



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Ενεργειακή μελέτη και πρόταση εξοικονόμησης ενέργειας στο  
σύστημα φωτισμού του κτιρίου Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. -  
Πτέρυγες Α, Ε, Η, Η1**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Ν. Πιέτρης**

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων :** Λάμπρος Θ. Δούλος  
Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Ενεργειακή μελέτη και πρόταση εξοικονόμησης ενέργειας στο  
σύστημα φωτισμού του κτιρίου Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. -  
Πτέρυγες Α, Ε, Η, Η1**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Ν. Πιέτρης**

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων :** Λάμπρος Θ. Δούλος  
Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2012.

.....  
Φραγκίσκος Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Γεώργιος Κορρές  
Αναπ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σταυρούλα Καβατζά  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

.....  
Κωνσταντίνος Ν. Πιέτρης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Πιέτρης, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον 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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενεργειακή αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού των πτερύγων Α, Ε, Η και Η1 του κτιρίου της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Για αυτόν τον σκοπό α) πραγματοποιήθηκε ενεργειακή επιθεώρηση του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού του κτιρίου, β) διατυπώθηκαν προτάσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και γ) υπολογίστηκαν τα οφέλη από την προτεινόμενη ενεργειακή αναβάθμιση. Αρχικά, αναφέρονται κάποιες γενικές δράσεις ενεργειακής αναβάθμισης και εξοικονόμησης ενέργειας για τα κτίρια και ιδιαίτερα για το σύστημα φωτισμού. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της καταγραφής και των προβλημάτων του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού του υπό μελέτη κτιρίου, καθώς και τα αποτελέσματα δύο προτάσεων αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις που ορίζει ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. Η πρώτη πρόταση αφορά στην αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με νέα, ενεργειακά αποδοτικότερα και η δεύτερη στην επιπλέον αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με προσθήκη αισθητήρων φωτισμού, οι οποίοι έχουν δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στο εσωτερικό του χώρου. Τέλος, παρουσιάζονται τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη, το συνολικό κόστος (αγοράς και εγκατάστασης) και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης από την εφαρμογή και των δύο προτάσεων.

**Λέξεις κλειδιά:** Φωτισμός κτιρίων γραφείου, τεχνητός φωτισμός, αξιοποίηση φυσικού φωτισμού, ενεργειακή αναβάθμιση, εξοικονόμηση ενέργειας, τεχνοοικονομική μελέτη φωτισμού.



## Abstract

The main scope of this diploma thesis is the improvement of the energy efficiency of the artificial lighting system in wings A, E, H and H1 of the School of Chemical Engineering building of National Technical University of Athens. In order to save energy, a) an energy inspection was conducted, b) a number of proposals were performed and c) the corresponding benefits were calculated. Furthermore, some actions for energy upgrading of the lighting system of the building were also presented. Initially, general actions for energy upgrading and energy saving in buildings, especially in lighting systems, were mentioned. Moreover, the data from monitoring the existing lighting system and the results of the energy savings calculations by applying two proposals for upgrading the artificial lighting system were presented. These results comply with the requirements defined by the Energy Efficiency Regulation for Buildings of Greece. The first upgrade scenario concerned the replacement of existing luminaires with new, more efficient ones. The second upgrade scenario concerned not only the replacement of existing luminaires but also the installation of photosensors, which dim the artificial lighting levels, depending on the available daylight inside the rooms. Finally, the energy and environmental benefits, the total cost (purchase and installation) and the payback period of the investment were presented by implementing both upgrade scenarios.

**Key words:** Office lighting, artificial alighting, daylight harvesting, energy upgrading, energy saving, techno-economic study.





## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα Καθηγητή Φραγκίσκο Β. Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη διπλωματική μου εργασία σε ένα θέμα τόσο επίκαιρο, το οποίο αποτελεί πολύ σημαντικό μέρος των ενδιαφερόντων μου. Η άγνοια συνεργασία και η καθοδήγησή του υπήρξαν για εμένα κρίσιμα εφόδια για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Στη συνέχεια, ευχαριστώ θερμά τον διδάκτορα Λάμπρο Δούλο για την υπομονή και την επιμονή του. Πάντα πρόθυμος να λύσει όλες τις απορίες μου, με βοήθησε να κατανοήσω καλύτερα το αντικείμενο της εργασίας μου και μου έδειξε καινούριες πτυχές και προοπτικές στην προσέγγισή του. Οι συζητήσεις μας, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου, συνέβαλαν καθοριστικά στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προέκυψαν.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω τα μέλη Δ.Ε.Π. της Σχολής Χημικών Μηχανικών, καθώς και της Πολυδύναμης Μονάδας, για τις απαραίτητες πληροφορίες και τη βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των επισκέψεών μου στο υπό μελέτη κτίριο.



# Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
<b>1. ΔΡΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ .....</b>	<b>19</b>
1.1. Εισαγωγή .....	19
1.2. Ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα .....	20
1.3. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) .....	21
1.4. Παρεμβάσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων .....	22
1.4.1. Θερμική προστασία κελύφους .....	22
1.4.1.1. Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους .....	22
1.4.1.2. Χρήση βελτιωμένων υαλοπινάκων .....	23
1.4.1.3. Φυτεμένο δώμα .....	24
1.4.1.4. Αεριζόμενο κέλυφος .....	25
1.4.1.5. Ηλιοπροστασία .....	25
1.4.1.6. Ανακλαστικά επιχρίσματα .....	27
1.4.1.7. Φράγμα ακτινοβολίας .....	28
1.4.1.8. Φυσικός αερισμός .....	29
1.4.1.9. Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	30
1.4.2. Ενεργειακή αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων .....	31
1.4.2.1. Αναβάθμιση συστήματος κεντρικής θέρμανσης .....	31
1.4.2.2. Αναβάθμιση συστήματος κλιματισμού .....	32
1.4.2.3. Αναβάθμιση στους κυκλοφορητές - κινητήρες .....	32
1.4.2.4. Μηχανικός αερισμός .....	32
1.4.2.5. Υβριδικός αερισμός με ανεμιστήρες οροφής.....	33
1.4.2.6. Φωτισμός.....	33
1.4.2.7. Σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου .....	35
1.4.3. Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .....	36
1.4.3.1. Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	36
1.4.3.2. Θερμικά ηλιακά συστήματα .....	37
1.4.3.3. Μικρές ανεμογεννήτριες .....	38
1.4.3.4. Βιομάζα.....	38
1.4.3.5. Τηλεθέρμανση .....	39
1.4.3.6. Γεωθερμία .....	39
1.4.3.7. Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.....	40
<b>2. ΔΡΑΣΕΙΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>41</b>

2.1. Εισαγωγή .....	41
2.2. Σχεδιασμός συστήματος φωτισμού .....	41
2.3. Αναβάθμιση συστήματος φωτισμού.....	42
2.3.1. Ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων (ballasts).....	42
2.3.2. Επιλογή φωτιστικών σωμάτων .....	44
2.3.3. Επιλογή λαμπτήρων .....	46
2.3.4. Κυκλώματα φωτισμού και διακόπτες.....	47
2.3.5. Συντελεστής ισχύος .....	48
2.3.6. Συντήρηση της εγκατάστασης φωτισμού .....	49
2.4. Αυτοματισμοί και στρατηγικές ελέγχου φωτισμού.....	50
2.4.1. Προγραμματισμός .....	50
2.4.2. Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού - Αισθητήρες φωτισμού .....	51
2.4.3. Αισθητήρες παρουσίας.....	52
2.4.4. Χρονοδιακόπτες .....	52
2.4.5. Εξισορρόπηση λαμπρότητας .....	53
2.4.6. Διατήρηση επιπέδων φωτισμού.....	53
2.4.7. Εξομάλυνση φορτίου και μείωση της ζήτησης ισχύος .....	54
2.4.8. Ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή.....	54
2.4.9. Συστήματα κεντρικής διαχείρισης κτιρίων .....	54
2.5. Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού .....	55
2.5.1. Παράγοντας φυσικού φωτισμού.....	56
2.5.2. Αισθητήρες φωτισμού .....	57
2.5.2.1. Θέση αισθητήρα φωτισμού .....	58
2.5.2.2. Ρύθμιση αισθητήρα φωτισμού .....	59
2.5.3. Κατανομή φυσικού φωτισμού .....	59
2.5.4. Ζώνες ελέγχου φωτισμού.....	60
2.5.5. Φωτιστικά σώματα .....	60
2.5.6. Αρχιτεκτονικές λύσεις για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού .....	61
<b>3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>63</b>
3.1. Εισαγωγή .....	63
3.2. Συνολικό κόστος της εγκατάστασης φωτισμού.....	63
3.2.1. Κόστος αρχικής επένδυσης.....	64
3.2.2. Κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας.....	65
3.2.3. Κόστος συντήρησης .....	65
3.2.4. Συνολικό κόστος .....	66
3.3. Χρόνος απόσβεσης .....	67
3.4. Μέθοδοι στατικού και δυναμικού υπολογισμού .....	68
<b>4. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ .....</b>	<b>69</b>
4.1. Περιγραφή κτιρίου .....	69
4.1.1. Πτέρυγα Α .....	71
4.1.2. Πτέρυγα Ε.....	74
4.1.3. Πτέρυγα Η .....	78
4.1.4. Πτέρυγα Η1 .....	81

4.2. Περιγραφή των κύριων προβλημάτων του κτιρίου στο σύστημα φωτισμού.....	84
<b>5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>89</b>
5.1. Εισαγωγή .....	89
5.2. Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού.....	90
5.2.1. Πτέρυγα Α .....	90
5.2.2. Πτέρυγα Ε.....	93
5.2.3. Πτέρυγα Η .....	96
5.2.4. Πτέρυγα Η1 .....	98
5.3. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού .....	100
<b>6. ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΝΕΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΕΡΑ ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ (ΣΕΝΑΡΙΟ Α) .....</b>	<b>103</b>
6.1. Εισαγωγή .....	103
6.2. Εγκατεστημένη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Α).....	106
6.2.1. Πτέρυγα Α .....	106
6.2.2. Πτέρυγα Ε.....	109
6.2.3. Πτέρυγα Η .....	113
6.2.4. Πτέρυγα Η1 .....	115
6.3. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Α).....	117
<b>7. ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (ΣΕΝΑΡΙΟ Β).....</b>	<b>119</b>
7.1. Εισαγωγή .....	119
7.2. Ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β).....	121
7.2.1. Πτέρυγα Α .....	121
7.2.2. Πτέρυγα Ε.....	123
7.2.3. Πτέρυγα Η .....	125
7.2.4. Πτέρυγα Η1 .....	128
7.3. Συνολική ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) .....	130
7.3.1. Συνολική ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) μόνο για τους χώρους που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός .....	132
<b>8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ (ΣΕΝΑΡΙΑ Α ΚΑΙ Β) .....</b>	<b>135</b>
8.1. Εισαγωγή .....	135
8.2. Πτέρυγα Α.....	138
8.2.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).....	138
8.2.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β).....	140

8.3. Πτέρυγα Ε .....	142
8.3.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).....	142
8.3.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β).....	144
8.4. Πτέρυγα Η.....	146
8.4.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).....	146
8.4.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β).....	148
8.5. Πτέρυγα Η1.....	150
8.5.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).....	150
8.5.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β).....	152
8.6. Συνολικά αποτελέσματα.....	154
8.6.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).....	154
8.6.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β).....	156
<b>9. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>159</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>163</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RELUX ΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟ ΦΩΤΙΣΜΟ (ΣΕΝΑΡΙΟ Α) .....</b>	<b>167</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RELUX ΓΙΑ ΦΥΣΙΚΟ ΦΩΤΙΣΜΟ (ΣΕΝΑΡΙΟ Β) .....</b>	<b>183</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</b>	<b>195</b>

## Εισαγωγή

Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο και, κατ' επέκταση, για το 45% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το υψηλό κόστος των συμβατικών μορφών ενέργειας και η περιβαλλοντική ρύπανση απαιτούν την εφαρμογή δράσεων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο φωτισμός καταναλώνει συνολικά το 19% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται παγκοσμίως, ενώ οι απαιτήσεις των κτιρίων για φωτισμό αντιστοιχούν στο 25% - 35% της συνολικής τους ενεργειακής κατανάλωσης. Στην Ελλάδα, η ενέργεια που καταναλώνεται για φωτισμό είναι 2.960GWh ετησίως. Κατά συνέπεια, ο φωτισμός αποτελεί έναν πολύ σημαντικό ενεργειακό καταναλωτή. Με την ενεργειακή αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού των υφιστάμενων κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης και εξοικονόμηση μεγάλων ποσών ενέργειας, ταυτόχρονα με την καλυτέρευση της οπτικής ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Το πρώτο στάδιο προς αυτή την κατεύθυνση είναι η ενεργειακή επιθεώρηση του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού, ώστε να αποτυπωθεί η υπάρχουσα κατάσταση και να προταθεί ο καλύτερος τρόπος αναβάθμισής του. Στη συνέχεια, εκπονείται μελέτη και παρουσιάζονται προτάσεις για την εφαρμογή τεχνικών παρεμβάσεων στην εγκατάσταση φωτισμού. Μέσω αυτών επιτυγχάνονται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση λειτουργικού κόστους, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται και οι απαιτήσεις οπτικής άνεσης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η αξιολόγηση των δράσεων αυτών, ώστε να επιλεγούν οι οικονομικά βιώσιμες.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετάται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος τεχνητού φωτισμού στις Πτέρυγες Α, Ε, Η και Η1 του κτιρίου της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στην Πολυτεχνειόπολη Ζωγράφου.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση στον κτιριακό τομέα, καθώς και οι ευρωπαϊκοί στόχοι και πολιτική για εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτόν. Στη συνέχεια, προτείνονται δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Οι δράσεις αυτές βρίσκουν εφαρμογή στον βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων, την ενεργειακή αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και την αξιοποίηση των τοπικά διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι για τη βελτιστοποίηση του συστήματος φωτισμού ενός κτιρίου, καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό. Επιπλέον, αναλύονται τεχνικές αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού, γίνονται προτάσεις για τον έλεγχό του και προωθούνται λύσεις για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η οικονομική ανάλυση ενός συστήματος φωτισμού και εξετάζονται τα κριτήρια που καθορίζουν την οικονομική του βιωσιμότητα. Συγκεκριμένα, αναλύεται η μέθοδος υπολογισμού του συνολικού κόστους μίας εγκατάστασης

φωτισμού και του χρόνου απόσβεσης της αντίστοιχης επένδυσης, καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την επιλογή ενός ενεργειακά αποδοτικότερου συστήματος φωτισμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιγραφή των υπό μελέτη πτερύγων A, E, H και H1 του κτιρίου της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Δίνονται οι κατόψεις του κάθε επιπέδου και περιγράφονται τα προβλήματα που παρατηρήθηκαν από την καταγραφή των χώρων και του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού κατά τη διάρκεια της ενεργειακής επιθεώρησης του κτιρίου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η αναλυτική καταγραφή του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού για τις πτέρυγες A, E, H και H1 του κτιρίου Χημικών Μηχανικών και υπολογίζεται η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος. Κατά τη διάρκεια των επισκέψεων στο κτίριο, καταγράφηκε το σύνολο των φωτιστικών σωμάτων των χώρων, καθώς και ο τύπος και η ισχύς των λαμπτήρων, δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά σε κατάλληλους πίνακες.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το προτεινόμενο, ενεργειακά αναβαθμισμένο, σύστημα τεχνητού φωτισμού για τις πτέρυγες A, E, H και H1 του κτιρίου Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το προτεινόμενο σύστημα (Σενάριο A) συγκρίνεται με το ήδη υπάρχον και περιγράφονται τα πλεονεκτήματά του. Επιπλέον, παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία επιλογής της συγκεκριμένης πρότασης.

Στο έβδομο κεφάλαιο μελετάται η επιπλέον αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού στα προτεινόμενα φωτιστικά σώματα, ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο B). Κάθε χώρος ο οποίος διαθέτει εξωτερικά ανοίγματα μελετήθηκε ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, και, τελικά, σε 96 χώρους κρίθηκε ωφέλιμη η εκμετάλλευσή του (30,62% του συνολικού εμβαδού του υπό μελέτη τμήματος του κτιρίου). Το νέο προτεινόμενο σύστημα φωτισμού (Σενάριο B) συγκρίνεται με το υφιστάμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού, καθώς και με το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού με απλή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο A), και αναφέρονται τα πλεονεκτήματά του. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας που οδήγησε σε αυτή την πρόταση.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός του κόστους για την εγκατάσταση του κάθε προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού). Επιπλέον, υπολογίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τα δύο προτεινόμενα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης (Σενάριο A: αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με νέα, αποδοτικότερα και Σενάριο B: αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού, ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο) σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, αλλά και η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με το Σενάριο B σε σχέση με το Σενάριο A. Υπολογίζονται, και για τις δύο προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του συστήματος φωτισμού, το ετήσιο όφελος σε ευρώ, η ηλεκτρική και η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται στο σύστημα φωτισμού, ο χρόνος απόσβεσης της κάθε επένδυσης, η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> που επιτυγχάνεται ετησίως, καθώς και το πλήθος των δέντρων που



χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού.

Στο ένατο κεφάλαιο συνοψίζονται τα αποτελέσματα των δύο προτεινόμενων σεναρίων αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού, με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) και με επιπρόσθετη εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β). Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων.

Ολοκληρώνοντας την εργασία, ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή. Στη συνέχεια, βρίσκονται τα Παραρτήματα Α και Β, όπου παρουσιάζονται ενδεικτικά για ορισμένους αντιπροσωπευτικούς χώρους του κτιρίου (από το σύνολο των προσομοιώσεων, μία για κάθε χώρο) τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων από το λογισμικό RELUX για τα δύο σενάρια αναβάθμισης του συστήματος φωτισμού. Τέλος, στο Παράρτημα Γ, παρουσιάζονται οι τεχνικές προδιαγραφές των φωτιστικών σωμάτων και του αισθητήρα φωτισμού που αξιοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.



# 1. Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση στον κτιριακό τομέα, καθώς και οι ευρωπαϊκοί στόχοι και πολιτική για εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτόν. Ακολουθώντας, προτείνονται δράσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, με εφαρμογές στον βιοκλιματικό σχεδιασμό τους, την ενεργειακή αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## 1.1. Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα αδιαμφισβήτητο φαινόμενο και αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα. Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη οφείλεται στις τεράστιες ποσότητες ενέργειας που παράγει και καταναλώνει ο άνθρωπος. Καθώς αυξάνονται οι ενεργειακές μας ανάγκες, αυξάνεται και η εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα. Τα καύσιμα αυτά, με υψηλά επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub>, αντιπροσωπεύουν αυτή τη στιγμή το 80% περίπου της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών στοχεύει στην σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα που θα αποτρέψουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα. Σε αυτή την κατεύθυνση υιοθετήθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο θέτει στόχους μείωσης των εκπομπών για πολλές βιομηχανοποιημένες χώρες και περιορίζει τις αυξήσεις των εκπομπών των υπολοίπων χωρών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, σαν συνέπεια αυτών, θέσπισε, τον Δεκέμβριο του 2008, μια ολοκληρωμένη πολιτική για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή, με φιλόδοξους στόχους για το 2020. Η "δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια" έγινε νόμος τον Ιούνιο του 2009 και περιλαμβάνει νομοθετήματα για την επίτευξη των στόχων "20-20-20":

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990
- Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης
- Το 20% της κατανάλωσης ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Οι στόχοι θα είναι δεσμευτικοί, αλλά θα λαμβάνουν υπόψη τους τις δυνατότητες κάθε χώρας.

Επίσης, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχουν εγκριθεί διάφορες πολιτικές και μέτρα μέσω του Ευρωπαϊκού προγράμματος για την κλιματική αλλαγή. Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- αυξανόμενη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική, ηλιακή, βιομάζα) και εγκαταστάσεις συνδυασμένης παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας,

- βελτιώσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα στα κτίρια, τη βιομηχανία και τις οικιακές συσκευές,
- μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των νέων επιβατικών αυτοκινήτων,
- περιορισμός των εκπομπών στη μεταποιητική βιομηχανία,
- μείωση των εκπομπών στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων [1, 2, 3].

## 1.2. Ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και ζεστό νερό χρήσης αναλογεί στο 40% περίπου της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη. Ο οικιακός και τριτογενής τομέας αποτελούν, πλέον, τον μεγαλύτερο τελικό καταναλωτή ενέργειας εκτοπίζοντας τους παραδοσιακά μεγάλους καταναλωτές, τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Επιπλέον, η παραγωγή και χρήση ενέργειας είναι η αιτία για το 94% των εκπομπών CO<sub>2</sub>, με ένα σημαντικό μερίδιο, τουλάχιστον 45%, να αναλογεί στον κτιριακό τομέα [4].

Προβληματισμός προκύπτει από την συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια, η οποία οφείλεται:

- στην ύπαρξη μεγάλης πλειοψηφίας των κτιρίων που κατασκευάστηκαν πριν το 1980, τα οποία δεν είναι θερμομονωμένα, και απαιτούν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας για να εξασφαλίσουν τις συνθήκες άνεσης τον χειμώνα,
- στην, κατά κανόνα, μέτρια κατάσταση των συστημάτων θέρμανσης που οδηγεί σε μειωμένους βαθμούς απόδοσης και, επομένως, αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και περιβαλλοντική επιβάρυνση,
- στη συνεχή αύξηση, τόσο σε αριθμό όσο και σε εγκατεστημένη ισχύ, των συστημάτων και συσκευών που καταναλώνουν ηλεκτρική, κυρίως, ενέργεια,
- στην ολοένα ισχυρότερη απαίτηση για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και εργασίας, ιδίως το καλοκαίρι, που σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους των συσκευών, οδήγησε στην εγκατάσταση πάνω από 3.000.000 κλιματιστικών μονάδων τα τελευταία 25 χρόνια,
- στην έλλειψη σύγχρονης νομοθεσίας για την ενέργεια στις κατασκευές [5].

Ένα μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας είναι εφικτό για τα κτίρια, καθώς εκτιμάται ότι, με απλές και ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 22% μέχρι το 2020. Ειδικότερα:

- για τη θέρμανση των κτιρίων, 10 εκατομμύρια οικιακοί λέβητες από τους συνολικά εγκατεστημένους στην Ε.Ε. είναι παλαιότεροι από 20 ετών και η αντικατάστασή τους μπορεί να επιφέρει 5% εξοικονόμηση ενέργειας,
- για τον κλιματισμό των κτιρίων, η κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να διπλασιαστεί μέχρι το 2020, ποσοστό που μπορεί να μειωθεί κατά 25% με την εγκατάσταση συστημάτων κλιματισμού που εξασφαλίζουν απαιτήσεις ελάχιστης απόδοσης,
- για τον φωτισμό στον κτιριακό τομέα, καταναλώνεται το 14% της συνολικής ενέργειας, ενώ, με τη χρήση πιο αποδοτικών εξαρτημάτων και συστημάτων ελέγχου και

με την ενσωμάτωση τεχνικών φυσικού φωτισμού και άλλων τεχνολογιών, μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας 30-50%,

- η εφαρμογή παθητικών και ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, βιοκλιματικού σχεδιασμού, φυσικού φωτισμού και φυσικού δροσισμού μπορεί να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση κατά 60%, ενώ,
- επιπρόσθετη εξοικονόμηση είναι εφικτή με την αξιοποίηση τοπικά διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Σ.Η.Θ.), τηλεθέρμανσης και αντλιών θερμότητας.

Τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη από την εφαρμογή των αρχών του ενεργειακού και βιοκλιματικού σχεδιασμού κατά την ανακαίνιση κτιρίων είναι ακόμη μεγαλύτερα, καθώς το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα στην Ε.Ε. είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μέγεθος. Σύμφωνα με τις εκθέσεις της Ε.Ε., η ανακαίνιση των παλαιότερων κτιρίων στην Ευρώπη, με απλή θερμομόνωση των κτιρίων, μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών ρύπων CO<sub>2</sub> κατά 42% [4].

### 1.3. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)

Η Ελλάδα, ως όφειλε με τις δεσμεύσεις της απέναντι στην Ε.Ε., εναρμονίστηκε με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 "για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων". Σε αυτή την κατεύθυνση, ο νόμος 3661/2008 ενσωμάτωσε όλες τις διατάξεις της Οδηγίας και καθόρισε την έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.). Επίσης, όρισε πέντε βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν:

- στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων,
- στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων,
- στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης,
- στις επιθεωρήσεις των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού και
- στην πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών [6].

Το 2010 τέθηκε σε ισχύ ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), ο οποίος διαμορφώνει το πλαίσιο αρχών και καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Κύριος στόχος του είναι η μείωση της κατανάλωσης συμβατικής ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό (ΘΨΚ), φωτισμό και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) με την ταυτόχρονη διασφάλιση συνθηκών άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται μέσω του ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού του κελύφους, της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) εγκαταστάσεων, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) [7].

Έτσι, οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο, οι οποίες ταυτόχρονα επιφέρουν και μείωση του λειτουργικού του κόστους, μπορεί να αφορούν:

- στο κτιριακό κέλυφος, με εφαρμογές στη μόνωση του, τη χρήση ψυχρών επιχρισμάτων, τα συστήματα ανοιγμάτων,

- τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές,
- τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου, με ενδεικτική αναφορά στην αξιοποίηση της βλάστησης και
- την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων, με ενδεικτική αναφορά στον φυσικό αερισμό και την διαχείριση της θερμικής του μάζας [5, 8].

## **1.4. Παρεμβάσεις βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων**

### **1.4.1. Θερμική προστασία κελύφους**

Ο σχεδιασμός ενός κτιρίου πρέπει να έχει ως κύριο στόχο την παροχή συνθηκών άνεσης στους ενοίκους, ανεξαρτήτως των εξωτερικών συνθηκών. Για την επίτευξη της επιθυμητής θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, απαιτείται η θερμική προστασία του κελύφους. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η επαρκής θερμομόνωση και η αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων του. Σκοπός είναι να προσεχθεί η μόνωση όλων των δομικών στοιχείων ώστε να αποφεύγονται οι θερμογέφυρες, αμόνωτα ή περιορισμένης μονωτικής ικανότητας στοιχεία του κελύφους, οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν ευαίσθητα σημεία στην οικοδομή και συμπύκνωση υδρατμών στις εσωτερικές επιφάνειες [4].

#### **1.4.1.1. Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους**

Η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους αποτελεί βασική αρχή θερμικής προστασίας, μειώνοντας τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντος, και συνίσταται από ένα σύνολο κατασκευαστικών και δομικών στοιχείων.

Τα συνήθη θερμομονωτικά υλικά εμποδίζουν την αγωγή θερμότητας από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον τον χειμώνα, και σε αντίστροφη πορεία το καλοκαίρι, επειδή περιέχουν ακίνητο αέρα παγιδευμένο είτε σε ίνες (π.χ. υαλοβάμβακας) είτε σε κλειστές κυψελίδες (π.χ. διογκωμένη πολυστερίνη). Η θερμική αντίσταση και, κατά συνέπεια, η θερμομονωτική ικανότητα του κάθε δομικού στοιχείου εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και αυξάνεται με το πάχος του.

Εν γένει, συνιστάται τα θερμομονωτικά υλικά να τοποθετούνται εξωτερικά ή ενδιάμεσα στις τοιχοποιίες, οροφές και δάπεδα, έτσι ώστε να μην αδρανοποιείται η θερμική μάζα (θερμοχωρητικότητα) του κελύφους. Η τοποθέτησή της, όμως, εξαρτάται από τεχνικοοικονομικούς παράγοντες, αλλά και από τη χρήση και το ωράριο λειτουργίας των χώρων.

Ένα προσεκτικά μονωμένο κτίριο, με την απαιτούμενη από τους ισχύοντες κανονισμούς θερμομόνωση, καλύπτει εν γένει τις ανάγκες ενός σωστά σχεδιασμένου από ενεργειακή άποψη κτιρίου. Η θερμομόνωση του κτιρίου συνεισφέρει θετικά στη θερμική προστασία του κτιρίου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδιαίτερα εφ' όσον συνδυάζεται με τον απαιτούμενο αερισμό. Όταν δεν υπάρχει επαρκής αερισμός του κτιρίου, η αυξημένη μό-

νωση του κελύφους, πέραν της προβλεπόμενης από τους κανονισμούς, επιβαρύνει τη θερμική λειτουργία του το καλοκαίρι, καθώς εμποδίζει την "αποφόρτιση" του κτιρίου από τη συσσωρευμένη θερμότητα [9].

#### 1.4.1.2. Χρήση βελτιωμένων υαλοπινάκων

Τα παράθυρα των κτιρίων συντελούν σε ένα μεγάλο ποσοστό στην ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη των χώρων, γιατί από αυτά μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Τον χειμώνα χάνεται θερμότητα από το εσωτερικό προς το εξωτερικό, ενώ το καλοκαίρι εισέρχεται θερμότητα στο κτίριο από το ζεστό περιβάλλον.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών παραθύρων. Τα παράθυρα αυτά θα πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και κουφώματα με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και, επιπλέον, θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από χαραμάδες, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε κτίρια κακής κατασκευής ή παλαιά.

Στην Ελλάδα, από την ισχύ του Κανονισμού Θερμομόνωσης του 1979, είναι υποχρεωτική η χρήση διπλών υαλοπινάκων σε νέα κτίρια, έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις του Κανονισμού. Για τα παλαιά κτίρια, κτισμένα εν γένει πριν το 1979, η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς, με πιθανή αντικατάσταση και των κουφωμάτων, αποτελεί μία σημαντική τεχνική εξοικονόμησης ενέργειας. Η αντικατάσταση των παλαιών παραθύρων με νέα, ενεργειακά αποδοτικά με διπλά τζάμια, αν και έχει κάποιο κόστος, μπορεί να ανατρέψει κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό την κακή ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, με πολλαπλά οφέλη, ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά.

Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας που επιφέρουν τα παράθυρα με διπλά τζάμια, λόγω μειωμένων θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον, προσφέρουν βελτιωμένες συνθήκες θερμικής άνεσης, αποτρέπουν τη συμπύκνωση υδρατμών τον χειμώνα στην επιφάνειά τους, αλλά και μειώνουν τον θόρυβο.

Σημαντικός δείκτης της θερμομονωτικής ικανότητας ενός συστήματος υαλοπίνακα είναι η θερμοπερατότητα, η οποία δίνεται από τους κατασκευαστές και εκφράζεται σε  $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ . Εκτός όμως από την θερμοπερατότητα, και άλλες ιδιότητες επηρεάζουν τη συνολική ενεργειακή συμπεριφορά ενός παραθύρου ή τζαμιού, όπως είναι η αεροπερατότητα, η φωτοδιαπερατότητα και ο συντελεστής εκπομπής. Αυτές αφορούν τη θερμική και την οπτική άνεση που προσδίδει το παράθυρο, αλλά και τη συνεπαγόμενη εξοικονόμηση ενέργειας.

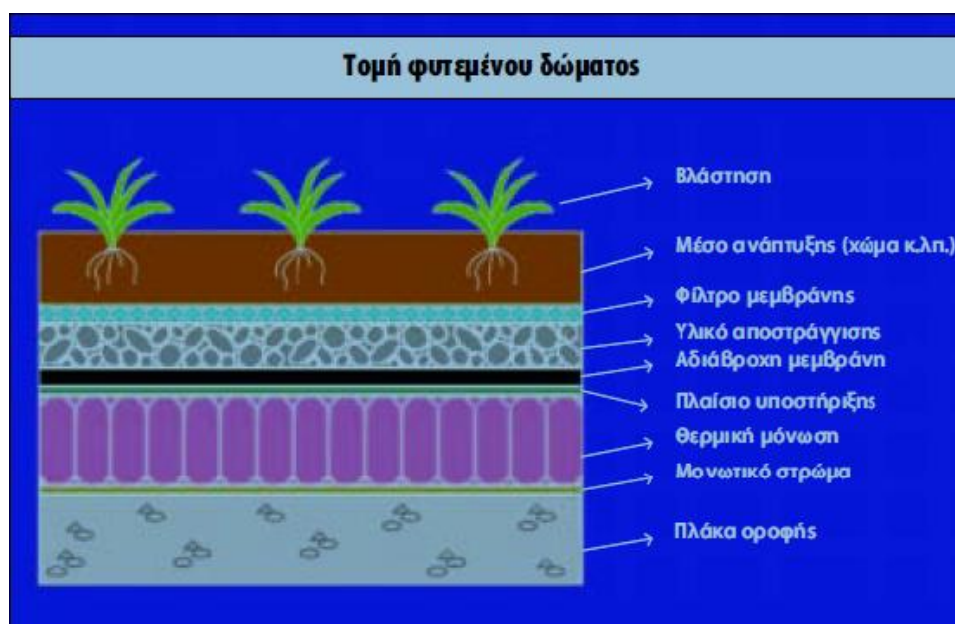
Υπάρχει ένα εύρος από ενεργειακά αποδοτικούς τύπους υαλοπινάκων και κουφωμάτων που μπορεί να επιλεγθεί για κάποιο κτίριο, ανάλογα με τη χρήση και το μέγεθος του οικοδομήματος καθώς και το κόστος του κάθε συστήματος. Ορισμένες από τις κατηγορίες ειδικών υαλοπινάκων, οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους κοινούς ως προς τα θερμικά και φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά, είναι: οι ανακλαστικοί υαλοπίνακες, οι έγχρωμοι υαλοπίνακες, οι απορροφητικοί, οι επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e), οι θερμομονωτικοί, οι ηλεκτροχρωμικοί, οι φωτοχρωμικοί, οι θερμοχρωμικοί και οι υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων.

Για την επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα, θα πρέπει να εξετάζεται η χρήση του κτιρίου, η συνεισφορά του υαλοπίνακα στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση, καθώς και η συνεπαγόμενη οικονομικότητα του συστήματος ως προς το κόστος, το όφελος και τον χρόνο απόσβεσης. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή του υαλοπίνακα ώστε τα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά του, τα οποία θα επιλεγούν με κριτήριο τη συμπεριφορά του στη θέρμανση και τον δροσισμό του κτιρίου, να εξασφαλίζουν και τις απαιτήσεις σε φυσικό φωτισμό των χώρων [10].

### 1.4.1.3. Φυτεμένο δώμα

Οι φυτεμένες οροφές αποτελούνται από ένα στρώμα βλάστησης, το οποίο αναπτύσσεται σε ειδικά διαμορφωμένο επίπεδο, συνήθως επάνω σε μία επίπεδη οροφή (δώμα). Το φυτεμένο δώμα αποτελεί, εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων του, και τεχνική θερμικής προστασίας του κτιρίου τόσο τον χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι.

Το φυτεμένο δώμα αποτελεί μέσο θερμικής μόνωσης του κτιρίου, λόγω των υλικών από τα οποία αποτελείται (χώμα ικανού πάχους και αέρας που εγκλωβίζεται μεταξύ των φυλλωμάτων των φυτών). Θα πρέπει, βέβαια, να συνδυάζεται με κατάλληλα θερμομονωμένα και υγρομονωμένα κατασκευή της οροφής.



Εικόνα 1: Τομή φυτεμένου δώματος. Πηγή: [www.eco-home.gr](http://www.eco-home.gr) [12]

Το καλοκαίρι το φυτεμένο δώμα εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει στο κτιριακό κέλυφος, μέσω της σκιάς που δημιουργούν τα φυτά στην επιφάνειά του. Πρακτικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι μηδενίζει την επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην οροφή του κτιρίου, η οποία αποτελεί σημαντική πηγή θερμικής επιβάρυνσης. Τέλος, τα φυτά συνεισφέρουν με την εξάτμιση από τα φύλλα τους στην εξατμιστική ψύξη της οροφής [11].



Το φυτεμένο δώμα παρέχει πολλαπλά οφέλη, τόσο στο κτίριο στο οποίο έχει εγκατασταθεί, όσο και στον περιβάλλοντα χώρο. Συνοψίζοντάς τα, μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- πιο ανεκτά κτίρια, καθώς το φυτεμένο δώμα ενισχύει τις μονωτικές ικανότητες του κτιρίου, συμβάλλοντας στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση,
- φυσική ομορφιά, καθώς το φυτεμένο δώμα καθιστά πιο ελκυστική και φιλική την όψη των κτιρίων,
- βελτίωση περιβάλλοντος, λόγω της παροχής οξυγόνου, μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης,
- δομική προστασία, καθώς η παρουσία φυτών ελαχιστοποιεί τα καταστρεπτικά αποτελέσματα των φυσικών φαινομένων και της υπερϊώδους ακτινοβολίας,
- μειωμένη απορροή όμβριων υδάτων, διότι το φυτεμένο δώμα κατακρατεί το νερό της βροχής,
- υγιέστερο περιβάλλον, καθώς το φύλλωμα των φυτών συγκρατεί τη σκόνη και καταστέλλει αποτελεσματικά τον θόρυβο [12].

Εν γένει, το φυτεμένο δώμα συνεισφέρει στη δημιουργία ήπιων συνθηκών στους χώρους πάνω από τους οποίους τοποθετείται. Τόσο η κατασκευή του, όσο και η επιλογή των φυτών πρέπει να εξαρτάται από το είδος της οροφής, αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής [11].

#### **1.4.1.4. Αεριζόμενο κέλυφος**

Πρόκειται για κατασκευή διπλού κελύφους, είτε στην οροφή είτε στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου, μέσα στην οποία κυκλοφορεί ο αέρας του εξωτερικού χώρου. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το αεριζόμενο κέλυφος συνεισφέρει τόσο στη σκίαση του περιβλήματος και, κατά συνέπεια, στη μειωμένη θερμική επιβάρυνση του κτιρίου, όσο και στη μεταφορά θερμότητας από το περιβλήμα στο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του αέρα που κυκλοφορεί στο διάκενο του κελύφους.

Το αεριζόμενο κέλυφος μπορεί να συνεισφέρει και στην αυξημένη θερμική προστασία του κτιρίου κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς ο αέρας που κυκλοφορεί στο κέλυφος είναι χαμηλότερης ταχύτητας του εξωτερικού και, μέσω του διπλού κελύφους, οι θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον περιορίζονται. Αυξάνεται, συνεπώς, η θερμομονωτική ικανότητα του κελύφους. Η κατασκευή αυτή, βέβαια, προϋποθέτει να είναι θερμομονωμένο το εσωτερικό τμήμα του αεριζόμενου κελύφους [13].

#### **1.4.1.5. Ηλιοπροστασία**

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων του κτιρίου είναι η βασικότερη τεχνική για τη μείωση των θερμικών φορτίων ενός κτιρίου τη θερινή περίοδο, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται μέσα από τα ανοίγματα, αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή θερμότητας.

Η σωστή ηλιοπροστασία είναι βασική προϋπόθεση για την αποδοτική εφαρμογή κάθε άλλης τεχνικής για τον δροσισμό ενός κτιρίου, είτε αυτός γίνεται με φυσικό είτε με

τεχνητό τρόπο. Στην πρώτη περίπτωση συνεισφέρει σημαντικά στη διατήρηση των θερμοκρασιών μέσα στους χώρους σε ανεκτά επίπεδα και, συνεπώς, στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης. Στη δεύτερη περίπτωση συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη του κτιρίου και στη μείωση του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής που προκύπτει, καθώς υπάρχει σημαντικά μειωμένη θερμική επιβάρυνση από την ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων θα πρέπει να εξασφαλίζει την ελάχιστη εισερχόμενη ακτινοβολία το καλοκαίρι, συνδυάζοντας όμως τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού, αερισμού και θέας και, φυσικά, να μην εμποδίζει τον απαραίτητο ηλιασμό κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης, πρέπει να ελέγχεται και ο ηλιασμός των ανοιγμάτων κατά τις ενδιάμεσες περιόδους (άνοιξη και φθινόπωρο).

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους. Εν γένει, ο νότιος προσανατολισμός ενδείκνυται στα κτίρια στο βόρειο ημισφαίριο, καθώς συνδυάζει τον απαιτούμενο ηλιασμό τον χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι (που ο ήλιος βρίσκεται πιο ψηλά στον ορίζοντα) δέχεται λιγότερη ακτινοβολία, η οποία ελαχιστοποιείται με ένα απλό οριζόντιο σκίαστρο. Ο βόρειος προσανατολισμός δέχεται ελάχιστη ηλιακή πρόσπτωση το πρωί και το βράδυ και ενδείκνυται και αυτός για χώρους θερινής χρήσης ή με απαιτήσεις σε σταθερό φωτισμό. Αντίθετα, τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα δέχονται μεγάλα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι, ενώ τον χειμώνα πολύ μικρά. Για τα ανατολικά και δυτικά παράθυρα, στα οποία οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν από χαμηλά, απαιτείται σκίαση κατακόρυφου τύπου.

Η βασικότερη μέθοδος ηλιοπροστασίας των ανοιγμάτων είναι η σκίαση, δηλαδή η παρεμπόδιση των ηλιακών ακτινών να φθάνουν στα παράθυρα. Το ίδιο το σχήμα του κτιρίου (όπως η διαμόρφωση εσοχών, εξοχών και εσωτερικών αυλών ή στοών), αλλά και ειδικά διαμορφωμένες προεξοχές (όπως πρόβολοι στον νότο) μπορούν να αποτελέσουν σύστημα σκίασης του κτιρίου. Επιπλέον, υπάρχει πληθώρα σκιάστρων για τα ανοίγματα. Ανάλογα με τη θέση τους, μπορούν να διακριθούν σε εσωτερικά, εξωτερικά και ενδιάμεσα των υαλοπινάκων. Ανάλογα με τη γεωμετρία τους, μπορούν να χαρακτηρισθούν ως κατακόρυφα, οριζόντια ή σχαρωτά. Μπορούν, επίσης, να είναι σταθερά ή κινητά και να διακρίνονται ανάλογα με το υλικό και τις θερμικές και οπτικές ιδιότητές τους, καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Η σκίαση αποτελεί και μέσο ελέγχου του φυσικού φωτισμού και, ιδιαίτερα, της θάμβωσης, καθώς μειώνει την άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους χώρους. Συνεπώς, κατά την επιλογή του κατάλληλου σκιάστρου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η θερμική όσο και η οπτική του απόδοση όλο τον χρόνο.

Στην περίπτωση της επιλογής μόνιμων εξωτερικών σκιάστρων, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο προσανατολισμός του ανοίγματος. Ένας οριζόντιος πρόβολος πάνω από ένα νότια προσανατολισμένο παράθυρο επιτρέπει στον χειμερινό ήλιο, που βρίσκεται χαμηλά στον ορίζοντα, να περάσει στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ το καλοκαίρι τον εμποδίζει. Για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, ο πρόβολος θα πρέπει να εκτείνεται δεξιά και αριστερά του ανοίγματος και να μην καλύπτει μόνο το πλάτος του παραθύρου. Στην περίπτωση των ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων, όμως, ένα οριζόντιο σκίαστρο δεν μπορεί να ανακόψει τις ηλιακές ακτίνες που έρχονται χαμηλά από την κατεύθυνση της ανατολής ή της δύσης,

κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Για τον λόγο αυτό, προτιμώνται τα μόνιμα κατακόρυφα σκίαστρα.

Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση της επιλογής κινητών σκιάστρων, υπάρχουν αρκετές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Από ενεργειακής πλευράς, είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται τα εξωτερικά σκίαστρα, καθώς είναι πιο αποτελεσματική η εμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας πριν περάσει το περίβλημα του κτιρίου. Εξωτερικά κινητά σκίαστρα μπορεί να είναι παντζούρια, περσίδες, τέντες, ρολά κ.ά. Για λόγους τεχνικούς ή οικονομικούς, όμως, ενδέχεται να είναι προτιμότερη η εγκατάσταση εσωτερικών σκιάστρων, όπως είναι τα βενετικά στόρια, οι περσίδες, τα εσωτερικά παντζούρια, οι κουρτίνες κ.ά. Εν γένει, είναι δυνατός ο συνδυασμός εξωτερικής σκίασης με εσωτερική, καθώς και η ύπαρξη σκιάστρων, συνήθως περσίδων, εσωτερικά του συστήματος του παραθύρου, ενδιάμεσα από διπλούς υαλοπίνακες.

Κατά την επιλογή του σκιάστρου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα οπτικά χαρακτηριστικά του, τα οποία καθορίζουν το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλούν, απορροφούν και, τελικά, αφήνουν να περάσει, καθώς και η συμβολή του στα θέματα του φυσικού φωτισμού, της θέας και του αερισμού. Ένας γενικά οικονομικός συνδυασμός σκιάστρων που εξασφαλίζει την απαιτούμενη ηλιοπροστασία σε συνήθη κτίρια είναι σταθερά δομικά στοιχεία (οριζόντια ή κατακόρυφα, ανάλογα με τον προσανατολισμό) και εσωτερικά βενετικά στόρια, τα οποία, επιπλέον, μπορούν να συνεισφέρουν και στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, περιορίζοντας τη θάμβωση που προκαλείται από τα παράθυρα, μέσω της εκτροπής των ηλιακών ακτινών προς την οροφή.

Τα κινητά σκίαστρα μπορούν να ελέγχονται χειροκίνητα, μηχανικά ή αυτόματα, ανάλογα με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ή την θερμοκρασία. Ο αυτόματος χειρισμός τους μπορεί να ενταχθεί και σε ένα σύστημα συνολικής ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου.

Μία άλλη, ιδιαίτερα αποτελεσματική, μέθοδος ηλιοπροστασίας του κτιρίου και των ανοιγμάτων του είναι η αξιοποίηση της βλάστησης, είτε με κατάλληλα φυτεμένα φυλλοβόλα ή αειθαλή δέντρα είτε με άλλα φυτά σε κατάλληλες θέσεις, όπως πέργκολες και μπαλκόνια. Τα φυλλοβόλα δέντρα έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν σταδιακή ηλιοπροστασία από την άνοιξη έως και το φθινόπωρο, ενώ τον χειμώνα αφήνουν τις ωφέλιμες ηλιακές ακτίνες να εισχωρούν στο κτίριο και, έτσι, αποτελούν ιδανική λύση για νότιο προσανατολισμό. Ιδιαίτερα ωφέλιμη είναι και η σκίαση που παρέχουν τα δέντρα σε ανοίγματα με ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό [14].

#### **1.4.1.6. Ανακλαστικά επιχρίσματα**

Η χρήση ανακλαστικών επιχρισμάτων, ή "ψυχρών υλικών", στον περιβάλλοντα χώρο και στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων είναι πολύ σημαντική για τη μείωση των αυξημένων θερμοκρασιών που παρατηρούνται στο δομημένο περιβάλλον.

Με τον όρο "ψυχρά υλικά" νοούνται υλικά που δεν απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και δεν αποθηκεύουν στη μάζα τους μεγάλα ποσά θερμότητας. Πρόκειται, δηλαδή, για υλικά με υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας (εκπέμπουν με ταχύ ρυθμό τα ποσά της θερμότητας που έχουν απορροφήσει), χωρίς να χα-

ρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, οπότε και δεν προκαλούν έντονα προβλήματα θάμβωσης. Ανάλογα με το που τοποθετείται το ψυχρό υλικό, έχουν θεσπισθεί όρια ως προς την ανακλαστικότητα και τον συντελεστή εκπομπής του.

Τα ψυχρά υλικά εφαρμόζονται είτε σε επιφάνειες κτιρίων (επικαλύψεις, επιχρίσματα) είτε στις υπόλοιπες επιφάνειες του δομημένου περιβάλλοντος (πεζοδρόμια, δρόμοι, πλατείες, χώροι στάθμευσης). Λόγω του γεγονότος ότι αποθηκεύουν μικρά ποσά θερμότητας, με την εφαρμογή τους εξασφαλίζονται χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες στο δομημένο χώρο, σε σχέση με άλλα υλικά επίστρωσης. Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των ψυχρών υλικών συνήθως δεν ξεπερνούν τους 50°C, ενώ για συνήθη δομικά υλικά οι επιφανειακές θερμοκρασίες τη θερινή περίοδο μπορούν, σε ορισμένες περιπτώσεις, να φθάσουν και τους 90°C [15].

Άμεση συνέπεια των ιδιοτήτων των ψυχρών υλικών είναι τα θετικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους:

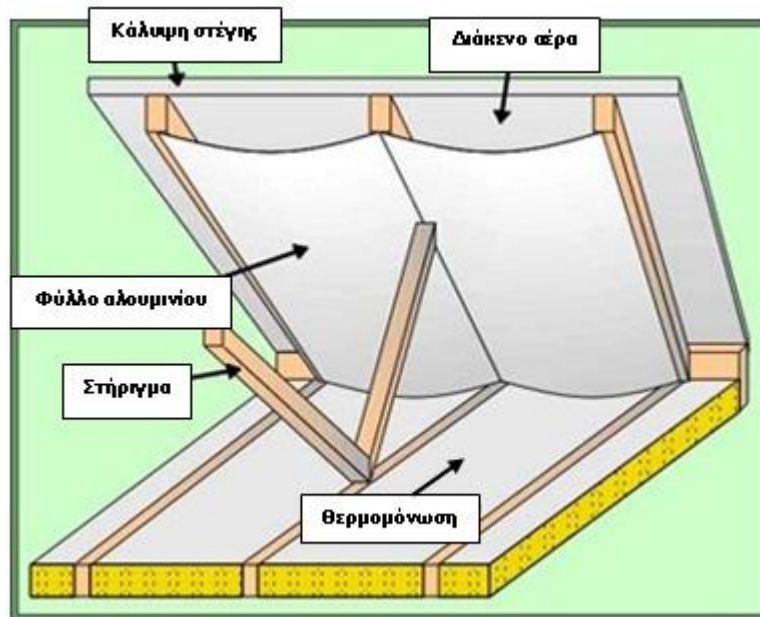
- μειώνουν την επιφανειακή θερμοκρασία του κελύφους των κτιρίων,
- μειώνουν τις εσωτερικές θερμοκρασίες, συμβάλλοντας στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης,
- μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση για δροσισμό,
- συμβάλλουν στον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης,
- συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του φαινομένου της "αστικής θερμικής νησίδας" [16].

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ψυχρά επιφανειακά υλικά είναι το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η ανακλαστικότητά τους, λόγω γήρανσης του υλικού, επικάθισης της σκόνης κ.ο.κ.

Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής ψυχρών υλικών τόσο σε κατακόρυφες όσο και σε οριζόντιες επιφάνειες, πρέπει να δίνεται προσοχή στην οπτική και θερμική όχληση που μπορεί να προκαλέσουν στα γύρω κτίρια και τον περιβάλλοντα χώρο τους. Συνδυασμός ψυχρών υλικών με κατάλληλους όγκους φύτευσης για σκίαση και εξατμισοδιαπνοή λειτουργούν πολύ θετικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τη θερινή περίοδο [15].

#### **1.4.1.7. Φράγμα ακτινοβολίας**

Το φράγμα ακτινοβολίας είναι τεχνική που μειώνει την ηλιακή ενέργεια η οποία διαπερνά την οροφή, με αποτέλεσμα να συνεισφέρει στη θερμική προστασία του κτιρίου τους καλοκαιρινούς μήνες. Αποτελείται από λεπτά φύλλα αλουμινίου, τα οποία τοποθετούνται κάτω από τη στέγη. Τα φύλλα αυτά έχουν υψηλό συντελεστή εκπομπής και ανακλαστικότητας, με αποτέλεσμα να διαπερνώνται από ελάχιστα μόνο ποσοστά ακτινοβολίας. Έτσι, η θερμική ακτινοβολία που απορροφάται από τη στέγη δεν εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο.



Εικόνα 2: Φράγμα ακτινοβολίας. Πηγή: ΚΑΠΕ, [www.cres.gr](http://www.cres.gr) [17]

Όταν εξασφαλίζεται διαμεπής αερισμός της στέγης, η θερμότητα του φράγματος ακτινοβολίας μεταφέρεται στο εξωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα την αποφυγή της υπερθέρμανσης του αλουμινίου και την πιο αποδοτική λειτουργία του συστήματος [17].

#### 1.4.1.8. Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός αποτελεί τη βασικότερη τεχνική απομάκρυνσης της θερμότητας από το κτίριο τους θερμούς μήνες, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με φυσικά μέσα. Αποτελεί τη σημαντικότερη και συνηθέστερη μέθοδο φυσικού δροσισμού, εφ' όσον γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο. Με τον φυσικό δροσισμό επιτυγχάνονται:

- η απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν,
- η απομάκρυνση της αποθηκευμένης θερμότητας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου,
- η απομάκρυνση της θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου, ακόμα και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Εν γένει ο φυσικός αερισμός, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται, μπορεί να είναι: (α) διαμεπής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων, (β) κατακόρυφος, αξιοποιώντας το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού, και (γ) κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα.

Διαμεπής αερισμός επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό των ανοιγμάτων στο κέλυφος και στις εσωτερικές τοιχοποιίες. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ο νυχτερινός διαμεπής αερισμός είναι πολύ αποτελεσματικός, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει και στην αποθήκευση "δροσιάς" στη θερμική μάζα του κτιρίου, σαρώνοντας τις επιφάνειες του

κτιρίου με δροσερό αέρα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη επιβάρυνσή του κατά την επόμενη ημέρα.

Η καμινάδα αερισμού λειτουργεί αξιοποιώντας το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, καθώς ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και έτσι δημιουργείται ρεύμα στο εσωτερικό των χώρων, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του κτιρίου. Η λειτουργία της καμινάδας αερισμού γίνεται σε συνδυασμό με κατάλληλα ανοίγματα του κτιρίου. Όταν δεν υπάρχει έντονο ρεύμα αέρα γύρω από το κτίριο, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με ανεμιστήρα (υβριδικός αερισμός), ο οποίος ενσωματώνεται στο υψηλότερο τμήμα της καμινάδας, εξασφαλίζοντας συνεχή εναλλαγή του εσωτερικού αέρα. Ως καμινάδες αερισμού μπορεί να λειτουργούν κατάλληλα διαμορφωμένα κλιμακοστάσια ή και εσωτερικά αίθρια ή φωταγωγοί των κτιρίων.

Η ηλιακή καμινάδα φέρει στη νότια ή νοτιοδυτική επιφάνειά της υαλοπίνακα αντί τοιχοποιίας και περσίδες στο άνω τμήμα αυτής της πλευράς. Συμβάλλει αποτελεσματικά στον αερισμό και στην απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους, καθώς, μέσω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που προκύπτει μέσα στην καμινάδα, ενισχύεται σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού και, κατά συνέπεια, της ανανέωσης του αέρα μέσα στους χώρους. Καθώς επιτυγχάνει διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα, η ηλιακή καμινάδα συνιστάται σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία κατά τη θερινή περίοδο [18].

#### **1.4.1.9. Παθητικά ηλιακά συστήματα**

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στο κτίριο αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων τον χειμώνα. Αποτελούν δομικά στοιχεία του κτιρίου που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στον χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και, ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα είναι το σύστημα άμεσου κέρδους. Περιλαμβάνει τον σχεδιασμό παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού και μεγέθους, σε συνδυασμό με την απαιτούμενη θερμική μάζα, η οποία απορροφά μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας και θερμότητας και την αποδίδει αργότερα στον χώρο. Έτσι, ο χώρος διατηρείται θερμός για περισσότερες ώρες.

Σε πολλές περιπτώσεις, βρίσκουν εφαρμογή και τα συστήματα έμμεσου κέρδους, όπως είναι οι ηλιακοί τοίχοι, τα θερμοκήπια, οι ηλιακοί χώροι και τα ηλιακά αίθρια. Σε αυτά τα συστήματα, η θερμότητα που συλλέγεται μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω του ενδιάμεσου τοίχου ή καταλλήλων ανοιγμάτων.

Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα προσαρτώνται σε όψεις του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό, οι οποίες θα πρέπει να μην σκιάζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επιπλέον, συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία, καθώς και την κατάλληλη ηλιοπροστασία το καλοκαίρι [4].

## 1.4.2. Ενεργειακή αναβάθμιση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων

### 1.4.2.1. Αναβάθμιση συστήματος κεντρικής θέρμανσης

Κεντρική θέρμανση ονομάζεται η παραγωγή θερμότητας για τη θέρμανση των χώρων ή και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης από ένα κεντρικό σύστημα εγκατεστημένο σε ένα κτίριο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα σύνολο αλληλοσυνδεδεμένων συσκευών και οργάνων, τα οποία είναι: ο λέβητας, ο καυστήρας, ο κυκλοφορητής, η δεξαμενή καυσίμων, οι διατάξεις ασφαλείας, οι σωληνώσεις και τα θερμαντικά σώματα. Η ενέργεια που παράγεται μεταφέρεται στους διάφορους χώρους μέσω ενός θερμαντικού μέσου (νερό, ατμός, αέρας), ενώ η διανομή επιτυγχάνεται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων ή αεραγωγών ή και συνδυασμού τους.

Μία εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης θεωρείται επιτυχημένη όταν θερμαίνει σωστά και όσο χρειάζεται, καθώς επίσης εφ' όσον λειτουργεί οικονομικά και με ασφάλεια. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτά, απαιτείται σωστή μελέτη που να περιλαμβάνει: τα τεχνικά χαρακτηριστικά και μεγέθη του εξοπλισμού, ακριβή υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων, καλό σχεδιασμό των δικτύων διανομής, σωστή διάταξη του εξοπλισμού του συστήματος, καθώς και τη λειτουργική σύνδεση και ρύθμιση των διαφόρων στοιχείων. Η επιλογή ισχύος του λέβητα αποτελεί πρώτη προτεραιότητα και στηρίζεται στον υπολογισμό των βασικών κλιματικών και γεωγραφικών παραμέτρων και των θερμικών απωλειών του κτιρίου.

Μερικές βασικές παρεμβάσεις που μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης είναι οι ακόλουθες:

1. Εγκατάσταση και χρήση θερμομονωμένου λέβητα, στον οποίο οι απώλειες μπορεί να είναι μικρότερες του 1%.
2. Σε μεσαίου και μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις να χρησιμοποιούνται περισσότεροι του ενός λέβητες, καθώς έτσι παρέχεται η δυνατότητα να λειτουργεί μόνο ένας λέβητας σε περιόδους που δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση.
3. Μια μείωση της προκαθορισμένης θερμοκρασίας αναφοράς χώρου κατά ένα βαθμό συμβάλλει σε πάνω από 6% μείωση της χρήσης καυσίμου.
4. Επιμελής μόνωση των σωληνώσεων, ειδικά όταν αυτές διέρχονται από μη θερμαινόμενους χώρους.
5. Χρήση θερμοστατικής βαλβίδας στα θερμαντικά σώματα, καθώς μόνο με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η απαραίτητη και επιθυμητή θερμοκρασία σε ένα χώρο.
6. Τακτική συντήρηση της εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
7. Αντιστάθμιση του λέβητα με χρήση κατάλληλων συστημάτων, ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη ενέργειας όταν θερμαίνονται χώροι χωρίς αυτό να είναι αναγκαίο. Τα συστήματα ρύθμισης διατηρούν την εσωτερική θερμοκρασία σταθερή, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές μεταβολές, συνεισφέροντας στην αποφυγή υπερθέρμανσης των χώρων.
8. Αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης πετρελαίου με σύστημα φυσικού αερίου, όπου είναι δυνατή η σύνδεση με το δίκτυο.

9. Κάλυψη των αναγκών ζεστού νερού χρήσης από το σύστημα κεντρικής θέρμανσης [4].

#### 1.4.2.2. Αναβάθμιση συστήματος κλιματισμού

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι ψυκτικών μηχανημάτων για τον κλιματισμό των χώρων ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα αυτόνομα συστήματα και τους κεντρικούς ψύκτες. Τα αυτόνομα κλιματιστικά συστήματα είναι συνήθως εργοστασιακές μονάδες που αποδίδουν είτε μόνο ψύξη είτε ψύξη και θέρμανση. Περιλαμβάνουν τις ολοκληρωμένες μονάδες κλιματισμού, τα ατομικά κλιματιστικά, τις μονάδες κλιματισμού οικιακού τύπου και τις αντλίες θερμότητας. Συνήθως εγκαθίστανται σε μικρά κτίρια και έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και μικρότερη απόδοση σε σχέση με τα κεντρικά συστήματα. Τα τελευταία χρησιμοποιούνται σε μεγάλα κτίρια και ψύχουν νερό για τον κλιματισμό των χώρων. Μπορεί να τροφοδοτούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες, θερμό νερό ή ατμό, μηχανές συμβατικών καυσίμων ή στροβιλοκινητήρες [4].

Για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος κλιματισμού προτείνονται:

- η αντικατάσταση των αυτόνομων συστημάτων κλιματισμού (split) με κεντρικό σύστημα, το οποίο θα μπορεί να λειτουργεί και σε free cooling mode,
- η εγκατάσταση εναλλακτών θερμότητας στα κανάλια απόρριψης και εισαγωγής αέρα, εφ' όσον αυτά βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο,
- η εγκατάσταση εναλλακτών θερμότητας στις αντλίες θερμότητας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης,
- η εγκατάσταση υδρόψυκτων ψυκτών, όπου υπάρχει διαθεσιμότητα νερού,
- η εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (εναλλάκτες εδάφους - αέρα) και
- η ενσωμάτωση υβριδικού αερισμού με ανεμιστήρες οροφής [19, 20].

#### 1.4.2.3. Αναβάθμιση στους κυκλοφορητές - κινητήρες

Η χρήση νέας τεχνολογίας κυκλοφορητών και κινητήρων υψηλής απόδοσης μπορεί να επιφέρει μείωση της ετήσιας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τους κυκλοφορητές κατά 60%. Στην περίπτωση που ο σύγχρονος κινητήρας συνδυαστεί με μία βελτιωμένη φτερωτή, πράγμα εφικτό από τις υψηλές ταχύτητες περιστροφής των κινητήρων υψηλής απόδοσης, η υδραυλική αποδοτικότητα μπορεί να αυξηθεί από 35% έως 60%.

Επιπλέον, με τη χρήση ρυθμιστών στροφών (inverter) σε συμβατικούς κινητήρες ισχύος μεγαλύτερης των 500W, όπως στους ανεμιστήρες των κεντρικών κλιματιστικών μονάδων, μπορεί να επιτευχθεί πρόσθετη εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι 25% [21].

#### 1.4.2.4. Μηχανικός αερισμός

Με την εφαρμογή του αερισμού, είτε μηχανικού είτε φυσικού, κατά τις ενδιάμεσες περιόδους (άνοιξη και φθινόπωρο) και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τις βραδινές ώρες, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς επιπλέον οικονομική επιβάρυνση εγκατάστασης εξοπλισμού, εκτός του κόστους λειτουργίας των ανεμιστήρων.



Ο μηχανικός αερισμός είναι απαραίτητος στις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο φυσικός αερισμός είναι είτε δυσχερής είτε ανεπαρκής. Συνιστάται για τον πλήρη έλεγχο της λειτουργίας του αερισμού, ο οποίος με φυσικό τρόπο μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος σε θέματα λειτουργικά, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων. Ο μηχανικός αερισμός μπορεί να γίνει είτε μέσω του κεντρικού συστήματος κλιματισμού σε free cooling mode, με την κατάλληλη ρύθμιση, είτε μέσω υφισταμένων αεραγωγών ή και απλών ανεμιστήρων εισαγωγής και απαγωγής αέρα στους χώρους.

Η λειτουργία του συστήματος μηχανικού αερισμού συνιστάται να γίνεται αυτόματα, με τη χρήση χρονοδιακόπτη ή θερμοστάτη, και προτείνεται η ενσωμάτωσή της στο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης του κτιρίου (BEMS) [4, 21].

#### **1.4.2.5. Υβριδικός αερισμός με ανεμιστήρες οροφής**

Η εγκατάσταση ανεμιστήρων οροφής συνιστάται σε χώρο που δεν προβλέπεται σύστημα κλιματισμού ή όπου απαιτείται συμπληρωματική δράση στο σύστημα φυσικού ή μηχανικού αερισμού. Με αυτόν τον τρόπο ανεβαίνει το θερμοκρασιακό όριο θερμικής άνεσης, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς ενισχύεται η μεταφορά θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα μέσω του δημιουργούμενου ρεύματος αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της "αισθητής" θερμοκρασίας κατά 3 με 4 βαθμούς [4, 21].

Σε ένα κτίριο με την κατάλληλη θερμική και ηλιακή προστασία, η θερμοκρασία άνεσης με τη χρήση ανεμιστήρων οροφής μπορεί να φθάσει και τους 29 – 32°C. Έτσι, συνέπεια της χρήσης ανεμιστήρων οροφής είναι η χρονική μείωση της χρήσης και η ενεργειακά αποδοτικότερη λειτουργία του κλιματιστικού συστήματος [21].

#### **1.4.2.6. Φωτισμός**

Σύμφωνα με στοιχεία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, το ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται για τον φωτισμό των κτιρίων κυμαίνεται από 25% έως 50% της συνολικής ενέργειας που δαπανάται. Ένα σημαντικό ποσοστό της ενέργειας αυτής, από 30% έως 50%, μπορεί να εξοικονομηθεί με στοχευμένες παρεμβάσεις, όπως η επιλογή τύπου λαμπτήρα, το είδος και η χωροθέτηση των φωτιστικών σωμάτων, τα συστήματα ελέγχου φωτισμού και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού [22].

Έτσι λοιπόν, στόχος είναι μία συνολική αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού του κτιρίου, η οποία μπορεί να αφορά τόσο τον τεχνητό όσο και τον φυσικό φωτισμό. Σκοπός της δράσης αυτής είναι η εξασφάλιση οπτικής άνεσης, μέσω:

- της παροχής της απαιτούμενης ποσότητας φωτισμού, βάσει της χρήσης και των λειτουργικών απαιτήσεων του κάθε χώρου, και
- της ποιότητας του φωτισμού, η οποία εξασφαλίζεται με καλή κατανομή και αποφυγή φαινομένων θάμβωσης, κατάλληλη χρωματική απόδοση και χρώμα φωτισμού, ανάδειξη στοιχείων χώρου, κατεύθυνση φωτισμού και δημιουργία κατάλληλων αντιθέσεων.

Στα σύγχρονα κτίρια παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της υπερδιαστασιολόγησης των συστημάτων τεχνητού φωτισμού με σκοπό, κυρίως, την πρόληψη προβλημάτων που

προκύπτουν από ανεπαρκείς μελέτες ή και παντελή έλλειψη μελέτης, σε ορισμένες περιπτώσεις. Αυτό το φαινόμενο, σε συνδυασμό με τη χρήση πεπερασμένης ή συμβατικής τεχνολογίας στις εγκαταστάσεις φωτισμού, οδηγεί σε υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων τεχνητού φωτισμού, με μη ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την οπτική άνεση και τη λειτουργικότητα του χώρου [21].

Κατά συνέπεια, στόχος της μελέτης αναβάθμισης του τεχνητού φωτισμού είναι η μείωση της υπερκατανάλωσης ενέργειας με ταυτόχρονη βελτίωση των συνθηκών οπτικής άνεσης. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να μελετηθούν:

- ο σωστός σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού,
- η χρήση ενεργειακά αποδοτικών λαμπτήρων,
- η χρήση κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων υψηλής απόδοσης,
- η εγκατάσταση κατάλληλων συσκευών σύνδεσης, με χρήση ηλεκτρονικών ballasts,
- η δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού,
- η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου, με δυνατότητα σύζευξης τεχνητού και φυσικού φωτισμού, και
- η σωστή συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων [21, 23].

Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού έχει ως κύριο σκοπό την επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια και την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, στοχεύει στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού και αξιοποίηση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά τον σχεδιασμό συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους.

Για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού προς όφελος του κτιρίου με στόχο την επίτευξη οπτικής άνεσης θα πρέπει, μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών, να εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς λειτουργικούς χώρους επαρκής ποσότητα φωτισμού, αλλά και ομαλή κατανομή προς αποφυγή έντονων διαφοροποιήσεων της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο θάμβωσης. Τόσο η επάρκεια όσο και η κατανομή του φωτισμού εξαρτώνται από τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου και των ανοιγμάτων, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών (χρώμα και υφή) και των υαλοπινάκων (φωτοδιαπερατότητα και ανακλαστικότητα).

Ως σύστημα φυσικού φωτισμού νοείται ο συνδυασμός υαλοπίνακα ή άλλου φωτοδιαπερατού στοιχείου με ένα πλαίσιο και μία διάταξη σκιασμού. Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται στις εξής τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: (α) ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία, (β) ανοίγματα οροφής, (γ) αίθρια και (δ) φωταγωγοί [24].

Οι βασικότερες τεχνικές αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού είναι:

- η εκμετάλλευση των συστημάτων φυσικού φωτισμού (ανοίγματα, αίθρια, φωταγωγοί),
- η χρήση ειδικών υαλοπινάκων,
- η εφαρμογή διαφανών μονωτικών υλικών,
- η εγκατάσταση ραφιών φωτισμού, ανακλαστήρων, περσίδων και σκιάστρων,
- η χρήση πρισματικών φωτοδιαπερατών υλικών,
- η εσωτερική διαμόρφωση του χώρου (χρώματα, εσωτερικά ανοίγματα κ.ά.) [21, 24].

Ωστόσο διευκρινίζεται ότι, για να αξιολογηθεί η πραγματική χρήση φυσικού φωτισμού στις ζώνες φυσικού φωτισμού, θα πρέπει οι ζώνες να εξοπλίζονται και από τα ανάλογα συστήματα διαχείρισης φυσικού φωτισμού (αισθητήρες φυσικού φωτισμού, σύστημα αυτόματης αφής/ σβέσης φωτιστικών ανά ζώνη φωτισμού κ.ά.). Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15193:2008, για να θεωρηθεί αξιολογήσιμη οποιαδήποτε διάταξη αυτομάτου ελέγχου των συστημάτων φωτισμού, θα πρέπει να ελέγχεται τουλάχιστον το 50% των εγκατεστημένων φωτιστικών. Σε διαφορετική περίπτωση αγνοείται η ύπαρξή της και δεν αξιολογείται [46].

Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εκπονείται μελέτη φωτισμού η οποία ξεκινά από την καταγραφή των συγκεκριμένων αναγκών και υποδομής και εστιάζει στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και τη βελτίωση της οπτικής άνεσης και της λειτουργικότητας του χώρου. Με γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας, το χαμηλό κόστος συντήρησης και τη σύντομη οικονομική απόσβεση, εφαρμόζεται ένα σύνολο παρεμβάσεων που βελτιώνει το περιβάλλον εργασίας και αυξάνει την παραγωγικότητα των εργαζομένων [21, 22].

#### **1.4.2.7. Σύστημα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου**

Η εφαρμογή ενός συστήματος ενεργειακής διαχείρισης (building energy management system - BEMS) έχει ως σκοπό την επιτήρηση ή και τον αυτόματο έλεγχο των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων του κτιρίου, με απώτερο στόχο την ορθολογικότερη λειτουργία των μονάδων στις οποίες υπάρχει κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η πλήρης καταγραφή και ανάλυση των επιμέρους καταναλώσεων της εγκατάστασης αποτελεί τη βάση των λειτουργιών ενεργειακής διαχείρισης με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Παράλληλα, η συνεχής παρακολούθηση παραμέτρων σχετιζόμενων με ενεργοβόρες διεργασίες, όπως η θέρμανση και η ψύξη, αποτελεί βασικό εργαλείο εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων. Προς την επίτευξη αυτού του στόχου, το BEMS παρακολουθεί και καταγράφει την ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων που είναι εγκατεστημένα σε ένα κτίριο, ρυθμίζει τις διάφορες παραμέτρους τους, αναλύει τα δεδομένα της εγκατάστασης και μπορεί να δημιουργήσει αρχείο με στατιστικά στοιχεία [21, 25].

Ένα σύστημα ενεργειακής διαχείρισης μπορεί να παρακολουθεί και να ελέγχει τα παρακάτω υποσυστήματα ενός κτιρίου:

- εγκατάσταση θέρμανσης και τροφοδοσίας ζεστού νερού χρήσης,
- εγκατάσταση ψύξης και τροφοδοσίας ψυχρού νερού,
- εγκατάσταση κλιματισμού,
- εξαερισμός και φυσικός αερισμός,
- εγκατάσταση φωτισμού,
- εγκατάσταση διανομής ηλεκτρικού ρεύματος,
- εφεδρικά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη για επίβλεψη κατάστασης και σήματα για βλάβη,
- συστήματα ελέγχου λειτουργιών επιμέρους χώρων του κτιρίου,
- αντλιοστάσια όμβριων και λυμάτων και
- εγκαταστάσεις ασφαλείας [21, 26].

Το σύστημα αποτελείται από έναν κεντρικό σταθμό παρακολούθησης και ελέγχου, τα αισθητήρια όργανα, τις συσκευές εκτέλεσης εντολών, καθώς και τις συνδετήριες καλω-

διώσεις. Ο προγραμματισμός και ο χειρισμός του συστήματος γίνεται μέσω του κεντρικού σταθμού ελέγχου. Σε ορισμένους τομείς, η λειτουργία και η επιλογή διαφόρων καταστάσεων λειτουργίας γίνεται μέσω επιμέρους χειριστηρίων, τα οποία διαθέτουν ανάλογους επιλογείς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης αποτελεί συμπληρωματική και όχι μεμονωμένη παρέμβαση, σε συνδυασμό με άλλα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου. Επίσης, η εγκατάσταση ενός BEMS είναι πιο εύκολα υλοποιήσιμη και πιο οικονομική όταν πραγματοποιείται παράλληλα με την κατασκευή ενός κτιρίου, παρά στην περίπτωση που εφαρμόζεται σε υφιστάμενο κτίριο [21].

### 1.4.3. Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης ενός κτιρίου καλύπτοντας ένα σημαντικό ποσοστό, ή ακόμα και το σύνολο, των ενεργειακών αναγκών των χρηστών.

#### 1.4.3.1. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Με τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σημείο της χρήσης.

Η ηλιακή ενέργεια η οποία προσπίπτει συνολικά σε ένα έτος σε μία επιφάνεια εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας. Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για εφαρμογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Για την περιοχή της Αθήνας, αναφέρεται ενδεικτικά ότι η ετήσια ενέργεια που προσπίπτει σε μία οριζόντια επιφάνεια  $1\text{m}^2$  κυμαίνεται περίπου στις  $1500\text{kWh}$ . Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια  $1\text{m}^2$  μία ηλιόλουστη ημέρα μπορεί να φθάσει το  $1\text{kW}$ . Θεωρώντας ως δεδομένο ότι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που κυκλοφορούν στην αγορά έχουν συντελεστή απόδοσης περίπου 11%, ένα πλαίσιο επιφανείας  $1\text{m}^2$  παράγει περίπου  $110\text{W}_p$ .

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά είναι τα εξής:

- η μηδενική ρύπανση της ατμόσφαιρας,
- η μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (μεγαλύτερη των 25 ετών),
- η αθόρυβη λειτουργία τους,
- το μηδαμινό κόστος συντήρησης και λειτουργίας,
- η δυνατότητα ενσωμάτωσής τους, σε οροφές, προσόψεις κτιρίων, σκίαστρα, στέγαστρα και υπαίθρια πάρκινγκ, ως κύρια δομικά στοιχεία,
- η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις και
- η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης.

Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι το κόστος τους, το οποίο, όμως, αντισταθμίζεται σε σημαντικό βαθμό από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η λειτουργία τους.

Οι κυριότερες εφαρμογές ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε κτίρια είναι: (α) η κάλυψη ολόκληρης ή μέρους της οροφής του κτιρίου, (β) η χρήση τους σε γυάλινες προσόψεις του κτιρίου και (γ) η χρήση τους σε επιφάνειες προστασίας από καιρικές συνθήκες, όπως στέγαστρα και σκίαστρα. Στις εφαρμογές πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, ώστε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να αρμόζουν στην αισθητική του κτιρίου. Για αυτόν τον λόγο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά στοιχεία με πλαίσιο αλουμινίου, στοιχεία χωρίς πλαίσιο αλουμινίου ή ακόμα και στοιχεία των οποίων οι διαστάσεις και το σχήμα σχεδιάζονται κατά παραγγελία.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να τοποθετούνται σε προσανατολισμό και κλίση που να επιτρέπουν τη βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό είναι επιθυμητό και στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών σε κτίρια, ενώ δεν είναι πάντα δυνατό, λόγω των κατασκευαστικών περιορισμών του κτιρίου. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η αποφυγή του σκιασμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων από παρακείμενα κτίρια και αντικείμενα, κυρίως τις ώρες υψηλής ακτινοβολίας, διότι, έστω και μικρός σκιασμός των πλαισίων, προκαλεί σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος [27].

#### **1.4.3.2. Θερμικά ηλιακά συστήματα**

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Συλλέγουν, αποθηκεύουν και διανέμουν την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας των συλλεκτών.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: (α) τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας και (β) τα συστήματα εξαναγκασμένης ροής, τα οποία χρησιμοποιούν κυκλοφορητές για να επιτύχουν τη ροή του ρευστού στο κύκλωμα.

Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ηλιακοί θερμαντήρες ζεστού νερού. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, όπως είναι ευρέως γνωστοί, μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο ποσοστό των αναγκών ενός κτιρίου σε ζεστό νερό χρήσης, μειώνοντας ταυτόχρονα τις δαπάνες σε ενέργεια. Η ποσότητα του ζεστού νερού που αποδίδει η ηλιακή ενέργεια εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του συστήματος, το κλίμα και την ποιότητα της περιοχής όσον αφορά στην ηλιοφάνεια.

Ιδιαίτερα αποδοτικά είναι τα κεντρικά ηλιακά συστήματα, τα οποία εφαρμόζονται σε σύνολα κατοικιών. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από ένα κεντρικό σύστημα συλλεκτών και μία κεντρική δεξαμενή, η οποία παρέχει ζεστό νερό στις μεμονωμένες κατοικίες μέσω δικτύου αγωγών. Με το σύστημα αυτό, η ζήτηση θερμού νερού είναι ομαλότερα κατανεμημένη κατά τη διάρκεια της ημέρας και έτσι μειώνονται οι θερμικές απώλειες του αποθηκευμένου νερού για την κάλυψη των απαιτήσεων του συνόλου των κατοικιών.

Μία άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή των ηλιακών συστημάτων, η οποία παρουσιάζει δυναμική για ανάπτυξη, είναι η χρήση τους για τη θέρμανση των χώρων. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης χώρων, που αποκαλούνται και "combi" λόγω της ταυτόχρονης παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, βασίζονται σε εξαρτήματα όπως οι συλλέκτες στέγης για τη συλλογή και τη διανομή της θερμότητας. Χρησιμοποιούν αέρα ή κάποιο υγρό που θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες και, στη συνέχεια, μεταφέρεται από ανεμιστήρες ή αντλίες με μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Εξαιτίας της σύμπτωσης στη ζήτηση του δροσισμού ή της ψύξης με τη μέγιστη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, ο ηλιακός δροσισμός εμφανίζεται ως μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, αξιοποιώντας την τεχνική της ψύξης κύκλου απορρόφησης. Μία πηγή θερμότητας, όπως ένας μεγάλος ηλιακός συλλέκτης, χρησιμοποιείται για να εξατμιστεί το ήδη βρισκόμενο υπό πίεση ψυκτικό ρευστό από ένα μίγμα απορροφητή και ψυκτικού μέσου.

Άλλη δυνατότητα εφαρμογής των ηλιακών συστημάτων είναι η χρήση τους σε συστήματα αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού, με κόστος που επιτρέπει τη χρήση του νερού σε αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, μπορούν να αξιοποιηθούν σε συστήματα θέρμανσης νερού για πισίνες [28].

#### **1.4.3.3. Μικρές ανεμογεννήτριες**

Η αιολική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική με τη χρήση μίας ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες, οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: (α) οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους, και (β) κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και κάθετος στην κατεύθυνση του εδάφους [29].

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθός της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθός της είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει. Για την κάλυψη των αναγκών ενός κτιρίου, η απαιτούμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας και, κατά συνέπεια, το μέγεθός της, είναι μικρά. Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διάφοροι περιορισμοί που επιβάλλει ο περιβάλλον χώρος. Η ανεμογεννήτρια πρέπει να τοποθετείται σε αρκετά μεγάλο ύψος και να μην υπάρχουν υψηλότερα εμπόδια σε μεγάλη ακτίνα γύρω της, το οποίο δεν είναι δυνατό σε κατοικημένες περιοχές [29, 30].

Για την επίτευξη της κατά το δυνατόν μεγαλύτερης αυτονομίας του κτιρίου, ενδείκνυται ο συνδυασμός μίας ανεμογεννήτριας με φωτοβολταϊκό σύστημα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών που επικρατούν [30].

#### **1.4.3.4. Βιομάζα**

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική προέλευση. Στον όρο βιομάζα, ουσιαστικά, εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων [31, 32].

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Πρόκειται για μία σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.ά.). Η πιο γνωστή χρησιμοποιούμενη μορφή βιομάζας είναι τα καυσόξυλα, αλλά, πρακτικά, μπορούν να αξιοποιηθούν τα υπολείμματα κατά τη δευτερογενή παραγωγή ενός με-

γάλου εύρους προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) [32].

Η κυριότερη χρήση της βιομάζας στον οικιακό και, εν γένει, στον κτιριακό τομέα είναι η καύση της για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Για την καύση μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- τυπικό τζάκι,
- ενεργειακό τζάκι, το οποίο θερμαίνει και άλλους χώρους ή νερό,
- σόμπα ξύλου ή pellets και
- λέβητας ξύλου ή pellets, για κεντρική θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Με εξαίρεση το τυπικό τζάκι, όλες οι άλλες εφαρμογές της βιομάζας εμφανίζουν αρκετά υψηλό συντελεστή απόδοσης, πάνω από 70% [33].

#### **1.4.3.5. Τηλεθέρμανση**

Τηλεθέρμανση είναι η παροχή θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωρίο ή μία πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με δίκτυο μονωμένων αγωγών από τον σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η εφαρμογή της τηλεθέρμανσης είναι:

- επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης, λόγω της συνεπέστερης συντήρησης του συστήματος σε σύγκριση με τους καυστήρες και τους λέβητες των κατοικιών,
- βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, καθώς επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα θέρμανσης, και
- ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, λόγω της χρησιμοποίησης ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής θερμότητας αντί πολλών λεβήτων διασκορπισμένων στα κτίρια.

Το όφελος που προκύπτει από αυτά τα πλεονεκτήματα μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερο αν χρησιμοποιηθεί βιομάζα, αντί για κάποιο άλλο καύσιμο [34].

#### **1.4.3.6. Γεωθερμία**

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία υπάρχει στο εσωτερικό της γης και η οποία αξιοποιείται μέσω των γεωθερμικών ρευστών. Αποτελεί καθαρή μορφή ενέργειας, εφ' όσον η τελική διάθεση των γεωθερμικών αποβλήτων πραγματοποιείται κατάλληλα. Το όφελος που προκύπτει από τη χρήση της είναι πολύ σημαντικό, ειδικά αν συνυπολογισθεί και η μείωση των εκπομπών ρύπων, που θα προέκυπτε από την καύση άλλων πηγών ενέργειας.

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας στα κτίρια ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του διαθέσιμου ρευστού. Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 90°C, οι εφαρμογές είναι:

- η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,

- η ψύξη και ο κλιματισμός με αντλίες θερμότητας,
- η θέρμανση χώρων με σώματα καλοριφέρ,
- η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης σε μπόιλερ και
- η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού.

Για μικρότερες θερμοκρασίες, υπάρχουν εφαρμογές όπως η θέρμανση χώρων με αερόθερμα νερού ή ενδοδαπέδιο σύστημα, η παραγωγή ή προθέρμανση ζεστού νερού με εναλλάκτη θερμότητας και τα θερμά λουτρά. Για θερμοκρασίες νερού κάτω από 40°C, χρησιμοποιούνται αντλίες θερμότητας για θέρμανση και κλιματισμό. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο υπόγειο νερό, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να συνδυαστούν με γήινους εναλλάκτες θερμότητας [35].

#### **1.4.3.7. Συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας**

Συμπαγωγή είναι η διαδοχική (ταυτόχρονη) παραγωγή και εκμετάλλευση δύο μορφών ενέργειας, ηλεκτρικής ή μηχανικής και θερμικής, από ένα σύστημα μηχανών με τη χρήση του ίδιου καυσίμου. Σε έναν συμβατικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η αποδοτικότητα είναι περίπου 34%. Σε έναν σταθμό συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), όμως, η συνολική αποδοτικότητα είναι της τάξης του 85%.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα μίας εγκατάστασης συμπαγωγής είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η μείωση του κόστους ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μονάδες.

Το βασικότερο στοιχείο μίας εγκατάστασης ΣΗΘ είναι η μηχανή, η οποία παράγει θερμότητα και ηλεκτρισμό. Οι πιο συνήθεις τεχνολογίες μηχανών είναι:

- ο αεριοστρόβιλος (κύκλος Brayton),
- ο ατμοστρόβιλος (κύκλος Rankine),
- ο συνδυασμένος κύκλος των δύο προαναφερθεισών τεχνολογιών,
- η παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης (κύκλος Diesel ή Otto) και
- τα στοιχεία καυσίμου (fuel cells) [36].



## 2. Δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας στο σύστημα φωτισμού

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι για τη βελτιστοποίηση του συστήματος φωτισμού ενός κτιρίου, καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό. Αναλύονται τεχνικές αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού και γίνονται προτάσεις για τον έλεγχο του και τη σύζευξή του με τον φυσικό φωτισμό.

### 2.1. Εισαγωγή

Ο φωτισμός ευθύνεται για την κατανάλωση του 14% της συνολικής ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Ειδικότερα, όσον αφορά σε κτίρια του τριτογενή τομέα, για την κάλυψη των αναγκών του φωτισμού απαιτείται το 25% - 35% της συνολικής ενέργειας. Καθίσταται, λοιπόν, σαφές ότι, σε οποιαδήποτε δράση εξοικονόμησης ενέργειας εφαρμοσθεί, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το σύστημα φωτισμού. Σύμφωνα με μελέτες, δράσεις βελτιστοποίησης του συστήματος φωτισμού μπορούν να επιφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30% - 50% [4, 37].

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης μίας μελέτης, ο μηχανικός στοχεύει στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας, είτε πρόκειται για παρέμβαση σε υφιστάμενο κτίριο είτε πρόκειται για καινούρια εγκατάσταση σε κτίριο υπό ανέγερση. Πρέπει, όμως, να συνεκτιμηθούν τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα του φωτισμού ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

### 2.2. Σχεδιασμός συστήματος φωτισμού

Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού, η προσέγγιση που ακολουθείται εξαρτάται από το αν πρόκειται για κτίριο υπό ανέγερση ή υφιστάμενο. Στην περίπτωση του υπό ανέγερση κτιρίου, υπάρχει δυνατότητα για μεγαλύτερο εύρος ενεργειών. Αφού το κτίριο σχεδιάζεται εξ' αρχής, μπορούν να πραγματοποιηθούν αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις και να υπολογιστεί εκ των προτέρων η αλληλεπίδραση του συστήματος φωτισμού με τα υπόλοιπα συστήματα του κτίσματος. Αντιθέτως, στην περίπτωση του υφισταμένου κτιρίου, ενδέχεται να εμφανιστούν ορισμένοι περιορισμοί οι οποίοι αφορούν στο κόστος των παρεμβάσεων, τόσο από την οικονομική άποψη όσο και από την όχληση που θα προκληθεί στις δραστηριότητες του κτιρίου. Επιπλέον, θα πρέπει να εκτιμηθεί το συνολικό όφελος των παρεμβάσεων, σε συνάρτηση και με την επίδρασή τους στα συστήματα ψύξης και θέρμανσης [37].

Ένας από τους βασικούς στόχους που λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού είναι η μείωση της εγκατεστημένης ισχύος, γεγονός που συνεπάγεται την εξοικονόμηση ενέργειας και, κατά συνέπεια, τη μείωση του λειτουργικού κόστους

της εγκατάστασης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εκπόνηση μελέτης φωτισμού, ώστε να επιτευχθούν τα κατάλληλα επίπεδα έντασης φωτισμού για κάθε χώρο, ανάλογα με τη χρήση του. Στην Ελλάδα, οι απαιτούμενες τιμές έντασης φωτισμού καθορίζονται από τον Κ.Εν.Α.Κ., σύμφωνα και με το πρότυπο EN 12464-1 [38].

Εξίσου σημαντική με την ποσότητα του φωτισμού είναι και η ποιότητά του, καθώς επηρεάζει τη διάθεση των χρηστών ενός χώρου και, κατά συνέπεια, την αποδοτικότητά τους. Έτσι, ο μελετητής δεν πρέπει να έχει ως μοναδικό κριτήριο την ένταση του φωτισμού, αλλά και την οπτική άνεση. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη χωρική κατανομή του φωτισμού, καθώς και την επιλογή κατάλληλων λαμπτήρων με την επιθυμητή σχετική θερμοκρασία χρώματος και την ανάλογη ικανότητα απόδοσης των χρωμάτων [39, 40].

Στα πλαίσια του σχεδιασμού ενός συστήματος φωτισμού θα πρέπει να προληφθούν ορισμένα φαινόμενα, τα οποία προκαλούν οπτική όχληση στους χρήστες του χώρου:

- Η φωτεινή μαρμαρυγή (flicker) μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση στοιχείων ελέγχου υψηλής συχνότητας στους λαμπτήρες εκκένωσης.
- Η θάμβωση εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου, τις ανακλαστικότητες των διαφόρων επιφανειών, τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων, καθώς και το πλήθος και τη θέση τους. Στόχος του μελετητή, λοιπόν, είναι να λάβει αυτές τις παραμέτρους υπόψη του, ώστε να περιορίσει το φαινόμενο της θάμβωσης.
- Οι σκιάσεις, ειδικότερα όσες προκύπτουν στην επιφάνεια εργασίας, δυσχεραίνουν τις εργασίες των χρηστών. Μπορούν να αποφευχθούν χρησιμοποιώντας μικρά τοπικά φωτιστικά ή αξιοποιώντας τις ανακλάσεις του φωτός στον περιβάλλοντα χώρο, με τη χρήση αντικειμένων κατάλληλης υφής και χρώματος.
- Τέλος, ανακλάσεις από τα αντικείμενα του περιβάλλοντα χώρου ενδέχεται να προκαλέσουν οπτική όχληση και μπορούν να εξαλειφθούν με την αξιοποίηση ματ επιφανειών, οι οποίες διαχέουν το φως [40].

Όπως φαίνεται από τα προαναφερθέντα, η λύση ενός προβλήματος ενδέχεται να δημιουργεί ένα άλλο. Για παράδειγμα, η σκίαση μπορεί να αξιοποιηθεί για τη μείωση της θάμβωσης ή ανακλάσεις από τον περιβάλλοντα χώρο μπορούν να ελαττώσουν τη σκίαση ενός αντικειμένου στην επιφάνεια εργασίας. Ο μελετητής, λοιπόν, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όλες αυτές τις παραμέτρους κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός συστήματος φωτισμού.

## **2.3. Αναβάθμιση συστήματος φωτισμού**

### **2.3.1. Ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων (ballasts)**

Οι λαμπτήρες εκκένωσης έχουν αρνητική χαρακτηριστική ρεύματος - τάσης και απαιτούν την ύπαρξη κατάλληλου συστήματος που περιορίζει τη ροή ρεύματος. Αυτό το σύστημα, το οποίο αποκαλείται ballast, μπορεί να αξιοποιηθεί και για την έναυση του λαμπτήρα, παρέχοντας την απαιτούμενη τάση για την εκκένωση τόξου, η οποία μπορεί να είναι 1,5 έως 4 φορές μεγαλύτερη της τάσης λειτουργίας [40].

Στα φωτιστικά σώματα νέας τεχνολογίας ενσωματώνονται ηλεκτρονικά ballasts, σε αντίθεση με το παρελθόν, όπου χρησιμοποιούνταν ηλεκτρομαγνητικά. Τα ηλεκτρονικά συστήματα εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα, συγκρινόμενα με τα προγενέστερα ηλεκτρομαγνητικά. Λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες, ανάμεσα στα 10kHz και τα 50kHz, και, με αυτόν τον τρόπο, εξαλείφεται το φαινόμενο της φωτεινής μαρμαρυγής (flicker), το οποίο προκαλεί οπτική όχληση στους χρήστες του χώρου. Τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts λειτουργούν στα 50Hz, γεγονός που προκαλεί και ηχητική όχληση. Αντιθέτως, τα ηλεκτρονικά επιλέγεται να λειτουργούν σε συχνότητες άνω των 24kHz, οπότε δεν γίνεται αντιληπτός ο θόρυβος.

Τα ηλεκτρονικά ballasts αυξάνουν την απόδοση των λαμπτήρων και, γενικότερα, του συστήματος φωτισμού. Από μετρήσεις, έχει προκύψει ότι η φωτεινή ροή του λαμπτήρα αυξάνεται όταν λειτουργεί με ηλεκτρονικό ballast, σε σχέση με τη ροή που παράγεται όταν λειτουργεί με ηλεκτρομαγνητικό. Η πραγματική απόδοση των λαμπτήρων με ηλεκτρομαγνητικό ballast κυμαίνεται, συνήθως, σε ποσοστά 80% - 95% της ονομαστικής, ενώ δεν είναι δύσκολο τα ηλεκτρονικά ballasts να βελτιώσουν την απόδοση κατά 12% περίπου. Αυτό συνεπάγεται ότι ένα σύστημα φωτισμού που λειτουργεί με ηλεκτρονικά ballasts απαιτεί 18% περίπου λιγότερα φωτιστικά σώματα από το ίδιο σύστημα με ηλεκτρομαγνητικά ballasts υψηλής ποιότητας. Αυτό το πλεονέκτημα είναι αξιοποιήσιμο κυρίως στις νέες εγκαταστάσεις, οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν με λιγότερα φωτιστικά σώματα, χωρίς να μειώνεται η απαιτούμενη ένταση και ποιότητα φωτισμού. Κατά συνέπεια, ελαττώνεται, προφανώς, το κόστος εγκατάστασης, αλλά και το κόστος λειτουργίας, λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας και της μείωσης του κόστους συντήρησης [37, 40].

Επιπροσθέτως, τα ηλεκτρονικά ballasts συντελούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από το σύστημα φωτισμού. Έχει παρατηρηθεί ότι η κατανάλωση του λαμπτήρα είναι μικρότερη, όταν αυτός λειτουργεί με ηλεκτρονικό ballast. Για παράδειγμα, ένας λαμπτήρας ονομαστικής ισχύος 36W καταναλώνει 32W, ενώ με συμβατικό ballast η κατανάλωση ισχύος θα ήταν ίση με την ονομαστική του. Επιπλέον, οι απώλειες του ηλεκτρονικού ballast είναι μικρότερες του συμβατικού. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε ένα τυπικό φωτιστικό σώμα 2x36W απαιτείται ένα ηλεκτρονικό ballast με απώλειες 8W, ενώ στη συμβατική λειτουργία απαιτούνται δύο ηλεκτρομαγνητικά ballasts με απώλειες 16,2W. Κατά συνέπεια, το φωτιστικό με ηλεκτρονική λειτουργία θα καταναλώνει 72W, ενώ με τη συμβατική 88,2W. Το ποσοστό της εξοικονόμησης εξαρτάται από τον τύπο του συμβατικού φωτιστικού που χρησιμοποιείται ως αναφορά. Κατά μία μέση εκτίμηση, η εξοικονόμηση κυμαίνεται σε ποσοστό περίπου 15% [37].

Επιπλέον αυτών των πλεονεκτημάτων, τα ηλεκτρονικά ballasts παρέχουν περισσότερες δυνατότητες και μεγαλύτερη ευελιξία στον χειρισμό των λαμπτήρων, καθώς επιτρέπουν την αξιοποίηση αυτοματισμών, η οποία δεν είναι δυνατή με τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts:

- Ρύθμιση της φωτεινότητας του λαμπτήρα (dimming) μέσω αισθητήρων και ρυθμιστών φωτισμού. Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί με τοπικά συστήματα dimming κυμαίνεται από 10% έως 50%, ανάλογα με τη χρήση του χώρου.
- Ένταξη της εγκατάστασης φωτισμού σε σύστημα κεντρικής διαχείρισης του κτιρίου (BMS). Τα συμβατικά ballasts δεν συνεργάζονται με τα συστήματα BMS. Η εξοικο-

νόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με αυτά τα συστήματα κυμαίνεται από 10% έως 50%, ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε αυτή την εξοικονόμηση, δεν προστίθεται εκείνη που επιτυγχάνεται με το dimming, διότι εμπεριέχεται στους υπολογισμούς.

- Δυνατότητα λειτουργίας περισσότερων λαμπτήρων (έως 4) με ένα μόνο ηλεκτρονικό ballast. Το ηλεκτρομαγνητικό ballast δεν μπορεί να λειτουργήσει με περισσότερους των 2 λαμπτήρων. Για παράδειγμα, τυπικό φωτιστικό 4x18W καταναλώνει 86,8W όταν λειτουργεί με δύο συμβατικά ballasts, ενώ η κατανάλωσή του μειώνεται στα 74W όταν λειτουργεί με ένα ηλεκτρονικό.
- Το ηλεκτρονικό ballast διακόπτει τη λειτουργία του, όταν ο λαμπτήρας δεν λειτουργεί, ενώ το συμβατικό συνεχίζει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και να καταναλώνει ενέργεια.
- Αυξάνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων. Σύμφωνα με μετρήσεις, η αύξηση αυτή μπορεί να φτάσει το 50%. Κατά συνέπεια, μειώνεται στο ήμισυ το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων.
- Βελτιώνεται ο συντελεστής συντήρησης των λαμπτήρων. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση των λαμπτήρων μειώνεται λιγότερο κατά τη διάρκεια ζωής τους από την περίπτωση να λειτουργούσαν με συμβατικά ballasts. Συνεπώς, η στάθμη φωτισμού επιτυγχάνεται με λιγότερα φωτιστικά σώματα και, σε έναν καθαρό εργασιακό χώρο, τα απαιτούμενα φωτιστικά μπορούν να μειωθούν κατά 6% περίπου.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα των ηλεκτρονικών ballasts έναντι των ηλεκτρομαγνητικών, εκτιμάται ότι μπορεί να προκύψει εξοικονόμηση ενέργειας έως 25%. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι αξιοποιήσιμα σε νέες, αλλά και σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις. Στην δεύτερη περίπτωση, σε φωτιστικά σώματα που λειτουργούν με ηλεκτρομαγνητικό ballast, είναι δυνατή η αντικατάστασή τους με ηλεκτρονικά, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος για το νέο ballast και αφού γίνουν οι απαραίτητες τροποποιήσεις στην καλωδίωση. Πολλά ηλεκτρονικά ballasts κατασκευάζονται σε κατάλληλο σχήμα και διαστάσεις, ώστε να είναι ευκολότερη η αντικατάσταση των συμβατικών [37, 40].

Σε αρκετές περιπτώσεις, το κόστος για τις επεμβάσεις σε υφιστάμενα φωτιστικά είναι υψηλότερο του κόστους της αντικατάστασης των φωτιστικών με καινούρια που φέρουν ηλεκτρονικά ballasts. Βέβαια, ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης είναι πολύ μικρός (έως 5 χρόνια). Τα φωτιστικά σώματα με λαμπτήρες φθορισμού T5 εξαιρούνται από μία τέτοια παρέμβαση, διότι οι λαμπτήρες αυτοί λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρονικά ballasts [37].

### 2.3.2. Επιλογή φωτιστικών σωμάτων

Ένα φωτιστικό σώμα περιέχει έναν ή περισσότερους λαμπτήρες, τους παρέχει την απαραίτητη στήριξη και σύνδεση με μία πηγή τροφοδοσίας και περιλαμβάνει διατάξεις που καθορίζουν τη διανομή του φωτός στον χώρο. Ο έλεγχος του φωτός πραγματοποιείται με την αξιοποίηση ανακλαστήρων, διαχυτών και περσίδων. Το φωτιστικό σώμα περιέχει, επί-

σης, ballasts, εκκινήτες, πυκνωτές και, γενικότερα, οτιδήποτε απαιτείται για τη λειτουργία του λαμπτήρα. Ενδέχεται να περιλαμβάνει και διατάξεις αερισμού, καθώς πολλοί τύποι λαμπτήρων είναι ευαίσθητοι σε μεταβολές θερμοκρασίας, με σοβαρές επιπτώσεις στην απόδοσή τους και τη θερμοκρασία χρώματος του εκπεμπόμενου φωτός.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι φωτιστικών σωμάτων, ως προς τις ιδιότητές τους, οι οποίες καθορίζονται ανάλογα με το είδος του λαμπτήρα που περιλαμβάνουν. Τα φωτιστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, επίσης, ανάλογα με την εφαρμογή τους, σε οικιακής, εμπορικής ή βιομηχανικής χρήσης. Μία άλλη διαφοροποίηση των φωτιστικών προκύπτει από τα φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά. Ένα από αυτά είναι και ο τρόπος διάδοσης του φωτισμού, ο οποίος μπορεί να είναι άμεσος, ημι-άμεσος, διάχυτος, ημι-έμμεσος και έμμεσος [40].

Σε κάθε περίπτωση, για την επιλογή του κατάλληλου φωτιστικού, ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη του τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, αλλά και τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε χώρου. Οι αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες, η μορφή των εργασιών που διεξάγονται στον χώρο, το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας του φωτισμού και η ενεργειακή απόδοσης της εγκατάστασης είναι σημαντικές παράμετροι για την τελική επιλογή. Επιπλέον, θα πρέπει να εκτιμηθεί η συνεισφορά των φωτιστικών σωμάτων στο ψυκτικό φορτίο του χώρου, καθώς και οι απαιτήσεις τους στον τομέα της συντήρησης [37, 40].

Η απόδοση των λαμπτήρων, η οποία μετράται σε lm/W, αυξάνεται με την ονομαστική ισχύ τους. Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου τύπου λαμπτήρων φθορισμού T5, προκύπτει ότι η απόδοσή τους είναι 96lm/W στην ονομαστική ισχύ των 14W, 100lm/W στα 21W και 104lm/W στα 28W. Τα μεγέθη αυτά για τους λαμπτήρες φθορισμού T8 είναι 64lm/W στα 18W και 79lm/W στα 36W ή 58W. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή φωτιστικών με λαμπτήρες μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, δηλαδή μεγαλύτερου μήκους, είναι ενεργειακά επωφελής. Για παράδειγμα, μία επιτυχημένη επιλογή θα ήταν η προτίμηση φωτιστικών 2x36W αντί των 4x18W [37].

Σημαντικός παράγοντας είναι, επίσης, ο τύπος και το υλικό κατασκευής του οπτικού συστήματος του φωτιστικού (διαχύτης, κάτοπτρο, περσίδες κ.λπ.). Οι συνθετικοί διαχύτες έχουν, συνήθως, μικρότερο βαθμό απόδοσης (LOR) και χειρότερο συντελεστή συντήρησης. Τα οπτικά συστήματα από ανοδιωμένο αλουμίνιο εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης (έως 85% έναντι 55% - 60% των συνθετικών πολυκαρβονικών διαχυτών) αλλά, και σε αυτή την περίπτωση, η ποιότητα της ανοδίωσης και ο βαθμός καθαρότητας του αλουμινίου είναι οι κρίσιμοι παράγοντες. Στην αγορά απαντώνται φωτιστικά του ίδιου ακριβώς τύπου (ανακλαστήρας ανοδιωμένου αλουμινίου, διπλής παραβολικότητας) των οποίων οι βαθμοί απόδοσης μπορεί να διαφέρουν και κατά 20 εκατοστιαίες μονάδες. Ο βαθμός καθαρότητας του αλουμινίου επηρεάζει την απόδοση των ανακλαστήρων και, κατ' επέκταση, των φωτιστικών. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι αποκλίσεις κλάσματος της εκατοστιαίας μονάδας στην καθαρότητα του αλουμινίου επιφέρουν δεκαπλάσια απόκλιση (μερικές εκατοστιαίες μονάδες) στην ανακλαστικότητα των οπτικών του φωτιστικού. Τα οπτικά βαφής φούρνου έχουν πολύ χειρότερη απόδοση, ειδικότερα με την πάροδο του χρόνου, οπότε αποσυντίθεται η βαφή και η απόδοση του φωτιστικού μειώνεται σε τιμές μικρότερες του 50%. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το οπτικό σύστημα αποτελείται μόνο από περσίδες, χωρίς οπίσθιο

ανακλαστήρα, οπότε η απόδοση θα είναι ιδιαίτερα χαμηλή, διότι το ήμισυ σχεδόν της φωτεινής ροής των λαμπτήρων θα χάνεται εντός του φωτιστικού [37, 40].

### 2.3.3. Επιλογή λαμπτήρων

Η ονομαστική ισχύς του λαμπτήρα δεν μπορεί να είναι το μοναδικό κριτήριο για την επιλογή του. Στο εμπόριο διατίθενται λαμπτήρες με ταυτόσημη ονομαστική ισχύ, χρωματική απόδοση και διαστάσεις, αλλά με διαφορετική απόδοση σε lm/W. Κατά συνέπεια, είναι εφικτή η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς καμία τροποποίηση στην εγκατάσταση φωτισμού, αλλά μόνο με την ορθολογική επιλογή των λαμπτήρων. Αν οι απαιτήσεις φωτισμού των χώρων το επιτρέπουν, είναι εφικτή εξοικονόμηση, έως και κατά 30%, με την επιλογή λαμπτήρων διαφορετικής χρωματικής απόχρωσης αλλά καλύτερης απόδοσης σε lm/W. Η διαφορά στην απόδοση οφείλεται στη διαφορετική τεχνολογία των λαμπτήρων, η οποία επιβαρύνει ελάχιστα το κόστος αγοράς.

Η επιλογή της χρωματικής απόχρωσης των λαμπτήρων μπορεί να επιφέρει ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση. Αυτό προϋποθέτει εκτίμηση των ποιοτικών απαιτήσεων του φωτισμού σε έναν χώρο (οπτική άνεση) σε συνδυασμό με το επίπεδο φωτισμού. Εφ' όσον οι συνθήκες το επιτρέπουν, μπορεί να επιλεγεί τύπος λαμπτήρων που συνδυάζει συγκεκριμένη χρωματική απόχρωση με υψηλή απόδοση σε lm/W. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η κατανάλωση μειώνεται κατά 15% με αντικατάσταση των απλών λαμπτήρων φθορισμού T8, 58W, Daylight, 4000lm με ταυτόσημους Warm-white, 4600lm. Η εξοικονόμηση ανέρχεται σε 4% εάν αντικατασταθούν οι τριφασφωρικοί Daylight, 5000lm, με αντίστοιχους Warm-white, 5200lm [37].

#### Λαμπτήρες φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης. Παρουσιάζουν ένα αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών, λόγω των ιδιοτήτων τους. Με την κατάλληλη επιλογή των φθοριζουσών ουσιών, μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία χρώματος καθώς και, γενικότερα, η απαιτούμενη απόχρωση του εκπεμπόμενου φωτός. Πρέπει να δοθεί, όμως, ιδιαίτερη σημασία κατά την εγκατάστασή τους, διότι η απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού επηρεάζεται από τη θέση λειτουργίας τους και από τη θερμοκρασία. Η τελευταία μεταβάλλει σημαντικά το χρώμα ενός λαμπτήρα, καθώς επηρεάζει τη συμπεριφορά των φθοριζουσών επιστρώσεων και την εκκένωση τόξου του υδραργύρου [40].

Οι γραμμικοί λαμπτήρες φθορισμού T5 αποτελούν τη νέα γενιά λαμπτήρων φθορισμού. Λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρονικό ballast. Κατά συνέπεια, τα φωτιστικά με λαμπτήρες αυτού του τύπου παρουσιάζουν όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην παράγραφο 2.3.1. Οι διαστάσεις των λαμπτήρων T5 είναι διαφορετικές από εκείνες των λαμπτήρων T8 και T12, οπότε δεν είναι δυνατό να τους αντικαταστήσουν σε υφιστάμενα φωτιστικά σώματα.

Η απόδοση του συστήματος λαμπτήρα T5 και ηλεκτρονικού ballast μπορεί να προσεγγίσει τα 92lm/W, ενώ η αντίστοιχη του συμβατικού συστήματος λαμπτήρα T8 και

ηλεκτρομαγνητικού ballast δεν μπορεί να υπερβεί τα 76lm/W. Άρα, η απόδοση των λαμπτήρων T5 μπορεί να είναι έως και 21% υψηλότερη της απόδοσης των λαμπτήρων T8 με συμβατικό ballast. Όταν, όμως, οι λαμπτήρες T8 λειτουργούν με ηλεκτρονικό ballast, οι διαφορές στην απόδοση με τους λαμπτήρες T5 μειώνονται αισθητά και, συνεπώς, δεν κρίνεται ως οικονομικά συμφέρουσα η αντικατάστασή τους [37].

#### Λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των λαμπτήρων εκκένωσης υψηλής έντασης (high intensity discharge - HID). Παρουσιάζουν αρκετά υψηλές τιμές φωτεινής απόδοσης, που κυμαίνονται από 75lm/W έως 125lm/W, και είναι διαθέσιμοι σε ονομαστική ισχύ που μπορεί να φθάσει τα 2000W. Για τη λειτουργία τους είναι απαραίτητη η ύπαρξη ballast και θα πρέπει, όπως και για τους λαμπτήρες φθορισμού, να ληφθεί ειδική μέριμνα σχετικά με τη θερμοκρασία του λαμπτήρα και τη θέση λειτουργίας του. Αξίζει, τέλος, να αναφερθεί ότι, λόγω των ιδιοτήτων τους και των υψηλών τιμών ονομαστικής ισχύος στις οποίες διατίθενται, οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων ενδείκνυνται για χρήση σε μεγάλους χώρους, όπως είναι οι βιομηχανίες και οι χώροι αθλητικών δραστηριοτήτων [39, 40].

#### LED

Οι φωτοδιόδοι (light-emitting diodes - LEDs) παράγουν φως, το χρώμα του οποίου εξαρτάται από το υλικό του ημιαγωγού. Παρουσιάζουν μικρές μεταβολές, της τάξεως του 10%, στη συμπεριφορά τους ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αντιθέτως, η θερμοκρασία της επαφής p-n της διόδου επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες και τη διάρκεια ζωής των στοιχείων. Τα LEDs εμφανίζουν υψηλή κατευθυντικότητα του φωτός, γεγονός που καθορίζει το εύρος των εφαρμογών τους, εκτός και αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι φακοί με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης φωτισμού τους. Η φωτεινή τους απόδοση, λαμβάνοντας υπόψη και τον απαραίτητο οδηγό για τη λειτουργία τους, κυμαίνεται από 30lm/W έως 60lm/W [40]. Πλέον, λόγω της ταχείας ανάπτυξης των LEDs, η φωτεινή τους απόδοση έχει αυξηθεί σημαντικά όχι μόνο σε πειραματικό επίπεδο αλλά και σε εμπορικό.

### **2.3.4. Κυκλώματα φωτισμού και διακόπτες**

Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη χρήση διακοπών σε έναν χώρο. Προς αυτή την κατεύθυνση, είναι εφικτός ο σχεδιασμός κυκλωμάτων φωτισμού σε ένα κτίριο. Η πιο κοινή πρακτική είναι ο χειροκίνητος έλεγχος του φωτισμού. Ο σχεδιασμός και η θέση των χειριστηρίων επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Αφού η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται από τη προθυμία των χρηστών ενός χώρου να χρησιμοποιήσουν το κύκλωμα διακοπών, επηρεάζεται, σε μεγάλο βαθμό, από την άνεση και την ευελιξία που προσφέρει το σύστημα.

