]	Ομοιομορφία U_o (min/av) [-]	Δείκτης χρωματικής απόδοσης R_a [-]
≥ 15	$\geq 0,1$	≥ 40
Σημειώσεις Επισημαίνεται ότι η ομοιομορφία που αναφέρεται στον πίνακα είναι η ομοιομορφία ελάχιστης προς μέση τιμή (που χρησιμοποιείται για το γενικό φωτισμό).		



Σχήμα 4-2: Περιοχές οδεύσεων διαφυγής όπου δεν πρέπει να υπερβαίνονται οι μέγιστες τιμές.

4.2.3 Φωτισμός αποφυγής πανικού σε ανοιχτούς χώρους

Πανικός μπορεί να προκληθεί εάν τα φώτα σβήσουν ξαφνικά, ως συνέπεια κάποιας διακοπής ρεύματος, σε μεγάλες αθλητικές εκδηλώσεις, συναυλίες ή πανεπιστημιακές διαλέξεις, ή όπου ο κόσμος συγκεντρώνεται σε μεγάλο αριθμό. Ο φωτισμός αποφυγής πανικού παρέχει μεγαλύτερη αίσθηση ασφάλειας. Σκοπός του είναι να μειώσει την πιθανότητα πανικού και να δημιουργήσει τις οπτικές συνθήκες που απαιτούνται για να φτάσουν οι άνθρωποι σε οδεύσεις διαφυγής με ασφάλεια. Επίσης, ο φωτισμός αποφυγής πανικού πρέπει να εγκατασταθεί όπου οι οδεύσεις διαφυγής δεν είναι σαφώς καθορισμένες - για παράδειγμα σε μεγάλες αίθουσες - ή όπου ολόκληρος ο χώρος της αίθουσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως όδευση διαφυγής. Όσον αφορά τη μέγιστη φωτεινή ένταση ισχύει ότι ακριβώς και στον φωτισμό οδεύσεων διαφυγής ([παράγραφος 4.2.1](#)), ενώ οι περιορισμοί παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4-3: Περιορισμοί στον φωτισμό αποφυγής πανικού σε ανοιχτούς χώρους

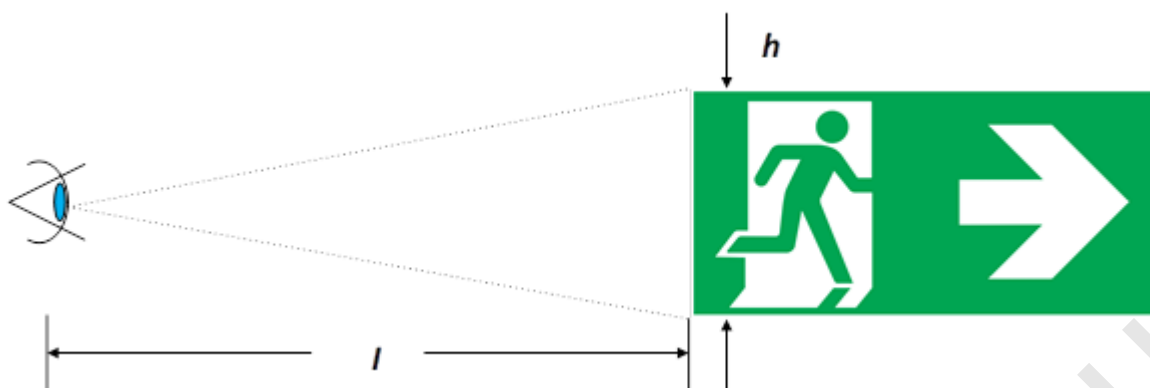
Ένταση φωτισμού (ελάχιστη) $E [lx]$	Ομοιομορφία $U_d (min/max) [-]$	Δείκτης χρωματικής απόδοσης $R_a [-]$
$\geq 0,5$	$\geq 1:40$	≥ 40
Σημειώσεις Επισημαίνεται ότι η ομοιομορφία που αναφέρεται στον πίνακα είναι η ομοιομορφία ελάχιστης προς μέγιστη τιμή και όχι η ομοιομορφία ελάχιστης προς μέση τιμή που χρησιμοποιείται για το γενικό φωτισμό.		

4.2.4 Πινακίδες ασφαλείας

Υπάρχουν δύο κατηγορίες πινακίδων ασφαλείας. Αυτές που φωτίζονται εσωτερικά και αυτές που φωτίζονται εξωτερικά. Και τα δύο είδη πρέπει να είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα, ενώ υπάρχει σημαντική διαφορά στην απόσταση αναγνώρισης ([Σχήμα 4-3](#)). Ο μελετητής είναι υποχρεωμένος να τηρεί τις προδιαγραφές σχετικά με την λαμπρότητα των πινακίδων και των χρόνων απόκρισης και ελάχιστης λειτουργίας ([Πίνακας 4-4](#)).

Πίνακας 4-4: Προδιαγραφές πινακίδων ασφαλείας

Λαμπρότητα σε κάθε σημείο της πινακίδας (ελάχιστη) $L [cd/m^2]$	Χρόνος απόκρισης 50% L $t_{50\%} [sec]$	Χρόνος απόκρισης 100% L $t_{100\%} [sec]$	Ελάχιστη διάρκεια λειτουργίας $t_o [h]$
$\geq 2,0$	≤ 5	≤ 60	1,0
Σημειώσεις 1. $t_{50\%}$ είναι ο χρόνος για να φτάσει η λαμπρότητα της πινακίδας στο 50% της ονομαστικής τιμής 2. $t_{100\%}$ είναι ο χρόνος για να φτάσει η λαμπρότητα της πινακίδας στο 100% της ονομαστικής τιμής 3. t_o είναι ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο η πινακίδα πρέπει να διατηρεί τα όρια της λαμπρότητας του πίνακα			



Σχήμα 4-3: Υπολογισμός της απόστασης αναγνώρισης.

Ο υπολογισμός της απόστασης αναγνώρισης των πινακίδων (I) γίνεται σύμφωνα με τους ακόλουθους τύπους:

Εσωτερικά φωτιζόμενες πινακίδες: $I = h \cdot 200$ [εξ. 4-1]

Εξωτερικά φωτιζόμενες πινακίδες: $I = h \cdot 100$ [εξ. 4-2]

όπου: $I [m]$: η απόσταση αναγνώρισης πινακίδας

$h [m]$: το ύψος της πινακίδας

4.3 Εφεδρικός φωτισμός

Ο εφεδρικός φωτισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο λόγους. Ο ένας είναι για την εκκένωση ενός χώρου, περίπτωση κατά την οποία ακολουθεί τον σχεδιασμό του φωτισμού έκτακτης ανάγκης όπως αυτός περιγράφεται και στην [παράγραφο 4.2](#). Ο δεύτερος λόγος είναι, σε περίπτωση που δεν υπάρχει κίνδυνος για τους χρήστες, να μειωθούν τα επίπεδα φωτισμού ενός χώρου για το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε είτε να τερματιστεί μια διαδικασία, είτε να συνεχιστεί η οποιαδήποτε δραστηριότητα.

5 Εξωτερικοί χώροι κτιρίων

5.1 Απαιτήσεις φωτισμού

Ως εξωτερικοί χώροι των κτιρίων χαρακτηρίζονται όλοι οι χώροι οι οποίοι εξυπηρετούν τη χρήση του κτιρίου. Αυτοί μπορεί να είναι:

- οι προσόψεις του κτιρίου,
- οι διαβάσεις,
- οι πλατείες,
- το ευρύτερο τοπίο (landscape),
- η είσοδος, οι σκάλες και οι ράμπες,
- οι θέσεις στάθμευσης (εσωτερικές και εξωτερικές) και
- οι εσωτερικοί οδοί.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο εξωτερικός φωτισμός σε αυτούς τους χώρους μπορεί να προσφέρει περισσότερες υπηρεσίες από το να επισημάνει απλά τις προσόψεις των κτιρίων και να προσφέρει έναν καλύτερο προσανατολισμό. Οι απαιτήσεις φωτισμού μιας εσωτερικής οδού προς το κτίριο, μιας απλής διαδρομής πρόσβασης, ενός υπαίθριου χώρου στάθμευσης είναι κατά κύριο λόγο λειτουργικές. Βέβαια, η καλή ορατότητα για την επίτευξη της ασφάλειας στους χρήστες έχει ύψιστη προτεραιότητα. Παρόλα αυτά, αν τοποθετηθούν τα κατάλληλα φωτιστικά, εκεί που χρειάζονται, λειτουργώντας την κατάλληλη στιγμή, δεν χρειάζεται να παραληφθεί η αισθητική σχεδίαση. Αρκεί, η αισθητική σχεδίαση να μην δημιουργεί φωτορύπανση, καθώς ο φωτισμός με κατεύθυνση προς τα πάνω ή σε άλλες περιοχές εκτός αυτών για τις οποίες προορίζεται, οι υψηλές εντάσεις φωτισμού με έντονες ανομοιομορφίες και η χρήση τεχνολογιών φωτισμού με πλούσιο μπλε χρώμα στο ορατό φάσμα (π.χ. ψυχρή θερμοκρασία χρώματος ή δείκτης $G < 2$) αποτελούν τις κύριες πηγές φωτορύπανσης.

Καθώς η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος CCT δεν μπορεί να περιγράψει ποσοτικά το μέγεθος της μπλε ή κυανής ακτινοβολίας (380nm-500nm) που περιλαμβάνεται σε μια φωτεινή πηγή ([Παράγραφος 3.7.2](#)), η Ευρωπαϊκή Τεχνική αναφορά «Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals» χρησιμοποιεί ως μέγεθος μέτρησής της, το δείκτη G [[εξ. 5-1](#)], [Σχήμα 5-1](#)) για τις ευαίσθητες περιοχές. Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία, σε πάρκα, κήπους και περιοχές που θεωρούνται περιβαλλοντικά ευαίσθητες, ο δείκτης G πρέπει να είναι $\geq 1,5$, ενώ σε περιοχές εντός ακτίνας 30km από αστικό αστεροσκοπείο οπτικής αστρονομίας ή εντός ακτίνας 100km από μεγάλο αστεροσκοπείο οπτικής αστρονομίας, ο δείκτης G πρέπει να είναι $\geq 2,0$. Εάν δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός του δείκτη G, η τιμή της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος CCT μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός, με την επίγνωση ωστόσο ότι η χρήση της εν είδει μέτρησης για το κυανό φως δεν χαρακτηρίζεται από απόλυτη ακρίβεια. Ένας δείκτης G της τάξης του $\geq 1,5$ ισούται σε γενικές γραμμές (αλλά όχι πάντα) με $CCT \leq 3.000K$. Ένας δείκτης G της τάξης του $\geq 2,0$ ισούται σε γενικές γραμμές (αλλά όχι πάντα) με $CCT \leq 2.700K$.

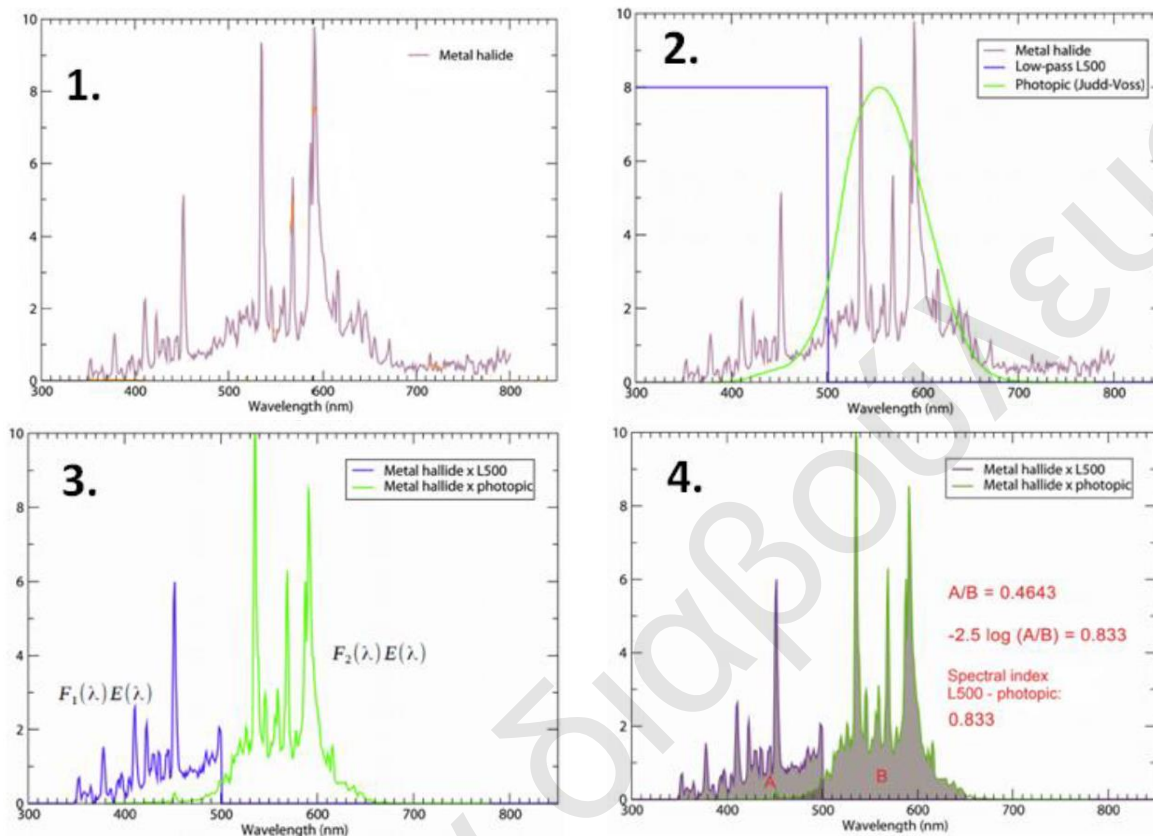
$$G = -2,5 \log_{10} \left(\frac{A}{B} \right) \quad [\text{εξ. 5-1}]$$

όπου $A [W_{380-500}]$

η ισχύς της ακτινοβολίας $E_{(\lambda)}$ μέσα από μπλε φίλτρο $F_{1(\lambda)}$ φάσματος 380nm-500nm
 $\int_{380}^{500} F_{1(\lambda)} \cdot E(\lambda) \cdot d\lambda$ ([Σχήμα 5-1](#))

B [W₃₈₀₋₇₈₀]η ισχύς της ακτινοβολίας E (λ) μέσα από τη φωτοπική καμπύλη F₂(λ)

$$\int_{380}^{780} F_2(\lambda) \cdot E(\lambda) \quad (\text{Σχήμα 5-1})$$



Σχήμα 5-1: Παράδειγμα υπολογισμού δείκτη G, Πηγή: Ευρωπαϊκή Τεχνική αναφορά «Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals».

Ο προσαρμοσμένος φωτισμός στην οδό μπροστά από το κτίριο μπορεί ταυτόχρονα να προσφέρει ασφάλεια και να συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Τα μονοπάτια, τα σκαλοπάτια, τα εξωτερικά κλιμακοστάσια και οι υπόλοιποι χώροι θα πρέπει να περιλαμβάνονται στις αρχικές μελέτες φωτισμού για τις υπαίθριες εγκαταστάσεις των κτιρίων. Με αυτόν τον τρόπο οι περιοχές αυτές θα ενσωματώνονται αρμονικά στη συνολική εικόνα του κτιρίου.

Στον επόμενο πίνακα (*Πίνακας 5-1*) δίνονται οι απαιτήσεις φωτισμού για τις βασικές περιοχές των εξωτερικών χώρων ενός κτιρίου. Όπως στον εσωτερικό φωτισμό έτσι και στον εξωτερικό, οι απαιτήσεις αναφέρονται στην επιφάνεια εργασίας. Οι απαιτήσεις έντασης φωτισμού στις γειτονικές περιοχές δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (*Πίνακας 5-2*). Οι περιοχές εργασίας θα πρέπει να φωτίζονται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα με ελάχιστη μέση τιμή αυτή που αναφέρεται στον αντίστοιχο πίνακα (*Πίνακας 5-1*). Η ομοιομορφία (ελάχιστη ένταση φωτισμού προς μέση τιμή έντασης φωτισμού) στις γειτονικές περιοχές δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,10.

Πίνακας 5-1: Απαιτήσεις φωτισμού για τις βασικές περιοχές των εξωτερικών χώρων ενός κτιρίου.

Τύπος περιοχής, επιφάνειας εργασίας ή δραστηριότητα	E_m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	U_o Ομοιομορφία [-]	Δείκτης θάμβωσης R_{GL} [-]
Μονοπάτια	5	0,0	0,25	50
Παρακείμενοι οδοί για οχήματα με χαμηλή ταχύτητα	10	0,0	0,40	50
Ράμπες φόρτωσης – εκφόρτωσης, ανοικτός χώρος περιμετρικά των κτιρίων	20	0,0	0,25	55
Περιοχές στάθμευσης (χαμηλή χρήση)	5	0,0	0,25	55
Περιοχές στάθμευσης (μεσαία χρήση)	10	0,0	0,25	50

Πίνακας 5-2: Απαιτήσεις έντασης φωτισμού και ομοιομορφίας στις γειτονικές περιοχές ανάλογα την ένταση φωτισμού στην κύρια επιφάνεια εργασίας.

Ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας [lx]	Ομοιομορφία στην επιφάνεια εργασίας	Ένταση φωτισμού στην περιμετρική περιοχή [lx]	Ομοιομορφία στην περιμετρική περιοχή
150-200	Όπως αντιστοιχεί στον τύπο περιοχής, επιφάνεια εργασίας ή δραστηριότητα	50	0,10
100-150		30	0,10
50-100		20	0,10
<50		Χωρίς καθορισμό	0,10

5.2 Περιορισμός ενοχλητικού φωτισμού και φωτορύπανσης

Για την προστασία του νυχτερινού περιβάλλοντος, είναι απαραίτητο να ελέγξουμε το ενοχλητικό φως ή τη φωτορύπανση, τα οποία μπορούν να επιφέρουν σοβαρά βιολογικά και οικολογικά προβλήματα στους ανθρώπους και το γειτονικό περιβάλλον αντίστοιχα. Η ενοχληση φωτισμού ή φωτορύπανση είναι ένας ευρύς όρος που καλύπτει διάφορες πτυχές που σχετίζονται με τη λάθος κατεύθυνση του φωτός, το φάσμα εκπομπής και τις αρνητικές επιπτώσεις του:

- Φωτισμένος ουρανός (Sky glow): Αύξηση φωτεινότητας του νυχτερινού ουρανού πάνω από κατοικημένες περιοχές.
- Θάμβωση (Glare): Υπερβολική λαμπρότητα πηγών που σε συνδυασμό το σκοτεινό υπόβαθρο προκαλεί οπτική δυσφορία.
- Υπερφωτισμός (Overillumination): Χρήση υπερβολικών επιπέδων φωτισμού και συνήθως είναι εκτός των ορίων που περιγράφονται από τους κανονισμούς.
- Παρασιτικός φωτισμός (Spill light): Φωτισμός που προσπίπτει εκτός της περιοχής που προορίζεται να φωτιστεί.
- Φωτο-καταπάτηση (Light trespass): Φωτισμός που εμφανίζεται σε περιοχές που δεν προορίζεται να υπάρχει ή δεν απαιτείται. Προκαλείται από παρασιτικό φωτισμό
- Κατακλυσμός οπτικού πεδίου (Clutter): Φωτεινές και υπερβολικές ομαδοποιήσεις πηγών φωτός που προκαλούν σύγχυση
- Διαταραχή οικοσυστημάτων (disturbing biodiversity): Διατάραξη των φυσικών ρυθμών των νυκτερινών ειδών, της χλωρίδας και γενικότερα του οικοσυστήματος με χρήση κυρίως ακατάλληλων φασμάτων εκπομπής ακτινοβολίας και περιττού φωτισμού.

Οι μελέτες εξωτερικού φωτισμού θα πρέπει να έχουν ως στόχο τη μείωση του ενοχλητικού φωτισμού και την καταπολέμηση της φωτορύπανσης. Ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με:

- Μείωση των επιπέδων φωτισμού που καθορίζει ο μελετητής χωρίς να θέτει θέματα ασφαλείας ή αντιβαίνει στους κανονισμούς.
- Σωστή στόχευση των φωτιστικών σωμάτων.
- Απενεργοποίηση του περιττού φωτισμού.
- Περιορισμό των ωρών λειτουργίας φωτισμού των εξωτερικών χώρων ή μείωση της φωτεινής ροής των φωτιστικών σωμάτων τις προχωρημένες ώρες σε περιοχές που μπορεί να υπάρχουν προβλήματα ασφαλείας.
- Περιορισμός των εγκαταστάσεων φωτισμού στις περιοχές που είναι απαραίτητο να φωτιστούν.
- Χρήση φωτιστικών σωμάτων πλήρους αποκοπής για ελαχιστοποίηση της ποσότητας φωτός που εκπέμπεται απευθείας προς τα πάνω και πλήρη περιορισμό της χρήσης φωτιστικών σωμάτων με διάχυση φωτισμού προς όλες τις κατευθύνσεις τύπου «μπάλα».
- Κατάλληλη προσαρμογή του ορατού φάσματος της πηγής με σκοπό την ελαχιστοποίηση της διαταραχής των οικοσυστημάτων.

Τα όρια του ενοχλητικού φωτός για εγκαταστάσεις εξωτερικού φωτισμού, παρουσιάζονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 5-3). Για τους χρήστες των οχημάτων ο δείκτης θάμβωσης f_{TI} (EN 13201) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 15% με βάση το πραγματικό επίπεδο φωτισμού για τις θέσεις παρατηρητή στην κατεύθυνση της πορείας του οχήματος. Η θερμοκρασία χρώματος συνιστάται να είναι $\leq 3.000\text{K}$ ή $G \geq 1,5$ ενώ ο δείκτης χρωματικής απόδοσης ≥ 80 με εξαίρεση τους εξωτερικούς χώρους στάθμευσης. Οι περιορισμοί της φωτεινής μαρμαρυγής και του στροβοσκοπικού φαινομένου έχουν παρουσιαστεί στην ενότητα 3.8.

Πίνακας 5-3: Περιορισμοί εξωτερικού φωτισμού για τον περιορισμό της φωτορύπανσης

Περιβάλλον φωτισμού	Μέγιστη φωτεινή ένταση εκπομπής από φωτιστικό σώμα [cd]	Μέγιστο ποσοστό φωτισμού προς τα πάνω (R_{UL})	Μέγιστα μέσα επίπεδα λαμπρότητας στις προσόψεις του κτιρίου [cd/m^2]	Μέγιστες τιμές λαμπρότητας στις προσόψεις του κτιρίου για ιδιαίτερη έμφαση [cd/m^2]
Με χαμηλά επίπεδα γειτονικού φωτισμού, κέντρα μεγάλων πλατειών, κατοικημένες περιοχές, ύπαιθρος	7.500	5%	5	10
Με μεσαία επίπεδα γειτονικού φωτισμού, κατοικημένες περιοχές, μικρές εμπορικές περιοχές	10.000	15%	10	60
Με μεγάλα επίπεδα γειτονικού φωτισμού, κέντρο πόλεων και εμπορικές περιοχές	25.000	25%	25	150
Σημειώσεις Σε σκοτεινές περιοχές όπως είναι προστατευμένες περιοχές (εθνικά πάρκα, δρυμοί, φυσικοί χώροι, μεγάλα πάρκα κ.λπ.) τα επίπεδα λαμπρότητας στις προσόψεις των κτιρίων που βρίσκονται μέσα σε αυτές θα πρέπει να είναι μηδενικά. Αν υπάρχει σύστημα φωτισμού μέσα στις περιοχές αυτές το ποσοστό της φωτεινής ροής τους προς τα πάνω θα πρέπει είναι μηδενικό. Στις προχωρημένες ώρες κατά τη διάρκεια της νύκτας (π.χ. >0:00) οποιαδήποτε πηγή πρέπει να απενεργοποιείται.				

5.3 Φωτισμός προσόψεων

Ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για ένα ελκυστικό αστικό τοπίο κατά τη διάρκεια της νύκτας είναι ο τεχνητός φωτισμός και τα κατάλληλα επίπεδα φωτισμού. Σε αντίθεση με τον εσωτερικό φωτισμό, ο σχεδιασμός εξωτερικού φωτισμού βασίζεται κυρίως σε τιμές λαμπρότητας. Αυτή η παράμετρος είναι καθοριστική για έναν μελετητή και το αντίστοιχο έργο που μπορεί να είναι η πρόσοψη ενός κτιρίου, μια οδού ή μιας σήραγγας. Η λαμπρότητα καθορίζεται από το φωτισμό που κατευθύνεται προς μια επιφάνεια και τις ανακλαστικές ιδιότητές της. Ο βαθμός ανάκλασης είναι μια σημαντική παράμετρος και καθορίζεται από το είδος του υλικού και το χρώμα των επιφανειών που πρέπει να φωτιστούν. Αυτό έχει σημαντική επίδραση στην αντίληψη ενός αντικειμένου ή μιας επιφάνειας που κατά κύριο λόγο πρέπει να είναι μια ματ για να είναι εύκολα αντιληπτή. Το ίδιο ισχύει για το φόντο και τη λαμπρότητα του περιβάλλοντος αλλά και για τις προκύπτουσες αντιθέσεις.

Το αποτέλεσμα του κτιρίου γίνεται πολύ πιο εντυπωσιακό, όσο περισσότερο ξεχωρίζει η πρόσοψή του από το φόντο του. Ο φωτισμός ενός κτιρίου που στέκεται στο κέντρο μιας φωτισμένης πόλης απαιτεί υψηλότερα επίπεδα φωτισμού από ό, τι θα συνέβαινε αν αυτό βρισκόταν σε ένα σκοτεινό φόντο, π.χ. στη μέση της υπαίθρου. Όσο πιο σκούρα είναι μια επιφάνεια, τόσο χαμηλότερος θα είναι ο συντελεστής ανάκλασης. Συνεπώς η επιφάνεια αυτή, για να είναι το ίδιο λαμπρή με μια πρόσοψη με ανοικτά χρώματα (και άρα υψηλότερο συντελεστή ανάκλασης) ο προσπίπτων φωτισμός (ένταση φωτισμού) που θα χρησιμοποιηθεί για την επιφάνεια / πρόσοψη πρέπει να είναι μεγαλύτερος. Ο Πίνακας 5-4 δίνει τις μέγιστες, μέσες και απολύτως μέγιστες (μόνο για σημειακή έμφαση) τιμές έντασης φωτισμού με τις οποίες μπορούν να φωτίζονται οι προσόψεις κτιρίων ή μνημείων ανάλογα την περιοχή που βρίσκονται και το υλικό (συντελεστή ανάκλασης) που αποτελούνται. Στις περιοχές ιδιαίτερης προστασίας και εγγενώς σκοτεινές περιοχές, όπως εθνικά πάρκα, φυσικοί χώροι, μεγάλα πάρκα ή προστατευόμενες τοποθεσίες δεν επιτρέπεται ο φωτισμός των προσόψεων των κτιρίων (EN 12464 - 2).

Στις τιμές του Πίνακα 5-4 δύναται να υπάρχουν υπερβάσεις για εορταστικό φωτισμό (π.χ. video mapping) ο οποίος θα είναι σε εφαρμογή για περιορισμένο χρονικό διάστημα (μικρότερο της εβδομάδας) και θα απενεργοποιείται στις προχωρημένες ώρες αν βρίσκεται σε περιοχές χαμηλής και μεσαίας φωτεινότητας εκτός από τις προστατευμένες περιοχές.

Επιπλέον, ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να δίνεται στο φωτισμό των πινακίδων, των οποίων ο φωτισμός δεν πρέπει να ξεπερνά τις μέγιστες μέσες τιμές λαμπρότητας ανάλογα τη περιοχή που βρίσκονται (Πίνακας 5-5). Τα όρια φωτισμού των προσόψεων που ανήκουν στην κατηγορία όψεων πολυμέσων ή όψεων ως μέσο επικοινωνίας (media facades) θα πρέπει να συμμορφώνονται με τα όρια του Πίνακα 5-5 του φωτισμού πινακίδων και προτείνεται να απενεργοποιείται στις προχωρημένες ώρες αν βρίσκεται σε περιοχές χαμηλής και μεσαίας φωτεινότητας.

Πίνακας 5-4: Όρια φωτισμού προσόψεων κτιρίων και μνημείων σε περίπτωση που κρίνεται απαραίτητο να φωτιστούν.

Υλικό (Συντελεστής ανάκλασης ορατού φάσματος)	Ένταση φωτισμού [lx]					
	Περιοχές χαμηλής φωτεινότητας, κέντρα μεγάλων πλατειών, κατοικημένες περιοχές, ύπαιθρος		Περιοχές μεσαίας φωτεινότητας, κατοικημένες περιοχές, μικρές εμπορικές περιοχές		Περιοχές υψηλής φωτεινότητας, κέντρα πόλεων και εμπορικές περιοχές	
	Μέση τιμή	Μέγιστη	Μέση τιμή	Μέγιστη	Μέση τιμή	Μέγιστη
Πολύ σκουρόχρωμες επιφάνειες, επίχρυσμα σκουρόχρωμο (π.χ. σκούρο λαδί, καφέ, γκρι), φυτεμένη όψη με αειθαλή φυτά, εμφανής οπτοπλινθοδομή ή λιθοδομή (< 0,4)	40	80	120	350	200	850
Σκούρα τούβλα, Επίχρυσμα μέτριας απόχρωσης (π.χ. γκρι, μπεζ, σκούρα όχρα, σομόν), εμφανής ανοιχτόχρωμη οπτοπλινθοδομή ή λιθοδομή (0,4-0,5)	35	70	105	350	170	850
Κόκκινα τούβλα, Επίχρυσμα ανοιχτόχρωμο (π.χ. ανοιχτό γκρι, μπεζ, κίτρινο, ροζ ή γαλάζιο) (0,5-0,6)	30	60	85	350	140	850
Επιφάνειες με παστέλ χρώματα (0,6-0,7)	25	50	70	300	120	700
Λευκό μάρμαρο, ανοιχτόχρωμη πέτρα, στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες (> 0,7)	20	45	65	250	110	650
Σημειώσεις Σε σκοτεινές περιοχές όπως είναι προστατευμένες περιοχές (εθνικά πάρκα, δρυμοί, φυσικοί χώροι, μεγάλα πάρκα κ.λπ.) τα επίπεδα λαμπρότητας στις προσόψεις των κτιρίων που βρίσκονται σε αυτές πρέπει να είναι σχεδόν μηδενικά (<0,1cd/m ²). Αν υπάρχει σύστημα φωτισμού μέσα στις περιοχές αυτές το ποσοστό της φωτεινής ροής τους προς τα πάνω πρέπει είναι μηδενικό. Στις προχωρημένες ώρες κατά τη διάρκεια της νύκτας (π.χ. >0:00), οποιαδήποτε πηγή πρέπει να απενεργοποιείται.						

Πίνακας 5-5: Μέγιστες μέσες τιμές λαμπρότητας φωτισμού πινακίδων.

Μέγιστες μέσες τιμές λαμπρότητας φωτισμού πινακίδων [cd/m ²]				
Εγγενώς σκοτεινές περιοχές, όπως εθνικά πάρκα ή προστατευόμενες τοποθεσίες	Σκοτεινές περιοχές, σχετικά αραιοκατοικημένες αγροτικές περιοχές	Περιοχές χαμηλής φωτεινότητας, κέντρα μεγάλων πλατειών, κατοικημένες περιοχές, ύπαιθρος	Περιοχές μεσαίας φωτεινότητας, κατοικημένες περιοχές, μικρές εμπορικές περιοχές	Περιοχές υψηλής φωτεινότητας, κέντρα πόλεων και εμπορικές περιοχές
0,1	50	400	800	1.000

5.4 Έλεγχος εξωτερικού φωτισμού και εγκατεστημένη ισχύς

Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει ευρύτερο σχέδιο φωτισμού πόλης (City Light Masterplan) από τον αρμόδιο διαχειριστή του συστήματος φωτισμού, ο φωτισμός για τις όλες τις εξωτερικές εφαρμογές, εκτός από:

- α) τον φωτισμό των εισόδων ή εξόδων οχημάτων από κτίρια ή τις δομές στάθμευσης όπου απαιτείται για ασφάλεια, προστασία ή προσαρμογή των ματιών και
- β) τον φωτισμό που σχετίζεται με την σήμανση από τον κατασκευαστή,

προτείνεται να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις με σκοπό τη μείωση της φωτορύπανσης και την αύξηση της βιωσιμότητας και της αειφορίας:

- Το σύστημα φωτισμού θα ελέγχεται από συσκευή ελέγχου που θα απενεργοποιεί αυτόματα τον φωτισμό όταν υπάρχει επάρκεια φυσικού φωτισμού.
- Ο φωτισμός των προσόψεων του κτιρίου και ο φωτισμός τοπίου όπου αφορούν την ανάδειξη (δεν αφορά το λειτουργικό φωτισμό) θα απενεργοποιούνται αυτόματα μεταξύ 0:00πμ ή του κλεισίματος της επιχείρησης, όποιο από τα δύο επέρχεται τελευταίο, και τις 6:00πμ ή έναρξης της επιχείρησης, όποιο επέρχεται πρώτο, εκτός και αν περιγράφεται διαφορετικά από τον αρμόδιο διαχειριστή του συστήματος φωτισμού και το αντίστοιχο ευρύτερο σχέδιο φωτισμού πόλης (City Light Masterplan) π.χ. αρχαιολογικοί χώροι, μνημεία, ιστορικά κτίρια τα οποία αποτελούν τοπόσημα, σημεία προσανατολισμού στο αστικό τοπίο κ.λπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να προβλέπεται μείωση των επιπέδων φωτισμού στο 25% και περιορισμός του δυναμικού φωτισμού εφόσον αυτός υπάρχει.
- Ο λειτουργικός φωτισμός (π.χ. φωτισμός οδών) και ο φωτισμός σήμανσης ή εμπορικών πινακίδων θα ελέγχεται συνολικά έτσι ώστε να μειώνεται αυτόματα η ισχύς φωτισμού τουλάχιστον κατά 75% ή να απενεργοποιείται (π.χ. φαρμακεία, εκτός των εφημερευόντων όπου προτείνεται 75% μείωση, πρατήρια, εκτός της 24h όπου προτείνεται 75% μείωση, εμπορικά καταστήματα κ.λπ.) για τουλάχιστον μία από τις ακόλουθες περιπτώσεις:
 - α) Από τις 0:00πμ ή εντός μίας ώρας από το τέλος των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, όποιο από τα δύο επέρχεται τελευταίο, έως τις 6πμ ή το άνοιγμα της επιχείρησης, όποιο από τα δύο επέρχεται πρώτο.
 - β) Κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε περιόδου κατά την οποία δεν έχει ανιχνευθεί δραστηριότητα για χρονικό διάστημα όχι μεγαλύτερο από 15 λεπτά.
- Τα φωτιστικά που εξυπηρετούν εξωτερικούς χώρους στάθμευσης και έχουν ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη από 70W και ύψος τοποθέτησης 7m ή λιγότερο πάνω από το έδαφος, θα ελέγχονται ώστε να μειώνεται αυτόματα η ισχύς κάθε φωτιστικού κατά τουλάχιστον 50% όταν δεν έχει ανιχνευτεί καμία δραστηριότητα στην αντίστοιχη περιοχή ελέγχουν για χρονικό διάστημα που δεν υπερβαίνει τα 15 λεπτά. Η συνολική ισχύς των φωτιστικών που θα μπορούν να ελέγχονται ταυτόχρονα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1,5kW.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5-6) προτείνονται μέγιστα όρια στην εγκατεστημένη ισχύ για τις εξωτερικές περιοχές των κτιρίων.

Πίνακας 5-6: Όρια εγκατεστημένης ισχύος και απαιτούμενος έλεγχος φωτισμού για τις εξωτερικές περιοχές των κτιρίων.

Εξωτερική περιοχή	Μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς			Έλεγχος φωτισμού
	Περιοχές που αποτελούνται κυρίως από κατοικημένες ζώνες, περιφερειακές επιχειρηματικές περιοχές, ελαφρά βιομηχανικές περιοχές με περιορισμένη νυχτερινή χρήση και περιοχές μικτής χρήσης κατοικιών	Όλες οι περιοχές με κανονική χρήση	Εμπορικές περιοχές υψηλής δραστηριότητας σε μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές, όπως καθορίζονται από τον μελετητή ή την τοπική αρχή	
Προσόψεις κτιρίων, μονοπάτια, πλατείες, και ειδικές περιοχές	0,88 [W/m ²]	1,1 [W/m ²]	1,4 [W/m ²]	Ο φωτισμός θα πρέπει να απενεργοποιείται ή να μειώνεται σε στάθμη φωτισμού ίση με το 25% της αρχικής κατά τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου
Περιοχές τοπίου	0,34 [W/m ²]	0,43 [W/m ²]	0,54 [W/m ²]	Ο φωτισμός θα πρέπει να απενεργοποιείται ή να μειώνεται σε στάθμη φωτισμού ίση με το 25% της αρχικής κατά τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου
Είσοδος κτιρίων (Πόρτα)	37 [W/m]	46 [W/m]	57,5 [W/m]	Ο φωτισμός θα πρέπει να απενεργοποιείται ή να μειώνεται σε στάθμη φωτισμού ίση με το 25% της αρχικής κατά τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου
Κλιμακοστάσια και ράμπες	6 [W/m ²]	7,5 [W/m ²]	9,4 [W/m ²]	Δεν απαιτείται έλεγχος
Θέσεις στάθμευσης και οδοί	0,43 [W/m ²]	0,54 [W/m ²]	0,68 [W/m ²]	Η στάθμη φωτισμού θα πρέπει να μειώνεται στο 50% όταν δεν ανιχνεύεται παρουσία χρηστών για περισσότερο από 15 λεπτά.
Υπόλοιπες περιοχές	1,8 [W/m ²]	2,2 [W/m ²]	2,8 [W/m ²]	Ο φωτισμός θα πρέπει να απενεργοποιείται ή να μειώνεται σε στάθμη φωτισμού ίση με το 25% της αρχικής κατά τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου
Σημειώσεις Ο εξωτερικός φωτισμός θα πρέπει να ελέγχεται συνολικά με φωτοκύτταρο / αισθητήρα φωτισμού ή αστρονομικό διακόπτη ώστε να απενεργοποιείται με τις πρωινές ώρες με την πρώτη παρουσία Φ.Φ.				

5.5 Σχέδιο αστικού φωτισμού ή ευρύτερης περιοχής

Για τον ορθό φωτισμό μιας αστικής περιοχής ή μιας ευρύτερης περιοχής θα πρέπει να υπάρχει ένας σχετικός διαχωρισμός ανάμεσα στον λειτουργικό-βασικό φωτισμό (φωτισμός οδών, υπόγειων διαβάσεων, υποδομών κ.λ.π.) και τον επιλεκτικό φωτισμό (φωτισμό ανάδειξης κτιρίων, υπαίθριων έργων τέχνης, αρχιτεκτονικής τοπίου κ.λ.π.) αλλά και η επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ τους, μέσω ενός συνολικού / ολιστικού σχεδίου αστικού φωτισμού ή φωτισμού μιας ευρύτερης περιοχής (π.χ. δήμος,

πάρκο, σκοτεινό πάρκο κλπ.). Οι στόχοι ενός ολιστικού σχεδίου φωτισμού (lighting masterplan) είναι οι κάτωθι:

- Αναγνώριση όλων των τύπων φωτισμού (βασικός και επιλεκτικός) που διαμορφώνουν το νυχτερινό τοπίο.
- Διασφάλιση ότι όλοι οι τύποι / τεχνικές φωτισμού λειτουργούν σε συμφωνία με το σύνολο της περιοχής, σέβονται το περιβάλλον και εναρμονίζονται με τις ανάγκες των χρηστών, ταυτόχρονα.
- Επίτευξη της λειτουργικότητας (επίτευξη οπτικής άνεσης, ασφάλειας, ομαλής οπτικής προσαρμοστικότητας μεταξύ περιοχών, μείωση θάμβωσης κ.λπ.)
- Τήρηση των κανονισμών και της νομοθεσίας με στόχο τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον (μείωση οικολογικού αποτυπώματος, εξοικονόμηση ενέργειας, καταπολέμησης της φωτορύπανσης, κ.λ.π.)
- Δημιουργία ατμόσφαιρας και έκφρασης (δημιουργία πόλων έλξης, ομοιομορφία, επιλεκτικότητα, δημιουργία εμβληματικών εικόνων κ.λπ.).

Ο εξωτερικός φωτισμός μπορεί να διαχωρισθεί σε δυο βασικές κατηγορίες:

- α. Λειτουργικός – βασικός φωτισμός: φωτισμός οδών, ποδηλατοδρόμων, πάρκων, βιομηχανικών περιοχών, αθλητικών εγκαταστάσεων, πινακίδων και υποδομών πχ λιμάνια, σταθμοί. Ο λειτουργικός φωτισμός βασίζεται κατά κύριο λόγο σε τεχνικά κριτήρια, οπότε οι μελέτες φωτισμού πρέπει να εναρμονίζονται με τα αντίστοιχα πρότυπα (παρούσα οδηγία, EN 12464-2, EN 12193, κ.λ.π.) αλλά και να αποδίδουν τον χαρακτήρα και την ταυτότητα της ευρύτερης περιοχής.
- β. Αρχιτεκτονικός - επιλεκτικός φωτισμός: φωτισμός ιστορικών κτιρίων π.χ. κάστρα, θρησκευτικά κτίρια, κτιρίων ως τοπόσημα π.χ. δημαρχεία, σύγχρονων κτιρίων, κατασκευών π.χ. γέφυρες, οδογέφυρες κ.λ.π., έργων τέχνης στο δημόσιο χώρο π.χ. γλυπτά, σιντριβάνια, αρχιτεκτονικής τοπίου, περιοχές συνάθροισης κοινού π.χ. πλατείες, εμπορικές περιοχές. Παρότι ο σκοπός του αρχιτεκτονικού φωτισμού είναι να δώσει μια τρισδιάστατη δομή μιας ευρύτερης περιοχής ή της πόλης στο νυχτερινό τοπίο, θα πρέπει να βασίζεται και αυτός σε τεχνικά κριτήρια έτσι ώστε να μην υπάρχει κατασπατάληση ενέργειας, φωτορύπανση ή αλλοίωση του οπτικού αποτελέσματος (π.χ. αλλοίωση εικόνας μνημείων). Επίσης, για τις μελέτες φωτισμού του επιλεκτικού φωτισμού θα πρέπει να παραδίδονται οι σχετικές τεκμηριώσεις.

Να σημειωθεί πως το σχέδιο φωτισμού από μόνο του, δεν καθιστά υποχρεωτική την εφαρμογή φωτισμού στις υπό εξέταση περιοχές. Τα βασικά βήματα ενός σχεδίου φωτισμού αποτελούνται από: α) Ανάλυση και καθορισμό των περιοχών και των αναγκών τους για λειτουργικό-βασικό φωτισμό, β) ανάλυση και καθορισμό των περιοχών και των αναγκών τους για επιλεκτικό-αρχιτεκτονικό φωτισμό, γ) ανάλυση των χρηστών ανά περιοχή (πχ κάτοικοι, επισκέπτες, τουρίστες κλπ.), δ) καθορισμός των εξεταζόμενων περιοχών με γνώμονα τη φυσική περιοχή ή την τοπογραφία τους, ε) καθορισμός της «εικόνας» της πόλης και του αστικού της χαρακτήρα, στ) ένταξη στο σχεδιασμό του φωτισμού της «σιλουέτας» της πόλης, ζ) ιεράρχηση της ανάδειξης των κτιρίων στην «σιλουέτα» της πόλης με αντιθέσεις λαμπρότητας 10:1 (άκρως εντυπωσιακό), 5:1 (ξεχωρίζει) και 3:1 (διακρίνεται απλά), η) καθορισμός τοπόσημων, θ) καθορισμός σημείων θέασης (πχ πέρασμα τουριστών από μια περιοχή με τοπόσημο, ι) ανάλυση των εξεταζόμενων περιοχών (εμπορική περιοχή, οικιστική, βιομηχανική, τύπος

κτιρίων, κ.λπ.), κ) ανάλυση ιδιαιτεροτήτων (ιστορικό μέρος, πολλαπλά σημεία θέασης, πολιτιστικά χαρακτηριστικά κ.λπ.), λ) ανάλυση του υφιστάμενου φωτισμού (δράσεις βελτίωσης, αναβάθμισης, προσαρμογή τους στα όρια των κανονισμών κ.λπ.) και μ) ξεκάθαροι στόχοι σχεδιασμού ανά εξεταζόμενη περιοχή (δημιουργία ασφάλειας, τουριστικός πόλος έλξης, υποστήριξη αθλητικών δραστηριοτήτων κ.λπ.).

Καθώς στον λειτουργικό-βασικό φωτισμό οι περιοχές που θα πρέπει να φωτιστούν είναι καθορισμένες από πρότυπα, στον επιλεκτικό φωτισμό σημαντική παράμετρος για τον επιτυχημένο σχεδιασμό τους είναι η επιλογή των αντικειμένων που θα φωτιστούν π.χ. των κτιρίων. Είναι κρίσιμο να ενταχθούν κριτήρια επιλογής έτσι ώστε η ιεράρχησή τους να είναι πιο εύκολη. Για παράδειγμα, κριτήρια για το φωτισμό των αστικών περιοχών (πχ πάρκα, μνημεία, σιντριβάνια κλπ.) μπορεί να είναι η λειτουργικότητα, ο συμβολισμός, η δημιουργία εμβληματικής εικόνας, σημεία θέασης καλλιτεχνική αξία κλπ. Αντίστοιχα κριτήρια μπορούν να εφαρμοστούν είτε στα ιστορικά κτίρια (με προσθήκη επιπλέον κριτηρίων πχ αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, ή απόρριψη άλλων) είτε στα σύγχρονα. Οι περιοχές ή τα κτίρια με την υψηλότερη βαθμολογία στο σύνολο των κριτηρίων μπορούν να επιλεγθούν για την ανάδειξή τους και την ένταξή τους στο σχέδιο αστικού φωτισμού.

Στο σχέδιο του αστικού φωτισμού ή ευρύτερης περιοχής θα πρέπει να προβλέπεται ένα συγκεκριμένο εύρος επιπέδων φωτισμού – λαμπροτήτων, συγκεκριμένα όρια ανά εξεταζόμενη περιοχή με τις αντίστοιχες αναλογίες αντίθεσης και ομοιομορφίας και άλλων σχεδιαστικών παραμέτρων (συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος, απόδοση χρωμάτων, χρήση χρωμάτων για προσωρινό εορταστικό φωτισμό, πρόγραμμα λειτουργίας, σύστημα ελέγχου κ.λ.π.) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο συνολικός στόχος του (από κανονισμούς, πρότυπα, φορέα διαχείρισης). Η μη υλοποίηση συνολικού σχεδίου φωτισμού, συνήθως οδηγεί σε μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων, όπως:

- Πιθανή αυξητική κλιμάκωση των επιπέδων φωτισμού μεταξύ κτιρίων, τα οποία έχουν στόχο να γίνονται λαμπρότερα από τα γειτονικά τους.
- Έλλειψη εναρμόνισης περιοχών στο ευρύτερο σύνολο της πόλης στο νυχτερινό τοπίο.
- Φωτορύπανση και ειδικά φαινόμενα φωτο-καταπάτησης σε γειτονικές περιοχές από αυτές που φωτίζονται.
- Αδικοιολόγητη αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εξόδων που αφορούν την εγκατάσταση φωτισμού όπως είναι η αγορά εξοπλισμού, το κόστος συντήρησης κ.λ.π.
- Δυσaráσκεια των κατοίκων αν ο φωτισμός είναι αντίθετος με τα κοινωνικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

6 Συστήματα ελέγχου

6.1 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες στρατηγικών ελέγχου του φωτισμού. Η πρώτη αφορά στη διαχείριση της ενέργειας και η δεύτερη αφορά σε λόγους αισθητικής. Ο έλεγχος διαχείρισης της ενέργειας στα συστήματα φωτισμού προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους λειτουργίας, λόγω της μειωμένης ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται τα συστήματα φωτισμού αλλά και του μικρότερου χρόνου λειτουργίας τους. Ο έλεγχος φωτισμού για λόγους αισθητικούς παρέχει τη δυνατότητα να μεταβάλλονται οι λειτουργίες του χώρου δημιουργώντας ταυτόχρονα συναισθηματική ευφορία, προσφέροντας έλεγχο στην ποιότητα του φωτισμού, στη διάθεση των χρηστών και στο χρώμα του χώρου. Τα οφέλη των δύο αυτών στρατηγικών ελέγχου φωτισμού είναι αλληλοσυνδεόμενα και συνολικά αποτελούν μέρος του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Έτσι οι στρατηγικές ελέγχου διαχείρισης της ενέργειας μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα ενός χώρου αλλά και ο έλεγχος φωτισμού που είχε εγκατασταθεί αρχικά για λόγους αισθητικούς μπορεί να συντελέσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

6.1.1 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού με σκοπό τη διαχείριση της ενέργειας

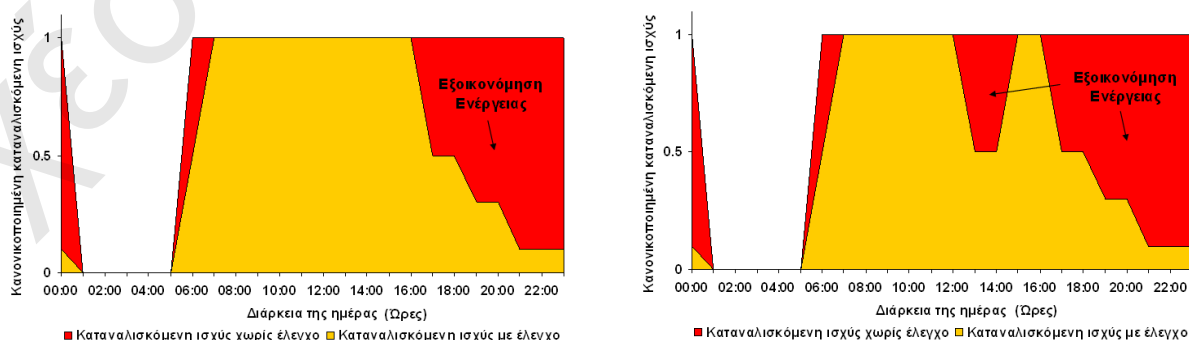
6.1.1.1 Προγραμματισμός (Scheduling)

Ο έλεγχος φωτισμού με προγραμματισμό μπορεί να χωρισθεί σε δυο επί μέρους κατηγορίες:

- τον προβλεπόμενο προγραμματισμό και
- τον μη προβλεπόμενο προγραμματισμό.

6.1.1.1.1 Προβλεπόμενος προγραμματισμός (Predictable Scheduling)

Η στρατηγική του προβλεπόμενου προγραμματισμού χρησιμοποιείται σε ένα κτίριο στο οποίο υπάρχουν επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της ημέρας και τα φωτιστικά σώματα μπορούν να λειτουργήσουν βάσει σταθερού προγράμματος (Σχήμα 6-1). Για παράδειγμα οι δραστηριότητες του χρόνου άφιξης και αναχώρησης του προσωπικού, οι περίοδοι του μεσημεριανού γεύματος και οι ώρες καθαρισμού είναι προβλεπόμενοι για τις εργάσιμες μέρες, τα σαββατοκύριακα και τις αργίες συνήθως σε κτίρια γραφείων, σχολείων, βιβλιοθηκών και άλλων εμπορικών κτιρίων.



Σχήμα 6-1: Καταναλισκόμενη ισχύς σε σύστημα φωτισμού με στρατηγική ελέγχου προγραμματισμού και χωρίς όταν δεν συμπεριλαμβάνεται η περίοδος του μεσημεριανού γεύματος (αρ.) και συμπεριλαμβάνεται (δεξ.).

Η στρατηγική του προβλεπόμενου προγραμματισμού είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν έχει καθοριστεί σωστά το πρόγραμμα του κύκλου εργασιών για ολόκληρο το χώρο. Τέτοιες στρατηγικές μπορούν να μειώσουν την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια έως και 40% μέσω της μείωσης της ενέργειας που δαπανάται από τα φωτιστικά σώματα που λειτουργούν σε περιοχές χωρίς προσωπικό. Ο αυτόματος προγραμματισμός απαλλάσσει το προσωπικό από την ανάγκη ελέγχου του φωτισμού και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένας τρόπος ορισμού ιδιαίτερων δραστηριοτήτων όπως είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο καταστημάτων (αρχή και τέλος λειτουργίας τους).

Επιπρόσθετα για να μην υπάρχει κίνδυνος να 'βυθιστούν' στο σκοτάδι οι χρήστες του χώρου κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού με προβλεπόμενο προγραμματισμό πρέπει να υπάρχει πρόληψη για παράκαμψη του προγράμματος από τους χρήστες και να υπάρχει δυνατότητα παρέμβασης σε περίπτωση που υπάρχουν αλλαγές στο πρόγραμμα των δραστηριοτήτων.

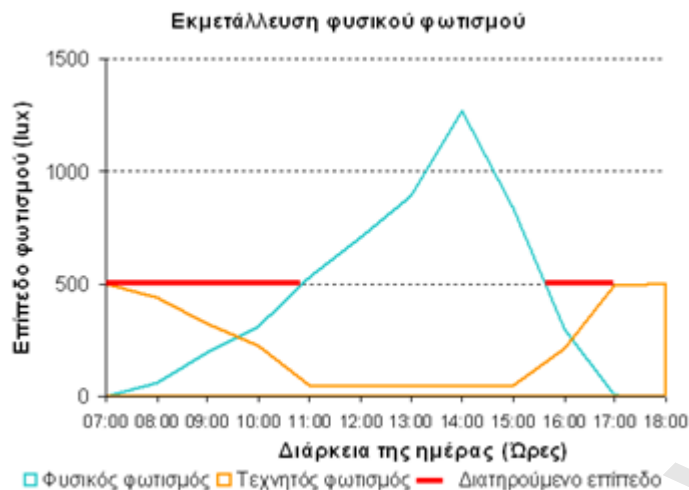
6.1.1.1.2 Μη προβλεπόμενος προγραμματισμός (Unpredictable Scheduling)

Πολλά γεγονότα είναι απρόβλεπτα και απρογραμμάτιστα, όπως οι απουσίες του προσωπικού από τα γραφεία τους λόγω ασθένειας, διακοπών, συνεδριάσεων και επαγγελματικών ταξιδιών. Διάφοροι χώροι όπως χώροι ανάπαυσης, βοηθητικοί χώροι με φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, δωμάτια με αρχεία, χώροι συσκέψεων, δωμάτια για διαλείμματα εργασίας και δοκιμαστήρια καταστημάτων χρησιμοποιούνται ελάχιστα και δεν μπορούν να προγραμματιστούν εύκολα. Αν και αυτοί οι χώροι μπορεί να μην είναι υποκείμενοι σε ένα στενό προγραμματισμό για τη λειτουργία του φωτισμού, διάφορες τοπικές τεχνικές αυτόματου ελέγχου μπορούν να είναι πιο αποδοτικές οικονομικά από τη συνηθισμένη εξάρτηση στην απλή χειροκίνητη λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων.

Στρατηγικές με μη προβλεπόμενο προγραμματισμό που χρησιμοποιούν αισθητήρες παρουσίας-κίνησης μπορούν να εξοικονομούν ενέργεια έως και 60% σε ορισμένες περιπτώσεις. Για να αξιολογηθούν τα οφέλη των αυτόματων ελέγχων είναι σημαντικό πρώτα να καθορίζεται το χρονικό διάστημα που ένας χώρος είναι κενός. Σημαντικό είναι όμως να λαμβάνεται υπόψη ότι η έναρξη ή διακοπή της λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων μπορεί να ενοχλεί τους χρήστες των παρακείμενων γραφείων, όπως συμβαίνει σε ένα γραφείο ανοικτού χώρου. Για λόγους αισθητικής, ασφάλειας και ικανοποίησης των χρηστών ο φωτισμός σε αυτούς τους χώρους μπορεί να βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη φωτισμού παρά να είναι πλήρως απενεργοποιημένος. Σήμερα οι αισθητήρες παρουσίας χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν το φωτισμό, τον κλιματισμό HVAC και τον εξοπλισμό γραφείων (π.χ., οθόνες υπολογιστών) και είναι τοποθετημένοι σε γραφεία, αποθήκες εμπορευμάτων, βιβλιοθήκες, βοηθητικούς χώρους αλλά και σε άλλους χώρους.

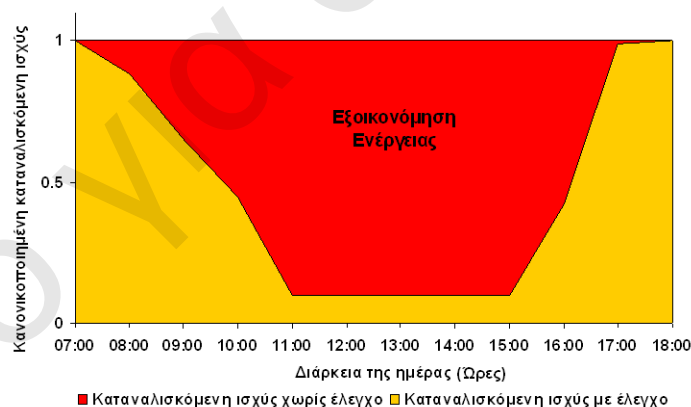
6.1.1.2 Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού (Daylighting harvesting)

Στις περιμετρικές περιοχές στο εσωτερικό των κτιρίων, μέρος του επιθυμητού φωτισμού μπορεί συχνά να παρασχεθεί με φυσικό φωτισμό (Φ.Φ.) μέσω των ανοιγμάτων του κελύφους (Σχήμα 6-2).



Σχήμα 6-2: Οι αισθητήρες φωτισμού διατηρούν ένα σταθερό επίπεδο φωτισμού εκμεταλλευόμενοι το φυσικό φωτισμό και προσαρμόζοντας αντίστοιχα τα επίπεδα του τεχνητού φωτισμού.

