ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσομοίωση χώρου σε λογισμικό με βάση παράγοντες φωτισμού

ΓΟΥΛΑ ΕΥΓΕΝΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΣΚΛΑΒΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσομοίωση χώρου σε λογισμικό με βάση παράγοντες φωτισμού

ΓΟΥΛΑ ΕΥΓΕΝΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΣΚΛΑΒΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012

Πηγή φωτογραφίας εξωφύλλου: *http://500px.com/photo/3453075*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξοικονόμηση και η ορθολογική χρήση της ενέργειας αναμφισβήτητα αποτελούν πρωταρχικούς παράγοντες προστασίας του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση έμμεση προϋπόθεση για την υγεία και την ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης (ή ακόμα και της πιο πρόσφατης επιθυμίας για μια ενδογενή, αξιοβίωτη και ολοκληρωμένη ανάπτυξη) πρέπει να συνυπολογιστούν πλέον και τα νέα δεδομένα της τρέχουσας οικονομικής κρίσης αλλά και οι υποχρεώσεις και οι δεσμεύσεις της χώρας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο ως προς τα ζητήματα ενέργειας.

Με αφορμή τα παραπάνω και με δεδομένο το βαθμό συμμετοχής του φωτισμού τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στη διαμόρφωση της ποιότητας των δομημένων χώρων, η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το φωτισμό εσωτερικών χώρων. Εστιάζει στο ζήτημα του φυσικού φωτισμού χώρων υγειονομικής περίθαλψης αφενός λόγω των υψηλής σημασίας επιπτώσεων που προκαλεί ενδεχόμενη ανεπάρκεια και εν γένει κακή ποιότητα φωτισμού και αφετέρου στο ότι η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό στους χώρους αυτούς αποτελεί αξιόλογο ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας.

Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή για την ενεργειακή φύση του φωτός, τις προεκτάσεις του(χρώμα), τις επιδράσεις του στη βιολογική και ψυχολογική υγεία και παρατίθενται τα βασικά φωτομετρικά μεγέθη και μονάδες. Στη συνέχεια, προσεγγίζονται οι συνιστώσες του φυσικού φωτός και καθορίζονται τα ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο, περιγράφονται οι στρατηγικές σχεδιασμού και παρουσιάζονται διατάξεις εκμετάλλευσης και διαχείρισης του φυσικού φωτός. Επιθυμώντας μια σφαιρικότερη προσέγγιση του φωτισμού παρουσιάζονται στοιχεία του τεχνητού φωτισμού, όπως οι διαφορετικές συσκευές παραγωγής και διανομής (λαμπτήρες και φωτιστικά) και παρατίθενται μέτρα για εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ειδίκευση της εργασίας αφορά στη μελέτη της επίδρασης του προσανατολισμού και του μεγέθους/ θέσης των ανοιγμάτων στη διαμόρφωση των επιπέδων του φυσικού φωτισμού και της κατανομής του στο εσωτερικό ενός δίκλινου δωματίου. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού έγινε χρήση του λογισμικού DIALux (πρόγραμμα προσομοίωσης και υπολογισμού φωτισμού) και για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ακολούθησε η επεξεργασία τους σε λογιστικά φύλλα Excel.

Συνολικά διενεργήθηκαν 360 προσομοιώσεις. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τρεις περιπτώσεις ανοιγμάτων , για πέντε προσανατολισμούς το καθένα, στις τέσσερις συνήθεις ημερομηνίες

ελέγχου (δύο ηλιακές ισημερίες και δύο ηλιοστάσια) και για τρεις καθιερωμένες ώρες ελέγχου (9 π.μ., 12 μεσ. και 3 μ.μ.) . Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν αρχικά για συνθήκες καθαρού ουρανού (με άμεσο φως) και στη συνέχεια για νεφοσκεπή ουρανό. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για μια γενική επιφάνεια (συνολική επιφάνεια του δωματίου σε ορισμένο ύψος) και για τέσσερις ακόμα επιλεγμένες επιφάνειες υπολογισμού .
Η παράθεση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και τις φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα DIALux για τις προσομοιώσεις με καθαρό ουρανό και τον εντοπισμό σε αυτές των ηλιακών ιχνών.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε κατάταξη των εξεταζόμενων προσανατολισμών και ανοιγμάτων, αρχικά ανά ώρα ελέγχου, στη συνέχεια σε εποχική βάση (για κάθε μία ημερομηνία) για να καταλήξουμε τελικά στα συνολικά συμπεράσματα και εκτιμήσεις .

Abstract

Rational use of energy is an undoubtedly major factor of environmental protection and hence indirect condition for health and quality of life. Nowadays, in the context of sustainable development (or even the more recent desire for an endogenous, worth-living and integrated development) ,apart from the new data for the current economic crisis, one must take into account the obligations and the commitments each country on European level on issues of energy as well.

Motivated by the above and given the lighting's impact both in energy consumption and shaping the quality of the physical environment, this thesis deals with indoor lighting. It focuses mainly on the issue of daylighting of healthcare facilities firstly because of the high impact that causes eventual insufficiency and generally poor quality of lighting and secondly because the energy consumption for lighting in these spaces is a remarkable percentage of the final energy consumption.

Initially, there is an introduction to the nature of light, its extensions (color), its effects on biological and psychological health and an apposition of the basic photometric quantities and units. Then, the components of daylight are approached and the quantitative and qualitative evaluation criteria of daylighting in a space are determined, design strategies are outlined and devices exploitation and management of daylight are presented. In order to achieve a more holistic approach of lighting we present components of artificial lighting such as different devices of production and distribution (lamps and luminaires) and we listed energy saving measures.

The specialization of this thesis concerns the study of the effect of the orientation and the size / position of the openings on the formation of the levels of daylighting and its distribution in the interior of a two person room. For this purpose we used the DIALux software (a lighting simulation and calculation program) and then we processed the results in Excel spreadsheets in order to evaluate them.

A total of 360 simulations were conducted. Specifically, three cases of windows, were examined, for five orientations, in four normal test dates (two solar equinoxes and two solstices) and in three standard test hours (9 am, 12 pm and 3 pm) respectively. The simulations were initially conducted with clear sky conditions (direct light) and then with

overcast sky. The test was performed on a general area (total area of the room at a certain height) and on four other selected calculation surfaces.
The presentation of the results includes, among others, photorealistic images generated (by the DIALux software) for simulations with clear sky and localization of solar tracks in them.

For the evaluation of the results, the examined orientations and windows, were classified initially by test hour, then by seasonal basis (for each date) to finally conclude overall conclusions and judgments.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Τζουβαδάκη Ιωάννη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την καθοδήγησή του και την αμέριστη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τη συνεπιβλέπουσα, υποψήφια διδάκτορα, κα Σκλάβου Ευαγγελία για τις πληροφορίες, τις συμβουλές, τις επισημάνσεις της και εν γένει την επιστημονική και ηθική στήριξη που μου παρείχε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ……18

1.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.....19

1.3 ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ - ΒΑΣΙΚΑ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ …….22

1.3.1Φυσική φωτομετρία……...……23

1.3.2 Βασικές φωτομετρικές μονάδες……..24

1.3.3 Φωτομετρικά μεγέθη……..……..24

1.3.4 Φωτομετρικοί νόμοι και οι κανόνες……...…….31

1.4 Χρώμα……33

1.4.1 Θερμοκρασία χρώματος και χρωματική απόδοση……..…33

1.4.2 Φως, χρώμα και αντίληψη…….37

1.4.3 Ψυχολογία χρώματος…….38

1.4.4 Πρόσφατα πειράματα και δράσεις…….42

1.5 ΦΩΣ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ…….44

1.5.1 Φως και βιολογική υγεία……44

1.5.1.1Φως-κιρκάδιοι ρυθμοί……44

1.5.1.2 Φως-βιταμίνη D……48

1.5.2 Φως και ψυχολογική υγεία……..…51

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ…….……..52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ-ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΟΣ……...…56

2.1.1 Θέματα περιβαλλοντικού σχεδιασμού-ηλιακή γεωμετρία…….56

2.1.2 Θέση του ήλιου στον ουρανό-Παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.....57

2.1.3 Ηλιακή τροχιά- Ηλιακά διαγράμματα……58

2.1.4 Συνιστώσες φυσικού φωτός και φωτεινότητα ουράνιου θόλου……59

2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

2.2.1 Ποσοτικά κριτήρια- Συντελεστής Φυσικού Φωτός (DF)…….….64

2.2.2 Ποιοτικά κριτήρια……..…72

2.2.2.1 Κατανομή φωτισμού…….…72

2.2.2.2.Θάμβωση…….…76

2.2.2.3 Χρωματική απόδοση…….…82

2.2.2.4 Κατεύθυνση φωτισμού…….....82

2.2.2.5 Δημιουργία κατάλληλων αντιθέσεων……...83

2.2.3Δυναμικοί δείκτες απόδοσης φωτισμού…….…….83

2.2.3.1Αυτονομία φυσικού φωτισμού(Daylight Autonomy)……84

2.2.3.2 Χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού (UDA) - Χρήσιμες τιμές φυσικού φωτισμού (UDI)…….....85

2.2.3.3 Συνεχής Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού(DAcon)……86

2.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ……..88

2.3.1 Αρχικές επιλογές σχεδιασμού……89

2.3.1.1Προσανατολισμός…….…….89

2.3.1.2 Το σχήμα του……90

2.3.1.3 Διάταξη εσωτερικού χώρου και επιλογή υλικών……..92

2.3.1.4 Περιβάλλων χώρος……92

2.3.2 Διατάξεις εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού……...94

2.3.2.1 Διατάξεις ενσωματωμένες στον πυρήνα του κτιρίου……95

2.3.2.2 Διατάξεις ενσωματωμένες στο κέλυφος του κτιρίου……98
2.3.2.3 Διατάξεις ενσωματωμένες στα ανοίγματα……..104

2.3.3 Σύνθετες διατάξεις……...115

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ…….…….130

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:Τεχνητός φωτισμός

3.1 Εισαγωγή……...……..134

3.2 Χαρακτηριστικά επιλογής είδους λαμπτήρα.....135

3.3 Κατηγορίες λαμπτήρων.....143

3.3.1 Λαμπτήρες πυράκτωσης……..144

3.3.1.1 Τυπικός λαμπτήρας βολφραμίου……...144

3.3.1.2 Λαμπτήρας αλογόνου βολφραμίου…….……...145

3.3.2 Λαμπτήρες εκκενώσεως- Στραγγαλιστικές διατάξεις(ballasts)……..147

3.3.2.1 Στραγγαλιστική διάταξη(ballast)……..….……148

3.3.2.2 Λαμπτήρες Φθορισμού……..……149

3.3.2.3 Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης……151

3.3.2.4 Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων……..……153

3.3.2.5 Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης …….…...…154

3.3.2.6 Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης …….……156

3.3.3 Φωτισμός στερεής κατάστασης(Solid State Lighting-SSL) ……..157

3.3.3.1Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ……..….……..157

3.3.3.2 OLEDs……..….……159

3.3.3.3 Τεχνολογία SSL και παράμετροι φωτισμού …….……..……159

3.3.4.Οπτικές ίνες……..….……..…161

3.4 Φωτιστικά (σώματα) …….……..….….……163

3.4.1Φωτομετρικές απαιτήσεις……..….…….…….……164

3.4.1.1 Κατανομή φωτεινής έντασης…….……164

3.4.1.2 Κατανομή φωτεινής ροής ……..….…….……166

3.4.1.3 Απόδοση φωτιστικού……..….……..……169

3.4.1.4 κατανομή φωτεινότητας ……..….……170

3.4.2 Τεχνικές απαιτήσεις……..……..…..…..……171

3.4.2.1 Ηλεκτρική ασφάλεια……..……...…172

3.4.2.2 Μηχανική ασφάλεια……..……173

3.4.3 Είδη Φωτιστικών Σωμάτων ανάλογα με το χώρο χρήσης-σκοπό……...174

3.4.4Φωτιστικά σώματα εσωτερικού γενικής χρήσης……174

3.5 Κατηγορίες φωτισμού εσωτερικού χώρου……...…….177

3.6 Τεχνητός Φωτισμός-Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας……...…….180

3.6.1 Σχεδιασμός τεχνητού φωτισμού……..…181

3.6.2 Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού…...……..…...…183

3.6.3 Χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης…184

3.6.4 Επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων……...186

3.6.5 Χρήση ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών διατάξεων……188

3.6.6 Σωστή συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων…….……191

3.6.7 Εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου……..…….193

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ…….…….203

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ DIALUX

4.1 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ...207

4.1.1Εισαγωγή……..…....207

4.1.2Προγράμματα υπολογισμών επιπέδων φωτισμού……207

4.1.3 Παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στις διενεργούμενες Προσομοιώσεις……...……209

4.1.4 Η εξέλιξη του χρησιμοποιούμενου λογισμικού……...……209

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΥ…….210

4.3 ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ DIALux……..212

4.3.1 Βήματα εισαγωγής των παραμέτρων του υπό μελέτη χώρου στο DIALux…….212

4.3.2Εποπτική θεώρηση του υπό μελέτη χώρου-Μοντέλα προσομοίωσης……..229

4.3.3Επιφάνειες υπολογισμού……...230

4.4 ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ……...…….…233

4.4.1 Περιγραφή των διενεργούμενων προσομοιώσεων……...….….....233

4.4.2 Προσομοίωση των συνθηκών του ελληνικού ουρανού…….…..233

4.4.3 Μεταβολή θέσης/μεγέθους ανοίγματος(υαλοπίνακα)……235

4.4.4Μεταβολή προσανατολισμού ανοιγμάτων…….……..236

4.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ…….....238

4.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΚΑΘΑΡΟ ΟΥΡΑΝΟ(ΑΜΕΣΟ ΦΩΣ)……...239

4.6.1 Παράθεση των αποτελεσμάτων του προγράμματος, η επεξεργασία και η αξιολόγησή τους……...…...239

4.6.1.1 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_21 Μαρτίου...242

4.6.1.2 Συμπεράσματα για την 21η Μαρτίου…….274

4.6.1.3 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_21 Ιουνίου….291

4.6.1.4 Συμπεράσματα για την 21η Ιουνίου……...…322

4.6.1.5 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_23 Σεπτεμβρίου…....340

4.6.1.6 Συμπεράσματα για την 23η Σεπτεμβρίου……...371

4.6.1.7 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_21 Δεκεμβρίου……..388

4.6.1.8 Συμπεράσματα για την 21η Δεκεμβρίου……419

4.6.2 Συνολικά συμπεράσματα για τις προσομοιώσεις υπό συνθήκες καθαρού ουρανού με παράλληλη παρουσία άμεσου φωτός……...440

4.7 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΝΕΦΟΣΚΕΠΗ ΟΥΡΑΝΟ……442

4.8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ…….……453

4.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ…….…...456

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ……...……...457

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Γεννηθήκαμε από το φως
Νιώθουμε τις εποχές μέσα από το φως.
Ο μοναδικός κόσμος που γνωρίζουμε είναι αυτός
που βγήκε από το φως...

Louis Kahn

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ζωή πάνω στη γη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επίδραση του ήλιου πάνω της. Αν και μόνο το μισό δισεκατομμυριοστό της συνολικής ενέργειας που εκπέμπει ο ήλιος απορροφάται από την επιφάνεια της γης, εν τούτοις αυτό είναι αρκετό για να κινητοποιήσει μία αλυσίδα βιολογικών και γεωλογικών φαινομένων που στη συνέχεια δημιουργούν και συντηρούν το φαινόμενο της ζωής. Η ηλιακή ενέργεια εξατμίζει το νερό σχηματίζοντας τα σύννεφα και τη βροχή και κινητοποιεί το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης, συνθέτοντας τη χλωροφύλλη των πράσινων φύλλων. Η δημιουργία της χλωροφύλλης με τη σειρά της παράγει τους υδρογονάνθρακες που αποτελούν τη βάση της ζωής πάνω στη Γη. Η ηλιακή ενέργεια είναι το αίτιο τεράστιων θαλάσσιων ρευμάτων, όπως το Ρεύμα του Κόλπου(Gulf Stream), που μεταφέρουν ζεστό νερό από τις θάλασσες του Ισημερινού στις ψυχρές βόρειες περιοχές και από εκεί κρύο νερό στις ζεστές ισημερινές περιοχές, κάνοντας ηπιότερα τα κλίματα περιοχών που αλλιώς θα ήταν ίσως ακατοίκητες.

Οι αρχαίοι Έλληνες όπως και άλλοι λαοί της αρχαιότητας, διαισθανόμενοι τη ζωοποιό σημασία του Ήλιου, τον είχαν θεοποιήσει. Ωστόσο, κινούμενοι μέσα στην ιστορία οι αρχαίοι Έλληνες ήταν οι πρώτοι που ξεπέρασαν το φόβο της θεότητάς του και προσπάθησαν να κατανοήσουν τη φύση του. Ακολούθησαν διάφορες προσεγγίσεις από τους Πυθαγόρειους, τον Αριστοτέλη, τον Αναξαγόρα, τον Γουίλιαμ Χέρσελ για να φτάσουμε στην παραδεκτή μέχρι σήμερα άποψη των Sir Arthur Eddington και Hans Bethe. Οι απόψεις συνεπώς για τη φύση του Ήλιου άλλαζαν μέσα στους αιώνες. Το ίδιο συνέβη και με τη φύση του φωτός.[1]

Οι περισσότεροι επιστήμονες μέχρι την εποχή του Ισαάκ Νεύτωνα(1643-1727) υποστήριζαν τη σωματιδιακή φύση του φωτός, δηλαδή τη σύστασή του από ροή σωματιδίων (corpuscles) εκπεμπόμενων από φωτεινές πηγές. Αρκετοί ήταν οι επιστήμονες που προσπάθησαν να μετρήσουν την ταχύτητα του φωτός. Ανάμεσά τους ήταν και ο Γαλιλαίος (1564-1642) , το πείραμα του οποίου είχε σωστό σχεδιασμό επί της αρχής ,ωστόσο με τις σημερινές γνώσεις δε θα μπορούσε να οδηγήσει σε μετρήσιμα ή αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι πρώτες σαφείς ενδείξεις για την κυματική φύση του φωτός υπήρξαν το 1665 με τη δημοσίευση (δύο χρόνια

μετά το θάνατο του ερευνητή) των πειραματικών αποτελεσμάτων του Grimaldi Francesco (1618-1663) .Ως τις αρχές του 19^{ου} αιώνα το πείραμα του Grimaldi και άλλα πειράματα που ακολούθησαν αποτέλεσαν πειστικά επιχειρήματα για την κυματική φύση του φωτός. Με την πρόβλεψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσής τους από τον James Clerk Maxwell (1831-1879), στην εργασία του ″A treatise on Electricity and Magnetism″, καθώς και με την πειραματική επιβεβαίωση που ακολούθησε από τον Heinrich Hertz(1857-1894) , αποδείχθηκε η ηλεκτρομαγνητική κυματική φύση του φωτός.

Η διαπάλη ωστόσο για τη φύση του φωτός συνεχίζεται. Τα επιχειρήματα για τη σωματιδιακή φύση του φωτός στηρίζονται στα φαινόμενα εκπομπής και απορρόφησης του φωτός και πιο συγκεκριμένα στη μεταφορά ενέργειας μέσω διακριτών δεσμίδων(φωτόνια ή κβάντα).

Με την εξέλιξη της κβαντομηχανικής και τη συμβολή των Bohr, Louis de Broglie, Heisenberg, Erwin Schrödinger, Richard Feynman εξηγήθηκαν οι αντιφάσεις για τη φύση του φωτός και διαμορφώθηκε η σύγχρονη άποψη περί διττής φύσης του φωτός. Το φως δηλαδή, άλλοτε συμπεριφέρεται ως κύμα και άλλοτε ως πλήθος σωματιδίων.

Στην κβαντική θεωρία του φωτός ορίζουμε την ενέργεια του σωματιδίου ως συνάρτηση της συχνότητας $E = h * f$, αλλά μια αμιγώς σωματιδιακή θεωρία δε δίνει τη δυνατότητα να οριστεί συχνότητα. Για το λόγο αυτό στην περίπτωση του φωτός η εισαγωγή ταυτόχρονα της ιδέας του σωματιδίου και του κύματος είναι επιβεβλημένη.

Πηγή κειμένου: [2] κατόπιν τροποποίησης

1.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Το σύνολο των μηκών κύματος στα οποία μπορούν να ακτινοβολήσουν μέλανα σώματα διαφόρων θερμοκρασιών, αποτελεί το «ηλεκτρομαγνητικό φάσμα» της ακτινοβολίας τους. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διαιρείται στις επόμενες έξι κύριες φασματικές περιοχές:

(i) ραδιοφωνική, (ii) υπέρυθρη, (iii) ορατή, (iv) υπεριώδης, (v) ακτίνων X, (vi) ακτίνων γ.

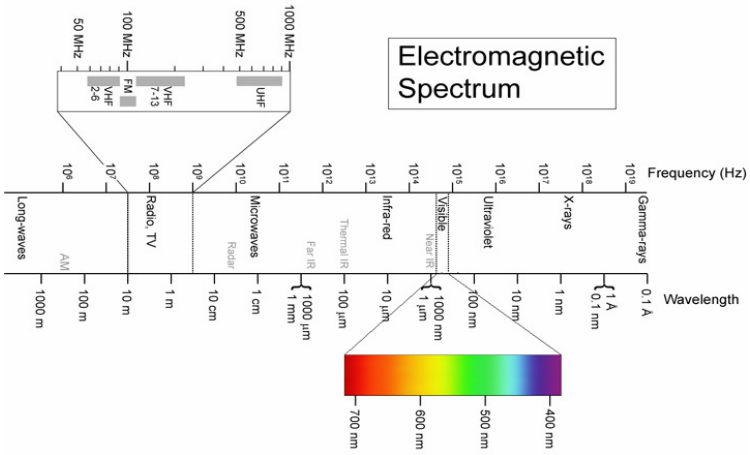
Οι τρεις πρώτες περιοχές, εκτός ελαχίστων μηκών κύματος, δεν απορροφώνται από τη γήινη ατμόσφαιρα (καταγραφή τους με αστρονομικά όργανα στην επιφάνεια της γης), ενώ οι τρεις τελευταίες απορροφώνται και επομένως δεν μπορούν να φτάσουν στην επιφάνεια της γης (ανίχνευσή τους με αστρονομικά όργανα σε τεχνητούς δορυφόρους και διαστημόπλοια). [1]

Στο σχήμα 1.1 σημειώνονται κατά προσέγγιση οι φασματικές περιοχές και τα αντίστοιχα εύρη συχνοτήτων τους.

Ορισμένες ακτινοβολίες με μήκη κύματος που περιλαμβάνονται στην ορατή περιοχή του φάσματος έχουν την ιδιότητα να ερεθίζουν το αισθητήριο τής ανθρώπινης όρασης. Η

ακτινοβολία την οποία μπορούμε να δούμε, δηλαδή το ορατό φως, αποτελεί μόνο ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος[1], με εύρος μηκών κύματος 400-700 nm περίπου και αντίστοιχες συχνότητες 750-430 THz περίπου. Στην ορατή περιοχή τού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τα διαφορετικά μήκη κύματος, ερεθίζουν με διαφορετικό τρόπο το αισθητήριο τής όρασης, δημιουργώντας την αίσθηση των διαφορετικών χρωμάτων[1]. Τα διάφορα χρώματα τού ορατού φάσματος αντιστοιχούν προσεγγιστικά στα εξής μήκη κύματος:

ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΧΡΩΜΑΤΑ	
400 ως 440 nm		Ιώδες
440 ως 480 nm		Κυανό
480 ως 560 nm		Πράσινο
560 ως 590nm		Κίτρινο
590 ως 630 nm		Πορτοκαλί
630 ως 700 nm		Ερυθρό



Σχήμα 1.1: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Στη γραφική παράσταση χρησιμοποιείται λογαριθμική κλίμακα με βάση το 10.Η συχνότητα αυξάνεται από αριστερά προς δεξιά (10^6 έως 10^{19}) και τα μήκη κύματος μετρώνται σε μέτρα (m) και υποδιαιρέσεις τού μέτρου. Πηγή: Louis E. Keiner - Coastal Carolina University

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα εμφανίζει όλα τα φαινόμενα των μηχανικών κυμάτων. Αξιοσημείωτα είναι τα φαινόμενα της ανάκλασης, της απορρόφησης, της διάθλασης και της περίθλασης. Αυτά ερμηνεύονται εύκολα αν θεωρήσουμε ότι τα σωματίδια του μικρόκοσμου, στα οποία προσπίπτει η ακτινοβολία, καθίστανται εκπομποί δευτερογενούς ακτινοβολίας προς όλες τις διευθύνσεις, λαμβάνοντας υπόψη και το φαινόμενο της συμβολής. [3]

Όταν το φως προσπέσει σε μία επιφάνεια,

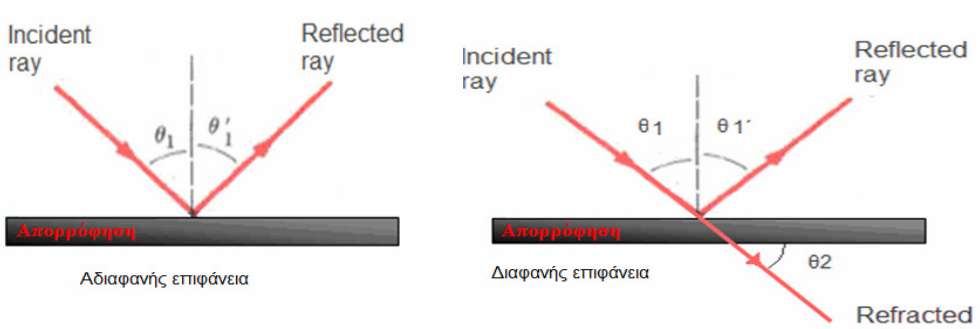
-ένα τμήμα του θα ανακλαστεί, ανάλογα με την ανακλαστικότητα R της επιφάνειας

-ένα τμήμα του θα απορροφηθεί, ανάλογα με την απορροφητικότητα της επιφάνειας

-ένα τμήμα του θα διαπεράσει την επιφάνεια εφόσον αυτή έχει διαπερατότητα T >0 . [4]

Η ανάκλαση είναι ένας δείκτης για το πόσο από το φως που χτυπά σε μια επιφάνεια αντανακλάται πίσω, ενώ η διαπερατότητα δείχνει πόσο φως θα περάσει μέσα από ένα αντικείμενο. Η απορρόφηση είναι ένα μέτρο για την ποσότητα του φωτός που ούτε διαπερνά, ούτε αντανακλάται, αλλά αντί αυτών απορροφάται από το σώμα. Όλα δίνονται ως ποσοστό, αλλά, ενίοτε, βαθμονομούνται στη μονάδα. Το άθροισμα της ανάκλασης, της διαπερατότητας και της απορρόφησης για κάθε υλικό είναι πάντα 100% [9]:

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



Σχήμα 1.2 Κατά την πρόσπτωση φωτός σε μία επιφάνεια, ένα τμήμα του θα ανακλαστεί, ένα θα απορροφηθεί και ένα θα διαπεράσει την επιφάνεια εάν αυτή είναι διαφανής.-Πηγή: μετάφραση από Baker & Steemers, 2002 : Daylight Design of Buildings, London:James &James,σελ. 89 [4]

Ανακλαστικότητα 100% σημαίνει ότι όλο το φως αντανακλάται πίσω. Ένα τέτοιο αντικείμενο εμφανίζεται ως φωτεινό λευκό. Ένα σώμα με ανάκλαση 0% δε θα αντανακλά καθόλου φως και θα φαίνεται εντελώς μαύρο. Στην πράξη, ανάκλαση άνω του 90% και κάτω του 1% είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί.

Όμοια, η διαπερατότητα ενός αντικειμένου δείχνει πόσο φως αφήνει αυτό να περάσει από μέσα του.

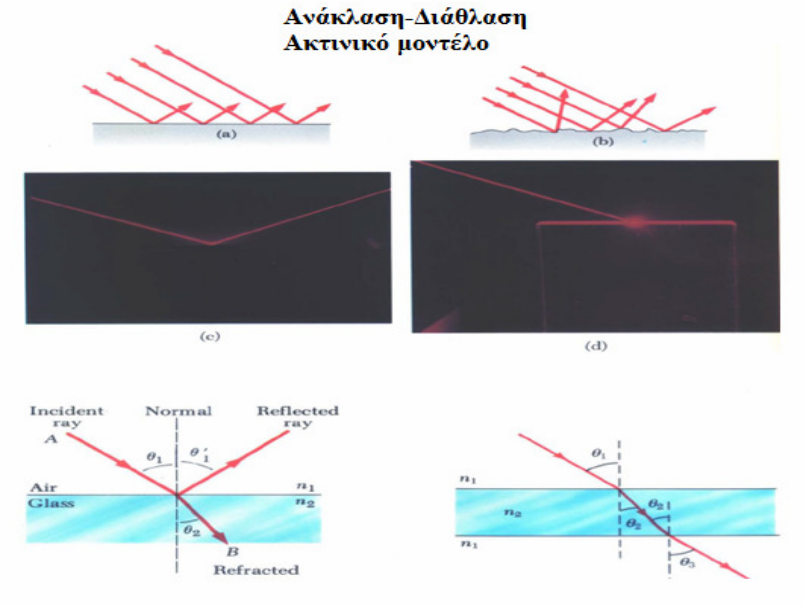
Διαπερατότητα 100% σημαίνει ότι όλο το φως που λαμβάνει μία πλευρά ενός σώματος θα ταξιδέψει διαμέσου αυτού , γεγονός που συνεπάγεται μηδενική ανάκλαση και απώλειες. Το ποσοστό αυτό (100%) αποτελεί απλά ένα θεωρητικό μέγιστο, αφού ούτε και το πιο καθαρό γυαλί δεν μπορεί να επιτύχει τέτοια διαπερατότητα.

Η ανακλαστικότητα ενός υλικού μπορεί να μετρηθεί με έναν μετρητή φωτισμού και έναν μετρητή φωτεινότητας. Ο μετρητής φωτεινότητας είναι στραμμένος σε μια περιοχή της επιφάνειας που φωτίζεται σχετικά ομοιόμορφα. Τότε μπορεί να προσδιορισθεί ο φωτισμός σε εκείνο το σημείο. Ο συντελεστής ανάκλασης του υλικού υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\rho = (L\pi / E)100\%$$

Για το γρήγορο προσδιορισμό της διαπερατότητας μιας γυάλινης μονάδας, χρησιμοποιούνται δύο μέτρα φωτισμού για τη μέτρηση του φωτισμού εντός και εκτός, δηλαδή, στο μπροστά και στο πίσω τμήμα της γυάλινης μονάδας. Η διαπερατότητα είναι τότε:

$$\tau = E_{internal} / E_{external} * 100\%$$



Σχήμα 1.3 Τόσο κατά την ανάκλαση, όσο και τη διάθλαση, η ένταση των ανακλώμενων ή διαθλώμενων ακτίνων παρουσιάζει εξασθένηση λόγω απορρόφησης από την προσπίπτουσα επιφάνεια, ή από το σώμα από το οποίο διέρχονται
Πηγή: www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_228_226.pdf

1.3 ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ - ΒΑΣΙΚΑ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

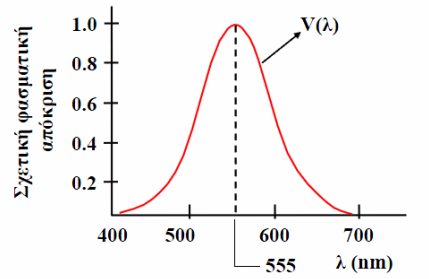
Η φωτομετρία είναι ένας κλάδος της οπτικής τεχνολογίας που ασχολείται με μετρήσεις αναφορικά με το φως το οποίο ορίζεται ως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που μπορεί να ανιχνεύσει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Επομένως περιορίζεται στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (μήκη κύματος από 360 – 830 nm) και τα μεγέθη που μετρά σταθμίζονται από τη φασματική απόκριση του οφθαλμού. Υπό αυτή την έννοια η φωτομετρία χρησιμοποιεί ανιχνευτές οπτικής ακτινοβολίας δομημένους κατά τρόπο που η φασματική τους απόκριση μιμείται την απόκριση του ανθρώπινου οφθαλμού. Τυπικές φωτομετρικές μονάδες είναι η candela, το lumen και το lux.[9]

1.3.1Φυσική φωτομετρία

Όπως προαναφέραμε, βασικός στόχος της φωτομετρίας είναι η μέτρηση της ορατής οπτικής ακτινοβολίας κατά τρόπο όπου το αποτέλεσμα της μέτρησης να συσχετίζεται με την αίσθηση που έχει ένας παρατηρητής όταν εκτίθεται στην ίδια ακτινοβολία.

Στη σημερινή φωτομετρική πρακτική οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με φωτοανιχνευτές. Αυτό αναφέρεται ως φυσική φωτομετρία. Σε αυτή τη διαδικασία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης όρασης, πράγμα όχι και τόσο απλό, δεδομένου ότι το ανθρώπινο οπτικό σύστημα αποτελεί έναν αρκετά περίπλοκο, μη γραμμικό ανιχνευτή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για μήκη κύματος που διαμορφώνονται σε μια περιοχή του φάσματος από 360 – 830 nm. Η ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού στο φως μεταβάλλεται με το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, μια πηγή που εκπέμπει ακτινοβολία στο πράσινο εμφανίζεται πιο λαμπρή από μια πηγή που εκπέμπει το ίδιο ποσό ακτινοβολίας στο κόκκινο ή στο μπλε. Εκτός όμως του μήκους κύματος και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν την ευαισθησία του οφθαλμού, όπως αν το φως είναι σταθερό ή τρεμοπαίζει, η σύνθεση του περιβάλλοντα χώρου, η προσαρμογή της ίριδας και του αμφιβληστροειδούς, η ψυχολογική και φυσιολογική κατάσταση του παρατηρητή και πλήθος άλλων μεταβλητών. Παρόλα αυτά, η υποκειμενική αίσθηση του πως «βλέπουμε» το φως μπορεί να ποσοτικοποιηθεί για «κανονικές» συνθήκες παρατήρησης.

Το 1924 ορίστηκε από τη διεθνή επιτροπή CIE (Commission Internationale d'Eclairage ή International Commission on Illumination) η σχετική φασματική απόκριση του ανθρώπινου οφθαλμού που καλείται και καμπύλη φωτεινής αποδοτικότητας φωτοπτικής όρασης ή συνάρτηση V(λ), ορισμένης στο διάστημα από 360 – 830 nm με μέγιστο στα 555 nm (Σχήμα 1.4). Στις περισσότερες περιπτώσεις η περιοχή από 380 – 780 nm είναι αρκετή για υπολογισμούς με μηδαμινό σφάλμα, δεδομένου ότι η τιμή της V(λ), έξω από τα όρια αυτής της περιοχής, πέφτει κάτω από 10^{-4}. Επομένως, ένας φωτοανιχνευτής με φασματική απόκριση που ταιριάζει με τη V(λ), μπορεί να αντικαταστήσει, στη φωτομετρία, τον ανθρώπινο οφθαλμό.[9]



Σχήμα 1.4: CIE συνάρτηση V(λ) ή φωτομετρική καμπύλη
Πηγή: http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf

1.3.2 Βασικές φωτομετρικές μονάδες

- **Candela (Cd)**. Είναι θεμελιακή μονάδα στη φωτομετρία και ορίζεται ως το 1/60 της φωτοβολίας που εκπέμπεται κάθετα από επιφάνεια λευκόχρυσου εμβαδού 1 cm^2 στη θερμοκρασία τήξης του (1769 ^oC). Ένας νεότερος ορισμός της candela (1979) την προσδιορίζει ως τη φωτοβολία ισότροπης πηγής, η οποία εκπέμπει μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος 555 nm με φωτοβόλο ροή ίση με (1/683) watt/στερεακτίνιο.

- **Lumen (Lm)**. Είναι η μονάδα της φωτεινής ροής και ορίζεται ως η φωτεινή ροή που εκπέμπεται από ισότροπη πηγή φωτοβολίας 1 Cd, μέσα σε στερεά γωνία 1 Sterad. Ισχύει δηλαδή:

  1 Lumen = 1 Cd x 1 Sterad

- **Lux (Lx)**. Είναι μονάδα φωτισμού και ορίζεται ως ο ομοιόμορφος φωτισμός επιφάνειας 1 m^2 από φωτεινή ροή 1 Lumen. Ισχύει:

  1 Lux = 1 Lumen/m^2

1.3.3 Φωτομετρικά μεγέθη

Στον Πίνακα 1.1 που ακολουθεί παραθέτουμε συνοπτικά μερικά φωτομετρικά μεγέθη με τις αντίστοιχες μονάδες τους και στη συνέχεια θα αναφερθούμε αναλυτικά σε καθένα από αυτά.

Σύμβολο	**Ελληνικός όρος**	**Αγγλικός όρος**	**Ορισμός**	**Μονάδα S.I.**
Φ_v	Φωτεινή ροή	Luminous flux	$\Phi_v = K_m \int_\lambda \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$	Lx = Lm m^{-2}
I	Φωτεινή ένταση ή Φωτοβολία	Luminous Intensity	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$	Cd m^{-2} = Lm Sr^{-1} m^{-2}
B ή E	Φωτισμός	Illuminance	$B = \frac{d\Phi}{dA}$	Lm m^{-2}
L	Φωτεινότητα	Luminance	$L_v = \frac{d^2\Phi}{d\Omega\, dA \cos\theta}$	Cd m^{-2} = Lm Sr-1 m^{-2}
M	Φωτεινή σχετική ικανότητα	Luminous exitance	$B = \frac{d\Phi}{dA}$	Lm m^{-2}
Q	Φωτεινή ενέργεια	Luminous energy	$Q = \int_{\Delta t} \Phi(t) dt$	Lm sec
$\Phi_{ολ}$	Ολική φωτεινή ροή	Total luminous Flux	$\Phi_{ολ} = \int_\Omega I d\Omega$	Lm

Πίνακας 1.1. Φωτομετρικά μεγέθη _ Πηγή: http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf

Ενώ η candela είναι η θεμελιώδης μονάδα στο σύστημα SI, η φωτεινή ροή (Lumen) είναι η πλέον βασική φωτομετρική ποσότητα, καθώς τα υπόλοιπα φωτομετρικά μεγέθη ορίζονται σε σχέση με το Lumen (με τον αντίστοιχο συντελεστή). Στα παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα μεγέθη που εμφανίζονται στον Πίνακα 1.1.[9]

Φωτεινή ροή

Φωτοβόλος ροή (ή οπτική ισχύς) είναι η ενέργεια E (σε Joules) που εκπέμπεται από πηγή ανά μονάδα χρόνου και εκφράζεται ως:

$$\Phi_e = dE/dt .$$

Η Φ_e έχει διαστάσεις ισχύος.

Μονάδα μέτρησης είναι το watt (w = J/s)

Φωτεινή ροή Φ_v είναι η φωτομετρικά σταθμισμένη μέση τιμή της φωτοβόλου ακτινοβολίας. Είναι δηλαδή η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που εκπέμπεται από πηγή σε ορατά μήκη κύματος. Ειδικότερα, η φωτεινή ροή υπολογίζεται αφού σταθμιστεί η φωτοβόλος ακτινοβολία (ισχύς) σε κάθε μήκος κύματος με τη συνάρτηση V(λ) που προσδιορίζει την απόκριση του οφθαλμού σε διαφορετικά μήκη κύματος και επομένως αποτελεί ένα σταθμισμένο άθροισμα της ισχύος σε όλο το ορατό φάσμα.

Μονάδα της φωτεινής ροής είναι το Lumen.

Πίνακας 1.2: Φωτεινές ροές μερικών τυπικών πηγών φωτός_ Πηγή: SynthLight Handbook

Αν η πηγή εκπέμπει μονοχρωματικό φως ισχύος Φ_e σε watts, η φωτεινή ροή Φ_v σε Lumen υπολογίζεται από τη σχέση:

$\Phi_V=683\Phi_e V_\lambda$ (ισχύει για αυστηρά μονοχρωματικό φως)

Σημείωση: η τιμή της V_λ λαμβάνεται από σχετικούς πίνακες

Όταν το φως δεν είναι μονοχρωματικό, δηλαδή η πηγή εκπέμπει περισσότερα από ένα μήκη κύματος, η τελευταία σχέση δεν ισχύει. Στην περίπτωση αυτή η σχέση μεταξύ φωτεινής ροής και ροής ακτινοβολίας διαμορφώνεται από τη σχέση:

$$\Phi_v = K_m \int_\lambda \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

όπου $\Phi_{e,\lambda}$ είναι η φασματική κατανομή ισχύος, δηλαδή ακτινοβόλος ροή ανά μονάδα μήκους κύματος και K_m συντελεστής αναλογίας.

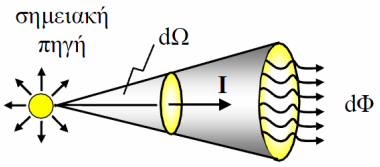
Η ροή ενός λαμπτήρα ή φωτιστικού μπορούν να μετρηθούν μόνο σε ειδικά εξοπλισμένα εργαστήρια φωτισμού. Δεδομένου ότι η ροή είναι η συνολική έξοδος του λαμπτήρα ή του φωτιστικού, χρησιμοποιείται μία σφαίρα ολοκλήρωσης, που πιάνει όλο το φως που εκπέμπεται. Η εσωτερική επιφάνειά της είναι βαμμένη με ένα ιδιαίτερα αντανακλαστικό, διαχυτικό λευκό χρώμα με βάση το θειικό βάριο, BaSO4 ή πολυτετραφθοροαιθυλένιο, PTFE. Και τα δύο αυτά υλικά προσφέρουν ανακλαστικότητα > 97% σε μια ευρεία περιοχή του φάσματος με σχεδόν τέλεια διάχυση.

Ο φωτισμός που η φωτεινή πηγή παράγει στην εσωτερική επιφάνεια της σφαίρας είναι ομοιόμορφη σε όλη τη σφαίρα λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της βαφής. Το επίπεδο των lux μετράται με το μετρητή φωτεινότητας. Η παραγόμενη ροή της λάμπας ή ενός εξοπλισμού στη συνέχεια προκύπτει από υπολογισμό.
Η φωτεινή ροή του λαμπτήρα θα πρέπει να συγκριθεί με εκείνη μιας τυπικής πηγής, προκειμένου να έχουμε ένα ακριβές και απόλυτο αποτέλεσμα. Για φωτιστικά σώματα, από την άλλη πλευρά, η αναλογία εξόδου φωτός (LOR), είναι συνήθως αυτό που μας ενδιαφέρει. Για το σκοπό αυτό, οι μετρήσεις λαμβάνονται σε δύο στάδια: Πρώτον, ο εξοπλισμός(συναρμολόγηση)μπαίνει στη σφαίρα και μετράται η έξοδος και έπειτα συγκρίνεται το αποτέλεσμα με το λαμπτήρα χωρίς τον εξοπλισμό. [9],[10]

Φωτεινή ένταση ή φωτοβολία

Φωτεινή ένταση ή φωτοβολία μιας σημειακής πηγής προς συγκεκριμένη διεύθυνση, είναι το πηλίκο της φωτεινής ροής dΦ ανά μονάδα στερεάς γωνίας dΩ με άξονα αυτή τη διεύθυνση (Σχήμα 1.5).Δηλαδή:

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



Σχήμα 1.5: Φωτοβολία σημειακής πηγής_ Πηγή: http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf

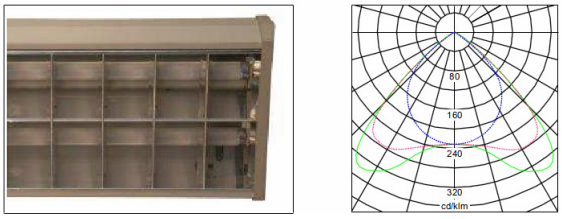
Μονάδα μέτρησης της φωτοβολίας είναι η *Candela* ($Cd = Lm\ Sr^{-1}$)

Πίνακας 1.3:Μερικές τυπικές φωτεινές εντάσεις_ Πηγή: SynthLight Handbook

Εάν μια πηγή φωτός δεν έχει προτιμητέα κατεύθυνση εκπομπής, ονομάζεται ισοτροπική. Στην περίπτωση αυτή, η φωτεινή ένταση σε κάθε κατεύθυνση, πολλαπλασιαζόμενη επί 4π (που είναι η πλήρης στερεά γωνία) ισούται με τη φωτεινή ροή.

Πολύ συχνά, οι σχεδιαστές φωτισμού και οι μηχανικοί πρέπει να γνωρίζουν ακριβώς πόσο φως εκπέμπει μία εγκατάσταση προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αν ένα φωτιστικό είναι απόλυτα διαχυτικό, η φωτεινή ένταση του θα ποικίλει ανάλογα με την οπτική γωνία του παρατηρητή.

Για να μετρήσουμε αυτήν την κατανομή, η κατεύθυνση μπορεί να περιγραφεί κάνοντας χρήση των γωνιών του αζιμούθιου και του υψομέτρου, παρόμοια με το εικονικό δίκτυο που καλύπτει τη Γη μας και μας επιτρέπει να εντοπίζουμε τη θέση του κάθε τόπου από πλευράς γεωγραφικού μήκους και πλάτους.



Σχήμα 1.6: Κατανομή φωτεινής έντασης (δεξιά) μιας εγκατάστασης (αριστερά)

Πίνακες έντασης είναι διαθέσιμοι σε ηλεκτρονική μορφή για τα πιο πρόσφατα φωτιστικά σώματα.

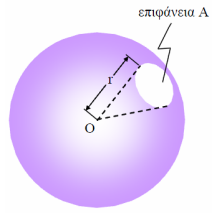
Χρησιμοποιούνται κυρίως ως πρώτη ύλη στο φωτισμό με προγράμματα υπολογιστή και σε προγράμματα απεικόνισης. Για να γίνουν οι πίνακες περισσότερο κατανοητοί για το σχεδιαστή φωτισμού, μπορούν να απεικονιστούν σε πολική καμπύλη, isocandela ή isolux διαγράμματα**.** [9],[10]

Στερεά γωνία

Ορίζεται ως στερεά γωνία Ω (Σχήμα 1.7) το πηλίκο τμήματος επιφάνειας σφαίρας, που αποκόπτεται από κώνο, ο οποίος έχει κορυφή το κέντρο της σφαίρας, δια του τετραγώνου της ακτίνας, δηλαδή:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

Ως μονάδα στερεάς γωνίας ορίζεται το *στερακτίνιο (sterad ή Sr)* που είναι αδιάστατο μέγεθος.

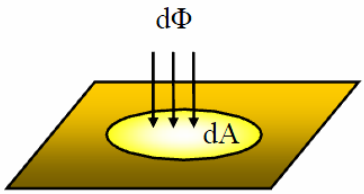


Σχήμα 1.7. Στερεά γωνία

Φωτισμός

Ο φωτισμός είναι η πυκνότητα της φωτεινής ροής που δέχεται σημείο μιας επιφάνειας, κάθετα τοποθετημένης στη διεύθυνση διάδοσης του φωτός (Σχ.1.8) και ορίζεται ως το πηλίκο της φωτεινής ροής ανά μονάδα επιφάνειας:

$$B = \frac{d\Phi}{dA}$$



Σχήμα 1.8. Φωτισμός

όπου dΦ η προσπίπτουσα φωτεινή ροή και dA στοιχειώδες τμήμα της επιφάνειας που περιέχει το σημείο.

Μονάδα φωτισμού είναι το *Lux (1 Lux = Lm·m^{-2})*

Όταν αναφερόμαστε στο φωτισμό μιας επιφάνειας, ο προσανατολισμός του θα πρέπει πάντα να δίνεται. Για παράδειγμα, ο φωτισμός σε ένα γραφείο μετριέται ως οριζόντιος φωτισμός, ο φωτισμός στην πρόσοψη ή σε έναν τοίχο ως κατακόρυφος φωτισμός.

Πίνακας 1.4:Μερικές τυπικές εντάσεις φωτισμού_ Πηγή: SynthLight Handbook

Ο φωτισμός είναι μια ποσότητα που μπορεί να μετρηθεί εύκολα. Τα μέτρα φωτισμού, που μερικές φορές ονομάζονται λουξόμετρα είναι προσιτά, όσο οι απαιτήσεις για ακρίβεια δεν είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα.

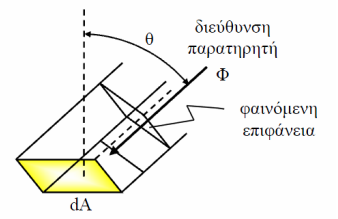
Σχήμα 1.9 : Όργανα μέτρησης φωτισμού
Πηγή: SynthLight Handbook (Ευγενική προσφορά Εικόνας από το Megatron)

Όλα τα μέτρα φωτισμού πρέπει να είναι διορθωμένα κατά v(λ) για να ταιριάζουν με τα χαρακτηριστικά απόκρισης του ανθρώπινου ματιού. Αυτό είναι επίσης γνωστό ως διόρθωση χρώματος. Η πρόσθετη απαίτηση είναι να διορθωθούν ως προς το συνημίτονο. Η απόκριση του μετρητή εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης. Αυτό σημαίνει ότι το φως χτυπά τον αισθητήρα κάθετα (ή κατά μήκος του άξονά του) με αποτελέσματα υψηλότερη τιμή ανάγνωσης από αυτήν που προκύπτει όταν το φως προσπίπτει υπό γωνία μεγαλύτερης κλίσης.[9]

Επειδή ο φωτισμός είναι εύκολο να μετρηθεί και να υπολογιστεί, οι περισσότερες συστάσεις για το φωτισμό σε γραφεία και άλλα εργασιακά περιβάλλοντα βασίζονται σε αυτόν. Αυτό είναι σε αντίφαση με τον τρόπο που λειτουργεί το μάτι πραγματικά, γιατί ανταποκρίνεται στη φωτεινότητα των αντικειμένων και όχι στο φωτισμό τους. Με άλλα λόγια, το μάτι ανταποκρίνεται στο φως που αντανακλάται από ένα αντικείμενο και όχι στο φως που πέφτει επάνω του. [9],[10]

Φωτεινότητα

Για να γίνει κατανοητή η έννοια της φωτεινότητας, θεωρούμε μια ακτίνα φωτός ως ένα απειροελάχιστο κώνο με την κορυφή του σε ένα σημείο μιας επιφάνειας. Θεωρούμε επίσης ότι ο κώνος σχηματίζει στοιχειώδη στερεά γωνία dΩ. Αν το σημείο τομής της ακτίνας με την επιφάνεια βρίσκεται σε ένα στοιχειώδες τμήμα dA της επιφάνειας, τότε η εγκάρσια τομή της ακτίνας θα είναι dAcosθ, όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της ακτίνας και της καθέτου στην επιφάνεια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.10. Η εγκάρσια τομή της ακτίνας είναι η προβολή της dA και το φως φαίνεται ως να προέρχεται πρακτικά από αυτήν (είναι η φαινόμενη επιφάνεια από τον παρατηρητή).

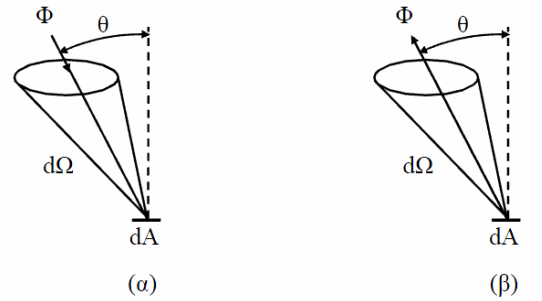


Σχήμα 1.10: Ακτίνα φωτός τέμνει την επιφάνεια σε στοιχειώδες τμήμα της dA
Πηγή: http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf

Επομένως ως φωτεινότητα (Lv) ορίζεται η φωτεινή ροή που αναδύεται ανά μονάδα στερεάς γωνίας από στοιχειώδη επιφάνεια dA προς συγκεκριμένη διεύθυνση και ανά μονάδα φαινόμενης επιφάνειας κάθετης προς αυτή τη διεύθυνση:

$$L_v = \frac{d^2\Phi}{d\Omega\, dA \cos\theta}$$

όπου dΦ είναι η φωτεινή ροή που εκπέμπεται (ή ανακλάται) από στοιχειώδες τμήμα επιφάνειας dA μέσα από στερεά γωνία dΩ (Σχήμα 1.11)



Σχήμα 1.11:Φωτεινή ροή (α) προσπίπτουσα (β) αναδυόμενη
Πηγή: http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf

Μετράται σε $Lm \cdot Sr^{-1} \cdot m^{-2}$ ή $Cd \cdot m^{-2}$

Τα σύγχρονα όργανα μέτρησης φωτεινότητας ενσωματώνουν ένα οπτικό σύστημα μέσω του οποίου μπορούμε να δούμε το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει. Μια μικρή οθόνη στο σκόπευτρο δίνει μια άμεση ανάγνωση της φωτεινότητας με το πάτημα ενός κουμπιού. Τα εν λόγω όργανα μέτρησης φωτεινότητας είναι απλά στη χρήση ,ωστόσο, συνηθίζουν να είναι αρκετά ακριβά.

Σχήμα 1.12:Σύγχρονο όργανο μέτρησης φωτεινότητας
Πηγή: SynthLight Handbook (Χορηγία εικόνας από Minolta)

Ένας απλούστερος τρόπος μέτρησης της φωτεινότητας είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα φωτοκύτταρο με μια ειδική ράβδο σκίασης. Η συσκευή σκίασης ορίζει μια σταθερή γωνία πρόσπτωσης. Με τη γνώση της περιοχής του αισθητήρα και της στερεάς γωνίας, η φωτεινότητα μπορεί να εξαχθεί.[9],[10]

Φωτεινή σχετική ικανότητα

Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από σημείο μιας επιφάνειας.

$$B = \frac{d\Phi}{dA}$$

Μετρείται σε $Lm \cdot m^{-2}$

Φωτεινή ενέργεια

Ορίζεται ως:

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi(t)dt$$

Μετρείται σε $Lm \cdot sec$

Ολική φωτεινή ροή

Η ολική φωτεινή ροή είναι η γεωμετρικά συνολική φωτεινή ροή μιας πηγής και ορίζεται ως:

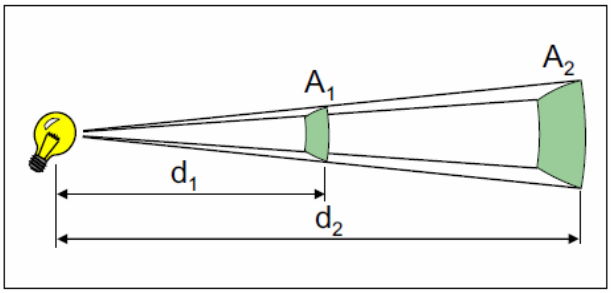
$$\Phi_{ολ} = \int_{\Omega} I d\Omega$$

όπου I είναι η κατανομή της φωτοβολίας της πηγής σε κλειστή επιφάνεια γύρω από την πηγή.[9]

1.3.4 Φωτομετρικοί νόμοι και κανόνες

- **Ο νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων**

Όταν η φωτεινή ένταση μιας σημειακής πηγής είναι γνωστή, ο φωτισμός που παράγει σε μία ορισμένη απόσταση μπορεί να υπολογισθεί με το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου.



Σχήμα 1.13:Ο νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων_ Πηγή: SynthLight Handbook

Οι επιφάνειες A_1 και A_2 σχηματίζουν και οι δύο την ίδια στερεά γωνία με τη φωτεινή πηγή. Καθώς το φως ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή, και οι δύο παρακολουθούν την ίδια φωτεινή ροή. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι περιοχές τους είναι διαφορετικές, ο φωτισμός που αυτή η ροή παράγει στις επιφάνειες δεν είναι ο ίδιος. Ο φωτισμός εξαρτάται από την περιοχή πάνω στην οποία πέφτει το φως και είναι αντιστρόφως ανάλογος του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή : $E= I /d^2$

Ένας εναλλακτικός τρόπος γραφής του νόμου είναι:

$$I= d_1^2 E_1=d_2^2E_2$$

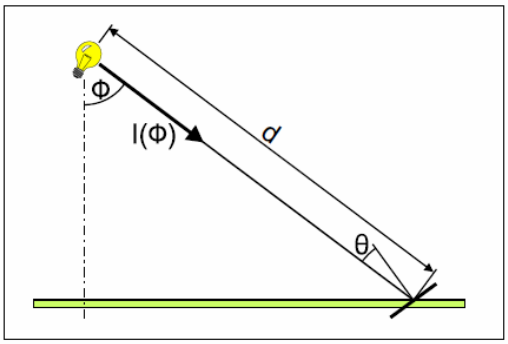
Αυτός ο τύπος είναι σωστός μόνο αν ο απαιτούμενος φωτισμός είναι σε ένα επίπεδο κάθετο προς τη φωτεινή πηγή και αν η πηγή είναι σημειακή. Ωστόσο, σε πρακτικές εφαρμογές, ο τύπος παράγει στοιχεία με ακρίβεια 1%, εάν η απόσταση από την πηγή φωτός είναι τουλάχιστον πενταπλάσια της μεγαλύτερης διάστασης της πηγής. Αν η επιφάνεια δεν είναι κάθετη προς τον τρόπο με τον οποίο ταξιδεύει το φως, τότε ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου πρέπει να τροποποιηθεί με διόρθωση του συνημίτονου.

- **Ο νόμος του συνημιτόνου**

Αν οι φωτεινές ακτίνες πέφτουν πλάγια, τότε η ίδια ροή από την πηγή μπορεί να κατανέμεται σε μια ευρύτερη περιοχή η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη του συνημιτόνου της γωνίας μεταξύ της επιφάνειας και των ακτίνων. Ο νόμος αντίστροφου τετραγώνου μπορεί τότε να τροποποιηθεί με το Νόμο Συνημιτόνου :

$$E=\frac{I(\Phi)}{d^2}\cos\theta$$

Τα φωτιστικά σώματα που χρησιμοποιούνται για τεχνητό φωτισμό κανονικά δεν εκπέμπουν φως ισότιμα προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα χαρακτηριστικά της διανομής των συσκευών περιγράφονται στα αποκαλούμενα διαγράμματα φωτεινής έντασης, τα οποία μπορούν να ληφθούν από τους περισσότερους κατασκευαστές σε ηλεκτρονική μορφή. Είναι ουσιαστικά ζεύγη τιμών(Φ, I(Φ)), όπου Φ είναι η γωνία από την κατακόρυφο και I(Φ) είναι η φωτεινή ένταση που παράγεται από το φωτιστικό προς αυτή την κατεύθυνση.



Σχήμα 1.14: Ο νόμος του συνημιτόνου στο φωτισμό _Πηγή: SynthLight Handbook

1.4 ΧΡΩΜΑ

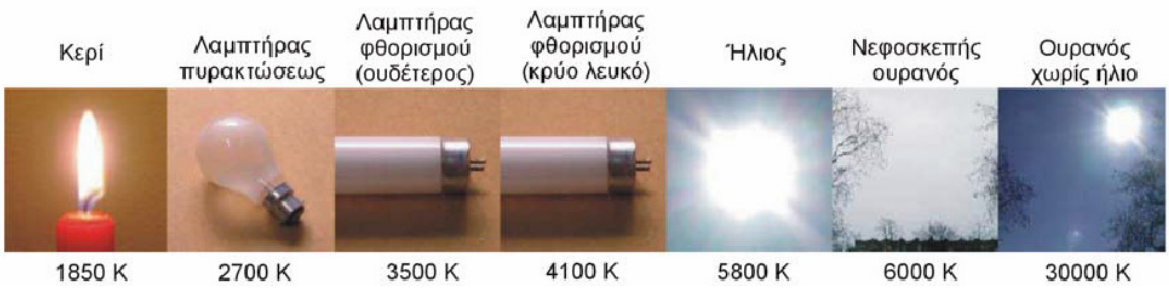
Το χρώμα είναι ένα φαινόμενο της αντίληψης και όχι ένα αντικειμενικό στοιχείο ή χαρακτηριστικό μιας ουσίας. Το χρώμα είναι μια πτυχή της όρασης. Είναι μια ψυχοφυσική αντίδραση που αποτελείται από τη φυσική αντίδραση του ματιού και την αυτόματη ερμηνευτική απόκριση του εγκεφάλου σε χαρακτηριστικά μήκη κύματος του φωτός πάνω από ένα ορισμένο επίπεδο φωτεινότητας (σε χαμηλότερα επίπεδα το μάτι ανιχνεύει διαφορές φωτεινότητας, αλλά δεν είναι σε θέση να κάνει διακρίσεις χρώματος).

Ο Ισαάκ Νεύτων το 1666 απέδειξε για πρώτη φορά ότι το φως είναι η πηγή του χρώματος. Περνώντας μια ακτίνα του ηλιακού φωτός μέσα από ένα πρίσμα, παρήγαγε το ουράνιο τόξο των αποχρώσεων του ορατού φάσματος. Το φαινόμενο αυτό είχε πολλές φορές παρατηρηθεί στο παρελθόν, αλλά είχε πάντα σχετισθεί με το λανθάνον χρώμα που υποστηριζόταν ότι υπάρχει στο γυαλί του πρίσματος. Ο Νεύτων ωστόσο, πήγε αυτό το απλό πείραμα ένα βήμα παραπέρα. Πέρασε μία μικρογραφία του ουράνιου τόξου σε ένα δεύτερο πρίσμα με αποτέλεσμα να ανασυσταθεί η αρχική λευκή δέσμη φωτός. Το συμπέρασμά του ήταν επαναστατικό: Το χρώμα είναι στο φως, όχι στο γυαλί και το φως που βλέπει ο άνθρωπος ως λευκό είναι ένα μίγμα όλων των χρωμάτων του ορατού φάσματος. [9]

1.4.1 Θερμοκρασία χρώματος και χρωματική απόδοση

<u>Θερμοκρασία χρώματος</u>

Η συσχετιζόμενη θερμοκρασία χρώματος CCT (correlated colour temperature) μετράται σε βαθμούς Kelvin (K)και είναι ένα μέτρο για την περιγραφή του χρώματος των φωτεινών πηγών. Δείχνει την ισοδύναμη θερμοκρασία που ένα μαύρο(μελανό) θερμαντικό σώμα θα πρέπει να έχει προκειμένου να παραχθεί φως του ίδιου χρώματος με τη φωτεινή πηγή. [9]



Σχήμα 1.15:Συσχετιζόμενη θερμοκρασία χρώματος διάφορων φωτεινών πηγών_ Πηγή: SynthLight Handbook

Η έννοια της θερμοκρασίας χρώματος βρίσκεται σε αντίθεση με ό,τι θα περιγράφαμε ως «ζεστά» ή «κρύα» χρώματα. Το κόκκινο φως που παράγεται από ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως

για παράδειγμα, έχει χαμηλή θερμοκρασία χρώματος, ενώ το φως της ημέρας έχει πολύ υψηλή. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν ένα σώμα θερμαίνεται, το φως του περνά μέσα από το κόκκινο, το πορτοκαλί, το κίτρινο, το λευκό και τελικά το μπλε καθώς γίνεται θερμότερο και θερμότερο.

CCT	κατηγορία CCT
<3300K	θερμά
3300 - 5300K	ενδιάμεσα
>5300K	ψυχρά

Πίνακας 1.5: Κατηγορίες συσχετιζόμενης θερμοκρασίας χρώματος

Ερμηνεύοντας τον πίνακα καταλαβαίνουμε ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος τόσο ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής. Θερμοκρασίες χρώματος των 5300 K και άνω αντιστοιχούν σε λευκή και ψυχρή απόχρωση, ενώ θερμοκρασίες χρώματος μικρότερες των 3300 K αντιστοιχούν σε θερμές αποχρώσεις π.χ. λαμπτήρες πυράκτωσης. [9]

Ο τρόπος που αισθανόμαστε όταν βρισκόμαστε σε ένα περιβάλλον με δεσπόζουσα κλάση CCT εξαρτάται από τη φωτεινότητα του δωματίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η φωτεινότητα, τόσο πιο άνετα αισθανόμαστε με δροσερές θερμοκρασίες χρώματος. Το χρώμα από μόνο του δε συμβάλλει απλώς στην εμφάνιση της επιφάνειας του εσωτερικού των κτιρίων αλλά επηρεάζει επίσης την ανθρώπινη διάθεση[9]. Οι Helms και Belcher[5] βρήκαν ότι το χρώμα επηρεάζει πραγματικά τα ανθρώπινα όντα όσον αφορά στην υποκειμενική εντύπωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Οι άνθρωποι αισθάνονται τα πορτοκαλί χρώματα ως τα πιο ζεστά και τα μπλε ως πιο κρύα.

Φωτεινότητα (lux)	Χρώμα φωτεινής πηγής		
	ζεστά	ουδέτερα	ψυχρά
	Συναισθηματική απόκριση		
<500	ευχάριστα	ουδέτερα	ψυχρά
500-1000			
1000-2000	τόνωση	ευχάριστα	ουδέτερα
2000-3000			
>3000	μη φυσιολογικά	τόνωση	ευχάριστα

Πίνακας 1.6 :Η συναισθηματική απόκριση εξαρτάται από το επίπεδο φωτισμού του περιβάλλοντος
Πηγή: SynthLight Handbook μετά από προσαρμογή

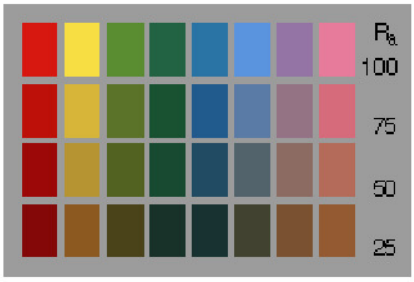
Ο Birren [28] αναφέρει ότι ο ζεστός φωτισμός έδωσε στα άτομα που εκτέθηκαν την αίσθηση της φιλικότητας, αλλά ο ψυχρός φωτισμός έκανε τους ανθρώπους να αισθάνονται τρομακτικά και απόκοσμα. Το χρώμα του φωτός που γίνεται αισθητό δεν είναι απαραίτητα το χρώμα από τα τελειώματα. Σε ένα λευκό τοίχο ή στο ταβάνι θα αντανακλά χρωματιστό φως από τα

φωτιστικά σώματα και τους λαμπτήρες, ως εκ τούτου καταδεικνύεται η σημασία της σωστής επιλογής θερμοκρασίας χρώματος για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.[9]

Χρωματική απόδοση

Χρωματική απόδοση μιας φωτεινής πηγής είναι ένας δείκτης της ικανότητάς της να αναπαράγει ρεαλιστικά το χρώμα ενός αντικειμένου.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή φωτισμού CIE (Comission Internationale de l'Eclairage, International Lighting Commission) η χρωματική απόδοση μπορεί να εκφραστεί με ένα δείκτη με τιμές από 0 έως 100, όπου οι χαμηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε κακή απόδοση χρωμάτων και οι υψηλότερες σε καλή χρωματική απόδοση. Η χρωματική απόδοση μιας φωτεινής πηγής συγκρίνεται με το φως της ημέρας, αν η θερμοκρασία χρώματός της(CCT) είναι πάνω από 5000 K και με ένα μαύρο(μελανό) σώμα, δηλαδή μια πηγή που παράγει ένα συνεχές φάσμα σε διαφορετική περίπτωση.[9]



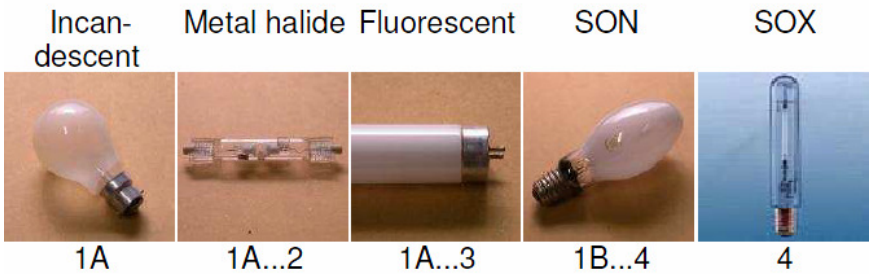
Σχήμα 1.16:Αριστερά: Διάταξη αξιολόγησης της χρωματικής απόδοσης με δοκιμαστικές ταινίες κάτω από διαφορετικό φωτισμού. Δεξιά: Δείγματα δοκιμής και η εμφάνισή τους κάτω από διαφορετικές CRI

Προκειμένου να πραγματοποιείται ευκολότερα η σύγκριση της χρωματικής απόδοσης φωτεινών πηγών, έχουν εισαχθεί ομάδες χρωματικής απόδοσης:

Κατηγορία	**Δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra**	**Σπουδαιότητα**	**Συνήθεις εφαρμογές**
1A	90-100	ακριβής αντιστοίχηση χρωμάτων	Γκαλερί, ιατρεία, ανάμειξη χρωμάτων, γραφιστική, βιομηχανίες ενδυμάτων
1B	80-90	Σημαντική η ακρίβεια χρωματικής απόδοσης	Κατοικίες, ξενοδοχεία, γραφεία, σχολεία
2	60-80	Μέτριες απαιτήσεις χρωματικής απόδοσης	Βιομηχανίες, γραφεία, σχολεία
3	40-60	μικρή σημασία στην ακρίβεια χρωματικής απόδοσης	Βιομηχανίες, αθλητικοί χώροι
4	20-40	άνευ σημασίας η ακρίβεια χρωματικής απόδοσης	Φωτεινοί σηματοδότες

Πίνακας 1.7:Οι κατηγορίες χρωματικής απόδοσης CIE

Ορισμένες εργασίες, όπως η χρωματική αντιστοιχία στην τυπογραφία έχουν υψηλές απαιτήσεις σε ακριβή απόδοση χρωμάτων και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή από το σχεδιαστή φωτισμού. Για συνήθη γραφεία, ωστόσο, η ομάδα χρωματικής απόδοσης θα είναι 1B ή 2, όποια είναι πιο εύκολο να επιτευχθεί με τη χρήση κανονικών λαμπτήρων φθορισμού.



Πίνακας 1.8: Κατηγορία χρωματικής απόδοσης για διαφορετικές πηγές φωτός

Ο λόγος που χρησιμοποιούνται κυρίως λαμπτήρες με κακή απόδοση χρωμάτων, όπως λαμπτήρες υψηλής και χαμηλής πίεσης νατρίου είναι η υψηλή αποτελεσματικότητά τους. Συνήθως παράγουν περισσότερα lumen ανά Watts ηλεκτρικής ενέργειας από τους λαμπτήρες που παρέχουν μια καλή χρωματική απόδοση. Η φωτεινή απόδοση δίνεται ως λόγος των lumens λαμπτήρα / watts λαμπτήρα. Είναι γενικά αλήθεια ότι οι λαμπτήρες με μεγάλες τιμές ισχύος είναι πιο αποτελεσματικοί από τους ομολόγους τους χαμηλής ισχύος.

<u>Χρωματική απόδοση φυσικού –τεχνητού φωτός</u>

Το φυσικό φως υπερέχει όσον αφορά στη χρωματική απόδοση των αντικειμένων σε σχέση με τον τεχνητό φωτισμό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το φυσικό φως περιέχει όλες τις χρωματικές συνιστώσες, σε αντίθεση με τις τεχνητές πηγές που έχουν ασυνεχές φάσμα και αδυνατούν να αποδώσουν κάποιους ενδιάμεσους χρωματικούς τόνους(Μαλινδρέτος κ.ά).[7]

1.4.2 Φως, χρώμα και αντίληψη

Αντίληψη

Πολλές θεωρίες για την αντίληψη έχουν διατυπωθεί ανά τα χρόνια και οι οποίες διαμόρφωσαν περισσότερο ή λιγότερο τις σύγχρονες θεωρίες της αντίληψης. Σύμφωνα με τους Αμερικανούς συγγραφείς Kagan και Havemann (1980), αντίληψη είναι η λειτουργία μέσω της οποίας προσλαμβάνουμε, επιλέγουμε, οργανώνουμε και αναγνωρίζουμε τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Είναι μια πολύπλοκη γνωστική λειτουργία που στηρίζεται στις αισθήσεις, αλλά δεν περιορίζεται μόνο σε αυτές. Οι πληροφορίες που προσλαμβάνονται μέσω των αισθήσεων και των περιφερειακών δεκτών αποκωδικοποιούνται μέσω της αντίληψης και του κεντρικού νευρικού συστήματος(Δήμου Τ. ,Φραγκούλη Ι., Περιβάλλοντος ψυχολογία: έμφαση στο παιδί). [12]

Φωτισμός και αντίληψη χώρου και αντικειμένων

Η αίσθηση της όρασης αποτελεί ένα αμάλγαμα μιας ομάδας διαφορετικών ικανοτήτων, που λειτουργούν αυτόνομα και ενσωματώνονται σε μια ενοποιημένη αντίληψη του χώρου και των αντικειμένων. Ως αποτέλεσμα, η συνολική μας αντίληψη διαμορφώνεται μέσω επεξεργασίας του οπτικού σήματος σε διάφορα στάδια της οπτικής οδού, γεγονός που καθιστά δύσκολη την άμεση αξιολόγησή της. [12]

Χρώμα και αντίληψη

Δεδομένου ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την όραση είναι η ύπαρξη φωτός και ότι το χρώμα είναι η απόκριση του εγκεφάλου σε χαρακτηριστικά μήκη κύματος του φωτός, συμπεραίνουμε ότι μέρος της αντιληπτικής εμπειρίας του περιβάλλοντος αποτελεί και το χρώμα.

Το χρώμα αποτελεί μέρος πολλών κλάδων – για παράδειγμα της επιστήμης της φυσικής, της τέχνης και της ψυχολογίας-για αυτό και μπορεί να παρουσιαστεί με ποικίλους τρόπους. Από την οπτική της ψυχολογίας, μια εντύπωση χρώματος δεν είναι μόνο ένας μηχανισμός όρασης, αλλά επίσης και μια αίσθηση ή ένα συναίσθημα που συγχρόνως ενεργοποιεί τις σκέψεις και το νοητικό μηχανισμό.[8]

Εκεί που το χρωματικό φαινόμενο τελειώνει αρχίζει το χρωματικό αίσθημα , το οποίο με τη σειρά του τελειώνει εκεί που αρχίζει η αντίληψη. Η διαδικασία όμως αυτής της λειτουργίας γίνεται σε κλάσματα του δευτερολέπτου , με αποτέλεσμα εμείς να έχουμε την εντύπωση μίας και μοναδικής ενέργειας. Η ακατέργαστη αίσθηση της οράσεως με την οποία ασχολείται η

φυσιολογία, μόλις αποτυπωθεί στον εγκέφαλο, είναι ήδη ερμηνευμένη. Έτσι μεταμορφώνεται η παθητικότητα της αισθήσεως και γίνεται ενέργεια, αντίληψη. [12]

1.4.3 Ψυχολογία χρώματος

Η ψυχολογία χρώματος είναι ένα πεδίο έρευνας που αφιερώνεται στην ανάλυση της επίδρασης του χρώματος στην ανθρώπινη συμπεριφορά και ψυχολογία.[30]Παρόλο που η ψυχολογία χρώματος είναι ένα πεδίο έρευνας σχετικά πρόσφατο στις δυτικές κοινωνίες, στους αρχαίους πολιτισμούς (Κίνα, Αίγυπτο και Ινδία) τα χρώματα χρησιμοποιούνταν για θεραπευτικούς σκοπούς, μέσα από τη χρωματοθεραπεία. [14]

Από την πλευρά της τέχνης, η καλλιτεχνική εμπειρία αποτελεί σημαντικό δεδομένο για συμπεράσματα σχετικά με τη χρωματική αντίληψη και επιβεβαιώνει θέματα ψυχολογίας. Ο Van Gogh ανακάλυψε ότι το χρώμα έχει τη δύναμη της έκφρασης των συναισθημάτων, αν και ο Paul Gauguin ήταν ο πρώτος που το αναγνώρισε.[12] Έκτοτε, πολλοί ακόμα καλλιτέχνες παρατήρησαν την εκφραστικότητα των χρωμάτων, αναφέρθηκαν στη δύναμή τους και διατύπωσαν τα συναισθήματα που ξυπνά το καθένα από αυτά, βασισμένοι ασφαλώς σε υποκειμενικά κριτήρια. Ανάμεσά τους είναι ο Kandisky, ο Leonardo Da Vinci, ο Franz Marc και ο Χατζηκυριάκος-Γκίκας.[15]

Από τη σκοπιά της ψυχολογίας, το χρώμα είναι μέρος του συνειδητού, του υποσυνείδητου και του ασυνείδητου, και μια εμπειρία που είναι ενσωματωμένη στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Η ανθρώπινη αντίδραση σε ένα χρώμα, ένα συνδυασμό χρωμάτων και στο περιβάλλον είναι πάντα πρωταρχικά ψυχολογική, αλλά μπορεί να καταλήξει και σε μια σωματική αντίδραση.[8]Το χρώμα αποτελεί ένα είδωλο της πολλαπλής πραγματικότητας. Δημιουργεί αντιπαραθέσεις, συνδέεται με ερωτήματα τα οποία δεν είναι στατικά, επαναπροσδιορίζει την έννοια του υποκειμενικού και του αντικειμενικού και μετασχηματίζει την έννοια της συμπληρωματικότητας.[15]

Η «εμπειρία του χρώματος» δεν μπορεί να συστηματοποιηθεί ακριβώς ή να ταξινομηθεί. Εντούτοις, μπορεί να υποτεθεί ότι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν αυτήν την εμπειρία είναι έξι, είναι αλληλένδετοι και παρουσιάζονται στη συνέχεια.[8]

1.Βιολογική αντίδραση σε ένα ερέθισμα χρώματος

Οι βιολογικές αντιδράσεις είναι εκείνες που είναι πέρα από τον έλεγχο του ανθρώπου, δεδομένου ότι είναι στη φυσιολογική σφαίρα που παραμένει έξω από το πεδίο για το πώς τα άτομα, σκέφτονται ή αισθάνονται για ένα ορισμένο χρώμα, ή μια ομάδα χρωμάτων.[8]

Η προσπάθεια ωστόσο να αποδώσουμε την επίδραση του χρώματος σε φυσιολογικές διαδικασίες εμπίπτει σε υποθέσεις και αμφιβόλου αιτιολόγησης αποτελέσματα. Ορισμένα πειράματα έχουν δείξει κάποια σωματική απόκριση στο χρώμα. Έντονη φωτεινότητα, υψηλός κορεσμός και οι χροιές μακρού μήκους κύματος παράγουν διέγερση. Ο Fere βρήκε ότι η μυϊκή δύναμη και η κυκλοφορία του αίματος αυξάνονται με το έγχρωμο φως «στην αλληλουχία από το μπλε, δια του πράσινου, κίτρινου, πορτοκαλί και κόκκινου». Αυτό συμφωνεί με τις ψυχολογικές παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων αυτών των χρωμάτων, αλλά δεν μπορεί κανείς να συμπεράνει με σιγουριά εάν αυτό αποτελεί άμεση επίδραση της ενέργειας του φωτός στο νευρικό σύστημα ή αν πρόκειται για δευτερεύουσα συνέπεια της αντιληπτικής εμπειρίας.[12]

2. Συλλογικό ασυνείδητο

Κατά τη Jungian(Carl Jung) ψυχολογία, το «συλλογικό ασυνείδητο» είναι εκείνο το μέρος της ψυχής που δεν έχει καμία σχέση με τις συνειδητές ή ασυνείδητες αντιδράσεις που βασίζονται σε προσωπικές εμπειρίες που συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια ζωής ενός ατόμου.[8]

Σύμφωνα με τον Carl Jung, εισηγητή της σχολής της αναλυτικής ψυχολογίας, βαθειά μέσα στην ανθρώπινη ψυχή είναι συγκεντρωμένες ασυναίσθητα εικόνες που αναπτύσσονται και διαμορφώνονται από τους προγόνους μας μέσω χιλιάδων ετών. Το χρώμα είναι ένα μέρος της ψυχολογικής και βιολογικής μας κληρονομιάς και επομένως μερικές φορές απαντάμε στο χρώμα με ορισμένο τρόπο.[12]

3.Συνειδητός συμβολισμός-συσχετίσεις

Ο συνειδητός συμβολισμός πηγάζει από το συσχετισμό ορισμένων χρωμάτων με την εμπειρία στοιχείων της φύσης και φυσικών φαινομένων. Το μπλε συσχετίζεται με τον ουρανό και το υγρό στοιχείο, το κόκκινο με τη φωτιά, το κίτρινο με τον ήλιο, το πράσινο με τη φύση, το μαύρο με τη νύχτα και το σκοτάδι, το λευκό με την ημέρα και το χιόνι κ.λ.π. [12]

Η εφαρμογή του συσχετισμού του χρώματος και του συμβολικού περιεχομένου του είναι σημαντική σε διάφορους τομείς , όπως στη διαφήμιση, τη μόδα το γραφιστικό σχεδιασμό και

το σχεδιασμό προϊόντων.[8] Το χρώμα, όλο και περισσότερο αναγνωρίζεται σαν αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας και η χρήση του στους τομείς αυτούς έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δύο ή τρεις δεκαετίες.[16]

4.Πολιτισμικές επιρροές και ιδιομορφίες

Συσχετισμοί χρώματος, συμβολισμοί, εντυπώσεις και ιδιομορφίες που είναι χαρακτηριστικά συγκεκριμένων πολιτισμών και ομάδων διαδραματίζουν επίσης ρόλο στο πώς το χρώμα βιώνεται και χρησιμοποιείται.[8]
Στις ιστορικές περιόδους ο συμβολισμός του χρώματος είχε τη δύναμη και τη σημασία που του προσέδιδε ο θρησκευτικός μυστικισμός. Στην Ανατολή ο Βραχμανισμός θεωρούσε το κίτρινο ιερό χρώμα. Τα χρώματα του Βούδα ήταν το κίτρινο και το χρυσό. Ο Κομφούκιος φορούσε κίτρινο, μαύρο και λευκό. Οι Μωαμεθανοί αγάπησαν το πράσινο. Στην Ιουδαία τα ιερά χρώματα ήταν το κόκκινο, το μπλε, το πορφυρό και το λευκό. Ορισμένοι συμβολισμοί είναι και σήμερα εξ ίσου ισχυροί και ριζωμένοι όσο και στο παρελθόν, όπως ο συμβολισμός του πράσινου στους Μουσουλμάνους και τους Ιρλανδούς, για τους δικούς τους εθνικούς-θρησκευτικούς λόγους, και ο συμβολισμός του κόκκινου για τις κομμουνιστικές χώρες.[12]

Αξιοσημείωτη είναι επίσης η παρατήρηση ότι η επίδραση των πολιτισμικών επιρροών σε αυτό που ονομάζουμε «εμπειρία χρώματος» είναι εμφανής και στα εθνικά σύμβολα. Πιο συγκεκριμένα, επτά γειτονικές χώρες της Αφρικής και οι κοινές πολιτισμικές παραδόσεις τους αντανακλώνται στα χρώματα κόκκινο, κίτρινο και πράσινο που κυριαρχούν στις σημαίες τους (Σενεγάλη, Γουινέα Μπισάου, Γουινέα, Μάλι, Γκάνα, Καμερούν, Κογκό). Αντίστοιχο φαινόμενο συμβαίνει και με γειτονικές χώρες της Νοτιοδυτικής Ασίας (Καμπότζη, Ταϊλάνδη, Λάος, Μυανμάρ) αλλά και της Λατινικής Αμερικής(Βενεζουέλα, Κολομβία, Εκουαδόρ).[13]

5.Επιρροή των τάσεων της μόδας

Η τεχνολογική εξέλιξη και οι σύγχρονες κοινωνικές τάσεις έχουν ενθαρρύνει τον πειραματισμό με τον παράγοντα «χρώμα» σε όλες τις δραστηριότητες της ζωής. Οι τάσεις στις προτιμήσεις των χρωμάτων δεν είναι απόρροια αποκλειστική τεχνολογικών, οικονομικών ή παραγωγικών παραγόντων, αλλά βασίζονται επίσης και σε ψυχολογικούς παράγοντες που πηγάζουν από το γεγονός ότι τα άτομα αποβλέπουν στην αλλαγή που τη θεωρούν σαν ένα μέσο προσωπικής έκφρασης, καθώς επίσης στην επιθυμία τους να αισθάνονται ότι αποτελούν ένα μέρος μιας ομάδας. Οι τάσεις αυτές, αποτελούν μέρος μιας

κοινωνικής διεργασίας που περιλαμβάνει τις συνέπειες των κοινωνικών αλληλοεπιδράσεων, τη διάχυση, την αποδοχή ή την απόρριψη τους καθώς επίσης και παράγοντες καθοδήγησης. Σύμφωνα με παρατηρήσεις, το ευρύ τμήμα μιας κοινωνίας διατίθεται κατά- πολύ πιο ευνοϊκό τρόπο στις αποχρώσεις που ταυτίζονται με τις τρέχουσες τάσεις παρά σ' αυτές που διαφέρουν κατά πολύ. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να ισχυρισθεί κανείς ότι μεταξύ μόδας και χρώματος υπάρχει μια ιδιαίτερη σχέση που αντανακλά μεταξύ των άλλων υποσυνειδήτων - παραγόντων, συγκινησιακά συναισθήματα, παραδοσιακή εθιμοτυπία και επιθυμίες αυτοπραγμάτωσης. [16]

6.Προσωπική σχέση

Η προσωπική σχέση με το χρώμα εκφράζει την προτίμηση, την αδιαφορία ή την απέχθεια για ένα χρώμα ή για κάποιους χρωματικούς συνδυασμούς. Οι ανταποκρίσεις μας στα χρώματα συνδέονται με διεργασίες άλλων εμπειριών. Για παράδειγμα, η στάση ενός παιδιού απέναντι σε ένα χρώμα μπορεί να είναι επηρεασμένη αν έχει δει να το φορά ένα άτομο που συμπαθεί ή που αντιπαθεί ιδιαίτερα, ή αν έχει συνδεθεί έντονα μαζί του, με ευχάριστες ή με δυσάρεστες εμπειρίες. Ο τρόπος που ο άνθρωπος βιώνει το χρώμα σε ατομικό επίπεδο είναι αποτέλεσμα αλληλοσυσχετίσεων μεταξύ όλων των προηγούμενων παραγόντων της καλούμενης «εμπειρίας χρώματος». [8],[11]

Ο άνθρωπος αισθάνεται το χρώμα

Ο άνθρωπος αισθάνεται το χρώμα με όλες του τις αισθήσεις, για αυτό και τα χρώματα προκαλούν ερεθισμούς σε ολόκληρο το σωματικό και ψυχοπνευματικό οργανισμό του. Δεχόμαστε επομένως ότι ο άνθρωπος δε βλέπει μόνο τα χρώματα, αλλά τα αισθάνεται και με τις άλλες του αισθήσεις, για παράδειγμα θα λέγαμε με την ακοή. Έτσι ψυχολόγοι- μελετητές έχουν παρατηρήσει ότι έντονα ενοχλητικοί θόρυβοι γίνονται πιο ανεκτοί μέσα σε ένα περιβάλλον με χρώμα πράσινο της ελιάς, γκρι- πράσινο και καφέ σκούρο. Παράλληλα, εξωτερικοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν στον οργανισμό ερεθισμούς, οι οποίοι επηρεάζουν την αντίδρασή του στις χρωματικές επιδράσεις. Μελετητές απέδειξαν ότι η παρουσία της καφεΐνης στον οργανισμό, σε μεγάλη ποσότητα, αυξάνει την ευαισθησία στα χρώματα και δημιουργεί στα άτομα μεγαλύτερη αντίδραση στο πορτοκαλί και το κόκκινο.[12]

Μια ακόμα αξιόλογη ένδειξη της επίδρασης του χρώματος στην ψυχική μας κατάσταση είναι πως όταν ζητήθηκε από τυφλούς ανθρώπους να αναγνωρίσουν τα χρώματα με την αφή τους, τα αντιλήφθηκαν και τα ονομάτισαν με μεγάλη ευκολία.[14]

1.4.4 Πρόσφατα πειράματα και δράσεις

Ένα παράξενο ψυχολογικό πείραμα με σκοπό να αποδείξει ότι το χρώμα στο εξωτερικό αλλά και στο εσωτερικό του σπιτιού μας (ή σαφέστερα η μονοχρωμία σε ένα χώρο) επηρεάζει την ψυχολογία μας έκανε το τρέχον έτος ο Αυστριακός αρχιτέκτονας Peter Kaschnig. Το πείραμα ονομάστηκε «Μπλε Σπίτι» και πραγματοποιήθηκε στα περίχωρα της Βιέννης, όπου ο Peter έβαψε ένα ολόκληρο σπίτι, από τους τοίχους και τους καναπέδες, μέχρι το τζάκι και το νεροχύτη της κουζίνας σε έντονο μπλε χρώμα. Στη συνέχεια προσκάλεσε τον κόσμο να μείνει μέσα στο σπίτι τέσσερις ημέρες, καταγράφοντας κάθε στιγμή τις αντιδράσεις τους. Από τους 400 και πλέον επισκέπτες μόνο δυο τρεις κατάφεραν να μείνουν μέσα, και μάλιστα όχι για περισσότερο από μερικά λεπτά, αν και οι πιο πολλοί ήταν εξ αρχής δεκτικοί στην παραμονή. Όπως εξηγεί ο αρχιτέκτονας: ««Η αισθητική επίδραση του χρώματος υποχωρεί σταδιακά μετά από μισή ώρα. Ο προσανατολισμός παραμένει δύσκολος, επειδή το χρώμα ισοπεδώνει τις επιφάνειες και μειώνει εστιακά τα σημεία. Τα έπιπλα και τα αντικείμενα είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν με το έντονο μπλε να είναι απανταχού παρών. Η ολιγόλεπτη και μόνο παραμονή των ανθρώπων στο μπλε σπίτι είχε μια εξαιρετικά ανησυχητική ψυχολογική επίδραση. Όταν οι εσωτερικοί και οι εξωτερικοί χώροι συγχωνευτούν λόγω χρώματος τότε τόσο η αντίληψη του χώρου όσο και η οπτική αντίληψη βρίσκονται σε υπερδιέγερση. Αυτό προκαλεί ανασφάλεια, επηρεάζει την όραση και καθιστά τον οργανισμό σε κατάσταση συναγερμού». Όσο για την επιλογή του συγκεκριμένου χρώματος, δεν ήταν τυχαία. Ο αρχιτέκτονας επέλεξε το βαθύ μπλε, καθώς είναι ένα χρώμα εντελώς «καθαρό» και δε δημιουργεί βάθος ούτε σκιές. «Είναι ένα χρώμα χωρίς… διαστάσεις», εξηγεί ο ίδιος.[17],[18]

Φωτ.1.1: Το «μπλε σπίτι» του Peter Kaschnig-Πηγή: http://www.flashnews.gr

Η δύναμη του χρώματος μπορεί να αλλάξει την ψυχολογία μας, αλλά και τον τρόπο που ζούμε. Στη διαπίστωση αυτή στηρίζεται και η προσπάθεια μεμονωμένων καλλιτεχνών και παγκόσμιων προγραμμάτων να αλλάξουν την όψη παραμελημένων γειτονιών και κτηρίων, απλά με την προσθήκη χρώματος. Στο πλαίσιο της παγκόσμιας καμπάνιας «Let's Colour Project», διάφορα προγράμματα χρωματικής ανάπλασης έχουν ήδη δώσει χρώμα σε περιοχές στην Ολλανδία, τη Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Νότιο Αφρική, τη Βραζιλία, την Ινδία και από το 2011 και στην Κύπρο.[19]

Μία ακόμα εφαρμογή του χρώματος για τη βελτίωση της ψυχολογίας, έγινε από τους Ολλανδούς καλλιτέχνες Jeroen Koolhaas και Dre Urhahn, οι οποίοι αποφάσισαν να αλλάξουν λίγο τη ζωή των «φτωχότερων των φτωχών».Σε μια φιλανθρωπική μορφή τέχνης που την αποκαλούν «Favela Painting» («Ζωγραφίζοντας τις φαβέλες») δίνουν στις γειτονιές αυτές διαφορετική όψη. «Τις κάνουμε πιο φωτεινές και λαμπερές, αλλάζοντας όχι μόνο την εικόνα τους αλλά -κυρίως- την ψυχολογία των κατοίκων», επισημαίνουν οι καλλιτέχνες. Στην ολοκλήρωση του έργου συμμετείχαν πολλοί νέοι οι οποίοι διαμένουν μόνιμα σε αυτές τις γειτονιές.[20]

Φωτ.1.2.Αριστερά: Lapa, Rio de Janeiro-Πηγή: http://www.sigmalive.com
Δεξιά: Η πλατεία της κοινότητας Santa Marta στο Rio de Janeiro -
Πηγή: http://www.favelapainting.com/favela-painting

1.5 ΦΩΣ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ

1.5.1 Φως και βιολογική υγεία

1.5.1.1Φως-κιρκάδιοι ρυθμοί

Το κιρκάδιο σύστημα θέτει την πλατφόρμα από την οποία οι άνθρωποι λειτουργούν για να εκτελέσουν όλες τις δραστηριότητες[21].Στην ουσία πρόκειται για έναν εσωτερικό μηχανισμό χρονισμού των βιολογικών παραμέτρων(βιολογικό ρολόι). Οι κιρκάδιοι (circadian,από τα λατινικά circa = περίπου και dies=εικοσιτετράωρο/ημέρα _ http://el.glosbe.com/la/el) ρυθμοί είναι βιολογικοί ρυθμοί με περίοδο περίπου 24 ωρών. Παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, επειδή χαρακτηρίζουν το μοτίβο των διακυμάνσεων που παρατηρούνται στην πλειοψηφία των ανθρώπινων φυσιολογικών ρυθμών , όπως η θερμοκρασία του σώματος, ο ύπνος, έκκριση ορμονών, αρτηριακή πίεση κ.ά.[22]. Ο ημερήσιος κύκλος φως – σκοτάδι είναι ένα από τα πιο ισχυρά ερεθίσματα που συμπαρασύρει το κιρκάδιο σύστημα. [21]

Η έκθεση στο φως κατά τη διάρκεια των ωρών που είναι καταγεγραμμένες από το κιρκάδιο σύστημα ως νύχτα («κιρκάδια» νύχτα) μπορεί να προκαλέσει σταδιακή μετατόπιση του κιρκάδιου κύκλου και αύξηση της εγρήγορσης. Η αποδοτικότητά μας κατά τη διάρκεια της «κιρκάδιας» νύχτας είναι χειρότερη από ό,τι κατά τη διάρκεια της «κιρκάδιας» ημέρας λόγω της προσωρινής παύσης λειτουργίας της προσοχής(διαλείψεις-lapses).[21]

Οι κιρκάδιοι ρυθμοί είναι ένα βασικό μέρος της ζωής και συναντάται σε όλα σχεδόν τα φυτά και τα ζώα καθώς και στους ανθρώπους. Ο ρόλος του κιρκάδιου συστήματος είναι η δημιουργία μιας εσωτερικής αναπαράστασης της εξωτερικής νύχτας και μέρας. Αυτή η εσωτερική αναπαράσταση δεν είναι απλώς μια παθητική απόκριση στις εξωτερικές συνθήκες, αλλά είναι δυνατόν να είναι προγνωστική των εξωτερικών συνθηκών. Το ανθρώπινο κιρκάδιο σύστημα περιλαμβάνει τρία συστατικά:

-Έναν εσωτερικό (ενδογενή) ταλαντωτή, που βρίσκεται στον υπερχιασματικό πυρήνα του εγκεφάλου

-έναν αριθμό εξωτερικών ταλαντωτών(εξωγενών) που μπορούν να επαναφέρουν (συμπαρασύρουν) τον εσωτερικό ταλαντωτή και

-μια ορμόνη αγγελιοφόρο, τη μελατονίνη, που φέρει την εσωτερική «χρονική» (δηλαδή, που σχετίζεται με το χρόνο) πληροφορία σε όλα τα μέρη του σώματος μέσω του αίματος. [21]

Εν απουσία φωτός και των άλλων ερεθισμάτων, ο εσωτερικός ταλαντωτής συνεχίζει να λειτουργεί, αλλά με μια περίοδο μεγαλύτερη από είκοσι τέσσερις ώρες. Τα εξωτερικά ερεθίσματα (με τον κύκλο φως - σκοτάδι να αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα όπως ήδη

αναφέρθηκε)είναι απαραίτητα για να τίθεται ο εσωτερικός ταλαντωτής σε μία περίοδο είκοσι τεσσάρων ωρών και να προσαρμόζεται στις εποχές. [21]

Η σύνθεση της μελατονίνης πραγματοποιείται από ερεθίσματα που προέρχονται από τον υπερχιασματικό πυρήνα (ΥΧΠ) κατά τη διάρκεια του σκότους και αναστέλλεται από το περιβάλλον φως το οποίο προσλαμβάνεται από τον αμφιβληστροειδή. Η μελατονίνη δρα σαν ένα ενδογενές σήμα σκότους στον οργανισμό και έτσι αναρρυθμίζει το βιολογικό ρολόι προάγοντας και ρυθμίζοντας διάφορες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, π.χ. τον ύπνο κατά τρόπο φυσιολογικό.[23]

Δυστυχώς, δεν είναι όλοι σε θέση να εργαστούν κατά τη διάρκεια της «κιρκάδιας» ημέρας. Μια σημαντική μειοψηφία των εργαζομένων είναι εργαζόμενοι σε βάρδιες που δραστηριοποιούνται τη νύχτα και ως εκ τούτου, ενδέχεται να προσπαθούν να εργαστούν, ενώ το σώμα τους είναι σε «κιρκάδια» νύχτα. Είναι ενδιαφέρον να εξεταστεί η επίδραση της κατάστασης αυτής στην εκτέλεση της εργασίας. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι η επίδραση της προσπάθειας για εργασία κατά την «κιρκάδια» νύχτα μπορεί να επηρεάσει όλους τους τύπους των εργασιών, όχι μόνο τις εργασίες που κυρίως σχετίζονται με την όραση. Αυτό συμβαίνει επειδή το κιρκάδιο σύστημα επηρεάζει την πλατφόρμα από την οποία λειτουργούμε και κατά συνέπεια επηρεάζει όλα τα τμήματα του εγκεφάλου και του σώματος. Ο Tilley κ.ά (1982) μελέτησαν τις συνήθειες ύπνου και την απόδοση των εργαζομένων σε βάρδιες. Οι εργαζόμενοι που συμμετείχαν στη μελέτη λειτουργούσαν σε εβδομαδιαίο πρόγραμμα με τρεις βάρδιες εναλλάξ. Οι εργαζόμενοι στις νυχτερινές βάρδιες, οι οποίοι έπρεπε να κοιμηθούν κατά τη διάρκεια της ημέρας, είχαν μικρότερη διάρκεια ύπνου υποβαθμισμένης ποιότητας. Ως προς την απόδοσή τους, τόσο ο απλός χρόνος αντίδρασης όσο και ο χρόνος αντίδρασης τεσσάρων επιλογών(four-choice reaction time, χρόνος κατά τον οποίο οι απαιτήσεις για προσοχή είναι αυξημένες καθώς απαιτείται επεξεργασία πληροφοριών) ήταν μεγαλύτεροι κατά τη διάρκεια νυχτερινής βάρδιας σε σχέση με την πρωινή και απογευματινή βάρδια και έτειναν να δείχνουν επιδείνωση όσο αυξανόταν ο αριθμός των ημερών που είχαν νυχτερινή βάρδια, πιθανότατα λόγω συσσώρευσης στέρησης ύπνου που προκλήθηκε από τον κατώτερης διάρκειας και ποιότητας ύπνο κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Σε άλλη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Eastman κ.ά (1994) εξετάστηκε η μετατόπιση της κιρκάδιας φάσης που προκαλείται από την έκθεση σε φως κατά τη διάρκεια της νύχτας και τη χρήση σκούρων προστατευτικών γυαλιών(συγκόλλησης) κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε συνδυασμό με όλους τους δυνατούς τρόπους. Τα αποτελέσματα της μελέτης

αυτής δίνουν έμφαση σε τρία σημεία. Το πρώτο είναι ότι οι τυπικές εντάσεις φωτισμού(δηλαδή 500 lx κατά τη διάρκεια της νύχτας) του συμβατικού εσωτερικού φωτισμού μπορεί να παράγουν μετατοπίσεις φάσης, όταν η παροχή φυσικού φωτός είναι περιορισμένη. Το δεύτερο είναι ότι για να εξασφαλιστεί μία μετατόπιση φάσης, είναι αναγκαίος ο έλεγχος της έκθεσης στο φως σε ολόκληρη την περίοδο των 24 ωρών. Το τρίτο είναι ότι η έκθεση στο φυσικό φως είναι συχνά ο κυρίαρχος παράγοντας στον καθορισμό της φάσης του κιρκάδιου συστήματος.[21]

Ο λόγος για τον οποίο η έκθεση σε φυσικό φως είναι σημαντική είναι ότι συνήθως επιτυγχάνει υψηλό φωτισμό . Επιπλέον, το φάσμα του φυσικού φωτός ταιριάζει καλύτερα με τη φασματική ευαισθησία του ανθρώπινου κιρκάδιου συστήματος σε σχέση με τις συνήθως χρησιμοποιούμενες ηλεκτρικές πηγές φωτός, όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης, φθορισμού και υψηλής πίεσης νατρίου. Αυτό δε σημαίνει ότι ο ηλεκτρικός φωτισμός δεν μπορεί να παρέχει επαρκή φωτισμό στον αμφιβληστροειδή ώστε να παρασύρει το κιρκάδιο σύστημα, απλά επιτυγχάνεται δυσκολότερα. Από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι με δεδομένο έναν αρκετά μεγάλο χρόνο έκθεσης στο τεχνητό φως , οι εντάσεις φωτισμού που επιτυγχάνονται από τις συνήθεις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις φωτισμού μπορούν να είναι επαρκείς ώστε να συμπαρασύρουν το κιρκάδιο σύστημα και μπορεί να αποτελούν το κύριο ερέθισμα συγχρονισμού για τους πληθυσμούς στα βόρεια κλίματα όπου το φυσικό φως είναι περιορισμένο για μακρές περιόδους καθώς και για κατοίκους αστικών περιοχών, με περιορισμένη έκθεση στο φυσικό φως. Η απαιτούμενη διάρκεια έκθεσης στο φως (είτε αυτό είναι φυσικό είτε τεχνητό) ώστε να επιτυγχάνεται συγχρονισμός του κιρκάδιου συστήματος εξαρτάται από την ποσότητα του φωτός, το φάσμα του φωτός και τη διάρκεια της έκθεσης.[21]

Επιπτώσεις του μη συγχρονισμού του κιρκάδιου συστήματος

Η μετατόπιση του κιρκάδιου συστήματος είναι ικανή να επιτρέπει στους ανθρώπους να εργάζονται κατά την «κιρκάδια» νύχτα (Frenchet κ.ά, 1990, Boyce κ.ά , 1997). Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι ο μη συγχρονισμός του κιρκάδιου συστήματος μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στη συμπεριφορά κατά την εργασία. Σύμφωνα με μελέτη των Figueiro κ.ά (2002) οι εργαζόμενοι σε γραφεία με παράθυρα (επαρκές φυσικό φως) είναι αποδοτικότεροι σε σχέση με συναδέλφους τους σε γραφεία χωρίς παράθυρα, γεγονός που πιθανώς σχετίζεται με τους κιρκάδιους ρυθμούς. Οι εργαζόμενοι σε γραφεία χωρίς παράθυρα εμφάνισαν λίγο

μεγαλύτερους χρόνους ομιλίας με τρίτους (αλλά στατιστικά σημαντικούς), είτε άμεσα είτε μέσω τηλεφώνου και μια ελαφρώς μειωμένη (αλλά στατιστικά σημαντική) διάρκεια εργασίας στον υπολογιστή τους, σε σχέση με τους εργαζόμενους στα γραφεία όπου το φυσικό φως ήταν επαρκές. Μια εναλλακτική εξήγηση για τα ευρήματα αυτά είναι ότι οι εργαζόμενοι στα γραφεία χωρίς παράθυρα ζητούσαν επιπλέον βραχυπρόθεσμη τόνωση, κάτι που παρέχεται από τη θέα των γραφείων με παράθυρα και οι διαφορές στη συμπεριφορά δε σχετίζονται με το κιρκάδιο σύστημα. Ανεξάρτητα από το ποια εξήγηση είναι σωστή η παρουσία ενός παραθύρου φαίνεται να παρέχει ένα όφελος όσον αφορά την επιθυμητή συμπεριφορά κατά την εργασία.[21]

Ακόμα, μια απόρροια της μεταβολής φάσεως του εξωτερικού χρονισμού είναι το φαινόμενο του συνδρόμου αλλαγής χρονικής ζώνης(jet lag). Εμφανίζεται όταν αλλάζουμε πολλές χρονικές ζώνες σε σύντομο χρονικό διάστημα και οφείλεται στην αδυναμία του εσωτερικού σηματοδότη να συγχρονιστεί άμεσα με το εξωτερικό ερέθισμα(φως).[22]

Σημαντικές επίσης συσχετίσεις φωτός -ανθρώπινης υγείας έχουν προκύψει από μελέτες που έδειξαν ότι η έλλειψη συγχρονισμού μεταξύ εργασίας -ξεκούρασης και φυσιολογικής εναλλαγής «κιρκάδιας» ημέρας/νύχτας, οδηγεί μακροπρόθεσμα στην αύξηση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, του διαβήτη, της κατάθλιψης και του καρκίνου. [24]

Επιπλέον θετικές επιπτώσεις του φωτός στην ανθρώπινη υγεία

- Η έκθεση σε υψηλές τιμές φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας βελτιώνει τη διάρκεια και ποιότητα του ύπνου [Boyce κ.ά, 2003].

Άτομα με διαταραχές ύπνου (είτε σε διάρκεια είτε σε ποιότητα) μπορούν να θεραπευτούν όταν εκτεθούν - τις κατάλληλες ώρες της ημέρας ανάλογα με την περίπτωση- σε φωτισμό περίπου 10.000lx (αν και ο ακριβής απαιτούμενος φωτισμός και διάρκεια έκθεσης είναι ακόμα υπό διερεύνηση) [Boyce κ.ά, 2003]. [6]

- Τα άτομα που πάσχουν από τη νόσο Αλτσχάιμερ(Alzheimer) μπορούν να βελτιώσουν την όρασή τους καθώς και την ποιότητα του ύπνου τους μέσω της έκθεσης σε φυσικό φως [Boyce κ.ά, 2003].

Οι πάσχοντες από τη νόσο Αλτσχάιμερ έχουν, μεταξύ άλλων, μειωμένες ικανότητες όρασης και διαταραγμένους κιρκαδιανούς ρυθμούς. Το φυσικό φως μπορεί να βελτιώσει την όρασή τους, με την προϋπόθεση ότι δεν προκαλεί θάμβωση. Επίσης, διαταραχές του ύπνου όπως η νυκτοβασία μπορούν να μειωθούν εάν ρυθμιστούν οι κιρκάδιοι ρυθμοί μέσω της έκθεσης,

τις κατάλληλες ώρες της ημέρας, σε έντονο φυσικό φωτισμό [Boyce κ.ά, 2003].[6]

- Η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του αέρα, υγρών και σωματιδιακών υλικών

Η UV ακτινοβολία καταστρέφει αρκετά είδη βακτηρίων, μούχλας, ενζύμων και ιών, πολλά από τα οποία μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στην υγεία του ανθρώπου. Είναι απαραίτητη η προσοχή όταν γίνεται χρήση UV σε αυτές τις περιπτώσεις ώστε να αποφευχθεί πιθανή βλάβη στους ανθρώπους.[22]

1.5.1.2 Φως-βιταμίνη D

Τι είναι η βιταμίνη D

Το ηλιακό φως συνδέεται με την παραγωγή της βιταμίνης D, η οποία ονομάζεται από τους επιστήμονες και "sunshine vitamin".[26] Η βιταμίνη D είναι μια λιποδιαλυτή βιταμίνη η οποία σχηματίζεται στον οργανισμό κυρίως μέσω της απορρόφησης της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας από το δέρμα, αλλά και από ορισμένες τροφές πλούσιες σε βιταμίνη D. Οι δύο μορφές (μεταβολίτες) της βιταμίνης D είναι η εργοκαλσιφερόλη (βιταμίνη D2) η οποία περιλαμβάνεται στις τροφές και η χοληκαλσιφερόλη (βιταμίνη D3) η οποία παράγεται στο δέρμα μέσω της έκθεσής του από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Στην πραγματικότητα όμως δεν πρόκειται για βιταμίνη αλλά για μία προστεροειδή ορμόνη, η οποία έχει άμεση δράση στα γονίδια μας. Το τελικό προϊόν του μεταβολισμού της, η Καλσιτριόλη (1,25-dihydroxyvitamin D), είναι μια σεκοστεροειδής ορμόνη που αλληλεπιδρά με περισσότερα από 2,500 γονίδια στο ανθρώπινο σώμα.[27]

Μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία δύο από τα σπουδαιότερα πανεπιστήμια του κόσμου, του Harvard και του UCLA της Καλιφόρνιας, συμπέρανε ότι η παρουσία της βιταμίνης D είναι απαραίτητη για να μπορούν τα κύτταρα να έχουν πρόσβαση στη «βιβλιοθήκη» του DNA. Στη συγκεκριμένη μελέτη αποδείχθηκε για πρώτη φορά το 2006, ότι ενώ τα λευκά αιμοσφαίρια του οργανισμού έχουν καταγεγραμμένη την πληροφορία στο DNA τους για την αντιμετώπιση του βακίλου της φυματίωσης, δεν μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν χωρίς την παρουσία της βιταμίνης D. [27]

Η πιο γνωστή, μέχρι πρόσφατα, δράση της βιταμίνης D είναι η αύξηση της απορρόφησης του ασβεστίου και του φωσφόρου από το έντερο για τη διαμόρφωση και τη διατήρηση υγιών οστών καθώς και για την ενίσχυση της νευρομυϊκής λειτουργίας. Ακόμη όμως και εάν

υπάρχει μια πλούσια διατροφή σε ασβέστιο, χωρίς ικανοποιητική βιταμίνη D το ασβέστιο δεν μπορεί να απορροφηθεί. Πρόσφατες μελέτες, αλλά και αρκετές άλλες που βρίσκονται σε εξέλιξη, παρουσιάζουν συνεχώς και νέα στοιχεία στα οποία η βιταμίνη D φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική υγεία, επειδή βοηθά στη μείωση των φλεγμονών, στην καλή ρύθμιση και ενδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος, στην ανάπτυξη των κυττάρων και στον έλεγχο του σακχάρου στο αίμα.[27]

Από τον Απρίλιο του 2008, διακεκριμένοι καθηγητές Αμερικανικών Πανεπιστημίων, με ανοιχτή επιστολή τους, καλούσαν την επιστημονική κοινότητα σε δράση για τη διάδοση της επίδρασης της βιταμίνης D, όχι μόνο για την οστεοπόρωση, αλλά και σε μια σειρά άλλων σοβαρών παθήσεων, όπως διαφόρων ειδών καρκίνου, διαβήτη, πολλαπλής σκλήρυνσης και άλλων ασθενειών. Η ενέργεια αυτή είχε την υποστήριξη και από έγκριτες εφημερίδες όπως η Washington Post , αλλά και από διάφορα άλλα άρθρα.[27]

Κίνδυνοι από έλλειψη βιταμίνης D

Η έλλειψη και η ανεπάρκεια της βιταμίνης D έχει συνδεθεί με μια ευρεία ποικιλία χρονίων νόσων , περιλαμβανομένων των συνηθισμένων καρκίνων, των αυτοάνοσων, των λοιμωδών και των καρδιοκυκλοφορικών νόσων(Holic MF. Vitamin D: a D-Lightful health perspective. Nutr Rev. 2008 Oct;66(10 Suppl 2):S182-94).[25]

Διάφορες επιστημονικές μελέτες έχουν συνδέσει την έλλειψη ή την ανεπάρκεια της βιταμίνης D με τις πιο κάτω παθήσεις:

•Στα παιδιά μπορεί να προκαλέσει ραχίτιδα

•Στους ενήλικες μπορεί να έχει επίσης επιπτώσεις στην καλή υγεία των οστών προκαλώντας οστεομαλακία και οστεοπόρωση.

•Η ανεπάρκεια βιταμίνης D, μπορεί να οδηγήσει νεογέννητα και μικρά παιδιά για το υπόλοιπο της ζωής τους με κίνδυνο ανάπτυξης ρευματοειδούς αρθρίτιδας, διαβήτη, πάρκινσον, αλτσχάιμερ, πολλαπλής σκλήρυνσης, φλεγμονές του εντέρου, όλα εξαιτίας της κακής λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος. Σε μία τελευταία έρευνα αποδείχτηκε ότι , παιδιά τα οποία λάμβαναν βιταμίνη D από την ηλικία του ενός έτους, μειώθηκε η πιθανότητα να γίνουν διαβητικοί κατά 80%.

•Άτομα με χαμηλά επίπεδα βιταμίνης D μπορεί να αναπτύξουν καρκίνο του ορθού και εντέρου, του ενδομητρίου, του μαστού, του δέρματος, του παγκρέατος, του προστάτη ή λέμφωμα.

•Χαμηλά επίπεδα βιταμίνης D έχουν συνδεθεί με παράγοντες κινδύνου για καρδιαγγειακές παθήσεις όπως υπέρταση, έμφραγμα του μυοκαρδίου, εγκεφαλική συμφόρηση, καρδιακή ανεπάρκεια καθώς και με διαβήτη. [26],[27]

Πηγές Βιταμίνης D

Ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να συνθέσει το 90% της βιταμίνης D μέσω της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου και μόνο το 10% μέσω των τροφών. Θεωρητικά, η καθημερινή έκθεση στον ήλιο για μερικά λεπτά είναι σε θέση να καλύψει τις ημερήσιες ανάγκες του οργανισμού στη συγκεκριμένη βιταμίνη. Έκθεση στο ηλιακό φως 15-20 λεπτά από τις 10 π.μ. μέχρι τις 2 μ.μ., χωρίς χρήση αντηλιακού, τρεις φορές την εβδομάδα είναι ικανό χρονικό διάστημα ώστε να παράσχει στον οργανισμό την απαιτούμενη ποσότητα βιταμίνης D. [27]

Παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό της βιταμίνης D

Οι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στο σχηματισμό της βιταμίνης D στο δέρμα είναι η συνεχής χρήση ακτινοπροστατευτικών ουσιών(αντιηλιακή προστασία) , το σκούρο φυσικό χρώμα του δέρματος καθώς η μελανίνη δρα σα φίλτρο κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας η μόλυνση της ατμόσφαιρας και η τρύπα του όζοντος . Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή βιταμίνης στο δέρμα είναι η ώρα της ημέρας στην οποία εκτίθεται κανείς στον ήλιο, η εποχή του έτους, το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκεται μια χώρα και το γήρας.[25]

Η ικανότητα της παραγωγής βιταμίνης D από τον οργανισμό μειώνεται με τα χρόνια, με αποτέλεσμα η έλλειψή της να είναι κοινή στις μεγαλύτερες ηλικίες, χωρίς ωστόσο να είναι σπάνιες και οι περιπτώσεις ανεπάρκειας βιταμίνης D και σε νεαρότερα άτομα. Άτομα που ζουν στο βόρειο ημισφαίριο σε περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μεγαλύτερο από 35° διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο για έλλειψη/ανεπάρκεια βιταμίνης D.[27]

Σημερινή κατάσταση

Η ανεπάρκεια της βιταμίνης D λαμβάνει σήμερα διαστάσεις επιδημίας. Υπολογίζεται σήμερα ότι 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι έχουν ανεπάρκεια βιταμίνης D με εμφανής επιπτώσεις τόσο στην υγεία τους όσο και στην ποιότητα της ζωής τους.[27]

1.5.2 Φως και ψυχολογική υγεία

Η έκθεση σε υψηλές τιμές φωτισμού μειώνει τα συμπτώματα της εποχιακής κατάθλιψης [Boyce κ.ά, 2003].

Η εποχιακή κατάθλιψη (γνωστή στα αγγλικά με τον όρο Seasonal Affective Disorder ή απλά SAD) είναι η κατάθλιψη που έχει εποχιακή περιοδικότητα. Συμπτώματα της νόσου αυτής είναι η ενοχική και αυτομομφική σκέψη, διαταραχές όρεξης, διαταραχές συγκέντρωσης, διαταραχές ύπνου, και ενίοτε αυτοκτονικός ιδεασμός. Στα παιδιά και στους ηλικιωμένους αντί για καταθλιπτικό συναίσθημα συχνά υπάρχει εριστικότητα, εκνευρισμός και επιθετικότητα [Λεξικό του Ινστιτούτου Ψυχικής Υγείας Παιδιών και Ενηλίκων]. Υπάρχουν δύο μορφές εποχιακής κατάθλιψης, η χειμερινή και η θερινή, με τη δεύτερη να είναι σαφώς σπανιότερη [Boyce κ.ά, 2003].

Τα ακριβή αίτια της εποχιακής κατάθλιψης παραμένουν άγνωστα. Επιστήμονες την έχουν συσχετίσει με διαταραχές των κιρκαδιανών ρυθμών, με την συγκέντρωση μελατονίνης καθώς και με τη ρύθμιση της ορμόνης σεροτονίνη, παρ' όλα αυτά καμία εξήγηση δεν έχει αποδειχθεί. Το σίγουρο είναι ότι η έκθεση σε δυνατό φως (τιμές φωτισμού στα μάτια περίπου 2.500 – 10.000lx) μειώνει τα συμπτώματα, παρόλο που ο μηχανισμός επιρροής δεν είναι ξεκάθαρος [Boyce κ.ά, 2003].[6]

Βιβλιογραφία 1ου Κεφαλαίου

[1] Δανέζης Μάνος, Θεοδοσίου Στράτος, Το σύμπαν που αγάπησα. Εισαγωγή στην αστροφυσική. Τόμος Α΄. Γ΄ Έκδοση. Εκδόσεις Δίαυλος.

[2] http://gkatsikogiorgos.blogspot.gr
Κατσικογιώργος Λ. Γ., Φυσικός , Msc ‘ Νέες Τεχνολογίες και έρευνες στη διδακτική της Φυσικής’ , «Μια μικρή ιστορία του φωτός»

[3] *micro-kosmos.uoa.gr/gr/publications/articles*/Maxwell_Harvard.*pdf*
Καλκάνης Θεοφ. Γεώργιος, Research Assistant, Harvard University
Τα Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα – Μια Εκπαιδευτική Προσέγγιση της Εφαρμογής των Εξισώσεων Maxwell και της Επιστημονικής / Ερευνητικής Μεθόδου

[4] Baker N., Steemers K., Daylight Design of Buildings, London:James & James Ltd.,2002

[5]R. Helms and M. Belcher, “Lighting for energy efficient luminous environments”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey, 1991.

[6] Μερέση Αικατερίνη. Εξοικονόμηση ενέργειας στη σχολική αίθουσα μέσω του φυσικού φωτισμού. Διδακτορική διατριβή. Επιβλέπων Καθηγητής: Αντωνίου Κ. ,Τμήμα αρχιτεκτόνων της πολυτεχνικής σχολής του ΑΠΘ, 2010 .

[7] Σαμακίδης Δημήτρης, Παραμετρική ανάλυση της επιρροής των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων του κτιριακού κελύφους στη διαμόρφωση των ενεργειακών αναγκών για φωτισμό με σύζευξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Α.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

[8]Δράκου Κατερίνα, Σχεδιασμός Συστήματος Φυσικού και Τεχνητού Φωτισμού σε Θάλαμο Νοσηλείας Νοσοκομείων, Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Α. Τσαγκρασούλης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2007-2008

[9]Tsangrassoulis A. , Synnefa A, Jacobs A., Wilson M., Solomon J., Fontoynont M., Pohl W., Zimmeremann A. , Synthlight Handbook: European Educational Infrastructure on Energy Efficient Lighting Technologies, Assisted by 3D Environments, 2004

[10] Μήτσου Γ., Φωτομετρικά μεγέθη – πολική κατανομή φωτοβολίας
http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf

[11]Εισαγωγή στις ψυχοφυσικές μεθόδους, Σ. Πλαΐνης, ΒΕΜΜΟ, Πανεπιστήμιο Κρήτης

[12]Ιγνατιάδου Βικτωρία Ιωάννη, Η δύναμη του χρώματος στην αντίληψη του τοπίου, μεταπτυχιακή διατριβή ,Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ., Επιβλέπων: Ισπικούδης Ιωάννης, αναπληρωτής καθηγητής

[13] http://users.sch.gr/kassetas/xCOLOR18flags2.htm

[14]http://www.activehealth.gr

[15]Τσιτουρίδου Μελπομένη, Η ορατή πλευρά του χρώματος, Εκδόσεις Τζιόλα).

[16] Πανηγυράκης Γ. Γεώργιος, Η σημασία των τάσεων της μόδας των χρωμάτων, οι κύκλοι ζωής τους και η έγχρωμη διαφήμιση

[17] http://www.flashnews.gr

[18]http://www.newsbomb.gr

[19]http://www.sigmalive.com

[20]http://perierga.gr

[21] Boyce p., Hunter C. , Howlett O. , The benefits of Daylight through windows, Lighting Research Center Rensselaer Polytechnic Institute, New York, September 2003

[22]Δρακόπουλος Πάνος, Σημειώσεις για το μάθημα «Εργονομία και φωτισμός περιβάλλοντος» του Ζ' εξαμήνου των φοιτητών Οπτικής και Οπτομετρίας, ΤΕΙ Αθήνας. Αθήνα Ιανουάριος 2012

[23] http://psi-gr.tripod.com

[24] Αναστασία Χρυσανθακοπούλου ,Οι επιδράσεις του ηλιακού φωτός στον ύπνο
www.flashlight.gr.

[25]http://www.pharmagel.gr

[26] http://flashlight.gr.Ηλιακό φως και βιταμίνη

[27]http://www.chem-lab.com.cy/el/themata-ygeias/bitaminh-bitaminh-hlioy

[28] F. Birren, “Light, Colour and Environment”, Van Nostrand Reinhold, N.Y., 1988.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ-ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΟΣ

2.1.1 Θέματα περιβαλλοντικού σχεδιασμού-ηλιακή γεωμετρία

Ο υπολογισμός της ηλιακής πρόσπτωσης, ο προσδιορισμός της ηλιακής πρόσβασης, η ερμηνεία κλιματικών συνθηκών και ο σχεδιασμός ηλιοπροστασίας σχετίζονται άμεσα με την ηλιακή γεωμετρία, τη μελέτη δηλαδή της θέσης του ήλιου σε σχέση με δεδομένο σημείο κατά ορισμένο χρονικό διάστημα.

Η ηλιακή γεωμετρία συνδέεται με τις δύο κύριες κινήσεις της γης ,την ημερήσια περιστροφή γύρω από τον άξονα Β-Ν και την ετήσια γύρω από τον ήλιο.

Η γη κινείται γύρω από τον ήλιο σε ελλειπτική τροχιά (με τον ήλιο στη θέση μιας εστίας) και με μεταβλητή ταχύτητα (ανάλογα με την απόστασή της από τον ήλιο). Για απλότητα η τροχιά (εκλειπτική) θεωρείται κυκλική με σταθερή ταχύτητα και με τον ήλιο στο κέντρο της. Λόγω της μεγάλης ακτίνας της εκλειπτικής (περίπου 150000000 km), οι ηλιακές ακτίνες που φτάνουν στη γη είναι σχεδόν παράλληλες (στην πραγματικότητα σχηματίζουν γωνία μικρότερη από 0.5°).[1]

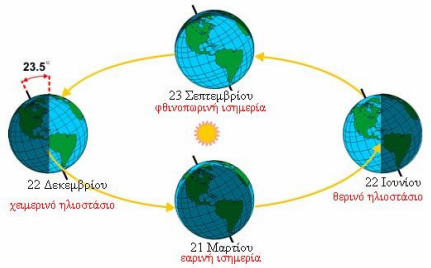
Ο άξονας Β-Ν της γης αποκλίνει από την κάθετο στο επίπεδο της εκλειπτικής κατά σταθερή γωνία 23.5°. Οι διαδοχικές θέσεις του άξονα Β-Ν στο διάστημα ορίζουν ένα λοξό κύλινδρο με άξονα την ευθεία ήλιου-πολικού αστέρα. Έτσι η γωνία μεταξύ του άξονα Β-Ν και των ηλιακών ακτίνων (απόκλιση)μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους από 90° + 23.5°= 113.5° έως 90°-23.5°=66.5°[1]

Ορισμένες στιγμές του έτους η απόκλιση της γης έχει ειδικές τιμές[1]:

- Στις 21/12 έχει τη μέγιστη τιμή (Χειμερινό Ηλιοστάσιο) και
- στις 21/6 την ελάχιστη (Θερινό Ηλιοστάσιο)
- Στις 21/3 και 23/9 είναι 90° (Εαρινή & Φθινοπωρινή Ισημερία)

(στη βιβλιογραφία συχνά συναντάται η 22/12 αντί της 21/12 και η 22/6 αντί της 21/6)

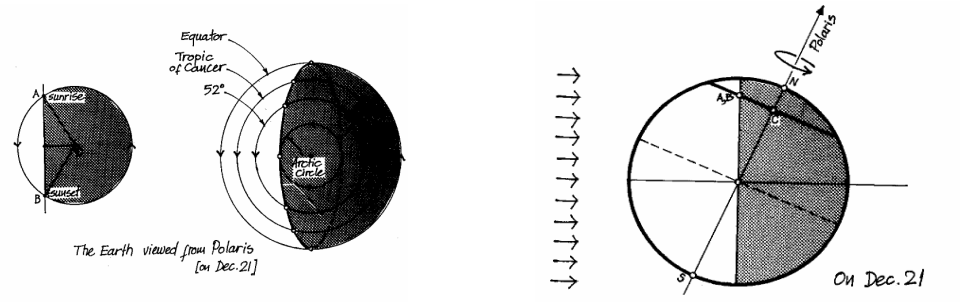
Η αυξομείωση της απόκλισης μεταβάλλει την κατανομή της ηλιακής πρόσπτωσης στην επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα την εναλλαγή των εποχών που εμφανίζονται στο βόρειο & νότιο ημισφαίριο κατά αντίστροφο τρόπο.



Σχήμα 2.1:Ηλιοστάσια και ισημερίες

Η διάρκεια της ημέρας διαφέρει σε κάθε γεωγραφικό πλάτος επειδή ποικίλλει το τμήμα κάθε παραλλήλου μέσα στο φωτεινό ημισφαίριο της γης. Για παράδειγμα, στις 21/12 ένα σημείο σε βόρειο παράλληλο διαγράφει μικρότερο τόξο στη φωτεινή πλευρά από ότι στη σκοτεινή, άρα η ημέρα διαρκεί λιγότερο από τη νύχτα. Την ίδια ημέρα, προχωρώντας προς τον ισημερινό η αναλογία φωτεινού-σκοτεινού τόξου αλλάζει, με αποτέλεσμα να αλλάζει και η διάρκεια της ημέρας[1].

Κατά τις δύο ισημερίες, ημέρα και νύχτα έχουν την ίδια διάρκεια σε όλα τα πλάτη.

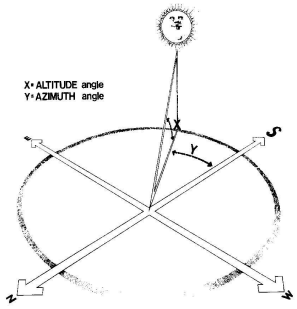


Σχήμα 2.2 : Αριστερά η διάρκεια της ημέρας στις 21/12 για το Βόρειο ημισφαίριο και δεξιά και για τα δύο ημισφαίρια-Πηγή: Στασινόπουλος Ν. Θάνος

2.1.2 Θέση του ήλιου στον ουρανό-Παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο περιγράφεται από τις ηλιακές γωνίες. Οι ηλιακές γωνίες είναι ένα ζεύγος γωνιακών μεταβλητών(ηλιακό υψόμετρο και ηλιακό αζιμούθιο)που ορίζουν τη φαινόμενη θέση του ήλιου στη δεδομένη στιγμή.

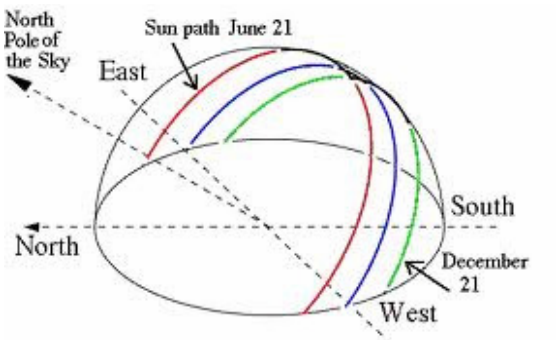
- ***ηλιακό υψόμετρο*** είναι η γωνία μεταξύ μιας ακτίνας και της οριζόντιας προβολής της. Τα σημεία του ορίζοντα έχουν υψόμετρο 0°, ενώ το υψόμετρο του ζενίθ είναι 90°.
- ***ηλιακό αζιμούθιο*** Το αζιμούθιο είναι η γωνία της οριζόντιας προβολής της ακτίνας και της διεύθυνσης που λαμβάνεται ως αφετηρία. Μετράται στο οριζόντιο επίπεδο δεξιόστροφα, με αφετηρία το Βορρά ή το Νότο, ανάλογα με την επιλεγμένη σύμβαση.[1]



Σχήμα 2.3: Ηλιακό υψόμετρο και ηλιακό αζιμούθιο

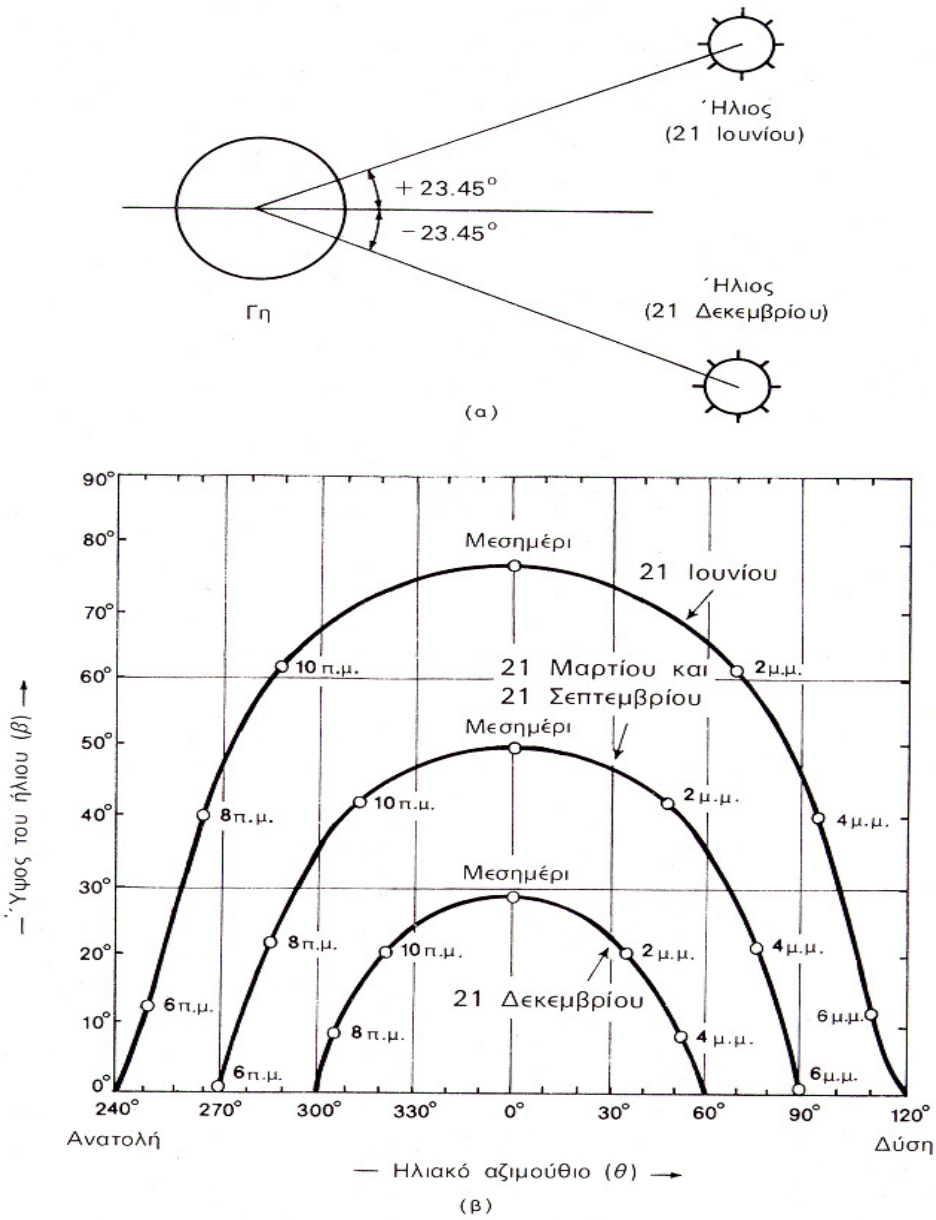
2.1.3 Ηλιακή τροχιά- Ηλιακά διαγράμματα

Η ηλιακή τροχιά του ήλιου είναι μία καμπύλη στον ουράνιο θόλο που σχηματίζεται από τις διαδοχικές φαινόμενες θέσεις του ήλιου κατά την κίνησή του από την ανατολή στη δύση. Αν απεικονίσουμε την τροχιά του Ήλιου όπως φαίνεται από τα σημεία συγκεκριμένου γεωγραφικού πλάτους σε επιλεγμένες ημέρες προκύπτουν τα ηλιακά διαγράμματα, χάρτες δηλαδή του ουράνιου θόλου που προσφέρουν μια γρήγορη εικόνα των ηλιακών κινήσεων στη διάρκεια ολόκληρου του έτους. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με παρόμοιες γραφικές μεθόδους στη μελέτη του ηλιασμού.[1]



Ηλιακή τροχιά κατά τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο (http:// www spof.gsfc.nasa.gov/stargaze/Ssky.htm)

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τα προηγούμενα το προφανέστερο χαρακτηριστικό της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ότι η ενέργεια της παρουσιάζει μια μεγάλη χρονική διακύμανση μεταξύ μιας μέγιστης τιμής κατά τη διάρκεια των ευνοϊκότερων συνθηκών της ημέρας και της μηδενικής τιμής που αποκτά τη νύχτα. Επιπλέον υπάρχει μια σημαντική διακύμανση ανάλογα με την εποχή του χρόνου, όπως και ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Στον ισημερινό είναι τριπλάσια από ότι στις βορειότερες χώρες, στη βόρεια Ευρώπη το χειμώνα είναι το 1/10 του καλοκαιριού, ενώ στον ισημερινό διαφέρει κατά ένα λόγο δύο(2). Επίσης υπάρχει διακύμανση και στη σχέση της έμμεσης προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία π.χ. στη Μεγάλη Βρετανία το χειμώνα η έμμεση είναι το 85 % της ολικής ακτινοβολίας.[7]



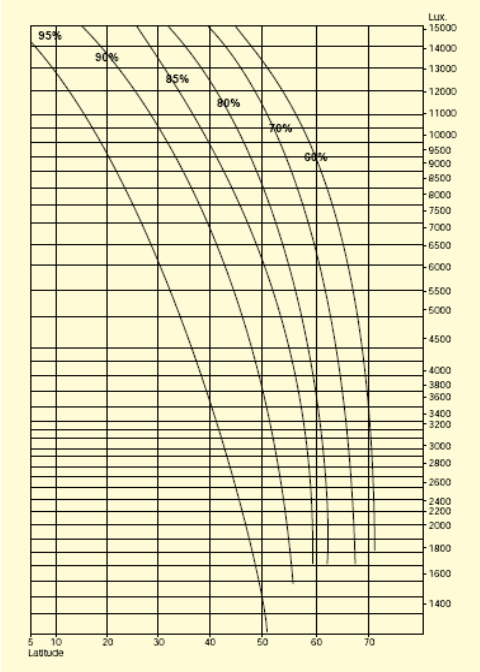
Σχήμα 2.4: *Η μεταβολή της απόκλισης και η επίδρασή της στην τροχιά του ήλιου στον ουρανό.*
(α) Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο.
(β)Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στον ουρανό στη διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες, σε τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος βόρειο 38º, όπως της Αθήνας. Οι ενδείξεις του μεσημεριού και των ωρών της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές.[2]

2.1.4 Συνιστώσες φυσικού φωτός και φωτεινότητα ουράνιου θόλου

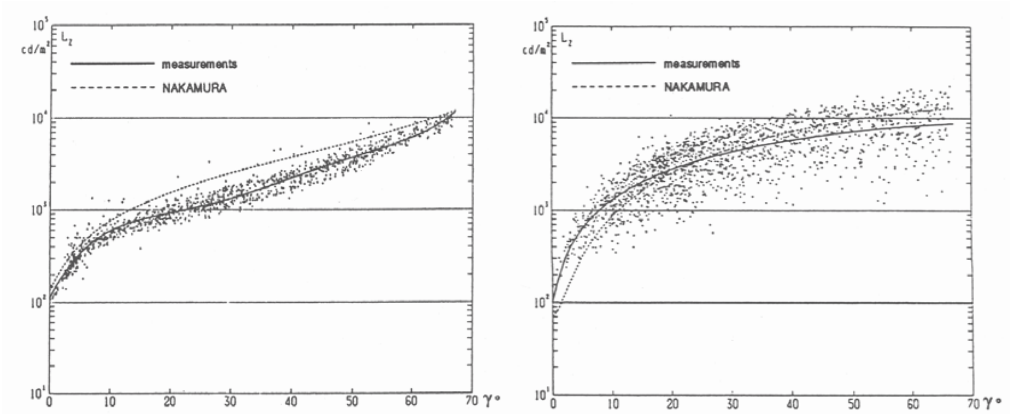
Το φυσικό φως που δέχεται μια επιφάνεια, στην ύπαιθρο ή μέσα σε κάποιο κτίριο, μπορεί να είναι άμεσο φως από τον ήλιο ή διάχυτο φως από τον ουράνιο θόλο. Η ποσότητά του εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος και τους κυρίαρχους τύπους ουρανού στη συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης, εξαρτάται, σε μικρότερο βαθμό, από την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρούς και στερεούς ρύπους [Baker & Steemers, 2002 : 31].

Επιπλέον, κατά κανόνα ο συνολικός φωτισμός, από άμεσο και έμμεσο ηλιακό

φως, αυξάνεται όσο μεγαλώνει το ηλιακό ύψος (σχήμα 2.6) λόγω του ότι μειώνεται η απόσταση που έχει να διανύσει η ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα [Baker & Steemers, 2002 : 32,33],[4].



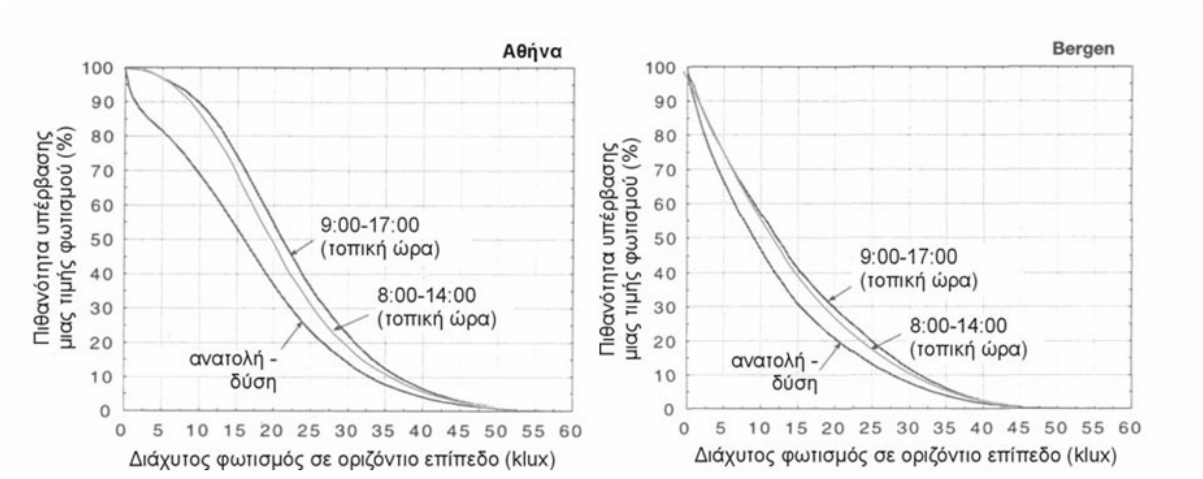
Σχήμα 2.5: Διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός στην ύπαιθρο, ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου. Πηγή: European Commission, 1994 : 4. Αρχική πηγή: CIE, 1970



Σχήμα 2.6: Τιμές λαμπρότητας στο ζενίθ του ουράνιου θόλου ως συνάρτηση του ηλιακού ύψους, για καθαρό και νεφοσκεπή ουρανό, σύμφωνα με τον Nakamura. Πηγή: Baker et al, 1993:3.5

Ισχύει ότι τοποθεσίες με μικρότερο γεωγραφικό πλάτος δέχονται περισσότερο φως από αυτές με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος ,τόσο σε επίπεδο στιγμιαίων τιμών, όσο και σε επίπεδο αριθμού εργάσιμων ωρών που αξιοποιούν τη διαθεσιμότητα σε φυσικό φως ([18]Baker & Steemers,2002 : 33). Παρόλο που το ετήσιο άθροισμα των ωρών με φυσικό φως είναι το ίδιο για κάθε τοποθεσία στον πλανήτη, η ύπαρξη φυσικού φωτός στις 12:00 το βράδυ είναι ουσιαστικά άχρηστη όταν οι εργάσιμες ώρες είναι π.χ. μεταξύ 9:00 και 18:00. Από τα διαγράμματα του σχήματος 2.7 προκύπτει, για παράδειγμα, ότι στην Αθήνα το 80% των εργάσιμων ωρών μεταξύ 8:00 και 14:00

αξιοποιεί εξωτερικά επίπεδα φωτισμού της τάξεως των 13.500lx περίπου, ενώ το 80% των αντίστοιχων ωρών στο Bergen της Νορβηγίας αξιοποιεί φωτισμό της τάξεως των 4.000lx περίπου.[4]

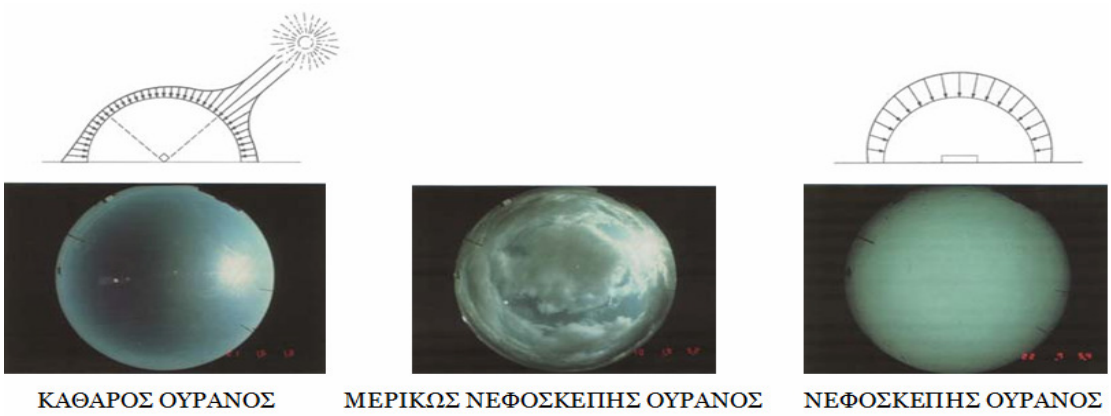


Σχήμα 2.7: Πιθανότητες υπέρβασης ορισμένων τιμών φωτισμού σε οριζόντιο επίπεδο στη διάρκεια ενός χρόνου. Αριστερά η περίπτωση της Αθήνας και δεξιά η περίπτωση της πόλης Bergen στη Νορβηγία.
Πηγή: μετάφραση από Baker & Steemers, 2002 : 33

Η φωτεινότητα του ουράνιου θόλου εξαρτάται από μετεωρολογικές, εποχιακές και γεωμετρικές παραμέτρους που είναι αρκετά δύσκολα να τυποποιηθούν και να κωδικοποιηθούν. Πολλοί ερευνητές και επιστήμονες δημιούργησαν τα δικά τους μοντέλα για την περιγραφή και την κατανομή της φωτεινότητας του ουρανού, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, δημιουργώντας μια συγκεχυμένη κατάσταση ως προς την ακρίβεια του κάθε μοντέλου. Για αυτό το λόγο η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού(CIE) κατά καιρούς θεσμοθέτησε και προτυποποίησε κάποιους τύπους ουρανού, όπως έγινε με τη δημοσίευση CIE 110-1994 Spatial Distribution-Luminance Distributions of Various Reference Skies που όρισε τον πρότυπο αίθριο και τον πρότυπο νεφοσκεπή ουρανό. Η αύξηση των απαιτήσεων και η εξέλιξη της τεχνολογίας και της υπολογιστικής δύναμης οδήγησε στην αναθεώρηση της οδηγίας αυτής, με την πρόταση της χρήσης του γενικού ουράνιου θόλου. Ο γενικός ουρανός περιγράφεται από την οδηγία CIE S 011/E : Spatial Distribution of Daylight-CIE Standard General Sky. Το πρότυπο αυτό περιγράφει 16 διαφορετικούς τύπους ουρανών, ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες, μέσα στους οποίους περιλαμβάνεται ο πρότυπος νεφοσκεπής ουρανός κατά CIE (CIE Standar Overcast Sky). Τα μοντέλα των ουρανών περιγράφονται από πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις όμως η χρήση ηλεκτρικών υπολογιστών μπορεί να κάνει τη χρήση τους πολύ πιο απλή.[5]

Η διαφορά του πρότυπου νεφοσκεπή και αίθριου ουρανού έγκειται στη μεταβολή της φωτεινότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα, στο νεφοσκεπή ουρανό θεωρείται ότι η φωτεινότητα του ουρανού δε μεταβάλλεται για διαφορετικές γωνίες αζιμούθιου, αλλά μόνο για διαφορετικό ύψος. Στο ζενίθ του, η φωτεινότητα είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από τη φωτεινότητα στα σημεία του ορίζοντα(Egan et Olgyay,2002). Αντίθετα, στον αίθριο ουρανό, η φωτεινότητα επηρεάζεται τόσο από τη γωνία ύψους του, όσο και από τη γωνία αζιμούθιου κάθε σημείου του σε σχέση με τη θέση του ήλιου. Η πιο φωτεινή περιοχή του είναι γύρω από τον ήλιο και η πιο σκοτεινή είναι η αντιδιαμετρική αυτής της περιοχής. [5]

Για τον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων, ισχύει γενικά η παραδοχή πως ένας χώρος ο οποίος φωτίζεται ικανοποιητικά(σε ποσότητα και ποιότητα)κάτω από συνθήκες νεφοσκεπούς και καθαρού ουρανού, θα λειτουργεί ικανοποιητικά και για κάθε ενδιάμεση συνθήκη και κατάσταση ουρανού.[8]



Σχήμα 2.8: Φωτογραφίες του ουράνιου θόλου που εμφανίζουν την κατανομή λαμπρότητας σε τρεις περιπτώσεις.-Πηγές: Baker & Steemers, 2002 : 34 και Lechner, 2001 : 366 [9]

2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Η ανάγκη για ακριβείς μεθόδους σχεδιασμού του φυσικού φωτισμού (ΦΦ) των κτιρίων, για λόγους υγείας, ασφάλειας και καλύτερης απόδοσης έχει αρχίσει σταδιακά να αναγνωρίζεται στην Ευρώπη. Στη χώρα μας η αφορμή δόθηκε κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης στη δεκαετία του 1970. Προς το τέλος αυτής της δεκαετίας δημιουργήθηκε η τάση για παθητικό ηλιακό σχεδιασμό , η ονομαζόμενη " βιοκλιματική αρχιτεκτονική" (σήμερα αποτελεί υποσύνολο της οικολογικής αρχιτεκτονικής).Έτσι πέρα από την εμπειρία που αποκτήθηκε από εφαρμογές και έρευνα στον κτιριακό σχεδιασμό, η τάση αυτή βοήθησε στον επαναπροσδιορισμό της συνεργασίας του με το άμεσο περιβάλλον του.[19]

Όμως το φυσικό φως και ιδιαίτερα ο ηλιασμός θεωρήθηκε κυρίως σαν πηγή ενέργειας. Η σημασία της παροχής ενός εσωτερικού περιβάλλοντος, που θα ικανοποιούσε τόσο ενεργειακές ανάγκες όσο και ανάγκες ποιοτικού φυσικού φωτισμού (οπτική άνεση) και τα οφέλη από τη συνδυασμένη τους χρήση υποτιμήθηκαν και παρέμειναν ανεκμετάλλευτα. Η απλή αντικατάσταση των τεχνητών πηγών φωτισμού με φυσικές για τη στείρα εξοικονόμηση ενέργειας είναι λανθασμένη οικονομία. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως για τα πρώτα δέκα χρόνια λειτουργίας ενός γραφείου μόνο το 15% του συνολικού κόστους αφορά σε έξοδα λογαριασμών και συντήρησής του(κατανάλωση ενέργειας-επισκευές), ενώ το 85% είναι οι μισθοί του προσωπικού , που εργάζονται εκεί. Είναι λοιπόν άστοχο να μεριμνά κανείς για τη μείωση του 15% παρέχοντας ένα περιβάλλον, στο οποίο οι χρήστες του χώρου, που αντιπροσωπεύουν το 85% των εξόδων λειτουργίας, να μην αποδίδουν ανάλογα, αισθανόμενοι πως διαβιούν σε ένα χώρο με μειωμένα περιβαλλοντικά standars.[19]

Ο φυσικός φωτισμός προσφέρει δύο δυνατότητες[20]:

- Εξοικονόμηση ενέργειας με την ορθή συνύπαρξη του με τον τεχνητό φωτισμό και
- Ψυχολογικά οφέλη στους χρήστες των εσωτερικών χώρων

Οι δύο αυτές δυνατότητες είναι άμεσα συνυφασμένες μια και ο φυσικός φωτισμός ανταποκρίνεται στο "ανθρώπινο κόστος" του φωτισμού. Η ικανότητα του χρήστη, η παραγωγικότητά του και η αίσθηση πως εργάζεται κάτω από συνθήκες με υψηλές προδιαγραφές (standards) έχουν άμεση σχέση με την ποιότητα του φωτισμού του εσωτερικού χώρου και το βαθμό ελέγχου και ευελιξίας που ο τελευταίος παρέχει. Τα υπάρχοντα οικονομικά μοντέλα αδυνατούν να περιγράψουν και κατά συνέπεια να εκτιμήσουν με ακρίβεια τη χρήση του φυσικού φωτισμού στον κτιριακό σχεδιασμό, δηλαδή τη σχέση της παροχής ποιοτικά καλύτερου περιβάλλοντος εργασίας και της απόδοσης εργαζομένων[20].

Η εξέταση του προβλήματος του φυσικού φωτισμού των κτιρίων παρουσιάζει δύο αντιτιθέμενους παράγοντες. Από τη μία είναι αναγκαίο να υπάρχει αρκετό φως, ώστε οι χρήστες να βλέπουν άνετα το επίπεδο εργασίας χωρίς να καταπονούν την όρασή τους. Από την άλλη, θα πρέπει να αποφεύγεται το υπερβολικό φως, ιδιαίτερα αυτό που προέρχεται από πολύ μεγάλα ανοίγματα. Τέτοιου είδους διαμορφώσεις στις φωτιστικές επιφάνειες προκαλούν το φαινόμενο της θάμβωσης (discomfort, disability glare), τόσο από την έκθεση σε εκτεταμένα τμήματα του ουράνιου θόλου, όσο και από την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα, η τελευταία, και μάλιστα τους καλοκαιρινούς μήνες, κάνει ακόμα και αδύνατη την παρουσία σε θέσεις κοντά στις φωτιστικές επιφάνειες.[20]

Τα παραπάνω προβλήματα έχουν τελευταία ενταθεί τόσο λόγω της αλόγιστης κατασκευής κτιρίων με πλήρη κάλυψη των όψεων από απροστάτευτα από τον ήλιο και το υπερβολικό φως υαλοπετάσματα (100% glazed and sealed buildings), όσο και λόγω της ευρέως διαδεδομένης χρήσης υπολογιστών σε όλους σχεδόν τους χώρους εργασίας, συνδιαλλαγών, εκπαίδευσης κ.λ.π.[20]
Πρέπει λοιπόν να διερευνώνται κάθε φορά οι παράγοντες εκείνοι, που θα εξασφαλίσουν τόσο τα αναγκαία επίπεδα φωτισμού(ποσότητα),όσο και την ικανοποιητική διανομή του χωρίς τα ανεπιθύμητα προβλήματα της άμεσης και της εξ ανακλάσεως θάμβωσης (ποιότητα).[8]

2.2.1 Ποσοτικά κριτήρια - Συντελεστής Φυσικού Φωτός (DF)

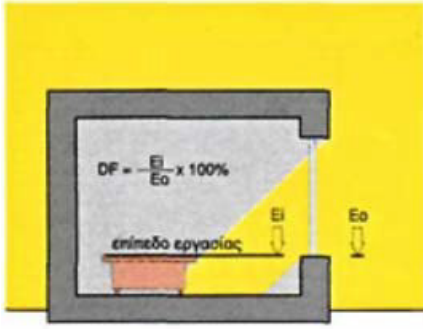
Τα ποσοτικά κριτήρια του φωτισμού στα κτίρια αναφέρονται στις τιμές φωτισμού (lx) (αφορά περισσότερο στον τεχνητό φωτισμό) ή στο Συντελεστή Φυσικού Φωτισμού(%) συνήθως στο επίπεδο εργασίας, δηλαδή σε ύψος 70-80 εκ. από το δάπεδο.[4]
Ο υπολογισμός του εσωτερικού φυσικού φωτισμού με φωτομετρικούς όρους (lm/m^2 ή lux) είναι πολύ δύσκολος λόγω της συνεχώς μεταβαλλόμενης έντασης του εξωτερικού φωτισμού.

Ο παράγοντας(ή συντελεστής) φυσικού φωτός, DF(Daylight Factor) ή ΣΦΦ(Συντελεστής Φυσικού Φωτός), ισούται με το λόγο του φωτισμού που δέχεται ένα σημείο του εσωτερικού χώρου(Ei), συνήθως στο ύψος του επιπέδου εργασίας, προς τον αντίστοιχο(την ίδια χρονική στιγμή) φωτισμό σε εξωτερικό ανεμπόδιστο σημείο (Eo) σε συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, εκφρασμένος επί τοις εκατό:

$$DF = \frac{Ei}{Eo} * 100(\%)$$

Υπό καθαρό ουρανό, η παραπάνω έννοια του παράγοντα φυσικού φωτός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο σχεδιασμού αφού ποικίλλει σημαντικά κατά τη διάρκεια της

ημέρας[7]. Στην Ελλάδα λόγω των επικρατουσών συνθηκών νέφωσης η έννοια Daylight Factor γίνεται χρήσιμη μόνο σαν ″ στιγμιαία ″ περιγραφή του φαινομένου αφού λόγω του ήλιου ή των νεφών η σχέση φωτισμός στο εσωτερικό-φωτισμός στη θέση αναφοράς έξω είναι δυναμική και όχι στατική όπως συμβαίνει , για παράδειγμα σε χώρες της βορείου Ευρώπης.[20]



Σχήμα 2.9: Ο Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού ισούται με Ei / Eo x 100 %

Ο Σ.Φ.Φ. είναι πάντοτε σταθερός για ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου (είτε ο χώρος είναι στο Όσλο είτε στην Αθήνα), αφού όσο αυξάνεται ο αριθμητής αυξάνεται και ο παρονομαστής. Στην ουσία, ο Σ.Φ.Φ. εκφράζει τη γεωμετρία και τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά ενός χώρου.

Ο παράγοντας φυσικού φωτός σε ένα σημείο εξαρτάται από:

- το φως που προέρχεται απευθείας από τον ουρανό- ουράνια συνιστώσα(sky component)
- το φως που προέρχεται από ανάκλαση σε εξωτερικές επιφάνειες-εξωτερική ανακλώμενη συνιστώσα (externally reflected component)
- το φως που προέρχεται από ανάκλαση σε εσωτερικές επιφάνειες-εσωτερική ανακλώμενη συνιστώσα(internally reflected component)

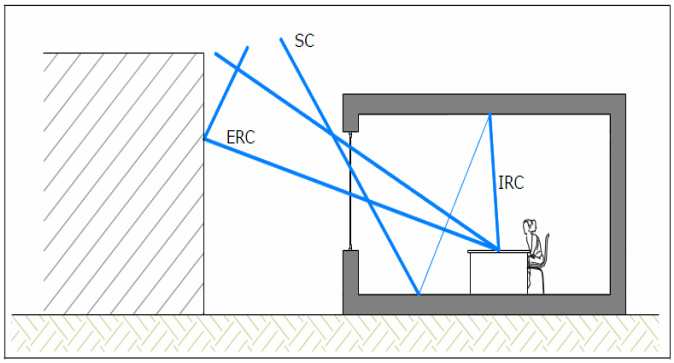
Η **ουράνια συνιστώσα** ή **άμεση συνιστώσα** (**SC**) αντιστοιχεί στη φωτεινή ακτινοβολία που προέρχεται άμεσα από το ορατό, μέσω του παραθύρου, τμήμα του ουρανού και εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης του φωτός, από το μέγεθός του ανοίγματος (ύψος και πλάτος), από τα εμπόδια που προσδιορίζουν το ορατό τμήμα του ουρανού και από τις φωτομετρικές ιδιότητες του διαφανούς υλικού.

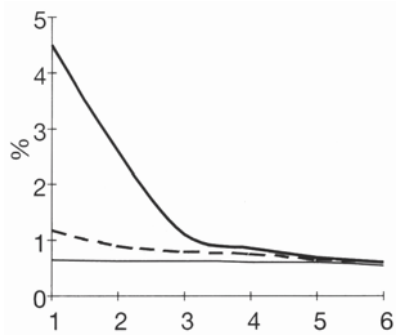
Η **εξωτερική ανακλώμενη συνιστώσα** (**ERC**) αντιστοιχεί στη φωτεινή ακτινοβολία που προέρχεται, κατόπιν ανάκλασης, από το ορατό τμήμα των επιφανειών του περιβάλλοντα

χώρου και εξαρτάται από την ανακλαστική ικανότητα των επιφανειών αυτών, δηλαδή το χρώμα και την υφή τους.

Η **εσωτερική ανακλώμενη συνιστώσα** (**IRC**) αντιστοιχεί στη φωτεινή ακτινοβολία που προέρχεται από διαδοχικές ανακλάσεις στις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου και εξαρτάται από τη γεωμετρία του εσωτερικού χώρου, και την ανακλαστική ικανότητα αυτών των επιφανειών.