Κάθε κύκλωμα φωτισμού και διακοπών σχεδιάζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε κτιρίου. Υπάρχουν, όμως, και ορισμένες γενικές οδηγίες που βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές περιπτώσεις:

1. Κάθε ανεξάρτητος χώρος πρέπει να έχει τον δικό του διακόπτη.
2. Οι χώροι που διαθέτουν εξωτερικά ανοίγματα θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα επιλογής τουλάχιστον δύο επιπέδων φωτισμού.
3. Σε μεγάλους ανοικτούς χώρους, οι περιοχές εργασίας που έχουν παρόμοιες απαιτήσεις σε φωτισμό πρέπει να ομαδοποιούνται στο ίδιο κύκλωμα φωτισμού.
4. Όταν χρησιμοποιούνται φωτιστικά με έναν ή δύο λαμπτήρες, τα γειτονικά φωτιστικά πρέπει να τοποθετούνται εναλλάξ σε κυκλώματα, ώστε να επιτευχθούν δύο επίπεδα φωτισμού.
5. Όταν χρησιμοποιούνται φωτιστικά με τρεις λαμπτήρες, οι μεσαίοι λαμπτήρες πρέπει να συνδέονται σε διαφορετικό κύκλωμα από τους ακραίους. Με αυτό τον τρόπο, μπορούν να επιτευχθούν τρία επίπεδα φωτισμού στον χώρο.
6. Όταν υπάρχουν φωτιστικά με τέσσερις λαμπτήρες, οι μεσαίοι λαμπτήρες κάθε φωτιστικού πρέπει να συνδέονται σε ξεχωριστό κύκλωμα από τους εξωτερικούς, ώστε να επιτύχουμε δύο επίπεδα φωτισμού.
7. Περιοχές εργασίας με υψηλές απαιτήσεις σε φωτισμό πρέπει να διαθέτουν ξεχωριστούς διακόπτες από τους υπόλοιπους χώρους.
8. Τα φωτιστικά σώματα που είναι εγκατεστημένα κοντά σε εξωτερικά ανοίγματα θα πρέπει να είναι συνδεδεμένα σε ξεχωριστό κύκλωμα και να έχουν αυτόνομο χειρισμό [40].

### 2.3.5. Συντελεστής ισχύος

Το πρόβλημα του χαμηλού συντελεστή ισχύος στις εγκαταστάσεις φωτισμού είναι, θεωρητικά, αμελητέο, θεωρώντας δεδομένο ότι οι περισσότεροι κατασκευαστές ενσωματώνουν στα φωτιστικά τους τα απαραίτητα εξαρτήματα (πυκνωτές κ.λπ.) που βελτιώνουν τον συντελεστή ισχύος. Σημειώνεται, πάντως, ότι, ειδικά στα φωτιστικά με ηλεκτρονικά ballasts και ρυθμιστές, η διόρθωση αυτή αφορά συνήθως μόνο στον συντελεστή διαφοράς φάσης ( $\cos\phi$ ). Όμως, αυτές οι ηλεκτρονικές διατάξεις παράγουν αρμονικά ρεύματα, τα οποία είναι αρκετά δύσκολο να μειωθούν. Αυτό έχει σαν συνέπεια την εμφάνιση χαμηλού συντελεστή ισχύος (power factor  $\ll 1$ ), ακόμα και αν ο συντελεστής διαφοράς φάσης προσεγγίζει τη μονάδα ( $\cos\phi > 0,9$ ). Η εξάλειψη των αρμονικών διαταραχών είναι ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα και απαιτεί υψηλό κόστος, το οποίο δύσκολα αποσβένεται. Αν οι αρμονικές δεν δημιουργούν άλλα λειτουργικά προβλήματα, τότε η επένδυση για την εξάλειψή τους κρίνεται ως ασύμφορη. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, πρέπει να επιδιώκεται η βελτίωση του συντελεστή διαφοράς φάσης ( $\cos\phi$ ) και εφόσον ο χρήστης βρίσκεται σε τιμολογιακή πολιτική που επηρεάζει το κόστος ενέργειας (π.χ. χρήστης μέσης τάσης) [37].



### 2.3.6. Συντήρηση της εγκατάστασης φωτισμού

Η απόδοση μίας εγκατάστασης φωτισμού μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω της επικάθισης ρύπων στις επιφάνειες των φωτιστικών και των λαμπτήρων, της γήρανσης των υλικών των φωτιστικών που συμμετέχουν στην εκπομπή φωτός, καθώς και της γήρανσης των λαμπτήρων και των ballasts.

- Η επικάθιση ρύπων στον λαμπτήρα προκαλεί μείωση του εκπεμπόμενου φωτός από αυτόν. Κατά ανάλογο τρόπο, η επικάθιση ρύπων στις επιφάνειες των φωτιστικών σωμάτων, επηρεάζει τη διάδοση του φωτός, καθώς μειώνει την ποσότητα του φωτός που ανακλάται προς τον χώρο. Επίσης, η συγκέντρωση σκόνης στις στιλπνές ανακλαστικές επιφάνειες των φωτιστικών μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερη διάχυση του φωτός και να μην επιτυγχάνεται η επιθυμητή κατευθυντικότητα ή η απαιτούμενη ένταση φωτός στην επιφάνεια εργασίας. Είναι προφανές ότι ο ρυθμός επικάθισης ρύπων εξαρτάται από τη χρήση του εκάστοτε χώρου. Σε χώρους γραφείων το πρόβλημα της ρύπανσης είναι μικρότερο σε σύγκριση με χώρους βιομηχανικής χρήσης.
- Τα υλικά κατασκευής των φωτιστικών σωμάτων παρουσιάζουν διαφορετικές οπτικές ιδιότητες, αλλά και διαφορετικές αντιστάσεις στις φθορές. Το αλουμίνιο που έχει υποστεί επεξεργασία φθείρεται λιγότερο σε σύγκριση με το αλουμίνιο που έχει βαφεί. Οι ιδιότητες των πλαστικών μεταβάλλονται ταχύτερα με την πάροδο του χρόνου, καθώς επηρεάζονται από τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό τους και από τις ακτινοβολίες και την υψηλή θερμοκρασία που υφίστανται λόγω της λειτουργίας των λαμπτήρων.
- Η εκπεμπόμενη φωτεινή ροή από έναν λαμπτήρα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, λόγω της γήρανσης των υλικών που τον αποτελούν. Στην περίπτωση των λαμπτήρων φθορισμού, επέρχονται φωτοχημικές αλλοιώσεις στη φωσφορούχο επίστρωση και συγκεντρώνονται κατάλοιπα που απορροφούν μέρος του παραγόμενου φωτός μέσα στον λαμπτήρα. Όταν οι αλλοιώσεις αυτές ξεπεράσουν κάποιο όριο, ο λαμπτήρας παύει να λειτουργεί, γεγονός που επηρεάζει την ποσότητα και ποιότητα του φωτός, καθώς και τη λειτουργία των υπολοίπων λαμπτήρων του ίδιου φωτιστικού.

Το σύνολο των προαναφερθέντων παραγόντων συνιστά τον συντελεστή συντήρησης της εγκατάστασης φωτισμού, ο οποίος εκφράζει τη μείωση της απόδοσής της σε σχέση με την αρχική. Η μείωση αυτή λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη φωτισμού και, για να αντισταθμισθεί, προσαυξάνεται ο αριθμός των φωτιστικών. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται ότι το επίπεδο φωτισμού δεν θα πέφτει κάτω από την επιθυμητή τιμή λόγω της αναπόφευκτης γήρανσης που θα επέλθει με την πάροδο του χρόνου [37, 39, 40].

Η πιο αποτελεσματική και οικονομική, σύμφωνα με μελέτες, μέθοδος για τη συντήρηση του συστήματος φωτισμού είναι ο προγραμματισμένος καθαρισμός του συστήματος, σε συνδυασμό με την αντικατάσταση των λαμπτήρων. Ο περιοδικός καθαρισμός του συστήματος, η συχνότητα του οποίου μπορεί να καθοριστεί έπειτα από μελέτη για να προσδιοριστεί το κόστος του, συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας του φωτός, καθώς απομακρύνονται οι ρύποι από τα φωτιστικά σώματα και τους λαμπτήρες. Επιπλέον,

κατά τη διάρκεια του καθαρισμού, γίνεται και έλεγχος του συστήματος για φθορές ή λαμπτήρες που δεν λειτουργούν. Παράλληλα, συνιστάται η περιοδική αντικατάσταση ενός μέρους ή και του συνόλου των λαμπτήρων, ακόμα και αν αυτοί εξακολουθούν να λειτουργούν. Η πρακτική αυτή οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση, καθώς μειώνει τόσο το κόστος λειτουργίας του συστήματος όσο και το κόστος εργασίας για τον έλεγχο και την αποκατάσταση του συστήματος φωτισμού [40].

Εξειδικευμένοι φορείς που διεξήγαγαν μετρήσεις σε εγκαταστάσεις φωτισμού κτιρίων γραφείων διαπίστωσαν ότι η μείωση του φωτισμού στις πλημμελώς συντηρημένες εγκαταστάσεις μπορεί να υπερβεί ακόμα και το 50%, ενώ, αν η συντήρηση είναι τακτική, η μείωση δεν υπερβαίνει το 25%. Οι μετρήσεις που έγιναν σε τυπικούς επαγγελματικούς χώρους οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι εξοικονομείται ενέργεια της τάξης του 15% εάν τα φωτιστικά καθαρίζονται ανά έτος με ταυτόχρονη αντικατάσταση του 1/3 των λαμπτήρων, έστω και αν λειτουργούν, αφού η απόδοσή τους, όταν υπερβούν το 70% της διάρκειας ζωής τους, μειώνεται σημαντικά και γίνονται ασύμφοροι [37, 40].

## **2.4. Αυτοματισμοί και στρατηγικές ελέγχου φωτισμού**

Τα πιο αποδοτικά φωτιστικά σώματα μπορούν να αξιοποιηθούν ακόμα πιο αποτελεσματικά εάν συνδυασθούν με διατάξεις ελέγχου, οι οποίες προσαρμόζουν τον φωτισμό στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των χρηστών. Οι στρατηγικές ελέγχου του φωτισμού μπορούν να υλοποιηθούν είτε κεντρικά, περιλαμβάνοντας ολόκληρο το κτίριο, είτε τοπικά, σε ανεξάρτητους χώρους. Μπορεί, επίσης, να πραγματοποιηθεί και συνδυασμός αυτών των δύο τεχνικών, λαμβάνοντας υπόψη, σε κάθε περίπτωση, τη χρήση του χώρου και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του. Τα συστήματα ελέγχου του φωτισμού επιτρέπουν την επίβλεψη του συστήματος και ρυθμίζουν την κατανάλωση ενέργειας. Μελέτες σε κτίρια έχουν δείξει ότι, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και τα συστήματα και τις στρατηγικές ελέγχου που έχουν επιλεγεί, είναι δυνατή η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από το σύστημα φωτισμού ακόμα και κατά 80% [40].

### **2.4.1. Προγραμματισμός**

Ο προγραμματισμός στο σύστημα φωτισμού, όπως και οι υπόλοιπες τεχνικές ελέγχου, έχει ως κύριο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας με τον περιορισμό της χρήσης του συστήματος στις στιγμές που απαιτείται. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η αναίτια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη στρατηγική ελέγχου μπορεί να διαφοροποιηθεί σε δύο κατηγορίες, τον προβλεπόμενο και τον μη προβλεπόμενο προγραμματισμό.

Ο προβλεπόμενος προγραμματισμός βρίσκει εφαρμογή σε κτίρια όπου οι δραστηριότητες επαναλαμβάνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα φωτιστικά σώματα μπορούν να λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα, παρέχοντας, βέβαια, τη δυνατότητα παράκαμψής του στην περίπτωση των μεταβολών της ρουτίνας. Οι στρατηγικές προ-

βλεπόμενου προγραμματισμού είναι ιδιαίτερα αποδοτικές σε περιπτώσεις όπου το πρόγραμμα εργασίας είναι καθορισμένο για ολόκληρο τον χώρο. Οι συγκεκριμένες στρατηγικές μπορούν να επιτύχουν εξοικονόμηση ενέργειας ακόμα και κατά 40%, ελαχιστοποιώντας την ενέργεια που δαπανάται από τα φωτιστικά σε χώρους όπου δεν υπάρχει προσωπικό. Ο αυτόματος προγραμματισμός μπορεί να διευκολύνει τους χρήστες ενός χώρου στον χειρισμό του φωτισμού και μπορεί να σηματοδοτεί ορισμένες δραστηριότητες, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο ενός εμπορικού καταστήματος.

Η στρατηγική του μη προβλεπόμενου προγραμματισμού υιοθετείται σε χώρους όπως οι χώροι ανάπαυσης, χώροι με αντιγραφικά μηχανήματα, χώροι αρχειοθέτησης, δωμάτια συνεδριάσεων και δοκιμαστήρια εμπορικών καταστημάτων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται περιστασιακά και χωρίς πρόγραμμα. Παρά το γεγονός ότι οι χώροι αυτοί δεν ενδείκνυνται για την εφαρμογή ενός αυστηρού προγράμματος φωτισμού, τεχνικές τοπικού αυτομάτου ελέγχου μπορούν να είναι πιο αποδοτικές οικονομικά από τη χειροκίνητη λειτουργία του φωτισμού. Οι στρατηγικές μη προβλεπόμενου ελέγχου με τη χρήση αισθητήρων παρουσίας και κίνησης μπορούν να επιτύχουν εξοικονόμηση ενέργειας μεγαλύτερη και από 60%, σε ορισμένες περιπτώσεις. Για την εκτίμηση των πλεονεκτημάτων του αυτόματου ελέγχου, πρέπει να υπολογισθεί η αναλογία του χρόνου κατά την οποία ο χώρος παραμένει κενός. Επίσης, πρέπει να συνεκτιμηθεί και το ενδεχόμενο της όχλησης των χρηστών γειτονικών χώρων [40].

#### **2.4.2. Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού - Αισθητήρες φωτισμού**

Στους περιμετρικούς χώρους ενός κτιρίου, ο φυσικός φωτισμός μπορεί να παρέχει ένα σημαντικό ποσοστό της απαιτούμενης έντασης φωτισμού. Σε αυτούς τους χώρους, είναι δυνατή η μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τον φωτισμό, με την κατάλληλη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φυσικού φωτός. Στην περίπτωση που ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί, οι ανάγκες ενός χώρου καλύπτονται από το σύστημα τεχνητού φωτισμού. Προς αυτόν τον σκοπό, αξιοποιούνται τεχνικές ρύθμισης της στάθμης του φωτισμού (dimming), αλλά και στρατηγικές έναυσης και σβέσης των λαμπτήρων (switching), ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου και των χρηστών για την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός [40].

Η πιο απλή λύση για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού είναι η τοποθέτηση αισθητήρα φωτός σε κάθε διακριτό χώρο εργασίας, ο οποίος μετρά την ένταση φωτισμού και ρυθμίζει την ένταση του τεχνητού φωτισμού σε επιθυμητό επίπεδο μέσω ρυθμιστή φωτός (dimmer). Το σύστημα αυτό είναι τοπικού χαρακτήρα και δεν συνδυάζεται ούτε επικοινωνεί με αντίστοιχα συστήματα εγκατεστημένα σε άλλους χώρους. Δεν προϋποθέτει, δηλαδή, την ύπαρξη συστήματος κεντρικής διαχείρισης κτιρίου (BMS), αν και μπορεί να ενταχθεί σε ένα τέτοιο σενάριο. Αντιθέτως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι τα υφιστάμενα φωτιστικά να λειτουργούν με ηλεκτρονικό ballast [37].

### 2.4.3. Αισθητήρες παρουσίας

Η κυριότερη λειτουργία των αισθητήρων παρουσίας είναι η αυτόματη απενεργοποίηση των φωτιστικών, όταν οι χώροι δεν χρησιμοποιούνται, με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η μέθοδος ελέγχου μπορεί να προσφέρει μεγάλο οικονομικό όφελος, ειδικά εάν, εκτός από τον φωτισμό, συνδυαστεί και με τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης του χώρου.

Οι αισθητήρες παρουσίας - κίνησης παρέχουν έλεγχο των φωτιστικών σε τοπικό επίπεδο, σε συνάρτηση με την παρουσία ή την απουσία των χρηστών ενός χώρου. Η παρουσία γίνεται αισθητή με ηχητικά ή υπερηχητικά σήματα, υπέρυθη ακτινοβολία, ή οπτικά μέσα. Αυτές οι συσκευές ενεργοποιούν τον φωτισμό, καθώς και όποιο άλλο σύστημα ελέγχουν, μόλις κάποιος χρήστης εισέλθει στον χώρο. Αντίστοιχα, απενεργοποιούν το σύστημα σε κάποια προκαθορισμένη χρονική στιγμή μετά την αποχώρηση του χρήστη. Για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων, οι αισθητήρες παρουσίας - κίνησης μπορούν να συνδυαστούν με άλλες διατάξεις ελέγχου, όπως είναι οι χρονοδιακόπτες, οι αισθητήρες φωτισμού και οι ρυθμιστές φωτισμού (dimmers).

Ο μελετητής, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού της εγκατάστασης, θα πρέπει να δώσει ιδιαίτερη σημασία στην τοποθέτηση των αισθητήρων παρουσίας, ώστε αυτοί να ανιχνεύουν τις κινήσεις σε όλες τις περιοχές εργασίας ενός χώρου. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να μεριμνήσει ώστε οι αισθητήρες να μην επηρεάζονται από την κίνηση ατόμων εκτός του χώρου που ελέγχουν. Επιπλέον, θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα η χρονική καθυστέρηση για την απενεργοποίηση του συστήματος φωτισμού από τη στιγμή που ο αισθητήρας δεν αντιλαμβάνεται παρουσία στον χώρο. Με αυτόν τον τρόπο παρατείνεται η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων, οι οποίοι είναι ευαίσθητοι και φθείρονται από τις συχνές ενεργοποιήσεις και απενεργοποιήσεις τους. Τέλος, θα πρέπει να δοθεί στους χρήστες η δυνατότητα να παρακάμπτουν τη λειτουργία των αισθητήρων παρουσίας, στην περίπτωση που αυτοί προκαλούν όχληση ή δυσχεραίνουν τις εργασίες τους [40].

### 2.4.4. Χρονοδιακόπτες

Η λειτουργία ενός χρονοδιακόπτη είναι ο έλεγχος του φωτισμού αναφορικά με μία γνωστή ή προκαθορισμένη αλληλουχία γεγονότων. Σκοπός του, δηλαδή, είναι να απενεργοποιεί το σύστημα φωτισμού, όταν αυτό δεν χρειάζεται, για να επιτευχθεί εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας. Ο προγραμματισμός του καθορίζεται, σε κάθε περίπτωση, από το είδος του χώρου και τις ανάγκες των χρηστών. Οι χρονοδιακόπτες ποικίλουν από τους απλούς, που λειτουργούν με ελατήριο, στους πολύ σύνθετους, με μικροεπεξεργαστές που μπορούν να προγραμματίσουν αλληλουχίες γεγονότων για έτη. Θα πρέπει, όμως, να δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα να παρακάμψουν αυτόν τον προγραμματισμό, για την περίπτωση που θα προκύψουν αποκλίσεις από την προκαθορισμένη αλληλουχία [40].

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι, με την εφαρμογή των αυτόνομων αυτοματισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα φωτισμού της τάξης του 10% έως 20%, ανάλογα και με τη χρήση του εκάστοτε χώρου. Επισημαίνεται, ακόμη, ότι η αξιοποίηση των ανωτέρω αυτοματισμών δεν προϋποθέτει την ύπαρξη συστήματος κεντρικής διαχείρισης του κτιρίου (BMS). Κατά συνέπεια, μπορούν να εγκατασταθούν σε υφιστάμενα κτίρια, χωρίς να προκαλέσουν ιδιαίτερη όχληση στις δραστηριότητές τους [37].

#### **2.4.5. Εξισορρόπηση λαμπρότητας**

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος φωτισμού καθορίζει τα όρια της λαμπρότητας σε έναν χώρο, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα οπτικής όχλησης των χρηστών. Ένας στόχος που πρέπει να επιτευχθεί είναι η εξισορρόπηση των διαφορετικών επιπέδων λαμπρότητας για να μειωθούν η θάμβωση και οι σκιάσεις. Για παράδειγμα, ο έλεγχος του συστήματος φωτισμού μπορεί να αξιοποιηθεί για να μετριάσει την υψηλή λαμπρότητα που δημιουργείται από τα παράθυρα σε εσωτερικούς χώρους. Μία τεχνική ελέγχου είναι η μείωση του φωτός που εισέρχεται στον χώρο με τη χρήση σκιάστρων ή περσίδων. Μία άλλη τεχνική, με διαφορετική φιλοσοφία, είναι η αύξηση της έντασης φωτισμού που παράγεται από τα φωτιστικά σώματα του χώρου. Συχνά, ο έλεγχος του συστήματος φωτισμού χρησιμοποιείται για να παρέχει τις συνθήκες μετάβασης ανάμεσα σε δύο χώρους, οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα λαμπρότητας ή έντασης φωτισμού [40].

#### **2.4.6. Διατήρηση επιπέδων φωτισμού**

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος φωτισμού διασφαλίζει μία ελάχιστη τιμή κάτω από την οποία δεν πρέπει να μειωθεί η ένταση φωτισμού. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, το επίπεδο φωτισμού ενός νέου συστήματος πρέπει να υπερβαίνει το επίπεδο φωτισμού που απαιτείται από τους κανονισμούς κατά 20% έως και 35%. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα φωτισμού θα μπορέσει να αντισταθμίσει τη μείωση των επιπέδων φωτισμού με την πάροδο του χρόνου. Τα αίτια αυτής της μείωσης είναι η μείωση της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από τον λαμπτήρα λόγω γήρανσης, η μείωση της φωτεινής απόδοσης των φωτιστικών σωμάτων και η μείωση του συντελεστή ανάκλασης των επιφανειών των εσωτερικών χώρων λόγω επικάλυψης ρύπων [41].

Η στρατηγική ελέγχου διατήρησης των επιπέδων φωτισμού διατηρεί τη στάθμη φωτισμού σταθερή. Κατά συνέπεια, η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται στην αρχή της λειτουργίας του συστήματος και μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Η ισχύς αυξάνεται σταδιακά προκειμένου να διατηρείται σταθερό το επίπεδο φωτισμού στην επιθυμητή τιμή. Η στρατηγική αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια ενός ρυθμιστή στάθμης φωτισμού (dimmer) σε συνδυασμό με έναν αισθητήρα φωτισμού. Ο αισθητήρας μετρά την ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας και ο ρυθμιστής μεταβάλλει την εκπεμπόμενη φωτεινή

ροή του λαμπτήρα, ώστε να επιτυγχάνεται πάντα η επιθυμητή στάθμη φωτισμού. Μία εναλλακτική προσέγγιση είναι ο συνδυασμός ενός ρυθμιστή (dimmer) με έναν χρονοδιακόπτη, ο οποίος θα έχει προγραμματιστεί με βάση τα δεδομένα της χρονικής αλληλουχίας της συντήρησης του συστήματος [41, 42].

#### **2.4.7. Εξομάλυνση φορτίου και μείωση της ζήτησης ισχύος**

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά στον φωτισμό σε ένα κτίριο μπορεί να μειωθεί σημαντικά με τον έλεγχο της μείωσης της ζήτησης ισχύος για μικρές χρονικές περιόδους. Η επιλεκτική μείωση της έντασης φωτισμού στους λιγότερο σημαντικούς χώρους του κτιρίου μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιοχές όπου η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται το καλοκαίρι. Μία σχετική μείωση στην ισχύ για φωτισμό μπορεί να μειώσει έμμεσα την ισχύ για κλιματισμό. Οι έλεγχοι με μείωση της ζήτησης ισχύος περιλαμβάνουν πολλές εφαρμογές οι οποίες συντελούν στην αποφυγή συσκοτίσεων, με αποτέλεσμα η εξοικονόμηση ενέργειας, στις ώρες αιχμής, να είναι σημαντική [41].

#### **2.4.8. Ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή**

Συνήθως το σύστημα φωτισμού σχεδιάζεται με σκοπό να διασφαλίζει ομοιόμορφα επίπεδα φωτισμού σε όλο τον χώρο που τοποθετείται. Έχει αποδειχθεί, όμως, ότι η ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή, ανάλογα με το είδος των εργασιών που διεξάγονται, μπορεί να επιφέρει μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Εφ' όσον είναι γνωστή η φύση των εργασιών σε έναν χώρο και οι απαιτήσεις τους σε φωτισμό, είναι δυνατή η παροχή φωτός επιλεκτικά στην επιφάνεια εργασίας, με αντίστοιχη μείωση της έντασης φωτισμού περιμετρικά. Επιπλέον, μπορούν να μειωθούν τα επίπεδα φωτισμού σε χώρους όπως είναι οι διάδρομοι και οι χώροι υποδοχής και να αυξηθούν σε περιοχές όπου υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις. Πρέπει, όμως, να παρέχεται, σε κάθε περίπτωση, η δυνατότητα χειροκίνητου ελέγχου από τους χρήστες. Με αυτόν τον τρόπο, σε μία περιστασιακή αλλαγή της χρήσης του χώρου ή της δραστηριότητας που εκτελείται σε αυτόν, οι χρήστες μπορούν να ρυθμίσουν την ένταση του φωτισμού στα επιθυμητά επίπεδα [40, 41].

#### **2.4.9. Συστήματα κεντρικής διαχείρισης κτιρίων**

Τα συστήματα κεντρικής διαχείρισης κτιρίων (BMS) συνιστούν ολοκληρωμένη λύση για την εποπτεία της λειτουργίας των κτιρίων, τον έλεγχο των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και τη διαχείρισή τους. Όλες οι τεχνικές ελέγχου που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους μπορούν να εκτελεστούν από ένα απλό BMS, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες δεν αντιμετω-

πίζονται αυτόνομα και τοπικά σε κάθε διακριτό χώρο, αλλά ενσωματώνονται στο ολοκληρωμένο σύστημα του κτιρίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διασύνδεση των αυτοματισμών και την αλληλεπίδραση των λειτουργιών.

Το κόστος εγκατάστασης συστήματος κεντρικής διαχείρισης είναι αρκετά υψηλότερο από το αντίστοιχο μίας συμβατικής εγκατάστασης. Όμως, η εφαρμογή του σε σύγχρονα επαγγελματικά κτίρια αποσβένει το κόστος της σε λογικό χρονικό διάστημα, καθιστώντας την επένδυση συμφέρουσα. Οπωσδήποτε, για την εγκατάσταση BMS απαιτείται τεχνοοικονομική μελέτη, η οποία θα εκτιμήσει τον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης σύμφωνα με τις λειτουργίες του κτιρίου. Έχει διαπιστωθεί, πάντως, με μετρήσεις εξειδικευμένων φορέων ότι η εγκατάσταση συστήματος κεντρικής διαχείρισης επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό από 10% έως 50%, ανάλογα και με το είδος της χρήσης του κτιρίου και τις τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας που έχουν ενσωματωθεί. Στην περίπτωση που δεν προκριθεί η εγκατάσταση συστήματος κεντρικής διαχείρισης του κτιρίου, πρέπει να εξετασθεί η σκοπιμότητα της εγκατάστασης αυτόνομων αυτοματισμών για τον έλεγχο του φωτισμού στους χώρους όπου απαιτείται [37].

## 2.5. Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού

Για την αποτελεσματική και ακριβή εκτέλεση των εργασιών, οι χρήστες ενός χώρου έχουν ανάγκη από την παροχή επαρκούς φωτισμού, τόσο από την άποψη της ποσότητας όσο και της ποιότητας. Για την επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων φωτισμού μπορεί να αξιοποιηθεί ο φυσικός φωτισμός, ο τεχνητός φωτισμός ή και συνδυασμός τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, για λόγους υγείας, άνεσης αλλά και εξοικονόμησης ενέργειας, προτιμάται η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, με τη συμπληρωματική παροχή τεχνητού φωτισμού, όπου αυτός απαιτείται. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να εξεταστούν όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε έναν χώρο, όπως είναι οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου, η θέση του και ο προσανατολισμός του και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή [43].

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού θα πρέπει να ενταχθούν στον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός κτιρίου κατά τα αρχικά στάδια, εάν είναι δυνατόν, για την επίτευξη της βέλτιστης εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού. Με τη χρήση κατάλληλων σχεδιαστικών υπολογιστικών πακέτων είναι δυνατή η εκτέλεση προσομοιώσεων για την εκτίμηση των επιπτώσεων του φυσικού φωτισμού σε ένα κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο, ο μελετητής μπορεί να έχει στη διάθεση του πληρέστερα αποτελέσματα σχετικά με την κατανομή του φωτός και των λαμπροτήτων στις επιφάνειες του χώρου.

Η ύπαρξη εξωτερικών ανοιγμάτων σε ένα κτίριο εξυπηρετεί δύο διαφορετικούς σκοπούς. Ο πρώτος από αυτούς είναι η παροχή διάχυτου φωτός στον χώρο, η οποία ενδέχεται να μην επαρκεί για την εκτέλεση εργασιών, αλλά είναι αρκετή για την κίνηση των χρηστών μέσα στον χώρο. Ο δεύτερος στόχος είναι η οπτική επαφή των χρηστών του κτιρίου με το εξωτερικό περιβάλλον, γεγονός που έχει αποδειχθεί ότι επιδρά θετικά στην υγεία και τη διάθεση των εργαζομένων. Τους παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ώρα της ημέρας και τις καιρικές συνθήκες και τους δίνει την δυνατότητα να ξεκουράσουν τους μυς των ματιών,

εστιάζοντας σε μακρινά αντικείμενα. Επιπλέον, το φυσικό φως μέσω των εξωτερικών ανοιγμάτων μπορεί να βελτιώσει την αντίληψη που έχουν οι χρήστες για τον χώρο, καθώς ο διάχυτος φωτισμός μειώνει το φαινόμενο της θάμβωσης από τα φωτιστικά σώματα. Είναι, μάλιστα, τόσο σημαντική η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον ώστε οι χρήστες δηλώνουν ότι ανέχονται τη θάμβωση που προκαλεί η έντονη ηλιοφάνεια σε χώρους με μεγάλα ανοίγματα, σε αντίθεση με τη θάμβωση που προκύπτει από το σύστημα τεχνητού φωτισμού.

Το ηλιακό φως μπορεί να αξιοποιηθεί για τον φωτισμό ενός χώρου, αλλά πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στον έλεγχο τόσο της ποσότητας και της κατανομής του φωτός όσο και της θερμότητας. Το κέρδος ή η απώλεια θερμότητας μέσω των παραθύρων πρέπει να αντισταθμισθεί με κατάλληλες εφαρμογές στο κτιριακό κέλυφος και στο σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Η εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός επιφέρει μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τον φωτισμό, αλλά ενδέχεται να επιβαρύνει την κατανάλωση του συστήματος κλιματισμού του κτιρίου. Προτείνεται, λοιπόν, η εφαρμογή διατάξεων ελέγχου του ηλιακού φωτός στο κέλυφος του κτιρίου και η χρήση κατάλληλων υαλοπινάκων ώστε να μειωθούν το θερμικό κέρδος το καλοκαίρι και οι θερμικές απώλειες τον χειμώνα, χωρίς, ωστόσο, να παρεμποδίζεται η θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον [40].

### 2.5.1. Παράγοντας φυσικού φωτισμού

Ως μέτρο επάρκειας του φυσικού φωτισμού, χρησιμοποιείται ο παράγοντας φυσικού φωτισμού (daylight factor - DF), ο οποίος αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως λόγος φυσικού φωτισμού (daylight ratio). Ορίζεται ως ο λόγος της έντασης φωτισμού στο εσωτερικό ενός χώρου προς την ένταση φωτισμού στο εξωτερικό του χώρου αυτού, σε τυπικές συνθήκες πλήρως νεφοσκεπούς ουρανού κατά CIE. Συγκεκριμένα, ο παράγοντας φυσικού φωτισμού μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$DF = \frac{E_i}{E_o} \cdot 100\%$$

όπου:  $E_i$  είναι η ένταση φωτισμού (σε lux) σε ένα σημείο οριζόντιας επιφάνειας στο εσωτερικό του χώρου που παράγεται από τη φωτεινή ροή που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον ουρανό και  $E_o$  είναι η ένταση φωτισμού (σε lux) σε οριζόντια επιφάνεια στο εξωτερικό του χώρου την ίδια χρονική στιγμή που παράγεται από το ημισφαίριο του ουρανού χωρίς να παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο [40, 43].

Ανάλογα με τη μέση τιμή του παράγοντα φυσικού φωτισμού, εκτιμάται το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζεται ως:

- υψηλό, αν η μέση τιμή του DF είναι μεγαλύτερη ή ίση του 3%,
- μέτριο, αν η μέση τιμή του DF κυμαίνεται ανάμεσα στο 2% και στο 3%,
- χαμηλό, αν η μέση τιμή του DF βρίσκεται ανάμεσα στο 1% και στο 2%,



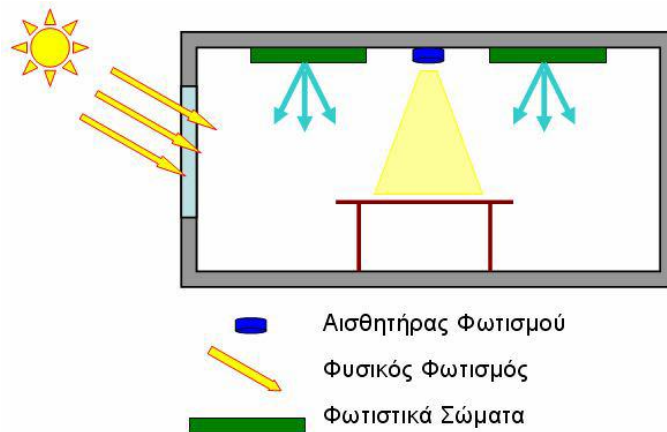
ενώ, αν η μέση τιμή του DF είναι μικρότερη του 1%, ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί ώστε να προσφέρει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.5.2. Αισθητήρες φωτισμού

Γενικά ο αισθητήρας φωτισμού ενσωματώνει τα περισσότερα λειτουργικά στοιχεία ενός ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου φωτισμού. Λαμβάνει τα δεδομένα εισόδου, τα επεξεργάζεται και τα μετατρέπει σε ένα τελικό σήμα εξόδου, το οποίο οδηγείται στο σύστημα τεχνητού φωτισμού και συγκεκριμένα στα EDBs (electronic dimming ballasts). Ο όρος φωτοκύτταρο αναφέρεται μόνο στο φωτοευαίσθητο εξάρτημα που περιλαμβάνεται στον αισθητήρα φωτισμού. Αντιθέτως, ο όρος αισθητήρας φωτισμού χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ολοκληρωμένο σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει προστατευτικό κάλυμμα, βάση στήριξης, οπτικούς φακούς, ηλεκτρονικό κύκλωμα επεξεργασίας σήματος και φωτοκύτταρο [41].

Οι αισθητήρες φωτισμού μετατρέπουν την ορατή ακτινοβολία σε ένα ηλεκτρικό σήμα, το οποίο αξιοποιείται για τον έλεγχο κάποιου λαμπτήρα ή άλλου συστήματος. Οι αισθητήρες αυτοί, συνήθως, δεν επηρεάζονται από την υπέρυθη και την υπεριώδη ακτινοβολία, λόγω της ύπαρξης κατάλληλων φίλτρων. Το σήμα ελέγχου μπορεί να ενεργοποιήσει δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Στην πρώτη περίπτωση, η έξοδος του αισθητήρα ενεργοποιεί έναν διακόπτη ή ηλεκτρονόμο έναυσης - σβέσεως (switching). Στη δεύτερη επιλογή, παράγεται ένα μεταβλητό σήμα εξόδου το οποίο, μέσω κατάλληλου ελεγκτή, ρυθμίζει συνεχώς το επίπεδο φωτισμού (dimming). Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος εξαρτάται από το κόστος, καθώς τα συστήματα με ρυθμιστές (dimmers) είναι πιο ακριβά από τις εφαρμογές με διακόπτες. Όμως, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία και στις απαιτήσεις των χρηστών, καθώς η συνεχής έναυση και σβέση των λαμπτήρων (switching) δημιουργεί ένα δυσάρεστο περιβάλλον, ενώ η ρύθμιση της έντασης του φωτισμού (dimming) γίνεται εύκολα αποδεκτή [40].

Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται ένα βασικό σενάριο ελέγχου φωτισμού με αισθητήρα φωτισμού σε γραφείο με παράπλευρα εξωτερικά ανοίγματα. Τα σημαντικότερα στοιχεία του συστήματος εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού είναι η κατανομή του φυσικού φωτισμού στον χώρο, ο αισθητήρας φωτισμού, τα φωτιστικά σώματα και η ζώνη ελέγχου του αισθητήρα [41].



Εικόνα 3: Βασικά στοιχεία ενός τυπικού συστήματος ελέγχου φωτισμού με αισθητήρα φωτισμού [41]

### 2.5.2.1. Θέση αισθητήρα φωτισμού

Ο αισθητήρας φωτισμού τοποθετείται, συνήθως, στην οροφή και προσλαμβάνει ορατή ακτινοβολία όχι μόνο από το επίπεδο εργασίας αλλά και από άλλες εσωτερικές επιφάνειες του χώρου. Για τον ακριβή έλεγχο της έντασης φωτισμού στο επίπεδο εργασίας, η ιδανική θέση για τον αισθητήρα θα ήταν η επιφάνεια εργασίας. Σε αυτό το σημείο, η απόκριση του αισθητήρα ως προς την ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας θα είναι ευθέως ανάλογη. Εν τούτοις, η συγκεκριμένη θέση δεν είναι πρακτική για την τοποθέτησή του. Σε αυτό το σημείο, ο αισθητήρας σκιάζεται από τις δραστηριότητες στον χώρο της εγκατάστασής του, με αποτέλεσμα να υπάρχει όχληση στην ομαλή λειτουργία του. Επίσης, υπάρχει το ενδεχόμενο ο αισθητήρας να παρεμποδίζει την εκτέλεση ορισμένων εργασιών ή ακόμα και να καταστραφεί από τις κινήσεις των χρηστών, καθώς και η δυσκολία της διασύνδεσής του με τον ελεγκτή [40, 41].

Έτσι, για πρακτικούς λόγους και για να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβάσεις από τις δραστηριότητες που εκτελούνται στον χώρο, οι αισθητήρες φωτισμού τοποθετούνται κυρίως στην οροφή. Όμως, ο έλεγχος της έντασης φωτισμού του επιπέδου εργασίας με έναν αισθητήρα που βρίσκεται στην οροφή καθιστά πιο πολύπλοκη τη λειτουργία του συνολικού συστήματος ελέγχου φωτισμού. Αυτό οφείλεται κυρίως στις πολλαπλές μεταβολές της κατανομής του φωτισμού στον χώρο, που προκαλούνται πρωτίστως από τις αλλαγές των επιπέδων φυσικού φωτισμού και δευτερευόντως από τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται μέσα σε αυτόν τον χώρο [41].

Μία εναλλακτική πρόταση, σύμφωνα με την οποία δεν απαιτείται η εγκατάσταση αυτόνομων αισθητήρων φωτισμού στα φωτιστικά σώματα, είναι η αξιοποίηση του συστήματος κεντρικής διαχείρισης κτιρίου (BMS). Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα τροφοδοτείται συνεχώς με δεδομένα σχετικά με την ηλιοφάνεια και, γενικότερα, τις συνθήκες που επικρατούν και ρυθμίζει την έξοδο του κάθε φωτιστικού σώματος ξεχωριστά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χώρου [42].

### 2.5.2.2. Ρύθμιση αισθητήρα φωτισμού

Για να μπορέσουν οι χρήστες ενός χώρου να εκμεταλλευτούν βέλτιστα ένα σύστημα φυσικού φωτισμού, αυτό θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί κατάλληλα μετά την εγκατάστασή του. Η ρύθμιση αυτή (commissioning) αποτελεί μία διαδικασία η οποία εξασφαλίζει ότι όλα τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος λειτουργούν σύμφωνα με τα σχέδια και τις απαιτήσεις των χρηστών του χώρου. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη διεργασία συνιστάται να εκτελείται μετά τον εξοπλισμό του χώρου, όταν αυτός είναι έτοιμος για χρήση.

Μία τυπική διαδικασία ρύθμισης περιλαμβάνει τη βαθμονόμηση όλων των ηλεκτρικών ή μηχανικών αισθητήρων, ώστε να παράγουν το επιθυμητό σήμα ελέγχου για τον προκαθορισμένο σχεδιασμό του χώρου και για ένα μεγάλο εύρος συνθηκών φυσικού φωτισμού. Η τοποθέτηση και ο προσανατολισμός του αισθητήρα φωτισμού και η λειτουργία του ελεγκτή πρέπει να προσαρμοστούν ώστε να παρέχουν τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας [40].

### 2.5.3. Κατανομή φυσικού φωτισμού

Η ποσότητα του φυσικού φωτισμού σε έναν χώρο μειώνεται λογαριθμικά με την αύξηση της απόστασης από το εξωτερικό άνοιγμα. Είναι, λοιπόν, σύνηθες φαινόμενο, όσον αφορά στον φυσικό φωτισμό, η ύπαρξη υπερβολικά φωτισμένων περιοχών κοντά στα εξωτερικά ανοίγματα και υποφωτισμένων μακριά από αυτά. Επιπλέον, η ένταση φωτισμού σε μία κάθετη επιφάνεια, όπως είναι οι τοίχοι, είναι μεγαλύτερη από την ένταση φωτισμού στο οριζόντιο επίπεδο. Ως αξιοποιήσιμη ποσότητα φυσικού φωτισμού ορίζεται η ποσότητα που εισέρχεται με διάχυση σε έναν χώρο είτε μέσω φεγγίτη ή ραφιών φωτισμού, είτε μέσω των εξωτερικών ανοιγμάτων, καθώς και από τις πολλαπλές ανακλάσεις που οφείλονται στη γενικότερη διαμόρφωση του εξωτερικού χώρου.

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι, συνήθως, πολύ έντονη και προκαλεί θάμβωση. Για τον λόγο αυτό, ο άμεσος φυσικός φωτισμός πρέπει να εμποδίζεται ή να κατευθύνεται με τη χρήση σκιάστρων ή άλλων τεχνικών φυσικού φωτισμού που εφαρμόζονται στα εξωτερικά ανοίγματα ενός κτιρίου. Ο φυσικός φωτισμός, με την εφαρμογή τέτοιων τεχνικών, διαχέεται γενικότερα στον χώρο, τόσο στο οριζόντιο επίπεδο όσο και προς την οροφή. Κατά συνέπεια, η ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας, στους τοίχους και στην οροφή τείνει να κατανέμεται ομοιόμορφα. Η απόδοση του αισθητήρα φωτισμού, ο οποίος τοποθετείται συνήθως στην οροφή, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από αυτή την κατανομή του φυσικού φωτισμού. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης θέσης για τον αισθητήρα παίζει και ο λόγος της έντασης φωτισμού μεταξύ της επιφάνειας εργασίας και της οροφής [41].

#### 2.5.4. Ζώνες ελέγχου φωτισμού

Οι ζώνες ελέγχου φωτισμού είναι περιοχές στους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου οι οποίες εκμεταλλεύονται τον φυσικό φωτισμό. Παράλληλα με τον φυσικό φωτισμό, αξιοποιείται και ο τεχνητός, ώστε να διασφαλίζονται τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας ή στο ευρύτερο εσωτερικό περιβάλλον. Το μέγεθος μίας ζώνης ελέγχου καθορίζεται από τη διαμόρφωση και τη γεωμετρία των εξωτερικών ανοιγμάτων, την κατάσταση του ουρανού και τη θέση του ήλιου. Για τον ορισμό των τιμών έντασης φωτισμού και του μεγέθους των ζωνών ελέγχου απαιτούνται μετρήσεις ή υπολογισμοί από προσομοιώσεις τουλάχιστον τριών διαφορετικών μηνών που αντιπροσωπεύουν τον χειμώνα, την άνοιξη ή το φθινόπωρο και το καλοκαίρι. Προκειμένου να οριστεί μία μέγιστη και μία ελάχιστη τιμή της απόδοσης είναι δυνατό να μελετηθούν δύο αντιπροσωπευτικοί μήνες της χειμερινής και της θερινής περιόδου.

Οι ζώνες ελέγχου φωτισμού συνδέουν περιοχές οι οποίες έχουν παραπλήσια χαρακτηριστικά κατανομής φυσικού φωτισμού. Συνήθως μέσα σε μία ζώνη ελέγχου η μέγιστη ένταση φωτισμού δεν πρέπει να υπερβαίνει περίπου την τριπλάσια τιμή της ελάχιστης έντασης φωτισμού. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχει μία ικανοποιητική αντίθεση φωτισμού μέσα σε μία ζώνη. Από τη διεθνή βιβλιογραφία η αναλογία της μέγιστης έντασης φωτισμού προς την ελάχιστη ορίζεται από την τιμή 9:1. Για μεγαλύτερες τιμές, η περιοχή αυτή θα πρέπει να διαιρεθεί σε περισσότερες ζώνες ελέγχου.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός ζωνών ελέγχου φωτισμού σε έναν χώρο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Στην περίπτωση ύπαρξης μικρού αριθμού ζωνών σε έναν χώρο, μειώνεται η αρχική δαπάνη, λόγω της εγκατάστασης περιορισμένου εξοπλισμού για το σύστημα ελέγχου. Αντίστοιχα, όμως, θα αυξηθεί το κόστος λειτουργίας, αφού η εξοικονόμηση ενέργειας είναι μικρότερη από αντίστοιχους χώρους με περισσότερες ζώνες ελέγχου [41].

Ιδιαίτερη μέριμνα κατά τον σχεδιασμό πρέπει να δοθεί στην περιοχή που ελέγχει ένας αισθητήρας φωτισμού. Γενικά, στο εύρος μίας περιοχής ελέγχου θα πρέπει να επικρατούν οι ίδιες συνθήκες φυσικού φωτισμού και να υπάρχουν οι ίδιες απαιτήσεις για την ένταση του φωτισμού. Σε τυπικούς χώρους γραφείων, στους οποίους ο φυσικός φωτισμός εισέρχεται μέσω πλευρικού εξωτερικού ανοίγματος, η ζώνη ελέγχου φωτισμού πρέπει να βρίσκεται δίπλα στο εξωτερικό άνοιγμα και να μην εκτείνεται περισσότερο των 4 μέτρων από αυτό, σε συνάρτηση με το βάθος του δωματίου. Επιπλέον, η σειρά των φωτιστικών σωμάτων που βρίσκεται πιο κοντά στα εξωτερικά ανοίγματα πρέπει να ελέγχεται με ένα ξεχωριστό κύκλωμα από τις σειρές που βρίσκονται στο εσωτερικό του χώρου [40].

#### 2.5.5. Φωτιστικά σώματα

Τα φωτιστικά σώματα τοποθετούνται, συνήθως, χωνευτά ή στην επιφάνεια της οροφής και είναι άμεσου φωτισμού, όπου η κατεύθυνση της κύριας δέσμης της φωτεινής ροής είναι προς την επιφάνεια εργασίας. Υπάρχουν, φυσικά, και περιπτώσεις όπου τα φωτιστικά σώματα τοποθετούνται με ανάρτηση και είναι έμμεσου ή ημι-έμμεσου φωτισμού. Κατά συ-

νέπεια, ο τεχνητός φωτισμός που φωτίζει την οροφή προέρχεται και άμεσα από το ίδιο το φωτιστικό και από τις ανακλάσεις του φωτισμού στους τοίχους, το δάπεδο και τις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η οροφή και το ανώτερο τμήμα των τοίχων είναι λιγότερο φωτισμένα από την επιφάνεια εργασίας. Ενδεικτικά αναφέρεται πως, σε τυπικούς χώρους γραφείων, η ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας λόγω του τεχνητού φωτισμού είναι 5 έως και 10 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την ένταση του φωτισμού στην οροφή. Η ένταση φωτισμού στην οροφή παρουσιάζει, γενικά, πολλές διακυμάνσεις, ιδιαίτερα σε χώρους με διαφορετική αρχιτεκτονική και γεωμετρία [41].

### 2.5.6. Αρχιτεκτονικές λύσεις για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού

Στοχεύοντας στη βέλτιστη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, εκτός από τις προτάσεις που αναφέρθηκαν ανωτέρω, άξιες μελέτης είναι και διάφορες αρχιτεκτονικές επεμβάσεις στο κτίριο. Ανάλογα με το αν πρόκειται για υφιστάμενο κτίριο ή κτίριο υπό ανέγερση, προτείνονται ήπιες ή ριζικές, αντίστοιχα, αρχιτεκτονικές λύσεις εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού.

Η πρώτη επιλογή που μπορεί να γίνει προς τον στόχο αυτό είναι σχετικά με τον προσανατολισμό του κτιρίου. Στην Ελλάδα, προτιμάται ο νότιος προσανατολισμός, διότι είναι αρκετά καλός ως προς τη διαθέσιμη ποσότητα φυσικού φωτισμού. Η νότια όψη των κτιρίων δέχεται την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε μεγαλύτερο ποσοστό, με σταθερότερο ρυθμό και με καλύτερη κατανομή. Κατά τη θερινή περίοδο, όμως, παρατηρούνται προβλήματα θάμβωσης και ανισοκατανομής του φωτισμού, τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση κατάλληλων σκιάστρων, είτε κινητών είτε σταθερών.

Στο στάδιο του σχεδιασμού του κτιρίου ενδείκνυται η επιλογή κατόψεως ορθογωνίου σχήματος αντί του τετραγώνου και η κατασκευή του κτιρίου με μικρό βάθος. Αυτές οι παράμετροι συντελούν στην καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους, για τους λόγους που αναφέρθηκαν ανωτέρω, στην παράγραφο 2.5.3.

Σημαντικό ρόλο στην εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού διαδραματίζει και η διαμόρφωση των εξωτερικών ανοιγμάτων. Προτείνεται, γενικά, η αύξηση των διαστάσεών τους αλλά μέχρι ένα συγκεκριμένο όριο, ώστε να εξασφαλίζουν την εισροή φωτεινής ροής από το εξωτερικό περιβάλλον χωρίς να επιβαρύνουν σημαντικά το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου. Η τοποθέτησή τους κοντά στην οροφή και πλησιέστερα στους εσωτερικούς τοίχους εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω των διαδοχικών ανακλάσεων στις επιφάνειες του χώρου [15].

Εκτός από τις ριζικές αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, προτείνονται και ορισμένες ήπιες λύσεις, οι οποίες μπορούν να βρουν εφαρμογή ακόμα και σε υφιστάμενα κτίρια, χωρίς σημαντική όχληση για τους χρήστες:

- Αύξηση των ανακλαστικότητας των επιφανειών των χώρων.
- Αποφυγή της χρήσης υψηλών αδιαφανών διαχωριστικών στους χώρους.

- Εγκατάσταση κατάλληλων υαλοπινάκων, οι οποίοι επιλέγονται με βάση τις οπτικές και θερμικές τους ιδιότητες, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διάχυση του φωτός με παράλληλο περιορισμό της θάμβωσης.
- Εγκατάσταση εξωτερικών ή εσωτερικών σκιάστρων, σταθερών ή κινητών, και αρχιτεκτονικών προεξοχών με σκοπό τη σκίαση αλλά και την κατευθυνόμενη διάχυση στο εσωτερικό.
- Εγκατάσταση ραφιών φωτισμού (light shelves), τα οποία κατευθύνουν το εξωτερικό φως προς την οροφή του δωματίου, βελτιώνοντας την κατανομή του φωτισμού.
- Εγκατάσταση φωτοσωλήνων, οι οποίοι εισάγουν φως από την οροφή του κτιρίου και το μεταφέρουν σε σκοτεινούς χώρους, ακόμα και σε χαμηλότερους ορόφους [15, 37].

### 3. Οικονομική ανάλυση συστήματος φωτισμού

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομική ανάλυση ενός συστήματος φωτισμού και εξετάζονται τα κριτήρια που καθορίζουν την οικονομική του βιωσιμότητα. Συγκεκριμένα, αναλύεται η μέθοδος υπολογισμού του συνολικού κόστους μίας εγκατάστασης φωτισμού και του χρόνου απόσβεσης της αντίστοιχης επένδυσης.

#### 3.1. Εισαγωγή

Οι οικονομικές απαιτήσεις καθορίζουν, σε έναν μεγάλο βαθμό, τις αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της αγοράς ενός συστήματος φωτισμού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, τα οικονομικά κριτήρια λειτουργούν ανταγωνιστικά ως προς τα αισθητικά. Αυτό δεν θα έπρεπε να συμβαίνει, καθώς η αισθητική ενός χώρου και η ποιότητα του φωτισμού σε αυτόν επηρεάζουν την διάθεση και την απόδοση των εργαζομένων και, κατά συνέπεια, την οικονομική κατάσταση της επιχείρησης. Είναι, λοιπόν, καθήκον του μελετητή να λάβει υπόψη του όλες τις παραμέτρους και να τις ιεραρχήσει, πριν καταλήξει στην πρότασή του.

Μία πλήρης οικονομική ανάλυση για ένα σύστημα φωτισμού, υφιστάμενο ή νέο, θα πρέπει να:

- συγκρίνει εναλλακτικές προτάσεις για συστήματα φωτισμού,
- αξιολογεί τις διαδικασίες συντήρησης,
- αξιολογεί τις στρατηγικές και τις τεχνικές διαχείρισης ενέργειας,
- καθορίζει την επίδραση του συστήματος φωτισμού σε άλλα συστήματα του κτιρίου,
- σχεδιάζει τον προϋπολογισμό,
- προσδιορίζει τα πλεονεκτήματα του συστήματος αναφορικά με το κόστος του [40].

#### 3.2. Συνολικό κόστος της εγκατάστασης φωτισμού

Η οικονομική ανάλυση ενός συστήματος φωτισμού πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα κόστη που σχετίζονται με αυτό, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης όσο και τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησής του. Κατά συνέπεια, το συνολικό κόστος ενός συστήματος φωτισμού αποτελείται από τις εξής συνιστώσες:

1. Το κόστος της αρχικής επένδυσης, το οποίο περιλαμβάνει τα έξοδα για την αγορά του εξοπλισμού και την εγκατάστασή του.
2. Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας.
3. Το κόστος των ανταλλακτικών και των εργασιών συντήρησης [40].

### 3.2.1. Κόστος αρχικής επένδυσης

Το κόστος της αρχικής επένδυσης,  $K_a$  (€), για ένα σύστημα φωτισμού περιλαμβάνει τα έξοδα για την αγορά όλου του εξοπλισμού και το κόστος της εργασίας που απαιτείται για την εγκατάστασή του. Σχηματικά, μπορεί να παρασταθεί από την εξίσωση:

$$K_a = (\text{κόστος εξοπλισμού}) + (\text{κόστος εγκατάστασης})$$

Το κόστος του εξοπλισμού εξαρτάται από τις επιλογές που θα κάνει ο μελετητής. Η επιλογή του εξοπλισμού που θα εγκατασταθεί πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια του αρχικού σχεδιασμού, οπότε και πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο τα κριτήρια της ποσότητας και της ποιότητας του φωτισμού, όσο και ο οικονομικός παράγοντας που θα καθορίσει την βιωσιμότητα της επένδυσης. Ο σχεδιαστής επιλέγει τους τύπους των φωτιστικών σωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν, τον τύπο των στραγγαλιστικών πηνίων, καθώς και τα είδη των λαμπτήρων που θα εγκατασταθούν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου και των χρηστών. Επιπλέον, καθορίζει τις διατάξεις ελέγχου που θα τοποθετηθούν, όπως είναι οι διαφόρων ειδών αισθητήρες και διακόπτες, τα συστήματα κεντρικού ελέγχου, καθώς και τα υλικά που απαιτούνται για την καλωδίωση όλων αυτών των στοιχείων. Συμπερασματικά, το κόστος του εξοπλισμού,  $K_{εξ}$  (€), μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$K_{εξ} = (\text{κόστος φωτιστικών}) + (\text{κόστος λαμπτήρων}) + (\text{κόστος στοιχείων ελέγχου})$$

Όπου:

Κόστος φωτιστικών: ορίζεται ως το γινόμενο του πλήθους των φωτιστικών σωμάτων επί την αξία (σε €) του κάθε φωτιστικού. Σημειώνεται ότι περιλαμβάνει το κόστος των στραγγαλιστικών πηνίων.

