



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ
ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ
ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΟΛΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ ΠΑΝΤΗ ΑΓΓΕΛΟΥ

ΧΑΝΙΑ, ΜΗΝΑΣ, 2023

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ
ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ
ΣΚΟΠΟ ΤΗΝ ΟΛΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ ΠΑΝΤΗ ΑΓΓΕΛΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Τσούτσος Θεοχάρης (Επιβλέπων)

Κολοκοτσά Διονυσία

Βουλγαράκης Απόστολος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καταλαμβάνοντας ένα μεγάλο ποσοστό του ενεργειακού ισοζυγίου – ιδιαίτερα σε χώρους εργασίας – η κατανάλωση των συστημάτων τεχνητού φωτισμού κερδίζει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον των μελετητών, στα πλαίσια της ενεργειακής εξοικονόμησης. Εξάλλου, ο στόχος της κλιματικής ουδετερότητας στις επόμενες δεκαετίες αλλά και η σύγχρονη ενεργειακή κρίση, καθιστούν το θέμα του σχεδιασμού χώρων υψηλής απόδοσης πιο κρίσιμο από ποτέ.

Στη παρούσα μελέτη εξετάζεται η δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορους χώρους εργασίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, μέσω της αναβάθμισης του υπάρχοντος συστήματος φωτισμού και της ποσοτικοποίησης των δυνητικών ενεργειακών κερδών στο ενδεχόμενο εγκατάστασης συστημάτων ελέγχου φυσικού φωτισμού. Για κάθε δράση αναβάθμισης εκτιμάται η ετήσια μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η μοντελοποίηση των χώρων και του φωτιστικού περιβάλλοντος πραγματοποιείται στο λογισμικό DIALux.evo 12 (EN12464 – 1:2021). Η προσομοίωση έγινε σε χώρο γραφείου, εργαστηρίου, αίθουσας διαλέξεων και διαδρόμου. Όσον αφορά τον τεχνητό φωτισμό, εξετάζονται δυο διαφορετικές πρακτικές για τη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος. Η πρώτη αφορά την απλή αντικατάσταση των υφιστάμενων λαμπτήρων φθορισμού με νέους λαμπτήρες υψηλής απόδοσης (LED). Η δεύτερη εξετάζει την αντικατάσταση ολόκληρων των φωτιστικών σωμάτων και την εκ νέου χωροθέτηση τους βάσει της τρέχουσας χρήσης και διαμόρφωσης του χώρου. Δημιουργώντας ζώνες χρήσης για κάθε εσωτερικό χώρο, η φωτεινή ροή διοχετεύεται όπου και όσο χρειάζεται (task tuning).

Για κάθε επέμβαση στο σύστημα τεχνητού φωτισμού εξασφαλίζεται ότι, ταυτόχρονα με τα απαιτούμενα όρια έντασης φωτισμού (lux) σε κάθε επιφάνεια εργασίας, ικανοποιούνται και οι συνθήκες οπτικής άνεσης. Εξεταζόμενες παράμετροι οπτικής άνεσης είναι η θάμβωση δυσφορίας (UGR) και η ομοιομορφία (U_o).

Διαμορφώνοντας το προφίλ χρήσης κάθε χώρου υπολογίζεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας, το ενεργειακό κόστος, οι ετήσιες εκπομπές CO₂ και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας αξιοποιώντας βέλτιστα τα ηλιακά κέρδη.

Στη πρώτη δράση, το ποσοστό εξοικονόμησης υπολογίζεται 62%. Με την αξιοποίηση του φυσικού φωτός αυτό το ποσοστό μπορεί να φτάσει μέχρι και 80%, ανάλογα τον εξεταζόμενο χώρο. Η δεύτερη δράση επιτυγχάνει μια μέση εξοικονόμηση μεγαλύτερη από 70%, ενώ η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός μπορεί να οδηγήσει σε ποσοστά της τάξης 90%.

ABSTRACT

As lighting systems consume a large percentage of the energy balance of buildings – especially in workplaces – their consumption has increasingly gained importance among researchers within the framework of energy conservation. In addition, the goal of climate neutrality by 2050, as well as the current energy crisis, make the design of high-performance spaces more critical than ever.

This study investigates the potential for energy savings in the internal lighting system of different workspaces at the Technical University of Crete. To ensure the maximization of energy efficiency, the methodology considers both the upgrade of the existing artificial lighting system and the potential energy gains that can be achieved through the utilization of daylight. The reduction of CO₂ emissions (kg/y) is also estimated.

Space and lighting environment are modeled using DIALux.evo 12 software (EN12464-1:2021). The simulation examined different types of spaces, such as office space, laboratory, lecture hall, and corridors. Regarding artificial lighting, two individual practices are examined to reduce the installed power. The first one involves the replacement of existing fluorescent lamps with new high-efficacy LED. In the second one, the entire lighting fixtures are replaced, and a new installation location is proposed (according to the current space use), to reduce the installed power while maintaining the required illumination intensity on each surface. Defining activity zones in every workspace, luminous flux is directed in accordance with the specific needs of each area.

For every modification implemented in the artificial lighting system, it is ensured that the visual comfort conditions are not disrupted. This objective is accomplished by providing the recommended luminous flux (EN12464-1:2021) and also maintaining the discomfort glare rating (UGR) and uniformity (U_o) within the recommended limits.

Determining the occupancy schedule for every space, DIALux calculates the annual energy consumption and cost, annual CO₂ emissions, and potential energy savings by utilizing natural lighting for each case.

The high percentages of energy savings (62%) come as no surprise, considering the remarkable efficacy difference between the old and new lamps. Daylight harvesting can elevate this percentage to 80%. What is particularly interesting is the further reduction in consumption, achieved by strategically distributing the light intensity based on the usage profile of each space and surface. In that case, the average conservation exceeds 70%, while the utilization of natural light has saving potential up to 90%.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας, οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους εκπαιδευτικούς και καθηγητές που αλληλοεπιδράσαμε από την αρχή των μαθητικών μου χρόνων μέχρι και σήμερα, οδηγώντας με προς την ολοκλήρωση της προπτυχιακής μου πορείας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσούτσο και τον κ. Μπαράδακη για τη καθοδήγηση, το ενδιαφέρον και τις ευκαιρίες που μου έδωσαν, βοηθώντας με στους στόχους που ολοκληρώθηκαν και σε αυτούς που θα ακολουθήσουν.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	12
1.1 Το Ζήτημα της Ενέργειας στο Φωτισμό	12
1.2 Στόχος της Μελέτης	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	13
2.1 Βασικές Αρχές Φωτισμού	13
2.2 Συστήματα Ελέγχου φωτισμού	19
2.3 Αλληλεπίδραση με τον Φωτισμό.....	21
2.4 Φυσικός Φωτισμός	22
2.5 Συμβολή στη Κατανάλωση Ενέργειας και στις Εκπομπές CO ₂	23
2.6 Ανασκόπηση Κατανάλωσης Φωτός σε Παγκόσμιο Επίπεδο	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο.....	28
3.1 Στάδια Μεθοδολογίας.....	28
Μετρήσεις και Υπολογισμοί.....	28
Εργαλεία Σχεδιασμού στο DIALux eno 12	29
Διαδικασία Σχεδιασμού.....	30
Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού.....	31
3.2. Εξεταζόμενοι Χώροι και Μεθοδολογία Διαμόρφωσης Διαφορετικών Ζωνών Χρήσης.....	33
Α) Αίθουσα διαλέξεων	33
Β) Γραφείο.....	38
Γ) Εργαστήριο.....	42
Δ) Διάδρομος	44
3.3 Μέρος I: Αξιολόγηση Υφιστάμενου Φωτισμού.....	46
Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύος	46
Μέθοδοι αξιολόγησης	47
3.4 Μέρος II: Δράσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	49
Σενάριο I :Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φθορισμού με LED	49
Σενάριο II: Αντικατάσταση και εκ νέου χωροθέτηση φωτιστικών σωμάτων	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο.....	51
4.1 Αποτελέσματα Αξιολόγησης Υφιστάμενου Συστήματος Φωτισμού	51
4.2 Αποτελέσματα Σεναρίου I: Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φθορισμού με LED	66
4.3 Αποτελέσματα Σεναρίου II: Αντικατάσταση Φωτιστικών Σωμάτων	80

4.4 Μετρήσεις Φωτόμετρου	94
4.5 Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104
5.1 Σενάρια Εξοικονόμησης	104
5.2 Εξεταζόμενοι χώροι.....	106
5.2.1 Αίθουσα Διαλέξεων	106
5.2.2 Εργαστήριο	109
5.2.3 Γραφείο	111
5.2.4 Διάδρομος	112
5.3 Συμπεράσματα	114
5.4 Πεδία Μελλοντικής Έρευνας.....	116
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	119

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 : Τιμές συντελεστή προσαύξησης ισχύος f_{gear}	46
Πίνακας 4.1.1 : Φωτοτεχνικά δεδομένα υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων	52
Πίνακας 4.1.2: Τρέχων Φωτισμός στην Αίθουσα Διαλέξεων.....	56
Πίνακας 4.1.3: Τρέχων φωτισμός στο Εργαστήριο	59
Πίνακας 4.1.4: Τρέχων φωτισμός στο Γραφείο	62
Πίνακας 4.1.5: Τρέχων φωτισμός στον Διάδρομο.....	65
Πίνακας 4.2.1 : Φωτοτεχνικά δεδομένα υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων	66
Πίνακας 4.2.2: Σενάριο I – Αίθουσα Διαλέξεων	70
Πίνακας 4.2.3: Σενάριο I – Εργαστήριο.....	75
Πίνακας 4.2.4: Σενάριο I – Γραφείο.....	76
Πίνακας 4.2.5: Σενάριο I – Διάδρομος	79
Πίνακας 4.3.1: Σενάριο II – Αίθουσα Διαλέξεων.....	84
Πίνακας 4.3.2: Σενάριο II – Εργαστήριο	87
Πίνακας 4.3.3: Σενάριο II – Γραφείο	92
Πίνακας 4.3.4: Σενάριο II – Διάδρομος.....	93
Πίνακας 4.5.1: Συμβολή Σεναρίων στην Εξοικονόμηση.....	98
Πίνακας 4.5.2: Αθροιστική Επίδραση Σεναρίων και Εκμετάλλευσης Φ.Φ	99
Πίνακας I_α Προτεινόμενες τιμές φωτιστικών παραμέτρων ανά χρήση χώρου.....	125
Πίνακας I_β Προτεινόμενες τιμές φωτιστικών παραμέτρων ανά χρήση χώρου.....	126
Πίνακας I_γ: Προτεινόμενες τιμές φωτιστικών παραμέτρων ανά χρήση χώρου.....	127
Πίνακας II: Ενδεικτικές Τιμές Ανακλαστικότητας Υλικών	128

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Διάγραμμα κατανομής φωτός λαμπτήρα	13
Εικόνα 2.2: Τρισδιάστατη κατανομή φωτεινής έντασης	14
Εικόνα 2.3: Διάγραμμα isolux ενός διαδρόμου.....	15
Εικόνα 2.4: Οπτικοποίηση με isolux και κατανομή χρωμάτων	15
Εικόνα 2.5: Συσχέτιση φωτομετρικών μεγεθών.....	16
Εικόνα 2.6: Συσχέτιση φωτομετρικών μεγεθών.....	16
Εικόνα 2.7: Πρόληψη φαινομένων θάμβωσης με κατάλληλο σχεδιασμό συστήματος φωτισμού	17
Εικόνα 2.8: Καταλληλόλητα εξοπλισμού ελέγχου ανάλογα τον χώρο	20
Εικόνα 2.9: Παγκόσμια κατανάλωση για φωτισμό.....	23
Εικόνα 2.10: Χρήση τελικής ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη	23
Εικόνα 2.11: Ενέργεια φωτισμού ως μέρος της συνολικής κατανάλωσης	24
Εικόνα 2.12: Τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού στην Ελλάδα	26
Εικόνα 3.1: Βασικό menu στο περιβάλλον DIALux eno 12	29
Εικόνα 3.2: Ταχύμετρο εξοικονόμησης ενέργειας.....	32
Εικόνα 3.3: Κάτοψη επιφανειών εργασίας στην αίθουσα διαλέξεων	34
Εικόνα 3.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση επιφανειών εργασίας	35
Εικόνα 3.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση επιφανειών εργασίας	35
Εικόνα 3.6: Σημεία ψηφιοπλέγματος μέτρησης πάνω στην επιφάνεια του θρανίου.....	36
Εικόνα 3.7: Σημείο ελέγχου θάμβωσης όρθιου παρατηρητή.....	36
Εικόνα 3.8: Σημεία ελέγχου θάμβωσης εισηγητών	37
Εικόνα 3.9: Σημεία ελέγχου θάμβωσης στην αίθουσα διαλέξεων.....	37
Εικόνα 3.10: Αποστάσεις μεταξύ των περιοχών φωτισμού	38
Εικόνα 3.11: Όρια μέσης έντασης φωτισμού και ομοιομορφίας στις επιφάνειες: εργασίας, περιβάλλουσα και υποβάθρου.....	39
Εικόνα 3.12: Χώρος γραφείου.....	39
Εικόνα 3.13: Περιοχές φωτισμού γραφείου	40
Εικόνα 3.14: Κάτοψη περιοχών φωτισμού γραφείου.....	40
Εικόνα 3.15: Σημεία ελέγχου θάμβωσης στο χώρο του γραφείου	41
Εικόνα 3.16: Επίπεδο εργασίας εργαστήριο.....	42
Εικόνα 3.17: Κάτοψη επιπέδου εργασίας εργαστηρίου.....	43
Εικόνα 3.18: Έλεγχος θάμβωσης στο εργαστήριο.....	43
Εικόνα 3.19: Κάτοψη επιφάνειας εργασίας διαδρόμου	44
Εικόνα 3.20: Επιφάνεια εργασίας διαδρόμου σε τρισδιάστατη προσομοίωση.....	44
Εικόνα 3.21: Παράμετροι υπολογισμού θάμβωσης στους διαδρόμους.....	45
Εικόνα 3.22: Διαδικασία αξιολόγησης συστήματος φωτισμού	47
Εικόνα 3.23: Φωτόμετρο Amprobe LM - 120	48
Εικόνα 3.24: Βήματα μεθοδολογίας σε διάγραμμα ροής.....	50
Εικόνα 4.1.1 : Υφιστάμενοι λαμπτήρες	51
Εικόνα 4.1.2: Παραβολικό φωτιστικό σώμα ψευδοροφής.....	51
Εικόνα 4.1.3: Αίθουσα διαλέξεων (K2A1) - Τρέχων φωτισμός.....	53
Εικόνα 4.1.4: Οπτικοποίηση φωτός (K2A1) – Τρέχων φωτισμός.....	53
Εικόνα 4.1.5: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - K2A1_ Τρέχων φωτισμός	54
Εικόνα 4.1.6: Διάγραμμα Isolux - K2A1_ Τρέχων φωτισμός	55
Εικόνα 4.1.7 : Εργαστήριο – Τρέχων Φωτισμός	57
Εικόνα 4.1.8: Υπολογισμοί στο Εργαστήριο – Τρέχων Φωτισμός.....	57
Εικόνα 4.1.10: Διάγραμμα Isolux - Εργαστήριο_ Τρέχων φωτισμός	58
Εικόνα 4.1.9: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Εργαστήριο_ Τρέχων φωτισμός.....	58
Εικόνα 4.1.11: Γραφείο – Τρέχων Φωτισμός	60
Εικόνα 4.1.12: Υπολογισμοί στο Γραφείο – Τρέχων Φωτισμός.....	60
Εικόνα 4.1.14: Διάγραμμα Isolux – Γραφείο_ Τρέχων φωτισμός.....	61
Εικόνα 4.1.13: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Γραφείο_ Τρέχων φωτισμός	61
Εικόνα 4.1.15: Διάδρομος – Τρέχων Φωτισμός.....	63
Εικόνα 4.1.16: Υπολογισμοί στον Διάδρομο.....	63

Εικόνα 4.1.17: Διάγραμμα Isolux – Διάδρομος_Τρέχων φωτισμός	64
Εικόνα 4.2.1: Νέος λαμπτήρας LED	66
Εικόνα 4.2.2: Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο Ι.....	67
Εικόνα 4.2.3: Οπτικοποίηση φωτός στην Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο Ι.....	67
Εικόνα 4.2.4: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - K2A1_Σενάριο Ι.....	68
Εικόνα 4.2.5: Διάγραμμα Isolux - K2A1_Σενάριο Ι.....	69
Εικόνα 4.2.6: Εργαστήριο – Σενάριο Ι.....	71
Εικόνα 4.2.7: Υπολογισμοί στο Εργαστήριο – Σενάριο Ι.....	71
Εικόνα 4.2.8: Υπόμνημα αποτελεσμάτων – Εργαστήριο_Σενάριο Ι.....	72
Εικόνα 4.2.9: Διάγραμμα Isolux - Εργαστήριο_Σενάριο Ι.....	72
Εικόνα 4.2.10: Γραφείο – Σενάριο Ι.....	74
Εικόνα 4.2.11 : Υπολογισμοί στο Γραφείο – Σενάριο Ι.....	74
Εικόνα 4.2.12: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Γραφείο_Σενάριο Ι.....	75
Εικόνα 4.2.13: Διάγραμμα Isolux – Γραφείο_Σενάριο Ι.....	75
Εικόνα 4.2.14: Διάδρομος – Σενάριο Ι.....	77
Εικόνα 4.2.15: Υπολογισμοί στον Διάδρομο.....	77
Εικόνα 4.2.16: Διάγραμμα Isolux - Διάδρομος_Σενάριο Ι.....	78
Εικόνα 4.3.1 : Νέο φωτιστικό LED (lighting.philips.gr)	80
Εικόνα 4.3.2: Υπολογισμοί στην Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο ΙΙ.....	81
Εικόνα 4.3.3: Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο ΙΙ.....	81
Εικόνα 4.3.4: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - K2A1_Σενάριο ΙΙ.....	82
Εικόνα 4.3.5: Διάγραμμα Isolux - K2A1_Σενάριο ΙΙ.....	83
Εικόνα 4.3.6: Εργαστήριο – Σενάριο ΙΙ.....	85
Εικόνα 4.3.7: Υπολογισμοί στο Εργαστήριο – Σενάριο ΙΙ.....	85
Εικόνα 4.3.8: Υπόμνημα αποτελεσμάτων – Εργαστήριο_Σενάριο ΙΙ.....	86
Εικόνα 4.3.9: Διάγραμμα Isolux - Εργαστήριο_Σενάριο ΙΙ.....	86
Εικόνα 4.3.10: Γραφείο – Σενάριο ΙΙ.....	88
Εικόνα 4.3.11: Υπολογισμοί στο Γραφείο.....	88
Εικόνα 4.3.12: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Γραφείο_Σενάριο ΙΙ.....	89
Εικόνα 4.3.13: Διάγραμμα Isolux - Γραφείο_Σενάριο ΙΙ.....	89
Εικόνα 4.3.14: Διάδρομος – Σενάριο ΙΙ.....	91
Εικόνα 4.3.15: Υπολογισμοί στον Διάδρομο – Σενάριο ΙΙ.....	91
Εικόνα 4.3.16: Διάγραμμα Isolux - Διάδρομος_Σενάριο ΙΙ.....	92
Εικόνα 4.4.1: Μετρήσεις έντασης φωτισμού με το φωτόμετρο.....	94
Εικόνα 4.4.2: Κέρδη φυσικού φωτός στην αίθουσα διαλέξεων μεταξύ 14:00 – 15:00 μμ.	95
Εικόνα 5.1 : Εκμεταλλεύσιμο φυσικό φως στην αίθουσα διαλέξεων το πρωί (πάνω) και το μεσημέρι (κάτω).....	108
Εικόνα 5.2: Φωταγωγοί Διαδρόμων.....	113
Εικόνα Π1: Θερμοκρασία χρώματος διαφόρων πηγών φωτός	119
Εικόνα Π.2: Επίδραση απόχρωσης φωτός στη ψυχολογική διάθεση	120
Εικόνα Π.4: Εκτιμώμενη κατανάλωση φωτός ανά κάτοικο το έτος 2005.....	121
Εικόνα Π.3 Επίδραση του φωτιστικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο	121
Εικόνα Π.5: Διάκριση της παγκόσμιας κατανάλωσης φωτός το 2005.....	122
Εικόνα Π.6: Μέση απόδοση συστήματος φωτισμού ανά γεωγραφική περιοχή το 2005.....	122
Εικόνα Π.7: Χρήση λαμπτήρων ανά ποσοστό εμπορικών κτιρίων	123
Εικόνα Π.8: Μεταβολή στην απόδοση και το κόστος των λαμπτήρων με την ανάπτυξη της αγοράς	123
Εικόνα Π.9: Κατανάλωση φωτισμού σε χώρες της Ευρώπης.....	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Το Ζήτημα της Ενέργειας στο Φωτισμό

Ο φωτισμός ήταν το πρώτο αγαθό που προσφέρθηκε από τις ηλεκτρικές υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και συνεχίζει να αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες τελικές χρήσεις ενέργειας. Ωστόσο, μια πτυχή του φωτισμού που δεν είναι αρκετά διαδεδομένη, είναι ότι αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους παράγοντες εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με την ενέργεια. Αντιστοιχεί περίπου στο 20% της παγκόσμιας ηλεκτρικής κατανάλωσης, ενώ παράλληλα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την εξασφάλιση άνεσης σε εσωτερικούς χώρους και επαρκούς απόδοσης στις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός αυτών.

Σε μια περίοδο ενεργειακής κρίσης, ο σχεδιασμός αποδοτικότερων συστημάτων τεχνητού φωτισμού προσφέρει άμεσα οικονομικά οφέλη και συμβάλει σημαντικά στη μείωση της συνολικής ζήτησης ενέργειας. Επομένως, εκτός από το οικονομικό συμφέρον, οι δράσεις εξοικονόμησης στον φωτισμό έχουν και ένα σαφώς περιβαλλοντικό σκοπό: τη βελτιστοποίηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης με σκοπό τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συνεισφέροντας στις παγκόσμιες προσπάθειες για τη καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Η πίεση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας γίνεται όλο και πιο έντονη τα τελευταία χρόνια, ενώ παράλληλα αυξάνονται οι ανάγκες για φωτισμό τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Είναι εμφανές ότι η ενέργεια που καταναλώνεται για τις απαιτήσεις φωτισμού πρέπει πλέον να ακολουθήσει τη συνολική τάση προς την εξοικονόμηση, κάνοντας χρήση αποδοτικότερης τεχνολογίας και τακτικών φωτισμού.

1.2 Στόχος της Μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα προσεγγίσει ολιστικά το ζήτημα της εξοικονόμησης στον φωτισμό, παρουσιάζοντας έναν συνδυασμό από πιθανές δράσεις εξοικονόμησης: την αναβάθμιση της απόδοσης του συστήματος τεχνητού φωτισμού, την υιοθέτηση τεχνικών φωτισμού με στόχο την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης και την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός αποσκοπώντας στη μείωση της ζήτησης σε ηλεκτρισμό.

Όλα αυτά θα εξεταστούν υπό τη μορφή σεναρίων στο πλαίσιο των επαγγελματικών χώρων, καθώς εκεί οι ανάγκες εντοπίζονται μεγαλύτερες και πιο σύνθετες. Παρακάτω θα αναλυθούν εκτενώς οι ιδιαιτερότητες και οι απαιτήσεις διαφόρων προφίλ χώρων εργασίας, όπως ένα γραφείο, ένα εργαστήριο, μια αίθουσα διδασκαλίας αλλά και χώρων που παρεμβάλλονται μεταξύ αυτών, όπως ένας μεγάλος διάδρομος κυκλοφορίας. Το ενδιαφέρον αυτής της ανάλυσης δεν έγκειται μόνο στη ποικιλομορφία των εξεταζόμενων χώρων, αλλά και στο γεγονός ότι αυτοί ανήκουν σε ένα δημόσιο εκπαιδευτικό ίδρυμα. Ένας απώτερος στόχος αυτής της μελέτης πέρα από την ανάδειξη μεθόδων για μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος στον φωτισμό, είναι να στρέψει τη προσοχή όλων αυτών των προσπαθειών σε μεγάλες δημόσιες εγκαταστάσεις, όπως εκπαιδευτικά ιδρύματα, που κατά κανόνα παραμελούνται.

Αναγνωρίζοντας το ανθρωποκεντρικό πρόσημο του φωτισμού, η ανάλυση που παρουσιάζεται στη συνέχεια λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους που σχετίζονται με την οπτική άνεση σε ένα φωτιστικό περιβάλλον, επιδιώκοντας να κάνει σαφές ότι αυτές δεν μπορούν να λείπουν από μια καθολική μελέτη ενός συστήματος φωτισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Βασικές Αρχές Φωτισμού

2.1.1 Φωτεινή Ροή Φ (Luminous flux) [lm]

Φωτεινή ροή καλείται η φωτεινή ισχύς και αναφέρεται στη ποσότητα του φωτός που εκπέμπει μια πηγή ανά δευτερόλεπτο. Ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής ενέργειας dQ προς τον χρόνο dt στον οποίο εκπέμπεται. Μονάδα μέτρησης είναι τα lumen (lm).

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \text{ (lm)}$$

2.1.2 Στερεά Γωνία Ω (Solid angle) [sr]

Το φως εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή μέσα σε στερεές γωνίες, που αποτελούν το τρισδιάστατο ισοδύναμο της δισδιάστατης (επίπεδης) γωνίας. Μονάδα μέτρησης είναι τα στερακτίνια (steradian, sr).

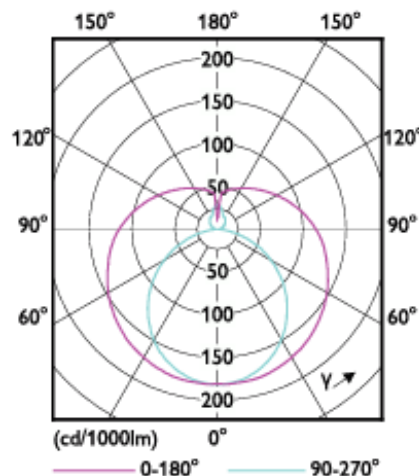
2.1.3 Φωτεινή Ένταση I (Luminous intensity) [Cd, lm/sr]

Αναφέρεται στη φωτεινή ροή που εκπέμπεται προς μια κατεύθυνση, τη κατεύθυνση που ορίζει μια στερεά γωνία. Ισούται με τη διερχόμενη ποσότητα της φωτεινής ροής προς τη στερεά γωνία. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης είναι τα candela (cd).

$$1 \text{ candela} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ steradian}}$$

2.1.4 Διαγράμματα Κατανομής Φωτεινής Έντασης

Αποτελούν μια οπτική αναπαράσταση του φωτός που διέρχεται από το φωτιστικό σώμα, αποδίδοντας τη τρισδιάστατη μορφή σε ένα δισδιάστατο διάγραμμα. Η αναπαράσταση γίνεται σε σύστημα πολικών συντεταγμένων, με σημείο αναφοράς το κέντρο συμμετρίας του φωτιστικού σώματος.



Εικόνα 2.1: Διάγραμμα κατανομής φωτός λαμπτήρα (lighting.philips.gr)



Εικόνα 2.2: Τρισδιάστατη κατανομή φωτεινής έντασης

2.1.5 Φωτεινή Απόδοση Πηγής η (Luminous efficiency) [lm/W]

Είναι ο λόγος της φωτεινής ισχύος Φ (lumen) που αποδίδει μια φωτεινή πηγή προς της ηλεκτρική ισχύ (W) που καταναλώνει. Η τιμή είναι πάντα μικρότερη της μονάδας, λόγω των απωλειών της ηλεκτρικής ισχύς σε θερμότητα. Στο πλαίσιο της ενεργειακής εξοικονόμησης επιζητείται πάντα αύξηση της φωτεινής απόδοσης.

$$\eta = \frac{\Phi}{W} \left[\frac{lm}{W} \right]$$

2.1.6 Φωτιστική Απόδοση η (Light Output Ratio – LOR) [%]

Αποτελεί μέτρο ποσοτικοποίησης της απώλειας φωτός για την οποία ευθύνεται η διάταξη φωτισμού. Είναι ο λόγος της φωτεινής ροής ενός φωτιστικού σώματος προς τη φωτεινή ροή της πηγής όταν δεν είναι τοποθετημένη σε αυτό.

2.1.7 Ένταση Φωτισμού E (Illuminance) [lux, lm/m²]

Ορίζεται ως το μέτρο της φωτεινής ροής Φ ανά μονάδα φωτιζόμενης επιφάνειας A . Θεωρώντας μια επιφάνεια A στην οποία προσπίπτει κάθετα και ομοιόμορφα ποσότητα φωτεινής ροής Φ :

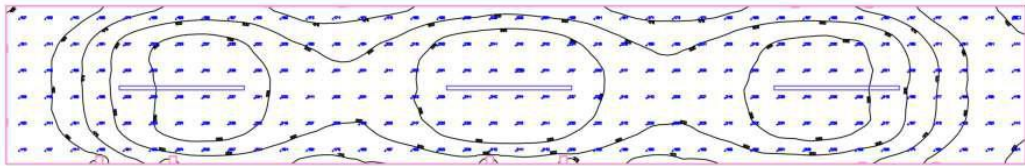
$$E = \frac{\Phi}{A} \text{ [lux]}$$

Μονάδα μέτρησης είναι το Lux ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$), ενώ πιο σπάνια χρησιμοποιείται και $1 \text{ foot candle (fc)} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ ft}^2}$ και $1 \text{ phot} = \frac{1 \text{ lm}}{\text{cm}^2} = 10^4 \text{ lx}$.

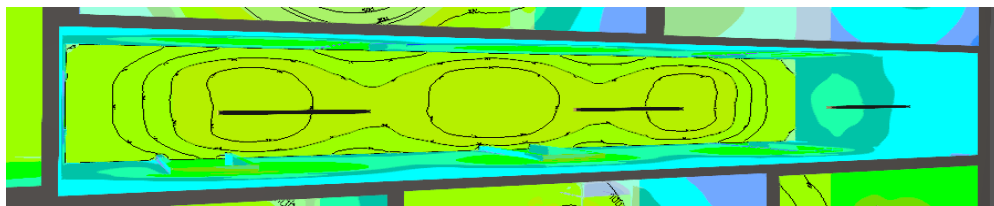
Η μέτρηση της έντασης φωτισμού γίνεται με το φωτόμετρο (lux meter) και η τιμή της είναι η σημαντικότερη σχεδιαστική παράμετρος ενός συστήματος φωτισμού. Κάθε τυπική χρήση χώρου έχει ξεχωριστές απαιτήσεις έντασης φωτισμού. Τα ελάχιστα όρια έντασης για κάθε χρήση παρουσιάζονται στον Πίνακα I του παραρτήματος.

2.1.8 Καμπύλες ίσου φωτισμού / Διάγραμμα Isolux

Αυτά τα διαγράμματα έχουν μεγάλη χρησιμότητα, καθώς δίνουν την εικόνα κατανομής της έντασης φωτισμού πάνω της υπό μελέτη επιφάνεια. Οι καμπύλες ίσου φωτισμού απεικονίζονται στο δισδιάστατο πεδίο, με τη κάθε καμπύλη να προκύπτει από την ένωση σημείων ίδιας έντασης φωτισμού.



Εικόνα 2.3: Διάγραμμα isolux ενός διαδρόμου



Εικόνα 2.4: Οπτικοποίηση με isolux και κατανομή χρωμάτων

2.1.9 Λαμπρότητα L (Luminance) [Cd/m^2]

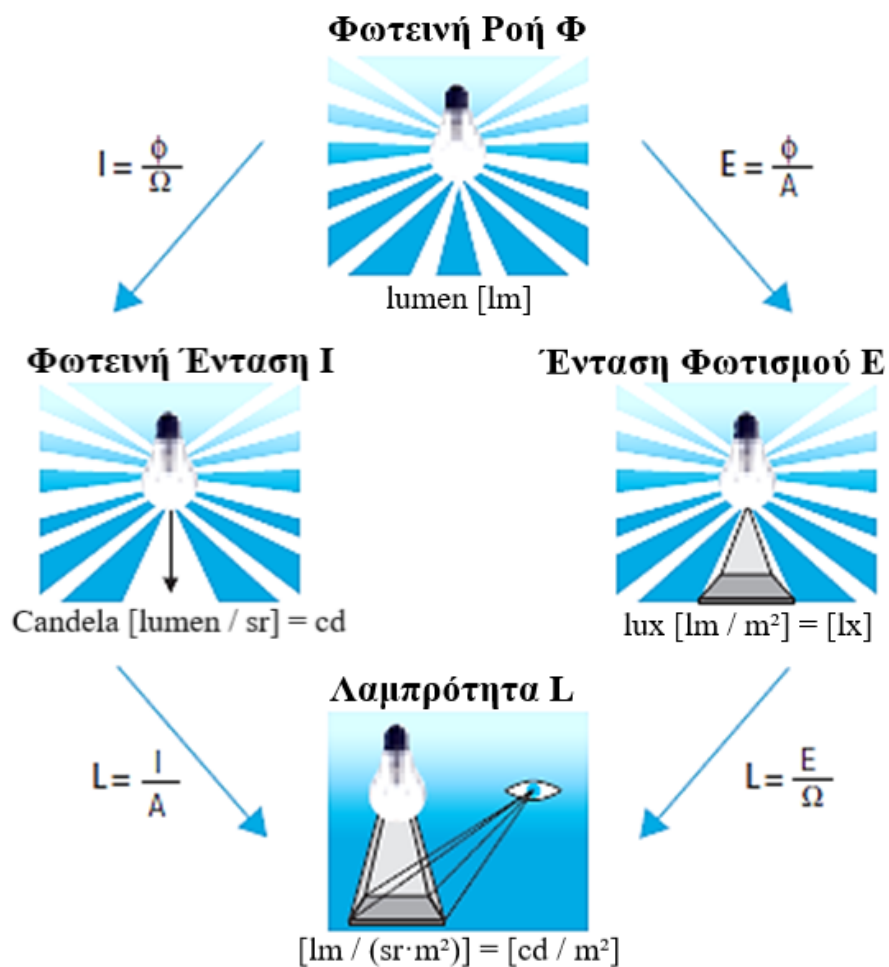
Σε αντίθεση με τη φωτεινότητα, η μέτρηση της λαμπρότητας δεν στηρίζεται στην υποκειμενική αίσθηση του παρατηρητή. Αναφέρεται στο φως που εκπέμπεται από μια επιφάνεια προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση/ Είναι ο λόγος της φωτεινής έντασης I (cd) με κατεύθυνση προς τον παρατηρητή που εκπέμπεται από επιφάνεια A (m^2). Υψηλές τιμές λαμπρότητας μπορούν να προκαλέσουν θάμβωση, η οποία επηρεάζει αρνητικά την όραση.

2.1.10 Θάμβωση (Glare)

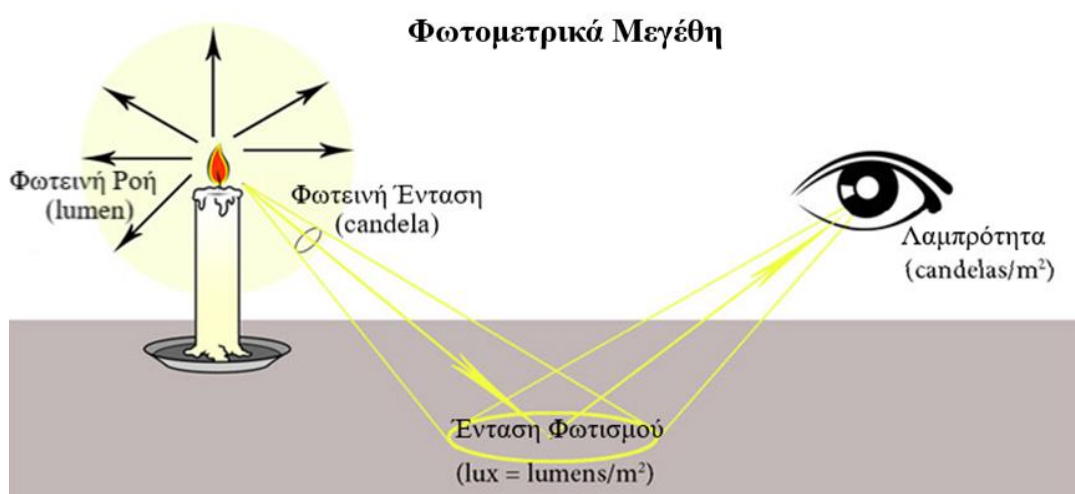
Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (CIE – International Commission on Illumination) ορίζει το φαινόμενο της θάμβωσης ως τη κατάσταση στην οποία δυσχεραίνεται η όραση λόγω ακατάλληλης κατανομής της φωτεινότητας ή ακραίων αντιθέσεων λαμπρότητας. Σε αυτή τη κατάσταση εντοπίζεται είτε δυσφορία είτε μειωμένη ικανότητα διάκρισης πληροφοριών (Anon n.d.).

Θάμβωση ανικανότητας (Disability Glare): Είναι η μορφή της θάμβωσης που μειώνει τις οπτικές επιδόσεις και σχετίζεται κυρίως με τη κακή κατανομή φωτεινότητας. Δεν προκαλεί απαραίτητα δυσφορία.

Θάμβωση δυσφορίας (Discomfort Glare): Δημιουργεί δυσφορία στον παρατηρητή και οφείλεται κυρίως από τη λαμπρότητα των πηγών που τη προκαλούν.



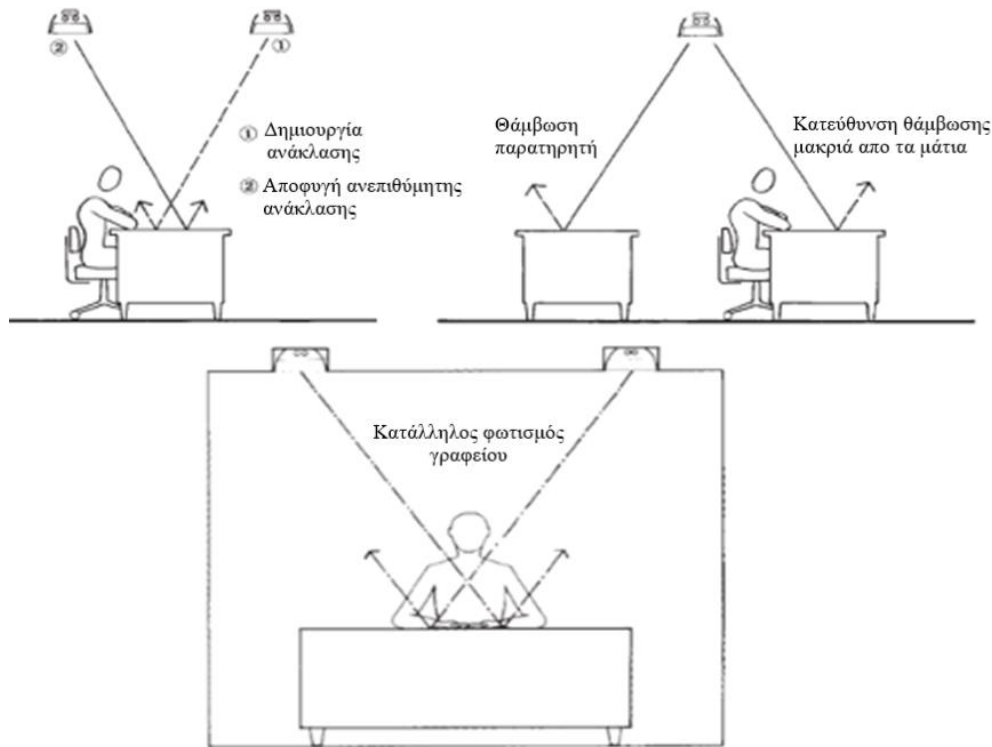
Εικόνα 2.5: Συσχέτιση φωτομετρικών μεγεθών (The Lighting Handbook, Zumtobel)



Εικόνα 2.6: Συσχέτιση φωτομετρικών μεγεθών (N. Bertoa)

Η θάμβωση εκτός από άμεσα δημιουργείται και έμμεσα μέσω ανακλάσεων, με τη δεύτερη περίπτωση να είναι η πιο δύσκολα διαχειρίσιμη. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά το στάδιο σχεδιασμού του φωτισμού σε επαγγελματικούς χώρους. Τις τελευταίες δεκαετίες η θέση της επιφάνειας εργασίας έχει μεταβληθεί από οριζόντια σε κάθετη, λόγω της χρήσης υπολογιστών. Έτσι, το οπτικό πεδίο κατά την εργασία έχει μεγαλώσει, δεχόμενο ερεθίσματα τόσο από τη λαμπρότητα του γύρω περιβάλλοντος όσο και της ίδιας της οθόνης όταν εντοπίζονται αντανάκλασεις του φωτός. Στην Εικόνα 2.7 εξηγείται η δημιουργία του φαινομένου της θάμβωσης σε ένα χώρο εργασίας με γραφείο.

H



Εικόνα 2.7: Πρόληψη φαινομένων θάμβωσης με κατάλληλο σχεδιασμό συστήματος φωτισμού (Interior Lighting for Designers, Gary Gordon 2003)

θάμβωση που οφείλεται στα φωτιστικά εσωτερικών εγκαταστάσεων μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CIE Unified Glare Rating – UGR (παρακάτω τύπος) ή με χρήση πινάκων (Δούλος et al. 2021).

$$UGR = 8 \log_{10} \left[\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right]$$

L_B : λαμπρότητα υποβάθρου [cd/m^2], L : μέση λαμπρότητα φωτιστικού [cd/m^2]

ω [sr]: στερεά γωνία προς τον παρατηρητή

p [-]: δείκτης θέσης Guth για κάθε ανεξάρτητο φωτιστικό

Λογισμικά προσομοίωσης όπως το DIALux ενο παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού του δείκτη UGR, τοποθετώντας έναν αισθητήρα στο επιθυμητό σημείο ελέγχου.

2.11 Ομοιομορφία U_o (Uniformity) [-]

Είναι ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέση ένταση φωτισμού πάνω σε μια επιφάνεια, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οριστεί και ως ο λόγος της ελάχιστης προς τη μέγιστη. Είναι ενδεικτικό μέγεθος για τις έντονες διακυμάνσεις φωτισμού και σημαντικός σχεδιαστικός παράγοντας.

2.12 Συσχετισμένη Θερμοκρασία Χρώματος CCT (Correlated Color Temperature) [K]

Είναι το μέτρο με το οποίο περιγράφεται το χρώμα του φωτός και έχει μονάδα μέτρησης Kelvin. Η θερμοκρασία χρώματος είναι η θερμοκρασία που πρέπει να αποκτήσει ένα μέλαν σώμα προκειμένου να εκπέμπει ομοιόμορφο φως με τη πηγή. Στην Εικόνα Π1 του παραρτήματος παρουσιάζεται η θερμοκρασία χρώματος διαφόρων φωτεινών πηγών.

2.13 Δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra ή CRI (Color Rendering Index) [-]

Αναφέρεται στη ποιότητα του χρώματος μιας φωτεινής πηγής και εκφράζει το κατά πόσο πιστά αποδίδονται τα χρώματα μέσω αυτής. Λαμβάνει τιμές από 0 έως 100, με το 100 να αντιστοιχεί σε άριστη απόδοση του χρώματος.

2.14 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού Π.Φ.Φ. (Daylight Factor) [%]

Ο παράγοντας φυσικού φωτισμού είναι ο λόγος της εσωτερικής έντασης φωτισμού ενός χώρου προς την εξωτερική ένταση. Αξιολογεί την επάρκεια του φυσικού φωτισμού εντός του εξεταζόμενου χώρου.

2.2 Συστήματα Ελέγχου φωτισμού

Ο έλεγχος του φωτισμού εξυπηρετεί πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και διάφορες ανάγκες των χρηστών. Τα συστήματα ελέγχου συμβάλουν στην εξοικονόμηση μειώνοντας τη ζήτηση ενέργειας ή / και το χρόνο λειτουργίας του συστήματος.

Αισθητήρας Κίνησης / Παρουσίας: Ενεργοποιεί τη φωτεινή πηγή μόνο όταν αντιληφθεί ανθρώπινη παρουσία στο χώρο που είναι τοποθετημένος, για διάρκεια προκαθορισμένη από τον χρήστη. Είναι ιδανικό για χώρους όπου δεν απαιτείται συνεχής φωτισμός (τουαλέτες) ή είναι επιθυμητή η προστασία (αυτόματος φωτισμός το βράδυ για ασφάλεια). Λειτουργεί με υπέρηχους ή υπέρυθρη ακτινοβολία και συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας μειώνοντας τον χρόνο λειτουργίας των φωτιστικών διατάξεων.

Αισθητήρες Φωτισμού: Είναι ηλεκτρικές μονάδες ελέγχου φωτισμού που ρυθμίζουν αυτόματα το επίπεδο φωτισμού. Το φωτοκύτταρο ρυθμίζει τη λειτουργία του φωτιστικού ανάλογα με τη διαθέσιμη ποσότητα φωτός στο χώρο. Είναι απαραίτητη διάταξη για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός (daylight harvesting) και πρέπει να τοποθετούνται σε περιοχές στις οποίες εμφανίζει επάρκεια.

Χρονοδιακόπτης φωτισμού: Είναι ηλεκτρονικά ή μηχανικά συστήματα που ενεργοποιούν (ή απενεργοποιούν) τα κυκλώματα φωτισμού σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα. Κατά αυτόν τον τρόπο είναι εφικτό να επιλεγθούν οι ώρες στις οποίες τα φωτιστικά σώματα είναι επιθυμητό να λειτουργήσουν (ή όχι). Η στρατηγική του χρονοπρογραμματισμού προσφέρεται για περιπτώσεις που η λειτουργία ενός χώρου είναι χρονικά αυστηρά καθορισμένη. Όπως και ο ανιχνευτής κίνησης, μειώνει τον χρόνο λειτουργίας αποτρέποντας τον άσκοπο φωτισμό σε διάφορες χρονικές περιόδους.

Ρυθμιστής έντασης φωτισμού (dimmer): Τα dimmers είναι ρυθμιζόμενοι μετασχηματιστές που μεταβάλλουν την ένταση του φωτός στον χώρο. Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης της έντασης όταν υπερβαίνει την επιθυμία του χρήστη, περιορίζοντας τον περιττό φωτισμό. Μειώνει τη κατανάλωση ενέργειας ακόμα και όταν ο χρήστης βρίσκεται στον χώρο, όπως συμβαίνει και με τους αισθητήρες φωτός (Ασημακοπούλου 2023).

Στρατηγική	Προγραμματισμός					Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού και ρύθμιση επιπέδων φωτισμού				
	Επιτοίχιος αισθητή- ρας παρουσίας	Αισθητήρας παρου- σίας οροφής	Προσωπικός αισθη- τήρας παρουσίας	Χρονοδιακόπτης	Ελεγκτής με χρόνο	Διακόπτες με επι- λογή κυκλωμάτων	Χειροκίνητος ρυθμιστής τοίχου	Απομακρυσμένος ρυθμιστής	Διακόπτης με αι- σθητήρα φωτισμού	Αισθητήρας σύζευ- ξης φυσικού / τε- χνητού φωτισμού
Χώροι παραγωγής και συ- ναρμολόγησης			○		●	○			○	●
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 (αναγνώστηριο)		●		●	○	○				●
Αποδυτήρια		●			○	○				
Χώροι διαλείμματος	○	●		○		○			○	
Εξεταστήρια, δωμάτιο νοσο- κομείου	○	●				●	●			
Μουσεία		○				●	●		○	●
Γραφεία (ενιαίος χώρος, με πολλούς χρήστες)		○	●		●	●	●			●
Γραφεία (ατομικό)	○	●	●		●	●	●	●		●
Εστιατόρια					○	●	●	○		○
Τουαλέτες	○	●		○		○				
Εμπορικά καταστήματα					○		○		○	○
Αποθήκες		●		○	●	●			○	○
Σημειώσεις: ● : καλή εφαρμογή, ○ : περιορισμένη εφαρμογή										

Εικόνα 2.8: Καταλληλόλητα εξοπλισμού ελέγχου ανάλογα τον χώρο (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 7/2021)

2.3 Αλληλεπίδραση με τον Φωτισμό

Η ύπαρξη του φωτός παρουσιάζει οπτικές ή και μη οπτικές επιδράσεις στον άνθρωπο, με τις πρώτες να είναι οι πιο προφανείς.

Μέσω του φωτός το ανθρώπινο μάτι μπορεί να λαμβάνει τις πληροφορίες από το περιβάλλον του. Έτσι διαμορφώνεται η αντίληψη του περιβάλλοντος χώρου και παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης των καθημερινών οπτικών δραστηριοτήτων, με ανάλογη ταχύτητα και ακρίβεια. Στις μη οπτικές επιδράσεις συγκαταλέγονται αυτές που επηρεάζουν τη ψυχολογία του ατόμου και ως αποτέλεσμα καθορίζουν τα συναισθήματα και τη παραγωγικότητα του (Gligor 2004) . Στην Εικόνα Π2 (παράρτημα) φαίνεται η επίδραση της απόχρωσης του φωτός στη ψυχολογική διάθεση.

Η συναισθηματική επίδραση της εντύπωσης ενός χώρου σχετίζεται στενά με την αντίθεση στη φωτεινότητα. Οι υποκειμενικές εντυπώσεις επηρεάζονται επίσης από το χρώμα του φωτισμού. Τα ζεστά χρώματα ενισχύουν την ευχάριστη διάθεση και την άνεση, ενώ τα δροσερά χρώματα δημιουργούν αίσθημα εγρήγορσης και παραγωγικότητας (Gordon 2003).

Σημαντικές επιδράσεις έχει επίσης και σε βιολογικές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος (βιολογικό ρολόι – κιρκάδιος ρυθμός), πάνω στις οποίες δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα μεγάλος όγκος (Kralikova, Piňosová, and Hricová 2016).

Ο βαθμός στον οποίο ο φωτισμός συντελεί στην αύξηση της παραγωγικότητας εξαρτάται από την ποιότητά του. Η έννοια της ποιότητας του φωτισμού είναι ιδιαίτερη, καθώς περιέχει υποκειμενικότητα προερχόμενη από προσωπικές προσδοκίες ή προηγούμενες εμπειρίες από τον φωτισμό. Η ποιότητα του φωτισμού σχετίζεται με τη βελτίωση της απόδοσης οπτικών δραστηριοτήτων, τη δημιουργία συγκεκριμένων εντυπώσεων και τη διασφάλιση της οπτικής άνεσης (Boyce 2003).

Η οπτική άνεση είναι πιο εύκολο να ορίζεται έμμεσα, ως η απουσία οπτικής δυσφορίας. Υπάρχουν διάφορες καταστάσεις κατά τις οποίες οι φωτιστικές εγκαταστάσεις προκαλούν οπτική δυσφορία. Αυτές αφορούν δυσκολία στην ανάκτηση απαιτούμενων πληροφοριών (θάμβωση), φαινόμενα φωτεινής μαρμαρυγής, σκίασης, ανακλάσεων και ανομοιομορφίας. Η εμφάνιση οπτικής δυσφορίας καταδεικνύεται από την παρουσία κόκκινων, κνησμού, και πονοκεφάλων (Boyce and Raynham 2009; Waide, Tanishima, and International Energy Agency 2006). Πολύπλοκα περιβάλλοντα με υπερβολικά ερεθίσματα ή μοτίβα, υπερφορτώνονται, οδηγώντας σε ένταση και μειωμένη απόδοση. Επίσης, ανούσιες ή μπερδεμένες φωτεινότητες προκαλούν απόσπαση λόγω υπερφόρτωσης του εγκεφάλου, παρόμοια με το θόρυβο στην ακουστική σχεδίαση. Αυτό ονομάζεται οπτική σύγχυση και επηρεάζει την απόδοση.

Στην Εικόνα Π3 του παραρτήματος παρουσιάζεται σχηματικά η αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το φωτιστικό του περιβάλλον.

2.4 Φυσικός Φωτισμός

Η ανθρώπινη φύση προσαρμόστηκε στο φως του ήλιου (και του φεγγαριού) από τον πρώτο καιρό της ύπαρξης της, σχηματίζοντας το σύστημα όρασης και άλλες βιολογικές λειτουργίες σύμφωνα με αυτές τις συνθήκες, απουσίας τότε τεχνητού φωτισμού.