Σε ένα τυπικό χώρο με εξωτερικά εμπόδια, η συνεισφορά του εσωτερικά ανακλώμενου φωτός είναι ίδια σε όλο το βάθος του χώρου. Η συνεισφορά του εξωτερικά ανακλώμενου φωτός και αυτού που προέρχεται απευθείας από τον ουρανό μειώνονται όσο αυξάνει η απόσταση από το παράθυρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10β.
Πηγές :[4],[15], [3], [18]





Σχήμα 2.10. α)Οι συνιστώσες της φωτεινής ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα σημείο στον εσωτερικό χώρο
β)Η σχετική συνεισφορά του φωτός από τον ουρανό, καθώς και του εξωτερικά και του εσωτερικά ανακλώμενου, στο φωτισμό ενός τυπικού χώρου με εξωτερικό εμπόδιο.
Πηγή: Baker & Steemers, 2002 : 58, 59

Μέθοδος Λ

Είναι μια μέθοδος σημειακού υπολογισμού του παράγοντα φυσικού φωτισμού(DF) σε 3 στάδια. Υπολογίζονται οι τρεις συνιστώσες του φυσικού φωτισμού σε κάθε σημείο και προστίθενται. Βασίζεται στον τύπο:

DF(P)=SC(P)+ERC(P)+IRC(P)

Για τον υπολογισμό των SC, IRC και ERC η μέθοδος Λ συνοδεύεται από πίνακες ή διαγράμματα ή Νομογραφήματα. Συνοδεύεται επίσης από πίνακες με διορθωτικούς συντελεστές για τους διάφορους τύπους υαλοπινάκων, σκιασμό από κουφώματα, σκιασμό

από εμπόδια αναλόγως της γωνίας σκιασμού και του είδους της φωτεινής πηγής (κατακόρυφη, οριζόντια, κεκλιμένη).[10]

Συνήθως, σε ποσοστό 80%, στα περισσότερα κτίρια ο παράγοντας φυσικού φωτός στην περιοχή του δαπέδου είναι της τάξεως του 0-5%. Κοντά στα παράθυρα, ωστόσο μπορεί να φτάσει το 10-15%. Οι τιμές των παραγόντων, επομένως, αποτελούν τον οδηγό για να επιτευχθεί η λαμπρότητα (brightness) σε ένα δωμάτιο από το φυσικό φως.[7]
Η ταξινόμηση της φωτεινότητας των ζωνών του με βάση τις τιμές των παραγόντων φυσικού φωτός δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

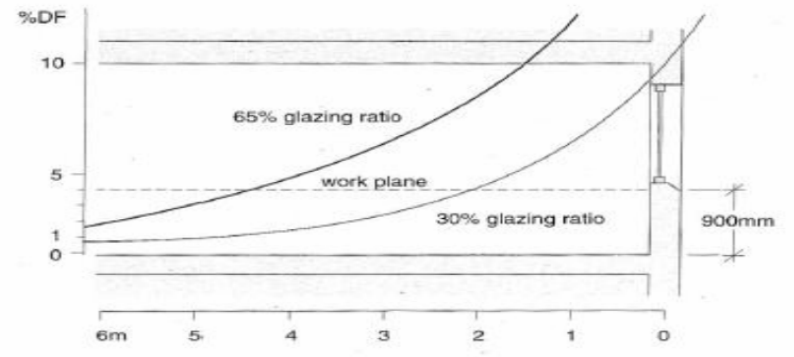
Ζώνη	**DF (Νότια Ευρώπη)**	**DF (Βόρεια Ευρώπη)**	**Συνεισφορά φυσικού φωτός**
Φωτεινή	> 3%	> 6%	Πολύ μεγάλη (Ηλιακή σκίαση πιθανότατα απαραίτητη)
Μέσης φωτεινότητας	1.5 - 3%	3 - 6%	Καλή. Φωτεινά. Απαιτείται ηλιακή σκίαση
Μέσης σκοτεινότητας	0.5 - 1.5%	1 - 3%	Εύλογη
Σκοτεινή	0.1 - 0.5%	0.2 - 1%	Ανεπαρκής για εργασία (απαιτείται τεχνητό φως τον περισσότερο χρόνο). Μπορεί να είναι αποδεκτή για ορισμένες κυκλοφορίες.
Πολύ Σκοτεινή	< 0.05%	< 0.1%	Καθόλου φυσικό φως / απαιτείται τεχνητό φως όλη την ημέρα

Πίνακας 2.1: Μέσοι παράγοντες φυσικού φωτός σε επίπεδο εργασίας και η σχετική συνεισφορά φυσικού φωτός –Πηγή: Synthlight Handbook μετά από τροποποίηση

Γενικός κανόνας:
"Ένα καλά φυσικά φωτισμένο κτίριο παίρνει παντού μέσα φυσικό φως : ο Παράγοντας φυσικού φωτός για το επίπεδο αναφοράς είναι πάντα μεγαλύτερος από 0,1% (0,2% στη Βόρεια Ευρώπη). Στους χώρους κυκλοφορίας , ο Παράγοντας Φυσικού Φωτός είναι μεγαλύτερος από 0,3% (0,6% στη Βόρεια Ευρώπη) και σε περιοχές που διεξάγονται εργασίες (ανάγνωση, γραφή, μαγείρεμα κλπ.) ο Παράγοντας Φυσικού Φωτός πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1,5% (3% στη Βόρεια Ευρώπη). Χώροι με Συντελεστή Φυσικού Φωτός που υπερβαίνει το 3% (6% στη Βόρεια Ευρώπη) θα εμφανίζονται ως έντονα σχετιζόμενοι με το εξωτερικό περιβάλλον .[7]

Στο διάγραμμα του σχήματος 2.11 φαίνεται η διακύμανση του συντελεστή φυσικού φωτός (Σ.Φ.Φ ή DF) για μια φωτισμένη πλευρά δωματίου. Σε ένα δωμάτιο με 3 m ύψος, σε μια απόσταση μεγαλύτερη από 6 m από το παράθυρο ο συντελεστής φυσικού φωτός στο επίπεδο εργασίας θα μειωθεί κάτω από 1% που θα είναι ένα χαμηλό όριο για πολλές χρήσεις.

Αυξάνοντας την επιφάνεια των υαλοπινάκων πάνω από το 40% της επιφάνειας των τοίχων θα αυξηθεί ο ελάχιστος Σ.Φ.Φ. αλλά ταυτόχρονα θα οδηγήσει και σε μία μη αποδεκτή χαμηλή αναλογία. Επιπλέον, εάν ένα κτίριο έχει βάθος μεγαλύτερο από 12 m, οι εσωτερικές κεντρικές ζώνες σε απόσταση μεγαλύτερη των 6 m από τις πλευρές θα χρειάζονται μόνιμα τεχνητό φωτισμό .Εάν στο κτίριο υπάρχουν ανοίγματα οροφής ή αίθριο δεν υφίσταται το παραπάνω πρόβλημα.[9]

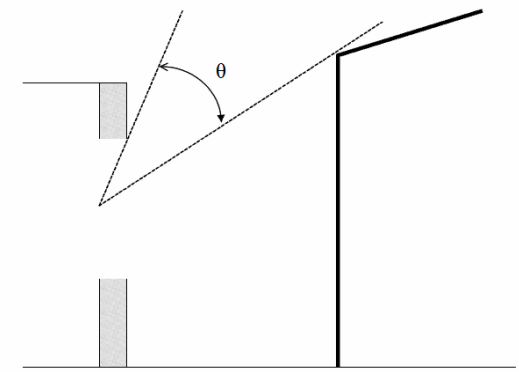


Σχήμα 2.11: Διακύμανση του ΣΦΦ σε ένα δωμάτιο για αναλογία επιφανειών υαλοπίνακα προς τοίχο 30% και 65% (κατά μέσο όρο σε όλη την ευρύτητα του δωματίου).-Πηγή:[9]

Μέθοδος υπολογισμού Μέσης Τιμής Συντελεστή Φυσικού Φωτισμού

Ένας πολύ εύκολος τρόπος για να αξιολογηθεί το συνολικό ποσό του φυσικού φωτός σε ένα δωμάτιο και ως εκ τούτου η φωτεινότητα του δωματίου σε σχέση με την εξωτερική άποψη είναι ο μέσος συντελεστής φυσικού φωτός. Ως επιφάνεια εργασίας για γραφεία θεωρείται μια οριζόντια επιφάνεια σε ύψος 0,7 m πάνω από το δάπεδο. Η εκτίμηση του μέσου ΣΦΦ (DF) βασίζεται στον υπολογισμό της συνολικής φωτεινής ροής που εισέρχεται από το παράθυρο, την αναλογία ανοίγματος παραθύρου και εσωτερικής επιφάνειας και τις συνολικές εσωτερικές ανακλάσεις.[7]

Ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή της ημέρας με απλή εξωτερική παρεμπόδιση μπορεί να γίνεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:



$$DF = t\frac{A_w\theta}{A(1-R^2{}_{mean})}$$

Όπου:

t είναι η ημισφαιρική μετάδοση του φωτός του υαλοπίνακα-συντελεστής φωτοδιαπερατότητας υαλοπίνακα .Τυπικές τιμές δίνονται στον πίνακα 2.2.

$\boldsymbol{A_w}$ είναι το εμβαδό του παραθύρου σε m^2

A είναι η συνολική έκταση οροφής, δαπέδου και τοίχων, συμπεριλαμβανομένων των παραθύρων (m^2)

θ είναι η γωνία θέασης του ουρανού, μετρούμενη από ένα σημείο στο επίπεδο του εσωτερικού τοίχου στο κέντρο του παραθύρου σε μοίρες και

$\boldsymbol{R_{mean}}$ είναι η περιοχή-σταθμισμένης ανακλαστικότητας οροφής, δαπέδου και των τοίχων, συμπεριλαμβανομένων των παραθύρων. [7]

Το R δίνεται από τη σχέση:

$R= A_w*R_w + A_c*R_c + A_f * R_f + [(A_g*0.15) / A_t]$

όπου

A_w : επιφάνεια τοίχων

R_w : συντελεστής αντανάκλασης τοίχων

A_c : επιφάνεια οροφής

R_c : συντελεστής αντανάκλασης οροφής

A_f : επιφάνεια δαπέδου

R_f : συντελεστής αντανάκλασης δαπέδου

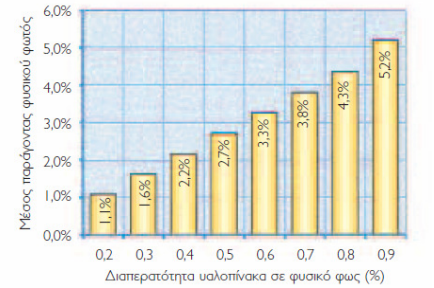
A_g : επιφάνεια υαλοπίνακα

A_t : συνολική επιφάνεια

Μονός διαφανής	0,80-0,85
Μονός έγχρωμος	0,35-0,65
Διπλός διαφανής	0,75-0,80
Διπλός έγχρωμος	0,35-0,50
Ανακλαστικός	0,15-0,15

Πίνακας 2.2: Συντελεστές φωτοδιαπερατότητας υαλοπινάκων-ενδεικτικές τιμές t-Πηγή :[10]

Η διαφοροποίηση της διαπερατότητας των υαλοπινάκων προκαλεί ισόποση μεταβολή στα μέσα επίπεδα φωτισμού των εσωτερικών χώρων. Επομένως, η χωρίς μελέτη χρήση ανακλαστικών ή απορροφητικών έγχρωμων υαλοπινάκων (διαπερατότητα σε φυσικό φως 0,4-0,2)επιφέρει σημαντική μείωση στα επίπεδα φυσικού φωτός.



Σχήμα 2.12:φωτοδιαπερατότηα υαλοπινάκων-μέσος παράγοντας φυσικού φωτός(DF)-πηγή:[11]

Σε γενικές γραμμές, η επιφάνεια του ανοίγματος είναι ανάλογη με τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στον εσωτερικό χώρο· μάλιστα, η αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος κατά 10% έχει αποτέλεσμα την αύξηση του μέσου παράγοντα φυσικού φωτισμού κατά περίπου 1%. Ωστόσο, μεταξύ χώρων με ίδιο μέγεθος και διαφορετική γεωμετρία ανοίγματος παρατηρείται μικρή απόκλιση: στους χώρους με υψηλότερο άνοιγμα ο παράγοντας φυσικού φωτός κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα σε όλο το βάθος του χώρου λόγω της θέασης φωτεινότερων τμημάτων του ουράνιου θόλου από το εσωτερικό του.[11]

Σχήμα 2.13:Προσομοίωση του οπτικού περιβάλλοντος στις περιπτώσεις που ο μέσος παράγοντας φυσικού φωτός είναι ίσος με 2%(α) και 5%(β)- Πηγή: Τσικαλουδάκη Κατερίνα[11]

Παλαιότερα, ο υπολογισμός της χωρικής κατανομής του φωτισμού, γινόταν με υπολογισμούς στο χέρι ή κάποιες πρακτικές συσκευές και διατάξεις που είχαν επινοηθεί λόγω της έλλειψης των κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων. Σημαντικές μέθοδοι αποτέλεσαν τα γωνιόμετρα BRS, το διάγραμμα Waldram, η μαθηματική σχέση Lumen και πολλές άλλες. Πλέον όμως, η όλη διαδικασία μπορεί να γίνει αυτοματοποιημένα, με τη χρήση Η/Υ, με δυνατότητα ακριβέστερων και πληρέστερων υπολογισμών, επομένως οι περισσότερες από τις μεθόδους αυτές δε χρησιμοποιούνται πλέον. Τέλος, φυσικά μοντέλα κλίμακας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικές ή τεχνητές συνθήκες. [5]

Διεθνή Standards - Ελάχιστη τιμή του συντελεστή φυσικού φωτισμού ανά χρήση χώρου

Η ενδεδειγμένη στάθμη έντασης φωτισμού σε ένα χώρο εξαρτάται από τον τύπο της δραστηριότητας που πραγματοποιείται σε αυτόν. Σε κτίρια γραφείων για παράδειγμα, σκοπός είναι να δημιουργείται η ελάχιστη απαιτούμενη στάθμη έντασης φωτισμού ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια εργασίας. Κατανέμοντας τα ανοίγματα των παραθύρων κατά το δυνατόν ομοιόμορφα σε όλο το χώρο, είναι δυνατό να εξασφαλιστεί αυτό. Η διείσδυση και η κατανομή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και την τοποθέτηση των ανοιγμάτων, τον τύπο του υαλοστασίου που χρησιμοποιείται, τη διαμόρφωση του χώρου και τις ανακλάσεις που προκαλούνται από τους τοίχους, την οροφή και άλλες επιφάνειες.

Η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα φυσικού φωτισμού για κάθε χώρο, λόγω της λειτουργίας του, είναι ήδη καθορισμένη και δίνεται από διεθνή standards. Στην Ελλάδα μπορούν να υιοθετηθούν τα standards της Commission Internationale de L'Eclairage (CIE). Ο DF υπολογίζεται με βάση τον εξωτερικό παρεχόμενο φωτισμό, σε κατάσταση ομοιόμορφα νεφοσκεπή ουρανού. Για τις χώρες της Βορείου Ευρώπης η μέση τιμή της εξωτερικής παρεχόμενης ποσότητας υπολογίζεται σε 5000 lux. Στην Ελλάδα ο εξωτερικός παρεχόμενος φωτισμός, σε αντίστοιχες συνθήκες ουρανού, υπολογίζεται σε 7000 lux. Επομένως θα πρέπει να γίνει η προσαρμογή των τιμών DF με βάση αυτήν την ποσότητα. Τα μεγέθη της CIE δίδονται με το Συντελεστή Φυσικού Φωτισμού (daylight factor).[10]

Με βάση αυτή την τιμή (του εξωτερικά παρεχόμενου φωτισμού) καθορίζονται οι μέσες τιμές DF στον πίνακα 2.3, που ακολουθεί:

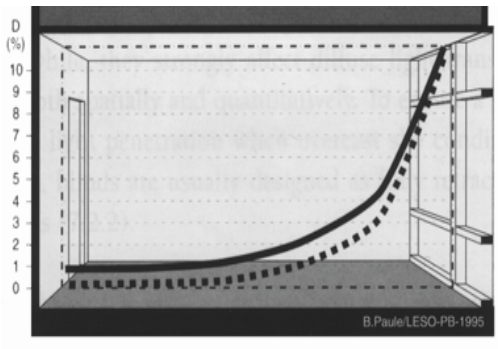
Χρήση Χώρου	Μέσος Συντελεστής Φυσικού Φωτισμού (%)
Κτίρια Γραφείων	
Γραφεία Γενικής Χρήσεως	3,5
Γραφεία Υπολογιστών	3,5
Κτίρια Εκπαίδευσης	
Αίθουσες Διδασκαλίας	3,5
Εργαστήρια	3,5
Χώροι Προσωπικού	3,5
Χώροι Συγκεντρώσεων/Διαλέξεων	0,7
Βιβλιοθήκες	3,5
Νοσοκομεία –Ιατρεία	
Αίθουσες Αναμονής	1,5
Εργαστήρια	3,5
Αίθουσες Επεμβάσεων	3,5
Αναπαυτήρια	3,5
Μουσεία –Εκθεσιακοί Χώροι	
Αίθουσες Εκθεμάτων	3,5
Αθλητικές Εγκαταστάσεις	
Χώροι Κύριας Χρήσης	3,5
Χώροι Προσωπικού	3,5
Αεροδρόμια-Σταθμοί	
Χώροι Αναμονής	1,5
Χώροι Εκτελωνισμού	1,5
Χώροι Κυκλοφορίας	1,5
Εκκλησίες	3,5
Κατοικίες	
Καθιστικά	3,5
Υπνοδωμάτια	1,5
Κουζίνες	1,5
Γενικοί Χώροι Κτιρίων	
Είσοδοι	1,5
Χώροι Υποδοχής Αναμονής	0,7
Χώροι Κυκλοφορίας	1,5
Κλιμακοστάσια	1,5

Πίνακας 2.3: Ελάχιστη τιμή του συντελεστή φυσικού φωτισμού ανά χρήση χώρου- Πηγή:[10]

2.2.2 Ποιοτικά κριτήρια

2.2.2.1 Κατανομή φωτισμού

Η κατανομή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο δίνει μια εικόνα της ποσότητας φωτός που φτάνει σε κάθε σημείο του. Συνήθως αναφέρεται στο φωτισμό στο επίπεδο εργασίας και παρουσιάζεται είτε σε κάτοψη είτε σε τομή του χώρου (σχήμα 2.14). Τα τυχόν προβληματικά σκοτεινά σημεία που θα παρουσιαστούν μπορούν να διορθωθούν με αλλαγές στο σχεδιασμό.[4]



Σχήμα 2.14:Η κατανομή του φυσικού φωτισμού μπορεί να παρουσιαστεί είτε σε κάτοψη του χώρου, είτε σε τομή, σε επίπεδο κάθετο στα ανοίγματα.
Πηγή: Baker & Steemers, 2002 : 61, 140

Εκτός από την οπτική άνεση, η κατανομή του φωτισμού σχετίζεται και με την κατανάλωση ενέργειας, μια που όσο πιο ομοιόμορφη είναι η κατανομή του φωτισμού σε ένα χώρο, τόσο μειώνεται η τάση των χρηστών να χρησιμοποιήσουν τεχνητό φωτισμό [21], [4]

Η ομοιομορφία του φωτισμού σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ορίζεται ως ο λόγος του ελάχιστου φωτισμού προς το μέσο φωτισμό στο επίπεδο αυτό (δηλαδή ορίζεται ως E_{min} / E_{ave} ή E_{min} / E_{max} για έναν αριθμό σημείων μέτρησης σε έναν κάναβο). Η ομοιομορφία εξαρτάται από:

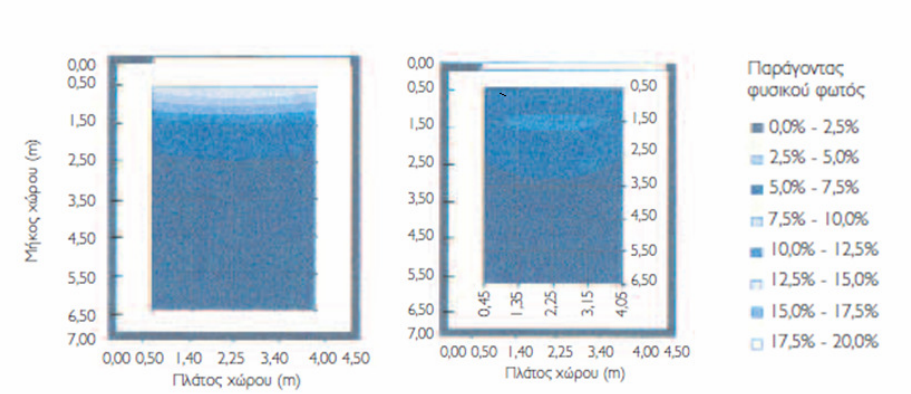
1. τη γεωμετρία του δωματίου και του ανοίγματος (σχήμα, θέση, ύψος ποδιάς και κεφαλής(πρέκι))
2. την ανακλαστικότητα των εσωτερικών επιφανειών
3. το σύστημα υαλοπινάκων που χρησιμοποιείται
4.την εξωτερική παρεμπόδιση, εάν υπάρχει.[7]

1.Γεωμετρία του δωματίου και του ανοίγματος

Η θέση των ανοιγμάτων επηρεάζει τόσο την ποσότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός όπως ήδη αναφέραμε, όσο και την κατανομή του. Η τοποθέτησή τους συμμετρικά στην όψη του χώρου συνεισφέρει στην ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτισμού, ελαχιστοποιώντας την έντονη

αντίθεση στην ένταση φωτισμού στις διάφορες περιοχές του χώρου και κατ' επέκταση την πιθανότητα δημιουργίας θάμβωσης.

Το ύψος της ποδιάς και το συνολικό ύψος του ανοίγματος επηρεάζουν τα επίπεδα φωτισμού στον εσωτερικό χώρο, καθώς όσο υψηλότερα βρίσκεται η άνω παρειά του ανοίγματος, τόσο περισσότερο φυσικό φως και σε μεγαλύτερο βάθος εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο, κυρίως στις συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού.[11]



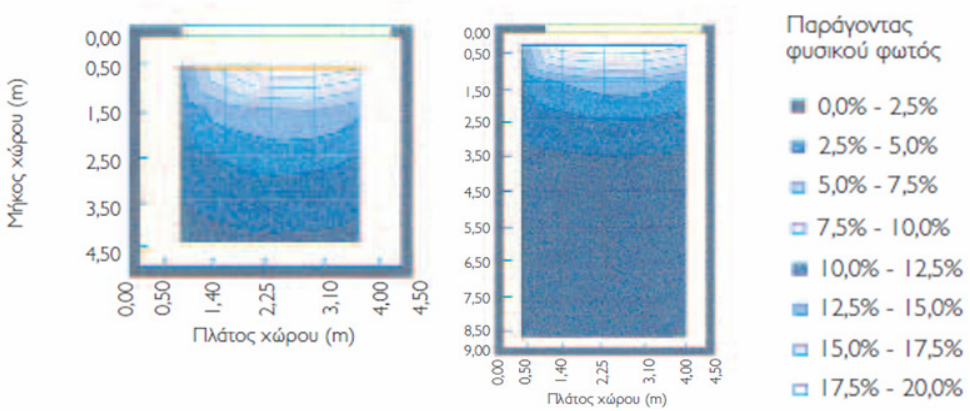
Σχήμα 2.15: Διακύμανση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στις περιπτώσεις χώρων με συμβατικό άνοιγμα (αριστερά) και φεγγίτη(δεξιά).

Στην περίπτωση ενός συμβατικού ανοίγματος (αριστερά) ο παράγοντας φυσικού φωτός εμφανίζει υψηλές τιμές κοντά στο άνοιγμα και μειώνεται κατακόρυφα, προχωρώντας προς το βάθος του χώρου.

Αντίθετα, στην περίπτωση του φεγγίτη(δεξιά) ο φυσικός φωτισμός κοντά στο άνοιγμα κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα, αλλά σταδιακά αυξάνεται και παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα περίπου για τη μισή επιφάνεια του χώρου, περιορίζοντας την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό μόνο στις περισσότερο απομακρυσμένες από το άνοιγμα περιοχές της τρίτης ζώνης. Η άμβλυνση στη διαφοροποίηση της στάθμης φωτισμού του εσωτερικού χώρου έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ομοιόμορφων συνθηκών φωτισμού, συμβάλλοντας έτσι στην αποτροπή της δημιουργίας θάμβωσης. [11]

Χωρίς εξειδικευμένο σύστημα που να ανακατευθύνει το φυσικό φως στις περιοχές που βρίσκονται μακριά από τα παράθυρα, η ομοιομορφία επηρεάζεται σημαντικά από τον άμεσο φωτισμό, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με το τμήμα του ουρανού που είναι ορατό από τα σημεία μέτρησης.

Σε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πλευρικά φωτισμένου δωματίου, ο φωτισμός σε οριζόντια επιφάνεια εργασίας μειώνεται μη γραμμικά σε σχέση με την απόσταση από το παράθυρο. Από πρακτική άποψη, αν το δωμάτιο είναι επιμήκες, οι περιοχές μακριά από το παράθυρο μπορεί να φαίνονται σκοτεινές. [7]



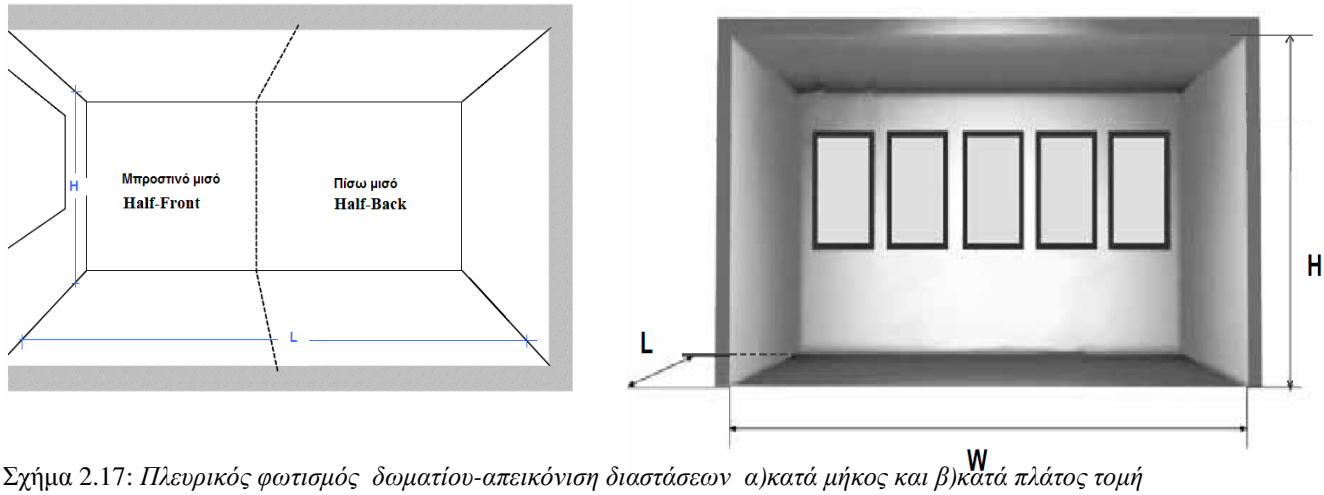
Σχήμα 2.16: Διακύμανση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στις περιπτώσεις χώρων με τετραγωνική και ορθογωνική κάτοψη(πλάτος: μήκος χώρου 1:2). Παρόλο που εισέρχεται ίση ποσότητα φωτός, τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο μικρότερο χώρο είναι κατά μέσο όρο υψηλότερα και κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια αναφοράς, καθιστώντας το οπτικό περιβάλλον του πιο ελκυστικό.[11]

Έτσι, το πρώτο μέτρο προκειμένου να αυξηθεί η ομοιομορφία είναι να μειωθεί το μήκος του δωματίου. Ως γενικός κανόνας, η εφαρμογή του ακόλουθου τύπου:

$$(L/W + L/H) \leq 2 /(1-R_{back})$$

όπου L, W, H είναι το μήκος, το πλάτος και το ύψος του δωματίου και R_{back} είναι η μέση ανακλαστικότητα του μισού πίσω μέρους της αίθουσας

μπορεί να οδηγήσει σε μια ισορροπημένη αναλογία φωτισμού: μπροστινό μισό τμήμα δωματίου προς πίσω μισό τμήμα δωματίου = 3/1. [7]



Σχήμα 2.17: *Πλευρικός φωτισμός δωματίου-απεικόνιση διαστάσεων α)κατά μήκος και β)κατά πλάτος τομή Πηγές[7],[6]*

Ο πίνακας 2.4[6] δίνει τιμές του μέγιστου βάθους(μήκους) για διαφορετικά πλάτη και ύψη δωματίων και για διαφορετική μέση ανακλαστικότητα του πίσω μισού τμήματος του δωματίου. Υψηλότερη ανακλαστικότητα και μεγαλύτερο ύψος δωματίου επιτρέπουν βαθύτερους χώρους.

Πίνακας 2.4 Οριακά βάθη χώρων με μονόπλευρο πλευρικό φωτισμό (σε μέτρα)						
Ανακλαστικότητα Rb	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
Πλάτος δωματίου (m)	3	10	3	10	3	10
Ύψος δωματίου(m)						
2.5	4.5	6.7	5.4	8.0	6.8	10.0
3	5.0	7.7	6.0	9.2	7.5	11.5
3.5	5.4	8.6	6.5	10.4	8.1	13.0

Εάν ένα κτίριο λαμβάνει αμφίπλευρο φωτισμό από πλάι, το μέγιστο βάθος που μπορεί να φωτιστεί ικανοποιητικά είναι διπλάσιο από το οριακό βάθος L του δωματίου(απόσταση μεταξύ των τοίχων που έχουν τα ανοίγματα).[6]

2.Ανακλαστικότητα των εσωτερικών επιφανειών

Για την επιτυχή διαχείριση του εισερχόμενου φυσικού φωτός βαρύνουσα σημασία έχει η ανακλαστικότητα της οροφής και των εσωτερικών τοιχοποιιών. Η οροφή λειτουργεί ως ανακλαστήρας και ανάλογα με τη στιλπνότητα των υλικών επίστρωσής της μπορεί να κατευθύνει το προσπίπτον σε αυτή φυσικό φως σε συγκεκριμένες περιοχές του χώρου ή να το διαχέει ομοιόμορφα στην επιφάνεια αναφοράς. Οι ανοιχτόχρωμες εσωτερικές τοιχοποιίες δημιουργούν την εντύπωση φωτεινού περιβάλλοντος, αυξάνοντας σε κάποιο βαθμό τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο. Η ανακλαστικότητα των δαπέδων επηρεάζει σε μικρότερο βαθμό τα επίπεδα φωτισμού στον εσωτερικό χώρο , ωστόσο καλό είναι να μην είναι πολύ χαμηλή(μικρότερη από 30%).[11]

3.Το σύστημα υαλοπινάκων που χρησιμοποιείται

Αναλύεται σε επόμενο υποκεφάλαιο

4. Εξωτερική παρεμπόδιση

Στις περισσότερες περιπτώσεις γειτονικά κτίρια ή δένδρα εμποδίζουν ένα ποσοστό θέασης του ουράνιου θόλου και καθορίζουν τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός στην όψη του και τον τρόπο που αυτό κατανέμεται στους χώρους του . Εφόσον υπάρχει η δυνατότητα, η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη απομάκρυνση του από τα γειτονικά εξωτερικά εμπόδια είναι προτιμότερη, ώστε να σκιάζεται μικρότερο τμήμα της όψης του. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση των επιπέδων φωτισμού δεν είναι ανάλογη με το ποσοστό παρεμπόδισης της θέασης του ουράνιου θόλου από το εσωτερικό του χώρου, αλλά υπάρχει μια κρίσιμη γωνία (ίση περίπου με 45°) μεταξύ της ποδιάς του ανοίγματος και της άνω παρειάς του εξωτερικού εμποδίου, η υπέρβαση της οποίας οδηγεί σε πολύ

χαμηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού στο επίπεδο αναφοράς του χώρου. Επιπλέον, η ανακλαστικότητα των εξωτερικών εμποδίων αποκτά τόσο μεγαλύτερη σημασία, όσο μεγαλύτερη είναι η παρεμπόδιση στη θέαση του ουράνιου θόλου.[11]

Σχήμα 2.18:Προσομοίωση του οπτικού περιβάλλοντος σε δύο χώρους στην περίπτωση εξωτερικών εμποδίων (α) με μικρό ύψος και (β)με μεγάλο ύψος. Είναι χαρακτηριστικό ότι η διαφοροποίηση στα επίπεδα φωτισμού παρατηρείται κυρίως στο βάθος του χώρου, δηλαδή στην περιοχή, στην οποία οι ανάγκες σε φυσικό φως είναι αυξημένες.

2.2.2.2.Θάμβωση

Θάμβωση είναι η αίσθηση που προκαλείται όταν η λαμπρότητα στο οπτικό πεδίο είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη λαμπρότητα στην οποία είναι προσαρμοσμένα τα μάτια και προκαλεί ενόχληση, δυσφορία ή μείωση της απόδοσης ή και της ορατότητας. Θάμβωση μπορεί να προκύψει από την άμεση θέαση του ήλιου ή τμήματος του ουρανού μεγάλης φωτεινότητας, δια μέσου των ανοιγμάτων ή από την πρόσπτωση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο εργασίας.[3]

Η θάμβωση αποτελεί σύνθετο φαινόμενο, στο οποίο εμπλέκεται η κατανόηση πολλών παραμέτρων, όπως η χρονική διάρκεια παρουσίας της πηγής θάμβωσης, οι αναλογίες φωτεινότητας μεταξύ της πηγής θάμβωσης και των γύρω επιφανειών και οι απαιτήσεις σε φωτισμό του χώρου[22].Συνήθως θάμβωση προκαλείται από λαμπτήρες, παράθυρα και επιφάνειες που εμφανίζονται πολύ φωτεινότερες από τις υπόλοιπες. Διακρίνονται δύο είδη θάμβωσης, η απευθείας(άμεση)θάμβωση και η έμμεση θάμβωση.

Η απευθείας θάμβωση προκαλείται από φωτεινές πηγές, φυσικές ή τεχνητές, που είναι άμεσα ορατές και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δωματίου και της φωτεινής πηγής που βρίσκονται εντός του οπτικού πεδίου. Το οπτικό πεδίο καλύπτει γωνιακή απόσταση 180° οριζόντια και 60° κατακόρυφα, μετρούμενο από το οριζόντιο επίπεδο στο ύψος των ματιών. Υπάρχει μεγάλη διαφορά στα επιτρεπτά επίπεδα λάμψης στο ύψος του ματιού(το οποίο

περιλαμβάνει έναν κώνο στερεάς γωνίας 40°)και στην περιφερειακή περιοχή του οπτικού πεδίου. Όσο κεντρικότερα στο οπτικό πεδίο βρίσκεται η φωτεινή πηγή, τόσο πιθανότερο είναι να αποτελέσει πηγή θάμβωσης [Robbins, 1986] .(Πίνακας 2.5)

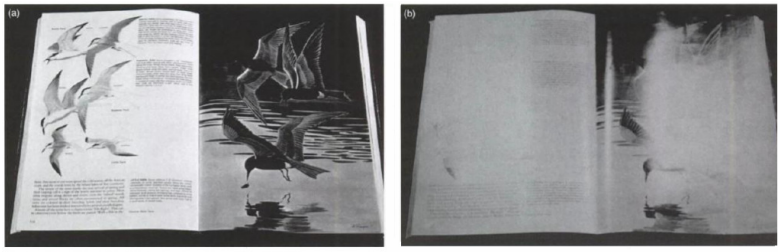
Η έμμεση θάμβωση διακρίνεται σε ανακλώμενη θάμβωση και θάμβωση «πέπλου»*(veiling reflections).* Η ανακλώμενη θάμβωση προκαλείται από έντονα λείες και γυαλιστερές επιφάνειες οι οποίες στην ουσία αναπαράγουν τη φωτεινή πηγή της οποίας το φως ανακλούν (π.χ. οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή)Από την άλλη, όταν η λεία και γυαλιστερή επιφάνεια βρίσκεται στο επίπεδο εργασίας προκαλείται έμμεση θάμβωση «πέπλου» γιατί μειώνεται η αντίθεση μεταξύ του αντικειμένου και του περιβάλλοντος (π.χ. μείωση αντίθεσης μεταξύ χαρτιού και γραμμάτων ενός βιβλίου-σχήμα 2.19).Τέτοιους είδους ανακλάσεις συμβαίνουν όταν η γωνία πρόσπτωσης του φωτός είναι εντός του οπτικού πεδίου του παρατηρητή.

Πηγές κειμένου: [4],[5],[22]

θ°	**αποδεκτές τιμές φωτεινότητας(cd/m^2)**
5	2500
15	1800
25	1250
35	850
45	580

Όπου
θ : η γωνία που σχηματίζει η φωτεινή πηγή με το ιδεατό οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο του οφθαλμού του παρατηρητή

Πίνακας 2.5: Απευθείας θάμβωση: αποδεκτές τιμές λαμπρότητας ανάλογα με τη θέση της φωτεινής πηγής ως προς τον οφθαλμό του παρατηρητή.-Πηγή: Baker et al, 1993 : 2.15



Σχήμα 2.19:Ένα γυαλιστερό βιβλίο (α) χωρίς ανακλάσεις πέπλωσης και (β) με ανακλάσεις πέπλωσης-πηγή: Δρακόπουλος Πάνος [12]

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι ανακλάσεις πέπλωσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν θετικά, αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις ονομάζονται τονισμοί. Από τη φύση τους, οι ανακλάσεις πέπλωσης και οι τονισμοί είναι το ίδιο πράγμα. Ο φωτισμός της βιτρίνας που εκθέτονται αντικείμενα με κατοπτρική ανακλαστικότητα έχει να κάνει με την ανάδειξη της κατοπτρικής φύσης της επιφάνειάς τους. [12]

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες ποσοτικοποίησης του φαινόμενου της θάμβωσης, μέσω του ορισμού ενός *Δείκτη Θάμβωσης*. Όσον αφορά στον τεχνητό φωτισμό, η IES (*Illuminating Engineering Society* – Η.ΠΑ.) προσδιόρισε το δείκτη θάμβωσης GI (*Glare Index*) ο οποίος υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης που ακολουθεί[(22):Baker et al, 1993:2.16]:

$$G = K \times P \times \frac{L_s^{1,6} \times \omega^{0,8}}{L_b} \text{ [-]} \quad (1)$$

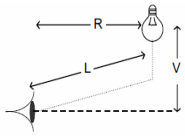
$$GI = 10 \times \log G \text{ [-]} \quad (2)$$

Όπου :G η σταθερά της θάμβωσης[-]

GI ο δείκτης θάμβωσης [-]

K σταθερά [-], εξαρτώμενη από τις μονάδες των παραμέτρων

P συντελεστής θέσης [-], ο οποίος εξαρτάται από τη θέση της πηγής της θάμβωσης σε σχέση με την κατεύθυνση εστίασης(πίνακας 2.6)



V κατακόρυφη απόσταση φωτεινής πηγής-ματιού

R οριζόντια απόσταση φωτεινής πηγής-ματιού

L πλευρική απόσταση φωτεινής πηγής και γραμμής εστίασης

L_s η φωτεινότητα της πηγής [cd /m^2]

L_b η φωτεινότητα των επιφανειών του οπτικού πεδίου [cd /m^2]

ω η στερεά γωνία θέασης της πηγής [sr]

Πίνακας 2.6 Οι τιμές του συντελεστή θέσης P, για τον υπολογισμό του δείκτη θάμβωσης (Baker et al, 1993).

Κατακόρυφη θέση [V/R] \ Πλευρική θέση [L/R]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	Κατακόρυφη γωνία [θ=tan⁻¹(V/R)]
Οριζόντια γωνία [φ=tan⁻¹(L/R)]	0°	6°	11°	17°	22°	27°	31°	35°	39°	42°	45°	50°	54°	58°	61°	63°	68°	72°	
1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	62°
1,8	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	61°
1,6	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	58°
1,4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	54°
1,2	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	50°
1,0	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	45°
0,9	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	42°
0,8	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	39°
0,7	0,19	0,20	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	35°
0,6	0,25	0,27	0,30	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	31°
0,5	0,35	0,37	0,39	0,38	0,36	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	27°
0,4	0,48	0,53	0,53	0,51	0,49	0,44	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	22°
0,3	0,67	0,71	0,71	0,69	0,64	0,57	0,49	0,44	0,38	0,34	0,31	0,25	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	17°
0,2	0,95	1,02	0,98	0,88	0,80	0,72	0,63	0,57	0,49	0,42	0,37	0,30	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	11°
0,1	1,30	1,36	1,24	1,12	1,01	0,88	0,79	0,68	0,62	0,53	0,46	0,37	0,31	0,26	0,23	0,20	0,17	0,16	6°
0	1,87	1,73	1,56	1,36	1,20	1,06	0,93	0,80	0,72	0,64	0,57	0,46	0,38	0,33	0,28	0,25	0,20	0,19	0°

Η παραπάνω εξίσωση εφαρμόζεται συνήθως όταν η κύρια πηγή θάμβωσης είναι η εγκατάσταση τεχνητού φωτισμού. Η εκτίμηση της θάμβωσης από το φυσικό φως, η οποία προκαλείται από τη θέαση του ουράνιου θόλου μέσα από έναν εσωτερικό χώρο, σχετίζεται με το δείκτη θάμβωσης για τον τεχνητό φωτισμό, λαμβάνοντας ως φωτεινή πηγή το ορατό τμήμα του ουράνιου θόλου. Η μαθηματική σχέση εκφράζει την παρατηρηθείσα τάση, κατά την οποία τα άτομα εμφανίζουν μεγαλύτερη ανεκτικότητα στη θάμβωση από τον ουρανό σε σχέση με τις τεχνητές πηγές παρόμοιας λαμπρότητας, υπό την προϋπόθεση ότι ο δείκτης θάμβωσης δεν είναι πολύ υψηλός[13]. Η μαθηματική σχέση έχει ως εξής:

$$DGI = \frac{2}{3} \times (GI + 14)$$

Όπου: GI ο δείκτης θάμβωσης, υπολογισμένος με βάση τις εξισώσεις (1) και (2)

DGI ο δείκτης θάμβωσης για το φυσικό φως

Πίνακας 2.7 Τα προτεινόμενα επίπεδα φωτισμού και ο δείκτης θάμβωσης ανάλογα με την πηγή του φωτός (τεχνητός-φυσικός φωτισμός) και τη χρήση των εσωτερικών χώρων σύμφωνα με το Ινστιτούτο Βρετανικών Προτύπων (Baker et al, 1993).

Κύρια δραστηριότητα	Τύπος κτιρίου	Τεχνητός φωτισμός		Φυσικός φωτισμός		
		Ένταση φωτισμού [lx]	Δείκτης θάμβωσης [-]	Πηγή	Μέσος παράγοντας φ.φ [%]	Δείκτης θάμβωσης [-]
Αίθουσες διδασκαλίας, σεμιναρίων	σχολεία, νοσοκομεία κ.ά.	300-500	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21 23
Επιμήκεις αίθουσες διδασκαλίας	σχολεία, πανεπιστήμια	300-500	19	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	23
Αμφιθέατρα, αίθουσες εξετάσεων	σχολεία, πανεπιστήμια, νοσοκομεία	500	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Αίθουσες μουσικής	κτίρια εκπαίδευσης & αναψυχής	300	19	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	23
Τέχνη, χειροτεχνία	σχολεία, εργοστάσια, γραφεία, κτίρια αναψυχής	300-500	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Ξυλουργία, μεταλλοτεχνία (διδασκαλία)	σχολεία, κέντρα εκπαίδευσης, κτίρια αναψυχής	500	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Εργαστήρια	κτίρια εκπαίδευσης & έρευνας, νοσοκομεία, ιατρεία, εργοστάσια	500-750	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Δακτυλογράφηση, χρήση Η/Υ	κτίρια γραφείων, εκπαίδευσης, τράπεζες, ταχυδρομεία κ.ά.	500-750	19	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	23
Σχεδιαστήρια	κτίρια γραφείων, εκπαίδευσης	500-750 1000	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Κουζίνα	Κατοικίες	150 τοπικά 250-500	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Υπνοδωμάτια	Κατοικίες	150	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 1	21
Σαλόνι-καθιστικό	Κατοικίες	300-500 τοπικά 500-1000	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 2	21
Λοιποί χώροι	Κατοικίες	150	16	Φυσικός φωτ. Μεικτός φωτ.	5 1	21
Εκκλησία	Θρησκευτικά κτίρια	150-300	16	Μεικτός φωτ.	1	21

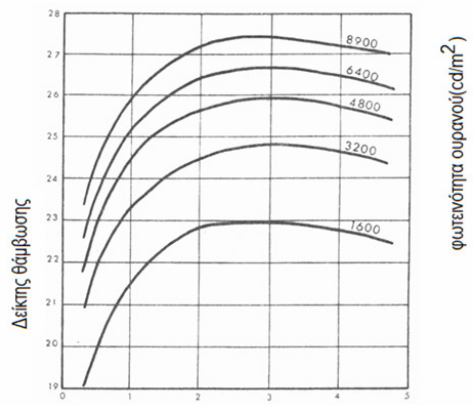
Πηγή: [13]

Επιπτώσεις της θάμβωσης μπορεί να είναι είτε η ανικανότητα παρατήρησης είτε η οπτική όχληση. Η ανικανότητα παρατήρησης συμβαίνει όταν η θάμβωση ελαττώνει την ικανότητα παρατήρησης λεπτομερειών, ενώ η όχληση προκαλείται από την παρουσία μιας υπερβολικά φωτεινής πηγής εντός του οπτικού πεδίου, χωρίς απαραίτητα να μειώνεται η ικανότητα

όρασης. Η όχληση μπορεί να οφείλεται είτε στη σχετική ένταση της πηγής σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο είτε στη φωτεινότητά της σε απόλυτα μεγέθη.

Όπως ήδη αναφέραμε, οπτική όχληση μπορεί προκληθεί από την άμεση θέαση του ουρανού μέσω ενός παραθύρου σε ένα σκοτεινό δωμάτιο. Η υψηλή αντίθεση μεταξύ των επιφανειών του δωματίου και του ουρανού προκαλεί θάμβωση ενοχλώντας τον παρατηρητή. Για το λόγο αυτό πρέπει είτε να αυξηθεί η φωτεινότητα των επιφανειών του δωματίου, π.χ. μέσω ενός δεύτερου ανοίγματος που θα φωτίσει το χώρο, είτε να ελεγχθεί η θέαση του ουρανού μέσω της χρήσης κατάλληλων συστημάτων. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι γειτονικές στο άνοιγμα περιοχές, οι οποίες πρέπει να έχουν μία ενδιάμεση φωτεινότητα, ώστε να εξασφαλίζεται μια βαθμιαία μετάβαση προς το εσωτερικό του χώρου(Baker et al., 1993). Έρευνες(Chaunvel et al., 1982) έχουν αποδείξει ότι η οπτική όχληση που προκαλείται από ένα άνοιγμα είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη από το μέγεθός του (εκτός αν είναι πάρα πολύ μικρό) και την απόσταση του παρατηρητή και εξαρτάται από τη φωτεινότητα του ουρανού.[5]

Σε ένα χώρο με μέσο συντελεστή ανακλαστικότητας 0.4, ο Δείκτης Θάμβωσης παραμένει ουσιαστικά σταθερός για όλες τις περιπτώσεις παραθύρων με μέγεθος μεγαλύτερο του 2% της επιφάνειας του χώρου όταν πρόκειται για απευθείας θέαση του παραθύρου. [Chauvel et al],[4]



Σχήμα 2.20:Η σχέση μεταξύ δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού (DGI) και μεγέθους παραθύρων, για τιμές φωτεινότητας ουρανού μεταξύ 1.600 και 8.900 cd/m^2. Η θέαση του παραθύρου είναι απευθείας (δηλαδή υπό γωνία 90°), από απόσταση 6μ., σε ένα χώρο διαστάσεων 12μ. x 12μ. x 6μ. και μέσης ανακλαστικότητας επιφανειών 0,4.-Πηγή: Chauvel et al, 1982 : 34

Φωτεινές πηγές σε γωνία μεγαλύτερη των 50° σε σχέση με την ευθεία της όρασης (σε οριζόντιο επίπεδο) δεν επηρεάζουν το δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού. Έτσι, η τοποθέτηση των θέσεων εργασίας σύμφωνα με αυτό το κριτήριο αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της θάμβωσης [Baker & Steemers, 1993 :178].

Οι φωτεινές επιφάνειες τραβούν την προσοχή και οι παρατηρητές τείνουν να τις κοιτούν ακόμα και αν δεν έχουν κάποια σημαντική πληροφορία(Osterhaus, 2009). Αν η φωτεινότητα των επιφανειών αυτών είναι αυξημένη τότε προκαλούν θάμβωση, όπως μπορεί να γίνει με το άνοιγμα κελύφους κάποιες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η προτεινόμενη αναλογία της φωτεινότητας της περιοχής της κύριας δραστηριότητας(visual task) και του άμεσου περιβάλλοντος χώρου πρέπει να ισούται με 1:3 και φτάνει μέχρι και 1:40 για την κύρια δραστηριότητα και τις επιφάνειες που υπάρχουν στο βάθος του οπτικού πεδίου, αν και έρευνες(Veitch et Newsham,2000) πάνω στις προτιμήσεις των εργαζομένων έδειξαν ότι είναι προτιμητέες ακόμα μικρότερες αναλογίες. Τα ακριβή νούμερα δεν είναι δυνατό να προσδιορισθούν, καθώς παίζει ρόλο και ο υποκειμενικός παράγοντας που έχει να κάνει με τα προσωπικά κριτήρια, την ικανότητα όρασης κ.λ.π. Πάντως τα νούμερα που προαναφέρθηκαν είναι ενδεικτικά για την περιγραφή κάποιων συνθηκών που μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα.[5]

2.2.2.3 Χρωματική απόδοση

Για τη χρωματική απόδοση έχουμε ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο

2.2.2.4 Κατεύθυνση φωτισμού

Για κάποιες εργασίες, απαιτείται ικανοποιητική κατευθυντικότητα του φωτός για να διαμορφώσει και να αξιολογήσει τρισδιάστατα αντικείμενα και επιφάνειες. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του διάχυτου φωτός, τόσο λιγότερο εμφανίζεται σκίαση, μειώνοντας τη δυνατότητα αντίληψης του βάθους, του σχήματος και της υφής μιας επιφάνειας. Η ισορροπία μεταξύ διάχυτου και κατευθυντικού φωτός επιτρέπει την εκτίμηση της τραχύτητας, του ιριδισμού, της ανακλαστικότητας και άλλων ιδιοτήτων μιας επιφάνειας. Στα οριζόντια επίπεδα εργασίας τα συστήματα με πλευρικό φυσικό φωτισμό προσφέρουν καλύτερη ορατότητα από κάθετο προς την επιφάνεια τεχνητό φωτισμό.

Δεν υπάρχει καμία τυποποιημένη παράμετρος απόδοσης για να αξιολογήσει την κατεύθυνση και τη διάχυση του φωτός. Το άμεσο φυσικό φως είναι γενικά κατευθυνόμενο με αρκετό διάχυτο φως από τον ουρανό που εξισορροπεί την αντίθεση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Τα συστήματα φυσικού φωτισμού που βασίζονται στο φυσικό φως του ουρανού παράγουν κατευθυνόμενο, διάχυτο φως. Μερικά συστήματα φυσικού φωτισμού που χρησιμοποιούν την ανειδωλική οπτική μπορούν να ανακατευθύνουν το διάχυτο φως με τον ίδιο τρόπο που το κάνει ένας προβολέας φωτισμού, έτσι κάποια αποτελέσματα του κατευθυντικού φωτός παρουσιάζονται και στο διάχυτο φυσικό φως.[14]

2.2.2.5 Δημιουργία κατάλληλων αντιθέσεων

Οι αναλογίες φωτεινότητας σε ένα χώρο αναφέρονται στις αντιθέσεις σε λαμπρότητα (κοντράστ) των γύρω επιφανειών. Για να επιτευχθούν άνετες αναλογίες και να αποφευχθούν πιθανά σημεία θάμβωσης είναι απαραίτητο να λάβει κανείς υπόψη όχι μόνο την ένταση και τη θέση των φωτεινών πηγών, αλλά και τις ανακλαστικότητες των γύρω επιφανειών (οροφή, τοίχοι, δάπεδο, έπιπλα). Ως γενικός κανόνας, προτείνονται οι παρακάτω συντελεστές ανάκλασης [4],[22:Baker et al, 1993]:

- οροφή 70-85%
- κατακόρυφες επιφάνειες 40-70%
- δάπεδο 15-40%

Επίσης, επιθυμητό είναι ο κύριος οπτικός στόχος να αποτελεί το φωτεινότερο σημείο του χώρου. Οι ιδανικές αναλογίες φωτεινότητας σε ένα χώρο είναι οι εξής [22:Baker et al, 1993]:

Μεταξύ επιπέδου εργασίας και άμεσου υπόβαθρου 3:1

Μεταξύ επιπέδου εργασίας και λίγο μακρύτερου υπόβαθρου 10:1

Μεταξύ φωτεινής πηγής και περιβαλλουσών επιφανειών 20:1

Μέγιστη επιτρεπόμενη αντίθεση 40:1

Μέγιστη επιτρεπόμενη αντίθεση για έντονα φωτισμένα αντικείμενα με στόχο το οπτικό ενδιαφέρον 50:1

Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση των όρων φωτεινότητα και λαμπρότητα στην ελληνική βιβλιογραφία είναι συγκεχυμένη. Για την τρέχουσα εργασία οι ορολογίες luminance και brightness έχουν αποδοθεί στα ελληνικά με τους όρους φωτεινότητα και λαμπρότητα αντίστοιχα και με δεδομένο αυτό διευκρινίζεται ότι η φωτεινότητα *(luminance, Leuchtdichte)* είναι αντικειμενικό μέγεθος και αναφέρεται σε αυτό που μετράμε (cd/m^2), ενώ η λαμπρότητα *(brightness, Helligkeit)* είναι υποκειμενικό μέγεθος και επηρεάζεται από το βαθμό προσαρμογής του ματιού στο φωτισμό του χώρου. [4], [Baker et al, 1993:2.14].

2.2.3 Δυναμικοί δείκτες απόδοσης φωτισμού

Η δυναμική φύση του ηλιακού φωτός δημιουργεί πολλές προκλήσεις κατά τον καθορισμό της ποσότητας και της ποιότητας του ηλιακού φωτός που φωτίζει αποτελεσματικά έναν εσωτερικό χώρο. Για την ενημέρωση και την καθοδήγηση των μελετητών έχουν αναπτυχθεί στατικές και δυναμικές μετρήσεις φυσικού φωτισμού και οι αντίστοιχοι δείκτες απόδοσης φυσικού φωτός.

Στατικοί δείκτες απόδοσης φυσικού φωτός: καθορίζονται με μια μέθοδο υπολογισμού που εξετάζει το φυσικό φως κάτω από μία μόνο κατάσταση(π.χ. Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού(D.F)).

Δυναμικοί δείκτες απόδοσης φυσικού φωτός: ορίζονται με μια μέθοδο υπολογισμού με ετήσια βάση, εξετάζοντας τη μεταβλητότητα του φωτός με την πάροδο του χρόνου. [23]

Οι ακόλουθοι δείκτες ανήκουν στην κατηγορία δυναμικών δεικτών απόδοσης φυσικού φωτός και το βασικό τους πλεονέκτημα έναντι των στατικών δεικτών, όπως γίνεται εμφανές και από τους άνωθεν ορισμούς, είναι ότι εξετάζουν την ποσότητα και το χαρακτήρα των καθημερινών και εποχιακών παραλλαγών του φυσικού φωτός για μια δεδομένη περιοχή του κτιρίου μαζί με τα ακανόνιστα μετεωρολογικά δεδομένα.[6]

2.2.3.1Αυτονομία φυσικού φωτισμού(Daylight Autonomy)

Η αυτονομία φυσικού φωτισμού σε ένα σημείο σε ένα κτίριο ορίζεται ως το ποσοστό των κατειλημμένων ωρών ετησίως, που μπορεί να διατηρηθεί το κατώτατο επίπεδο έντασης φωτισμού μόνο από το φυσικό φως. Σε αντίθεση με το συχνότερα χρησιμοποιούμενο παράγοντα φυσικού φωτισμού εξετάζει όλες τις συνθήκες του ουρανού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το κατώτατο επίπεδο έντασης φωτισμού αντιστοιχεί στην ελάχιστη φυσική απαίτηση φωτισμού που πρέπει να διατηρηθεί έτσι ώστε μια ορισμένη εργασία να μπορεί να εκτελεστεί ακίνδυνα και χωρίς κούραση του εργαζόμενου. Για παράδειγμα, μια αυτονομία φυσικού φωτισμού 70% για ένα χώρο εργασίας με ώρες απασχόλησης στις εργάσιμες μέρες μεταξύ 8 πμ. και 6 μμ. και κατώτερα επίπεδα φωτισμού 500 lux υπονοεί ότι ο υπάλληλος μπορεί, σε γενικές γραμμές, να εργαστεί το 70% του έτους μόνο με τη χρήση φυσικού φωτισμού.[6]

Η αυτονομία φυσικού φωτισμού είναι ένας σχετικά νέος δείκτης απόδοσης φυσικού φωτός και δεν έχουν καθιερωθεί ακόμα οι συνιστώμενες τιμές απόδοσης. Το κύριο πλεονέκτημα της αυτονομίας φυσικού φωτισμού σε σχέση με τον παράγοντα φυσικού φωτισμού(D.F.) είναι ότι λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό των προσόψεων, την παρουσία των χρηστών και εξετάζει όλες τις πιθανές συνθήκες ουρανού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Είναι επομένως μια ολιστική προσέγγιση που περιγράφει την ετήσια διαθεσιμότητα φυσικού φωτός σε ένα χώρο εργασίας. Αφ' ετέρου, μπορεί να υπολογιστεί μόνο με προγράμματα προσομοίωσης. Η αυτονομία φυσικού φωτισμού υπολογίζεται συχνά υποθέτοντας ότι το σύστημα σκίασης είναι στην ίδια θέση όλο το χρόνο. Αυτή η υπόθεση είναι ρεαλιστική για ένα στατικό σύστημα

σκίασης, όπως το εξωτερικό ράφι φωτισμού. Όποτε χρησιμοποιείται ένα κινητό σύστημα σκίασης, όπως οι βενετικές περσίδες, πρέπει να εξεταστεί επίσης η ρύθμιση των περσίδων μέσω του χρήστη ή του αυτοματοποιημένου ελέγχου. Αυτό περιπλέκει περαιτέρω την ανάλυση, δεδομένου ότι απαιτεί ένα πρότυπο συμπεριφοράς χρηστών που να προβλέπει πώς περιστρέφονται οι περσίδες σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα στη διάρκεια του έτους. Η αυτονομία φυσικού φωτισμού χαρακτηρίζει τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού ενός χώρου. Δεδομένου ότι είναι ανεξάρτητη από την εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτρικού φωτισμού και τον ηλεκτρικό έλεγχο του φωτισμού, μια υψηλή αυτονομία φυσικού φωτός είναι μια απαραίτητη απαίτηση αλλά όχι μια εγγύηση για την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του φυσικού φωτός. [6]

Η μέθοδος Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού, παρουσιάζει δύο μειονεκτήματα. Αρχικά, αδυνατεί να δώσει την πρέπουσα σημασία στις χαμηλές τιμές φωτισμού (π.χ. <300lx) , οι οποίες έχει αποδειχθεί πως συχνά εκτιμώνται από τους χρήστες και ταυτόχρονα μπορούν να αντικαταστήσουν τμήμα του τεχνητού φωτισμού. Δευτερευόντως, δε λαμβάνει υπόψη το κατά πόσο ξεπερνιέται η οριακή τιμή φωτισμού ανά πάσα στιγμή, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την πιθανότητα θάμβωσης.[4]

2.2.3.2 Χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού (Useful Daylight Autonomy) - Χρήσιμες τιμές φυσικού φωτισμού (Useful Daylight Illuminances- UDI)

Σε πρόσφατες έρευνές τους οι Nabil και Mardaljevic προτείνουν ένα νέο τρόπο αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού στα κτίρια, ο οποίος σχετίζεται κυρίως με την ποσότητα, αλλά σαφώς και με την ποιότητα του φωτός στο επίπεδο εργασίας [Nabil & Mardaljevic, 2005], [Nabil & Mardaljevic, 2006]. Η νέα μέθοδος ονομάζεται Χρήσιμες Τιμές Φυσικού Φωτισμού (ΧΤΦΦ) και βασίζεται σε κλιματικά δεδομένα ωριαίων τιμών φυσικού φωτισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σε αντίθεση με το Συντελεστή(ή Παράγοντα) Φυσικού Φωτισμού, η νέα προσέγγιση - που χρησιμοποιεί πολύ αναλυτικότερα κλιματικά δεδομένα - λαμβάνει υπόψη πραγματικούς, ρεαλιστικούς τύπους ουρανού (και όχι απλά το νεφοσκεπή), προβλέποντας ωριαίες τιμές φυσικού φωτισμού (lx) μέσα στα κτίρια.

Η νέα, όμως, μέθοδος των ΧΤΦΦ δεν περιορίζεται στον υπολογισμό του φωτισμού στο επίπεδο εργασίας για όλο το έτος. Επιπρόσθετα, παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τάση των υψηλών τιμών φωτισμού να προκαλούν οπτική δυσφορία στους χρήστες (θάμβωση)

καθώς και ανεπιθύμητα ηλιακά κέρδη.

Η νέα αυτή μέθοδος υπολογίζει τη συχνότητα κατά την οποία επιτυγχάνονται τιμές φυσικού φωτισμού συγκεκριμένου εύρους (κλίμακας).

Ως χρήσιμες τιμές φυσικού φωτισμού ορίζονται αυτές που περιλαμβάνονται στο εύρος100-2000 lux. Το εύρος αυτό καθορίστηκε βάσει πρόσφατων επιτόπιων ερευνών σχετικά με τη συμπεριφορά χρηστών κάτω από διαφορετικές συνθήκες φυσικού φωτισμού[Nabil & Mardaljevic, *2006:906*]. Σύμφωνα με τη μέθοδο των Χρήσιμων Τιμών Φυσικού Φωτισμού, οι τιμές που υπολογίζονται κατηγοριοποιούνται όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.8.

< 100lx	**100lx-2000lx**	**> 2000lx**
Μικρές τιμές φυσικού φωτισμού, ανεπαρκείς για τις περισσότερες δραστηριότητες	Οι χρήσιμες τιμές φυσικού φωτισμού που εξασφαλίζουν ικανοποιητικό φωτισμό για τις περισσότερες δραστηριότητες	Υψηλές τιμές φυσικού φωτισμού που πιθανόν οδηγούν σε θάμβωση

Πίνακας 2.8: Τα τρία εύρη τιμών φυσικού φωτισμού που χρησιμοποιεί η μέθοδος Χρήσιμων Τιμών Φυσικού Φωτισμού.-Πηγή: Nabil &Mardaljevic, 2006:906

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, η μέθοδος των Χρήσιμων Τιμών Φυσικού Φωτισμού θεωρείται σήμερα πολύ πιο χρήσιμη από τις τιμές Σ.Φ.Φ. και αναμένεται να συμβάλλει σημαντικά στις έρευνες πάνω στο φυσικό φωτισμό των κτιρίων [Nabil & Mardaljevic, 2006] . [4]

2.2.3.3 Συνεχής Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού(Continuous Daylight Autonomy)

Η Continuous Daylight Autonomy (DAcon), προτεινόμενη από τον Rogers το 2006, είναι ένας άλλος δείκτης που προέκυψε από την έρευνα. Σε αντίθεση με τη συμβατική αυτονομία φυσικού φωτισμού, μερική συμβολή του φυσικού φωτός αποδίδεται στα χρονικά σημεία που η ένταση φυσικού φωτός βρίσκεται κάτω από το κατώτατο απαιτούμενο επίπεδο έντασης φωτισμού. Παραδείγματος χάριν στην περίπτωση όπου απαιτούνται 500 lux και παρέχονται 400 lux από το φυσικό φως σε μία δεδομένη στιγμή, μια μερική συμβολή 400lux/500lux=0.8 προσφέρεται για εκείνο το χρονικό διάστημα. Το αποτέλεσμα είναι η κατάργηση ενός αυστηρού κατώτατου ορίου και η εξομάλυνση της μετάβασης μεταξύ της συνεισφοράς και της μη συνεισφοράς. Αυτή η αλλαγή στο δείκτη μπορεί να δικαιολογηθεί από τις έρευνες πεδίων που δείχνουν ότι οι προτιμήσεις φωτισμού ποικίλουν μεταξύ των ατόμων και ότι πολλοί υπάλληλοι γραφείων τείνουν να εργάζονται σε χαμηλότερα επίπεδα φυσικού φωτός

από τα συνήθως αναφερόμενα 300ή 500 lux. Ουσιαστικά, ο δείκτης αναγνωρίζει ότι ακόμη και μια μερική συμβολή του φυσικού φωτός σε ένα χώρο είναι ευεργετική.[6]
Η μέθοδος της συνεχούς αυτονομίας φυσικού φωτισμού είναι χρήσιμη για την εμφάνιση της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας στην περίπτωση που ο τεχνητός φωτισμός έχει δυνατότητα ρύθμισης της έντασης (dimming) ή διακόπτες με δυνατότητα πολύ-επίπεδης επιλογής.[23]

Για να εξεταστεί συγχρόνως η πιθανή εμφάνιση του φαινομένου της θάμβωσης, ένας δεύτερος δείκτης, η maximum Daylight Autonomy(DAmax),η οποία ορίστηκε επίσης από τον Rogers, αναφέρεται μαζί με την DAcon για να ορίσει το ποσοστό των κατειλημμένων ωρών που εμφανίζεται άμεσο φυσικό φως ή υπερβολικά επίπεδα φυσικού φωτός. Υποθέτοντας ότι το κατώτατο όριο των συνθηκών που ενδεχομένως να προκαλούν θάμβωση εξαρτάται από τον τύπο του χώρου, η DAmax καθορίστηκε να ισούται με δέκα φορές την απαιτούμενη ένταση φωτισμού ενός χώρου. Παραδείγματος χάριν, για ένα εργαστήριο υπολογιστών με απαιτούμενη ένταση φωτισμού 150 lux η DAmax αντιστοιχεί σε 1500 lux. Αυτό το ανώτερο όριο ως κριτήριο είναι ουσιαστικά ένα μέτρο του άμεσου φυσικού φωτός ή άλλων συνθηκών που μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση και ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη και μπορεί να δώσει μια ένδειξη για το πόσο συχνά και πού εμφανίζονται σε ένα χώρο μεγάλες αντιθέσεις έντασης φωτισμού. [23] ,[6]

2.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Συνοψίζοντας σχεδόν όλη την άνωθεν προσέγγιση του φυσικού φωτισμού και των συνδεόμενων παραγόντων καταλήγουμε στο εξής:

Για να υλοποιηθεί ο στόχος του φυσικού φωτισμού, δηλαδή η παροχή ικανοποιητικής ποσότητας και ποιότητας και η ομαλή κατανομή του φυσικού φωτός στο κτίριο, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες και στρατηγικές σχεδιασμού:

- οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής (νέφωση του ουρανού, φωτεινότητα)και το γεωγραφικό πλάτος(γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας)
- οι ανάγκες του φωτισμού του χώρου, αναλόγως της λειτουργίας του
- τα εξωτερικά εμπόδια
- το σχήμα του (βαθύ-ρηχό)
- ο προσανατολισμός, η γεωμετρία του και η οργάνωση των χώρων που πρόκειται να φωτιστούν
- η θέση και οι οπτικές ιδιότητες των επιφανειών του εσωτερικού χώρου που ανακλούν το φως
- η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου
- ο προσανατολισμός, η θέση, το σχήμα και το μέγεθος των ανοιγμάτων και των εν γένει διαφανών στοιχείων
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μόνιμων ή κινητών στοιχείων που εφαρμόζονται στα ανοίγματα και εν γένει όλων των διατάξεων που ρυθμίζουν την είσοδο και την κατανομή του φωτός
- οι οπτικές ιδιότητες και τα θερμικά χαρακτηριστικά των υαλοστασίων και των διαφανών εν γένει στοιχείων.

Από αυτούς τους παράγοντες, ο προσανατολισμός και το σχήμα του , η οργάνωση των χώρων, η γεωμετρία των εξωτερικών εμποδίων και οι ιδιότητες των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, σε σχέση με την ανακλαστικότητά τους, αφορούν σε κρίσιμες αποφάσεις για τον ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό του , οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται στο αρχικό στάδιο του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού(προμελέτη).

Στην επόμενη φάση της σχεδιαστικής διαδικασίας γίνεται η επιλογή των διαφανών στοιχείων –βασικών ρυθμιστών του εισερχόμενου φυσικού φωτός-ως προς τον προσανατολισμό , τη θέση, το μέγεθος, το πλήθος, τις γεωμετρικές αναλογίες. Η επιλογή των ανοιγμάτων καθορίζεται από το μέγεθος και τη λειτουργία του καθώς και από την εξωτερική του

εμφάνιση. Η τελική απόφαση, όσον αφορά στο φυσικό φωτισμό, εστιάζεται στην επιλογή των υαλοπινάκων και των πρόσθετων ηλιοπροστατευτικών ή φωτοενισχυτικών στοιχείων των ανοιγμάτων.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα κρίσιμα στάδια του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, όσον αφορά:

α)στις αρχικές αποφάσεις σχεδιασμού: προσανατολισμός, σχήμα , διαμόρφωση εσωτερικών χώρων, διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου

β) στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων: πλευρικά ανοίγματα, ανοίγματα οροφής και διαφανείς τοίχοι και οροφές

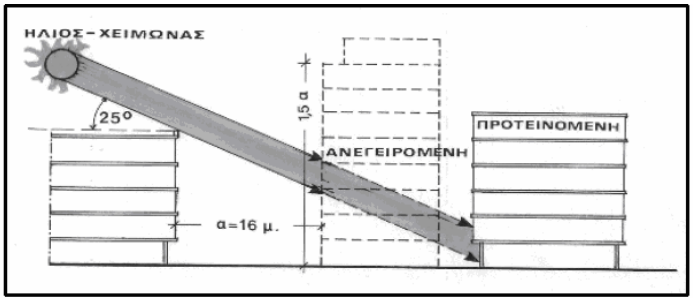
γ) στην επιλογή των υαλοπινάκων και των διαφανών εν γένει υλικών ,σε συνδυασμό με τα συστήματα ελέγχου της ακτινοβολίας.

2.3.1 Αρχικές επιλογές σχεδιασμού

2.3.1.1 Προσανατολισμός

- Ο νότιος προσανατολισμός είναι αρκετά καλός ως προς τη διαθέσιμη ποσότητα φυσικού φωτός, ιδιαίτερα τη χειμερινή περίοδο. Η νότια όψη των κτιρίων δέχεται την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία σε μεγαλύτερο ποσοστό, με σταθερότερο ρυθμό και με καλύτερη κατανομή τόσο στις εποχές του έτους, όσο και στη διάρκεια της ημέρας. Τη θερινή περίοδο όμως, λόγω της υψηλής φωτεινότητας που παρατηρείται στις Μεσογειακές χώρες και τη συνεχή μεταβολή της στάθμης του φωτισμού, εάν δε συνδυαστεί με κατάλληλη σκίαση, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ανισοκατανομής και θάμβωσης.[3]

  Υφίσταται ένας εμπειρικός κανόνας χρήσιμος στη φάση των προσχεδίων για τον έλεγχο του ηλιασμού το χειμώνα, ο οποίος καθορίζει ότι: για νότιο προσανατολισμό η απόσταση ανάμεσα στο χωροθετούμενο κτίριο και το υφιστάμενο εμπόδιο πρέπει να ισούται με 1,5 * το ύψος του εμποδίου. Αναγκαία η χρήση της τομής του υφιστάμενου εμποδίου και του νέου . Για παράδειγμα, εάν το υφιστάμενο κτίριο- εμπόδιο έχει ύψος 15 μ., η ελάχιστη απόσταση χωροθέτησης του νέου πρέπει να είναι ίση με 1,5*15μ.= 22,50 μ., προκειμένου το νέο κτίριο να έχει ήλιο το χειμώνα.[3]



Σχήμα 2.21:Ηλιασμός οικοδομής σε περίπτωση υποχώρησης στο οικόπεδο

- Ο δεύτερος καλύτερος προσανατολισμός, σε σχέση με το φυσικό φωτισμό του χώρου, είναι ο βορινός, εξαιτίας της σταθερότητας του φωτός στη διάρκεια της ημέρας, και του μειωμένου κινδύνου για θάμβωση. Αν και η ποσότητα του φωτισμού μπορεί να είναι χαμηλή κατά τη χειμερινή περίοδο, η ποιότητα είναι σταθερή, επειδή δεν υπάρχει πρόσπτωση άμεσης ακτινοβολίας. Επίσης, το βορινό φως εμφανίζει την καλύτερη κατανομή του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο σταθερός ομοιόμορφος διάχυτος φωτισμός, καθιστά το βορινό προσανατολισμό τον πλέον κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις, όπως βιβλιοθήκες, χώρους εργασίας κλπ. Ειδικότερα, προτιμάται για τους εκθεσιακούς χώρους και τα μουσεία επειδή δεν υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των εκθεμάτων από την υπεριώδη ακτινοβολία.
- Οι χειρότεροι προσανατολισμοί, σε σχέση με το φυσικό φως, είναι ο ανατολικός και ο δυτικός, γιατί δέχονται ανομοιογενή κατανομή της ακτινοβολίας(μειωμένη ακτινοβολία τη μισή μέρα) , τόσο ημερήσια όσο και διεποχιακή (μεγαλύτερη ποσότητα το καλοκαίρι και μικρότερη το χειμώνα). Το σημαντικότερο όμως πρόβλημα είναι ότι η χαμηλή θέση του ήλιου στον ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό δημιουργεί έντονα προβλήματα θάμβωσης. [3]

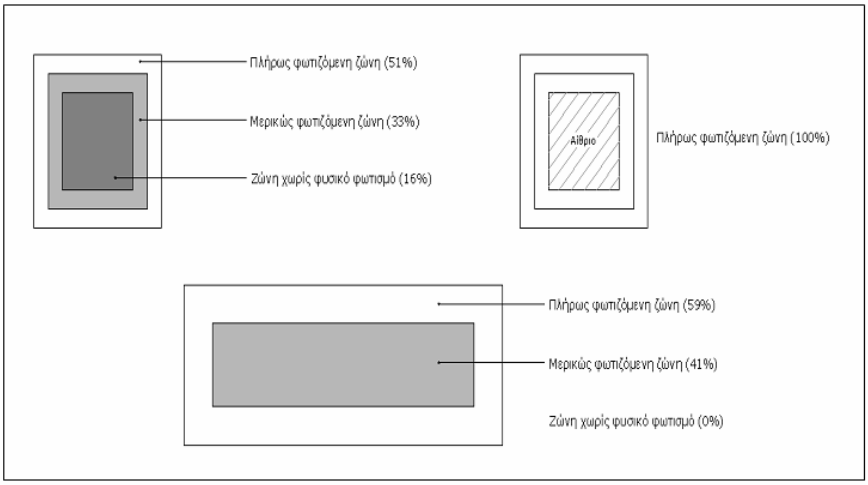
2.3.1.2 Το σχήμα του

Το σχήμα του καθορίζει την ποσότητα των ανοιγμάτων ανά προσανατολισμό σε σχέση με το φωτιζόμενο χώρο (τμήμα του δαπέδου που μπορεί να φωτιστεί με φυσικό φως). Όπως σημειώθηκε και στα υποκεφάλαια ποσοτικά κριτήρια και ποιοτικά κριτήρια η ποσότητα του φυσικού φωτός μέσα σ' ένα χώρο μειώνεται συναρτήσει της απόστασης από το άνοιγμα. Περιμετρική ζώνη πλάτους περίπου 5m, είναι αυτή που μπορεί να φωτιστεί πλήρως από τα πλευρικά ανοίγματα. Μια δεύτερη, προς το εσωτερικό του , περιμετρική ζώνη φωτίζεται μερικώς με φυσικό φως.

Η αναλογία πλήρως φωτισμένης / μερικώς φωτισμένης / σκοτεινής περιοχής σε ένα κτίριο εξαρτάται από τις διαστάσεις του. Στα μεγάλα κτίρια διαμορφώνεται μεγαλύτερη σκοτεινή περιοχή στο εσωτερικό, όταν η περιβάλλουσα επιφάνεια είναι μικρή σε σχέση με το σχήμα της κάτοψης.

Γενικά, ανάλογα με το σχήμα του , δίνεται παράδειγμα σύγκρισης πλήρως φωτισμένης / μερικώς φωτισμένης / σκοτεινής περιοχής στο Σχήμα 2.22, χωρίς να σημαίνει ότι τα ποσοστά αυτά είναι απόλυτα (τα μεγέθη των ανοιγμάτων, τα υλικά του ανοίγματος, του εσωτερικού και του εξωτερικού χώρου παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανομή του φυσικού φωτισμού).

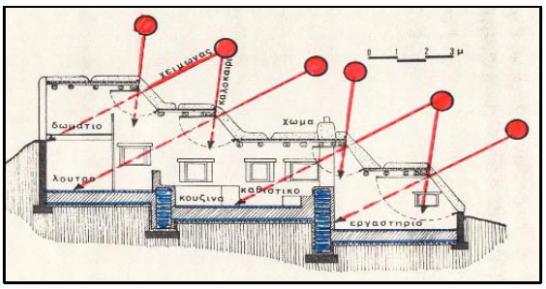
- Σε κτίριο με τετράγωνη κάτοψη το 16% της κάτοψης δε δέχεται καθόλου φυσικό φωτισμό. Ένα ποσοστό 51% φωτίζεται πλήρως και το υπόλοιπο 33% μερικώς.
- Σε κτίριο με ορθογώνια κάτοψη δε δημιουργούνται «σκοτεινοί χώροι». Η περιοχή που φωτίζεται πλήρως ανέρχεται σε ποσοστό 59% και η φωτιζόμενη μερικώς σε ποσοστό 41%.
- Σε κτίριο με τετράγωνη κάτοψη και κεντρικό αίθριο, όλοι οι χώροι φωτίζονται πλήρως με φυσικό φως.



Σχήμα 2.22 Τρεις περιπτώσεις επίλυσης της κάτοψης πολυώροφων κτιρίων, και η επίδρασή τους στο φυσικό φωτισμό των χώρων

Σε Γενικές γραμμές:
Βάθος 13m θεωρείται το βέλτιστο βάθος κτιρίου για να γίνει πλήρης εκμετάλλευση του φυσικού φωτός με αντιδιαμετρικά ανοίγματα. Κτίρια με πτέρυγες εκμεταλλεύονται περισσότερο το φυσικό φως. Η ύπαρξη αίθριου διευκολύνει το φυσικό φωτισμό.

Για το εύκρατο κλίμα της Ελλάδας, το καταλληλότερο σχήμα είναι το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, γιατί προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για τη συλλογή της ηλιακής θερμότητας το χειμώνα. Η αναλογία βάθους προς πλάτος της κάτοψης πρέπει να είναι ≈ 1/1,5. Βεβαίως, όταν το οικόπεδο είναι επίμηκες κατά τον άξονα βορρά-νότου, τότε επιλέγουμε λύσεις με όγκους σπαστούς, ή κλιμακωτή οργάνωση του κτιρίου, έτσι ώστε οι πίσω χώροι να δέχονται ήλιο το χειμώνα (Σχήμα2.23).[Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010],[24]



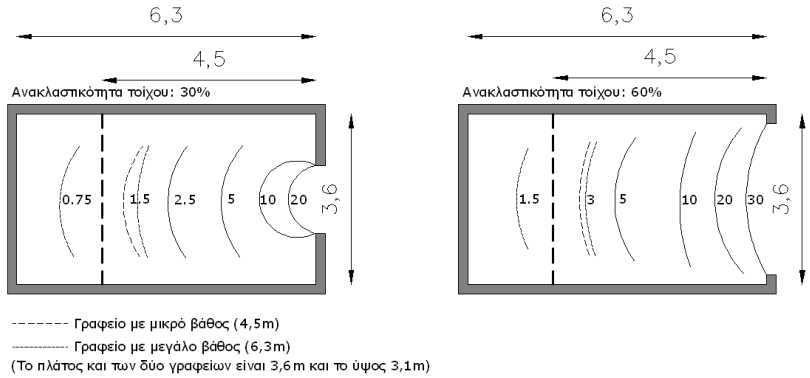
Σχήμα 2.23 Κτίριο επίμηκες κατά τον άξονα Β-Ν, σε κλιμακωτή διάταξη

2.3.1.3 Διάταξη εσωτερικού χώρου και επιλογή υλικών

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

Τέτοιες αποφάσεις είναι καθοριστικής σημασίας, τόσο για την αρχιτεκτονική σύνθεση και τη λειτουργία του κτιρίου, όσο και για τη δυνατότητά του να εξοικονομεί ενέργεια, μέσω της εκμετάλλευσης του φυσικού φωτός. Η κατανομή του φυσικού φωτισμού επηρεάζεται επίσης από την ανακλαστικότητα των υλικών του φωτιζόμενου χώρου, και γι' αυτό εάν είναι επιθυμητή η διείσδυση του φωτός σε μεγαλύτερο βάθος όπως στην περίπτωση χώρων μεγάλου βάθους, η οροφή πρέπει να έχει υψηλό συντελεστή ανάκλασης (ανοιχτό χρώμα)(Σχήμα 2.24). Η ανακλαστικότητα των υπολοίπων επιφανειών του χώρου εξαρτάται από τις γεωμετρικές αναλογίες του. Γενικά, οι ανοιχτόχρωμες εσωτερικές τοιχοποιίες δημιουργούν την «αίσθηση» φωτεινού περιβάλλοντος, αυξάνοντας σε κάποιο βαθμό τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο.

Ως γενικός κανόνας, για χώρους μεσαίου μεγέθους και ύψους, προτείνονται και στην τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας[Τ.Ο.ΤΕΕ-20702-5/2010] οι συντελεστές ανάκλασης που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2.2.5(***Δημιουργία κατάλληλων αντιθέσεων***).(Οροφή: 70-85 %, Κατακόρυφες επιφάνειες: 40-70 %, Δάπεδο: 15-40 %[Baker et al, 1993:2.14]).



Σχήμα 2.24. Κατανομή του φυσικού φωτισμού σε χώρο γραφείου. Ο συντελεστής φυσικού φωτισμού υπολογίστηκε για διαφορετικό μέγεθος ανοίγματος και ανάλογα με την ανακλαστικότητα της τοιχοποιίας. Είναι σαφής η πτώση της έντασης του φωτισμού όσο απομακρυνόμαστε από το άνοιγμα. Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ

2.3.1.4 Περιβάλλων χώρος

Το φως που εισέρχεται στο κτίριο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στις ανακλάσεις που υφίσταται στο έδαφος. Στα μονώροφα κτίρια, τα πεζοδρόμια, οι δρόμοι, οι πλακόστρωτες

αυλές, ακτινοβολούν σημαντική ποσότητα φωτός προς το κτήριο. Με τη μείωση της ανακλαστικότητας του περιβάλλοντα χώρου, ελαττώνεται σημαντικά και η ποσότητα του φυσικού φωτός που εισέρχεται στο χώρο. Η παρουσία βλάστησης επηρεάζει αρνητικά την εισερχόμενη ποσότητα φυσικού φωτός. Αντίθετα μια πέργκολα, με αναρριχώμενα φυτά έξω από ένα άνοιγμα, συμπεριφέρεται καλύτερα, γιατί αποκόπτει μόνο την άμεση ακτινοβολία χωρίς να επηρεάζει την ανακλώμενη, και συνεπώς ρυθμίζει θετικά την ποσότητα και την ποιότητα του φυσικού φωτισμού που δέχεται ο εσωτερικός χώρος (Σχήμα 2.25).

Στον πίνακα 2.9 αναγράφονται οι τιμές ανακλαστικότητας ορισμένων οικοδομικών υλικών και στον πίνακα 2.10 η ανακλαστικότητα ορισμένων χρωμάτων και έγχρωμων οικοδομικών υλικών.[3]

Σχήμα 2.25. Οριζόντιο σκίαστρο με πέργκολα με φυτά

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

Πίνακας 2.9. Συντελεστές ανάκλασης ορισμένων οικοδομικών υλικών

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

Πίνακας 2.10. Ανακλαστικότητα ορισμένων χρωμάτων και έγχρωμων οικοδομικών υλικών

2.3.2 Διατάξεις εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού

Όπως προαναφέρθηκε, τα επαρκή επίπεδα φωτισμού αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση άνετων συνθηκών και την εξασφάλιση της ποιότητας ζωής. Κυρίαρχη πηγή φωτισμού είναι το άνοιγμα: η θέση του στο χώρο, ο προσανατολισμός, η γεωμετρία, ο τύπος του υαλοπίνακα καθορίζουν την ποσότητα του εισερχόμενου φωτός και την κατανομή του μέσα στο χώρο. Παράλληλα, τα ανοίγματα παρέχουν θέα και επικοινωνία με το εξωτερικό περιβάλλον, επιτρέπουν τον αερισμό και τον ηλιασμό του χώρου, λειτουργούν ως έξοδοι διαφυγής. Οι λειτουργίες αυτές έχουν πολλές φορές αντιφατικά αποτελέσματα: στις περιπτώσεις μεγάλων διάφανων επιφανειών τα επίπεδα φωτισμού είναι υψηλά, όμως υπάρχει πάντα η πιθανότητα δημιουργίας υψηλών θερμικών απωλειών ή υπερθέρμανσης, θάμβωσης, μειωμένης ηχομόνωσης, καθώς και απώλειας του αισθήματος της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας. Για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του φυσικού φωτισμού οφείλει να λαμβάνει υπόψη όλες τις επιμέρους λειτουργίες του ανοίγματος, χωρίς να παραμελεί τα ζητήματα της αισθητικής, της λειτουργικότητας, του κόστους κατασκευής και συντήρησης.[13]

Ωστόσο, στα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα δεν υπάρχει πάντα η δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης των επιπέδων του εξωτερικού φωτισμού μέσω των συμβατικών ανοιγμάτων. Η ύπαρξη εξωτερικών εμποδίων και η κατακόρυφη άνοδος της αξίας της γης, η οποία συνήθως οδηγεί το μελετητή στη μέγιστη δυνατή κάλυψη, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη ενδεχόμενες συνέπειες από τη μείωση του αριθμού και του μεγέθους των ανοιγμάτων, περιορίζουν τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων.

Για τη βελτιστοποίηση των επιπέδων φωτισμού και ανάλογα με το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, τη μορφή και τον προσανατολισμό του , τις τοπικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών χώρων μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες διατάξεις εκμετάλλευσης του φυσικού φωτός.

Οι διατάξεις αυτές ενσωματώνονται στον πυρήνα ή στο κέλυφος και στοχεύουν κυρίως στη μετάδοση του φυσικού φωτός στα πιο απομακρυσμένα σημεία του χώρου. Ακόμη, σε ειδικές περιπτώσεις μπορούν να εφαρμοστούν σύνθετα συστήματα, τα οποία παρέχουν φυσικό φωτισμό χωρίς να υπάρχει άμεση θέαση του ουράνιου θόλου. Αρκετές φορές οι διατάξεις εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού αποβλέπουν στην ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων ή παρέχουν προστασία έναντι της θάμβωσης.

Η επιλογή της κατάλληλης διάταξης βασίζεται στις ανάγκες του χώρου και στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Η ενσωμάτωση συστημάτων εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού στα κτίρια επηρεάζει το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο των χώρων. Για το λόγο αυτό πρέπει να

προηγηθεί επισταμένη μελέτη του οπτικού και θερμικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα αρκετών συστημάτων καθιστά σχεδόν αδύνατη την προσομοίωσή τους· η μελέτη της επιρροής τους στα επίπεδα φωτισμού και στο θερμικό ισοζύγιο γίνεται συνήθως με τη βοήθεια ειδικών προπλασμάτων ή με την καταγραφή των συνθηκών σε πιλοτικούς χώρους, στους οποίους έχουν ήδη ενσωματωθεί τα ειδικά συστήματα. [13]

2.3.2.1 Διατάξεις ενσωματωμένες στον πυρήνα του κτιρίου

Αίθρια

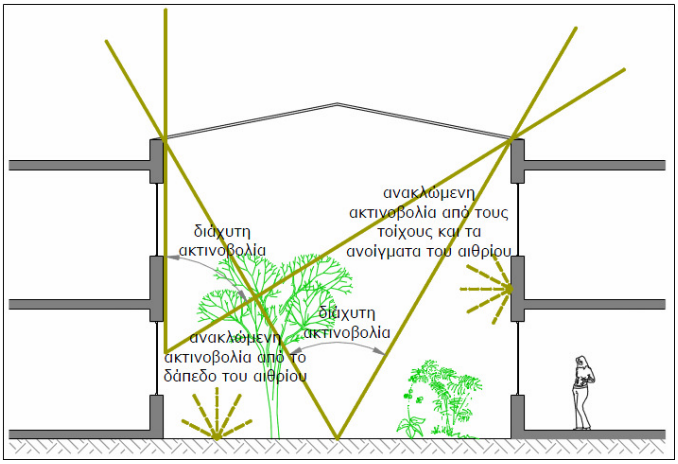
Παρόλο που η στέγαση του ελεύθερου χώρου μεταξύ των κτιρίων έχει τις ρίζες της σε πολύ παλαιότερες εποχές, μόλις τις τελευταίες δεκαετίες το αίθριο ενσωματώθηκε στο κέλυφος του κτιρίου. Η ιδέα αποδίδεται στον αρχιτέκτονα John Portman, ο οποίος πρώτος σχεδίασε ξενοδοχειακά συγκροτήματα στις Η.Π.Α. με κεντρικά αίθρια. Έκτοτε το αίθριο συναντάται σε αρκετούς τύπους κτιρίων και εξυπηρετεί διάφορες ανάγκες.(φωτ. 2.1)

Φωτ. 2.1. Άποψη του νέου εσωτερικού αίθριου στο Βρετανικό Μουσείο του Λονδίνου
Πηγή: www.thebritishmuseum.ac.uk

Η στέγαση της οροφής του παρέχει τη δυνατότητα της περιστασιακής χρήσης του και παρέχει βελτιωμένες θερμικές συνθήκες σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Επειδή κατά τη διάρκεια του χειμώνα η θερμοκρασία στο εσωτερικό του αίθριου είναι κατά κανόνα υψηλότερη σε σχέση με αυτήν του εξωτερικού αέρα, οι θερμικές απώλειες των χώρων, οι οποίοι είναι προσανατολισμένοι προς το αίθριο, περιορίζονται. Παράλληλα, η κατάλληλη ηλιοπροστασία και η πρόβλεψη ανοιγόμενων στοιχείων στην οροφή του για την απαγωγή του θερμού αέρα τη θερινή περίοδο συνεισφέρουν στον παθητικό δροσισμό του κτιρίου. Το αίθριο (σχήμα 2.26) αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή για το φωτισμό κτιρίων με μεγάλο όγκο και περίμετρο κάτοψης. Η κατανομή του φωτισμού στο εσωτερικό του είναι περίπλοκη και εξαρτάται από τις διαστάσεις και τη γεωμετρία του αιθρίου, τη μορφή της γυάλινης οροφής ,

το είδος των υαλοπινάκων καθώς και από τα χαρακτηριστικά των πλευρικών τοιχοποιιών και του δαπέδου στον εσωτερικό χώρο. Η χωροθέτηση των εσωτερικών χώρων πρέπει να στοχεύει ώστε να διασφαλίζεται κύριος φωτισμός από τα ανοίγματα των εξωτερικών όψεων και επικουρικά από το αίθριο.

Η γεωμετρία του αιθρίου έχει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων φωτισμού στο εσωτερικό του. Αίθρια με ορθογωνική κάτοψη εμφανίζουν έως και 10% υψηλότερες τιμές συντελεστή φυσικού φωτός(DF) στη βάση τους, σε σχέση με αίθρια ίσης επιφάνειας αλλά τριγωνικής ή πολυγωνικής μορφής. Μεγάλο ύψος σε συνδυασμό με περιορισμένη περίμετρο έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία εισχώρησης και ανάκλασης ικανοποιητικής ποσότητας φυσικού φωτός, ιδιαίτερα στο επίπεδο των κατώτερων ορόφων. Σε γενικές γραμμές ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού επιτυγχάνονται στο εσωτερικό του αιθρίου όταν το ύψος του δεν υπερβαίνει το πλάτος του. Η κλιμακωτή διάταξη των ορόφων που περικλείουν το αίθριο συνεισφέρει στη βελτίωση των επιπέδων φωτισμού στη βάση του. Για την καλύτερη αξιοποίηση του αιθρίου ενδείκνυται η χωροθέτηση χώρων με μικρό βάθος και μεγαλύτερο ελεύθερο ύψος στους χαμηλότερους ορόφους.



Σχήμα 2.26. Παροχή φυσικού φωτός σε ένα αίθριο

Τα χαρακτηριστικά της στέγασης του αιθρίου επιδρούν στην ποσότητα του εισερχόμενου φωτός. Συγκεκριμένα, η γυάλινη οροφή μειώνει την ποσότητα του εισερχόμενου φωτός κατά τουλάχιστον 20%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η μείωση φτάνει μέχρι και το 50%. Ιδιαίτερη σημασία έχει η μορφή του γυάλινου επιστεγάσματος, το οποίο καλό είναι να αποτελείται από όσο το δυνατό μικρότερο ποσοστό μεταλλικών πλαισίων, ώστε η καθαρή επιφάνεια του υαλοπίνακα να επιτρέπει την εισχώρηση περισσότερου φυσικού φωτός.

Οι ιδιότητες των εσωτερικών επιφανειών καθορίζουν την κατανομή του φωτισμού στο χώρο και ασκούν μεγαλύτερη επιρροή καθώς αυξάνεται το ύψος του αίθριου. Τα εσωτερικά παράθυρα των χώρων, που είναι προσανατολισμένα προς το αίθριο, μειώνουν το ποσοστό του εσωτερικά ανακλώμενου φωτός. Για παράδειγμα, αν ληφθεί ως πρότυπο σύγκρισης η

περίπτωση αιθρίου με εσωτερικές επιφάνειες λευκού χρώματος, η κάλυψη του 50% της πλευρικής επιφάνειάς του με διαφανή στοιχεία επιφέρει τη μείωση των επιπέδων φωτισμού κατά 50%, ενώ στην περίπτωση που τα εσωτερικά χωρίσματα είναι πετάσματα υαλοπινάκων, ο φωτισμός μειώνεται κατά τα δύο τρίτα.

Επιπλέον, το μεγαλύτερο ποσοστό του φωτός ανακλάται στα ανώτερα τμήματα των εσωτερικών τοιχοποιιών του αιθρίου. Για το λόγο αυτό ενδείκνυται ο περιορισμός των ανοιγμάτων στους υψηλότερους ορόφους ή η εφαρμογή ανακλαστικών υαλοπινάκων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται ο φωτισμός στους χαμηλότερους ορόφους και παράλληλα μειώνεται η πιθανότητα θάμβωσης στους υψηλότερους, αφού αυτοί λαμβάνουν κατά κανόνα περισσότερο και μεγαλύτερης έντασης φως.

Εκτός από τα πλευρικά τοιχώματα του αίθριου, ιδιαίτερη σημασία στον καθορισμό των επιπέδων του φωτός, το οποίο ανακλάται στις εσωτερικές επιφάνειες έχει η ανακλαστικότητα του δαπέδου. Το ανακλώμενο στο δάπεδο φυσικό φως είναι η κύρια πηγή φωτισμού των εσωτερικών χώρων, οι οποίοι βρίσκονται στους χαμηλότερους ορόφους του κτιρίου και γειτνιάζουν με το αίθριο. Η εφαρμογή σκουρόχρωμων υλικών επίστρωσης ή η ύπαρξη φυτεμένων επιφανειών μπορεί να μειώσει τα επίπεδα φυσικού φωτός μέχρι και 20%.

Ωστόσο, παρόλο που τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο αίθριο κρίνονται ικανοποιητικά, ο φωτισμός των εσωτερικών χώρων, που το περιβάλλουν, είναι σε αρκετές περιπτώσεις ανεπαρκής. Σε σχετική πειραματική μελέτη του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνιας καταγράφηκαν τα επίπεδα φωτισμού σε ειδικό πρόπλασμα , το οποίο αντιστοιχούσε σε μία τετραώροφη οικοδομή με εσωτερικό αίθριο στον πυρήνα της. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι εσωτερικοί χώροι των υψηλότερων ορόφων παρουσίαζαν σχετικά ικανοποιητικά επίπεδα φυσικού φωτός, ενώ στους χαμηλότερους ορόφους και στο ισόγειο δεν πληρούνταν τα κριτήρια της οπτικής άνεσης.(*πηγές κειμένου " Αίθρια "*[13],[3])

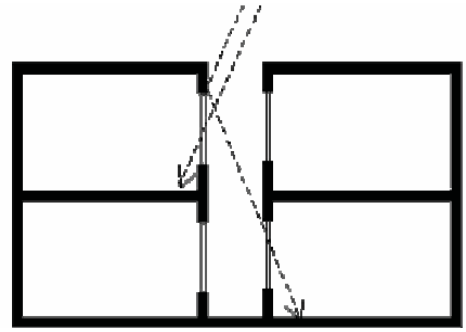
Φωταγωγοί

Παρόμοια κατασκευή με το αίθριο είναι ο φωταγωγός, ο οποίος συναντάται αρκετά συχνά σε πολυκατοικίες στην Ελλάδα για το φωτισμό και τον αερισμό βοηθητικών χώρων και κλιμακοστασίων.

Ο φωταγωγός καταλαμβάνει μικρότερο εμβαδό σε σχέση με το αίθριο και πολλές φορές δεν είναι στεγασμένος. Η αποτελεσματικότητα του φωταγωγού έγκειται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, στην ανακλαστικότητα των πλευρικών επιφανειών του, καθώς και στον αριθμό, στο μέγεθος και στη θέση των ανοιγμάτων που βλέπουν προς αυτόν.

Σε γενικές γραμμές, οι φωταγωγοί μεγάλου βάθους δεν παρέχουν ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού στους χώρους κοντά στη βάση τους. Τα επίπεδα φωτισμού στους χαμηλότερους

ορόφους βελτιώνονται με την αύξηση της ανακλαστικότητας των τοιχωμάτων του φωταγωγού, τον περιορισμό του ποσοστού των ανοιγμάτων στους υψηλότερους ορόφους ή με την κατασκευή φωταγωγών σε σχήμα ανεστραμμένου κώνου .[13]



Σχήμα 2.27.Γραφική απεικόνιση φωταγωγού

Φωτ.2.2.Άποψη του φωταγωγού στο κτίριο Casa Mila (Le Pedrera) στη Βαρκελώνη της Ισπανίας. Σχεδιάστηκε από τον Γκαουντί κατά την περίοδο 1905-1910.

2.3.2.2 Διατάξεις ενσωματωμένες στο κέλυφος του κτιρίου

1) Πλευρικά ανοίγματα

Τα ανοίγματα πρέπει να κατανέμονται σωστά στην όψη και να έχουν το κατάλληλο μέγεθος και σχήμα. Οι σχεδιαστικές πρακτικές που αφορούν στην επιλογή των πλευρικών ανοιγμάτων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Μέγεθος ανοίγματος

Το μέγεθος του ανοίγματος σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του φωτιζόμενου χώρου. Ένας εμπειρικός κανόνας καθορίζει ότι ποσοστό ανοίγματος ίσο με το 20% της επιφάνειας του φωτιζόμενου χώρου παρέχει ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτός και συγχρόνως αποφεύγονται οι υπερβολικές θερμικές απώλειες το χειμώνα, η υπερθέρμανση το καλοκαίρι και μειώνεται ο κίνδυνος θάμβωσης. Η αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων πέραν αυτού του ορίου επιφέρει μικρή αύξηση του φυσικού φωτισμού, ενώ προκαλεί δυσανάλογα μεγάλη αύξηση του θερμικού και ψυκτικού φορτίου του χώρου.

Σύμφωνα με τον ελληνικό Κτιριοδομικό Κανονισμό, το μέγεθος των ανοιγμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον το 10% της επιφάνειας του δαπέδου του φωτιζόμενου χώρου, για να επιτυγχάνεται ο ελάχιστος φωτισμός και αερισμός. Βέβαια αυτή η προδιαγραφή δεν είναι αρκετή, γιατί δε λαμβάνεται υπόψη η αυξομείωση της έντασης του φυσικού φωτισμού, σε σχέση με τα υπάρχοντα εξωτερικά εμπόδια, τον όροφο που βρίσκεται αυτός ο χώρος κλπ.

Σε γενικές γραμμές η επιφάνεια του ανοίγματος είναι ανάλογη με τα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο χώρο και αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος κατά 10% συμβάλλει στην αύξηση του μέσου συντελεστή φυσικού φωτός κατά περίπου 1%.

Θέση ανοίγματος στον τοίχο

Η θέση του ανοίγματος στον τοίχο. Όσο πιο ψηλά είναι τοποθετημένο ένα άνοιγμα, τόσο πιο βαθιά φτάνει το φυσικό φως στο χώρο. Με την τοποθέτηση των ανοιγμάτων υψηλά, σε συνδυασμό με την αύξηση της ανακλαστικότητας του πίσω τοίχου του φωτιζόμενου χώρου, επέρχεται ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού σε όλο το βάθος. Εάν το βάθος του χώρου ξεπερνά κατά 2,5 φορές το ύψος του ανοίγματος μέχρι το ανώφλι, τότε ο φωτισμός στο πίσω μέρος του χώρου δεν είναι ικανοποιητικός, τόσο ως προς την ποσότητα, όσο και ως προς την ποιότητα

Αναλογίες πλάτους-ύψους ανοίγματος

Το σχήμα του ανοίγματος επηρεάζει την κατανομή του φωτός στο χώρο. Με ανοίγματα μεγάλου πλάτους (αναλογίες πλάτους προς ύψος περίπου 2:1), ο φωτισμός του χώρου διαμορφώνεται σε ζώνες διαφορετικής έντασης, παράλληλες προς τον τοίχο που φέρει το άνοιγμα. Η ένταση του φωτισμού παραμένει σχεδόν σταθερή όλη την ημέρα και εμφανίζεται μικρός κίνδυνος θάμβωσης. Με κατακόρυφα ανοίγματα (αναλογίες πλάτους προς ύψος περίπου 1:2), ο φωτισμός διανέμεται σε μια ζώνη κάθετη προς τον τοίχο του ανοίγματος, με αποτέλεσμα τη διαφορετική ένταση του φωτισμού στη διάρκεια της ημέρας. Αυτός ο τύπος του ανοίγματος προσφέρει καλύτερο φωτισμό σε περιοχές απομακρυσμένες από το άνοιγμα, αλλά προκαλεί και μεγαλύτερη θάμβωση.

Πολλά μικρά ανοίγματα-ένα μεγάλο άνοιγμα

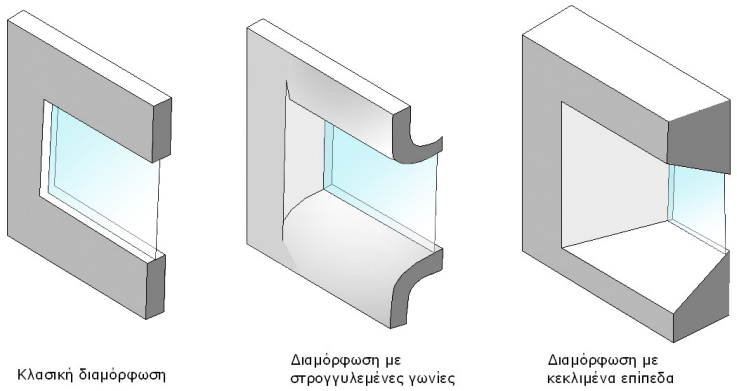
Πολλά μικρότερα ανοίγματα αντί για ένα άνοιγμα μεγάλου μεγέθους συμβάλλουν σε καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτός στο χώρο. Εάν ο χώρος έχει μεγάλο βάθος, δεν επαρκεί ο μονόπλευρος φωτισμός. Απαιτείται συμπληρωματικός φωτισμός από πλευρικά παράθυρα, φεγγίτες και ανοίγματα στην οροφή. Με τα διαμπερή ανοίγματα επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή του φωτός και μειώνεται η θάμβωση. Ιδιαίτερα όταν τα ανοίγματα τοποθετούνται σε παρακείμενους τοίχους μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος θάμβωσης, επειδή εξομαλύνεται η διαφορά λαμπρότητας μεταξύ των τοίχων και του ανοίγματος.

Τοποθέτηση κοντά στους εσωτερικούς τοίχους

Τοποθέτηση των ανοιγμάτων κοντά στους εσωτερικούς τοίχους. Με τη βοήθεια των διαδοχικών ανακλάσεων της φωτεινής ακτινοβολίας όλοι οι τοίχοι φωτίζονται κι έτσι μειώνεται η διαφορά λαμπρότητας των επιφανειών και ο κίνδυνος θάμβωσης

Διαμόρφωση των παραστάδων ή του ανωφλίου ή και της ποδιάς των παραθύρων με κλίση ή στρογγυλεμένες γωνίες

Διαμόρφωση των παραστάδων ή του ανωφλίου ή και της ποδιάς των παραθύρων με κλίση ή με στρογγυλεμένες γωνίες, για να διευκολυνθεί η μετάβαση από τη φωτεινή περιοχή του παραθύρου στη μη φωτιζόμενη ζώνη της τοιχοποιίας, έτσι ώστε να αποφευχθεί η θάμβωση και να βελτιωθεί η οπτική άνεση (Σχήμα 2.28).

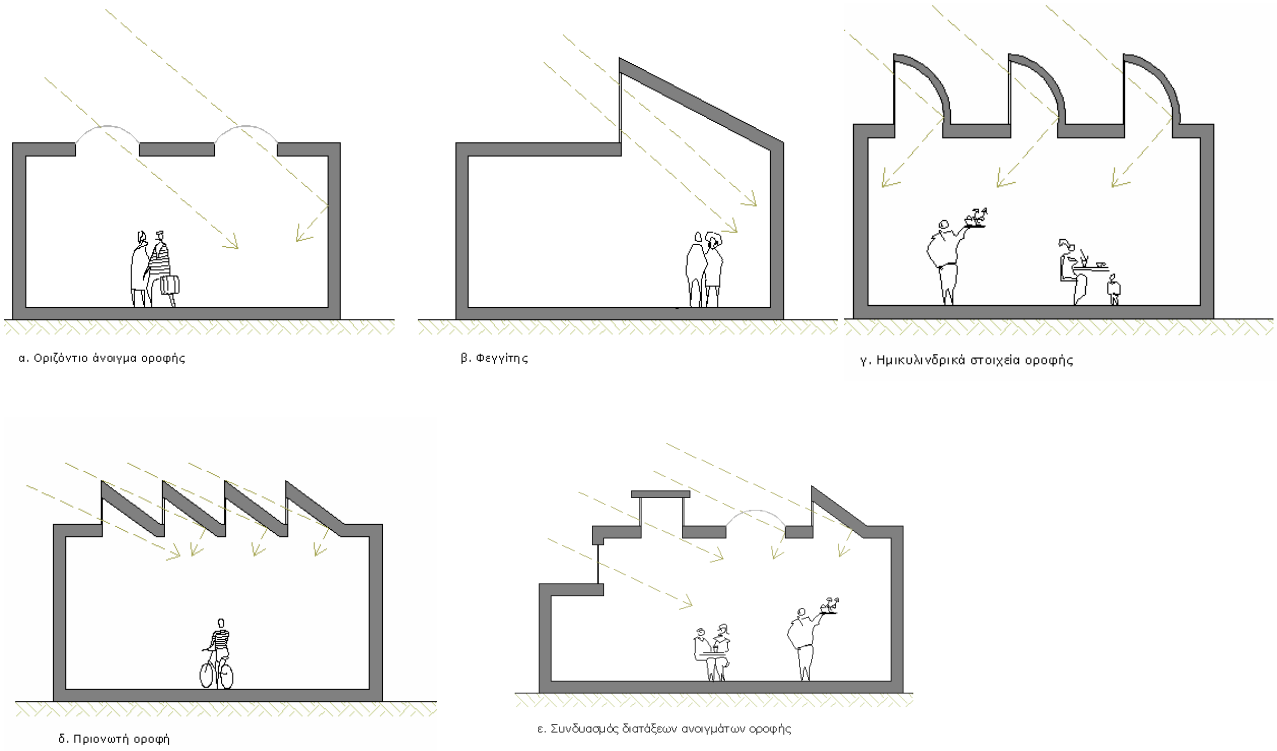


Σχήμα 2.28:Διαμόρφωση του ανωφλίου και του κατωφλίου των παραθύρων, για να αποφευχθεί η θάμβωση
Πηγή κειμένου και σχήματος 2.28:Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010

2)Ανοίγματα οροφής

Τα ανοίγματα οροφής χρησιμοποιούνται για το φωτισμό κτιρίων από τη Ρωμαϊκή εποχή. Οριζόντια, κεκλιμένα ή κατακόρυφα, επίπεδα ή καμπυλόμορφα, υπερυψωμένα ή συνεπίπεδα ανοίγματα στην οροφή είναι διατάξεις που επιτρέπουν το φωτισμό των χώρων από ψηλά (Σχήμα 2.29). Σήμερα εφαρμόζονται συνήθως στους ανώτερους ορόφους κτιρίων με μεγάλη περίμετρο, τα πλευρικά ανοίγματα των οποίων δεν επαρκούν για το φωτισμό των εσωτερικών χώρων. Η διαστασιολόγησή τους, η επιλογή του αριθμού και της θέσης τους στην οροφή του χώρου εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός στο εξωτερικό περιβάλλον και τις ανάγκες του χώρου σε φωτισμό.

Κατά κανόνα, σε σχέση με τα πλευρικά ανοίγματα, επιτρέπουν την εισχώρηση μεγαλύτερης ποσότητας φυσικού φωτός, επειδή στις συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού η φωτεινότητα στο ζενίθ είναι τριπλάσια σε σχέση με τον ορίζοντα. Ο άνωθεν φωτισμός κατανέμεται ομοιόμορφα στο χώρο παρέχοντας καλύτερες οπτικές συνθήκες. Επιπλέον, η θέση τους ελαχιστοποιεί την πιθανότητα σκίασης τους από εξωτερικά εμπόδια ή εσωτερικές διατάξεις, μεγιστοποιώντας την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός.

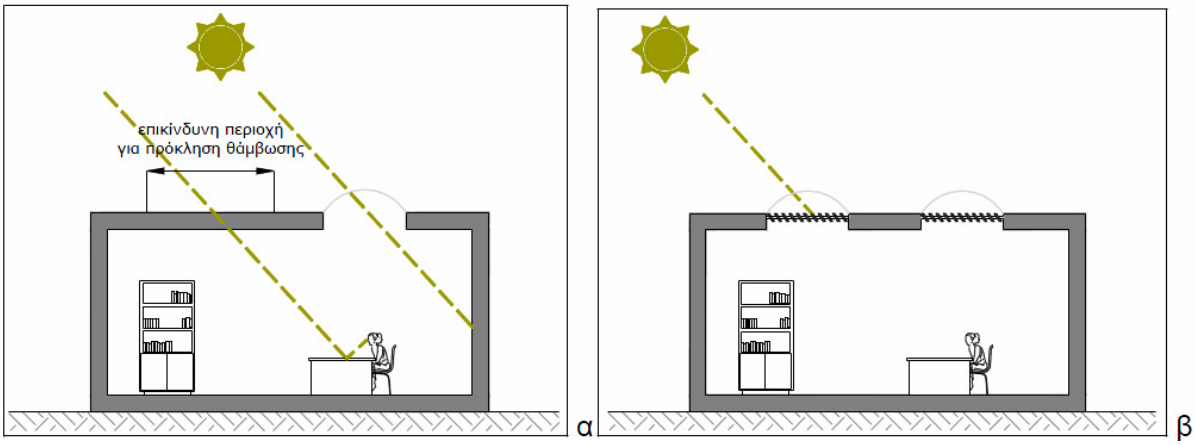


Σχήμα 2.29 Διατάξεις ανοιγμάτων οροφής -*Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010*

Οι φεγγίτες, τα πριονωτά ή τα ημικυλινδρικά στοιχεία διαχέουν το φως στο χώρο μέσω διαδοχικών ανακλάσεων και παρέχουν πιο ομοιόμορφο φωτισμό. Ωστόσο, η ποσότητα του εισερχόμενου στο χώρο φωτός είναι μικρότερη σε σχέση με τα οριζόντια ανοίγματα υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, καθώς λαμβάνουν διάχυτο φωτισμό από ένα τεταρτημόριο του ουράνιου θόλου. Ο προσανατολισμός τους καθορίζεται από τις ανάγκες του χώρου. Όταν απαιτούνται σταθερές συνθήκες φωτισμού(π.χ. σε βιβλιοθήκες), είναι προτιμότερος ο βόρειος προσανατολισμός.

Το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζουν είναι ο κίνδυνος θάμβωσης από το άμεσο ηλιακό φως. Τα ανοίγματα οροφής πρέπει να προβλέπονται σε θέσεις κατάλληλες έξω από την περιοχή που μπορεί να προκαλέσει θάμβωση από ανάκλαση (Σχήμα 2.30α) ή να προστατεύονται με περσίδες για να αποτραπεί και η θάμβωση από τη θέαση του ουρανού (Σχήμα 2.30β). Μπορεί να συνδυάζονται με αδιαφανείς υαλοπίνακες, με διαχυτικά

φωτοδιαπερατά υλικά και με σκίαστρα / ανακλαστήρες τοποθετημένα υπό κλίση. Μειονέκτημα επίσης είναι ότι συλλέγουν περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν αυτή δεν είναι επιθυμητή.



Σχήμα 2.30. Κατάλληλος σχεδιασμός και προστασία του οριζόντιου ανοίγματος οροφής για να αποφευχθεί η θάμβωση από αντανάκλαση-Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010

Τα ανοίγματα οροφής επειδή δε συνεισφέρουν στην οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον δεν πρέπει να αποτελούν τα μοναδικά ανοίγματα, αλλά να χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά για το φωτισμό του χώρου.

Ειδική περίπτωση ανοιγμάτων οροφής αποτελούν οι φωτοσωλήνες, που εφαρμόζονται σε πολυώροφα κτήρια και περιγράφονται στη συνέχεια.

Πηγές κειμένου :[13] και Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010

3)Διαφανείς τοίχοι και οροφές

Διαφανείς τοίχοι και οροφές

Οι τοιχοποιίες και οι οροφές, όταν προβλέπεται από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό να λειτουργούν ως στοιχεία που συμβάλλουν στο φυσικό φωτισμό των χώρων, ανάλογα με το εάν είναι επιθυμητή η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον κατασκευάζονται με διαφανή ή ημιδιαφανή υλικά. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι γυαλί, πλαστικά ή συνθετικά υλικά (πολυκαρβονικά, ακρυλικά, υαλοϋφάσματα, κλπ.) ή και διαφανής μόνωση.

Οι τοιχοποιίες κατασκευασμένες με υαλότουβλα ή άλλα ημιδιαφανή υλικά, π.χ. ακρυλικά, επιτρέπουν την είσοδο του φυσικού φωτός, το οποίο διαχέεται από το ημιδιαφανές υλικό, έτσι ώστε να δημιουργούνται εσωτερικές ζώνες, κοντά στην τοιχοποιία, με υψηλό επίπεδο διάχυτου φωτισμού. Το πάχος αυτών των τοιχοποιιών κυμαίνεται από 5 έως 30εκ., ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους.

Συχνά κατακόρυφα στοιχεία από γυαλί ή πλαστικό, διαφανή ή ημιδιαφανή, διαμορφώνουν ολόκληρη την όψη του κτηρίου. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική των μεγάλων ειδικών κτηρίων στρέφεται στη χρησιμοποίηση του «δομικού υαλοστασίου» (structural glazing) για τη διαμόρφωση των εξωτερικών όψεων. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μεγάλοι χώροι με υψηλό επίπεδο φωτισμού. Απαιτείται όμως τα υαλοστάσια να κατασκευαστούν από υλικά με ειδικές θερμικές ιδιότητες, προκειμένου να μειωθεί το θερμικό και ψυκτικό φορτίο των κτηρίων (Φωτ.2.3 (α) και (β)).

(α) (β)

Φωτ. 2.3. Κατασκευή με δομικό υαλοστάσιο στο κτήριο City of Sciences et Technologie, Parc de la Villette, Paris (αρχ. Adrien Fainsilber, 1986).
Άποψη (α) από το εξωτερικό και (β)από το εσωτερικό- Πηγή: Τ.Ο.ΤΕΕ

Αντίστοιχα, οι οροφές -επίπεδες, κεκλιμένες ή θόλοι- μπορεί να κατασκευαστούν από υαλοπίνακες, υαλόπλακες ή άλλα πλαστικά υλικά ή μεμβράνες –διαφανείς ή ημιδιαφανείς. Πολλές φορές διαφανείς ή ημιδιαφανείς κατασκευές καλύπτουν εξολοκλήρου ένα χώρο. Οι ημιδιαφανείς καλύψεις πλεονεκτούν έναντι των συμπαγών, επειδή διαχέουν το φως και μειώνουν τον κίνδυνο της απευθείας θάμβωσης για τους χρήστες. Η πλήρης επικάλυψη όμως των χώρων με διαφανή-ημιδιαφανή υλικά δεν παρέχει ικανοποιητική θερμομόνωση, εκτός αν πρόκειται για διαφανή θερμομόνωση και, ως εκ τούτου, οι θερμικές απώλειες αυξάνονται εξουδετερώνοντας έτσι τα οφέλη από το φυσικό φωτισμό.

Τοιχοποιίες και οροφές μπορεί να κατασκευαστούν και από διαφανή θερμομόνωση (TIM – Transparent Insulation Material). Πρόκειται για ημιδιαφανές θερμομονωτικό υλικό, κυψελωτής δομής, κυρίως πολυκαρβονικής προέλευσης, που τοποθετείται στο διάκενο

δίδυμου υαλοπίνακα με πλαίσιο. Λόγω της δομής του επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό φως να εισέλθει στο εσωτερικό του χώρου, παράλληλα όμως μειώνει τις θερμικές απώλειες. Αναλόγως με τη δομή του θερμομονωτικού, την τοποθέτηση των κυψελών σε σχέση με τη διατομή του τοίχου, το πάχος του, καθώς και τον τύπο των υαλοπινάκων, η διαπερατότητα του ΤΙΜ στο ορατό φως κυμαίνεται από 0,73 έως 0,82, με αντίστοιχες τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας από 0,800 έως 1,100W/m^{2}K, χωρίς να αποκλείονται μεγαλύτερα εύρη τιμών με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται ηλιακά κέρδη μικρότερα σε σχέση με εκείνα του διαφανούς υαλοπίνακα και διάχυτος φυσικός φωτισμός, αλλά πολύ μικρότερες θερμικές απώλειες. Το πάχος της διαφανούς θερμομόνωσης με κεκλιμένες προς τη διατομή κυψέλες κυμαίνεται από 12 έως 50mm, ενώ για κάθετες προς τη διατομή κυψέλες έχει μεγαλύτερο πάχος.

Πηγή κειμένου : Τ.Ο.ΤΕΕ_Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτηρίων

2.3.2.3 Διατάξεις ενσωματωμένες στα ανοίγματα

Οι συγκεκριμένες διατάξεις εφαρμόζονται στα ανοίγματα για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτός σε συνδυασμό με την ηλιοπροστασία τους. Οι περισσότερες βασίζονται στην εκτροπή του άμεσου φωτός προς τα βαθύτερα σημεία του χώρου, παρέχοντας ομοιόμορφο φωτισμό σε όλη την επιφάνεια αναφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω ειδικών διατάξεων γύρω από το άνοιγμα είτε με την εφαρμογή ειδικών υαλοπινάκων.

1)Ράφια φωτισμού

Είναι επίπεδα ή καμπύλα στοιχεία που τοποθετούνται στα ανοίγματα, πάνω από τη γραμμή όρασης. Το ράφι φωτισμού διαχωρίζει το διαφανές στοιχείο του κελύφους σε ένα συμβατικό άνοιγμα και ένα φεγγίτη. Συνήθως έχουν στιλπνή την άνω επιφάνειά τους (κατοπτρική επιφάνεια ή επιφάνεια που προκαλεί διάχυση), στην οποία ανακλάται η προσπίπτουσα φωτεινή ακτινοβολία και κατευθύνεται προς την οροφή του χώρου, ή διαχέεται αντίστοιχα, βελτιώνοντας έτσι την κατανομή του φωτισμού. Παράλληλα παρέχουν προστασία από τη θάμβωση από τη θέαση του ουρανού από το εσωτερικό και λειτουργούν ως ηλιοπροστατευτική διάταξη για το τμήμα του παραθύρου που βρίσκεται κάτω από αυτά.

Η κάτω πλευρά τους ανακλά επίσης τις φωτεινές δέσμες τις προερχόμενες από το έδαφος και αυξάνει την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στο χώρο. Η ακριβής θέση τους καθ' ύψος του ανοίγματος εξαρτάται από το ύψος της οροφής και τη διαμόρφωση του εσωτερικού

χώρου. Τα ράφια φωτισμού κατασκευάζονται στην εσωτερική ή εξωτερική πλευρά ή εκατέρωθεν του υαλοπίνακα και αποτελούν συγχρόνως στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης.

Ένα εσωτερικό ράφι φωτισμού, που επαναπροσανατολίζει και αντανακλά το φως, θα μειώσει το ποσοστό φωτός που προσλαμβάνεται στο εσωτερικό σε σχέση με ένα συμβατικό παράθυρο. Διάφορες μετρήσεις έχουν δείξει ότι τα παράθυρα με εσωτερικά ράφια φωτισμού παρέχουν ένα γενικά μειωμένο παράγοντα φυσικού φωτός σε ολόκληρη την επιφάνεια εργασίας στη διάρκεια του χρόνου σε σχέση με ένα μη σκιασμένο άνοιγμα ίσης επιφάνειας.

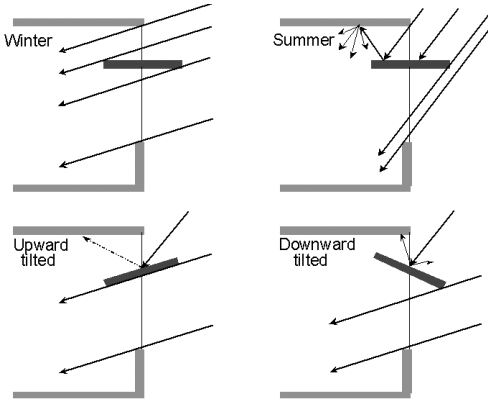
Σε μερικές περιπτώσεις, με τη χρήση εξωτερικού ραφιού φωτισμού, καθίσταται πιθανό να αυξάνεται η συνολική ποσότητα του εισερχόμενου φωτός, έναντι αυτού που παρέχεται από τα παραδοσιακά παράθυρα, λόγω της έκθεσής τους στις ανώτερες περιοχές του ουράνιου θόλου, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλότερη φωτεινότητα. Επίσης, ο σκιασμός των περιοχών κοντά στο άνοιγμα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του παράγοντα φυσικού φωτός στις περιοχές αυτές και συνεπώς την περισσότερο ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού στην επιφάνεια αναφοράς και τον περιορισμό της πιθανότητας θάμβωσης λόγω υψηλής αντίθεσης στη φωτεινότητα των εσωτερικών επιφανειών. Το προτεινόμενο μήκος του εξωτερικού ραφιού είναι περίπου ίσο με το ύψος της θέσης του σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός του ραφιού περιλαμβάνει τη μελέτη ηλιασμού του χώρου κατά τους χειμερινούς μήνες, την ελαχιστοποίηση των άμεσων ηλιακών κερδών το καλοκαίρι και τη βαθύτερη εισχώρηση του φυσικού φωτός στο χώρο. Η χρήση των ραφιών φωτισμού ενδείκνυται σε περιοχές με μεγάλη συχνότητα ηλιοφάνειας και σε χώρους με μεγάλο βάθος προσανατολισμένους προς το νότο. Σημαντική επιρροή στην απόδοση του συστήματος έχει και το υλικό επίστρωσης της ανώτερης επιφάνειας του. Οι στιλπνές επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας(καθρέπτης, αλουμίνιο) ανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό εισερχόμενου φωτός προς την οροφή του χώρου, ωστόσο χρειάζονται τακτικό και προσεκτικό καθαρισμό. Θαμπές (ματ) επιφάνειες διαχέουν το εισερχόμενο φως, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της κατεύθυνσής του.

Η οροφή του εσωτερικού χώρου έχει επίσης σημαντικό ρόλο, καθώς το ανακατευθυνόμενο από το ράφι φως ανακλάται σε αυτήν και στη συνέχεια κατανέμεται στις εσωτερικές επιφάνειες. Παρόλο που η επίστρωση της οροφής με υλικό υψηλής ανακλαστικότητας έχει ως αποτέλεσμα τη διάχυση περισσότερου φωτός στο εσωτερικό του χώρου, προτιμάται η εφαρμογή λιγότερο στιλπνών υλικών(π.χ. λευκό πλαστικό χρώμα) για την αποφυγή της

θάμβωσης από τις ανακλάσεις του φωτός στην περιοχή της οροφής κοντά στο ράφι φωτισμού.

Πηγές κειμένου : [13],[3],[10]



Φωτ.2.4

Φωτ.2.5

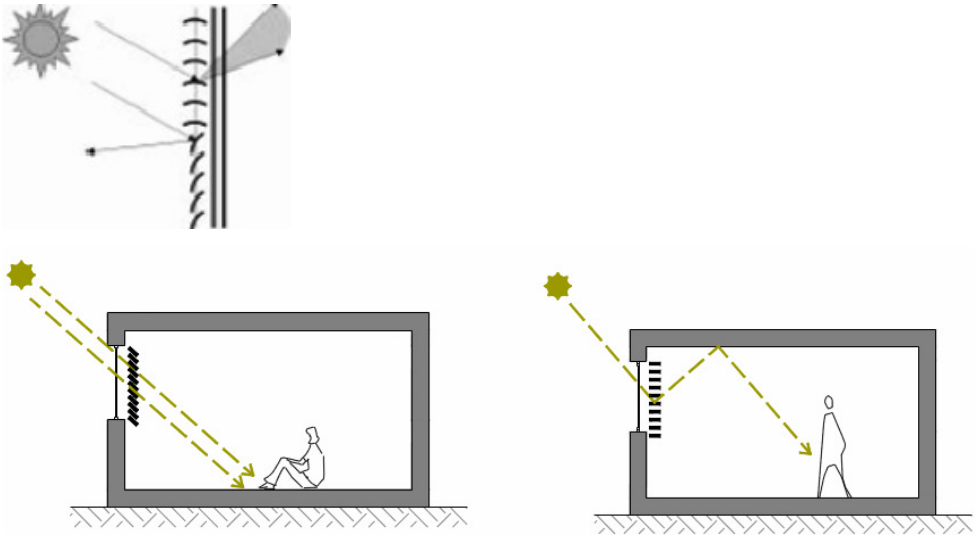
Σχήμα2.31: Λειτουργία ραφιών φωτισμού(κατασκευασμένα εκατέρωθεν του ανοίγματος) σε διάφορες εποχές και σε διάφορες γωνίες.
Φωτ.2.4: Χρήση ραφιών φωτισμού στο Λονδίνο της βικτωριανής εποχής Πηγή:Baker & Steemers, 2002:151
Φωτ.2.5: Άποψη του ραφιού φωτισμού στην πειραματική κυψέλη του Εργαστηρίου Φυσικού Φωτός στο Δανέζικο Ερευνητικό Κέντρο για το κτίριο και το αστικό περιβάλλον.(www.sbi.dk)

2)Ανακλαστήρες (ανακλαστικές περσίδες)

Εξωτερικές ή εσωτερικές περσίδες με ανακλαστική την άνω παρειά τους αυξάνουν την ποσότητα του φυσικού φωτός που δέχεται ο χώρος, παρέχοντας συγχρόνως σκιασμό και προστασία από τη θάμβωση. Δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι το καλοκαίρι ή κατά τη διάρκεια ημερών με μεγάλη ηλιοφάνεια, οι πολύ στιλπνές επιφάνειες των περσίδων μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση.

Ως σύστημα φυσικού φωτισμού, οι κινητές περσίδες λειτουργούν όπως και τα ράφια φωτισμού, εκτρέποντας τις ηλιακές ακτίνες προς την επιθυμητή κατεύθυνση στο χώρο (κατά προτίμηση στην οροφή). Οι κινητές περσίδες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές καθώς επιτρέπουν τη εύκολη ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με την κλίση τους.

Τεχνική περιγραφή: Το σύστημα αυτό αποτελείται από πολλαπλά οριζόντια, κατακόρυφα ή κεκλιμένα ελάσματα, τα οποία είναι σταθερά ή κινητά και περιστρέφονται χειρωνακτικά ή μηχανικά. Υπάρχουν διάφορα είδη περσίδων, μερικά από τα οποία έχουν ιδιαίτερα περίπλοκες μορφές και επιφάνειες.



Σχήμα 2.32: Σύστημα κινητών ανακλαστικών περσίδων-πηγή:Τ.Ο.ΤΕΕ_20702-5/2010

Παραγωγή : Οι εξωτερικές ανακλαστικές περσίδες κατασκευάζονται συνήθως από γαλβανισμένο χάλυβα ή χρωματισμένο αλουμίνιο, ή πλαστικό (PVC) για μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρές ανάγκες συντήρησης. Οι εσωτερικές κινητές περσίδες συνήθως κατασκευάζονται από μικρό - ή μεσαίου μεγέθους PVC ή χρωματισμένο αλουμίνιο. Το σχήμα τους μπορεί να είναι επίπεδο ή καμπύλο. Το μέγεθος των περσίδων που χρησιμοποιούνται ποικίλλει ανάλογα τη θέση τοποθέτησης, δηλαδή εσωτερικά, εξωτερικά του κουφώματος ή και μεταξύ διπλών υαλοστασίων. Οι εξωτερικές περσίδες έχουν συνήθως πάχος μεταξύ 50 και 100 χιλ. και οι εσωτερικές έχουν συνήθως πάχος 10 έως 50 χιλ.

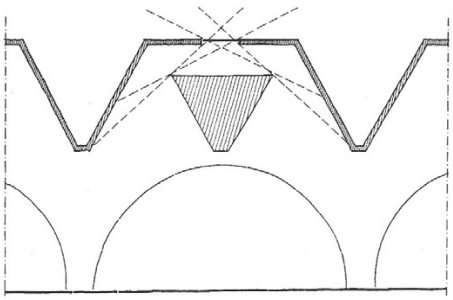
Εφαρμογή : Οι ανακλαστικές περσίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλους τους προσανατολισμούς και σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη και μπορούν να προστεθούν σε ένα σύστημα παραθύρων όποτε αυτό είναι απαραίτητο.

Ανάλογα με τη γωνία τους, οι κινητές ανακλαστικές περσίδες εμποδίζουν εν μέρει ή εντελώς τη θέα στο εξωτερικό. Οι κάθετες περσίδες επιτρέπουν μια κάθετη θέα του ουρανού, ενώ οι οριζόντιες μειώνουν το κάθετο ύψος της εξωτερικής θέας .

Με τη χρησιμοποίηση ανακλαστήρων στην οροφή ή με τη βαφή της οροφής με υλικό με μεγάλη ανακλαστικότητα αυξάνεται η διείσδυση της απευθείας φωτεινής ακτινοβολίας βαθιά στο χώρο, ενώ με τη χρησιμοποίηση εσωτερικών ανακλαστήρων, που διαχέουν το φως, εξασφαλίζεται καλύτερη κατανομή του φωτός στο χώρο. Ο Louis Kahn, η αρχιτεκτονική του οποίου βασίζεται στο φυσικό φως, χρησιμοποίησε τέτοιους ανακλαστήρες στο Kimbell Art

Museum στο Texas για να αποφύγει τη θάμβωση και να αναδείξει τα έργα τέχνης. Στο Σχήμα 2.33 παρουσιάζεται το σκίτσο του Louis Kahn, που δείχνει τις αρχικές σκέψεις του για την εφαρμογή των ανακλαστών. Εάν χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες διατάξεις ακόμη και τα μικρά ανοίγματα παρέχουν ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτισμού.

Πηγές κειμένου : [13],[3],[10]



Σχήμα 2.33. Σκίτσο του Louis Kahn για το Kimbell Art Museum

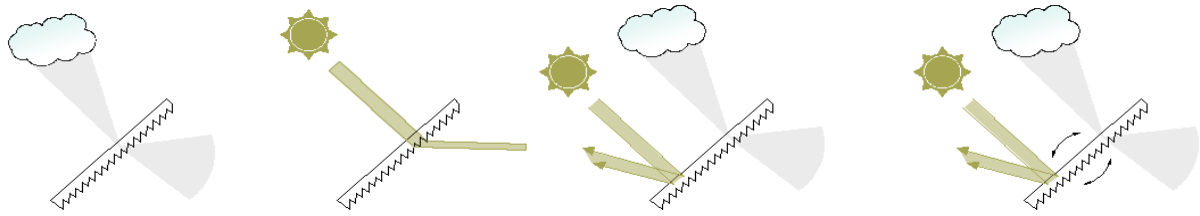
3)Ειδικοί υαλοπίνακες

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

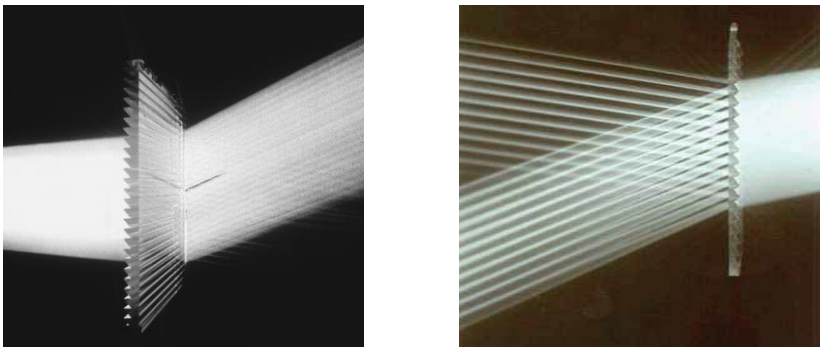
<u>Πρισματικοί υαλοπίνακες</u>

Οι πρισματικοί υαλοπίνακες είναι λεπτές, επίπεδες, πριονωτές διατάξεις κατασκευασμένες από καθαρό ακρυλικό υλικό, οι οποίες τοποθετούνται μεταξύ δύο απλών υαλοπινάκων για να προστατεύονται από τη σκόνη. Συνήθως είναι σταθερές, αλλά μπορεί να είναι και κινητές υπό μορφή περσίδων. Η λειτουργία τους βασίζεται τόσο στην ανάκλαση, όσο και στη διάθλαση του φωτός ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης και το επίπεδο πόλωσής του. Χρησιμοποιούνται για να ανακατευθύνουν το φως στο βάθος του χώρου, ενώ παράλληλα μειώνουν το ενδεχόμενο θάμβωσης, καθώς το άνοιγμα εμφανίζεται λιγότερο φωτεινό. Υπάρχει η δυνατότητα, ανάλογα με την κατασκευή της πριονωτής διάταξης, να επιτρέψουν τη διέλευση ακτινοβολίας με συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης, παρέχοντας ηλιοπροστασία τους καλοκαιρινούς μήνες χωρίς να περιορίζεται η διέλευση της χειμερινής ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 2.34 και Φωτ.2.6).

Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ενδείκνυνται για ανοίγματα οροφής(αίθρια, φεγγίτες) και για πλευρικά ανοίγματα μόνο σε υψηλή στάθμη, επειδή διαταράσσουν τη θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρόλο που είναι διαφανή. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε ηλιοπροστατευτικές διατάξεις.



Σχήμα 2.34. Σχηματική αναπαράσταση πολλαπλών λειτουργιών πρισματικών υαλοπινάκων



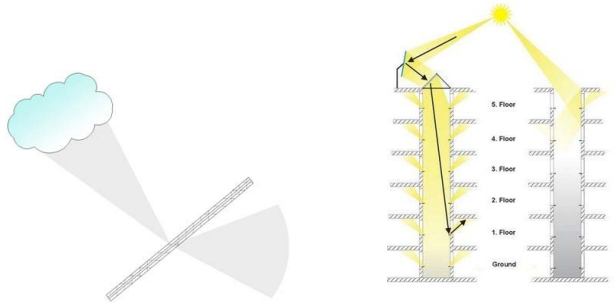
(α) (β)

Φωτ. 2.6.(α) Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ανακατευθύνουν το φως (β)Απεικόνιση της εκτροπής φωτεινών ακτίνων με συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης κα διάχυση των υπολοίπων με πρισματικά πετάσματα

Από πειραματική μελέτη της εφαρμογής των πρισματικών πετασμάτων σε φεγγίτη προπλάσματος στη Νορβηγία προέκυψε ότι υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού τα επίπεδα φυσικού φωτός μειώθηκαν κατά 20-35% σε όλες τις ζώνες του χώρου, χωρίς να βελτιωθεί η ομοιομορφία στην κατανομή τους. Αντίθετα, σε συνθήκες καθαρού ουρανού ο πρισματικός υαλοπίνακας παρείχε υψηλότερα επίπεδα φωτισμού σε ποσοστό 30% στο κέντρο του χώρου και 14% στις πλέον απομακρυσμένες από το άνοιγμα περιοχές. Επιπλέον, η ομοιομορφία του φυσικού φωτισμού αυξήθηκε σημαντικά, δημιουργώντας ένα περισσότερο άνετο οπτικό περιβάλλον. Συνεπώς, οι πρισματικοί υαλοπίνακες έχουν περιορισμένη εφαρμογή σε περιοχές με υψηλή συχνότητα συνθηκών νεφοσκεπούς ουρανού, ενώ αντίθετα η εφαρμογή τους ενδείκνυται σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια του έτους, όπως η Ελλάδα.

<u>Υαλοπίνακας με ολογραφικά οπτικά στοιχεία (ολογραφικοί υαλοπίνακες)</u>

Οι ολογραφικοί υαλοπίνακες αξιοποιούν το φαινόμενο της διάθλασης του φωτός για να μεταβάλλουν την κατεύθυνσή του προς συγκεκριμένες περιοχές και συνήθως προς την οροφή του χώρου.



(α) (β)

Σχήμα 2.35. (α)Σχηματική αναπαράσταση ολογραφικών υαλοπινάκων. Πηγή :TOTEE_20701_6_Final_TEE

(β) Οι ολογραφικοί υαλοπίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αποτελεσματικότερο φωτισμό αιθρίων. Πηγή: www.aplusmedia.de [15/09/2007]

Οι ολογραφικοί υαλοπίνακες είναι επικαλυμμένοι με μια πολυμερή μεμβράνη με ολογραφικά κιγκλιδώματα διάθλασης, τα οποία είναι τοποθετημένα ανάμεσα σε δύο στρώματα γυαλιού.

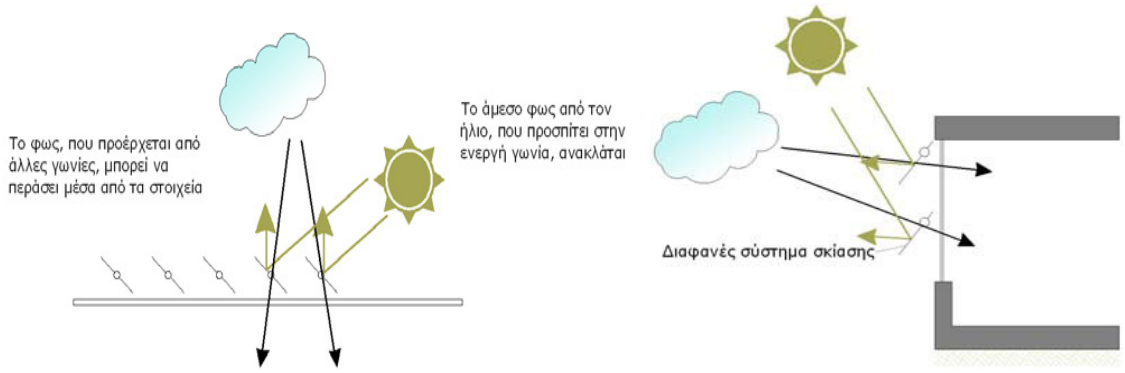
Το ολογραφικό στοιχείο επαναπροσανατολίζει το διάχυτο φως που μπαίνει στο κτίριο υπό μεγάλη γωνία. Η ειδική πολυμερής μεμβράνη που φέρει λεπτές λωρίδες ανακατευθύνει μόνο την ακτινοβολία που προσπίπτει υπό συγκεκριμένη γωνία, ενώ δεν αλλοιώνει την ακτινοβολία που προσπίπτει από άλλες κατευθύνσεις. Επειδή το σύστημα μπορεί να προκαλέσει την ανάλυση του φωτός σε χρώματα όταν προσπίπτει πάνω του άμεσο ηλιακό φως(Φωτ.2.7 β), πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο στις προσόψεις που δεν λαμβάνουν άμεσο φως(βορινές όψεις). Το σύστημα είναι αποδοτικό σε περιπτώσεις όπου η θέα του ουρανού εμποδίζεται (δηλ., σε αστικά περιβάλλοντα) και σε κλίματα νεφελώδη, με υψηλή φωτεινότητα του ουρανού.

(α) (β)

Φωτ.2.7.(α) Υαλοπίνακας που κατευθύνει το φως με ολογραφικά οπτικά στοιχεία
(β)Πρόβλημα ανάλυσης του φωτός σε χρώματα

Επίσης, οι ολογραφικοί υαλοπίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως «επιλεκτικά» σκίαστρα τα οποία αποτρέπουν την άμεση ακτινοβολία, ενώ επιτρέπουν τη διέλευση της

διάχυτης ακτινοβολίας καθώς και σε ειδικότερες εφαρμογές, όπως στη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας σε φωτοβολταϊκά στοιχεία (σχήμα 2.36)



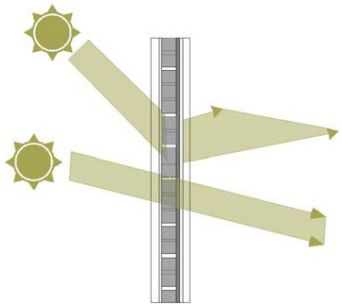
Σχήμα 2.36. Οι ολογραφικοί υαλοπίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως «επιλεκτικά» σκίαστρα

Η πρώτη εφαρμογή των ολογραφικών στοιχείων έγινε το 1996 στα γραφεία της εταιρείας ADO στην Κολωνία της Γερμανίας. Στο πλαίσιο του προγράμματος της Διεθνούς Επιτροπής ενέργειας«Φυσικός φωτισμός στα κτίρια:15 περιπτώσεις απ' όλο τον κόσμο» καταγράφηκαν τα επίπεδα φωτισμού σε χώρο του προαναφερθέντος κτιρίου με ολογραφικούς υαλοπίνακες και συγκρίθηκαν με τις τιμές του αντίστοιχου χώρου με συμβατικούς υαλοπίνακες. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι στο χώρο με τους ολογραφικούς υαλοπίνακες ο παράγοντας φυσικού φωτισμού ήταν ελαφρά υψηλότερος στις απομακρυσμένες από το άνοιγμα περιοχές. Η απόδοση των ολογραφικών στοιχείων δεν έχει μελετηθεί ακόμα εκτενώς. Εργαστηριακές έρευνες κατατάσσουν τα ολογραφικά στοιχεία στα πλέον υποσχόμενα προϊόντα, όμως μέχρι σήμερα δεν έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση τους.

Πηγές κειμένου : [13],[10],[3]

<u>Υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λέιζερ</u>

Οι υαλοπίνακες της κατηγορίας αυτής είναι λεπτά ακρυλικά φύλλα στα οποία έχουν δημιουργηθεί παράλληλες εγκοπές με τη βοήθεια λέιζερ [IEA, 2000 : 4-49]. Οι εγκοπές αυτές αποτελούν διαφανή παραλληλεπίπεδα μεγάλης ανακλαστικότητας που αναδιανέμουν το φως προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Όπως και οι πρισματικοί υαλοπίνακες, έτσι και οι διατάξεις αυτές συνήθως τοποθετούνται στο εσωτερικό διπλών τζαμιών για λόγους προστασίας [[18]:Baker & Steemers, 2002 : 159].



Σχήμα 2.37.Ενδεικτική λειτουργία των υαλοπινάκων ειδικής επεξεργασίας με λέιζερ

Οι υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λέιζερ χρησιμοποιούνται ως:

- σταθερό μέσο σκίασης στα παράθυρα
- σταθερό ή κινητό σύστημα ανακατεύθυνσης του φωτός ή
- μέσο σκίασης αλλά και ανακατεύθυνσης του φωτός σε μορφή περσίδων

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανοίγματα στην οροφή ή στις πλευρικές τοιχοποιίες, αφού διαταράσσουν ελάχιστα τη θέα. Το κύριο μειονέκτημα της εφαρμογής των πετασμάτων αυτού του τύπου είναι το υψηλό κόστος τους. Η εξοικονόμηση της ενέργειας εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή τους. Για παράδειγμα, η εφαρμογή πετασμάτων επεξεργασμένων με λέιζερ στο άνω τμήμα ενός συμβατικού ανοίγματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιπέδων φωτισμού κατά 10% ως 30%, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Σύμφωνα με το σχετικό πείραμα, το οποίο διεξήχθη σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο του Νορβηγικού Πανεπιστημίου Έρευνας και Τεχνολογίας, τα επίπεδα φυσικού φωτισμού υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού σε ένα γραφείο, στο οποίο το ανώτερο τμήμα του υαλοπίνακα είχε αντικατασταθεί με ειδικό πέτασμα επεξεργασμένο με λέιζερ, ήταν ακριβώς όμοια σε σχέση με αυτά που παρατηρήθηκαν σε άλλο χώρο, ο οποίος εμφάνιζε τα ίδια γεωμετρικά και οπτικά χαρακτηριστικά και το άνοιγμα έφερε συμβατικό υαλοπίνακα. Αντίθετα, στις συνθήκες καθαρού ουρανού, τα επίπεδα φυσικού φωτισμού ήταν ιδιαίτερα αυξημένα σε όλη την επιφάνεια αναφοράς και ιδιαίτερα στο κέντρο του χώρου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως, οι ειδικά επεξεργασμένοι με λέιζερ υαλοπίνακες συνεισφέρουν στη βελτίωση των επιπέδων φωτισμού υπό συνθήκες καθαρού ουρανού. Η εφαρμογή τους κρίνεται συμφέρουσα από οικονομικής άποψης σε περιοχές με συχνή και έντονη ηλιοφάνεια.

Πηγές κειμένου : [18],[13],[3],[4],[10]

Φωτ. 2.8. Άποψη του ειδικά επεξεργασμένου με λέιζερ υαλοπίνακα από τον εσωτερικό χώρο
Πηγή:www.siteco.com

Η χρήση βελτιωμένων ειδικών υαλοπινάκων μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης που διαμορφώνονται στους εσωτερικούς χώρους. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι σταθερές, μεταβαλλόμενες (ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες) ή ρυθμιζόμενες.

Κατηγορίες ειδικών υαλοπινάκων, οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους κοινούς ως προς τα θερμικά και τα φωτομετρικά τους χαρακτηριστικά, είναι:

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

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

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

Επιλεκτικοί υαλοπίνακες χαμηλού συντελεστή εκπομπής (Low-e) : Εμποδίζουν μεγάλο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας είτε να εισέρχεται προς το κτίριο, είτε να εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον (ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται). Συνιστώνται

για τη μείωση των θερμικών απωλειών (το χειμώνα) ή κερδών (το καλοκαίρι) των κτιρίων, ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται.

Θερμομονωτικοί υαλοπίνακες : Εκτός από τους συνήθεις διπλούς (ή τριπλούς)υαλοπίνακες, αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα έχουν υαλοπίνακες που στο διάκενό τους περιέχουν άλλο αέριο (π.χ. αργό) αντί για αέρα. Συνιστώνται σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους.

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

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

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

Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων : Με την εφαρμογή τάσης μετατρέπονται από γαλακτόχρωμοι σε διαφανείς.

Για την επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα θα πρέπει να εξετάζεται η χρήση του κτιρίου, η συνεισφορά του υαλοπίνακα στην εξοικονόμηση ενέργειας σε ετήσια βάση και η συνεπαγόμενη οικονομικότητα του συστήματος (κόστος-όφελος, χρόνος απόσβεσης).Ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή απαιτείται ώστε τα θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα, τα οποία θα επιλεγούν με κριτήριο τη συμπεριφορά του στη θέρμανση και στο δροσισμό του κτιρίου, να εξασφαλίζουν, μαζί με το συνολικό σχεδιασμό των ανοιγμάτων και τις απαιτήσεις σε φυσικό φωτισμό των χώρων.[24]

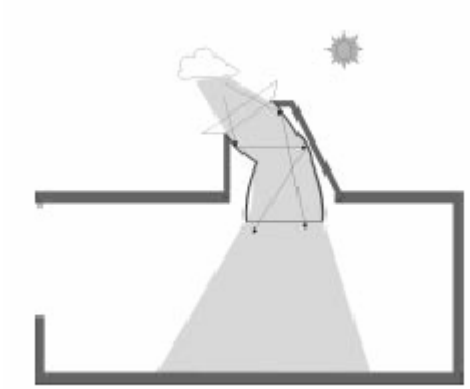
2.3.3 Σύνθετες διατάξεις

1)Ανειδωλικά συστήματα

Η λέξη «ανειδωλικό» υποδηλώνει την έλλειψη εικόνας (ειδώλου), αφού η κατασκευή των διατάξεων αυτών βασίζεται στο θεωρητικό υπόβαθρο της οπτικής χωρίς απεικόνιση *(non-imaging optics)* [18]

<u>Ανειδωλικά συστήματα φωτισμού από την οροφή</u>

Τα ανειδωλικά συστήματα φωτισμού από την οροφή είναι ένα σύστημα φυσικού φωτισμού βασισμένο στις αρχές οπτικής άνευ ειδώλου (non-imaging optics). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για να συλλέγει το διάχυτο φυσικό φως από ένα μεγάλο μέρος του ουρανού θόλου, χωρίς να επιτρέπει τη διείσδυση του άμεσου ηλιακού φωτός. Η βέλτιστη χρήση τέτοιων συστημάτων αφορά στην παροχή φυσικού φωτός μονώροφων κτιρίων, αίθριων ή ανώτατων ορόφων πολυώροφων κτιρίων. [14]



Σχήμα 2.38.: Ανειδωλικό σύστημα φωτισμού από την οροφή
Πηγή: Daylight in Buildings

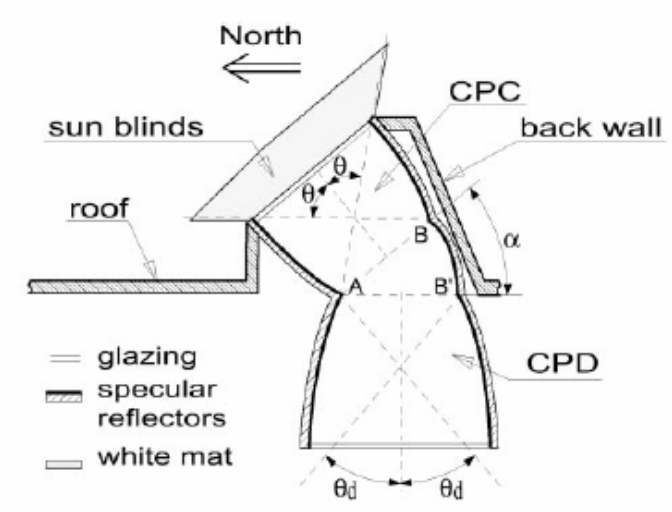
Τεχνική Περιγραφή : Το ανειδωλικό σύστημα φωτισμού από την οροφή αποτελείται από ένα στοιχείο συγκέντρωσης του φωτός και ένα στοιχείο "διάχυσης" ή στοιχείο εκπομπής του φωτός. Ο συλλέκτης στηρίζεται σε ένα γραμμικό, δισδιάστατο, σύνθετο παραβολικό συμπυκνωτή, του οποίου ο διαμήκης άξονας είναι προσανατολισμένος στον άξονα Ανατολής-Δύσης.

Το άνοιγμά του προσανατολίζεται προς το βορρά για τις θέσεις στο βόρειο ημισφαίριο και σχεδιάζεται έτσι ώστε ο τομέας που δέχεται φως να βλέπει ολόκληρο το τμήμα του ουρανού

μεταξύ του βόρειου ορίζοντα και της υψηλότερης θέσης του ήλιου στο νότιο τμήμα του ουρανού κατά τη διάρκεια του έτους.

Το άμεσο φως(ηλιακές ακτίνες) δεν εισέρχεται ποτέ εντός του τομέα εισόδου, με εξαίρεση την αρχή και το τέλος της ημέρας, της εαρινής και της φθινοπωρινής ισημερίας. Η ηλιακή προστασία ολοκληρώνεται με μια σειρά από κάθετα ελάσματα, ομοιόμορφα τοποθετημένων πάνω από το άνοιγμα.

Ένας παραβολικός διαχύτης φωτός, παρόμοιος με το σύνθετο παραβολικό συμπυκνωτή που αναφέρθηκε παραπάνω αλλά ανεστραμμένος, τοποθετείται στο άκρο εξόδου για την καθοδήγηση της ροής του φωτός στο εσωτερικό του δωματίου.
Στην περίπτωση του σχήματος 2.39 για παράδειγμα, κατευθύνεται κάθετα προς τα κάτω. Η σύνδεση μεταξύ του συμπυκνωτή και του διαχύτη γίνεται με έναν κυλινδρικό ανακλαστήρα. Ολόκληρη αυτή η κατασκευή αποτελεί ένα ανειδωλικό σύστημα φωτισμού (σχήμα 2.39).



Σχήμα 2.39: Διατομή ανειδωλικού συστήματος

Για να αποτρέπεται η συγκέντρωση σκόνης από τους ανακλαστήρες, η συσκευή εσωκλείεται μεταξύ δύο υαλοπινάκων (συντελεστή διαπερατότητας 0,9).[14]

Παραγωγή : Η επιφάνεια των ανακλαστήρων αποτελείται από φύλλα ανοδιωμένου αλουμινίου (με συντελεστή ανάκλασης 0.9), τα οποία τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένα πλαίσια από ξύλο ή άλλα δομικά υλικά. Για οικονομία του παραγόμενου όγκου, το πλαίσιο μπορεί να αποτελείται από ένα σύνθετο υλικό(υαλόνημα, έποξυ), επικαλυμμένο με μια ταινία αλουμινίου. Οι κατοπτρικής ανάκλασης επιφάνειες πρέπει να προστατεύονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής. [14]

Εφαρμογή: Το αποτέλεσμα φωτισμού, ενός ανειδωλικού συστήματος φωτισμού από την οροφή, δε μεταβάλλεται τόσο όσο των συστημάτων που εκμεταλλεύονται το άμεσο φως, Για το λόγο αυτό προσφέρει λιγότερο έντονο φως και παρέχει βελτιωμένη οπτική άνεση. Βρίσκει λοιπόν εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους όπου η οπτική άνεση είναι απαραίτητη(π.χ., αθλητικές αίθουσες, μουσεία, αίθρια και αγορές).Ωστόσο, ενδέχεται να απαιτείται μεγαλύτερη περιοχή ανοιγμάτων από τα συστήματα που σχεδιάζονται για να εκμεταλλεύονται το άμεσο φως του ήλιου.[14]

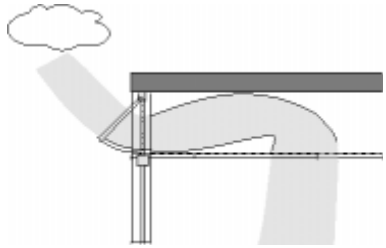
Συντήρηση: Επειδή τα συστήματα αυτά δεν έχουν κανένα κινητό μέρος, δεν απαιτούν καμία ειδική συντήρηση. Κάτω από κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (δηλ., όχι ιδιαίτερη σκόνη) και σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη, οι βροχοπτώσεις στην Ευρώπη είναι επαρκείς για να καθαρίσουν τους υαλοπίνακες εισόδου.[14]

Εξοικονόμηση ενέργειας : Σε εύκρατα κλίματα , οι συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού είναι συνήθεις , ιδιαίτερα το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο. Υπό αυτές τις συνθήκες, ένας επαρκής συντελεστής φυσικού φωτός είναι απαραίτητος για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας. Η αποτελεσματικότητα και η βελτιστοποίηση της μετάδοσης του συστήματος φωτισμού ωστόσο, δε θα πρέπει να έχει προτεραιότητα έναντι της οπτικής και θερμικής άνεσης.[14]

Τεχνικά εμπόδια : Το σύστημα πρέπει να ενσωματώνεται στη διαδικασία σχεδιασμού ενός κτιρίου στο αρχικό στάδιο και απαιτείται συγκεκριμένη διαδικασία σφράγισης και στεγανοποίησης, όμοια με άλλων συστημάτων φυσικού φωτισμού στεγών.[14]

<u>Ανειδωλική οροφή (Anidolic Ceilings)</u>

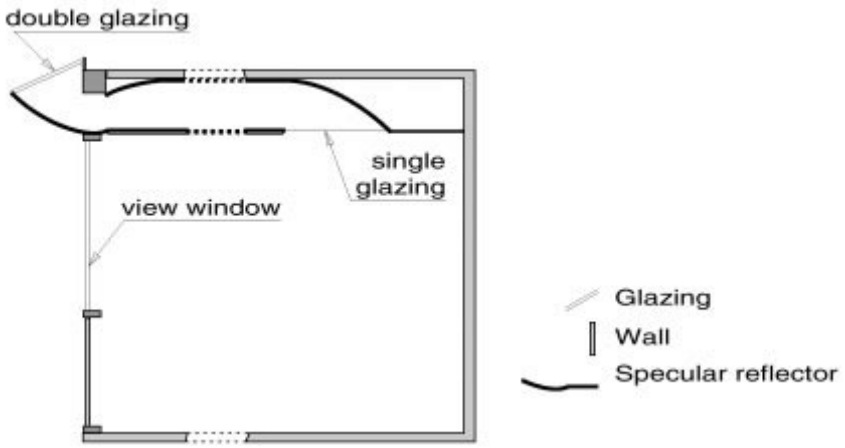
Τα συστήματα ανειδωλικής οροφής αποτελούνται από σύνθετους παραβολικούς συμπυκνωτές για να συλλέγουν το διάχυτο φυσικό φως από τον ουρανό. Ο συμπυκνωτής συνδυάζεται με έναν κατοπτρικό αγωγό κατοπτρικού φωτός πάνω από το επίπεδο οροφής, που μεταφέρει το φως στο βάθος του δωματίου. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να παράσχει επαρκές φως στα δωμάτια κυρίως υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού.



Σχήμα 2.40: Ανειδωλική οροφή –Πηγή: Daylight in Buildings

Τεχνική περιγραφή

Στοιχεία: Μια ανειδωλική οροφή αποτελείται από οπτικούς συλλέκτες φυσικού φωτός σε συνδυασμό με έναν αγωγό φωτός σε μια αναρτώμενη οροφή. Το σύστημα σχεδιάζεται για πλευρικό φωτισμό κτιρίων- μη μόνιμων κατοικιών. Τα ανειδωλικά οπτικά στοιχεία χωρίς απεικόνιση (non –imaging) τοποθετούνται και στις δύο άκρες του αγωγού φωτός. Στο εξωτερικό του κτιρίου, ένας ανειδωλικός οπτικός συμπυκνωτής συγκεντρώνει το διάχυτο φως από την ανώτερη περιοχή του ουρανού, η οποία τυπικώς είναι η φωτεινότερη περιοχή σε νεφελώδεις ουρανούς, και εισάγει τις ακτίνες στον αγωγό. Στο άνοιγμα εξόδου του αγωγού στο πίσω μέρος του δωματίου, ένας παραβολικός ανακλαστήρας διανέμει το φως προς τα κάτω, αποφεύγοντας οποιαδήποτε αντανάκλαση προς τα πίσω. Το φως της ημέρας μεταφέρεται βαθύτερα στο δωμάτιο από πολλαπλούς κατοπτρικούς ανακλαστήρες στον αγωγό φωτός, ο οποίος καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής επάνω από την οροφή. Στις ηλιόλουστες ημέρες, η άμεση διείσδυση του φωτός ελέγχεται με περσίδες που μπορεί να τοποθετηθούν στον υαλοπίνακα εισόδου. Το όλο σύστημα ανειδωλικής οροφής παρουσιάζεται στο σχήμα 2.41.



Σχήμα 2.41: Τομή κατά το διαμήκη άξονα μιας ανειδωλικής οροφής, όπου φαίνεται ο εξωτερικός ανειδωλικός συλλέκτης, οι περσίδες ελέγχου ηλιοφάνειας, ο κατοπτρικός αγωγός στην οροφή, και η εσωτερική οπτική έξοδος –Πηγή: Daylight in Buildings

Διαθεσιμότητα : Οι ανακλαστήρες στα ανειδωλικά στοιχεία αποτελούνται από επιφάνειες αλουμινίου (με συντελεστή ανάκλασης 0.9), συνδεδεμένες με ειδικά διαμορφωμένα πλαίσια, έτσι ώστε, να παρέχεται ο επιθυμητός οπτικός έλεγχος. Τα πρωτότυπα πλαίσια είναι κατασκευασμένα από ξύλο, αλλά, εάν αυξάνεται ο όγκος παραγωγής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα μέταλλα, πλαστικά, ή σύνθετα υλικά. Οι αγωγοί εσωκλείονται

ανάμεσα σε υαλοπίνακες προκειμένου να διατηρούνται καθαρές οι ανακλαστικές επιφάνειες. Το σύστημα περσίδων πρέπει να ενσωματωθεί κατάλληλα στο όλο σύστημα.

Θέση στο σύστημα παραθύρων: Ένα σύστημα ανειδωλικής οροφής είναι σχεδιασμένο να εγκαθίσταται σε κάθετη πρόσοψη επάνω από την όψη των παραθύρων. Επειδή το εξωτερικό ανειδωλικό σύστημα συλλέγει διάχυτο φως με υψηλή οπτική απόδοση, είναι κατάλληλο για φωτισμό δωματίων με διάχυτο φυσικό φως κατά τη διάρκεια συνθηκών νεφοσκεπούς ουρανού. Το σύστημα σχεδιάζεται για να συλλέγει το διάχυτο φως από τον ουράνιο θόλο και έτσι μπορεί να χρησιμοποιείται σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος, με την προϋπόθεση ότι εγκαθίστανται ηλιακές περσίδες για να προστατεύουν από τη θάμβωση και την υπερθέρμανση του κτιρίου από το άμεσο φως του ήλιου.

Τεχνικά Εμπόδια : Ο πρωταρχικός στόχος του συστήματος είναι να παρέχει επαρκές φυσικό φωτισμό σε ένα κτίριο σε συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού. Προκειμένου να συλλεχθεί επαρκής φωτεινή ροή, πρέπει τυπικώς να εκτείνεται σε όλο το πλάτος της πρόσοψης και ο αγωγός του φωτός πρέπει να καταλαμβάνει πλήρως το κενό πάνω από την αναρτώμενη οροφή (ψευδοροφή) στο δωμάτιο . Δεν πρέπει να τοποθετηθεί κανένα άλλο κτιριακό σύστημα ή δομικό στοιχείο σε αυτή τη θέση. Σε αντίθετη περίπτωση, η φωτεινή απόδοση του συστήματος θα μειωθεί. Επιπλέον, επειδή η χρήση των ανειδωλικών οροφών επηρεάζει άμεσα πολλά άλλα στοιχεία του κτιρίου, η χρήση αυτού του συστήματος απαιτεί πρόσθετο συντονισμό στο σχεδιασμό και την κατασκευή.

Εφαρμογή : Ανειδωλικές οροφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πυκνά δομημένες αστικές περιοχές καθώς επίσης και σε αγροτικές περιοχές. Η απόδοση τους είναι εντυπωσιακότερη σε ένα αστικό περιβάλλον επειδή τα εμπόδια γύρω από ένα κτίριο αυξάνουν τη σημασία συλλογής διάχυτου φωτός από το ανώτερο τμήμα του ουράνιου θόλου. Οι ανειδωλικές οροφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνθήκες είτε καθαρού, είτε νεφοσκεπούς ουρανού (με την προϋπόθεση κατάλληλης σκίασης). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εμπορικά , βιομηχανικά κτίρια ή θεσμικά κτίρια. Οι ειδικές κατασκευαστικές λύσεις θα ποικίλουν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα.

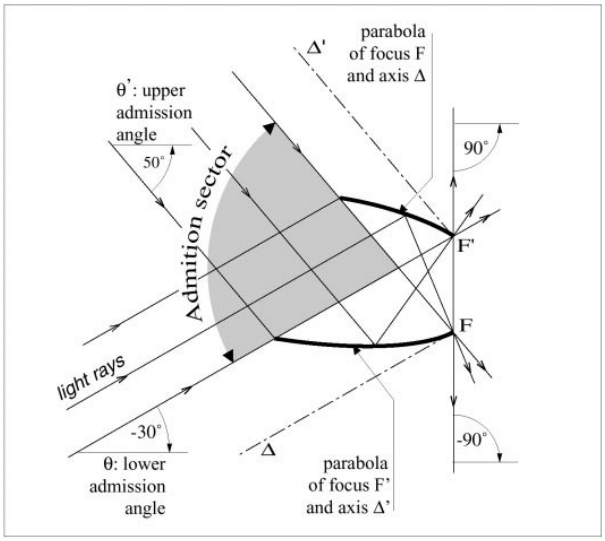
Φυσικές αρχές και χαρακτηριστικά :
Το πεδίο της οπτικής άνευ απεικόνισης(non-imaging optics) έχει δημιουργήσει αξιόπιστες, αποτελεσματικές μεθόδους για το σχεδιασμό ηλιακών συλλεκτών, που έχουν φτάσει σχεδόν

το θεωρητικό όριο της ηλιακής συγκέντρωσης (46.000 όπως υπαγορεύεται από το νόμο της θερμοδυναμικής [Welford and Winston1989]). Οι ίδιες αρχές οπτικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη συστημάτων που μεγιστοποιούν τη χρήση του διάχυτου φωτός από τον ουράνιο θόλο (Σχήμα 2.42.). Τα χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν:

• Το "μέγεθος δέσμης" των ακτίνων του φωτός που οριοθετείται στο άνοιγμα εισόδου από τις γωνίες θ και θ' (δεδομένες σχεδιαστικές παράμετροι) διαβιβάζεται πλήρως στο άνοιγμα εξόδου. Οι υπάρχουσες γωνίες περιλαμβάνουν όλες τις ημισφαιρικές κατευθύνσεις.

• Ο αριθμός αντανακλάσεων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω κατάλληλου σχεδιασμού (γεγονός που εξηγεί την υψηλή οπτική απόδοση που επιτυγχάνεται από το σύστημα).

• Μια ακριβής επιλογή των εισερχόμενων ακτίνων στο άνοιγμα εισόδου του συστήματος, καθώς και ένας ακριβής έλεγχος των αναδυόμενων ακτίνων στο άνοιγμα εξόδου, μπορεί να επιτευχθεί (υψηλή γωνιακή επιλεκτικότητα).



Σχήμα 2.42: Αρχές δισδιάστατου, μη-συμμετρικού ανειδωλικού συστήματος –Πηγή: Daylight in Buildings

Έλεγχος: Εάν χρησιμοποιούνται εξωτερικά συστήματα σκιασμού για να ελέγξουν το άμεσο ηλιακό φως και το υπερβολικά έντονο φως, απαιτούνται χειροκίνητοι ή αυτοματοποιημένοι έλεγχοι. Η ανειδωλική οροφή καθαυτή δεν απαιτεί κανέναν πρόσθετο έλεγχο.

Συντήρηση : Το βασικό σύστημα ανειδωλικής οροφής τυπικώς δεν απαιτεί καμία ειδική συντήρηση. Σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (δηλαδή, όχι ιδιαίτερης σκόνης) και με τυπική ποιότητα του αέρα στο αστικό περιβάλλον, η βροχή είναι αρκετή για να καθαρίσει τον υαλοπίνακα εισόδου του συστήματος και να διατηρήσει την απόδοση σε κανονικά επίπεδα. Όταν είναι εγκατεστημένες περσίδες για τον έλεγχο του φωτός, το σύστημα αυτό πρέπει επίσης να συντηρείται.

Εξοικονόμηση ενέργειας:

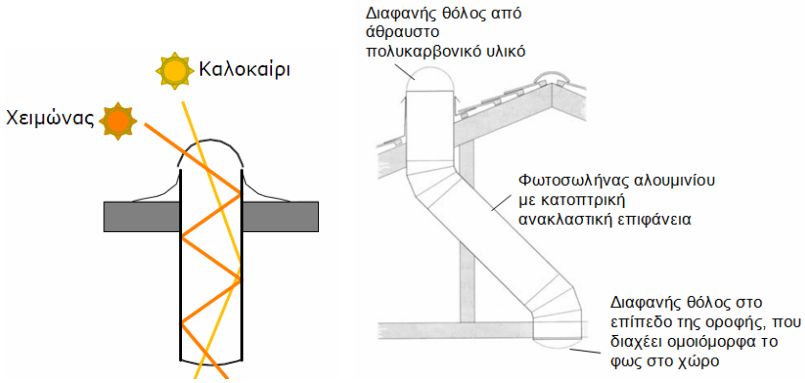
Η κατανάλωση ενέργειας για ηλεκτρικό φωτισμό έχει ελεγχθεί σε πρωτότυπους χώρους(μακέτες) με συμβατικό βάθος χώρου. Ο χώρος δοκιμής με ανειδωλική οροφή υπολογίστηκε ότι κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου μελέτης χρησιμοποίησε 31% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό σε σχέση με το δωμάτιο αναφοράς(συμβατική πρόσοψη με διπλό υαλοπίνακα). Τα αποτελέσματα της μελέτης συμφωνούν και με τα στοιχεία φωτισμού εξοικονόμησης φωτισμού υπολογισμένα για την τεχνολογία αυτή με την ελβετική μέθοδο για φυσικό φωτισμό (ASE 8911,1989), η οποία προβλέπει ετήσια εξοικονόμηση φωτισμού 30%.

Πηγή κειμένου**:** [14]Daylight in Buildings _ IEA

Σχήμα 2.43.: Πειραματική διάταξη ανειδωλικής οροφής στη Λοζάνη της Ελβετίας
Πηγή: IEA_Daylight in Buildings

2)Κανάλια φωτισμού ή φωτεινοί αγωγοί ή φωτοσωλήνες

Είναι απλή σχετικά κατασκευή, η οποία εισάγει φως από την οροφή σε σκοτεινά σημεία των κτηρίων ακόμα και σε χαμηλότερους ορόφους (light ducts ή sun ducts ή light wells ή light pipes). Πρόκειται για σωλήνα επιστρωμένο στο εσωτερικό του με υλικό μεγάλης ανακλαστικότητας - όπως καθρέφτες, ελάσματα από αλουμίνιο ή βαμμένο με πολύ στιλπνά χρώματα, που φέρει διαφανή καλύμματα στα δύο άκρα του. Συνήθως οι διαστάσεις του είναι μικρές: από 0.50×0.50μ, έως 2.0×2.0μ .



Σχήμα 2.44.: Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας φωτοσωλήνα

Πηγή: T.O.TEE,Baker & Steemers,2002:161(Μερέση Αικ.)

Ο φωτοσωλήνας μπορεί να είναι ενιαίος κατακόρυφος ή να αποτελείται από τμήματα υπό κλίση . Η απόδοσή του εξαρτάται από την ένταση φωτισμού στο επίπεδο του φωτοσωλήνα εξωτερικά, το ύψος του ήλιου, την ανακλαστικότητα του υλικού στο εσωτερικό του σωλήνα, την ύπαρξη ή όχι γωνιών στο φωτοσωλήνα και από το λόγο του μήκους του προς τη διάμετρό του. Για αυξημένη απόδοση το μήκος του δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10μ. (Lechner, 1991), δεδομένου ότι όσο αυξάνει το μήκος, μειώνεται σημαντικά η ένταση του φωτισμού. Οι αγωγοί, με κατάλληλο σχεδιασμό, μπορούν επίσης να συνεισφέρουν στον φυσικό αερισμό των χώρων. [3]

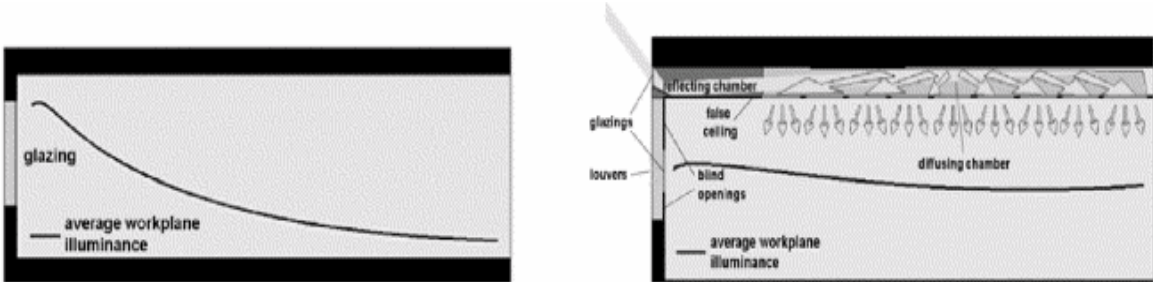
Φωτ.2.9 :Χρήση φωτοσωλήνα σε σταθμό μετρό στη Γερμανία

Η απόδοσή των φωταγωγών μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη ανακλαστήρα στην κορυφή τους (είσοδο του φωτός), ο οποίος να εκτρέπει τις ηλιακές ακτίνες προς τα κάτω. Για ακόμα μεγαλύτερη απόδοση μπορεί να συνοδεύονται από ηλιοστάτη (συσκευή η οποία φέρει καθρέπτη και η οποία ακολουθεί την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια τις ημέρας).[15]

Φωτ.2.10:Εφαρμογή φωτοσωλήνα σε εργοστάσιο στην Ελλάδα-Πηγή: http://www.solarlight.gr

Μέχρι σήμερα έχουν διεξαχθεί πολλές αξιόλογες έρευνες για τη διερεύνηση και την αύξηση της απόδοσης των φωτοσωλήνων (π.χ. [Zhang & Muneer, 2000], [Shao & Riffat, 2000], [Carter, 2001], [Jenkins & Muneer, 2003]). Μία από τις πιο πρόσφατες μελέτες αφορά ένα νέο τύπο φωτοσωλήνα, οριζόντιας μορφής [Canziani et al, 2004].

Ο οριζόντιος αυτός διπλός φωτοσωλήνας μελετήθηκε μέσω προσομοίωσης σε συνθήκες καθαρού ουρανού με ήλιο. Η απόδοσή του αποδείχθηκε πολύ καλή, αφού σχεδόν εξομάλυνε το φωτισμό σε όλη την επιφάνεια του χώρου, παρόλα αυτά η λειτουργία του σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. [4]

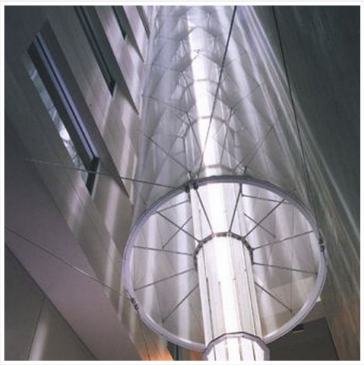


Σχήμα 2.45: Ο οριζόντιος φωτοσωλήνας που μελετήθηκε μέσω προσομοίωσης στο Πανεπιστήμιο της Βενετίας προσφέρει ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού σε όλο το χώρο σε συνθήκες καθαρού ουρανού με ήλιο-Πηγή: Canziani et al, 2000:4-1164,Μερέση Αικ.

Στη συνέχεια παρατίθεται μια λίστα μερικών ηλιακών φωτοσωλήνων:

Ηλιακός φωτοσωλήνας στην Ουάσιγκτον (Solar light pipe in washington dc)

Ο ηλιακός αυτός φωτοσωλήνας είναι εγκατεστημένος στο διεθνές δικηγορικό γραφείο της Morgan Lewis. Το κτίριο έχει αυξηθεί κατά δύο ορόφους καθιστώντας την κατανομή του φωτός ίση στο δωδεκαώροφο κτίριο. Ο σωλήνας που είναι εγκατεστημένος στο γραφείο έχει δημιουργηθεί από τους σχεδιαστές φωτισμού James Carpenter και Davidson Norris. Έχει μήκος σχεδόν 36 μέτρα και εκτείνεται 4,5 μέτρα πάνω από την οροφή του αιθρίου , το οποίο έχει διάμετρο 175 εκατοστά. Ο φωτοσωλήνας περιέχει γυάλινα πρίσματα που συγκρατούνται σε πλαίσια χάλυβα. Η εξωτερική πλευρά αυτού του σωλήνα είναι κατασκευασμένη από τεταμένες συνθετικές ίνες . Ο σωλήνας συγκρατείται από ακτινικές ράβδους και μπορεί να προβάλει το φως, με φυσικό ή τεχνητό τρόπο.[16]



Solar tube skylights

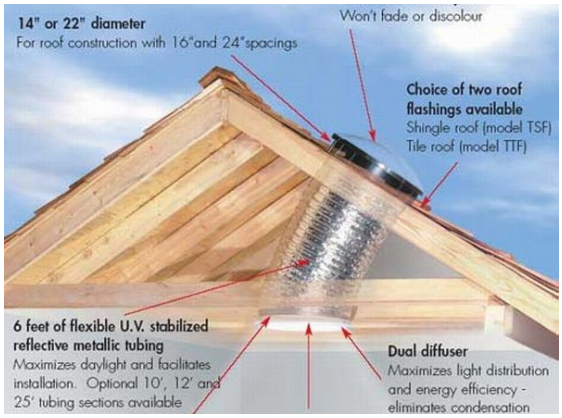
Ο ηλιακός σωλήνας skylights είναι μία από τις καλύτερες εκδόσεις στο φάσμα ηλιακών σωλήνων. Περιέχει την τεχνολογία raybender (κάμψη ακτίνων)και συσκευή παρεμπόδισης μεταφοράς φωτός, η οποία μπορεί να παρέχει το φως σε οποιαδήποτε στιγμή. Αυτός ο σωλήνας αποθηκεύει το αχρησιμοποίητο φως και στη συνέχεια το αντανακλά το χρονικό διάστημα που απαιτείται . Παράγεται σε τρία διαφορετικά μεγέθη και μπορεί κανείς να επιλέξει ανάλογα με τις ανάγκες και το μέγεθος του χώρου που επιθυμεί να φωτίσει.[16]

Sundolier robot pumps sunlight indoors for powerful day lighting

Όπως υποδηλώνει το όνομά του ,η εταιρεία sundolier τοποθετεί ένα ηλιακό ρομπότ πάνω από τη στέγη του κτιρίου, το οποίο αντλεί το φως του ήλιου στο χώρο με φυσικό τρόπο. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές αυτά τα ηλιακά ρομπότ μπορούν να φωτίσουν χώρους έκτασης έως 2500 τετραγωνικά πόδια. Ο σωλήνας αντανακλά το ηλιακό φως προς τα κάτω στο χώρο σχεδόν χωρίς απώλειες (μέσω της τεχνολογίας Sun Chandelier).[16]

Velux sun light pipe tgf 21 inch

Ο φωτοσωλήνας Velux TGF έχει σχεδιαστεί για ασταθείς στέγες. Η εγκατάστασή του είναι γρήγορη και εύκολη. Είναι κατασκευασμένος από ατσάλι και περιέχει καθρέφτη που συγκρατείται από δαχτυλίδια καθιστώντας τον καθαρά έναν ανακλαστήρα ηλιακού φωτός . Το άνω μέρος του σωλήνα στερεώνεται παράλληλα προς την οροφή του κτιρίου, διατηρώντας με τον τρόπο αυτό την αισθητική. Ο σωλήνας δεν έχει καθόλου θερμά σημεία (hots spots) και έτσι το φως διατηρείται ακόμη και κατά τη στιγμή της διανομής. Είναι στεγανός και συνεπώς μπορεί να αντέξει σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και σε οποιοδήποτε κλίμα. Επιπλέον, αυτός ο σωλήνας είναι ανθεκτικός σε τυφώνα, λόγω των ευέλικτων ινών του .[16]

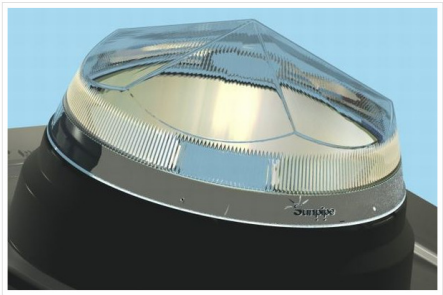


Apollo solar light pipe

Είναι ένα από τους καλύτερους ηλιακούς φωτοσωλήνες και είναι κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από την Orion. Η ηλιακή ενέργεια εστιάζεται πάνω από ένα φύλλο που αντανακλά το φως μέσα στο σωλήνα, ο οποίος είναι σφραγισμένος με τρόπο ώστε να μην υπάρχει απώλεια φωτός. Το φως μέσω αυτού του σωλήνα κατανέμεται ισόποσα στις διάφορες περιοχές . Σε συνδυασμό με άλλα προϊόντα μπορεί να παρέχει φως σε οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα ελέγχου του φωτός σε διαφορετικά δωμάτια ή χώρους.[16]

Sun pipe:

Είναι μία από τις απλούστερες μορφές ηλιακών φωτοσωλήνων που μπορούν να παρέχουν το φυσικό φως σε οποιαδήποτε θέση του κτιρίου. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι των εφαρμογών αυτού του φωτοσωλήνα :για επίπεδη στέγη , για σκεπή και κάθετος. Αυτός ο σωλήνας περιέχει ημιδιαφανή κάτοπτρα που προσθέτουν στην ενέργεια και είναι εύκολα ρυθμιζόμενος. Επιπλέον, μπορεί να παρέχει φως σε συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού και στα χαμηλότερα μέρη του σπιτιού.[16]



3)Σύστημα Himawari

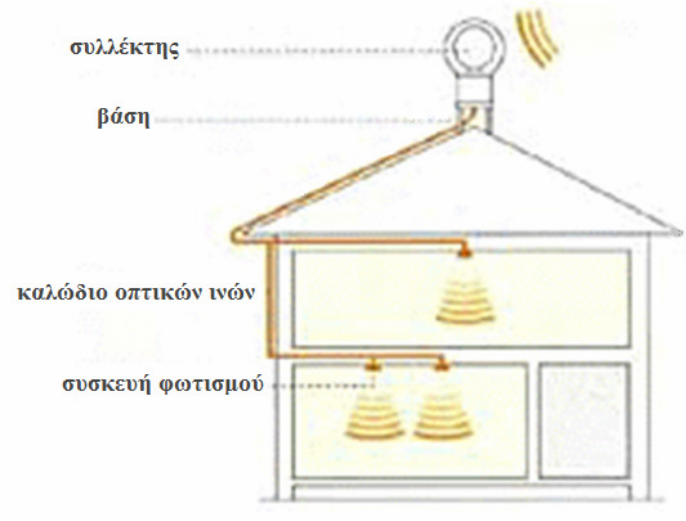
Το σύστημα Himawari υπόσχεται εξαιρετικά αποτελεσματική και σταθερή συλλογή του ηλιακού φωτός μέσω ενός συνδυασμού φακού και καλωδίου οπτικών ινών. Ο εξωτερικός συλλέκτης του συστήματος συλλέγει τη μέγιστη ποσότητα ηλιακού φωτός καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Το σύστημα είναι απαλλαγμένο από περιορισμούς όπως ο προσανατολισμός ενός δωματίου ή το ηλιακό υψόμετρο, καθώς διαθέτει αυτόματο σύστημα εντοπισμού που παρακολουθεί τον ήλιο με ακρίβεια. Οι φακοί του συστήματος όλη την ημέρα παρακολουθούν αυτόματα τον ήλιο και τοποθετούνται σε ορθή γωνία ως προς το ηλιακό φως .Το σύστημα Himawari είναι εξοπλισμένο με έναν εσωτερικό μηχανισμό ρολογιού, έναν ηλιακό αισθητήρα και ένα μικροεπεξεργαστή για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου και την προσαρμογή της δική του γωνίας. Όταν έχει καθαρό ουρανό, η ακριβής θέση του ήλιου προσδιορίζεται από τον αισθητήρα. Όταν ο ήλιος είναι κρυμμένος πίσω από τα σύννεφα, ο προσδιορισμός αυτός μεταβαίνει στον εσωτερικό μηχανισμό ρολογιού. Έτσι το Himawari μπορεί να ανταποκριθεί γρήγορα στις συνθήκες, συλλέγοντας αποτελεσματικά ηλιακή ακτινοβολία σε αίθριο καιρό. Μετά τη δύση του ήλιου, το σύστημα σβήνει και προσανατολίζεται, έτσι ώστε να είναι έτοιμο για την επόμενη ανατολή του ηλίου.

Σχήμα 2.46 : Προσανατολισμός φακών του συστήματος Himawari κατά τη διάρκεια της ημέρας
Πηγή: http://www.himawari-net.co.jp

i)Μετάδοση του φυσικού φωτός με καλώδια οπτικών ινών

Το φως του ήλιου συμπυκνώνεται περίπου 10.000 φορές μέσω ενός υψηλής απόδοσης φακού. Το άκρο εισόδου ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι τοποθετημένο στο εστιακό σημείο του φακού. Το φως του ήλιου εισέρχεται στο καλώδιο μέσω της εισόδου, προχωρά μέσω του καλωδίου ινών, επαναλαμβάνοντας την πλήρη αντανάκλασή του, και εκπέμπεται από την έξοδο του καλωδίου ινών.

Ένα καλώδιο οπτικών ινών γυαλιού, εξαιρετικά καθαρού χαλαζία, μεταδίδει τις ακτίνες, ορατού μήκους κύματος ,με πολύ μικρή εξασθένηση. Ένα καλώδιο κατασκευασμένο από εύκαμπτες οπτικές ίνες μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε νέο ή υφιστάμενο κτίριο μεταδίδοντας το φως του ήλιου οπουδήποτε αυτό χρειάζεται.



Σχήμα 2.47. : Τρόπος μετάδοσης του φυσικού φωτός με το σύστημα Himawari
Πηγή: http://www.himawari-net.co.jp

ii)Εξοικονόμηση ενέργειας και συντήρηση

Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου του Himawari έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Κοστίζει λιγότερο από 1 ιαπωνικό γιεν ανά ημέρα για να λειτουργήσει ένας φακός με δώδεκα συλλέκτες. Για περαιτέρω εξοικονόμηση, το σύστημα μπορεί να τροφοδοτείται από μια ηλιακή μπαταρία, αντί ηλεκτρικής ενέργειας. Μόλις εγκατασταθεί, το σύστημα Himawari λειτουργεί αυτόματα χωρίς καμία χειροκίνητη λειτουργία. Ο συλλέκτης ηλιακού φωτός καλύπτεται με ένα ακρυλικό θόλο, διασφαλίζοντας πολύ σταθερή απόδοση, εξασφαλίζοντας την προστασία του συστήματος από οποιαδήποτε παρέμβαση από τη βροχή και τη σκόνη. Προκειμένου να διατηρηθεί η αρχική απόδοση του συστήματος προτείνεται τακτική συντήρηση μία φορά το χρόνο.

iii)Τρόπος λειτουργίας συλλέκτη

Ο συλλέκτης αποτελείται από δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι ένα σύνολο φακών υψηλής απόδοσης και ενός αισθητήρα παρακολούθησης του ήλιου, το οποίο οδηγείται από διαξονικούς κινητήρες και καλύπτεται από έναν ακρυλικό θόλο. Το άλλο μέρος είναι μία μονάδα ελέγχου που στεγάζεται σε μια βάση στήριξης.

iv)Πλεονεκτήματα συστήματος:

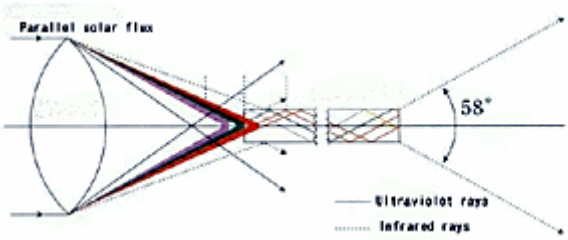
- Ορατή ακτινοβολία φυσικού φωτός η οποία δε θα μπορούσε ποτέ να αναπαραχθεί από οποιαδήποτε τεχνητή πηγή φωτός.

- Η υπεριώδης ακτινοβολία αποβάλλεται μέσω της χρωματικής εκτροπής, όταν το φως του ήλιου εστιάζεται από έναν κυρτό φακό, αφήνοντας μόνο τις ακτίνες ορατού μήκους κύματος.

- Καθώς οι υπέρυθρες ακτίνες έχουν μερικώς εξαλειφθεί, το σύστημα δεν παρεμβαίνει στον κλιματισμό το καλοκαίρι, χάρη στη μικρή εκπομπή θερμότητας.

- Η τεχνολογία οπτικών ινών επιτρέπει τώρα στο φως του ήλιου, το οποίο είναι τόσο απαραίτητο για τη ζωή μας να μεταδίδεται σε εσωτερικούς χώρους.

Όταν το ηλιακό φως περνά μέσα από έναν κυρτό φακό, εκτυλίσσεται ένα φαινόμενο που ονομάζεται χρωματική εκτροπή , προκαλώντας διαφορετικά μήκη κύματος του ηλιακού φωτός - υπεριώδες, ορατό και υπέρυθρο - να επικεντρωθούν σε διαφορετικές αποστάσεις από το φακό. Η ορατή ακτινοβολία συλλέγεται και μεταδίδεται από το άκρο εισόδου μιας οπτικής ίνας, η οποία είναι τοποθετημένη στο εστιακό σημείο του φακού . Έτσι, η υπεριώδης και υπέρυθρη ακτινοβολία μπορούν να εξαλειφθούν.



Σχήμα 2.48. :Χρωματική εκτροπή(κατακράτηση υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας) στο σύστημα Himawari- Πηγή: http://www.himawari-net.co.jp

Πηγή κειμένου για το Σύστημα Himawari:[17]

Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου

[1] Στασινόπουλος Ν. Θάνος. Ηλιακή Γεωμετρία. Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα Βιοκλιματικός Σχεδιασμός. Τμήμα Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ. Αθήνα 2001.

[2]Χριστοφής Ι. Κορωναίος ,Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Διδακτικές σημειώσεις, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Σ.Π.Μ.Σ.) «Περιβάλλον και Ανάπτυξη». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα, Μάρτιος 2012

[3]Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων ,Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010

[4] Μερέση Αικατερίνη. Εξοικονόμηση ενέργειας στη σχολική αίθουσα μέσω του φυσικού φωτισμού. Διδακτορική διατριβή. Επιβλέπων Καθηγητής: Αντωνίου Κ. ,Τμήμα αρχιτεκτόνων της πολυτεχνικής σχολής του ΑΠΘ, 2010 .

[5] Σαμακίδης Δημήτρης, Παραμετρική ανάλυση της επιρροής των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων του κτιριακού κελύφους στη διαμόρφωση των ενεργειακών αναγκών για φωτισμό με σύζευξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Α.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

[6]Δράκου Κατερίνα, Σχεδιασμός Συστήματος Φυσικού και Τεχνητού Φωτισμού σε Θάλαμο Νοσηλείας Νοσοκομείων, Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Α. Τσαγκρασούλης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2007-2008

[7]Tsangrassoulis A. , Synnefa A, Jacobs A., Wilson M., Solomon J., Fontoynont M., Pohl W., Zimmeremann A. , Synthlight Handbook: European Educational Infrastructure on Energy Efficient Lighting Technologies, Assisted by 3D Environments, 2004

[8]Αξαρλή Κ., Γιάννας Σ., Ευαγγελινός Ε., Ζαχαρόπουλος Η., Μάρδα Ν., Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος Χώρου, Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα 2001

[9] Ζαφειράτου Ε., Σακαγιάννη Β., Σχεδιασμός και μελέτη μείωσης του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα ξενοδοχειακής μονάδας στο Π. Φάληρο, Διπλωματική εργασία. Επιβλέπων καθηγητής: Τζουβαδάκης Ιωάννης .Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Τομέας Δομοστατικής

[10]Βερβέρη Παρασκευή ,Μέθοδοι Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Κτίρια, Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων καθηγητής: Αντωνόπουλος Κ.

[11]Τσικαλουδάκη Κατερίνα, δρ. πολικός μηχανικός, λέκτορας στο Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτιρίων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. «Φυσικός φωτισμός στα κτίρια- Παράμετροι σχεδιασμού για εξοικονόμηση ενέργειας», άρθρο στο περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ

[12]Δρακόπουλος Πάνος, Καθηγητής. Σημειώσεις για το μάθημα Εργονομία και Φωτισμός περιβάλλοντος του Ζ΄ εξαμήνου των φοιτητών Οπτικής & Οπτομετρίας. ΤΕΙ Αθήνας. Αθήνα, Ιανουάριος 2012

[13] http://www.tkmactions.tee.gr/sections/6_Omades_Ergasias/3_Energeias/12.pdf

[14] Daylight in Buildings. International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, July 2000.

[15]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos _ fotismos _fotagogoi.htm

[16] http://www.greendiary.com/6-solar-light-pipes-designed-conserve-energy.html

[17] http://www.himawari-net.co.jp

[18] Baker N. , Steemers K., Daylight Design of Buildings, London: James & James Ltd., 2002

[19] Δρ Γεώργιος Φατσέας, Αρχιτέκτων Μηχανικός-Σύμβουλος Φωτισμού, Ε.Μ.Π.-M.Sc., Ph.D., University of London, Φως-Φυσικός και τεχνητός φωτισμός στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, 2006

[20] Δρ Γεώργιος Φατσέας, Αρχιτέκτων Μηχανικός-Σύμβουλος Φωτισμού, Ε.Μ.Π.-M.Sc., Ph.D., University of London, Φυσικός-Τεχνητός Φωτισμός Εκθεσιακών Χώρων- Μουσείων, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008

[21]Aizlewood, M.E., 1993. Innovative Daylighting Systems: An Experimental Evaluation. *Lighting Research and Technology*

[22]Baker, N., Fanchiotti, A., Steemers, K. (eds), 1993. *Daylighting in* Architecture – A European Reference Book, Commission of the European Communities Directorate General XII for Science Research and Development, Brussels : James & James Ltd

[23] Architectural Energy Corporation, Design Brief, Understanding Daylight Metrics, Energy Design Resources, 2008

[24]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_xrisi_yalopinakon.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρώτη επαφή του ανθρώπου με τον τεχνητό φωτισμό έγινε πολύ πιο πριν από την κατασκευή του πρώτου λαμπτήρα. Ο άνθρωπος πριν από 300.000 χρόνια στην προσπάθειά του να υποκαταστήσει τον ήλιο, κατά τις ώρες που εκείνος δεν υπήρχε στο στερέωμα ή/και στα μέρη που η ηλιακή ακτινοβολία αδυνατούσε να φτάσει, κατάφερε να ελέγξει τη δύναμη της φωτιάς και να τη χρησιμοποιήσει και για φωτισμό. Η λάμψη της φλόγας βοήθησε τον προϊστορικό άνθρωπο να ζήσει σε σπηλιές. Τα περίφημα σχέδια στη σπηλιά της Altamira μόνο κάτω από τεχνητό φωτισμό θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν πριν από περίπου 15.000 χρόνια. Το φως από την πυρά στο ύπαιθρο, η δάδα, ο δαυλός, ο πυρσός, το κερί, το λυχνάρι άλλαξαν αποφασιστικά τον τρόπο ζωής των προγόνων μας, όχι μόνο σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους αλλά και σε εξωτερικούς. Το 280 π.Χ. χτίστηκε ο φάρος της Αλεξάνδρειας, ενώ υπάρχουν στοιχεία από το 378 μ.Χ. για «φώτα στους δρόμους» της Αντιόχειας.

Εικόνες από τη σπηλιά της Altamira
Πηγές :Οι δύο πρώτες από http://www.youtube.com/watch?v=Xhvu-_apFKk
η Τρίτη από http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=462498

Από πολύ νωρίς δημιουργήθηκαν λειτουργικά ή/και διακοσμητικά αντικείμενα για να φέρουν την ανεκτίμητη φωτεινή φλόγα. Η ουσιαστική βέβαια βελτίωση στις λάμπες με υγρό καύσιμο έγινε μετά την εφεύρεση του κυκλικού καυστήρα το 1783 από τον Aime Argand. Είναι η εποχή που άρχισαν και τα πρώτα πειράματα με λάμπες ηλεκτρικού τόξου (διαπήδηση του ρεύματος ανάμεσα σε δύο ράβδους άνθρακα) που ήταν όμως δύσκολες στη χρήση και επικίνδυνες για πυρκαγιά. Έπρεπε να περάσει ένας περίπου αιώνας για να κατορθώσει ο Werner Siemens το 1866 να παράγει οικονομικά ηλεκτρισμό με τη βοήθεια του δυναμό. Στην πραγματικότητα, η εποχή του ηλεκτρικού φωτισμού αρχίζει το 1879 όταν ο Thomas Edison και ο Josef Swan επινόησαν σχεδόν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον το

λαμπτήρα πυρακτώσεως. Υποστηρίζεται πάντως ότι και οι δύο στην πραγματικότητα «επανεφηύραν» τον λαμπτήρα, που πρωτοεφευρέθηκε το 1854 από το Γερμανό ωρολογοποιό Johann Heinrich Goebel.

Για κάθε φωτεινή πηγή από τη δάδα και τον πυρσό, από το λίπος και το λάδι και από το κερί μέχρι το λαμπτήρα πυρακτώσεως κατασκευάστηκαν διάφορα «φωτιστικά σώματα» για την αποτελεσματική χρήση όλων αυτών των «λαμπτήρων». Τις τελευταίες δεκαετίες μάλιστα, η ανάπτυξη των λαμπτήρων και των φωτιστικών βρίσκεται σε εκπληκτικά δυναμική τροχιά με την εκμετάλλευση των πιο προηγμένων τεχνολογιών, νέων οπτικών συστημάτων, νέων υλικών, του σχεδιασμού(design) κλπ., ενώ ταυτόχρονα δίδεται συνεχώς αυξανόμενη προσοχή σε θέματα ποιότητας, ασφάλειας, κόστους, προστασίας του περιβάλλοντος και θέματα αισθητικής. Ο τεχνητός φωτισμός σήμερα, πολλές φορές ξεπερνά την αρχική ανάγκη χρήσης του και χρησιμοποιούμενος ως 'υλικό' και ως μέσο' αναδεικνύει την αρχιτεκτονική σύνθεση και το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων και στις καλύτερες των περιπτώσεων, η αρχιτεκτονική αποκαλύπτει και αναδεικνύει τις δυνατότητες που διαθέτει το φως. [1],[2]

3.2 Χαρακτηριστικά επιλογής είδους λαμπτήρα

Ο τεχνητός φωτισμός είναι εδώ και αρκετές δεκαετίες άμεσα συνυφασμένος με την ηλεκτρική ενέργεια. Οι λαμπτήρες είναι οι διατάξεις εκείνες οι οποίες, σε μια συστημική προσέγγιση, δέχονται ως είσοδο ηλεκτρική ενέργεια και παρέχουν ως έξοδο φωτεινή, αλλά και θερμική ενέργεια. Ο τρόπος μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας και οι υπόλοιπες λεπτομέρειες αυτής της διαδικασίας είναι χαρακτηριστικά του τύπου και της τεχνολογίας του κάθε λαμπτήρα.[2]

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη και κριτήρια που αφορούν στους λαμπτήρες είναι τα εξής [3],[6]:

Τεχνικά

- τάση λειτουργίας του δικτύου (Volt)
- ονομαστική ισχύς (W)
- θέση λειτουργίας(°)
- συνθήκες λειτουργίας ή αλλιώς θερμοκρασία περιβάλλοντος(°C)
- τύπος και διαστάσεις κάλυκα-λυχνιολαβής(mm)
- συνθήκες λειτουργίας ή αλλιώς θερμοκρασία περιβάλλοντος(°C)
- τύπος και διαστάσεις κάλυκα-λυχνιολαβής(mm)
- χρήση

Οικονομοτεχνικά

- φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση(lumen / watt)

- διάρκεια ζωής λαμπτήρων(h) - μέγιστος αριθμός κύκλων λειτουργίας

Φωτοτεχνικά

- θερμοκρασία χρώματος CCT, (° K)
- δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra (CRI) (τιμές από 0 έως 100)
- φωτεινή ροή (lux=lm/m^2) και φωτεινή ένταση-φωτοβολία (cd/m^2)

Οικολογικά-περιβαλλοντικά

-Περιεκτικότητα βλαβερών ουσιών

-εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας

1. Τάση λειτουργίας

Η τάση λειτουργίας προσδιορίζει την περιοχή τάσης του δικτύου, με την οποία τροφοδοτείται ο λαμπτήρας ή τα όργανα έναυσης και λειτουργίας του λαμπτήρα.
Μονάδες μέτρησης της τάσης λειτουργίας είναι το volt(V) και το πολλαπλάσιο αυτού kilovolt(kV).

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς παραγωγής που βρίσκονται σε διάφορα σημεία της χώρας και στη συνέχεια μεταφέρεται στα κέντρα κατανάλωσης (μεγάλα αστικά κέντρα) μέσω των γραμμών υπερυψηλής (400kV) και υψηλής (150kV) τάσης.

Φωτ. 3.1.Γραμμές –πυλώνες υψηλής τάσης

Στη συνέχεια η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους κατά τόπους καταναλωτές, μέσω των γραμμών Μέσης και Χαμηλής τάσης. Ωστόσο πολύ μεγάλοι καταναλωτές, όπως εργοστάσια, τροφοδοτούνται απευθείας με υψηλή τάση (150kV), ενώ άλλοι μεγάλοι καταναλωτές, όπως βιοτεχνίες, μεγάλα ξενοδοχεία, νοσοκομεία και κτίρια τροφοδοτούνται με Μέση τάση (20kV). Τέλος, οι περισσότεροι καταναλωτές (οικιακοί και επαγγελματικοί) τροφοδοτούνται με μονοφασικές παροχές χαμηλής τάσης (230V) και κάποιοι άλλοι που έχουν μεγαλύτερες ανάγκες με τριφασικές παροχές (400 V). Οι εγκαταστάσεις του δικτύου αναγράφουν πάντα τα χαρακτηριστικά της τάσης. [4]

Όπως προβλέπεται και στους κανονισμούς του (ΕΛΟΤ-Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 50160) μικρές ή μεγάλες μεταβολές της τάσης τροφοδότησης, όπως π.χ. περιστασιακές βυθίσεις ή διακοπές της τάσης, υπερτάσεις ως προς τη γη κ.ά. είναι αναπόφευκτες, αφού μπορεί να οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα(π.χ. κεραυνούς, πτώση δέντρων), σε τυχαίες βλάβες, σε παρεμβάσεις τρίτων και σε άλλα απρόβλεπτα εξωτερικά αίτια. [5].Η Δ.Ε.Η. έχει καθιερώσει τα παρακάτω όρια διακυμάνσεως της τάσης στα δίκτυα διανομής χαμηλής και μέσης τάσης:

Για τη χαμηλή τάση, οι μετρούμενες τιμές πρέπει να βρίσκονται μεταξύ των ορίων 230 ± 10% (δηλαδή 207 V έως 253 V).
Στη μέση τάση, τα όρια διακύμανσης είναι 20kV ± 10% [7]

2. Ονομαστική ισχύς

Ονομαστική ισχύς είναι η καταναλισκόμενη από το λαμπτήρα ηλεκτρική ισχύς σε Watt.

1Watt = 1Joule/sec = (1Volt)*(1Ampere)

Είναι δηλαδή, ο ρυθμός με τον οποίο δαπανάται ενέργεια από ένα λαμπτήρα και επομένως πρόκειται για ένα μέγεθος που δείχνει το πόσο γρήγορα καταναλώνει ενέργεια ένας λαμπτήρας .Ισούται με το πηλίκο της Ενέργειας που δαπανά ο λαμπτήρας προς τον αντίστοιχο χρόνο P=E/ t.

Η ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί με πολλαπλασιασμό της ισχύος της συσκευής του λαμπτήρα(P) επί τη χρονική διάρκεια λειτουργίας του(t).
Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τις μονάδες των μεγεθών.
E = P * t
Μονάδα Ενέργειας = (Μονάδα Ισχύος) x (Μονάδα χρόνου)

1Joule = 1Watt*1sec

1Wh = 1Watt*1h = 1W*3600sec = 3.600Joule

1KWh = 1000Watt*1h = 1000W*3600sec = 3.600.000Joule

Η χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται τιμολογώντας KWh και όχι ισχύ (Watts)[8].

Δεν πρέπει να συγχέεται η μέτρηση της απόδοσης του φωτός σε watt (W) με τη φωτεινή ισχύ(lm), καθώς διαφορετικά επίπεδα ηλεκτρικής ισχύος μπορούν να παράγουν την ίδια ποσότητα φωτός. Για παράδειγμα αν αντικατασταθεί ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως των 60 Watt με ένα συμπαγή λαμπτήρα φθορισμού, τότε ο δεύτερος θα πρέπει να έχει κατανάλωση 13-18 watt. Ομοίως, μια λάμπα πυρακτώσεως των 100 Watt έχει φωτεινή ισχύ 1690 lumens

ενώ μια λάμπα φθορισμού των 23 watt έχει φωτεινή ισχύ 1500 lumens. Δηλαδή, ο συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού (CFL) αποδίδει περισσότερο φως με λιγότερη ενέργεια. [9],[15]

Ισοδυναμία ηλεκτρικής ισχύος(W) με lumen(lm) σε λαμπτήρα πυράκτωσης	
100W	1300-1400 lm
75W	920-970 lm
60W	700-750 lm
40W	410-430 lm
25W	220-230 lm

Πίνακας 3.1. - πηγή: http://ec.europa.eu/energy/lumen

3. Θέση λειτουργίας

Προσδιορίζει τη θέση του λαμπτήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του και μετριέται σε μοίρες(°) από τον οριζόντιο ή τον κατακόρυφο άξονα. Για κάποιες ομάδες λαμπτήρων υπάρχει συγκεκριμένη θέση λειτουργίας και πρέπει να ακολουθείται για να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία και η βέλτιστη απόδοση του λαμπτήρα.

Για παράδειγμα για ορισμένους λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων (παρ. 3.3.2.4)μόνο ορισμένη θέση λειτουργίας επιτρέπεται για να αποφευχθεί ασταθής κατάσταση λειτουργίας. Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού(παρ. 3.3.2.1) μπορούν συνήθως να χρησιμοποιηθούν σε κάθε θέση, αν και ορισμένες σημαντικές ιδιότητές τους, όπως η χαρακτηριστική φωτεινή ροή τους και η θερμοκρασία μπορεί να εξαρτάται από τη θέση αυτή. [6],[11]

4. Συνθήκες λειτουργίας ή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Προσδιορίζουν τα όρια της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου του λαμπτήρα, μέσα στα οποία εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη έναυση και λειτουργία του λαμπτήρα. Η μέτρηση γίνεται σε βαθμούς της κλίμακας Κελσίου(°C).

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) (3.3.3.1.) έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη θερμοκρασία από τους βελτιωμένους λαμπτήρες πυράκτωσης. Είναι σημαντικό η επιλογή ενός λαμπτήρα να είναι τέτοια, που να εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του στις θερμοκρασίες στις οποίες πιθανόν να εκτίθεται. Για παράδειγμα, για τον εξωτερικό φωτισμό σε κλιματικές ζώνες με ψυχρό χειμώνα συνιστάται η επιλογή ενός λαμπτήρα, ο οποίος δεν επηρεάζεται από τις θερμοκρασίες παγετού. Διαφορετικά, η φωτεινή ισχύς πιθανόν να μειώνεται τις νύχτες του χειμώνα. Όταν ο λαμπτήρας προορίζεται για βέλτιστη λειτουργία σε θερμοκρασίες εκτός της θερμοκρασίας δωματίου, ο κατασκευαστής

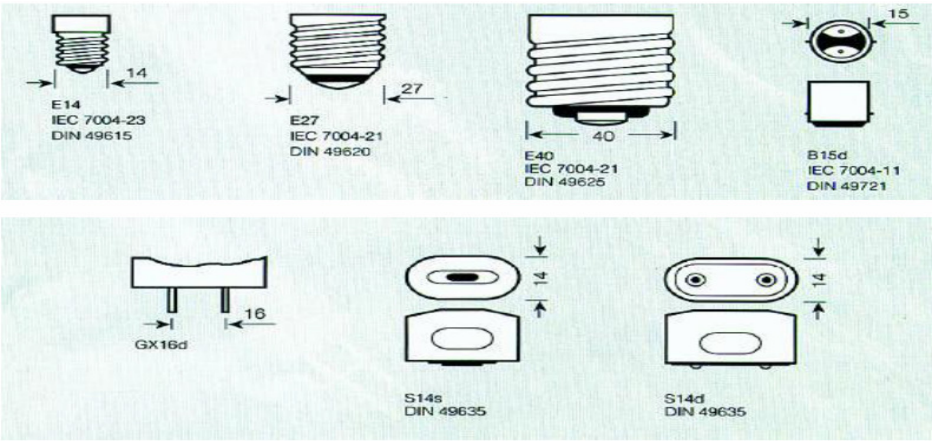
πρέπει να αναγράφει πληροφορίες σχετικά με τη βέλτιστη θερμοκρασία ή το εύρος της θερμοκρασίας.[15]

Σχήμα 3.1.Ετικέτα Θερμοκρασίας λειτουργίας
πηγή: http://ec.europa.eu/energy/lumen/doc/consumers-el.pdf

5. Τύπος και διαστάσεις κάλυκα-λυχνιολαβής

Κάλυκας είναι η μεταλλική βάση στήριξης των λαμπτήρων πυρακτώσεως, ο οποίος μέσω της αεροστεγούς επαφής του με το γυάλινο κώδωνα του λαμπτήρα εξασφαλίζει την απαραίτητη απομόνωση του νήματος από τον ατμοσφαιρικό αέρα. (Ο κάλυκας και τα στοιχεία μιας λάμπας πυράκτωσης φαίνονται στο σχήμα 3.2).

Οι κάλυκες κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις ύψους και διαμέτρου, τηρώντας διεθνείς προδιαγραφές. Οι συνηθέστεροι δύο τύποι είναι ο βιδωτός, που βιδώνεται στη λυχνιολαβή (ντουί) και ο μπαγιονέτ, που στηρίζεται στη λυχνιολαβή με τη βοήθεια δύο προεξοχών. Ο πρώτος τύπος χαρακτηρίζεται με το γράμμα Ε(Edison) και ο δεύτερος με το γράμμα Β (Bayonet). Τα γράμματα Ε και Β ακολουθούνται από αριθμό που χαρακτηρίζει τη διάμετρο του κάλυκα σε χιλιοστά. Και οι δύο τύποι κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και οι κατεξοχήν χρησιμοποιούμενοι τύποι είναι οι Ε10, Ε14, Ε27, Ε40 και οι Β15, Β22. Οι κάλυκες στερεώνονται στο γυάλινο κώδωνα με τη χρήση ειδικής συγκολλητικής ουσίας. [6]



Σχήμα 3.2 Διάφοροι τύποι κάλυκα

6. Χρήση

Η χρήση για την οποία προορίζεται ο φωτισμός(εσωτερικός, εξωτερικός, ασφαλείας κ.λ.π) καθορίζει και το είδος λαμπτήρα που θα χρησιμοποιήσουμε.

7. Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση λαμπτήρα (σε lumen / watt)

Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής(Luminous Efficiency), χρησιμοποιείται για να συσχετίσει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ροής μιας φωτεινής πηγής, με την ηλεκτρική ισχύ που αυτή καταναλώνει. Εκφράζεται μέσω του συντελεστή απόδοσης φωτεινής πηγής n, ο οποίος δίνεται από το πηλίκο της φωτεινής ισχύος προς την ηλεκτρική ισχύ:

$$n = \Phi / P_{\eta\lambda}$$

Μονάδα μέτρησης της απόδοσης είναι το lm/W (Lumen / Watt).

Επομένως, απόδοση ενός λαμπτήρα είναι η ποσότητα φωτεινής ροής(lm) που αυτός αποδίδει προς την ηλεκτρική ισχύ(W) που καταναλώνει. Σε ορισμένες κατηγορίες λαμπτήρων(όπως π.χ. στους λαμπτήρες εκκένωσης _ παρ.3.3.2) η ηλεκτρική ισχύς τους δεν καταναλώνεται εξ ολοκλήρου για την παραγωγή φωτός, αλλά και σε ενδιάμεσες διατάξεις που ενδέχεται να συνοδεύουν το κύκλωμα του λαμπτήρα. Τέτοιες διατάξεις είναι τα στραγγαλιστικά πηνία-ballast(παρ. 3.3.2.1) , που συνδέονται με αυτούς για την εκκίνηση και τον έλεγχο της λειτουργίας τους, οι μετασχηματιστές και τα τροφοδοτικά ισχύος.[12]

8. Διάρκεια ζωής λαμπτήρων

Ως διάρκεια ζωής λαμπτήρων νοείται ο αναμενόμενος αριθμός των ωρών λειτουργίας του λαμπτήρα μέχρι την αχρήστευσή του.

Δύο ακόμη όροι που αναφέρονται συχνά ως προς το χρόνο ζωής του λαμπτήρα είναι :

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

Η μέση διάρκεια χρήσης ενός λαμπτήρα είναι 1.000 ώρες ετησίως, αριθμός που προκύπτει, με τρεις ώρες λειτουργίας κατά μέσο όρο ημερησίως. Η συνεχόμενη χρήση ενός λαμπτήρα οδηγεί σε μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με την περιστασιακή χρήση του.

Σχήμα 3.3.Ετικέτες για τη διάρκεια ζωής λαμπτήρων - πηγή:http://ec.europa.eu/energy/lumen/doc/designers-el.pdf

Στην περίπτωση ορισμένων λαμπτήρων φθορισμού, η διάρκεια ζωής τους επηρεάζεται επίσης από το πόσες φορές ανάβουν και σβήνουν (αριθμός κύκλων λειτουργίας). Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων μπορεί να ποικίλλει από 1.000 ώρες για τους συμβατικούς λαμπτήρες πυράκτωσης(παρ. 3.3.1.) μέχρι 15.000 ώρες για τους καλύτερους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού και LED .Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συνεπάγεται μεγαλύτερη ευκολία, αφού η αντικατάστασή τους θα γίνεται σε αραιότερα διαστήματα.[15],[6],[14]

9. Μέγιστος αριθμός κύκλων λειτουργίας

Αυτή η πληροφορία είναι ιδιαιτέρως σημαντική για τους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού. Οι απλοί συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (3000-6000 κύκλοι λειτουργίας) δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε χώρους όπου το φως ενεργοποιείται και απενεργοποιείται συχνά, δηλαδή περισσότερες από τρεις φορές κατά μέσο όρο την ημέρα, π.χ. διάδρομος με φωτοκύτταρο. Στην περίπτωση αυτή η διάρκεια ζωής τους ενδέχεται να είναι μικρότερη από αυτήν που αναγράφεται στη συσκευασία. Υπάρχουν όμως εξειδικευμένοι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού που μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν έως και 1 εκατομμύριο φορές, και ενδείκνυνται για τέτοιους χώρους. Άλλοι τύποι λαμπτήρων δεν επηρεάζονται από τη συχνότητα χρήσης (π.χ. οι βελτιωμένοι λαμπτήρες πυράκτωσης).[14],[15]

10. Θερμοκρασία χρώματος CCT

Η έννοια της Θερμοκρασίας χρώματος έχει αναλυθεί στην παράγραφο 1.4.1**.**

Αξίζει να συμπληρώσουμε ότι η υψηλή θερμοκρασία χρώματος και κατ' επέκταση η ψυχρή απόχρωση φωτός είναι κατάλληλη για εργασιακούς χώρους, ενώ η χαμηλή θερμοκρασία χρώματος-θερμή απόχρωση προσφέρει ηπιότερο φωτισμό και είναι καταλληλότερη για οικιακή χρήση.

Σχήμα 3.4. Ετικέτες μέγιστου αριθμού κύκλων λειτουργίας και Θερμοκρασίας χρώματος
Πηγές: http://ec.europa.eu/energy/lumen/doc/designers-el.pdf ,
http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/whatchanges/index_el.htm

11. Δείκτης χρωματικής απόδοσης Ra (CRI) , η έννοια του οποίου έχει αναλυθεί στην παράγραφο 1.4.1.

12. Φωτεινή ροή (lm) και φωτεινή ένταση-φωτοβολία (cd ή lm· sr^{-1}) η έννοια των οποίων έχει αναλυθεί στην παράγραφο 1.3.3

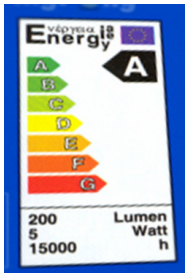
13. Περιεκτικότητα βλαβερών ουσιών

Η περιεκτικότητα πιθανών βλαβερών ουσιών για το περιβάλλον αφορά στην περιεκτικότητα ή μη ουσιών που περιέχονται στο λαμπτήρα και οι οποίες αποδεδειγμένα είναι, ή ενδέχεται να είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού για παράδειγμα περιέχουν μικρή ποσότητα υδραργύρου (εντός των επιτρεπόμενων ορίων που ορίζονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση). Ο υδράργυρος αυτός δεν αποδεσμεύεται όταν οι λαμπτήρες είναι ακέραιοι (δεν έχουν σπάσει), είτε είναι σε λειτουργία είτε όχι. Αν ο λαμπτήρας σπάσει, μπορεί να διαρρεύσει μικρή ποσότητα υδραργύρου(η μέγιστη ποσότητα που αποδεσμεύεται είναι 5 χιλιοστόγραμμα) για αυτό και απαιτείται ειδικός χειρισμός των σπασμένων συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού. [15]

14. Εξοικονόμηση καταναλισκόμενης ενέργειας

Οι νέοι τύποι λαμπτήρων έχουν γενικά μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση από τους παλαιούς λαμπτήρες πυράκτωσης, ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες διαφοροποιήσεις. Η υποχρεωτική σήμανση ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ δηλώνει την κατηγορία ενεργειακής απόδοσης σε μια κλίμακα από το A έως το G, με το A να δηλώνει την υψηλότερη απόδοση (μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας) και το G τη χαμηλότερη απόδοση, για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας φωτός.



Σχήμα 3.5.Αριστερά:Ετικέτα ενεργειακής απόδοσης.
Δεξιά: διάγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας και κατανάλωσης διαφόρων τύπων λαμπτήρων.
- Πηγή: http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/index_el.htm

Ο καθορισμός νέων απαιτήσεων για την ενεργειακή απόδοση των λαμπτήρων από το Σεπτέμβριο του 2009 θα οδηγήσει έως το 2020 σε εξοικονόμηση άνω των 40 δισεκατομμυρίων κιλοβατώρων ετησίως - που ισοδυναμεί με κατανάλωση ρεύματος 11 εκατομμυρίων ευρωπαϊκών νοικοκυριών για την ίδια περίοδο. Το σημαντικότερο είναι ότι θα επιτευχθεί έτσι μείωση έως 15 εκατομμυρίων τόνων εκπομπών CO_2 ετησίως. [16]

3.3 Κατηγορίες λαμπτήρων

Σήμερα διατίθεται στην αγορά μεγάλη ποικιλία λαμπτήρων, για διαφορετικές εφαρμογές. Στη συνέχεια περιγράφονται οι πιο κοινές κατηγορίες λαμπτήρων.[19]

Λαμπτήρες πυρακτώσεως

- *Τυπικός λαμπτήρας βολφαμίου:*

  - Κοινοί λαμπτήρες
  - Γενικής & ειδικής χρήσης
  - Καθρέπτου

- *Λαμπτήρας αλογόνου βολφραμίου*

  - Γραμμικής Τάσης
  - Πολύ χαμηλής Τάσης

Λαμπτήρες εκκενώσεως

-Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

-Λαμπτήρες Φθορισμού

  - Γραμμικοί Λαμπτήρες Φθορισμού(T12. T8.T5)
  - Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού
  - Λαμπτήρες Επαγωγής

-Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων

-Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης

-Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

Φωτοεκπέμουσες Δίοδοι(LEDS)

Οπτικές ίνες

3.3.1 Λαμπτήρες πυράκτωσης

3.3.1.1 Τυπικός λαμπτήρας βολφραμίου

Ο λαμπτήρας πυράκτωσης είναι μία απλή κατασκευή . Ένα σύρμα (το νήμα πυράκτωσης) που είναι τοποθετημένο στο κέντρο του λαμπτήρα διαρρέεται - μέσω συρμάτων επαφής- από ηλεκτρικό ρεύμα και θερμαίνεται μέχρι να πυρακτωθεί. Έτσι, το σύρμα εκπέμπει ακτινοβολία αντίστοιχη του φωτός(θερμότητα και φως).

Σχήμα 3.6. Τα στοιχεία μιας λάμπας πυράκτωσης

Το μήκος και η διάμετρος του σύρματος καθορίζουν την ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνει ο λαμπτήρας, επηρεάζοντας συνεπώς και την παραγωγή φωτός. Για τα νήματα χρησιμοποιείται βολφράμιο (τουνγκστένιο) λόγω της υψηλής θερμοκρασίας τήξης του (3.655 K). Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί το νήμα τόσο περισσότερο φως μπορεί να εκπέμπει, αλλά ταυτόχρονα και τόσο πιο γρήγορα μπορεί να επέλθει η εξάχνωση (μετατροπή του στερεού σε αέριο) του νήματος. Οι κώδωνες των λαμπτήρων αρχικά εκκενώθηκαν για να αποφευχθεί η αντίδραση του βολφραμίου με το οξυγόνο, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει τη γρήγορη εξάτμιση του βολφραμίου. Στους σύγχρονους λαμπτήρες πυρακτώσεως ο λαμπτήρας(κώδωνας) πληρώνεται με ένα αδρανές αέριο, το οποίο επιβραδύνει το μαύρισμα του λαμπτήρα. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται κατεξοχήν για το σκοπό αυτό είναι το αργό, το άζωτο και το κρυπτό. Το μαύρισμα της λάμπας προκαλείται από συμπύκνωση των εξατμισμένων σωματιδίων βολφραμίου στο εσωτερικό τοίχωμα του λαμπτήρα.

Η εξάτμιση του νήματος, αν και έχει μειωθεί από τη χρήση αδρανούς υπό πίεση αερίου, συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα. Το σύρμα βολφραμίου γίνεται λεπτότερο, καταναλώνει λιγότερη ενέργεια και εκπέμπει λιγότερο φως. Η μείωση αυτή

συνδυάζεται με τις απώλειες λόγω μαυρίσματος του κώδωνα με αποτέλεσμα μια μείωση του φωτός σε όλη τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.[17]
Όσο υψηλότερη είναι η τάση λειτουργίας ενός λαμπτήρα πυράκτωσης, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση φωτός-φωτεινή ροή , αλλά ταυτόχρονα τόσο μικρότερος ο χρόνος ζωής του. Οι τυχαίες υπερτάσεις του δικτύου συνεπώς, έχουν πολύ δυσμενή επίδραση στο χρόνο ζωής των λαμπτήρων πυρακτώσεως. Αντίστοιχα, μικρή τάση οδηγεί σε χαμηλή απόδοση φωτός, αλλά αυξάνει τη διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.[13],[17]

Χαρακτηριστικά λαμπτήρα [3],[18]:
- Φωτεινή ροή 200-2500 lm
- Χρωματική απόδοση άριστη 100, συνεχές φάσμα-όλα τα χρώματα
- Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση 10-18 lm/W
- Θερμοκρασία χρώματος 2600-3000 K (θερμό)
- Διάρκεια ζωής 1000 h
- Κάλυκας E27, B22
- Εύκολη αυξομείωση έντασης του φωτός
- Άμεση έναυση και επανέναυση εν θερμώ
- Λειτουργούν χωρίς πρόβλημα σε οποιαδήποτε θέση (οριζόντια, κατακόρυφη, διαγώνια)
- Χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης

Είδη τυπικών λαμπτήρων βολφαμίου

- Κοινοί λαμπτήρες(κεριά , σφαιρικοί, Argenta, softone)
- Ειδικής χρήσης(χαμηλής τάσης, σηματοδότησης, εντόμων, ηλεκτρικών συσκευών , ραβδόμορφοι ,ηλιακού φωτός)
- Καθρέπτου(απλοί , ανεστραμμένου καθρέπτη, με σκληρό γυαλί)

3.3.1.2 Λαμπτήρας αλογόνου βολφραμίου

Η εξάχνωση του νήματος έχει αντιμετωπιστεί κατά τα τελευταία χρόνια α-ποτελεσματικά με τη βοήθεια των αλογόνων (χλώριο, ιώδιο, φθόριο και βρώμιο). Μέσα στον κώδωνα του λαμπτήρα τοποθετείται μικρή ποσότητα ατμών αλογόνου (συνήθως ιωδίου) η οποία επιδρά με τα προϊόντα εξαχνώσεως (στοιχεία του βολφραμίου) και σχηματίζει χημική ένωση που ονομάζεται "αλογονίδιο του βολφραμίου ". Το αλογονίδιο τούτο επικάθεται στο νήμα, όπου λόγω της υψηλής

θερμοκρασίας διασπάται, αποθέτοντας έτσι το βολφράμιο πάνω στο νήμα ενώ το αλογόνο ελευθερώνεται για να αρχίσει νέο κύκλο.

Με τον τρόπο αυτό το νήμα τροφοδοτείται συνέχεια με βολφράμιο και n συνολική εξάχνωση περιορίζεται. Αφού τα προϊόντα της εξαχνώσεως επιστρέφουν στο νήμα δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της αμαυρώσεως του κώδωνα, ακόμα και αν αυτός έχει περιορισμένες διαστάσεις.

Οι λαμπτήρες που εργάζονται κατά αυτό τον τρόπο, "λαμπτήρες ιωδίνης", επιτρέπουν την ανάπτυξη στο νήμα μεγαλύτερων θερμοκρασιών, άρα παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση και επί πλέον μεγάλο χρόνο ζωής, περίπου 2000 ώρες, διπλάσιο δηλαδή από το χρόνο των κοινών λαμπτήρων.[13]

Παρά το γεγονός ότι αυτοί οι λαμπτήρες είναι πιο ακριβοί από τους τυπικούς λαμπτήρες βολφραμίου, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους , τους καθιστά συμφέρουσα επιλογή έναντι των τυπικών, σε περιοχές που είναι δύσκολη η συχνή αλλαγή λαμπτήρων. [17]

Χαρακτηριστικά λαμπτήρα [3],[18]:

- Φωτεινή ροή 60-44000 lm
- Χρωματική απόδοση 100
- Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση έως 25 lm/W
- Θερμοκρασία χρώματος 3000-3400 K (θερμό)
- Διάρκεια ζωής 2000 h
- Εύκολη αυξομείωση έντασης του φωτός
- Άμεση έναυση και επανέναυση εν θερμώ
- Λειτουργούν χωρίς πρόβλημα σε οποιαδήποτε θέση (οριζόντια, κατακόρυφη, διαγώνια)

Φωτ.3.2.Λαμπτήρες αλογόνου
Πηγή:http://www.thedecobook.com

Overview of incandescent lamps and their specifications									
Lamp	Shape	Bulb	Socket	Power W	Luminous flux lm	Luminous intensity cd	Luminous efficacy lm/W	Colour and Colour rendering	Life h
General Service lamp		clear matt	E27 E40	25...1000	230...3200 5000...19000	----	9...16 17...19	ww/1	1000
Reflector lamp PAR		inside mirrored	E27	25...300	----	180...40000	----	ww/1	2000
High voltage Tungsten Halogen lamp		clear matt	R7s E27 E14	60...2000 40...250	840...44000 580...4200	----	14...22 14...17	ww/1	2000
Low voltage Tungsten Halogen lamp		Reflector Al or glass	Gy 6,35 G4	5...150	50...3200	----	10...21	ww/1	2000
Low voltage Tungsten Halogen lamp with reflector		clear matt	Gu 5,3 Gy 4	10...250	----	600...45000	----	ww/1	2000...4000

Σχήμα 3.7.Πίνακας χαρακτηριστικών διαφόρων τύπων λαμπτήρων πυρακτώσεως
πηγή: Synthlight handbook

3.3.2 Λαμπτήρες εκκενώσεως- Στραγγαλιστικές διατάξεις(ballasts)

Λαμπτήρες εκκενώσεως

Οι λαμπτήρες εκκενώσεως είναι λαμπτήρες στους οποίους το φως παράγεται από ηλεκτρική εκκένωση μέσω ενός αερίου, ατμού μετάλλων ή μίγματος αερίων και ατμών. Η παραγωγή ορατού φωτός προκύπτει από τη διέγερση των ατόμων του αερίου(ατμού ή μίγματος) που περιλαμβάνουν. Χωρίζονται σε λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης και λαμπτήρες εκκένωσης χαμηλής πίεσης και συγκεκριμένα στις εξής υποκατηγορίες[19],[12],[36]:

Α)Λαμπτήρες Φθορισμού

Β)Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

Γ)Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων

Δ)Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης

Ε)Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης

Όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης απαιτούν στραγγαλιστική διάταξη(ballast) στο ηλεκτρικό τους κύκλωμα, για τη σύνδεση του λαμπτήρα με την ηλεκτρική παροχή και τον έλεγχο του ρεύματος στο λαμπτήρα.

3.3.2.1 Στραγγαλιστική διάταξη(ballast)

Με την έννοια της εκκένωσης του αερίου αναφερόμαστε στη σύσταση τόξου μεταξύ των ηλεκτροδίων που βρίσκονται στα άκρα του λαμπτήρα. Για τη δημιουργία του τόξου απαιτείται να δοθεί στο κύκλωμα του λαμπτήρα ο κατάλληλος παλμός έναυσης, ο οποίος μπορεί να είναι πολλαπλάσιος της κανονικής τάσης λειτουργίας του λαμπτήρα. Τον παλμό αυτό δίνει μία διάταξη γνωστή ως ballast, ή στραγγαλιστικό πηνίο. Επειδή όμως, κατά τη δημιουργία του τόξου η αντίσταση του αερίου τείνει να μηδενιστεί, το ballast λειτουργεί και ως αντίσταση περιορίζοντας την ανεξέλεγκτη αύξηση του ρεύματος μεταξύ των ηλεκτροδίων. [12]

Οι στραγγαλιστικές διατάξεις χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

-Ηλεκτρομαγνητικές στραγγαλιστικές διατάξεις:

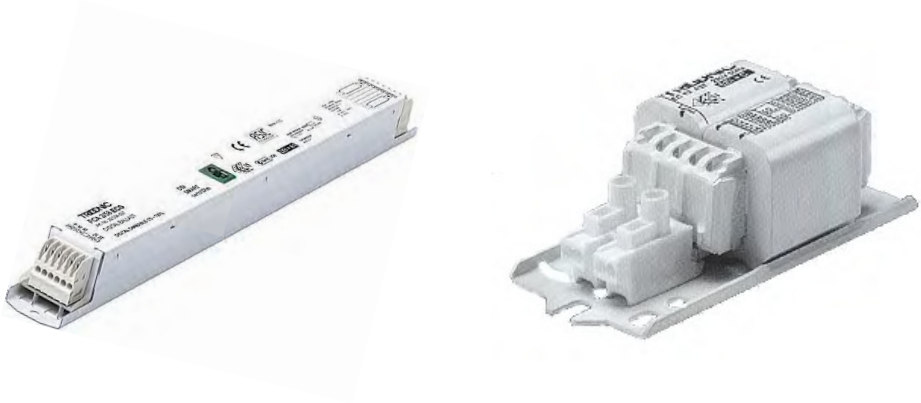
Είναι απλά πηνία περιορισμού του ρεύματος σχετικά χαμηλού κόστους. Εμφανίζουν όμως σημαντικές απώλειες και χαμηλό συντελεστή ισχύος με αποτέλεσμα να απαιτείται η εγκατάσταση πυκνωτή αντιστάθμισης για τη διόρθωσή του. Τα συμβατικά στραγγαλιστικά πηνία αναπτύσσουν κατά τη λειτουργία τους υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων.[20]

- Ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις:

Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, οι οποίες λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες. Η υψίσυχνη λειτουργία τους έχει ως αποτέλεσμα την εξάλειψη του στροβοσκοπικού φαινομένου (διακοπές των εκκενώσεων και διακοπή του εκπεμπόμενου φωτός σε κάθε ημιπερίοδο που μηδενίζεται η τάση) και ως εκ τούτου οι συνδεδεμένοι σε αυτές λαμπτήρες αποδίδουν σταθερό φως (περιορισμός του φαινομένου flickering). Η χρήση τους εξασφαλίζει αύξηση της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων καθώς εξασφαλίζουν λιγότερες απώλειες και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται και η οικονομικότερη λειτουργία τους, αφού η φωτεινή απόδοση των λαμπτήρων αυξάνεται, όταν λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες. Επίσης, προσφέρουν πολλές δυνατότητες ελέγχου του φωτισμού, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης έντασης φωτισμού(dimming), σύνδεσης με αισθητήρες φωτισμού και είναι συμβατά με συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίου (BMS ή BEMS). Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου μίας διάταξης έως και τεσσάρων λαμπτήρων με ένα μόνο ballast και έχουν υψηλό συντελεστή συντήρησης, δηλαδή διατήρηση της απόδοσης του λαμπτήρα σε υψηλά ποσοστά κατά τη διάρκεια ζωής

του. Υστερούν όμως έναντι των ηλεκτρομαγνητικών στο αρχικό κόστος αγοράς τους, το οποίο κατά κανόνα είναι πολύ υψηλότερο, αλλά και στο μέγεθός τους, το οποίο είναι μεγαλύτερο από εκείνο ενός ηλεκτρομαγνητικού ballast.[21],[20],[12]

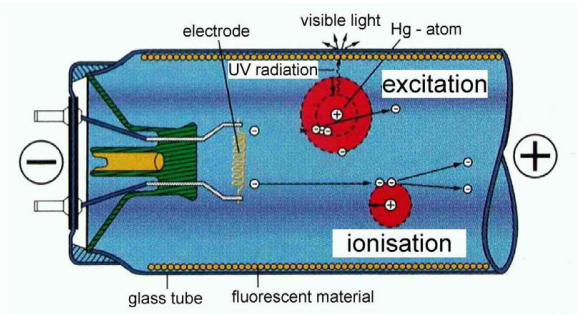
Τα ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά είναι διαθέσιμα για τους λαμπτήρες φθορισμού, αλογονιδίων μετάλλων (ορισμένα μοντέλα), νατρίου Χαμηλής Πίεσης και τους λαμπτήρες νατρίου Υψηλής Πίεσης (ορισμένα μοντέλα).



Φωτ.3.3 Αριστερά: ηλεκτρονικό ballast και δεξιά: ηλεκτρομαγνητικό ballast
Πηγή: http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_topalis.pdf

3.3.2.2 Λαμπτήρες Φθορισμού(Fluorescent Lamps)

Αποτελείται από ένα στεγανό γυάλινο σωλήνα, με εσωτερική επικάλυψη από φθορίζουσες ουσίες και πλήρωση με ευγενή αέρια(κυρίως νέο και αργόν) και μικρή ποσότητα ατμών υδραργύρου. Μια ηλεκτρική εκκένωση μέσα στο σωλήνα διεγείρει τα άτομα υδραργύρου, τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία κυρίως στο υπεριώδες φάσμα συχνοτήτων. Αυτή η υπεριώδης ακτινοβολία μετατρέπεται σε ορατό φως μέσω φθοριζουσών ουσιών. Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι διαθέσιμοι σε διάφορες διαμέτρους, με πλήρωση διαφορετικών ευγενών αερίων και με διάφορες φθορίζουσες ουσίες. Το χρώμα της φωτεινής δέσμης ενός λαμπτήρα φθορισμού καθορίζεται από το είδος της φθορίζουσας επικάλυψης του σωλήνα, η οποία καθορίζει επίσης το δείκτη χρωματικής απόδοσης του λαμπτήρα.



Σχήμα3.8. Λειτουργία λαμπτήρα φθορισμού-πηγή :Synthlight handbook

Όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν στραγγαλιστική διάταξη για την εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών έναυσης και ελέγχου της εκκένωσης, εκκινητή(starter) καθώς και πυκνωτή διόρθωσης συνημιτόνου.[19],[12]

Ο εκκινητής είναι ένα διμεταλλικό έλασμα με ηλεκτρόδια και είναι απαραίτητος για την έναυση του λαμπτήρα, η οποία δεν μπορεί να γίνει με απλή σύνδεση προς την τάση του δικτύου γιατί τα ηλεκτρόδια είναι ψυχρά και δεν εκπέμπουν ηλεκτρόνια (δεν ξεκινάει δηλαδή η διαδικασία της εκκένωσης).

Οι πυκνωτές αντισταθμίζουν το χαμηλό συντελεστή ισχύος των διατάξεων των λαμπτήρων φθορισμού. Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται με τη σύνδεση παράλληλα με τους αγωγούς τροφοδοσίας κατάλληλου μεγέθους πυκνωτή. [11],[12]

Χαρακτηριστικά λαμπτήρα:

- Φωτεινή ροή 300-7000 lm [3]
- Χρωματική απόδοση 100(άριστη) [12]
- Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση έως και λίγο πάνω από 100 lm/W [12],[13]
- Θερμοκρασία χρώματος 2700-6500 K [12] (ή 2900-10000 K [2])
- Διάρκεια ζωής 10000-36000 h [12]
- Δυνατότητα αυξομείωσης έντασης του φωτός (dimming)
- Έναυση (Με προθέρμανση(Preheat), Γρήγορη(RS), Στιγμιαία(IS))
- Χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος απαιτούν υψηλότερες τιμές τάσης και ανάλογα ballasts.[11]
- Λειτουργία σε θέση οριζόντια(προτιμητέα)

  Η λειτουργία σε κατακόρυφη θέση προκαλεί μια μη ομοιόμορφη κατανομή των αερίων του λαμπτήρα με αποτέλεσμα τη μείωση του φωτός και της ομοιομορφίας του, που συνεπάγεται μείωση της ζωής της λάμπας. [21]

Γραμμικός λαμπτήρας φθορισμού (ή σωληνοειδής): Λαμπτήρας φθορισμού ευθείας σωληνοειδούς μορφής που φέρει από ένα ζεύγος ακίδων για ηλεκτρική τροφοδοσία σε κάθε άκρο του.

Έχει κατοχυρωθεί οι λαμπτήρες φθορισμού να ονομάζονται με τη χρήση ενός γράμματος που υποδηλώνει το σχήμα τους (σωληνοειδής T: Tubular) και ενός αριθμού που υποδεικνύει τη διάμετρό τους σε όγδοα της ίντσας[12]. Οι κυριότεροι είναι:

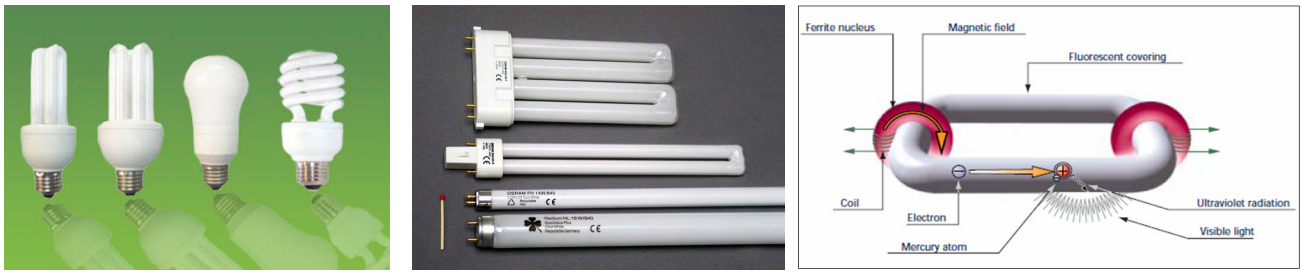
διαμέτρου 38mm (T12)

διαμέτρου 26mm (T8)

διαμέτρου 16mm (T5)

Συμπαγής Λαμπτήρας Φθορισμού (Compact Fluorescent Lamps -CFL):Λαμπτήρας φθορισμού ενός άκρου με κυρτό σωλήνα εκκένωσης μικρής διαμέτρου, περίπου 10-16 mm, ο οποίος αποτελεί μία πολύ συμπαγή μονάδα.

Λαμπτήρας επαγωγής ή Λαμπτήρες φθορισμού υψηλών συχνοτήτων(High Frequency-H.F.): Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού άνευ ηλεκτροδίου, όπου η εκκένωση προκαλείται από υψηλής συχνότητας ενεργειακή ροή-ηλεκτρονικός εκκινητής(starter). [19]

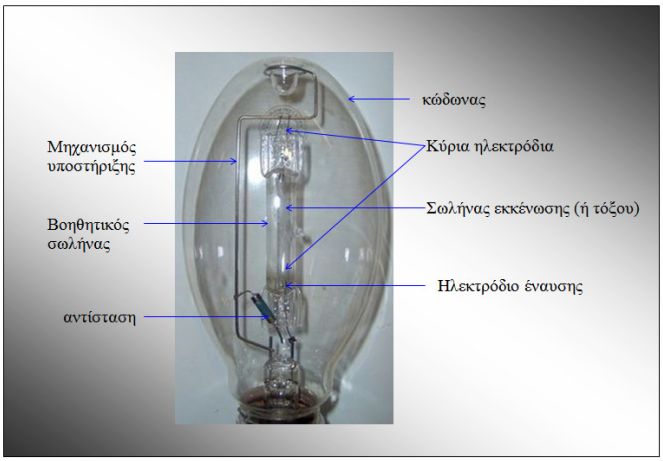


Φωτ.3.4. *Λαμπτήρες φθορισμού. Αριστερά: Συμπαγείς Λαμπτήρες Φθορισμού. Κέντρο: Οι δύο πρώτοι είναι συμπαγείς, ο τρίτος T5 και ο τέταρτος T8. Δεξιά: Λαμπτήρας επαγωγής πηγές: http://www.decobook.gr/texnika-arthra/fotismos/436-2010-10-03-19-26-02 http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_topalis.pdf, [12] αντίστοιχα*

3.3.2.3 Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης(High Pressure Mercury Vapor Lamps) ονομάζονται επίσης MBF

Ο λαμπτήρας ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης είναι λαμπτήρας εκκένωσης υψηλής έντασης στον οποίο το φως παράγεται από ηλεκτρική εκκένωση μέσα σε ατμούς υδραργύρου που βρίσκονται σε υψηλότερη πίεση από ότι στους λαμπτήρες φθορισμού. Όπως στους λαμπτήρες φθορισμού, ο σωλήνας έχει πλήρωση με αργό και μικρή ποσότητα υδραργύρου. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη λειτουργία των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης ανήκει κατά ένα μέρος στο ορατό φάσμα, αλλά υπάρχει και ένα σημαντικό τμήμα της που ανήκει στο υπεριώδες φάσμα. Μία φθορίζουσα επίστρωση στο εσωτερικό του εξωτερικού κελύφους μετατρέπει τη μεγάλου μήκους κύματος υπεριώδη ακτινοβολία σε ορατό φως. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι λαμπτήρες υδραργύρου που δε διαθέτουν αυτή την ειδική επίστρωση εκπέμπουν λιγότερο φως από τους λαμπτήρες που τη διαθέτουν. Όταν ενεργοποιείται ο λαμπτήρας, αρχικά δημιουργείται ένα τόξο χαμηλής πίεσης και παράγεται αμυδρό φως. Βαθμιαία, καθώς ο λαμπτήρας θερμαίνεται, αυξάνεται η πίεση των ατμών υδραργύρου, δημιουργείται ένα τόξο υψηλής πίεσης και εκπέμπεται περισσότερο

φως. Κατά τη διάρκεια αλλαγής του τόξου αλλάζει και η λάμψη του και γίνεται από γαλαζωπή που είναι του αργού σε κυανοπράσινη που είναι του υδραργύρου, αυξάνοντας βαθμιαία τη φωτεινότητα. Τη στιγμή που δημιουργείται το τόξο, η τάση της λάμπας είναι χαμηλή. Ο χρόνος που απαιτείται για να αποδώσει ο λαμπτήρας το 80% της μέγιστης φωτεινής του ροής είναι περίπου 4 λεπτά (χρόνος έναυσης) και για να φτάσει στην πλήρη εκπομπή φωτός είναι περίπου 5 λεπτά. Στην περίπτωση που ο λαμπτήρας σβήσει, ο χρόνος που απαιτείται μέχρι την ψύξη του αερίου ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί εκ νέου τόξο (χρόνος επανέναυσης-restriking time) κυμαίνεται μεταξύ 3 και 7 λεπτών.[12], [19]



Σχήμα 3.9.: Τα στοιχεία ενός λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης

Όσον αφορά στη φασματική κατανομή ενός τυπικού λαμπτήρα υδραργύρου υψηλής πίεσης, αξίζει να αναφερθεί ότι το φάσμα του αποτελείται από μήκη κύματος τέτοια, που το παραγόμενο φως να δίνει την εντύπωση ενός ελαφρώς πράσινου –μπλε χρώματος, που είναι γενικότερα αποδεκτό και χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια για το φωτισμό δρόμων(μέσης και χαμηλής κυκλοφορίας), σε βιομηχανικούς χώρους, στο φωτισμό σταδίων και πλατειών ενώ προτιμάται ιδιαίτερα και για φωτισμό εξωτερικών χώρων χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος.

Για τη βελτίωση της χρωματικής απόδοσης των εν λόγω λαμπτήρων χρησιμοποιείται τέτοια επίστρωση φώσφορου ώστε να εκπέμπεται ακτινοβολία και σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (κοντά στο κόκκινο χρώμα) και εν τέλει να δίνεται για το χρώμα του φωτός ενός λαμπτήρα υδραργύρου η εντύπωση ενός χαρακτηριστικού λευκού χρώματος παρόμοιο με το χρώμα του πάγου.

Ο χρόνος ζωής ενός λαμπτήρα ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης κυμαίνεται περί τις 16.000 ώρες λειτουργίας. Φυσικά, καθ’ όλο αυτό το χρονικό διάστημα ο λαμπτήρας δεν έχει την ίδια

απόδοση. Το κύκλωμα λειτουργίας του προϋποθέτει την ύπαρξη ballast, οι απώλειες του οποίου αγγίζουν το 15% της ισχύος του λαμπτήρα, ανάλογα με τον τύπο του λαμπτήρα και του ballast.

Η μορφή των λαμπτήρων υδραργύρου που υπάρχουν στο εμπόριο μπορεί να είναι είτε τύπου κώδωνα είτε τύπου επιμήκους σωλήνα.
Συγκεντρωμένα χαρακτηριστικά τυπικών λαμπτήρων ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης ανάλογα με την ηλεκτρική τους ισχύ παρατίθενται στον Πίνακα 3.2. [11],[12]

Nominal power	Flux ϕ (lm)	Performance Lm/W	Diametre Ø in mm	Length L in mm	Lamp holder
50	1800	36.00	55	130	E-27
80	3800	47.50	70	156	E-27
125	6300	50.40	75	170	E-27
250	13000	52.00	90	226	E-40
400	22000	55.00	120	290	E-40
700	38500	55.00	140	330	E-40
1000	58000	58.00	165	390	E-40

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά τυπικών λαμπτήρων υδραργύρου υψηλής πίεσης-πηγή:[12]

3.3.2.4 Λαμπτήρες Μεταλλικών Αλογονιδίων(Metal Halide Lamps)

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων είναι λαμπτήρες εκκένωσης υψηλής πίεσης και θεωρούνται η εξέλιξη των λαμπτήρων ατμών υδραργύρου καθώς παρουσιάζουν πολλές δομικές ομοιότητες με αυτούς. Συναντώνται κυρίως σε σωληνοειδές ή ωοειδές σχήμα.

Ο σωλήνας εκκένωσης περιλαμβάνει αδρανές αέριο (συνήθως νέον και αργόν) σε συνδυασμό με μία ελάχιστη ποσότητα υδραργύρου καθώς και διάφορα μεταλλικά αλογονίδια. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο σωλήνα κατά την εκκένωση οδηγούν στη διάσπαση των αερίων σε μέταλλα και αλογονίδια. Η διάσπαση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τα αλογονίδια να εκπέμπουν ακτινοβολία, της οποίας το χρώμα παρουσιάζει εντυπωσιακές ομοιότητες με το χρώμα του φωτός της ημέρας. Αναλόγως των μετάλλων που περιλαμβάνει ένας λαμπτήρας μεταλλικών αλογονιδίων μπορεί να παράγει φως ενός στενού φάσματος ή πολλών διακριτών μηκών κύματος. Η επίτευξη ομοιογενούς φάσματος (λευκό φως) πραγματοποιείται με την κατάλληλη περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα αλογονίδια.

Φωτ 3.5:Τυπικά σχήματα λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων-πηγή:[22]

Τα αλογονίδια που περιέχονται σε αυτόν τον τύπο λαμπτήρων, καθιστούν πιο περίπλοκη τη διαδικασία εκκίνησής τους, συγκριτικά με την έναυση στους λαμπτήρες ατμών υδραργύρου υψηλής πίεσης. Επιπλέον, οι μικρές διαστάσεις των λαμπτήρων μεταλλικών αλογονιδίων αποτρέπουν την ύπαρξη ηλεκτροδίων εκκίνησης σε λαμπτήρες χαμηλής ηλεκτρικής ισχύος(απαιτώντας ειδικά κυκλώματα ballasting) και οδηγούν σε ανάπτυξη μεγαλύτερων θερμοκρασιών. Έτσι, ο χρόνος επανέναυσης(restriking time) είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τους λαμπτήρες υδραργύρου και σε ακραίες περιπτώσεις αγγίζει τα 15 λεπτά.

Χαρακτηριστικά λαμπτήρα:

- Φωτεινή ροή 2400-200000 lm [3]
- Χρωματική απόδοση 65-80 [3]
- Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση 75-125 Lm/W(χωρίς τις απώλειες του ballast) [11]
- Θερμοκρασία χρώματος 3300-5700 K [3]
- Διάρκεια ζωής 6500-20000 h [12]

Οι λαμπτήρες μεταλλικών αλογονιδίων είναι οι πλέον κατάλληλοι για απόδοση λευκού χρώματος.

Αν και το κόστος αγοράς τους είναι αρκετά υψηλό, η χρωματική και ενεργειακή τους απόδοση, η χαμηλή περιεκτικότητά τους σε υδράργυρο και η ποικιλία θερμοκρασιών χρώματος που προσφέρουν έχουν οδηγήσει στην επιλογή τους για πλήθος εφαρμογών όπως εμπορικά κέντρα, αστικές περιοχές, διάφορους εξωτερικούς χώρους(πλατείες και πεζόδρομους) και σε ορισμένες περιπτώσεις σε δρόμους χαμηλής και μέσης κυκλοφορίας.[12],[11],[3]

3.3.2.5 Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Sodium Vapor Lamps)

Ονομάζονται επίσης SON

Ο λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης είναι λαμπτήρας εκκένωσης υψηλής έντασης, στον οποίο το φως παράγεται από ηλεκτρική εκκένωση μέσα σε ατμούς νατρίου και υδραργύρου

σε υψηλή πίεση, με τους ατμούς νατρίου να είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για τη φύση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. [19]

Η έναυση πραγματοποιείται συνήθως με την παροχή του απαραίτητου παλμού υψηλής τάσης και συχνότητας, ενώ παράλληλα το ξένον(Xe) που βρίσκεται στο σωλήνα τόξου τη διευκολύνει. Μετά την έναυση ο λαμπτήρας χρειάζεται περίπου δέκα λεπτά μέχρι να αποδώσει την πλήρη φωτεινή ροή του. Στο χρονικό αυτό διάστημα μεταβάλλεται ελαφρώς και το χρώμα του παραγόμενου φωτός. Αν και ο χρόνος έναυσης είναι σχετικά μεγάλος, ο χρόνος επανέναυσης είναι 1 – 3 λεπτά, πολύ μικρότερος συνεπώς από τον αντίστοιχο των λαμπτήρων υδραργύρου. [12]

Φωτ.3.6.:Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης-Πηγές: http://www.highpressuresodiumlamp.net/ http://electropart.info/components/high-pressure-sodium-vapor-lamps.html

Χαρακτηριστικά λαμπτήρα:

- Φωτεινή ροή 2400-120000 lm[6]
- Χρωματική απόδοση κακή [17] ,[12]
- Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση 90-130 Lm/W [12],[17]
- Θερμοκρασία χρώματος 2300 K [6]
- Διάρκεια ζωής έως 32000 h [11], [12]

Η φασματική κατανομή τους συνεπάγεται εκπομπή σχεδόν μονοχρωματικού φωτός. Εκπέμπουν ακτινοβολία σε όλο το ορατό φάσμα, κυρίως όμως μεταξύ 550 και 650 nm. Λόγω της κακής χρωματικής απόδοσης και του κιτρινωπού χρώματος φωτός που ακτινοβολούν, οι λαμπτήρες αυτοί όταν χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους προορίζονται μόνο για αποθήκες και παρόμοιες θέσεις.

Από την άλλη πλευρά όμως, το μονοχρωματικό φως που εκπέμπουν αποτελεί πλεονέκτημα για φωτισμό οδών(υψηλής και μέσης κυκλοφορίας) καθώς αυξάνει την οπτική αντίληψη και διευκολύνει την όραση σε ομιχλώδη καιρό. Επιπροσθέτως, το προσιτό κόστος αγοράς, η χαμηλή περιεκτικότητά τους σε υδράργυρο και η δυνατότητα να αντικαθιστούν εύκολα(χωρίς

αντικατάσταση ballast), παλιούς ενεργοβόρους και μη αποδοτικούς λαμπτήρες υδραργύρου είναι λόγοι για τους οποίους οι λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης έχουν ευρύτατη εφαρμογή στο φωτισμό πόλεων, αεροδρομίων, λιμενοβραχιόνων, χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων κ.τ.λ. [17] ,[11], [12] ,[6]

3.3.2.6 Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Sodium Vapor Lamps)

Ονομάζονται επίσης SOX

Ο λαμπτήρας νατρίου χαμηλής πίεσης είναι λαμπτήρας εκκένωσης χαμηλής έντασης, στον οποίο αέριο έναυσης είναι το νέον με χαμηλές προσθήκες αργού, ξένου ή ήλιου. Το νέον χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της διαδικασίας έναυσης και την ανάπτυξη αρκετής θερμότητας ώστε να εξατμιστεί το νάτριο. Το τόξο διέρχεται μέσω του αεροποιημένου νατρίου και οδηγεί στην παραγωγή φωτός . Το φως που παράγεται είναι σχεδόν μονοχρωματικό σε μήκη κύματος 589.0 nm και 589.6 nm . Το χρώμα της παραγόμενης ακτινοβολίας είναι κόκκινο αρχικά και στη συνέχεια μεταβάλλεται σε ένα χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα.

Φωτ.3.7: Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης -Πηγή: http://www.ecat.lighting.philips.gr

Χαρακτηριστικά λαμπτήρα:

- Χρωματική απόδοση κακή [17] ,[12]
- Φωτεινή δραστικότητα ή απόδοση 200Lm/W [12]
- Διάρκεια ζωής έως 16000 h [17]
- χρόνος έναυσης 10min-χρόνος επανέναυσης μηδενικός (επαναλειτουργία σχεδόν άμεση) [12]
- μικρό κόστος λειτουργίας[17]

Η μονοχρωματική φύση του φωτός που παράγουν οι λαμπτήρες νατρίου χαμηλής πίεσης, απαγορεύει σχεδόν τη χρήση τους σε περιπτώσεις που απαιτείται διάκριση χρωμάτων. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε χώρους στάθμευσης, σε ασπρόμαυρες κάμερες παρακολούθησης, σε αστρονομικές παρατηρήσεις (δεδομένου ότι το κίτρινο φως φιλτράρεται) και για τον οδικό φωτισμό καθώς εξασφαλίζουν την ορατότητα και τη διάκριση αντικειμένων σε περίπτωση ομίχλης. Γενικότερα, προορίζονται για φωτισμό δρόμων μέσης και κυρίως υψηλής κυκλοφορίας.[11],[12],[17]

3.3.3 Φωτισμός στερεής κατάστασης(Solid State Lighting-SSL)

Οι τεχνολογίες φωτισμού LED και OLED , συναποτελούν το φωτισμό στερεής κατάστασης (SSL). Η τεχνολογία SSL παρέχει υψηλή ποιότητα φωτός και οπτικής απόδοσης, με διαρκώς βελτιούμενες επιλογές σχεδιασμού[25]. Ο φωτισμός στερεής κατάστασης για γενικές εφαρμογές φωτισμού περιλαμβάνει τις πηγές φωτός LED και OLED, τα φωτιστικά σώματα και διατάξεις ρύθμισης. Οι τεχνολογίες SSL παράγουν λευκό φως σε διαφορετικές χρωματικές παραλλαγές και αποχρώσεις, από το θερμό έως το ψυχρό λευκό. Η τεχνολογία LED είναι πλέον ώριμη. Η τεχνολογία OLED αναμένεται να έχει ωριμάσει εντός των προσεχών 3-5 ετών και στην αγορά διατίθενται μόνο μικρές παρτίδες σε ακριβές τιμές. Η τεχνολογία OLED θα καταστεί πολύ σημαντικότερη τα προσεχή έτη, όταν οι διατάξεις OLED θα εισέλθουν στην αγορά γενικού φωτισμού και θα ανοίξουν το δρόμο για φάσμα νέων εφαρμογών φωτισμού. [26]

Οι λαμπτήρες LED και τα φωτιστικά σώματα LED περιλαμβάνουν υψηλής φωτεινότητας σημειακές πηγές φωτός LED. Οι διατάξεις OLED εκπέμπουν φως ομοιόμορφα από δισδιάστατη επιφάνεια και είναι δυνατόν να διαμορφωθούν σε οποιοδήποτε επιθυμητό μέγεθος και σχήμα, μεταξύ άλλων και ως διαφανή εύκαμπτα φύλλα (πάνελ).

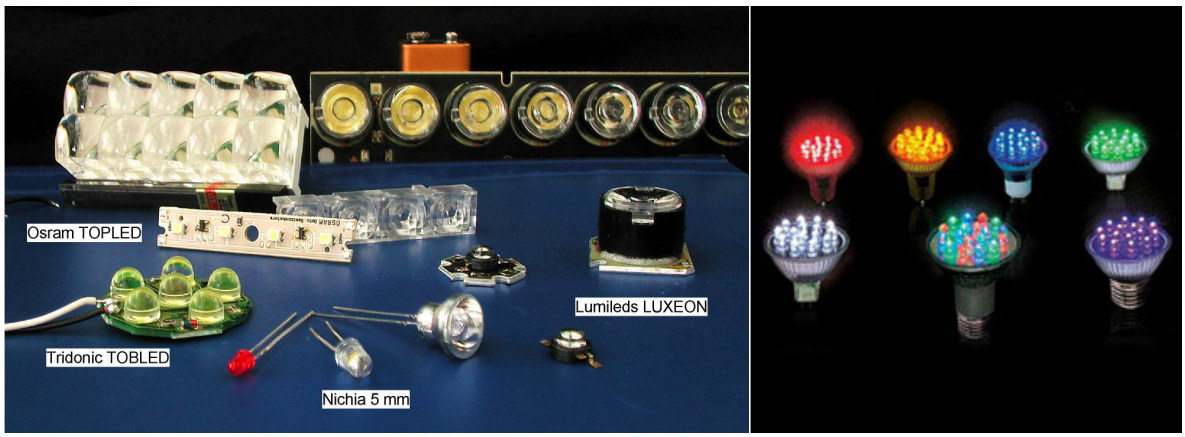
3.3.3.1Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι(Light Emitting Diodes – L.E.D)

Η τεχνολογία δημιουργίας φωτός μέσω των LEDs στηρίζεται στο φαινόμενο της ηλεκτροφωταύγειας (electroluminescence*)*.Τα LEDs είναι μία p-n συμβολή[1] η οποία λειτουργεί ως δίοδος και επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος προς τη μια κατεύθυνση μόνο, από την άνοδο (p-type) προς την κάθοδο (n-type). Κατά τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος προκαλείται διαφορά ενεργειακής κατάστασης ηλεκτρονίων, η οποία απελευθερώνεται ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος το οποίο εξαρτάται από τα υλικά των ημιαγωγών. Ειδικότερα, οι δίοδοι παραγωγής λευκού φωτός αποτελούν το πιο πρόσφατο τεχνολογικό επίτευγμα σε σχέση με τα υπόλοιπα χρώματα και ταυτόχρονα ένα πολλά υποσχόμενο μέσο φωτισμού. [23], [12]

[1] Η ένωση ενός n-type ημιαγωγού με έναν p-type ημιαγωγό δημιουργεί ανάμεσά τους αυτό που ονομάζουμε p-n συμβολή.

n-type ημιαγωγός: τα πρόσθετα υλικά στην κρυσταλλική δομή ενός ημιαγωγού αποτελούνται από άτομα με αριθμό εξωτερικών ηλεκτρονίων μεγαλύτερο από αυτόν των ατόμων του κρυστάλλου

p-type ημιαγωγός: τα πρόσθετα υλικά αποτελούνται από άτομα με μικρότερο αριθμό εξωτερικών ηλεκτρονίων



Φωτ 3.8: Τυπικά διαθέσιμα L.E.Ds-Πηγές: A.Tsangrassoulis et al, SynthLight Handbook, http://www.flashlight.gr

Τα leds σήμερα μπορούν να αντικαταστήσουν οποιοδήποτε τύπο λαμπτήρα σε οποιοδήποτε φωτιστικό χωρίς μετατροπή. Εντούτοις, το καθοριστικό επίτευγμα που οδήγησε στην ευρεία εξάπλωσή τους, έγινε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας λεπτών τσιπς. Η τεχνολογία αυτή επέτρεψε ώστε να δημιουργηθούν τσιπς με εξαιρετική φωτεινότητα και για ποικίλες εφαρμογές. Χάρη σε αυτό το τεχνολογικό άλμα, τα LEDs καλύπτουν σήμερα όλα τα είδη των νέων απαιτήσεων φωτισμού. Αυτά περιλαμβάνουν τους μίνι-προβολείς, LCD οθόνες, το φωτισμό των αυτοκινήτων καθώς επίσης και τον αρχιτεκτονικό φωτισμό και το φωτισμό οδών.[24]

Όσον αφορά τα LEDs και το dimming, όπως αναφέρει ο Jean Paul Freyssinier (στο lighting.com) ο οποίος είναι lighting design specialist του Lighting Research Center, τα LEDs είναι ιδανικά για εφαρμογές με dimmer διότι δε μειώνεται η διάρκεια ζωής τους, αντιθέτως αυξάνεται η αποδοτικότητά τους και παράλληλα δεν έχουμε τις αλλοιώσεις στην χρωματική απόδοση, που αντιμετωπίζουμε με το φθόριο και τους λαμπτήρες πυρακτώσεως.[29]

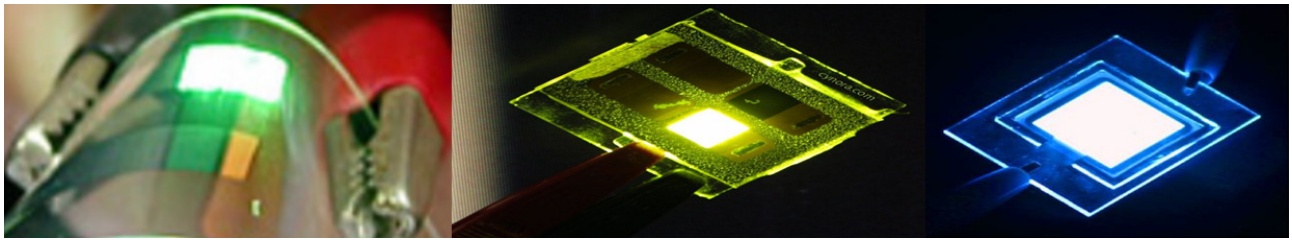
Σύμφωνα με το Πράσινο Βιβλίο της ΕΕ, ο φωτισμός LED είναι μία από τις πιο αποδοτικές μορφές φωτισμού που εξοικονομεί ενέργεια και χρήματα έως 70%, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες φωτισμού. Η ταχύτερη εξάπλωση της τεχνολογίας LED έως το 2020, θα συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό, κατά 20%. [25]

Συνοπτικές και λεπτομερείς εκθέσεις δοκιμασμένων LED, μπορούν να μελετηθούν μέσω του προγράμματος CALiPER (Commercially Available LED Product Evaluation and Reporting) του υπουργείου ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών. Το πρόγραμμα CALiPER έχει καλύψει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων μέχρι σήμερα, παρουσιάζοντας ένα επίσης ευρύ φάσμα αποτελεσμάτων. [23]

3.3.3.2 OLEDs (Organic Light Emitting Diodes) _Η εξέλιξη της τεχνολογίας των LED.

Τα OLEDs οι οργανικές φωτοδίοδοι, όπως ονομάζονται, είναι το αποτέλεσμα ενός φιλόδοξου σχεδίου 24 εταίρων από 8 χώρες με την ονομασία OLLA.. Βασικός στόχος των ερευνητών είναι η δημιουργία μιας επίπεδης πηγής φωτός με υψηλή απόδοση αλλά και μεγάλο βαθμό ευκαμψίας.

Τα OLEDs παράγουν ισχυρό φως χάρη στα οργανικά υλικά τους(άνθρακας, υδρογόνο και οξυγόνο) έχοντας έτσι τη δυνατότητα να φωτίσουν μεγάλες επιφάνειες.[27],[28]



Φωτ.3.9: OLEDs Πηγές: Αριστερά: www.flashlight.gr, κέντρο: http://ees2001.wordpress.com δεξιά: *http://www.topten.eu/uploads/File/Deliverables%20Plus/D5/LED%20directional.pdf*

Υπολογίζεται, ότι τα OLEDs είναι κατά 50% αποδοτικότερα από τις υπάρχουσες λάμπες εξοικονόμησης ενέργειας, ενώ πέρα από οικονομικά είναι και ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον. Η εντυπωσιακότερη απόδοση όμως αφορά στη διάρκεια ζωής. Σύμφωνα με ανακοίνωση της εταιρείας Novaled, το κόκκινο OLED, αποδείχθηκε πως μπορεί να λειτουργήσει έως και 1.000.000 ώρες, αριθμός που μεταφράζεται σε 100 χρόνια ζωής.[23]

Τα πρώτα OLEDs είναι ήδη στην αγορά σε ειδικές πολύ επίπεδες φωτιζόμενες οθόνες φορητών συσκευών, αλλά δε διατίθενται ακόμη για τις γενικές εφαρμογές εσωτερικού φωτισμού. Τα OLEDs επί του παρόντος δεν έχουν ακόμη αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους σε συνθήκες εργασίας(π.χ. θερμοκρασία και χρόνο ζωής). Τα OLEDs χαρακτηρίζονται ως η "Βέλτιστη Μη Διαθέσιμη Τεχνολογία" (Best Not Available Technology -BNAT).[27]

3.3.3.3 Τεχνολογία SSL και παράμετροι φωτισμού

Η τεχνολογία SSL είναι τεχνολογικό άλμα για το γενικό φωτισμό από πολλές βασικές απόψεις:

Ενεργειακή απόδοση: Τα νέα προϊόντα SSL είναι ενεργειακώς εξίσου αποδοτικά με τα πλέον προηγμένα αντίστοιχα προϊόντα (λαμπτήρες φθορισμού ή αλογόνου) που προσεγγίζουν το βέλτιστο επίπεδο απόδοσης το οποίο είναι δυνατόν να επιτύχουν. Τα αμέσως προσεχή έτη, η ενεργειακή απόδοση της τεχνολογίας SSL θα υπερβεί κατά πολύ την ενεργειακή απόδοση κάθε άλλης τεχνολογίας φωτισμού. Θα καταστήσει δυνατή σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας[2] σε δεόντως μελετημένες, τοποθετημένες και λειτουργούσες εγκαταστάσεις

έξυπνου φωτισμού[3] , και θα συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του CO2 σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ποιότητα φωτισμού και οπτική άνεση: Η τεχνολογία SSL προσφέρει υψηλής ποιότητας φωτισμό και οπτική άνεση από πλευράς απόδοσης χρωμάτων (ζωηρά κορεσμένα χρώματα φωτιζόμενων αντικειμένων) και δυναμική ρύθμιση φάσματος του φωτός, στιγμιαίας έναυσης/σβέσης και αυξομείωσης έντασης φωτισμού. Η τεχνολογία SSL έχει μακρά διάρκεια ζωής (προσδόκιμο ζωής των LED είναι 25.000 – 50.000 ώρες) και μειωμένο κόστος συντήρησης, ενώ δεν περιέχει υδράργυρο. Σε προϊόντα SSL είναι εύκολη η ρύθμιση της έντασης και του χρώματος, ώστε να είναι δυνατή η προσαρμογή του φωτισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής ή τις προσωπικές επιθυμίες των χρηστών. Επιπλέον, από τις υπό εξέλιξη μελέτες προκύπτει ότι οι συνθήκες περιβάλλοντος φωτισμού που δημιουργούν μερικοί λαμπτήρες LED συμβάλλουν στην ευεξία και βελτιώνουν τις συνθήκες μάθησης και εργασίας (π.χ. σε σχολεία και γραφεία), και επηρεάζουν θετικά τη ζωτικότητα των ανθρώπων, την ικανότητα συγκέντρωσής τους και την εγρήγορση. [Έκθεση με τίτλο "Lighting, Well-being and Performance at Work" (Φωτισμός, ευεξία και απόδοση στην εργασία), J. Silvester και Ε. Κωνσταντίνου, Centre for Performance at Work στο City University London (2011)]

Η τεχνολογία SSL χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε φωτεινούς σηματοδότες ρύθμισης κυκλοφορίας και σε φανούς αυτοκινήτων. Ήδη χρησιμοποιείται ευρύτερα σε φωτιζόμενες οθόνες και τηλεοράσεις και διεισδύει πλέον στην αγορά φωτισμού εν γένει. Τα προσεχή έτη, η τεχνολογία SSL θα γίνει η πιο ευέλικτη και ενεργειακά αποδοτική τεχνολογία για γενικό φωτισμό και θα παρέχει φως υψηλής ποιότητας και οπτικής απόδοσης σε συνδυασμό με τις νέες αρχιτεκτονικές και σχεδιαστικές επιλογές για βελτιωμένη άνεση και ευεξία.

Η αφομοίωση της τεχνολογίας SSL σε ευρεία κλίμακα μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη των στόχων της στρατηγικής «Ευρώπη 2020» για έξυπνη, βιώσιμη και χωρίς αποκλεισμούς ανάπτυξη, και ιδίως το στόχο βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, η ευρύτερη αφομοίωση των προϊόντων SSL από την αγορά προσκρούει επί του παρόντος σε πολλά προβλήματα: στην υψηλή τιμή τους· στο ότι οι χρήστες δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτή τη νέα τεχνολογία και χρειάζεται να ενισχυθεί η εμπιστοσύνη στη χρήση τους· στις ραγδαίες καινοτομίες σε αυτήν την τεχνολογία· στην έλλειψη προτύπων.

[2] Σύμφωνα με την Second Strategic Research Agenda of the European Technology Platform PHOTONICS21, 2010, σε σύγκριση με την ενεργειακή κατανάλωση επί του παρόντος, η εξοικονόμηση ενέργειας με πηγές φωτός

SSL είναι δυνατόν να φτάσει έως και 50% και, σε συνδυασμό με ευφυή συστήματα διαχείρισης φωτισμού, έως και 70%.

[3] Φωτισμός SSL σε συνδυασμό με ευφυείς διατάξεις ρύθμισης που καθιστούν δυνατή την ανίχνευση παρουσίας, ρύθμιση ανάλογα με το φως της ημέρας κλπ. Σε σύγκριση με άλλους λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας, π.χ. συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL), ο φωτισμός SSL είναι δυνατόν να ρυθμίζεται πιο ευέλικτα όσον αφορά τη γωνία δέσμης, το χρώμα του φωτός, την αυξομείωση της έντασης φωτισμού ή τη συχνότητα έναυσης/σβέσης.

Οι εντατικές δραστηριότητες παραγωγής και έρευνας σε όλο τον κόσμο επαγγέλλονται για τα προσεχή έτη περαιτέρω βελτίωση των επιδόσεων των προϊόντων SSL (δηλαδή της ενεργειακής απόδοσης και της ποιότητάς τους) και σημαντική μείωση του κόστους τους. Για παράδειγμα, οι σύγχρονης τεχνολογίας δίοδοι LED λευκού χρώματος έχουν ήδη φτάσει ενεργειακή απόδοση 30-50%, φωτεινή απόδοση100-150 lumen/Watt (lm/W) και δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) 80. Οι τιμές-στόχοι για τις LED θερμού λευκού χρώματος τα επόμενα 10 χρόνια είναι: ενεργειακή απόδοση 50-60%, φωτεινή απόδοση μεγαλύτερη των 200 lm/W και CRI μεγαλύτερο από 90. Η φωτεινή απόδοση των προϊόντων OLED σύγχρονης τεχνολογίας ανέρχεται σε περίπου 50 lm/W. Παρότι, η φωτεινή απόδοση των προϊόντων OLED θεωρείται ότι θα υπολείπεται πάντα εκείνης των LED, η προστιθέμενη αξία της τεχνολογίας OLED θα προέλθει από το μέγεθος, την ευελιξία και τις ευκαιρίες που προσφέρουν οι πρωτόγνωρες εφαρμογές της.[26]

Επιπλέον χαρακτηριστικά :

- Χρόνος έναυσης 2”-χρόνος επανέναυσης μηδενικός (επαναλειτουργία σχεδόν άμεση) [12]
- χαμηλό κόστος συντήρησης[3]
- Προστασία των φωτισμένων αντικειμένων – τα LED δεν παράγουν καμία IR ή UV ακτινοβολία[24]
- Ανθεκτικοί – μπορούν να λειτουργήσουν σε κρύο - ζέστη και σε περιβάλλον με κραδασμούς[24]
- Αρχίζουν να φθείρονται με τη σταδιακή μείωση της έντασης του φωτός τους

3.3.4.Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες αποτελούν τα πλέον προηγμένα συστήματα φωτισμού, που συνιστούν μία πολύ ιδιαίτερη και πρωτότυπη λύση φωτισμού.

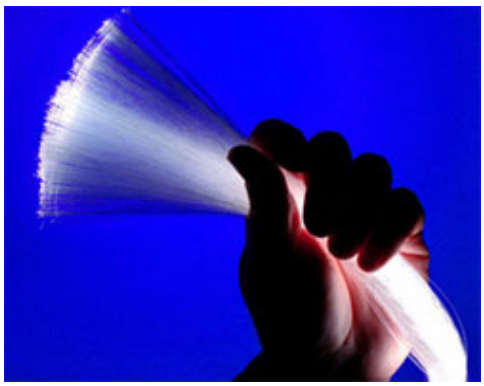
Οι οπτικές ίνες είναι εύκαμπτες διαφανείς ράβδοι μικρής διαμέτρου που εκμεταλλεύονται την ανάκλαση και διάθλαση του φωτός με τη συνδρομή υλικών τα οποία δύνανται να αλλάζουν την πορεία μίας δέσμης φωτός στο εσωτερικό τους. Έτσι, με την εφαρμογή μίας δέσμης φωτός στο ένα άκρο τους, το φως διαχέεται σε όλη την οπτική ίνα και εκπέμπεται από το άλλο άκρο. Η αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών ανακαλύφθηκε στους Βικτωριανούς χρόνους, αλλά οι πρώτες μοντέρνες εφαρμογές φωτισμού με οπτικές ίνες διαμορφώθηκαν στην αρχή της δεκαετίας του ’50.

Τα συστήματα φωτισμού με οπτικές ίνες αποτελούνται συνήθως από μία φωτεινή πηγή, τις οπτικές ίνες και φωτιστικά σώματα. Τη φωτεινή πηγή αποτελούν συνήθως λαμπτήρες αλογόνου ή μεταλλικών ατμών με αλογονίδια (HQI), οι οποίοι τοποθετούνται σε ένα «κουτί» όπου συνδέονται με τις οπτικές ίνες, μαζί με συστήματα ρύθμισης της έντασης του φωτός. Οι οπτικές ίνες είναι συνήθως είτε πλαστικές, είτε γυάλινες.

Οι οπτικές ίνες προσφέρουν απίστευτη ποικιλία δυνατοτήτων για μοντέρνο φωτισμό. Το χαμηλό έως μηδενικό κόστος συντήρησής τους, καθώς και οι εντυπωσιακές εφαρμογές τους αντισταθμίζουν το σχετικά υψηλό κόστος των συστημάτων φωτισμού με οπτικές ίνες. Άλλωστε, με μία και μόνο πηγή φωτός, οι οπτικές ίνες μπορούν να δημιουργήσουν πολλαπλά εφέ φωτισμού, γεγονός που συνεπάγεται, σε αρκετές εφαρμογές τους, μη αναμενόμενες συνήθως εξοικονομήσεις ενέργειας.

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα των οπτικών ινών είναι το γεγονός ότι μπορούν να αξιοποιηθούν σε εφαρμογές φωτισμού που χρειάζεται να παραμένουν «έγκλειστες» σε κάποιο χώρο, καθώς δε χρειάζεται να ανησυχεί κανείς για τη δυνατότητα πρόσβασης σε αυτές για τυχόν αντικατάσταση των λαμπτήρων. Έτσι, εφόσον εξασφαλίζεται πρόσβαση στη φωτεινή πηγή, η χρήση τους ενδείκνυται ακόμα και για φωτισμό σταθερών σημείων της οροφής, σε εσωτερικά σημεία κατασκευών ή τοίχων, στο εσωτερικό σκαλών, κ.ο.κ.

Παράλληλα, ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των οπτικών ινών στις εφαρμογές του φωτισμού αποτελεί το γεγονός ότι δεν επιτρέπουν την απώλεια της έντασης του φωτός, καθιστώντας εφικτή τη μετάδοση του φωτός σε μεγάλες αποστάσεις, όσο απομακρυσμένες κι αν είναι από τη φωτεινή πηγή. Γενικά, η απόδοση του φωτός των οπτικών ινών δεν επηρεάζεται από το φωτισμό και τις ακτινοβολίες του περιβάλλοντος.



Φωτ. 3.10: Οπτικές ίνες-πηγή: www.flashlight.gr

Σε κάποια κτίρια, η τεχνολογία των οπτικών ινών χρησιμοποιείται για να οδηγεί το ηλιακό φως από τη στέγη σε άλλα σημεία του κτιρίου. Άλλες εφαρμογές των οπτικών ινών βρίσκει κανείς σε πινακίδες, έργα τέχνης, και τεχνητά χριστουγεννιάτικα δέντρα. [30]

3.4 Φωτιστικά (σώματα)

Ένα φωτιστικό σώμα είναι μία ολοκληρωμένη μονάδα φωτισμού, αποτελούμενη από έναν ή περισσότερους λαμπτήρες (φωτεινές πηγές) σε συνδυασμό με οπτικά και μηχανικά εξαρτήματα. Σχεδιάζεται για να λειτουργεί με λαμπτήρες δηλαδή οι λαμπτήρες τοποθετούνται σε αυτό, προστατεύονται και συνδέονται με την παροχή ρεύματος.

Η κύρια λειτουργία του φωτιστικού είναι η υλοποίηση ενός συστήματος φωτισμού, το οποίο να ικανοποιεί το οπτικό έργο. Η επίτευξη απλώς των ελάχιστων συνιστώμενων (σύμφωνα με τα πρότυπα) τιμών έντασης φωτισμού δεν αρκεί. Για να επιτρέψουν στο φως να μεταφέρει οπτικές πληροφορίες, τα φωτιστικά σώματα πρέπει να δημιουργήσουν μια ισορροπημένη κατανομή της λαμπρότητας ή/και της φωτεινότητας σε σχέση με τη σωστή επιλογή των τελειωμάτων (φινιρισμάτων) του χώρου-καθορισμός επιφανειών.

Από την πλευρά του σχεδιαστή φωτισμού, τα φωτιστικά σώματα υψηλής ποιότητας πρέπει να πληρούν όλες τις:

- Φωτομετρικές απαιτήσεις (κατανομή της φωτεινής ροής, απόδοση φωτιστικού, περιορισμό της θάμβωσης κ.λ.π.)
- Τεχνικές προδιαγραφές (επίπεδο προστασίας, ασφάλεια λειτουργίας ...).

Λόγω του αυξανόμενου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας τις τελευταίες δεκαετίες, αυξάνονται και οι απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των φωτιστικών σωμάτων. Για το λόγο αυτό, η απόδοση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όσον αφορά στην επιλογή των υλικών (τιμές ανακλαστικότητας), στο σχεδιασμό ανακλαστήρα (απόδοση φωτιστικού), στην

παραγωγή (απλές και φθηνές μέθοδοι παραγωγής), στα εξαρτήματα (ηλεκτρονικά στραγγαλιστικά πηνία), στην απλή και γρήγορη συναρμολόγηση, στην εγκατάσταση, στη συντήρηση και στον καθαρισμό(απώλειες φωτός).
Επιπλέον, το φωτιστικό είναι ένα ορατό τμήμα της αρχιτεκτονικής και ως εκ τούτου θα πρέπει να ικανοποιεί τις αισθητικές και τυπικές απαιτήσεις του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου και να ταιριάζει με το φυσικό περιβάλλον.[17]

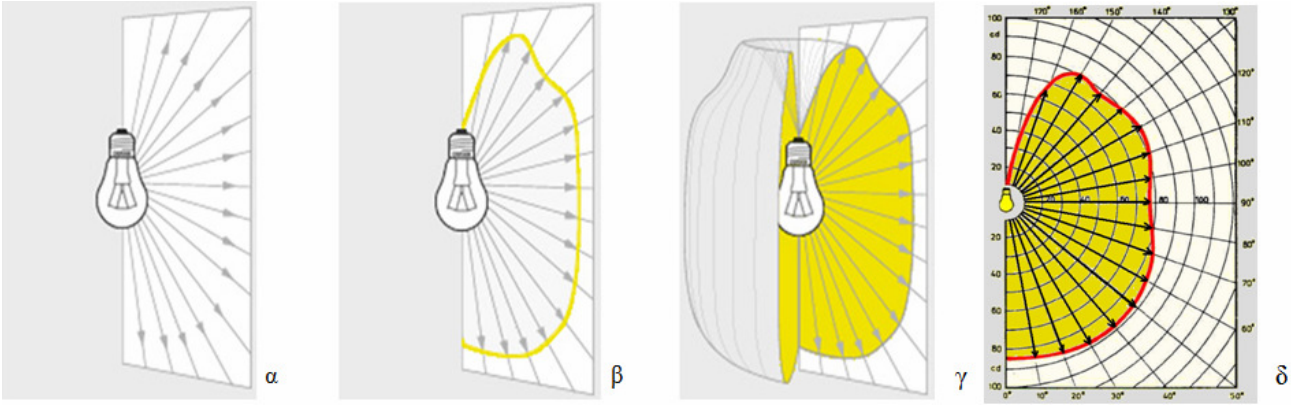
3.4.1 Φωτομετρικές απαιτήσεις

Οι φωτομετρικές ιδιότητες ενός φωτιστικού μπορούν να καθοριστούν από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
α) κατανομή φωτεινής έντασης(Luminous intensity distribution)
β) κατανομή φωτεινής ροής (Luminous flux distribution)
γ) απόδοση των φωτιστικών σωμάτων (Luminaire efficiency)
δ) κατανομή φωτεινότητας (Luminance distribution)

Για να μπορούμε να αξιολογήσουμε σωστά ένα φωτιστικό σύμφωνα με τις απαιτήσεις φωτισμού, πρέπει να είναι γνωστά όλα τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παραπάνω. Μία εκτίμηση βασισμένη σε μία μόνο από τις άνωθεν ιδιότητες μπορεί να είναι εντελώς παραπλανητική. Αν ο περιορισμός της θάμβωσης αξιολογείται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η φωτεινή απόδοση, πιθανότητα οι ελάχιστες εντάσεις φωτισμού να μην επιτευχθούν. Αυτό θα αποκλείσει την εφαρμογή ενός τέτοιου φωτιστικού.[17]

3.4.1.1 Κατανομή φωτεινής έντασης (Luminous intensity distribution)

Η κατανομή φωτεινής έντασης (LID) δείχνει την τρισδιάστατη κατανομή της φωτεινής ροής ενός φωτιστικού σώματος. Για τη σχεδίαση των τρισδιάστατων χαρακτηριστικών σε έντυπη μορφή (δηλαδή σε δύο διαστάσεις), η κατανομή φωτεινής ενέργειας απεικονίζεται ως μια καμπύλη σε διάφορα επίπεδα τομής.



Σχήμα 3.10 (α)διανύσματα φωτεινής έντασης μιας φωτεινής πηγής σε ένα επίπεδο(ημιεπίπεδο λόγω συμμετρίας)

(β)καμπύλη κατανομής φωτεινής έντασης(για την ίδια πηγή και το ίδιο ημιεπίπεδο)

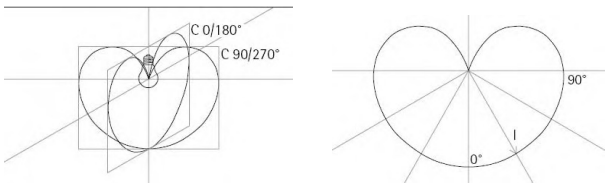
(γ)κατανομή φωτεινής έντασης (LID)(φωτομετρικό στερεό),

(δ) πολικό διάγραμμα

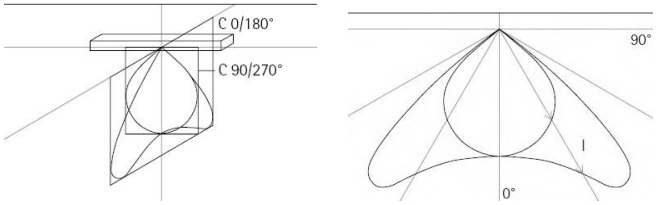
πηγές: (α),(β),(γ): http://www.osram.com.au , (δ): [6]

Σε καταλόγους, χρησιμοποιούνται κυρίως τα πολικά διαγράμματα. Η γωνία της ακτινοβολίας για κάθε επίπεδο τομής σχεδιάζεται σε έναν κύκλο. Η τιμή της εκπεμπόμενης φωτεινής έντασης παριστάνεται ως μήκος για κάθε γωνία της ακτινοβολίας(διανύσματα φωτεινής έντασης). Οι τιμές αυτές(άκρα των διανυσμάτων) ενώνονται για να αποτελέσουν μια πολική καμπύλη.[17],[3]

Όλες οι καμπύλες αναφέρονται σε φωτεινή ροή 1000 lumen, ανεξάρτητα από την ένταση που βγάζει η φωτεινή πηγή και αναφέρονται και στους δύο κατακόρυφους άξονες χ και ψ, εκτός κι αν αναφέρεται αλλιώς. Όσο πιο φαρδιά είναι η καμπύλη, τόσο μεγαλώνει η δέσμη, άρα και η θάμβωση, επειδή η λάμπα είναι περισσότερο ορατή. Στενή καμπύλη σημαίνει στενή δέσμη (π.χ. spot), δηλαδή καλό φωτισμό στο επίπεδο εργασίας αλλά σκοτεινό περιβάλλοντα χώρο, αν δε διατίθεται και άλλη πηγή φωτισμού. Αν η καμπύλη είναι κύκλος ισοδυναμεί με διάχυση. Ασύμμετρη καμπύλη σημαίνει ότι φωτίζονται κατακόρυφες επιφάνειες αναδεικνύοντας την τρισδιάστατη υφή τους. Αν έχω δύο καμπύλες τότε σημαίνει ότι έχω φωτιστικό άμεσου – έμμεσου φωτισμού. Αν οι δύο καμπύλες διαφέρουν σημαντικά, τότε έχω περσίδες.



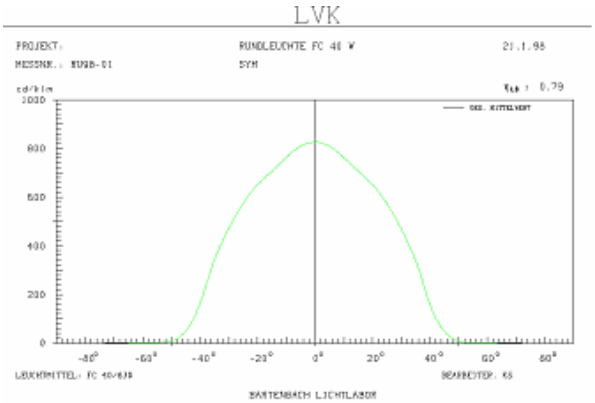
φωτομετρική καμπύλη πηγής φωτισμού που έχει συμμετρία ως προς τον κατακόρυφο άξονα - πηγή: Erco ,[3]



φωτομετρική καμπύλη πηγής φωτισμού που έχει διαφορετική συμμετρία σε κάθε άξονα - πηγή: Erco, [3]

Εκτός από τα πολικά διαγράμματα, χρησιμοποιούνται επίσης και τα καρτεσιανά διαγράμματα. Οι γωνίες ακτινοβολίας απεικονίζονται στον άξονα x και οι αντίστοιχες τιμές της φωτεινής έντασης στον άξονα y.

Το πλεονέκτημα των διαγραμμάτων αυτών έγκειται στο ότι παρέχουν τη δυνατότητα να σημειώνονται και να σχεδιάζονται οι τιμές φωτιστικών σωμάτων με πολύ στενή δέσμη ακτινοβολίας (προβολείς-spots).[17]



Σχήμα 3.11 Καρτεσιανό διάγραμμα κατανομής φωτεινής έντασης
Πηγή: Synthlight Handbook , Tsagrasoullis et all

3.4.1.2 Κατανομή φωτεινής ροής (Luminous flux distribution)

Κατά το σχεδιασμό φωτός, μια σημαντική απαίτηση είναι η επίτευξη μιας συγκεκριμένης τιμής φωτισμού στο επίπεδο αναφοράς(συνήθως επίπεδο εργασίας). Η φωτεινή ροή που φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μπορεί να φτάνει(χτυπά) άμεσα ή/και έμμεσα από την αντανάκλαση στις επιφάνειες του χώρου.

Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή ανάκλασης της εν λόγω επιφάνειας του χώρου, το φως θα απορροφηθεί. Για το λόγο αυτό η ζώνη ακτινοβολίας χωρίζεται σε ένα κατώτερο μισό χώρο και σε ένα ανώτερο μισό χώρο. Σύμφωνα με το τμήμα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται στις επιμέρους περιοχές, τα φωτιστικά σώματα χαρακτηρίζονται με ένα γράμμα. (Παράδειγμα σύμφωνα με τις οδηγίες DIN).

Ονομασία	Τύπος φωτιστικού	Φωτεινή ροή %	
		κατώτερος μισός χώρος	ανώτερος μισός χώρος
A	Άμεσου φωτισμού	100…90	
B	Κυρίως άμεσου φωτισμού	90…60	0..10
C	Ομοιόμορφου φωτισμού	40…10	10..40
D	Κυρίως έμμεσου φωτισμού	40…10	40..60
E	Έμμεσος φωτισμός	10…0	90..100

Πίνακας 3.3:Ονομασία φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με τα εκπεμπόμενα τμήματα φωτεινής ροής στις επιμέρους περιοχές-πηγή: Synthlight Handbook , Tsagrasoullis et all

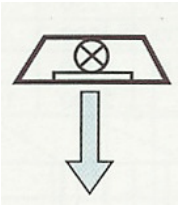
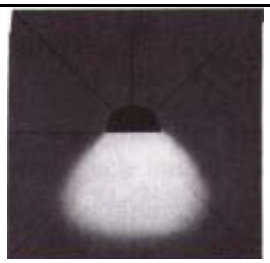
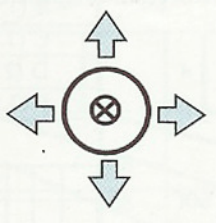
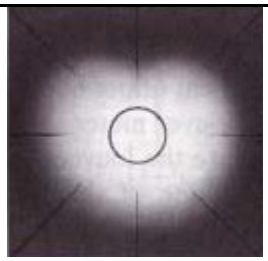
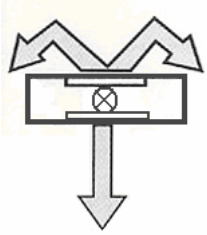
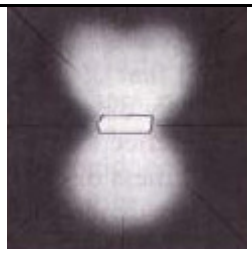
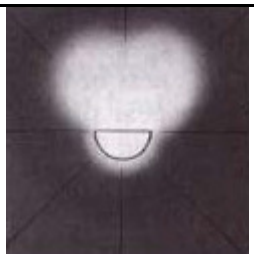
Μόνο ένα μέρος της φωτεινής ροής που εκπέμπεται προς τα κάτω φτάνει στο επίπεδο αναφοράς άμεσα (utilized flux). Αντιστοίχως, μόνο ένα μέρος της φωτεινής ροής που εκπέμπεται προς τα πάνω φτάνει πραγματικά στην οροφή. Από τους αριθμούς που ακολουθούν, ο πρώτος καθορίζει το ποσό της αξιοποιούμενης ροής και ο δεύτερος καθορίζει το τμήμα της φωτεινής ροής που φτάνει στην οροφή.

1ος αριθμός Τμήμα της αξιοποιούμενης ροής		2ος αριθμός Τμήμα της ροής στην οροφή	
6	0.71...1.0	3	0.71...0.9
5	0.61...0.7	2	0.51...0.7
4	0.51...0.6	1	0.00...0.5
3	0.41...0.5		
2	0.31...0.4		
1	0.00...0.3		

Πίνακας 3.4:Ονομασία φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με τα εκπεμπόμενα τμήματα φωτεινής ροής στις επιμέρους περιοχές-πηγή: Synthlight Handbook , Tsagrasoullis et all

Παράδειγμα: Ένα φωτιστικό με την ονομασία B41.3 θα εκπέμπει φως κυρίως άμεσα, με την αξιοποιούμενη ροή να κυμαίνεται μεταξύ 0.4 και 0.5 και τη ροή στην οροφή μεταξύ 0 και 0.5.[17]

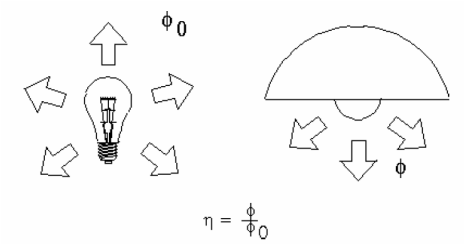
Κατά **το πρότυπο CIE**, τα φωτιστικά σώματα ανάλογα με τη διανομή της φωτεινής ροής του λαμπτήρα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες. [13],[3]

Χαρακτηρισμός φωτιστικού σώματος ως προς την κατανομή της ροής του λαμπτήρα	**Παραστατική μορφή φωτιστικού σώματος**	**Αντίστοιχες εικόνες**	**Ποσοστό % φωτεινής ροής με κατεύθυνση επάνω**	**Ποσοστό % φωτεινής ροής με κατεύθυνση κάτω**
Άμεσου φωτισμού (direct)			0-10%	90-100%
Ημιάμεσου φωτισμού (semi-direct)			10-40%	60-90%
Διάχυτου φωτισμού (diffuse)			40-60%	40-60%
Άμεσου-έμμεσου φωτισμού (direct-indirect)			40-60%	40-60%
Ημιέμμεσου φωτισμού (semi-indirect)			60-90%	10-40%
Έμμεσου φωτισμού (indirect)			90-100%	0-10%

Πίνακας 3.5: Διάκριση φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με τη διανομή της φωτεινής ροής του λαμπτήρα:[13],[3]

3.4.1.3Απόδοση φωτιστικού (Luminaire efficiency ή Light Output Ratio-LOR)

Η απόδοση φωτιστικού (n) δείχνει την ποσότητα της φωτεινής ροής που εκπέμπει το φωτιστικό σε σχέση με τη φωτεινή ροή που εκπέμπεται από το λαμπτήρα. Αυτό συμβαίνει κατ' αρχήν γιατί ο ανακλαστήρας δεν είναι τέλειος(η ανακλαστικότητά του πρακτικά δεν μπορεί να φτάσει το 100%) και δεύτερον γιατί μέρος του φωτός που ανακλάται ξαναπερνά μέσα από τη λάμπα και απορροφάται από αυτήν. Βέβαια, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν το φως που εκπέμπεται από το φωτιστικό συμβάλλει τελικά στο φωτισμό του επιπέδου αναφοράς ή αν το φως, για παράδειγμα, απορροφάται από κάποια επιφάνεια. Γενικά πρέπει n = ροή φωτιστικού(Φ) / ροή λαμπτήρα(Φ_o) > 70%



Σχήμα 3.12 Απόδοση φωτιστικού

Πηγή: Synthlight Handbook , Tsagrasoullis et all

Για την περιγραφή της φωτεινής ροής ενός φωτιστικού, η οποία είναι κρίσιμη για το φωτισμό, ορίστηκε ο όρος συντελεστής αξιοποίησης. Η τιμή αυτή καθορίζει ποιο τμήμα(μερίδιο) της φωτεινής ροής του λαμπτήρα φτάνει στο επίπεδο αναφοράς (π.χ. επίπεδο εργασίας). Ο συντελεστής αξιοποίησης εξαρτάται από τον τύπο φωτιστικού που σημαίνει ότι εξαρτάται από την:

- απόδοση φωτιστικού
- κατανομή φωτεινής έντασης
- και το χώρο, δηλαδή από:
    - την τιμή του συντελεστή ανάκλασης των επιφανειών του χώρου (τοίχοι, δάπεδο και οροφή)
    - τη γεωμετρία του χώρου (μήκος, πλάτος, ύψος)

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή χρησιμοποίησης ενός συγκεκριμένου φωτιστικού για μια τυπική ρύθμιση, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

i) Αναγνώριση φωτιστικού σύμφωνα με τα γράμματα και τους αριθμούς
ii) Προσδιορισμός των τιμών ανακλαστικότητας του πατώματος, των τοίχων και της οροφής

iii)Υπολογισμός συντελεστή k μέσω της γεωμετρίας του χώρου

$$k = \frac{\text{μήκος* πλάτος}}{\text{ύψος δωματίου* (μήκος+πλάτος)}}$$

Με τα ανωτέρω στοιχεία, ο παράγοντας αξιοποίησης χώρου μπορεί να διαβαστεί από τα αντίστοιχα διαγράμματα για ένα συγκεκριμένο είδος τοποθέτησης (π.χ. οροφή).Πολλαπλασιάζοντας τον παράγοντα αξιοποίησης χώρου του φωτιστικού με την απόδοση του φωτιστικού προκύπτει ο συντελεστής αξιοποίησης:

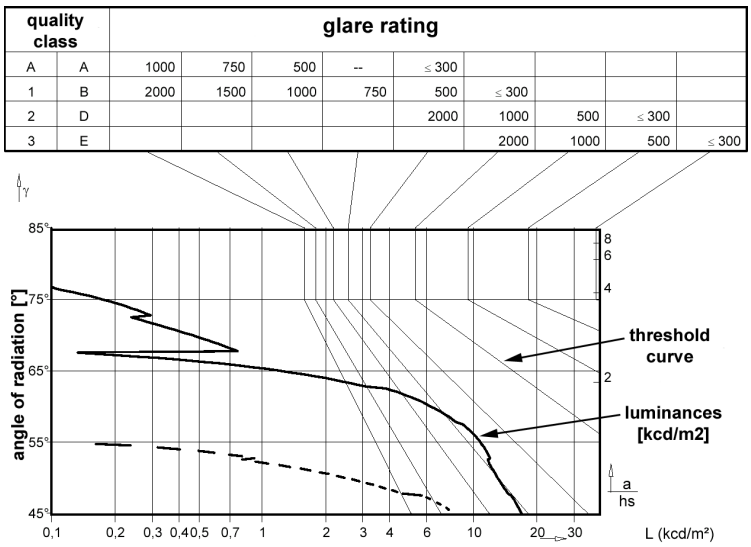
*συντελεστής αξιοποίησης = απόδοση φωτιστικού * συντελεστής αξιοποίησης χώρου(k)*

Σε μικρά δωμάτια, συνήθως περισσότερο φως θα χτυπήσει τους τοίχους και από εκεί θα ανακλαστεί στις επιφάνειες εργασίας, συγκριτικά με μεγαλύτερα δωμάτια. Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής αξιοποίησης είναι μικρότερος σε μικρά δωμάτια. Όσον αφορά στις τιμές ανακλαστικότητας, τα φωτεινά δωμάτια έχουν υψηλότερο συντελεστή αξιοποίησης από τα σκοτεινά.[17],[3]

3.4.1.4 Κατανομή φωτεινότητας(Luminance distribution)

Η άμεση θάμβωση που μπορεί να προκληθεί στον παρατηρητή εξαρτάται από τη φωτεινότητα(luminance) των φωτεινών επιφανειών που βλέπουμε, το μέγεθος των φωτεινών επιφανειών, τη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων σε κάτοψη και την ένταση του φωτισμού.

Γωνίες ακτινοβολίας που κυμαίνονται μεταξύ 45° και 85° είναι ιδιαίτερα κρίσιμες. Οι τιμές φωτεινότητας συνήθως απεικονίζονται σε λογαριθμική κλίμακα, κατά μήκος του άξονα x ενός διαγράμματος. Οι αντίστοιχες γωνίες ακτινοβολίας απεικονίζονται σε μοίρες, κατά μήκος του άξονα y. Η άμεση θάμβωση περιορίζεται εάν η μέση τιμή της φωτεινότητας του φωτιστικού σε κάθε γωνία ακτινοβολίας βρίσκεται κάτω από μία δεδομένη καμπύλη. Αυτή η καμπύλη ονομάζεται καμπύλη όριο. Διάφορες καμπύλες όρια καθορίζονται ανάλογα με την κατηγορία θάμβωσης. [3],[17]



Σχήμα 3.13 Σύστημα καμπύλης φωτεινότητας
Πηγή: Synthlight Handbook , Tsagrasoullis et all

3.4.2 Τεχνικές απαιτήσεις

Τα φωτιστικά σώματα είναι οι ηλεκτρικές συσκευές, με τις οποίες ασχολούνται ακόμη και μη-επαγγελματίες . Αυτός είναι ο λόγος που πρέπει να κατασκευάζονται με τρόπο ώστε η υγεία των χρηστών να μην τίθεται σε κίνδυνο και τα κτίρια και οι εγκαταστάσεις να μην κινδυνεύουν. Η ασφαλής λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να διασφαλίζεται(εγγυάται) από τους κατασκευαστές ή/και τις εταιρείες εισαγωγής.
Όποιος παρουσιάζει (λανσάρει) ένα φωτιστικό στην αγορά πρέπει να διασφαλίζει ότι το φωτιστικό αυτό είναι σύμφωνο με τους κανόνες της τεχνολογίας φωτισμού. Οι αναγνωρισμένοι κανόνες τεχνολογίας φωτισμού στην Ευρώπη είναι τα ενιαία ευρωπαϊκά πρότυπα (EN) που προβλέπονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique).

Βάσει της "συμφωνίας LUM" (εφαρμογή ενιαίου συμβόλου πιστότητας για φωτιστικά σώματα τα οποία είναι σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο), το σύμβολο ENEC αναγνωρίζεται από τα γραφεία πιστοποίησης των 18 κρατών που έχουν υπογράψει.
Σε εθνικό επίπεδο, ιδρύματα ανεξάρτητων δοκιμών και πιστοποιήσεων που έχουν δικαίωμα να εκδίδουν το σύμβολο ENEC , είναι π.χ.:

για την Ελλάδα ΕΛΟΤ No. 09
για τη Γερμανία VDE No.10
για την Αυστρία ÖVE No.11

Ένα προϊόν δεν μπορεί να ξεκινήσει στην ευρωπαϊκή αγορά, αν δεν του έχει απονεμηθεί το σήμα CE. Αυτό το σύμβολο τεκμηριώνει ότι το προϊόν πληροί όλες τις απαιτήσεις και είναι

σύμφωνο με τις σχετικές οδηγίες. Ο χαρακτηρισμός CE χρησιμοποιείται για διοικητικούς σκοπούς. Δεν απευθύνεται στους αγοραστές ή τους τελικούς χρήστες.[17]

Σχήμα 3.14 Απεικόνιση συμβόλων ENEC, CE και VDE
Πηγή:Synthlight Handbook, Tsagrasoullis et all

Οι απαιτήσεις από ένα φωτιστικό αφορούν τόσο στη μηχανική όσο και στην ηλεκτρική ασφάλειά του.

3.4.2.1 Ηλεκτρική ασφάλεια

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 60 598, όλα τα φωτιστικά σώματα πρέπει να παρέχουν προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας και χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες προστασίας. Στη συνέχεια, δίνονται οι συστάσεις σύμφωνα με το πρότυπο DIN:

Κατηγορία προστασίας 0

Δε διαθέτει βίδα γείωσης και διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Η προστασία από την ηλεκτροπληξία εξαρτάται μόνο από τη βασική μόνωση. Δεν επιτρέπεται στη Γερμανία.

Κατηγορία προστασία I

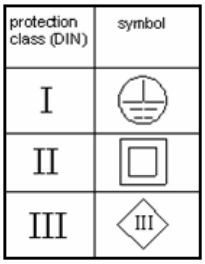
Διαθέτει βίδα γείωσης ή επαφή γείωσης. Για φωτιστικά σώματα με κατηγορία προστασίας I, η προστασία διασφαλίζεται με τη μόνωση των ζεστών τμημάτων και τη σύνδεση των προσβάσιμων μεταλλικών αγώγιμων μερών στον αγωγό προστασίας(γείωσης)της σταθερής συρμάτωσης της εγκατάστασης. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να τεθούν υπό τάση τα προσιτά αυτά αγώγιμα μέρη σε περίπτωση αστοχίας της βασικής μόνωσης.

Κατηγορία προστασίας II

Τα ζεστά τμήματα των φωτιστικών σωμάτων με κατηγορία προστασίας II, έχουν επιπλέον προστατευτική μόνωση. Η σύνδεση με ένα γειωμένο αγωγό δεν επιτρέπεται.

Προστασία κατηγορίας III

Για φωτιστικά σώματα με κατηγορία προστασίας III, η προστασία βασίζεται στη χρήση πολύ χαμηλής τάσης έως 50 V, η οποίο παρέχεται μέσω ενός μετασχηματιστή ασφαλείας, ηλεκτρικών στηλών ή συσσωρευτών. [3],[6],[17]



Σχήμα 3.15.Σύμβολα κατηγοριών Προστασίας I, II και III,
Πηγή: Synthlight Handbook, Tsagrasoullis et all

3.4.2.2 Μηχανική ασφάλεια

Για τη μηχανική προστασία, δηλαδή την προστασία έναντι ξένων σωμάτων και υγρασίας χρησιμοποιείται το σύμβολο IP σύμφωνα με το EN 60 529, ακολουθούμενο από ένα διψήφιο νούμερο, κάθε ψηφίο του οποίου αναφέρεται στις παραπάνω προστασίες αντίστοιχα.

Η πρώτη εικόνα περιγράφει την προστασία που παρέχεται από τη διείσδυση ξένων ουσιών και η δεύτερη περιγράφει την προστασία από την υγρασία. Η κατηγορία προστασίας που υποδεικνύεται αναφέρεται στην καθορισμένη χρήση του φωτιστικού. Εάν δεν ορίζεται διαφορετικά, υποτίθεται τοποθέτηση στην οροφή. [17]

Προστασία έναντι ξένων σωμάτων	
Δείκτης/αριθμός	**Σύντομη περιγραφή**
IP 0X	Καμία προστασία
IP 1X	Προστασία από στερεά σώματα > 50 mm
IP 2X	Προστασία από στερεά σώματα > 12 mm
IP 3X	Προστασία από στερεά σώματα > 2.5 mm
IP 4X	Προστασία από στερεά σώματα > 1 mm
IP 5X	Προστασία από τη σκόνη(η διείσδυση σκόνης δεν αποτρέπεται πλήρως)
IP 6X	η διείσδυση σκόνης αποτρέπεται πλήρως

Πίνακας 3.6: Προστασία έναντι ξένων σωμάτων

Protection against humidity according to second figure.	
Index/Figure	**Short description**
IP X0	No protection
IP X1	Rain-proof
IP X2	Rain-proof under 15°
IP X3	Proof against water spray
IP X4	Proof against splashed water
IP X5	Proof against jets
IP X6	Proof against heavy sea
IP X7	Immersion-proof (pressure and time must be stated)
IP X8	Submersion-proof (with indications made by manufacturer)

Πίνακας 3.7: Προστασία έναντι υγρασίας

Common protection classes of technical luminaires		
Protection class symbol	**1st figure Protection against foreign substance**	**2nd figure Protection against humidity**
IP 20	Foreign substance > 12 mm	No protection
IP 40	Foreign substance > 1 mm	No protection
IP 50	Dustproof	No protection
IP 54	Dustproof	Splashed water
IP 65	Dustproof	Water jets

Πίνακας 3.8: Συνήθεις κατηγορίες προστασίας φωτιστικών σωμάτων

Πηγή: Synthlight Handbook, Tsagrasoullis et all

3.4.3 Είδη Φωτιστικών Σωμάτων ανάλογα με το χώρο χρήσης-σκοπό

Τα φωτιστικά σώματα ανάλογα με το χώρο που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν διακρίνονται σε:

- εσωτερικού γενικού φωτισμού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης, τα οποία μπορεί να τοποθετούνται σε οροφή, τοίχο και δάπεδο
- εξωτερικού φωτισμού τα οποία προορίζονται για φωτισμό κήπων, οδών κλπ.
- εσωτερικών διακοσμήσεων και τοπικού φωτισμού (εσωτερικού ή εξωτερικού), τα οποία μπορεί να είναι φορητά ή σταθερής τοποθέτησης. [13]

3.4.4 Φωτιστικά σώματα εσωτερικού γενικής χρήσης

Η κατηγορία αυτή διακρίνεται περεταίρω στις εξής κατηγορίες:

<u>Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες πυρακτώσεως</u>

Έχουν κυρίως διακοσμητικό χαρακτήρα και δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον φωτοτεχνικής μελέτης.

Στις μελέτες φωτισμού ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τύπος φωτιστικού σώματος σημειακού φωτισμού (spot) που τοποθετείται μέσα σε ψευδοροφή ή και εξωτερικά με τη μορφή προβολέα.[13],[6]

Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι περισσότεροι τύποι φωτιστικών σωμάτων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τη μελέτη φωτισμού εσωτερικών χώρων.

Διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες [13],[6] :

I. *Απλά φωτιστικά σώματα ή σκαφάκια*

   Αποτελούν την απλούστερη μορφή φωτιστικού σώματος φθορισμού. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία και γενικά σε εφαρμογές στις οποίες η εμφάνιση των φωτιστικών σωμάτων δεν έχει ιδιαίτερη σημασία.

II. *Φωτιστικά σώματα βιομηχανικού τύπου με ανταυγαστήρα*

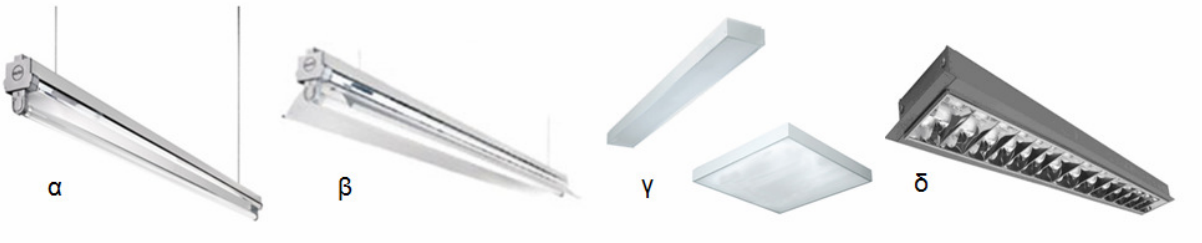
   Κατευθύνουν το φως προς το επίπεδο εργασίας (άμεσος φωτισμός) και προφυλάσσουν τους λαμπτήρες από τη σκόνη στο πάνω μέρος τους. Οι ανταυγαστήρες επιτρέπουν τη χρήση λιγότερων λαμπτήρων ή φωτιστικών για την παραγωγή συγκεκριμένης στάθμης φωτισμού.

III. *Φωτιστικά σώματα με πλαστικό κάλυμμα*

   Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες η εμφάνιση των φωτιστικών σωμάτων έχει σημασία. Τα πλαστικά καλύμματα μπορεί να είναι διαφανή, γαλακτόχρωμα, πρισματικά κ.λ.π.

IV. *Φωτιστικά σώματα με περσίδες*

   Αποτελούνται από περσίδες με ανακλαστικά υλικά, ώστε να διανέμουν το φως καλύτερα και να βελτιώνουν τη φωτιστική τους απόδοση. Βρίσκουν εφαρμογή στο φωτισμό εσωτερικών χώρων όπου η εμφάνιση του φωτισμού έχει ιδιαίτερη σημασία.



Φωτ.3.11.Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες φθορισμού

α)σκαφάκι, β) με ανταυγαστήρα, γ) με πλαστικό κάλυμμα, δ)με περσίδες

Πηγές: α) και β) http://www.solvent.gr, γ)http://www.artinoi.gr, δ) http://www.ktfotismos.gr

Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή νατρίου υψηλής πιέσεως

Όταν η απόσταση των φωτιστικών σωμάτων από το δάπεδο του φωτιζόμενου χώρου ξεπερνάει τα πέντε μέτρα συνιστάται η χρησιμοποίηση φωτιστικών σωμάτων αναρτήσεως κατάλληλων για λαμπτήρες ατμών υδραργύρου (Hg) ή νατρίου(Na) υψηλής πιέσεως.

Οι μονάδες έναυσης και λειτουργίας τοποθετούνται μέσα σε ειδικό χώρο που βρίσκεται πάνω από το χώρο του λαμπτήρα. Ο συνηθέστερος τύπος τέτοιων φωτιστικών είναι ο τύπος καμπάνα. Χρησιμοποιείται για φωτισμό βιομηχανικών χώρων, αποθηκών, σταθμών αυτοκινήτων και κλειστών αθλητικών χώρων. [13],[6]

Φωτ.3.12.Φωτιστικό σώμα για λαμπτήρες ατμών υδραργύρου ή νατρίου υψηλής πιέσεως
Πηγή: http://www.fotistiki.com

Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για λαμπτήρες LEDs

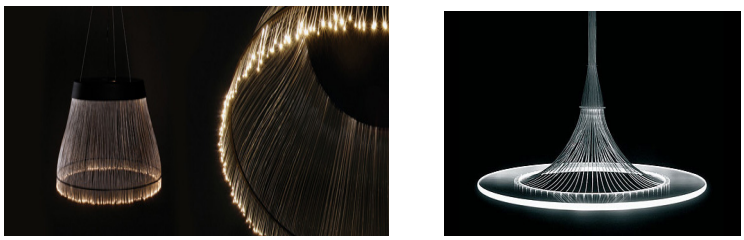
Πρόκειται για φωτιστικά τα οποία σε κατάλληλες επιφάνειες μπορούν να περιέχουν έως και μερικές χιλιάδες διόδους φωτοεκπομπής.

Φωτ.3.13. Φωτιστικό σώμα κατάλληλα για λαμπτήρες LEDs
Πηγή:http://www.ledlight-decoration.gr

Φωτιστικά σώματα κατάλληλα για οπτικές ίνες

Χρησιμοποιούνται σε βιτρίνες καταστημάτων , πίνακες ανακοινώσεων, σε χώρους με αυξημένη υγρασία(πισίνες), σε χώρους με εύφλεκτα αέρια, στο φωτισμό έργων τέχνης(μικρή εκπομπή θερμότητας-μηδαμινή υπεριώδης ακτινοβολία), στη σηματοδότηση και σε διαφημιστικές επιγραφές.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα οπτικών ινών θα πρέπει να αποτελείται από τη γεννήτρια φωτισμού, την οπτική ίνα και την απόληξή της .



Φωτ.3.14.Φωτιστικά σώματα με οπτικές ίνες

Πηγή: http://www.architecture-balar.com

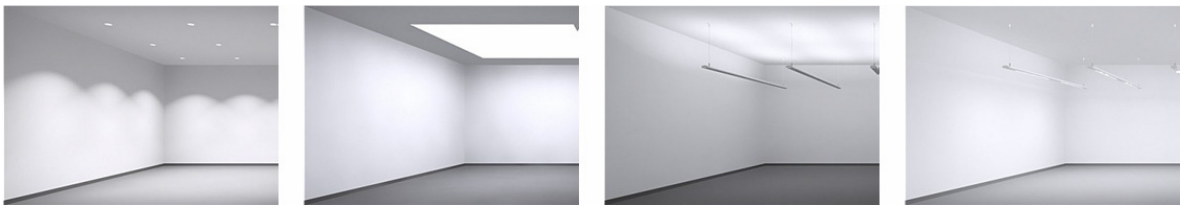
Ειδικής χρήσεως

Διαθέτουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως στεγανότητα, αντιεκρηκτικά, καταλληλότητα για ιατρικές εφαρμογές κ.λ.π.

3.5 Κατηγορίες φωτισμού εσωτερικού χώρου

Γενικός(general)

Σχετίζεται συνήθως με ένα οριζόντιο επίπεδο αναφοράς (επίπεδο εργασίας),όπου τα ποσοτικά κριτήρια είναι πρωταρχικής σημασίας (όπως στο χώρο εργασίας).Περιλαμβάνει και άμεσο και διάχυτο φωτισμό. Με το γενικό φωτισμό αναδεικνύονται μόνο τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία του χώρου, καθώς οι σκιές που δημιουργούνται είναι απαλές και δεν αναδεικνύουν λεπτομέρειες. Εφαρμογή σε κατοικίες, ανοικτούς χώρους και ως υπόβαθρο για άλλα είδη φωτισμού, π.χ. τονισμού. [41]



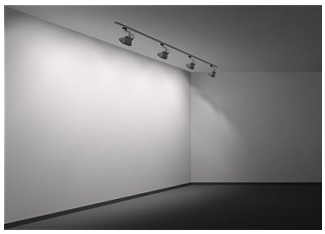
Άμεσος(direct aimed) διάχυτος(diffuse) έμμεσος (indirect) άμεσος και έμμεσος (direct and indirect)

Φωτ.3.15 Απεικονίσεις κατηγοριών γενικού φωτισμού-πηγή :http://www.erco.com

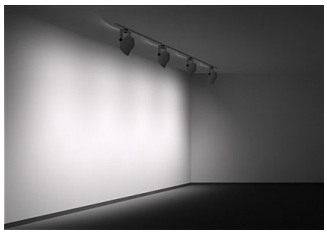
Χαρακτήρα (washlighting)

Ο πρωταρχικός σκοπός είναι να κάνει ορατές τις αναλογίες και τα όρια του δωματίου. Εφαρμόζεται σε μεγάλες επιφάνειες και δημιουργεί ένα ομοιόμορφο αποτέλεσμα με απαλές

σκιές , ενώ συχνά αποτελεί το φόντο πάνω στο οποίο τονίζονται κάποια αντικείμενα. Εφαρμογή σε τοίχους, όψεις κτιρίων, χώρους παρουσιάσεων.[41]



Συμμετρικός(symmetrical)



ασύμμετρος(asymmetrical)

Φωτ.3.16. Απεικονίσεις κατηγοριών φωτισμού χαρακτήρα-πηγή :http://www.erco.com

Τονισμού(Accentuation)

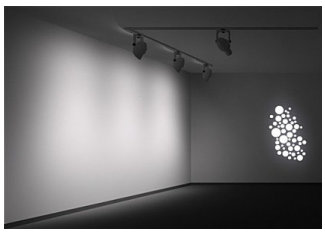
Χρησιμοποιείται για να δώσει έμφαση σε κάποιο στοιχείο του χώρου και να αναδείξει τις χαρακτηριστικές του ποιότητες, όπως δομή, υφή, σχήμα. Το εύρος της δέσμης και η σχέση με το γύρω περιβάλλον (υψηλή αντίθεση φωτεινότητας) είναι αυτά που δίνουν διαφορετική έμφαση στο αντικείμενο που φωτίζεται. Επιτρέπει καλή εκτίμηση της μορφής και της υφής των επιφανειών. Το φως παράγει έντονες σκιές και καλή ικανότητα προσομοίωσης. Ο φωτισμός τονισμού δημιουργεί σημεία ενδιαφέροντος και βελτιώνει την οπτική απόδοση τοπικά, π.χ. στο χώρο εργασίας. Εφαρμογή σε εκθέσεις, μουσεία, χώρους πώλησης και παρουσίασης, εστιατόρια, καφετέριες, μπαρ και στους χώρους εργασίας.[41]

Τονισμού

Φωτ.3.17. Απεικόνιση φωτισμού τονισμού-πηγή :http://www.erco.com

Προβολής(Projection)

Χρησιμοποιείται για την προβολή πινακίδων, σχεδίων και εικόνων και επιτρέπει τη δημιουργία ενός επιπλέον επιπέδου ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης. Εφαρμογή σε εκθέσεις, μουσεία, χώρους πώλησης και παρουσίασης, εστιατόρια, καφετέριες, μπαρ, ξενοδοχεία.[41]

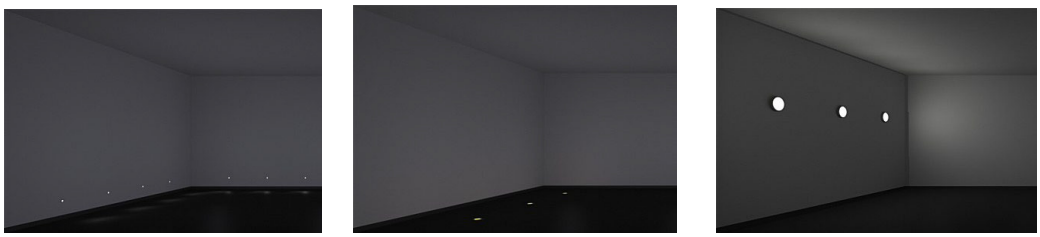


Προβολής

Φωτ.3.18. Απεικόνιση φωτισμού προβολής-πηγή :http://www.erco.com

<u>Προσανατολισμού (Orientation)</u>

Χρησιμοποιείται για να παρέχει προσανατολισμό σε χώρους, όπου ο γενικός φωτισμός είναι δευτερευούσης σημασίας. Τα φωτιστικά λειτουργούν ως στοιχεία προσανατολισμού και σήμανσης και διατάσσονται σε γραμμική πορεία. Τα χαμηλά επίπεδα φωτισμού είναι επαρκή για σκοπούς προσανατολισμού. Ο φωτισμός προσανατολισμού βελτιώνει τον προσανατολισμό σε περίπλοκα κτίρια και καθιστά πιο εύκολη την εύρεση των εξόδων κινδύνου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Εφαρμογή για αναγνώριση των αρχιτεκτονικών γραμμών, των βαθμίδων (σκαλοπατιών)και των ζωνών αποκλεισμού, των εισόδων και των διαδρόμων.[41]



Φωτ. 3.19. Απεικονίσεις φωτισμών προσανατολισμού-πηγή :http://www.erco.com

Φωτ.3.20 Απεικονίσεις των πέντε κατηγοριών φωτισμού-πηγή :http://www.erco.com

3.6 Τεχνητός Φωτισμός-Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας

Ο φωτισμός αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την εξασφάλιση βιολογικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων.
Στόχος του σχεδιασμού των συστημάτων φωτισμού είναι η εξασφάλιση οπτικής άνεσης, μέσω:

- της παροχής της απαιτούμενης ποσότητας φωτισμού, η οποία καθορίζεται από Διεθνή πρότυπα(standards), βάσει της χρήσης και των λειτουργικών απαιτήσεων κάθε χώρου

- της ποιότητας του φωτισμού, η οποία εξασφαλίζεται με καλή κατανομή και αποφυγή φαινομένων θάμβωσης, κατάλληλη χρωματική απόδοση και χρώμα φωτισμού, ανάδειξη στοιχείων χώρου, κατεύθυνση φωτισμού και δημιουργία κατάλληλων αντιθέσεων(contrast) κ.λπ.

Στον καθορισμό των Διεθνών standards έχει ενσωματωθεί η ενεργειακή παράμετρος και η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, στα σύγχρονα κτίρια παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της υπερδιαστασιολόγησης των συστημάτων τεχνητού φωτισμού με σκοπό κυρίως την πρόληψη προβλημάτων που προκύπτουν από ανεπαρκείς μελέτες (ή και παντελή έλλειψη μελέτης).Αυτό το φαινόμενο, σε συνδυασμό με τη χρήση πεπερασμένης ή συμβατικής τεχνολογίας στις εγκαταστάσεις φωτισμού, οδηγεί σε υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων του τεχνητού φωτισμού, με 'πενιχρά' αποτελέσματα ως προς την ποιότητα και την οπτική άνεση.[38]

Η κατανάλωση αυτή μπορεί να αποτελεί σημαντικό ποσοστό του συνόλου της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες κατηγορίες χρήσης, προκύπτει ότι η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό ανέρχεται σε:

Χρήση	**Κατανάλωση για φωτισμό (% συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης)**
Κτίρια Γραφείων	30 -50
Καταστήματα	25 -50
Νοσοκομεία	10-20
Ξενοδοχεία	10-25

Πίνακας 3.9: Κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου πηγή: http://www.cres.gr

Όμως, έχει διαπιστωθεί ότι, σε μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων είναι εφικτή η εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 30-50 %, με την υιοθέτηση κατάλληλων μέτρων και τεχνικών. [38]

Τέτοια μέτρα σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) είναι :

- ο σωστός σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού
- η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού
- η χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης
- η επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων
- η χρήση ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών διατάξεων
- η σωστή συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων
- η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου

3.6.1 Σχεδιασμός τεχνητού φωτισμού

Ο φωτισμός ενός κτιρίου πρέπει να εξετάζεται στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού, δεδομένου ότι σε αυτό το στάδιο λαμβάνονται οι σημαντικότερες αποφάσεις σχετικά με συστήματα αφής/σβέσης, αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού και συστήματα ελέγχου. Αλλαγές στο ηλεκτρικό σύστημα φωτισμού, κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου, είναι δυνατό να γίνουν και να είναι οικονομικά αποδοτικές, αλλά οι σημαντικές μετατροπές στα κυκλώματα ή στην εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού είναι πολύ δυσκολότερες και πιο δαπανηρές[42]. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να μελετηθεί το κόστος της κάθε επέμβασης τόσο ως προς το οικονομικό κόστος, όσο και ως προς την όχληση που θα προκληθεί στις επαγγελματικές δραστηριότητες αν πρόκειται για χώρους γραφείων. Επιπλέον, η εφαρμογή της καθεμίας παρέμβασης θα πρέπει να εκτιμάται σε ένα γενικότερο πλαίσιο βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτηρίου, συνυπολογίζοντας την επίδραση της παρέμβασης στα φορτία θέρμανσης– ψύξης– φωτισμού. [39]

Μερικές εγκαταστάσεις φωτισμού σχεδιάζονται για να παρέχουν ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού σε ολόκληρο το χώρο. Αν και αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει ευελιξία ως προς την αναδιάταξη των θέσεων εργασίας, οδηγεί συνήθως σε μονότονη εμφάνιση του χώρου και σε σπατάλη ενέργειας.

Βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και μειώσεις των δαπανών μπορούν να επιτευχθούν προσαρμόζοντας το φωτισμό στις απαιτήσεις.
Περιοχές οι οποίες χρήζουν χαμηλότερων επιπέδων φωτισμού, όπως οι χώροι κυκλοφορίας, δε θα πρέπει να φωτίζονται με το ίδιο επίπεδο φωτισμού με περιοχές όπως οι χώροι εργασίας, όπου απαιτούνται υψηλότερα επίπεδα φωτισμού για τις εργασίες που εκτελούνται εκεί.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ένα σύστημα γενικού φωτισμού στην οροφή που παρέχει χαμηλή στάθμη φωτισμού κίνησης, σε συνδυασμό με ένα σύστημα τοπικού φωτισμού, που παρέχει συμπληρωματική στάθμη στο επίπεδο (π.χ. φωτισμός παρέχεται από αναρτημένα φωτιστικά).

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι να εγκατασταθεί ένα συμμετρικό σχήμα φωτιστικών σωμάτων στην οροφή και, στη συνέχεια, να ρυθμιστεί η εξερχόμενη ποσότητα φωτός κάθε μεμονωμένης συσκευής φωτιστικού ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της περιοχής που φωτίζει. Αυτή η τελευταία προσέγγιση επιτυγχάνεται εύκολα με μερικά από τα νεότερα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου.

Για άλλες εφαρμογές, όπως π.χ. ξενοδοχεία, ο μελετητής επιδιώκει περισσότερο την εφαρμογή φωτισμού "ατμόσφαιρας" ως καταλληλότερου. Και σε αυτή την περίπτωση, οι ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες μπορεί να είναι επίσης αποτελεσματικοί. Για εφαρμογές καταστημάτων λιανικής πώλησης, ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη του την απαίτηση για κάθετο φωτισμό για την ανάδειξη των εμπορευμάτων. Προσοχή απαιτείται κατά τη χρήση των ενεργειακά αποδοτικών λαμπτήρων και όταν χρησιμοποιούνται συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL) θα πρέπει να είναι αυτοί για τους οποίους είναι σχεδιασμένα τα φωτιστικά σώματα.
Σε φωτιστικά σώματα που δέχονται λαμπτήρες CFL δεν υπάρχει καμία διαβεβαίωση ότι δε θα χρησιμοποιηθούν λαμπτήρες χαμηλότερης ενεργειακής απόδοσης (π.χ. λαμπτήρες βολφραμίου) όταν απαιτηθεί αντικατάσταση του λαμπτήρα CFL.[42]

Φωτ. 3.21 Ενδεικτικές εικόνες ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού τεχνητού φωτισμού –πηγή: http://www.cres.gr

3.6.2 Αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός μέσα σε ένα κτίριο έχει σημαντική επίδραση στην εμφάνιση του χώρου, και μπορεί να έχει σοβαρή επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Οι χρήστες του κτιρίου προτιμούν γενικά ένα καλά-φυσικά-φωτισμένο χώρο υπό τον όρο ότι αποφεύγονται προβλήματα όπως η υπερθέρμανση και η θάμβωση (και η οποία αναλύθηκε στην παράγραφο 2.2.2.2)

Οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν το φυσικό φωτισμό ενός εσωτερικού χώρου και οι οποίοι αναπτύχθηκαν εκτενέστερα στο υποκεφάλαιο 2.3 (**Στρατηγικές σχεδιασμού**) είναι το βάθος του χώρου, το μέγεθος και η θέση των παραθύρων και των ανοιγμάτων οροφής, το σύστημα υαλοστασίων / υαλοπινάκων και τα εξωτερικά εμπόδια.

Αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται συνήθως από τις αποφάσεις που λαμβάνονται στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού του κτιρίου, π.χ. εάν το κτίριο είναι βαθύ ή ρηχό, εάν είναι μονώροφο ώστε να είναι δυνατή η διάνοιξη ανοιγμάτων οροφής, ή πολυώροφο. Ο κατάλληλος σχεδιασμός σε αυτό το αρχικό στάδιο μπορεί να οδηγήσει σε ένα κτίριο με βελτιωμένη ενεργειακή συμπεριφορά και ευχάριστη εσωτερική εμφάνιση (***Παράγραφος 2.3.1: Αρχικές επιλογές σχεδιασμού***).

Οι αλλαγές στο φυσικό φωτισμό ενός υφιστάμενου κτιρίου είναι πιο πολύπλοκες αλλά μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και το σύστημα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού να είναι οικονομικά αποδοτικό. Ο εισερχόμενος φωτισμός σε ένα κτίριο, μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη διατάξεων εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού(ανοίγματα οροφής, ράφια φωτισμού, πρισματικών πάνελ κ.ά.).Η παροχή φυσικού φωτισμού από τα ανοίγματα μπορεί να μειωθεί από επεμβάσεις που γίνονται για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης του κτιρίου, π.χ. κάλυψη των γυάλινων επιφανειών ενός κτιρίου, προσθήκη διατάξεων σκιασμού, αλλαγή τύπου υαλοπινάκων. Σε αυτήν την περίπτωση, απαιτείται προσοχή ώστε να μη μειωθεί το μέγεθος παραθύρων σε βαθμό που να απαιτείται η χρήση τεχνητού φωτισμού για τη λειτουργία των χώρων, περιορίζοντας έτσι το όφελος από τη μείωση των θερμικών απωλειών.

Σε ένα κτίριο καλά-φυσικά- φωτισμένο, ο φυσικός φωτισμός παρέχει συχνά επαρκή ποσότητα για την κάλυψη των λειτουργικών αναγκών, για σημαντικό διάστημα του έτους(***παράγραφος 2.2.3:*** **Δυναμικοί δείκτες απόδοσης φωτός**)[43]. Οι στρατηγικές φυσικού φωτισμού εξοικονομούν ενέργεια μόνο όταν το φυσικό φως αντικαθιστά προσωρινά τον

ηλεκτρικό φωτισμό[10]. Επομένως, για την εξοικονόμηση ενέργειας, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι το σύστημα του τεχνητού φωτισμού απενεργοποιείται όταν ο φυσικός φωτισμός είναι επαρκής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των κατάλληλων συστημάτων ελέγχου του φωτισμού του κτιρίου, με κάποιο βαθμό αυτοματοποίησης[43]. Κατά συνέπεια, η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται όχι μόνο από τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός σε ένα κτίριο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά και από τον τρόπο και τη συχνότητα που χρησιμοποιούνται το σύστημα σκίασης και το σύστημα ελέγχου του φωτισμού.[10]

Είναι σημαντικό να αποφευχθούν προβλήματα θάμβωσης και υπερθέρμανσης, με την ένταξη κατάλληλων διατάξεων σκίασης. Αυτές μπορούν να είναι σταθερές ή κινητές (εξωτερικά πτερύγια, βενετικές περσίδες, κ.ά.). Όπως έχει αποδειχθεί, από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, υπάρχει δυνατότητα σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, με την εφαρμογή βιοκλιματικών αρχών στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, οι οποίες περιλαμβάνουν την εκμετάλλευση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης και τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό, μέσω του περιορισμού του χρόνου λειτουργίας των τεχνητών συστημάτων.

Αυτή η δυνατότητα εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και προφανώς οι προτεραιότητες διαφέρουν στις θερμότερες, φωτεινότερες συνθήκες των Μεσογειακών χωρών από τα ψυχρότερα, περισσότερο νεφελώδη κλίματα των χωρών της βόρειας Ευρώπης.[43]

3.6.3 Χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό εξαρτάται από την ισχύ των λαμπτήρων (watt) και το χρόνο λειτουργίας τους**.** Οι σύγχρονοι οικονομικοί λαμπτήρες, για το ίδιο επίπεδο φωτεινότητας με τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, έχουν 10 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής(10000 ώρες) και απαιτούν το ένα πέμπτο της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Το κόστος αγοράς τους είναι μεν μεγαλύτερο αλλά το συνολικό οικονομικό όφελος κατά τη χρήση τους είναι σημαντικό ως αποτέλεσμα της χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος και της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους (1 λαμπτήρας χαμηλής κατανάλωσης αντιστοιχεί σε 10 κοινούς λαμπτήρες). [31],[40]

Ισχύς Λαμπτήρα Χαμηλής Κατανάλωσης(W)	Ισχύς Κοινού Λαμπτήρα Πυρακτώσεως(W)
5	25
7	40
11	60
18	75
20	100
23	120

Πίνακας 3.10:Αντιστοιχία ισχύος(Watt) λαμπτήρων χαμηλής κατανάλωσης(φθορισμού) και κοινών (πυρακτώσεως) για το ίδιο επίπεδο φωτεινότητας-πηγή: http://www.dei.gr και http://www.cie.org.cy

Πέραν των λαμπτήρων φθορισμού σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας προσφέρουν και οι εναλλακτικές τεχνολογίες για φωτισμό που αναπτύχθηκαν στο υποκεφάλαιο 3.3 όπως, οι αναβαθμισμένες λάμπες αλογόνου , οι λαμπτήρες LED και οι λάμπες νατρίου υψηλής εκκένωσης(για ειδικές χρήσεις π.χ. βιομηχανικούς χώρους).[31]

Η ονομαστική ισχύς του λαμπτήρα δεν είναι το μοναδικό κριτήριο για την επιλογή του. Στο εμπόριο διατίθενται λαμπτήρες με ταυτόσημη ονομαστική ισχύ, χρωματική απόδοση και διαστάσεις αλλά με διαφορετική απόδοση lm/W. Είναι δηλαδή εφικτή η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς καμία αλλαγή στην εγκατάσταση φωτισμού αλλά μόνο με την ορθολογική επιλογή των λαμπτήρων. Αν οι απαιτήσεις φωτισμού των χώρων το επιτρέπουν είναι εφικτή η εξοικονόμηση με την επιλογή λαμπτήρων διαφορετικής χρωματικής απόχρωσης αλλά καλύτερης απόδοσης lm/W. Η άστοχη επιλογή λαμπτήρων με μοναδικά κριτήρια την τιμή τους και την ονομαστική ισχύ μπορεί να επιβαρύνει την κατανάλωση έως και κατά 30%. Η διαφορά στην απόδοση οφείλεται στη διαφορετική τεχνολογία των λαμπτήρων η οποία μάλιστα ελάχιστα επιβαρύνει το κόστος αγοράς π.χ. ο απλός λαμπτήρας φθορισμού T8, 58 W, Daylight αποδίδει 4.000 lm ενώ ο αντίστοιχος τριφωσφορικός, με τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, αποδίδει 5.000 lm, δηλαδή 25% επιπλέον φωτεινή ροή. Επιπροσθέτως, η διάρκεια ζωής του τριφωσφορικού είναι σχεδόν διπλάσια του απλού λαμπτήρα φθορισμού.

Η επιλογή της χρωματικής απόχρωσης των λαμπτήρων μπορεί να επιφέρει περαιτέρω εξοικονόμηση. Αυτό φυσικά προϋποθέτει εκτίμηση των ποιοτικών απαιτήσεων του φωτισμού του χώρου (οπτική άνεση) σε συνδυασμό με το επίπεδο φωτισμού. Αν οι συνθήκες το επιτρέπουν, τότε μπορεί να επιλεγεί τύπος λαμπτήρων που συνδυάζει συγκεκριμένη χρωματική απόχρωση με υψηλή απόδοση lm/W. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η κατανάλωση μειώνεται κατά 15% με αντικατάσταση των απλών λαμπτήρων T8,58 W,

Daylight, 4.000 lm με ταυτόσημους Warmwhite, 4.600 lm. Η εξοικονόμηση ανέρχεται σε 4% εάν αντικατασταθούν οι τριφωσφορικοί Daylight (5.000 lm) με Warmwhite (5.200 lm). [32]

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η απόχρωση της φωτεινής πηγής σχετίζεται με τη θερμοκρασία χρώματος και η μεταξύ τους αντιστοιχία ,όσον αφορά στο χαρακτηρισμό των λαμπτήρων είναι:

Warm white, Soft white, Θερμό λευκό	≤ 3000° K
White, Bright white, Λευκό	3500° K
Cool white, Ψυχρό λευκό	> 4000° K
Daylight, Λευκό ημέρας	≥ 5000°K

Πίνακας 3.11:Αντιστοιχία απόχρωσης φωτεινής πηγής-θερμοκρασία χρώματος

πηγή:http://www.eco-lamps.gr

Στον πίνακα 3.12 δίνονται τυπικές τιμές φωτεινής δραστικότητας διάφορων τύπων λαμπτήρων.

Τύπος λαμπτήρα	**Φωτεινή δραστικότητα [lm/W]**
Πυράκτωσης	10-18
Αλογόνου	15-25
Συμπαγής φθορισμού(συμπεριλαμβανομένου του στραγγαλιστικού πηνίου(ballast))	50-70
Γραμμικός φθορισμού(συμπεριλαμβανομένου του στραγγαλιστικού πηνίου(ballast))	60-100
Αλογονιδίων μετάλλων(συμπεριλαμβανομένου του στραγγαλιστικού πηνίου(ballast))	65-110
Φωτοδίοδοι(LED)(συμπεριλαμβανομένου του οδηγού (driver))	30-60

Πίνακας 3.12 Τυπικές τιμές (όχι μέγιστες)φωτεινής δραστικότητας(απόδοσης)λαμπτήρων

πηγή: http://portal.tee.gr (T.O.T.E.E-20701-1/2010)

3.6.4 Επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων

Η επιλογή των φωτιστικών σωμάτων δεν μπορεί να γίνεται με τα κριτήρια αισθητικής αντίληψης του διακοσμητή. Απαιτείται εξειδικευμένη "ανάγνωση" των τεχνικών χαρακτηριστικών τους όπως ο τύπος κατανομής της φωτεινής ροής, ο συντελεστής απόδοσης, η κατανομή λαμπρότητας, η κλάση θάμβωσης, η κατανάλωση ενέργειας, η δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming), ο τύπος του ανακλαστήρα ή του διαχύτη κ.λ.π. Η επιλογή των φωτιστικών γίνεται σύμφωνα με τη μορφή των εργασιών που διεξάγονται στο χώρο, την αισθητική του, τις αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και ιδιαιτερότητες, το επιθυμητό

επίπεδο ποιότητας του φωτισμού αλλά και την ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης φωτισμού με στόχο την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας. Είναι γνωστό ότι η απόδοση των λαμπτήρων (lm/W) αυξάνεται με την ονομαστική ισχύ τους. Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου τύπου λαμπτήρων T5, προκύπτει ότι η απόδοσή τους είναι 96 lm/W στην ονομαστική ισχύ των 14 W, 100 lm/W στα 21 W και 104 lm/W στα 28 W. Τα μεγέθη αυτά για τους συμβατικούς λαμπτήρες T8 είναι 64 lm/W στα 18 W και 79 lm/W στα 36 W ή 58 W. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή φωτιστικών με λαμπτήρες μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος, δηλαδή μεγαλύτερου μήκους, είναι ενεργειακά επωφελής. Μια επιτυχημένη επιλογή θα ήταν π.χ. η προτίμηση φωτιστικών 2X36 W αντί 4X18 W.

Σημαντικός παράγοντας είναι, επίσης, ο τύπος και το υλικό κατασκευής του οπτικού συστήματος του φωτιστικού (διαχύτης, κάτοπτρο, περσίδες κ.λπ.). Οι συνθετικοί διαχύτες έχουν συνήθως μικρότερο βαθμό απόδοσης (LOR) και χειρότερο συντελεστή συντήρησης. Τα οπτικά συστήματα από ανοδιωμένο αλουμίνιο εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης (έως 85% έναντι 55%-60% των συνθετικών πολυκαρβονικών διαχυτών) αλλά και σε αυτή την περίπτωση η ποιότητα της ανοδίωσης και ο βαθμός καθαρότητας του αλουμινίου είναι οι κρίσιμοι παράγοντες. Στην αγορά απαντώνται φωτιστικά του ιδίου ακριβώς τύπου (ανακλαστήρας ανοδιωμένου αλουμινίου, διπλής παραβολικότητας) των οποίων οι βαθμοί απόδοσης μπορεί να διαφέρουν και κατά 20 εκατοστιαίες μονάδες. Πρωταρχική αιτία είναι η ποιότητα σχεδίασης του ανακλαστήρα η οποία είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί εξειδίκευση και ειδικό λογισμικό. Οι αντιγραφές αποδίδουν συνήθως πτωχά αποτελέσματα. Ο βαθμός καθαρότητας του αλουμινίου επηρεάζει την απόδοση των ανακλαστήρων και κατ' επέκταση των φωτιστικών. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι αποκλίσεις κλάσματος της εκατοστιαίας μονάδας στην καθαρότητα του αλουμινίου επιφέρουν δεκαπλάσια απόκλιση (μερικές εκατοστιαίες μονάδες) στην ανακλαστικότητα των οπτικών του φωτιστικού. Τα οπτικά βαφής φούρνου έχουν πολύ χειρότερη απόδοση, ειδικότερα δε με την πάροδο του χρόνου οπότε αποσυντίθεται η βαφή και η απόδοση του φωτιστικού μειώνεται σε τιμές μικρότερες του 50%. Μερικές φορές, το οπτικό σύστημα αποτελείται μόνο από περσίδες χωρίς οπίσθιο ανακλαστήρα οπότε η απόδοση θα είναι ιδιαίτερα χαμηλή εφόσον το ήμισυ σχεδόν της φωτεινής ροής των λαμπτήρων θα χάνεται εντός του φωτιστικού. [32]

Ο σύγχρονος σχεδιασμός φωτιστικών σωμάτων έχει οδηγήσει σε βελτιώσεις της απόδοσής τους, σε σχέση με παλαιότερα φωτιστικά. Ενώ οι τυπικοί - βαμμένοι σε λευκό χρώμα - ανακλαστήρες έχουν συντελεστή ανακλαστικότητας της τάξης περίπου του 70%, ο συντελεστής ανακλαστικότητας των ανακλαστήρων αλουμινίου μπορεί να φτάσει έως και 95%.

Η ανακαίνιση παλιών εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας σύγχρονο εξοπλισμό μπορεί συχνά να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, πέραν της βελτίωσης των συνθηκών οπτικής άνεσης (π.χ. εξάλειψη των φωτεινών αντανακλάσεων στις οθόνες υπολογιστών).

Πολλά σύγχρονα φωτιστικά αποτελούνται από προσεκτικά σχεδιασμένα συστήματα ανακλαστήρων για να κατευθύνουν το φως από τους λαμπτήρες προς την απαιτούμενη κατεύθυνση. Αυτοί επιτρέπουν τη χρήση λιγότερων λαμπτήρων ή φωτιστικών για την παραγωγή συγκεκριμένης στάθμης φωτισμού.

Σε παλαιά φωτιστικά σώματα χαμηλής απόδοσης, είναι δυνατή η βελτίωση της απόδοσής τους με την αντικατάσταση των συστημάτων διάχυσης ή ανάκλασης με νέα συστήματα ανακλαστήρων. Εναλλακτικά, μπορούν να προστεθούν ανακλαστήρες στο παλαιό φωτιστικό, διατηρώντας τα υπάρχοντα εξαρτήματα ελέγχου του φωτός. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να οδηγεί σε μείωση του αριθμού λαμπτήρων, διατηρώντας την ίδια παραγόμενη ποσότητα φωτισμού και με τη συνεπαγόμενη εξοικονόμηση (υπολογίζεται ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας από 20 έως 50% μέσω βελτιώσεων στους ανακλαστήρες και στο προστατευτικό κάλυμμα των φωτιστικών). Εν τούτοις, απαιτείται προσοχή καθόσον η εμφάνιση του χώρου μπορεί να αλλάξει, οπότε είναι συνήθως χρήσιμο να προηγηθεί μελέτη για μία μικρή περιοχή του χώρου, ώστε να διερευνηθούν πιθανές αλλαγές. Προσοχή πρέπει επίσης να δίνεται στην ποσότητα εξερχόμενου φωτός των φωτιστικών, καθώς αυτή ποικίλλει αρκετά. Οι μελετητές συχνά υποθέτουν ότι τα φωτιστικά σώματα με ίδιο αριθμό λαμπτήρων, παρέχουν την ίδια ποσότητα εξερχόμενου φωτός, αλλά συνήθως αυτό δεν είναι αληθές. Μικρότερη ποσότητα εξερχόμενου φωτός από ένα φωτιστικό σημαίνει ότι απαιτούνται περισσότερα φωτιστικά σώματα για να εξασφαλίσουν σε ένα δεδομένο χώρο την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού. Επομένως ο σχεδιασμός θα είναι χαμηλότερης ενεργειακής απόδοσης.

Η αναλογία εξερχόμενου φωτός (Light Output Ratio) για κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο φωτιστικού διαφέρει από τον ένα κατασκευαστή στον άλλο, γι' αυτό συνιστάται να γίνεται έλεγχος των μοντέλων κατά την επιλογή τους. [44]

3.6.5 Χρήση ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών διατάξεων

Οι δυνατότητες και τα οφέλη που παρέχουν οι ηλεκτρονικές στραγγαλιστικές διατάξεις αναφέρθηκαν και στην παράγραφο *3.3.2 (**Λαμπτήρες εκκενώσεως-Στραγγαλιστικές διατάξεις(ballasts)**)*. Ωστόσο στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται αναλυτικότερη προσέγγιση κυρίως ως προς το μέγεθος της ενέργειας που εξοικονομείται.

Πιο συγκεκριμένα, η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών διατάξεων (ballasts) αντί των συμβατικών ηλεκτρομαγνητικών εκτιμάται ότι μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση ενέργειας έως 25%. Η μειωμένη κατανάλωση αποδίδεται κυρίως στους εξής λόγους:

Καλύτερη απόδοση του λαμπτήρα

Η φωτεινή ροή του λαμπτήρα αυξάνεται όταν λειτουργεί με ηλεκτρονικό ballast. Η πραγματική απόδοση των λαμπτήρων με μαγνητικό ballast κυμαίνεται συνήθως σε ποσοστά 80%-95% της ονομαστικής ενώ δεν είναι σπάνιο τα ηλεκτρονικά ballast να ανυψώσουν την απόδοση κατά 12% περίπου (έχουν μετρηθεί και υψηλότερες αποδόσεις). Αυτό σημαίνει ότι μια εγκατάσταση φωτισμού που λειτουργεί με ηλεκτρονικά ballast απαιτεί 18% περίπου λιγότερα φωτιστικά από την ίδια εγκατάσταση με μαγνητικά ballast καλής ποιότητας. Το πλεονέκτημα αυτό είναι αξιοποιήσιμο κυρίως στις νέες εγκαταστάσεις οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν με λιγότερα φωτιστικά χωρίς να μειώνεται η στάθμη φωτισμού και να υποβαθμίζεται η ποιότητά τους. Τότε μειώνεται το κόστος λειτουργίας (εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους συντήρησης) αλλά και το κόστος εγκατάστασης (λιγότερα φωτιστικά).[32]

Χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας στο λαμπτήρα και μικρότερες απώλειες ενέργειας στη στραγγαλιστική διάταξη (ballast)

Η κατανάλωση του λαμπτήρα είναι χαμηλότερη όταν αυτός λειτουργεί με ηλεκτρονικό ballast π.χ. ο λαμπτήρας ονομαστικής ισχύος 36 W καταναλώνει 32 W, ενώ με συμβατικό ballast η κατανάλωσή του θα ήταν ίση με την ονομαστική (36 W). Επιπροσθέτως, οι απώλειες του ηλεκτρονικού ballast είναι μικρότερες του συμβατικού π.χ. σε ένα τυπικό φωτιστικό 2X36 W απαιτείται 1 ηλεκτρονικό ballast με απώλειες 8 W ενώ στη συμβατική λειτουργία απαιτούνται 2 μαγνητικά ballast με απώλειες 16,2 W, άρα το φωτιστικό με ηλεκτρονική λειτουργία θα καταναλώνει 72 W, ενώ με τη συμβατική 88,2 W. Το ποσοστό εξοικονόμησης εξαρτάται από τον τύπο του συμβατικού φωτιστικού που χρησιμοποιείται ως αναφορά. Η εξοικονόμηση ανέρχεται κατά μέσο όρο στο 15%.
Το πλεονέκτημα αυτό των ηλεκτρονικών ballast είναι αξιοποιήσιμο στις νέες αλλά και στις υφιστάμενες εγκαταστάσεις π.χ. σε φωτιστικά που λειτουργούν με λαμπτήρες φθορισμού T8 με την προϋπόθεση ότι υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος για την τοποθέτηση του ηλεκτρονικού ballast και αφού γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στην καλωδίωση.[32]

Σε αρκετές περιπτώσεις το εργατικό κόστος για τις επεμβάσεις σε υφιστάμενα φωτιστικά (μαζί με το κόστος των υλικών) είναι υψηλότερο του κόστους της εξ ολοκλήρου αντικατάστασης των φωτιστικών με καινούρια που φέρουν ηλεκτρονικά ballast. Ακόμη και σ' αυτήν την περίπτωση ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης είναι πολύ μικρός (έως 5 χρόνια). Ένας επιπλέον λόγος για μια τέτοια ριζική επέμβαση είναι ότι η απόδοση των υφισταμένων φωτιστικών μειώνεται συν τω χρόνω με αποτέλεσμα να απαιτούνται εργασίες συντήρησής τους για να φωτίζουν επαρκώς. [32]

Επιπλέον, η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ballast συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας με την αξιοποίησή του από τεχνολογίες αυτοματισμών που δεν μπορούν να λειτουργήσουν με μαγνητικά ballast:

Ρύθμιση της φωτεινότητας του λαμπτήρα (dimming) μέσω αισθητήρων και ρυθμιστών φωτισμού. Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί με τοπικά συστήματα dimming κυμαίνεται από 10% έως 20% ανάλογα με τη χρήση του χώρου.

Ένταξη της εγκατάστασης φωτισμού σε σύστημα κεντρικής διαχείρισης (BMS).

Η εξοικονόμηση ενέργειας με συστήματα κεντρικής διαχείρισης (BMS) κυμαίνεται από 10% έως 35% ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Επισημαίνεται ότι η εξοικονόμηση αυτή δεν προστίθεται σε αυτήν που επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση φωτεινότητας(dimming) αλλά την εμπεριέχει.

Υπάρχουν και άλλοι λόγοι για τους οποίους εξοικονομείται ενέργεια και χρήμα λόγω της χρησιμοποίησης ηλεκτρονικών ballast:

-Δυνατότητα λειτουργίας περισσοτέρων λαμπτήρων (έως 4) με 1 μόνο ηλεκτρονικό ballast. Το μαγνητικό ballast δεν μπορεί να λειτουργήσει με περισσότερους των 2 λαμπτήρων π.χ. τυπικό φωτιστικό 4X18W καταναλώνει 86,8W όταν λειτουργεί με 2 συμβατικά ballast ενώ η κατανάλωσή του μειώνεται στα 74 W όταν 1 ηλεκτρονικό αντικαταστήσει τα 2 συμβατικά.

- Το ηλεκτρονικό ballast διακόπτει τη λειτουργία του όταν ο λαμπτήρας δε λειτουργεί ενώ το συμβατικό συνεχίζει να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και να καταναλώνει ενέργεια.

- Μεγαλώνει σημαντικά η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων (έως 50%) και επομένως μειώνεται στο ήμισυ το κόστος αντικατάστασης των λαμπτήρων.

-Βελτιώνεται ο συντελεστής συντήρησης των λαμπτήρων, δηλαδή η απόδοση των λαμπτήρων μειώνεται λιγότερο κατά τη διάρκεια ζωής τους απ' ότι αν λειτουργούσαν με συμβατικά ballast. Συνεπώς η στάθμη φωτισμού επιτυγχάνεται με λιγότερα φωτιστικά π.χ. σ' έναν καθαρό εργασιακό χώρο, τα απαιτούμενα φωτιστικά μπορούν να μειωθούν κατά 6% περίπου.

Τα ηλεκτρονικά ballast βελτιώνουν επίσης την ποιότητα του φωτισμού διότι λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (>24kHz) οπότε εξαλείφεται το βούισμα και το τρεμόσβημα που χαρακτηρίζουν τα μαγνητικά ballast λόγω χαμηλής συχνότητας λειτουργίας τους (50 Hz). Τέλος, επισημαίνεται ότι σύντομα δε θα επιτρέπεται η διάθεση των ενεργοβόρων ηλεκτρομαγνητικών ballast σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.[32]

3.6.6 Σωστή συντήρηση των φωτιστικών σωμάτων

Με την πάροδο του χρόνου οι επιφάνειες των φωτιστικών και των λαμπτήρων ρυπαίνονται. Επιπλέον, η ποσότητα εξερχόμενου φωτός από τους λαμπτήρες μειώνεται καθώς πλησιάζουν προς το τέλος του χρόνου ζωής τους. Η απόδοση μιας εγκατάστασης φωτισμού μειώνεται συν τω χρόνω και λόγω της γήρανσης των υλικών των φωτιστικών τα οποία συμμετέχουν στην εκπομπή φωτός (ανακλαστήρες, περσίδες, διαχύτες κ.λπ.) καθώς και της γήρανσης των στραγγαλιστικών διατάξεων(ballasts). Έλλειψη συντήρησης σημαίνει ότι μια εγκατάσταση φωτισμού δεν αποδίδει το μέγιστο της δυνατότητάς της και κατά συνέπεια γίνεται σπατάλη ενέργειας και χρημάτων. [32],[34]

Ο απλός καθαρισμός των λαμπτήρων και των φωτιστικών σωμάτων μπορεί συχνά να βελτιώσει σημαντικά το φωτισμό του χώρου και τα οφέλη στην κατανάλωση ενέργειας γίνονται άμεσα αντιληπτά. Μερικά φωτιστικά σχεδιάζονται ειδικά για να μειώνουν την ανάγκη συντήρησης, π.χ. το αυτοαεριζόμενο φωτιστικό σώμα συσσωρεύει λιγότερους ρύπους στις επιφάνειές του. Επιπλέον, η χρήση κατάλληλων υλικών και τεχνικών καθαρισμού μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες που προκαλούνται από τη χημική δράση ή το γδάρσιμο των επιφανειών όπου συσσωρεύεται σκόνη. [34]

Το εξερχόμενο φως των λαμπτήρων φθορισμού μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, με συνέπεια, ένας λαμπτήρας να καταναλώνει την ίδια ενέργεια αλλά να αποδίδει ίσως μόνο τη μισή - ή και λιγότερη - ποσότητα φωτός πριν φτάσει στο τέλος της ζωής του. Η προγραμματισμένη μαζική αντικατάσταση των λαμπτήρων στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής τους, θα πρέπει να εξετάζεται, αντικαθιστώντας σημειακά τους κατά τόπους καμένους πρόωρα λαμπτήρες. Ένας προγραμματισμένος καθαρισμός και αντικατάσταση λαμπτήρων,

μπορεί να εξασφαλίσει την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη συνεχώς αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης φωτισμού. [34]

Οι πλαστικοί ή οι πρισματικοί ανακλαστήρες αποχρωματίζονται με την πάροδο του χρόνου και μειώνουν την εξερχόμενη ποσότητα φωτός από ένα φωτιστικό. Η αντικατάστασή τους σε παλαιές εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση. Θα πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται πλαστικά με σταθεροποιημένες ιδιότητες, καθώς αυτά έχουν μεγαλύτερο ωφέλιμο χρόνο ζωής.[34]

Οι παράγοντες που μειώνουν την απόδοση μιας εγκατάστασης φωτισμού συνιστούν το συντελεστή συντήρησης της εγκατάστασης φωτισμού ο οποίος εκφράζει τη μείωση της απόδοσής της σε σχέση με την αρχική.[32] Η μείωση της ποσότητας του εξερχόμενου φωτός μιας εγκατάστασης φωτισμού κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής της είναι συνήθως γνωστή κατά τον αρχικό σχεδιασμό, έτσι ώστε τα αρχικά επίπεδα φωτισμού να υπολογίζονται λίγο υψηλότερα από τα απαιτούμενα επίπεδα, εκτός εάν προβλέπονται συστήματα ελέγχου μεταβαλλόμενης ή σταθερής ροής. Ο σχεδιασμός με συστήματα ελέγχου παρατείνει τη ζωή λαμπτήρων και αντιμετωπίζει προβλήματα υπερδιαστασιολόγησης.[34]

Εξειδικευμένοι φορείς που διεξήγαγαν μετρήσεις σε εγκαταστάσεις φωτισμού κτιρίου γραφείων διαπίστωσαν ότι η μείωση του φωτισμού στις πλημμελώς συντηρημένες εγκαταστάσεις υπερβαίνει το 40% ενώ αν η συντήρηση είναι τακτική τότε η μείωση δεν υπερβαίνει το 25%. Οι μετρήσεις που έγιναν σε τυπικούς επαγγελματικούς χώρους οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι εξοικονομείται ενέργεια της τάξης του 15% εάν τα φωτιστικά καθαρίζονται ανά έτος με ταυτόχρονη αντικατάσταση του 1/3 των λαμπτήρων έστω και αν λειτουργούν αφού η απόδοσή τους όταν υπερβούν το 70% της διάρκειας ζωής τους μειώνεται σημαντικά και γίνονται ασύμφοροι.[32]

Ο καθαρισμός των φωτιστικών μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ξεχωριστό ζήτημα, δεδομένου ότι η υποβάθμιση του φωτιστικού σώματος θα εξαρτηθεί από τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται. Για παράδειγμα, τα καταστήματα λιανικής πώλησης, με ανοιχτές βιτρίνες ή πόρτες σε πολυσύχναστους δρόμους κυκλοφορίας, θα απαιτήσουν συχνότερο καθαρισμό από ένα κλιματιζόμενο γραφείο με κλειστά παράθυρα.[34]

3.6.7 Εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου

Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού είναι συσκευές που ρυθμίζουν τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού σε συνάρτηση με ένα εξωτερικό σήμα (χειροκίνητη επαφή, ανίχνευση παρουσίας, χρονοδιακόπτης, στάθμη φωτισμού). [33]

Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα ελέγχου είναι:

Τοπικοί διακόπτες έναυσης

Οι τοπικοί διακόπτες έναυσης ελέγχουν τη λειτουργία των φωτιστικών κατά ομάδες και ρυθμίζουν το φωτισμό σε συγκεκριμένες ζώνες του χώρου, π.χ. ζώνες στις οποίες εκτελείται κάποια εργασία.

Με τους τοπικούς διακόπτες εξασφαλίζεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μεγαλύτερη άνεση του χρήστη, σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα στα οποία το σύνολο των φωτιστικών σωμάτων του χώρου ελέγχεται με ένα διακόπτη. Μελέτες σε γραφεία ″ελεύθερης διάταξης ″ έχουν δείξει μεγάλες διαφορές στις προτιμήσεις των εργαζομένων ως προς το φωτισμό (άλλοι προτιμούν αναμμένα φώτα σε συνεχή βάση και άλλοι όχι). Οι τοπικοί διακόπτες παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο του φωτισμού στους χώρους εργασίας, σε σχέση με τις σειρές διακοπτών που είναι συγκεντρωμένες πλησίον της κύριας εισόδου του χώρου.

Ο τοπικός έλεγχος κατά ομάδες φωτιστικών είναι σημαντικός στις περιπτώσεις κατά τις οποίες μόνο κάποια τμήματα του χώρου απαιτούν τεχνητό φωτισμό, είτε γιατί στα άλλα τμήματα δεν υπάρχουν εργαζόμενοι (π.χ. μετά τη λήξη του εργασιακού ωραρίου) είτε γιατί στα άλλα τμήματα υπάρχει επαρκής φυσικός φωτισμός. Γενικά, οι ζώνες που ο φωτισμός τους ελέγχεται από τοπικούς διακόπτες θα πρέπει να έχουν παρόμοια στάθμη φυσικού φωτισμού σε όλη τους την επιφάνεια. Επίσης, θα πρέπει η ομαδοποίηση των φωτιστικών να σχετίζεται με τον τρόπο χρήσης του χώρου. Ως γενική αρχή, οι τοπικοί διακόπτες δε θα πρέπει να απέχουν περισσότερο από 8.00 μ. από το πιο απομακρυσμένο φωτιστικό ή 3 x (ύψος χώρου) μ. [33]

Χρονοπρογραμματισμός

Με αυτό το σύστημα ελέγχου, τα φωτιστικά σώματα σβήνουν από έναν κεντρικό πίνακα, την ίδια ώρα κάθε ημέρα. Τα χρονικά διαστήματα, όπου το σύστημα φωτισμού τίθεται εκτός

λειτουργίας, καθορίζονται ανάλογα με το είδος του χώρου και τις ανάγκες των χρηστών (συνήθως την ώρα των διαλειμμάτων εργασίας και στη λήξη του εργασιακού ωραρίου). Είναι σημαντικό να προβλέπεται στο σύστημα και τοπικός έλεγχος έτσι ώστε να είναι δυνατή η έναυση των φωτιστικών όταν τα χρειάζονται οι χρήστες. Χρονικά σήματα μπορούν να δίνονται από διάφορα συστήματα από απλά ηλεκτρομηχανολογικά έως πολύπλοκους ηλεκτρονικούς διακόπτες. Μπορούν επίσης να δίνονται από το κεντρικό σύστημα ελέγχου του κτιρίου(BMS). Τα χρονικά αυτά σήματα πρέπει να μεταφερθούν μέχρι τα φωτιστικά. Αυτό γίνεται είτε μέσω του ίδιου του ηλεκτρικού δικτύου, ή μέσω ροηφόρου αγωγού (bus) χαμηλής τάσης, συνδεδεμένου με κάθε φωτιστικό ή ομάδα φωτιστικών. [33],[32]

Έλεγχος παρουσίας

Επιτυγχάνεται με αισθητήρες παρουσίας οι οποίοι σβήνουν τα φώτα όταν δεν ανιχνεύσουν κίνηση στο χώρο για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν ανιχνεύσουν κίνηση συνήθως επαναφέρουν τα φώτα σε λειτουργία. Σε μερικές περιπτώσεις (μόνο off-συστήματα) τα φώτα παραμένουν σβηστά. [33]

Οι αισθητήρες παρουσίας μπορεί να είναι:

• ***είτε αυτόνομοι είτε συνδεδεμένοι σε σύστημα ελέγχου*** και μπορούν να τοποθετηθούν σε τοίχο ή σε οροφή. Αυτοί ήταν οι πρώτοι τύποι ανιχνευτών παρουσίας που χρησιμοποιήθηκαν και παραμένουν ιδιαίτερα δημοφιλείς. Η εγκατάστασή τους απαιτεί διάνοιξη της οροφής ή του τοίχου, δεδομένου ότι πρέπει να καλωδιωθούν με το σύστημα ηλεκτρικής παροχής. Αυτό συνεπάγεται σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης όταν η εγκατάσταση γίνεται εκ των υστέρων (στις περιπτώσεις ανακαινίσεων).

• ***είτε να υπάρχουν όλα τα εξαρτήματα στον ίδιο κεντρικό πίνακα – σημείο*** και να μπορούν εύκολα να καλωδιωθούν σε υπάρχοντα κουτιά στο χώρο. Αυτή είναι πιο πρόσφατη τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς χώρους γραφείων, σε περιπτώσεις ανακαίνισης, με αντικατάσταση των κοινών διακοπτών τοίχου. Έχουν περιορισμένη ευελιξία δεδομένου ότι η θέση του πίνακα είναι σταθερή, συνήθως σε ύψος 110 εκ. από τη στάθμη του δαπέδου. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι οι διαχωριστικοί τοίχοι και τα έπιπλα μπορεί να περιορίσουν την εμβέλειά του. Ωστόσο, σε κατάλληλους χώρους (μικρά γραφεία και αίθουσες συνεδριάσεων που έχουν επίτοιχους διακόπτες) οι πίνακες είναι πολύ οικονομικοί δεδομένης της χαμηλής τιμής τους και το κόστος εγκατάστασης είναι σχεδόν αμελητέο. [33]

Φωτ. 3.22.Αισθητήρες παρουσίας -πηγή: http://www.greekarchitects.gr

Η εξοικονόμηση ενέργειας, με την εγκατάσταση ενός αισθητήρα παρουσίας, ποικίλει αναλόγως του μεγέθους του χώρου και του τρόπου χρήσης του χώρου, αλλά συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 35% και 45%. Είναι σημαντικό να έχει προβλεφθεί κάποια χρονική υστέρηση στο σύστημα, καθώς ο χρήστης μπορεί να παραμείνει ακίνητος για μικρά χρονικά διαστήματα ενώ συνεχίζει να βρίσκεται μέσα στο χώρο και δεν επιθυμεί να σβήνουν τα φώτα πριν την έξοδό του από το χώρο. Απαιτείται προσοχή στην επιλογή των ανιχνευτών καθώς ο βαθμός ευαισθησίας τους ποικίλει.

Κριτήριο για την επιλογή ενός συστήματος ελέγχου παρουσίας είναι η χρήση του χώρου. Οι ενδεικνυόμενες εφαρμογές για συστήματα ελέγχου παρουσίας είναι οι χώροι στους οποίους η χρήση είναι διακοπτόμενη ή απρόβλεπτη, π.χ. χώροι φωτοτυπικών, αποθήκες, υπηρεσιακοί διάδρομοι.

Στους αισθητήρες παρουσίας δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται λαμπτήρες εκκένωσης μεγάλης έντασης (εκτός ειδικών περιπτώσεων), καθώς οι λαμπτήρες αυτοί απαιτούν κάποιο χρόνο έως την πλήρη έναυσή τους και επομένως αρκετά λεπτά για να επανέλθουν σε πλήρη λειτουργία.[33]

<u>Σύζευξη με το φυσικό φωτισμό</u>

Ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου λειτουργεί με φωτοκύτταρο το οποίο τοποθετείται είτε εξωτερικά είτε σε θέση που να βλέπει έξω από το παράθυρο, ώστε να δέχεται μόνο φυσικό φως. Μπορεί να τοποθετηθεί και μέσα στο χώρο ώστε να μετρά το συνολικό φωτισμό (φυσικό και τεχνητό). Σε αυτήν την περίπτωση ένας φωτοηλεκτρικός αισθητήρας μπορεί να ελέγχει ομάδα φωτιστικών ή να είναι τοποθετημένος σε μεμονωμένο φωτιστικό και να ελέγχει μόνο αυτό. [33]

Τα πιο κοινά συστήματα σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού είναι:

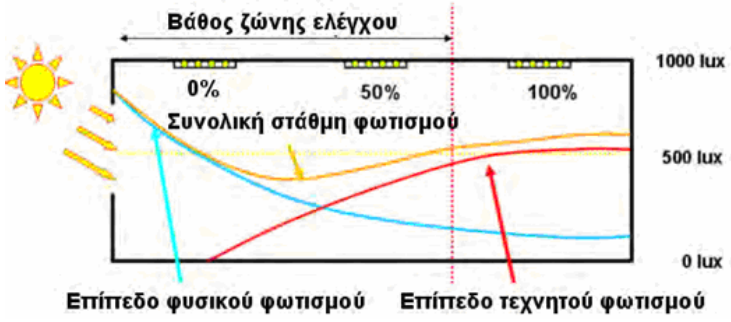
• **Συστήματα έναυσης / σβέσης**: ένα τέτοιο σύστημα το οποίο προκαλεί ξαφνικές και έντονες αλλαγές της στάθμης φωτισμού μπορεί να προκαλεί δυσαρέσκεια στους χρήστες. Αυτός ο τύπος ενδείκνυται για χώρους που δέχονται άπλετο φυσικό φως και η συχνότητα έναυσης / σβέσης είναι περιορισμένη. Επίσης, είναι σημαντικό να προβλέπεται χρονική υστέρηση στο σύστημα ελέγχου ώστε να αποφεύγεται επαναλαμβανόμενη συχνή έναυση / σβέση, που μπορεί να προκαλείται π.χ. από κινούμενη νέφωση.

• **Βηματικά συστήματα**: είναι ίδια με τα προηγούμενα αλλά με μία ή δύο ενδιάμεσες θέσεις μεταξύ των θέσεων έναυσης και σβέσης.

• **Συστήματα ρύθμισης φωτεινής ροής(dimming)**: Αυτά εξασφαλίζουν(μέσω ρυθμιστή φωτισμού - dimmer) ότι η συνολική ποσότητα φυσικού και τεχνητού φωτισμού (ένταση φωτισμού) φτάνει πάντοτε τη στάθμη στην οποία έχει ρυθμιστεί το σύστημα. Εάν η απαιτούμενη στάθμη εξασφαλίζεται μόνο με φυσικό φως τότε η ροή του τεχνητού συστήματος μηδενίζεται. Σε αντίθεση με το σύστημα έναυσης / σβέσης, το σύστημα ελέγχου φωτεινής ροής δεν ενοχλεί τους χρήστες και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας είναι μεγαλύτερη. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών στραγγαλιστικών διατάξεων επέτρεψε τη χρήση των συστημάτων αυτών και στο φωτισμό φθορισμού, ιδιαίτερα σε εμπορικούς χώρους.

Σχήμα 3.16. Ρύθμιση έντασης τεχνητού φωτισμού στο επιθυμητό επίπεδο μέσω ρυθμιστή φωτός (dimmer) - πηγή: http://www.cres.gr-Αρχή λειτουργίας συστημάτων εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού-πηγή: http://library.tee.gr

Γενικά, εάν ο φυσικός φωτισμός είναι επαρκής, ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις φωτισμού για μεγάλο διάστημα της ημέρας, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Έρευνες έχουν δείξει ότι η πιθανότητα έναυσης του τεχνητού συστήματος, από τους εργαζόμενους όταν εισέρχονται στο χώρο εργασίας, έχει άμεση σχέση με την παροχή φυσικού φωτισμού και επίσης όταν οι χρήστες ανάψουν το τεχνητό σύστημα κατά την είσοδό τους στο χώρο, σπανίως το σβήνουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. [33]



Σχήμα 3.17. Εξοικονόμηση ενέργειας εκμεταλλευόμενοι το φυσικό φως-πηγή: http://library.tee.gr

Από τεχνική άποψη, το σύστημα ελέγχου της ρύθμισης της φωτεινής ροής είναι ένα κύκλωμα (control circuit) είτε χαμηλής είτε υψηλής τάσης. Ένα τέτοιο σύστημα περιέχει ένα φωτοαισθητήρα (εάν είναι χαμηλής τάσης) που ανάλογα με το φωτισμό που δέχεται δίνει εντολή στο στραγγαλιστικό πηνίο(ballast) να κάνει τη σχετική ρύθμιση φωτός(dimming). Η μέθοδος με την οποία το ballast επιτυγχάνει το dimming είναι είτε η αναλογική είτε η ψηφιακή. Η πιο γνωστή ψηφιακή μέθοδος είναι το σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface)(αναλύεται στην παράγραφο *Πρωτόκολλο Dali και το μέλλον των ψηφιακών συστημάτων ελέγχου*).

Η τοποθέτηση αισθητήρων φωτισμού σε κάθε διακριτό χώρο εργασίας είναι η πιο απλή λύση για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού. Το σύστημα αυτό είναι τοπικού χαρακτήρα και δε συνδυάζεται ούτε επικοινωνεί με αντίστοιχα συστήματα εγκατεστημένα σε άλλους χώρους. Δεν προϋποθέτει δηλαδή την ύπαρξη συστήματος κεντρικής διαχείρισης κτιρίου (BMS). Επισημαίνεται ότι είναι απαραίτητο τα υφιστάμενα φωτιστικά να λειτουργούν με ηλεκτρονικά ballast. [32]

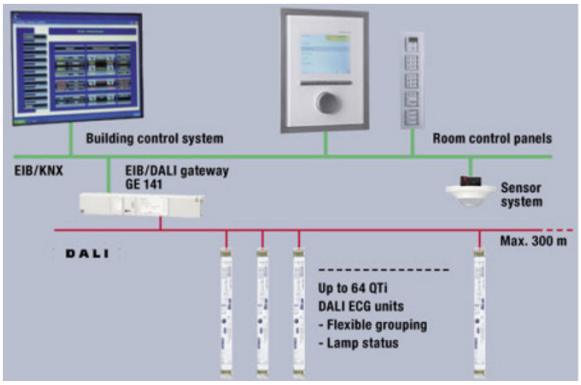
Το κριτήριο για την επιλογή συστήματος σύζευξης φυσικού/τεχνητού φωτισμού είναι η διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού στο χώρο. Ενδεικνυόμενες εφαρμογές για συστήματα σύζευξης είναι οι χώροι με άπλετο φυσικό φως. [33]

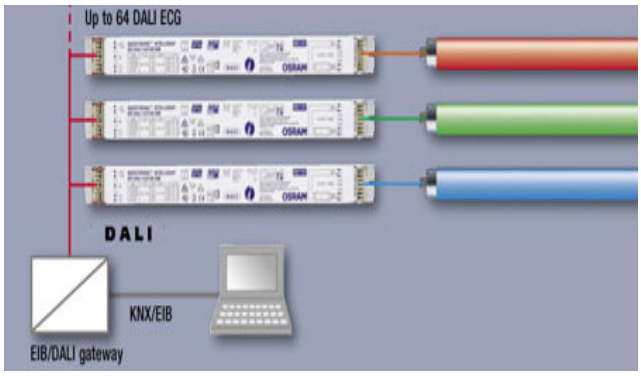
Πρωτόκολλο Dali και το μέλλον των ψηφιακών συστημάτων ελέγχου

Τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιαστεί ένα νέο ψηφιακό πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος ελέγχου και του ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης που είναι γνωστό ως DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί μια από κοινού προσπάθεια των μεγαλύτερων κατασκευαστών ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης να δημιουργήσουν ένα κοινό πρότυπο επικοινωνίας και για το λόγο αυτό το DALI

περιλαμβάνεται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο για τα συστήματα ελέγχου EN 60929 στο παράρτημα Ε4.

Το DALI αποτελεί μια απλή σε τοποθέτηση, λειτουργία και σχεδιασμό λύση για έξυπνη διαχείριση του φωτισμού ενός χώρου. Αποτελεί μια νέα μέθοδο ελέγχου των ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης μέσω ενός ψηφιακού σήματος ελέγχου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε απαιτείται ο έλεγχος λαμπτήρων φθορισμού δηλαδή από το μικρότερο χώρο γραφείου έως τη μεγαλύτερη αίθουσα ενός ξενοδοχείου. Τα κύρια χαρακτηριστικά των συμβατών με το πρωτόκολλο επικοινωνίας DALI ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης είναι ότι μπορεί να δεχτεί μεμονωμένα εντολές σε ψηφιακή μορφή, γεγονός που εξασφαλίζει την απουσία οποιασδήποτε παρεμβολής, ότι μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια ομαδοποιήσεις καθώς και ότι μπορεί να αποθηκεύσει τα επίπεδα φωτισμού για διαφορετικές σκηνές φωτισμού ακόμα και να τίθεται εντός και εκτός λειτουργίας ψηφιακά χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ρελέ. Κάθε ηλεκτρονικό επίσης μπορεί να στέλνει σήματα επιστροφής για τη θέση του και για το εάν ο λαμπτήρας είναι εντός / εκτός λειτουργίας, για την πραγματική ένταση του φωτισμού, για πρόβλημα στο λαμπτήρα καθώς και για άλλες ειδικές ρυθμίσεις. [37]





Συστήματα ελέγχου φωτισμού-Ενεργειακό όφελος

Η εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων ελέγχου του φωτισμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Σε κτίρια γραφείων η κατανάλωση ενέργειας, στατιστικά, μπορεί να μειωθεί κατά 30% έως 50%. Η απόσβεση του κόστους εφαρμογής μπορεί συχνά να επιτευχθεί σε 2-3 έτη.

Τόσο η αυτόματη, όσο και η χειροκίνητη έναυση και σβέση των λαμπτήρων έχει επιπτώσεις στο χρόνο ζωής των λαμπτήρων. Εντούτοις, αυτή η επίδραση είναι ελάχιστη, ενώ το

ενεργειακό όφελος από το σβήσιμο των λαμπτήρων καλύπτει το κόστος μείωσης του χρόνου ζωής τους. Υπό την προϋπόθεση ότι οι λαμπτήρες πρόκειται να παραμένουν σβηστοί για χρονικό διάστημα περισσότερο των δύο ή τριών λεπτών, είναι πάντα οικονομικά αποδοτικότερο να σβήνουν.[33]

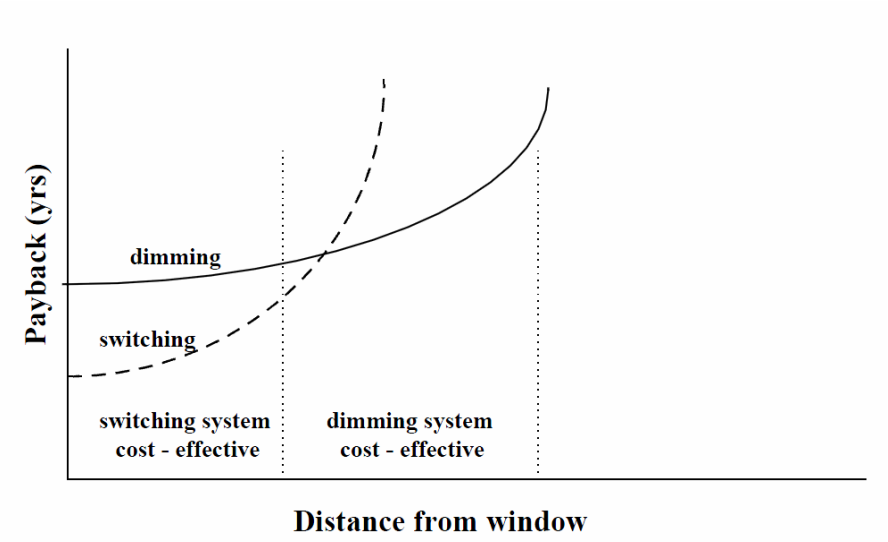
Η χρήση dimmer για πολλά χρόνια ήταν συνυφασμένη με τη δημιουργία κατάλληλης ατμόσφαιρας μέσω του φωτισμού χωρίς όμως αυτό να συνοδεύεται από εξοικονόμηση ενέργειας αφού οι κοινοί ροοστάτες επέτρεπαν σε ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος να φτάσει στους λαμπτήρες καταναλώνοντας την υπόλοιπη σαν θερμότητα πάνω στην αντίσταση που περιείχαν.

Την τελευταία δεκαετία με την πρόοδο της τεχνολογίας οι κοινοί ροοστάτες έχουν αντικατασταθεί από σύγχρονα dimmers που με τη χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων παρέχουν παράλληλα με τη ρύθμιση της έντασης φωτισμού, σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι η χρήση καλής ποιότητας dimmer στο φωτισμό αυξάνει κατά πολύ τη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων, κάτι που μειώνει τόσο το κόστος συντήρησης που αφορά το φωτισμό, όσο και τη ρύπανση του περιβάλλοντος από τους χρησιμοποιημένους λαμπτήρες που καταλήγουν σε αυτό.

Από μελέτες της αμερικανικής εταιρείας LUTRON έχει υπολογιστεί η παρακάτω αντιστοιχία ανάμεσα στη μείωση της έντασης των λαμπτήρων πυρακτώσεως με τη χρήση ψηφιακών ρυθμιστών φωτός-dimmers, την εξοικονόμηση ενέργειας και την αύξηση στη διάρκεια ζωής τους:

Μείωση ποσοστού έντασης	Μείωση κατανάλωσης	Διάρκεια ζωής λαμπτήρων
10%	10%	2 φορές μεγαλύτερη
25%	20%	4 φορές μεγαλύτερη
50%	40%	20 φορές μεγαλύτερη
75%	60%	> 20 φορές μεγαλύτερη

Έρευνα της ίδιας εταιρείας έχει δείξει ότι με τη χρήση ενός και μόνο ρυθμιστή φωτός-dimmer σε κάθε οικία των ΗΠΑ, θα εξοικονομείται κόστος ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 230.000.000 δολαρίων ετησίως. Επιπλέον, κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα(CO_2) κατά 1.950 εκατομμύρια τόνους κάθε χρόνο, κάτι που ισοδυναμεί με τη ρύπανση που προκαλούν 370.000 αυτοκίνητα. [35]



Σχήμα 3.18: Αποπληρωμή συστημάτων ρύθμισης και έναυση-σβέση συναρτήσει της απόστασης του φωτιστικού από το παράθυρο

Συστήματα ελέγχου φωτισμού -στρατηγικές

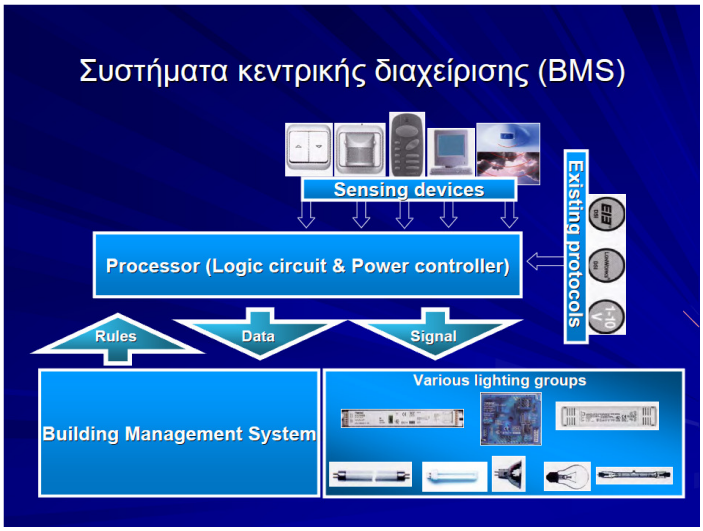
Στα συστήματα ελέγχου φωτισμού μπορούν να συνδυαστούν διάφορες στρατηγικές. Για παράδειγμα, επιτυχείς εγκαταστάσεις για διαδρόμους γραφείων ή ξενοδοχείων μπορεί να συνδυάσουν α) κεντρικό χρονικό προγραμματισμό έναυσης/σβέσης των φωτιστικών, β) σβήσιμο των φωτιστικών σωμάτων κατά τη διάρκεια του μεσημεριανού γεύματος έτσι ώστε να μειωθεί η κατανάλωση, γ) σύζευξη με το φυσικό φωτισμό στα φωτιστικά σώματα κοντά στα παράθυρα και δ) τοποθέτηση τοπικών διακοπτών, έτσι ώστε μόνο οι χώροι που χρησιμοποιούνται εκείνη τη χρονική διάρκεια να είναι φωτισμένοι. Οι ανιχνευτές παρουσίας που εγκαθίστανται σε κάθε φωτιστικό μπορούν επίσης να περιλάβουν αισθητήρες φυσικού φωτισμού. Αυτός ο τύπος ολοκληρωμένου συστήματος ελέγχου μπορεί να λύσει το πρόβλημα που δημιουργείται σε χώρους ιδιόμορφου σχήματος ή όπου η σύνδεση με άλλο σύστημα ελέγχου είναι δύσκολη.

Οι μόνιμοι χρήστες ενός χώρου πρέπει να είναι ενήμεροι για την ύπαρξη του συστήματος ελέγχου φωτισμού, τον τρόπο λειτουργίας του και πώς μπορούν να αλληλεπιδράσουν με αυτό. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις ανακαινίσεις εγκαταστάσεων, όπου μπορεί να παρουσιαστεί αντίδραση στην εγκατάσταση των συστημάτων ελέγχου φωτισμού εάν οι χρήστες του κτιρίου δεν ενημερωθούν πλήρως για το νέο σύστημα.[33]

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ (Building Management Systems -BMS)

Τα συστήματα κεντρικής διαχείρισης κτιρίων (BMS) συνιστούν ολοκληρωμένη λύση για την εποπτεία της λειτουργίας των κτιρίων, τον έλεγχο των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων (και όχι μόνο) και τη διαχείρισή τους. Η ορθολογική χρήση ενέργειας είναι μια μόνο από τις παραμέτρους που επηρεάζεται από την ύπαρξη αυτών των συστημάτων και η συνεπαγόμενη εξοικονόμηση ενέργειας ένα μόνο από τα πλεονεκτήματα της λειτουργίας τους. Η ανάλυση των χαρακτηριστικών ενός τέτοιου συστήματος εκφεύγει του αντικειμένου του παρόντος. Αναφέρεται μόνον ότι όλες οι λειτουργίες των αυτοματισμών που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.6.7(Εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου)μπορούν να εκτελεστούν από ένα στοιχειωδώς απλό BMS. Επιπλέον δε, οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες δεν αντιμετωπίζονται αυτόνομα και τοπικά σε κάθε διακριτό χώρο αλλά ενσωματώνονται στο ολοκληρωμένο σύστημα του κτιρίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διασύνδεση των αυτοματισμών και την αλληλοεπίδραση των διακριτών λειτουργιών.

Τα BMS εξοικονομούν ενέργεια στη θέρμανση και ψύξη των κτιρίων, στο φωτισμό αλλά και σε άλλες καταναλώσεις (ζεστό νερό χρήσης, αρδεύσεις, ανελκυστήρες κ.λπ.). Έχει διαπιστωθεί με μετρήσεις εξειδικευμένων φορέων ότι η εγκατάσταση συστήματος κεντρικής διαχείρισης επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό από 10% έως 35% ανάλογα με το είδος της χρήσης του κτιρίου.



Το κόστος εγκατάστασης συστήματος κεντρικής διαχείρισης είναι αρκετά υψηλότερο από το αντίστοιχο μιας συμβατικής εγκατάστασης. Όμως, η εφαρμογή του σε σύγχρονα επαγγελματικά κτίρια αποσβένει το κόστος της σε λογικό χρονικό διάστημα, καθιστώντας την επένδυση συμφέρουσα. Οπωσδήποτε, για την εγκατάσταση BMS απαιτείται τεχνοοικονομική μελέτη η οποία θα εκτιμήσει το χρόνο απόσβεσης σύμφωνα με τις

λειτουργίες του κτιρίου. Η συνεχιζόμενη διείσδυση των BMS στην κατασκευή κτιρίων και η συνεπαγόμενη αύξηση των πωλήσεων θα μειώσει περαιτέρω το κόστος τους και το χρόνο απόσβεσης.[32]

Επίλογος

Ο τρόπος που ένα κτίριο φωτίζεται, είτε με φυσικό είτε με τεχνητό φωτισμό ή συνήθως με συνδυασμό των δύο (τουλάχιστον για κάποιο διάστημα της ημέρας), έχει σημαντική επίδραση τόσο στην απόδοση όσο και στη διάθεση όσων ζουν και εργάζονται σε αυτό. Η διαπίστωση αυτή, υπογραμμίζει την πρωταρχική σημασία του ανθρώπινου παράγοντα σε κάθε σχεδιασμό φωτισμού. Καθώς όμως ο τεχνητός φωτισμός καταναλώνει αναπόφευκτα σημαντικά ποσά ενέργειας, η παράμετρος της ενεργειακής αποδοτικότητας μιας εγκατάστασης φωτισμού θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Επομένως, κάθε σχεδιασμός φωτισμού θα πρέπει να αξιολογείται όχι μόνο ως προς τη δημιουργία συνθηκών οπτικής άνεσης αλλά και ως προς τον τρόπο που διαχειρίζεται τη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια.[37]

Βιβλιογραφία 3ου Κεφαλαίου

1) Κώστας Μαθιός, Σύμβουλος Φωτισμού του LUCARTE, «Φως και Τεχνητός Φωτισμός, Η 4η Διάσταση του χώρου», Περιοδικό Κατασκευαστής,1997

2) Σαμακίδης Δημήτρης, Παραμετρική ανάλυση της επιρροής των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων του κτιριακού κελύφους στη διαμόρφωση των ενεργειακών αναγκών για φωτισμό με σύζευξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Α.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

3)Ακρίβου Αναστασία, Το φυσικό φως στο μουσείο, Ανάλυση και μελέτη συστήματος φωτισμού σε εκθεσιακό χώρο, Ερευνητικό θέμα, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Σεπτέμβριος 2010, Επιβλέπων: Τσαγκρασούλης Άρης

4)http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/faq/electricity.csp

[5] http://www.dei.gr

[6] Μιμίκος Ιωάννης , «Δυνατότητες Εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας από το φωτισμό κτιρίων», Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Παράτημα Χανίων, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών, Χανιά, 2011, Επιβλέπων Καθηγητής: Τσικαλάκης Αντώνιος

[7]http://www.dei.com.gr/Documents/lathouris12.3.pdf

[8]http://4gym-argyr.att.sch.gr/kef3.pdf

[9]http://www.decobook.gr/texnika-arthra/fotismos/719-2011-10-22-09-34-24

[10]Δράκου Κατερίνα, Σχεδιασμός Συστήματος Φυσικού και Τεχνητού Φωτισμού σε Θάλαμο Νοσηλείας Νοσοκομείων, Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Α. Τσαγκρασούλης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2007-2008

[11] Μάριος Δ. Βαλσαμάκης ,«Φωτισμός Δρόμων και Εξοικονόμηση Ενέργειας», Μεταπτυχιακή Εργασία Σχολή Η.Μ.Μ.Υ Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2008. Επιβλέπων: Τοπαλής Β. Φραγκίσκος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

[12] Γεώργιος Α. Τσιώνος «Εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό δρόμων – Πιλοτική εφαρμογή στο Δήμο Χαλανδρίου», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ Ε.Μ.Π., Τομέας

Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Οκτώβριος 2010. Επιβλέπων: Τοπαλής Β. Φραγκίσκος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

[13]Χαραλαμπίδης Π. Λάζαρος, «Εξοικονόμηση Ενέργειας στο Φωτισμό Κτιρίων: Πιλοτική Εφαρμογή σε Εμπορικό κτίριο», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ Ε.Μ.Π., Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Επιβλέπων: Τοπαλής Β. Φραγκίσκος, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π. ,Αθήνα, Οκτώβριος, 2006

[14]http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/howtochoose/packaging/packaging_el.htm

[15] Οι νέες πληροφορίες στη συσκευασία των λαμπτήρων από το Σεπτέμβριο του 2010 ec.europa.eu/energy/lumen/doc/designers-el.pdf

[16]http://ec.europa.eu/energy/lumen/overview/whatchanges/index_el.htm

[17] Tsangrassoulis A. , Synnefa A, Jacobs A., Wilson M., Solomon J., Fontoynont M., Pohl W., Zimmeremann A. , Synthlight Handbook: European Educational Infrastructure on Energy Efficient Lighting Technologies, Assisted by 3D Environments, 2004

[18]http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_texnitos_fotismos.htm

[19]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_lamptires.htm

[20]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_syskeves_syndesis.htm

[21] http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_topalis.pdf
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Εργαστήριο Φωτοτεχνίας . «Εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων»

[22]http://www.decobook.gr/texnika-arthra/fotismos/436-2010-10-03-19-26-02

[23] Δρ. Κιτσινέλης Σπύρος, Επιστημονικός ερευνητής πάνω σε θέματα ανάπτυξης καινοτόμων και ενεργειακά αποδοτικών πηγών φωτός. «LEDs», http://www.flashlight.gr, Δημοσίευση: 14 Οκτωβρίου 2008

[24]http://www.geyer.gr/cont/led.html

[25]http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/11/1554

[26]http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0889:FIN:EL:HTML

[27]http://www.topten.eu/uploads/File/Deliverables%20Plus/D5/LED%20directional.pdf

[28]Κιτσινέλης Σπύρος, «Οργανικά LEDs » ,http://www.flashlight.gr, Δημοσίευση: 13 Νοεμβρίου 2008

[29]http://www.flashlight.gr , «Τεχνολογία LED»

[30]http://www.flashlight.gr, « Γνωριμία με την τεχνολογία των οπτικών ινών στο φωτισμό» , Δημοσίευση: 15 Φεβρουαρίου 2007

[31]http://www.cie.org.cy

[32] Τοπαλής Β. Φραγκίσκος, «Εξοικονόμηση Ηλεκτρικής Ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων», http://www.technicalreview.gr

[33]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_systymata_elegxou.htm

[34] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_systymata_syntirisi.htm

[35] Βεργίνης Σπύρος, Μελετητής - Ηλεκτρολόγος Μηχανικός FOSS S.A., «Συστήματα Ελέγχου Φυσικού Φωτισμού και Εξοικονόμηση Ενέργειας», http://flashlight.gr

[36] Μπισμπίκη Γεωργία, «Μελέτη Συστημάτων Έναυσης με Ρυθμιζόμενη Στάθμη Φωτισμού (Electronic Dimmable Ballast)» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Ιούλιος 2012 ,Επιβλέπων : Τοπαλής Φραγκίσκος, Καθηγητής ΕΜΠ

[37]http://www.greekarchitects.gr , Κοντορήγας Δ.Θεόδωρος BSc MBA MSc ,Ειδικός Σύμβουλος - Μελετητής Αρχιτεκτονικού Φωτισμού ,Μέλος IALD, PLDA, SLL,« Ενεργειακά υπεύθυνος σχεδιασμός φωτισμού και τεχνολογίες»

[38]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos.htm

[39]Μπανάκα Κ. Στεφανία, «Ενεργειακή επιθεώρηση και πρόταση εξοικονόμησης ενέργειας στο σύστημα φωτισμού του κτηρίου Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.– Πτέρυγες Β, Δ.» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Νοέμβριος 2011, Επιβλέπων Καθηγητής : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π. ,Επιβλέπων : Λάμπρος Θ. Δούλος, Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

[40] Λαμπροπούλου Ελένη, «Φωτισμός Κτιρίων και Εξοικονόμηση Ενέργειας», ΚΑΠΕ, http://library.tee.gr/digital/books_notee/book_60568/book_60568_labropoulou.pdf

[41]http://www.erco.com

[42]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_sxediasmos.htm

[43]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_axiopoiisi.htm

[44]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_fotistika.htm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ DIALUX

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ DIALUX

4.1ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

4.1.1 Εισαγωγή

Η συνεχής εξέλιξη και ενοποίηση των δυνατοτήτων των ψηφιακών προγραμμάτων γραμμικής σχεδίασης (CAD), φωτορεαλιστικής απεικόνισης (photorealistic imaging), εικονικής πραγματικότητας και του διαδικτύου, προσφέρουν σήμερα νέες ευκαιρίες σε αρχιτέκτονες και μελετητές φωτισμού για τη δημιουργία εικόνων που με εξαιρετική ακρίβεια προσομοιώνουν τις συνθήκες φυσικού και τεχνητού φωτισμού στο σχεδιαζόμενο χώρο.[1]

Τα προγράμματα υπολογισμού των επιπέδων φωτισμού αποτελούν εξαιρετικά εργαλεία που η σύγχρονη τεχνολογία των υπολογιστών προσφέρει στους αρχιτέκτονες και μελετητές φωτισμού για την υποστήριξη της διαδικασίας σχεδιασμού αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να την αντικαταστήσουν. Η χρησιμοποίηση κάποιου προγράμματος υπολογιστή είναι ένα μόνο μικρό μέρος μιας ολοκληρωμένης μελέτης αρχιτεκτονικού φωτισμού.

Ο φωτορεαλισμός , δηλαδή η ρεαλιστική απεικόνιση αντικειμένων και χώρων που σχεδιάζονται στον υπολογιστή, βοηθάει στη δημιουργία ασφαλών προβλέψεων για την τελική εικόνα ενός χώρου, στην αποτελεσματική σύγκριση εναλλακτικών προτάσεων, στον καθορισμό ακριβών φυσικών διαστάσεων και κυρίως στη μετατροπή της πληροφορίας σε εικόνα. Βεβαίως κανένα φωτορεαλιστικό πρόγραμμα υπολογιστή δεν μπορεί να αναπαράγει με ακρίβεια την οπτική εμπειρία του να βρίσκεται κάποιος μέσα σε ένα κτίριο. Επιπλέον, ο ακριβής υπολογισμός των επιπέδων φωτισμού σε ένα χώρο βοηθάει σημαντικά στον ακριβή προσδιορισμό της αναγκαίας ποσότητας φωτιστικών για την επίτευξη ενός δεδομένου επιπέδου φωτισμού κάτι που είναι εξαιρετικά χρήσιμο από άποψη αποτελεσματικότερης και κυρίως ορθότερης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.[1]

4.1.2Προγράμματα υπολογισμών επιπέδων φωτισμού

Τα προγράμματα υπολογισμού των επιπέδων φωτισμού για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους έχουν εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Είναι σαφώς πιο εύκολα στη χρήση και ταχύτερα στην παραγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων για τα επίπεδα φωτισμού επιφανείας [φωτισμός(illuminance) σε lux και φωτεινότητας(luminance) σε cd/m^2]σε ένα εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο με δυνατότητα δημιουργίας σχετικά απλοϊκών τρισδιάστατων απεικονίσεων των αποτελεσμάτων του φωτισμού. Οι εικόνες αυτές είναι φωτομετρικά ορθές καθώς για τη δημιουργία τους χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα φωτιστικά με συγκεκριμένους τύπους λαμπτήρων. Αρχικά τα προγράμματα αυτά εξελίχτηκαν από τους μεγαλύτερους

κατασκευαστές φωτιστικών διεθνώς με σκοπό να βοηθήσουν τους μελετητές στον ορθό σχεδιασμό του φωτισμού ενός εσωτερικού χώρου. Τα προγράμματα αυτά είναι αρκετά απλά στη χρήση τους αλλά συνήθως περιορίζονται στη χρησιμοποίηση των φωτιστικών της κατασκευάστριας εταιρείας. Τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί προγράμματα από ανεξάρτητες εταιρείες όπως το Dialux, το Relux, το Litestar στην Ευρώπη και το Lumen Micro και AGI 32 στις Ηνωμένες Πολιτείες, που είναι τεχνολογικά πολύ πιο εξελιγμένα, προσφέρουν δυνατότητες εισαγωγής φωτομετρικών στοιχείων από μεγάλο αριθμό εταιρειών, κάνουν υπολογισμούς για τα επίπεδα του φυσικού φωτός και προσφέρουν ολοένα και πιο ικανοποιητικές τρισδιάστατες απεικονίσεις με δυνατότητα περιήγησης στο χώρο.[1]

Από την αναφορά των προγραμμάτων υπολογισμού φωτισμού δεν μπορεί ασφαλώς να παραληφθεί το Radiance το οποίο εκπληρώνει τον «παραδοσιακό» ρόλο προγραμμάτων αυτού του είδους, αλλά προσφέρει επιπλέον προσομοιώσεις φωτισμού με ακρίβεια και προχωρημένα μοντέλα σχετικά με την αντανάκλαση πάνω σε επιφάνειες, καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό επιτυχώς θέματα σχετιζόμενα με αλλεπάλληλες ανακλάσεις(diffuse and specular interrreflection) σε περίπλοκους χώρους. [5]Η δημιουργία και λειτουργία άλλωστε πολλών προγραμμάτων προσομοίωσης φωτισμού έχουν την απαρχή τους στο Radiance.

Η χρήση των παραπάνω προγραμμάτων προσομοίωσης και υπολογισμού του φωτισμού είναι τόσο ευρεία, που έχει οδηγήσει σχεδιαστικά προγράμματα τύπου CAD(Computer Aided Design= σχεδίαση με χρήση/βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή) στο να παρέχουν *εξαγωγή (export to)* των αποτελεσμάτων τους σε μορφή συμβατή με τέτοια προγράμματα και επιπλέον ορισμένα προγράμματα (όπως το AutoCAD και το Ecotect) διαθέτουν και τις αντίστοιχες συνδέσεις(plug in) με τα προγράμματα φωτισμού.

Η χρησιμοποίηση των προγραμμάτων αυτών είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στα αρχικά στάδια σχεδιασμού ενός χώρου όπου διαφορετικές διατάξεις(φυσικού και τεχνητού φωτισμού) και διαφορετικοί τύποι φωτιστικών μπορούν να δοκιμαστούν ως προς το επιδιωκόμενο τελικό αποτέλεσμα. Έτσι διαφορετικές εναλλακτικές προτάσεις μπορούν να αξιολογηθούν γρήγορα και εύκολα με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι αυτό αφορά μόνο τις ποσότητες του φωτισμού σε ένα χώρο και όχι τη συνολικότερη αισθητική εικόνα του χώρου με τον προτεινόμενο φωτισμό. Από άποψη αισθητικής, κάθε διαφορετικός τρόπος για την επίτευξη των επιθυμητών lux δημιουργεί ένα τελείως διαφορετικό περιβάλλον και προφανώς διαφορετικές αντιδράσεις από τους χρηστές του χώρου. Η τελική επιλογή του καταλληλότερου φωτισμού δεν μπορεί να γίνει μόνο με βάση τα αντικειμενικά ποσοτικά κριτήρια όπως δίνονται από ένα πρόγραμμα υπολογιστή αλλά και με βάση τα 'ποιοτικά'

κριτήρια της συνολικής αισθητικής εικόνας ενός χώρου όπως αυτά αξιολογούνται από ένα μελετητή φωτισμού. [1] Από την άλλη πλευρά, όταν δηλαδή δεν έχει ενσωματωθεί μελέτη φωτισμού στην αρχιτεκτονική μελέτη, η πραγματοποίηση προσομοιώσεων σε υπάρχουσα κατάσταση είναι επιθυμητή για την εκτίμηση της συμπεριφοράς υφιστάμενων χώρων.

4.1.3 Παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε στις διενεργούμενες προσομοιώσεις

Στην παρούσα εργασία, για τη μελέτη της επιρροής των διαφανών στοιχείων του κελύφους(θέση και μέγεθος ανοίγματος) και του προσανατολισμού στη διαμόρφωση των επιπέδων φυσικού φωτισμού έγιναν προσομοιώσεις με χρήση του λογισμικού DIALux.
Το λογισμικό DIALux αναπτύχθηκε από την εταιρεία DIAL GmbH. Η πρώτη του έκδοση κυκλοφόρησε το 1994,έχοντας ως στόχο την προώθηση της συνεργασίας στην ανάπτυξη ενός εργαλείου για το φωτισμό, το οποίο συνεχώς θα αναπτύσσεται και θα προσαρμόζεται στις ανάγκες των σχεδιαστών. Στα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγεται η δυνατότητα σύζευξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού, καθώς και η δυνατότητα χρήσης αρχείων CAD.[2]

4.1.4 Η εξέλιξη του χρησιμοποιούμενου λογισμικού

Το DIALux εισήγαγε πολύ νωρίς τη συνεργασία του προγράμματος με τη ναυαρχίδα των σχεδιαστικών το AutoCAD. Στην αρχή σε δύο επίπεδα και στη συνέχεια και σε τρισδιάστατο σε μορφή αρχείου .sat. Από τότε εμπλουτίζει συνεχώς τη φαρέτρα των εργαλείων αποτελώντας πλέον ένα άρτιο πρόγραμμα στο επίπεδο της κατασκευής γεωμετρίας. Επιπλέον, δημιουργήθηκε η δυνατότητα εισαγωγής κάποιων επιπλέον εργαλείων στην κατασκευή γεωμετρίας, που αφορούν την αυτόματη αναπαραγωγή φωτιστικών ή αντικειμένων (aray) σε καθορισμένη διαδρομή, καθώς και σύνθεση αντικειμένων (αφαίρεση όγκων κυρίως, που εξοικονομεί πραγματικά πολύ χρόνο). Φέτος τον Απρίλιο στη Φρανκφούρτη, στη διεθνή έκθεση *Light & Building 2012,* παρουσιάστηκαν οι τελευταίες εξελίξεις του προγράμματος. Το ολοκαίνουριο λογισμικό DIALux evo δείχνει να έχει ενσωματώσει την εμπειρία πολλών ετών και οδηγεί σε επαναπροσδιορισμό των μέχρι σήμερα δεδομένων για τα προγράμματα σχεδιασμού φωτισμού. [3]

Σχήμα 4.1.: Λογότυπο του πακέτου λογισμικού

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΥ

Ο χώρος που μελετάμε είναι ένα δωμάτιο, δύο κλινών. Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν έχουν ως βάση αναφοράς έναν υφιστάμενο χώρο, για τον οποίο είναι δεδομένες όλες σχεδόν οι βασικές παράμετροι που σχετίζονται με τη μελέτη π.χ. οι διαστάσεις του χώρου, οι ώρες λειτουργίας, η ανακλαστικότητα των επιφανειών, η θέση και η γεωμετρία των ανοιγμάτων, οι διατάξεις φωτισμού κ.λ.π.

Στην πραγματικότητα, ο χώρος που μελετάται είναι ένας δίκλινος θάλαμος νοσηλείας. Για τη μελέτη φωτισμού επιλέχθηκε ο χώρος με την εν λόγω χρήση, αφενός λόγω των υψηλής σημασίας αρνητικών επιπτώσεων που δημιουργεί ενδεχόμενη ανεπάρκεια και εν γένει κακή ποιότητα φωτισμού στους θαλάμους νοσηλείας και αφετέρου λόγω των ιδιαίτερα υψηλών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για φωτισμό στα κτίρια υγειονομικής περίθαλψης.

Πιο συγκεκριμένα, ο ανεπαρκής φωτισμός συνδέεται με την κατάθλιψη του ασθενή αλλά και με τα λάθη του προσωπικού στη φαρμακευτική αγωγή. Αντίθετα, το φυσικό φως μπορεί να βελτιώσει την πορεία του ασθενή, να μειώσει την κατάθλιψη , την αναταραχή του ύπνου και να ρυθμίσει τους κιρκάδιους ρυθμούς. Σε μια μελέτη, νοσηλευόμενοι ασθενείς με μονοπολική και διπολική διαταραχή των οποίων τα δωμάτια δεχόντουσαν απευθείας φυσικό φως το πρωί, η νοσηλεία τους ήταν πιο σύντομη σε διάρκεια σε σχέση με ασθενείς τα δωμάτια των οποίων δεν είχαν άμεση πρόσβαση σε φυσικό φως. Από την άποψη της ενεργειακής κατανάλωσης, μια εκτενής έρευνα στα ελληνικά κτίρια έδειξε ότι οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης συνήθως χρειάζονται διπλάσια ποσότητα ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου σε σύγκριση με τα κτίρια γραφείων και ότι τα 3/4 αυτής της ενέργειας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση. Επίσης, καταναλώνουν διπλάσια ενέργεια για φωτισμό ανά τετραγωνικό μέτρο σε σχέση με τα γραφεία.[4]

Όσον αφορά στις διαστάσεις του υπό μελέτη χώρου πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη επιλογή έγινε διότι οι διαστάσεις αυτές αποτελούν τις πραγματικές διαστάσεις δίκλινων θαλάμων που έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν σε νοσηλευτικές μονάδες του Ελλαδικού χώρου και μάλιστα δύο φορές. Αρχικά, στο νοσοκομείο Παπαγεωργίου, και μεταγενέστερα στο Αττικό Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο .

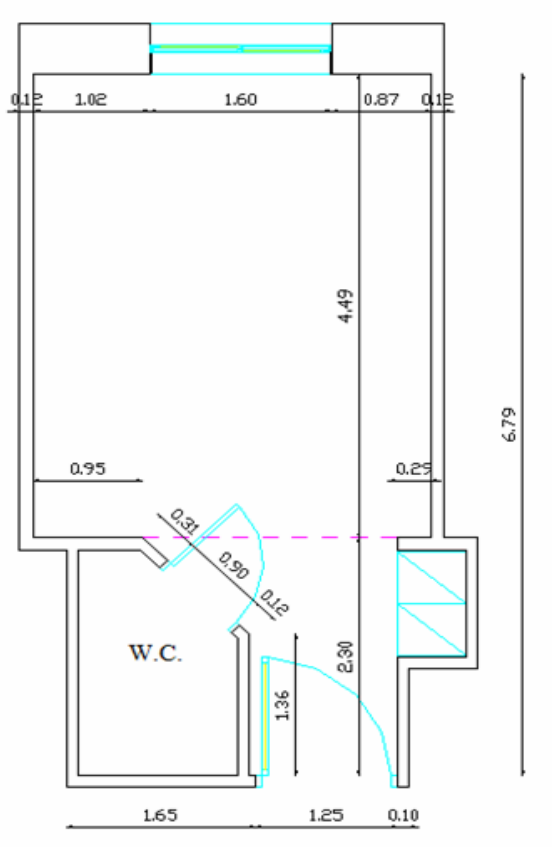
Η «αντιγραφή» ουσιαστικά της κάτοψης και του τρόπου λειτουργίας του πρώτου χώρου υγειονομικής περίθαλψης από το δεύτερο όπως και η επιλογή του συγκεκριμένου δίκλινου για την τρέχουσα μελέτη έγκειται στην επιδίωξη της συνέχισης της εμπειρίας που αποκτάται

από τη μελέτη ενός κτιρίου σε άλλο και ενισχύεται από το γεγονός ότι το νοσοκομείο Παπαγεωργίου αναπτύσσει και ενσωματώνει τις στρατηγικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

4.3.ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ DIALux

4.3.1 Βήματα εισαγωγής των παραμέτρων του υπό μελέτη χώρου στο DIALux

Το σχήμα 4.2 δείχνει το σχέδιο του χώρου προσομοίωσης με τις διαστάσεις του πρότυπου χώρου. Αποτελείται από ένα δωμάτιο με δύο κρεβάτια, δύο κομοδίνα (συρταριέρες) και μία ντουλάπα. Τα άλλα μέρη του δωματίου είναι ο προθάλαμος και το λουτρό. Το τελευταίο δε λαμβάνει φυσικό φωτισμό και δεν επηρεάζει το φωτισμό στον υπόλοιπο χώρο και ως εκ τούτου δε σχεδιάστηκε στη γεωμετρία του χώρου στο DIALux.



Σχήμα 4.2:Κάτοψη του υπό μελέτη χώρου

Για τη διεξαγωγή της μελέτης ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1°) Σχεδιασμός του χώρου, μέσω της εισαγωγής των συντεταγμένων των γωνιών της επιφάνειας και του ύψους του εξεταζόμενου χώρου.

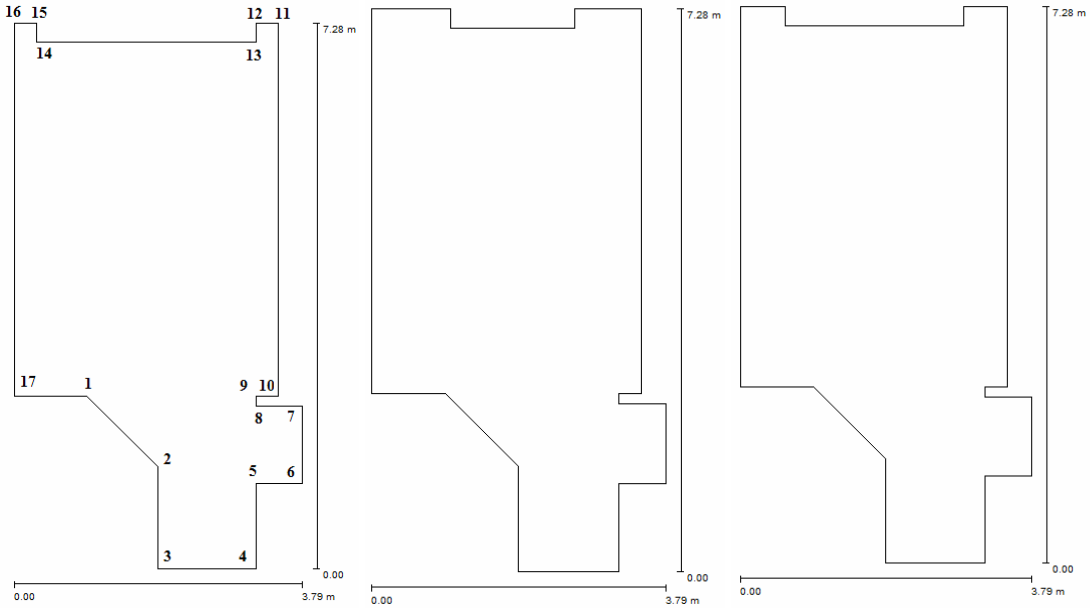
Στην τρέχουσα μελέτη εξετάζονται τρεις ενδεχόμενοι τύποι ανοιγμάτων και κατ' επέκταση κατόψεων, οι συντεταγμένες των γωνιών των οποίων φαίνονται στον πίνακα 4.1.

	X(m)	Y(m)
1	0,950	2,300
2	1,890	1,360
3	1,890	0,000
4	3,190	0,000
5	3,190	1,140
6	3,790	1,140
7	3,790	2,180
8	3,190	2,180
9	3,190	2,300
10	3,480	2,300
11	3,480	7,279
12	3,189	7,279
13	3,189	7,034
14	0,291	7,034
15	0,291	7,279
16	0,000	7,279
17	0,000	2,300

	X(m)	Y(m)
1	0,950	2,300
2	1,890	1,360
3	1,890	0,000
4	3,190	0,000
5	3,190	1,140
6	3,790	1,140
7	3,790	2,180
8	3,190	2,180
9	3,190	2,300
10	3,480	2,300
11	3,480	7,279
12	2,620	7,279
13	2,620	7,034
14	1,020	7,034
15	1,020	7,279
16	0,000	7,279
17	0,000	2,300

	X(m)	Y(m)
1	0,950	2,300
2	1,890	1,360
3	1,890	0,000
4	3,190	0,000
5	3,190	1,140
6	3,790	1,140
7	3,790	2,180
8	3,190	2,180
9	3,190	2,300
10	3,480	2,300
11	3,480	7,279
12	2,909	7,279
13	2,909	7,034
14	0,581	7,034
15	0,581	7,279
16	0,000	7,279
17	0,000	2,300

Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες των γωνιών της επιφάνειας για τις τρία διαφορετικά ανοίγματα που μελετήθηκαν



Σχήμα 4.3. Κάτοψη του υπό μελέτη χώρου με τις εσωτερικές του διαστάσεις για καθεμία από τις τρεις περιπτώσεις ανοιγμάτων

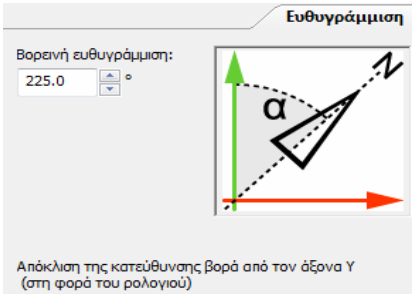
2°)Καθορισμός υλικού και επιλογή υφής

Καθορίζουμε το υλικό(χρώμα, βαθμός ανάκλασης, διαφάνεια, τραχύτητα, φαινόμενο κατοπτρισμού, υλικό) και επιλέγουμε την υφή των τοίχων ,της οροφής και του δαπέδου.

Η ανακλαστικότητα των επιφανειών των τοίχων ορίστηκε 82%, της οροφής 80% και του δαπέδου 40% και για τις τους τρεις χώρους που προσομοιώθηκαν.

3ο)Προσανατολισμός εξεταζόμενου χώρου

Η απόκλιση της κατεύθυνσης του Βορρά από τον άξονα Y(με φορά Σ.Δ.Ω) ορίζεται από το χρήστη. Για παράδειγμα, στη μελέτη αυτή όπου το άνοιγμα έχει σχεδιαστεί σε απόσταση από τον άξονα x ,όπως τον ορίζει το πρόγραμμα, καθορισμός στις 225° σημαίνει ότι ο εξεταζόμενος χώρος (το άνοιγμα) έχει νοτιοανατολικό προσανατολισμό. Σε αντίθετη περίπτωση , αν δηλαδή ο σχεδιασμός του ανοίγματος γινόταν στην ευθεία y=0 (στον άξονα x δηλαδή) ο προσανατολισμός θα ήταν βορειοδυτικός.



Σχήμα 4.4.Καρτέλα προσδιορισμού προσανατολισμού του χώρου

4ο) Εισάγουμε-σχεδιάζουμε τις πόρτες

Στο σημείο αυτό μπορούμε να επιλέξουμε το είδος του ανοίγματος, δηλαδή μία εκ των κάτωθεν επιλογών:

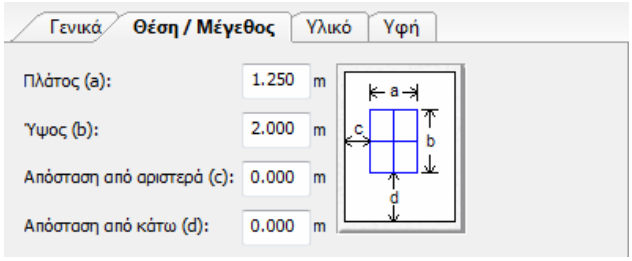
- Δίχως ειδικές πληροφορίες
- Προς τα μέσα, μεντεσέδες αριστερά
- Προς τα μέσα, μεντεσέδες δεξιά
- Προς τα μέσα, διπλό πτερύγιο
- Προς τα έξω, μεντεσέδες αριστερά
- Προς τα έξω, μεντεσέδες δεξιά
- Προς τα έξω, διπλό πτερύγιο
- Σαν περιστρεφόμενη πόρτα

Στα εξεταζόμενα δωμάτια(και στις τρεις περιπτώσεις ανοιγμάτων) επιλέξαμε και για τις δύο πόρτες ***άνοιγμα προς τα μέσα, μεντεσέδες δεξιά.***

Καθορισμός της θέσης/Μεγέθους της πόρτας

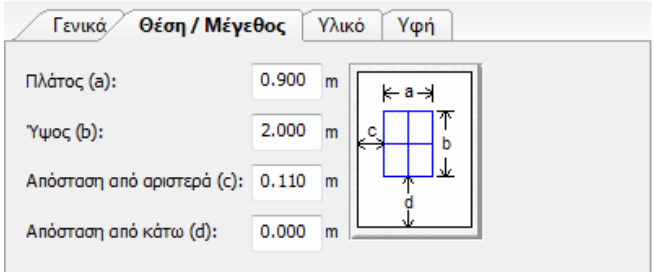
Καθορίζουμε το πλάτος και το ύψος της πόρτας, την απόσταση από αριστερά και την απόσταση από κάτω. Ως απόσταση από αριστερά (c) νοείται η απόσταση του αριστερού άκρου της πόρτας από το αριστερό άκρο του τοίχου, στον οποίο είναι τοποθετημένη. Για την απόσταση αυτή ο καθορισμός αριστερά-δεξιά γίνεται με τη θεώρηση ότι ο παρατηρητής βρίσκεται εσωτερικά του δωματίου. Ως απόσταση από κάτω, νοείται η απόσταση της κάτω ακμής της πόρτας από το δάπεδο.

Για την κεντρική πόρτα του δωματίου επιλέχθηκαν οι τιμές που φαίνονται στο σχήμα 4.5,



Σχήμα 4.5.Καρτέλα θέσης/μεγέθους κεντρικής πόρτας

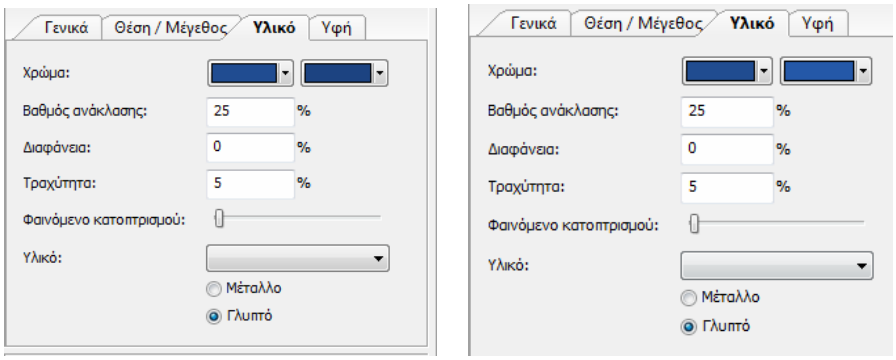
ενώ για την πόρτα του λουτρού(W.C.) οι τιμές που φαίνονται στο σχήμα 4.6



Σχήμα 4.6.Καρτέλα θέσης/μεγέθους πόρτας λουτρού(W.C.)

Επιλογή υλικού πόρτας

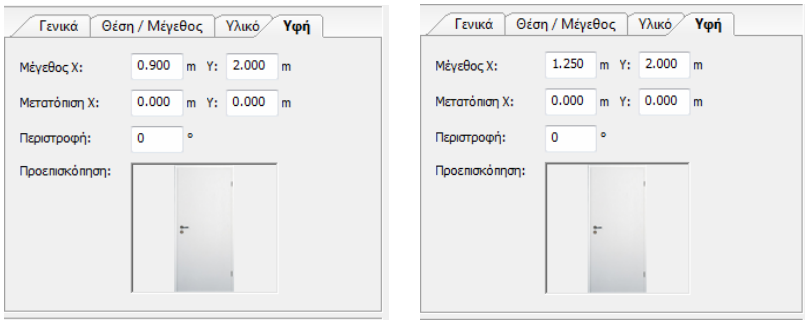
Επιπλέον στην καρτέλα υλικό επιλέγουμε το υλικό ,το χρώμα του υλικού, το βαθμό ανάκλασης, τη διαφάνεια, την τραχύτητα και το βαθμό(από 0 έως 100) του κατοπτρισμού.



Σχήμα 4.7.Καρτέλες υλικού κεντρικής πόρτας και πόρτας τμήματος υγιεινής αντίστοιχα

Επιλογή υφής πόρτας

Η επιλογή των υφών γίνεται από την καρτέλα Χρώματα → Υφές → εσωτερικά → πόρτες. Στην καρτέλα υφή, στην προεπισκόπηση εμφανίζεται η εικόνα της πόρτας που επιλέξαμε.



Σχήμα 4.8 .Καρτέλες με τις ιδιότητες εφαρμογής των επιλεγμένων υφών για τις δύο πόρτες

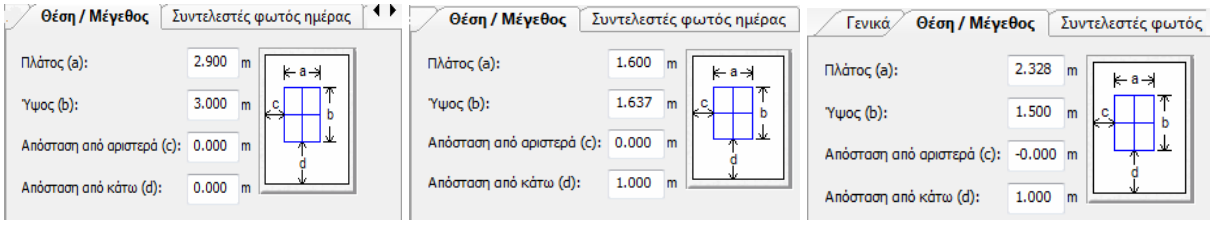
Με την εφαρμογή μιας υφής σε ένα αντικείμενο επηρεάζεται αυτόματα η εικόνα του. Ουσιαστικά δηλαδή, αναιρείται η εφαρμογή του χρώματος που έχει επιλεγεί στο προηγούμενο βήμα για την πλευρά της πόρτας που βρίσκεται εσωτερικά του δωματίου και διατηρείται μόνο εξωτερικά.

5°)Εισαγωγή-σχεδιασμός παραθύρων

Όσον αφορά στα παράθυρα, ακολουθείται παρόμοια διαδικασία για τον καθορισμό τους.

Καθορισμός της θέσης/Μεγέθους του παραθύρου

Καθορίζουμε το πλάτος και το ύψος του παραθύρου, την απόσταση από αριστερά και την απόσταση από κάτω. Ως απόσταση από αριστερά (c) νοείται η απόσταση της αριστερής ακμής του παραθύρου από το αριστερό άκρο του τοίχου, στον οποίο είναι τοποθετημένο το παράθυρο. Για την απόσταση αυτή ο καθορισμός αριστερά-δεξιά γίνεται και πάλι με τη θεώρηση ότι ο παρατηρητής βρίσκεται εσωτερικά του δωματίου. Ως απόσταση από κάτω, νοείται η απόσταση της κάτω ακμής του παραθύρου από το επίπεδο του δαπέδου.



Σχήμα 4.9.Καρτέλα θέσης/μεγέθους παραθύρου για κάθε ένα από τα τρία ανοίγματα

Καθορισμός συντελεστών φωτός ημέρας

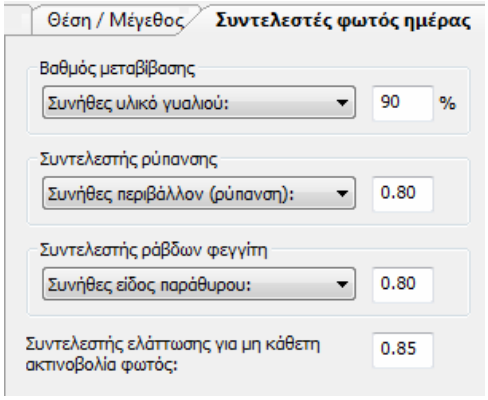
Στην καρτέλα ***Συντελεστές φωτός ημέρας*** καθορίζουμε το βαθμό μεταβίβασης, το συντελεστή ρύπανσης, το συντελεστή ράβδων φεγγίτη και το συντελεστή ελάττωσης για μη κάθετη ακτινοβολία φωτός.
Ο βαθμός μεταβίβασης εξαρτάται από το είδος του γυαλιού που έχει επιλεγεί. Η επιλογή γίνεται από την εξής λίστα:
- Συνήθες υλικό γυαλιού
- Γυαλί παραθύρου
- Οπλισμένο γυαλί
- Γαλακτόχρωμο γυαλί
- Γυαλί ματ
- Ακρυλικό γυαλί (άχρωμο)
- Ακρυλικό γυαλί (λευκό)
- Αντιηλιακό γυαλί

Ο συντελεστής ρύπανσης εξαρτάται από το περιβάλλον- περιοχή στην οποία βρίσκεται ο υπό μελέτη χώρος και διαφοροποιείται ανάλογα με το αν ο χώρος βρίσκεται σε:

-Συνήθες περιβάλλον(ρύπανση)
- Αγροτική περιοχή(ελάχιστα)
- Αγροτική περιοχή(έντονα)
- Περιοχή κατοικιών(ελάχιστα)
- Περιοχή κατοικιών (έντονα)
- Βιομηχανική περιοχή (ελάχιστα)
- Βιομηχανική περιοχή(έντονα)

Ο συντελεστής ράβδων φεγγίτη (ποσοστό πλαισίου ,framing factor k2)καθορίζεται ανάλογα με το είδος του παραθύρου (σύνηθες, ξύλινο, μεταλλικό, φεγγίτης, θόλος) και τη δυνατότητα ή όχι αυτού για άνοιγμα.

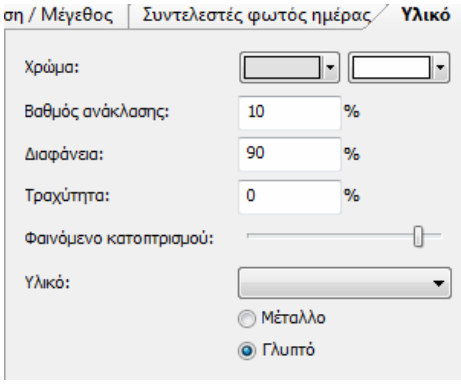
Τέλος , ο συντελεστής ελάττωσης για μη κάθετη ακτινοβολία φωτός (maintenance factor for non vertical light rays) ορίστηκε ίσος με 0,85.



Σχήμα 4.10.Καρτέλα καθορισμού συντελεστών φωτός ημέρας

Καθορισμός υλικού

Επιπλέον, στην καρτέλα **Υλικό** καθορίζουμε το υλικό ,το χρώμα ,το βαθμό ανάκλασης ,τη διαφάνεια, την τραχύτητα και το βαθμό(από 0 έως 100) που εμφανίζεται το φαινόμενο κατοπτρισμού.



*Σχήμα 4.11.*Καρτέλα καθορισμού υλικού παραθύρου

6^{ο}) Τοποθέτηση επίπλων και υποστυλωμάτων

Για τα αντικείμενα του χώρου(κρεβάτια, κομοδίνα, ντουλάπα, ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο άνω των κρεβατιών, υποστυλώματα) καθορίζονται η θέση τους, το μέγεθός τους και για κάθε επιφάνειά τους καθορίζεται το υλικό (χρώμα,Ρο(%) , διαφάνεια, τραχύτητα, φαινόμενο κατοπτρισμού).

Το σχέδιο των θέσεων όλων των αντικειμένων φαίνεται στο σχήμα 4.17.

Τα κρεβάτια έχουν και τα δύο τις εξής διαστάσεις:

Μήκος L = 2.000 m

Πλάτος B = 0.935 m

Ύψος H = 1.000 m

Η θέση της αρχής του αντικειμένου για τα κρεβάτια ορίστηκε ως εξής:

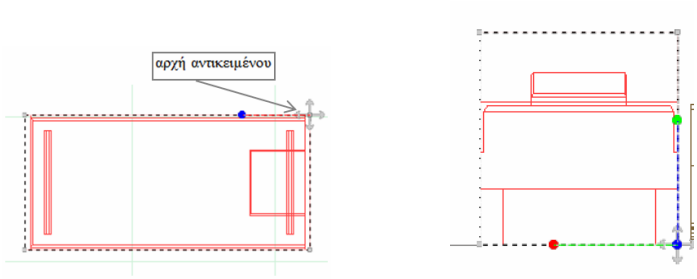
Για το κρεβάτι 1:

X = 3.248 m, Y = 4.250 m και Z = 0.000 m

Και για το κρεβάτι 2:

X= 3.248 m, Y= 6.011 m και Z= 0.000 m

Ως αρχή αντικειμένου και για τα δύο κρεβάτια θεωρείται το σημείο που σημειώνεται στο σχήμα που ακολουθεί και το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο Z =0



Σχήμα 4.12.Αρχή αντικειμένου για τα κρεβάτια(κάτοψη-πίσω άποψη)

Τα κομοδίνα έχουν και τα δύο τις εξής διαστάσεις:

Μήκος L = 0.457 m

Πλάτος B = 0.559 m

Ύψος H = 0.660 m

Ενώ, η θέση της αρχής του αντικειμένου για τα κομοδίνα ορίστηκε ως εξής:

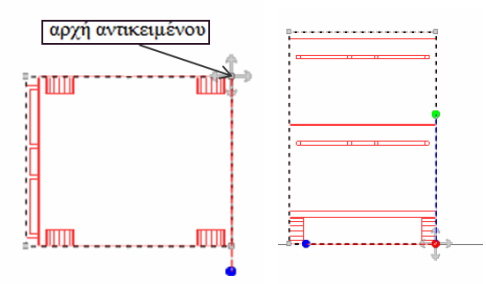
Για το κομοδίνο 1:

X = 3.281 m, Y = 4.784 m και Z = 0.000 m

Και για το κομοδίνο 2:

X= 3.281 m, Y= 6.530 m και Z= 0.000 m

Ως αρχή αντικειμένου και για τα δύο κομοδίνα θεωρείται το σημείο που σημειώνεται στο σχήμα που ακολουθεί και το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο Z =0



Σχήμα 4.13.Αρχή αντικειμένου για τα κομοδίνα(κάτοψη-πρόσοψη)

Οι διαστάσεις της ντουλάπας είναι :

Μήκος L = 1.000 m

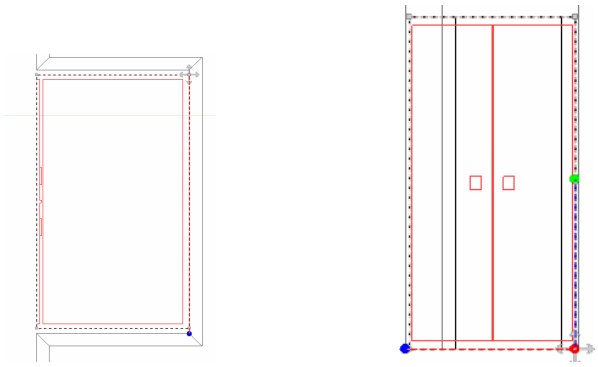
Πλάτος B = 0.600 m

Ύψος H = 2.000 m

Ενώ, η θέση της αρχής του αντικειμένου για την ντουλάπα ορίστηκε ως εξής:

X= 3.790 m, Y= 2.160 m και Z= 0.000 m

Ως αρχή αντικειμένου για την ντουλάπα θεωρείται το σημείο που σημειώνεται στο σχήμα που ακολουθεί και το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο Z =0



Σχήμα 4.14.Αρχή αντικειμένου για την ντουλάπα(κάτοψη-πρόσοψη)

Στο χώρο υπάρχει και ένα επίμηκες ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, το οποίο είναι τοποθετημένο άνω των κρεβατιών. Οι διαστάσεις του είναι:

Μήκος L = 0.100 m

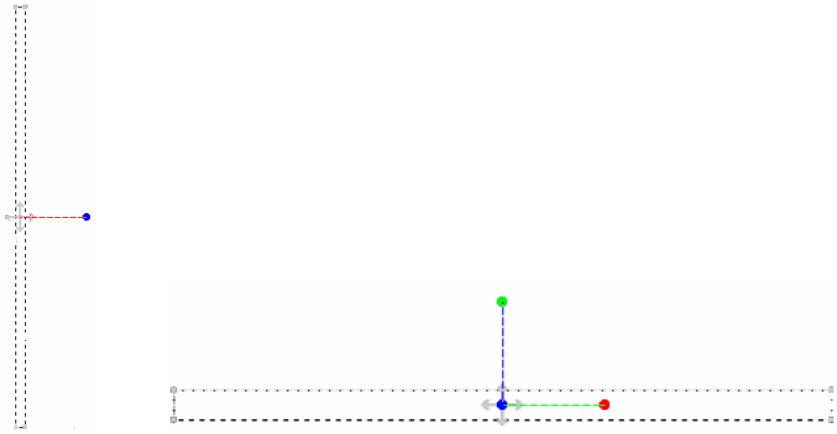
Πλάτος B = 4.490 m

Ύψος H = 0.200 m

Η θέση της αρχής του αντικειμένου για το παραλληλεπίπεδο ορίστηκε ως εξής:

X= 3.430 m, Y= 4.545 m και Z= 1.700 m

Ως αρχή αντικειμένου για το παραλληλεπίπεδο θεωρείται το σημείο που σημειώνεται στο σχήμα που ακολουθεί και το οποίο βρίσκεται σε ύψος Z =0.100 m ως προς την κάτω έδρα του.



Σχήμα 4.15.Αρχή αντικειμένου για το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο(κάτοψη-τομή)

Τέλος, όσον αφορά στις διαστάσεις – θέση των υποστυλωμάτων:

Για την προσομοίωση του πρώτου ανοίγματος και τα δύο υποστυλώματα έχουν

Μήκος L =0,290 m

Πλάτος B = 0,490 m

Ύψος H = 3,499 m

ενώ, η θέση της αρχής του αντικειμένου για τα υποστυλώματα ορίστηκε ως εξής:

για το υποστύλωμα 1:

X = 0,148 m, Y = 7.030 m και Z = 1.750 m

και για το υποστύλωμα 2:

X= 3.337 m, Y= 7.030 m και Z= 1.750 m

Για την προσομοίωση του δεύτερου ανοίγματος το υποστύλωμα 1 έχει

Μήκος L =1,019 m

Πλάτος B = 0,490 m

Ύψος H = 3,499 m

ενώ, το υποστύλωμα 2 έχει

Μήκος L = 0,857 m

Πλάτος B = 0,490 m

Ύψος H = 3,499 m

Και η θέση της αρχής του αντικειμένου για τα υποστυλώματα ορίστηκε ως εξής:

για το υποστύλωμα 1:

X = 0,509 m, Y = 7.030 m και Z = 1.750 m

και για το υποστύλωμα 2:

X= 3.050 m, Y= 7.030 m και Z= 1.750 m

Για την προσομοίωση του τρίτου ανοίγματος το υποστύλωμα 1 έχει

Μήκος L =0,578 m

Πλάτος B = 0,490 m

Ύψος H = 3,499 m

ενώ, το υποστύλωμα 2 έχει

Μήκος L = 0,568 m

Πλάτος B = 0,490 m

Ύψος H = 3,499 m

και η θέση της αρχής του αντικειμένου για τα υποστυλώματα ορίστηκε ως εξής:

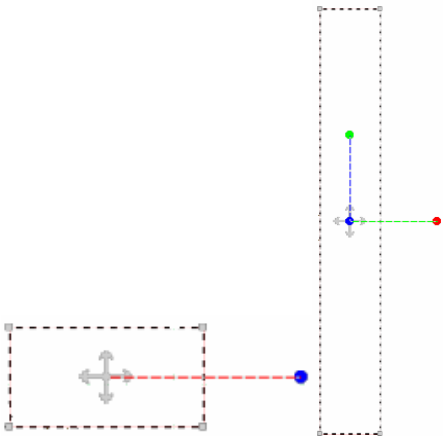
για το υποστύλωμα 1:

X = 0.289 m, Y = 7.030 m και Z = 1.750 m

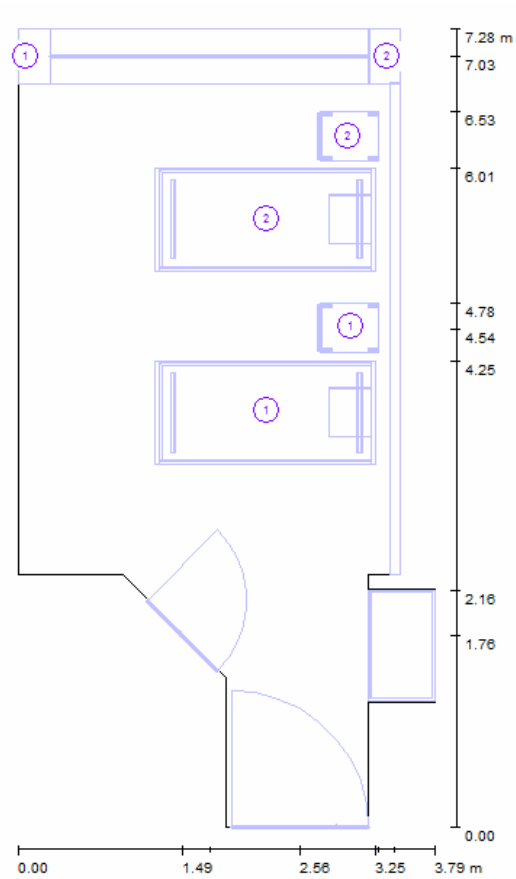
και για το υποστύλωμα 2:

X= 3.195 m, Y= 7.030 m και Z= 1.750 m

Ως αρχή αντικειμένου και για τα δύο υποστυλώματα θεωρείται το σημείο που σημειώνεται στο σχήμα που ακολουθεί και το οποίο βρίσκεται σε ύψος Z =1.7495 m ως προς την κάτω έδρα του.



Σχήμα 4.16.Αρχή αντικειμένου για τα υποστυλώματα(κάτοψη-πλευρική άποψη)



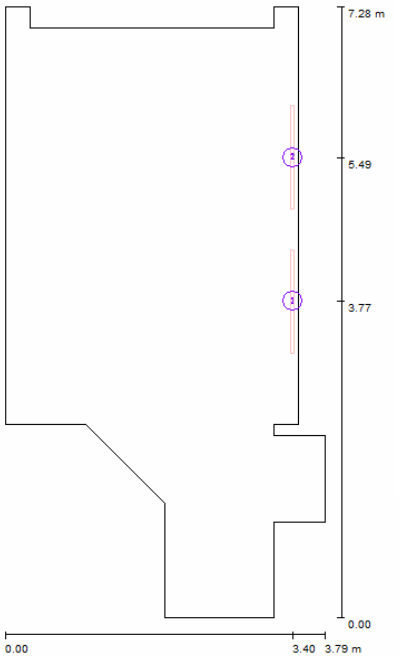
Σχήμα 4.17.Σχέδιο θέσεων αντικειμένων για την πρώτη περίπτωση ανοίγματος. Ίδια ακριβώς είναι η αρίθμηση και στις άλλες δύο περιπτώσεις των χώρων προσομοίωσης

7°) Επιλογή-Εισαγωγή φωτιστικών

Πάνω από κάθε κρεβάτι τοποθετήθηκαν δύο φωτιστικά. Ένα φωτιστικό για προσωπικό φωτισμό που στοχεύει προς τα κάτω και ένα φωτιστικό για γενικό φωτισμό με κύρια κατεύθυνση την οροφή του δωματίου. Ως προσωπικό φωτιστικό επιλέχθηκε το GELIGHTING 43444 NPP 1*36W/16 EB LL, δηλαδή φωτιστικό της εταιρείας GE Lighting με κωδικό προϊόντος 43444 , της σειράς NNP, με 1 λαμπτήρα φθορισμού ισχύος 36 W. Ο αριθμός 16 συνδέεται με τον τύπο των περσίδων του φωτιστικού, ο χαρακτηρισμός EB σημαίνει απαίτηση ηλεκτρονικής στραγγαλιστικής διάταξης (ballast) και ο χαρακτηρισμός LL σημαίνει λαμπτήρες μακράς διάρκειας (Long Last). Για το γενικό φωτισμό επιλέχθηκε το GELIGHTING 43463 NPP 2*58W EB LL,δηλαδή φωτιστικό της εταιρείας GE Lighting με κωδικό προϊόντος 43463 , της σειράς NNP, με 2 λαμπτήρες φθορισμού ισχύος 58 W ο καθένας και οι χαρακτηρισμοί EB LL εξηγούνται ως πριν.

Η επιλογή και χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων φωτιστικών για την παρούσα έρευνα έγινε γνωρίζοντας ότι τα φωτιστικά αυτά χρησιμοποιούνται σε άλλη περίπτωση χώρου υγειονομικής περίθαλψης(Κέντρο Αποκατάστασης Τραυματιών).

Στο σχήμα 4.18 παρουσιάζεται το σχέδιο θέσεων των φωτιστικών του δωματίου και στο σχήμα 4.19 είναι ο κατάλογος των εν λόγω φωτιστικών με τα φωτοτεχνικά χαρακτηριστικά τους, όπως αυτός δίνεται από το DIALux σε συνεργασία με τις κατασκευάστριες κάθε φορά εταιρείες. Τα φωτιστικά και οι θέσεις τους είναι ίδιες και για τις τρεις περιπτώσεις ανοιγμάτων που προσομοιώνονται.

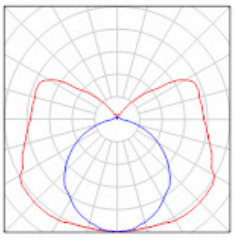


Κατάλογος τεμαχίων φωτιστικών

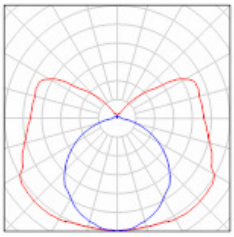
Αρ.	Τεμάχια	Ονομασία
1	2	GELIGHTING 43444 NPP 1 x 36W EB LL
2	2	GELIGHTING 43463 NPP 2x58W EB LL

Σχήμα 4.18.Σχέδιο θέσεων φωτιστικών(η κάτοψη του χώρου είναι για την πρώτη περίπτωση ανοίγματος, ενώ η θέση των φωτιστικών διατηρείται για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις ανοιγμάτων)

2 Τεμάχια GELIGHTING 43444 NPP 1 x 36W EB LL
Αρ. είδους: 43444
Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 3179 lm
Φωτεινή ροή (Λάμπες): 3350 lm
Ισχύς φωτιστικού: 36.0 W
Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 72
Κωδικός ροής CIE: 32 60 83 72 95
Εξοπλισμός: 1 x F36W/T8/830/POLYLUX XLR (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).

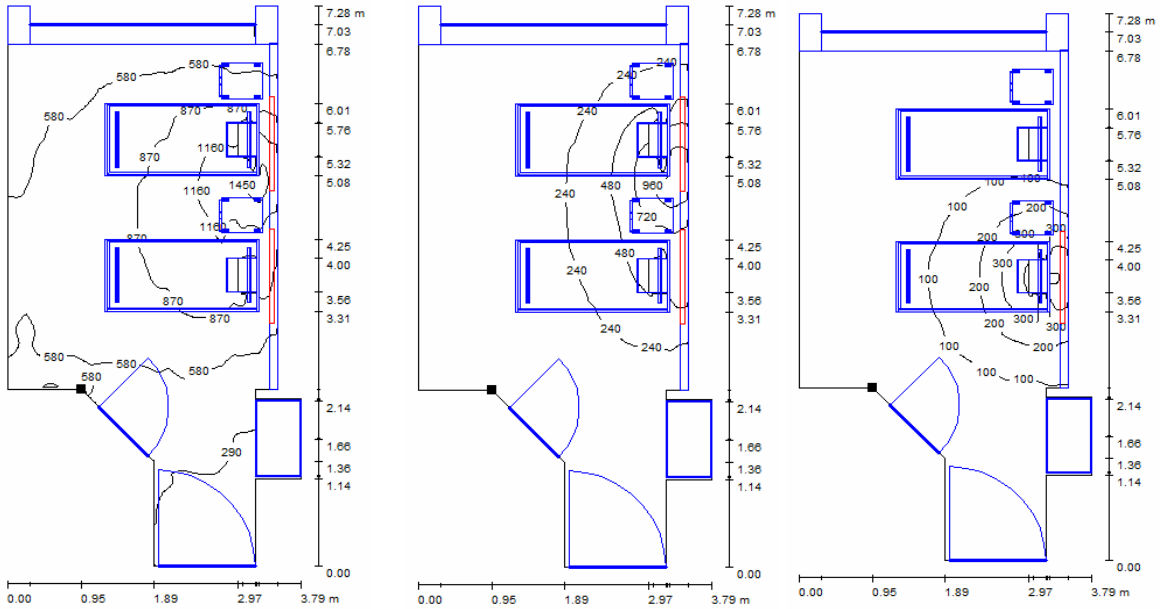


2 Τεμάχια GELIGHTING 43463 NPP 2x58W EB LL
Αρ. είδους: 43463
Φωτεινή ροή (Φωτιστικό): 12715 lm
Φωτεινή ροή (Λάμπες): 6700 lm
Ισχύς φωτιστικού: 116.0 W
Ταξινόμηση φωτιστικών σύμφωνα προς CIE: 72
Κωδικός ροής CIE: 32 60 83 72 190
Εξοπλισμός: 2 x F58W/T8/830/POLYLUX XLR (Συντελεστής διόρθωσης 1.000).

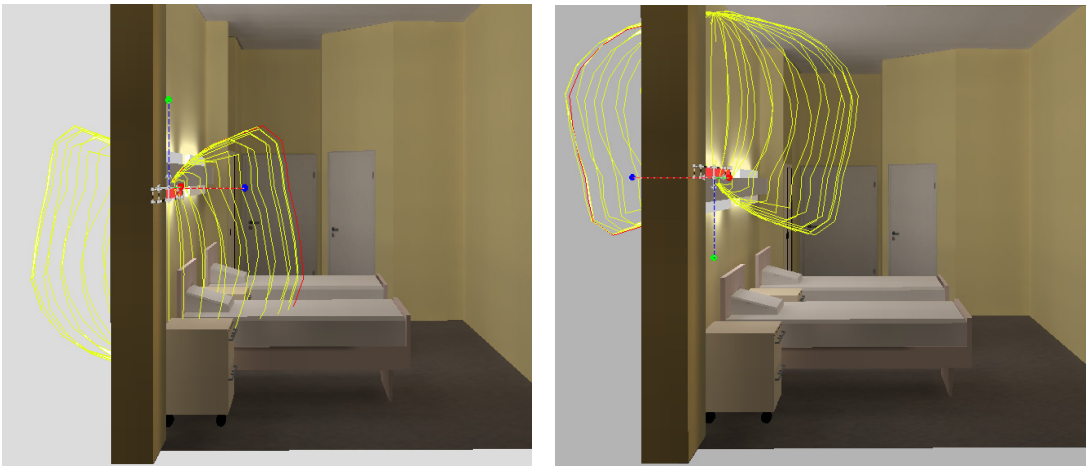


Σχήμα 4.19.Κατάλογος φωτιστικών-Πηγή:DIALux

Στο σχήμα 4.20 φαίνονται οι ισοδύναμες γραμμές φωτισμού στο επίπεδο εργασίας για τρεις περιπτώσεις χρησιμοποίησης των φωτιστικών διατάξεων: α)Λειτουργία όλων των φωτιστικών διατάξεων, β) Λειτουργία μόνο των προσωπικών διατάξεων(στόχευση προς τα κάτω) και των δύο ταυτόχρονα και γ) Λειτουργία μόνο της μίας προσωπικής διάταξης



Σχήμα 4.20: Ισοδύναμες γραμμές φωτισμού στο επίπεδο εργασίας όπου (α)χρήση γενικού και προσωπικού φωτισμού , (β)χρήση μόνο προσωπικού φωτισμού και από τις δύο κλίνες και γ)χρήση μόνο μίας προσωπικής διάταξης



Σχήμα 4.21:Τρισδιάστατη παρουσίαση της κατανομής φωτός αριστερά για τη διάταξη προσωπικού φωτισμού και δεξιά για τη διάταξη γενικού φωτισμού.

Στους πίνακες 4.2 (α) έως 4.2(γ) φαίνονται η μέση τιμή φωτισμού, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή φωτισμού και η αναλογία ελάχιστης και μέσης τιμής φωτισμού στο επίπεδο

εργασίας(αναφοράς), για αυτές τις τρεις περιπτώσεις χρησιμοποίησης των φωτιστικών διατάξεων .

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Επίπεδο εργασίας	/	659	167	1603	0.253
Δάπεδο	40	333	37	648	0.110
Οροφή	80	632	76	1190	0.120
Τοίχοι (17)	82	479	0.00	23247	/

Πίνακας 4.2(α)Λειτουργία όλων των φωτιστικών διατάξεων

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Επίπεδο εργασίας	/	202	30	1189	0.150
Δάπεδο	40	93	8.99	458	0.097
Οροφή	80	84	21	134	0.256
Τοίχοι (17)	82	100	0.00	23017	/

Πίνακας 4.2(β). Λειτουργία μόνο των δύο φωτιστικών διατάξεων που αφορούν στον προσωπικό φωτισμό

Επιφάνεια	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Επίπεδο εργασίας	/	82	16	516	0.195
Δάπεδο	40	41	3.96	182	0.096
Οροφή	80	42	8.88	81	0.213
Τοίχοι (17)	82	47	0.00	4559	/

Πίνακας 4.2(γ). Λειτουργία μόνο της μίας φωτιστικής διάταξης που αφορά στον προσωπικό φωτισμό

Στο σχήμα 4.22 παρουσιάζονται τα προοπτικά σχέδια για τις άνω τρεις περιπτώσεις φωτισμού και στο σχήμα 4.23 είναι το αποτέλεσμα που προκύπτει με τη χρήση της προεπισκόπησης Raytrace(παραγωγή φωτορεαλιστικών εικόνων) για χρησιμοποίηση όλων των φωτιστικών διατάξεων και για την πρώτη από τις τρεις περιπτώσεις ανοίγματος.

Σχήμα 4.22. Προοπτικά σχέδια τριών διαστάσεων φωτεινής σκηνής για τρεις τρόπους χρησιμοποίησης του τεχνητού φωτισμού.

Σχήμα 4.23. Προοπτικό σχέδιο τριών διαστάσεων φωτεινής σκηνής με προεπισκόπηση Raytrace (μέθοδος ιχνηλασίας ακτίνας)για χρήση όλων των φωτιστικών διατάξεων ταυτόχρονα

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την έναρξη μίας μελέτης υπολογισμού φυσικού φωτός, πρέπει να καθορισθεί πρώτα η παγκόσμια θέση. Το DIALux προσφέρει μία μεγάλη λίστα από μέρη σε όλες τις ηπείρους, έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι ήδη συμπληρωμένα για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος όπως και για τη ζώνη ώρας. Άλλα μέρη, που δε βρίσκονται στη λίστα μπορούν να προστεθούν από το χρήστη.

Ως θέση παρατηρητή για τον υπό μελέτη χώρο έχει επιλεγεί η γεωγραφική θέση με γεωγραφικό μήκος 23,70° και γεωγραφικό πλάτος 38,00° που αντιστοιχεί στην Αθήνα. Για τη θέση αυτή, η απόκλιση από την ώρα Γκρίνουιτς ισούται με δύο ώρες.

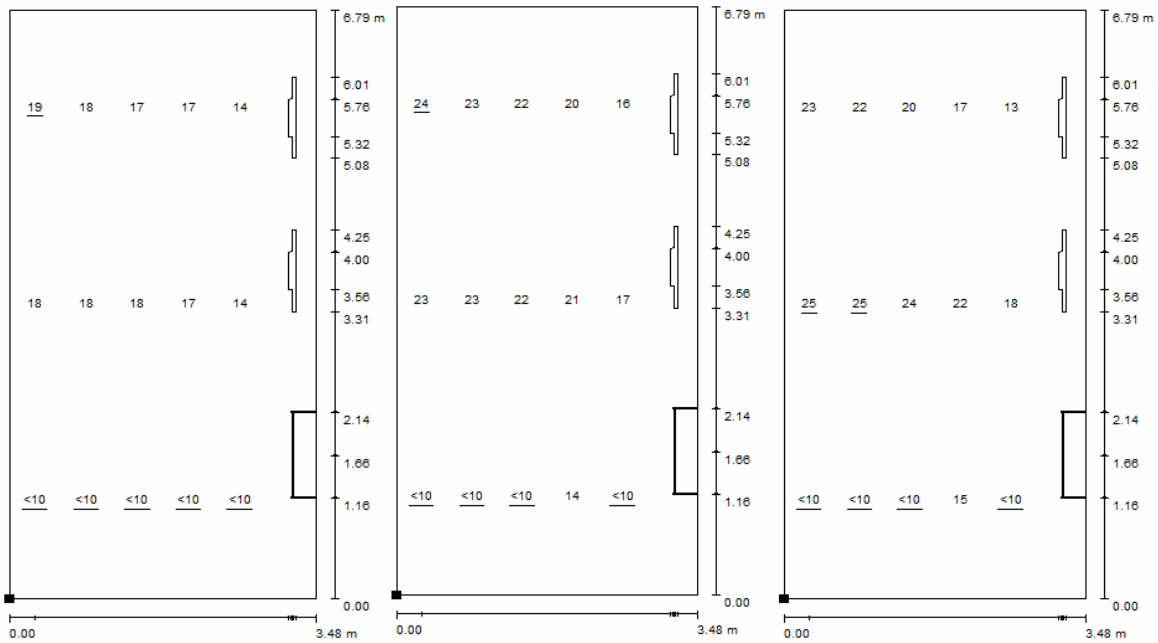
Επιπλέον , το πρόγραμμα DIALux δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού ενός δείκτη θάμβωσης για συνθήκες τεχνητού φωτισμού. Συγκεκριμένα, το εν λόγω λογισμικό έχει υιοθετήσει τη χρήση του δείκτη UGR(Unified Glare Rating), που στην παρούσα χρονική περίοδο χρησιμοποιείται από τις περισσότερες χώρες.

Σημειώνεται ότι ο δείκτης δεν αποτελεί αξιόπιστη παράμετρο εκτίμησης θάμβωσης, όταν οι φωτεινές πηγές είναι μεγάλων ή πολύ μικρών διαστάσεων. Εξαρτάται από τη λαμπρότητα

των φωτιστικών , το μέγεθός τους , τη σχετική θέση τους με την κατεύθυνση παρατήρησης και τέλος από τη λαμπρότητα υποβάθρου.[7]

Ο καθορισμός ανώτατης τιμής για το δείκτη θάμβωσης είναι ανάμεσα στις απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το σύστημα φωτισμού και οι οποίες καθορίζονται στο πρότυπο EN 12464-1.[8] Η απαίτηση για το συγκεκριμένο χώρο που μελετάται είναι UGR ≤ 19.

Από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τρεις ενδεχόμενους τρόπους ενεργοποίησης των φωτιστικών διατάξεων προέκυψαν οι τιμές UGR που φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί. Όπως γίνεται αντιληπτό, από τις τρεις αυτές περιπτώσεις ,ο περιορισμός της θάμβωσης επιτυγχάνεται μόνο όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα όλα τα φωτιστικά σώματα(γενικού και προσωπικού φωτισμού) και επομένως, θα πρέπει να εξεταστούν διαφορετικές φωτιστικές διατάξεις για την κάλυψη των αναγκών σε τεχνητό φωτισμό. Στην παρούσα μελέτη, η οποία στο πρακτικό τμήμα της, πραγματεύεται αποκλειστικά το φυσικό φωτισμό, θα περιοριστούμε απλά στην αναφορά του προβλήματος αυτού και δε θα αναζητηθούν οι κατάλληλες διατάξεις καθώς κάτι τέτοιο εκφεύγει από το βασικό αντικείμενο μελέτης.



Απεικόνιση των τιμών UGR σε διάφορες θέσεις του δωματίου για τις τρεις περιπτώσεις λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων(α)όλα ενεργοποιημένα , (β)2 διατάξεις προσωπικού φωτισμού ενεργοποιημένες και (γ) 1 διάταξη προσωπικού φωτισμού ενεργοποιημένη

4.3.2 Εποπτική θεώρηση του υπό μελέτη χώρου-Μοντέλα προσομοίωσης

Ο υπό μελέτη χώρος όπως φάνηκε και στο 1^{ο} βήμα διατηρεί σταθερές τις περισσότερες από τις διαστάσεις του. Καθ' όλη τη διάρκεια των προσομοιώσεων το ύψος του χώρου και οι περισσότεροι τοίχοι παραμένουν αμετάβλητοι. Εξαίρεση αποτελούν οι τοίχοι που βρίσκονται στην πλευρά του ανοίγματος(βλ. σχήμα 4.3 και πίνακας 4.1). Μία επιπλέον παράμετρος, που αφορά στο χώρο και παραμένει σταθερή είναι εκείνη που συνδέεται με τη συντήρηση και την καθαρότητά του, δηλαδή ο συντελεστής ελάττωσης ή αλλιώς παράγοντας συντήρησης(maintenance factor-MF).

Συντελεστής ελάττωσης	**Παράδειγμα εφαρμογής**
0,67	καθαρός χώρος, 3-ετής κύκλος συντήρησης

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται βασικές ιδιότητες του χώρου που αφορούν στους τοίχους, στην οροφή, στο δάπεδο και στον υαλοπίνακα και οι οποίες διατηρούνται ίδιες σε όλα τα μοντέλα.

	Βαθμός ανάκλασης	**Διαφάνεια**	**Τραχύτητα**	**Φαινόμενο κατοπτρισμού**	**Υλικό**
Τοίχοι	82%	0%	0%	0%	Γλυπτό
Οροφή	80%	0%	50%	0%	Γλυπτό
Δάπεδο	40%	0%	0%	5%	Γλυπτό

Πίνακας 4.3:Ιδιότητες τοίχων, οροφής και δαπέδου

Όσον αφορά στον τεχνητό φωτισμό του χώρου, επίσης δεν πραγματοποιείται καμία τροποποίηση στην επιλογή των φωτιστικών σωμάτων και στις θέσεις αυτών.
Για την καλύτερη εποπτεία των ιδιοτήτων του εξεταζόμενου χώρου κατασκευαστήκαν οι πίνακες 4.4 έως 4.6.

Στον πίνακα 4.4παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αντικείμενα και οι πόρτες του υπό μελέτη χώρου με τις ιδιότητες των επιφανειών τους. Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων που ακολουθούν (δημιουργία μοντέλων), οι ιδιότητες αυτές παραμένουν σταθερές. Σταθερά επίσης, διατηρούνται τόσο για τα αντικείμενα όσο και για τις πόρτες, το μέγεθος (διαστάσεις), η θέση τους στο δωμάτιο, το χρώμα και οι τυχόν υφές που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Αντικείμενο	Τμήμα του αντικειμένου	Βαθμός ανάκλασης	Διαφάνεια	Τραχύτητα	Φαινόμενο κατοπτρισμού	Υλικό
Πόρτες	ενιαία θεώρηση	25%	0%	5%	0%	Γλυπτό
Κρεβάτια	λευκά είδη	70%	0%	0%	0%	Γλυπτό
	ξύλινο πλαίσιο	80%				
Κομοδίνα	πλαίσιο	68%	0%	0%	0%	Μέταλλο
	χερούλια	32%				
	ρόδες	0%				
Ντουλάπα	πλαίσιο	68%	0%	0%	0%	Μέταλλο
	πόμολα(μπροστινό τμήμα)	32%				
	πόμολα(λοιπά τμήματα)	0%				
Επιμήκης κατασκευή άνω των κρεβατιών	ενιαία θεώρηση	79%	0%	0%	0%	Γλυπτό

Πίνακας 4.4 Σταθερές ιδιότητες αντικειμένων σε όλα τα μοντέλα

Υαλοπίνακας

Συντελεστές φωτός ημέρας	Βαθμός μεταβίβασης	Συντελεστής ρύπανσης	Συντελεστής ράβδων φεγγίτη	Συντελεστής ελάττωσης για μη κάθετη ακτινοβολία
	90%	0,8	0,8	0,85
Περιγραφή	Συνήθες υλικό γυαλιού	Συνήθες περιβάλλον (ρύπανση)	Συνήθες είδος παραθύρου	-

Υλικό	Βαθμός ανάκλασης	Διαφάνεια	Τραχύτητα	Φαινόμενο κατοπτρισμού	Υλικό
	10%	90%	0%	90%	Γυαλί

Πίνακας 4.5:Ιδιότητες υαλοπίνακα που διατηρούνται κατά τις τροποποιήσεις

Η θέση και το μέγεθος του υαλοπίνακα θα τροποποιηθούν στο σύνολό τους, ενώ αναφορικά με τους συντελεστές φωτός ημέρας και το υλικό δε θα μεταβληθεί κανένας συντελεστής. Οι παραμένουσες ιδιότητες του υαλοπίνακα δίνονται στον πίνακα 4.5.

4.3.3 Επιφάνειες υπολογισμού

Για τον υπολογισμό μιας σκηνής φωτισμού με φυσικό φωτισμό, πρέπει να εισαχθούν οι απαραίτητες επιλογές υπολογισμού στη σκηνή φωτισμού.

Με την ενεργοποίηση της επιλογής στο πρόγραμμα DIALux"Υπολογισμός πηλίκων φωτός ημέρας" αυτόματα ενεργοποιούνται οι ακόλουθες ρυθμίσεις:

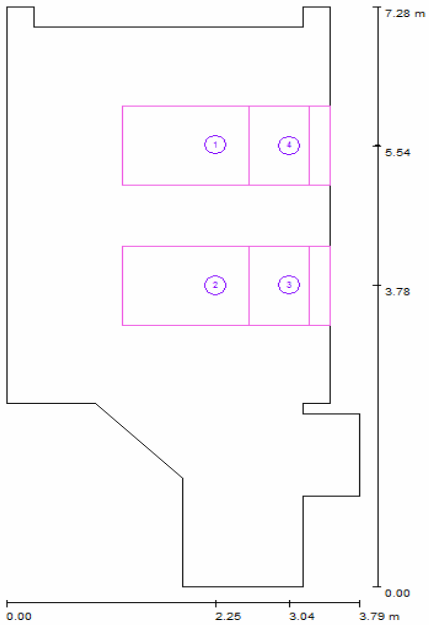
-Μοντέλο νεφελώδους ουρανού

-Δε λαμβάνεται υπ' όψιν η πιθανή ύπαρξη διαθέσιμων φωτιστικών

Ως αποτέλεσμα λαμβάνεται ένας υπολογισμός που περιλαμβάνει την απεικόνιση και το πηλίκο (συνισταμένη) φυσικού φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος(συνήθως αναφερόμενο

ως επίπεδο εργασίας σε αυτού του τύπου τα υπολογιστικά προγράμματα). Προκειμένου να εκτιμηθεί το πηλίκο φυσικού φωτός σε άλλες θέσεις απαιτείται η εισαγωγή κατάλληλων επιφανειών υπολογισμού ή/και σημείων υπολογισμού.

Στην τρέχουσα μελέτη, για όλα τα μοντέλα προσομοίωσης, το επίπεδο ενδιαφέροντος βρίσκεται σε ύψος 0,75 m. Επιπλέον, έχουν τοποθετηθεί από δύο επιφάνειες υπολογισμού σε κάθε κρεβάτι (μία οριζόντια και μία κεκλιμένη 30°) και δύο σημεία υπολογισμού, που αφορούν σε όρθιο παρατηρητή που στέκεται δίπλα από κάθε κρεβάτι. Οι επιφάνειες υπολογισμού έχουν τοποθετηθεί στο ίδιο ύψος με το επίπεδο ενδιαφέροντος για την παρούσα μελέτη, καθώς είναι επιθυμητή η διεξοδικότερη μελέτη των εν λόγω επιφανειών.
Στην κάτοψη που ακολουθεί επισημαίνονται οι επιφάνειες υπολογισμού και στη συνέχεια , στον πίνακα 4.6 δίνονται η θέση, το μέγεθος και η περιστροφή για κάθε μία από τις επιφάνειες αυτές.



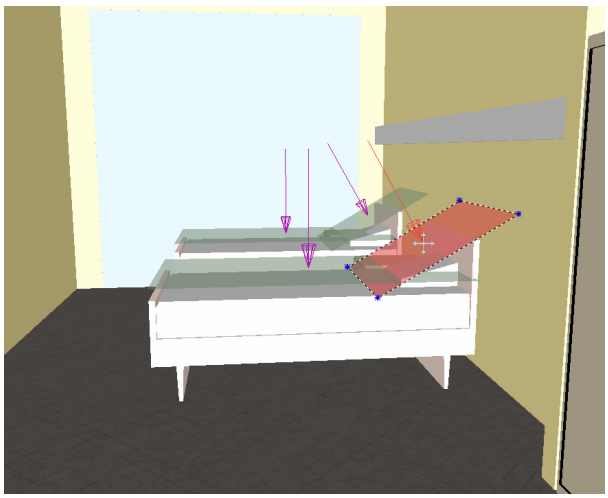
Σχήμα 4.24 Επιφάνειες υπολογισμού σε κάτοψη

Αρ.	Ονομασία	Θέση [m]			Μέγεθος [m]		Περιστροφή [°]		
		X	Y	Z	Μ	Π	X	Y	Z
1	Επιφάνεια υπολογισμού 1	2.248	5.543	0.750	2.000	1.000	0.000	0.000	0.000
2	Επιφάνεια υπολογισμού2	2.248	3.782	0.750	2.000	1.000	0.000	0.000	0.000
3	Επιφάνεια υπολογισμού 3	3.044	3.784	0.908	1.000	1.000	0.000	-30.000	0.000
4	Επιφάνεια υπολογισμού 4	3.044	5.539	0.908	1.000	1.000	0.000	-30.000	0.000

Πίνακας 4.6 Κατάλογος επιφανειών υπολογισμού

Αρ.	Ονομασία	Τύπος	Θέση [m]			Περιστροφή [°]		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	Κατακόρυφο σημείο υπολογισμού 1	κατακόρυφα, Ημισφαιρικά	2.589	3.178	1.700	0.0	0.0	-90.0
2	Κατακόρυφο σημείο υπολογισμού 2	κατακόρυφα, Ημισφαιρικά	2.589	4.935	1.700	0.0	0.0	-90.0

Πίνακας 4.7 Κατάλογος σημείων υπολογισμού

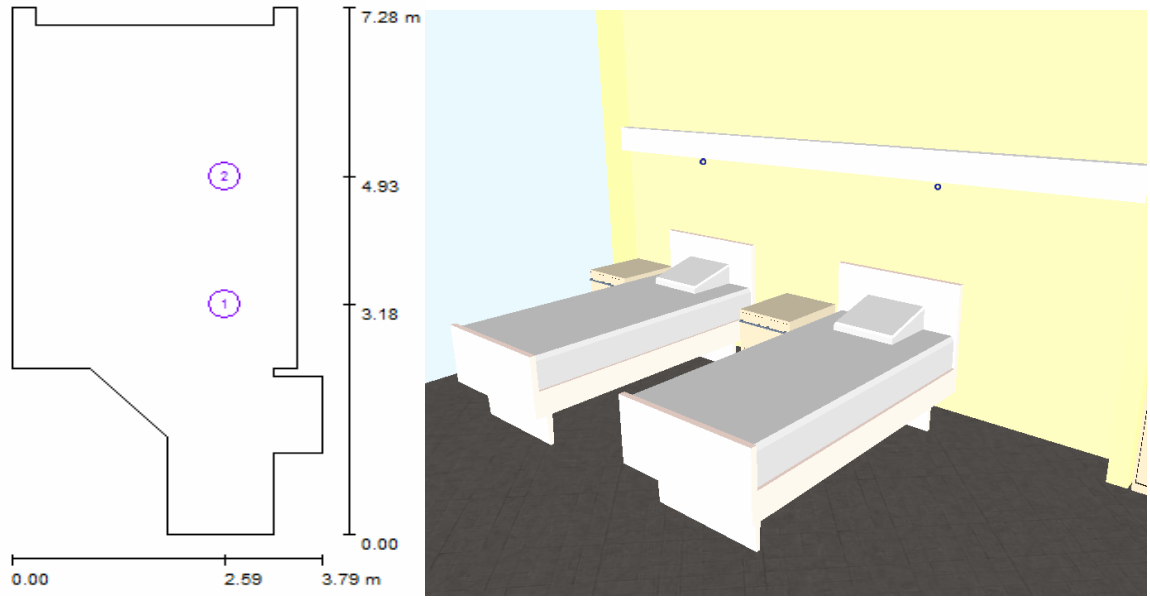


Σχήμα 4.25: Τρισδιάστατη απεικόνιση των επιφανειών υπολογισμού

Όλα τα στοιχεία των επιφανειών υπολογισμού διατηρούνται σε όλα τα μοντέλα που ακολουθούν.

Εντελώς ανάλογα με πριν, στην κάτοψη που ακολουθεί επισημαίνεται τα σημεία υπολογισμού για τον όρθιο παρατηρητή και στον πίνακα 4.7 δίνονται η θέση, το μέγεθος και η περιστροφή τους.

Για τα εν λόγω σημεία, έχει επιλεγεί ο τύπος του ημισφαιρικού σημείου υπολογισμού, που αντιστοιχεί σε οπτικό πεδίο γωνιακού εύρους 180° οριζοντίως και 180° καθέτως, μετρούμενο από το οριζόντιο επίπεδο στο ύψος των ματιών. Τα ημισφαιρικά αυτά σημεία υπολογισμού δεν προσομοιώνουν το πραγματικό οπτικό πεδίο ενός όρθιου ακίνητου παρατηρητή, αλλά χρησιμοποιούνται γιατί προσομοιώνουν πιθανή περιστροφή του κεφαλιού του παρατηρητή.

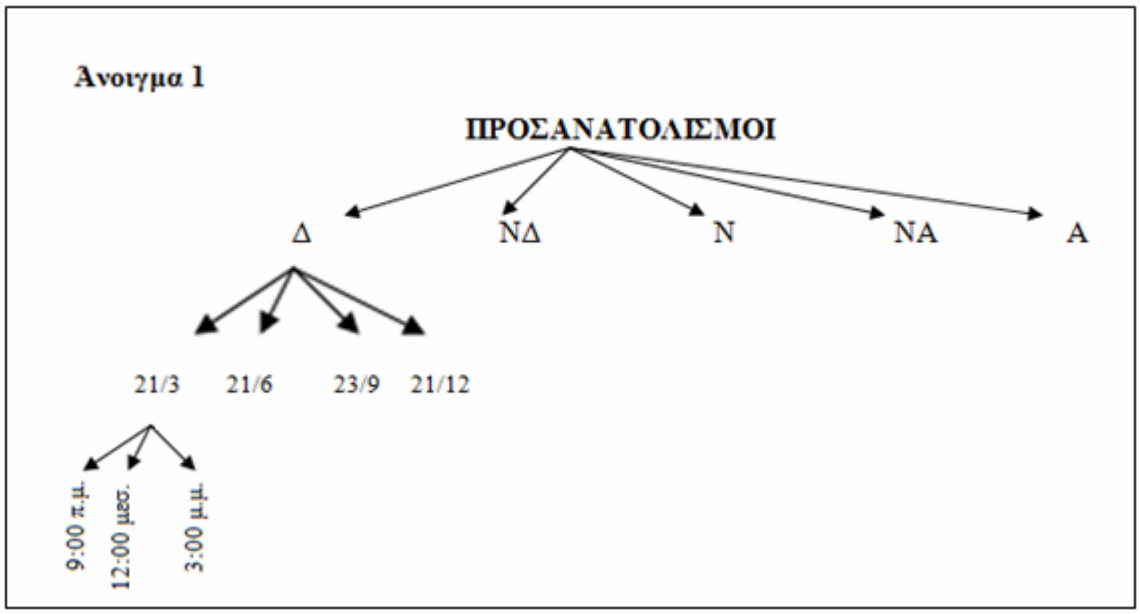


Σχήμα 4.26. Αριστερά: Θέση σημείων υπολογισμού σε κάτοψη και δεξιά: Τρισδιάστατη απεικόνιση των σημείων υπολογισμού

4.4ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

4.4.1 Περιγραφή των διενεργούμενων προσομοιώσεων

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 360 προσομοιώσεις. Μελετήθηκαν τρία διαφορετικά ως προς τη θέση/ μέγεθος ανοίγματα για πέντε διαφορετικούς προσανατολισμούς το καθένα , στις ηλιακές ισημερίες(21 Μαρτίου, 23 Σεπτεμβρίου) και τα ηλιοστάσια(21 Ιουνίου, 21 Δεκεμβρίου) και η διεξαγωγή των προσομοιώσεων έγινε για τις ώρες 9:00 π.μ. , ηλιακό μεσημέρι(12:00) και 3:00 μ.μ. για συνθήκες αρχικά καθαρού ουρανού με άμεσο φως του ήλιου(σύνολο 180 προσομοιώσεις). Οι ίδιες προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν στη συνέχεια και για νεφοσκεπή ουρανό.



Σχήμα 4.27: Τμήμα της δενδροειδούς απεικόνισης των διενεργούμενων προσομοιώσεων για ένα άνοιγμα και έναν τύπο ουρανού. Στο συγκεκριμένο τμήμα έχουν αποτυπωθεί μόνο οι προσομοιώσεις που αφορούν στο Δυτικό προσανατολισμό και σε μία ημερομηνία.

4.4.2 Προσομοίωση των συνθηκών του ελληνικού ουρανού

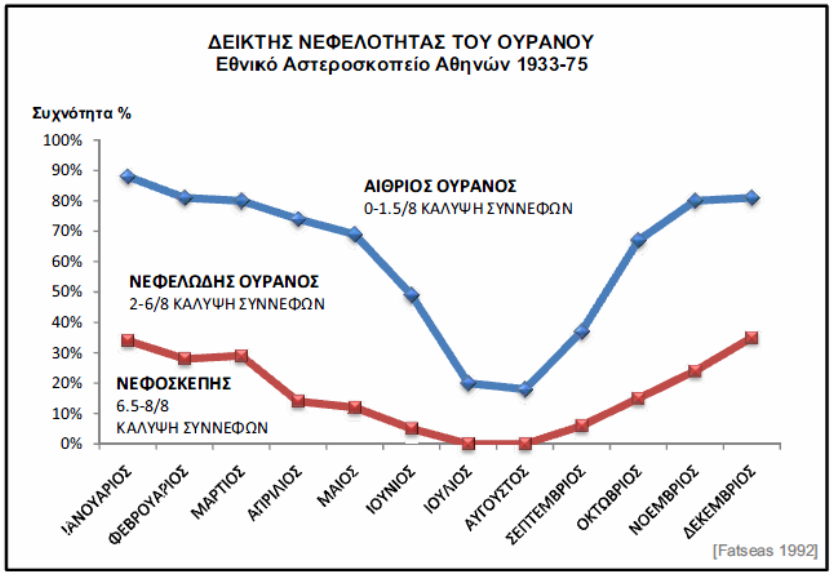
Ο προσδιορισμός των συνθηκών του ουρανού διαδραματίζει έναν από τους σημαντικότερους ρόλους στην παραγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων.

Η γενική θεωρία για το φυσικό φωτισμό η οποία έχει κυρίως αναπτυχθεί από τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, προϋποθέτει συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού οι οποίες έρχονται σε πλήρη αντίθεση με τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα. Το ελληνικό κλίμα διαθέτει πολύ καθαρότερο ουρανό με ηλιόλουστες συνθήκες σε μεγάλο ποσοστό στη διάρκεια του χρόνου και για αυτό

το λόγο η επιλογή ενός καθαρού ουρανού κρίνεται καταλληλότερη από εκείνη ενός νεφοσκεπούς ουρανού. [4]

Μια μελέτη του Γ. Φατσέα υπογραμμίζει ότι για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου ο ελληνικός ουρανός είναι μερικώς νεφελώδης(2/8έως 6/8 κάλυψη συννέφων)[Fatseas 1992]. Νεφοσκεπείς συνθήκες(δηλαδή πάνω από 6/8 κάλυψη σύννεφων) παρουσιάζονται μόνο κατά το 30% του χρόνου ακόμα και στα μέσα του χειμώνα. Επομένως, με τον τρόπο που ορίζονται οι νεφοσκεπείς συνθήκες στη Μ. Βρετανία, 8/8 κάλυψη σύννεφων, είναι ακόμη σπανιότερες.[4]

Καταγραφή της υπάρχουσας ποσότητας και διανομής του φυσικού φωτός στον ουράνιο θόλο στον ελληνικό χώρο, συγκεκριμένα της Αθήνας, με σκοπό την αντιμετώπιση της χρήσης του Φυσικού Φωτισμού στον κτιριακό σχεδιασμό ποιοτικά και ποσοτικά, διενεργήθηκε για πρώτη φορά από το Γ.Φατσέα. Οι μετρήσεις είχαν διάρκεια 22 μήνες(Οκτώβριος 1986-Ιούλιος 1988) και προτάθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία μεταφοράς της δημιουργηθείσας «βάσης δεδομένων» στον κτιριακό σχεδιασμό για την καθιέρωση προτύπων φυσικού φωτισμού.[6]



Πηγή: Δράκου Κ, Σχεδιασμός συστήματος φυσικού και τεχνητού φωτισμού σε θάλαμο νοσηλείας νοσοκομείων

Ωστόσο, οι ίδιες προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για καθαρό ουρανό έγιναν και για συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση με διεθνή δεδομένα και χάριν της κατά το δυνατόν πληρότητας της μελέτης.

