



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**"Διαχείριση και Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Συστημάτων"**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΚΑΙ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ**  
**ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**  
**ΚΤΙΡΙΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ**



**Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή**

**ΜΟΣΧΟΣ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**Επιβλέπων**

**ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**  
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ & ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Αθήνα, 2022



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:** «Παραμετρική ανάλυση παραθύρων και συστημάτων σκίασης στην διείσδυση φυσικού φωτός και στην κατανάλωση ενέργειας κτιρίων εκπαίδευσης»

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ:** ΜΟΣΧΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ,  
ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:** 2022

## Σύνοψη

Στη σημερινή εποχή, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν δώσει στους ανθρώπους τη δυνατότητα να τους παρέχουν φωτισμό που παρέχει επαρκή οπτική άνεση για όλες τις εργασίες. Χειρίζεται το συντονισμό για να μεγιστοποιήσει την πιθανή οπτική άνεση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Από τη δεκαετία του 1990, έχει δοθεί μια αυξανόμενη εστίαση στην ενεργειακή απόδοση και στην υγεία και άνεση των εργαζομένων στο σχεδιασμό κτιρίων. Δεδομένου ότι η άνεση των εργαζομένων είναι βασική παράμετρος, η βελτίωση των συνθηκών άνεσης έχει γίνει ένα μέσο αύξησης της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας, στο γραφείο ή στην τάξη. Αυτό μας επιτρέπει να «χαλαρώνουμε» τις απαιτήσεις και έχει προκύψει η σημασία της προσαρμογής σε νέες μεθόδους ανάπτυξης προσαρμοστικών μοντέλων θερμικής άνεσης. Οι προσόψεις των κτιρίων θεωρούνται πλέον ως μηχανισμοί δυναμικής αλληλεπίδρασης παρά ως ασπίδες προστασίας από το εξωτερικό περιβάλλον. Η ανάπτυξη του συστήματος θα μειώσει σημαντικά την κατανάλωση φωτισμού και τα φορτία αιχμής το καλοκαίρι. Το τρέχον περιβάλλον σχεδιασμού για κτιριακές εγκαταστάσεις παρέχει ένα ποιοτικό εσωτερικό περιβάλλον με κύριο χαρακτηριστικό την ποσότητα φωτισμού. Η αύξηση του ποσοστού της περιμετρικής επιφάνειας με φυσικό φως στην κάτοψη είναι ανάγκη ευεξίας και εξοικονόμησης ενέργειας. Για την υλοποίησή του, βασικό ζητούμενο είναι το μέγεθος των ανοιγμάτων και τα συστήματα σκίασης και ανάκλασης που θα κατασκευαστούν. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα γυάλινων πάνελ με χαμηλούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας προσαρμόζει το ηλιακό κέρδος εποχιακά με τον σωστό χειρισμό του φυσικού φωτός. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται βασίζεται στο Daylight Factor, αλλά ο ιδανικός τρόπος για τον χρήστη και το περιβάλλον είναι η αρμονική συνεργασία της τεχνολογίας μας για τη βελτιστοποίηση του συστήματος κτιρίου για εξοικονόμηση ενέργειας μαζί με την άνεση του χρήστη του κτιρίου (συστήματα σκίασης, συστήματα φωτισμού). [1]

**Λέξεις κλειδιά:** DIALux, Φωτισμός, Εξοικονόμηση ενέργειας, Παράθυρα, Συστήματα σκιάσεων



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

***POST-GRADUATE THESIS:***      **Parametric analysis of windows and shading systems at daylight penetration and energy consumption of educational buildings**

***STUDENT:***                              **MOSCHOS A. KONSTANTINOS**

***SUPERVISOR:***                        **IOANNIDIS GEORGE, PROFESSOR, DEAN OF THE SCHOOL OF ENGINEERING**

***ACADEMIC YEAR:***                    **2022**

## **Summary**

In today's era, technological advancements have given to people the ability to provide them lighting that provides sufficient visual comfort for all tasks. It handles tuning to maximize potential visual comfort and energy savings. Since the 90s, there has been an increasing focus on energy efficiency and worker health and comfort in building design. Since the comfort of workers is a key parameter, improving comfort conditions has become a means of increasing efficiency and productivity in the office or in the classroom. This allows us to decrease the requirements and the importance of adapting to new methods of developing adaptive thermal comfort models has emerged. Building facades are now seen as mechanisms of dynamic interaction rather than shields of protection from the external environment. The development of the system will significantly reduce lighting consumption and peak loads in the summer. The current design environment for building facilities provides a quality indoor environment with the main characteristic being the amount of lighting. Increasing the percentage of the perimeter surface with natural light in the floor plan is a need for wellness and energy conservation. For its implementation, the main issue is the size of the openings and the shading and reflection systems that will be constructed. In addition, the availability of glass panels with low heat transfer coefficients adjusts solar gain seasonally by properly manipulating natural light. The methodology it's used is based on the Daylight Factor, but the ideal way for the user and the environment is the harmonious cooperation of our technology to optimize the building system for energy saving together with the comfort of the building user (shading systems, lighting systems).

**Keywords:** DIALux, Lighting, Energy Saving, Windows, Shade Systems



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Copyright © Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολής Μηχανικών, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

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 της 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολής Μηχανικών, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών.





# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΜΟΣΧΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ του ΑΡΙΣΤΕΙΔΗ, με αριθμό μητρώου 1805 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ & ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

ΜΟΣΧΟΣ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής στο τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών για το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών Διαχείρισης & Βελτιστοποίησης Ενεργειακών Συστημάτων εν έτη 2022.

Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη του καθηγητή μου, Λέκτορα Εφαρμογών του ΠΑΔΑ, Κου. Παναγιώτη Κονταζή. Θέλω να τον ευχαριστήσω για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου και Κοσμήτορα της Σχολής Μηχανικών Κο. Ιωαννίδη Γεώργιο για τις γνώσεις που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της προπτυχιακής εκπαίδευσης στο ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ και της μεταπτυχιακής εκπαίδευσης στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα του ΠΑΔΑ.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω του γονείς μου, Αριστείδη Κ. Μόσχο (ΠΛΟΙΑΡΧΟ ε.α. του ΠΟΛΕΜΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ) & Μαρία Α. Μπαλτσαβιά, οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι σήμερα.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2022

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΓΕΘΩΝ.....</b>   | <b>16</b> |
| 1.1 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑΣ .....  | 16        |
| <i>Φωτεινή ένταση (Luminous Intensity).....</i>                              | <i>16</i> |
| <i>Ένταση φωτισμού (Illuminance) .....</i>                                   | <i>17</i> |
| <i>Λαμπρότητα (Luminance).....</i>   | <i>17</i> |
| <i>Θερμοκρασία χρώματος (TC).....</i>  | <i>18</i> |
| <i>Δείκτης χρωματικής απόδοσης RA.....</i>                                   | <i>18</i> |
| 1.2 ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ .....   | 19        |
| 1.2.1 Τιμή έντασης φωτισμού .....  | 19        |
| 1.2.2 Παράγοντας φυσικού φωτισμού (Daylight Factor) .....                    | 19        |
| 1.2.3 Αυτονομία σε φυσικό φωτισμό (Daylight Autonomy).....                   | 19        |
| 1.2.4 UDI, Useful Daylight Illuminance .....                                 | 23        |
| 1.2.5 Daylighting dashboard .....  | 24        |
| <b>2. ΚΕΡΛΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ.....</b>             | <b>27</b> |
| 2.1 Η ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....                        | 27        |
| 2.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΕΑΣΗΣ.....  | 28        |
| 2.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ .....  | 29        |
| 2.4 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ.....   | 29        |
| 2.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ.....  | 30        |
| 2.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ .....   | 30        |
| <b>3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΚΙΑΣΕΩΝ &amp; ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ .....</b>                            | <b>34</b> |
| 3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ .....   | 34        |
| 3.2 ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ (ΚΑΘΕΤΑ/ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ).....  | 41        |
| 3.3 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ .....  | 51        |
| 3.4 ΣΚΙΑΣΗ.....  | 56        |
| 3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .....   | 66        |
| 3.7 ΡΑΦΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .....  | 67        |
| 3.8 ΠΕΡΣΙΔΕΣ.....  | 71        |
| 3.9 ΟΛΟΓΡΑΦΙΚΑ ΥΜΕΝΙΑ .....  | 77        |
| 3.10 ΗΛΙΟΣΤΑΤΕΣ.....   | 78        |
| <b>4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX.....</b>                            | <b>82</b> |
| 4.1 ΑΙΘΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗΣ .....  | 82        |
| 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΑΡΧΙΚΗΣ ΣΚΗΝΗΣ.....                           | 87        |
| 4.2.1 Καθαρός Ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού.....               | 87        |
| 4.2.2 Ημισυννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού.....     | 89        |
| 4.2.3 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού..... | 91        |
| 4.2.4 Καθαρός ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού .....    | 93        |





# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.5 Ημισυννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού .....     | 100        |
| 4.2.6 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού ..... | 107        |
| 4.2.7 Εσωτερική λειτουργία φωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό.....                        | 114        |
| 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΣΚΗΝΗΣ .....                                | 121        |
| 4.3.1 Καθαρός Ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού.....                          | 122        |
| 4.3.2 Ημισυννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού.....                | 124        |
| 4.3.3 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού.....            | 126        |
| 4.3.4 Καθαρός ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού .....               | 128        |
| 4.3.5 Ημισυννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού .....     | 135        |
| 4.3.6 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού ..... | 142        |
| 4.3.7 Εσωτερική λειτουργία φωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό.....                        | 148        |
| <b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>  | <b>149</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>152</b> |

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1 : Τυποποιημένες καμπύλες (CIE) φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού [1]  | 16 |
| Εικόνα 2 : Πολική κατανομή φωτεινής έντασης ανοιγμένη σε 1000 lm ροής των λαμπτήρων του φωτιστικού (cd/1klm) [1]  | 17 |
| Εικόνα 3: Παράδειγμα λαμπροτήτων με ίδια φωτεινή ροή για κάθε περίπτωση. [1]  | 17 |
| Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση υπολογισμού των συντελεστών φωτισμού. [1]  | 20 |
| Εικόνα 5: Ωριαία κατανομή επιπέδων φυσικού φωτισμού για σημεία κοντά και μακριά από το άνοιγμα (επί της επιφάνειας εργασίας). [1]   | 20 |
| Εικόνα 6: Από τη στιγμή που έχουν υπολογισθεί οι ωριαίες τιμές φωτισμού, είναι δυνατή η όποια στατιστική τους επεξεργασία. Για παράδειγμα στο συγκεκριμένο σχήμα μπορεί να υπολογισθεί το ποσοστό των ωρών με τιμές φωτισμού μεταξύ 500-2000 lux. [1] | 21 |
| Εικόνα 7: Εκτίμηση Αυτονομίας φωτισμού από ωριαίες τιμές φωτισμού σε κάποιο σημείο στο εσωτερικό χώρο.[1]   | 21 |
| Εικόνα 8 : Χωρική κατανομή στην επιφάνεια εργασίας τιμών DA500 lux για δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαστάσεων ανοιγμάτων (WFR=Window to Floor Ratio).[1]   | 22 |
| Εικόνα 9 : Κατανομή DA <sub>500</sub> lux για δύο προσανατολισμούς.[1]  | 22 |
| Εικόνα 10 : Τυπικό παράδειγμα χρήσης της χωρικής αυτονομίας φωτισμού (sDA).[1]  | 23 |
| Εικόνα 11 : Χωρική κατανομή τιμών UDI. Ενδιαφέρει να επιτυγχάνονται μεγάλα ποσοστά σε όλη την έκταση του χώρου.[1]  | 24 |
| Εικόνα 12 : Αναπαράσταση (ενδεικτική , όχι πραγματική ) που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επίδρασης του φυσικού φωτισμού.[1]   | 26 |
| Εικόνα 13 : Εκτίμηση βάθους ΖΦΦ κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]  | 34 |
| Εικόνα 14 : Εκτίμηση πλάτους ΖΦΦ κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]   | 35 |
| Εικόνα 15 : Καθορισμός κύριας και δευτερεύουσας ΖΦΦ.[1]   | 35 |
| Εικόνα 16 : Εκτίμηση ΖΦΦ από οριζόντια ανοίγματα κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]   | 36 |
| Εικόνα 17 : Εκτίμηση ΖΦΦ από οριζόντια ανοίγματα κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]   | 36 |
| Εικόνα 18 : Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193:2007.[1]  | 37 |
| Εικόνα 19 : Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193:2007.[1]  | 37 |
| Εικόνα 20 : Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193:2007.[1]  | 38 |
| Εικόνα 21 : Σχετική μεταβολή της επιφάνειας της ΖΦΦ σε σχέση με την τροποποίηση του ύψους πρεκιού (αριστερά) και του πλάτους του ανοίγματος (δεξιά).[1]   | 38 |
| Εικόνα 22 : Η αύξηση της ΖΦΦ σε σχέση με την έκταση της κάτοψης επηρεάζει από το σχήμα της. Γενικά επιμήκεις μορφές έχουν αυξημένα ποσοστά ΖΦΦ.[1]  | 39 |
| Εικόνα 23 : Η επίδραση του σχήματος της κάτοψης είναι καθοριστικής σημασίας για το μέγεθος της ΖΦΦ (καθώς επίσης και για το μήκος της περιμέτρου).[1]   | 40 |
| Εικόνα 24 : Επίδραση διαφορετικής γεωμετρίας ανοιγμάτων στην κατανομή του άμεσου ηλιακού φωτισμού.[1]   | 42 |
| Εικόνα 25 : Η θέση αλλά και σχήμα του ανοίγματος επηρεάζουν σημαντικά την κατανομή του φυσικού φωτισμού στο χώρο.[1]  | 43 |
| Εικόνα 26 : Η τροποποίηση της ποδιάς σε διαφανές στοιχείο επηρεάζει τη σκίαση αλλά δεν συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού.[1]  | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 27 : Σχετική μεταβολή μεγέθους ανοιγμάτων και συσχετισμός της με την αύξηση της μέσης τιμής του ΠΦΦ. Παρατηρείστε πόσο λίγο διαφέρουν οι τιμές του ΠΦΦ στις δύο τελευταίες περιπτώσεις.[1] .....                                     | 44 |
| Εικόνα 28 : Τυπικός χώρος για τον υπολογισμό.[1] .....  | 45 |
| Εικόνα 29 : «Κορεσμός» όσον αφορά την εξοικονόμηση από τον φυσικό φωτισμού (εννοείται στην συγκεκριμένη περίπτωση η εξοικονόμηση από τον περιορισμό της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροφωτισμού).[1] .....                               | 45 |
| Εικόνα 30 : Εκθετική μείωση των τιμών ΠΦΦ.[1].....  | 46 |
| Εικόνα 31 : Τροποποίηση κατανομής ΠΦΦ λόγω ύπαρξης σκίασης σε τυπικό γραφειακό χώρο.[1] .....   | 47 |
| Εικόνα 32 : Χρήση κεκλιμένης οροφής.[1] .....   | 48 |
| Εικόνα 33 : Δωμάτιο 4x6x2.8 m με άνοιγμα 2x1.5 και $T_{vis}=0.65$ , συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού. Μεταβολή της τιμής της έντασης φωτισμού στο κέντρο του δωματίου λόγω τροποποίησης των ανακλαστικότητων.[1] .....                          | 48 |
| Εικόνα 34 : Διαχωρισμός κάθετου ανοίγματος σε δύο επιμέρους με δυνατότητα διαφορετικής λειτουργίας.[1] .....  | 49 |
| Εικόνα 35 : Τοποθέτηση ανοιγμάτων οροφής με σκοπό την καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτισμού.[1] .....  | 50 |
| Εικόνα 36 : Ρύθμιση φυσικού φωτισμού με χρήση κινούμενων περσίδων ανάμεσα σε δύο φωτοπερατές (εξωτερική και εσωτερική) επιφάνειες.[1] .....   | 50 |
| Εικόνα 37 : Τεχνική διεύρυνσης της ζώνης εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού.[1] .....   | 51 |
| Εικόνα 38 : Ορισμός συντελεστή ηλιακών κερδών.[1] .....   | 52 |
| Εικόνα 39 : Ενδεικτική διαφοροποίηση της θερμοκρασίας των υαλοπινάκων ανάλογα με τον τύπο τους και την εποχή.[1].....   | 54 |
| Εικόνα 40 : Τυπικά χαρακτηριστικά έγχρωμων υαλοπινάκων.[1] .....  | 54 |
| Εικόνα 41 : Αν δεν υιοθετηθεί σύστημα ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών με χρήση αισθητήρα φωτισμού η αύξηση του συντελεστή ηλιακών κερδών οδηγεί μονοσήμαντα σε αύξηση της πρωτογενούς κατανάλωσης (αριστερό διάγραμμα). [1] ..... | 55 |
| Εικόνα 42 : Τροποποίηση της κατανομής λαμπρότητας στις επιφάνειες χώρου με διαφοροποίηση της κλίσης εσωτερικού συστήματος περσίδων.[1] .....  | 56 |
| Εικόνα 43 : Δημιουργία μοτίβων στην επιφάνεια εργασίας λόγω του συστήματος σκίασης.[1].....   | 57 |
| Εικόνα 44 : Απορρόφηση ηλ. ακτινοβολίας από το σύστημα σκίασης, αύξηση της θερμοκρασίας του και συνεπώς αύξηση στην εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από αυτό.[1] .....   | 58 |
| Εικόνα 45 : Η μείωση της κατανάλωσης από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού βασίστηκε σε τιμή φωτισμού σημείου στο κέντρο του δωματίου. Εξωτερικό σύστημα περσίδων.[1] .....  | 58 |
| Εικόνα 46 : Δημιουργία μάσκας σκίασης (σκίαση 100%) σε δύο περιπτώσεις συστημάτων σκίασης α) πρόβολος (επάνω) και πλευρικό (κάτω) σε άνοιγμα με νότιο προσανατολισμό.[1] .....  | 60 |
| Εικόνα 47 : Απλά συμπεράσματα από την εξέταση ηλιακού διαγράμματος.[1] .....  | 60 |
| Εικόνα 48 : Ορισμοί γωνιών αποκοπής άμεσης και αποδοχής διάχυτης ηλ. ακτινοβολίας. Αυτή η γεωμετρία επιτρέπει μια εποχική επιλεκτικότητα την οποία δεν εμφανίζουν σκιάστρα όπως π.χ. υφασμάτινα ρολλά.[1].....                              | 61 |
| Εικόνα 49 : Διαπερατότητα άμεσου ηλιακού φωτισμού από διαφορετικά συστήματα σκίασης. Παρατηρήστε το τελευταίο όπου του οποίου η γωνία αποκοπής είναι σχετικά μικρή.[1] .....  | 62 |
| Εικόνα 50 : Διαστασιολόγηση σταθερών οριζόντιων συστημάτων σκίασης για ανοίγματα νότιου προσανατολισμού σε γεωγραφικά πλάτη 360, 400 και ωράριο 8:00-16:00.[1] .....  | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 51 : Με τη βοήθεια των γωνιών που παρουσιάζονται στο σχήμα υπολογίζεται ο συντελεστής σκίασης στον ΚΕΝΑΚ.[1] .....   | 63 |
| Εικόνα 52 : Καθορισμός του πλάτους προβόλου μέσω καθορισμού της γωνίας $\theta$ για νότια ανοίγματα (+/- 200).[1] .....   | 64 |
| Εικόνα 53 : Σε ανατολικά-δυτικά ανοίγματα τα σταθερά κάθετα σκίαστρα σχηματίζουν γωνία αποκοπής $\theta$ για γεωγραφικό πλάτος 360 & 400 για ωράριο λειτουργίας 8:00-16:00.[1] .....  | 64 |
| Εικόνα 54 : Ιδιότητες τυπικών υαλοπινάκων.[1] .....   | 66 |
| Εικόνα 55 : Ιδιότητες τυπικών υαλοπινάκων.[1] .....   | 67 |
| Εικόνα 56 : Παρατηρήστε την ανάκλαση στην οροφή.[1] .....   | 67 |
| Εικόνα 57 : Χαρακτηριστικά μεγέθη που επηρεάζουν την απόδοση του ραφιού φωτισμού.[1] .....  | 68 |
| Εικόνα 58 : Κλίση ραφιού φωτισμού.[1] .....   | 69 |
| Εικόνα 59 : Σχηματική απεικόνιση VALPRA (Variable Area Light Reflecting Assembly).[1] .....   | 70 |
| Εικόνα 60 : Ανειδωλικό ράφι φωτισμού.[1] .....  | 70 |
| Εικόνα 61 : Ενδιαφέρουσα μίξη δυο συστημάτων. Πρόβολος για σκίαση άλλα και ταυτόχρονη μεταφορά φωτισμού στην οροφή.[1] .....  | 71 |
| Εικόνα 62 : Ο κατάλληλος σχεδιασμός του προφίλ ανακλαστικών περσίδων μπορεί να μεταβάλλει τη διαπερατότητα τους στον άμεσο ηλιακό φωτισμό. Στο σχήμα, χρήση ιχνηλασίας ακτίνας σε παραβολικό προφίλ περσίδας.[1] .....  | 72 |
| Εικόνα 63 : Διαχείριση ηλιακής ακτινοβολίας από το σύστημα σκίασης/φυσικού φωτισμού.[1] ....  | 72 |
| Εικόνα 64 : Υπολογισμός κατανομής λαμπρότητας λόγω πρόσπτωσης άμεσου φωτισμού. Γωνία πρόσπτωσης 450. Ανάλυση με TRACE-PRO. Τέτοιου είδους λογισμικά επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση του σχήματος της τομής των περσίδων ώστε να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις.[1] ..... | 73 |
| Εικόνα 65 : Αντί της χρήσης πολύπλοκου συστήματος σκίασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο απλούστερο αλλά με «καινοτομικό» τρόπο. Στο σχήμα ένα απλό σύστημα περσίδων διαχωρίζεται σε δύο μέρη επιτρέποντας σκίαση αλλά και κάποια παροχή φωτισμού.[1] .....                 | 74 |
| Εικόνα 66 : Τομή περσίδας συστήματος RetroFlex (επάνω) και RetroLux (κάτω) από την Koester LichtPlanung.[1] .....   | 75 |
| Εικόνα 67: Αναπαράσταση λειτουργίας συστήματος OKASOLAR W. Η γεωμετρία του μπορεί να τροποποιηθεί (μείωση απόστασης ανάμεσα στις περσίδες). Η διαπερατότητα στο ορατό κυμαίνεται από 4-57% ενώ ο συντελεστής ηλιακών κερδών με υαλοπίνακα low-e από 17-45%.[1] .....          | 75 |
| Εικόνα 68 : Αναπαράσταση λειτουργίας συστήματος OKASOLAR F. Η διαφοροποίηση του σχεδιασμού των ανακλαστικών περσίδων επιτρέπει τον διαχωρισμό της λειτουργίας των πρόσοψης σε τμήματα.[1] .....   | 76 |
| Εικόνα 69 : Σταθερό εσωτερικό σύστημα σκίασης με δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας προς της οροφή. Σύστημα LightLouver.[1] .....  | 76 |
| Εικόνα 70 : Λειτουργία συστήματος Micro Sun Shielding Louver.[1] .....  | 77 |
| Εικόνα 71 : Συνθετικές εικόνες με την κατανομή λαμπρότητας σε δωμάτιο νότιου προσανατολισμού στην Αθήνα. Ολογραφικό υμένιο έχει τοποθετηθεί στον φεγγίτη. Προφανώς η αλλαγή θέσης του ήλιου τροποποιεί και την κατανομή λαμπρότητας.[1] .....                                 | 77 |
| Εικόνα 72 : Λειτουργία ηλιοστάτη.[1] .....  | 78 |
| Εικόνα 73 : Μεταβολή στο ποσοστό που μπορεί να εκμεταλλευθεί ο δευτερεύων ανακλαστήρας σε σχέση με την απόσταση του από τον πρωτεύοντα.[1] .....  | 79 |
| Εικόνα 74 : Ενδιαφέρουσα προσέγγιση για μεταφορά φυσικού φωτισμού από την βορεινή πρόσοψη.[1] .....   | 80 |

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 75 : Αρχή λειτουργίας συστήματος μεταφοράς άμεσου ηλιακού φωτισμού.[1].....  | 80 |
| Εικόνα 76 : Χρήση σταθερού ανακλαστήρα για παροχή φωτισμού σε βορεινά ανοίγματα.[1].....  | 81 |
| Εικόνα 77 : Αρχή λειτουργίας του Suncentral System (Χρήση εικόνας μετά από άδεια).[1].....  | 81 |
| Εικόνα 78 : Αίθουσα Μετρήσεων - Όψη 1 .....   | 82 |
| Εικόνα 79 : Αίθουσα Μετρήσεων – Όψη 2 .....   | 82 |
| Εικόνα 80 : Μονογραμμικό σχέδιο αίθουσας μελέτης. ....  | 83 |
| Εικόνα 81 : Δεδομένα φωτιστικών μελέτης DIALux με διαστάσεις 595mmx595mmx29mm .....   | 84 |
| Εικόνα 82 : Διάγραμμα UGR (SHR: 0.25) .....   | 84 |
| Εικόνα 83 : Χωροταξική εγκατάσταση φωτιστικών στην αίθουσα μελέτης. ....  | 85 |
| Εικόνα 84 : Διαστασιολόγηση Εγκατάστασης φωτιστικών στην αίθουσα μελέτης. ....  | 86 |
| Εικόνα 85 : Ποσοστό φωτός ημέρας από καθαρό ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.<br>.....   | 87 |
| Εικόνα 86 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux στις<br>επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7 .....                    | 88 |
| Εικόνα 87 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux στις<br>επιφάνειες CG4 .....  | 88 |
| Εικόνα 88 : Ποσοστό φωτός ημέρας από ημισυννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού<br>φωτισμού.....   | 89 |
| Εικόνα 89 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση<br>DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7.....           | 90 |
| Εικόνα 90 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση<br>DIALux στις επιφάνειες CG4 .....                                | 90 |
| Εικόνα 91 : Ποσοστό φωτός ημέρας από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία<br>εσωτερικού φωτισμού.....  | 91 |
| Εικόνα 92 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση<br>DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7.....        | 92 |
| Εικόνα 93 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση<br>DIALux στις επιφάνειες CG4 .....                             | 92 |
| Εικόνα 94 : Ποσοστό φωτός από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού<br>φωτισμού.....  | 93 |
| Εικόνα 95 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1.....   | 94 |
| Εικόνα 96 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2.....   | 95 |
| Εικόνα 97 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3 .....  | 96 |
| Εικόνα 98 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4 .....  | 96 |
| Εικόνα 99 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5 .....  | 97 |
| Εικόνα 100 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6 ..... | 98 |
| Εικόνα 101 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό<br>ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7 ..... | 99 |



|   |     |
|---|-----|
| Εικόνα 125 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7 .....  | 120 |
| Εικόνα 126 : Αίθουσα εναλλακτικής μορφής με "Ράφι φωτισμού" .....   | 121 |
| Εικόνα 127 : Ποσοστό φωτός ημέρας από καθαρό ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού. ....  | 122 |
| Εικόνα 128 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7 .....                            | 123 |
| Εικόνα 129 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4 .....  | 123 |
| Εικόνα 130 : Ποσοστό φωτός ημέρας από ημισυννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.....   | 124 |
| Εικόνα 131 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7.....                   | 125 |
| Εικόνα 132 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4 .....  | 125 |
| Εικόνα 133 : Ποσοστό φωτός ημέρας από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.....  | 126 |
| Εικόνα 134 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7.....                   | 127 |
| Εικόνα 135 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4 .....  | 127 |
| Εικόνα 136 : Ποσοστό φωτός από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.....  | 128 |
| Εικόνα 137 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1 .....          | 129 |
| Εικόνα 138 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2 .....          | 130 |
| Εικόνα 139 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3 .....          | 131 |
| Εικόνα 140 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4 .....          | 131 |
| Εικόνα 141 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5 .....          | 132 |
| Εικόνα 142 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6 .....          | 133 |
| Εικόνα 143 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7 .....          | 134 |
| Εικόνα 144 : Ποσοστό φωτός από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.....  | 135 |
| Εικόνα 145 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1..... | 136 |
| Εικόνα 146 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2..... | 137 |
| Εικόνα 147 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3..... | 138 |

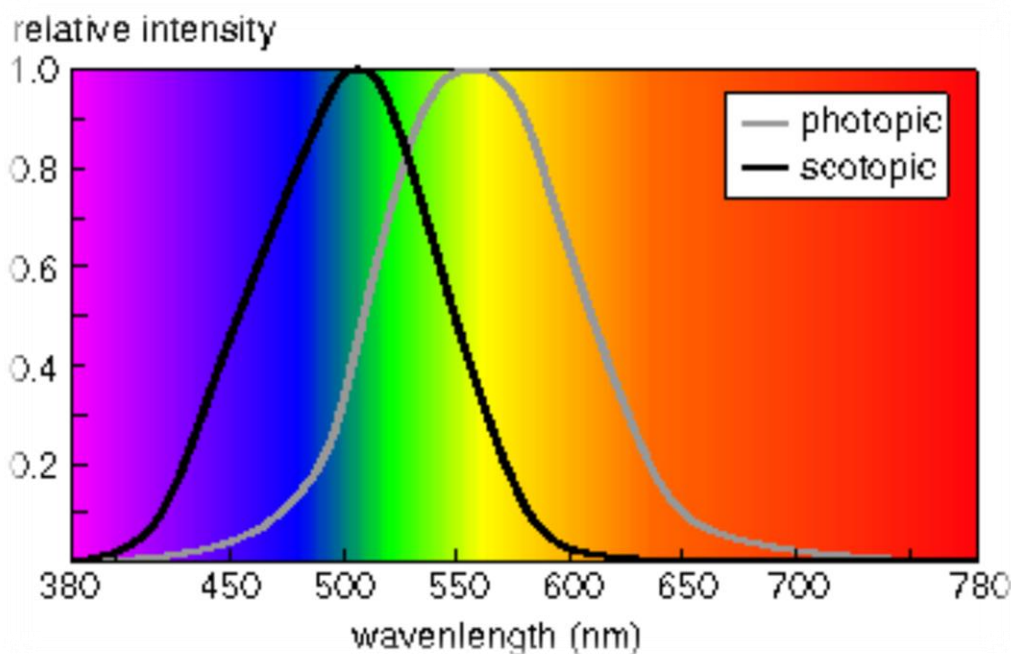
|  |     |
|--|-----|
| Εικόνα 148 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4.....    | 138 |
| Εικόνα 149 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5.....    | 139 |
| Εικόνα 150 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6.....    | 140 |
| Εικόνα 151 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7.....    | 141 |
| Εικόνα 152 : Ποσοστό φωτός από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.....  | 142 |
| Εικόνα 153 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1..... | 143 |
| Εικόνα 154 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2..... | 144 |
| Εικόνα 155 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3..... | 145 |
| Εικόνα 156 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4..... | 145 |
| Εικόνα 157 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5..... | 146 |
| Εικόνα 158 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6..... | 147 |
| Εικόνα 159 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7..... | 148 |
| Εικόνα 160 : Εξοικονόμηση ενέργειας με χρησιμοποίηση ρύθμισης στάθμης φωτισμού (dimming) .....   | 149 |
| Εικόνα 161 : Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού [5] .....   | 150 |
| Εικόνα 162 : Κανονικοποιημένη καταναλισκόμενη ισχύς [5].....   | 150 |



## 1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΓΕΘΩΝ

### 1.1 Βασικά μεγέθη φωτομετρίας

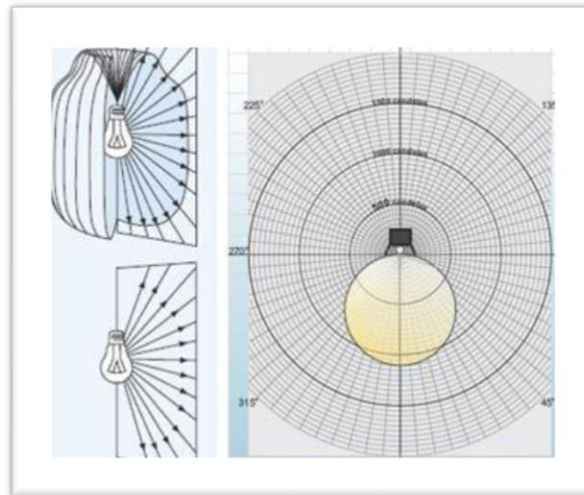
Φωτεινή ροή (Luminous Flux) ορίζεται ως η ποσότητα φωτεινής ενέργειας που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή ανά μονάδα χρόνου, μετρούμενη σε lumen (lm).



Εικόνα 1 : Τυποποιημένες καμπύλες (CIE) φασματικής ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού [1]

Φωτεινή ένταση (Luminous Intensity) ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας της φωτεινής ροής που εκπέμπει η πηγή σε μια κατεύθυνση, προς την στερεά γωνία εντός της οποίας εκπέμπεται η φωτεινή ροή και υπολογίζεται σε Καντέλες.

$$I = d\Phi/d\Omega \text{ [1cd=lm/sr]}$$



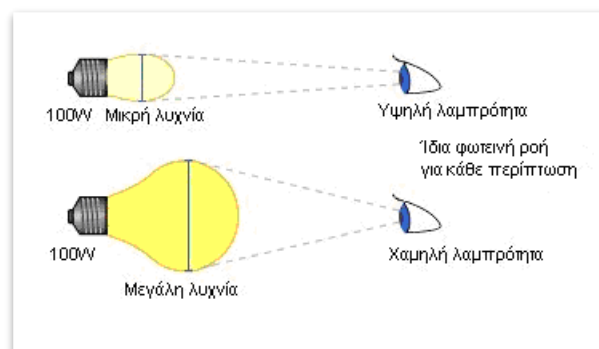
Εικόνα 2 : Πολική κατανομή φωτεινής έντασης ανοιγμένη σε 1000 lm ροής των λαμπτήρων του φωτιστικού (cd/klm) [1]

Ένταση φωτισμού (Illuminance) είναι η στάθμη φωτισμού σε μια φωτιζόμενη επιφάνεια και ορίζεται ως ο λόγος της προσπίπτουσας φωτεινής ροής κάθετα σε επιφάνεια προς το εμβαδόν επιφάνειας.

$$E = d\Phi/dA \text{ [1lux=1lm/m}^2\text{]}$$

Λαμπρότητα (Luminance) ορίζεται ως ο λόγος της φωτεινής έντασης στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδόν A της επιφάνειας της φωτεινής πηγής (αυτόφωτης ή ετερόφωτης) όπως φαίνεται αυτή στον παρατηρητή

$$L = I/A$$



Εικόνα 3: Παράδειγμα λαμπροτήτων με ίδια φωτεινή ροή για κάθε περίπτωση. [1]



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Θερμοκρασία χρώματος (TC) ορίζεται ως το μέτρο του χρώματος των πηγών φωτός και εκφράζεται σε βαθμούς Kelvin (K). Όταν βρεθεί το μαύρο σώμα του MaxPlanck, θα παράγει φως του ίδιου χρώματος με την πηγή φωτός.

- $T_c \leq 3300 \text{ K} \rightarrow$  Θερμή Απόχρωση
- $3300 \text{ K} < T_c < 5300 \text{ K} \rightarrow$  Ουδέτερη Απόχρωση
- $T_c \geq 5300 \text{ K} \rightarrow$  Ψυχρή Απόχρωση

Δείκτης χρωματικής απόδοσης RA υποδεικνύει την ποιότητα της αναπαραγωγής χρώματος από την πηγή φωτός. [2] Εάν οι γενικές τιμές για ένα προϊόν εμπίπτουν στο εύρος 80 έως 90, το προϊόν έχει συνήθως καλές ικανότητες απόδοσης χρωμάτων. Το φως που διέρχεται από πολύ χρωματισμένους υαλοπίνακες με χαμηλή διαπερατότητα δεν μπορεί να δείξει καλό δείκτη απόδοσης χρωμάτων, πράγμα που σημαίνει ότι η χρήση της τεχνολογίας LED κατέστησε απαραίτητη την πραγματοποίηση τροποποιήσεων σε αυτόν τον δείκτη. [1]

## 1.2 Φυσικός φωτισμός

### 1.2.1 Τιμή έντασης φωτισμού

Εξαρτάται ανάλογα με την δραστηριότητα ενώ η μέτρηση του πραγματοποιείται στην επιφάνεια εργασίας ή σε επιλεγμένα σημεία της εκάστοτε μελέτης. [1]

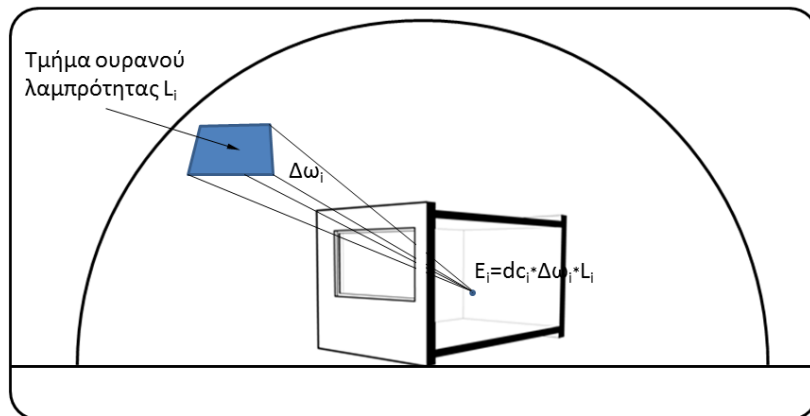
### 1.2.2 Παράγοντας φυσικού φωτισμού (Daylight Factor)

Ορίζεται ως η αναλογία της τιμής του φωτισμού εντός του χώρου προς την αντίστοιχη τιμή του οριζόντιου φωτισμού έξω, με την προϋπόθεση ότι ο ουρανός καλύπτεται πλήρως από σύννεφα και φυσικά χωρίς σημαντικά εμπόδια που μειώνουν την τιμή του εξωτερικού φωτισμού. Λόγω της αζιμουθιακής συμμετρίας της κατανομής φωτεινότητας στον ουρανό, οι τιμές ΠΦΦ δεν εξαρτώνται από τον προσανατολισμό του χώρου καθώς και από τον χρόνο. Το πρότυπο EN 15193:2007 «Ενεργειακή απόδοση κτιρίων» καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Για κτίρια με τιμή ΠΦΦ 2% ή περισσότερο, η συμβολή του φυσικού φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι μέτρια ή σημαντική. Για τους περισσότερους χώρους γραφείων, η τυπική τιμή φωτισμού ημέρας είναι 2%. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια τιμή όπως το 2 τοις εκατό του PFF δεν ισοδυναμεί πάντα με τα ίδια επίπεδα φωτισμού σε εσωτερικούς χώρους, καθώς οι εξωτερικές συνθήκες μπορεί να διαφέρουν. Δηλαδή, παρατηρούνται διαφορετικές τιμές φωτός. Η χρήση του φυσικού φωτισμού είναι διαφορετική σε χώρους κατοικίας (ευεξία, υγιεινή κυρίως) από αυτούς της εργασίας (ικανότητα εκτέλεσης εργασίας, εξοικονόμηση ενέργειας) συνεπώς η ελάχιστη τιμή κάποιου δείκτη που αφορά φυσικό φωτισμό πρέπει να γίνεται με προσοχή και προφανώς σε συμφωνία με τα τοπικά κλιματικά δεδομένα. Η ταξινόμηση βασίζεται σε δύο τιμές ΠΦΦ, η μία από τις οποίες πρέπει να επιτευχθεί στο 50% επιφάνεια εργασίας (0,8 m) για το 50% του χρόνου (δηλαδή ~4380 ώρες ετησίως) και η δεύτερη πρέπει να επιτευχθεί στο 100% επιφάνεια εργασίας πάλι το 50% του χρόνου. Για την Αθήνα, το προαπαιτούμενο (πρώτης τάξης) ικανοποιείται όταν επιτυγχάνονται τιμές ΠΦΦ > 1,5% στο 50% της περιοχής και ταυτόχρονα τιμές > 0. Το 5% επιτυγχάνεται στο 100% της περιοχής. Για τη δεύτερη κατηγορία οι τιμές είναι 3% και 2,6% και 1,5% αντίστοιχα. [1]

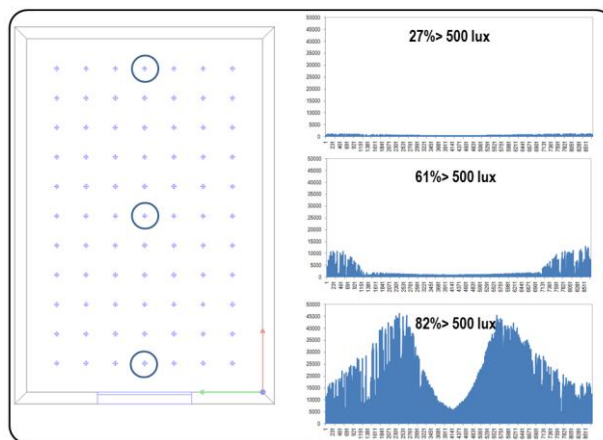
### 1.2.3 Αυτονομία σε φυσικό φωτισμό (Daylight Autonomy)

Μπορεί εύκολα να υπολογίσει τα επίπεδα φωτισμού σε τρισδιάστατα μοντέλα κτιρίων σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή, όπως το DIALux. Βασίζεται σε τυπικά μετεωρολογικά έτη (μοντελοποίηση φωτός ημέρας με βάση το κλίμα) και σε διάφορους τύπους ουρανού και στην παρουσία του ήλιου χρησιμοποιώντας μια βάση δεδομένων για κάθε περιοχή. Χρησιμοποιώντας

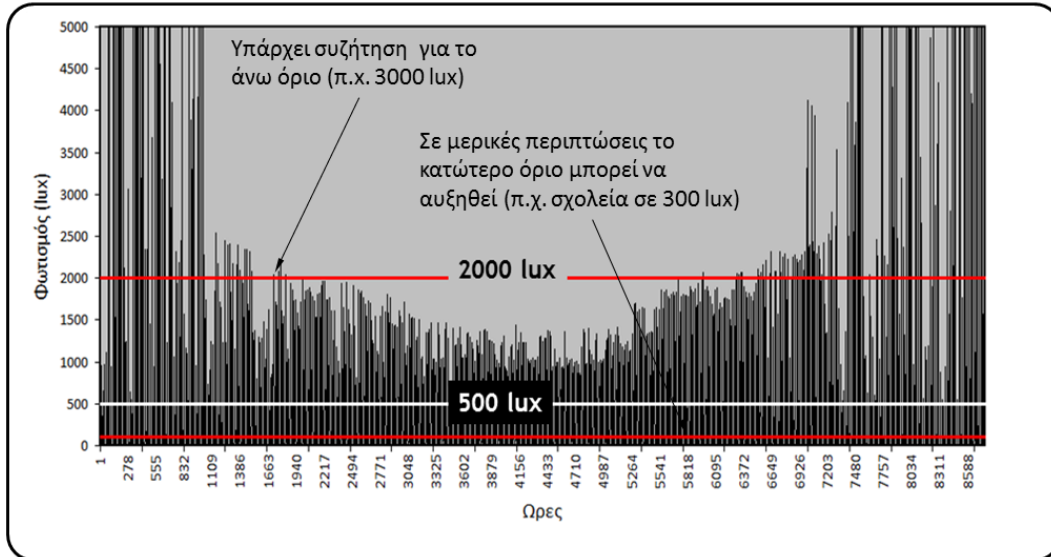
μια μέθοδο με ηλιακό συντελεστή, μπορεί να υπολογιστεί ανά ώρα, επιταχύνοντας τους χρονοβόρους υπολογισμούς εσωτερικής ανάκλασης. [1]



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση υπολογισμού των συντελεστών φωτισμού. [1]

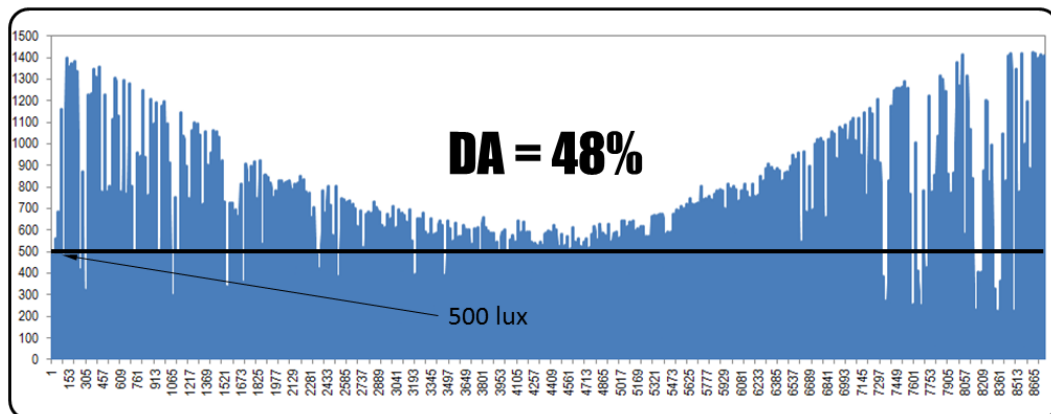


Εικόνα 5: Ωριαία κατανομή επιπέδων φυσικού φωτισμού για σημεία κοντά και μακριά από το άνοιγμα (επί της επιφάνειας εργασίας). [1]



Εικόνα 6: Από τη στιγμή που έχουν υπολογισθεί οι ωριαίες τιμές φωτισμού, είναι δυνατή η όποια στατιστική τους επεξεργασία. Για παράδειγμα στο συγκεκριμένο σχήμα μπορεί να υπολογισθεί το ποσοστό των ωρών με τιμές φωτισμού μεταξύ 500-2000 lux. [1]

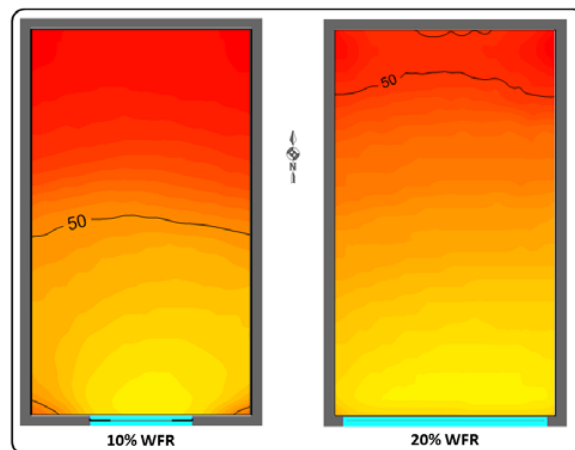
Η αυτονομία φυσικού φωτισμού (**DA, Daylight Autonomy**) είναι ένας τέτοιος δείκτης. Ορίζεται ως το ποσοστό των ωρών ενός έτους όταν η τιμή της φωτεινότητας σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου υπερβαίνει κάποια υπολογισμένη τιμή (για παράδειγμα, 500 lux), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η τιμή του DA επηρεάζεται προφανώς και από τις ώρες λειτουργίας. [1]



Εικόνα 7: Εκτίμηση Αυτονομίας φωτισμού από ωριαίες τιμές φωτισμού σε κάποιο σημείο στο εσωτερικό χώρο.[1]

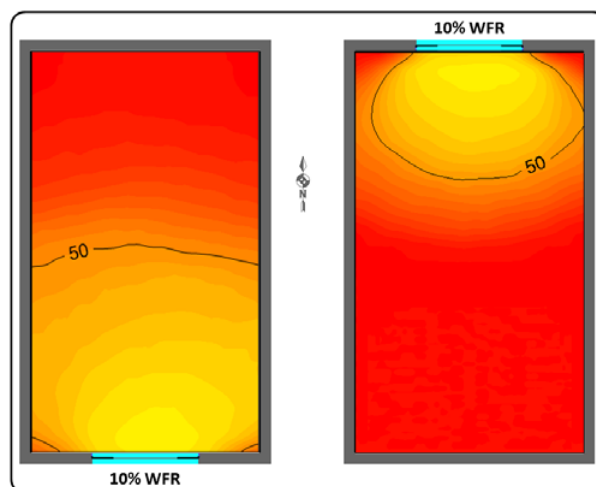
Υπάρχει μια διαφορετική μορφή DA, γνωστή ως cDA. Για παράδειγμα, εάν η τιμή φωτισμού που απαιτείται από το σχέδιο είναι 500 lux και το υπό εξέταση σημείο είναι 250 lux, τότε

$DA=0$  ή  $cDA=250/500=0,5$ . Λαμβάνεται επίσης υπόψη το ποσοστό που πρέπει να συμπληρωθεί. Έτσι, το παρακάτω σχήμα δείχνει την κατανομή των τιμών αυτονομίας φωτισμού (τιμή αναφοράς 500 lux) σε έναν τυπικό χώρο (4x7x2).8 m) για δύο τοις εκατό των ανοιγμάτων, 10% και 20% στο δάπεδο (αναλογία παραθύρου προς δάπεδο, WFR ) με διαπερατότητα τζαμιού 0,65. [1]



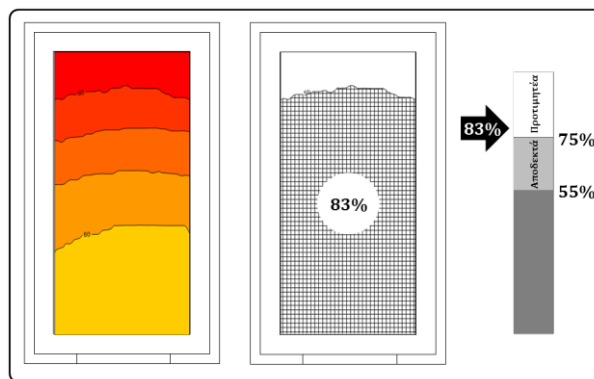
Εικόνα 8 : Χωρική κατανομή στην επιφάνεια εργασίας τιμών  $DA_{500 lux}$  για δύο διαφορετικές περιπτώσεις διαστάσεων ανοιγμάτων ( $WFR=Window\ to\ Floor\ Ratio$ ).[1]

Παρατηρείστε το γεγονός της επίδρασης του μεγέθους του ανοίγματος. Η χρήση του  $cDA$  είναι σαφώς πιο ακριβής σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας. Η αυτονομία φωτισμού για μια περιοχή καθορίζεται από τα επίπεδα φωτισμού σε αυτήν την περιοχή και το παρακάτω σχήμα δείχνει τη διακύμανση των επιπέδων φωτισμού για δύο προσανατολισμούς. [1]



Εικόνα 9 : Κατανομή  $DA_{500 lux}$  για δύο προσανατολισμούς.[1]

Μια δυσκολία με τη χρήση των τιμών DA (ή cDA) είναι ότι εξαρτώνται από τη θέση του υπολογισμού. Αναπτύχθηκε λοιπόν ένας δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της επάρκειας του φυσικού φωτισμού σε έναν δεδομένο χώρο. Ονομάζεται Spatial Daylight Autonomy (sDA), ορίζεται ως το ποσοστό της υπό εξέταση επιφάνειας. [1]



Εικόνα 10 : Τυπικό παράδειγμα χρήσης της χωρικής αυτονομίας φωτισμού (sDA).[1]

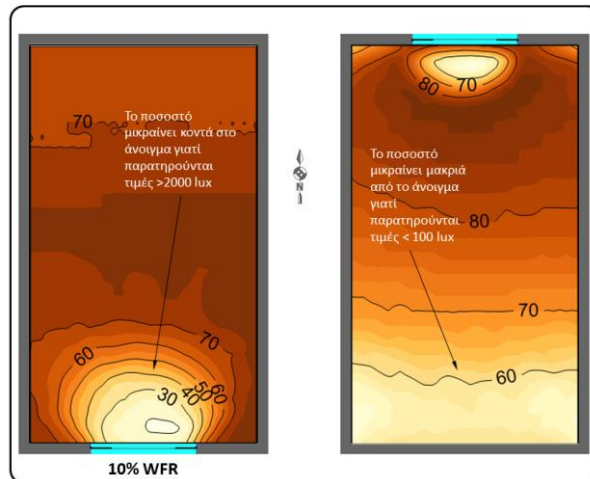
Σε περιπτώσεις που εξετάζεται η αυτονομία φωτισμού, το κατώτερο όριο είναι συνήθως 300 ή 500 lux. Ωστόσο, είναι ενδιαφέρον να εισαγάγουμε ένα ανώτερο όριο, που ονομάζεται μέγιστη αυτονομία φωτός της ημέρας, καθώς αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να υποδείξει την αντανάκλαση ή τα αυξημένα ηλιακά κέρδη. Μια παραλλαγή των DA είναι και το ποσοστό κορεσμού από τον φυσικό φωτισμό (Daylight Saturation Percentage, DSP). Χρησιμοποιείται σαν κριτήριο σχεδιασμού αιθουσών σχολείων από την Collaborative for High Performance Schools (CHPS, [www.chps.net](http://www.chps.net)) και ορίζεται ως εξής :

$$DSP = cDA_{430 \text{ lux}} - mDA_{4300 \text{ lux}}$$

## 1.2.4 UDI, Useful Daylight Illuminance

Παράγεται εφαρμόζοντας την ίδια στατιστική επεξεργασία σε ωριαίες τιμές υπολογίζοντας το ποσοστό των ωρών με φως <100 lux, διάστημα 100-2000 lux και διάστημα >2000 lux. Η μέθοδος για τον διαχωρισμό του σκοπού είναι η χρήση τιμών στο διάστημα 100-2000 lux (χρήσιμο). Τιμές πάνω από 2000 lux είναι πιθανό να οδηγήσουν σε συνθήκες θάμβωσης. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την κατανομή (στην επιφάνεια εργασίας) του UDI 100-2000 για ένα δωμάτιο (4 x 7 x 2,8 m) με νότια και βόρεια έκθεση (10% WFR,  $T_{vis}=0,6$ ).





Εικόνα 11 : Χωρική κατανομή τιμών UDI. Ενδιαφέρει να επιτυγχάνονται μεγάλα ποσοστά σε όλη την έκταση του χώρου.[1]

### 1.2.5 Daylighting dashboard

Είναι ένα σύστημα που εξετάζει οκτώ διαφορετικές παραμέτρους που σχετίζονται με τον φυσικό φωτισμό στα αρχικά στάδια σχεδιασμού:

α) Η επάρκεια φωτισμού.

Εκτίμηση της μέσης τιμής φωτισμού στο επίπεδο εργασίας και σύγκρισή της με μια ελάχιστη τιμή ( η ελάχιστη που απαιτείται από τη δραστηριότητα) και μια μέγιστη. Σύμφωνα με το πρότυπο IEQ 8.1, LEED 2009, επιλέχθηκε μέγιστη τιμή 500 lux.

β) Κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους του εξεταζόμενου χώρου με φυσικό φωτισμό.

Εκτίμηση του ποσοστού της επιφάνειας εργασίας με τιμή φωτισμού μεγαλύτερη από την ελάχιστη.

γ) Έλεγχο άμεσου φωτισμού και διαχείριση διάχυτου.

Το ποσοστό των σημείων μέτρησης όπου ο φωτισμός είναι μεγαλύτερος από τον άμεσο φωτισμό που οφείλεται στον ήλιο. Ανά εποχή προφανώς εκτιμάται και διαφορετική τιμή για τον άμεσο φωτισμό.



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

δ) Εξοικονόμηση ενέργειας.

Υπολογίζεται η αυτονομία φυσικού φωτισμού

ε) Επίδραση στο κερκαδιανό ρυθμό.

Δείκτης με τιμές από 0-24 με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη ο συνδυασμός τιμής φωτισμού, φασματικής σύστασης και διάρκειας.

στ) Μέγεθος των ανοιγμάτων.

Εκτίμηση του λόγου Επιφάνεια Ανοιγμάτων / Επιφάνεια δαπέδου

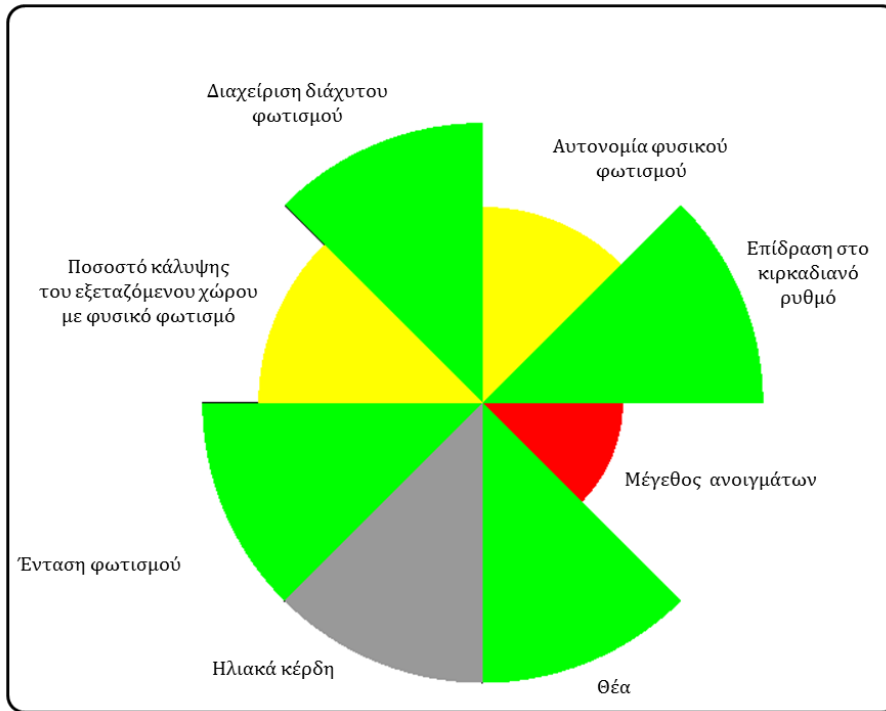
ζ) Θέα

Οπτική επαφή με ουρανό ή/και έδαφος

η) Ηλιακά κέρδη

Εκτίμηση της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο δια το εμβαδό του χώρου ( $W/m^2/ημέρα$ ).

Για κάθε μια από τις παραπάνω παραμέτρους χρησιμοποιείται ένας δείκτης. Οι υπολογισμοί για αυτούς τους δείκτες πραγματοποιούνται στην επιφάνεια εργασίας (0,8 m από το πάτωμα) για αίθριο και συννεφιασμένο ουρανό σε επιλεγμένες ώρες και ημέρες που ταιριάζουν με τον τύπο και τη χρήση του χώρου. [1]



Εικόνα 12 : Αναπαράσταση (ενδεικτική , όχι πραγματική ) που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επίδρασης του φυσικού φωτισμού.[1]

## 2. ΚΕΡΔΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

### 2.1 Η πολυπλοκότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος

Αυτή η μελέτη των δημοτικών τάξεων στην Ενιαία Σχολική Περιοχή του Φρέσνο επιχειρεί να ξεδιαλύνει τις πολλές πολυπλοκότητες στο σχεδιασμό του σχολείου. Δεν εστιάζει μόνο στο φως της ημέρας, αλλά προσπαθεί επίσης να κατανοήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ πολλαπλών περιβαλλοντικών θεμάτων εσωτερικών χώρων, όπως η ποιότητα φωτισμού, η θερμική άνεση, ο αερισμός και η ηχομόνωση.

Αυτά τα ζητήματα είναι ξεκάθαρα αλληλένδετα στην τάξη του Φρέσνο και οι δάσκαλοι συχνά πρέπει να επιλέξουν να βελτιώσουν μια κατάσταση σε βάρος μιας άλλης. Η έρευνά δείχνει ότι οι τάξεις με χαμηλή θερμική άνεση, κακή ποιότητα αέρα και θορυβώδεις συνθήκες είναι πολύ δύσκολο για τους δασκάλους να εργαστούν.

Τα παράθυρα είναι ίσως μια από τις πιο σύνθετες πτυχές ενός περιβάλλοντος τάξης. Μπορούν να παρέχουν ένα δωμάτιο με φυσικό φως, θέα, αερισμό και έναν αγωγό επικοινωνίας με τον έξω κόσμο. Επιπλέον, μπορεί να είναι πηγή ενόχλησης λόγω θερμικών θερμοκρασιών, λάμψης, θορύβου και περισπασμούς.

Σε προηγούμενες μελέτες, προσπαθήσαμε να ελέγξουμε την περίπλοκη φύση των παραθύρων, συμπεριλαμβάνοντας χώρους με κορυφαίο φωτισμό στη μελέτη που θα εισήγαγαν «καθαρό» φως της ημέρας σε ένα δωμάτιο χωρίς όλα τα ζητήματα θέασης, απόσπασης της προσοχής και επικοινωνίας που παρουσιάζουν τα παράθυρα. Σε αυτή τη μελέτη, η Ενιαία Σχολική Περιοχή του Φρέσνο δεν διέθετε αίθουσες διδασκαλίας με αρκετά υψηλό φωτισμό για να καλύψει τις ανάγκες των μαθητών.

Όλο το φως της ημέρας στο οποίο είχαμε πρόσβαση προέρχεται από τα παράθυρα, με όλους τους άλλους περίπλοκους παράγοντες. Για να κατανοήσουμε καλύτερα πώς τα παράθυρα μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση των μαθητών, συγκεντρώσαμε πολλές περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των παραθύρων σε κάθε τάξη.

Εξετάσαμε τον προσανατολισμό, το μέγεθος και τη θέση των παραθύρων, το χρωματισμό των υαλοπινάκων, την παρουσία περσίδων ή κουρτινών, την πιθανότητα αντανάκλασης, τον αριθμό των ωρών λειτουργίας, την περιοχή και τη θέα από το παράθυρο. Πολλοί άνθρωποι βρίσκουν τη θέα σε ένα παράθυρο πολύ ενδιαφέρουσα και αμφιλεγόμενη. [3]

## 2.2 Η σημασία της θέασης

Οι εκπαιδευτικοί ερευνητές έχουν προτείνει ότι η θέα έξω από τα παράθυρα μπορεί να αποσπά την προσοχή των παιδιών στην τάξη. Ένας από τους κύριους λόγους που τα δωμάτια χωρίς παράθυρα ήταν δημοφιλή τη δεκαετία του 1960 και του 1970 ήταν επειδή βοηθούσαν τους ανθρώπους να απομακρύνουν τους περισπασμούς. Ωστόσο, την ίδια περίοδο, οι εκπαιδευτικοί ψυχολόγοι έχουν διαπιστώσει ότι ένα διεγερτικό οπτικό περιβάλλον είναι σημαντικό μέρος της μάθησης.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι αρουραίοι μαθαίνουν και θυμούνται πληροφορίες καλύτερα σε πιο διεγερτικά περιβάλλοντα. Οι οφθαλμίατροι ανησυχούν για τον επιπολασμό της καταπόνησης των ματιών στο σημερινό εργασιακό περιβάλλον και έχουν τονίσει τη σημασία της παροχής μακρινών όψεων για την ανακούφιση του εργαζόμενου οφθαλμού. Τα μάτια και η όραση των μικρών παιδιών εξακολουθούν να αναπτύσσονται, επομένως μπορεί να είναι πιο ευαίσθητα σε θέματα οπτικής αντίληψης.

Ερευνητές που αναζητούν τρόπους να επηρεάσουν τον πραγματικό κόσμο ανακάλυψαν ότι οι απόψεις της φύσης μπορεί να βελτιώσουν την υγεία και την ευημερία των ανθρώπων. Για παράδειγμα, οι τρόφιμοι που έχουν παράθυρα που βλέπουν στους γύρω λόφους είναι λιγότερο πιθανό να επισκεφτούν το ιατρείο για καταστάσεις που σχετίζονται με το άγχος. Μια μελέτη σε ασθενείς με χειρουργική επέμβαση καρδιάς διαπίστωσε ότι εκείνοι που είχαν τα παράθυρά τους με θέα σε ένα χωράφι με δέντρα επουλώθηκαν γρηγορότερα και χρειάζονταν λιγότερη φαρμακευτική αγωγή από εκείνους που έβλεπαν έναν τοίχο από τούβλα.

Άλλοι που ενδιαφέρονται για τα τοπία και το φυσικό περιβάλλον έχουν υποθέσει ότι η θέαση της φύσης μειώνει το άγχος ή βελτιώνει την προσοχή, και μια θεωρία που εξηγεί τη σημασία της θέασης της φύσης είναι ότι τα φυσικά συνθήματα ενεργοποιούν γρήγορα τα θετικά συναισθήματα που συμβάλλουν στη ζωή, για τη μείωση του φυσιολογικού στρες. Αυτή η θεωρία, που υποστηρίζεται από πολυάριθμες εργαστηριακές και επιτόπιες μελέτες, υποδηλώνει ότι οι κάτοικοι των πόλεων μπορεί να βιώνουν επίμονα χαμηλού επιπέδου αντιδράσεις στρες που επηρεάζουν τη σωματική υγεία και τη συμπεριφορά τους, και αυτό μπορεί να μετριαστεί με την έκθεση σε ερεθίσματα.

Η Θεωρία Αποκατάστασης Προσοχής υποδηλώνει ότι οι απόψεις φυσικών όψεων μπορούν να βοηθήσουν στην αποκατάσταση της ικανότητας του εγκεφάλου να εστιάζεται και να συγκεντρώνεται μετά από εκτεταμένη γνωστική δραστηριότητα που τον έχει εξαντλήσει. Όταν η ικανότητα του μυαλού να ελέγχει τους περισπασμούς και τις παρορμήσεις έχει εξαντληθεί, δεν αποδίδει καλά σε τεστ που απαιτούν συγκέντρωση.

Επηρεάζει επίσης την ικανότητα των ανθρώπων να καταστέλλουν τις παρορμήσεις να ενεργούν παρορμητικά προς όφελος της στοχαστικής σκέψης. Αυτή η ικανότητα επηρεάζει τα συναισθήματα. Οι άνθρωποι των οποίων η προσοχή έχει εξαντληθεί δείχνουν ευερεθιστότητα και

ανυπομονησία. Σε αρκετές μελέτες, οι φυσικές όψεις παραθύρων έχουν αποδειχθεί ότι αποκαθιστούν ή διατηρούν την ικανότητα των ανθρώπων να εστιάζουν για παρατεταμένες περιόδους.

Δεδομένου αυτού του όγκου έρευνας, πιστεύουμε ότι η ποιότητα της θέας από μια τάξη μπορεί να επηρεάσει τη μάθηση των μαθητών. Ενώ εξετάσαμε πολλά πιθανά χαρακτηριστικά των παραθύρων, επιλέξαμε να εστιάσουμε στο περιεχόμενό τους και στην κατάσταση προβολής τους στην ανάλυσή μας. [3]

## 2.3 Ποιότητα αέρα

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα στις μελέτες για την ποιότητα του σχολείου. Στην Καλιφόρνια υπήρξαν αρκετά πρόσφατα έργα που διερευνούν την ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς χώρους στα σχολεία, με ιδιαίτερη έμφαση στα προβλήματα που προκαλούνται από τη μούχλα και την κακή κατασκευή σε φορητές αίθουσες διδασκαλίας. Ανησυχώντας για τον επιπολασμό του άσθματος, το Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνια διεξήγαγε μια διαχρονική μελέτη για την έκθεση στο σπίτι και το σχολείο σε παιδιά του Φρέσνο. Έχουμε δείξει ότι τα παράθυρα συνδέονται με βελτιωμένη απόδοση των μαθητών. Η κομητεία Capistrano, Καλιφόρνια προτείνει ότι μπορεί να υπάρχουν οφέλη από τον φυσικό αερισμό στα σχολεία.

Δεδομένης της αυξανόμενης ανησυχίας για την ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων, και ιδιαίτερα του υψηλού επιπέδου ρύπανσης στο Φρέσνο, συντονισθήκαμε με σχετικές μελέτες στην Καλιφόρνια. Οι μελέτες έχουν συμπεριλάβει απλά, παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά που μπορούν να αντικατοπτρίζονται στον αέρα και την ποιότητα των εσωτερικών χώρων, ενώ άλλες μελέτες έχουν συμπεριλάβει απλά πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά φωτισμού και παραθύρων στις αίθουσες που μελετήθηκαν. [3]

## 2.4 Ακουστική

Πρόσφατη έρευνα έχει δείξει ότι τα παιδιά χρειάζονται πιο ήσυχους, λιγότερο αντηχητικούς χώρους για να ακούν και να κατανοούν τις προφορικές λέξεις από τους ενήλικες. Τα παιδιά είναι ανώριμα ακροατές και δυσκολεύονται να διακρίνουν νοητικά το λεκτικό σήμα από τον θόρυβο του περιβάλλοντος.

Ενώ οι ενήλικες έχουν αναπτύξει την ικανότητα να κατανοούν τις πιο κοινές λέξεις όταν ο θόρυβος και το επίπεδο ομιλίας είναι περίπου ίσα, τα υγιή παιδιά κάτω των 13 ετών χρειάζονται ένα περιβάλλον χαμηλού θορύβου που είναι πολύ πιο ήσυχο από το σημάδι που προσπαθούν να καταλάβουν. Παιδιά με προσωρινή απώλεια ακοής λόγω μολύνσεων του αυτιού ή που προσπαθούν να μάθουν μια νέα γλώσσα ή που έχουν πρόβλημα στην ακοή ή τη συγκέντρωση και χρειάζονται πιο κατάλληλα φωνήματα για να κατανοήσουν με επιτυχία την ομιλία.

Ως απάντηση σε αυτή τη νέα κατανόηση των αναγκών των παιδιών καθώς μαθαίνουν να επεξεργάζονται ακουστικές πληροφορίες, το Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων (ANSI) κυκλοφόρησε νέα πρότυπα που μειώνουν σημαντικά τα επίπεδα θορύβου περιβάλλοντος στις τάξεις στα 35 dBA και 55 dBA.

Δεδομένου ότι η Ενοποιημένη Σχολική Περιοχή του Φρέσνο έχει ένα εξαιρετικά υψηλό ποσοστό στα παιδιά που μαθαίνουν αγγλικά, αναγνωρίσαμε ότι οι ακουστικές συνθήκες στις τάξεις θα μπορούσαν ενδεχομένως να είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την μαθησιακή τους επιτυχία. Προσπαθήσαμε να λάβουμε υπόψη δείκτες θορύβου και ακουστικές συνθήκες κατά τη διεξαγωγή της μελέτης μας στην τάξη. [3]

## 2.5 Ενεργειακή απόδοση

Η εθνική ανησυχία για την ενεργειακή απόδοση στα σχολεία οδήγησε στη συνειδητοποίηση ότι ο φωτισμός της ημέρας είναι ένας χαμηλού κόστους και εύκολος στην εφαρμογή τρόπος μείωσης της χρήσης ενέργειας.

Ωστόσο, είναι επίσης ένα περίπλοκο ζήτημα, επειδή η εξοικονόμηση ενέργειας της ημέρας δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθεσιμότητα του φωτός της ημέρας, αλλά και από το πόσο αποδοτικός είναι ο προγραμματισμός του φωτός της ημέρας και ο ηλεκτρικός φωτισμός, εάν και τότε σβήνουν τα ηλεκτρικά φώτα και πόση επιπλέον απώλεια θερμότητας ή το κέρδος θερμότητας συμβαίνει μέσω των ανοιγμάτων που προβλέπονται για το φως της ημέρας στο κτίριο.

Οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί πρέπει να κατανοήσουν τις θετικές και αρνητικές πτυχές των παραθύρων και των φεγγιτών προκειμένου να τα βελτιστοποιήσουν για χρήση σε ένα κτίριο. Προσπαθήσαμε να παρέχουμε κάποιες γενικές οδηγίες για το σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού στην τάξη, με βάση αυτά που γνωρίζουμε. [3]

## 2.6 Συμπεράσματα μελέτης

Το τελικό μοντέλο ήταν εξαιρετικά περίπλοκο. Η βάση δεδομένων του Φρέσνο μπορεί να είναι δύσκολο να κατανοηθεί. Δεν υπάρχουν οριστικές απαντήσεις ή «αποδεικτικά στοιχεία» για κάθε υπόθεση εδώ. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες σταθερές δηλώσεις σχετικά με τη σημασία και την αξία του καλού σχεδιασμού της τάξης, με αξιολόγηση της έκτασης του αντίκτυπου του στις επιδόσεις των μαθητών. [3]

Οι μελέτες που πραγματοποιήσαμε στην τάξη μας υποδηλώνουν ότι ο καλός φωτισμός είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στη μάθηση των μαθητών. Μερικά οφέλη του καλού φωτισμού περιλαμβάνουν την ενίσχυση του κινήτρου και της παραγωγικότητας, ενώ οι αρνητικές επιπτώσεις του ανεπαρκούς φωτισμού μπορεί να περιλαμβάνουν μειωμένη εστίαση και απόδοση. Οι έρευνες δείχνουν ότι οι δάσκαλοι θέλουν περισσότερο φως της ημέρας και καλύτερη θέα στην

τάξη, ενώ η ανάλυση παλινδρόμησης δείχνει ότι η λάμψη, η διείσδυση του ήλιου και η έλλειψη ελέγχου των παραθύρων μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη μάθηση. Τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης υποστηρίζουν ξεκάθαρα τη θεωρία ότι οι ενδιαφέρουσες προβολές παραθύρων βοηθούν τους μαθητές να μάθουν περισσότερα. [3]

Συνοπτικά, τα ευρήματα αυτής της μελέτης υποστηρίζουν τα συμπεράσματα ότι:

- Το οπτικό περιβάλλον είναι σημαντικό για τη μάθηση.
  1. Η θέα από ένα παράθυρο που περιλαμβάνει βλάστηση ή ανθρώπινη δραστηριότητα και μακρινά αντικείμενα είναι ευεργετική για τη μάθηση των μαθητών. [3]
  2. Οι πηγές θάμβωσης έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη μάθηση των μαθητών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην εκμάθηση μαθηματικών, όπου η διδασκαλία είναι οπτική στον μπροστινό τοίχο διδασκαλίας. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις μας, όταν οι δάσκαλοι έχουν λευκούς, αντί για μαύρους ή πράσινους πίνακες κιμωλίας, είναι πιο πιθανό να χρησιμοποιηθούν, όπως δείχνει η ανάλυση παλινδρόμησης, και τα παιδιά έχουν καλύτερες επιδόσεις στα μαθηματικά.[3]
  3. Άμεση διείσδυση των ηλιακών ακτίνων στις αίθουσες διδασκαλίας, ειδικά μέσω μη σκιασμένων ανατολικών ή νότιων ενεργών ανοιγμάτων, συνδέεται με αρνητικές επιδόσεις στην μαθητική απόδοση, που πιθανότατα προκαλείται τόσο από την θάμβωση όσο και από την θερμική δυσφορία.[3]
  4. Όταν οι δάσκαλοι δεν ελέγχουν τα παράθυρα των αιθουσών τους, η απόδοση των μαθητών έχει αρνητικά αποτελέσματα. Οι περσίδες ή οι κουρτίνες δίνουν την δυνατότητα στους δασκάλους να έχουν τον έλεγχο στις διαλείπουσες πηγές αντανάκλασης ή οπτικής απόσπασης της προσοχής από τα παράθυρά τους.[3]
- Το ακουστικό περιβάλλον είναι επίσης εξαιρετικά σημαντικό για τη μάθηση. Καταστάσεις που αρμόζουν στην εστίαση του μαθητή στα μαθήματα που έχουν στη διάθεσή τους, όπως οι αντηχητικοί χώροι, είναι προτιμότεροι. Οι ενοχλητικοί ήχοι εξοπλισμού ή ο υπερβολικός θόρυβος από το εξωτερικό στην αίθουσα διδασκαλίας, έχουν ορατές αρνητικές επιπτώσεις στα ποσοστά μάθησης.[3]
- Ο κακός αερισμός και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι ομώνυμη της χαμηλής επίδοσης του μαθητή. Ωστόσο, στην Ενοποιημένη Σχολική Περιφέρεια του Φέρμοντ αυτά τα ζητήματα είναι συνυφασμένα με τη θερμική άνεση, την ποιότητα του εξωτερικού αέρα και τις ακουστικές συνθήκες. Οι δάσκαλοι συχνά πρέπει να επιλέξουν να βελτιώσουν την μια κατάσταση επηρεάζοντας μια άλλη κατάσταση στην αίθουσα διδασκαλίας.[3]

Επίσης, δεν βρήκαμε στοιχεία ότι οι φορητές αίθουσες διδασκαλίας είναι ακατάλληλες για την διδασκαλία των μαθητών. Πράγματι, ορισμένες φορητές αίθουσες φαίνεται να έχουν πολύ καλή απόδοση. Τα προβλήματα που σχετίζονται με φορητές αίθουσες φαίνεται να προκύπτουν



όταν τα παλαιώνουν, και μετά δεν ενδείκνυνται για χρήση. Δεδομένου του συνωστισμού και την πίεση στον προϋπολογισμό οι σχολικές περιοχές στην Καλιφόρνια λειτουργούν με ακατάλληλες φορητές αίθουσες που διατηρούνται σε λειτουργία από συνοικίες που αγωνίζονται να προσφέρουν αρκετή στέγη για τον διαρκώς αναπτυσσόμενο πληθυσμό.[3]

Δεν βρήκαμε απόδειξη ότι υψηλότερα επίπεδα φωτός της ημέρας ή περισσότερες ώρες χρήσιμου ετήσιου φωτός ημέρας, όπως φαίνεται από τα δεδομένα φωτισμού, συνδέονται με θετικότερες επιδόσεις μαθητών στο Φρέσνο. Είδαμε, ωστόσο, ότι οι τάξεις με σχέδιο δακτύλων στο Φρέσνο με υψηλούς κωδικούς φωτός ημέρας είχαν απόδοση άνω του μέσου όρου, που προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από τις καλύτερες προβολές του ελέγχου του ήλιου. Σημειώσαμε επίσης συγκεκριμένα προβλήματα που συνδέονται με το υψηλό φως της ημέρας σε αίθουσες διδασκαλίας κώδικα, κυρίως ακουστικά προβλήματα που επιφέρουν περισσότερο θόρυβο περιβάλλοντος, τόσο μέσα όσο και έξω από τις τάξεις.[3]

Αυτά τα προβλήματα αντιμετωπίζονται με καλύτερο σχεδιασμό της αίθουσας διδασκαλίας και της διδακτέας ύλης. Με βάση τις παρατηρήσεις που βρέθηκαν, προτείνονται τα εξής:

- Παροχή αθόρυβου, συνεχή μηχανικού αερισμού στο Φρέσνο συνδυαζόμενου με τοπικό έλεγχο, από τον καθηγητή, του θερμοστάτη για να αποφευχθεί η εξάρτηση από λειτουργικά παράθυρα για εξαερισμό και έλεγχο θερμοκρασίας.[3]
- Πρόσθεση περισσότερων επιφανειών με υλικά απορρόφησης ήχου στις αίθουσες διδασκαλίας για μείωση στα επίπεδα θορύβου περιβάλλοντος από το εσωτερικό της τάξης.[3]
- Πρόσθεση παραθύρων χαμηλής εκπομπής διπλού υαλοπίνακα για να μειωθεί η μετάδοση του ήχου από το εξωτερικό της αίθουσας διδασκαλίας και βελτίωση της θερμικής άνεσης της αίθουσας.[3]
- Σκιασμός όλων των ενεργών ανοιγμάτων με νότιο ή ανατολικό προσανατολισμό από τις άμεσες ηλιακές ακτίνες.[3]
- Πρόσθεση λωρίδων φύτευσης με δέντρα έξω από τις αίθουσες διδασκαλίας για βελτίωση της ακτινοβολίας και μείωση του θορύβου που μεταδίδεται από τους μαθητές που χτυπούν στους τοίχους περνώντας απ' έξω ή παίζοντας κοντά.[3]

Η προσθήκη αυτόματων ανιχνευτών φωτός ημέρας που μειώνουν τη χρήση ηλεκτρικού φωτός όταν το φως της ημέρας εξοικονομεί αρκετά χρήματα στην περιοχή του Φρέσνο. Αν το



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

κράτος ενθάρρυνε τη χρήση τους σε νέα σχολεία σε όλη την πολιτεία, η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει περίπου από 5 έως 7 εκατομμύρια δολάρια ετησίως και από 3.330 έως 4.800 MWh ενέργειας μετά από δέκα χρόνια νέας κατασκευής. Η εξοικονόμηση ενέργειας, συνδυαζόμενο με θετικά αποτελέσματα της θέας έξω από τα παράθυρα στο Φρέσνο, ή τα θετικά αποτελέσματα του αυξημένου φωτός της ημέρας στο Καπιστράνο, δημιουργούν μια αμοιβαία επωφελούμενη κατάσταση στην σχεδίαση του φωτισμού ημέρας στις αίθουσες διδασκαλίας. Σχεδιαστές και μηχανικοί του σχολείου έχουν συμβουλευθεί να αποφεύγουν σχέδια που δημιουργούν θάμβωση ή επιτρέπουν τον άμεσο ήλιο στις αίθουσες διδασκαλίας. Παράλληλα βελτιστοποιούν τις ευκαιρίες για ενδιαφέρουσες απόψεις εξοικονόμησης ενέργειας στα σχέδια σχολικών μονάδων.[3]

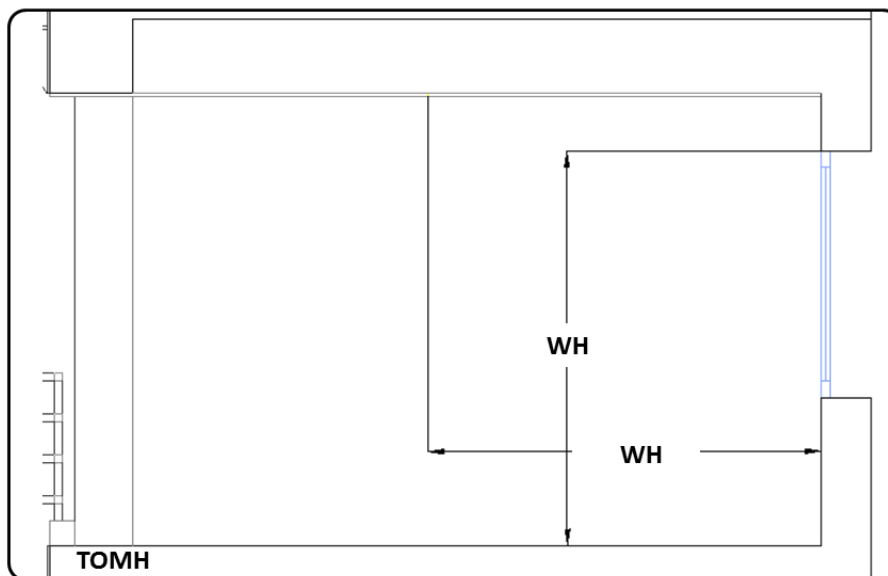
## 3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΚΙΑΣΕΩΝ & ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ

### 3.1 Σχεδιασμός

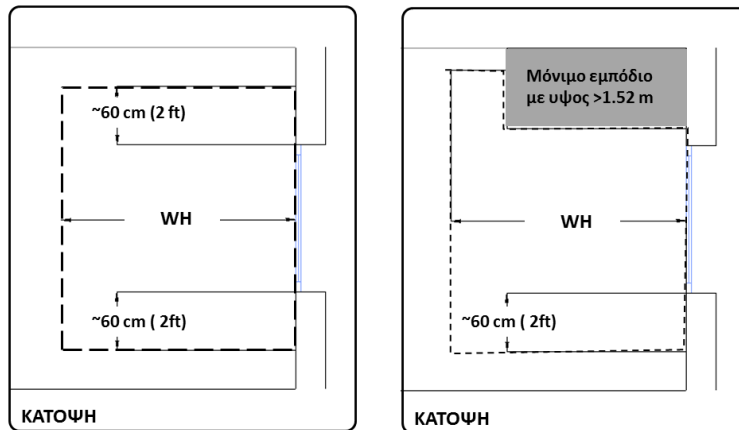
Ο σχεδιασμός της κάτοψης του κτηρίου μαζί με την σχεδίαση της εσωτερικής διαρρύθμισης καθορίζει την περιοχή που εκμεταλλεύεται το φυσικό φως (Ζώνη Φυσικού Φωτισμού, ΖΦΦ). Σε διάφορα συστήματα ενεργειακής και περιβαλλοντικής αξιολόγησης (πχ. LEED) το ποσοστό της ΖΦΦ σε σχέση με τις διαστάσεις των περιοχών που χρησιμοποιούνται συχνά αποτελεί κριτήριο αξιολόγησης. [1]

Ο ορισμός στην σχεδίαση της ζώνης φωτισμού επιτρέπει τον υπολογισμό της έκτασης στην οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο σύστημα ελέγχου της φωτεινής ροής των φωτιστικών στην περιοχή της μελέτης και συνεπώς τον υπολογισμό της πιθανή εξοικονόμησης ενέργειας.[1]

Η εύρεση της περιοχής αυτής γίνεται με γεωμετρικά κριτήρια. Μέσα στην ζώνη θα πρέπει να γίνει κατανομή των τιμών φυσικού φωτισμού έτσι ώστε να εμφανίζεται ομοιομορφία έτσι ώστε να μην υπάρχουν περιοχές που ο φωτισμός είναι μικρότερο από το επιθυμητό επίπεδο που ορίζουμε (π.χ. 500 lux). Παλαιότερα ο λόγος της μέγιστης τιμής από την ελάχιστη τιμή δεν ήταν μεγαλύτερος από 9 προς 1. Στην περίπτωση που αυτό συμβαίνει τότε η συγκεκριμένη ζώνη χρειάζεται άμεσο διαχωρισμό. Σύμφωνα με τον κανονισμό της ASHRAE 90.1 –2010 η ζώνη εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού από ενεργά πλευρικά ανοίγματα ορίζεται ως εξής :

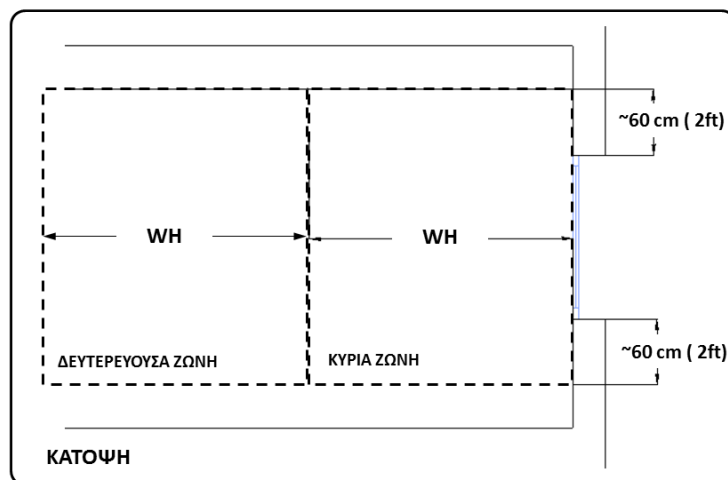


Εικόνα 13 : Εκτίμηση βάθους ΖΦΦ κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]



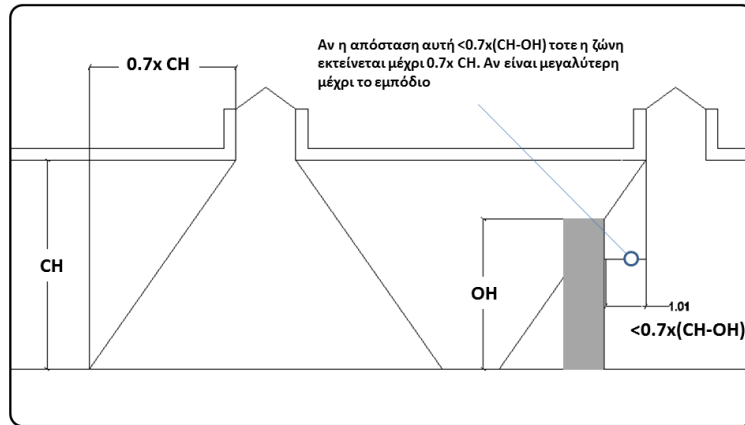
Εικόνα 14 : Εκτίμηση πλάτους ΖΦΦ κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]

Εκτός από την προαναφερθείσα κύρια ζώνη ορίζεται και η δευτερεύουσα :



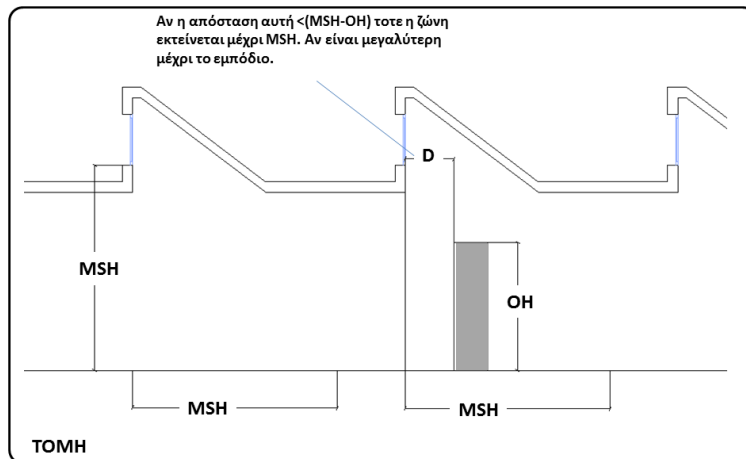
Εικόνα 15 : Καθορισμός κύριας και δευτερεύουσας ΖΦΦ.[1]

Στην περίπτωση οριζόντιων ανοιγμάτων στην οροφή η ζώνη ορίζεται ως εξής :



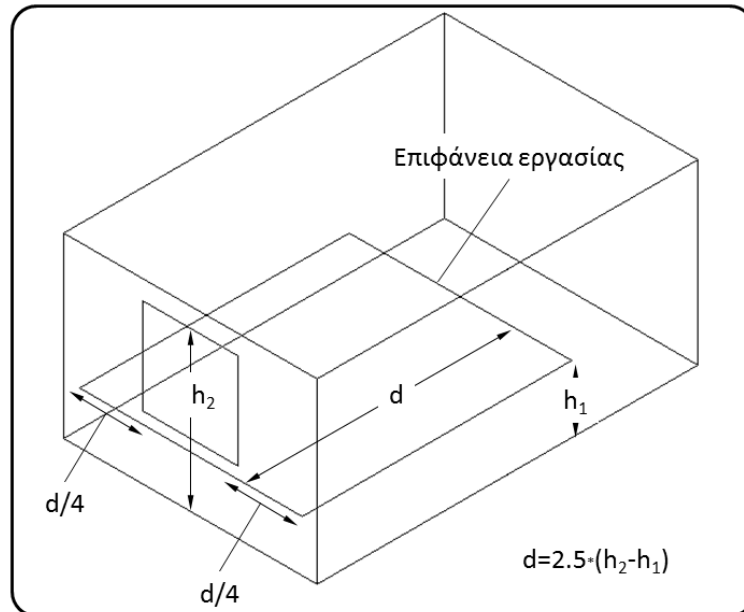
Εικόνα 16 : Εκτίμηση ΖΦΦ από οριζόντια ανοίγματα κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]

ενώ για φεγγίτες στην οροφή.[1]

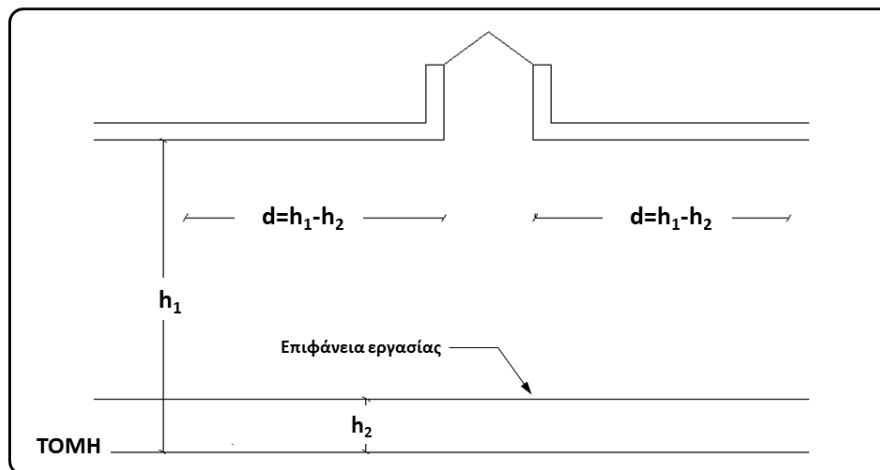


Εικόνα 17 : Εκτίμηση ΖΦΦ από οριζόντια ανοίγματα κατά ASHRAE 90.1 –2010.[1]

Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15193 ορίζει την ζώνη εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού με τους εξής τρόπους για ενεργά πλευρικά ανοίγματα και για άνοιγμα οροφής :

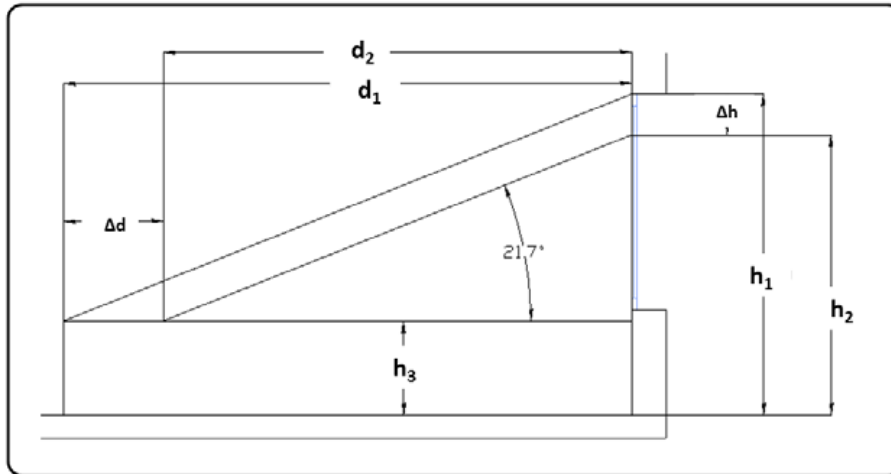


Εικόνα 18 : Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193:2007.[1]



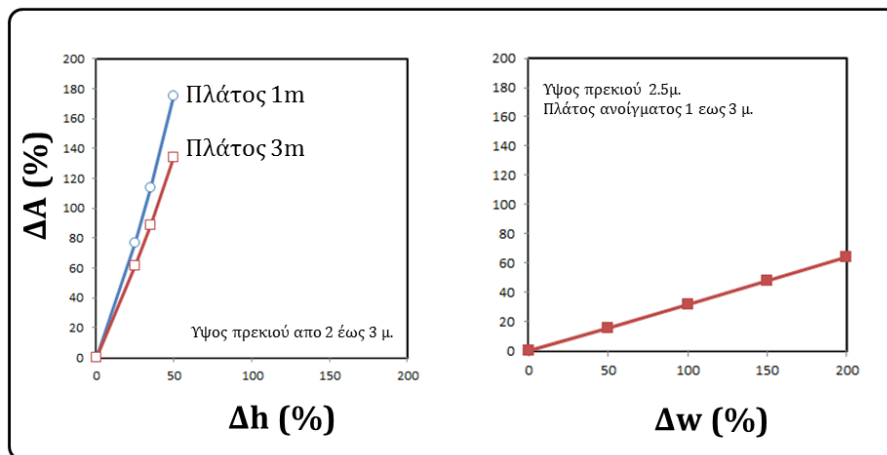
Εικόνα 19 : Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193:2007.[1]

Η επιρροή στο ύψους προεκτιμού είναι ξεκάθαρη για το μέγεθος της ΖΦΦ . Έτσι αυξάνονται τα επίπεδα φωτισμού και προφανώς αυτή η αύξηση αφορά και περιοχές που βρίσκονται μακριά από το ενεργό άνοιγμα.[1]



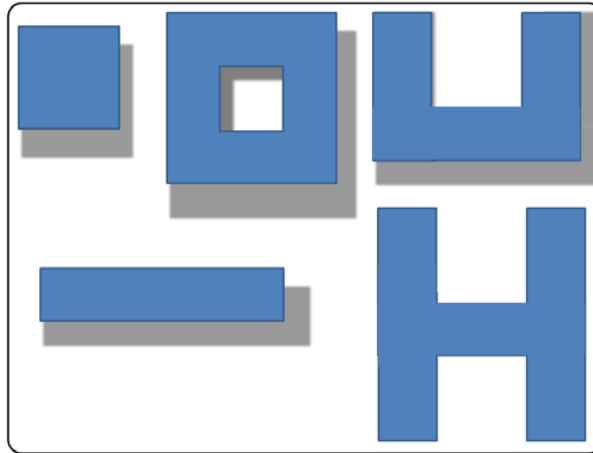
Εικόνα 20 : Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193:2007.[1]

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα η περιοχή της ΖΦΦ (Α) επηρεάζεται με την τροποποίηση του πρεκιού ( $\Delta h$ ) παρά με την τροποποίηση του πλάτους του ενεργού ανοίγματος ( $\Delta w$ ).[1]



Εικόνα 21 : Σχετική μεταβολή της επιφάνειας της ΖΦΦ σε σχέση με την τροποποίηση του ύψους πρεκιού (αριστερά) και του πλάτους του ανοίγματος (δεξιά).[1]

Το συνολικό ποσοστό της ζώνης σε σχέση με την επιφάνεια του δαπέδου αλλάζει με το σχήμα του κτηρίου. Η αλλαγή του μήκους ή του πλάτους της κάτοψης έχει συνεπακόλουθο την αύξηση της περιμέτρου που οδηγεί σε αύξηση της έκτασης της ΖΦΦ.[1]



Εικόνα 22 : Η αύξηση της ΖΦΦ σε σχέση με την έκταση της κάτοψης επηρεάζει από το σχήμα της. Γενικά επιμήκεις μορφές έχουν αυξημένα ποσοστά ΖΦΦ.[1]

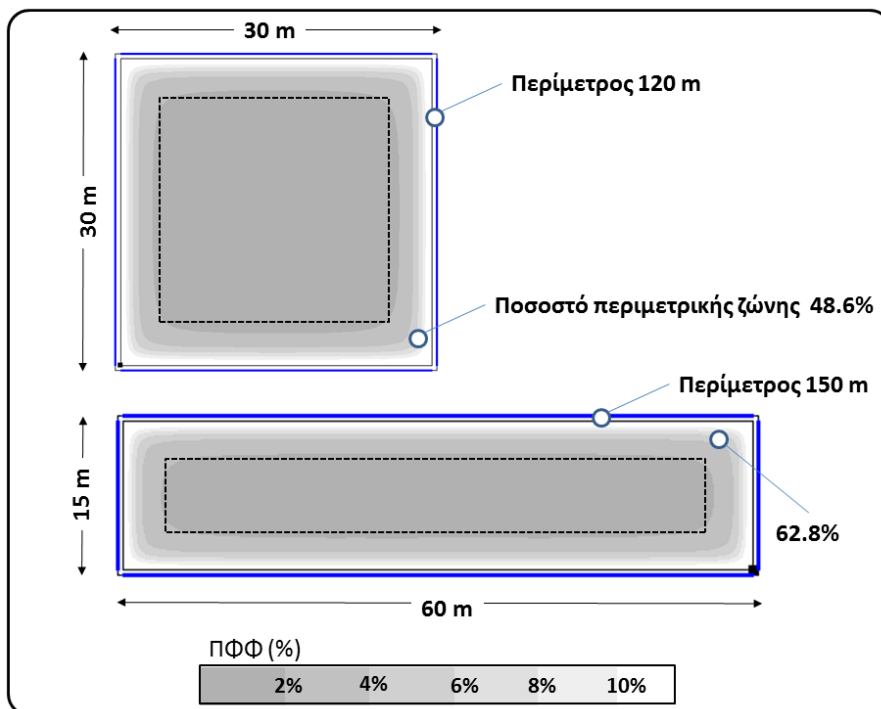
Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως η ΖΦΦ έχει επίδραση σε σημαντικό βαθμό στην εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού όταν συνδέεται με χώρους οι οποίοι χρησιμοποιούνται συχνά στο ωράριο λειτουργίας. Για να πραγματοποιηθεί το παραπάνω σχέδιο, οι συγκεκριμένοι χώροι τοποθετούνται στην περίμετρο και μεταφέρονται στον πυρήνα του κτηρίου οι χώροι για βοηθητικές χρήσεις.[1]

Στα συστήματα ενεργειακής και περιβαλλοντικής αξιολόγησης υπάρχει σχετικό κριτήριο στο ποσοστό των ζωνών εκμετάλλευσης σε σχέση με το σύνολο των ενεργών χώρων με χρησιμοποιούνται συνέχεια. Π.χ. στο παλαιότερο LEED (2009) απαιτείται το 75% των χώρων με τακτική χρήση να ικανοποιεί κάποιο από τα παρακάτω κριτήρια:

- Ο λόγος της επιφάνειας του ανοίγματος (από το συνολικό ύψος του ανοίγματος αφαιρούνται 76.2 cm ποδιάς, ακόμη και εφόσον υπάρχει πλήρης κάλυψη υαλοπίνακα στην πρόσοψη) προς την επιφάνεια του χώρου που εξετάζεται πολλαπλασιασμένος επί την διαπερατότητα του υαλοπίνακα θα πρέπει να είναι μεταξύ 0.15 και 0.18. Η τυχόν επιρροή ψευδοροφής λαμβάνεται υπ' όψιν ενώ απαιτείται και παρουσία σκίασης (χωρίς να συμμετέχει στον υπολογισμό).[1]
- Με προσομοίωση κατά την διάρκεια των ισημεριών σε επιφάνεια εργασίας ύψους 76.2 cm και επιφάνεια μικρότερη από 1.5m στις 9:00 και 15:00 με αίθριο ουρανό θα πρέπει τα επίπεδα φωτισμού στον χώρο που προσομοιώνουμε να είναι μεταξύ 25-5000 lux.[1]
- Με μετρήσεις.[1]

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η έκταση της περιμετρικής ζώνης (όπως αυτή υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 15193) για διάφορες κατόψεις ίδιου εμβαδού. Στον σχετικό υπολογισμό έχουμε σταθερά το ύψος πρεκίου στα ανοίγματα 2.5μ, οπότε το βάθος της ΖΦΦ είναι 4.25 μ από την πρόσοψη.[1]





Εικόνα 23 : Η επίδραση του σχήματος της κάτοψης είναι καθοριστικής σημασίας για το μέγεθος της ΖΦΦ (καθώς επίσης και για το μήκος της περιμέτρου).[1]

Την δεδομένη στιγμή δεν έχει βρεθεί αναφορά στον προσανατολισμό του κτηρίου ο οποίος επηρεάζει καθοριστικά το συνολικό ενεργειακό του ισοζύγιο. Η αλλαγή του μήκους ή του πλάτους της κάτοψης αυξάνει τις πιθανές εξοικονομήσεις από τη μειωμένη χρήση ηλεκτρικού φωτισμού. Ωστόσο, πρέπει επίσης να μπορεί να καλύψει την ανάγκη μείωσης της ηλιακής θερμότητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με νότιο προσανατολισμό. Για τις προσόψεις, η ισορροπία μεταξύ της ποσότητας φυσικού φωτός και της μείωσης της επαρκούς ηλιοφάνειας λόγω του ύψους του ήλιου είναι ευκολότερο να επιτευχθεί την περίοδο Μαΐου έως Σεπτεμβρίου. Η σκίαση παίζει μεγάλο ρόλο στην ανατολική και δυτική πλευρά, ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου. Η βόρεια πρόσοψη δεν παρουσιάζει προβλήματα ρύθμισης του ηλιακού κέρδους όπως η νότια πρόσοψη και προορίζεται να παρέχει συνεχή φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. [1]

Οι διαφορετικοί προσανατολισμοί των υαλοπινάκων μπορούν να επηρεάσουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται και διέρχεται, παρέχοντας παράλληλα φυσικό φωτισμό. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο στη ρύθμιση της ποσότητας ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται σε ένα κτίριο. (δηλ. αυξημένη διαπερατότητα στο ορατό τμήμα της ηλ. ακτινοβολίας).[1]

Η χρήση αίθριου ωφελεί την περιμετρική ζώνη μόνο εάν το αίθριο είναι υπερυψωμένο πάνω από το έδαφος. Εάν το αίθριο βρίσκεται στο ισόγειο, τα οφέλη μειώνονται καθώς οι όροφοι πλησιάζουν στο έδαφος. Η κατανομή του φυσικού φωτισμού σε αίθρια καθορίζεται από:

- Το σχήμα του αίθριου (π.χ. τετράγωνο) σε σχέση με τον προσανατολισμό.[1]
- Την σχέση μεταξύ των διαστάσεων του (ύψος, πλάτος, μήκος)[1]
- Την διαπερατότητα του καλύμματος (αν υιοθετηθεί κάλυμμα)[1]
- Την ανακλαστικότητα των εσωτερικών προσόψεων η οποία επηρεάζεται από το σχετικό ποσοστό υαλοπινάκων. Η ανακλαστικότητα του δαπέδου παίζει σημαντικό ρόλο στον φωτισμό του ισογείου.[1]

Η σύγκριση της επίδρασης διαφορετικών σχημάτων αίθριου στην επίτευξη ορισμένων τιμών φωτισμού βασίζεται σε δείκτες που περιγράφουν γεωμετρικά το αίθριο. Ο δείκτης AR (Aspect Ratio, Αναλογία Απεικόνισης) ορίζεται ως εξής :

$$\text{Aspect Ratio (AR)} = (\text{Πλάτος} * \text{Μήκος}) / \text{Ύψος}^2$$

Μερικά χαρακτηριστικά των αίθριων που σχετιζόμενα με τον φυσικό φωτισμό είναι :

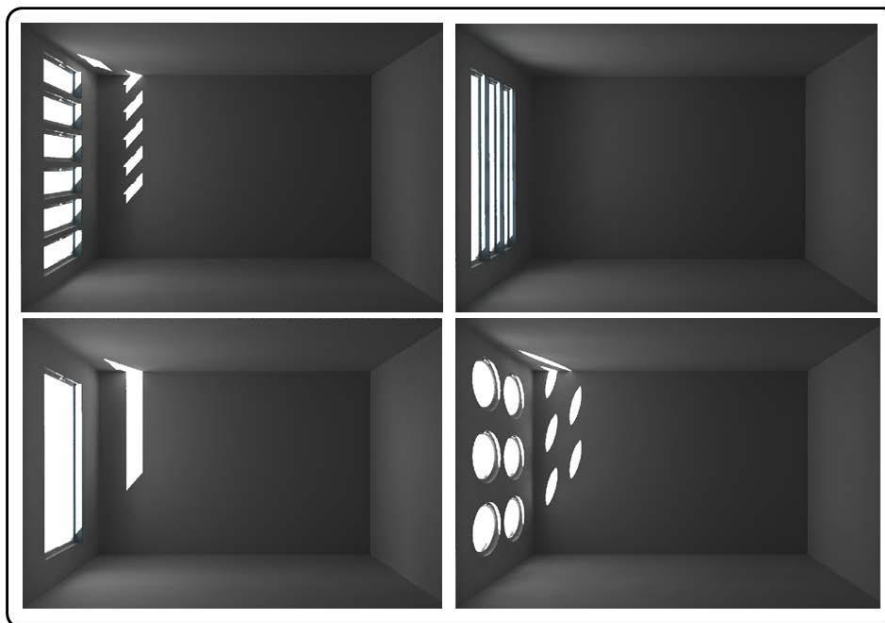
- Απαιτούνται αυξανόμενες τιμές ανάκλασης στην κορυφή των πλευρικών προσόψεων του αίθριου για την επίτευξη υψηλότερων επιπέδων φωτισμού στη βάση και η επίδραση του ποσοστού γυαλιού και της σχετικής ανακλαστικότητας του είναι σημαντική. [1]
- Τα στενά αίθρια λαμβάνουν συνήθως λιγότερο φως από τα ευρύτερα. Μια καλή στρατηγική (αν και δύσκολη, επηρεάζεται από το συνολικό ύψος) είναι η υποχώρηση του κάθε ορόφου κατά μια απόσταση έτσι ώστε η κορυφή του αίθριου να είναι μεγαλύτερη σε εμβαδόν από τη βάση. [1]
- Αν το αίθριο καλύπτεται με διαφανή οροφή, τότε η διαπερατότητα των επιφανειών που το αποτελούν επηρεάζει τη ροή του φυσικού φωτός που εισέρχεται σε αυτό.[1]
- Η αύξηση της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του δαπέδου θα αυξήσει επίσης τη διαθεσιμότητα ανακλώμενου φωτός σε περιοχές χαμηλότερου επιπέδου. Ωστόσο, πιο συχνά, η ανακλαστικότητα επηρεάζεται από την παρουσία δομών ή καλλιέργειας. Για να επιλέξετε μια φύτευση, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πολλοί τύποι φυτών απαιτούν σημαντικά ποσά φωτισμού για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά την διάρκεια της ημέρας για την ανάπτυξη τους και ενδεχομένως το υπό σχεδιασμό αίθριο να μην μπορεί να τα παρέχει.[1]

### 3.2 Ανοίγματα (κάθετα/οριζόντια)

Η κατανομή του φυσικού φωτός καθορίζεται εκτός από τις κλιματικές παραμέτρους από το μέγεθος, τη θέση και τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων, τον τύπο του γυαλιού και τα πιθανά συστήματα σκίασης. Εκτός από τη γεωμετρία και την ανακλαστικότητα των επιφανειών, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως ο επαρκής φυσικός φωτισμός. Η ρύθμιση της ηλιακής λάμψης είναι σημαντική για την προστασία της όρασης των ανθρώπων. Συνεπώς η διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό:

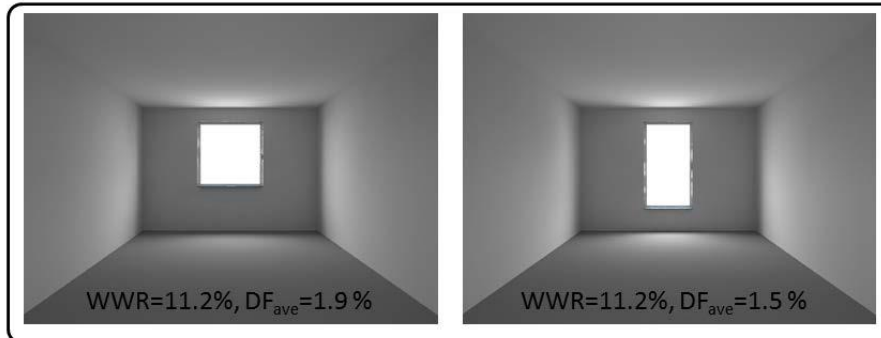
- Βόρεια ανοίγματα: Υπάρχει ελάχιστο ηλιακό κέρδος, σχετική σταθερότητα στη διαθεσιμότητα διάχυτου φωτισμού και γενικά μικρές τιμές για φυσικό φωτισμό (το μέγεθος των ανοιγμάτων έχει σημασία), θερμικές απώλειες για τους χώρους.[1]
- Νότια ανοίγματα : Τα ηλιακά κέρδη αναφέρονται στα «δυναμικά» χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού λόγω της πιθανής παρουσίας ηλιακών τροχιών. Η σκίαση μπορεί να αλλάξει τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά. [1]
- Δυτικά & Ανατολικά ανοίγματα: Χαμηλή θέση του ήλιου, ηλιακή είσοδος ακτινών και επίσης τα δυτικά ανοίγματα απαιτούν σχετική αντηλιακή προστασία (μείωση φορτίων αιχμής για ψύξη).[1]

Το παρακάτω σχήμα δείχνει πώς η γεωμετρία των ανοιγμάτων επηρεάζει τον τρόπο χειρισμού του ηλιακού φωτός. Η ακόλουθη παρατήρηση είναι σημαντική: ανοίγματα μικρότερων διαστάσεων μπορούν να μετατρέψουν το πάχος ενός τοίχου σε ένα πολύ καλό σύστημα σκίασης, ειδικά εάν το τζάμι τοποθετείται στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου. [1]



*Εικόνα 24 : Επίδραση διαφορετικής γεωμετρίας ανοιγμάτων στην κατανομή του άμεσου ηλιακού φωτισμού.[1]*

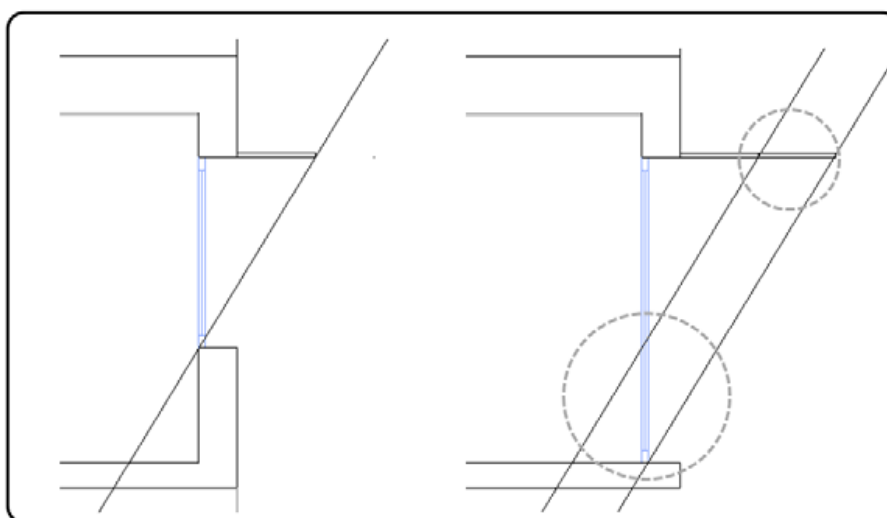
Τα επίπεδα φυσικού φωτός αξιολογούνται στην επιφάνεια (εργασίας) που εξετάζεται ή σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου. Ως εκ τούτου, η σχετική θέση του ανοίγματος προς την επιφάνεια εργασίας είναι καθοριστικής σημασίας τόσο για τα επίπεδα όσο και για την κατανομή του φυσικού φωτός. Το παράδειγμα παρακάτω δείχνει την κατανομή των παραγόντων φωτός της ημέρας (μια σχετικά εύχρηστη παράμετρος) σε οριζόντιο επίπεδο εργασίας (0.8 μέτρα από το δάπεδο). [1]



Εικόνα 25 : Η θέση αλλά και σχήμα του ανοίγματος επηρεάζουν σημαντικά την κατανομή του φυσικού φωτισμού στο χώρο.[1]

Η επέκταση του ανοίγματος προς το δάπεδο και κάτω από την επιφάνεια εργασίας δεν προσφέρει μεγάλο πλεονέκτημα όσον αφορά την αύξηση των επιπέδων φωτισμού. Γενικά, η σημαντική αύξηση στο μέγεθος του διαφράγματος πάνω από την επιφάνεια εργασίας (~0.85 m) συνήθως συνοδεύεται από σημαντική αύξηση των επιπέδων φωτισμού, η οποία δεν παρατηρείται κατά την επέκταση του ανοίγματος μειώνοντας το ύψος της ποδιάς της ποδιάς. [1]

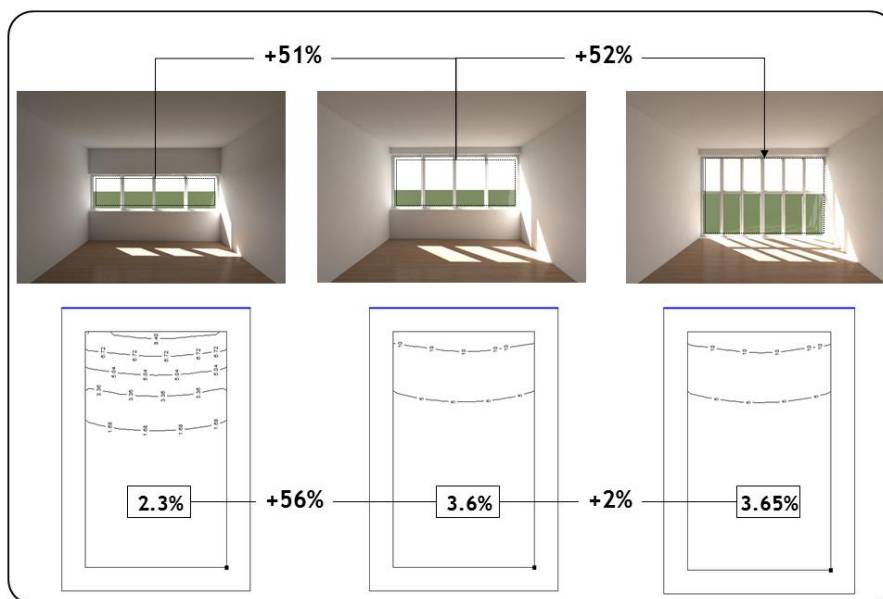
Η μείωση της ποδιάς και η ταυτόχρονη επέκταση του ανοίγματος δημιουργεί ένα επιπλέον πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, η οποία είναι η σκίαση αυτού του τμήματος. Αν τώρα υιοθετηθεί π.χ. πρόβολος, το μήκος του θα πρέπει να αυξηθεί για να ανταπεξέλθει στο μεγαλύτερο ύψος του ανοίγματος (πολλές φορές αυτή η αύξηση δεν είναι δυνατή). [1]



Εικόνα 26 : Η τροποποίηση της ποδιάς σε διαφανές στοιχείο επηρεάζει τη σκίαση αλλά δεν συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού.[1]

Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια τυπική αύξηση (ίδιο ποσοστό) στην επιφάνεια ανοίγματος λόγω:

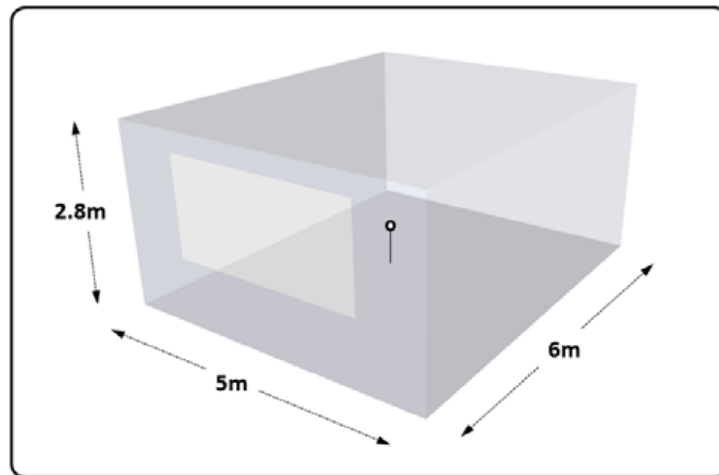
- αύξησης του ύψους της μαρκίζας(πρέκι)
- λόγω αύξησης του πλάτους του ανοίγματος και
- λόγω μείωσης του ύψους της ποδιάς με αποτέλεσμα την αύξηση του ΠΦΦ.[1]



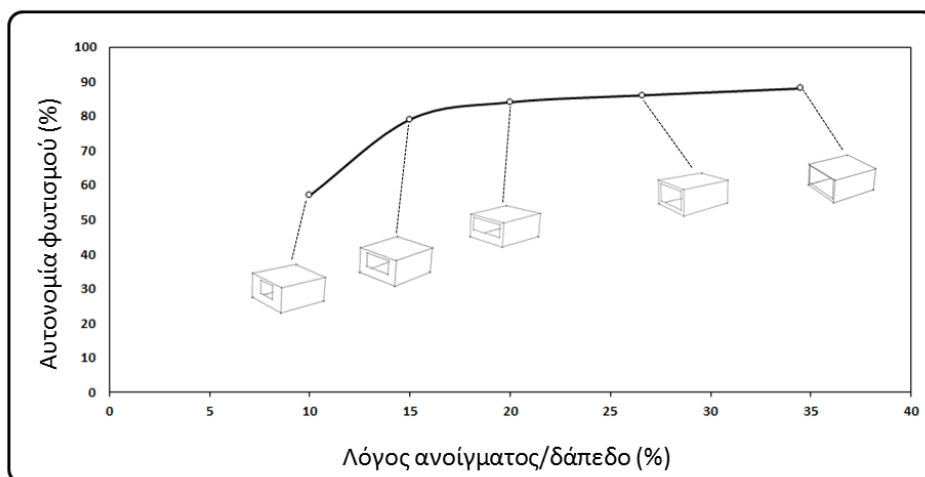
Εικόνα 27 : Σχετική μεταβολή μεγέθους ανοιγμάτων και συσχετισμός της με την αύξηση της μέσης τιμής του ΠΦΦ. Παρατηρείστε πόσο λίγο διαφέρουν οι τιμές του ΠΦΦ στις δύο τελευταίες περιπτώσεις.[1]

Συνήθως οι υπολογισμοί γίνονται με την παρουσία του συστήματος σκίασης. Φυσικά, εάν είναι απαραίτητο να αυξηθεί σε κάποιο βαθμό η επιφάνεια του ανοίγματος, το σύστημα σκίασης πρέπει επίσης να τροποποιηθεί για να καλύψει μια συγκεκριμένη απαίτηση. Η συνεχής αύξηση του ανοίγματος έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη είσοδο φωτεινής ροής, αλλά αυτό συνοδεύεται επίσης από ηλιακά κέρδη. Δεδομένου ότι τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού για διαφορετικούς χώρους καθορίζονται στα αρχικά στάδια της ανάλυσης (π.χ. 500 lux στις επιφάνειες εργασίας τυπικών χώρων γραφείων), τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας του συστήματος φωτισμού προσαρμόζονται ώστε να μπορούν να παρέχουν αυτήν την τιμή. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα συνεχούς διαμόρφωσης της φωτεινής ροής (σχετική παράγραφος, μείωση της φωτεινότητας) των λαμπτήρων, η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται με την αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού και μειώνεται όταν φτάνουν οι τιμές, για παράδειγμα μεγαλύτερα από 500 lux. Επομένως, από αυτήν την τιμή και πάνω, δεν υπάρχει επιπλέον ενεργειακό όφελος από τη μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό. Έτσι, η αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων σε σχέση με την επιφάνεια του δωματίου αυξάνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη μειώνοντας

παράλληλα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι ένα ορισμένο σημείο. Αυτό το γεγονός φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. [1]



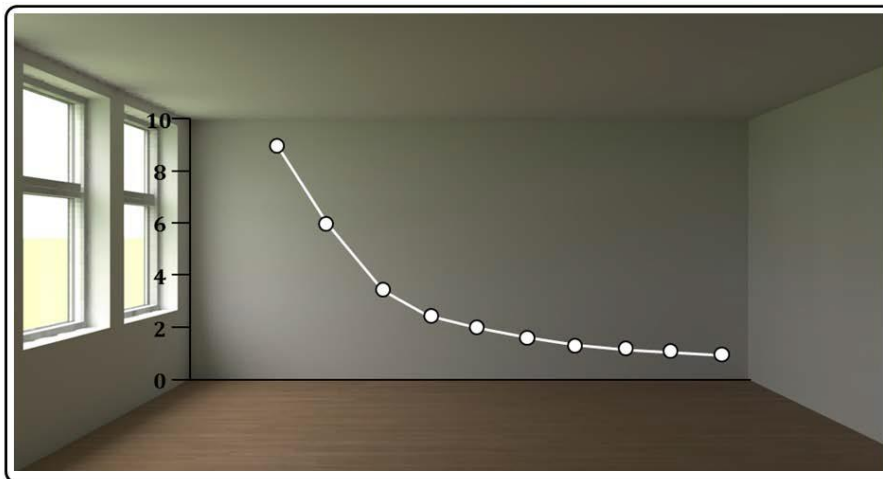
Εικόνα 28 : Τυπικός χώρος για τον υπολογισμό. [1]



Εικόνα 29 : «Κορεσμός» όσον αφορά την εξοικονόμηση από τον φυσικό φωτισμού (εννοείται στην συγκεκριμένη περίπτωση η εξοικονόμηση από τον περιορισμό της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροφωτισμού). [1]

Η ανομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός σε χώρους με κάθετα ανοίγματα είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό, επομένως είναι δύσκολο να επιτευχθεί ομοιομορφία ( $E_{min}/E_{average}$ ) μόνο με τη χρήση πλευρικών ανοιγμάτων σε κάποιο χώρο. Οι ίδιες απαιτήσεις πρέπει να πληρούνται κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος ηλεκτρικού φωτισμού. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την κατανομή

των συντελεστών φυσικού φωτισμού ως προς την απόσταση από το άνοιγμα (μείωση της έντασης όσο αυξάνεται η απόσταση από το άνοιγμα - εκθετική μείωση).[1]



Εικόνα 30 : Εκθετική μείωση των τιμών ΠΦΦ.[1]

Η βελτίωση της ομοιομορφίας μπορεί να επιτευχθεί :

- με μείωση του βάθους του χώρου. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η ελάχιστη τιμή. Μια πρακτική προσέγγιση είναι η χρησιμοποίηση του τύπου του Lynes για να αποφευχθεί η σχεδίαση χώρων με μεγάλο βάθος. Η συνθήκη αυτή περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L/W + L/Hw \leq 2/((1-p))$$

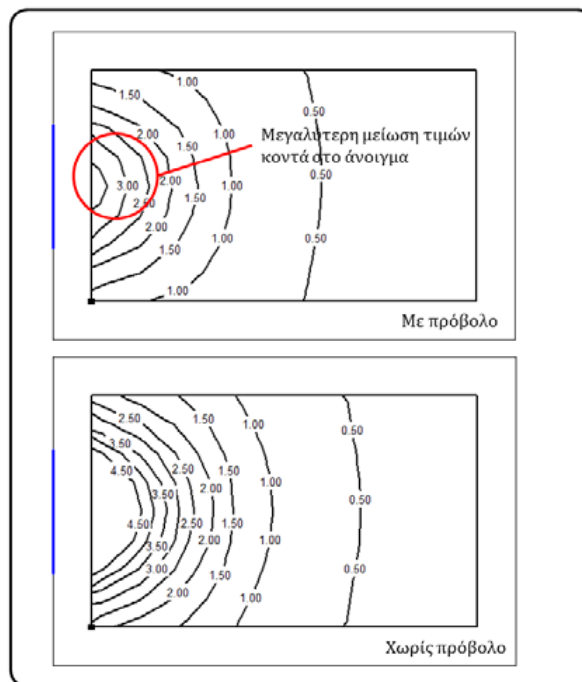
Όπου L,W,Hw είναι το μήκος, πλάτος και ύψος της μαρκίζας (πρέκι) από το δάπεδο του χώρου και ρ η μέση ανακλαστικότητα των επιφανειών στο πίσω μισό μέρος του χώρου. Ο υπολογισμός της μέσης ανακλαστικότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\rho = (\rho_{\text{επιφ1}} * A_{\text{επιφ1}} + \rho_{\text{επιφ2}} * A_{\text{επιφ2}} + \dots) / (A_{\text{επιφ1}} + A_{\text{επιφ2}} + \dots)$$

Ο παραπάνω τύπος επιδρά στην διατήρηση του λόγου της στάθμης φυσικού φωτισμού στο μπροστινό μισό τμήμα του χώρου προς το πίσω μισό τμήμα του χώρου και πρέπει να ισούται με 3/1. [1]

- με χρήση σκίασης. Η σκίαση έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην κατανομή του φυσικού φωτός. Γενικά, είναι σημαντικό να υπάρχει ένα σύστημα σκίασης που να παρέχει καλό έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς να επηρεάζει αρνητικά την ομοιομορφία. Για παράδειγμα, η χρήση ενός

προβόλου έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του επιπέδου φωτός από το πιο απομακρυσμένο σημείο από το άνοιγμα μέχρι τα σημεία κοντά στο άνοιγμα. Στο σχήμα φαίνεται η περίπτωση ενός ατόμου που είναι ανάποδα. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν πέσει και το κεφάλι τους είναι κάτω από το σώμα τους. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται η ανωτέρω περίπτωση. [1]



Εικόνα 31 : Τροποποίηση κατανομής ΠΦΦ λόγω ύπαρξης σκίασης σε τυπικό γραφειακό χώρο.[1]

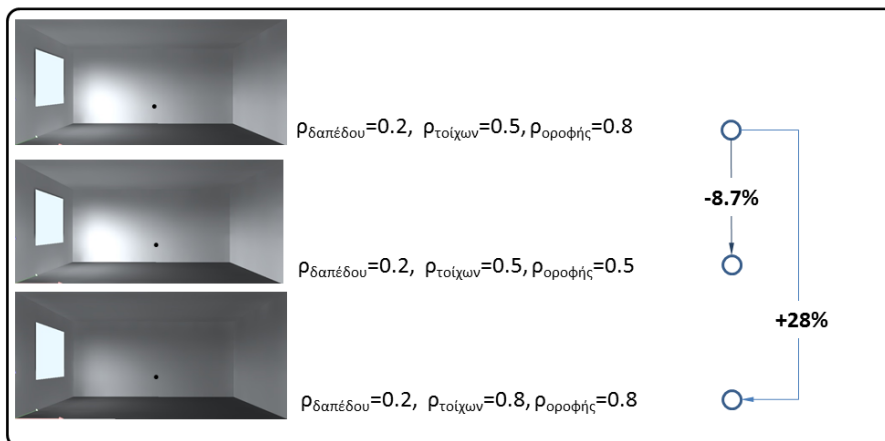
- Τα οριζόντια ανοίγματα συνεισφέρουν περισσότερο στην αύξηση της ομοιομορφίας, χρειάζεται όμως προσοχή στη σκίαση τους.[1]
- Με τεχνική δημιουργίας κλίσης στην οροφή του χώρου που επιτρέπει την αύξηση του ύψους των φεγγιτών και ταυτόχρονα δίνει βάθος της περιμετρικής ζώνης.[1]





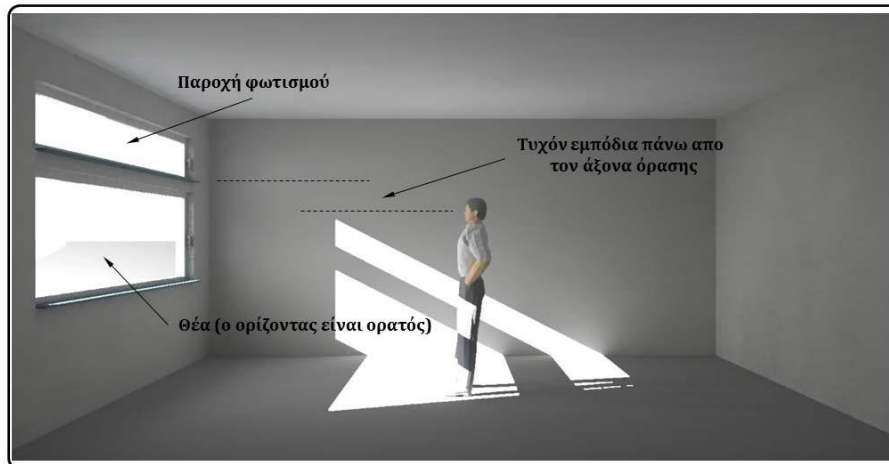
Εικόνα 32 : Χρήση κεκλιμένης οροφής.[1]

- Αύξηση ανακλαστικότητας. Η αύξηση της ανακλαστικότητας συμβάλλει προφανώς στην αύξηση του φωτισμού λόγω των εσωτερικών ανακλάσεων. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την επίδραση της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας δωματίου στην τιμή φωτισμού στο κέντρο της (ύψος 0,85 m). [1]



Εικόνα 33 : Δωμάτιο 4x6x2.8 m με άνοιγμα 2x1.5 και  $T_{\text{vis}}=0.65$  , συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού. Μεταβολή της τιμής της έντασης φωτισμού στο κέντρο του δωματίου λόγω τροποποίησης των ανακλαστικότητων.[1]

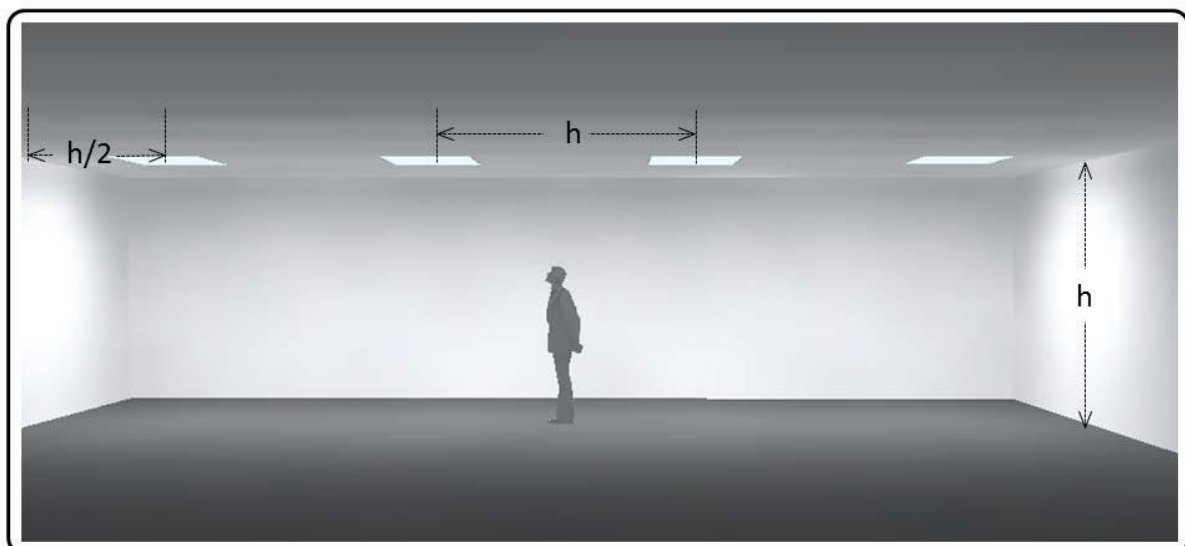
Η διαφορά ύψους μεταξύ των δύο τμημάτων του ανοίγματος είναι ένας ενδιαφέρον τρόπος διαχείρισης της πρόσοψης. Το επάνω άνοιγμα χρησιμοποιείται κυρίως για παροχή φωτισμού και το κυρίως άνοιγμα χρησιμοποιείται κυρίως για παροχή θέας.[1]

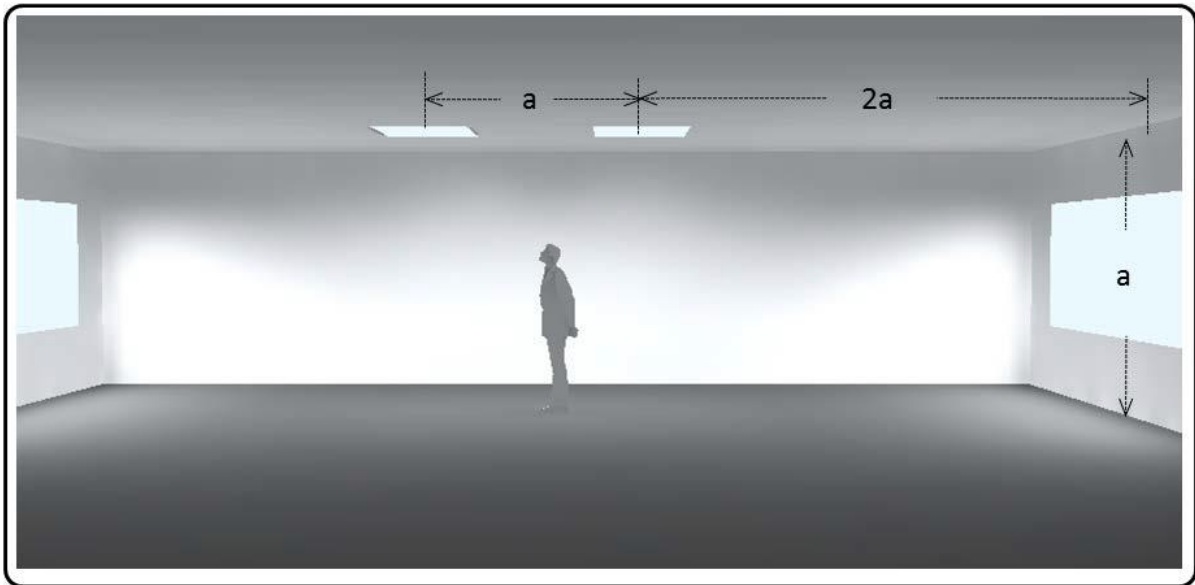


Εικόνα 34 : Διαχωρισμός κάθετου ανοίγματος σε δύο επιμέρους με δυνατότητα διαφορετικής λειτουργίας.[1]

Υπό συννεφιασμένες συνθήκες, ο φωτισμός στο οριζόντιο επίπεδο είναι πολλαπλάσιος από αυτόν στο κατακόρυφο επίπεδο, επομένως η ροή μέσω των οριζόντιων ανοιγμάτων είναι μεγαλύτερη. Ωστόσο, τα οριζόντια ανοίγματα δέχονται σημαντικά αυξημένο άμεσο ηλιακό φως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, πράγμα που σημαίνει - στην περιοχή μας - ότι η διαστασιολόγηση και η σκιάσή τους απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. [1]

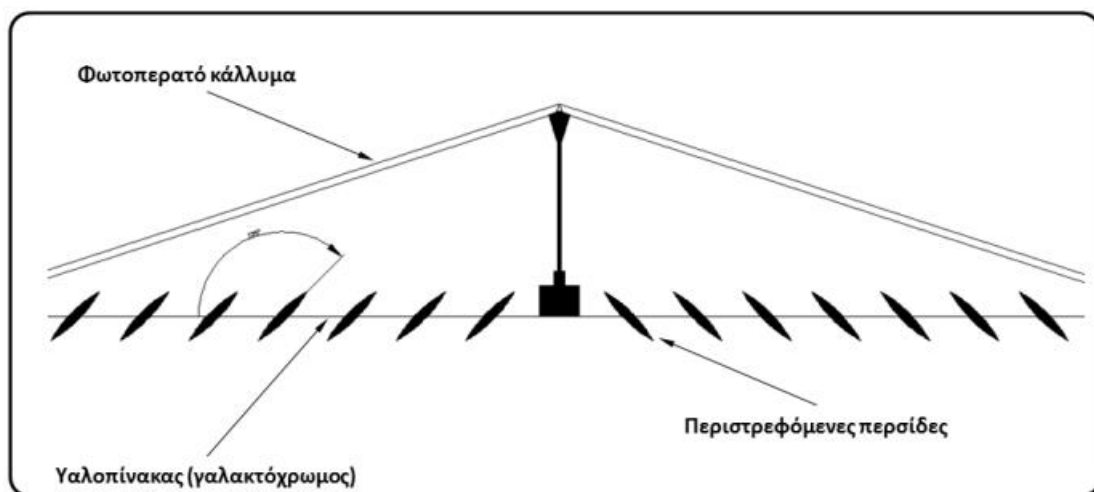
Τα ανοίγματα πρέπει να τοποθετούνται ομοιόμορφα σε απόσταση μεταξύ τους όσο περίπου είναι το ύψος από το πάτωμα. [1]



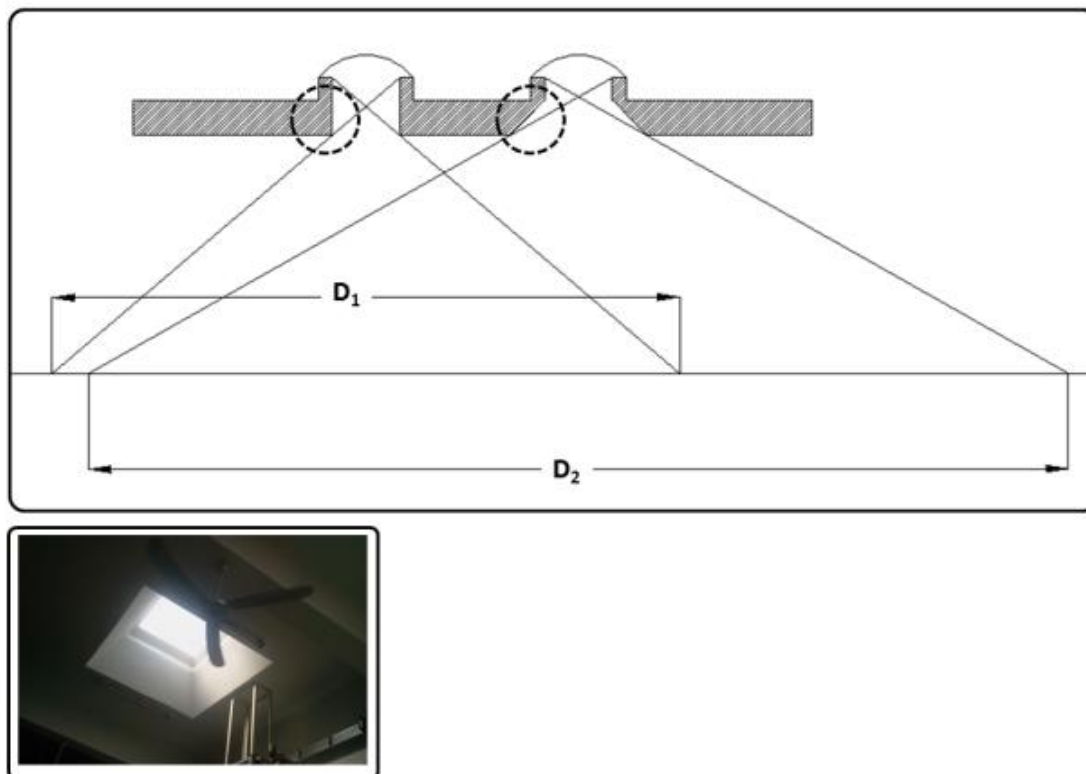


Εικόνα 35 : Τοποθέτηση ανοιγμάτων οροφής με σκοπό την καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτισμού.[1]

Η χρήση τους επιτρέπει μεγαλύτερες τιμές ομοιομορφίας (σε σύγκριση με τα κατακόρυφα ανοίγματα), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, ο σχεδιασμός κάποιου συστήματος ελέγχου επιτρέπει τη ρύθμιση της φωτεινής ροής που εισέρχεται από αυτό. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι η ρύθμιση των συστημάτων σκίασης π.χ. αίθριου όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.[1]



Εικόνα 36 : Ρύθμιση φυσικού φωτισμού με χρήση κινούμενων περσίδων ανάμεσα σε δύο φωτοπερατές (εξωτερική και εσωτερική) επιφάνειες.[1]



Εικόνα 37 : Τεχνική διεύρυνσης της ζώνης εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού.[1]

Με τα ανοίγματα οροφής, είναι δυνατή η αύξηση του ύψους ενός χώρου, γεγονός που θα οδηγήσει σε βελτίωση της ομοιομορφίας της κατανομής του φυσικού φωτισμού.

### 3.3 Υαλοπίνακες

Ο τύπος υαλοπίνακα είναι μια πολύ σημαντική απόφαση όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια και έχει σημαντικό αντίκτυπο στη θερμική και οπτική άνεση των ενοίκων. [1]

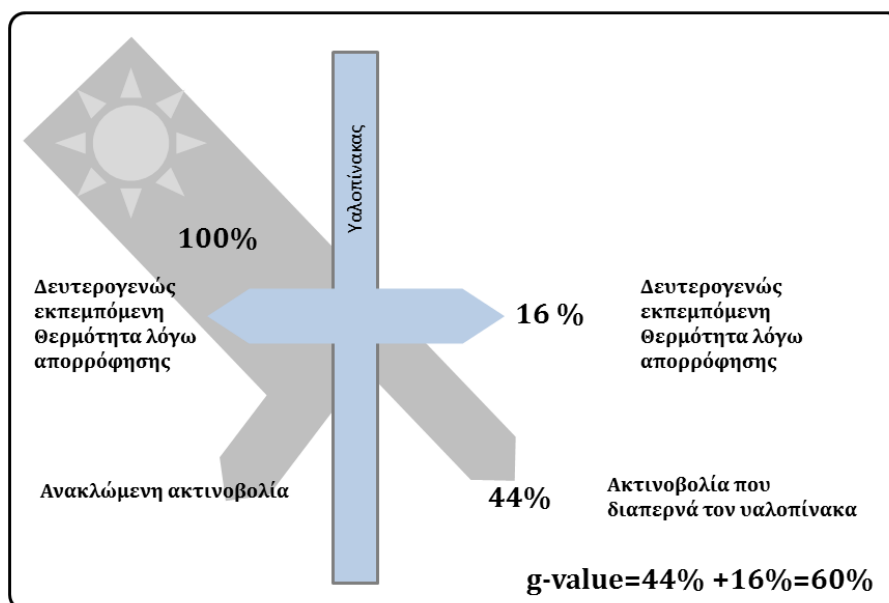
Προφανώς η διαδικασία επιλογής πρέπει να ικανοποιεί ανταγωνιστικές παραμέτρους (π.χ. επαρκές φυσικό φως & περιορισμός της ηλιακής ακτινοβολίας) και πρέπει επίσης να πραγματοποιείται σε συνδυασμό με το σύστημα σκίασης. Η σχεδιαστική προσέγγιση εδώ είναι να δημιουργηθεί ένα κέλυφος που αποτελείται από διαδοχικά στρώματα (εξωτερική σκίαση/υαλοπίνακας/εσωτερική σκίαση), τα οποία, εκτός από το ενεργειακό στρώμα, προσφέρουν τη δυνατότητα προσαρμογής. Υπάρχουν επίσης παράμετροι που σχετίζονται με το απόρρητο, την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και τη ρύθμιση της θάμβωσης.[1]

Σήμερα, υπάρχει μια μεγάλη γκάμα επιλογών υαλοπινάκων που μπορούν να καλύψουν ποικίλες ανάγκες. Τα χαρακτηριστικά τους μπορούν να ρυθμιστούν με:

- Την τροποποίηση των ιδιοτήτων του υαλοπίνακα με χρήση χημικής επεξεργασίας (έγχρωμοι υαλοπίνακες).[1]
- Χρήση ειδικών επιστρώσεων που βοηθούν στη μείωση του ηλιακού κέρδους, στη μείωση των εκπομπών από τις επιφάνειες και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες ζώνες. Η χρήση φωτός με υψηλή ορατή διαπερατότητα είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη η εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση φυσικού φωτισμού, ενώ παράλληλα μειώνονται τα ηλιακά κέρδη. [1]
- Την δυναμική μεταβολή της διαπερατότητας τους (ηλεκτροχρωμική, αεριοχρωμική, υγρών κρυστάλλων κλπ.) με μια μικρή δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας.[1]

Χαρακτηριστικά μεγέθη που έχουν άμεση συσχέτιση με τη χρήση του φυσικού φωτισμού είναι:

1. Η διαπερατότητα της ορατής ηλιακής ακτινοβολίας ( $T_{vis}$ ) στην περιοχή 380-780 nm. Είναι σαφές ότι οι αυξημένες τιμές οδηγούν σε αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού και η διαπερατότητα εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης με τη φαινομενική μείωση όταν αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης, οπότε η κλίση της πρόσπτωσης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με διατήρηση της οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον.[1]
2. Ο συντελεστής ηλιακού κέρδους (g-value) είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας (300-2500nm) που διεισδύει απευθείας στον υαλοπίνακα μαζί με τη δευτερογενή θερμότητα που εκπέμπεται από αυτό στο εσωτερικό σε σχέση με το προσπίπτον φως.[1]



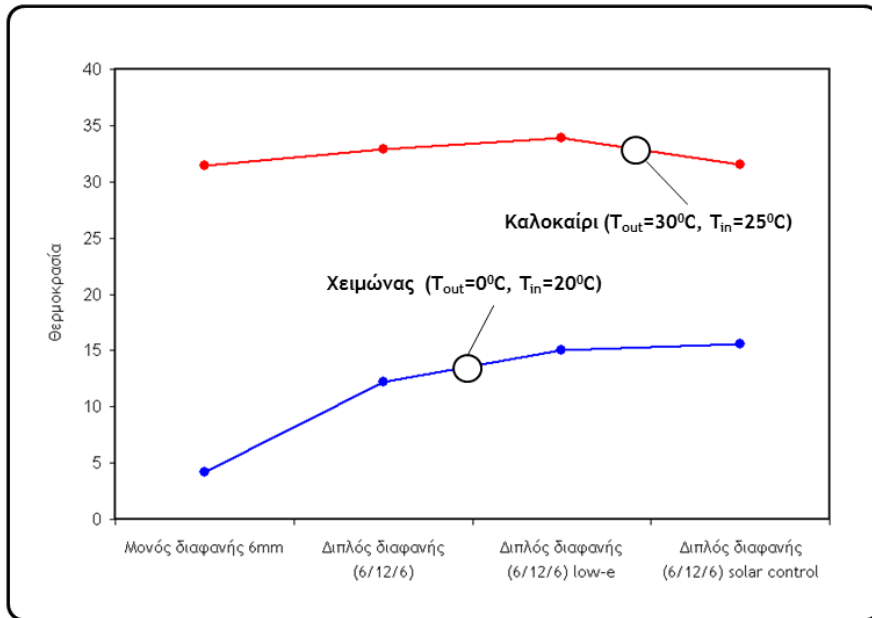
Εικόνα 38 : Ορισμός συντελεστή ηλιακών κερδών.[1]

3. Ανακλαστικότητα (εσωτερική ή εξωτερική) του ορατού φωτός στην ηλιακή ακτινοβολία. Η συνολική διαπερατότητα, ανακλαστικότητα και απορροφητικότητα είναι 100%. Η εξωτερική τιμή επηρεάζει ιδιαίτερα το περιβάλλον του κτιρίου μέσω της αύξησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας και σε πολλές περιπτώσεις της θάμβωσης που μπορεί να προκληθεί.[1]
4. Δείκτης χρωματικής απόδοσης (Ra). Είναι ένα μέτρο για το πώς φαίνεται ένα χρώμα στην οθόνη. Ο δείκτης μετρά την επίδραση ενός συγκεκριμένου τύπου παραθύρου στην απόδοση των χρωμάτων σε ένα δωμάτιο και στον τρόπο εμφάνισης του εξωτερικού περιβάλλοντος. Γενικά, οι τιμές πάνω από 80 είναι καλές, οι τιμές πάνω από 90 είναι εξαιρετικές. Για την εκτίμηση αυτής της τιμής χρησιμοποιείται μια φωτεινή πηγή D65 (δηλ. πηγή με θερμοκρασία χρώματος ~65000K).[1]

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επιλογή των υαλοπινάκων βασίζεται σε πρόσθετους παράγοντες, όπως η τιμή U-value, η αντοχή στη φωτιά και η διαπερατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία. Μια απλή εξίσωση μεταξύ διαπερατότητας ( $\tau$ ), ανακλαστικότητας ( $\rho$ ) και απορροφητικότητας ( $\alpha$ ) είναι η :

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

Οι έγχρωμοι υαλοπίνακες περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη λόγω απορρόφησης ενώ οι ανακλαστικοί λόγω της ανάκλασης. Επίσης αναπτύσσουν μεγαλύτερη θερμοκρασία λόγω της αυξημένης απορρόφησης. Συνεπώς σε διπλή υάλωση ο έγχρωμος υαλοπίνακας τοποθετείται εξωτερικά για απομάκρυνση θερμότητας αν θέλουμε μείωση των ηλιακών κερδών. Τέλος η θέρμανση των υαλοπινάκων επιδρά στην θερμική άνεση. Η ενδεικτική διαφοροποίηση της θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας των υαλοπινάκων ανάλογα με τον τύπο τους και την εποχή παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.[1]



Εικόνα 39 : Ενδεικτική διαφοροποίηση της θερμοκρασίας των υαλοπινάκων ανάλογα με τον τύπο τους και την εποχή.[1]

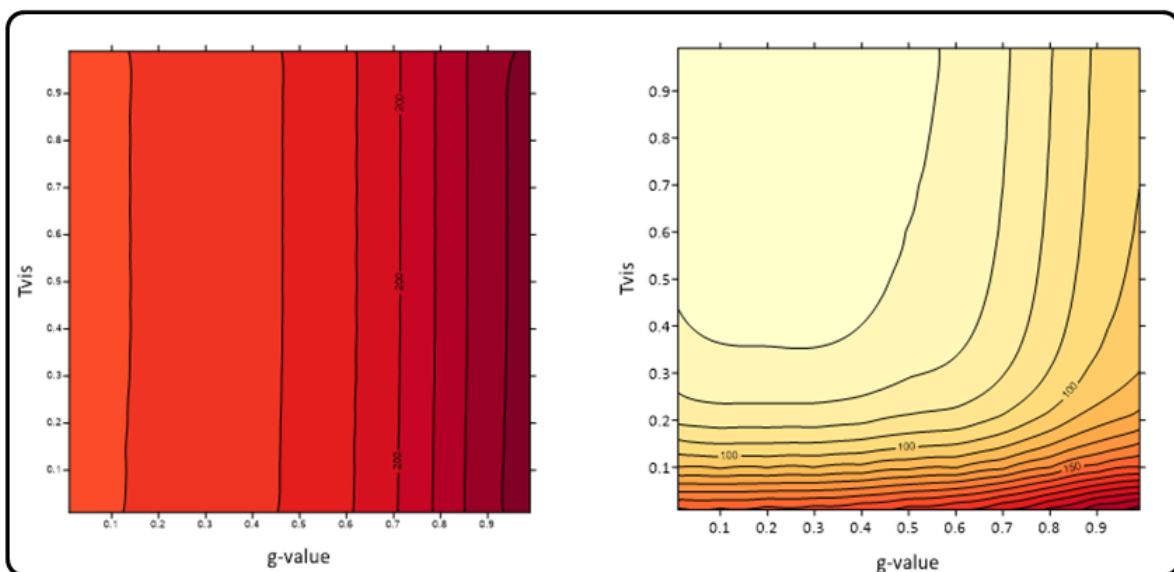
Διαφορετικοί τύποι υαλοπινάκων έχουν διαφορετικές τιμές για ορατή μετάδοση και συντελεστή ηλιακού κέρδους. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την ορατή μετάδοση και τον συντελεστή ηλιακού κέρδους υαλοπινάκων με πάχος 6 mm. Οι πράσινοι χρώματος υαλοπίνακες γενικά εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές διαπερατότητας για την ίδια τιμή του συντελεστή ηλιακών κερδών (δηλ. μεγαλύτερη τιμή του λόγου T<sub>vis</sub>/g-value).[1]

|                   | Διαπερατότητα στο ορατό (T <sub>vis</sub> ) | Συντελεστής ηλιακών κερδών (g-value) | T <sub>vis</sub> /g-value |
|-------------------|---|--------------------------------------|---------------------------|
| Διαφανής          | 0.884                                       | 0.817                                | 1.08                      |
| Πράσινου χρώματος | 0.754                                       | 0.6                                  | 1.25                      |
| Μπλέ χρώματος     | 0.574                                       | 0.581                                | 0.98                      |
| Γκρί χρώματος     | 0.437                                       | 0.604                                | 0.72                      |

Εικόνα 40 : Τυπικά χαρακτηριστικά έγχρωμων υαλοπινάκων.[1]

Η μείωση του συντελεστή στα ηλιακά κέρδη συνοδεύεται με μείωση της διαπερατότητας για τους έγχρωμους υαλοπίνακες (και το αντίστροφο). Σήμερα, οι κατασκευαστές ζητούν υαλοπίνακες που έχουν μια ορισμένη φασματική επιλεκτικότητα, η οποία επιτρέπει τόσο τη χρήση φυσικού φωτισμού όσο και τη μείωση των ηλιακών κερδών. Η φασματική επιλεκτικότητα του υαλοπίνακα υποδεικνύεται από την αναλογία (T<sub>vis</sub>/g-value). Έτσι επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η μείωση των ηλιακών κερδών και η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού. Στο παρακάτω σχήμα

φαίνεται η επίδραση δύο παραμέτρων της ορατής μετάδοσης ( $T_{vis}$ ) και του συντελεστή ηλιακού κέρδους ( $g$ -value) στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας με παραμετρική ανάλυση. Ο χώρος που καταλαμβάνεται είναι γραφείο τυπικών διαστάσεων ( $5,4m \times 3,4m$ ) με εξωτερικό (το υπόλοιπο θεωρείται μονωμένο), δάπεδο και 20% τζάμια νότια. Η εγκατεστημένη ισχύς για φωτισμό είναι  $16 \text{ W/m}^2$  με 10 ώρες λειτουργίας και τυπικές τιμές για τις απαιτούμενες θερμοκρασίες θέρμανσης και ψύξης ( $200^\circ$  &  $260^\circ\text{C}$ ). [1]



*Εικόνα 41 : Αν δεν υιοθετηθεί σύστημα ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών με χρήση αισθητήρα φωτισμού η αύξηση του συντελεστή ηλιακών κερδών οδηγεί μονοσήμαντα σε αύξηση της πρωτογενούς κατανάλωσης (αριστερό διάγραμμα). [1]*

Το γράφημα στα αριστερά δείχνει την αλλαγή στην πρωτογενή ενέργεια που απαιτείται για την ψύξη, τη θέρμανση ή το φωτισμό ενός δωματίου χωρίς να υιοθετηθεί ένα σύστημα που εκμεταλλεύεται το φυσικό φως. Η αλλαγή της ροής φωτός από το σύστημα μείωσης της φωτεινότητας μπορεί να μειώσει την ενέργεια που απαιτείται. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατοί όλοι οι συνδυασμοί τιμών για  $T_{vis}$  και  $g$ -value (δηλ. δεν υπάρχουν υαλοπίνακες π.χ. με  $T_{vis}=87\%$  και  $g$ -value=0.1). Είναι σαφές ότι η αύξηση της τιμής του συντελεστή ηλιακών κερδών έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πρωτογενούς κατανάλωσης. Το γράφημα στα δεξιά, υιοθετήθηκε ένα σύστημα ρύθμισης ηλεκτρικού φωτισμού χρησιμοποιώντας φυσικό φωτισμό και απεικονίζεται η μείωση της κατανάλωσης καθώς και η αλλαγή στους συνδυασμούς  $T_{vis}/g$ -value που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη μιας δεδομένης κατανάλωσης. [1]

Για να αξιοποιησετε στο έπακρο τον φυσικό φωτισμό, το  $T_{vis}$  θα πρέπει να είναι της τάξης του 65-70%. Σε περιπτώσεις που η κατανάλωση για ψύξη είναι σημαντική, οι συνιστώμενες τιμές



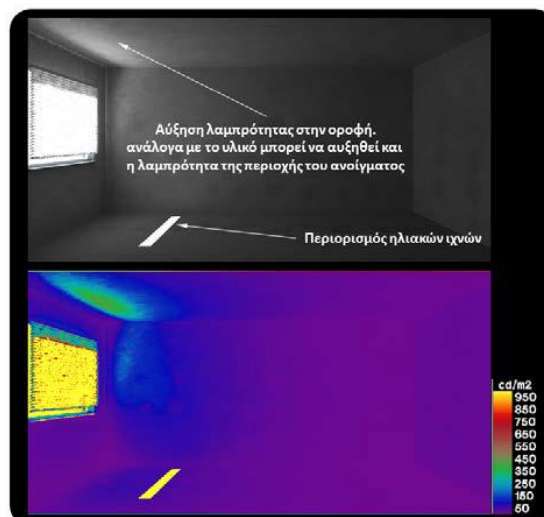
ηλιακού κέρδους είναι <40-50% (αυτές οι τιμές αλλάζουν και λόγω ύπαρξης σκίασης), ενώ χρησιμοποιούμε υψηλότερες τιμές όταν χρειάζεται ηλιακό κέρδος. (παθητική θέρμανση). [1]

### 3.4 Σκίαση

Τα συστήματα σκίασης είναι σημαντικά για τη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης. Μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα υπερθέρμανσης και θάμβωσης και επίσης να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι βλέπουν το εξωτερικό περιβάλλον, την ιδιωτικότητά τους και την πιθανότητα φυσικού αερισμού. [1]

Με βάση τα παραπάνω ένα σύστημα σκίασης θα πρέπει:

- Να ρυθμίζει (ή εμποδίζει όταν χρειάζεται) την είσοδο του άμεσου ηλιακού φωτός στο δωμάτιο.[1]
- Να ρυθμίζει την ποσότητα διάχυτης ακτινοβολίας (άμεσα από ουρανό ή ανακλώμενη από εξωτερικά εμπόδια).[1]
- Να μειώνει την λαμπρότητα του ανοίγματος.[1]
- Να επιτρέπει στους ανθρώπους να έχουν επαφή τόσο με το εσωτερικό όσο και με το εξωτερικό περιβάλλον, αποτρέποντάς τους ταυτόχρονα από τη δυσκολία εκτέλεσης συγκεκριμένων εργασιών.[1]
- Να παρέχει ιδιωτικότητα.[1]



Εικόνα 42 : Τροποποίηση της κατανομής λαμπρότητας στις επιφάνειες χώρου με διαφοροποίηση της κλίσης εσωτερικού συστήματος περσίδων.[1]

Το σύστημα σκίασης επηρεάζει σαφώς τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε το περιβάλλον. Επομένως δεν είναι σημαντικό μόνο π.χ. το ποσοστό στο οποίο το σύστημα σκίασης

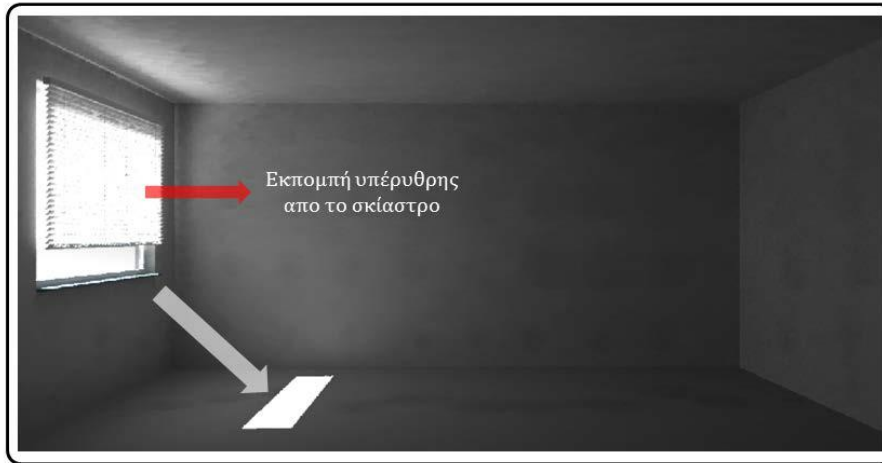
«καλύπτει» την εικόνα του εξωτερικού περιβάλλοντος στα ανοίγματα και το πιο συνηθισμένο σύστημα είναι η χρήση διάτρητης μεταλλικής επιφάνειας. Το ποσοστό διάτρησης μπορεί να διατηρηθεί στο 50%, αλλά μπορεί να επιλεγεί ο αριθμός των μεγάλων ή μικρών οπών. Ενώ και τα δύο συστήματα χειρίζονται την ηλιακή ακτινοβολία με τον ίδιο τρόπο, η ποιότητα της οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον είναι διαφορετική. [1]

Ένα δευτερεύον χαρακτηριστικό της γεωμετρίας σκίασης είναι η ειδική επίδραση που έχει στα ηλιακά ίχνη. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει μια πολυπλοκότητα στις ηλιακές ράγες που δημιουργούνται στις επιφάνειες που μπορεί να είναι ενοχλητικές ανάλογα με το μέγεθος και την εργασία που εκτελείται. [1]



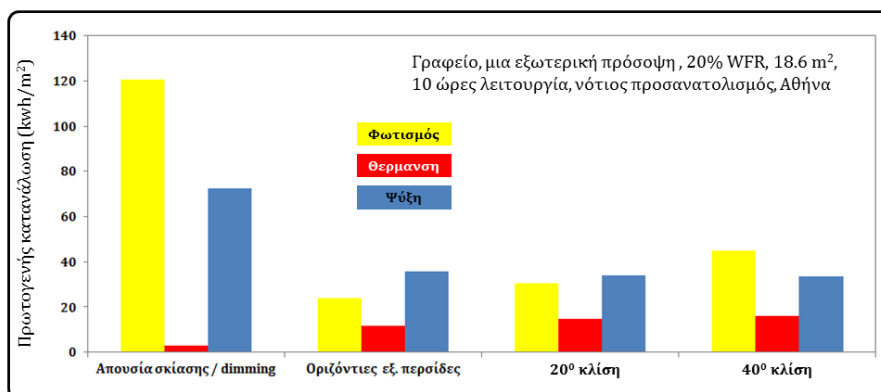
Εικόνα 43 : Δημιουργία μοτίβων στην επιφάνεια εργασίας λόγω του συστήματος σκίασης. [1]

Η ταυτόχρονη απαίτηση για σημαντική μείωση του ηλιακού κέρδους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για επαρκή επίπεδα φωτισμού είναι ανταγωνιστικές και θα πρέπει να διευθετηθεί με κατάλληλο σχεδιασμό. Η επιλογή ενός συστήματος σκίασης μπορεί να γίνει μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, καθώς δεν θα πρέπει να αποφασίζεται μόνο με βάση τυχόν απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας, αλλά θα πρέπει επίσης να ενσωματώνεται σωστά στο κέλυφος του κτιρίου για αισθητικούς λόγους. Μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων είναι διαθέσιμα σήμερα, για να μην αναφέρουμε ένα σχεδιασμένο εξαρχής. Δυνατότητα ανάπτυξης ενός συστήματος σκίασης ξεχωριστά ή ως μέρος του κελύφους του κτιρίου. Η δομή αυτής της πρότασης είναι ασαφής. Η επιλογή, για παράδειγμα, ενός εσωτερικού ή εξωτερικού συστήματος σκίασης μπορεί να μην επηρεάσει σημαντικά το επίπεδο φυσικού φωτός στο εσωτερικό, αλλά μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την υπολειπόμενη θερμική ισορροπία του κτιρίου, καθώς η χρήση σκίασης εσωτερικού χώρου συνήθως οδηγεί σε αύξηση του ηλιακού κέρδους το σύστημα. [1]



Εικόνα 44 : Απορρόφηση ηλ. ακτινοβολίας από το σύστημα σκίασης, αύξηση της θερμοκρασίας του και συνεπώς αύξηση στην εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από αυτό.[1]

Η επίδραση ενός εξωτερικού συστήματος σκίασης στην κατανάλωση ηλεκτρικού φωτισμού είναι σημαντική. Εάν υπάρχει ένα σύστημα για τη ρύθμιση της φωτεινής ροής με έναν αισθητήρα, τότε αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης φωτισμού. Είναι ευρέως γνωστό ότι αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό του προϊόντος. Η μείωση των αναγκών ψύξης κατά τη χρήση συστήματος σκίασης είναι σημαντική. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα συστήματα σκίασης μπορούν να τροποποιηθούν (π.χ. με κλίση περσίδων), η επίδρασή τους στην κατανάλωση ηλεκτρικού φωτισμού είναι μεγαλύτερη. [1]



Εικόνα 45 : Η μείωση της κατανάλωσης από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού βασίστηκε σε τιμή φωτισμού σημείου στο κέντρο του δωματίου. Εξωτερικό σύστημα περσίδων.[1]

Στα αρχικά στάδια σχεδιασμού, ο χρόνος που απαιτείται σκίαση υπολογίζεται με βάση τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και τη θερμοκρασία κάτω από την οποία θεωρείται άβολη. Η υπέρβαση

αυτής της θερμοκρασίας σηματοδοτεί την έναρξη της περιόδου σκίασης. για την Αθήνα, την περίοδο από Μάιο έως Σεπτέμβριο). Οι σημερινοί αλγόριθμοι προσομοίωσης μας επιτρέπουν να έχουμε μια πολύ λεπτομερή εικόνα αυτής της περιόδου με βάση άλλους παράγοντες (θερμική μάζα, προσανατολισμός, εσωτερικά κέρδη κ.λπ.). [1]

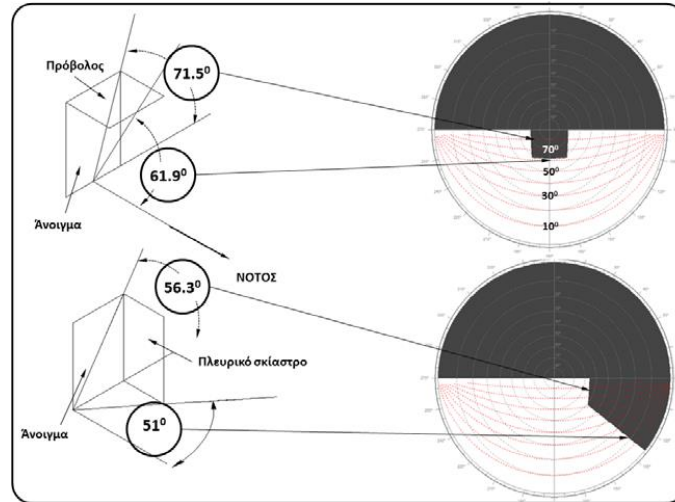
Σήμερα, χάρη στην ευρεία χρήση αλγορίθμων προσομοίωσης, αυτή η περίοδος μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια με βάση άλλους παράγοντες (θερμική μάζα, προσανατολισμός, εσωτερικά κέρδη κ.λπ.). [1]

Ο συνδυασμός του ηλιακού διαγράμματος και της μάσκας σκίασης μπορεί να δώσει μια ένδειξη της αποτελεσματικότητας του συστήματος σκίασης (δηλαδή πόσο καλά περιορίζει το άμεσο ηλιακό φως). Σκεφτείτε ότι η επίδραση της σκίασης στη θερμική ισορροπία του κτιρίου οφείλεται στη ρύθμιση της ακτινοβολίας (άμεση/διάχυτη). Επομένως, η εκτίμηση μόνο του ποσοστού σκίασης (αγνοώντας την επίδραση της ηλεκτρονικής ακτινοβολίας) είναι μόνο η «μισή» αλήθεια. [1]

Σε ένα κτίριο, ο χρόνος σκίασης αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του σημείου ισορροπίας ( $T_{bal}$ , θερμοκρασία σημείου ισορροπίας). Η συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι η εξωτερική θερμοκρασία στην οποία το κτίριο πρέπει να ψύχεται ή να θερμαίνεται ή το αντίστροφο. Σαφώς, για κτίρια που έχουν σημειώσει σημαντικά κέρδη στην εσωτερική παραγωγικότητα (άνθρωποι, φωτισμός, εξοπλισμός κ.λπ.), υπάρχει ανάγκη για αυξημένο αερισμό. Η θερμοκρασία του σημείου ισορροπίας είναι χαμηλότερη από την εξωτερική, επομένως η περίοδος σκίασης αυξάνεται. Η μέθοδος υπολογισμού  $T_{bal}$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πίνακες, εφόσον τα κέρδη και οι ζημιές του κτιρίου είναι γνωστά σε μέση μηνιαία ωριαία βάση. [1]

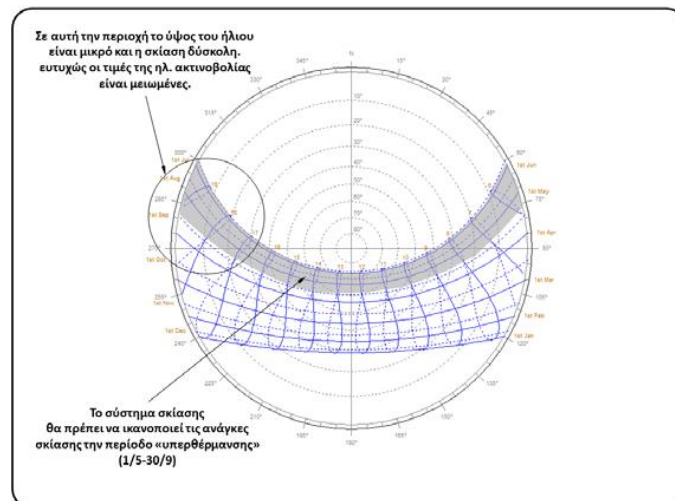
Μόλις γίνει γνωστή η χρονική κατανομή του  $T_{bal}$ , δημιουργείται ένα απλό ημερολόγιο σκίασης που υπολογίζει τον χρόνο σκίασης. [1]

Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση του επιλεγμένου συστήματος σκίασης, η μάσκα σκίασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ένα ηλιακό διάγραμμα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. [1]



Εικόνα 46 : Δημιουργία μάσκας σκίασης (σκίαση 100%) σε δύο περιπτώσεις συστημάτων σκίασης α) πρόβολος (επάνω) και πλευρικό (κάτω) σε άνοιγμα με νότιο προσανατολισμό.[1]

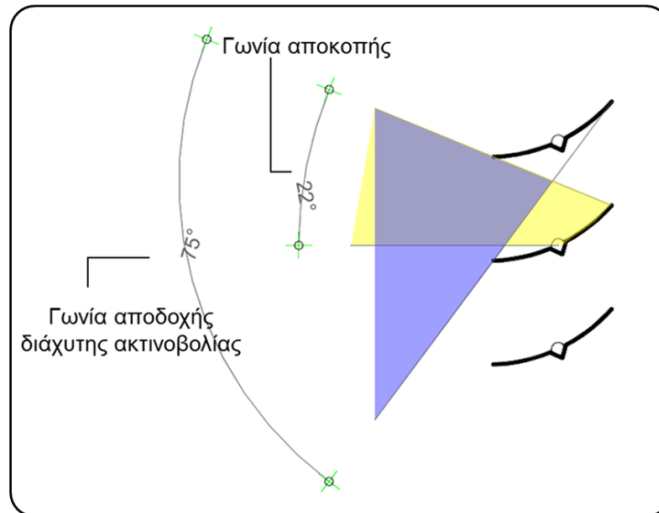
Σαφώς, η χρήση της μάσκας σκίασης επιτρέπει μια έγκαιρη εκτίμηση της χρονικής περιόδου που το συγκεκριμένο σύστημα σκιάζει (κατά ένα ορισμένο ποσοστό π.χ. 100% ή 50% ή διαφορετικό) το άνοιγμα. Ο στόχος είναι προφανώς ότι το σύστημα σκίασης δεν θα εμποδίσει την είσοδο του ηλιακού φωτός στην ακτινοβολία κατά την ψύξη, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση και τα φορτία αιχμής.[1]



Εικόνα 47 : Απλά συμπεράσματα από την εξέταση ηλιακού διαγράμματος.[1]

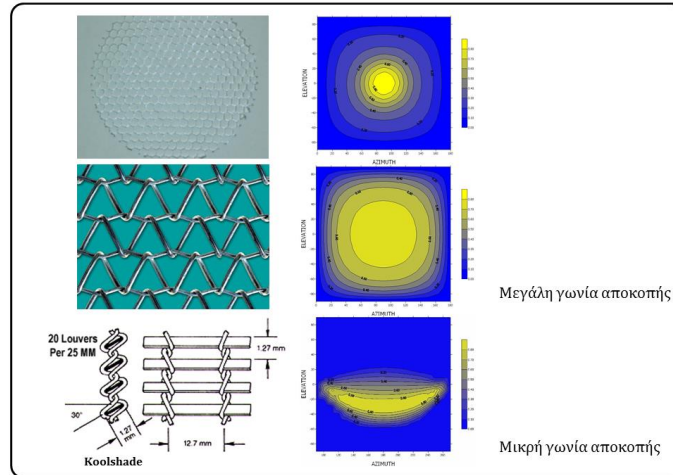
Μελετώντας την τροχιά του ήλιου, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη γεωμετρία των συστημάτων σκίασης σε σχέση με τον προσανατολισμό. Ένα ενδιαφέρον

χαρακτηριστικό χρήσιμο στην αρχή ενός σχεδίου είναι η αξιολόγηση της ηλιακής γωνίας αποκοπής, η οποία ορίζεται ως η μέγιστη γωνία σε που οι ακτίνες του ήλιου μπορούν να περάσουν μέσα από ένα αντικείμενο συστήματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [1]



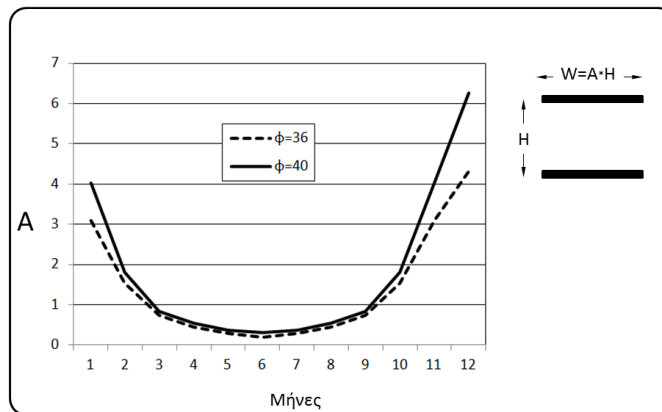
Εικόνα 48 : Ορισμοί γωνιών αποκοπής άμεσης και αποδοχής διάχυτης ηλ. ακτινοβολίας. Αυτή η γεωμετρία επιτρέπει μια εποχική επιλεκτικότητα την οποία δεν εμφανίζουν σκίαστρα όπως π.χ. υφασμάτινα ρολλά. [1]

Βασικά είναι μια διαφορετική εκδοχή της χρήσης ηλιακού διαγράμματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η γωνία αποκοπής είναι χαρακτηριστικό της γεωμετρίας του συστήματος, αλλά ο προσανατολισμός της θα καθορίσει εάν είναι επαρκής για σκίαση. Είναι προφανές ότι όταν χρησιμοποιούνται συνθετικά ή μη υφάσματα (ή δίχτυα) δεν ισχύει η παραπάνω εποχιακή επιλεκτικότητα. [1]



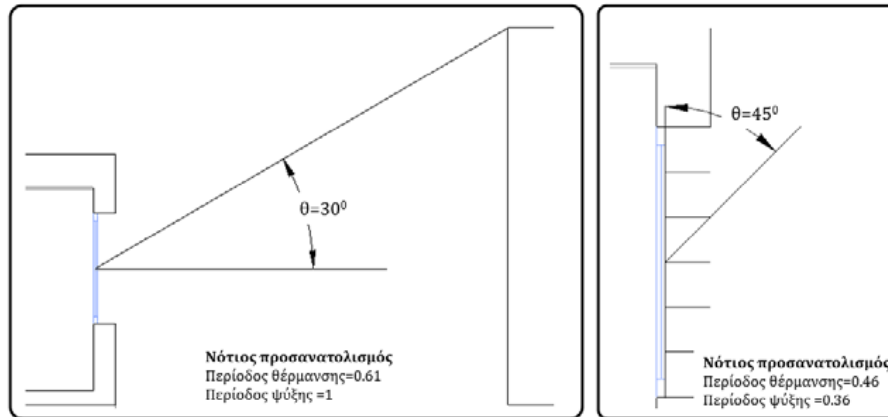
Εικόνα 49 : Διαπερατότητα άμεσου ηλιακού φωτισμού από διαφορετικά συστήματα σκίασης. Παρατηρήστε το τελευταίο όπου η γωνία αποκοπής είναι σχετικά μικρή.[1]

Για να υπολογίσετε το πλάτος των εξωτερικών περσίδων, δείτε το παρακάτω σχήμα για τα ανοίγματα που βλέπουν νότια. [1]



Εικόνα 50 : Διαστασιολόγηση σταθερών οριζόντιων συστημάτων σκίασης για ανοίγματα νότιου προσανατολισμού σε γεωγραφικά πλάτη 360, 400 και ωράριο 8:00-16:00.[1]

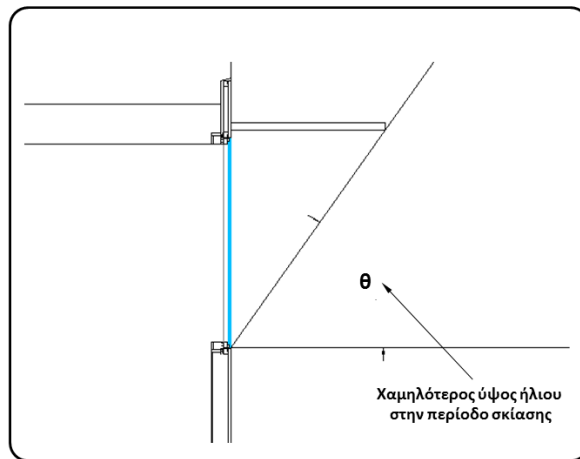
Στον ΚΕΝΑΚ, η επίδραση της σκίασης εκτιμάται με τον υπολογισμό του συντελεστή σκίασης για δύο περιόδους (θέρμανση και ψύξη) στην ευθυγράμμιση. Ο υπολογισμός βασίζεται στην εκτίμηση της γωνίας που σχηματίζεται (στην περίπτωση των απέναντι εμποδίων) μεταξύ του ευθύγραμμου κέντρου του ανοίγματος - άκρου του απέναντι εμποδίου και του οριζόντιου. Τα συστήματα σκίασης που εξετάζονται είναι πρόβολοι, πλευρικοί, εξωτερικοί φραγμοί και περσίδες. Η γωνία από την οποία εξαρτάται ο υπολογισμός φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [1]



Εικόνα 51 : Με τη βοήθεια των γωνιών που παρουσιάζονται στο σχήμα υπολογίζεται ο συντελεστής σκίασης στον KENAK.[1]

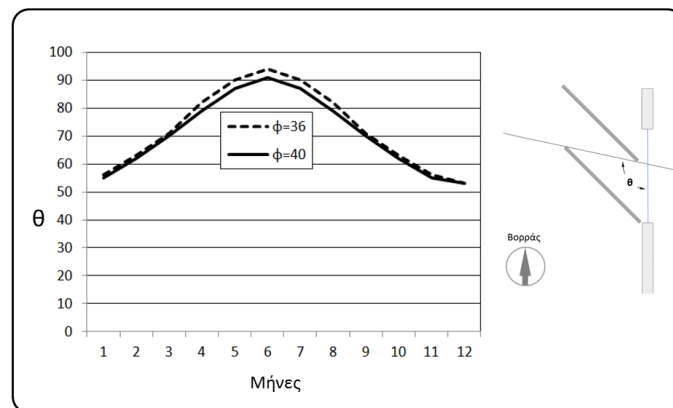
Ως εκ τούτου, για σταθερά συστήματα σκίασης λόγω της κίνησης του ήλιου, είναι κοινή πρακτική να χρησιμοποιείται μια οριζόντια διάταξη για το νότιο άνοιγμα και μια κατακόρυφη διάταξη για την ανατολή/δύση. Όσον αφορά το σχεδιασμό προβόλων, η διαστασιολόγηση τους εξαρτάται από τον υπολογισμό του χαμηλότερου ύψους ήλιου στο χρονικό διάστημα σκίασης. Πρέπει να τονισθεί ότι η περίοδος σκίασης εξαρτάται ανάλογα με το κτήριο (π.χ. αν εξαρτάται από τα εσωτερικά κέρδη ή από το κέλυφος). Στην πρώτη περίπτωση η γωνία ( $\theta$ ) που βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα είναι μικρότερη στα κτήρια μεγάλων εσωτερικών κερδών. Για παράδειγμα σύμφωνα με τον N. Lechner στο Los Angeles η γωνία  $\theta$  που σχηματίζεται από την ευθεία που ενώνει τη βάση του υαλοπίνακα και την άκρη του προβόλου, για κτήρια με μεγάλα εσωτερικά κέρδη είναι  $33^{\circ}$  ενώ για κτήρια που καθοδηγούνται από το κέλυφος (π.χ. κατοικίες) είναι  $61^{\circ}$ . [1]





Εικόνα 52 : Καθορισμός του πλάτους προβόλου μέσω καθορισμού της γωνίας  $\theta$  για νότια ανοίγματα (+/- 200).[1]

Σε ανατολικά και δυτικά ανοίγματα προτιμώνται σταθερά κάθετα σκίαστρα με κλίση προς τον βορρά ώστε να αποκόπτεται η είσοδος ηλιακής ακτινοβολίας.[1]



Εικόνα 53 : Σε ανατολικά-δυτικά ανοίγματα τα σταθερά κάθετα σκίαστρα σχηματίζουν γωνία αποκοπής  $\theta$  για γεωγραφικό πλάτος 360 & 400 για ωράριο λειτουργίας 8:00-16:00.[1]

Η υιοθέτηση οριζόντιων διατάξεων στα ανατολικά/δυτικά ανοίγματα, αν και παρέχει περισσότερο φυσικό φως, μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες για την επίτευξη των στόχων σχετικά με το φυσικό φωτισμό ( παροχή χωρίς θάμβωση).[1]

Οι εκτιμώμενες παράμετροι για την αξιολόγηση της σκίασης στο ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίων δεν διαφέρουν (κατ' αρχήν) από αυτές που χρησιμοποιούνται στους υαλοπίνακες. Το ευρωπαϊκό πρότυπο περιγράφει τη μέθοδο υπολογισμού της τιμής g-value (συντελεστής ηλιακής

απολαβής) και  $T_{vis}$  (διαπερατότητα ορατού φωτός) για το συνδυασμό συστημάτων σκίασης και υαλοπινάκων. [1]

Η απλοποιημένη μέθοδος για τον ολικό συντελεστή ηλιακών κερδών του εξωτερικού σκιάστρου (σκίαση-υαλοστάσιο) υπολογίζεται ως εξής:

$$g_{total} = \tau_{shading} * g + a_{shading} * G/10 + \tau_{shading} * (1-g)*G/5$$

Όπου  $g$  είναι ο συντελεστής ηλιακών κερδών του υαλοπίνακα, “ $\tau$ ” shading και “ $a$ ” shading η διαπερατότητα και η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα σκίασης. Ο συντελεστής “ $a$ ” shading υπολογίζεται από την παρακάτω απλή εξίσωση:

$$a_{shading} = 1 - \tau_{shading} - \rho_{shading}$$

όπου  $\rho_{shading}$  βρίσκεται η ανακλαστικότητα στο σύστημα σκίασης. Η παράμετρος  $G$  υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$G = [(1/U_g + 0.3)]^{-1}$$

Όπου  $U_g$  βρίσκεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας στον υαλοπίνακα με μονάδες  $W/m^2K$ .

Για τον υπολογισμό του συνολικού συντελεστή ηλιακών κερδών στο εσωτερικά τοποθετημένο σκιάστρο η εξίσωση είναι:

$$g_{total} = g * (1 - g * \rho_{shading} * g - a_{shading} * G/30)$$

Η παράμετρος  $G$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$G = (1/U_g + 1/30)^{-1}$$

Κάποιες συγκεκριμένες τυπικές τιμές για  $U_g$ ,  $g$ ,  $\tau$  και  $\rho$  των υαλοπινάκων εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

|  | $U_g$ (W/m <sup>2</sup> K) | g-value | $\tau_v$ | $\rho_v$ |
|--|----------------------------|---------|----------|----------|
| Μονός διαφανής υαλοπίνακας                     | 5.7                        | 0.85    | 0.9      | 0.08     |
| Διπλός διαφανής υαλοπίνακας                    | 3                          | 0.75    | 0.82     | 0.15     |
| Διπλός διαφανής υαλοπίνακας με επίστρωση low-e | 1.6                        | 0.7     | 0.75     | 0.17     |

Εικόνα 54 : Ιδιότητες τυπικών υαλοπινάκων.[1]

### 3.6 Συστήματα φυσικού φωτισμού

Υπήρξε ένας αριθμός νέων ιδεών που αναπτύχθηκαν σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα, αλλά δεν διαδόθηκαν εύκολα επειδή απαιτούσαν υψηλό επίπεδο ακρίβειας στην παραγωγή τους και επειδή δεν υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις για να τις υποστηρίξουν. Επίσης υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ της (g-value) και της δυσκολίας ελέγχου τους. [1]

Η ταξινόμηση τους έχει βάση στους McCluney (1998) και Matusiak (2004). Σύμφωνα με τον McCluney (1998) ο διαχωρισμός γίνεται ως εξής:

1. Συστήματα τοποθετημένα στα ανοίγματα εσωτερικά ή εξωτερικά.
2. Συστήματα με σκοπό την μεταφορά φυσικού φωτισμού στον πυρήνα του κτηρίου.

Σύμφωνα με τη Matusiak (2004) ο διαχωρισμός γίνεται σύμφωνα με τη δυνατότητα παροχής σκίασης. Έτσι προτείνεται:

1. Συστήματα Φυσικού Φωτισμού με σκίαση
  - a) και απόρριψη άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας
  - b) με αναπροσαρμογή της κατεύθυνσης της άμεσης ακτινοβολίας προς την οροφή πάνω από το επίπεδο του ματιού ώστε να μειωθούν τα φαινόμενα θάμβωσης.
2. Συστήματα Φυσικού Φωτισμού χωρίς σκίαση που μπορούν και μεταφέρουν φωτισμό (διάχυτο είτε ηλιακό) ή τον διαχέουν στο χώρο που τοποθετούνται.

Περιληπτικά ο στόχος της ανάπτυξης αυτών των συστημάτων φυσικού φωτισμού είναι:

- Η αύξηση του επιπέδου φυσικού φωτισμού σε περιοχές μακριά από τα ανοίγματα
- Η βελτίωση της ομοιομορφίας κατανομής του φυσικού φωτισμού
- Η βελτίωση οπτικής άνεσης
- Η παροχή σκίασης (αν είναι δυνατόν επιλεκτικής σκίασης ανάλογα με την εποχή).

- Η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται με λεπτομέρειες οι αρχές λειτουργίας μερικών συστημάτων φυσικού φωτισμού.[1]

### 3.7 Ράφι φωτισμού

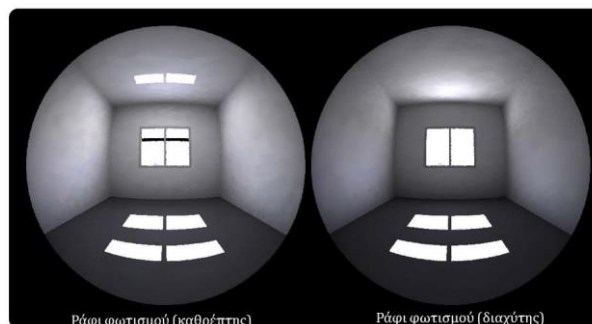
Ένα από τα πιο απλά συστήματα διαχείρισης του φυσικού φωτισμού είναι το παρακάτω το οποίο διαχωρίζει το άνοιγμα σε δύο τμήματα:

- α) Ο θεωρούμενος πάροχος θέας που τοποθετείται χαμηλότερα.
- β) Ο θεωρούμενος πάροχος φωτισμού που τοποθετείται ψηλότερα.



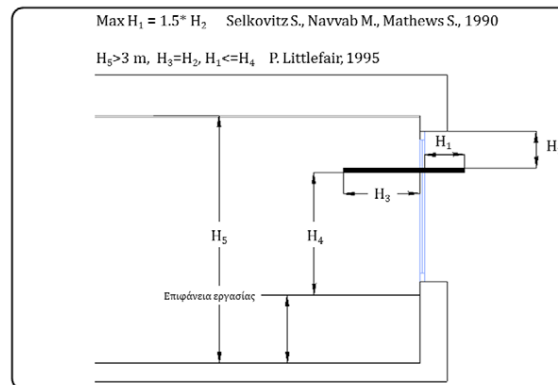
Εικόνα 55 : Ιδιότητες τυπικών υαλοπινάκων.[1]

Ταυτόχρονα, ο πρόβολος μπορεί να προσφέρει σκίαση και στο κάτω μέρος. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι αυξημένης ανακλαστικότητας και μπορούν να ανακλαστούν κατοπτρικά ή διάχυτα με την πρώτη περίπτωση να έχει καλύτερη απόδοση, αλλά πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για θέματα αντανακλάσεων στην οροφή καθώς και πιθανά προβλήματα θάμβωσης, λόγω ακριβώς αυτών των ανακλάσεων.[1]



Εικόνα 56 : Παρατηρήστε την ανάκλαση στην οροφή.[1]

Συνηθέστερα τοποθετούνται σε προσόψεις νότιου προσανατολισμού ενώ οι σχεδιαστικοί παράμετροι που επιδρούν στην απόδοση παρουσιάζονται στο παρακάτω σχέδιο.[1]



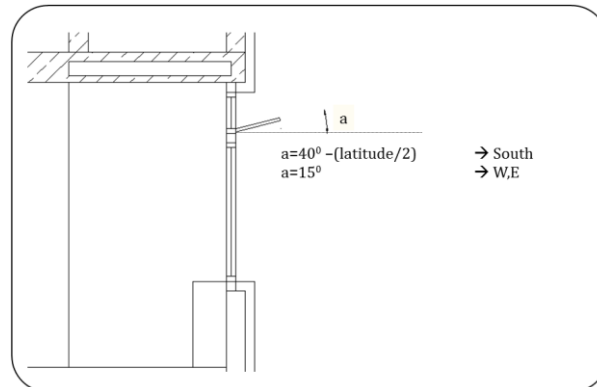
Εικόνα 57 : Χαρακτηριστικά μεγέθη που επηρεάζουν την απόδοση του ραφιού φωτισμού.[1]

Η δυνατότητα παροχής φυσικού φωτός από τους φεγγίτες και η σκίαση από τα παράθυρα ταυτόχρονα είναι το κύριο πλεονέκτημα των ραφιών. Σε μια ανάλυση του 1983 από τους Selkowitz et al, το μήκος του εξωτερικού στατικού ραφιού μπορούν να είναι μέχρι 1.5 μεγαλύτερη από το ύψος του φεγγίτη. Σύμφωνα με τον Littlefair, η απόδοση του ραφιού συνήθως μεγιστοποιείται σε ψηλότερους χώρους (>3μ). Το μήκος του είναι περίπου το ύψος του φεγγίτη του εσωτερικού ραφιού και όχι μεγαλύτερο από την απόσταση από την επιφάνεια εργασίας του εξωτερικού ραφιού.[1]

Γενικά, τα ράφια λειτουργούν καλύτερα όταν τοποθετούνται όταν υπάρχει παρουσία εξωτερικών εμποδίων. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι οι διαστάσεις του ραφιού εξαρτώνται από τις διαστάσεις του φεγγίτη, το ύψος της οροφής και τη διαμόρφωση του χώρου.[1]

Επίσης η κλίση είναι ένας επιπρόσθετος παράγοντας που σύμφωνα με τον Moore στα ανοίγματα νότιου προσανατολισμού, η κλίση του ραφιού υπολογίζεται από τη εξίσωση:

$$\text{κλίση του ραφιού} = 400 - (\text{γεωγραφικό πλάτος}/2)$$

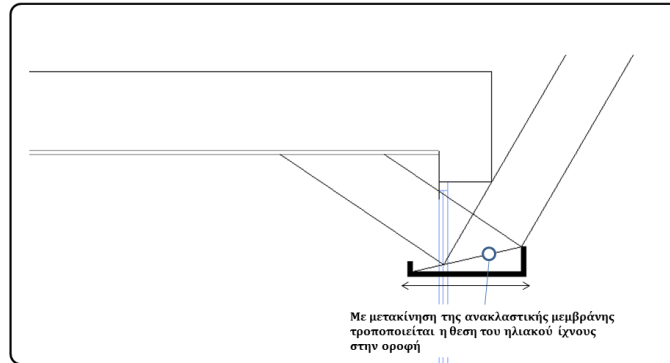


Εικόνα 58 : Κλίση ραφιού φωτισμού.[1]

Από τη δεκαετία του 1990 υπήρξε ενδιαφέρον για τη δυναμική κίνηση των ανακλαστικών ραφιών ανάλογα με τη θέση του ήλιου για την αύξηση της φωτεινότητας σε περιοχές εκτός της πρόσοψης. Οι περιοχές αυτές αποτελούν συνήθως το όριο της περιμετρικής ζώνης (Ζώνη Εκμετάλλευσης Φυσικού Φωτισμού όπως ορίζεται στο EN 15193:2007). Η επίδρασή του στην αύξηση του επιπέδου φωτισμού σε περιοχές εκτός της περιμέτρου (άρα αυξημένη εξοικονόμηση πόρων) εξαρτάται επίσης από το μέγεθος του ανοίγματος σε σχέση με το δωμάτιο. Με μικρά ανοίγματα, η επίδραση του κινητού ραφιού φαίνεται σημαντική. [1]

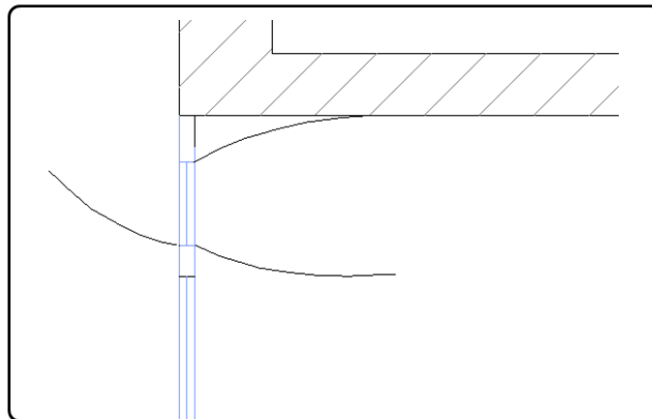
Το γεγονός ότι υπάρχει φεγγίτης παρουσιάζει ένα πρόβλημα. Όταν ο ήλιος είναι σχετικά χαμηλά η διείσδυση των ηλιακών ακτινών μέσω του φεγγίτη είναι μεγάλη με συνέπεια να χρειάζεται σκίαση όπως για παράδειγμα εσωτερικές περσίδες, για να εξουδετερωθεί το πλεονέκτημα της ανάκλασης φωτεινής ροής σε περιοχές μακριά από τα ανοίγματα. Εκτός από τις εσωτερικές περσίδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί εσωτερικό ράφι μεγάλου πλάτους.[1]

Το 1986, υπήρξε μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση του φωτισμού που ονομάζεται σύστημα VALPRA (Variable Area Light Reflecting Assembly). Σε αυτή τη περίπτωση τροποποιήθηκε η κλίση της ανακλαστικής επιφάνειας. Πρέπει να τονίσουμε ότι αυτή η επιφάνεια είναι προστατευμένη εσωτερικά σε κλειστή διαφανή κοιλότητα. Επίσης έχει παρατηρηθεί μείωση της ανακλαστικότητας των επιφανειών που εκτίθενται εξωτερικά στις περιβαλλοντικές συνθήκες που έχουν ως συνέπεια τη μείωση της απόδοσής τους.[1]



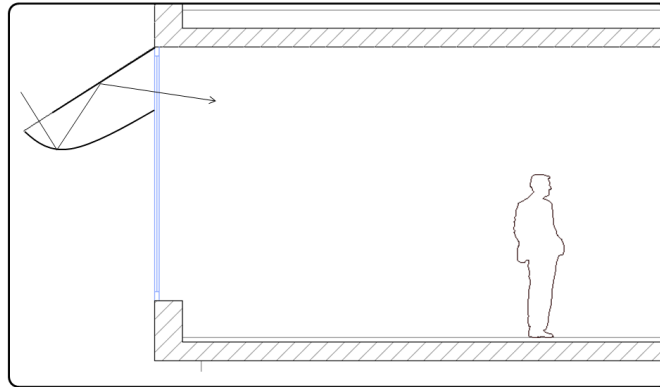
Εικόνα 59 : Σχηματική απεικόνιση VALPRA (Variable Area Light Reflecting Assembly).[1]

Δοκιμάστηκαν επίσης ανειδωλικά ράφια φωτισμού που το προφίλ τους είναι τμήμα παραβολής. Υπάρχει προστασία από την έκθεση στις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες με υαλοπίνακα και μπορούν να αυξήσουν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού μακριά από το άνοιγμα, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται σε κτήρια που βρίσκονται σε πυκνό αστικό περιβάλλον.[1]



Εικόνα 60 : Ανειδωλικό ράφι φωτισμού.[1]

Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η συγκέντρωση διάχυτου φωτός (εξωτερικό μέρος) και η διασπορά του εντός του χώρου (εσωτερικό τμήμα). Στο παρακάτω σχέδιο της εικόνας φαίνεται μια εγκατάσταση αυτού του συστήματος. [1]



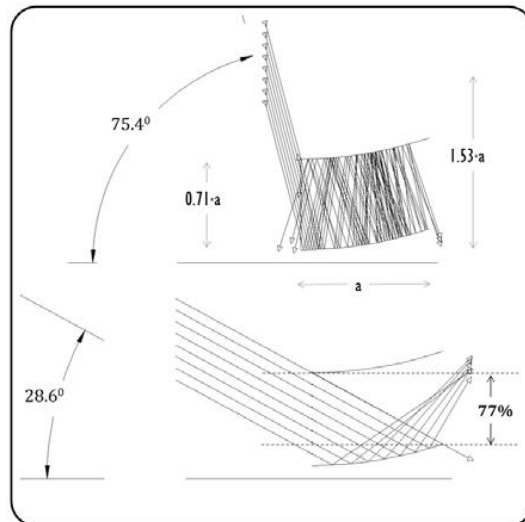
Εικόνα 61 : Ενδιαφέρουσα μίξη δυο συστημάτων. Πρόβολος για σκίαση άλλα και ταυτόχρονη μεταφορά φωτισμού στην οροφή.[1]

### 3.8 Περσίδες

Τα βενετσιάνικα στόρια είναι ο πιο κοινός τύπος περσίδων για το κάλυμμα των παραθύρων. Στην προσπάθεια να μειωθούν τα ηλιακά κέρδη, συνήθως το αποτέλεσμα είναι μια σημαντική μείωση της οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον. Ωστόσο, η χρήση διάτρησης μπορεί να βελτιώσει αυτήν την κατάσταση, επιτρέποντας καλή οπτική επαφή ακόμα και όταν τα παράθυρα είναι κλειστά. [1]

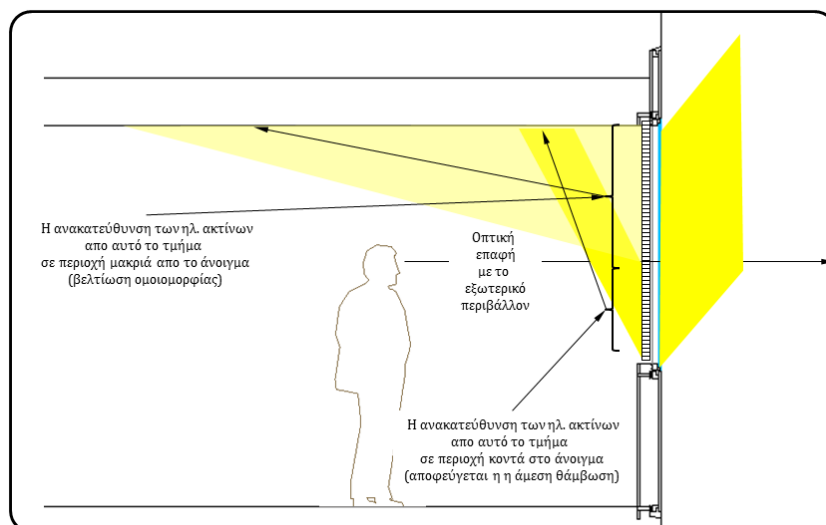
Ενδιαφέρον είναι ο σχεδιασμός των περσίδων που, μαζί με τις παρατηρήσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο το φως ανακατευθύνεται στην οροφή, έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική ποσότητα φωτισμού να κατευθύνεται στην οροφή κατά τη διάρκεια διαφορετικών εποχών. Η απαίτηση μπορεί να ικανοποιηθεί με τη χρήση στατικών ανακλαστικών περσίδων και ενός συγκεκριμένου προφίλ (καμπύλη τομής).[1]





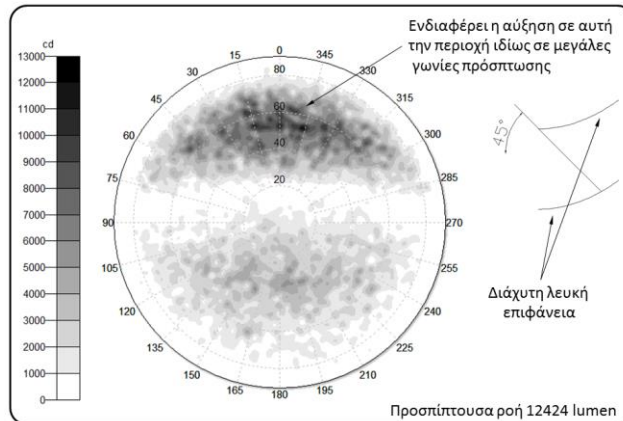
Εικόνα 62 : Ο κατάλληλος σχεδιασμός του προφίλ ανακλαστικών περσίδων μπορεί να μεταβάλλει τη διαπερατότητα τους στον άμεσο ηλιακό φωτισμό. Στο σχήμα, χρήση ιχνηλασίας ακτίνας σε παραβολικό προφίλ περσίδας.[1]

Σε γενικές γραμμές, ένας καλός τρόπος διαχείρισης της ανακλώμενης ακτινοβολίας είναι ο εξής: οι αεραγωγοί που βρίσκονται κοντά στο έδαφος αναδιανέμουν την ηλιακή ροή σε μια περιοχή κοντά στο άνοιγμα αποφεύγοντας έτσι την άμεση λάμψη από την αντανάκλαση του ήλιου, ενώ η επάνω ράγα στην οροφή κατευθύνει τη ροή στο πίσω από το δωμάτιο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτή η ιδέα μπορεί να επιτευχθεί είτε με διαφορετική διαδικασία συστήματος είτε χρησιμοποιώντας διαφορετική γεωμετρία (δηλαδή διαφορετικό προφίλ). [1]



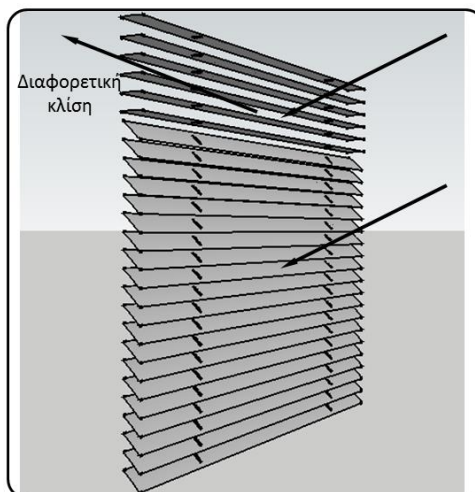
Εικόνα 63 : Διαχείριση ηλιακής ακτινοβολίας από το σύστημα σκίασης/φυσικού φωτισμού.[1]

Σήμερα, με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, μπορούν να σχεδιαστούν περσίδες με συγκεκριμένες ιδιότητες ανακατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας, ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται καλύτερα το ηλιακό φως. Ένα παράδειγμα αυτού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. [1]



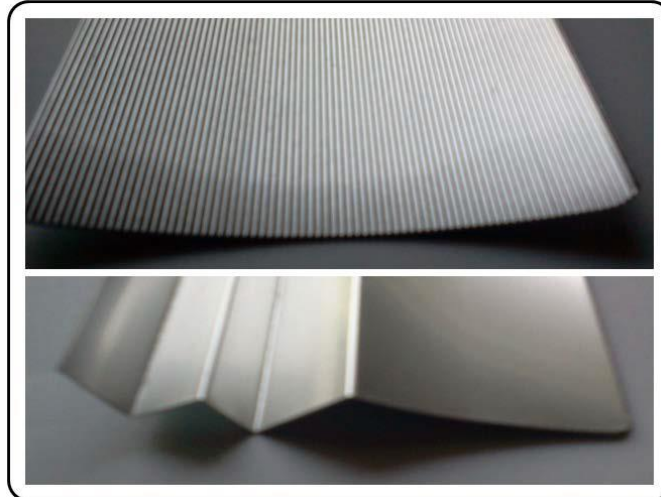
Εικόνα 64 : Υπολογισμός κατανομής λαμπρότητας λόγω πρόσπτωσης άμεσου φωτισμού. Γωνία πρόσπτωσης 450. Ανάλυση με TRACE-PRO. Τέτοιου είδους λογισμικά επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση του σχήματος της τομής των περσίδων ώστε να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις.[1]

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απλούστερη προσέγγιση για τη ρύθμιση του ηλιακού κέρδους είναι η αλλαγή της κλίσης των περσίδων, η οποία φυσικά περιορίζει την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, και μια ενδιαφέρουσα διαφορά είναι η προσαρμογή της κλίσης των περσίδων ανάλογα με το ύψος, από το πάτωμα. Οι ψηλότεροι αεραγωγοί διατηρούνται σε πιο ανοιχτή θέση και με αντίστροφη καμπυλότητα επιτρέποντας την είσοδο φυσικού φωτισμού. ([http://www.eckelt.at/en/produkte/sonnenschutz/dls\\_ecklite\\_evolution/index.aspx](http://www.eckelt.at/en/produkte/sonnenschutz/dls_ecklite_evolution/index.aspx)).[1]



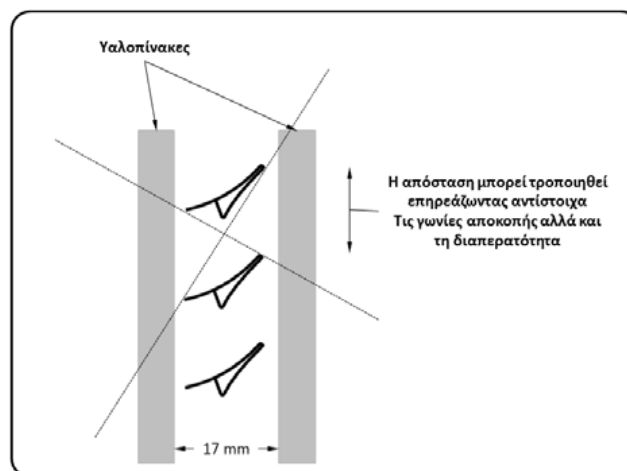
*Εικόνα 65 : Αντί της χρήσης πολύπλοκου συστήματος σκίασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο απλούστερο αλλά με «καινοτομικό» τρόπο. Στο σχήμα ένα απλό σύστημα περσίδων διαχωρίζεται σε δύο μέρη επιτρέποντας σκίαση αλλά και κάποια παροχή φωτισμού.[1]*

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό ενός συστήματος περσίδων. Στο πρότυπο EN 14501:2005 “Blinds And Shutters -Thermal And Visual Comfort - Performance Characteristics and Classification” γίνεται αναφορά σε μια κατηγοριοποίηση στην παράμετρο «οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον». Αυτή η κατηγοριοποίηση (από 0-4) βασίζεται στην ικανότητα αναγνώρισης προσώπου που βρίσκεται 5 μέτρα μακριά από την πρόσοψη στο εξωτερικό περιβάλλον από τον παρατηρητή που βρίσκεται 1 μέτρο εσωτερικά της πρόσοψης. Υπάρχουν σχεδιασμοί περσίδων των οποίων η κλίση δεν μεταβάλλεται. Οι εποχικές αλλαγές στην επεξεργασία της ηλιακής ακτινοβολίας επιτυγχάνονται είτε με τον κατάλληλο σχεδιασμό των περσίδων, είτε με την αλλαγή των χαρακτηριστικών της επιφάνειάς τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα συστήματα RetroLux και RetroFlex της Koester LichtPlanung.[1]

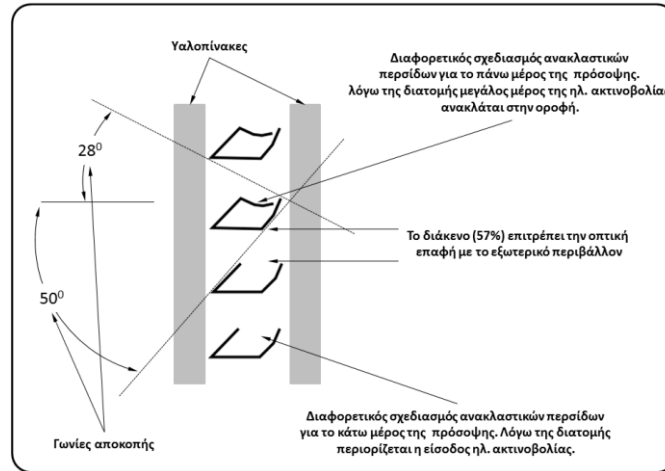


Εικόνα 66 : Τομή περσίδας συστήματος RetroFlex (επάνω) και RetroLux (κάτω) από την Koester LichtPlannung.[1]

Η χρήση ανακλαστικών περσίδων για τον καλύτερο έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί επίσης σχετική προστασία για να αποφευχθεί η υποβάθμιση της απόδοσής τους. Η πιο συνηθισμένη λύση είναι η τοποθέτησή τους σε διπλό υαλοπίνακα. Αυτή η διεύθετηση επιτρέπει την προσαρμογή του παράγοντα ηλιακού κέρδους και της διαπερατότητας ώστε να ταιριάζει με την επιλογή του υαλοπίνακα. Σε πολλές περιπτώσεις η γεωμετρία του συστήματος μπορεί να αλλάξει πριν τοποθετηθεί στο κενό για να καλύψει διαφορετικές απαιτήσεις. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την αρχή λειτουργίας δύο συστημάτων της οικογένειας OKASOLAR. [1]

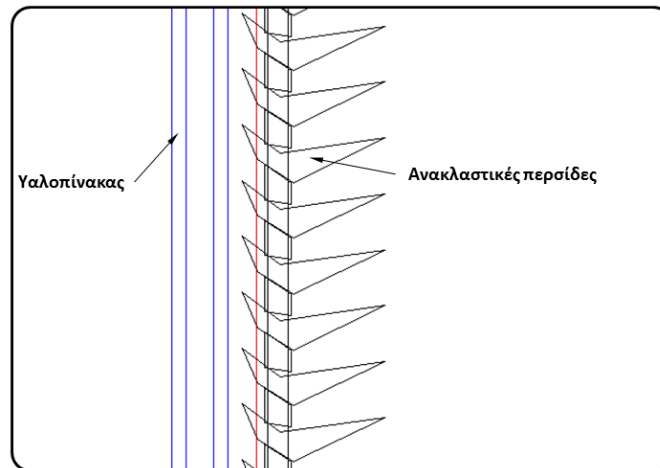


Εικόνα 67: Αναπαράσταση λειτουργίας συστήματος OKASOLAR W. Η γεωμετρία του μπορεί να τροποποιηθεί (μείωση απόστασης ανάμεσα στις περσίδες). Η διαπερατότητα στο ορατό κυμαίνεται από 4-57% ενώ ο συντελεστής ηλιακών κερδών με υαλοπίνακα low-e από 17-45%. [1]



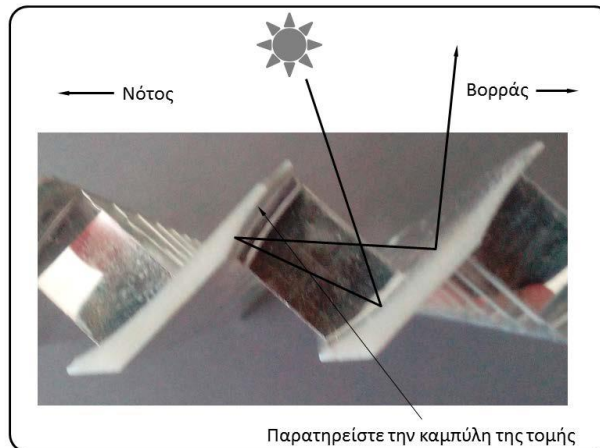
Εικόνα 68 : Αναπαράσταση λειτουργίας συστήματος OKASOLAR F. Η διαφοροποίηση του σχεδιασμού των ανακλαστικών περιόδων επιτρέπει τον διαχωρισμό της λειτουργίας των πρόσοψης σε τμήματα. [1]

Με υαλοπίνακα low-e η διαπερατότητα στο ορατό κυμαίνεται από 2-47% ενώ ο συντελεστής ηλιακών κερδών με υαλοπίνακα low-e από 17-42%. [1]



Εικόνα 69 : Σταθερό εσωτερικό σύστημα σκίασης με δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας προς της οροφή. Σύστημα Light Louver. [1]

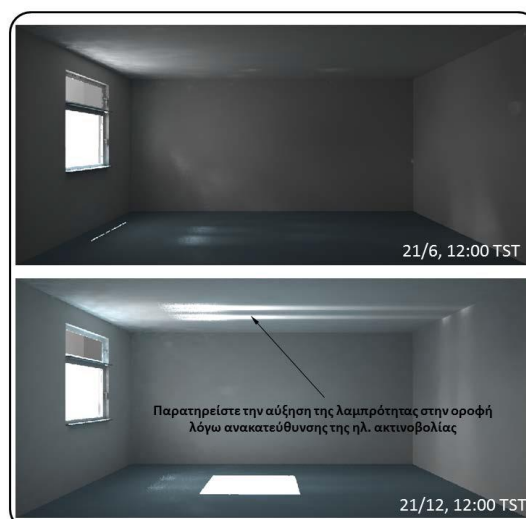
Σύστημα παρόμοιας φιλοσοφίας είναι και το Micro Sun Shielding Louver της Siteco. . Η συγκεκριμένη συστοιχία τοποθετείται σε οριζόντια ανοίγματα και στοχεύει στη μείωση σημαντικού ποσοστού της διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά αφήνει τη θέα προς το βόρειο τμήμα του ουρανού σχεδόν ανεμπόδιστη. Ο συντελεστής ηλιακών κερδών είναι 12%. [1]



Εικόνα 70 : Λειτουργία συστήματος Micro Sun Shielding Louver.[1]

### 3.9 Ολογραφικά υμένια

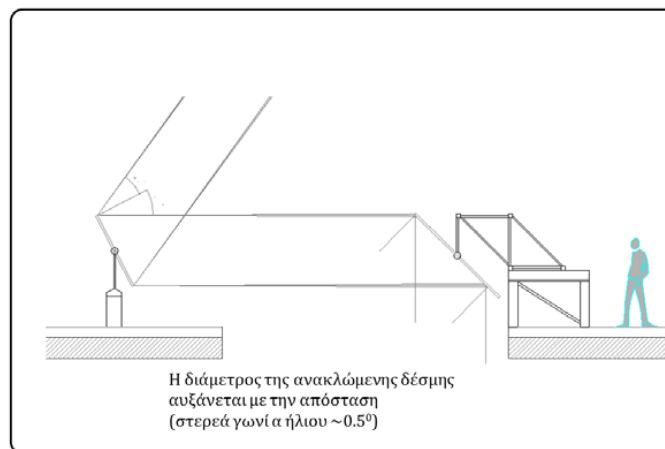
Η κατασκευή γίνεται με φωτογραφική επεξεργασία ζελατίνας που χρησιμοποιεί δύο χρώματα. Η τοποθέτηση τους με επικόλληση σε υαλοπίνακες (laminated) και δίνει την δυνατότητα χρήσης σε κτιριακό περιβάλλον. Μπορούν να αλλάξουν την κατεύθυνση των ακτίνων του ήλιου ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης, επηρεάζοντας αρνητικά την οπτική επαφή με το περιβάλλον. (<http://www.visionoptics.de/index.php?id=6&L=1>)[1]



Εικόνα 71 : Συνθετικές εικόνες με την κατανομή λαμπρότητας σε δωμάτιο νότιου προσανατολισμού στην Αθήνα. Ολογραφικό υμένιο έχει τοποθετηθεί στον φεγγίτη. Προφανώς η αλλαγή θέσης του ήλιου τροποποιεί και την κατανομή λαμπρότητας.[1]

## 3.10 Ηλιοστάτες

Με τη χρήση κατόπτρων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί η μετάδοση του ηλιακού φωτός. Μετακινούνται σύμφωνα με τη θέση του ήλιου και στη συνέχεια το φως κατευθύνεται εκεί που χρειάζεται, όπως φαίνεται στο σχέδιο της παρακάτω εικόνας:



Εικόνα 72 : Λειτουργία ηλιοστάτη.[1]

Γενικά, για εφαρμογές όπως η σκίαση, θεωρούμε ότι οι ακτίνες του ήλιου είναι παράλληλες χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η ακρίβεια του υπολογισμού. Αλλά όταν θέλουμε να μεταφέρουμε φως με ανάκλαση σε μεγάλες αποστάσεις, το φως παράγεται από ένα σώμα (τον ήλιο) ορισμένων διαστάσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.[1]

Το λάθος στους υπολογισμούς λόγω του μεγέθους του ηλιακού δίσκου είναι ανάλογο της γωνίας με την οποία «φαίνεται» ο ηλιακός δίσκος από κάποιο σημείο στην επιφάνεια της γης (δηλ.  $2 \text{ επί } \epsilon$  όπου  $\epsilon=0.260$ ). Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος μετάδοσης φωτισμού ηλιοστάτη, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η γωνία στην οποία θα «περιέχεται» το φως σε κάθε ανάκλαση. Αυτό μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη γωνία του ηλιοστάτη. Οι λόγοι αυτής της μεταβολής είναι:

- Μικροανωμαλίες στην επιφάνεια του κατόπτρου (2xδ)
- Σφάλματα στην καμπυλότητα (2xβ)
- Σφάλματα στην ευθυγράμμιση που σχετίζονται με την ευθυγράμμιση κατόπτρων μεταξύ τους είτε με τον ήλιο (2x2α)

Με αυτό τον τρόπο μετά από κάθε ανάκλαση, η δέσμη του φωτός έχει απόκλιση που καθορίζεται από την γωνία που υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

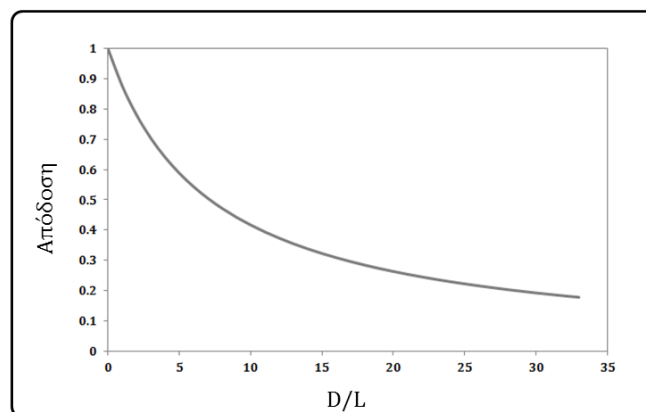
$$2*\omega=2*(0.26+2\alpha+\beta+\delta)$$

Σήμερα μπορούν να επιτευχθούν τιμές:

$$\delta \ll 0.1^\circ, \beta \rightarrow 0.1^\circ - 0.7^\circ, \alpha \rightarrow 0.5^\circ - 0.7^\circ$$

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την απόδοση της άμεσης μεταφοράς φωτεινής ενέργειας από ένα επίπεδο κάτοπτρο σε άλλο χωρίς τη χρήση συστήματος καθοδήγησης. Τα κάτοπτρα θεωρούνται ότι έχουν κυκλική διάμετρο  $L$  και με απόσταση μεταξύ τους  $D$ . [1]

Κάτοπτρα κακής ποιότητας ή σφάλματα ευθυγράμμισης (δηλ. μεγάλη γωνία  $2 \times \omega$ ) προκαλούν σημαντική μείωση του εκπεμπόμενου φωτός. Στο διάγραμμα βλέπουμε την απόδοση συστήματος με  $2\omega$  ίση με  $2 \times 4^\circ$ . [1]



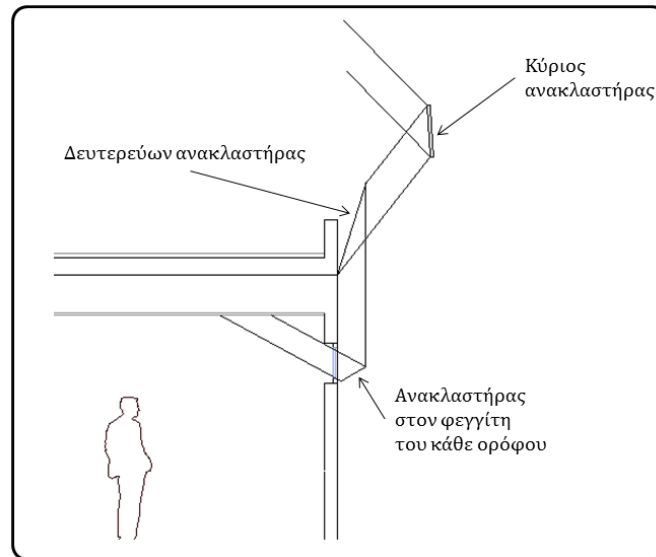
Εικόνα 73 : Μεταβολή στο ποσοστό που μπορεί να εκμεταλλευθεί ο δευτερεύων ανακλαστήρας σε σχέση με την απόσταση του από τον πρωτεύοντα. [1]

Πρόσφατα, σε μια προσπάθεια να μειωθεί το βάρος των καθρεπτών που χρησιμοποιούνται (καθώς ο καθρέφτης υψηλής ποιότητας είναι αυτή τη στιγμή γυαλί) έχουν χρησιμοποιηθεί ανακλαστικές μεμβράνες υψηλής απόδοσης και παρόλο που προσφέρουν εξαιρετικές οπτικές ιδιότητες (από άποψη ανακλαστικότητας), παρουσιάζουν προβλήματα στην διάρκεια ζωής τους. Ένα κάτοπτρο σχηματίζεται τεντώνοντας τη μεμβράνη γύρω από την κατασκευή κυψέλης. Καθώς αυτά τα υλικά είναι επί του παρόντος τελευταίας τεχνολογίας, η εστίαση έχει δοθεί στην επίτευξη (με τη σειρά που παρουσιάζεται) των ακόλουθων στόχων:

- Αύξηση ανακλαστικότητας
- Αύξηση διάρκειας ζωής
- Ελάττωση κόστους

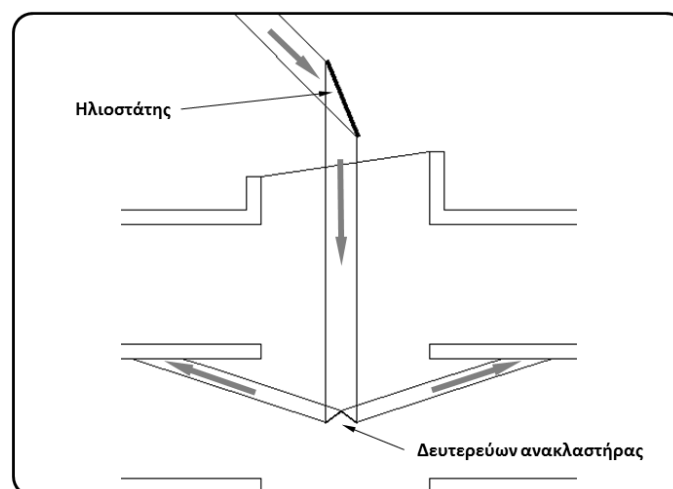


Η διαχείριση του αναλωμένου φωτός στη συνέχεια πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους. Μία από τις πρώτες ενδιαφέρουσες ιδέες ήταν ο φωτισμός της οροφής των χώρων γραφείων με τη βοήθεια δευτερευόντων ανακλαστήρων. [1]



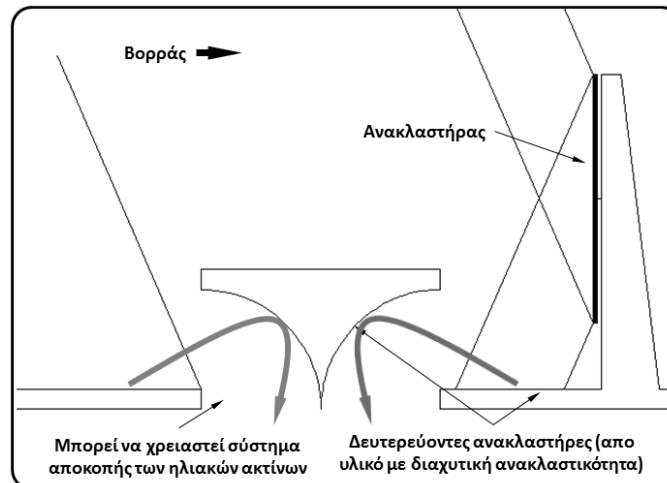
Εικόνα 74 : Ενδιαφέρουσα προσέγγιση για μεταφορά φυσικού φωτισμού από την βορεινή πρόσοψη.[1]

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διαχείρισης του άμεσου ηλιακού φωτός. Η βασική προσέγγιση είναι η χρήση ενός ηλιοστάτη έτσι ώστε να δημιουργείται μια συνεχής δέσμη φωτός. Με τη χρήση δευτερευόντων ανακλαστήρων, η ροή φωτός μπορεί να κατευθυνθεί σε παρακείμενους χώρους.[1]



Εικόνα 75 : Αρχή λειτουργίας συστήματος μεταφοράς άμεσου ηλιακού φωτισμού.[1]

Ακόμη και χωρίς τη χρήση ηλιοστάτη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανακλαστήρες που βρίσκονται απέναντι από τα βόρεια ανοίγματα για να παρέχουν φως. [1]



Εικόνα 76 : Χρήση σταθερού ανακλαστήρα για παροχή φωτισμού σε βορεινά ανοίγματα.[1]

Ένα από τα πρώτα συστήματα μετάδοσης φωτισμού είναι και το SunCentral System (<http://www.suncentralinc.com>). Στην πρόσοψη, υπάρχει ένα σύστημα (Sunbeamer) που ανακατευθύνει τις ακτίνες του ήλιου σε ένα ανακλαστικό ράφι (Sunshade). Αυτό το ράφι κατευθύνει στη συνέχεια τις συγκεντρωμένες πλέον ακτίνες σε ένα μικρό άνοιγμα, το οποίο έχει σχεδιαστεί ειδικά για να τις διανέμει στο εσωτερικό του κτιρίου. Το σύστημα λειτουργεί όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. [1]



Εικόνα 77 : Αρχή λειτουργίας του Suncentral System (Χρήση εικόνας μετά από άδεια).[1]

Παρά τις δυσκολίες, η μετάδοση του φυσικού φωτός είναι μια κίνητρο για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί περισσότερο στο μέλλον. [1]

## 4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALux

### 4.1 Αίθουσα μελέτης

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η αίθουσα που μελετάμε:

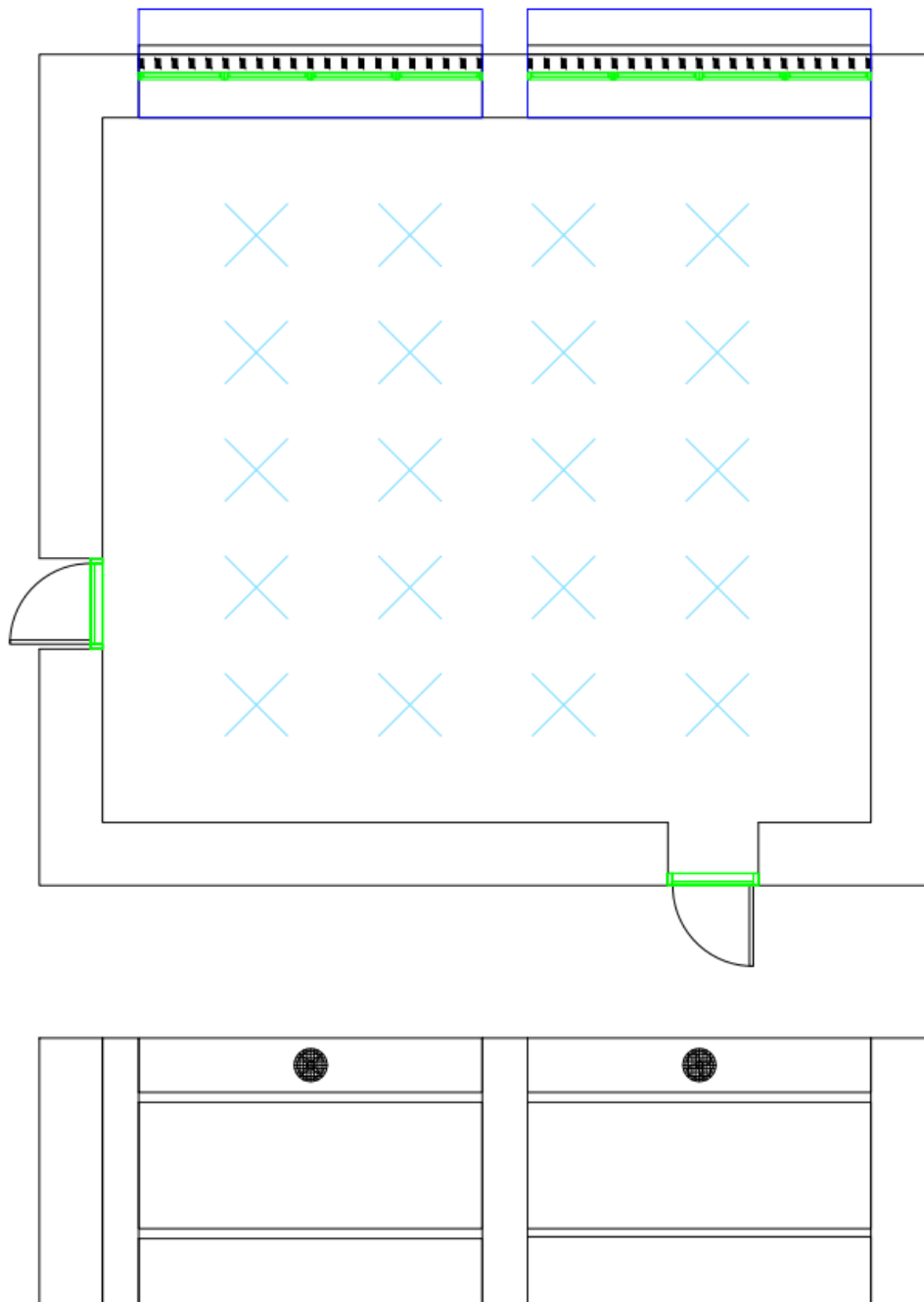


*Εικόνα 78 : Αίθουσα Μετρήσεων - Όψη 1*



*Εικόνα 79 : Αίθουσα Μετρήσεων - Όψη 2*

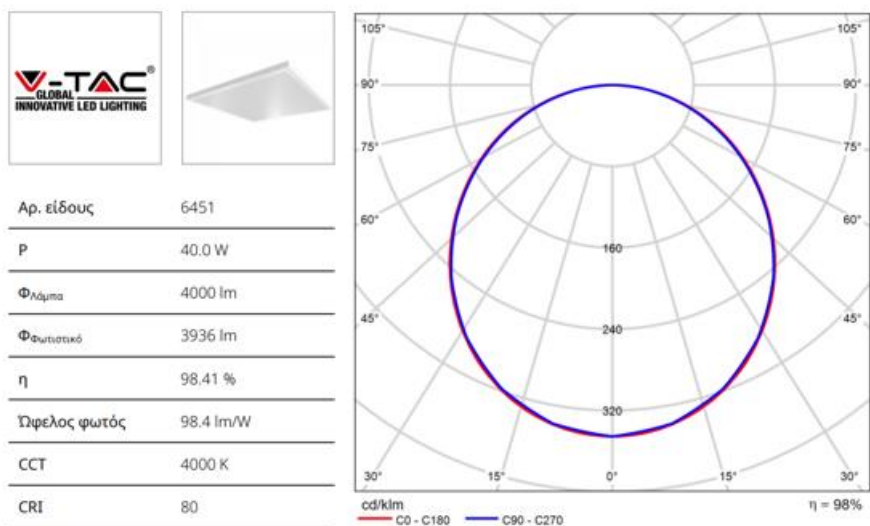
Σχέδιο AutoCAD αίθουσας μελέτης:



Εικόνα 80 : Μονογραμμικό σχέδιο αίθουσας μελέτης.

Στην παραπάνω αίθουσα υπάρχουν εγκατεστημένα 20 φωτιστικά των 40W και στο λογισμικό χρησιμοποιήσαμε φωτιστικά των 40W με φωτεινή ροή 3936 lumen, με βαθμό απόδοσης

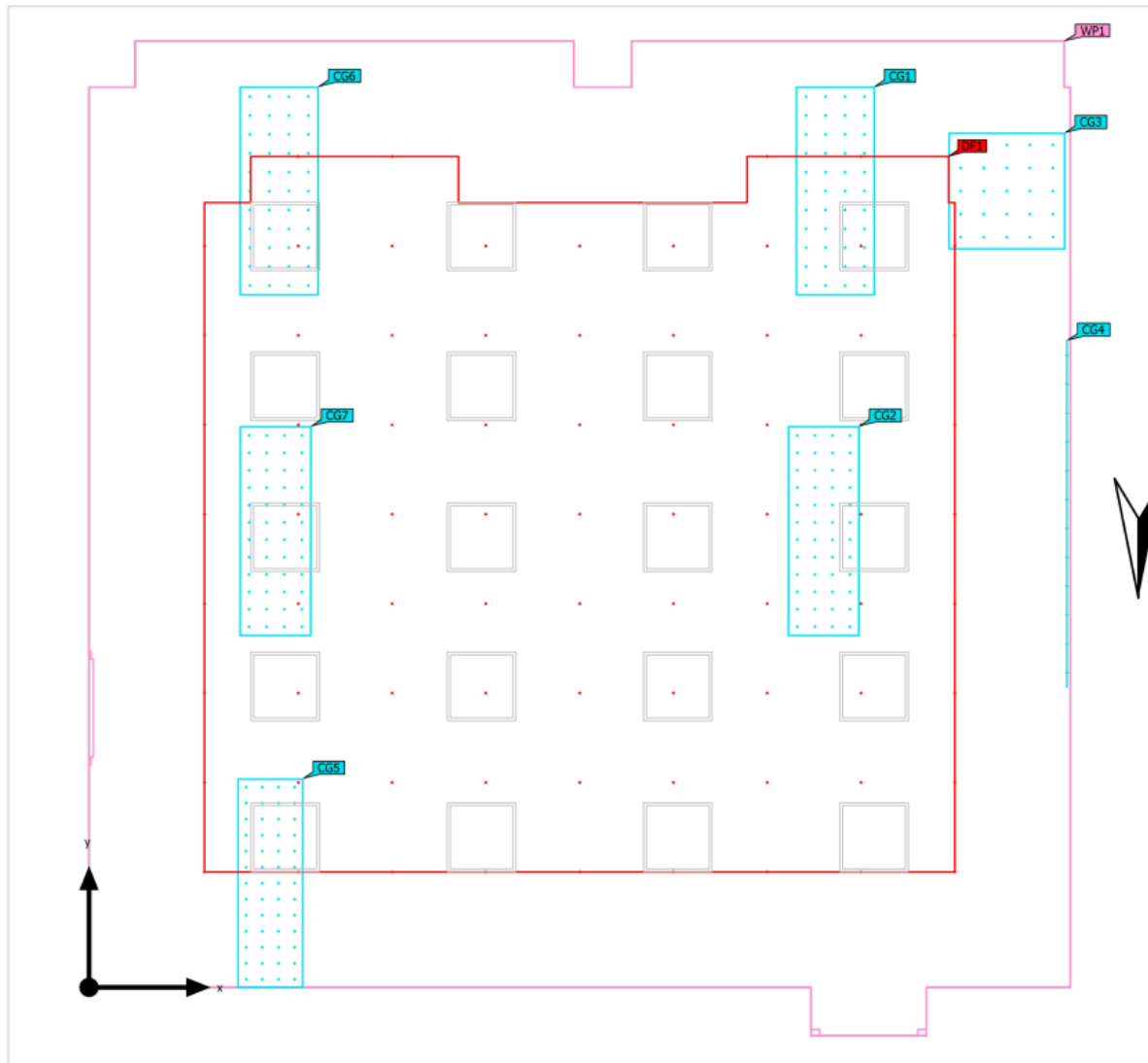
λειτουργίας 98,4% και θερμοκρασία χρώματος 4000K. Παρακάτω φαίνονται τα δεδομένα όπως τεκμηριώνονται από το DIALux.



Εικόνα 81 : Δεδομένα φωτιστικών μελέτης DIALux με διαστάσεις 595mmx595mmx29mm

| Αξιολόγηση θάμβωσης κατά UGR  |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
|---|--|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| ρ Οροφή   | 70   | 70   | 50   | 50   | 30   | 70  | 70   | 50   | 50   | 30   |
| ρ Τοίχοι  | 50   | 30   | 50   | 30   | 30   | 50  | 30   | 50   | 30   | 30   |
| ρ Δάπεδο  | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20  | 20   | 20   | 20   | 20   |
| Μέγεθος χώρου X Y   | Οπτική κατεύθυνση εγκάρσια προς τον άξονα λάμπας |      |      |      |      | Οπτική κατεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα λάμπας |      |      |      |      |
| 2H 2H   | 17.5   | 18.9 | 17.8 | 19.1 | 19.4 | 17.5  | 18.9 | 17.8 | 19.1 | 19.4 |
| 3H 2H   | 19.2   | 20.5 | 19.6 | 20.8 | 21.0 | 19.2  | 20.4 | 19.5 | 20.7 | 21.0 |
| 4H 2H   | 20.0   | 21.2 | 20.3 | 21.4 | 21.7 | 19.9  | 21.1 | 20.2 | 21.4 | 21.7 |
| 6H 2H   | 20.6   | 21.7 | 20.9 | 22.0 | 22.3 | 20.5  | 21.6 | 20.8 | 21.9 | 22.2 |
| 8H 2H   | 20.7   | 21.8 | 21.1 | 22.1 | 22.5 | 20.7  | 21.7 | 21.0 | 22.1 | 22.4 |
| 12H 2H  | 20.8   | 21.9 | 21.2 | 22.2 | 22.5 | 20.8  | 21.9 | 21.2 | 22.2 | 22.5 |
| 2H 4H   | 18.2   | 19.4 | 18.6 | 19.7 | 20.0 | 18.2  | 19.4 | 18.6 | 19.7 | 20.0 |
| 3H 4H   | 20.1   | 21.2 | 20.5 | 21.5 | 21.8 | 20.1  | 21.1 | 20.5 | 21.4 | 21.8 |
| 4H 4H   | 21.0   | 21.9 | 21.4 | 22.3 | 22.7 | 20.9  | 21.9 | 21.3 | 22.2 | 22.6 |
| 6H 4H   | 21.7   | 22.5 | 22.2 | 22.9 | 23.3 | 21.7  | 22.5 | 22.1 | 22.8 | 23.2 |
| 8H 4H   | 22.0   | 22.7 | 22.4 | 23.1 | 23.5 | 21.9  | 22.7 | 22.4 | 23.1 | 23.5 |
| 12H 4H  | 22.1   | 22.8 | 22.5 | 23.2 | 23.6 | 22.1  | 22.8 | 22.6 | 23.3 | 23.7 |
| 2H 8H   | 21.4   | 22.1 | 21.8 | 22.5 | 22.9 | 21.3  | 22.0 | 21.7 | 22.4 | 22.9 |
| 6H 8H   | 22.2   | 22.9 | 22.7 | 23.3 | 23.8 | 22.2  | 22.8 | 22.6 | 23.2 | 23.7 |
| 8H 8H   | 22.6   | 23.1 | 23.1 | 23.6 | 24.1 | 22.6  | 23.1 | 23.0 | 23.5 | 24.0 |
| 12H 8H  | 22.8   | 23.3 | 23.3 | 23.7 | 24.2 | 22.9  | 23.3 | 23.4 | 23.8 | 24.3 |
| 2H 12H  | 21.4   | 22.1 | 21.8 | 22.5 | 22.9 | 21.3  | 22.0 | 21.8 | 22.4 | 22.9 |
| 6H 12H  | 22.3   | 22.9 | 22.8 | 23.3 | 23.8 | 22.3  | 22.8 | 22.7 | 23.3 | 23.7 |
| 8H 12H  | 22.7   | 23.2 | 23.2 | 23.6 | 24.1 | 22.7  | 23.2 | 23.2 | 23.6 | 24.1 |
| Παραλλαγή της θέσης παρατηρητή για αποστάσεις φωτιστικών S              |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |
| S = 1.0H  | +0.1 / -0.1                                      |      |      |      |      | +0.1 / -0.1                                       |      |      |      |      |
| S = 1.5H  | +0.2 / -0.3                                      |      |      |      |      | +0.2 / -0.3                                       |      |      |      |      |
| S = 2.0H  | +0.3 / -0.5                                      |      |      |      |      | +0.3 / -0.6                                       |      |      |      |      |
| Στάνταρ πίνακας   | BK07   |      |      |      |      | BK07  |      |      |      |      |
| Προσθετός διάβρωσης   | 5.6  |      |      |      |      | 5.6   |      |      |      |      |
| Διαρθρωμένοι δείκτες εκτύπωσης αναφορικά με 4000lm Συνολική φωτεινή ροή |  |      |      |      |      |   |      |      |      |      |

Εικόνα 82 : Διάγραμμα UGR (SHR: 0.25)



Εικόνα 83 : Χωροταξική εγκατάσταση φωτιστικών στην αίθουσα μελέτης.

Ορισμός επιφανειών:

- WP1: Ολική εσωτερική επιφάνεια μελέτης φωτισμού σε 0.8 μέτρα από την επιφάνεια της αίθουσας.
- DF1: Επιφάνεια φωτιστικών
- CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7: Στρατηγικά επιλεγμένες επιφάνειες μέτρησης θάμβωσης (UGR) σε 1.2 μέτρα από το έδαφος για τα τριθέσια θρανία και την θέση του καθηγητή ως οριζόντια επιφάνεια.
- CG4: Επιφάνεια υπολογισμού θάμβωσης (UGR) στον πίνακα διδασκαλίας με κέντρο στα 1,537 μέτρα από το έδαφος ως κάθετη επιφάνεια.

| ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ | X    | Y      | ΥΨΟΣ<br>ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ |
|-----------|------|--------|------------------------|
| 1         | 1,7m | 1,3m   | 3,0m                   |
| 2         | 3,4m | 1,3m   |                        |
| 3         | 5,1m | 1,3m   |                        |
| 4         | 6,8m | 1,3m   |                        |
| 5         | 6,8m | 2,608m |                        |
| 6         | 5,1m | 2,608m |                        |
| 7         | 3,4m | 2,608m |                        |
| 8         | 1,7m | 2,608m |                        |
| 9         | 6,8m | 5,208m |                        |
| 10        | 5,1m | 5,208m |                        |
| 11        | 3,4m | 5,208m |                        |
| 12        | 1,7m | 5,208m |                        |
| 13        | 6,8m | 6,508m |                        |
| 14        | 5,1m | 6,508m |                        |
| 15        | 3,4m | 6,508m |                        |
| 16        | 1,7m | 6,508m |                        |
| 17        | 6,8m | 3,901m |                        |
| 18        | 5,1m | 3,901m |                        |
| 19        | 3,4m | 3,901m |                        |
| 20        | 1,7m | 3,901m |                        |

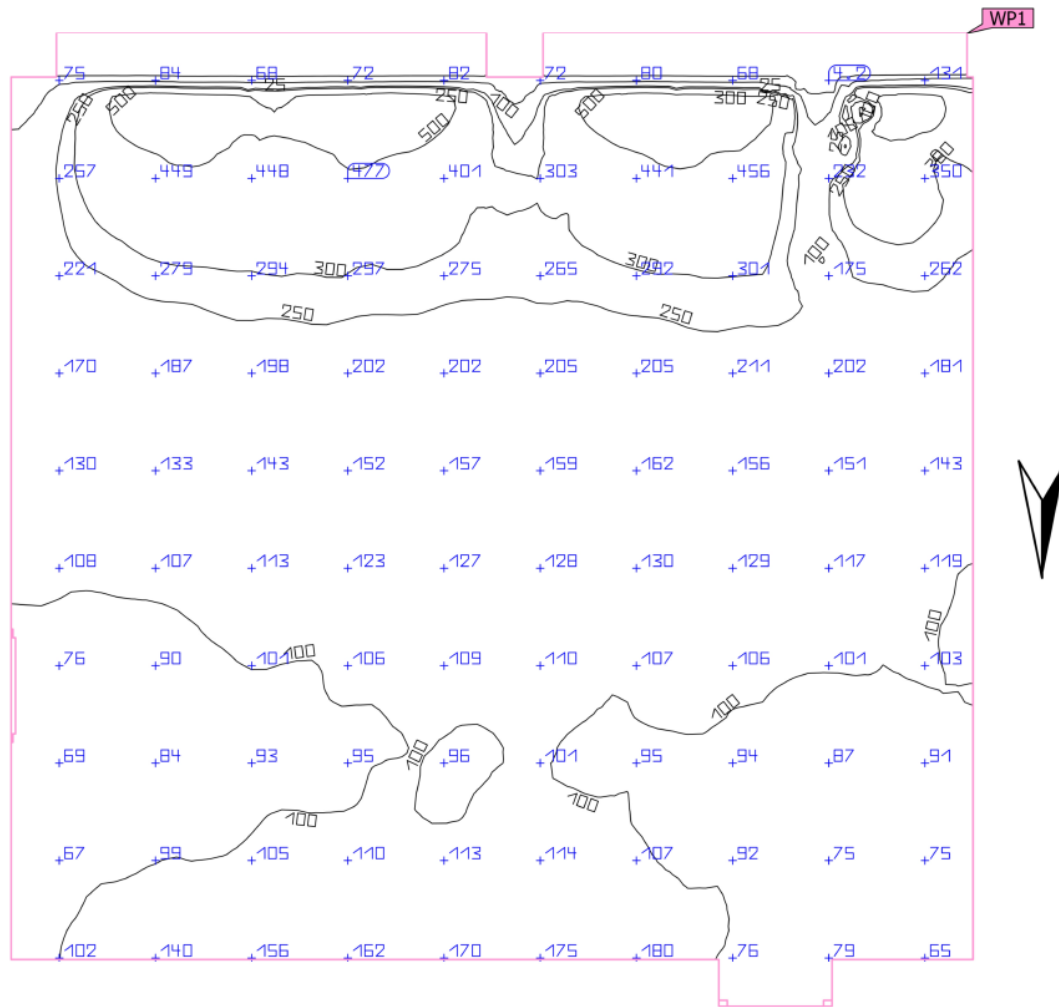
Εικόνα 84 : Διαστασιολόγηση Εγκατάστασης φωτιστικών στην αίθουσα μελέτης.

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων κάναμε υπολογισμούς μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας για διαφορετικές καταστάσεις του ουρανού και της ηλιακής ακτινοβολίας (καθαρός ουρανός, ημίσυννεφιασμένος ουρανός, συννεφιασμένος ουρανός) και επίσης με ή χωρίς φωτισμό εντός της αίθουσας μελέτης.

## 4.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων αρχικής σκηνης

### 4.2.1 Καθαρός Ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για καθαρό ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες   | Ē<br>(Όνομ)               | Εελάχ   | Εμέγ   | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|---------------------------|---------|--------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)<br>Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός)<br>Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m | 176 lx<br>(≥ 500 lx)<br>✗ | 0.14 lx | 674 lx | 0.001          | 0.000          | WP1       |

Εικόνα 85 : Ποσοστό φωτός ημέρας από καθαρό ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.



Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για όλες τις περιοχές CG1 έως CG7 των μετρήσεων είναι ίδιος:

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |

Εικόνα 86 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux<sup>1</sup> στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7

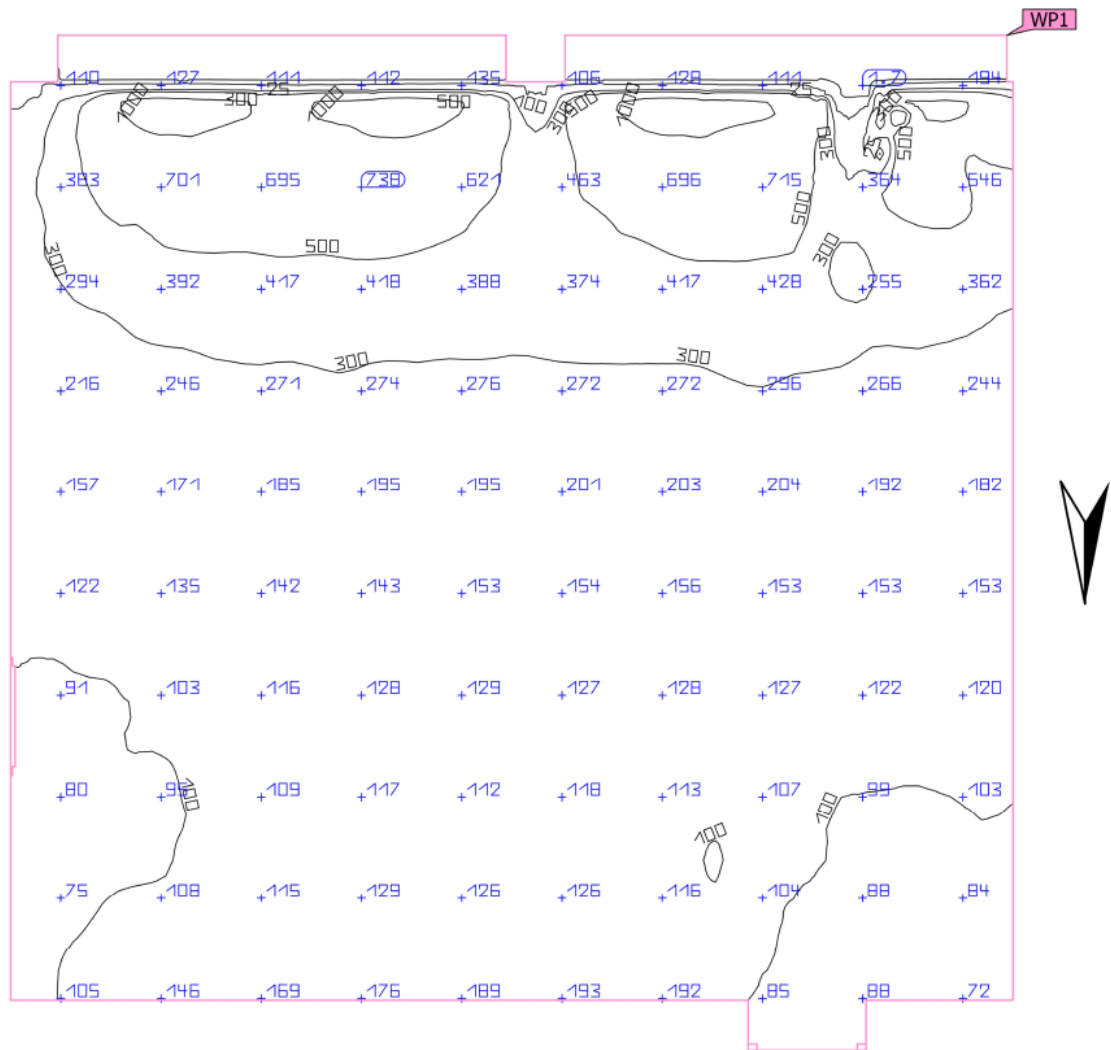
|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.537 m   |

Εικόνα 87 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux<sup>2</sup> στις επιφάνειες CG4

<sup>1&2</sup> Δεν έχει διαφορά στις μετρήσεις που πήραμε εάν η περιοχή οπτικής γωνίας ορίζεται 0°-180° ή 0°-360°, καθώς το λογισμικό κάνει περιμετρική μέτρηση και ανάλογα δίνει το αποτέλεσμα. Στον ορισμό 0°-180° έχουμε πλεονέκτημα να δούμε τα αποτελέσματα και να καταλάβουμε από πού προέρχεται η θάμβωση (UGR).

#### 4.2.2 Ημισυννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για ημισυννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ē<br>(Όνομ) | Εελάχ   | Εμέγ    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|---------|---------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 246 lx      | 0.11 lx | 1223 lx | 0.000          | 0.000          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |         |         |                |                |           |
| Υψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ✗           |         |         |                |                |           |

Εικόνα 88 : Ποσοστό φωτός ημέρας από ημισυννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για όλες τις περιοχές CG1 έως CG7 των μετρήσεων είναι ίδιος:

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Ονομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |

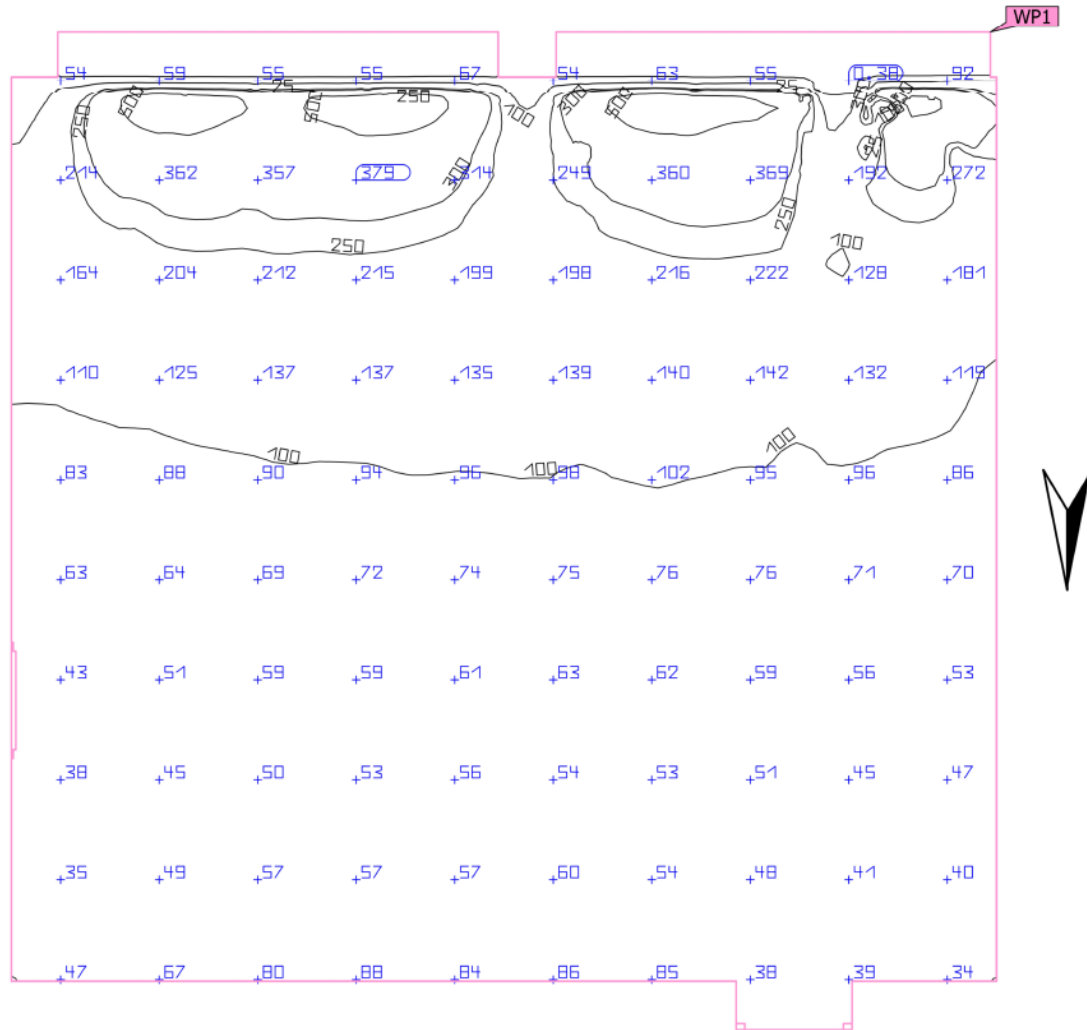
*Εικόνα 89 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7*

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Ονομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.537 m   |

*Εικόνα 90 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4*

### 4.2.3 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για πλήρη συννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ē<br>(Όνομ) | Εελάχ    | Εμέγ   | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|----------|--------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 123 lx      | 0.054 lx | 613 lx | 0.000          | 0.000          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |          |        |                |                |           |
| Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ✗           |          |        |                |                |           |

Εικόνα 91 : Ποσοστό φωτός ημέρας από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για όλες τις περιοχές CG1 έως CG7 των μετρήσεων είναι ίδιος:

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Ονομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |

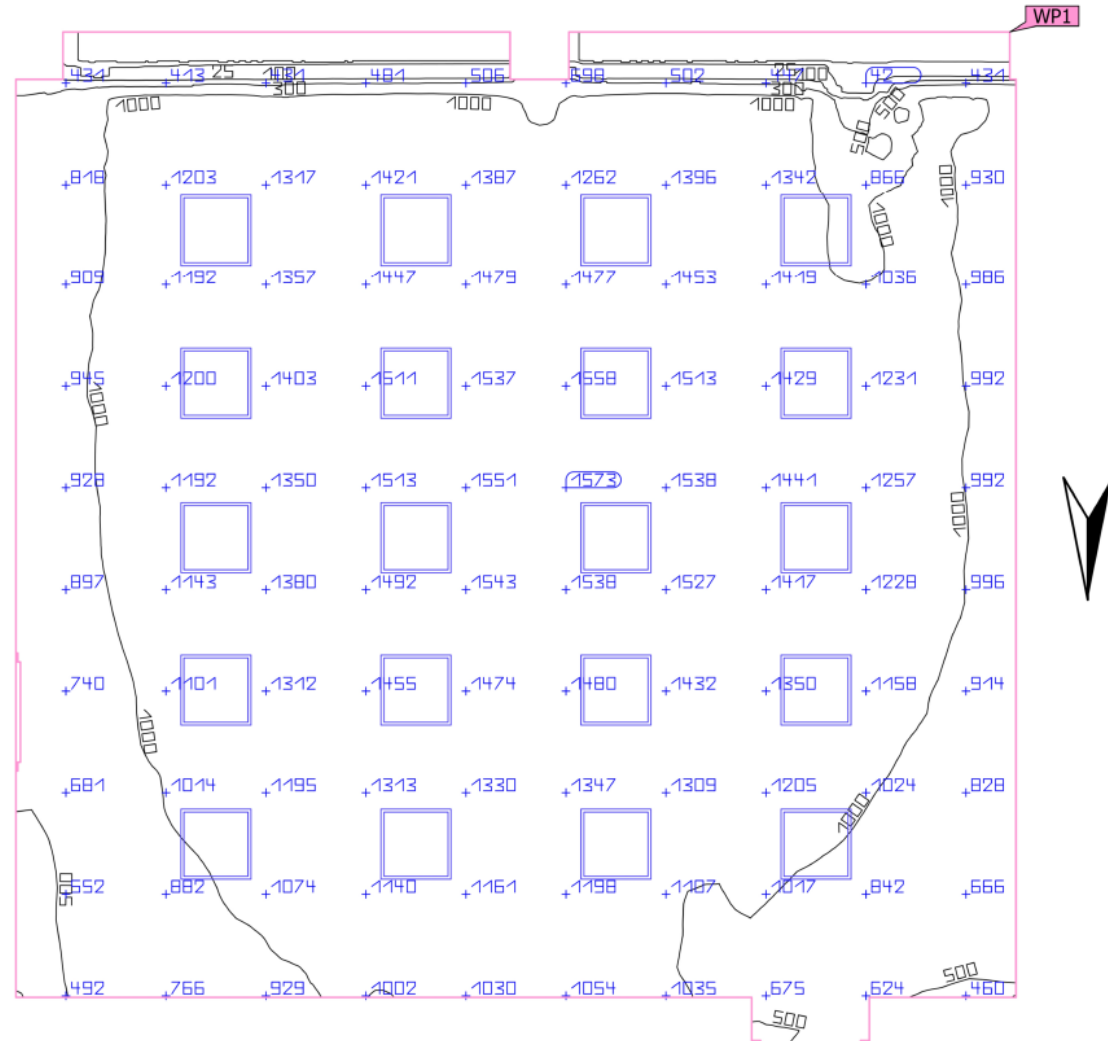
*Εικόνα 92 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7*

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Ονομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.537 m   |

*Εικόνα 93 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4*

## 4.2.4 Καθαρός ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού

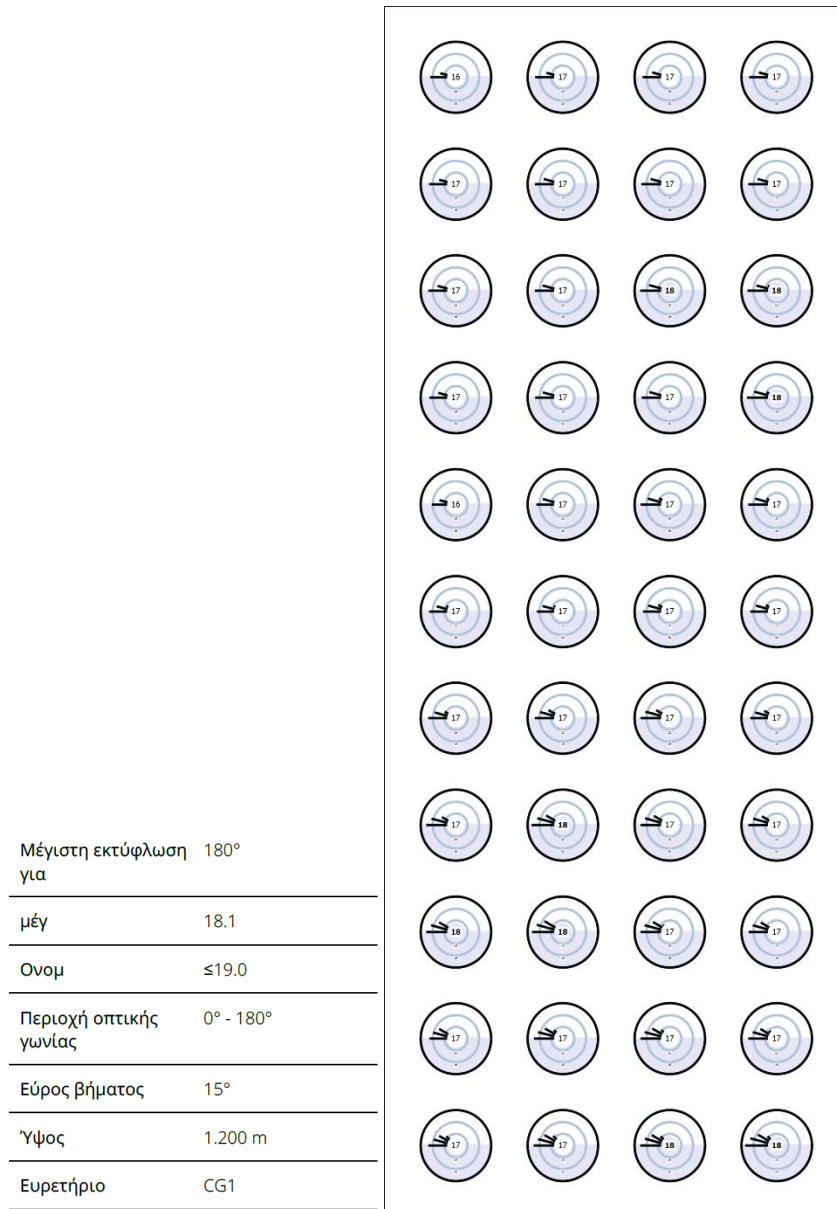
Για καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ē<br>(Όνομ) | Εελάχ   | Εμέγ    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|---------|---------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 1131 lx     | 7.80 lx | 1595 lx | 0.007          | 0.005          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |         |         |                |                |           |
| Υψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ✓           |         |         |                |                |           |

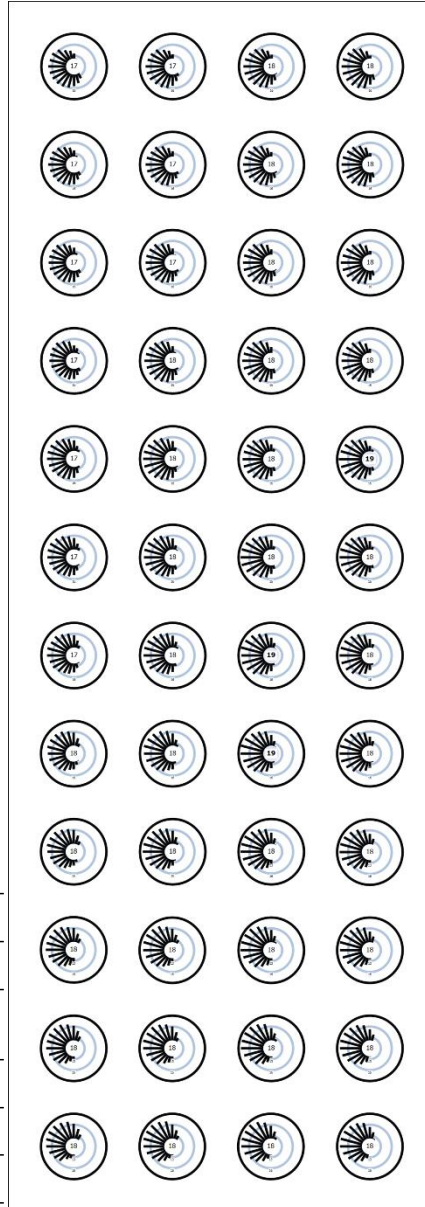
Εικόνα 94 : Ποσοστό φωτός από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 95 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 165°      |
| μέγ                    | 18.6      |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 360° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |
| Ευρετήριο              | CG2       |



Εικόνα 96 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

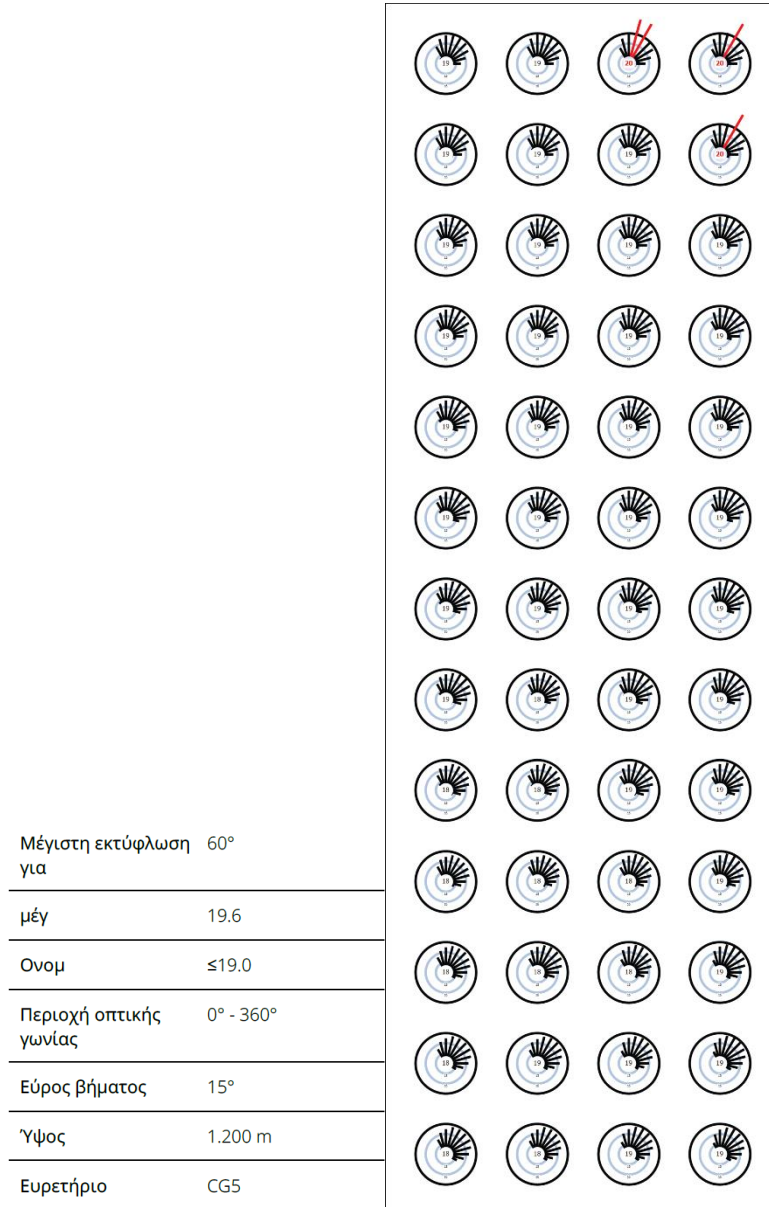


|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.1      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

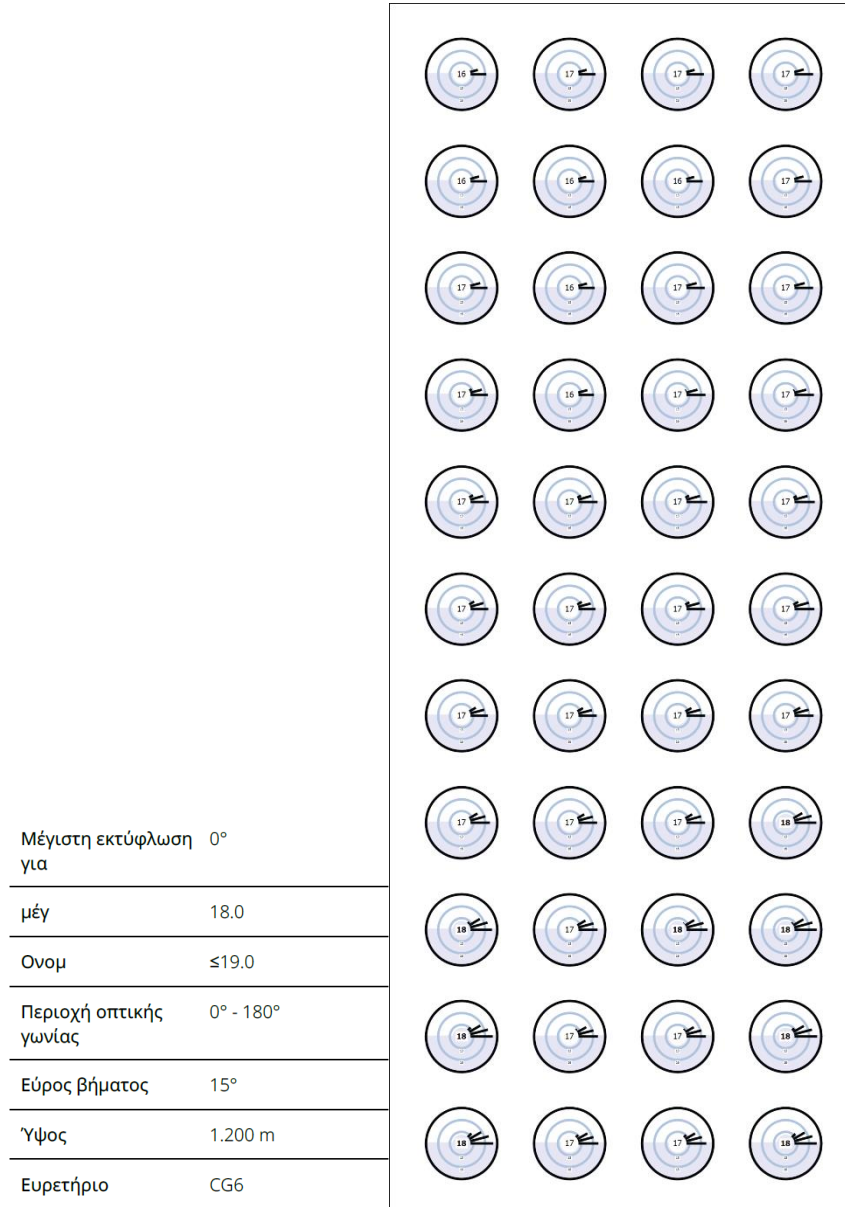
Εικόνα 97 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

Εικόνα 98 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4

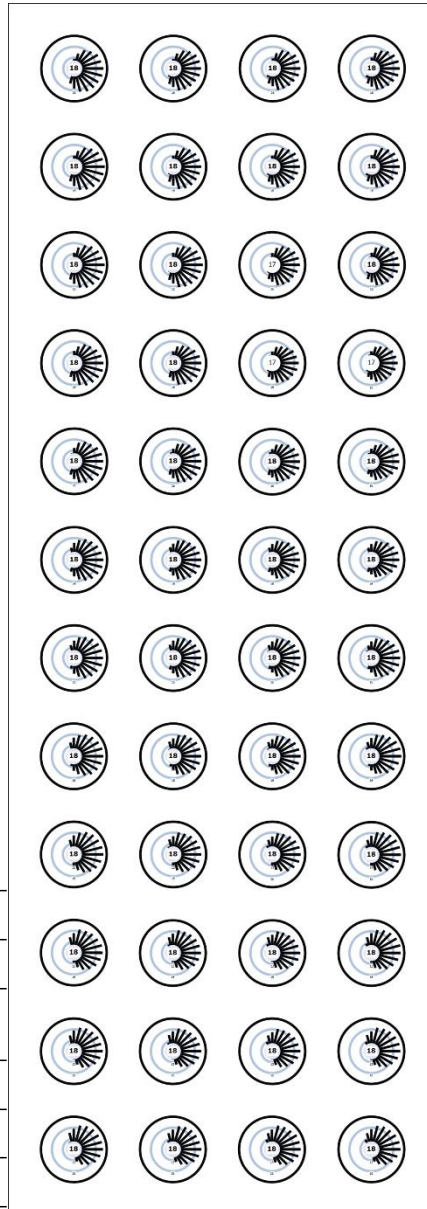


Εικόνα 99 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό από προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5



Εικόνα 100 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6

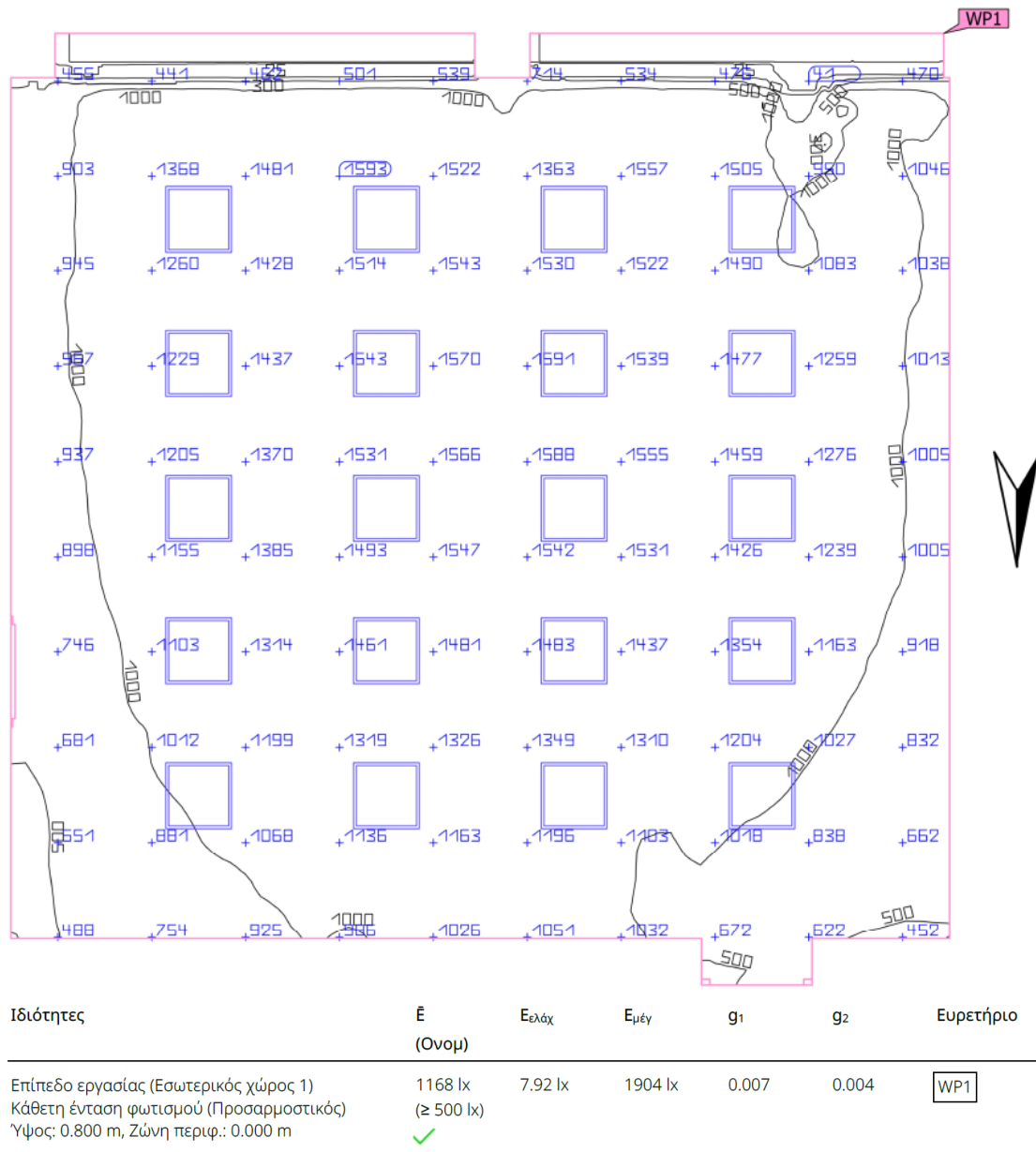
|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 0°        |
| μέγ                    | 18.4      |
| Ονομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 360° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |
| Ευρετήριο              | CG7       |



Εικόνα 101 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.2.5 Ημισυννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



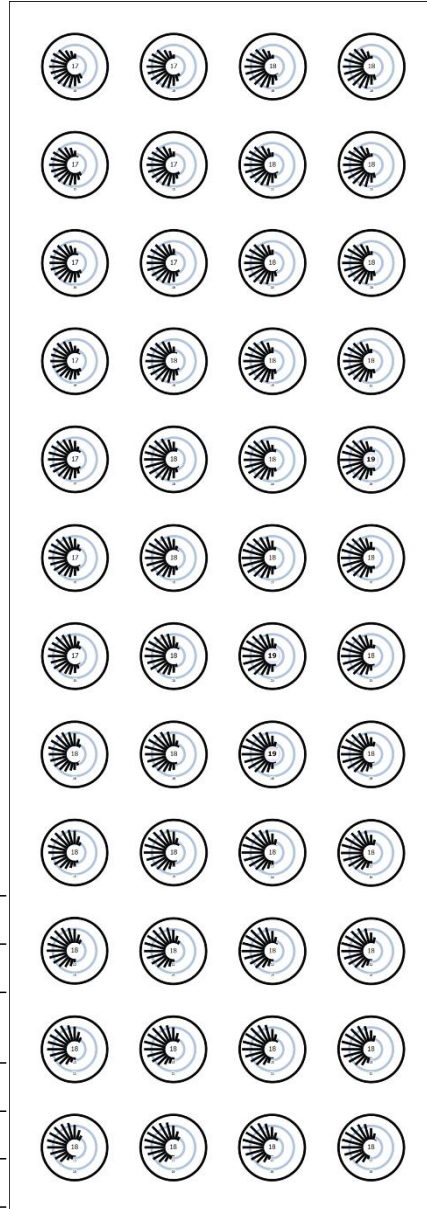
Εικόνα 102 : Ποσοστό φωτός από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 103 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 165°      |
| μέγ                    | 18.6      |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 360° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |
| Ευρετήριο              | CG2       |



Εικόνα 104 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

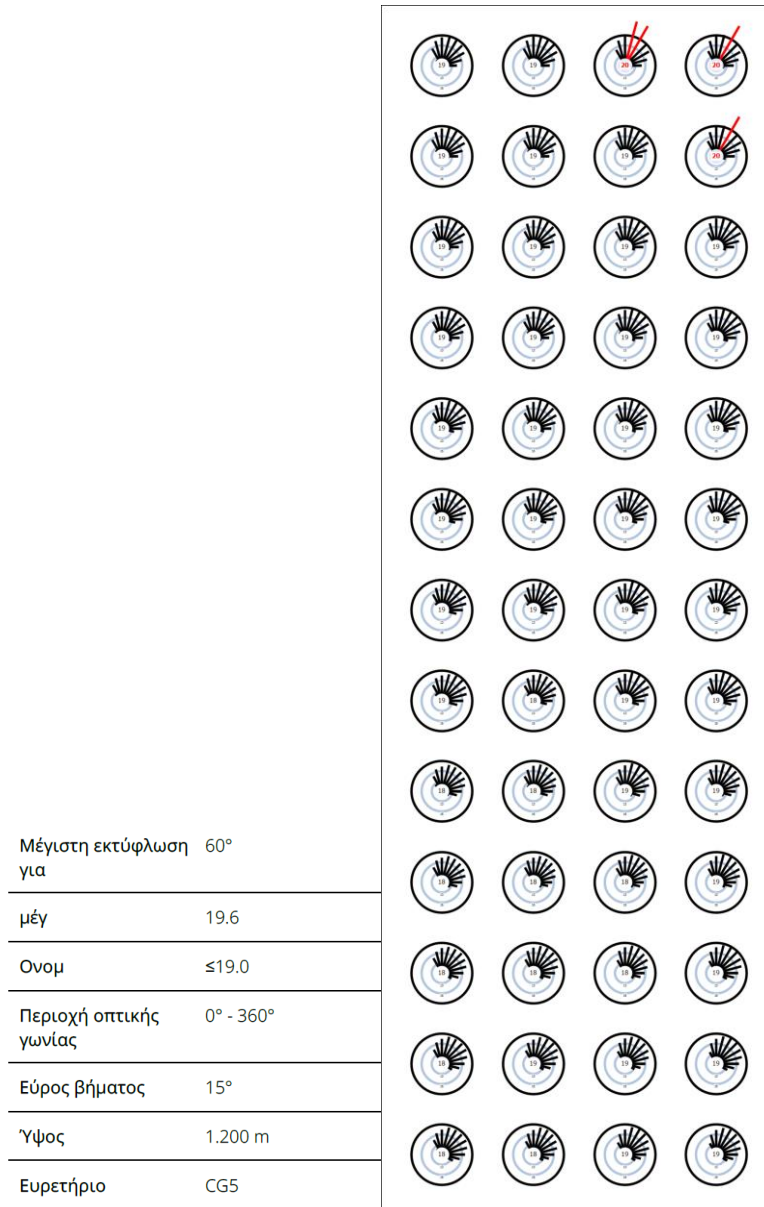
|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.1      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

*Εικόνα 105 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3*

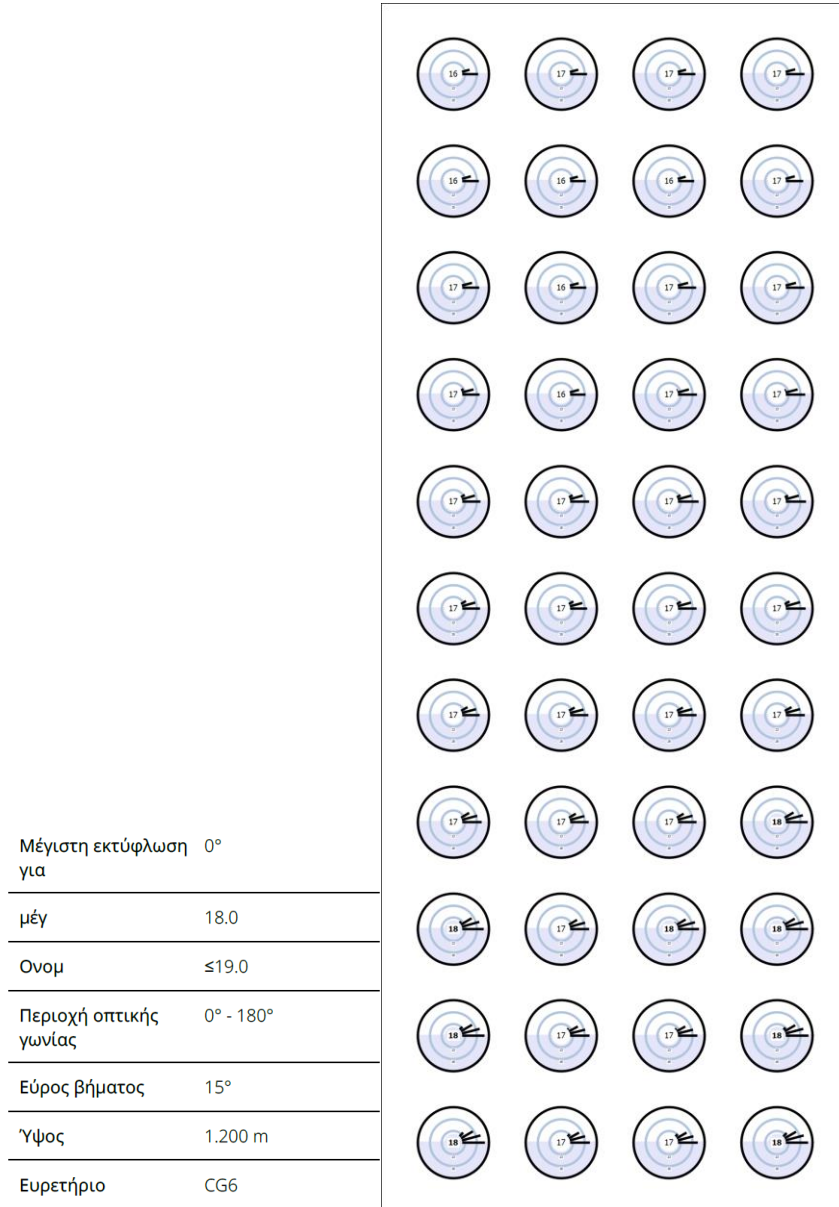
|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

*Εικόνα 106 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4*

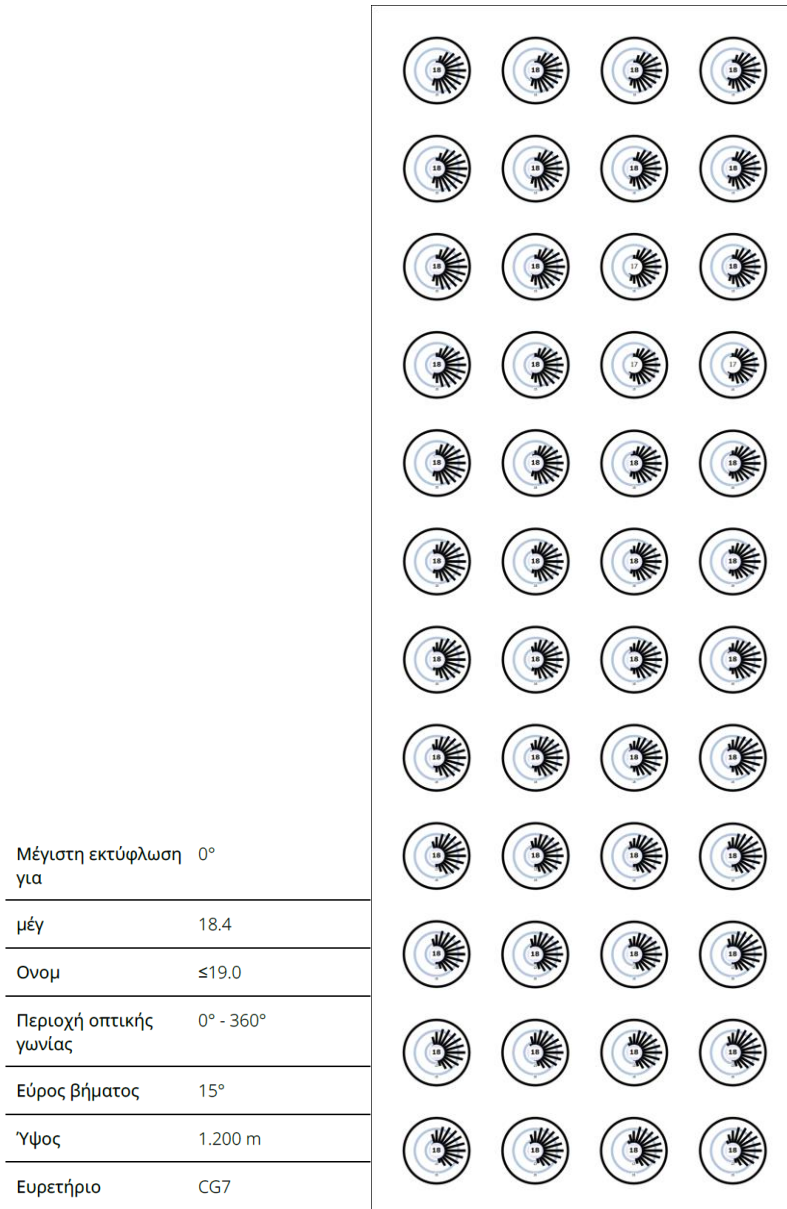




Εικόνα 107 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5



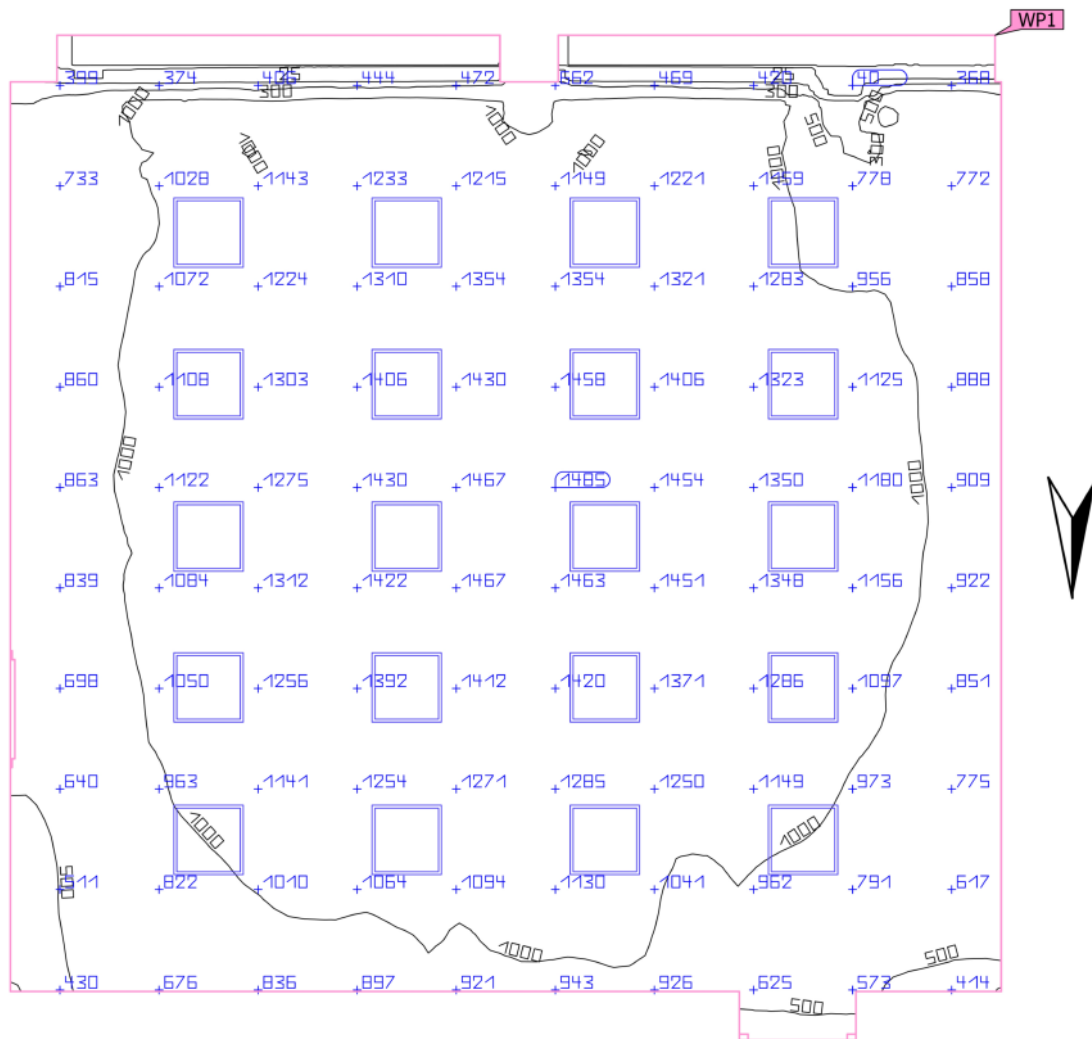
Εικόνα 108 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6



Εικόνα 109 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό από προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.2.6 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού

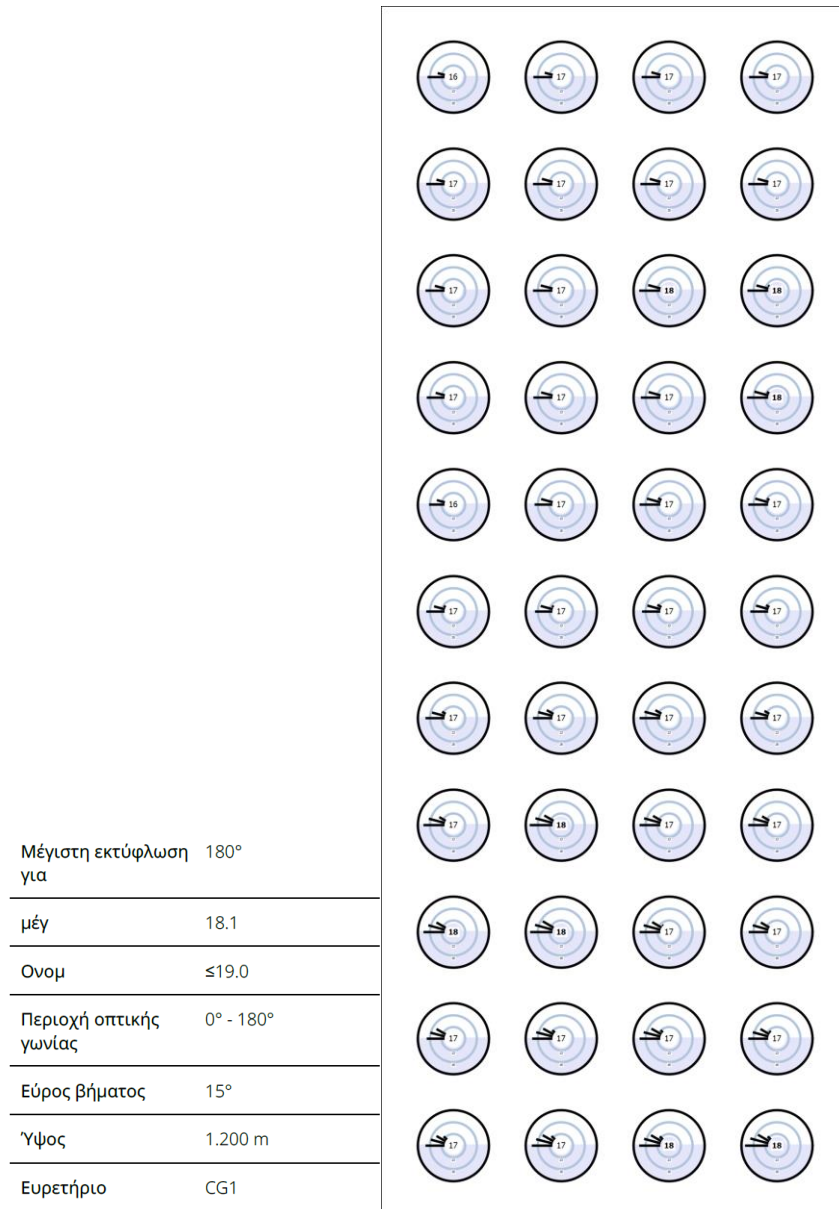
Για πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ε<br>(Όνομ) | Εελάχ   | Εμέγ    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|---------|---------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 1046 lx     | 7.06 lx | 1504 lx | 0.007          | 0.005          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |         |         |                |                |           |
| Υψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ✓           |         |         |                |                |           |

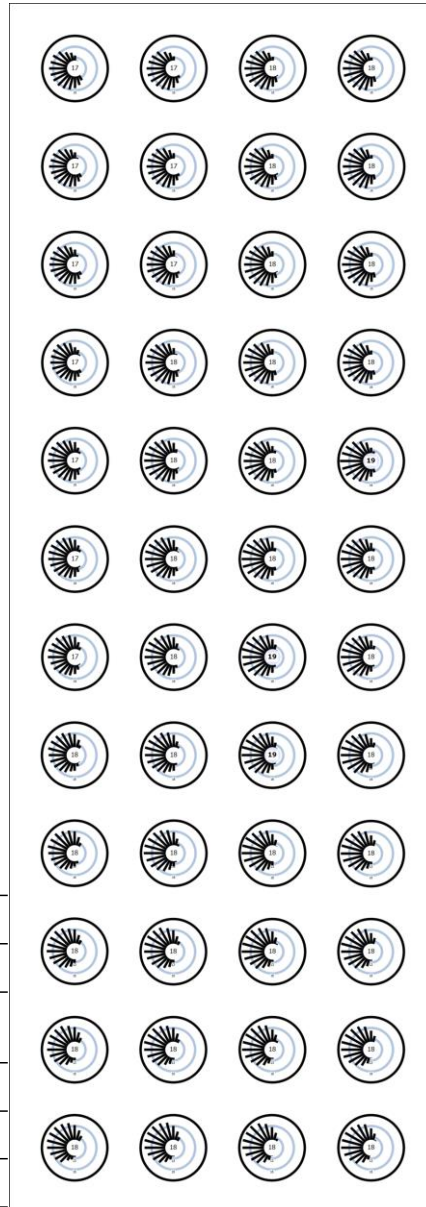
Εικόνα 110 : Ποσοστό φωτός από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 111 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 165°      |
| μέγ                    | 18.6      |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 360° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |
| Ευρετήριο              | CG2       |



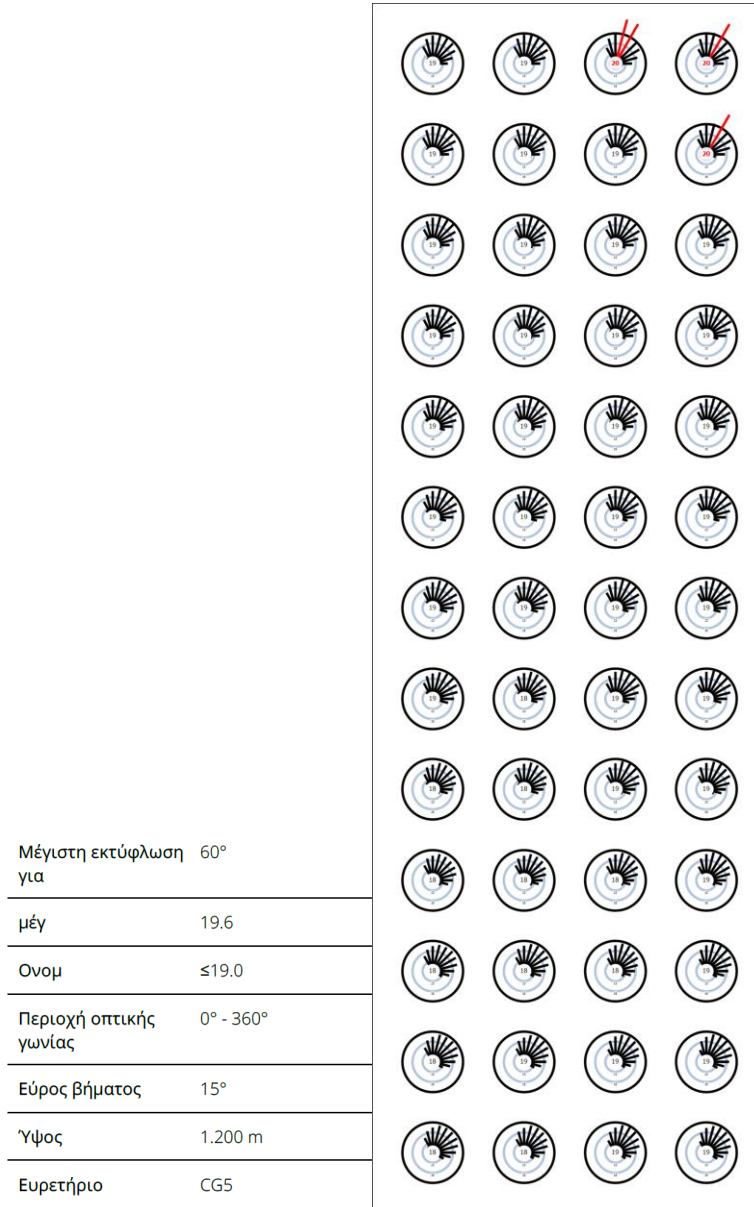
Εικόνα 112 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.1      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

*Εικόνα 113 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3*

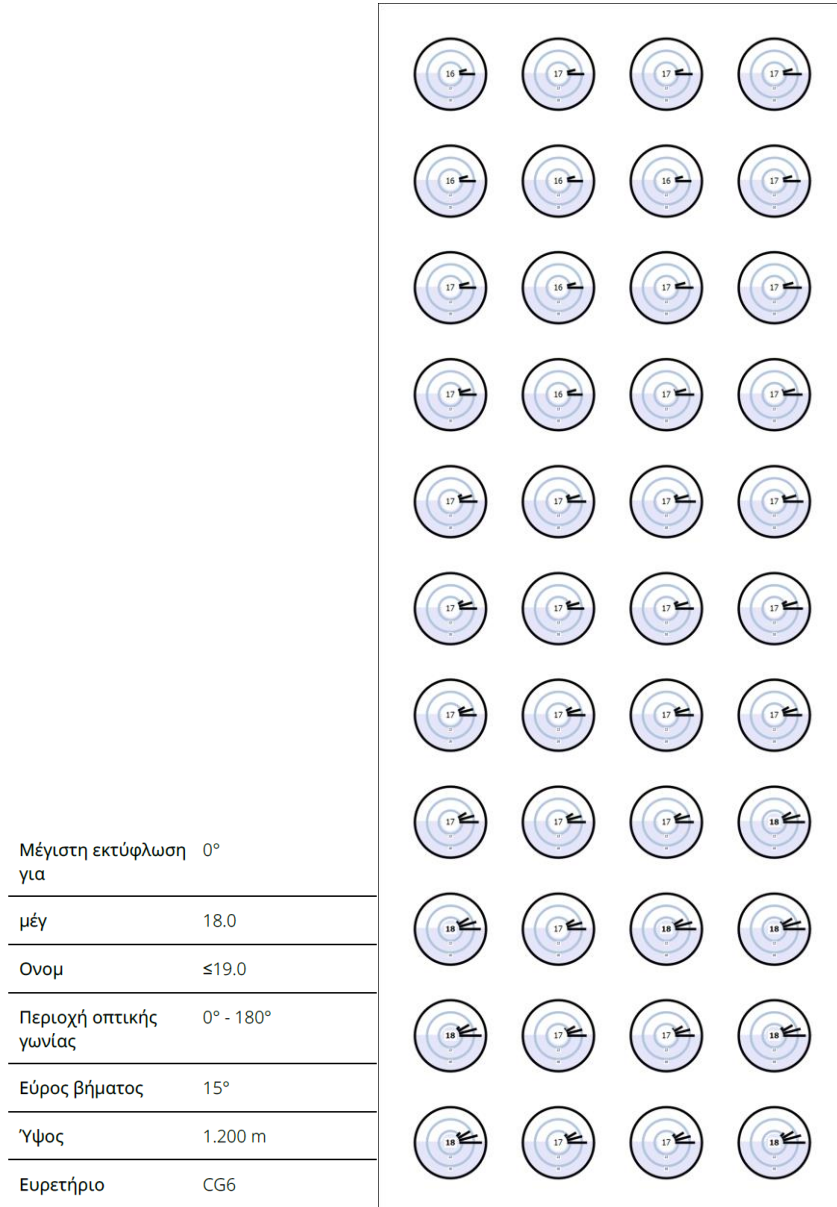
|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

*Εικόνα 114 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4*

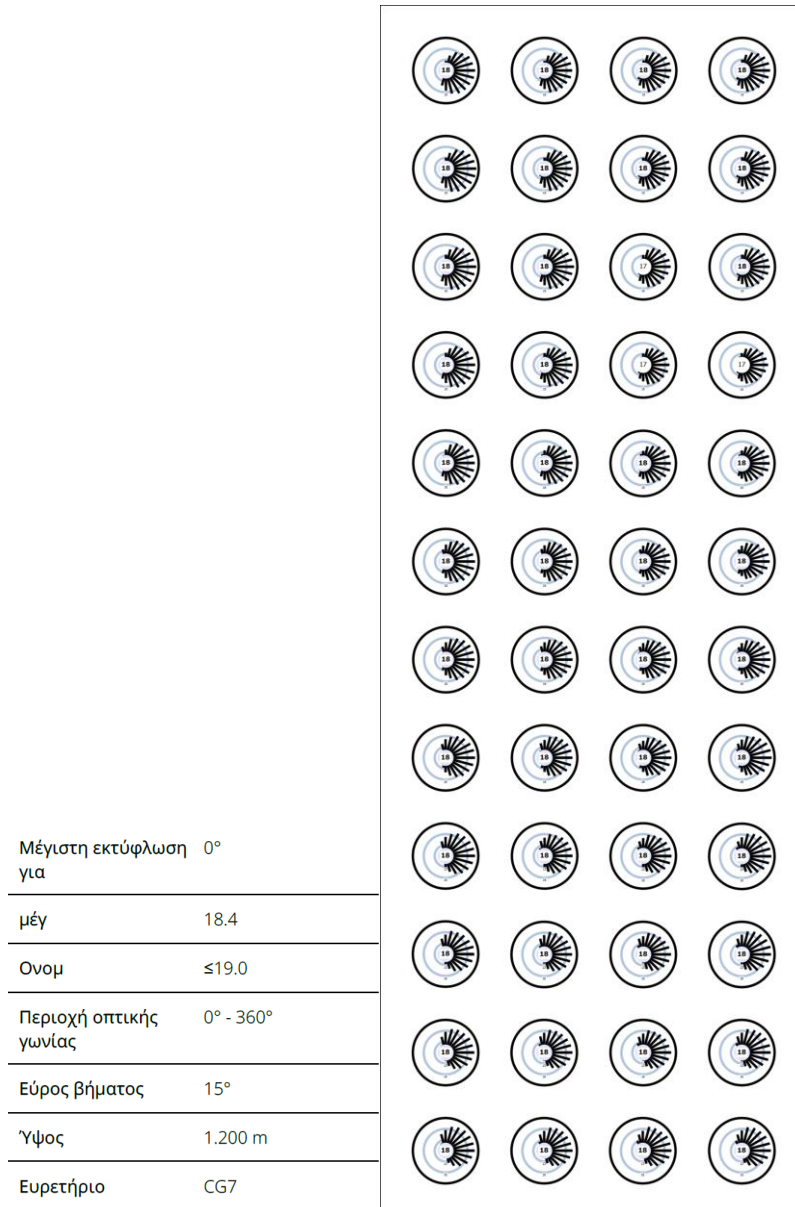


Εικόνα 115 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5





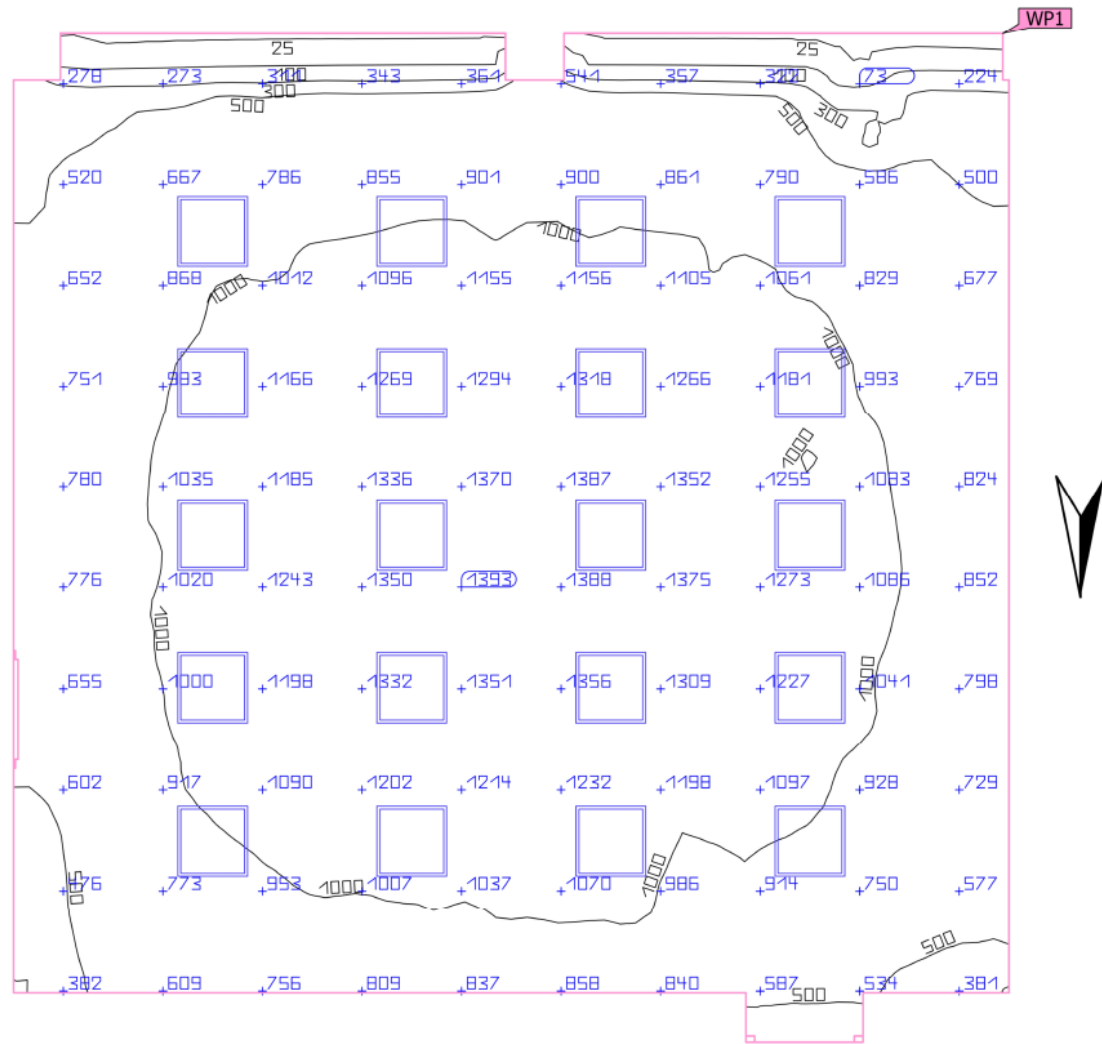
Εικόνα 116 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6



Εικόνα 117 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συνεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.2.7 Εσωτερική λειτουργία φωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό

Για λειτουργία εσωτερικού φωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοτού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ε<br>(Όνομ) | Εελάχ   | Εμέγ    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|---------|---------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 922 lx      | 7.49 lx | 1417 lx | 0.008          | 0.005          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |         |         |                |                |           |
| Υψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ✓           |         |         |                |                |           |

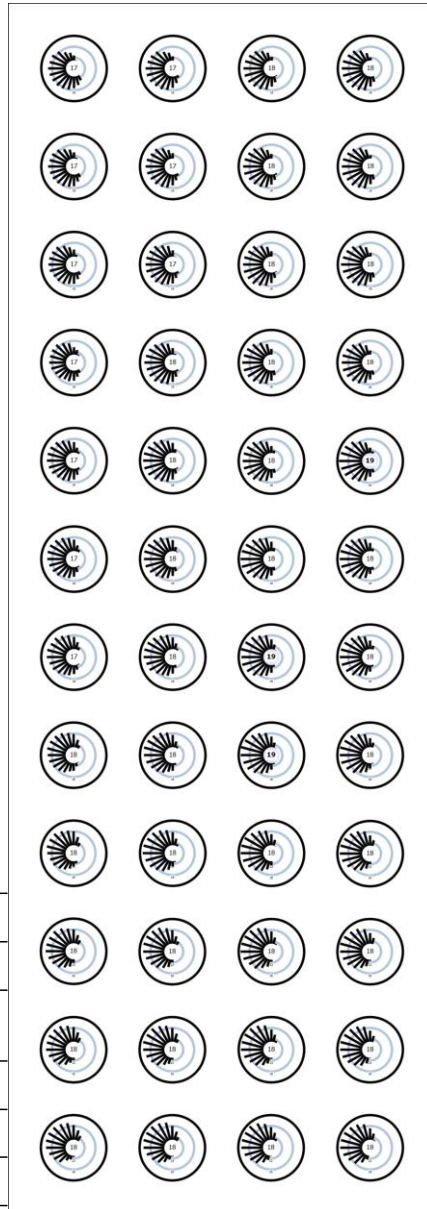
Εικόνα 118 : Ποσοστό φωτός εσωτερικού φωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 119 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 165°      |
| μέγ                    | 18.6      |
| Ονομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 360° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |
| Ευρετήριο              | CG2       |



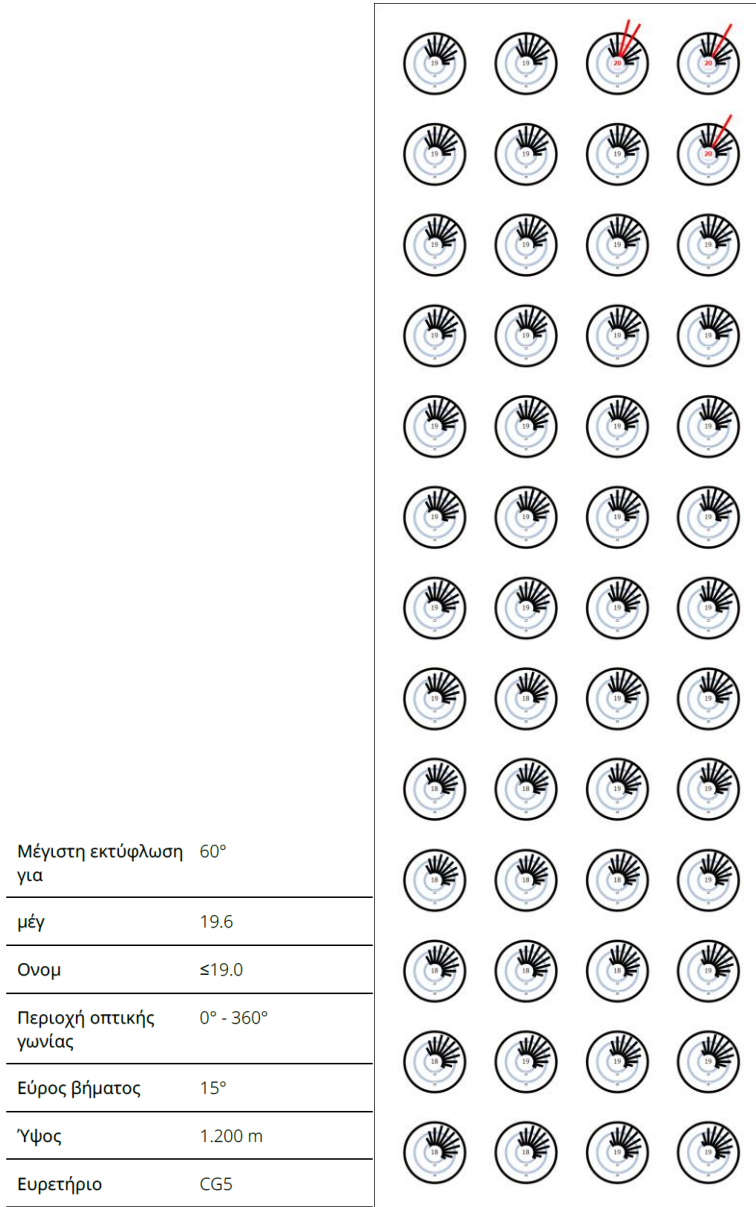
Εικόνα 120 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.1      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

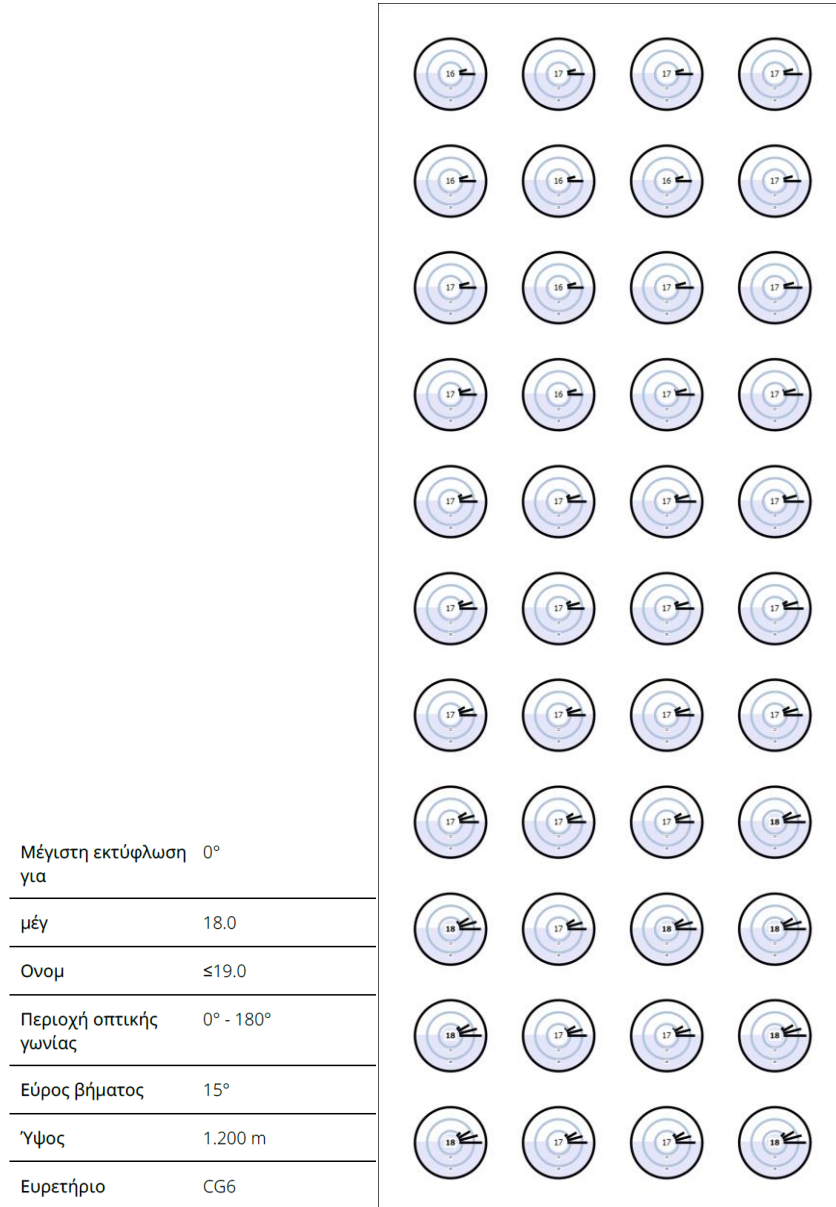
Εικόνα 121 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

Εικόνα 122 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4

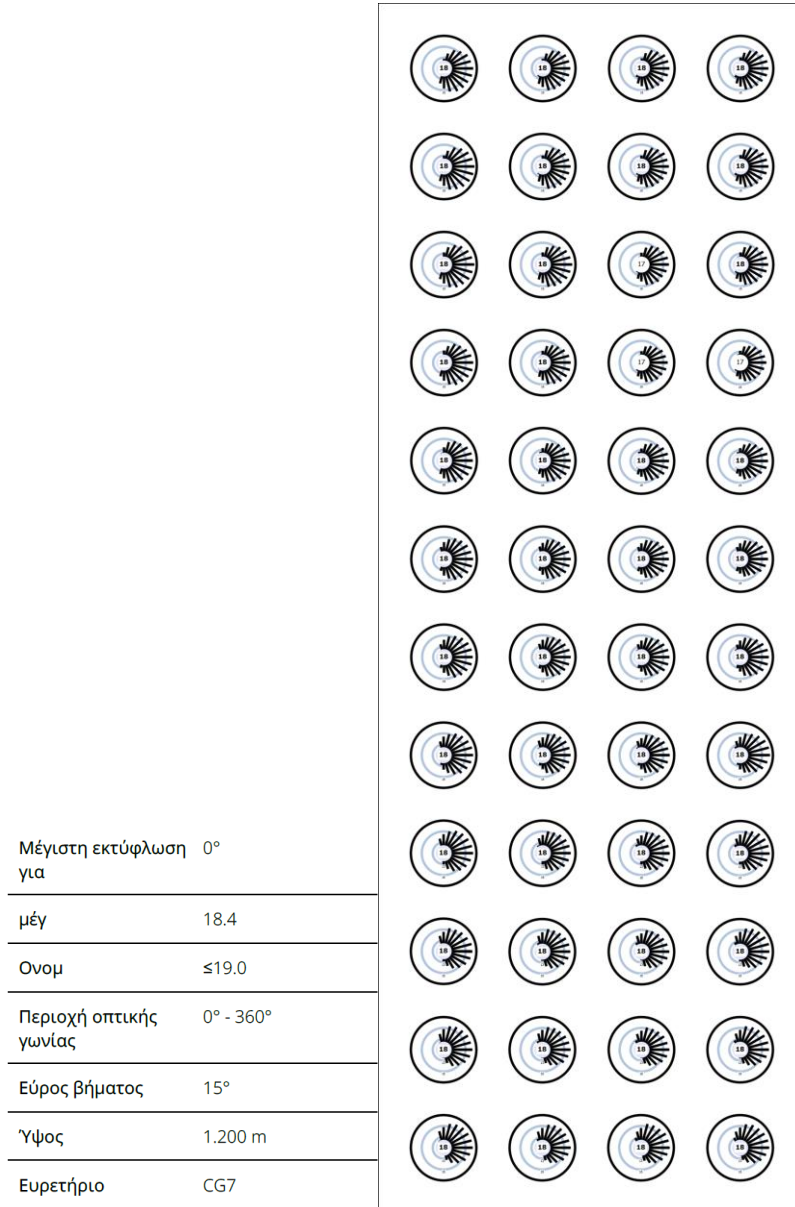


Εικόνα 123 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5



Εικόνα 124 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6





Εικόνα 125 : Συντελεστής UGR φωτισμού από εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων εναλλακτικής σκηνής

Στην εναλλακτική σκηνή χρησιμοποιούμε ένα από τα συστήματα φωτισμού που είδαμε στην σελίδα 62, το “ράφι φωτισμού” με εγκατάσταση καθρέφτη στην βάση του παρόχου φωτισμού. Εάν το επιτρέπει η μηχανολογία του κτιρίου, μπορεί να τοποθετηθεί πάροχος φωτισμού πάνω το πρέκι του παραθύρου “πάροχος θέας”. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση επιλέξαμε επίσης καλύτερο τζάμι παραθύρου “Διπλό τζάμι, ηλιακής προστασίας II”.



Εικόνα 126 : Αίθουσα εναλλακτικής μορφής με “Ράφι φωτισμού”

Πάροχος θέας με διπλό τζάμι, ηλιακής προστασίας II, με χαρακτηριστικά:

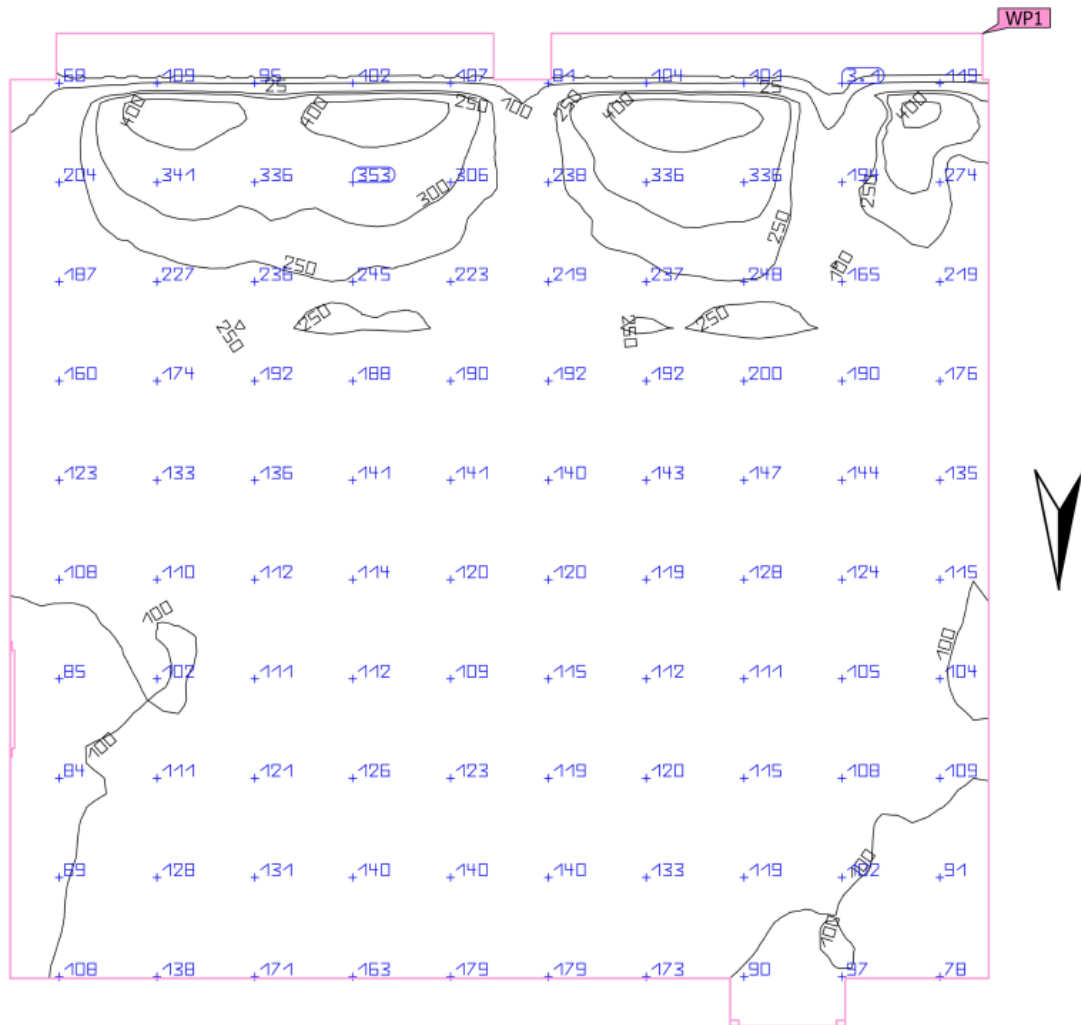
- Χρώμα υλικού σε κλίμακα RGB (255, 129, 37)
- Βαθμός ανάκλασης 11.3%
- Βαθμός μεταβίβασης 71.6%
- Δείκτης διάθλασης 1.500

Πάροχος φωτισμού με απλό τζάμι με χαρακτηριστικά:

- Χρώμα υλικού (254, 254, 254)
- Βαθμός ανάκλασης 10.0%
- Βαθμός μεταβίβασης 90.0%
- Δείκτης διάθλασης 1.500

#### 4.3.1 Καθαρός Ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για καθαρό ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ē<br>(Όνομ) | Εελάχ   | Εμέγ   | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|---------|--------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 162 lx      | 0.21 lx | 465 lx | 0.001          | 0.000          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |         |        |                |                |           |
| Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ✗           |         |        |                |                |           |

Εικόνα 127 : Ποσοστό φωτός ημέρας από καθαρό ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για όλες τις περιοχές CG1 έως CG7 των μετρήσεων είναι ίδιος:

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |

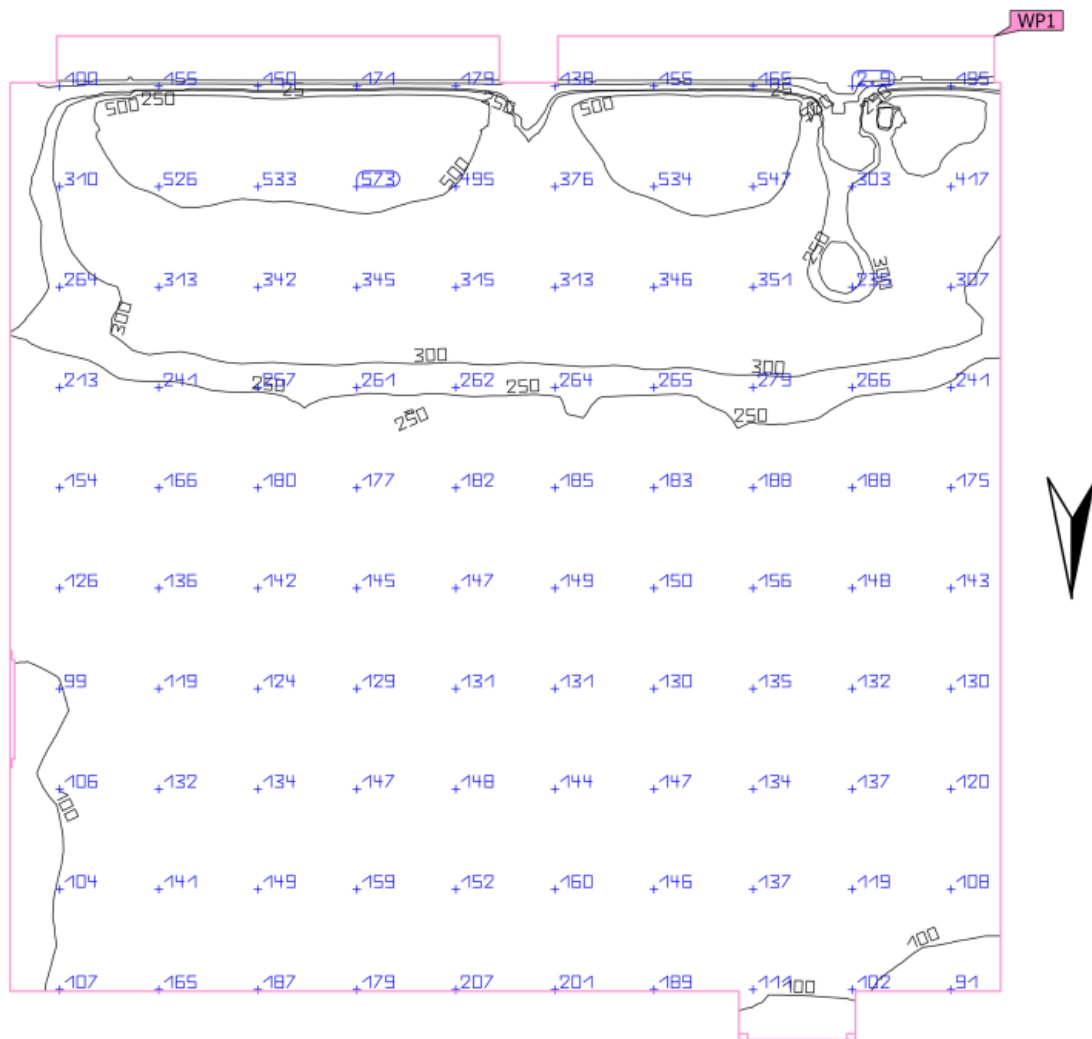
*Εικόνα 128 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7*

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.537 m   |

*Εικόνα 129 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό από προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4*

### 4.3.2 Ημισυννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για ημισυννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες   | Ē<br>(Όνομ)               | Ε <sub>ελάχ</sub> | Ε <sub>μέγ</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|---------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)<br>Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός)<br>Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m | 225 lx<br>(≥ 500 lx)<br>✗ | 0.63 lx           | 849 lx           | 0.003          | 0.001          | WP1       |

Εικόνα 130 : Ποσοστό φωτός ημέρας από ημισυννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για όλες τις περιοχές CG1 έως CG7 των μετρήσεων είναι ίδιος:

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |

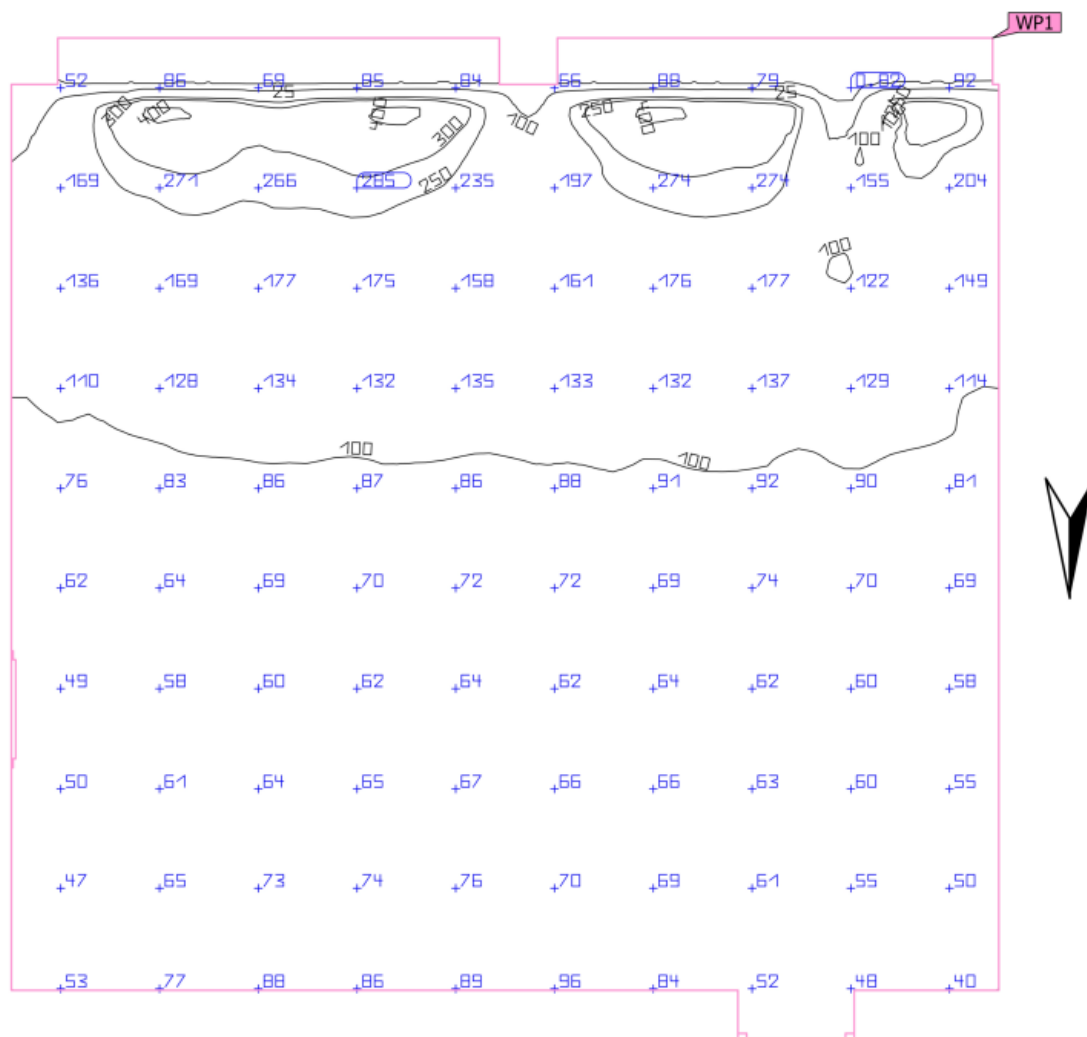
*Εικόνα 131 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7*

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.537 m   |

*Εικόνα 132 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4*

#### 4.3.3 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός χωρίς εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για πλήρη συννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες                               | Ε<br>(Όνομ) | Ε <sub>ελάχ</sub> | Ε <sub>μέγ</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|-------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)   | 111 lx      | 0.10 lx           | 416 lx           | 0.001          | 0.000          | WP1       |
| Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός) | (≥ 500 lx)  |                   |                  |                |                |           |
| Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m     | ×           |                   |                  |                |                |           |

Εικόνα 133 : Ποσοστό φωτός ημέρας από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό χωρίς λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα για όλες τις περιοχές CG1 έως CG7 των μετρήσεων είναι ίδιος:

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.200 m   |

*Εικόνα 134 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG1 έως CG3 & CG5 έως CG7*

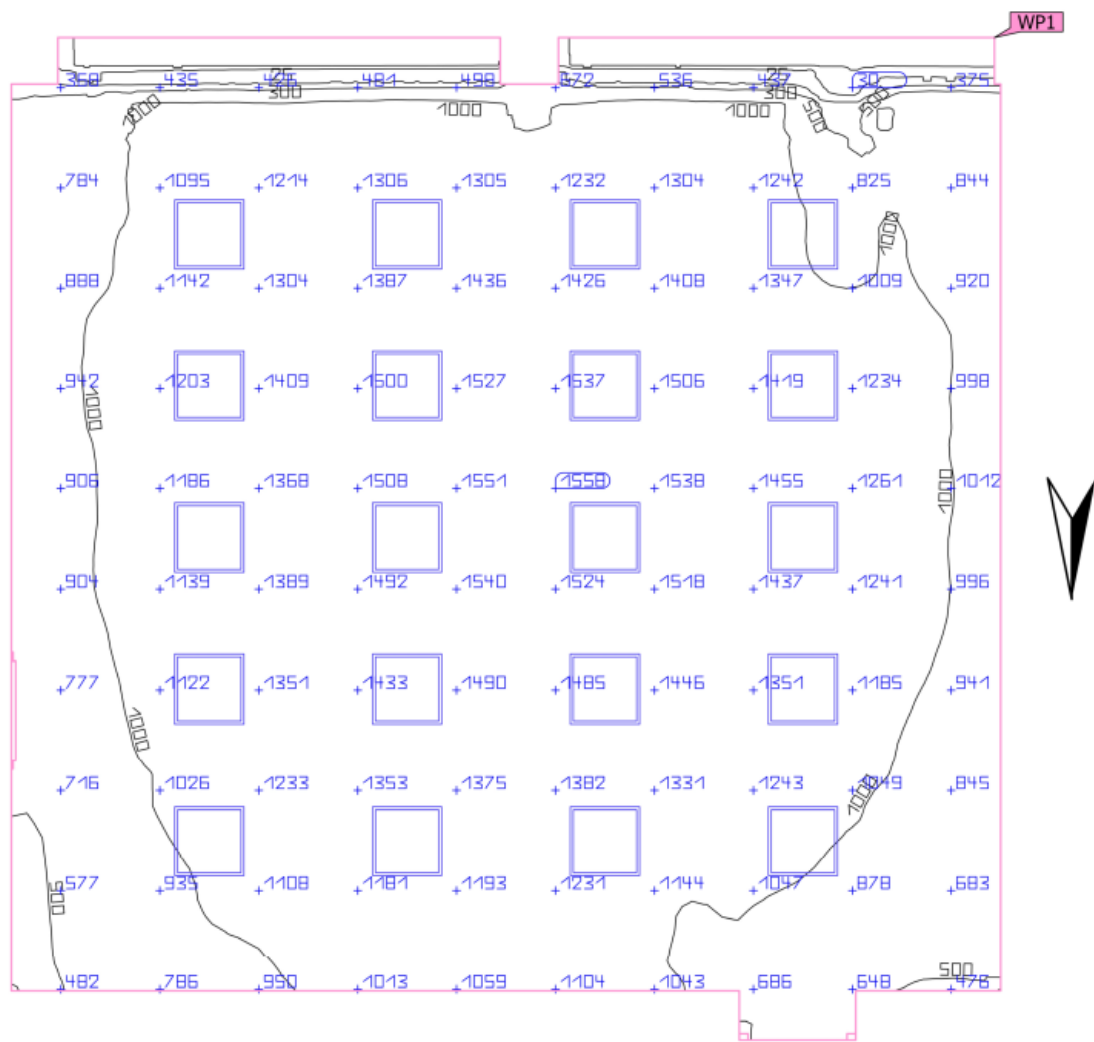
|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | -33°      |
| μέγ                    | <10       |
| Όνομ                   | ≤19.0     |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |
| Εύρος βήματος          | 15°       |
| Ύψος                   | 1.537 m   |

*Εικόνα 135 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό απο προσομοίωση DIALux στις επιφάνειες CG4*



#### 4.3.4 Καθαρός ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού

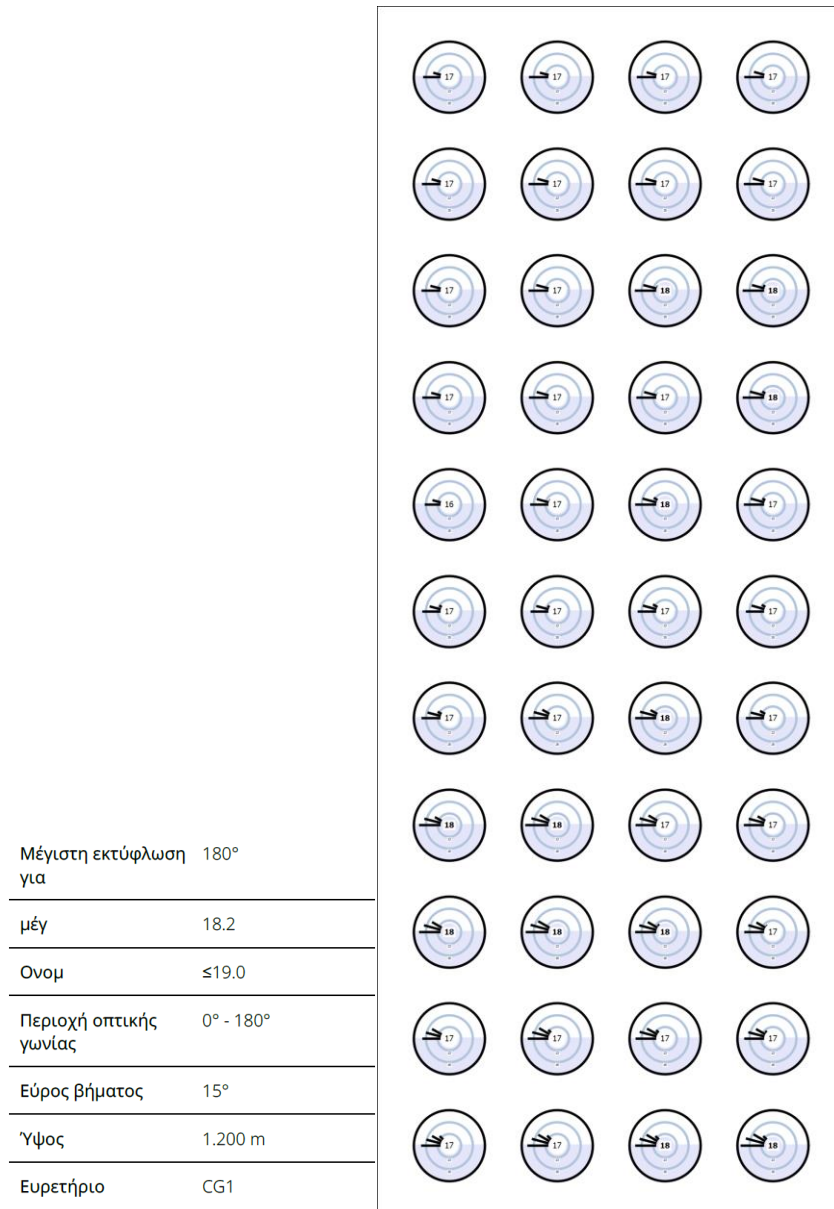
Για καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



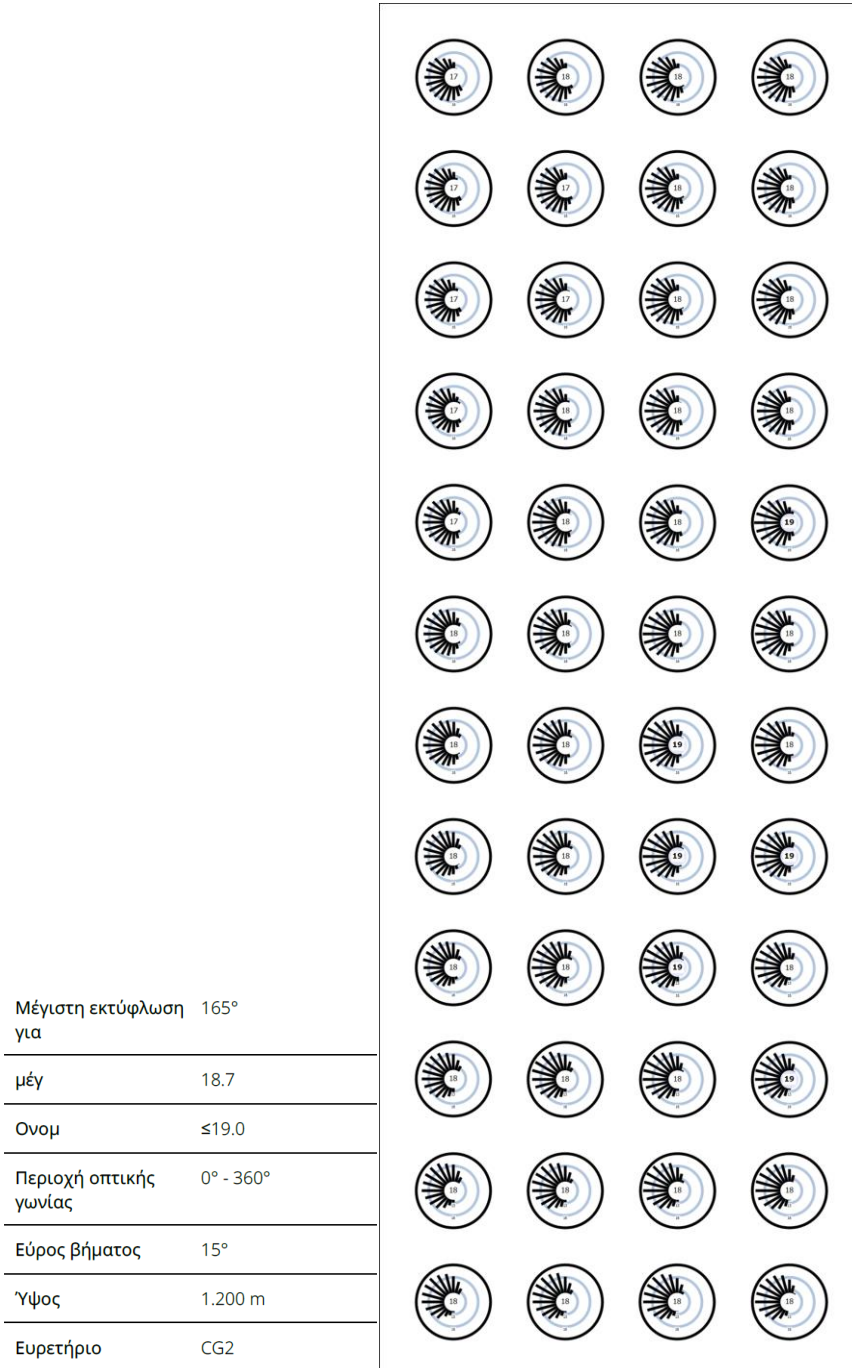
| Ιδιότητες   | Ē<br>(Ονομ)                | Ε <sub>ελάχ</sub> | Ε <sub>μέγ</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|----------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)<br>Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός)<br>Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m | 1121 lx<br>(≥ 500 lx)<br>✓ | 10.0 lx           | 1588 lx          | 0.009          | 0.006          | WP1       |

Εικόνα 136 : Ποσοστό φωτός από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 137 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1



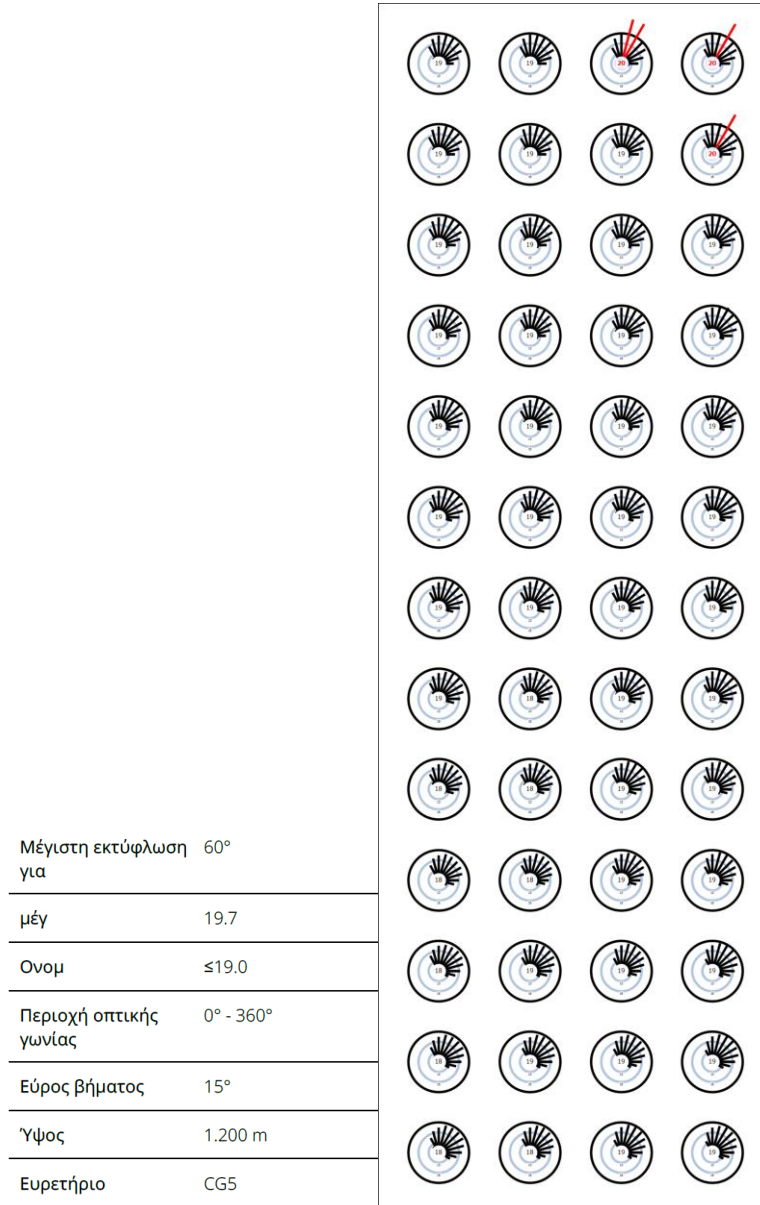
Εικόνα 138 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό από προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.3      |  |
| Ονομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

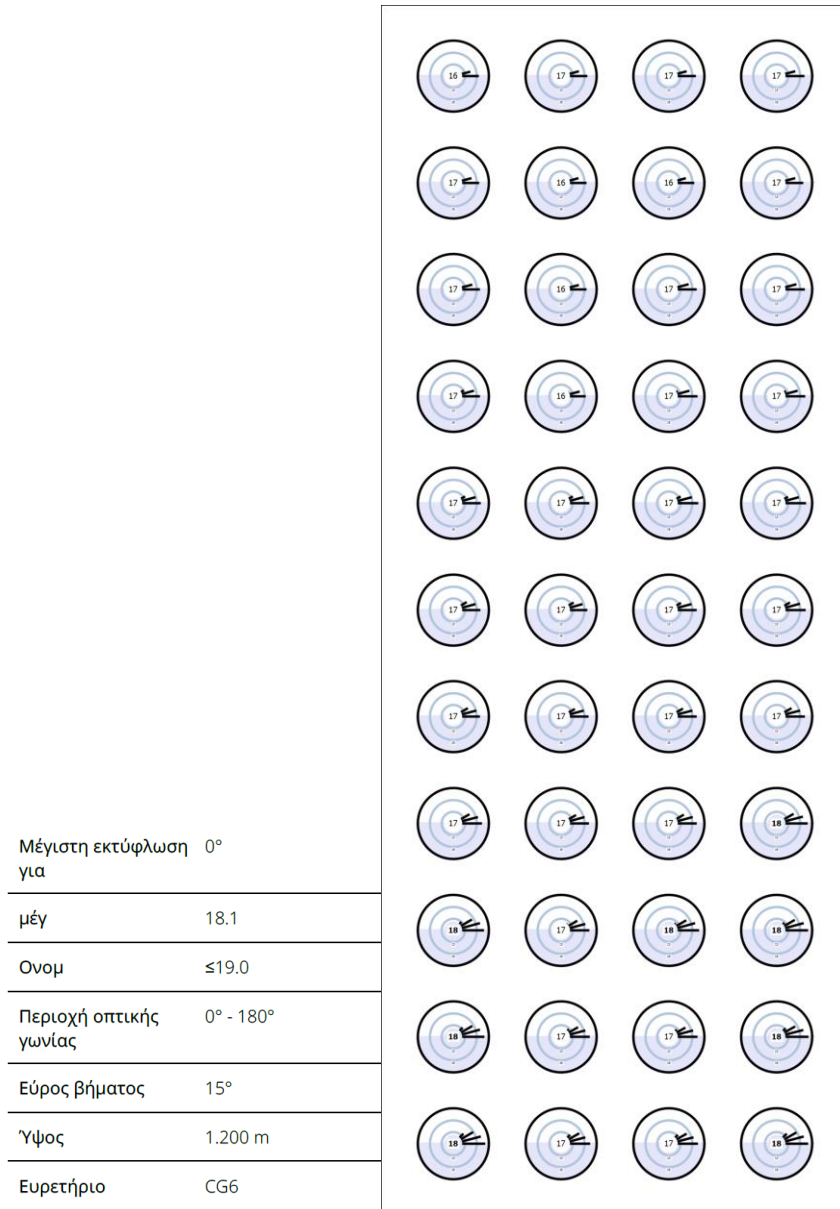
Εικόνα 139 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Ονομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

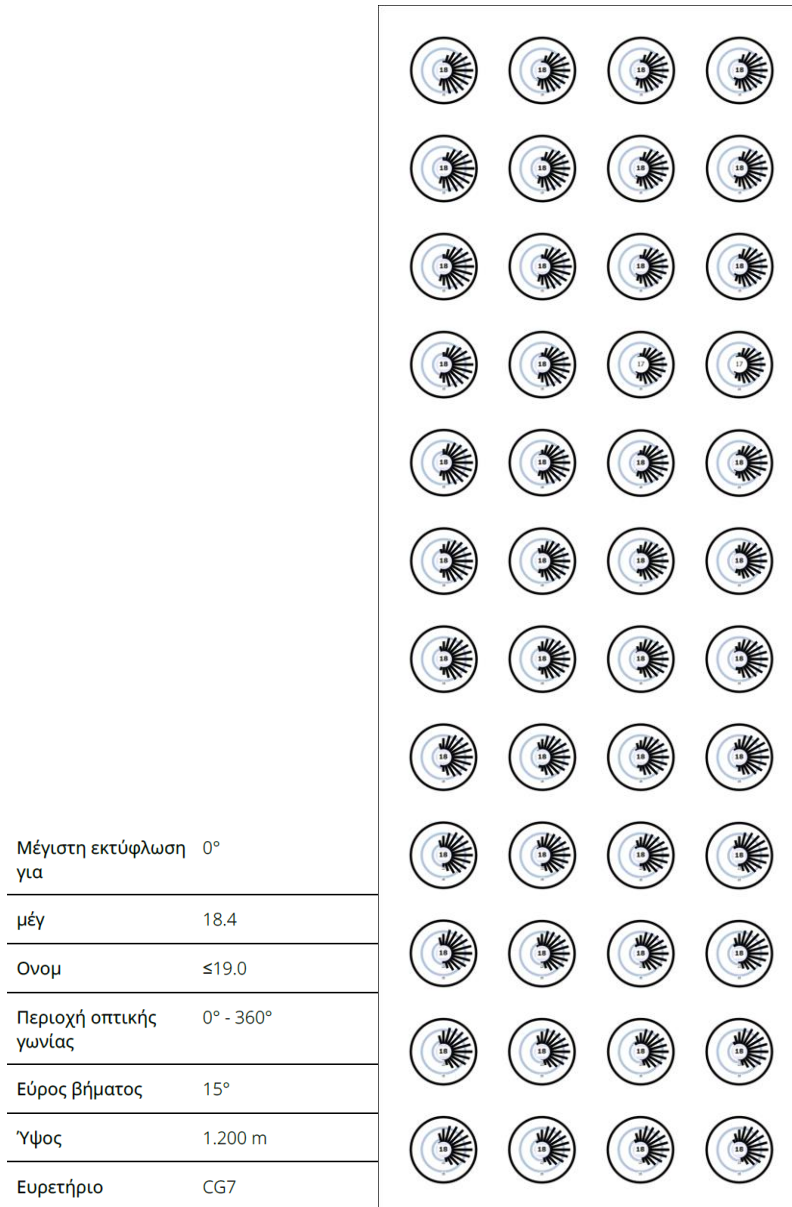
Εικόνα 140 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4



Εικόνα 141 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5



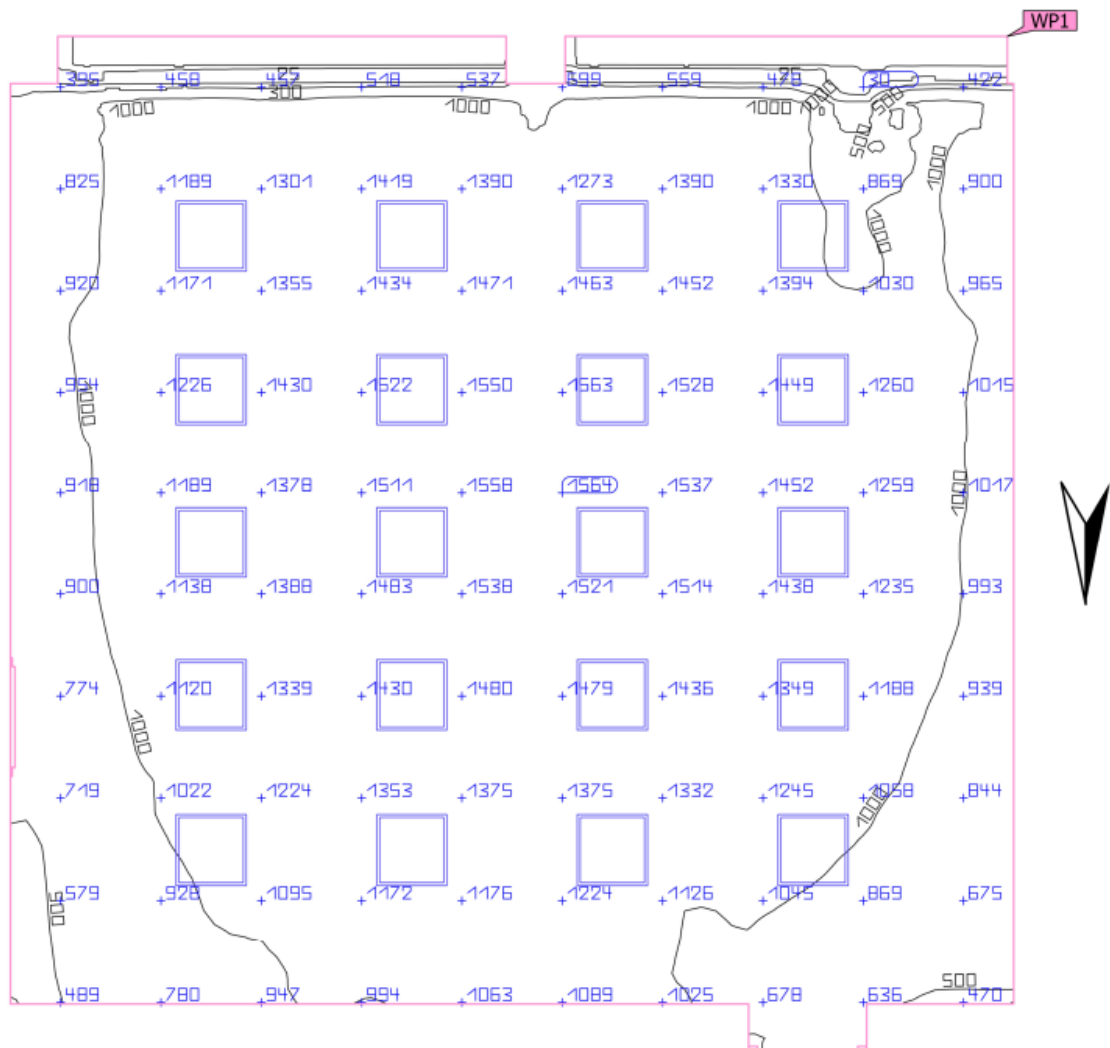
Εικόνα 142 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6



Εικόνα 143 : Συντελεστής UGR φωτισμού από καθαρό ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.3.5 Ημισυννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού

Για ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες   | Έ<br>(Όνομ)                | Εελάχ   | Εμέγ    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|----------------------------|---------|---------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)<br>Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός)<br>Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m | 1142 lx<br>(≥ 500 lx)<br>✓ | 8.28 lx | 1594 lx | 0.007          | 0.005          | WP1       |

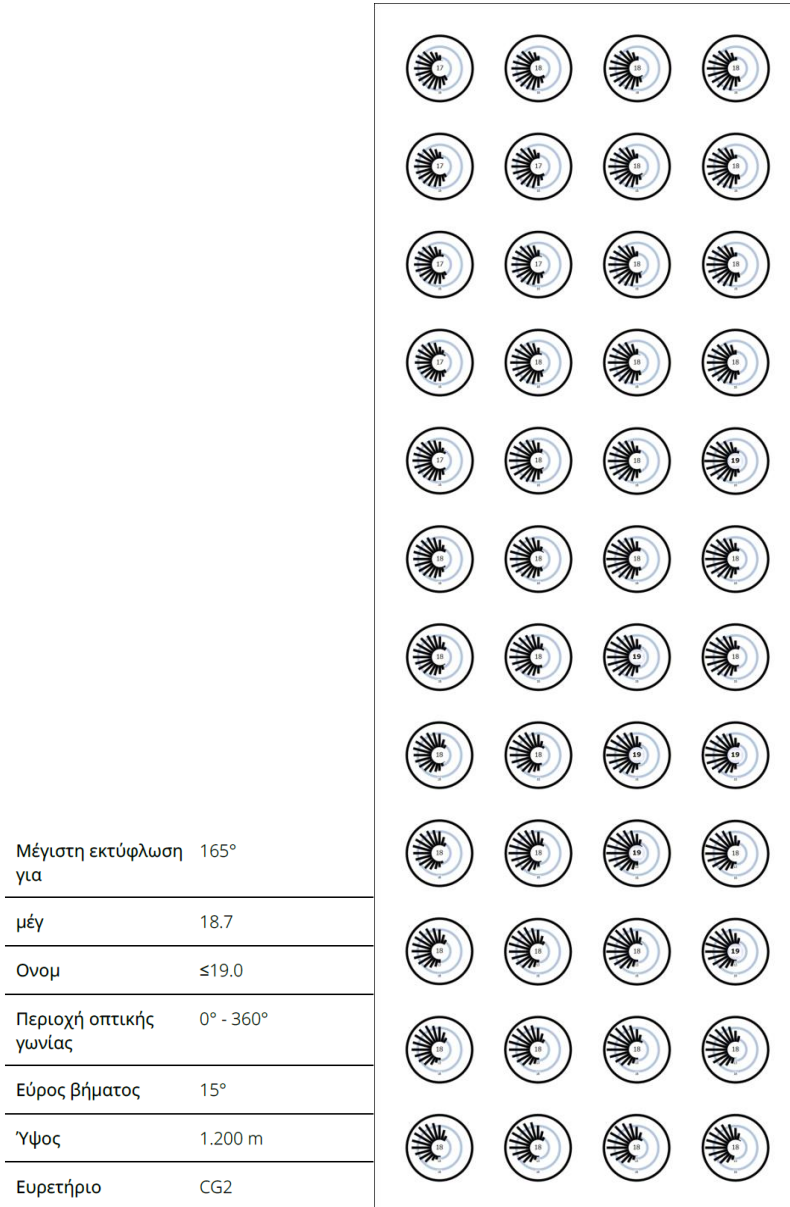
Εικόνα 144 : Ποσοστό φωτός από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού.



Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 145 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1



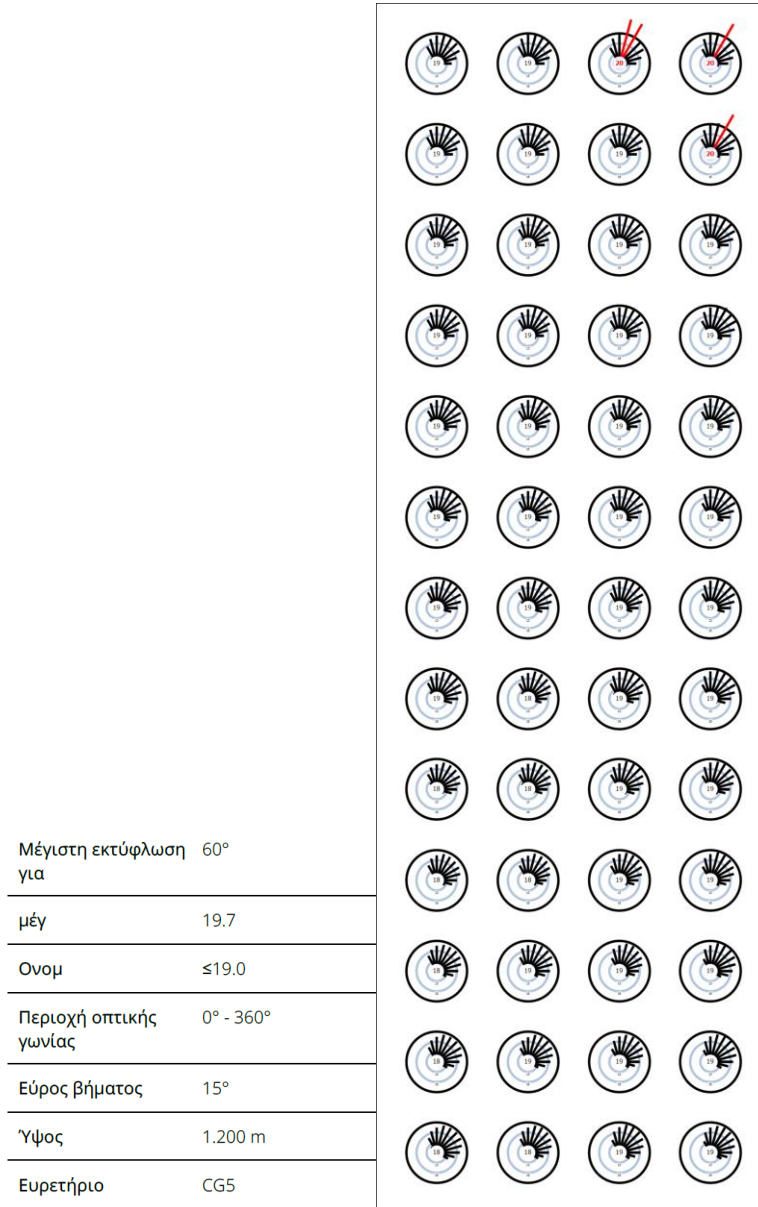
Εικόνα 146 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.3      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

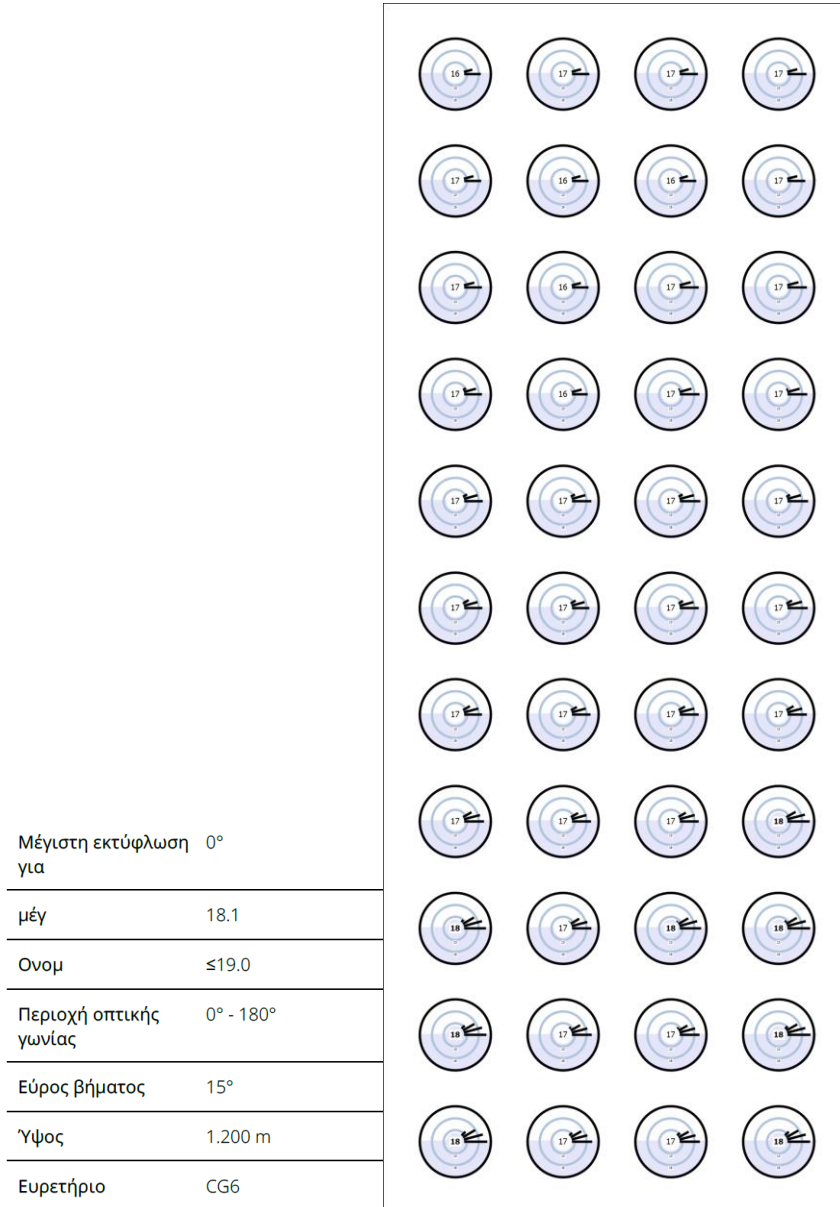
*Εικόνα 147 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3*

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

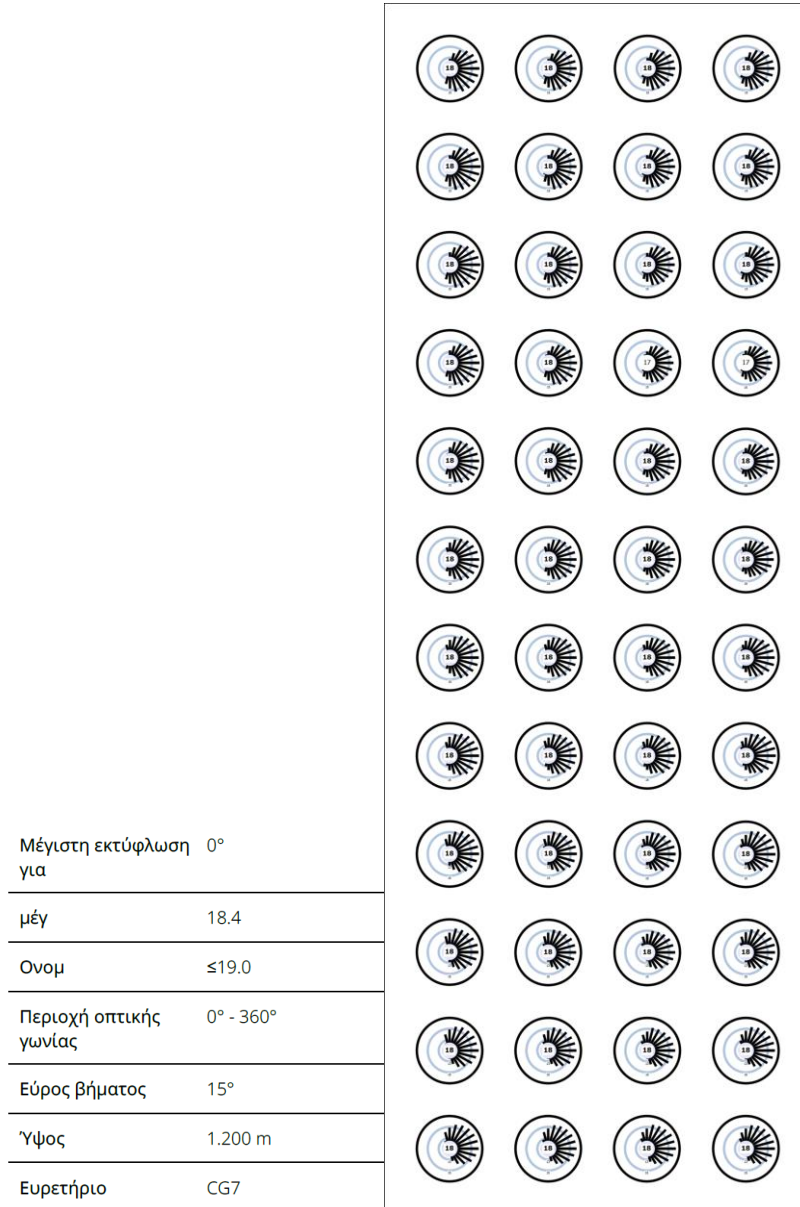
*Εικόνα 148 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4*



Εικόνα 149 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5



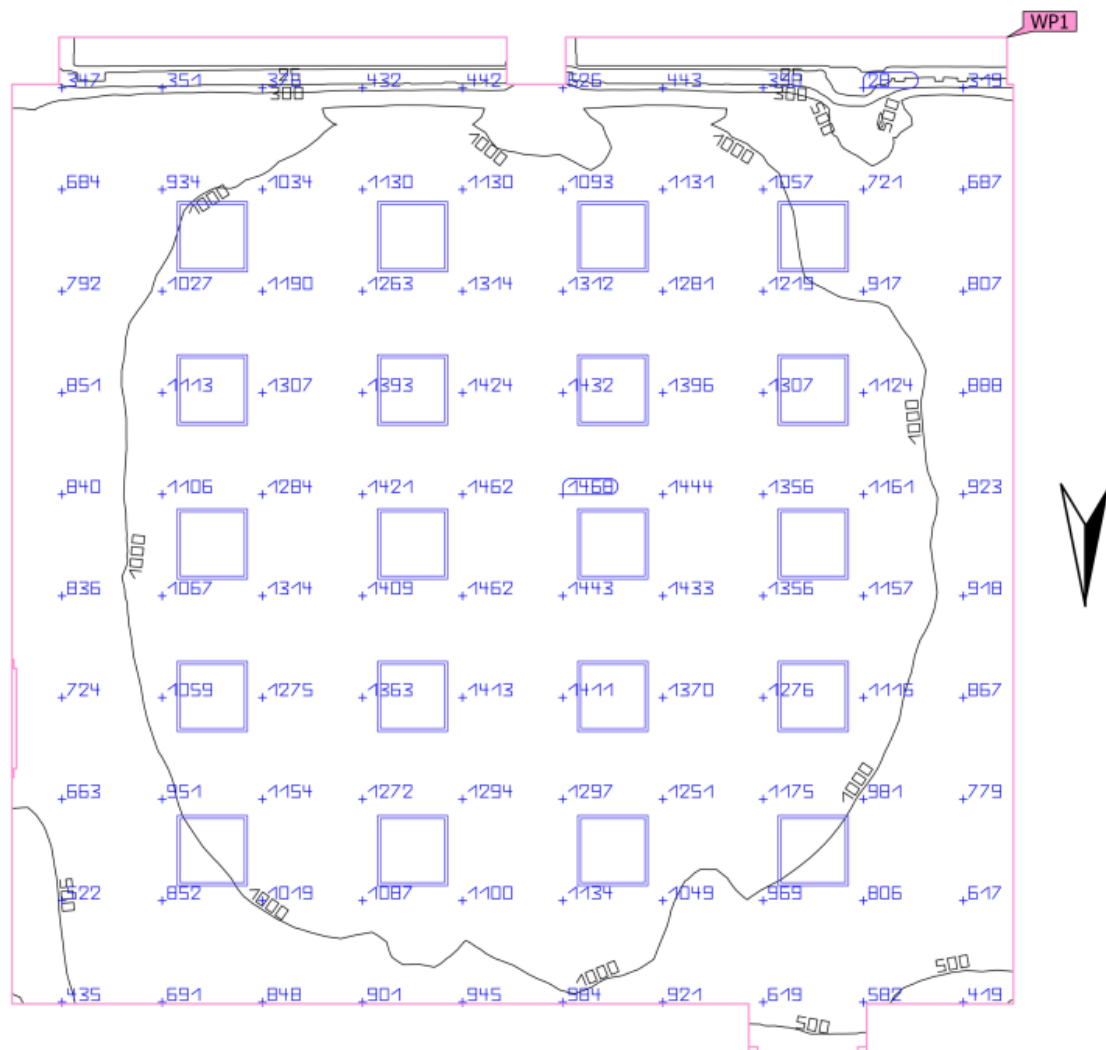
Εικόνα 150 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6



Εικόνα 151 : Συντελεστής UGR φωτισμού από ημισυννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.3.6 Πλήρης συννεφιασμένος ουρανός σε συνδυασμό με εσωτερική λειτουργία φωτισμού

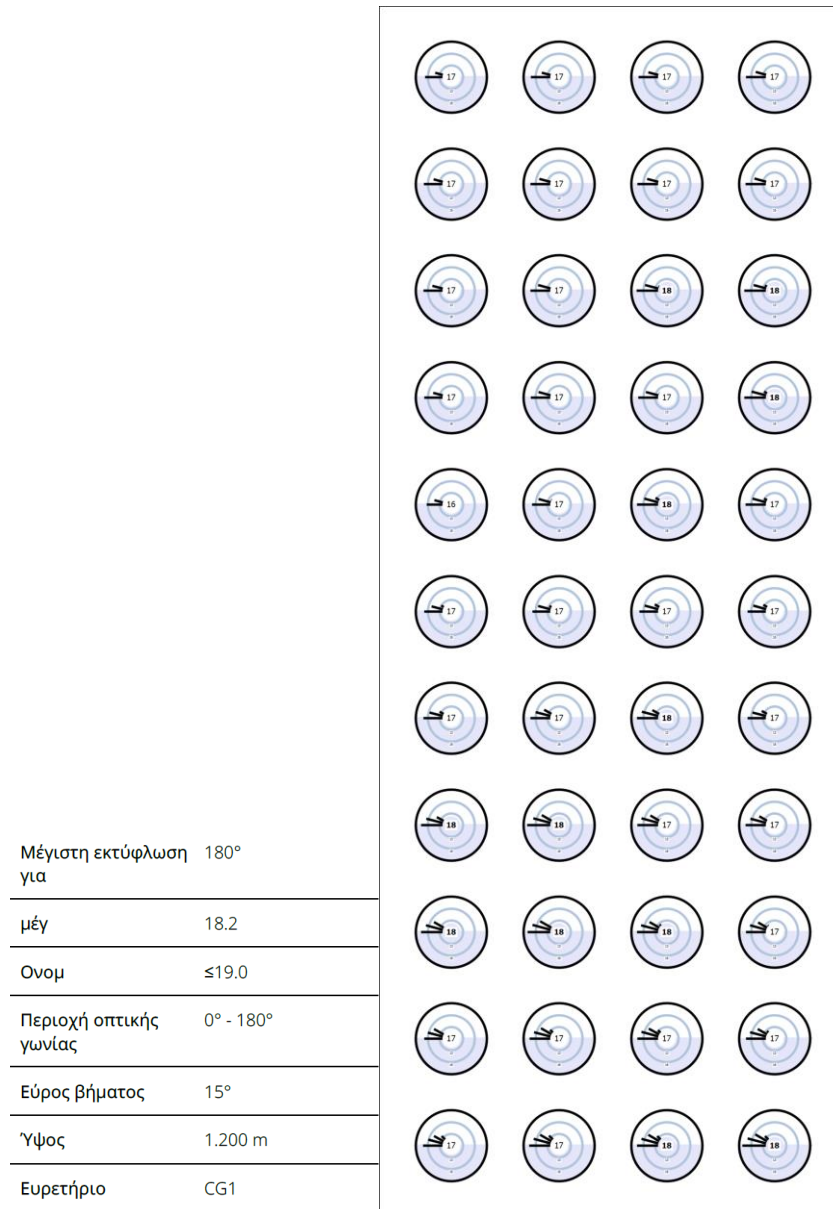
Για πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα ποσοστού φωτός ημέρας που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



| Ιδιότητες   | Ē<br>(Όνομ)                | Εελάχ   | Εμέγ    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | Ευρετήριο |
|---|----------------------------|---------|---------|----------------|----------------|-----------|
| Επίπεδο εργασίας (Εσωτερικός χώρος 1)<br>Κάθετη ένταση φωτισμού (Προσαρμοστικός)<br>Ύψος: 0.800 m, Ζώνη περιφ.: 0.000 m | 1028 lx<br>(≥ 500 lx)<br>✓ | 7.23 lx | 1496 lx | 0.007          | 0.005          | WPI       |

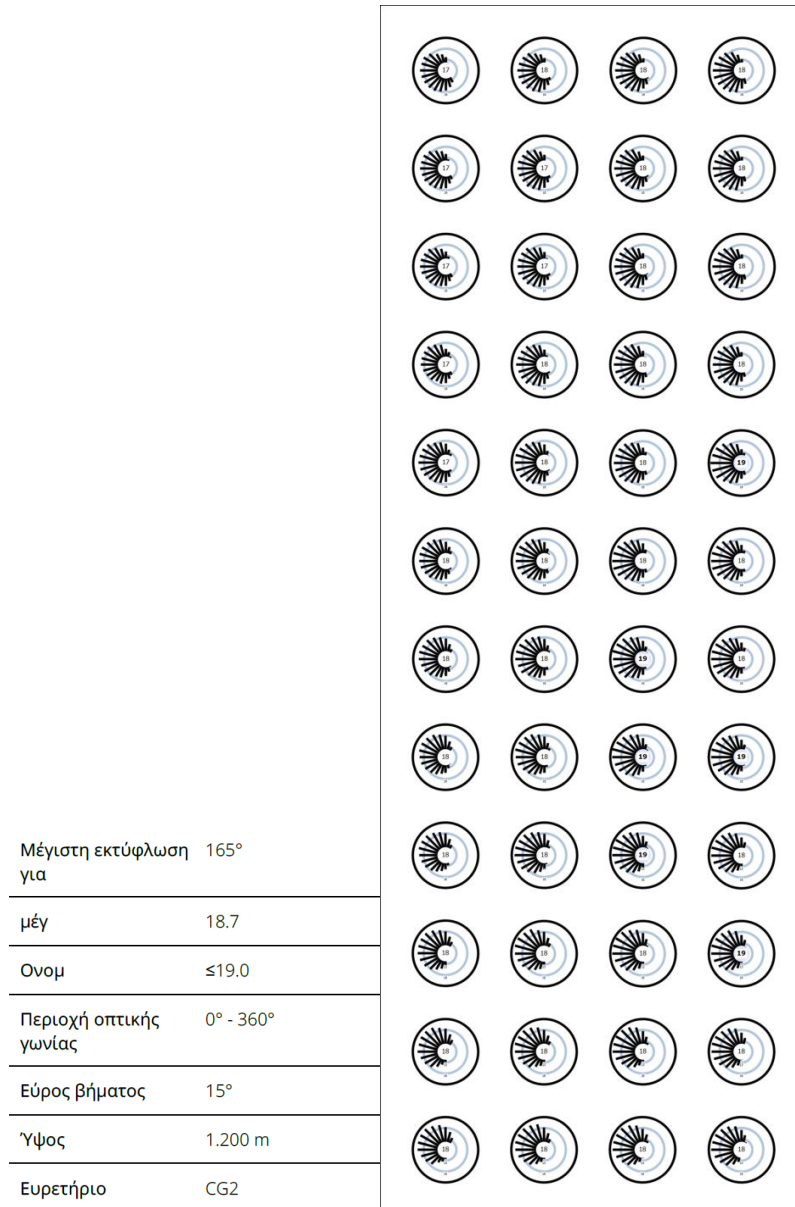
Εικόνα 152 : Ποσοστό φωτός από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με λειτουργία εσωτερικού φωτισμού

Ο συντελεστής θάμβωσης (UGR) δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 153 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG1





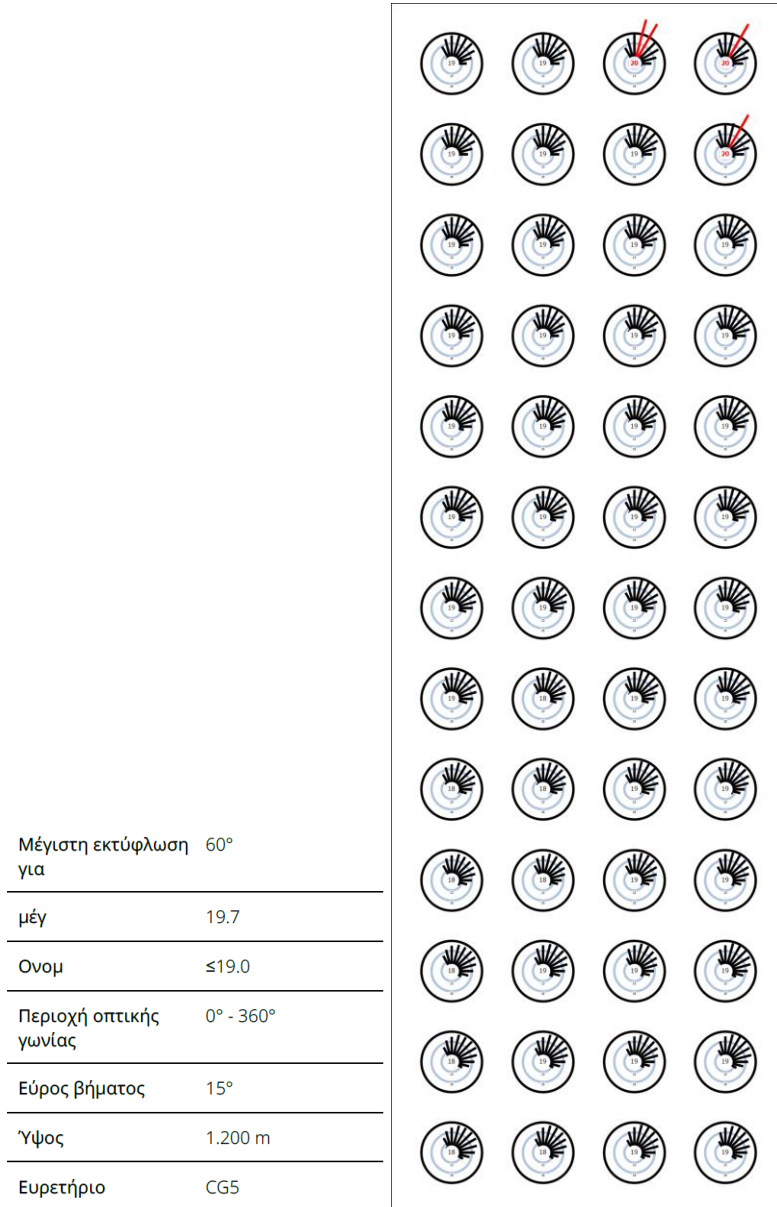
Εικόνα 154 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG2

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 19.3      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.200 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG3       |  |

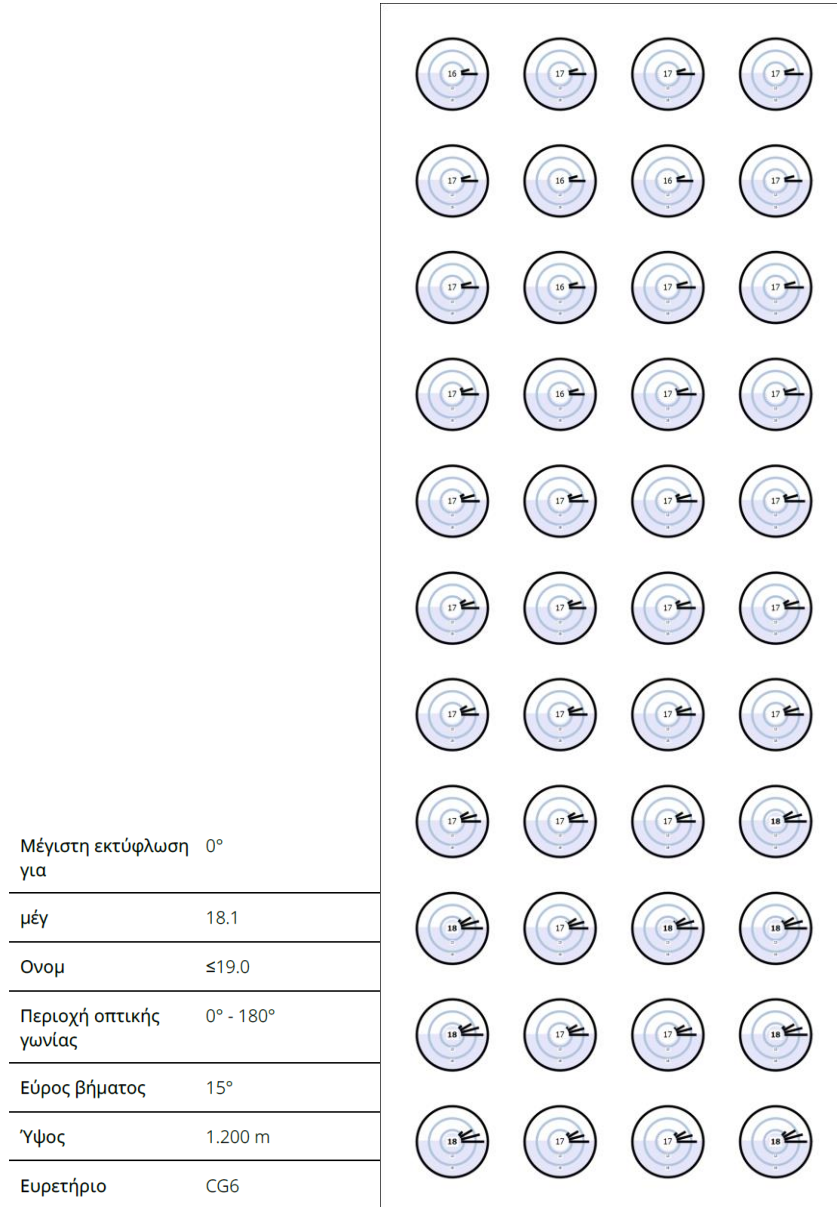
Εικόνα 155 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG3

|                        |           |  |
|------------------------|-----------|--|
| Μέγιστη εκτύφλωση για  | 180°      |  |
| μέγ                    | 21.0      |  |
| Όνομ                   | ≤19.0     |  |
| Περιοχή οπτικής γωνίας | 0° - 180° |  |
| Εύρος βήματος          | 15°       |  |
| Ύψος                   | 1.537 m   |  |
| Ευρετήριο              | CG4       |  |

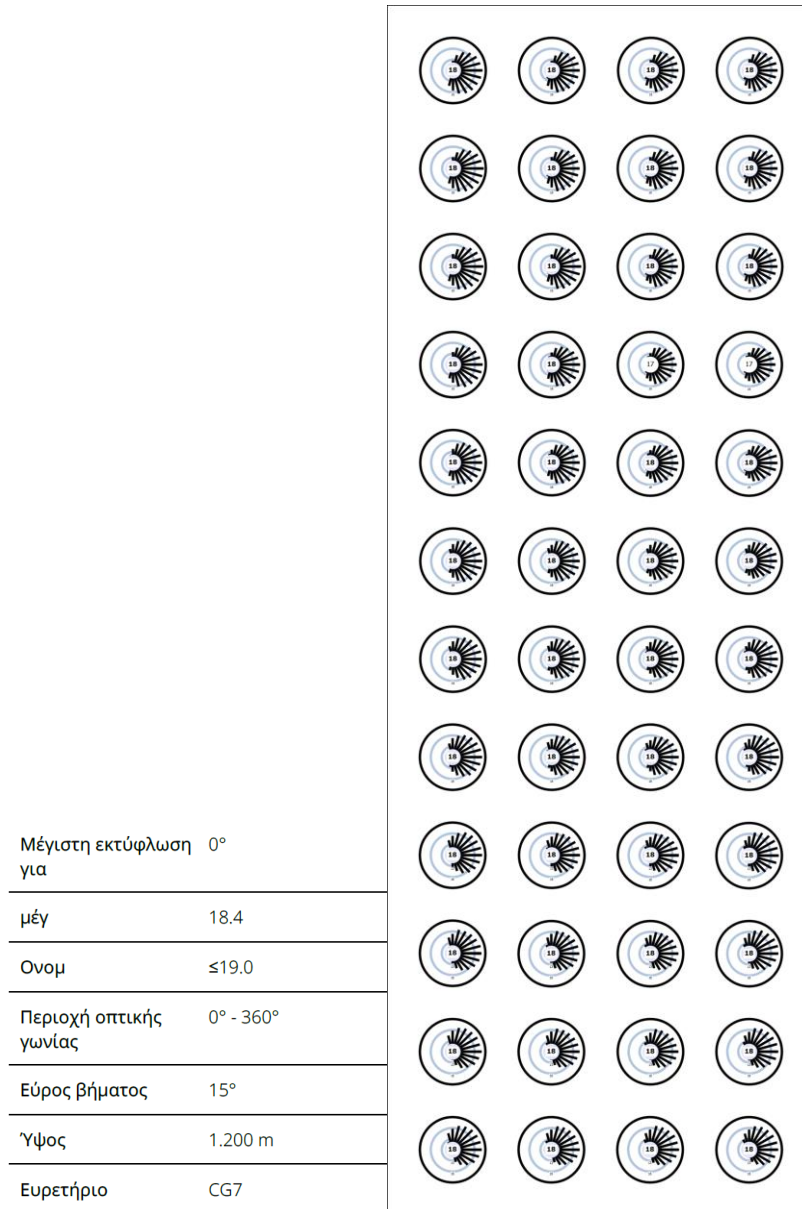
Εικόνα 156 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG4



Εικόνα 157 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG5



Εικόνα 158 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συνεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG6



Εικόνα 159 : Συντελεστής UGR φωτισμού από πλήρη συννεφιασμένο ουρανό σε συνδυασμό με εσωτερικό ηλεκτροφωτισμό απο προσομοίωση DIALux στην επιφάνεια CG7

#### 4.3.7 Εσωτερική λειτουργία φωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αυτής είναι ίδια με της προσομοίωσης της αρχικής σκηνής καθώς δεν κάναμε κάποια αλλαγή στον ηλεκτροφωτισμό της αίθουσας μελέτης.

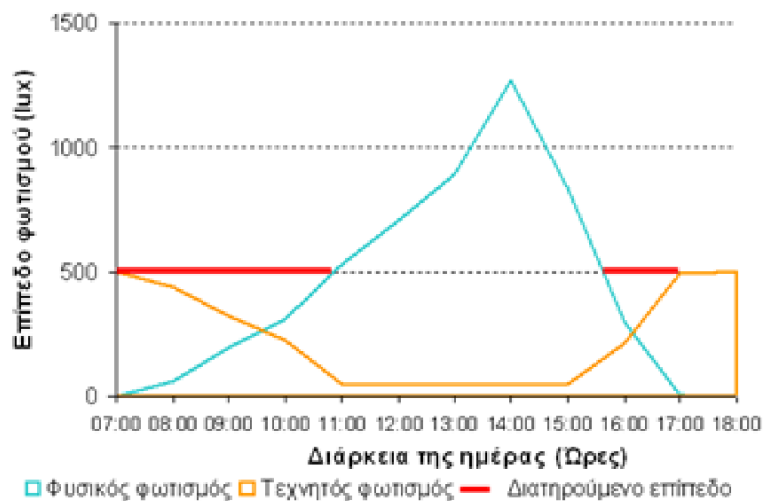
## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην προσομοίωση την οποία διεξήγαμε διαλέξαμε 12:00πμ γιατί είναι η ώρα που ξεκινάει ο άμεσος ηλιακός φωτισμός στην αίθουσα, για διάφορες διατάξεις εξωτερικού φωτισμού με ή χωρίς εσωτερικό φωτισμό. Διεξήγαμε έξι προσομοιώσεις για καθαρό, ημισυννεφιασμένο και πλήρη συννεφιασμένο ουρανό με ή χωρίς εσωτερικό φωτισμό και μια προσομοίωση με μόνο εσωτερικό φωτισμό. Διεξήγαμε επίσης άλλες έξι προσομοιώσεις με τις ίδιες καταστάσεις με πρόσθεση ραφιών φωτός. Η κατανάλωση που μας δίνει το πρόγραμμα προσομοίωσης DIALux είναι από 710 μέχρι 1150 kWh/a.

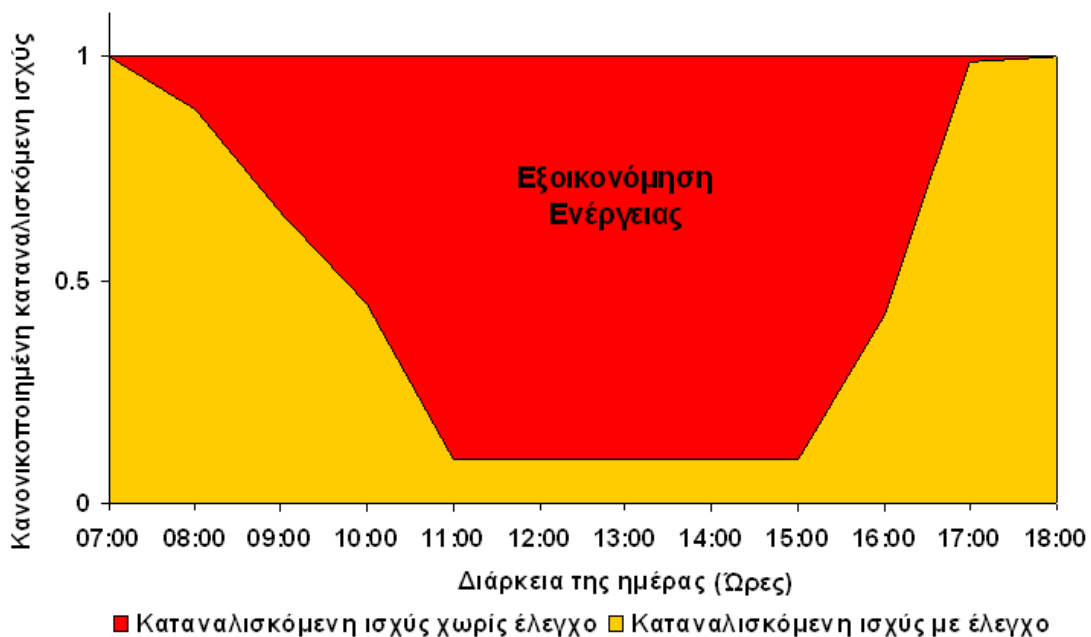
| Φωτισμός  | Αρχική Σκηνή $\bar{E}$ | Αρχική μείωση εσωτερικού φωτισμού σε Επαρκή Φωτισμό $\bar{E}=500lx$ | Εναλλακτική Σκηνή $\bar{E}$ | Αρχική Μείωση εσωτερικού φωτισμού σε Επαρκή Φωτισμό $\bar{E}=500lx$ |
|---|------------------------|---|-----------------------------|---|
| Καθαρός Ουρανός χωρίς εσωτερικό φωτισμό           | 176 lx                 | 44,20%  | 162 lx                      | <u>44,60%</u>   |
| Καθαρός Ουρανός με εσωτερικό φωτισμό              | 1131 lx                |   | 1121 lx                     |   |
| Ημισυννεφιασμένος Ουρανός χωρίς εσωτερικό φωτισμό | 246 lx                 | 42,80%  | 225 lx                      | <u>43,78%</u>   |
| Ημισυννεφιασμένος Ουρανός με εσωτερικό φωτισμό    | 1168 lx                |   | 1142 lx                     |   |
| Συννεφιασμένος Ουρανός χωρίς εσωτερικό φωτισμό    | 123 lx                 | 47,80%  | 111 lx                      | <u>48,63%</u>   |
| Συννεφιασμένος Ουρανός με εσωτερικό φωτισμό       | 1046 lx                |   | 1028 lx                     |   |

Εικόνα 160 : Εξοικονόμηση ενέργειας με χρησιμοποίηση ρύθμισης στάθμης φωτισμού (dimming)

Όπως βλέπουμε από τους υπολογισμούς του παραπάνω πίνακα μόνο από τις συγκεκριμένες αλλαγές έχουμε μεγαλύτερη εξοικονόμηση μόνο για μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας αλλά συλλογικά και σε διάρκεια ενός έτους είναι σημαντική. Επίσης η συγκεκριμένη εξοικονόμηση φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα από TOTEE 20701-7 για χρησιμοποίηση της ρύθμισης της στάθμης που παράγουν τα φωτιστικά σώματα (dimming).[5]



Εικόνα 161 : Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού [5]



Εικόνα 162 : Κανονικοποιημένη καταναλισκόμενη ισχύς [5]

Αρχικά βλέπουμε ότι εάν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των ίδιων προσομοιώσεων για τις δύο προσόψεις, τα επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας είναι μεγαλύτερες στην αρχική διάταξη της αίθουσας ενώ μικρότερες στην εναλλακτική διάταξη. Ωστόσο η διαφορά είναι σχεδόν αμελητέα αλλά στην εναλλακτική διάταξη της αίθουσας η επιφάνεια εργασίας είναι φωτισμένη ομοιόμορφα με περισσότερο φωτισμό στο βάθος της αίθουσας από την αρχική διάταξη της αίθουσας.

Επίσης στην πλευρά των παραθύρων ο φωτισμός είναι μικρότερος από την αρχική διάταξη, το οποίο είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών παραθύρων που επιλέξαμε στην εναλλακτική διάταξη της αίθουσας. Δηλαδή από τα παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι με την εναλλακτική διάταξη κερδίζουμε ομοιομορφία φωτισμού επιφάνειας εργασίας και μείωση στον φωτισμό των περιοχών κοντά στα παράθυρα που έχουν άμεση έκθεση στις ακτίνες του ήλιου.

Επιπροσθέτως βλέπουμε ότι ο συντελεστής θάμβωσης UGR στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι από 18 μέχρι  $\approx 20$  και  $\approx 21$  σε κάποια σημεία όπως στο GC4 και GC5 που είναι η θάμβωση στον πίνακα ψηλά και στο τελευταίο θρανίο πίσω εσωτερικά όπως φαίνεται και στην εικόνα 83 της σελίδας 83. Σημειώνουμε επίσης ότι όπως είδαμε στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων ο υπολογισμός έγινε για συγκεκριμένες γωνίες αλλά το πρόγραμμα DIALux δίνει μέτρηση από  $0^\circ$  έως  $360^\circ$ .

Τέλος ο συγκεκριμένος συντελεστής UGR είναι ίδιος σε όλες τις προσομοιώσεις με ή χωρίς τις αλλαγές. Άρα οι αλλαγές που επιφέραμε δεν διορθώσανε το συγκεκριμένο πρόβλημα το οποίο δεν φαίνεται να προέρχεται από τον εξωτερικό φωτισμό γιατί τα ίδια αποτελέσματα τα παίρνουμε και από την προσομοίωση του ηλεκτροφωτισμού χωρίς εξωτερικό φωτισμό. Προέρχεται από τον φωτισμό της αίθουσας στην θέση του θεατή καθώς στις θέσεις που υπάρχει αυξημένος συντελεστής UGR ο θεατής λαμβάνει το περισσότερο ποσοστό ακτινών από ηλεκτροφωτισμό και εξωτερικό φωτισμό. Στην περιοχή CG5 που είναι ο πίνακας της αίθουσας οι τιμές που βλέπουμε είναι αυξημένες από την μέση και πάνω, που εκτίθεται σε μεγαλύτερο ποσοστό ακτινών από τον ηλεκτροφωτισμό και τον εξωτερικό φωτισμό.





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τσαγκρασούλης, “Φυσικός Φωτισμός”, 2016
- [2] Ιωαννίδης Γεώργιος, “*PMS-Energy Efficiency Optimization in the Building Sector 04.pdf*”, 2018
- [3] Prepared By: Heschong Mahone Group, Inc. Lisa Heschong, Project Director, Fair Oaks, California., *Windows and Classrooms-A Study of Student Performance and the Indoor Environment*, California Energy Commission, October 2003
- [4] DIALux Lighting Design Software
- [5] TOTEE 20701-7