Κόστος λαμπτήρων: ορίζεται ως το γινόμενο του πλήθους των λαμπτήρων που απαιτούνται επί την αξία (σε €) του κάθε λαμπτήρα.

Κόστος στοιχείων ελέγχου: εκφράζει το συνολικό κόστος των διατάξεων αυτοματισμού και ελέγχου και ορίζεται ως το γινόμενο του πλήθους των στοιχείων επί την αξία (σε €) της κάθε μονάδας.

Το κόστος εγκατάστασης αποτελεί τη δεύτερη συνιστώσα του αρχικού κόστους του συστήματος φωτισμού. Οι παράγοντες που το επηρεάζουν είναι ο χρόνος που απαιτείται για την εγκατάσταση του συστήματος και η αντίστοιχη τιμή εργασίας. Ο χρόνος εγκατάστασης είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού. Ορισμένα φωτιστικά συνοδεύονται από επιπλέον εξοπλισμό, ο οποίος διευκολύνει την εγκατάστασή τους και μειώνει τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Η τιμή εργασίας διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Επίσης, ενδέχεται να μεταβάλλεται και ανάλογα με το είδος της εργασίας, ειδικά αν αυτή περιλαμβάνει και την εγκατάσταση των διατάξεων ελέγχου, καθώς και την απαραίτητη ρύθμισή τους. Το κόστος εγκατάστασης,  $K_{εγ}$  (€), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_{εγ} = (\text{ώρες εγκατάστασης}) \cdot (\text{τιμή εργασίας}),$$



όπου η τιμή εργασίας υπολογίζεται σε €/ώρα.

Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει υφιστάμενο σύστημα φωτισμού, εξετάζεται το ενδεχόμενο αναβάθμισής του, ώστε να μειωθεί το κόστος της επένδυσης. Δημιουργούνται μικρότερες απαιτήσεις στην αγορά εξοπλισμού και μειώνεται σημαντικά ο χρόνος εργασίας για την εγκατάσταση των καινούριων στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο, η βελτίωση του συστήματος φωτισμού καθίσταται ως μία οικονομικά ελκυστική επιλογή [40, 44].

### 3.2.2. Κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας

Το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας εξαρτάται από τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού. Το ετήσιο κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας,  $K_{ev}$  (€/έτος), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_{ev} = P \cdot (\text{τιμή kWh}) \cdot (\text{ώρες λειτουργίας/έτος})$$

όπου:  $P$  είναι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος φωτισμού σε kW. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στον υπολογισμό της συνολικής ισχύος, εκτός από την ισχύ των λαμπτήρων, προσμετρούνται και οι απώλειες των ballasts των φωτιστικών σωμάτων.

Η τιμή της κιλοβατώρας (€/kWh) καθορίζεται από τη Δ.Ε.Η. με βάση διάφορους παράγοντες, όπως είναι η τοποθεσία των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η ζήτηση ηλεκτρισμού.

Οι ώρες λειτουργίας ανά έτος προκύπτουν με την εκτίμηση ορισμένων παραγόντων που καθορίζουν τη χρήση του κτιρίου. Είναι προφανές ότι, για να μειωθεί το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας πρέπει να μειωθούν οι ώρες λειτουργίας του συστήματος φωτισμού. Αυτό είναι εφικτό με τη χρήση αυτοματισμών, την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού και τον κατάλληλο προγραμματισμό των δραστηριοτήτων των χρηστών, όπου αυτός είναι δυνατός [44].

### 3.2.3. Κόστος συντήρησης

Το κόστος συντήρησης ενός συστήματος φωτισμού υφίσταται μετά την πάροδο ορισμένων ετών λειτουργίας αυτού. Με την αναμενόμενη, λόγω του χρόνου, φθορά του συστήματος, απαιτούνται κάποιες εργασίες συντήρησής του, καθώς και η αγορά ανταλλακτικών για την αντικατάσταση των στοιχείων που έχουν υποστεί ζημιές ή δεν λειτουργούν. Οι απαιτούμενες παρεμβάσεις είναι ο καθαρισμός των χώρων, ο καθαρισμός των φωτιστικών σωμάτων, η αντικατάσταση των σπασμένων διαχυτικών καλυμμάτων ή ανακλαστικών περσίδων και η αντικατάσταση των λαμπτήρων και των στραγγαλιστικών πηνίων.

Σύμφωνα με μία μεθοδολογία, το κόστος συντήρησης του συστήματος φωτισμού υπολογίζεται ως το άθροισμα δύο συνιστωσών: (α) του συνολικού κόστους αγοράς των υλικών και των ανταλλακτικών που απαιτούνται για τον καθαρισμό και τη συντήρηση, και

(β) του κόστους των εργασιών που απαιτούνται, το οποίο ορίζεται ως το γινόμενο της τιμής της εργασίας επί τις συνολικές ώρες εργασίας.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του κόστους συντήρησης προκύπτει αθροίζοντας τα κόστη των επί μέρους εργασιών που απαιτούνται. Ενδεικτικά αναφέρονται το κόστος καθαρισμού των χώρων, το κόστος καθαρισμού των φωτιστικών σωμάτων και το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων.

Το συνολικό κόστος καθαρισμού των χώρων (σε €) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_x = \frac{(\text{κόστος καθαρισμού χώρων}) \cdot (\text{διάρκεια ζωής συστήματος})}{(\text{διάστημα καθαρισμού χώρων})}$$

όπου: το κόστος καθαρισμού χώρων υπολογίζεται σε € και περιλαμβάνει τις εργασίες για τον καθαρισμό όλων των επιφανειών των χώρων και το διάστημα καθαρισμού χώρων ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς καθαρισμούς.

Με ανάλογο τρόπο, υπολογίζεται το συνολικό κόστος καθαρισμού των φωτιστικών σωμάτων (σε €):

$$K_\phi = \frac{(\text{κόστος καθαρισμού φωτιστικών}) \cdot (\text{διάρκεια ζωής συστήματος})}{(\text{διάστημα καθαρισμού φωτιστικών})}$$

όπου: το κόστος καθαρισμού φωτιστικών (σε €) περιλαμβάνει, εκτός από τις εργασίες καθαρισμού, την αντικατάσταση των φθαρμένων στοιχείων των φωτιστικών σωμάτων και το κόστος των ανταλλακτικών.

Ομοίως, υπολογίζεται και το συνολικό κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων (σε €):

$$K_\lambda = \frac{(\text{κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων}) \cdot (\text{διάρκεια ζωής συστήματος})}{(\text{διάστημα αντικατάστασης λαμπτήρων})}$$

όπου: το κόστος αντικατάστασης λαμπτήρων (σε €) περιλαμβάνει, εκτός από το κόστος της εργασίας, το κόστος των νέων λαμπτήρων και το διάστημα αντικατάστασης λαμπτήρων είναι η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων.

Στην περίπτωση που ζητείται ο υπολογισμός του ετήσιου κόστους συντήρησης, τα μεγέθη  $K_x$ ,  $K_\phi$  και  $K_\lambda$  διαιρούνται με τη διάρκεια ζωής του συστήματος (σε έτη) [44].

### 3.2.4. Συνολικό κόστος

Το συνολικό κόστος μίας εγκατάστασης φωτισμού προκύπτει από το άθροισμα των τριών επιμέρους μεγεθών που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Ωστόσο, το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης δεν αναφέρεται σε ετήσιο μέγεθος, όπως συμβαίνει συνήθως για το κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας και το κόστος συντήρησης. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο στους υπολογισμούς, δίνεται η δυνατότητα αναγωγής του αρ-

χικού κόστους σε ετήσιο, διαιρώντας το με τη διάρκεια ζωής του συστήματος σε έτη. Σε μία άλλη προσέγγιση, τα ετήσια κόστη ενέργειας και συντήρησης μπορούν να πολλαπλασιαστούν με τη διάρκεια ζωής του συστήματος και να υπολογισθούν τα συνολικά μεγέθη, ώστε να μπορούν να αθροιστούν με το αρχικό κόστος της εγκατάστασης [44].

### 3.3. Χρόνος απόσβεσης

Ο χρόνος απόσβεσης της προτεινόμενης εγκατάστασης φωτισμού είναι ένα σημαντικό μέγεθος, το οποίο πρέπει να υπολογίζεται από τον μελετητή, είτε πρόκειται για κτίριο υπό ανέγερση είτε για υφιστάμενο κτίριο. Ως χρόνος απόσβεσης θεωρείται το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε η εξοικονόμηση από το κόστος λειτουργίας να αντισταθμίσει το κόστος της επένδυσης.

$$\text{Χρόνος απόσβεσης} = \frac{\text{Κόστος επένδυσης (2)} - \text{Κόστος επένδυσης (1)}}{\text{Ετήσιο λειτουργικό κόστος (1)} - \text{Ετήσιο λειτουργικό κόστος (2)}}$$

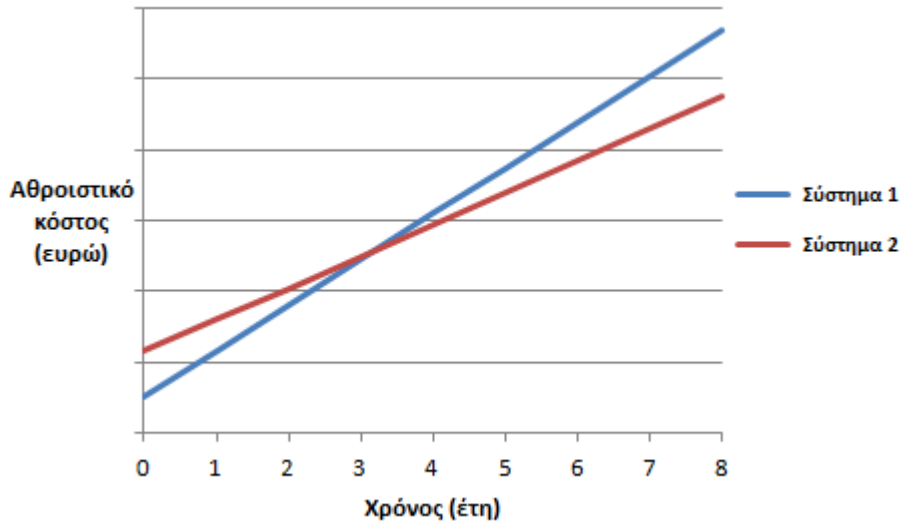
όπου οι δείκτες (1) και (2) συμβολίζουν τα δύο προτεινόμενα συστήματα φωτισμού.

Στην περίπτωση που μελετάται η αναβάθμιση ενός υφιστάμενου συστήματος φωτισμού, όπως είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ως σύστημα (1) χαρακτηρίζεται το ήδη υπάρχον σύστημα. Οπότε, το αντίστοιχο κόστος επένδυσης είναι μηδενικό και η παραπάνω σχέση τροποποιείται ως εξής:

$$\text{Χρόνος απόσβεσης} = \frac{\text{Κόστος επένδυσης (2)}}{\text{Ετήσιο λειτουργικό κόστος (1)} - \text{Ετήσιο λειτουργικό κόστος (2)}}$$

Το κόστος της επένδυσης ισούται με το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης, όπως αυτό υπολογίσθηκε στην παράγραφο 3.2.1. Το ετήσιο λειτουργικό κόστος ισούται με το άθροισμα του ετήσιου κόστους καταναλισκόμενης ενέργειας και του ετήσιου κόστους συντήρησης, όπως αυτά υπολογίσθηκαν στις παραγράφους 3.2.2 και 3.2.3 αντίστοιχα.

Ένας εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού του χρόνου απόσβεσης είναι μέσω της αντίστοιχης γραφικής παράστασης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4. Οι δύο καμπύλες απεικονίζουν τα αθροιστικά κόστη των δύο συστημάτων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Το σημείο τομής των δύο καμπυλών αναπαριστά τον χρόνο απόσβεσης για το σύστημα (2). Πρόκειται, δηλαδή, για το χρονικό σημείο στο οποίο το υψηλότερο κόστος επένδυσης του συστήματος (2) αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται λόγω του μικρότερου κόστους λειτουργίας σε σύγκριση με το σύστημα (1) [44].



Εικόνα 4: Γραφική αναπαράσταση του χρόνου απόσβεσης

### 3.4. Μέθοδοι στατικού και δυναμικού υπολογισμού

Η διεργασία της οικονομικής ανάλυσης που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους βασίζεται στη μέθοδο στατικού υπολογισμού. Πρόκειται για μία θεωρητική προσέγγιση που δίνει γρήγορα και εύκολα μία τιμή, η οποία είναι απόλυτα επαρκής για μία αρχική εκτίμηση. Η μέθοδος αυτή, όμως, υστερεί, καθώς δεν λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές διακυμάνσεις της αξίας του χρήματος στο μέλλον.

Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, αξιοποιούνται μοντέλα δυναμικού υπολογισμού τα οποία συνυπολογίζουν την πιθανή υποτίμηση της αξίας του χρήματος, καθώς και την πληρωμή τόκων. Με αυτόν τον τρόπο, λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του χρόνου στα λειτουργικά κόστη ενός συστήματος. Η δυναμική μέθοδος υπολογισμού προτιμάται στις περιπτώσεις πολύπλοκων μελετών, διότι μειώνει σημαντικά το ενδεχόμενο λάθους στις εκτιμήσεις [40, 44].

## 4. Γενική περιγραφή του κτιρίου Χημικών Μηχανικών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η περιγραφή των υπό μελέτη πτερύγων Α, Ε, Η και Η1 του κτιρίου των Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Δίνονται οι κατόψεις του κάθε επιπέδου και περιγράφονται τα προβλήματα που παρατηρήθηκαν από την καταγραφή των χώρων και του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού κατά τη διάρκεια της ενεργειακής επιθεώρησης του κτιρίου.

### 4.1. Περιγραφή κτιρίου

Το κτίριο της σχολής Χημικών Μηχανικών βρίσκεται στην Πολυτεχνειόπολη Ζωγράφου και έχει κατασκευαστεί στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Ο κύριος προσανατολισμός του κτιρίου είναι δυτικός και οι ακριβείς του γεωγραφικές συντεταγμένες είναι:  $37^{\circ} 58' 36''$  Βόρειο γεωγραφικό πλάτος και  $23^{\circ} 47' 05''$  Ανατολικό γεωγραφικό μήκος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5 που προέρχεται από το λογισμικό Google Earth.



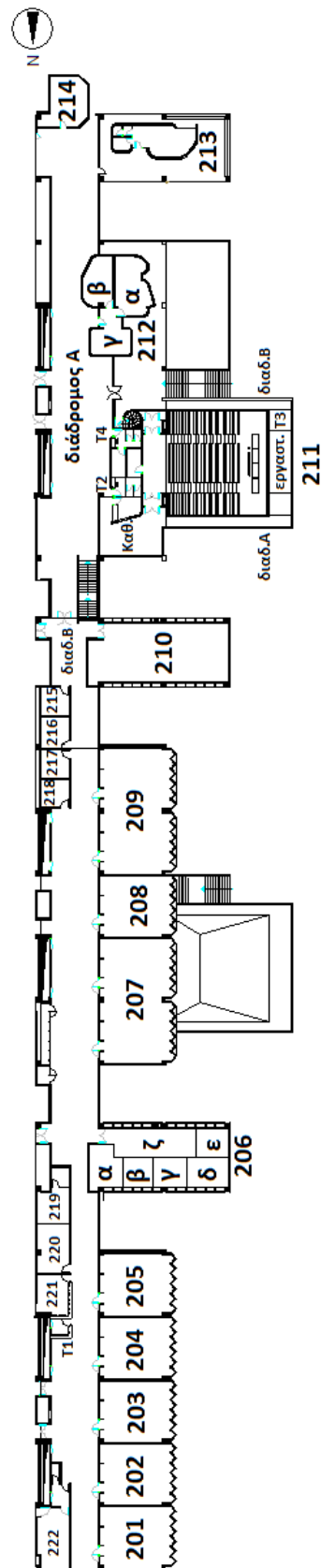
Εικόνα 5: Δορυφορική άποψη του κτιρίου των Χημικών Μηχανικών και προσανατολισμός του [Google Earth]

Το κτίριο καταλαμβάνει χώρο περίπου  $12500\text{m}^2$  και αποτελείται από 6 επίπεδα (μη συμπεριλαμβανομένου του υπογείου) και από 8 πτέρυγες (Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η και Η1, Θ). Η

υπό μελέτη πτέρυγα Α έχει κάλυψη του οριζοντίου επιπέδου περίπου  $2600\text{m}^2$  και, στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάζονται τα 2 ανώτερα επίπεδα, τα οποία έχουν συνολικό εμβαδόν περίπου  $3050\text{m}^2$ . Η υπό μελέτη πτέρυγα Ε έχει κάλυψη του οριζοντίου επιπέδου περίπου  $450\text{m}^2$ , αποτελείται από 4 επίπεδα και το συνολικό της εμβαδόν είναι περίπου  $1500\text{m}^2$ . Οι υπό μελέτη πτέρυγες Η και Η1 έχουν κάλυψη του οριζοντίου επιπέδου περίπου  $2200\text{m}^2$ , αποτελούνται από 3 επίπεδα η καθεμία και το συνολικό τους εμβαδόν είναι περίπου  $4200\text{m}^2$ . Οι χώροι των πτερύγων αυτών χρησιμοποιούνται ως γραφεία διδακτικού προσωπικού, αίθουσες διδασκαλίας, εργαστήρια και κοινόχρηστοι χώροι [45].

Στις επόμενες παραγράφους παρατίθενται αναλυτικά οι κατόψεις όλων των επιπέδων (1, 2, 3, 4, 5) της κάθε πτέρυγας, καθώς και η ονομασία και η αρίθμηση που χρησιμοποιήθηκε για κάθε χώρο. Σημειώνεται ότι η ονομασία των χώρων ακολουθεί, κατά το δυνατόν, την ήδη υπάρχουσα ονομασία και αρίθμηση του κτιρίου.

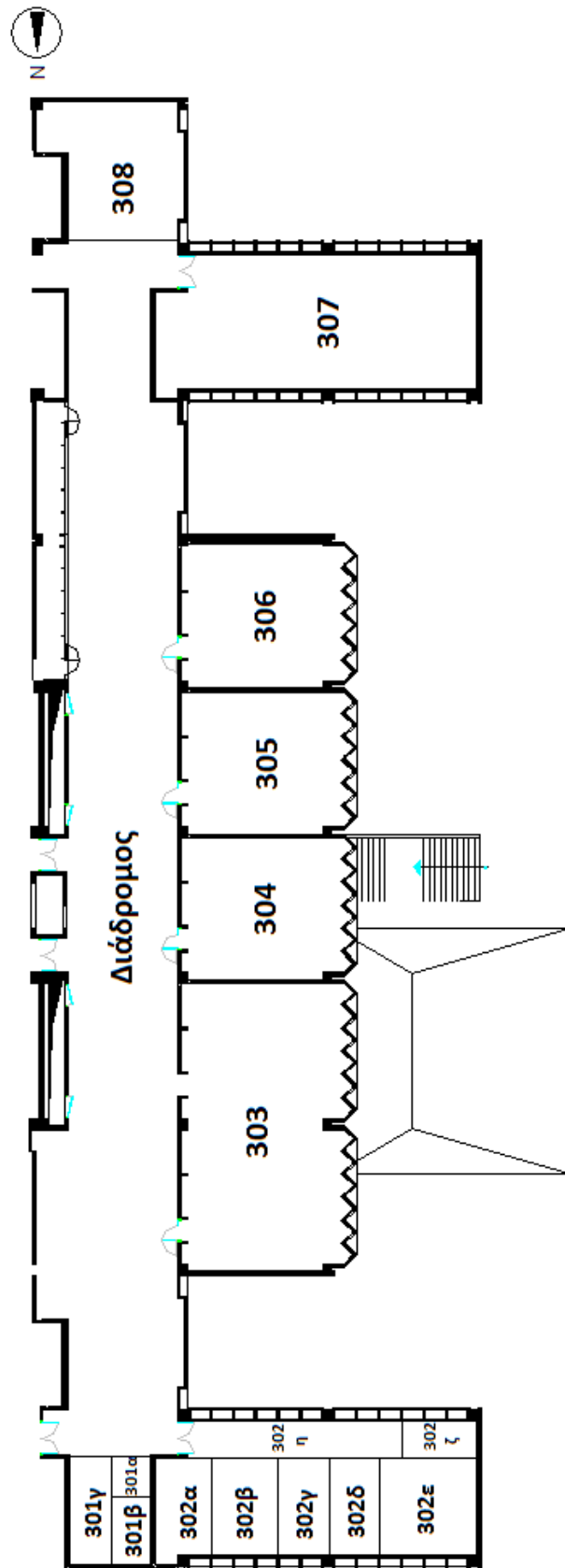
#### 4.1.1. Πτέρυγα Α



Εικόνα 6: Κάτοψη, προσανατολισμός και αριθμηση χώρων επιπέδου 2

Το επίπεδο 2 της πτέρυγας Α έχει εμβαδό περίπου 2600m<sup>2</sup>. Οι χώροι Α.201 - Α.205, Α.207 - Α.209 και Α.211 χρησιμοποιούνται ως αίθουσες διδασκαλίας. Οι χώροι Α.206.α - Α.206.ε, Α.212.α - Α.212.γ, Α.213 - Α.222 χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Ο χώρος Α.210 χρησιμοποιείται ως αναγνωστήριο και οι υπόλοιποι αποτελούν κοινόχρηστους χώρους (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).

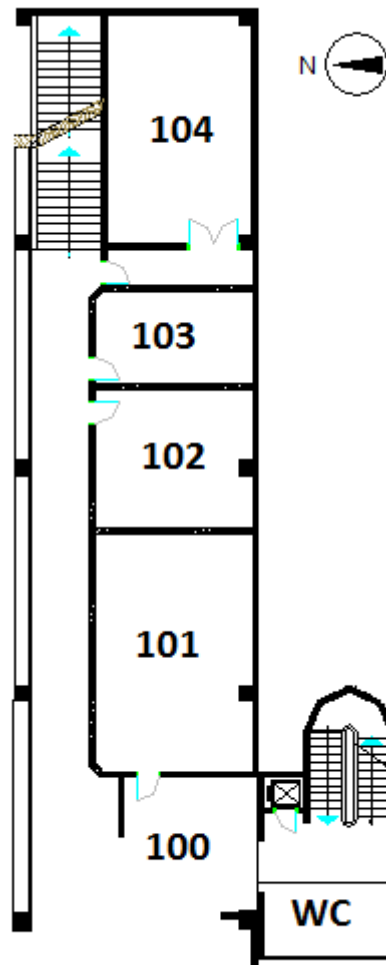




Εικόνα 7: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 3

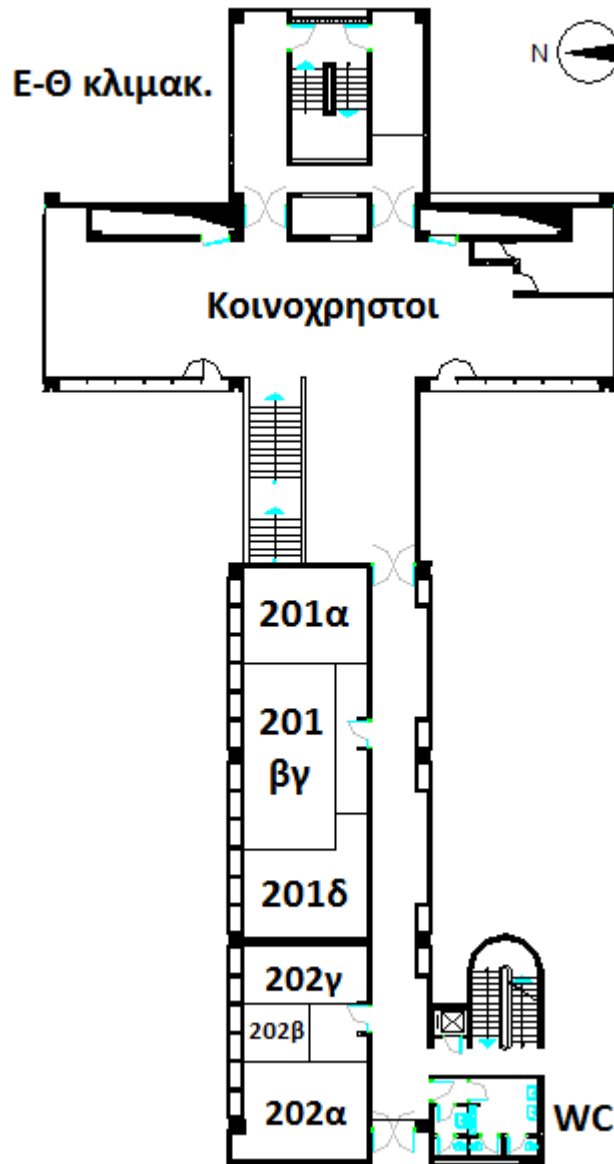
Το επίπεδο 3 της πτέρυγας Α έχει εμβαδό 1108m<sup>2</sup>. Οι χώροι Α.301.β, Α.302.α - Α.302.ζ και Α.308 χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Οι χώροι Α.301.γ και Α.307 χρησιμοποιούνται ως αίθουσες συσκέψεων. Οι χώροι Α.303 - Α.306 χρησιμοποιούνται ως αίθουσες διδασκαλίας, ενώ οι υπόλοιποι αποτελούν κοινόχρηστους χώρους (διάδρομοι).

#### 4.1.2. Πτέρυγα Ε



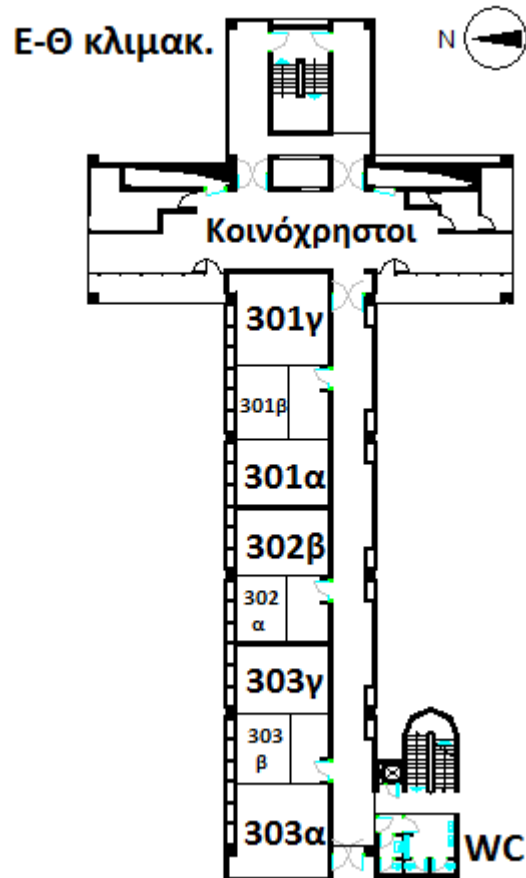
Εικόνα 8: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 1

Το επίπεδο 1 της πτέρυγας Ε έχει εμβαδό 251m<sup>2</sup>. Οι χώροι Ε.101 - Ε.103 χρησιμοποιούνται ως γραφεία και εργαστήρια. Ο χώρος Ε.104 χρησιμοποιείται ως εργαστήριο, το οποίο διαθέτει και αποθήκη. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).



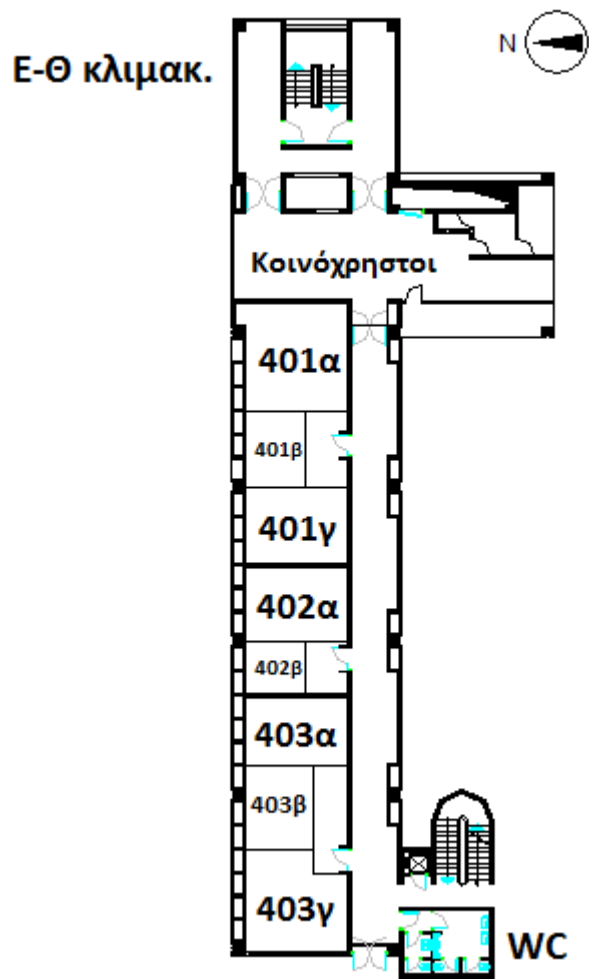
Εικόνα 9: Κάτοψη, προσανατολισμός κα αρίθμηση χώρων επιπέδου 2

Το επίπεδο 2 της πτέρυγας Ε έχει εμβαδό  $456\text{m}^2$ . Οι χώροι Ε.201.α - Ε.201.δ και Ε.202.α - Ε.202.γ χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).



Εικόνα 10: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 3

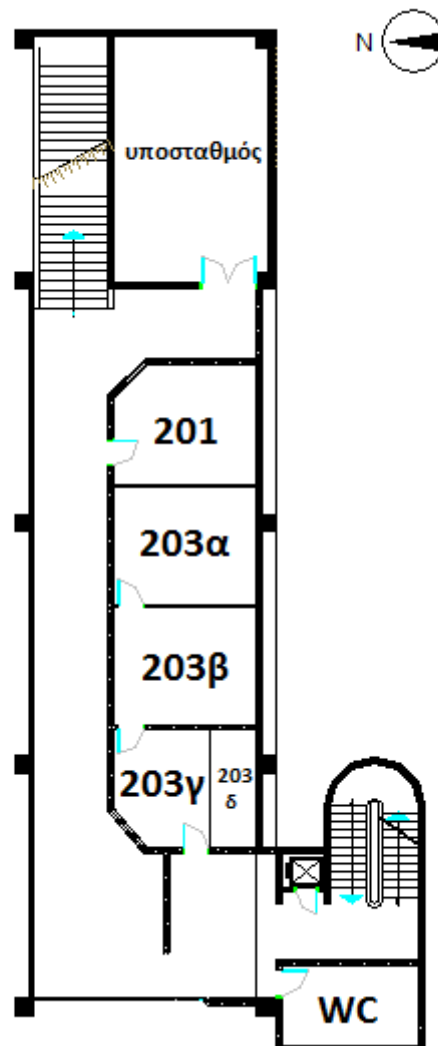
Το επίπεδο 3 της πτέρυγας Ε έχει εμβαδό 419m<sup>2</sup>. Οι χώροι Ε.301.α - Ε.301.γ, Ε.302.α - Ε.302.β και Ε.303.α - Ε.303.γ χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).



Εικόνα 11: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 4

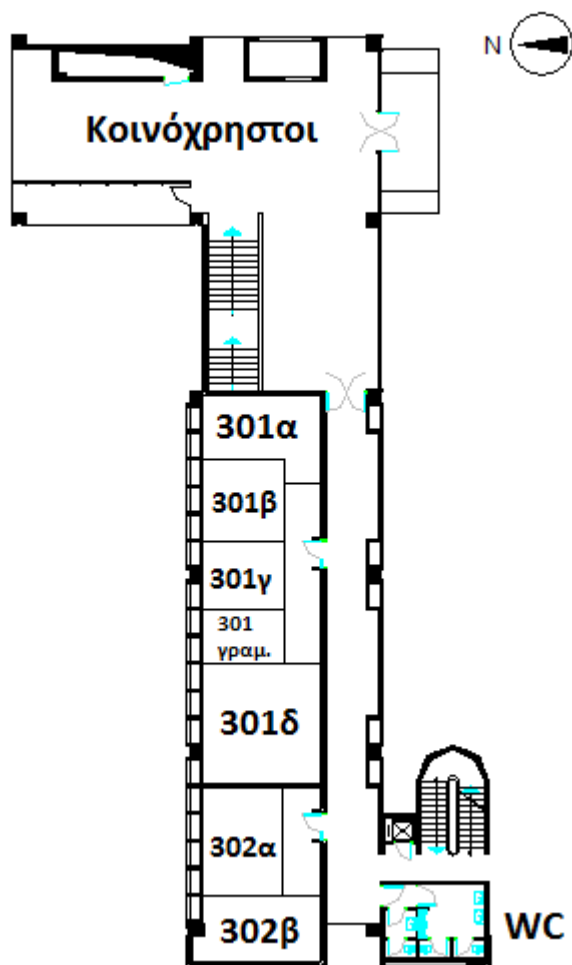
Το επίπεδο 4 της πτέρυγας Ε έχει εμβαδό  $397\text{m}^2$ . Οι χώροι Ε.401.α - Ε.401.γ, Ε.402.α - Ε.402.β και Ε.403.α - Ε.403.γ χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).

### 4.1.3. Πτέρυγα Η



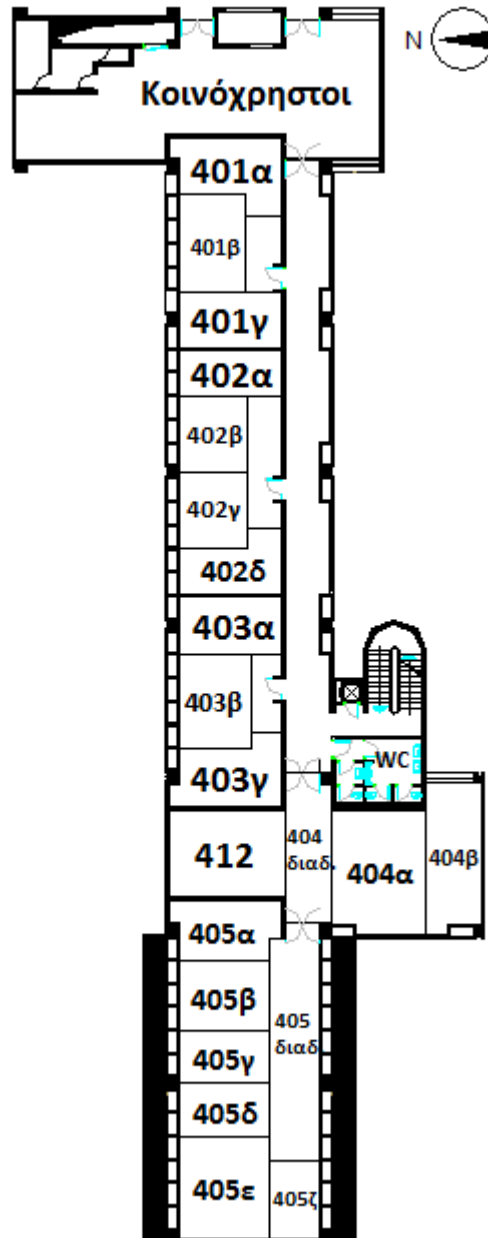
Εικόνα 12: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 2

Το επίπεδο 2 της πτέρυγας Η έχει εμβαδό  $238\text{m}^2$ . Οι χώροι Η.201 και Η.203.α - Η.203.δ χρησιμοποιούνται ως γραφεία ή εργαστήρια. Ένας χώρος αποτελεί τον υποσταθμό μέσης τάσης του κτιρίου και οι υπόλοιποι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).



Εικόνα 13: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 3

Το επίπεδο 3 της πτέρυγας Η έχει εμβαδό 345m<sup>2</sup>. Οι χώροι Η.301.α - Η.301.δ, Η.301.γραμ. και Η.302.α - Η.302.β χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).

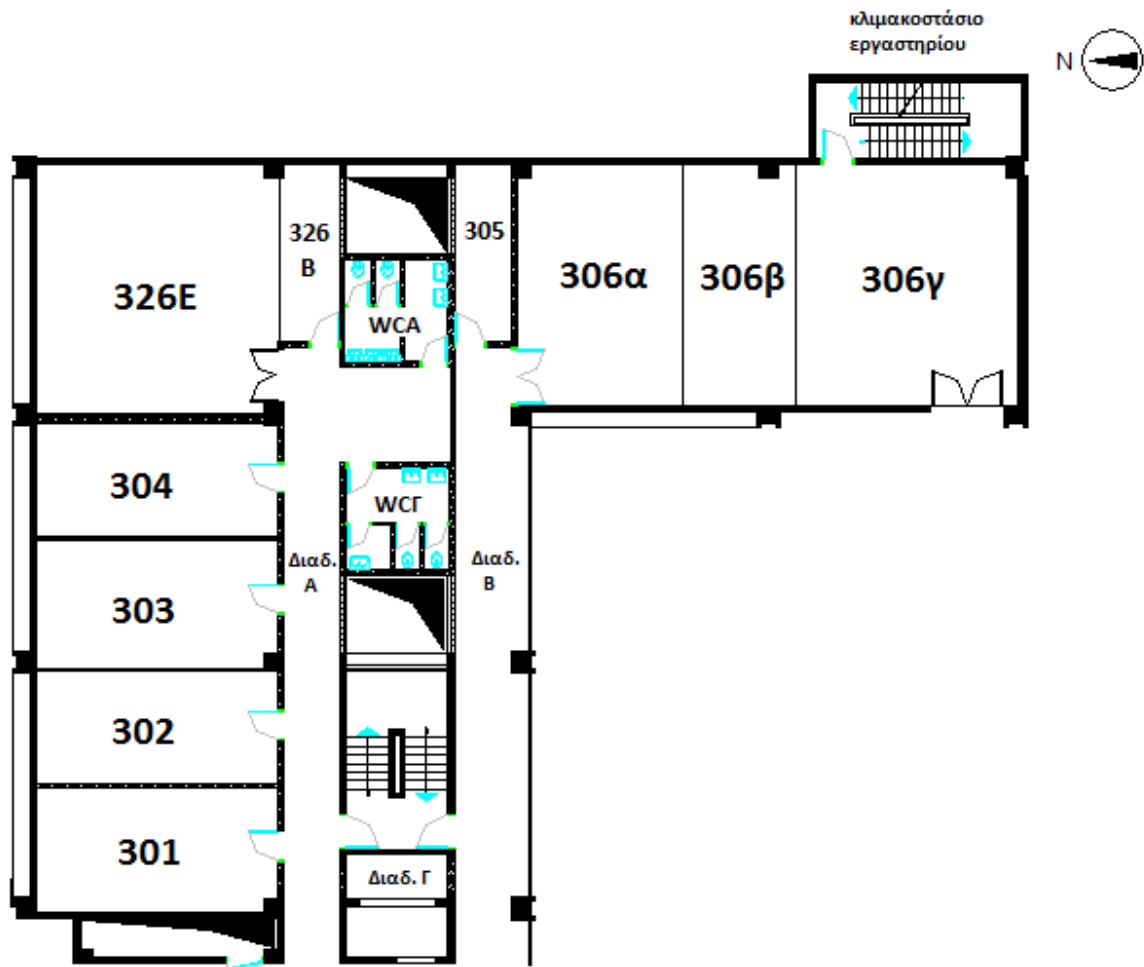


Εικόνα 14: Κάτοψη, προσανατολισμός και αριθμηση χώρων επιπέδου 4

Το επίπεδο 4 της πτέρυγας Η έχει εμβαδό  $585\text{m}^2$ . Οι χώροι Η.401.α - Η.401.γ, Η.402.α - Η.402.δ, Η.403.α - Η.403.γ, Η.404.α - Η.404.β και Η.405.α - Η.405.ζ χρησιμοποιούνται ως γραφεία ή εργαστήρια. Ο χώρος Η.412 χρησιμοποιείται ως αίθουσα διδασκαλίας. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).



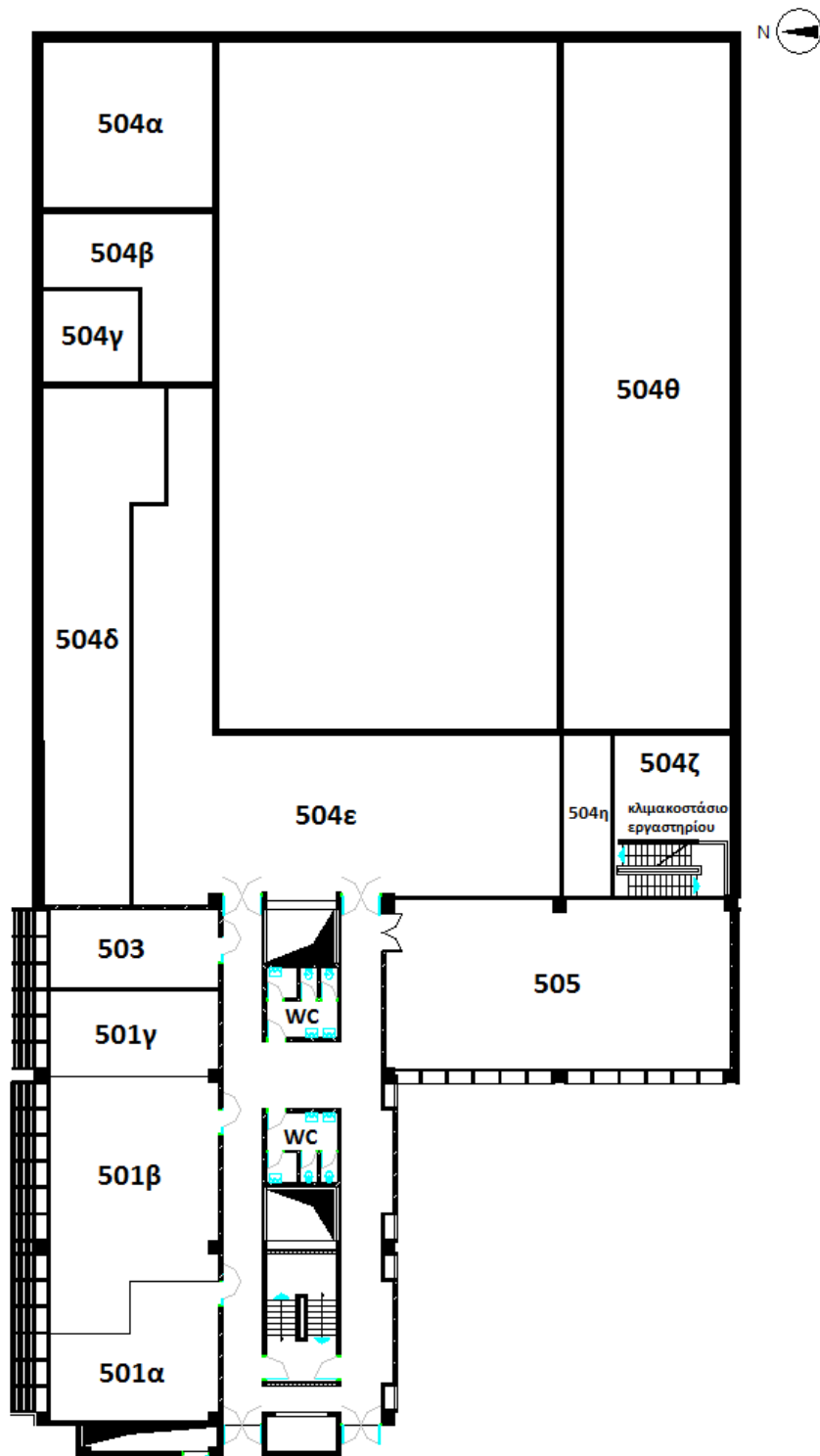
#### 4.1.4. Πτέρυγα Η1



Εικόνα 15: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 3

Το επίπεδο 3 της πτέρυγας Η1 έχει εμβαδό 448m<sup>2</sup>. Οι χώροι Η1.301 - Η1.304 και Η1.326.Ε χρησιμοποιούνται ως γραφεία. Οι χώροι Η1.326.Β, Η1.305 και Η1.306.α - Η1.306.γ χρησιμοποιούνται ως αποθήκες. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).





Εικόνα 17: Κάτοψη, προσανατολισμός και αρίθμηση χώρων επιπέδου 5

Το επίπεδο 5 της πτέρυγας Η1 έχει εμβαδό 935m<sup>2</sup>. Οι χώροι Η1.501.α - Η1.501.γ, Η1.503, Η1.504.α - Η1.504.δ, Η1.504.ζ, Η1.504.θ και Η1.505 χρησιμοποιούνται ως γραφεία ή εργαστήρια. Οι υπόλοιποι χώροι είναι κοινόχρηστοι (διάδρομοι, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).

## 4.2. Περιγραφή των κύριων προβλημάτων του κτιρίου στο σύστημα φωτισμού

Κατά τους μήνες Φεβρουάριο έως και Απρίλιο του 2011, πραγματοποιήθηκαν καθημερινές επισκέψεις στο κτίριο Χημικών Μηχανικών για την επιθεώρηση των χώρων. Καταγράφηκαν οι χώροι του κτιρίου, καθώς και οι τροποποιήσεις που είχαν πραγματοποιηθεί σε αυτούς, σε σχέση με τις αρχικές κατόψεις. Επιπλέον, καταγράφηκε λεπτομερώς το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού και τα προβλήματα που παρατηρούνται στη λειτουργία του, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

- Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται είναι παλαιάς τεχνολογίας. Η πλειοψηφία των φωτιστικών σωμάτων είναι γραμμικά φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού T8 και ηλεκτρομαγνητικό ballast. Βρέθηκαν και ορισμένα φωτιστικά με λαμπτήρες φθορισμού τύπου T12, οι οποίοι δεν παράγονται πλέον [40]. Επίσης, σε ορισμένους χώρους υπήρχαν φωτιστικά με λαμπτήρες πυράκτωσης ισχύος 60W.
- Τα περισσότερα φωτιστικά δεν διέθεταν παραβολικές περσίδες, αλλά διαχυτικό κάλυμμα. Αυτό μειώνει τη θάμβωση αλλά, ταυτόχρονα, και τη φωτεινή ροή έως και 40%. Διαπιστώθηκε, λοιπόν, ότι, σε αρκετούς χώρους, είχαν αφαιρεθεί τα διαχυτικά καλύμματα από τα φωτιστικά σώματα με σκοπό την αύξηση της φωτεινής ροής, σύμφωνα με τις αναφορές των χρηστών.



Εικόνα 18: Φωτιστικά σώματα από τα οποία έχει αφαιρεθεί το διαχυτικό κάλυμμα ή έχει καταστραφεί.

- Στο κτίριο παρατηρήθηκε το φαινόμενο της υπερδιαστασιολόγησης του συστήματος φωτισμού, το οποίο ήταν εντονότερο σε μεγάλα εργαστήρια και κοινόχρηστους χώρους. Έχει εγκατασταθεί υπερβολικός αριθμός φωτιστικών σωμάτων σε σχέση με τις απαιτήσεις των χώρων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι χρήστες να μην τοποθετούν λαμπτήρες σε όλα τα φωτιστικά. Η συγκεκριμένη τεχνική, όμως, έχει εφαρμοστεί χωρίς μελέτη ή κατάλληλο σχεδιασμό. Κατά συνέπεια, δυσχεραίνεται η διαδικασία συντήρησης του συστήματος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ασφαλείας.



**Εικόνα 19: Φωτιστικό σώμα από το οποίο έχει αφαιρεθεί ο λαμπτήρας.**

- Ορισμένα φωτιστικά σώματα ήταν κατεστραμμένα, ενώ βρέθηκαν και λαμπτήρες οι οποίοι δεν λειτουργούσαν λόγω γήρανσης. Σε αυτή την περίπτωση, το ηλεκτρομαγνητικό ballast δεν διακόπτει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος και, κατά συνέπεια, συνεχίζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.



**Εικόνα 20: Κατεστραμμένα φωτιστικά σώματα.**



**Εικόνα 21: Τα φωτιστικά σώματα έχουν αφαιρεθεί.**



**Εικόνα 22:** Ο λαμπτήρας δεν λειτουργεί, αλλά το ηλεκτρομαγνητικό ballast εξακολουθεί να καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια.

- Σε χώρους στους οποίους έχουν γίνει μετατροπές, το πλήθος και η διάταξη των φωτιστικών σωμάτων έχουν παραμείνει αμετάβλητα. Αυτό έχει σαν συνέπεια να μην καλύπτονται οι ανάγκες των χρηστών σε φωτισμό. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτιστικά έχουν "διαιρεθεί" σε γειτονικούς χώρους.



**Εικόνα 23:** Φωτιστικά σώματα τα οποία έχουν διαιρεθεί σε γειτονικούς χώρους.

- Σε ορισμένες περιπτώσεις χώρων που έχουν υποστεί μετατροπές, δεν έχει ληφθεί μέριμνα για τη μεταφορά των διακοπών. Κατά συνέπεια, η πρόσβαση των χρηστών στους συγκεκριμένους διακόπτες είναι ιδιαίτερα δύσκολη.
- Ορισμένα φωτιστικά δεν έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα, με αποτέλεσμα να μην φωτίζεται επαρκώς ο χώρος. Παρατηρήθηκαν φωτιστικά σώματα πάνω από όγκους μεγάλου ύψους και, γενικότερα, αντικείμενα που παρεμποδίζουν τον φωτισμό του χώρου.



Εικόνα 24: Φωτιστικά σώματα πάνω από αντικείμενα μεγάλου ύψους.

- Στους διαδρόμους του κτιρίου δεν υπάρχουν διακόπτες για τον χειρισμό των φωτιστικών σωμάτων και δεν υπάρχει κάποια πρόβλεψη για την οικονομική λειτουργία τους. Έτσι, ο τεχνητός φωτισμός καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια διαρκώς, ακόμα και σε διαδρόμους με μεγάλα εξωτερικά ανοίγματα σε ημέρες με έντονη ηλιοφάνεια.
- Σε ορισμένα κλιμακοστάσια του κτιρίου βρέθηκαν κατεστραμμένοι διακόπτες, οι οποίοι δεν είχαν αντικατασταθεί. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ασφαλείας, λόγω του μη επαρκούς φωτισμού των συγκεκριμένων χώρων.
- Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι, στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής μελέτης του κτιρίου, δεν έχει προβλεφθεί η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού. Ένα σημαντικό ποσοστό των γραφείων έχει πολύ μεγάλο δυναμικό αξιοποίησης του φυσικού φωτός. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι χρήστες επιλέγουν να μην χρησιμοποιούν το σύστημα τεχνητού φωτισμού. Αντιθέτως, καλούνται να αξιοποιήσουν διάφορες τεχνικές σκίασης, ώστε να αποφύγουν φαινόμενα θάμβωσης από τα εξωτερικά ανοίγματα των χώρων.





## 5. Καταγραφή του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η αναλυτική καταγραφή του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού για τις πτέρυγες Α, Ε, Η και Η1 του κτιρίου Χημικών Μηχανικών και υπολογίζεται η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος. Κατά τη διάρκεια των επισκέψεων στο κτίριο, καταγράφηκε το σύνολο των φωτιστικών σωμάτων των χώρων, καθώς και ο τύπος και η ισχύς των λαμπτήρων.

### 5.1. Εισαγωγή

Το σύστημα φωτισμού του κτιρίου Χημικών Μηχανικών αποτελείται, κατά κύριο λόγο, από γραμμικά φωτιστικά σώματα φθορισμού:

1. 1x58W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
2. 3x36W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
3. 2x18W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
4. 4x18W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και ανακλαστικές περσίδες,
5. 4x36W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
6. 2x58W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
7. 2x36W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
8. 2x36W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και ανακλαστικές περσίδες,
9. 3x65W, με λαμπτήρες τύπου T12, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
10. 2x65W, με λαμπτήρες τύπου T12, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα.

Επίσης, σε ορισμένους χώρους, υπάρχουν και τα εξής γραμμικά φωτιστικά σώματα φθορισμού:

11. 1x18W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
12. 1x36W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
13. 4x40W, με λαμπτήρες τύπου T12, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,

14. 3x58W, με λαμπτήρες τύπου T8, με ηλεκτρομαγνητικό ballast και διαχυτικό κάλυμμα,
15. 2x35W, με λαμπτήρες τύπου T5, με ηλεκτρονικό ballast και ανακλαστικές περσίδες. Επιπλέον, σε ορισμένους χώρους, βρέθηκαν δύο ειδών φωτιστικά σώματα με συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού:
16. 2x18W, με ανακλαστικές περσίδες, και
17. 2x18W, χωνευτά.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι βρέθηκαν και φωτιστικά σώματα με λαμπτήρες πυράκτωσης ισχύος 40W και 60W, κυρίως σε κοινόχρηστους χώρους (διαδρόμους, κλιμακοστάσια, τουαλέτες).

Για τον υπολογισμό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος φωτισμού, η ισχύς των λαμπτήρων φθορισμού προσαυξάνεται κατά 25%, ώστε να συνυπολογισθούν και οι απώλειες των ηλεκτρομαγνητικών ballasts. Στην περίπτωση των φωτιστικών σωμάτων με λαμπτήρες φθορισμού τύπου T5 και ηλεκτρονικό ballast, όμως, η αντίστοιχη προσαύξηση είναι 10%.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται, για κάθε χώρο, ο αριθμός των φωτιστικών σωμάτων και των λαμπτήρων ανά φωτιστικό, η ισχύς και ο τύπος του κάθε λαμπτήρα, καθώς και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του χώρου.