Σε αυτές τις περιοχές, η ισχύς για τον τεχνητό φωτισμό μειώνεται ανάλογα με τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας (Σχήμα 6-3). Η ρύθμιση της στάθμης φωτισμού (dimming) αλλά και οι διάφορες μέθοδοι έναρξης ή διακοπής λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων (switching) μπορούν να συντελέσουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Όσο αυξάνεται η απόσταση από το εξωτερικό άνοιγμα, μειώνεται ο Φ.Φ. με συνέπεια η ποσότητα του αναγκαίου φωτισμού να συμπληρώνεται αναλόγως από τον τεχνητό φωτισμό με τη ρύθμιση της στάθμης που παράγουν τα φωτιστικά σώματα (dimming). Σε περιοχές με υψηλά επίπεδα Φ.Φ. και μικρές απαιτήσεις φωτισμού (όπως διάδρομοι με εξωτερικά ανοίγματα) μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς η εκμετάλλευση του Φ.Φ. με έναρξη ή διακοπής λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων (switching).



Σχήμα 6-3: Καταναλισκόμενη ισχύς σε σύστημα φωτισμού με στρατηγική ελέγχου εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού και χωρίς.

Η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που πραγματοποιείται από την εκμετάλλευση του Φ.Φ. εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι πιο σημαντικοί είναι:

- οι κλιματολογικές συνθήκες,
- ο προσανατολισμός και η αρχιτεκτονική του κτιρίου,
- το είδος χρήσης του κτιρίου,

- τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα φωτισμού, ο αλγόριθμος ελέγχου του, η διαδικασία εγκατάστασής του και η θέση σε λειτουργία του (commissioning).

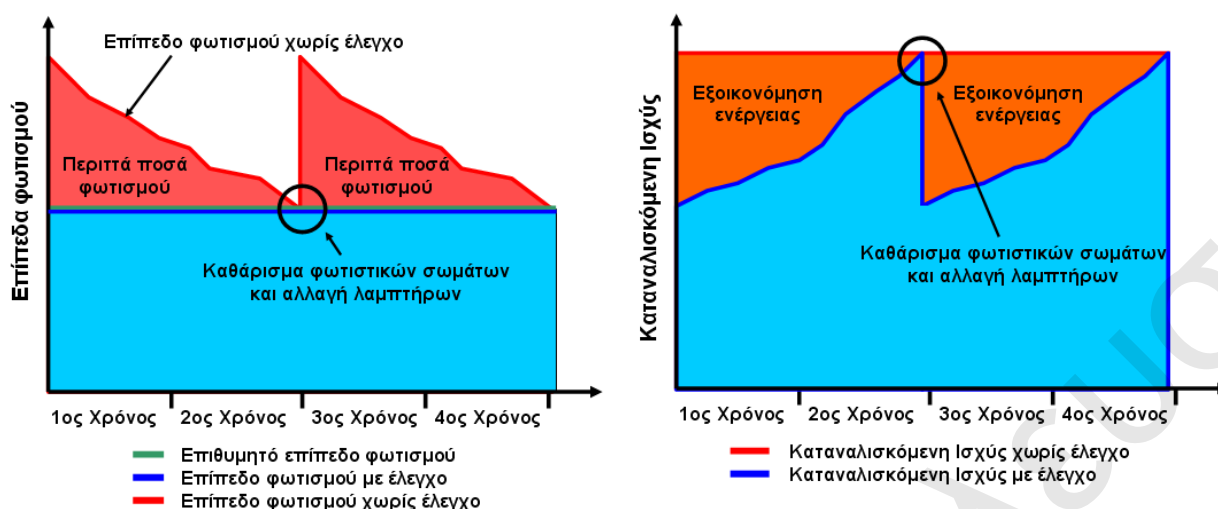
Τα χαρακτηριστικά των ζωνών ελέγχου των αισθητήρων στο εσωτερικό των κτιρίων, το μέγεθος και η μορφή τους, περιορίζονται συνήθως από την κατανομή της έντασης φωτισμού στο οριζόντιο επίπεδο ξεκινώντας από τον τοίχο με τα εξωτερικά ανοίγματα. Αν και οι ζώνες φωτισμού μπορούν να σχεδιαστούν για να καλύψουν μια ενιαία περιοχή, ένα δωμάτιο ή ένα ολόκληρο κτίριο, στην ουσία οι ζώνες φωτισμού πρέπει να είναι κοντά στα ανοίγματα μέσω των οποίων εισέρχεται ο Φ.Φ.. Σε έναν τυπικό χώρο γραφείων με Φ.Φ. που εισέρχεται μέσω ενός κοινού πλευρικού εξωτερικού ανοίγματος, η ζώνη φωτισμού πρέπει να είναι δίπλα στο εξωτερικό άνοιγμα και να μην είναι μεγαλύτερη από 4m σε συνάρτηση με το βάθος του δωματίου. Η σειρά των φωτιστικών σωμάτων που βρίσκεται πιο κοντά στα εξωτερικά ανοίγματα πρέπει να ελέγχεται με ένα ξεχωριστό κύκλωμα από εκείνες τις σειρές που βρίσκονται στο εσωτερικό του χώρου. Εάν υπάρχουν χειροκίνητες συσκευές σκιάστρων στα παράθυρα τότε πρέπει να σχεδιαστούν μικρότερες ζώνες ελέγχου για να είναι αποτελεσματικές. Σήμερα κατασκευάζονται συνήθως αισθητήρες παρουσίας στους οποίους είναι ενσωματωμένοι και αισθητήρες φωτισμού.

6.1.1.3 Διατήρηση των επιπέδων φωτισμού (Lumen maintenance ή Constant Light Output CLO)

Τα συστήματα φωτισμού σχεδιάζονται ώστε να διασφαλίζεται μια ελάχιστη τιμή κάτω από την οποία η ένταση φωτισμού του συστήματος δεν πρέπει να μειωθεί. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, το επίπεδο φωτισμού ενός νέου συστήματος φωτισμού πρέπει να υπερβαίνει το επίπεδο φωτισμού που πρέπει να επιτευχθεί από το σχεδιασμό (target illuminance level) κατά 20% έως και 35% και προσδιορίζεται με τη χρήση του συντελεστή συντήρησης f_m (ενότητα 3.3.1) σε όλες ανεξαιρέτως τις εγκαταστάσεις φωτισμού. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα φωτισμού θα μπορέσει να αντισταθμίσει τη μείωση των επιπέδων φωτισμού με το χρόνο λόγω:

- της μείωσης της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από το λαμπτήρα λόγω γήρανσης (lamp lumen depreciation),
- της μείωσης της φωτεινής απόδοσης των φωτιστικών σωμάτων λόγω της αύξησης του ποσοστού επικάλυψης σωματιδίων στην επιφάνειά τους με το χρόνο (luminaire dirt depreciation),
- της μείωσης του συντελεστή ανάκλασης των επιφανειών των εσωτερικών χώρων λόγω της αύξησης του ποσοστού της επικάλυψης σωματιδίων στην επιφάνειά τους με το χρόνο (room surface dirt depreciation).

Η στρατηγική ελέγχου διατήρησης των επιπέδων φωτισμού διατηρεί τη στάθμη φωτισμού σταθερή. Άρα η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται στην αρχή λειτουργίας του συστήματος και μειώνεται με το χρόνο. Τα επίπεδα φωτισμού του αρχικού συστήματος μειώνονται κατά 20%-35% (ανάλογα την επιλεγμένη τιμή του συντελεστή συντήρησης). Με τη γήρανση των λαμπτήρων και την επικάλυψη σωματιδίων συν τω χρόνο, στους λαμπτήρες, θα αυξάνεται η ισχύς προκειμένου να διατηρείται σταθερός ο φωτισμός και επακόλουθα να παραμένει σταθερό το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού. Κατά συνέπεια, η πλήρης ισχύς θα καταναλώνεται κατά το τέλος της περιόδου συντήρησης των φωτιστικών σωμάτων, μειώνοντας σημαντικά την ενεργειακή κατανάλωση κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος φωτισμού (Σχήμα 6-4).



Σχήμα 6-4: Επίπεδα φωτισμού (αριστερά) και καταναλισκόμενη ισχύς φωτισμού (δεξιά) σε σύστημα φωτισμού με ή άνευ στρατηγικής ελέγχου διατήρησης των επιπέδων του φωτισμού.

Σε ένα συμβατικό σύστημα φωτισμού τα επίπεδα φωτισμού μειώνονται κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας του και η καταναλισκόμενη ισχύς παραμένει σταθερή. Απεναντίας σε ένα σύστημα φωτισμού με στρατηγική ελέγχου διατήρησης των επιπέδων του φωτισμού τα επίπεδα φωτισμού παραμένουν σταθερά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, ενώ υπάρχει και εξοικονόμηση ενέργειας, αφού η ισχύς αυξάνεται σταδιακά μέχρι την σταθερή τιμή που έχει το συμβατικό σύστημα.

Η στρατηγική ελέγχου διατήρησης των επιπέδων φωτισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ενός συστήματος που ρυθμίζει την στάθμη του φωτισμού (dimming system) και τους αισθητήρες φωτισμού. Σύγχρονα φωτιστικά LED έχουν ενσωματωμένο αντίστοιχο σύστημα ελέγχου διατήρησης της φωτεινής ροής (Constant Light Output, CLO) με τον έλεγχο της θερμοκρασίας των LED chip της πηγής των φωτιστικών ή με κάποια φωτοδίοδο στο εσωτερικό που αντιλαμβάνεται την απομείωση του φωτισμού στο βάθος του χρόνου. Και στις δυο περιπτώσεις το φωτιστικό με ενσωματωμένο CLO δεν αντιλαμβάνεται τις υπόλοιπες απομειώσεις (luminaire dirt depreciation room και surface dirt depreciation) με αποτέλεσμα η εξοικονόμηση ενέργειας να είναι μικρότερη. Το σύστημα ελέγχου με διατήρηση των επιπέδων φωτισμού με αποκλειστική χρήση αισθητήρα φωτισμού εκμεταλλεύεται στο έπακρο τη συγκεκριμένη τεχνική και είναι ακόμα οικονομικότερο όταν ελέγχονται από κοινού (με έναν αισθητήρα) μεγάλες συστοιχίες φωτιστικών σωμάτων.

6.1.1.4 Εξισορρόπηση λαμπρότητας (Luminance Balance)

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος φωτισμού προϋποθέτει τον καθορισμό των επιπέδων της έντασης φωτισμού και λαμπρότητας στο εσωτερικό και μεταξύ των χώρων ενός κτιρίου. Ένας από τους στόχους του σωστού σχεδιασμού είναι η εξισορρόπηση των διαφορετικών επιπέδων έντασης φωτισμού έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συνθήκες θάμβωσης (glare). Για παράδειγμα, ένας έλεγχος φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετριάσει την πολύ υψηλή ένταση φωτισμού που εισέρχεται από τα εξωτερικά ανοίγματα στο εσωτερικό των κτιρίων. Μια τέτοια τεχνική ελέγχου είναι ο περιορισμός του Φ.Φ. που εισάγεται στο χώρο μέσα από σκιάστρα ή περσίδες (Σχήμα 6-5). Μια άλλη τεχνική με αντίθετα αποτελέσματα για εσωτερικούς χώρους είναι η αύξηση της έντασης του φωτισμού που παράγεται από τον τεχνητό φωτισμό, μια τεχνική που χρησιμοποιείται στο φωτισμό των σηράγγων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συχνά, ο έλεγχος φωτισμού χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση των

επιπέδων φωτισμού μεταξύ δύο χώρων οι οποίοι χαρακτηρίζονται από διαφορετικά επίπεδα έντασης φωτισμού ή τιμές λαμπρότητας.



Σχήμα 6-5: Εξισορρόπηση λαμπρότητας με περιορισμό του φυσικού φωτισμού που εισάγεται στο χώρο μέσα από σκιάστρα ή περσίδες.

6.1.1.5 Ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή και κατηγορία εργασιών στην περιοχή αυτή (Task Tuning)

Συνήθως το σύστημα φωτισμού σχεδιάζεται με σκοπό να διασφαλίζει ομοιόμορφα επίπεδα φωτισμού σε όλο το χώρο που τοποθετείται. Παρόλα αυτά με τη στρατηγική ελέγχου ρύθμισης των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή όπως περιγράφεται με τις νέες εκδόσεις των προτύπων, το σύστημα φωτισμού μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παρέχει τον κατάλληλο τοπικό φωτισμό, όπου απαιτείται (Σχήμα 6-6). Τα επίπεδα φωτισμού μπορούν να μειωθούν σε χώρους όπως είναι οι διάδρομοι και οι χώροι υποδοχής και να αυξηθούν σε περιοχές όπου υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε επίπεδα φωτισμού ή άτομα με μειωμένη όραση.



Σχήμα 6-6: Σχεδιασμός με ομοιόμορφο επίπεδο φωτισμού (αρ.: τέσσερα φωτιστικά συνολικής ισχύος 208W με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και επίπεδο φωτισμού 280lx) και με ρύθμιση επιπέδων φωτισμού (δεξ. ένα φωτιστικό συνολικής ισχύος 116W με σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού και επίπεδο φωτισμού 380lx).

Σημαντικά είναι τα ποσά εξοικονόμησης ενέργειας με βάση αυτόν τον έλεγχο φωτισμού. Η στρατηγική αυτή οδηγεί σε πιο αποδοτική χρήση της ενέργειας χωρίς να υπάρχει πρόβλημα με την επάρκεια φωτισμού και την οπτική άνεση των χρηστών. Ο έλεγχος με ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού πραγματοποιείται με τη μεταβολή της παραγωγής φωτισμού μεμονωμένων ή μικρών ομάδων φωτιστικών

σωμάτων. Δεδομένου ότι ο φωτισμός είναι απαραίτητο να ρυθμίζεται περιστασιακά εξαιτίας μιας αλλαγής χρήσης του χώρου ή μιας δραστηριότητας που εκτελείται, η ρύθμιση πρέπει να μπορεί να γίνεται συχνά και χειροκίνητα. Ο έλεγχος φωτισμού είναι σε θέση να μπορεί να ρυθμίζει μια ζώνη με φωτιστικά σώματα.

6.1.1.6 Εξομάλυνση φορτίου και μείωση της ζήτησης ισχύος

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά στο φωτισμό σε ένα κτίριο μπορεί να μειωθεί σημαντικά με τον έλεγχο της μείωσης της ζήτησης ισχύος για μικρές χρονικές περιόδους. Η επιλεκτική μείωση της έντασης φωτισμού στους λιγότερο σημαντικούς χώρους του κτιρίου μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιοχές, όπου η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται το καλοκαίρι. Μια σχετική μείωση στην ισχύ για φωτισμό μπορεί να μειώσει έμμεσα την ισχύ για κλιματισμό. Οι έλεγχοι με μείωση της ζήτησης ισχύος περιλαμβάνουν πολλές εφαρμογές οι οποίες συντελούν στην αποφυγή συσκοτίσεων με αποτέλεσμα η εξοικονόμηση ενέργειας στις ώρες αιχμής να είναι σημαντική.

6.1.2 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού για αισθητικούς λόγους

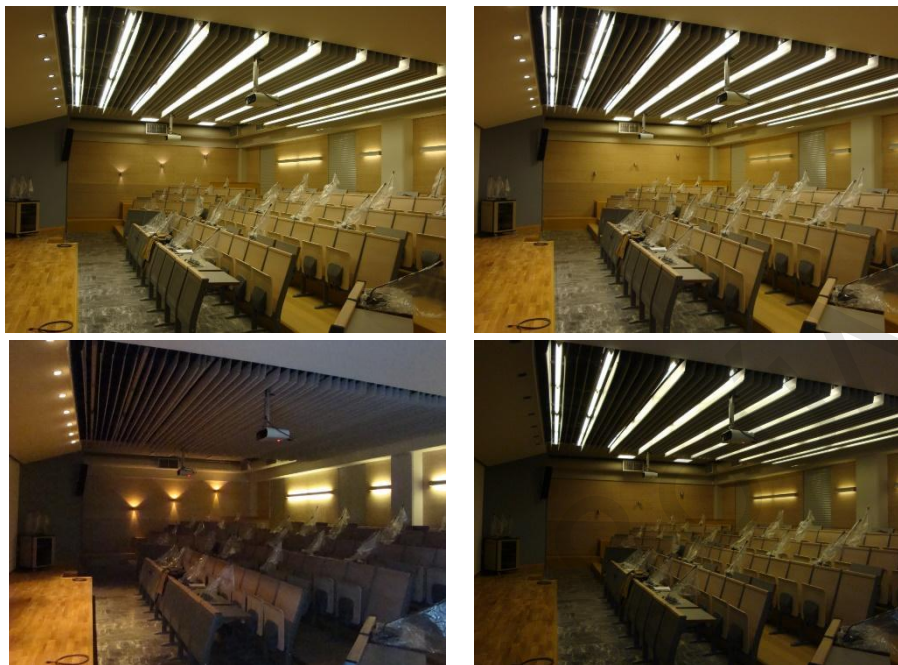
Σε αρκετά κτίρια όπως ιδρύματα, ινστιτούτα και κατοικίες, οι εσωτερικοί χώροι χρησιμοποιούνται από τους χρήστες τους για περισσότερες από μια εφαρμογές. Οι διαφορετικές χρήσεις χώρων απαιτούν και διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Ο έλεγχος φωτισμού για αισθητικούς λόγους παρέχει τα μέσα να ρυθμιστεί ο φωτισμός ώστε να είναι κατάλληλος για τη χρήση του χώρου, να διατηρηθεί η οπτική άνεση των χρηστών και για να αλλάξει τη διάθεση που δημιουργεί ο χώρος. Με αυτόν τον τρόπο ο σχεδιασμός φωτισμού γίνεται ανθρωποκεντρικός.

Ο έλεγχος φωτισμού για αισθητικούς λόγους περιλαμβάνει διακόπτες (switching) και ρυθμιστές της στάθμης του φωτισμού (dimming) για τη δημιουργία διαφορετικών "σκηνών" ή "σεναρίων" φωτισμού. Ο έλεγχος φωτισμού με ρύθμιση της στάθμης του φωτισμού μπορεί να παρέχει δυναμικά αποτελέσματα ή να δημιουργεί ένα περιβάλλον με ισχυρά σημεία εστίασης. Αλλαγές στις "σκηνές" του φωτισμού μπορούν να λάβουν χώρα γρήγορα προκειμένου να δημιουργήσουν ευχάριστη διάθεση ή αργά για την ομαλή μετάβαση μεταξύ δυο διαφορετικών επιπέδων φωτισμού στο χώρο.

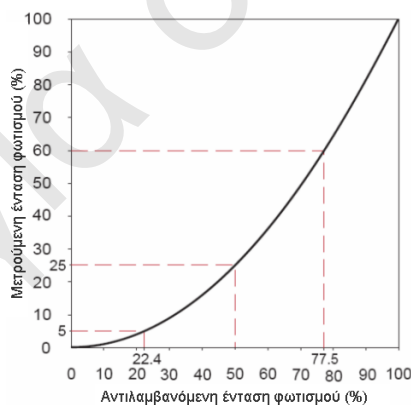
Σε πολλές εφαρμογές ελέγχου είναι απαραίτητο να υπάρχει έλεγχος της έντασης φωτισμού μέσα από μια μεγάλη κλίμακα τιμών για να πληρούνται και τα κριτήρια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Για παράδειγμα, σε ένα δωμάτιο συσκέψεων πρέπει να υπάρχει υψηλή στάθμη της έντασης φωτισμού όπως απαιτείται για εφαρμογές ανάγνωσης, ενώ για παρουσίαση διαφανειών η ένταση φωτισμού πρέπει να μεταβεί στο ένα δέκατο ή και λιγότερο από την τιμή της έντασης φωτισμού που απαιτείται για ανάγνωση (Σχήμα 6-7).

Η ρύθμιση της έντασης του φωτισμού σε διαφορετικά επίπεδα ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου είναι σημαντική για την προσαρμογή του ανθρώπινου ματιού στις αλλαγές της έντασης φωτισμού. Η καμπύλη προσαρμογής του ματιού (Σχήμα 6-8) χρησιμοποιείται από τους περισσότερους κατασκευαστές συστημάτων ελέγχων φωτισμού. Στην καμπύλη φαίνεται ότι μια μετρούμενη στάθμη φωτισμού ίση με το 25% της αρχικής έντασης φωτισμού λαμβάνεται από το ανθρώπινο μάτι σαν ένταση φωτισμού ίση με το 50% του αρχικού επιπέδου. Για οπτικοακουστικές εφαρμογές μέσω αυτόματων ελέγ-

χων συνήθως απαιτούνται επίπεδα φωτισμού χαμηλότερα από το 10% της μετρούμενης αρχικής έντασης φωτισμού. Το επιθυμητό αποτέλεσμα εξαρτάται επίσης από τους συντελεστές ανάκλασης των επιφανειών στο χώρο, την οθόνη που χρησιμοποιείται για τις παρουσιάσεις και το βαθμό στον οποίο γίνονται σημειώσεις από τους χρήστες.



Σχήμα 6-7: Σκηνές ή σενάρια φωτισμού στην αίθουσα συνεδριάσεων Σχολής ΗΜΜΥ, ΕΜΠ. (έναρξη εργασιών, ανάγνωση, ομιλία, παρουσίαση διαφανειών).



Σχήμα 6-8: Θεωρητική συνάρτηση μεταξύ της μετρούμενης έντασης φωτισμού (*measured illuminance*) και της αντιλαμβανόμενης έντασης φωτισμού (*perceived brightness*).

Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται πηγές φωτισμού που να μπορούν να μειώνουν κατάλληλα την ένταση φωτισμού που εκπέμπουν. Έτσι:

- Στους συνηθισμένους λαμπτήρες πυράκτωσης και στους λαμπτήρες πυράκτωσης χαμηλής τάσης (12V), η ένταση φωτισμού μπορεί να μειώνεται έως τη διακοπή της λειτουργίας τους (μη-δενική παραγωγή φωτισμού).

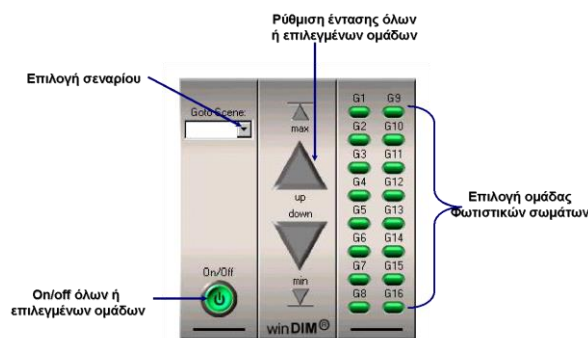
- Στους λαμπτήρες φθορισμού η ένταση φωτισμού μπορεί να μειώνεται έως 5% της παραγωγής του αρχικού φωτισμού με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων φθορισμού με δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού (Electronic Dimming Ballasts, EDBs).
- Στους λαμπτήρες νέον (neon) και ψυχρής καθόδου (cold cathode) η ένταση φωτισμού μπορεί να μειώνεται έως και 10% της μέγιστης έντασης φωτισμού.
- Στους λαμπτήρες εκκενώσεως υπό υψηλή πίεση (High Intensity Discharge lamps HIDs) η ένταση φωτισμού μπορεί να μειώνεται περίπου έως και 40%. Εντούτοις, οι λαμπτήρες αυτοί χαρακτηρίζονται από αργό χρόνο απόκρισης και επανεκκίνησης αλλά και ισχυρές μετατοπίσεις στη χρωματική απόδοση τους, γεγονός το οποίο τους καθιστά κακή επιλογή για αισθητικές εφαρμογές.
- Στις πηγές LED η φωτεινή ροή μπορεί να φτάσει και χαμηλότερα του 5% αλλά θα πρέπει να πιστοποιηθεί πρώτα η ομαλή συνεργασία της πηγής LED με τον ρυθμιστή της φωτεινής ροής. Εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας των LED δεν είναι εγγυημένη η ομαλή λειτουργία dimming οποιουδήποτε συνδυασμού πηγής LED-dimmer.

Οι στρατηγικές που εφαρμόζονται στον έλεγχο φωτισμού για αισθητικούς λόγους περιλαμβάνουν χειροκίνητους ελέγχους, προγραμματισμένα συστήματα ελέγχου και κεντρικά συστήματα ελέγχου. Ο χειροκίνητος έλεγχος με διακόπτες και ρυθμιστές έντασης φωτισμού χρησιμοποιείται συνήθως σε χώρους με εμπορική χρήση, σε κτίρια γραφείων, βιομηχανικούς χώρους και κατοικίες. Για να είναι αποτελεσματικός, ο χειροκίνητος έλεγχος πρέπει να είναι απλός και εύχρηστος. Ο αριθμός των κυκλωμάτων φωτισμού που ελέγχει πρέπει να είναι ελάχιστος προκειμένου να αποφεύγονται λανθασμένες επιλογές. Τα πλαίσια με τους διακόπτες επιλογής "σκηνών" ή "σεναρίων" φωτισμού του χειροκίνητου ελέγχου πρέπει να είναι σαφή και να υπάρχουν ονόματα στα κυκλώματα (Σχήμα 6-9). Η εμφάνιση των πλαισίων είναι επίσης σημαντική, οι διακόπτες και οι ρυθμιστές έντασης φωτισμού πρέπει να ταιριάζουν ο ένας με τον άλλον και να ταιριάζουν στην αρχιτεκτονική του χώρου.



Σχήμα 6-9: Παράδειγμα πολυκυκλωματικού ελέγχου (πλαίσιο με διακόπτες) με 4 προκαθορισμένες "σκηνές" φωτισμού (α) και διακόπτης επιλογής "σκηνών" με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (β).

Τα προγραμματισμένα συστήματα ελέγχου έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν ταυτόχρονα διαφορετικά κυκλώματα φωτισμού. Όλα τα κυκλώματα είναι προγραμματισμένα να παρέχουν πολλαπλές "σκηνές" φωτισμού για διαφορετικές χρήσεις του χώρου και διαθέσεις των χρηστών. Κάθε μια από αυτές τις "σκηνές" μπορεί να επιλεγεί με την αφή ενός κουμπιού (Σχήμα 6-10). Τα προγραμματισμένα συστήματα είναι εύχρηστα σε χώρους διαφόρων δραστηριοτήτων όπως αίθουσες συσκέψεων και χορών. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε κατοικίες και ιδιαίτερα στους χώρους του καθιστικού, τις τραπεζαρίες και σε δωμάτια με χρήση οπτικοακουστικών πολυμέσων.



Σχήμα 6-10: Παράδειγμα προγραμματισμένου συστήματος ελέγχου με προκαθορισμένες "σκηές" φωτισμού με διακόπτες και ρυθμιστές.

Τα κεντρικά συστήματα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού είναι τα ισχυρότερα συστήματα από το σύνολο των δυνατών επιλογών. Όπως τα θεατρικά συστήματα ρύθμισης στάθμης φωτισμού, έτσι και τα κεντρικά συστήματα έχουν τουλάχιστον μια κεντρική μονάδα ρύθμισης και διάφορους ρυθμιστές έντασης φωτισμού κατάλληλους για τον κάθε τύπο φορτίου. Οι ίδιοι ρυθμιστές έντασης φωτισμού είναι και οι συσκευές χειρισμού. Ο έλεγχος λειτουργίας είναι στη μονάδα ελέγχου, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει τους επεξεργαστές και διάφορους τύπους χειροκίνητων ή προκαθορισμένων ελέγχων.

Τα τοπικά συστήματα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού, π.χ. ενός δωματίου, αποτελούνται από μια μονάδα ελέγχου μαζί με τους χειροκίνητους ρυθμιστές έντασης ή τους απλούς διακόπτες που μπορούν να ελέγχουν μεγάλα ποσά φορτίων. Η ισχύς των κυκλωμάτων φωτισμού που μπορεί να ρυθμιστεί η έντασή τους, περιορίζεται μόνο από τον αριθμό των υπομονάδων που μπορεί να αντέξει η πλακέτα του συστήματος. Αυτά τα συστήματα μπορούν να επεκταθούν εύκολα σε αντίστοιχα νέα δωμάτια και να προσαρμόζονται αναλόγως. Έτσι μπορούν να προσφέρουν πολλαπλούς συνδυασμούς χειροκίνητου ελέγχου, προγραμματισμένου ελέγχου και ελέγχου με χρονοδιακόπτες. Επιπρόσθετα μπορούν να ενσωματωθούν συσκευές για έλεγχο με σκοπό τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης όπως είναι οι αισθητήρες παρουσίας και οι αισθητήρες φωτισμού. Επίσης μπορούν να ενσωματωθούν και λειτουργίες έκτακτης ανάγκης. Μερικά συστήματα επιτρέπουν τον ασύρματο τηλεχειρισμό και μπορούν να συνδεθούν με οπτικοακουστικά μέσα και άλλα συστήματα τόσο για εμπορικές εφαρμογές όσο και για εφαρμογές σε κατοικίες. Σε χώρους με πολλά ανεξάρτητα δωμάτια, η μονάδα ελέγχου επιτρέπει σε ανεξάρτητα συστήματα φωτισμού να λειτουργούν μαζί μέσω ενός ευέλικτου ελέγχου. Οι αίθουσες δραστηριοτήτων των ξενοδοχείων και οι αίθουσες κεντρικών συνεδριάσεων είναι οι πιο κοινές εφαρμογές.

6.2 Εξοπλισμός για έλεγχο φωτισμού

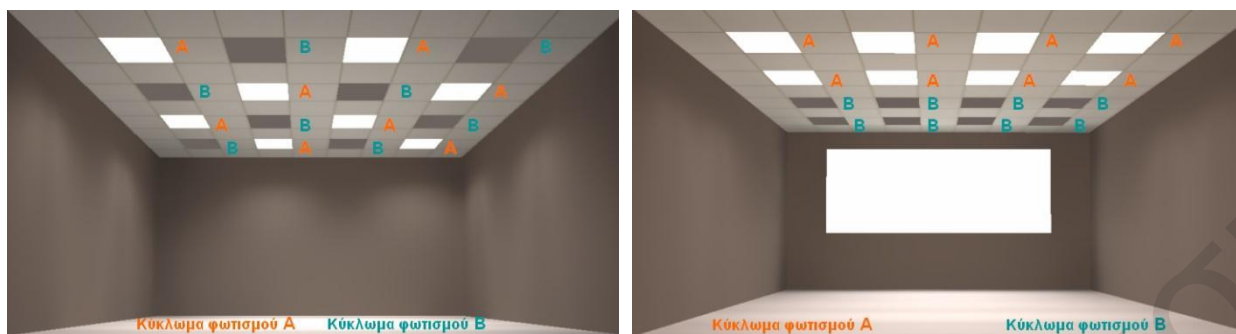
Για την επιτυχημένη εφαρμογή των προαναφερόμενων στρατηγικών ελέγχου φωτισμού έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται στην αγορά ένα σύνολο από σύγχρονες συσκευές οι οποίες είναι απαραίτητες για τη λειτουργία τους. Ορισμένες από τις συσκευές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παραπάνω από μια στρατηγικές. Για παράδειγμα οι αισθητήρες φωτισμού χρησιμοποιούνται και στην εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού αλλά και στη διατήρηση των επιπέδων του φωτισμού, ενώ τα συστήματα έναυσης και λειτουργίας των λαμπτήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής στάθμης είναι αναγκαία στις περισσότερες στρατηγικές ελέγχου.

6.2.1 Χειροκίνητος διακόπτης

Ο καθορισμός των κυκλωμάτων φωτισμού και των αντίστοιχων διακοπών στο ηλεκτρολογικό σχέδιο ενός χώρου είναι σημαντικός όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ακόμα και σε χώρους με πολύπλοκους ελέγχους η κοινή πρακτική επιτρέπει τον έλεγχο φωτισμού με χειροκίνητους διακόπτες. Ο σχεδιασμός και οι θέσεις ελέγχου φωτισμού με χειροκίνητους διακόπτες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου. Δεδομένου ότι η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται από την προθυμία των χρηστών να χρησιμοποιήσουν το σύστημα διακοπών, η ευκολία και η ευελιξία του ανοίγματος και κλεισίματος των διακοπών έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει επιβεβαιωθεί ότι αυτοκόλλητες ετικέτες υπενθύμισης στους διακόπτες φωτισμού ειδικά για το κλείσιμο τους μπορούν να βελτιώσουν τη συμπεριφορά των χρηστών ως προς την ενεργοποίηση ή απενεργοποίησή τους.

Ο σωστός σχεδιασμός ενός συστήματος φωτισμού με κυκλώματα φωτισμού και διακόπτες, θα πρέπει βασίζεται στις ακόλουθες οδηγίες:

- Κάθε ανεξάρτητο γραφείο πρέπει να έχει το δικό του διακόπτη ελέγχου, με δυνατότητα επιλογής δύο επιπέδων φωτισμού ή δυνατότητα ρύθμισης στάθμης φωτισμού (dimming) εφόσον υπάρχει ένα μόνο φωτιστικό.
- Σε γραφεία που βρίσκονται σε μεγάλους και ανοιχτούς χώρους, οι χώροι εργασίας με κοινή χρήση και ίδια επίπεδα φωτισμού πρέπει να ομαδοποιούνται σε ένα κύκλωμα φωτισμού.
- Όταν υπάρχουν φωτιστικά σώματα με τρεις ή τέσσερις πηγές φωτισμού, τότε οι μεσαίες πηγές πρέπει να συνδεθούν σε ένα ξεχωριστό κύκλωμα ανεξάρτητα από τους εξωτερικούς λαμπτήρες. Αυτή η συνδεσμολογία παράγει διαφορετικά επίπεδα φωτισμού ανάλογα με τον αριθμό των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται εφόσον δίνεται αυτή η δυνατότητα από το φωτιστικό σώμα. Σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να επιλεγεί φωτιστικό σώμα με δυνατότητα ρύθμισης στάθμης φωτισμού (dimming).
- Όταν υπάρχουν αρκετά φωτιστικά σώματα σε έναν ενιαίο χώρο και μακριά από τη ζώνη φυσικού φωτισμού, τότε τα γειτονικά φωτιστικά σώματα πρέπει να τοποθετούνται σε κυκλώματα φωτισμού εναλλάξ έτσι ώστε να υπάρχει επιλογή επιπέδου φωτισμού με τη μισή ένταση (Σχήμα 6-11, αρ.).
- Τα φωτιστικά σώματα περιμετρικά των χώρων με εξωτερικά ανοίγματα πρέπει να ελέγχονται ανεξάρτητα από τα φωτιστικά σώματα του υπόλοιπου χώρου (Σχήμα 6-11, δεξ.).
- Χώροι με υψηλές απαιτήσεις φωτισμού πρέπει να διαθέτουν χωριστούς διακόπτες από άλλους χώρους με χαμηλότερες απαιτήσεις φωτισμού.
- Αυτοκόλλητες ετικέτες που θα τοποθετηθούν στους διακόπτες φωτισμού μπορούν να υπενθυμίζουν στους χρήστες να χρησιμοποιούν σωστά τους διακόπτες.



Σχήμα 6-11: Επιλογή κυκλωμάτων φωτισμού σε ενιαίους εσωτερικούς χώρους χωρίς ανοίγματα (αρ.) και με ανοίγματα (δεξ.).

6.2.2 Χρονοδιακόπτες

Οι χρονοδιακόπτες είναι ηλεκτρονικά ή μηχανικά συστήματα, τα οποία ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν τα κυκλώματα φωτισμού για προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα. Τα χρονικά διαστήματα διαφέρουν ώστε να προσαρμόζονται στις ανάγκες των χρηστών του χώρου. Οι χρονοδιακόπτες μπορούν να αντικαταστήσουν τους συμβατικούς διακόπτες χωρίς να υπάρχει ανάγκη επιπλέον καλωδίωσης. Οι χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από το μεγάλο αριθμό επιλογών με αποτέλεσμα το σύστημα φωτισμού να γίνεται πιο λειτουργικό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η συμβατότητά τους με κεντρικά συστήματα ελέγχου και διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας των κτιρίων αλλά και η δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων τους από τους χρήστες.

Οι χρονοδιακόπτες ομαδοποιούνται ανάλογα με την πολυπλοκότητά τους από απλούς μηχανικούς με ελατήριο έως σύνθετους με μικροεπεξεργαστές που μπορούν να προγραμματίσουν μια ακολουθία γεγονότων για μια ολόκληρη χρόνια. Κατά γενικό κανόνα, πρέπει να υπάρχει κάποια επιλογή παράκαμψης από τους χρήστες, ώστε να λαμβάνονται υπόψη τυχαίες αποκλίσεις από το προκαθορισμένο πρόγραμμα των χρονοδιακοπών.

6.2.3 Αισθητήρες φωτισμού

Η βασική λειτουργία ενός αισθητήρα φωτισμού είναι η παραγωγή μιας τάσης ελέγχου η οποία σχετίζεται με την ένταση και την κατανομή του φωτισμού μέσα στο χώρο. Η λειτουργία ενός αισθητήρα φωτισμού είναι σύνθετη επειδή εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως είναι:

- Η κατανομή του φωτισμού στο χώρο που βρίσκεται ο αισθητήρας.
- Η φασματική κατανομή του φυσικού και τεχνητού φωτισμού.
- Οι ρυθμίσεις της θέσης σε λειτουργία του αισθητήρα (commissioning).
- Τα εξωτερικά επίπεδα φωτισμού.

Ο αισθητήρας φωτισμού είναι μια πλήρης μονάδα ελέγχου που εμπεριέχει ειδικούς φακούς για την είσοδο του φωτισμού, φωτοκύτταρο και το απαραίτητο ηλεκτρικό κύκλωμα για την παραγωγή του σήματος ελέγχου. Ο αισθητήρας μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε ένα σήμα εξόδου, το οποίο ελέγχει τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού (Electronic Dimmable Ballast, EDB), τους οδηγητές των πηγών LED (drivers) ή το κεντρικό σύστημα διαχείρισης

ενέργειας ενός κτιρίου. Το σήμα εξόδου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 0-10V, εκτός και αν ο αισθητήρας φωτισμού και το EDB ή το driver είναι ενσωματωμένα σε ένα ενιαίο σύστημα, οπότε το EDB ή το driver σχεδιάζεται για να λειτουργεί συγκεκριμένα με έναν ιδιαίτερο αισθητήρα φωτισμού. Οι αισθητήρες φωτισμού χρησιμοποιούνται στις στρατηγικές ελέγχου εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού (daylighting harvesting) και της διατήρησης των επιπέδων φωτισμού (lumen maintenance, constant light output).

6.2.4 Αισθητήρες παρουσίας / κίνησης

Οι αισθητήρες παρουσίας διακόπτουν αυτόματα τη λειτουργία των κυκλωμάτων φωτισμού που ελέγχουν και σε ορισμένες περιπτώσεις το σύστημα κλιματισμού (HVAC), όταν δεν ανιχνεύουν ανθρώπινη παρουσία στους χώρους στους οποίους είναι τοποθετημένοι. Έτσι μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Συνήθως αποτελούνται από έναν ανιχνευτή κίνησης και μια μονάδα ελέγχου. Ο αισθητήρας δημιουργεί και στέλνει σήμα στη μονάδα ελέγχου, η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το σύστημα φωτισμού. Οι περισσότεροι αισθητήρες διαθέτουν χειροκίνητες και αυτόματες επιλογές για τη ρύθμιση της ευαισθησίας στην ανίχνευση της κίνησης και τη ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης για την απενεργοποίηση του συστήματος φωτισμού από τη στιγμή που ο αισθητήρας δεν αντιλαμβάνεται παρουσία ατόμου στον χώρο που ελέγχει. Ο ανιχνευτής κίνησης συλλέγει τα δεδομένα εισόδου χρησιμοποιώντας συνήθως υπέρηχους ή υπέρυθρη ακτινοβολία. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου μετατρέπει τις πληροφορίες που απορρέουν από τον ανιχνευτή και καθορίζει το κατά πόσο υπάρχει παρουσία ατόμου στο χώρο αξιοποιώντας έναν εγκατεστημένο αλγόριθμο ελέγχου. Οι τελευταίες γενιές αισθητήρες είναι διπλής λειτουργίας επειδή χρησιμοποιούν και υπέρυθρη ακτινοβολία αλλά και υπέρηχους. Σκοπός τους είναι να μειώνουν τα σφάλματα από λανθασμένη λειτουργία ενεργοποιώντας το φωτισμό εφόσον και οι δυο τεχνικές ανιχνεύουν παρουσία, ενώ παραμένει ενεργός εφόσον τουλάχιστον μία από τις δυο συνεχίζει να την ανιχνεύει.

6.3 Επιλογή τεχνικής εξοικονόμησης ενέργειας και εξοπλισμού

Αυτόματος ή χειροκίνητος έλεγχος;

Τα κυκλώματα φωτισμού μπορούν να ελέγχονται είτε αυτόματα (αισθητήρες παρουσίας, φωτισμού, χρονοδιακόπτες κ.λπ.) είτε χειροκίνητα. Ο χειροκίνητος έλεγχος πραγματοποιείται με μεγάλη επιτυχία σε μεγάλες αποθήκες και βιομηχανικούς χώρους υπό την εποπτεία μόνο του διαχειριστή του κτιρίου, ενώ παράλληλα έχει και το μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Σε αρκετές περιπτώσεις είναι προτιμότερο να υπάρχει χειροκίνητος έλεγχος από το να υπάρχει αυτόματος έλεγχος, ο οποίος λειτουργεί προβληματικά. Για παράδειγμα αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί σε χώρους γραφείων ή αίθουσες διδασκαλίας με τον χρήστη να έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει τη στάθμη του τεχνητού φωτισμού σύμφωνα με τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού. Τα οφέλη μπορεί να είναι περισσότερα εάν οι αισθητήρες φωτισμού έχουν ρυθμιστεί λανθασμένα και η συμπεριφορά τους είναι προβληματική.

Αντίθετα, ο αυτόματος έλεγχος, εφόσον λειτουργεί σωστά, παρέχει εξοικονόμηση ενέργειας με την ελάχιστη παρέμβαση από μέρους των χρηστών. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες παρουσίας μειώνουν τη σπατάλη ενέργειας σε μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων φωτισμού, ενώ οι αισθητήρες φωτισμού επιτρέπουν στο σύστημα φωτισμού να λειτουργεί με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, ανάλογα με το ποσοστό του φυσικού φωτισμού που εισέρχεται στο χώρο.

Διακόπτης ή ρύθμιση στάθμης φωτισμού;

Η επιλογή για χρήση διακόπτη ή ρύθμιση στάθμης φωτισμού εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους. Συνήθως, η κύρια παράμετρος είναι το αρχικό κόστος αγοράς, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αναβαθμίσεων υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Για παράδειγμα, σε κάποιες περιπτώσεις το κόστος των ballast και driver είναι μεγαλύτερο από αυτό των αντίστοιχων ballast ή driver, τα οποία δεν έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την παραγόμενη στάθμη φωτισμού. Στην τελική επιλογή, καθοριστικό ρόλο μπορεί να παίξει η οικονομική ανάλυση μεταξύ των επιλογών αυτών. Ο συνυπολογισμός του αρχικού κόστους με τα πιθανά οφέλη από την εφαρμογή των δυο περιπτώσεων είναι σημαντική διαδικασία. Βέβαια, υπάρχουν ορισμένες στρατηγικές ελέγχου, οι οποίες δεν επιτρέπουν τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διακόπτη ή ρύθμιση στάθμης φωτισμού, όπως για παράδειγμα ο προγραμματισμός που προδιαγράφει ακριβώς τη χρήση διακοπών σε συγκεκριμένους χώρους. Φυσικά κάποια υβριδική λειτουργία η οποία συνδυάζει τη μείωση της φωτεινής ροής σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο φωτισμού όταν δεν ανιχνεύεται παρουσία μπορεί να προγραμματιστεί μέσω ενός κεντρικού συστήματος ελέγχου.

Ο έλεγχος με διακόπτη είναι πιο αποδοτικός σε χώρους με έναν χρήστη και κυρίως όταν αυτός είναι υπεύθυνος για την επιλογή των επιπέδων φωτισμού (π.χ. έλεγχος με αισθητήρα παρουσίας και δυνατότητα παράκαμψης). Σε χώρους με περισσότερους χρήστες, ο έλεγχος με διακόπτη πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Ένας τέτοιου είδους αυτόματος έλεγχος δημιουργεί αναπάντεχες αλλαγές στα επίπεδα φωτισμού. Για παράδειγμα σε έναν ενιαίο χώρο γραφείων με αισθητήρα παρουσίας, η συχνή διέλευση των χρηστών μπορεί να ενοχλεί τους υπόλοιπους χρήστες αφού το σύστημα φωτισμού θα ενεργοποιείται και απενεργοποιείται συνεχώς. Επίσης ο κακός προγραμματισμός χρονοδιακόπτη μπορεί να δημιουργεί προβλήματα, απενεργοποιώντας το σύστημα φωτισμού ακόμα και όταν υπάρχουν χρήστες στο χώρο. Για αυτόν το λόγο τα συστήματα με διακόπτη, που χρησιμοποιούν αισθητήρα φωτισμού, πρέπει να χρησιμοποιούνται σε χώρους όπου υπάρχει άφθονος φυσικός φωτισμός κατά τη διάρκεια της ημέρας ή σε εξωτερικούς χώρους όταν πρέπει να ανιχνεύσουν την έναρξη ή το πέρας της νύχτας (οδοφωτισμός). Επίσης, ο έλεγχος με διακόπτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρους όπου οι χρήστες είναι περαστικοί ή δεν έχουν δραστηριότητες που απαιτούν αυστηρά κριτήρια φωτισμού. Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για αίθρια, διαδρόμους, εισόδους, αποθήκες και σταθμούς μετάβασης, ειδικά όταν υπάρχει επαρκής φυσικός φωτισμός.

Τα συστήματα διαδοχικής ρύθμισης της στάθμης φωτισμού, μειώνοντας τα επίπεδα φωτισμού με βάση μια συγκεκριμένη κλίμακα, μειώνουν βαθμιαία την κατανάλωση ενέργειας. Επειδή τα συστήματα αυτά αυξομειώνουν βαθμιαία τα επίπεδα φωτισμού, είναι πιθανότερο να γίνουν αποδεκτά από τους χρήστες, ειδικά από αυτούς που εργάζονται σε σταθερές θέσεις εργασίας. Σε μερικές περιπτώσεις το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι το αρχικό κόστος και η επιπλέον εργασία για τη ρύθμιση και τη θέση σε λειτουργία τους. Επίσης, ορισμένα συστήματα απαιτούν το ballast ή το driver και οι ελεγκτές να είναι από τον ίδιο κατασκευαστή. Παρόλα αυτά, με την έλευση των LED φωτιστικών υπάρχουν οικονομικές επιλογές με τη χρήση push-button διακοπών και φωτιστικά σώματα LED με χρήση dimmable DALI (Digital Addressable Lighting Interface) drivers.

6.3.1 Διαδικασία επιλογής των απαιτούμενων συσκευών ελέγχου

Για να εφαρμοστούν οι παραπάνω περιγραφόμενες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο πρωτόκολλο επικοινωνίας και ο κατάλληλος εξοπλισμός. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος ελέγχου και του αντίστοιχου πρωτοκόλλου επικοινωνίας του εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος φωτισμού, τις απαιτήσεις για το βαθμό ελέγχου του, τη φιλικότητα ως προς τους χρήστες και το κόστος του.

Ένα αναγνωρισμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας μπορεί να εγγυηθεί την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων σε ένα ευέλικτο δίκτυο. Τα πιο διαδεδομένα από αυτά είναι:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface) το οποίο μπορεί να ελέγχει φωτιστικά σώματα, τα οποία πρέπει να έχουν ξεχωριστό εξοπλισμό ελέγχου τύπου DALI,
- DMX (Digital Multiplexed) το οποίο δεσπόζει στο φωτισμό καλλιτεχνικών σκηνών, ενώ στον αρχιτεκτονικό φωτισμό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές αλληλεπιδραστικών προσόψεων (media facades) ή για σκηνές φωτισμού χώρων με πιο δραματικό χαρακτήρα και
- 1V-10V αναλογικό σήμα που χρησιμοποιείται ευρέως σε χαμηλής πολυπλοκότητας συστήματα φωτισμού και η ρύθμιση από τη συσκευή μείωσης της έντασης φωτισμού (dimmer) μεταφέρεται μέσω μιας ξεχωριστής γραμμής ελέγχου.

Υπάρχουν και πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία επικοινωνούν και με άλλες συσκευές εκτός του φωτισμού (π.χ. KNX Konnex ή LON, Local Operating Network) τα οποία με κατάλληλα gateways καταλήγουν να επικοινωνούν τοπικά με τα προαναφερόμενα πρωτόκολλα.

Η επιλογή του εξοπλισμού πραγματοποιείται μέσα από μια συγκεκριμένη διαδικασία. Εκτός του ότι ο εξοπλισμός πρέπει να είναι συμβατός με το επιλεγμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας, αυτός πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών του χώρου και να αντιστοιχίζεται κατάλληλα με την κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου του κτιρίου. Αναλυτικά τα βήματα μιας τυπικής διαδικασίας επιλογής εξοπλισμού, παρουσιάζονται παρακάτω.

6.3.1.1 Πρώτη προσέγγιση των απαιτούμενων συσκευών ελέγχου

Ανάλογα με την περίπτωση που αντιμετωπίζει ο μελετητής υπάρχουν μια σειρά από ενδεικνυόμενες συσκευές ελέγχου που παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα ([Πίνακας 6-1](#)).

Πίνακας 6-1: Ενδεικνυόμενες συσκευές ελέγχου ανάλογα με την περίπτωση που αντιμετωπίζει ο μελετητής.

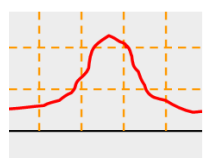
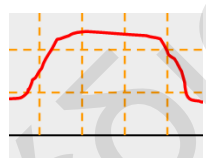
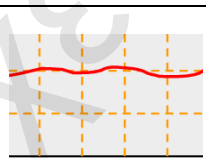
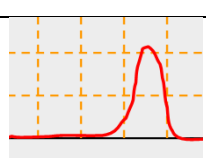
Περίπτωση	Ενδεικνυόμενες συσκευές ελέγχου
Η χρήση του χώρου είναι απρόβλεπτη όσον αφορά στο πρόγραμμα χρήσης της (π.χ. απρόβλεπτη απασχόληση πάνω από το 30% του χρόνου)	Αισθητήρες παρουσίας
Η χρήση του χώρου είναι προβλέψιμη όσον αφορά στο πρόγραμμα χρήσης του και δεν είναι συνεχής η λειτουργία του (π.χ. 24ωρη/7ήμερη);	Χρονοδιακόπτες

Περίπτωση	Ενδεικνυόμενες συσκευές ελέγχου
Υπάρχει φυσικός φωτισμός εισερχόμενος από εξωτερικά ανοίγματα	- Αισθητήρες σύζευξης φυσικού - τεχνητού φωτισμού - Διακόπτες με αισθητήρες φωτισμού - Διακόπτες με επιλογή κυκλωμάτων φωτισμού και διαφορετικά επίπεδα φωτισμού
Υπάρχει ανάγκη να μεταβάλλονται τα επίπεδα φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας ή σε ειδικές χρήσεις του χώρου.	- Χειροκίνητη ρύθμιση επιπέδων φωτισμού - Διακόπτες με επιλογή κυκλωμάτων φωτισμού και διαφορετικά επίπεδα και σενάρια φωτισμού
Χρησιμοποιείται εξωτερικός φωτισμός για φωτισμό ανάδειξης σε προσόψεις, σήμανση ή σε χώρους στάθμευσης.	- Διακόπτες με αισθητήρες φωτισμού - Αστρονομικοί χρονοδιακόπτες

6.3.1.2 Προσέγγιση με βάση την κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου

Για την τελική επιλογή της στρατηγικής ελέγχου πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αναμενόμενη κατανομή ηλεκτρικού φορτίου που θα καταναλώνεται στο κτίριο (Πίνακας 6-2). Για παράδειγμα, ο έλεγχος με εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού με χρήση αισθητήρων φωτισμού θα ήταν ελκυστικός (συγκρίνοντας κόστος αγοράς των αισθητήρων με το όφελος από την εξοικονόμηση ενέργειας) σε μια εγκατάσταση, όπου το μέγιστο φορτίο συγκεντρώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας (π.χ. αίθουσες διδασκαλίας σε σχολικά συγκροτήματα). Από την άλλη πλευρά, η χρήση αισθητήρων φωτισμού δεν θα ήταν η πρώτη επιλογή σε μια εγκατάσταση όπου η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας πραγματοποιείται τις απογευματινές και βραδινές ώρες (π.χ. χώροι εμπορικής χρήσης και καταστήματα).

Πίνακας 6-2: Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού με βάση την κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου στο κτίριο.

Κατανομή ηλεκτρικού φορτίου για φωτισμό	Επιλογή ελέγχου	Ενδεικνυόμενος εξοπλισμός
 Τυπικό ωράριο λειτουργίας (9:00 - 17:00) με περιορισμένη λειτουργία το Σαββατοκύριακο	Έλεγχος ο οποίος μειώνει τη μέγιστη ζήτηση	- Αισθητήρες παρουσίας και αισθητήρες φωτισμού στους χώρους με τους χρήστες - Χρονοδιακόπτες στους κοινόχρηστους χώρους
 Με εκτεταμένο ωράριο	Έλεγχος ο οποίος μειώνει την απρόβλεπτη χρήση	- Αισθητήρες παρουσίας - Χειροκίνητη ρύθμιση επιπέδων φωτισμού - Διακόπτες με επιλογή κυκλωμάτων φωτισμού και διαφορετικά επίπεδα φωτισμού
 Συνεχής λειτουργία (24ωρη)	Έλεγχος ο οποίος μειώνει το φωτισμό και την ημέρα και την νύκτα	- Αισθητήρες φωτισμού - Χειροκίνητη ρύθμιση επιπέδων φωτισμού - Διακόπτες με επιλογή κυκλωμάτων φωτισμού και διαφορετικά επίπεδα φωτισμού
 Λειτουργία ανάλογα με συμβάντα	Ο χειροκίνητος έλεγχος λειτουργεί καλύτερα	- Χειροκίνητη ρύθμιση - Διακόπτες με επιλογή κυκλωμάτων φωτισμού και διαφορετικά επίπεδα φωτισμού

6.3.1.3 Περιορισμός των συσκευών ελέγχου στις πλέον κατάλληλες

Από τη στιγμή που έχει πραγματοποιηθεί η πρώτη προσέγγιση για την επιλογή των συσκευών ελέγχου φωτισμού, με τη βοήθεια όσων αναφέρονται στον επόμενο πίνακα ([Πίνακας 6-3](#)) επιλέγονται οι συσκευές θα εγκατασταθούν ανάλογα με τη χρήση του χώρου εφαρμογής.

Παρόλα αυτά, ένα κτίριο αποτελείται από χώρους με διαφορετικές χρήσεις. Για παράδειγμα, ένα κέντρο υγείας μπορεί να έχει δωμάτια εξετάσεων, γραφεία, αίθουσες συνεδριάσεων, χώρους υποδοχής και τουαλέτες, όπου κάθε χώρος έχει διαφορετικές ανάγκες για έλεγχο. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις, όπου παραπάνω από μια στρατηγικές εξοικονόμησης είναι επιλέξιμες, καλύτερα είναι να εγκαθίσταται αυτόνομοι μηχανισμοί ελέγχου. Ο αυτόνομος έλεγχος φωτισμού παρέχει όλες τις αναγκαίες ρυθμίσεις για την εισαγωγή δεδομένων σε μια περιοχή. Παρότι ο αυτόνομος έλεγχος έχει μεγαλύτερο κόστος αγοράς, η ευκολία της ρύθμισης και θέσης σε λειτουργία του, μπορεί να μειώσει το κόστος συντήρησης.

Πίνακας 6-3: Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για διάφορες χρήσεις κτιρίων.

Στρατηγική	Προγραμματισμός					Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού και ρύθμιση επιπέδων φωτισμού				
	Επιτοίχιος αισθητήρας παρουσίας	Αισθητήρας παρουσίας οροφής	Προσωπικός αισθητήρας παρουσίας	Χρονοδιακόπτης	Ελεγκτής με χρόνο	Διακόπτες με επιλογή κυκλωμάτων	Χειροκίνητος ρυθμιστής τοίχου	Απομακρυσμένος ρυθμιστής	Διακόπτης με αισθητήρα φωτισμού	Αισθητήρας σύζευξης φυσικού / τεχνητού φωτισμού
Χώροι παραγωγής και συναρμολόγησης			○		●	○			○	●
Αίθουσες συνελεύσεων		●				○	●	●		
Αίθουσες διδασκαλίας		●				●	●	●	○	●
Είσοδοι, εμπορικά κέντρα					●	●			●	●
Αίθουσες διασκέψεων	○	●		○		○	●	●		●
Εξωτερικός φωτισμός		○			●	○			●	
Αίθουσες αρχείων		●		●						
Καταστήματα τροφίμων / Supermarket		●		○	●	●			○	○
Γυμναστήρια		●				○			○	
Διάδρομοι		●			●				●	○
Εργαστήρια		●	○			○	●			●
Βιβλιοθήκη (ράφια με βιβλία και περιοδικά)		●			○	○				●
Βιβλιοθήκη (αναγνωστήριο)		●		●	○	○				●
Αποδυτήρια		●			○	○				
Χώροι διαλείμματος	○	●		○		○			○	
Εξεταστήρια, δωμάτιο νοσοκομείου	○	●				●	●			
Μουσεία		○				●	●		○	●
Γραφεία (ενιαίος χώρος, με πολλούς χρήστες)		○	●		●	●	●			●
Γραφεία (ατομικό)	○	●	●		●	●	●	●		●
Εστιατόρια					○	●	●	○		○
Τουαλέτες	○	●		○		○				
Εμπορικά καταστήματα					○		○		○	○
Αποθήκες		●		○	●	●			○	○
Σημειώσεις: ● : καλή εφαρμογή, ○ : περιορισμένη εφαρμογή										

6.4 Διαδικασία θέσης σε λειτουργία του συστήματος ελέγχου φωτισμού

Η εγκατάσταση και η θέση σε λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου φωτισμού είναι μία πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία, η οποία απαιτεί εμπειρία και γνώση. Η έναρξη λειτουργίας ενός συστήματος ορίζεται ως «η συστηματική διαδικασία που εξασφαλίζει συνεχώς την αλληλεπίδραση όλων των στοιχείων του συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας σύμφωνα με τον προκαθορισμένο στόχο του αρχικού σχεδιασμού και τις ανάγκες του χώρου». Σε ένα μεγάλο έργο που περιλαμβάνει ολόκληρο το κτίριο, η διαδικασία για τη θέση σε λειτουργία του συστήματος είναι μια ομαδική διαδικασία που περιλαμβάνει τον τεχνικό για τη θέση σε λειτουργία του συστήματος, τον ιδιοκτήτη, τους μελετητές φωτισμού, τους μηχανικούς, τους εργολάβους, τον υπεύθυνο διαχείρισης καθώς και το προσωπικό λειτουργίας του κτιρίου.