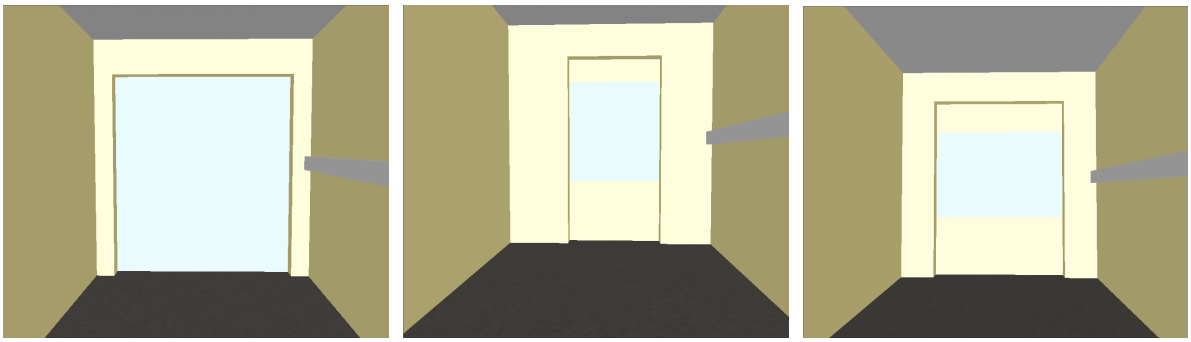
4.4.3 Μεταβολή θέσης/μεγέθους ανοίγματος(υαλοπίνακα)

Όπως έχει αναφερθεί αρκετές φορές έως τώρα διερευνήθηκαν τρεις διαφορετικές προσόψεις για το εξεταζόμενο δωμάτιο, έτσι ώστε να ληφθούν πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της πρόσοψης ως προς την είσοδο φυσικού φωτός.

Στον πίνακα 4.8 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά (διαστάσεις και θέση)του ανοίγματος για κάθε ένα από τα μοντέλα. Το Σχήμα 4.28 δείχνει τις διαφορετικές παραλλαγές πρόσοψης και ο πίνακας 4.9 το ποσοστό επί τοις εκατό (%) σε σχέση με το μεγαλύτερο από τα ανοίγματα. Στο σχήμα 4.28 για καλύτερη εποπτεία του μεγέθους των παραθύρων έχουν αφαιρεθεί τα υπόλοιπα αντικείμενα από το χώρο. Το παράθυρο 1 θεωρείται ότι λαμβάνει τη μέγιστη δυνατή επιφάνεια που δύναται για άνοιγμα(αφαιρέθηκαν δηλαδή από τη συνολική έκταση της πλευράς αυτής του δωματίου μόνο το τμήμα του τοίχου που καταλαμβάνουν τα υποστυλώματα και εκείνο που καταλαμβάνει η οριζόντια δοκός).

	Παράθυρο (Μοντέλο)	Πλάτος(m)	Ύψος(m)	Απόσταση από αριστερά (m)	Απόσταση από κάτω (m)
Θέση/μέγεθος υαλοπίνακα	1	2,900	3,000	0,000	0,000
	2	1,600	1,637	0,000	1,000
	3	2,328	1,500	0,000	1,000

Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικά ανοίγματος(υαλοπίνακα)



Άνοιγμα 1 *Άνοιγμα 2* *Άνοιγμα 3*

Σχήμα 4.28. Οι παραλλαγές των ανοιγμάτων, όπως εμφανίζονται από το εσωτερικό του χώρου

Παράθυρο (άνοιγμα)	Εμβαδό ανοίγματος	% max δυνατού ανοίγματος
1	8,700	100,00%
2	2,619	30,11%
3	3,492	40,14%

Πίνακας 4.9 Τα ποσοστά σε σχέση με τη μέγιστη δυνατή επιφάνεια ανοίγματος που καταλαμβάνει κάθε τύπος ανοίγματος(υαλοπίνακα)

Το παράθυρο 1 έχει άνοιγμα φυσικού φωτισμού ίσο με το 100% της μέγιστης δυνατής επιφάνειας. Τα παράθυρα 2 και 3 έχουν ανοίγματα φυσικού φωτισμού περίπου ίσα με 30 % και 40% αντίστοιχα της επιφάνειας αυτής και μάλιστα το παράθυρο 2 προσομοιάζει τα παράθυρα (ως προς το μέγεθος και τις αποστάσεις από αριστερά και από κάτω) που χρησιμοποιούνται στην πραγματικότητα στους δύο χώρους υγειονομικής περίθαλψης που προαναφέρθηκαν στην παράγραφο ***4.2 Επιλογή του υπό μελέτη χώρου.***

4.4.4 Μεταβολή προσανατολισμού ανοιγμάτων

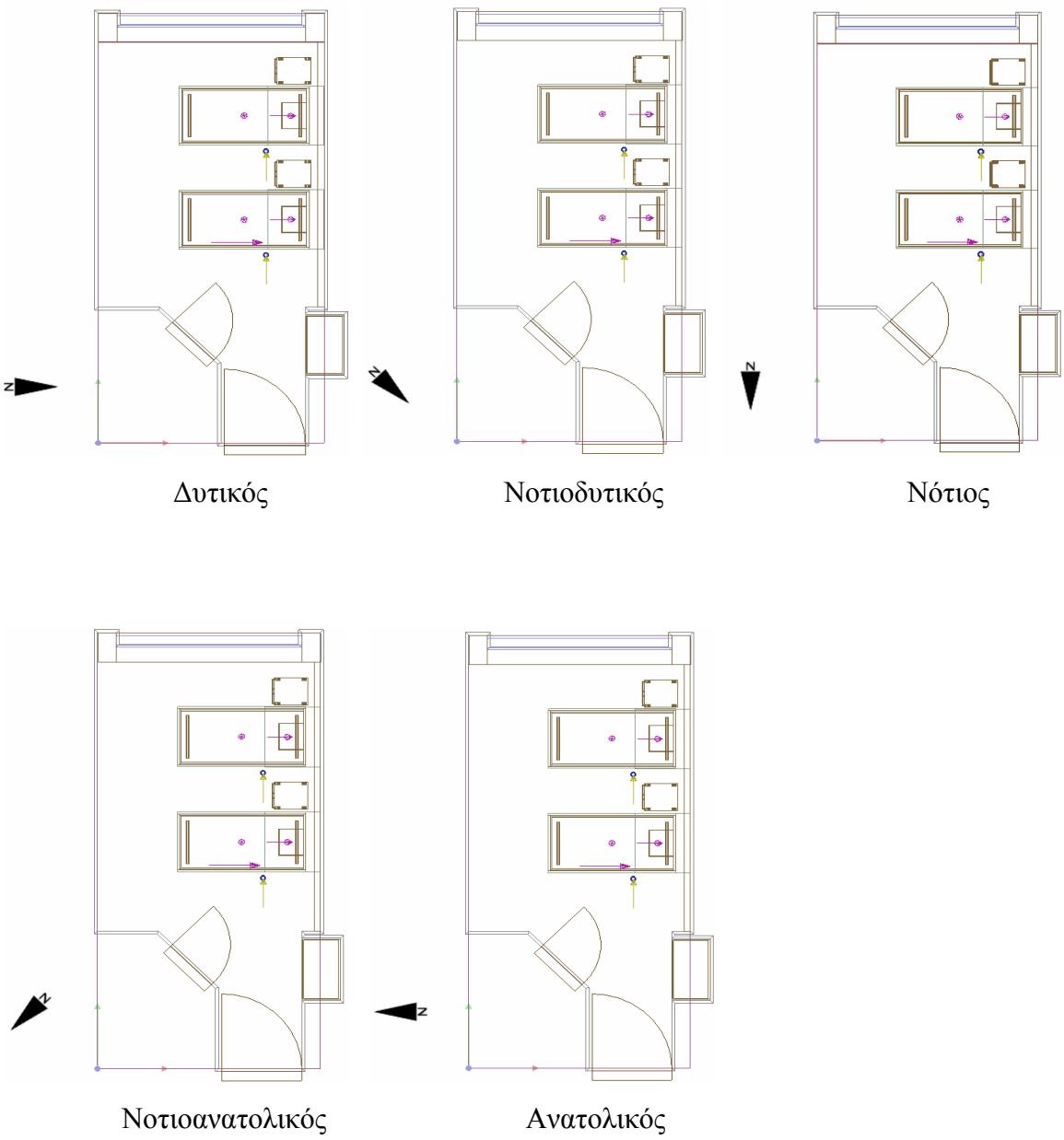
Διερευνώνται πέντε προσανατολισμοί του ανοίγματος με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση του παράγοντα αυτού στα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού.

Οι προσανατολισμοί που εξετάστηκαν στην έρευνα αυτή παρουσιάζονται στον πίνακα 4.10 και στο σχήμα 4.29 παρουσιάζονται οι κατόψεις του χώρου με το βέλος του Βορρά σχεδιασμένο κοντά στην αρχή των αξόνων, όπως αυτή καθορίστηκε για το χώρο.

	Βορεινή ευθυγράμμιση	**Χαρακτηρισμός ανοίγματος**
Προσανατολισμός ανοίγματος	90°	Δυτικό
	135°	Νοτιοδυτικό
	180°	Νότιο
	225°	Νοτιοανατολικό
	270°	Ανατολικό

Πίνακας 4.10 Προσανατολισμοί ανοίγματος(υαλοπίνακα) .

Ο λόγος για τον οποίο δεν εξετάστηκαν οι προσανατολισμοί προς το Βορρά (Βόρειος 0°, βορειοδυτικός 45° και βορειανατολικός 315°) είναι ότι έπειτα από πλήθος μελετών που αφορούν στο βιοκλιματικό σχεδιασμό , για τα δωμάτια των ασθενών στις περισσότερες των περιπτώσεων συνιστάται ο νότιος έως νοτιοανατολικός προσανατολισμός. Η επιλογή της βορινής πλευράς για την τοποθέτηση των θαλάμων γίνεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις όπου πρέπει να αποφεύγεται ο ηλιασμός των ασθενών .Για παράδειγμα, στο νοσοκομείο Παπαγεωργίου η κάτοψη του τμήματος των μονάδων νοσηλείας σχηματίζει ένα τριπλό L (ᴸᴸᴸ) και με τον τρόπο αυτό όλα τα δωμάτια των ασθενών είναι προσανατολισμένα προς το Νότο ή την Ανατολή.



Σχήμα 4.29: Κατόψεις του χώρου με την ένδειξη του Βορρά για τους πέντε υπό μελέτη προσανατολισμούς(κάτοψη χώρου για την πρώτη περίπτωση ανοίγματος)

4.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Στην εργασία αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί οι απαιτήσεις του πίνακα 4.11 για τη μέση ένταση φωτισμού στο πάτωμα, στο επίπεδο του κρεβατιού(επιφάνειες υπολογισμού), και στο επίπεδο ενδιαφέροντος(ΕΕ),την κατανομή φωτισμού και τη φωτεινότητα. Ειδικότερα, όσον αφορά στην κατανομή φωτισμού οι αναλογίες ελάχιστης και μέγιστης τιμής φωτισμού πρέπει να είναι ίσες ή μικρότερες από 1:10, αλλά χαμηλότερες αντιθέσεις της τάξης 1:5 είναι ακόμα πιο επιθυμητές.

Em,δαπέδου ≥ 100 lux
Em,κρεβατιού ≥ 300 lux
Em ,ΕΕ ≥ 300 lux
Emin:Emax ≤ 1:10 (ή 1:5)
Lmax≤ 500 cd / m^2
Dm ≥ 3,5

Πίνακας 4.11 Απαιτήσεις φυσικού φωτισμού

Οι τιμές του Πίνακα 4.11 που είθισται να χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των επιπέδων φωτισμού βασίζονται σε απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού. Αναφορές σχετικά με τα επιθυμητά επίπεδα φυσικού φωτισμού υπό αίθριες συνθήκες είναι σπάνιες, καθώς ως επί το πλείστον οι περισσότερες μελέτες φωτισμού που έχουν πραγματοποιηθεί αφορούσαν σε συνθήκες τεχνητού φωτισμού ή απέκλειαν τις αίθριες συνθήκες.

Στο σημείο αυτό κρίνεται ενδιαφέρον να αναφερθεί μια μελέτη φυσικού φωτισμού που πραγματοποίησε το πανεπιστήμιο του Dortmund. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα παρακολούθησης των συνθηκών φωτισμού σε κτίρια γραφείων υπό αίθριες συνθήκες, για διαφορετικά συστήματα σκίασης, ενώ ταυτόχρονα διεξήχθη έρευνα ερωτηματολογίου για να αξιολογηθούν θέματα ποιότητας φωτισμού από τους χρήστες του χώρου. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται τμήμα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την έρευνα αυτή .

	illuminance in work plane close to window	Vertical illuminance at eye height	Global illuminance outside	Vertical illuminance on facade outside
Additional artificial lighting required: YES	X	X	> 5581 Lux	> 12316 Lux
Perception of daylight in space: Rather bright	> 3393 Lux	> 3797 Lux	X	X
Daylight at working desk sufficient: YES	> 4442 Lux	> 3169 Lux		> 40039 Lux

Πίνακας 4.12 Οριακές τιμές για ″ φωτεινότητα ″

Αξιοσημείωτο είναι ακόμα ότι από την έρευνα ερωτηματολογίου προέκυψε ότι το 50% των χρηστών απέδωσαν το χαρακτηρισμό ″ μάλλον φωτεινό ″ για τιμές φωτισμού μεγαλύτερες των 800 lux, που δείχνει ότι μάλλον οι τιμές φωτισμού που απαιτούνται από τους οικοδομικούς κανονισμούς δεν αρκούν για το χαρακτηρισμό ενός χώρου ως φωτεινό[9].

4.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΚΑΘΑΡΟ ΟΥΡΑΝΟ(ΑΜΕΣΟ ΦΩΣ)

4.6.1 Παράθεση των αποτελεσμάτων του προγράμματος, η επεξεργασία και η αξιολόγησή τους

Για κάθε μία από τις τέσσερις ημερομηνίες για τις οποίες πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις παρατίθενται με τη σειρά :

-Πίνακες με τα αποτελέσματα φωτεινότητας(cd/ m^2) και φωτισμού(lux) στο δάπεδο για κάθε ένα από τα τρία παράθυρα και για κάθε μία από τις τρεις ώρες ελέγχου.

- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

-Γράφημα στηλών του excel για το παράθυρο 1 που οπτικοποιεί τις διαφορές που προκύπτουν στη μέση τιμή φωτισμού Em [lux] στην επιφάνεια εργασίας (επίπεδο ενδιαφέροντος) για τους πέντε προσανατολισμούς για κάθε μία από τις τρεις ώρες προσομοίωσης

- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 2 και
- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 3

- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Ακολουθούν

-Γράφημα στηλών του excel για το παράθυρο 1 που οπτικοποιεί τα αποτελέσματα του προέκυψαν από το πρόγραμμα για τις αναλογίες μέγιστης και ελάχιστης τιμής φωτισμού Emin/ Emax στην επιφάνεια εργασίας (επίπεδο ενδιαφέροντος) για τους πέντε προσανατολισμούς για κάθε μία από τις τρεις ώρες προσομοίωσης

- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 2 και
- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 3

- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στη συνέχεια για το παράθυρο 1 παρατίθενται οι εικόνες κατανομής φωτισμού E(lux) στο επίπεδο ενδιαφέροντος(αναφοράς) για κάθε έναν από τους πέντε προσανατολισμούς για τις 9:00 π.μ., στην επόμενη σελίδα το ίδιο για τις 12:00 μεσ. και στη μεθεπόμενη για τις 3:00 μ.μ.

Με την ίδια ακριβώς λογική ακολουθεί η παράθεση των εικόνων κατανομής φωτισμού E(lux) στο επίπεδο εργασίας για τα παράθυρα 2 και 3.

Ακολουθούν:

-Γράφημα στηλών για το παράθυρο 1 με τις Em(lux) στην επιφάνεια υπολογισμού 1(ΕΥ1) για τους πέντε προσανατολισμούς για κάθε μία από τις τρεις ώρες προσομοίωσης (1 σελίδα)

- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 2 (1 σελίδα) και
- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 3(1 σελίδα)

-Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

-Γράφημα στηλών για το παράθυρο 1 με τα αποτελέσματα των Emin/Emax στην επιφάνεια υπολογισμού1(ΕΥ1) για τους πέντε προσανατολισμούς για κάθε μία από τις τρεις ώρες προσομοίωσης(1σελίδα)

- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 2(1σελίδα) και
- το αντίστοιχο γράφημα για το παράθυρο 3(1σελίδα)

-Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Η ίδια ακριβώς διαδικασία που έγινε για την ΕΥ1(και βρίσκεται μέσα στο πλαίσιο) αποτυπώθηκε στη συνέχεια και για τις ΕΥ2, ΕΥ3 και ΕΥ4.

- Παράγραφος στην οποία περιγράφεται η διαδικασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων (***Διαδικασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων)***. Η παράγραφος αυτή υπάρχει μόνο στην πρώτη ημερομηνία διενέργειας προσομοιώσεων-21Μαρτίου, αλλά αφορά και στις υπόλοιπες.

- Συμπεράσματα για την εξεταζόμενη ημερομηνία

-Στις επόμενες σελίδες έχουν εισαχθεί οι φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα ως εξής:

Παράθυρο 1-9:00 π.μ.(5 προσανατολισμοί)_ 1 σελίδα

Παράθυρο 1-12:00 μεσ.(5 προσανατολισμοί) _ 1 σελίδα

Παράθυρο 1-3:00 μ.μ. (5 προσανατολισμοί) _ 1 σελίδα

Παράθυρο 2-9:00 π.μ.(5 προσανατολισμοί) _ 2 σελίδες

Παράθυρο 2-12:00 μεσ.(5 προσανατολισμοί) _ 2 σελίδες

Παράθυρο 2-3:00 μ.μ. (5 προσανατολισμοί) _ 2 σελίδες

Παράθυρο 3-9:00 π.μ.(5 προσανατολισμοί) _ 2 σελίδες

Παράθυρο 3-12:00 μεσ.(5 προσανατολισμοί) _ 2 σελίδες

Παράθυρο 3-3:00 μ.μ. (5 προσανατολισμοί) _ 2 σελίδες

4.6.1.1 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_21 Μαρτίου

21 ΜΑΡΤΙΟΥ -9:00 π.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	56	70	262	695	924
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	436	550	2058	5455	7257

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	12	13	19	73	168
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	96	105	146	574	1321

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	19	23	63	178	342
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	146	179	495	1395	2685

21 ΜΑΡΤΙΟΥ-12:00 μεσ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	107	491	975	965	213
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	840	3859	7661	7575	1671

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	24	77	222	270	36
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	192	607	1740	2124	282

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	40	148	336	403	58
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	313	1163	2639	3165	454

21 ΜΑΡΤΙΟΥ-3:00 μ.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	639	1217	682	102	67
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	5022	9554	5355	799	530

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	118	275	161	24	15
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	923	2157	1268	189	120

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	184	419	251	36	23
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	1445	3294	1971	281	177

Πίνακας 4.13 *Επισκόπηση αποτελεσμάτων φωτεινότητας και φωτισμού στο δάπεδο για τα τρία παράθυρα την 21^η Μαρτίου*

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από τον πίνακα 4.13 προκύπτει ότι για την 21η Μαρτίου στις 9:00 π.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς ΝΑ και Ν.

-το παράθυρο 2 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας για το Δ προσανατολισμό

-το παράθυρο 3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για την 21η Μαρτίου στις 12:00 μεσ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς ΝΑ και Ν.

-το παράθυρο 2 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

-το παράθυρο 3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για την 21 Μαρτίου στις 3:00 μ.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς Δ, ΝΔ και Ν.

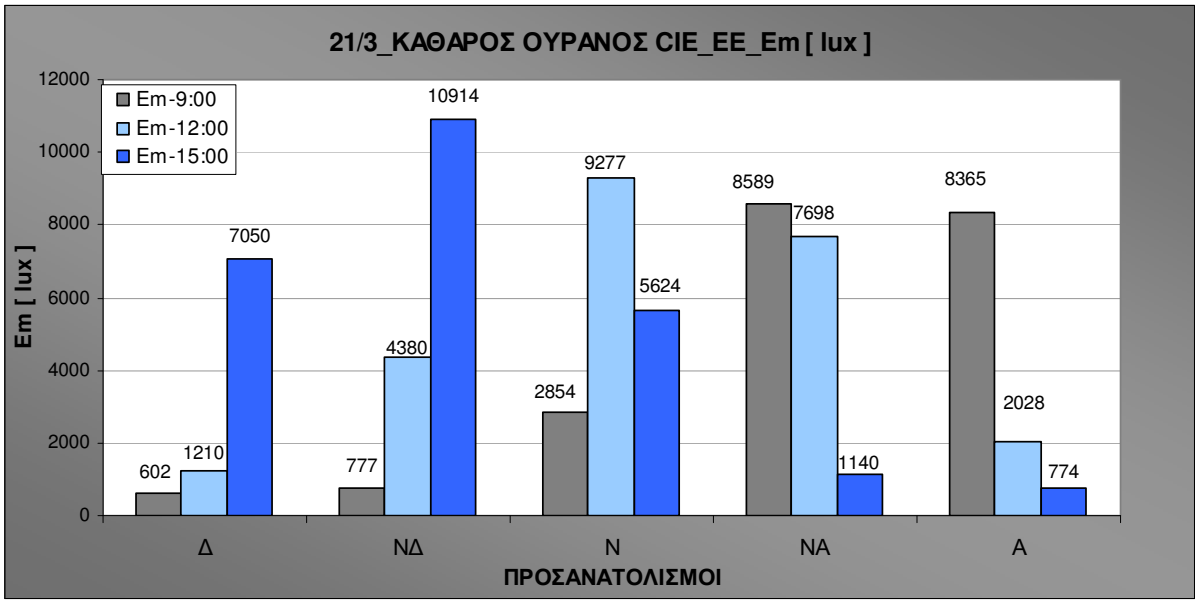
-το παράθυρο 2 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

-το παράθυρο 3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

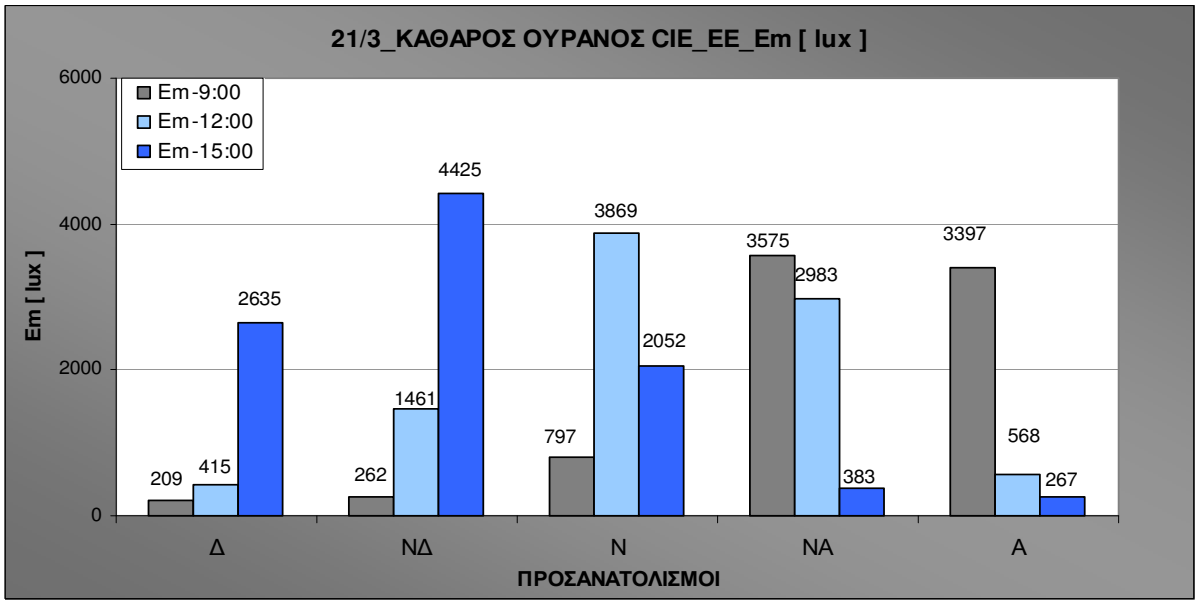
ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

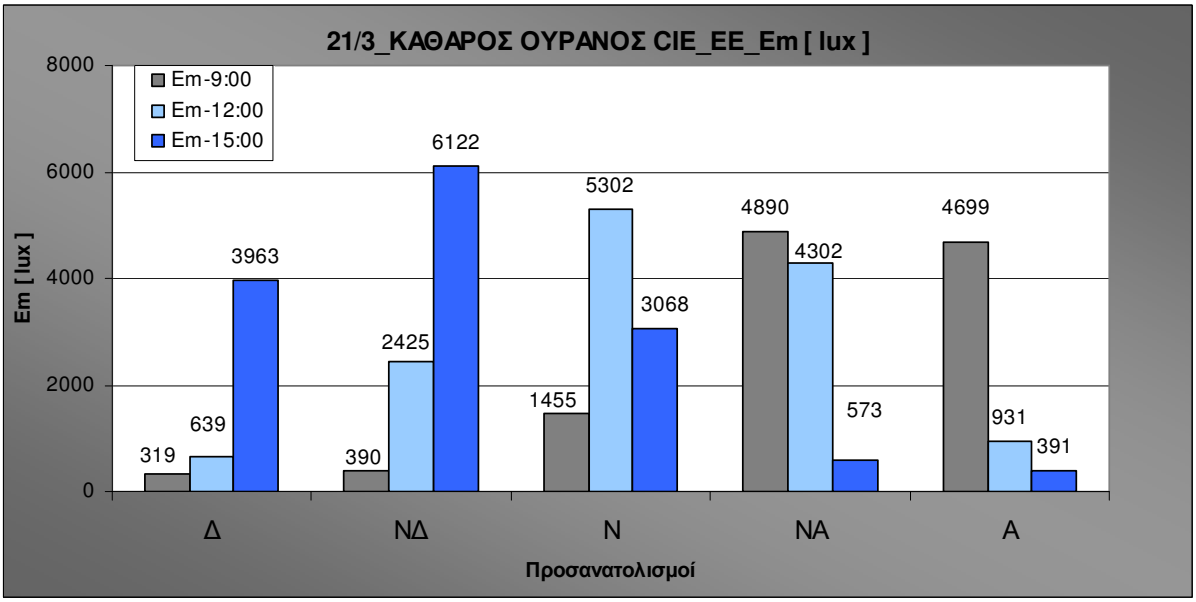
Οπτικοποίηση των άνωθεν συγκρίσεων



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο 3

Από τα γραφήματα που προηγήθηκαν, γίνεται εμφανής η επίδραση της θέσης και του μεγέθους των ανοιγμάτων και του προσανατολισμού στην ποσότητα και την κατανομή του εισερχόμενου φυσικού φωτός στο επίπεδο ενδιαφέροντος.

Η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των :
Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.
Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.
Παράθυρο 2, Ανατολικός προσανατολισμός στις 12:00 μεσ.

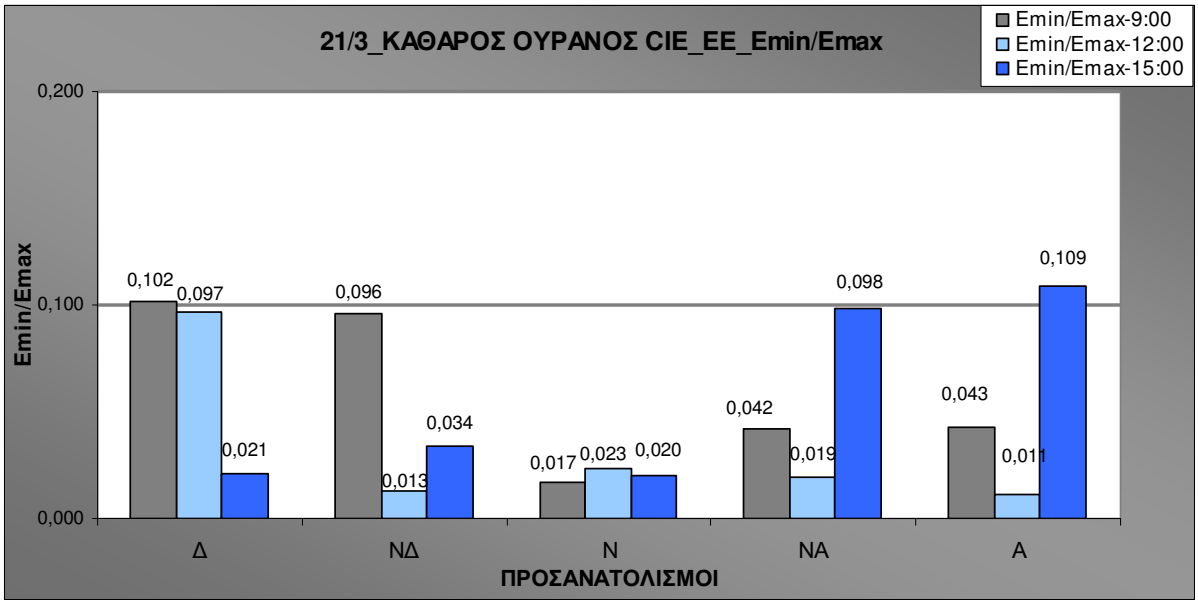
Η μέγιστη τιμή Em και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο ΝΔ προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ., ωστόσο λόγω του ότι για τις άλλες δύο ώρες ο προσανατολισμός αυτός δεν εμφανίζει εξίσου υψηλές τιμές (συγκριτικά και με τους άλλους προσανατολισμούς) δεν μπορεί ασφαλώς να θεωρηθεί ως ο βέλτιστος προσανατολισμός από άποψη επιπέδων φωτισμού.

Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι:

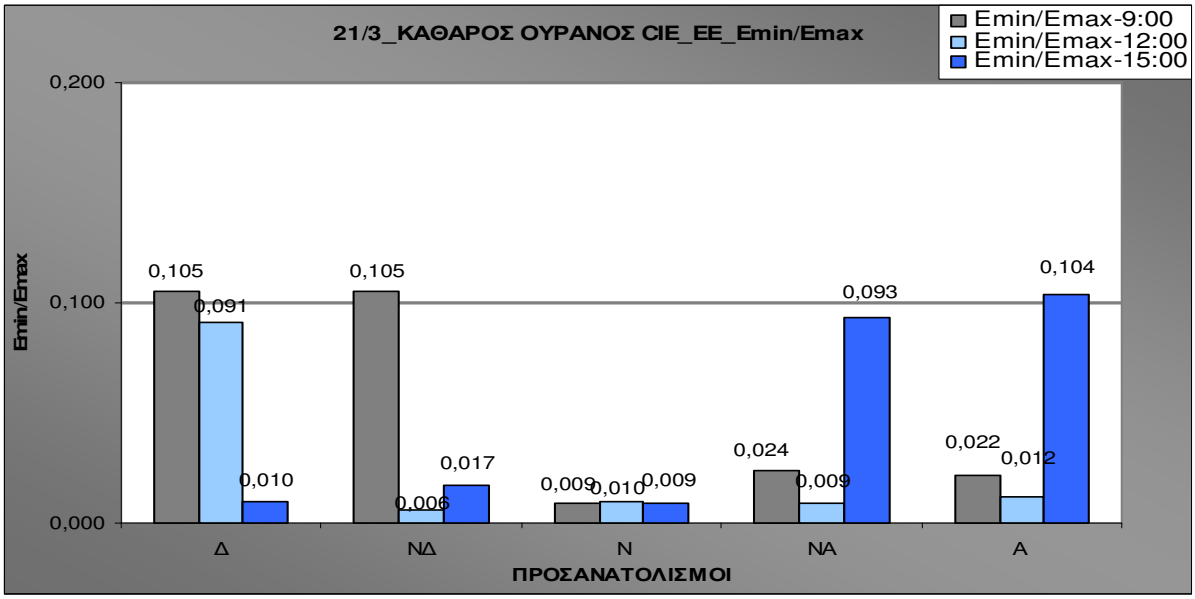
21 Μαρτίου-9:00 π.μ. : ΝΑ → Α → Ν → ΝΔ → Δ
21 Μαρτίου-12:00 μεσ. : Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ
21 Μαρτίου-3:00 μ.μ. : ΝΔ → Δ → Ν → ΝΑ → Α

Από τις παραπάνω κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21η Μαρτίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) οι καλύτεροι προσανατολισμοί είναι ο Νότιος και ο Νοτιοανατολικός που καταλαμβάνουν καλή θέση στην κατάταξη και για τις τρεις ώρες και ακολουθούν με τη σειρά ο Νοτιοδυτικός, ο Ανατολικός και τέλος ο Δυτικός προσανατολισμός.

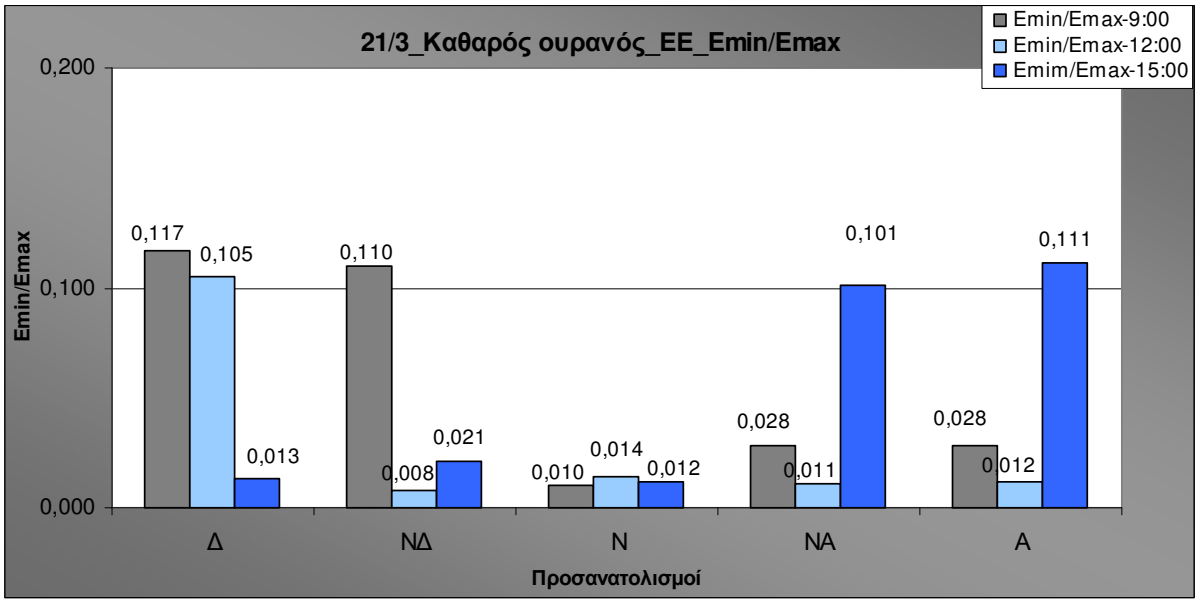
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1). Η κατάταξη δηλαδή σε φθίνουσα σειρά φαίνεται να ακολουθεί, όπως πιθανότατα αναμενόταν, τη μείωση του εμβαδού των ανοιγμάτων.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

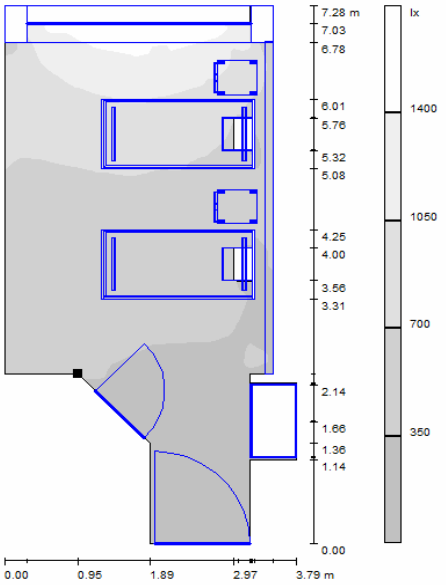
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στο επίπεδο ενδιαφέροντος καλύτερος προσανατολισμός είναι ο Δυτικός, ακολουθεί ο Ανατολικός και ο Νοτιοδυτικός και τέλος ο Νοτιοανατολικός. Πρέπει να σημειωθεί ότι για το Νότιο προσανατολισμό, που όπως διαπιστώθηκε προηγουμένως εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές φωτισμού (Em) για όλα τα ανοίγματα, δεν επιτυγχάνεται ομοιομορφία για κανένα άνοιγμα και για καμία ώρα.

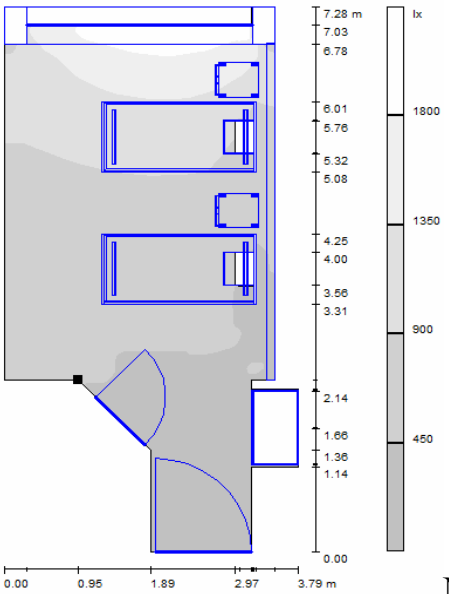
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο 3(40%) και έπονται με τη σειρά τα παράθυρα 2(30%) και 1(100%).Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι το εμβαδόν του ανοίγματος δε φαίνεται να επηρεάζει την ομοιομορφία με τον ίδιο τρόπο που επηρέασε τις τιμές φωτισμού. Η ομοιομορφία μοιάζει να επηρεάζεται περισσότερο από την ύπαρξη(παράθυρα 3 και 2) ή μη (παράθυρο 1) ποδιάς στο άνοιγμα και έπειτα από το εμβαδό , αφού πράγματι το παράθυρο 3 (μεσαίου εμβαδού-ύπαρξη ποδιάς) παρουσιάζει σε περισσότερες προσομοιώσεις ομοιομορφία από ότι το παράθυρο 1(μεγάλου εμβαδού-μηδενική απόσταση από το δάπεδο).

Στις εικόνες κατανομής φωτισμού (με αποχρώσεις του γκρι) που ακολουθούν για το επίπεδο ενδιαφέροντος γίνονται εμφανείς οι προαναφερθείσες διαφοροποιήσεις ως προς την ομοιομορφία. Με παρατήρηση των εικόνων αυτών αντιλαμβανόμαστε τον τρόπο που ο φωτισμός κατανέμεται στο χώρο και τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στην κατανομή τόσο από τη μεταβολή του προσανατολισμού του χώρου όσο και από την αναπόφευκτη μεταβλητότητα του φυσικού φωτισμού κατά τη διάρκεια της μέρας.

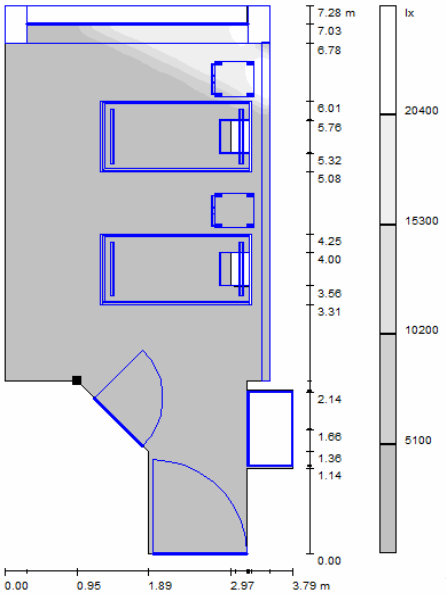
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -9:00 π.μ.



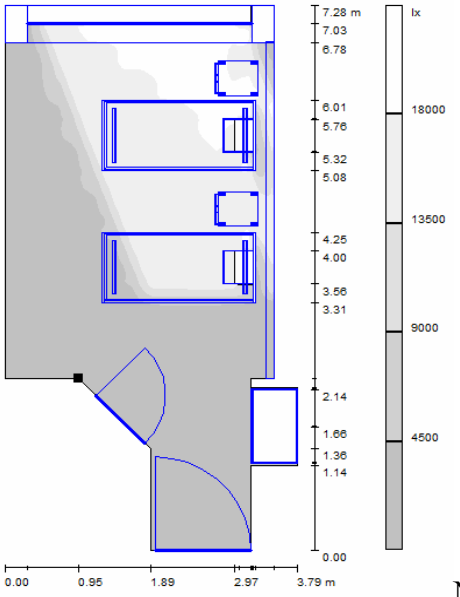
Δ



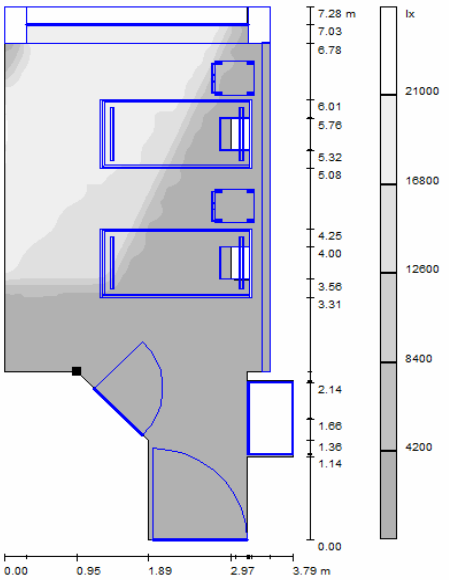
ΝΔ



Ν

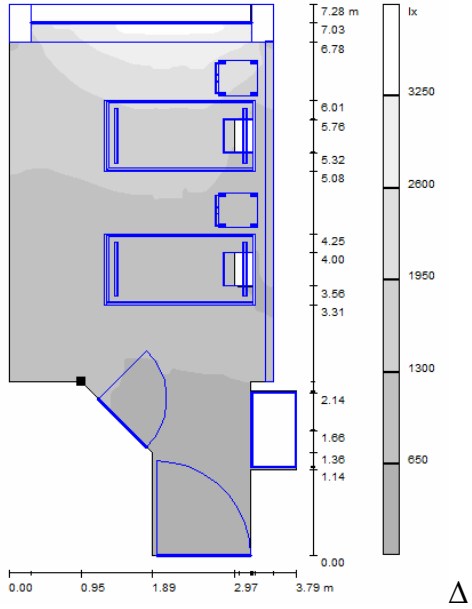


ΝΑ

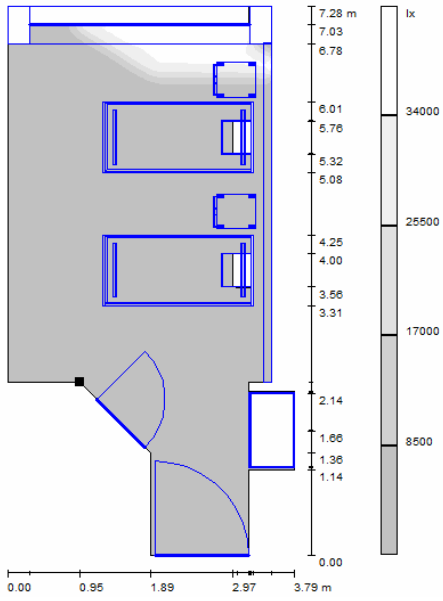


Α

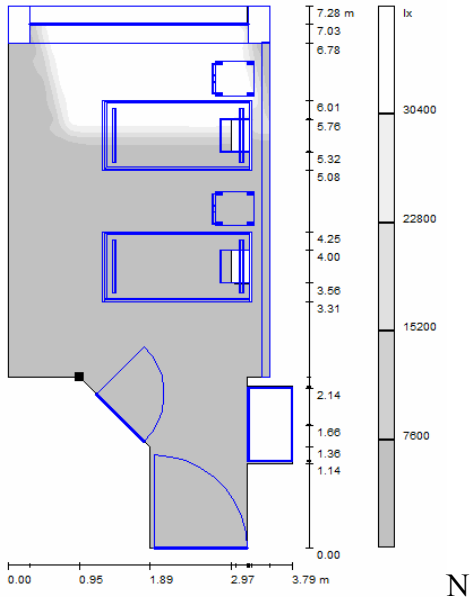
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -12:00 μεσ.



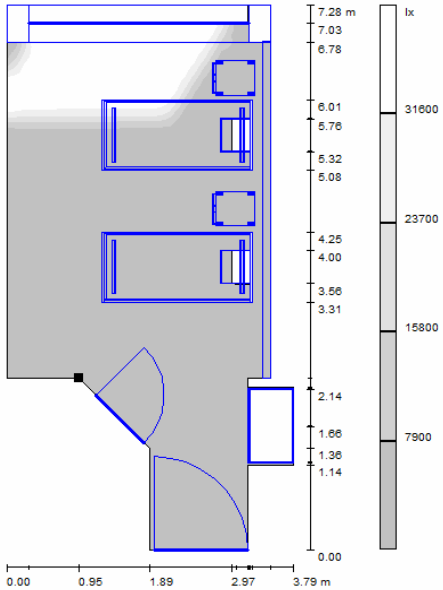
Δ



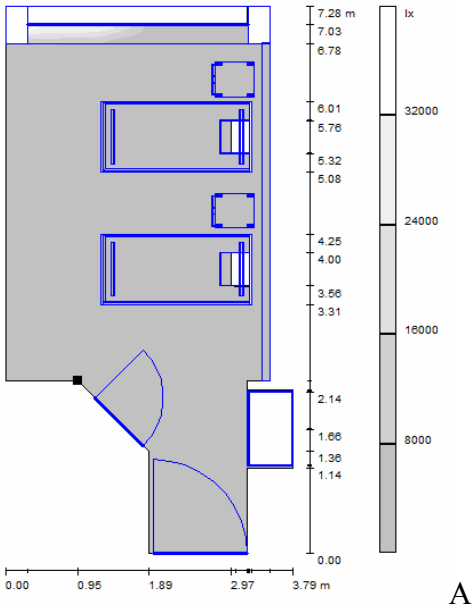
ΝΔ



N

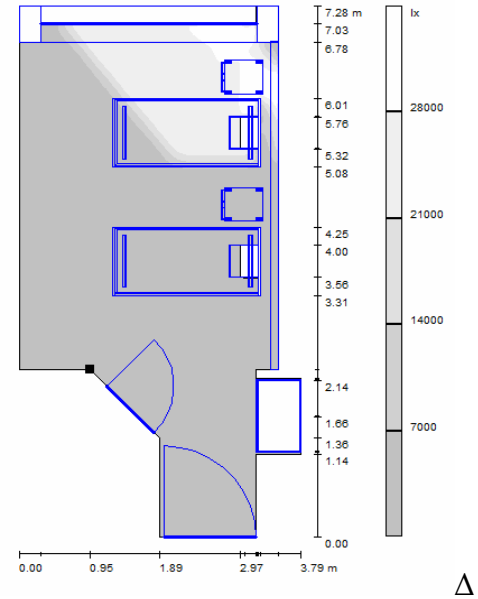


ΝΑ

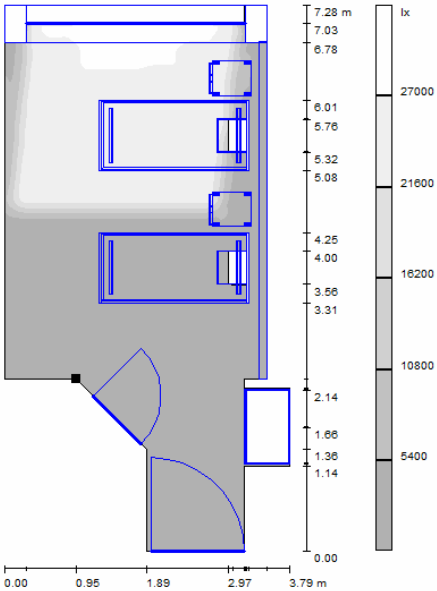


Α

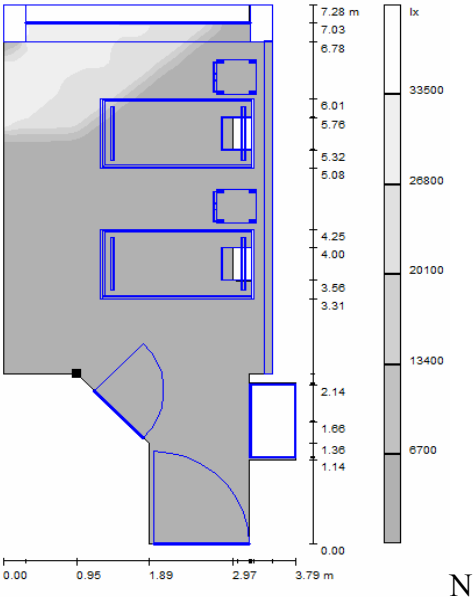
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -3:00 μ.μ.



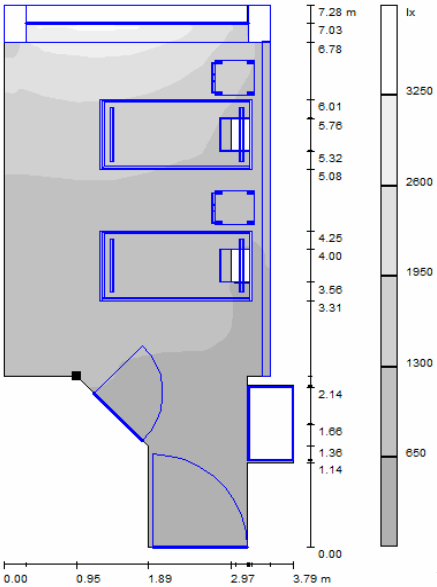
Δ



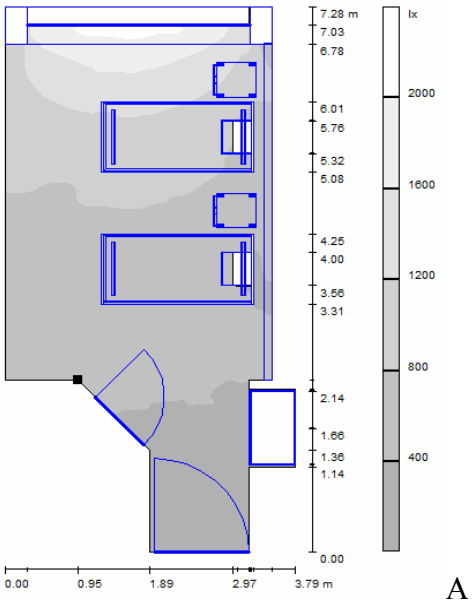
ΝΔ



Ν

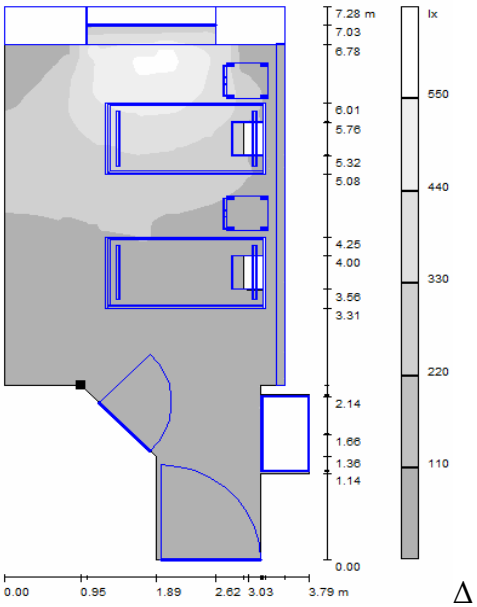


ΝΑ

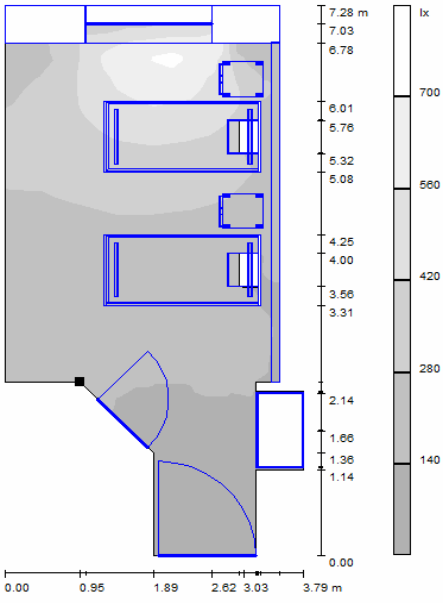


Α

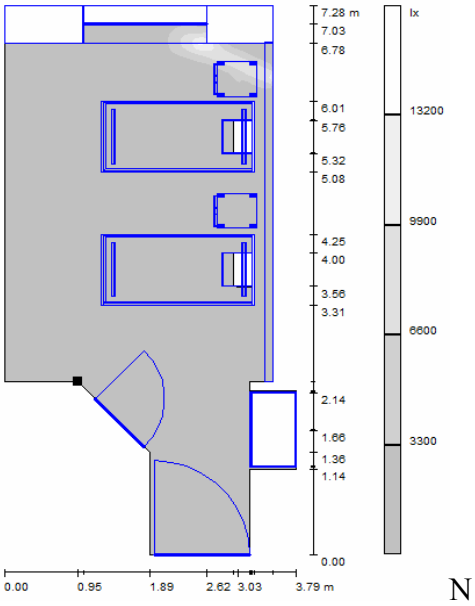
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -9:00 π.μ.



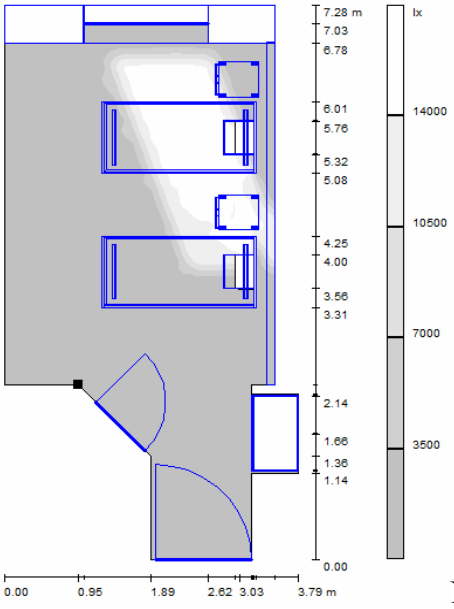
Δ



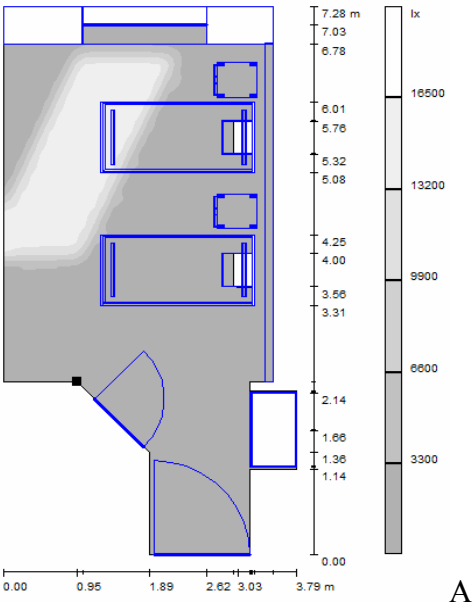
ΝΔ



N

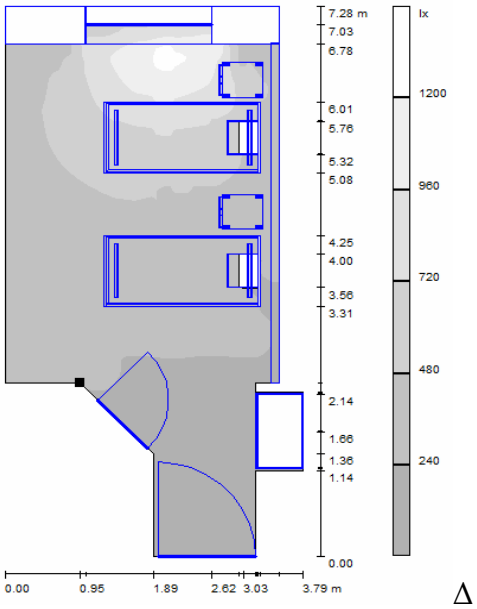


ΝΑ

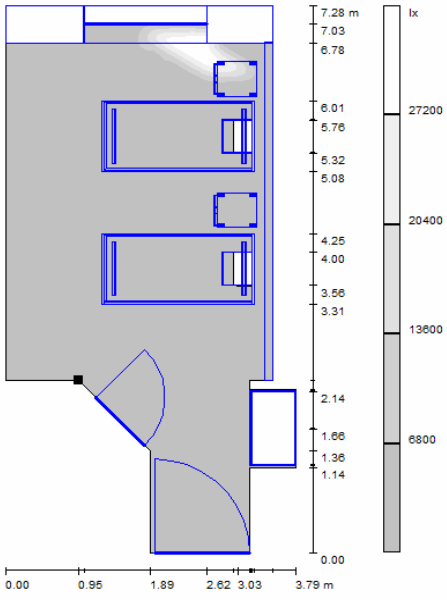


Α

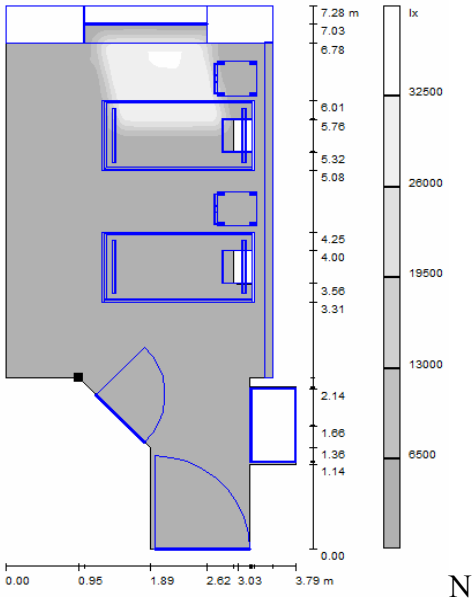
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -12:00 μεσ.



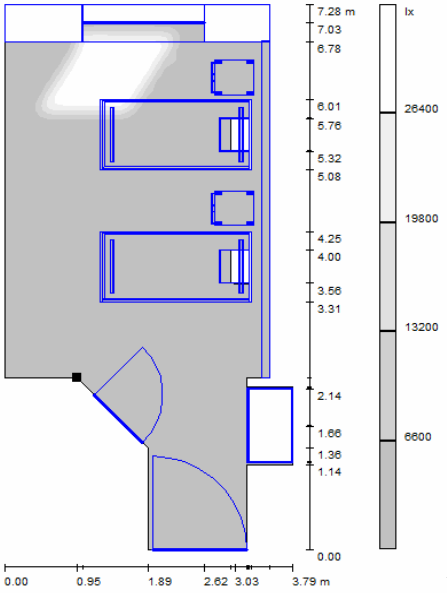
Δ



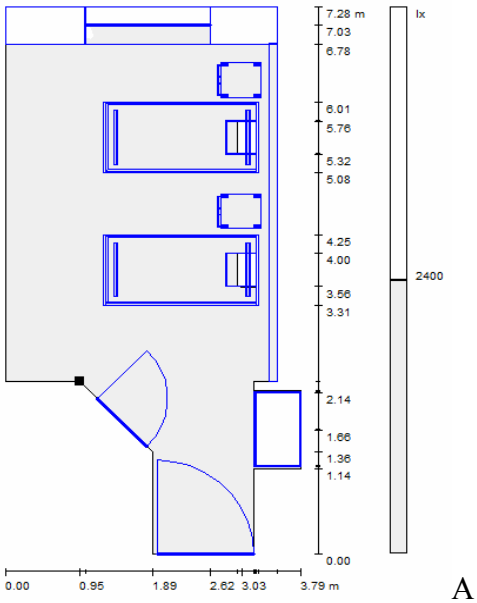
ΝΔ



N

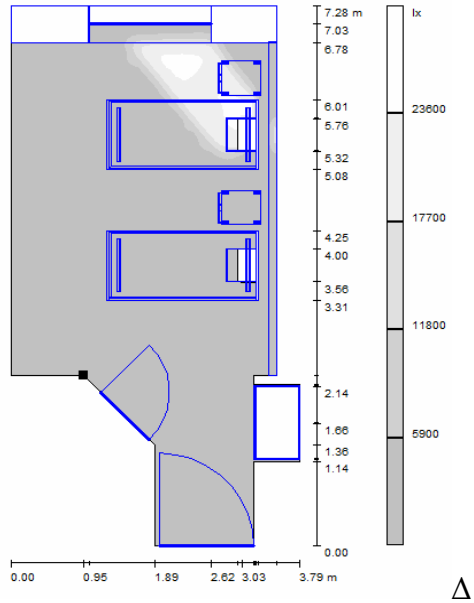


ΝΑ

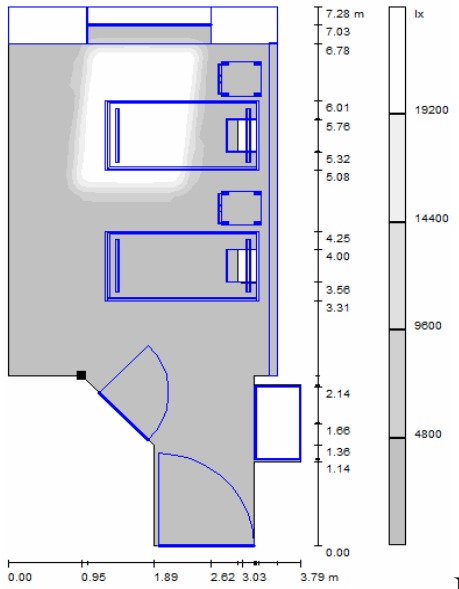


Α

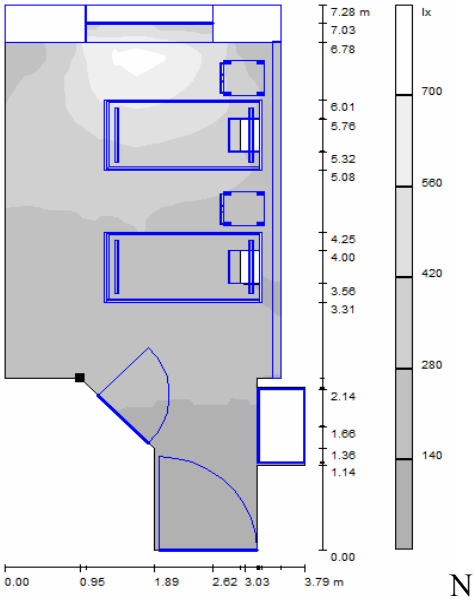
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -3:00 μ.μ.



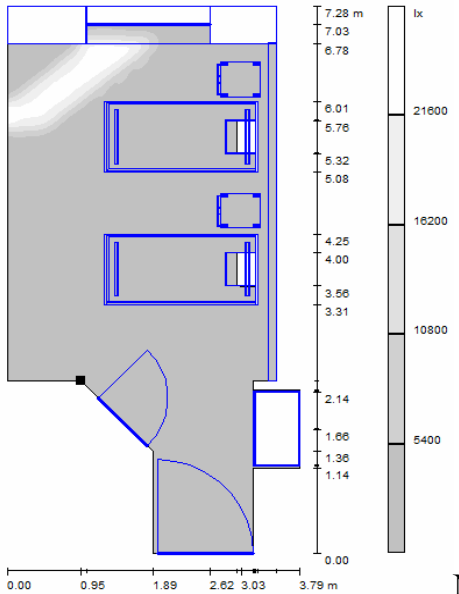
Δ



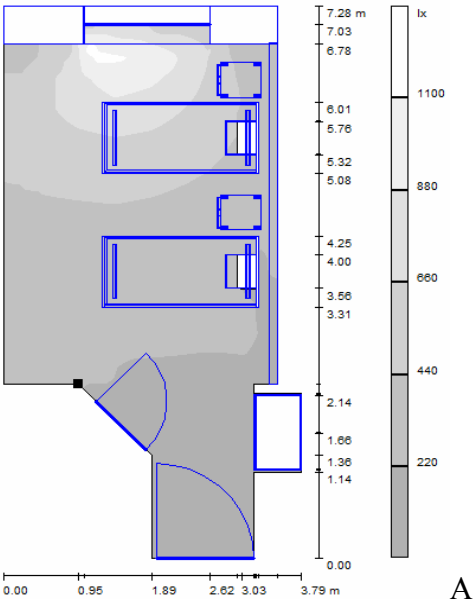
ΝΔ



Ν

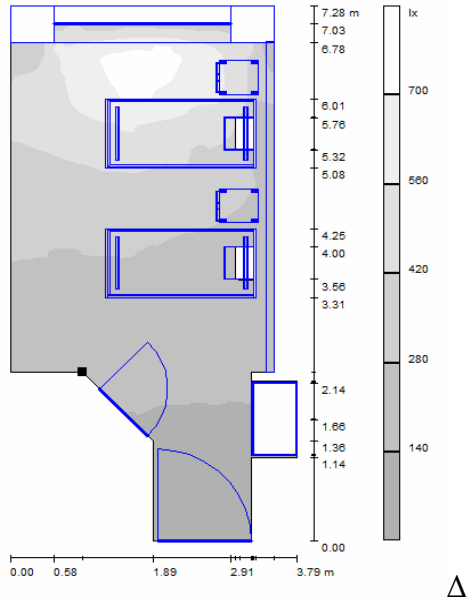


ΝΑ

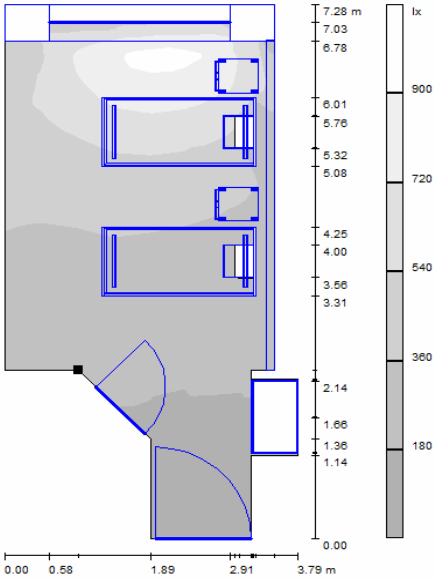


Α

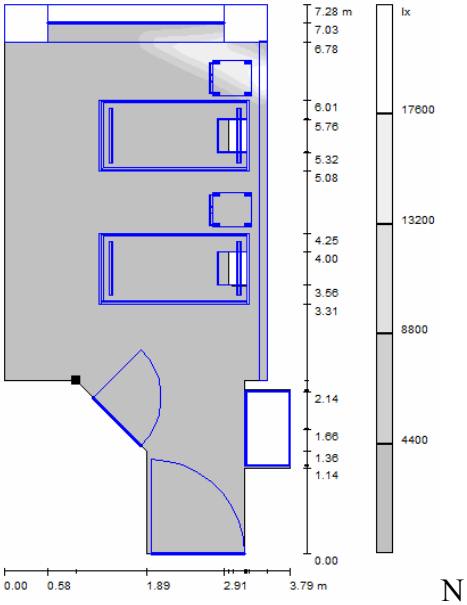
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -9:00 π.μ.



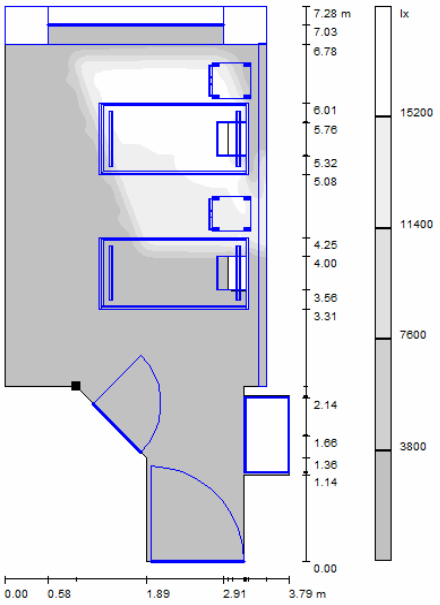
Δ



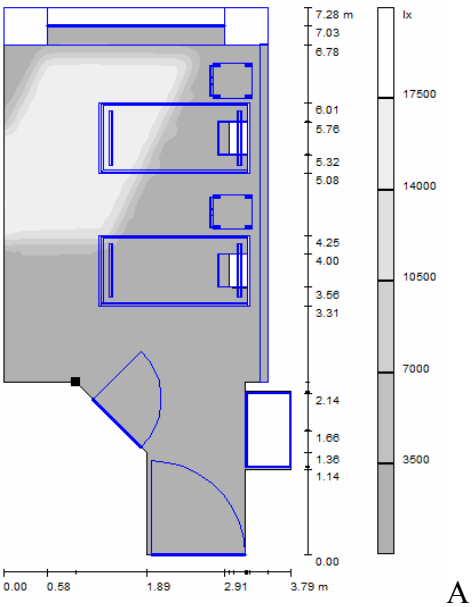
ΝΔ



N

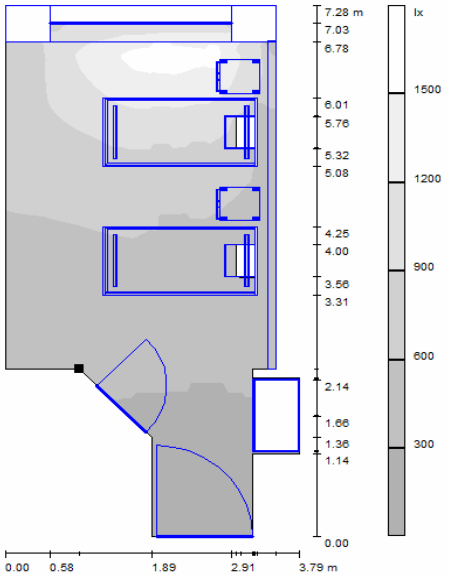


ΝΑ

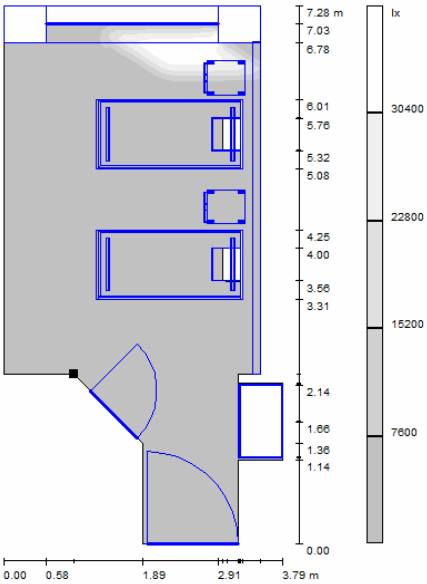


Α

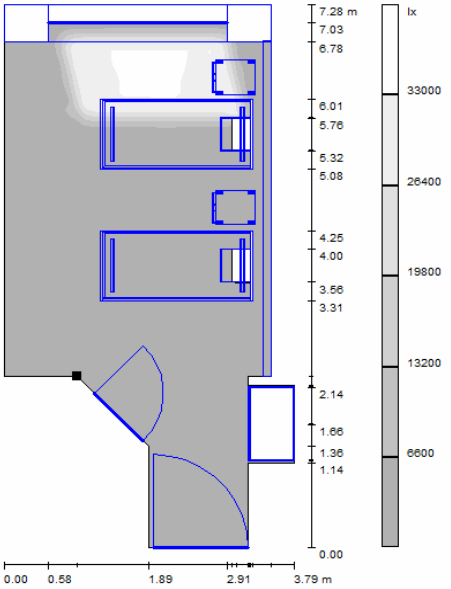
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -12:00 μεσ.



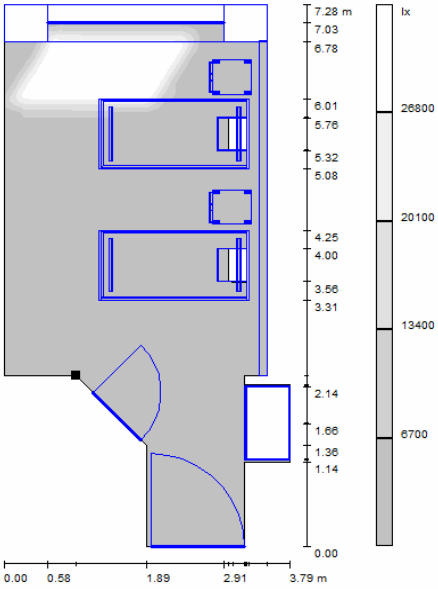
Δ



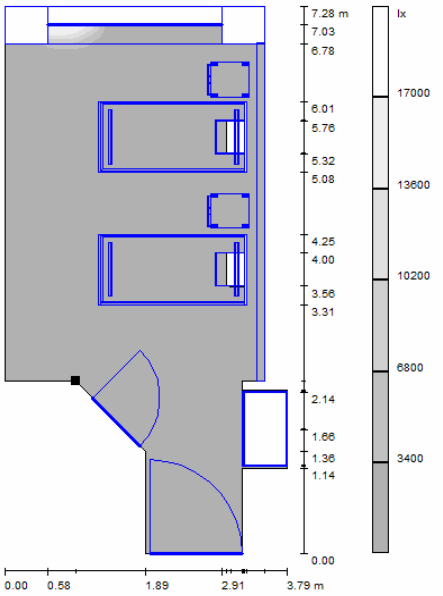
ΝΔ



N

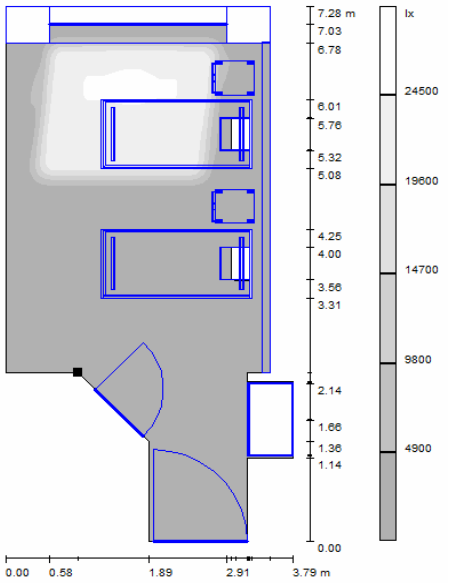


ΝΑ

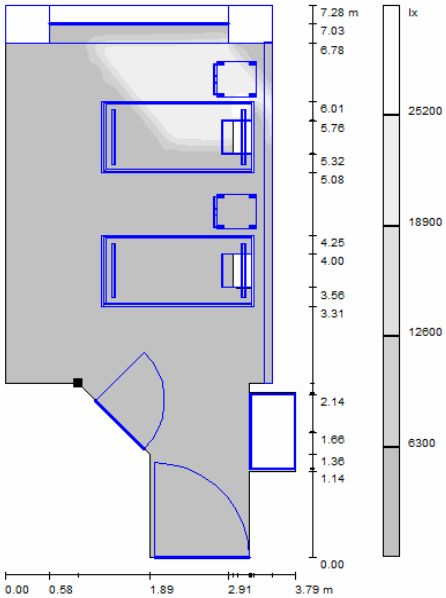


Α

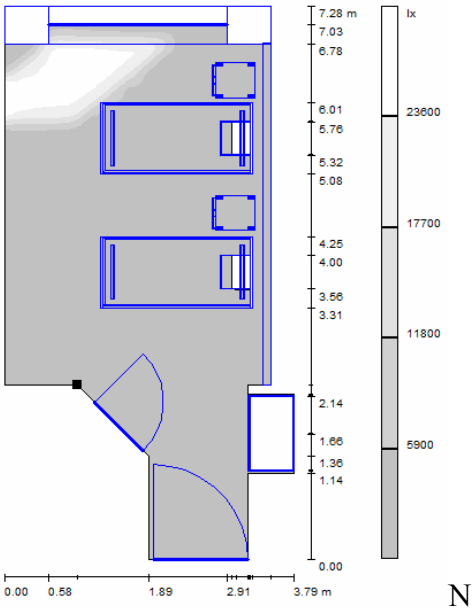
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Μαρτίου -3:00 μ.μ.



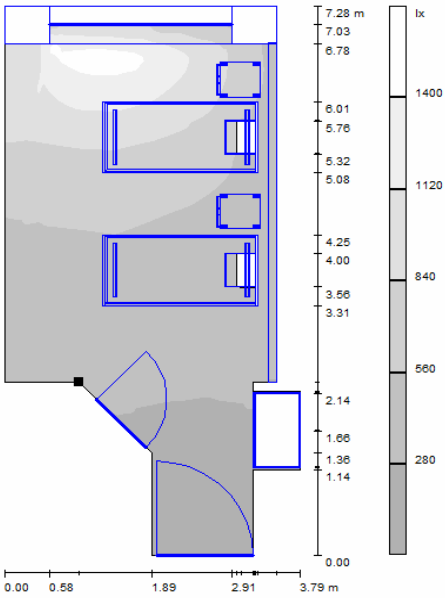
Δ



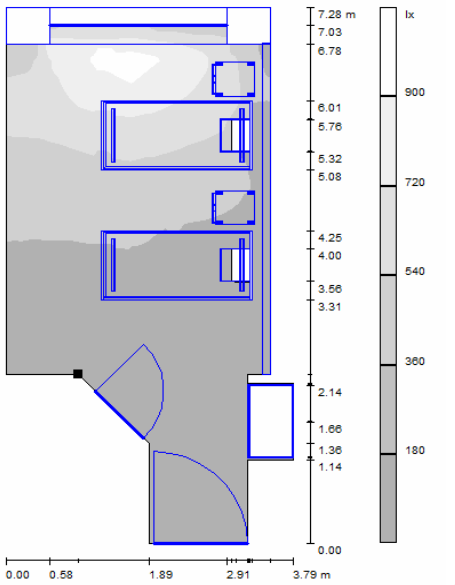
ΝΔ



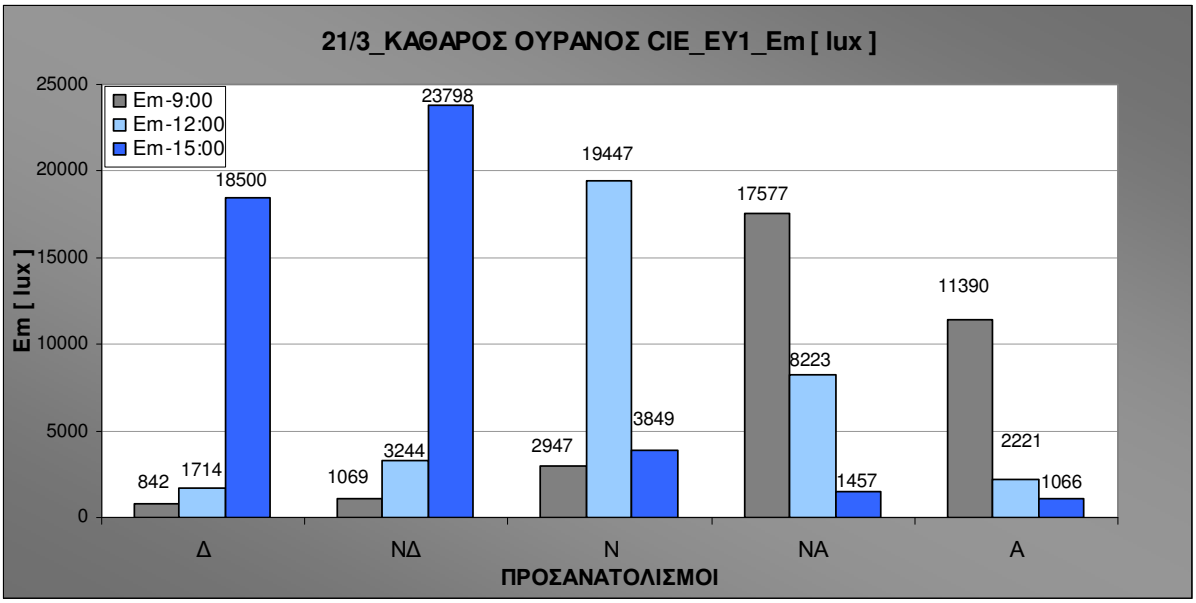
Ν



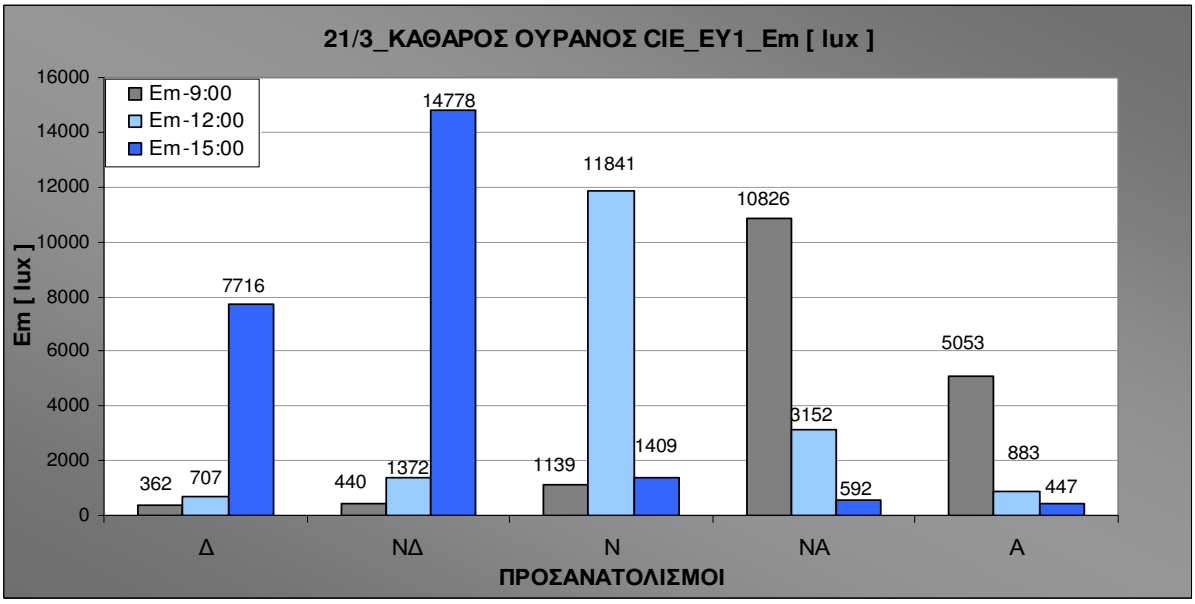
ΝΑ



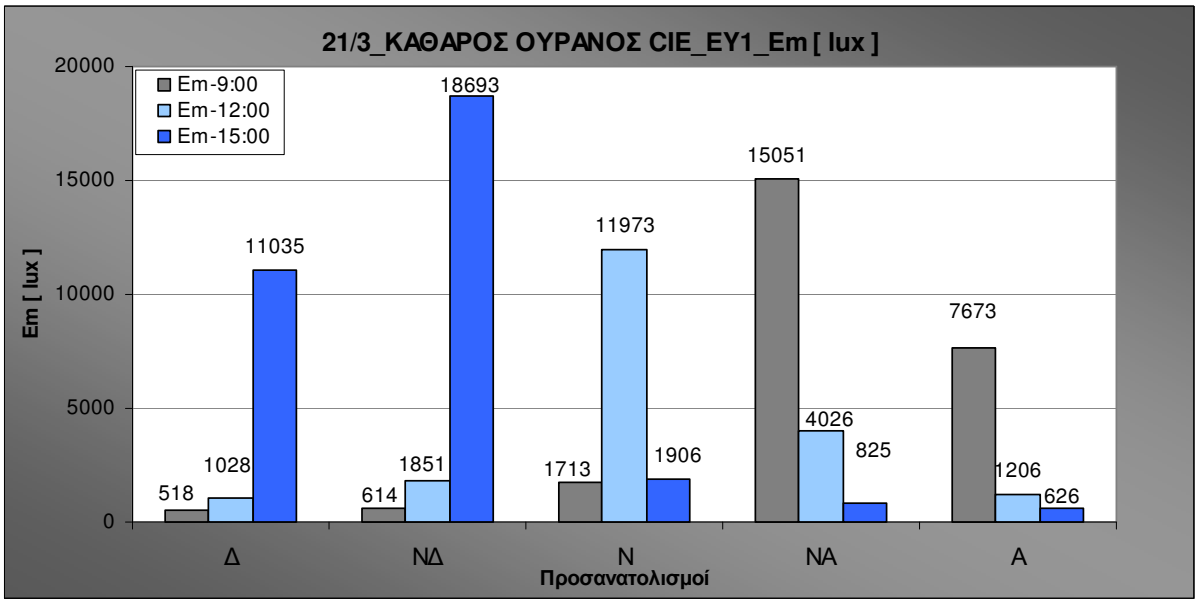
Α



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

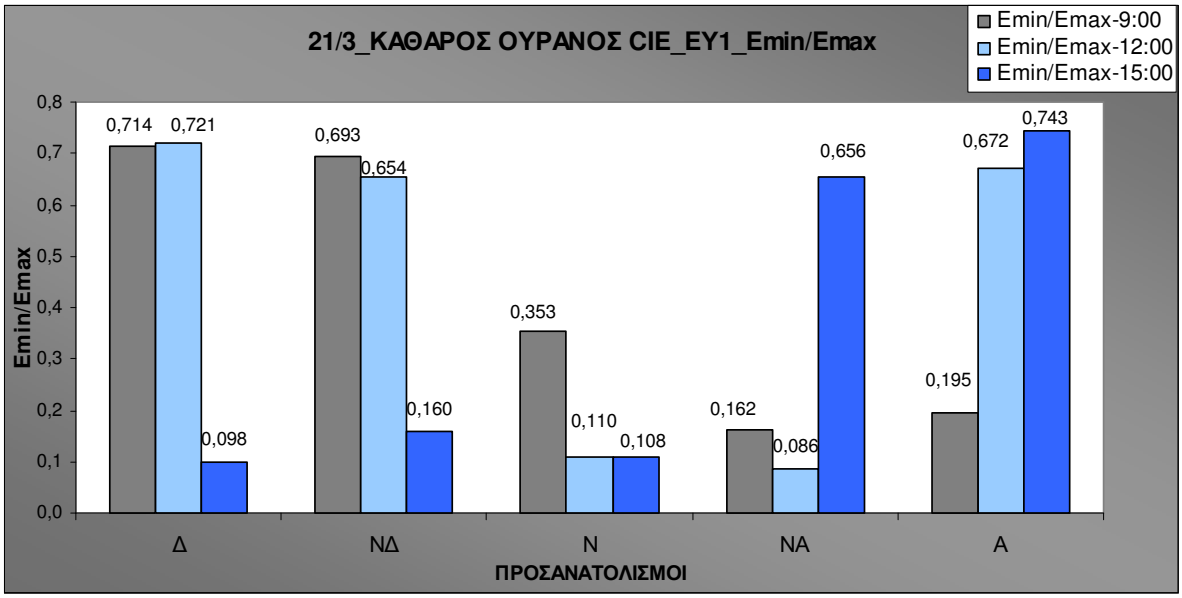
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Μαρτίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 1 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες τις προσομοιώσεις, για όλα δηλαδή τα παράθυρα, για όλους τους προσανατολισμούς και όλες τις ώρες.

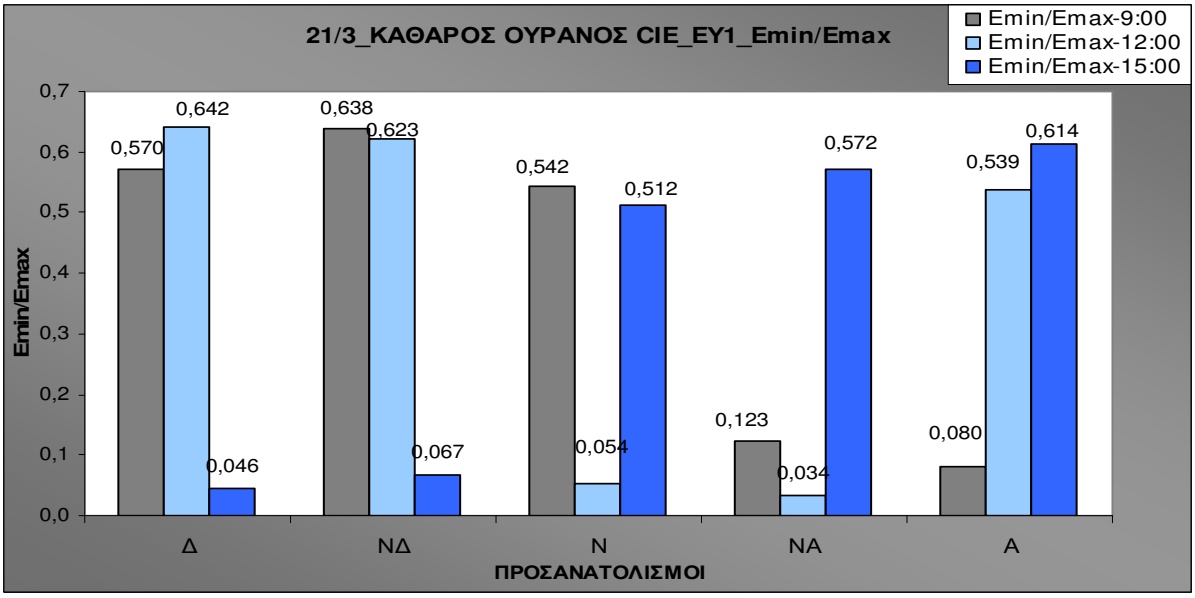
Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ1 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται πάλι στο ΝΔ προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ1 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια ακριβώς με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος.

Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Μαρτίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) οι καλύτεροι προσανατολισμοί για την ΕΥ1 είναι ο Νοτιοδυτικός και ο Νοτιοανατολικός και ακολουθούν με τη σειρά ο Νότιος, ο Δυτικός και τέλος ο Ανατολικός προσανατολισμός.

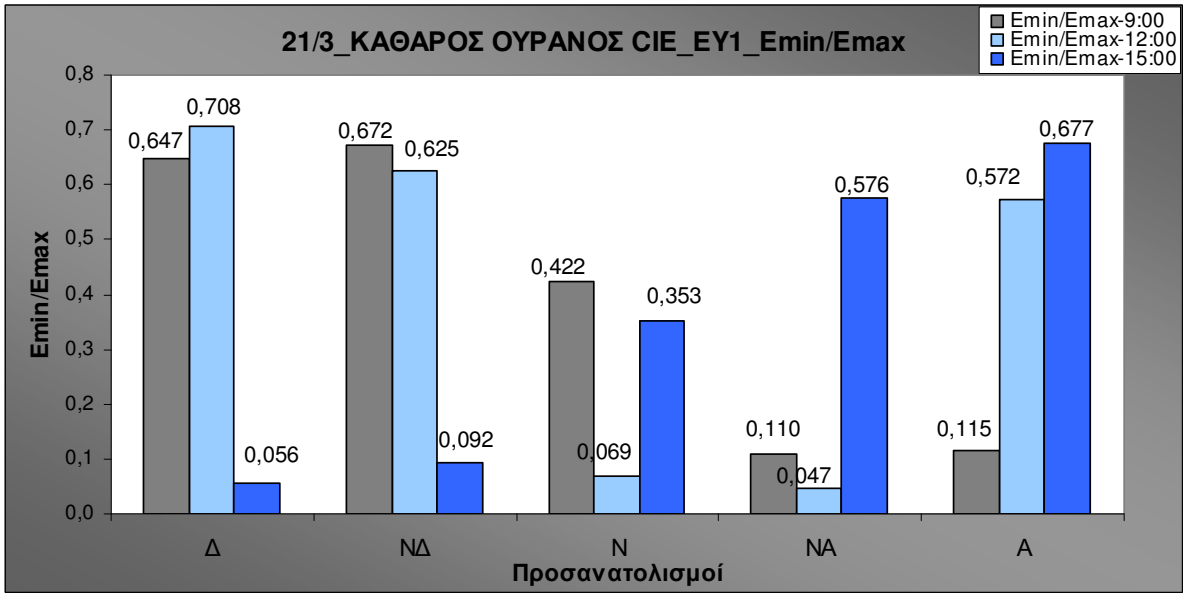
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1). Η κατάταξη δηλαδή σε φθίνουσα σειρά είναι ίδια ακριβώς με εκείνη που προέκυψε και για το επίπεδο ενδιαφέροντος.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

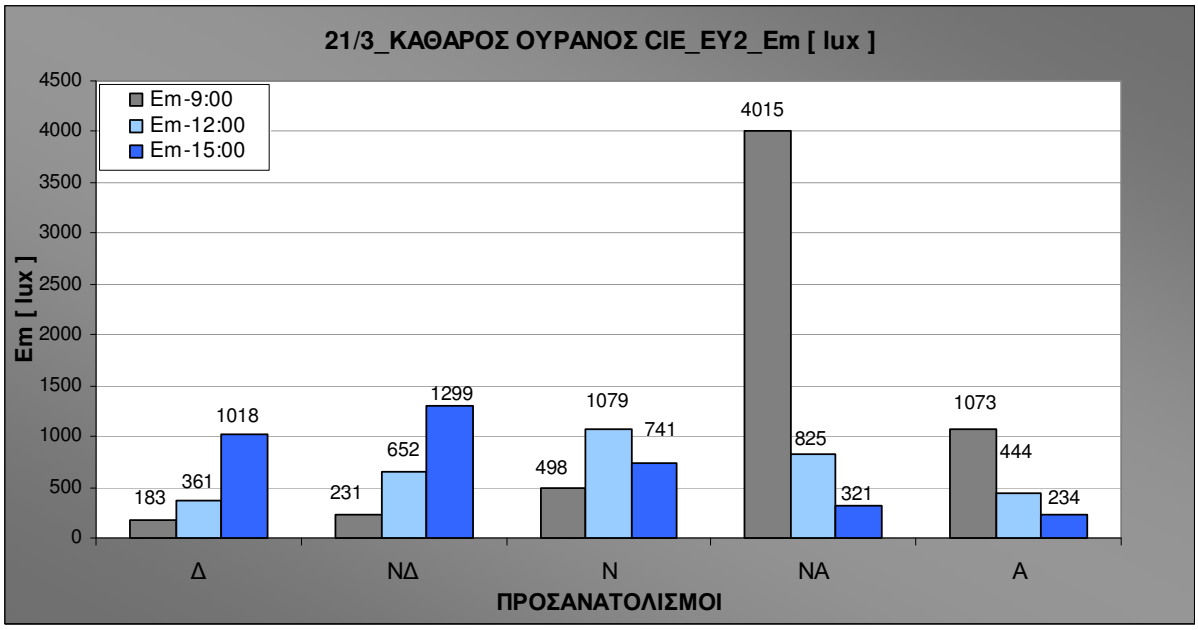
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ1 κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα ελέγχου έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

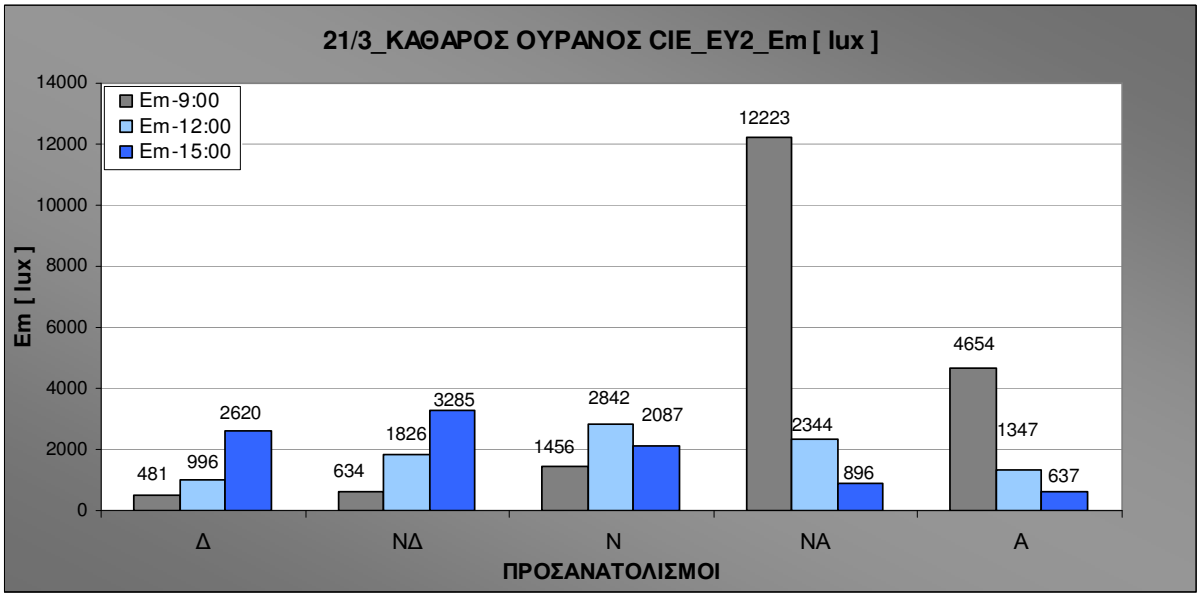
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 καλύτερος προσανατολισμός είναι ο Ανατολικός και ακολουθούν με τη σειρά ο Νοτιοδυτικός, ο Νότιος, ο Δυτικός και τέλος ο Νοτιοανατολικός.

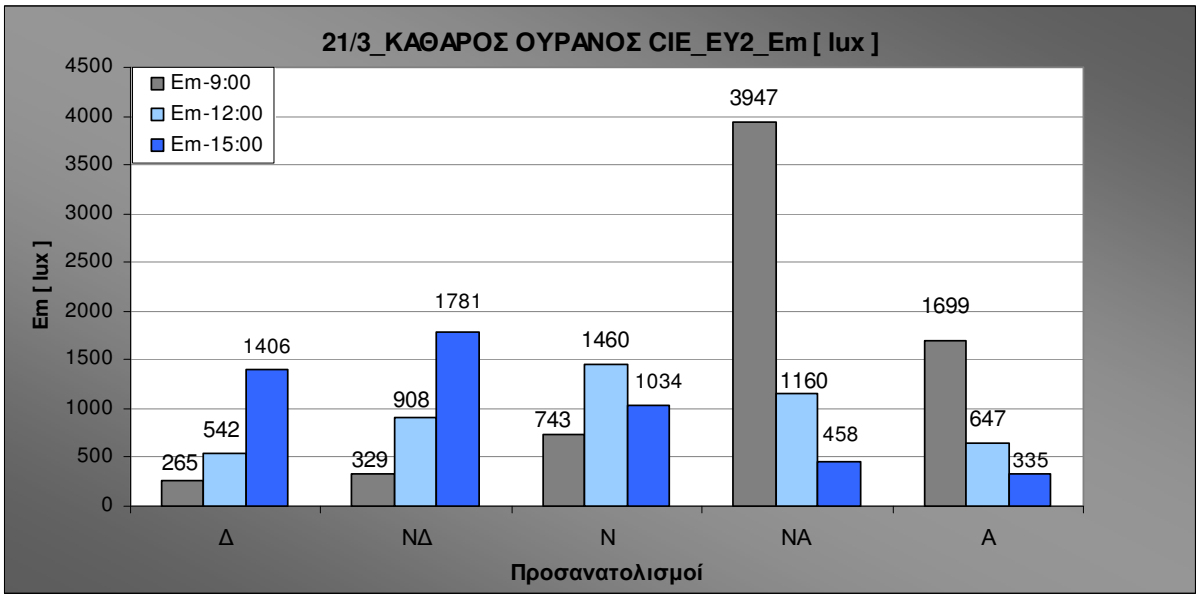
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο1(100%)και έπονται με τη σειρά τα παράθυρα 3(40%) και το παράθυρο 2(30%).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Μαρτίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 2 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες σχεδόν τις προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 1, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

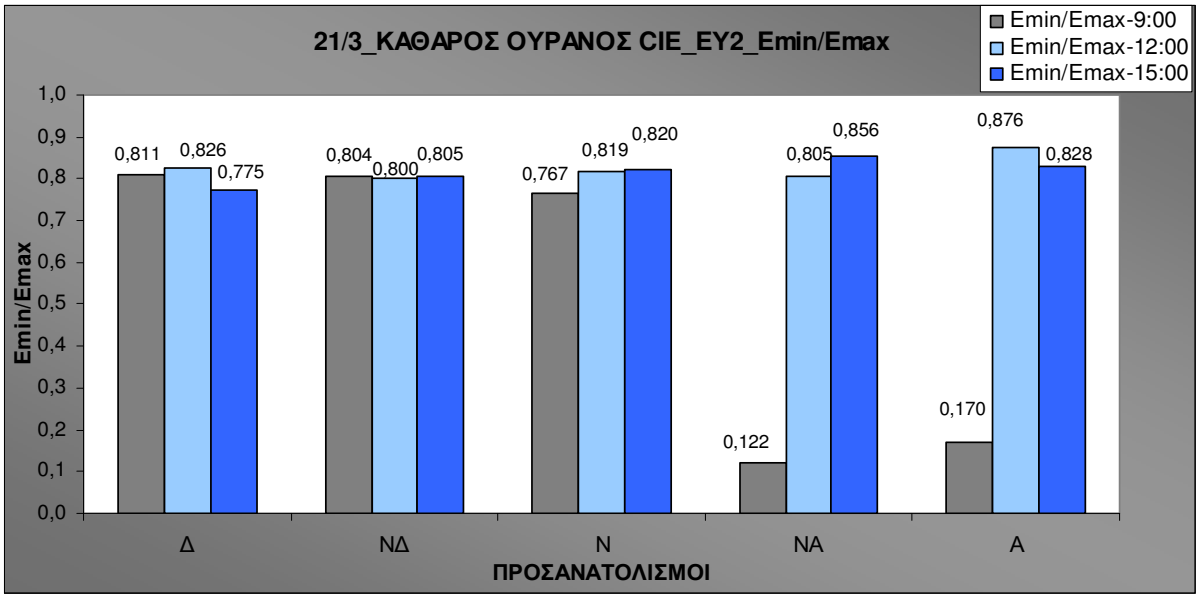
Παράθυρο 1, Ανατολικός προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

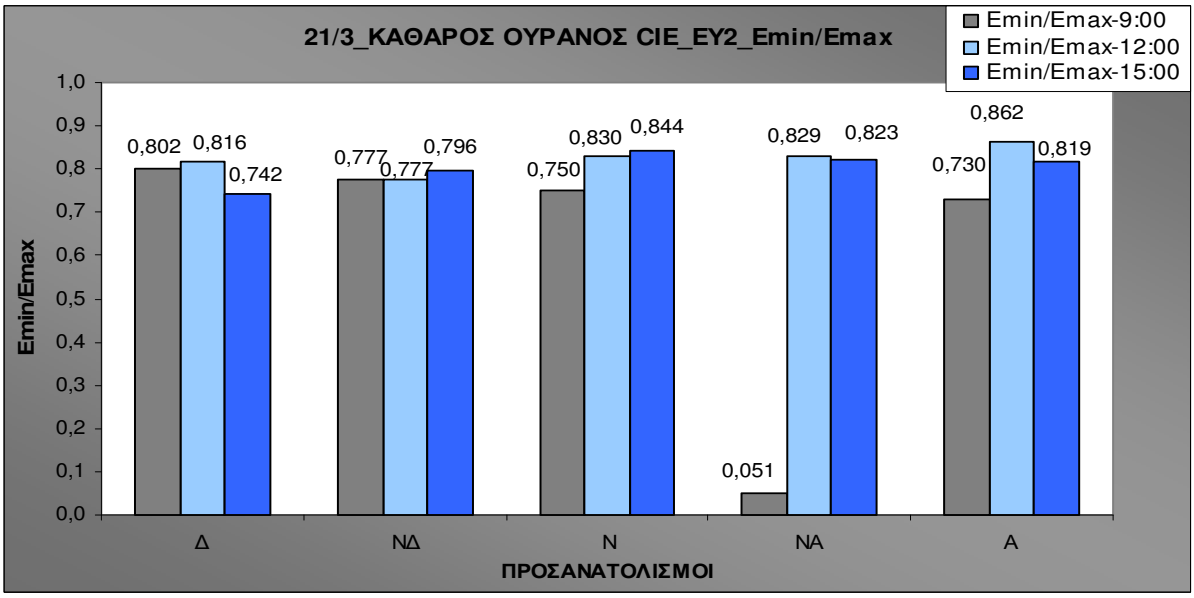
Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ2 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο ΝΑ προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. αυτή τη φορά .Οι κατατάξεις (για κάθε ώρα) των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ2 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια ακριβώς με αυτές που προέκυψαν για το επίπεδο ενδιαφέροντος και την ΕΥ1.

Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Μαρτίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) ο καλύτερος προσανατολισμός για την ΕΥ2 είναι ο Νοτιοανατολικός και ακολουθούν ο Νότιος, ο Νοτιοδυτικός, ο Ανατολικός και τέλος ο Δυτικός προσανατολισμός.

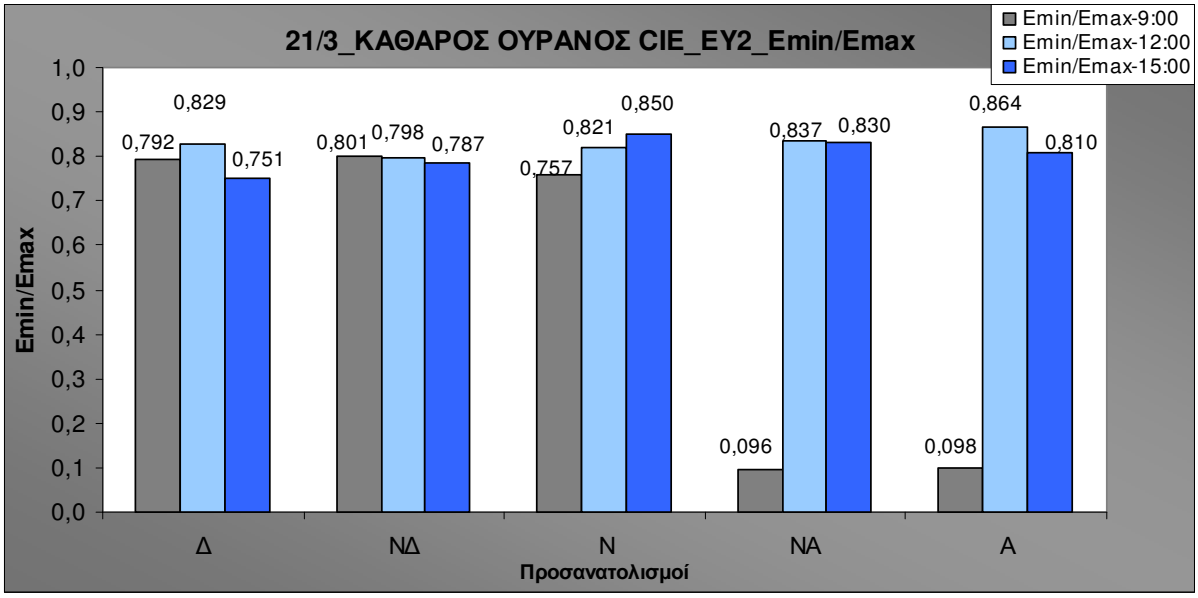
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 2(30%) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40%) και το παράθυρο 1(100%).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

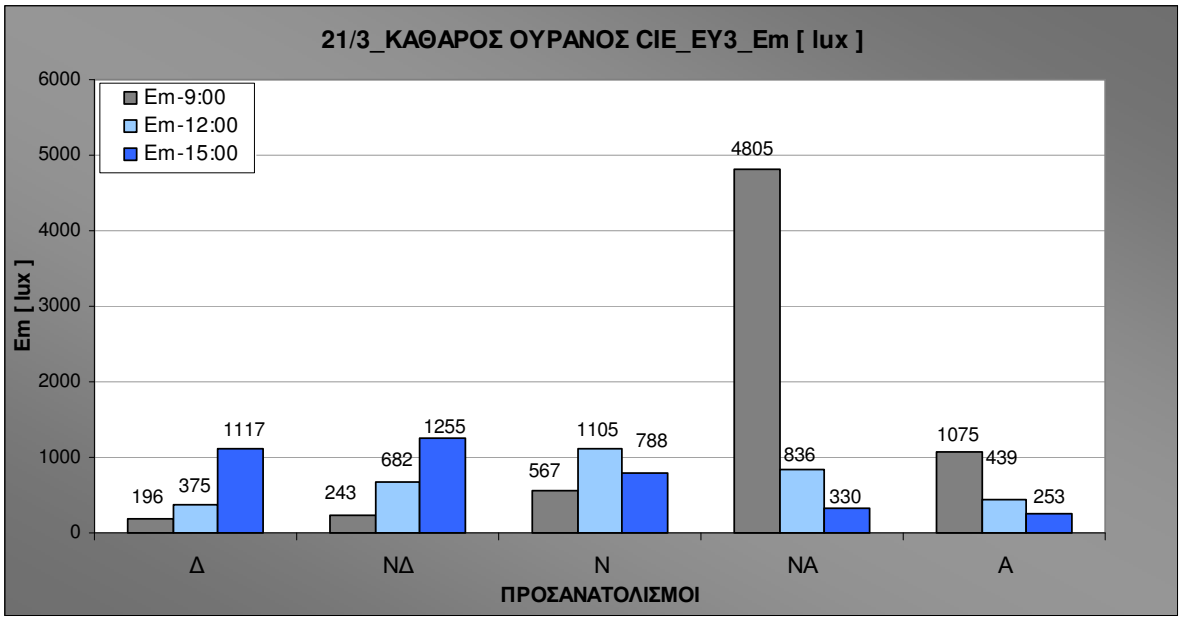
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ2 κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

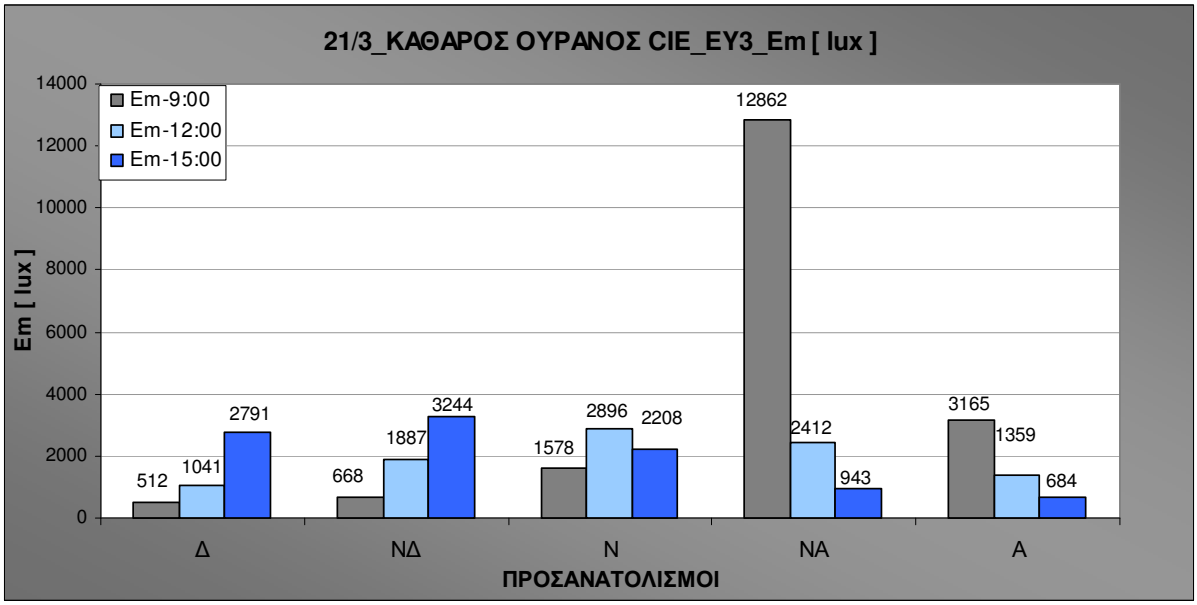
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 οι προσανατολισμοί Νότιος, Νοτιοδυτικός και Δυτικός ικανοποιούν παντού τις απαιτήσεις ομοιομορφίας και ακολουθούν με τη σειρά ο Ανατολικός και ο Νοτιοανατολικός.

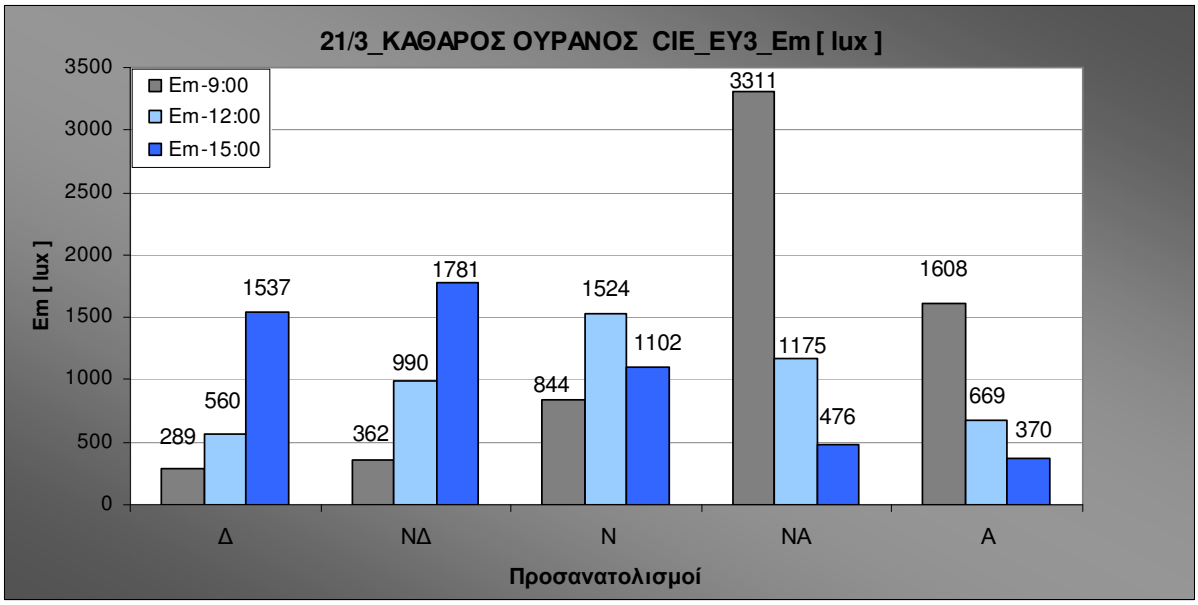
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο1(100%)και έπονται με τη σειρά τα παράθυρα 3(40%) και το παράθυρο 2(30%).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Μαρτίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 3 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες σχεδόν τις προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 1, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 1, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

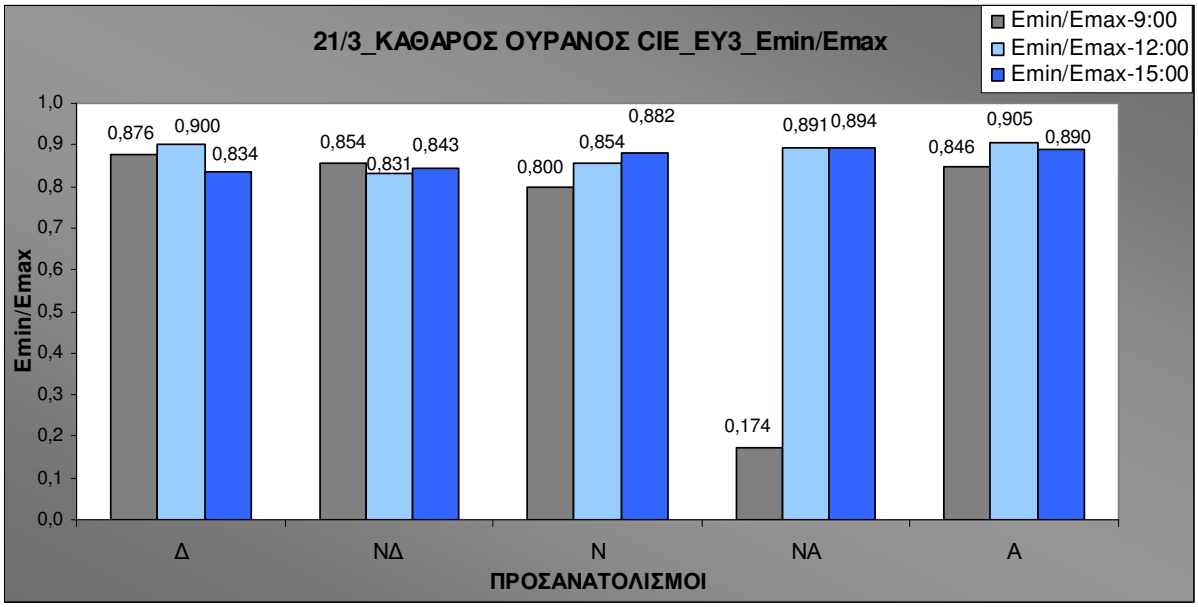
Παράθυρο 1, Ανατολικός προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

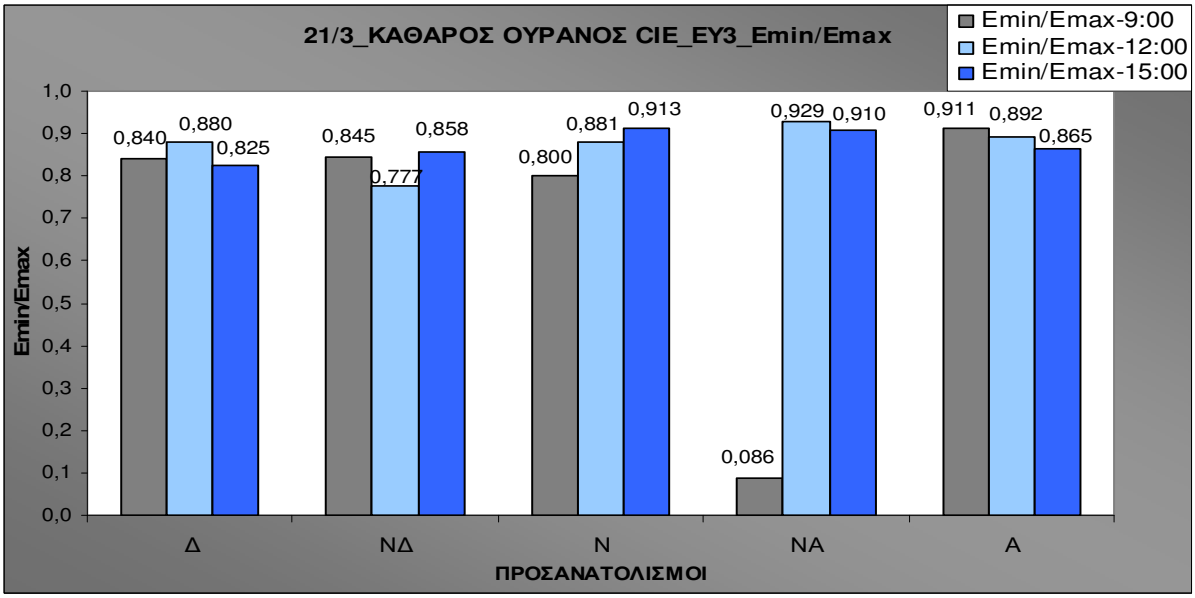
Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ3 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο ΝΑ προσανατολισμό στις 9:00 π.μ..Οι κατατάξεις (για κάθε ώρα) των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ3 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια ακριβώς με αυτές που προέκυψαν για το επίπεδο ενδιαφέροντος, την ΕΥ1 και την ΕΥ2.

Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Μαρτίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) ο καλύτερος προσανατολισμός για την ΕΥ3 είναι ο Νοτιοανατολικός και ακολουθούν ο Νότιος, ο Νοτιοδυτικός, ο Ανατολικός και τέλος ο Δυτικός προσανατολισμός, όπως δηλαδή προέκυψε και για την ΕΥ2.

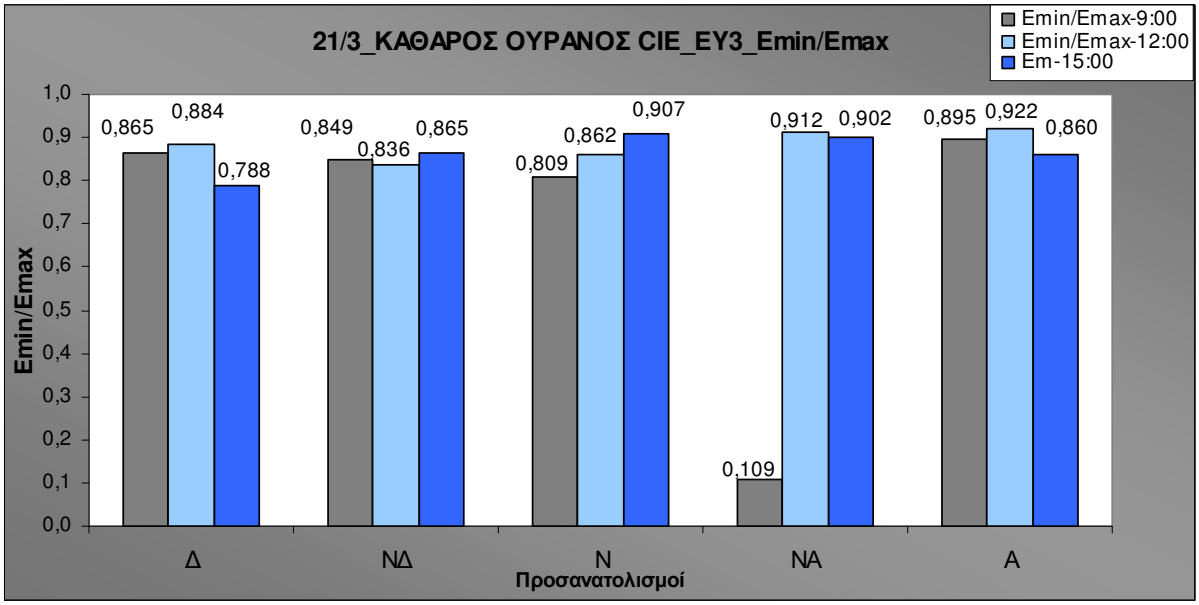
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 2(30%) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40%) και το παράθυρο 1(100%), με μια εξαίρεση στο Νοτιοανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. όπου η κατάταξη τους είναι Παράθυρο 2→ Παράθυρο 1 → Παράθυρο 3.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

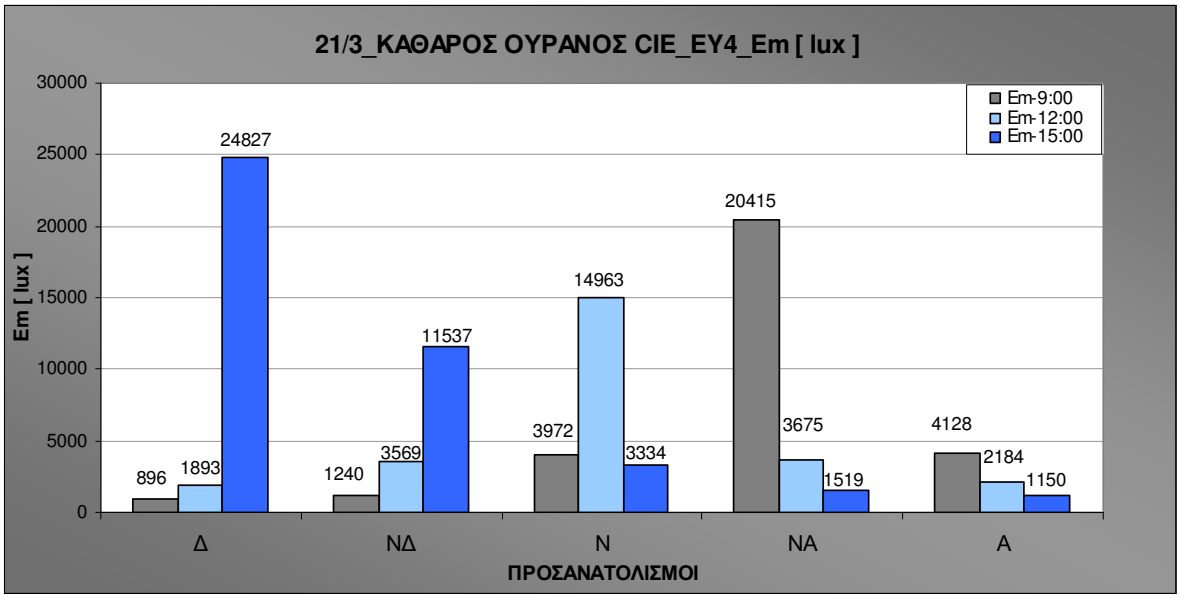
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ3 κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

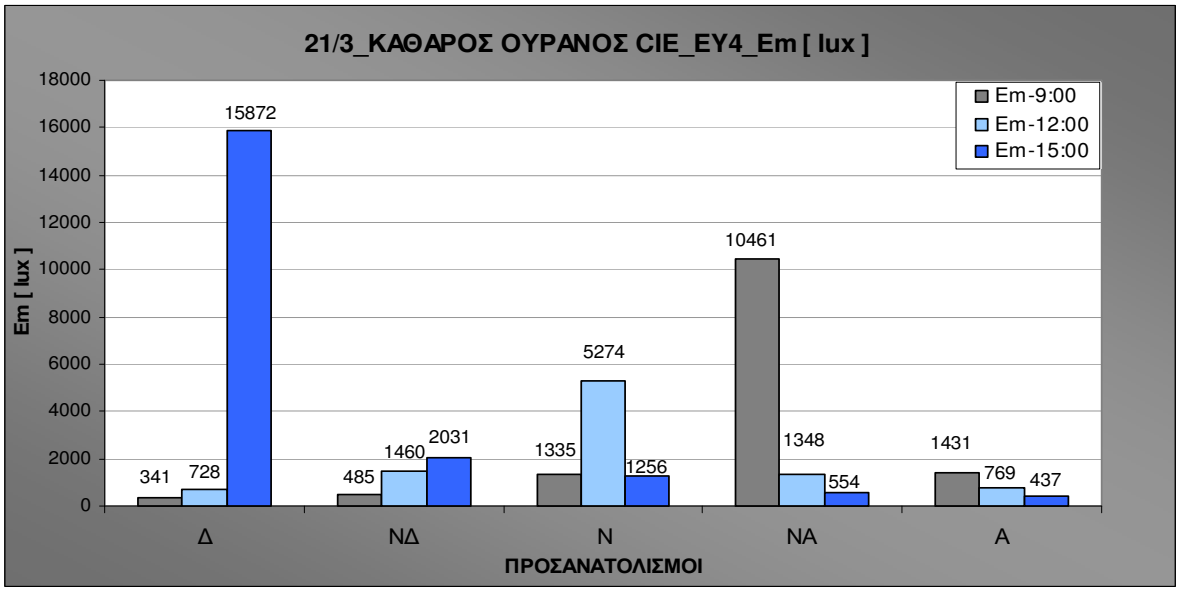
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 οι προσανατολισμοί Νότιος, Νοτιοδυτικός και Δυτικός και Ανατολικός ικανοποιούν παντού τις απαιτήσεις ομοιομορφίας και ακολουθεί ο Νοτιοανατολικός που δεν επιτυγχάνει ομοιομορφία για το παράθυρο 2 στις 9:00 π.μ. .

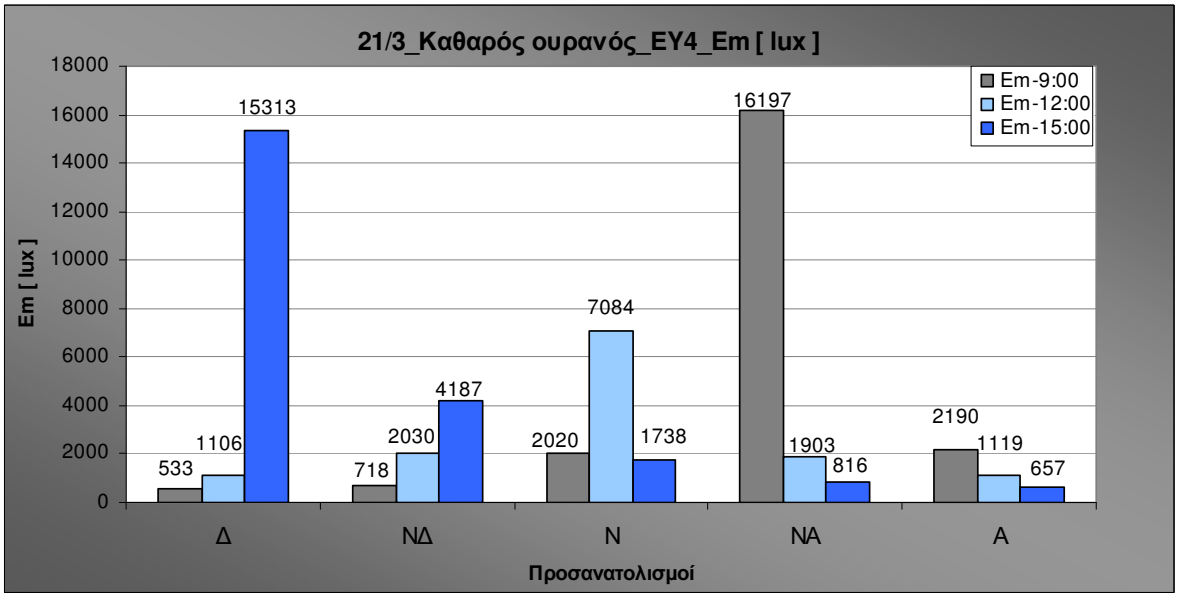
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 αποδεικνύεται ότι το παράθυρο1(100%) και το παράθυρο 3(40%) είναι εξίσου καλά και έπεται το παράθυρο 2(30%) .



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Μαρτίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 4 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες τις προσομοιώσεις.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ4 για τα παράθυρα 1 και 2 εμφανίζεται στο Δυτικό προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ. και για το παράθυρο 3 στο Νοτιοανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. . Οι κατατάξεις (για κάθε ώρα) των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ4 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα στις 9:00 π.μ. είναι ίδια με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος, την ΕΥ1,την ΕΥ2 και την ΕΥ3.

Στις 12:00 μεσ. για το Παράθυρο 1 είναι ίδια με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος, την ΕΥ1, την ΕΥ2 και την ΕΥ3(δηλαδή Ν→ ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ), αλλά για τα Παράθυρα 2 και 3 είναι:

Ν→ ΝΔ→ ΝΑ → Α → Δ

Και για τις 3:00 μ.μ. και για τα τρία παράθυρα είναι:

Δ→ ΝΔ→ Ν → ΝΑ → Α

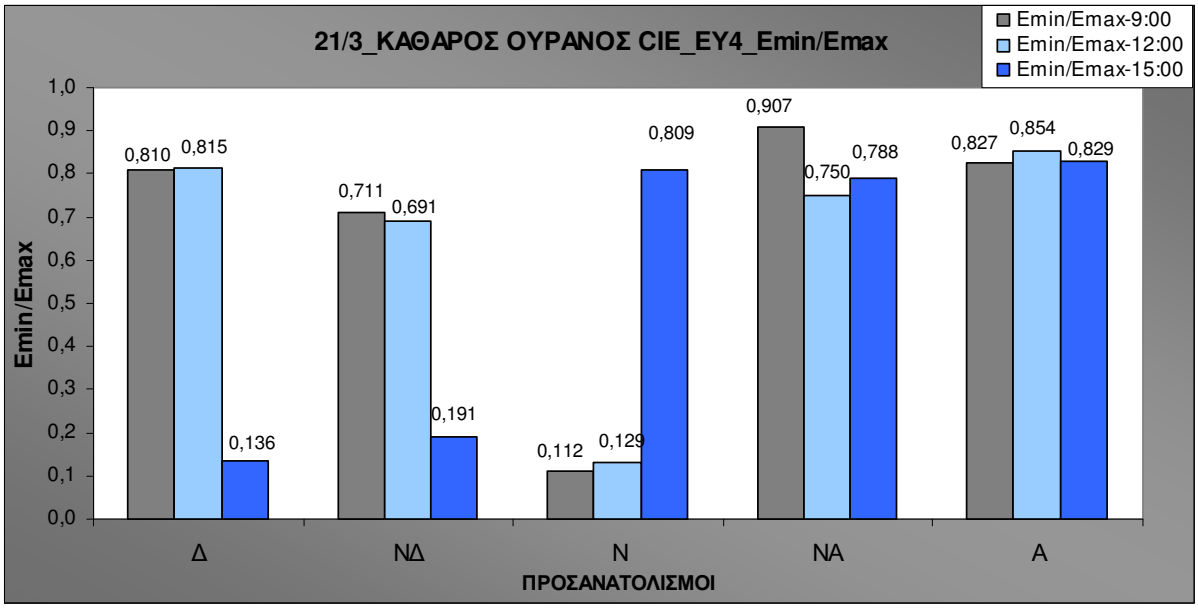
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Μαρτίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) οι προσανατολισμοί για την ΕΥ4 για τα παράθυρα 1 και 2 κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά ως εξής:

Δ→ ΝΑ → Ν → ΝΔ → Α

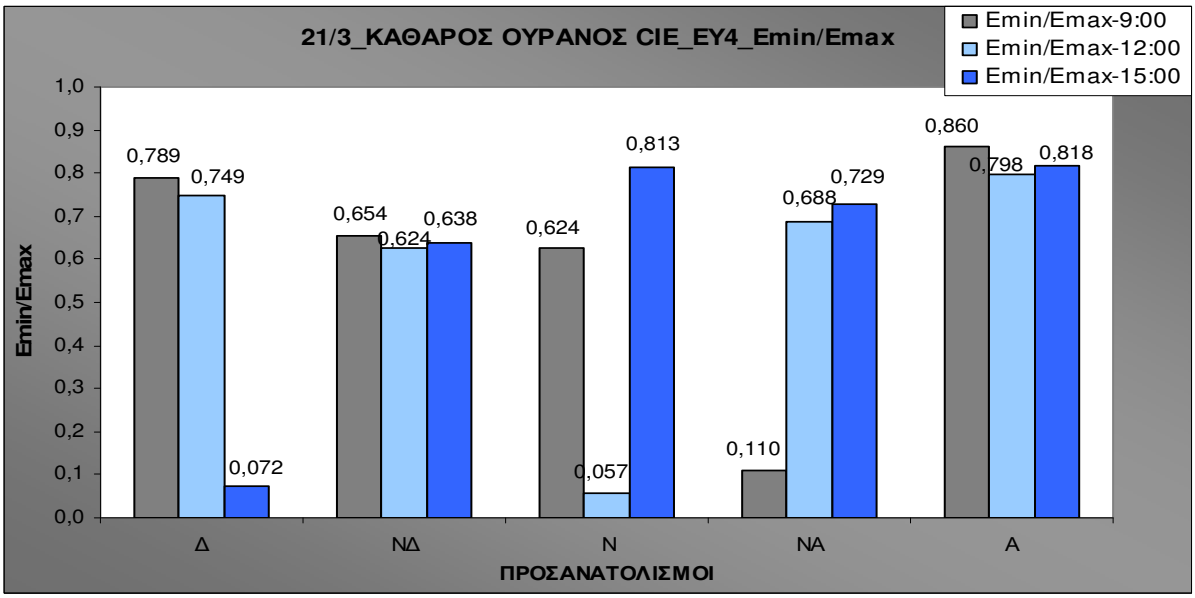
Και για το παράθυρο 3 ως εξής:

ΝΑ → Δ→ Ν → ΝΔ→ Α

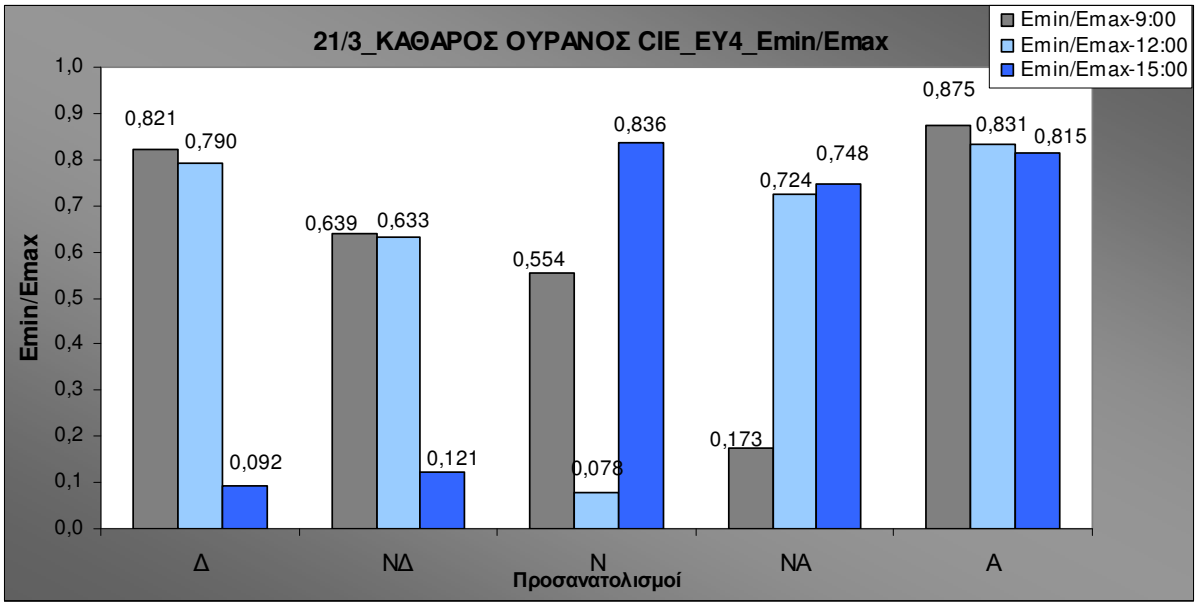
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(100%) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40%) και το παράθυρο 2(30%), με κάποια/κάποιες εξαιρέσεις.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ4 κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 οι προσανατολισμοί Νοτιοδυτικός, Νοτιοανατολικός και Ανατολικός ικανοποιούν παντού τις απαιτήσεις ομοιομορφίας και ακολουθούν με τη σειρά ο Δυτικός και ο Νότιος.

Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο1(100%)και έπονται με τη σειρά τα παράθυρα 3(40%) και το παράθυρο 2(30%).

Διαδικασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων

Επιθυμώντας μέσα από την παράθεση των αποτελεσμάτων και την επιμέρους (χωριστά για κάθε μία από τις επιφάνειες υπολογισμού) κατάταξη των προσανατολισμών και των ανοιγμάτων να οδηγηθούμε σε γενικότερα συμπεράσματα για τον υπό μελέτη χώρο για την ημερομηνία αυτή ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- συγκρίθηκαν οι κατατάξεις των προσανατολισμών τόσο ως προς τα επίπεδα φωτισμού όσο και προς τις ομοιομορφίες που επιτυγχάνονται για τις επιφάνειες 1 και 4 που ανήκουν στο ίδιο κρεβάτι (κρεβάτι 2)και έγινε επιλογή μιας ενιαίας κατάταξης για το κρεβάτι αυτό

- με την ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε κοινή κατάταξη προσανατολισμών για τις επιφάνειες 2 και 3 (κρεβάτι 1)

-τέλος εξετάζοντας ποιοι προσανατολισμοί δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και για τα δύο κρεβάτια ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε κοινή κατάταξη προσανατολισμών για τα κρεβάτια.

Η άνωθεν προσέγγιση ακολουθήθηκε έπειτα και για την ενιαία κατάταξη των ανοιγμάτων.

Συνοψίζοντας επομένως τα αποτελέσματα για την 21^{η} Μαρτίου βρέθηκε ότι όσον αφορά :

- στην κατάταξη των προσανατολισμών ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) ,η φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : ΝΑ → Ν → ΝΔ → Δ → Α
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ

- στην κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την ομοιομορφία, η φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : (ΝΔ και Α) → (Δ και Ν)→ ΝΑ
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Δ → Α → ΝΔ → ΝΑ → Ν

- στην κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) ,η φθίνουσα σειρά είναι
  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2

- στην κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς την ομοιομορφία, η φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 3→ Παράθυρο 2 → Παράθυρο 1

4.6.1.2 Συμπεράσματα για την 21η Μαρτίου

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω οι προσανατολισμοί Νότιος και Νοτιοανατολικός φαίνεται να είναι οι αποδοτικότεροι ως προς την επίτευξη υψηλών επιπέδων φωτισμού τόσο στο χώρο συνολικά όσο και στις επιφάνειες των δύο κρεβατιών που εξετάστηκαν. Ωστόσο, οι δύο αυτοί προσανατολισμοί δεν ικανοποιούν σε γενικές γραμμές ούτε τις απαιτήσεις λαμπρότητας στο επίπεδο του δαπέδου με πιθανή συνεπώς την πρόκληση θάμβωσης, ούτε τις απαιτήσεις ομοιομορφίας, θέτοντας με τον τρόπο αυτό αμφιβολίες ως προς την οπτική άνεση που επιτυγχάνεται για τους χρήστες του χώρου και ως προς την τελική εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί ή όχι να επιφέρουν οι συγκεκριμένοι προσανατολισμοί. Η τελευταία αυτή παρατήρηση στηρίζεται στο γεγονός ότι τόσο από έρευνες όσο και από την ατομική μας εμπειρία γνωρίζουμε ότι σε περιπτώσεις έντονου φυσικού φωτός η συνηθέστερη αντίδραση των χρηστών είναι η παρεμπόδισή του με το εκάστοτε διαθέσιμο σύστημα σκίασης και η ενεργοποίηση του τεχνητού φωτισμού.

Από τις φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα και οι οποίες παρατίθενται στις επόμενες σελίδες παρατηρούμε ότι σε αρκετές περιπτώσεις προσομοιώσεων εμφανίζονται ηλιακά ίχνη στον υπό μελέτη χώρο. Από τις περιπτώσεις αυτές ιδιαίτερη σημασία έχουν

<u>για το παράθυρο 1</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο Ν προσανατολισμός και

στις 3:00 μ.μ. ο Δ και ο ΝΔ προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 2</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο Ν προσανατολισμός και

στις 3:00 μ.μ. ο Δ προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 3</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο Ν προσανατολισμός και

στις 3:00 μ.μ. ο Δ προσανατολισμός

καθώς η εμφάνιση των ιχνών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται στο τμήμα του χώρου που είναι τοποθετημένα τα κρεβάτια και μάλιστα το πάνω μέρος αυτών(δηλαδή το μαξιλάρι).

Η παραπάνω διαπίστωση ενισχύει την άποψη ότι για την εξασφάλιση ποιοτικού σχεδιασμού του φωτισμού στο χώρο οι εν λόγω επιλογές ως προς τον προσανατολισμό θα πρέπει να συνδυαστούν και με κάποιο σύστημα φυσικού φωτισμού.

Εξετάζοντας τον τρόπο επιρροής του μεγέθους/θέσης των ανοιγμάτων στα επίπεδα φωτισμού, οδηγηθήκαμε μάλλον σε προφανή συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, αποδείχθηκε ότι αύξηση των διαστάσεων του ανοίγματος οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου, τόσο στο σύνολό του , όσο και στις επιφάνειες που κυρίως μας ενδιέφεραν. Η κατάταξη των παραθύρων ως προς τα επίπεδα φωτισμού όμως ταυτίζεται με την κατάταξή τους ως προς την ομοιομορφία μόνο όσον αφορά τις επιφάνειες υπολογισμού. Εξετάζοντας το χώρο στο σύνολό του (επίπεδο ενδιαφέροντος) η ομοιομορφία επιτεύχθηκε στις περισσότερες περιπτώσεις από το μεσαίου μεγέθους παράθυρο, ακολούθως από το μικρού μεγέθους και τέλος από το μεγαλύτερο παράθυρο καταδεικνύοντας το εμβαδό του ανοίγματος ως παράγοντα δευτερευούσης σημασίας για την επίτευξη ομοιομορφίας. Η ύπαρξη ποδιάς και η μείωση του ύψους στο οποίο βρίσκεται η άνω παρειά του ανοίγματος φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο την ομοιομορφία, καθώς περιορίζει μερικώς τμήμα της άμεσης ακτινοβολίας που εισέρχεται στο δωμάτιο.

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Μαρτίου -9:00 π.μ._ Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Μαρτίου-12:00 μεσ._ Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Μαρτίου -3:00μ.μ- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Μαρτίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

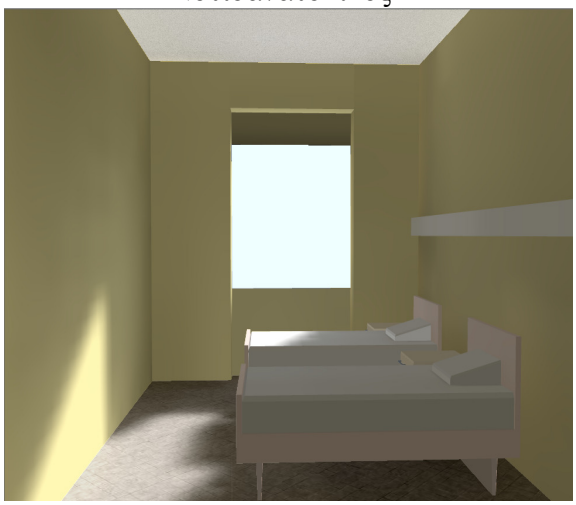
Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός



Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Μαρτίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Μαρτίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

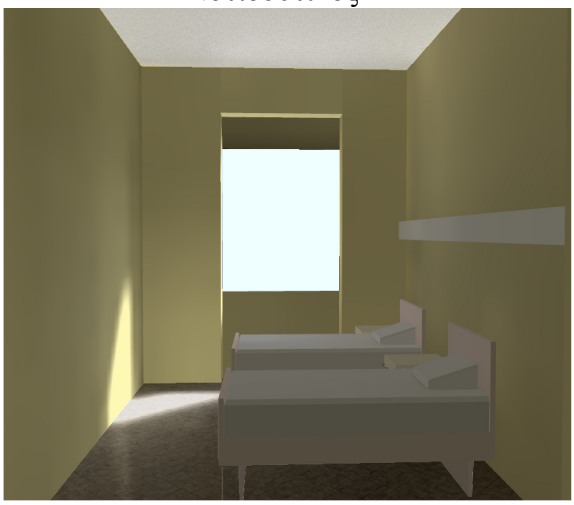
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός



Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Μαρτίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Μαρτίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

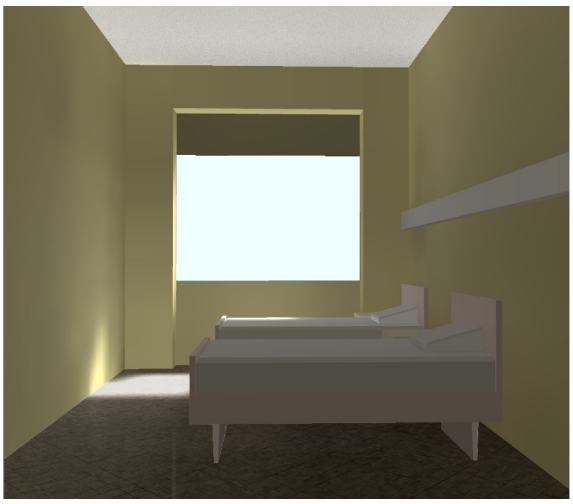
Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

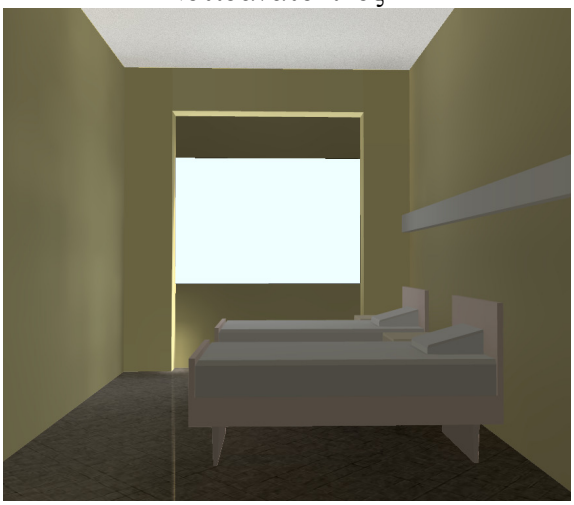
Νότιος

Νότιος



Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός



Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Μαρτίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου
(Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

4.6.1.3 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_21 Ιουνίου

21 Ιουνίου – 9:00 π.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	58	65	85	449	987
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	456	507	664	3530	7749

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	12	13	19	73	168
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	96	105	146	574	1321

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	19	20	27	122	299
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	152	158	216	959	2350

21 Ιουνίου – 12:00 μεσ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	95	126	405	831	726
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	746	986	3178	6523	5701

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	23	29	80	271	191
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	178	228	629	2129	1502

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	35	42	136	365	307
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	279	331	1070	2868	2415

21 Ιουνίου – 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	719	906	391	120	91
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	5646	7119	3069	944	717

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	210	275	71	30	22
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	1651	2161	561	232	173

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	314	405	126	45	33
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	2467	3179	986	353	257

Πίνακας 4.14 *Επισκόπηση αποτελεσμάτων φωτεινότητας και φωτισμού στο δάπεδο για τα τρία παράθυρα την 21^η Ιουνίου*

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από τον πίνακα 4.14 προκύπτει ότι για την 21η Ιουνίου στις 9:00 π.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τον Ανατολικό προσανατολισμό.

-το παράθυρο 2 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας για το Δυτικό προσανατολισμό

-το παράθυρο 3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για την 21 Ιουνίου στις 12:00 μεσ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς ΝΑ και Α.

-τα παράθυρο 2 και 3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για την 21 Ιουνίου στις 3:00 μ.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

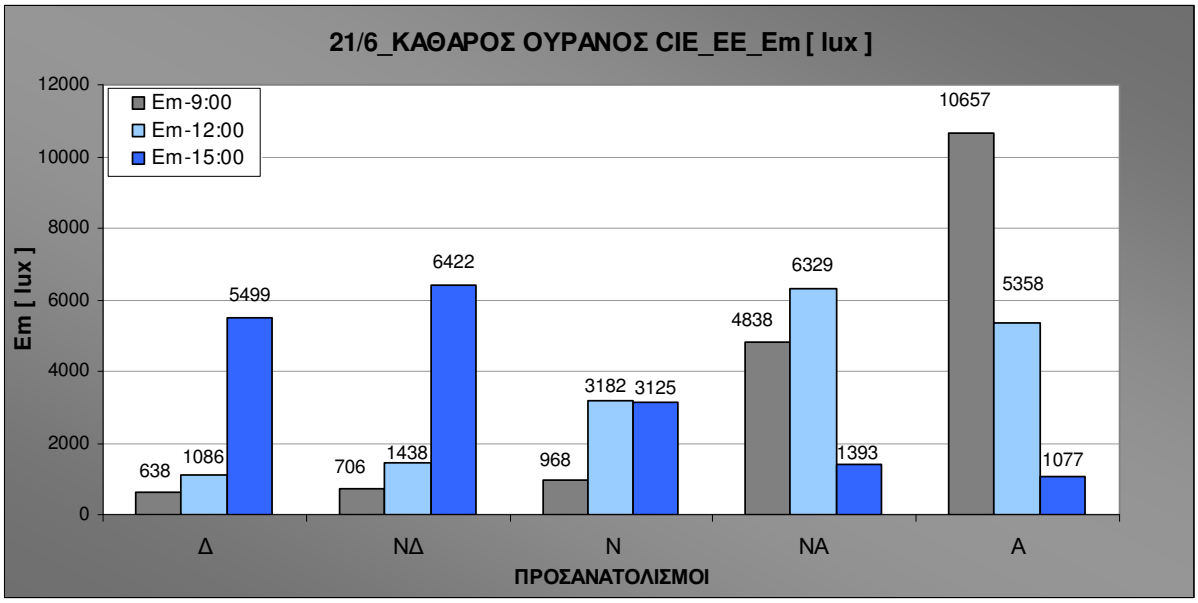
-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς Δ, και ΝΔ .

-τα παράθυρα 2 και 3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

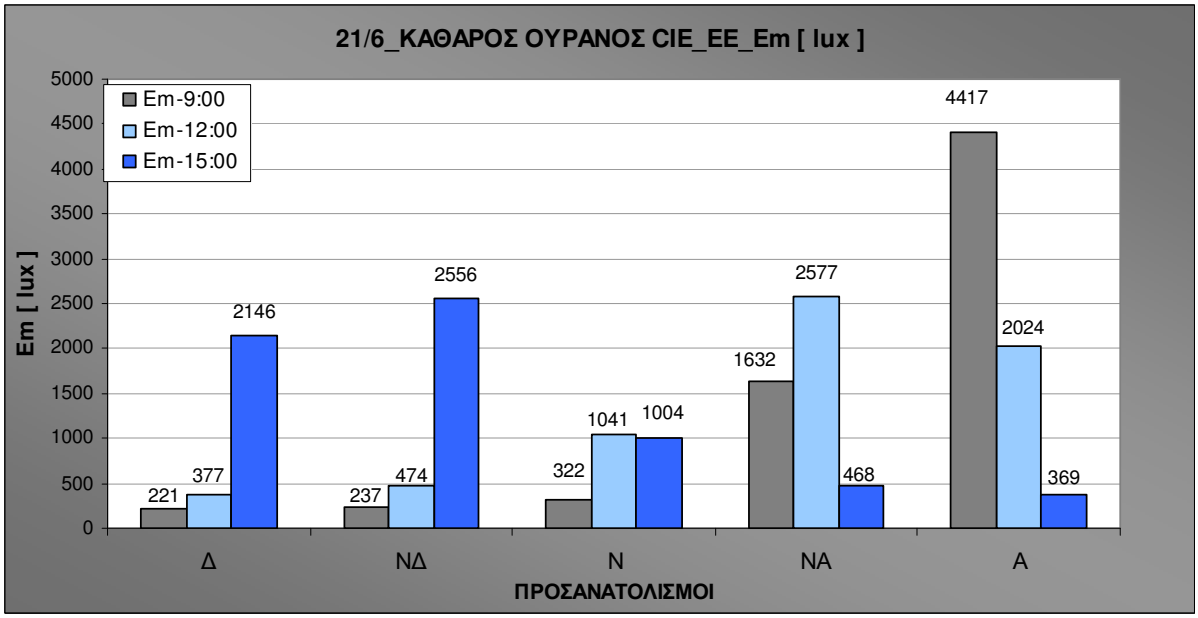
ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ 21/6	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ 21/6	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

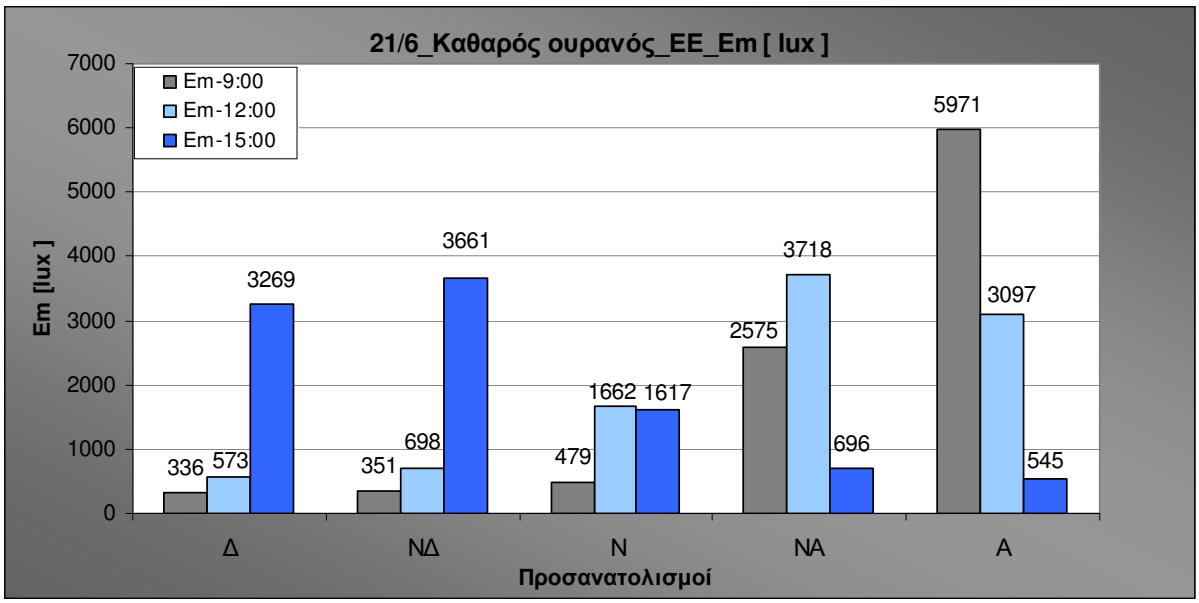
Οπτικοποίηση των άνωθεν συγκρίσεων



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

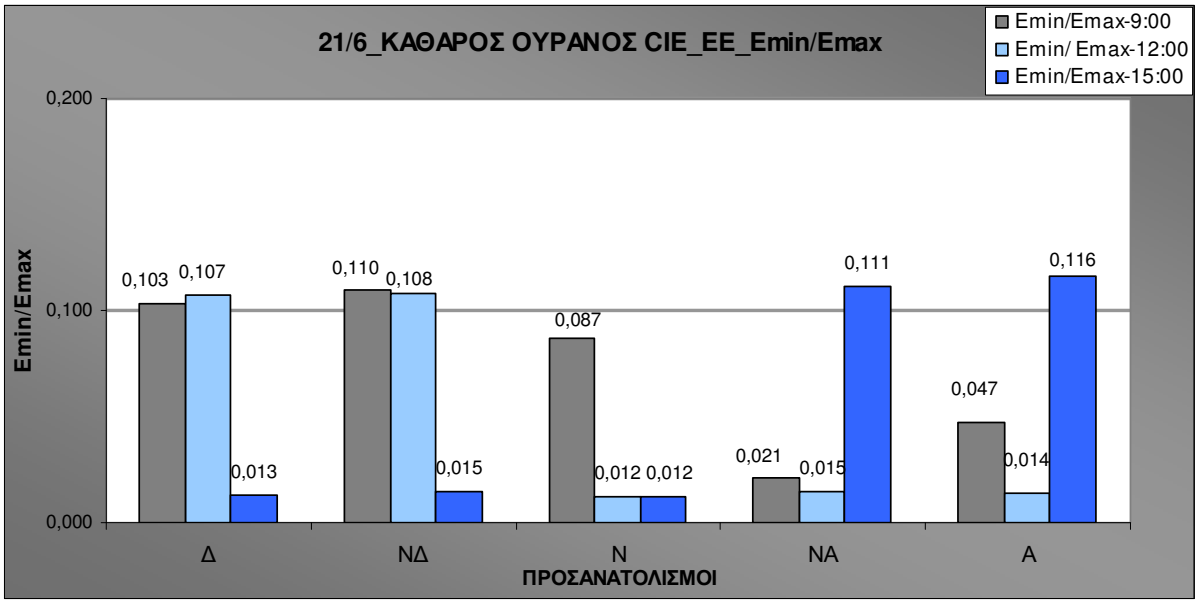
Η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των :
Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.
Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στον Α προσανατολισμό στις 9:00 π.μ.
Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι:

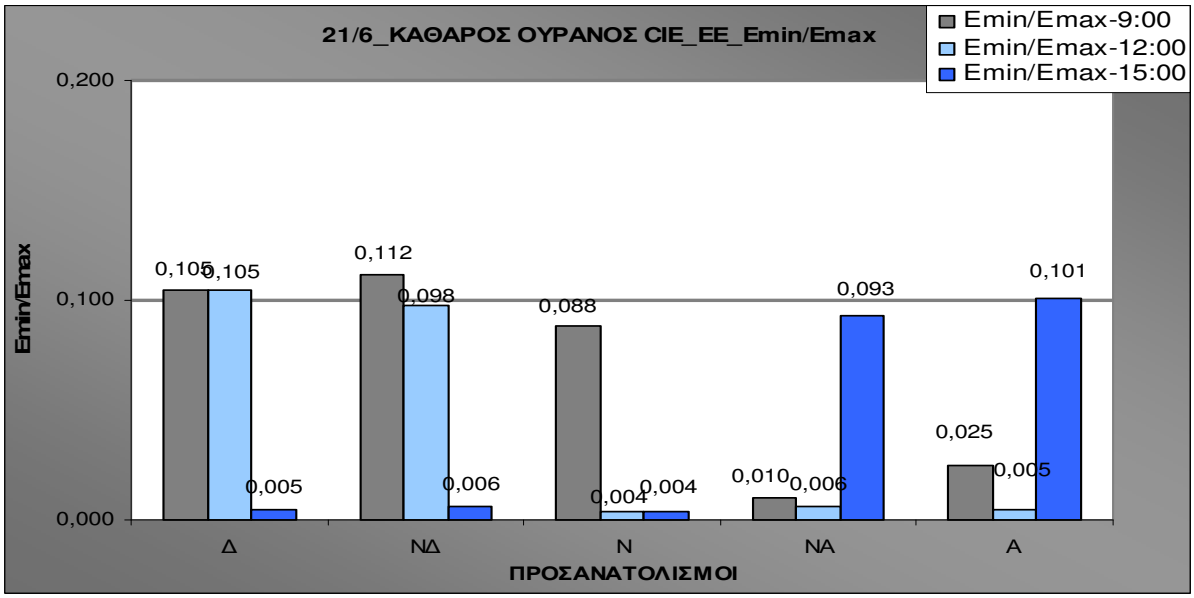
21 Μαρτίου-9:00 π.μ. : Α → ΝΑ → Ν → ΝΔ → Δ
21 Μαρτίου-12:00 μεσ. : ΝΑ → Α → Ν → ΝΔ → Δ
21 Μαρτίου-3:00 μ.μ. : ΝΔ → Δ → Ν → ΝΑ → Α

Από τις παραπάνω κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21η Ιουνίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) οι προσανατολισμοί για το επίπεδο αναφοράς κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά ως εξής:
Α → ΝΑ → ΝΔ → Δ → Ν

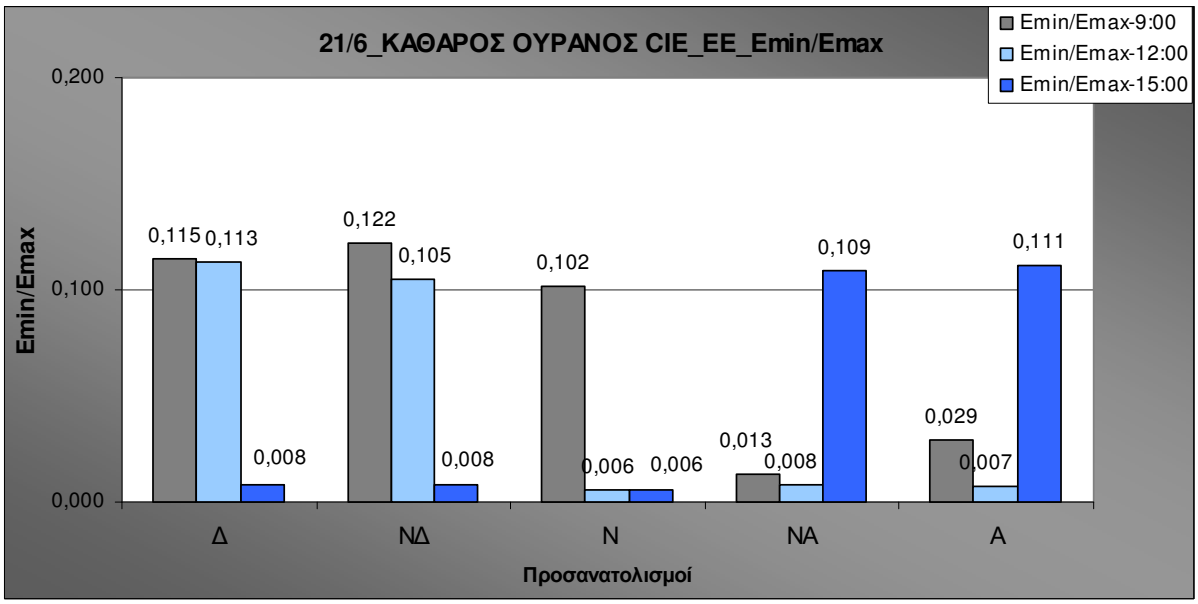
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1). Και για αυτήν την ημερομηνία ,η κατάταξη σε φθίνουσα σειρά φαίνεται να ακολουθεί, όπως πιθανότατα αναμενόταν, τη μείωση του εμβαδού των ανοιγμάτων.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

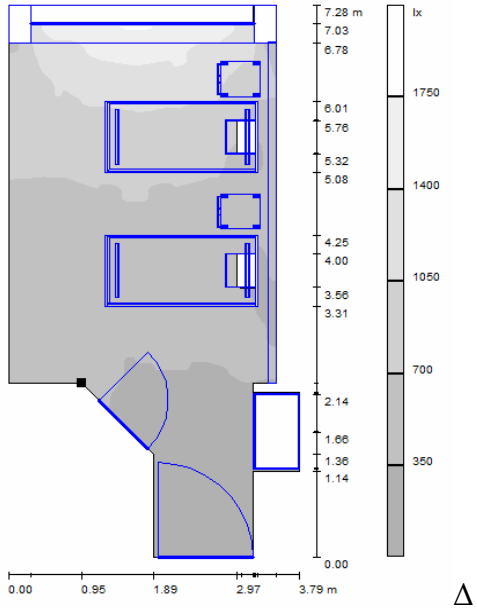
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στο επίπεδο ενδιαφέροντος καλύτεροι προσανατολισμοί είναι ο Δυτικός και ο Νοτιοδυτικός και ακολουθούν με τη σειρά ο Ανατολικός, ο Νοτιοανατολικός και τέλος ο Νότιος.

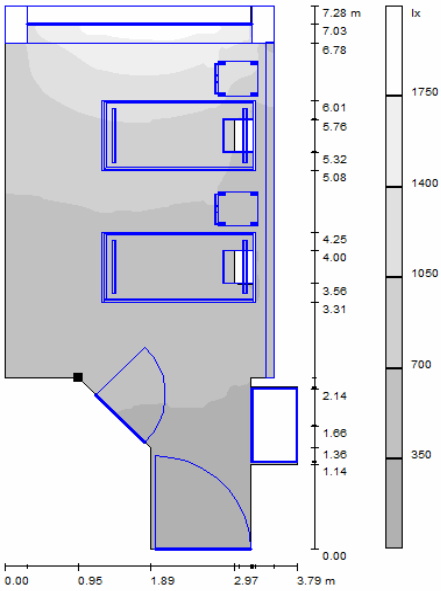
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο 3(40%) και έπονται με τη σειρά τα παράθυρα 1(100%) και 2(30%).

Στις εικόνες κατανομής φωτισμού (με αποχρώσεις του γκρι) που ακολουθούν για το επίπεδο ενδιαφέροντος οπτικοποιούνται και πάλι οι προαναφερθείσες διαφοροποιήσεις ως προς την ομοιομορφία. Με παρατήρηση των εικόνων αυτών αντιλαμβανόμαστε τον τρόπο κατανομής του φωτισμού και τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στην κατανομή αυτήν τόσο από προσανατολισμό σε προσανατολισμό, όσο και από ώρα σε ώρα.

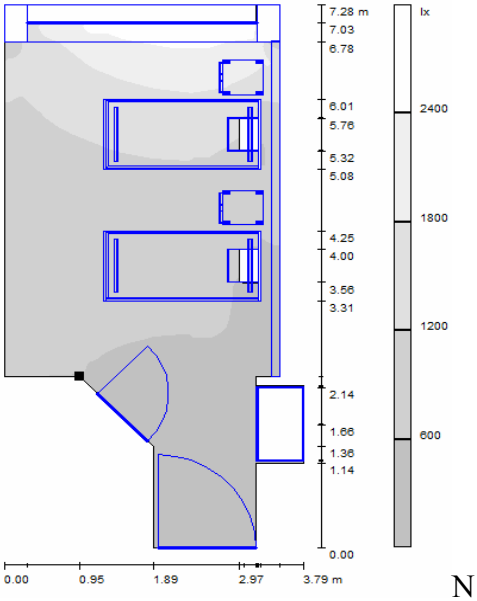
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -9:00 π.μ.



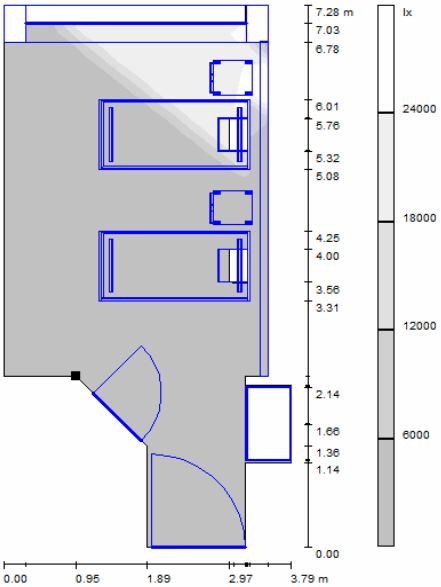
Δ



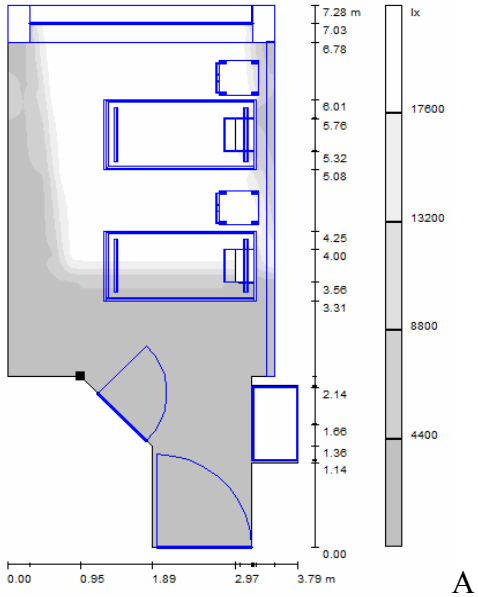
ΝΔ



N

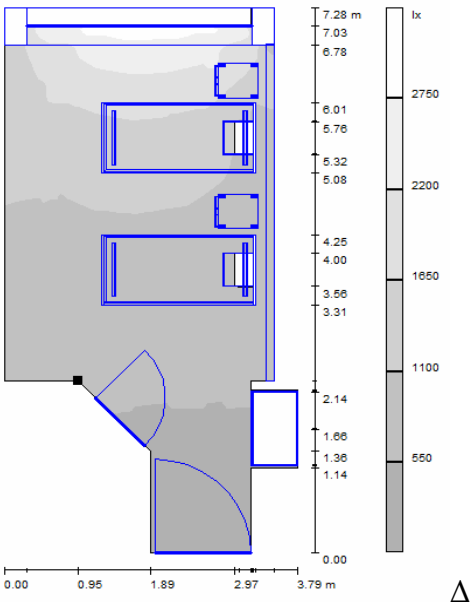


ΝΑ

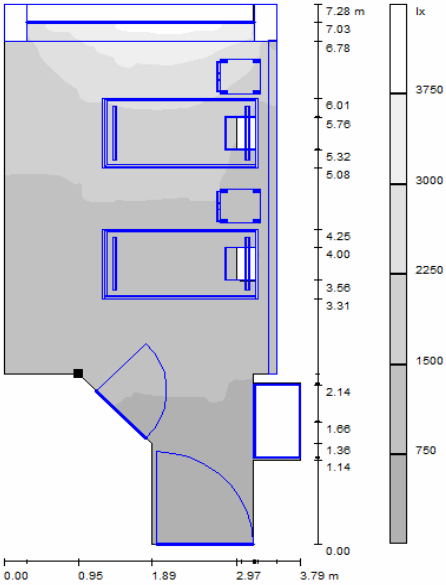


Α

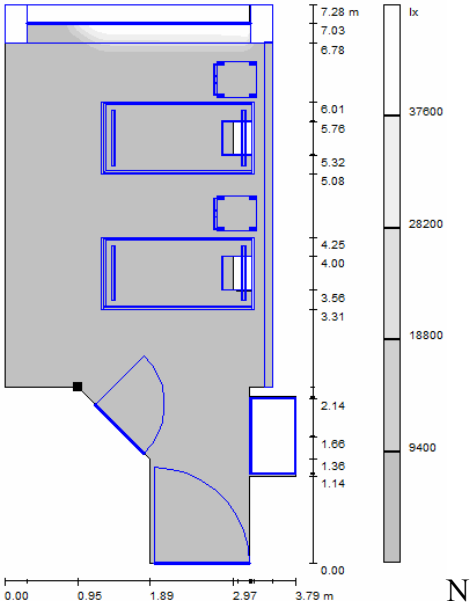
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -12:00 μεσ.



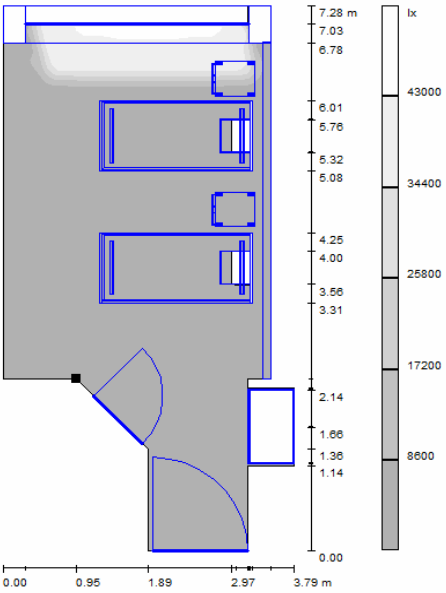
Δ



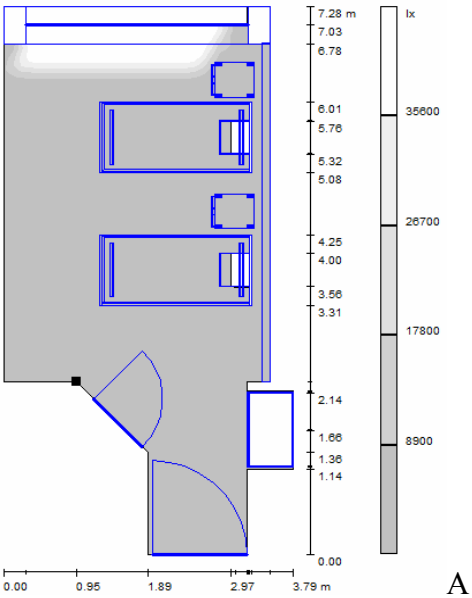
ΝΔ



Ν

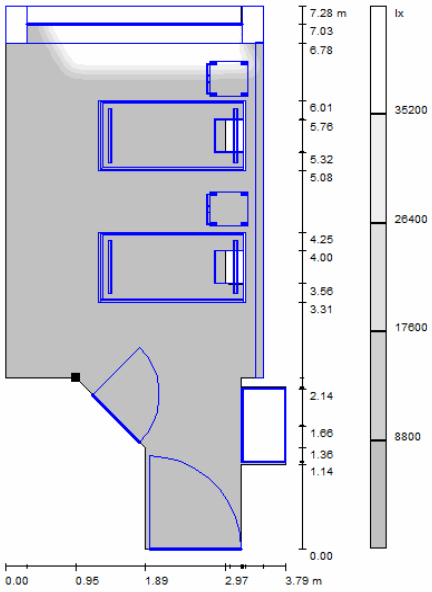


ΝΑ

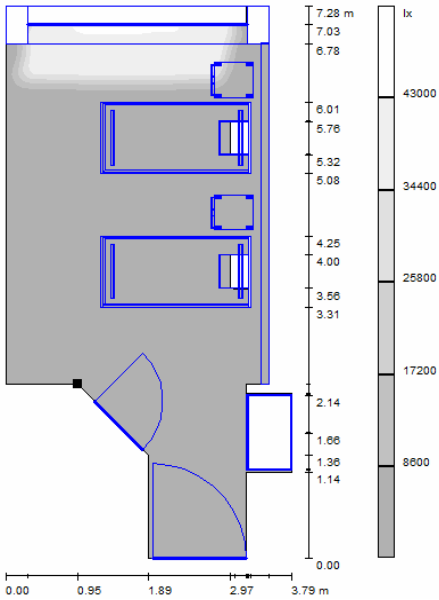


Α

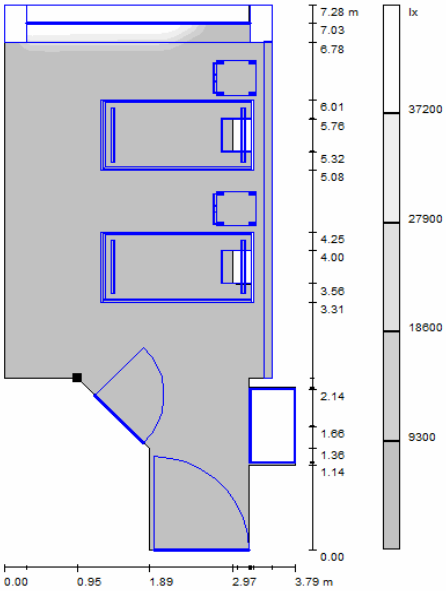
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -3:00 μ.μ.



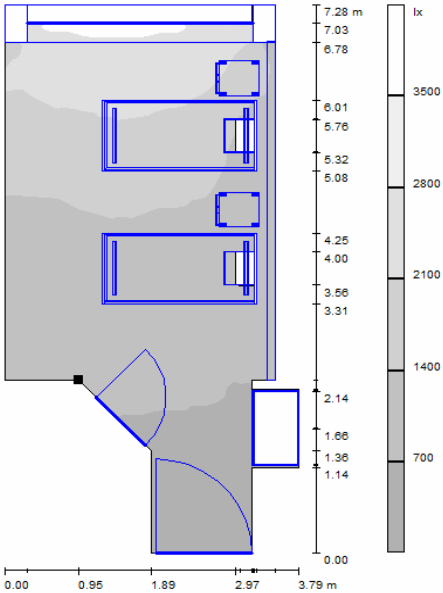
Δ



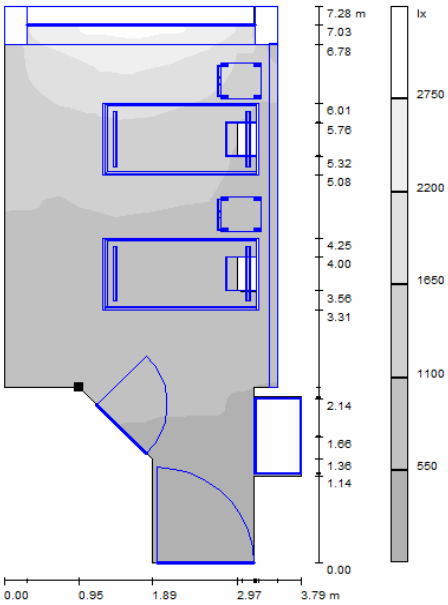
ΝΔ



N

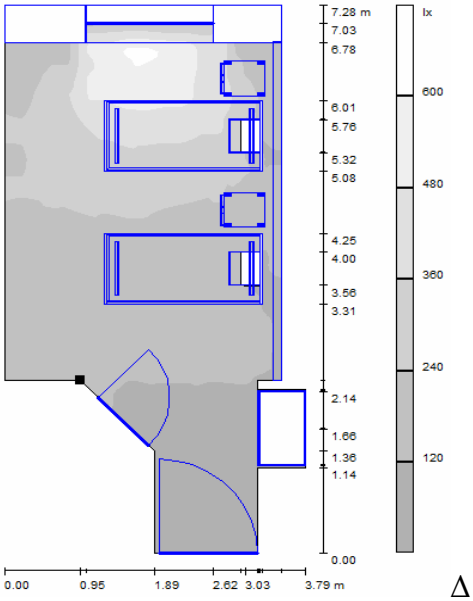


ΝΑ

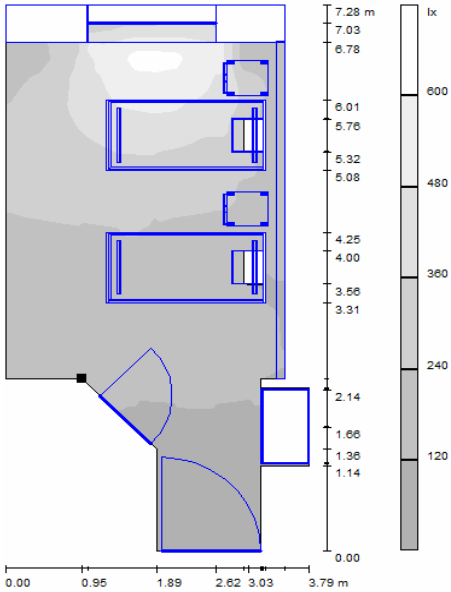


Α

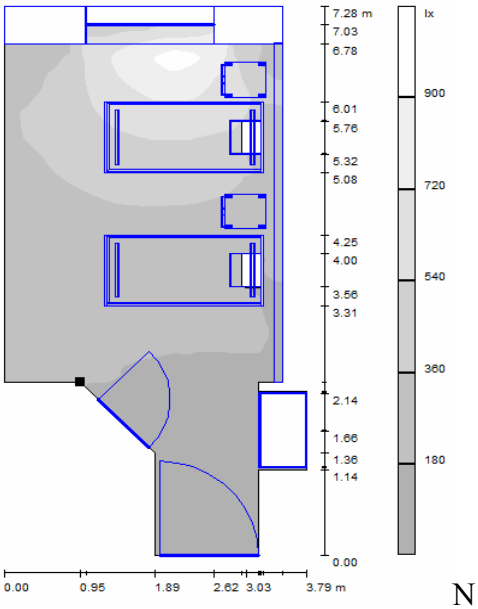
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -9:00 π.μ.



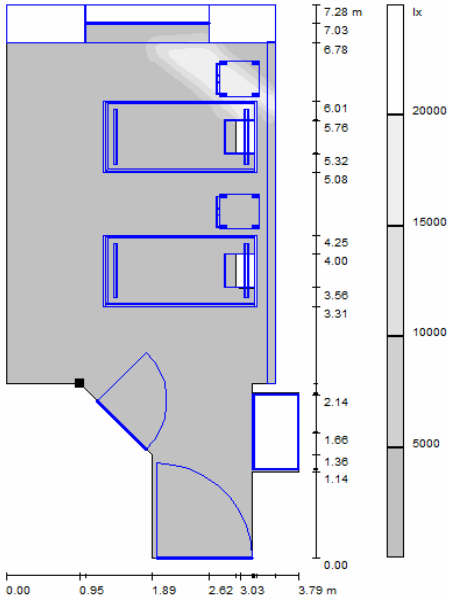
Δ



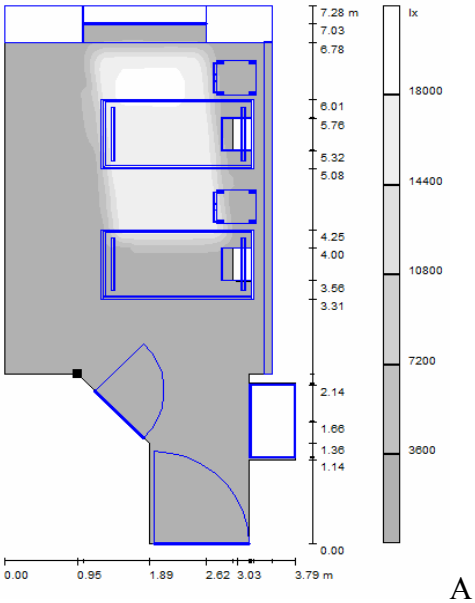
ΝΔ



Ν

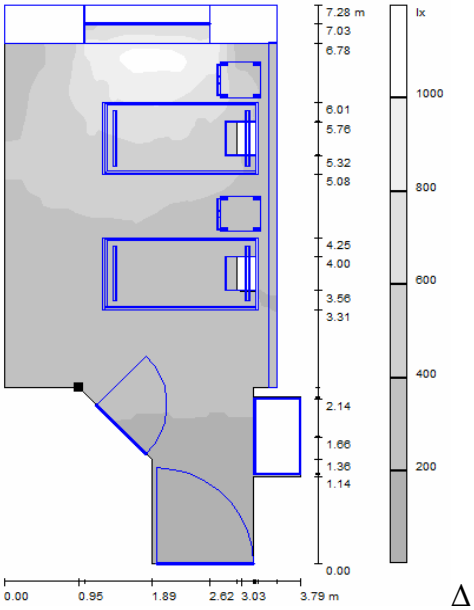


ΝΑ

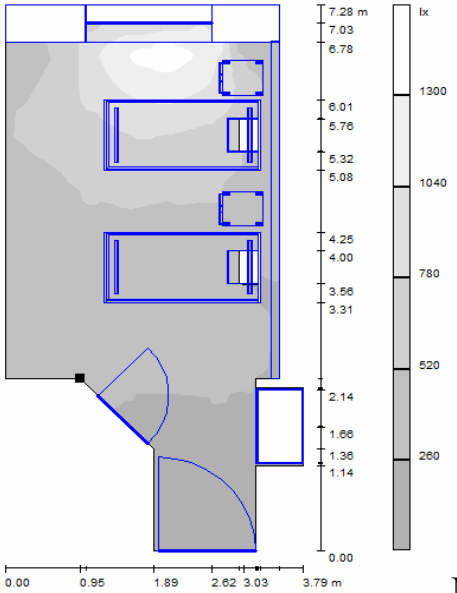


Α

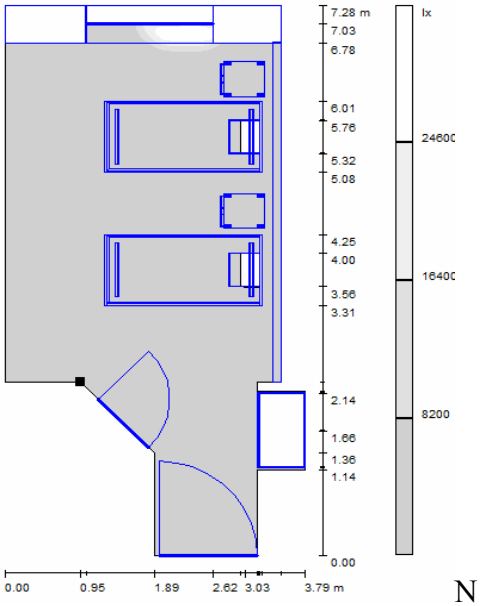
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -12:00 μεσ.



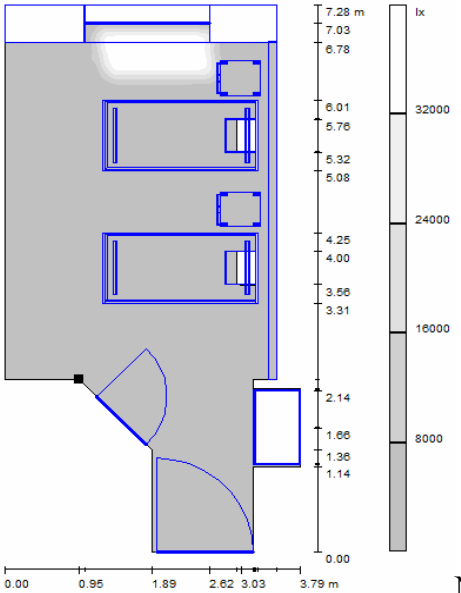
Δ



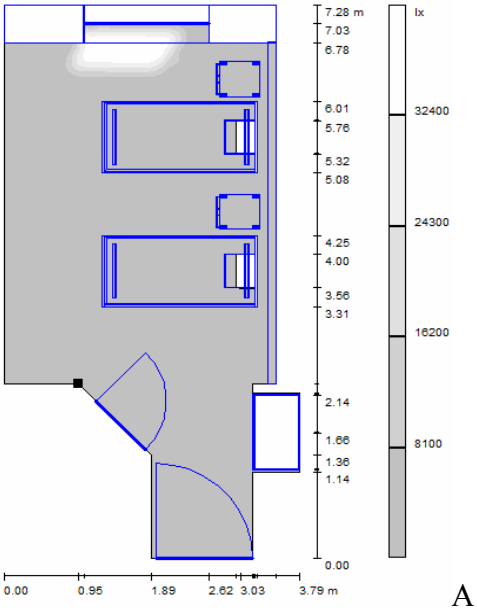
ΝΔ



N

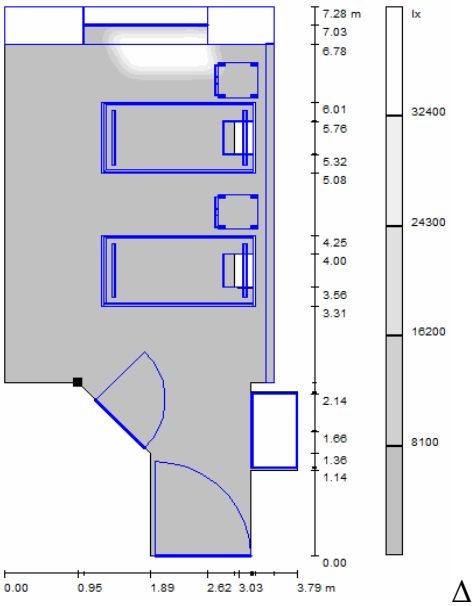


ΝΑ

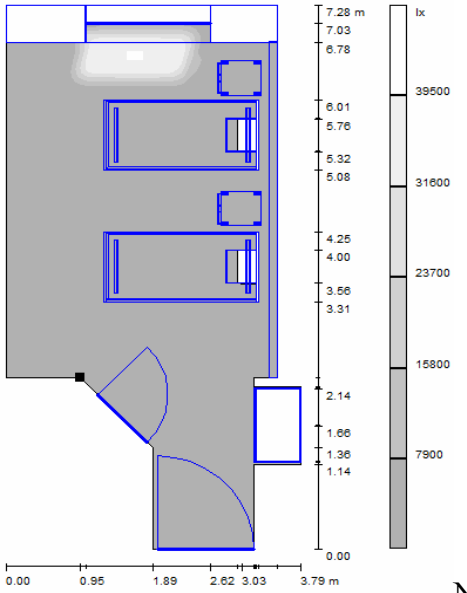


Α

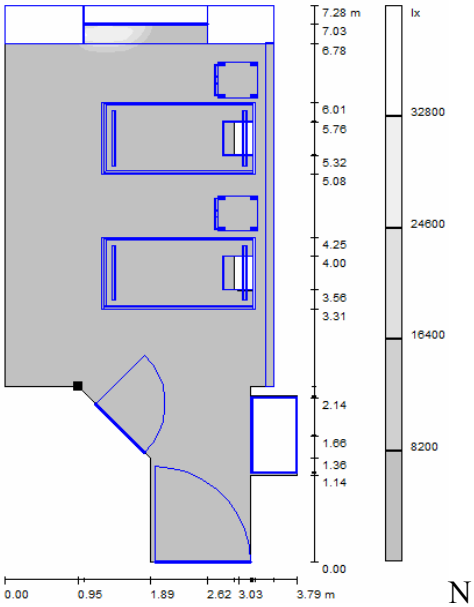
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -3:00 μ.μ.



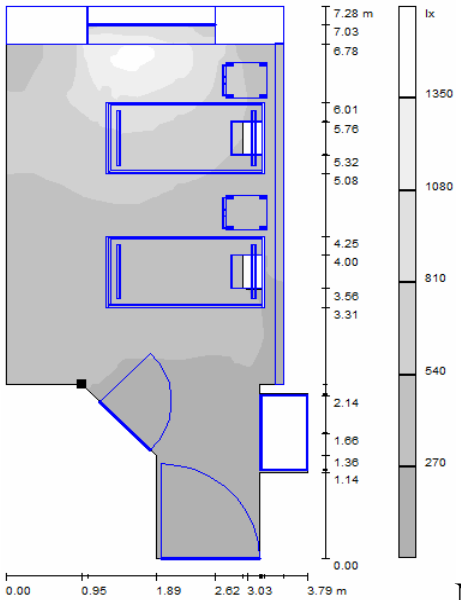
Δ



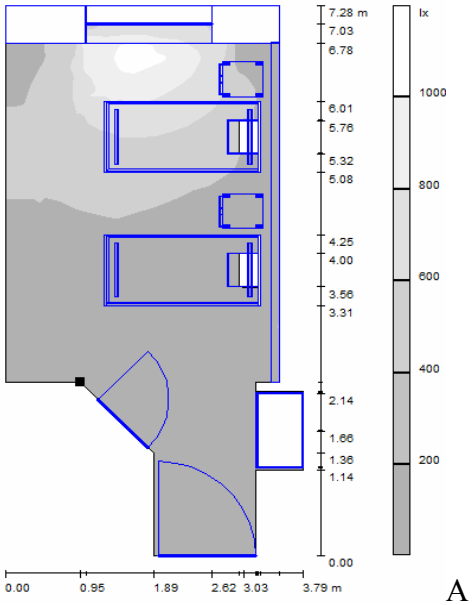
ΝΔ



N

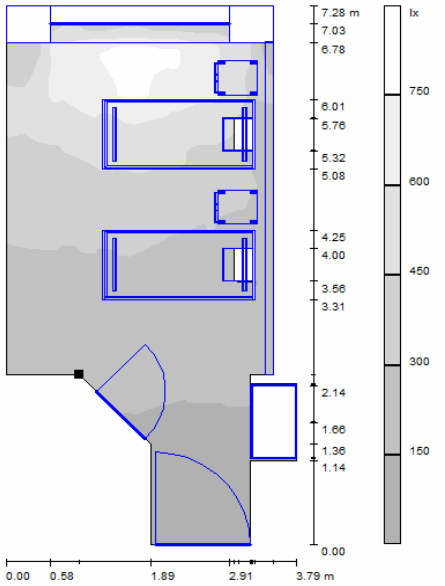


ΝΑ

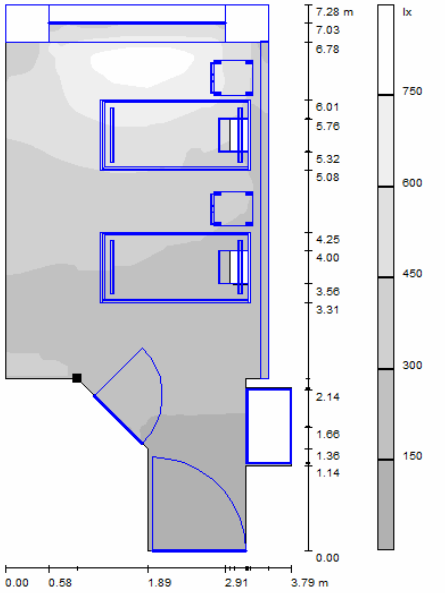


Α

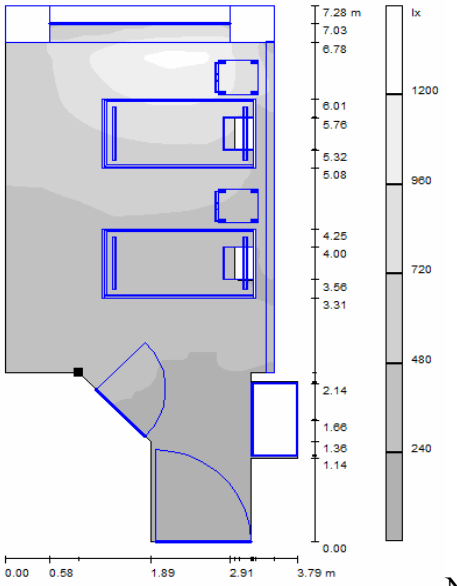
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -9:00 π.μ.



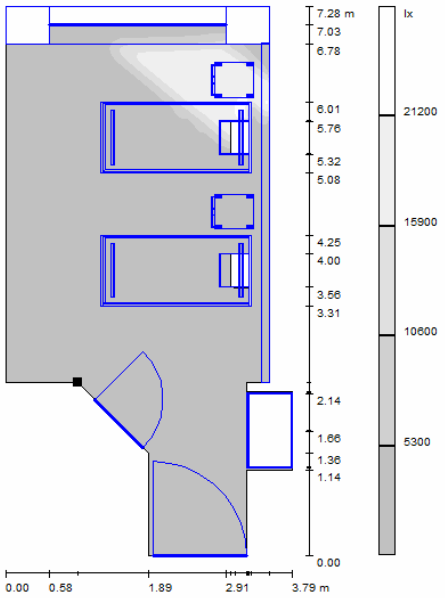
Δ



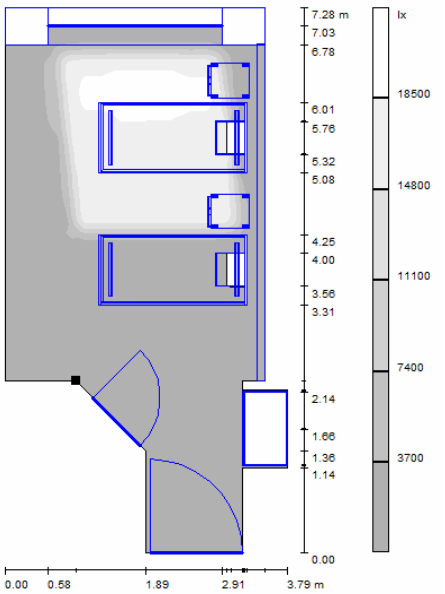
ΝΔ



N

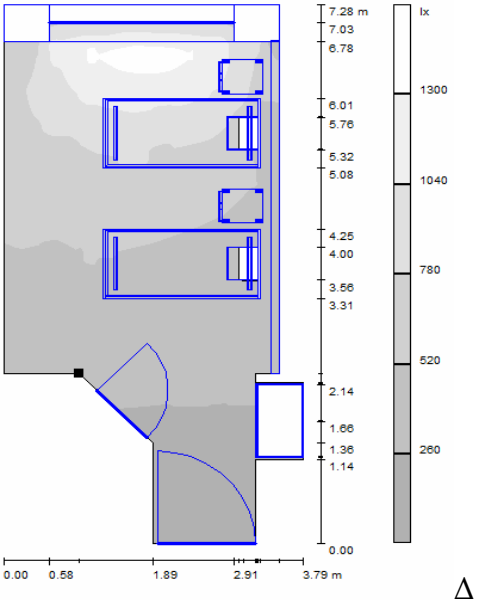


ΝΑ

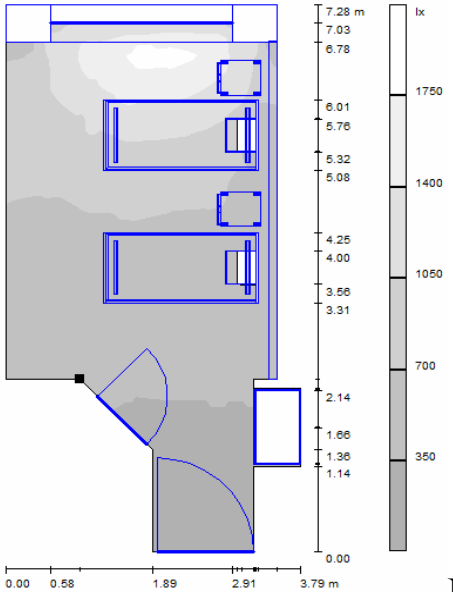


Α

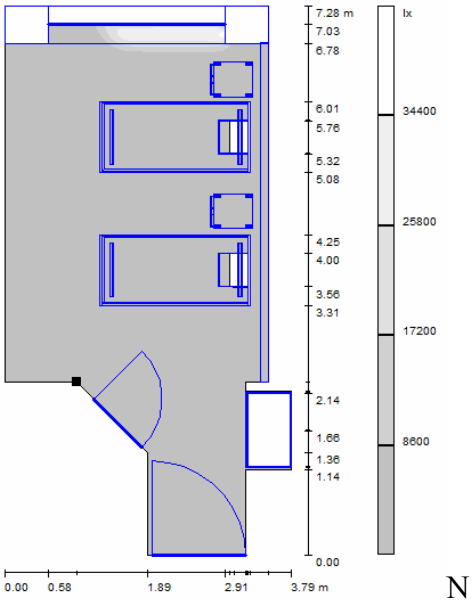
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -12:00 μεσ.



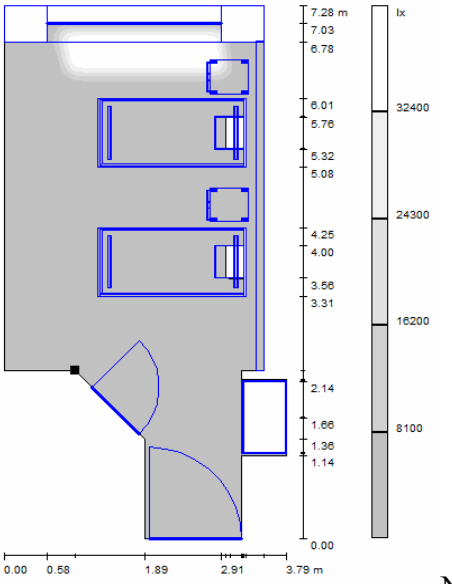
Δ



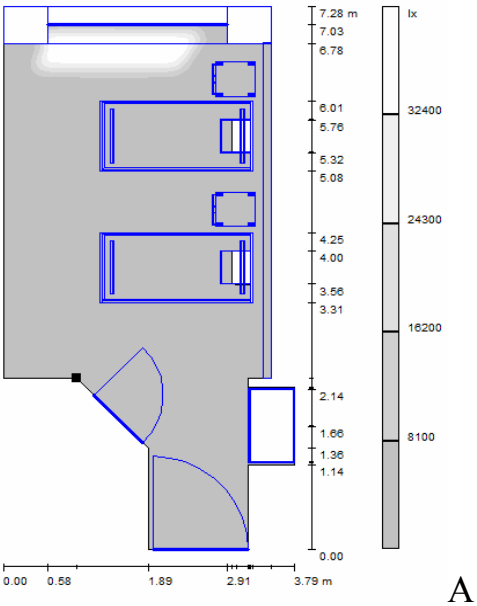
ΝΔ



N

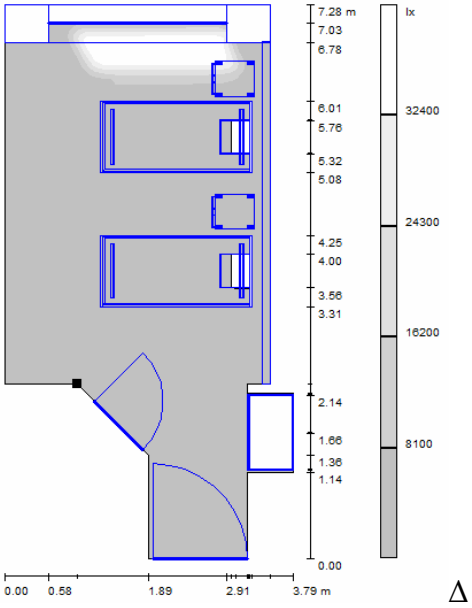


ΝΑ

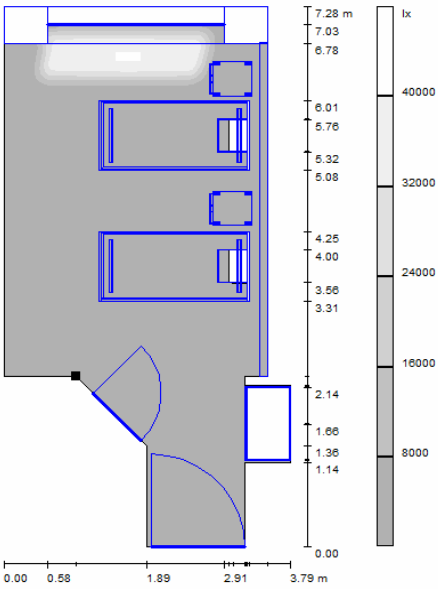


Α

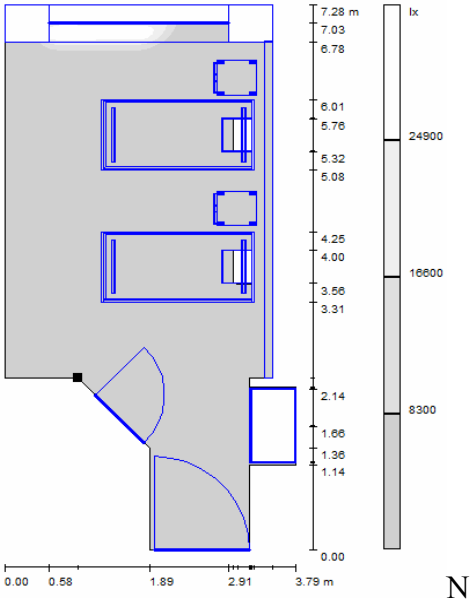
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Ιουνίου -3:00 μ.μ.



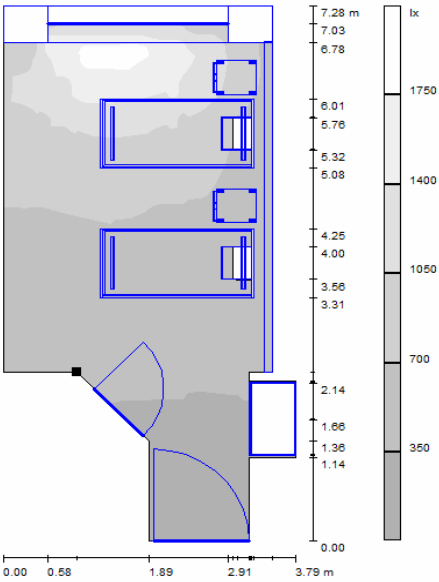
Δ



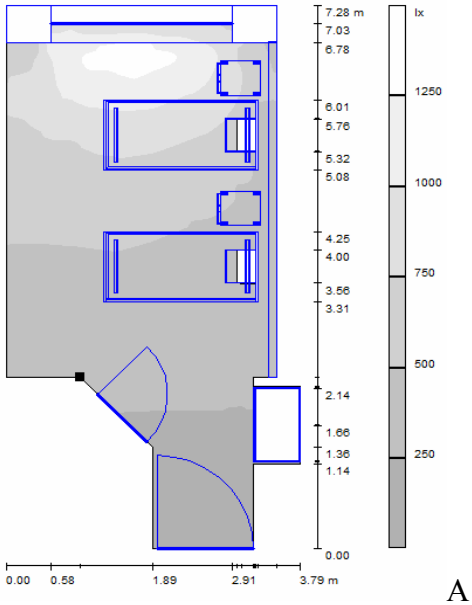
ΝΔ



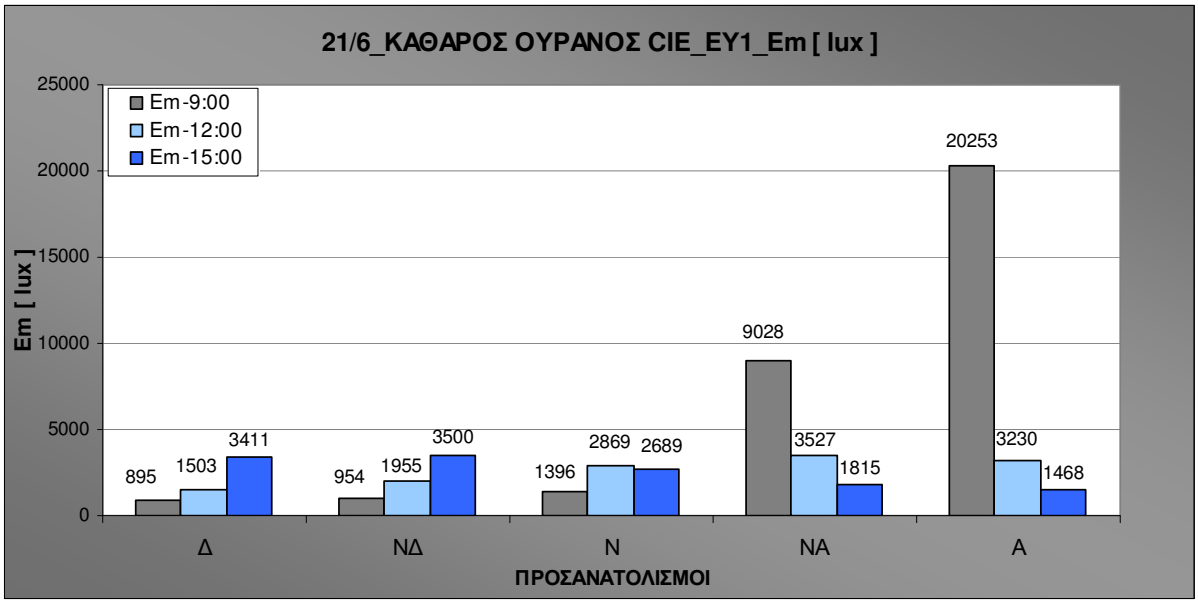
N



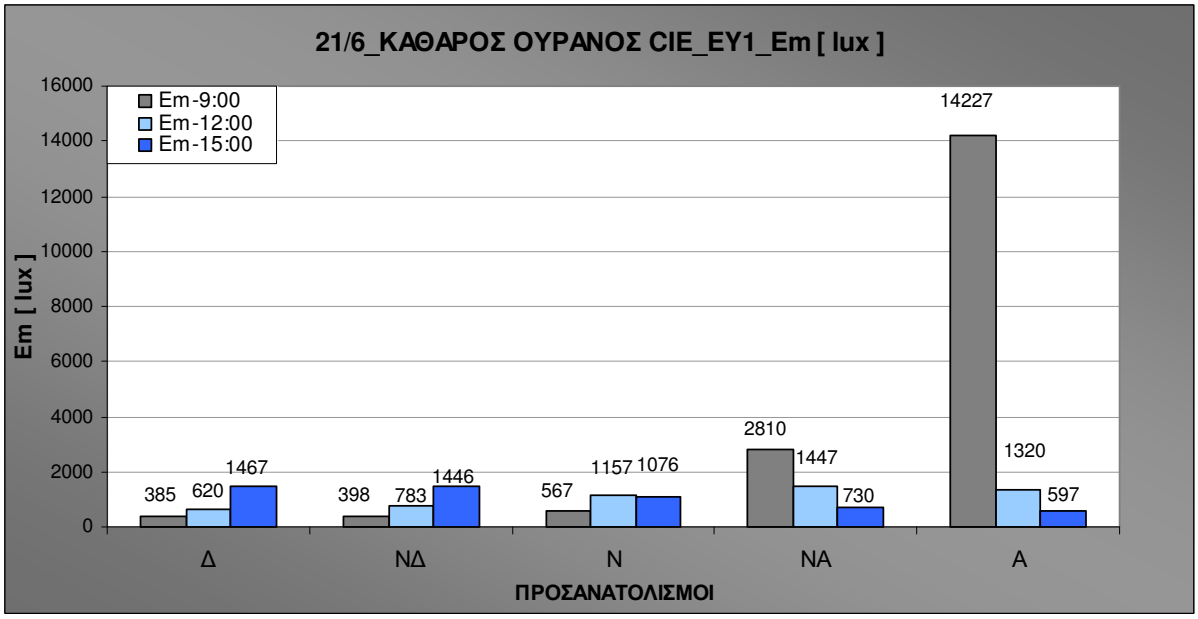
ΝΑ



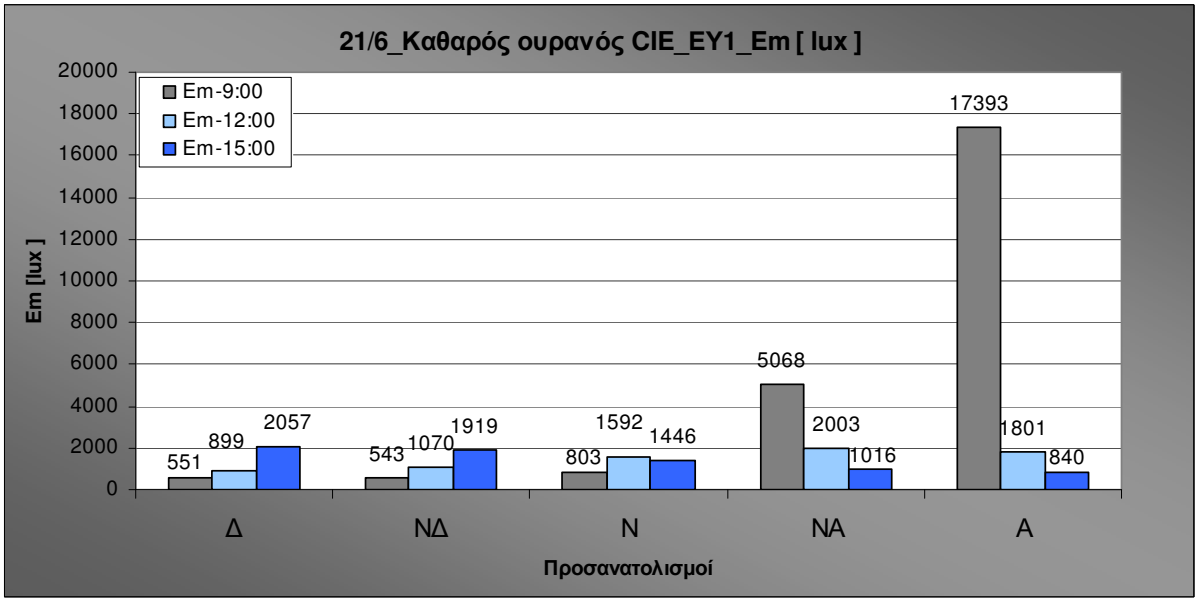
Α



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

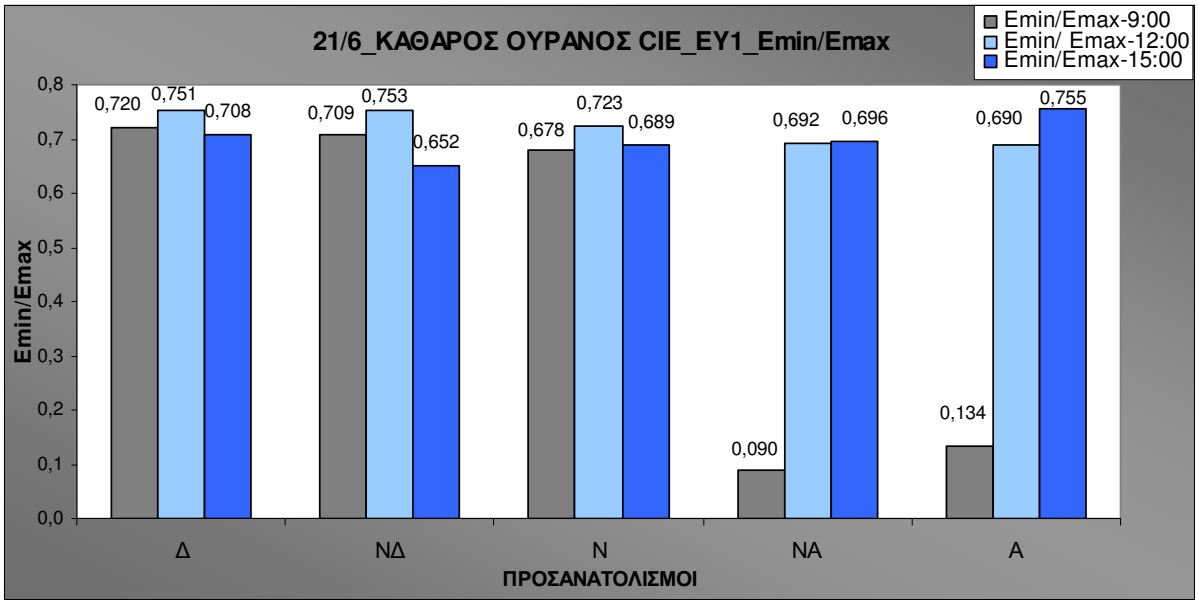
Στις 21 Ιουνίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 1 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες τις προσομοιώσεις, για όλα δηλαδή τα παράθυρα, για όλους τους προσανατολισμούς και όλες τις ώρες.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ1 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ1 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος για την ίδια ημερομηνία με μία εξαίρεση για τις 3:00 μ.μ. ως προς τα παράθυρα 2 και 3, όπου υπάρχει αμοιβαία εναλλαγή στη θέση των προσανατολισμών ΝΔ και Δ(δηλαδή από ΝΔ → Δ → Ν → ΝΑ → Α γίνεται Δ → ΝΔ → Ν → ΝΑ → Α).

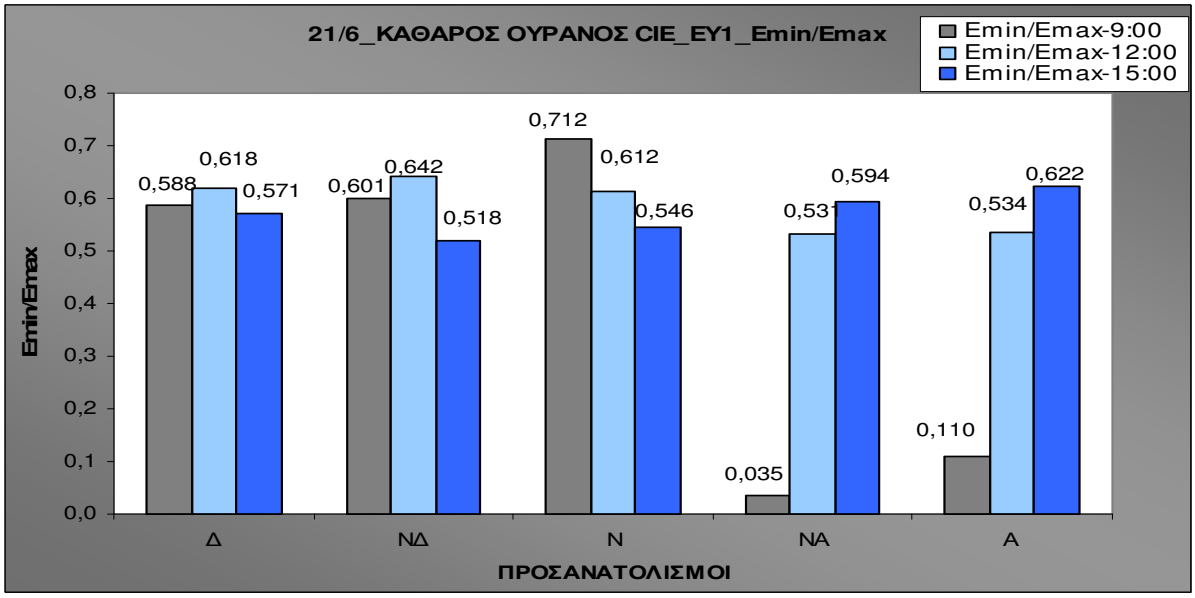
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Ιουνίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη για τους προσανατολισμούς για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

Α→ ΝΑ → Ν→ ΝΔ→ Δ

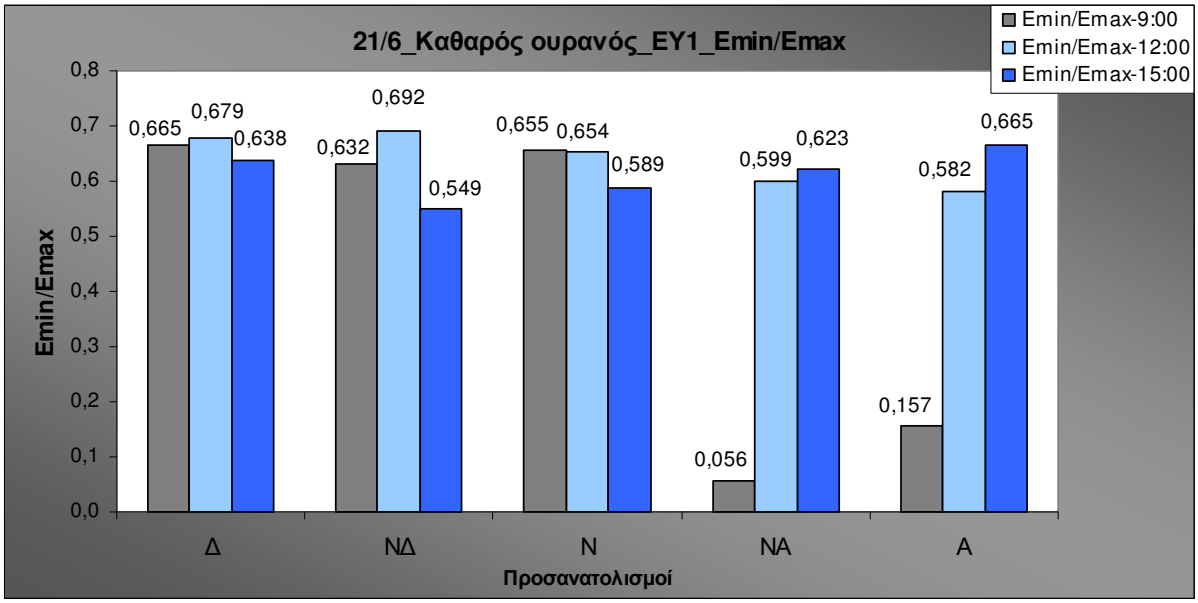
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1). Η κατάταξη δηλαδή σε φθίνουσα σειρά είναι ίδια ακριβώς με εκείνη που προέκυψε και για το επίπεδο ενδιαφέροντος για την ίδια ημερομηνία.



Παράθυρο1



Παράθυρο 2



Παράθυρο 3

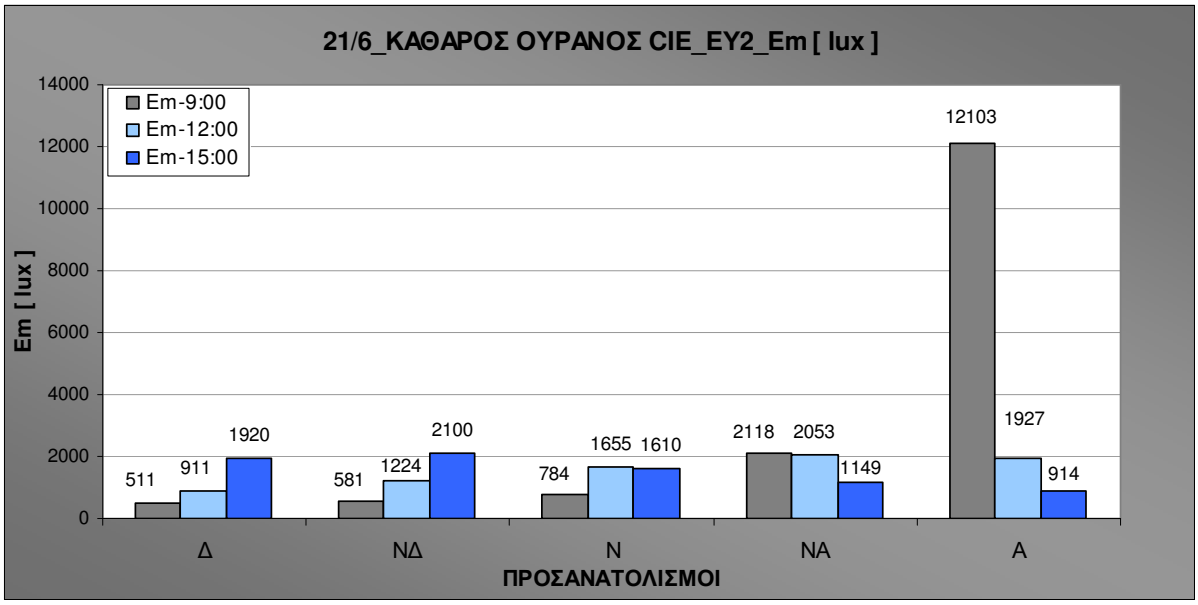
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ1 την 21η Ιουνίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

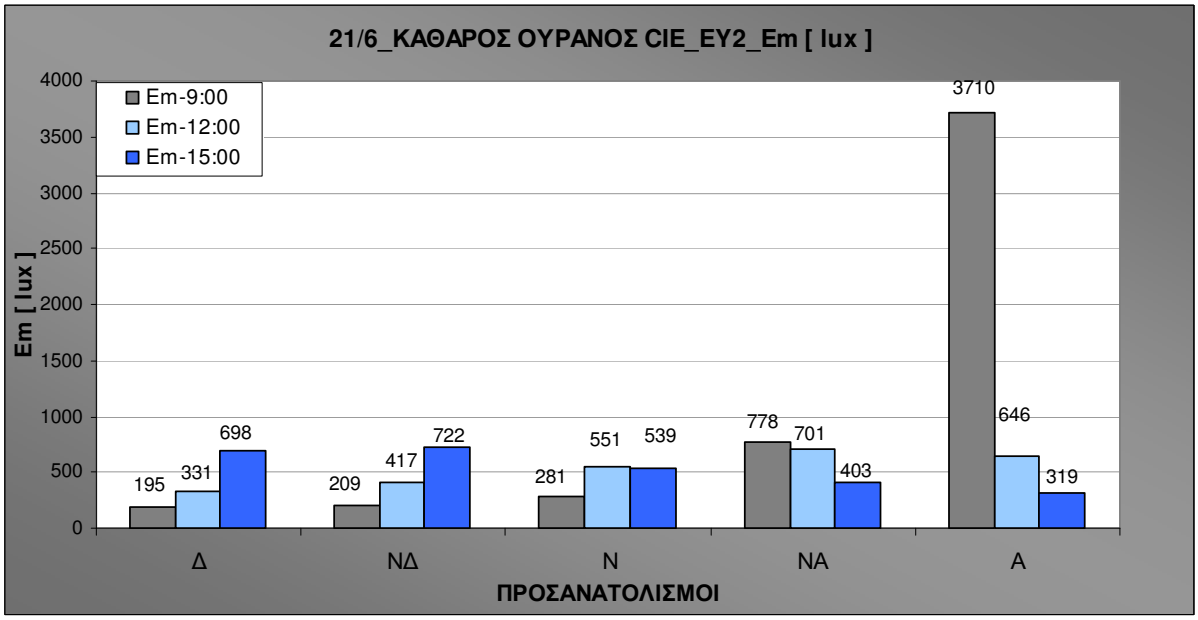
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 όλοι οι προσανατολισμοί εκτός από το Νοτιοανατολικό στις 9:00 π.μ. ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

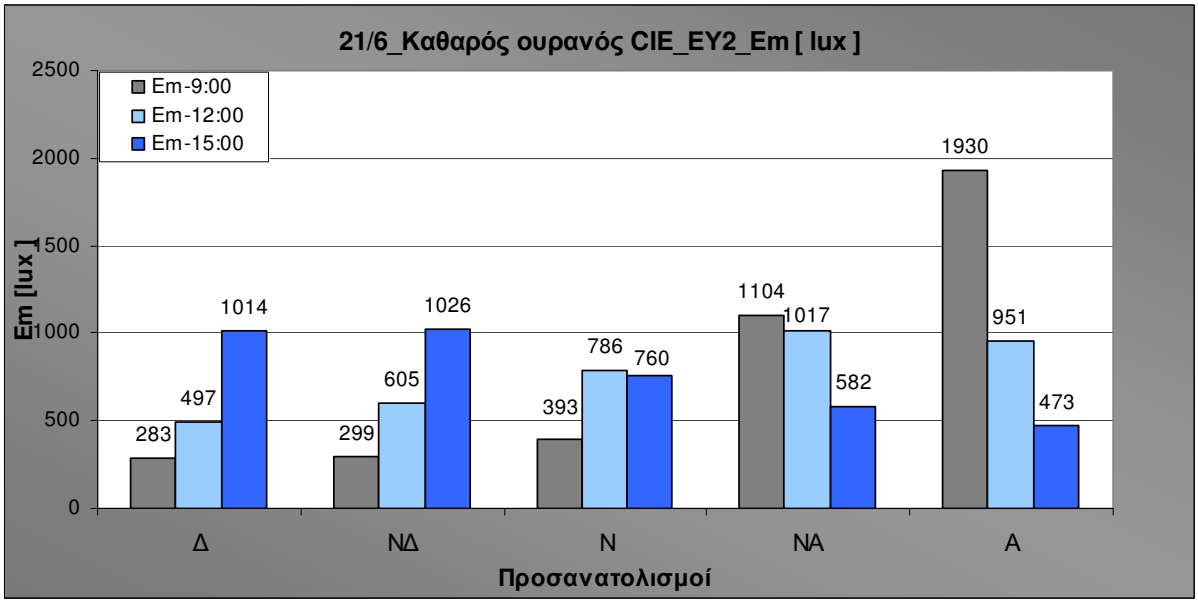
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 και τα τρία παράθυρα εμφανίζουν την ίδια ακριβώς συμπεριφορά.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Ιουνίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 2 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νότιος Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

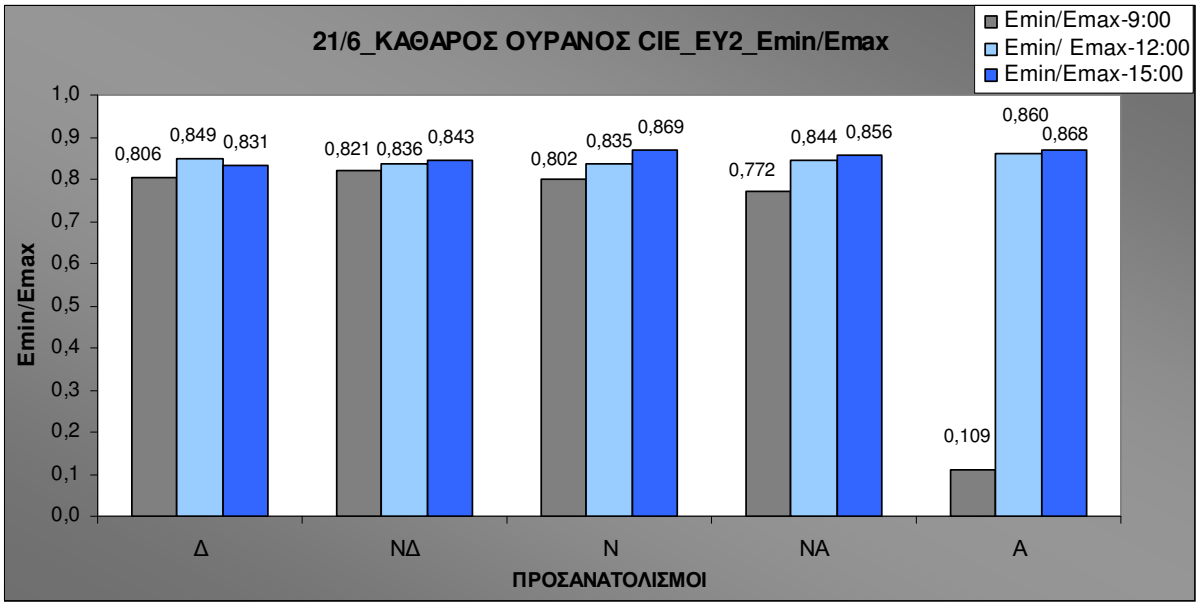
Παράθυρο 3, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ2 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ2 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια για κάθε μια από τις τρεις ώρες με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος για την ίδια ημερομηνία .

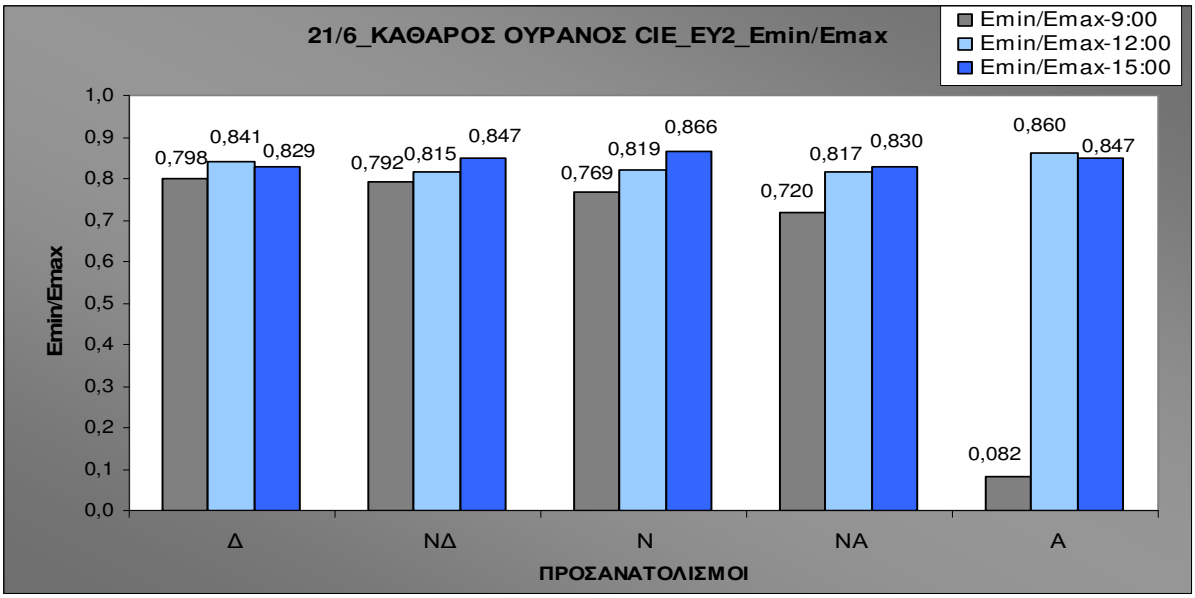
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Ιουνίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

Α→ ΝΑ → Ν→ ΝΔ→ Δ(ίδια με την κατάταξη για την ΕΥ1)

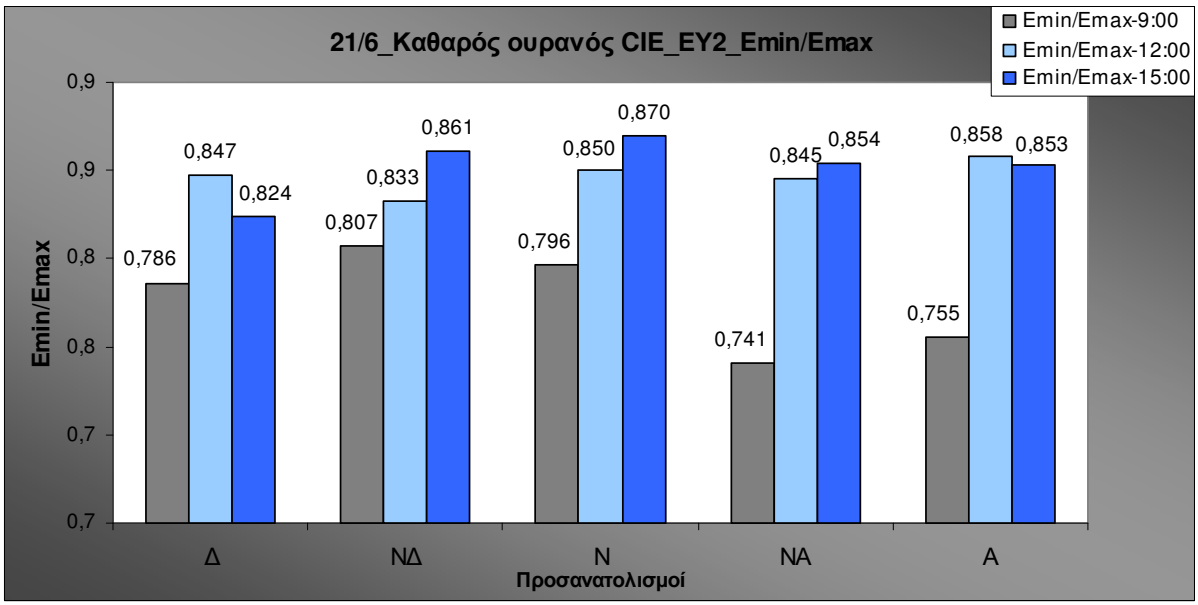
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1) , με μια εξαίρεση ως προς τον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. όπου η διαδοχή είναι Παράθυρο 1 → Παράθυρο 2 → Παράθυρο 3.



Παράθυρο1



Παράθυρο 2



Παράθυρο 3

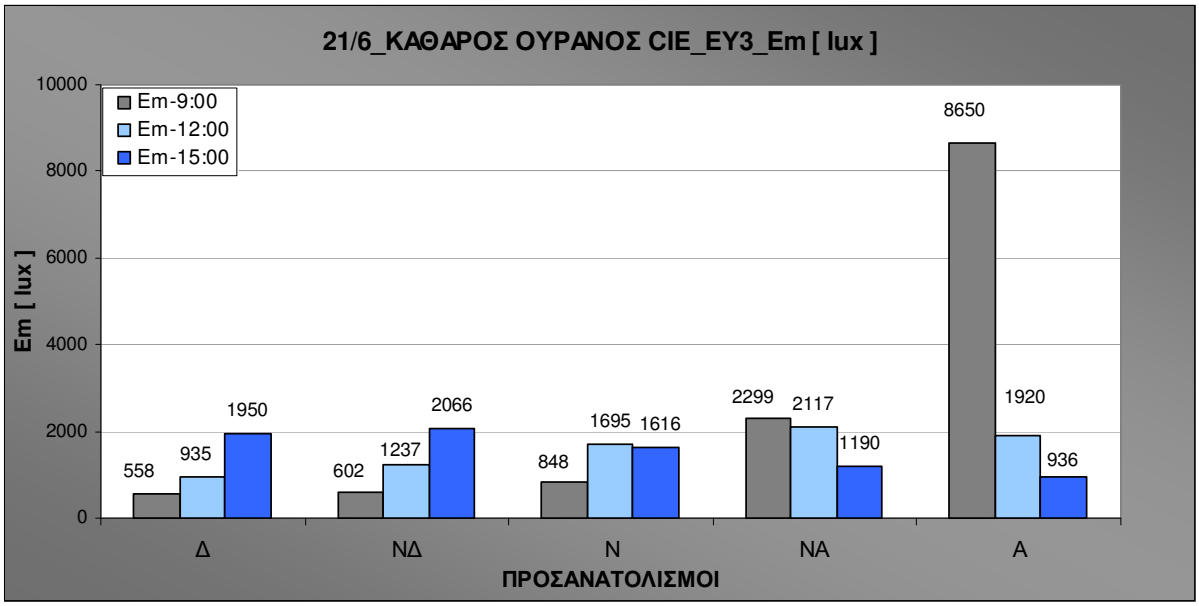
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ2 την 21η Ιουνίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

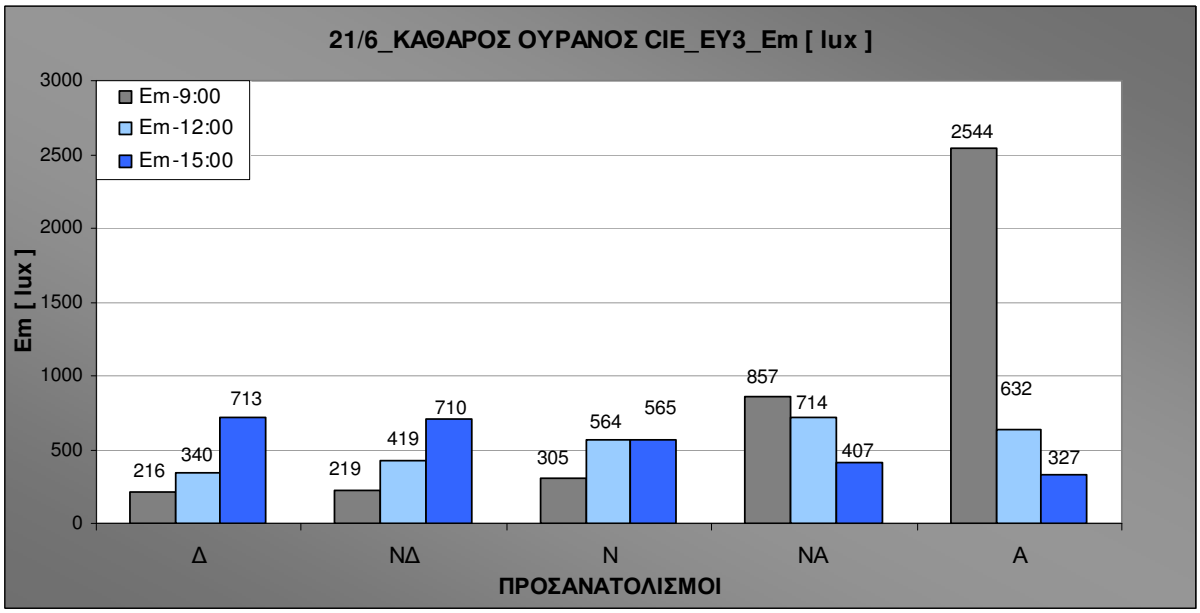
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 όλοι οι προσανατολισμοί εκτός από τον Ανατολικό στις 9:00 π.μ. για το παράθυρο 2 ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

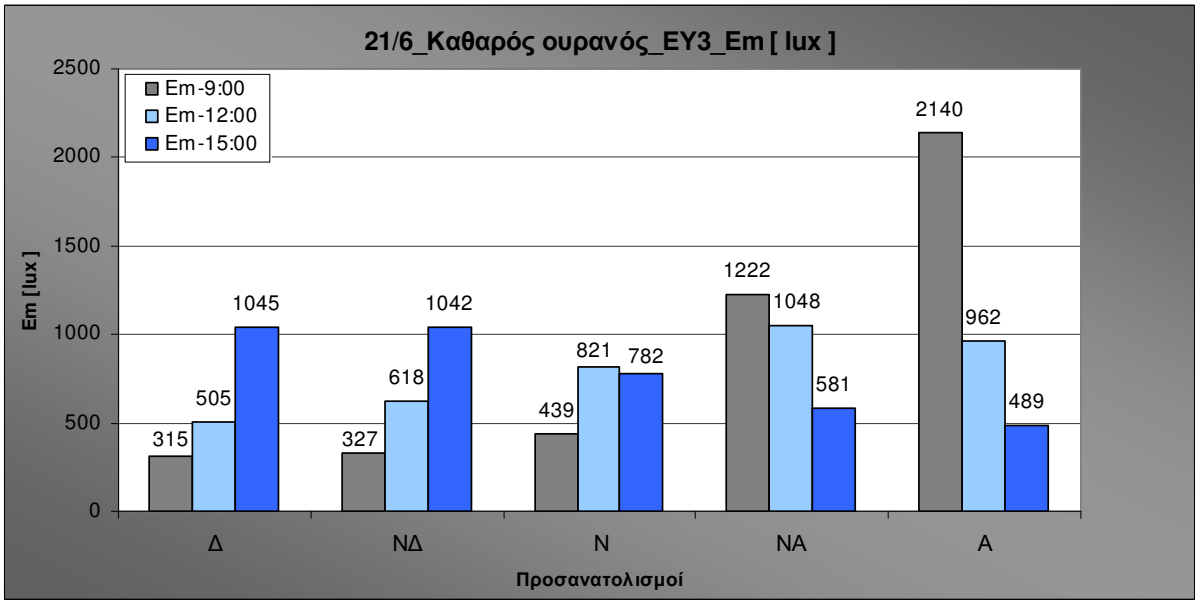
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 τα παράθυρα 1 και 3 εμφανίζουν την ίδια θετική συμπεριφορά και έπεται το παράθυρο 2.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Ιουνίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 3 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

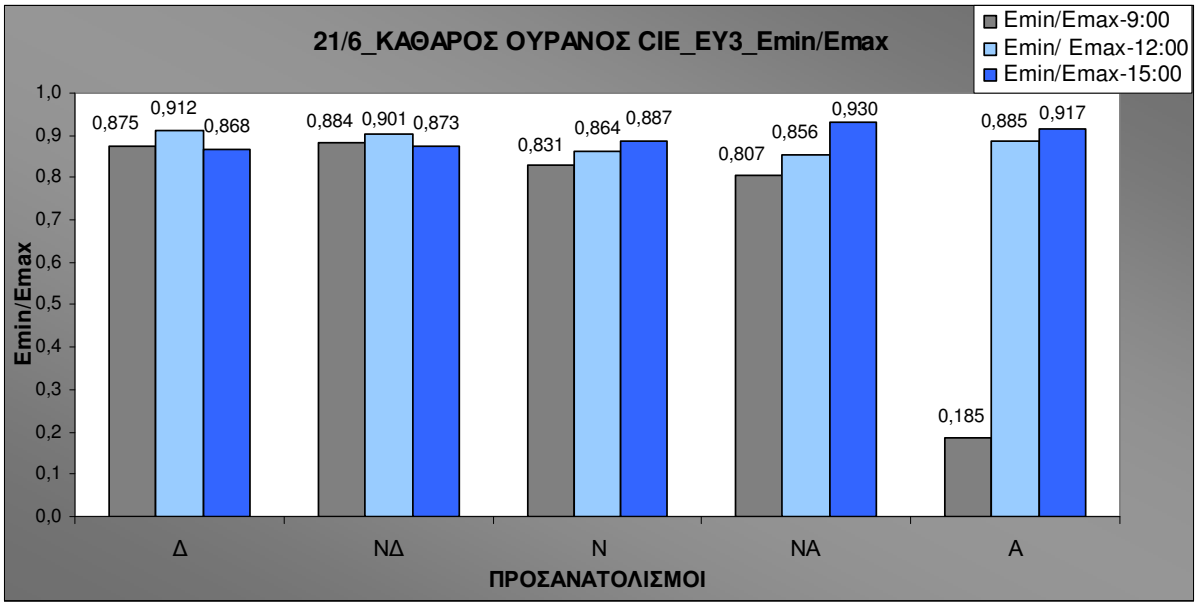
Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ3 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ3 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι σε γενικές γραμμές ίδια με αυτή που προέκυψε για κάθε μία από τις τρεις ώρες ελέγχου για το επίπεδο ενδιαφέροντος στις 21 Ιουνίου.

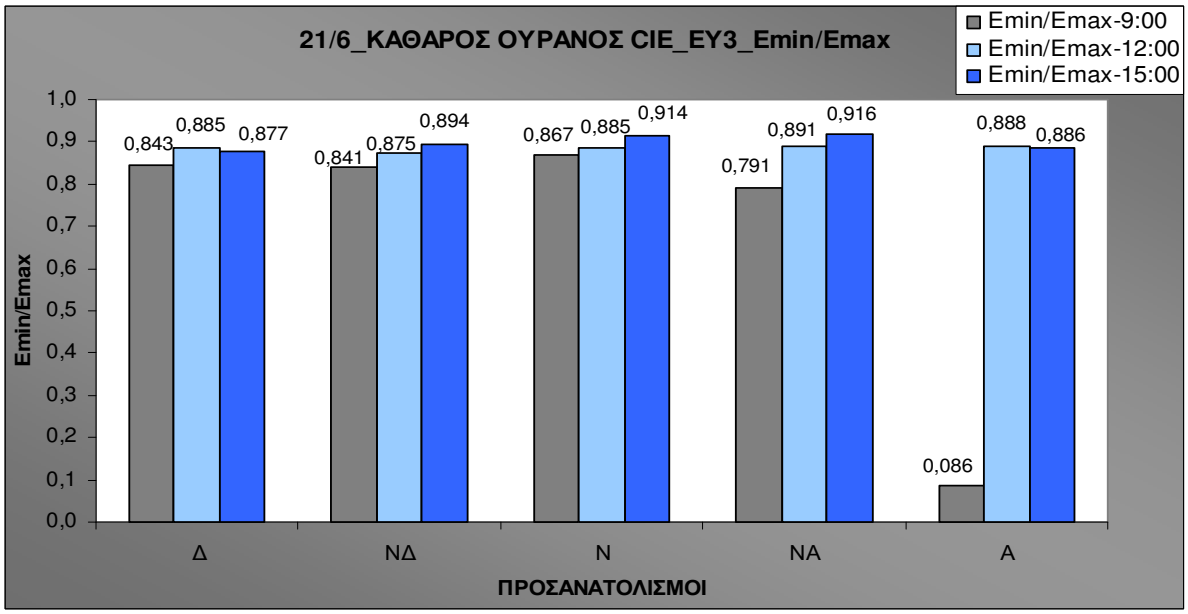
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Ιουνίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

Α→ ΝΑ → Ν→ ΝΔ→ Δ(ίδια με την κατάταξη για ΕΥ1,ΕΥ2)

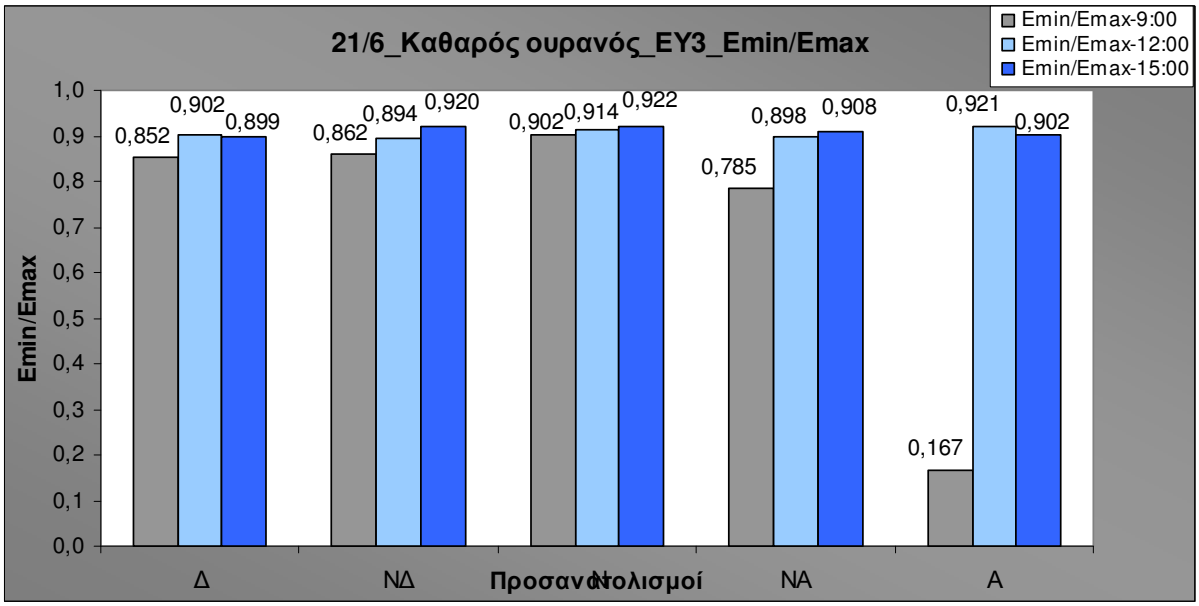
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1) , με μια εξαίρεση και πάλι(όπως στην ΕΥ2) ως προς τον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. όπου η διαδοχή είναι Παράθυρο 1 → Παράθυρο 2 → Παράθυρο 3.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

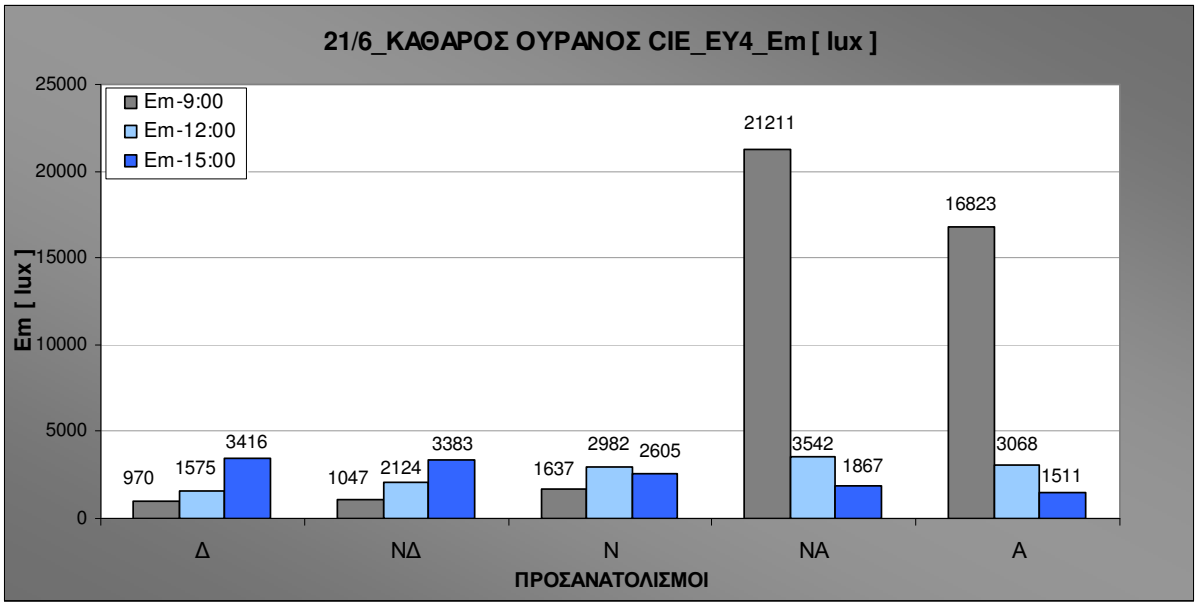
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ3 την 21η Ιουνίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

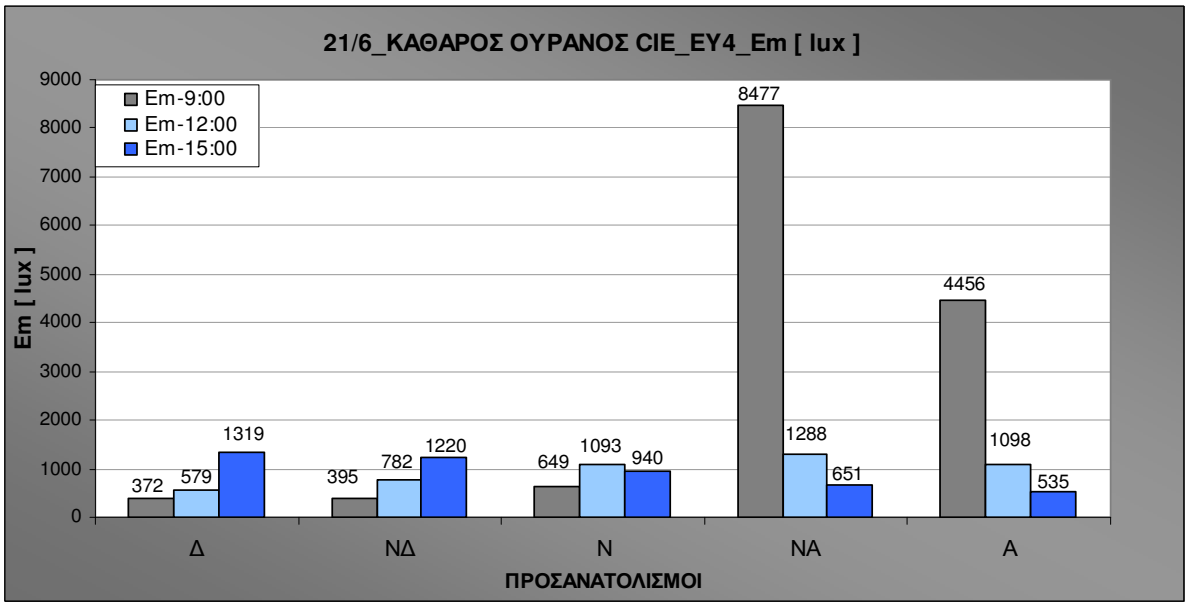
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 όλοι οι προσανατολισμοί εκτός από τον Ανατολικό στις 9:00 π.μ. για το παράθυρο 2 ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

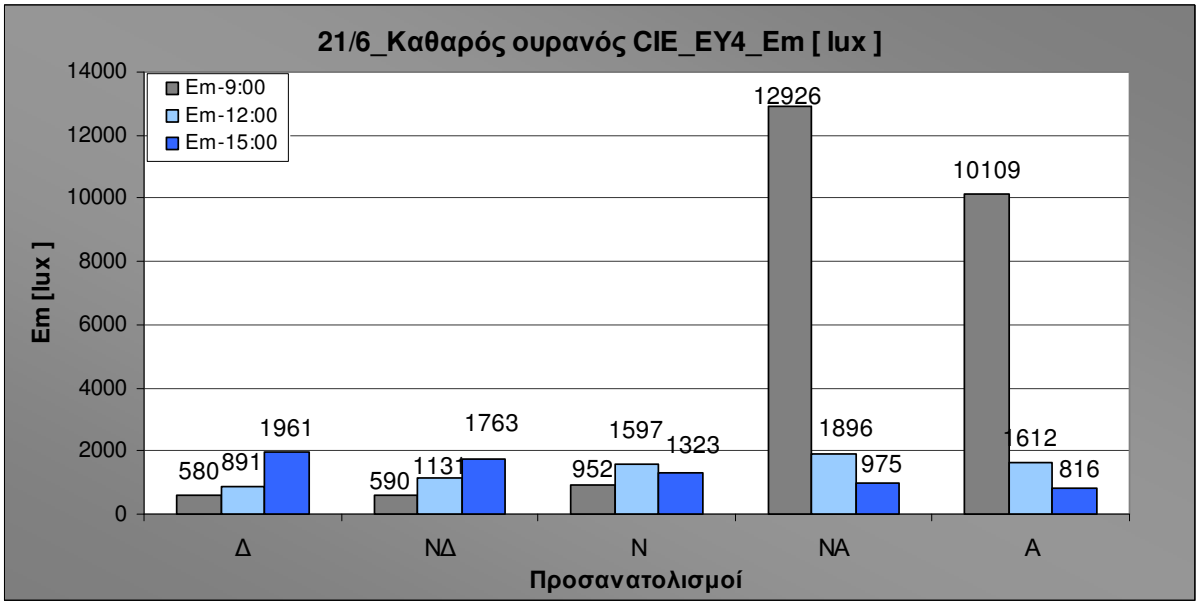
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 τα παράθυρα 1 και 3 εμφανίζουν την ίδια θετική συμπεριφορά και έπεται το παράθυρο 2.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Ιουνίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 4 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες τις προσομοιώσεις.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ4 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Νοτιοανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ4 σε φθίνουσα σειρά είναι η εξής:

Στις 9:00 π.μ. και στις 12:00 μεσ. : ΝΑ → Α → Ν → ΝΔ → Δ για όλα τα ανοίγματα

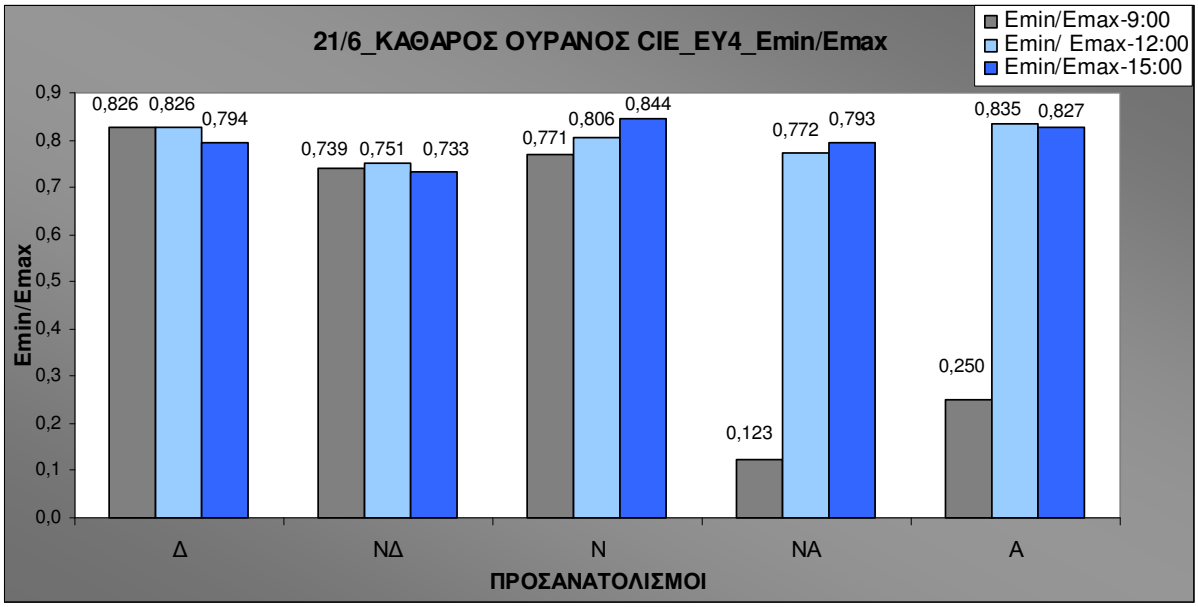
Στις 3:00 μ.μ. : ΝΔ → Δ → Ν → ΝΑ → Α για το παράθυρο 1

Στις 3:00 μ.μ. : Δ → ΝΔ → Ν → ΝΑ → Α για τα παράθυρα 2 και 3

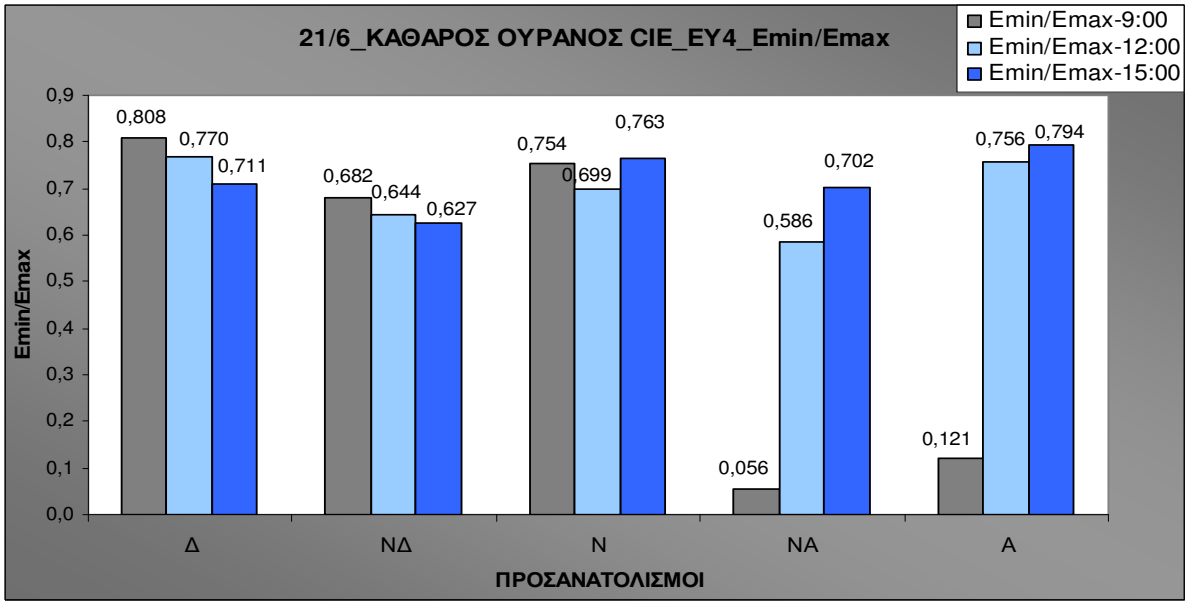
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Ιουνίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

ΝΑ→ Α → Ν→ ΝΔ→ Α(αμοιβαία εναλλαγή στις θέσεις των ΝΑ και Α σε σχέση με την κατάταξη για τις ΕΥ1, ΕΥ2 και ΕΥ3).

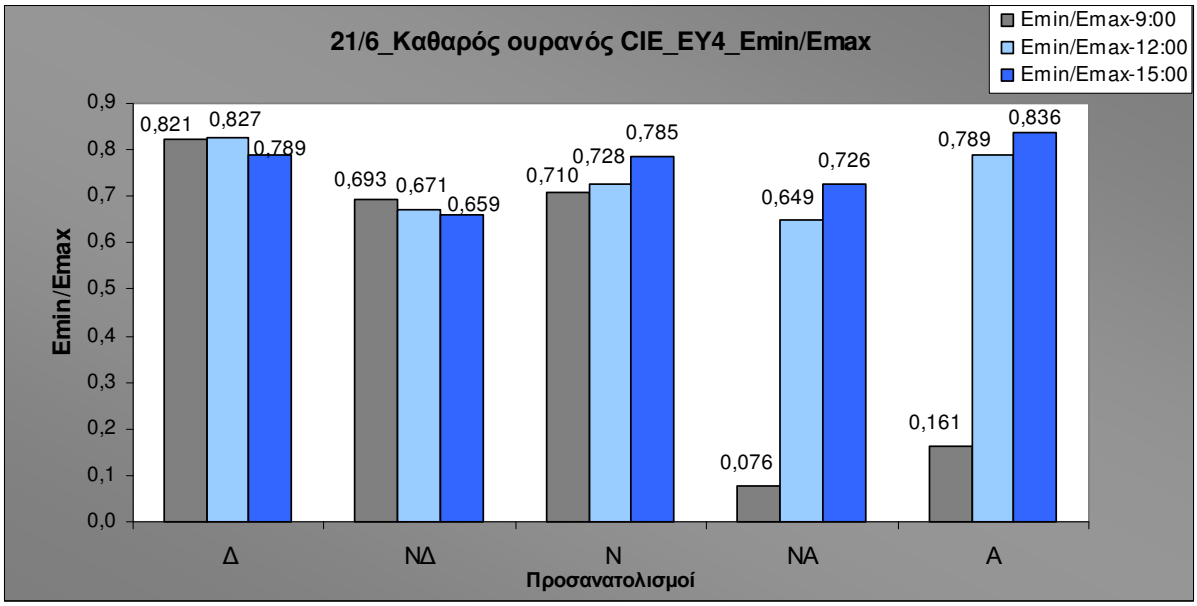
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1) .



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ4 την 21η Ιουνίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 όλοι οι προσανατολισμοί, εκτός από το Νοτιοανατολικό στις 9:00 π.μ., για τα παράθυρα 2 και 3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 το παράθυρο 1 παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά και τα παράθυρα 2 και 3 εμφανίζουν την ίδια θετική συμπεριφορά.

4.6.1.4 Συμπεράσματα για την 21η Ιουνίου

Η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για την 21η Μαρτίου και περιγράφηκε στην παράγραφο ***Διαδικασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων*** πραγματοποιήθηκε και για την 21η Ιουνίου και οδήγησε στα εξής αποτελέσματα :

- η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Α → ΝΑ → Ν → ΝΔ → Δ
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά ΝΑ → Α → Ν & ΝΔ → Δ

- η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την ομοιομορφία σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : (Δ, ΝΔ και Ν) → Α→ ΝΑ
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά (Δ και ΝΔ)→ Α → ΝΑ → Ν

- η κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2

- η κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς την ομοιομορφία σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 3→ Παράθυρο 1 → Παράθυρο 2

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για την 21η Ιουνίου οι προσανατολισμοί Ανατολικός και Νοτιοανατολικός φαίνεται να είναι οι αποδοτικότεροι ως προς την επίτευξη υψηλών επιπέδων φωτισμού τόσο στο χώρο συνολικά όσο και στις επιφάνειες των δύο κρεβατιών που εξετάστηκαν. Για την ημερομηνία αυτή, ο Νοτιοανατολικός προσανατολισμός φαίνεται να ικανοποιεί σχεδόν απόλυτα τις απαιτήσεις λαμπρότητας στο επίπεδο του δαπέδου και για τα τρία παράθυρα ωστόσο ο Ανατολικός εμφανίζεται προβληματική επιλογή στην περίπτωση που ως παράθυρο επιλεγεί το παράθυρο 1. Εξεταζόμενοι ως προς τις απαιτήσεις ομοιομορφίας επιτυγχάνουν τις δύο τελευταίες θέσεις στην κατάταξη που αφορά το ΕΕ(4η και 5η αντίστοιχα) και την 3η και 4η θέση αντίστοιχα όσον αφορά στην κατάταξη των προσανατολισμών ειδικά για τα κρεβάτια. Για το λόγο αυτό τίθενται πάλι αμφιβολίες ως προς την οπτική άνεση που επιτυγχάνεται για τους χρήστες του χώρου και ως προς την τελική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται σε περίπτωση που δε ληφθούν μέτρα προστασίας για την αποφυγή των ενδεχόμενων αυτών προβλημάτων.

Από τις φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα και οι οποίες παρατίθενται στις επόμενες σελίδες παρατηρούμε ότι και για την ημερομηνία αυτή σε αρκετές περιπτώσεις προσομοιώσεων εμφανίζονται ηλιακά ίχνη στον υπό μελέτη χώρο. Από τις περιπτώσεις αυτές ιδιαίτερη σημασία έχουν:

<u>για το παράθυρο 1</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ και ο Α προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 2</u>

στις 9:00 π.μ. ο Α και μερικώς ο ΝΑ προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 3</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ και Α προσανατολισμός

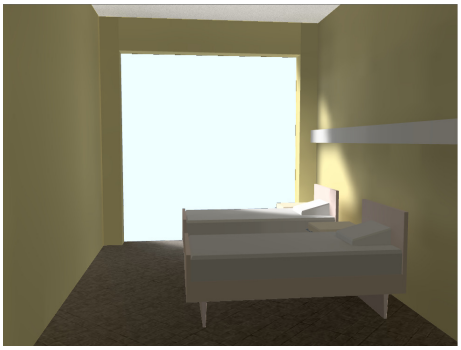
καθώς η εμφάνιση των ιχνών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται στο τμήμα του χώρου που είναι τοποθετημένα τα κρεβάτια και μάλιστα το πάνω μέρος αυτών(δηλαδή το μαξιλάρι). Αξίζει να σημειωθεί ότι για την 21^{η} Ιουνίου η εμφάνιση ηλιακών ιχνών παρατηρείται ανεξαρτήτως ανοίγματος μόνο κατά την πρώτη ώρα των προσομοιώσεων, δηλαδή την 9^{η} πρωινή , όταν δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται ακόμα σε χαμηλό ύψος.

Η παραπάνω διαπίστωση για την εμφάνιση ηλιακών ιχνών στο ΝΑ και Α προσανατολισμό σε όλα τα ανοίγματα ενισχύει την άποψη ότι για την εξασφάλιση ποιοτικού σχεδιασμού του φωτισμού στο χώρο οι εν λόγω επιλογές ως προς τον προσανατολισμό θα πρέπει να συνδυαστούν και με κάποιο σύστημα φυσικού φωτισμού.

Εξετάζοντας τον τρόπο επιρροής του μεγέθους/θέσης των ανοιγμάτων στα επίπεδα φωτισμού, οδηγηθήκαμε και πάλι σε προφανή συμπεράσματα. Αποδείχτηκε ξανά ότι αύξηση των διαστάσεων του ανοίγματος οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου, τόσο στο σύνολό του , όσο και στις επιφάνειες που κυρίως μας ενδιέφεραν. Και για την 21^{η} Ιουνίου όμως η κατάταξη των παραθύρων ως προς τα επίπεδα φωτισμού ταυτίζεται με την κατάταξή τους ως προς την ομοιομορφία μόνο όσον αφορά τις επιφάνειες υπολογισμού. Εξετάζοντας το χώρο στο σύνολό του (επίπεδο ενδιαφέροντος) η κατάταξη των παραθύρων ως προς ομοιομορφία διαφοροποιείται τόσο σε σχέση με την αντίστοιχη κατάταξη για τα κρεβάτια όσο και σε σχέση με την αντίστοιχη κατάταξη για την 21^{η} Μαρτίου. Στις 21 Ιουνίου η ομοιομορφία επιτεύχθηκε σε περισσότερες περιπτώσεις από το μεσαίου μεγέθους παράθυρο(μικρότερο ύψος θέσης άνω παρειάς, ύπαρξη ποδιάς και ικανοποιητικό μέγεθος) ακολούθως από το μεγάλου μεγέθους και τέλος από το μικρότερο

παράθυρο. Το μικρό μέγεθος και πρωτίστως το μικρό πλάτος του παραθύρου 2 σε συνδυασμό με την είσοδο άμεσου φωτός αλλά και των ιδιαίτερα υψηλών τιμών διάχυτου φωτός αποτελεί την αιτία της μη καλή συμπεριφοράς του ως προς την ομοιομορφία. Όπως γίνεται εμφανές και από τις εικόνες κατανομής του φωτισμού το πλάτος του ανοίγματος 2 περιορίζει σημαντικά την έκταση(πλάτος) του χώρου που προσλαμβάνει υψηλές τιμές φωτισμού(άμεσου και διάχυτου) δημιουργώντας σε αρκετές περιπτώσεις μια στενή ζώνη εισόδου του φωτός.

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Ιουνίου -9:00 π.μ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Ιουνίου-12:00 μεσ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Ιουνίου -3:00 μ.μ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Ιουνίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

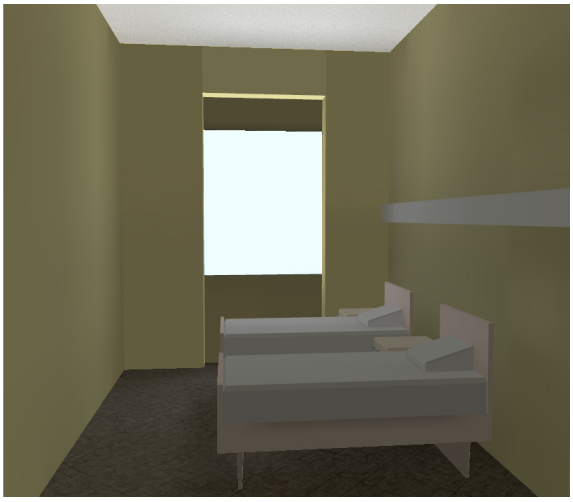
Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Ιουνίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

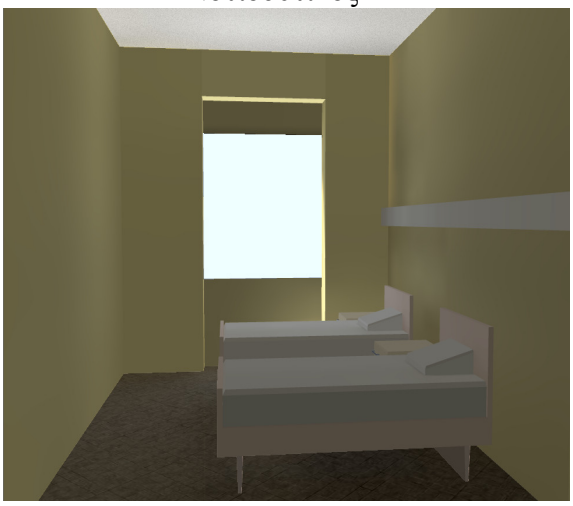


Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

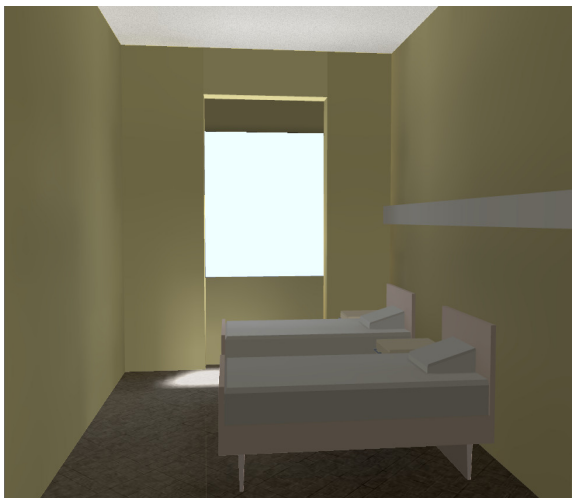


Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός



Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Ιουνίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου
(Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Ιουνίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

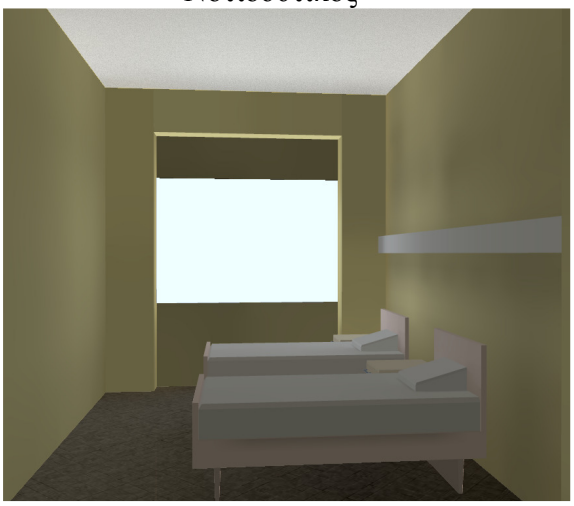
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός



Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Ιουνίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Ιουνίου–3:00 μ.μ -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

4.6.1.5 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_23 Σεπτεμβρίου

23 Σεπτεμβρίου 9:00 π.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	45	51	130	437	652
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	356	401	1018	3430	5118

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	9,51	11	21	76	179
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	75	85	166	595	40

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	15	16	34	115	234
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	117	125	265	901	1840

23 Σεπτεμβρίου 12:00 μεσ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	88	241	771	1107	525
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	692	1894	6055	8698	4123

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	20	36	170	277	113
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	158	282	1335	2173	891

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	32	64	251	436	202
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	253	501	1968	3421	1583

23 Σεπτεμβρίου 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	549	1056	908	140	79
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	4310	8292	7135	1097	623

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	90	186	266	31	19
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	706	1465	2092	246	147

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	173	327	362	46	27
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	1356	2570	2841	365	215

Πίνακας 4.15 *Επισκόπηση αποτελεσμάτων φωτεινότητας και φωτισμού στο δάπεδο για τα τρία παράθυρα την 23η Σεπτεμβρίου*

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από τον πίνακα 4.15 προκύπτει ότι για την 23η Σεπτεμβρίου στις 9:00 π.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τον Ανατολικό προσανατολισμό.

-το παράθυρο 2 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας για το Δυτικό, Νοτιοδυτικό και Ανατολικό προσανατολισμό

-το παράθυρο 3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για τις 23 Σεπτεμβρίου στις 12:00 μεσ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς Ν, ΝΑ και Α.

-τα παράθυρα 2 και 3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για την 23η Σεπτεμβρίου στις 3:00 μ.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

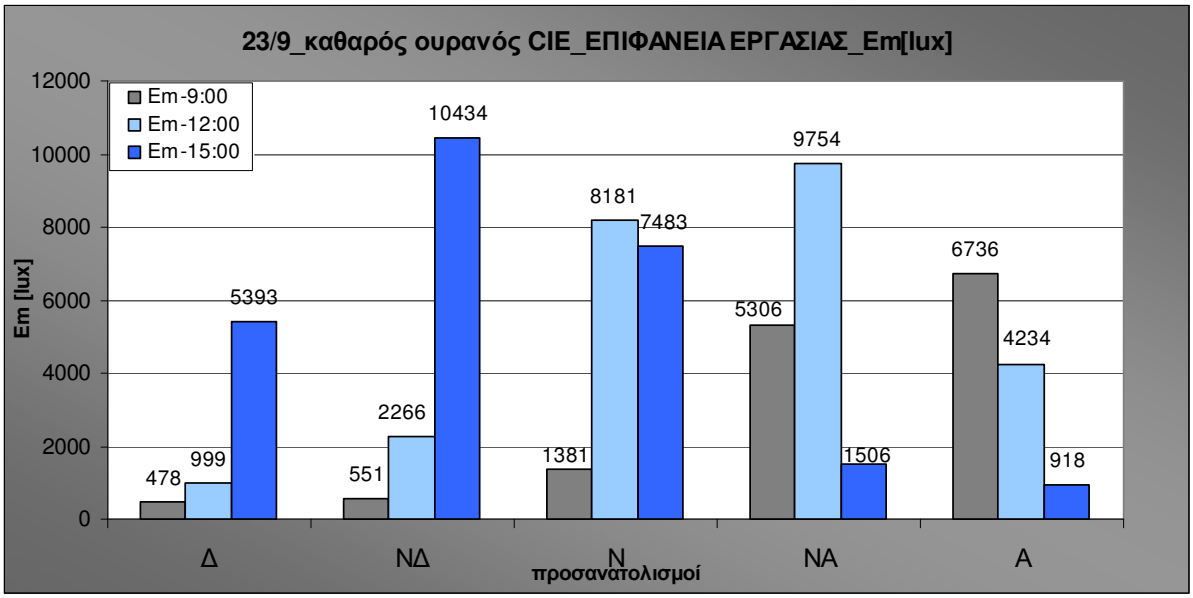
-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς Δ, ΝΔ και Ν.

-τα παράθυρα 2 και 3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

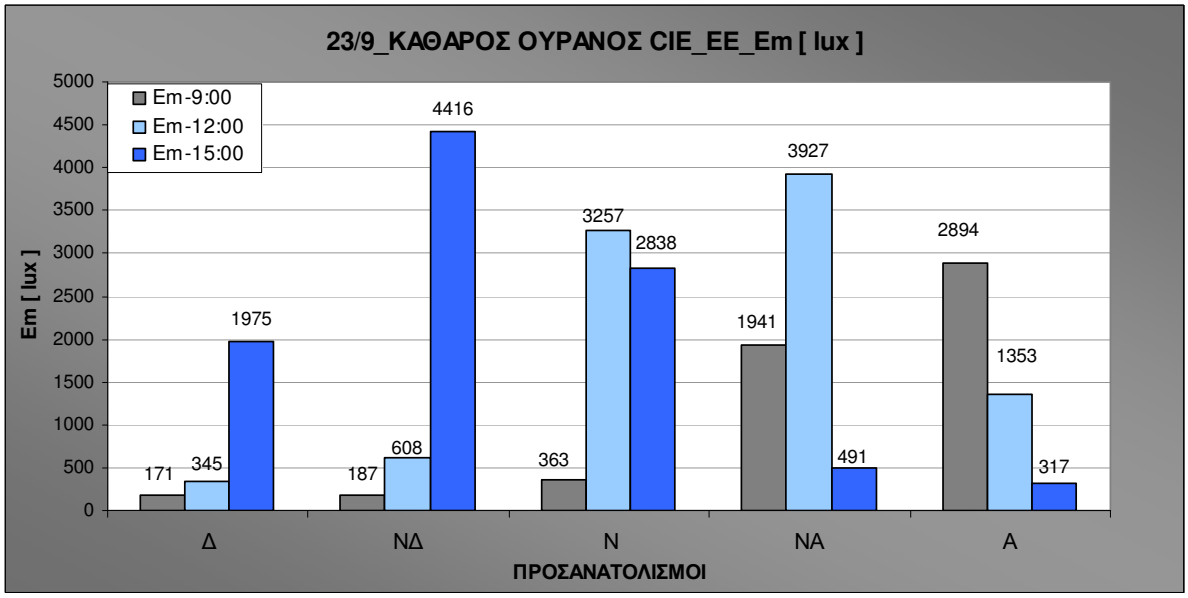
ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ 23/9	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ 23/9	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

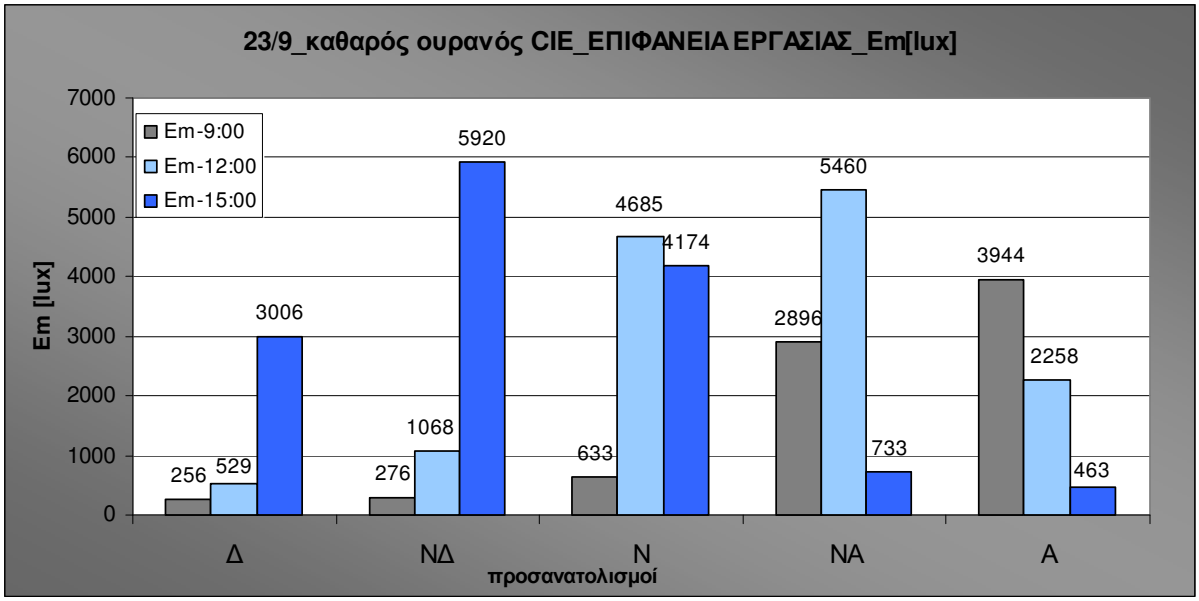
Οπτικοποίηση των άνωθεν συγκρίσεων



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο 3

Η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των :

Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο ΝΔ προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ.

Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι:

στις 9:00 π.μ. : Α → ΝΑ → Ν → ΝΔ → Δ

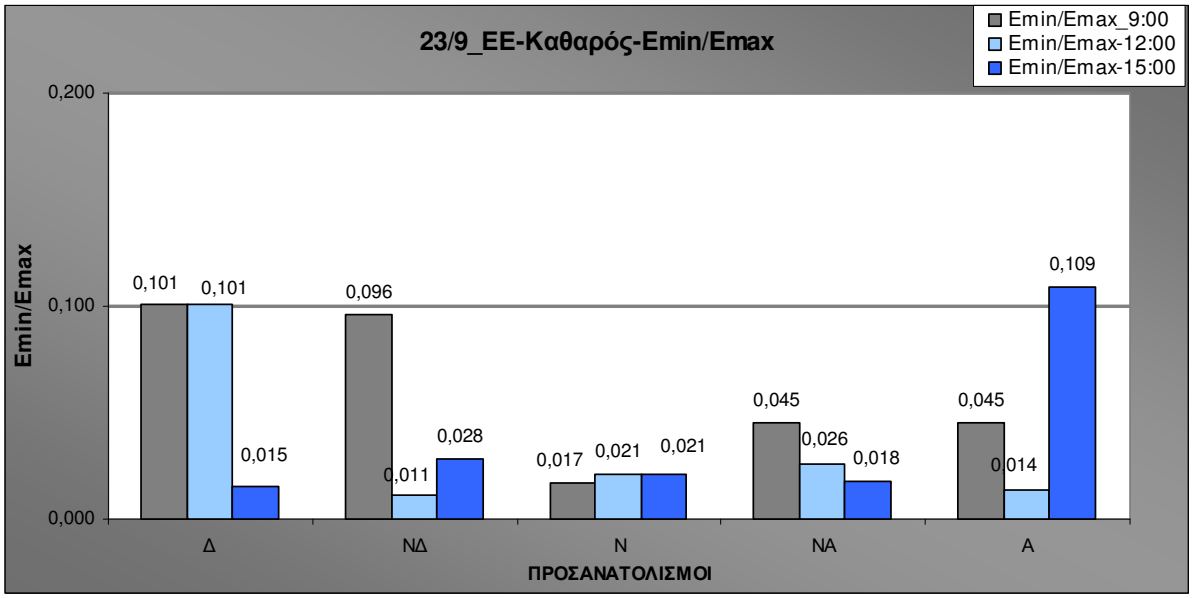
στις 12:00 μεσ. : ΝΑ → Ν → Α → ΝΔ → Δ

στις 3:00 μ.μ. : ΝΔ → Ν → Δ → ΝΑ → Α

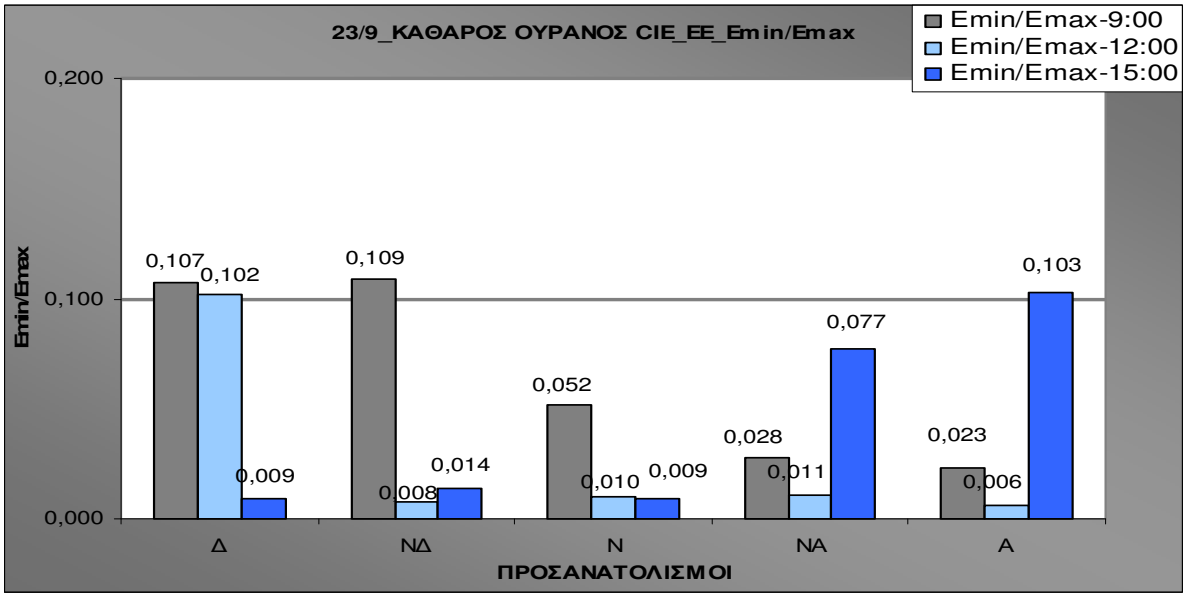
Από τις παραπάνω κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 23^{η} Σεπτεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) οι προσανατολισμοί για το επίπεδο αναφοράς κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά ως εξής:

Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ

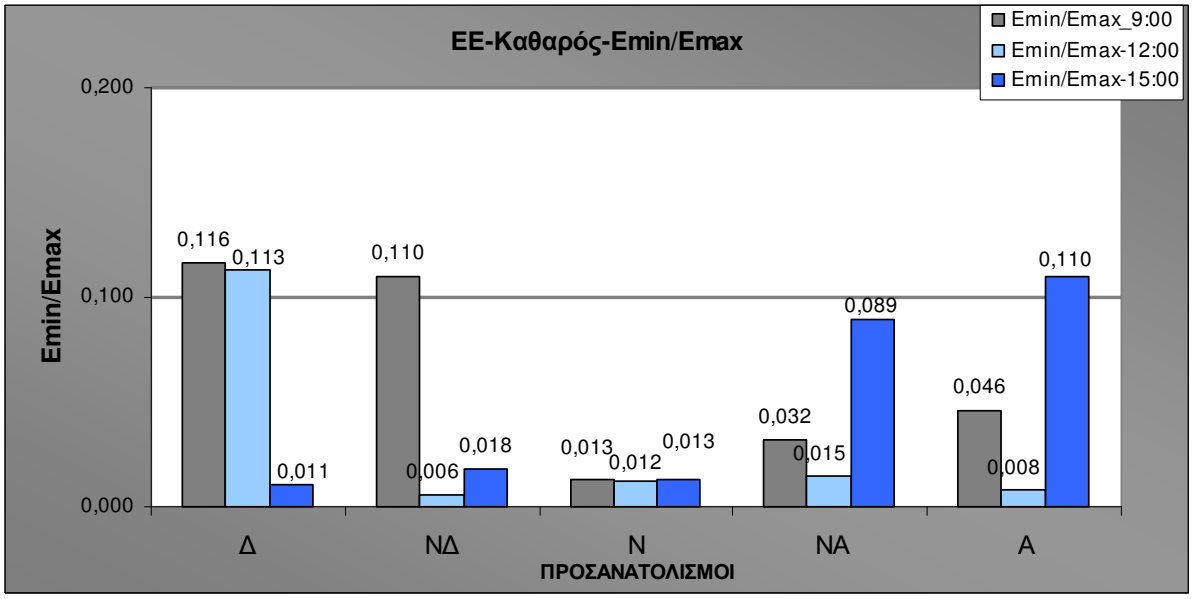
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1). Και για αυτήν την ημερομηνία ,η κατάταξη σε φθίνουσα σειρά φαίνεται να ακολουθεί, όπως πιθανότατα αναμενόταν, τη μείωση του εμβαδού των ανοιγμάτων.



Παράθυρο1



Παράθυρο 2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

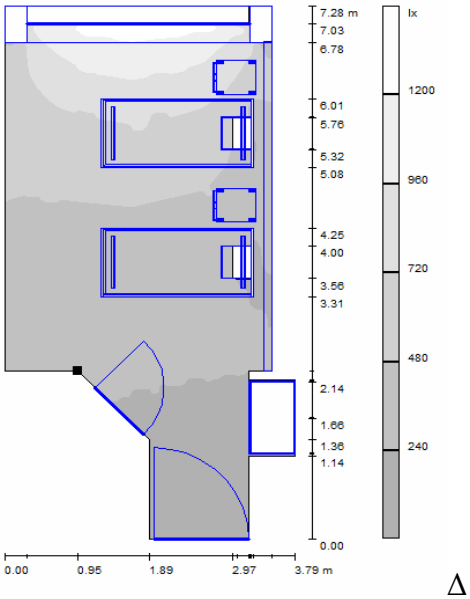
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στο επίπεδο ενδιαφέροντος ως καλύτερος προσανατολισμός προκύπτει ο Δυτικός με 6/9 και ακολουθούν ο Νοτιοδυτικός και ο Ανατολικός με 3/9 αμφότεροι , ενώ οι προσανατολισμοί Νότιος και Νοτιοανατολικός δεν ικανοποιούν πουθενά τις απαιτήσεις ομοιομορφίας για το σύνολο της επιφάνειας του δωματίου.

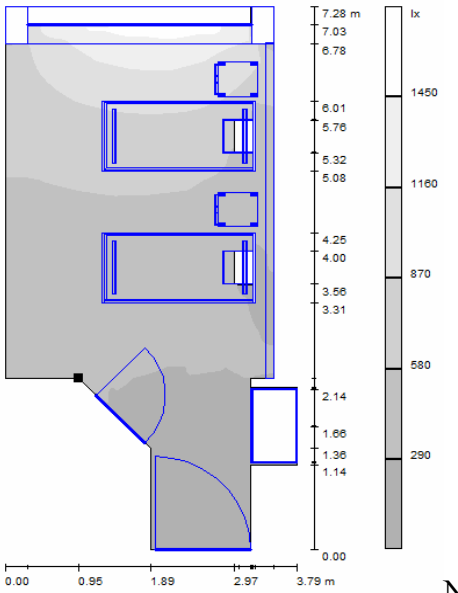
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία και τα τρία παράθυρα εμφανίζουν την ίδια ακριβώς συμπεριφορά.

Στις εικόνες κατανομής φωτισμού (με αποχρώσεις του γκρι) που ακολουθούν για το επίπεδο ενδιαφέροντος γίνονται εμφανείς οι προαναφερθείσες διαφοροποιήσεις ως προς την ομοιομορφία. Με παρατήρηση των εικόνων αυτών αντιλαμβανόμαστε τον τρόπο που ο φωτισμός κατανέμεται στο χώρο και τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στην κατανομή τόσο από τη μεταβολή του προσανατολισμού του χώρου όσο και από την αναπόφευκτη μεταβλητότητα του φυσικού φωτισμού κατά τη διάρκεια της μέρας.

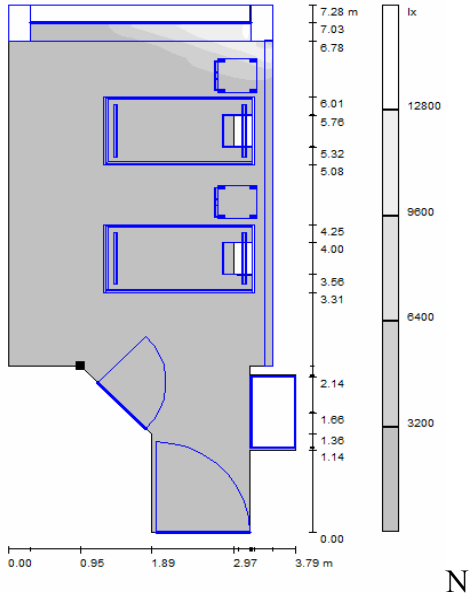
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -9:00 π.μ.



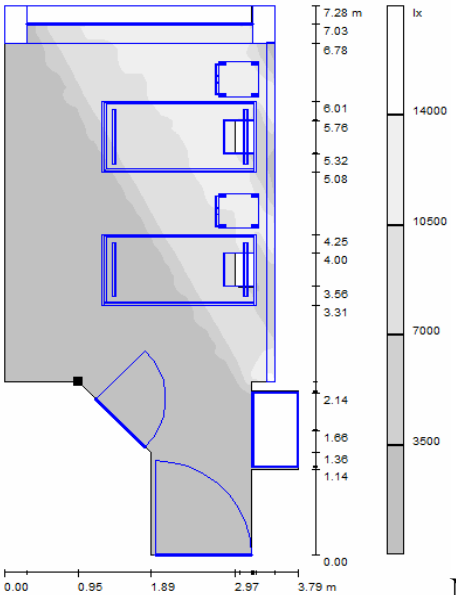
Δ



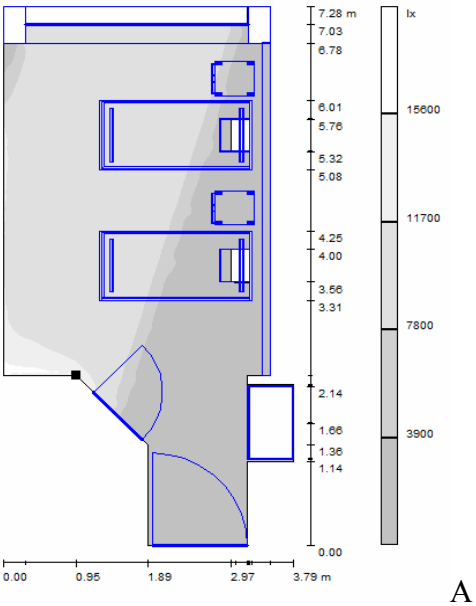
ΝΔ



N

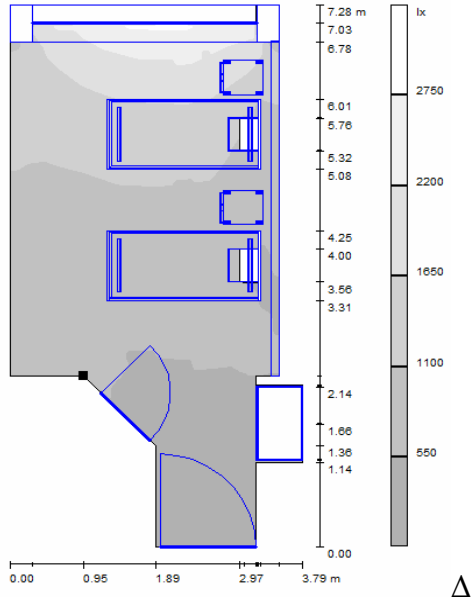


ΝΑ

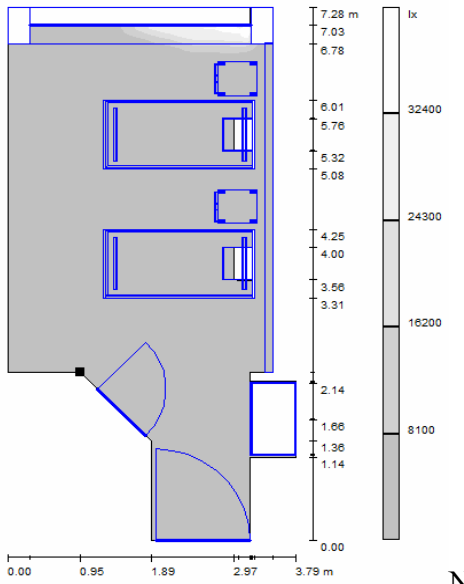


Α

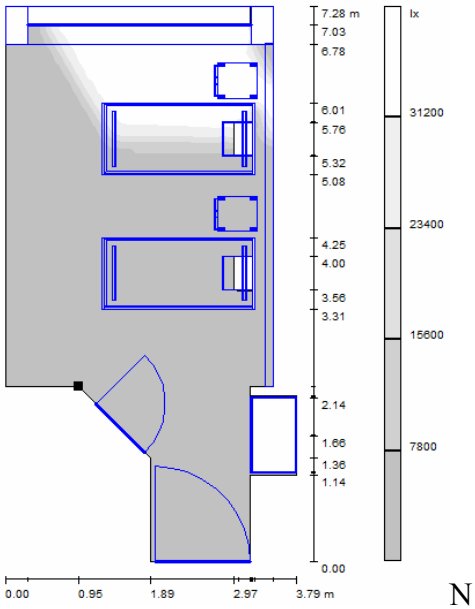
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -12:00 μεσ.



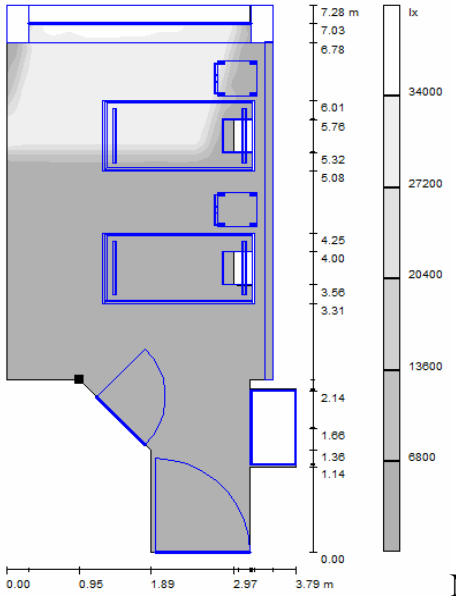
Δ



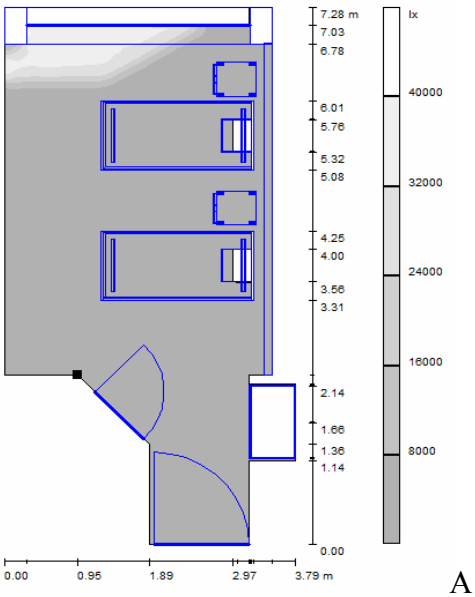
ΝΔ



Ν

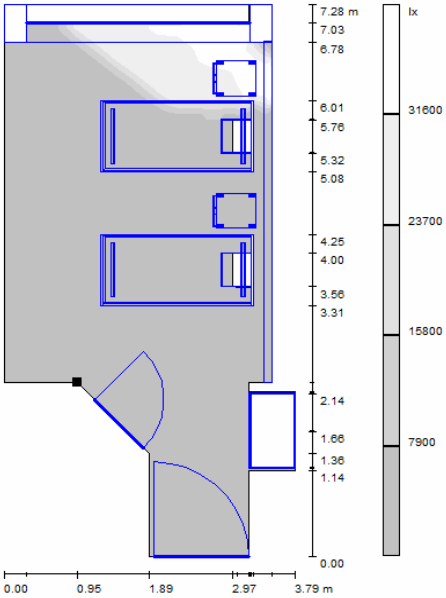


ΝΑ

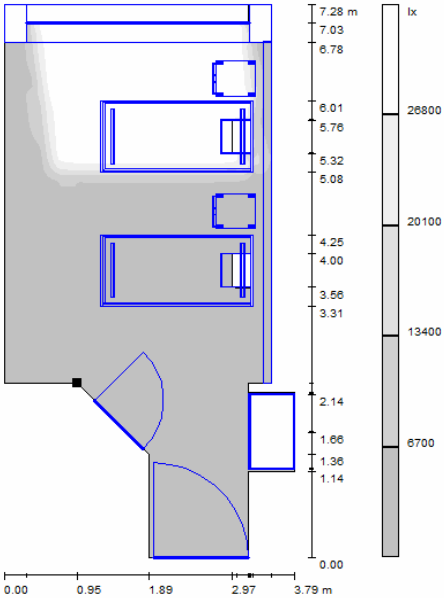


Α

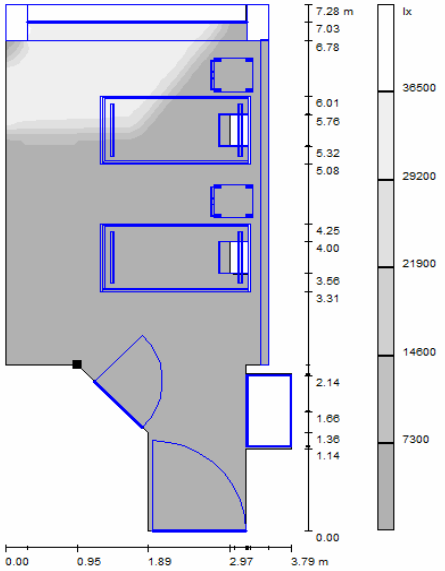
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -3:00 μ.μ.



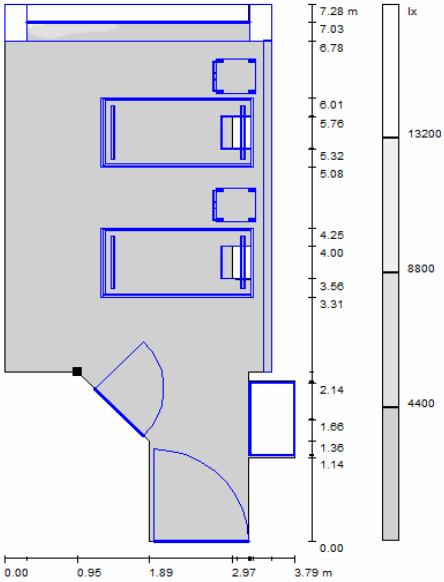
Δ



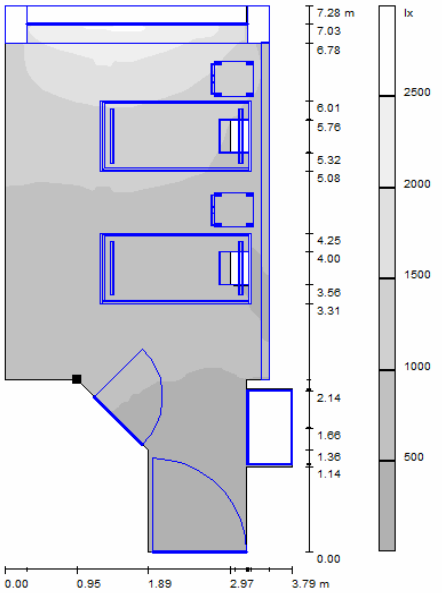
ΝΔ



N

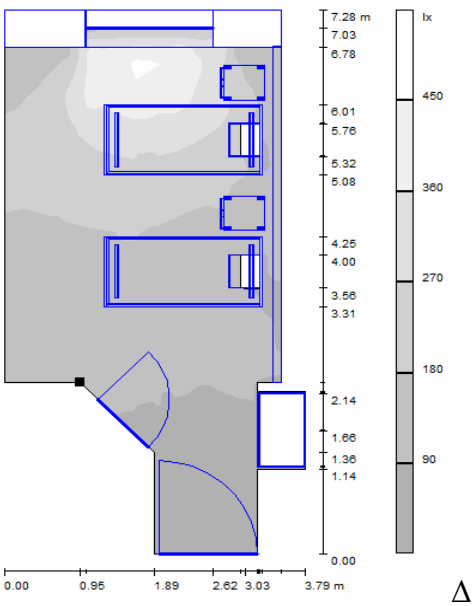


ΝΑ

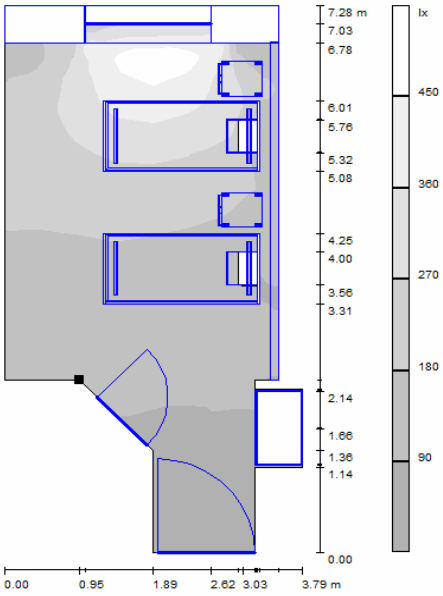


Α

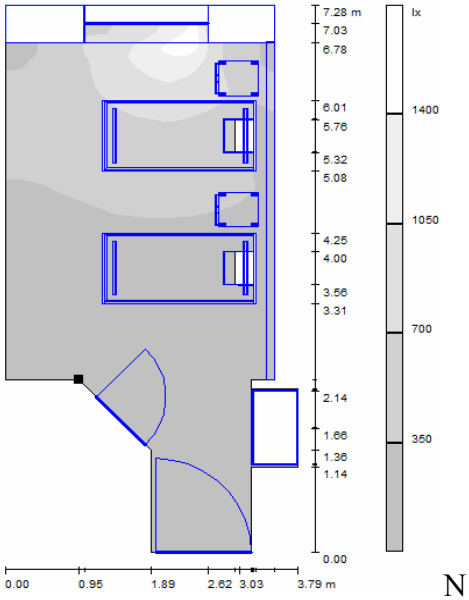
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -9:00 π.μ.



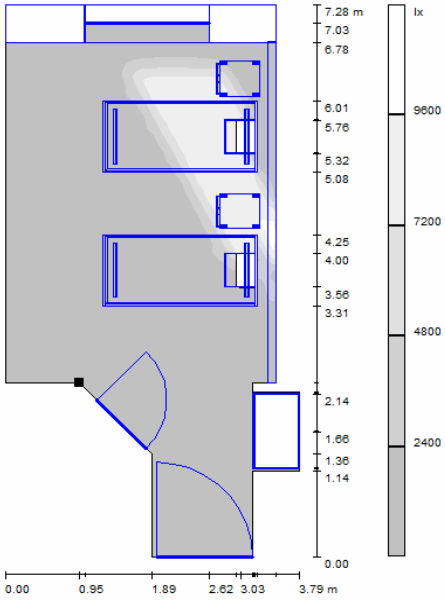
Δ



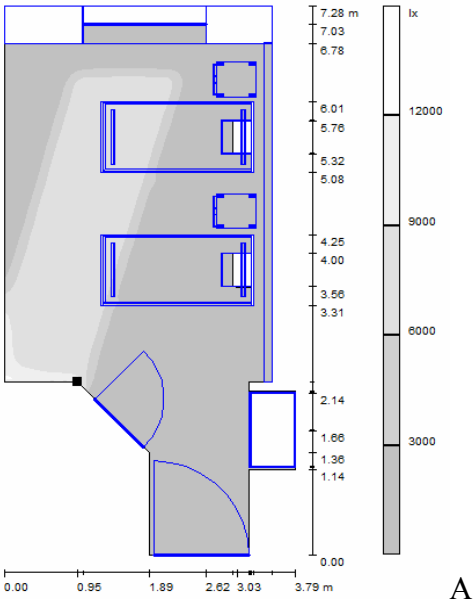
ΝΔ



Ν

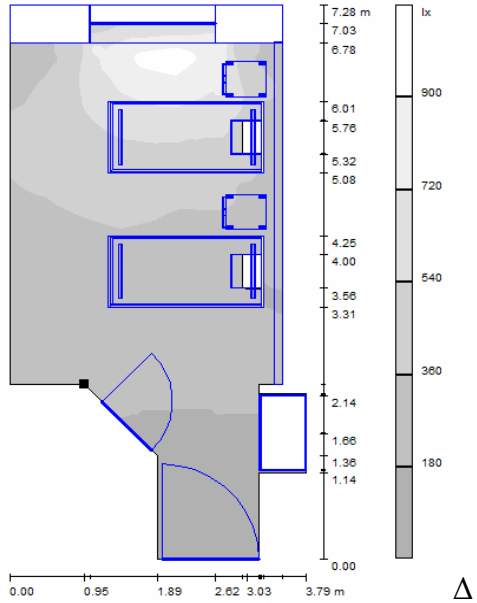


ΝΑ

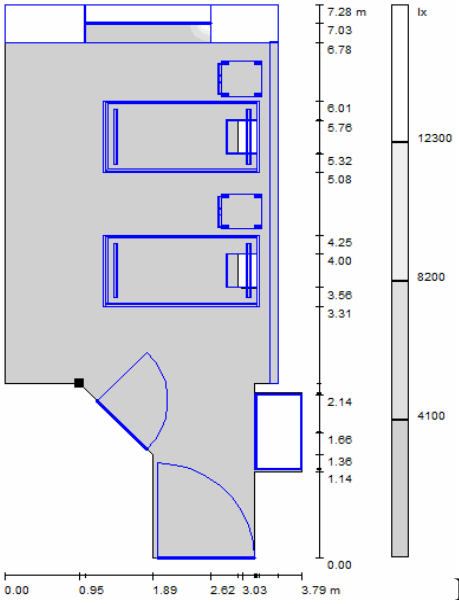


Α

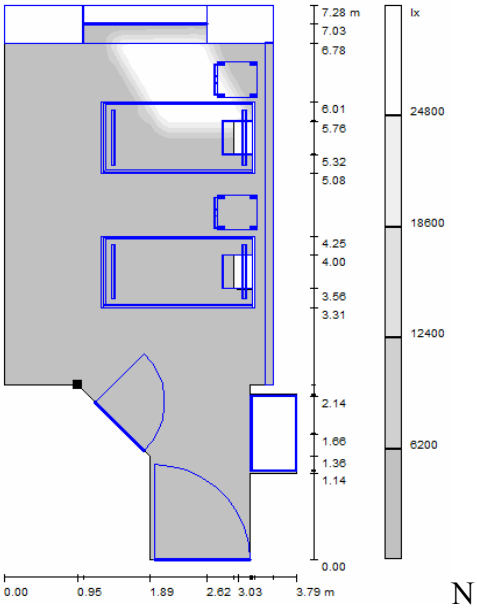
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -12:00 μεσ.



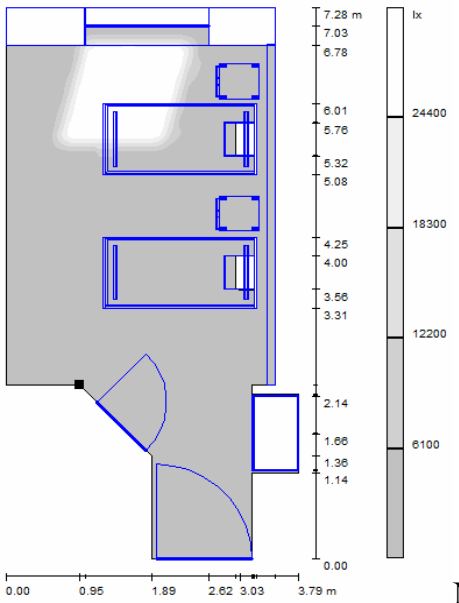
Δ



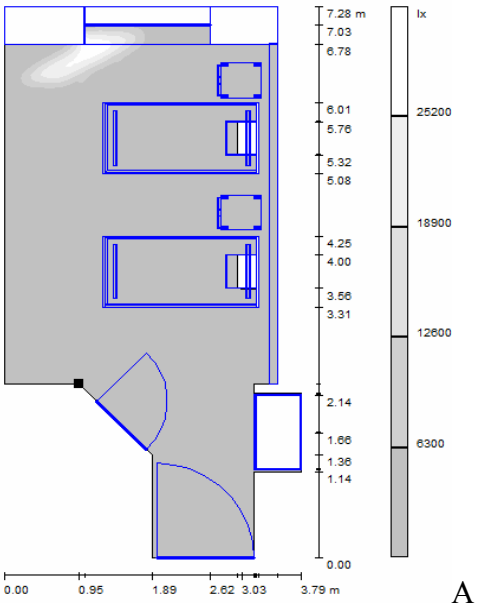
ΝΔ



Ν

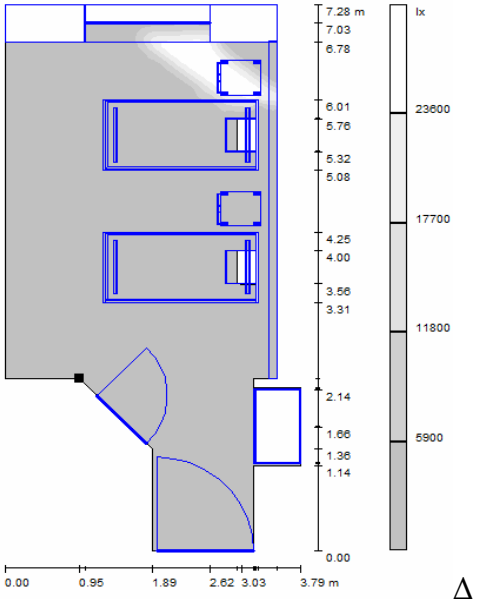


ΝΑ

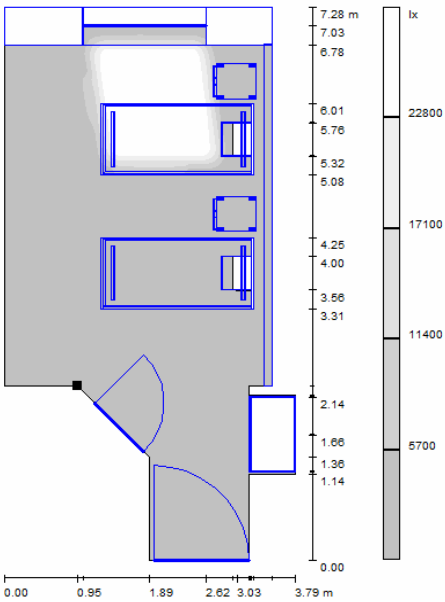


Α

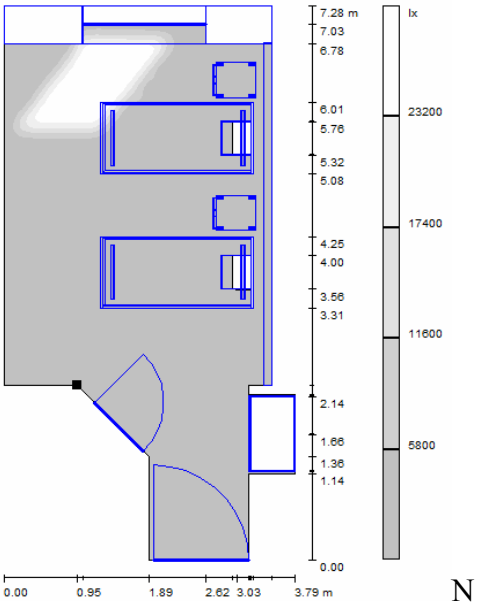
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -3:00 μ.μ.



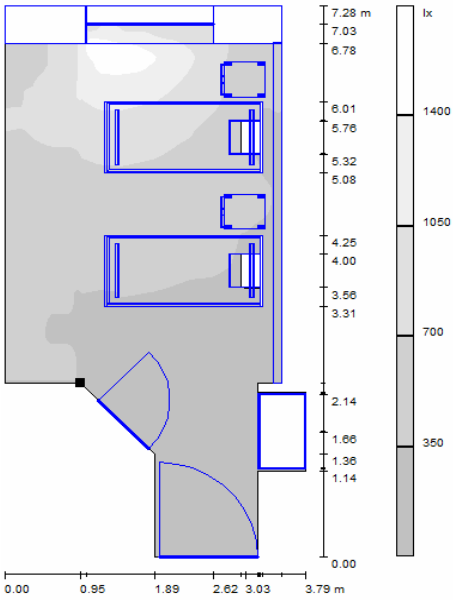
Δ



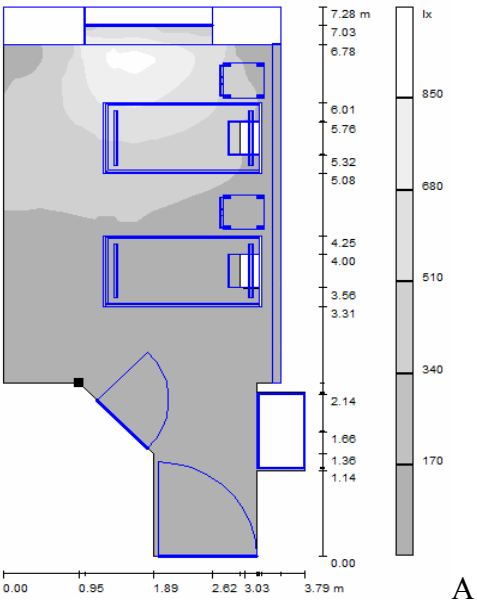
ΝΔ



N

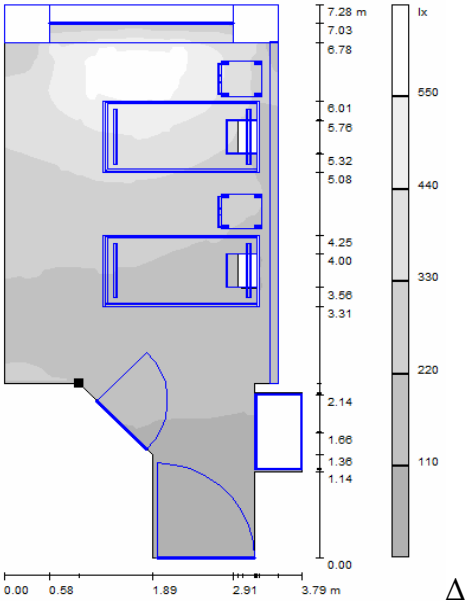


ΝΑ

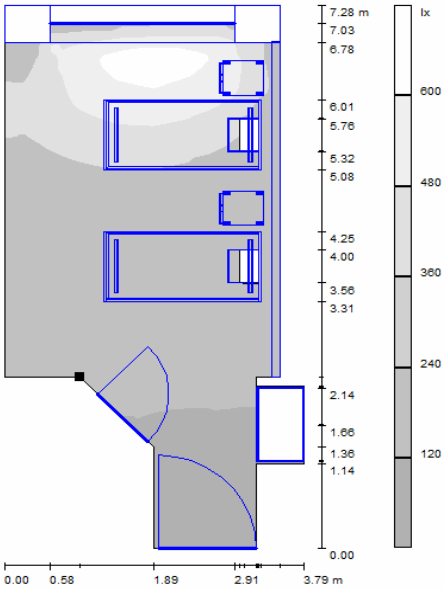


Α

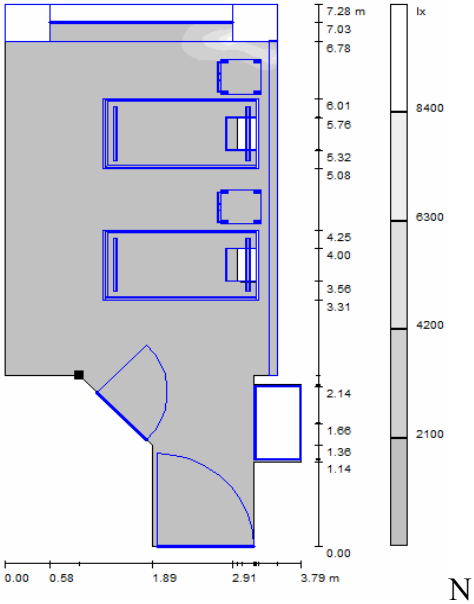
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -9:00 π.μ.



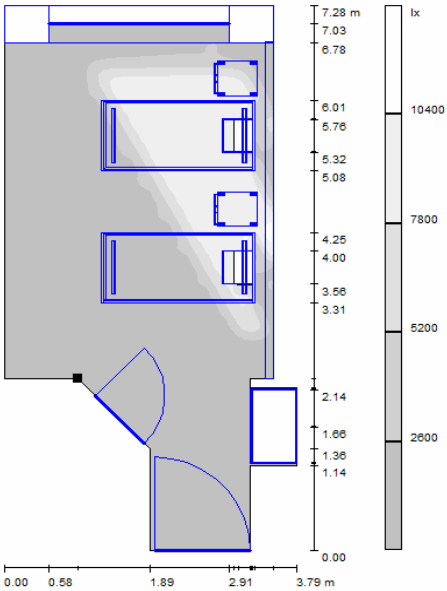
Δ



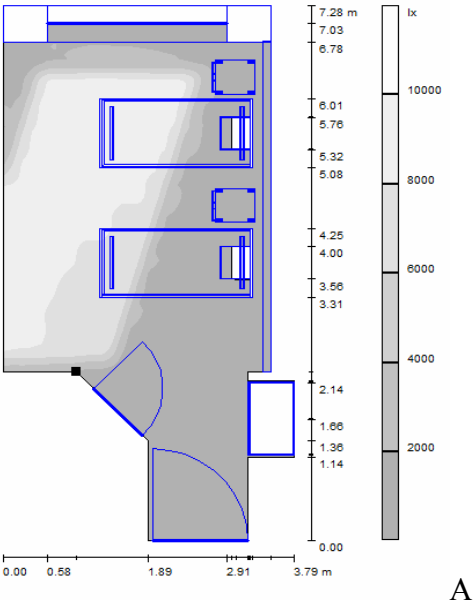
ΝΔ



N

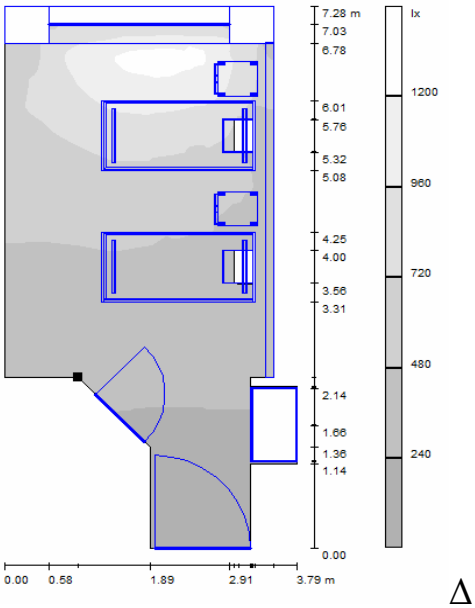


ΝΑ

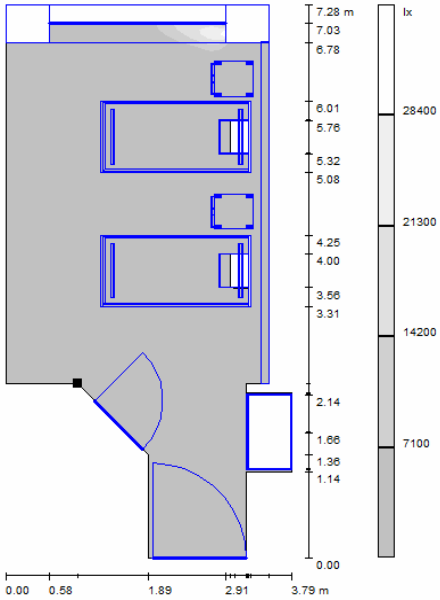


Α

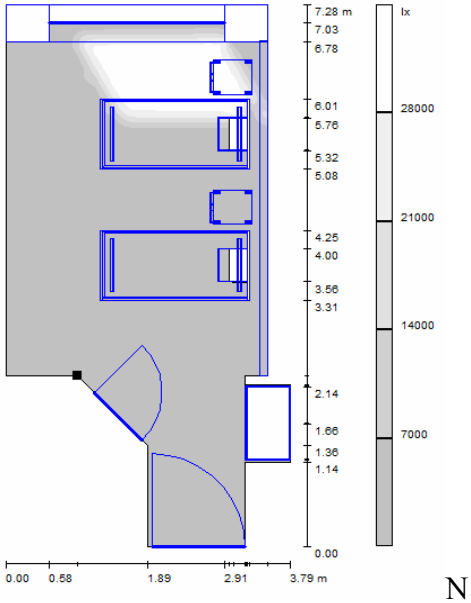
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -12:00 μεσ.



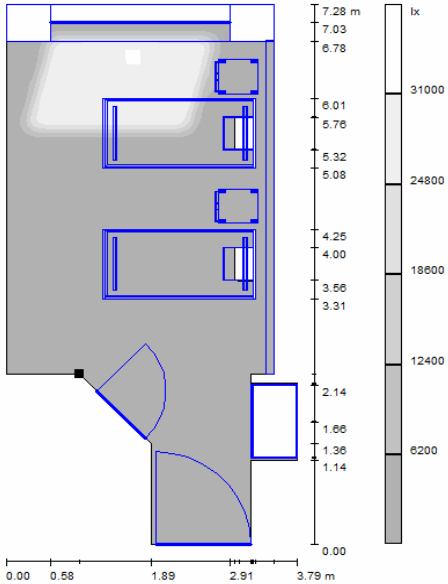
Δ



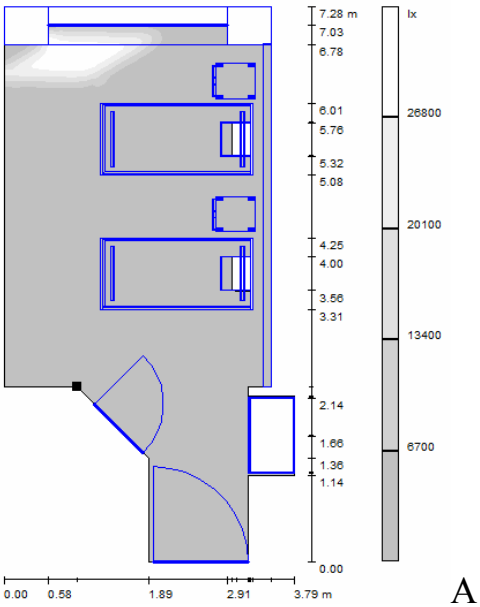
ΝΔ



N

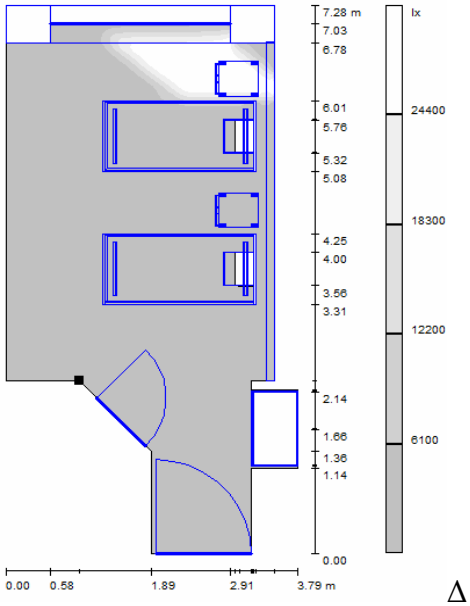


ΝΑ

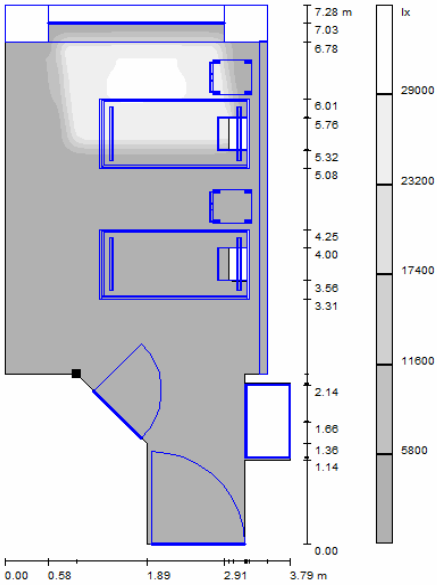


Α

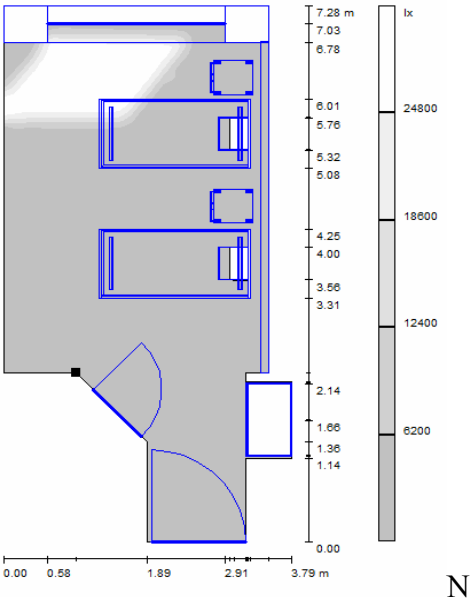
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_23 Σεπτεμβρίου -3:00 μ.μ.



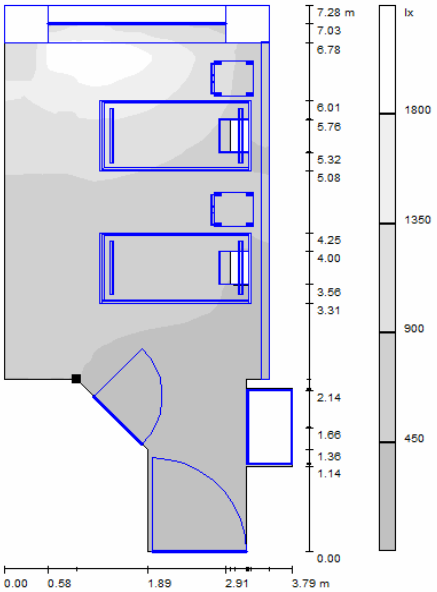
Δ



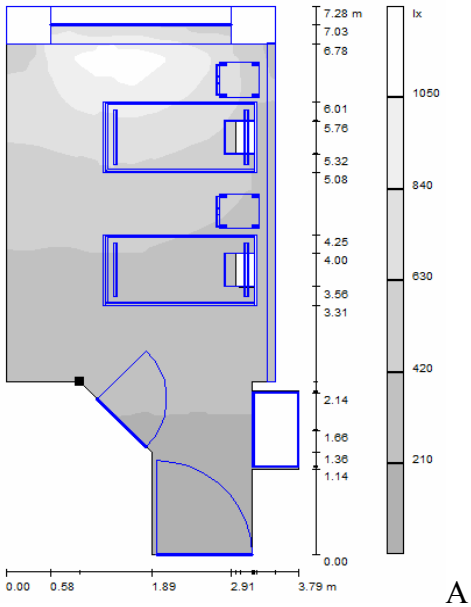
ΝΔ



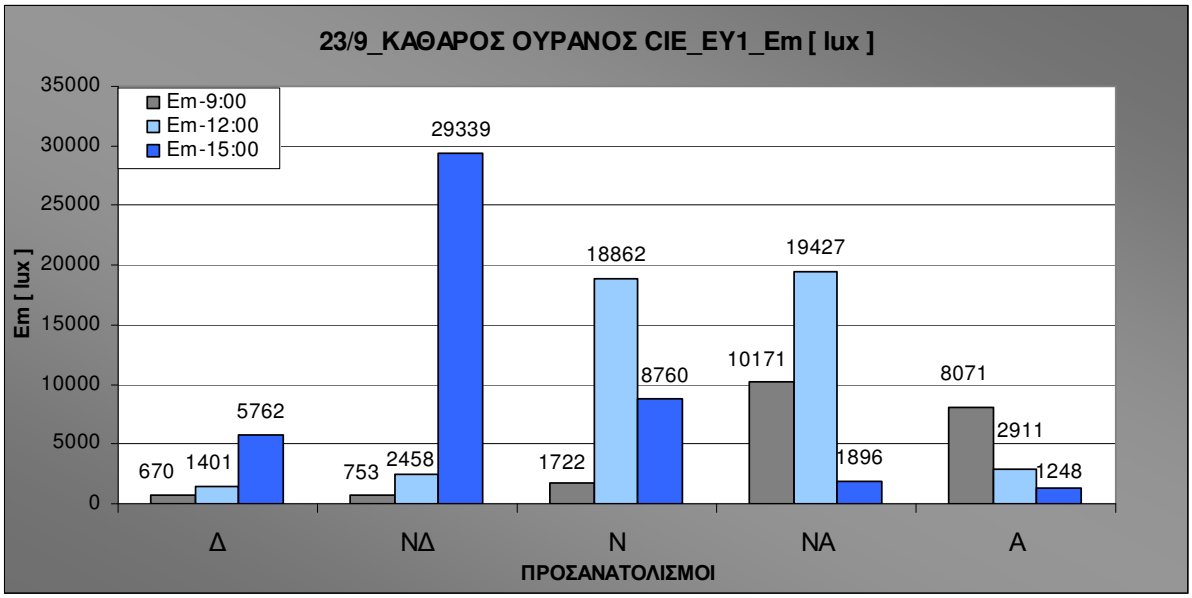
Ν



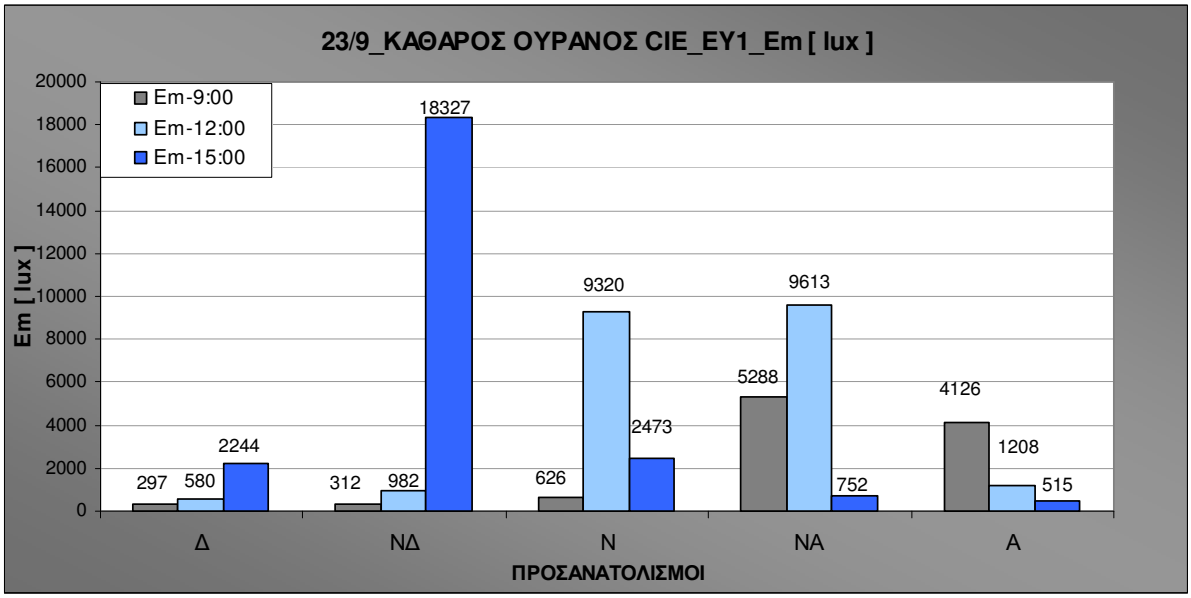
ΝΑ



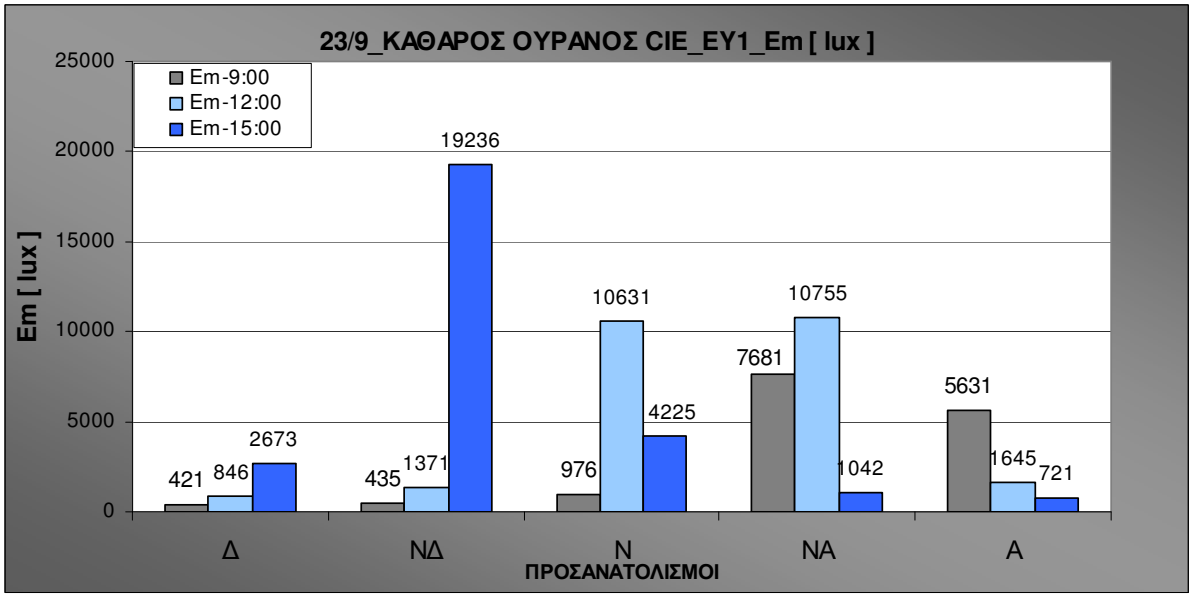
Α



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 23 Σεπτεμβρίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 1 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες σχεδόν τις προσομοιώσεις εκτός από :

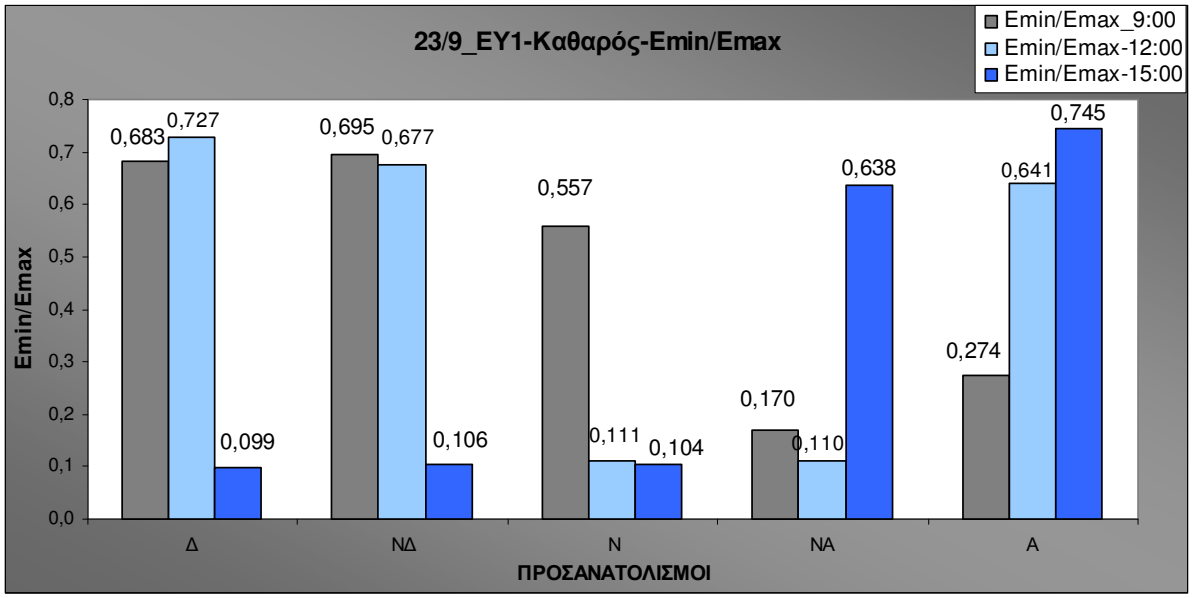
Παράθυρο 2 , Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ1 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Νοτιοδυτικό προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ1 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια με αυτήν που προέκυψε για την ΕΕ με μια αντιστροφή των θέσεων του Α και του ΝΑ προσανατολισμού για την 9^{η} πρωινή.

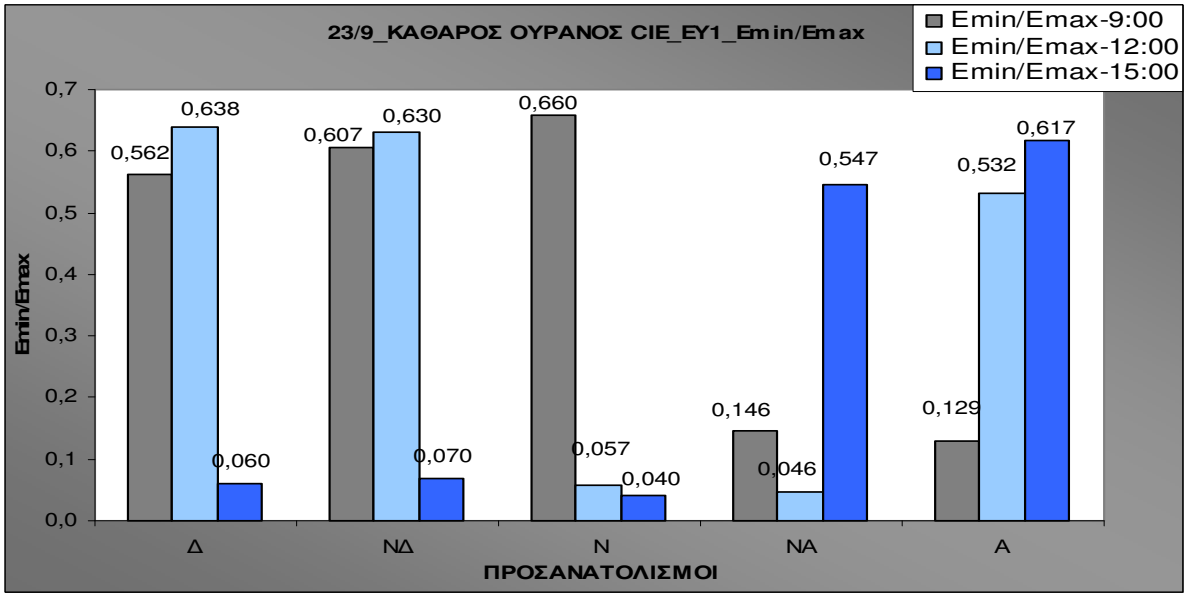
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 23^{η} Σεπτεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη για τους προσανατολισμούς για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

ΝΑ→ Ν → ΝΔ→ Α→ Δ

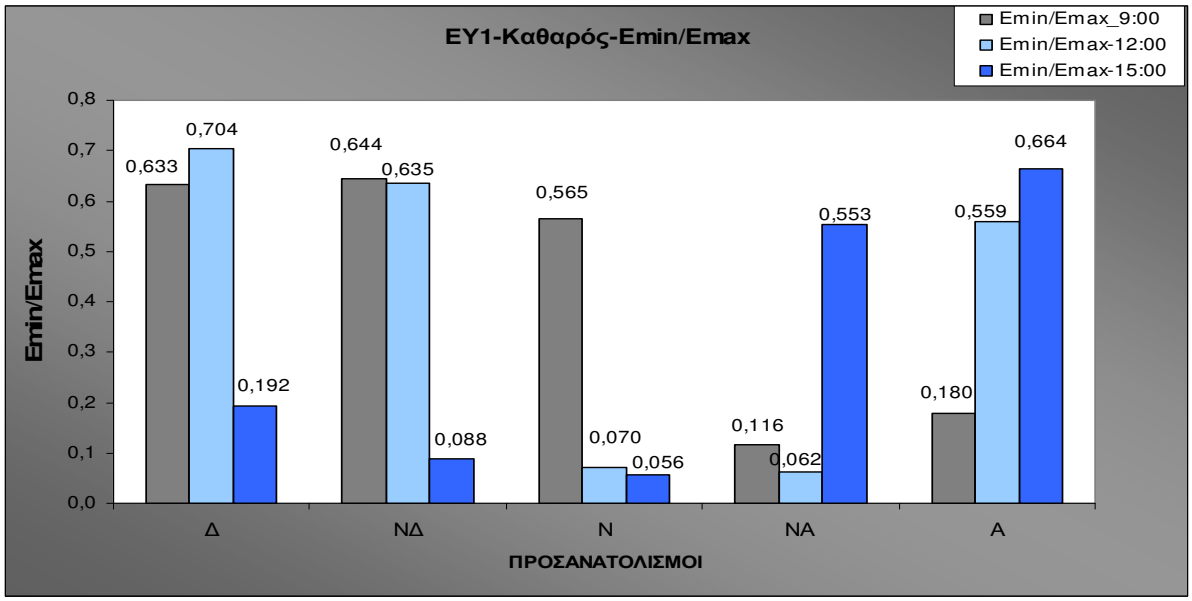
Ως προς την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται και σε αυτήν την περίπτωση στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

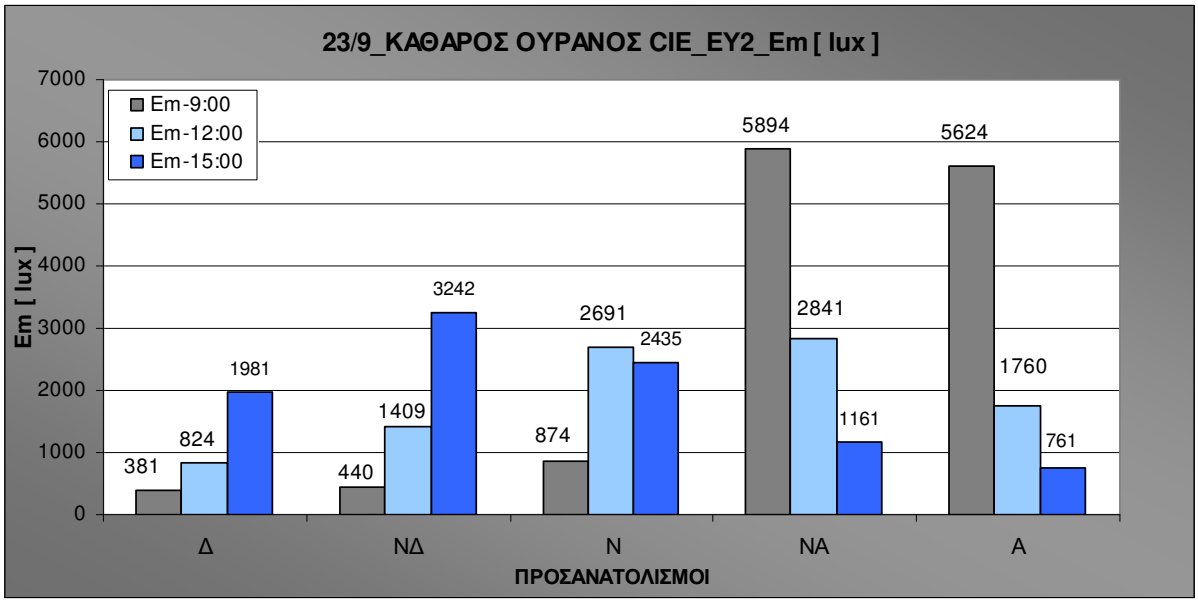
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ1 την 23η Σεπτεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

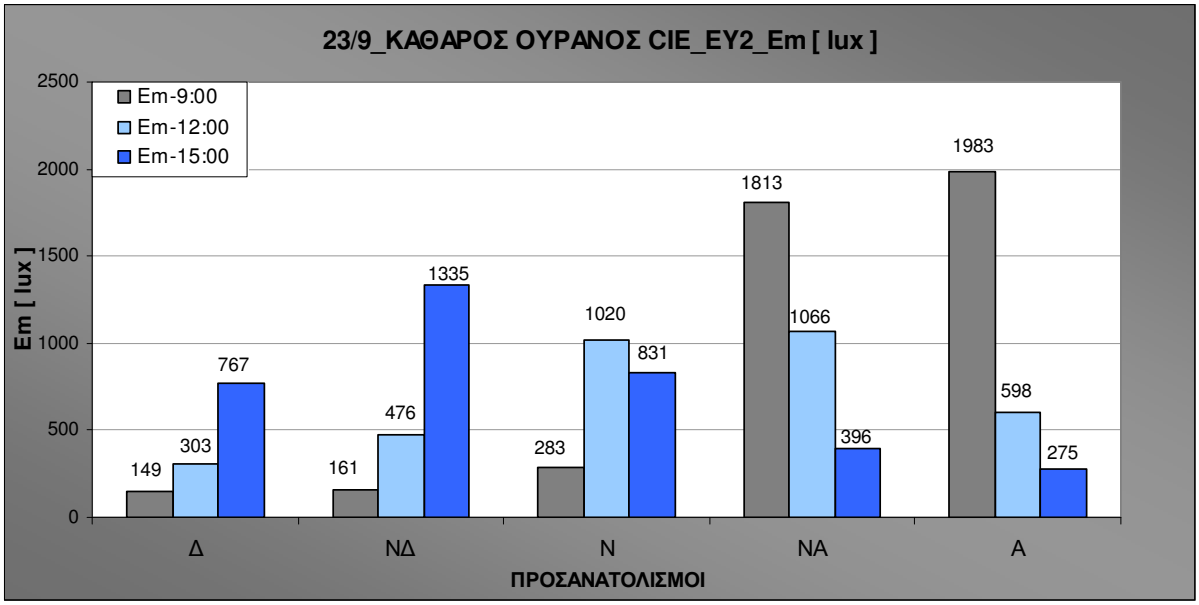
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 καλύτερος προσανατολισμός είναι ο Α με 9/9 και ακολουθούν ο Δ με 7,5 /9 , ο ΝΑ και ΝΔ με 7/9 αμφότεροι και τελευταίος είναι ο Ν με 5/9.

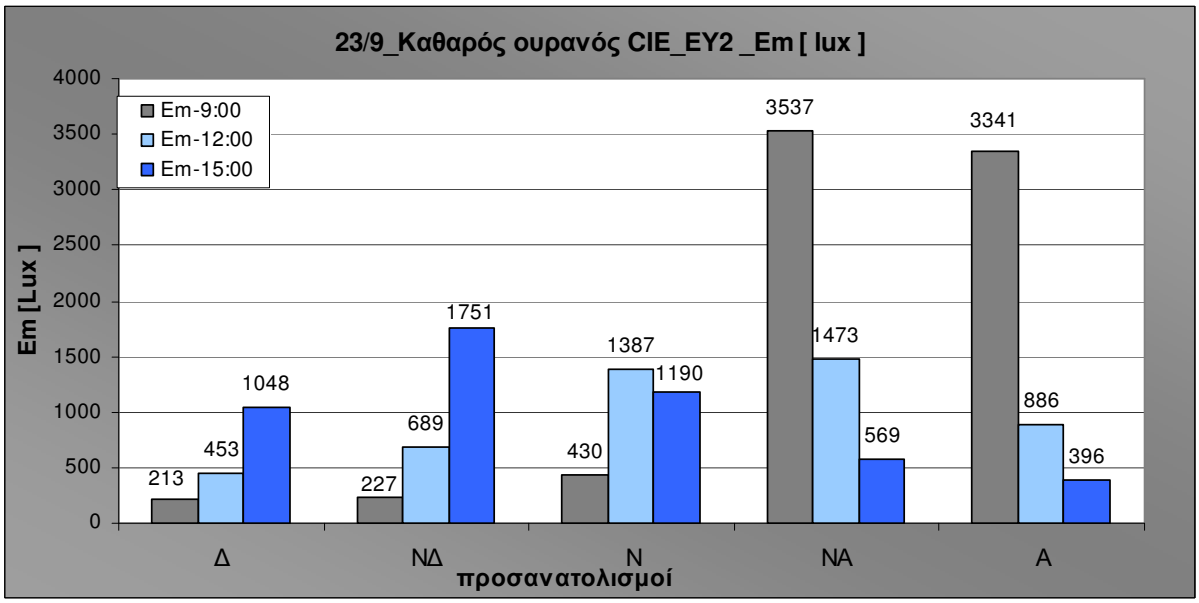
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 καλύτερη συμπεριφορά εμφανίζει το παράθυρο 1 και ακολουθούν με τη σειρά τα παράθυρα 3 και 2.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 23 Σεπτεμβρίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 2 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νότιος Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Ανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

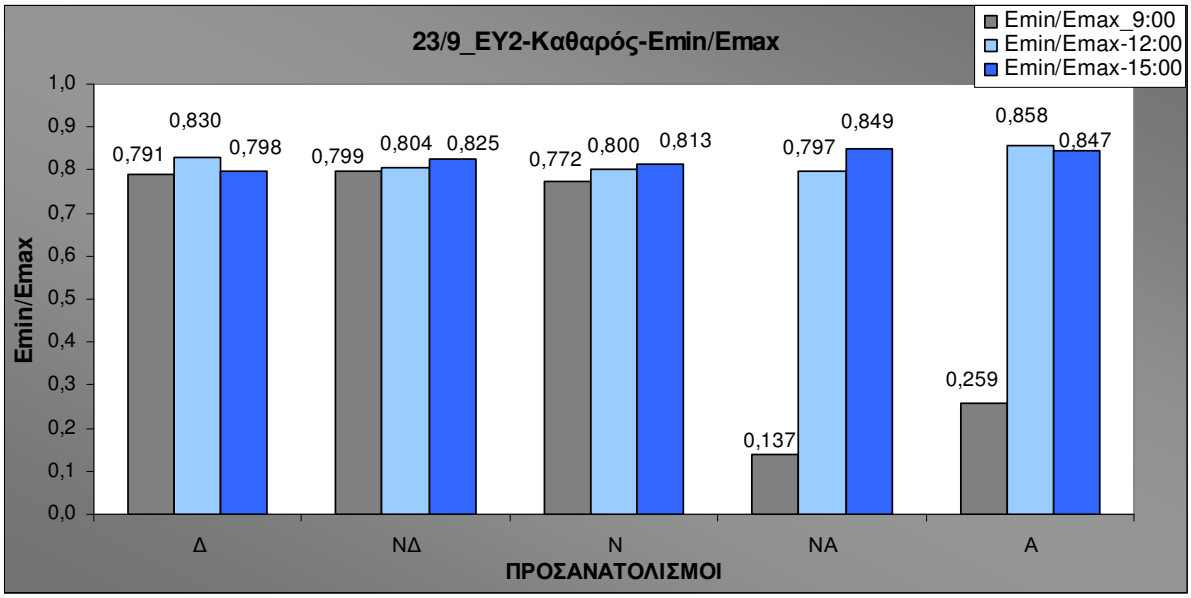
Παράθυρο 3, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ2 και για τα παράθυρα 1 και 3 εμφανίζεται στο Νοτιοανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και για το παράθυρο 2 στον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. .Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ2 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια για κάθε μια από τις τρεις ώρες με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος για την ίδια ημερομηνία .

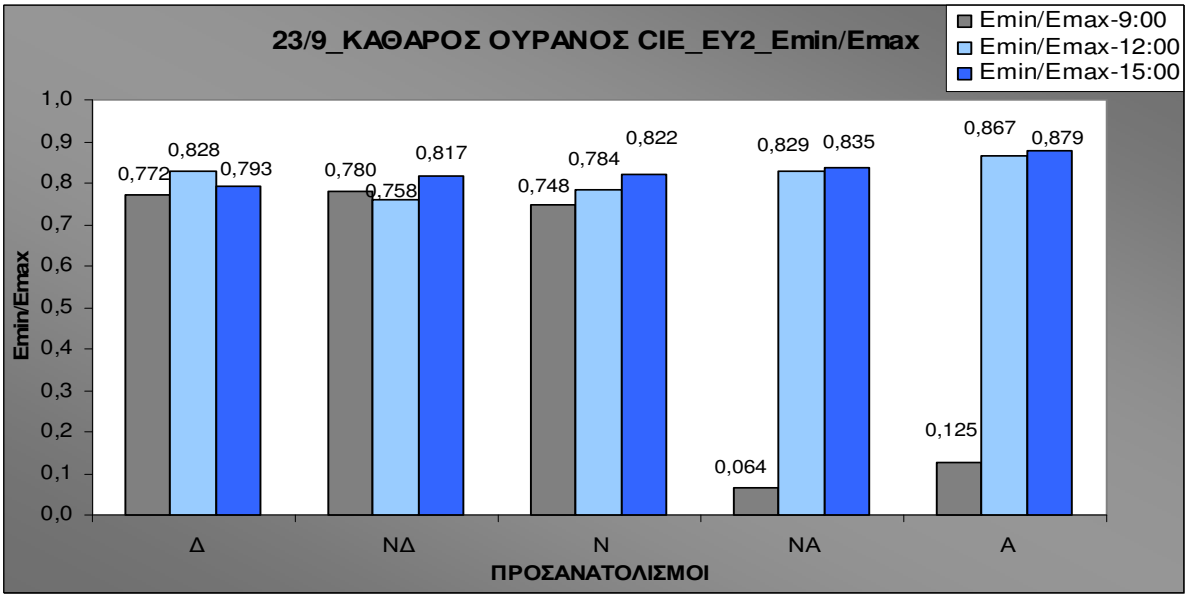
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 23^{η} Σεπτεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

ΝΑ → Ν → ΝΔ→ Α→ Δ(ίδια με την κατάταξη για την ΕΥ1)

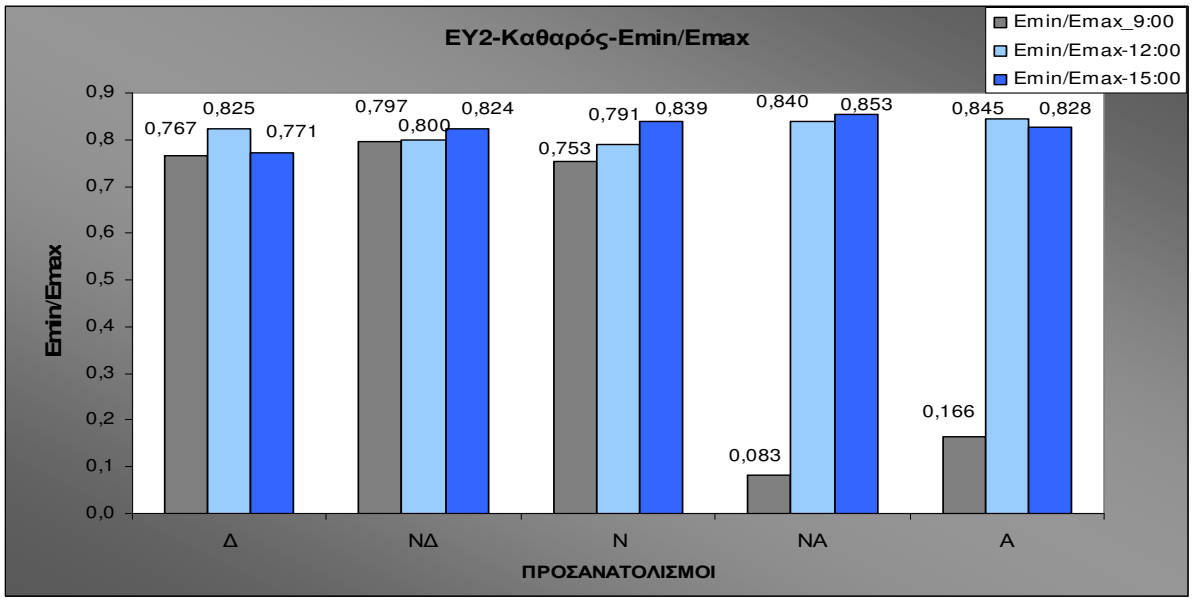
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων ,για μια ακόμα φορά οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1) , με μια εξαίρεση ως προς τον Ανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ. όπου η διαδοχή είναι Παράθυρο 1 → Παράθυρο 2 → Παράθυρο 3.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

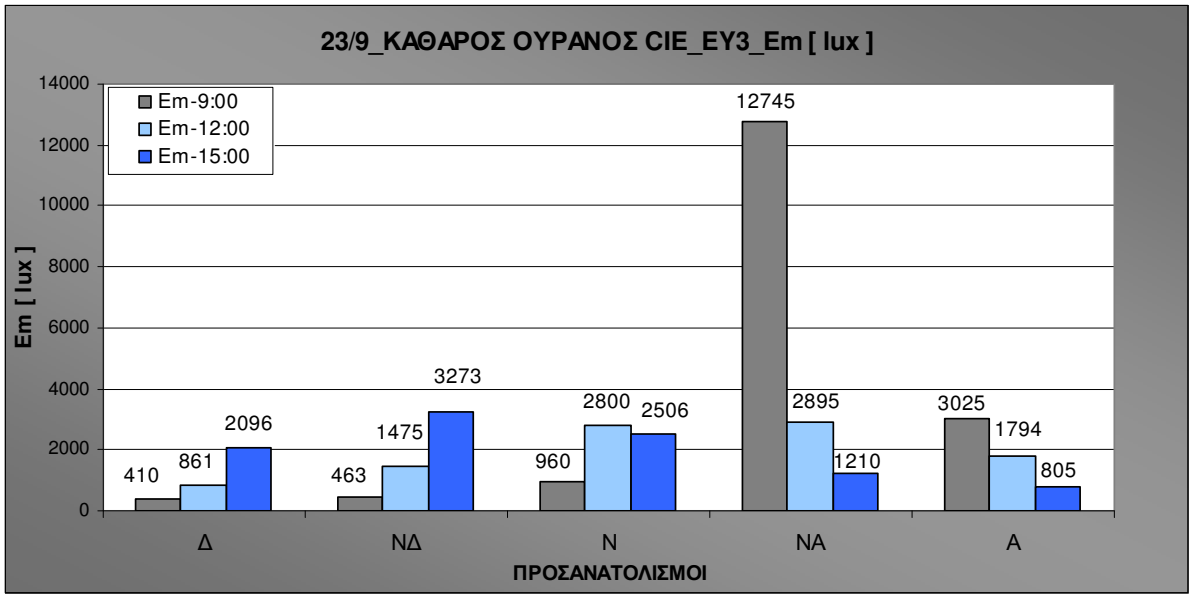
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ2 την 23η Σεπτεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

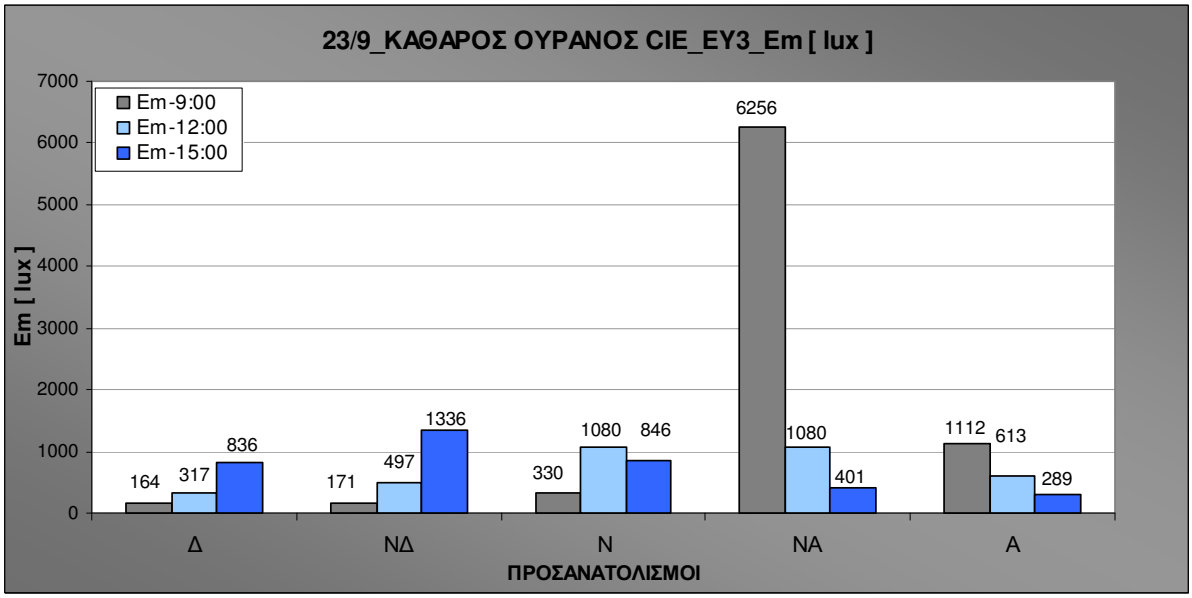
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 όλοι οι προσανατολισμοί, εκτός από τον Νοτιοανατολικό στις 9:00 π.μ. για τα παράθυρα 2 και 3, ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

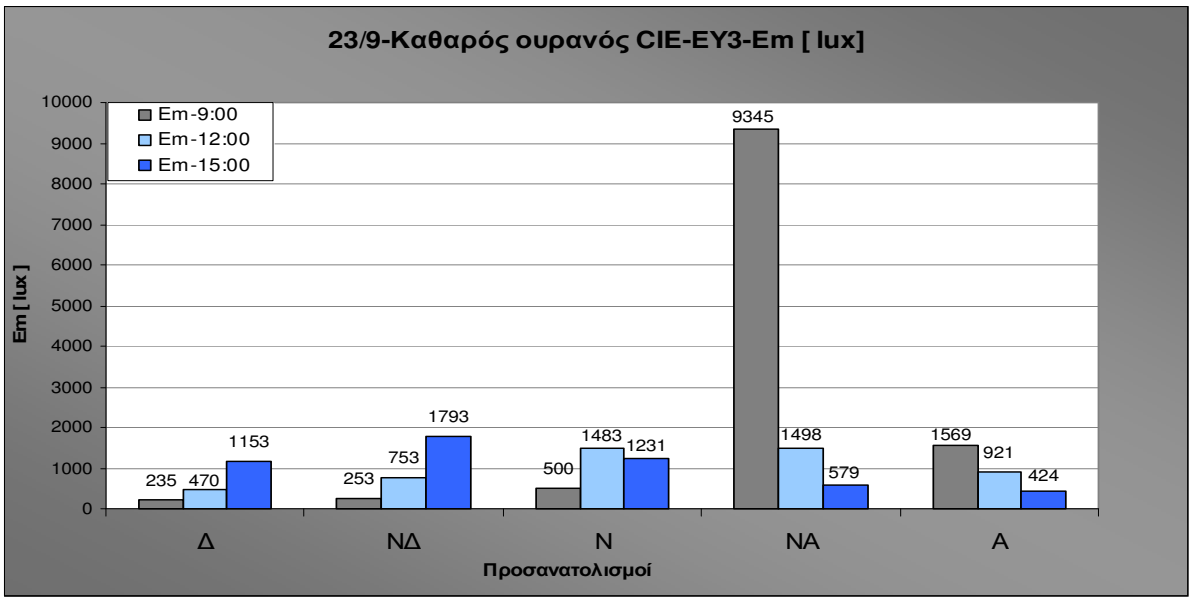
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 το παράθυρο 1 εμφανίζει τη βέλτιστη συμπεριφορά και ακολουθούν τα παράθυρα 2 και 3 τα οποία παρουσιάζουν την ίδια θετική συμπεριφορά.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 23 Σεπτεμβρίου , για την επιφάνεια υπολογισμού 3 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Ανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

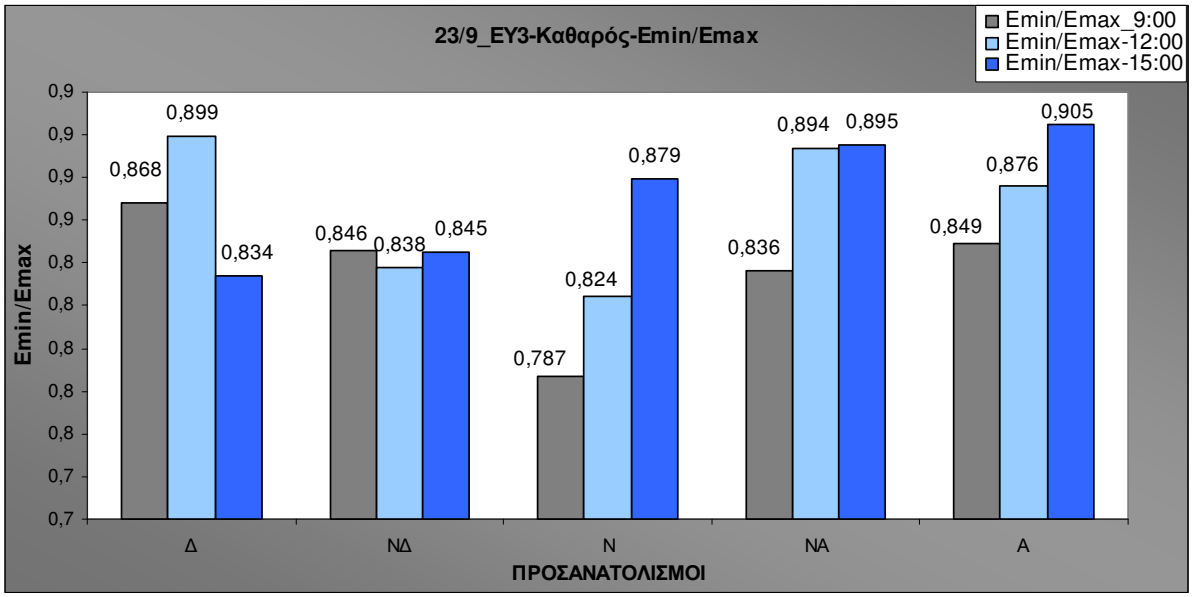
Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ3 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Νοτιοανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ3 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι ίδια ακριβώς με αυτή που προέκυψε για κάθε μία από τις τρεις ώρες ελέγχου για την ΕΥ1 και ΕΥ2 στις 23 Σεπτεμβρίου.

Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 23^{η} Σεπτεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

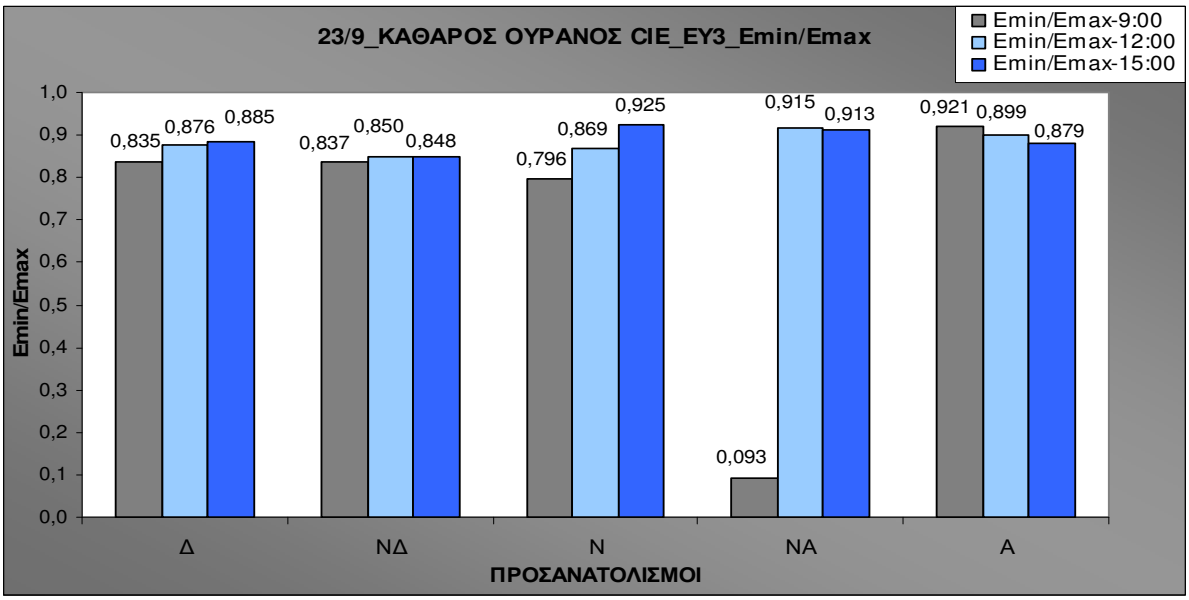
ΝΑ → Ν → ΝΔ→ Α → Δ (ίδια με την κατάταξη για ΕΥ1,ΕΥ2)

Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα η κατάταξή τους είναι πάλι:

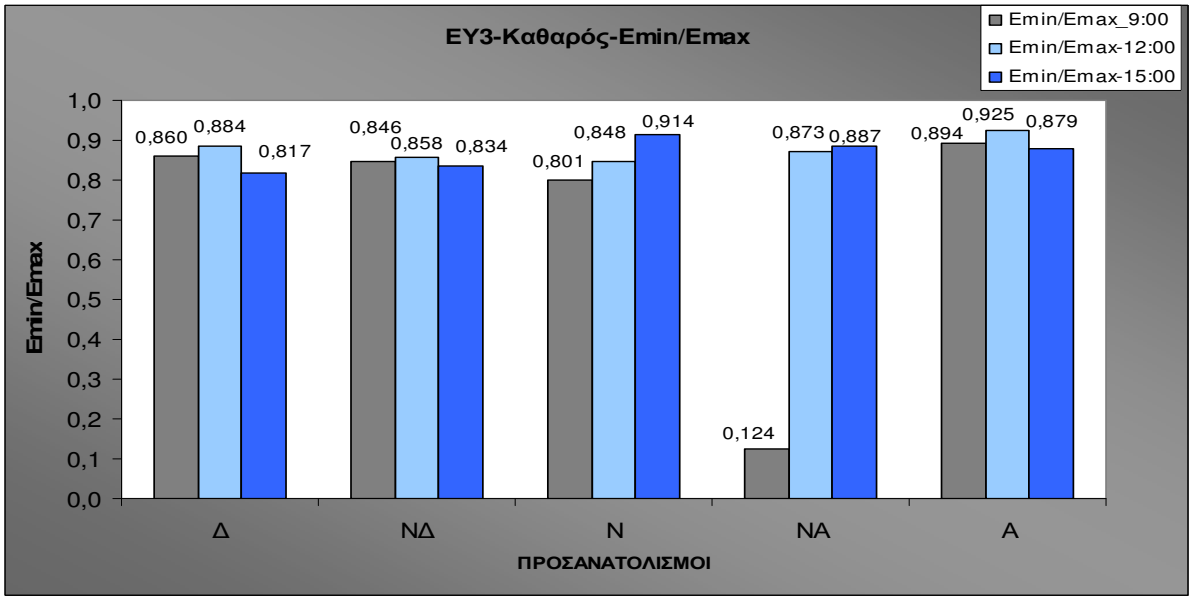
Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

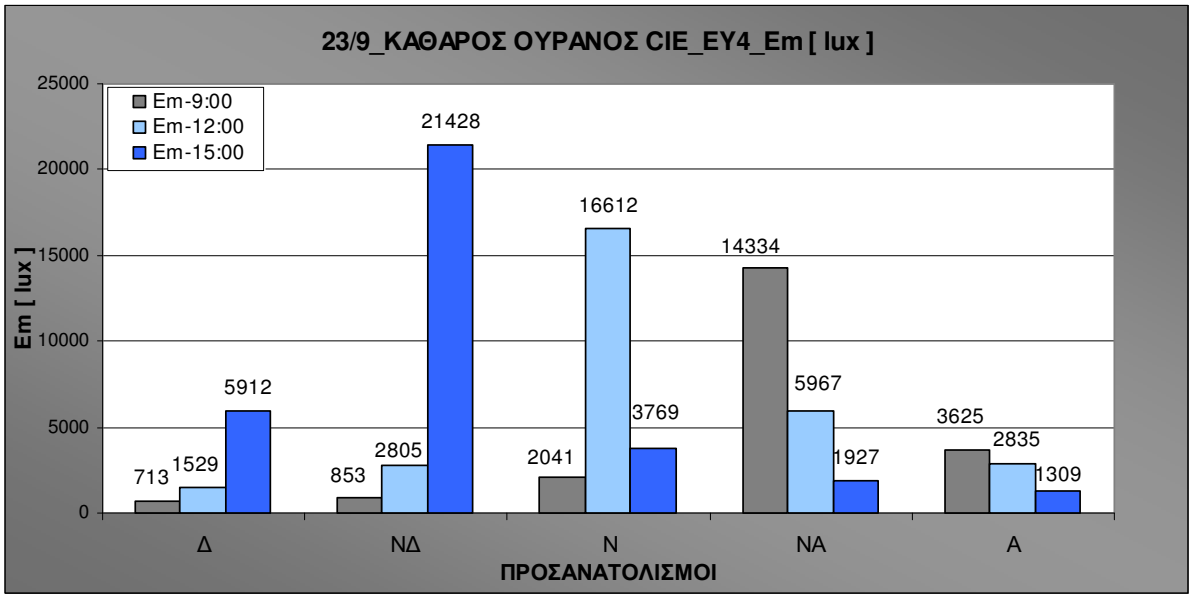
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ3 την 23η Σεπτεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

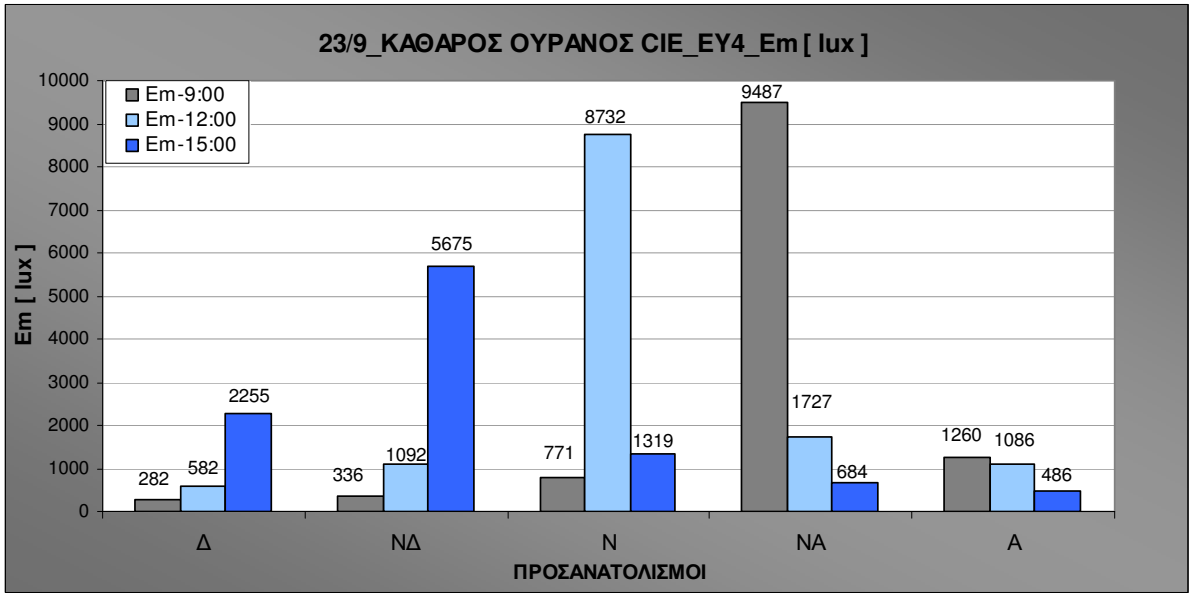
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 όλοι οι προσανατολισμοί ,εκτός από το Νοτιοανατολικό στις 9:00 π.μ. για το παράθυρο 2, ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

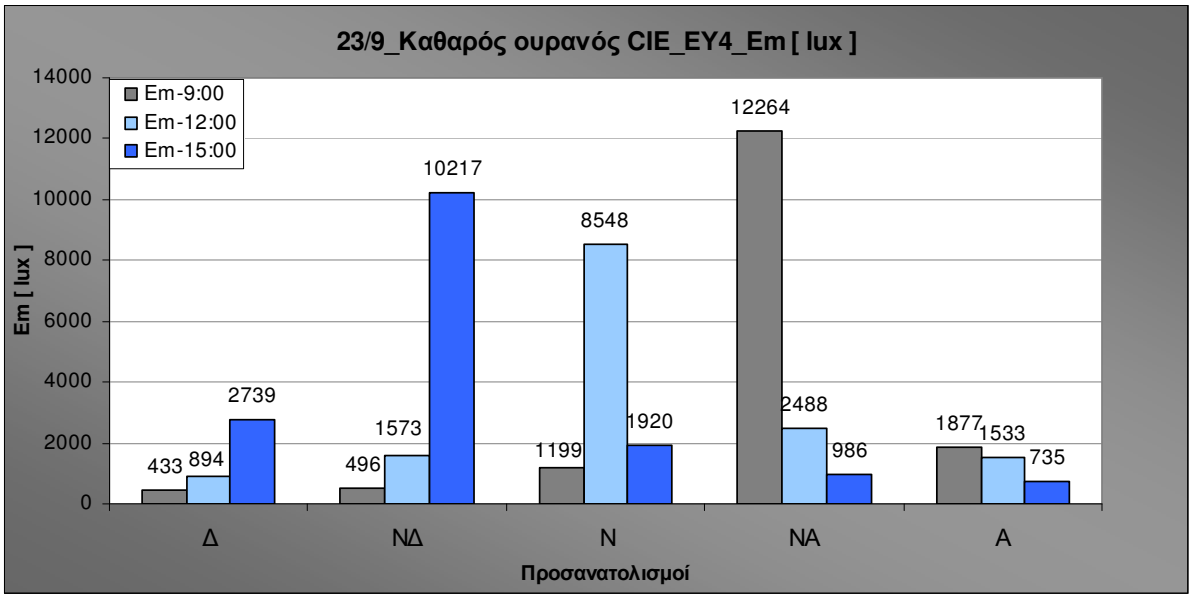
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 τα παράθυρα 1 και 3 εμφανίζουν την ίδια βέλτιστη συμπεριφορά και έπεται το παράθυρο 2.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 23 Σεπτεμβρίου για την επιφάνεια υπολογισμού 4 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες τις προσομοιώσεις εκτός από :

Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ4 για τα παράθυρα 2 και 3 εμφανίζεται στο Νοτιοανατολικό προσανατολισμό στις 9:00 π.μ και για το παράθυρο 1 στο Νοτιοδυτικό προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ. Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ4 σε φθίνουσα σειρά είναι η εξής:

Στις 9:00 π.μ. : ΝΑ → Α → Ν → ΝΔ → Δ για όλα τα ανοίγματα

Στις 12:00 μεσ. : Ν → ΝΑ → Α → ΝΔ → Δ για το παράθυρο 1

Στις 12:00 μεσ. : Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ για τα παράθυρα 2 και 3

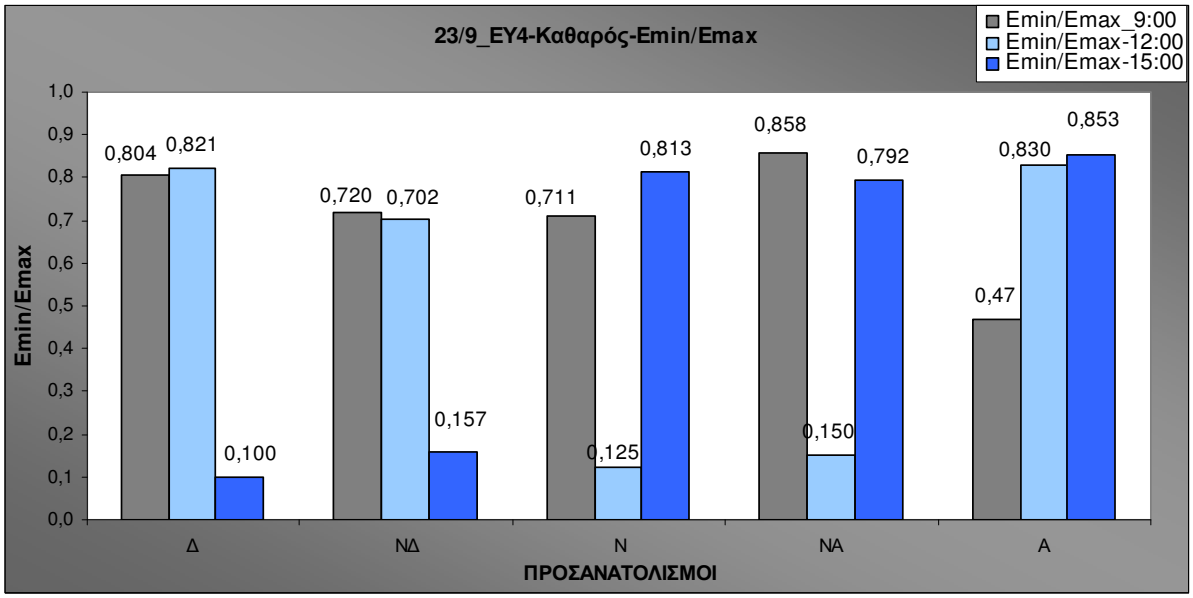
Στις 3:00 μ.μ. : ΝΔ → Δ → Ν → ΝΑ → Α για όλα τα παράθυρα

Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 23^{η} Σεπτεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

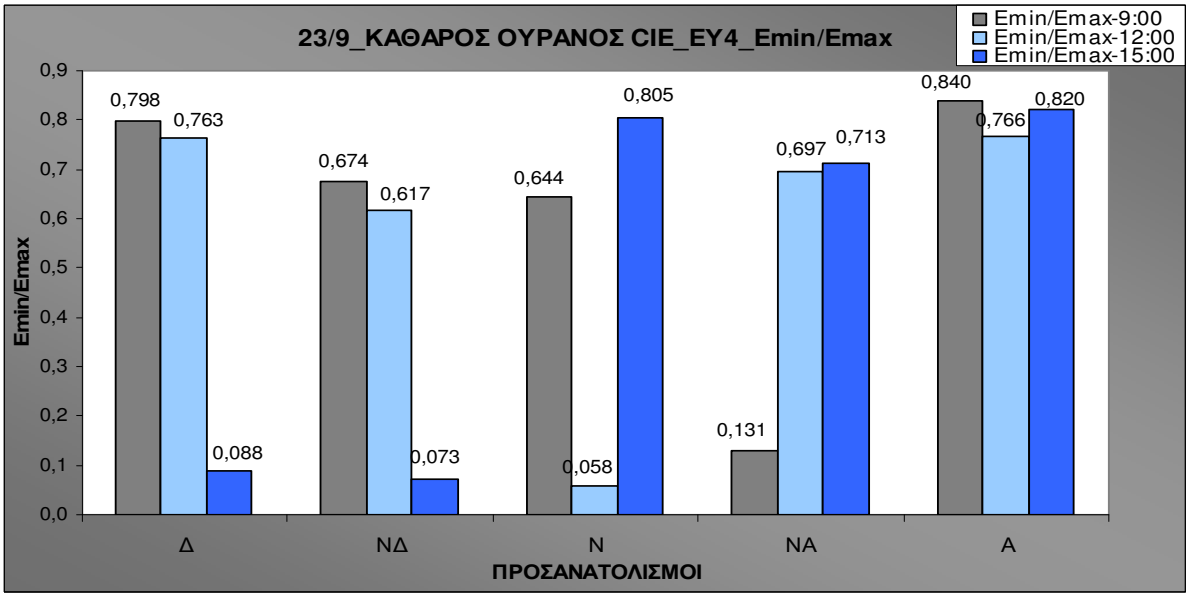
Ν→ ΝΑ → ΝΔ→ Α→ Δ

Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων η κατάταξη τους είναι :

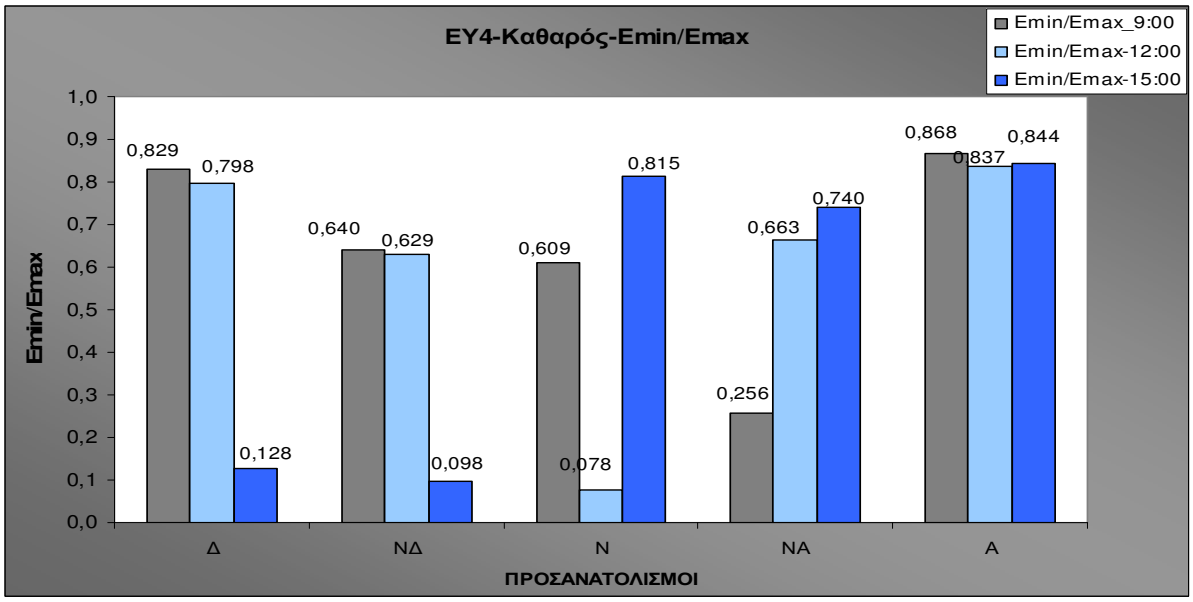
Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2, με μια εξαίρεση στο Νότιο προσανατολισμό στις 12:00 μεσ. όπου η κατάταξή τους είναι Παράθυρο 1→ Παράθυρο 2 → Παράθυρο 3



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ4 την 23η Σεπτεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 οι προσανατολισμοί ΝΑ και Α είναι οι καλύτεροι με 9/9 και ακολουθούν ο Δ με 8/9 , ο ΝΔ με 7,5/9 και τέλος ο Ν με 7/9.

Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 το παράθυρο 1 παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά και ακολουθούν με τη σειρά το παράθυρο 3 και το παράθυρο 2.

4.6.1.6 Συμπεράσματα για την 23η Σεπτεμβρίου

Και για την 23η Σεπτεμβρίου ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για την 21η Μαρτίου και η οποία περιγράφηκε στην παράγραφο ***Διαδικασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων*** και τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα εξής :

- η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : ΝΑ → Ν → ΝΔ → Α → Δ
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ

- η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την ομοιομορφία σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Α → (ΝΑ & Δ) → ΝΔ → Ν
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Δ → (ΝΔ & Α) → Ν → ΝΑ

- η κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2

- η κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς την ομοιομορφία σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 3= Παράθυρο 1 = Παράθυρο 2

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για την 23η Σεπτεμβρίου αποδοτικότεροι προσανατολισμοί ως προς την επίτευξη υψηλών επιπέδων φωτισμού είναι ο Νοτιοανατολικός και ο Νότιος τόσο για τη θεώρηση του χώρου συνολικά όσο και για τις επιφάνειες των δύο κρεβατιών που εξετάστηκαν. Για την ημερομηνία αυτή, ο Νοτιοανατολικός προσανατολισμός φαίνεται να ικανοποιεί σχεδόν απόλυτα τις απαιτήσεις λαμπρότητας στο επίπεδο του δαπέδου και για τα τρία παράθυρα ωστόσο ο Νότιος εμφανίζεται ως προβληματική επιλογή στην περίπτωση που ως παράθυρο επιλεγεί το παράθυρο 1. Εξεταζόμενοι ως προς τις απαιτήσεις ομοιομορφίας επιτυγχάνουν τις δύο τελευταίες θέσεις στην κατάταξη που αφορά το ΕΕ(4η και 5η αντίστοιχα) και τη 2η και 5η θέση αντίστοιχα όσον αφορά στην κατάταξη των προσανατολισμών ειδικά για τα κρεβάτια. Για το λόγο αυτό και ιδιαίτερα για το Νότιο προσανατολισμό, διατηρούνται οι αμφιβολίες ως προς την οπτική άνεση που επιτυγχάνεται για τους χρήστες του χώρου και ως προς την τελική εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να πραγματοποιηθεί αν δε ληφθούν παράλληλα μέτρα προστασίας για την αποφυγή των ενδεχόμενων αυτών προβλημάτων και ρύθμισης της κατανομής.

Από τις φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα και οι οποίες παρατίθενται στις επόμενες σελίδες παρατηρείται η εμφάνιση ηλιακών ιχνών στο χώρο σε αρκετές περιπτώσεις προσομοιώσεων. Από τις περιπτώσεις αυτές ιδιαίτερη σημασία έχουν:

<u>για το παράθυρο 1</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο Ν προσανατολισμός

στις 3:00 μ.μ. ο ΝΔ προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 2</u>

οι ίδιοι προσανατολισμοί με το παράθυρο 1, για τις ίδιες ώρες

<u>για το παράθυρο 3</u>

οι ίδιοι προσανατολισμοί με τα παράθυρα 1 και 2, για τις ίδιες ώρες

καθώς η εμφάνιση των ιχνών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται στο τμήμα του χώρου που είναι τοποθετημένα τα κρεβάτια και μάλιστα το πάνω μέρος αυτών(δηλαδή το μαξιλάρι).

Η εμφάνιση ηλιακών ιχνών στο ΝΑ και Ν προσανατολισμό σε όλα τα ανοίγματα, έστω και αν αφορά σε μία ώρα προσομοίωσης για καθένα από αυτούς, είναι ένας ακόμα λόγος που συντελεί στην άποψη ότι για τις συγκεκριμένες επιλογές προσανατολισμού θα πρέπει να εξεταστούν και η παράλληλη χρήση κάποιου συστήματος φυσικού φωτισμού ή /και η διαμόρφωση των παρειών του ανοίγματος.

Η εξέταση του τρόπου επιρροής του μεγέθους/θέσης των ανοιγμάτων στα επίπεδα φωτισμού, για μια ακόμα φορά οδήγησε σε αναμενόμενα αποτελέσματα. Αύξηση των διαστάσεων του ανοίγματος συνεπάγεται και αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου, τόσο στο σύνολό του , όσο και στις επιφάνειες που κυρίως μας ενδιέφεραν.

Η διαφοροποίηση στα αποτελέσματα για τις 23 Σεπτεμβρίου σε σχέση με τις δύο προηγούμενες ημερομηνίες που εξετάστηκαν έγκειται στο γεγονός ότι για την ημερομηνία αυτή και τα τρία παράθυρα εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά ως προς την ομοιομορφία του χώρου στο σύνολό του (επίπεδο ενδιαφέροντος), η οποία μάλιστα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα αρνητική.

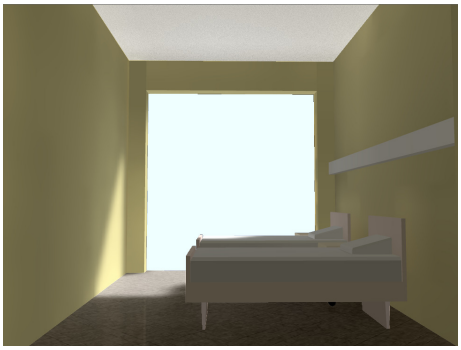
ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1 _23 Σεπτεμβρίου -9:00 π.μ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_ 23 Σεπτεμβρίου -12:00 μεσ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_23 Σεπτεμβρίου -3:00 μ.μ- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_23 Σεπτεμβρίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_23 Σεπτεμβρίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

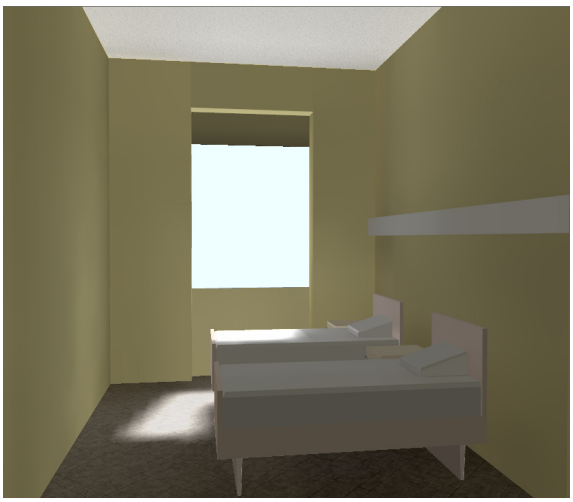
Δυτικός

Νοτιοδυτικός

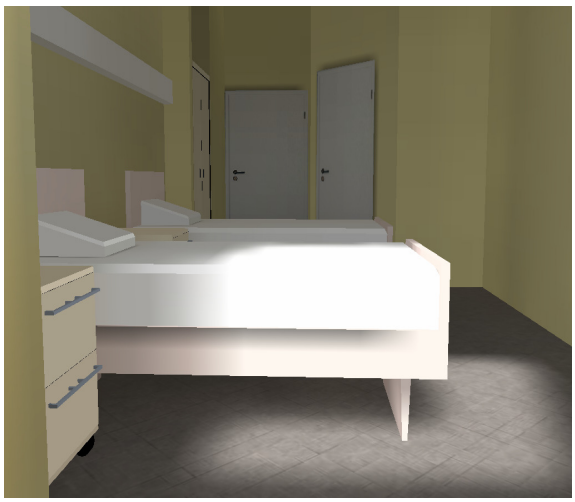
Νοτιοδυτικός

Νότιος

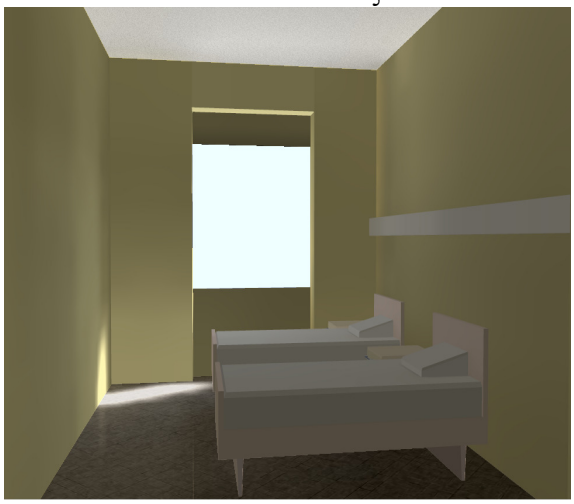
Νότιος



Νοτιοανατολικός



Νοτιοανατολικός



Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_23 Σεπτεμβρίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

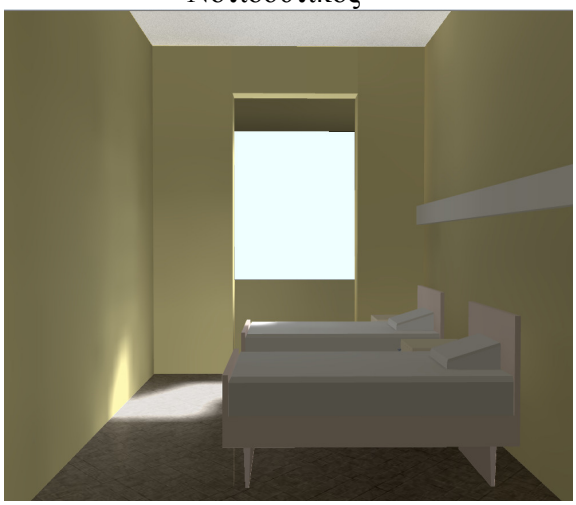
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός



Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_23 Σεπτεμβρίου–9:00 π.μ -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_23 Σεπτεμβρίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_23 Σεπτεμβρίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

4.6.1.7 Παράθεση αποτελεσμάτων, επεξεργασία και αξιολόγησή τους_21 Δεκεμβρίου

21 Δεκεμβρίου -9:00 π.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	33	41	166	287	217
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	260	323	1302	2257	1705

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	17	8,07	31	48	45
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	54	63	242	376	356

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	11	12	47	79	70
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	84	97	366	618	550

21 Δεκεμβρίου -12:00 μεσ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	79	409	927	700	103
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	620	3209	7284	5501	807

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	17	65	137	169	22
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	133	512	1073	1329	172

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	27	102	250	246	34
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	213	798	1960	1931	264

21 Δεκεμβρίου -3:00 μ.μ.

Παράθυρο 1

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	253	565	439	78	45
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	1985	4435	3449	615	352

Παράθυρο 2

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	44	132	94	15	9,49
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	348	1039	739	120	75

Παράθυρο 3

Δάπεδο-καθαρός ουρανός CIE	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
Μέσος πυκνότητα φωτεινότητας [cd/m^2]	70	183	136	24	14
Μέση ένταση φωτισμού[lux]	551	1437	1071	192	111

Πίνακας 4.16 *Επισκόπηση αποτελεσμάτων φωτεινότητας και φωτισμού στο δάπεδο για τα τρία παράθυρα την 21η Δεκεμβρίου*

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Από τον πίνακα 4.16 προκύπτει ότι για την 21η Δεκεμβρίου στις 9:00 π.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

-το παράθυρο 2 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας για το Δυτικό και το Νοτιοδυτικό προσανατολισμό

-το παράθυρο 3 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας για το Δυτικό και το Νοτιοδυτικό προσανατολισμό

Για την 21η Δεκεμβρίου στις 12:00 μεσ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για τους προσανατολισμούς Ν, και ΝΑ .

-τα παράθυρα 2 και 3 ικανοποιούν τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

Για την 21 Δεκεμβρίου στις 3:00 μ.μ. όσον αφορά στις απαιτήσεις στο επίπεδο του δαπέδου:

-το παράθυρο 1 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις λαμπρότητας για το ΝΔ προσανατολισμό.

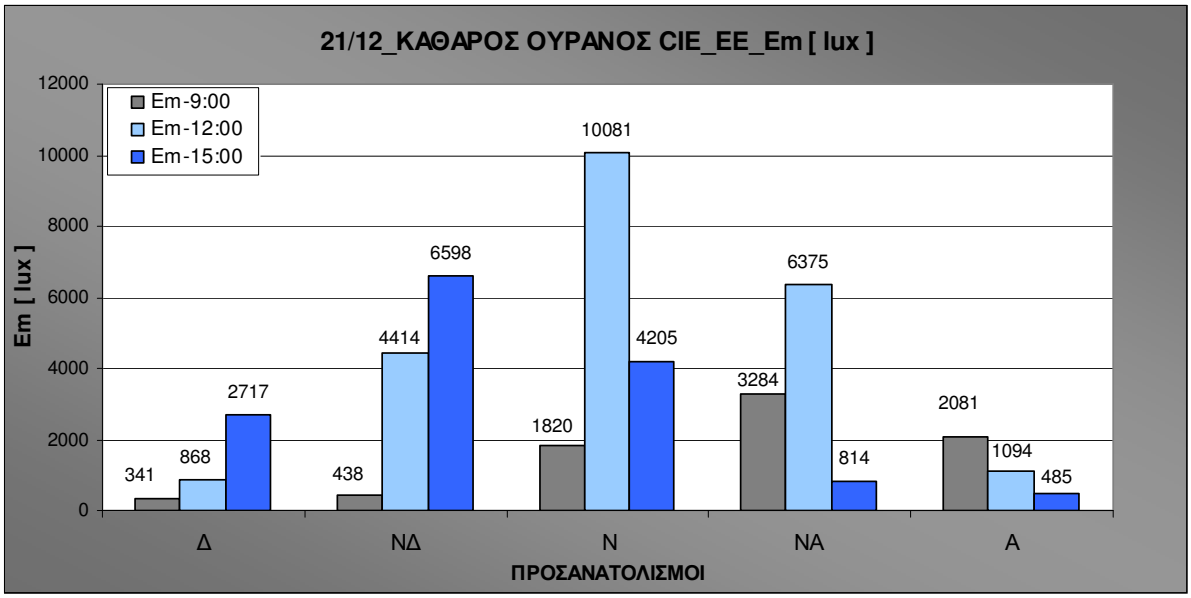
-το παράθυρο 2 δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας για τον Α προσανατολισμό.

-το παράθυρο 3 ικανοποιεί τις απαιτήσεις φωτεινότητας και λαμπρότητας για όλους τους προσανατολισμούς

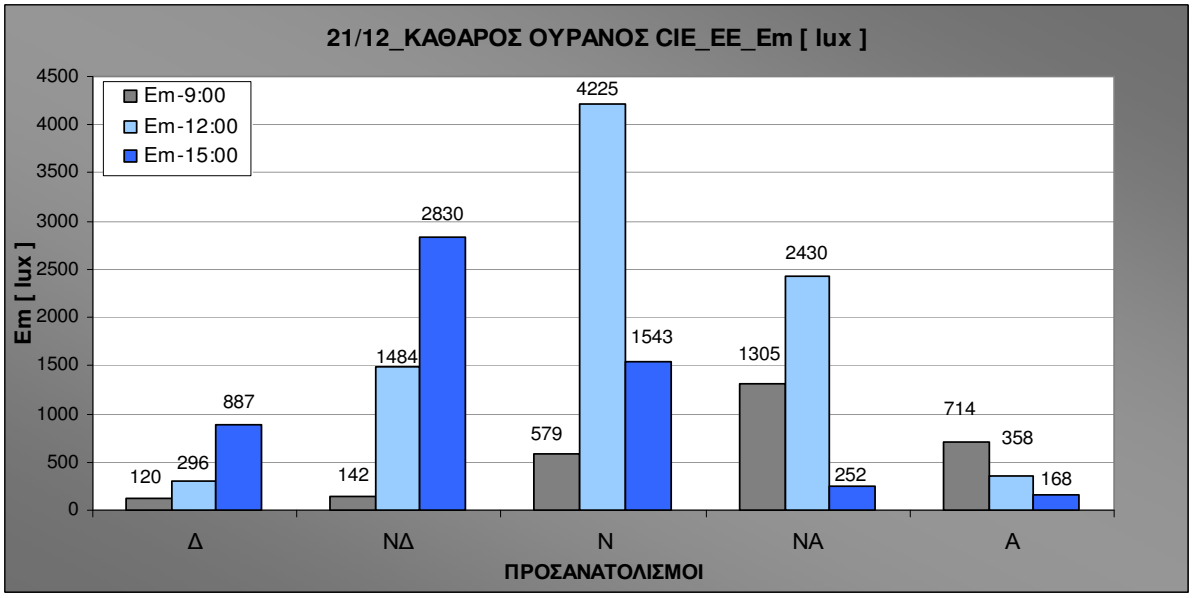
ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ 21/12	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ 21/12	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

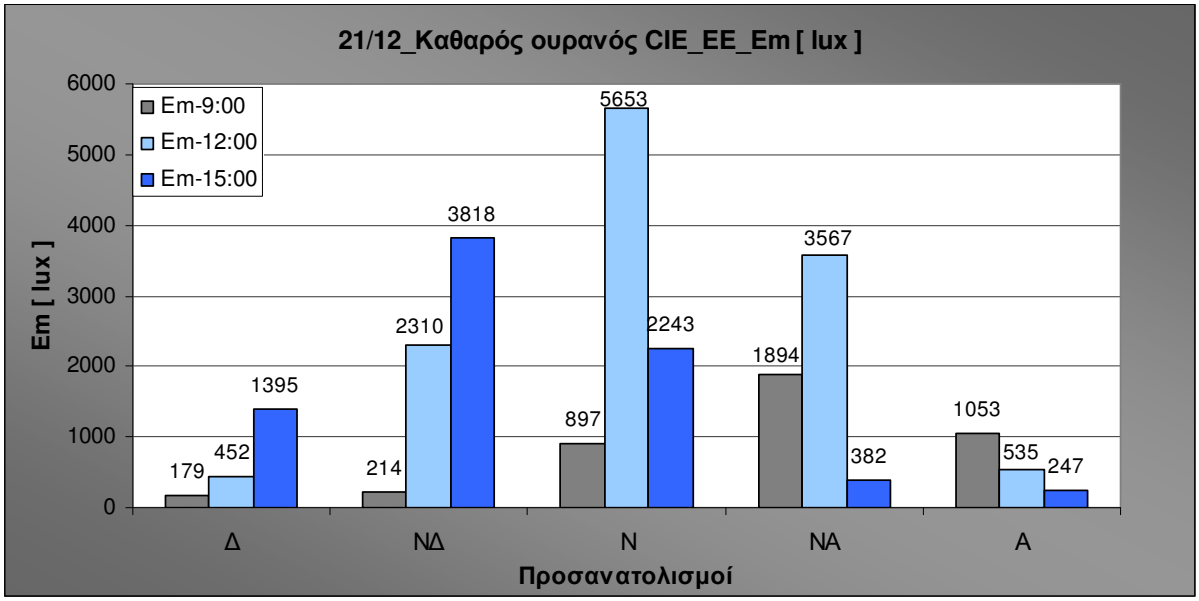
Οπτικοποίηση των άνωθεν αποτελεσμάτων



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των :

Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Ανατολικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Ανατολικός προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Η μέγιστη τιμή Em και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Ν προσανατολισμό στις 12:00 μεσ..

Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι:

21 Δεκεμβρίου-9:00 π.μ. : ΝΑ → Α → Ν → ΝΔ → Δ

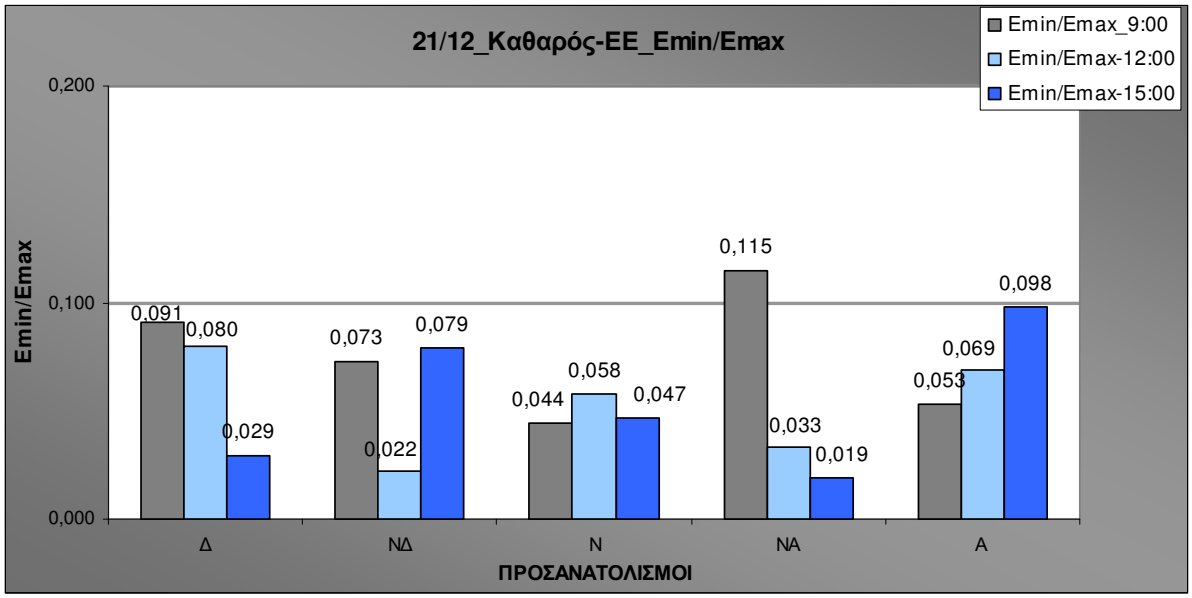
21 Δεκεμβρίου-12:00 μεσ. : Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ

21 Δεκεμβρίου-3:00 μ.μ. : ΝΔ → Ν → Δ → ΝΑ → Α

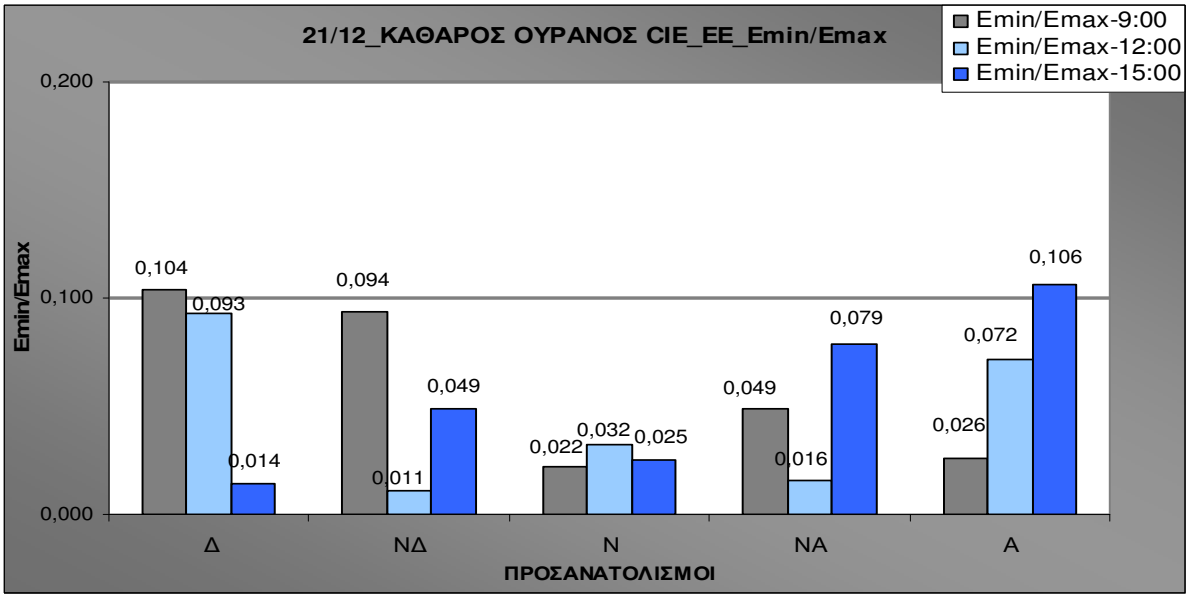
Από τις παραπάνω κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Δεκεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) οι προσανατολισμοί για το επίπεδο αναφοράς κατατάσσονται σε φθίνουσα σειρά ως εξής:

Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ

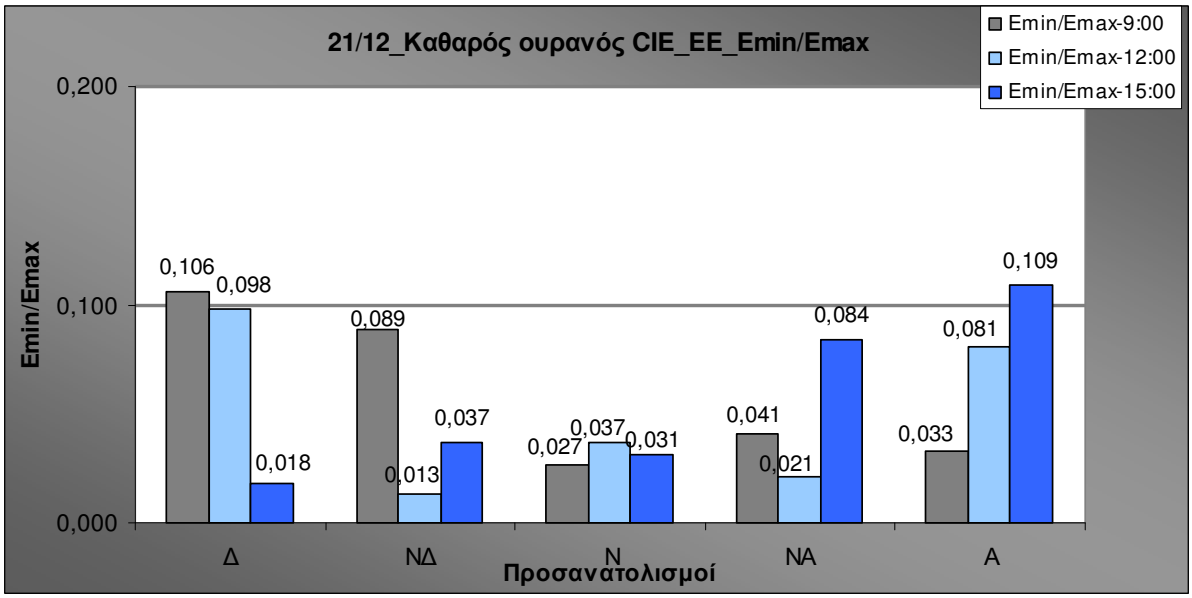
Προκειμένου για την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

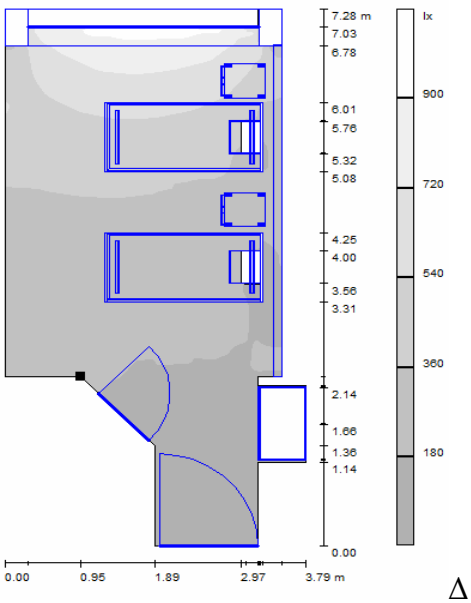
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στο επίπεδο ενδιαφέροντος ο Δ λαμβάνει 3,5/9(μισός βαθμός για κάθε κίτρινο), ο Α με 2,5/9 , ο ΝΑ με 1/9,ο ΝΔ με 0,5/9 ενώ ο Νότιος δεν ικανοποιεί πουθενά τις απαιτήσεις ομοιομορφίας για το σύνολο της επιφάνειας του δωματίου.

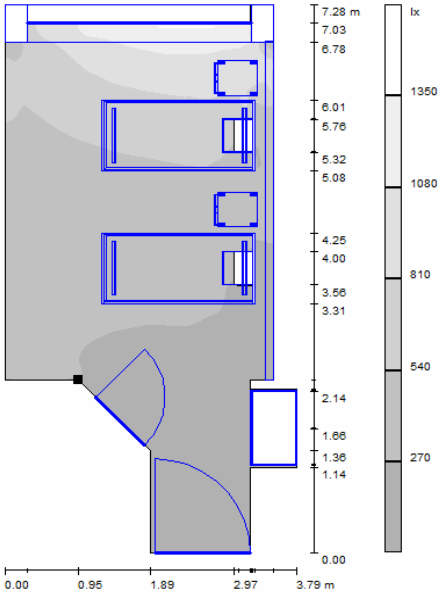
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο 2 και ακολουθούν με τη σειρά τα παράθυρα 3 και 1.

Και για την ημερομηνία αυτή οι προαναφερθείσες διαφοροποιήσεις ως προς την ομοιομορφία που σχετίζονται με τη μεταβολή της ώρας προσομοίωσης, του προσανατολισμού του κάθε ανοίγματος αλλά και τη μεταβολή του ανοίγματος καθ' αυτό οπτικοποιούνται με τις εικόνες κατανομής φωτισμού (με αποχρώσεις του γκρι) που ακολουθούν .

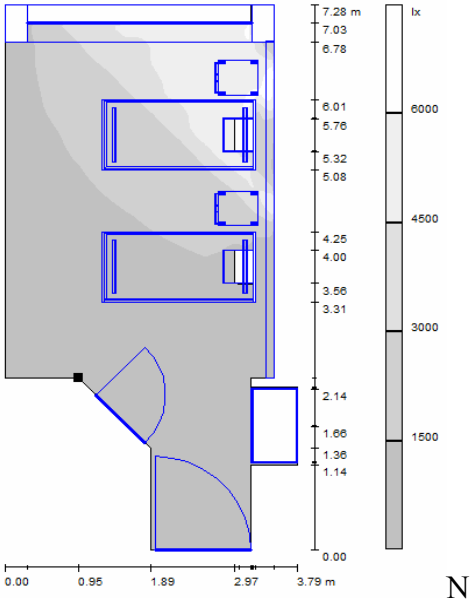
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -9:00 π.μ.



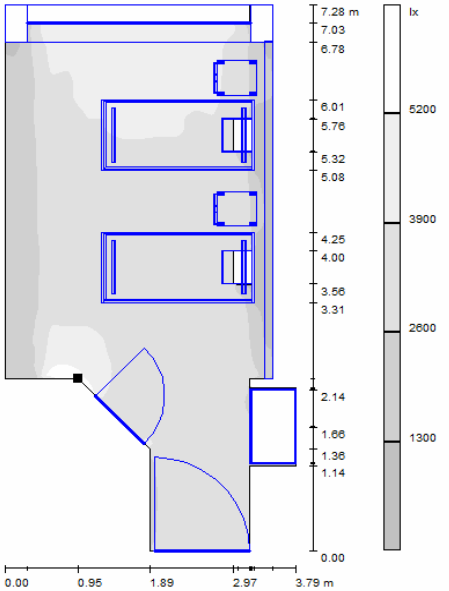
Δ



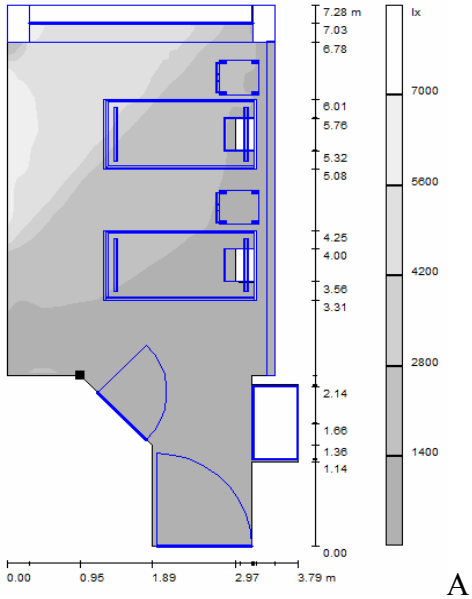
ΝΔ



N

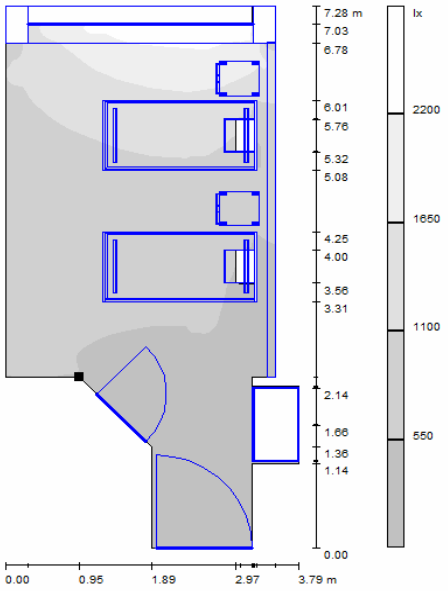


ΝΑ

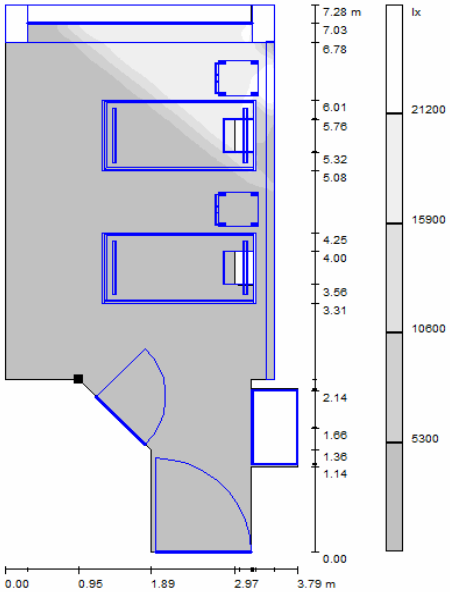


Α

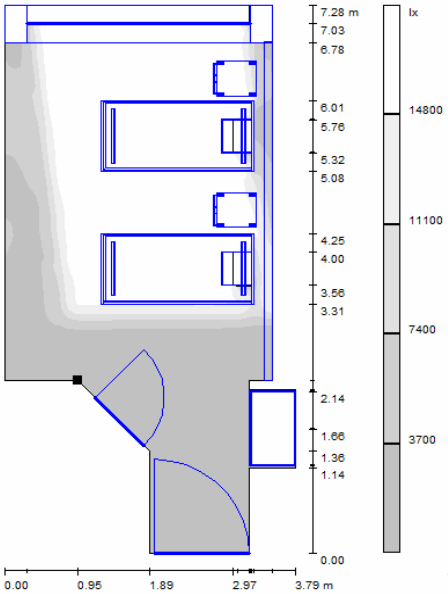
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -12:00 μεσ.



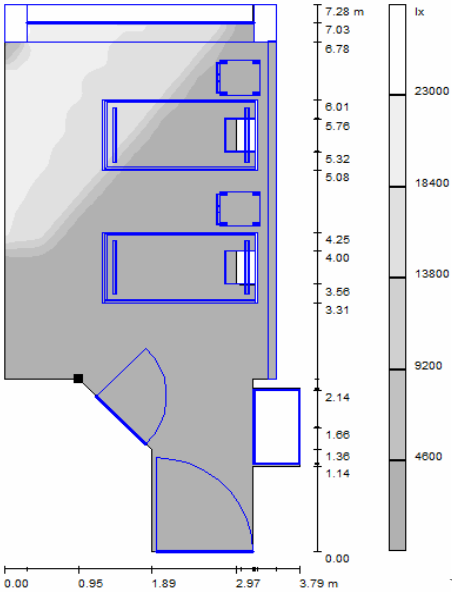
Δ



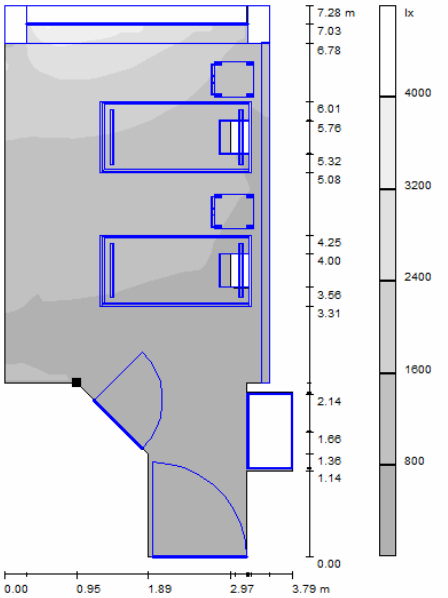
ΝΔ



N

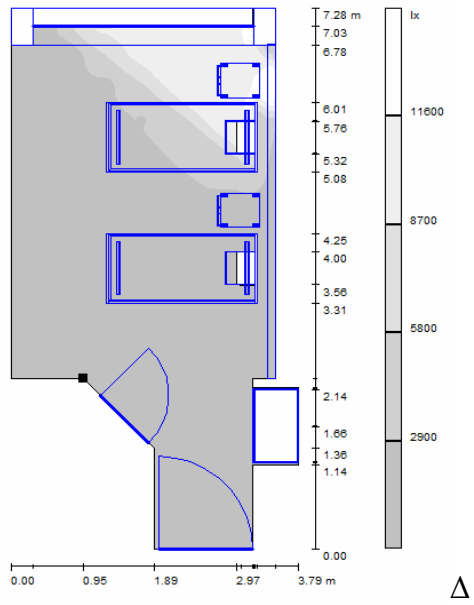


ΝΑ

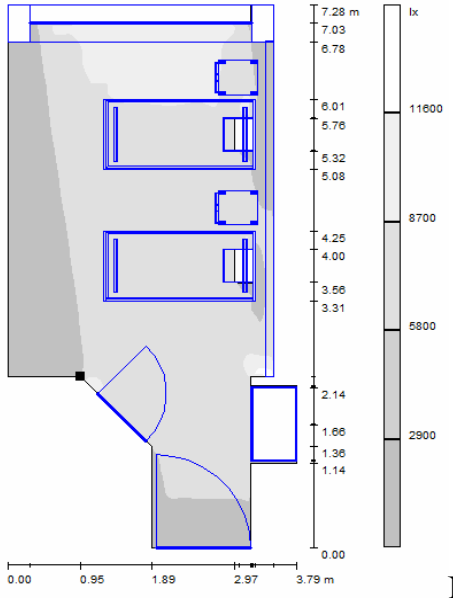


Α

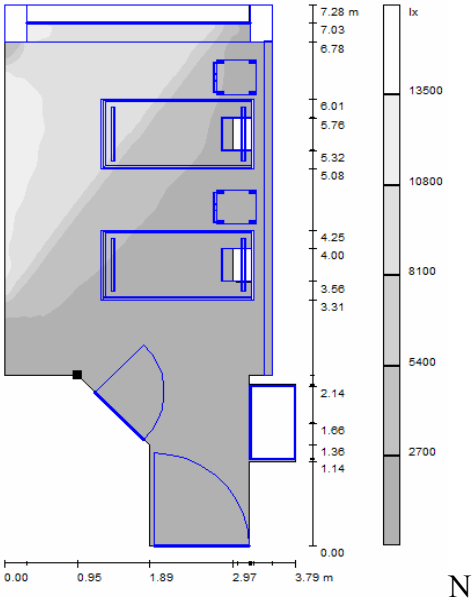
Παράθυρο 1- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -3:00 μ.μ.



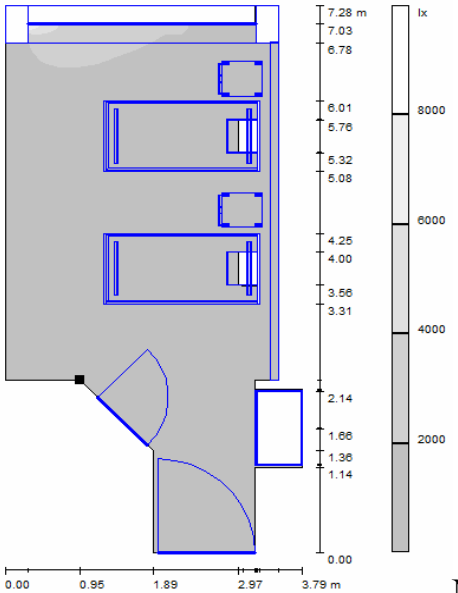
Δ



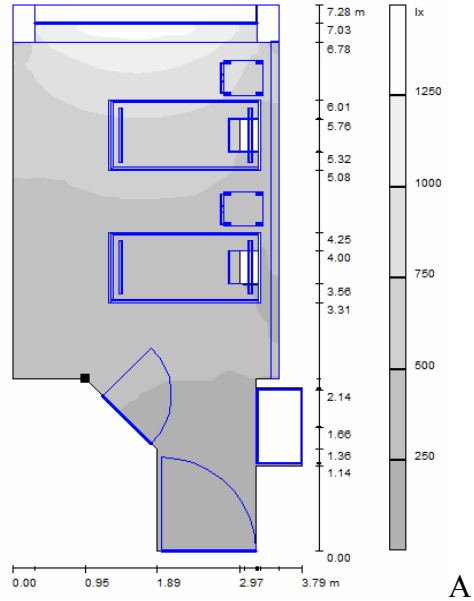
ΝΔ



N

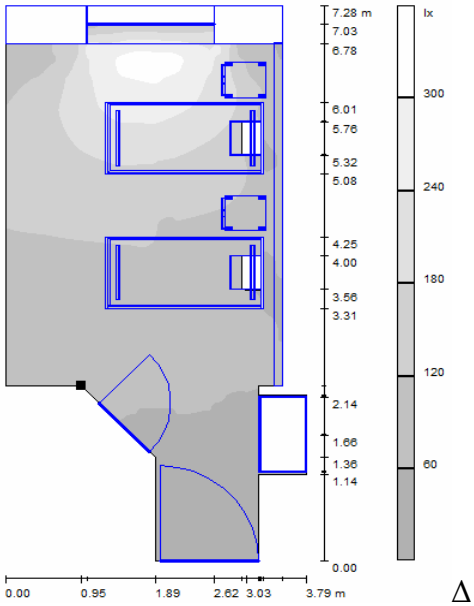


ΝΑ

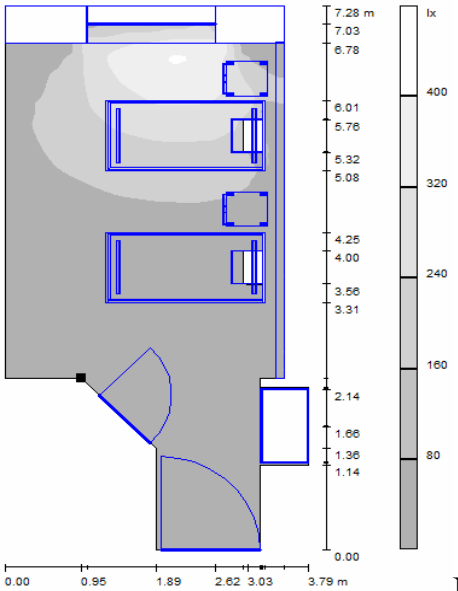


Α

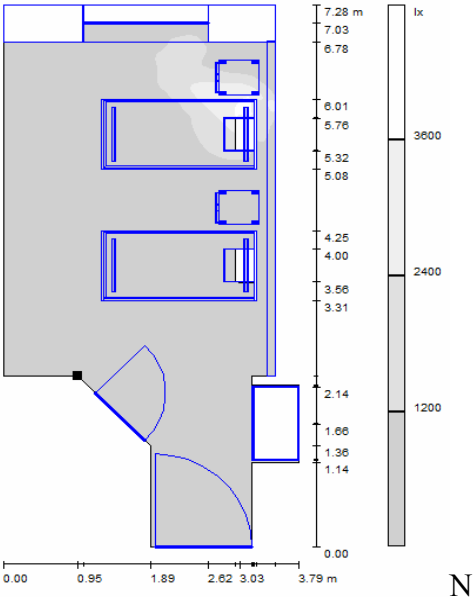
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -9:00 π.μ.



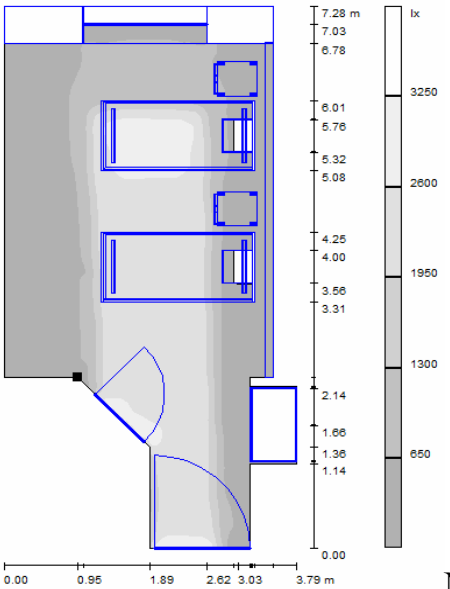
Δ



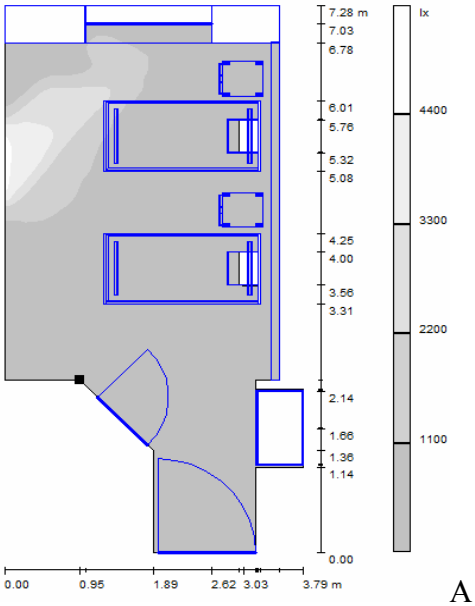
ΝΔ



N

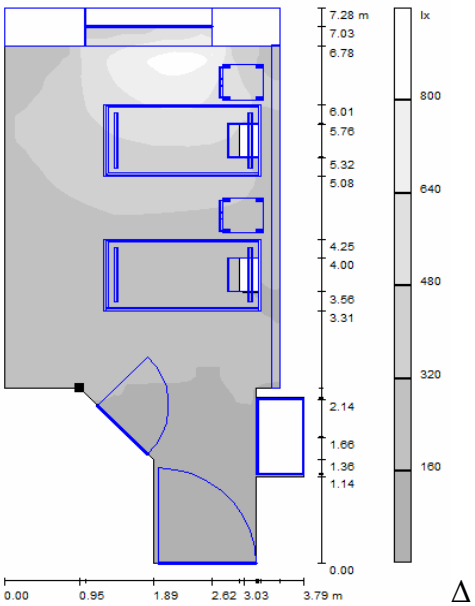


ΝΑ

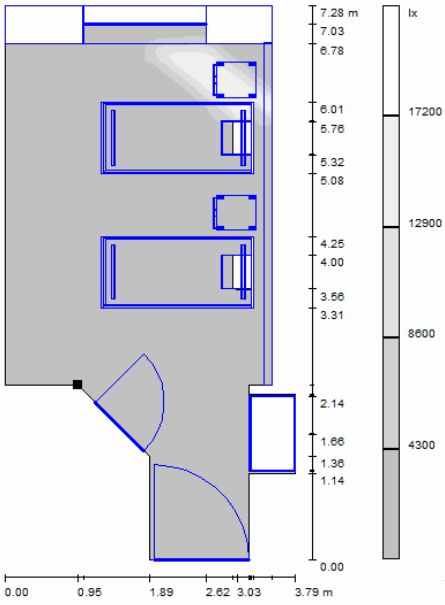


Α

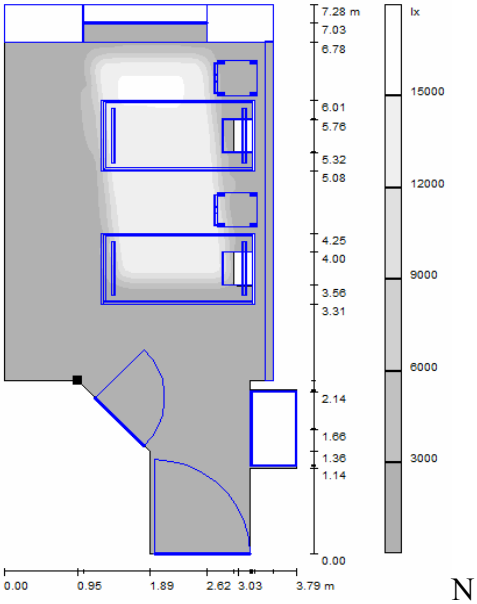
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -12:00 μεσ.



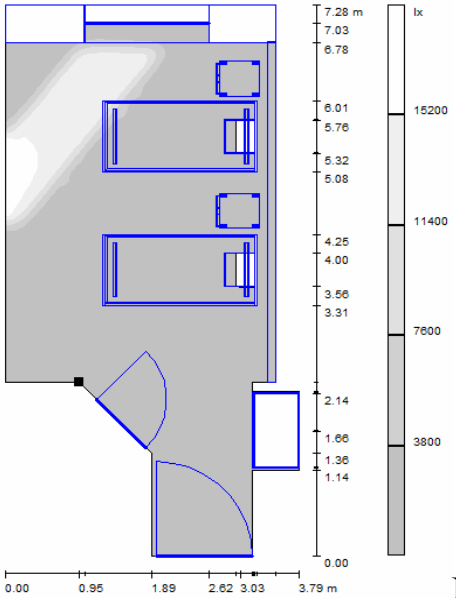
Δ



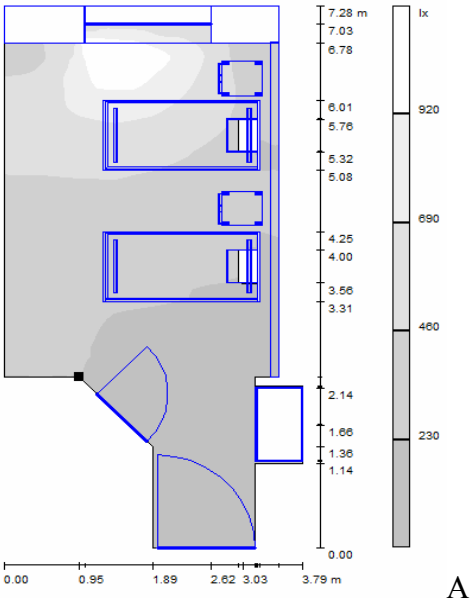
ΝΔ



N

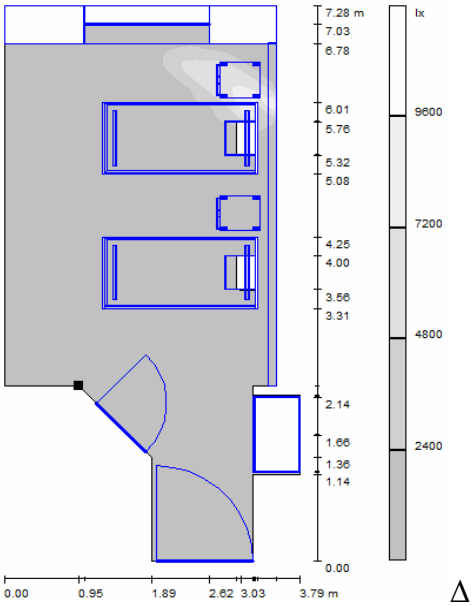


ΝΑ

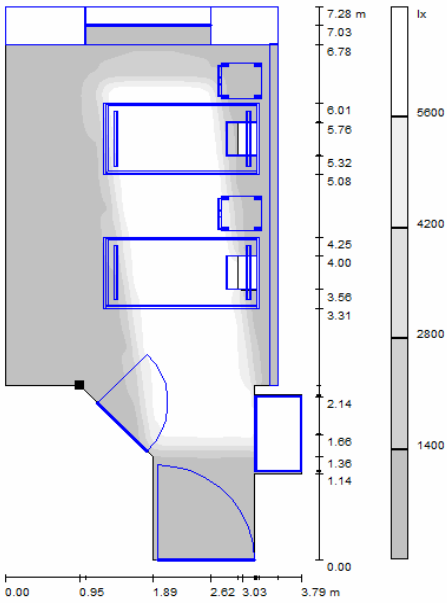


Α

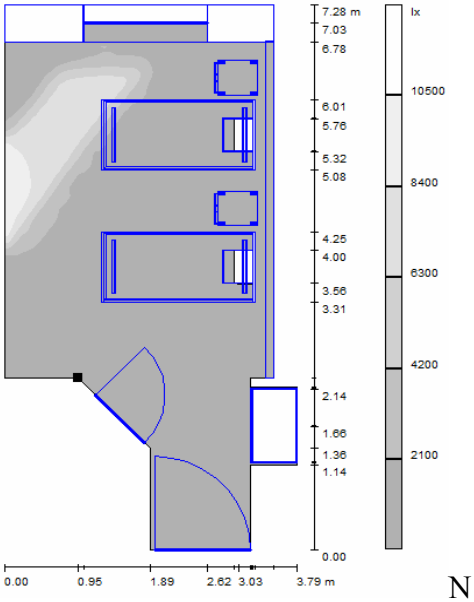
Παράθυρο 2- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -3:00 μ.μ.



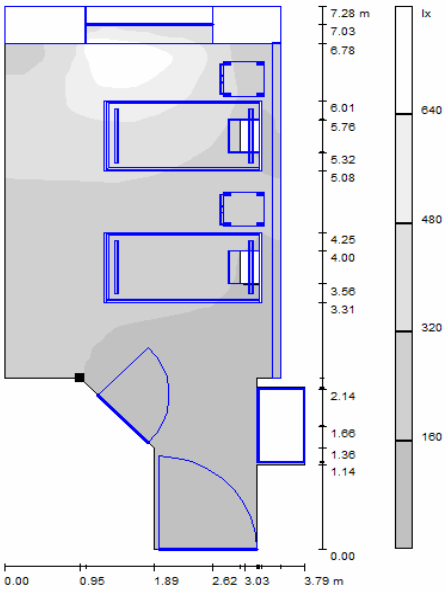
Δ



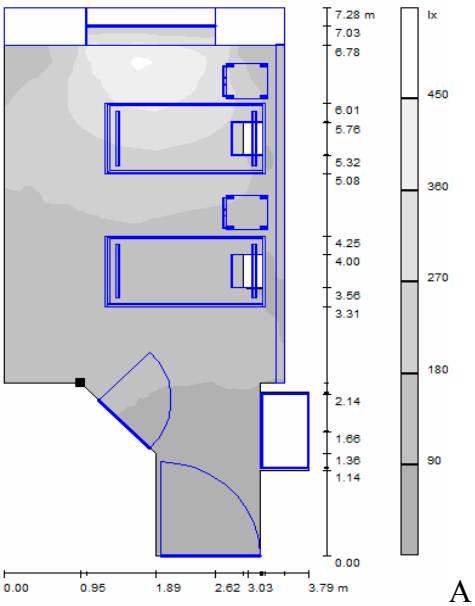
ΝΔ



Ν

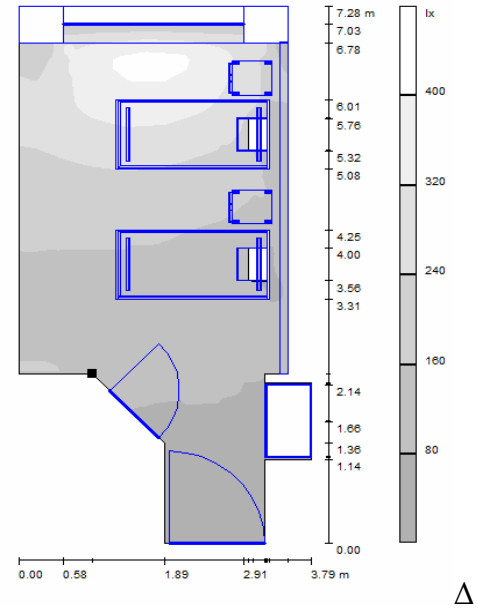


ΝΑ

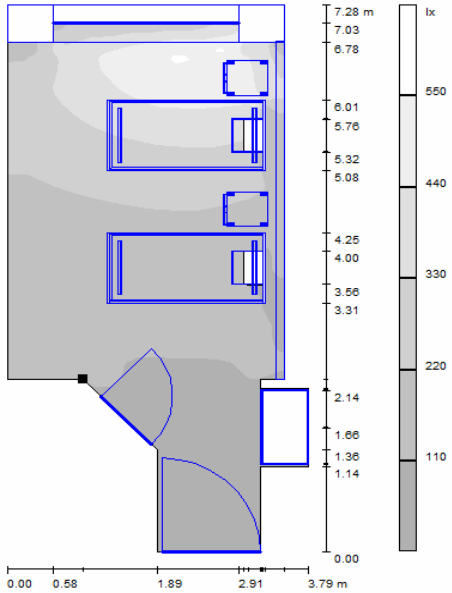


Α

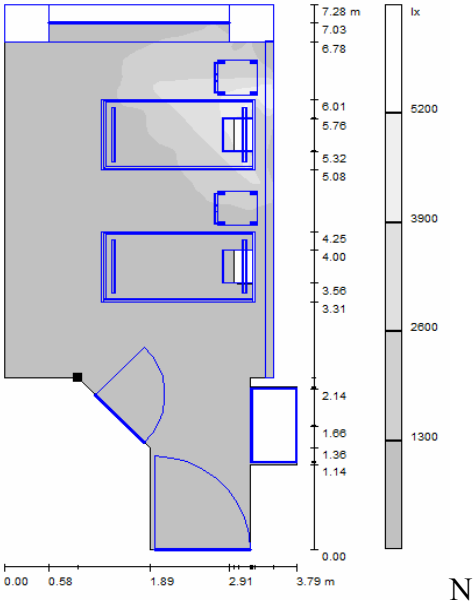
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -9:00 π.μ.



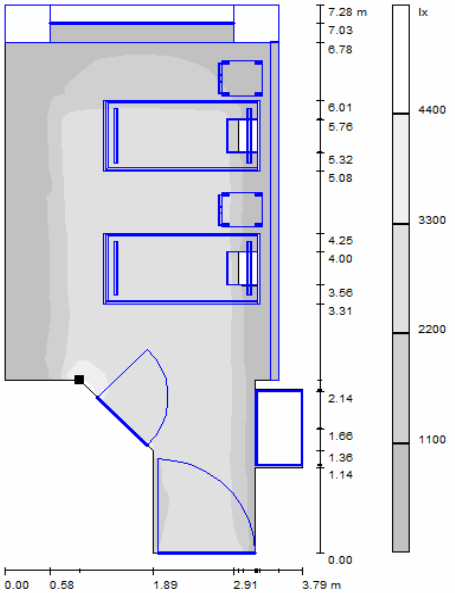
Δ



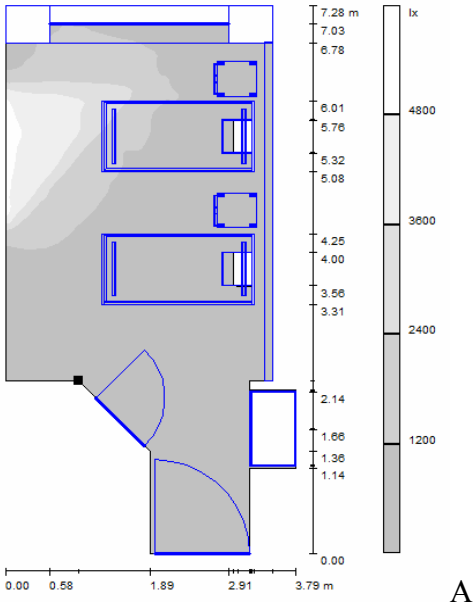
ΝΔ



N

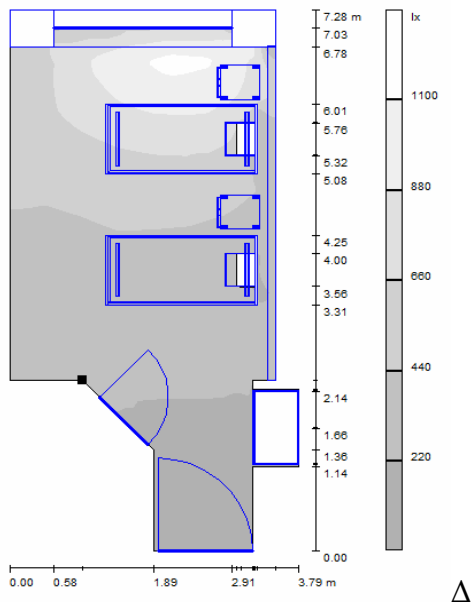


ΝΑ

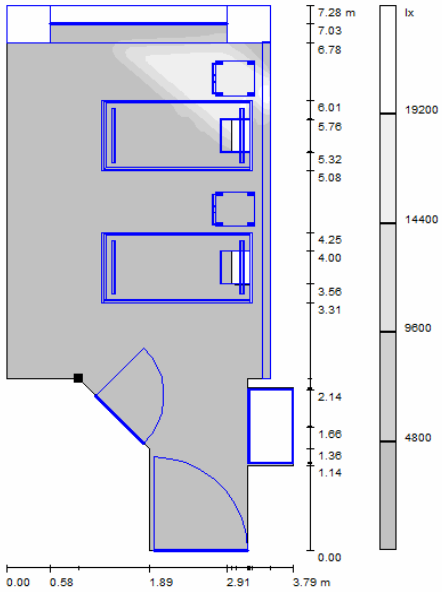


Α

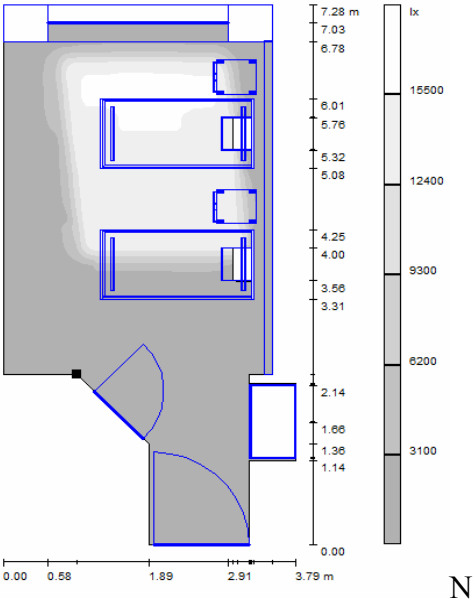
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -12:00 μεσ.



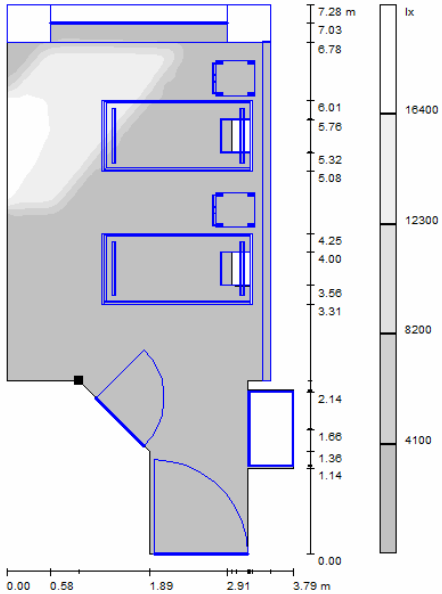
Δ



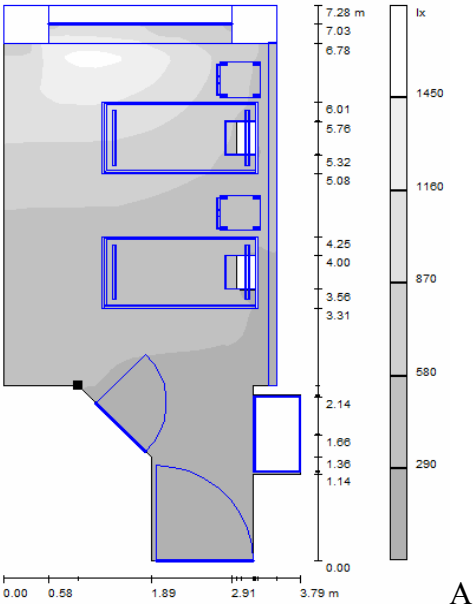
ΝΔ



N

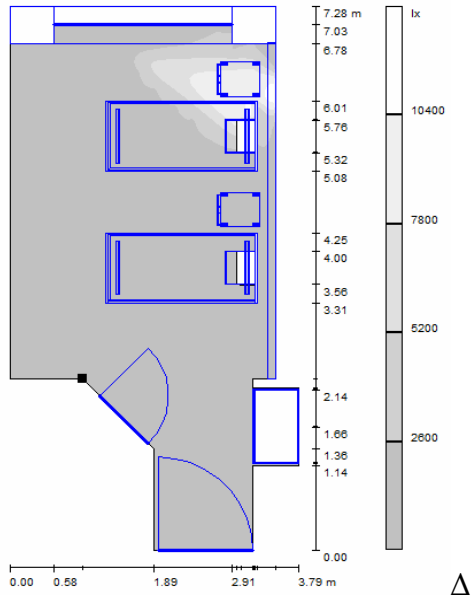


ΝΑ

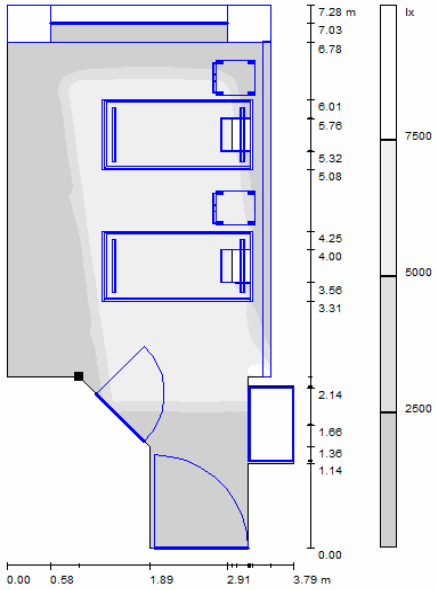


Α

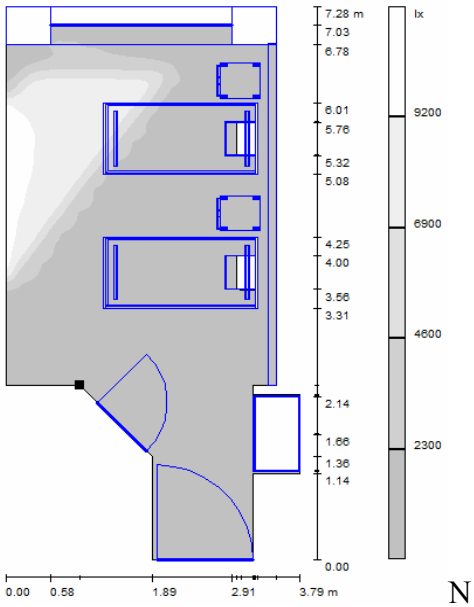
Παράθυρο 3- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)_21 Δεκεμβρίου -3:00 μ.μ.



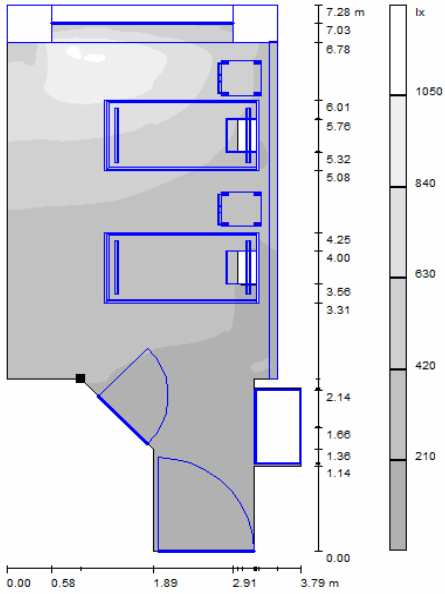
Δ



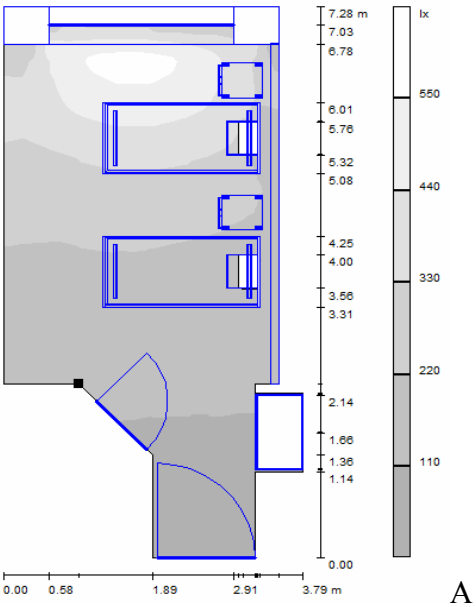
ΝΔ



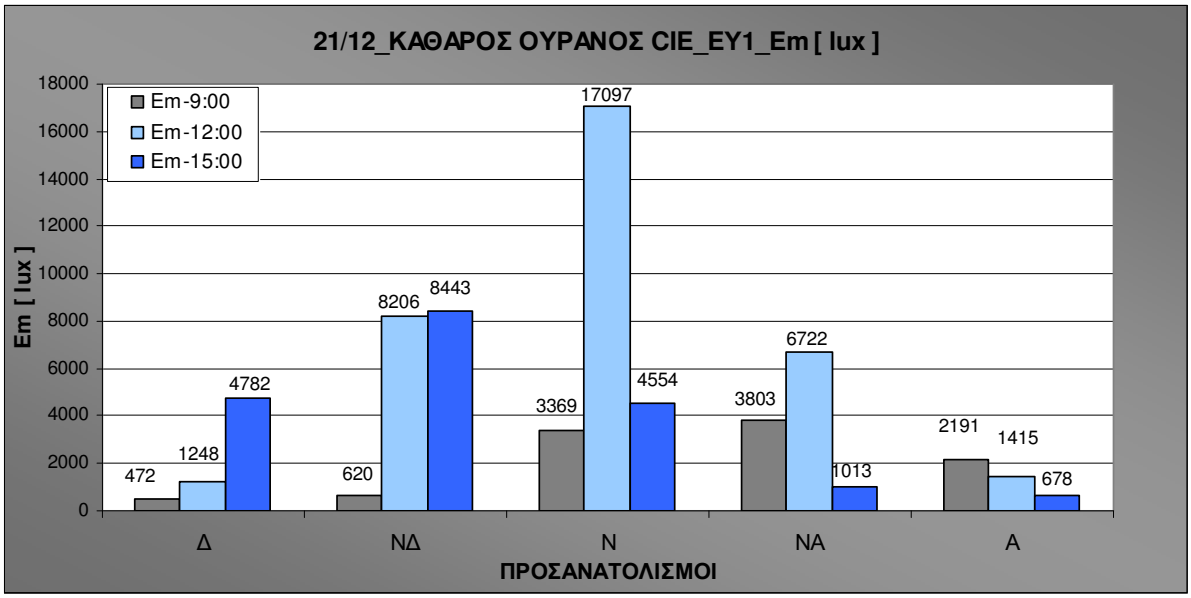
N



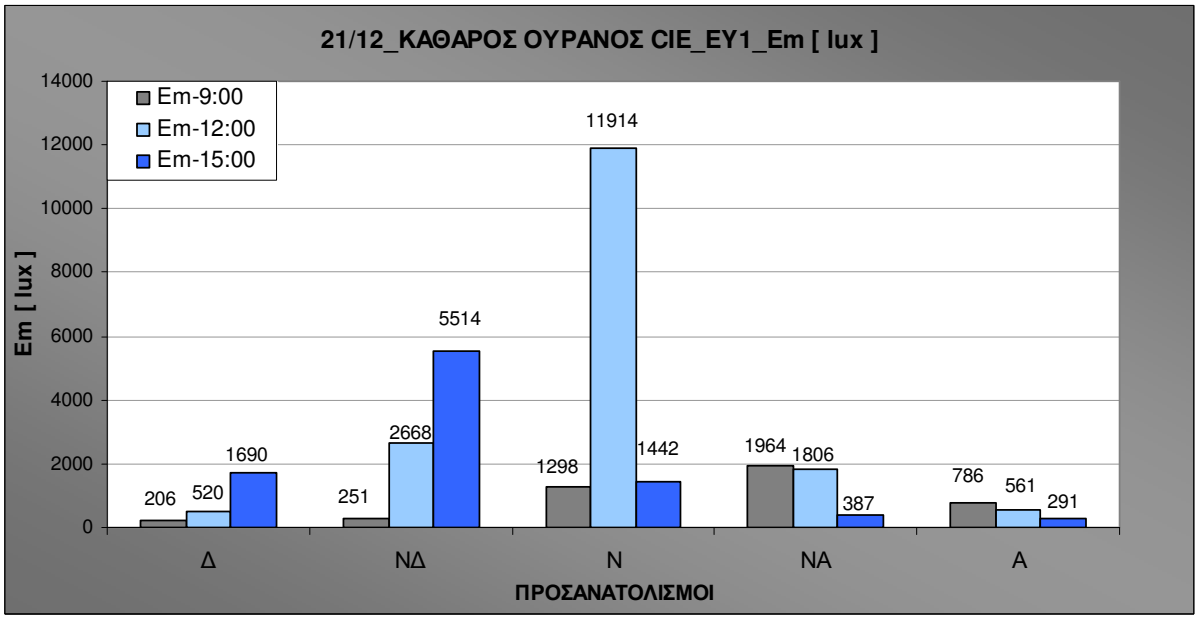
ΝΑ



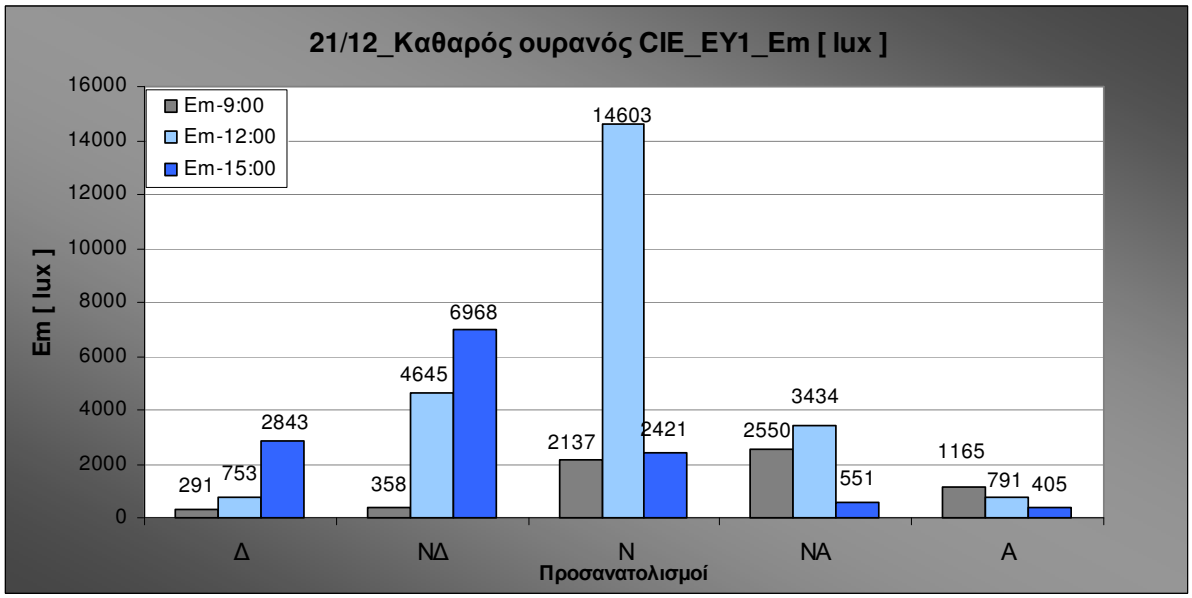
Α



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Δεκεμβρίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 1 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός , 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός προσανατολισμός , 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Ανατολικός προσανατολισμός , 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός προσανατολισμός , 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ1 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Νότιο προσανατολισμό στις 12:00 μεσ. και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ1 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι

9:00 π.μ. : ΝΑ → Ν → Α → ΝΔ → Δ

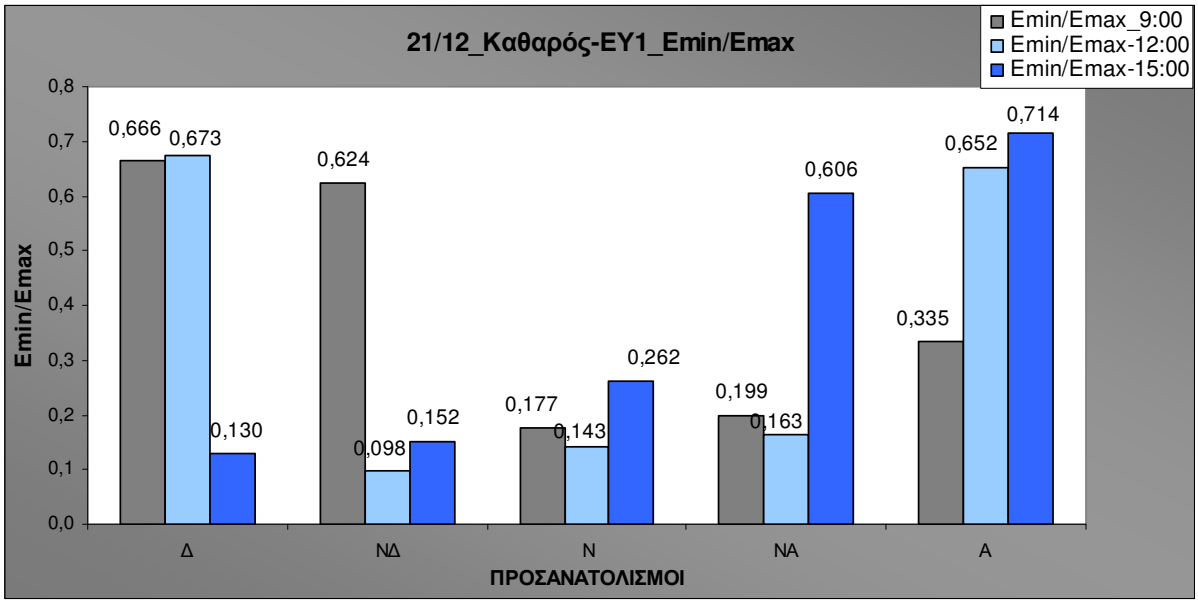
12:00 μεσ. : Ν → ΝΔ → ΝΑ → Α → Δ

3:00 μ.μ. : ΝΔ → Δ → Ν → ΝΑ → Α

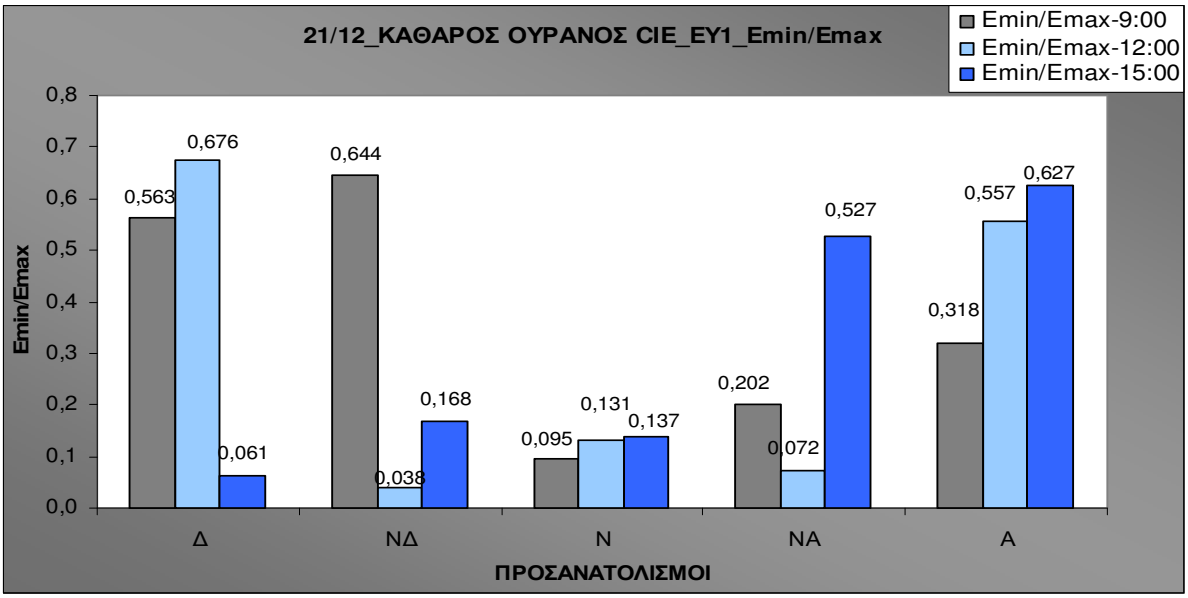
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Δεκεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη για τους προσανατολισμούς για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

Ν→ ΝΔ → ΝΑ→ Α→ Δ

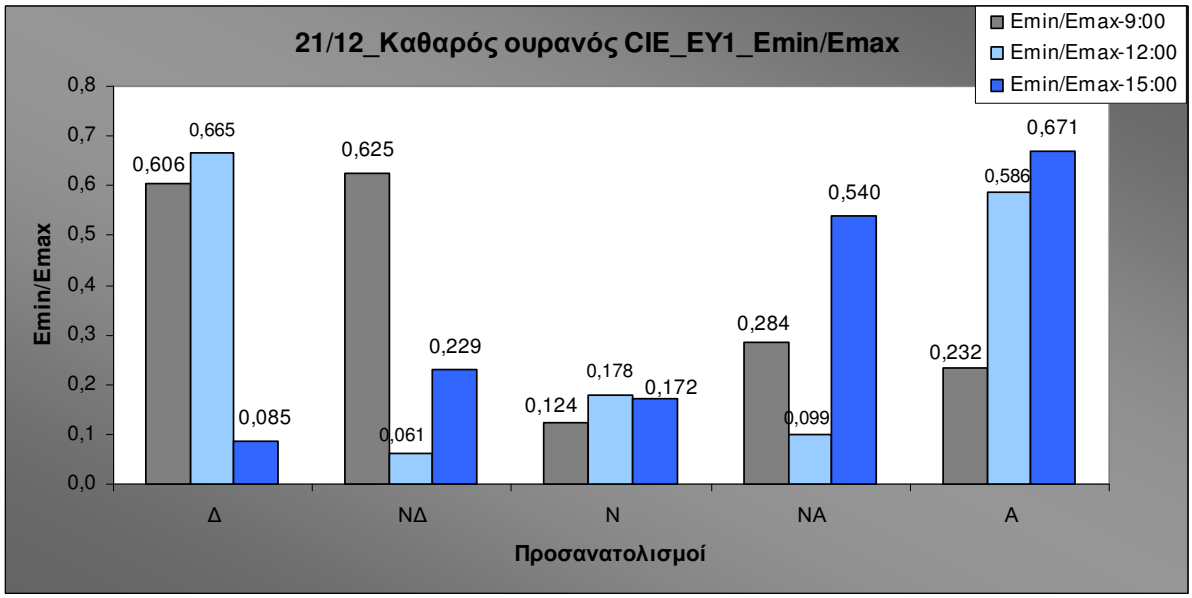
Ως προς την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

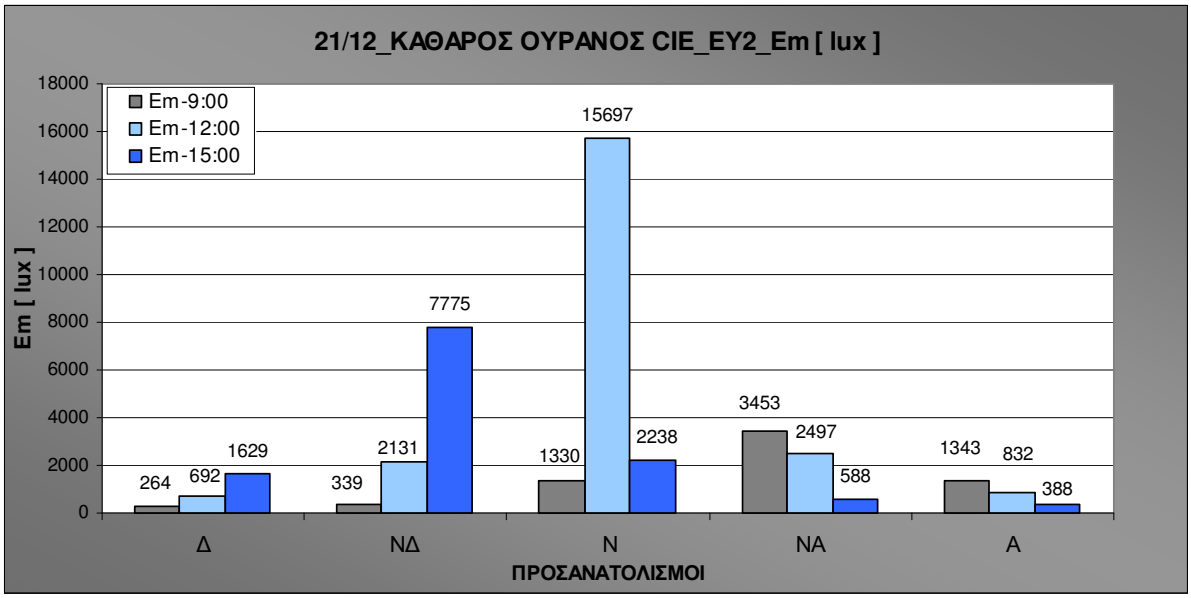
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ1 την 21η Δεκεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

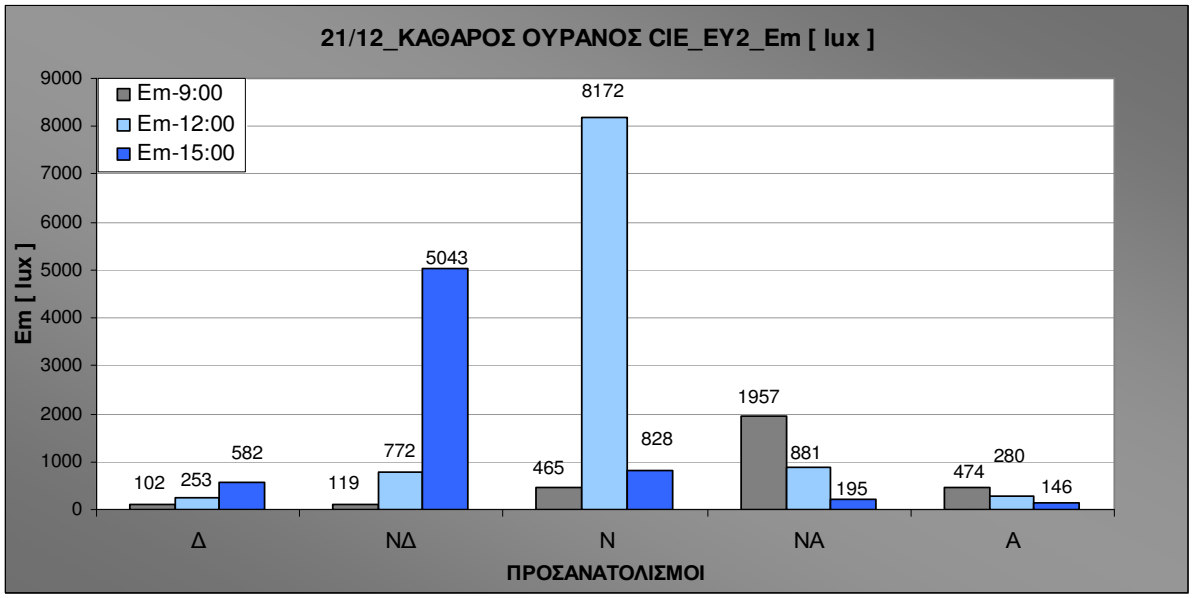
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 ,ο Α προσανατολισμός είναι ο καλύτερος με ποσοστό 9/9 και ακολουθούν ο Ν με 8,5/9, ο ΝΑ με 7,5//9 , ο Δ με 7/9 και τέλος ο ΝΔ με 6,5/9.

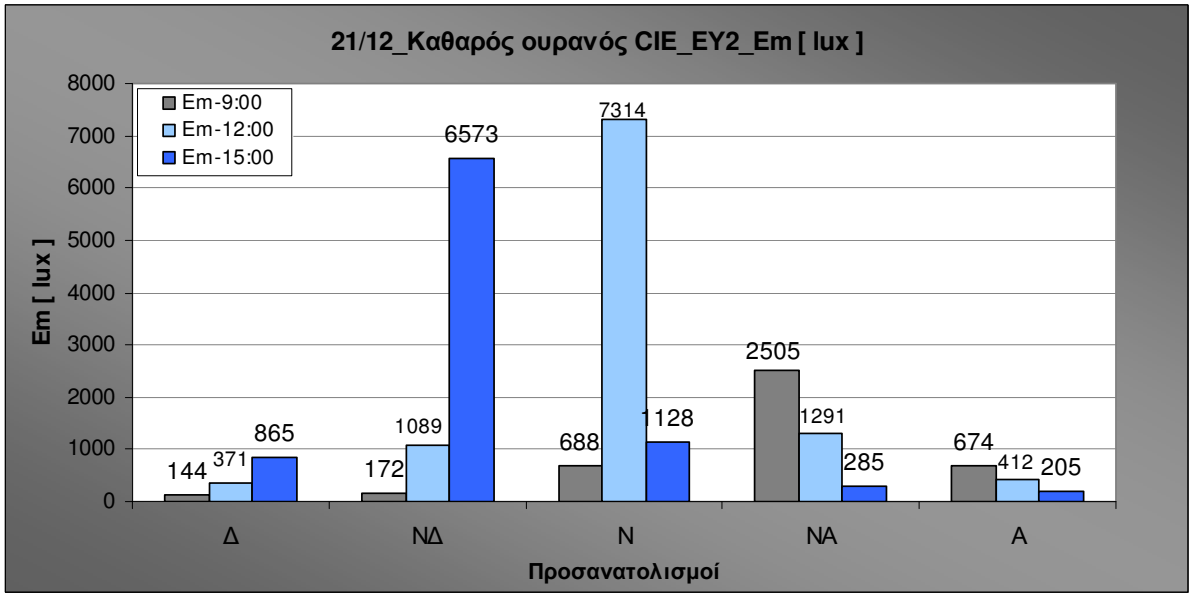
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ1 καλύτερο αποδεικνύεται το παράθυρο 1 και ακολουθούν με τη σειρά τα παράθυρα 3 και 2.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Δεκεμβρίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 2 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 1, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 12:00 μεσ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 2, Ανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Νοτιοανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

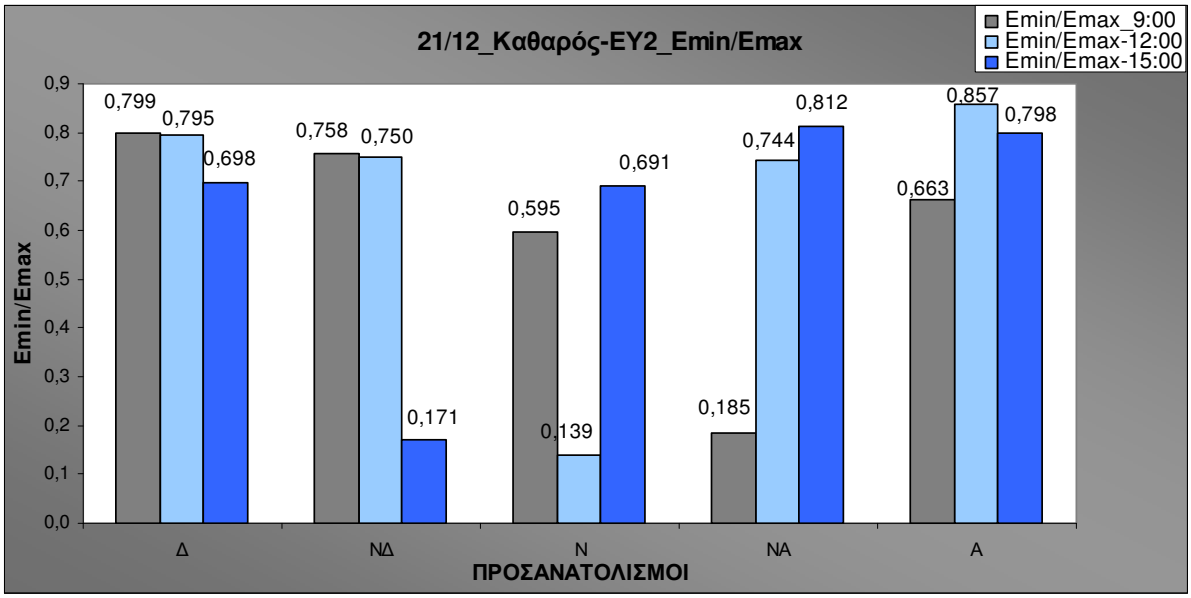
Παράθυρο 3,Ανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ2 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Νότιο προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ2 σε φθίνουσα σειρά για όλα τα ανοίγματα είναι σε γενικές γραμμές ίδια για κάθε μία από τις τρεις ώρες με αυτή που προέκυψε για το επίπεδο ενδιαφέροντος για την ίδια ημερομηνία(υπάρχει μία διαφοροποίηση ως προς το παράθυρο 3 για τις 9:00 π.μ.) .

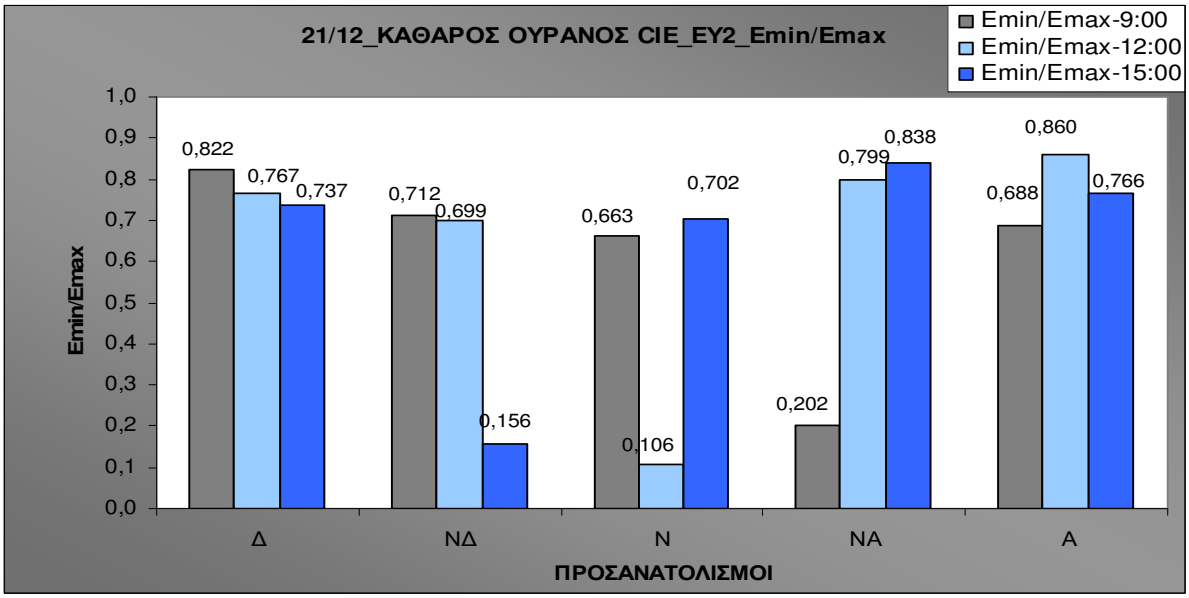
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Δεκεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

Ν → ΝΑ → ΝΔ→ Α → Δ(ίδια με την κατάταξη για την ΕΕ)

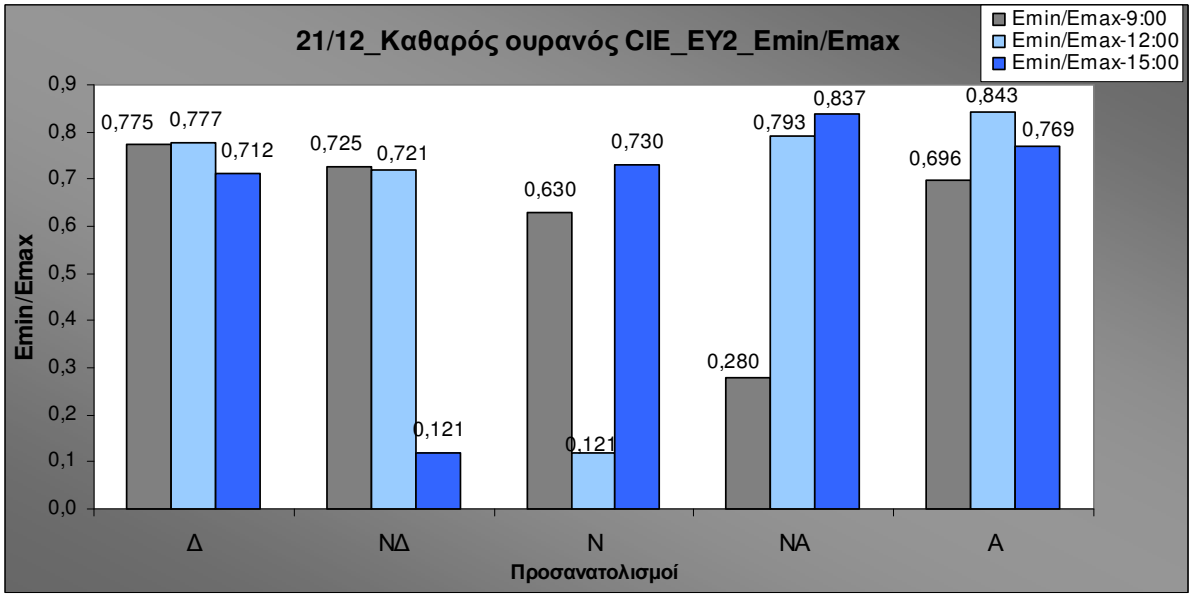
Ως προς την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1) .



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

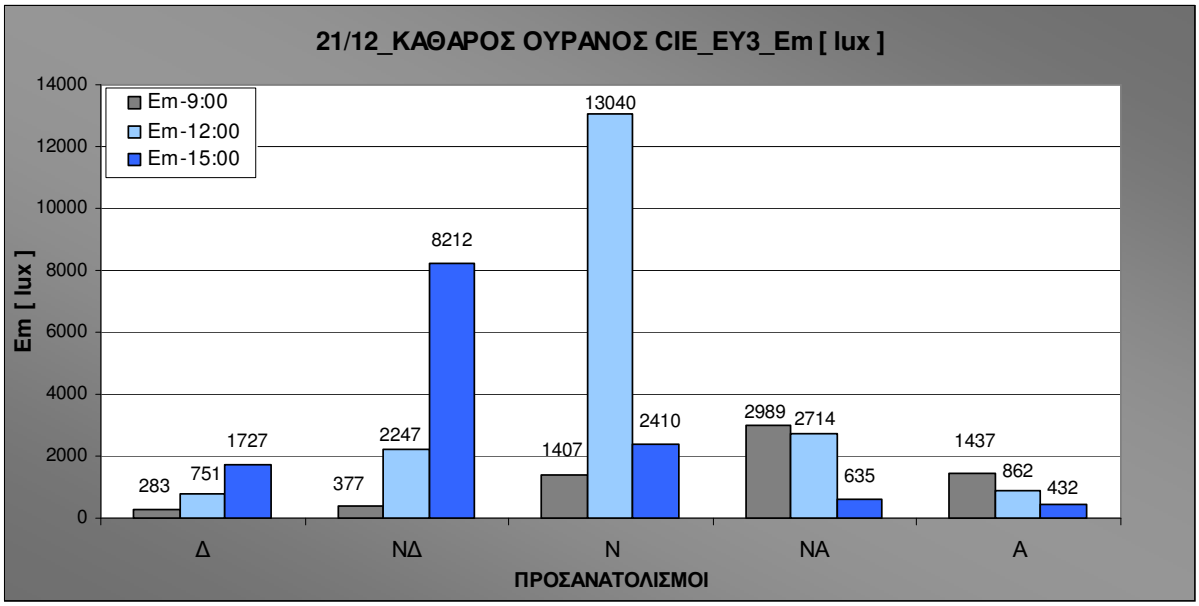
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ2 την 21η Δεκεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

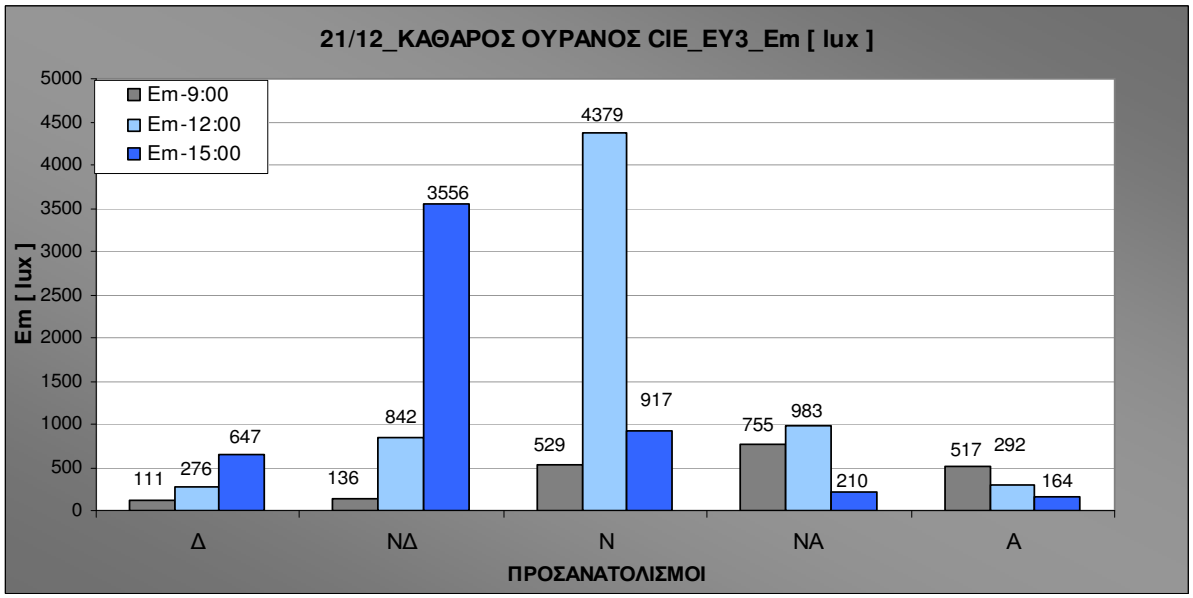
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 όλοι οι προσανατολισμοί ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας σε όλες τις ώρες.

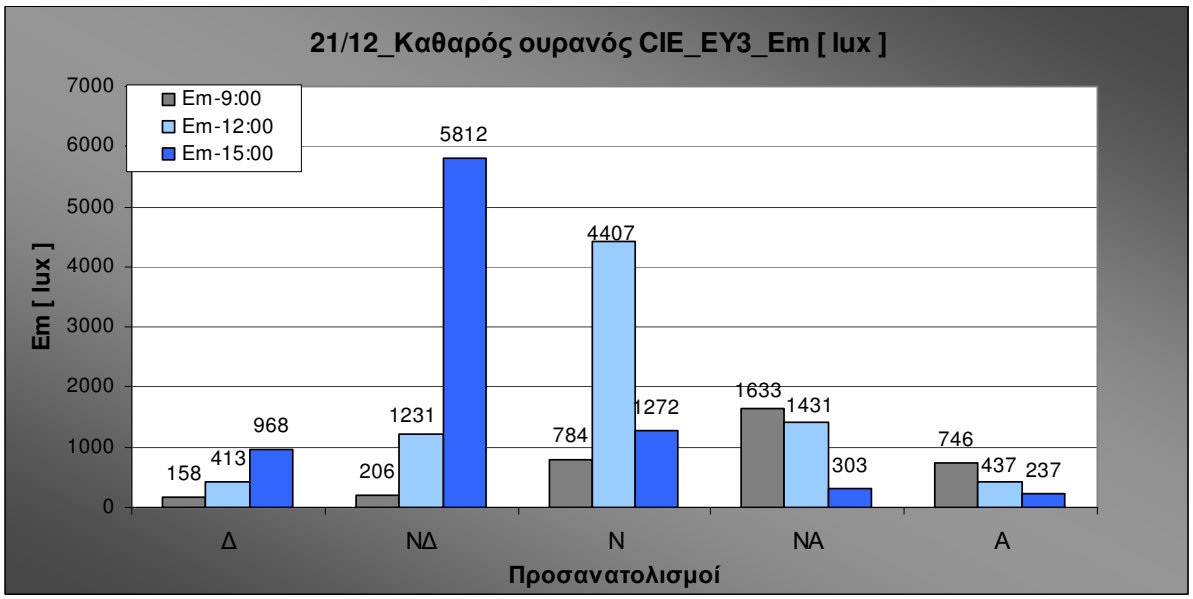
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ2 όλα τα παράθυρα εμφανίζουν τη βέλτιστη συμπεριφορά.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Δεκεμβρίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 3 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από τις περισσότερες προσομοιώσεις πλην των:

Παράθυρο 1, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Νοτιοανατολικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 2, Ανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Παράθυρο 3, Δυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3, Νοτιοδυτικός Προσανατολισμός στις 9:00 π.μ.

Παράθυρο 3,Ανατολικός Προσανατολισμός στις 3:00 μ.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ3 για τα παράθυρα 1 και 2 εμφανίζεται στο Νότιο προσανατολισμό στις 12:00 μεσ. ενώ για το παράθυρο 3 στο ΝΔ προσανατολισμό στις 3:00 μ.μ..

Η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ3 σε φθίνουσα σειρά είναι :

9:00 π.μ.: ΝΑ → Α → Ν→ ΝΔ→ Δ για το παράθυρο 1(ίδια με ΕΕ)

9:00 π.μ.: ΝΑ → Ν → Α→ ΝΔ→ Δ για τα παράθυρα 2 και 3

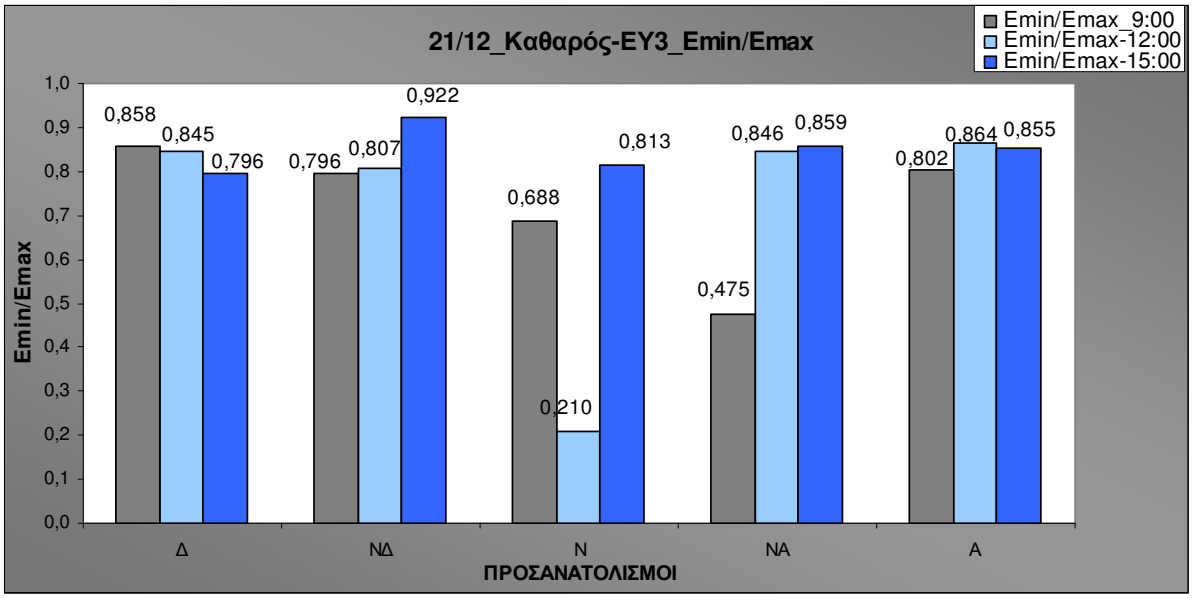
12:00 μεσ.: Ν → ΝΑ → ΝΔ→ Α→ Δ για όλα τα παράθυρα (ίδια με ΕΕ)

3:00 μ.μ: ΝΔ → Ν → Δ → ΝΑ → Α για όλα τα παράθυρα (ίδια με ΕΕ)

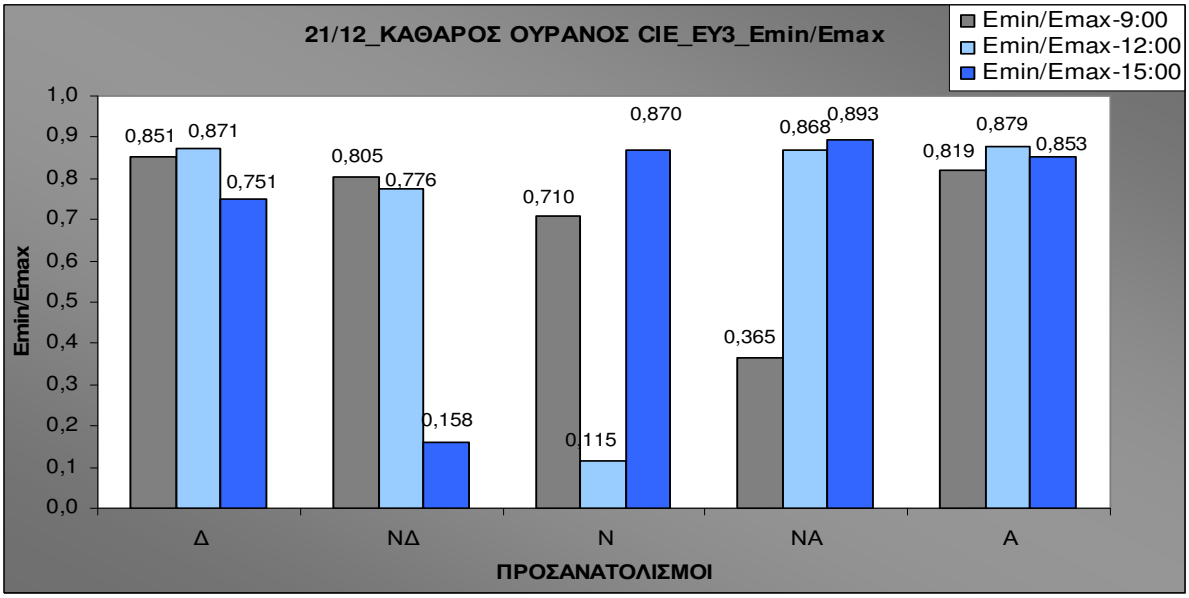
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Δεκεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

ΝΑ → Ν → ΝΔ→ Α → Δ

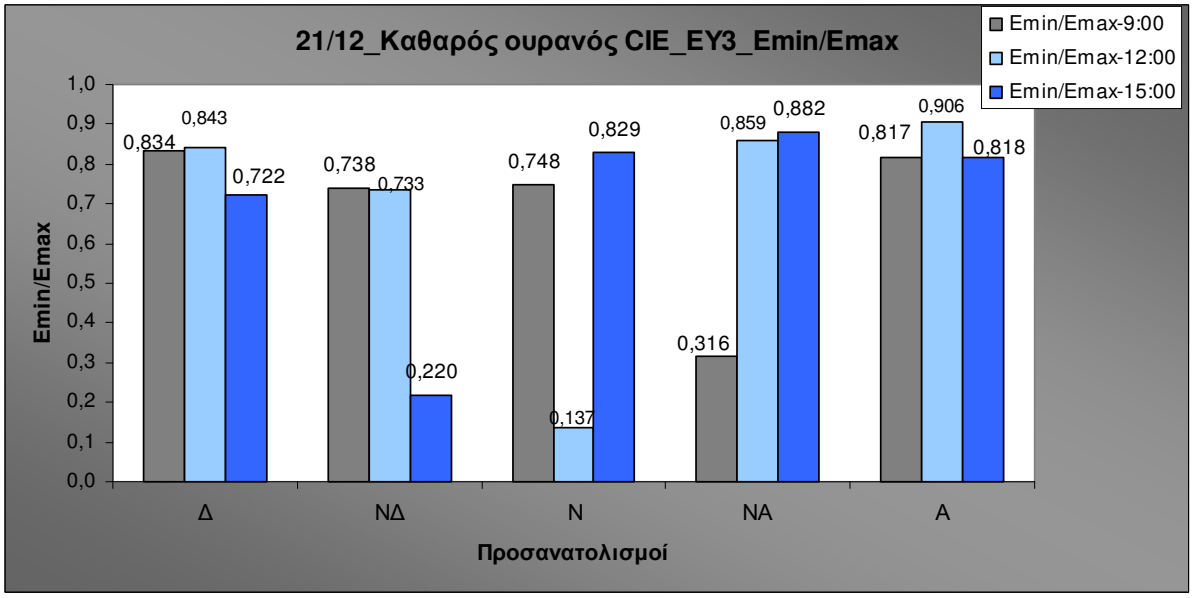
Ως προς την κατάταξη των παραθύρων για μια ακόμα φορά οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1).



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

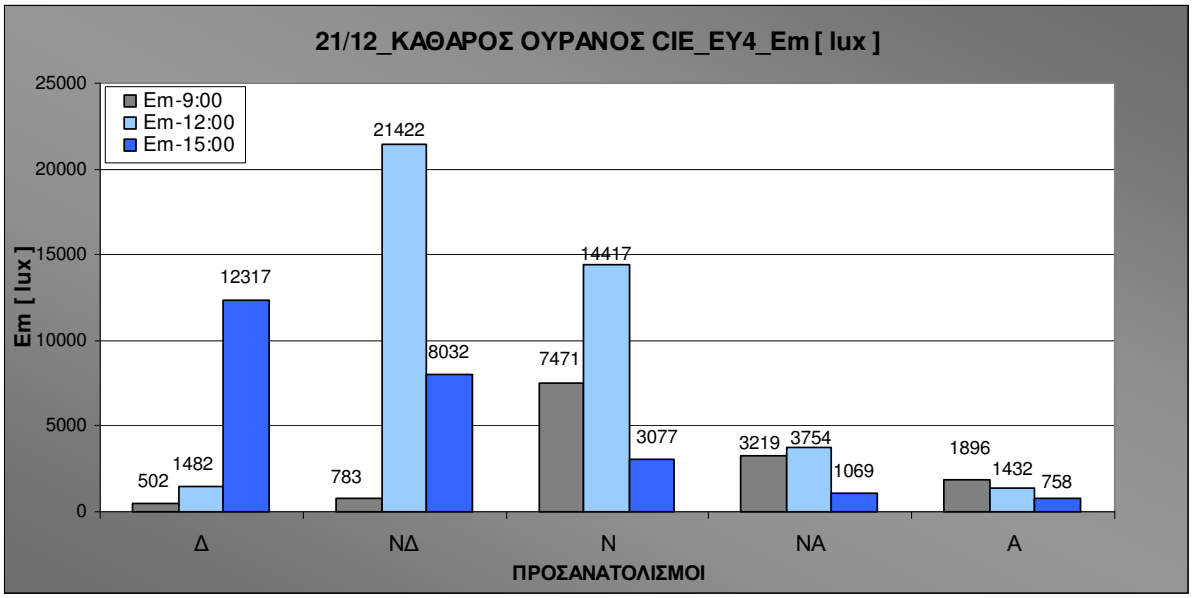
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ3 την 21η Δεκεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα σημειώνονται με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

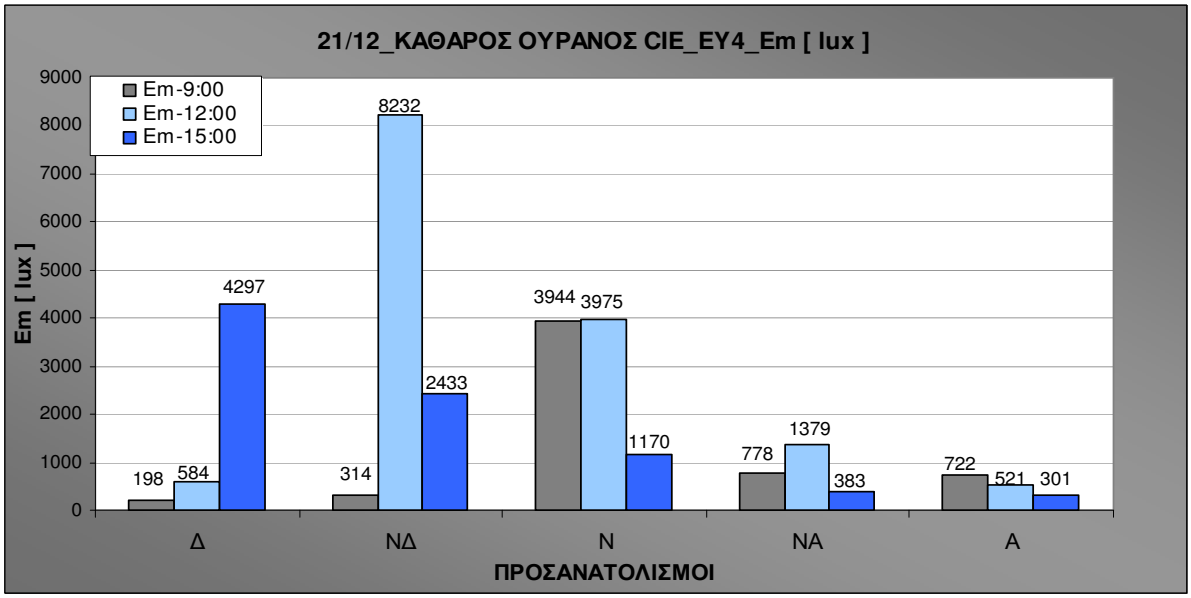
	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 όλοι οι προσανατολισμοί ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας.

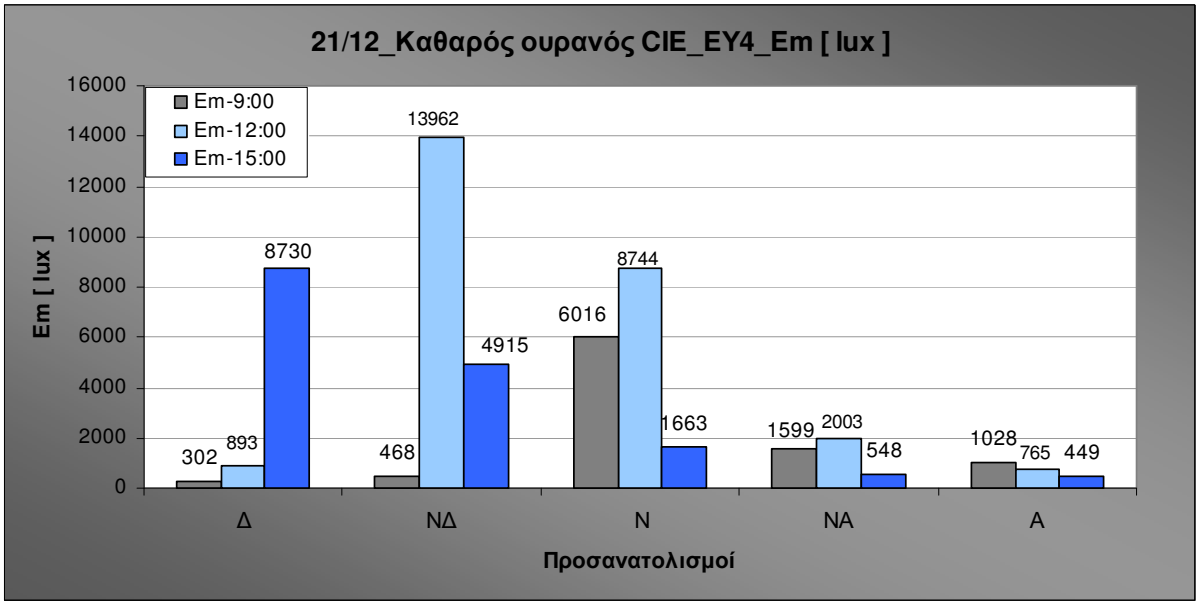
Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ3 όλα τα παράθυρα εμφανίζουν την ίδια θετική συμπεριφορά.



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στις 21 Δεκεμβρίου, για την επιφάνεια υπολογισμού 4 η απαίτηση Em ≥ 300 lux ικανοποιείται από όλες σχεδόν τις προσομοιώσεις, με εξαίρεση:

Παράθυρο 2, Δυτικός προσανατολισμός, 9:00 π.μ.

Η μέγιστη τιμή Em στην ΕΥ4 και για τα τρία παράθυρα εμφανίζεται στο Νοτιοδυτικό προσανατολισμό στις 12:00 μεσ. και η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την Em της ΕΥ4 σε φθίνουσα σειρά είναι η εξής:

Στις 9:00 π.μ : Ν → ΝΑ → Α → ΝΔ → Δ για όλα τα ανοίγματα

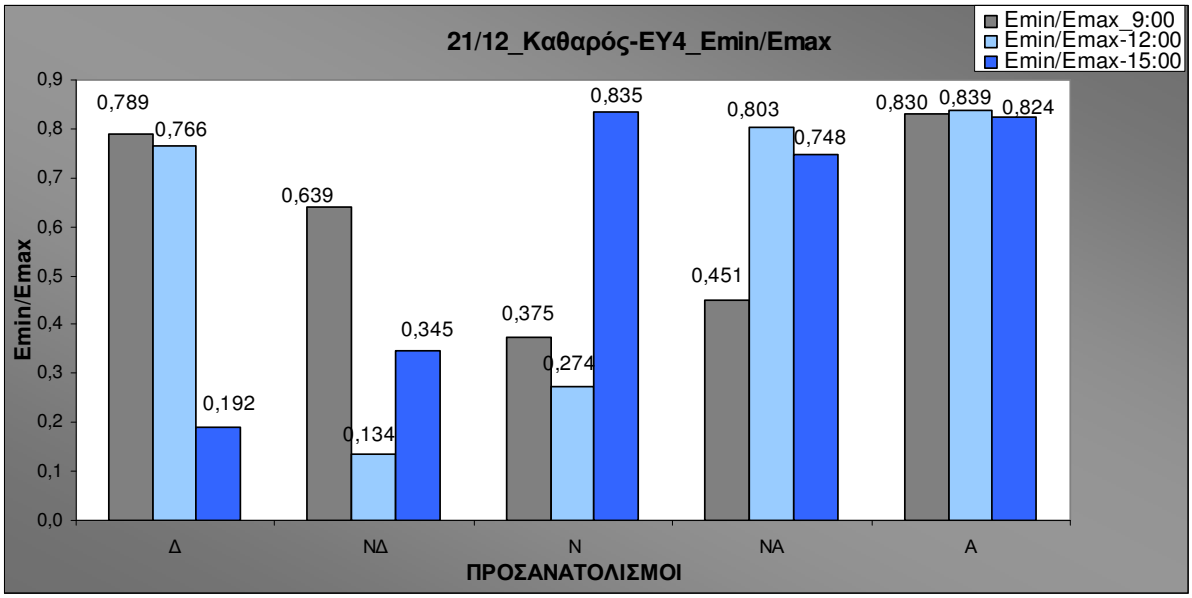
Στις 12:00 μεσ. : ΝΔ → Ν → ΝΑ → Δ → Α για όλα τα ανοίγματα

Στις 3:00 μ.μ. : Δ → ΝΔ → Ν → ΝΑ → Α για όλα τα ανοίγματα

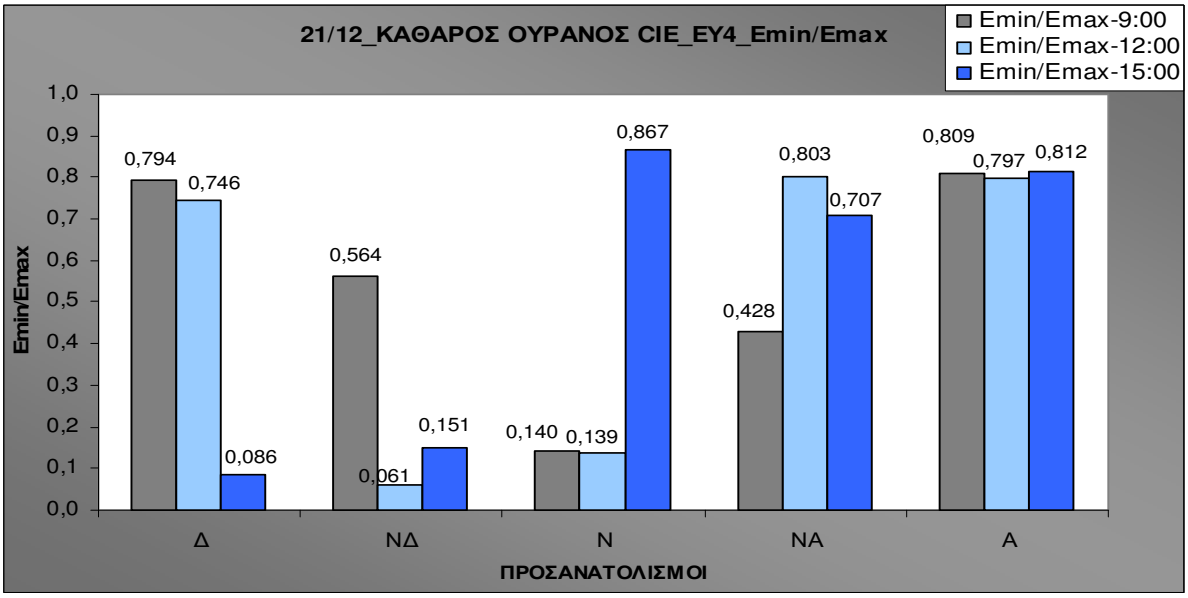
Από τις κατατάξεις των προσανατολισμών για κάθε μία από τις τρεις ώρες και λαμβάνοντας υπόψη και τις αντίστοιχες τιμές από τα γραφήματα, σε μια προσπάθεια να διαπιστωθεί η αλληλουχία των προσανατολισμών για την 21^{η} Δεκεμβρίου (ενιαία θεώρηση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από άποψη επιπέδων φωτισμού (Em) η κατάταξη των προσανατολισμών για όλα τα ανοίγματα είναι η εξής:

Ν → ΝΔ → ΝΑ → Δ → Α

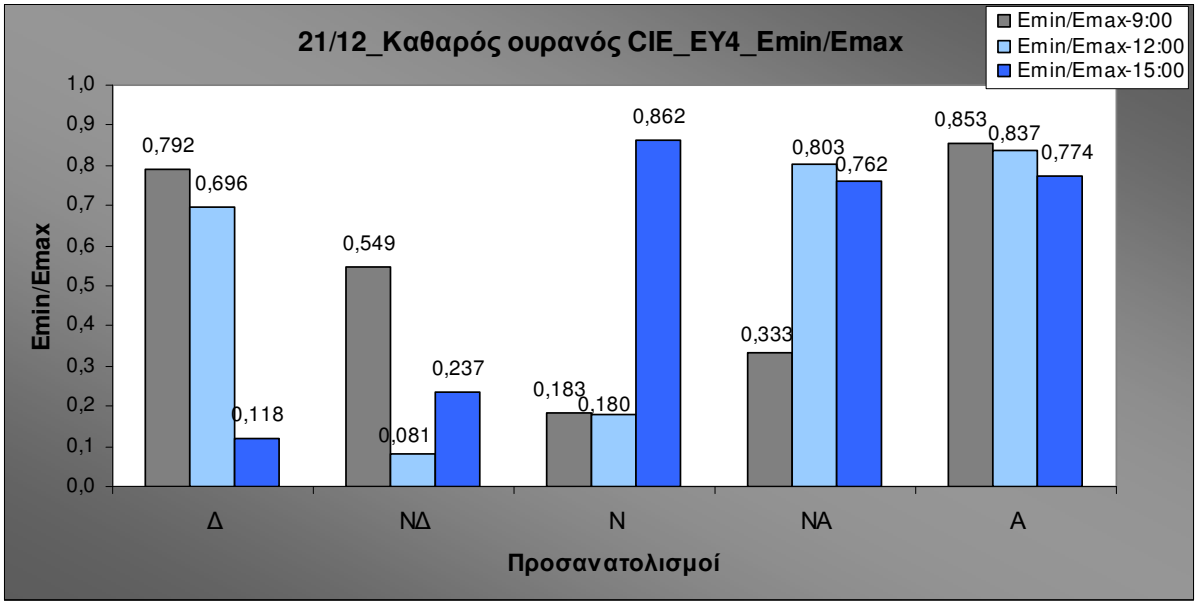
Ως προς την κατάταξη των παραθύρων τώρα, οι μέγιστες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em) εμφανίζονται και πάλι στο Παράθυρο 1(μέγιστο άνοιγμα) και ακολουθούν το Παράθυρο 3(40% της επιφάνειας του παραθύρου 1) και το παράθυρο 2 (30% της επιφάνειας του παραθύρου 1) .



Παράθυρο1



Παράθυρο2



Παράθυρο3

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού στην ΕΥ4 την 21η Δεκεμβρίου κατασκευάστηκε ο κάτωθι πίνακας, όπου για κάθε παράθυρο και για κάθε ώρα έχουν σημειωθεί με πράσινο χρώμα οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας(Emin / Emax ≤ 1:10) , με κίτρινο (πορτοκαλί) οι προσανατολισμοί που ήταν κοντά στην επίτευξη του Emin / Emax ≤ 1:10 και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων ομοιομορφίας.

	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
Παράθυρο 1															
Παράθυρο 2															
Παράθυρο 3															

Από τον πίνακα φαίνεται ότι ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 οι προσανατολισμοί Ν, ΝΑ και Α ικανοποιούν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας για όλα τα παράθυρα και για όλες τις ώρες και έπονται με τη σειρά οι προσανατολισμοί Δ και ΝΔ.

Όσον αφορά στη σύγκριση των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία στην ΕΥ4 το παράθυρο 1 παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά και ακολουθούν με τη σειρά το παράθυρο 3 και το παράθυρο 2.

4.6.1.8 Συμπεράσματα για την 21η Δεκεμβρίου

Η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για την 21η Μαρτίου και περιγράφηκε στην παράγραφο ***Διαδικασία για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων*** πραγματοποιήθηκε και για την 21η Δεκεμβρίου και οδήγησε στα εξής αποτελέσματα :

- η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Ν → (ΝΑ & ΝΔ)→ Α → Δ
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Ν → ΝΑ → ΝΔ → Α → Δ

- η κατάταξη των προσανατολισμών ως προς την ομοιομορφία σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Α → Ν → ΝΑ → Δ → ΝΔ
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος(ΕΕ) γενικά Δ → Α → ΝΑ → ΝΔ → Ν

- η κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς τα επίπεδα φωτισμού(lux) σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος(ΕΕ) Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2

- η κατάταξη των ανοιγμάτων ως προς την ομοιομορφία σε φθίνουσα σειρά είναι

  - για τα κρεβάτια : Παράθυρο 1→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 2
  - για το επίπεδο ενδιαφέροντος γενικά Παράθυρο 2→ Παράθυρο 3 → Παράθυρο 1

Από τις κατατάξεις αυτές προκύπτει ότι για την 21η Δεκεμβρίου οι προσανατολισμοί Νότιος και Νοτιοανατολικός φαίνεται να είναι οι αποδοτικότεροι ως προς την επίτευξη υψηλών επιπέδων φωτισμού τόσο στην επιφάνεια του χώρου συνολικά(ΕΕ) όσο και στις επιφάνειες των δύο κρεβατιών που εξετάστηκαν ειδικότερα. Για την ημερομηνία αυτή, οι συγκεκριμένοι προσανατολισμοί ικανοποιούν τις απαιτήσεις λαμπρότητας στο επίπεδο του δαπέδου για το σύνολο σχεδόν των ανοιγμάτων, με μια μόνο εξαίρεση (Παράθυρο 1, 12:00 μεσ.). Εξεταζόμενοι ως προς τις απαιτήσεις ομοιομορφίας στην κατάταξη που αφορά το ΕΕ επιτυγχάνουν την 5η και 3η θέση αντίστοιχα και όσον αφορά στην κατάταξη των προσανατολισμών ειδικά για τα κρεβάτια τη 2η και 3η θέση αντίστοιχα. Αμφιβολίες ως προς την οπτική άνεση των χρηστών του χώρου και ως προς την τελική εξοικονόμηση ενέργειας τίθενται επομένως και για την 21η Δεκεμβρίου , ειδικότερα για το Νότιο προσανατολισμό , υποδεικνύοντας και για αυτήν την ημερομηνία την ανάγκη παράλληλης λήψης μέτρων προστασίας για την αποφυγή/εξάλειψη των ενδεχόμενων αυτών προβλημάτων.

Από τις φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα και οι οποίες παρατίθενται στις επόμενες σελίδες παρατηρούμε ότι και για την ημερομηνία αυτή σε αρκετές περιπτώσεις προσομοιώσεων εμφανίζονται ηλιακά ίχνη στον υπό μελέτη χώρο. Από τις περιπτώσεις αυτές ιδιαίτερη σημασία έχουν:

<u>για το παράθυρο 1</u>

στις 9:00 π.μ. ο Ν προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο ΝΔ προσανατολισμός

στις 3:00 μ.μ. ο Δ προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 2</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΑ προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο ΝΔ και ο Ν προσανατολισμός

στις 3:00 μ.μ. ο ΝΔ προσανατολισμός

<u>για το παράθυρο 3</u>

στις 9:00 π.μ. ο ΝΔ και ο Ν προσανατολισμός

στις 12:00 μεσ. ο ΝΔ και ο Ν προσανατολισμός

στις 3:00 μ.μ. ο ΝΔ και ο Δ προσανατολισμός

καθώς η εμφάνιση των ιχνών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται στο τμήμα του χώρου που είναι τοποθετημένα τα κρεβάτια και μάλιστα το πάνω μέρος αυτών(δηλαδή το μαξιλάρι).

Η εμφάνιση ηλιακών ιχνών στο Ν προσανατολισμό σε όλα τα ανοίγματα υποδεικνύει για μια ακόμα φορά ότι για την εξασφάλιση ποιοτικού σχεδιασμού του φωτισμού στο χώρο η εν λόγω επιλογή ως προς τον προσανατολισμό θα ήταν καλό να συνδυαστεί με κάποιο σύστημα φυσικού φωτισμού και γενικότερα τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση ενδεχόμενων ενοχλητικών για την όραση φαινομένων.

Η επιρροή του μεγέθους/θέσης των ανοιγμάτων στα επίπεδα φωτισμού ήταν και για την 21^{η} Δεκεμβρίου μάλλον η αναμενόμενη. Αύξηση των διαστάσεων του ανοίγματος οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου, τόσο στο σύνολό του , όσο και στις επιφάνειες που κυρίως μας ενδιέφεραν. Και για αυτήν την ημερομηνία όμως η κατάταξη των παραθύρων ως προς τα επίπεδα φωτισμού ταυτίζεται με την κατάταξή τους ως προς την ομοιομορφία μόνο όσον αφορά τις επιφάνειες υπολογισμού. Εξετάζοντας το χώρο στο σύνολό του (επίπεδο ενδιαφέροντος) η κατάταξη των παραθύρων ως προς την ομοιομορφία διαφοροποιείται σε σχέση με την αντίστοιχη κατάταξη για τα κρεβάτια. Στις 21

Δεκεμβρίου η ομοιομορφία επιτεύχθηκε σε περισσότερες περιπτώσεις από το μικρού μεγέθους παράθυρο, ακολούθως από το μεσαίου μεγέθους και τέλος από το παράθυρο με το μεγαλύτερο εμβαδόν(και μηδενικής απόστασης από κάτω).

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Δεκεμβρίου -9:00 π.μ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Δεκεμβρίου -12:00 μεσ.- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1_21 Δεκεμβρίου -3:00 μ.μ- Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

	Άποψη από το εσωτερικό	*Άποψη από εξωτερικά*
Δυτικός		
Νοτιοδυτικός		
Νότιος		
Νοτιοανατολικός		
Ανατολικός		

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Δεκεμβρίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

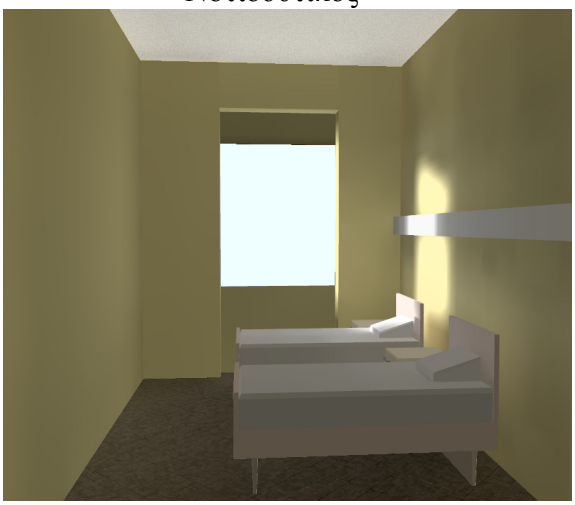
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

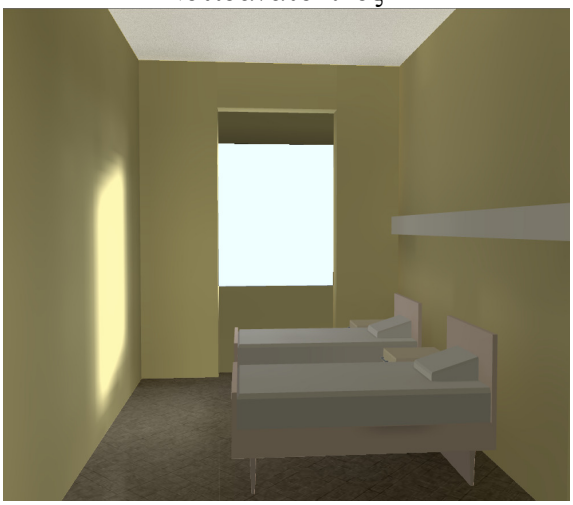


Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός



Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Δεκεμβρίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

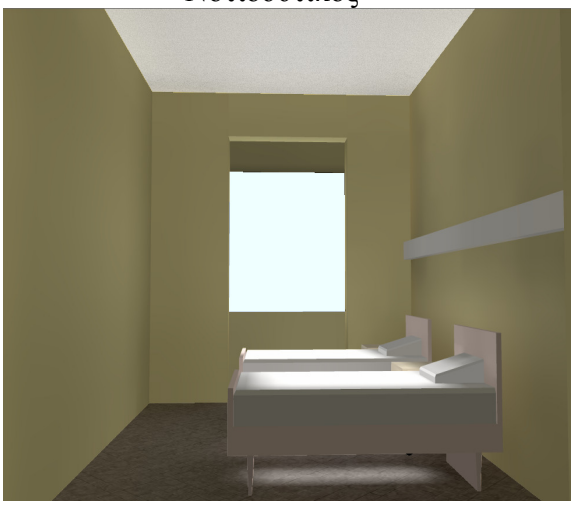
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

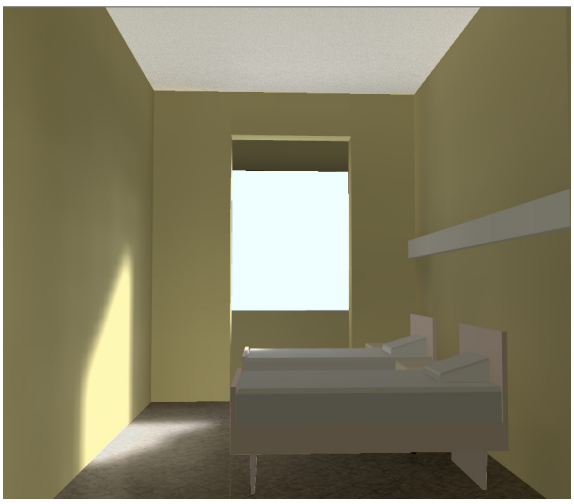
Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός



Νότιος

Νότιος



Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2_21 Δεκεμβρίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

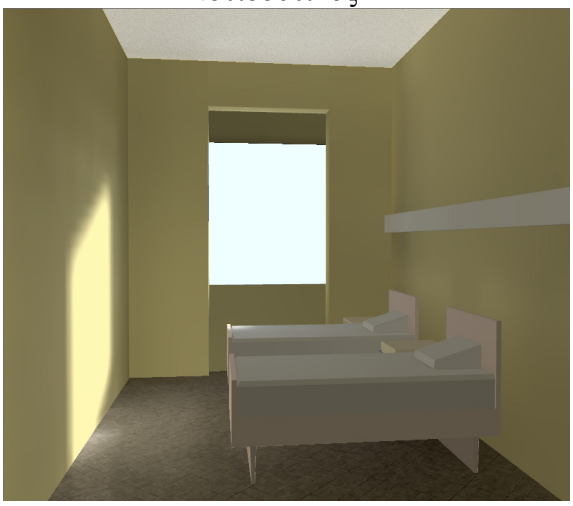
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

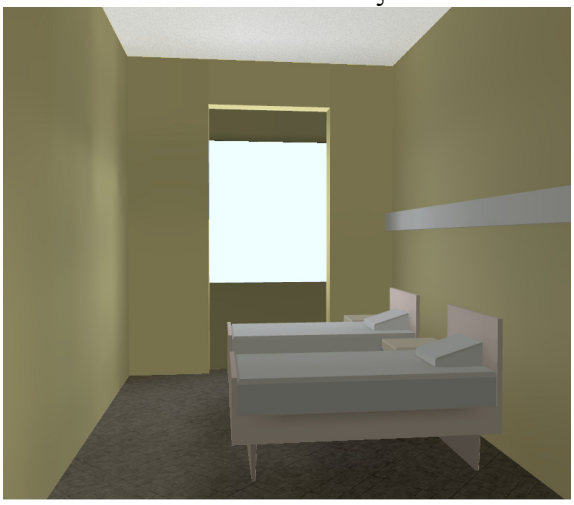


Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός



Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Δεκεμβρίου–9:00 π.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Δεκεμβρίου–12:00 μεσ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

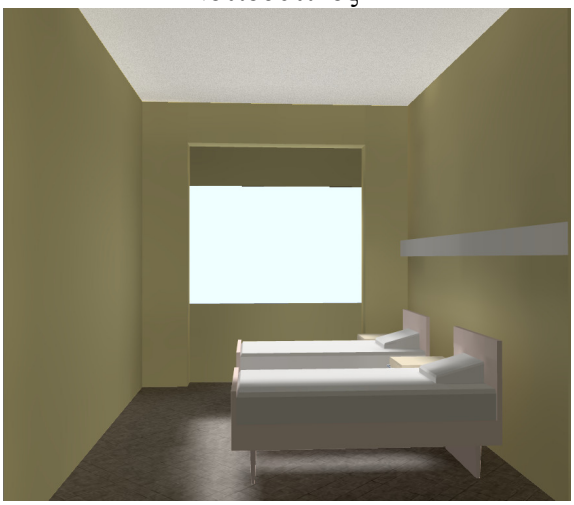
Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός



Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3_21 Δεκεμβρίου–3:00 μ.μ. -Καθαρός ουρανός(άμεσο φως)

Άποψη από το εσωτερικό του δωματίου (Προεπισκόπηση Raytrace)

Άποψη από το εξωτερικό του δωματίου

Δυτικός

Δυτικός

Νοτιοδυτικός

Νοτιοδυτικός

Νότιος

Νότιος

Νοτιοανατολικός

Νοτιοανατολικός

Ανατολικός

Ανατολικός

Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις (καθαρός ουρανός, άμεσο φως) για τα δύο σημεία υπολογισμού (όρθιος παρατηρητής).

Τα αποτελέσματα αυτά, αν και συνεκτιμήθηκαν για την επιλογή προσανατολισμού και ανοίγματος, δε θα σχολιαστούν περαιτέρω , καθώς δεν ανατρέπουν τα συμπεράσματα που άγονται έως τώρα για τις βέλτιστες επιλογές. Στους πίνακες αυτούς έχουν σημειωθεί με κόκκινο χρώμα οι τιμές που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις του πίνακα 4.11 και με κίτρινο χρώμα οι τιμές που υπερβαίνουν την τιμή 3797 lux (πίνακας 4.12) πάνω από την οποία κρίθηκε ότι είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων σκίασης . Ως ΣΥ1 και ΣΥ2 σημειώνονται τα σημεία υπολογισμού 1 και 2 αντίστοιχα.

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 1

21-Μαρ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	420	564	1203	2981	2691
		ΣΥ2 [lx]	672	908	2183	4698	3647
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	867	1541	2331	2040	1155
		ΣΥ2 [lx]	1423	2594	3782	3156	1844
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	2161	2717	1837	820	566
		ΣΥ2 [lx]	3750	4093	2819	1294	874

21-Ιουν	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	444	527	670	1813	3139
		ΣΥ2 [lx]	712	819	1129	3224	4503
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	811	1108	1380	1772	1608
		ΣΥ2 [lx]	1275	1766	2296	2877	2574
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	1581	1773	1368	1077	810
		ΣΥ2 [lx]	2635	2834	2221	1684	1242

23-Σεπ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	328	385	724	2549	2572
		ΣΥ2 [lx]	526	621	1304	10192	3258
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	730	1220	2213	2442	1509
		ΣΥ2 [lx]	1176	2023	3700	3731	2400
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	1636	2700	2081	1048	677
		ΣΥ2 [lx]	2825	4231	3215	1660	1047

21-Δεκ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	223	287	1059	4145	1147
		ΣΥ2 [lx]	360	493	2347	4537	1590
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	591	1771	3092	2240	713
		ΣΥ2 [lx]	1000	3244	13738	3249	1140
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	1310	2502	1956	515	337
		ΣΥ2 [lx]	2788	8520	2655	817	542

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 2

21-Μαρ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	150	193	392	1141	912
		ΣΥ2 [lx]	262	333	735	1861	1282
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	283	519	840	681	346
		ΣΥ2 [lx]	492	930	1450	1082	602
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	815	1018	623	271	193
		ΣΥ2 [lx]	1455	1634	1005	453	328

21-Ιουν	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	162	182	220	645	1171
		ΣΥ2 [lx]	272	314	391	1203	1904
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	271	349	418	561	493
		ΣΥ2 [lx]	450	597	735	969	854
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	528	571	416	345	262
		ΣΥ2 [lx]	923	968	721	577	439

23-Σεπ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	122	134	220	997	931
		ΣΥ2 [lx]	211	231	414	7722	1223
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	243	383	798	874	478
		ΣΥ2 [lx]	421	672	1402	1408	822
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	611	1070	676	330	226
		ΣΥ2 [lx]	1064	1780	1056	559	386

21-Δεκ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	83	97	366	3102	386
		ΣΥ2 [lx]	139	180	885	3334	562
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	200	624	1282	787	219
		ΣΥ2 [lx]	357	1209	1961	1168	386
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	463	932	707	163	120
		ΣΥ2 [lx]	990	6653	963	275	210

ΠΑΡΑΘΥΡΟ 3

21-Μαρ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	211	270	578	1521	1321
		ΣΥ2 [lx]	366	463	1099	2455	1825
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	413	731	1138	955	504
		ΣΥ2 [lx]	735	1245	1925	1492	834
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	1105	1409	870	375	268
		ΣΥ2 [lx]	1972	2170	1357	632	450

21-Ιουν	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	225	254	303	899	1485
		ΣΥ2 [lx]	387	420	553	1662	2334
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	388	491	591	820	733
		ΣΥ2 [lx]	672	826	1040	1376	1200
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	778	815	586	481	373
		ΣΥ2 [lx]	1352	1317	1003	801	628

23-Σεπ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	169	184	333	1304	1298
		ΣΥ2 [lx]	293	313	630	2242	1673
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	352	551	1084	1204	724
		ΣΥ2 [lx]	612	947	1881	1888	1170
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	815	1401	977	462	315
		ΣΥ2 [lx]	1448	2237	1510	768	528

21-Δεκ	9:00 π.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	111	134	528	783	557
		ΣΥ2 [lx]	196	246	1221	3600	786
	12:00 μεσ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	284	872	1616	1144	318
		ΣΥ2 [lx]	524	1639	2421	1657	546
	3:00 μ.μ.	CIE καθαρός ουρανός	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
		ΣΥ1 [lx]	677	1279	979	231	164
		ΣΥ2 [lx]	1433	7070	1335	383	283

4.6.2 Συνολικά συμπεράσματα για τις προσομοιώσεις υπό συνθήκες καθαρού ουρανού με παράλληλη παρουσία άμεσου φωτός

Μέσω της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και της διεξαγωγής συμπερασμάτων που μέχρι τώρα πραγματοποιήθηκε χωριστά για κάθε μία από τις τέσσερις ημερομηνίες , θα επιχειρηθεί στο σημείο αυτό μια συνολική εκτίμηση των αποτελεσμάτων, απαλλαγμένη από εποχικούς προσδιορισμούς.

Οι προσανατολισμοί που επιτυγχάνουν τις δύο υψηλότερες τιμές μέσης έντασης φωτισμού (Em σε lux) ταυτίζονται και για τις τέσσερις εξεταζόμενες ημερομηνίες, τόσο για το σύνολο της επιφάνειας ενδιαφέροντος, όσο και για τις κλίνες αλλά ακόμα και ως προς την κατάταξη των προσανατολισμών σε σχέση με τις επιφάνειες ελέγχου, δηλαδή κοινή για ΕΕ-κλίνες (χρονική & χωρική ταύτιση) . Βάσει της παρατήρησης αυτής καταδεικνύεται το συμπέρασμα ότι ως προς τη διαθέσιμη ποσότητα φωτισμού βέλτιστες επιλογές αποτελούν οι προσανατολισμοί Νότιος και Νοτιοανατολικός.

Οι προσανατολισμοί αυτοί όμως, δεν παρουσιάζουν βέλτιστη απόδοση όσον αφορά στην κατανομή του φωτισμού. Για την παράμετρο αυτή(ομοιομορφία κατανομής) την καλύτερη συμπεριφορά επέδειξαν σχεδόν ισόβαθμα οι προσανατολισμοί Ανατολικός, Δυτικός και Νοτιοδυτικός, τόσο για τις κλίνες, όσο και για τη συνολική επιφάνεια ενδιαφέροντος(ΕΕ). Παρά τη διαπίστωση αυτή όμως η επιλογή του Ν και ΝΑ προσανατολισμού εξακολουθεί να θεωρείται καταλληλότερη και συμπληρώνεται απλά από τη σύσταση για περαιτέρω ανάλυση ως προς τα πιθανά προβλήματα και τη λήψη μέτρων προστασίας και αντιμετώπισης.

Οι κατατάξεις που αφορούσαν στην επιλογή του βέλτιστου ανοίγματος για κάθε μία από τις τέσσερις ημερομηνίες ελέγχου οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι ως προς τη διαθέσιμη ποσότητα φωτισμού, το μεγαλύτερο άνοιγμα(Παράθυρο 1) αποδεικνύεται (όπως άλλωστε αναμενόταν) η καλύτερη επιλογή , τόσο για τις κλίνες, όσο και για τη συνολική επιφάνεια ενδιαφέροντος (ΕΕ).Αξίζει να σημειωθεί ότι η μόνη διαφοροποίηση ως προς την προαναφερθείσα παρατήρηση εντοπίστηκε στις 21 Μαρτίου και αφορούσε μόνο στην κλίνη 1 (στο βάθος του δωματίου) όπου ως καλύτερο άνοιγμα βρέθηκε το παράθυρο2.

Από την παρατήρηση των ταξινομήσεων των ανοιγμάτων ως προς την πραγματοποιούμενη ομοιομορφία στην κατανομή σε καθεμία από τις ημερομηνίες ελέγχου, το παράθυρο 1, όσον αφορά στις κλίνες κρίνεται τελικά ως η καλύτερη επιλογή. Καθώς όμως το παράθυρο 1 δεν αποτελεί τη βέλτιστη λύση και για το επίπεδο ενδιαφέροντος ΕΕ(συνολική επιφάνεια

δωματίου) και δεδομένου ότι μια διαφορετική τοποθέτηση των κλινών είναι πιθανή δεν προτείνεται τελικά ως το ιδανικότερο. Αντ' αυτού προτείνεται το παράθυρο 3 το οποίο επιτυγχάνει τη βέλτιστη συμπεριφορά ως προς την ομοιομορφία για την ΕΕ και τη δεύτερη κατά σειρά επιλογή ως προς τη διαθέσιμη ποσότητα φωτισμού.

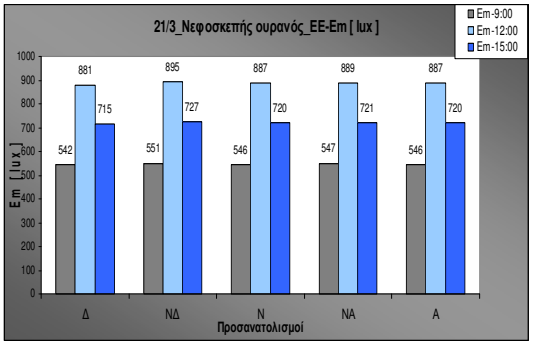
4.7 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΝΕΦΟΣΚΕΠΗ ΟΥΡΑΝΟ

Όπως εξηγήθηκε και στην παράγραφο ***ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ _ Προσομοίωση των συνθηκών του ελληνικού ουρανού*** ο ελληνικός ουρανός δε χαρακτηρίζεται ως νεφοσκεπής και ως εκ τούτου οι προσομοιώσεις με νεφοσκεπή ουρανό έγιναν για λόγους συμβατότητας με λοιπές ευρωπαϊκές χώρες, καθώς οι νεφοσκεπείς συνθήκες αποτελούν μέτρο σύγκρισης για τις χώρες αυτές.

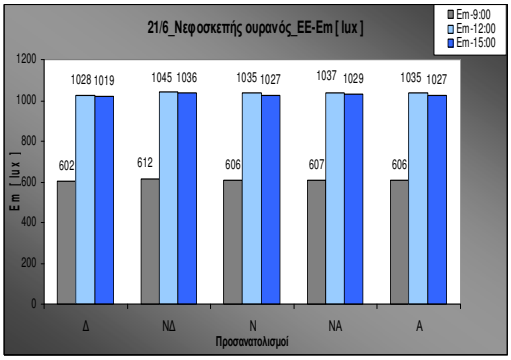
Η διαδικασία επομένως που ακολουθήθηκε στην παράθεση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κρίθηκε σκόπιμο να έχει μικρότερο όγκο και να φέρει μικρότερη βαρύτητα στη διεξαγωγή συμπερασμάτων από την αντίστοιχη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για συνθήκες καθαρού ουρανού.

Στο πλαίσιο των παραπάνω, παρότι στην πραγματικότητα πραγματοποιήθηκε η κατασκευή των γραφημάτων στηλών τόσο για το σύνολο της επιφάνειας ενδιαφέροντος (ΕΕ) όσο και για καθεμία από τις επιφάνειες υπολογισμού (ΕΥ1 έως ΕΥ4) για τις 4 ημερομηνίες ελέγχου, επιλέγηκε να παρουσιαστούν μόνο τα γραφήματα για το σύνολο της επιφάνειας(ΕΕ), που δίνουν άλλωστε μια σφαιρική εικόνα για το χώρο. Επιπλέον, για τις νεφοσκεπείς συνθήκες δεν παρουσιάζονται ούτε οι εικόνες κατανομής φωτισμού, ούτε οι φωτορεαλιστικές εικόνες που προέκυψαν μέσω του DIALux. Ωστόσο, για να είναι δυνατή η εποπτική θεώρηση των αποτελεσμάτων και η διεξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων κατασκευάστηκαν για κάθε ένα από τα ανοίγματα και για καθεμία από τις τέσσερις ημερομηνίες πίνακες που οπτικοποιούν τις διαφοροποιήσεις στην κάλυψη των απαιτήσεων. Όπως και στους πίνακες για καθαρό ουρανό, έτσι και στους εν λόγω πίνακες με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι προσανατολισμοί που ικανοποιούν τις απαιτήσεις και με κόκκινο οι προσανατολισμοί που απέτυχαν εντελώς στην ικανοποίηση των απαιτήσεων. Σημειώνεται, τέλος ότι ως απαιτήσεις φυσικού φωτισμού λήφθηκαν οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και για τον καθαρό ουρανό(πίνακας 4.11)

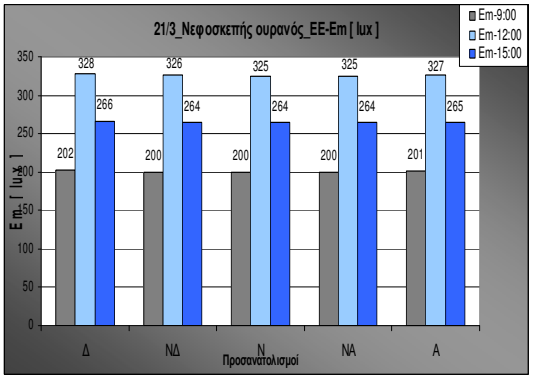
Παράθυρο1



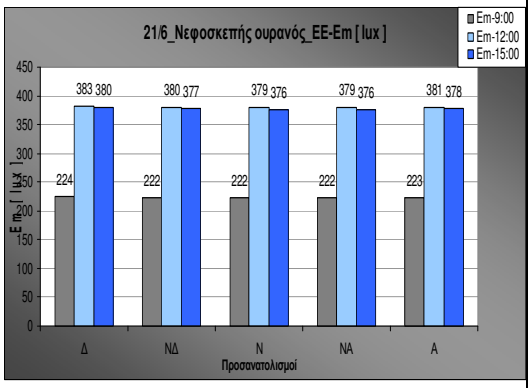
Παράθυρο1



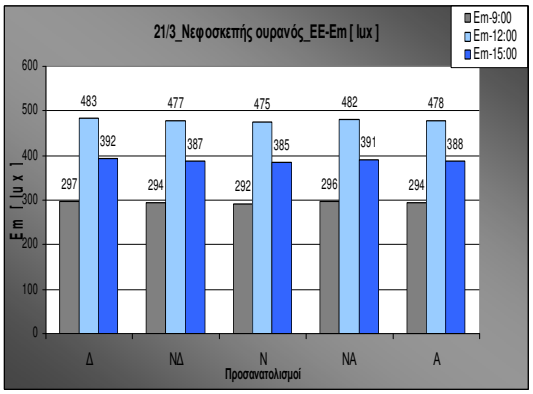
Παράθυρο2



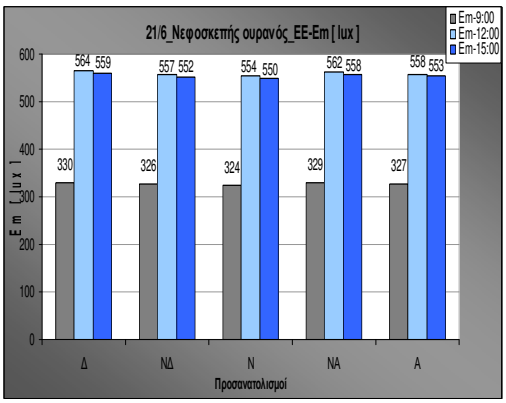
Παράθυρο 2



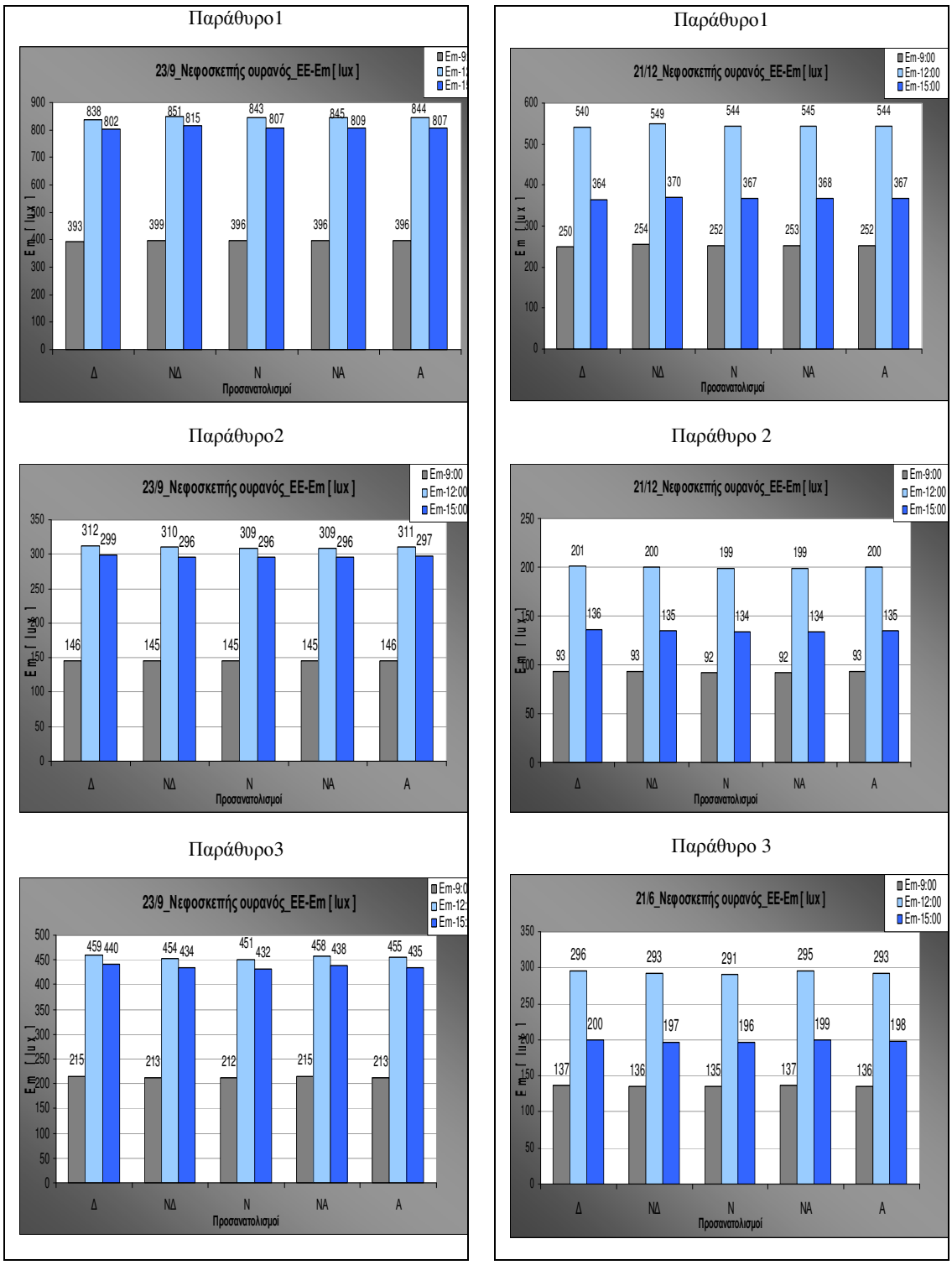
Παράθυρο3



Παράθυρο 3



Γραφήματα στηλών(Excel) που απεικονίζουν τη μέση ένταση φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος(ΕΕ) για τις τρεις ώρες προσομοιώσεων, για καθένα από τα τρία εξεταζόμενα παράθυρα και για τις ημερομηνίες 21/3 και 21/6.



Γραφήματα στηλών(Excel) που απεικονίζουν τη μέση ένταση φωτισμού στο επίπεδο ενδιαφέροντος(ΕΕ) για τις τρεις ώρες προσομοιώσεων, για καθένα από τα τρία εξεταζόμενα παράθυρα και για τις ημερομηνίες 23/9 και 21/12.

Από την παρατήρηση των παραπάνω γραφημάτων διαπιστώνεται ότι για όλες τις ημερομηνίες το παράθυρο 1 επιτυγχάνει τις μέγιστες τιμές Em στο ΝΔ και ΝΑ προσανατολισμό, το παράθυρο 2 στο Δ και Α προσανατολισμό και το παράθυρο 3 στο Δ και ΝΑ προσανατολισμό.

Ο ΝΑ προσανατολισμός επομένως, που σε συνθήκες καθαρού ουρανού (αίθριες)αποδείχτηκε ότι βρίσκεται ανάμεσα στις δύο καλύτερες επιλογές(αν όχι η καλύτερη) φαίνεται ότι και για τις νεφοσκεπείς συνθήκες αποτελεί καλή επιλογή για το σύνολο των παραθύρων. Η μη καλή κατάταξη του εν λόγω προσανατολισμού για το παράθυρο 2 δε διαφοροποιεί την εκτίμηση αυτή καθώς όπως φαίνεται από τα διαγράμματα , οι μεταβολές μεταξύ των τιμών Em από προσανατολισμό σε προσανατολισμό είναι μικρές(της τάξης των 1-5 lux).

Ως προς την κατάταξη των παραθύρων δεν υπάρχει καμία ένδειξη που να ανατρέπει την αναμενόμενη και ήδη διαπιστωμένη για τις αίθριες συνθήκες ακολουθία των ανοιγμάτων , δηλαδή και στην περίπτωση αυτή αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος συνεπάγεται αύξηση της μέσης τιμής φωτισμού στη συνολική επιφάνεια ενός χώρου .

Παράθυρο 1 21 Μαρτίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 2 21 Μαρτίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500cd/m^2															

Παράθυρο 3 21 Μαρτίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 1 21 Ιουνίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 2 21 Ιουνίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 3 21 Ιουνίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 1 23 Σεπτεμβρίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 2 23 Σεπτεμβρίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 3 23 Σεπτεμβρίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 1 21 Δεκεμβρίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 2 21 Δεκεμβρίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Παράθυρο 3 21 Δεκεμβρίου	Δ			ΝΔ			Ν			ΝΑ			Α		
	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.	9:00 π.μ	12:00 μεσ.	3:00 μ.μ.
ΕΕ≥100lux															
ΕΥ1≥300 lux															
ΕΥ2≥300 lux															
ΕΥ3≥300 lux															
ΕΥ4≥300 lux															
σημείο 1≥300 lux															
σημείο 2≥300 lux															
Em δαπέδου≥100 lux															
L≤500 cd/m^2															

Στους πίνακες που προηγήθηκαν παρατηρείται ότι για το σύνολο σχεδόν των ημερομηνιών, κάθε ένα από τα παράθυρα εμφανίζει την ίδια ακριβώς συμπεριφορά καθώς κινούμαστε από προσανατολισμό σε προσανατολισμό. Οι μόνες διαφοροποιήσεις που διαπιστώθηκαν αφορούν στις 23 Σεπτεμβρίου και στις 21 Δεκεμβρίου και συγκεκριμένα στο παράθυρο 3.Στις 23 Σεπτεμβρίου ο Δ, ο ΝΔ και ο ΝΑ προσανατολισμός ικανοποιούν την απαίτηση Em ≥ 300 lux στο σημείο υπολογισμού 2(όρθιος παρατηρητής) και για τις 3:00 μ.μ. και στις 21 Δεκεμβρίου ο Δ προσανατολισμός ικανοποιεί την απαίτηση $Em_{,\ \delta\alpha\pi\acute{\varepsilon}\delta o\upsilon}$ ≥ 100 lux και για τις 3:00 μ.μ..

Σκιαγραφείται επομένως το συμπέρασμα πως για το παράθυρο 3 ο Δυτικός προσανατολισμός έχει ένα μικρό προβάδισμα στην ικανοποίηση των απαιτήσεων, ακολουθούν ο ΝΔ και ΝΑ προσανατολισμός και τέλος ο Ν και ο Α προσανατολισμός, ενώ

για τα παράθυρα 1 και 2 η επιλογή προσανατολισμού δε μοιάζει να επηρεάζει την επίτευξη ή μη των επιθυμητών τιμών φωτισμού.

Η κατάταξη των παραθύρων ως προς την ικανοποίηση των απαιτήσεων των επιπέδων φωτισμού είναι σε φθίνουσα σειρά:

Παράθυρο 1→ παράθυρο 3→ παράθυρο 2, συμβαδίζει δηλαδή και πάλι με τη μείωση του εμβαδού του ανοίγματος.

Στους πίνακες που ακολουθούν αποτυπώνεται η επίτευξη ή μη των στόχων όσον αφορά στην ομοιομορφία της κατανομής του φωτισμού για κάθε ένα από τα τρία παράθυρα και για κάθε ένα από τους πέντε προσανατολισμούς. Καθώς πρόκειται για νεφοσκεπείς συνθήκες, απουσία δηλαδή άμεσου φωτός, ο τρόπος που κατανέμεται το φως στο δωμάτιο είναι σταθερός κατά τη διάρκεια της ημέρας(αλλάζει μόνο η ένταση του φωτός)και κατ' επέκταση οι τιμές των λόγων Emin/Emax είναι ίδιες και για τις τρεις ώρες ελέγχου.

Επιπλέον , αποτυπώνεται και η ικανοποίηση ή μη της απαίτησης όσον αφορά στο μέσο παράγοντα φυσικού φωτισμού[Daylight Factor-DF (%)] για τις ίδιες μεταβλητές(επιφάνειες-προσανατολισμοί). Σημειώνεται ότι ο μέσος Π.Φ.Φ. παραμένει αμετάβλητος και σε ημερήσια και σε εποχική βάση[1] .

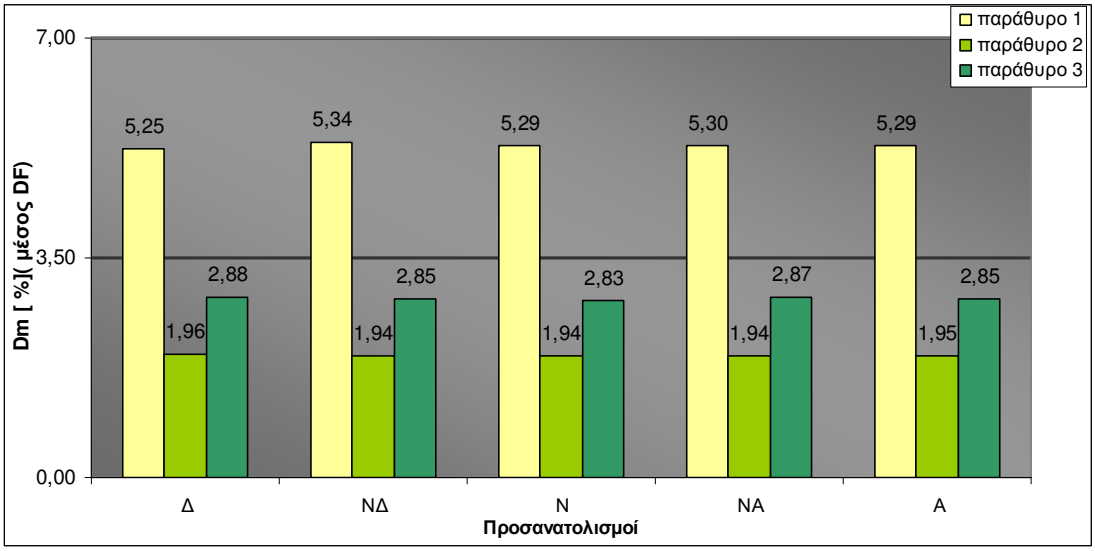
Παράθυρο 1 Emin/Emax≥ 0,1	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
ΕΕ					
ΕΥ1					
ΕΥ2					
ΕΥ3					
ΕΥ4					
DF≥3,5					

Παράθυρο 2 Emin/Emax≥ 0,1	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
ΕΕ					
ΕΥ1					
ΕΥ2					
ΕΥ3					
ΕΥ4					
DF≥3,5					

Παράθυρο 3 Emin/Emax≥ 0,1	Δ	ΝΔ	Ν	ΝΑ	Α
ΕΕ					
ΕΥ1					
ΕΥ2					
ΕΥ3					
ΕΥ4					
DF≥3,5					

Καμία διαφοροποίηση δεν παρατηρείται μεταξύ των πέντε προσανατολισμών τόσο ως προς την ικανοποίηση ή μη των απαιτήσεων ομοιομορφίας, όσο και σε σχέση με το μέσο παράγοντα φυσικού φωτισμού. Ως προς τα παράθυρα τώρα, και τα τρία ανοίγματα εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά σχετικά με την ομοιομορφία, αλλά μόνο το παράθυρο 1 ικανοποιεί την απαίτηση DF≥ 3,5. Η τελευταία αυτή διαπίστωση φαίνεται και στο γράφημα στηλών που ακολουθεί.

[1]*Υπενθυμίζεται ότι ο έλεγχος του Π.Φ.Φ στην τρέχουσα μελέτη γίνεται γιατί πρόκειται για ένα τυπικά διαπιστευμένο μέγεθος, παρόλο που για τα κλιματικά δεδομένα της χώρας μας οι αξιολογήσεις μέσω αυτού δε χρήζουν ιδιαίτερης βαρύτητας.*

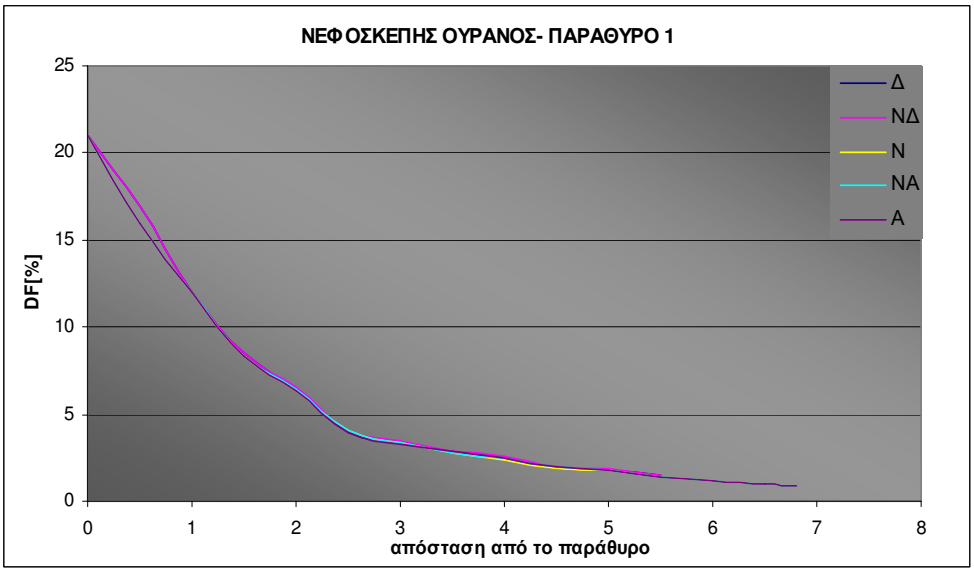


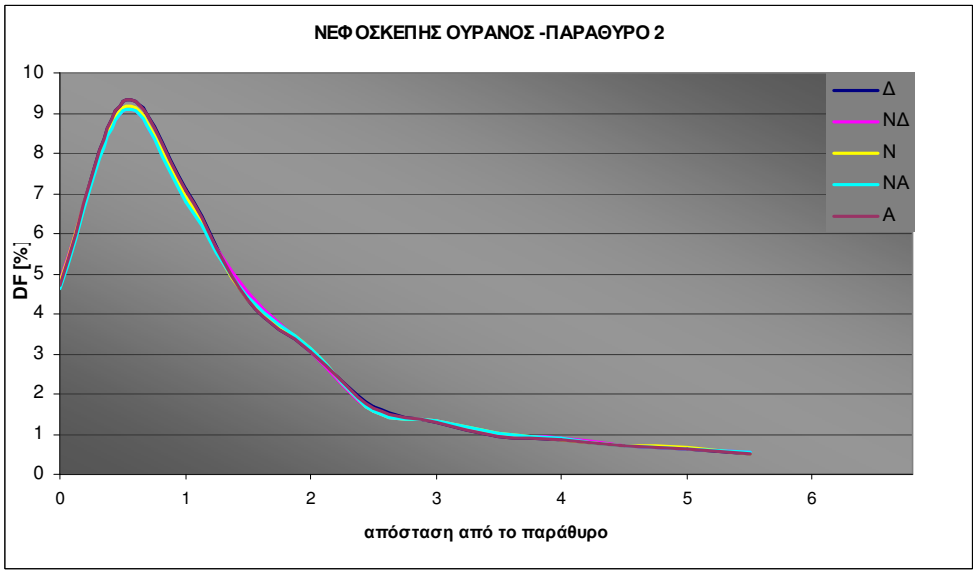
Γράφημα στηλών του μέσου Π.Φ.Φ.[μέσος DF(%)] για τα τρία παράθυρα(κοινός για τις διαφορετικές ημερομηνίες και ώρες προσομοιώσεων)

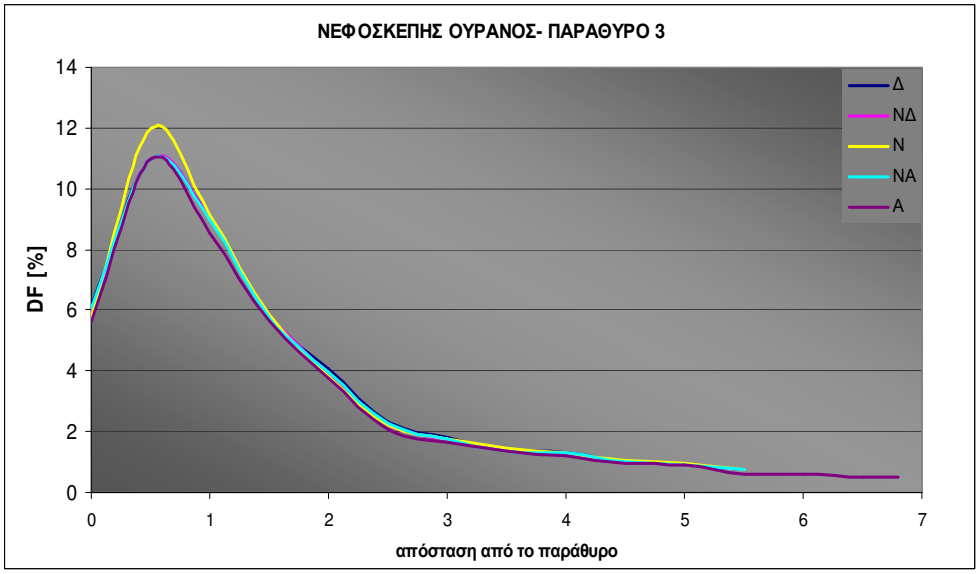
Φυσικά, οι μεγαλύτερες τιμές μέσου DF(%) επιτυγχάνονται από το παράθυρο 1 και ακολουθούν τα παράθυρα 3 και 2, αφού αυτή ήταν η κατάταξη των παραθύρων και για τις τιμές φωτισμού σε νεφοσκεπή ουρανό και δεδομένου ότι ισχύει DF=Em/ Εε, όπου Εε η τιμή της οριζόντιας φωτεινότητας στο ύπαιθρο.

Τα γραφήματα που ακολουθούν δείχνουν για κάθε ένα από τα ανοίγματα τη μεταβολή του παράγοντα φυσικού φωτισμού συναρτήσει της απόστασης από το άνοιγμα, πάνω σε μια γραμμή στο κέντρο περίπου του δωματίου(ακριβής θέση μέτρησης x=1,732 m) και στο ύψος του επιπέδου ενδιαφέροντος(z =0,75 m).

Με παρατήρηση των γραφημάτων αυτών γίνεται έμμεσα εμφανής η διαφοροποίηση στην τιμή του DF μεταξύ της κλίνης που βρίσκεται κοντά στο παράθυρο και εκείνης που βρίσκεται βαθύτερα στο δωμάτιο. Για το παράθυρο 1 η αλλαγή αυτή είναι περίπου της τάξης του 69%, για το παράθυρο 2 της τάξης του 79% και τέλος, για το παράθυρο 3 η αλλαγή αυτή εκτιμάται στο 77% περίπου. Μείωση κατά ένα ποσοστό στον DF μεταξύ των δύο κλινών συνεπάγεται προφανώς(βάσει ορισμού του DF) αντίστοιχη μείωση στα επίπεδα φωτισμού που αυτές λαμβάνουν.



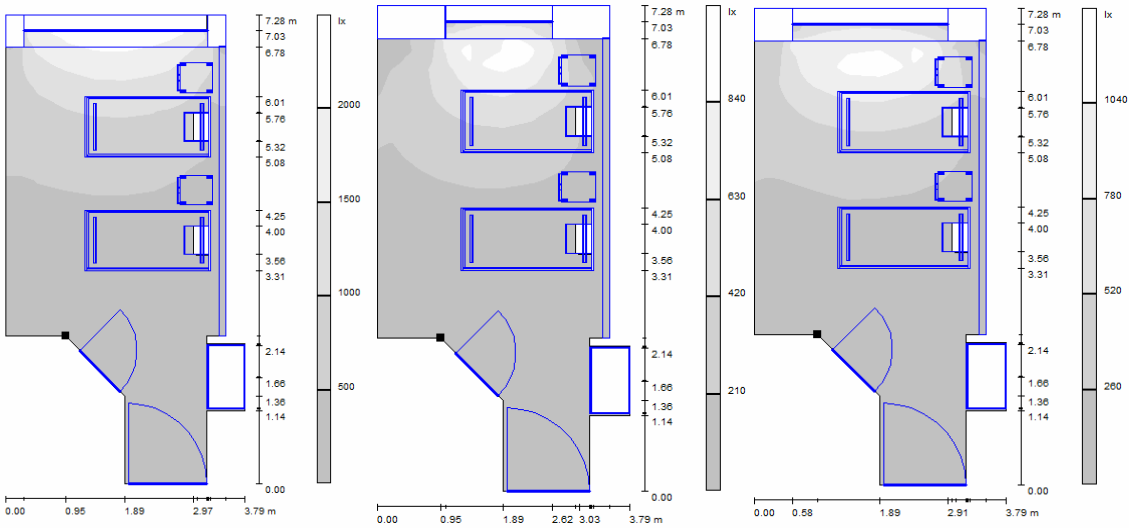




Γραφική απεικόνιση του παράγοντα φυσικού φωτισμού [DF (%)] συναρτήσει της απόστασης από το άνοιγμα

Η επιλογή προσανατολισμού δε φαίνεται να διαδραματίζει κάποιο ρόλο ως προς το μέγεθος και τον τρόπο μεταβολής του Π.Φ.Φ (συναρτήσει της απόστασης από το παράθυρο).

Για τα παράθυρα 2 και 3, ο DF ξεκινά από μια καλή τιμή στη θέση του παραθύρου , αποκτά τη μεγαλύτερη τιμή του σε μια απόσταση μισού περίπου μέτρου από το παράθυρο και όσο κινούμαστε προς το βάθος του δωματίου μειώνεται και μάλιστα με απότομους ρυθμούς, ενώ στο παράθυρο 1 οι υψηλότερες τιμές DF εντοπίζονται ακριβώς στη θέση του ανοίγματος και όσο μεγαλώνει η απόσταση από αυτό μειώνονται συνεχώς και απότομα. Η τελευταία αυτή παρατήρηση γίνεται αισθητή και από τις εικόνες κατανομής του φωτισμού(σε αποχρώσεις του γκρι) όπως αποδόθηκαν από το πρόγραμμα για νεφοσκεπείς συνθήκες.



Παράθυρο 1 Παράθυρο 2 Παράθυρο 3

Εικόνες κατανομής φωτισμού υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού για καθένα από τα τρία ανοίγματα(οι συγκεκριμένες είναι για την 21η Ιουνίου στις 12:00 μεσ.)

4.8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η επιλογή του βέλτιστου ανοίγματος (θέσης/μεγέθους), μεταξύ των τριών που ελέγχθηκαν και του βέλτιστου προσανατολισμού, μεταξύ των πέντε που ελέγχθηκαν, του υπό μελέτη χώρου. Η τελική πρόταση της μελέτης συνοψίζεται στην επιλογή του ανοίγματος 3 (άνοιγμα μεσαίου εμβαδού) και Νότιου έως Νοτιοανατολικού προσανατολισμού. Οι συγκεκριμένες επιλογές στηρίχτηκαν πρώτιστα στα αποτελέσματα και τις αξιολογήσεις των αποτελεσμάτων υπό αίθριες συνθήκες. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν για νεφοσκεπείς συνθήκες φαίνεται να συμφωνούν και πάντως σε καμία περίπτωση δεν αναιρούν τις τελικές επιλογές, δεδομένης και της μειωμένης βαρύτητας που φέρουν για τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στη χώρα μας.

Σημειώνεται, ότι μέσω της έρευνας που πραγματοποιήθηκε οδηγηθήκαμε σε κάποιες κατευθύνσεις για την επιλογή του ανοίγματος και του προσανατολισμού που μεγιστοποιούν την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, κρίνοντας ωστόσο κυρίως βάσει των επιπέδων φυσικού φωτισμού που επιτυγχάνονται σε κάθε περίπτωση. Όπως όμως έχει αναλυθεί εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία αλλά και στην τρέχουσα μελέτη, ο σχεδιασμός του φωτισμού (φυσικού ή/και τεχνητού) ενός χώρου αποτελεί ένα θέμα πολύ πιο σύνθετο από την εξασφάλιση των κατάλληλων ποσοτήτων φωτισμού. Η εξασφάλιση της οπτικής άνεσης και κατ' επέκταση και όλων των συνακόλουθων θετικών επιδράσεων που συνδέονται με αυτή, σχετίζεται και αλληλεπιδρά με πλήθος παραγόντων.

Η κατανομή του φωτισμού μέσα στο χώρο διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο καθώς η ομοιομορφία ή όχι αυτής συνδέεται τόσο με το φαινόμενο της θάμβωσης [4]όσο και με την τελική συμπεριφορά του χρήστη από άποψη ενεργειακής διαχείρισης. Η θάμβωση ωστόσο δύναται να προκληθεί ακόμα και ανεξαρτήτως της κατανομής του φωτισμού, απλά από την ύπαρξη υπερβολικού φωτός (υψηλές τιμές φωτισμού)σε ένα χώρο. Ειδικότερα, όσον αφορά στο φυσικό φωτισμό και δεδομένων των ελληνικών συνθηκών πολύ μεγάλα ανοίγματα προκαλούν το φαινόμενο της θάμβωσης(discomfort, disability glare) τόσο από την έκθεση σε εκτεταμένα τμήματα του ουράνιου θόλου με υψηλές λαμπρότητες, όσο και από την έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία.[6] Αυτό αποτελεί άλλωστε και έναν από τους κύριους λόγους που οδήγησε στην απόρριψη του παραθύρου 1(μέγιστο άνοιγμα) ως βέλτιστη επιλογή. Ωστόσο , υπάρχουν μελετητές που υποστηρίζουν ότι η θάμβωση δυσφορίας από το φυσικό φως εμφανίζεται να είναι ανεκτή σε ένα μεγαλύτερο βαθμό από αυτόν που προβλέπεται με τις διαθέσιμες μεθόδους αξιολόγησης, εάν υπάρχει μια ευχάριστη θέα από το παράθυρο που προκαλεί τη θάμβωση [Chauvel et al. , 1982 και Osterhaus, 2001].[4] Λαμβάνοντας πάντα

υπόψη και την πρόσθετη δυσκολία που επιφέρει η μεταβλητότητα του φυσικού φωτός υποδεικνύεται το μέγεθος της προσοχής που πρέπει να δοθεί κατά το σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού ενός χώρου.

Μέσα στο γενικότερο πλαίσιο του φαινομένου της θάμβωσης σημειώνεται ότι πέραν της πρόσπτωσης του άμεσου φωτός στους οφθαλμούς , την απεικόνισή του στις περιβάλλουσες κατοπτρικές επιφάνειες και τη θέα τμημάτων του ουρανού που εμφανίζουν υψηλές λαμπρότητες, η υψηλή λαμπρότητα των παραθύρων μπορεί επίσης να προκαλέσει θάμβωση. Τέτοιες λαμπρότητες προκαλούνται συνήθως από τις ανακλάσεις του φυσικού φωτός σε εξωτερικές επιφάνειες και εντείνονται ιδιαίτερα από τη συχνά παρατηρούμενη και τις περισσότερες φορές αλόγιστη και αδικαιολόγητη χρήση εκτεταμένων γυάλινων προσόψεων γειτονικών κτιρίων.

Οι εμπειρογνώμονες συμφωνούν ότι δεν υπάρχει αυτήν την περίοδο κανένα κοινώς αποδεκτό σύστημα αξιολόγησης για την ποιότητα του φωτισμού που προβλέπει τα αποτελέσματα του φωτεινού περιβάλλοντος στους χρήστες των κτιρίων[Veitch and Newsham,1995]. Συστάσεις για την αξιολόγηση των επιμέρους ποιοτικών χαρακτηριστικών του φωτισμού (π.χ. θάμβωση δυσφορίας, κατανομή λαμπρότητας κ.λ.π.) δημοσιευμένες σε εγχειρίδια φωτισμού (π.χ. IESNA, 2000), πρότυπα και συνιστώμενες πρακτικές, εξετάζουν κυρίως τους σωματικούς παράγοντες, δηλαδή εκείνους που επηρεάζουν άμεσα τον τρόπο όρασης. Έμμεσα ψυχολογικά αποτελέσματα που δύναται να εμφανιστούν(επιπτώσεις στην αυτοσυγκέντρωση και τη συμπεριφορά του ανθρώπου) αν και αναγνωρίζονται από τους ερευνητές, μελετώνται σε ένα πρώιμο ως τώρα στάδιο ανάπτυξης. [4]

Επιπροσθέτως της εξασφάλισης των ποσοτήτων φωτισμού που είναι απαραίτητες για την τέλεση του οπτικού έργου , το μέγεθος και η θέση των ανοιγμάτων συνδέεται άμεσα και με τα ηλιακά κέρδη. Η επιθυμία για ηλιακά κέρδη αλλά και το επιδιωκόμενο μέγεθός τους ποικίλλει τόσο λόγω των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε χώρα ή ακόμα και στις διαφορετικές κλιματικές ζώνες της ίδιας χώρας όσο και λόγο της μεταβολής των συνθηκών αυτών από εποχή σε εποχή.

Σε μια χώρα, όπως η Ελλάδα, με πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και ήπιους, σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη χειμώνες, κρίνεται σημαντικότερη η προστασία από τα υπερβολικά ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι από ότι μια μικρή μείωσή τους το χειμώνα που είναι πιθανόν να προκύψει από τη χρήση συστημάτων σκίασης.[4]

Ο τρόπος σκίασης και προστασίας από τη θάμβωση και τα ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε κατασκευή πρέπει επίσης να επιλεγεί μέσα από ένα ευρύ

φάσμα που περιλαμβάνει απλά και σύνθετα συστήματα σκίασης ,χρήση ειδικών σύγχρονων τύπων υαλοπινάκων, διαμόρφωση των παραστάδων ή του ανωφλιού ή και της ποδιάς των παραθύρων και τέλος ακόμα και την εκμετάλλευση υπόλοιπων τμημάτων(τοιχοποιία, πρόβολοι) του όγκου κατασκευής του ίδιου του κτιρίου. Και για την επιλογή αυτή δεν αρκεί απλά η εκπλήρωση του βασικού κάθε φορά στόχου, δηλαδή μια καλή αναλογία θέρμανσης-φωτός μέσω της αποφυγής της θάμβωσης και της μείωσης των φορτίων που απαιτούνται για ψύξη, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και παράγοντες όπως το κόστος, η επίδρασή τους στη θέαση μέσω των ανοιγμάτων αλλά και η διαμόρφωση που πιθανόν επιφέρουν στην όψη του κτιρίου από αισθητική άποψη.
Οι επιδιώξεις για μια καλή ως προς το μέγεθος θέα μέσω των ανοιγμάτων, επαρκούς αερισμού, ακουστικής μόνωσης, πυροπροστασίας και ιδιωτικότητας είναι μερικές ακόμα από τις παραμέτρους που υπεισέρχονται κατά το σχεδιασμό και την τελική επιλογή ενός ανοίγματος .

Κλείνοντας τη μελέτη, τονίζεται ότι τόσο η συγκεκριμένη όσο και οποιαδήποτε προσέγγιση στο σχεδιασμό φυσικού φωτισμού βασισμένη σε δείκτες αποτελεί ένα τμήμα μόνο της πρόκλησης για ποιοτικό σχεδιασμό φωτισμού. Ο επιτυχής σχεδιασμός φυσικού φωτισμού προϋποθέτει την ικανοποίηση πλήθους αντικειμενικών-πρακτικών αλλά και υποκειμενικών – ψυχολογικών παραγόντων καθιστώντας τον έτσι επιστήμη και τέχνη. Επιπροσθέτως, στα πλαίσια μιας περισσότερο μακροσκοπικής ανάλυσης, η περιοχή ενός βέλτιστου ″ ποιοτικά ″ και ″ ποσοτικά ″ χώρου δεν μπορεί να επιτευχθεί με την επιμεριστική θεώρηση των εμπλεκόμενων παραμέτρων, ακόμα και αν οι αποδομημένες παράμετροι προσεγγιστούν κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Η αλληλοσυσχέτιση των επιστημονικών περιοχών και η συνεργασία των αρμόδιων επαγγελματιών κρίνεται απαραίτητη για την καλύτερη εποπτεία κάθε μελέτης και την υλοποίηση της βέλτιστης κατασκευής και λειτουργίας μιας αρχιτεκτονικής σύνθεσης [2] .

[2] ελεύθερη απόδοση μέρους των κειμένων των πηγών [4] και [6]

4.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4ου ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] http://www.greekarchitects.gr Σύγχρονα προγράμματα μελέτης φωτισμού με υπολογιστή , Κοντορήγας Δ. Θεόδωρος

[2] Σαμακίδης Δημήτρης, Παραμετρική ανάλυση της επιρροής των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων του κτιριακού κελύφους στη διαμόρφωση των ενεργειακών αναγκών για φωτισμό με σύζευξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, Διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Α.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

[3] http:// flashlight.gr , RELUX vs DIALUX , Ψυλλιάς Μιλτιάδης

[4] Δράκου Κατερίνα, Σχεδιασμός Συστήματος Φυσικού και Τεχνητού Φωτισμού σε Θάλαμο Νοσηλείας Νοσοκομείων, Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Α. Τσαγκρασούλης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2007-2008

[5] Πάνος Ευθ. Νικόλαος, Προσομοίωση Συνθηκών Φωτισμού σε Σήραγγες με το Λογισμικό Radiance, Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων :Τοπαλής Β. Φραγκίσκος, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα, Οκτώβριος 2007, σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών , Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

[6]Δρ. Φατσέας Γ., Φυσικός-Τεχνητός φωτισμός εκθεσιακών χώρων-μουσείων

[7]http://www.ktizontastomellon.gr/bibliothiki/Fotismos/Thambosh_deikths_ugr.php

[8]Τσαγκρασούλης Άρης, *Φωτισμός*: Η σύνδεση σχεδιασμού - εξοικονόμησης ενέργειας στα πλαίσια των ενεργειακών κανονισμών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

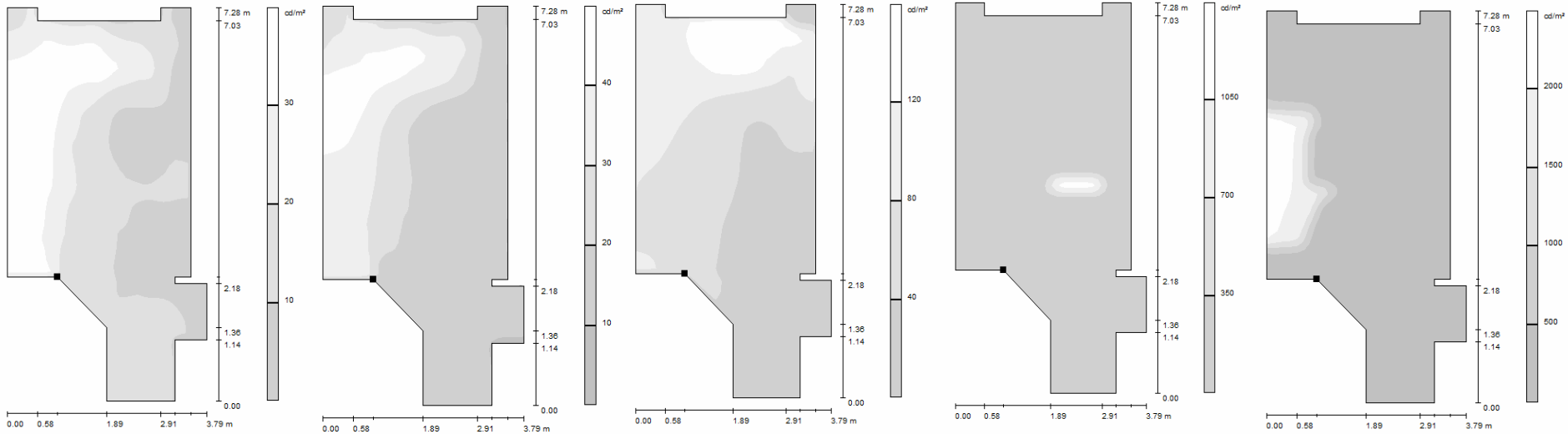
[9] Heide G. Schuster, The Influence of Daylight Design in Office Buildings on the Users Comfort, PLEA2006- The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρατίθονται οι εικόνες κατανομής λαμπρότητας στην επιφάνεια του δαπέδου (συνθήκες καθαρού ουρανού) και οι εικόνες κατανομής του Π.Φ.Φ. (DF) (συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού), όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα DIALux για τις προσομοιώσεις που αφορούν στο παράθυρο 3.

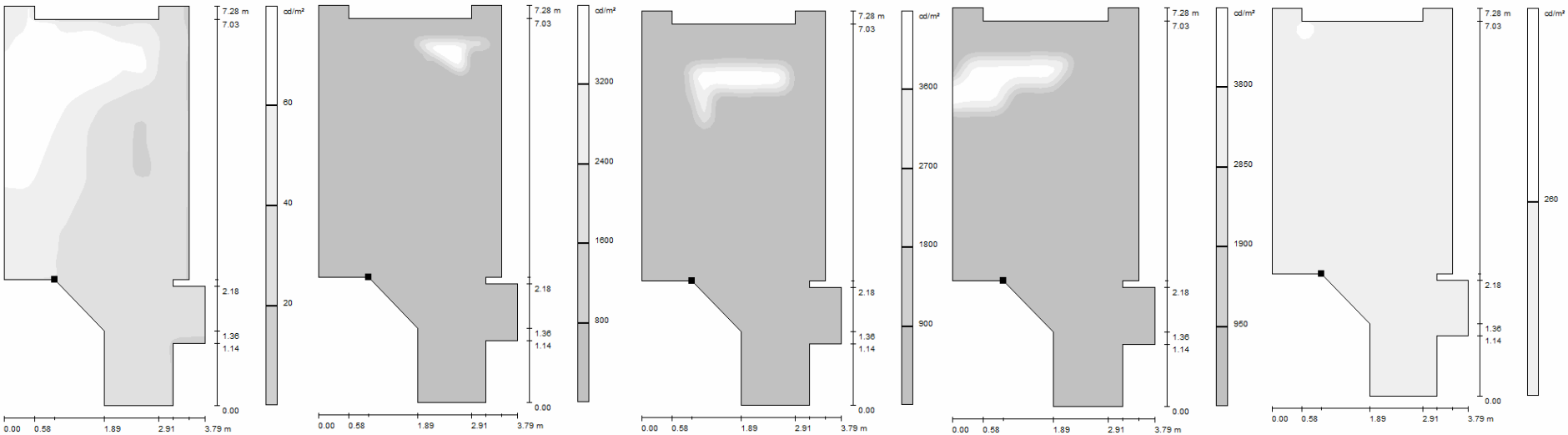
ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ_Παράθυρο 3

Παράθυρο 3 _ 21 Μαρτίου- 9:00 π.μ.- Καθαρός Ουρανός



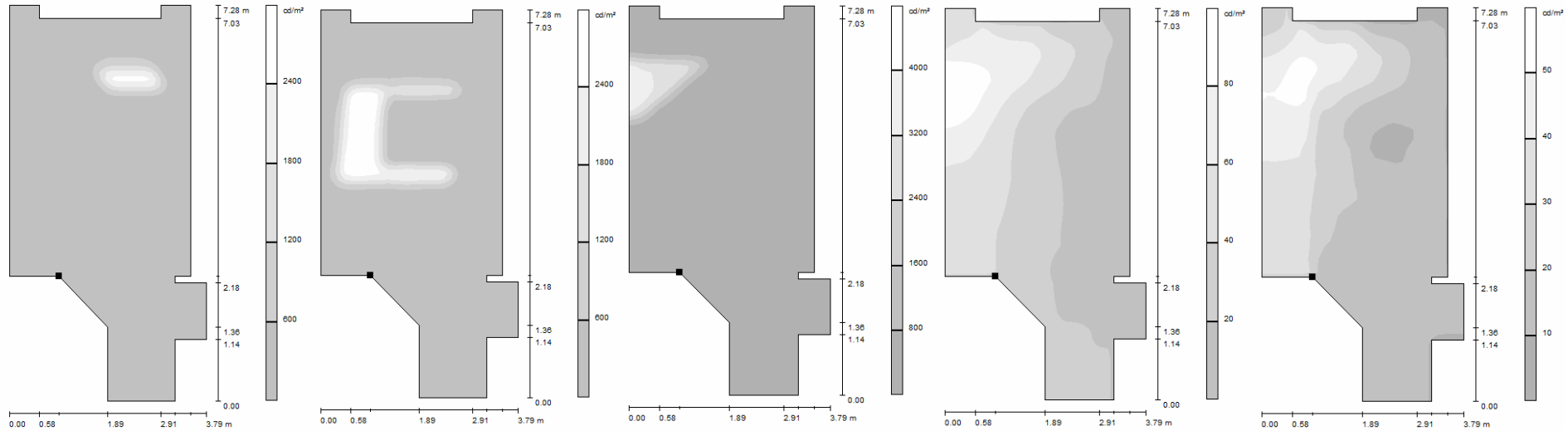
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Μαρτίου- 12:00 μεσ. - Καθαρός Ουρανός



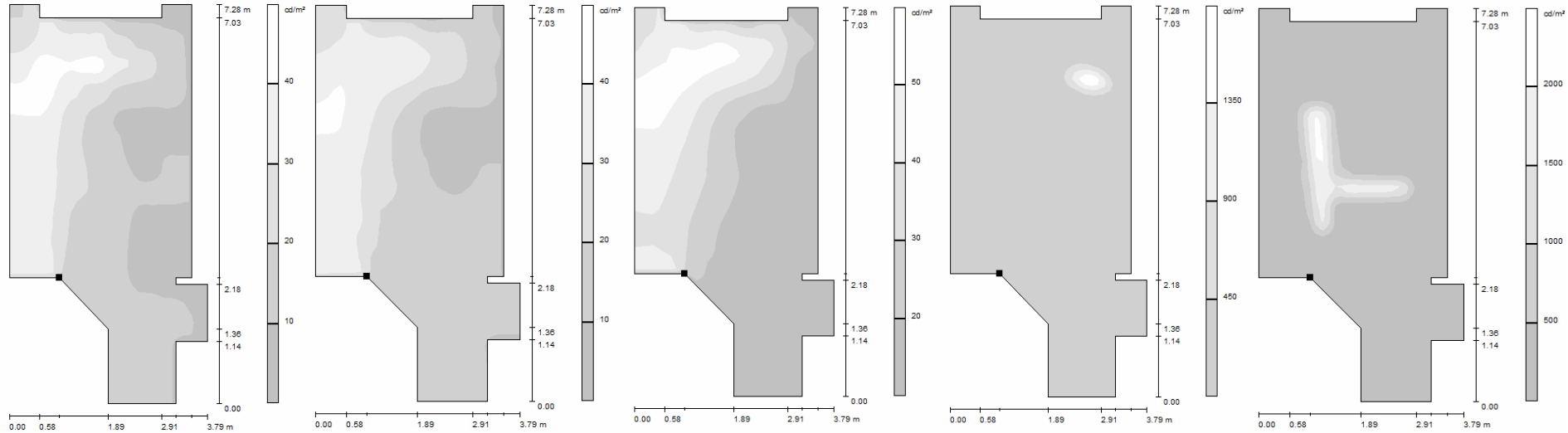
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Μαρτίου- 3:00 μ.μ. - Καθαρός Ουρανός



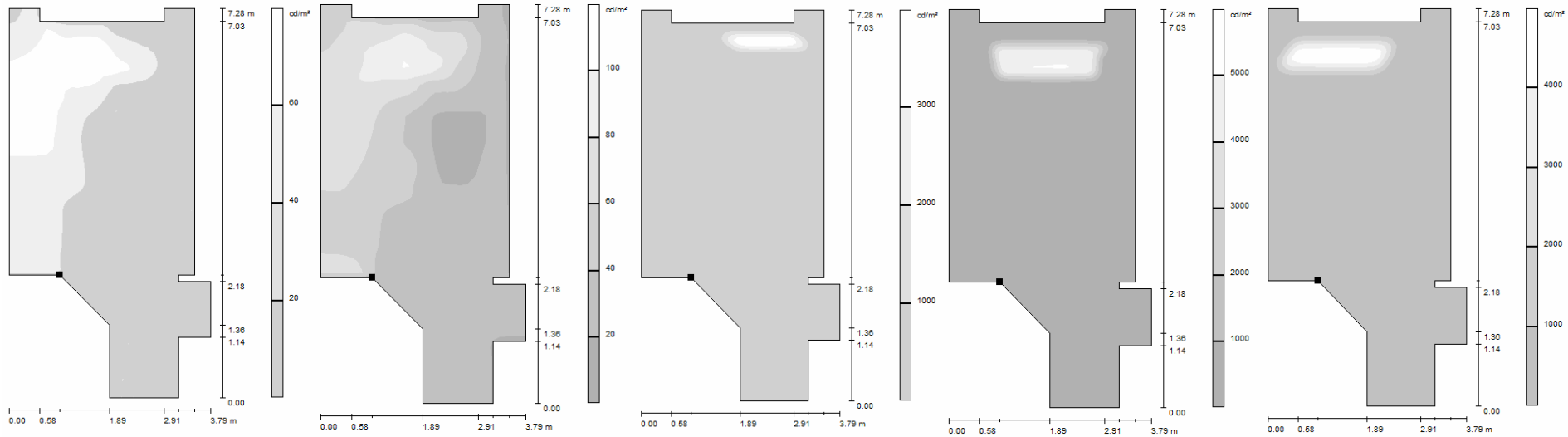
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Ιουνίου- 9:00 π.μ. - Καθαρός Ουρανός



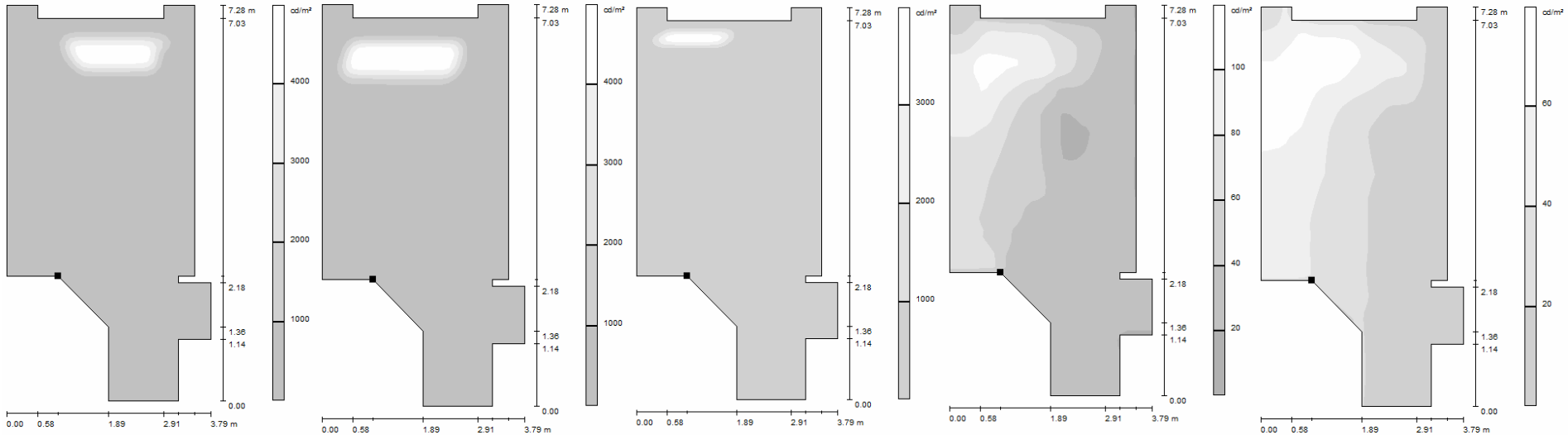
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Ιουνίου- 12:00 μεσ. - Καθαρός Ουρανός



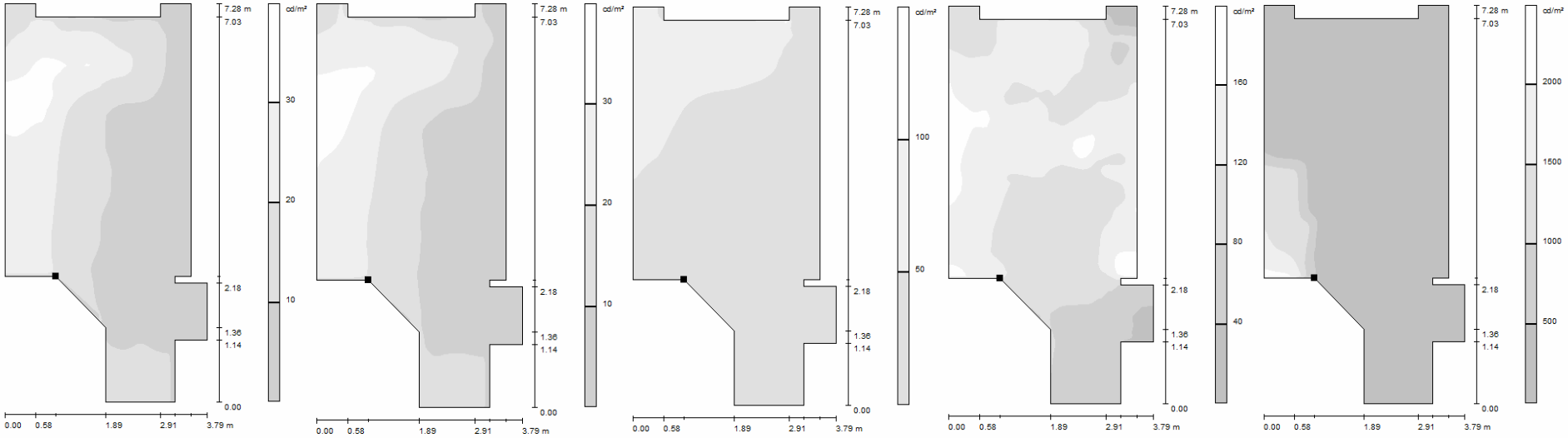
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Ιουνίου- 3:00 μ.μ.- Καθαρός Ουρανός



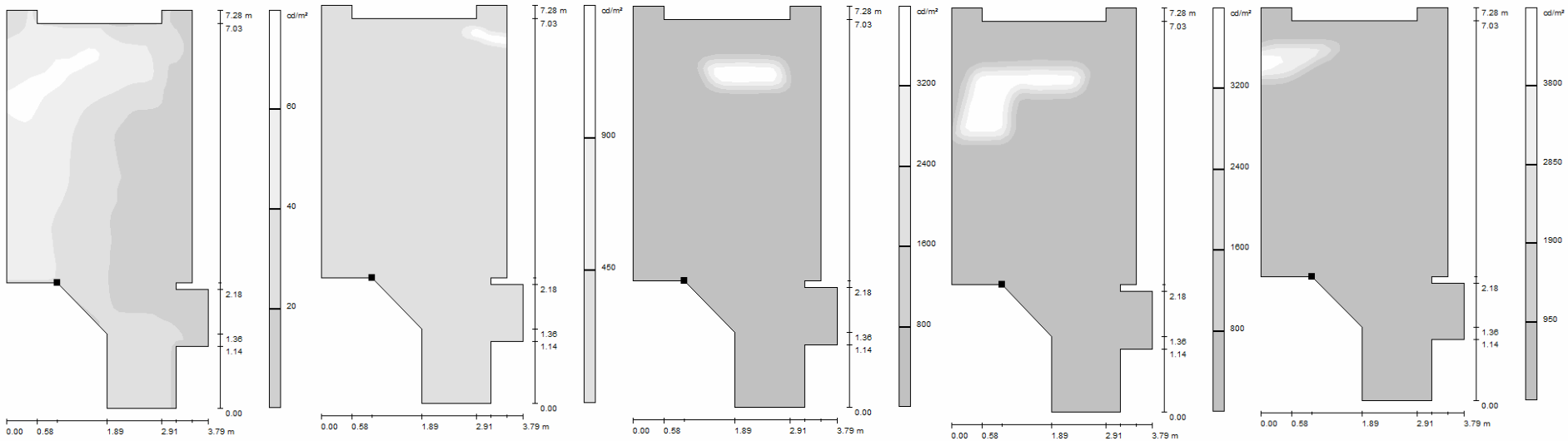
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 23 Σεπτεμβρίου - 9:00 π.μ. - Καθαρός Ουρανός



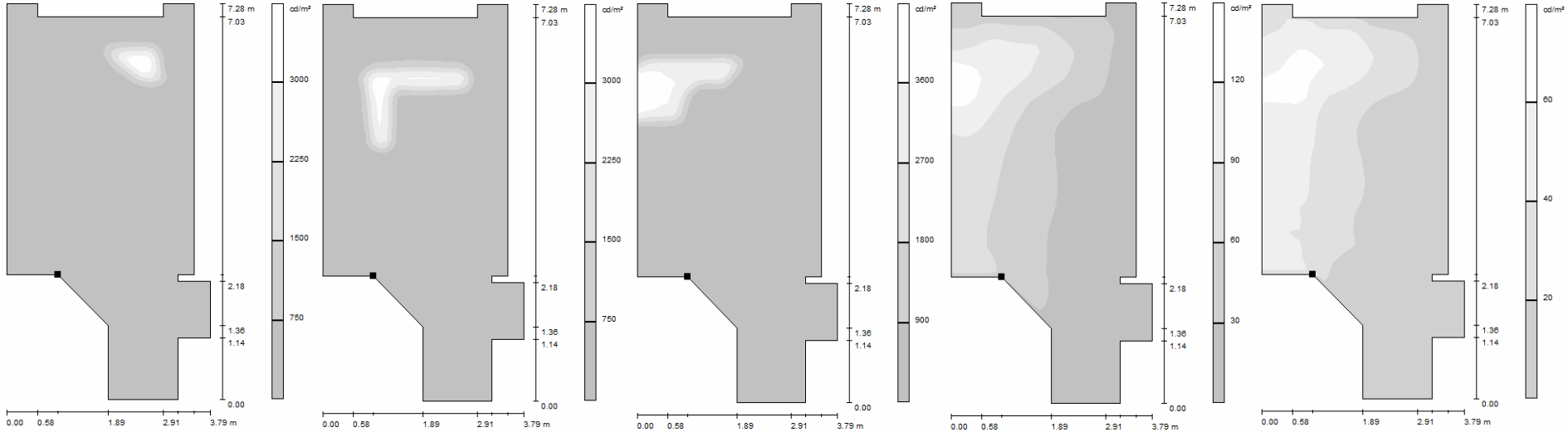
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 23 Σεπτεμβρίου - 12:00 μεσ. - Καθαρός Ουρανός



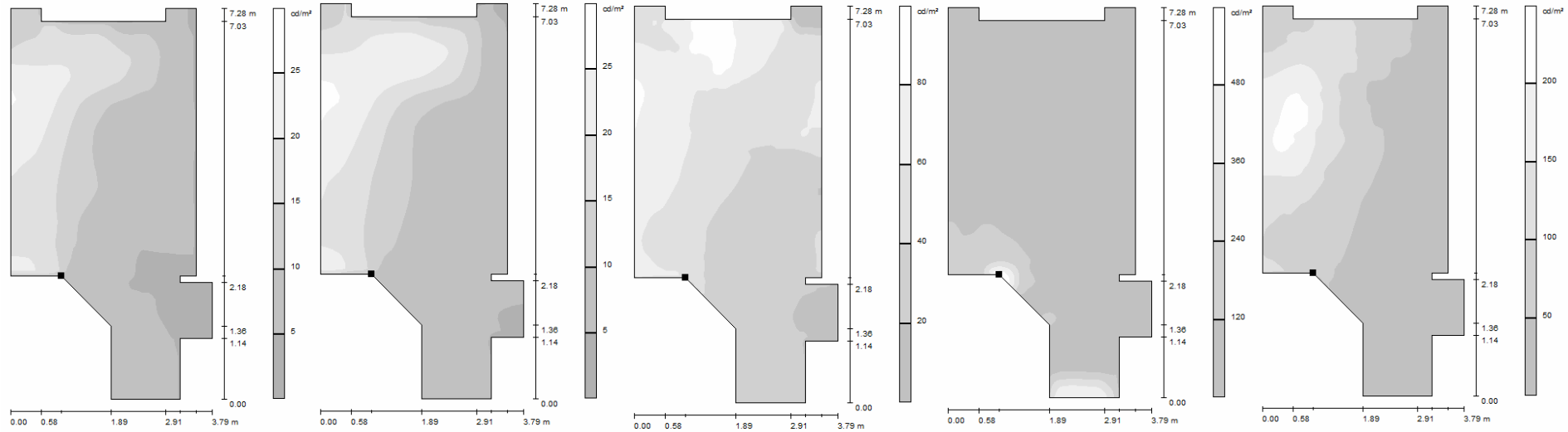
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 23 Σεπτεμβρίου - 3:00 μ.μ. - Καθαρός Ουρανός



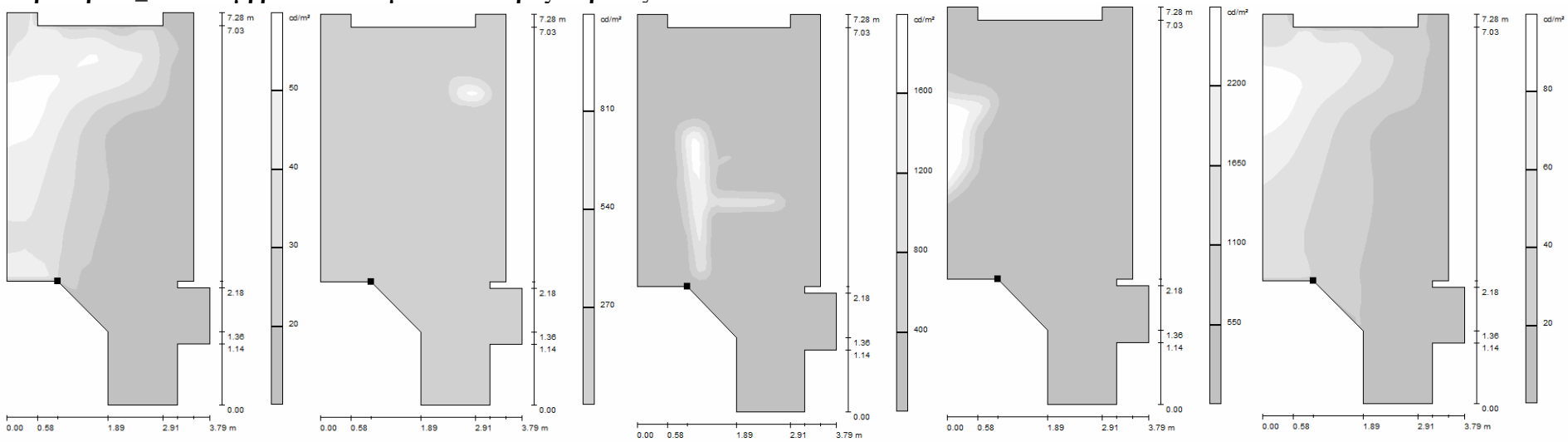
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Δεκεμβρίου - 9:00 π.μ. – Καθαρός Ουρανός



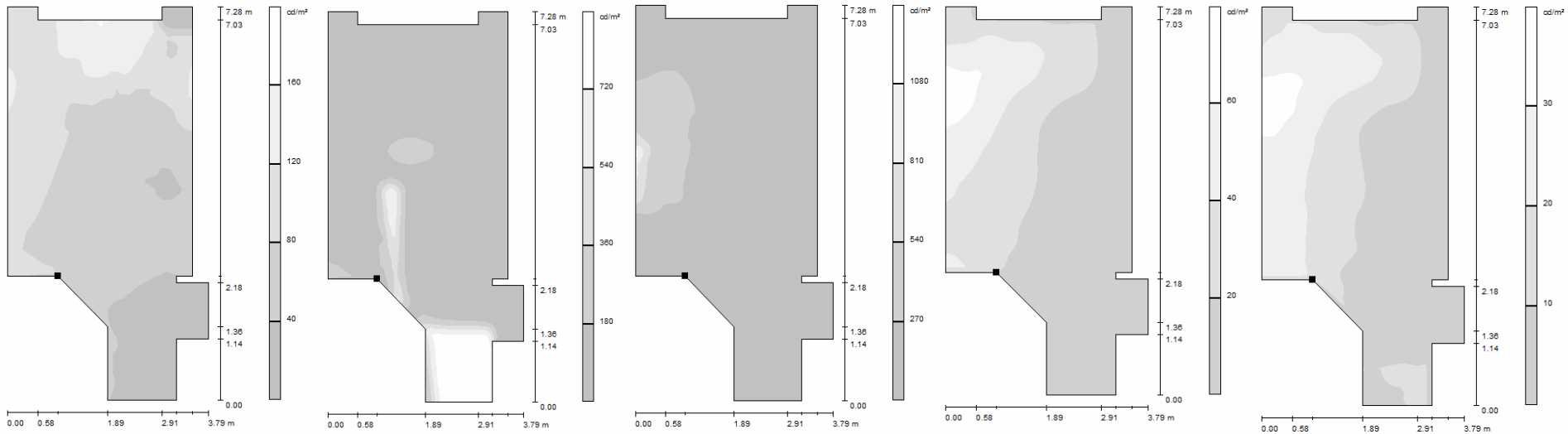
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Δεκεμβρίου - 12:00 μεσ. – Καθαρός Ουρανός



Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

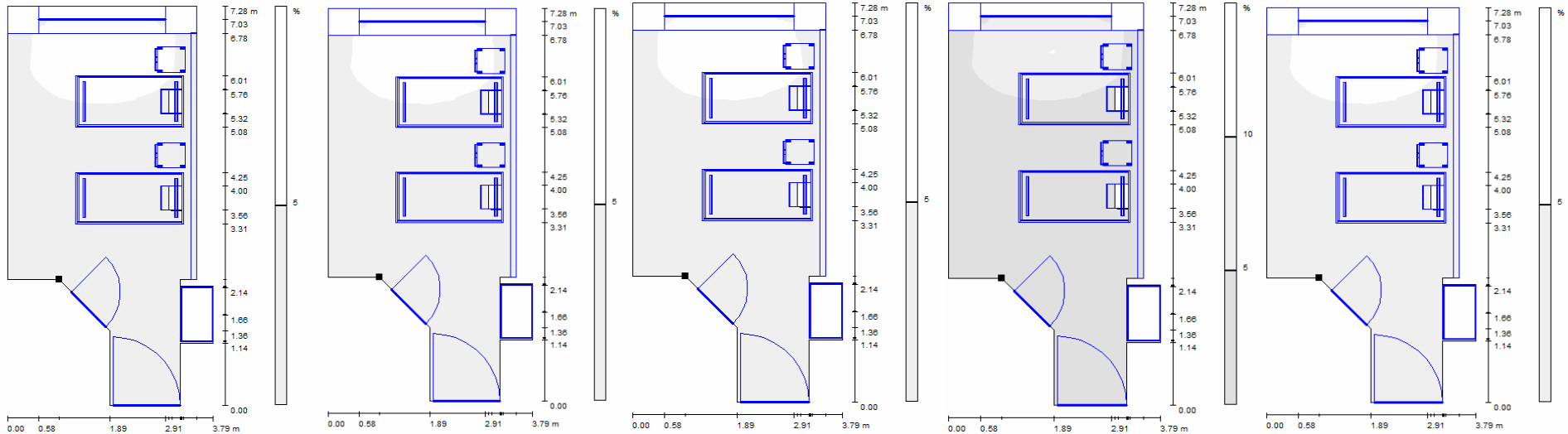
Παράθυρο 3 _ 21 Δεκεμβρίου - 3:00 μ.μ. – Καθαρός Ουρανός



Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

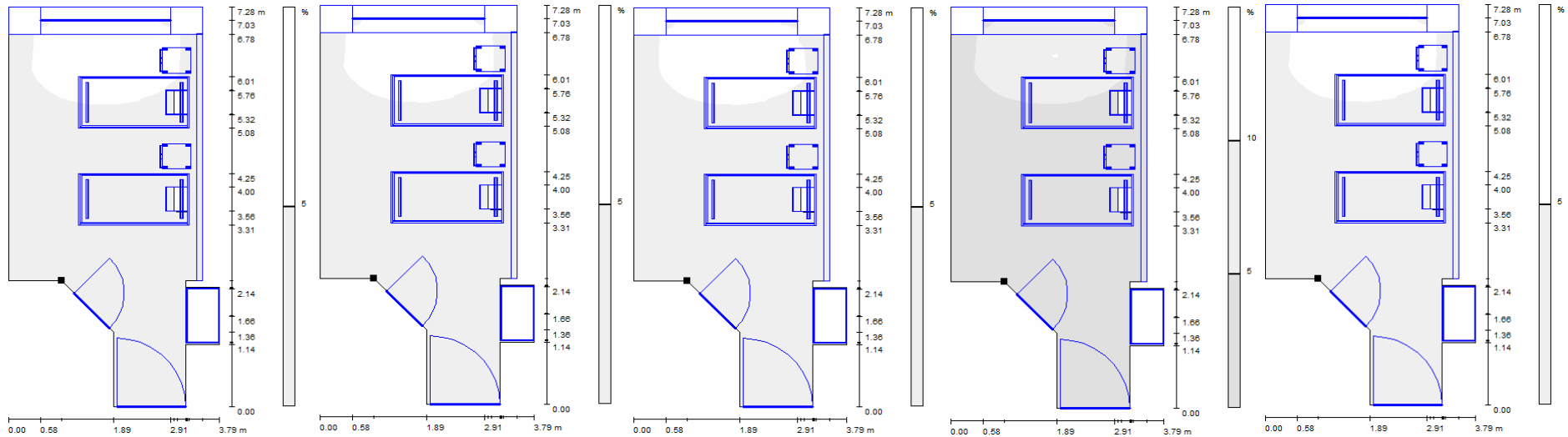
ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ Π.Φ.Φ. (DF)_Παράθυρο 3

Παράθυρο 3 _ 21 Μαρτίου- 9:00 π.μ.- Νεφοσκεπής Ουρανός



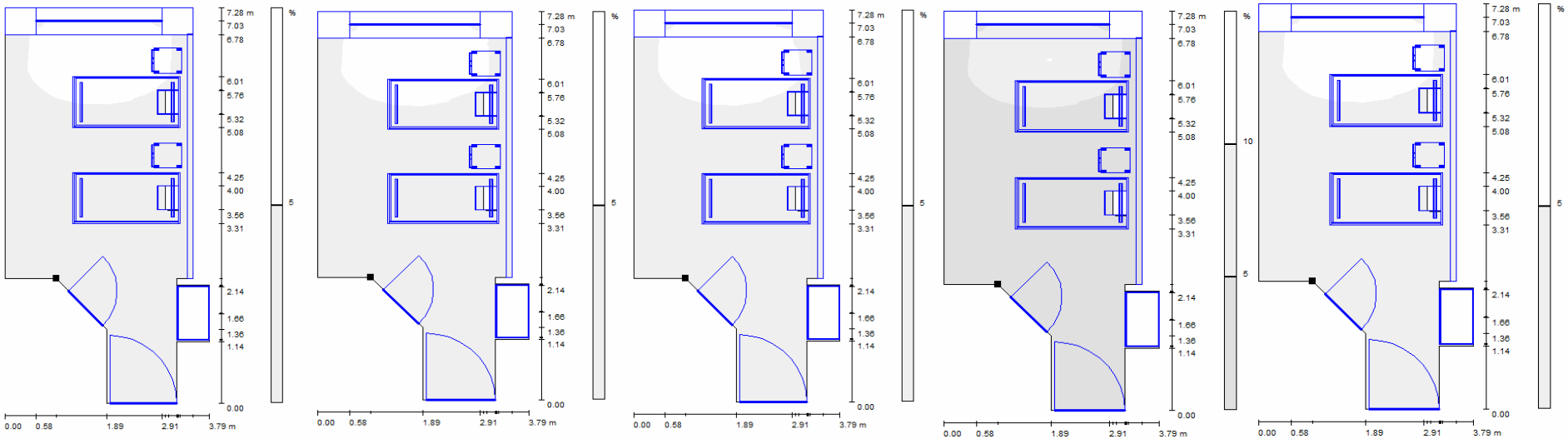
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Μαρτίου- 12:00 μεσ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



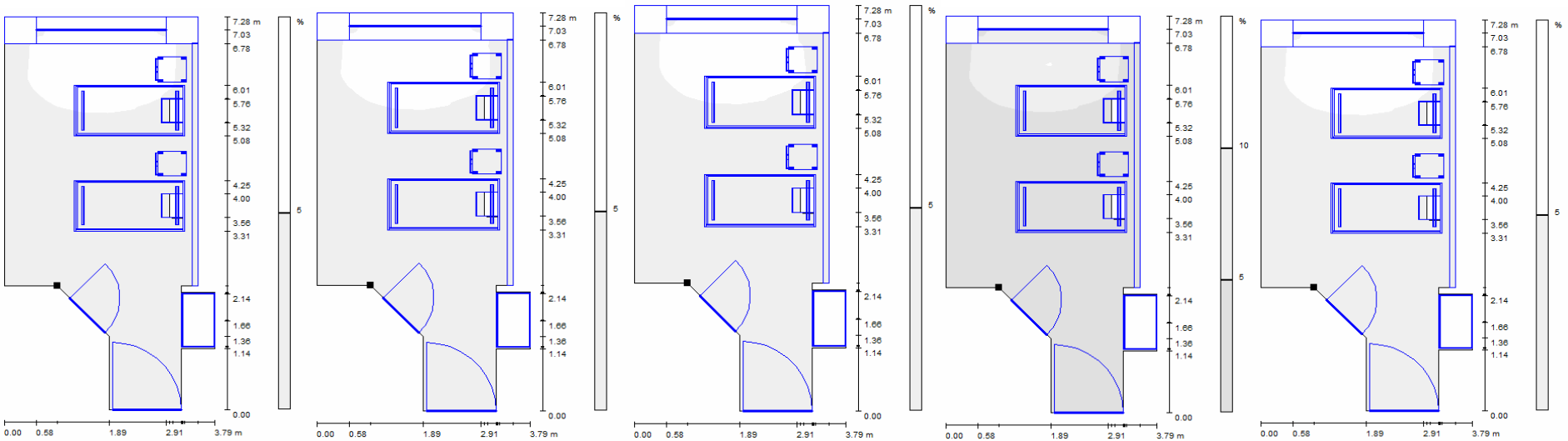
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Μαρτίου- 3:00 μ.μ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



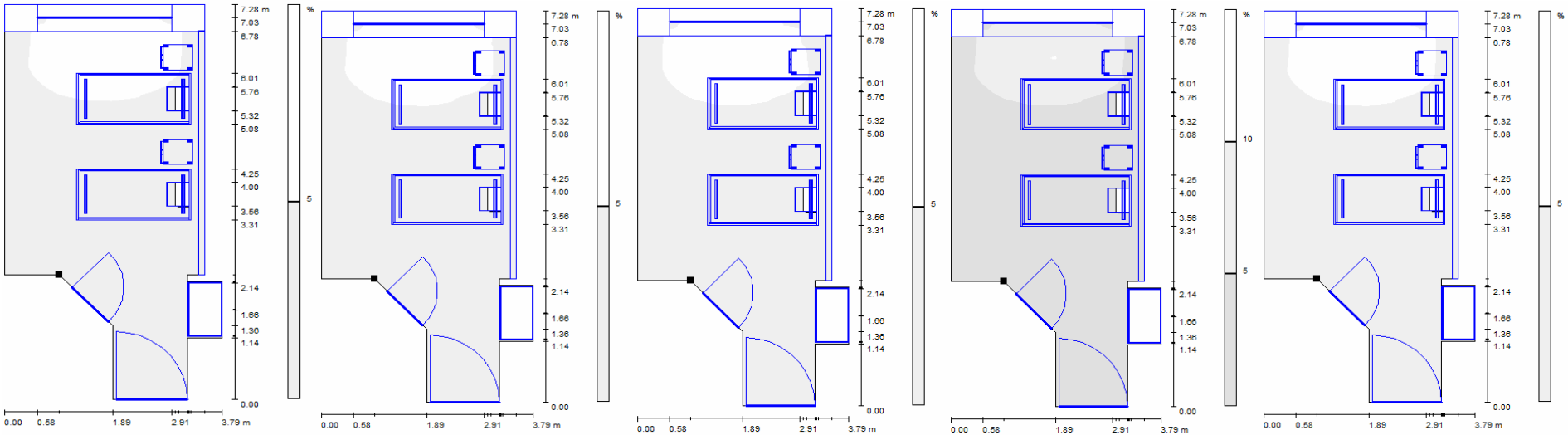
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Ιουνίου- 9:00 π.μ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



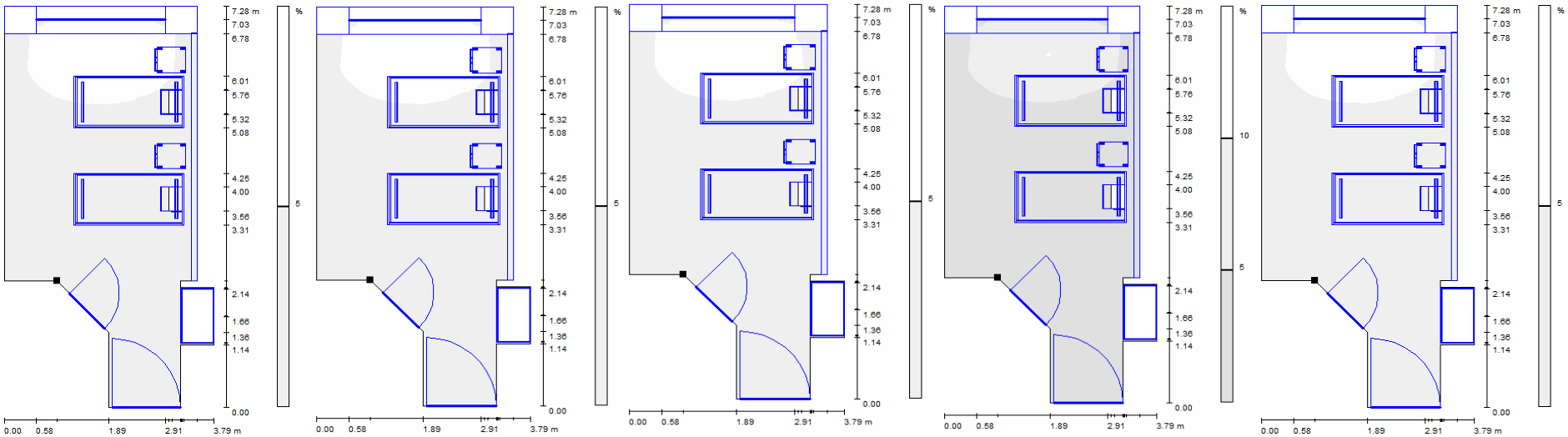
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Ιουνίου- 12:00 μεσ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



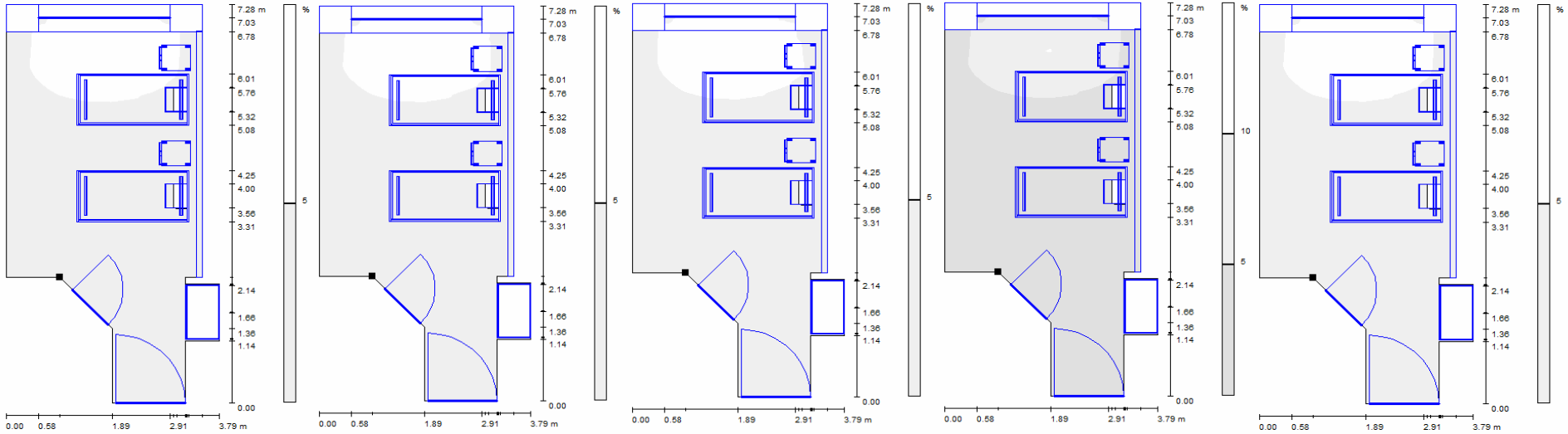
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Ιουνίου- 3:00 μ.μ.- Νεφοσκεπής Ουρανός



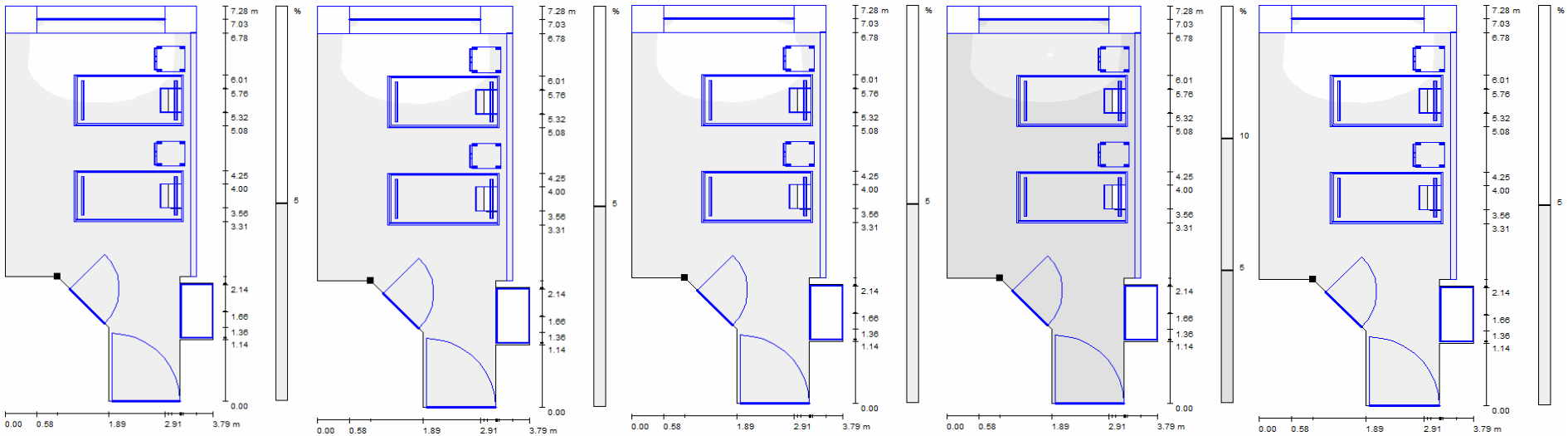
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 23 Σεπτεμβρίου - 9:00 π.μ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



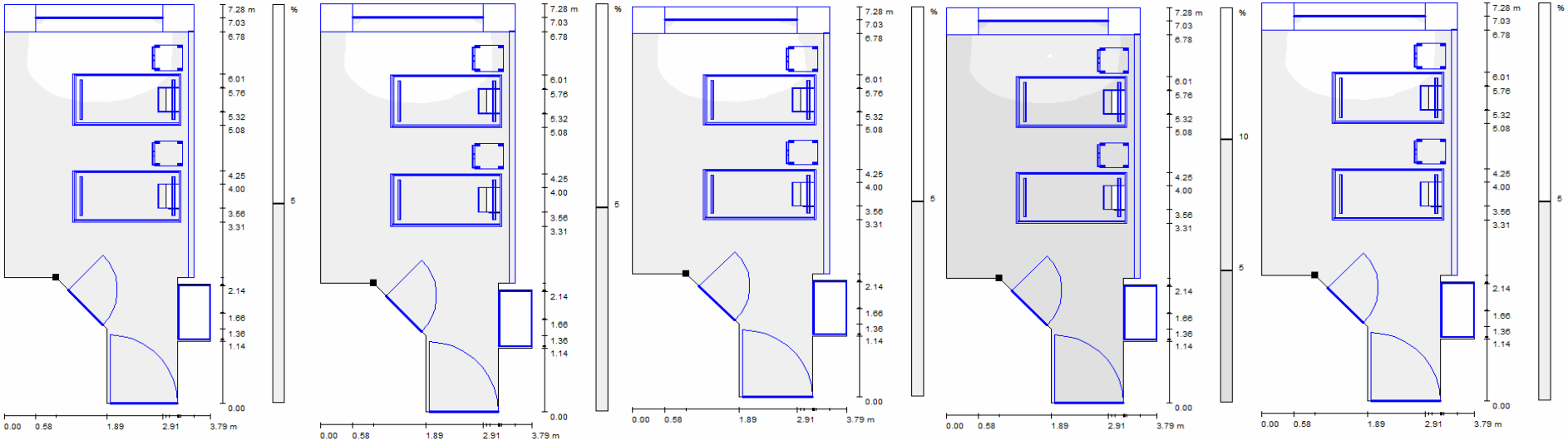
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 23 Σεπτεμβρίου - 12:00 μεσ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



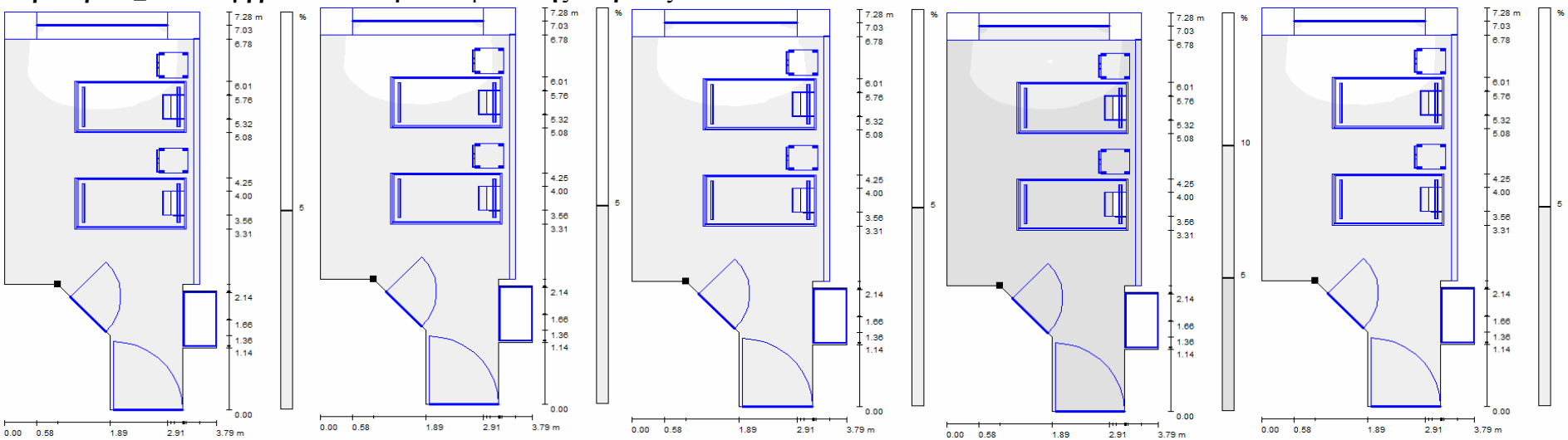
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 23 Σεπτεμβρίου - 3:00 μ.μ. - Νεφοσκεπής Ουρανός



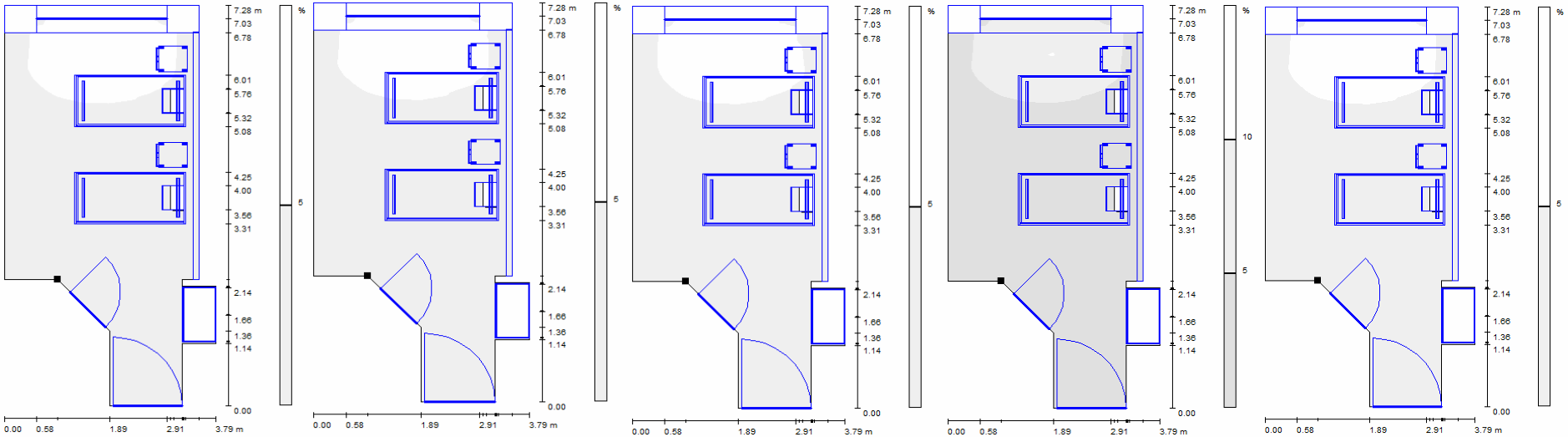
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Δεκεμβρίου - 9:00 π.μ. – Νεφοσκεπής Ουρανός



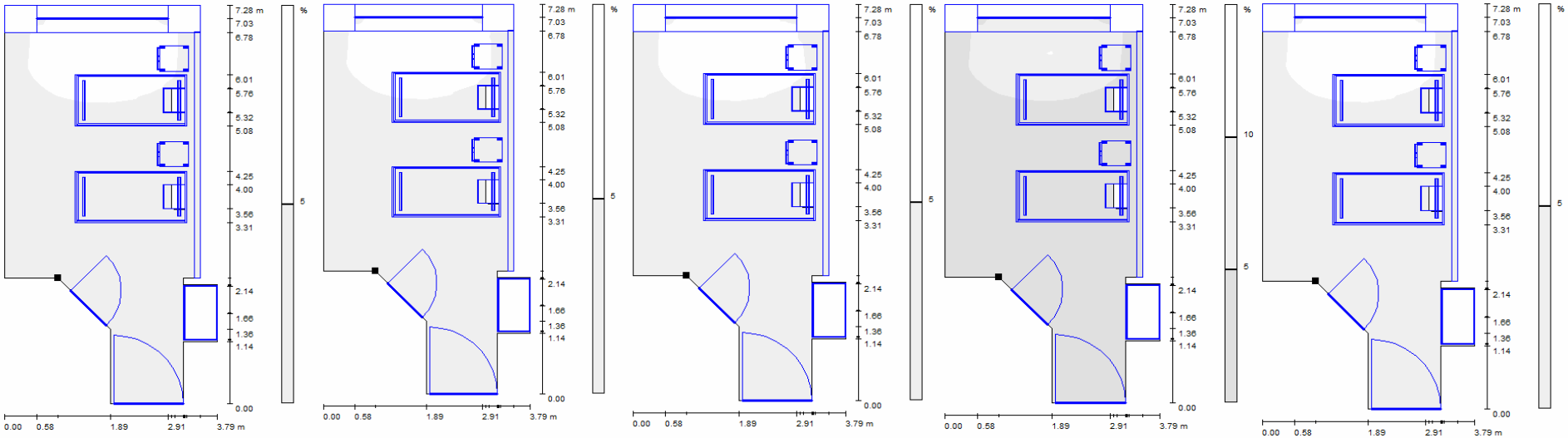
Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Δεκεμβρίου - 12:00 μεσ. – Νεφοσκεπής Ουρανός



Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός

Παράθυρο 3 _ 21 Δεκεμβρίου - 3:00 μ.μ. – Νεφοσκεπής Ουρανός



Δυτικός Νοτιοδυτικός Νότιος Νοτιοανατολικός Ανατολικός