## 5.2. Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού

### 5.2.1. Πτέρυγα Α

Πίνακας 1: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 2)

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομος Α	8	2	18	CFL	360
	1	4	18	Φθορισμού T8	90
Διάδρομος Β	6	2	36	Φθορισμού T8	540
201	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
202	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
203	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
204	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
205	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
206.α	5	4	36	Φθορισμού T8	900
206.β	5	4	36	Φθορισμού T8	900
206.γ	5	4	36	Φθορισμού T8	900
206.δ	7	4	36	Φθορισμού T8	1260
206.ε	3	4	36	Φθορισμού T8	540
206.ζ	9	4	36	Φθορισμού T8	1620

**Πίνακας 1 (συνέχεια): Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 2)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
207	24	2	36	Φθορισμού T8	2160
208	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
209	24	2	36	Φθορισμού T8	2160
210	22	4	36	Φθορισμού T8	3960
	4	3	36	Φθορισμού T8	540
211	31	2	36	Φθορισμού T8	2790
	6	1	15	CFL	112,5
211-διάδρομος	12	1	36	Φθορισμού T8	540
	2	1	40	Πυρακτώσεως E27	80
211-πίνακας	1	1	36	Φθορισμού T8	45
211-προβολέας	1	1	40	Πυρακτώσεως E27	40
T2	3	1	40	Πυρακτώσεως E27	120
211-εργαστήριο	4	1	58	Φθορισμού T8	290
211-προθ.Α	1	1	58	Φθορισμού T8	72,5
211-διάδρ.Α	5	1	40	Πυρακτώσεως E27	200
211-διάδρ.Β	5	1	40	Πυρακτώσεως E27	200
T3	1	1	40	Πυρακτώσεως E27	40
211-προθ.Β	1	1	58	Φθορισμού T8	72,5
T4	3	1	40	Πυρακτώσεως E27	120
Χώρος Καθαρ.	1	2	36	Φθορισμού T8	90
Προθ. Καθαρ.	1	4	36	Φθορισμού T8	180
212-είσοδος	2	4	36	Φθορισμού T8	360
212.α	4	3	58	Φθορισμού T8	870
212.β	4	3	58	Φθορισμού T8	870
212.γ	4	4	18	Φθορισμού T8	360
213	6	4	18	Φθορισμού T8	540
213-κουζίνα	1	3	58	Φθορισμού T8	217,5
213-WC	2	1	60	Πυρακτώσεως E27	120
214	2	2	58	Φθορισμού T8	290
215	2	2	58	Φθορισμού T8	290
216-217	4	2	58	Φθορισμού T8	580
218	2	2	58	Φθορισμού T8	290
219	5	2	36	Φθορισμού T8	450
220	4	2	36	Φθορισμού T8	360
221	4	2	36	Φθορισμού T8	360
T1	1	1	40	Πυρακτώσεως E27	40
222	3	2	58	Φθορισμού T8	435
222-είσοδος	1	2	36	Φθορισμού T8	90
222-WC	1	1	40	Πυρακτώσεως E27	40
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>33965</b>

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 2 της πτέρυγας Α είναι 1956,10m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 17,36W/m<sup>2</sup>, τιμή μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

**Πίνακας 2: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομος	16	2	18	CFL	720
	2	4	50	Πυρακτώσεως E27	400
301.α	1	4	18	Φθορισμού T8	90
301.β	1	4	18	Φθορισμού T8	90
301.γ	1	4	18	Φθορισμού T8	90
302.α	4	4	18	Φθορισμού T8	360
302.β	6	4	36	Φθορισμού T8	1080
302.γ	4	4	36	Φθορισμού T8	720
302.δ	3	4	36	Φθορισμού T8	540
	1	4	40	Φθορισμού T12	200
302.ε	6	4	18	Φθορισμού T8	540
302.η	2	4	36	Φθορισμού T8	360
	3	3	36	Φθορισμού T8	405
303	24	2	36	Φθορισμού T8	2160
304	12	2	36	Φθορισμού T8	1080
305	12	2	35	Φθορισμού T5	924
306	12	2	35	Φθορισμού T5	924
307	37	2	18	CFL	1665
308	9	4	18	Φθορισμού T8	810
ΣΥΝΟΛΟ					13158

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Α είναι 1107,09m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 11,89W/m<sup>2</sup>.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού της πτέρυγας Α είναι 47123W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 3063,19m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 15,38W/m<sup>2</sup>.

## 5.2.2. Πτέρυγα Ε

**Πίνακας 3: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 1)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
100	1	2	58	Φθορισμού T8	145
101	6	2	58	Φθορισμού T8	870
102	2	2	36	Φθορισμού T8	180
103	2	2	36	Φθορισμού T8	180
104	3	2	58	Φθορισμού T8	435
104 - αποθήκη	1	2	58	Φθορισμού T8	145
Διάδρομος	2	2	18	CFL	90
WC Ανδρών	1	2	58	Φθορισμού T8	145
	2	1	60	Πυρακτώσεως E27	120
WC Γυναικών	1	1	18	Φθορισμού T8	22,5
	1	2	58	Φθορισμού T8	145
Κλιμακοστάσιο	3	2	18	Φθορισμού T8	135
ΣΥΝΟΛΟ					2612,5

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 1 της πτέρυγας Ε είναι 250,36m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 10,43W/m<sup>2</sup>.

**Πίνακας 4: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 2)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	5	4	18	Φθορισμού T8	450
Διάδρομος	12	1	58	Φθορισμού T8	870
Κλιμακοστάσιο	3	2	18	Φθορισμού T8	135
Τουαλέτες	7	1	40	Πυρακτώσεως E27	280
201.α	6	3	36	Φθορισμού T8	810
201.β-γ	12	3	36	Φθορισμού T8	1620
201.δ	6	3	36	Φθορισμού T8	810
201.είσοδος	2	3	36	Φθορισμού T8	270
202.α	6	4	36	Φθορισμού T8	1080
202.β	4	4	36	Φθορισμού T8	720
202.γ	4	4	36	Φθορισμού T8	720
202.είσοδος	1	4	36	Φθορισμού T8	180
ΕΘ - Κοιν. Χώροι	3	1	60	Πυρακτώσεως E27	180
	1	4	18	Φθορισμού T8	90
ΕΘ - Κλιμακ.σ.	3	2	18	Φθορισμού T8	135
ΣΥΝΟΛΟ					8350

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 2 της πτέρυγας Ε είναι 455,90m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 18,32W/m<sup>2</sup>, τιμή μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

**Πίνακας 5: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	9	2	36	Φθορισμού Τ8	810
Διάδρομος	16	1	58	Φθορισμού Τ8	1160
Κλιμακοστάσιο	2	2	18	Φθορισμού Τ8	90
Τουαλέτες	7	1	40	Πυρακτώσεως Ε27	280
301.α	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
301.β	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
301.γ	8	3	36	Φθορισμού Τ8	1080
301.είσοδος	1	3	36	Φθορισμού Τ8	135
302.α	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
302.β	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
302.είσοδος	1	3	36	Φθορισμού Τ8	135
303.α	8	3	36	Φθορισμού Τ8	1080
303.β	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
303.γ	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
303.είσοδος	2	3	36	Φθορισμού Τ8	270
ΕΘ - Κοιν. Χώροι	4	1	60	Πυρακτώσεως Ε27	240
ΕΘ - Κλιμακ.σ.	3	2	18	Φθορισμού Τ8	135
ΣΥΝΟΛΟ					10275

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Ε είναι 418,21m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 24,57W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

**Πίνακας 6: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 4)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	6	2	36	Φθορισμού Τ8	540
Διάδρομος	16	1	58	Φθορισμού Τ8	1160
Κλιμακοστάσιο	3	1	60	Πυρακτώσεως Ε27	180
Τουαλέτες	7	1	40	Πυρακτώσεως Ε27	280
401.α	8	3	36	Φθορισμού Τ8	1080
401.β	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
401.γ	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
401.είσοδος	2	3	36	Φθορισμού Τ8	270
402.α	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
402.β	4	3	36	Φθορισμού Τ8	540
402.είσοδος	2	3	36	Φθορισμού Τ8	270
403.α	6	3	36	Φθορισμού Τ8	810
403.β	4	3	36	Φθορισμού Τ8	540
403.γ	8	3	36	Φθορισμού Τ8	1080
403.είσοδος	3	3	36	Φθορισμού Τ8	405
ΕΘ - Κοιν. Χώροι	6	1	60	Πυρακτώσεως Ε27	360
ΕΘ - Κλιμακός.	2	2	18	Φθορισμού Τ8	90
	2	1	60	Πυρακτώσεως Ε27	120
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>10155</b>

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 4 της πτέρυγας Ε είναι  $396,83\text{m}^2$ . Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι  $25,59\text{W}/\text{m}^2$ , τιμή πολύ μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των  $16\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με  $500\text{lux}$  και των  $6,4\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με  $200\text{lux}$  που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού της πτέρυγας Ε είναι  $31392,5\text{W}$ . Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι  $1521,3\text{m}^2$ . Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι  $20,64\text{W}/\text{m}^2$ , τιμή μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των  $16\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με  $500\text{lux}$  και των  $6,4\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με  $200\text{lux}$  που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

### 5.2.3. Πτέρυγα Η

**Πίνακας 7: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 2)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομος	1	2	18	CFL	45
Υποσταθμός	3	2	36	Φθορισμού T8	270
201	4	2	58	Φθορισμού T8	580
	1	4	18	Φθορισμού T8	90
203.α	2	2	58	Φθορισμού T8	290
203.β	4	2	58	Φθορισμού T8	580
203.γ	2	2	58	Φθορισμού T8	290
203.δ	2	2	58	Φθορισμού T8	290
WC Ανδρών	1	2	58	Φθορισμού T8	145
	2	1	60	Πυρακτώσεως E27	120
WC Γυναικών	1	1	18	Φθορισμού T8	22,5
	1	2	58	Φθορισμού T8	145
Κλιμακοστάσιο	3	2	18	Φθορισμού T8	135
ΣΥΝΟΛΟ					3002,5

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 2 της πτέρυγας Η είναι 237,06m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 12,67W/m<sup>2</sup>.

**Πίνακας 8: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	4	4	18	Φθορισμού T8	360
Διάδρομος	12	1	58	Φθορισμού T8	870
Κλιμακοστάσιο	2	2	18	Φθορισμού T8	90
301.α-β	10	3	36	Φθορισμού T8	1350
301.γ	4	3	36	Φθορισμού T8	540
301.δ	8	3	36	Φθορισμού T8	1080
301.γραμματεία	4	3	36	Φθορισμού T8	540
301.είσοδος	2	3	36	Φθορισμού T8	270
302.α	8	3	36	Φθορισμού T8	1080
302.β	4	3	36	Φθορισμού T8	540
302.είσοδος	2	3	36	Φθορισμού T8	270
ΣΥΝΟΛΟ					6990

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Η είναι 344,84m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 20,27W/m<sup>2</sup>, τιμή



πολύ μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των  $16\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με 500lux και των  $6,4\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

**Πίνακας 9: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 4)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	2	2	18	Φθορισμού T8	90
	2	2	36	Φθορισμού T8	180
Διάδρομος	16	1	58	Φθορισμού T8	1160
Κλιμακοστάσιο	2	2	18	Φθορισμού T8	90
	1	1	60	Πυρακτώσεως E27	60
Τουαλέτες	7	1	40	Πυρακτώσεως B22D	280
401.α	4	3	36	Φθορισμού T8	540
401.β	4	4	18	Φθορισμού T8	360
401.γ	4	4	18	Φθορισμού T8	360
401.είσοδος	1	3	36	Φθορισμού T8	135
402.β	2	4	18	Φθορισμού T8	180
402.γ	2	4	18	Φθορισμού T8	180
402.δ	4	3	36	Φθορισμού T8	540
402.είσοδος	1	3	36	Φθορισμού T8	135
403.α	4	3	36	Φθορισμού T8	540
403.β	8	3	36	Φθορισμού T8	1080
403.γ	4	3	36	Φθορισμού T8	540
403.είσοδος	1	3	36	Φθορισμού T8	135
404.διάδρομος	1	1	58	Φθορισμού T8	72,5
404.α	4	2	36	Φθορισμού T8	360
404.β	2	2	36	Φθορισμού T8	180
	4	2	18	CFL	180
405.διάδρομος	4	3	36	Φθορισμού T8	540
405.α	4	3	36	Φθορισμού T8	540
405.β	6	3	36	Φθορισμού T8	810
405.γ	4	3	36	Φθορισμού T8	540
405.δ	4	3	36	Φθορισμού T8	540
405.ε	8	4	36	Φθορισμού T8	1440
405.ζ	2	3	36	Φθορισμού T8	270
412	4	2	18	CFL	180
ΣΥΝΟΛΟ					12237,5

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 4 της πτέρυγας Η είναι  $584,85\text{m}^2$ . Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι  $20,92\text{W}/\text{m}^2$ , τιμή πολύ μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των  $16\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με 500lux και των  $6,4\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού της πτέρυγας Η είναι 22230W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 1166,75m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 19,05W/m<sup>2</sup>, τιμή μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

#### 5.2.4. Πτέρυγα Η1

**Πίνακας 10: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
301	3	2	36	Φθορισμού Τ8	270
302	6	4	18	Φθορισμού Τ8	540
303	3	2	36	Φθορισμού Τ8	270
304	4	4	18	Φθορισμού Τ8	360
326.Ε	13	4	18	Φθορισμού Τ8	1170
326.Β	2	4	18	Φθορισμού Τ8	180
WC Ανδρών	5	1	70	Πυρακτώσεως Ε27	350
WC Γυναικών	5	1	70	Πυρακτώσεως Ε27	350
Διάδρομος Α	6	4	18	Φθορισμού Τ8	540
Διάδρομος Β	2	4	18	Φθορισμού Τ8	180
Διάδρομος Γ	1	4	18	Φθορισμού Τ8	90
	1	1	70	Πυρακτώσεως Ε27	70
Κλιμακοστάσιο	3	2	18	Φθορισμού Τ8	135
305	2	1	36	Φθορισμού Τ8	90
306.α	2	1	58	Φθορισμού Τ8	145
306.β	1	1	58	Φθορισμού Τ8	72,5
306.γ	6	1	58	Φθορισμού Τ8	435
Κλιμακ. Εργαστ.	1	1	60	Πυρακτώσεως Ε27	60
ΣΥΝΟΛΟ					5307,5

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Η1 είναι 447,66m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 11,86W/m<sup>2</sup>.

**Πίνακας 11: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 4)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομοι	20	1	58	Φθορισμού T8	1450
Τουαλέτες Α	5	1	40	Πυρακτώσεως E27	200
Τουαλέτες Β	5	1	40	Πυρακτώσεως E27	200
Κλιμακοστάσιο	2	2	18	Φθορισμού T8	90
401.α	6	2	36	Φθορισμού T8	540
401.β	8	2	36	Φθορισμού T8	720
401.γ	1	2	36	Φθορισμού T8	90
402.α	8	4	18	Φθορισμού T8	720
402.β	6	4	18	Φθορισμού T8	540
402.γ	1	4	18	Φθορισμού T8	90
403	16	2	36	Φθορισμού T8	1440
404.α	7	3	65	Φθορισμού T12	1706,25
404.β	1	2	65	Φθορισμού T12	162,5
	1	3	50	Πυρακτώσεως E27	150
404.γ	12	3	65	Φθορισμού T12	2925
404.δ	3	2	36	Φθορισμού T8	270
404.ε	8	3	65	Φθορισμού T12	1950
404.ζ	32	3	65	Φθορισμού T12	7800
	38	2	65	Φθορισμού T12	6175
404.η	8	3	65	Φθορισμού T12	1950
404.θ	8	3	65	Φθορισμού T12	1950
	3	1	150	Πυρ. Αλογόνου R7s	450
404.ι	4	3	65	Φθορισμού T12	975
	2	2	36	Φθορισμού T8	180
404.κ	1	2	65	Φθορισμού T12	162,5
Κλιμακ. Εργαστ.	1	1	60	Πυρακτώσεως E27	60
405.α	2	2	36	Φθορισμού T8	180
405.β	14	2	36	Φθορισμού T8	1260
405.γ	6	3	40	Φθορισμού T12	900
	3	2	36	Φθορισμού T8	270
ΣΥΝΟΛΟ					35556,25

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 4 της πτέρυγας Η1 είναι 1625,60m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 21,87W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

**Πίνακας 12: Υφιστάμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 5)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομοι	20	1	58	Φθορισμού T8	1450
Τουαλέτες Α	5	1	40	Πυρακτώσεως E27	200
Τουαλέτες Β	5	1	40	Πυρακτώσεως E27	200
Κλιμακοστάσιο	1	2	18	Φθορισμού T8	45
501-502.α	10	2	36	Φθορισμού T8	900
501-502.β	20	2	36	Φθορισμού T8	1800
501-502.γ	10	2	36	Φθορισμού T8	900
503	15	2	36	Φθορισμού T8	1350
504.α	8	2	58	Φθορισμού T8	1160
504.β	5	2	58	Φθορισμού T8	725
504.γ	3	2	58	Φθορισμού T8	435
504.ε	20	2	58	Φθορισμού T8	2900
504.ζ	4	2	58	Φθορισμού T8	580
504.η	4	2	58	Φθορισμού T8	580
504.θ	32	2	58	Φθορισμού T8	4640
Κλιμακ. Εργαστ.	2	1	60	Πυρακτώσεως E27	120
ΣΥΝΟΛΟ					17985

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 5 της πτέρυγας Η1 είναι 934,87m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 19,24W/m<sup>2</sup>, τιμή μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού της πτέρυγας Η1 είναι 58848,75W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 3008,13m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 19,56W/m<sup>2</sup>, τιμή μεγαλύτερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.

### 5.3. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού

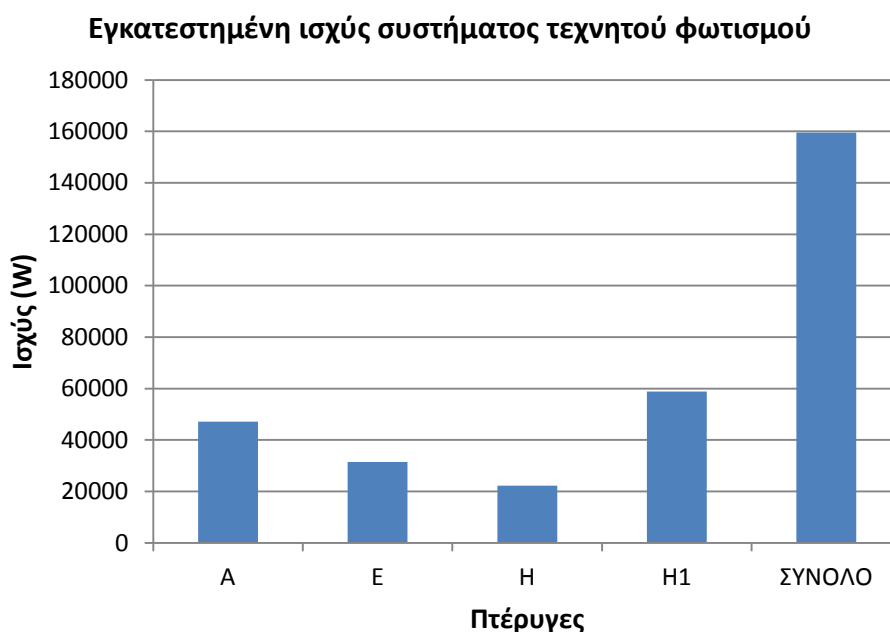
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η εγκατεστημένη ισχύς και η κατανομή ισχύος για κάθε πτέρυγα που μελετάται στην παρούσα εργασία, αλλά και τα αντίστοιχα συνολικά μεγέθη για τις τέσσερις πτέρυγες.

Πίνακας 13: Συνολική ισχύς υφιστάμενης εγκατάστασης

ΠΤΕΡΥΓΑ	Υφιστάμενη κατάσταση	
	Ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )
A	47123	15,38
E	31392,5	20,64
H	22230	19,05
H1	58848,75	19,56
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>159594,25</b>	<b>18,22</b>

Η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων είναι μεγαλύτερη από τις επιτρεπόμενες ανώτερες τιμές των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα (lm/W) δεν ήταν δυνατό να υπολογιστεί για την υφιστάμενη εγκατάσταση λόγω έλλειψης φωτομετρικών στοιχείων για τα υπάρχοντα φωτιστικά σώματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα διάγραμμα το οποίο απεικονίζει την εγκατεστημένη ισχύ του υφιστάμενου συστήματος για κάθε πτέρυγα, αλλά και συνολικά.



Εικόνα 25: Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος φωτισμού



## 6. Αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με νέα αποδοτικότερα φωτιστικά σώματα (Σενάριο Α)

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το προτεινόμενο, ενεργειακά αναβαθμισμένο, σύστημα τεχνητού φωτισμού για τις πτέρυγες Α, Ε, Η και Η1 του κτιρίου Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το προτεινόμενο σύστημα (Σενάριο Α) συγκρίνεται με το ήδη υπάρχον και περιγράφονται τα πλεονεκτήματά του. Επιπλέον, παρουσιάζεται η διαδικασία επιλογής της συγκεκριμένης πρότασης.

### 6.1. Εισαγωγή

Για την αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού προτείνεται η αντικατάσταση των υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων με νέα, υψηλότερης απόδοσης γραμμικά φωτιστικά σώματα φθορισμού με αποδοτικότερους λαμπτήρες τύπου T5, με παραβολική περσίδα και ηλεκτρονικό ballast. Στους χώρους που παρατηρήθηκε υπερδιαστασιολόγηση των φωτιστικών σωμάτων θα πραγματοποιηθεί μείωση του αριθμού τους, χωρίς να μειώνονται τα επίπεδα φωτισμού. Με αυτόν τον τρόπο θα προκύψει σημαντική μείωση της εγκατεστημένης ισχύος σε κάθε χώρο και, κατά συνέπεια, μεγάλη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Για κάθε χώρο πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί και προσομοιώσεις με αξιόπιστο πρόγραμμα υπολογισμού φωτομετρικών μεγεθών, το RELUX Professional 2007, το οποίο χρησιμοποιεί την πλατφόρμα του RADIANCE. Στο Παράρτημα Α παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για ορισμένους αντιπροσωπευτικούς χώρους. Στο πρόγραμμα εισήχθησαν τα γεωμετρικά δεδομένα και οι αντίστοιχες οπτικές ιδιότητες των εσωτερικών στοιχείων του κάθε χώρου (ανακλαστικότητα τοίχων, διαπερατότητες υαλοπινάκων, κ.λπ.) και χρησιμοποιήθηκαν τα φωτομετρικά αρχεία των φωτιστικών σωμάτων που έχουν προδιαγραφεί. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με συντελεστή συντήρησης (maintenance factor) ίσο με 0,8.

Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε οι χώροι να ικανοποιούν τα όρια της έντασης φωτισμού που ορίζονται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), ανάλογα με τη χρήση του καθενός. Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, σε κάθε χώρο πρέπει να παρέχεται ο φωτισμός που εξασφαλίζει στον χρήστη οπτική άνεση, δηλαδή ένα περιβάλλον με την απαιτούμενη ποιότητα και ποσότητα φωτισμού, που επιτρέπει την ευχάριστη διαμονή και εκτέλεση εργασιών, χωρίς φαινόμενα που προκαλούν οπτική δυσφορία ή κόπωση. Τα συνιστώμενα μέσα ελάχιστα επίπεδα φωτισμού δίνονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464.1:2002. Το κατώτερο όριο της φωτιστικής απόδοσης ορίστηκε στα 55lm/W και το ανώτερο όριο της κατανομής ισχύος του κάθε χώρου στα 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και στα 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux. Το επίπεδο αναφοράς μέτρησης ορίστηκε στα 0,8m [46].

**Πίνακας 14: Όρια έντασης φωτισμού ανάλογα με τη χρήση του χώρου [38, 46]**

Χώρος	Ένταση φωτισμού (lux)
Γραφείο	500
Αίθουσα διδασκαλίας τριτοβάθμιας εκπαίδευσης	500
Αμφιθέατρο	500
Εργαστήριο	500
Αποθήκη	150
Διάδρομος	100
Κλιμακοστάσιο	150

Τα φωτιστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι γραμμικά φωτιστικά σώματα φθορισμού ελληνικής κατασκευής (Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.), υψηλής απόδοσης, τα οποία είναι εφοδιασμένα με ηλεκτρονικά ballasts. Οι αναλυτικές τεχνικές προδιαγραφές των φωτιστικών που χρησιμοποιήθηκαν και τα πολικά διαγράμματα κατανομής της φωτεινής έντασης παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτιστικών σωμάτων, καθώς και η μέθοδος υπολογισμού της ισχύος και της φωτεινής ροής τους, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Η κατανάλωση των φωτιστικών προσαρξάνεται κατά 10%, ώστε να συνυπολογισθούν οι απώλειες των ηλεκτρονικών ballasts. Η απόδοση του φωτιστικού ορίζεται από τη σχέση:

$$\text{απόδοση φωτιστικού} = \frac{\Phi_{\text{φωτιστικού}}}{\Phi_{\text{λαμπτήρων}}}$$

Ορίζεται, δηλαδή, από τον λόγο της φωτεινής ροής του φωτιστικού σώματος προς τη συνολική φωτεινή ροή των λαμπτήρων του φωτιστικού [40].



**Πίνακας 15: Τύπος προτεινόμενων φωτιστικών σωμάτων και τεχνικά χαρακτηριστικά τους**

Τύπος φωτιστικού	Αριθμός λαμπτήρων φωτιστικού	Απόδοση φωτιστικού (LOR)	Φωτεινή ροή λαμπτήρα (lm)	Φωτεινή ροή λαμπτήρων φωτιστικού (lm)	Φωτεινή Ροή Φωτιστικού (lm)	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Ισχύς φωτιστικού (W)
	[1]	[2]	[3]	[4] [4]=[1]x[3]	[5] [5]=[2]x[4]	[6]	[7] [7]=[1]x[6]x1,1
Φθορισμού γραμμικό, 2x14W T16 G5, μήκος: 660mm, 4306	2	0,6712	1350	2700	1812,24	14	30,8
Φθορισμού γραμμικό, 2x21W T16 G5, μήκος: 960mm, 4308	2	0,6712	2100	4200	2819,04	21	46,2
Φθορισμού γραμμικό, 2x28W T16 G5, μήκος: 1260mm, 4310	2	0,7534	2900	5800	4369,72	28	61,6
Φθορισμού γραμμικό, 2x54W T16 G5, μήκος: 1260mm, 4311	2	0,7534	5000	10000	7534	54	118,8
Φθορισμού γραμμικό, 2x35W T16 G5, μήκος: 1560mm, 4312	2	0,7534	3650	7300	5499,82	35	77
Φθορισμού γραμμικό, 2x80W T16 G5, μήκος: 1560mm, 4313	2	0,7534	7000	14000	10547,6	80	176
Φθορισμού γραμμικό, 1x21W T16 G5, μήκος: 1220mm, 4032	1	0,6017	2100	2100	1263,57	21	23,1
Φθορισμού γραμμικό, 1x35W T16 G5, μήκος: 1820mm, 4036	1	0,6929	3650	3650	2529,085	35	38,5
Φθορισμού γραμμικό, 2x39W T16 G5, μήκος: 920mm, 3032	2	0,5914	3500	7000	4139,8	39	85,8
Φθορισμού γραμμικό, 1x21W T16 G5, μήκος: 920mm, 3011	1	0,5914	2100	2100	1241,94	21	23,1
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	1	0,566	850	850	481,1	15	15
Μεταλλικών αλογονιδίων, 1x400W E40, διαμέτρου: 680mm, 23767	1	0,6897	42000	42000	28967,4	400	440

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζονται σε πίνακες ο αριθμός των προτεινόμενων φωτιστικών για κάθε χώρο του κτιρίου, ο αριθμός των λαμπτήρων ανά φωτιστικό, η ισχύς και ο τύπος του κάθε λαμπτήρα, καθώς και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του χώρου, λαμβάνοντας υπόψη την κατάλληλη προσαύξηση λόγω της κατανάλωσης των ballasts.

## 6.2. Εγκατεστημένη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Α)

### 6.2.1. Πτέρυγα Α

Πίνακας 16: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 2)

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομος Α	9	2	35	Φθορισμού T5	693,00
Διάδρομος Β	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
201	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
202	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
203	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
204	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
205	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
206.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
206.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
206.γ	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
206.δ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
206.ε	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
206.ζ	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
207	6	2	80	Φθορισμού T5	1056,00
208	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
209	6	2	80	Φθορισμού T5	1056,00
210	8	2	54	Φθορισμού T5	950,40
211	9	2	80	Φθορισμού T5	1584,00
211-διάδρομος	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
211-πίνακας	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
211-προβολέας	1	1	15	CFL	15,00
T2	3	1	15	CFL	45,00
211-εργαστήριο	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
211-προθ.Α	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
211-διάδρ.Α	5	1	15	CFL	75,00
211-διάδρ.Β	5	1	15	CFL	75,00
T3	1	1	15	CFL	15,00
211-προθ.Β	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
T4	3	1	15	CFL	45,00
Χώρος Καθαρ.	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
Προθ. Καθαρ.	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
212-είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
212.α	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60

**Πίνακας 16 (συνέχεια): Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 2)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
212.β	1	2	80	Φθορισμού T5	176,00
212.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
213	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
213-κουζίνα	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
213-WC	2	1	15	CFL	30,00
214	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
215	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
216-217	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
218	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
219	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
220	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
221	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
T1	1	1	15	CFL	15,00
222	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
222-είσοδος	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
222-WC	1	1	15	CFL	15,00
ΣΥΝΟΛΟ					12496,00

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 2 της πτέρυγας Α είναι 1956,10m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 6,39W/m<sup>2</sup>, τιμή χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίσθηκε στα 63,51lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

**Πίνακας 17: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομος	8	2	35	Φθορισμού T5	616,00
301.α	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
301.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
301.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
302.α	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
302.β	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
302.γ	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
302.δ	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
302.ε	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
302.η	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
303	6	2	80	Φθορισμού T5	1056,00
304	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
305	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
306	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
307	6	2	80	Φθορισμού T5	1056,00
308	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
ΣΥΝΟΛΟ					5694,70

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Α είναι 1107,09m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 5,14W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα 64,20lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων της πτέρυγας Α είναι 18190,70W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 3063,19m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 5,94W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα της πτέρυγας υπολογίστηκε στα 63,73lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

## 6.2.2. Πτέρυγα Ε

Πίνακας 18: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 1)

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
100	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
101	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
102	3	2	35	Φθορισμού T5	231,00
103	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
104	5	2	35	Φθορισμού T5	385,00
104 - αποθήκη	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
Διάδρομος	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
WC Ανδρών	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
	2	1	15	CFL	30,00
WC Γυναικών	1	1	18	Φθορισμού T8	22,50
	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
Κλιμακοστάσιο	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
	2	2	39	Φθορισμού T5	171,60
ΣΥΝΟΛΟ					1937,90

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 1 της πτέρυγας Ε είναι  $250,36\text{m}^2$ . Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι  $7,74\text{W}/\text{m}^2$ . Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίσθηκε στα  $64,53\text{lm}/\text{W}$ , τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των  $55\text{lm}/\text{W}$ .

**Πίνακας 19: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 2)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
Διάδρομος	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
Κλιμακοστάσιο	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
	2	2	39	Φθορισμού T5	171,60
Τουαλέτες	7	1	15	CFL	105,00
201.α	1	2	80	Φθορισμού T5	176,00
201.β-γ	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
201.δ	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
201.είσοδος	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
202.α	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
202.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
202.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
202.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
ΕΘ - Κοιν. Χώροι	3	1	35	Φθορισμού T5	115,50
ΕΘ - Κλιμακοσ.	2	2	14	Φθορισμού T5	61,60
	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>2101,50</b>

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 2 της πτέρυγας Ε είναι  $455,90\text{m}^2$ . Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι  $4,61\text{W}/\text{m}^2$ , τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των  $16\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με  $500\text{lux}$  και των  $6,4\text{W}/\text{m}^2$  για τους χώρους με  $200\text{lux}$  που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα  $62,85\text{lm}/\text{W}$ , τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των  $55\text{lm}/\text{W}$ .

**Πίνακας 20: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
Διάδρομος	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
Κλιμακοστάσιο	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
	2	2	39	Φθορισμού T5	171,60
Τουαλέτες	7	1	15	CFL	105,00
301.α	1	2	80	Φθορισμού T5	176,00
301.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
301.γ	3	2	35	Φθορισμού T5	231,00
301.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
302.α	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
302.β	1	2	80	Φθορισμού T5	176,00
302.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
303.α	3	2	35	Φθορισμού T5	231,00
303.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
303.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
303.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
ΕΘ - Κοιν. Χώροι	2	2	21	Φθορισμού T5	92,40
ΕΘ - Κλιμακοσ.	2	2	14	Φθορισμού T5	61,60
	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
ΣΥΝΟΛΟ					2217,00

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Ε είναι 418,21m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 5,30W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα 62,96lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

**Πίνακας 21: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 4)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
Διάδρομος	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
Κλιμακοστάσιο	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
Τουαλέτες	7	1	15	CFL	105,00
401.α	3	2	35	Φθορισμού T5	231,00
401.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
401.γ	1	2	80	Φθορισμού T5	176,00
401.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
402.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
402.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
402.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
403.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
403.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
403.γ	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
403.είσοδος	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
ΕΘ - Κοιν. Χώροι	3	2	21	Φθορισμού T5	138,60
ΕΘ - Κλιμακοσ.	2	2	14	Φθορισμού T5	61,60
	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>2099,30</b>

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 4 της πτέρυγας Ε είναι 396,83m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 5,29W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα 64,15lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων της πτέρυγας Ε είναι 8355,70W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 1521,30m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 5,49W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα της πτέρυγας υπολογίστηκε στα 63,60lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.



### 6.2.3. Πτέρυγα Η

**Πίνακας 22: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 2)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομος	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
Υποσταθμός	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
201	2	2	80	Φθορισμού T5	352,00
203.α	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
203.β	3	2	35	Φθορισμού T5	231,00
203.γ	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
203.δ	1	2	80	Φθορισμού T5	176,00
WC Ανδρών	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
	2	1	15	CFL	30,00
WC Γυναικών	1	1	18	Φθορισμού T8	22,50
	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
Κλιμακοστάσιο	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
	2	2	39	Φθορισμού T5	171,60
ΣΥΝΟΛΟ					1810,30

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 2 της πτέρυγας Η είναι 237,06m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 7,64W/m<sup>2</sup>. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίσθηκε στα 63,41lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

**Πίνακας 23: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 3)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	4	2	28	Φθορισμού T5	246,40
Διάδρομος	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
Κλιμακοστάσιο	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
	2	2	39	Φθορισμού T5	171,60
301.α-β	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
301.γ	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
301.δ	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
301.γραμματεία	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
301.είσοδος	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
302.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
302.β	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
302.είσοδος	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
ΣΥΝΟΛΟ					1654,40

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Η είναι 344,84m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 4,80W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα 64,76lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

**Πίνακας 24: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 4)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Κοινόχ. Χώροι	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
Διάδρομος	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
Κλιμακοστάσιο	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
Τουαλέτες	7	1	15	CFL	105,00
401.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
401.β	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
401.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
401.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
402.β	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
402.γ	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
402.δ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
402.είσοδος	1	2	14	Φθορισμού T5	30,80
403.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
403.β	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
403.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
403.είσοδος	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
404.διάδρομος	1	2	21	Φθορισμού T5	46,20
404.α	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
404.β	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
405.διάδρομος	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
405.α	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
405.β	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
405.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
405.δ	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
405.ε	3	2	28	Φθορισμού T5	184,80
405.ζ	1	2	54	Φθορισμού T5	118,80
412	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
ΣΥΝΟΛΟ					3685,50

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 4 της πτέρυγας Η είναι 584,85m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 6,30W/m<sup>2</sup>, τιμή χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup>

για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα 67,89lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων της πτέρυγας Η είναι 7150,20W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 1166,75m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 6,13W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα της πτέρυγας υπολογίστηκε στα 66,03lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

#### 6.2.4. Πτέρυγα Η1

Πίνακας 25: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 3)

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
301	4	2	28	Φθορισμού T5	246,40
302	3	2	35	Φθορισμού T5	231,00
303	4	2	28	Φθορισμού T5	246,40
304	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
326.E	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
326.B	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
WC Ανδρών	5	1	15	CFL	75,00
WC Γυναικών	5	1	15	CFL	75,00
Διάδρομος Α	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
Διάδρομος Β	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
Διάδρομος Γ	1	2	21	Φθορισμού T5	46,20
Κλιμακοστάσιο	2	2	14	Φθορισμού T5	61,60
	1	1	21	Φθορισμού T5	23,10
305	1	2	28	Φθορισμού T5	61,60
306.α	1	2	35	Φθορισμού T5	77,00
306.β	1	2	35	Φθορισμού T5	77,00
306.γ	2	2	28	Φθορισμού T5	123,20
Κλιμακ. Εργαστ.	2	1	35	Φθορισμού T5	77,00
ΣΥΝΟΛΟ					2418,20

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 3 της πτέρυγας Η1 είναι 447,66m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 5,40W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα

του επιπέδου υπολογίσθηκε στα 65,48lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

**Πίνακας 26: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 4)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομοι	7	2	21	Φθορισμού Τ5	323,40
Τουαλέτες Α	5	1	15	CFL	75,00
Τουαλέτες Β	5	1	15	CFL	75,00
Κλιμακοστάσιο	2	2	14	Φθορισμού Τ5	61,60
	2	1	21	Φθορισμού Τ5	46,20
401.α	3	2	28	Φθορισμού Τ5	184,80
401.β	2	2	54	Φθορισμού Τ5	237,60
401.γ	1	1	21	Φθορισμού Τ5	23,10
402.α	2	2	54	Φθορισμού Τ5	237,60
402.β	3	2	28	Φθορισμού Τ5	184,80
402.γ	1	1	21	Φθορισμού Τ5	23,10
403	4	2	54	Φθορισμού Τ5	475,20
404.α	1	2	54	Φθορισμού Τ5	118,80
404.β	2	2	28	Φθορισμού Τ5	123,20
404.γ	8	2	80	Φθορισμού Τ5	1408,00
404.δ	3	2	28	Φθορισμού Τ5	184,80
404.ε	5	2	80	Φθορισμού Τ5	880,00
404.ζ	10	1	400	Metal Halide	4400,00
404.η	4	2	35	Φθορισμού Τ5	308,00
404.θ	8	2	80	Φθορισμού Τ5	1408,00
	3	1	30	LED	90,00
404.ι	6	2	28	Φθορισμού Τ5	369,60
404.κ	1	2	21	Φθορισμού Τ5	46,20
Κλιμακ. Εργαστ.	2	1	35	Φθορισμού Τ5	77,00
405.α	2	2	54	Φθορισμού Τ5	237,60
405.β	10	2	35	Φθορισμού Τ5	770,00
405.γ	5	2	54	Φθορισμού Τ5	594,00
ΣΥΝΟΛΟ					12962,60

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 4 της πτέρυγας Η1 είναι 1625,60m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 7,97W/m<sup>2</sup>. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίσθηκε στα 64,13lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

**Πίνακας 27: Προτεινόμενη κατάσταση συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 5)**

Χώρος	Πλήθος φωτιστικών	Λαμπτήρες / φωτιστικό	Ισχύς λαμπτήρα (W)	Τύπος λαμπτήρα	Σύνολο χώρου (W)
Διάδρομοι	7	2	21	Φθορισμού T5	323,40
Τουαλέτες Α	5	1	15	CFL	75,00
Τουαλέτες Β	5	1	15	CFL	75,00
Κλιμακοστάσιο	1	2	21	Φθορισμού T5	46,20
501-502.α	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
501-502.β	8	2	35	Φθορισμού T5	616,00
501-502.γ	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
503	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
504.α	4	2	54	Φθορισμού T5	475,20
504.β	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
504.γ	2	2	35	Φθορισμού T5	154,00
504.ε	4	2	35	Φθορισμού T5	308,00
504.ζ	2	2	54	Φθορισμού T5	237,60
504.η	1	1	35	Φθορισμού T5	38,50
504.θ	12	2	80	Φθορισμού T5	2112,00
Κλιμακ. Εργαστ.	3	1	35	Φθορισμού T5	115,50
ΣΥΝΟΛΟ					5667,60

Το συνολικό εμβαδό του επιπέδου 5 της πτέρυγας Η1 είναι 934,87m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος για το σύνολο των χώρων του επιπέδου είναι 6,06W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ χαμηλότερη από τα ανώτερα όρια των 16W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 500lux και των 6,4W/m<sup>2</sup> για τους χώρους με 200lux που ορίζονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Η φωτεινή αποδοτικότητα του επιπέδου υπολογίστηκε στα 63,59lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων της πτέρυγας Η1 είναι 21048,40W. Το συνολικό εμβαδό της πτέρυγας είναι 3008,13m<sup>2</sup>. Κατά συνέπεια, η κατανομή ισχύος είναι 7,00W/m<sup>2</sup>. Η φωτεινή αποδοτικότητα της πτέρυγας υπολογίστηκε στα 64,14lm/W, τιμή μεγαλύτερη του κατώτερου ορίου των 55lm/W.

### **6.3. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Α)**

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς, η κατανομή ισχύος και η φωτεινή αποδοτικότητα για κάθε πτέρυγα, αλλά και συνολικά, για το προτεινόμενο

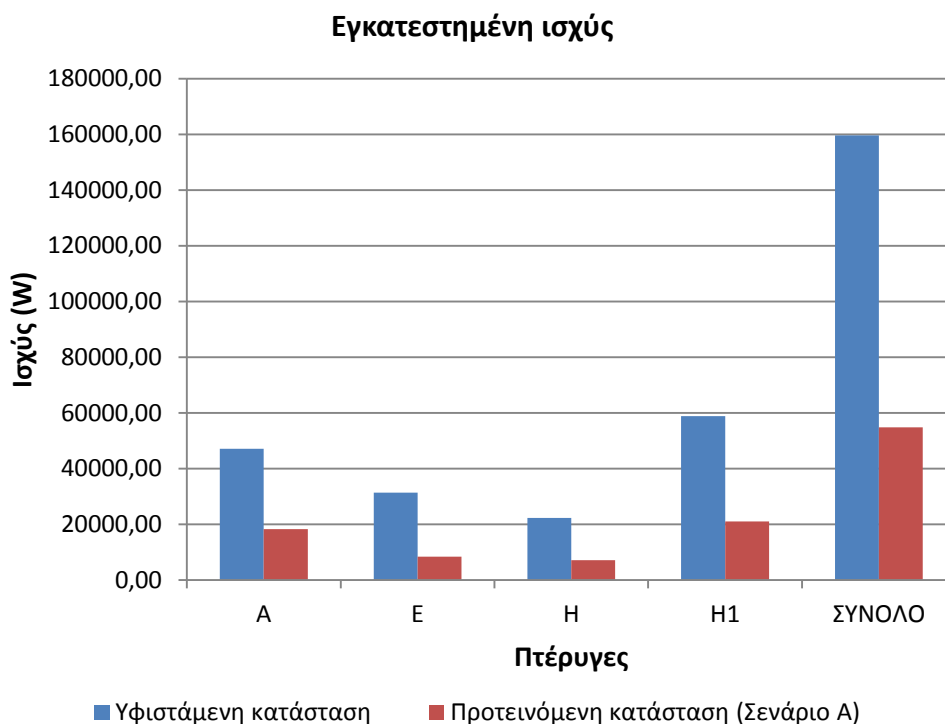
σύστημα τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Α). Επίσης, οι τιμές αυτές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες του υφιστάμενου συστήματος.

**Πίνακας 28:** Συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων του υφιστάμενου και του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού (Σενάριο Α)

ΠΤΕΡΥΓΑ	Υφιστάμενη κατάσταση		Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)		
	Ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Φωτεινή αποδοτικότητα (lm/W)
A	47123,00	15,38	18190,70	5,94	63,73
E	31392,50	20,64	8355,70	5,49	63,60
H	22230,00	19,05	7150,20	6,13	66,03
H1	58848,75	19,56	21048,40	7,00	64,14
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>159594,25</b>	<b>18,22</b>	<b>54745,00</b>	<b>6,25</b>	<b>64,17</b>

Συνολικά, με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων επιτυγχάνεται μείωση ισχύος κατά 65,7%, δηλαδή κατά 104,85kW. Η κατανομή ισχύος μειώθηκε από 18,22W/m<sup>2</sup> σε 6,25W/m<sup>2</sup>, τιμή αποδεκτή από τον Κ.Εν.Α.Κ., ενώ η τιμή της φωτεινής αποδοτικότητας είναι 64,17lm/W, τιμή επίσης αποδεκτή από τον Κ.Εν.Α.Κ.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τις τιμές της εγκατεστημένης ισχύος για το υφιστάμενο και το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού (Σενάριο Α).



**Εικόνα 26:** Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α)

## 7. Αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού και αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού (Σενάριο Β)

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με επιπλέον εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β). Κάθε χώρος ο οποίος διαθέτει εξωτερικά ανοίγματα μελετήθηκε ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, και, τελικά, σε αρκετούς χώρους κρίθηκε ωφέλιμη η εκμετάλλευσή του. Το νέο προτεινόμενο σύστημα φωτισμού (Σενάριο Β) θα συγκριθεί με το υφιστάμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού, καθώς και με το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού με απλή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α), και θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματά του. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας που οδήγησε σε αυτή την πρόταση.

### 7.1. Εισαγωγή

Για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού προτείνεται η τοποθέτηση αισθητήρων φωτισμού σε κάθε φωτιστικό σώμα για κάθε διακριτό χώρο εργασίας, ο οποίος έχει επιλεγεί για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Οι αισθητήρες φωτισμού ανιχνεύουν την ένταση φωτισμού στην επιφάνεια που σημαδεύουν και ρυθμίζουν, ανάλογα με τον φυσικό φωτισμό που προσπίπτει στην επιφάνεια αυτή, την ένταση του τεχνητού φωτισμού στην επιθυμητή τιμή μέσω ρυθμιστή φωτός (dimmer). Το σύστημα αυτό είναι τοπικού χαρακτήρα και δεν συνδυάζεται ούτε επικοινωνεί με αντίστοιχα συστήματα εγκατεστημένα σε άλλους χώρους. Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται είναι ίδιου τύπου με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α. Πιο αναλυτικά, οι αισθητήρες φωτισμού συνδέονται με τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού (EDBs - Electronic Dimming Ballasts), τα οποία μπορούν να προσαρμόζουν την ένταση φωτισμού που παράγεται από αυτούς τους λαμπτήρες. Με αυτόν τον τρόπο, η ένταση του τεχνητού φωτισμού μπορεί να αυξομειώνεται με βάση την ποσότητα του φυσικού φωτισμού που εισέρχεται σε έναν χώρο. Ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιηθεί δεν απενεργοποιεί το σύστημα φωτισμού, αλλά ρυθμίζει την ένταση φωτισμού στη χαμηλότερη τιμή. Έτσι, στο σύστημα φωτισμού εξακολουθεί να υπάρχει ελάχιστη κατανάλωση, ίση με το 15% της ισχύος των λαμπτήρων, σύμφωνα με μετρήσεις στο Εργαστήριο Φωτοτεχνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η συνεισφορά αυτή έχει υπολογιστεί στη συνολική κατανάλωση του συστήματος φωτισμού.

Για την εύρεση των ζητούμενων χώρων πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί και προσομοιώσεις με το πρόγραμμα υπολογισμού φωτομετρικών μεγεθών RELUX Professional 2007, το οποίο χρησιμοποιεί την πλατφόρμα του RADIANCE. Στο Παράρτημα Β παρατίθενται τα αποτελέσματα για ορισμένους αντιπροσωπευτικούς χώρους. Για όλους

τους χώρους εισήχθησαν τα απαραίτητα γεωμετρικά δεδομένα και οι αντίστοιχες οπτικές ιδιότητες των εσωτερικών στοιχείων τους (ανακλαστικότητες τοίχων, διαπερατότητες υαλοπινάκων, κ.λπ.), αλλά και των αντίστοιχων δομικών στοιχείων του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ορίστηκε ο ακριβής προσανατολισμός του κτιρίου Χημικών Μηχανικών (North angle = 270°) και οι ακριβείς συντεταγμένες του (γεωγραφικό πλάτος: 37° 58' 36" North, γεωγραφικό μήκος: 23° 47' 05" East) [Google Earth]. Για κάθε χώρο υπολογίστηκε ο μέσος συντελεστής φυσικού φωτισμού (DF), ο οποίος χρησιμοποιείται ως μέτρο επάρκειας του φυσικού φωτισμού:

$$DF = \frac{E_i}{E_o} \cdot 100\%$$

όπου:  $E_i$  είναι η ένταση φωτισμού (σε lux) σε ένα σημείο οριζόντιας επιφάνειας στο εσωτερικό του χώρου που παράγεται από τη φωτεινή ροή που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον ουρανό και  $E_o$  είναι η ένταση φωτισμού (σε lux) σε οριζόντια επιφάνεια στο εξωτερικό του χώρου την ίδια χρονική στιγμή που παράγεται από το ημισφαίριο του ουρανού χωρίς να παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο.

Ανάλογα με τη μέση τιμή του παράγοντα φυσικού φωτισμού, εκτιμάται το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζεται ως:

- υψηλό, αν η μέση τιμή του DF είναι μεγαλύτερη ή ίση του 3%,
- μέτριο, αν η μέση τιμή του DF κυμαίνεται ανάμεσα στο 2% και στο 3%,
- χαμηλό, αν η μέση τιμή του DF βρίσκεται ανάμεσα στο 1% και στο 2%,

ενώ, αν η μέση τιμή του DF είναι μικρότερη του 1%, ο φυσικός φωτισμός δεν επαρκεί ώστε να προσφέρει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας, για κάθε χώρο ξεχωριστά, την τιμή του μέσου συντελεστή DF, την απαιτούμενη ένταση φωτισμού, το ημερήσιο και ετήσιο ωράριο λειτουργίας και την πιθανότητα ηλιοφάνειας (sun probability) για την περιοχή της Αθήνας, υπολογίστηκε για κάθε χώρο, μέσω του RELUX, το ποσοστό του χρόνου της ημέρας που θα απαιτείται τεχνητός φωτισμός.

Για αυτούς τους υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι το κτίριο λειτουργεί 12 μήνες τον χρόνο, 5 ημέρες την εβδομάδα, 10 ώρες την ημέρα (08:00 - 18:00). Αν και το κτίριο που μελετάται είναι εκπαιδευτικό ίδρυμα, θα θεωρηθεί ως κτίριο γραφείων, όσον αφορά στις ώρες λειτουργίας του, καθώς οι περισσότεροι χώροι στις πτέρυγες Α, Ε, Η και Η1 χρησιμοποιούνται ως γραφεία.

Η πιθανότητα ηλιοφάνειας για την περιοχή της Αθήνας είναι:



**Πίνακας 29: Μηνιαία πιθανότητα ηλιοφάνειας (sun probability) για την περιοχή της Αθήνας**

Μήνας	Πιθανότητα ηλιοφάνειας (%)	Μήνας	Πιθανότητα ηλιοφάνειας (%)
Ιανουάριος	44	Ιούλιος	90
Φεβρουάριος	50	Αύγουστος	85
Μάρτιος	41	Σεπτέμβριος	70
Απρίλιος	55	Οκτώβριος	52
Μάιος	78	Νοέμβριος	50
Ιούνιος	87	Δεκέμβριος	48

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται, για τους χώρους του κτιρίου όπου αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων φωτισμού και ανάλογη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η τιμή του μέσου συντελεστή DF και οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος της προτεινόμενης κατάστασης του Σεναρίου A (αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων) και της ισοδύναμης ισχύος της προτεινόμενης κατάστασης του Σεναρίου B (εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η ισοδύναμη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο B) αντιστοιχεί στην εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού, το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα. Με άλλα λόγια, το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού του Σεναρίου B δεν μειώνει την εγκατεστημένη ισχύ του Σεναρίου A αλλά ελαττώνει την καταναλισκόμενη ενέργεια, λόγω της ρύθμισης της έντασης φωτισμού σε χαμηλότερη τιμή ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό.

## **7.2. Ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο B)**

### **7.2.1. Πτέρυγα A**

Με βάση τη μελέτη, αξιολογώντας ενεργειακά οφέλη με την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο B) υπήρχαν για 23 χώρους των επιπέδων 2 και 3 της πτέρυγας A.

**Πίνακας 30: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 2)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
206.α	1,35	900	154,00	113,15	87,43	26,53
206.β	2,96	900	118,80	50,37	94,40	57,60
206.γ	2,64	900	123,20	60,08	93,32	51,23
206.δ	3,21	1260	154,00	57,75	95,42	62,50
206.ε	3,31	540	118,80	42,80	92,07	63,97
211-εργαστήριο	1,73	290	237,60	157,85	45,57	33,56
213	1,49	540	237,60	166,80	69,11	29,80
214	1,02	290	308,00	253,51	12,58	17,69
215	3,51	290	154,00	51,96	82,08	66,26
216-217	4,10	580	308,00	90,55	84,39	70,60
218	3,58	290	154,00	50,92	82,44	66,94
219	5,30	450	184,80	46,05	89,77	75,08
220	5,60	360	184,80	44,75	87,57	75,78
221	4,50	360	184,80	50,77	85,90	72,53
222	5,00	435	308,00	79,16	81,80	74,30
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>8385</b>	<b>2930,40</b>	<b>1316,47</b>		

**Πίνακας 31: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α - Επίπεδο 3)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
301.β	4,00	90	118,80	35,52	60,53	70,10
301.γ	2,60	90	154,00	76,49	15,01	50,33
302.α	0,79	360	123,20	112,43	68,77	8,74
302.β	2,07	1080	154,00	96,47	91,07	37,36
302.γ	1,78	720	123,20	81,19	88,72	34,10
302.δ	1,81	540	123,20	80,81	85,04	34,41
302.ε	2,10	540	184,80	114,68	78,76	37,94
308	0,93	810	475,20	406,38	49,83	14,48
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>4230</b>	<b>1456,40</b>	<b>1003,97</b>		

Συνολικά, οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) και της ισοδύναμης ισχύος του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) για όλους τους χώρους της πτέρυγας Α παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 32: Ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Α)**

Επίπεδο	Υφιστάμενη κατάσταση - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α) - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β) - Ισοδύναμη Ισχύς (W)
2	33965	12496,0	10882,07
3	13158	5694,7	5242,26
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>47123</b>	<b>18190,7</b>	<b>16124,33</b>

Με τη νέα πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) επιτεύχθηκε, για την πτέρυγα Α, μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 30998,67W, δηλαδή κατά 65,78%, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 2066,37W, δηλαδή κατά 11,36%, σε σχέση με την πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α.

Όσον αφορά μόνο στους χώρους της πτέρυγας Α που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων και ανάλογη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η μείωση ισοδύναμης ισχύος που επιτεύχθηκε συνολικά σε αυτούς είναι 81,61% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού και 47,10% σε σχέση με το Σενάριο Α.

### 7.2.2. Πτέρυγα Ε

Με βάση τη μελέτη, αξιολογικά ενεργειακά οφέλη με την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) υπήρχαν για 24 χώρους των επιπέδων 1, 2, 3 και 4 της πτέρυγας Ε.

**Πίνακας 33: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 1)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
101	1,48	870	475,20	335,10	61,48	29,48
102	2,14	180	231,00	141,49	21,39	38,75
103	2,72	180	237,60	111,91	37,83	52,90
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>1230</b>	<b>943,80</b>	<b>588,50</b>		

**Πίνακας 34: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 2)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
201.α	1,11	810	176,00	139,99	82,72	20,46
201.β-γ	2,25	1620	237,60	140,76	91,31	40,76
201.δ	1,24	810	184,80	140,42	82,66	24,02
202.β	2,02	720	118,80	75,44	89,52	36,50
202.γ	1,18	720	154,00	119,29	83,43	22,54
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>4680</b>	<b>871,20</b>	<b>615,90</b>		

**Πίνακας 35: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 3)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
301.α	1,63	810	176,00	119,39	85,26	32,16
301.β	2,69	810	118,80	56,73	93,00	52,25
301.γ	1,21	1080	231,00	177,29	83,58	23,25
302.α	2,30	810	118,80	68,77	91,51	42,11
302.β	1,64	810	176,00	119,11	85,30	32,32
303.α	1,39	1080	231,00	167,71	84,47	27,40
303.β	2,40	810	118,80	64,90	91,99	45,37
303.γ	1,76	810	154,00	101,82	87,43	33,88
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>7020</b>	<b>1324,40</b>	<b>875,72</b>		

**Πίνακας 36: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε - Επίπεδο 4)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
401.α	1,46	1080	231,00	164,09	84,81	28,97
401.β	2,94	810	118,80	50,78	93,73	57,26
401.γ	1,81	810	176,00	115,44	85,75	34,41
402.α	1,93	810	154,00	99,10	87,77	35,65
402.β	2,31	540	118,80	68,43	87,33	42,40
403.α	1,93	810	154,00	99,10	87,77	35,65
403.β	2,60	540	118,80	59,00	89,07	50,34
403.γ	1,90	1080	237,60	153,45	85,79	35,42
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>6480</b>	<b>1309,00</b>	<b>809,39</b>		

Συνολικά, οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) και της ισοδύναμης ισχύος του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) για όλους τους χώρους της πτέρυγας Ε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 37: Ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Ε)**

Επίπεδο	Υφιστάμενη κατάσταση - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α) - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β) - Ισοδύναμη Ισχύς (W)
1	2612,5	1937,9	1582,59
2	8350,0	2101,5	1846,19
3	10275,0	2217,0	1768,31
4	10155,0	2099,3	1599,69
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>31392,5</b>	<b>8355,7</b>	<b>6796,78</b>

Με τη νέα πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) επιτεύχθηκε, για την πτέρυγα Ε, μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 24595,72W, δηλαδή κατά 78,35%, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 1558,92W, δηλαδή κατά 18,66%, σε σχέση με την πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α.