Συνήθως, στην πραγματικότητα ο έλεγχος φωτισμού δεν αξιοποιεί στο έπακρο τη μέγιστη δυνατότητα για εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανεπαρκή διαδικασία για τη θέση σε λειτουργία και βαθμονόμηση του συστήματος, πριν και μετά την εγκατάστασή του. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε αναβαθμίσεις υφιστάμενων κτιρίων, δεν προσλαμβάνεται ειδικός για τη θέση σε λειτουργία του συστήματος. Αυτό είναι σημαντικό πρόβλημα, γιατί τα συστήματα ελέγχου φωτισμού χωρίς τη διαδικασία θέσης σε λειτουργία δεν θα αποδίδουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, όπως αυτά είχαν προβλεφθεί στον αρχικό σχεδιασμό.

6.4.1 Βαθμονόμηση

Η βαθμονόμηση ταυτίζεται συχνά λανθασμένα με το ρόλο της «θέσης σε λειτουργία» του συστήματος ελέγχου φωτισμού. Όμως, στην πραγματικότητα η βαθμονόμηση είναι μόνο ένα τμήμα της διαδικασίας της θέσης σε λειτουργία του συστήματος. Ο ακριβής ορισμός της βαθμονόμησης αφορά:

- α) στη σύγκριση και ταύτιση των μετρήσεων του εξοπλισμού με τις αντίστοιχες μετρήσεις από ένα πρότυπο όργανο καθώς και
- β) στις ηλεκτρικές ή μηχανικές ρυθμίσεις των αισθητήρων, έτσι ώστε να δέχονται τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου (π.χ. θερμοκρασία) μέσα σε μια συγκεκριμένη κλίμακα.

Έτσι για παράδειγμα, ένας αισθητήρας παρουσίας (π.χ. υπέρυθρης ακτινοβολίας) πρέπει να βαθμονομηθεί σε μια κλίμακα θερμοκρασιών κοντά στη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος. Ένας αισθητήρας σύζευξης φυσικού - τεχνητού φωτισμού πρέπει να βαθμονομηθεί σε μια κλίμακα εντάσεων φωτισμού που κυμαίνονται από συνθήκες σκοταδιού μέχρι μιας ηλιόλουστης ημέρας (0-100.000 lx) εάν τοποθετείται σε εξωτερικό χώρο. Εάν τοποθετηθεί σε εσωτερικό χώρο, τότε πρέπει να ρυθμιστεί ανάλογα για μικρότερες κλίμακες έντασης φωτισμού.

6.4.2 Θέση σε λειτουργία συστημάτων ελέγχου φωτισμού

Επειδή υπάρχει πληθώρα εξοπλισμού και διαφορετικών τρόπων θέσης σε λειτουργία των συστημάτων ελέγχου φωτισμού, οι συγκεκριμένες λεπτομερείς οδηγίες για το καθένα από αυτά, θα διαφέρουν από σύστημα σε σύστημα. Μερικές απλές διαδικασίες για τη θέση σε λειτουργία των συστημάτων ελέγχου περιγράφονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6-4). Γενικά, ο κάθε κατασκευαστής προτείνει ένα σύνολο οδηγιών για τη ρύθμιση του συστήματος. Η εμπειρική τοποθέτηση του αισθητήρα μπορεί να οδηγήσει σε κακή λειτουργία του συστήματος ελέγχου.

Πίνακας 6-4: Ενδεικτικές διαδικασίες για τη θέση σε λειτουργία διάφορων τύπων ελέγχου φωτισμού.

Τύπος ελέγχου	Διαδικασίες θέσης σε λειτουργία
Όλοι	- Επαλήθευση της σωστής τοποθέτησης και προσανατολισμού των αισθητήρων με κάθε σχέδιο της μελέτης εφαρμογής και των τεχνικών προδιαγραφών τους. - Εάν υπάρχουν εμπόδια, τα οποία δεν είχαν προβλεφθεί, πρέπει να ρυθμιστεί η θέση τοποθέτησης και το οπτικό πεδίο των αισθητήρων πριν τη θέση σε λειτουργία του συστήματος για τη βέλτιστη λειτουργία του.
Συστήματα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού	Να πραγματοποιηθεί γήρανση των νέων πηγών φωτισμού με τη λειτουργία τους στη μέγιστη στάθμη φωτισμού, συνεχώς για 100 ώρες.
Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού	- Όλα τα έπιπλα και τα εσωτερικά επιφανειακά υλικά πρέπει να έχουν τοποθετηθεί στις θέσεις τους πριν ξεκινήσει η θέση σε λειτουργία του συστήματος. - Να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις στον αισθητήρα φωτισμού ή τον ελεγκτή του, για να αντιλαμβάνεται με τη μεγαλύτερη ακρίβεια το φωτισμό στην επιφάνεια εργασίας. Αυτό, ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα, μπορεί να απαιτήσει δυο ρυθμίσεις: Μια κατά τη διάρκεια της νύκτας ή με τη χρήση αδιαφανών σκιάστρων και μια κατά τη διάρκεια της ημέρας. - Εάν υπάρχουν χώροι με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά (διαστάσεις και προσανατολισμό), μπορεί να πραγματοποιηθούν οι ίδιες ρυθμίσεις στους αντίστοιχους αισθητήρες φωτισμού.
Αισθητήρες παρουσίας	- Επαλήθευση της σωστής τοποθέτησης και προσανατολισμού των αισθητήρων σε κάθε φάση της μελέτης εφαρμογής και των τεχνικών προδιαγραφών τους. - Ρύθμιση της ευαισθησίας του αισθητήρα και του χρόνου καθυστέρησής του. Δοκιμή της αντίδρασής του.
Χρονοπρογραμματισμός	- Εισαγωγή στο πρόγραμμα λειτουργίας του συστήματος φωτισμού τους προγραμματιζόμενους ελεγκτές. - Εισαγωγή έναρξης και λήξης για τη διευθέτηση της λειτουργίας των καθημερινών ημερών, των Σαββατοκύριακων και των αργιών. - Επαλήθευση της σωστής λειτουργίας των παρακάμψεων. Πρέπει να παρέχονται παρακάμψεις σε κατάλληλα σημεία.
Χειροκίνητη ρύθμιση της στάθμης φωτισμού	- Επαλήθευση ότι ο ρυθμιστής της στάθμης φωτισμού έχει εγκατασταθεί στη σωστή θέση δίπλα στο διακόπτη, όπως στο σχέδιο της μελέτης εφαρμογής. - Εάν είναι εφαρμόσιμο, ρύθμιση του ανώτερου ορίου της στάθμης φωτισμού στο όριο που προβλέπεται για τη χρήση του χώρου (και όχι παραπάνω). Επίσης, εάν παρατηρείται φωτεινή μαρμαρυγή (flicker) στις πηγές, τότε πρέπει να γίνει νέα ρύθμιση των ορίων της στάθμης φωτισμού στο σημείο όπου παύει να παρατηρείται.
Μετά τη θέση σε λειτουργία του συστήματος ελέγχου	- Ενημέρωση των χρηστών για τη λειτουργία του ελέγχου και συγκεκριμένα για τις παρακάμψεις του ελέγχου, εάν υπάρχουν. - Παροχή στο προσωπικό της συντήρησης του κτιρίου, όλα τα απαραίτητα έγγραφα καθώς και των οδηγιών λειτουργίας για τη συντήρηση του συστήματος και τη θέση σε λειτουργία του.

6.5 Εξοικονόμηση ενέργειας από τα συστήματα ελέγχου φωτισμού

Ο έλεγχος φωτισμού μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση τα λειτουργικά έξοδα ενός κτιρίου. Λειτουργώντας σωστά, τα συστήματα ελέγχου φωτισμού μειώνουν την καταναλισκόμενη ενέργεια στα κυκλώματα φωτισμού, όταν ο φωτισμός δεν είναι απαραίτητος. Επίσης, μπορούν να μειώσουν τη ζήτηση ενέργειας όταν και όπου απαιτείται. Στα πλαίσια του σχεδιασμού από τον μελετητή, η καταναλισκόμενη ενέργεια μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Καταναλισκόμενη ενέργεια} = \text{Ισχύς κυκλώματος φωτισμού} \cdot \text{Χρόνος λειτουργίας} \quad [\text{εξ. 6-1}]$$

Ένας αποτελεσματικός έλεγχος φωτισμού μπορεί να μειώσει είτε το χρόνο λειτουργίας είτε την κατανάλωση ενέργειας λόγω μείωσης της φωτεινής ροής. Οι αισθητήρες παρουσίας μειώνουν το χρόνο λειτουργίας του συστήματος φωτισμού. Οι χρονοδιακόπτες ή τα προγραμματιζόμενα συστήματα ρελέ μειώνουν επίσης τις ώρες λειτουργίας. Τα συστήματα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού, όπως αυτά της εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού, μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας ακόμα και σε χώρους που βρίσκονται χρήστες. Η μείωση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι ωφέλιμη κυρίως σε περιόδους αιχμής ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου ειδικά εάν υπάρχουν επιπλέον χρεώσεις.

Ο υπολογισμός του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε στρατηγική ελέγχου φωτισμού, δεν είναι πάντοτε ακριβής. Εκτός από την αντικατάσταση εξοπλισμού με αντίστοιχο ενεργειακά αποδοτικότερο (π.χ. αντικατάσταση μαγνητικού ballast από ηλεκτρονικό), ο έλεγχος φωτισμού εξοικονομεί ενέργεια μόνο εάν α) εγκατασταθεί και ρυθμιστεί κατάλληλα και β) μειώνει την φωτεινή ροή ή τις ώρες λειτουργίας του συστήματος φωτισμού. Με άλλα λόγια, το μέγεθος της εξοικονόμησης ενέργειας εξαρτάται από το πως χρησιμοποιείται ο έλεγχος φωτισμού και πως καταναλωνόταν η ενέργεια πριν εγκατασταθεί το σύστημα ελέγχου.

Επειδή κάθε κτίριο είναι διαφορετικό, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί πόση ενέργεια μπορεί να εξοικονομηθεί από τον έλεγχο φωτισμού για κάθε τύπο εφαρμογής. Σε μεγάλο βαθμό η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται από το πως λειτουργούσε το σύστημα φωτισμού του κτιρίου πριν την εφαρμογή του ελέγχου φωτισμού. Εάν οι χρήστες του κτιρίου ήταν ευσυνείδητοι στη χρήση του συστήματος φωτισμού, τότε η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να κινηθεί σε μέτρια επίπεδα. Παρόλα αυτά, σε κάθε κτίριο υπάρχουν χώροι όπου ο αυτόματος έλεγχος φωτισμού μπορεί να μειώσει σημαντικά τη σπατάλη ενέργειας με την απενεργοποίηση των κυκλωμάτων φωτισμού σε χώρους όπου δεν υπάρχουν χρήστες ή να μειώσει τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας όπου υπάρχει σημαντική επάρκεια φυσικού φωτισμού. Στα πλαίσια ενός πιο αναλυτικού υπολογισμού ο μελετητής θα πρέπει να ακολουθήσει τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο [κεφάλαιο 12](#).

7 Φωτισμός άλλων εγκαταστάσεων

7.1 Φωτισμός αθλητικών εγκαταστάσεων

Ο αθλητισμός επηρεάζει τον άνθρωπο συναισθηματικά, τον βοηθάει και συμβάλλει σημαντικά στην υγεία του εφόσον συμμετέχει στην αθλητική δραστηριότητα είτε στη ψυχολογία του με τον ενθουσιασμό μέσω της παρακολούθησης από κοντά ή από απόσταση (μέσω τηλεόρασης). Η παρούσα παράγραφος παρέχει μια επισκόπηση των βασικών πτυχών που πρέπει να λάβει ένας μελετητής υπόψη του κατά τον σχεδιασμό μιας νέας ή τον επανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης εγκατάστασης φωτισμού αθλητικών εγκαταστάσεων. Ο τεχνητός φωτισμός θα πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του αθλήματος, την ταχύτητα των κινήσεων που εκτελούνται, το μέγεθος και την ταχύτητα του εξοπλισμού (π.χ. μπάλα ποδοσφαίρου) και τη θέση του παρατηρητή. Αυτή η παράγραφος θα εξετάσει συνοπτικά τα γενικά κριτήρια και θα αναφέρει συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ο μελετητής για να ολοκληρώσει με επιτυχία τη μελέτη του θα πρέπει να βασιστεί στις πληροφορίες που περιέχονται στο ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12193.

Γενικά οι εγκαταστάσεις μπορούν να χωρισθούν σε επαγγελματικές και ψυχαγωγικές. Στις επαγγελματικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να ληφθούν επιπλέον περιορισμοί για τη μετάδοση των αγώνων μέσω της τηλεόρασης, όπως είναι ο κάθετος φωτισμός και η θερμοκρασία χρώματος των φωτεινών πηγών των φωτιστικών σωμάτων. Στις ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις οι απαιτήσεις φωτισμού είναι μικρότερες, όσον αφορά στα επίπεδα φωτισμού και τις ομοιομορφίες.

Για να ικανοποιηθούν οι διαφορετικές απαιτήσεις τους, τόσο για τους παίκτες όσο και για θεατές ορίζονται τρεις κατηγορίες φωτισμού, οι οποίες είναι ίδιες είτε αφορούν εξωτερικές είτε εσωτερικές εγκαταστάσεις. Όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο ανταγωνισμού και όσο πιο μακριά είναι οι θεατές από τη δράση, τόσο υψηλότερη είναι και η κατηγορία φωτισμού.

- Η τρίτη κατηγορία φωτισμού παρουσιάζει τις χαμηλότερες απαιτήσεις φωτισμού. Αφορά εκδηλώσεις και αγώνες χαμηλού επιπέδου (συνήθως χωρίς ή λίγους θεατές), για γενική προπόνηση, εγκαταστάσεις σχολείων, δημοτικών γυμναστηρίων και χώρους ψυχαγωγίας.
- Η δεύτερη κατηγορία φωτισμού αφορά αγώνες μεσαίου επιπέδου, συνήθως τοπικών αλλά και περιφερειακών ομάδων, με αρκετούς θεατές και μέτρια απόσταση θέασης.
- Η πρώτη κατηγορία φωτισμού αφορά αγώνες υψηλού επιπέδου σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, της πρώτης εθνικής κατηγορίας με προπόνηση υψηλού επιπέδου αυτών των ομάδων. Οι θεατές βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση θέασης ενώ ο όγκος τους είναι σε χιλιάδες.

Για ειδικές περιπτώσεις υπάρχουν και ειδικές απαιτήσεις με άλλες κατηγοριοποιήσεις, όρια, μεγέθη, προδιαγραφές εξοπλισμού κ.λπ. όπως αυτή αφορά τους αγώνες ποδοσφαίρου και τις απαιτήσεις UEFA ή καλαθοσφαίρισης και τις απαιτήσεις Euroleague.

Οι περισσότερες αθλητικές εγκαταστάσεις είναι κατάλληλες για περισσότερα του ενός αθλήματα. Ορισμένοι εσωτερικοί χώροι χρησιμοποιούνται επίσης και για μη αθλητικές εκδηλώσεις, π.χ. εκδηλώσεις που διοργανώνονται από τοπικούς συλλόγους ή μαθητικές εκδηλώσεις. Ο φωτισμός πρέπει να παρέχει τις αντίστοιχες οπτικές συνθήκες για όλες τις μορφές χρήσης. Επομένως, προτού πραγματοποιηθεί μια μελέτη φωτισμού για μια αθλητική αίθουσα ή γυμναστήριο, θα πρέπει να καθοριστούν

ποια αθλήματα πρόκειται να πραγματοποιηθούν σε αυτήν ή ποιες άλλες μορφές χρήσης αναμένονται. Εφόσον υπάρχουν και άλλες χρήσεις εκτός αθλημάτων θα πρέπει να προβλέπεται στα φωτιστικά σώματα να υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής τους ροής (dimming). Πάντα θα πρέπει να διασφαλίζονται τα κατάλληλα επίπεδα φωτισμού έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του αθλήματος που παρουσιάζει την πιο απαιτητική οπτική ευαισθησία. Επιπλέον σε όλους τους αγωνιστικούς χώρους είναι υποχρεωτικό να προβλέπεται και χωρισμός κυκλωμάτων φωτισμού ώστε να ικανοποιούνται και οι χαμηλότερες απαιτήσεις φωτισμού ανάλογα την κατηγορία που έχει επιλεγεί. Εφόσον έχει επιλεγεί η δεύτερη κατηγορία (για χρήση με αγώνες της τοπικής ομάδας), θα πρέπει να ικανοποιούνται και οι απαιτήσεις της τρίτης κατηγορίας με κατάλληλο διακόπτη ώστε ο ίδιος χώρος να χρησιμοποιηθεί για προπονήσεις ή για αγώνες χαμηλότερου επιπέδου ή για καθημερινή χρήση από παίκτες ή άλλους χρήστες π.χ. δημότες.

Ο μελετητής δεν θα πρέπει να ξεχνά ότι όταν χρησιμοποιούνται λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης (συνήθης η χρήση τους για τις αθλητικές εγκαταστάσεις), χρειάζονται δέκα με δεκαπέντε λεπτά για να κρυώσουν οι λαμπτήρες εκκένωσης πριν μπορέσουν να επανεκκινήσουν. Εφόσον η αθλητική εγκατάσταση προδιαγράφεται για τηλεοπτικές μεταδόσεις ο μελετητής μπορεί να προδιαγράψει είτε τεχνολογία φωτισμού άμεσης έναυσης (LED), είτε ballast άμεσης επανεκκίνησης αν χρησιμοποιούνται λαμπτήρες εκκένωσης (hot restrike ballast).

Στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 7-2) παρουσιάζονται οι απαιτήσεις φωτισμού των αγωνιστικών χώρων μόνο. Τα όρια φωτισμού μιας κατηγορίας σχεδιασμού δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν την αμέσως επόμενη. Οι απαιτήσεις των επιπέδων φωτισμού, θάμβωσης κ.λπ. αλλά και η ενεργειακή απόδοση των λοιπών εσωτερικών χώρων μιας εγκατάστασης φωτισμού θα πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια του αντίστοιχου πίνακα (Πίνακας 3-3) και των προτύπων EN 12464-1 ή EN 12464-2.

Στις νέες εγκαταστάσεις η μέση φωτεινή απόδοση των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να είναι $>90\text{lm/W}$ ενώ η εγκατεστημένη ισχύς δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του πίνακα (Πίνακας 7-1)

Πίνακας 7-1: Μέγιστη επιτρεπόμενη εγκατεστημένη ισχύς συστήματος φωτισμού ανάλογα με το ύψος του χώρου που εξυπηρετεί.

Ύψος χώρου	Όριο εγκατεστημένης ισχύος [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$]
Χώροι με ύψος $H \leq 3\text{m}$	2,0
Χώροι με ύψος $3\text{m} < H \leq 6\text{m}$	2,2
Χώροι με ύψος $H > 6\text{m}$	2,4
Σημειώσεις Για τον υπολογισμό της επιφάνειας αναγωγής του εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος φωτισμού λαμβάνονται υπόψη οι εσωτερικές διαστάσεις των χώρων.	

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στον περιορισμό της θάμβωσης αφού οι αθλητικές εγκαταστάσεις έχουν επιπλέον ιδιαιτερότητες ως προς τους υπόλοιπους χώρους. Οι ιδιαιτερότητες οφείλονται στις πολλαπλές γωνίες θέασης των χρηστών στις οποίες μπορεί να κατευθύνονται έντονα εστιακές δέσμες φωτισμού από ένα μαύρο ή έντονα σκοτεινό φόντο. Κάθε άθλημα έχει ξεχωριστούς περιορισμούς για το περιορισμό της θάμβωσης, π.χ. από την αποφυγή τοποθέτησης φωτιστικών σε συγκεκριμένες θέσεις (π.χ. στις θέσεις κόρνερ για γήπεδο ποδοσφαίρου και αποφυγή τύφλωσης του τερματοφύλακα) μέχρι τη χρήση πολύ συγκεκριμένων τύπων φωτιστικών σωμάτων (πχ ασύμμετρων προβολέων για γήπεδα αντισφαίρισης). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης θάμβωσης που χρησιμοποιείται

για τη συμμόρφωση του συστήματος φωτισμού είτε είναι εξωτερική είτε εσωτερική εγκατάσταση είναι ο GR ή R_G ο οποίος χρησιμοποιείται στους εξωτερικούς χώρους και όχι ο UGR ή R_{UG} που χρησιμοποιείται στους εσωτερικούς. Για τις εξωτερικές εγκαταστάσεις ο περιορισμός του ενοχλητικού φωτισμού είναι σημαντικός και ισχύουν τα όρια συμμόρφωσης όπως αυτά περιεγράφηκαν στις εξωτερικές εγκαταστάσεις των κτιρίων. Εφόσον η εγκατάσταση συνορεύει ή βρίσκεται γειτονικά σε οδούς, τότε η θάμβωση θα πρέπει να εξετάζεται σύμφωνα με το δείκτη f_{TI} . (EN 13201).

Πίνακας 7-2: Απαιτήσεις φωτισμού των αγωνιστικών χώρων διαφόρων αθλημάτων, ανά κατηγορία, εσωτερική ή εξωτερική εγκατάσταση.

Αθλημα	Ελάχιστο όριο οριζόντιας έντασης φωτισμού [lx]	Ελάχιστο όριο ομοιομορφίας	Μέγιστο όριο θάμβωσης (GR ή R_G)	Χρήση χώρου	Επιπλέον περιορισμοί / σημειώσεις
Πετοσφαίριση, Ποδόσφαιρο, καλαθοσφαίριση (εξωτερικός χώρος)	75	0,5	55	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες, 5 X 5 (CRI>60)	
Πετοσφαίριση, Ποδόσφαιρο, καλαθοσφαίριση (εξωτερικός χώρος)	200	0,6	55	Τοπική ομάδα με θεατές, (CRI>60)	
Στίβος (εξωτερικός χώρος)	100	0,5	55	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	
Αντισφαίριση (εξωτερικός χώρος)	200	0,6	55	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	
Πισίνα κολύμβησης (εξωτερικός χώρος)	200	0,5	55	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	
Επιτραπέζια αντισφαίριση (Εσωτερικός χώρος)	300	0,7	40	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	Θάμβωση
Πετοσφαίριση, Ποδόσφαιρο, καλαθοσφαίριση (εσωτερικός χώρος)	200 (στο δάπεδο)	0,5	40	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	Τοποθέτηση, θάμβωση
Στίβος, Γυμναστική (εσωτερικός χώρος)	200	0,5	40	Δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	Θάμβωση
Γυμναστήριο σε σχολικό συγκρότημα (εσωτερικός χώρος)	300	0,6	22 (όριο UGR)	Σχολείο (CRI >80)	Οι περιορισμοί αναφέρονται στο EN 12464-1
Αντισφαίριση (εσωτερικός χώρος)	300	0,5	40	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	Τοποθέτηση, θάμβωση, όρια
Πισίνα κολύμβησης (εσωτερικός χώρος)	200	0,5	40	Σχολείο, δημοτικό γήπεδο για δημότες (CRI>60)	Θάμβωση
Σημειώσεις					

Στις αθλητικές εγκαταστάσεις συνήθως τοποθετούνται προβολείς. Αυτοί θα πρέπει πάντα να τοποθετούνται όσο το δυνατόν υψηλότερα, έτσι ώστε οι χρήστες-παίκτες να μην θαμπώνονται όταν κοιτάζουν ψηλά π.χ. προς την μπάλα. Τα χαρακτηριστικά και η διάταξη των φωτιστικών καθορίζουν το ποσό της θάμβωσης τόσο για τους παίκτες όσο και για τους θεατές. Είναι υποχρεωτικό λοιπόν στη μελέτη

φωτισμού να δίνεται ο υπολογισμός του δείκτη GR ή R_G σε όλο το κάναβο του γηπέδου χωρίς να αγνοείται ότι και οι θεατές θα πρέπει επίσης να προστατεύονται από το έντονο φως. Ορισμένοι προβολείς, αν όχι όλοι, χρειάζονται να έχουν κατάλληλα πετάσματα για να αποφεύγεται ο ενοχλητικός φωτισμός στις περιμετρικές περιοχές. Αυτό είναι απαιτούμενο, ειδικά όταν η εγκατάσταση, π.χ. δημοτικό γήπεδο, χρησιμοποιείται καθημερινά και όχι μόνο για αγώνες πρώτης κατηγορίας (δηλ. μια φορά κάθε δεκαπέντε μέρες). Επιπλέον οι σκιές στο γήπεδο δεν θα πρέπει να είναι πολύ σκληρές. Επομένως οι δέσμες από τα φωτιστικά σώματα θα πρέπει να αλληλεπικαλύπτονται. Κάθε σημείο στον κάναβο υπολογισμού θα πρέπει να φωτίζεται από παραπάνω από μια κατευθύνσεις φωτισμού (φωτιστικά σώματα).

Αξίζει να σημειωθεί άλλη μια ιδιαιτερότητα ως προς το φωτισμό ασφαλείας (εκτός από αυτές που ισχύουν και περιγράφονται στην [ενότητα 4.2](#)), αυτή τη φορά για τους συμμετέχοντες, η οποία αναφέρει ότι θα πρέπει να διατηρείται ο φωτισμός σε επίπεδο 5% των κανονικών επιπέδων φωτισμού για ένα χρονικό διάστημα 30 δευτερολέπτων σε χώρους που λαμβάνουν χώρα αθλήματα γυμναστικής. Κάθε άθλημα έχει τους δικούς του περιορισμούς και ο μελετητής είναι υπεύθυνος να τους εντοπίσει. Ο σχεδιασμός φωτισμού ασφαλείας για τους θεατές πραγματοποιείται με το EN 1838. Στην πρώτη κατηγορία φωτισμού υπάρχουν επιπλέον απαιτήσεις, όσον αφορά στη φωτεινή μαρμαρυγή (flicker) και στη στροβοσκοπική επίδραση (stroboscopic effect) όπως αναφέρονται στην αντίστοιχη παράγραφο ([ενότητα 3.8](#)).

7.2 Φωτισμός μουσείων

Ο φωτισμός μουσείων (φυσικός / τεχνητός) είναι καθοριστικής σημασίας για την εμπειρία του χώρου και φέρνει στους επισκέπτες κοντά με την τέχνη και την πολιτιστική κληρονομιά. Όσον αφορά τον φωτισμό θα πρέπει να υπάρξει διάκριση ανάμεσα στον λειτουργικό φωτισμό (φωτισμός χώρων κυκλοφορίας, βοηθητικών χρήσεων, κλιμακοστάσια, βιβλιοθήκες, πωλητήρια κ.λπ.) και τον φωτισμό ανάδειξης των εκθεμάτων. Για τα εκθέματα χρειάζεται επαρκής φωτισμός έτσι ώστε να γίνονται αντιληπτά, σύμφωνα με την μουσειογραφική μελέτη αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η φθοροποιός επίδραση του φωτισμού στα εκθέματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις και εφόσον υπάρχει υποχρέωση να διατηρηθεί ανέπαφη η πολιτιστική κληρονομιά στις επόμενες γενιές, ο φωτισμός ανάδειξης θα πρέπει να ελέγχεται αυστηρά. Ο φωτισμός που προσπίπτει στο έκθεμα μαζί με άλλους παράγοντες, όπως π.χ. είναι η θερμοκρασία/υγρασία κ.λπ. μπορούν να προκαλέσουν φθορές σε μεγάλη ποικιλία υλικών. Αυτές οι φθορές είναι αθροιστικές και μη αντιστρεπτές. Μπορεί να οφείλονται σε φωτοχημικές αλλοιώσεις λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας ή θερμοφυσικές λόγω απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας (συνήθως σε οργανικά υλικά).

Δεν υπάρχουν τεχνικές πλήρους αποκατάστασης των αλλαγών των χρωμάτων ή της συνοχής των υλικών που έχουν καταστραφεί από το φωτισμό. Αυτό αποτελεί και τη μεγαλύτερη πρόκληση του φωτισμού των μουσείων καθώς πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή ανάμεσα στη διατήρηση των εκθεμάτων σε καλή κατάσταση και τις ανάγκες των χρηστών να επισκεφτούν το μουσείο και να δουν όλα τα εκθέματα. Ο μελετητής θα πρέπει να δώσει βαρύτητα στα παρακάτω:

- Στην ευαισθησία των υλικών των εκθεμάτων σε σχέση με το φάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και τη διάρκεια έκθεσης του υλικού στην ακτινοβολία.
- Την οπτική εμπειρία του επισκέπτη εξετάζοντας την οπτική άνεση, τη χρωματική απόδοση της πηγής, τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και το φάσμα καθώς επίσης και την αποφυγή

θάμβωσης καθώς και των ανεπιθύμητων ανακλάσεων στις διάφορες προθήκες. Τα ανεπαρκή επίπεδα φωτισμού επίσης μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική σχεδιαστική αστοχία.

- Την ικανοποίηση των απαιτήσεων της μουσειολογικής μελέτης καθώς και των διαφορετικών απαιτήσεων για τους υπόλοιπους χώρους του μουσείου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο φωτισμός μπορεί να καταστρέψει με τρεις τρόπους τα ευαίσθητα εκθέματα, α) με φωτοχημική επίδραση, β) με μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας και γ) με ανάπτυξη βιολογικών οργανισμών. Το μέγεθος της αλλοίωσης εξαρτάται από τη χημική σύσταση των εκθεμάτων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φωτεινής πηγής, τα επίπεδα φωτισμού και τη χρονική διάρκεια της έκθεσης.

Τα υλικά ταξινομούνται σε κατηγορίες ευαισθησίας και με βάση αυτή την ταξινόμηση καθορίζεται η έκθεση τους στο φως. Σύμφωνα με την οδηγία CIE 157 και τις Ευρωπαϊκές τεχνικές προδιαγραφές CEN/TS 16163 οι κατηγορίες αυτές είναι:

- α. υλικά που δεν εμφανίζουν ευαισθησία στο φως (τα περισσότερα μέταλλα, πέτρα, περισσότερα γυαλιά, κεραμικά, σμάλτο και τα περισσότερα ορυκτά)
- β. υλικά μικρής ευαισθησίας όπως π.χ. οι περισσότερες μπογιές λαδιού, φρέσκο, ξύλο, κέρατο, κόκκαλο και μερικά πλαστικά,
- γ. υλικά μεσαίας ευαισθησίας όπως π.χ. τα περισσότερα υφαντά, νερομπογιές, εκτυπώσεις, χειρόγραφα, εκθέσεις βοτανικών δειγμάτων και τέλος
- δ. υλικά μεγάλης ευαισθησίας π.χ. μετάξι, γραφικές τέχνες, φωτογραφικό υλικό).

Η επίδραση του φωτισμού εκτιμάται με την χρήση δυο παραμέτρων α) την ένταση του φωτισμού στο έκθεμα και β) την έκθεση (δόση) του εκθέματος στο φως η οποία προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της έντασης φωτισμού με την διάρκεια της έκθεσης. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών για τις διάφορες κατηγορίες εκθεμάτων παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα (*Πίνακας 7-3*).

Πίνακας 7-3: Τιμές έντασης του φωτισμού στο έκθεμα και τιμές έκθεσης για ευαίσθητα και μη εκθέματα.

Ευαισθησία εκθεμάτων	Μέγιστη μέση ένταση φωτισμού [lx]	Έκθεση (δόση) ανά έτος [lx · h]	Χρήση Φυσικού Φωτισμού
Καθόλου	-	-	Άνευ σημασίας
Μικρή	200	600.000	Ελεγχόμενη
Μέτρια	50	150.000	Περιορισμένη
Μεγάλη	50	15.000	Ελάχιστη

Έχοντας γνώση της ευαισθησίας των υλικών ο μελετητής μπορεί να υπολογίσει και το μέγιστο ετήσιο ωράριο λειτουργίας της έκθεσης. Μετά το ωράριο λειτουργίας είναι προτιμητέα η απουσία φωτισμού. Υπολογίζοντας μικρά χρονικά διαστήματα έκθεσης ο μελετητής θα πρέπει να προτείνει συστήματα ελέγχου μείωσης της φωτεινής ροής όταν δεν υπάρχουν επισκέπτες για να μπορέσει να διατηρήσει την έκθεση ανοικτή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι επίσης και η «περιεκτικότητα» του φωτισμού σε υπεριώδη ακτινοβολία UV η οποία μετράται σε μονάδες $\mu\text{W}/\text{lm}$. Ιδανικές τιμές για την επιλογή πηγών φωτισμού (*Πίνακας 7-4*) είναι να περιέχουν UV ακτινοβολία 0-10 $\mu\text{W}/\text{lm}$ με απόλυτο άνω όριο το 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ (ISO 11799).

Πίνακας 7-4: Περιεκτικότητα του φωτισμού διαφόρων πηγών σε υπεριώδη ακτινοβολία UV ($\mu\text{W}/\text{lm}$).

Φωτεινή πηγή	Περιεκτικότητα φωτισμού πηγής σε υπεριώδη ακτινοβολία UV [$\mu\text{W}/\text{lm}$]
Φυσικός φωτισμός	400-1.500
Λαμπτήρας αλογόνου	40-70
Λαμπτήρας φθορισμού	30-100
Λαμπτήρας εκκένωσης ατμών μεταλλικών αλογονιδίων	160-700
LED	<5*
Σημείωση Θα πρέπει να γίνεται επιπρόσθετος έλεγχος της φωτεινής πηγής για τη χρωματική τους απόδοση	

Ο φυσικός φωτισμός εμφανίζει πολύ αυξημένες τιμές περιεκτικότητας UV ακτινοβολίας (συνήθως $>1000\mu\text{W}/\text{lm}$) και συνεπώς χρειάζεται κάποιος έλεγχος της φωτεινής ροής που εισέρχεται από τα ανοίγματα ανάλογα με την ευαισθησία των εκθεμάτων. Ο μελετητής θα πρέπει να αναζητήσει δεδομένα από τους κατασκευαστές των υαλοπινάκων όπως (Πίνακας 7-5):

- Την διαπερατότητα στο υπεριώδες (T_{UV} , 300-380nm) και
- Την παράμετρο που σχετίζεται με το ξεθώριασμα των επιφανειών, χρωμάτων (Damage Weighted Transmission, T_d). Η έλλειψη υαλοπίνακα οδηγεί σε τιμή του $T_{dw}=1$. Προφανώς μικρότερη τιμή σημαίνει και μικρότερη επίδραση στις επιφάνειες του χώρου. Η συγκεκριμένη παράμετρος λαμβάνει υπόψη και την επίδραση τμήματος του ορατού φάσματος, T_{dw-k} (Krochmann Damage Function, 300-500nm) και T_{dw-ISO} (300-700nm).

Επειδή σε γενικές γραμμές τα απαιτούμενα μεγέθη της έντασης φωτισμού είναι μικρά, η προτεινόμενη μελέτη φωτισμού θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη ιδιαίτερες τεχνικές προσαρμογής του ανθρώπινου ματιού σε αυτά τα χαμηλότερα επίπεδα. Ο μελετητής θα πρέπει να έχει συνυπολογίσει και άλλες παραμέτρους όπως είναι η ομαλή μετάβαση των χρηστών από χώρο σε χώρο ιδίως όταν υπάρχουν μεγάλες διαφορές φωτισμού στους χώρους, την αποφυγή της χρωματικής αλλοίωσης του εκθέματος, την τοποθέτηση και στόχευση των φωτιστικών ώστε να μην υπάρχει θάμβωση ή οπτική αλλοίωση του εκθέματος. Για το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα οι μελέτες φωτισμού εκτός από τις προσομοιώσεις με προγράμματα υπολογισμών φωτισμού θα μπορούσαν να συνοδεύονται και με πραγματικές δοκιμές στο χώρο (mock-ups).

Πίνακας 7-5: Τυπικές τιμές για διάφορους τύπους υαλοπινάκων.

Περιγραφή	Πάχος	T_{UV}	T_{dw-ISO}
Απλός διαφανής υαλοπίνακας	6 mm	0,63	0,81
Απλός υαλοπίνακας πράσινου χρώματος	6 mm	0,29	0,41
Διπλός διαφανής	6mm/12mm διάκενο αέρα/ 6mm	0,46	0,68
Διπλός διαφανής με επίστρωση low-e	6mm/12mm διάκενο αέρα/ 6mm	0,36	0,61

7.3 Φωτισμός εμπορικών καταστημάτων

7.3.1 Εσωτερικοί χώροι

Ο φωτισμός των εμπορικών καταστημάτων είναι πολύ κρίσιμος παράγοντας για τη λειτουργία τους καθώς πρέπει να δημιουργείται ένα ελκυστικό περιβάλλον, ώστε να προσελκύει τους υποψήφιους πελάτες. Αυτής της κατηγορίας ο φωτισμός αποτελεί μείγμα χρώματος, αντίθεσης, ελέγχου και ενεργειακής απόδοσης. Για τους συγκεκριμένους χώρους εκτός από την εμπειρία σε έργα φωτισμού και γνώση των τεχνικών εφαρμογής φωτισμού, απαιτείται και η χρήση φωτεινών πηγών με ειδικές δέσμες και φωτιστικών σωμάτων τελευταίας τεχνολογίας.

Η ποσότητα και η ποιότητα του φωτισμού, η εντύπωση που δημιουργεί για τα εμπορεύματα και η επίδρασή του στην εμφάνιση του χώρου είναι όλοι παράγοντες για έναν επιτυχημένο σχεδιασμό φωτισμού. Ο μελετητής πρέπει να εξετάσει μια ποικιλία βασικών χαρακτηριστικών κατά την σχεδίαση του συστήματος φωτισμού με διαφορετική βαρύτητα από άλλες εφαρμογές και με αυτόν τον τρόπο η απόδοση των χρωμάτων, η εμφάνιση των στοιχείων, η κατανομή του φωτός στον χώρο και η ευελιξία του συστήματος φωτισμού ως προς τη στόχευση στα στοιχεία του χώρου έχουν άμεση προτεραιότητα σε σχέση με παραμέτρους όπως η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων, η αποδοτικότητα του συστήματος, η ανάγκες για συντήρηση, η ενσωμάτωση τεχνικών εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού, το κόστος και ο έλεγχος του συστήματος.

Υπάρχουν τρία, βασικά, επίπεδα φωτισμού ή στρώματα φωτισμού που χρησιμοποιούνται συνήθως στον φωτισμό εμπορικών καταστημάτων:

- ο γενικός φωτισμός (general ή ambient lighting),
- ο φωτισμός της επιφάνειας εργασίας (task lighting) και
- φωτισμός ανάδειξης (accent lighting).

Ο συνδυασμός και η εξισορρόπηση αυτών των επιπέδων φωτισμού δημιουργεί «οπτικό ενδιαφέρον» για το χώρο και ένα πιο ελκυστικό, συναρπαστικό και φιλόξενο περιβάλλον.

Ο γενικός φωτισμός είναι η κύρια πηγή φωτισμού σε ένα χώρο. Τα χαμηλά επίπεδα φωτισμού σε σχέση με τα επίπεδα φωτισμού στα εμπορεύματα και η ομοιομορφία του γενικού φωτισμού, μπορούν να γίνουν το επίκεντρο της μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας, καθώς ο φωτισμός από τα άλλα φωτιστικά (των δύο άλλων επιπέδων φωτισμού) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φωτίζουν μόνο τα προϊόντα. Τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού για γενικό φωτισμό είναι 300lx. Ρυθμίζοντας στην ελάχιστη τιμή τον φωτισμό των εμπορευμάτων, ο γενικός φωτισμός επιτρέπει στο προσωπικό να εκτελεί καθημερινές εργασίες, όπως για καθαρισμό και αναδιαμόρφωση των εμπορευμάτων. Ο διάχυτος γενικός φωτισμός εξασφαλίζει μια αίσθηση ευεξίας, η οποία κάνει τους πελάτες να αισθάνονται άνετα και είναι πιο πιθανό να μείνουν περισσότερο στο κατάστημα. Ο περιμετρικός φωτισμός και ο φωτισμός των τοίχων (με φωτιστικά τύπου wall washer) βοηθούν στον καθορισμό των χώρων εμπορευμάτων, παρέχουν κάθετο φωτισμό και δημιουργούν την αίσθηση ότι ο χώρος είναι μεγαλύτερος. Σε γενικές γραμμές, ο φωτισμός των κάθετων επιφανειών δημιουργεί ένα ευχάριστο, φιλόξενο περιβάλλον και αυξάνει την ορατότητα συμβάλλοντας σημαντικά στην οπτική άνεση.

Ο φωτισμός της επιφάνειας εργασίας χρησιμοποιείται, για να φωτίζει μια περιοχή για μια συγκεκριμένη εργασία, παρέχοντας ένα τοπικό και υψηλότερο επίπεδο φωτισμού. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται ενεργειακά αποδοτικά φωτιστικά με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και κατ' επέκταση του λειτουργικού κόστους. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο φωτισμός εργασίας είναι πιο αποτελεσματικός όταν χρησιμοποιείται συμπληρωματικά του γενικού φωτισμού, ενώ θα πρέπει να εξαλείφει τις σκιές στη συγκεκριμένη περιοχή εργασίας, αποτρέποντας ταυτόχρονα τη θάμβωση από τα φωτιστικά ή από τις ανακλάσεις των επιφανειών. Τα συνιστάμενα επίπεδα φωτισμού για τις περιοχές εργασίας είναι 500 – 1.000lx. Επίσης, όταν φωτίζεται μια περιοχή εργασιών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά στην ένταση φωτισμού ή η αντίθεση, μεταξύ της περιοχής εργασίας και του περιβάλλοντος χώρου. Η αναλογία 3:1 του φωτισμού εργασίας/εμπορεύματος προς τον γενικό φωτισμό παρέχει μια ικανή αντίθεση α) για την έλξη του χρήστη προς την περιοχή αυτή, β) αξιολόγηση των εμπορευμάτων, γ) ανάγνωση ετικετών ή συσκευασιών και πινακίδων που προσδιορίζουν τα τμήματα των καταστημάτων. Η ένταση φωτισμού που απαιτείται για την επιφάνεια εργασίας/εμπορεύματος, είναι συνήθως η πιο ευέλικτη μεταβλητή του φωτισμού εργασίας και μπορεί να αυξηθεί για να αντισταθμίσει τα χαμηλά επίπεδα αντίθεσης.

Ο φωτισμός ανάδειξης δημιουργείται για να τονίσει ιδιαίτερα συγκεκριμένα εμπορεύματα χρησιμοποιώντας συγκεντρωτικές ή σημειακές πηγές φωτισμού. Προσθέτει βάθος, αντίθεση και τονίζει το σχήμα, την υφή, το φινίρισμα και το χρώμα των εμπορευμάτων, προσελκύοντας πελάτες σε αυτό. Εάν αυτό το φως δεν είναι κατευθυντικό, το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να έχει πολλές ανεπιθύμητες σκιές που παρεμποδίζουν την ανάδειξη των λεπτομερειών των εμπορευμάτων. Είναι σημαντικό αυτός ο φωτισμός να γίνει ακριβέστερος και υψηλότερης έντασης από τον περιβάλλοντα φωτισμό, ώστε να επισημαίνονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά των προϊόντων και να επηρεάζεται η εντύπωση των πελατών. Η IESNA προτείνει αναλογία φωτισμού ανάδειξης 5:1 προς φωτισμό περιβάλλοντος για να κάνει τα εμπορεύματα να ξεχωρίζουν, ενώ τα σκουρόχρωμα εμπορεύματα ενδέχεται να απαιτούν υψηλότερη αναλογία για να αναδείξουν τις λεπτομέρειες.

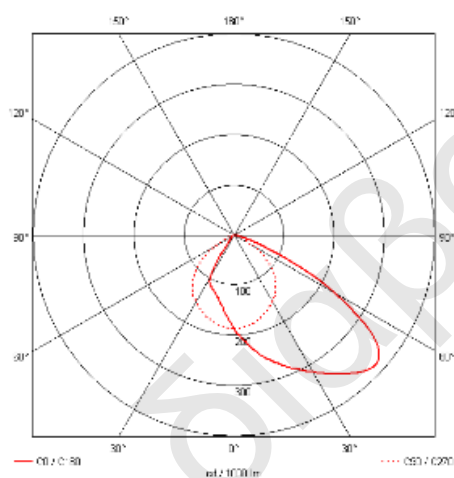
7.3.2 Εξωτερικοί χώροι

Εκτός από τους εσωτερικούς χώρους υπάρχουν αρκετές εμπορικές εταιρίες που εκθέτουν αντικείμενα προς πώληση, και στον εξωτερικό των καταστημάτων τους, όπως για παράδειγμα μια εταιρία πώλησης αυτοκινήτων. Συνήθως, οι εξωτερικοί τους χώροι είναι παρακείμενοι σε οδούς. Οπότε, η πρώτη σειρά από τα πωλούμενα αντικείμενα είναι κοντά στην οδό. Έτσι, η λαμπρότητα από τα φωτιστικά σώματα δεν πρέπει να είναι έντονη ούτε στο πεδίο όρασης των οδηγών των παρακείμενων οδών αλλά ούτε και στους ενδιαφερόμενους. Ο κατάλληλος φωτισμός αυτών των εξωτερικών χώρων επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση φωτιστικών σε ιστούς, μεταξύ της παρακείμενης οδού και της πρώτης σειράς των αντικειμένων, με κατεύθυνση της κύριας δέσμης φωτισμού προς τα αντικείμενα. Στον αντίστοιχο πίνακα ([Πίνακας 7-6](#)) παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες ενδεδειγμένες εντάσεις φωτισμού για φωτισμό σε εξωτερικές εκθέσεις.

Συνήθως προτείνονται φωτιστικά αποκοπής για αποφυγή θάμβωσης. Αλλιώς, στους χώρους αυτούς τοποθετούνται αντιθαμβωτικά φωτιστικά (με κατάλληλη κατανομή της φωτεινής ροής τους, με ασύμμετρη δέσμη φωτισμού, [Σχήμα 7-1](#)) ή αντιθαμβωτικά καλύμματα σε ολόκληρη την έκταση του εξωτερικού εκθεσιακού χώρου.

Πίνακας 7-6: Ενδεδειγμένες εντάσεις φωτισμού σε εξωτερικούς εκθεσιακούς χώρους για αστικές και ημιαστικές περιοχές

Περιοχή φωτισμού έκθεσης	Ενδεδειγμένη ένταση φωτισμού για αστική περιοχή [lx]	Ενδεδειγμένη ένταση φωτισμού για ημιαστική περιοχή [lx]
1η σειρά αντικειμένων προσκείμενη σε οδό	100-200	50-100
Υπόλοιπες σειρές αντικειμένων	50-100	25-50
Πρωτεύονο αντικείμενο προς πώληση	100-200	50-100
Είσοδος έκθεσης	50-100	25-50
Διαβάσεις	20-30	10-20



Σχήμα 7-1: Ενδεικτική κατανομή φωτισμού με ασύμμετρη δέσμη φωτισμού.

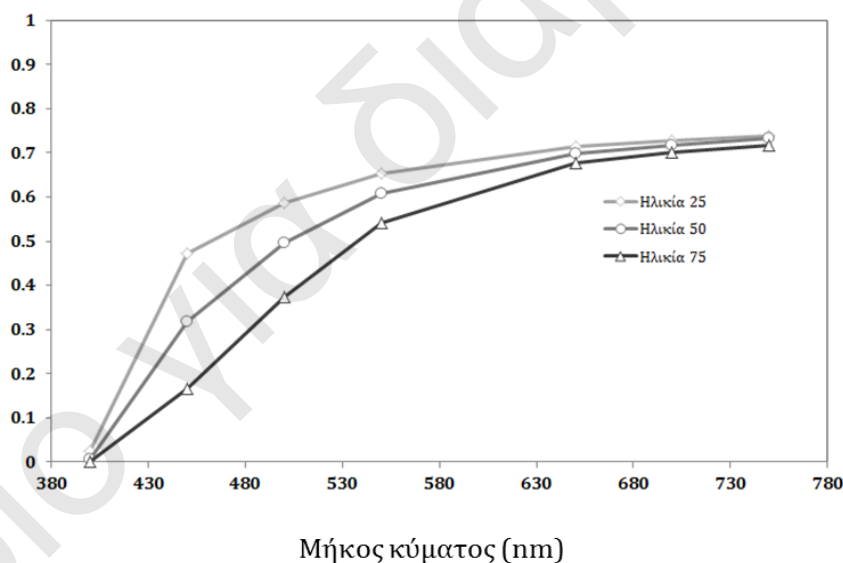
Επιπλέον ο μελετητής θα πρέπει να έχει υπόψη του τα εξής:

- Για την ανάδειξη των αντικειμένων απαιτούνται φωτιστικά σώματα που δέχονται φωτεινές πηγές ή έχουν ενσωματωμένα LED με υψηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης (R_a).
- Για τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση του συστήματος φωτισμού χρησιμοποιούνται φωτιστικά σώματα με υψηλή απόδοση φωτισμού (lm/W) όπως με τη χρήση φωτιστικών σωμάτων LED.
- Για την προώθηση συγκεκριμένων αντικειμένων (π.χ. ενός καινούργιου μοντέλου) αυτά θα πρέπει να φωτίζονται σημειακά (π.χ. χρήση στενής δέσμης φωτισμού) με φωτισμό υψηλής έντασης, προκειμένου να αποσπαστεί η προσοχή των ενδιαφερόμενων (Αντίθεση 3:1 με 5:1).
- Ο σκοπός του σχεδιασμού είναι η ανάδειξη των αντικειμένων προς πώληση. Επομένως, το κριτήριο της αισθητικής του φωτιστικού σώματος δεν είναι καθοριστικό.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος CCT και του φάσματος ακτινοβολίας της φωτεινής πηγής (αποφυγή ψυχρών CCT και φασμάτων πλούσια σε μπλε χρώμα), ώστε να μην δημιουργείται ενόχληση στο γειτονικό περιβάλλον (φωτορύπανση).
- Η στόχευση και η επιλογή των δεσμών των φωτιστικών σωμάτων γίνεται με γνώμονα την αποφυγή του παράσιτου φωτισμού προς τις γειτονικές περιοχές και τον ουράνιο θόλο. Θα πρέπει να προδιαγράφεται ειδικός εξοπλισμός ώστε να περιορίζεται περαιτέρω ο παράσιτος φωτισμός. Οι περιορισμοί ως προς τα επίπεδα φωτισμού περιγράφονται στο EN 12464-2.

8 Φωτισμός για τη διευκόλυνση ατόμων με προβλήματα όρασης

8.1 Γενικά στοιχεία

Οι σχεδιαστές φωτισμού, ανάλογα το χώρο που μελετούν, και ειδικά στους δημόσιους χώρους μετακίνησης (για παράδειγμα στους χώρους μετακίνησης στις εγκαταστάσεις των μέσων μαζικής μεταφοράς), θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τα ηλικιωμένα άτομα και τα άτομα με μειωμένη όραση. Τα τελευταία χρόνια, οι μελετητές έχοντας επικεντρωθεί στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση των επιπέδων φωτισμού με διάφορες τεχνικές ρύθμισης αυτών, έχουν παραμελήσει από τη διαδικασία του σχεδιασμού τις προαναφερόμενες ομάδες ατόμων. Οι ομάδες αυτές αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες, από το να διακρίνουν εμπόδια μέχρι και να μετακινηθούν ανάμεσα σε περιοχές μετάβασης στους δημόσιους χώρους (π.χ. σταθμοί μετρό), σε περιοχές εμπορικών κτιρίων (π.χ. εσωτερικοί χώροι στάθμευσης) κ.λπ. Με την αύξηση της ηλικίας, κυρίως μετά την ηλικία των 45 ετών, μεταβάλλεται σταδιακά η φυσιολογία του ανθρώπινου ματιού (Σχήμα 8-1), καθώς μειώνεται η ευαισθησία στις χωρικές αντιθέσεις, μειώνεται η ένταση φωτισμού που αντιλαμβάνεται ο αμφιβληστροειδής, υπάρχει πιο αργή προσαρμογή στο σκοτάδι και υπάρχουν χρωματικές αλλαγές στο πως αντιλαμβάνεται ο χρήστης το χρώμα (τα διαφορετικά μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας). Κάποια από τα φαινόμενα αυτά οφείλονται και στο κιτρίνισμα του φακού του ανθρώπινου ματιού με την αύξηση της ηλικίας του.



Σχήμα 8-1: Διάγραμμα μείωσης της φασματικής διαπερατότητας του ανθρώπινου ματιού με την ηλικία.

8.2 Προδιαγραφές φωτισμού στις επιφάνειες εργασιών

Τα προτεινόμενα επίπεδα φωτισμού που έχουν εφαρμοστεί από τα πρόσφατα πρότυπα έχουν καθοριστεί από πειράματα που έχουν βασιστεί σε μικρής ηλικίας χρήστες. Σύμφωνα με αυτό το δεδομένο, ο μελετητής μπορεί να προσαρμόσει τα επίπεδα φωτισμού της επιφάνειας εργασίας, όχι όμως όλου του χώρου, με βάση τη μέση ηλικία των χρηστών. Για παράδειγμα σε ένα γραφείο με τυπικές ανάγκες φωτισμού 500lx, οι απαιτήσεις φωτισμού μπορούν να αυξηθούν στην τιμή των 750lx αν η μέση ηλικία

των χρηστών είναι μεγαλύτερη των 50 - 55 ετών. Για ατομικά γραφεία η αύξηση των επιπέδων φωτισμού θα πρέπει να επιλέγεται σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας των 55 ετών και να συνοδεύεται με υποχρεωτική χρήση ρυθμιστών της φωτεινής ροής των φωτιστικών σωμάτων (dimming). Η αύξηση των τιμών της έντασης φωτισμού ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα: 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - **500lx → 750lx** - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 - 5000lx. Ανάλογα με τα επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας θα αυξηθούν και οι υπόλοιπες απαιτήσεις στο υπόλοιπο του χώρου π.χ., η ένταση φωτισμού στη γειτονική περιοχή, η κυλινδρική ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας, η ένταση φωτισμού στους τοίχους κ.λπ.

Πίνακας 8-1: Παράδειγμα εφαρμογής καθορισμού εντάσεων φωτισμού σε επιφάνεια εργασίας για χώρους εργασίας με μέση ηλικία των χρηστών είναι μεγαλύτερη των 50 ετών.

Εργασία		$\bar{E}_{m,r}$ [lx]	U_o [-]	R_a [-]	R_{UGL} [-]	$\bar{E}_z$ [lx]	$\bar{E}_{wall}$ [lx]	$\bar{E}_{ceiling}$ [lx]
Χώρος γραφείων	Με νεαρό προσωπικό	500	0,60	80	19	150	150	100
	Με ηλικιωμένο προσωπικό	750	0,60	80	19	200	200	150

Εφόσον ο μελετητής αποφασίσει να αυξήσει τα επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας θα πρέπει να επιλέξει **υποχρεωτικά** φωτιστικό σώμα με δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimmable), έτσι ώστε να μπορεί να ρυθμίζεται η στάθμη φωτισμού και αντίστροφα στα κατάλληλα όρια π.χ. **750lx → 500lx** και ενδείκνυται ο σχεδιασμός φωτισμού να ακολουθεί τις επιφάνειες εργασίας για αποφυγή υπερκατανάλωσης. Επιπλέον ο μελετητής μπορεί να σχεδιάσει έτσι ώστε τα επιπλέον απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού π.χ. 250lx να δίνονται με τοπικό φωτισμό (π.χ. επιδαπέδιο ή επιτραπέζιο φωτιστικό σώμα). Στην περίπτωση αυτή σχεδιασμού ο τοπικός φωτισμός περιλαμβάνεται στην καταμέτρηση ισχύος για το σύστημα φωτισμού.

Επιπλέον μέριμνα πρέπει να ληφθεί στα παρακάτω κατά την επιλογή ενός συστήματος φωτισμού σε χώρους με τα συγκεκριμένα άτομα:

- Λόγω του μικρού μεγέθους των φωτεινών πηγών των LED, η θάμβωση έχει μεγαλύτερες τιμές. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στη χρήση αντιθαμβωτικού εξοπλισμού ή κατάλληλων τεχνικών σχεδιασμού φωτισμού (π.χ. ενσωματωμένος φωτισμός).
- Παρότι ο δείκτης UGR δεν περιγράφει όλες τις δυνατές περιπτώσεις στο σχεδιασμό φωτισμού και καθώς τα φωτιστικά LED έχουν συνήθως υψηλότερες τιμές λαμπρότητας (δεν γίνεται αναφορά στη μέση τιμή λαμπρότητας της φωτεινής επιφάνειας) από τα συμβατικά φωτιστικά, ο μελετητής μπορεί να μειώσει κατά ένα βήμα το όριο του δείκτη UGR στη μελέτη του (βήματα δείκτη UGR: 13 - 16 - 19 - 22 - 25 - 28). Για παράδειγμα στο φωτισμό μιας επιφάνειας εργασίας σε ένα γραφείο με ηλικιωμένα άτομα, το όριο του δείκτη UGR, που δεν πρέπει να υπερβούν οι υπολογισμοί, από 19 μπορεί να μειωθεί στο 16.
- Η χρήση φωτιστικών με έμμεση συνιστώσα φωτισμού (με ποσοστό φωτεινής ροής του συστήματος φωτισμού προς τα πάνω μικρότερη του 30%, συνολικά) μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια στη μετακίνηση των συγκεκριμένων ατόμων σε ένα χώρο.

- Η χρήση θερμών φωτεινών πηγών (<3.300K) στο σύστημα φωτισμού, μειώνει τη σχετική διαφορά της έντασης φωτισμού που αντιλαμβάνεται ο αμφιβληστροειδής ανάμεσα σε ένα νεαρό και ηλικιωμένο άτομο. Αυτή η επιλογή, για την αποφυγή της αύξησης των ορίων φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας, θα πρέπει να επιλέγεται σε θέσεις εργασίας οι οποίες έχουν πρόσβαση σε επαρκή επίπεδα φυσικού φωτισμού.