Τα περισσότερα στοιχεία που συνδέουν τον φωτισμό με τη παραγωγικότητα και την αίσθηση ευεξίας αφορούν έρευνες πάνω στις επιδράσεις του φυσικού φωτός (Kunwar et al. 2020; Mandalaki 2013). Η μεταβολή του φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας αποτελεί σημαντικό ερέθισμα για τις βιολογικές και ψυχικές ανάγκες του ανθρώπου. Η δυναμική φύση του φωτός δημιουργεί διακυμάνσεις στα επίπεδα φωτισμού των εσωτερικών χώρων, προσδίδοντας στο περιβάλλον οπτικό ενδιαφέρον. Μάλιστα, έχει βρεθεί ότι όταν στρέφεται το βλέμμα έξω από το παράθυρο σε μακρινά αντικείμενα προσφέρει ανακούφιση στους μύες των ματιών (Kralikova et al. 2016). Αυτή η εγγενής προτίμηση για τα ανοίγματα φανερώνει τη τάση του ανθρώπου για την εξασφάλιση επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον¹. Δεν είναι τυχαία άλλωστε η παρατήρηση πολλών εικόνων με φυσικά τοπία μέσα σε κλειστούς χώρους γραφείων (Τσαγκρασούλης 2016).

Από τη σκοπιά της ενεργειακής εξοικονόμησης, το φυσικό φως είναι μια ανεξάντλητη και δίχως κόστος πηγή ενέργειας. Η αξιοποίηση του διαθέσιμου φυσικού φωτός μειώνει την εξάρτηση από τον τεχνητό φωτισμό, επιτυγχάνοντας το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού με ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου (Doulos, Tsangrassoulis, and Topalis 2008; Sifakis, Kalaitzakis, and Tsoutsos 2021).

Στον σχεδιασμό ενός χώρου που θα δέχεται φυσικό φως πρέπει να εντοπίζεται ένα σημείο ισορροπίας μεταξύ του φυσικού φωτισμού και των θερμικών κερδών (Yu, Wennersten, and Leng 2020). Με ένα λάθος σχεδιασμό τα θερμικά κέρδη μπορούν να οδηγήσουν σε υπερθέρμανση ή αυξημένες ανάγκες για ψύξη το καλοκαίρι και σε αυξημένες ανάγκες για θέρμανση τον χειμώνα.

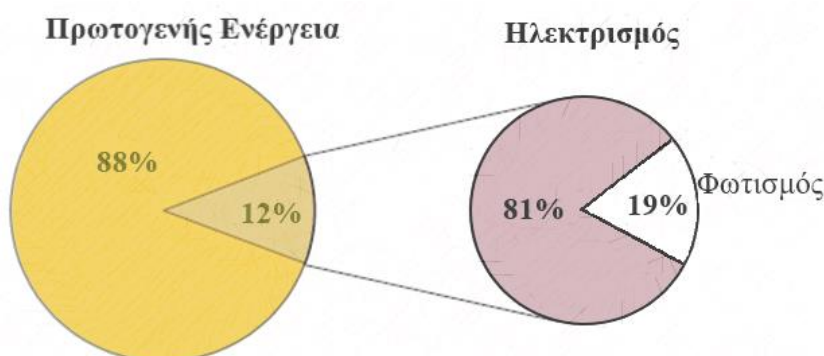
Άλλα προβλήματα που μπορεί να επιφέρει η κακή ενσωμάτωση συστημάτων φυσικού φωτισμού αφορούν θέματα οπτικής δυσφορίας (θάμβωση λόγω υπερβολικής λαμπρότητας και αντανακλάσεων) και θέματα ιδιωτικότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις ενδέχεται να ληφθούν μέτρα περιορισμού του φυσικού φωτός με μόνιμο χαρακτήρα. Ως αποτέλεσμα, τα εν λόγω ανοίγματα θα παραμένουν σταθερά καλυμμένα και ο αρχικός στόχος τους θα έχει αποτύχει (Boyce and Raynham 2009).

¹ Βιοφιλία: Τάση του ανθρώπου για σύνδεση με το φυσικό περιβάλλον, σε αυτή βασίζεται η έννοια του βιοφιλικού σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική.

2.5 Συμβολή στη Κατανάλωση Ενέργειας και στις Εκπομπές CO₂

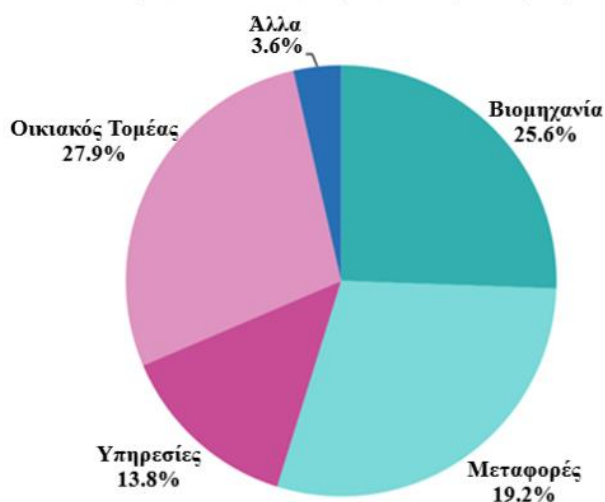
Σε παγκόσμιο επίπεδο, αντιστοιχεί σε κατανάλωση 650 Mtoe² πρωτογενούς ενέργειας και οδηγεί στην εκπομπή σχεδόν 1.900 Mt CO₂. Αυτό το ποσοστό αντιστοιχεί στο 70% των εκπομπών που προκαλούνται από επιβατικά οχήματα παγκοσμίως και είναι τρεις φορές υψηλότερο από τις εκπομπές της αεροπορίας (Waide et al. 2006).

Το 2010 εκτιμήθηκε ότι η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του φωτισμού ήταν μεγαλύτερη από την παγκόσμια ηλεκτρική ενέργεια που παραγόταν από υδροηλεκτρικούς ή πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και σχεδόν ίδια με την ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από φυσικό αέριο (Halonen, Tetri, and Buhsal 2010).



Εικόνα 2.9: Παγκόσμια κατανάλωση για φωτισμό (EIA 2006, IEA 2006)

Τελική Κατανάλωση ανά Τομέα (Ευρώπη, 2021)



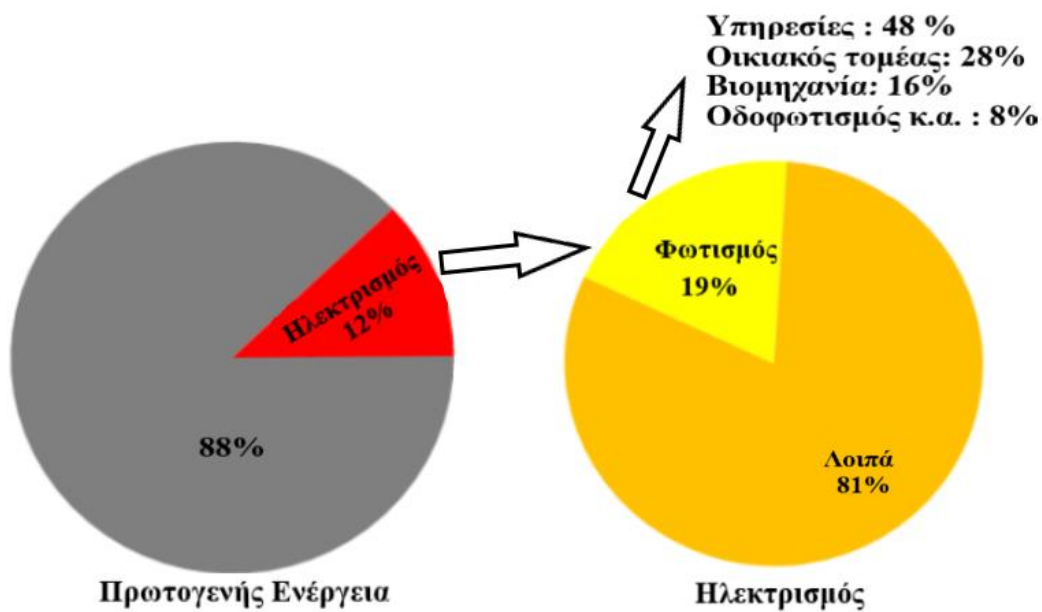
Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)

Εικόνα 2.10: Χρήση τελικής ενέργειας ανά τομέα στην Ευρώπη (Eurostat, 2021)

² Toe (tone of oil equivalent): Τόνος ισοδύναμου πετρελαίου (T.I.P.), αντιστοιχεί στην ενέργεια που εκλύεται από τη καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου.

Ο στόχος για κλιματική ουδετερότητα τις επόμενες δεκαετίες καθώς και η τρέχουσα ενεργειακή κρίση, καθιστούν το θέμα του σχεδιασμού χώρων χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος πιο κρίσιμο από ποτέ. Στον φωτισμό αντιστοιχεί σχεδόν το ένα πέμπτο (19%) της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 2.9) , με το ποσοστό αυτό να παρουσιάζει συνεχώς αύξηση (Wagiman et al. 2020).

Οι επαγγελματικοί χώροι συγκαταλέγονται κυρίως στους τομείς του εμπορίου και των υπηρεσιών. Σε αυτούς τους χώρους υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε φωτισμό, για να προσφέρει ασφάλεια και αποτελεσματικότητα στην εργασία. Αντιπροσωπεύει το 30% έως 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια γραφείων. Μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις ο φωτισμός καταλαμβάνει μέχρι και το 60% του μεριδίου της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στους εν λόγω τομείς (Waide et al. 2006). Στην Εικόνα 2.10 φαίνεται η επίδραση των τομέων του εμπορίου και των υπηρεσιών στη τελική κατανάλωση. Το 2021 τους αντιστοιχούσε το 40% της χρήσης τελικής ενέργειας στην Ευρώπη. Στην Εικόνα 2.11 παρατηρείται ότι σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας φωτισμού (48%) καταναλώνεται στον τομέα των υπηρεσιών. Το υπόλοιπο κατανέμεται μεταξύ του οικιακού τομέα (28%), του βιομηχανικού τομέα (16%) και του οδικού και λοιπού φωτισμού (8%) (Mills 2022).



Εικόνα 2.11: Ενέργεια φωτισμού ως μέρος της συνολικής κατανάλωσης (Α. Τσαγκρασούλης)

2.6 Ανασκόπηση Κατανάλωσης Φωτός σε Παγκόσμιο Επίπεδο

Η παγκόσμια κατανάλωση τεχνητού φωτός το 2005 ήταν 135 Plm³, με την μέση ετήσια κατανάλωση ανά άτομο να φτάνει τις 21 Mm. Ωστόσο, η χρήση αυτού του φωτός ήταν άνισα κατανομημένη. Στην Εικόνα Π4 μπορεί να παρατηρηθεί ότι ο μέσος βορειοαμερικανός χρησιμοποιούσε 101 Mlmh τεχνητού φωτός κάθε χρόνο, ενώ ο μέσος κάτοικος της Κίνας μόλις 10 Mlmh. Η Ευρώπη και η Αμερική ήταν υπεύθυνες για το 50% της συνολικής κατανάλωσης (Εικόνα Π5).

Αυτή η ανισότητα στη κατανάλωση φωτός πλέον εμφανίζει τάσεις περιορισμού. Από το 2005 μέχρι σήμερα ο μέσος όρος επιπέδων φωτισμού στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσίασε αύξηση, λόγω κατασκευής νέων κτιρίων και ηλεκτροδότησης περιοχών στις οποίες δεν υπήρχε νωρίτερα πρόσβαση σε ηλεκτρισμό. Η μελλοντική αύξηση της ζήτησης για φωτισμό στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι αναπόφευκτη, και αυτό είναι ένα ακόμη ζήτημα που καθιστά την εξοικονόμηση στον φωτισμό απαραίτητη για το προσεχές μέλλον.

Από την άλλη μεριά, η τεχνολογική ανάπτυξη είναι αυτή που καλείται να αντισταθμίσει το πρόβλημα της επιταχυνόμενης αύξησης των αναγκών ενέργειας. Το παραπάνω δεν ισχύει μόνο για τον φωτισμό· αποτελεί τη λύση για όλους τους τομείς της κατανάλωσης, ή έστω το βασικότερο κομμάτι αυτής. Στον φωτισμό όμως, θα έλεγε κανείς ότι έχουν γίνει τα σημαντικότερα τεχνολογικά άλματα πάνω στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Τα αποτελέσματα που έχουν φανεί τα τελευταία χρόνια είναι αξιοσημείωτα.

Το 2005 η μέση απόδοση του των συστημάτων φωτισμού κυμαινόταν κοντά στα 50 lm/W (Εικόνα Π6). Λαμβάνοντας ως παράδειγμα τη Β. Αμερική, φαίνεται ότι η μέση απόδοση ακριβώς σε αυτή τη τιμή. Έρευνα που πραγματοποιήθηκε 13 χρόνια αργότερα από την Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των ΗΠΑ (ΕΙΑ), υποδεικνύει ότι η απόδοση των συστημάτων φωτισμού στην Αμερική έχει αφήσει κατά πολύ πίσω τα νούμερα της προηγούμενης δεκαετίας. Στην Εικόνα Π7 παρατηρούνται τρεις βασικές εξελίξεις στην χρήση τεχνολογιών φωτισμού το διάστημα 2012 – 2018 στην Αμερική. Η πρώτη αφορά τη μείωση των εμπορικών κτιρίων που έκαναν χρήση λαμπτήρων φθορισμού. Συγκεκριμένα, τα κτίρια που διέθεταν συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού μειώθηκαν στο μισό, από 41% (2012) σε 19% (2018). Ομοίως οι υποδομές με κλασικούς λαμπτήρες φθορισμού μειώθηκαν αυτό το διάστημα από 84% σε 68%. Η δεύτερη παρατήρηση αποτελεί αναφορά πάνω στη ραγδαία εισροή της τεχνολογίας λαμπτήρων LED στην αγορά. Μέσα σε αυτά τα 6 χρόνια το ποσοστό των εμπορικών κτιρίων που έκαναν χρήση τέτοιων λαμπτήρων αυξήθηκε από 9% σε 44%. Η τρίτη παρατήρηση έχει να κάνει με το ότι όλοι οι τύποι λαμπτήρων εκτός των LED παρουσίασαν μείωση στη χρήση τους. Αυτό υποδηλώνει ότι η αύξηση των LED στηρίχτηκε σε μεγαλύτερο βαθμό στην αντικατάσταση παλιάς τεχνολογίας και λιγότερο στην αύξηση των φωτιστικών αναγκών.

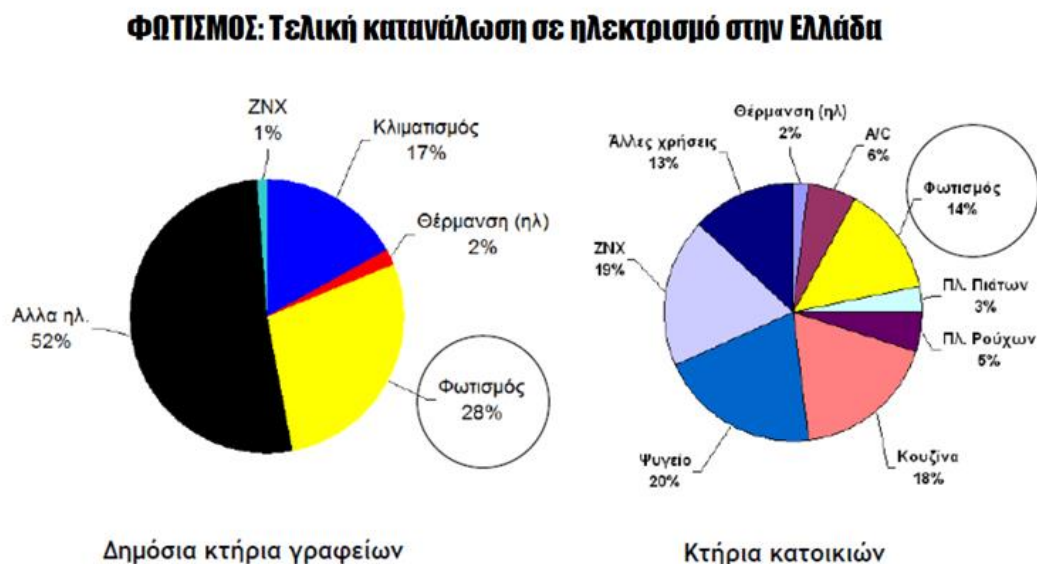
Η τεχνολογία LED αν και βρίσκεται τα τελευταία χρόνια στο επίκεντρο του φωτισμού, δεν έχει προλάβει ακόμα να αντικαταστήσει πλήρως τους λαμπτήρες φθορισμού. Το 2018 εξακολουθούσαν να βρίσκονται σχεδόν στο 70% των εμπορικών καταστημάτων. Η εξοικονόμηση ενέργειας στους εσωτερικούς χώρους άρχισε τα πρόσφατα να κερδίζει προσοχή από το ευρύ κοινό, αλλά ο φωτισμός συνεχίζει να επισκιάζεται από άλλα μέτρα εξοικονόμησης. Μέσα σε αυτό το μικρό χρονικό διάστημα ήταν αναμενόμενο η παλιά τεχνολογία να μη προλάβει να εκλείψει.

³ Lmh (lumen – hour): Η φωτεινή ενέργεια που εκπέμπεται σε μία ώρα από πηγή φωτός με φωτεινή ροή ίση με 1 lumen. 1 Plmh = 10¹⁵ lumen – hours.

Στην Εικόνα Π8 παρουσιάζεται η πρόβλεψη που έκανε η Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών των ΗΠΑ το 2014 για την εξέλιξη της απόδοσης και του κόστους των διάφορων τεχνολογιών φωτισμού μέχρι το 2040. Γίνεται εμφανές ότι με τη πάροδο του χρόνου μεταβάλλονται μόνο τα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων LED. Η απόδοση αυξάνεται συνεχώς, φτάνοντας στη μέση τιμή των 200lm/W μέχρι το 2030 (το 2012 η μέση ισχύς συστήματος στην Αμερική ήταν 50lm/W), και το κόστος παρουσιάζει ικανή μείωση ώστε να ταυτιστεί με αυτό των υπόλοιπων λαμπτήρων.

Σχετικά με τη προσφορά της τεχνολογικής εξέλιξης, υπάρχουν έρευνες που υποδεικνύουν ότι η κατανάλωση στον φωτισμό δεν επηρεάζεται από τη παραγωγή αποδοτικών τεχνολογιών, αλλά καθορίζεται από το κατά κεφαλήν ΑΕΠ και το κόστος ενέργειας κάθε χρονικής περιόδου (Tsao et al. 2010). Αυτή η διαπίστωση θα έλεγε κανείς ότι έρχεται σε αντίθεση με όσα αναπτύχθηκαν έως τώρα στο 3^ο Κεφάλαιο. Στην πραγματικότητα δεν πρόκειται για αντίθεση, αλλά για μια απαραίτητη διευκρίνιση πάνω στα όσα σχολιάστηκαν για τα ευρήματα που παρατέθηκαν. Πράγματι, δεν αρκεί η ίδια η ανάπτυξη νέων και τεχνολογικά εξελιγμένων φωτιστικών σωμάτων για τη μείωση της κατανάλωσης, αλλά η απορρόφησή τους από τον κοινωνικό ιστό. Όταν πρόκειται για χαμηλά κατά κεφαλήν εισοδήματα, η επένδυση σε αποδοτικά φωτιστικά σώματα δεν αποτελεί προτεραιότητα μεταξύ των άλλων αναγκών. Η αύξηση του κόστους ενέργειας επιδρά επίσης ρυθμιστικά στη συνολική κατανάλωση. Σε χώρες με υψηλότερα εισοδήματα θα προωθήσει την αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών με λιγότερο ενεργοβόρες, ενώ σε πιο φτωχές θα οδηγήσει σε αναγκαστική μείωση της κατανάλωσης εις βάρος της ποιότητας ζωής.

Στην Ελλάδα οι οικονομικές συνθήκες έχουν επηρεάσει σημαντικά την ενσωμάτωση νέας τεχνολογίας. Λόγω της πρόσφατης οικονομικής κρίσης χρησιμοποιείται, ειδικά σε δημόσιες υποδομές, παλιός εξοπλισμός φωτισμού (Doulos et al. 2019)



Εικόνα 2.12: Τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού στην Ελλάδα (Α.Τσαγκρασούλης)

Στην Εικόνα Π9 του παραρτήματος παρουσιάζονται δεδομένα κατανάλωσης φωτισμού σε ευρωπαϊκές χώρες από μια παλαιότερη δημοσίευση (Betrolldi & Atanasiu). Εκτιμήθηκε ότι στην Ελλάδα η κατανάλωση του φωτός το έτος 2007 ήταν 3TWh, αντιστοιχώντας στο 18% της συνολικής οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο πρόσφατα δεδομένα για την Ελλάδα υπολογίζουν το ποσοστό του φωτισμού στην τελική κατανάλωση ίσο με 14% για κτίρια κατοικιών και το διπλάσιο (28%) σε δημόσια κτίρια γραφείων (Εικόνα 1.12).

Συνοψίζοντας, τα κτίρια (οικιστικά, εμπορικά κ.α.) αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το ένα τρίτο της πρωτογενούς παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας. Ως τομέας αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας. Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για το φωτισμό των κτιρίων διαφέρει ανάλογα με τον τύπο τους. Σε ορισμένα κτίρια η κατανάλωση για φωτισμό είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη, όπως τα κτίρια γραφείων. Κατά μέσο όρο χρησιμοποιούν το μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό. Τα ευρωπαϊκά κτίρια γραφείων χρησιμοποιούν περίπου το 40% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό, ενώ το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό είναι 20-30% στα νοσοκομεία, 15% στα εργοστάσια, 10-15% στα σχολεία και 10% σε κτίρια κατοικιών (Halonen et al. 2010). Τα αστικά κτίρια έχουν συνήθως υψηλότερα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας από τα κτίρια σε αγροτικές περιοχές. Συνεπώς, η αύξηση της κατανάλωσης στα κτίρια αναμένεται να συνεχιστεί μακροπρόθεσμα, όχι μόνο ως αποτέλεσμα της πληθυσμιακής αύξησης, αλλά και ως αποτέλεσμα της αστικοποίησης.

Τα μέτρα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας φωτισμού πρέπει να στοχεύουν στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος ή / και του χρόνου λειτουργίας του συστήματος φωτισμού. Η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος επιτυγχάνεται με χρήση πηγών φωτός υψηλής απόδοσης και με κατάλληλο σχεδιασμό του συστήματος, αποφεύγοντας την υπερδιαστασιολόγηση. Η μείωση του χρόνου λειτουργίας προϋποθέτει την εγκατάσταση αυτοματισμών (αφορούν και την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός) αλλά και ατομική ευαισθητοποίηση πάνω στην έννοια της εξοικονόμησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Στάδια Μεθοδολογίας

Μετρήσεις και Υπολογισμοί

Σε πρώτο χρόνο πραγματοποιείται η μοντελοποίηση των εσωτερικών χώρων στο λογισμικό DIALux eno. Η διαμόρφωση του εσωτερικού περιβάλλοντος γίνεται σε υφιστάμενα σχέδια που τροποποιήθηκαν και εξάχθηκαν σε κατάλληλη μορφή (IFC files), μέσω του λογισμικού Revit 2024.

Απαραίτητη για τη μοντελοποίηση ήταν η λήψη μετρήσεων σχετικά με τις διαστάσεις και τις θέσεις όλων των αντικειμένων εντός των εξεταζόμενων χώρων, που αργότερα θα οριστούν ως επιφάνειες εργασίας. Η παρουσία κινητών αντικειμένων που δεν αποτελούν τμήμα των υπό μελέτη στοιχείων και ενδέχεται να δημιουργήσουν σκίαση πάνω σε αυτές, δεν λαμβάνεται υπόψη στους φωτομετρικούς υπολογισμούς του προγράμματος. Τέτοια στοιχεία είναι κυρίως έπιπλα, συσκευές ή διακοσμητικά (όπως οθόνες, μηχανήματα εκτύπωσης, καθίσματα), για τα οποία δεν γίνεται καταγραφή της θέσης τους.

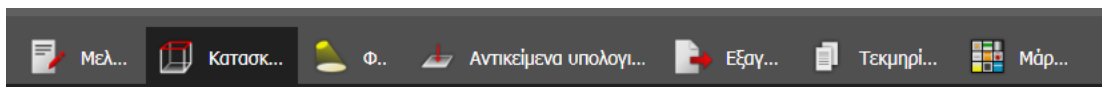
Όσον αφορά την ανακλαστικότητα των επιφανειών, λαμβάνονται οι τυπικές τιμές $\rho = 0,7$ για την οροφή, $0,5$ για τους τοίχους και $0,2$ για το δάπεδο, όπως αναφέρει η Τεχνική Οδηγία (Δούλος et al. 2021). Η ανακλαστικότητα των επιφανειών εργασίας εκτιμάται με χρήση φωτόμετρου. Το φωτόμετρο στρέφεται προς την επιφάνεια μελέτης σε απόσταση περίπου 20cm και λαμβάνεται η τιμή της έντασης φωτισμού. Ακολουθεί δεύτερη μέτρηση, περιστρέφοντας τον αισθητήρα κατά 180° και τοποθετώντας τον πάνω στην επιφάνεια. Η διαίρεση της πρώτης μέτρησης με τη δεύτερη δίνει την ανακλαστικότητα. Από Πίνακα II του παραρτήματος (ενδεικτικές τιμές ανακλαστικότητας υλικών) συγκρίνεται η μετρούμενη τιμή ανακλαστικότητας με την αντίστοιχη θεωρητική του εκάστοτε υλικού.

Με την ίδια λογική, καταγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτεινών πηγών και οι ακριβείς θέσεις των φωτιστικών σωμάτων, ώστε να προσομοιωθούν στο περιβάλλον του DIALux eno 12. Καταγράφονται παράλληλα και οι λαμπτήρες που δεν είναι λειτουργικοί, ώστε να μην συμπεριληφθούν στη προσομοίωση.

Σε μεταγενέστερο χρόνο λαμβάνονται μετρήσεις έντασης φωτισμού πάνω στις επιφάνειες εργασίας, με στόχο την αξιολόγηση του συστήματος φωτισμού. Κατά τη λήψη των μετρήσεων ο αισθητήρας τοποθετείται πάνω στην επιφάνεια εργασίας και ο χειριστής απομακρύνεται ώστε η παρουσία του να μην επηρεάζει τη μέτρηση του αισθητήρα. Το σύστημα φωτισμού είχε ενεργοποιηθεί τουλάχιστον 10 λεπτά πριν από κάθε μέτρηση, όπως αναφέρεται στη Τεχνική Οδηγία.

Εργαλεία Σχεδιασμού στο DIALux ενο 12

Στο πάνω μέρος της οθόνης βρίσκεται το menu, το οποίο περιέχει όλα τα επιμέρους βήματα για τη μοντελοποίηση ενός εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Τα βασικά μέρη περιγράφονται εν συντομία παρακάτω:



Εικόνα 3.1: Βασικό menu στο περιβάλλον DIALux ενο 12

Κατασκευή

Σε αυτή τη καρτέλα γίνεται η κατασκευή του κτιρίου, του χώρου ή οποιουδήποτε άλλου δομικού τμήματος. Επίσης δημιουργούνται τα έπιπλα και τα αντικείμενα που θα τοποθετηθούν μέσα στο έργο. Μια άλλη δυνατότητα σε αυτή τη καρτέλα είναι η ανάθεση χρώματος, υφής και ανακλαστικότητας σε όλα τα αντικείμενα. Ακόμα, ορίζονται οι επιφάνειες εργασίας και το προφίλ χρήσης κάθε χώρου.

Φως

Αυτή η καρτέλα διαθέτει όλα τα εργαλεία για την εισαγωγή, τοποθέτηση και επεξεργασία των φωτιστικών πηγών και των φωτιστικών σωμάτων που απαιτούνται για το έργο. Παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα οπτικοποίησης του φωτιστικού περιβάλλοντος έπειτα από κάθε αλλαγή στον φωτισμό, αλλά και πληροφορίες σχετικά με τη κατανάλωση ενέργειας, το ενεργειακό κόστος και τις εκπομπές CO₂.

Αντικείμενα Υπολογισμού

Ορίζονται και σχεδιάζονται τα απαραίτητα πλέγματα υπολογισμού, οι ζώνες εργασίας και οι περιοχές δραστηριότητας.

Εξαγωγή

Αυτή η λειτουργία επιτρέπει την εξαγωγή φωτομετρικών σχεδίων (dwg files) και εικόνων για χρήση στην τελική τεκμηρίωση.

Τεκμηρίωση

Σε αυτό το σημείο δημιουργείται η τελική έκθεση των αποτελεσμάτων. Η τελική τεκμηρίωση περιλαμβάνει πληροφορίες για το έργο, για τις προδιαγραφές των φωτιστικών σωμάτων, τυχόν όψεις που αποθηκεύτηκαν κατά τη δημιουργία του έργου και τα αποτελέσματα των φωτομετρικών και ενεργειακών υπολογισμών για κάθε εξεταζόμενο χώρο.

Λαδιακασία Σχεδιασμού

Αφού ολοκληρωθεί η καταγραφή των απαραίτητων πληροφοριών, ακολουθεί ο σχεδιασμός στο περιβάλλον του DIALux ενο. Η διαδικασία σχεδιασμού πραγματοποιείται με τα εργαλεία της καρτέλας *Κατασκευή*. Αντίθετα με άλλες περιπτώσεις σχεδιασμού σε τρισδιάστατο περιβάλλον, οι φωτομετρικοί υπολογισμοί απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην απεικόνιση του εσωτερικού χώρου, όντας καθοριστική για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου, δίνεται μεγάλη έμφαση στις σχετικές αποστάσεις μεταξύ φωτιστικών σωμάτων και επιφανειών μελέτης.

Για κάθε χώρο ορίζεται το επίπεδο χρήσης, το οποίο αποτελεί την επιφάνεια πάνω στην οποία θα πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της κάθετης έντασης φωτισμού και της ομοιομορφίας.

Οι χώροι που προσομοιώνονται είναι γραφεία, εργαστήρια, αίθουσα διδασκαλίας και διάδρομοι του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το ύψος του επιπέδου χρήσης στα εργαστήρια ορίζεται στα 0,90m (ύψος εργαστηριακών πάγκων), στα γραφεία 0,80m (ύψος γραφείου), στην αίθουσα διδασκαλίας 0,85m (ύψος εδράνων) και στους διαδρόμους στα 0m.

Το ύψος όλων των περιοχών που προκύπτουν από τη δημιουργία επιπέδων χρήσης ορίζεται στα 3,0m. Το ενεργό προφίλ χρήσης κάθε χώρου επιλέγεται από τον κατάλογο του προγράμματος (σύμφωνα με το πρότυπο EN 12464 – 1:2021). Για τα εργαστήρια επιλέγεται Περιοχή: 18 Βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες – Χημική βιομηχανία, βιομηχανία πλαστικών και ελαστικών, Εφαρμογή: 18.4 Χώροι μετρήσεων ακριβείας, εργαστήρια. Για την αίθουσα διδασκαλίας επιλέγεται Περιοχή: 44 Εκπαιδευτικά ιδρύματα – Εκπαιδευτικά κέντρα, Εφαρμογή: 44.2 Αίθουσες διαλέξεων. Στα γραφεία συμπληρώνεται Περιοχή: 34 Γραφεία, Εφαρμογή: 34.2 Γράψιμο, γραφομηχανή, ανάγνωση, επεξεργασία δεδομένων. Τέλος, στους διαδρόμους ορίζεται Περιοχή: 9 Κυκλοφοριακές ζώνες εντός κτιρίων, Εφαρμογή 9.1 Επιφάνειες κυκλοφορίας και διάδρομοι.

Η τιμή του συντελεστή συντήρησης (MF) ορίζεται 0,80 σε όλους τους χώρους.

Η επιλογή και εισαγωγή των φωτιστικών σωμάτων μπορεί να γίνει είτε απευθείας από τον ενσωματωμένο κατάλογο που διαθέτει το DIALux, είτε μέσω εισαγωγής του IES αρχείου που διαθέτει ο εκάστοτε κατασκευαστής στη σελίδα του.

Ανατρέχοντας στη καρτέλα *Φως* και επιλέγοντας από το μενού τη καρτέλα των φωτοτεχνικών δεδομένων, φαίνεται για το επιλεγμένο φωτιστικό η φωτεινή ροή (lm), ο βαθμός απόδοσης λειτουργίας (%), η ισχύς σύνδεσης (W) και το όφελος φωτός (lm/W). Η επόμενη επιλογή στο μενού του φωτισμού είναι οι λαμπτήρες. Σε αυτό το σημείο υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής των ιδιοτήτων της φωτεινής πηγής και κατά συνέπεια την αλλαγή των φωτοτεχνικών δεδομένων του φωτιστικού σώματος. Αυτές οι ιδιότητες αφορούν τη φωτεινή ροή, την ισχύ, τον τύπο λαμπτήρα αλλά και χρωματομετρικά δεδομένα όπως τη CCT και τον CRI.

Αξιοποίηση Φυσικού Φωτισμού

Συχνά τίθεται ως ερώτημα το πόσο μεγάλη εξοικονόμηση μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ενός συστήματος ελέγχου φωτισμού με στόχο την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός. Μέχρι πρότινος, ο παραπάνω υπολογισμός ήταν αρκετά σύνθετος και χρονοβόρος. Με την τελευταία έκδοση του DIALux ενο ο υπολογισμός γίνεται σε δευτερόλεπτα, καθιστώντας αυτό τη νέα δυνατότητα ένα μέσο με το οποίο μπορεί να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα της εγκατάστασης κάποιου συστήματος ελέγχου.

Στη καρτέλα της κατανάλωσης ενέργειας συμπληρώνεται το όνομα της περιοχής, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, η βορεινή ευθυγράμμιση και η ζώνη ώρας. Διαμορφώνεται επίσης το προφίλ του χώρου, ορίζοντας τη χρήση, τις ώρες έναρξης και λήξης της δραστηριότητας, τις ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα και τον συντελεστή απουσίας του χώρου. Το τελευταίο μέγεθος παίρνει τιμές από 0 έως 1, με τη τιμή ένα να αναφέρεται σε πλήρη απουσία χρηστών.

Η κατανάλωση ενέργειας στο DIALux υπολογίζεται σύμφωνα με το EN-15193 που καθορίζει τη μεθοδολογία για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης για την παροχή γενικού φωτισμού στα κτίρια. Το EN-15193 ορίζει τον αριθμητικό δείκτη ενέργειας φωτισμού LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) για τον υπολογισμό της ετήσιας ενέργειας που καταναλώνεται ανά τετραγωνικό μέτρο [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{year})$]. Εκτός από τη μορφή LENI, η κατανάλωση μπορεί να υπολογιστεί και ως kWh/year ή σε μονάδες κόστους (€/year). Παράλληλα, γίνεται υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO_2 (kg/year) από τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού.

Το ωράριο λειτουργίας των εργαστηρίων ορίζεται 09:00 – 19:00, Δευτέρα – Παρασκευή (5 ημέρες ανά εβδομάδα) με μηδενικό συντελεστή απουσίας. Η λειτουργία των διαδρόμων ορίζεται 08:00 – 19:00, 5 ημέρες τη βδομάδα, με συντελεστή απουσίας 0,80. Για τα γραφεία συμπληρώνεται λειτουργία 09:00 – 15:00, 5 ημέρες την εβδομάδα και συντελεστής απουσίας 0,4. Η αίθουσα διαλέξεων λειτουργεί 09:00 – 20:00, 5 ημέρες την εβδομάδα με συντελεστή απουσίας 0,1.

Για κάθε ώρα και κάθε ημέρα του έτους, καθορίζεται το φως της ημέρας που εισέρχεται από τα ανοίγματα και υπολογίζεται η ποσότητα τεχνητού φωτισμού που πρέπει να προστεθεί για να επιτευχθεί η απαιτούμενη ένταση φωτισμού. Το αποτέλεσμα στη συνέχεια δείχνει πόση ενέργεια (kWh), CO_2 (kg) και χρήματα (€) θα εξοικονομηθούν ετησίως στο ενδεχόμενο εγκατάστασης συστήματος ελέγχου. Η τιμή του ρεύματος για το Πολυτεχνείο Κρήτης ορίζεται στα $0,30\text{€/kWh}$ και οι εκπομπές CO_2 $0,400\text{kg/kWh}$.

Για να προσδιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας συστήματος φωτισμού και η δυνητική εξοικονόμηση, επιλέγεται: Φως → Κατανάλωση Ενέργειας → Προσθήκη ανιχνευτή / αισθητήρα. Ο σχεδιαστής καλείται απλώς να τοποθετήσει τον αισθητήρα σε ένα σημείο του χώρου, να ορίσει τον τύπο και το χρονοδιάγραμμα της χρήσης και να καθορίσει ποια φωτιστικά σώματα θα εξαιρεθούν από το σύστημα ελέγχου. Με τη τοποθέτηση του αισθητήρα εμφανίζεται απευθείας ένα ταχύμετρο εξοικονόμησης ενέργειας, όπως φαίνεται στο παράδειγμα της Εικόνας 3.2.



Εικόνα 3.2: Ταχύμετρο εξοικονόμησης ενέργειας

Το ταχύμετρο ενέργειας απεικονίζει:

- i. Τη κατανάλωση ενέργειας του συστήματος χωρίς σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού.
- ii. Τη κατανάλωση ενέργειας στο ενδεχόμενο αξιοποίησης του φυσικού φωτός.
- iii. Τη δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας έχοντας εγκαταστήσει σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού.

Στο παράδειγμα της Εικόνας 3.2 η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τον εξεταζόμενο χώρο υπολογίστηκε 584kWh. Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός εκτιμήθηκε ότι μπορεί να μειώσει τη ζήτηση σε 392kWh, εξοικονομώντας 192kWh ετησίως.

Η ένδειξη του ταχύμετρου αποτελεί μια εκτιμώμενη τιμή, ενδεικτική του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς είναι αποτέλεσμα πολυετούς ερευνητικού έργου σε συνεργασία με το Fraunhofer Institute for Building Physics (Hemmerling, Seegers, and Witzel 2023).

3.2. Εξεταζόμενοι Χώροι και Μεθοδολογία Διαμόρφωσης Διαφορετικών Ζωνών Χρήσης

Οι χώροι που εξετάζονται βρίσκονται στα κτίρια της σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος και είναι οι εξής:

- Η αίθουσα διδασκαλίας K2A1 στο πρώτο όροφο κτιρίου K2, με συνολικό εμβαδόν 150m².
- Το εργαστήριο που στεγάζεται στην αίθουσα K1.014 στο ισόγειο του κτιρίου K1, με εμβαδόν 50m².
- Το γραφείο K1.111 (25m²) στο πρώτο όροφο του κτιρίου K1.
- Οι διάδρομοι στο ισόγειο του κτιρίου K1, με συνολική έκταση 130m²

Όταν η μελλοντική χρήση του χώρου δεν είναι γνωστή – ομοίως και οι θέσεις των επιφανειών εργασίας – ολόκληρος ο χώρος θεωρείται ένα ενιαίο επίπεδο εργασίας που πρέπει να πληροί τα ανάλογα όρια έντασης και ομοιομορφίας. Όταν όμως η χρήση και οι θέσεις εργασίας είναι γνωστές, το πρότυπο EN 12464-1 αναφέρει ότι σε ένα χώρο μπορούν να οριστούν διαφορετικά τα επίπεδα εργασίας ανάλογα τις διαφορετικές χρήσεις.

Στη παρούσα μελέτη γίνεται προσπάθεια διαχωρισμού των χώρων σε επιμέρους ζώνες με διαφορετική χρήση. Με αυτό τον τρόπο τα επίπεδα εργασίας δημιουργούνται με τη λογική της παροχής φωτός όπου και όσο χρειάζεται, αποφεύγοντας την εγκατάσταση περιττού φωτισμού. Εξετάζοντας την απόδοση του φωτισμού με αυτή τη μεθοδολογία γίνεται σαφές αν η ένταση φωτισμού – συνεπώς και η εγκατεστημένη ισχύς – υπερβαίνουν ή υστερούν των πραγματικών αναγκών.

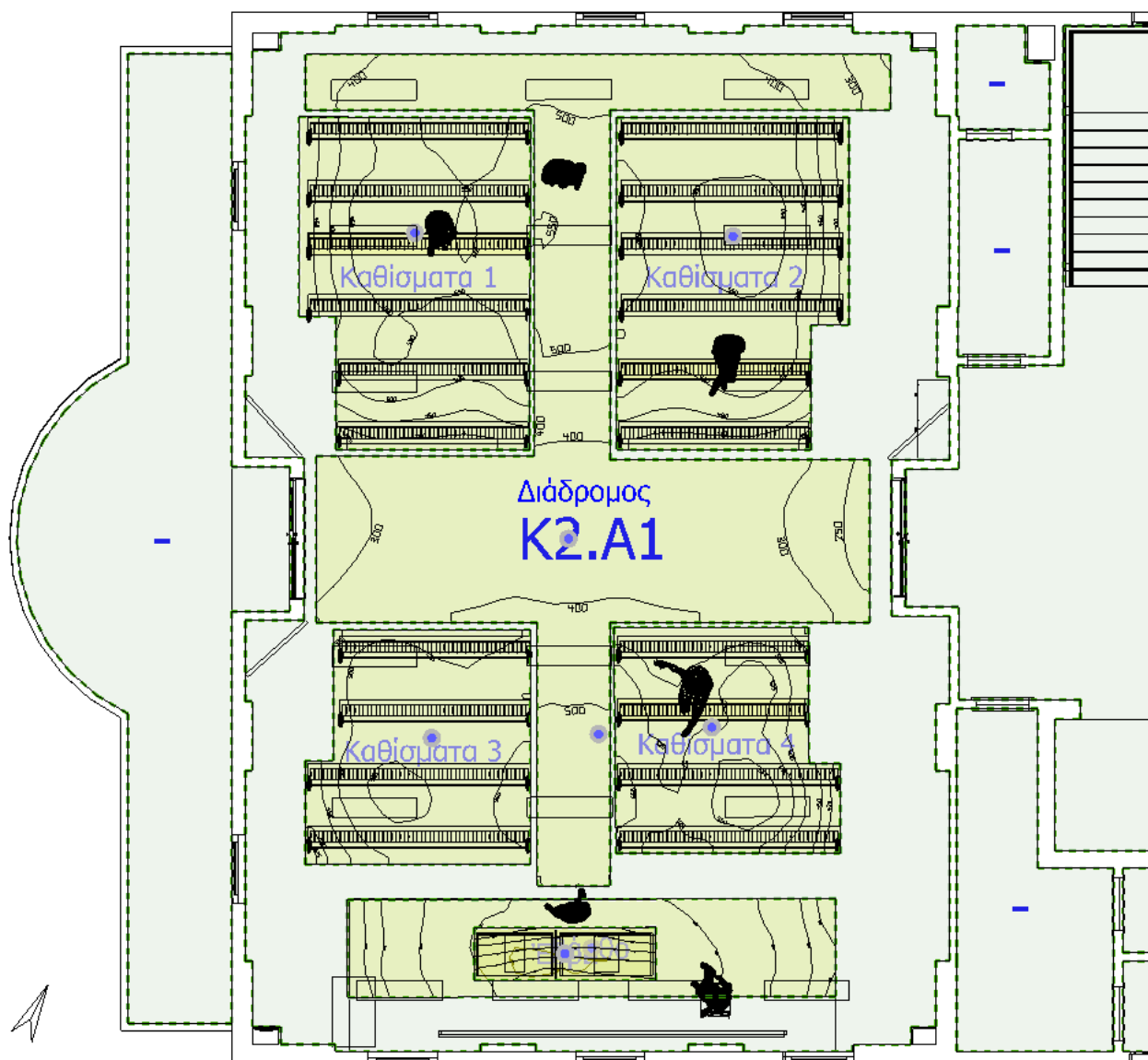
Η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί να βρει εφαρμογή σε σχετικά μεγάλους χώρους που επιτρέπουν στο εσωτερικό τους διαφορετικά είδη δραστηριοτήτων ή σε χώρους στους οποίους η επιφάνεια εργασίας καταλαμβάνει σημαντικά μικρότερη έκταση σε σχέση με τον υπόλοιπο χώρο. Τέτοια παραδείγματα είναι η αίθουσα διαλέξεων και τα γραφεία.

A) Αίθουσα διαλέξεων (K2A1)

Στη περίπτωση της αίθουσας διαλέξεων, ως χώρος στον οποίο η οπτική εργασία έχει μεγάλη σημασία, ο φωτισμός πρέπει να ικανοποιεί κατά ελάχιστο το όριο των 500lux. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι διάδρομοι κυκλοφορίας μεταξύ των καθισμάτων έχουν ελάχιστο όριο έντασης φωτισμού τα 100lux, καθώς σε αυτές τις περιοχές δεν συντελείται οπτική εργασία. Αντί να φωτιστεί όλη η έκταση του χώρου με το ελάχιστο όριο για οπτική εργασία (500lux), επιλέγεται η δημιουργία διαφορετικών ζωνών χρήσης με στόχο τον καθορισμό ορίων που θα βοηθήσουν αργότερα στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος.

Η αίθουσα χωρίζεται σε επτά επιμέρους ζώνες, όπου οι τέσσερις αντιστοιχούν στα καθίσματα των φοιτητών (Περιοχή: 44 Εκπαιδευτικά ιδρύματα – Εκπαιδευτικά κέντρα, Εφαρμογή: 44.2 Αίθουσες διαλέξεων), μια ζώνη για τον διάδρομο (Περιοχή: 44 Εκπαιδευτικά ιδρύματα – Εκπαιδευτικά κέντρα, Εφαρμογή: 44.19 Χώροι κυκλοφορίας, διάδρομοι), μια ζώνη για το βάθρο του εισηγητή / καθηγητή (Περιοχή: 44 Εκπαιδευτικά ιδρύματα – Εκπαιδευτικά κέντρα, Εφαρμογή: 44.10 Φωτισμός στη περιοχή του βάθρου) και μια ζώνη για την έδρα του καθηγητή (Περιοχή: 44 Εκπαιδευτικά ιδρύματα – Εκπαιδευτικά κέντρα, Εφαρμογή: 44.9 Φωτισμός στον καθηγητή / ομιλητή). Κατά αυτόν το τρόπο, η

απαίτηση σε φωτισμό καθορίζεται στα 500lux για τα καθίσματα, 100lux για τον διάδρομο και 300lux στη περιοχή του ομιλητή.



Εικόνα 3.3: Κάτοψη επιφανειών εργασίας στην αίθουσα διαλέξεων (Κ2Α1)



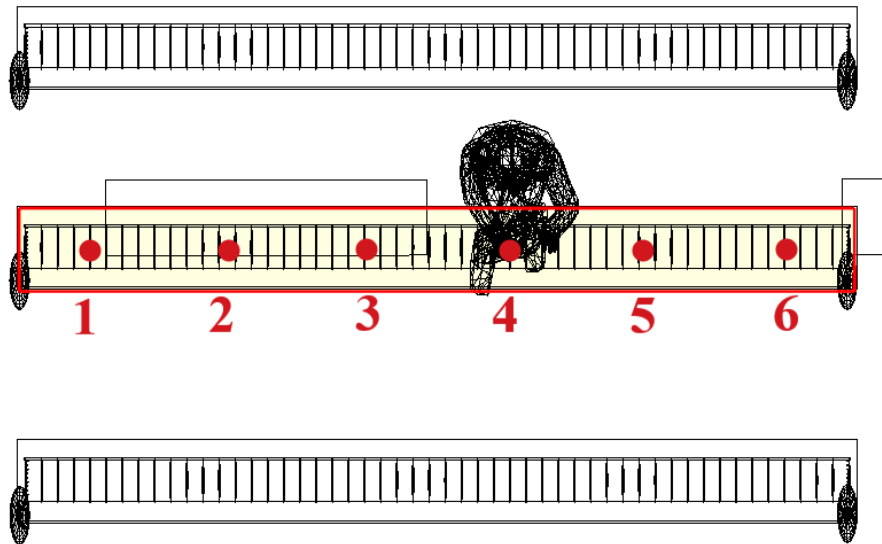
Εικόνα 3.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση επιφανειών εργασίας (Κ2Α1)



Εικόνα 3.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση επιφανειών εργασίας (Κ2Α1)

Τα σημεία στα οποία γίνεται έλεγχος για θάμβωση (UGR) είναι:

- Τρεις επιφάνειες θρανίων στη περιοχή των καθισμάτων, με το ψηφιοδοπλέγμα μέτρησης να περιλαμβάνει αριθμό σημείων ίσο με τον αριθμό καθισμάτων (5 ή 6 σημεία, ανάλογα τη σειρά καθισμάτων). Το ύψος των σημείων μετατοπίζεται από το ύψος της επιφάνειας (0,85m) στο ύψος των ματιών ενός καθιστού παρατηρητή (τυπικό ύψος 1,2m). Το βλέμμα των ατόμων ορίζεται να κατευθύνεται προς τον ομιλητή (0 – 180°).



Εικόνα 3.6: Σημεία ψηφιοδοπλέματος μέτρησης πάνω στην επιφάνεια του θρανίου

- Ένα σημείο στον διάδρομο, στο ύψος των ματιών ενός όρθιου ατόμου (τυπικό ύψος 1,60m), τα οποία παρατηρούν το χώρο από όλες τις πιθανές γωνίες (0 – 360 °).



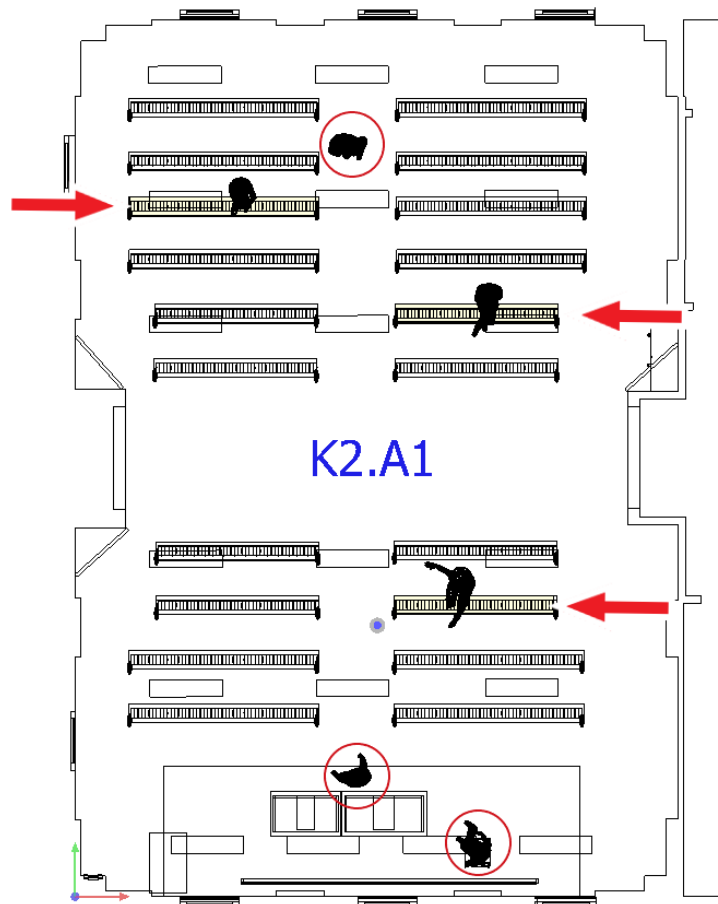
Εικόνα 3.7: Σημείο ελέγχου θάμβωσης όρθιου παρατηρητή

- Δυο σημεία στη περιοχή του ομιλητή, για τη περίπτωση που κάθεται ή στέκεται όρθιος και κοιτάει προς τα καθίσματα ($180 - 360^\circ$). Στο ύψος αυτών των σημείων έχει προστεθεί το ύψος του βάθρου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.18.



Εικόνα 3.8: Σημεία ελέγχου θάμβωσης εισηγητών

Το εύρος βήματος είναι η μέγιστη κατακόρυφη γωνία στην οποία μπορεί να κινηθεί το βλέμμα, χωρίς να μετακινηθεί το κεφάλι. Ορίζεται 15° , υποθέτοντας ότι η γνάθος του παρατηρητή βρίσκεται παράλληλα με το έδαφος.