Όσον αφορά μόνο στους χώρους της πτέρυγας Ε που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων και ανάλογη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η μείωση ισοδύναμης ισχύος που επιτεύχθηκε συνολικά σε αυτούς είναι 85,11% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού και 35,04% σε σχέση με το Σενάριο Α.

### 7.2.3. Πτέρυγα Η

Με βάση τη μελέτη, αξιολογικά ενεργειακά οφέλη με την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) υπήρχαν για 24 χώρους των επιπέδων 2, 3 και 4 της πτέρυγας Η.

**Πίνακας 38: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 2)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
201	2,50	670	352,00	182,95	72,69	48,03
203.α	3,00	290	184,80	76,97	73,46	58,35
203.β	3,93	580	231,00	70,15	87,91	69,63
203.δ	1,22	290	176,00	134,70	53,55	23,47
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>1830</b>	<b>943,80</b>	<b>464,77</b>		

**Πίνακας 39: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 3)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
301.α-β	1,38	1350	237,60	173,01	87,18	27,18
301.γ	1,36	540	118,80	87,00	83,89	26,77
301.δ	1,22	1080	237,60	181,84	83,16	23,47
301.γραμματεία	1,83	540	118,80	77,69	85,61	34,60
302.α	1,82	1080	154,00	100,84	90,66	34,52
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>4590</b>	<b>866,80</b>	<b>620,38</b>		

**Πίνακας 40: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η - Επίπεδο 4)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
401.β	2,36	360	154,00	86,20	76,06	44,03
401.γ	1,30	360	154,00	114,87	68,09	25,41
402.β	2,65	180	118,80	57,67	67,96	51,46
402.γ	2,52	180	123,20	63,50	64,72	48,46
402.δ	1,39	540	154,00	111,80	79,30	27,40
403.α	1,28	540	154,00	115,53	78,61	24,98
403.β	2,57	1080	154,00	77,50	92,82	49,68
404.β	2,29	360	237,60	138,34	61,57	41,78
405.α	0,83	540	154,00	137,80	74,48	10,52
405.β	2,22	810	154,00	92,30	88,60	40,06
405.γ	1,72	540	154,00	102,50	81,02	33,44
405.δ	1,91	540	118,80	76,65	85,81	35,48
405.ε	2,23	1440	184,80	110,31	92,34	40,31
405.ζ	3,28	270	118,80	43,27	83,97	63,58
412	4,50	180	237,60	65,28	63,73	72,53
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>7920</b>	<b>2371,60</b>	<b>1393,52</b>		

Συνολικά, οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) και της ισοδύναμης ισχύος του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) για όλους τους χώρους της πτέρυγας Η παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 41: Ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η)**

Επίπεδο	Υφιστάμενη κατάσταση - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α) - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β) - Ισοδύναμη Ισχύς (W)
2	3002,5	1810,3	1331,27
3	6990,0	1654,4	1407,99
4	12237,5	3685,5	2707,42
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>22230,0</b>	<b>7150,2</b>	<b>5446,68</b>

Με τη νέα πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) επιτεύχθηκε, για την πτέρυγα Η, μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 16783,32W, δηλαδή κατά 75,50%, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 1703,52W, δηλαδή κατά 23,82%, σε σχέση με την πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α.

Όσον αφορά μόνο στους χώρους της πτέρυγας Η που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων και ανάλογη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η μείωση ισοδύναμης ισχύος που επιτεύχθηκε συνολικά σε αυτούς είναι 82,71% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού και 40,73% σε σχέση με το Σενάριο Α.

#### 7.2.4. Πτέρυγα Η1

Με βάση τη μελέτη, αξιολογία ενεργειακά οφέλη με την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) υπήρχαν για 25 χώρους των επιπέδων 3, 4 και 5 της πτέρυγας Η1.

**Πίνακας 42: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 3)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
301	2,30	270	246,40	142,62	47,18	42,12
302	3,00	540	231,00	96,21	82,18	58,35
303	3,40	270	246,40	86,03	68,14	65,09
304	3,40	360	237,60	82,96	76,96	65,08
326.Ε	4,00	1170	475,20	142,08	87,86	70,10
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>2610</b>	<b>1436,60</b>	<b>549,90</b>		

**Πίνακας 43: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 4)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
401.α	1,87	540	184,80	119,94	77,79	35,10
401.β	1,26	720	237,60	179,21	75,11	24,57
402.α	1,45	720	237,60	169,33	76,48	28,73
402.β	1,97	540	184,80	118,26	78,10	36,01
403	1,68	1440	475,20	318,98	77,85	32,87
404.β	1,72	312,5	123,20	82,01	73,76	33,43
404.γ	0,85	2925	1408,00	1248,54	57,31	11,33
404.ε	0,98	1950	880,00	737,44	62,18	16,20
404.η	1,34	1950	308,00	227,30	88,34	26,20
404.ι	1,29	1155	369,60	276,52	76,06	25,18
405.β	1,54	1260	770,00	533,29	57,68	30,74
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>13512,5</b>	<b>5178,80</b>	<b>4010,82</b>		



**Πίνακας 44: Εγκατεστημένη ισχύς και ισοδύναμη ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1 - Επίπεδο 5)**

Χώρος	DF	Ισχύς (W)				
		Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Υφιστ. - Σενάριο Β)	Μείωση (%) (Σενάριο Α - Σενάριο Β)
501-502.α	1,17	900	308,00	239,34	73,41	22,29
501-502.β	1,86	1800	616,00	400,50	77,75	34,98
501-502.γ	1,50	900	237,60	166,36	81,52	29,98
503	1,56	1350	237,60	163,69	87,87	31,11
504.α	0,96	1160	475,20	401,15	65,42	15,58
504.β	0,82	725	308,00	277,35	61,74	9,95
504.γ	1,74	435	154,00	102,09	76,53	33,71
504.ζ	1,65	580	237,60	160,42	72,34	32,48
504.θ	1,38	4640	2112,00	1537,89	66,86	27,18
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>12490</b>	<b>4686,00</b>	<b>3448,79</b>		

Συνολικά, οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος του υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) και της ισοδύναμης ισχύος του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) για όλους τους χώρους της πτέρυγας Η1 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 45: Ισχύς για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού (Πτέρυγα Η1)**

Επίπεδο	Υφιστάμενη κατάσταση - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α) - Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β) - Ισοδύναμη Ισχύς (W)
3	5307,50	2418,20	1531,52
4	35556,25	12962,60	11794,62
5	17985,00	5667,60	4430,39
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>58848,75</b>	<b>21048,40</b>	<b>17756,53</b>

Με τη νέα πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) επιτεύχθηκε, για την πτέρυγα Η1, μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 41092,22W, δηλαδή κατά 69,83%, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και μείωση ισοδύναμης ισχύος κατά 3291,87W, δηλαδή κατά 15,64%, σε σχέση με την πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α.

Όσον αφορά μόνο στους χώρους της πτέρυγας Η1 που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων και ανάλογη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η μείωση ισοδύναμης ισχύος που επιτεύχθηκε συνολικά σε αυτούς είναι 72,01% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού και 29,13% σε σχέση με το Σενάριο Α.

### 7.3. Συνολική ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β)

Συνολικά, αξιόλογα ενεργειακά οφέλη με την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) υπήρχαν για 96 χώρους με συνολικό εμβαδό 2681,82m<sup>2</sup> (30,62% του συνολικού εμβαδού του υπό μελέτη τμήματος του κτιρίου).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συνολική ισοδύναμη ισχύς (η οποία αντιστοιχεί στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού, το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα), η κατανομή ισχύος και η φωτεινή αποδοτικότητα για το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β). Επίσης, παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα μεγέθη για το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού και το προτεινόμενο σύστημα με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).

Πίνακας 46: Συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων του υφιστάμενου και των δύο προτεινόμενων συστημάτων φωτισμού (Σενάρια Α και Β)

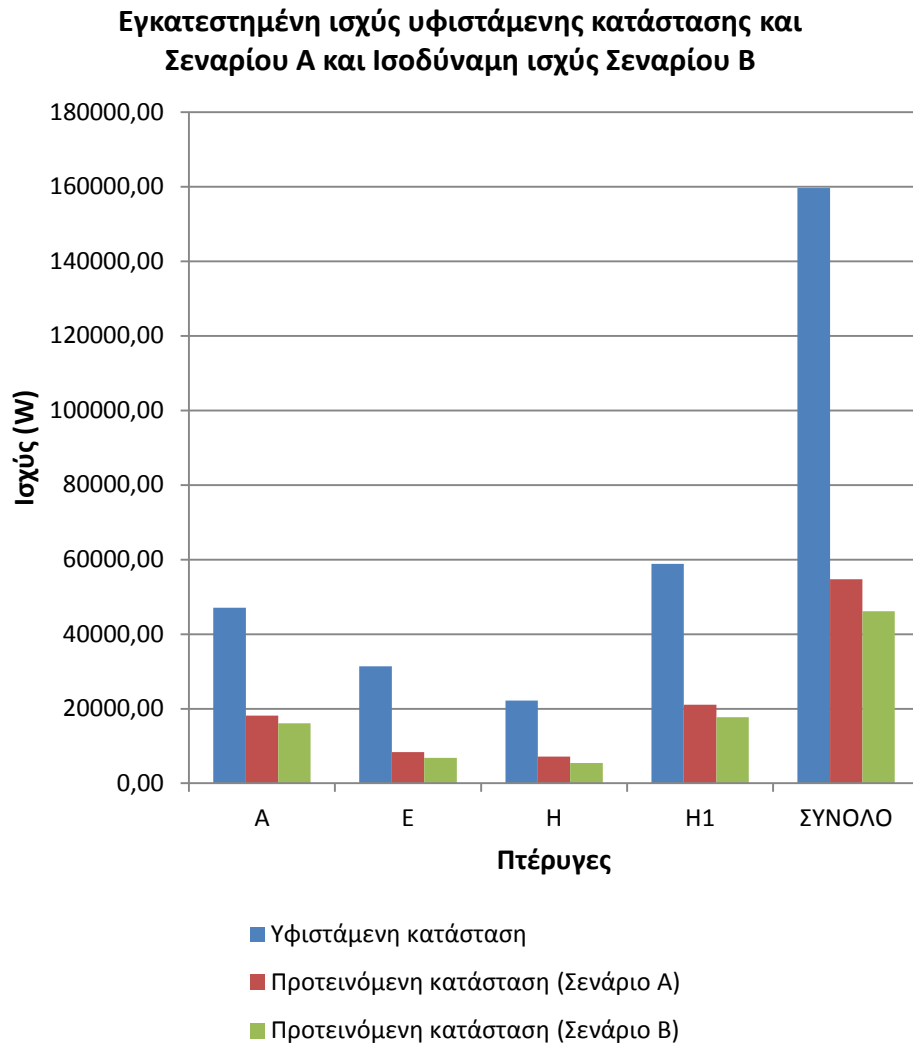
ΠΤΕΡΥΓΑ	Υφιστάμενη κατάσταση		Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)			Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)		
	Ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Φωτεινή απόδοση (lm/W)	Ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Φωτεινή απόδοση (lm/W)
A	47123,00	15,38	18190,70	5,94	63,73	16124,33	5,26	71,89
E	31392,50	20,64	8355,70	5,49	63,60	6796,78	4,47	78,18
H	22230,00	19,05	7150,20	6,13	66,03	5446,68	4,67	86,69
H1	58848,75	19,56	21048,40	7,00	64,14	17756,53	5,90	76,03
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>159594,25</b>	<b>18,22</b>	<b>54745,00</b>	<b>6,25</b>	<b>64,17</b>	<b>46124,32</b>	<b>5,27</b>	<b>76,16</b>

Για το σύνολο των χώρων των πτερύγων Α, Ε, Η και Η1, με τη νέα πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β), επιτεύχθηκε μείωση της ισοδύναμης ισχύος κατά 113,470kW, δηλαδή κατά 71,10%, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και μείωση της ισοδύναμης ισχύος κατά 8,621kW, δηλαδή κατά 15,75%, σε σχέση με την πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α.

Η κατανομή ισχύος μειώθηκε σε 5,27W/m<sup>2</sup>, τιμή πολύ ικανοποιητική και σημαντικά χαμηλότερη από το ανώτερο όριο των 15W/m<sup>2</sup> που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ., από 18,22W/m<sup>2</sup> στην υφιστάμενη κατάσταση και από 6,25W/m<sup>2</sup> στην προτεινόμενη κατάσταση του Σεναρίου Α. Η τιμή της ενεργειακής απόδοσης είναι 76,16lm/W, τιμή αποδεκτή και σημαντικά μεγαλύτερη από το κατώτερο όριο των 55lm/W του Κ.Εν.Α.Κ. και πιο ικανοποιητική από τα 64,17lm/W που προέκυψαν από τη μελέτη αναβάθμισης τεχνητού φωτισμού με απλή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος για το σύστημα φωτισμού της υφιστάμενης κατάστασης και της προτεινόμενης κατάστασης με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α), καθώς και της ισοδύναμης ισχύος

της προτεινόμενης κατάστασης με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β).



**Εικόνα 27: Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και προτεινόμενου συστήματος φωτισμού (Σενάριο A) και ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος φωτισμού (Σενάριο B)**

### 7.3.1. Συνολική ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (Σενάριο Β) μόνο για τους χώρους που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται, μόνο για τους χώρους που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός, η συνολική ισοδύναμη ισχύς για το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β), η οποία αντιστοιχεί στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού, το οποίο θα καταλάωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα. Επίσης, δίνονται οι αντίστοιχες τιμές της εγκατεστημένης ισχύος για το υφιστάμενο και το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού με απλή αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α).

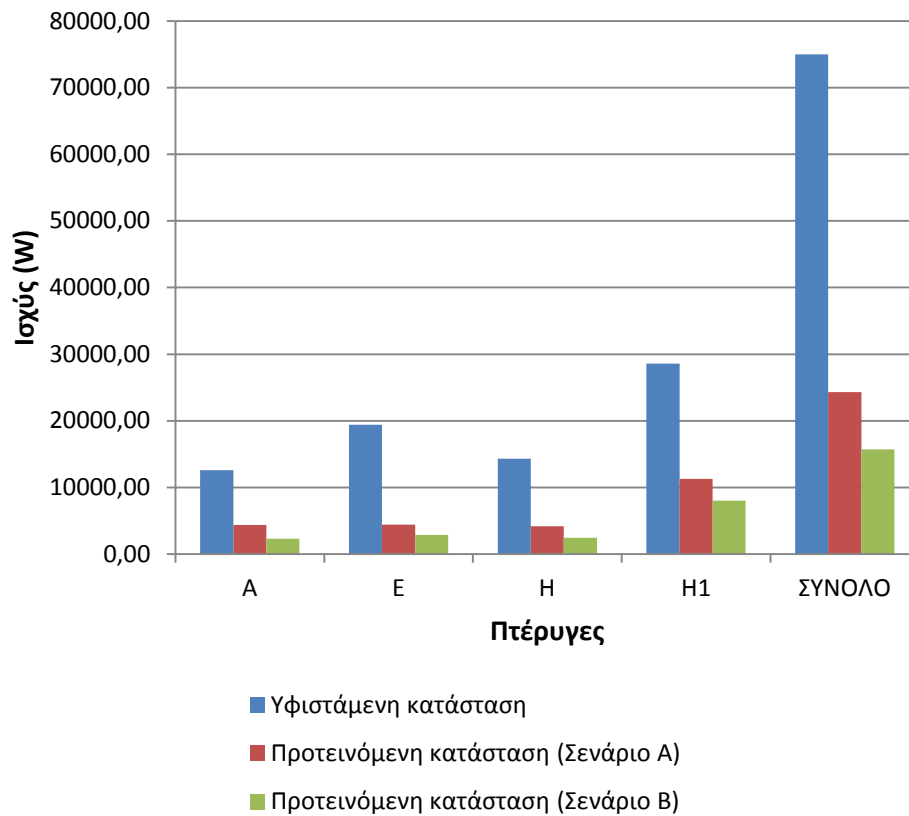
Πίνακας 47: Ισχύς (σε W) για τις τρεις καταστάσεις του συστήματος φωτισμού, μόνο για τους χώρους που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός

Πτέρυγα	Υφιστάμενη κατάσταση	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Α)	Προτεινόμενη κατάσταση (Σενάριο Β)
A	12615,00	4386,80	2320,44
E	19410,00	4448,40	2889,51
H	14340,00	4182,20	2478,67
H1	28612,50	11301,40	8009,51
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>74977,50</b>	<b>24318,80</b>	<b>15698,13</b>

Όσον αφορά μόνο στους χώρους που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων φωτισμού και ανάλογη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, η μείωση της ισοδύναμης ισχύος που επιτεύχθηκε συνολικά σε αυτούς είναι 35,45% σε σχέση με την πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α και 79,06% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα φωτισμού.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος για το σύστημα φωτισμού της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α), καθώς και της ισοδύναμης ισχύος της προτεινόμενης κατάστασης με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β), μόνο για τους χώρους όπου αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων φωτισμού.

**Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενης κατάστασης και  
Σεναρίου A και Ισοδύναμη ισχύς Σεναρίου B**



**Εικόνα 28: Εγκατεστημένη ισχύς υφιστάμενου συστήματος φωτισμού και προτεινόμενου συστήματος φωτισμού (Σενάριο A) και ισοδύναμη ισχύς προτεινόμενου συστήματος φωτισμού (Σενάριο B), μόνο για τους χώρους που αξιοποιήθηκε ο φυσικός φωτισμός με τη χρήση αισθητήρων φωτισμού.**



## **8. Υπολογισμός εξοικονόμησης ενέργειας, συνολικού κόστους και χρόνου απόσβεσης προτεινόμενων εγκαταστάσεων (Σενάρια Α και Β)**

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός του κόστους για την εγκατάσταση του κάθε προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού. Επιπλέον, υπολογίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τα δύο προτεινόμενα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης (Σενάριο Α: αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με νέα, αποδοτικότερα και Σενάριο Β: αναβάθμιση του συστήματος τεχνητού φωτισμού με επιπλέον εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού, ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο) σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, αλλά και η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με το Σενάριο Β σε σχέση με το Σενάριο Α. Υπολογίζονται, και για τις δύο προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του συστήματος φωτισμού, το ετήσιο όφελος σε ευρώ, η ηλεκτρική και η πρωτογενής ενέργεια που καταναλώνεται στο σύστημα φωτισμού, το συνολικό κόστος (αγοράς και εγκατάστασης εξοπλισμού), ο χρόνος απόσβεσης της κάθε επένδυσης, η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> που επιτυγχάνεται ετησίως, καθώς και το πλήθος των δέντρων που χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού.

### **8.1. Εισαγωγή**

Για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας, θεωρήθηκε ότι οι εξεταζόμενοι χώροι λειτουργούν ως γραφεία, ανεξάρτητα από τη χρήση του υπόλοιπου κτιρίου ως κτίριο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, οι χώροι του κτιρίου λειτουργούν 12 μήνες τον χρόνο, 5 ημέρες την εβδομάδα, 10 ώρες την ημέρα, δηλαδή 2600 ώρες συνολικά τον χρόνο. Από τις 2600 ώρες λειτουργίας, οι 520 ώρες είναι ο αριθμός των ωρών με διαθέσιμο φυσικό φωτισμό και οι 2080 ώρες είναι ο αριθμός των ωρών που δεν υπάρχει διαθέσιμος φυσικός φωτισμός [46].

Για τον υπολογισμό του ετήσιου οικονομικού οφέλους χρησιμοποιήθηκε η τιμή αγοράς της κιλοβατώρας για τους καταναλωτές μέσης τάσης που αναγράφεται στο τιμολόγιο Β2 της Δ.Ε.Η., με ισχύ από 01/02/2012, καθώς και η αντίστοιχη τιμή χρέωσης της ζητούμενης ισχύος. Η τιμή αγοράς της κιλοβατώρας είναι 0,08552€/kWh προσαυξημένη με Φ.Π.Α. 13%, δηλαδή 0,0966376€/kWh. Η τιμή χρέωσης της ζητούμενης ισχύος είναι 10,485€/kW/μήνα ή 125,82€/kW/έτος προσαυξημένη με Φ.Π.Α. 13%, δηλαδή 142,1766€/kW/έτος [47].

Για την εγκατάσταση του εξοπλισμού, θεωρήθηκε ότι το ημερομίσθιο ενός ηλεκτρολόγου και του βοηθού του είναι συνολικά 140€ και ότι κάθε ώρα μπορούν να ολο-

κληρώνουν την τοποθέτηση 4 φωτιστικών, καθώς θα αξιοποιηθεί η ήδη υπάρχουσα καλωδίωση. Για τη ρύθμιση των αισθητήρων φωτισμού (commissioning), θεωρήθηκε ότι το ημερομίσθιο ενός εξειδικευμένου ηλεκτρολόγου είναι 150€ και ότι κάθε ώρα μπορεί να ολοκληρώνει τη ρύθμιση 4 αισθητήρων φωτισμού σε ισάριθμα φωτιστικά σώματα.

Για τον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας λήφθηκε υπόψη ότι ο βαθμός απόδοσης των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής για περιοχές συνδεδεμένες σε ηπειρωτικό δίκτυο,  $\eta_{ηλ}$ , ισούται με 0,37 και, κατόπιν, η αντίστοιχη ηλεκτρική ενέργεια διαιρέθηκε με τον βαθμό απόδοσης των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ( $\eta_{ηλ}$ ).

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης μάζας ρύπων CO<sub>2</sub> λήφθηκε υπόψη ότι ο συντελεστής εκπομπής CO<sub>2</sub> των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής,  $F_{σταθμού}$ , ισούται με 0,85kg CO<sub>2</sub>/kWh για περιοχές που είναι συνδεδεμένες στο ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο και, κατόπιν, η αντίστοιχη ηλεκτρική ενέργεια πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή εκπομπής CO<sub>2</sub> των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ( $F_{σταθμού}$ ).

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα μέσο δέντρο απορροφά ετησίως περίπου 12kg CO<sub>2</sub>, υπολογίστηκε το πλήθος των δέντρων που χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού [48].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται αναλυτικά το κόστος του κάθε φωτιστικού, απλού ή dimmable, των λαμπτήρων, των περσίδων και των αισθητήρων που προτάθηκαν για την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού.

**Πίνακας 48: Κόστος προτεινόμενων φωτιστικών, περσίδων, λαμπτήρων και αισθητήρων**

Περιγραφή	Τιμή (χωρίς Φ.Π.Α.)	Τιμή (με Φ.Π.Α. 23%)
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	39,40 €	48,46 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 580mm. 4341	15,20 €	18,70 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 14W/840. Μήκος: 549mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	47,25 €	58,12 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 880mm. 4342	16,65 €	20,48 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 21W/840. Μήκος: 849mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	56,25 €	69,19 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310. dimmable	78,75 €	96,86 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 1180mm. 4343	19,90 €	24,48 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 28W/840. Μήκος: 1149mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	56,25 €	69,19 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311. dimmable	78,75 €	96,86 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 1180mm. 4343	19,90 €	24,48 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 54W/840. Μήκος: 1149mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	64,15 €	78,90 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312. dimmable	86,65 €	106,58 €



**Πίνακας 48 (συνέχεια): Κόστος προτεινόμενων φωτιστικών, περσίδων, λαμπτήρων και αισθητήρων**

Περιγραφή	Τιμή (χωρίς Φ.Π.Α.)	Τιμή (με Φ.Π.Α. 23%)
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 1480mm. 4344	23,40 €	28,78 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 35W/840. Μήκος: 1449mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	64,15 €	78,90 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313. dimmable	86,65 €	106,58 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 1480mm. 4344	23,40 €	28,78 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 80W/840. Μήκος: 1449mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	47,30 €	58,18 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 880mm. 4065	16,80 €	20,66 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 21W/840. Μήκος: 849mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	47,30 €	58,18 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 1480mm. 4069	16,80 €	20,66 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 35W/840. Μήκος: 1449mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	47,25 €	58,12 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 900mm. 8921	16,65 €	20,48 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 39W/840. Μήκος: 849mm.	2,50 €	3,08 €
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 1x21W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3011	47,25 €	58,12 €
Παραβολική περσίδα. Μήκος: 900mm. 8921	16,65 €	20,48 €
Λαμπτήρας φθορισμού T16 21W/840. Μήκος: 849mm.	2,50 €	3,08 €
Αισθητήρας tridonic	20,00 €	24,60 €
Φωτιστικό LED 1x30W (περιλ. λαμπτήρα)	65,00 €	79,95 €
Φωτιστικό μεταλλικών αλογονιδίων (καμπάνα) 1x400W E40. Διάμετρος: 690mm. Ύψος: 550mm. 23767. (περιλ. λαμπτήρα)	134,15 €	165,00 €
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	3,25 €	4,00 €

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται, για κάθε πτέρυγα και για τα δύο σενάρια αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού, το κόστος της αναβάθμισης, η καταναλισκόμενη ενέργεια, η εξοικονόμηση ενέργειας, το ετήσιο όφελος, ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης, η αντίστοιχη πρωτογενής ενέργεια, η αντίστοιχη μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> που επιτυγχάνεται και το πλήθος των δέντρων που χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού.

## 8.2. Πτέρυγα Α

### 8.2.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α)

Πίνακας 49: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Α (Σενάριο Α)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Α)				
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών		Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	4	0	293,28
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	15	10	2495,75
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	40	17	5690,31
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	31	12	4895,12
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	22	12	3870,56
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	3	1	327,68
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	1	0	81,92
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	22	0	88,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>17742,62</b>
Αριθμός φωτιστικών				190
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>				<b>831,25</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>				<b>18573,87</b>

**Πίνακας 50: Συνολική ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας Α (Σενάριο Α)**

Επίπεδο	Ρ <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	Ρ <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	Ε <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	Ε <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
2	33965,00	12496,00	88309,00	32489,60	55819,40	21,47		
3	13158,00	5694,70	34210,80	14806,22	19404,58	7,46		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>47123,00</b>	<b>18190,70</b>	<b>122519,80</b>	<b>47295,82</b>	<b>75223,98</b>	<b>28,93</b>	<b>11382,96</b>	<b>1,63</b>

**Πίνακας 51: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα Α (Σενάριο Α)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>331135</b>	<b>127827</b>	<b>203308</b>	<b>104142</b>	<b>40201</b>	<b>63941</b>	<b>5328</b>

## 8.2.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β)

Πίνακας 52: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Α (Σενάριο Β)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Β)				
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών		Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	4	0	293,28
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	4	1	499,15
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310. dimmable	152,10	11	9	3042,00
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	34	12	4592,18
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311. dimmable	152,10	6	5	1673,10
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	11	8	2162,96
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312. dimmable	166,12	20	4	3986,88
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	22	12	3870,56
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	3	1	327,68
Φωτιστικό φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	1	0	81,92
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	22	0	88,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>20617,71</b>
Αριθμός φωτιστικών				190
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>				<b>831,25</b>
Αριθμός dimmable φωτιστικών				55
<b>Κόστος ρύθμισης αισθητήρων</b>				<b>257,81</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>				<b>21706,77</b>

**Πίνακας 53: Συνολική ισοδύναμη ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας Α (Σενάριο Β)**

Επίπεδο	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
2	33965,00	10882,07	88309,00	28293,38	60015,62	23,08		
3	13158,00	5242,26	34210,80	13629,88	20580,92	7,92		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>47123,00</b>	<b>16124,33</b>	<b>122519,80</b>	<b>41923,26</b>	<b>80596,542</b>	<b>31,00</b>	<b>12195,94</b>	<b>1,78</b>

Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού αντιστοιχεί στην εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος τεχνητού φωτισμού το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα.

**Πίνακας 54: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα Α (Σενάριο Β)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>331135</b>	<b>113306</b>	<b>217829</b>	<b>104142</b>	<b>35635</b>	<b>68507</b>	<b>5709</b>

**Πίνακας 55: Συγκριτικός πίνακας τιμών για τα δύο προτεινόμενα Σενάρια Α και Β**

Επίπεδο	(A)	(B)	(A)	(B)	Εξοικονόμηση		Επιπλέον κόστος φωτιστικών (€)	Ετήσιο όφελος (€)
	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
2	12496,00	10882,07	32489,60	28293,38	4196,22	1,61		
3	5694,70	5242,26	14806,22	13629,88	1176,34	0,45		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>18190,70</b>	<b>16124,33</b>	<b>47295,82</b>	<b>41923,26</b>	<b>5372,56</b>	<b>2,07</b>	<b>3132,90</b>	<b>812,98</b>

Σημειώνεται ότι ο δείκτης (A) αφορά το Σενάριο Α και ο δείκτης (B) το Σενάριο Β.

## 8.3. Πτέρυγα Ε

### 8.3.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α)

Πίνακας 56: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Ε (Σενάριο Α)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Α)						
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών				Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	1	4	3	3	806,52
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	0	0	2	3	423,80
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	2	5	3	5	1497,45
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	6	5	3	5	1896,77
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	10	6	10	7	3756,72
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	0	1	2	1	455,36
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	0	2	4	3	737,28
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	2	3	0	2	573,44
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	84,76	2	2	2	0	508,56
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	2	7	7	7	92,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>10747,90</b>
Αριθμός φωτιστικών						132
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>						<b>577,50</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>						<b>11325,40</b>

**Πίνακας 57: Συνολική ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας E (Σενάριο A)**

Επίπεδο	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
1	2612,50	1937,90	6792,50	5038,54	1753,96	0,67		
2	8350,00	2101,50	21710,00	5463,90	16246,10	6,25		
3	10275,00	2217,00	26715,00	5764,20	20950,80	8,06		
4	10155,00	2099,30	26403,00	5458,18	20944,82	8,06		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>31392,50</b>	<b>8355,70</b>	<b>81620,50</b>	<b>21724,82</b>	<b>59895,68</b>	<b>23,04</b>	<b>9063,47</b>	<b>1,25</b>

**Πίνακας 58: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα E (Σενάριο A)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>220596</b>	<b>58716</b>	<b>161880</b>	<b>69377</b>	<b>18466</b>	<b>50911</b>	<b>4243</b>

### 8.3.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β)

Πίνακας 59: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Ε (Σενάριο Β)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Β)						
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών				Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	1	4	3	3	806,52
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	0	0	2	3	423,80
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	2	2	3	5	1197,96
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310. dimmable	152,10	0	3	0	0	456,30
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	0	2	0	0	199,66
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311. dimmable	152,10	6	3	3	5	2585,70
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	7	4	2	0	1479,92
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312. dimmable	166,12	3	2	8	7	3322,40
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313. dimmable	166,12	0	1	2	1	664,48
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	0	2	4	3	737,28
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	2	3	0	2	573,44
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	84,76	2	2	2	0	508,56
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	2	7	7	7	92,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>13048,02</b>
Αριθμός φωτιστικών						132
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>						<b>577,50</b>
Αριθμός dimmable φωτιστικών						44
<b>Κόστος ρύθμισης αισθητήρων</b>						<b>206,25</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>						<b>13831,77</b>



**Πίνακας 60: Συνολική ισοδύναμη ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας E (Σενάριο B)**

Επίπεδο	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
1	2612,50	1582,59	6792,50	4114,73	2677,77	1,03		
2	8350,00	1846,19	21710,00	4800,09	16909,91	6,50		
3	10275,00	1768,31	26715,00	4597,61	22117,39	8,51		
4	10155,00	1599,69	26403,00	4159,19	22243,81	8,56		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>31392,50</b>	<b>6796,78</b>	<b>81620,50</b>	<b>17671,63</b>	<b>63948,872</b>	<b>24,60</b>	<b>9676,80</b>	<b>1,43</b>

Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού αντιστοιχεί στην εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα.

**Πίνακας 61: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα E (Σενάριο B)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
220596	47761	172835	69377	15021	54356	4530

**Πίνακας 62: Συγκριτικός πίνακας τιμών για τα δύο προτεινόμενα Σενάρια A και B**

Επίπεδο	(A)	(B)	(A)	(B)	Εξοικονόμηση		Επιπλέον κόστος φωτιστικών (€)	Ετήσιο όφελος (€)
	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
1	1937,90	1582,59	5038,54	4114,73	923,81	0,36		
2	2101,50	1846,19	5463,90	4800,09	663,81	0,26		
3	2217,00	1768,31	5764,20	4597,61	1166,59	0,45		
4	2099,30	1599,69	5458,18	4159,19	1298,99	0,50		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>8355,70</b>	<b>6796,78</b>	<b>21724,82</b>	<b>17671,63</b>	<b>4053,19</b>	<b>1,56</b>	<b>2506,37</b>	<b>613,33</b>

Σημειώνεται ότι ο δείκτης (A) αφορά το Σενάριο A και ο δείκτης (B) το Σενάριο B.

## 8.4. Πτέρυγα Η

### 8.4.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α)

Πίνακας 63: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Η (Σενάριο Α)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Α)					
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών			Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	1	3	1	366,60
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	0	0	1	84,76
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	11	6	12	2895,07
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	1	6	7	1397,62
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	3	4	24	3529,04
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	3	0	0	341,52
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	0	0	2	163,84
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	0	0	1	81,92
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	84,76	2	2	0	339,04
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	2	0	7	36,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>9235,41</b>
Αριθμός φωτιστικών					99
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>					<b>433,13</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>					<b>9668,54</b>

**Πίνακας 64: Συνολική ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας Η (Σενάριο Α)**

Επίπεδο	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
2	3002,50	1810,30	7806,50	4706,78	3099,72	1,19		
3	6990,00	1654,40	18174,00	4301,44	13872,56	5,34		
4	12237,50	3685,50	31817,50	9582,30	22235,20	8,55		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>22230,00</b>	<b>7150,20</b>	<b>57798,00</b>	<b>18590,52</b>	<b>39207,48</b>	<b>15,08</b>	<b>5932,91</b>	<b>1,63</b>

**Πίνακας 65: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα Η (Σενάριο Α)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>156211</b>	<b>50245</b>	<b>105966</b>	<b>49128</b>	<b>15802</b>	<b>33326</b>	<b>2777</b>

#### 8.4.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β)

Πίνακας 66: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Η (Σενάριο Β)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Β)					
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών			Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	1	3	1	366,60
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	0	0	1	84,76
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	8	6	7	2096,43
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310. dimmable	152,10	3	0	5	1216,80
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	1	0	0	99,83
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311. dimmable	152,10	0	6	7	1977,30
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	0	2	8	1138,40
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312. dimmable	166,12	3	2	16	3488,52
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313. dimmable	166,12	3	0	0	498,36
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	0	0	2	163,84
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	0	0	1	81,92
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	84,76	2	2	0	339,04
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	2	0	7	36,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>11587,80</b>
Αριθμός φωτιστικών					99
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>					<b>433,13</b>
Αριθμός dimmable φωτιστικών					45
<b>Κόστος ρύθμισης αισθητήρων</b>					<b>210,94</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>					<b>12231,86</b>

**Πίνακας 67: Συνολική ισοδύναμη ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας Η (Σενάριο Β)**

Επίπεδο	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
2	3002,50	1331,27	7806,50	3461,30	4345,20	1,67		
3	6990,00	1407,99	18174,00	3660,77	14513,23	5,58		
4	12237,50	2707,42	31817,50	7039,29	24778,21	9,53		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>22230,00</b>	<b>5446,68</b>	<b>57798,00</b>	<b>14161,37</b>	<b>43636,632</b>	<b>16,78</b>	<b>6603,13</b>	<b>1,85</b>

Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού αντιστοιχεί στην εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα.

**Πίνακας 68: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα Η (Σενάριο Β)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>156211</b>	<b>38274</b>	<b>117937</b>	<b>49128</b>	<b>12037</b>	<b>37091</b>	<b>3091</b>

**Πίνακας 69: Συγκριτικός πίνακας τιμών για τα δύο προτεινόμενα Σενάρια Α και Β**

Επίπεδο	(A)	(B)	(A)	(B)	Εξοικονόμηση		Επιπλέον κόστος φωτιστικών (€)	Ετήσιο όφελος (€)
	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
2	1810,30	1331,27	4706,78	3461,30	1245,48	0,48		
3	1654,40	1407,99	4301,44	3660,77	640,67	0,25		
4	3685,50	2707,42	9582,30	7039,29	2543,01	0,98		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>7150,20</b>	<b>5446,68</b>	<b>18590,52</b>	<b>14161,37</b>	<b>4429,15</b>	<b>1,70</b>	<b>2563,32</b>	<b>670,22</b>

Σημειώνεται ότι ο δείκτης (A) αφορά το Σενάριο Α και ο δείκτης (B) το Σενάριο Β.

## 8.5. Πτέρυγα Η1

### 8.5.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α)

Πίνακας 70: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Η1 (Σενάριο Α)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Α)					
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών			Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5	
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	2	2	0	293,28
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	1	8	8	1440,92
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	15	17	0	3194,56
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	6	16	10	3194,56
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	5	14	22	4667,44
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	0	21	12	3756,72
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	1	2	0	245,76
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	3	2	4	737,28
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 1x21W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3011	81,68	0	2	0	163,36
LED 1x30W	79,95	0	3	0	239,85
Μεταλλικών αλογονιδίων 1x400W E40. Διάμετρος: 680mm. Ύψος: 550mm. 23767	165,00	0	10	0	1650,00
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	10	10	10	120,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>19703,73</b>
Αριθμός φωτιστικών					216
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>					<b>945,00</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>					<b>20648,73</b>

**Πίνακας 71: Συνολική ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας Η1 (Σενάριο Α)**

Επίπεδο	Ρ <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	Ρ <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	Ε <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	Ε <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
3	5307,50	2418,20	13799,50	6287,32	7512,18	2,89		
4	35556,25	12962,60	92446,25	33702,76	58743,49	22,59		
5	17985,00	5667,60	46761,00	14735,76	32025,24	12,32		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>58848,75</b>	<b>21048,40</b>	<b>153006,75</b>	<b>54725,84</b>	<b>98280,91</b>	<b>37,80</b>	<b>14871,96</b>	<b>1,39</b>

**Πίνακας 72: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα Η1 (Σενάριο Α)**

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>413532</b>	<b>147908</b>	<b>265624</b>	<b>130056</b>	<b>46517</b>	<b>83539</b>	<b>6962</b>

### 8.5.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β)

Πίνακας 73: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για την πτέρυγα Η1 (Σενάριο Β)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Β)					
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών			Κόστος φωτιστικών (€)
		Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5	
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	2	2	0	293,28
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	1	8	8	1440,92
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	7	3	0	998,30
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310. dimmable	152,10	8	14	0	3346,20
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	0	8	0	798,64
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311. dimmable	152,10	6	8	10	3650,40
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	2	0	4	683,04
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312. dimmable	166,12	3	14	18	5814,20
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	0	8	0	910,72
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313. dimmable	166,12	0	13	12	4153,00
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	1	2	0	245,76
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	3	2	4	737,28
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 1x21W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3011	81,68	0	2	0	163,36
LED 1x30W	79,95	0	3	0	239,85
Μεταλλικών αλογονιδίων 1x400W E40. Διάμετρος: 690mm. Ύψος: 550mm. 23767	165,00	0	10	0	1650,00
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	10	10	10	120,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					<b>25244,95</b>
Αριθμός φωτιστικών					216
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>					<b>945,00</b>
Αριθμός dimmable φωτιστικών					106
<b>Κόστος ρύθμισης αισθητήρων</b>					<b>496,88</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>					<b>26686,83</b>



Πίνακας 74: Συνολική ισοδύναμη ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε επιπέδου της πτέρυγας Η1 (Σενάριο Β)

Επίπεδο	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
3	5307,50	1531,52	13799,50	3981,95	9817,55	3,78		
4	35556,25	11794,62	92446,25	30666,01	61780,24	23,76		
5	17985,00	4430,39	46761,00	11519,01	35241,99	13,55		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>58848,75</b>	<b>17756,53</b>	<b>153006,75</b>	<b>46166,98</b>	<b>106839,77</b>	<b>41,09</b>	<b>16167,09</b>	<b>1,65</b>

Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού αντιστοιχεί στην εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα.

Πίνακας 75: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για την πτέρυγα Η1 (Σενάριο Β)

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>413532</b>	<b>124776</b>	<b>288756</b>	<b>130056</b>	<b>39242</b>	<b>90814</b>	<b>7568</b>

Πίνακας 76: Συγκριτικός πίνακας τιμών για τα δύο προτεινόμενα Σενάρια Α και Β

Επίπεδο	(A)	(B)	(A)	(B)	Εξοικονόμηση		Επιπλέον κόστος φωτιστικών (€)	Ετήσιο όφελος (€)
	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
3	2418,20	1531,52	6287,32	3981,95	2305,37	0,89		
4	12962,60	11794,62	33702,76	30666,01	3036,75	1,17		
5	5667,60	4430,39	14735,76	11519,01	3216,75	1,24		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>21048,40</b>	<b>17756,53</b>	<b>54725,84</b>	<b>46166,98</b>	<b>8558,86</b>	<b>3,29</b>	<b>6038,10</b>	<b>1295,13</b>

Σημειώνεται ότι ο δείκτης (A) αφορά το Σενάριο Α και ο δείκτης (B) το Σενάριο Β.

## 8.6. Συνολικά αποτελέσματα

### 8.6.1. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α)

Πίνακας 77: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για το σύνολο των χώρων (Σενάριο Α)

Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Α)			
Τύπος φωτιστικού	Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)	Αριθμός φωτιστικών	Κόστος φωτιστικών (€)
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	24	1759,68
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	23	1949,48
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	101	10082,83
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	122	12179,26
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	148	16848,32
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	74	8424,16
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	18	1474,56
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	18	1474,56
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	84,76	10	847,60
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 1x21W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3011	81,68	2	163,36
LED 1x30W	79,95	3	239,85
Μεταλλικών αλογονιδίων 1x400W E40. Διάμετρος: 680mm. Ύψος: 550mm. 23767	165,00	10	1650,00
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	84	336,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>637</b>	<b>57429,66</b>
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>			<b>2786,88</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>60216,54</b>

Πίνακας 78: Συνολική ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε πτέρυγας (Σενάριο Α)

Πτέρυγα	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
A	47123,00	18190,70	122519,80	47295,82	75223,98	28,93		
E	31392,50	8355,70	81620,50	21724,82	59895,68	23,04		
H	22230,00	7150,20	57798,00	18590,52	39207,48	15,08		
H1	58848,75	21048,40	153006,75	54725,84	98280,91	37,80		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>159594,25</b>	<b>54745,00</b>	<b>414945,05</b>	<b>142337,00</b>	<b>272608,05</b>	<b>104,85</b>	<b>41251,30</b>	<b>1,46</b>

Πίνακας 79: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για το σύνολο των χώρων (Σενάριο Α)

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>1121473</b>	<b>384695</b>	<b>736778</b>	<b>352703</b>	<b>120986</b>	<b>231717</b>	<b>19310</b>

### 8.6.2. Πρόταση αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β)

Πίνακας 80: Συνολικό κόστος εγκατάστασης προτεινόμενης κατάστασης για το σύνολο των χώρων (Σενάριο Β)

<b>Αριθμός και κόστος φωτιστικών προτεινόμενης κατάστασης (Σενάριο Β)</b>			
<b>Τύπος φωτιστικού</b>	<b>Κόστος φωτιστικού (€) (με Φ.Π.Α. 23%)</b>	<b>Αριθμός φωτιστικών</b>	<b>Κόστος φωτιστικών (€)</b>
Φθορισμού γραμμικό 2x14W T16 G5. Μήκος: 660mm. 4306	73,32	24	1759,68
Φθορισμού γραμμικό 2x21W T16 G5. Μήκος: 960mm. 4308	84,76	23	1949,48
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310	99,83	48	4791,84
Φθορισμού γραμμικό 2x28W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4310. dimmable	152,10	53	8061,30
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311	99,83	57	5690,31
Φθορισμού γραμμικό 2x54W T16 G5. Μήκος: 1260mm. 4311. dimmable	152,10	65	9886,50
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312	113,84	48	5464,32
Φθορισμού γραμμικό 2x35W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4312. dimmable	166,12	100	16612,00
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313	113,84	42	4781,28
Φθορισμού γραμμικό 2x80W T16 G5. Μήκος: 1560mm. 4313. dimmable	166,12	32	5315,84
Φθορισμού γραμμικό 1x21W T16 G5. Μήκος: 1220mm. 4032	81,92	18	1474,56
Φθορισμού γραμμικό 1x35W T16 G5. Μήκος: 1820mm. 4036	81,92	18	1474,56
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 2x39W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3032	84,76	10	847,60
Φθορισμού γραμμικό (τρίγωνο) 1x21W T16 G5. Μήκος: 920mm. 3011	81,68	2	163,36
LED 1x30W	79,95	3	239,85
Μεταλλικών αλογονιδίων 1x400W E40. Διάμετρος: 680mm. Ύψος: 550mm. 23767	165,00	10	1650,00
Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού 15W	4,00	84	336,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>637</b>	<b>70498,48</b>
<b>Κόστος εγκατάστασης</b>			<b>2786,88</b>
Αριθμός dimmable φωτιστικών			250
<b>Κόστος ρύθμισης αισθητήρων</b>			<b>1171,88</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>74457,23</b>

Πίνακας 81: Συνολική ισοδύναμη ισχύς, κατανάλωση ενέργειας, ετήσιο όφελος και χρόνος απόσβεσης για την προτεινόμενη κατάσταση κάθε πτέρυγας (Σενάριο Β)

Πτέρυγα	P <sub>υφιστάμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>υφιστάμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Εξοικονόμηση		Ετήσιο όφελος (€)	Έτη απόσβεσης
					Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
A	47123,00	16124,33	122519,80	41923,26	80596,54	31,00		
E	31392,50	6796,78	81620,50	17671,63	63948,87	24,60		
H	22230,00	5446,68	57798,00	14161,37	43636,63	16,78		
H1	58848,75	17756,53	153006,75	46166,98	106839,77	41,09		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>159594,25</b>	<b>46124,32</b>	<b>414945,05</b>	<b>119923,23</b>	<b>295021,82</b>	<b>113,47</b>	<b>44642,97</b>	<b>1,67</b>

Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη ισχύς του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού αντιστοιχεί στην εγκατεστημένη ισχύ ενός ισοδύναμου συστήματος φωτισμού το οποίο θα κατανάλωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο σύστημα.

Πίνακας 82: Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και μείωση ρύπων CO<sub>2</sub> για το σύνολο των χώρων (Σενάριο Β)

Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας		Ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh)	Ρύποι CO <sub>2</sub>			Δέντρα
Q <sub>πρωτ</sub> υφιστάμενης (kWh)	Q <sub>πρωτ</sub> προτεινόμενης (kWh)		CO <sub>2</sub> υφιστάμενης (kg)	CO <sub>2</sub> προτεινόμενης (kg)	Μείωση ρύπων CO <sub>2</sub> (kg)	
<b>1121473</b>	<b>324117</b>	<b>797356</b>	<b>352703</b>	<b>101935</b>	<b>250768</b>	<b>20897</b>

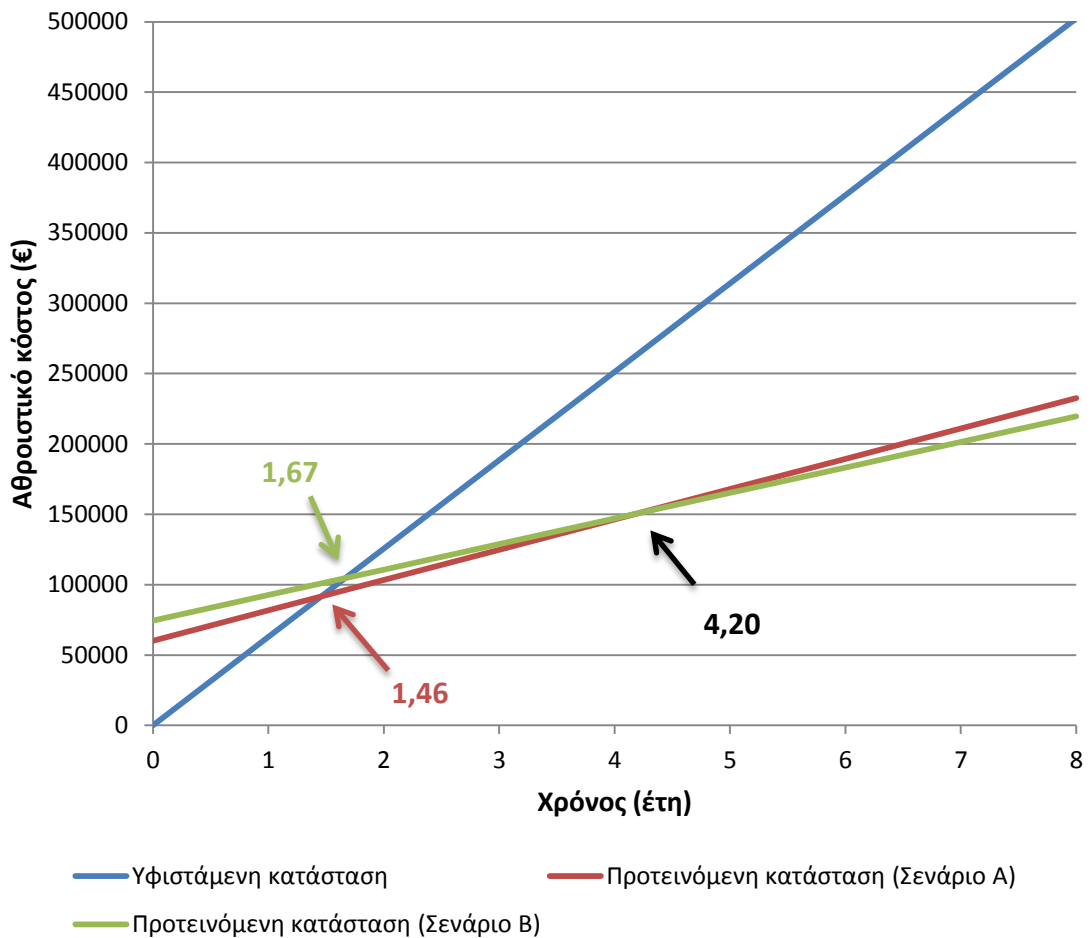
Πίνακας 83: Συγκριτικός πίνακας τιμών για τα δύο προτεινόμενα Σενάρια Α και Β

Πτέρυγα	(A)	(B)	(A)	(B)	Εξοικονόμηση		Επιπλέον κόστος φωτιστικών (€)	Ετήσιο όφελος (€)
	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	P <sub>προτεινόμενη</sub> (W)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	E <sub>προτεινόμενη</sub> (kWh)	Ενέργειας (kWh)	Ισχύος (kW)		
A	18190,70	16124,33	47295,82	41923,26	5372,56	2,07		
E	8355,70	6796,78	21724,82	17671,63	4053,19	1,56		
H	7150,20	5446,68	18590,52	14161,37	4429,15	1,70		
H1	21048,40	17756,53	54725,84	46166,98	8558,86	3,29		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>54745,00</b>	<b>46124,32</b>	<b>142337,00</b>	<b>119923,23</b>	<b>22413,77</b>	<b>8,62</b>	<b>14240,69</b>	<b>3391,67</b>

Σημειώνεται ότι ο δείκτης (A) αφορά το Σενάριο Α και ο δείκτης (B) το Σενάριο Β.

Συγκρίνοντας τα δύο προτεινόμενα συστήματα αναβάθμισης του τεχνητού φωτισμού, ο χρόνος απόσβεσης του προτεινόμενου συστήματος του Σεναρίου Β ως προς το προτεινόμενο σύστημα του Σεναρίου Α είναι 4,20 έτη.

Οι χρόνοι απόσβεσης, που υπολογίστηκαν ανωτέρω, παρουσιάζονται γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 29: Γραφική αναπαράσταση του χρόνου απόσβεσης για κάθε σενάριο

Παρατηρείται ότι το προτεινόμενο σενάριο αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού (Σενάριο Β) είναι το περισσότερο συμφέρον οικονομικά. Έχει το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης, ωστόσο μετά τα 4,2 έτη έχει το μικρότερο αθροιστικό κόστος λειτουργίας.

## 9. Σύνοψη αποτελεσμάτων και τελικά συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα αποτελέσματα των δύο προτεινόμενων σεναρίων αναβάθμισης του συστήματος τεχνητού φωτισμού, με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο A) και με επιπλέον εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο B). Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των προτεινόμενων δράσεων.

**Πίνακας 84: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις τρεις καταστάσεις για το σύνολο των χώρων**

<b>Υφιστάμενη κατάσταση για το σύνολο των χώρων</b>							
Συνολική ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )		Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Ετήσιοι ρύποι CO <sub>2</sub> (kg)		
<b>159.594</b>	<b>18,22</b>		<b>414.945</b>	<b>1.121.473</b>	<b>352.703</b>		
<b>Προτεινόμενη κατάσταση για το σύνολο των χώρων (Σενάριο A)</b>							
Συνολική ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Ενεργειακή απόδοση (lm/W)	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Ετήσιοι ρύποι CO <sub>2</sub> (kg)	Συνολικό Κόστος (αγοράς και εγκατάστασης) (€)	Έτη απόσβεσης
<b>54.745</b>	<b>6,25</b>	<b>64,17</b>	<b>142.337</b>	<b>384.695</b>	<b>120.986</b>	<b>60.217</b>	<b>1,46</b>
<b>Προτεινόμενη κατάσταση για το σύνολο των χώρων (Σενάριο B)</b>							
Συνολική ισχύς (W)	Κατανομή ισχύος (W/m <sup>2</sup> )	Ενεργειακή απόδοση (lm/W)	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh)	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Ετήσιοι ρύποι CO <sub>2</sub> (kg)	Συνολικό Κόστος (αγοράς και εγκατάστασης) (€)	Έτη απόσβεσης
<b>46.124</b>	<b>5,27</b>	<b>76,16</b>	<b>119.923</b>	<b>324.117</b>	<b>101.935</b>	<b>74.457</b>	<b>1,67</b>

### Ισχύς

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων με νέα και αποδοτικότερα (Σενάριο A) επιτυγχάνεται μείωση ισχύος κατά 65,7% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα, δηλαδή κατά 104,85kW.

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο B) επιτυγχάνεται μείωση ισοδύναμης ισχύος (η οποία αντιστοιχεί στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος για ένα ισοδύναμο σύστημα φωτισμού, το οποίο θα καταλάωνε την ίδια ενέργεια στον ίδιο χρόνο με το προτεινόμενο) κατά 71,1% σε σχέση με το υφιστάμενο σύστημα, δηλαδή κατά 113,47kW.

Επίσης, με το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού του Σεναρίου Β επιτυγχάνεται μείωση ισόδυναμης ισχύος κατά 15,7% σε σχέση με το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού του Σεναρίου Α, δηλαδή κατά 8,62kW.

### **Ενεργειακοί δείκτες**

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) η κατανομή ισχύος μειώνεται σε 6,25W/m<sup>2</sup> από 18,22W/m<sup>2</sup> στην υφιστάμενη κατάσταση. Η νέα τιμή είναι απολύτως αποδεκτή από τον Κ.Εν.Α.Κ., σε αντίθεση με την παλαιά. Επιπλέον, η τιμή της φωτεινής αποδοτικότητας είναι 64,17lm/W, τιμή επίσης αποδεκτή από τα όρια που ορίζει ο Κ.Εν.Α.Κ.

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β), η κατανομή ισχύος μειώνεται σε 5,27W/m<sup>2</sup>, τιμή απολύτως αποδεκτή από τον Κ.Εν.Α.Κ., ενώ η τιμή της φωτεινής αποδοτικότητας είναι 76,16lm/W, τιμή επίσης αποδεκτή από τα όρια του Κ.Εν.Α.Κ.

### **Ενεργειακή κατανάλωση**

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 272,61MWh ετησίως σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Η εξοικονόμηση αυτή ισοδυναμεί με εξοικονόμηση 736,78MWh πρωτογενούς ενέργειας ετησίως.