8.3 Προδιαγραφές φωτισμού στις περιοχές μετακίνησης

Πολλές περιοχές μετάβασης είναι εξοπλισμένες με μονοπάτια αφής και προφορικές ανακοινώσεις, ώστε τα άτομα με προβλήματα όρασης ή χαμηλή όραση να μπορούν να κινηθούν με ασφάλεια και κάποια σχετική ανεξαρτησία. Ωστόσο, αυτές οι εγκαταστάσεις μπορεί να μη λειτουργούν ικανοποιητικά για άτομα με μειωμένη όραση, π.χ. λόγω ηλικίας. Οι διεθνείς προδιαγραφές απαιτούν την αύξηση της αντίθεσης λαμπρότητας στις άκρες των σκαλοπατιών στα κλιμακοστάσια και των μονοπατιών αφής σε σχέση με τον φωτισμό του υποβάθρου. Επιπλέον, για την κατάλληλη εφαρμογή αυτών των προδιαγραφών, είναι απαραίτητη η εξέταση των λεπτομερειών συνολικά του οπτικού περιβάλλοντος του χώρου.

Ένας μελετητής φωτισμού θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του τα παρακάτω:

- Αύξηση των επιπέδων φωτισμού κατά ένα βήμα (EN 12665) σε επικίνδυνες περιοχές για τα άτομα με μειωμένη όραση, όπως είναι π.χ. η διασταύρωση διαδρόμων, μονοπατιών, η είσοδος/έξοδος σε/από κυλιόμενες σκάλες, ο ανελκυστήρας, η πλατφόρμα τρένων κ.λπ.
- Η Αντίθεση Michelson [εξ. 13-1] θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 0,7 σε χώρους όπου υπάρχουν πιθανοί κίνδυνοι με εμπόδια, σκάλες, ή πινακίδες με γράμματα και εικονογράμματα και 0,4 σε χώρους με οπτικές πληροφορίες χωρίς γράμματα και εικονογράμματα, αλλά μόνο με σημάδια.

$$C_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad (\text{Αντίθεση Michelson}) \quad [\text{εξ. 8-1}]$$

όπου: C_M η αντίθεση λαμπρότητας Michelson,

L_{max} η μέγιστη τιμή λαμπρότητας μέσα στην εξεταζόμενη περιοχή

L_{min} η ελάχιστη τιμή λαμπρότητας μέσα στην εξεταζόμενη περιοχή

- Θα πρέπει να δίνεται η αίσθηση του βάθους στους χρήστες και οι χρήστες να μπορούν να προσανατολίζονται εύκολα. Για παράδειγμα θα πρέπει να αποφεύγονται οι ενιαία χρωματισμένοι χώροι (πάτωμα, οροφή και τοίχοι με το ίδιο χρώμα), ταυτόχρονα με έναν ενιαίο ομοιόμορφο φωτισμό.
- Όλα τα εμπόδια (π.χ. αρχή κλιμακοστασίου) και οι περιοχές μετάβασης (π.χ. πλατφόρμες σε σταθμούς) θα πρέπει να γίνονται περισσότερο εμφανή με την αύξηση της λαμπρότητας και των χρωματικών αντιθέσεων σε σχέση με το υπόβαθρο ώστε τα άτομα με μειωμένη όραση να μπορούν να τα αναγνωρίσουν με ευκολία. Για παράδειγμα, προκειμένου να αποφευχθούν οι πτώσεις στις σκάλες, είναι σημαντικό για τους ηλικιωμένους και τα άτομα με χαμηλή όραση, να αυξηθεί η αντίθεση λαμπρότητάς στα άκρα της σκάλας σε σχέση με τη λαμπρότητα

του υποβάθρου (π.χ. ανάμεσα στο πάτημα του σκαλοπατιού και το ρίχτι). Η χρήση μεταλλικών υλικών στις άκρες των σκαλοπατιών είναι μια λύση για την αύξηση της αντίληψής τους (χωρίς αύξηση του φωτισμού σε υπερβολικά επίπεδα), αρκεί το φινιρίσμά τους να μην είναι υπερβολικά γυαλιστερό. Τα γυαλιστερά υλικά μπορούν να δημιουργήσουν αστραφτερές ανακλάσεις που μπορεί να είναι αποπροσανατολιστικές στο τελικό αποτέλεσμα.

- Η ορατότητα των μονοπατιών αφής (είναι συνήθως με κίτρινο χρώμα) βελτιώνεται από τον φωτισμό και τη χρωματική αντίθεση του μονοπατιού σε σχέση με το γειτονικό υπόβαθρο. Για παράδειγμα κίτρινα μονοπάτια αφής σε κιτρινωπά πλακάκια πατώματος είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν ακόμα και με τη χρήση υπερβολικού φωτισμού, ενώ αντίθετα μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν σε σκουρόχρωμο πάτωμα με τα ίδια επίπεδα έντασης φωτισμού λόγω της αυξημένης χρωματικής τους αντίθεσης.
- Η χρήση φωτιζόμενων πινακίδων για την ενημέρωση των χρηστών αποτελεί καθιερωμένη πρακτική στους σύγχρονους σταθμούς μέσω μαζικής μεταφοράς αλλά και εντός των ιδίων των μέσων. Τα όρια φωτισμού στις ετερόφωτες πινακίδες μπορούν να κυμαίνονται από 100lx (για ανοιχτόχρωμες πινακίδες) έως 300lx (για σκουρόχρωμες πινακίδες) σε τιμές έντασης φωτισμού, ενώ για αυτόφωτες πινακίδες 40cd/m², σε τιμές λαμπρότητας. Η τοποθέτηση του συστήματος φωτισμού δεν θα πρέπει να δημιουργεί πρόβλημα θάμβωσης στους χρήστες, είτε από την ίδια τη φωτεινή πηγή είτε από τον ανακλώμενο σε αυτή φωτισμό. Η αύξηση του μεγέθους των γραμμάτων της επιγραφής μπορεί να βοηθήσει περισσότερο την ανάγνωσή τους, σε περίπτωση που δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού.

9 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός

9.1 Γενικά στοιχεία

Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας και για μια ευρεία ποικιλία δραστηριοτήτων των ανθρώπων απαιτούνται επαρκή επίπεδα φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Ο φωτισμός συνεισφέρει τόσο στα οπτικά (visual effects) και όσο και στα μη οπτικά αποτελέσματα (non visual effects) στον άνθρωπο. Τα επίπεδα φωτισμού συμβάλλουν στην αντίληψη του χώρου, καθώς και στη συνολική εμφάνιση των φωτισμένων χώρων (visual effects). Ο φωτισμός των επιφανειών εργασίας μπορεί να παρέχει την απαραίτητη ποσότητα φωτισμού στους χώρους συνολικά, χωρίς να φωτίζονται υπερβολικά οι περιμετρικοί/βοηθητικοί χώροι. Η σύζευξη ενός ρυθμιζόμενου άμεσου φωτισμού στις επιφάνειες εργασίας και ενός έμμεσου ή διάχυτου φωτισμού, χαμηλότερης έντασης στις περιοχές που περιβάλλουν την επιφάνεια εργασίας, επιτρέπει την ευκολότερη οπτική προσαρμογή του χρήστη, την αύξηση της οπτικής οξύτητάς του και παρέχει ταυτόχρονα έναν κατάλληλο φωτισμό υποβάθρου. Οι απαιτήσεις φωτισμού για τις επιφάνειες εργασίας και του περιβάλλοντος φωτισμού, τα συνολικά δηλαδή οπτικά αποτελέσματα ενός χώρου, δίνονται από πρότυπα (EN 12464-1, EN 12464-2) και τεχνικές οδηγίες (T.O.T.E.E., CIE). Εκτός όμως, από την επίτευξη της οπτικής άνεσης (visual effect), ο σχεδιασμός φωτισμού πρέπει να περιλαμβάνει και τα μη οπτικά αποτελέσματα στον άνθρωπο (non visual effect), όπως ο συγχρονισμός του ημερήσιου βιορυθμού του, η εγρήγορση κατά τη διάρκεια της ημέρας και η χαλάρωση τις βραδινές ώρες. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί στη γη εμφανίζουν κιρκάδιους ρυθμούς. Οι ρυθμοί αυτοί, είναι βιολογικοί κύκλοι που επαναλαμβάνονται καθημερινά και ρυθμίζονται από ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Ο σημαντικότερος κύκλος περιλαμβάνει την εναλλαγή ημέρας και νύκτας. Αυτή η εναλλαγή φωτός και σκοταδιού που μεταφέρεται στο πίσω μέρος του ματιού μετατρέπεται σε νευρικά σήματα με σκοπό τον συγχρονισμό του «βιολογικού ρολογιού» του σώματος με τον τοπικό χρόνο. Έτσι το μάτι επικοινωνεί με τον εγκέφαλο μέσω δύο οδών:

- α) Κωνία/ραβδία → οπτική οδός → Ινιακός λοβός (έγχρωμη όραση, καθορίζει την οπτική απόδοση, αντίληψη κίνησης) και
- β) ipRGC → αμφιβλοστοειδουποθαλαμική οδός → υπερχιασματικός πυρήνας → Βιολογικοί ρυθμοί, έκκριση ορμονών, κεντρικές λειτουργίες συγχρονισμού κ.λπ.

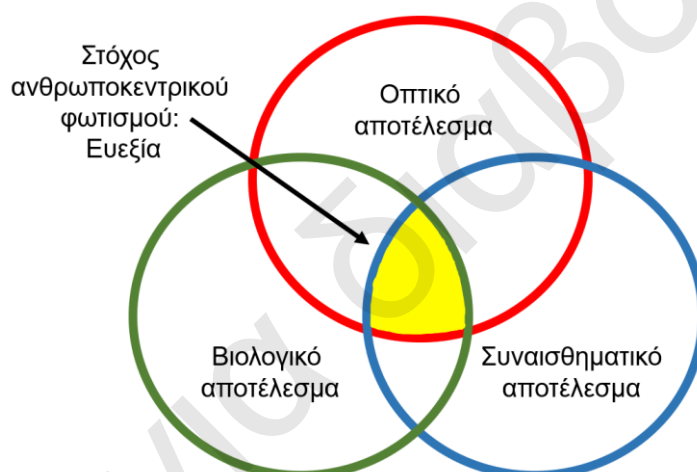
Έτσι κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (κιρκαδιανός ρυθμός), παράγονται οι ακόλουθες βασικές ορμόνες:

- α) ντοπαμίνη για ευχαρίστηση, εγρήγορση και συντονισμό των μυών,
- β) σερατονίνη, ένας φυσικός σταθεροποιητής διάθεσης,
- γ) κορτιζόλη για απόκριση στο στρες και
- δ) μελατονίνη για χαλάρωση και δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για ύπνο.

Χωρίς αυτόν τον συγχρονισμό, ενδέχεται ο άνθρωπος να αντιμετωπίσει μακροχρόνιες επιπλοκές στη φυσιολογική λειτουργία του, την απόδοση της νευρολογικής λειτουργίας και τον ύπνο, διατρέχοντας έτσι υψηλότερο κίνδυνο για καρδιαγγειακές παθήσεις, διαβήτη κ.λπ. Η περιγραφή και οι απαιτήσεις των βιολογικών αποτελεσμάτων στον άνθρωπο δίνονται από τεχνικές οδηγίες (CEN/TR 16791) και τεχνικές προδιαγραφές κρατών μελών της Ε.Ε. (DIN SPEC 67600 και DIN SPEC 5031-100). Στα μη οπτικά αποτελέσματα του φωτισμού συμπεριλαμβάνονται επίσης και τα αισθήματα που μας δημιουργού-

νται σε έναν χώρο από την ατμόσφαιρα που δημιουργείται. Μια ευχάριστη, ασφαλής και οικεία ατμόσφαιρα (π.χ. χαμηλά ομοιόμορφα επίπεδα φωτισμού) χαλαρώνει, ενώ μια ατμόσφαιρά φωτισμού με έντονες αντιθέσεις φωτισμού και απότομες εναλλαγές φωτεινών και σκοτεινών περιοχών μας δημιουργεί υπερένταση. Ένας «ζεστός» φωτισμός (<3.300K) δίνοντας έμφαση σε ιδιαίτερες περιοχές προκαλεί σημαντικά πιο ευχάριστα συναισθήματα καθώς συνδέεται με την αύξηση της αντίληψης, της άνεσης και τη μείωση της έντασης. Η εμπειρία ενός σκοτεινού περιβάλλοντος, ή ενός περιβάλλοντος με πολύ χαμηλές εντάσεις φωτισμού, δημιουργεί μια αίσθηση ανωνυμίας κάτι που όμως δεν ανταποκρίνεται όμως στην πραγματική ανωνυμία.

Το σύνολο των παραπάνω παραμέτρων σχεδιασμού που συμπεριλαμβάνονται στα οπτικά και μη οπτικά αποτελέσματα του φωτισμού αποτελούν τον Ανθρωποκεντρικό Φωτισμό Α.Φ., (Human Centric Lighting, HCL). Ο Α.Φ. είναι ο κατάλληλος φωτισμός την κατάλληλη στιγμή, παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα φωτισμού και τα κατάλληλα μήκη κύματος (το ανθρώπινο μάτι τα αντιλαμβάνεται ως χρώμα), για τις ατομικές ανάγκες διαβίωσης και εργασίας, για οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Καθώς ο φωτισμός έχει μια σειρά επιδράσεων στον άνθρωπο (οπτική, συναισθηματική και βιολογική), ο Α.Φ. πρέπει να έχει μια συγκεκριμένη μακροπρόθεσμη θετική επίδραση στην υγεία, την ευημερία και την παραγωγικότητα κάθε ανθρώπου μέσω της υιοθέτησης ενός ολιστικού σχεδιασμού.

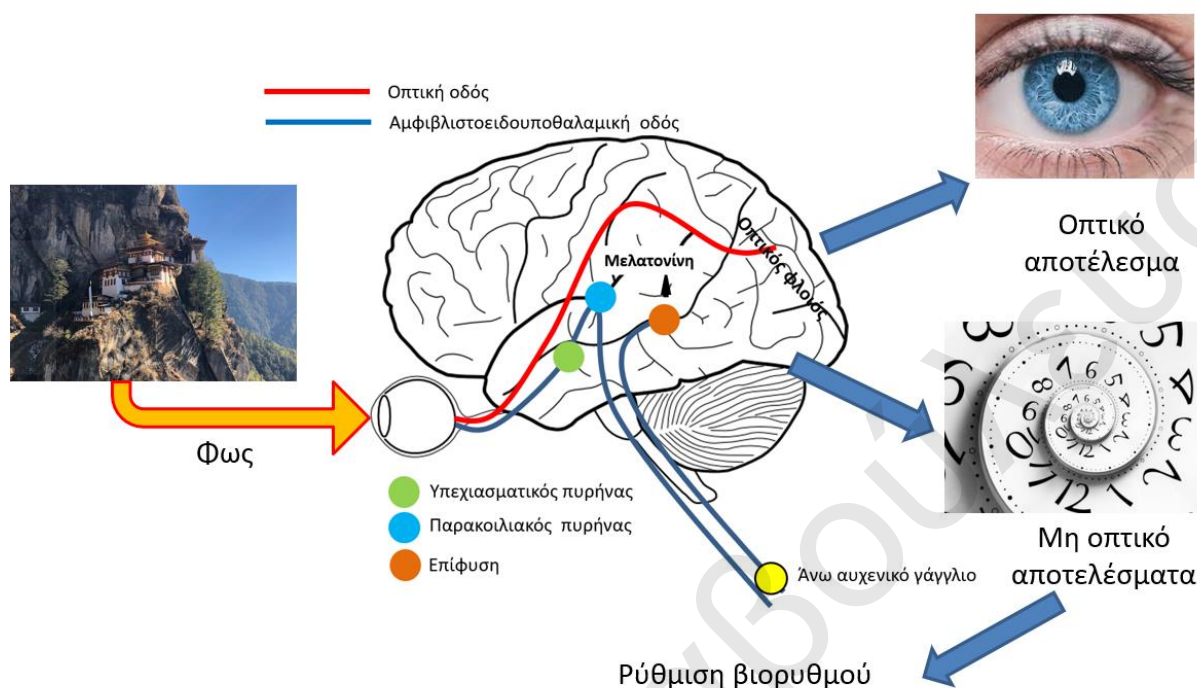


Σχήμα 9-1: Σύνολο των παραμέτρων για έναν πετυχημένο ανθρωποκεντρικό φωτισμό.

9.2 Σχεδιασμός των μη οπτικών αποτελεσμάτων του φωτισμού

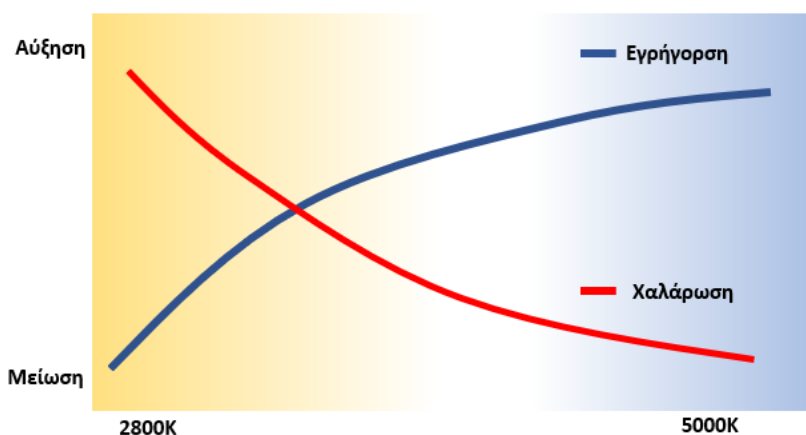
Ο σχεδιασμός φωτισμού για τα μη οπτικά αποτελέσματα όπως για παράδειγμα είναι η διατήρηση του κερκαδικού ρυθμού διαφέρει από την παραδοσιακή προσέγγιση του αρχιτεκτονικού φωτισμού. Σε γενικές γραμμές, μέχρι τώρα ο σχεδιασμός φωτισμού σε έναν χώρο επικεντρώνεται στην επίτευξη της οπτικής άνεσης, στη διατήρηση των απαραίτητων επιπέδων φωτισμού, τη μείωση της θάμβωσης, στην ασφάλεια, την εμφάνιση του χώρου κ.λπ. Με την κατανόηση των πτυχών του Α.Φ., παράμετροι όπως, το φάσμα της ακτινοβολίας, η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και η ένταση του φωτισμού σε συνδυασμό με τον φωτιζόμενο χώρο και την ανθρώπινη αντίληψη αναλαμβάνουν έναν νέο ρόλο στο σχεδιασμό φωτισμού ικανοποιώντας ταυτόχρονα οπτική άνεση, ενεργειακή απόδοση και καλύτερη βιολογική λειτουργία. Νέοι στόχοι που προστίθενται πλέον, είναι η βελτιστοποίηση της βιολογικής και συναισθηματικής επίδρασης του φωτισμού στον άνθρωπο. Για να κατανοηθούν οι νέοι στόχοι θα πρέπει να αναλυθεί λεπτομερώς η λειτουργία του ανθρώπινου ματιού και πως ο φωτισμός

διεγείρει τις λειτουργίες του εγκεφάλου. Καθώς δεν είναι ο στόχος της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας, η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 9-2).



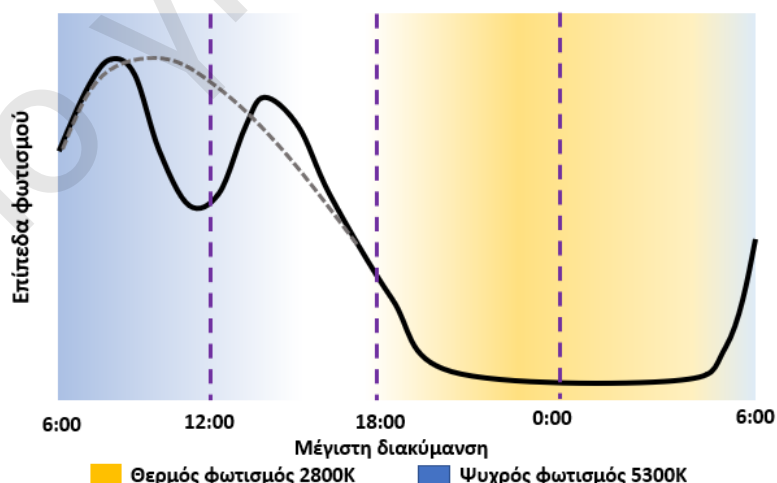
Σχήμα 9-2: Η συνολική επίδραση του φωτισμού στον άνθρωπο.

Ο Φ.Φ. προσφέρει της ιδανικές συνθήκες για να διατηρούμε συγχρονισμένο το βιολογικό μας ρολόι. Επειδή όμως ο σύγχρονος αστικός τρόπος ζωής του ανθρώπου έχει μειώσει πολύ τη φυσική του παρουσία στο εξωτερικό περιβάλλον, το ερέθισμα για τη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού θα πρέπει να δίνεται από τον τεχνητό φωτισμό ή καλύτερα σε έναν συνδυασμό με αυτόν. Ο τεχνητός φωτισμός θα πρέπει να είναι δυναμικός και να είναι προσαρμοσμένος κατάλληλα ώστε να αναδημιουργεί κατά κάποιο τρόπο την εναλλαγή του Φ.Φ. τόσο σε ένταση αλλά και χρώμα. Η ένταση φωτισμού, το φάσμα ακτινοβολίας, η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και η κατεύθυνση του Φ.Φ. μεταβάλλονται συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο τεχνητός φωτισμός θα πρέπει να μιμείται τις αλλαγές με παρόμοιο τρόπο τον τρόπο μεταβολής του Φ.Φ. Ένα πλούσιο φάσμα σε μπλε ακτινοβολία, που αντιστοιχεί συνήθως σε μια φωτεινή πηγή με συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος 5.000K, προκαλεί εγρήγορση. Ένα πλούσιο φάσμα σε κόκκινη ακτινοβολία, όπως αντιστοιχεί συνήθως σε μια φωτεινή πηγή με συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος 2.800K, δημιουργεί χαλάρωση (Σχήμα 9-3).



Σχήμα 9-3: Μια φωτεινή πηγή με συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος 5000K αυξάνει την εγρήγορση για δραστηριότητες ενώ μια πηγή με 2.800K δημιουργεί συνθήκες χαλάρωσης.

Η εγρήγορση του ανθρώπινου οργανισμού δεν πρέπει να πραγματοποιείται πέραν του απογεύματος, γιατί η κατάσταση της εγρήγορσης θα μετατραπεί σε μια στρεσογόνο κατάσταση με δημιουργία δυσάρεστων αποτελεσμάτων στον ανθρώπινο οργανισμό. Οπότε, δεν θα πρέπει να επιλέγονται πηγές με ψυχρές θερμοκρασίες χρώματος σε στατικά συστήματα φωτισμού, τα οποία εφαρμόζονται σε χώρους με προγράμματα λειτουργίας πέραν του απογεύματος. Η προδιαγραφή δυναμικών εγκαταστάσεων φωτισμού επιτρέπει τη χρήση περισσότερων επιλογών από ένα στατικό σύστημα φωτισμού (χρήση μόνο on/off) με την ενσωμάτωση πολλαπλών πηγών και τη δημιουργία ενός μεταβαλλόμενου ορατού φάσματος. Ο δυναμικός φωτισμός επιτρέπει: α) την μεταβολή της εκπεμπόμενης φωτεινής ροής ώστε να μεταβάλλεται η ένταση φωτισμού και η αντίστοιχη ατμόσφαιρα και β) την εναλλαγή ψυχρού - θερμού φωτισμού, με ψυχρό φωτισμό τις πρωινές ώρες ώστε να υπάρχει διέγερση του οργανισμού με βελτίωση της συγκέντρωσης, και θερμό φωτισμό τις απογευματινές ώρες ώστε να υπάρχει η απαραίτητη καταπραϋντική επίδραση στους χρήστες. Στο [Σχήμα 9-4](#) δίνονται δυο παραδείγματα δυναμικού φωτισμού (μαύρη συνεχόμενη και γκρι διακεκομμένη γραμμή).



Σχήμα 9-4: Αποτελεσματικός ανθρωποκεντρικός φωτισμός.

Συνοπτικά οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού Α.Φ. είναι ο κάθετος φωτισμός στο ύψος του ματιού, η διάχυση και η κατεύθυνση του φωτισμού, η θερμοκρασία χρώματος, η δυνατότητα μεταβολής φάσματος και φωτεινής ροής, η ώρα της ημέρας και η διάρκεια έκθεσης σε καθορισμένο φάσμα και επίπεδα φωτισμού. Ο μελετητής φωτισμού θα πρέπει να έχει υπόψη του τις εξής σχεδιαστικές παραμέτρους για να έναν αποτελεσματικό Α.Φ. και όσο αφορά τη βιολογική του επίδραση:

- Ο απαιτούμενος φωτισμός την κατάλληλη χρονική διάρκεια για το επιθυμητό βιολογικό ερέθισμα των χρηστών μπορεί να επιτευχθεί και μέσω υψηλότερων τιμών έντασης φωτισμού χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση ψυχρής θερμοκρασίας χρώματος πηγής. Η χρήση δηλαδή ενός φωτιστικού σώματος με θερμοκρασία χρώματος 3.000K αλλά με υψηλότερη ρύθμιση της φωτεινής ροής του, τις πρωινές ώρες, μπορεί να επιφέρει εξίσου το ίδιο αποτέλεσμα. Σε χώρους με επαρκή επίπεδα φυσικού φωτισμού, η δόση συμπληρώνεται από τον Φ.Φ.
- Η διάχυση του φωτισμού είναι σημαντική. Όπου είναι δυνατόν, ο φωτισμός πρέπει να διαχέεται σε μεγάλο βαθμό από μεγάλες φωτεινές επιφάνειες (π.χ. πάνελ φωτισμού). Φωτιστικά σώματα με μεγάλες επίπεδες επιφάνειες που μπορούν να δημιουργήσουν φωτεινές οροφές ή κρεμαστά φωτιστικά που εκπέμπουν μέρος του φωτισμού τους προς την οροφή (μέχρι 30%) ή/και προς το πάνω μέρος των τοίχων (στο άνω 33% του ύψους από το δάπεδο) είναι συνιστώμενες επιλογές. Φωτιστικά που δημιουργούν wallwash μπορούν εξίσου να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στο σχεδιασμό Α.Φ.
- Η κατεύθυνση του φωτισμού είναι εξίσου σημαντική. Ο φωτισμός θα πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να εισέρχεται στο μάτι από ψηλά και από μπροστά όπως και ο Φ.Φ. έτσι ώστε να υπάρχει η κατάλληλη πρόσπτωση στους υπεύθυνους υποδοχείς στο εσωτερικό του ματιού. Ο σχεδιασμός φωτισμού και η επιλογή των φωτιστικών σωμάτων θα πρέπει να δίνουν βαρύτητα στον κάθετο φωτισμό (τι προσπίπτει στο ανθρώπινο μάτι) και όχι μόνο στον οριζόντιο φωτισμό. Υποβοηθητική της κατάστασης αυτής είναι η απαίτηση καθορισμού των ορίων της κυλινδρικής έντασης φωτισμού (EN 12464-1).
- Συνιστάται κατά τις πρωινές ώρες να επιλέγεται μια πηγή με θερμοκρασία χρώματος παρόμοια του Φ.Φ., και με φάσμα που περιέχει βιολογικά αποτελεσματικό μπλε φως. Παρότι ο δυναμισμός του Φ.Φ. δεν μπορεί να επιτευχθεί πλήρως με τον τεχνητό φωτισμό, ο δυναμικός τεχνητός φωτισμός, που μιμείται τον φυσικό μπορεί να αποτελέσει παράγοντα ευεξίας και αύξησης της παραγωγικότητας. Η θερμοκρασία χρώματος και τα επίπεδα φωτισμού θα πρέπει να αλλάζουν δυναμικά σύμφωνα με τη φυσική μεταβολή του Φ.Φ. Το φυσικό φως κατά τη διάρκεια του μέσου της ημέρας έχει υψηλή περιεκτικότητα σε μπλε χρώμα και θερμοκρασία χρώματος τουλάχιστον 5.300K. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για τη διέγερση του ανθρώπινου σώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι συνιστώμενες πηγές τεχνητού φωτισμού περιλαμβάνουν λαμπτήρες φθορισμού και LED με α) ψυχρή θερμοκρασία χρώματος και β) ορατό φάσμα το οποίο είναι πλούσιο με μικρού μήκους κύματος ορατή ακτινοβολία (μπλε χρώμα). Συνεπώς κατά την διάρκεια της ημέρας που επιδιώκεται εγρήγορση (πρωί) χρησιμοποιείται το προαναφερθέν φάσμα, ενώ στις υπόλοιπες ώρες, το σύστημα φωτισμού θα παρέχει φωτισμό με θερμή θερμοκρασία χρώματος (<3.300K), και το βράδυ θα πρέπει να συνδυάζεται με μειωμένα επίπεδα φωτισμού.
- Όταν προδιαγράφεται δυναμικός φωτισμός, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η φασματική σύνθεση του εκπεμπόμενου φωτισμού να μην μεταβάλλεται ούτε από το φωτιστικό σώμα αλλά ούτε και από τα χρώματα του χώρου στον οποίο βρίσκεται. Στην περίπτωση των

φωτιστικών σωμάτων, υπάρχει ενδεχόμενο τα οπτικά στοιχεία ελέγχου της φωτεινής κατανομής όπως είναι οι περσίδες, το κάλυμμα ή/και ο διαχύτης να προκαλέσουν τη μείωση της επίδρασης του φωτισμού σε βιολογικό επίπεδο, μειώνοντας τη μπλε συνιστώσα του λευκού φωτισμού της πηγής. Τα χρώματα της οροφής, των τοίχων και των επίπλων μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά την εντύπωση που δημιουργεί ο φωτισμός σε ένα χώρο αφού ανακλούν και απορροφούν διαφορετικά μέρη του εκπεμπόμενου ορατού φάσματος. Επιπρόσθετα τα σκούρα χρώματα αντανακλούν λιγότερο φως από τα ανοιχτά. Το ξύλο και τα γήινα χρώματα απορροφούν τη μπλε ακτινοβολία μειώνοντας το βιολογικό ερέθισμα. Τα έντονα κίτρινα και κόκκινα χρώματα είναι επίσης σημαντικά χρώματα για τον καθορισμό του.

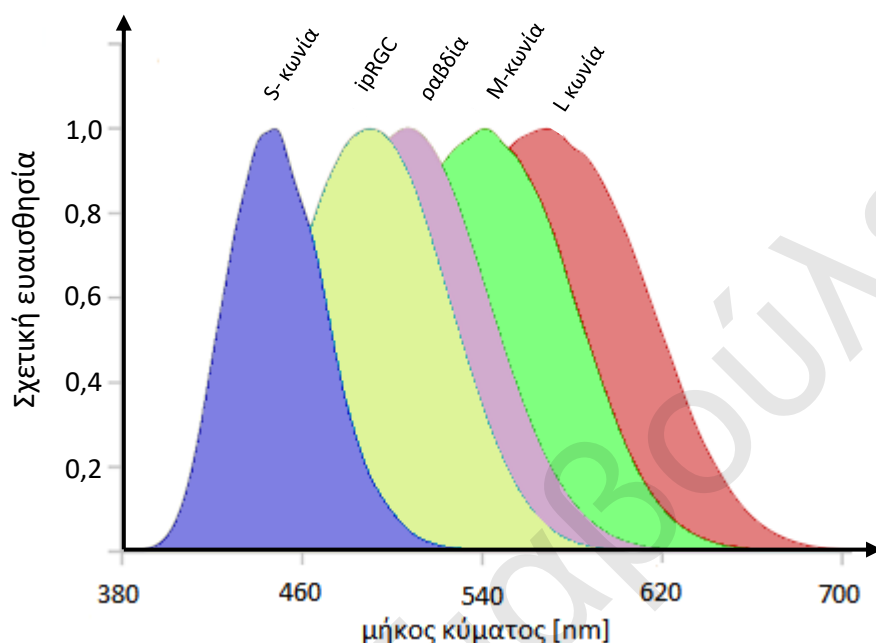
- Ένα φωτιστικό σώμα με δυναμικά μεταβαλλόμενο φάσμα εκπομπής (δηλαδή με δυνατότητα μεταβολής της θερμοκρασίας χρώματος από ψυχρή σε θερμή ή/και αντίθετα) συνδυάζει διαφορετικές πηγές φωτισμού, οι οποίες δεν λειτουργούν ταυτόχρονα. Κάθε πηγή έχει διαφορετική φωτεινή απόδοση (lm/W). Ενώ, η ψυχρή θερμοκρασία χρώματος είναι πιο αποδοτική από τη θερμή, στην τεχνολογία των LED, το αντίθετο ισχύει για την τεχνολογία λαμπτήρων φθορισμού. Οπότε, η φωτεινή απόδοση για τον ενεργειακό έλεγχο των φωτιστικών σωμάτων με δυναμικό φωτισμό, θα λαμβάνεται ίση με την ελάχιστη τιμή που προκύπτει από το συνδυασμό λειτουργίας των φωτεινών πηγών του φωτιστικού σώματος.

Όσον αφορά τη συναισθηματική επίδραση του φωτός, για ένα αποτελεσματικό εργασιακό περιβάλλον, αυτό θα πρέπει να είναι ευχάριστο, επιτρέποντας στους χρήστες να ταυτίζονται με το χώρο τους. Τα χρώματα, τα υλικά σε συνδυασμό με τον επιλεγμένο φωτισμό (φάσμα ακτινοβολίας, θερμοκρασία χρώματος, χρωματική απόδοση) και η εσωτερική διακόσμηση βοηθούν στην προώθηση της ευεξίας. Ο χώρος δεν θα πρέπει να δημιουργεί μόνο εγρήγορση, αλλά να προσφέρει και ιδιωτικότητα, ώστε οι χρήστες να μπορούν να ξεκουραστούν σε ένα διάλειμμα. Σε γενικές γραμμές ο θερμός φωτισμός και η κατάλληλη διακόσμηση μπορούν να ικανοποιήσουν αυτή την απαίτηση.

9.3 Μετρικά συστήματα των μη οπτικών αποτελεσμάτων

Με την έλευση και της αποκρυπτογράφησης των μη οπτικών αποτελεσμάτων του φωτισμού στον άνθρωπο, ο σχεδιασμός φωτισμού όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έχει διαφορετικούς στόχους. Δεν πρέπει να δίνεται μοναδική βαρύτητα στο οπτικό αποτέλεσμα. Είναι γνωστό πως η ένταση του φωτισμού για τη μέτρηση της οπτικής οξύτητας, του οπτικού αποτελέσματος δηλαδή, δίνεται σε τιμές έντασης φωτισμού (lx) ή λαμπρότητας (cd/m^2). Οι μονάδες αυτές αποτελούν ένα μέτρο όπου το μάτι ανταποκρίνεται στο οπτικό περιβάλλον, μέσω των κωνίων και των ραβδίων, κύτταρα τα οποία αποτελούν τους κύριους φωτοϋποδοχείς για την ημερήσια και τη νυχτερινή όραση αντίστοιχα και βρίσκονται στον αμφιβληστροειδή του ανθρώπινου ματιού. Οι αποκρίσεις των κωνίων (μπλε, πράσινων και κόκκινων) και των ραβδίων παρουσιάζονται στο [Σχήμα 9-5](#). Από την άλλη πλευρά, τα μετρικά συστήματα των μη οπτικών αποτελεσμάτων δεν είναι ακόμη ευρέως διαδομένα και προφανώς είναι διαφορετικά από τα τυπικά που χρησιμοποιούνται σήμερα από τους σχεδιαστές φωτισμού. Οι επιδράσεις των μη οπτικών αποτελεσμάτων εστιάζονται στα γαγγλιοκύτταρα ή αλλιώς στους φωτοϋποδοχείς ipRGC που βρίσκονται και αυτά στον αμφιβληστροειδή του ματιού. Τα φωτοευαίσθητα γαγγλιοκύτταρα (ipRGCs) ρυθμίζουν στην ουσία την ανθρώπινη κίρκαδιακή απόκριση στο φως. Είναι φωτοϋποδοχείς που δεν σχηματίζουν εικόνα μέσα στο μάτι. Για τη μέτρηση και υπολογισμούς των μη οπτικών αποτελεσμάτων δεν υπάρχουν ακόμα υποχρεωτικά όρια συμμόρφωσης από τα πρότυπα, παρά μόνο από ιδιωτικά σήματα πιστοποίησης του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτιρίου. Παρόλα αυτά έχουν

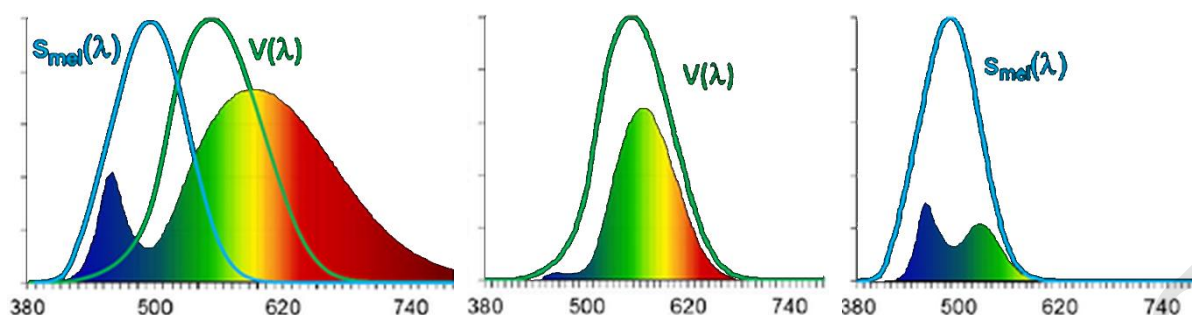
ήδη προταθεί μονάδες μέτρησης από τεχνικές οδηγίες της Ε.Ε. (CEN/TR 16791), της διεθνούς επιτροπής φωτισμού (CIE S026) και διάφορες ερευνητικές ομάδες. Για τον σχεδιασμό του φωτισμού ο μελετητής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα επίπεδα φωτισμού (οριζόντιος φωτισμός στο επίπεδο εργασίας και κάθετος φωτισμός στο επίπεδο του ματιού), το φάσμα της φωτεινής πηγής, τη χρονική στιγμή έκθεσης, τη διάρκεια της έκθεσης και την χρονική εξέλιξη της έντασης φωτισμού στον χώρο.



Σχήμα 9-5: Αποκρίσεις των κωνίων (μπλε, πράσινων και κόκκινων), των ραβδίων και των ipRGC φωτοϋποδοχέων.

9.3.1 Ισοδύναμη μελανοπική ένταση φωτισμού

Η ισοδύναμη μελανοπική ένταση φωτισμού (Equivalent Melanopic Lux, EML) είναι ένα μέτρο για τη μέτρηση των βιολογικών επιδράσεων του φωτός στους ανθρώπους. Γενικά η EML σταθμίζεται στην απόκριση των ipRGC στο φως και μεταφράζει πόσο το φάσμα μιας πηγής φωτισμού τα διεγείρει ώστε να επηρεάζουν αντίστοιχα το κίρκαδικό σύστημα του ανθρώπου (Σχήμα 9-1). Την πιο γνωστή αναφορά στις μονάδες αυτές πραγματοποιεί το σύστημα ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος κτιρίων WELL Building standard, το οποίο έχει ως κύριο στόχο την υγεία/ευεξία των χρηστών, και έχει ενσωματώσει ευρέως την έρευνα στον Α.Φ. χωρίς να εστιάζει αποκλειστικά στην εξοικονόμηση της ενέργειας. Το στάνταρ WELL δίνει έμφαση στα ισοδύναμα melanopic lx (EML) και θέτει όρια με βάση τον κάθετο φωτισμό στο ύψος των ματιών και όχι σε οριζόντια επίπεδα. Ως ελάχιστες τιμές ορίζονται τα 200 EML με σύζευξη φυσικού και τεχνητού φωτισμό ή 150EML από χρήση μόνο τεχνητού φωτισμού βεβαίως υπό την προϋπόθεση ότι καλύπτονται οι απαιτήσεις σχεδιασμού για την τιμή της έντασης φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας. Η τιμή της EML ορίζεται από το γινόμενο της έντασης φωτισμού (L, lx) και ενός συντελεστή R ή MEER (Μελανοπική αναλογία ίσης ενεργειακής απόδοσης, Melanopic Equal-energt Efficacy Ratio) που αποτελεί την αναλογία της απόκρισης των ipRGC ως προς την φωτοπική απόκριση για κάθε εξεταζόμενη πηγή - φάσμα ($EML = L (lx) \cdot MEER$). Ενδεικτικές τιμές της μελανοπικής αναλογίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 9-1. Στον Πίνακα 9-2 παρουσιάζεται η αντιστοίχιση επιπέδων έντασης φωτισμού 100lx με επίπεδα ισοδύναμης μελανοπικής έντασης φωτισμού (EML) για διάφορες πηγές φωτισμού.



Σχήμα 9-6: Γραφική απεικόνιση του υπολογισμού του μέρους της ακτινοβολίας μιας πηγής (αρ.) που χρειάζεται για τον καθορισμό της έντασης φωτισμού [lx] (κέν.) και της ισοδύναμης μελανοπικής έντασης φωτισμού (EML) (δεξ.).

Πίνακας 9-1: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή MEER ή R (Μελανοπική αναλογία ίσης ενεργειακής απόδοσης) για διάφορες τεχνολογίες φωτεινών πηγών και συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος.

Τεχνολογία φωτεινής πηγής	Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος [K]	Μελανοπική αναλογία ίσης ενεργειακής απόδοσης, MEER ή R
LED	2.700	0,45
Φθορισμός	3.000	0,45
Αλογόνου πυράκτωσης	2.800	0,54
Φθορισμός	4.000	0,58-0,62
LED	4.000	0,74-0,76
Πρότυπη πηγή CIE E	5.450	1,00
Φθορισμός	6.500	1,02
Φυσικός Φωτισμός	6.500	1,10
Φθορισμός	7.500	1,11

Πίνακας 9-2: Υπολογισμός ισοδύναμης μελανοπικής έντασης φωτισμού ανά 100lx έντασης φωτισμού για διάφορες πηγές φωτισμού.

Τεχνολογία φωτεινής πηγής	Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος [K]	Ένταση φωτισμού [lx]	Ισοδύναμη μελανοπική ένταση φωτισμού [EML]
illuminant P (Φωτισμός κεριού)	1.800	100	30
Φθορισμός	2.700	100	38
Standard illuminant A	2.856	100	55
Αλογόνου πυράκτωσης	3.000	100	56
Φθορισμός	3.000	100	45
LED	3.000	100	45
Φθορισμός	4.000	100	58-62
LED	4.000	100	74-76
LED	5.400	100	87
D55	5.500	100	100
Standard illuminant D65	6.500	100	110
LED	6.500	100	88
Φθορισμός	8.000	100	106

9.3.2 Ισοδύναμη μελανοπική ένταση φυσικού φωτισμού

Αντίστοιχα με την ισοδύναμη μελανοπική ένταση φωτισμού (Equivalent Melanopic Lux, EML) ορίζεται και η ισοδύναμη μελανοπική ένταση φυσικού φωτισμού (Melanopic Daylight Equivalent Illuminance, MDEI) ως το γινόμενο της κάθετης έντασης φωτισμού (L_v , lx) και του συντελεστή MDER (Melanopic Daylight Efficacy Ratio) ή αλλιώς $m_{v, mel, D65}$ ($MDEI = L_v (lx) \cdot MDER$). Ως όριο ενεργοποίησης του κirkάδιου ερεθίσματος με την ισοδύναμη μελανοπική ένταση φυσικού φωτισμού (Melanopic Daylight Equivalent Illuminance, MDEI) ορίζεται η τιμή όριο των 240lx (DIN SPEC 5031-100). Ενδεικτικές τιμές MDER ή αλλιώς $m_{v, mel, D65}$ παρουσιάζονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 9-3). Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται η αντιστοίχιση επιπέδων κάθετης έντασης φωτισμού 100lx σε ύψος 1,2m με επίπεδα ισοδύναμης μελανοπικής έντασης φυσικού φωτισμού (MDEI ή $E_{v, mel, D65}$) για διάφορες πηγές φωτισμού. Ήδη οι εταιρίες φωτισμού μαζί με τα φωτομετρικά δεδομένα, δίνουν αντίστοιχους πίνακες τιμών MDER για τον υπολογισμό της ενεργοποίησης ή όχι του κirkάδιου ερεθίσματος.

Πίνακας 9-3: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή MDER για διάφορες τεχνολογίες φωτεινών πηγών και συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος, υπολογισμός ισοδύναμης μελανοπικής έντασης φυσικού φωτισμού ανά 100lx έντασης φωτισμού για διάφορες πηγές φωτισμού και ελάχιστες τιμές κάθετης έντασης φωτισμού $L_{v, MDEI}$ για την επίτευξη του κirkάδιου ερεθίσματος ($MDEI$ ή $E_{v, mel, D65} > 240lx$).

Τεχνολογία φωτεινής πηγής	Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος CCT [K]	Συντελεστής MDER	Ένταση φωτισμού [lx]	Ισοδύναμη μελανοπική ένταση φυσικού φωτισμού (MDEI)	Ελάχιστες τιμές κάθετης έντασης φωτισμού $L_{v, MDEI}$ [lx]
<i>illuminant P</i> (Φωτισμός κεριού)	1.800	0,267	100	27	899
Φθορισμός	2.700	0,348	100	35	690
<i>Standard illuminant A</i>	2.856	0,496	100	50	484
Πυράκτωσης αλογόνου	3.000	0,507	100	51	474
Φθορισμός	3.000	0,404	100	40	595
LED	3.000	0,408	100	41	589
Φθορισμός	4.000	0,563	100	56	426
LED	4.000	0,672	100	67	357
LED	5.400	0,787	100	79	305
D55	5.500	0,904	100	90	265
<i>Standard illuminant D65</i>	6.500	1,000	100	100	240
LED	6.500	0,800	100	80	300
Φθορισμός	8.000	0,957	100	96	251

9.3.3 Κirkαδικό ερέθισμα

Το συγκεκριμένο μετρητικό σύστημα του κirkάδιου φωτισμού έχει προταθεί από το κέντρο φωτισμού Lighting Research Center του πανεπιστημίου Rensselaer Polytechnic Institute και περιγράφεται ως Circadian Stimulus (CS). Για να διαπιστωθεί εάν ένα σύστημα φωτισμού παρέχει την κατάλληλη ποσότητα κirkάδιου φωτισμού πρέπει να προσδιοριστεί η κατανομή της φασματικής ακτινοβολίας του προσπίπτοντος φωτισμού στον κερατοειδή.

Στην ιστοσελίδα του πανεπιστημίου Lighting Research Center παρέχεται ελεύθερο λογισμικό για ο υπολογισμός του δείκτη CS. Το εύρος τιμών είναι από $CS=0,1$ έως $CS=0,7$. Προτείνονται τιμές μεγαλύτερες του 0,3 κατά τις πρωινές ώρες, με διάρκεια τουλάχιστον μιας ώρας, υπολογισμένες στο ύψος του ματιού. Το απόγευμα οι τιμές του CS θα πρέπει να είναι μικρότερες προς το κατώτερο όριο. Μειονέκτημα των υπολογισμών είναι η απαίτηση του φάσματος των πηγών φωτισμού, αφού η συσχέτιση θερμοκρασία χρώματος δεν αποτελεί άμεσο κριτήριο για το καθορισμό του αποτελέσματος. Παρότι οι πηγές με συσχέτισμένη θερμοκρασία χρώματος μεγαλύτερη των 5.000K παρέχουν γενικά μεγαλύτερες τιμές CS, αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Δύο πηγές φωτισμού με την ίδια συσχέτισμένη θερμοκρασία χρώματος π.χ. 4.000K ενδέχεται να παρέχουν διαφορετικές τιμές CS ανάλογα με το φάσμα τους. Τα χαμηλά επίπεδα φωτισμού επιτυγχάνουν σχετικά χαμηλές τιμές CS εκτός και εάν αντισταθμιστούν με φωτεινές πηγές που είναι πλούσιες σε μπλε χρώμα (συνήθως ψυχρές πηγές >5.300K). Για παράδειγμα μια πηγή με θερμοκρασία χρώματος 6.000K και επίπεδα οριζόντιου φωτισμού 300lx παράγει την ίδια τιμή $CS=0,3$ με μια πηγή με θερμοκρασία χρώματος 4.500K και επίπεδα οριζόντιου φωτισμού 400lx.

10 Παραλαβή συστήματος/εγκατάστασης φωτισμού

10.1 Σημεία ελέγχου

Κατά τη διάρκεια ενός έργου φωτισμού και κατά την ολοκλήρωσή του θα πρέπει να ακολουθηθούν συγκεκριμένα βήματα ελέγχου για την ποιότητα του έργου και τη συμμόρφωση με τα πρότυπα και τους κανονισμούς. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες ελέγχου, αυτή που αφορά το φωτιστικό σώμα καθαυτό και αυτή που αφορά στην εφαρμογή της μελέτης και ότι σχετίζεται με αυτή.

10.2 Έλεγχος σημείων που αφορούν το φωτιστικό σώμα

Στις εργασίες ενός μελετητή φωτισμού ενσωματώνεται και η επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού σώματος. Τα φωτιστικά σώματα είναι ηλεκτρικές συσκευές και θα πρέπει να φέρουν τα κατάλληλα σήματα πιστοποίησης και προστασίας. Σε γενικές γραμμές τα πρότυπα ρυθμίζουν τις απαιτήσεις ασφαλείας για να διασφαλίσουν επαρκή προστασία από κινδύνους π.χ. για την υγεία των χρηστών.

Τα εξωτερικά φωτιστικά σώματα υπόκεινται σε καταπονήσεις λόγω περιβαλλοντικών ή άλλων συνθηκών. Η αντοχή τους σε αυτές τις συνθήκες (και ανάλογα με τη δριμύτητά τους) πιστοποιείται από δείκτες, όπως ο δείκτης IP (*Πίνακας 10-1*) που υποδεικνύει τον βαθμό προστασίας του φωτιστικού έναντι στερεών ή υγρών σωματιδίων ή ο δείκτης IK (*Πίνακας 10-2*) που προσδιορίζει την αντοχή σε κρούση.

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, για να διατίθενται φωτιστικά σώματα στην αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης, απαιτείται να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Να φέρουν σήμανση “CE” που δηλώνει την συμμόρφωσή τους με τις απαιτήσεις των οδηγιών που τα αφορούν, όπως αυτές έχουν ενσωματωθεί στην Ελληνική νομοθεσία. Ο πρωταρχικός σκοπός της σήμανσης είναι να βοηθήσει τους τελωνειακούς και τους επιθεωρητές της αγοράς να διευκολύνουν την ελεύθερη εμπορία και κυκλοφορία προϊόντων εντός της Ε.Ε.
2. Ο κατασκευαστής ή ο εντολοδόχος του ή ο διαθέτης στην αγορά, όποιος από αυτούς είναι εγκατεστημένος στο έδαφος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, να διατηρεί επί δεκαετία Τεχνικό Φάκελο του προϊόντος ο οποίος θα περιέχει τα εξής:
 - Γενική περιγραφή υλικού (Δελτίο Πληροφοριών Προϊόντος).
 - Σχέδια κυκλωμάτων, διαγράμματα συστατικών μερών με τις απαραίτητες επεξηγήσεις.
 - Κατάλογο προτύπων που εφαρμόζονται πλήρως ή εν μέρει και περιγραφές των λύσεων που ακολουθούνται για τη κάλυψη των απαιτήσεων ηλεκτρικής ασφάλειας στην περίπτωση που δεν εφαρμόζονται πρότυπα.
 - Αποτελέσματα υπολογισμών σχεδιασμού, διενεργηθέντων ελέγχων.
 - Εκθέσεις εργαστηριακών δοκιμών.
 - Δήλωση πιστότητας “CE”.
 - Οδηγίες χρήσεως στην ελληνική γλώσσα.

Εφόσον πληρούνται οι ανωτέρω προϋποθέσεις, η νομοθεσία δεν απαιτεί να ζητούνται επιπλέον πιστοποιήσεις ιδιωτικών φορέων.

Πίνακας 10-1: Επεξήγηση δείκτη IP με βάση την προστασία του φωτιστικού σώματος έναντι στερεών σωματιδίων και υγρών.

Περιγραφή βαθμού προστασίας			
Ψηφίο 1		Ψηφίο 2	
Προστασία έναντι στερεών σωματιδίων		Προστασία έναντι υγρών	
0	Δεν παρέχει προστασία ενάντια στην επαφή και τη διείσδυση αντικειμένων.	0	Καμία προστασία
1	Προστασία σε κάθε μεγάλη επιφάνεια του σώματος, όπως το πίσω μέρος του χεριού, αλλά δεν παρέχει προστασία ενάντια σε σκόπιμη επαφή με ένα μέρος του σώματος.	1	Σταγόνες νερού (σε κάθετη πρόσπτωση) δεν επιφέρουν κανένα αρνητικό αποτέλεσμα.
2	Προστασία σε δάχτυλα ή αντικείμενα παρόμοιου μεγέθους.	2	Σταγόνες νερού που πέφτουν σε θωράκιση με κλίση 15° δεν επιφέρουν αρνητικό αποτέλεσμα.
3	Προστασία σε εργαλεία, χονδρά καλώδια κ.λπ.	3	Νερό που ψεκάζεται με κλίση έως 60° δεν επιφέρει αρνητικό αποτέλεσμα.
4	Προστασία σε εργαλεία, καλώδια μεγαλύτερα από 1mm πάχους. Προστασία ενάντια στην είσοδο μικρών ξένων σωμάτων.	4	Το υγρό που έρχεται από οποιαδήποτε κατεύθυνση δεν έχει βλαπτική επίδραση.
		5	Το νερό που παράγεται από έναν ψεκαστήρα δεν έχει βλαπτική επίδραση.
5	Πλήρη προστασία στην επαφή αντικειμένων. Προστασία σε καταστροφικά αποθέματα σκόνης. Η σκόνη μπορεί να εισχωρεί αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό.	6	Όλα τα παραπάνω και προστασία έναντι συνθηκών θάλασσας.
		7	Προστασία στη μερική βύθιση μέσα σε νερό: το νερό δεν πρέπει να εισχωρεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και χρόνου.
6	Πλήρη προστασία στην επαφή αντικειμένων. Πλήρη προστασία στη σκόνη.	8	Προστασία έναντι αορίστου χρόνου στη βύθιση μέσα σε νερό κάτω από συγκεκριμένες πιέσεις (π.χ. για φωτιστικά πισίνας).
Σημειώσεις <i>Τα φωτιστικά σώματα πρέπει να προστατεύονται μηχανικά έτσι ώστε τα στερεά σωματίδια (πρώτο ψηφίο) και η υγρασία (δεύτερο ψηφίο) να μην μπορούν να τα διεισδύσουν.</i>			

Το σύστημα αρίθμησης IP χρησιμοποιείται για να δείξει τον συνολικό βαθμό προστασίας. Ένα φωτιστικό IP 20, για παράδειγμα, προστατεύεται από την είσοδο στερεών σωματιδίων > 12mm (2), αλλά όχι από τη διείσδυση της υγρασίας (0). Ένα φωτιστικό με δείκτη προστασίας IP 65 είναι στεγανό με το μέγιστο βαθμό προστασίας από τα στερεά σωματίδια (6) και προστατεύεται από πίδακες νερού προς όλες τις κατευθύνσεις (5).

Πίνακας 10-2: Κατηγορίες δεικτών IK και τα όρια της μέγιστης ενέργειας με την οποία μπορεί να καταπονηθεί ένα φωτιστικό σώμα.

	Δείκτης IK										
	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Ενέργεια καταπόνησης [J]	*	0,14	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

Οι εργαστηριακές δοκιμές που είναι υποχρεωτικές να πραγματοποιούνται για να θεωρείται ένα προϊόν νόμιμο δίνονται στον επόμενο πίνακα (*Πίνακας 10-3*). Οι αντίστοιχες εκθέσεις των εργαστηριακών δοκιμών είναι υποχρεωτικό να διατηρούνται για 10 έτη από τους υπεύθυνους κατασκευαστές ή τους εντολοδόχους τους ή τους διαθέτες τους στην αγορά και να αποδίδεται η αντίστοιχη τεκμηρίωση ότι έχουν διεξαχθεί σε περίπτωση που ζητηθεί.

Πίνακας 10-3: Υποχρεωτικές εργαστηριακές δοκιμές φωτιστικών σωμάτων.