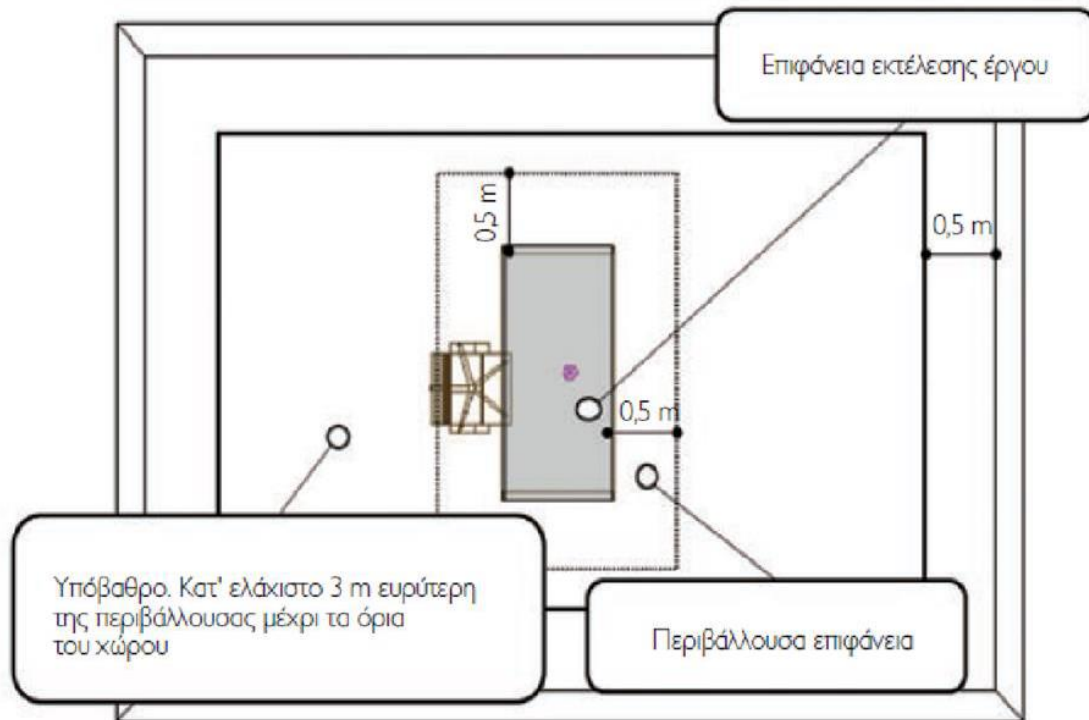
Εικόνα 3.9: Σημεία ελέγχου θάμβωσης στην αίθουσα διαλέξεων

B) Γραφείο (Κ1.111)

Το πρότυπο EN 12464-1 ορίζει τρεις διαφορετικές περιοχές φωτισμού:

1. την επιφάνεια εκτέλεσης έργου / εργασίας
2. τη περιβάλλουσα επιφάνεια
3. την επιφάνεια υποβάθρου

, με τις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των τριών επιφανειών να φαίνονται στην

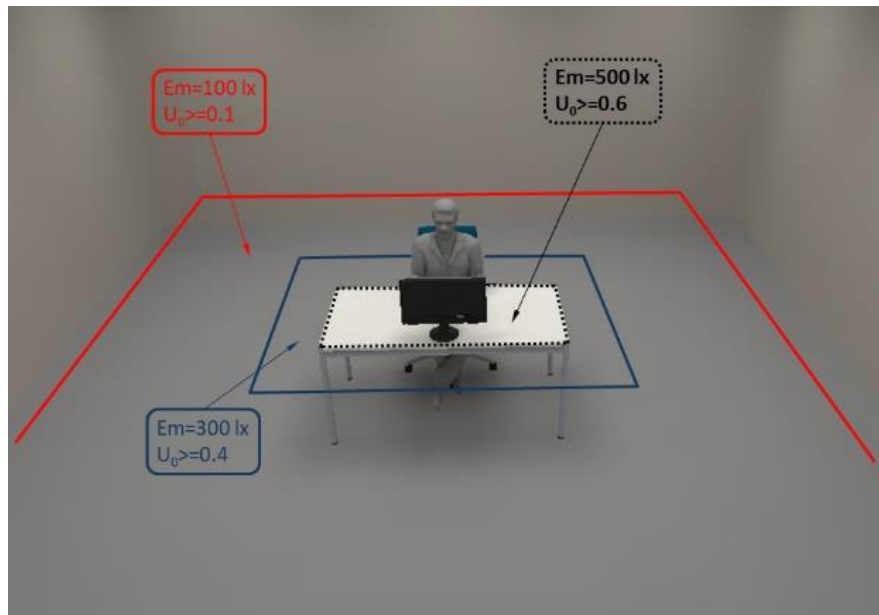


Εικόνα 3.10: Αποστάσεις μεταξύ των περιοχών φωτισμού (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

Επιφάνεια εργασίας καλείται η περιοχή όπου πραγματοποιείται η οπτική εργασία. Η περιβάλλουσα επιφάνεια ορίζεται ως η επιφάνεια εντός του οπτικού πεδίου του χρήστη, η οποία καταλαμβάνει απόσταση 0,5m περιμετρικά της επιφάνειας εργασίας. Η ένταση φωτισμού στην περιβάλλουσα επιφάνεια εξαρτάται από την ένταση στην επιφάνεια εργασίας και πρέπει να ακολουθεί τη συγκεκριμένη διαβάθμιση που αναφέρεται στο πρότυπο EN 12665 για ισορροπημένη κατανομή λαμπρότητας. Η προτεινόμενη βηματική διαβάθμιση στην ένταση φωτισμού ακολουθεί: 5 / 7,5 / 10 / 15 / 20 / 30 / 50 / 75 / 100 / 150 / 200 / 300 / 500 / 750 / 1000lx.

Η επιφάνεια υποβάθρου καλύπτει τον υπόλοιπο χώρο, και επεκτείνεται κατά ελάχιστο 3m από την περιβάλλουσα επιφάνεια. Αν δεν υπάρχει μια ζώνη στα όρια του χώρου που να θέτει εκτός αναγκαίων απαιτήσεων ένα συγκεκριμένο πλάτος (συνήθως 0,5m από τα όρια του χώρου), το υπόβαθρο μπορεί να φτάνει μέχρι τα τοιχώματα. Η ελάχιστη ένταση φωτισμού στην περιοχή υποβάθρου λαμβάνει τουλάχιστον το 1/3 της έντασης της περιβάλλουσας επιφάνειας.

Η ομοιομορφία (U_o) στην επιφάνεια εργασίας καθορίζεται ανάλογα με τη δραστηριότητα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα Ι του παραρτήματος. Για την περιβάλλουσα επιφάνεια η ελάχιστη τιμή της ομοιομορφίας είναι 0,4 και για την επιφάνεια υποβάθρου 0,1.



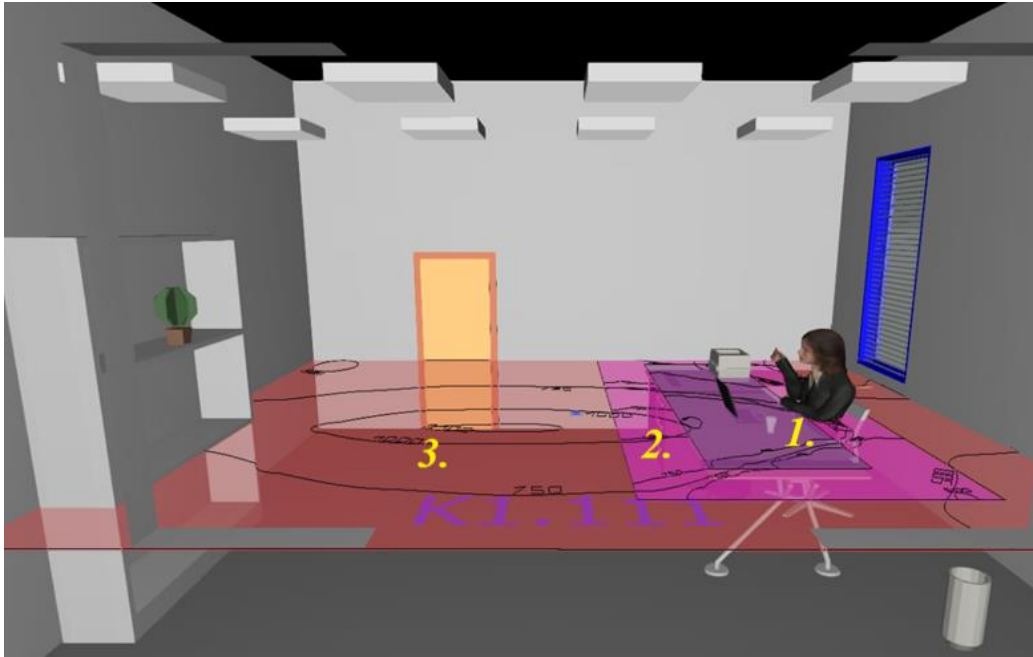
Εικόνα 3.11: Όρια μέσης έντασης φωτισμού και ομοιομορφίας στις επιφάνειες: εργασίας, περιβάλλουσα και υποβάθρου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

Για τον έλεγχο της θάμβωσης ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε νωρίτερα. Τα σημεία υπολογισμού της θάμβωσης ορίζονται στα 1,20m (καθιστή στάση) και στα 1,60m (όρθια στάση), με εύρος γωνίας 0 – 360 ° και εύρος βήματος 15°.

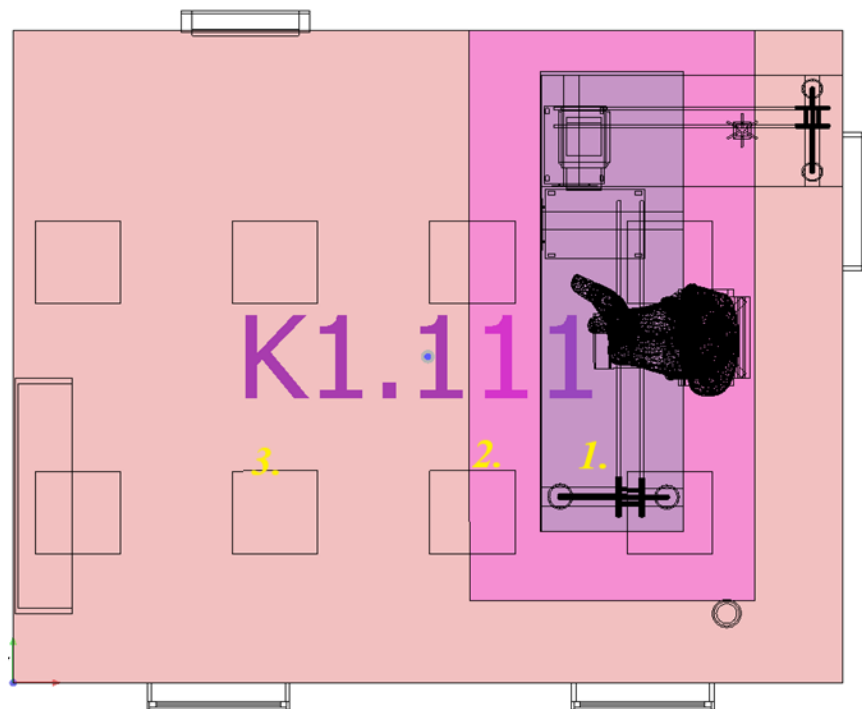


Εικόνα 3.12: Χώρος γραφείου (K1.111)

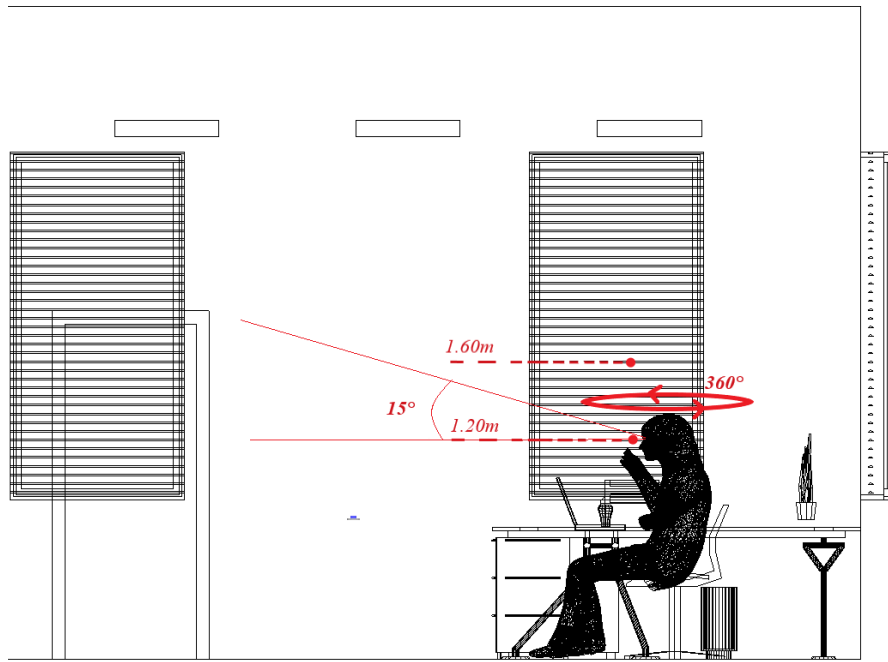
Στην Εικόνα 3.12 φαίνεται η διαρρύθμιση του χώρου του γραφείου, ενώ στις Εικόνες 3.13 & 3.14 παρουσιάζονται οι περιοχές φωτισμού που ορίστηκαν. Η Επιφάνεια 1 είναι η επιφάνεια του γραφείου και αντιστοιχεί στην επιφάνεια εργασίας. Η Επιφάνεια 2 είναι η περιβάλλουσα επιφάνεια ενώ η Επιφάνεια 3 αντιστοιχεί στην επιφάνεια υποβάθρου. Σημειώνεται ότι το DIALux ενο δημιουργεί αυτόματα τη περιβάλλουσα επιφάνεια και την επιφάνεια υποβάθρου, μόλις οριστεί η επιφάνεια εργασίας. Το ύψος αυτών των επιπέδων, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, είναι στα 0,8m.



Εικόνα 3.13: Περιοχές φωτισμού γραφείου (K1.111)



Εικόνα 3.14: Κάτοψη περιοχών φωτισμού γραφείου (K1.111)

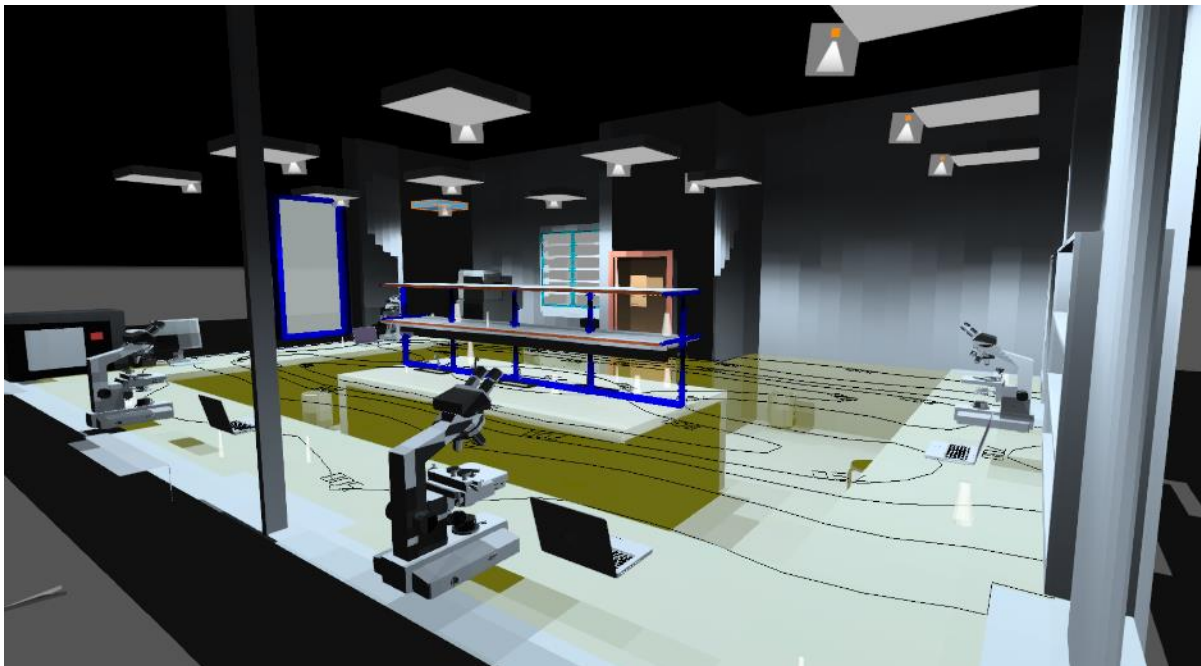


Εικόνα 3.15: Σημεία ελέγχου θάμβωσης στο χώρο του γραφείου (Κ1.111)

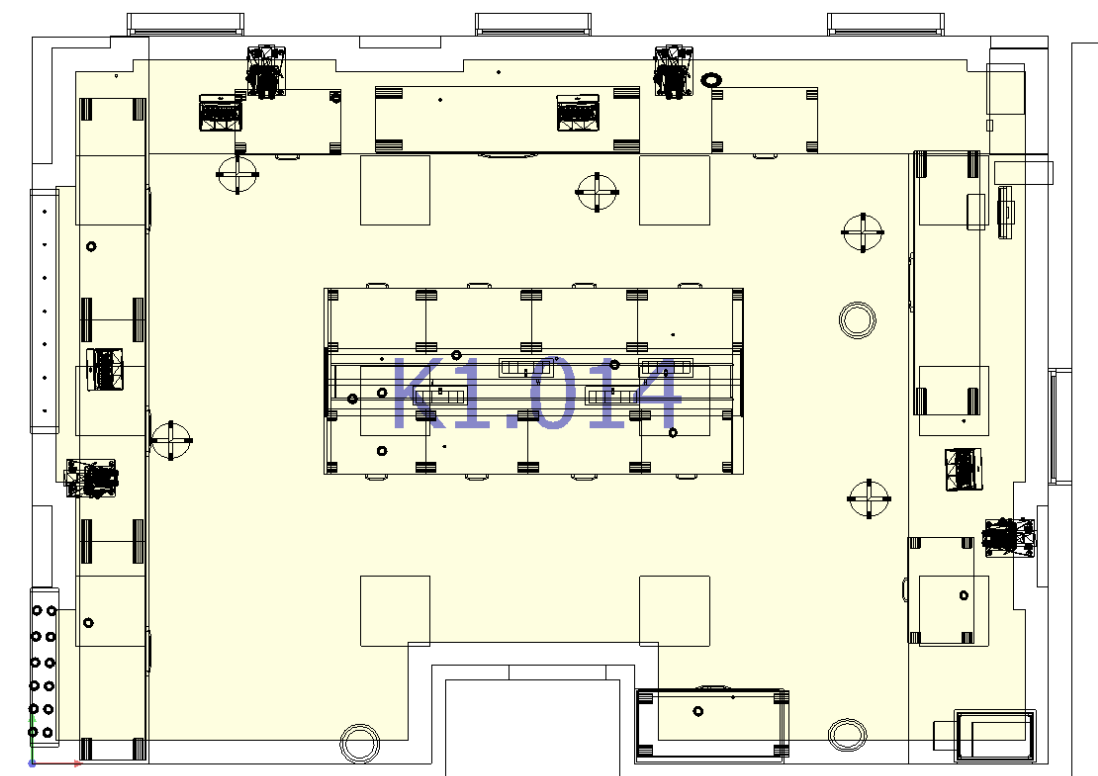
Γ) Εργαστήριο (Εργαστήριο Υδατικής Χημείας – K1.014)

Στους χώρους των εργαστηρίων το πλάτος των διαδρόμων που παρεμβάλλεται μεταξύ των εργαστηριακών πάγκων είναι αρκετά μικρό. Οι πάγκοι εργασίας καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση του χώρου, αφήνοντας ένα μικρό ποσοστό που θα μπορούσε να καταταχθεί σε διαφορετική χρήση. Επομένως, θα ήταν άστοχο να πραγματοποιηθεί κάποιος διαχωρισμός στο επίπεδο εργασίας του χώρου, καθώς εν τέλει θα καταλήξει να λαμβάνει την ζητούμενη ένταση των πάγκων (για να τηρηθεί η αναγκαία ομοιομορφία). Εξάλλου, λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη ακρίβεια για λήψη μετρήσεων, μεταφορά δειγμάτων και χειρισμό επιστημονικού εξοπλισμού, κρίνεται σκόπιμο να θεωρηθεί στο χώρο μια ενιαία επιφάνεια εργασίας με υψηλές απαιτήσεις.

Επομένως, ως επίπεδο εργασίας στο εργαστήριο λαμβάνεται όλη η έκταση του χώρου. Ορίζεται μια ζώνη 0,2m περιμετρικά των ορίων του χώρου που εξαιρείται από την επιφάνεια εργασίας, με στόχο την αποφυγή μικρών περιοχών με υψηλή ανομοιομορφία φωτισμού που θα επηρεάσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Το ύψος της επιφάνειας εργασίας ορίζεται στο ύψος των εργαστηριακών πάγκων, το οποίο μετρήθηκε 0,90m. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο επιστημονικός εξοπλισμός του εργαστηρίου δεν συμπεριλήφθηκε στους φωτομετρικούς υπολογισμούς.

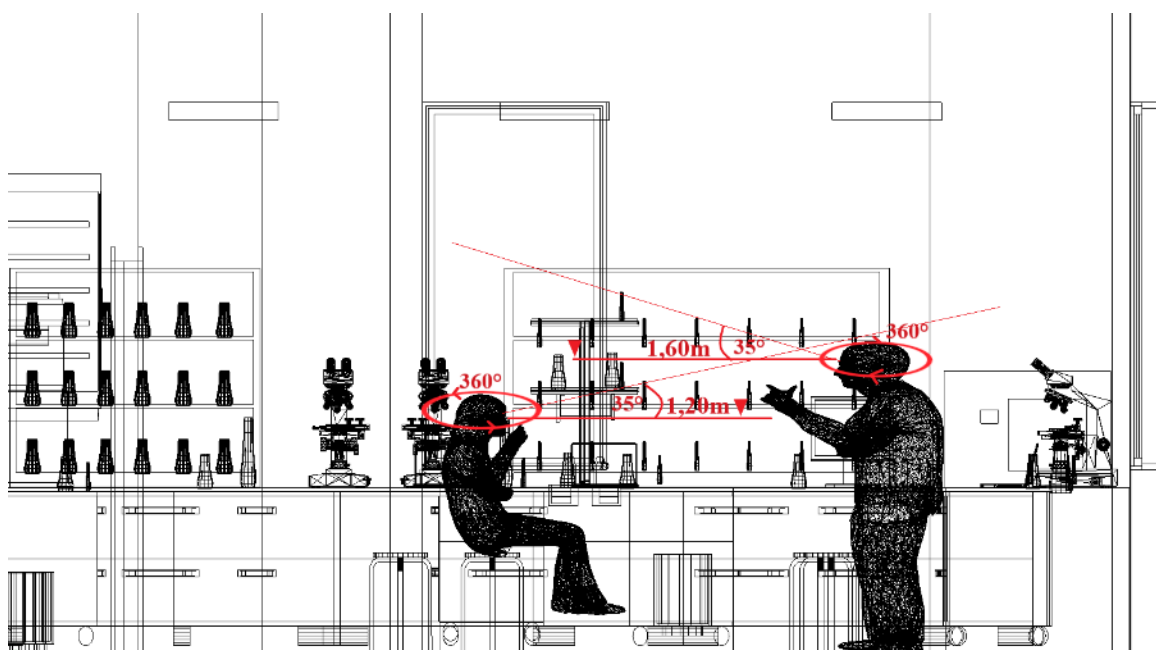


Εικόνα 3.16: Επίπεδο εργασίας εργαστηρίου (K1.014)



Εικόνα 3.17: Κάτοψη επιπέδου εργασίας εργαστηρίου (K1.014)

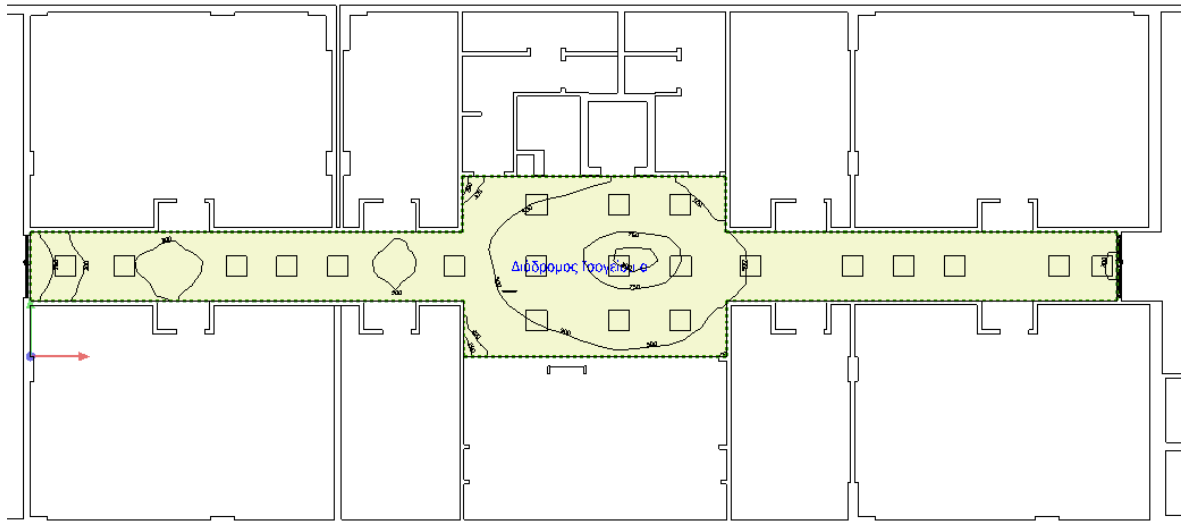
Η θάμβωση στο εργαστήριο εκτιμάται για καθιστή και όρθια στάση του σώματος, με εύρος γωνίας $0 - 360^\circ$ και εύρος βήματος 35° . Το εύρος βήματος αυξήθηκε κατά 20° σε αυτή τη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά αντικειμένων από ράφια μεγαλύτερου ύψους.



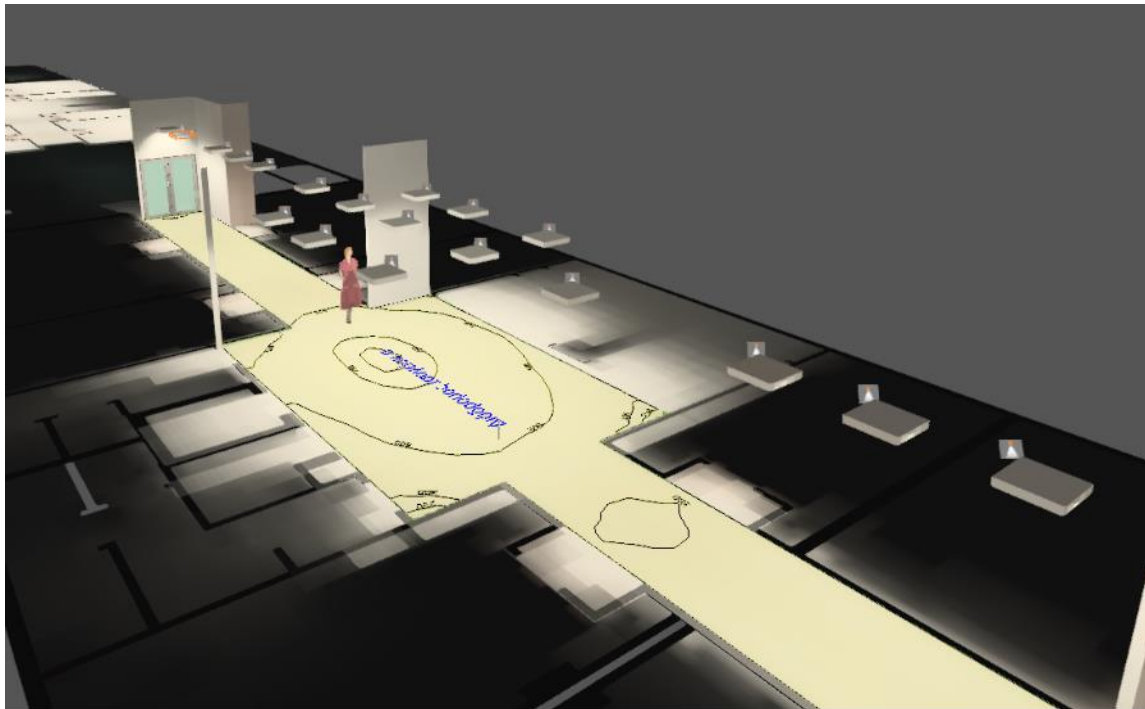
Εικόνα 3.18: Έλεγχος θάμβωσης στο εργαστήριο

Δ) Διάδρομος

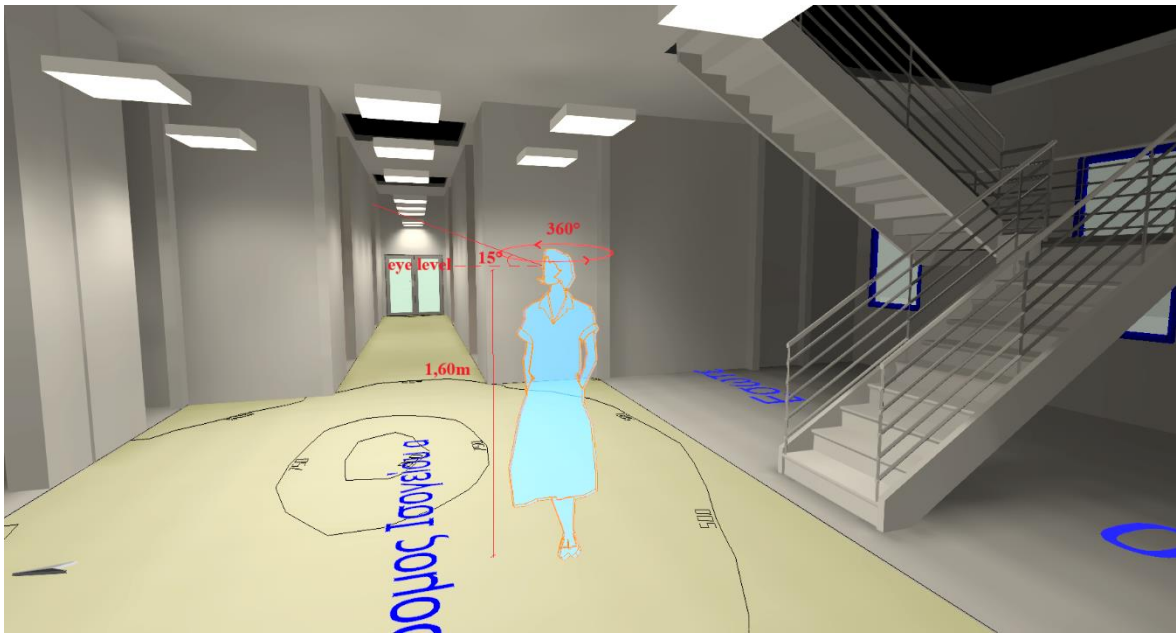
Στη περίπτωση των διαδρόμων είναι προφανές ότι ο χώρος δεν μπορεί να διαιρεθεί σε διαφορετικές ζώνες χρήσης. Η περιοχές κοντά στις σκάλες εξαιρούνται από την επιφάνεια χρήσης γιατί δημιουργούν ανεπιθύμητες σκιάσεις. Η θάμβωση του παρατηρητή υπολογίζεται για όρθια στάση, με εύρος γωνίας $0 - 360^\circ$ και εύρος βήματος 15° .



Εικόνα 3.19: Κάτοψη επιφάνειας εργασίας διαδρόμου



Εικόνα 3.20: Επιφάνεια εργασίας διαδρόμου σε τρισδιάστατη προσομοίωση



Εικόνα 3.21: Παράμετροι υπολογισμού θάμβωσης στους διαδρόμους

3.3 Μέρος I: Αξιολόγηση Υφιστάμενου Φωτισμού

Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύος

Ένα σύστημα φωτισμού ενδέχεται να μην επαρκεί για τη κάλυψη των αναγκών (υποφωτισμένος χώρος → απουσία οπτικής άνεσης), να είναι επαρκές ή να υπερβαίνει κατά πολύ τις ανάγκες (υπερδιαστασιολόγηση → υψηλή κατανάλωση ενέργειας). Εκτός από το κομμάτι της κάλυψης των αναγκών, πρέπει να χαρακτηρίζεται και ως προς την ενεργειακή του απόδοση. Το πρώτο στάδιο της μελέτης αφορά την αξιολόγηση του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού.

Αρχικά γίνεται καταγραφή του εξοπλισμού ως προς τον αριθμό και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά. Μέσω αυτών των δεδομένων γίνεται ο υπολογισμός της εγκατεστημένης ισχύος.

Η εγκατεστημένη ισχύς κάθε φωτιστικού σώματος υπολογίζεται (Δούλος et al. 2021):

$$P_{lum} = n_{lamp} \cdot P_{lamp} \cdot f_{gear}$$

, όπου:

P_{lum} [W]: η εγκατεστημένη ισχύς ενός φωτιστικού σώματος

n_{lamp} [-]: ο αριθμός των λαμπτήρων που περιέχει το φωτιστικό σώμα (θεωρούνται όλοι ίδιοι)

P_{lamp} [W]: η ονομαστική ισχύς του λαμπτήρα

f_{gear} [-]: ο συντελεστής προσαύξησης ισχύος (Πίνακας 3.1)

Για το συνολικό σύστημα φωτισμού:

$$P_s = \sum n_{lum} \cdot P_{lum}$$

, όπου

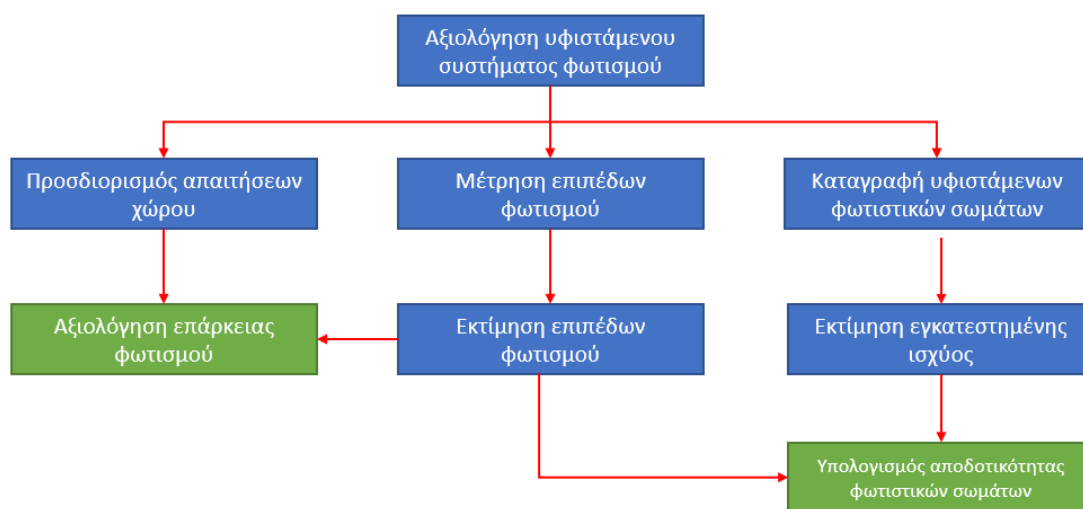
P_s [W]: η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος

Πίνακας 3.1 : Τιμές συντελεστή προσαύξησης ισχύος f_{gear} (T.O.T.E.E. 20701-7/2021)

Τύπος	f_{gear}
Ηλεκτρομαγνητικό ballast	1,20
Ηλεκτρονικό ballast	1,05
Driver	1,00
Χωρίς ballast	1,00

Μέθοδοι αξιολόγησης

Η αξιολόγηση πραγματοποιείται στο λογισμικό DIALux ενο 11.1. Υπολογίζεται σε κάθε επιφάνεια εργασίας η ένταση φωτισμού, η ομοιομορφία, και η θάμβωση δυσφορίας σε όλες τις θέσεις ελέγχου. Τα φωτιστικά σώματα ή ορισμένοι λαμπτήρες που δεν λειτουργούν δεν αντικαθίστανται με νέα σε αυτό το στάδιο. Στην Εικόνα 3.22 φαίνεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας αξιολόγησης υφιστάμενου συστήματος φωτισμού που βρίσκεται στη τελευταία Τεχνική Οδηγία.



Εικόνα 3.22: Διαδικασία αξιολόγησης συστήματος φωτισμού (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

Η μέση τιμή έντασης φωτισμού πρέπει να είναι ίση με την επιθυμητή τιμή ή μεγαλύτερη 30% κατά μέγιστο. Αν η μέση τιμή ανήκει κάτω από αυτά τα όρια, ο χώρος χαρακτηρίζεται υποφωτισμένος. Αντίστοιχα, αν η μέση τιμή ξεπερνά το 130% της επιθυμητής, ο χώρος κρίνεται υπερφωτισμένος.

Τοποθετώντας τον αισθητήρα από τη καρτέλα << Κατανάλωση Ενέργειας >>, πρόγραμμα υπολογίζει σε ετήσια βάση τη κατανάλωση ενέργειας (kWh/year) και το ενεργειακό αποτύπωμα (kg CO₂ / year) για κάθε χώρο. Στα αποτελέσματα παρουσιάζεται και η εκτιμώμενη μείωση των δύο παραπάνω μεγεθών από την ενδεχόμενη αξιοποίηση του εισερχόμενου φυσικού φωτός.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, η επάρκεια του φωτισμού επιλέγεται αξιολογηθεί και χειροκίνητα με τη χρήση φωτόμετρου. Αυτή η διαδικασία απαιτεί τη πλήρη απουσία φυσικού φωτός και ως εκ τούτου πρέπει να πραγματοποιείται σε βραδινές ώρες. Ο μόνος χώρος στον οποίο υπήρχε δυνατότητα πρόσβασης εκτός των ωρών λειτουργίας του ιδρύματος, ήταν η αίθουσα διδασκαλίας. Επομένως, οι πειραματικές μετρήσεις έντασης φωτισμού που συλλέχθηκαν με το φωτόμετρο αφορούν μόνο την αίθουσα διδασκαλίας.

Οι μετρήσεις έντασης φωτισμού λαμβάνονται στις περιοχές των θρανίων (ανά δύο θέσεις καθισμάτων), στους διαδρόμους κυκλοφορίας και στην έδρα. Όλοι οι διακόπτες τίθενται σε λειτουργία για τουλάχιστον 10 λεπτά πριν την έναρξη των μετρήσεων. Μετά τη καταγραφή

τους, οι τιμές επεξεργάζονται στο περιβάλλον του AutoCAD 2024 και κατασκευάζονται οι καμπύλες ίσου φωτισμού (isolux). Οι πειραματικές καμπύλες ίσου φωτισμού της αίθουσας διδασκαλίας συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του DIALux eno 12 και σχολιάζονται οι μεταξύ τους αποκλίσεις.

Με σκοπό την ποσοτική εκτίμηση του εισερχόμενου φυσικού φωτός εντός της αίθουσας διδασκαλίας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το φωτόμετρο και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συγκρίνοντας τη τιμή της μέσης έντασης φωτισμού που μετρήθηκε τη νύχτα από την μέση ένταση κατά τη διάρκεια της ημέρας λαμβάνεται μια εικόνα για τη συνεισφορά του φυσικού φωτός στα επίπεδα της έντασης φωτισμού.

Οι πειραματικές μετρήσεις λήφθηκαν με το ψηφιακό φωτόμετρο LM – 120 της εταιρίας Amprobe, ακρίβειας 0,01lux.



Εικόνα 3.23: Φωτόμετρο Amprobe LM - 120 (<https://www.amprobe.com/product/lm-120/>)

3.4 Μέρος II: Δράσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας

Σενάριο I :Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φθορισμού με LED

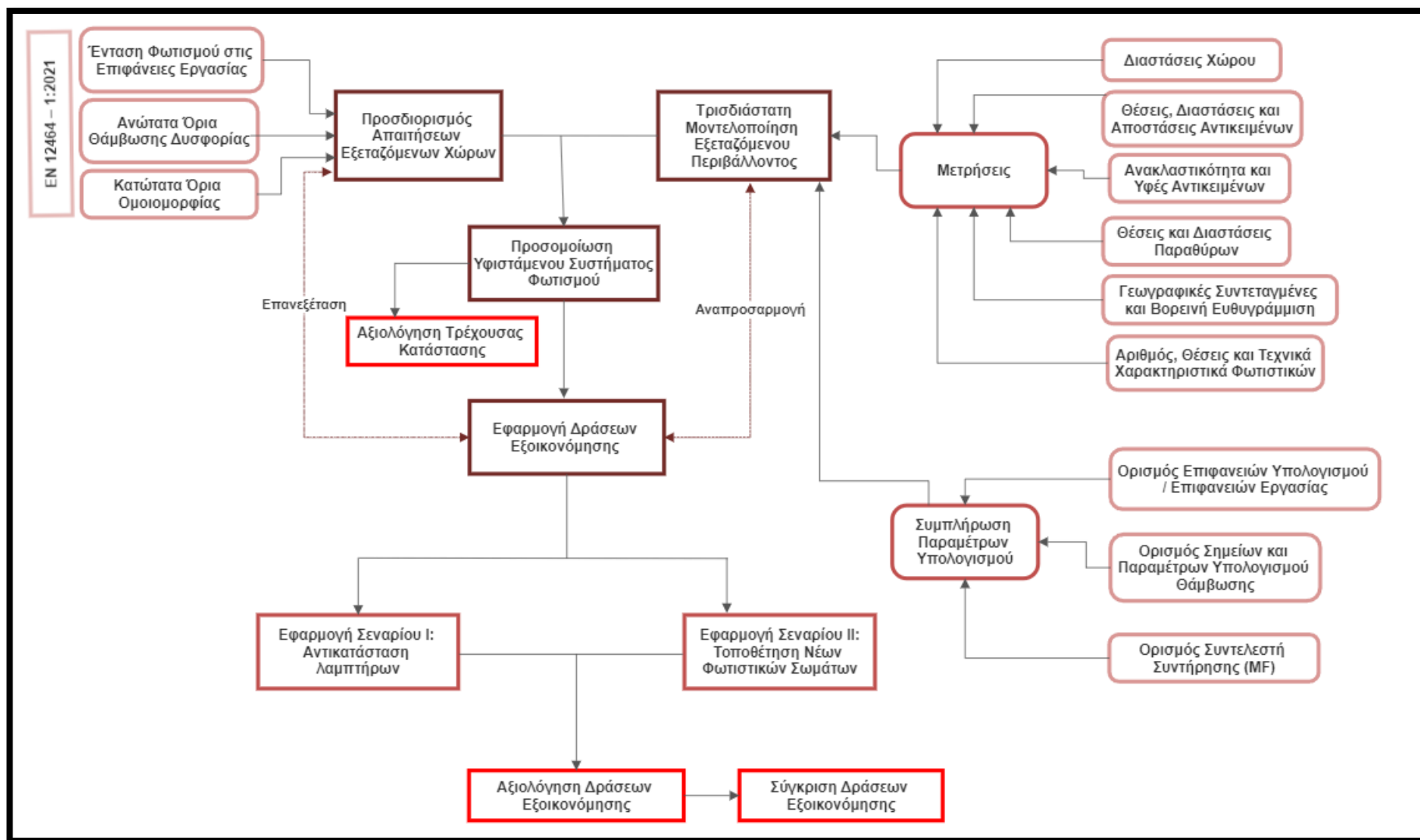
Ως πρώτη δράση εξοικονόμησης επιλέγεται η πιο απλή και άμεση τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα σύστημα φωτισμού. Αυτή είναι η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος αντικαθιστώντας τους παλιούς λαμπτήρες φθορισμού με αποδοτικότερους – νέας τεχνολογίας LED. Δεν μεταβάλλεται η θέση ή άλλα χαρακτηριστικά του φωτιστικού σώματος πέρα από τη φωτεινή πηγή. Στο περιβάλλον του DIALux ενο δεν υπήρχε η δυνατότητα αλλαγής λαμπτήρα για το συγκεκριμένο φωτιστικό σώμα. Η αντικατάσταση έγινε μεταβάλλοντας τον τύπο και χαρακτηριστικά του υφιστάμενου λαμπτήρα από το αντίστοιχο μενού.

Σενάριο II: Αντικατάσταση και εκ νέου χωροθέτηση φωτιστικών σωμάτων

Σε αυτό το σενάριο εξοικονόμησης αξιοποιούνται οι διαφορετικές περιοχές εργασίας κάθε εσωτερικού χώρου. Επιλέγονται νέα φωτιστικά υψηλότερης απόδοσης και τοποθετούνται με γνώμονα τη τωρινή χρήση και διαμόρφωση του χώρου. Κατά αυτό το τρόπο, η απαιτούμενη ένταση φωτισμού σε κάθε επιφάνεια κατανέμεται ανάλογα με την ανάγκη της δραστηριότητας, αποφεύγοντας τον υπερφωτισμό χώρων. Τόσο η επιλογή ενός αποδοτικότερου φωτιστικού, όσο και η ορθή κατανομή του φωτισμού στις επιφάνειες, συντελούν στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος.

Για κάθε επέμβαση στο σύστημα τεχνητού φωτισμού εξασφαλίζεται ότι ταυτόχρονα με τα απαιτούμενα όρια έντασης φωτισμού (lux) σε κάθε επιφάνεια εργασίας, ικανοποιούνται και συνθήκες οπτικής άνεσης (θάμβωση δυσφορίας UGR και ομοιομορφία U_0). Έχοντας ορίσει το προφίλ χρήσης κάθε χώρου υπολογίζεται για κάθε σενάριο η ετήσια κατανάλωση ενέργειας, το ενεργειακό κόστος, οι ετήσιες εκπομπές CO₂ και η δυνατότητα εξοικονόμησης στα παραπάνω αξιοποιώντας βέλτιστα τα ηλιακά κέρδη.

Σημειώνεται ότι στη παρούσα μελέτη δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι απαιτήσεις για φωτισμό έκτακτης ανάγκης. Στη διαδικασία σχεδιασμού και προσομοίωσης έχει παραληφθεί ο φωτισμός οδεύσεων διαφυγής και περιοχών υψηλού κινδύνου. Αυτή η παράλειψη έγινε σκόπιμα, καθώς ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης δεν έχει μεγάλο αντίκτυπο στη κατανάλωση ενέργειας. Το ενδιαφέρον της μελέτης στρέφεται περισσότερο στην ενεργειακή αποδοτικότητα του φωτισμού, παρά στον ίδιο τον σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος.



Εικόνα 3.24: Βήματα μεθοδολογίας σε διάγραμμα ροής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 Αποτελέσματα Αξιολόγησης Υφιστάμενου Συστήματος Φωτισμού

Τρέχων εξοπλισμός

Λαμπτήρες MASTER TL-D Super 80 18W/840 1SL/25

- Κατασκευαστής: PHILIPS
- Τύπος: Φθορισμού
- Σχήμα λαμπτήρα: T8 26mm
- Ονομαστική Ισχύς: 18,2W
- Φωτεινή Ροή: 1350 lm
- Φωτεινή Απόδοση: 75 lm/W
- CCT: 4000K / Κωδικός Χρώματος:840 (CW)
- CRI: 81
- Κλάση Ενεργειακής Απόδοσης: G



Εικόνα 4.1.1 : Υφιστάμενοι λαμπτήρες



*Εικόνα 4.1.2: Παραβολικό φωτιστικό σώμα
ψευδοροφής*

Παραβολικό φωτιστικό πλαίσιο

- Διαστάσεις: 600×600mm
- Λαμπτήρες: 4×T8
- Φωτιστική Απόδοση (LOR): 71,7%
- Γωνία Δέσμης (beam angle): 120°

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, για τον υπολογισμό της εγκατεστημένης ισχύος του φωτιστικού σώματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η κατανάλωση των ballast. Η ισχύς του λαμπτήρα 18,2W περιλαμβάνει αυτή τη κατανάλωση, για αυτό τον λόγο οι συντελεστές προσαύξησης ισχύος στον Πίνακα 2.1 δεν θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς.

Η ισχύς σύνδεσης του φωτιστικού σώματος υπολογίζεται: $4 \times 18,2W = 72,8 \cong 73W$

Η φωτεινή ροή του φωτιστικού σώματος καθορίζεται από τη φωτιστική απόδοση του πλαισίου.

$$\Phi = 0,717 \times 4 \times 1350lm = 3872lm$$

Φωτεινή απόδοση φωτιστικού σώματος: $n = \frac{3872lm}{73W} = 53 lm/W$

Στον Πίνακα 4.1.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών του τρέχοντος συστήματος φωτισμού.

Πίνακας 4.1.1 : Φωτοτεχνικά δεδομένα υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων

Υφιστάμενα Φωτιστικά Σώματα	
Φωτεινή Ροή Φωτιστικού	3872 lm
Φωτιστική Απόδοση	71,7%
Ισχύς σύνδεσης	73W
Όφελος φωτός (φωτεινή απόδοση)	53 lm/W

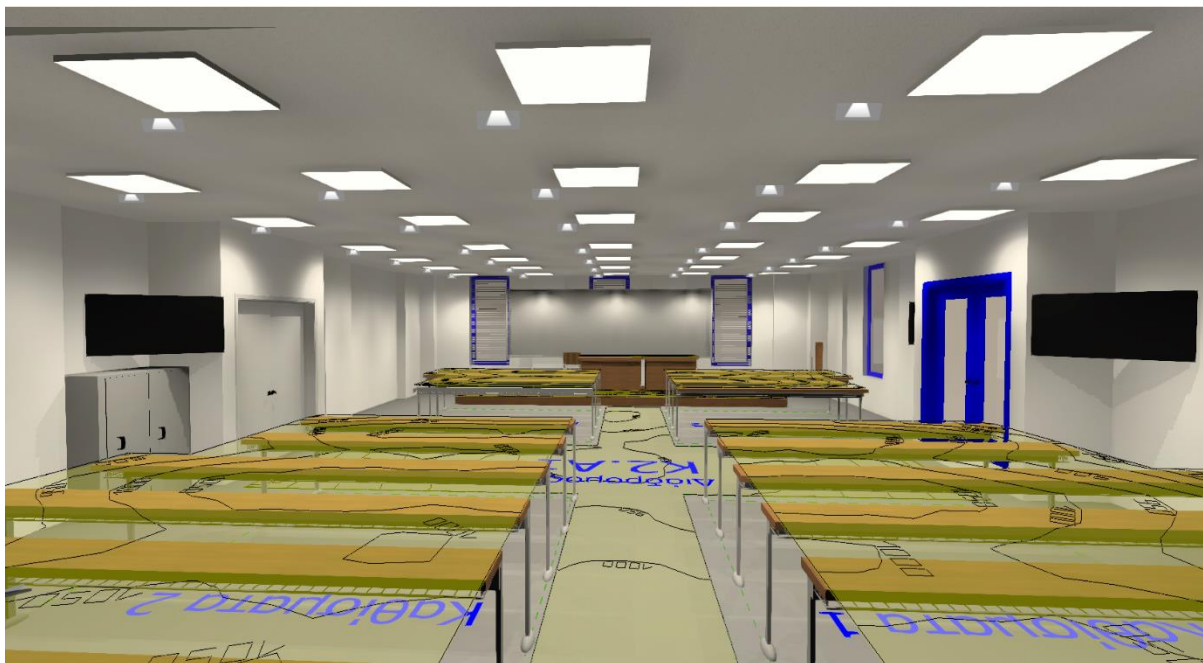
Το φωτιστικό σώμα που επιλέχθηκε από τον κατάλογο του DIALux ενο διαμορφώνει τη τελική ισχύ σύνδεσης στα 78,8W. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι ο κατασκευαστής έχει ενσωματώσει στα δεδομένα του φωτιστικού την ισχύ που καταναλώνουν τα ballast. Δεδομένου ότι αυτή η ισχύς θεωρήθηκε ότι περιέχεται στην αναγραφόμενη κατανάλωση του κάθε λαμπτήρα, πρέπει να γίνει διόρθωση στα τελικά αποτελέσματα. Η ισχύς σύνδεσης αυξήθηκε κατά $\frac{78,8-73}{73} \times 100 = 8\%$, επομένως τα αποτελέσματα στους Πίνακες 4.1.2 έως 4.1.5 διαιρούνται με τη τιμή 1,08.

A) Αίθουσα Διαλέξεων

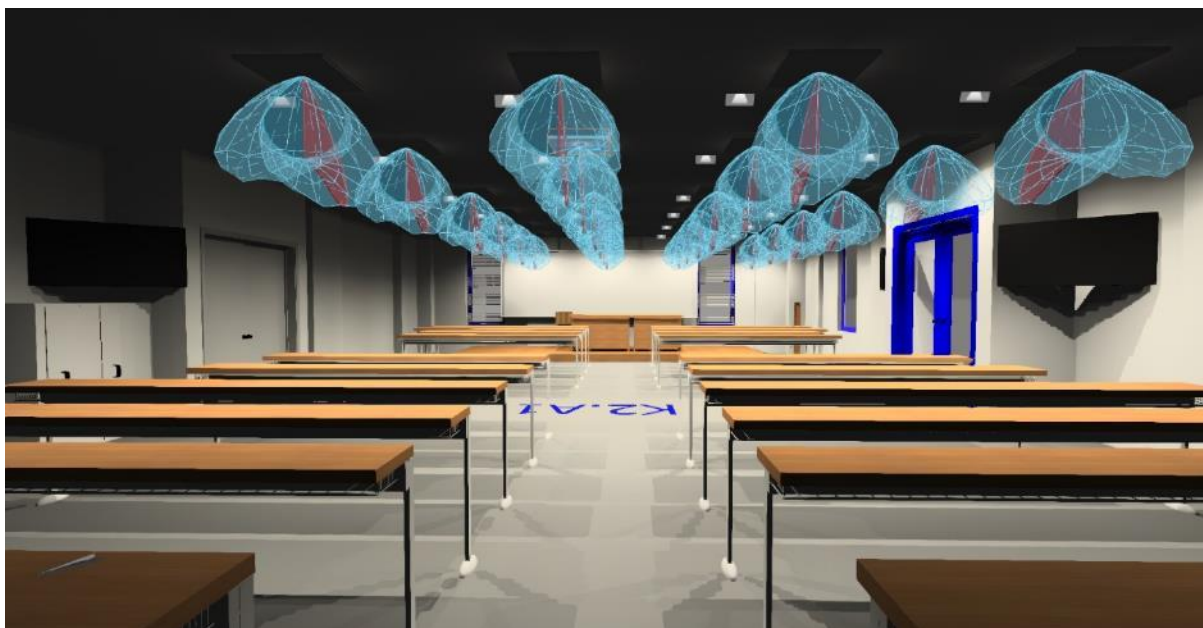
Αριθμός φωτιστικών: 40

Εγκατεστημένη ισχύς: $40 \times 73\text{W} = 2,9\text{kW}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 20:00μμ , Δευτέρα – Παρασκευή



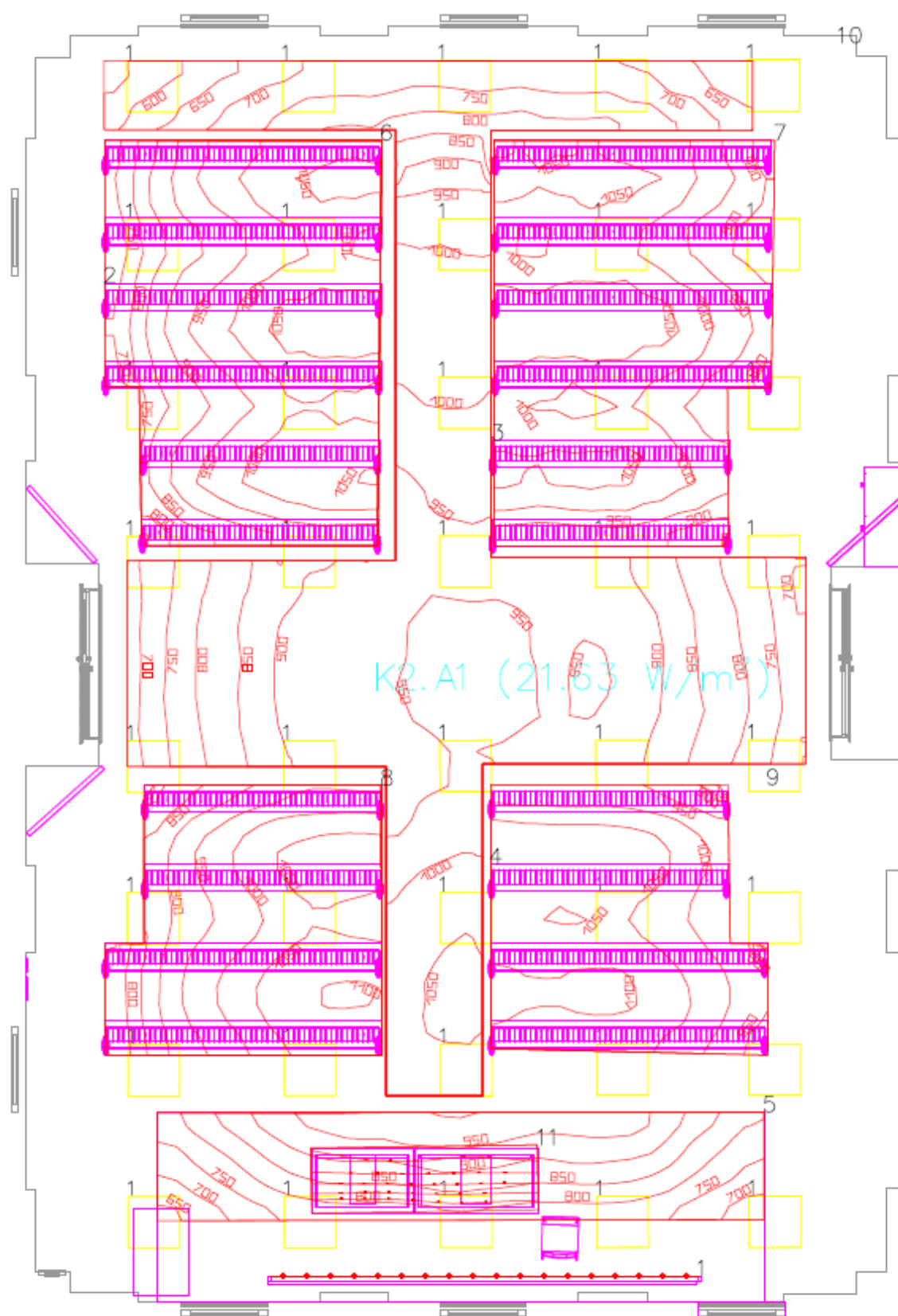
Εικόνα 4.1.3: Αίθουσα διαλέξεων (K2A1) - Τρέχων φωτισμός



Εικόνα 4.1.4: Οπτικοποίηση φωτός (K2A1) – Τρέχων φωτισμός

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, 1ος Όροφος)									
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός είδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός	
1	ES-SYSTEM	K418.PA EVG	7150401	4x T8 840	3872 lm	0.80	73 W	40	
#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max		
1	Πίνακας	Κάθετη ένταση φωτισμού	296 lx	901 lx	525 lx	0.56	0.33		
2	UGR sitting area 1	Unified Glare Rating (UGR)	<10	17.4	/	/	/		
3	UGR sitting area 2	Unified Glare Rating (UGR)	<10	17.7	/	/	/		
4	UGR sitting area 4	Unified Glare Rating (UGR)	<10	17.7	/	/	/		
5	Επίπεδο εργασίας (Βάθρο)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	644 lx	999 lx	847 lx	0.76	0.64		
6	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 1)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	710 lx	1079 lx	951 lx	0.75	0.66		
7	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 2)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	850 lx	1092 lx	1003 lx	0.85	0.78		
8	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 3)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	755 lx	1103 lx	981 lx	0.77	0.68		
9	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 4)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	893 lx	1117 lx	1043 lx	0.86	0.80		
10	Επίπεδο εργασίας (Διάδρομος)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	528 lx	1066 lx	880 lx	0.60	0.50		
11	Επίπεδο εργασίας (Έδρα)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	905 lx	1115 lx	1017 lx	0.89	0.81		

Εικόνα 4.1.5: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - K2A1_ Τρέχων φωτισμός



Εικόνα 4.1.6: Διάγραμμα Isolux - K2A1_Τρέχων φωτισμός

Πίνακας 4.1.2: Τρέχων Φωτισμός στην Αίθουσα Διαλέξεων

Περιοχές Εργασίας στην Αίθουσα Διδασκαλίας					
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο	
Καθίσματα 1	951	500	0,74	0,60	
Καθίσματα 2	1003	500	0,85	0,60	
Καθίσματα 3	981	500	0,76	0,60	
Καθίσματα 4	1043	500	0,86	0,60	
Διάδρομος	880	100	0,60	0,40	
Βάθρο	847	300	0,76	0,70	
Έδρα	1017	-	0,89	-	
Ενέργεια, Κόστος και Εκπομπές CO ₂					
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση		
Κατανάλωση (kWh/year)	6692	2609	4082		
LENI (kWh/m ² year)	46,4	17,7	28,7		
Κόστος (€)	2007	805	1202		
CO ₂ (kg/year)	2677	1044	1633		
Ποσοστό εξοικονόμησης				61%	
Οπτική Άνεση					
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Όριο	
Καθίσματα 1	17,4			19,0	
Καθίσματα 2	17,7			19,0	
Καθίσματα 4	17,7			19,0	
Όρθιος Καθηγητής	18,3			-	
Καθιστός Καθηγητής	14,8			19,0	
Όρθιος Παρατηρητής στον διάδρομο	16,1			25,0	

Στον Πίνακα 4.1.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού. Είναι εμφανές ότι η ένταση φωτισμού στις περιοχές εργασίας ξεπερνάει κατά πολύ το ελάχιστο όριο για την εκάστοτε χρήση, γεγονός που φανερώνει κακή διαχείριση ενέργειας. Συγκεκριμένα, η μέση ένταση φωτισμού σε όλες τις επιφάνειες είναι μεγαλύτερη από το ανάλογο όριο προσαυξημένο κατά 30%. Με βάση αυτό, ο χώρος κρίνεται υπερφωτισμένος. Με μια πρώτη ματιά στον πίνακα γίνεται σαφές ότι αυτό είναι και το κύριο ελάττωμα του εξεταζόμενου χώρου.

Υψηλές τιμές έντασης φωτισμού συνήθως δημιουργούν στο φωτιστικό περιβάλλον ανομοιομορφία. Τιμές ομοιομορφίας κάτω των επιθυμητών ορίων παρατηρούνται στις δυο από τις τέσσερις περιοχές καθισμάτων και στη περιοχή του ομιλητή.

Η δυνατότητα εξοικονόμησης από την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου φυσικού φωτισμού εκτιμήθηκε σημαντική. Το δυνητικό ποσοστό εξοικονόμησης σε ενέργεια και CO₂ υπολογίστηκε 61% , ποσοστό πολύ ενθαρρυντικό για μελλοντική εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων. Δεδομένου του πλήθους και της διάταξης των ανοιγμάτων της αίθουσας ήταν αναμενόμενο τα ποσοστά εξοικονόμησης να προκύψουν αυξημένα.

Όσον αφορά τις συνθήκες οπτικής άνεσης, στο κομμάτι της θάμβωσης δεν εκτιμήθηκε κάποια παραβίαση των ορίων. Το μόνο που μπορεί να διαταράξει ως ένα βαθμό την άνεση

είναι μικρές περιοχές ανομοιομορφίας λόγω υψηλών εντάσεων φωτισμού, όπως σχολιάστηκε νωρίτερα.

B) Εργαστήριο

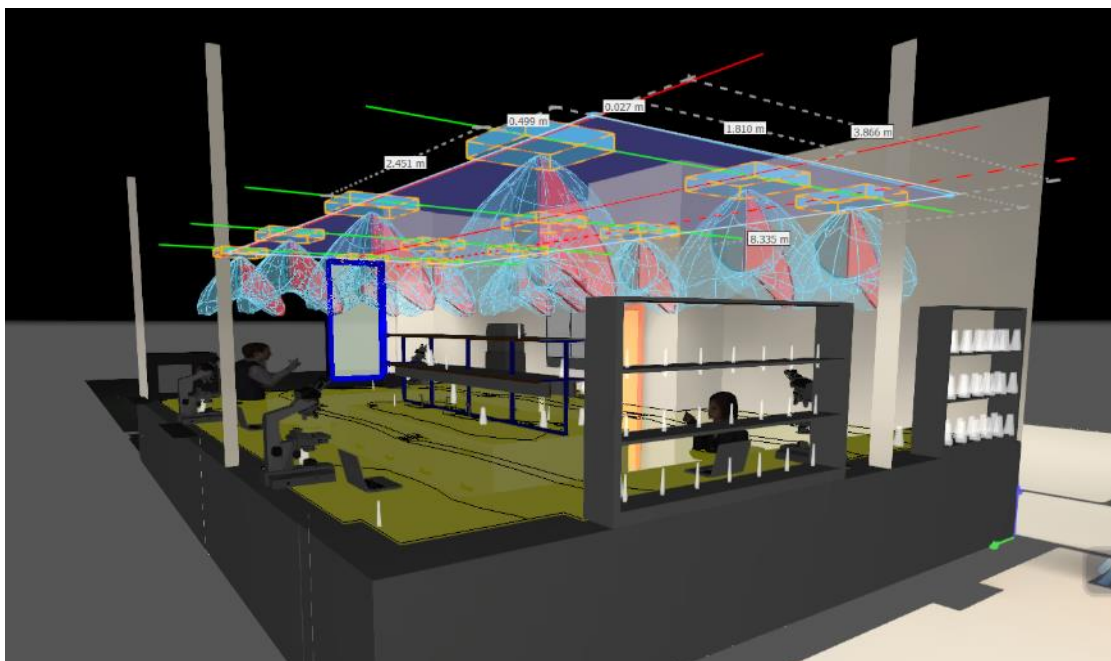
Αριθμός φωτιστικών: 12

Εγκατεστημένη ισχύς: $12 \times 73\text{W} = 876\text{W}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 19:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



Εικόνα 4.1.7 : Εργαστήριο – Τρέχων Φωτισμός

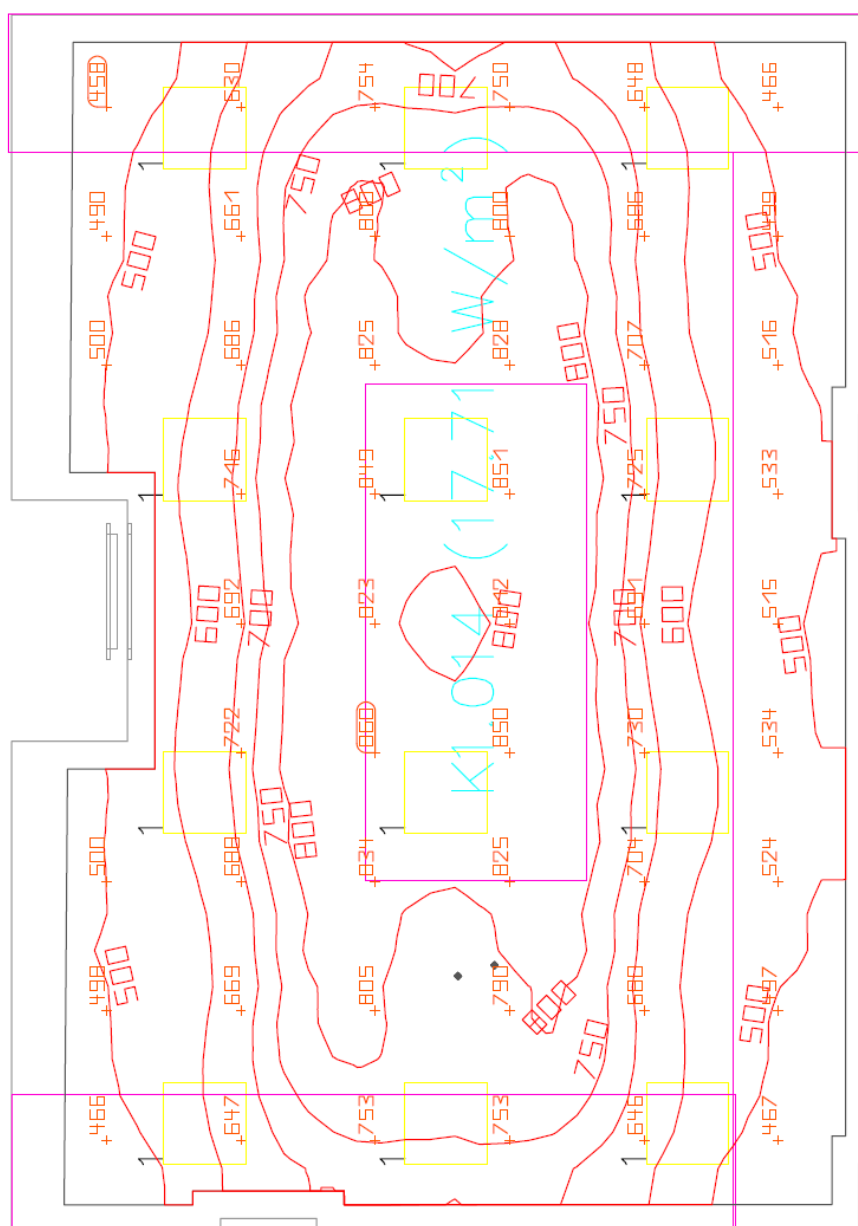


Εικόνα 4.1.8: Υπολογισμοί στο Εργαστήριο – Τρέχων Φωτισμός

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, Ισόγειο, Κ1.014)								
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός είδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός
1	ES-SYSTEM	K418.PA EVG	7150401	4x T8/840	3872 lm	0.80	73 W	12

#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max
1	Επίπεδο εργασίας (Κ1.014)	Κόβερτη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	416 lx	866 lx	676 lx	0.62	0.48

Εικόνα 4.1.9: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Εργαστήριο_Τρέχων φωτισμός



Εικόνα 4.1.10: Διάγραμμα Isolux - Εργαστήριο_Τρέχων φωτισμός

Πίνακας 4.1.3: Τρέχων φωτισμός στο Εργαστήριο

Περιοχές Εργασίας στο Εργαστήριο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας	676	500	0,62	0,60
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	2277	933	1344	
LENI (kWh/m ² year)	43	18	25	
Κόστος (€)	683	280	403	
CO ₂	910	373	537	
Ποσοστό εξοικονόμησης				60%
Έλεγχος σε θάμβωση				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Όριο
Όρθιος Παρατηρητής	13,6			19,0
Καθιστός Παρατηρητής	15,2			19,0

Η μέση ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας του εργαστηρίου που μετρήθηκε 676 lux, ξεπερνώντας το όριο των 500 lux κατά 35% . Σύμφωνα με αυτό, ο χώρος θεωρείται κατά ένα μικρό ποσοστό (5%) υπερφωτισμένος. Σχετικά με την ομοιομορφία, οι απαιτήσεις βρέθηκε ότι ικανοποιούνται.

Το ποσοστό ετήσιας εξοικονόμησης ενέργειας και εκπομπών CO₂ που μπορεί να προσφέρει ένα σύστημα ελέγχου φυσικού φωτισμού βρέθηκε ότι φτάσει το 60%. Η μεγάλη δυνατότητα εξοικονόμησης δεν αποτελεί έκπληξη, αφού ο αισθητήρας τοποθετήθηκε κοντά σε παράθυρα, όπου βρίσκονται οι κύριες περιοχές εργασίας του χώρου. Κύριες περιοχές εργασίας θεωρούνται οι εργαστηριακοί πάγκοι, που εκτείνονται κυρίως περιμετρικά του χώρου. Οι διάδρομοι κυκλοφορίας εντός των εργαστηρίων θεωρήθηκαν εντός του επιπέδου εργασίας – για λόγους που αναφέρθηκαν νωρίτερα – αλλά πρακτικά δεν εκτελείται κάποια οπτική εργασία σε αυτές τις περιοχές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεγάλες ποσότητες φυσικού φωτός ενδέχεται να μην είναι επιθυμητές κατά την εργασία στο χώρο, γιατί τα παράθυρα είναι αρκετά κοντά στη περιοχή οπτικής εργασίας. Τα κυριότερα προβλήματα που προκαλεί το παραπάνω είναι:

- Θάμβωση κατά τον χειρισμό εξοπλισμού
- Ανομοιομορφία λόγω υψηλών τιμών έντασης κοντά στα παράθυρα
- Διαχείριση δειγμάτων / ουσιών που δεν πρέπει να εκτίθενται στο φυσικό φως

Αυτοί οι λόγοι συντελούν στο να ληφθούν μέτρα παρεμπόδισης μεγάλου τμήματος του φυσικού φωτός, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η δυνατότητα αξιοποίησης του από κάποιο σύστημα ελέγχου.

Όσον αφορά τη θάμβωση, εμφανίζεται αρκετά μικρή και στις δύο περιπτώσεις που ο παρατηρητής στέκεται ή είναι καθιστός.

Γ) Γραφείο

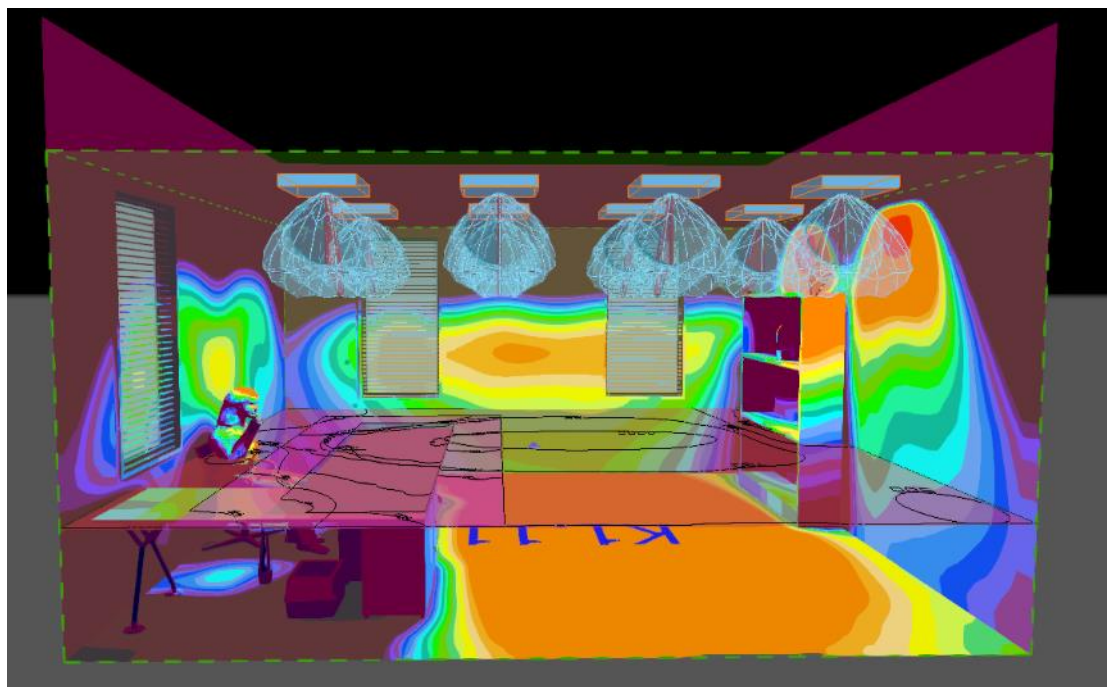
Αριθμός φωτιστικών: 8

Εγκατεστημένη ισχύς: $8 \times 73\text{W} = 584\text{W}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 15:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



Εικόνα 4.1.11: Γραφείο – Τρέχων Φωτισμός

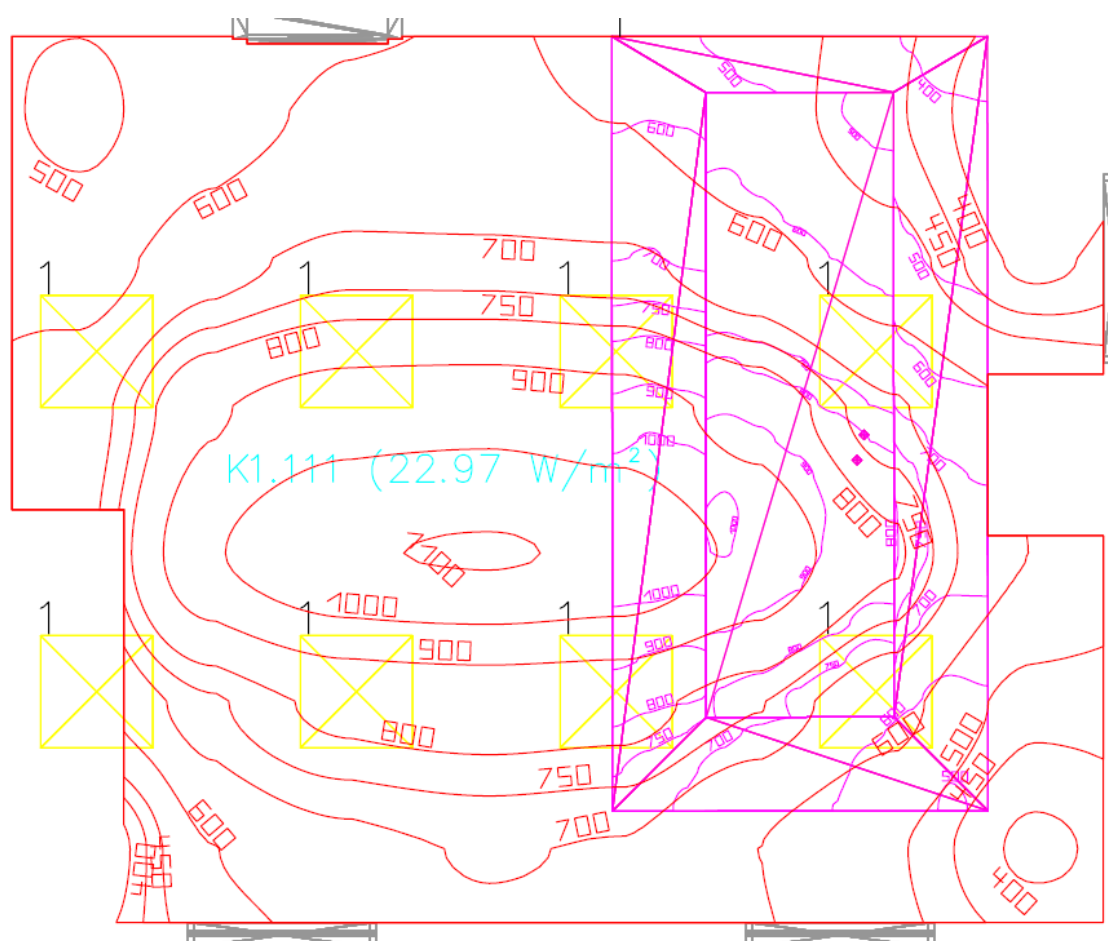


Εικόνα 4.1.12: Υπολογισμοί στο Γραφείο – Τρέχων Φωτισμός

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, 1ος Όροφος, K1.111)								
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός είδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός
1	ES-SYSTEM	K418.PA EVG	7150401	4x T8 /840	3872 lm	0.80	73 W	8

#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max
1	Περιοχή της οπτικής εργασίας ¹	Κάθετη ένταση φωτισμού	477 lx	1010 lx	747 lx	0.64	0.47
2	Περιβάλλουσα	Κάθετη ένταση φωτισμού	365 lx	1078 lx	660 lx	0.55	0.34
3	Υπόβαθρο	Κάθετη ένταση φωτισμού	313 lx	1108 lx	675 lx	0.46	0.28

Εικόνα 4.1.13: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Γραφείο_Τρέχων φωτισμός



Εικόνα 4.1.14: Διάγραμμα Isolux – Γραφείο_Τρέχων φωτισμός

Πίνακας 4.1.4: Τρέχων φωτισμός στο Γραφείο

Περιοχές Εργασίας στο Γραφείο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας	747	500	0,64	0,60
Περιβάλλουσα Επιφάνεια	660	300	0,55	0,40
Επιφάνεια Υποβάθρου	675	100	0,46	0,10
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	546	371	175	
LENI (kWh/m ² year)	20	14	6	
Κόστος (€)	164	112	52	
CO ₂	218	149	69	
Ποσοστό εξοικονόμησης			32%	
Έλεγχος σε θάμβωση				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR		Ανώτατο όριο	
Όρθιος Παρατηρητής	18,9		19,0	
Καθιστός Παρατηρητής	17,7		19,0	

Οι τρεις διαφορετικές περιοχές εργασίας σε ένα γραφείο παρουσιάζουν κατώτατα όρια έντασης φωτισμού 500 / 300 / 100 lux, ενώ η ένταση δεν θα πρέπει να υπερβεί αυτές τις τιμές πάνω από 30%. Βάσει αυτού, για να μη θεωρηθεί ο χώρος υπερφωτισμένος θα πρέπει τα lux των επιφανειών να μη λαμβάνουν μεγαλύτερες τιμές από 650 / 390 / 130. Παρατηρώντας τον Πίνακα.. είναι προφανές ότι αυτά τα όρια ξεπερνούνται κατά πολύ. Όλες οι επιμέρους επιφάνειες χαρακτηρίζονται υπερφωτισμένες. Αυτό είναι μια ένδειξη για τη σκοπιμότητα της μείωσης της εγκαταστημένης ισχύος.

Η εκτιμώμενη μείωση των ενεργειακών αναγκών και των εκπομπών CO₂ ανέρχεται στο 32%, ποσοστό αρκετά υψηλό για δεδομένα εξοικονόμησης. Η μεγάλη δυνατότητα εξοικονόμησης είναι δικαιολογημένη, αφού πρόκειται για χώρο μικρής έκτασης με σημαντικά ηλιακά κέρδη μέσω τριών παραθύρων.

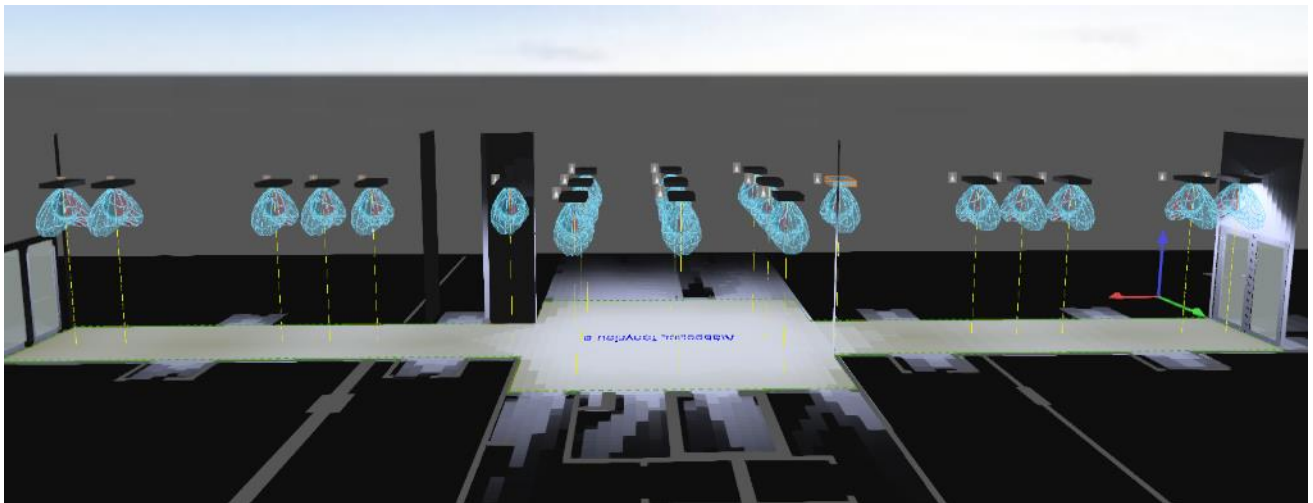
Η θάμβωση βρίσκεται σε επιτρεπτά – αλλά οριακά – επίπεδα, ειδικά στη περίπτωση που ο παρατηρητής είναι όρθιος. Αυτό δείχνει ότι η αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού θα χρειαστεί ιδιαίτερη προσοχή. Η μείωση της φωτεινής ροής τω λαμπτήρων στο Σενάριο Ι θα έχει θετικά αποτελέσματα στον περιορισμό της θάμβωσης. Στο Σενάριο ΙΙ όμως, η χωροθέτηση θα πρέπει να γίνει προσεκτικά ώστε οι νέες θέσεις να ικανοποιούν τις οπτικές ανάγκες που αφορούν τη λειτουργικότητα και την άνεση του ατόμου στο εργασιακό περιβάλλον.

Δ) Διάδρομος

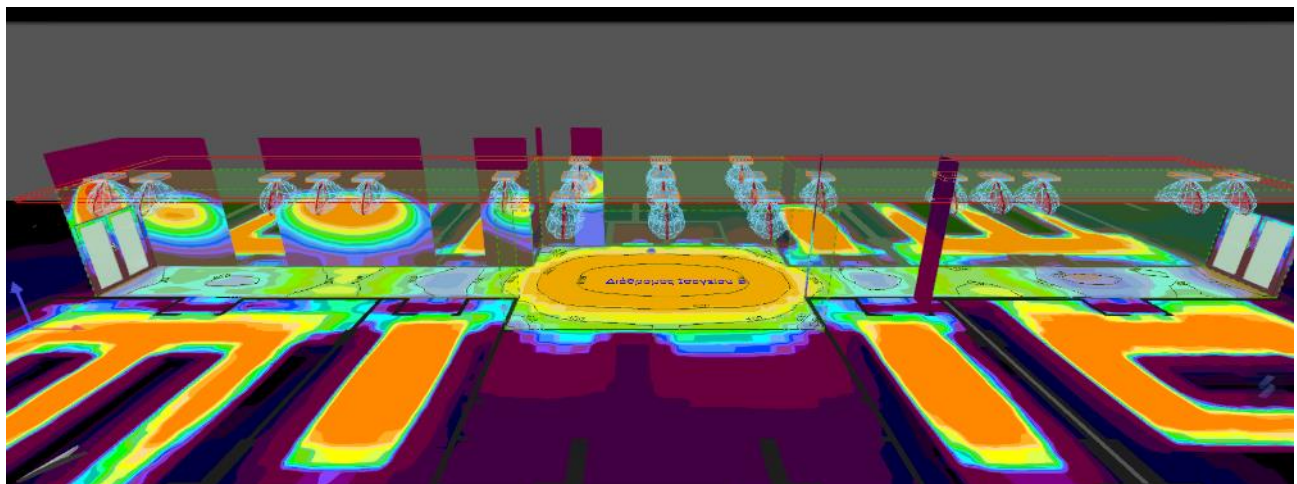
Αριθμός φωτιστικών: 21

Εγκατεστημένη ισχύς: $21 \times 73\text{W} = 1533\text{W}$

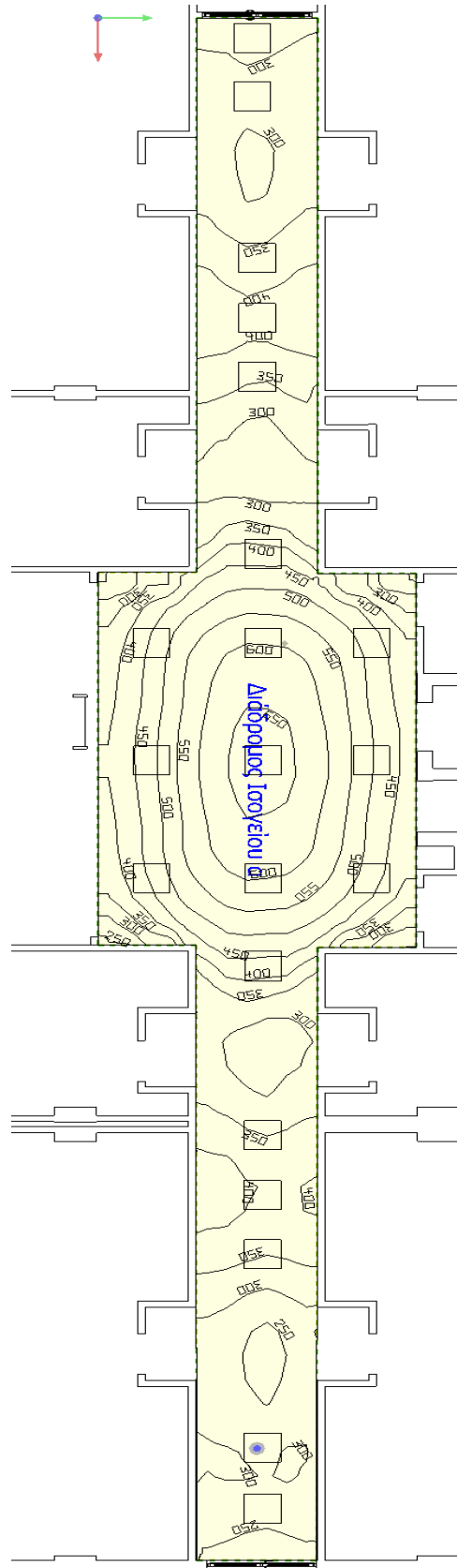
Λειτουργία: 07:00πμ – 19:00μμ, Δευτέρα - Παρασκευή



Εικόνα 4.1.15: Διάδρομος – Τρέχων Φωτισμός



Εικόνα 4.1.16: Υπολογισμοί στον Διάδρομο



Εικόνα 4.1.17: Διάγραμμα Isolux – Διάδρομος_Τρέχων φωτισμός

Πίνακας 4.1.5: Τρέχων φωτισμός στον Διάδρομο

Περιοχές Εργασίας στο Διάδρομο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας Διαδρόμου	411	100	0,55	0,40
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	956	252	704	
LENI (kWh/m ² year)	11	3	8	
Κόστος (€)	287	76	211	
CO ₂	382	101	281	
Ποσοστό εξοικονόμησης			73%	
Έλεγχος σε θάμβωση				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Ανώτατο όριο
Όρθιος Παρατηρητής	20,1			28,0

Η περιοχή του διαδρόμου δέχεται τετραπλάσια ένταση φωτισμού από όσο χρειάζεται με το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού. Είναι προφανές ότι η ισχύς που θα εξοικονομηθεί στα επόμενα σενάρια θα είναι μεγάλη, ρίχνοντας κατά πολύ την ετήσια κατανάλωση ενέργειας και τις επακόλουθες εκπομπές CO₂.

Εκ πρώτης όψεως φαίνεται ότι ο διάδρομος είναι μεταξύ των εξεταζόμενων χώρων αυτός με την πιο έντονη υπερδιαστασιολόγηση στο σύστημα φωτισμού. Αυτό το συμπέρασμα στηρίζεται όχι μόνο στη μέση ένταση που μετρήθηκε, αλλά και στα μεγάλα ηλιακά κέρδη που φανερώνει το ποσοστό εξοικονόμησης στον Πίνακα 4.1.5. Συγκεκριμένα, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές CO₂ μπορούν να περιοριστούν κατά 73%, αν αξιοποιηθεί βέλτιστα το εισερχόμενο φυσικό φως.

Η ποσότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός είναι μεγάλη, αφού διοχετεύεται στη περιοχή του διαδρόμου από τρεις ενδιάμεσους φωταγωγούς και δύο γυάλινες πόρτες αντιδιαμετρικά. Πράγματι, επιτυγχάνεται ήδη κάποια εξοικονόμηση τις ώρες που υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός, γιατί τα φώτα παραμένουν κλειστά. Αυτή η εξοικονόμηση όμως δεν γίνεται ελεγχόμενη. Η ελεγχόμενη εκμετάλλευση του φυσικού φωτός και παράλληλη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος θα αναβάθμιζε ολοκληρωτικά το ενεργειακό προφίλ στον φωτισμό των διαδρόμων.

Οι τιμές της ομοιομορφίας και της μέγιστης θάμβωσης δυσφορίας του υφιστάμενου συστήματος είναι σε καλά επίπεδα, όπως παρατηρείται στον Πίνακα 4.1.5. Οι απαιτήσεις για θάμβωση και ομοιομορφία στη περιοχή των διαδρόμων είναι μικρότερες, επομένως δεν αναμένεται να υπάρξει κάποιο πρόβλημα συμμόρφωσης των σεναρίων εξοικονόμησης που θα ακολουθήσουν.

4.2 Αποτελέσματα Σεναρίου Ι: Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φθορισμού με LED

Νέος εξοπλισμός:

Λαμπτήρες : MasterConnect LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8

- Κατασκευαστής: PHILIPS
- Τύπος: LED
- Σχήμα λαμπτήρα: T8
- Ονομαστική Ισχύς: 7W
- Φωτεινή Ροή: 1050 lm
- Φωτεινή Απόδοση: 150 lm/W
- CCT: 4000K / Κωδικός Χρώματος:840 (CW)
- CRI: 83
- Ενεργειακή Κλάση: D



Εικόνα 4.2.1: Νέος λαμπτήρας LED (lighting.philips.gr)

Η ισχύς σύνδεσης του φωτιστικού σώματος υπολογίζεται: $4 \times 7W = 28W$

Η φωτεινή ροή του φωτιστικού σώματος καθορίζεται από τη φωτιστική απόδοση του πλαισίου.

$$\Phi = 0,717 \times 4 \times 1050\text{lm} = 3011\text{lm}$$

$$\text{Φωτεινή απόδοση φωτιστικού σώματος: } n = \frac{3011\text{lm}}{28W} = 108 \text{ lm/W}$$

Στον Πίνακα 4.2.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων με τους νέους λαμπτήρες..

Πίνακας 4.2.1 : Φωτοτεχνικά δεδομένα υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων

Φωτιστικά με νέους λαμπτήρες LED	
Φωτεινή Ροή Φωτιστικού	3011 lm
Φωτιστική Απόδοση	71,7%
Ισχύς σύνδεσης	28W
Όφελος φωτός (φωτεινή απόδοση)	108 lm/W

Η συνολική ισχύς του φωτιστικού εμφανίζεται και σε αυτή τη περίπτωση αυξημένη, λόγω της ιδιαιτερότητας του φωτιστικού σώματος που έχει επιλεχθεί. Το DIALux ενοπροσαναζάνει την ισχύ στα 34W από 28W, για τους λόγους που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Η διόρθωση των αποτελεσμάτων θα γίνει διαιρώντας τα αποτελέσματα με τη τιμή 1,214, καθώς η πραγματική τιμή έχει αυξηθεί κατά $\frac{34-28}{28} \times 100 = 21,4\%$. Οι διορθωμένες τιμές παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.2.2 – 4.2.5 .

Α) Αίθουσα Διαλέξεων

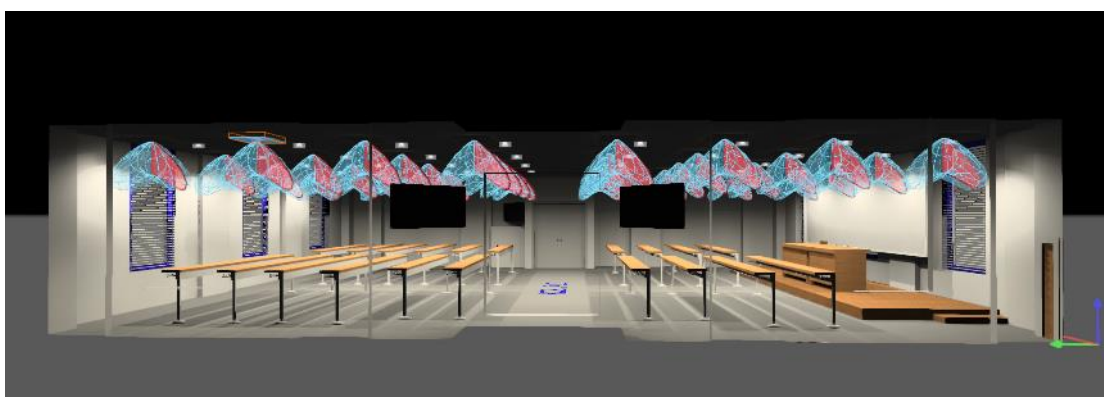
Αριθμός φωτιστικών: 40

Εγκατεστημένη ισχύς: $40 \times 28W = 1,1kW$

Λειτουργία: 09:00πμ – 20:00μμ , Δευτέρα – Παρασκευή



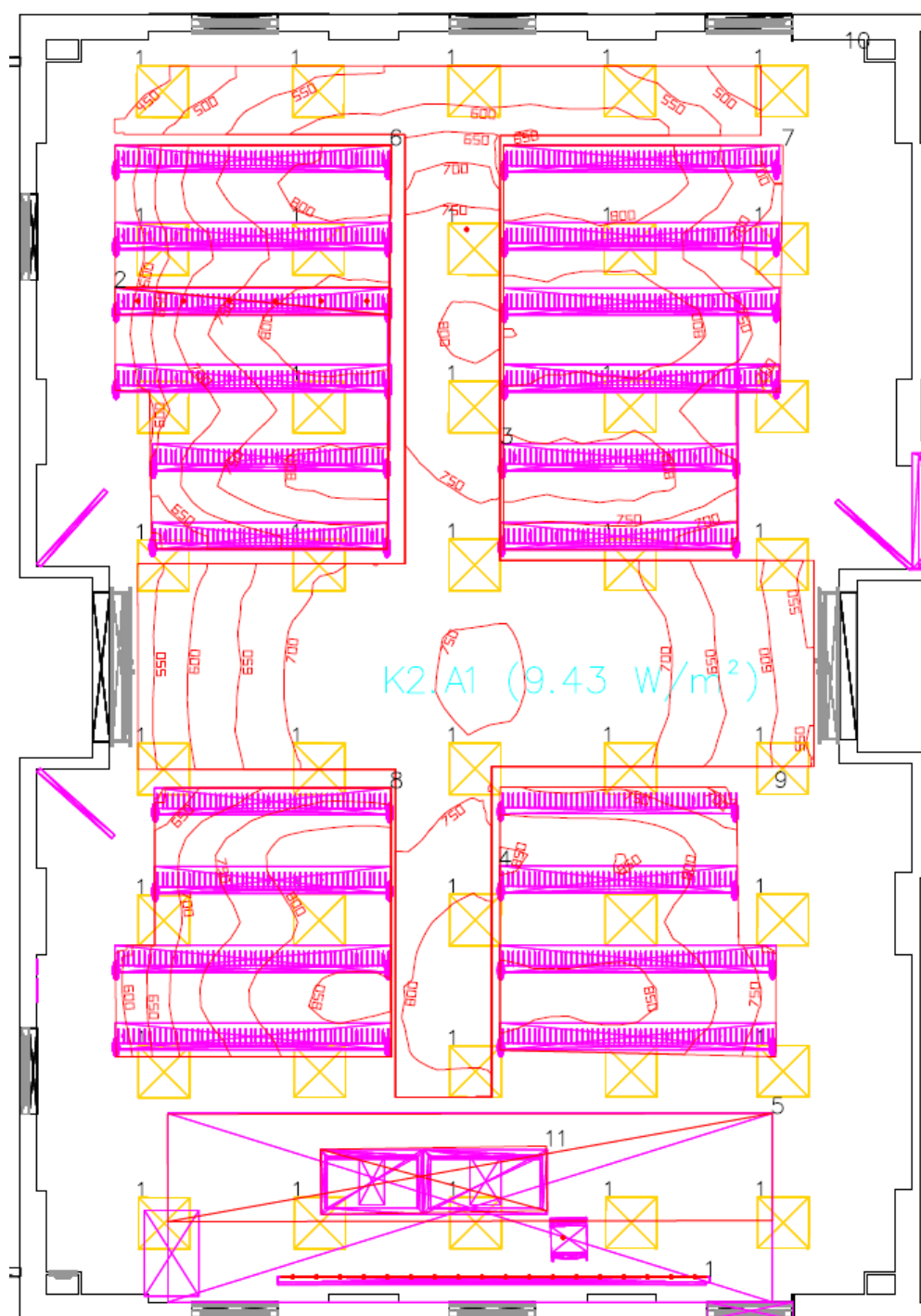
Εικόνα 4.2.2: Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο I



Εικόνα 4.2.3: Οπτικοποίηση φωτός στην Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο I

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, 1ος Όροφος)										
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός είδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός		
1	ES-SYSTEM	K418.PA EVG	7150401	4xT8 840	3460 lm	0.80	28 W	40		
#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max			
1	Πίνακας	Κάθετη ένταση φωτισμού	230 lx	701 lx	409 lx	0.56	0.33			
2	UGR sitting area 1	Unified Glare Rating (UGR)	<10	16.5	/	/	/			
3	UGR sitting area 2	Unified Glare Rating (UGR)	<10	16.9	/	/	/			
4	UGR sitting area 4	Unified Glare Rating (UGR)	<10	16.8	/	/	/			
5	Επίπεδο εργασίας (Βάθρο)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	501 lx	777 lx	659 lx	0.76	0.64			
6	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 1)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	552 lx	840 lx	740 lx	0.75	0.66			
7	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 2)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	661 lx	850 lx	780 lx	0.85	0.78			
8	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 3)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	587 lx	858 lx	763 lx	0.77	0.68			
9	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 4)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	695 lx	868 lx	811 lx	0.86	0.80			
10	Επίπεδο εργασίας (Διάδρομος)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	410 lx	829 lx	685 lx	0.60	0.49			
11	Επίπεδο εργασίας (Έδρα)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	704 lx	867 lx	791 lx	0.89	0.81			

Εικόνα 4.2.4: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - K2A1_ Σενάριο I



Εικόνα 4.2.5: Διάγραμμα Isolux - K2A1_Σενάριο I

Πίνακας 4.2.2: Σενάριο I – Αίθουσα Διαλέξεων

Περιοχές Εργασίας στην Αίθουσα Διαλέξεων					
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο	
Καθίσματα 1	740	500	0,75	0,60	
Καθίσματα 2	780	500	0,85	0,60	
Καθίσματα 3	763	500	0,77	0,60	
Καθίσματα 4	811	500	0,86	0,60	
Διάδρομος	685	100	0,60	0,40	
Βάθρο	660	300	0,76	0,70	
Έδρα	765	-	0,87	-	
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂					
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση		
Κατανάλωση (kWh/year)	2917	1137	1779		
LENI (kWh/m ² year)	20,2	8	12,2		
Κόστος (€)	875	337	538		
CO ₂ (kg/year)	1167	460	707		
Ποσοστό μείωσης			61,0%		
Οπτική Άνεση					
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Όριο	
Καθίσματα 1	16,5			19,0	
Καθίσματα 2	16,9			19,0	
Καθίσματα 4	16,8			19,0	
Όρθιος Καθηγητής	17,4			-	
Καθιστός Καθηγητής	14,0			19,0	
Όρθιος Παρατηρητής στον διάδρομο	15,4			25,0	

Ο στόχος για τη μείωση της εγκαταστημένης ισχύος οδήγησε σε παράλληλη μείωση της έντασης φωτισμού στις επιφάνειες. Αυτή η επίδραση δεν ήταν απλώς επιθυμητή, αλλά ζητούμενη, αφού ο χώρος στην υφιστάμενη κατάσταση χαρακτηρίστηκε υπερφωτισμένος. Αξίζει να σημειωθεί ότι έπειτα από επιλογή λαμπτήρων με μικρότερη φωτεινή ροή, ορισμένοι χώροι (δυο περιοχές καθισμάτων και η έδρα) παραμένουν ακόμα υπερφωτισμένοι. Αυτό μπορεί να μεταφραστεί και ως ανάγκη για λιγότερα φωτιστικά σώματα.

Προβλήματα με την ομοιομορφία εντοπίζονται στις ίδιες περιοχές, χωρίς όμως να αποτελούν μεγάλο πρόβλημα. Όχι γιατί η ομοιομορφία ως μέγεθος καταλαμβάνει μικρότερη σημασία στο σχεδιασμό, αλλά γιατί η έντονη μεταβλητότητά της ανάλογα με οποιαδήποτε ατέλεια στον χώρο μπορεί να οδηγήσει σε μη ακριβή συμπεράσματα. Για παράδειγμα, ένα πολύ μικρό τμήμα επιφάνειας που δέχεται σκίαση μπορεί να θέσει εκτός ορίων όλη τη περιοχή εργασίας. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι τιμές ομοιομορφίας που πλησιάζουν το 0,5 δεν θεωρούνται απόλυτα απαγορευτικές. Παρόλα αυτά, στο επόμενο σενάριο φροντίζεται να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,6.

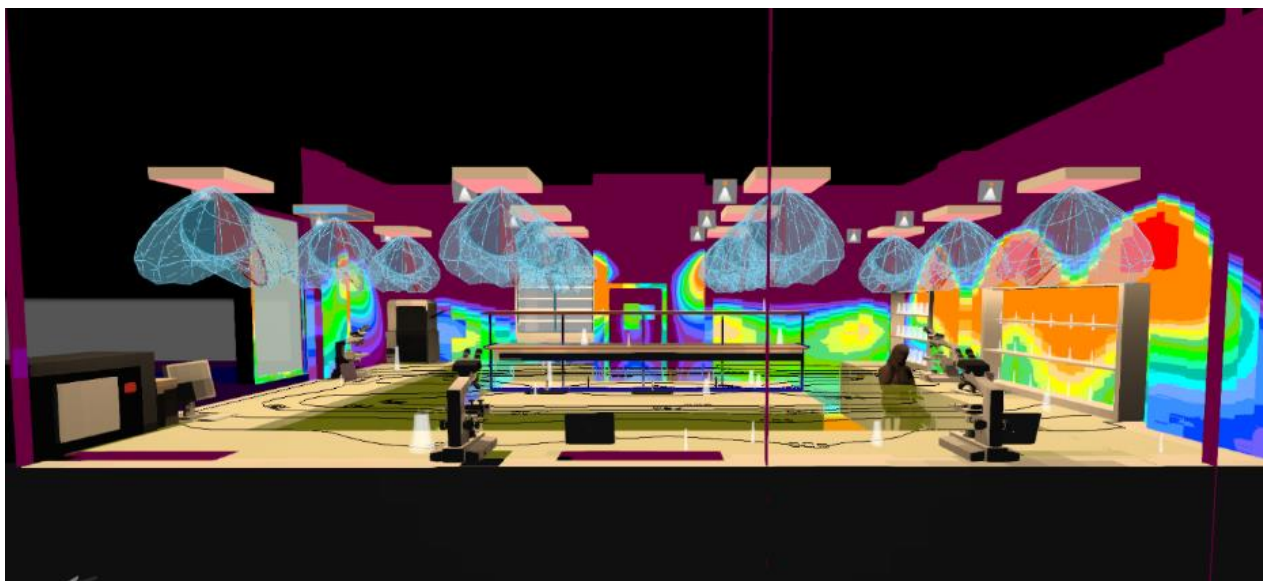
Η θάμβωση περιορίστηκε αισθητά, ενώ η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και CO₂ εκτιμήθηκε 61%. Το ποσοστό δυνητικής εξοικονόμησης παρέμεινε ίδιο με της αρχικής κατάστασης.

Β) Εργαστήριο

Αριθμός φωτιστικών: 12

Εγκατεστημένη ισχύς: $12 \times 28\text{W} = 336\text{W}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 19:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



Εικόνα 4.2.6: Εργαστήριο – Σενάριο I

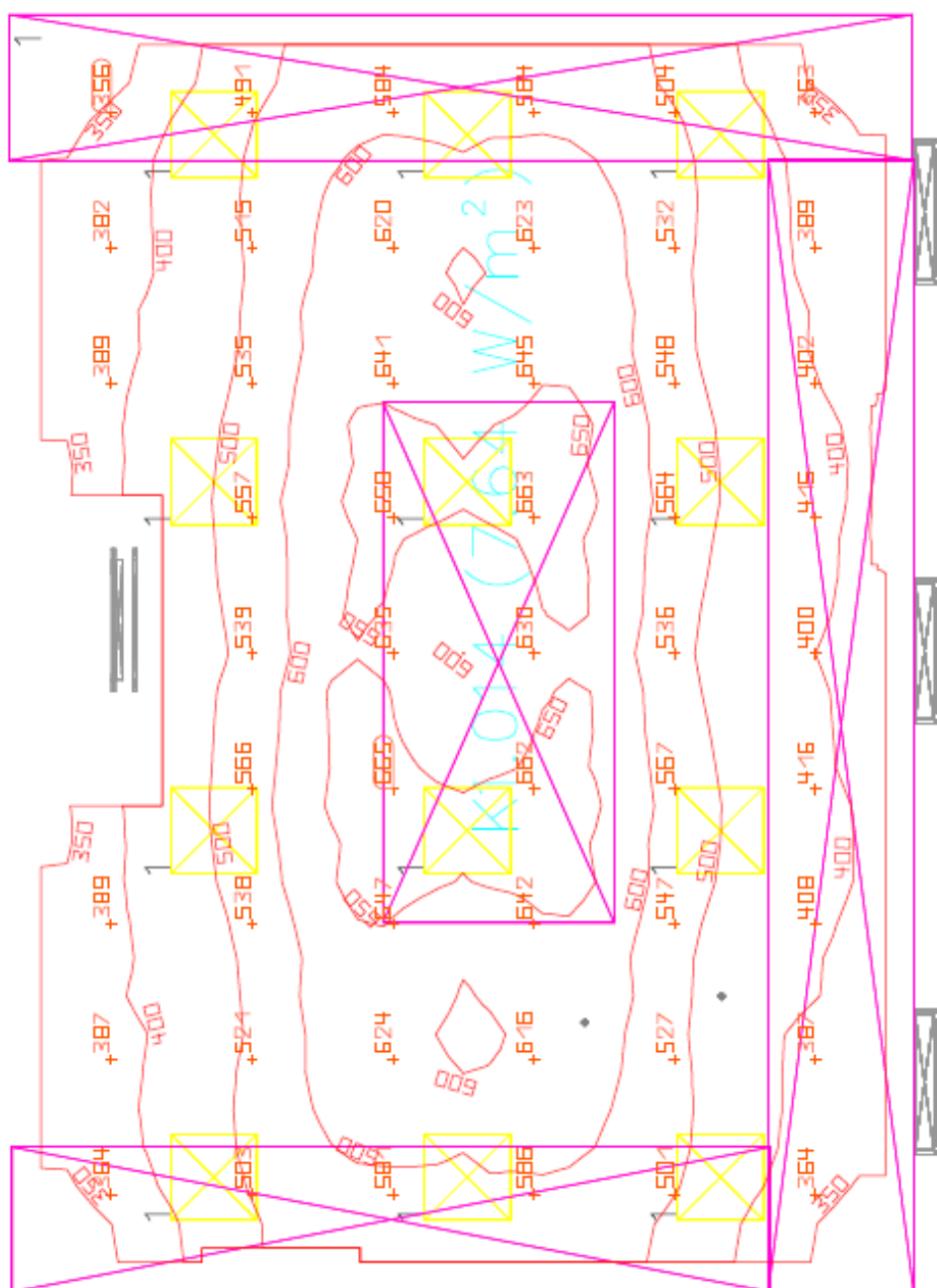


Εικόνα 4.2.7: Υπολογισμοί στο Εργαστήριο – Σενάριο I

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, Ισόγειο, Κ1.014)							
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός ειδους	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός
1	ES-SYSTEM	K418.PA EVG	7150401	3011 lm	0.80	28 W	12

#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max
1	Επίπεδο εργασίας (Κ1.014)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	314 lx	670 lx	521 lx	0.60	0.47

Εικόνα 4.2.8: Υπόμνημα αποτελεσμάτων – Εργαστήριο_Σενάριο I



Εικόνα 4.2.9: Διάγραμμα Isolux - Εργαστήριο_Σενάριο I

Πίνακας 4.2.3: Σενάριο I – Εργαστήριο

Περιοχές Εργασίας στο Εργαστήριο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας	521	500	0,60	0,60
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	874	317	557	
LENi (kWh/m ² year)	16,4	6,0	10,4	
Κόστος (€)	262	96	166	
CO ₂	393	143	250	
Ποσοστό εξοικονόμησης				64%
Έλεγχος θάμβωσης				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Όριο
Όρθιος Παρατηρητής	16,1			19,0
Καθιστός Παρατηρητής	13,9			19,0

Η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού με LED στο εργαστήριο φαίνεται να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2.3. Η μέση ένταση φωτισμού μειώθηκε πολύ κοντά στο κατώτατο όριο, με αποτέλεσμα ο χώρος να μη θεωρείται πλέον υπερφωτισμένος. Παράλληλα αποφεύχθηκε το ενδεχόμενο η ένταση να πέσει κάτω των επιθυμητών επιπέδων.

Η ομοιομορφία κρίνεται οριακά αποδεκτή, ενώ η θάμβωση σε όρθια ή καθιστή στάση δεν φαίνεται να αποτελεί πρόβλημα. Τα αποτελέσματα και των δύο θέσεων ελέγχου θάμβωσης απέχουν σημαντικά από το αναγραφόμενο όριο.

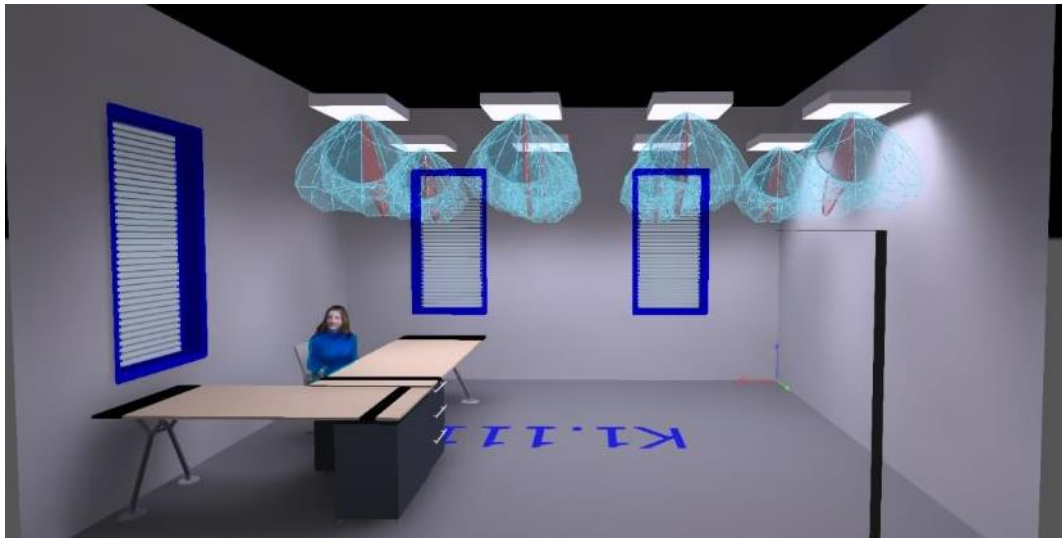
Η εξοικονόμηση από την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός συνεχίζει να κυμαίνεται γύρω από το 60%, αφού δεν έγινε κάποια μεταβολή στη θέση των φωτιστικών. Αυτή η δυνατότητα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, το πως δηλαδή η ήδη μειωμένη ισχύς μπορεί να πέσει ακόμα χαμηλότερα με την εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου. Η εξοικονόμηση όμως πρέπει να εξετάζεται όχι μόνο ως προς το ποσοστό, αλλά και το μέτρο της. Αν η ισχύς σύνδεσης έχει μειωθεί σημαντικά, πιθανόν ένα συστήματα ελέγχου φωτισμού να μην αποτελεί προτεραιότητα, όσον αφορά τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σε έναν χώρο εργασίας.

Γ) Γραφείο

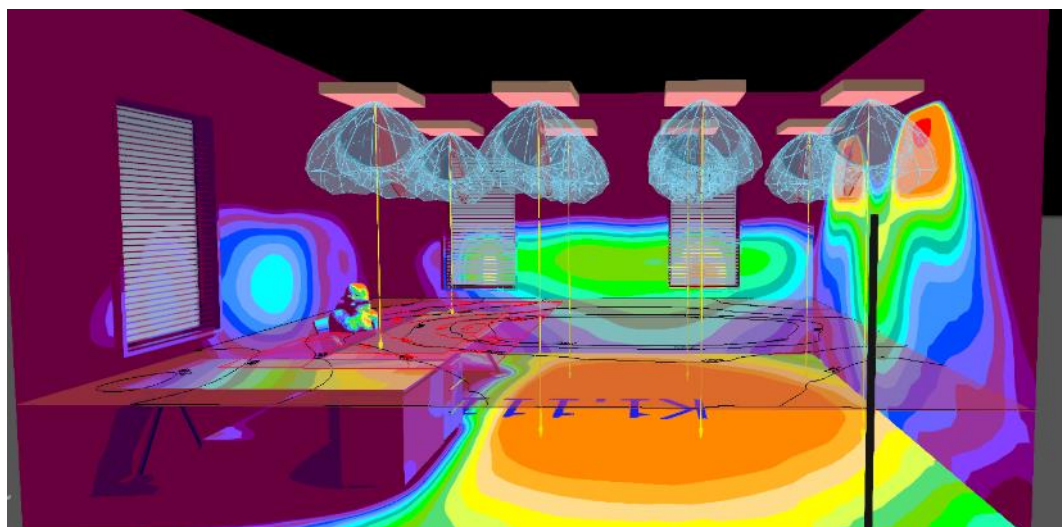
Αριθμός φωτιστικών: 8

Εγκατεστημένη ισχύς: $8 \times 28\text{W} = 224\text{W}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 15:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



Εικόνα 4.2.10: Γραφείο – Σενάριο I

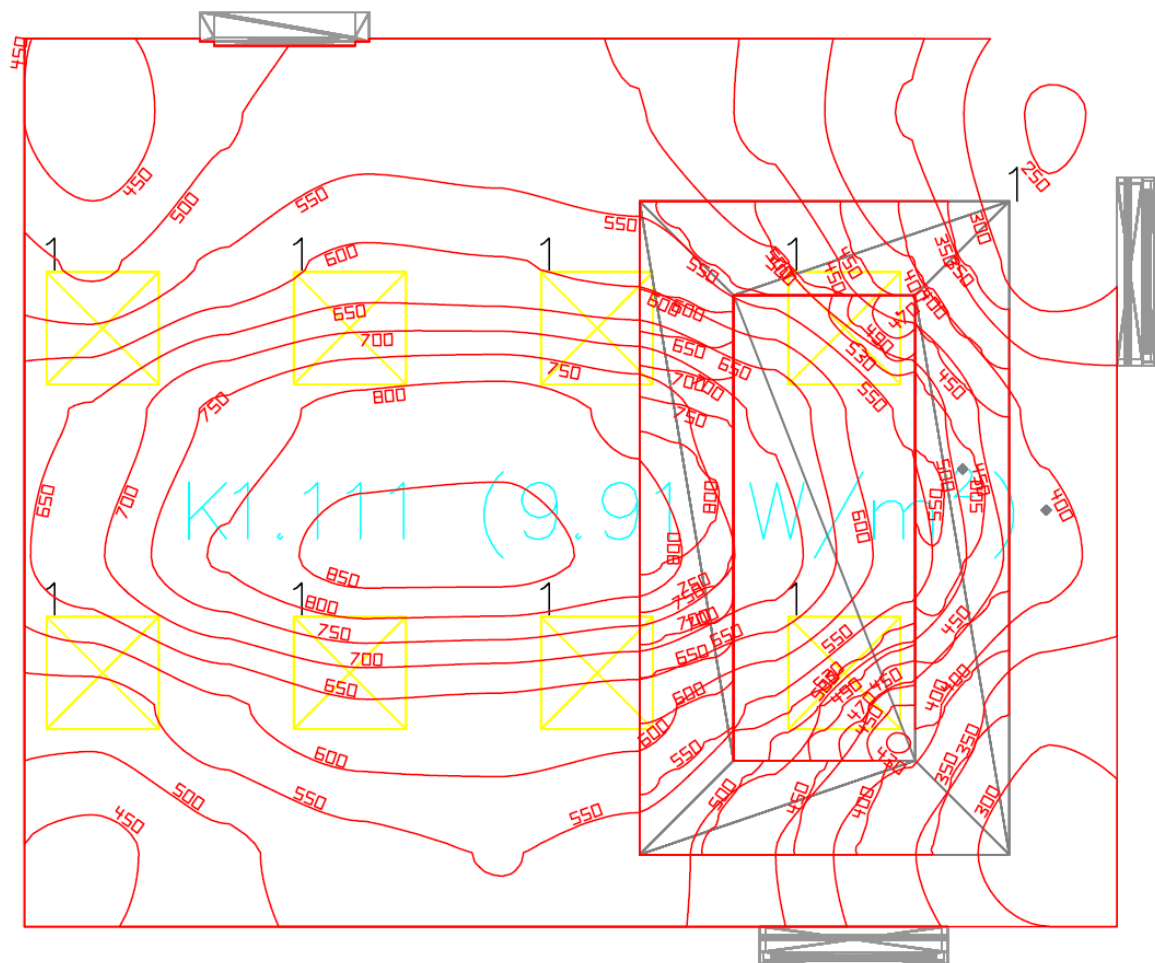


Εικόνα 4.2.11 : Υπολογισμοί στο Γραφείο – Σενάριο I

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, 1ος Όροφος, Κ1.111)								
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός είδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός
1	ES-SYSTEM	K418.PA EVG	7150401	4x T8/840	3011 lm	0.80	28 W	8

#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max
1	Περιοχή της οπτικής εργασίας ¹	Κάθετη ένταση φωτισμού	426 lx	766 lx	603 lx	0.71	0.56
		Κάθετη ένταση φωτισμού	303 lx	846 lx	520 lx	0.58	0.36
		Κάθετη ένταση φωτισμού	244 lx	871 lx	565 lx	0.43	0.28

Εικόνα 4.2.12: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Γραφείο_Σενάριο I



Εικόνα 4.2.13: Διάγραμμα Isolux – Γραφείο_Σενάριο I

Πίνακας 4.2.4: Σενάριο I – Γραφείο

Περιοχές Εργασίας στο Γραφείο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας	603	500	0,71	0,60
Περιβάλλουσα Επιφάνεια	520	300	0,58	0,40
Επιφάνεια Υποβάθρου	565	100	0,43	0,10
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	210	120	90	
LENI (kWh/m ² year)	8	4,5	3,5	
Κόστος (€)	63	36	27	
CO ₂	95	54	41	
Ποσοστό εξοικονόμησης				43%
Έλεγχος σε θάμβωση				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR		Ανώτατο όριο	
Όρθιος Παρατηρητής	18,8		19,0	
Καθιστός Παρατηρητής	17,0		19,0	

Η αντικατάσταση των λαμπτήρων φθορισμού με LED μειώνει μαζί με την ισχύ και την μέση ένταση φωτισμού. Ενώ η μέση ένταση στην επιφάνεια εργασίας κατέβηκε σε επιθυμητά επίπεδα, η περιβάλλουσα επιφάνεια και η επιφάνεια υποβάθρου εξακολουθούν να είναι υπερφωτισμένες. Στον Πίνακα 4.2.4 παρατηρείται ότι η ένταση της επιφάνειας υποβάθρου είναι μεγαλύτερη από την ένταση στην περιβάλλουσα. Το ίδιο εντοπίζεται και στα αποτελέσματα του υφιστάμενου συστήματος (Πίνακας 4.1.4).

Η ομοιομορφία παρουσιάζει αποδεκτές τιμές και στις τρεις επιφάνειες. Μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ομοιομορφία έχει η επιφάνεια εργασίας, ενώ σταδιακά η τιμή του κατώτατου ορίου πέφτει αισθητά. Αυτός είναι και ο λόγος που αν προκύψει κάποιο θέμα στην ομοιομορφία, συνήθως θα είναι στην επιφάνεια εργασίας. Δύσκολα θα προκύψει ένα υποφωτισμένο υπόβαθρο αν υπάρχει στην επιφάνεια εργασίας η σωστή ένταση. Τουλάχιστον όσο το σύστημα φωτισμού αποτελείται από φωτιστικά οροφής και δεν ενσωματώνει φωτιστικά δαπέδου.

Η θάμβωση λαμβάνει υψηλές σχετικά τιμές, χωρίς όμως να ξεπερνά το όριο $UGR > 19$. Η αντικατάσταση των λαμπτήρων μείωσε τη θάμβωση ενός καθιστού παρατηρητή σχεδόν κατά μία μονάδα.

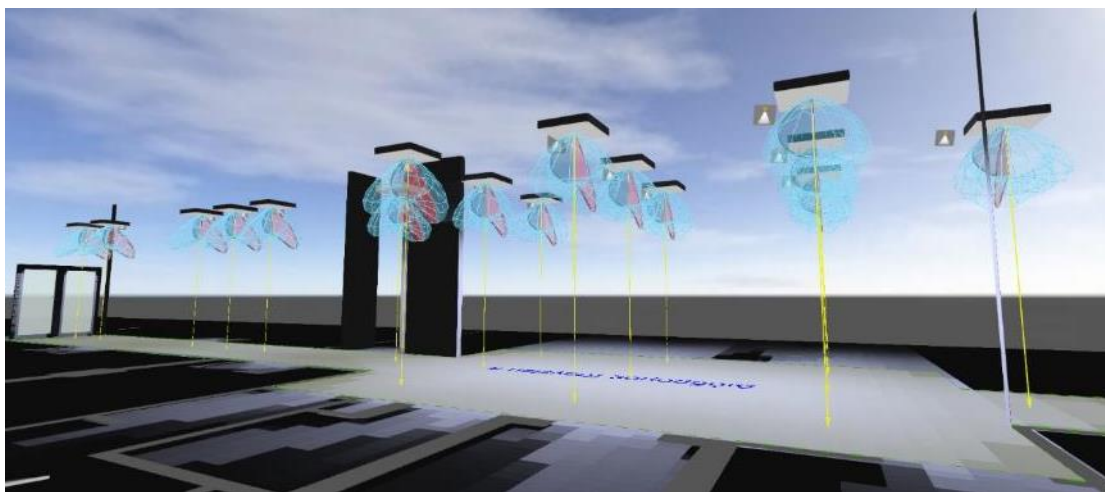
Τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.2.4 δείχνουν ότι η ετήσια εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει το 43%, με την ενέργεια και τις εκπομπές CO₂ σε αυτή τη περίπτωση να περιορίζονται σημαντικά.

Δ) Διάδρομος

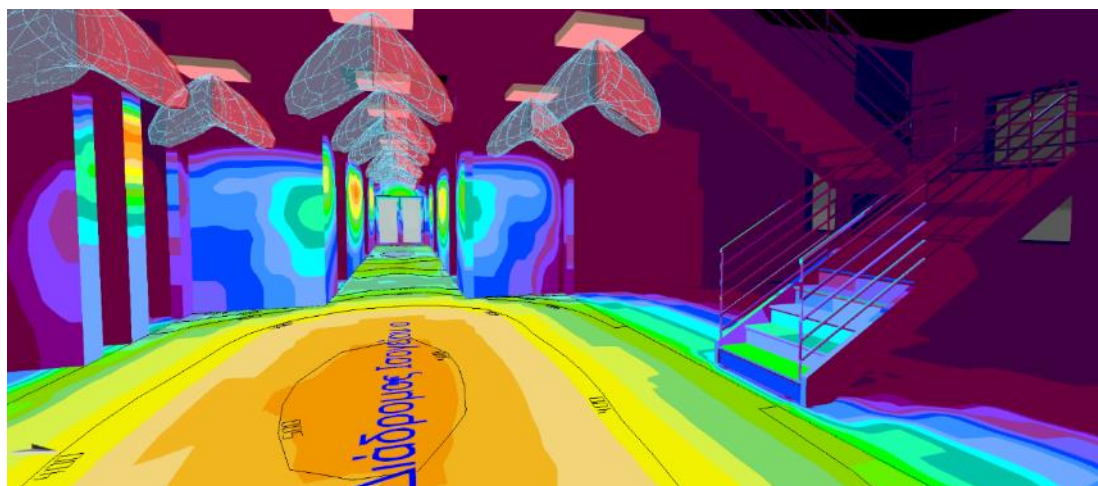
Αριθμός φωτιστικών: 21

Εγκατεστημένη ισχύς: $21 \times 28W = 588W$

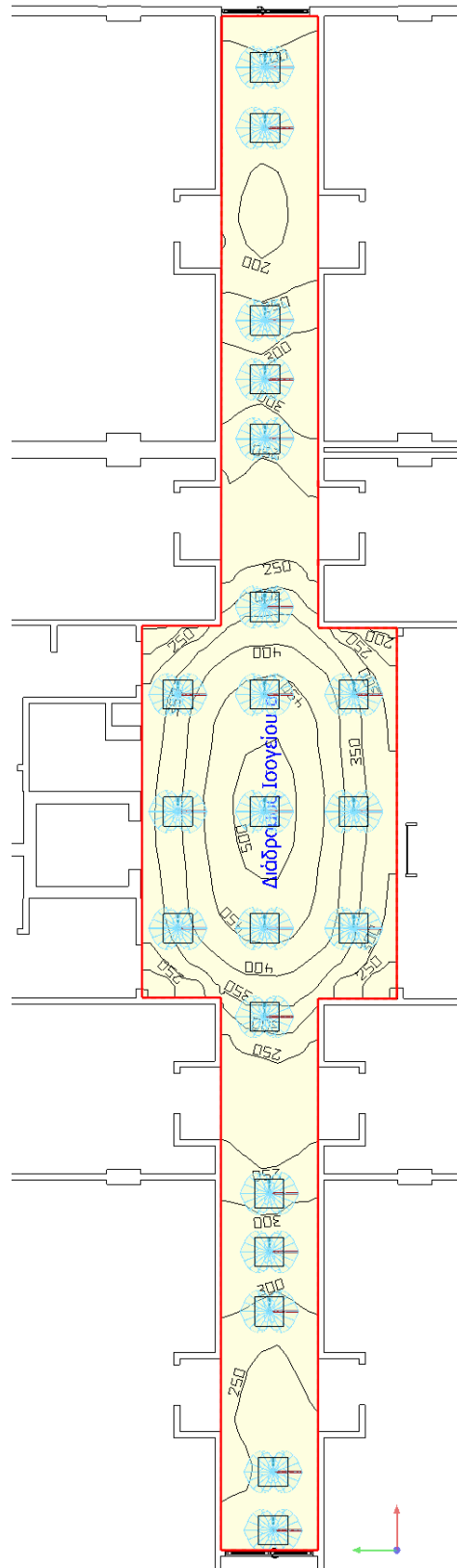
Λειτουργία: 07:00πμ – 19:00μμ, Δευτέρα - Παρασκευή



Εικόνα 4.2.14: Διάδρομος – Σενάριο I



Εικόνα 4.2.15: Υπολογισμοί στον Διάδρομο



Εικόνα 4.2.16: Διάγραμμα Isolux - Διάδρομος_Σενάριο Ι

Πίνακας 4.2.5: Σενάριο I – Διάδρομος

Περιοχές Εργασίας στο Διάδρομο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας Διαδρόμου	319	100	0,56	0,40
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	367	180	187	
LENI (kWh/m ² year)	4,2	2	2,2	
Κόστος (€)	110	54	56	
CO ₂	165	82	83	
Ποσοστό εξοικονόμησης			51%	
Έλεγχος σε θάμβωση				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Ανώτατο όριο
Όρθιος Παρατηρητής	18,5			28,0

Η τοποθέτηση νέων λαμπτήρων LED οδήγησε στη μείωση της συνολικής ισχύος και ταυτόχρονα της έντασης φωτισμού. Ο χώρος όμως συνεχίζει να δέχεται τον τριπλάσιο φωτισμό από όσο χρειάζεται. Για να μην θεωρείται η επιφάνεια εργασίας του διαδρόμου υπερφωτισμένη, η μέση ένταση φωτισμού δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 130lux. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2.5, αυτός ο στόχος δεν μπορεί να επιτευχθεί με τον λαμπτήρα που επιλέχθηκε.

Το ποσοστό εξοικονόμησης από την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός μπορεί να φτάσει το 50% για τον διάδρομο. Το μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης που παρατηρείται ξανά, θέτει το ερώτημα για την ανάγκη εγκατάστασης συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα θα βασιστεί όχι μόνο στο δυνητικό ποσοστό εξοικονόμησης αλλά και στο γενικότερο προφίλ χρήσης και λειτουργίας του χώρου.

Σχετικά με την ομοιομορφία το Σενάριο I βρέθηκε ότι δεν προκαλεί πρόβλημα στις απαιτήσεις του διαδρόμου. Το ίδιο ισχύει και για τη θάμβωση δυσφορίας. Υπό άλλες συνθήκες (όπως σε ένα γραφείο) η τιμή της θάμβωσης θα κρινόταν ανησυχητικά αυξημένη, καθώς πλησιάζει το όριο UGR = 19. Για τα δεδομένα του διαδρόμου ως χώρου κυκλοφορίας, το ανώτατο όριο της θάμβωσης δυσφορίας αντί για 19 έχει αυξηθεί στα 28. Σύμφωνα με αυτό, η τιμή 18,5 που αντιστοιχεί σε έναν όρθιο παρατηρητή αναφέρεται σε μια χαμηλή και επιθυμητή τιμή θάμβωσης.

4.3 Αποτελέσματα Σεναρίου II: Αντικατάσταση Φωτιστικών Σωμάτων

Νέος εξοπλισμός:

Φωτιστικό: SM402C LED42S/840 PSD W31L125

- Κατασκευαστής: PHILIPS
- Τύπος: LED
- Διαστάσεις: 52 x 1247 x 313 mm
- Ονομαστική Ισχύς: 33,5W
- Φωτεινή Ροή: 4200 lm
- Φωτεινή Απόδοση: 125 lm/W
- CCT: 4000K / Κωδικός Χρώματος:840
- CRI: >80
- Γωνία δέσμης: 120°
- Βαθμός απόδοσης λειτουργίας: 100%



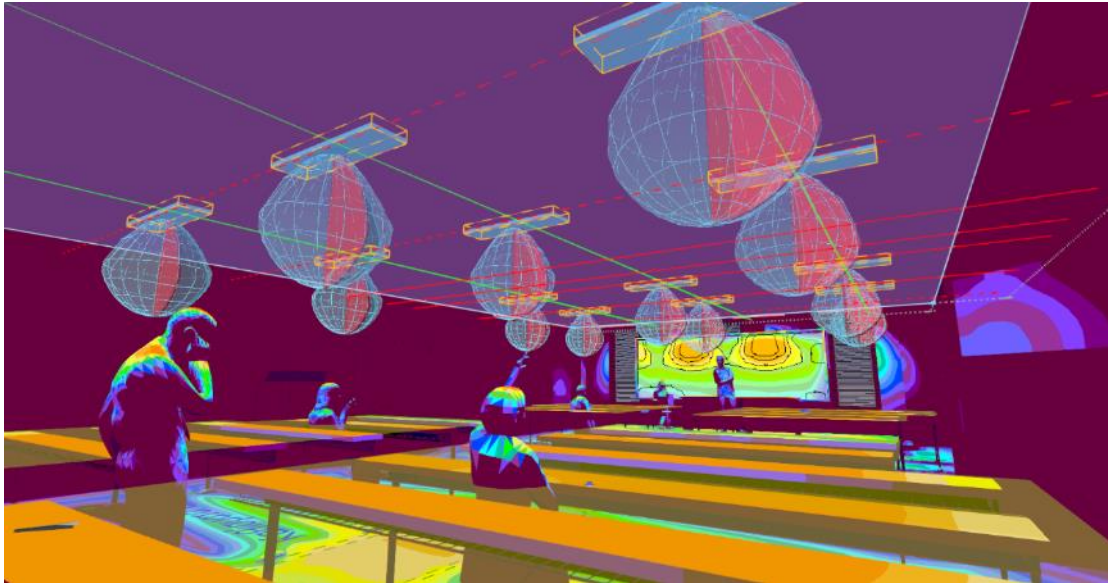
Εικόνα 4.3.1 : Νέο φωτιστικό LED (lighting.philips.gr)

A) Αίθουσα Διαλέξεων

Αριθμός φωτιστικών: 19

Εγκατεστημένη ισχύς: $19 \times 33,5\text{W} = 0,64\text{kW}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 20:00μμ , Δευτέρα – Παρασκευή



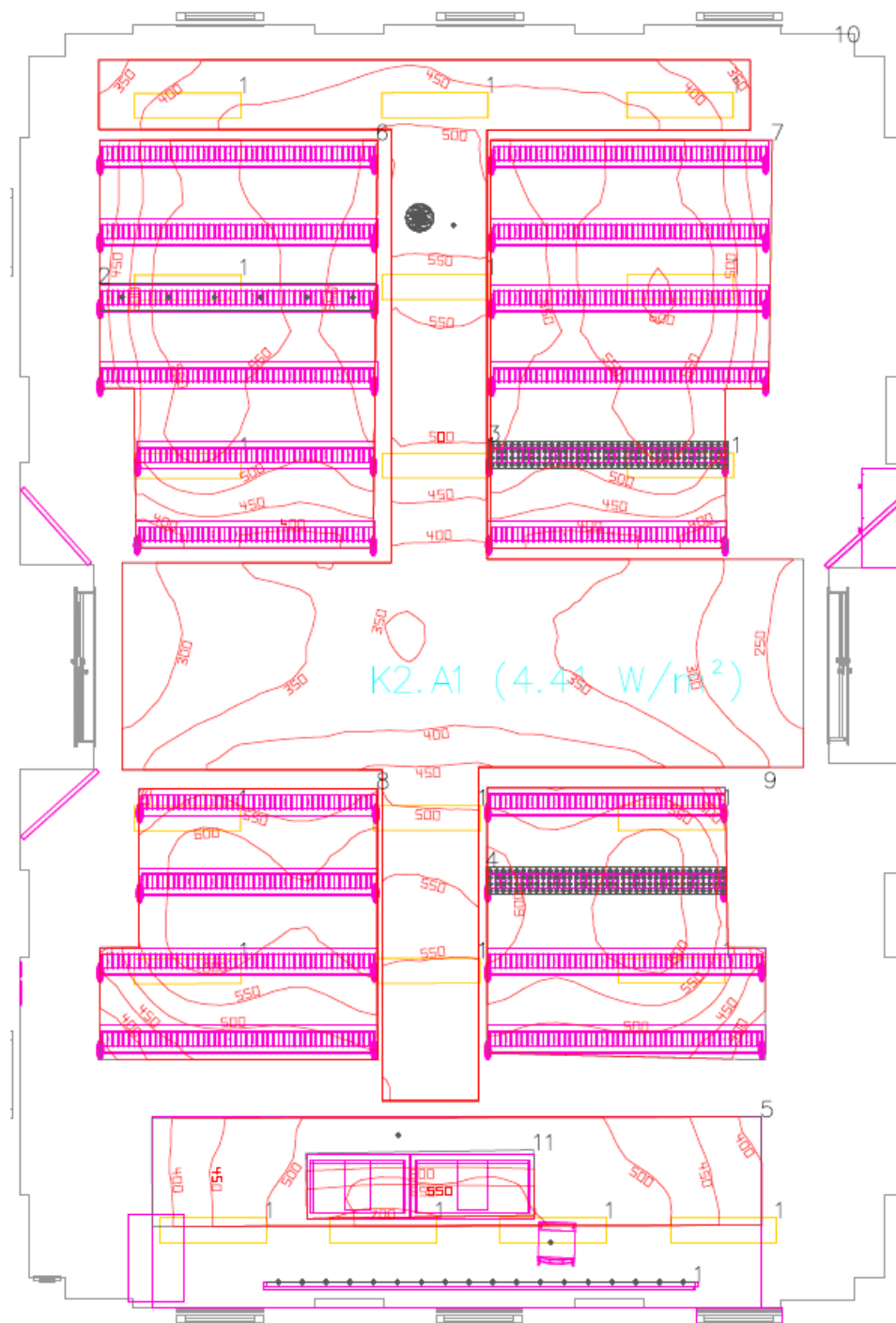
Εικόνα 4.3.2: Υπολογισμοί στην Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο II



Εικόνα 4.3.3: Αίθουσα Διαλέξεων – Σενάριο II

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, 1ος Όροφος)									
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός ειδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός	
1	Philips	SM402C PSD W31L125 OC LED42S/840 NO		1x LED42S/840	4200 lm	0.80	33.5 W	19	
#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max		
1	Πίνακας	Κάθετη ένταση φωτισμού	273 lx	645 lx	401 lx	0.68	0.42		
2	UGR sitting area 1	Unified Glare Rating (UGR)	<10	18.3	/	/	/		
3	UGR sitting area 2	Unified Glare Rating (UGR)	<10	18.6	/	/	/		
4	UGR sitting area 4	Unified Glare Rating (UGR)	<10	18.6	/	/	/		
5	Επίπεδο εργασίας (Βάθρο)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	391 lx	560 lx	499 lx	0.78	0.70		
6	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 1)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	366 lx	599 lx	526 lx	0.70	0.61		
7	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 2)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	365 lx	603 lx	526 lx	0.69	0.61		
8	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 3)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	345 lx	631 lx	559 lx	0.62	0.55		
9	Επίπεδο εργασίας (Καθίσματα 4)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	368 lx	622 lx	551 lx	0.67	0.59		
10	Επίπεδο εργασίας (Διαδρομές)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	223 lx	560 lx	408 lx	0.55	0.40		
11	Επίπεδο εργασίας (Έδρα)	Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικό)	578 lx	702 lx	642 lx	0.90	0.82		

Εικόνα 4.3.4: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - K2A1_Σενάριο Π



Εικόνα 4.3.5: Διάγραμμα Isolux - K2A1_Σενάριο II

Πίνακας 4.3.1: Σενάριο II – Αίθουσα Διαλέξεων

Περιοχές Εργασίας στην Αίθουσα Διαλέξεων					
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο	
Καθίσματα 1	526	500	0,70	0,60	
Καθίσματα 2	526	500	0,69	0,60	
Καθίσματα 3	559	500	0,62	0,60	
Καθίσματα 4	551	500	0,67	0,60	
Διάδρομος	408	100	0,55	0,40	
Βάθρο	499	300	0,78	0,70	
Έδρα	642	-	0,90	-	
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂					
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση		
Κατανάλωση (kWh/year)	1222	417	805		
LENI (kWh/m ² year)	8,5	2,9	5,6		
Κόστος (€)	366	123	243		
CO ₂ (kg/year)	489	167	322		
Ποσοστό μείωσης			66,0%		
Οπτική Άνεση					
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Όριο	
Καθίσματα 1	18,3			19,0	
Καθίσματα 2	18,6			19,0	
Καθίσματα 4	18,6			19,0	
Όρθιος Καθηγητής	17,8			-	
Καθιστός Καθηγητής	18,0			19,0	
Όρθιος Παρατηρητής στον διάδρομο	18,0			25,0	

Η εγκατάσταση νέων φωτιστικών σωμάτων και η εκ νέου χωροθέτηση τους επιτυγχάνει τη μείωση της μέσης έντασης φωτισμού σε επιθυμητά επίπεδα, που πλησιάζουν τα κατώτατα όρια. Ο χώρος πλέον δεν είναι υπερφωτισμένος, με τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της υπολογιζόμενης έντασης και του αντίστοιχου ορίου να ανέρχεται στο 12% (Καθίσματα 4). Ο σκοπός του Σεναρίου II δεν ήταν καθαυτή η μείωση της έντασης φωτισμού, αλλά η ελαχιστοποίηση της εγκατεστημένης ισχύος. Αυτό επιτεύχθηκε μειώνοντας τον αριθμό των φωτιστικών, από 32 σε 19.

Τόσο η ομοιομορφία όσο και η θάμβωση, βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων για σε όλους τους εξεταζόμενους χώρους, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.3.1

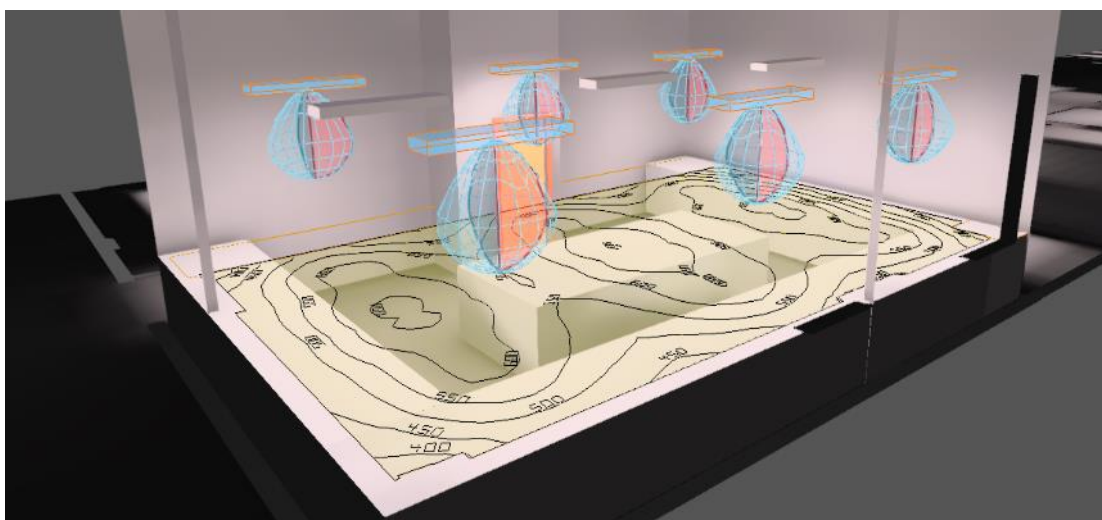
Οι νέες θέσεις των φωτιστικών επιτρέπουν ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού Αξιολογώντας τα αποτελέσματα του πίνακα μπορεί εύκολα να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η αναδιάταξη των θέσεων των φωτιστικών ενδέχεται να μεταβάλει (θετικά ή αρνητικά) την υπάρχουσα δυνατότητα εξοικονόμησης από το φυσικό φως. Στην υπό μελέτη περίπτωση, το κόστος και οι εκπομπές CO₂ δύναται να μειωθούν επιπλέον κατά 66% μέσω συστημάτων ελέγχου.

Β) Εργαστήριο

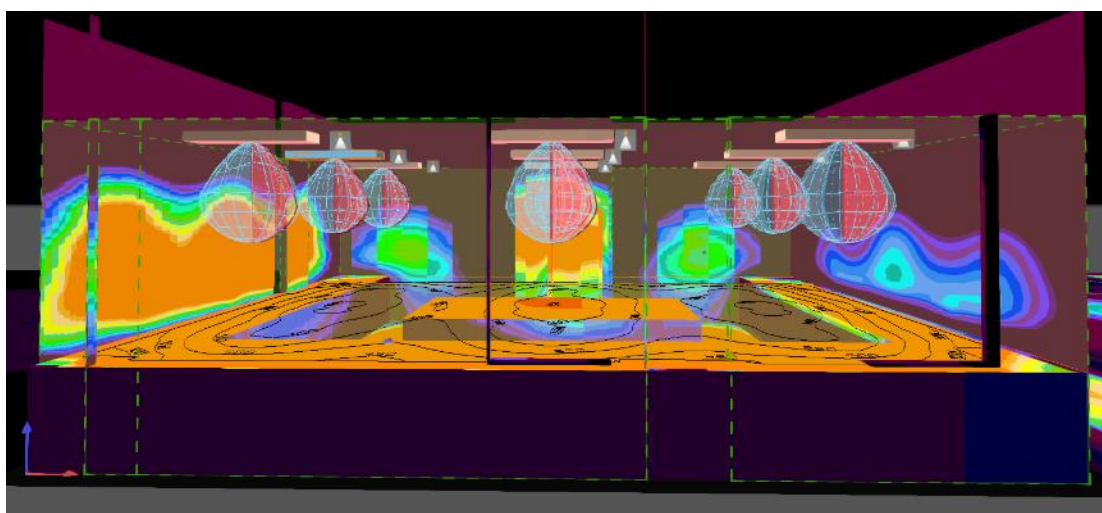
Αριθμός φωτιστικών: 9

Εγκατεστημένη ισχύς: $9 \times 33,5\text{W} = 302\text{W}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 19:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



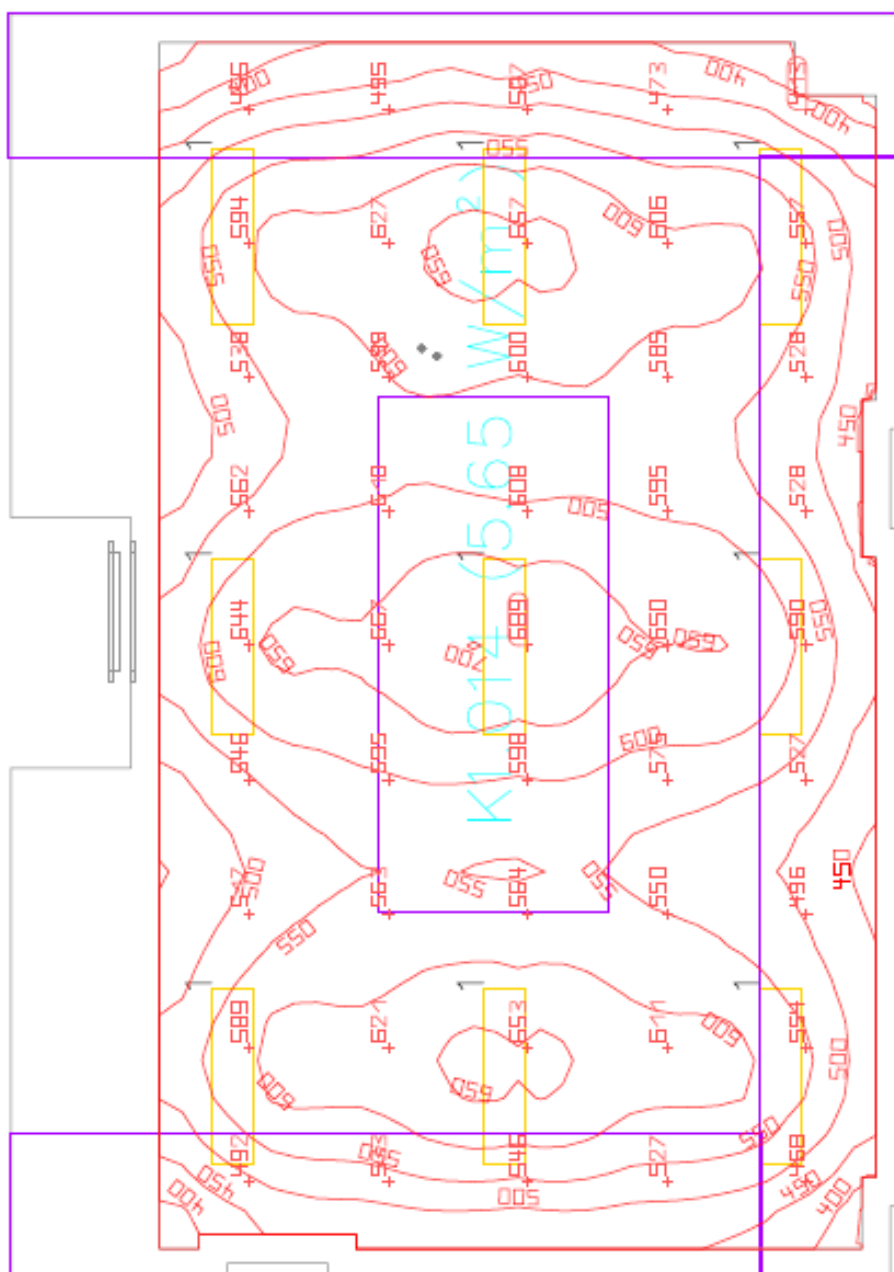
Εικόνα 4.3.6: Εργαστήριο – Σενάριο II



Εικόνα 4.3.7: Υπολογισμοί στο Εργαστήριο – Σενάριο II

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, Ισόγεια, Κ1.014)								
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός είδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός
1	Philips	SM402C PSD W31L125 OC LED42S/840 NO		1x LED42S/840	4200 lm	0.80	33.5 W	9

Εικόνα 4.3.8: Υπόμνημα αποτελεσμάτων – Εργαστήριο_Σενάριο II



Εικόνα 4.3.9: Διάγραμμα Isolux - Εργαστήριο_Σενάριο II

Πίνακας 4.3.2: Εργαστήριο – Σενάριο II

Περιοχές Εργασίας στο Εργαστήριο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας	563	500	0,60	0,60
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	784	304	484	
LENI (kWh/m ² year)	14,7	5,7	9,0	
Κόστος (€)	141	54	87	
CO ₂	353	135	218	
Ποσοστό εξοικονόμησης				61%
Έλεγχος θάμβωσης				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Όριο
Όρθιος Παρατηρητής	16,5			19,0
Καθιστός Παρατηρητής	15,7			19,0

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.3.2 ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις σχετικά με την ένταση, την ομοιομορφία και τη θάμβωση στο χώρο. Παρόλα αυτά, παραπλήσια αποτελέσματα προέκυψαν και από το Σενάριο I, το οποίο περιγράφει μια πιο απλή και οικονομική παρέμβαση στο σύστημα φωτισμού.

Ουσιαστικά, τα δύο σενάρια έχουν όμοια δράση στον συγκεκριμένο χώρο· και στα δύο τοποθετείται ένα αποδοτικό σώμα LED χαμηλής κατανάλωσης, το οποίο καλείται να φωτίσει όλη την έκταση του χώρου. Το πλεονέκτημα του δεύτερου σεναρίου – έγκειται στην δημιουργία διαφορετικών επιπέδων χρήσης για την ανακατανομή των φωτιστικών – δεν μπορεί να βρει εφαρμογή στον χώρο του εργαστηρίου, αφού θεωρήθηκε ένα επίπεδο εργασίας με ενιαίες απαιτήσεις φωτισμού. Σε περίπτωση που η εξεταζόμενη περιοχή είχε προοπτικές να χωριστεί σε διαφορετικές ζώνες χρήσης, η εξοικονόμηση στο Σενάριο II θα ήταν μεγαλύτερη.

Η συνολική ισχύς των νέων φωτιστικών είναι μικρότερη από την ισχύ του προηγούμενου σεναρίου, αλλά όχι σε βαθμό τέτοιο ώστε να καθιστά μια τέτοια επέμβαση στο σύστημα φωτισμού συμφέρουσα.

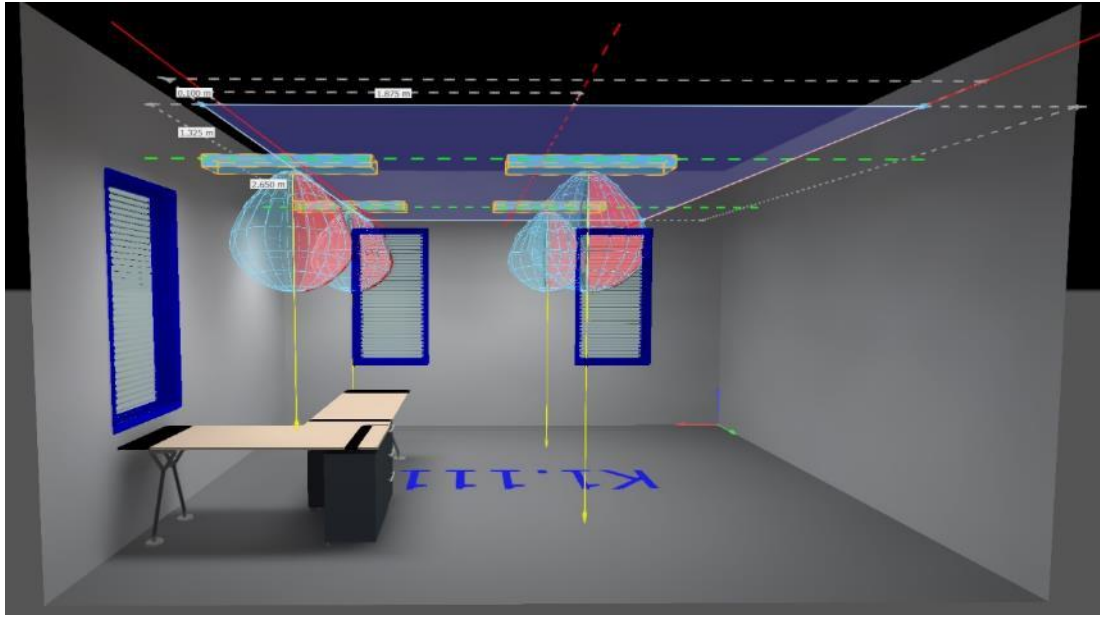
Το δυνητικό ποσοστό εξοικονόμησης από το φυσικό φως εξακολουθεί να είναι υψηλό. Στον Πίνακα 4.3.2 φαίνεται ότι η ετήσια εξοικονόμηση σε ενέργεια, κόστος και εκπομπές CO₂ μπορεί να φτάσει το 60%. Αυτή είναι η μέγιστη δυνατότητα εξοικονόμησης, γιατί όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ενδέχεται να ληφθούν μέτρα περιορισμού του φυσικού φωτός. Αυτά τα μέτρα εξυπηρετούν την αποφυγή συνθηκών οπτικής δυσφορίας και πιθανές απαιτήσεις χημικών ουσιών που δεν πρέπει να εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία.

Γ) Γραφείο

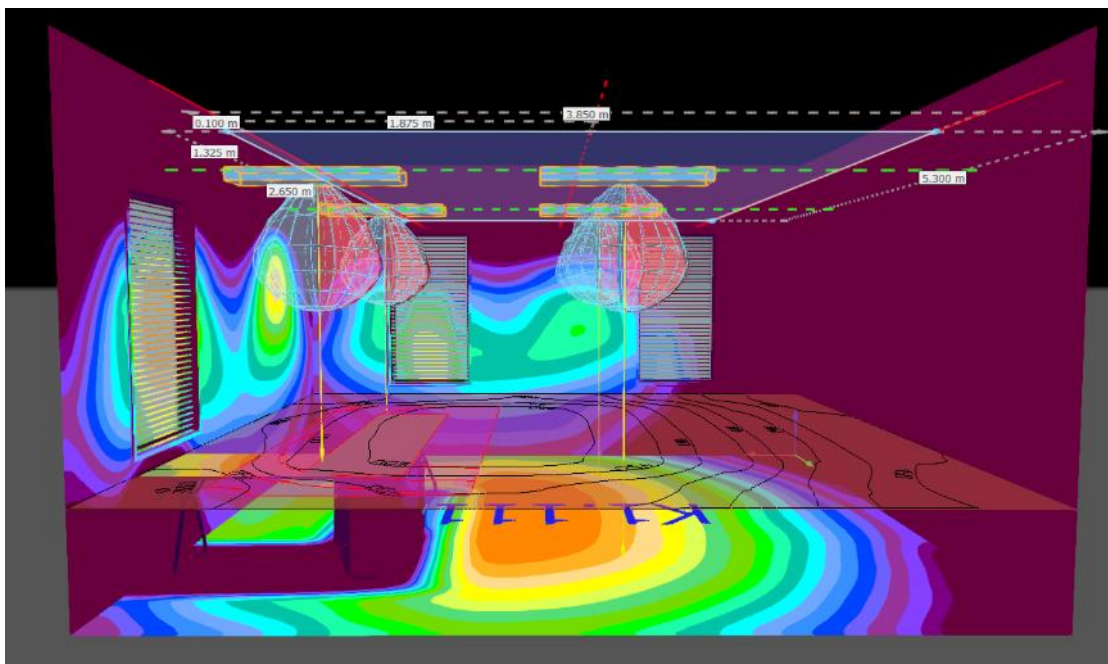
Αριθμός φωτιστικών: 4

Εγκατεστημένη ισχύς: $4 \times 33,5\text{W} = 134\text{W}$

Λειτουργία: 09:00πμ – 15:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



Εικόνα 4.3.10: Γραφείο – Σενάριο II

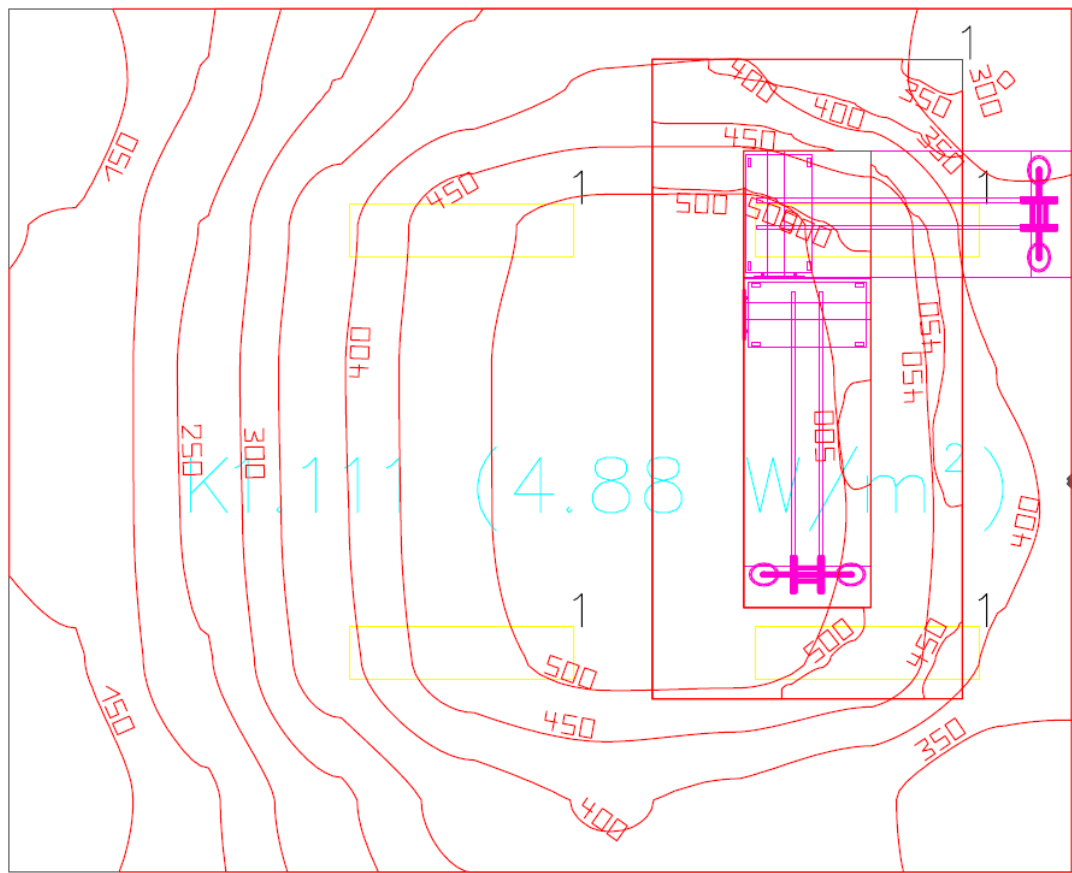


Εικόνα 4.3.11: Υπολογισμοί στο Γραφείο

Κατάλογος φωτιστικών (Κτίριο 1, 1ος Όροφος Κ1.111)								
Ευρετήριο	Κατασκευαστής	Όνομα στοιχείου	Αριθμός ειδους	Εξοπλισμός	Φωτεινή ροή	Συντελεστής συντήρησης	Ισχύς σύνδεσης	Αριθμός
1	Philips	SM402C PSD W31L125 OC LED42S/840 NO		1x LED42S/840	4200 lm	0.80	33.5 W	4

#	Όνομα	Παράμετροι	Min	Max	Μέσος όρος	Min/Μέσο	Min/Max
1	Περιοχή της οπτικής εργασίας 2	Κάθετη ένταση φωτισμού	463 lx	534 lx	513 lx	0.90	0.87
2	Περιβάλλουσα	Κάθετη ένταση φωτισμού	330 lx	542 lx	477 lx	0.69	0.61
3	Τπόβαθρο	Κάθετη ένταση φωτισμού	122 lx	535 lx	341 lx	0.36	0.23

Εικόνα 4.3.12: Υπόμνημα αποτελεσμάτων - Γραφείο_Σενάριο II



Εικόνα 4.3.13: Διάγραμμα Isolux - Γραφείο_Σενάριο II

Πίνακας 4.3.3: Σενάριο II – Γραφείο

Περιοχές Εργασίας στο Γραφείο					
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο	
Επιφάνεια Εργασίας	513	500	0,93	0,60	
Περιβάλλουσα Επιφάνεια	477	300	0,69	0,40	
Επιφάνεια Υποβάθρου	341	100	0,36	0,10	
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂					
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση		
Κατανάλωση (kWh/year)	125	35	90		
LENI (kWh/m ² year)	4,6	1,3	3,3		
Κόστος (€)	23	6,5	16,5		
CO ₂	56	16	40		
Ποσοστό εξοικονόμησης				72%	
Έλεγχος σε θάμβωση					
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Ανώτατο όριο	
Όρθιος Παρατηρητής	17,6			19,0	
Καθιστός Παρατηρητής	16,8			19,0	

Η επιλογή νέων φωτιστικών οδήγησε σε σημαντική μείωση της εγκατεστημένης ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες της κάθε επιφάνειας, οι απαιτήσεις σε φωτισμό ικανοποιούνται από μόλις τέσσερα φωτιστικά σώματα. Με άλλα λόγια, διατηρώντας την ένταση των 500lux μόνο στη περιοχή του γραφείου, το πλήθος των φωτιστικών μειώθηκε στο μισό.

Η ένταση στην επιφάνεια εργασίας είναι σχεδόν στο όριο των 500lux, ενώ η περιβάλλουσα και το υπόβαθρο εμφανίζουν μέση ένταση που ξεπερνά το όριο πάνω από 30% της τιμής του. Θεωρητικά οι δύο αυτές επιφάνειες είναι υπερφωτισμένες, αφού δέχονται αρκετά μεγαλύτερη ένταση από όσο χρειάζονται. Στη πράξη όμως δεν μπορεί να υπάρξει μεγαλύτερη μείωση της έντασης χρησιμοποιώντας αποκλειστικά φωτιστικά οροφής. Τα φωτιστικά οροφής κατανέμουν τη φωτεινή ροή (lumen) πιο ομοιόμορφα στο χώρο, με αποτέλεσμα η απότομη διαβάθμιση της έντασης (π.χ. βήμα 200lux : 500lux → 300lux→100lux) να μην είναι πάντα εφικτή.

Πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες για περαιτέρω μείωση του αριθμού των φωτιστικών, με τη λογική πως υπάρχει περιθώριο μείωσης της έντασης στις περιοχές εκτός της επιφάνειας εργασίας. Οι προσπάθειες αυτές κατέληξαν σε ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ένταση φωτισμού των επιφανειών, αλλά δεν κατάφεραν να εκπληρώσουν τις επιταγές για ομοιομορφία και αποφυγή θάμβωσης.

Η ομοιομορφία με το νέο σύστημα φωτισμού υπολογίζεται για κάθε επιφάνεια αισθητά ψηλότερη από το αντίστοιχο κατώτατο όριο. Η θάμβωση τελικά μειώθηκε, αποφεύγοντας τον κίνδυνο να αυξηθεί προς τα πάνω και να κριθεί η διάταξη ακατάλληλη.

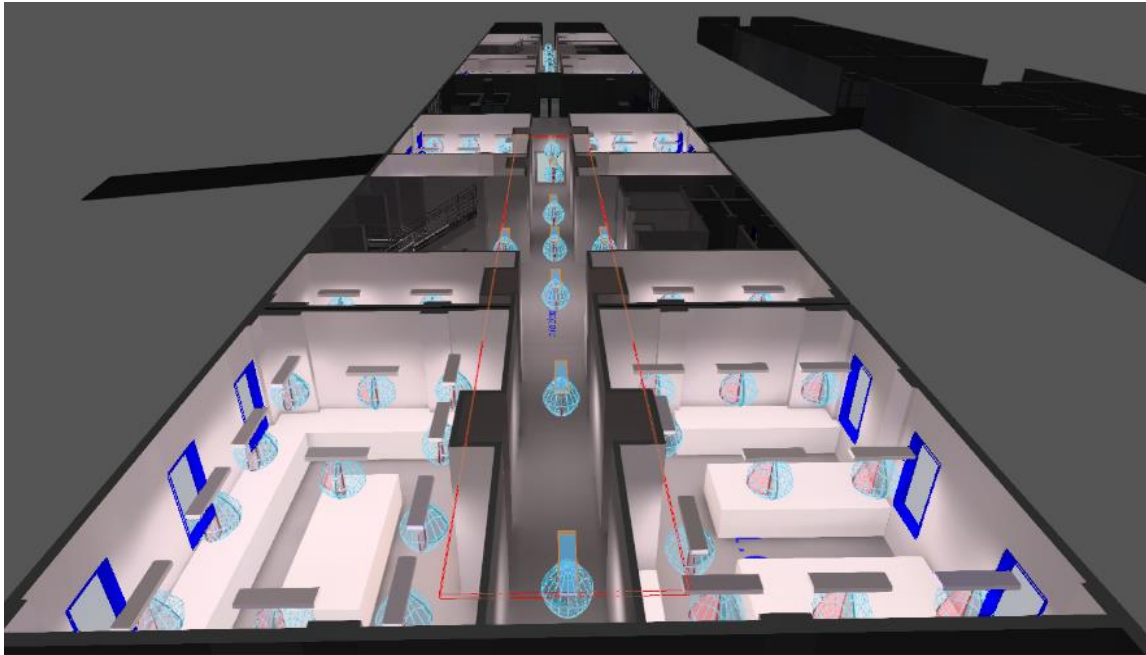
Το ποσοστό εξοικονόμησης στη περίπτωση εγκατάστασης συστημάτων ελέγχου εκτιμήθηκε 72%, το μεγαλύτερο που έχει προκύψει έως τώρα.

Δ) Διάδρομος

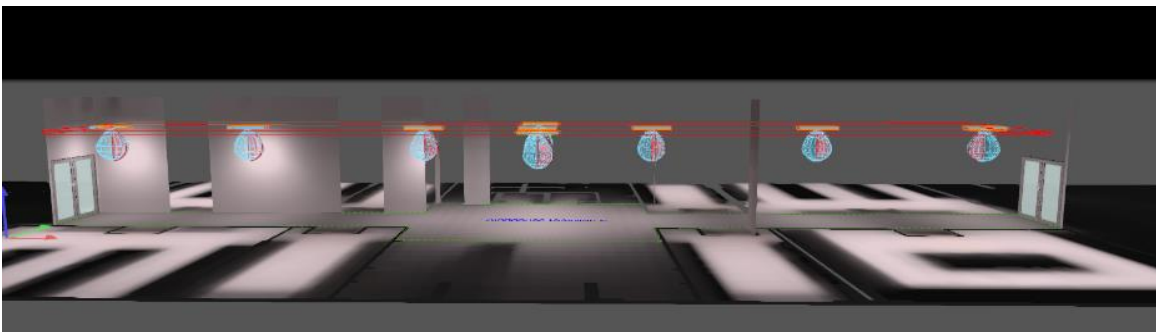
Αριθμός φωτιστικών: 8

Εγκατεστημένη ισχύς: $8 \times 33,5\text{W} = 268\text{W}$

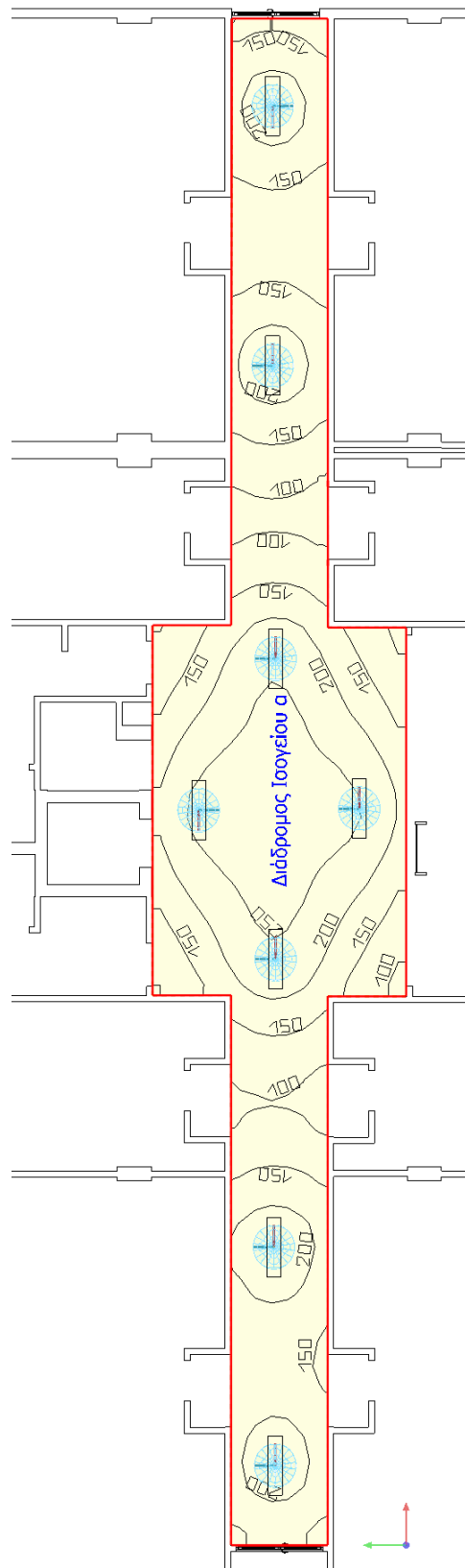
Λειτουργία: 07:00πμ – 19:00μμ, Δευτέρα – Παρασκευή



Εικόνα 4.3.14: Διάδρομος – Σενάριο II



Εικόνα 4.3.15: Υπολογισμοί στον Διάδρομο – Σενάριο II



Εικόνα 4.3.16: Διάγραμμα Isolux - Διάδρομος_Σενάριο II

Πίνακας 4.3.4: Σενάριο II – Διάδρομος

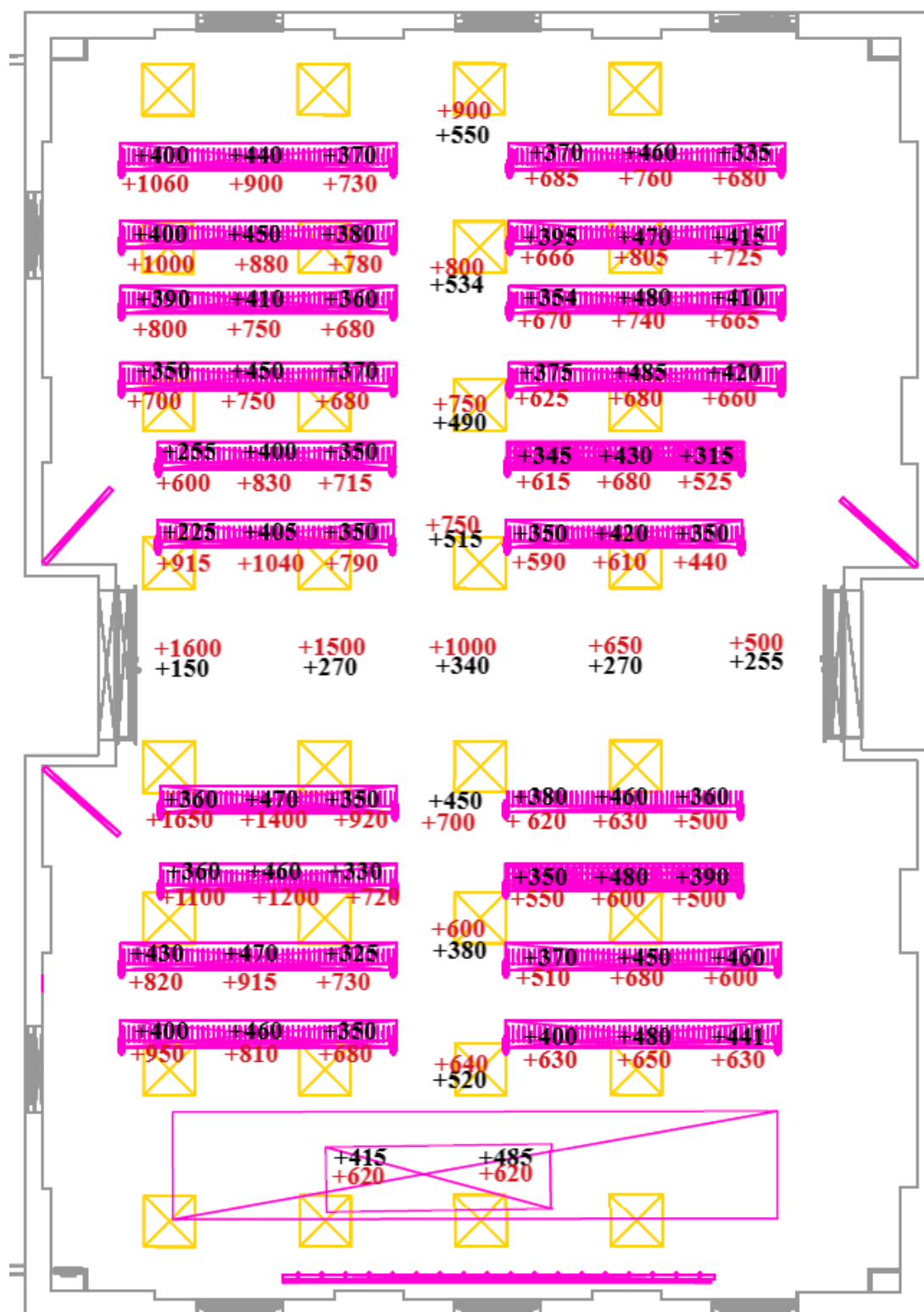
Περιοχές Εργασίας στο Διάδρομο				
Περιοχή	Μέση Ένταση Φωτισμού (lux)	Κατώτατο όριο (lux)	Ομοιομορφία	Κατώτατο όριο
Επιφάνεια Εργασίας Διαδρόμου	183	100	0,47	0,40
Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂				
	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη	Ετήσια Εξοικονόμηση	
Κατανάλωση (kWh/year)	167	32	135	
LENI (kWh/m ² year)	1,9	0,4	1,5	
Κόστος (€)	30	6	24	
CO ₂	75	14	61	
Ποσοστό εξοικονόμησης			80%	
Έλεγχος σε θάμβωση				
Περιοχή	Μέγιστη Θάμβωση δυσφορίας UGR			Ανώτατο όριο
Όρθιος Παρατηρητής	18,7			28,0

Σε αυτό το σενάριο τα 21 φωτιστικά σώματα αντικαταστάθηκαν με 8 νέας τεχνολογίας LED. Αυτό οδήγησε σε πολύ μεγάλη μείωση της ισχύος του συστήματος και ταυτόχρονα σε μείωση της περίσσειας έντασης φωτισμού στους διαδρόμους. Η αρχική ένταση έπεσε από 400lux σε 180lux, με την επιφάνεια εργασίας (δάπεδο) να εξακολουθεί να θεωρείτε υπερφωτισμένη. Η περαιτέρω μείωση στο πλήθος των φωτιστικών μπορούσε να περιορίσει την ένταση σε επίπεδα κάτω από 130lux ώστε ο χώρος να μην θεωρείται υπερφωτισμένος, αλλά αυτό θα δημιουργούσε πρόβλημα στην ομοιομορφία. Με τον αριθμό και τη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων που προτείνεται, η ομοιομορφία βρίσκεται εντός επιτρεπτών ορίων.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της νέας διάταξης είναι η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και εκπομπών CO₂ μέχρι και 80%. Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού θα ελαχιστοποιήσει την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές CO₂, με εκτιμώμενη μείωση κατά μια τάξη μεγέθους. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.3.4 με αυτά που υπολογίστηκαν στον Πίνακα 4.1.5 (υφιστάμενη κατάσταση), γίνεται προφανές ότι οι χώροι των διαδρόμων έχουν προοπτικές να γίνουν χώροι σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.

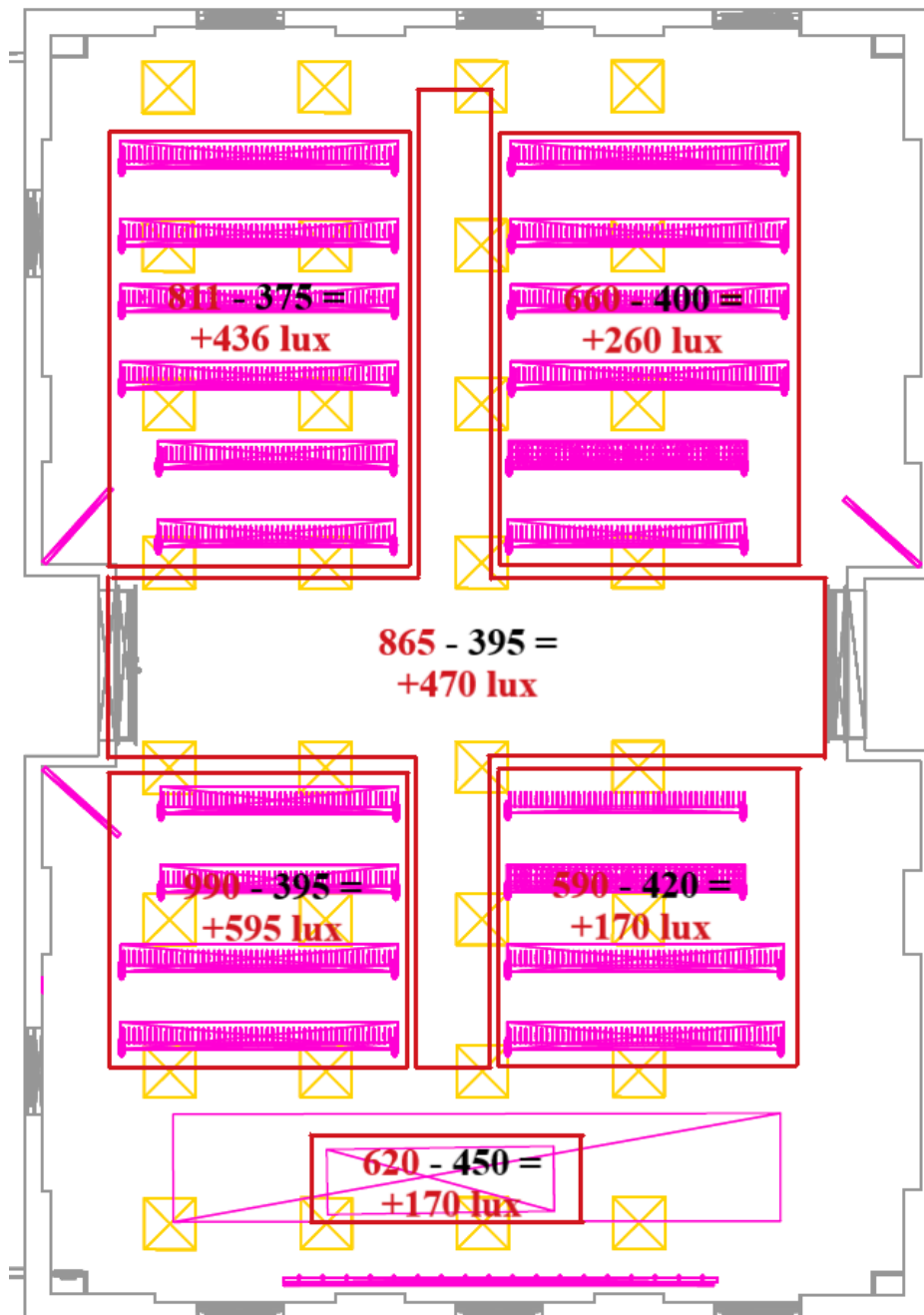
Η μέγιστη τιμή θάμβωσης δυσφορίας στη περιοχή του διαδρόμου εκτιμήθηκε UGR = 18,7 < 28. Επομένως, η εγκατάσταση των νέων φωτιστικών προσφέρεται όχι μόνο για την κάλυψη των αναγκών σε ενεργειακή αποδοτικότητα, αλλά και σε συνθήκες οπτικής άνεσης.

4.4 Μετρήσεις Φωτόμετρου



Εικόνα 4.4.1: Μετρήσεις έντασης φωτισμού με το φωτόμετρο

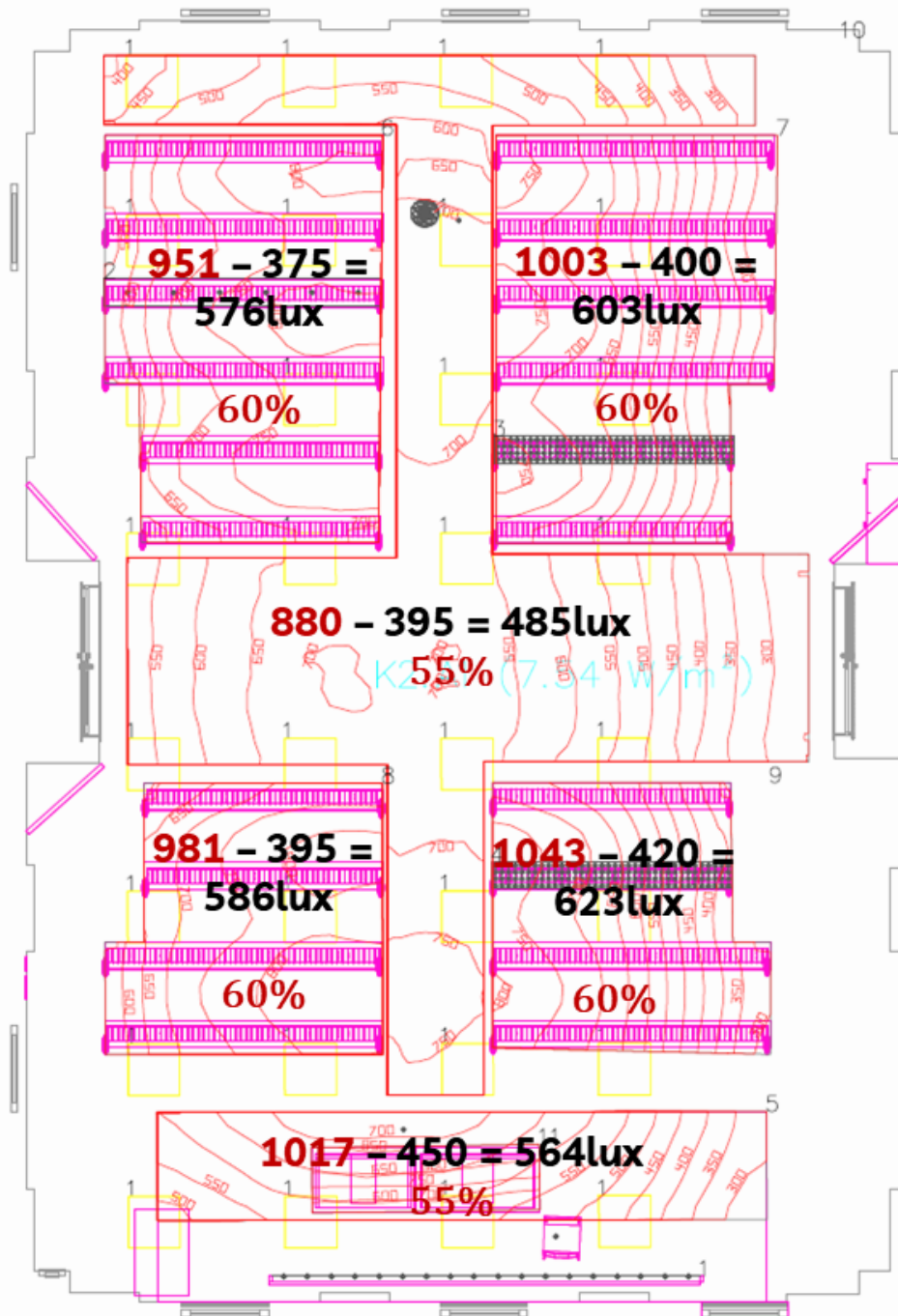
Η Εικόνα 4.4.1 αποτελεί κάτοψη της αίθουσας διαλέξεων, πάνω στην οποία αναγράφονται οι μετρήσεις που λήφθηκαν με το φωτόμετρο, στις αντίστοιχες θέσεις. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν απουσία φυσικού φωτός αναγράφονται με μαύρο χρώμα. Οι μετρήσεις με κόκκινο χρώμα πραγματοποιήθηκαν στις 8/5/2023 σε συνθήκες παρουσίας φυσικού φωτός (χρονικό διάστημα 14:00 – 15:00 μμ) και με πλήρη λειτουργία του συστήματος φωτισμού. Στην Εικόνα 4.4.2 έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος της έντασης φωτισμού σε κάθε περιοχή εργασίας. Αφαιρώντας τη μετρούμενη ένταση της νύχτας από τη συνολική ένταση κατά τη διάρκεια της ημέρας, λαμβάνεται μια εκτίμηση για τη συνεισφορά του φυσικού φωτός τη συγκεκριμένη μέρα και ώρα.



Εικόνα 4.4.2: Κέρδη φυσικού φωτός στην αίθουσα διαλέξεων μεταξύ 14:00 – 15:00 μμ.

Στην Εικόνα 4.4.2 παρουσιάστηκαν δυο διαφορετικά σεντ πειραματικών μετρήσεων. Με αφορμή αυτό θα πρέπει να σχολιαστεί και η ακρίβεια των μετρήσεων που λαμβάνονται πειραματικά με το φωτόμετρο.

Στην Εικόνα 4.4.3 γίνεται σύγκριση των πειραματικών τιμών μέσης έντασης σε κάθε επιφάνεια υπολογισμού με την ένταση που υπολογίστηκε κατά τη προσομοίωση του λογισμικού DIALux ενο. Η μέση απόκλιση υπολογίζεται 60%, με αυτό το ποσοστό να μην παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των διαφορετικών θέσεων εργασίας.



Εικόνα 4.4.3: Απόκλιση πειραματικών και θεωρητικών μετρήσεων

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει ένα σχόλιο για το μεγάλο ποσοστό απόκλισης που υπολογίστηκε μεταξύ των τιμών του DIALux και των μετρήσεων του φωτόμετρου.

Αυτή η απόκλιση δεν οφείλεται τόσο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων του ίδιου του προγράμματος, αλλά σε κάποιες παραλήψεις που έγιναν στο στάδιο της μοντελοποίησης. Συγκεκριμένα, στη μοντελοποίηση δεν λήφθηκε υπόψη η απομείωση της απόδοσης των λαμπτήρων. Εκτιμάται ότι στη τρέχουσα κατάσταση λειτουργούν με μια απόδοση πολύ μικρότερη της ονομαστικής τους.

Τη παραπάνω διαπίστωση μπορεί να στηρίζει και το αποτέλεσμα του σύντομου υπολογισμού που ακολουθεί:

Εκτίμηση μέσης έντασης φωτισμού σε όλη την έκταση της K2.A1:

Απόδοση φωτιστικών στο τρέχον σύστημα: 53 lm/W

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: 2,9 kW

Εμβαδόν χώρου: 150 m²

Συνολικά lumen από το σύστημα φωτισμού: $53 \frac{lm}{W} \times 2900W = 153700lm$

Μέση Θεωρητική Ένταση Φωτισμού: $\frac{153700lm}{150m^2} \cong 1000lux$

Παρατηρείται ότι το υφιστάμενο σύστημα σχεδιάστηκε για να παρέχει μια ένταση στο χώρο της τάξης των 1000lux. Αυτή η τιμή είναι πολύ κοντά με τα θεωρητικά αποτελέσματα του προγράμματος, κάνοντας σαφές ότι δεν τίθεται μεγάλο θέμα ακρίβειας όσον αφορά τους φωτομετρικούς υπολογισμούς. Το πρόβλημα είναι ότι εξετάζεται το ίδιο σύστημα σε δυο πολύ διαφορετικές συνθήκες: στην αρχική φάση εγκατάστασης και σε μια φάση στην οποία η απόδοση των λαμπτήρων έχει πέσει σχεδόν στο μισό.

Η πληροφορία για την απόκλιση μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών μετρήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βαθμονόμηση της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, μειώνοντας τη φωτεινή απόδοση κατά 60% (ανατρέχοντας στα χαρακτηριστικά των φωτιστικών πηγών), τα αποτελέσματα του προγράμματος θα ήταν ίδια με πραγματικά δεδομένα που μετρά το φωτόμετρο. Στη παρούσα φάση, αυτού του είδους η βαθμονόμηση θα απέκλινε από τους στόχους της διπλωματικής.

4.5 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Πίνακας 4.5.1: Συμβολή Σεναρίων στην Εξοικονόμηση

		Φυσικό Φως	Αίθουσα Διαλέξεων	Εργαστήριο	Γραφείο	Διάδρομος
Ετήσια Ενέργεια (kWh/year)	Υφιστάμενο Σύστημα	Χωρίς έλεγχο	6692	2277	546	956
		Ελεγχόμενο	2609	933	371	252
		Εξοικονόμηση	4082 61%	1344 60%	175 32%	704 73%
	Σενάριο I	Χωρίς Έλεγχο	2917	874	210	367
		Ελεγχόμενο	1137	317	120	180
		Εξοικονόμηση	1779 61%	557 64%	90 43%	187 51%
	Σενάριο II	Χωρίς Έλεγχο	1222	784	125	167
		Ελεγχόμενο	417	304	35	32
		Εξοικονόμηση	805 66%	484 61%	90 72%	135 80%
Ετήσιες Εκπομπές CO ₂ (kg/year)	Υφιστάμενο Σύστημα	Χωρίς έλεγχο	2677	910	218	382
		Ελεγχόμενο	1044	373	149	101
		Εξοικονόμηση	1633 61%	537 60%	69 32%	281 73%
	Σενάριο I	Χωρίς Έλεγχο	1167	393	95	165
		Ελεγχόμενο	460	143	54	82
		Εξοικονόμηση	707 61%	250 64%	41 43%	83 51%
	Σενάριο II	Χωρίς Έλεγχο	489	353	56	75
		Ελεγχόμενο	167	135	16	14
		Εξοικονόμηση	322 66%	218 61%	40 72%	61 80%

Στον Πίνακα 4.5.1 παρουσιάζεται η ετήσια ενέργεια και οι εκπομπές CO₂ που απαιτούνται για τις ανάγκες φωτισμού των χώρων που εξετάστηκαν. Η κατανάλωση ενέργειας και CO₂ χωρίζεται σε δυο αποτελέσματα · σε αυτά που δεν έλαβαν υπόψη τα ηλιακά κέρδη (χωρίς έλεγχο) και σε αυτά που βασίστηκαν στη χρήση συστημάτων ελέγχου φυσικού φωτός (ελεγχόμενο). Η εξοικονόμηση από το φυσικό φως εκφράζεται για το κάθε σενάριο ως αριθμός αλλά και ως ποσοστό.

Επομένως, αυτά τα ποσοστά δεν αναφέρονται στην εξοικονόμηση επί της αρχικής κατάστασης, αλλά στην εξοικονόμηση που εκτιμάται ότι θα επιφέρει η αξιοποίηση του φυσικού φωτός στη συνολική κατανάλωση κάθε σεναρίου. Τα μεγέθη της ενέργειας και της ποσότητας CO₂ που καταναλώνονται ετησίως μειώνονται ανάλογα, εμφανίζοντας ίδια ποσοστά εξοικονόμησης στον Πίνακα 4.5.1.

Για να γίνει σαφές το πόσο καλά εξυπηρετούν τα σενάρια τον στόχο της εξοικονόμησης, πρέπει να συγκριθούν τα αποτελέσματα της κάθε δράσης με αυτά του τρέχοντος συστήματος φωτισμού. Στον Πίνακα 4.5.2 παρουσιάζεται το ποσοστό εξοικονόμησης του κάθε σεναρίου επί της τρέχουσας κατάστασης.

Ο Πίνακας 4.5.2 χωρίζεται σε δυο μέρη. Στο άνω μέρος φαίνεται η εξοικονόμηση που επιφέρει το κάθε σενάριο, χωρίς να περιέχεται το κέρδος από το φυσικό φως. Εξετάζεται δηλαδή μόνο η επίδραση που είχε στη μείωση της κατανάλωσης η αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων (Σενάριο I) και η επανατοποθέτηση νέων φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο II). Στο κάτω μέρος του Πίνακα 4.5.2 υπολογίζεται η ποσοστιαία μείωση της ετήσιας κατανάλωσης μαζί με τη πρόσθετη εξοικονόμηση από την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός.

Το μέγεθος της ενέργειας (kWh), του κόστους (€), της ειδικής ισχύος σύνδεσης (W/m²) και των εκπομπών CO₂ (kg) εμφανίζουν την ίδια ποσοστιαία μείωση όταν αναφέρονται στον ίδιο χώρο. Στον Πίνακα.. τα ποσοστά εξοικονόμησης επιλέγεται να εξαχθούν μόνο από ένα μέγεθος, καθώς είναι κοινά για όλα τα μεγέθη του προαναφέρθηκαν. Το μέγεθος που επιλέχθηκε για την εξαγωγή των ποσοστών εξοικονόμησης είναι αυτό της ετήσιας ενέργειας. Η ανάλυση που θα ακολουθήσει αναφέρεται επίσης σε δεδομένα ενέργειας, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα δεδομένα εκπομπών CO₂ δεν θα έδιναν τα ίδια ποσοστά.

Πίνακας 4.5.2: Αθροιστική Επίδραση Σεναρίων και Εκμετάλλευσης Φ.Φ

		Αίθουσα Διαλέξεων	Εργαστήριο	Γραφείο	Διάδρομος
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/year)	Χωρίς Σύστημα Ελέγχου Φ.Φ.				
	Τρέχον σύστημα	6692	2277	546	956
	Σενάριο I	2544	874	210	367
	Εξοικονόμηση	62%	62%	62%	62%
	Τρέχον σύστημα	6692	2277	546	956
	Σενάριο 2	1222	784	125	167
	Εξοικονόμηση	81%	66%	77%	83%
	Με Σύστημα Ελέγχου Φ.Φ.				
	Τρέχον σύστημα	6692	2277	546	956
	Σενάριο I	1006	317	120	180
	Εξοικονόμηση	85%	86%	78%	81%
	Τρέχον σύστημα	6692	2277	546	956
	Σενάριο 2	417	304	35	32
	Εξοικονόμηση	93%	87%	94%	97%

Τα βασικά ευρήματα για τους χώρους που εξετάστηκαν συνοψίζονται στα εξής:

i. Αίθουσα Διαλέξεων

Η αίθουσα διαλέξεων φωτίζεται από 32 φωτιστικά σώματα 73W το καθένα, με τη συνολική ισχύ να ανέρχεται στα 2,4kW. Όλες οι επιμέρους περιοχές εργασίας βρέθηκαν υπερφωτισμένες, ενώ ορισμένες δεν ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας. Το φαινόμενο της θάμβωσης εξετάστηκε σε βάθος, τοποθετώντας αισθητήρες ελέγχου στις περιοχές των καθισμάτων, του διαδρόμου και το βάθρο του ομιλητή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν τίθεται θέμα υπέρβασης ορίων στις θέσεις ελέγχου. Η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος εκτιμήθηκε για τη τρέχουσα κατάσταση σχεδόν 20%.

Η νέα ισχύς του φωτιστικού σώματος στο Σενάριο I διαμορφώνεται στα 28W, το οποίο μεταφράζεται σε ποσοστό εξοικονόμησης $1 - \frac{28}{73} \cong 62\%$. Η ένταση φωτισμού μειώθηκε, με μόνο δύο περιοχές να θεωρούνται πλέον υπερφωτισμένες. Συνεχίζουν να παρατηρούνται ορισμένες τιμές ομοιομορφίας εκτός ορίων ενώ η θάμβωση συνεχίζει επίσης να μην αποτελεί πρόβλημα. Η αξιοποίηση του φυσικού φωτός σε αυτή τη περίπτωση μπορεί να προσθέσει στην εφαρμογή του Σεναρίου I μια επιπλέον εξοικονόμηση 24%.

Στο Σενάριο II ο αριθμός των απαιτούμενων σωμάτων μειώνεται σε 19, με ισχύ κάθε φωτιστικού 33,5W. Η μείωση τόσο της ισχύος του κάθε φωτιστικού όσο και του αριθμού των φωτιστικών οδηγεί σε εξοικονόμηση:

$$\frac{32 \cdot 73W - 19 \cdot 33,5W}{32 \cdot 73W} \cdot 100\% \cong 75\%$$

, όπως επαληθεύεται και από τον Πίνακα 4.5.2. Η ένταση φωτισμού έχει πέσει κατά πολύ, τόσο ώστε ο χώρος να μη θεωρείται πλέον υπερφωτισμένος. Η θάμβωση και η ομοιομορφία πληρούν όλα τα όρια, ενώ η εξοικονόμηση του Σεναρίου II σε ενέργεια, κόστος και εκπομπές CO₂ μπορεί να αυξηθεί κατά 30% με συστήματα ελέγχου.

Εξετάζοντας συνολικά όλα τα παραπάνω, για την αίθουσα διαλέξεων προέκυψε:

- Η εφαρμογή του Σεναρίου I μειώνει την κατανάλωση του συστήματος από 6692kWh σε 2544kWh, δηλαδή 62%. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί έλεγχος φωτισμού παράλληλα με την αντικατάσταση των λαμπτήρων, η εξοικονόμηση μπορεί να αυξηθεί από 62% σε 85%.
- Η εφαρμογή του Σεναρίου II μειώνει την ενέργεια από 6692kWh σε 1222kWh, προσφέροντας εξοικονόμηση κατά 81%. Ο έλεγχος του φυσικού φωτός εκτιμήθηκε ότι μπορεί να αυξήσει αυτό το ποσοστό στο 93%, δηλαδή κατά περίπου 10%.

ii. Εργαστήριο

Το εργαστήριο φωτίζεται με 12 φωτιστικά σώματα, συνολικής ισχύος $12 \times 73 \text{ W} = 876 \text{ W}$. Η ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας βρέθηκε 35% μεγαλύτερη από τη προτεινόμενη ένταση των 500lux, καθιστώντας τον χώρο – θεωρητικά – υπερφωτισμένο. Η υπέρβαση στην ένταση φωτισμού είναι της τάξεως του 5%, με την ομοιομορφία και τη θάμβωση να βρίσκονται εντός των αντίστοιχων ορίων. Από τα παραπάνω ευρήματα συμπεραίνεται ότι το κύριο θέμα στο φωτιστικό περιβάλλον του εργαστηρίου δεν είναι η ποσότητα και η ποιότητα του φωτισμού, αλλά η ενεργειακή του αποδοτικότητα. Βρέθηκε ότι η εξοικονόμηση από το φυσικό φως μπορεί να μειώσει τη τρέχουσα κατανάλωση και το ενεργειακό αποτύπωμα του χώρου κατά 60%. Αυτό είναι το μέγιστο ποσοστό εξοικονόμησης στη περίπτωση που δεν λαμβάνονται μέτρα περιορισμού του φυσικού φωτός.

Η εφαρμογή του Σεναρίου I επιφέρει την ίδια μείωση στην ισχύ σε όλους τους εξεταζόμενους χώρους, καθώς χρησιμοποιούν τα ίδια φωτιστικά. Η κατανάλωση του εργαστηρίου μειώνεται κατά 62%, ελαττώνοντας την ισχύ στα 336W. Με αυτά τα δεδομένα η μέση ένταση φωτισμού έχει φτάσει σχεδόν στο όριο των 500lux και η ομοιομορφία φωτισμού ικανοποιείται επίσης οριακά. Έλεγχος της θάμβωσης έγινε στο ύψος των ματιών όρθιου και καθιστού παρατηρητή και έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Όσον αφορά τα κέρδη από το φυσικό φως, μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 64% της κατανάλωσης αυτού του σεναρίου.

Στο Σενάριο II ο ελάχιστος αριθμός των νέων φωτιστικών σωμάτων που ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτισμού και οπτικής άνεσης βρέθηκε στα 9. Η μείωση στη κατανάλωση και στο αποτύπωμα άνθρακα διαμορφώθηκε :

$$\frac{12 \cdot 73 \text{ W} - 9 \cdot 33,5 \text{ W}}{12 \cdot 73 \text{ W}} \cdot 100\% \cong 66\%$$

Με τη νέα μορφή του συστήματος φωτισμού, η μέση ένταση στην επιφάνεια εργασίας υπολογίστηκε 563lux, δηλαδή εντός του ανώτατου ($1,3 \times 500 \text{ lux}$) και του κατώτατου (500lux) ορίου. Οι απαιτήσεις της ομοιομορφίας και της θάμβωσης δυσφορίας ικανοποιούνται για όλες τις εκδοχές του δεύτερου σεναρίου. Η δυνατότητα εξοικονόμησης από την αξιοποίηση του φυσικού φωτός εξακολουθεί να κυμαίνεται και σε αυτό το σενάριο στο 60%.

Εξετάζοντας συνολικά όλα τα παραπάνω, υπολογίστηκε ότι:

- Η εφαρμογή του Σεναρίου I στο εργαστήριο μειώνει την ετήσια ενέργεια από 2277kWh σε 874kWh, το οποίο μεταφράζεται σε εξοικονόμηση 62%. Αν σε αυτό το σενάριο πραγματοποιηθεί έλεγχος του φυσικού φωτισμού, στο ποσοστό εξοικονόμησης μπορεί προστεθεί περίπου 25%, δηλαδή από 62% να φτάσει μέχρι και 86%.
- Η εφαρμογή του Σεναρίου II μειώνει την ετήσια κατανάλωση από 2277kWh σε 784kWh, δηλαδή κατά 66%. Ο έλεγχος του φωτός την ημέρα εκτιμήθηκε ότι μπορεί να αυξήσει αυτό το ποσοστό στο 87%, να δώσει δηλαδή ένα επιπλέον 20% στη συνολική εξοικονόμηση.

iii. Γραφείο

Το γραφείο που εξετάστηκε διαθέτει 8 φωτιστικά σώματα, συνολικής ισχύος $8 \times 73 = 584\text{W}$. Ο χώρος του γραφείου χωρίστηκε σε τρεις επιμέρους περιοχές εργασίας, οι οποίες αποδείχθηκαν στη μοντελοποίηση υπερφωτισμένες. Συγκεκριμένα, η μέση ένταση στην επιφάνεια εργασίας βρέθηκε να ξεπερνά τη προτεινόμενη τιμή των 500lux κατά 50%, στη περιβάλλουσα επιφάνεια υπερβαίνει το προτεινόμενο όριο των 300lux κατά 110% και στην επιφάνεια υποβάθρου εκτιμήθηκε υπέρβαση 575% της προτεινόμενης τιμής των 100lux. Είναι προφανές ότι το σύστημα φωτισμού είχε σχεδιαστεί για να παρέχει ενιαίας έντασης φωτισμό στο χώρο, αγνοώντας τη πιθανή θέση της περιοχής εργασίας. Η ομοιομορφία υπολογίστηκε σε καλά επίπεδα, το ίδιο και η θάμβωση δυσφορίας. Η τελευταία φαίνεται να είναι σε οριακά – αλλά αποδεκτά – επίπεδα στη περίπτωση του όρθιου παρατηρητή. Ο έλεγχος φωτισμού στη τρέχουσα κατάσταση μπορεί να οδηγήσει από μόνος του σε εξοικονόμηση της τάξεως 30%.

Το Σενάριο I έριξε τη κατανάλωση κατά 62%, μειώνοντας την ισχύ του συστήματος από 584W σε 224W. Η ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας (έπιπλο γραφείου) κατέβηκε σε επιθυμητά επίπεδα, αλλά οι υπόλοιπες επιφάνειες συνεχίζουν να είναι υπερφωτισμένες παρά τη μείωση της έντασης. Στα μεγέθη της ομοιομορφίας και της θάμβωσης δεν εντοπίστηκε υπέρβαση. Η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου εκτιμήθηκε ότι μπορεί να προσφέρει επιπλέον εξοικονόμηση στο Σενάριο I κατά 43%.

Στο Σενάριο II τα 8 υφιστάμενα φωτιστικά αντικαταστάθηκαν με 4, νέας τεχνολογίας LED. Αυτό οδήγησε σε εξοικονόμηση της τάξεως:

$$\frac{8 \cdot 73\text{W} - 4 \cdot 28\text{W}}{8 \cdot 73\text{W}} \cdot 100\% \cong 80\%$$

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.5.2 βασίστηκαν στη μείωση της κατανάλωσης της ετήσιας ενέργειας και όχι της ισχύος, υπολογίζοντας το ποσοστό εξοικονόμησης του Σεναρίου II στο 77%. Η διαφορά των δυο τιμών οφείλεται στις στρογγυλοποιήσεις κατά τη καταγραφή των αποτελεσμάτων κατανάλωσης που λήφθηκαν από το DIALux eno. Σε κάθε περίπτωση, το ποσοστό αυτό είναι αξιοσημείωτα μεγάλο. Το ίδιο ισχύει και για τη δυνατότητα εξοικονόμησης από την αξιοποίηση του εισερχόμενου φυσικού φωτός, η οποία εκτιμήθηκε μέχρι και 72% της κατανάλωσης του Σεναρίου II. Αναφορικά με την ομοιομορφία και τη θάμβωση, η νέα διάταξη των φωτιστικών στο δεύτερο σενάριο έχει σχεδιαστεί για να συμμορφώνεται με όλες τις απαιτήσεις.

Οι αθροιστικές επιδράσεις των παραπάνω στην τρέχουσα κατανάλωση είναι οι εξής:

- Το Σενάριο I προσφέρει εξοικονόμηση 62%, ελαττώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση από 546 kWh σε 210 kWh. Η βέλτιστη χρήση του εισερχόμενου φυσικού φωτός μπορεί να αυξήσει τη συνολική εξοικονόμηση κατά 16%, αυξάνοντας την από 62% σε 77%.
- Το Σενάριο II έδωσε πολύ μεγάλα ποσοστά εξοικονόμησης. Χωρίς έλεγχο φυσικού φωτισμού, η ετήσια κατανάλωση πέφτει από 546 kWh σε 120kWh. Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση ενέργειας και αποτυπώματος άνθρακα κατά 78%. Αξιοποιώντας το φυσικό φως, η κατανάλωση φτάνει μόλις τις 35kWh, με τη συνολική μείωση να διαμορφώνεται πλέον στο 94%.

iv. Διάδρομος

Στον διάδρομο είναι τοποθετημένα 21 φωτιστικά με συνολική ισχύ 1533W. Η μέση ένταση φωτισμού είναι τετραπλάσια της προτεινόμενης τιμής (100lux), με τον χώρο να θεωρείται υπερφωτισμένο. Δεν εντοπίζεται πρόβλημα στην ομοιομορφία ή στη θάμβωση του παρατηρητή· τα αντίστοιχα όρια για την περιοχή του διαδρόμου είναι λιγότερο αυστηρά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα εξοικονόμησης από το φυσικό φως. Στην υφιστάμενη κατάσταση αυτή η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει το 73%. Λαμβάνοντας υπόψη τη τρέχουσα υπερδιαστασιολόγηση του φωτιστικού συστήματος και το μεγάλο ποσοστό δυνητικής εξοικονόμησης από τα ηλιακά κέρδη, γίνεται εκ προοιμίου σαφές ότι τα σενάρια που θα εξεταστούν θα αναδείξουν πολύ μεγάλες προοπτικές εξοικονόμησης.

Η μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂ ανέρχεται στο 62% με την εφαρμογή του Σεναρίου I, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Η ένταση φωτισμού έπεσε στα 300lux, παραμένει όμως τριπλάσια του στόχου. Αφού η μείωση της έντασης δεν μπορεί να επηρεάζει τη θάμβωση αρνητικά, συνεχίζει να κυμαίνεται γύρω από αποδεκτές τιμές. Αποδεκτή κρίνεται επίσης και η ομοιομορφία. Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός μπορεί ελαττώσει την ήδη μειωμένη κατανάλωση μέχρι και κατά 51%.

Στο Σενάριο II το πρόβλημα της υπερδιαστασιολόγησης αντιμετωπίζεται πιο δραστικά. Το πλήθος των φωτιστικών σωμάτων για τον φωτισμό του διαδρόμου μειώθηκε από 21 σε 8. Η εγκατάσταση των νέων φωτιστικών οδήγησε σε εξοικονόμηση ενέργειας, χρημάτων και εκπομπών CO₂ ίση με:

$$\frac{21 \cdot 73W - 8 \cdot 33,5W}{21 \cdot 73W} \cdot 100\% \cong 83\%$$

Η ένταση φωτισμού στο Σενάριο II είναι σχεδόν διπλάσια από τα 100lux. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα γιατί η επιπλέον ποσότητα φωτός δεν προέρχεται από αλόγιστη χρήση ενέργειας, αλλά από ένα αποδοτικό σύστημα φωτισμού. Μεγαλύτερη μείωση στον αριθμό των φωτιστικών κρίθηκε αδύνατη, καθώς δημιουργούσε προβλήματα ομοιομορφίας κατά τη προσομοίωση.

Η νέα χωροθέτηση των φωτιστικών συνεπάγεται και νέες προοπτικές αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού. Το ποσοστό εξοικονόμησης λόγω εγκατάστασης συστημάτων ελέγχου μπορεί να φτάσει μέχρι και 80% της κατανάλωσης αυτού του σεναρίου. Αυτή η περίπτωση αναφέρεται ουσιαστικά στην μετατροπή των διαδρόμων σε χώρους σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.

Συγκρίνοντας την συνολική επίδραση των δύο σεναρίων:

- Το Σενάριο I προσφέρει 62% εξοικονόμηση, ελαττώνοντας την ετήσια κατανάλωση από 956 kWh σε 367kWh. Ο συνδυασμός των δράσεων αυτού του σεναρίου με τον έλεγχο του φυσικού φωτός εκτιμήθηκε ότι θα ανέβαζε τη συνολική εξοικονόμηση από 62% σε 81% (20% αύξηση).
- Το Σενάριο II εξασφαλίζει μείωση της ετήσιας κατανάλωσης στη περιοχή του διαδρόμου από 956 kWh σε 167kWh. Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση της ενέργειας και των εκπομπών CO₂ κατά 83%. Στο ενδεχόμενο εγκατάστασης συστημάτων ελέγχου φυσικού φωτισμού, το DIALux ενο εκτίμησε ότι η συνολική εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει το 97%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σενάρια Εξοικονόμησης

Η δημιουργία ενός ενεργειακά αποδοτικού και ταυτόχρονα άνετου φωτιστικού περιβάλλοντος κερδίζει όλο και περισσότερη σκοπιμότητα, ειδικά στα πλαίσια των επαγγελματικών χώρων. Σε αυτόν τον άξονα κινήθηκε και η παρούσα μελέτη, διερευνώντας την κατανάλωση και τις συνθήκες οπτικής άνεσης σε διάφορους χώρους εργασίας εντός του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ο στόχος στις ενεργειακής αναβάθμισης προσεγγίστηκε μέσω δυο διαφορετικών και αυτόνομων σεναρίων εξοικονόμησης.

Το Σενάριο I εξέτασε την πιο απλή δράση εξοικονόμησης, την αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων με νέους, πιο αποδοτικούς. Αυτή η αναβάθμιση προσφέρει 62% εξοικονόμηση στην ετήσια ενέργεια και ως αποτέλεσμα στις εκπομπές CO₂. Παρόλα αυτά, ο σκοπός της προσομοίωσης του Σεναρίου I δεν ήταν η εξαγωγή αυτού του ποσοστού· θα μπορούσε να προκύψει πιο εύκολα και γρήγορα με απλούς υπολογισμούς στο χαρτί. Οι λόγοι για τους οποίους πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του Σεναρίου I στο DIALux ενο ήταν οι εξής:

- i. Ο νέος λαμπτήρας LED έχει ισχύ 7W έναντι των 18,2W (62%↓) των παλαιών λαμπτήρων φθορισμού. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι η επιλογή ενός τέτοιου λαμπτήρα χαμηλής ισχύος ενέχει κάποιο κόστος για το μέγεθος της φωτεινής ροής. Συγκεκριμένα, η φωτεινή ροή κάθε λαμπτήρα μειώθηκε από 1350lumen σε 1050lumen. Η μείωση κατά 300lumen κρίθηκε μικρή απώλεια, συγκριτικά με την υποσχόμενη εξοικονόμηση από τον επιλεγμένο εξοπλισμό. Για αυτό τον λόγο δόθηκε προτεραιότητα στην ελαχιστοποίηση της ισχύος, αποδεχόμενοι το κόστος της μείωσης της φωτεινότητας. Στη λήψη αυτής της απόφασης βοήθησε και η γενικότερη εικόνα που είχε διαμορφωθεί από την αξιολόγηση του τρέχοντος συστήματος, η οποία υποδείκνυε τους περισσότερους χώρους ως υπερφωτισμένους. Σε κάθε περίπτωση, αυτή η μεταβολή στην φωτεινή ροή των σωμάτων έπρεπε να ελεγχθεί για την επίδραση της στην ομοιομορφία φωτισμού. Αν η μεταβολή στην φωτεινή ροή ήταν θετική, πιθανόν να εμφανίζονταν ανεπιθύμητες τιμές θάμβωσης. Αυτό το θέμα δεν απασχόλησε σε αυτή τη περίπτωση, αλλά εξετάστηκε στο Σενάριο II.
- ii. Ο υπολογισμός της ενδεχόμενης εξοικονόμησης από τη προσαρμογή στον φυσικό φωτισμό μέσω συστημάτων ελέγχου πραγματοποιήθηκε για κάθε πιθανή κατάσταση του συστήματος φωτισμού. Η αντικατάσταση των λαμπτήρων δεν αποτέλεσε εξαίρεση. Αν και η δυνατότητα εξοικονόμησης από το φυσικό φως δεν θα μεταβληθεί από την απλή αντικατάσταση λαμπτήρων, τα αποτελέσματα κέρδους από τα συστήματα ελέγχου ήταν επιθυμητό να εκφραστούν ως ποσοστό της εκάστοτε τρέχουσας κατάστασης, με τη βοήθεια του DIALux ενο.

Το Σενάριο I απευθυνόταν σε χώρους που δεν μπορεί να μεταβληθεί η θέση του συστήματος φωτισμού. Δεν υπάρχει η δυνατότητα ανακατανομής της έντασης, παρά μόνο μείωση ή αύξηση της τιμής της, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για τις συνθήκες οπτικής άνεσης και ομοιομορφίας.

Το Σενάριο II εξέτασε την αντικατάσταση ολόκληρων των φωτιστικών σωμάτων με νέα και πιο αποδοτικά, σχεδιάζοντας ταυτόχρονα την εκ νέου τοποθέτησή τους στο χώρο. Η αναπροσαρμογή των θέσεων των φωτιστικών δεν έγινε τυχαία, και αυτό αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία του σεναρίου.

Η λογική πίσω από το Σενάριο II είναι η κατανομή του φωτός όπου και όσο χρειάζεται (task tuning), αποφεύγοντας τον περιττό φωτισμό. Η φωτεινή ροή παρέχεται κατά το ελάχιστο μέτρο που απαιτεί η κάθε δραστηριότητα εντός του χώρου. Αν υπάρχουν περισσότερες από μια δραστηριότητες στον ίδιο χώρο, γίνεται διαχωρισμός των επιπέδων εργασίας. Ορίζονται δηλαδή ζώνες με διαφορετικές απαιτήσεις φωτισμού, ώστε οι περιοχές με αυξημένες φωτιστικές ανάγκες (πχ γραφείο) να διαχωριστούν από αυτές με μικρότερες (π.χ. χώρος κυκλοφορίας).

Με άλλα λόγια, στόχος δεν είναι να φωτιστεί ο ίδιος ο χώρος ως σύνολο, αλλά οι δραστηριότητες εντός αυτού. Ο σχεδιαστής σε αυτό το σενάριο καλείται να κατανέμει το φως στοχευμένα, γνωρίζοντας ακριβώς το είδος και τις θέσεις των επιφανειών εργασίας. Αυτό δεν μπορεί να λειτουργήσει πάντα, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που οι θέσεις εργασίας δεν είναι γνωστές κατά το στάδιο σχεδιασμού του φωτισμού. Σε τέτοιες περιπτώσεις ορίζεται στο χώρο ενιαίο επίπεδο εργασίας. Στη περίπτωση των χώρων που εξετάστηκαν εντός του Πολυτεχνείου Κρήτης, η ακριβής θέση και το είδος των δραστηριοτήτων ήταν γνωστά για κάθε χώρο που προσομοιώθηκε.

Η σημασία της εφαρμογής του Σεναρίου II έγκειται στους παρακάτω λόγους:

- i. Δεν αποτελεί απλά ένα μέτρο εξοικονόμησης, αλλά μια πρόταση που αναδεικνύει τη σημασία του προσδιορισμού και της κατανόησης των επιμέρους αναγκών ενός χώρου, με στόχο τη μέγιστη δυνατή μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η ζήτηση της ενέργειας παρατηρείται μέσα από σαφή όρια, γνωρίζοντας ακριβώς που θα στοχεύσει και ποια προτεραιότητα θα έχει ένα πλάνο εξοικονόμησης.
- ii. Η εκ νέου χωροθέτηση των φωτιστικών μπορεί να δημιουργήσει μια νέα κατανομή φωτεινής έντασης που ενδέχεται να ικανοποιεί τις απαιτήσεις, χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό σωμάτων. Αυτή η εκδοχή θα μπορούσε να είχε εξεταστεί και στη παρούσα μελέτη· το κατά πόσο η αλλαγή της θέσης των υφιστάμενων φωτιστικών μπορεί από μόνη της να οδηγήσει σε μείωση της εγκατεστημένης ισχύος. Στο Σενάριο II εξετάστηκε κάτι πιο σύνθετο και παράλληλα πιο δραστικό στη μείωση της ισχύος. Επιλέχθηκαν και χωροθετήθηκαν νέα φωτιστικά σώματα υψηλής απόδοσης (LED), συνδυάζοντας δύο δράσεις εξοικονόμησης: τη χρήση σύγχρονης αποδοτικής τεχνολογίας και τη βέλτιστη τοποθέτησή της στο χώρο.
- iii. Αυτό το σενάριο εξοικονόμησης έχει ένα ακόμα πλεονέκτημα που δεν εντοπίζεται στο Σενάριο I. Το πλεονέκτημα είναι η καλύτερη προσαρμογή στις απαιτήσεις της ομοιομορφίας και της θάμβωσης, καθώς τα μεγέθη καθίστανται περισσότερο ελεγχόμενα. Μεταβάλλοντας τη θέση και τον αριθμό των φωτιστικών μπορεί να ρυθμιστεί πιο εύκολα η ομοιομορφία και η θάμβωση δυσφορίας στα επίπεδα εργασίας. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η τοποθέτηση σωμάτων με υψηλότερη φωτεινή ροή από τα υφιστάμενα. Σε αυτή τη περίπτωση είναι πιθανό να δημιουργηθεί θάμβωση σε σημεία που δεν είχε παρατηρηθεί νωρίτερα. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται πλήθος δοκιμών μέχρι να εξαχθεί η κατάλληλη διάταξη.
- iv. Ένα ακόμα ενδιαφέρον σημείο στην εφαρμογή αυτού του σεναρίου είναι η επίδραση του στην εξοικονόμηση από το φυσικό φως. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το Σενάριο I δεν είχε επιρροή σε αυτό το θέμα. Η δυνατότητα εξοικονόμησης από το φυσικό φως δεν μπορεί να μεταβληθεί αντικαθιστώντας τους λαμπτήρες. Όμως, με την αλλαγή των θέσεων των φωτιστικών αυτή η δυνατότητα μπορεί να αλλάξει. Τα

αποτελέσματα του Πίνακα 4.4.1 δείχνουν ότι τα ποσοστά εξοικονόμησης από το φως της ημέρας είναι κατά πλειοψηφία μεγαλύτερα στο Σενάριο II.

5.2 Εξεταζόμενοι χώροι

Οι χώροι στους οποίους έγινε προσομοίωση ήταν: μια αίθουσα διαλέξεων, ένα εργαστήριο, ένα γραφείο και ένας διάδρομος. Οι τέσσερις χώροι εμφανίζουν ξεχωριστές ιδιαιτερότητες, με αποτέλεσμα να διαφέρει η μεθοδολογία για τον χειρισμό τους και η αποδοτικότητα κάθε εφαρμοζόμενου σεναρίου. Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια σύντομη ανασκόπηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε χώρου, της αποτελεσματικότητας κάθε σεναρίου και μια εκτίμηση για το ποιο από τα δυο μπορεί να θεωρηθεί βέλτιστο.

5.2.1 Αίθουσα Διαλέξεων

Πρόκειται για χώρο μεγάλης έκτασης, που στεγάζει διαφορετικά επίπεδα εργασίας. Η αναφορά στην έκταση δεν γίνεται τυπικά, καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στη δυνατότητα δημιουργίας επιμέρους επιπέδων φωτισμού. Παράδειγμα πάνω σε αυτό αποτελεί ο χώρος του εργαστηρίου, όπου λόγω της μικρής έκτασης ήταν άστοχο να οριστεί περισσότερο από ένα επίπεδο.

Στην προσομοίωση της αίθουσας διαλέξεων αντικατοπτρίζεται καλύτερα από κάθε άλλη περίπτωση η έννοια της δημιουργίας διαφορετικών επιπέδων χρήσης εντός του ίδιου χώρου. Δημιουργήθηκαν επτά διαφορετικά επίπεδα εργασίας, με τη μελέτη της αίθουσας να ανάγεται πλέον στη μελέτη αυτών των επιπέδων. Τα επίπεδα εργασίας διαχωρίστηκαν σε περιοχές καθισμάτων φοιτητών, περιοχές ομιλητή και διαδρόμους κυκλοφορίας εντός της αίθουσας. Η θάμβωση σε αυτή τη περίπτωση απαιτούσε ιδιαίτερο χειρισμό, κάνοντας έλεγχο σε πολλαπλά σημεία.

Ο χώρος της αίθουσας διδασκαλίας έχει την ιδιαιτερότητα ότι παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα στη πληρότητα της. Σε περιπτώσεις που η παρουσία των φοιτητών είναι μικρή δεν χρειάζεται να λειτουργεί όλος ο εξοπλισμός. Εξάλλου, υπάρχουν και δραστηριότητες εντός της αίθουσας που ενίοτε δεν χρειάζεται η προτεινόμενη ένταση των 500lux, όπως μια απλή ομιλία που δεν μεταφέρει οπτική πληροφορία. Μια άλλη περίπτωση είναι η προβολή μιας παρουσίασης, χωρίς τη χρήση πίνακα. Η παρακολούθηση μέσω των εγκατεστημένων οθονών καθιστά εύκολη τη παρατήρηση του περιεχομένου, ενώ δεν χρειάζεται επιπλέον φως για να φωτίσει τη πληροφορία πέρα από αυτό της οθόνης. Δηλαδή, η μεταφορά πληροφοριών με χρήση προβολέα και οθονών σε μια μεγάλη αίθουσα διδασκαλίας ίσως είναι πιο «πράσινη» από τη χρήση πίνακα, ακριβώς γιατί παρουσιάζει πολύ μικρότερες απαιτήσεις φωτισμού.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό της αίθουσας διαλέξεων για το οποίο ξεχώρισε σε αυτή τη μελέτη ήταν η δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτός. Αυτό οφείλεται στο πλήθος των ανοιγμάτων και στην απουσία εξωτερικών εμποδίων (σκίαση). Η εκμετάλλευση του φωτός της ημέρας μπορεί να μειώσει τη κατανάλωση του υφιστάμενου συστήματος μέχρι και 60%. Αυτό γεννά ένα ερώτημα για το κατά πόσο θα ήταν συμφέρον να εφαρμοστεί ένα σύστημα ελέγχου στο τρέχον σύστημα φωτισμού, αποφεύγοντας το κόστος της αναβάθμισης εξοπλισμού.

Η απάντηση θα ήταν αρνητική, για τους εξής λόγους:

- i. Κατά κάποιο τρόπο πραγματοποιείται ήδη ένας άτυπος έλεγχος του φυσικού φωτός. Η διαφορά έγκειται στο ότι δεν υπάρχει κάποιο σύστημα αυτοματισμού, αλλά γίνεται χειροκίνητα (on /off) ανάλογα τη πρωτοβουλία των χρηστών. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις μέσα στο έτος στις οποίες το φυσικό φως επαρκεί για τη κάλυψη των αναγκών εντός της αίθουσας. Μάλιστα, μπορεί να παρατηρηθεί μια επιπλέον δράση για τη ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού: το άνοιγμα της εξωτερικής πόρτας ή πλαϊνών παραθύρων, επιτρέποντας μεγαλύτερη ροή φυσικού φωτός.
- ii. Σίγουρα μια μεθοδευμένη εκμετάλλευση του φυσικού φωτός από συστήματα ελέγχου δεν θα έχει συγκρίσιμα αποτελέσματα με την απλή τακτική που αναφέρθηκε νωρίτερα. Όμως, κατά πόσο αυτό θα ήταν εύστοχο διατηρώντας τον παλιό ενεργοβόρο εξοπλισμό; Δεδομένου ότι η αντικατάσταση των λαμπτήρων στο Σενάριο I παρουσιάζει το ίδιο ποσοστό εξοικονόμησης (62%), η απάντηση σε αυτό το ερώτημα θα ήταν πάλι αρνητική.

Τα δεδομένα για την αίθουσα διαμορφώνονται από τα αποτελέσματα ως εξής:

- Ο παλιός ενεργοβόρος εξοπλισμός πρέπει να αλλάξει, και ένας λόγος παραπάνω για αυτό είναι το μεγάλο πλήθος των φωτιστικών. Πρόκειται για ένα μεγάλο χώρο που στεγάζει 40 φωτιστικά, δηλαδή 60 λαμπτήρες. Αποτελεί επίσης το χώρο του κτηρίου με τη περισσότερη χρήση και κινητικότητα.
- Τα κέρδη από τον φυσικό φωτισμό δεν μπορούν να αγνοηθούν. Ο συνδυασμός του φυσικού φωτισμού με κάποιο σενάριο από αυτά που εξετάστηκαν ελαχιστοποιεί τη κατανάλωση.

Η επίδραση του Σεναρίου I με τον φυσικό φωτισμό επιτυγχάνει συνολική εξοικονόμηση μέχρι και 85%. Αντίστοιχα, η εφαρμογή του Σεναρίου II σε συνδυασμό με τον έλεγχο του φυσικού φωτός μπορεί να ρίξει τη κατανάλωση και το ενεργειακό αποτύπωμα κατά 93%. Αυτά τα μεγάλα ποσοστά εξοικονόμησης οφείλονται σε δυο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι πρόκειται για ένα υπερδιαστασιοποιημένο σύστημα που παράλληλα δεν διαθέτει αποδοτικό εξοπλισμό. Ο δεύτερος λόγος είναι τα αυξημένα κέρδη φυσικού φωτός, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1.

Ανάμεσα στα δυο σενάρια, η αλλαγή των λαμπτήρων φθορισμού με νέους LED φαίνεται να είναι καλύτερη επιλογή για τα δεδομένα ενός δημόσιου ιδρύματος. Αυτό το επιχείρημα στηρίζεται στο ότι η τρέχουσα διάταξη επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη αντικατάσταση των λαμπτήρων. Όταν ο εξοπλισμός θα πρέπει να αντικατασταθεί δεν χρειάζεται να αλλάξει όλο το σύστημα. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει για το φωτιστικό που επιλέχθηκε στο Σενάριο 2. Μελλοντικά τα φωτιστικά θα χρειαστούν αντικατάσταση και ο ίδιος εξοπλισμός ενδέχεται να έχει αποσυρθεί από την αγορά. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να μην τοποθετηθούν λαμπτήρες σε όλα τα φωτιστικά πλαίσια ανακλαστήρων της οροφής· αυτός θα ήταν ένας τρόπος μίμησης της λογικής του Σεναρίου II. Αφήνοντας στοχευμένα κάποιες θέσεις κενές μπορεί να περιοριστεί ο περιττός φωτισμός, αρκεί να διατηρείται η ομοιομορφία σε επιθυμητά επίπεδα.

Για να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα θα πρέπει να προηγηθεί μια τεχνοοικονομική μελέτη, που θα λαμβάνει υπόψη το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του κάθε εξοπλισμού. Ο πρόχειρος συλλογισμός που αναπτύχθηκε νωρίτερα ξεχωρίζει ως

βέλτιστη λύση την αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων και την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός με συστήματα ελέγχου. Ο έλεγχος δεν θα αφορά όλη την έκταση της αίθουσας με το σύνολο των φωτιστικών σωμάτων, παρά μόνο τις περιοχές κοντά στα ανοίγματα με τα περισσότερα κέρδη φωτός.



Εικόνα 5.1 : Εκμεταλλεύσιμο φυσικό φως στην αίθουσα διαλέξεων το πρωί (πάνω) και το μεσημέρι (κάτω)

5.2.2 Εργαστήριο

Ο χώρος του εργαστηρίου είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση με υψηλές απαιτήσεις φωτισμού. Πολλές δραστηριότητες εντός αυτού απαιτούν ακρίβεια, όπως η διεξαγωγή πειραμάτων, η επεξεργασία δειγμάτων, η λήψη και η καταγραφή μετρήσεων. Στη περίπτωση που εξετάζεται (πανεπιστημιακό ίδρυμα) αποκτά πολλές φορές και χαρακτηριστικά λειτουργίας μιας αίθουσας διδασκαλίας. Εξίσου σημαντική είναι και η οπτική άνεση στο χώρο, που εύκολα μπορεί να διαταραχθεί από αντανακλάσεις αντικειμένων ή από σκίαση που δημιουργούν διάφορες διατάξεις.

Αρκετά εργαστήρια παρουσιάζουν υψηλή κατανάλωση, κυρίως λόγω του εγκατεστημένου εξοπλισμού που βρίσκεται συνεχώς σε λειτουργία. Η αντικατάσταση αυτού του εξοπλισμού με ενεργειακά αποδοτικότερο δεν είναι μια εύκολη επιλογή, αν αναλογιστεί κανείς το μεγάλο κόστος. Αυτό προσδίδει μεγαλύτερη βαρύτητα στη μείωση της κατανάλωσης από την αναβάθμιση του τεχνητού φωτισμού.

Στη περίπτωση του εργαστηρίου, οι περιοχές εργασίας (εργαστηριακοί πάγκοι) καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης. Δεν υπάρχει << κενός >> χώρος στον οποίο η απαίτηση για φωτισμό θα μπορούσε να μειωθεί. Ακόμα και οι περιοχές κυκλοφορίας (διάδρομοι) μεταξύ των πάγκων δεν έχουν το κατάλληλο πλάτος για να διαχειριστεί ξεχωριστά ο φωτισμός τους. Όλα αυτά συντέλεσαν στο να θεωρηθεί ένα ενιαίο επίπεδο εργασίας, κάνοντας σαφές ότι η στρατηγική ρύθμισης των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή δεν βρίσκει πάντα εφαρμογή.

Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι η τοποθέτηση συμπληρωματικού τοπικού φωτισμού σε σημεία υψηλών απαιτήσεων θα ήταν ανεπιθύμητη. Αρκεί τα φωτιστικά που θα επιλεγθούν να έχουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά (αρίθμηση IP), στην αντοχή σε υγρή ή διαβρωτική ατμόσφαιρα και στη προστασία από τη σκόνη. Η παράμετρος της σκόνης είναι σημαντική στον χώρο του εργαστηρίου, και αυτός είναι ο λόγος που δεν επιλέχθηκαν κρεμαστά φωτιστικά στο δεύτερο σενάριο. Αν και θα βόλευε ο διάχυτος φωτισμός από το ταβάνι να παρέχεται πιο συγκεντρωμένα στους πάγκους, η συσσώρευση σκόνης στο άνω μέρος των φωτιστικών θα δημιουργούσε πρόβλημα. Πιθανή εμπλοκή σκόνης σε πειράματα ή μετρήσεις ακριβείας θα αλλοίωνε τα αποτελέσματα.

Μια άλλη διαφοροποίηση βρίσκεται στη χρήση του φυσικού φωτός. Εφόσον πρόκειται για μικρό χώρο με μεγάλο αριθμό και μέγεθος ανοιγμάτων, οι πιθανές αρνητικές επιδράσεις του φυσικού φωτός στην οπτική άνεση μεγεθύνονται κατά τον χειρισμό εξοπλισμού ή εργασία σε οθόνη. Αυτό έχει οδηγήσει στο μόνιμο περιορισμό του φωτός με περσίδες, επιτρέποντας μόνο ένα μικρό τμήμα να εισέλθει στις περιοχές εργασίας. Ενώ σε άλλα εργαστήρια παρατηρήθηκε ότι το φυσικό φως ήταν αυτό που εξασφάλιζε τα απαραίτητα επίπεδα φωτισμού (λόγω βλαβών και μειωμένης απόδοσης στο τεχνητό σύστημα), στο υπό μελέτη επιλέχθηκε ο περιορισμός του. Αυτή η αντίθεση οφείλεται στον διαφορετικό προσανατολισμό των χώρων, με τον δεύτερο να δέχεται το ηλιακό φως στη κατεύθυνση που είναι στραμμένο τη περισσότερη ώρα το βλέμμα των παρευρισκόμενων.

Το πρώτο σενάριο ρίχνει τη κατανάλωση κατά 62%, με δυναμικότητα μέχρι και 86% αν αξιοποιηθεί το φυσικό φως. Με την εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 66%, που φτάνει έως και 87% με έλεγχο φωτός.

Σε αυτά τα αποτελέσματα αξίζει να παρατηρηθούν τα εξής:

1. Το φυσικό φως προσθέτει και στις δυο περιπτώσεις 20% στην εξοικονόμηση, ενώ χωρίς την εφαρμογή κάποιου σεναρίου το ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης φτάνει το 60%. Πράγματι, αν δεν υπήρχε περιορισμός της ροής του φωτός, τα κέρδη θα κυμαίνονταν κοντά σε αυτά τα ποσοστά. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τις πραγματικές συνθήκες, αυτά τα αποτελέσματα κρίνονται αναξιόπιστα. Και εδώ αποδεικνύεται η σημασία της γνώσης του σχεδιαστή πάνω στις πραγματικές συμπεριφορές των ατόμων εντός του εξεταζόμενου χώρου. Προτεραιότητα στον σχεδιασμό έχει η εκπλήρωση των βασικών αναγκών και όχι η μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος με οποιοδήποτε κόστος.
2. Τα ποσοστά που προέκυψαν από τις δύο δράσεις είναι ουσιαστικά ίδια. Ακόμα και η δυνατότητα κέρδους από το φυσικό φως δεν μεταβλήθηκε, όπως έγινε στην αίθουσα διαλέξεων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι τα δυο σενάρια έχουν την ίδια επίδραση στην κατανάλωση του χώρου. Εξετάζοντας τις συνθήκες που επικρατούν, η παραπάνω διαπίστωση βγάζει νόημα. Και αυτό οφείλεται στο ότι το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα του Σεναρίου II δεν μπορεί να βρει εφαρμογή σε αυτόν το χώρο. Το επίπεδο εργασίας δεν χωρίστηκε σε επιμέρους με διαφορετικές απαιτήσεις ώστε να διαμορφωθεί μια πιο εύστοχη κατανομή των φωτιστικών. Αντιθέτως πρόκειται ένα επίπεδο με ενιαίες απαιτήσεις φωτισμού, σε σχετικά μικρό εσωτερικό περιβάλλον εργασίας. Ο αριθμός των υφιστάμενων φωτιστικών μειώθηκε κατά 3 (από 12 σε 9), το οποίο είναι ικανοποιητικό αν αναλογιστεί κανείς τα παραπάνω. Αυτό που δεν ικανοποιεί δεν είναι η εξοικονόμηση από την αρχική κατάσταση – αντιθέτως, αυτή είναι αρκετά μεγάλη – αλλά η διαφοροποίηση του από το Σενάριο I.

Είναι προφανές πως όλα τα μέτρα εξοικονόμησης δεν προσφέρονται για όλους τους χώρους, και ο εξεταζόμενος είναι μια από αυτές τις περιπτώσεις. Η εκμετάλλευση του φωτός της ημέρας πολλές φορές δεν αποτελεί επιλογή όταν προέρχεται από τα «λάθος» ανοίγματα και σε ανεπιθύμητη ένταση. Σε χώρους εργασίας με αυξημένες απαιτήσεις οπτικής άνεσης είναι πιο ασφαλές να παρέχεται διάχυτο φυσικό φως από την οροφή μέσω φωταγωγών.

Στην εκτίμηση της βέλτιστης δράσης εξοικονόμησης δεν υπάρχει ιδιαίτερο δίλημμα. Ο χώρος δεν χρειάζεται έλεγχο φωτισμού και η εγκατάσταση νέων φωτιστικών δεν θα προσφέρει περισσότερα κέρδη από την αλλαγή των λαμπτήρων. Πολλές φορές η βέλτιστη λύση είναι και η πιο απλή, και σε αυτή τη περίπτωση δεν χρειάζεται τεχνοοικονομική μελέτη για αυτό το συμπέρασμα. Στον χώρο του εργαστηρίου πρέπει μόνο να αλλαχθούν οι παλιοί λαμπτήρες φθορισμού με LED, μειώνοντας την εγκατεστημένη ισχύ κατά 62%.

5.2.3 Γραφείο

Αποτελεί τον συνηθέστερο χώρο εργασίας, ο οποίος στα πλαίσια του φωτισμού αντικατοπτρίζει όλη τη φιλοσοφία του λεγόμενου task lighting. Η αυξημένες φωτιστικές απαιτήσεις εντοπίζονται και ικανοποιούνται μόνο στην επιφάνεια εκτέλεσης του έργου, δηλαδή το γραφείο. Η κύρια επιφάνεια εργασίας εκτείνεται σε μια μικρή περιοχή, σχετικά με τη συνολική έκταση του χώρου.

Η ιδιαιτερότητα των χώρων γραφείων έγκειται στο ότι η εργασία εκτελείται παράλληλα σε δύο επίπεδα, στο οριζόντιο (οθόνη υπολογιστή) και στο κάθετο (επίπεδο γραφείου). Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε σύστημα φωτισμού πρέπει να καθιστά άνετη τη παρατήρηση της πληροφορίας τόσο στην οθόνη όσο και στο χαρτί. Σε αυτό το εγχείρημα υπεισέρχεται μια αντίθεση που δυσκολεύει το έργο του σχεδιαστή: η πληροφορία από την οθόνη (αυτόφωτο αντικείμενο) μεταφέρεται πιο εύκολα σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού, ενώ η ανάγνωση από το χαρτί (εξαρτάται από το ανακλώμενο φως) απαιτεί υψηλότερα επίπεδα.

Υψηλά επίπεδα φωτισμού δημιουργούν αντανάκλασεις στην οθόνη και όσο η θέση της αποκλίνει από τον κατακόρυφο άξονα αυτό το φαινόμενο αυξάνεται, λόγω μεγαλύτερης προσπίπτουσας έντασης. Αν και οι νέες τεχνολογίες οθονών έχουν περιορίσει σημαντικά αυτό το πρόβλημα, ο σχεδιασμός πρέπει πάντα να κινείται στον άξονα ελαχιστοποίησης των οπτικών οχλήσεων. Ο περιορισμός των αντανάκλασεων και της θάμβωσης επιτυγχάνεται με τη μείωση της φωτεινής έντασης. Αυτό σημαίνει ότι η οπτική άνεση και η εξοικονόμηση ενέργειας ικανοποιούνται ταυτόχρονα.

Προβλήματα θάμβωσης δημιουργεί και το φυσικό φως, ειδικά σε μικρούς χώρους με πολλά ανοίγματα. Το γραφείο που εξετάστηκε ήταν ένας τέτοιος χώρος, με αποτέλεσμα τον περιορισμό του φυσικού φωτός με εσωτερικές περσίδες. Αυτή η διάταξη επιτρέπει τη προσαρμογή στα φυσικά κέρδη χειροκίνητα, ρυθμίζοντας τις περσίδες ή ανοίγοντας το παράθυρο. Η βέλτιστη διαχείριση του ηλιακού φωτός βρέθηκε ότι μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της υφιστάμενης κατανάλωσης κατά 30%.

Το Σενάριο I προσφέρει 62% μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος, που φτάνει μέχρι και 77% με έλεγχο φυσικού φωτός. Τα αντίστοιχα ποσοστά στο Σενάριο II είναι 78% και 94%.

Στα αποτελέσματα της προσομοίωσης του γραφείου μπορεί να παρατηρηθεί:

1. Η εξοικονόμηση είναι αισθητά μεγαλύτερη στο σενάριο αντικατάστασης των φωτιστικών. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αριθμός τους μειώθηκε στο μισό (από 8 έγιναν 4), αυξάνοντας παράλληλα την απόδοση. Ήταν εξ αρχής προφανές ότι το Σενάριο II θα αποτελούσε τη βέλτιστη επιλογή για το γραφείο. Το τρέχων σύστημα σχεδιάστηκε για να παρέχει ομοιόμορφη κατανομή στον χώρο αγνοώντας τις διαφορετικές χρήσεις, καθιστώντας το περιβάλλον υπερφωτισμένο (βάσει της τρέχουσας χρήσης). Το Σενάριο II παρέχει τη δυνατότητα προσαρμογής του συστήματος στις ανάγκες της τρέχουσας χρήσης του χώρου, κατανέμοντας τη σωστή ποσότητα φωτός σε κάθε περιοχή.
2. Τα κέρδη από την εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός αυξήθηκαν κατά πολύ μετά την αλλαγή της θέσης των φωτιστικών (Σενάριο II), με τη κατανάλωση να διαμορφώνεται πλέον στο 5% της αρχικής. Αυτό το ποσοστό δεν είναι ρεαλιστικό για τα δεδομένα του χώρου, αφού δεν υπολογίζει τις διατάξεις περιορισμού (περσίδες).

Το Σενάριο II είναι η καλύτερη επιλογή για το γραφείο. Το κόστος αντικατάστασης δεν εκτιμάται μεγάλο, καθώς πρόκειται μόνο για τέσσερα φωτιστικά σώματα. Η βέλτιστη επιλογή θα ήταν η εγκατάσταση επιδαπέδιου φωτιστικού, εξυπηρετώντας συγκεκριμένα τις ανάγκες του γραφείου. Λιγότερα φωτιστικά στην οροφή θα ικανοποιούσαν τις ανάγκες της περιοχής υποβάθρου. Αυτή η τακτική όμως συνηθίζεται σε γραφεία κατοικιών και όχι σε επαγγελματικούς χώρους, όπως ένα εκπαιδευτικό ίδρυμα.

Ο έλεγχος φυσικού φωτισμού υπόσχεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά σε αυτή τη περίπτωση δεν αποτελεί προτεραιότητα. Η ρύθμιση στον φυσικό φωτισμό πραγματοποιείται χειροκίνητα από την επιλογή λειτουργίας ή μη του συστήματος φωτισμού (διακόπτης on/off) και τη ρύθμιση της κλίσης των περσίδων. Εξάλλου, ο χρόνος στον οποίο το γραφείο χρησιμοποιείται δεν είναι σταθερός. Το ωράριο λειτουργίας που ορίστηκε στη προσομοίωση ενδέχεται να είναι μικρότερο. αν ληφθούν υπόψη οι ώρες στις οποίες ο καθηγητής βρίσκεται στην αίθουσα διδασκαλίας ή σε κάποιο εργαστήριο.

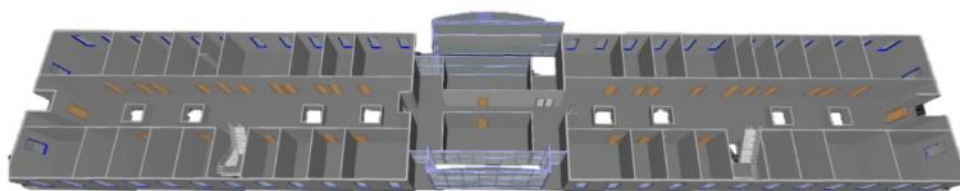
5.2.4 Διάδρομος

Οι περιοχές κυκλοφορίας εντός των κτιρίων είναι κατά κύριο λόγο διάδρομοι (δεν γίνεται λόγος για εσωτερικές σκάλες). Η διαφορά με τους χώρους που εξετάστηκαν νωρίτερα έγκειται στο ύψος του επιπέδου χρήσης, όπου σε αυτή τη περίπτωση βρίσκεται στο δάπεδο (0m).

Οι περιοχές των διαδρόμων φαίνεται να ξεχωρίζουν για έναν αρνητικό λόγο: δέχονται πολύ περισσότερο φως από αυτό που πραγματικά χρειάζονται. Αυτή η παρατήρηση δεν αφορά ειδικές περιπτώσεις όπως διαδρόμους εντός εμπορικών καταστημάτων· αφορά χώρους στους οποίους η δραστηριότητα για την οποία προορίζονται είναι απλή κυκλοφορία. Προφανώς, οι φωτιστικές απαιτήσεις των διαδρόμων αγνοούνται από τους περισσότερους σχεδιαστές, οδηγώντας σε υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος και υπερφωτισμό του χώρου. Χαρακτηριστικά ήταν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του τρέχοντος συστήματος, υποδεικνύοντας ότι ο διάδρομος που εξετάστηκε δεχόταν τετραπλάσια ένταση φωτισμού από αυτή που συνίσταται.

Μικρότερες απαιτήσεις δεν αφορούν μόνο την ένταση φωτισμού, αλλά και τα επίπεδα ομοιομορφίας και θάμβωσης. Τα τελευταία όρια είναι τόσο ελαστικά σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους που εξετάστηκαν, σε βαθμό που καθίσταται δύσκολο να μην ικανοποιηθούν. Πρέπει να έχει προκύψει κάποια σοβαρή αστοχία στο σχεδιασμό για να παρατηρηθούν τιμές ομοιομορφίας ή θάμβωσης εκτός ορίων. Τα προβλήματα που θα εντοπιστούν αφορούν συνήθως υπερβάσεις στην ένταση του τεχνητού φωτισμού.

Η παρουσία φυσικού φωτός στους διαδρόμους δύσκολα θα έχει αρνητικές επιδράσεις, ακριβώς γιατί τα κατώτατα όρια θάμβωσης και της ομοιομορφίας είναι χαμηλότερα. Ο διάδρομος που επιλέχθηκε για προσομοίωση διαθέτει κατά μήκος τέσσερις διαδοχικούς φωταγωγούς (Εικόνα 5.2), παρουσιάζοντας αξιοσημείωτα κέρδη.



Εικόνα 5.2: Φωταγωγοί Διαδρόμων

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.4.1 δείχνουν ότι η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός μπορεί να μειώσει την τρέχουσα κατανάλωση κατά 73%. Το Σενάριο I περιορίζει τη κατανάλωση κατά 62% και ο συνδυασμός του με συστήματα ελέγχου φωτός οδηγεί σε συνολική μείωση 83%. Αντιστοίχως, τα ποσοστά στην εφαρμογή του Σεναρίου II υπολογίστηκαν 81% και 97%.

Η εξοικονόμηση προκύπτει πολύ ικανοποιητική σε όλες τις εκδοχές που αναφέρθηκαν, καθιστώντας δύσκολη την επιλογή της βέλτιστης δράσης. Για αρχή θα γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο σεναρίων, χωρίς να ληφθεί υπόψη το κέρδος από το φυσικό φως.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το πλήθος των φωτιστικών στη τρέχουσα κατάσταση του συστήματος είναι μεγαλύτερο από αυτό που απαιτείται για τη κάλυψη των αναγκών. Ακόμα και με τη μείωση της φωτεινής ροής των λαμπτήρων, το Σενάριο I εμφανίζει τριπλάσια επίπεδα έντασης φωτισμού από τη προτεινόμενη τιμή των 100lx. Η μείωση του αριθμού των φωτιστικών από 21 σε 8 (Σενάριο II) φώτιζε το επίπεδο χρήσης σχεδόν με διπλάσια ένταση (183lx) από τη τιμή – στόχο. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η μέση ένταση του χώρου δύσκολα θα πέσει κάτω από 180lx χωρίς να υπάρξουν προβλήματα ομοιομορφίας. Μια λύση για να αποφευχθεί η εγκατάσταση νέου εξοπλισμού είναι η τοποθέτηση νέων λαμπτήρων LED σε μικρότερο πλήθος φωτιστικών σωμάτων. Να εφαρμοστεί δηλαδή το πρώτο σενάριο, προσαρμοσμένο στη λογική του δεύτερου. Άλλωστε, η διαμόρφωση του χώρου δεν επέτρεπε σημαντικές αλλαγές στη χωροθέτηση των φωτιστικών· μόνο την αύξηση της μεταξύ τους απόστασης κατά μήκος του διαδρόμου. Η λειτουργία λιγότερων φωτιστικών στο υφιστάμενο σύστημα μπορεί να μιμηθεί ως ένα βαθμό αυτή τη διάταξη, και αυτός είναι ο λόγος που προτείνεται ως βέλτιστη δράση.

Όσον αφορά το φυσικό φως, δεν είναι απόλυτα σαφές το κατά πόσο χρειάζεται ένα σύστημα ελέγχου. Πολλές φορές το έλεγχος γίνεται από τους χρήστες, επιλέγοντας να διατηρούν τον φωτισμό του διαδρόμου απενεργοποιημένο όταν υπάρχει διαθέσιμο φως από τα ανοίγματα. Ακόμα, ο διάδρομος που προσομοιώθηκε παρουσιάζει μικρή κινητικότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας, αφού χρησιμοποιείται κυρίως από επιστημονικό προσωπικό και λιγότερο από φοιτητές. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ύπαρξη εξόδων και στις δύο άκρες, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες των εξυπηρετούμενων χώρων να μη διασχίζουν όλη την απόσταση του διαδρόμου.

Εξετάζοντας αυτές τις παραμέτρους, κρίνεται ότι ο έλεγχος φωτός σε αυτό τον διάδρομο δεν αποτελεί προτεραιότητα. Αυτό δεν ισχύει όμως για όλους τους διαδρόμους. Για παράδειγμα, ο διάδρομος που εξυπηρετεί τις αίθουσες υπολογιστών και τον χώρο με τους εκτυπωτές εμφανίζει πολύ μεγάλη κινητικότητα φοιτητών. Σε αυτή τη περίπτωση ο έλεγχος του φυσικού φωτός θα κρινόταν αναγκαίος.

5.3 Συμπεράσματα

Η εξοικονόμηση ενέργειας στον τομέα του φωτισμού επιτυγχάνεται με τη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος και τη μείωση του χρόνου λειτουργίας του συστήματος. Πάνω σε αυτό αναπτύχθηκε η φιλοσοφία της παρούσας μελέτης.

Η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος πραγματοποιείται με τη χρήση αποδοτικότερης τεχνολογίας και καλύτερου σχεδιασμού του συστήματος φωτισμού. Με άλλα λόγια, ένα ενεργειακά αποδοτικό σύστημα δεν αφορά μόνο τον εξοπλισμό αλλά και τη χρήση του παραγόμενου φωτός. Τα σενάρια που παρουσιάστηκαν και υλοποιήθηκαν αντιπροσωπεύουν τους στόχους που μόλις αναφέρθηκαν. Και στα δύο εξετάστηκε η παράμετρος υιοθέτησης εξοπλισμού νέας τεχνολογίας LED. Στο δεύτερο σενάριο εξετάστηκε επιπλέον μια στρατηγική εξοικονόμησης, νέα για τα ελληνικά δεδομένα. Η ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού ανά κατηγορία περιοχής και τύπο εργασίας (task tuning) εξασφάλισε ομοιόμορφο φωτισμό με τη μικρότερη δυνατή ένταση που απαιτεί η εκάστοτε εργασία. Η εφαρμογή αυτής της στρατηγικής σε ένα δημόσιο εκπαιδευτικό ίδρυμα παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον, φανερώνοντας σε κάθε εξεταζόμενο χώρο τον βαθμό υπερδιαστασιολόγησης του συστήματος φωτισμού. Αυτό είναι ένα συχνό φαινόμενο που οφείλεται σε ανεπαρκείς μελέτες ή στη παντελή έλλειψη αυτών.

Στην μείωση του χρόνου λειτουργίας συμβάλει μεταξύ άλλων η αξιοποίηση του φυσικού φωτός. Ένας παράγοντας που επίσης δεν εξετάζεται όσο θα έπρεπε στην Ελλάδα – δεδομένης της διαθέσιμης ποσότητας φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια του χρόνου – είναι τα δυνητικά ενεργειακά κέρδη από την εκμετάλλευσή του. Το ενδιαφέρον της μελέτης συγκεντρώθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος σε αυτό. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα αποτελέσματα βρέθηκαν αρκετά ενθαρρυντικά για την υιοθέτηση συστημάτων ελέγχου του ηλιακού φωτός.

Μια ιδιαίτερη πτυχή του φωτισμού που δεν μελετάται συχνά και λήφθηκε υπόψη στη παρούσα εργασία είναι οι συνθήκες οπτικής άνεσης. Ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση του συστήματος φωτισμού απέκτησε ολιστικό χαρακτήρα, ελέγχοντας σε κάθε προσομοίωση ταυτόχρονα τις παραμέτρους της έντασης φωτισμού, του φυσικού φωτός, της ομοιομορφίας και της θάμβωσης δυσφορίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός της θάμβωσης αφορούσε μόνο το τεχνητό φως και όχι το φυσικό.

Οι κυριότερες αδυναμίες της μελέτης αφορούν την ακρίβεια των υπολογισμών σχετικά με το φυσικό φως. Όπως αναφέρει και η ομάδα του DIALux evo, η νέα δυνατότητα υπολογισμού της εξοικονόμησης από το φυσικό φως αποτελεί μια αρχική εκτίμηση για τον σχεδιαστή και όχι μια μέτρηση ακριβείας. Η μέτρηση βασίζεται στο σημείο τοποθέτησης ενός υποθετικού αισθητήρα στον χώρο ενδιαφέροντος. Το σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα ορίζεται αυτόματα ή επιλέγεται από τον σχεδιαστή, με τη θέση του είναι καθοριστική για τα αποτελέσματα. Διαφορετικές θέσεις του αισθητήρα οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα.

Ένα ακόμα στοιχείο που επηρέασε αρνητικά την ακρίβεια αυτών των υπολογισμών ήταν οι διατάξεις των περσίδων. Επιλέχθηκε να μην οριστεί κλίση στις περσίδες, αφενός γιατί είναι κάτι μεταβλητό και αφετέρου γιατί η επιθυμία περιορισμού του εξωτερικού φωτός διαφέρει

από χώρο σε χώρο. Αγνοώντας τις διατάξεις περιορισμού του φυσικού φωτός – ενώ παράλληλα είχαν θεωρηθεί όλα τα φωτιστικά σώματα ελεγχόμενα – ήταν απαραίτητο τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν να χαρακτηριστούν ως μέγιστα / βέλτιστα.

Στην αξιολόγηση του υφιστάμενου συστήματος, πρέπει να αναφερθεί επίσης μια σημαντική παράλειψη. Δεν λήφθηκε υπόψη η μείωση της φωτεινής ροής (lumen) των λαμπτήρων λόγω της διάρκειας λειτουργίας τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι λαμπτήρες ενδέχεται να λειτουργούσαν με πολύ χαμηλότερη απόδοση από αυτή που θεωρήθηκε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα χώροι που στην πραγματικότητα δεν δέχονται επαρκή φωτισμό να (ή δεν εμφανίζουν κατάλληλη ομοιομορφία) να προκύπτουν στην αξιολόγηση υπερφωτισμένοι. Βάσει αυτού, θα ήταν πιο σωστό να διευκρινιστεί ότι η αξιολόγηση δεν αφορά το υφιστάμενο σύστημα στη τρέχουσα κατάσταση του, αλλά στην αρχική (όταν έγινε η εγκατάσταση).

Άλλα σημεία στα οποία αναπόφευκτα έχουν υπεισέλθει σφάλματα αφορούν παραμέτρους που ορίστηκαν από τον χρήστη, όπως:

- το προφίλ χρήσης κάθε χώρου (βασίστηκε σε τυπικές εκτιμήσεις)
- η τιμή της κιλοβατώρας (λήφθηκε μια μέση τιμή για τη τρέχουσα χρονική περίοδο)
- η εκλυόμενη ποσότητα CO₂ / kWh (λήφθηκε μια μέση τιμή, δεν πραγματοποιήθηκε ακριβής υπολογισμός επί του ενεργειακού μίγματος της Κρήτης)

Όλα τα παραπάνω ενδέχεται να έχουν μειώσει σημαντικά την ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων. Αυτό δεν συνιστά πρόβλημα στη παρούσα εργασία, καθώς στόχος της δεν ήταν να αποτελέσει μια φωτοτεχνική μελέτη που προτείνει την εγκατάσταση συγκεκριμένου εξοπλισμού· εξάλλου δεν καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια στην εύρεση των βέλτιστων φωτιστικών μεταξύ των χιλιάδων επιλογών στον κατάλογο του DIALux evo.

Για τον μέσο αναγνώστη, στόχος της μελέτης είναι να επισημάνει τις δυνατότητες εξοικονόμησης στον χώρο του φωτισμού, που πολλές φορές δεν είναι γνωστές στο ευρύ κοινό. Για τα άτομα με εκπαίδευση και ασχολία πάνω στην ενεργειακή εξοικονόμηση στο δομημένο περιβάλλον, η μελέτη στοχεύει στην ανάδειξη των στρατηγικών του task tuning και της αξιοποίησης του φυσικού φωτός (daylight harvesting) ως βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση της κατανάλωσης και του ενεργειακού αποτυπώματος συστημάτων φωτισμού. Όσον αφορά τα άτομα που εξειδικεύονται στον φωτισμό ή ειδικούς που εμπλέκονται στη διαδικασία σχεδιασμού, αυτή η μελέτη επιδιώκει να συμβάλει στη διαμόρφωση των σύγχρονων τάσεων πάνω στη δημιουργία ενεργειακά αποδοτικών και βιώσιμων συστημάτων φωτισμού. Επιδιώκει να στρέψει το ενδιαφέρον σε χώρος που παρουσιάζουν σημαντικές προοπτικές εξοικονόμησης και μέχρι τώρα αγνοούνται, όπως τα δημόσια εκπαιδευτικά ιδρύματα. Τέλος, επιδιώκει να αναδείξει την ανθρωποκεντρική διάσταση του φωτισμού, κάνοντας σαφές ότι ενεργειακή απόδοση οφείλει να εξετάζεται παράλληλα με την οπτική άνεση του παραγόμενου φωτιστικού περιβάλλοντος. Γιατί το χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα των χώρων εργασίας και η ευεξία των ατόμων μέσα σε αυτούς είναι οι παράγοντες που θα διαμορφώσουν τις σχεδιαστικές επιταγές του μέλλοντος.

5.4 Πεδία Μελλοντικής Έρευνας

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας στους τομείς της συνδεσιμότητας (IoT) και της τεχνητής νοημοσύνης (AI) διαμορφώνει τα νέα δεδομένα στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας. Πλήθος ερευνών υποδεικνύουν τα οφέλη της ενσωμάτωσης τους στα συστήματα φωτισμού (Altun, Dörterler, and Doğru 2018; Fang et al. 2023; Papinutto et al. 2022; Shao et al. 2023; Wagiman et al. 2020), καθιστώντας σαφές πως η μελλοντική έρευνα οφείλει να επικεντρωθεί σε αυτή τη κατεύθυνση.

Περαιτέρω έρευνα χρειάζεται να διεξαχθεί πάνω στην αυτοματοποίηση συστημάτων σκίασης, όπως οι εσωτερικές και εξωτερικές περσίδες. Το ενδιαφέρον πρέπει να εστιαστεί στο πως μπορεί να επιτευχθεί μια βέλτιστη ισορροπία μεταξύ των θερμικών κερδών και του εισερχόμενου ηλιακού φωτός, μετριάζοντας παράλληλα της ανεπιθύμητη θάμβωση (Baghoolizadeh et al. 2023; Kunwar et al. 2020; Omar et al. 2018).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε μια πρόσφατη έρευνα που διερεύνησε μεταξύ άλλων την επίδραση της έντασης και της απόχρωσης του φωτός στις γνωστικές δεξιότητες φοιτητών, προσομοιώνοντας μια αίθουσα διδασκαλίας και μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας (VR) (Nolé Fajardo, Higuera-Trujillo, and Llinares 2023). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση του φωτός διαφοροποιείται ανάλογα με το φύλο, με τους άντρες να επηρεάζονται περισσότερο στη μνήμη και οι γυναίκες στη προσοχή. Οι μη οπτικές επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο πρέπει να εξεταστούν από περισσότερες έρευνες, στοχεύοντας στη δημιουργία συνθηκών που αυξάνουν τη παραγωγικότητα των χρηστών σε χώρους εργασίας. Όσον αφορά την τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας, μπορεί να ανοίξει ένα νέο δρόμο στην αξιολόγηση της οπτικής άνεσης εντός των χώρων εργασίας, προσομοιώνοντας τα επίπεδα έντασης φωτισμού, ομοιομορφίας και θάμβωσης (από τεχνητό και φυσικό φως) σε αρχικά στάδια σχεδιασμού.

Ακόμα μια τεχνολογία που δεν βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή, τουλάχιστον σε δημόσιες υποδομές, είναι αυτή των συστημάτων ελέγχου. Η έρευνα πάνω στην βέλτιστη ενσωμάτωση διάφορων συνδυασμών τεχνολογιών αυτόματου ελέγχου (αισθητήρες φωτός, κίνησης, χρονοδιακόπτες κ.α.) σε μεγάλες δημόσιες υποδομές πρέπει να κερδίσει περισσότερο ενδιαφέρον τα επρχόμενα χρόνια.

Η έρευνα οφείλει να εστιάσει στις επιπτώσεις του φωτισμού όχι μόνο πάνω στον άνθρωπο αλλά και στο περιβάλλον. Η τεχνολογίες φωτισμού πρέπει να καλύπτουν τις ανθρώπινες ανάγκες παρουσιάζοντας τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο παραγωγής, λειτουργίας και απόρριψής τους. Σε αυτό το πλαίσιο, η διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων νέων τεχνολογιών φωτισμού κρίνεται σκόπιμη για τα επόμενα χρόνια.

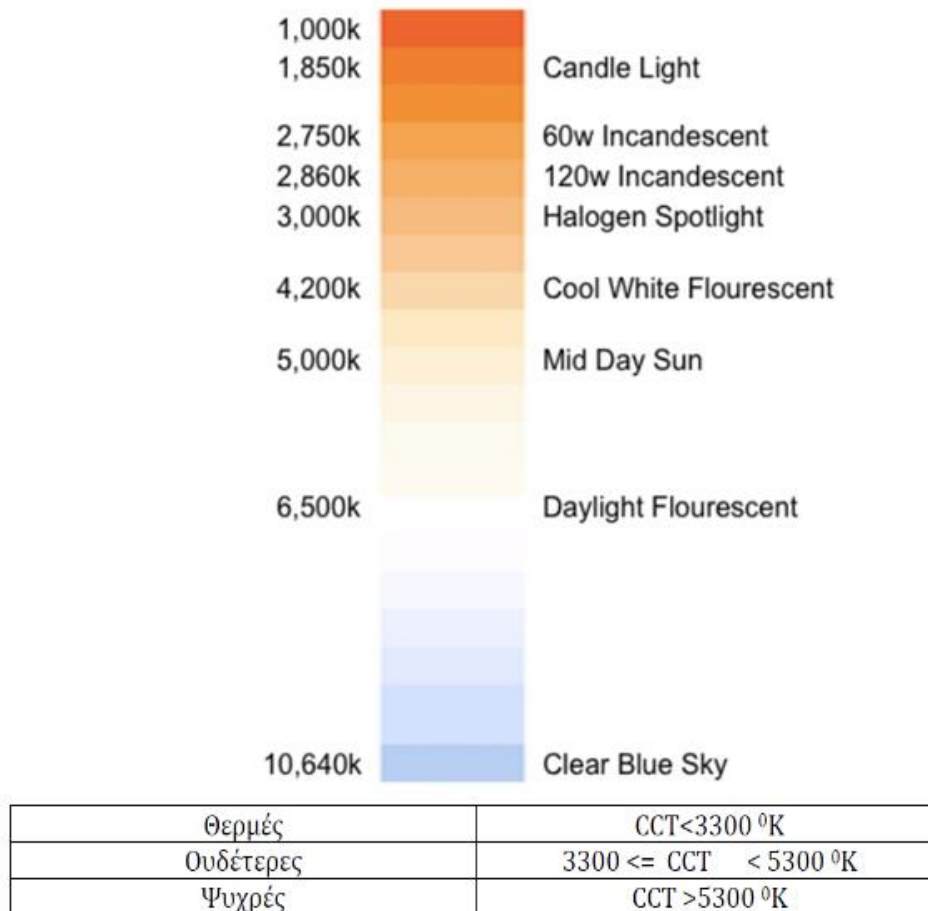
Τέλος, μια παράμετρος που χρήζει περισσότερη διερεύνηση είναι αυτή του φυσικού φωτός. Από την ανάλυση που προηγήθηκε εύκολα παρατηρείται ότι, σε αντίθεση με το τεχνητό φως, για το φυσικό φως δεν υπάρχουν σαφή όρια που να καθορίζουν σε πιο βαθμό έντασης είναι επιθυμητό. Το κατά πόσο είναι επιθυμητό προφανώς εξαρτάται από τα θερμικά κέρδη και την οπτική δυσφορία που προσδίδει στο χώρο. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να προτείνουν ανώτατα και κατώτατα επιθυμητά όρια έντασης φυσικού φωτισμού για κάθε τύπο εσωτερικού χώρου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

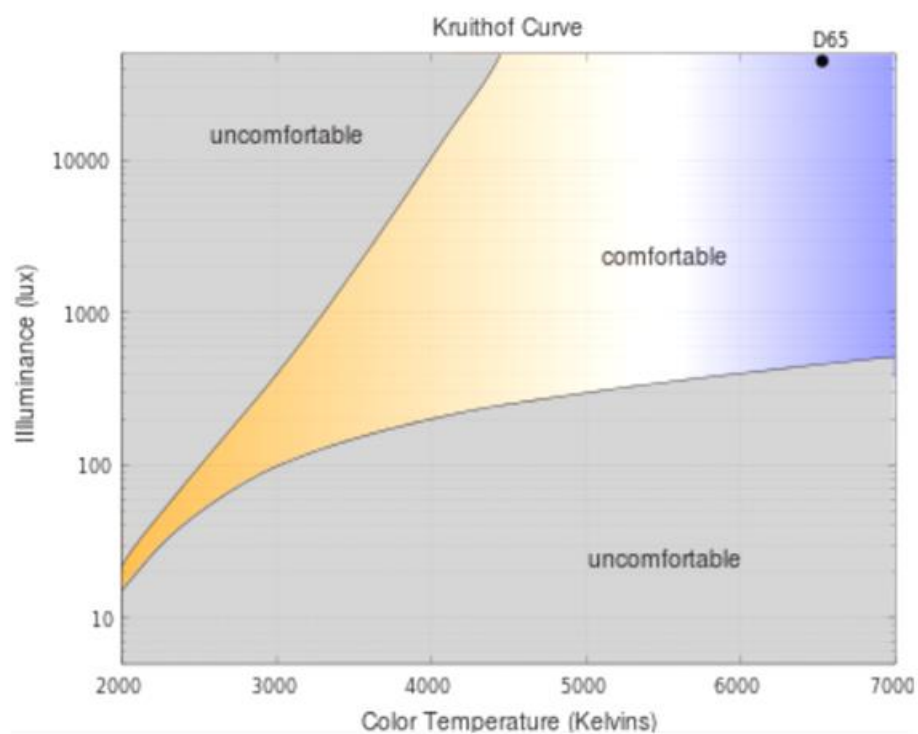
- Altun, Seda, Murat Dörterler, and İbrahim Doğru. 2018. 'Fuzzy Logic Based Lighting System Supported with IoT for Renewable Energy Resources'. Pp. 1–4 in.
- Anon. n.d. '17-22-098 | CIE'. Retrieved 17 August 2023 (<https://cie.co.at/eilvterm/17-22-098>).
- Baghoolizadeh, Mohammadreza, Mohammad Rostamzadeh-Renani, Reza Rostamzadeh-Renani, and Davood Toghraie. 2023. 'Multi-Objective Optimization of Venetian Blinds in Office Buildings to Reduce Electricity Consumption and Improve Visual and Thermal Comfort by NSGA-II'. *Energy and Buildings* 278:112639. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112639.
- Boyce, Peter, and Peter Raynham. 2009. *The SLL Lighting Handbook*. London: Soc. of Light and Lighting.
- Boyce, Peter Robert. 2003. *Human Factors in Lighting*. 2nd ed. London: CRC Press.
- Doulos, L. T., A. Kontadakis, E. N. Madias, M. Sinou, and A. Tsangrassoulis. 2019. '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 Buildings* 194:201–17. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.033.
- Doulos, L., A. Tsangrassoulis, and F. Topalis. 2008. 'Quantifying Energy Savings in Daylight Responsive Systems: The Role of Dimming Electronic Ballasts'. *Energy and Buildings* 40(1):36–50. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.01.019.
- Fang, Peixin, Ming Wang, Jingzheng Li, Qianchuan Zhao, Xuehan Zheng, and He Gao. 2023. 'A Distributed Intelligent Lighting Control System Based on Deep Reinforcement Learning'. *Applied Sciences* 13:9057. doi: 10.3390/app13169057.
- Gligor, V. 2004. 'Luminous Environment and Productivity at Workplaces'. Helsinki University of Technology, Espoo.
- Gordon, Gary. 2003. *Interior Lighting for Designers*. 4th ed. New York: Wiley.
- Halonen, Liisa, Eino Tetri, and Pramod Buhsal. 2010. *GUIDEBOOK ON ENERGY EFFICIENT ELECTRIC LIGHTING FOR BUILDINGS*. Espoo.
- Hemmerling, Martin, Marco Seegers, and Daniel Witzel. 2023. 'Calculation of Energy Saving Potential for Lighting with DIALux Evo'. *Energy and Buildings* 278:112475. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112475.
- Kralikova, Ruzena, Miriama Piňosová, and Beata Hricová. 2016. 'Lighting Quality and Its Effects on Productivity and Human Healths'. 10(International Journal of Interdisciplinary in Theory and Practice):8–12.
- Kunwar, Niraj, Kristen S. Cetin, Ulrike Passe, Xiaohui Zhou, and Yunhua Li. 2020. 'Energy Savings and Daylighting Evaluation of Dynamic Venetian Blinds and Lighting through Full-Scale Experimental Testing'. *Energy* 197:117190. doi: 10.1016/j.energy.2020.117190.
- Mandalaki, Maria. 2013. 'Energy Savings within the Built Environment - an Emphasis on Daylight Control'. Technical University of Crete.
- Mills, Evan. 2022. 'Global Lighting Energy Savings Potential'. 10(Light and Engineering):5–10.

- Nolé Fajardo, María Luisa, Juan Luis Higuera-Trujillo, and Carmen Llinares. 2023. 'Lighting, Colour and Geometry: Which Has the Greatest Influence on Students' Cognitive Processes?' *Frontiers of Architectural Research* 12(4):575–86. doi: 10.1016/j.foar.2023.02.003.
- Omar, Osama, Berta García-Fernández, Antonio Álvarez Fernández-Balbuena, and Daniel Vázquez-Moliní. 2018. 'Optimization of Daylight Utilization in Energy Saving Application on the Library in Faculty of Architecture, Design and Built Environment, Beirut Arab University'. *Alexandria Engineering Journal* 57(4):3921–30. doi: 10.1016/j.aej.2018.10.006.
- Papinutto, Michael, Roberto Boggetti, Moreno Colombo, Chantal Basurto, Kornelius Reutter, Denis Lalanne, Jérôme H. Kämpf, and Julien Nembrini. 2022. 'Saving Energy by Maximising Daylight and Minimising the Impact on Occupants: An Automatic Lighting System Approach'. *Energy and Buildings* 268:112176. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112176.
- Shao, Zhida, Yu Li, Pumiao Huang, Azher M. Abed, Elimam Ali, Dalia H. Elkamchouchi, Mohamed Abbas, and Guodao Zhang. 2023. 'Analysis of the Opportunities and Costs of Energy Saving in Lightning System of Library Buildings with the Aid of Building Information Modelling and Internet of Things'. *Fuel* 352:128918. doi: 10.1016/j.fuel.2023.128918.
- Sifakis, Nikolaos, Konstantinos Kalaitzakis, and Theocharis Tsoutsos. 2021. 'Integrating a Novel Smart Control System for Outdoor Lighting Infrastructures in Ports'. *Energy Conversion and Management* 246:114684. doi: 10.1016/j.enconman.2021.114684.
- Tsao, Jeff, Harry Saunders, J. Creighton, Michael Coltrin, and J. Simmons. 2010. 'Solid-State Lighting: An Energy-Economics Perspective. J Phys D: Appl Phys 43:354001'. *J. Phys. D: Appl. Phys* 43:0–17. doi: 10.1088/0022-3727/43/35/354001.
- Wagiman, Khairul Rijal, Mohd Noor Abdullah, Mohammad Yusri Hassan, Nur Hanis Mohammad Radzi, Ab Halim Abu Bakar, and Tan Chia Kwang. 2020. 'Lighting System Control Techniques in Commercial Buildings: Current Trends and Future Directions'. *Journal of Building Engineering* 31:101342. doi: 10.1016/j.job.2020.101342.
- Waide, Paul, Satoshi Tanishima, and International Energy Agency, eds. 2006. *Light's Labour's Lost: Policies for Energy-Efficient Lighting*. Paris: OECD/IEA.
- Yu, Fei, Ronald Wennersten, and Jiawei Leng. 2020. 'A State-of-Art Review on Concepts, Criteria, Methods and Factors for Reaching "Thermal-Daylighting Balance"'. *Building and Environment* 186:107330. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107330.
- Ασημακοπούλου, Κωνσταντίνα. 2023. 'Εκπαιδευτικό Υλικό: Σύγχρονοι, Σχεδόν Μηδενικής Ενέργειας Επαγγελματικοί Χώροι'.
- Δούλος, Λάμπρος, Παναγιώτης Κονταξής, Κωνσταντίνος Λάσκος, Φραγκίσκος Τοπαλής, and Άρης Τσαγκρασούλης. 2021. 'Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021 Τεχνητός Και Φυσικός Φωτισμός Κτιρίων, Α Έκδοση'.
- Τσαγκρασούλης, Άρης. 2016. *Φυσικός Φωτισμός*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

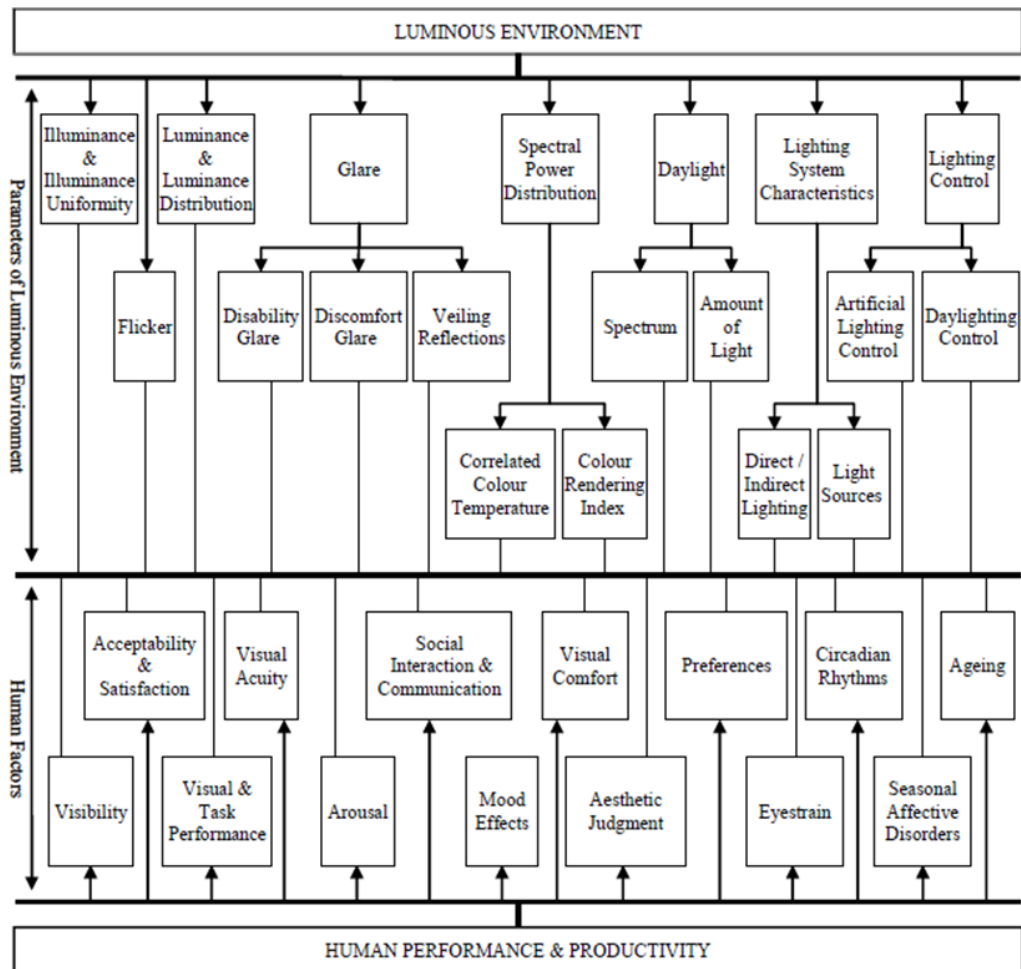


Εικόνα Π1: Θερμοκρασία χρώματος διαφόρων πηγών φωτός (Τσαγρασούλης 2016)

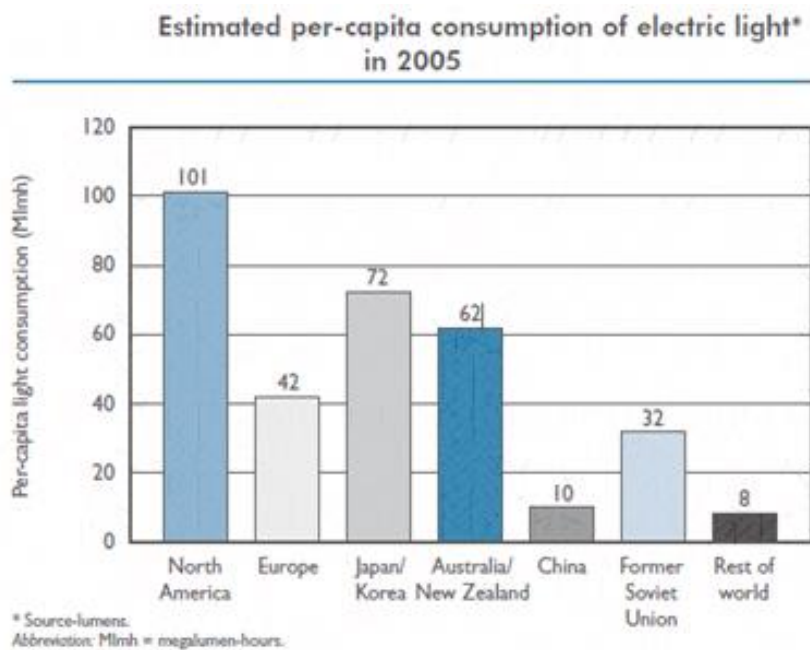


Illuminance (lux)	Colour of light sources		
	warm	neutral	cold
Emotional response			
below 500	<i>pleasant</i>	neutral	cold
500...1000			
1000...2000	stimulating	<i>pleasant</i>	neutral
2000...3000			
above 3000	un-natural	stimulating	<i>pleasant</i>

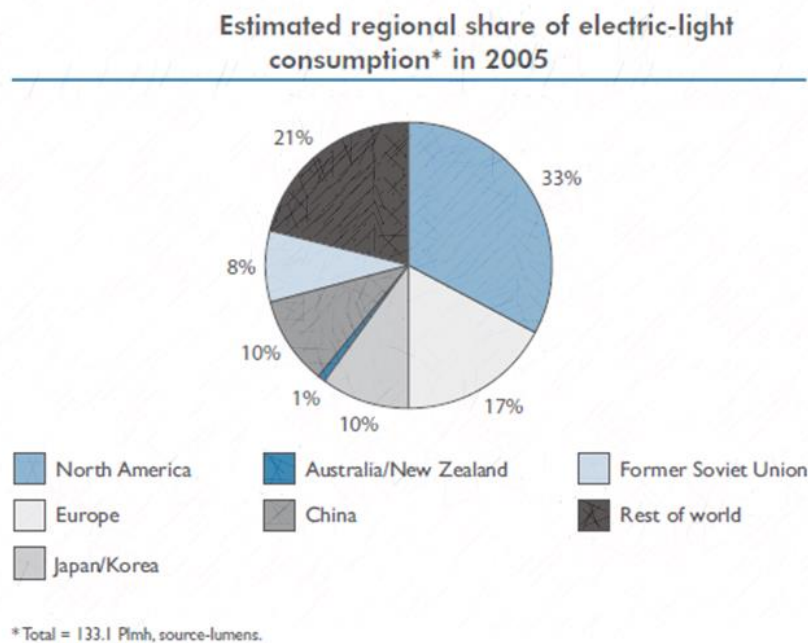
Εικόνα Π.2: Επίδραση απόχρωσης φωτός στη ψυχολογική διάθεση (Τοπαλής, Σεμινάρια ΤΕΕ, 2019)



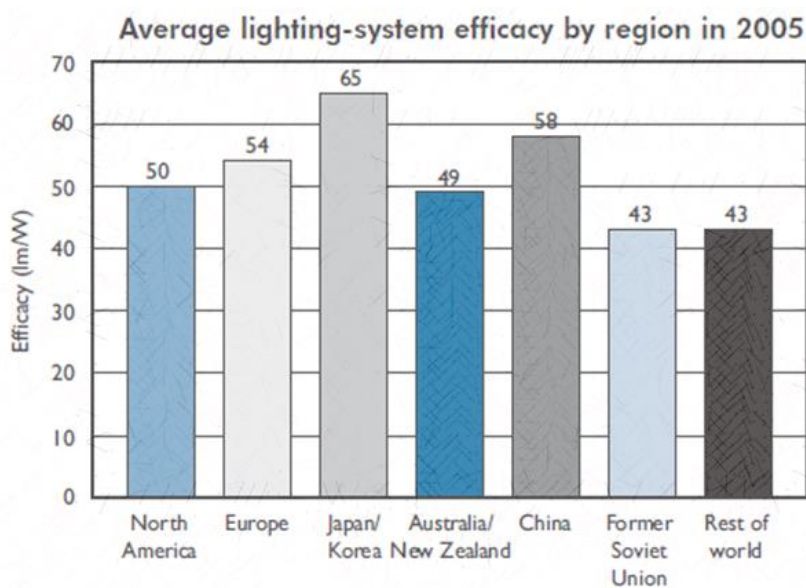
Εικόνα Π.3 Επίδραση του φωτιστικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο (Gligor, 2004)



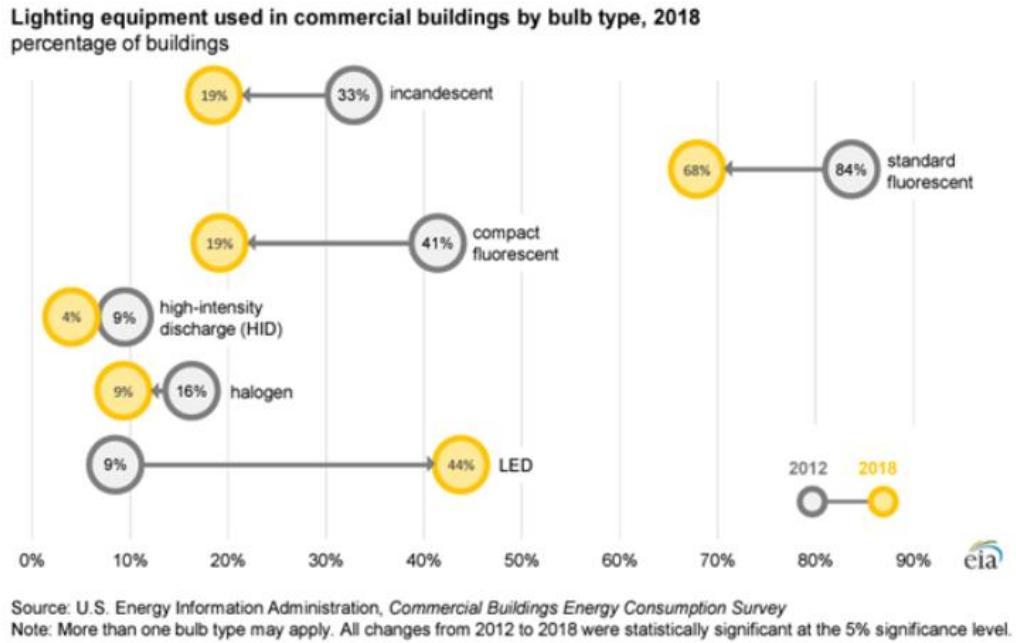
Εικόνα Π.4: Εκτιμώμενη κατανάλωση φωτός ανά κάτοικο το έτος 2005 (International Energy Agency 2006)



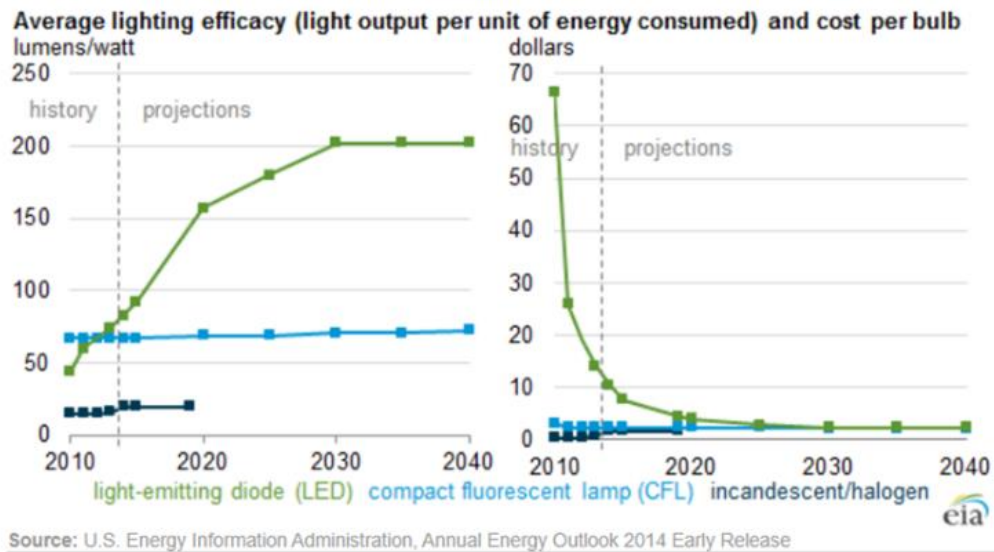
Εικόνα Π.5: Διάκριση της παγκόσμιας κατανάλωσης φωτός το 2005 (International Energy Agency 2006)



Εικόνα Π.6: Μέση απόδοση συστήματος φωτισμού ανά γεωγραφική περιοχή για το έτος 2005 (IEA 2006)



Εικόνα Π.7: Χρήση λαμπτήρων ανά ποσοστό εμπορικών κτιρίων (EIA energy consumption survey, 2012 – 2018)



Εικόνα Π.8: Μεταβολή στην απόδοση και το κόστος των λαμπτήρων με την ανάπτυξη της αγοράς (EIA, 2014)

National lighting consumption and CFL (compact fluorescent lamps) penetration data.

	No. of hshlds [million]	Residential electricity cons. [TWh]	Lighting consumption [TWh]	Lighting consumption in total residential electricity consumption [%]	Average cons lighting/ hshlds. [kWh]	Number of hshlds. with CFLs [%]	CFL's/HH [including HH without CFLs] [unit]	Lighting points/HH [unit]	CFL/ Lighting points [%]
AT	3.08	15	1.1	7.3	357.14	70	4	26	15.4
BE	3.90	18.20	2.23	12.23	343.22	70.50	2.50	26.00	9.6
DK	2.31	9.71	1.36	14.00	589.00	65.00	4.90	25.40	19.3
FIN	2.30	12.20	1.7	13.93	739	50	1	23.5	4.3
FR	22.20	141.06	9.07	6.43	409	52	2.26	18.9	12.0
GR	3.99	16.87	3.04	18	761	50	1	12	8.3
DE	39.10	140.00	13.2	9.43	337.6	70	6.5	32	20.3
EL	1.44	7.33	1.32	18	920	38	1.5	18	8.3
IT	22.50	66.67	8	12	370	60	0.8	18	4.4
LU	0.20	0.75	0.098	13	487.5	70	2	20	10.0
NL	6.73	23.75	3.8	16	524	60	4	40	10.0
PT	4.20	11.40	1.7	14.91	404.8	54	1.7	11.4	14.9
ES	17.20	61.11	11	18	639.5	15	2	25	8.0
SE	3.90	43.50	3.4	16	872	55	3.3	32	10.3
UK	22.80	111.88	17.9	16	785	50	2	20	10.0
CZ	3.83	14.53	1.74	12	455.37	70	2.9	14	20.7
CY	0.32	1.32	0.24	18	749	79	2	16	12.5
EE	0.60	1.62	0.45	28	753.81	20	0.25	15	1.7
HU	3.75	11.10	2.775	25	740.48	60	1	18	5.6
LV	0.97	1.47	0.41	28	424.16	19	0.42	17	2.5
LT	1.29	2.07	0.62	30	479.72	20	0.25	10	2.5
MT	0.13	0.62	0.0806	13.00	630	50	1	15	6.7
PL	11.95	22.80	6.38	28	534.4	50	0.5	20	2.5
SK	1.90	4.90	0.4	8.20	240.05	50	1	15	6.7
SI	0.68	3.01	0.33	11	480	70	2	19	10.5
BG	2.9	9.31	0.9	10	310	34	0.5	13	3.8
RO	8.13	8.04	2.911	35.18	356.75	40	0.2	10	2.0

Εικόνα Π.9: Κατανάλωση φωτισμού σε χώρες της Ευρώπης (Bertoldi and Atanasiu, 2008)

Πίνακας Ι_α Προτεινόμενες τιμές φωτιστικών παραμέτρων ανά χρήση χώρου

(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

αα	Χρήση χώρου	E _m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR [-]	Ομοιομορφία φωτισμού U ₀ 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 Α και Β	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, δομής 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 καθημένοι (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 παιχνιδιών (π.χ. φρουτάκια)	300	0,8	22	0,40
24	Χώρος ομαδικών παιχνιδιών (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

Πίνακας Ι_β Προτεινόμενες τιμές φωτιστικών παραμέτρων ανά χρήση χώρου

(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

αα	Χρήση χώρου	E _m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR [-]	Ομοιομορφία φωτισμού U ₀ 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 θεραπείας - 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, Βρεφκομείου	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., λινόβηκες, 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

Πίνακας I_γ: Προτεινόμενες τιμές φωτιστικών παραμέτρων ανά χρήση χώρου
(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

αα	Χρήση χώρου	E _m Μέση ένταση φωτισμού [lx]	Επίπεδο αναφοράς μέτρησης [m]	Δείκτης θάμβωσης UGR [-]	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
<p>Σημειώσεις</p> <p>*Οι συγκεκριμένες τιμές προτείνονται αποκλειστικά για τον υπολογισμό των ενεργειακών καταναλώσεων και δεν αποτελούν υποχρέωση για χρήση σε μελέτη ή εγκατάσταση.</p> <p>Ο δείκτης θάμβωσης UGR στη νέα έκδοση του EN 12464-1 μετονομάζεται σε R_{UG} ενώ το μέγιστο επιτρεπτό όριο σε R_{UGL}.</p>					

Πίνακας II: Ενδεικτικές Τιμές Ανακλαστικότητας Υλικών
(Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021)

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, σκούρο κόκκινο	15 - 20
Χρώμα/βαφή, ανοιχτό πράσινο	40 - 55
Χρώμα/βαφή, ανοιχτό κίτρινο	60 - 70
Χρώμα/βαφή, μεσαίο γκρι	25 - 35
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
Γαλβάνισμα, λευκό	65 - 75
Δρύς	40 - 50
Γρασίδι	14 - 37
Καρυδιά	15

Φυλλάδιο Αρχικού Λαμπτήρα



MASTER TL-D Super 80



MASTER TL-D Super 80 18W/840 1SL/25

Ο λαμπτήρας MASTER TL-D Super 80 προσφέρει περισσότερα lumen ανά watt και καλύτερη απόδοση χρωμάτων από τα κοινά χρώματα του TL-D. Επιπλέον, έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υδράργυρο. Είναι δυνατή η λειτουργία του λαμπτήρα σε υφιστάμενα φωτιστικά TL-D.

Προειδοποίηση & ασφάλεια

• Ένας λαμπτήρας που σπάει είναι εξαιρετικά απίθανο να έχει επίδραση στην υγεία σας. Εάν σπάσει ένας λαμπτήρας, αερίστε τον χώρο για 30 λεπτά και αφαιρέστε τα σπασμένα κομμάτια, κατά προτίμηση με γάντια. Τοποθετήστε τα σε μια πλαστική σακούλα, κλείστε τη καλά και αποθέστε τη στα προς ανακύκλωση απορρίμματα της περιοχής σας. Μην χρησιμοποιείτε ηλεκτρική σκούπα.

Δεδομένα Προϊόντων

Γενικές πληροφορίες		Χαρακτηριστικά ηλεκτρικής λειτουργίας	
Βάση-κάλυμμα	GT3 [Medium Bi-Pin Fluorescent]	Κατανάλωση ενέργειας	18,2 W
Αναφορά μέτρησης φωτεινής ροής	Sphere	Ένταση ρεύματος λαμπτήρα (ονομ.)	0,360 A
Διάρκεια ζωής στο 50% αστοχίας (ονομ.)	15.000 h	Συστήματα ελέγχου και ρύθμιση της έντασης	
Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτισμού		Με ρύθμιση έντασης	Ναι
Κωδικός χρώματος	840 [CCT of 4000K]	Μηχανικά εξαρτήματα και Περιβλήμα	
Φωτεινή ροή	1.350 lm	Σχήμα λαμπτήρα	T8 [26 mm (T8)]
Ανάθεση χρωμάτων	Ψυχρό Λευκό (CW)	Εγκριση και Εφαρμογή	
Συντελεστή χρωματικότητας X (ονομ.)	0,38	Κλάση ενεργειακής απόδοσης	G
Συντελεστή χρωματικότητας Y (ονομ.)	0,38	Περιεκτικότητα υδραργύρου (Hg) (ονομ.)	1,7 mg
Συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος - CCT (ονομαστική)	4000 K	Κατανάλωση ενέργειας kWh/1000 ώρες	19 kWh
Απόδοση φωτεινότητας (ονομαστική) (ονομ.)	75 lm/W	Αρ. εγγραφής EPREL	423364
Δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI)	81		

Datasheet, 2023, Μάιος 8

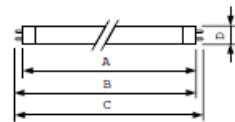
τα δεδομένα υπόκεινται σε αλλαγές

MASTER TL-D Super 80

Στοιχεία προϊόντος	
Full EOC	8/7150063171840
Όνομα παραγωγίας προϊόντος	MASTER TL-D Super 80 18W/840
	1SL/25
Κωδικός παραγωγίας	63171840
Τοπικός κωδικός	TLD18W/84
Αριθμητής - Ποσότητα ανά συσκευασία	1

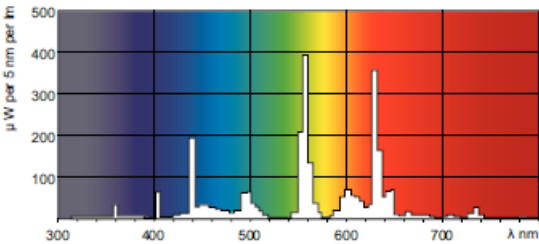
Αριθμητής SAP - Πακέτα ανά εξωτερικό κουτί	25
Αριθμός υλικού κατασκευής (TZNC)	927920084023
Πλήρες όνομα προϊόντος	MASTER TL-D Super 80 18W/840
	1SL/25
EAN/UPC - Κιβώτιο	8/71500631725

Σχεδιάγραμμα διαστάσεων



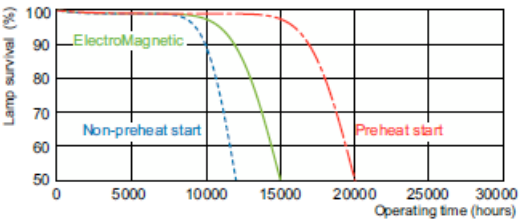
Product	D (max)	A (max)	B (max)	B (min)	C (max)
MASTER TL-D Super 80 18W/840	28 mm	589,8 mm	596,9 mm	594,5 mm	604 mm
1SL/25					

Φωτομετρικά δεδομένα

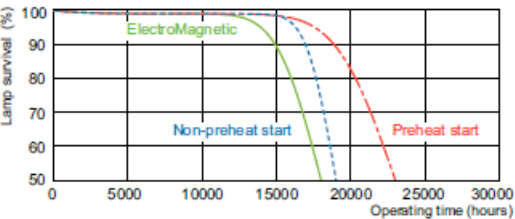


Spectral Power Distribution Colour - MASTER TL-D Super 80 18W/840 1SL/25

Διάρκεια ζωής



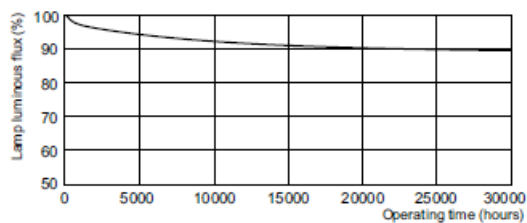
Life Expectancy Diagram - MASTER TL-D Super 80 18W/840 1SL/25



Life Expectancy Diagram - MASTER TL-D Super 80 18W/840 1SL/25

MASTER TL-D Super 80

Διάρκεια ζωής



Lumen Maintenance Diagram - MASTER TL-D Super 80 18W/840 1SL/25



© 2023 Signify Holding Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Η Signify δεν παρέχει καμία διαβεβαίωση ή εγγύηση όσον αφορά την ακρίβεια ή την πληρότητα των πληροφοριών που περιλαμβάνονται στο παρόν και δεν θα ευθύνεται για οποιαδήποτε αντίγραφα βασίζονται σε αυτές. Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο δεν προορίζονται για εμπορική προσφορά και δεν αποτελούν μέρος προσφοράς ή σύμβασης, εκτός εάν έχει συμφωνηθεί διαφορετικά από την Signify. Η επωνυμία Philips και το έμβλημα της Philips με την ασπίδα είναι σήματα κατατεθέντα της Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com

2023, Μάιος B – τα δεδομένα υπόκεινται σε αλλαγές

Φυλλάδιο Λαμπτήρα LED – Σενάριο I



MasterConnect LEDtube EM/mains T8



MasterConnect LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8

Το σύστημα Philips MasterConnect αποτελεί την ιδανική λύση για τους επαγγελματίες που επιθυμούν ευκολία στον έξυπνο φωτισμό, προσφέροντας μια ευρεία γκάμα έξυπνων λαμπτήρων LED για αντικατάσταση συμβατικών λαμπτήρων. Το νέο σύστημα φωτισμού είναι εύκολο στην εγκατάσταση, χρησιμοποιώντας τη διαισθητική εφαρμογή μας Bluetooth. Επιπλέον, μπορεί να προγραμματιστεί χωρίς κόπο, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα αυτοματισμού (ανίχνευση παρουσίας/φωτός ημέρας), ασύρματης ρύθμισης έντασης, διαχωρισμού σε ζώνες και δημιουργίας σκηνικών. Το αποτέλεσμα; Μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας και ένας πιο άνετος και ευέλικτος χώρος! Επιπλέον, οι λαμπτήρες MasterConnect LED είναι Interact ready, με την απλή προσθήκη μιας πύλης μπορείτε να απολαύσετε τα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας IoT Interact που βασίζονται στο cloud, όπως διαχείριση πίνακα εργαλείων, τηλεχειρισμό και προγραμματισμό, ξεκλειδώνοντας απεριόριστες δυνατότητες για τον συνδεδεμένο φωτισμό.

Δεδομένα Προϊόντων

Γενικές πληροφορίες			
Lighting Technology	LED	Συγκεκριμένη θερμοκρασία χρώματος - CCT (ονομαστική)	4000 K
Αναφορά μέτρησης φωτεινής ροής	Sphere	Απόδοση φωτεινότητας (ονομαστική) (ονομ.)	150 lm/W
Κύκλος λειτουργίας	200.000	Συνάφεια χρωμάτων	<6
Ονομαστική διάρκεια ζωής	60.000 h	Δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI)	83
Βάση-κάλυμμα	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]	LLMF στο τέλος της ονομαστικής διάρκειας ζωής (ονομ.)	70 %
Τεχνικός φωτισμός		Τμή τρεμοπαλμού (PstLM)	1
Κωδικός χρώματος	840 [CCT of 4000K]	Στροβοσκοπικό επί	0,9
Γωνία δέσης (ονομ.)	160 μοίρες	Λειτουργία και ηλεκτρικά συστήματα	
Φωτεινή ροή	1.050 lm	Line Frequency	50 to 60 Hz
Ανάθεση χρωμάτων	Ψυχρό λευκό (CW)	Συχνότητα εισόδου	50 έως 60 Hz

Datasheet, 2023, Μάιος 2

τα δεδομένα υπόκεινται σε αλλαγές

MasterConnect LEDtube EM/mains T8

Κατανάλωση ρεύματος	7 W
Χρόνος έναρξης (ονομ.)	0,5 s
Χρόνος προθέρμανσης στο 60% φωτισμού	0,5 s
Συντελεστής ισχύος (Κλάση)	0,9
Τάση (ονομ.)	220-240 V

Θερμοκρασία

Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος	-20 °C έως 45 °C
Μέγιστη θερμ. περιβάλλοντος λειτουργίας (ονομ.)	40 °C

Συστήματα ελέγχου και ρύθμιση της έντασης

Με ρύθμιση έντασης	Ασύρματη ρύθμιση της έντασης
--------------------	------------------------------

Μηχανικά εξαρτήματα και περίβλημα

Μήκος προϊόντος	600 mm
Σχήμα λαμπτήρα	Σιακόνος, δισκοί άκρου

Εγκριση και εφαρμογή

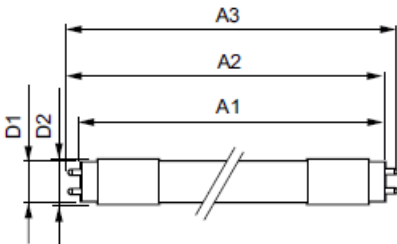
Κλάση ενεργειακής απόδοσης	D
Προϊόν εξοικονόμησης ενέργειας	Ναι

Σημόντας εγκρίσεων	Συμμόρφωση RoHS TUV Σήμανση CE Πιστοποίηση KEMA Kaur
Κατανάλωση ενέργειας kWh/1000 ώρες	7 kWh
Αρ. εγγραφής EPREL	406206
Σήμανση CE	Ναι
Συμμόρφωση RoHS	Ναι

Στοιχεία προϊόντος

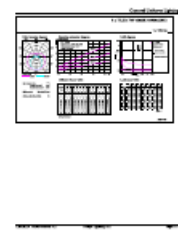
Full EOC	871869971748300
Όνομα παραγωγέας προϊόντος	MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 TB
Κωδικός παραγγελίας	71748300
Τοπικός κωδικός	MLDTESU70684
Αριθμητής - Ποσότητα ανά συσκευασία	1
Αριθμητής SAP - Πακέτα ανά εξωτερικό κουτί	10
Αριθμός υλικού κατασκευής (12NC)	929002295302
Πλήρες όνομα προϊόντος	MasterConnect LEDtube IA 600mm HO 7W840 TB
EAN/UPC - Κιβώτιο	8718699717490

Σχεδιάγραμμα διαστάσεων

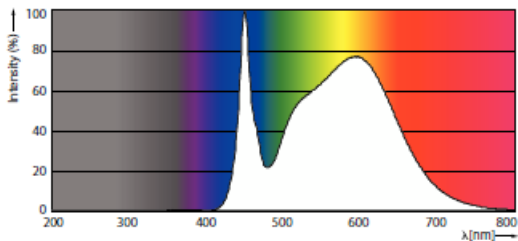


Product	D1	D2	A1	A2	A3
MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 TB	25,8 mm	28 mm	588,5 mm	595,5 mm	602,5 mm

Φωτομετρικά δεδομένα



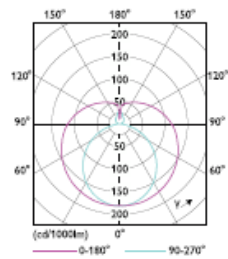
General uniform lighting - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 TB



Spectral Power Distribution Colour - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 TB

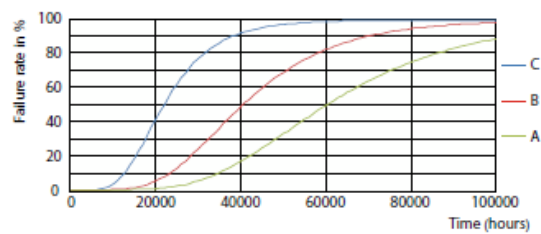
MasterConnect LEDtube EM/mains T8

Φωτομετρικά δεδομένα

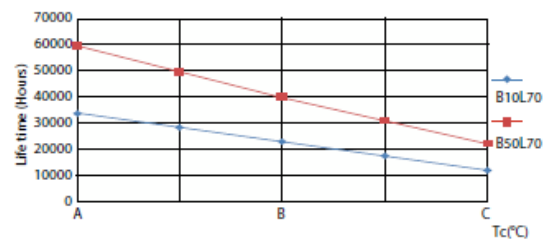


Light Distribution Diagram - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8

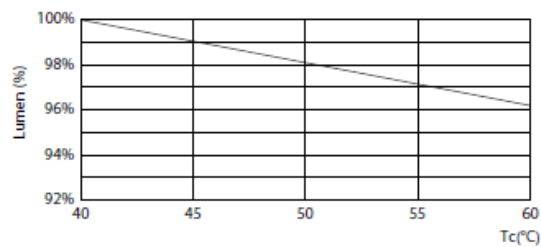
Διάρκεια ζωής



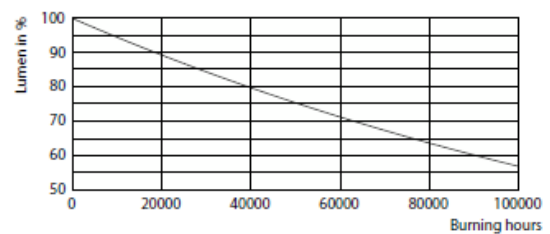
Life Expectancy Diagram - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8



Life Expectancy Diagram - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8



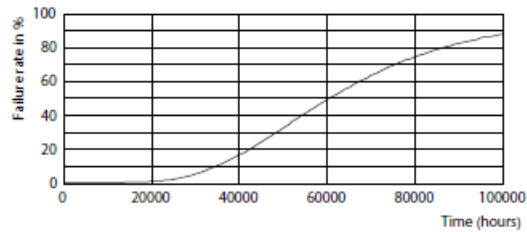
Lumen Maintenance Diagram - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8



Lumen Maintenance Diagram - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8

MasterConnect LEDtube EM/mains T8

Διάρκεια ζωής



Life Expectancy Diagram - MC LEDtube IA 600mm HO 7W840 T8



© 2023 Signify Holding Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Η Signify δεν παρέχει καμία διαβεβαίωση ή εγγύηση όσον αφορά την ακρίβεια ή την πληρότητα των πληροφοριών που περιλαμβάνονται στο παρόν και δεν θα ευθύνεται για οποιαδήποτε ενέργεια βασίζεται σε αυτές. Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο δεν προορίζονται για εμπορική προώθηση και δεν αποτελούν μέτρο προώθησης ή σύμβασης, εκτός εάν έχει συμφωνηθεί διαφορετικά από την Signify. Η επωνυμία Philips και το έμβλημα της Philips με την ασπίδα είναι σήματα κατατεθέντα της Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2023, Μάιος 2 - τα δεδομένα υπόκεινται σε αλλαγές



SlimBlend Rectangular, surface mounted

SM402C LED42S/840 PSD W31L125

SlimBlend mounted module 625, 840 neutral white, Power supply unit with DALI and SystemReady interface, Interact ready, Push-in connector 5-pole

Office norm-compliant lighting with good quality of light is in demand. Moreover, there is also an increasing need for comfort-enhancing effects such as diffused lighting and lighting smoothly blending into the ceiling architecture. That's why 'surface of light' solutions are becoming more and more popular. But parallel to these needs, are the demands to reduce energy and maintenance costs. SlimBlend answers all these needs and more. Not only does it provide glare-free comfort with a diffuse effect and clutter-free aesthetics thanks to integrated control options, it also creates a special blending of light. It uses the 'trapped' light under the masking to create a subtle glow, with a soft transition to the edge, lowering the brightness perception and blending the light into the ceiling. SlimBlend can also be part of a connected lighting system and integrated into the IT infrastructure enabling data on usage to be collected to help reduce energy costs and enhance employee comfort further. Also, thanks to the slim design, it enables technical equipment to be more easily installed in the plenum. Moreover, thanks to the variety of ways of mounting, various ceiling types can take advantage of this luminaire family. SlimBlend comes in square, rectangular and can be either recessed, surface-mounted, suspended. It offers a good balance between initial cost and ROI, making it the ideal choice for delivering excellent quality of light and a fast Return on Investment for offices.

Product data

Datasheet, 2023, August 3

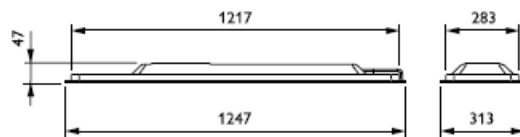
data subject to change

SlimBlend Rectangular, surface mounted

General Information		Housing Color	White
Light source replaceable	No	Optical cover/lens finish	Textured
Number of gear units	1 unit	Overall length	313 mm
Driver included	Yes	Overall width	1,247 mm
Product family code	SM402C [SlimBlend mounted module 625]	Overall height	52 mm
		Dimensions (Height x Width x Depth)	52 x 1247 x 313 mm
Lighting Technology	LED		
Value ladder	Specification		
Light Technical			
Luminous Flux	4,200 lumen		
Saturated Red (R9)	>50		
Correlated Color Temperature (Nom)	4000 K		
Luminous Efficacy (rated) (Nom)	125 lm/W		
Color rendering Index (CRI)	>80		
Beam angle of light source	- degree(s)		
Light source color	840 neutral white		
Optic type	-		
Luminaire light beam spread	120°		
Unified glare rating CEN	16		
Operating and Electrical			
Input Voltage	220 to 240 V		
Line Frequency	50 to 60 Hz		
Initial CLO power consumption	- W		
Average CLO power consumption	- W		
Inrush current	24.9 A		
Inrush time	186 ms		
Power Consumption	31 W		
Power Factor (Fraction)	0.9		
Connection	Push-in connector 5-pole		
Cable	-		
Number of products on MCB of 16 A type B	27		
Temperature			
Ambient temperature range	+10 to +40 °C		
Controls and Dimming			
Dimmable	Yes		
Driver/power unit/transformer	Power supply unit with DALI and SystemReady Interface, Interact ready		
Control Interface	InterAct office		
Constant light output	No		
Mechanical and Housing			
Housing Material	Stainless steel		
Reflector material	-		
Optic material	Polymethyl methacrylate		
Optical cover/lens material	Polymethyl methacrylate		
Fixation material	Steel		
		Approval and Application	
Ingress protection code		IP20 [Finger-protected]	
Mech. Impact protection code		IK02 [0.2 J standard]	
Sustainability rating		-	
Protection class IEC		Safety class II	
Glow-wire test		Temperature 650 °C, duration 30 s	
Flammability mark		For mounting on normally flammable surfaces	
CE mark		Yes	
ENEC mark		ENEC mark	
Warranty period		5 years	
Photobiological risk		Photobiological risk group 0 @200mm to EN62778	
EU RoHS compliant		Yes	
Initial Performance (IEC Compliant)			
Luminous flux tolerance		+/-10%	
Initial chromaticity		(0.38, 0.38) SDCM<3	
Power consumption tolerance		+/-10%	
Over Time Performance (IEC Compliant)			
Control gear failure rate at median useful life		5 %	
50000 h			
Lumen maintenance at median useful life*		L80	
50000 h			
Application Conditions			
Performance ambient temperature Tq		25 °C	
Maximum dim level		1%	
Suitable for random switching		No	
Product Data			
Full product code		871869998235500	
Material Nr. (12NC)		910505102016	
Order code		910505102016	
Numerator - Quantity Per Pack		1	
Numerator - Packs per outer box		1	
Order product name		SM402C LED425/B40 PSD W31L125	
Full product name		SM402C LED425/B40 PSD W31L125	
EAN/UPC - Case		8718699982355	

SlimBlend Rectangular, surface mounted

Dimensional drawing



© 2023 Signify Holding All rights reserved. Signify does not give any representation or warranty as to the accuracy or completeness of the information included herein and shall not be liable for any action in reliance thereon. The information presented in this document is not intended as any commercial offer and does not form part of any quotation or contract, unless otherwise agreed by Signify. Philips and the Philips Shield Emblem are registered trademarks of Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2023, August 3 - data subject to change