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β) επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται κατά 295,02MWh ετησίως σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Δηλαδή, εξοικονομούνται 797,36MWh πρωτογενούς ενέργειας ετησίως.

Επίσης, με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Β, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 22,41MWh ετησίως σε σχέση με το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού του Σεναρίου Α. Η εξοικονόμηση αυτή ισοδυναμεί με εξοικονόμηση 60,58MWh πρωτογενούς ενέργειας ετησίως.

### **Ρύποι CO<sub>2</sub> και πλήθος δέντρων**

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> που επιτυγχάνεται φτάνει το ποσό των 231,72tn ετησίως σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Το πλήθος των δέντρων που



χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού είναι 19.310 δέντρα.

Με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β) επιτυγχάνεται μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> κατά 250,77tn ετησίως σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Το πλήθος των δέντρων που χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού είναι 20.897 δέντρα.

Επίσης, με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Β επιτυγχάνεται μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> κατά 19,05tn ετησίως σε σχέση με το προτεινόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού του Σεναρίου Α. Το πλήθος των δέντρων που χρειάζονται ετησίως για να πραγματοποιηθεί η αντίστοιχη μείωση των ρύπων CO<sub>2</sub> χωρίς την αναβάθμιση του συστήματος φωτισμού είναι 1.587 δέντρα.

### **Κόστος και χρόνος απόσβεσης**

Το κόστος για την εγκατάσταση του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού (αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού) με αντικατάσταση των φωτιστικών σωμάτων (Σενάριο Α) είναι 60.217€ και η επένδυση μπορεί να αποσβεθεί σε 1,46 έτη. Το αντίστοιχο κόστος για την εγκατάσταση του προτεινόμενου συστήματος τεχνητού φωτισμού με εγκατάσταση αισθητήρων φωτισμού με δυνατότητα ρύθμισης της έντασης φωτισμού ανάλογα με τον διαθέσιμο φυσικό φωτισμό που ανιχνεύουν στον εσωτερικό χώρο (Σενάριο Β) είναι 74.457€ και η επένδυση μπορεί να αποσβεθεί σε 1,67 έτη.

Κατά συνέπεια, με το επιπλέον ποσό των 14.240€ εγκαθίσταται το σύστημα φωτισμού του Σεναρίου Β, το οποίο αποσβένεται 2,5 μήνες αργότερα σε σχέση με την εγκατάσταση του συστήματος φωτισμού του Σεναρίου Α, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνει όλα τα επιπλέον ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη που αναφέρθηκαν ανωτέρω.



## Βιβλιογραφία

- [1] [http://ec.europa.eu/climateaction/eu\\_action/index\\_el.htm](http://ec.europa.eu/climateaction/eu_action/index_el.htm)
- [2] <http://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/policy-context>
- [3] "Ευρωπαϊκή Πολιτική για την Κλιματική Αλλαγή", Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής,  
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446&language=el-GR>
- [4] "Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [5] "Χτίζοντας το μέλλον - Ένα πρόγραμμα για τα Βιώσιμα Κτίρια και την Πράσινη Ανάπτυξη", Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής - Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [6] "Νόμος 3661 - Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων", ΦΕΚ 89 / 19 Μαΐου 2008
- [7] "Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων", Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 407, 9 Απριλίου 2010
- [8] [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/ktiria\\_intro.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm)
- [9] "Θερμομόνωση κτιριακού κελύφους", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,  
[http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_thermomonos\\_i.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_thermomonos_i.htm)
- [10] "Χρήση βελτιωμένων υαλοπινάκων", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,  
[http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_xrиси\\_yalopinakon.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_xrиси_yalopinakon.htm)
- [11] "Φυτεμένο δώμα", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,  
[http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_fytemeno\\_doma.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_fytemeno_doma.htm)
- [12] <http://www.eco-home.gr/4.pdf>
- [13] "Αεριζόμενο κέλυφος", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,  
[http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_aerizomeno\\_kelyfos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_aerizomeno_kelyfos.htm)
- [14] "Ηλιοπροστασία", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,  
[http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_hlioprostasia.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_hlioprostasia.htm)
- [15] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20702-5/2010, "Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων"
- [16] <http://www.abolincoolpaints.com/node/55>
- [17] "Φράγμα ακτινοβολίας", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας,  
[http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_fragma.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_fragma.htm)

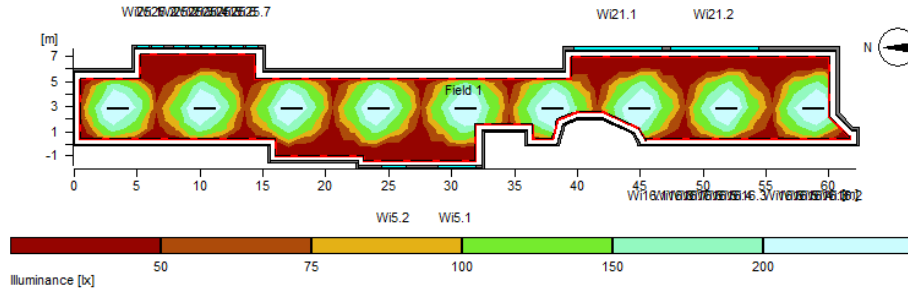
- [18] "Φυσικός αερισμός", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_drosismos\\_fysikos\\_aerismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm)
- [19] "Αναβάθμιση συστήματος κλιματισμού", Έργον - Ενέργεια, <http://www.ergon-energia.gr/DEBB58ED.el.aspx>
- [20] "Μελέτες κλιματισμού", My Planet, <http://www.myplanet.eu/clima.html>
- [21] "Οδηγός επιλέξιμων δράσεων/ ενεργειών και υποβαλλόμενων στοιχείων ανά άξονα προτεραιοτήτων του προγράμματος 'Εξοικονομώ'"
- [22] "Μελέτες φωτισμού", My Planet, <http://www.myplanet.eu/lighting.html>
- [23] "Τεχνητός φωτισμός", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/tehnitos\\_fotismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/tehnitos_fotismos.htm)
- [24] "Αρχές, συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_fotismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos.htm)
- [25] "Building Energy Management System", Έργον - Ενέργεια, <http://www.ergon-energia.gr/8D5C1EE6.el.aspx>
- [26] "Σχεδιασμός BEMS", Έργον - Ενέργεια, <http://www.ergon-energia.gr/CA1E4647.el.aspx>
- [27] Δρ. Στάθης Τσελεπής, "Φωτοβολταϊκά στα κτίρια", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [28] Δρ. Χρήστος Τζιβανίδης, "Ενεργητικά ηλιακά συστήματα", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [29] "Ανεμογεννήτριες", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_windmill.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm)
- [30] "Ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά", <http://www.iqsolarpower.com/anemogennitries.htm>
- [31] "Βιομάζα", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_biomass.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_biomass.htm)
- [32] "Βιομάζα", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass\\_guide.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)
- [33] "Ενσωμάτωση τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας στον οικιακό τομέα", Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [34] Βασίλης Αλεξάνδρου, "Τηλεθέρμανση με βιομάζα", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [35] Δρ. Μιχάλης Καράγιωργας, "Γεωθερμία", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας
- [36] Δρ. Ηλίας Σωφρόνης, "Συμπαγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού", Δημοσίευση στην έκδοση "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα" του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας

- [37] Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, "Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων", Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση
- [38] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 1122, 17 Ιουνίου 2008
- [39] Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, "Φωτοτεχνία - Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού", Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 1994
- [40] IESNA, "The IESNA Lighting Handbook - Reference & Application", Ninth Edition, 2000, ISBN 0-87995-150-8
- [41] Λάμπρος Θ. Δούλος, Διδακτορική διατριβή, "Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης προσαρμογής του τεχνητού φωτισμού με στόχο τη βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2010
- [42] VITO, "Final Report - Lot 8: Office lighting", April 2007
- [43] DIN EN 15251:2007-08, "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics"
- [44] Zumtobel Staff, "The Lighting Handbook", 1st edition, July 2004
- [45] [www.chemeng.ntua.gr](http://www.chemeng.ntua.gr)
- [46] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, "Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης"
- [47] "Γενικό τιμολόγιο - Εμπορικό 2012 (Τιμολόγιο Β1 και Β2. Πολυκαταστήματα, κτίρια γραφείων, νοσοκομεία, κ.λπ.)", Δ.Ε.Η.
- [48] Στέφανος Διαμαντής, Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών
- [49] Γαλλής Α.Ε.Β.Ε., "Επαγγελματικές Λύσεις Αρχιτεκτονικού Φωτισμού"
- [50] [www.lanzini.it](http://www.lanzini.it)
- [51] [www.tridonic.com](http://www.tridonic.com)
- [52] Relux Informatik AG, "Relux Professional 2007 Manual"



# Παράρτημα Α: Φωτομετρικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα RELUX για τεχνητό φωτισμό (Σενάριο Α)

## Χώρος Α.2.διάδρομοςΑ



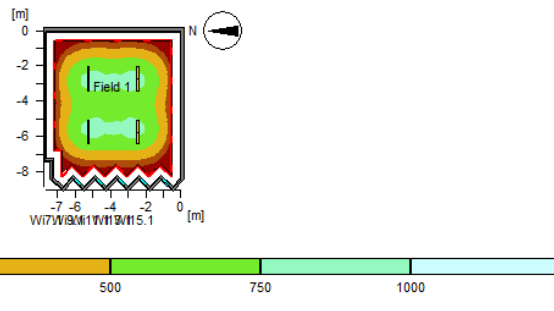
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.40 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	65700 lm
Total power	684 W
Total power per area (422.45 m <sup>2</sup> )	1.62 W/m <sup>2</sup> (1.49 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	109 lx
Minimum illuminance	Emin	12 lx
Maximum illuminance	Emax	326 lx

## Χώρος Α.201



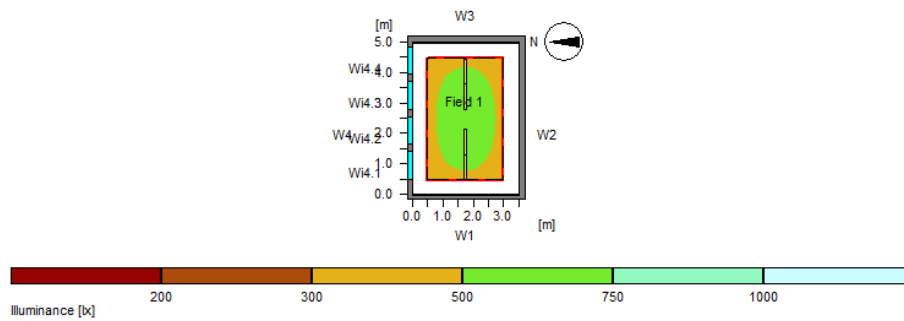
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	40000 lm
Total power	432 W
Total power per area (64.16 m <sup>2</sup> )	6.73 W/m <sup>2</sup> (1.35 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	500 lx
Minimum illuminance	Emin	88 lx
Maximum illuminance	Emax	813 lx

## Χώρος Α.206.δ



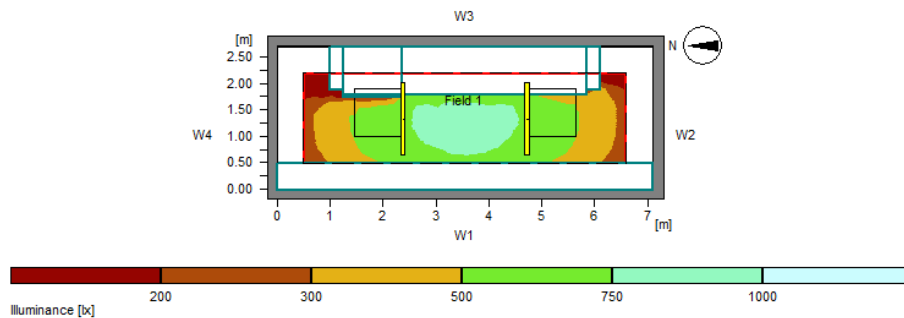
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	14600 lm
Total power	152 W
Total power per area (17.50 m <sup>2</sup> )	8.69 W/m <sup>2</sup> (1.71 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	509 lx
Minimum illuminance	Emin	327 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	621 lx

## Χώρος Α.211.εργαστήριο



### General

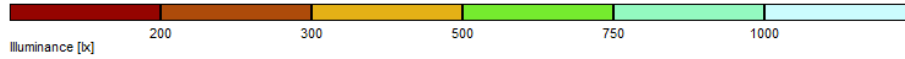
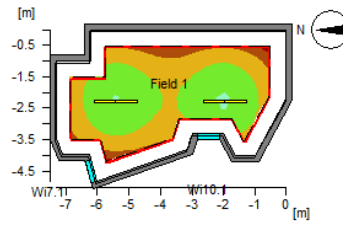
Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.10 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	20000 lm
Total power	216 W
Total power per area (19.17 m <sup>2</sup> )	11.27 W/m <sup>2</sup> (2.07 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	543 lx
Minimum illuminance	Emin	54 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	857 lx



## Χώρος A.212.α



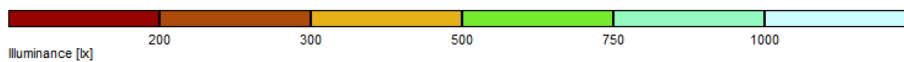
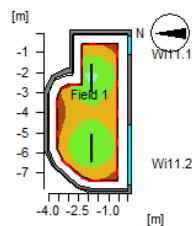
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	20000 lm
Total power	216 W
Total power per area (27.16 m <sup>2</sup> )	7.95 W/m <sup>2</sup> (1.58 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	503 lx
Minimum illuminance	Emin	201 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	768 lx

## Χώρος A.213



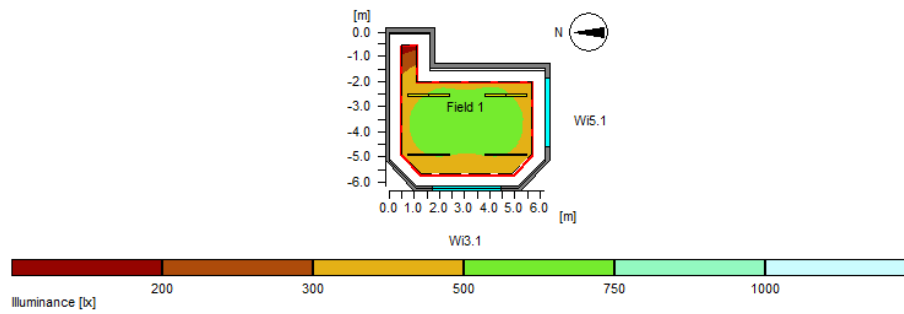
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	20000 lm
Total power	216 W
Total power per area (26.90 m <sup>2</sup> )	8.03 W/m <sup>2</sup> (1.60 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	503 lx
Minimum illuminance	Emin	224 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	767 lx

## Χώρος A.214



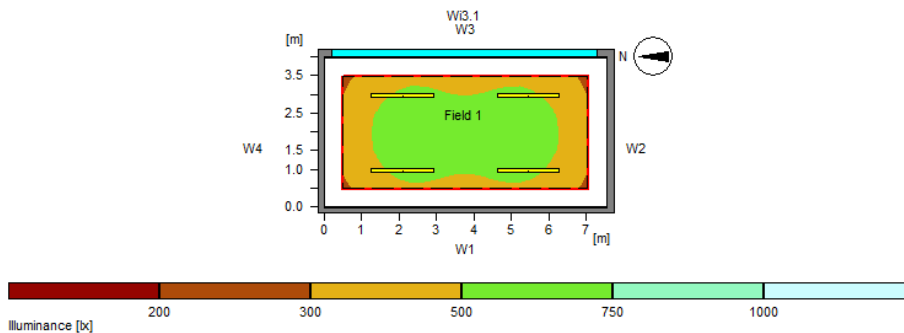
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.40 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	29200 lm
Total power	304 W
Total power per area (30.14 m <sup>2</sup> )	10.09 W/m <sup>2</sup> (1.99 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	508 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	170 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	613 lx

## Χώρος A.222



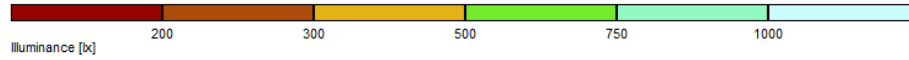
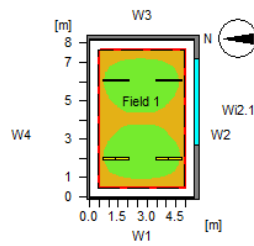
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.40 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	29200 lm
Total power	304 W
Total power per area (30.20 m <sup>2</sup> )	10.07 W/m <sup>2</sup> (2.00 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	504 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	295 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	616 lx

## Χώρος E.101



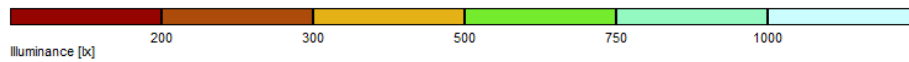
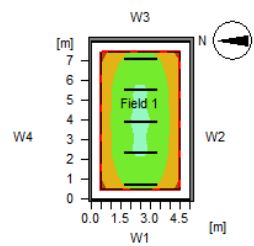
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.40 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	40000 lm
Total power	432 W
Total power per area (44.94 m <sup>2</sup> )	9.61 W/m <sup>2</sup> (1.88 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	512 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	355 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	607 lx

## Χώρος E.104



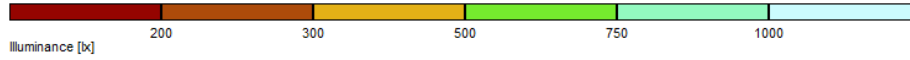
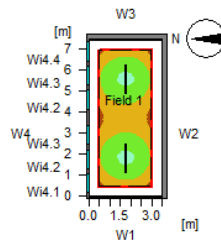
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.40 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	36500 lm
Total power	380 W
Total power per area (39.75 m <sup>2</sup> )	9.56 W/m <sup>2</sup> (1.69 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	566 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	298 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	787 lx

## Χώρος Ε.201.β-γ



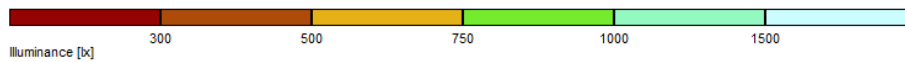
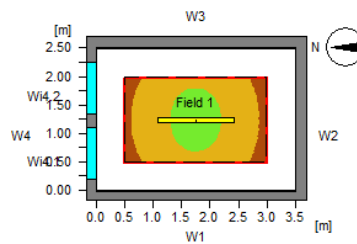
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.75 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	20000 lm
Total power	216 W
Total power per area (26.25 m <sup>2</sup> )	8.23 W/m <sup>2</sup> (1.57 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	525 lx
Minimum illuminance	Emin	284 lx
Maximum illuminance	Emax	786 lx

## Χώρος Ε.202.β



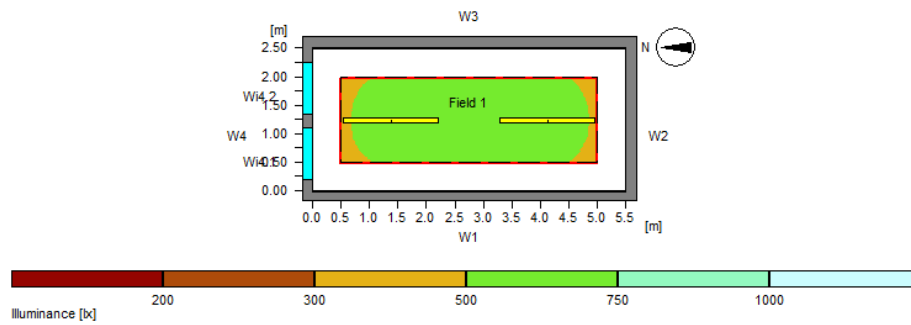
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.75 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	10000 lm
Total power	108 W
Total power per area (8.75 m <sup>2</sup> )	12.34 W/m <sup>2</sup> (1.92 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	643 lx
Minimum illuminance	Emin	427 lx
Maximum illuminance	Emax	813 lx

## Χώρος Ε.202.γ



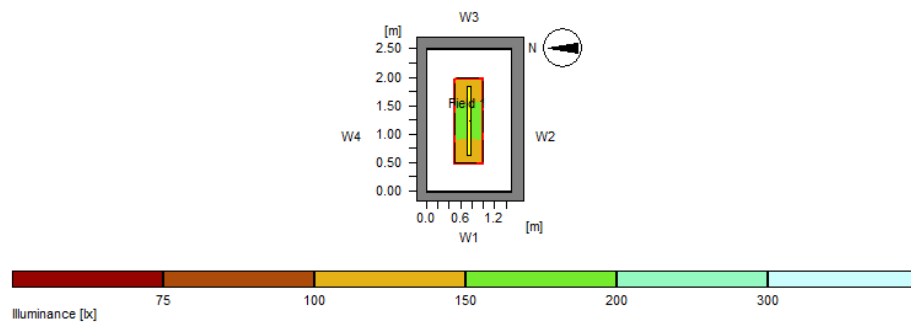
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.75 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	14600 lm
Total power	152 W
Total power per area (13.75 m <sup>2</sup> )	11.05 W/m <sup>2</sup> (1.96 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	563 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	443 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	633 lx

## Χώρος Ε.202.είσοδος



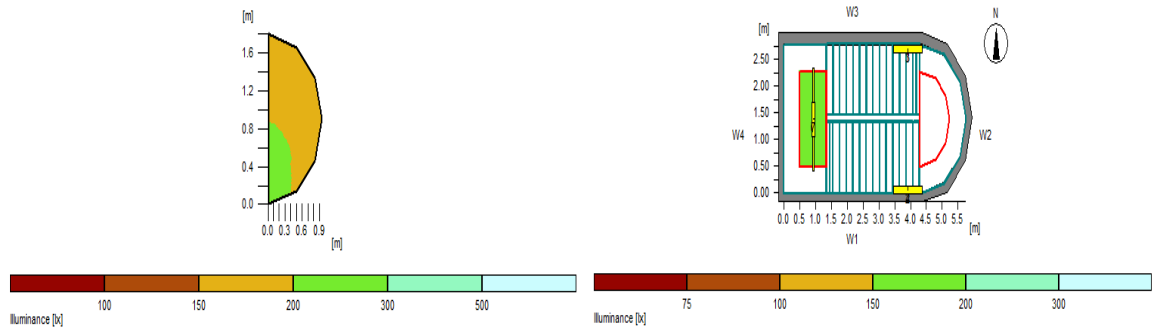
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.75 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	2100 lm
Total power	26 W
Total power per area (3.75 m <sup>2</sup> )	6.93 W/m <sup>2</sup> (4.75 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	146 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	130 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	157 lx

# Χώρος Ε.κλιμακοστάσιο



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	2.79 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	37050 lm
Total power	447 W
Total power per area (15.12 m <sup>2</sup> )	29.56 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

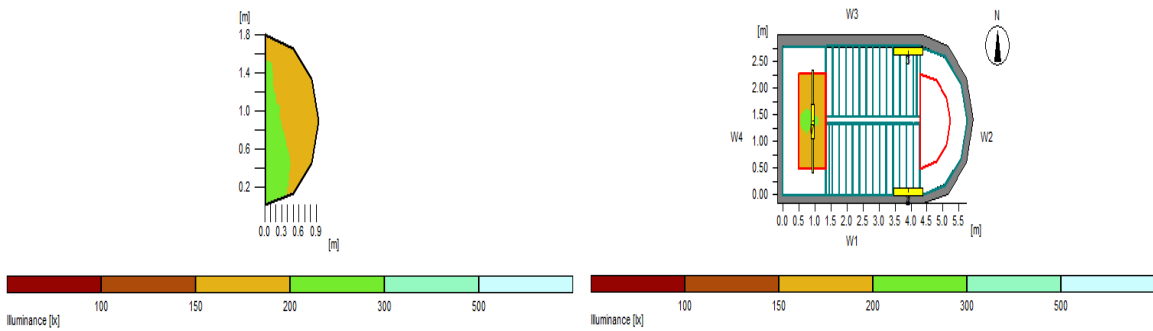
Average illuminance	E <sub>av</sub>	187 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	156 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	259 lx

**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	4.83 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	37050 lm
Total power	447 W
Total power per area (15.12 m <sup>2</sup> )	29.56 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

Average illuminance	E <sub>av</sub>	175 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	153 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	187 lx



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	6.87 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	37050 lm
Total power	447 W
Total power per area (15.12 m <sup>2</sup> )	29.56 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

Average illuminance	E <sub>av</sub>	194 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	155 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	265 lx

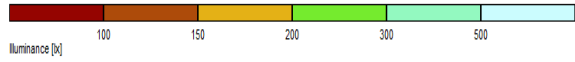
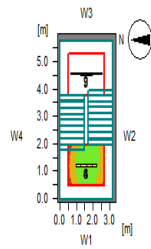
**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	8.91 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	37050 lm
Total power	447 W
Total power per area (15.12 m <sup>2</sup> )	29.56 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

Average illuminance	E <sub>av</sub>	191 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	174 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	202 lx

# Χώρος ΕΘ.κλιμακοστάσιο



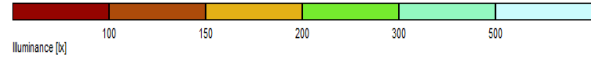
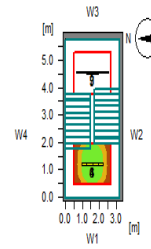
### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 6.26 m  
 Maintenance factor: 0.80

Total luminous flux of all lamps: 18650 lm  
 Total power: 281 W  
 Total power per area (18.56 m<sup>2</sup>): 15.14 W/m<sup>2</sup>

### Illuminance

Average illuminance: E<sub>av</sub> 209 lx  
 Minimum illuminance: E<sub>min</sub> 130 lx  
 Maximum illuminance: E<sub>max</sub> 271 lx



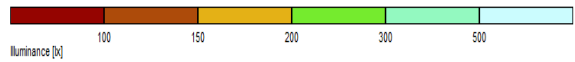
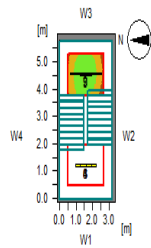
### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 9.11 m  
 Maintenance factor: 0.80

Total luminous flux of all lamps: 18650 lm  
 Total power: 281 W  
 Total power per area (18.56 m<sup>2</sup>): 15.14 W/m<sup>2</sup>

### Illuminance

Average illuminance: E<sub>av</sub> 194 lx  
 Minimum illuminance: E<sub>min</sub> 93 lx  
 Maximum illuminance: E<sub>max</sub> 280 lx



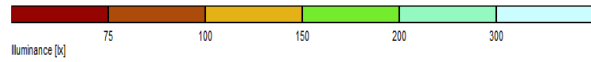
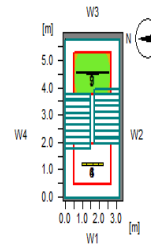
### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 4.93 m  
 Maintenance factor: 0.80

Total luminous flux of all lamps: 18650 lm  
 Total power: 281 W  
 Total power per area (18.56 m<sup>2</sup>): 15.14 W/m<sup>2</sup>

### Illuminance

Average illuminance: E<sub>av</sub> 204 lx  
 Minimum illuminance: E<sub>min</sub> 125 lx  
 Maximum illuminance: E<sub>max</sub> 273 lx



### General

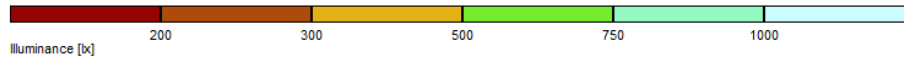
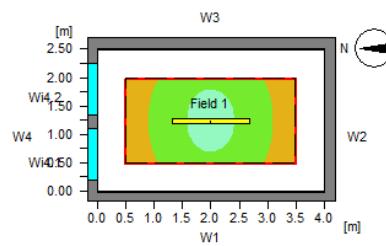
Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 7.78 m  
 Maintenance factor: 0.80

Total luminous flux of all lamps: 18650 lm  
 Total power: 281 W  
 Total power per area (18.56 m<sup>2</sup>): 15.14 W/m<sup>2</sup>

### Illuminance

Average illuminance: E<sub>av</sub> 167 lx  
 Minimum illuminance: E<sub>min</sub> 139 lx  
 Maximum illuminance: E<sub>max</sub> 184 lx

## Χώρος Ε.402.β



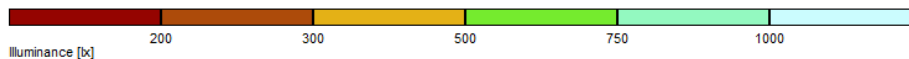
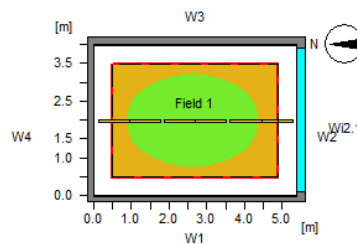
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.75 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	10000 lm
Total power	108 W
Total power per area (10.00 m <sup>2</sup> )	10.80 W/m <sup>2</sup> (1.81 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	595 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	340 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	809 lx

## Χώρος Η.203.β



### General

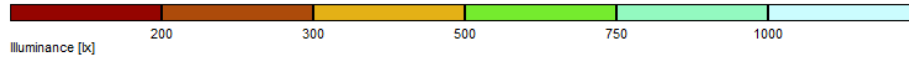
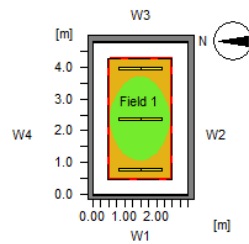
Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.60 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	21900 lm
Total power	228 W
Total power per area (21.60 m <sup>2</sup> )	10.56 W/m <sup>2</sup> (2.10 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	502 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	344 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	609 lx



## Χώρος Η.203.γ



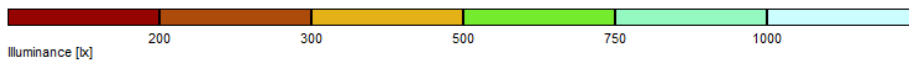
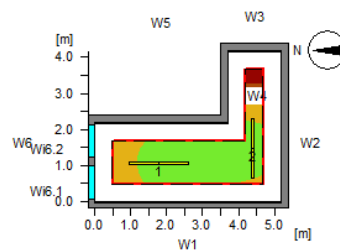
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.60 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	17400 lm
Total power	159 W
Total power per area (14.40 m <sup>2</sup> )	11.04 W/m <sup>2</sup> (2.20 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	501 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	388 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	589 lx

## Χώρος Η.402.δ



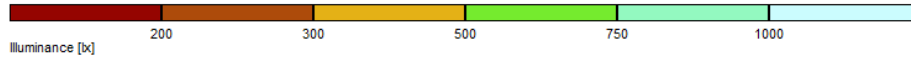
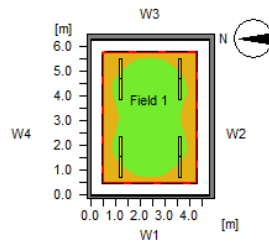
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.85 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	14600 lm
Total power	152 W
Total power per area (14.44 m <sup>2</sup> )	10.53 W/m <sup>2</sup> (2.03 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	519 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	143 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	629 lx

## Χώρος Η.404.α



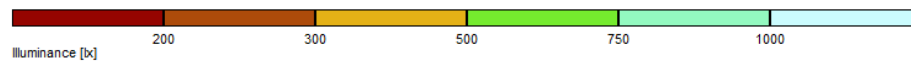
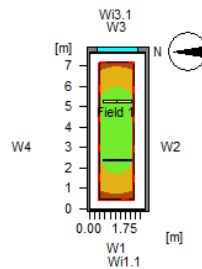
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.30 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	29200 lm
Total power	304 W
Total power per area (30.24 m <sup>2</sup> )	10.05 W/m <sup>2</sup> (1.93 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	520 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	360 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	621 lx

## Χώρος Η.404.β



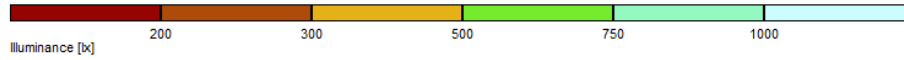
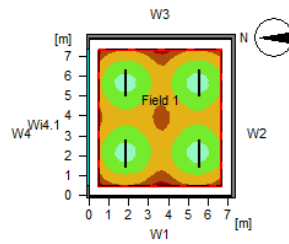
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	3.30 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	20000 lm
Total power	216 W
Total power per area (20.79 m <sup>2</sup> )	10.39 W/m <sup>2</sup> (2.07 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	502 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	250 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	677 lx

## Χώρος H1.326.E



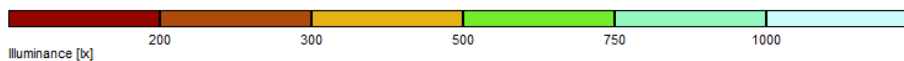
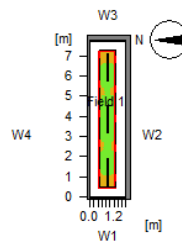
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.70 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	40000 lm
Total power	432 W
Total power per area (56.88 m <sup>2</sup> )	7.59 W/m <sup>2</sup> (1.51 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	502 lx
Minimum illuminance	Emin	185 lx
Maximum illuminance	Emax	831 lx

## Χώρος H1.404.δ



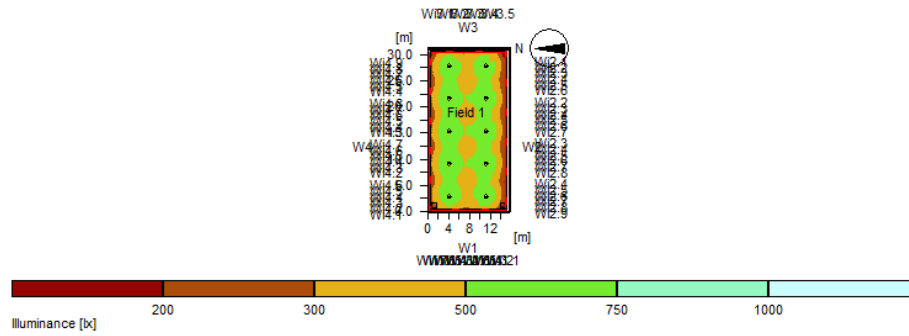
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.85 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	17400 lm
Total power	159 W
Total power per area (14.04 m <sup>2</sup> )	11.32 W/m <sup>2</sup> (2.23 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	508 lx
Minimum illuminance	Emin	429 lx
Maximum illuminance	Emax	556 lx

## Χώρος H1.404.ζ



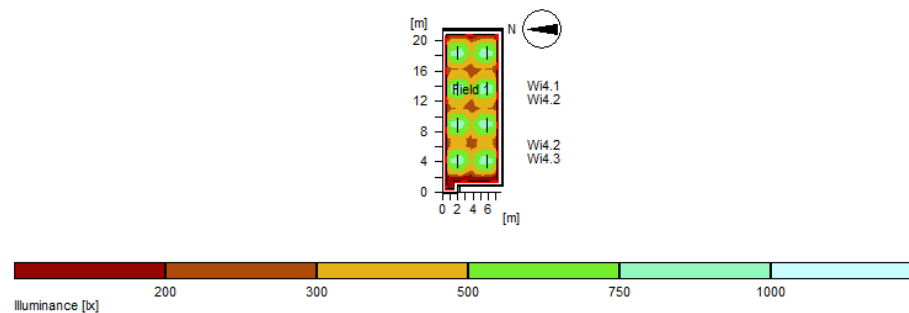
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	5.50 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	420000 lm
Total power	4000 W
Total power per area (486.72 m <sup>2</sup> )	8.22 W/m <sup>2</sup> (1.71 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	480 lx
Minimum illuminance	Emin	212 lx
Maximum illuminance	Emax	643 lx

## Χώρος H1.404.θ



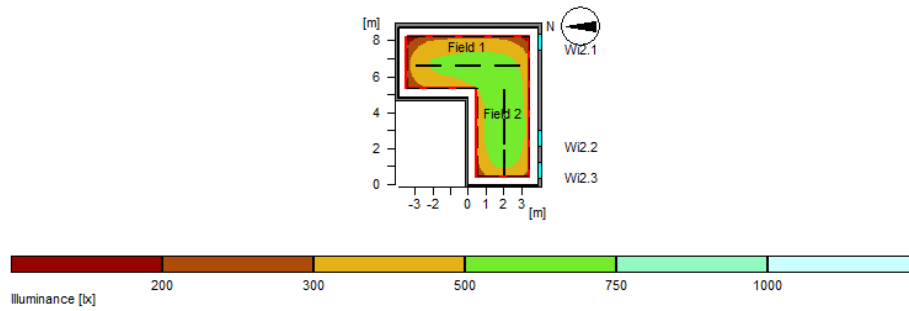
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.85 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	112000 lm
Total power	1328 W
Total power per area (161.12 m <sup>2</sup> )	8.24 W/m <sup>2</sup> (1.65 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	Eav	500 lx
Minimum illuminance	Emin	39 lx
Maximum illuminance	Emax	902 lx

## Χώρος H1.404.α



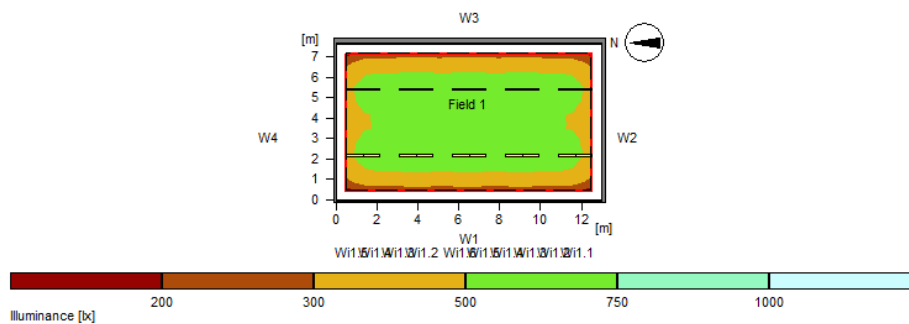
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.85 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	34800 lm
Total power	318 W
Total power per area (49.53 m <sup>2</sup> )	6.42 W/m <sup>2</sup> (1.28 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	503 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	179 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	709 lx

## Χώρος H1.405.β



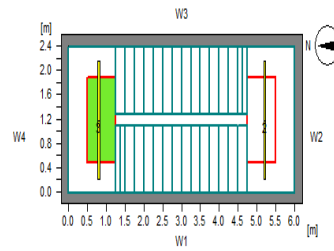
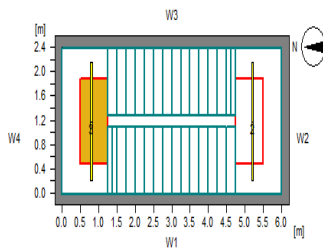
### General

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Height of luminaire plane	2.90 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	73000 lm
Total power	760 W
Total power per area (100.10 m <sup>2</sup> )	7.59 W/m <sup>2</sup> (1.52 W/m <sup>2</sup> /100lx)

### Illuminance

Average illuminance	E <sub>av</sub>	499 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	276 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	622 lx

# Χώρος Η1.κλιμακοστάσιο-εργαστηρίου



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	0.75 m
Maintenance factor	0.80
<b>Total luminous flux of all lamps</b>	
Total power	10950 lm
Total power per area (14.40 m <sup>2</sup> )	123 W
	8.54 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

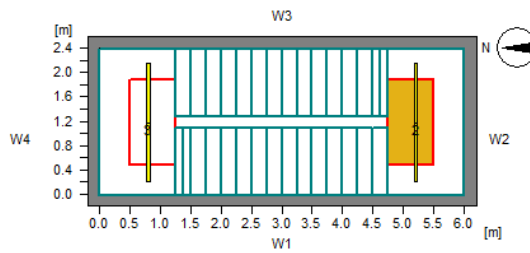
Average illuminance	E <sub>av</sub>	176 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	163 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	183 lx

**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	4.60 m
Maintenance factor	0.80
<b>Total luminous flux of all lamps</b>	
Total power	10950 lm
Total power per area (14.40 m <sup>2</sup> )	123 W
	8.54 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

Average illuminance	E <sub>av</sub>	167 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	157 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	173 lx



**General**

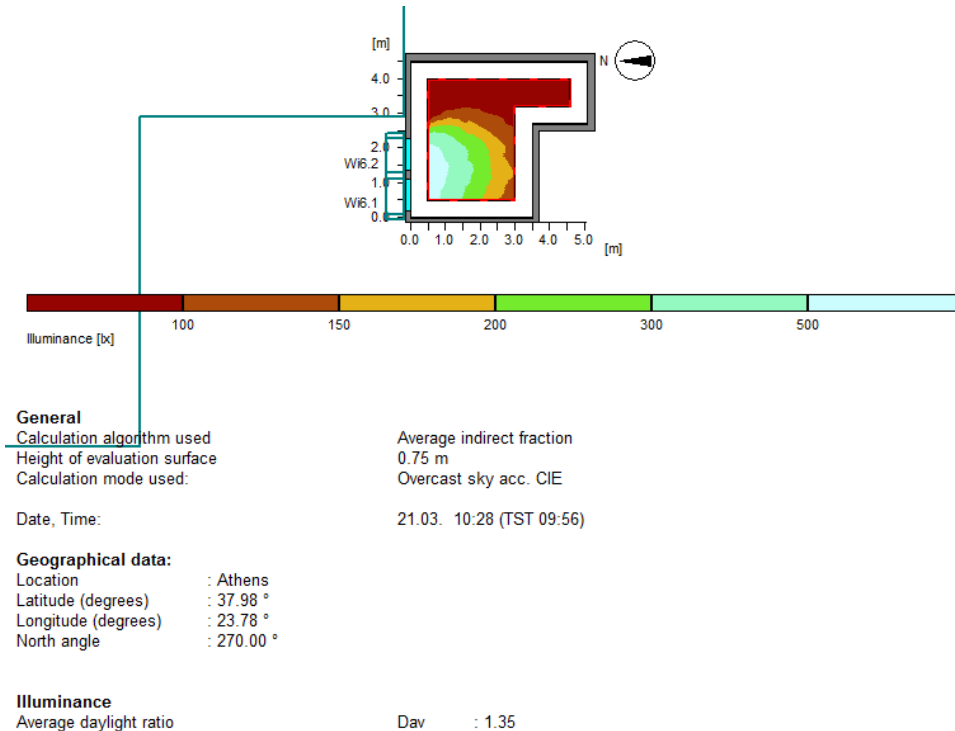
Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of evaluation surface	2.67 m
Maintenance factor	0.80
<b>Total luminous flux of all lamps</b>	
Total power	10950 lm
Total power per area (14.40 m <sup>2</sup> )	123 W
	8.54 W/m <sup>2</sup>

**Illuminance**

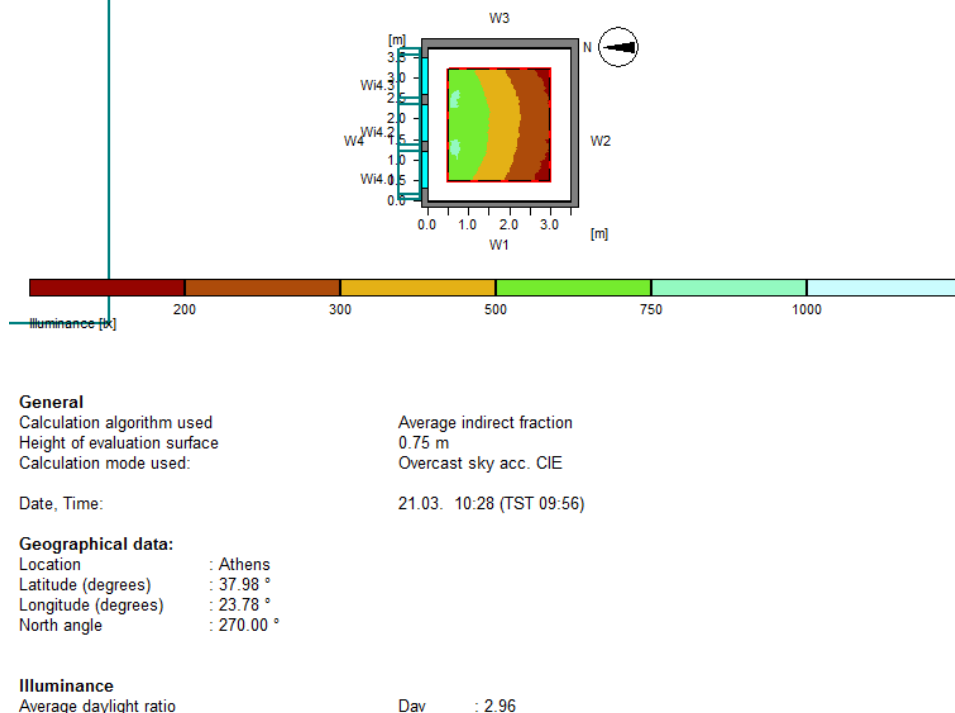
Average illuminance	E <sub>av</sub>	181 lx
Minimum illuminance	E <sub>min</sub>	173 lx
Maximum illuminance	E <sub>max</sub>	187 lx

# Παράρτημα Β: Φωτομετρικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα RELUX για φυσικό φωτισμό (Σενάριο Β)

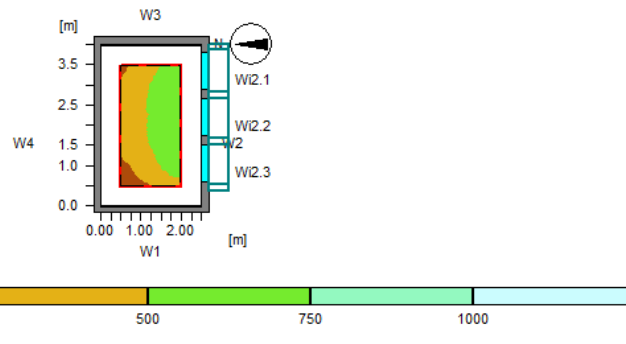
## Χώρος Α.206.α



## Χώρος Α.206.β



## Χώρος Α.206.ε



### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 0.75 m  
 Calculation mode used: Overcast sky acc. CIE

Date, Time: 21.03. 10:28 (TST 09:56)

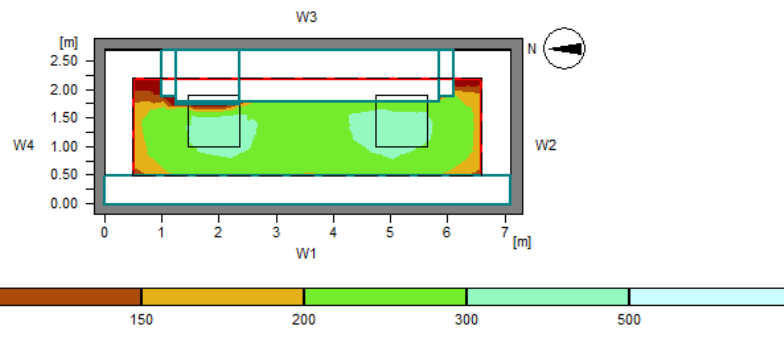
### Geographical data:

Location : Athens  
 Latitude (degrees) : 37.98 °  
 Longitude (degrees) : 23.78 °  
 North angle : 270.00 °

### Illuminance

Average daylight ratio : 3.31

## Χώρος Α.211.εργαστήριο



### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 0.75 m  
 Calculation mode used: Overcast sky acc. CIE

Date, Time: 21.03. 10:28 (TST 09:56)

### Geographical data:

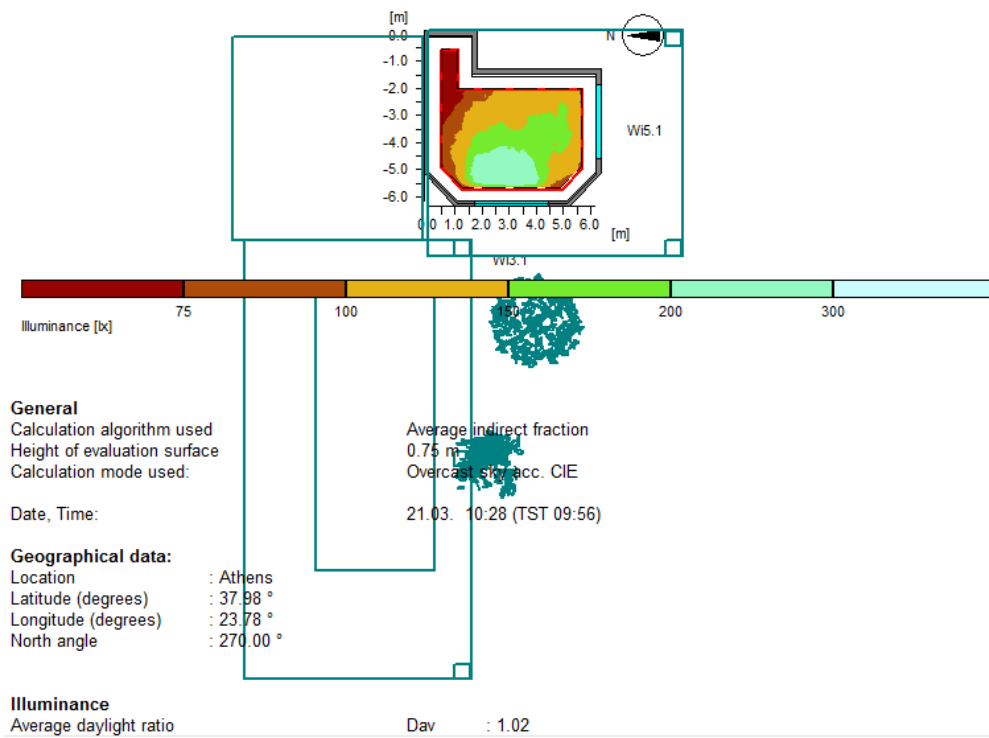
Location : Athens  
 Latitude (degrees) : 37.98 °  
 Longitude (degrees) : 23.78 °  
 North angle : 270.00 °

### Illuminance

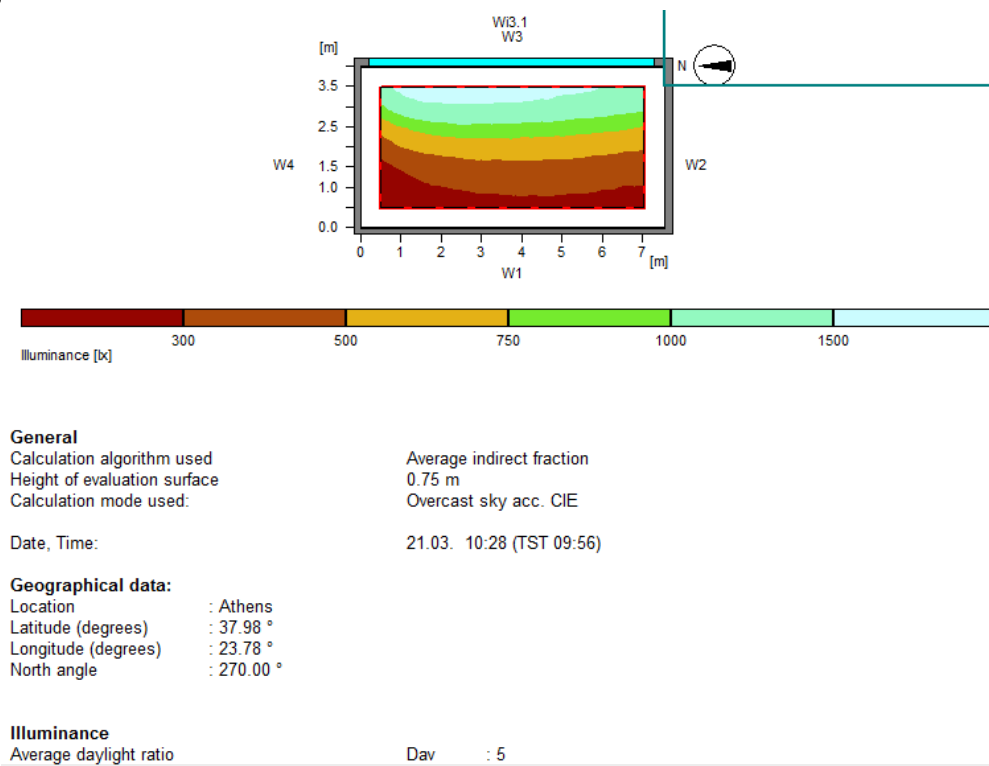
Average daylight ratio : 1.73



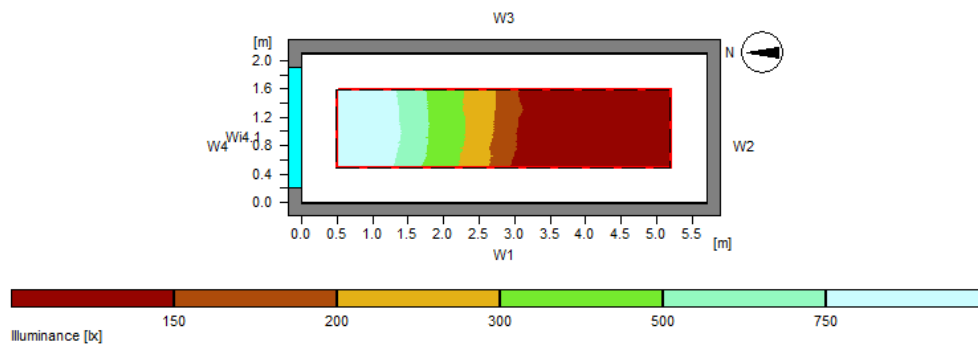
## Χώρος A.214



## Χώρος A.222



## Χώρος A.301.γ



### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 0.75 m  
 Calculation mode used: Overcast sky acc. CIE  
 Date, Time: 21.03. 10:28 (TST 09:56)

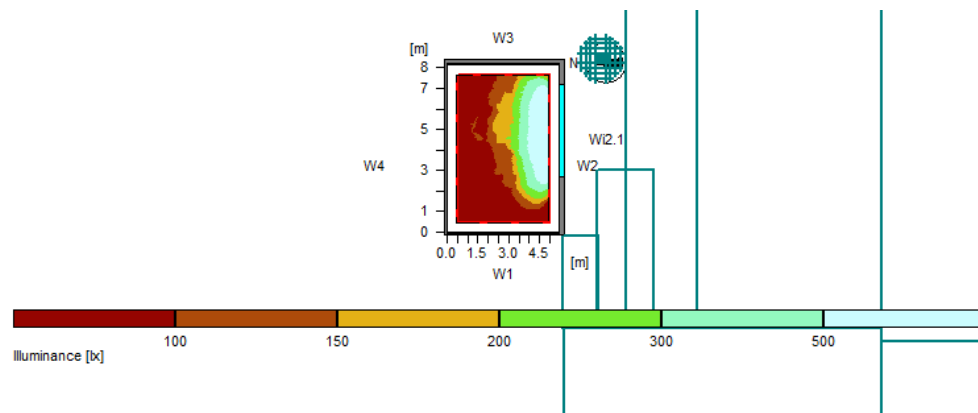
### Geographical data:

Location : Athens  
 Latitude (degrees) : 37.98 °  
 Longitude (degrees) : 23.78 °  
 North angle : 270.00 °

### Illuminance

Average daylight ratio : 2.6

## Χώρος E.101



### General

Calculation algorithm used: Average indirect fraction  
 Height of evaluation surface: 0.75 m  
 Calculation mode used: Overcast sky acc. CIE  
 Date, Time: 21.03. 10:28 (TST 09:56)