αα	Ευρωπαϊκή Οδηγία/ Κανονισμός	Περιγραφή
1	LVD 2014/35/EU	Δοκιμές σύμφωνα με τα πρότυπα της σειράς EN 60598, ή και άλλων προτύπων σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ. προστασία από φωτοβιολογικές επιδράσεις), για το τεκμήριο συμμόρφωσης με την οδηγία LVD 2014/35/EU , περί ηλεκτρικής ασφάλειας. Η οδηγία LVD δεν αφορά μόνο ηλεκτρική ασφάλεια, αλλά πρακτικά όλους τους κινδύνους που μπορεί να προέλθουν από το ηλεκτρολογικό υλικό (τόξα, ακτινοβολίες, θερμοκρασίες κ.λπ.) είτε κατά την κανονική του λειτουργία ή εντός των προβλεπόμενων συνθηκών υπερφόρτισης ή από εξωτερικές επιδράσεις επί του ηλεκτρολογικού υλικού. Τέτοιες εξωτερικές επιδράσεις μπορεί να είναι οι περιβαλλοντικές (βροχή, σκόνη, άνεμοι κ.λπ.) ή και ανθρωπογενείς (κρούσεις, δονήσεις κ.λπ.). Για την επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού, θα πρέπει να είναι γνωστές οι συνθήκες στις οποίες πρόκειται να λειτουργήσει ώστε να επιλεγεί το κατάλληλο σύμφωνα με την ταξινόμησή του από τον κατασκευαστή για αυτές τις συνθήκες (δείκτης IP, δείκτης IK, αντοχή στην οξείδωση κ.λπ.).
2	EMC 2014/30/EU	Δοκιμές σύμφωνα με τα πρότυπα EN 55015, EN61547 ή και άλλα πρότυπα σε ειδικές περιπτώσεις, για το τεκμήριο συμμόρφωσης με την οδηγία EMC 2014/30/EU , περί ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Ο σκοπός της οδηγίας αυτής, είναι η δημιουργία τέτοιου ηλεκτρομαγνητικού περιβάλλοντος, ώστε οι συσκευές να λειτουργούν σύμφωνα με τον προορισμό τους χωρίς να τροποποιείται προς το χειρότερο η λειτουργία τους και ταυτόχρονα να μην παρενοχλούν άλλες γειτονικές συσκευές να λειτουργήσουν το ίδιο. Ένα πρόβλημα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας μπορεί πολύ εύκολα να εξελιχθεί σε πρόβλημα ασφάλειας με σοβαρά αρνητικά αποτελέσματα.
3	RED 2014/53/EU	Στην περίπτωση ενσωμάτωσης ασύρματης επικοινωνίας – δικτύωσης του φωτιστικού, δοκιμές με πρότυπα αναλόγως της συχνότητας για την απόδειξη της ορθολογικής χρήσης του ραδιοφάσματος, για το τεκμήριο συμμόρφωσης με την οδηγία RED 2014/53/EU , περί ραδιοεπικοινωνιών. Η οδηγία RED υφίσταται για να διαφυλάξει την ορθολογική χρήση του ραδιοφάσματος, που αποτελεί ιδιοκτησία και περιούσια κάθε κράτους με σκοπό να πραγματοποιούνται απρόσκοπτα οι επικοινωνίες μέσα από αυτό. Ταυτόχρονα ενσωματώνει και τις απαιτήσεις των οδηγιών LVD και EMC για τον εξοπλισμό ραδιοεπικοινωνιών.
4	RoHS 2011/65/EU	Τεκμηριωμένη ανάλυση των πιστοποιητικών όλων των εξαρτημάτων σύμφωνα με το πρότυπο EN IEC 63000, για το τεκμήριο συμμόρφωσης με την οδηγία RoHS 2011/65/EU , για τον περιορισμό επικίνδυνων ουσιών στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Οι ουσίες αυτές είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, το εξασθενές χρώμιο, τα πολυβρωμοδιφαινυλικά και οι πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες. Θα πρέπει να αποδεικνύεται περιεκτικότητα του φωτιστικού σε αυτές, χαμηλότερη από το όριο που θέτει η οδηγία ώστε να προστατεύεται το περιβάλλον από τις αρνητικές επιδράσεις τους κατά την λειτουργία ή την απόρριψη του φωτιστικού στο τέλος της ζωής του.
5	2009/125/EC (EU) 2019/2020	Δοκιμές και μετρήσεις για την απόδειξη της συμμόρφωσης, μέσω των σχετικών κανονισμών (244/2009, 245/2009, 1194/2012), με την οδηγία 2009/125/EC περί Οικολογικού Σχεδιασμού ή τον επερχόμενο (από 1/9/2021) κανονισμό (EU) 2019/2020. Η οδηγία 2009/125/EC για τον Οικολογικό Σχεδιασμό, συνδυάζεται με τον κανονισμό (EU) 2017/1369 για την Ενεργειακή Σήμανση των συσκευών, με σκοπό την κατασκευή ενεργειακά αποδοτικότερων συσκευών και την μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, άρα και του συνεπαγόμενου κόστους για την παραγωγή αυτής. Σε αυτήν την οδηγία υπάρχει αναφορά και στη χρονική διαμόρφωση φωτισμού (Temporal Light Modulation, TLM). Αυτή θα πρέπει να ελέγχεται όπως αναφέρεται στην αντίστοιχη <i>ενότητα 3.8</i> .
6	ATEX 2014/34/EU	Εφόσον τα φωτιστικά σώματα πρόκειται να τοποθετηθούν σε εγκαταστάσεις στις οποίες είναι δυνατόν να δημιουργηθεί εκρήξιμη ατμόσφαιρα, θα πρέπει να διαθέτουν δοκιμές ή πιστοποιητικό φορέα (ανάλογα με την εγκατάσταση για την οποία προορίζονται) για την απόδειξη της συμμόρφωσης με την οδηγία ATEX 2014/34/EU . Ο σκοπός της ATEX είναι η ελαχι-

αα	Ευρωπαϊκή Οδηγία/ Κανονισμός	Περιγραφή
		στοποίηση των ατυχημάτων λόγω έκρηξης που μπορεί να προέλθει από σπινθήρα ή θερμοκρασίες ηλεκτρολογικού υλικού σε εκρήξιμες ατμόσφαιρες, όπου αυτές οι ατμόσφαιρες δεν μπορούν να αποφευχθούν (δυσλειτουργία, ξυλουργία, εργοστάσια ζαχαρώδους κ.λπ.). Οι συνθήκες και συνεπώς οι συσκευές που είναι κατάλληλες για αυτές, ταξινομούνται με σαφήνεια στην οδηγία και στα πρότυπα της σειράς EN 60079 και θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του κατάλληλου υλικού.
7	2011/19/EU	Χωρίς να αφορά ευθέως το προϊόν και συνεπώς ούτε τη σήμανση CE, υποχρεωτική είναι και η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της οδηγίας για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE) 2011/19/EU , η οποία ορίζει τις απαιτήσεις και τις ευθύνες για τη διαχείριση των αποβλήτων του εξοπλισμού των φωτιστικών σωμάτων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτή φέρει την ευθύνη για τη διαχείριση των αποβλήτων στον παραγωγό, τον μεταπωλητή (σε περιπτώσεις επώνυμου προϊόντος) ή στον εισαγωγέα του προϊόντος. Για την εκπλήρωση αυτών των υποχρεώσεων, πολλές εταιρείες φωτισμού έχουν εγγραφεί σε εταιρείες ανακύκλωσης τρίτων που στη συνέχεια αναλαμβάνουν και την ευθύνη για τη διαχείριση των αποβλήτων. Εάν μια εταιρεία δεν το έχει πραγματοποιήσει, τότε είναι η ίδια υπεύθυνη για την ανάκτηση και τη διαχείριση των αποβλήτων τους. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο διαχείρισης των αποβλήτων, τα προϊόντα φωτισμού πρέπει να επισημαίνονται με το σύμβολο που υποδεικνύει ότι ενδέχεται να μην απορρίπτονται ως μη ταξινομημένα απόβλητα. Επομένως, όταν κάποιος αγοράζει προϊόντα φωτισμού, είναι σημαντικό να εξακριβώνει πώς θα διαχειρίζονται αυτά τα προϊόντα στο τέλος της ζωής τους , κατά την αφαίρεση των μονάδων φωτισμού πρέπει να διασφαλιστεί ότι διαχειρίζονται ξεχωριστά και ότι υπάρχει επικοινωνία με την αρμόδια εταιρεία για την αφαίρεση το προϊόντος.

Πέραν των εκ του νόμου υποχρεωτικών απαιτήσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και απαιτήσεις οι οποίες καθίστανται υποχρεωτικές στην πράξη και στη παρούσα Τεχνική Οδηγία, όπως:

1. Ψηφιακό αρχείο φωτομετρικών στοιχείων των φωτιστικών σωμάτων για χρήση σε προγράμματα προσομοίωσης σύμφωνα με το EN 13032-1 και τεκμηρίωση ότι έχουν διεξαχθεί οι αντίστοιχες μετρήσεις φωτομετρικών μεγεθών σύμφωνα με τα EN 13032-2, EN 13032-3 και EN 13032-4 εφόσον ζητηθεί. Οι μετρήσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη φωτεινή ροή (lm), την κατανομή της φωτεινής έντασης (cd), τη φωτεινή απόδοση (lm/W) του φωτιστικού σώματος, τις χρωματικές συντεταγμένες ή το κυρίαρχο μήκος κύματος, το φάσμα της πηγής, τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (CCT), τον χρωματικό δείκτη (R_a ή CRI), τις ηλεκτρικές μετρήσεις (Ισχύς, PF), και τον φωτομετρικό κώδικα (photometric code), ο οποίος περιλαμβάνει τους δείκτες CRI, CCT, την αρχική και διατηρούμενη εξάπλωση των χρωματικών συντεταγμένων και τη διατήρηση της φωτεινής ροής.
2. Δηλωμένη διάρκεια ζωής. Για την τεχνολογία LED, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην αναζήτηση του χρόνου διάρκειας ζωής τους. Εφόσον χρησιμοποιείται στη μελέτη συντελεστής συντήρησης $f_m = 0,8$, η αναζήτηση του χρόνου διάρκειας των LED θα πρέπει να είναι για την τιμή L_{90} . Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (βλ. [ενότητα 3.3](#)) όταν οι κατασκευαστές δηλώνουν την τιμή των ωρών που αντιστοιχούν στην απομείωση διαφορετική από το 90% της αρχικής φωτεινής ροής π.χ. L_{70} απαιτείται ο προσδιορισμός του L_{90} (βλ. [ενότητα 3.3.2](#)).

10.3 Αναβάθμιση υφιστάμενου φωτιστικού σώματος

Οποιαδήποτε «αναβάθμιση» φωτιστικού σώματος με αλλαγή ή παράκαμψη του συστήματος έναυσης και λειτουργίας (ballast για φθορισμού, driver για LED κ.λπ.) ή αλλαγή module ή λαμπτήρα που δεν αναφέρεται στις αρχικές προδιαγραφές του φωτιστικού σώματος καταργεί την πιστοποίηση του σώματος και τη σήμανση CE που το συνοδεύει. Νέα πιστοποίηση CE στο υφιστάμενο φωτιστικό σώμα

πρέπει να συνοδεύεται με τα νέα στοιχεία που αναφέρονται ανωτέρω, με έμφαση σε νέες εργαστηριακές δοκιμές και στην προσκόμιση των νέων εκθέσεων εργαστηριακών δοκιμών. Επιπλέον η φωτομέτρηση ενός αναβαθμιζόμενου φωτιστικού πρέπει πραγματοποιηθεί σε στατιστικά επαρκές δείγμα αφού τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων φωτιστικών π.χ. η διαπερατότητα των καλυμμάτων τους, θα έχουν μεταβληθεί διαφορετικά στο σύνολο των εξεταζόμενων φωτιστικών.

10.4 Έλεγχος σημείων που αφορούν ισοδύναμο εξοπλισμό

Στην περίπτωση που ο εγκαταστάτης του συστήματος φωτισμού επιλέξει διαφορετικό εξοπλισμό από αυτόν που έχει μελετηθεί, τότε αυτός θα πρέπει να είναι ισοδύναμος. Ο ισοδύναμος εξοπλισμός στα φωτιστικά σώματα θα πρέπει:

- Να διατηρεί την αρχική ιδέα φωτισμού (Lighting concept), δηλαδή να παραμείνει ίδιος ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων, να διατηρηθούν οι διαφορετικοί τύποι των φωτιστικών σωμάτων, να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες τεχνικές φωτισμού (π.χ. φωτισμός στις περιοχές εργασίας, χρήση κρεμαστών φωτιστικών, wall wash στις εξωτερικές επιφάνειες, περιορισμός φωτορύπανσης κλπ).
- Να υπάρχει συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας και ειδικότερα των [ενότητων 3.1, 4.2 και 5.1](#), των κανονισμών και των προτύπων.
- Να υπάρχει συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 και του Κ.Εν.Α.Κ.

Για την επαλήθευση των ανωτέρω, θα πρέπει να εκπονείται εκ νέου μελέτη φωτισμού που θα συνοδεύεται με το ψηφιακό αρχείο φωτομετρικών στοιχείων των φωτιστικών σωμάτων σύμφωνα με το EN 13032-1 του ισοδύναμου εξοπλισμού (κάθε διαφορετικού τύπου των φωτιστικών σωμάτων που αντικαθίστανται). Ο μελετητής της αρχικής μελέτης φωτισμού δύναται να επιβεβαιώνει την επιλογή του ισοδύναμου εξοπλισμού ακολουθώντας τα βασικά βήματα της μελέτης φωτισμού.

Εναλλακτικά δύναται να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις που περιγράφονται στην [ενότητα 13.2](#).

10.5 Έλεγχος σημείων που αφορούν στην εφαρμογή της μελέτης φωτισμού

Εκτός από το έλεγχο των φωτιστικών σωμάτων ως προς τα χαρακτηριστικά τους (βλ. [ενότητα 10.2](#)) πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι ο αριθμός, το ύψος και η θέση τοποθέτησης τους συμφωνεί με αυτά που προβλέπει η μελέτη φωτισμού. Επιπλέον στην περίπτωση που η Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης προβλέπει την ύπαρξη αυτοματισμών θα πρέπει να επιβεβαιωθεί η ύπαρξη και λειτουργία τους.

Στην περίπτωση συστήματος φωτισμού με χειροκίνητους διακόπτες, θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι:

- Κάθε ανεξάρτητο γραφείο έχει το δικό του διακόπτη ελέγχου, με δυνατότητα επιλογής δύο επιπέδων φωτισμού ή δυνατότητα ρύθμισης στάθμης φωτισμού (dimming) εφόσον υπάρχει ένα μόνο φωτιστικό.
- Τα γειτονικά φωτιστικά σώματα σε ενιαίο χώρο εκτός της ζώνης εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού, τοποθετήθηκαν σε κυκλώματα φωτισμού εναλλάξ έτσι ώστε να υπάρχει επιλογή επιπέδου φωτισμού με τη μισή ένταση (βλ. [Σχήμα 6-11, αρ.](#)).
- Τα φωτιστικά σώματα περιμετρικά των χώρων με εξωτερικά ανοίγματα ελέγχονται ανεξάρτητα από τα φωτιστικά σώματα του υπόλοιπου χώρου (βλ. [Σχήμα 6-11, δεξ.](#))
- Στα φωτιστικά σώματα με τρεις ή τέσσερις πηγές φωτισμού, οι μεσαίες πηγές συνδέθηκαν σε ξεχωριστό κύκλωμα, ανεξάρτητα από τους εξωτερικούς λαμπτήρες ή το φωτιστικό σώμα έχει δυνατότητα ρύθμισης στάθμης φωτισμού (dimming).
- Χώροι με υψηλές απαιτήσεις φωτισμού διαθέτουν χωριστούς διακόπτες από άλλους χώρους με χαμηλότερες απαιτήσεις φωτισμού.

Επιπλέον στην περίπτωση που στην Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης έχει εκτιμηθεί μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό λόγω της αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (βλ. [ενότητα 12.1.3](#)) πρέπει να ελεγχθεί ότι η φωτοδιαπερατότητα τ_w των κουφωμάτων που τοποθετήθηκαν δεν αλλάζει την κατηγορία επίδρασης φυσικού φωτισμού (βλ. [Πίνακα 12-6](#))

11 Φυσικός φωτισμός

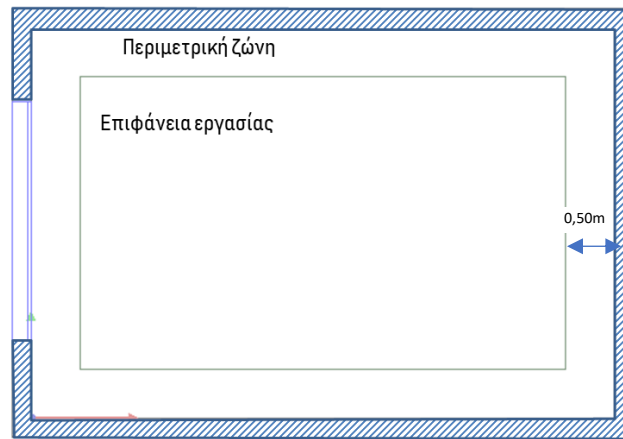
11.1 Σημασία φυσικού φωτισμού

Η επίδραση του φυσικού φωτισμού στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου είναι καταλυτική. Η προσπάθεια επίτευξης επαρκών επιπέδων φυσικού φωτισμού επηρεάζεται από το μέγεθος των ανοιγμάτων και την θέση τους, τον τύπο των υαλοπινάκων, καθώς επίσης και από τα συστήματα σκίασης, τα εξωτερικά εμπόδια και τελικά από τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής σχεδιασμού. Σήμερα είναι διαθέσιμη η τεχνολογία της ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών ώστε να συμπληρώνουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού σε κάποιο χώρο όταν χρειάζεται. Αυτό έχει σαν συνέπεια την εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού αλλά και μια σημαντική επίδραση στην κατανάλωση για θέρμανση/ψύξη. Έτσι η ταυτόχρονη ικανοποίηση των ανταγωνιστικών απαιτήσεων για φυσικό φωτισμό και για τον περιορισμό των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στη χώρα αποτελεί ένα σημαντικό –και πολλές φορές απαιτητικό –σχεδιαστικό στόχο και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται στα αρχικά στάδια σχεδιασμού.

Αν και η ποιότητα των φωτισμού από τα συστήματα ηλεκτροφωτισμού έχει βελτιωθεί σημαντικά λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων, ο φυσικός φωτισμός προτιμάται λόγω των θετικών ψυχοφυσιολογικών επιδράσεων. Υγεία, ευεξία και παραγωγικότητα περιλαμβάνονται σε αυτές τις επιδράσεις. Ωστόσο, τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα συνοδεύονται από προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν. Η εγγενής ανομοιομορφία στην κατανομή του φυσικού φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας, τα ζητήματα θάμβωσης καθώς και η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον αποτελούν σχετικές προκλήσεις οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπισθούν κατάλληλα.

11.2 Δείκτες ανάλυσης

Για την εκτίμηση της επίδρασης του σχεδιασμού στα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις οι οποίες χρησιμοποιούν μια ευρεία γκάμα τεχνικών από απλές γραφοεικονικές μεθόδους μέχρι προσομοιώσεις. Ο σκοπός είναι η εκτίμηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού είτε με εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης μιας συγκεκριμένης τιμής είτε σε ωριαία βάση για ένα έτος. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται στην επιφάνεια εργασίας (στην πλειοψηφία των περιπτώσεων βρίσκεται σε ύψος 0,8m από το δάπεδο). Η επιφάνεια εργασίας δεν εκτείνεται μέχρι τους πλευρικούς τοίχους αλλά υπάρχει μια περιμετρική ζώνη 0,5m όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 11-1: Ορισμός περιμετρικής ζώνης.

11.2.1 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού

Ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ) είναι ένας από τους πλέον χρησιμοποιούμενους και παλαιότερους δείκτες. Ορίζεται -αλλά και μετράται- ως ο λόγος της έντασης φωτισμού στο εσωτερικό κάποιου χώρου προς την αντίστοιχη τιμή του οριζόντιου φωτισμού στο εξωτερικό υπό την προϋπόθεση ότι ο ουρανός είναι πλήρως νεφοσκεπής και χωρίς την ύπαρξη εμποδίων τα οποία μειώνουν την τιμή του εξωτερικού φωτισμού. Λόγω της αζιμουθιακής συμμετρίας της κατανομής λαμπρότητας στον ουρανό οι τιμές του Π.Φ.Φ. δεν εξαρτώνται από τον προσανατολισμό του χώρου (αν και έχουν προταθεί συντελεστές διόρθωσης) καθώς επίσης και από τον χρόνο. Μαθηματικά τα παραπάνω αποδίδονται με την [εξ. 11-1]:

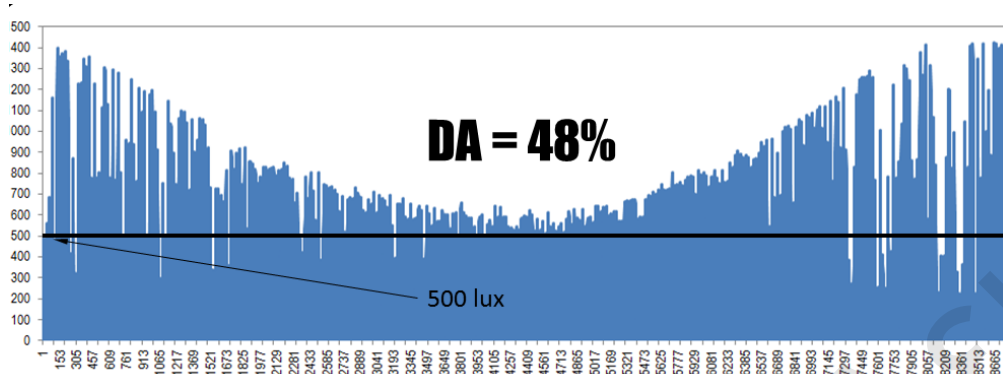
$$\text{Π. Φ. Φ.} = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \cdot 100 \% \quad [\text{εξ. 11-1}]$$

όπου: Π.Φ.Φ. [%]: ο παράγοντας φυσικού φωτισμού
 E_{int} [lx]: η ένταση φωτισμού στο εσωτερικό κάποιου χώρου
 E_{ext} [lx]: η έντασης φωτισμού εξωτερικά

11.2.2 Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού

Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστούν τα επίπεδα φωτισμού σε τρισδιάστατα μοντέλα κτιρίων με αρκετά καλή προσέγγιση των φωτομετρικών ιδιοτήτων των επιφανειών τους. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ωριαία βάση για το τυπικό μετεωρολογικό έτος της περιοχής (Climate Based Daylight Modelling) συνεπώς λαμβάνονται υπόψη διάφοροι τύποι ουρανού (όχι μόνο ο νεφοσκεπής όπως στην περίπτωση υπολογισμού του Π.Φ.Φ.) καθώς επίσης και η παρουσία του ήλιου. Επειδή ο προαναφερθείς υπολογισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλά σημεία στο εσωτερικό κάποιου χώρου, είναι δυνατό με την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία, να παραχθούν δείκτες χρήσιμοι στον σχεδιασμό. Η Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού (Α.Φ.Φ.), διεθνώς γνωστή ως Daylight Autonomy (D.A.), είναι ένας τέτοιος δείκτης. Ορίζεται σαν το ποσοστό των ωρών στο έτος στο οποίο η τιμή φωτισμού σε κάποιο σημείο του χώρου είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή σχεδιασμού

(π.χ. 500lx) όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Επισημαίνεται ότι η τιμή της Α.Φ.Φ. επηρεάζεται από το ωράριο λειτουργίας του χώρου.



Σχήμα 11-2: Εκτίμηση Α.Φ.Φ. από ωριαίες τιμές φωτισμού σε ετήσια βάση σε κάποιο σημείο του χώρου.

11.2.3 Χωρική Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού

Μια δυσκολία που εμφανίζει η χρήση των τιμών Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (Α.Φ.Φ.) είναι το γεγονός ότι εξαρτώνται από το σημείο στο οποίο γίνεται ο υπολογισμός. Συνεπώς όταν μας ενδιαφέρει μια επιφάνεια θα πρέπει να υπολογισθούν οι τιμές Α.Φ.Φ. σε ένα αριθμό σημείων επί αυτής της επιφάνειας. Έτσι αναπτύχθηκε ένας δείκτης ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει την επάρκεια του φυσικού φωτισμού σε κάποιο χώρο. Ονομάζεται Χωρική Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού (Χ.Α.Φ.Φ.), διεθνώς γνωστή ως Spatial Daylight Autonomy (sDA), και ορίζεται σαν το ποσοστό της επιφάνειας που εξετάζεται. Μια τυπική ανάλυση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας π.χ. την $sDA_{300lx/50\%}$, δηλ. το ποσοστό του χώρου στο οποίο τα επίπεδα φυσικού φωτισμού είναι $>300lx$ στο 50% του χρόνου λειτουργίας (π.χ. 08:00-18:00) θεωρώντας χρήση σκίασης για τον περιορισμό του άμεσου ηλιακού φωτισμού.

11.3 Κριτήρια σχεδιασμού

Για να αξιολογηθεί ο σχεδιασμός ενός κτιρίου σχετικά με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού πέραν της ενεργειακής του συνεισφοράς, απαιτείται να τεθούν μια σειρά από κριτήρια αξιολόγησης. Τα κριτήρια σχεδιασμού βασίζονται στο πρότυπο EN 17037. Έτσι για την αξιολόγηση των βασικών παραμέτρων που σχετίζονται με το φυσικό φως τα κριτήρια είναι:

- α. η επάρκεια σε φυσικό φως,
- β. η θέα,
- γ. η έκθεση σε ηλιακό φως (στους χώρους που η παρουσία του είναι απαραίτητη) και
- δ. η προστασία από την θάμβωση.

Για κάθε ένα από αυτά τα κριτήρια, το πρότυπο καθορίζει τρεις κατηγορίες απόδοσης: χαμηλή, μεσαία και υψηλή.

11.3.1 Επάρκεια σε φυσικό φως

Η επάρκεια σε φυσικό φως πραγματοποιείται με τον υπολογισμό της έντασης φωτισμού στον χώρο και η κατηγοριοποίηση βασίζεται στην χωρική και χρονική κατανομή των τιμών φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας. Για να κατηγοριοποιηθεί ένας χώρος, είναι απαραίτητο:

- Είτε να αποδειχθεί ότι μια τιμή έντασης φωτισμού επιτυγχάνεται σε ένα ποσοστό της επιφάνειας εργασίας για ένα ποσοστό του χρόνου. Ο συγκεκριμένος υπολογισμός πραγματοποιείται σε ωριαία βάση με την βοήθεια του αντίστοιχου κλιματικού αρχείου. Στα πλεονεκτήματα της προσέγγισης αυτής είναι και η δυνατότητα χρήσης δυναμικών συστημάτων σκίασης. Οι τιμές έντασης φωτισμού που χρησιμοποιούνται είναι οι 100, 300, 500 και 750lx ([Πίνακας 11-1](#)).
- Είτε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη τιμή του παράγοντα φυσικού φωτισμού (Π.Φ.Φ.) σε ένα ποσοστό της επιφάνειας εργασίας. Ο υπολογισμός της συγκεκριμένης αυτής τιμής υπολογίζεται ως εξής: ορίζεται μια τιμή έντασης φωτισμού που χρειάζεται να επιτευχθεί στο εσωτερικό (οι τιμές αναφοράς είναι οι 100, 300, 500, 750lx) και διαιρείται με την διάμεση τιμή του εξωτερικού διάχυτου φωτισμού. Η διάμεση αυτή τιμή εκτιμάται χρησιμοποιώντας τις 4.380 (50% των ωρών) μεγαλύτερες τιμές του εξωτερικού διάχυτου φωτισμού από τις 8.760 συνολικά ωριαίες τιμές στο έτος. Για την υπάρχουσα Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. έχει υπολογισθεί μια κατηγοριοποίηση για όλη την χώρα η οποία παρουσιάζεται στον σχετικό πίνακα ([Πίνακας 11-2](#)).

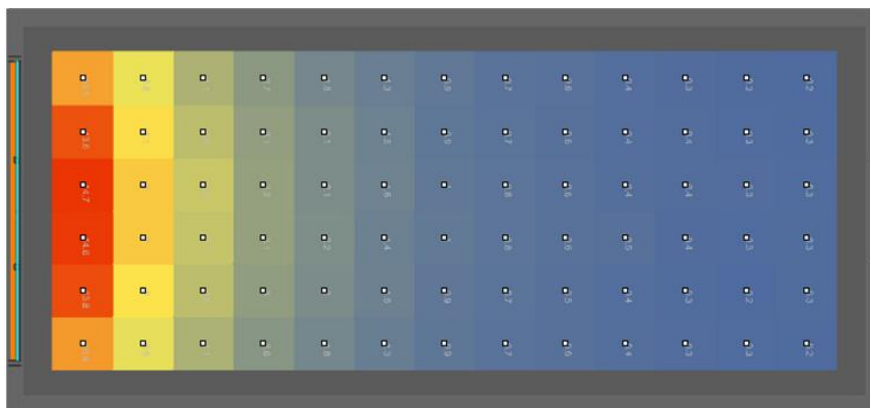
Πίνακας 11-1: Κατηγοριοποίηση επάρκειας φυσικού φωτισμού με βάση την ένταση φωτισμού.

Κατηγορία επάρκειας Φ.Φ.	Κάθετα ανοίγματα	Οριζόντια ανοίγματα	Χρόνος
Χαμηλή κατηγορία	300lx στο 50% του χώρου & 100lx στο 95% του χώρου	300lx στο 95% του χώρου	Στο 50% των ωρών του κλιματικού αρχείου
Μεσαία κατηγορία	500lx στο 50% του χώρου & 300lx στο 95% του χώρου	500lx στο 95% του χώρου	
Υψηλή κατηγορία	750lx στο 50% του χώρου & 500lx στο 95% του χώρου	750lx στο 95% του χώρου	

Πίνακας 11-2: Κατηγοριοποίηση επάρκειας φωτισμού με βάση τον Π.Φ.Φ. .

Τύπος ανοιγμάτων	Χαμηλή επάρκεια	Μεσαία επάρκεια	Υψηλή επάρκεια
Κάθετα	1,5% στο 50% του χώρου & 0,5% στο 95% του χώρου	2,6% στο 50% του χώρου & 1,5% στο 95% του χώρου	3,9% στο 50% του χώρου & 2,6% στο 95% του χώρου
Οριζόντια	1,5% στο 95% του χώρου	2,6% στο 95% του χώρου	3,9% στο 95% του χώρου

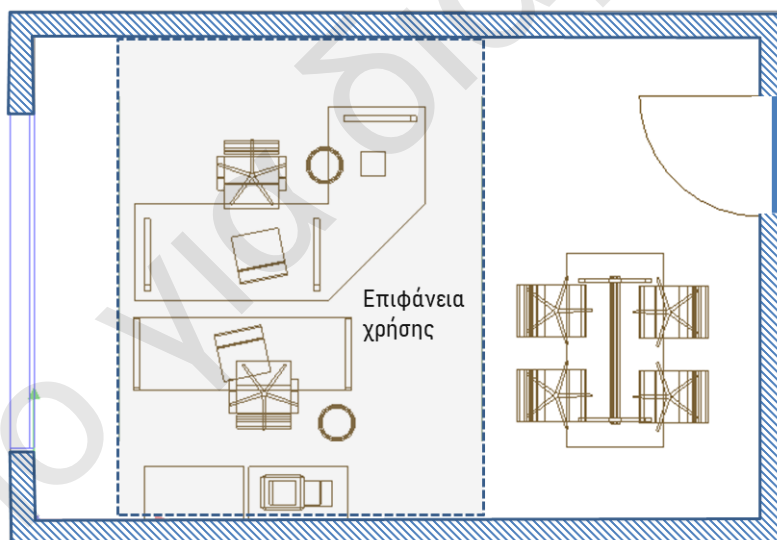
Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται σε –κατά προτίμηση τετραγωνισμένο– κάναβο όπως έχει αναφερθεί στην [ενότητα 3.2.2](#). Το ποσοστό της επιφάνειας εργασίας που ικανοποιεί τις προαναφερθείσες συνθήκες υπολογίζεται μετρώντας των αριθμό των σημείων υπολογισμού τα οποία έχουν τιμή Α.Φ.Φ. είτε μεγαλύτερη από το συγκεκριμένο όριο είτε τιμή Π.Φ.Φ. μεγαλύτερη από την τιμή του Π.Φ.Φ. που ορίζεται.



Σχήμα 11-3: Κατανομή Π.Φ.Φ. στην επιφάνεια εργασίας.

11.3.2 Θέα

Τα ανοίγματα που χρησιμοποιούνται για θέα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερα από ένα ελάχιστο μέγεθος (ελάχιστο πλάτος=1m ,ελάχιστο ύψος=1,25m). Για την κατηγοριοποίηση του χώρου σε σχέση με την επίτευξη οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον χρειάζεται να ορισθεί η επιφάνεια χρήσης. Αυτή ορίζεται σαν η επιφάνεια του χώρου στην οποία πραγματοποιείται η εργασία. Φυσικά μπορεί να ορισθεί ολόκληρη ή έκταση του χώρου. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια ενδεικτική περίπτωση ορισμού της επιφάνειας χρήσης.



Σχήμα 11-4: Ορισμός επιφάνειας χρήσης.

Η θέα από τα ανοίγματα διαχωρίζεται σε τρεις περιοχές:

1. τον ουρανό
2. το αστικό / φυσικό τοπίο και
3. το έδαφος.

Ενδεικτικά οι τρεις περιοχές παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 11-5: Διαχωρισμός θέας σε τρεις περιοχές.

Για την παράμετρο «θέα» ορίζονται τρία κριτήρια που πρέπει να ελεγχθούν στο 75% της επιφάνειας χρήσης:

- Οι χρήστες μπορούν να δουν τουλάχιστον την γραμμή του ορίζοντα (A1).
- Στην επιφάνεια χρήσης η οριζόντια γωνιακή έκταση του ανοίγματος (A2) από κάποιο σημείο παρατήρησης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ένα ελάχιστο όριο.
- Η απόσταση του ανοίγματος από εξωτερικά εμπόδια (A3) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από κάποια ελάχιστη απόσταση.

Οι ελάχιστες τιμές των προαναφερθέντων κριτηρίων μαζί με τη σχετική κατηγοριοποίηση παρουσιάζονται στο επόμενο πίνακα.

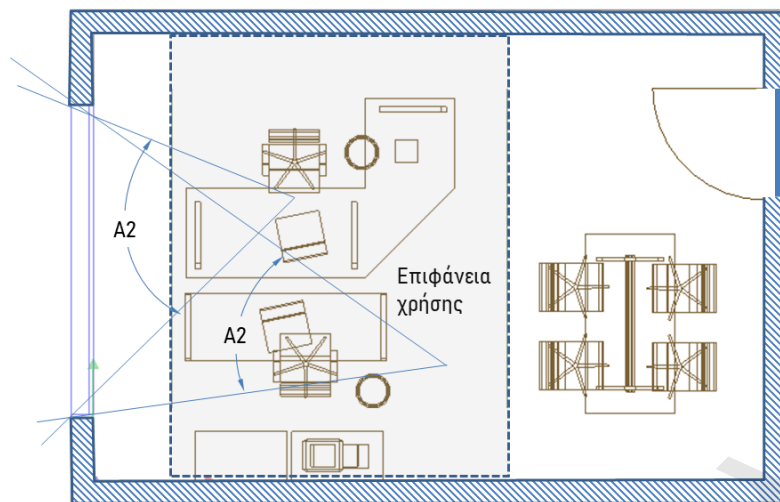
Πίνακας 11-3: Κατηγοριοποίηση θέας.

κατηγορία	Κριτήριο περιοχών θέας (A1)	Κριτήριο οριζόντιας γωνίας (A2)	Κριτήριο απόστασης (A3)
Χαμηλή	Μόνο η περιοχή του ορίζοντα είναι ορατή	$>14^\circ$	$>6m$
Μεσαία	Δύο περιοχές θέας είναι ορατές	$>28^\circ$	$>20m$
Υψηλή	Και οι τρεις περιοχές θέας είναι ορατές	$>54^\circ$	$>50m$

Σημειώσεις

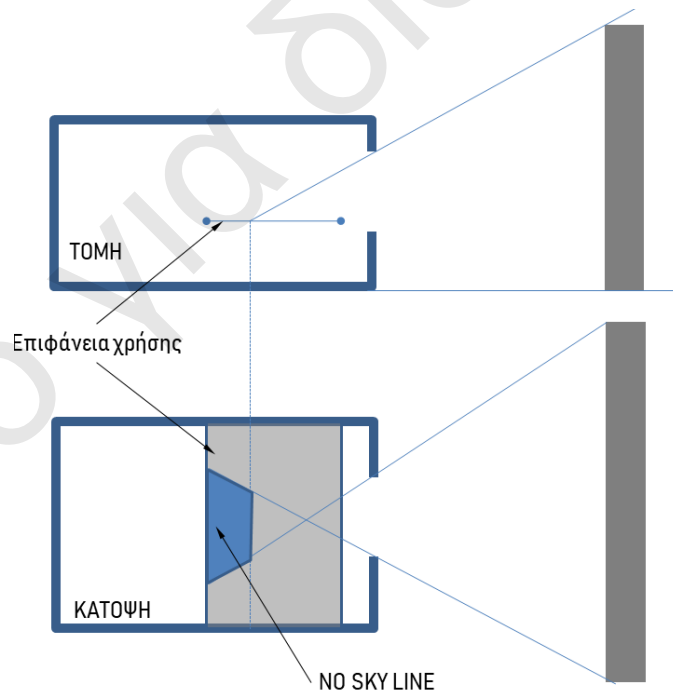
Για να επιλεγεί η κατάλληλη κατηγορία θέας, θα πρέπει να καλύπτονται και τα τρία κριτήρια που συμπεριλαμβάνονται στην κάθε κατηγορία.

Η εκτίμηση της οριζόντιας γωνιακής έκτασης του ανοίγματος (A2) από κάποιο σημείο υπολογίζεται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Να τονισθεί ότι η ύπαρξη σταθερών συστημάτων σκίασης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από την στιγμή που εμποδίζουν την θέα.



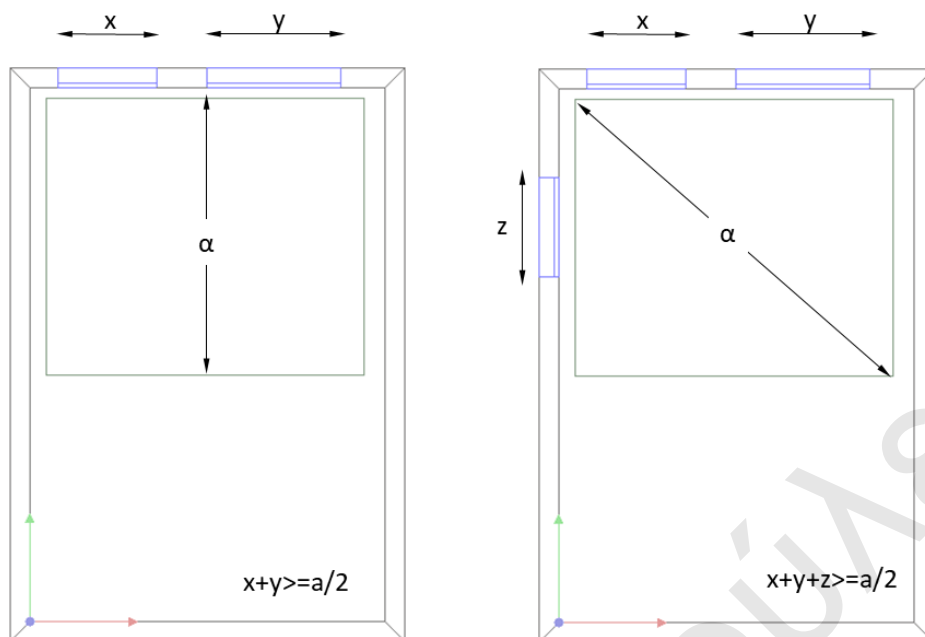
Σχήμα 11-6: Ορισμός γωνίας A2.

Υπάρχουν και εναλλακτικοί τρόποι να εκτιμηθούν οι απαιτήσεις κάθε κατηγορίας. Το κριτήριο A1 μπορεί να ικανοποιηθεί για την μεσαία κατηγορία χρησιμοποιώντας την περιοχή του χώρου στην οποία δεν είναι ορατός ο ουρανός. Η γραμμή που χωρίζει την προαναφερθείσα περιοχή από τον υπόλοιπο χώρο λέγεται no-sky line και ο υπολογισμός παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Όποιος παρατηρητής βρίσκεται πιο μπροστά από την no-sky line και πιο κοντά στο άνοιγμα θα βλέπει δύο περιοχές θέας. Το ίδιο μπορεί να γίνει και με την γραμμή που καθορίζει στον χώρο μια περιοχή που δεν μπορεί να δει κάποιος το έδαφος (no-ground line).



Σχήμα 11-7: Υπολογισμός περιοχής no-sky line.

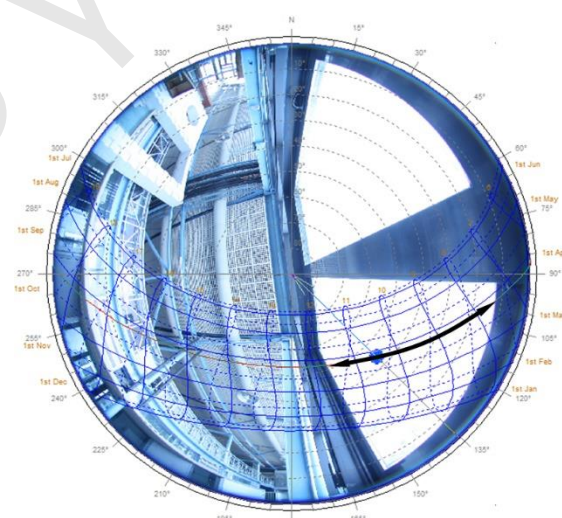
Το κριτήριο A2 για την μεσαία κατηγορία μπορεί να εκτιμηθεί γεωμετρικά όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα για διάφορες περιπτώσεις.



Σχήμα 11-8: Απλή μέθοδος ικανοποίησης κριτηρίου A2 για την μεσαία κατηγορία.

11.3.3 Έκθεση σε ηλιακό φως

Το κριτήριο εφαρμόζεται σε χώρους στους οποίους θεωρείται απαραίτητη η παρουσία ήλιου (δωμάτια κατοικιών, νοσοκομεία κ.λπ.) για την ελάχιστη απόδοση και είναι 1½ ώρες με ήλιο την 21^η Μαρτίου σε ένα σημείο που βρίσκεται στο κέντρο του παράθυρου, στην εσωτερική παρειά της πρόσοψης και σε ύψος 1,2m από το δάπεδο (αν το ύψος της ποδιάς είναι $\geq 1,2m$ τότε το σημείο πρέπει να τοποθετηθεί 0,3m ψηλότερα από την ποδιά). Στην υψηλότερη κατηγορία οι ώρες αυξάνονται σε >4 την ίδια ημερομηνία. Το συγκεκριμένο κριτήριο μπορεί να εκτιμηθεί είτε με χρήση γραφοεικονικών μεθόδων, ηλιακών διαγραμμαμάτων ή και με υπέρθεση ηλιακού διαγράμματος επί ημισφαιρικής φωτογραφίας όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 11-9:Υπέρθεση ηλιακού διαγράμματος και ημισφαιρικής φωτογραφίας από το σημείο ελέγχου.

11.3.4 Θάμβωση

Ένας από τους πρόσφατους δείκτες για τον υπολογισμό της θάμβωσης είναι και ο Daylight Glare Probability (DGP). Ο συγκεκριμένος δείκτης εκτιμά το ποσοστό των ανθρώπων που ενοχλούνται λόγω θάμβωσης και έχει αναπτυχθεί με τη συσχέτιση υποκειμενικών αντιδράσεων και μετρήσεων σε χώρους με κάθετα ανοίγματα εφοδιασμένα με βενετικά στόρια. Η σχέση για τον υπολογισμό του είναι:

$$DGP = 5,87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 9,18 \cdot 10^{-2} \cdot \log \left(1 + \sum_j \frac{L_{s,j}^2 \cdot \omega_{s,j}}{E_v^{1,87} \cdot P_j^2} \right) + 0,16 \quad [\text{εξ. 11-2}]$$

όπου	DGP [-]:	είναι ο δείκτης Daylight Glare Probability (DGP),
	E_v [lx]:	είναι ο κάθετος φωτισμός στο επίπεδο του ματιού,
	L_s [cd/m ²]	είναι η λαμπρότητα της πηγής θάμβωσης,
	$\omega_{s,j}$ [sr]	είναι η στερεά γωνία της πηγής,
	P_j [-]:	είναι ο δείκτης θέσης και j ο αριθμός των πηγών

Ο έλεγχος για θάμβωση πραγματοποιείται με βάση μια τιμή αναφοράς του δείκτη DGP (Πίνακας 11-4). Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται σε ωριαία βάση κατά την διάρκεια του έτους και δεν θα πρέπει οι τιμές του να είναι μεγαλύτερες από την τιμή αναφοράς για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του 5% των ωρών χρήσης του χώρου (π.χ. 8:00-18:00). Η εκτίμηση της θάμβωσης πραγματοποιείται σε σημεία στα οποία πραγματοποιείται κάποια εργασία και πιθανόν η θάμβωση να παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην εκτέλεση της.

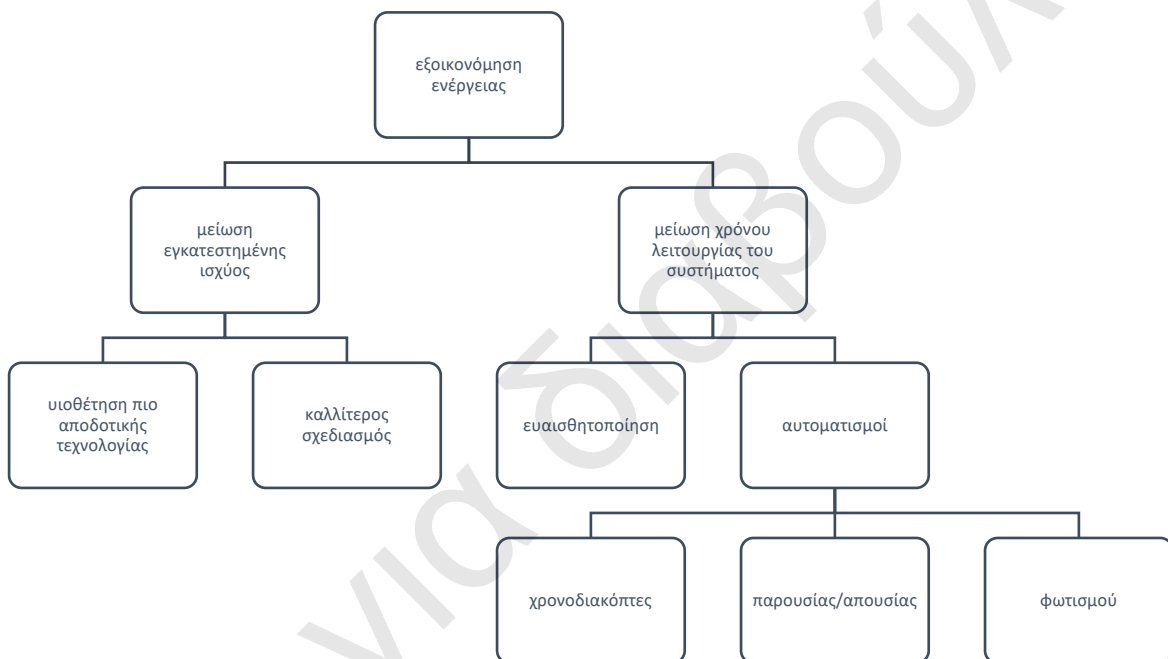
Πίνακας 11-4: Κατηγοριοποίηση θάμβωσης και συσχέτιση υποκειμενικού αισθήματος θάμβωσης με την τιμή του DGP.

Κατηγορία	Τιμή DGP	Αντίληψη θάμβωσης
Υψηλή	$DGP \leq 0,35$	Θάμβωση συνήθως μη αντιληπτή
Μεσαία	$0,35 < DGP \leq 0,4$	Θάμβωση αντιληπτή αλλά συνήθως όχι ενοχλητική
Χαμηλή	$0,4 < DGP \leq 0,45$	Θάμβωση αντιληπτή και συχνά ενοχλητική
Μη αποδεκτή	$DGP > 0,45$	Θάμβωση αντιληπτή και μη ανεκτή

12 Κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό

12.1 Συστήματα φωτισμού εσωτερικών χώρων

Η εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα φωτισμού μπορεί να επιτευχθεί ή με την μείωση της εγκατεστημένης ισχύος ή/και με την μείωση του χρόνου λειτουργίας του συστήματος. Η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος μπορεί να επιτευχθεί με υιοθέτηση πιο αποδοτικής τεχνολογίας (λαμπτήρες, φωτιστικά) ή με καλύτερο σχεδιασμό (συνδυασμός γενικού – τοπικού φωτισμού). Η μείωση του χρόνου λειτουργίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με προσωπική ευαισθητοποίηση (χειροκίνητη σβέση φωτιστικών) ή/και με υιοθέτηση αυτοματισμών (χρονοδιακόπτες, αισθητήρες παρουσίας, φωτισμού). Ο μελετητής μπορεί να επιλέξει τον κατάλληλο συνδυασμό για να πετύχει το βέλτιστο οικονομοτεχνικά αποτέλεσμα.



Σχήμα 12-1: Μέσα εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό.

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί από τον έλεγχο του συστήματος φωτισμού μπορεί να είναι σημαντική και επηρεάζει την λειτουργία και των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης. Η μεθοδολογία υπολογισμού της εξοικονόμησης που παρουσιάζεται σε αυτή την ενότητα στηρίζεται στα αντίστοιχα ευρωπαϊκά πρότυπα που δίνουν τον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας από το σύστημα φωτισμού (EN 15193-1 και το EN 15193-2). Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε μηνιαία βάση.

Στην συνολική κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα φωτισμού θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τόσο η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος φωτισμού όσο και οι καταναλώσεις που οφείλονται στο σύστημα φωτισμού ασφαλείας (π.χ. για φόρτιση μπαταριών) και στα συστήματα ελέγχου που έχουν υιοθετηθεί. Η συνολική, ανηγμένη στην επιφάνεια, ενεργειακή κατανάλωση w από το σύστημα φωτισμού σε ετήσια βάση υπολογίζεται με την βοήθεια της επόμενης σχέσης για κάθε περιοχή του κτιρίου:

$$w = \sum_{i=1}^{12} (w_{l,i} + w_{p,i}) \quad [\text{εξ. 12-1}]$$

- όπου: w [kWh/m²]: η ανηγμένη στην επιφάνεια κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού,
- $w_{l,i}$ [kWh/m²]: η ανηγμένη στην επιφάνεια κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού σε κατάσταση λειτουργίας για τον μήνα i ,
- $w_{p,i}$ [kWh/m²]: η ανηγμένη στην επιφάνεια παρασιτική κατανάλωση ενέργειας που οφείλεται στα συστήματα ελέγχου και στη φόρτιση του συστήματος φωτισμού ασφαλείας για τον μήνα i

Η κατανάλωση λειτουργίας υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύος με τον χρόνο λειτουργίας του συστήματος φωτισμού ενώ λαμβάνεται υπόψη η μείωση του χρόνου λειτουργίας λόγω χειροκίνητης/αυτόματης έναυσης-σβέσης (π.χ. αισθητήρας παρουσίας). Η ρύθμιση της φωτεινής ροής των φωτιστικών λόγω κάποιου συστήματος εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού (αισθητήρας φωτισμού) συνυπολογίζεται μειώνοντας τον χρόνο λειτουργίας του συστήματος.

Για κάθε μήνα η ανηγμένη στην επιφάνεια κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού σε κατάσταση λειτουργίας για κάθε χώρο που χωρίζεται σε n περιοχές φωτισμού υπολογίζεται με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$w_{l,i} = \sum_n \frac{(p_n \cdot F_c)}{1.000} \cdot \{ [d_p \cdot t_i \cdot (1 - F_{Dut} \cdot v_i) \cdot F_o] + (1 - d_p) \cdot t_i \cdot F_o \} \quad [\text{εξ. 12-2}]$$

- όπου: $w_{l,i}$ [kWh/m²]: η ανηγμένη στην επιφάνεια κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού σε κατάσταση λειτουργίας για τον μήνα i
- p_n [W/m²]: η πυκνότητα ισχύος του συστήματος φωτισμού ([ενότητα 12.1.1](#))
- F_c [-]: ο συντελεστής διατήρησης σταθερών επιπέδων φωτισμού. Λαμβάνει τιμή διαφορετική της μονάδας μόνο όταν υπάρχει αντίστοιχο σύστημα ([ενότητα 12.1.2](#))
- d_p [-]: το ποσοστό του χρόνου λειτουργίας του χώρου που υπάρχει διαθεσιμότητα Φ.Φ. ([ενότητα 12.1.4](#)) σε ετήσια βάση,
- t_i [h]: ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του υπό εξέταση χώρου για τον μήνα i ([ενότητα 12.1.4](#))
- F_{Dut} [-]: ο συντελεστής αξιοποίησης φυσικού φωτισμού (Φ.Φ.) σε περιοχές που υπάρχει διαθεσιμότητα Φ.Φ. ([ενότητα 12.1.3](#))
- v_i [-]: ο διορθωτικός συντελεστής διαθεσιμότητας Φ.Φ. σε επίπεδο μήνα ([ενότητα 12.1.3](#)),
- F_o [-]: ο συντελεστής επίδρασης χρηστών που λαμβάνει υπόψη τη μείωση του χρόνου λειτουργίας λόγω απουσίας των χρηστών από τους χώρους ([ενότητα 12.1.5](#)),

12.1.1 Ηλεκτρική ισχύς συστήματος φωτισμού

Σε περίπτωση μελέτης νέου συστήματος φωτισμού, η ηλεκτρική ισχύς του συστήματος φωτισμού προκύπτει κατά τη φάση διαστασιολόγησης του συστήματος φωτισμού. Σε αρχικά στάδια της μελέτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία που περιγράφεται στην επόμενη [ενότητα 12.1.1.2](#). Στην περίπτωση υφιστάμενων συστημάτων ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφεται στην [ενότητα 12.1.1.1](#).

12.1.1.1 Καταγραφή εγκατεστημένης ισχύος

Για τα υφιστάμενα συστήματα φωτισμού, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για φωτισμό [W] σε ένα χώρο υπολογίζεται από τον τύπο των φωτιστικών σωμάτων που είναι εγκατεστημένα και τον αριθμό τους.

$$P_l = \sum n_{lum} \cdot P_{lum} \quad [\text{εξ. 12-3}]$$

όπου P_l [W]: η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος φωτισμού του χώρου
 n_{lum} [-]: ο αριθμός των ίδιων φωτιστικών σωμάτων
 P_{lum} [W]: η ονομαστική ισχύς του κάθε τύπου φωτιστικού

Για τα υφιστάμενα κτίρια ή κτιριακές μονάδες ο αριθμός των φωτιστικών ανά τύπο φωτιστικού σώματος σε μια περιοχή φωτισμού προκύπτει από την καταγραφή τους, και η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε διαφορετικό τύπο φωτιστικού λαμβάνεται από το δελτίο πληροφοριών προϊόντος του φωτιστικού σώματος. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία από τον κατασκευαστή, η ισχύς εκτιμάται από την ονομαστική ισχύ του συνόλου των λαμπτήρων που περιλαμβάνονται στον εξεταζόμενο τύπο φωτιστικού, με μια προσαύξηση ανάλογα με το τύπο συστήματος λειτουργίας (μετασχηματιστής, ballast, driver) εφόσον υπάρχει:

$$P_{lum} = n_{lamp} \cdot P_{lamp} \cdot f_{gear} \quad [\text{εξ. 12-4}]$$

όπου P_{lum} [W]: η ισχύς του κάθε φωτιστικού σώματος
 n_{lamp} [-]: ο αριθμός λαμπτήρων ανά φωτιστικό σώμα
 P_{lamp} [W]: η ονομαστική ισχύς του κάθε λαμπτήρα
 f_{gear} [-]: ο συντελεστής προσαύξησης ισχύος ([Πίνακας 12-1](#))

Πίνακας 12-1: Συντελεστής προσαύξησης ισχύος f_{gear} λόγω ύπαρξης ballast

Τύπος	ο συντελεστής προσαύξησης ισχύος f_{gear}
Ηλεκτρομαγνητικό ballast	1,20
Ηλεκτρονικό ballast	1,05
Driver	1,00
Χωρίς ballast	1,00

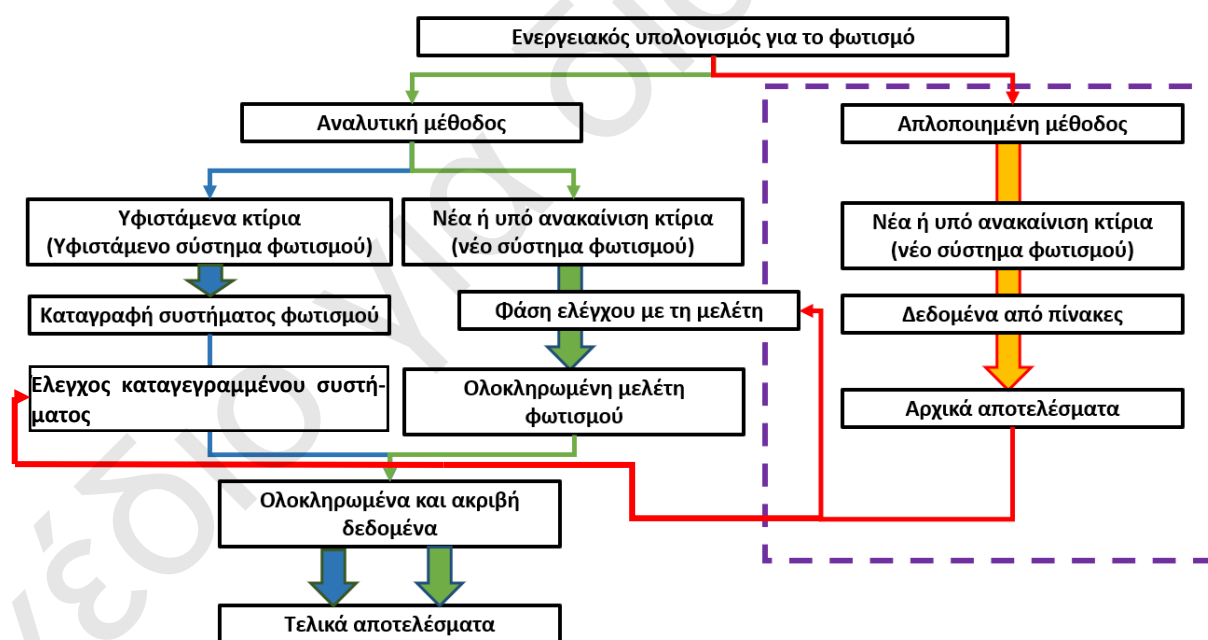
12.1.1.2 Εκτίμηση εγκατεστημένης ισχύος για νέα και έλεγχο επάρκειας για υφιστάμενα συστήματα

Η μέθοδος γρήγορου υπολογισμού των ενεργειακών απαιτήσεων των συστημάτων φωτισμού και συγκεκριμένα της ισχύος τους αφορά:

- εφαρμογές στο αρχικό στάδιο (νέες ή υπό ανακαίνιση), στις οποίες δεν έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού και
- υφιστάμενες εγκαταστάσεις για τον έλεγχο επάρκειας του συστήματος φωτισμού πέραν των μετρήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν (βλ. ενότητα 13.2).

Η συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθείται και κατά την ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων για την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης τόσο για τον έλεγχο επάρκειας του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού όσο και για την σύνταξη προτάσεων αναβάθμισης του. Στην περίπτωση που η καταγεγραμμένη ισχύς του συστήματος φωτισμού είναι μικρότερη από αυτή που εκτιμάται με τη γρήγορη μέθοδο υπολογισμού, για τους υπολογισμούς ενεργειακής αποδοτικότητας του κτιρίου θα χρησιμοποιείται η εκτιμωμένη εγκατεστημένη ισχύς που παρέχει επάρκεια φωτισμού.

Η ποιότητα των αποτελεσμάτων περιορίζεται από την ακρίβεια των παραδοχών που θα κάνει ο μελετητής στα αρχικά δεδομένα αλλά και στην εκτίμηση των προεπιλεγμένων παραγόντων. Για νέες ή υπό ανακαίνιση εγκαταστάσεις οι τιμές που υπολογίζονται θα πρέπει να ελέγχονται με βάση τα όρια της εγκατεστημένης ισχύος ανά χρήση όπως ορίζονται από τον Κ.Εν.Α.Κ. για έλεγχο τυχόν μεγάλων αποκλίσεων από τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές.



Σχήμα 12-2: Σχεδιάγραμμα χρήσης του γρήγορου υπολογισμού της ισχύος.

Η πυκνότητα ισχύος p (W/m^2) υπολογίζεται από τυπικές τιμές ισχύος ανά φωτεινή ροή ρ_m (W/m^2 100lx) ανάλογα το μέγεθος και το ύψος του χώρου, την κατανομή φωτισμού του επιλεγμένου φωτιστικού σώματος, την απαιτούμενη ένταση φωτισμού E_m (lx), τον επιλεγμένο συντελεστή συντήρησης (f_m), τη μέθοδο σχεδιασμού (γενικός φωτισμός ή φωτισμός επιφανειών εργασίας). Η πυκνότητα ισχύος μιας εγκατάστασης μπορεί να υπολογιστεί γρήγορα με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$p = p_{lm} \cdot \frac{E_m}{100} \cdot k_R \cdot F_{mf} \cdot F_{ca} \quad [\text{εξ. 12-5}]$$

- όπου: p [W/m²]: η πυκνότητα ισχύος του συστήματος φωτισμού,
 p_{lm} [W/(lm 100lx)]: η πυκνότητα ισχύος της τεχνολογίας λαμπτήρα (Πίνακας 12-2) ή [εξ. 12-6]
 E_m [lx]: η τιμή στόχος της έντασης φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας (Πίνακας 3-3)
 k_R [-]: διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρία του χώρου και τον τρόπο φωτισμού (Πίνακας 12-3)
 F_{mf} [-]: ο συντελεστής διόρθωσης του συντελεστή συντήρησης σε περίπτωση που διαφέρει από την τιμή 0,80 (ενότητα 12.1.1.2.1)
 F_{ca} [-]: ο συντελεστής διόρθωσης σχεδιασμού φωτισμού σε περίπτωση που ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται για γνωστές θέσεις εργασίας (ενότητα 12.1.1.2.2)

Σημειώσεις:

1. Η πυκνότητα ισχύος p , αναφέρεται σε **εσωτερικές** καθαρές διαστάσεις του χώρου
2. Στα συστήματα φωτισμού γραφειακών χώρων, το ποσοστό της φωτεινής ροής προς τα πάνω δεν πρέπει να είναι >30%.

Πίνακας 12-2: Τυπικές τιμές φωτεινής απόδοσης φωτιστικών σωμάτων διαφορετικών τεχνολογιών λαμπτήρα και πυκνότητα ισχύος της τεχνολογίας λαμπτήρα p_{lm} .

Τεχνολογία φωτιστικού σώματος	Πυκνότητα ισχύος της τεχνολογίας λαμπτήρα p_{lm} [W/(lm 100lx)]
Απλός πυράκτωσης (έχει καταργηθεί)	24,0
Πυράκτωσης αλογόνου	16,6
Ατμών υδραργύρου (έχει καταργηθεί)	7,0
Συμπαγής φθορισμού CFL (συμπεριλαμβανομένου του ballast)	5,0
Υψηλής πίεσης νατρίου (HPS)	4,1
Ατμών μεταλλικών αλογονιδίων (συμπεριλαμβανομένου του ballast))	3,4
T8 (T26) γραμμικού φθορισμού (συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρομαγνητικού ballast)	4,2
T8 (T26) γραμμικού φθορισμού (συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρονικού ballast)	3,4
T5 (T16) γραμμικού φθορισμού (συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρονικού ballast)	3,2
LED υφιστάμενου φωτιστικού (με ενσωματωμένο driver)	2,5
LED, νέου φωτιστικού (με ενσωματωμένο driver)	[εξ. 12-6]

Στην περίπτωση που είναι γνωστή η φωτεινή απόδοση του φωτιστικού σώματος ΦA_{lum} (lm/W) η πυκνότητα ισχύος p_{lm} μπορεί να εκτιμηθεί από την επόμενη σχέση:

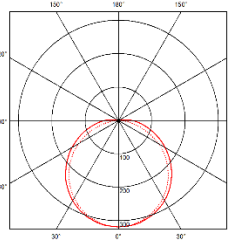
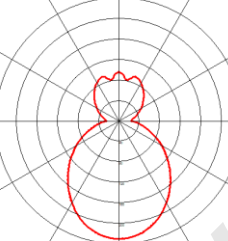
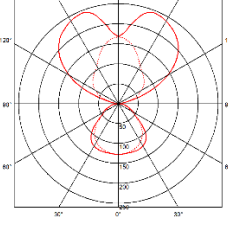
$$p_{lm} = p_{ref} \cdot \frac{60 \text{ lm/W}}{\Phi A_{lum}} \quad [\text{εξ. 12-6}]$$

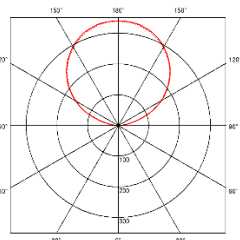
- όπου p_{lm} [W/(lm 100lx)] η πυκνότητα ισχύος του φωτιστικού σώματος,
 ΦA_{lum} [lm/W]: η φωτεινή απόδοση του επιλεγμένου φωτιστικού σώματος (όχι του λαμπτήρα)
 p_{ref} [W/(lm 100lx)] η πυκνότητα ισχύος του φωτιστικού σώματος αναφοράς ίση με 3,8.

Πίνακας 12-3: Τιμές διορθωτικού συντελεστή μορφής χώρου k_R για διάφορες φωτομετρικές κατανομές, ύψη και μεγέθη χώρων.

Ύψος χώρου	Επιφάνεια χώρου A	Τύπος φωτισμού (ποσοστό φωτεινής ροής προς τα επάνω)			
		Άμεσου φωτισμού (<10%)	Ημι-άμεσου φωτισμού	Ημι-έμμεσου φωτισμού	Έμμεσου φωτισμού (>90%)
$H \leq 3m$	Πολύ μικρός χώρος ($A \leq 10m^2$)	1,00	1,17	1,70	2,29
	Μικρός χώρος ($10m^2 < A \leq 35m^2$)	0,83	0,99	1,28	1,65
	Μεσαίος χώρος ($35m^2 < A \leq 70m^2$)	0,70	0,85	0,97	1,19
	Μεγάλος χώρος ($70 < A \leq 150m^2$)	0,66	0,82	0,86	1,04
	Πολύ μεγάλος χώρος ($A > 150m^2$)	0,62	0,79	0,78	0,92
$3m < H \leq 6m$	Πολύ μικρός χώρος ($A \leq 10m^2$)	1,18	1,36	2,13	2,96
	Μικρός χώρος ($10m^2 < A \leq 35m^2$)	1,03	1,20	1,76	2,39
	Μεσαίος χώρος ($35m^2 < A \leq 70m^2$)	0,86	1,02	1,36	1,77
	Μεγάλος χώρος ($70 < A \leq 150m^2$)	0,72	0,87	1,02	1,26
	Πολύ μεγάλος χώρος ($A > 150m^2$)	0,69	0,84	0,94	1,15
$H > 6m$	Πολύ μικρός χώρος ($A \leq 10m^2$)	1,28	1,46	2,35	3,31
	Μικρός χώρος ($10m^2 < A \leq 35m^2$)	1,15	1,33	2,06	2,85
	Μεσαίος χώρος ($35m^2 < A \leq 70m^2$)	1,00	1,16	1,69	2,28
	Μεγάλος χώρος ($70 < A \leq 150m^2$)	0,84	0,99	1,30	1,68
	Πολύ μεγάλος χώρος ($A > 150m^2$)	0,78	0,94	1,17	1,49
Σημείωση: Ενδεικτικοί τύποι φωτιστικών ανά κατηγορία δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 12-4).					

Πίνακας 12-4: Ενδεικτικοί τύποι φωτιστικών σωμάτων για την κατηγοριοποίηση τους.

Τύπος φωτιστικού/ ποσοστό φωτεινής ροής προς τα πάνω	Κατανομή φωτεινής έντασης φωτιστικού σώματος	Φωτογραφία ενδεικτικού τύπου	Περιγραφή φωτιστικών σωμάτων
Άμεσου φωτι- σμού, <10%			Χωνευτά φωτιστικά ορο- φής (Στρογγυλά ή πάνελ). Γραμμικά φωτιστικά ορο- φής με παραβολικές περ- σίδες ή διχύτες λευκού χρώματος που κατευθύ- νουν το φωτισμό προς τα κάτω. Κρεμαστά φωτιστικά τύ- που καμπάνα με αδιαφα- νές κάλυμμα
Ημι-άμεσου φω- τισμού			Γραμμικά φωτιστικά ή πά- νελ με ανάρτηση και φω- τεινή πηγή που κατευθύ- νει μέρος του φωτισμού προς τα πάνω (το μεγαλύ- τερο μέρος του φωτισμού είναι προς τα κάτω). Κρεμαστά φωτιστικά τύ- που καμπάνα με διαφανές κάλυμμα. Φωτιστικό βιομηχανικού τύπου με ή χωρίς κά- λυμμα.
Ημι-έμμεσου φω- τισμού			Γραμμικά φωτιστικά ή πά- νελ με ανάρτηση και φω- τεινή πηγή που κατευθύ- νει μέρος του φωτισμού προς τα πάνω (το μεγαλύ- τερο μέρος του φωτισμού είναι προς τα πάνω).

Τύπος φωτιστικού/ ποσοστό φωτεινής ροής προς τα πάνω	Κατανομή φωτεινής έντασης φωτιστικού σώματος	Φωτογραφία ενδεικτικού τύπου	Περιγραφή φωτιστικών σωμάτων
Έμμεσου φωτι- σμού >90%			Απλίκες με κατεύθυνση του φωτισμού μόνο προς τα πάνω. Ορθοστάτες με κατεύ- θυνση του φωτισμού μόνο προς τα πάνω. Κρεμαστά φωτιστικά με κατεύθυνση του φωτι- σμού μόνο προς τα πάνω

12.1.1.2.1 Συντελεστής διόρθωσης συντελεστή συντήρησης

Ο προσδιορισμός του συντελεστή συντήρησης f_m δίνεται αναλυτικά στην [ενότητα 3.3.1](#). Στις περιπτώσεις που ο συντελεστής συντήρησης είναι διάφορος του 0,80 στο γινόμενο της εξίσωσης [\[εξ. 12-5\]](#) θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί ο συντελεστής διόρθωσης του συντελεστή συντήρησης:

$$F_{mf} = \frac{0,80}{f_m} \quad [\text{εξ. 12-7}]$$

όπου F_{mf} [-] ο συντελεστής διόρθωσης του συντελεστή συντήρησης

f_m [-]: ο συντελεστής συντήρησης που χρησιμοποιείται στη μελέτη διαστασιολόγησης του συστήματος φωτισμού

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις των φωτιστικών σωμάτων LED όπου η παράμετρος απομείωσης της φωτεινής ροής τους L_{xx} δεν ταυτίζεται με τον συντελεστή συντήρησης f_m ([βλ. ενότητα 3.3.4](#)). Σε αυτήν την περίπτωση:

$$f_m = L_{xx} \cdot f_{LM} \cdot f_{SM} \quad [\text{εξ. 12-8}]$$

όπου f_m [-] ο συντελεστής συντήρησης για τα LED σώματα

L_{xx} [-]: η τιμή απομείωσης της φωτεινής ροής των LED φωτιστικών σωμάτων που δίνεται από τον κατασκευαστή για συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας

f_{LM} [-]: ο συντελεστής συντήρησης του φωτιστικού σώματος

f_{SM} [-]: ο συντελεστής συντήρησης των εσωτερικών επιφανειών

Για υφιστάμενα συστήματα που δεν υπάρχει μελέτη φωτισμού από την οποία να μπορεί να προσδιοριστεί ο συντελεστής συντήρησης, αυτός θεωρείται ίσος με 0,8 και ο συντελεστής διόρθωσης του συντελεστή συντήρησης F_{mf} λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα ($F_{mf}=1$).

12.1.1.2.2 Συντελεστής διόρθωσης σχεδιασμού φωτισμού

Σύμφωνα με την [ενότητα 3.2](#) σε ένα χώρο που είναι γνωστές οι θέσεις εργασίας θα πρέπει να καθορίζονται ζώνες τεχνητού φωτισμού. Στη θέση εργασίας αντιστοιχεί η τιμή στόχος της έντασης φωτισμού όπως ορίζεται στον αντίστοιχο πίνακα ([Πίνακας 3-3](#)) ενώ στη περιμετρική περιοχή (immediate

surrounding) η τιμή της έντασης φωτισμού είναι ένα διακριτό βήμα πριν την τιμή στόχο. Τα βήματα αυτά ακολουθούν τις παρακάτω τιμές από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη: 750lx – 500lx – 300lx – 200lx -150lx. Στην περίπτωση του συντελεστή διόρθωσης σχεδιασμού φωτισμού η ζώνη υποβάθρου (background) δεν επιφέρει κάποια επίδραση στους υπολογισμούς. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος αφού ο φωτισμός καλύπτει τις πραγματικές ανάγκες στις ζώνες που χρειάζεται και όχι π.χ. στις περιοχές διέλευσης ανάμεσα στα γραφεία των χρηστών. Ο μελετητής θα πρέπει να υπολογίζει τις επιφάνειες εργασίας και την επιφάνεια του συνολικού χώρου για να υπολογίζει την υπόλοιπη περιοχή εκτός των επιφανειών εργασίας. Ο συντελεστής διόρθωσης σχεδιασμού φωτισμού F_{ca} υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$F_{ca} = \frac{A_{EE} \cdot E_{EE} + (A - A_{EE}) \cdot E_{\pi}}{A \cdot E_{EE}} \quad [\text{εξ. 12-9}]$$

όπου F_{ca} [-]: ο συντελεστής διόρθωσης σχεδιασμού φωτισμού,

A_{EE} [m²]: το άθροισμα των επιφανειών εργασίας στο χώρο,

A [m²]: η συνολική επιφάνεια του χώρου,

E_{EE} [lx]: η ένταση φωτισμού για την επιφάνεια εργασίας

E_{π} [lx]: η ένταση φωτισμού ένα βήμα προς τα πίσω από την τιμή στόχο της έντασης φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας (750lx – 500lx – 300lx – 200lx -150lx).

Όταν το σύστημα φωτισμού σχεδιάζεται ή είναι σχεδιασμένο λαμβάνοντας όλο τον χώρο ως επιφάνεια εργασίας, ο συντελεστής διόρθωσης σχεδιασμού φωτισμού F_{ca} ισούται με την μονάδα ($F_{ca}=1$).

12.1.2 Μείωση της κατανάλωσης λόγω ύπαρξης συστήματος διατήρησης της φωτεινής ροής

Σε σύστημα φωτισμού το οποίο υποστηρίζει την ρύθμιση της φωτεινής ροής των φωτιστικών (dimming) μέσω π.χ. χρήσης κάποιου αισθητήρα υπάρχει η δυνατότητα στην αρχή της λειτουργίας του συστήματος η φωτεινή ροή να μειωθεί έτσι ώστε να διατηρούνται τα επίπεδα φωτισμού σχεδιασμού. Υπενθυμίζεται ότι η ένταση φωτισμού σχεδιασμού (π.χ. $E_{\text{design}}=500\text{lx}$) αναφέρεται στην ένταση φωτισμού στο τέλος του κύκλου συντήρησης. Ο σχεδιαστής ανάλογα με τις επιλογές που κάνει, καθορίζει τον κύκλο συντήρησης και αυτό λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς μέσω του συντελεστή συντήρησης (f_m). Πρακτικά μια μικρή τιμή του f_m σημαίνει πολύ μεγάλα επίπεδα φωτισμού στην αρχή λειτουργίας του συστήματος ($E_{\text{initial}}=E_{\text{design}}/f_m$) (βλ. Σχήμα 3-5). Σε μια απλή του μορφή, δηλαδή χωρίς να λαμβάνονται υπόψη ιδιαιτερότητες του συστήματος ελέγχου όπως η μη γραμμικότητα ανάμεσα στην καταναλισκόμενη ισχύ και στην εκπεμπόμενη φωτεινή ροή, ο συντελεστής ο συντελεστής διατήρησης σταθερών επιπέδων φωτισμού F_c μπορεί να υπολογισθεί από την επόμενη σχέση:

$$F_c = (1 + f_m)/2 \quad [\text{εξ. 12-10}]$$

όπου F_c [-]: ο συντελεστής διατήρησης σταθερών επιπέδων φωτισμού

f_m [-]: ο συντελεστής συντήρησης του συστήματος φωτισμού

Όταν δεν υπάρχει σύστημα διατήρησης της φωτεινής ροής ο συντελεστής διατήρησης σταθερών επιπέδων φωτισμού F_c ισούται με την μονάδα ($F_c=1$).

12.1.3 Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού

Σε πολλές χρήσεις χώρων, ο κατάλληλος σχεδιασμός μπορεί να μειώσει την κατανάλωση για φωτισμό με αξιοποίηση του Φ.Φ. Σε κάποιες χρήσεις χώρων η αξιοποίηση του Φ.Φ. επιτυγχάνεται ακόμη και στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο αυτόματο σύστημα ελέγχου του συστήματος φωτισμού. Η μείωση που μπορεί να επιτευχθεί είναι συνάρτηση των απαιτήσεων του χώρου, του τύπου των ανοιγμάτων (σε κατακόρυφα ή οριζόντια δομικά στοιχεία), των συστημάτων ελέγχου του συστήματος σκιασμού-αποφύγης θάμβωσης (χειροκίνητα ή με χρήση αισθητήρα) καθώς και του ίδιου του συστήματος φωτισμού (χειροκίνητα ή με χρήση αισθητήρα). Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι χρήσεις χώρων για τις οποίες μπορεί να γίνει αξιοποίηση του Φ.Φ.

Πίνακας 12-5: Χρήσεις χώρων για τους οποίους υπάρχει αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

	Χρήσεις Χώρων	αξιοποίηση φυσικού φωτισμού	αξιοποίηση φυσικού φωτισμού με χειροκίνητους διακόπτες
1	Reception, Lobby	ναι	όχι
2	Εσωτερική πισίνα - Spa	ναι	όχι
3	Χώρος εκθέσεων τέχνης, Μουσείο (κύριοι χώροι)	ναι	όχι
4	Αίθουσα γυμναστηρίου, χοροδιδασκαλείο	ναι	όχι
5	Αίθουσα διδασκαλίας 1-βάθμιας & 2-βάθμιας εκπαίδευσης	ναι	ναι
6	Αίθουσα διδασκαλίας 3-βάθμιας εκπαίδευσης	ναι	ναι
7	Αίθουσα διδασκαλίας φροντιστηρίου	ναι	ναι
8	Νηπιαγωγείο (αίθουσα απασχόλησης και δραστηριοτήτων)	ναι	ναι
9	Δωμάτια ασθενών (πτέρυγα)	ναι	ναι
10	Εξωτερικά ιατρεία (αίθουσα εξέτασης)	ναι	όχι
11	Αίθουσες θεραπείας - αιμοδοσίας	ναι	όχι
12	Αίθουσες - διάδρομοι αναμονής	ναι	όχι
13	Εργαστήρια	ναι	όχι
14	Φυσικοθεραπευτήριο - Γυμναστήριο	ναι	όχι
15	Αγροτικό ιατρείο, Υγειονομικός σταθμός	ναι	ναι
16	Βρεφικός - Παιδικός σταθμός (χώρος φροντίδας)	ναι	ναι
17	Υπεραγορά τροφίμων	ναι	όχι
18	Ινστιτούτο αισθητικής, παροχή υπηρεσιών καλλωπισμού	ναι	ναι
19	Κλειστά γραφεία	ναι	ναι
20	Ανοιχτοί γραφειακοί χώροι	ναι	όχι
21	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας	ναι	όχι

12.1.3.1 Ζώνες εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού

Οι ζώνες εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού (Ζ.Ε.Φ.Φ.) είναι οι περιοχές που διαθέτουν ανοίγματα στα κατακόρυφα ή οριζόντια δομικά στοιχεία και στις οποίες είναι δυνατή η αξιοποίηση του Φ.Φ. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η δυνατότητα ελέγχου χειροκίνητα ή αυτόματα της ομάδας των φωτιστικών σωμάτων που ανήκουν στη Ζ.Ε.Φ.Φ. ανεξάρτητα από τα φωτιστικά σώματα που δεν ανήκουν στη Ζ.Ε.Φ.Φ.

Σε χώρους με πλευρικό άνοιγμα πλάτους W_{π} και ύψος πρεκίου h_{π} , η ζώνη εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού που σχηματίζεται καλύπτει μέρος του χώρου επάνω από την επιφάνεια εργασίας με ύψος h_{EE} με βάθος $L_{Z\Phi\Phi}$, που εξαρτάται από το ύψος της δέσμης φυσικού φωτισμού $h_{Z\Phi\Phi}$ (ύψος μεταξύ πρεκίου και επιφάνεια εργασίας) και πλάτους $W_{Z\Phi\Phi}$ που εξαρτάται από το βάθος $L_{Z\Phi\Phi}$ και το πλάτος του παραθύρου W_{π} (Σχήμα 12-3). Τα παραπάνω μεγέθη συνδέονται μεταξύ τους και υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$h_{Z\Phi\Phi} = h_{\pi} - h_{EE} \quad [\text{εξ. 12-11}]$$

όπου $h_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$: το ύψος της δέσμης φυσικού φωτισμού
 $h_{\pi}[\text{m}]$: το ύψος πρεκίου του διαφανούς δομικού στοιχείου
 $h_{EE}[\text{m}]$: το ύψος της επιφάνειας εργασίας

και

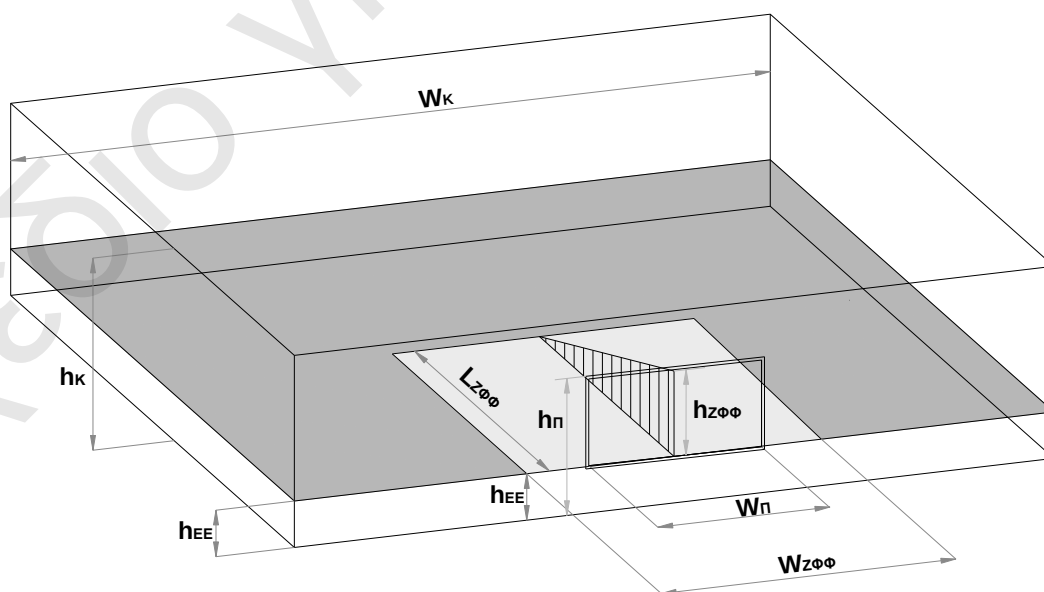
$$L_{Z\Phi\Phi} = 2,5 \cdot h_{Z\Phi\Phi} \quad [\text{εξ. 12-12}]$$

όπου $L_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$: το βάθος της ζώνης φυσικού φωτισμού
 $h_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$: το ύψος της δέσμης φυσικού φωτισμού

και

$$W_{Z\Phi\Phi} = W_{\pi} + 0,5 \cdot L_{Z\Phi\Phi} \quad [\text{εξ. 12-13}]$$

όπου $W_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$: το πλάτος της ζώνης φυσικού φωτισμού
 $W_{\pi}[\text{m}]$: το πλάτος του διαφανούς δομικού στοιχείου
 $L_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$: το βάθος της ζώνης φυσικού φωτισμού



Σχήμα 12-3: Ζώνη εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού (Z.E.Φ.Φ.) από πλευρικά ανοίγματα χώρων

Σε χώρους με ανοίγματα οροφής η περιοχή φυσικού φωτισμού υπολογίζεται ανάλογα το πλάτος του ανοίγματος W_{AO} , το ύψος του χώρου h_K και το ύψος της επιφάνειας εργασίας h_{EE} . Η περιοχή που μπορεί να καλυφθεί με φυσικό φωτισμό από ένα άνοιγμα οροφής ορίζεται περιμετρικά με την ευθεία που ξεκινάει από το άνοιγμα οροφής και προσπίπτει επάνω στην επιφάνεια εργασίας (με ύψος h_{EE}) με κλίση 45° (Σχήμα 12-4).

Για ένα ορθογωνικό άνοιγμα διαστάσεων W_{AO} και L_{AO} , η περιοχή στο επίπεδο επιφάνειας εργασίας που καλύπτει το άνοιγμα οροφής θα αντιστοιχεί σε μια ορθογωνική περιοχή με διαστάσεις $W_{Z\Phi\Phi}$ και $L_{Z\Phi\Phi}$ όπως υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$W_{Z\Phi\Phi} = W_{AO} + 2 \cdot (h_K - h_{EE}) \quad [\text{εξ. 12-14}]$$

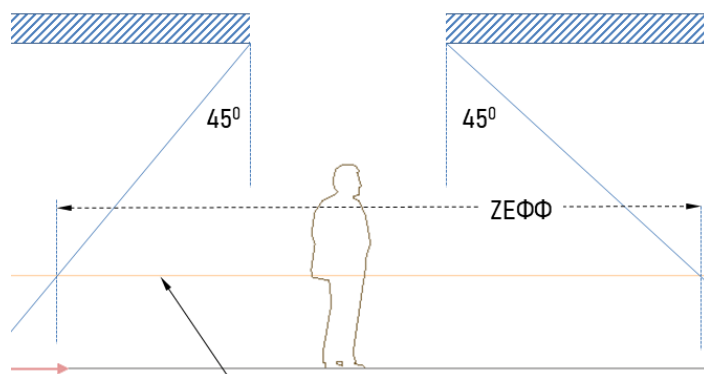
$$\text{και} \quad L_{Z\Phi\Phi} = L_{AO} + 2 \cdot (h_K - h_{EE}) \quad [\text{εξ. 12-15}]$$

όπου	$W_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$:	το πλάτος της ζώνης φυσικού φωτισμού
	$L_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$:	το μήκος της ζώνης φυσικού φωτισμού
	$W_{AO} [\text{m}]$:	το πλάτος του διαφανούς δομικού στοιχείου
	$L_{AO} [\text{m}]$:	το μήκος του διαφανούς δομικού στοιχείου
	$h_K [\text{m}]$:	το ύψος του χώρου
	$h_{EE} [\text{m}]$:	το ύψος της επιφάνειας εργασίας

Για ένα κυκλικό άνοιγμα, η περιοχή στο επίπεδο επιφάνειας εργασίας που καλύπτει το άνοιγμα οροφής θα αντιστοιχεί σε μια κυκλική περιοχή με διάμετρο $D_{Z\Phi\Phi}$ όπως υπολογίζεται από τη σχέση:

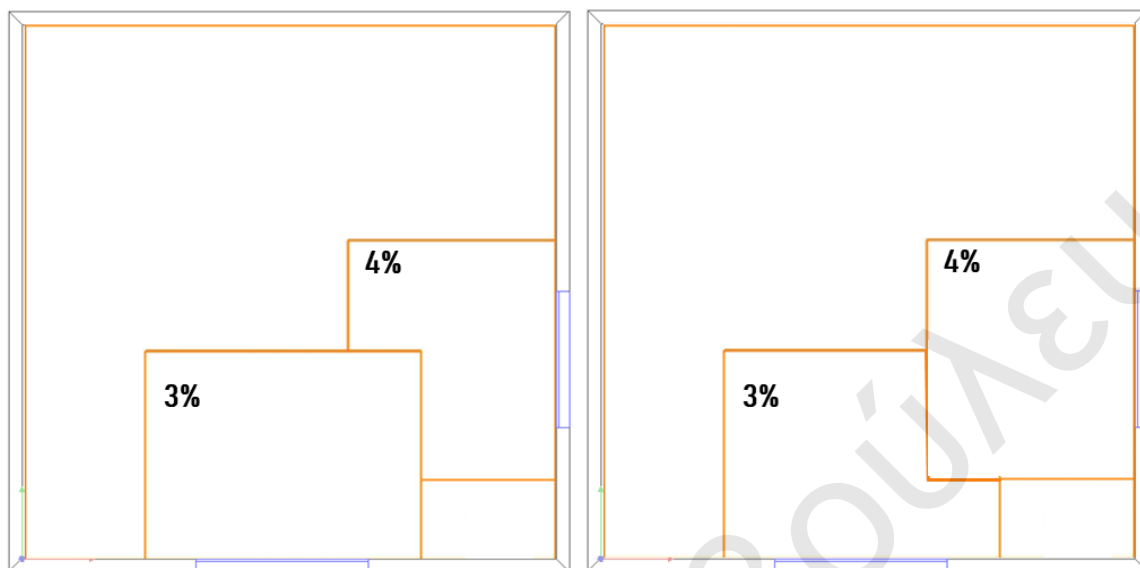
$$D_{Z\Phi\Phi} = W_{AO} + 2 \cdot (h_K - h_{EE}) \quad [\text{εξ. 12-16}]$$

όπου	$D_{Z\Phi\Phi}[\text{m}]$:	η διάμετρος της ζώνης φυσικού φωτισμού
	$W_{AO} [\text{m}]$:	η διάμετρος του διαφανούς δομικού στοιχείου
	$h_K [\text{m}]$:	το ύψος του χώρου
	$h_{EE} [\text{m}]$:	το ύψος της επιφάνειας εργασίας



Σχήμα 12-4: Ζώνη εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού (Ζ.Ε.Φ.Φ.) ανοιγμάτων σε οριζόντια δομικά στοιχεία.

Όταν υπάρχουν πολλά ανοίγματα (είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια) σε μία ζώνη υπάρχει περίπτωση οι Ζ.Ε.Φ.Φ να αλληλοκαλύπτονται. Σε αυτή την περίπτωση το κοινό τμήμα θα ανήκει στην Ζ.Ε.Φ.Φ. που έχει την μεγαλύτερη τιμή του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ.)



Σχήμα 12-5: Αλληλοεπικάλυψη Ζ.Ε.Φ.Φ. και διαχωρισμός τους με βάση την μέση τιμή του Π.Φ.Φ. σε κάθε ζώνη.

Σε κάθε Ζ.Ε.Φ.Φ. εκτιμάται η μέση τιμή του παράγοντα φυσικού φωτισμού (Π.Φ.Φ.) όπως αναλύεται στην επόμενη ενότητα.

12.1.3.2 Μέση τιμή παράγοντα φυσικού φωτισμού στη ζώνη εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού

Η μέση τιμή του παράγοντα φυσικού φωτισμού (Π.Φ.Φ.) μπορεί να υπολογιστεί με κάποιο λογισμικό το οποίο έχει αξιολογηθεί με βάση το CIE 171. Η εκτίμηση της μέσης τιμής του Π.Φ.Φ. στην Ζ.Ε.Φ.Φ. εξαρτάται και από την πυκνότητα του κανάβου υπολογισμών. Η απόσταση μεταξύ των σημείων υπολογισμού πρέπει να είναι μικρότερη/ίση από 0,5m ενώ μια περιμετρική ζώνη πλάτους 0,5m εξαιρείται των υπολογισμών (βλ. Σχήμα 11-1).

Εναλλακτικά, για ανοίγματα στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία, η μέση τιμή του Π.Φ.Φ. μπορεί να εκτιμηθεί με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$\Pi. \Phi. \Phi. = \left(20,0 \cdot \frac{A_{ca}}{A_D} + 0,73 \right) \cdot \tau_w \cdot I_{sh,hor} \cdot I_{sh,ov} \cdot I_{sh,fin} \quad [εξ. 12-17]$$

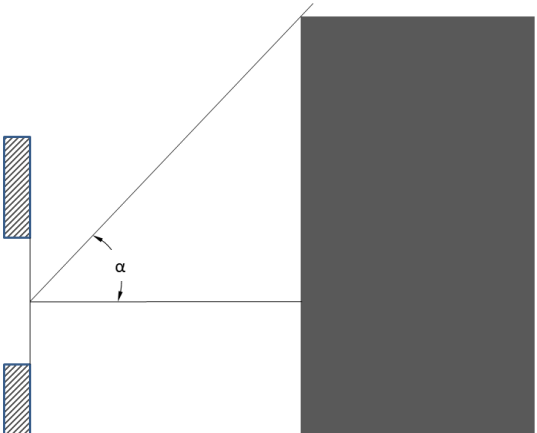
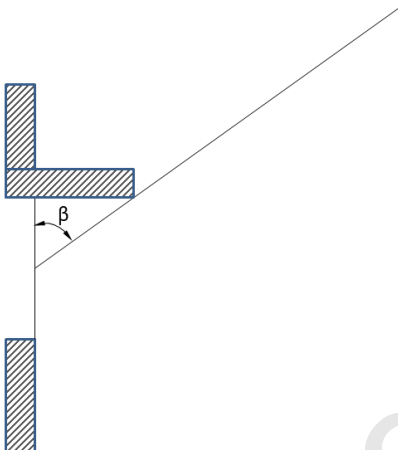
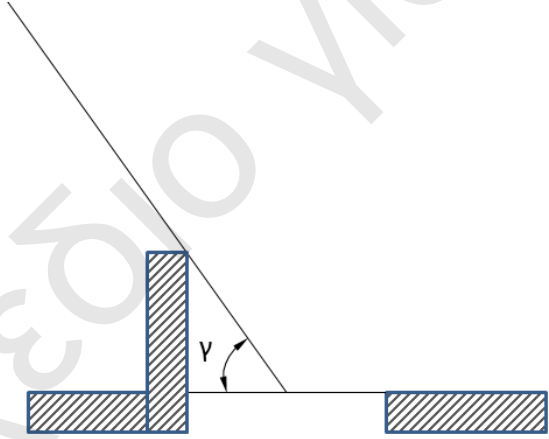
όπου: Π.Φ.Φ. [%]	ο παράγοντας φυσικού φωτισμού της ζώνης εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού
A_{ca} [m ²]:	η επιφάνεια των διαφανών δομικών στοιχείων <u>πάνω</u> από το επίπεδο εργασίας.
A_D [m ²]:	η επιφάνεια της ζώνης εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού (Ζ.Ε.Φ.Φ.)
τ_w [-]:	ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας του διαφανούς δομικού στοιχείου. Ο υπολογισμός του τ_w καθώς και τυπικές τιμές δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1
$I_{sh,hor}$ [-]:	ο συντελεστής σκίασης του χώρου από μακρινά εμπόδια/ορίζοντα (βλ. Σχήμα 12-6)
$I_{sh,ov}$ [-]:	ο συντελεστής σκίασης του χώρου από οριζόντια εμπόδια/προβόλους
$I_{sh,fin}$ [-]:	ο συντελεστής σκίασης του χώρου από κατακόρυφα εμπόδια-πλευρικά σκίαστρα

Ο υπολογισμός των συντελεστών σκίασης του χώρου πραγματοποιείται με την εκτίμηση των γωνιών σκίασης (από το κέντρο του ανοίγματος) όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα ([Σχήμα 12-6](#)).

Ανάλογα με την τιμή του Π.Φ.Φ. η επίδραση του φυσικού φωτισμού στην πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας κατηγοριοποιείται με τον τρόπο που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 12-6: Κατηγοριοποίηση της επίδρασης του φυσικού φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού με βάση την μέση τιμή του Π.Φ.Φ.

Επίδραση φυσικού φωτισμού	Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ.)
Καμία	$\text{Π.Φ.Φ.} < 1\%$
Μικρή	$1\% \leq \text{Π.Φ.Φ.} < 2\%$
Μεσαία	$2\% \leq \text{Π.Φ.Φ.} < 3\%$
Ισχυρή	$3\% \leq \text{Π.Φ.Φ.}$

Τύπος σκίασης	Υπολογισμός συντελεστή σκίασης
	<u>Κάθετη τομή</u> $I_{sh,hor} = \cos(1,5 \times \alpha)$ όταν $\alpha < 60^\circ$ $I_{sh,hor} = 0$ όταν $\alpha \geq 60^\circ$
	<u>Κάθετη τομή</u> $I_{sh,ov} = \cos(1,33 \times \beta)$ όταν $\beta < 67,5^\circ$ $I_{sh,ov} = 0$ όταν $\beta \geq 67,5^\circ$
	<u>Οριζόντια τομή</u> $I_{sh,fin} = 1 - (\gamma/300^\circ)$

Σχήμα 12-6: Εκτίμηση συντελεστών σκίασης για διάφορους τύπους σκιάστρων.

12.1.3.3 Διορθωτικός συντελεστής διαθεσιμότητας φυσικού φωτισμού ανά μήνα ν

Ο διορθωτικός συντελεστής ν διαθεσιμότητας Φ.Φ. για κάθε μήνα διαφοροποιείται για ανοίγματα σε κατακόρυφα και οριζόντια δομικά στοιχεία και δίνεται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 12-7: Μηνιαίες τιμές του συντελεστή ν .

Θέση ανοίγματος	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Κατακόρυφα δομικά στοιχεία	0,85	0,97	1,06	1,12	1,16	1,17	1,15	1,11	1,04	0,94	0,81	0,66
Οριζόντια δομικά στοιχεία	0,74	0,92	1,06	1,16	1,22	1,24	1,22	1,16	1,06	0,93	0,75	0,54

12.1.3.4 Συντελεστής αξιοποίησης φυσικού φωτισμού F_{Dut}

Με βάση την τιμή του Π.Φ.Φ (ενότητα 12.1.3.2), την χρήση του χώρου, το σύστημα ελέγχου του συστήματος φωτισμού που χρησιμοποιείται επιλέγεται ο συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. F_{Dut} . Για ανοίγματα σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία σημαντική αξιοποίηση του Φ.Φ. μπορεί να επιτευχθεί επιπλέον με χρήση αυτόματων σκιάστρων (π.χ. αυτόματα βενετικά στόρια ή αυτόματες ρολοκουρτίνες) που μειώνουν τη θάμβωση. Οι χρήσεις χώρων καθώς και η δυνατότητα αξιοποίησης ή όχι του Φ.Φ. Μόνο με χειροκίνητο σύστημα ελέγχου των φωτιστικών σωμάτων της Ζ.Ε.Φ.Φ. δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 12-5).

Για τους υπολογισμούς εξοικονόμησης ενέργειας λόγω αξιοποίησης Φ.Φ. αξιολογούνται τα συστήματα σκίασης και τα συστήματα ελέγχου που δίνονται στους αντίστοιχους πίνακες (Πίνακας 12-8 και Πίνακας 12-9).

Πίνακας 12-8: Τύποι σκίασης για τον υπολογισμό του συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. F_{Dut} .

Τύπος σκίασης	Περιγραφή
1	Τυπικά σκιάστρα για μείωση της θάμβωσης. Βενετικά στόρια, ημιδιαφανή ρολά και γενικά συστήματα που προβλέπονται για χρήση σε χώρους με χρήση υπολογιστών
2	Αυτόματα σκιάστρα που μπορούν να ελέγχουν τόσο τη θάμβωση όσο και τα ηλιακά κέρδη. Σκιάστρα που μπορούν να τροποποιούν την γεωμετρία τους (π.χ. αυτόματα βενετικά στόρια) ανάλογα με τα επίπεδα φυσικού φωτισμού. Γενικά η σκίαση αυτού του τύπου δεν λειτουργεί σε πλήρως κλειστή κατάσταση

Πίνακας 12-9: Τύπος ελέγχου συστήματος φωτισμού για τον υπολογισμό του συντελεστή αξιοποίησης Φ.Φ. F_{Dut} .

Σύστημα	Κατηγορία	Περιγραφή
Χειροκίνητη έναυση/ σβέση	1	
Συνεχούς ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών (dimming)	2	Αυτόματη έναυση, υπάρχει κατανάλωση στην κατάσταση αναμονής
	3	Αυτόματη έναυση, δεν υπάρχει κατανάλωση στην κατάσταση αναμονής

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή αξιοποίησης Φ.Φ. F_{Dut} .

Πίνακας 12-10: Συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. F_{Dut} για ανοίγματα σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία.

Έλεγχος συστήματος σκίασης	Σύστημα ελέγχου φωτισμού	Απαιτούμενη ένταση φωτισμού [lx]	Μέση τιμή Π.Φ.Φ. ζώνης Ε.Φ.Φ.		
			μικρή	μεσαία	μεγάλη
			1,0≤DFF<2,0	2,0≤DFF<3,0	3≤DFF
χειροκίνητη εσωτερική σκίαση	χειροκίνητα	100	0,30	0,35	0,42
		300	0,21	0,25	0,32
		500	0,17	0,22	0,29
	dimming, stand-by losses, switch on	100	0,36	0,41	0,48
		300	0,27	0,32	0,39
		500	0,26	0,31	0,38
	dimming, no stand-by losses, switch on	100	0,40	0,47	0,55
		300	0,29	0,36	0,43
		500	0,27	0,33	0,41
αυτόματη εσωτερική σκίαση	χειροκίνητα	100	0,32	0,39	0,47
		300	0,22	0,30	0,37
		500	0,19	0,26	0,33
	dimming, stand-by losses, switch on	100	0,38	0,46	0,54
		300	0,29	0,38	0,45
		500	0,28	0,37	0,44
	dimming, no stand-by losses, switch on	100	0,42	0,53	0,61
		300	0,32	0,41	0,49
		500	0,30	0,39	0,47
Σημειώσεις					
1. Για μέση τιμή Π.Φ.Φ.<1,0 θεωρείται ότι δεν υπάρχει καμία αξιοποίηση φυσικού φωτισμού και ο συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. λαμβάνεται ίσος με το 0 (F _{Dut} =0).					
2. Αξιοποίηση Φ.Φ. με χειροκίνητο σύστημα ελέγχου του φωτισμού υπάρχει μόνο στις χρήσεις που δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 12-5). Για τις υπόλοιπες χρήσεις θεωρείται ότι δεν μπορεί να γίνει αξιοποίηση Φ.Φ. με χειροκίνητο έλεγχο και ο συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. λαμβάνεται ίσος με το 0 (F _{Dut} =0)...					

Πίνακας 12-11: Συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. F_{Dut} για ανοίγματα σε οριζόντια δομικά στοιχεία..

Τύπος α- νοίγματος	Σύστημα ελέγχου φωτισμού	Απαιτούμενη ένταση φωτι- σμού [lx]	Μέση τιμή Π.Φ.Φ. ζώνης Ε.Φ.Φ.		
			μικρή	μεσαία	μεγάλη
			1,0≤DFF<2,0	2,0≤DFF<3,0	3≤DFF
Όλα εκτός από θόρηια σε κλίση 90°	χειροκίνητα	100	0,52	0,57	0,62
		300	0,45	0,53	0,59
		500	0,28	0,44	0,53
	dimming, stand-by losses, switch on	100	0,61	0,67	0,71
		300	0,61	0,67	0,71
		500	0,54	0,67	0,71
	dimming, no stand-by losses, switch on	100	0,67	0,76	0,81
		300	0,66	0,74	0,80
		500	0,57	0,71	0,78
Βόρεια σε κλίση 90°	χειροκίνητα	100	0,52	0,57	0,62
		300	0,50	0,50	0,60
		500	0,13	0,29	0,47
	dimming, stand-by losses, switch on	100	0,62	0,67	0,71
		300	0,65	0,63	0,71
		500	0,19	0,41	0,62
	dimming, no stand-by losses, switch on	100	0,68	0,76	0,81
		300	0,71	0,69	0,81
		500	0,21	0,44	0,67
Σημειώσεις					
1. Για μέση τιμή Π.Φ.Φ.<1,0 θεωρείται ότι δεν υπάρχει καμία αξιοποίηση φυσικού φωτισμού και ο συντε- λεστής αξιοποίησης Φ.Φ. λαμβάνεται ίσος με το 0 (F _{Dut} =0)..					
2. Αξιοποίηση Φ.Φ. με χειροκίνητο σύστημα ελέγχου του φωτισμού υπάρχει μόνο στις χρήσεις που δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 12-5). Για τις υπόλοιπες χρήσεις θεωρείται ότι δεν μπορεί να γίνει αξιο- ποίηση Φ.Φ. με χειροκίνητο έλεγχο και ο συντελεστής αξιοποίησης Φ.Φ. λαμβάνεται ίσος με το 0 (F _{Dut} =0)..					

12.1.4 Χρόνος λειτουργίας συστήματος φωτισμού

Για να εκτιμηθεί η κατανάλωση λειτουργίας του συστήματος φωτισμού [εξ. 12-2] χρειάζεται να εκτιμηθεί ο χρόνος λειτουργίας του t_i για τον κάθε μήνα. Επιπλέον στην περίπτωση ύπαρξης ζωνών αξιοποίησης Φ.Φ. πρέπει να προσδιοριστεί ο χρόνος λειτουργίας κατά την διάρκεια της οποίας υπάρχει φως ημέρας ($t_i \times d_p$) και ωρών λειτουργίας κατά την διάρκεια της νύχτας [$t_i \times (1-d_p)$] όπου t_i [h] οι ώρες λειτουργίας του χώρου ανά μήνα και d_p [%] το ποσοστό του χρόνου που υπάρχει διαθεσιμότητα Φ.Φ. ανά χρήση χώρου. Τυπικές τιμές των παραπάνω μεγεθών δίνονται στον πίνακα 1.8 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

12.1.5 Επίδραση χρηστών

Ο συντελεστής επίδρασης χρηστών (F_o) είναι ο συντελεστής μείωσης της αρχικά υπολογιζόμενης κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό λόγω της χρήσης διατάξεων ελέγχου του συστήματος φωτισμού σε περίπτωση απουσίας χρηστών από τους χώρους. Ο συντελεστής λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα ($F_o=1$), όταν δεν υπάρχει δυνατότητα μείωση της χρήσης φωτισμού κατά την απουσία των χρηστών. Τα συστήματα ελέγχου παρουσίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 12-12: Συστήματα ελέγχου παρουσίας.

Περιγραφή συστήματος ελέγχου παρουσίας	
1	Κανένας έλεγχος (κεντρικός έλεγχος)
2	Χειροκίνητη έναυση/σβέση
3	Χειροκίνητη έναυση/αυτόματη σβέση

Στο επόμενο πίνακα (Πίνακας 12-13) δίνονται οι τιμές του συντελεστής επίδρασης χρηστών F_o για διάφορες χρήσεις χώρων και συστημάτων ελέγχου παρουσίας. Για να ισχύουν οι τιμές του αντίστοιχου πίνακα, θα πρέπει:

- Ο αισθητήρας κίνησης / παρουσίας να είναι επαρκής, δηλαδή απαιτείται τουλάχιστον ένας αισθητήρας ανά δωμάτιο ή/και ένας αισθητήρας κάθε 15 m² σε μεγάλους χώρους,
- Να μην είναι σε περιοχές με πολλούς χρήστες (εκτός και αν είναι σε αίθουσα συναντήσεων) ή σε περιοχές κίνησης χρηστών μεγαλύτερες των 30m² που ελέγχονται από φωτιστικά που είναι ομαδοποιημένα
- Ο φωτισμός να ελέγχεται ανά επιμέρους χώρο (αίθουσα, δωμάτιο, κ.ά.) του κτιρίου και όχι κεντρικά για όλο το κτίριο ή σε ομαδοποιημένες περιοχές (π.χ. όλοι οι διάδρομοι μαζί κλπ).

Στην περίπτωση που δεν ισχύουν οι ανωτέρω προϋποθέσεις επιλέγεται η τιμή του συντελεστή επίδρασης χρηστών F_o της προηγούμενης κατηγορίας.

Πίνακας 12-13: Τιμές συντελεστή επίδρασης χρηστών (F_0) για διάφορες χρήσεις χώρου συστήματα ελέγχου του συστήματος φωτισμού.

αα	Χρήση χώρου	Συντελεστής F_0		
		Κανένας έλεγχος	Χειροκίνητος έλεγχος	Αυτόμα-τος έλεγχος
1	Μονοκατοικία (κύριοι χώροι)	1,00	0,90	0,70
2	Διαμέρισμα πολυκατοικίας (κύριοι χώροι)	1,00	0,90	0,70
3	Κοιν. & βοηθ. θερμαινόμενοι χώροι Κατοικίας (κλιμ/σια, αποθήκες γενικής χρήσης κ.λπ.)	1,00	0,50	0,30
4	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου Lux	1,00	0,60	0,40
5	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου Α και Β	1,00	0,60	0,40
6	Υπνοδωμάτιο ξενοδοχείου Γ και ξενώνα	1,00	0,60	0,40
7	Reception, Lobby	1,00	1,00	1,00
8	Αίθουσα εκδηλώσεων	1,00	0,80	0,60
9	Εσωτερική πισίνα - Spa	1,00	0,90	0,70
10	Χώροι προσωπικού	1,00	0,90	0,70
11	Αποδυτήρια	1,00	0,90	0,70
12	Πλυντήριο / Σιδερωτήριο	1,00	1,00	1,00
13	Κοιτώνες (οικοτροφείου, δομές φιλοξενίας κ.λπ.)	1,00	0,60	0,40
14	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Προσωρινής Διαμονής	1,00	0,80	0,60
15	Βοηθ. θερμ. χώροι Προσωρινής Διαμονής (κλιμ/σια, αποθήκες, λινοθήκες, χώρος αποσκευών, W.C. κ.λπ.)	1,00	0,70	0,50
16	Εστιατόριο (χώρος πελατών)	1,00	1,00	1,00
17	Ζαχαροπλαστείο, Καφενείο, Πρόχειρο γεύμα (χώρος πελατών)	1,00	1,00	1,00
18	Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	1,00	1,00	1,00
19	Μουσική σκηνή - κυρίως καθημένοι (χώρος πελατών)	1,00	1,00	1,00
20	Σκηνή χώρου θεαμάτων	1,00	1,00	1,00
21	Χοροστάσιο, Bar - κυρίως όρθιοι (χώρος πελατών)	1,00	1,00	1,00
22	Αίθουσα Bowling	1,00	1,00	1,00
23	Χώρος ατομικών παιγνίων (π.χ. φρουτάκια)	1,00	1,00	1,00
24	Χώρος ομαδικών παιγνίων (τραπέζια, ρουλέττες κ.λπ.)	1,00	1,00	1,00
25	Χαρτοπαικτική λέσχη (κύρια αίθουσα)	1,00	1,00	1,00
26	Έκδοση εισιτηρίων	1,00	1,00	1,00
27	Foyer	1,00	1,00	1,00
28	Κουζίνα - Παρασκευαστήρια	1,00	1,00	1,00
29	Θέατρο, Κινηματογράφος (αίθουσα)	1,00	1,00	1,00
30	Χώρος εκθέσεων τέχνης, Μουσείο (κύριοι χώροι)	1,00	1,00	1,00
31	Εκθεσιακό Κέντρο	1,00	1,00	1,00
32	Βιβλιοθήκη (χώρος ανάγνωσης)	1,00	1,00	1,00
33	Βιβλιοθήκη (χώρος ραφιών)	1,00	0,30	0,10
34	Αίθουσα συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	1,00	1,00	1,00
35	Τράπεζα (χώρος συναλλαγών)	1,00	1,00	1,00

αα	Χρήση χώρου	Συντελεστής F _o		
		Κανένας έλεγχος	Χειροκίνητος έλεγχος	Αυτόματος έλεγχος
36	Χώροι συναλλαγών (ταμεία, ασφαλιστικά ταμεία κ.λπ.)	1,00	1,00	1,00
37	Αίθουσα γυμναστηρίου, χοροδιδασκαλείο	1,00	0,90	0,70
38	Χώρος διακίνησης κοινού - Check In	1,00	1,00	1,00
39	Χώρος ελέγχου επιβατών - αποσκευών	1,00	1,00	1,00
40	Χώροι αναμονής	1,00	1,00	1,00
41	Λουτρό (κοινόχρηστο)	1,00	0,30	0,10
42	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Συνάθροισης Κοινού	1,00	0,80	0,60
43	Βοηθ. θερμ. χώροι Συνάθροισης Κοινού (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	1,00	0,30	0,10
44	Αίθουσα διδασκαλίας 1-βάθμιας & 2-βάθμιας εκπαίδευσης	1,00	0,95	0,75
45	Αίθουσα διδασκαλίας 3-βάθμιας εκπαίδευσης	1,00	0,95	0,75
46	Αίθουσα διδασκαλίας φροντιστηρίου	1,00	0,95	0,75
47	Νηπιαγωγείο (αίθουσα απασχόλησης και δραστηριοτήτων)	1,00	0,95	0,75
48	Νηπιαγωγείο (αίθουσα χαλάρωσης-ύπνου)	1,00	0,90	0,70
49	Κουζίνα - Προετοιμασία Φαγητού	1,00	1,00	1,00
50	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Εκπαίδευσης	1,00	0,60	0,40
51	Βοηθ. θερμ. χώροι Εκπαίδευσης (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	1,00	1,00	0,80
52	Δωμάτια ασθενών (πτέρυγα)	1,00	1,00	1,00
53	Μονάδα Εντατικής Θεραπείας - Αυξημένης Φροντίδας	1,00	1,00	1,00
54	Χειρουργείο (τακτικό)	1,00	1,00	1,00
55	Εξωτερικά ιατρεία (αίθουσα εξέτασης)	1,00	0,80	0,60
56	Αίθουσες θεραπείας - αιμοδοσίας	1,00	1,00	1,00
57	Αίθουσες - διάδρομοι αναμονής	1,00	1,00	1,00
58	Εργαστήρια	1,00	1,00	0,80
59	Φυσικοθεραπευτήριο - Γυμναστήριο	1,00	0,90	0,70
60	Αγροτικό ιατρείο, Υγειονομικός σταθμός	1,00	1,00	1,00
61	Κοιτώνες Ψυχιατρείου, ΑΜΕΑ, Ευγηρίας, Βρεφοκομείου	1,00	1,00	1,00
62	Βρεφικός - Παιδικός σταθμός (χώρος φροντίδας)	1,00	1,00	1,00
63	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Υγείας	1,00	1,00	1,00
64	Βοηθ. θερμ. χώροι Υγείας (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C., λινόθηκες, απόβλητα κ.λπ.)	1,00	1,00	0,80
65	Κρατητήριο, Αναμορφωτήριο, Φυλακή (αίθουσα κρατουμένων)	1,00	1,00	1,00
66	Κρατητήριο, Αναμορφωτήριο, Φυλακή (αίθουσα ύπνου)	1,00	1,00	1,00
67	Αίθουσα επισκεπτηρίου	1,00	0,80	0,60
68	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Σωφρονισμού	1,00	1,00	1,00
69	Βοηθ. θερμ. χώροι Σωφρονισμού	1,00	1,00	1,00
70	Κατάστημα	1,00	1,00	1,00
71	Υπεραγορά τροφίμων	1,00	1,00	1,00

αα	Χρήση χώρου	Συντελεστής F _o		
		Κανένας έλεγχος	Χειροκίνητος έλεγχος	Αυτόματος έλεγχος
72	Κυλικείο - Κατάστημα υγιειν.ενδ. χωρίς τραπεζοκαθίσματα.	1,00	1,00	1,00
73	Κουρείο, κομμωτήριο	1,00	1,00	1,00
74	Ινστιτούτο αισθητικής, παροχή υπηρεσιών καλλωπισμού	1,00	1,00	1,00
75	Διάδρομοι κίνησης και αναμονής εμπορικών κέντρων, στεγασμένα αίθρια κ.λπ.	1,00	1,00	0,80
76	Κοιν. & βοηθ. θερμαινόμενοι χώροι Εμπορίου (διάδρομοι - πλήν χώρων κίνησης εμπορικών κέντρων -, κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	1,00	0,90	0,70
77	Κλειστά γραφεία	1,00	0,90	0,70
78	Ανοιχτοί γραφειακοί χώροι	1,00	1,00	1,00
79	Εντευκτήριο	1,00	1,00	1,00
80	Αρχείο	1,00	0,30	0,10
81	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Γραφείων	1,00	0,80	0,60
82	Βοηθ. θερμ. χώροι Χώροι Γραφείων (κλιμ/σια, αποθήκες, χώροι φωτοτυπικών, W.C.)	1,00	0,70	0,50
83	Κερκίδες κλειστού γηπέδου	1,00	0,90	0,70
84	Κλειστό γήπεδο, χώροι αθλητών	1,00	0,90	0,70
85	Κερκίδες κλειστού κολυμβητηρίου	1,00	0,90	0,70
86	Κλειστό κολυμβητήριο, χώροι αθλητών	1,00	0,90	0,70
87	Διάδρομοι & Χώροι κυκλοφορίας Αθλητικών Εγκαταστάσεων	1,00	1,00	0,40
88	Βοηθ. θερμ. χώροι Αθλητικών Εγκαταστάσεων (κλιμ/σια, αποθήκες, W.C. κ.λπ.)	1,00	0,60	0,40
89	Εκκλησία (> 50 άτ.)*	1,00	0,80	0,60
90	Μικρή Εκκλησία - Παρεκκλήσι (≤ 50άτ.)*	1,00	0,80	0,60
91	Χώρος λατρείας (σε κτίριο άλλης χρήσης)*	1,00	1,00	1,00
92	Είσοδος-έξοδος ραμπών κατά τη νύχτα, εσωτερικές ράμπες, λωρίδες κίνησης και διαβάσεις πεζών σε χώρους θέσεων στάθμευσης (εσωτερικοί χώροι)	1,00	1,00	1,00
93	Περιοχές χώρων στάθμευσης (κλειστές σε ευρύ κοινό, πχ γραφείων)	1,00	0,60	0,40
94	Περιοχές χώρων στάθμευσης (ανοιχτές σε ευρύ κοινό με πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών, πχ εμπορικά κέντρα, αθλητικές εγκαταστάσεις κλπ)	1,00	0,90	0,70

12.1.6 Παρασιτική κατανάλωση συστήματος φωτισμού

Θα πρέπει να υπολογισθεί η κατανάλωση της ενέργειας (w_p) που οφείλεται:

- α) στην λειτουργία αναμονής του συστήματος ελέγχου και
- β) στην φόρτιση του συστήματος φωτισμού ασφαλείας.