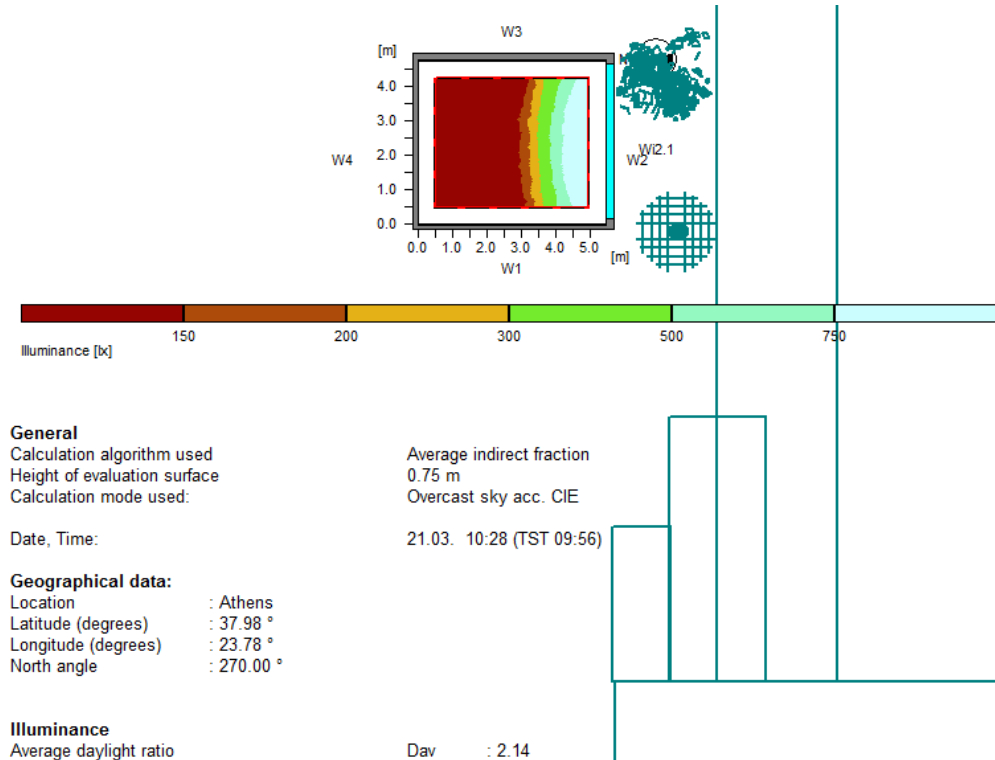
### Geographical data:

Location : Athens  
 Latitude (degrees) : 37.98 °  
 Longitude (degrees) : 23.78 °  
 North angle : 270.00 °

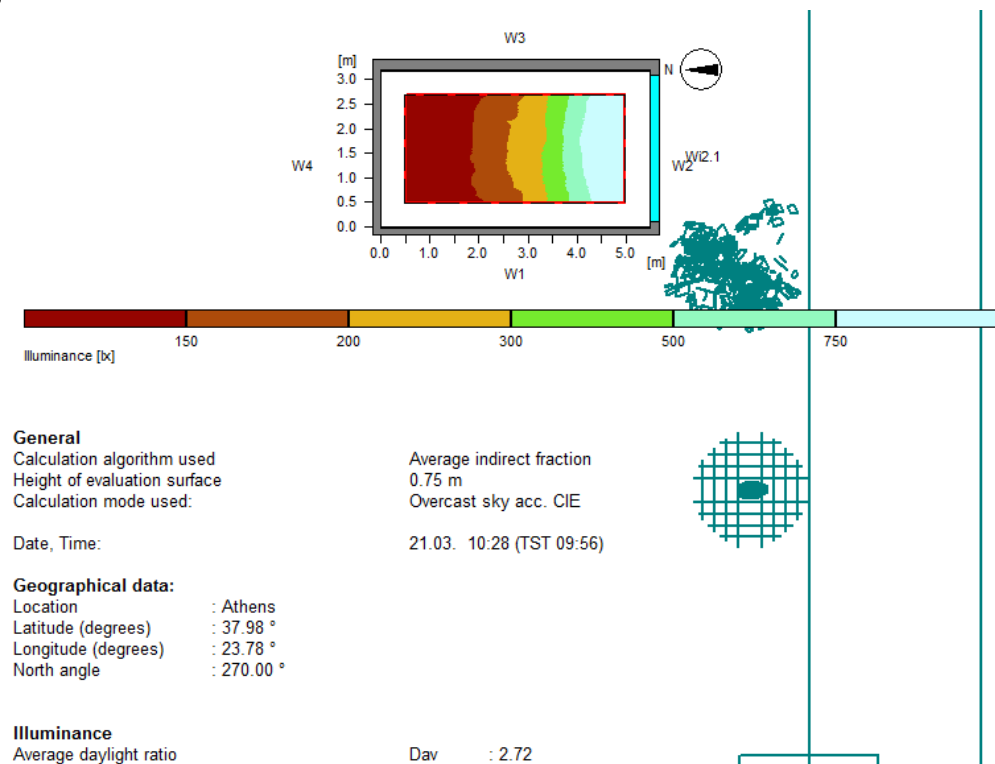
### Illuminance

Average daylight ratio : 1.48

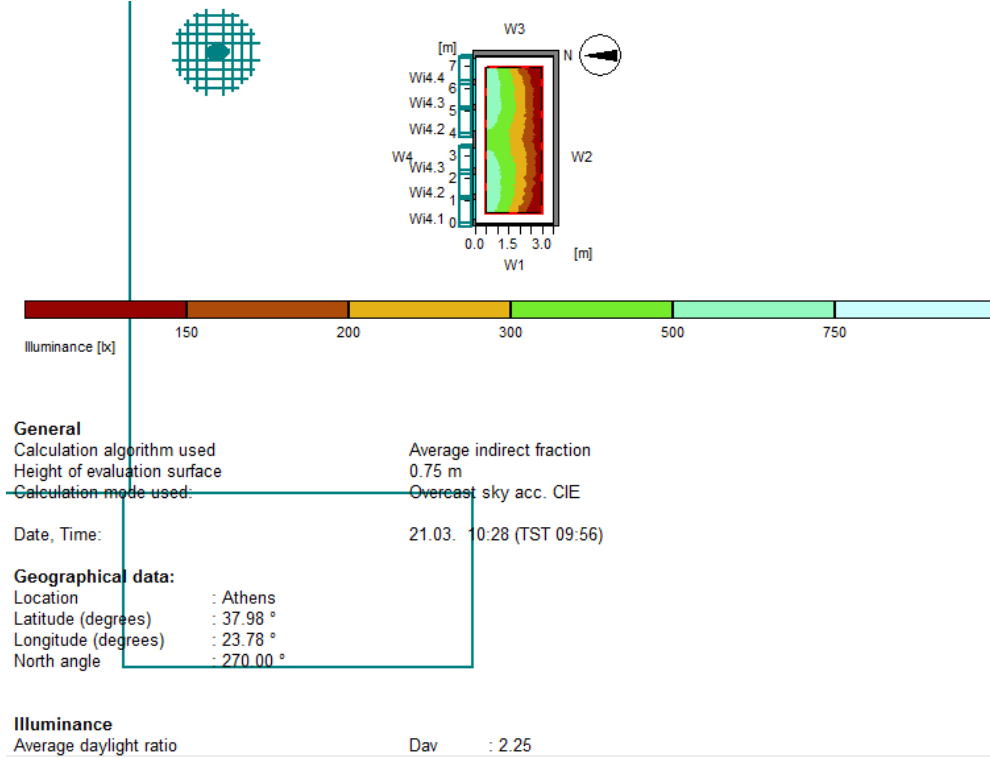
## Χώρος E.102



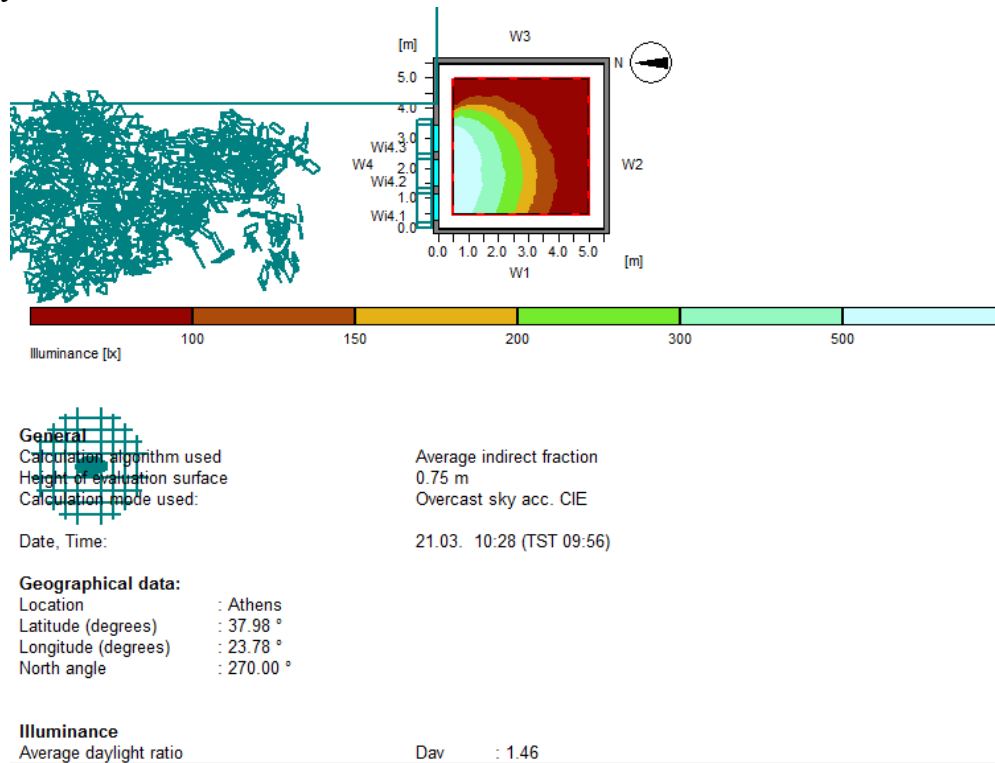
## Χώρος E.103



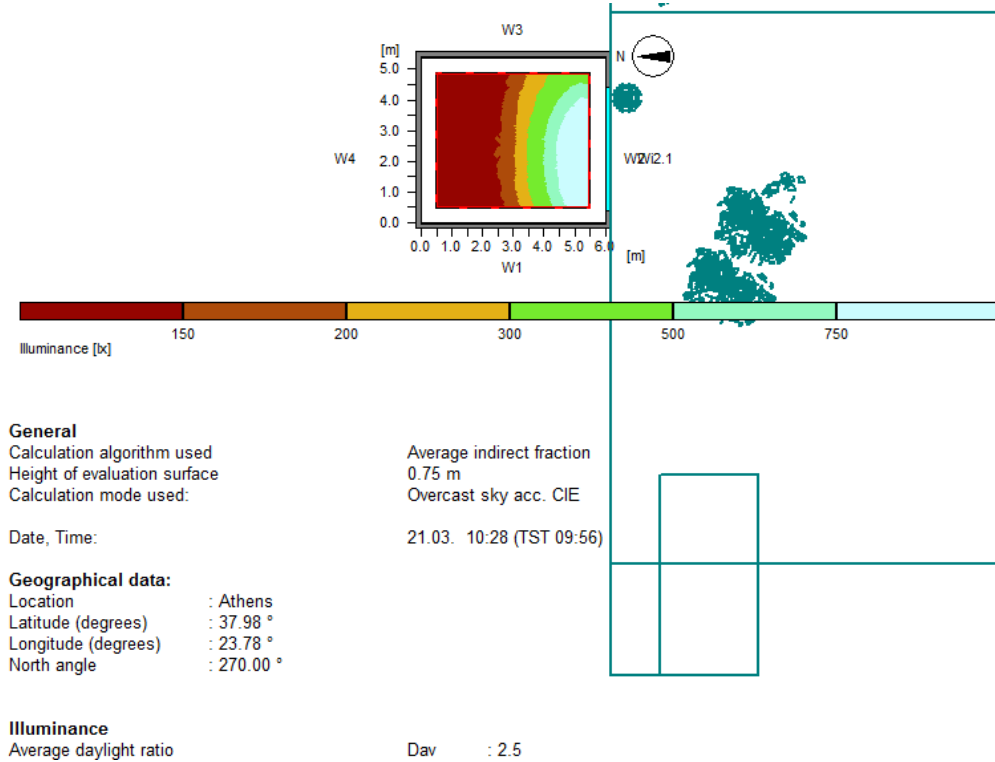
## Χώρος Ε.201.β-γ



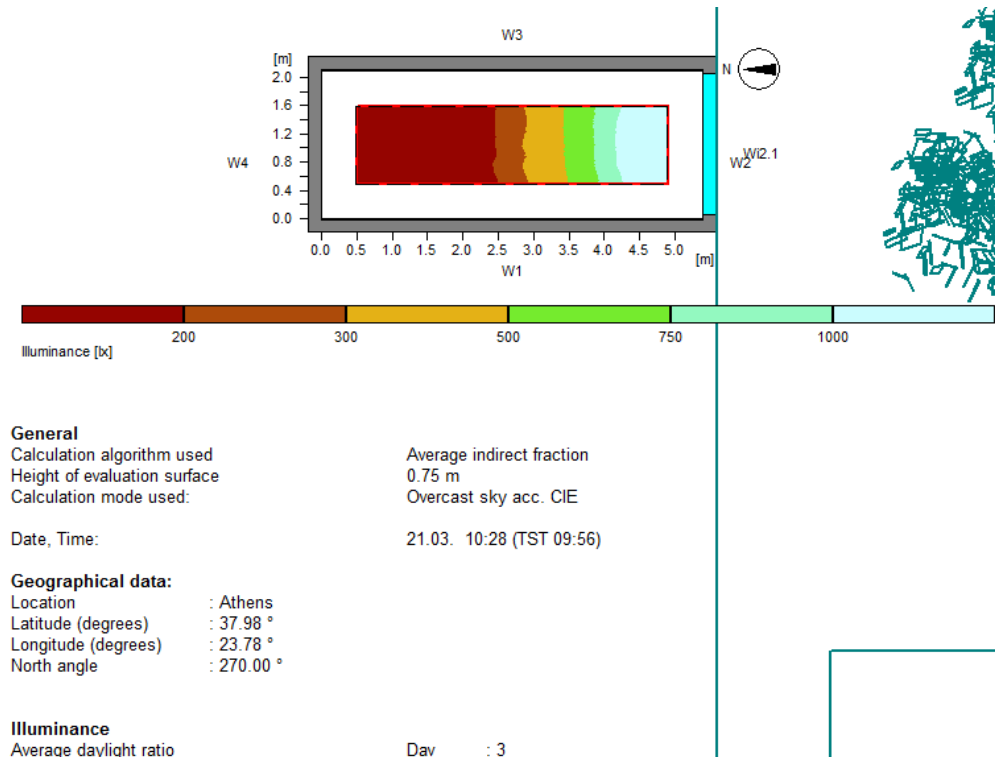
## Χώρος Ε.401.α



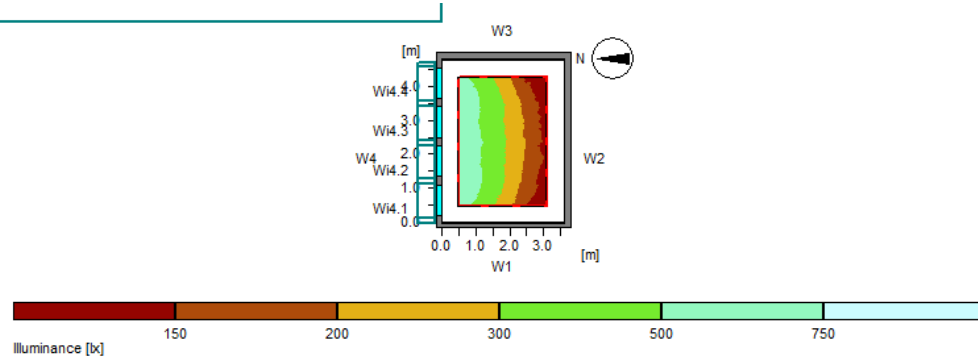
## Χώρος Η.201



## Χώρος Η.203.α



## Χώρος Η.401.β



### General

Calculation algorithm used  
Height of evaluation surface  
Calculation mode used:

Average indirect fraction  
0.75 m  
Overcast sky acc. CIE

Date, Time:

21.03. 10:28 (TST 09:56)

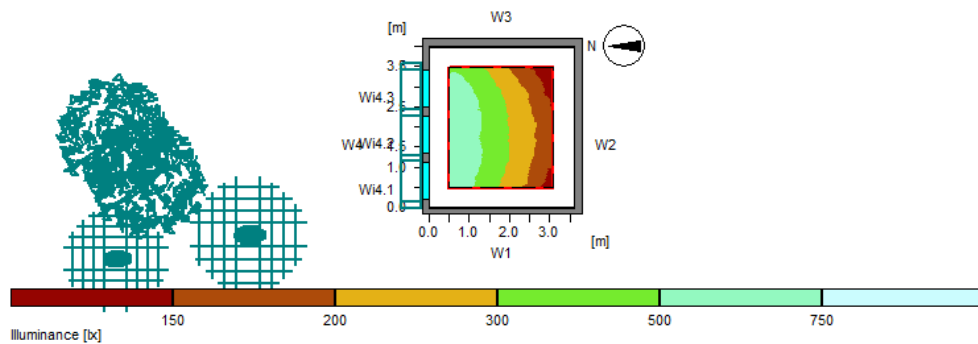
### Geographical data:

Location : Athens  
Latitude (degrees) : 37.98 °  
Longitude (degrees) : 23.78 °  
North angle : 270.00 °

### Illuminance

Average daylight ratio : Dav : 2.36

## Χώρος Η.402.γ



### General

Calculation algorithm used  
Height of evaluation surface  
Calculation mode used:

Average indirect fraction  
0.75 m  
Overcast sky acc. CIE

Date, Time:

21.03. 10:28 (TST 09:56)

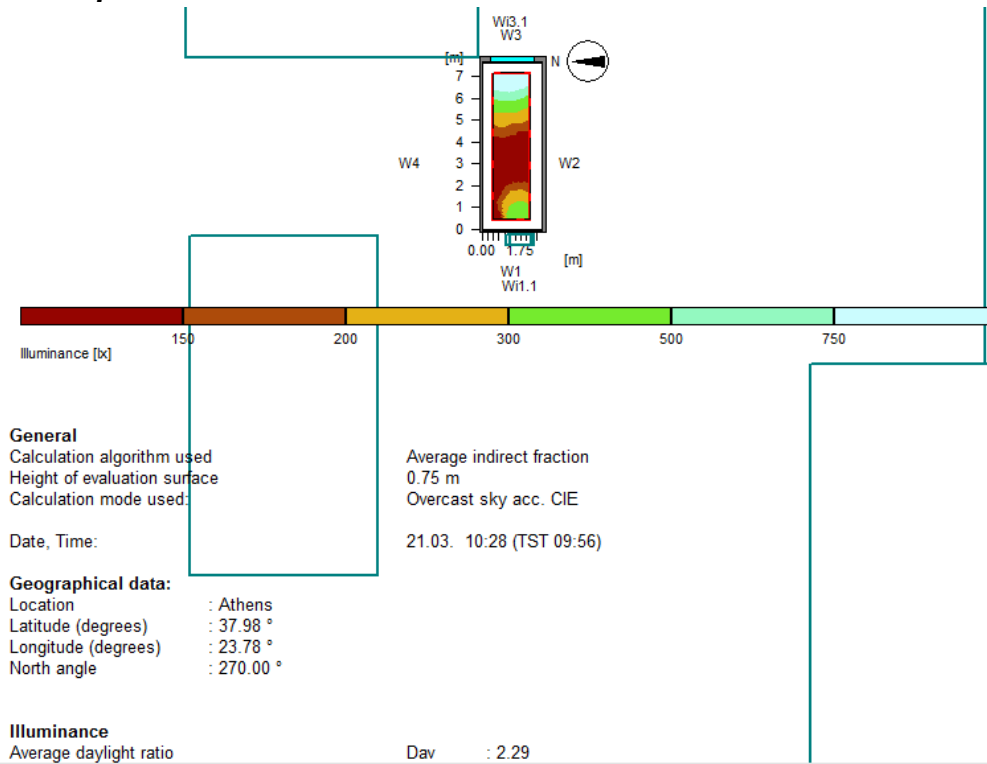
### Geographical data:

Location : Athens  
Latitude (degrees) : 37.98 °  
Longitude (degrees) : 23.78 °  
North angle : 270.00 °

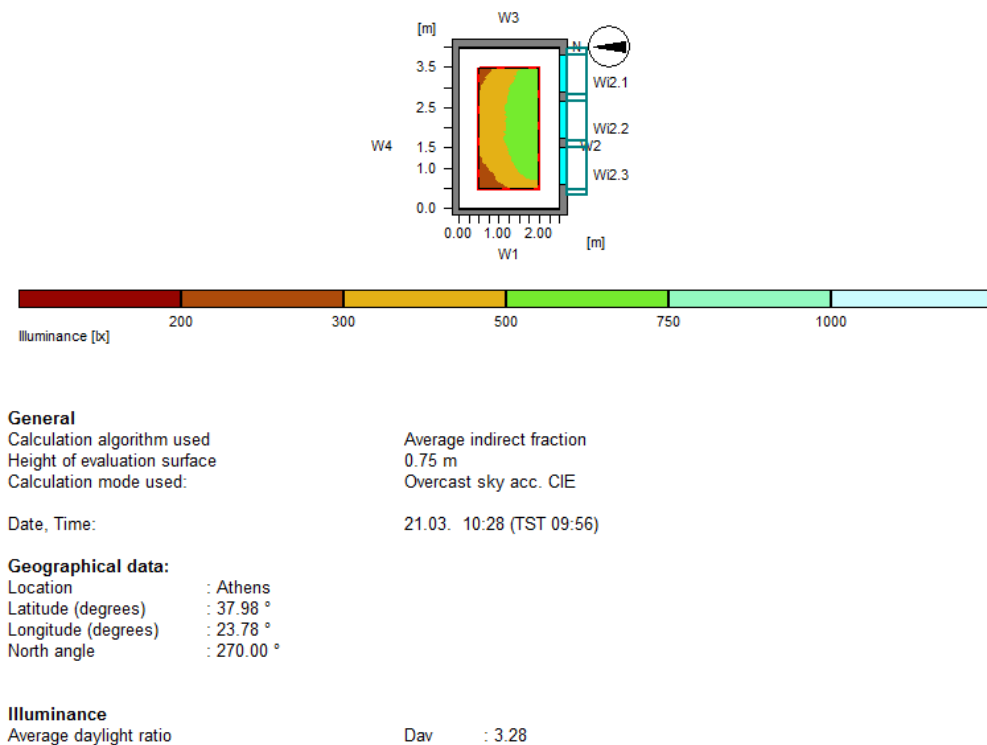
### Illuminance

Average daylight ratio : Dav : 2.52

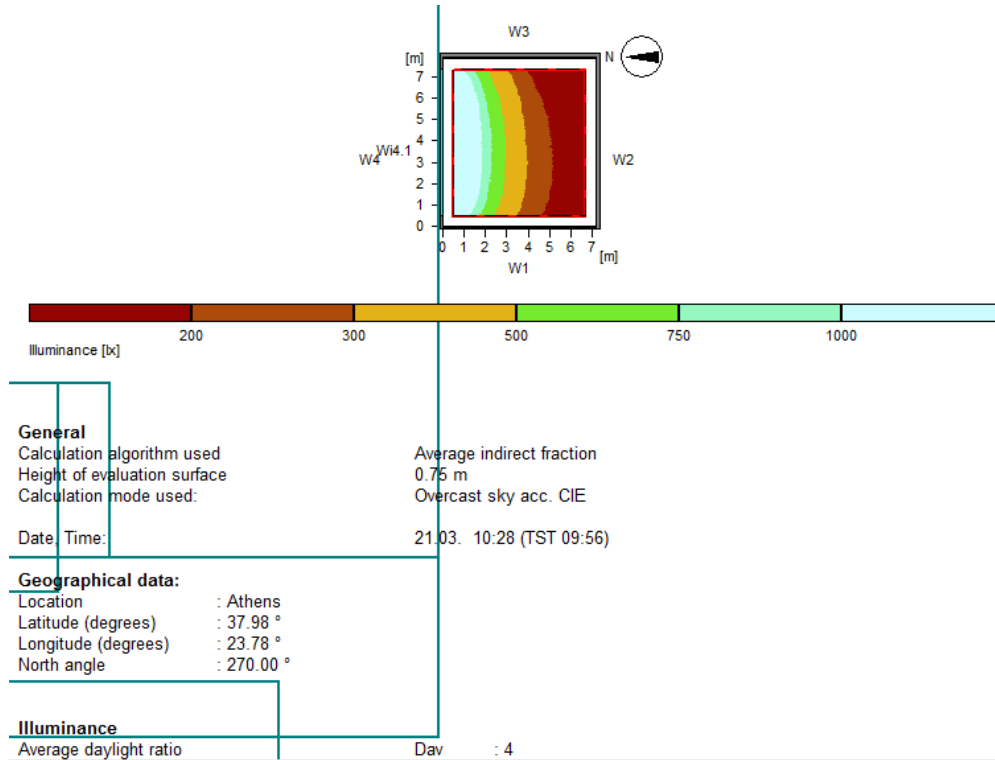
## Χώρος Η.404.β



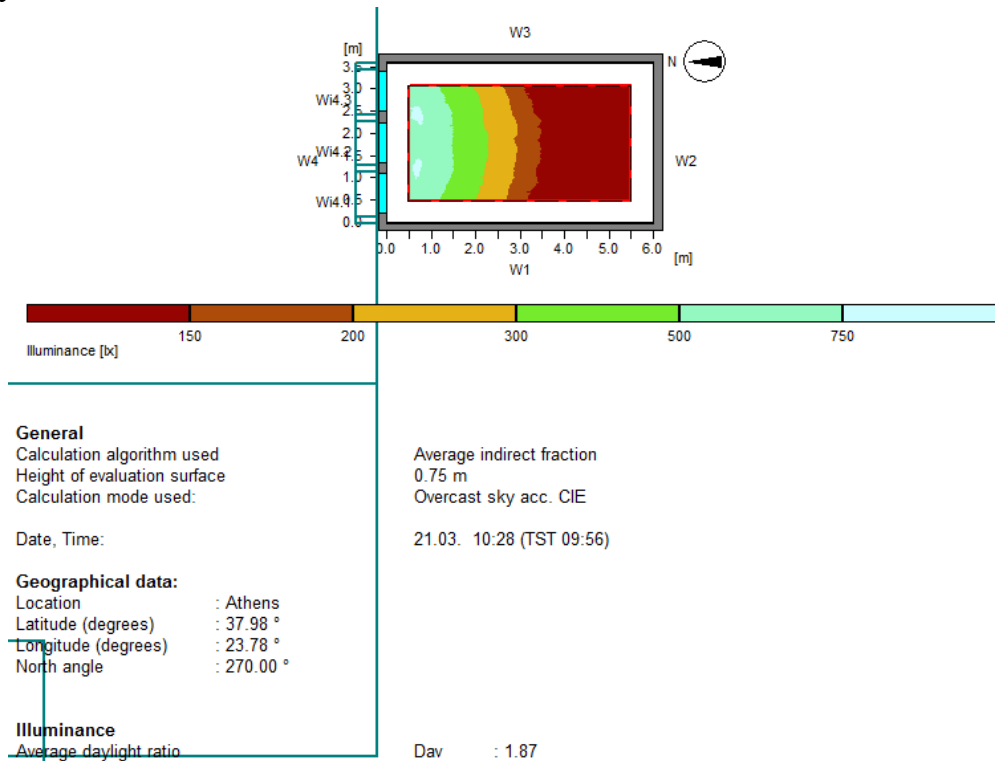
## Χώρος Η.405.ζ



## Χώρος H1.326.E

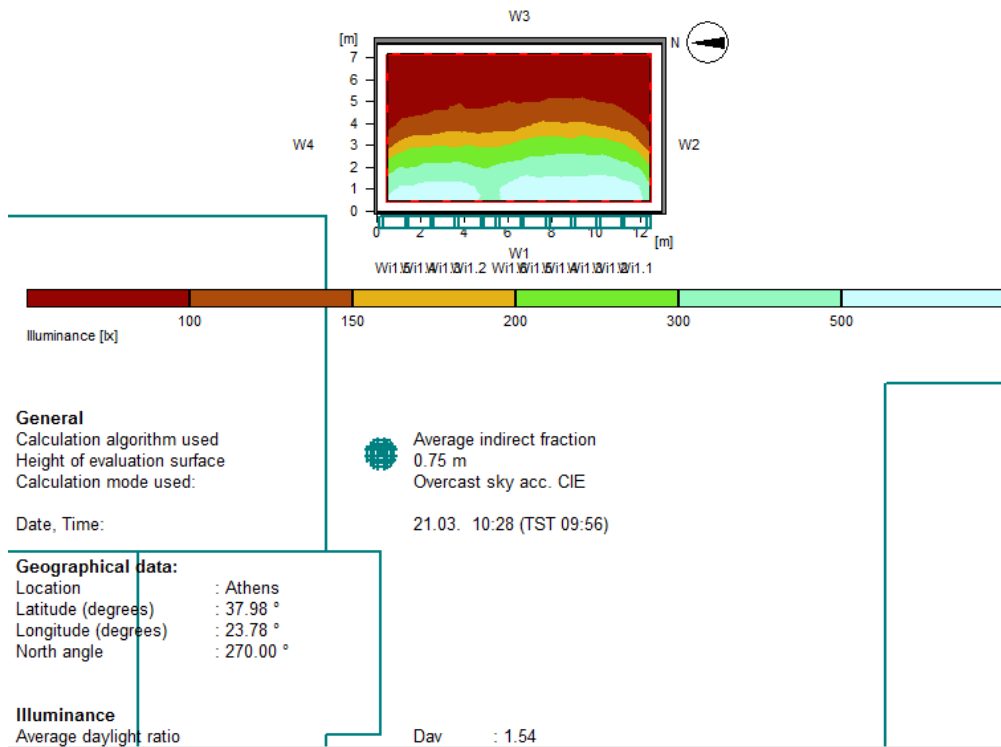


## Χώρος H1.401.α

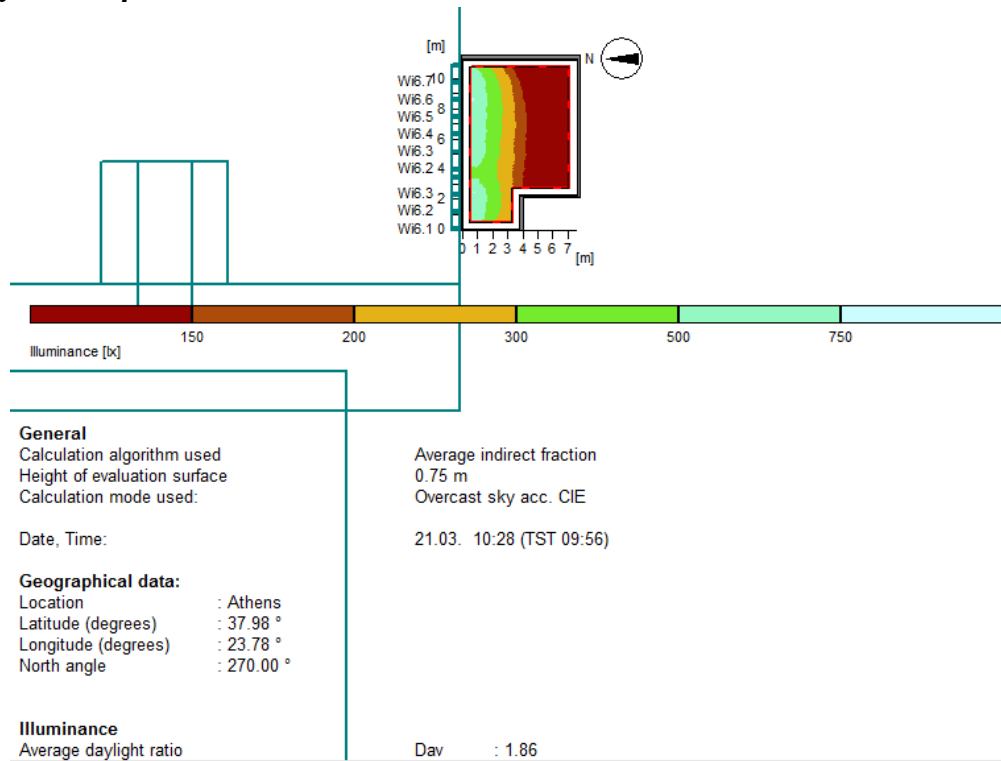




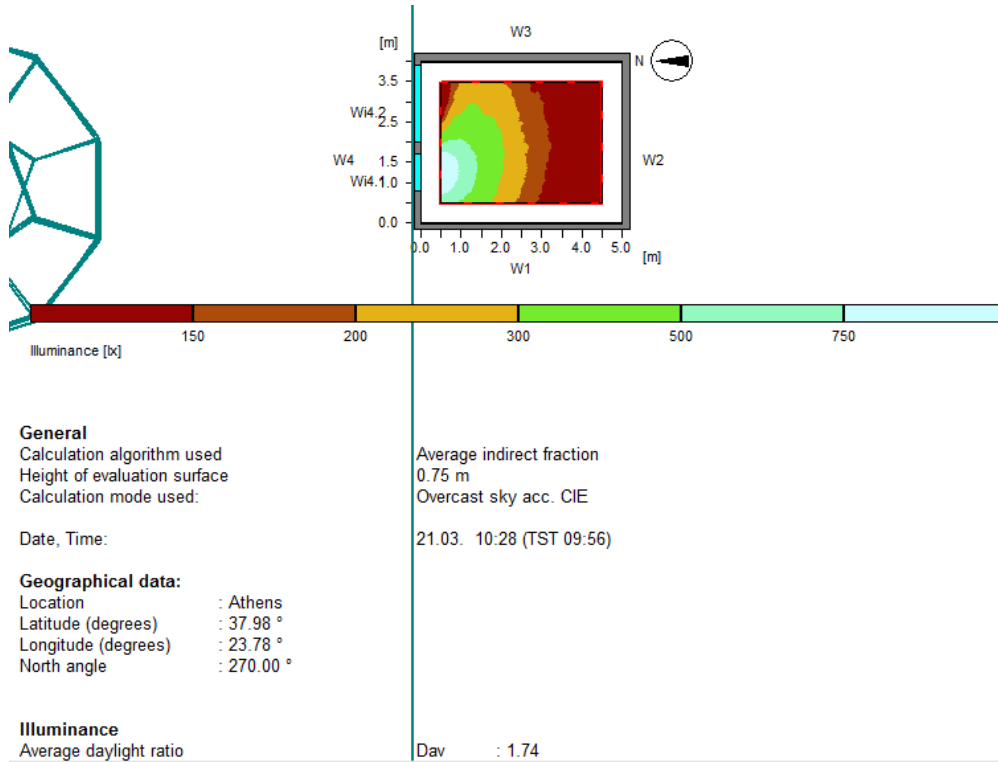
## Χώρος H1.405.β



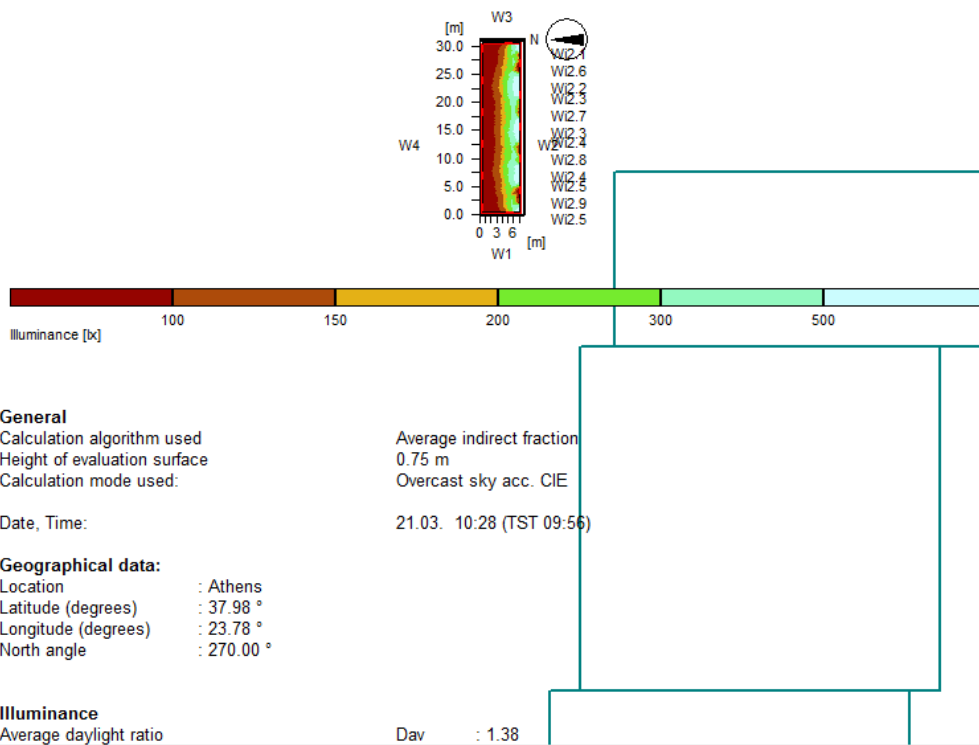
## Χώρος H1.501.β



## Χώρος H1.504.γ



## Χώρος H1.504.θ

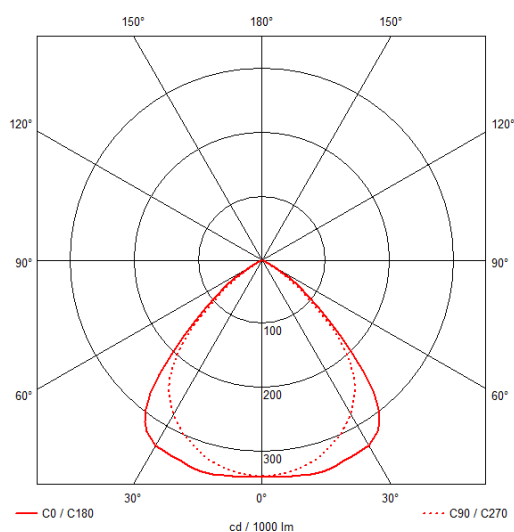


## Παράρτημα Γ: Προδιαγραφές φωτιστικών σωμάτων και αισθητήρα φωτισμού

Εταιρεία:	Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.
Μοντέλο:	Ikarus T16 G5, 4306
Τύπος φωτιστικού:	Δίφωτο σώμα οροφής από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4341 από ανοδευμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας
Τεχνικά χαρακτηριστικά:	Φθορισμού 2x14W T16 G5 Διαστάσεις: 88 x 660 x 94 (mm) Βάρος: 1,2 kg



Εικόνα 30: Δίφωτο σώμα οροφής Ikarus T16 G5, 4306, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 580mm, 4341

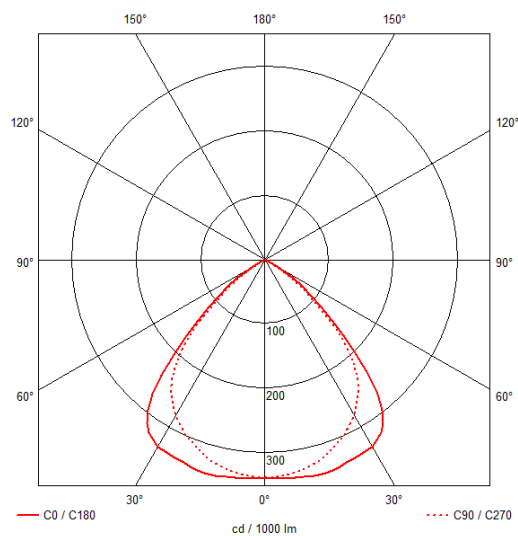


Εικόνα 31: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Ikarus T16 G5, 4306

Εταιρεία: Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.  
 Μοντέλο: Ikarus T16 G5, 4308  
 Τύπος φωτιστικού: Δίφωτο σώμα οροφής από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4342 από ανοδωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας  
 Τεχνικά χαρακτηριστικά: Φθορισμού 2x21W T16 G5  
 Διαστάσεις: 88 x 960 x 94 (mm)  
 Βάρος: 1,6 kg



Εικόνα 32: Δίφωτο σώμα οροφής Ikarus T16 G5, 4308, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 880mm, 4342

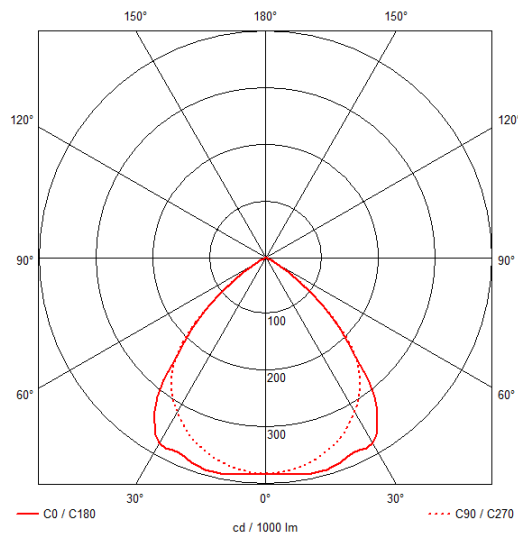


Εικόνα 33: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Ikarus T16 G5, 4308

Εταιρεία: Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.  
 Μοντέλο: Ikarus T16 G5, 4310  
 Τύπος φωτιστικού: Δίφωτο σώμα οροφής από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4343 από ανοδειωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας  
 Τεχνικά χαρακτηριστικά: Φθορισμού 2x28W T16 G5  
 Διαστάσεις: 88 x 1260 x 94 (mm)  
 Βάρος: 2,0 kg



Εικόνα 34: Δίφωτο σώμα οροφής Ikarus T16 G5, 4310, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 1180mm, 4343

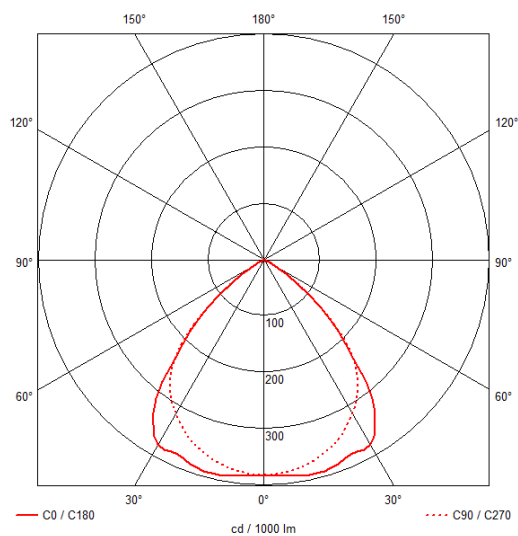


Εικόνα 35: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Ikarus T16 G5, 4310

Εταιρεία:	Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.
Μοντέλο:	Ikarus T16 G5, 4311
Τύπος φωτιστικού:	Δίφωτο σώμα οροφής από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4343 από ανοδειωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας
Τεχνικά χαρακτηριστικά:	Φθορισμού 2x54W T16 G5 Διαστάσεις: 88 x 1260 x 94 (mm) Βάρος: 2,0 kg



**Εικόνα 36:** Δίφωτο σώμα οροφής Ikarus T16 G5, 4311, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 1180mm, 4343

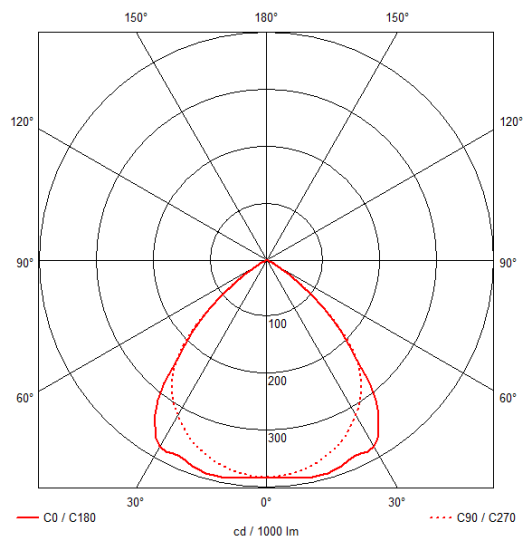


**Εικόνα 37:** Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Ikarus T16 G5, 4311

Εταιρεία: Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.  
 Μοντέλο: Ikarus T16 G5, 4312  
 Τύπος φωτιστικού: Δίφωτο σώμα οροφής από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4344 από ανοδειωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας  
 Τεχνικά χαρακτηριστικά: Φθορισμού 2x35W T16 G5  
 Διαστάσεις: 88 x 1560 x 94 (mm)  
 Βάρος: 2,4 kg



Εικόνα 38: Δίφωτο σώμα οροφής Ikarus T16 G5, 4312, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 1480mm, 4344

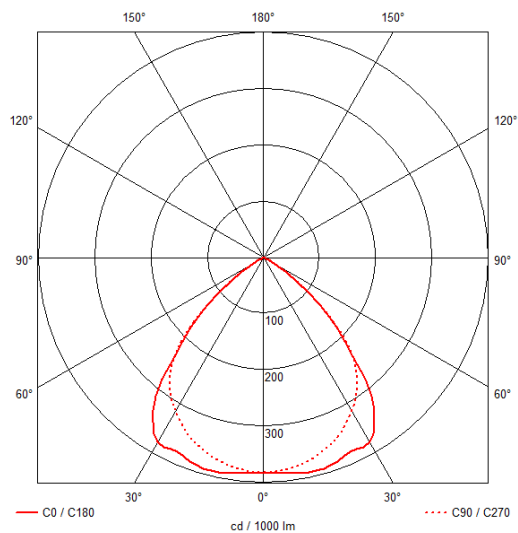


Εικόνα 39: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Ikarus T16 G5, 4312

Εταιρεία:	Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.
Μοντέλο:	Ikarus T16 G5, 4313
Τύπος φωτιστικού:	Δίφωτο σώμα οροφής από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4344 από ανοδειωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας
Τεχνικά χαρακτηριστικά:	Φθορισμού 2x80W T16 G5 Διαστάσεις: 88 x 1560 x 94 (mm) Βάρος: 2,4 kg



**Εικόνα 40:** Δίφωτο σώμα οροφής Ikarus T16 G5, 4313, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 1480mm, 4344



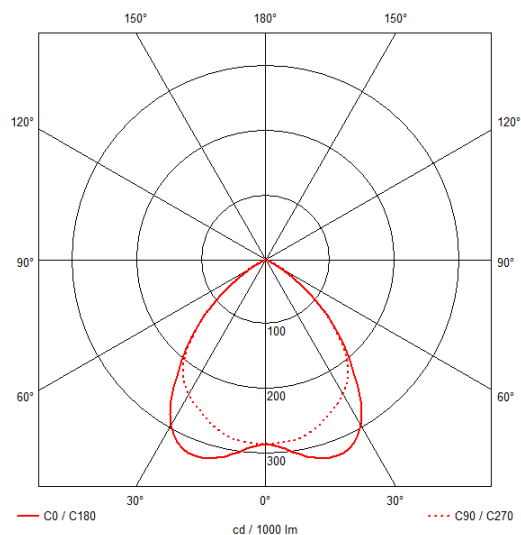
**Εικόνα 41:** Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Ikarus T16 G5, 4313



Εταιρεία: Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.  
 Μοντέλο: Hermes Mono, 4032  
 Τύπος φωτιστικού: Μονόφωτο σώμα από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4065 από ανοδειωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας  
 Τεχνικά χαρακτηριστικά: Φθορισμού 1x21W T16 G5  
 Διαστάσεις: 52 x 1220 x 49 (mm)  
 Βάρος: 1,5 kg



Εικόνα 42: Μονόφωτο σώμα Hermes Mono, 4032, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 880mm, 4065

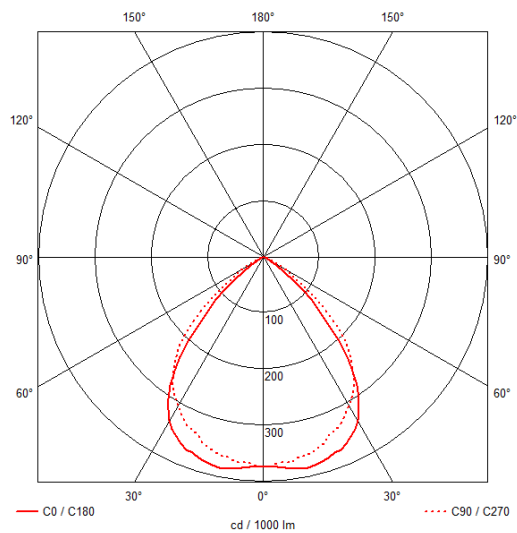


Εικόνα 43: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Hermes Mono, 4032

Εταιρεία: Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.  
 Μοντέλο: Hermes Mono, 4036  
 Τύπος φωτιστικού: Μονόφωτο σώμα από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 4069 από ανοδειωμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας  
 Τεχνικά χαρακτηριστικά: Φθορισμού 1x35W T16 G5  
 Διαστάσεις: 52 x 1820 x 49 (mm)  
 Βάρος: 2,1 kg



**Εικόνα 44: Μονόφωτο σώμα Hermes Mono, 4036, και παραβολική περσίδα αλουμινίου 1480mm, 4069**



**Εικόνα 45: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Hermes Mono, 4036**

Εταιρεία:

Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.

Μοντέλο:

Τρίγωνο T16 G5, 3032

Τύπος φωτιστικού:

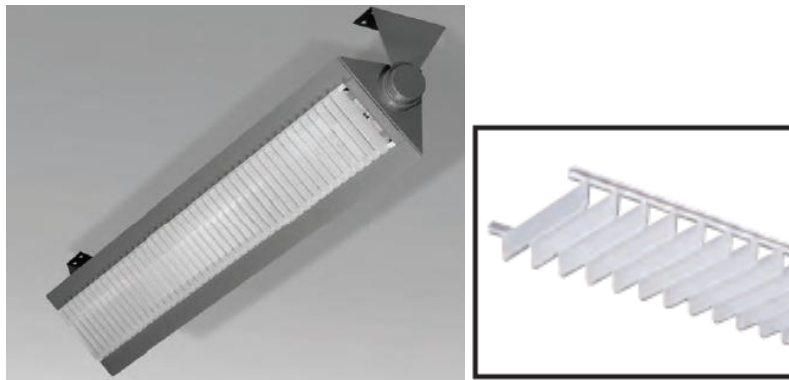
Δίφωτο (παράλληλα τοποθετημένοι λαμπτήρες) γραμμικό σύστημα επίτοιχο από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 8921 από πλαστικό

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

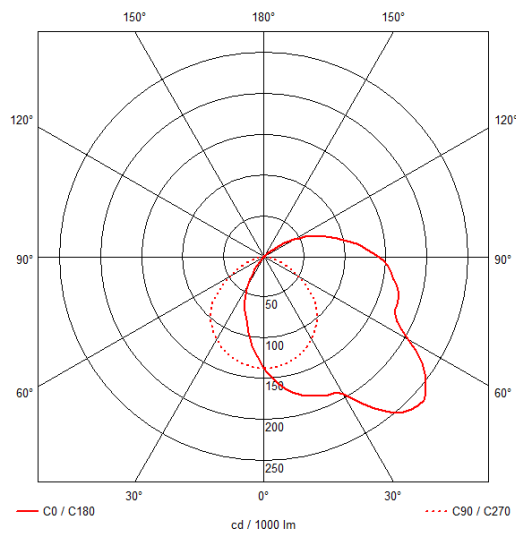
Φθορισμού 2x39W T16 G5

Διαστάσεις: 100 x 920 x 100 (mm)

Βάρος: 2,1 kg

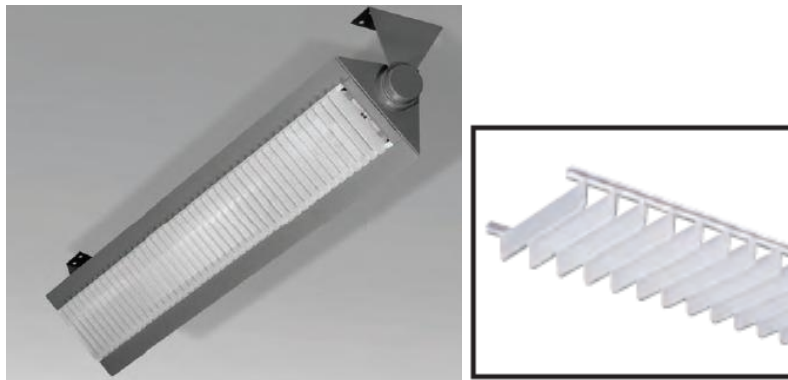


Εικόνα 46: Δίφωτο σώμα Τρίγωνο T16 G5, 3032, και παραβολική περσίδα πλαστική 900mm, 8921

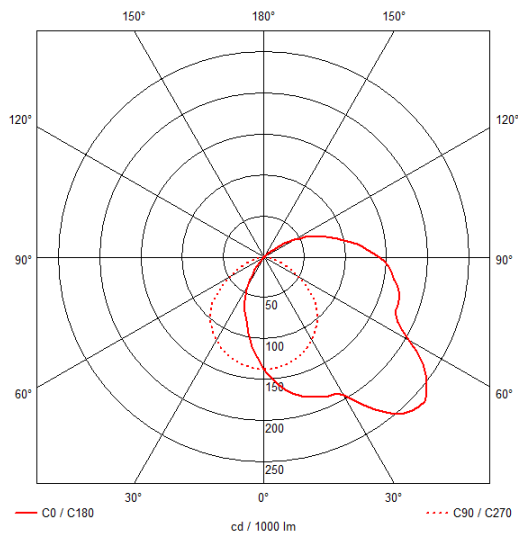


Εικόνα 47: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Τρίγωνο T16 G5, 3032

Εταιρεία: Γαλλής Α.Ε.Β.Ε.  
 Μοντέλο: Τρίγωνο T16 G5, 3011  
 Τύπος φωτιστικού: Μονόφωτο γραμμικό σύστημα επίτοιχο από διελασμένο αλουμίνιο βαμμένο ηλεκτροστατικά, με παραβολική περσίδα 8921 από πλαστικό  
 Τεχνικά χαρακτηριστικά: Φθορισμού 1x21W T16 G5  
 Διαστάσεις: 100 x 920 x 100 (mm)  
 Βάρος: 2,0 kg



Εικόνα 48: Μονόφωτο σώμα Τρίγωνο T16 G5, 3011, και παραβολική περσίδα πλαστική 900mm, 8921

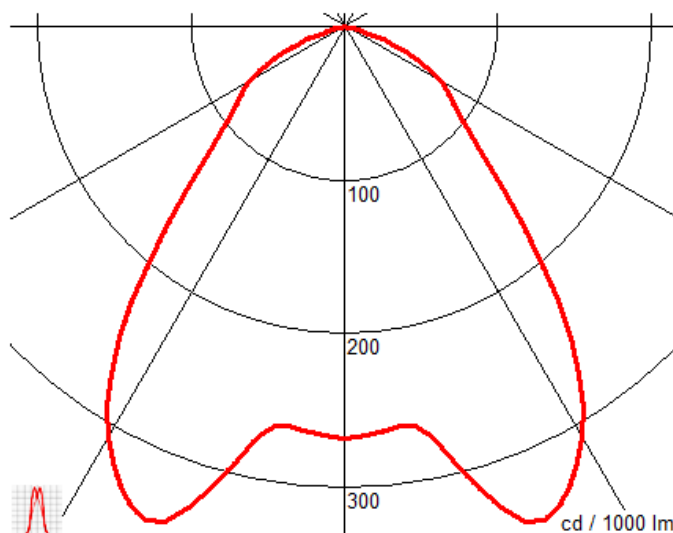


Εικόνα 49: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Τρίγωνο T16 G5, 3011

Εταιρεία: Lanzini Illuminazione  
Μοντέλο: Habana Refl. 680, 23767  
Τύπος φωτιστικού: Μονόφωτο σώμα κρεμαστό από ανοδευμένο αλουμίνιο υψηλής καθαρότητας, με διαχύτη 72704 από διαφανές γυαλί  
Τεχνικά χαρακτηριστικά: Μεταλλικών αλογονιδίων 1x400W ME E40  
Διάμετρος: 680 mm  
Ύψος: 550 mm



Εικόνα 50: Μονόφωτο σώμα Habana Refl. 680, 23767, και διαχύτης από διαφανές γυαλί διαμέτρου 680mm, 72704



Εικόνα 51: Πολικό διάγραμμα φωτιστικού Habana Refl. 680, 23767

Εταιρεία: Tridonic GmbH & Co. KG  
Μοντέλο: SMART LS II / SMART LS II Ip, Αισθητήρας φωτισμού