Οι καταναλώσεις αυτές αναφέρονται στα ίδια τα φωτιστικά και όχι σε εξαρτήματα που είναι εγκατεστημένα σε άλλη θέση (π.χ. κεντρική μπαταρία, εξαρτήματα ελέγχου απομακρυσμένα από τα φωτιστικά κ.λπ.). Σε μηνιαία βάση η κατανάλωση ενέργειας λόγω της κατάστασης αναμονής του συστήματος ελέγχου υπολογίζεται σαν γινόμενο της ισχύος p_{pc} (kW/m²) επί τις ώρες λειτουργίας (δηλ. 720 ή 744 ώρες τον μήνα ανάλογα). Ομοίως η κατανάλωση λόγω της φόρτισης των φωτιστικών ασφαλείας είναι το γινόμενο της ισχύος φόρτισης p_{ei} (kW/m²) με τον χρόνο φόρτισης (t_e) σε μηνιαία βάση (μια τυπική τιμή είναι 717/741 ώρες τον μήνα ανάλογα). Το άθροισμα των δύο προαναφερθέντων καταναλώσεων ονομάζεται παράσιτη κατανάλωση. Οι τιμές των ισχύων p_{pc} και p_{ei} υπολογίζονται από τα δεδομένα του κατασκευαστή. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία από τον κατασκευαστή μπορούν να υιοθετηθούν οι εξής τιμές για τις καταναλώσεις: $w_{pc}=5\text{kWh/m}^2$ στο έτος και $w_{ei}=1\text{kWh/m}^2$ στο έτος. Σημειώνεται ότι η επιφάνεια αναφοράς είναι η εσωτερική καθαρή επιφάνεια των χώρων.

Πίνακας 12-14: Τυπικές τιμές χρόνου σε κατάσταση αναμονής συστήματος φωτισμού και χρόνου φόρτισης φωτιστικών ασφαλείας.

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
t_{pc}	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
t_e	741	669	741	717	741	717	741	741	717	741	717	741

12.2 Συστήματα φωτισμού εξωτερικών χώρων

Στους εξωτερικούς χώρους (προσόψεις κτιρίων, υπαίθριες θέσεις στάθμευσης, εσωτερικοί οδοί, φωτισμός τοπίου, κ.λπ.) και στις αθλητικές εγκαταστάσεις η κατανάλωση λειτουργίας των εξωτερικών χώρων υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύος με τον χρόνο λειτουργίας ενώ λαμβάνεται υπόψη η μείωση του χρόνου λειτουργίας λόγω χειροκίνητης/αυτόματης έναυσης-σβέσης (π.χ. χρονοδιακόπτης ή αισθητήρας παρουσίας στις θέσεις στάθμευσης) καθώς και η ρύθμιση της φωτεινής ροής των φωτιστικών λόγω των περιορισμών κατά τις προχωρημένες ώρες.

Για κάθε μήνα η ανηγμένη στην επιφάνεια κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού σε κατάσταση λειτουργίας για κάθε χώρο υπολογίζεται με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$w_{l,i} = \sum \frac{p_n}{1000} \cdot [(d_{TM\chi} \cdot t_{Mi}) + (d_{TTW\chi} \cdot t_{TWi})] \quad [\text{εξ. 12-11}]$$

όπου: $w_{l,i}$ [kWh/m²]: η ανηγμένη στην επιφάνεια κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού σε κατάσταση λειτουργίας για τον μήνα i

p_n [W/m²]: η πυκνότητα ισχύος του συστήματος φωτισμού (βλ. κεφάλαιο 5)

$d_{TM\chi}$ [-]: το ποσοστό του επιπέδου φωτεινής ροής του συστήματος φωτισμού για λειτουργία του χώρου (Πίνακας 12-15) ή (Πίνακας 12-16),

$d_{TTW\chi}$ [-]: το ποσοστό του επιπέδου φωτεινής ροής του συστήματος φωτισμού για λειτουργία του χώρου (Πίνακας 12-15) ή (Πίνακας 12-16),

T_{Mi} [h]: ο χρόνος λειτουργίας του υπό εξέταση χώρου (Πίνακας 12-15) ή (Πίνακας 12-16),

T_{TWi} [h]: ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του υπό εξέταση χώρου (Πίνακας 12-15) ή (Πίνακας 12-16).

Πίνακας 12-15: Τυπικές τιμές του αριθμού ωρών λειτουργίας των εξωτερικών χώρων ενός κτιρίου.

	Ώρες λειτουργίας από λυκόφως έως μεσάνυχτα 0:00 (T_M) [h]	Ώρες λειτουργίας από μεσάνυχτα 0:00 έως λυ- καυγές (T_{TW}) [h]	Σύνολο ωρών νύχτας ($T_N = T_M + T_{TW}$) [h]	Ποσοστό του χρόνου λειτουργίας του χώρου τις προχωρημένες ώρες μετά τις 0:00 (T_{TW} / T_N)
ΙΑΝ	207	236	443	0,53
ΦΕΒ	173	202	375	0,54
ΜΑΡ	173	205	378	0,54
ΑΠΡ	156	174	330	0,53
ΜΑΙ	146	161	307	0,52
ΙΟΥΝ	135	150	285	0,53
ΙΟΥΛ	137	164	301	0,54
ΑΥΓ	152	177	329	0,54
ΣΕΠ	168	183	351	0,52
ΟΚΤ	192	211	403	0,52
ΝΟΕ	207	213	420	0,51
ΔΕΚ	220	233	453	0,51
Συνολικά	2066	2309	4375	0,53

Σημείωση:

Για αλλαγή του ωραρίου απενεργοποίησης του συστήματος φωτισμού π.χ. στις αθλητικές εγκαταστάσεις 22:00, οι ώρες T_{Mi} μειώνονται ανάλογα τον αριθμό των ωρών που μειώνεται το ωράριο για το σύνολο των ημερών του μήνα. $T_{Mi} - 2h \times \text{ημέρες μήνα}$, π.χ. για τον Ιανουάριο $207h - 2h \times 31 = 145h$

Πίνακας 12-16: Ποσοστά των επιπέδων φωτεινής ροής του συστήματος φωτισμού για λειτουργία του χώρου τις ώρες από λυκόφως έως μεσάνυχτα (T_M), και τις ώρες από μεσάνυχτα έως λυκαυγές (T_{TW}), για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορα σενάρια ελέγχου με διαχωρισμό εξαμήνων λειτουργίας.

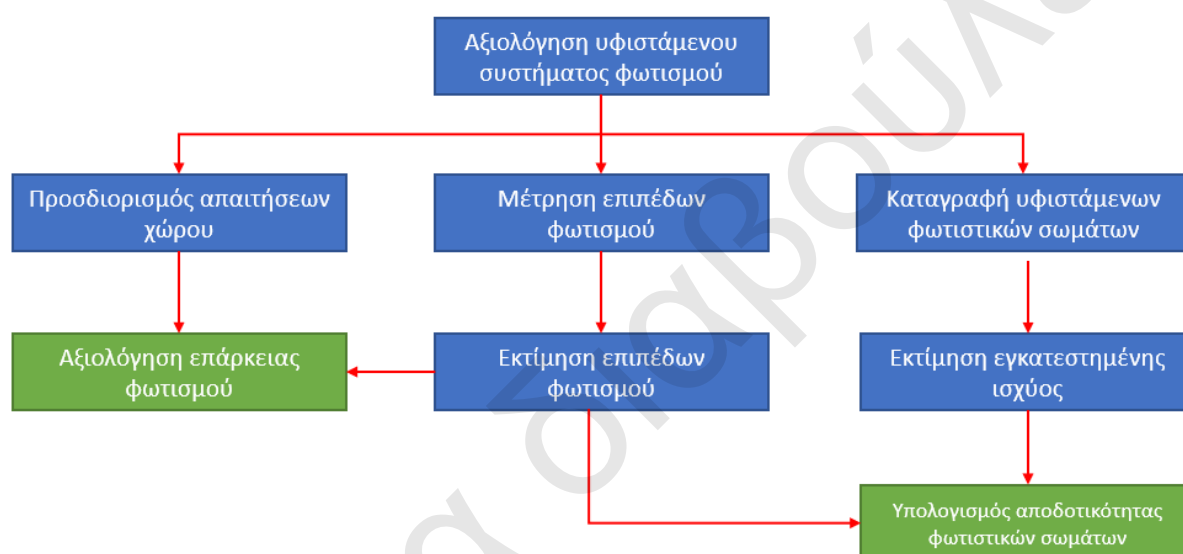
Περιγραφή σεναρίου ε- λέγχου	Ώρες λειτουργίας από λυκόφως έως μεσάνυ- χτα 0:00 (T _M) [h]		Επίπεδο φωτεινής ροής συστήματος φω- τισμού d _{TM} [-]		Ώρες λειτουργίας από μεσάνυχτα 0:00 έως λυκαυγές (T _{TW}) [h]		Επίπεδο φωτεινής ροής συστήματος φωτισμού d _{TTW} [-]	
	Εξάμηνο Χειμώνα T _{MW}	Εξάμηνο Καλοκαίρι T _{MS}	Εξάμηνο Χειμώνα d _{TMW}	Εξάμηνο Καλοκαίρι d _{TMS}	Εξάμηνο Χειμώνα T _{TWW}	Εξάμηνο Καλοκαίρι T _{TWS}	Εξάμηνο Χειμώνα d _{TTWW}	Εξάμηνο Καλοκαίρι d _{TTWS}
Το σύστημα φωτισμού λειτουργεί όλο το χρόνο 100%	2066		100%		2309		100%	
Το σύστημα φωτισμού λειτουργεί τις ώρες T _{TW} στο 50%	2066		100%		2309		50%	
Το σύστημα φωτισμού λειτουργεί τις ώρες T _{TW} στο 25%	2066		100%		2309		25%	
Εποχιακό σενάριο 1, το χειμερινό εξάμηνο τα φωτιστικά σβήνουν και καλοκαιρινό 50% τις ώ- ρες T _{TW}	2066		100%		1300	1009	0%	50%
Εποχιακό σενάριο 2, το χειμερινό εξάμηνο τα φωτιστικά σβήνουν και καλοκαιρινό 25% τις ώ- ρες T _{TW}	2066		100%		1300	1009	0%	25%
Πλήρες εποχιακό σενά- ριο για καλοκαιρινούς οι- κισμούς (Το χειμερινό ε- ξάμηνο το σύστημα φωτι- σμού λειτουργεί και τις ώρες T _M στο 50%)	1172	894	50%	100%	1300	1009	0%	25%
Το σύστημα φωτισμού α- πενεργοποιείται τις ώρες T _{TW} (πχ προσόψεις, πινα- κίδες)	2066		100%		2309		0%	
Σημειώσεις: 1. Χειμερινό εξάμηνο: Οκτώβριος-Μάρτιος, Καλοκαιρινό εξάμηνο: Απρίλιος – Σεπτέμβριος 2. Για τις αθλητικές εγκαταστάσεις υπολογίζονται μόνο οι T _M ώρες. Η ώρα της απενεργοποίησης των φωτι- στικών σωμάτων διαφέρει ανάλογα το φορέα διαχείρισης. Π.χ. μπορεί να είναι 22:00 ή 23:00 3. Για χρήση άλλων εποχιακών διαστημάτων χρησιμοποιείται ο Πίνακας 12-15 για τον υπολογισμό των αντί- στοιχων ωρών χρήσης								

13 Αξιολόγηση υφιστάμενου συστήματος φωτισμού

13.1 Διαδικασία αξιολόγησης υφιστάμενου συστήματος

Η διαδικασία αξιολόγησης ενός υφιστάμενου συστήματος φωτισμού δίνεται στο επόμενο σχήμα. Σημειώνεται ότι η διαδικασία που περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο δεν αφορά στην έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (βλ. [ενότητα 12.1.1.2](#)).

Ένα σύστημα φωτισμού μπορεί να είναι ανεπαρκές ως προς την κάλυψη των απαιτήσεων του χώρου (υποφωτισμένος χώρος) με αποτέλεσμα την απουσία οπτικής άνεσης, επαρκές ή υπερδιαστασιοποιημένο με αποτέλεσμα την υπερκατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον ταυτόχρονα μπορεί να είναι ενεργειακά αποδοτικό ή όχι.



Σχήμα 13-1: Διαδικασία αξιολόγησης υφιστάμενου συστήματος φωτισμού

Ο προσδιορισμός των απαιτήσεων ενός χώρου γίνεται με βάση τον αντίστοιχο πίνακα ([Πίνακας 3-1](#)) ενώ η καταγραφή και εκτίμηση της εγκατεστημένης ισχύος σύμφωνα με την [ενότητα 12.1.1.1](#).

13.2 Διαδικασία μετρήσεων επιπέδων φωτισμού

Αφού έχουν καθοριστεί οι ανάγκες φωτισμού του χώρου, ο μελετητής θα εξετάσει αν το σύστημα καλύπτει τις απαιτήσεις του χώρου ή υπάρχει υποφωτισμός/ υπερφωτισμός.



Σχήμα 13-2: Όργανα μέτρησης έντασης φωτισμού.

Για την επιβεβαίωση του φωτεινού αποτελέσματος ενός συστήματος φωτισμού δύναται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις φωτισμού. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει τα φωτιστικά σώματα στο χώρο των μετρήσεων να έχουν όλες τις πηγές τους σε λειτουργία. Επιπλέον το σύστημα τεχνητού φωτισμού θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένο τουλάχιστον για 10 λεπτά πριν από κάθε μέτρηση. Αν υπάρχει φυσικός φωτισμός τότε θα πρέπει οι μετρήσεις να πραγματοποιηθούν δυο φορές, μια με τον τεχνητό φωτισμό σε λειτουργία και η μια εκτός λειτουργίας. Η διαφορά των τιμών δίνει τα επίπεδα φωτισμού που προέρχονται από τον τεχνητό φωτισμό. Απαραίτητη προϋπόθεση να είναι οι ίδιες θέσεις και στις δυο διαδικασίες των μετρήσεων.

Υπάρχουν 3 βασικές κατηγορίες/λόγοι μετρήσεων:

1. Στην λειτουργική παραλαβή ενός νέου συστήματος φωτισμού. Κατά την επαλήθευση της συμμόρφωσης προς τις απαιτήσεις φωτισμού σε αυτήν την περίπτωση, τα σημεία της μέτρησης θα πρέπει να συμπίπτουν με αυτά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς της μελέτης (θέση και ύψος, π.χ. διάδρομοι στο δάπεδο). Η επαλήθευση γίνεται με βάση τις απαιτήσεις και τα κριτήρια σχεδιασμού των σχετικών επιφανειών εργασίας. Η μέση ένταση φωτισμού και η ομοιομορφία υπολογίζονται από τις μετρούμενες τιμές και λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή συντήρησης. Οι τιμές θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή συντήρησης της μελέτης και στη συνέχεια πραγματοποιείται η σύγκριση με τις υπολογιζόμενες τιμές. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει οι μετρούμενες τιμές μαζί με την επίδραση του συντελεστή συντήρησης να είναι μικρότερες από τις υπολογιζόμενες τιμές της μελέτης ή τις προδιαγραφόμενες ανάγκες φωτισμού του χώρου από τη μελέτη.
2. Για την αξιολόγηση της επάρκειας ενός συστήματος φωτισμού οποιαδήποτε στιγμή. Για τη μέτρηση της έντασης φωτισμού $E(lx)$ ο αισθητήρας μέτρησης τοποθετείται διαδοχικά σε κάναβο όπως περιγράφεται στη [ενότητα 3.2.4](#) και στο ύψος της επιφάνειας εργασίας. Η μέση τιμή των μετρήσεων καθορίζει τα επίπεδα φωτισμού που δίνει η εγκατάσταση. Η τιμή αυτή πρέπει να είναι ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή έντασης φωτισμού και την επιθυμητή τιμή προσαυξημένη κατά 30%. Σε διαφορετική περίπτωση οι χώροι κρίνονται ως υποφωτισμένοι, όταν η μέση τιμή είναι μικρότερη από την επιθυμητή ή υπερφωτισμένοι όταν η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη από το 130% της επιθυμητής. Αν σε παρόμοιους χώρους υπάρχει ο ίδιος τύπος φωτιστικών και με τον ίδιο κάναβο και ύψος χώρου χωρίς να αλλάζουν οι ανάγκες φωτισμού, τότε τα συμπεράσματα μπορούν να είναι κοινά.
3. Στη διαδικασία της συντήρησης του συστήματος φωτισμού. Μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις φωτισμού σε τακτά χρονικά διαστήματα π.χ. 2 χρόνια για την προσαρμογή του προγράμματος καθορισμού των φωτιστικών σωμάτων ή όταν προγραμματίζεται ομαδική αντικατάσταση φωτεινών πηγών ή φωτιστικών σωμάτων και τίθεται σε εκ νέου σε ορθή λειτουργία το σύστημα ελέγχου φωτισμού με αισθητήρες. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να επιλεγούν αντιπροσωπευτικές περιοχές στις οποίες θα γίνονται με τον ίδιο τρόπο οι μετρήσεις φωτισμού στα τακτά χρονικά διαστήματα που έχουν επιλεγεί. Τα σημεία των μετρήσεων θα πρέπει να παραμένουν τα ίδια ανάμεσα στις μετρήσεις.

13.3 Εκτίμηση αποδοτικότητας φωτιστικών σωμάτων

Με βάσει την εγκατεστημένη ισχύ καθώς και τα επίπεδα φωτισμού που μετρήθηκαν υπολογίζεται η πυκνότητα ισχύος ανά 100lx του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$p_{lm} = \frac{P_l}{A \cdot E_m} \quad [\text{εξ. 12-3}]$$

όπου $p_{lm}(\text{W/m}^2 \cdot 100\text{lx})$ η πυκνότητα ισχύος ανά 100lx του συστήματος φωτισμού

$P_l [\text{W}]$: η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος φωτισμού του χώρου

$A [\text{m}^2]$: η καθαρή επιφάνεια του χώρου μετρημένη με **εσωτερικές** διαστάσεις

$E_m [\text{lx}]$: η μέση στάθμη φωτισμού όπως προσδιορίστηκε από τις μετρήσεις

Οι τιμές που προκύπτουν συγκρίνονται με τις τιμές του επόμενου πίνακα:

Πίνακας 13-3: Τιμές αξιολόγησης ενεργειακής αποδοτικότητας συστήματος φωτισμού για διάφορες φωτομετρικές κατανομές, ύψη και μεγέθη χώρων.

Ύψος χώρου	Επιφάνεια χώρου A	Τύπος φωτισμού (ποσοστό φωτεινής ροής προς τα επάνω)			
		Άμεσου φωτισμού (<10%)	Ημι-άμεσου φωτισμού	Ημι-έμμεσου φωτισμού	Έμμεσου φωτισμού (>90%)
H≤3m	Πολύ μικρός χώρος (A≤10m ²)	2,5	2,9	4,2	5,7
	Μικρός χώρος (10m ² <A≤35m ²)	2,1	2,5	3,2	4,1
	Μεσαίος χώρος (35m ² <A≤70m ²)	1,8	2,1	2,4	3,0
	Μεγάλος χώρος (70<A≤150m ²)	1,6	2,0	2,1	2,6
	Πολύ μεγάλος χώρος (A>150m ²)	1,5	2,0	2,0	2,3
3m<H≤6m	Πολύ μικρός χώρος (A≤10m ²)	2,9	3,4	5,3	7,4
	Μικρός χώρος (10m ² <A≤35m ²)	2,6	3,0	4,4	6,0
	Μεσαίος χώρος (35m ² <A≤70m ²)	2,1	2,5	3,4	4,4
	Μεγάλος χώρος (70<A≤150m ²)	1,8	2,2	2,5	3,2
	Πολύ μεγάλος χώρος (A>150m ²)	1,7	2,1	2,3	2,9
H>6m	Πολύ μικρός χώρος (A≤10m ²)	3,2	3,6	5,9	8,3
	Μικρός χώρος (10m ² <A≤35m ²)	2,9	3,3	5,2	7,1

	Μεσαίος χώρος ($35\text{m}^2 < A \leq 70\text{m}^2$)	2,5	2,9	4,2	5,7
	Μεγάλος χώρος ($70 < A \leq 150\text{m}^2$)	2,1	2,5	3,3	4,2
	Πολύ μεγάλος χώρος ($A > 150\text{m}^2$)	2,0	2,3	2,9	3,7
Σημείωση: Ενδεικτικοί τύποι φωτιστικών ανά κατηγορία δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα (Πίνακας 12-4).					

13.4 Καθορισμός των απαραίτητων φωτομετρικών μεγεθών των υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων

Ο μελετητής μπορεί να αναγνωρίσει τον τύπο του φωτιστικού σώματος από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού σώματος και τους τύπους των πηγών που χρησιμοποιούνται. Εφόσον υπάρχει δυσκολία στην αναζήτηση του τύπου τότε μπορεί να αναζητηθούν τα κουτιά των πηγών που αλλάζονται και να εξαχθούν από εκεί τα χαρακτηριστικά της πηγής και αν χρειαστεί από τους ηλεκτρονικούς καταλόγους των εταιριών με τη χρήση των κωδικών.



Σχήμα 13-3: Αναζήτηση των απαραίτητων στοιχείων από το κουτάκι του λαμπτήρα.

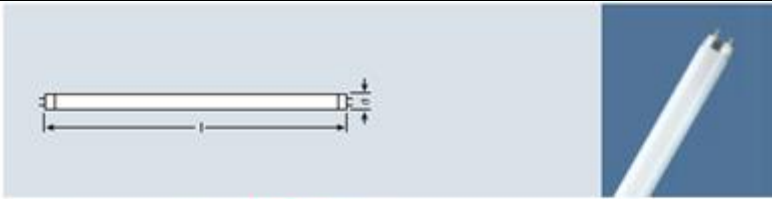
Για τον τύπο του ballast όσον αφορά τα συστήματα φωτισμού με λαμπτήρες φθορισμού ο μελετητής μπορεί να ανοίξει και να κλείσει το σύστημα φωτισμού (αν ήδη λειτουργεί πρέπει να αφήσει λίγο να κρυώσουν οι πηγές). Αν παρατηρηθεί η χαρακτηριστική φωτεινή μαρμαρυγή (flicker) τότε το ballast είναι ηλεκτρομαγνητικό. Εφόσον δεν υπάρχει καμία πληροφορία ο μελετητής θα πρέπει να το γνωρίσει οπτικά. Να περιγράψει ότι είναι π.χ. χωνευτό φωτιστικό 4 λαμπτήρων 18W 765 που θα δει επί τόπου (Σχήμα 13-4). Στη συνέχεια από τους καταλόγους των πηγών μπορεί να εντοπίσει τα απαραίτητα δεδομένα (Σχήμα 13-5).



7 X X Δείκτης χρωματικής απόδοσης 70
X 6 5 Συσχετισμένη Θερμοκρασία χρώματος 6.500K



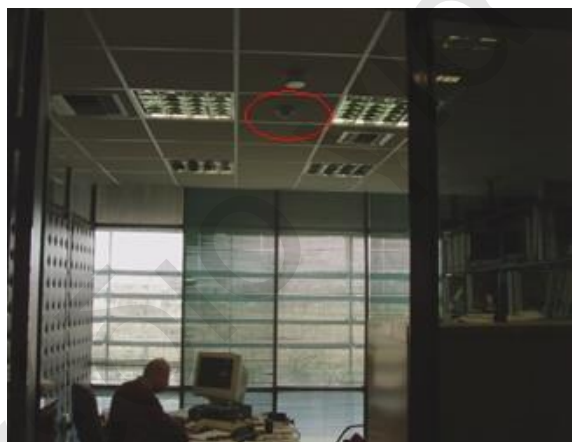
Σχήμα 13-4: Οπτική αναγνώριση του φωτιστικού και του λαμπτήρα.



Produkt- bezeichnung	Produkt- nummer	W	lm		Ra	CS Ra80 (lm)	I lm/m	CS lm/m
* T8 Stabform, Sockel G13								
L 10 W/827	4050300446165	10	650	INTERNA	80...89	26	470	25
L 15 W/827	4050300446042	15	950	INTERNA	80...89	26	438	25
L 15 W/830	4050300446028	15	950	Warm White	80...89	26	438	25
L 15 W/840	4050300446004	15	950	Cool White	80...89	26	438	25
L 15 W/865	4050300446189	15	900	Cool Daylight	80...89	26	438	25
L 16 W/827	4050300446080	16	1250	INTERNA	80...89	26	720	25
L 16 W/840	4050300446066	16	1250	Cool White	80...89	26	720	25
L 18 W/827	4050300517834	18	1350	INTERNA	80...89	26	590	25
L 18 W/830	4050300517810	18	1350	Warm White	80...89	26	590	25
L 18 W/835	4050300447964	18	1350	White	80...89	26	590	25
L 18 W/840	4050300517797	18	1350	Cool White	80...89	26	590	25
L 18 W/865	4050300517773	18	1300	Cool Daylight	80...89	26	590	25
L 18 W/880	4008321027962	18	1300	SKYWHITE	80...89	26	590	25

Σχήμα 13-5: Κατάλογος φωτεινών πηγών.

Εφόσον υπάρχουν αισθητήρες φωτισμού και παρουσίας θα πρέπει να καταγραφούν. Ο μελετητής θα πρέπει να καταγράψει ξεχωριστά τα φωτιστικά σώματα που ελέγχονται από αισθητήρες φωτισμού ή αισθητήρες παρουσίας ή συνδυασμό τους. Οι αισθητήρες μπορούν να διακρίνονται είτε στα φωτιστικά σώματα ελέγχοντας ένα φωτιστικό είτε στην οροφή / τοίχο ελέγχοντας ομάδα φωτιστικών. Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να εντοπίζεται ο αριθμός των φωτιστικών που θα ελέγχεται από τον αισθητήρα. Επίσης ο μελετητής θα πρέπει να διακρίνει αν ο αισθητήρας είναι φωτισμού, παρουσίας ή και τα δυο μαζί. Η καταγραφή θα πρέπει να αντιστοιχεί σε κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις.



Σχήμα 13-6: (Αρ) Κοινός αισθητήρας φωτισμού παρουσίας ο οποίος ελέγχει ομάδα φωτιστικών σωμάτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο μελετητής ελέγχει ποια φωτιστικά ελέγχονται από αυτόν (Δεξ). Αισθητήρες φωτισμού οι οποίοι ελέγχουν ατομικά τα φωτιστικά σώματα στη ζώνη φυσικού φωτισμού. Στην προκειμένη περίπτωση εκτός από τη ξεχωριστή καταγραφή αυτών των φωτιστικών σωμάτων.

13.5 Αναβάθμιση φωτιστικών σωμάτων

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην αναβάθμιση των φωτιστικών σωμάτων καθώς οποιαδήποτε επέμβαση στο φωτιστικό σώμα π.χ. αλλαγή ή παράκαμψη του συστήματος έναυσης και λειτουργίας (ballast για φθορισμού, driver για LED κ.λπ.) ή αλλαγή module ή λαμπτήρα που δεν αναφέρεται στις αρχικές προδιαγραφές του φωτιστικού σώματος, θα πρέπει να συνοδεύεται με νέα πιστοποίηση CE στο υφιστάμενο φωτιστικό σώμα και να συνοδεύεται με τα νέα στοιχεία που αναφέρονται ανωτέρω, με έμφαση σε νέες εργαστηριακές δοκιμές και στην προσκόμιση των νέων εκθέσεων εργαστηριακών δοκιμών.

Συνήθως, μια τέτοια δράση κρίνεται μη συμφέρουσα. Εκτός από το κόστος του να πραγματοποιηθούν νέες εργαστηριακές δοκιμές με αμφίβολη τη συμμόρφωση του αναβαθμιζόμενου φωτιστικού με τις οδηγίες (LVD και EMC), υπάρχει και το κόστος των φθορών που θα προκληθεί από την αναβάθμιση. Καθώς η μέση ζωή των υφιστάμενων φωτιστικών μπορεί να είναι και μεγαλύτερη της δεκαετίας, τα καλύμματα, οι λυχνιολαβές και ο λοιπός εξοπλισμός του φωτιστικού σώματος είναι καταπονημένος. Οι λαμπτήρες LED μπορεί να έχουν μεγαλύτερο βάρος από τους υφιστάμενους φθορισμού με αποτέλεσμα η φθορά να είναι μεγαλύτερη.

Επιπλέον επιπλοκές δημιουργούνται με τη κατανομή και τη ποσότητα του φωτισμού, μεγέθη τα οποία θα είναι διαφορετικά πλέον από το αρχικό φωτιστικό. Η φωτομέτρηση ενός αναβαθμιζόμενου φωτιστικού δύναται να επιλύσει την προσκόμιση των φωτομετρικών αρχείων εφόσον πραγματοποιηθεί σε στατιστικά επαρκές δείγμα αφού τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων φωτιστικών π.χ. η διαπερατότητα των καλυμμάτων τους, θα έχουν μεταβληθεί διαφορετικά στο σύνολο των εξεταζόμενων φωτιστικών.

14 Οικονομική αξιολόγηση

14.1 Γενικά στοιχεία

Για να αποφασισθεί η αναβάθμιση ενός υφιστάμενου συστήματος φωτισμού είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης, ειδικά όταν το υφιστάμενο σύστημα δεν παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα κατά την λειτουργία του. Επιπλέον, γεγονός που ισχύει και για την μελέτη νέων συστημάτων φωτισμού, είναι σημαντικό να γίνει ποσοτικοποίηση και σύγκριση των οικονομικών οφελών από πιθανές εναλλακτικές λύσεις ούτως ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη οικονομικά.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται στον κύκλο ζωής της εγκατάστασης και να λαμβάνει υπόψη όλα τα κόστη που υπεισέρχονται στην κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία της. Στους υπολογισμούς πρέπει να συνυπολογίζονται τυχόντα φορολογικά κίνητρα και επιβαρύνσεις.

Αν και δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος του χρήματος, η απλή περίοδος αποπληρωμής SPP είναι ένας χρήσιμος δείκτης για μια πρώτη αξιολόγηση της επένδυσης. Ο υπολογισμός του μπορεί να γίνει με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$SPP = \frac{\text{κόστος επένδυσης}}{\text{ετήσια εξοικονόμηση}} \quad [\text{εξ. 14-1}]$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πιο ωφέλιμη επιλογή μόνο από οικονομικής άποψης ενδέχεται να μην είναι η βέλτιστη επιλογή όσον αφορά τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό. Σε κάποιο σημείο στη μελέτη θα πρέπει να ληφθεί απόφαση σχετικά με τη σημασία αυτών των παραγόντων και για τον αποκλεισμό των φθηνών λύσεων με βάση κριτήρια όπως η φωτεινή μαρμαρυγή (flicker) κ.λ.π.

14.2 Υπολογισμός κόστους κύκλου ζωής

14.2.1 Αρχικό κόστος ή κόστος επένδυσης

Στο κόστος επένδυσης συνυπολογίζονται όλες οι δαπάνες που απαιτούνται για την αποξήλωση του υφιστάμενου, στην περίπτωση υφιστάμενων εγκαταστάσεων, την κατασκευή, θέση σε λειτουργία και παραλαβή του νέου συστήματος φωτισμού.

14.2.2 Κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού. Επιλογή μικρότερου κύκλου συντήρησης, και άρα αυξημένων αναλογικά ετήσιων εξόδων συντήρησης, οδηγεί σε μικρότερες εγκαταστάσεις (μικρότερο αρχικό κόστος) καθώς και χαμηλότερες καταναλώσεις ενέργειας και ισχύος (βλ. [ενότητα 3.3.1](#) και [κεφάλαιο 12](#)).

14.2.3 Κόστος ενέργειας και κόστος ισχύος

Η μείωση της κατανάλωσης για φωτισμό επιδρά και στις καταναλώσεις της εγκατάστασης για θέρμανση και ψύξη. Συνεπώς κατά τους υπολογισμούς κατανάλωσης ενέργειας από το σύστημα φωτισμού πρέπει να εκτιμάται και η αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης για θέρμανση και η μείωση για ψύξη.

Το κόστος ενέργειας εξαρτάται από την δομή και το τιμολόγιο του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας που είναι συνδεδεμένη η εγκατάσταση. Σε κάποιες περιπτώσεις η χρέωση μεταβάλλεται ανάλογα με τη χρονική στιγμή της ημέρας ή/και την ημέρα της εβδομάδας (διαφορετικές ζώνες χρέωσης) ενώ σε κάποιες υπάρχει και χρέωση ισχύος.

Ο μελετητής ανάλογα με την δομή και το τιμολόγιο του παρόχου πρέπει να υπολογίσει την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος φωτισμού καθώς και την αντίστοιχη επίδραση στην κατανάλωση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης ανά ζώνη χρέωσης (βλ. [κεφάλαιο 12](#)), αν διαφοροποιείται, και να υπολογίσει τα αντίστοιχα κόστη. Στην περίπτωση που υπάρχει χρέωση ισχύος, πρέπει να υπολογίσει και το κόστος που αυτή συνεπάγεται.

Στην περίπτωση νέας εγκατάστασης που δεν είναι γνωστό το τιμολόγιο σύνδεσης, προτείνεται να χρησιμοποιείται το τιμολόγιο του βασικού παρόχου (Δ.Ε.Η.) για την ολοκλήρωση των υπολογισμών.

14.2.4 Κόστος φορολόγησης

Για ιδιωτικές επιχειρήσεις η μείωση των λειτουργικών εξόδων πρακτικά σημαίνει αντίστοιχη αύξηση των εσόδων τα οποία φορολογούνται ανάλογα. Τα αρχικά έξοδα (έξοδα επένδυσης) εγγράφονται στα λογιστικά βιβλία της επιχείρησης και αποσβένονται ως πάγια, μειώνοντας της φορολόγηση της επιχείρησης για τα αντίστοιχα έτη που πραγματοποιείται η απόσβεση των παγίων κεφαλαίων.

14.2.5 Χρόνος ζωής εξοπλισμού

Όπως αναλύεται και στην [ενότητα 3.3.2](#) ο χρόνος ζωής για τους συμβατικούς λαμπτήρες (π.χ. αλογόνου, CFL, γραμμικοί φθορισμού) και τους λαμπτήρες LED ορίζεται με διαφορετικό τρόπο.

Για τους συμβατικούς λαμπτήρες ο δηλωμένος από τον κατασκευαστή χρόνος ζωής αντιστοιχεί σε ώρες λειτουργίας όπου το 50% των συνολικών δειγμάτων θα έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας (χρόνος ημίσειας ζωής), σε ιδανικές συνθήκες εργαστηρίων, και εκτός των φωτιστικών σωμάτων που επιβαρύνουν την λειτουργία τους. Ως χρόνος ζωής για τους υπολογισμούς προτείνεται να χρησιμοποιείται η ωφέλιμη διάρκεια ζωής η οποία έχει επικρατήσει να θεωρείται ίση με το 70% της ημίσειας ζωής κατά τη δήλωση του κατασκευαστή. Αυτό γίνεται γιατί πρακτικά επειδή α) ο πραγματικός χρόνος ζωής των λαμπτήρων αυτών είναι τις περισσότερες φορές μικρότερος από τον αναγραφόμενο στις ετικέτες των προϊόντων αυτών και β) στα συστήματα φωτισμού η αλλαγή των λαμπτήρων πραγματοποιείται αρκετά νωρίτερα από το να υπάρχουν 50% καμένοι λαμπτήρες στην εγκατάσταση ταυτόχρονα. Έτσι για παράδειγμα ένας λαμπτήρας με δηλωμένο χρόνο ζωής ίσο με 10.000h θεωρείται ότι έχει ωφέλιμο χρόνο ζωής ίσο με $70\% \cdot 10.000h = 7.000h$.

Για τους λαμπτήρες LED, αν αυτοί τοποθετηθούν σε κατάλληλο φωτιστικό σώμα το οποίο έχει προδιαγραφές CE για τον αντίστοιχο λαμπτήρα τότε ο λαμπτήρας αυτός μπορεί να μην τεθεί ποτέ εκτός

λειτουργίας. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως και η εκπεμπόμενη φωτεινή ροή θα διατηρείται επ' αόριστον στα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού. Για αυτό στη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων LED δίνεται ο χρόνος ζωής τους συνδυαζόμενος με το ποσοστό της φωτεινής ροής στο οποίο έχει απομειωθεί στο βάθος χρόνου λειτουργίας τους μαζί με το ποσοστό πλήθους αυτών που θα έχουν λιγότερη φωτεινή από αυτή που αναφέρεται. Ως ωφέλιμος χρόνος ζωής για τους λαμπτήρες LED λαμβάνεται ο L_{xx} για την επίτευξη του συντελεστή συντήρησης που έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη διαστασιολόγησης των φωτιστικών σωμάτων.

Στην περίπτωση συστημάτων που έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής, για να καταστεί δυνατή η συγκριτική αξιολόγηση τους, ως χρόνος ανάλυσης θεωρείται το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο μεταξύ των χρόνων ζωής των διαφορετικών συστημάτων.

14.2.6 Προεξοφλητικό επιτόκιο

Η τιμή του προεξοφλητικού επιτοκίου που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς διαφοροποιείται ανάλογα με την πηγή των κεφαλαίων της επένδυσης. Έτσι το προεξοφλητικό επιτόκιο προτείνεται να λαμβάνεται ίσο:

- με το επιτόκιο δανεισμού, αν η επένδυση χρηματοδοτηθεί μέσω δανεισμού,
- με την απόδοση που θα επιφέρει η ελάχιστη αποδεκτή επένδυση όπως καθορίζεται από την επιχείρηση, αν η επένδυση γίνει με ίδια κεφάλαια
- με 4% αν η επένδυση προέρχεται από κρατική/ευρωπαϊκή επιχορήγηση (βλ. ευρωπαϊκό κανονισμό 244/2012).

Στην περίπτωση που η επένδυση αποτελεί μείγμα πηγών χρηματοδότησης, το προεξοφλητικό επιτόκιο που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί είναι αντίστοιχος σταθμισμένος μέσος όρος ανά πηγή χρηματοδότησης.

14.2.7 Συνολικό κόστος στο κύκλο ζωής του συστήματος

Το συνολικό κόστος στο κύκλο ζωής του συστήματος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$LCC_i = \sum_0^n \frac{F_{n,n}}{(1+d)^n} \quad [\text{εξ. 14-2}]$$

όπου: LCC_i [€]:	το συνολικό κόστος στο κύκλο ζωής του συστήματος φωτισμού i
$F_{n,n}$ [€]:	η χρηματοροή F_n το έτος i ,
d [%]:	το προεξοφλητικό επιτόκιο που έχει επιλεγεί
n [-]	ο χρόνος που πραγματοποιείται η χρηματοροή

Στην περίπτωση αξιολόγησης αναβάθμισης υφιστάμενου συστήματος φωτισμού, οικονομικά βιώσιμη κρίνεται όποια επένδυση έχει συνολικό κόστος στο κύκλο ανάλυσης, μικρότερο από αυτό του υφιστάμενου συστήματος. Επιπλέον ως βέλτιστη επένδυση κρίνεται αυτή που έχει το μικρότερο συνολικό κόστος.

14.3 Πίνακες υπολογισμών

Πίνακας 14-1: Πίνακας ενδεικτικών οικονομικών παραμέτρων για τον υπολογισμό της ωφέλιμης λύσης.

Εξεταζόμενη παράμετρος		Επιλογή 1 ή υφιστάμενη εγκατάσταση*	Επιλογή 2 ή προτεινόμενη εγκατάσταση
Τύπος φωτιστικού	1		
Δεδομένα φωτιστικού σώματος			
Αριθμός λαμπτήρων ή LED module	2		
Συνολική ισχύς φωτιστικού σώματος	3		
Δεδομένα λειτουργίας			
Ωφέλιμη ζωή συστήματος φωτισμού (έτη)	4		
Ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας (ώρες)	5		
Διάστημα αντικατάστασης λαμπτήρων (έτη)	6		
Διάστημα καθαρισμού φωτιστικών (έτη)	7		
Διάστημα καθαρισμού χώρου (έτη)	8		
Συντελεστής συντήρησης			
Συντελεστής συντήρησης φωτεινής ροής λαμπτήρων	9		
Συντελεστής επιβίωσης λαμπτήρων	10		
Συντελεστής συντήρησης φωτιστικών	11		
Συντελεστής συντήρησης επιφάνειας δωματίου	12		
Συντελεστής συντήρησης $f_m [(9) \times (10) \times (11) \times (12)]^{**}$	13		
Αριθμός φωτιστικών	14		
Αναλυτικό κόστος επένδυσης			
Κόστος ανά φωτιστικό	15		
Κόστος ανά λαμπτήρα ή LED module	16		
Κόστος εγκατάστασης ανά φωτιστικό	17		
Αναλυτικά λειτουργικά κόστη			
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων	18		
Κόστος καθαρισμού φωτιστικών	19		
Κόστος καθαρισμού δωματίου	20		
Ενεργειακό κόστος ανά kWh	21		
% Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω συστήματος ελέγχου	22		
Κόστος επένδυσης			
Κόστος φωτιστικού $[(14) \cdot (15)]$	23		
Κόστος λαμπτήρων ή LED module $[(14) \cdot (2) \cdot (16)]$	24		
Κόστος εγκατάστασης $[(14) \cdot (17)]$	25		
Κόστος επένδυσης $[(23) + (24) + (25)]$	26		
Λειτουργικό κόστος			
Κόστος καθαρισμού δωματίου $[(20) \cdot (4) / (8)]$	27		
Κόστος καθαρισμού φωτιστικών $[(19) \cdot (4) / (7)]$	28		
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων ή LED module $[(18) \cdot (4) / (6)]$	29		

Εξεταζόμενη παράμετρος		Επιλογή 1 ή υφιστάμενη εγκατάσταση*	Επιλογή 2 ή προτεινόμενη εγκατάσταση
Κόστος ενέργειας $[(14) \cdot (3) \cdot (4) \cdot (5) \cdot (21) \cdot (22) / 1000]$	30		
Κόστη λειτουργίας $[(27) + (28) + (29) + (30)]$	31		
Ετήσιο κόστος λειτουργίας $[(31) / (4)]$	32		
Συνολικό κόστος κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης $[(31) + (26)]$	33		
Περίοδος αποπληρωμής			
$[(26) \text{ Πρόταση} - (26) \text{ Υφιστάμενη}] / [(32) \text{ Υφιστάμενη} - (32) \text{ Πρόταση}]$ (έτη)			
Σημειώσεις 1. Σε περίπτωση αναβάθμισης υφιστάμενης εγκατάστασης δεν χρησιμοποιούνται τα πορτοκαλί κουτιά. Πραγματοποιείται επιπλέον ο υπολογισμός χρόνου αποπληρωμής [εξ. 14-12]. 2. Μελετητής μπορεί να συμπληρώσει απευθείας τον συντελεστή συντήρησης από τη μελέτη φωτισμού.			

Οι τύποι για τους γρήγορους υπολογισμούς δίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 14-2: Τυπολόγιο γρήγορων υπολογισμών.

Περιγραφή υπολογισμών	Εξίσωση
Κόστος φωτιστικού = Αριθμός φωτιστικών · κόστος ενός φωτιστικού	[εξ. 14-3]
Κόστος λαμπτήρα ή LED module = αριθμός φωτιστικών · αριθμός λαμπτήρων ή LED module ανά φωτιστικό · κόστος ενός λαμπτήρα ή LED module	[εξ. 14-4]
Κόστος εγκατάστασης = αριθμός φωτιστικών · κόστος εγκατάστασης ανά φωτιστικό	[εξ. 14-5]
Κόστος καθαρισμού δωματίου = $[\text{κόστος καθαρισμού δωματίου} \cdot \text{διάρκεια ζωής του συστήματος (έτη)}] / \text{Χρονικό διάστημα καθαρισμού χώρου (έτη)}$	[εξ. 14-6]
Κόστος καθαρισμού φωτιστικών = $[\text{κόστος καθαρισμού φωτιστικών} \cdot \text{διάρκεια ζωής του συστήματος (έτη)}] / \text{Χρονικό διάστημα καθαρισμού φωτιστικών (έτη)}$	[εξ. 14-7]
Κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα = $[\text{κόστος αντικατάστασης λαμπτήρα} \cdot \text{διάρκεια ζωής του συστήματος (έτη)}] / \text{Χρονικό διάστημα αντικατάστασης λαμπτήρα (έτη)}$	[εξ. 14-8]
Κόστος ενέργειας = $(\text{αριθμός φωτιστικών} \cdot \text{ισχύς συστήματος φωτιστικού} \cdot \text{διάρκεια ζωής του συστήματος} \cdot \text{ετήσιες ώρες λειτουργίας} \cdot \text{κόστος ενέργειας ανά kWh} \cdot \text{ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας λόγω συστήματος ελέγχου φωτισμού})$	[εξ. 14-9]
Κόστος λειτουργίας = κόστος καθαρισμού δωματίου + κόστος καθαρισμού φωτιστικών + κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων ή LED module + κόστος ενέργειας	[εξ. 14-10]
Ετήσιο κόστος λειτουργίας = λειτουργικό κόστος / διάρκεια ζωής του συστήματος	[εξ. 14-11]
Περίοδος αποπληρωμής = $[\text{κόστος προτεινόμενης εγκατάστασης} - \text{Κόστος υφιστάμενης εγκατάστασης}] / [\text{Ετήσιο κόστος λειτουργίας υφιστάμενης εγκατάστασης} - \text{Ετήσιο κόστος λειτουργίας προτεινόμενης εγκατάστασης}]$	[εξ. 14-12]

Παράρτημα Α: Νομοθεσία – Πρότυπα – Τεχνικές Οδηγίες

A.1. Νομοθετικές παραπομπές (Ε.Ε.)

Directive 93/68/EEC on CE marking the products conforming to all relevant directives

Directive 89/391/EEC on requirements for workplane

Directive 92/57/EEC on temporary or mobile construction sites

Directive 2009/125/EC on Ecodesign requirements for Energy related Products (ErP)

Directive 2012/27/EC on the promotion of the End use Efficiency and Energy Services (ESD)

Regulation 305/2011 relating to Construction Products (CPR)

Directive 2010/31/EC on the Energy Performance of Building (EPB)

Directive 2012/19/EC on the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

Directive 2017/65/EC on the Restriction of use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment (RoHS)

Directive 2014/30/EC relating to Electromagnetic Compatibility (EMC)

Directive 2014/30/EC relating to electrical equipment design (LVD)

Regulation 874/2012 on Energy labelling of household lamps

Regulation 2019/2020 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012

A.2. Πρότυπα εφαρμογής φωτισμού (Ε.Ε.)

EN 1838, Lighting applications. Emergency lighting

EN 12193, Light and lighting - Sports lighting

EN 12464 (all parts), Light and lighting - Lighting of work places

EN 12665, Light and Lighting – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements

EN 13032-2, Light and Lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires – Part 2: Presentation of data for indoor and outdoor work places

EN 13201 (all parts), Road lighting

EN 15193-1, Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9

EN 15193-2:2017 «Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 2: Explanation and justification of EN 15193-1, Module M9».

A.3. Πρότυπα προϊόντων φωτισμού (Ε.Ε.)

EN 40 (all parts), Lighting columns

EN 12665, Light and Lighting – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements

EN 50102, Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)

EN 55015, Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment

EN 60081, Double-capped fluorescent lamps - Performance specifications

EN 60529, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

EN 60570, Electrical supply track systems for luminaires

EN 60598 (all parts), Luminaires

EN 60682, Standard Method of Measuring the Pinch Temperature of Quartz-Tungsten-Halogen Lamps

EN 60901, Single-capped fluorescent lamps – Performance specifications

EN 60921, Ballasts for tubular fluorescent lamps Performance requirements

EN 60923, Auxiliaries for Lamps Ballasts For Discharge Lamps (Excluding Tubular Fluorescent Lamps) Performance Requirements

EN 60927, Auxiliaries for lamps - Starting devices (other than glow starters) - Performance requirements

EN 60929, AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements

EN 61000 (all parts), Electromagnetic compatibility (EMC)

EN 61047, D.C. or A.C. supplied electronic step-down convertors for filament lamps - Performance requirements

EN 61048, Auxiliaries for lamps - Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits - General and safety requirements

EN 61049, Capacitors for use in tubular fluorescent and other discharge lamp circuits - Performance requirements

EN 61167, Metal halide lamps - Performance specification

EN 61195, Double-capped fluorescent lamps – Safety specifications

EN 61199, Single-capped fluorescent lamps – Safety specifications

EN 61347 (all parts), Lamp control gear

EN 61547, Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements

EN 62031, LED modules for general lighting – Safety specifications

EN 62035, Discharge lamps (excluding fluorescent lamps) - Safety specifications

EN 62384, DC or AC supplied electronic control gear for LED modules. Performance requirements

EN 62471, Photobiological safety of lamps and lamp systems

EN 62493, Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic fields

EN 62717, LED modules for general lighting - Performance requirements

EN 62722-1, Luminaire performance – General requirements for LED luminaires

EN 62722-2-1, Luminaire performance –Particular requirements for LED luminaires

A.4. Τεχνικές οδηγίες και πρότυπα τρίτων χωρών

ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019, Energy Standard for Buildings Except Low -Rise Residential Buildings

ANSI/IES RP-28-16 Lighting and the Visual Environment for Seniors and the Low Vision Population

ANSI/IES TM-30-18 IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition

CIE 157:2004, Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation

CIE S026: 2018, CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light

CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models

CIE 227: 2019 Lighting for Older People and People with Visual Impairment in Buildings

CIE 234:2019 A Guide To Urban Lighting Master planning

DIN Spec 67600 Biologisch wirksame Beleuchtung - Planungsempfehlungen

Παράρτημα Β: Γρήγορη εκτίμηση αριθμού φωτιστικών σωμάτων, για απλούς χώρους

Γενικά, στο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης φωτισμού, ένα σημαντικό μέρος της είναι η εκτέλεση μιας σειράς υπολογισμών και μπορεί να αποτελέσει το κύριο μέρος μιας μελέτης φωτισμού. Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν ένα σύνολο παραμέτρων και μεγεθών, και σίγουρα δεν περιορίζονται στα επίπεδα φωτισμού και στον υπολογισμό της μέσης απαιτούμενης στάθμης φωτισμού. Σε μια μελέτη φωτισμού, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο καθορισμός των ζωνών φωτισμού είναι υποχρεωτικός και ακολούθως οι υπολογισμοί της μέσης απαιτούμενης στάθμης φωτισμού και της ομοιομορφίας για κάθε ζώνη, της κυλινδρικής έντασης φωτισμού, του δείκτη θάμβωσης UGR κ.λπ. Ανάλογα με την ιδέα φωτισμού (concept) και τη χρήση του χώρου δύναται να υπολογίζονται επιπρόσθετες παράμετροι και μεγέθη όπως η λαμπρότητα εκπομπής του φωτιστικού σώματος για γωνίες $\gamma = 60^\circ - 85^\circ$, ο δείκτης μοντελοποίησης του φωτισμού κ.λπ.

Παρόλα αυτά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις αρχικού ή πρόχειρου σχεδιασμού, μπορεί να πραγματοποιηθεί ένας πρόχειρος έλεγχος και να χρησιμοποιηθούν ορισμένες μεθοδολογίες, οι οποίες σε καμία περίπτωση δεν υποκαθιστούν μια μελέτη φωτισμού. Η ακρίβειά τους είναι περιορισμένη καθώς:

- α) δεν περιλαμβάνεται ο υπολογισμός υποχρεωτικών μεγεθών π.χ. η ομοιομορφία, ο δείκτης UGR της θάμβωσης και
- β) δεν είναι δυνατός ο έλεγχος συμμόρφωσης με το πρότυπο EN 12464-1.

Να σημειωθεί ότι, στους γρήγορους υπολογισμούς δεν γίνεται χρήση των φωτομετρικών αρχείων, που από μόνος του αυτός ο περιορισμός είναι προβληματικός, καθώς η χρήση τους σε μια μελέτη είναι απαραίτητη.

Β.1.Γρήγορη εκτίμηση με βάση τον συντελεστή χρησιμοποίησης

Ο γρήγορος υπολογισμός με βάση τον συντελεστή χρησιμοποίησης CU, όπως και η προηγούμενη μέθοδος, χρησιμοποιείται για μια πρόχειρη εκτίμηση της διαστασιολόγησης μιας εγκατάστασης φωτισμού. Παρομοίως δεν υπολογίζει τα απαραίτητα μεγέθη όπως πχ την ομοιομορφία, τη θάμβωση κ.λπ. που χρειάζονται για μια μελέτη φωτισμού σύμφωνα με το EN 12464-1 αλλά εκτιμά ένα γενικό επίπεδο φωτισμού. Η μέθοδος του συντελεστή χρησιμοποίησης βασίζεται στο γεγονός ότι η μέση οριζόντια ένταση φωτισμού για χώρο ενός δεδομένου μεγέθους μπορεί να υπολογιστεί από τη συνολική φωτεινή ροή που παράγεται από τα εγκατεστημένα φωτιστικά, τον συντελεστή απόδοσης και τον συντελεστή χρήσης. Σε γενικές γραμμές, περιγράφει το ποσοστό της φωτεινής ροής των φωτεινών πηγών που προσπίπτει στην επιφάνεια εργασίας μετά από αλληλεπίδραση με τις επιφάνειες του χώρου. Η κρίσιμη παράμετρος και η διαφοροποίηση με την προηγούμενη μέθοδο είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης, ο οποίος εξαρτάται από τη γεωμετρία του χώρου, την ανακλαστικότητα των επιφανειών του χώρου, τη φωτεινή απόδοση και τα χαρακτηριστικά της κατανομής των φωτιστικών σωμάτων που εξετάζονται. Όλες αυτές οι παράμετροι αυξάνουν όχι μόνο τη δυσκολία της εκτίμησης αλλά και το ποσοστό σφαλμάτων της συγκεκριμένης μεθόδου.

Ιδανικά θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο συντελεστής χρησιμοποίησης του ίδιου του φωτιστικού σώματος που επιλέγεται. Επειδή δύσκολα ανακτάται η συγκεκριμένη πληροφορία είναι προτιμότερο να

χρησιμοποιηθούν τα προγράμματα υπολογισμού μέσω των οποίων προκύπτουν και τα υπόλοιπα μεγέθη. Παρόλα αυτά αν κάποιος θέλει να εκτιμήσει τον συντελεστή χρησιμοποίησης για κάποια μεμονωμένη περίπτωση, υπάρχουν διαθέσιμοι πίνακες, οι οποίοι περιέχουν συντελεστές για τυπικές περιπτώσεις χώρων (μέγεθος χώρου, ανακλαστικότητα επιφανειών κ.λπ.) και τυπικά φωτιστικά με βασικά χαρακτηριστικά κατανομής φωτισμού. Ο βασικός χώρος θεωρείται ότι είναι άδειος και έχει ορθογώνιο σχήμα με αναλογία μήκους προς πλάτος περίπου 1,6 προς 1. Τα φωτιστικά σώματα είναι τοποθετημένα σε κανονικό κάναβο είτε εφαπτόμενα στην οροφή, είτε αναρτημένα. Αυτές οι υποποιήσεις επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια των υπολογισμών. Εάν οι συνθήκες της εκτίμησης ή του πραγματικού χώρου είναι κοντινές στην τυπική τοποθέτηση και στις τιμές του τυπικού μοντέλου, τότε τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακριβή. Όσο περισσότερο οι πραγματικές συνθήκες αποκλίνουν από τις τυποποιημένες συνθήκες, π.χ. εάν η διάταξη του φωτισμού είναι ασύμμετρη, τότε θα πρέπει να είναι γνωστό ότι στην εκτίμηση θα υπάρχει μεγάλο ποσοστό σφαλμάτων.

Κατά τη χρήση της μεθόδου θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο πίνακας με τους κατάλληλους συντελεστές για τον επιλεγμένο τύπο φωτιστικού. Κάθε φωτιστικό έχει τον δικό του και μοναδικό πίνακα. Παλαιότερα δινόταν από τους κατασκευαστές των φωτιστικών σωμάτων. Με την έλευση των χρόνων, τη δημιουργία των φωτομετρικών αρχείων (*.ldt και *.ies) και των υπολογιστικών εργαλείων η συγκεκριμένη μέθοδος απαξιώθηκε από τους κατασκευαστές, με αποτέλεσμα να μη δίνονται οι αντίστοιχοι πίνακες. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν τυπικοί πίνακες που αντιστοιχούν σε φωτιστικά σώματα με θεωρητικές κατανομές.

Πριν τη χρήση των πινάκων θα πρέπει να υπολογιστεί ο δείκτης χώρου k , με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια πρέπει να επιλεγθεί ο κατάλληλος πίνακας με τους συντελεστές χρησιμοποίησης με βάση την πιο κοντινή στην πραγματικότητα κατανομή του φωτιστικού σώματος που επιλέγεται σε σχέση με τη θεωρητική των πινάκων. Ο συντελεστής στη συνέχεια επιλέγεται από τον πίνακα μέσω της σειράς του δείκτη χώρου k που υπολογίστηκε και τη στήλης με τον κατάλληλο συνδυασμό συντελεστών ανάκλασης του χώρου. Αν μια τιμή είναι ενδιάμεσα πραγματοποιείται γραμμική παρεμβολή. Η μέση οριζόντια ένταση φωτισμού είναι το αποτέλεσμα της συνολικής φωτεινής ροής που παράγεται από όλα τα φωτιστικά σώματα που είναι εγκατεστημένα στο χώρο. Η μέθοδος περιλαμβάνει το συντελεστή απόδοσης (πρέπει να παρέχεται από τον κατασκευαστή του φωτιστικού σώματος) και τον συντελεστή συντήρησης f_m ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη γήρανση της εγκατάστασης φωτισμού και συνήθως θεωρείται 0,8 για τους εσωτερικούς χώρους. Εάν μια εγκατάσταση φωτισμού αποτελείται από διάφορους τύπους φωτιστικών διαφορετικής κατανομής φωτισμού, π.χ. φωτισμός ευρείας δέσμης και στενής δέσμης θα πρέπει ο φωτισμός πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε στοιχείο και στη συνέχεια να προστίθεται το αποτέλεσμα τους. Ο αριθμός των ιδίων φωτιστικών σωμάτων μπορεί να εκτιμηθεί με χρήση της [εξ. Β-1]:

$$n = \frac{1}{f_m} \cdot \frac{E_m \cdot a \cdot \beta}{\Phi \cdot CU} \quad [\text{εξ. Β-1}]$$

όπου n [-] ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων

f_m [-] ο συντελεστής συντήρησης,

E_m [lx] η τιμή στόχος της έντασης φωτισμού

Φ [lm] η φωτεινή ροή της φωτεινής πηγής του φωτιστικού σώματος

CU [-] ο συντελεστής χρησιμοποίησης ο οποίος εξαρτάται από το δείκτη χώρου k (μέγεθος του χώρου, ύψος και ανάρτηση φωτιστικών) και τις ανακλαστικότητες των επιφανειών που περιβάλλουν τον χώρο

α, β [m] το μήκος και πλάτος του χώρου

Ενώ η τιμή στόχος της έντασης φωτισμού E_m με χρήση της [εξ. Β-2]:

$$E_m = f_m \cdot \frac{\Phi \cdot n \cdot CU}{a \cdot \beta} \quad [\text{εξ. Β-2}]$$

όπου E_m [lx] η ένταση φωτισμού για συγκεκριμένο αριθμό φωτιστικών σωμάτων

f_m [-] ο συντελεστής συντήρησης,

Φ [lm] η φωτεινή ροή της φωτεινής πηγής του φωτιστικού σώματος

n [-] ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων

CU [-] ο συντελεστής χρησιμοποίησης ο οποίος εξαρτάται από το δείκτη χώρου k (μέγεθος του χώρου, ύψος και ανάρτηση φωτιστικών) και τις ανακλαστικότητες των επιφανειών που περιβάλλουν τον χώρο

α, β [m] το μήκος και πλάτος του χώρου

Για την εκτίμηση της εγκατεστημένης ισχύος ο δείκτης χώρου k περιγράφει την επίδραση της γεωμετρίας του χώρου και στον συντελεστή χρησιμοποίησης. Υπολογίζεται με βάση το μήκος και το πλάτος του χώρου και το ύψος h ανάμεσα από το επίπεδο εργασίας και τα φωτιστικά. Η διαφοροποίηση είναι ότι ο τρόπος τοποθέτησης των φωτιστικών (με ανάρτηση ή στην οροφή) επηρεάζει την παρούσα μέθοδο με τη χρήση διαφορετικών εξισώσεων. Αν τα φωτιστικά είναι στην οροφή ο δείκτης χώρου k υπολογίζεται με την εξίσωση [εξ. Β-3]:

$$k = \frac{a \cdot \beta}{h \cdot (a + \beta)} \quad [\text{εξ. Β-3}]$$

όπου k [-] ο δείκτης χώρου

α, β [m] το μήκος και πλάτος του χώρου

h [m] το ύψος ανάμεσα από το επίπεδο εργασίας και τα φωτιστικά οροφής

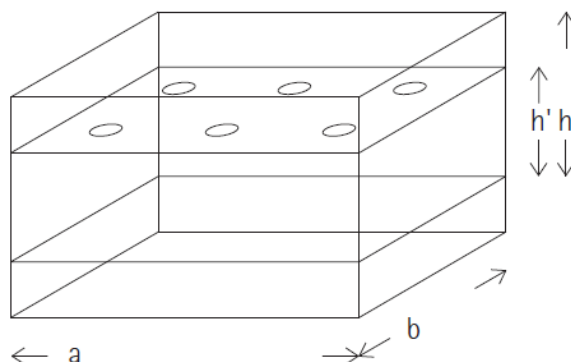
Αν υπάρχει κρέμαση τότε υπολογίζεται το ύψος h' ανάμεσα από το επίπεδο εργασίας και το κάτω μέρος από τα αναρτώμενα φωτιστικά και ο δείκτης χώρου k υπολογίζεται από την [εξ. Β-4]:

$$k = 1,5 \cdot \frac{a \cdot \beta}{h' \cdot (a + \beta)} \quad [\text{εξ. Β-4}]$$

όπου k [-] ο δείκτης χώρου

α, β [m] το μήκος και πλάτος του χώρου

h' [m] ανάμεσα από το επίπεδο εργασίας και το κάτω μέρος από τα αναρτώμενα φωτιστικά



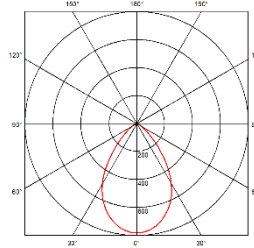
Σχήμα Β-1: Παράμετροι υπολογισμού δείκτη χώρου k .

Ο κατάλληλος συντελεστής χρησιμοποίησης εκτιμάται με βάση τον δείκτη χώρου k , τον συνδυασμό των συντελεστών ανάκλασης οροφής (R_c), τοίχων (R_w), δαπέδου (R_f) και ανάλογα τον τύπο του φωτιστικού σώματος. Ενδεικτικοί πίνακες για τυπικό φωτιστικό άμεσου φωτισμού στενής δέσμης, ευρείας δέσμης και έμμεσου φωτισμού δίνονται παρακάτω. Να σημειωθεί πως για το φωτισμό των γραφείων υπάρχει περιορισμός της φωτεινής ροής προς τα πάνω στο 30% της συνολικής.

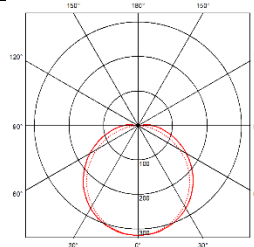
Και σε αυτή τη μέθοδο, σημαντική παράμετρος για την αύξηση της ακρίβειάς της ώστε να αποφευχθεί η υπερδιαστασιολόγηση, είναι η κατάλληλη επιλογή του φωτιστικού σώματος. Αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους οι επικρατέστεροι των οποίων είναι με

- α) το διάγραμμα κώνου,
- β) την κατανομή της φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά CIE 40 και
- γ) τη χρήση πολικού διαγράμματος και σημειακός υπολογισμός όπως αυτοί παρουσιάζονται στο [Παράρτημα Γ](#).

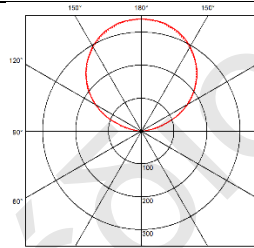
Πίνακας Β-1: Συντελεστές χρησιμοποίησης για τυπικό φωτιστικό άμεσου φωτισμού στενής δέσμης.

 Κατανομή στενής δέσμης (A60 DIN)	R _c	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,50	0,50	0,20	0,00
	R _w	0,70	0,50	0,50	0,20	0,20	0,50	0,20	0,20	0,00
	R _f	0,50	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
	k	Συντελεστές χρησιμοποίησης CU [-]								
	0,60	1,04	0,86	0,84	0,81	0,80	0,84	0,80	0,80	0,78
	1,00	1,17	0,95	0,92	0,90	0,88	0,91	0,88	0,87	0,85
	1,25	1,26	1,01	0,98	0,98	0,95	0,97	0,95	0,94	0,92
	1,50	1,30	1,04	1,00	1,00	0,97	0,99	0,97	0,96	0,94
	2,00	1,35	1,07	1,02	1,04	1,00	1,01	0,99	0,98	0,97
	2,50	1,38	1,09	1,03	1,006	1,02	1,02	1,01	0,99	0,97
	3,00	1,41	1,11	1,05	1,08	1,03	1,03	1,02	1,00	0,99
	4,00	1,43	1,11	1,05	1,09	1,03	1,03	1,02	1,00	0,98

Πίνακας Β-2: Συντελεστές χρησιμοποίησης για τυπικό φωτιστικό άμεσου φωτισμού ευρείας δέσμης.

 Κατανομή ευρείας δέσμης (A40 DIN)	R _c	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,50	0,50	0,20	0,00
	R _w	0,70	0,50	0,50	0,20	0,20	0,50	0,20	0,20	0,00
	R _f	0,50	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
	k	Συντελεστές χρησιμοποίησης CU [-]								
	0,60	0,63	0,43	0,42	0,31	0,31	0,41	0,31	0,30	0,26
	1,00	0,87	0,63	0,61	0,51	0,50	0,59	0,49	0,49	0,44
	1,25	0,99	0,73	0,70	0,62	0,61	0,68	0,60	0,59	0,55
	1,50	1,06	0,79	0,76	0,69	0,67	0,74	0,66	0,65	0,61
	2,00	1,17	0,88	0,83	0,79	0,76	0,81	0,75	0,73	0,70
	2,50	1,23	0,93	0,89	0,86	0,82	0,86	0,81	0,79	0,76
	3,00	1,29	0,98	0,92	0,91	0,87	0,90	0,86	0,84	0,81
	4,00	1,34	1,02	0,96	0,96	0,91	0,94	0,90	0,88	0,85

Πίνακας Β-3: Συντελεστές χρησιμοποίησης για τυπικό φωτιστικό έμμεσου φωτισμού ευρείας δέσμης..

 Κατανομή έμμεσου φωτισμού (E12 DIN)	R _c	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,50	0,50	0,20	0,00
	R _w	0,70	0,50	0,50	0,20	0,20	0,50	0,20	0,20	0,00
	R _f	0,50	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
	k	Συντελεστές χρησιμοποίησης CU [-]								
	0,60	0,27	0,14	0,14	0,07	0,07	0,11	0,05	0,03	0,00
	1,00	0,43	0,25	0,25	0,15	0,15	0,19	0,11	0,05	0,00
	1,25	0,50	0,31	0,30	0,20	0,20	0,23	0,14	0,07	0,00
	1,50	0,56	0,36	0,35	0,25	0,24	0,26	0,18	0,08	0,00
	2,00	0,65	0,43	0,42	0,32	0,31	0,30	0,22	0,10	0,00
	2,50	0,71	0,49	0,47	0,38	0,37	0,34	0,26	0,11	0,00
	3,00	0,76	0,53	0,51	0,43	0,41	0,36	0,29	0,12	0,00
	4,00	0,82	0,58	0,55	0,49	0,47	0,40	0,34	0,14	0,00

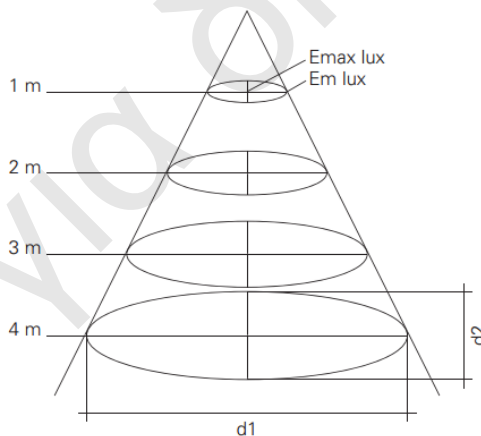
Παράρτημα Γ: Γρήγορη επιλογή φωτιστικών σωμάτων

Για την αποφυγή της υπερδιαστασιολόγησης είτε του αριθμού των φωτιστικών σωμάτων είτε της εγκατεστημένης ισχύος μέσα σε έργο φωτισμού, η κατάλληλη προ-επιλογή του φωτιστικού σώματος είναι πρωτεύον ζήτημα σε μια μελέτη φωτισμού. Η επιλογή του φωτιστικού σώματος για έναν χώρο με συγκεκριμένες απαιτήσεις φωτισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους οι επικρατέστεροι των οποίων είναι με τη χρήση:

- α) του διαγράμματος κώνου,
- β) της κατανομής της φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά CIE 40 και
- γ) της χρήσης του πολικού διαγράμματος.

Γ.1.Διάγραμμα κώνου

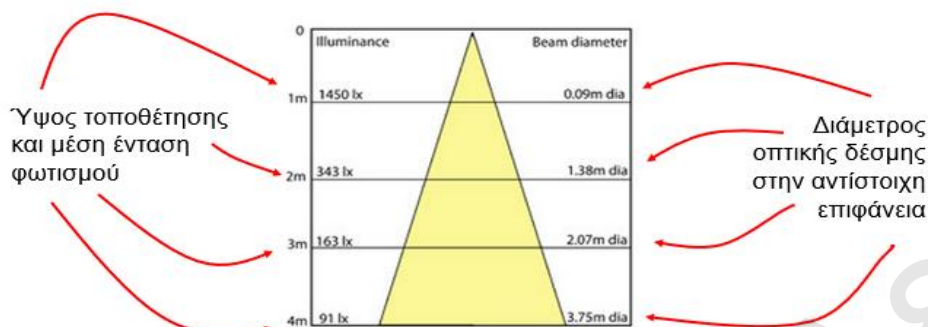
Ο μελετητής επιλέγει το φωτιστικό σώμα με τη βοήθεια του διαγράμματος κώνου. Κάθε φωτιστικό σώμα έχει ένα μοναδικό διάγραμμα κώνου. Το διάγραμμα κώνου αφορά μόνο στα φωτιστικά σώματα άμεσου φωτισμού. Παρουσιάζει το αποτέλεσμα της έντασης φωτισμού σε διάφορες επίπεδες επιφάνειες που βρίσκονται σε τυποποιημένες αποστάσεις από το φωτιστικό σώμα (*Σχήμα Γ-1*). Αποτυπώνει τα μεγέθη της μέγιστης έντασης φωτισμού, τη μέση ένταση φωτισμού και την αντίστοιχη διάμετρο του κυκλικού δίσκου που υπολογίζεται η μέση ένταση φωτισμού. Σε μικρή περίπτωση ασυμμετρίας δίνονται διαστάσεις οβάλ / ορθογώνιου σχήματος.



Σχήμα Γ-1: Διάγραμμα κώνου φωτιστικού σώματος με τα τυπικά μεγέθη που υπολογίζονται.

Στο παράδειγμα που δίνεται (*Σχήμα Γ-2*) το αντίστοιχο φωτιστικό σώμα παράγει 343lx σε απόσταση 2m από το φωτιστικό σώμα, στην επιφάνεια εργασίας με ύψος 0,8m από το δάπεδο ενός χώρου με ύψος 2,8m. Το φωτιστικό αυτό είναι κατάλληλο για χώρους όπου απαιτούνται 300lx, οπότε για αυτούς τους χώρους είναι μια κατάλληλη επιλογή. Για χώρους με απαιτήσεις 100lx είναι ακατάλληλο αφού θα υπάρχει υπερφωτισμός και υπέρβαση του 20% από το απαιτούμενο όριο φωτισμού. Επιπρόσθετα σε χώρους με απαιτήσεις 500lx θα χρειαστούν περισσότερα φωτιστικά αυτού του τύπου για την επίτευξη του συγκεκριμένου ορίου σε σύγκριση με έναν άλλο τύπο φωτιστικού σώματος που

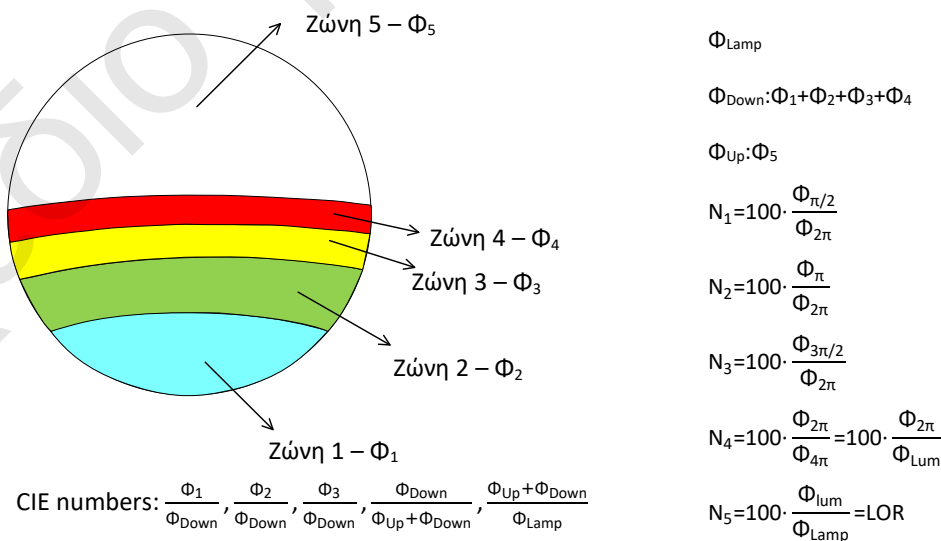
θα δίνει τιμή >500lx στο διάγραμμα κώνου στην ίδια απόσταση. Αυτό θα οδηγήσει σε υπερδιαστασιοποίηση του αριθμού των φωτιστικών σωμάτων με αποτέλεσμα το αρχικό κόστος της εγκατάστασης να είναι μεγαλύτερο.



Σχήμα Γ-2: Παράδειγμα διαγράμματος κώνου φωτιστικού σώματος.

Γ.2. Κατανομή φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά CIE 40 (Γενικός φωτισμός)

Η κατανομή της φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά CIE 40 παρουσιάζεται με 5 νούμερα ($0 \leq X_1, \dots, X_5 \leq 100$) και με την ενδεικτική μορφή: CIE 30 40 50 100 65 (Σχήμα Γ-3). Τα πρώτα 4 ψηφία έχουν αύξουσα διάταξη και παρουσιάζουν το ποσοστό της φωτεινής ροής επί της συνολικής φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος που περικλείεται σε τυποποιημένους κώνους εκπομπής του σώματος. Το πέμπτο νούμερο δίνει το συντελεστή απόδοσης του φωτιστικού σώματος (% εκπομπή φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος προς εκπομπή φωτεινής ροής αρχικής φωτεινής πηγής, LOR Light Output Ratio). Σε περιπτώσεις απόλυτης φωτομέτρησης (absolute photometry) η τιμή είναι 100, αφού το φωτιστικό σώμα έχει μετρηθεί ως ενιαία οντότητα και δεν υπάρχει πληροφορία για τη φωτεινή ροή της φωτεινής πηγής που περιλαμβάνει. Αυτός ο τρόπος είναι συχνός πλέον με τη χρήση των φωτιστικών LED, μιας και οι αρχικές πηγές LED δεν είναι ακόμα τυποποιημένες όπως ήταν παλαιότερα οι λαμπτήρες φθορισμού T8 ή T5.



Σχήμα Γ-3: Ορισμός της κατανομής της φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά CIE 40.

Για παράδειγμα ένα φωτιστικό σώμα έχει κατανομή φωτεινής ροής κατά CIE 40: CIE 48 78 95 99 70. Αυτό σε συνδυασμό με το [Σχήμα Γ-3](#) σημαίνει ότι:

- το 48% της προς τα κάτω φωτεινής ροής εκπέμπεται στη στερεά γωνία $\Omega=\pi/2$ (Zone 1),
- το 78% της προς τα κάτω φωτεινής ροής εκπέμπεται στη στερεά γωνία $\Omega=\pi$ (Zone 1 και 2),
- το 95% της προς τα κάτω φωτεινής ροής εκπέμπεται στη στερεά γωνία $\Omega=2\pi/3$ (Zone 1, 2 και 3)
- το 99% της συνολικής φωτεινής ροής του φωτιστικού εκπέμπεται προς τα κάτω (Zone 1, 2, 3 και 4)
- συμπερασματικά προς τα άνω εκπέμπεται μόνο το 1% της συνολικής ροής του φωτιστικού
- το φωτιστικό αποδίδει στο χώρο το 70% της συνολικής φωτεινής ροής των λαμπτήρων του(συντελεστής απόδοσης LOR = 70%).

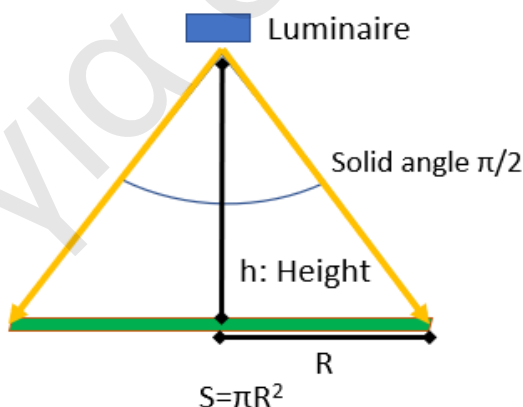
Χρησιμοποιώντας το πρώτο νούμερο της κατανομής της φωτεινής ροής φωτιστικού σώματος κατά CIE 40 υπολογίζεται η φωτεινή ροή που εκπέμπεται σε μια σταθερή στερεά γωνία $\pi/2$. Σε μια απόσταση 2m από το φωτιστικό σώμα (τυπικό ύψος γραφείου: 2,8m - τυπικό ύψος περιοχής αναφοράς: 0,8m) η περιοχή της επιφάνειας εργασίας (S) που φωτίζεται και αντιστοιχεί στη προαναφερθείσα στερεά γωνία είναι $9,767\text{m}^2$ ($\pi R^2=9,767\text{m}^2$). Με τη χρήση της σχέσης [εξ. Γ-1] μπορεί να υπολογιστεί η φωτεινή ένταση στην περιοχή αυτή.

$$E_A = \frac{\Phi}{S} \quad [\text{εξ. Γ-1}]$$

όπου E_A [lx] είναι η ένταση φωτισμού σε μια επιφάνεια

Φ [lm] είναι η φωτεινή ροή που προσπίπτει στην επιφάνεια

S [m^2] είναι το εμβαδό της επιφάνειας



Σχήμα Γ-4: Παράμετροι για τον υπολογισμό της έντασης φωτισμού E_A .

Επιπρόσθετα αν χρειάζεται έλεγχος για την κατάλληλη επιλογή του εξεταζόμενου σώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης GLI (General Lighting Index).

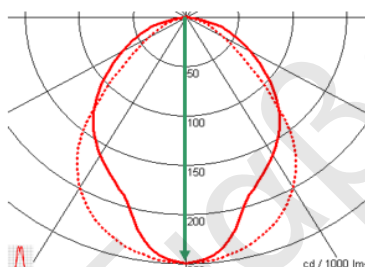
$$GLI_x = \frac{E_A}{E_x} \quad [\text{εξ. Γ-2}]$$

Ο δείκτης GLI_x ορίζεται ως ο λόγος της υπολογιζόμενης έντασης φωτισμού E_A ενός φωτιστικού σώματος χρησιμοποιώντας την παραπάνω μέθοδο ως προς την τιμή στόχο έντασης φωτισμού E_x για μια περιοχή. Ένα φωτιστικό σώμα μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό

όταν ο δείκτης κυμαίνεται $1 < GLI_x < 1,2$. Εάν η τιμή είναι μικρότερη από 1, τότε απαιτείται πυκνότερο πλέγμα φωτιστικών με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός φωτιστικών. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φωτιστικών που απαιτούνται. Εάν η τιμή GLI_x είναι μεγαλύτερη από 1,2 ο χώρος θα είναι υπερφωτισμένος.

Γ.3.Χρήση πολικού διαγράμματος και σημειακός υπολογισμός (φωτισμός επιφάνειας εργασίας)

Η κατανομή της φωτεινής έντασης (cd) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της έντασης φωτισμού (lx) σημειακά, με τη χρήση του φωτομετρικού νόμου του αντιστρόφου του τετραγώνου της απόστασης. Κάθε φωτιστικό έχει μια μοναδική κατανομή φωτισμού (περιλαμβάνεται στα φωτομετρικά αρχεία τύπου *.ldt, *.ies και στους έντυπους ή ηλεκτρονικούς καταλόγους των εταιριών φωτισμού), όπως και το διάγραμμα κώνου. Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα Γ-5) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εξαγωγής των απαραίτητων στοιχείων για τη χρήση τους στην σχέση [εξ. Γ-3].



Πράσινο διάνυσμα 250 cd ανά 1000lm για γωνία $\gamma = 0^\circ$

Για 10.000 lumen λαμπτήρα,
 $I = 250 \text{cd} \times 10.000 \text{lm} / 1000 \text{lm} = 2.500 \text{cd}$

$$E_B = \frac{I}{h^2}$$

Σε απόσταση $h = 2$ μέτρα, $E_B = 625 \text{ lux}$

Σχήμα Γ-5: Παράδειγμα υπολογισμού της σημειακής έντασης φωτισμού στο σημείο ακριβώς κάτω από το φωτιστικό σώμα (γωνία $\gamma = 0^\circ$).

$$E_B = \frac{I}{h^2}$$

[εξ. Γ-3]

όπου E_B [lx] είναι η σημειακή ένταση φωτισμού (lx) για το σημείο ακριβώς κάτω από το φωτιστικό σώμα (γωνία $\gamma = 0^\circ$),

I [cd] είναι η φωτεινή ένταση για γωνία $\gamma = 0^\circ$,

h [m] το ύψος του φωτιστικού από το επίπεδο αναφοράς το οποίο λαμβάνεται ίσο με $h = 2 \text{m}$ (τυπικό ύψος γραφείου: 2,8m-τυπικό ύψος της περιοχής αναφοράς: 0,8m)

Επιπρόσθετα αν χρειάζεται έλεγχος για την κατάλληλη επιλογή του εξεταζόμενου σώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης TLI (Task Lighting Index). Ο δείκτης TLI_x [εξ. Γ-4] ορίζεται ως ο λόγος της υπολογιζόμενης σημειακής έντασης φωτισμού E_B όπως υπολογίζεται από την [εξ. Γ-3] ενός φωτιστικού σώματος προς την τιμή στόχο έντασης φωτισμού E_x για μια περιοχή.

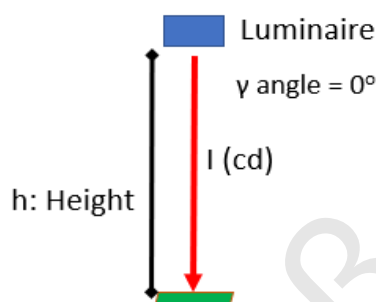
$$TLI_x = \frac{E_B}{E_x} \quad [\text{εξ. Γ-4}]$$

όπου $TLI_x [-]$ ο δείκτης φωτιστικού σώματος

$E_B [lx]$ η υπολογιζόμενη σημειακή ένταση φωτισμού [εξ. Γ-3]

$E_x [lx]$ ο στόχος έντασης φωτισμού για μια περιοχή.

Η ένταση φωτισμού E_B είναι για ένα σημείο κάτω από το εγκατεστημένο φωτιστικό (Σχήμα Γ-6), όταν αυτό χρησιμοποιείται για φωτισμό επιφάνειας εργασίας.



Σχήμα Γ-6: Παράμετροι για τον υπολογισμό της έντασης φωτισμού E_B .

Ένα φωτιστικό ορίζεται ως κατάλληλο φωτιστικό για ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό όταν ο δείκτης κυμαίνεται $1 \leq TLI_x \leq 1,2$. Όπως παραπάνω, απαιτείται πυκνότερο πλέγμα φωτιστικών όταν $TLI_x < 1$ και εάν $TLI_x > 1,2$ το σύστημα φωτισμού θα έχει υπερφωτισμό. Γενικά, ο μελετητής θα πρέπει να γνωρίζει ότι η επιλογή του φωτιστικού σώματος είναι πρώτιστης σημασίας και ότι μέσα στη πληθώρα των φωτιστικών σωμάτων η επιλογή ενός κατάλληλου φωτιστικού μπορεί να βρίσκεται στο 15% ή 40% του συνόλου τους ανάλογα το σχεδιασμό, γενικός φωτισμός ή φωτισμός επιφανειών εργασίας και τα επιθυμητά όρια (π.χ. 300lx, 500lx κ.λπ.). Χρησιμοποιώντας μια βάση δεδομένων 10.000 φωτιστικών και έναν ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό για γενικό φωτισμό ($1 < TLI_x < 1,2$), το 85,2% των φωτιστικών δεν πληροί τις προϋποθέσεις για την επίτευξη 300lx και 95,2% για την επίτευξη 500lx. Τα αντίστοιχα ποσοστά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο για φωτισμό εργασίας ($1 < TLI_x < 1,2$) είναι 61,4% και 87,4%.



Σχήμα Γ-7: Καταλληλότητα 10.000 εξεταζόμενων φωτιστικών σωμάτων (Βάση δεδομένων, 2018) για την ενεργειακή τους απόδοση στο σχεδιασμό φωτισμού για απαιτήσεις 300lx και 500lx για γενικό φωτισμό (αριστερά) και φωτισμό επιφάνειας εργασίας (δεξιά). Το κίτρινο εμβαδό περιλαμβάνει το σύνολο των κατάλληλων φωτιστικών για επίπεδο φωτισμού 300lx και το μπλε εμβαδό το σύνολο των φωτιστικών για 500lx.

Παράρτημα Δ: Ανακλαστικότητα συνήθων υλικών

Για μεγαλύτερη ακρίβεια υπάρχουν μεθοδολογίες μέτρησης της ανακλαστικότητας επιφανειών. Από τις πλέον απλές πραγματοποιείται με την χρήση ενός φωτόμετρου με το οποίο πραγματοποιούνται δύο μετρήσεις:

- α) μια με το φωτόμετρο να «στρέφεται» προς την επιφάνεια μέτρησης σε απόσταση ~20cm και
- β) μια με το φωτόμετρο στην επιφάνεια να δέχεται φωτισμό από τον χώρο.

Η διαίρεση των δύο τιμών μπορεί να προσεγγίσει την ανακλαστικότητα.

Άλλες μεθοδολογίες είναι αυτές στις οποίες δίπλα στην επιφάνεια τοποθετούνται κάρτες με γνωστές τιμές ανακλαστικότητας (CIBSE color chart, RAL color fan). Η ακρίβεια των προαναφερθέντων μεθοδολογιών είναι ~10% ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας που εξετάζεται.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι ενδεικτικές τιμές που δίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας Δ-1: Πίνακας εύρους τιμών ανακλαστικότητας ανά υλικό ή χρώμα για την περιοχή του ορατού.

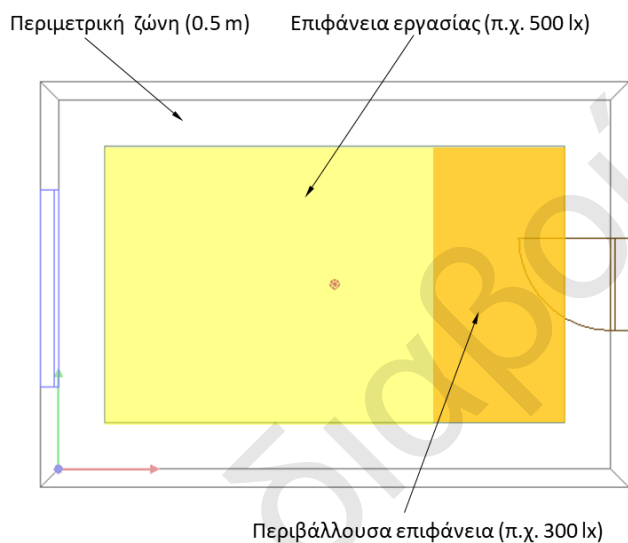
Υλικό	Ενδεικτικές τιμές ανακλαστικότητας στην περιοχή του ορατού [%]
Επιστρώσεις αλουμινίου, ματ	55 - 56
Αλουμίνιο, ανοδιωμένο, ματ	80 - 85
Αλουμίνιο, ματ	55 - 75
Αλουμίνιο, γυαλισμένο	65 - 75
Αλουμίνιο, καθαρό, εξαιρετικά γυαλισμένο	80 - 87
Κόκκινο τούβλο	10 - 15
Χρώμιο, γυαλισμένο	60 - 70
Σκυρόδεμα, τραχύ	20 - 30
Χαλκός, εξαιρετικά γυαλισμένος	70 - 75
Γρανίτης	20 - 25
Λάκα, καθαρό λευκό	80 - 85
Ασβεστόλιθος	35 - 55
Μάρμαρο, γυαλισμένο	30 - 70
Νικέλιο, εξαιρετικά γυαλισμένο	50 - 60
Δρύινη επιφάνεια, ελαφριά γυαλισμένη	25 - 35
Χρώμα/βαφή, καφέ	20 - 30
Χρώμα/βαφή, σκούρο μπλε	5 - 20
Χρώμα/βαφή, σκούρο πράσινο	15 - 20
Χρώμα/βαφή, ανοιχτό πράσινο	40 - 55
Χρώμα/βαφή, ανοιχτό κίτρινο	60 - 70
Χρώμα/βαφή, μεσαίο γκρι	25 - 35

Υλικό	Ενδεικτικές τιμές ανακλαστικότητας στην περιοχή του ορατού [%]
Χρώμα/βαφή, σκούρο γκρι	10 - 30
Χρώμα/βαφή, λευκό	70 - 90
Χρώμα/βαφή, μαύρο	3 - 7
Χαρτί, λευκό	70 - 80
Γύψος, σκούρος	15 - 25
Γύψος	40 - 45
Κόντρα πλακέ, τραχύ	25 - 40
Αμμόπετρα	20 - 40
Ασημένιος καθρέφτης, πίσω από γυαλί	80 - 88
Ανοξείδωτο ατσάλι	50
Υαλώδες σμάλτο, λευκό	65 - 75
Δρύς	40 - 50
Γρασίδι	14 - 37
Καρυδιά	15

Παράρτημα Ε: Παραδείγματα

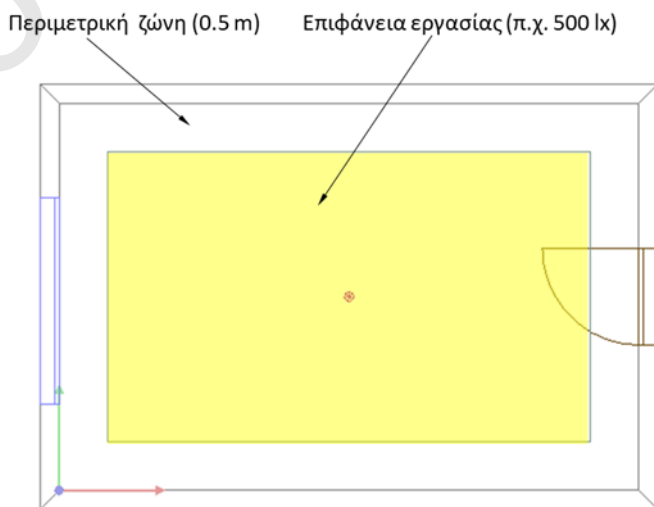
Ε.1. Καθορισμός επιφανειών φωτισμού

Αν η περιοχή τοποθέτησης των γραφείων είναι γνωστή (όχι όμως με ακρίβεια δηλ. συγκεκριμένες θέσεις) τότε μπορεί να σχεδιαστεί ένα σύστημα φωτισμού που παρέχει ένα γενικό επίπεδο φωτισμού (π.χ. 300lx) ενώ στην επιφάνεια εργασίας (δηλ. στα γραφεία) θα παρέχονται 500lx. Αυτή η περίπτωση διαχωρισμού παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η περιμετρική ζώνη (πλάτους 0,5m) την οποία δεν λαμβάνουμε υπόψη στους υπολογισμούς. Λόγω του μικρού μεγέθους του χώρου δεν μπορεί να οριστεί επιφάνεια υποβάθρου.



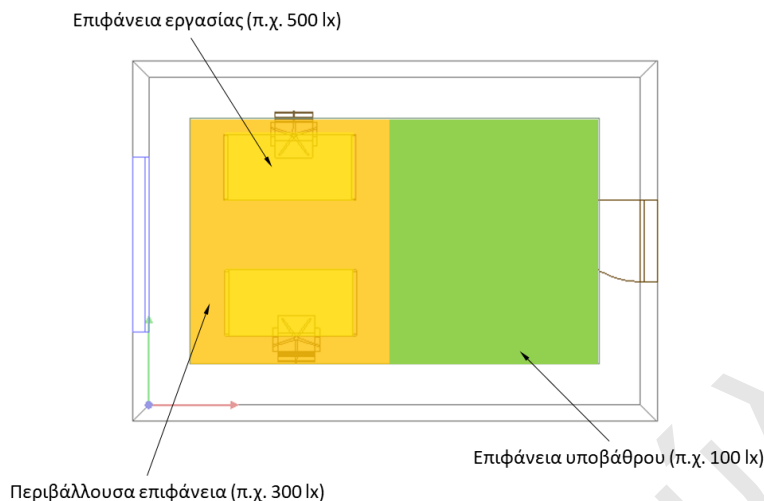
Σχήμα Ε-1: Χώρος γραφείου με γνωστή τη περιοχή τοποθέτησης των θέσεων εργασίας.

Προφανώς στην περίπτωση που η τοποθέτηση των θέσεων εργασίας δεν μπορεί να εκτιμηθεί, η επιφάνεια εργασίας καλύπτει ολόκληρο τον χώρο, αφήνοντας όμως πάλι μια περιμετρική περιοχή πλάτους 0,5m. Η μόνη περίπτωση να μην χρησιμοποιηθεί περιμετρική περιοχή είναι να έχουν τοποθετηθεί εκεί θέσεις εργασίας, οπότε αναγκαστικά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί υπολογισμός. Η περίπτωση αυτή παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα Ε-2: Χώρος γραφείου με άγνωστη τη θέση τοποθέτησης των θέσεων εργασίας.

Στην περίπτωση που είναι γνωστή όμως η ακριβής θέση των περιοχών εργασίας τότε μπορεί ο χώρος θα διαιρεθεί στις τρεις προαναφερθείσες περιοχές όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα Ε-3: Χώρος γραφείου με γνωστή την θέση τοποθέτησης των γραφείων.

Ε.2. Εκτίμηση L_{xx} LED για διαφορετικά ποσοστά απομείωσης της φωτεινής τους ροής

Έστω ένας κατασκευαστής φωτιστικών σωμάτων LED δίνει διάρκεια ζωής στο L_{70} 100.000h ενώ ο μελετητής χρειάζεται να γνωρίζει το L_{90} για να εκτιμήσει την ωφέλιμη διάρκεια ζωής των φωτιστικών. Με βάση το Σχήμα Ε-7 ο μελετητής ανατρέχει στην αρχική συνθήκη (L_{70} 100.000h) και στη συνέχεια μεταφέρεται στην ίδια γραμμή μέχρι να συναντήσει την επιθυμητή στάθμη φωτισμού που έχει πραγματοποιήσει τον υπολογισμό του συντελεστή συντήρησης f_m . Για συντελεστή συντήρησης $f_m = 0,80$ η απαιτούμενη τιμή L_{xx} είναι η L_{90} . Οι ώρες για το L_{90} που χρειάζεται ο μελετητής είναι 30.000h εντοπίζοντας την κατάλληλη στήλη. Μετά από αυτήν την τιμή ωρών (30.000h) η εγκατάσταση θα είναι υποφωτισμένη και ο ιδιοκτήτης θα πρέπει να αντικαταστήσει τις φωτεινές πηγές του φωτιστικού ή το ίδιο το φωτιστικό αν οι πηγές LED είναι ενσωματωμένες και δεν μπορούν να αντικατασταθούν. Για μελέτη με $f_m = 0,70$ θα χρειαζόταν το L_{80} , η διάρκεια ζωής εκτιμάται ίση με περίπου 63.000h (γραμμική παρεμβολή για τις τιμές των στηλών για 50000h και 70000h).

Διάρκεια ζωής L_x		Τιμές f_{LF}			
Ώρες	x	15.000	30.000	50.000	70.000
50.000	70	0,90	0,7	0,70	-
	80	0,94	0,7	0,80	-
	90	0,97	0,4	0,90	-
70.000	70	0,93	0,6	0,78	0,70
	80	0,95	0,1	0,85	0,80
	90	0,98	0,6	0,93	0,90
100.000	70	0,99	0,90	0,94	0,78
	80	0,97	0,94	0,89	0,86
	90	0,98	0,97	0,95	0,93

Σχήμα Ε-4: Παράδειγμα, εάν ο κατασκευαστής των φωτιστικών δίνει L_{70} 100.000h, οι ώρες για το L_{90} που χρειάζεται ο μελετητής είναι 30.000h.

Ε.3. Υπολογισμός του δείκτη UGR

Έστω ο χώρος του σχήματος που ακολουθεί, με διαστάσεις 2,8 m ύψος, 6m μήκος και 4m πλάτος. Το ύψος των ματιών του καθιστού παρατηρητή για τους εσωτερικούς χώρους είναι στο 1,2m από το δάπεδο. Οπότε η απόσταση H ανάμεσα στο ύψος των ματιών του παρατηρητή και του κάτω μέρους των φωτιστικών σωμάτων είναι $H = 1,6m$. Η απόσταση H ορίζεται με το κάτω μέρος των φωτιστικών και όχι της οροφής, γιατί μπορεί να υπάρξει τοποθέτηση φωτιστικών με κρέμαση. Οι διαστάσεις του χώρου υπολογίζονται με πολλαπλάσια του H. Έτσι για τη διάσταση X έχουμε $6m / 1,6m \rightarrow 3,75$ φορές η απόσταση H και με στρογγυλοποίηση έχουμε 4H. Αντίστοιχα για το Y έχουμε 3H.

Οπότε α) ανάλογα πως παρατηρεί ο χρήστης το φωτιστικό, εγκάρσια ή παράλληλα, χρησιμοποιούμε το Α ή το Β μέρος του πίνακα, β) για τις τιμές ανακλαστικότητας του χώρου επιλέγουμε την κατάλληλη στήλη και γ) τέλος ανάλογα τις διαστάσεις του χώρου (σε αναλογίες του H) επιλέγουμε τη σειρά. Η τιμή που τέμνει τη στήλη και τη σειρά είναι η τιμή UGR που αντιστοιχεί στον υπό μελέτη χώρο.

Στο παρακάτω παράδειγμα ο παρατηρητής κάθεται στην πλευρά του τοίχου με τη μικρότερη διάσταση (4m), και το οπτικό του πεδίο είναι παράλληλο στον άξονα του φωτιστικού. Συνεπώς η τιμή του UGR βρίσκεται στην δεξιά πλευρά του πίνακα του φωτιστικού (οπτική κατεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα του λαμπτήρα, Β Μέρος) και για X, Y όπως φαίνονται στο προηγούμενο σχήμα (4H, 3H) η τιμή του UGR είναι 13,8.



$$X=6m, Y=4m, H=1,6m$$

Ανακλαστικότητες 70/50/20

$$X=6/1,6=3,75 \rightarrow 4H$$

$$Y=4/1,6=2,50 \rightarrow 3H$$

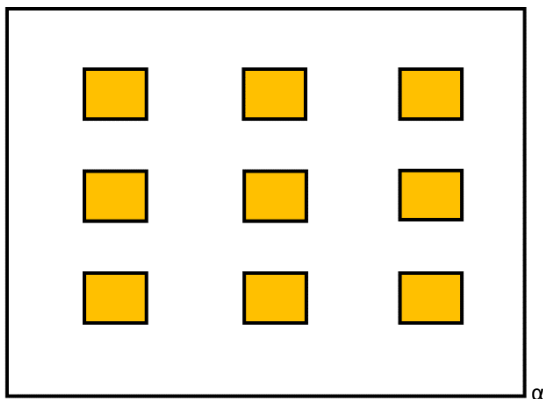
Σχήμα Ε-5: Υπολογισμός των διαστάσεων, για χρήση στον πίνακα υπολογισμού του δείκτη UGR.

Τιμές UGR									SHR=0,25		
ρ Οροφή		70	70	50	50	30	70	50	50	30	
ρ Τοίχοι		50	30	50	30	30	50	30	30	30	
ρ Δάπεδο		20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Μέγεθος Χώρου		Α Μέρος					Β Μέρος				
Χ	Υ	Οπτική κατεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα του φωτιστικού					Οπτική κατεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα του φωτιστικού				
2H	2H	13,3	14,1	14,3	15,1	16,3	14,2	15,0	15,1	15,9	17,2
	3H	13,1	13,8	14,1	14,8	16,1	14,0	14,7	14,9	15,7	16,9
	4H	13,0	13,7	14,0	14,7	15,9	13,9	14,5	14,9	15,5	16,8
	6H	13,0	13,6	13,9	14,5	15,8	13,8	14,4	14,8	15,4	16,7
	8H	12,9	13,5	13,9	14,5	15,7	13,7	14,3	14,7	15,3	16,6
	12H	12,8	13,4	13,8	14,4	15,7	13,7	14,2	14,6	15,2	16,5
4H	2H	13,2	13,9	14,2	14,9	16,1	14,0	14,7	15,0	15,6	16,9
	3H	13,0	13,6	14,0	14,6	15,8	13,8	14,4	14,8	15,3	16,6
	4H	13,0	13,4	14,0	14,4	15,7	13,7	14,	14,7	15,2	16,5
	6H	12,8	13,3	13,9	14,3	15,6	13,6	14,0	14,6	15,0	16,4
	8H	12,8	13,2	13,8	14,2	15,5	13,5	14,0	14,6	15,0	16,3
	12H	12,8	13,1	13,8	14,1	15,5	13,5	13,9	14,5	14,9	16,2
8H	4H	12,8	13,2	13,8	14,2	15,5	13,5	13,9	14,6	15,0	16,3
	6H	12,6	13,0	13,7	14,0	15,3	13,4	13,7	14,4	14,8	16,1
	8H	12,7	12,9	13,7	14,0	15,3	13,4	13,7	14,5	14,7	16,1
	12H	12,6	12,8	13,5	13,9	15,2	13,3	13,6	14,4	14,6	16,0
12H	4H	12,7	13,1	13,8	14,1	15,5	13,5	13,9	14,5	14,9	16,2
	6H	12,6	12,9	13,7	14,0	15,3	13,4	13,7	14,5	14,7	16,1
	8H	12,6	12,8	13,6	13,9	15,2	13,3	13,3	14,4	14,6	16,0

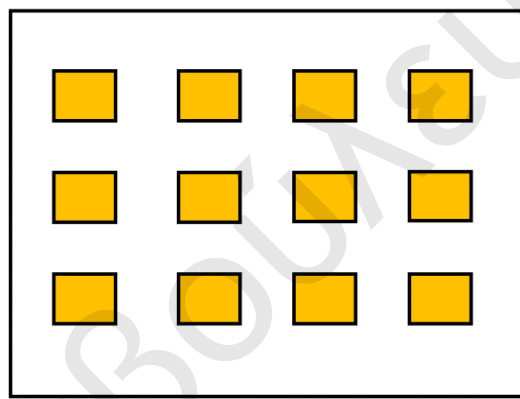
Σχήμα Ε-6: Πίνακας δήλωσης UGR του φωτιστικού σώματος του παραδείγματος

Ε.4. Μείωση της κατανάλωσης λόγω ύπαρξης συστήματος διατήρησης της φωτεινής ροής

Παρότι στις μικρότερες τιμές του συντελεστή συντήρησης υπάρχει υψηλότερο δυναμικό για εξοικονόμηση με αυτή τη μέθοδο, η χρήση μεγάλων τιμών συντελεστή συντήρησης οδηγεί σε μικρότερη αρχική εγκατεστημένη ισχύ κατά το σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού. Αυτή η τεχνική προϋποθέτει το βέλτιστο αρχικό σχεδιασμό του συστήματος φωτισμού και επιλογή του συντελεστή συντήρησης.



α



β

$$f_m=0,8$$

Ισχύς συστήματος με f_m 0,8: $P=100W$

$$F_c=(1+0,80)/2=0,90$$

Καταναλισκόμενη ενέργεια για λειτουργία 1.000h:
 $W=100W \times 1.000h \times 0,9=90kWh$

(α) Απαιτούμενος αριθμός φωτιστικών σωμάτων για επίπεδα φωτισμού 500lx με συντελεστή συντήρησης 0,8

$$f_m=0,7$$

Ισχύς συστήματος με f_m 0,7: $P=114,3W$

$$F_c=(1+0,70)/2=0,85$$

Καταναλισκόμενη ενέργεια για λειτουργία 1.000h:
 $W=114,3W \times 1.000h \times 0,85=97kWh$

(β) Απαιτούμενος αριθμός φωτιστικών σωμάτων για επίπεδα φωτισμού 500lx με συντελεστή συντήρησης 0,7

Σχήμα Ε-7: Παράδειγμα μείωσης της κατανάλωσης λόγω ύπαρξης συστήματος διατήρησης της φωτεινής ροής.

Βιβλιογραφία

1. prEN 12464-1:2019, Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places
2. EN 12464-1:2011, Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places
3. EN 12464-2:2014, Lighting of work places - Part 2: Outdoor work places
4. PD CEN/TS 17165:2008, Light and lighting – Lighting system design process
5. EN 17037:2018, Daylight in buildings
6. EN 15193-1:2017, Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 1: Specifications, Module M9
7. CEN/TR 15193-2: 2017, Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting - Part 2: Explanation and justification of EN 15193-1, Module M9
8. CEN/TS 16163: 2014, Conservation of cultural heritage-Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions
9. EN 12193:2007, Light and lighting - Sports lighting
10. EN 1838:2013, Lighting applications. Emergency lighting
11. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (SI Edition)
12. ANSI/ASHRAE/ICC/USGBC/IES Standard 189.1-2017, Standard for the Design of High-Performance Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
13. ISO/CIE 20086:2019, Light and lighting — Energy performance of lighting in buildings
14. ISO/CIE TS 22012:2019, Light and lighting — Maintenance factor determination — Way of working
15. IEC TR 61547-1:2017, Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements - Part 1: An objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method
16. CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models
17. CIE 157:2004, Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation
18. Commission Regulation (EU) 2019/2020 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for light sources and separate control gears pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) No 244/2009, (EC) No 245/2009 and (EU) No 1194/2012
19. Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 of 12 July 2012 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of electrical lamps and luminaires

20. IEEE 1789:2015, Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers
21. ISO 8995-1:2002, Lighting of work places — Part 1: Indoor
22. ISO/CIE 8995-3:2018, Lighting of work places — Part 3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work places
23. ISO 10916:2014, Calculation of the impact of daylight utilization on the net and final energy demand for lighting
24. IES LM 83:2012, Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) And Annual Sunlight Exposure (ASE)
25. CIE 171:2006, Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs
26. EN 13201-1-5: Road lighting
27. IES TM-21-11:2011, Projecting Long Term Lumen Maintenance Of LED Light Sources
28. CIE 097:2005, Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems
29. ISO 11799:2015, Information and documentation — Document storage requirements for archive and library materials
30. EN 12665:2018, Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements
31. CEN/TR 16791:2017, Quantifying irradiance for eye-mediated non-image-forming effects of light in humans
32. DIN SPEC 67600:2013, Biologically effective illumination - Design guidelines
33. DIN SPEC 5031-100:2015, Optical radiation physics and illuminating engineering - Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings - Quantities, symbols and action spectra
34. CIE S 026/E:2018, CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light
35. CIE 040:1978, Calculations for interior lighting: Basic method
36. David L. DiLaura, Kevin W. Houser, Richard G. Mistrick, Gary R. Steffy (2011) The Lighting Handbook-Reference and Application, Illuminating Engineering Society, 10th ed
37. Φ. Τοπαλής, Λ. Οικονόμου (2014), Φωτοτεχνία, Εκδόσεις Τζιόλα
38. Αρ. Τσαγκρασούλης (2016), Φυσικός Φωτισμός, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα
39. Λάμπρος Θ. Δούλος, (2013) “Ορθολογική σχεδίαση εγκαταστάσεων φωτισμού και εξοικονόμηση ενέργειας” Τόμος Γ΄ του Μεταπτυχιακού προγράμματος Σχεδιασμός Φωτισμού – Πολυμέσα στη Θεματική Ενότητα ΣΦΠ60, της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο ISBN: 978-960-538-932-1

40. Robert Karlicek, Ching-Cherng Sun, Georges Zissis, Ruiqing Ma (editors) (2017), Handbook of Advanced Lighting Technology, Springer
41. Topalis F.T. and Doulos L., Chapter “Ambient Light Sensor Integration” (pp 607-634) Book: “Handbook of Advanced Lighting”, Technology Springer International Publishing Switzerland 2016, Editors R. Karlicek, Ching-Cherng Sun, Georges Zissis, Ruiqing Ma, DOI 10.1007/978-3-319-00295-8_33-1
42. The Society of Light and Lighting (2009) The SLL Lighting Handbook, CIBSE
43. <https://standard.wellcertified.com/light>
44. <https://www.licht.de/en/>
45. <https://www.usgbc.org/leed>
46. <https://reluxnet.relux.com/en/>
47. <https://www.dial.de/en/dialux/>
48. <https://task50.iea-shc.org/>
49. <https://www.lrc.rpi.edu/programs/lightHealth/index.asp>, Lighting Research Center
50. http://www.lrc.rpi.edu/resources/CircadianStimulusCalculator_30Apr2016.xlsx Υπολογισμός του δείκτη CS, Lighting Research Center
51. Λ.Θ. Δούλος, «Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης προσαρμογής του τεχνητού φωτισμού με στόχο τη βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού», Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010
52. Doulos L.T., A. Tsangrassoulis, E.N. Madias, S. Niavis, A. Kontadakis, P.A. Kontaxis, V.T. Kontargyri, K. Skalkou, F. Topalis, E. Manolis, M. Sinou and S. Zerefos, Examining the impact of daylighting and the corresponding lighting controls to the users of office buildings, *Energies* 2020, 13, 4024, <https://doi.org/10.3390/en13154024>
53. L.T.Doulos, A. Kontadakis, E.N.Madias, M. Sinou, A. Tsangrassoulis Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems, *Energy and Building*, 194, (2019), 201-217, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.033>
54. Kontadakis, A. Tsangrassoulis, L. Doulos, S. Zerefos, A Review of Light Shelf Designs for Daylit Environments, *Sustainability* (2018), 10 (1), 71 doi:10.3390/su10010071
55. E.N.D.Madias, L.T. Doulos, P.A. Kontaxis, F.V. Topalis, A decision support system for techno-economic evaluation of indoor lighting systems with LED luminaires, *Operational Research*, 1-20, (2019) <https://doi.org/10.1007/s12351-019-00485-1>
56. L.T. Doulos, A. Tsangrassoulis, P.A. Kontaxis, A. Kontadakis, F.V. Topalis, Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming, *Energy and Buildings*, 140, (2017) pp. 336-347 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.013>

57. A. Tsangrassoulis, A. Kontadakis, L. Doulos, Assessing Lighting Energy Saving Potential from Daylight Harvesting in Office Buildings Based on Code Compliance & Simulation Techniques: A Comparison, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 38, 2017, 420-427, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.127>
58. L. Doulos, A. Tsangrassoulis and F. Topalis, Multi-criteria decision analysis to select the optimum position and proper field of view of a photosensor, *Energy Conversion and Management*, 86 (2014) 1069–1077 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.06.032>
59. Kontadakis, A. Tsangrassoulis, L. Doulos, F. Topalis, An active sunlight redirection system for daylight enhancement beyond the perimeter zone, *Building and Environment*, 113, 15 February 2017, Pages 267-279 <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.029>
60. L. Doulos, A. Tsangrassoulis and F. Topalis, The role of spectral response of photosensors in daylight responsive systems, *Energy and Buildings*, 40 (2008) 588–599 [doi:10.1016/j.enbuild.2007.04.010](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.010)
61. L. Doulos, A. Tsangrassoulis and F. Topalis, Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts“, *Energy and Buildings*, 40 (2008) 36–50 [doi:10.1016/j.enbuild.2007.01.019](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.019)
62. A. Tsangrassoulis, L. Doulos, M. Santamouris, M. Fontoynt, F. Maamari, M. Wilson, A. Jacobs, J. Solomon, A. Zimmerman, W. Pohl, G. Mihalakakou, “On the energy efficiency of a prototype hybrid daylighting system“, *Solar Energy*, Volume 79, Issue 1, July 2005, Pages 56-64 [doi:10.1016/j.solener.2004.09.014](https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.09.014)
63. Mantzourani, K., Doulos, L.T., Kontadakis, A., Tsangrassoulis, A., “The effect of the daylight zone on lighting energy savings“, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 410, Issue 1, 24 January 2020, Article number 012099, Sustainability in the Built Environment for Climate Change Mitigation, SBE 2019; Thessaloniki; Greece; 23 October 2019 through 25 October 2019; Code 157496, DOI: 10.1088/1755-1315/410/1/012099
64. Tsangrassoulis, A. Kontadakis, L. Doulos, “Assessing Lighting Energy Saving Potential from Daylight Harvesting in Office Buildings Based on Code Compliance & Simulation Techniques: A Comparison“, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 38, 2017, 420-427, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.127>
65. E. Manolis, L. T. Doulos, S. Niavis and L. Canale, "The impact of energy efficiency indicators on the office lighting planning and its implications for office lighting market," 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Genova, Italy, June 11th-14th 2019, pp. 1-6. [doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783856](https://doi.org/10.1109/EEEIC.2019.8783856)
66. L. Doulos, E.K. Panagiotopoulou, S. Taliantzis, S. Edirneli, A. Mehmet, I. Fotiadis, M. Gkika, A. Konstantinidis, I. Perente, D. Dardabounis and G. Labiris, “Lighting needs of patients that underwent pseudophakic presbyopic corrections. A theoretical approach“, 34th International Congress of the Hellenic Society of Intraocular Implant and Refractive Surgery, on 7-10 July 2020, Athens, Greece

67. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, 3(1), 7-31
68. Wienold J., "Dynamic Daylight Glare Evaluation", 11th International IBPSA Conference, 2009

© Πρώτη έκδοση Τεχνικής Οδηγίας Τ.Ε.Ε. 20701-7: «Τεχνητός και Φυσικός Φωτισμός Κτιρίων»,
Απρίλιος 2021 - Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας