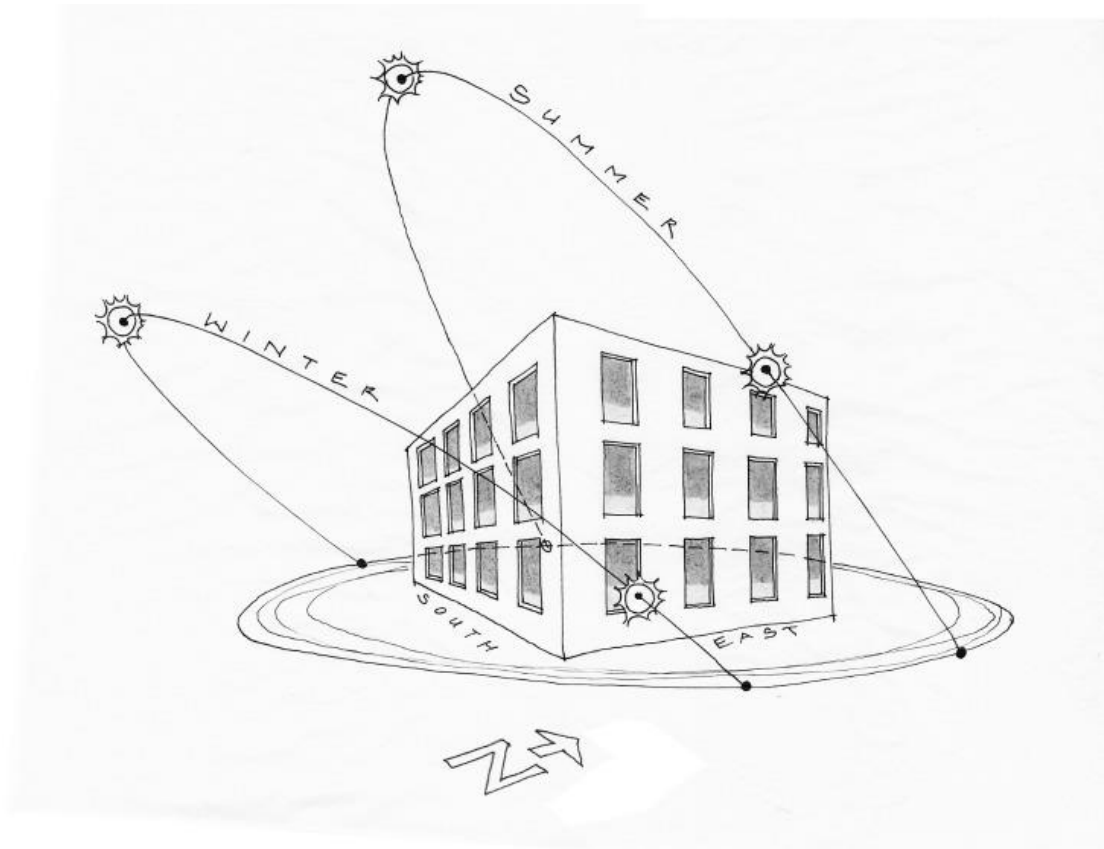




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Αξιολόγηση Παραμέτρων Φυσικού Φωτισμού Θαλάμων Νοσηλείας μέσω Λογισμικού Relux

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Μιχάλης Β. Χατζηγιακουμής

Επιβλέπων : Ιωάννης Τζουβαδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπουσα: Σκλάβου Ευαγγελία, Αρχιτέκτων Μηχανικός Υ.Δ. ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Αξιολόγηση Παραμέτρων Φυσικού Φωτισμού Θαλάμων Νοσηλείας μέσω Λογισμικού Relux

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχάλης Β. Χατζηγιακουμής

Επιβλέπων : Ιωάννης Τζουβαδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Σκλάβου Ευαγγελία, Αρχιτέκτων Μηχανικός Υ.Δ. ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	7
Abstract.....	9
Ευχαριστίες.....	11
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγικά στοιχεία	
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Βασικά Φωτομετρικά Μεγέθη.....	15
1.3 Βιβλιογραφία.....	16
Κεφάλαιο 2 – Δείκτες Φυσικού Φωτισμού	
2.1 Η λογική του σχεδιασμού.....	17
2.2 Εισαγωγή στους Δείκτες φωτισμού.....	18
2.3 Ποσοτικοί Δείκτες Φυσικού Φωτισμού.....	21
2.3.1 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού.....	21
2.3.2 Δείκτης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού.....	29
2.3.3 Δείκτης Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού.....	32
2.3.4 Δείκτης Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού.....	34
2.3.5 Δείκτης Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού.....	37
2.4 Αξιολόγηση Δεικτών Φυσικού Φωτισμού.....	38
2.5 Σύγκριση Ποσοτικών Δεικτών Φυσικού Φωτισμού με ανθρώπινες εκτιμήσεις.....	47
2.6 Ποιοτικοί Δείκτες.....	53
2.6.1 Δείκτες Ομοιομορφίας.....	53
2.6.1.1 Λόγος Ομοιομορφίας.....	53
2.6.1.2 Χωρική Έκφραση Δεικτών Φυσικού Φωτισμού.....	55
2.6.2 Επιρροή Εξωτερικής Θέας.....	58
2.6.3 Δείκτες Θάμβωσης.....	64
2.6.3.1 Θάμβωση – Γενικά Στοιχεία.....	64
2.6.3.2 Βασική Αρχή Υπολογισμού Θάμβωσης.....	67
2.6.3.3 Δείκτης Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού.....	70
2.6.3.4 Νέος Δείκτης Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού.....	71
2.6.3.5 Δείκτης Θάμβωσης κατά CIE.....	73

2.6.3.6	Ενοποιημένο Σύστημα Αξιολόγησης Θάμβωσης (UGR).....	74
2.6.3.7	Πιθανότητα Οπτικής Άνεσης (VCP).....	75
2.6.3.8	Πιθανότητα Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού (DGP).....	76
2.7	Αξιολόγηση Δεικτών Θάμβωσης.....	78
2.8	Βιβλιογραφία.....	79
Κεφάλαιο 3 – Διεθνείς Κανονισμοί		
3.1	Διεθνείς Κανονισμοί και Δείκτες Φυσικού Φωτισμού.....	83
3.2	Σημαντικότεροι Διεθνείς Κανονισμοί.....	84
3.2.1	CIBSE.....	84
3.2.2	IESNA.....	86
3.2.3	LEED.....	87
3.2.4	ASHRAE.....	88
3.2.5	Ευρωπαϊκή Οδηγία.....	90
3.3	Βιβλιογραφία.....	92
Κεφάλαιο 4 – Προσομοίωση σε λογισμικό H/Y		
4.1	Εισαγωγή.....	93
4.2	Προγράμματα Προσομοίωσης Φωτισμού.....	95
4.3	Το Χρησιμοποιούμενο Λογισμικό.....	97
4.4	Τυπική Διαδικασία Προσομοίωσης.....	99
4.5	Αξιοπιστία Αποτελεσμάτων Relux.....	102
4.6	Παράδειγμα βήμα προς βήμα.....	103
4.7	Αποτελέσματα.....	131
4.8	Συμπεράσματα.....	153
4.9	Βιβλιογραφία.....	158
Παράρτημα Αναλυτικών Πινάκων.....		159

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη εποχή η ευαισθητοποίηση των ανθρώπων σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους, είναι αυξημένη. Ένα μεγάλο τμήμα της ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως αφορά στο φωτισμό των χώρων που δημιουργούν οι άνθρωποι για να εξυπηρετούν τις ανάγκες τους. Συνεπώς μία καλύτερη αξιοποίηση του φυσικού φωτός για τον φωτισμό των χώρων αυτών θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας.

Ωστόσο δεν πρέπει, στα πλαίσια της εξοικονόμησης αυτής, να αμελούνται τα βασικά κριτήρια που καθιστούν ένα χώρο ικανοποιητικά φωτισμένο, ανάλογα με τις ανάγκες που καλείται να καλύψει. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την αξιολόγηση της παρουσίας του φυσικού φωτός και της ποιότητας του οπτικού περιβάλλοντος που παρέχεται.

Αρχικά αναλύονται οι δείκτες Φυσικού Φωτισμού που ορίζονται για την αξιολόγηση που αναφέρθηκε. Δίνεται ο ορισμός και ο τρόπος υπολογισμού του κάθε δείκτη. Γίνεται επίσης συγκριτική αξιολόγηση δεικτών που αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο.

Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στους θαλάμους νοσηλείας του Γ.Ν.Α. «ΚΑΤ». Η αξιολόγηση έγινε για κάθε είδος θαλάμου και για κάθε χαρακτηριστικό προσανατολισμό κάθε είδους. Για τη διαδικασία της αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Relux για την διενέργεια προσομοιώσεων και υπολογισμού του φωτισμού καθώς και το λογισμικό Excel για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, τον υπολογισμό των τιμών των δεικτών Φυσικού Φωτισμού και τον έλεγχο επάρκειας.

Συνολικά εξετάστηκαν 12 ήδη διαφορετικών θαλάμων ή προσανατολισμών. Για κάθε ένα από αυτά διενεργήθηκαν προσομοιώσεις για τις 4 χαρακτηριστικές ημερομηνίες ελέγχου (21/3, 21/6, 21/9 και 21/12), δηλαδή ισημερίες και ηλιοστάσια, και για τρεις χαρακτηριστικές, για την παρουσία του φυσικού φωτός, ώρες δηλαδή 9π.μ., 12μ.μ. και 3μ.μ. Αυτές οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο για καθαρό όσο και για νεφοσκεπή ουρανό. Συνολικά διενεργήθηκαν 144 προσομοιώσεις για καθαρό ουρανό και αντίστοιχα 144 για νεφοσκεπή. Τα αποτελέσματα τους συνδυάστηκαν συσχετίζοντας τη στατιστικά παρατηρημένη συχνότητα καθαρού και νεφοσκεπούς ουρανού για την πόλη της Αθήνας.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε είδος και προσανατολισμού θαλάμου και αφορούν στις τιμές των δεικτών Φυσικού Φωτισμού και στον έλεγχο επάρκειας των τιμών αυτών βάσει διεθνώς καθιερωμένων κριτηρίων.

ABSTRACT

In modern times, people's awareness about saving energy for both economic and environmental reasons, is increased. A large part of the energy consumed worldwide is the energy used for the lighting of the rooms that people create to serve their needs. Therefore a better use of natural light to illuminate these sites could lead to large energy savings.

Although, in the context of these savings, people should not neglect basic criteria that make a space well lit, depending on the needs that are to be covered. This thesis deals with the evaluation of the presence of natural light and the quality of the visual environment provided.

Initially, daylight metrics set for the assessment mentioned, are analyzed. The definition and calculation formula of each metric are mentioned. In addition, an attempt is made to evaluate these metrics in comparative manner.

These metrics are used in the evaluation of daylight conditions in the wards of the General Hospital of Athens "KAT". The evaluation was made for each type of ward and for every characteristic orientation of each type of ward. For the evaluation process, Relux software was used to conduct simulations and to calculate lighting levels. Excel software was used to analyze the results, to calculate the numerical value of each metric and to check the adequacy of these values.

A total of 12 different ward types and orientations were simulated. For each of those, simulations were conducted for four typical control dates (21/3, 21/6, 21/9 and 21/12), i.e. solstices and equinoxes, and for three, characteristic for the presence of natural light, hours i.e. 9am, 12pm and 3pm. These simulations were conducted for both clear and overcast sky. A total of 144 simulations were carried out for clear skies and 144 respectively for overcast skies. Their results were combined by correlating the statistically observed frequency of clear and overcast sky in the city of Athens.

The results are presented separately for each type and orientation of ward and refer to the numerical values of daylight metrics and the evaluation of the adequacy of these values, based on internationally established criteria.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Τζουβαδάκη Ιωάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την συνεπιβλέπουσα, υποψήφια διδάκτορα, κα Σκλάβου Ευαγγελία για την επιστημονική υποστήριξη, την καθοδήγηση, την παροχή κάθε απαραίτητης γνώσης καθώς και την ηθική συμπαράσταση που μου παρείχε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή, το ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση του ενεργειακού σχεδιασμού στην μελέτη και την κατασκευή κτιρίων γίνεται ολοένα και μεγαλύτερο. Η αρχή έγινε με κίνητρο την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την απαιτούμενη ενεργειακή κατανάλωση κατά τη χρήση. Ωστόσο, όταν η πρόοδος στην έρευνα επέτρεψε την πιο ρεαλιστική ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας και κατά τη συνέπεια τη μετάφρασή της σε εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, το ενδιαφέρον έγινε εντονότερο. Πλέον με την παγκόσμια οικονομική κρίση αλλά και με την μεγαλύτερη κατανόηση του πεπερασμένου χαρακτήρα των συμβατικών πηγών ενέργειας που είχαν επικρατήσει τα προηγούμενα χρόνια, η προσπάθεια για την αξιοποίηση των φυσικών πηγών ενέργειας συνεχώς ενισχύεται.

Μία πτυχή του ενεργειακού σχεδιασμού που σχετίζεται πέραν των ενεργειακών και με άλλα, επιπρόσθετα οφέλη για κάθε κτίριο είναι η μελέτη του φυσικού φωτισμού που μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να ικανοποιηθούν οι συνολικές ανάγκες φωτισμού κάθε χώρου.

Ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια με ισχύ που φτάνει τα 3.8×10^{26} joules ανά δευτερόλεπτο και παρέχει είτε άμεσα είτε έμμεσα, όλη την απαραίτητη ενέργεια για την διατήρηση της ζωής στη Γη. Ανάμεσα στα άλλα είναι η μοναδική πηγή φυσικού φωτός. Όμως αυτά ο σχεδιασμός κτιρίων που εκμεταλλεύονται το φυσικό φως, δεν είναι εύκολος μιας και το φυσικό φως δεν είναι σταθερό, μπορεί να προκαλέσει θάμβωση, εξαφανίζεται το βράδυ ενώ ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων μπορεί να έχει αντικρουόμενα αποτελέσματα για διαφορετικές πτυχές του σχεδιασμού. Παρόλα αυτά το φυσικό φως έχει θετική αισθητική επίδραση την οποία αποζητούν οι άνθρωποι αν η παρουσία του δεν εξασφαλίζεται έστω και σε μικρές ποσότητες. Ένας σημαντικός αριθμός ερευνών¹ καταδεικνύουν τη θετική συμβολή της παρουσίας του φυσικού φωτός σε ένα χώρο, στην υγεία, στην άνεση και στην παραγωγικότητα των χρηστών του χώρου αυτού.

Η ανάλυση τόσο της ποσότητας όσο και του τρόπου με τον οποίο το φυσικό φως εισέρχεται σε ένα χώρο μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα. Τόσο

σχετικά με την ποιότητα του οπτικού περιβάλλοντος όσο και στα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας.

Χώροι που προορίζονται για διαφορετική χρήση έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις όσο αφορά στα επίπεδα φωτισμού ώστε το οπτικό περιβάλλον να θεωρείται ικανοποιητικό. Έτσι η λεπτομερής μελέτη του φυσικού φωτισμού κατά το σχεδιασμό μπορεί να οδηγήσει σε μια τελική λύση που θα μπορεί να ικανοποιεί τις απαιτήσεις αυτές με τη μικρότερη δυνατή χρήση του τεχνητού φωτισμού. Ωστόσο, η ενεργειακή εξοικονόμηση δεν περιορίζεται στην αποφυγή της χρήσης φυσικού φωτισμού αλλά και σε πιθανά ενεργειακά οφέλη που σχετίζονται με τη θερμική άνεση. Έτσι η θερμική ενέργεια που μεταφέρεται με την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συμβάλει ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις για θέρμανση ή να ελεγχθεί κατάλληλα ώστε να αποτρέψει πιθανές απαιτήσεις για κλιματισμό.

Οι θετικές επιπτώσεις του φυσικού φωτισμού στην ανθρώπινη υγεία είναι επίσης σημαντικές². Συμβάλει στην ρύθμιση των κερκάρδιων ρυθμών, στην ποιότητα του ύπνου, στη βελτίωση της όρασης ατόμων που πάσχουν από τη νόσο Alzheimer, στο σχηματισμό της εξαιρετικά σημαντικής βιταμίνης D καθώς και στην ψυχολογική ισορροπία και άνεση.

Όλα τα παραπάνω καθιστούν σαφή την συμβολή ή και την αναγκαιότητα μιας μελέτης φωτισμού κατά τη διαδικασία σχεδίασης ενός κτιρίου. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες, δείκτες απόδοσης του φυσικού φωτισμού, γενικότεροι ή πιο συγκεκριμένοι τεχνικοί κανονισμοί καθορισμού των απαιτήσεων, αντίστοιχα λογισμικά προσομοίωσης και υπολογισμού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Με τη λέξη ΦΩΣ ορίζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι. Η Φωτομετρία ασχολείται με τα χαρακτηριστικά του φωτός, φυσικού και τεχνητού, που γίνονται αντιληπτικό τον ανθρώπινο οπτικό δέκτη, το μάτι.

Οι βασικές μονάδες της φωτομετρίας είναι³:

1. Η Φωτεινή Ροή /luminous flux(Φ)

Ως φωτεινή ροή ορίζεται η συνολική ποσότητα ορατής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το lumen (lm).

2. Η φωτεινή ένταση πηγής / luminous intensity (I)

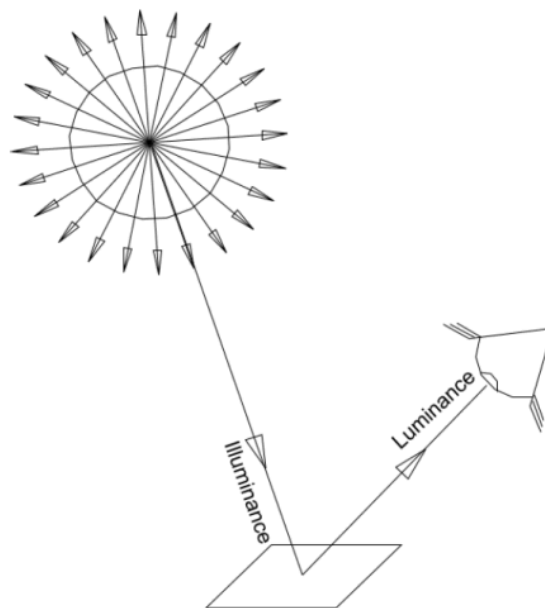
Ως φωτεινή ένταση πηγής ορίζεται η ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση στενού κώνου, προς τη στερεά γωνία του κώνου. Μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης πηγής είναι η candela (cd).

3. Η ένταση φωτισμού επιφάνειας / illuminance (E)

Ως ένταση φωτισμού επιφάνειας ορίζεται η φωτεινή ροή που φθάνει σε μία ομοιόμορφη επιφάνεια προς το εμβαδό αυτής. (ένταση φωτισμού επιφάνειας = φωτεινή ροή / εμβαδό) Μονάδα μέτρησης της έντασης φωτισμού είναι το lux, όπου $\text{lux} = \text{lm}/\text{m}^2$.

4. Η λαμπρότητα / luminance (L)

Ως λαμπρότητα ορίζεται η ποσότητα φωτισμού που γίνεται αντιληπτή από το μάτι ενός παρατηρητή ύστερα από ανάκλαση σε συγκεκριμένη επιφάνεια. Μονάδα μέτρησης της λαμπρότητας είναι η $\text{candela}/\text{m}^2$. Για μια επιφάνεια ο τύπος που συνδέει την ένταση φωτισμού επιφάνειας με τη λαμπρότητα είναι $L = E \cdot \rho / \pi$ όπου ρ είναι η ανακλαστικότητα του υλικού (από 0 ως 1) και $\pi = 3,14$.



Luminance is what gets into your eye

Εικόνα 1.1 – Ένταση Φωτισμού Επιφάνειας και Λαμπρότητα. Πηγή : www.ransen.com

1.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting - αναφορά σε πολλές μελέτες.
2. Γούλα Ε., Τζουβαδάκης Ι. Σκλάβου Ε. - Προσομοίωση χώρου σε λογισμικό με βάση παράγοντες φωτισμού (2012)
3. www.flashlight.gr

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

2.1 Η λογική του σχεδιασμού

Ο εξ αρχής καθορισμός συγκεκριμένων απαιτήσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση για το σωστό σχεδιασμό του φωτισμού ενός χώρου. Ο μελετητής θα πρέπει να ιεραρχήσει τους στόχους μιας μελέτης. Ο συνδυασμός αντικειμενικών ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων με τις υποκειμενικές αρχιτεκτονικές προδιαγραφές που εξασφαλίζουν την λειτουργικότητα του χώρου ανάλογα με την μετέπειτα χρήση του, είναι απαραίτητος ώστε να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ποιοτικές Παράμετροι

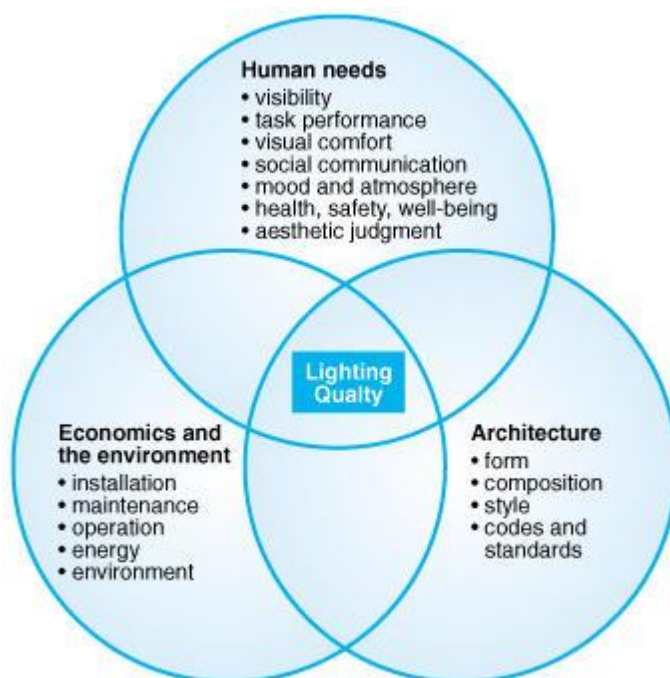
Παρόλο που η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας με διάφορες εφαρμογές όπως φωτοβολταϊκά στοιχεία, εγκαταστάσεις θέρμανσης κ.ά., θα πρέπει να γίνεται έλεγχος της άμεσης ακτινοβολίας που εισέρχεται σε χώρο όσο αφορά στο σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού. Εκτός από τα πιθανώς ανεπιθύμητα θερμικά φορτία, τα υψηλά επίπεδα του άμεσου ηλιακού φωτός μπορούν να προκαλέσουν το φαινόμενο της θάμβωσης. Αυτό θα μπορούσε να κινητοποιήσει τους χρήστες να χρησιμοποιήσουν κατά το δοκούν διάφορα είδη σκιάστρων, γεγονός που θα ανέτρεπε τις προβλέψεις μίας ολόκληρης μελέτης που δεν ενσωματώνει τα σκιάστρα αυτά. Επιπλέον θα πρέπει να επιτυγχάνεται και μία ελάχιστη ομοιομορφία των επιπέδων φωτισμού στα διάφορα σημεία ενός χώρου, ώστε να αποφεύγονται μεγάλες διαφορές που προκαλούν διαταραχή της οπτικής άνεσης.

Ποσοτικές Παράμετροι

Αφού εξεταστούν και ικανοποιηθούν οι ποιοτικές παράμετροι θα πρέπει να εξετασθεί εάν εξασφαλίζονται τα απαραίτητα επίπεδα φωτισμού για την πραγματοποίηση των διάφορων εργασιών που προβλέπεται να φιλοξενήσει ο υπό μελέτη χώρος ανάλογα με τη μελλοντική του χρήση. Ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί η συμβολή του φυσικού φωτισμού στις ικανοποιήσεις των απαιτήσεων και να ελαχιστοποιηθεί η χρήση του τεχνητού φωτισμού.

Υποκειμενικές Παράμετροι

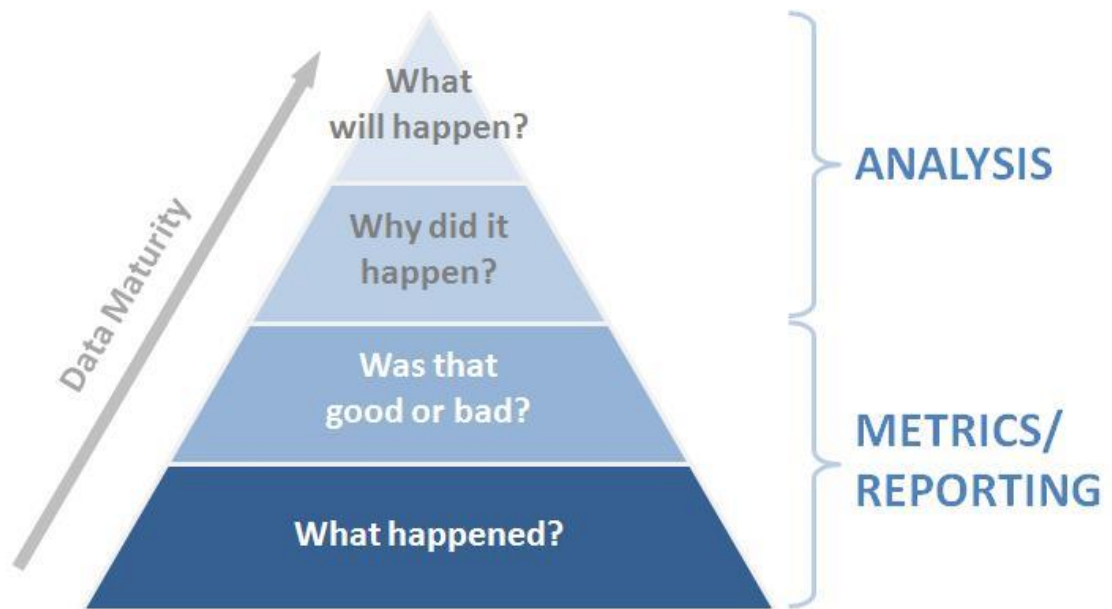
Έχοντας εξασφαλίσει την ποσότητα και την ποιότητα του φυσικού φωτισμού, οι σχεδιαστές μπορούν να ικανοποιήσουν και τις υποκειμενικές πλέον που εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που δε μπορούν να προβλεφθούν και να ποσοτικοποιηθούν όπως για παράδειγμα ένα αισθητικό αποτέλεσμα που θα ήθελε να πετύχει ένας αρχιτέκτονας ή απόδοση έμφασης στα καλλιτεχνικά έργα μίας έκθεσης.



Εικόνα 2.1 – Ο συνδυασμός ανθρωπίνων αναγκών, αρχιτεκτονικής και ενεργειακής απόδοσης για την ποιότητα του φυσικού φωτισμού. Πηγή: Iesna lighting handbook sel.449

2.2 Εισαγωγή στους Δείκτες Φυσικού Φωτισμού

Η ανάγκη σύγκρισης και αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού κάθε προτεινόμενης λύσης οδήγησε στην ανάπτυξη κατάλληλων μέτρων σύγκρισης. Έτσι σχηματίστηκαν διάφοροι δείκτες ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η επιτυχία ή η αποτυχία στην ικανοποίηση των διαφόρων προδιαγραφών που ορίζονται για να θεωρηθεί ένας χώρος επαρκώς φωτισμένος από φυσικό φως.



Εικόνα 2.2 – Δείκτες και Ανάλυση Δεδομένων. Πηγή : <http://www.gilliganondata.com>

Εγείρεται όμως ένα σημαντικό ερώτημα όσο αφορά στο χαρακτηρισμό του φυσικού φωτισμού ενός χώρου ως επαρκή. Χαρακτηριστική είναι η διαφοροποίηση στην αντίληψη της έννοιας του «ικανοποιητικού» σχεδιασμού ανάλογα με τη σκοπιά του κάθε μελετητή, όπως παρουσιάζεται στην έρευνα των Reinhart και Galasiu¹. Παρουσιάζονται τέσσερις ερμηνείες, ενδεικτικές για την υποκειμενικότητα του χαρακτηρισμού αυτού.

- Από αρχιτεκτονικής σκοπιάς, ικανοποιητικός είναι ο σχεδιασμός που επιτρέπει σε ένα χώρο να αξιοποιεί το φυσικό φως και σε συνδυασμό με τα μορφολογικά του χαρακτηριστικά, να παρέχει ένα οπτικά ενδιαφέρον, υγιεινό και παραγωγικό εσωτερικό περιβάλλον.
- Από τη σκοπιά της εξοικονόμησης ενέργειας φωτισμού, ικανοποιητικός θεωρείται ο σχεδιασμός εστιάζει στην ελαχιστοποίηση της απαίτησης τεχνητού φωτισμού σε ετήσια βάση.
- Από την σκοπιά της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο, ικανοποιητικός είναι ο σχεδιασμός που χρησιμοποιεί τα ανοίγματα και αυτόματους αισθητήρες τεχνητού φωτισμού ώστε να ελαχιστοποιεί τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό.
- Από την καθαρά οικονομική σκοπιά, ικανοποιητικός είναι ο σχεδιασμός που ελαχιστοποιεί τα λειτουργικά κόστη ενώ παράλληλα μεγιστοποιεί το παραγόμενο αποτέλεσμα.

Κατά συνέπεια, αφού οι προδιαγραφές και συνεπώς οι στόχοι για κάθε μελέτη δεν είναι καθαρά αντικειμενικοί και μονοδιάστατοι, είναι λογικό οι αντίστοιχοι δείκτες που αναπτύχθηκαν να διαφέρουν περισσότερο ή λιγότερο μεταξύ τους.

Ως δείκτης κατά τον Mardaljevic ορίζεται μία συνάρτηση (πιθανώς ανόμοιων) μετρήσεων, διαστάσεων ή συνθηκών που αναπαριστώνται σε μια συνεχή κλίμακα³. Αποτελεί δηλαδή μια αριθμητική κλίμακα που δημιουργείται από ένα πλήρες σύνολο μετρήσεων του εξεταζόμενου μεγέθους.

Ένας δείκτης μπορεί να μην είναι άμεσα μετρήσιμος στην πραγματικότητα. Ως «κριτήριο» οριοθετείται από τεχνικούς κανονισμούς, ένα συγκεκριμένο εύρος της συνεχούς αυτής κλίμακας, που καθορίζει αν ικανοποιείται η κατά περίπτωση απαίτηση. Ο σκοπός ενός δείκτη είναι να συνδυάσει διάφορους παράγοντες ώστε να αποδώσει με ρεαλιστικό τρόπο την αναμενόμενο αποτέλεσμα και με αυτό τον τρόπο να βοηθήσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα μπορεί να περιγραφεί με περισσότερους από ένα δείκτες. Δεν είναι απαραίτητο να συνδυάζονται όλοι οι επιμέρους παράγοντες σε ένα και μοναδικό δείκτη.

Κάθε πτυχή του σχεδιασμού και κάθε επιμέρους στόχος που πρέπει να επιτευχθεί με μετρήσιμα αποτελέσματα, απαιτεί διαφορετική μεθοδολογία όσο αφορά στο συνδυασμό και την επεξεργασία των δεδομένων και στην εξαγωγή αποτελεσμάτων. Έτσι έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες και έχουν συνδυαστεί με διαφορετικούς δείκτες. Μια μορφή κατηγοριοποίησής τους θα μπορούσε να είναι η εξής:

- Ποσοτικοί δείκτες φυσικού φωτισμού. Εξετάζουν την παρουσία ή μη, ικανοποιητικές ποσότητας φυσικού φωτός σε ένα χώρο ώστε να εκπληρώνονται θεσπισμένα κριτήρια. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες όμως γενικά εμπίπτουν σε δύο σαφώς διαφορετικές κατηγορίες, τους στατικούς και τους δυναμικού ποσοτικούς δείκτες.
- Δείκτες θάμβωσης. Χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την πιθανή παρουσία συνθηκών που προκαλούν θάμβωση στους χρήστες ενός χώρου.
- Δείκτες ομοιομορφίας. Χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο το φυσικό φως κατανέμεται σε ένα χώρο.
- Κριτήριο παρεχόμενης θέας. Η εξασφάλιση της παροχής εξωτερικής θέας δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί εύκολα με τη χρήση κάποιου δείκτη. Παρόλα αυτά έχει αρκετά μεγάλη σημασία και γι' αυτό χρησιμοποιείται ως κριτήριο αξιολόγησης του οπτικού περιβάλλοντος ενός χώρου.

Είναι πιθανό διαφορετικές εκφράσεις του ίδιου δείκτη να εμπίπτουν σε περισσότερες από μια, από τις πιο πάνω κατηγορίες. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευθεί με δύο τρόπους. Αφενός, η έκφραση ενός νέου δείκτη προσπαθεί να συμπεριλάβει όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους της πραγματικότητας και να εκφράσει όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία του οπτικού περιβάλλοντος. Αφετέρου, στην προσπάθεια για την καλύτερη δυνατή περιγραφή της πραγματικότητας με τους υπάρχοντες δείκτες, οι εκφράσεις τους προσαρμόζονται κατάλληλα ώστε να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.

2.3 Ποσοτικοί Δείκτες Φυσικού Φωτισμού

2.3.1 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού

Ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (DaylightFactor) είναι η αναλογία του επιπέδου του φυσικού φωτός σε ένα εσωτερικό χώρο σε σχέση με το επίπεδο του φυσικού φωτός σε εξωτερικό χώρο και ορίζεται ως ακολούθως:

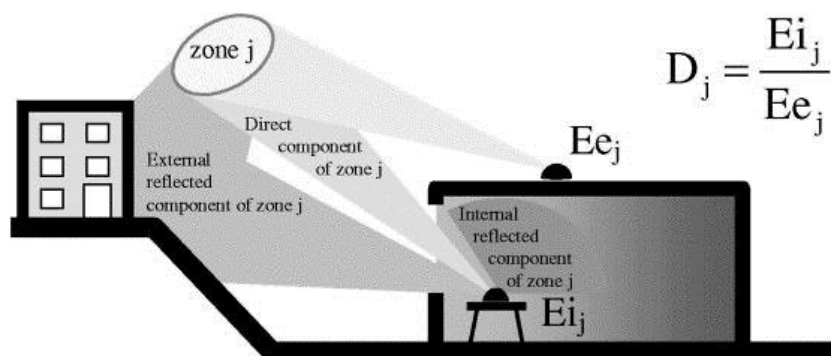
$$DF = (E_i / E_o) \times 100\%$$

Όπου:

E_i = ένταση φωτισμού επιφάνεια σε ορισμένο επίπεδο εργασίας του εσωτερικού χώρου και

E_e = ταυτόχρονη υπαίθρια ένταση φωτισμού επιφάνειας σε οριζόντιο επίπεδο από άμεση και ανεμπόδιση φωτεινή ακτινοβολία νεφοσκεπούς ουρανού.

(Moon and Spencer 1942)



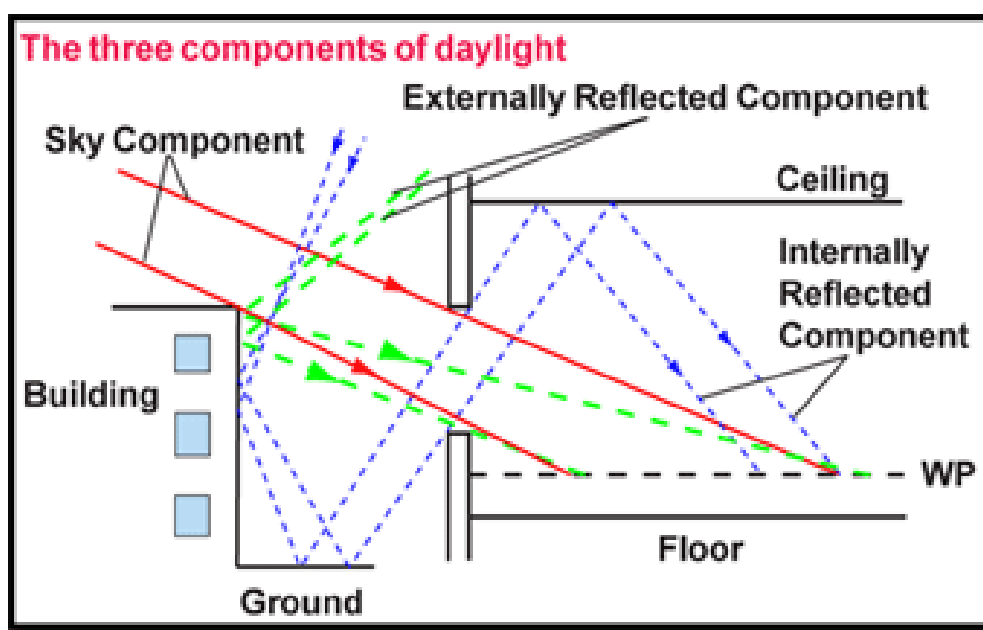
Εικόνα 2.3 – Συνιστώσες Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού – Πηγή : www.sciencedirect.com

Προκειμένου να υπολογιστεί η E_i , πρέπει κανείς να καθορίσει την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Υπάρχουν τρεις τρόποι μετάδοσης του φωτός ώστε να φτάσει σε ένα σημείο μέσα σε ένα δωμάτιο με ανοίγματα. Αυτοί είναι:

- Άμεση φωτεινή ακτινοβολία από ένα τμήμα του ουρανού που είναι ορατό από το σημείο μελέτης δια μέσω του ανοίγματος, γνωστή ως το συνιστώσα του ουρανού (sky component - SC),
- Φωτεινή ακτινοβολία που ανακλάται από μία εξωτερική επιφάνεια και στη συνέχεια φθάνει στο σημείο μελέτης, γνωστή ως εξωτερικά ανακλώμενη συνιστώσα (externally reflected component - ERC)
- Άμεση φωτεινή ακτινοβολία που εισέρχεται δια μέσω του ανοίγματος, αλλά φθάνει στο σημείο μελέτης μόνο μετά την ανάκλαση σε μία εσωτερική επιφάνεια, γνωστή ως η εσωτερικώς ανακλώμενης συνιστώσας (internally reflected component -IRC).

Το άθροισμα των τριών συνιστωσών δίνει την ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance [E]) στο σημείο μελέτης⁶:

$$E = SC + ERC + IRC$$



Εικόνα 2.4 – Συνιστώσες του Φυσικού Φωτός. Πηγή : <http://www.blc.lsbu.ac.uk/webcreatif/BES/lighting-9/T9-5.html>

Ο Π.Φ.Φ. χρησιμοποιείται στην αρχιτεκτονική και το σχεδιασμό κτιρίων, προκειμένου να αξιολογήσει το επίπεδο φυσικού φωτισμού στον εσωτερικό χώρο,

όπως αυτό γίνεται αντιληπτό στο επίπεδο εργασίας δεδομένη επιφάνεια και με τον τρόπο αυτό να διαπιστωθεί αν θα είναι επαρκής για τους χρήστες του χώρου ώστε αυτοί να πραγματοποιούν ανεμπόδιστα τις προβλεπόμενες δραστηριότητες. Οι συνθήκες σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Π.Φ.Φ. βασίζονται στον πρότυπο, κατά την CIE , νεφοσκεπή ουρανό για την 21^η Σεπτεμβρίου στις 12:00 όπου η ένταση φωτισμού επιφάνειας του περιβάλλοντος στο επίπεδο του εδάφους είναι 11921 Lux (CIE – Commission Internationale del' Eclairage ή Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού).

Ο υπολογισμός του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού είναι μια πολύπλοκη επαναληπτική υπολογιστική διαδικασία και έτσι γενικά χρησιμοποιούνται κατάλληλα προγράμματα σε Η/Υ. Κατατοπιστική για τις τιμές του Π.Φ.Φ. οι οποίες επιδιώκονται στις μελέτες φωτισμού είναι η χονδροειδής κατάταξη της ποιότητας του φυσικού φωτισμού ενός χώρου από το CIBSE Lighting Guide, όπου:

Π.Φ.Φ. < 2% : Ανεπαρκής φυσικός φωτισμός – Συνεχής απαίτηση τεχνητού φωτισμού.

2% < Π.Φ.Φ. < 5% : Επαρκής φυσικός φωτισμός –Πιθανή απαίτηση τεχνητού φωτισμού για περιορισμένο χρόνο

Π.Φ.Φ.>5% Επαρκής φυσικός φωτισμός – Χωρίς απαίτηση τεχνητού φωτισμού, εκτός από την αυγή και το σούρουπο – Υψηλή ένταση φυσικού φωτός και αυξημένο ενεργειακό ηλιακό κέρδος που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα.

Ιστορική Αναδρομή

Η ιδέα της χρήσης ενός δείκτη ώστε να ποσοτικοποιηθεί ως μέγεθος το φυσικό φως που εισέρχεται στα κτίρια υπάρχει από το 1909 τουλάχιστον, όταν ο Waldram δημοσίευσε μια τεχνική κατά προσέγγιση μέτρησης (Waldram 1909). Το αρχικό κίνητρο για τη χρήση των δεικτών αντί των απόλυτων τιμών ήταν να αποφευχθεί η δυσκολία κατά την αντιμετώπιση «συχνών και έντονων μεταβολών στην ένταση του φυσικού φωτός »(Waldram 1950). Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν παράγοντες ουρανού που ποσοτικοποιούσαν την συνεισφορά του άμεσου φυσικού φωτός σε ένα σημείο στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Με την πάροδο του χρόνου ο παράγοντας ουρανού εξελίχθηκε στον Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού, καθώς το ανακλώμενο από εξωτερικές επιφάνειες φως , οι απώλειες ενέργειας λόγω των υαλοπινάκων και το

ανακλώμενο από εσωτερικές επιφάνειες φως, άρχισαν να λαμβάνονται υπόψη (Waldram 1950). Το 1949 ο τύπος ουρανού για τον ορισμό του Π.Φ.Φ. άλλαξε από «ομοιόμορφο» σε αυτό που σήμερα θεωρείται πρότυπος, κατά CIE, νεφοσκεπής ουρανός (MoonandSpencer 1942).

Σ' αυτό το αρχικό στάδιο, οι δείκτες φυσικού φωτισμού χρησιμοποιούνταν κυρίως ως νομικό επιχείρημα στο δικαστήριο. Ο ίδιος ο Waldram είπε: "τα νόμιμα δικαιώματα του φωτός αποτελούσαν σχεδόν το μόνο κερδοφόρο τομέα για τους ειδικούς στο φυσικό φωτισμό "(Waldram 1950). Βασισμένη σε ένα παλιό Ρωμαϊκό νόμο, η νομοθεσία του Ηνωμένου Βασιλείου το 1832 προέβλεπε ότι, «αν κάποιος έχει επωφεληθεί από την πρόσβαση στο φως της ημέρας δια μέσω της ιδιοκτησίας κάποιου άλλου για πάνω από 20 χρόνια, ένα απόλυτο και αδιάσειστο δικαίωμα για φυσικό φωτισμό χορηγείται στο παράθυρο.» Η παραβίαση του δικαιώματος ενός παραθύρου στο φυσικό φωτισμό προέκυπτε όταν μια νέα γειτονική κατασκευή προκαλούσε «ανεπαρκή» επίπεδα φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου του παραθύρου (Waldram 1950). Το κρίσιμο ερώτημα βέβαια ήταν πάντα ποια θεωρούνται επαρκή επίπεδα φυσικού φωτισμού για διάφορες εργασίες. Σήμερα 500 lx στο επίπεδο εργασίας είναι η πιο συχνά συνιστώμενη τιμή για εργασίες γραφείου (Καναδικός Κώδικα Εργασίας, Μέρος II: Επαγγελματική Ασφάλεια και Υγεία 1991 - IESNA Lighting Handbook (9η έκδοση) 2000). Υποθέτοντας μια εξωτερική ένταση φωτισμού επιφάνειας περίπου 10000 lx για νεφοσκεπή ουρανό, η αντίστοιχη απαίτηση για την τιμή του Π.Φ.Φ. γίνεται $(500 \text{ lx}/10000 \text{ lx}=) 2\%$, η οποία συμπίπτει με την απαίτηση του κανονισμού του LEED.

Αξιολόγηση Π.Φ.Φ.

Αυτή η σύντομη ιστορική διαδρομή, αποδεικνύει ότι εξ' αρχής, ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού δεν ορίστηκε ως μέτρο για τον ορθό σχεδιασμό φυσικού φωτισμού, αλλά ως μια ελάχιστη νομική απαίτηση φυσικού φωτισμού. Με βάση αυτή την παρατήρηση, οι προσδοκίες των σχεδιαστών ότι ο Π.Φ.Φ. θα μπορούσε να τους βοηθήσει να «παρέχουν ένα οπτικά ενδιαφέρον, υγιεινό και παραγωγικό εσωτερικό περιβάλλον» φαίνονται αβάσιμες.

Παρ' όλα αυτά, ο Π.Φ.Φ. παραμένει ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης φυσικού φωτισμού και για την πλειοψηφία των επαγγελματιών, η παροχή οποιασδήποτε ποσοτικής πληροφορίας σχετικά με το φυσικό φωτισμό περιορίζεται στη χρήση του Π.Φ.Φ. (Nabil και Mardaljevic 2005)⁷. Κατά τα τελευταία πενήντα

χρόνια, αυτή η πρακτική σχεδιασμού έχει παραμείνει σε μεγάλο βαθμό अपαράλλακτη. Η δημοτικότητα της προέρχεται πιθανότατα από το γεγονός ότι ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού παραμένει η μόνη ευρέως αποδεκτή, ποσοτική απόδοση του φυσικού φωτισμού. Υπάρχουν ωστόσο κάποια επιχειρήματα υπέρ της χρήσης του Π.Φ.Φ. Οι δείκτες φυσικού φωτισμού μεταβάλλονται για κτίρια διαφορετικής μορφής και κατά συνέπεια μεταβάλλεται και η επιρροή τους στις επιλογές κατά τη μελέτη. Τα στοιχεία της μελέτης που επιδρούν στην τιμή του Π.Φ.Φ. είναι η γεωμετρία του κτιρίου, ο περιβάλλον χώρος καθώς και οι ιδιότητες των επιφανειακών υλικών. Ένα σύνθημα που χρησιμοποιείται από τους υποστηρικτές του Π.Φ.Φ. είναι ότι ο νεφοσκεπής ουρανός που χρησιμοποιείται είναι το δυσμενέστερο σενάριο για το φυσικό φωτισμό και ως εκ τούτου οποιαδήποτε άλλη θεώρηση σχετικά με τον ουρανό θα οδηγήσει σε φυσικό φως στον εσωτερικό χώρο. Υποστηρίζοντας αυτό το επιχειρήμα συνεχίζουν λέγοντας ότι τα κινητά σκίαστρα, όπως περσίδες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους ενοίκους για να αποφευχθεί το φαινόμενο της θάμβωσης και ότι ακόμα και με κατεβασμένες περσίδες συνήθως παρέχεται επαρκής ποσότητα φυσικού φωτός ώστε να μην απαιτείται η χρήση τεχνητού φωτισμού.

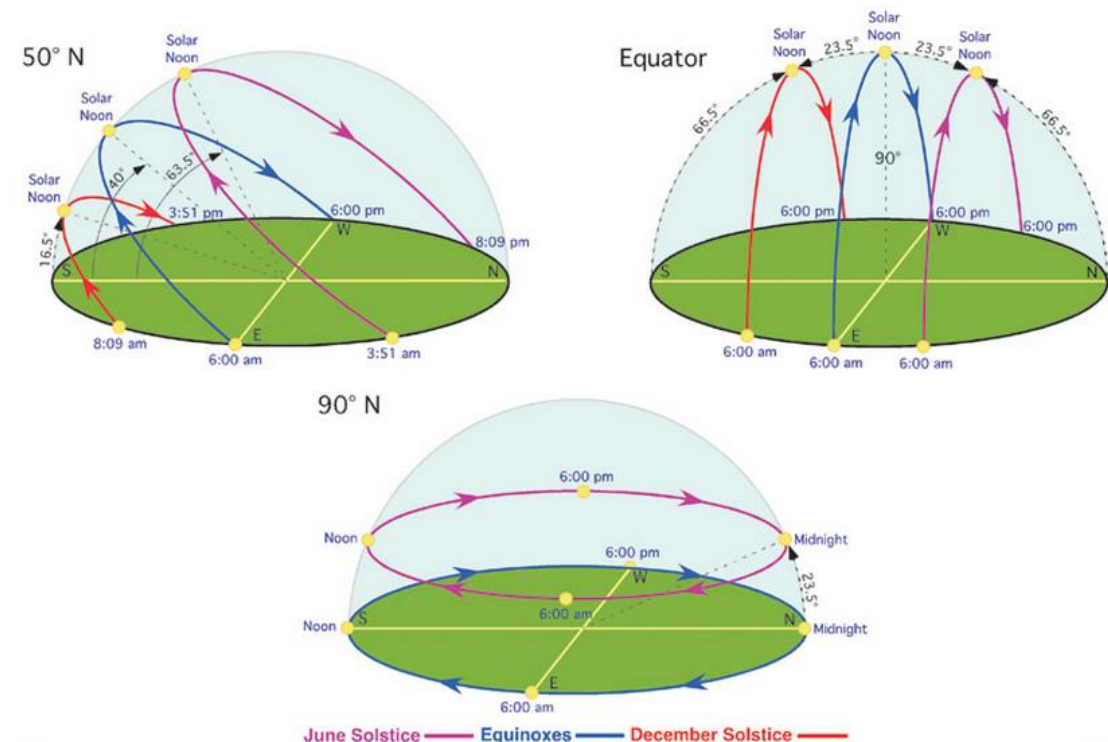
Σε πρακτικό επίπεδο, ο Π.Φ.Φ. έχει το πλεονέκτημα ότι οι προβλέψεις είναι ενστικτώδεις και εύκολα εξηγήσιμες ανάμεσα σε μια ομάδα σχεδιαστών. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού του Π.Φ.Φ., από απλό λογιστικό φύλλο υπολογισμού (Canadian Green Building Council 2004) ως τη μέθοδο BRE – splitflux για προηγμένες τεχνικές υπολογισμού με βάση τον αλγόριθμο radiosity ή / και τεχνικές raytracing (Ward και Shakespeare 1998). Χρησιμοποιώντας κατάλληλα προγράμματα όπως το Radiance μπορεί κανείς να υπολογίσει τιμές του Π.Φ.Φ. για οποιασδήποτε γεωμετρίας κτίριο και διάφορους τύπους υλικών.

Η επιρροή του Π.Φ.Φ. στην νοοτροπία των σχεδιαστών που τον χρησιμοποιούν και στον τρόπο μελέτης τους είναι επίσης σημαντική. Κάποια μορφολογικά χαρακτηριστικά που συνδέονται εν γένει με τον ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό πράγματι προωθούνται από τον Π.Φ.Φ.: μεγάλα ύψη πρεκιών, επιχρίσματα με υψηλή αντανακλαστικότητα στους τοίχους και την οροφή, επιμήκεις κατόψεις, μεγάλες προσόψεις και ανοίγματα με υαλοπίνακες υψηλής διαπερατότητας. Όμως, ένα κτίριο σχεδιασμένο με βάση τον Π.Φ.Φ. απορροφά όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του, ακλουθώντας τη λογική «όσο περισσότερο τόσο το καλύτερο». Το άκρων άωτον αυτής της λογικής είναι τα κτίρια με αποκλειστικά γυάλινες προσόψεις. Ωστόσο εμπορικά κτίρια, με αμιγώς γυάλινες

προσόνεις παρουσιάζουν συχνά προβλήματα θερμικής ή/και οπτικής άνεσης καθώς και ενεργειακής απόδοσης, αποδεικνύοντας ότι η παραπάνω αναφερόμενη λογική στην οποία βασίζεται ο Π.Φ.Φ. οδηγεί σε προβληματικό σχεδιασμό.

Εγγενείς Περιορισμοί του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού

Συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό και έτσι δεν λαμβάνει υπόψη απόλυτες τιμές φωτεινότητας. Ακόμα θεωρεί ότι η τροχιά της κίνησης του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά συνέπεια η μεταβολή της φωτεινότητας του, πρότυπου κατά CIE, νεφосκεπούς ουρανού είναι συμμετρική ως προς το κατακόρυφο άξονα του ημισφαιρίου με το οποίο προσομοιάζεται ο ουρανός. Επιπλέον δεν μπορεί να προβλέψει τι συμβαίνει σε καταστάσεις καθαρού ουρανού με άμεση ηλιοφάνεια.



Εικόνα 2.5 – Διαφοροποιήσεις της τροχιάς του ήλιου για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και διαφορετικές εποχές του χρόνου. Πηγή : http://2.bp.blogspot.com/-XiIsqs1neMU/T7SOvpsFRWI/AAAAAAAAAR4/oUOXMoWj7vk/s1600/sun_paths+best.jpg

Έτσι, για ένα δεδομένο κτίριο, ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού έχει την ίδια τιμή για κάθε προσανατολισμό του κτιρίου (λόγω της θεωρούμενης συμμετρίας του ουρανού) και για κάθε επιθυμητή τοποθεσία στη Γη (δεδομένου ότι είναι απλά μια αναλογία). Με άλλα λόγια, η προβλεπόμενη τιμή του Π.Φ.Φ. θα ήταν ίδια είτε το κτίριο είχε μεγάλα ανοίγματα στο Βορρά και βρισκόταν στο Μεξικό είτε είχε μεγάλα ανοίγματα στον Νότο και βρισκόταν στη Φιλανδία. Επίσης, αφού η περίπτωση του καθαρού ουρανού δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη, ο Π.Φ.Φ. δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε μελέτη στοχεύει να εκμεταλλευθεί το άμεσο ηλιακό φως, την γωνία πρόσπτωσης και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για τις διάφορες περιόδους του έτους.

Ως επιπλέον αδυναμία του Π.Φ.Φ. θεωρείται το γεγονός ότι οι πραγματικές συνθήκες φυσικού φωτισμού αποκλίνουν σημαντικά από τον πρότυπο νεφοσκεπή ουρανό. Αυτό ισχύει ακόμη και για τη Βόρεια Ευρώπη, όπου υπάρχει μια ευρέως διαδεδομένη πεποίθηση ότι ο ουρανός είναι «κυρίως» νεφοσκεπής και έτσι η χρήση του Π.Φ.Φ. ως βάση για την αξιολόγηση μπορεί να θεωρηθεί δικαιολογημένη.

Μία έρευνα από τον Paul Littlefair το 1998⁸, δίνει την ετήσια αθροιστική τιμή φωτεινότητας για ένα σημείο σε δύο παρόμοια δωμάτια με τη διαφορά ότι το πρώτο έχει Βόρειο προσανατολισμό ανοιγμάτων ενώ το δεύτερο έχει Νότιο. Τα δωμάτια δεν διέθεταν σκίαστρα και δεν είχαν αντικείμενα στο εσωτερικό τους. Ορίστηκε απαιτούμενη φωτεινότητα της τάξης των 200 lux και επιτεύχθηκε για το 58% του έτους για το Βορινό δωμάτιο και 68% για το Νότιο. Κάποιος θα μπορούσε να θεωρήσει ότι η απόκλιση είναι πολύ μικρή. Ωστόσο, όταν εξετάστηκε ως απαιτούμενη τιμή της φωτεινότητας τα 400 lux, αυτή επιτεύχθη μόνο για το 12% του έτους για τη Βορινό δωμάτιο σε αντίθεση με το Νότιο δωμάτιο όπου επιτεύχθη για το 51% του έτους. Και αυτή η διαφορά προκύπτει απλά για διαφορετικούς προσανατολισμούς του χώρου, για μια δεδομένη γεωγραφική θέση και συνεπώς δεδομένες κλιματολογικές συνθήκες. Θεωρείται προφανές ότι αν μεταφέρουμε τον ίδιο χώρο σε μια γεωγραφική θέση με πιο «ζεστό» κλίμα και περισσότερη ηλιοφάνεια, οι επιπτώσεις του ίδιου του προσανατολισμού στη τιμή της φωτεινότητας λόγω φυσικού φωτός, θα είναι μεγαλύτερες.

Αρκετοί μελετητές αντιμετωπίζουν τις απαιτήσεις των διαφόρων κανονισμών για την τιμή του Π.Φ.Φ. με σκεπτικισμό αφού γνωρίζουν ότι είναι πιθανό να οδηγήσουν στο σχεδιασμό υπερβολικά μεγάλων ανοιγμάτων και κατά συνέπεια

μεγάλες τιμές ενεργειακών κερδών λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας ή/και μεγάλες απώλειες θερμότητας.

Ο Όμιλος Heschong Mahone έκανε μια ανάλυση των έξι κτιριακών χώρων στην Καλιφόρνια στους οποίους είχε επιτευχθεί μεγάλη επάρκεια φυσικού φωτός και κατ' επέκταση σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας⁹. Ωστόσο, κανένας από τους χώρους αυτούς δεν κάλυπτε τις απαιτήσεις του Κανονισμού για τον Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό Σχεδιασμό του Συμβουλίου Πράσινων Κτιρίων των Η.Π.Α. (LEED), δηλαδή «τη μέση τιμή του Π.Φ.Φ. > 2%» για κάθε σημείο του υπό μελέτη χώρου.

Έτσι για ερευνητικούς σκοπούς έγινε μια προσπάθεια να επανασχεδιαστούν τα ανοίγματα ώστε να ικανοποιούνται αυτά τα κριτήρια. Διαπιστώθηκε ότι ακόμη και με γυαλί μεγάλης διαπερατότητας, το εμβαδόν των ανοιγμάτων θα έπρεπε να αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό που δεν θα επαρκούσε το κέλυφος του κτιρίου ώστε να τοποθετηθούν. Επιπλέον δε θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του κανονισμού για την διαχείριση της ενέργειας. Γίνεται σαφές με αυτή την έρευνα ότι οι απαιτούμενες τιμές του Π.Φ.Φ. έρχονται συχνά σε σύγκρουση με τα κριτήρια σχεδιασμού για άλλες παραμέτρους όπως για παράδειγμα θερμικών απωλειών, ηλιακού κέρδους κ.α. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη δεδομένης της εξ' ορισμού αποσύνδεσης του Π.Φ.Φ. τόσο με τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης όσο και με τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων του μελετώμενου χώρου.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός θα πρέπει να επιτυγχάνει το ιδανικό ποσοστό φυσικού φωτισμού λαμβάνοντας υπόψη τις θετικές και τις αρνητικές επιπτώσεις που αυτός μπορεί να έχει. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να εξεταστούν πολλοί παράγοντες όπως ο συνολικός σχεδιασμός του κτιρίου, ο σχεδιασμός των όψεων, ο περιβάλλον χώρος και το κλίμα που επικρατεί.

Με άλλα λόγια, θα είναι μια πολύ εξειδικευμένη διαδικασία για κάθε κτίριο και είναι δύσκολο να θεσπιστεί ένας γενικός απλουστευμένος κανόνας με καθολική εφαρμογή όπως προτείνεται από την απλή απαίτηση ικανοποίησης μιας δεδομένης τιμής του Π.Φ.Φ. Η αποτυχία να επιτευχθεί η βέλτιστη αυτή ισορροπία μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη χρήση ενέργειας είτε για φωτισμό είτε για ψύξη, και μερικές φορές και τα δύο.

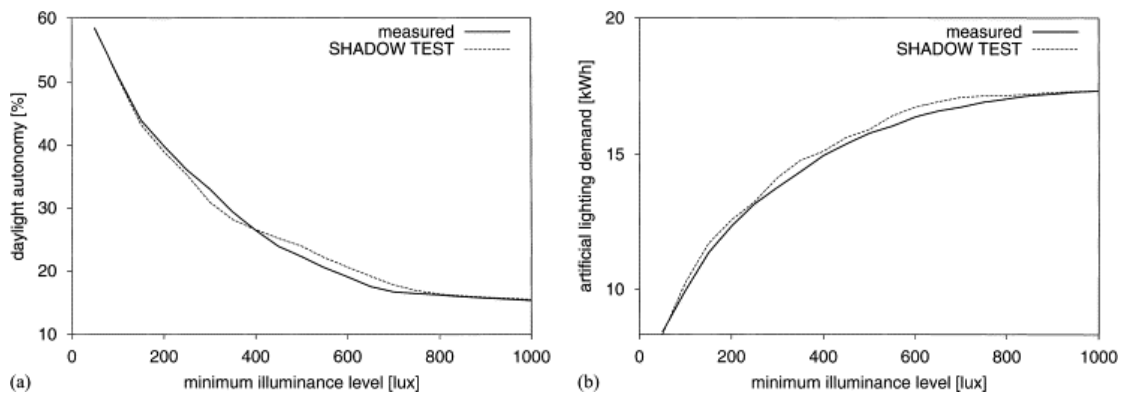
Η μελέτη βάσει του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού δεν μπορεί να βοηθήσει την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης της θάμβωσης για διάφορους προσανατολισμούς της πρόσοψης, παρόλο που τα προβλήματα θάμβωσης που συνδέονται με το χαμηλό ύψος του Ήλιου είναι γνωστό ότι είναι πιο έντονα για την

Ανατολικούς και τη Δυτικούς προσανατολισμούς προσόψεων. Η μελέτη βάσει του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού δεν μπορεί να προσφέρει ακόμη και μια προειδοποίηση ως προς το αν θα υπάρξει πρόβλημα θάμβωσης σε ορισμένα σημεία ενός κτιρίου.

2.3.2 Δείκτης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού - Daylight Autonomy

Ο δείκτης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού [Daylight Autonomy (DA)] ήταν ο πρώτος από μια σειρά ετήσιων δεικτών φυσικού φωτισμού, που πλέον αναφέρονται ως «δυναμικοί δείκτες φυσικού φωτισμού». Ορίζεται ως το ετήσιο αθροιστικό ποσοστό των ωρών κατά της διάρκειας της ημέρας κατά τις οποίες, σε ένα δεδομένο σημείο στο εσωτερικό ενός χώρου, επιτυγχάνεται μία ελάχιστη τιμή έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance), επαρκούς για την πραγματοποίηση μιας επιλεγμένης δραστηριότητας, χωρίς την χρήση τεχνητού φωτισμού. Προτάθηκε αρχικά από το Association Suisse des Electriciens το 1989. Επρόκειτο για μια σημαντική καινοτομία καθώς ενσωμάτωσε στους υπολογισμούς τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής του υπό μελέτη χώρου σε ετήσια βάση. Το 2001 οι Reinhart και Walkenhorst επαναπροσδιόρισαν το δείκτη ώστε να εξετάζονται μόνο οι ώρες κατά της οποίες γίνεται χρήση του υπό μελέτη χώρου¹⁰. Σε μεταγενέστερες δημοσιεύσεις ο δείκτης (DA) εμπλουτίστηκε ακόμα περισσότερο όταν συνδυάστηκε με ένα μοντέλο κινούμενων σκιάστρων, προσαρμοζόμενο στις διαφορετικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Έτσι προέκυψε ο δείκτης «Ενεργού» Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (“Effective Daylight Autonomy”) που ερευνήθηκε περαιτέρω από τους Reinhart και Andersen το 2006¹¹.

Ακόμα μπορεί να συμβάλει σε υπολογισμούς που αφορούν στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας φωτισμού, εάν οριστεί ένα κατώτατο όριο έντασης φωτισμού επιφάνειας, το οποίο όταν επιτυγχάνεται μέσω του φυσικού φωτός μπορεί να αποκλείσει τη χρήση τεχνητού φωτισμού. Ο μελετητής είναι ελεύθερος να καθορίσει το κατώτατο αυτό όριο και κατά συνέπεια να προσαρμόσει τη χρήση του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού στις δικές του απαιτήσεις.

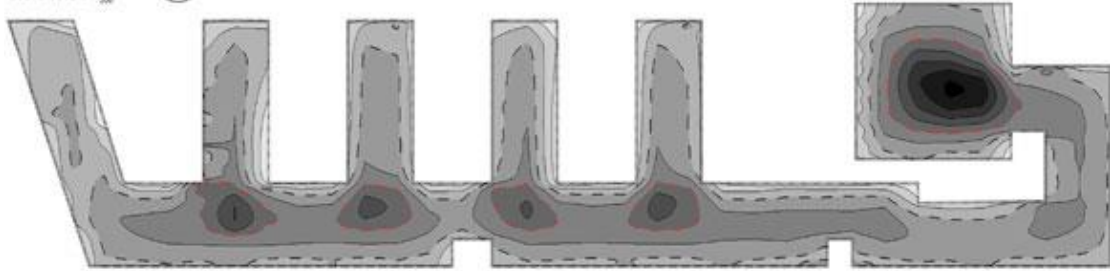


Εικόνα 2.6 – Τιμές του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού για διαφορετικές απαιτούμενες τιμές φωτεινότητας. Πηγή : www.sciencedirect.com

Στην παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται μία έκφραση του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού. Στο παράδειγμα από το οποίο προέρχεται¹⁰ έχει οριστεί ένα δεδομένο σημείο μέτρησης σε ένα χώρο γραφείων. Παρουσιάζεται το ποσοστό των ετήσιων ορών ετησίως κατά τις οποίες ικανοποιείται μια ελάχιστη απαίτηση φωτισμού σε συνάρτηση με την απαίτηση που ορίζεται. Κατά μία άλλη μορφή έκφρασης, με δεδομένη απαιτούμενη τιμή φωτεινότητας, παρουσιάζονται η διακύμανση της τιμής του δείκτη για όλο το εύρος του υπό μελέτη χώρου, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

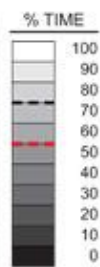
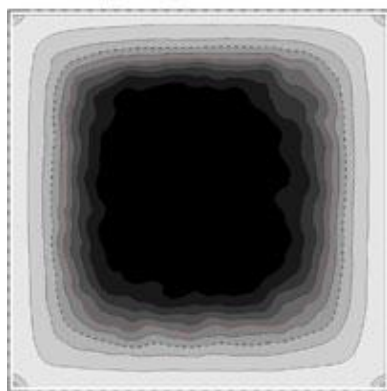
AllianzKai

87%
of floor area is
above 50% DA_{year}



AON Center

53%
of floor area is
above 50% DA_{year}



Daylight Autonomy Diagram



X = User Defined Value (lux) Full Credit No Credit

Εικόνα 2.7 – Χωρική κατανομή τιμών του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού για χώρους διαφορετικής γεωμετρίας. Πηγή : <http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/daylight-autonomy>

2.3.3 Δείκτης Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού - Continuous Daylight

Autonomy

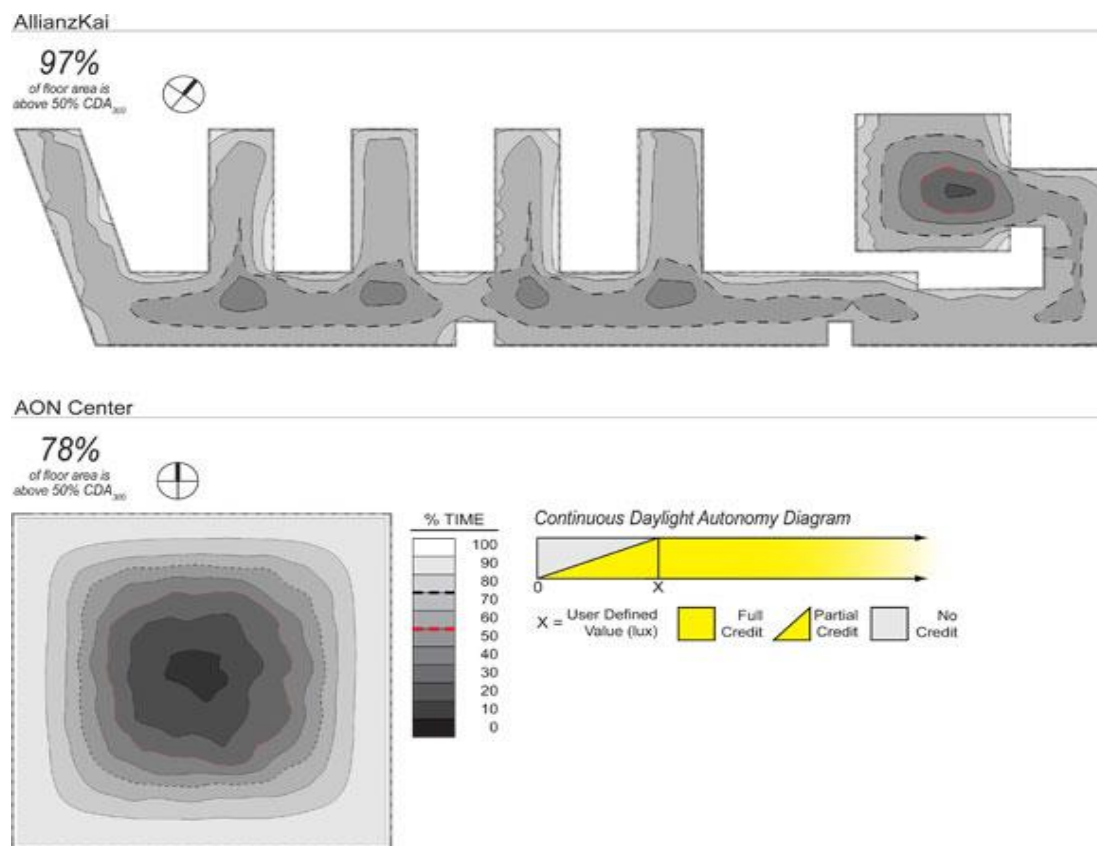
Ο Zach Rogers πρότεινε το 2006 τον δείκτη Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού [Continuous Daylight Autonomy (DAcon)] ως εξέλιξη στον ήδη υπάρχοντα δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού. Ο νέος δείκτης λαμβάνει υπόψη του τη συμβολή του φυσικού φωτός στην ένταση φωτισμού επιφάνειας σε ένα σημείο (με αναλογικό τρόπο) ακόμα και αν το κατώτατο όριο που έχει τεθεί, δεν επιτυγχάνεται. Έτσι αν το όριο για το Daylight Autonomy έχει τεθεί στα 300 lux και σε ένα συγκεκριμένο σημείο, η τιμή αυτή επιτυγχάνεται για το 50% του χρόνου χρήσης σε ετήσια βάση (δηλαδή Daylight Autonomy = 50%), τότε η τιμή του νέου όρου Continuous Daylight Autonomy θα είναι περίπου 55-60% ή και περισσότερο.

Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν επιτυγχάνεται το κατώτατο όριο, δεν αφαιρείται εξ' ολοκλήρου από το συνολικό αθροιστικό ποσοστό που υπολογίζεται αλλά προστίθεται με ένα συντελεστή συμμετοχής. Αυτός ο συντελεστής προκύπτει ως ο λόγος της προσφερόμενης φωτεινότητας προς την απαιτούμενη. Παραδείγματος χάριν, αν σε μία μέτρηση έντασης φωτισμού επιφάνειας απαιτούνται 500 lux και για κάποιο χρονικό διάστημα το φυσικό φως παρέχει 300 lux, τότε αυτό το χρονικό διάστημα προστίθεται στο συνολικό αθροιστικό ποσοστό με συντελεστή $300 \text{ lux} / 500 \text{ lux} = 0,6$.

Στην Εικόνα 2.7 φαίνεται η απεικόνιση τιμής του δείκτη σε όλο το εύρος του χώρου που χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα και για τον απλό δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού. Χαρακτηριστική είναι η διαφοροποίηση των τιμών που προκύπτουν με τον νέο δείκτη σε σχέση με τον προηγούμενο.

Η αλλαγή στον τρόπο υπολογισμού και κατά συνέπεια η δημιουργία του νέου δείκτη (DAcon) βασίζεται σε μελέτες που έχουν γίνει και δείχνουν ότι τα προτιμώμενα, από τους χρήστες, επίπεδα φωτισμού ποικίλουν (Jennings, Rubinstein, DiBartolomeo, and Blanc 1999; Reinhart and Voss 2003) και ότι πολλοί εργαζόμενοι τείνουν να εργάζονται σε επίπεδα φωτισμού χαμηλότερα από τα 300 lux ή 500 lux που είναι οι συνήθεις απαιτήσεις για εργασίας γραφείου (Lindelof and Morel 2006; Reinhart and Voss 2003). Το αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής στον τρόπο του υπολογισμού είναι ότι η αξιολόγηση ενός χώρου ως επαρκώς φωτισμένου από φυσικό φως, γίνεται πιο ρεαλιστική. Ουσιαστικά αναγνωρίζεται το γεγονός ότι ακόμα και η

μερική συμβολή του φυσικού φωτός στην επίτευξη των απαιτούμενων επιπέδων φωτισμού είναι σημαντική και δεν πρέπει να αγνοείται από το μελετητή



Εικόνα 2.8 – Χωρική κατανομή τιμών του δείκτη Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού για χώρους διαφορετικής γεωμετρίας. Πηγή :<http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/continuous-daylight-autonomy>

Για να συνεκτιμηθεί και η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της Θάμβωσης, μαζί με τον δείκτη Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DAcon) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένας συμπληρωματικός δείκτης, ο δείκτης Μέγιστης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DAmax) που υποδεικνύει το ετήσιο ποσοστό των ωρών χρήσης του χώρου κατά τις οποίες υπάρχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία ή υπερβολικές τιμές φυσικού φωτισμού. Συνεπώς θα πρέπει πλέον να οριστεί ένα ανώτατο όριο έντασης φωτισμού επιφάνειας.

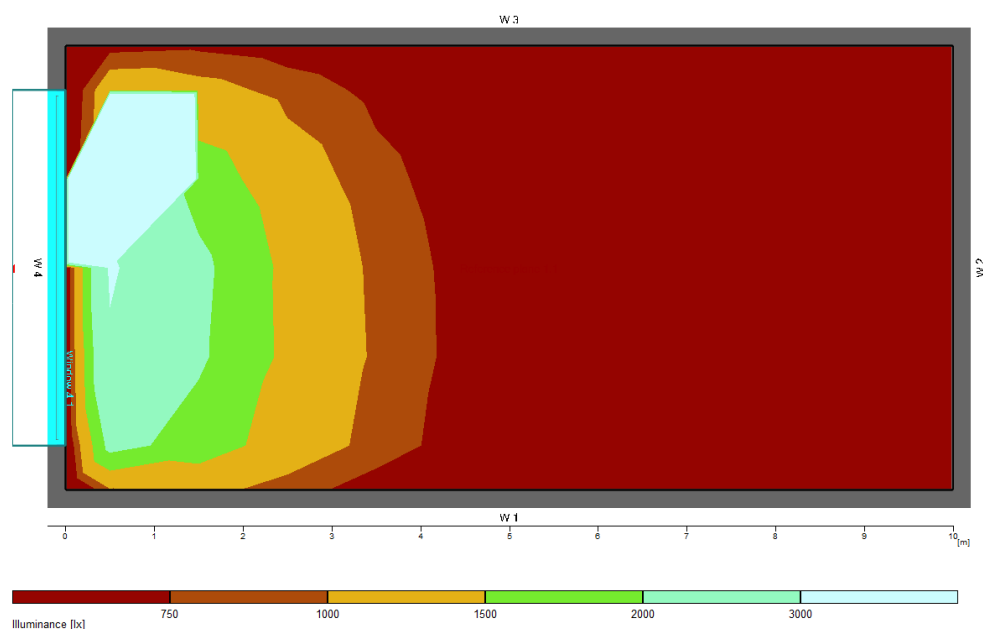
Λόγω της διαφοράς των ελάχιστων απαιτήσεων φωτισμού για διαφορετικούς χώρους ανάλογα με τη χρήση τους (και του ότι η θάμβωση προκαλείται λόγω της διαφοράς φωτεινότητας μεταξύ δύο οπτικών χώρων) , αυτό το όριο δεν μπορεί να είναι σταθερό. Έτσι ορίστηκε ως η δεκαπλάσια τιμή του κατώτατου ορίου για κάθε χώρο μελέτης (Rogers 2006). Αυτό το ανώτερο όριο είναι ουσιαστικά μια πρώτη ένδειξη της παρουσίας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ή άλλων συνθηκών που

δυναμικά συντελούν στην εμφάνιση της θάμβωσης και μπορεί να δώσει μια πρώτη εικόνα σχετικά με την συχνότητα και το χώρο εμφάνισης μεγάλων αντιθέσεων φωτεινότητας.

2.3.4 Δείκτης Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού - Useful Daylight Illuminance

Για να καλύψουν τα κενά που είχαν παρατηρηθεί στους προγενέστερους δείκτες φυσικού φωτισμού οι Nabil και Mardaljevic εισήγαγαν το 2005 ένα νέο δείκτη που ονομάστηκε δείκτης Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού [Useful Daylight Illuminance (UDI)]¹⁸.

Οι τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας σε διάφορα σημεία ενός τυπικού, πλαγίως φωτιζόμενου χώρου μπορεί να έχουν μεγάλες διακυμάνσεις. Η έννοια της ομοιομορφίας του φυσικού φωτισμού που προκύπτει από τον πρότυπο νεφοσκεπή ουρανό, δε μπορεί να αποδώσει με ικανοποιητικό τρόπο την πραγματικότητα.



Εικόνα 2.9 – Διακύμανση έντασης φωτισμού επιφάνειας πλαγίως φωτιζόμενου χώρου υπό καθαρό ουρανό, με νοτιανατολικό προσανατολισμό στην Αττική στην χειμερινή ισημερία στις 9:00 π.μ.

Η παρουσία άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στα υψηλότερα και τα χαμηλότερα επίπεδα φυσικού φωτισμού στο χώρο. Κατά συνέπεια κάθε προτεινόμενος δείκτης που ορίζεται ώστε να ενσωματώνει ρεαλιστικές, χρονικά μεταβαλλόμενες τιμές φυσικού φωτισμού θα πρέπει με κάποιο τρόπο να λαμβάνει υπόψη του και όλο το εύρος των τιμών φυσικής φωτεινότητας που

παρουσιάζονται στο χώρο. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να εγκαταλειφθεί η ιδέα μιας επιθυμητής ελάχιστης τιμής και να υιοθετηθεί ένα επιθυμητό εύρος τιμών της έντασης φωτισμού επιφάνειας για τον υπό μελέτη χώρο, οι οποίες να μπορούν να θεωρηθούν «ωφέλιμες». Αν οι τιμές είναι πολύ χαμηλές είναι πιθανό να μη συμβάλουν κατά κανένα τρόπο είτε στην αντίληψη του οπτικού περιβάλλοντος είτε στην πραγματοποίηση δεδομένων εργασιών. Στον αντίποδα, αν είναι πολύ υψηλές μπορεί να προκαλούν προβλήματα θερμικής ή/και οπτικής άνεσης. Οι τιμές ανάμεσα που περικλείονται στο «ωφέλιμο» εύρος τιμών έντασης επιφάνειας φωτισμού αποτελούν τις λεγόμενες τιμές «Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού».

Έτσι σε συνέχεια του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού [Daylight Autonomy (DA)], ο δείκτης «Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού» ορίζεται ως: *το ετήσιο ποσοστό των ωρών χρήσης ενός χώρου κατά τις οποίες οι τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας λόγω φυσικού φωτισμού κυμαίνονται μεταξύ των προβλεπόμενων ορίων.*

Το ανώτατο και το κατώτατο όριο του «ωφέλιμου» εύρους τιμών, καθώς και τα διάφορα επιμέρους διαστήματα τιμών και η αντίστοιχη συμβολή αυτών στο φωτισμό ενός χώρου, διαμορφώθηκαν από τους εισηγητές του νέου δείκτη μετά την μελέτη πλήθους δημοσιευμένων ερευνών σχετικά με τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού εσωτερικών χώρων. Έτσι έγινε ο εξής διαχωρισμός όσο αφορά στα επίπεδα φωτισμού που προκύπτουν στον εσωτερικό χώρο λόγω φυσικού φωτισμού:

- Τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας μικρότερες από 100 lux θεωρούνται ανεπαρκής ώστε ο φυσικός φωτισμός να αποτελέσει είτε τη μοναδική πηγή φωτισμού είτε συμπληρωματική πηγή.
- Τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας μεταξύ 100 lux και 500 lux θεωρούνται ωφέλιμες ώστε ο φυσικός φωτισμός είτε να αποτελέσει τη μοναδική πηγή φωτισμού είτε συμπληρωματική στον τεχνητό φωτισμό.
- Τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας μεταξύ 500 lux και 2000 lux εκλαμβάνονται ως επιθυμητά ή έστω ως ανεκτά.
- Τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας μεγαλύτερες από 2000 lux είναι ικανές να προκαλέσουν προβλήματα θερμικής ή/και οπτικής άνεσης.

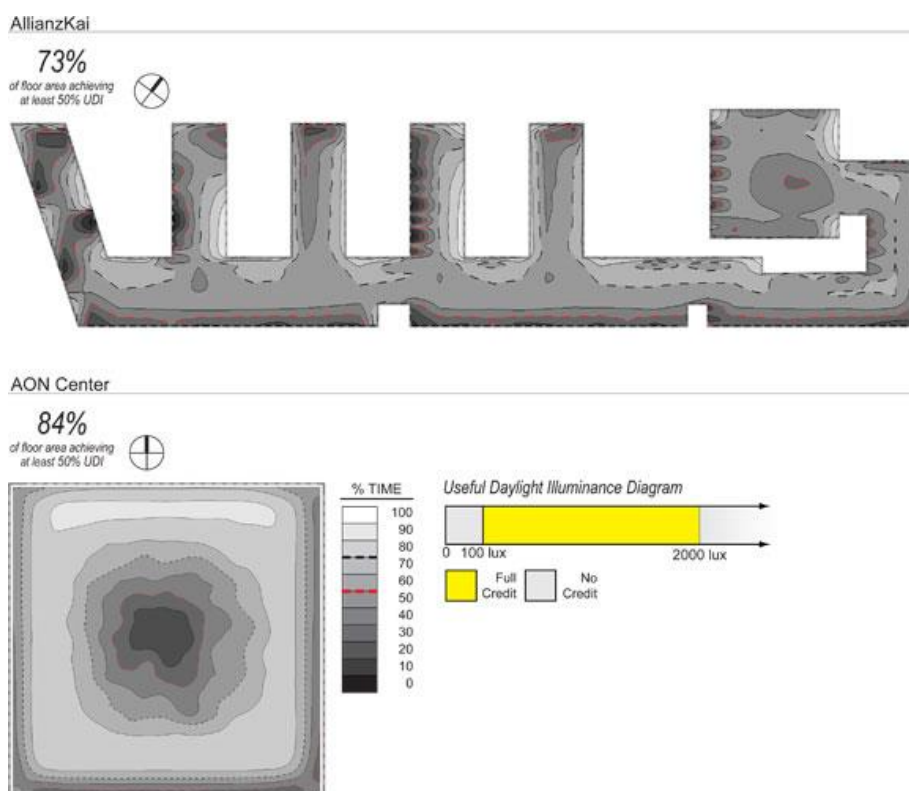
Συμπερασματικά όταν ο φυσικός φωτισμός παρέχει στο εσωτερικό ενός χώρου τιμές έντασης φωτισμού επιφάνειας 100 lux ως 2000 lux μπορεί να θεωρηθεί «ωφέλιμος».

Για να θεωρηθεί ένας χώρος «Ωφέλιμα Φυσικά Φωτισμένος» για κάποιο χρονικό διάστημα θα πρέπει όλα τα σημεία της επιφάνειας μελέτης στο χώρο να έχουν ένταση φωτισμού επιφάνειας μεταξύ 100 lux και 2000 lux. Αυτή η προϋπόθεση ωστόσο

δυσχεραίνει τη χρήση του δείκτη σε πολύ μεγάλους χώρους όπου είναι λογικό να υπάρχει μεγαλύτερη διακύμανση. Για αυτό το λόγο προτάθηκε οι χώροι αυτοί να εξετάζονται τμηματικά ώστε να προκύπτουν πιο ακριβείς και κυρίως πιο χρήσιμες προβλέψεις.

Ο δείκτης UDI διατηρεί σε μεγάλο βαθμό την ευκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων που χαρακτηρίζει τον Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού. Διαφοροποιείται όμως όσο αφορά στον τρόπο εξαγωγής των αποτελεσμάτων τα οποία προκύπτουν από ένα ολόκληρο ετήσιο στατιστικό δείγμα απόλυτων τιμών φωτισμού και όχι ένα από στιγμιαίο ποσοστό (όπως στον Π.Φ.Φ.). Με αυτό τον τρόπο δίνει πιο ρεαλιστικές και αξιόπιστες προβλέψεις για το φυσικό φωτισμού ενός χώρου.

Ακόμα, συγκρίνοντας τον με το δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DA), εξακολουθεί να μην δυσχεραίνει σχεδόν καθόλου την ερμηνεία των αποτελεσμάτων ενώ παρέχει σημαντικά περισσότερες πληροφορίες αφού με το άνω όριο που υιοθετεί μπορεί να προειδοποιήσει για πιθανές ανεπιθύμητες καταστάσεις.

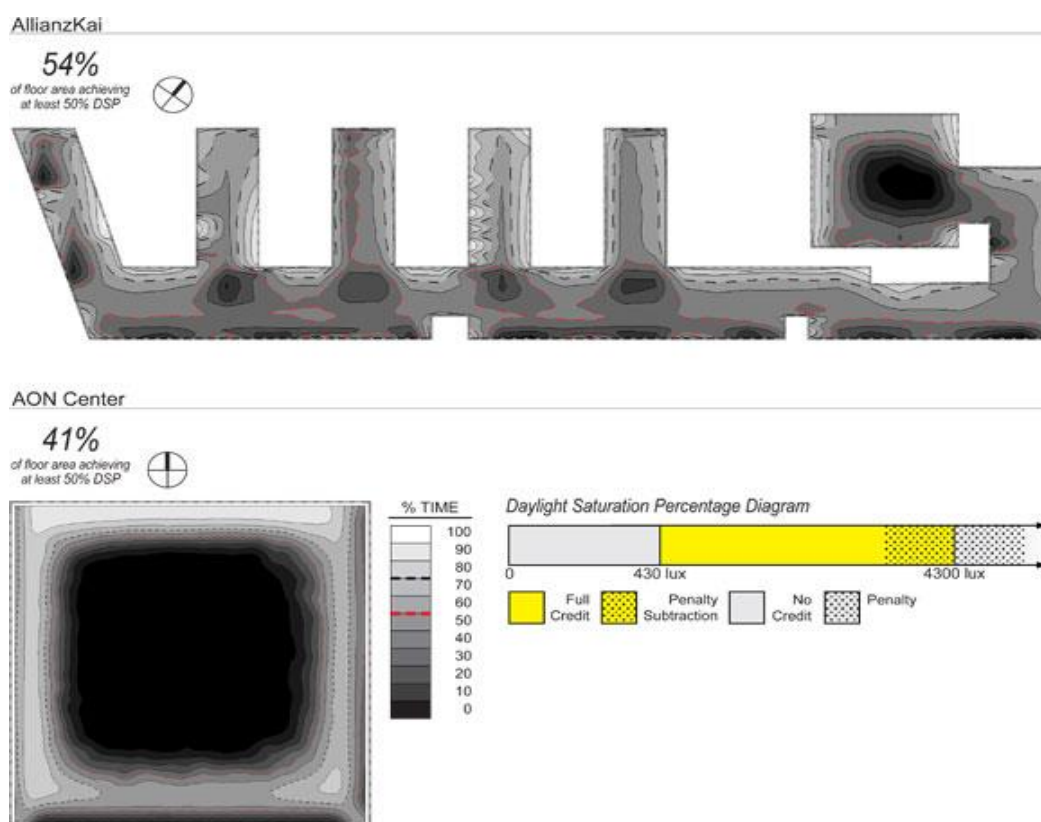


Εικόνα 2.10 – Χωρική κατανομή τιμών του δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού για χώρους διαφορετικής γεωμετρίας. Πηγή : <http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/useful-daylight-illuminance>

Σε συνέχεια των προηγούμενων παραδειγμάτων απεικόνισης δεικτών, παρουσιάζεται μία απεικόνιση του (UDI), για τον ίδιο χώρο, όπου φαίνεται η τιμή του δείκτη για τα διάφορα σημεία του χώρου.

2.3.5 Δείκτης Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού - Daylight Saturation Percentage

Το 2006, κατά την έρευνα για σχολικούς χώρους υψηλής ενεργειακής απόδοσης, προτάθηκε μία παραλλαγή του δείκτη UDI που ονομάστηκε δείκτης Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού [Daylight Saturation Percentage (DSP)]. Σύμφωνα με τη νέα προσέγγιση το κατώτατο όριο «ωφέλιμου» φυσικού φωτισμού ορίστηκε στα 430 lux και το ανώτατο στα 4300 lux. Επιπλέον, επέβαλε την εισαγωγή των ορών κατά τις οποίες τα επίπεδα φωτισμού υπερβαίνουν το ανώτατο όριο με αρνητικό συντελεστή στο ετήσιο αθροιστικό ποσοστό και όχι απλά την αγνόησή τους.



Εικόνα 2.11 – Χωρική κατανομή τιμών του δείκτη Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού για χώρους διαφορετικής γεωμετρίας. Πηγή : <http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/useful-daylight-illuminance>

2.4 Αξιολόγηση Ποσοτικών Δεικτών Φυσικού Φωτισμού

Οι πιο χρήσιμοι δείκτες είναι αυτοί που επιτρέπουν μια ενστικτώδη ερμηνεία και μπορούν να εύκολα να μετρηθούν για να επιβεβαιωθεί η τιμή τους. Έτσι αναμένεται μια γενικότερη προτίμηση στους απλούστερους, ώστε να είναι ενστικτωδώς κατανοητοί και συσχετισμένοι με μετρήσιμα αποτελέσματα. Όταν ένας δείκτης είναι επαρκώς ορισμένος και κατανοητός και τα αποτελέσματα που δίνει έχουν επαληθευτεί, μπορούν να θεσπιστούν και τα αντίστοιχα κριτήρια που θα προτείνονται από τους τεχνικούς κανονισμούς ή άλλους οδηγούς σχεδιασμού.

Ωστόσο, η επιλογή ανάμεσα στους διαθέσιμους δείκτες δεν ακολουθεί πάντα τη λογική οδό, δηλαδή της σύνδεσής της με το ερώτημα που θέτει ο μελετητής και τα στοιχεία που μπορεί να αποδώσει ο δείκτης. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού (Daylight Factor) του παλαιότερου, πιο απλοϊκού και, κατά πολλούς, ανεπαρκή δείκτη, ο οποίος είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος. Μία ερμηνεία αυτής της πραγματικότητας, που ξεφεύγει από τα στενά όρια της επιστημονικής σύγκρισης των διαφόρων δεικτών, είναι η πιθανή «επιβολή» του Π.Φ.Φ. (DF) από τους διάφορους διεθνείς τεχνικούς κανονισμούς. Κατά αυτή την ερμηνεία, οι τιμές του Π.Φ.Φ. που υιοθετούν οι κανονισμοί ως το μοναδικό κριτήριο για τον έλεγχο του φυσικού φωτισμού στα κτίρια, γίνονται οι αντικειμενικοί στόχοι των μελετητών. Έτσι οδηγούνται σε μονοδιάστατες προσεγγίσεις και στη λογική του «όσο περισσότερο τόσο το καλύτερο» που είναι εξαιρετικά απλουστευτική.¹⁹

Οι ελλείψεις αυτές, όπως και άλλες που αναφέρονται λεπτομερώς σε επόμενες παραγράφους, οδήγησαν στην εξέλιξη νέων δεικτών που ενσωματώνουν τις διαφοροποιήσεις που προκύπτουν κατά περίπτωση και οφείλονται στη γεωγραφική θέση και την αλληλεπίδραση του κτιρίου αφενός με τους χρήστες και αφετέρου με τις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχής καθώς και τις διακυμάνσεις των συνθηκών αυτών κατά τη διάρκεια του έτους.

Οι νέοι αυτοί δείκτες, που ονομάζονται και δυναμικοί δείκτες, απαιτούν τη χρήση προγραμμάτων τρισδιάστατης σχεδίασης καθώς και μοντέλων προσομοίωσης φυσικού φωτισμού. Συνεπώς δε θα πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι η διάδοση της χρήσης τους ευνοήθηκε από τις τεχνολογικές εξελίξεις οι οποίες:

- Επιτρέπουν σε μικρής κλίμακας μελετητές και φοιτητές να κατέχουν συσκευές με σημαντική υπολογιστική ισχύ με προσιτό οικονομικό κόστος.

- Έχουν διαμορφώσει τη γενιά νέων μελετητών οι οποίοι στην πλειονότητα τους έχουν σημαντικές γνώσεις πληροφορικής και αυξημένο ενδιαφέρον για τις ηλεκτρονικές εφαρμογές.
- Βελτίωσαν τα λογισμικά προσομοίωσης και σχεδίασης επιτρέποντας την διαμόρφωση εύχρηστου και κατανοητού περιβάλλοντος εργασίας για το χρήστη καθώς και εύκολα κατανοητών τρόπων αναπαράστασης των αποτελεσμάτων.

Η διευκόλυνση του υπολογισμού τους, που οφείλεται στην τεχνολογική εξέλιξη, αποτέλεσε αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για την αύξηση της δημοτικότητάς τους. Υπάρχουν αρκετά επιχειρήματα υπέρ των νέων «δυναμικών» δεικτών. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Τα μοντέλα προσομοίωσης που χρησιμοποιούν τα λογισμικά έχουν επαληθευθεί αυστηρά για αρκετούς συνδυασμούς υλικών και γεωμετρικής μορφολογίας κτιρίων.
- Υπάρχουν πλέον αρκετά εργαλεία σχεδιασμού και προσομοίωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μελετητές χωρίς ιδιαίτερη εξειδίκευση.
- Η διαφορά στην εργασία που απαιτείται για να υπολογίσει κάποιος ένα δυναμικό δείκτη δεν είναι μεγάλη σε σχέση με τον Π.Φ.Φ. και όλα τα επιπλέον δεδομένα που χρειάζονται (όπως στατιστικά κλιματολογικών συνθηκών κ.λπ.) βρίσκονται έτοιμα σε προσβάσιμες βάσεις δεδομένων.
- Η ικανότητα ρεαλιστικής πρόβλεψης των νέων δεικτών είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους μονοδιάστατους όπως ο Π.Φ.Φ.

Αυτό το τελευταίο επιχείρημα είναι και το πιο σημαντικό, ωστόσο χρειάζεται περαιτέρω αιτιολόγηση για να αποδειχθεί η ευστάθειά του, αφού μόνο του, φαίνεται αρκετά υποκειμενικό.

Κατατοπιστική μπορεί να είναι μία ανάλυση των «συστατικών» του φυσικού φωτός και πως αυτά επηρεάζουν τον κάθε δείκτη. Έτσι αρχικά το φυσικό φως χωρίζεται σε ηλιακό και ουράνιο φως. Το φως μιας φωτεινής πηγής μπορεί να φθάσει σε ένα σημείο του χώρου είτε άμεσα είτε έμμεσα. Άμεσος φωτισμός είναι αυτός που προκύπτει όταν επιτρέπει η ανεμπόδιστη διαδρομή των φωτεινών ακτινών από την φωτεινή πηγή στο σημείο. Έμμεσος είναι αυτός που προκύπτει όταν οι ακτίνες φτάνουν στο σημείο μετά από μία ή περισσότερες ανακλάσεις σε άλλες επιφάνειες. Έτσι για μια ακριβή ανάλυση θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός σε άμεσο και έμμεσο,

τόσο για τον ηλιακό όσο και για το ουράνιο φως. Παρόλο που ο ήλιος και ο ουρανός είναι ουσιαστικά η ίδια φωτεινή πηγή ο διαχωρισμός γίνεται λόγω της μικρότερης γωνίας πρόσπτωσης του ηλιακού σε σχέση με το ουράνιο φως και άρα της μεγαλύτερης συμβολής του στην ένταση φωτισμού μιας επιφάνειας. Έτσι ο φωτισμός από το άμεσο ηλιακό φως αναφέρεται συνήθως «άμεσο φως». Αντίθετα ο φωτισμός που προκύπτει από το ουράνιο φως, είτε άμεσα είτε μετά από ανάκλαση, αναφέρεται συνήθως ως «διάχυτο φως». Το ηλιακό φως που έχει υποστεί μία ή περισσότερες ανακλάσεις αναφέρεται επίσης ως «διάχυτο φως».

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα²⁰ μπορούμε να δούμε πόσο από το πραγματικό φως λαμβάνει υπόψη του το κάθε είδος δείκτη. Όπως φαίνεται ο Π.Φ.Φ. , ως στατικός και μονοδιάστατος δείκτης, χρησιμοποιεί τη φωτεινότητα που προέρχεται από ένα μεμονωμένο, στατικό και νεφοσκεπή ουρανό, και στη συνέχεια την ανάγει σε μία ανεμπόδιση, εξωτερική φωτεινότητα ώστε να προκύψει μια συσχετισμένη μέτρηση της φωτεινότητας που εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό, για παράδειγμα Π.Φ.Φ.=2%.

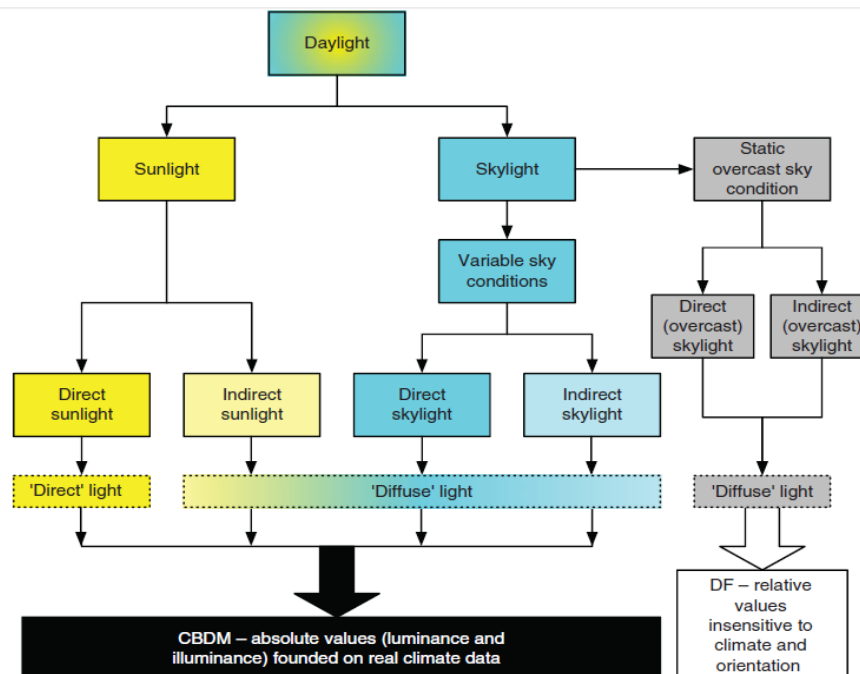


Figure A1 The components of daylight and their relation to the DF and climate-based modelling approaches

Εικόνα 2.12 – Οι συνιστώσες του φυσικού φωτός και η συσχέτισή τους με τον Π.Φ.Φ. και τους Δυναμικούς Δείκτες Φυσικού Φωτισμού. Πηγή : www.sciencedirect.com

Οι δυναμικοί δείκτες από την άλλη, χρησιμοποιούν το σύνολο του φωτός που φτάνει σε ένα σημείο με όποιο τρόπο και αν φτάνει, και αποδίδουν απόλυτες τιμές για τις ποσότητες του φωτισμού (π.χ. ένταση φωτισμού επιφάνειας – illuminance). Τα τυποποιημένα κλιματολογικά αρχεία συνήθως περιέχουν τις μέσες ωριαίες τιμές για διάχυτη οριζοντίως προκύπτουσα φωτεινότητα και για άμεση κανονική φωτεινότητα. Αυτές οι τιμές ανάγονται σε συνθήκες ουράνιου και ηλιακού φωτός για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Η ένταση του φωτός που αποδίδει ο ήλιος βασίζεται αποκλειστικά στην τιμή της άμεσης κανονικής φωτεινότητας των κλιματολογικών αρχείων ενώ η θέση του ήλιου προκύπτει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση από τα τυποποιημένα διαγράμματα της ηλιακής τροχιάς. Όσο αφορά στη φωτεινότητα του ουρανού, αυτή προκύπτει από πιο σύνθετα μοντέλα προσομοίωσης, όπως το Perez All Weather model.

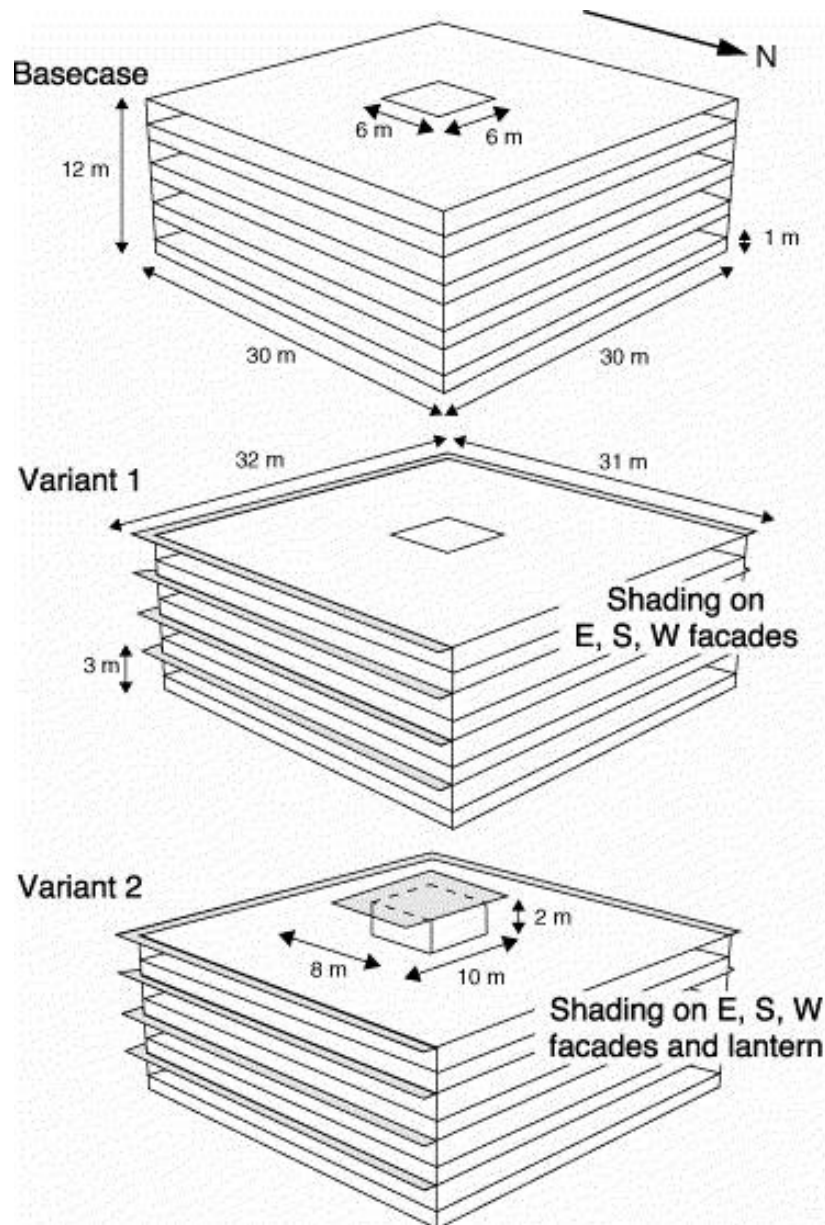
Για την αξιολόγηση των δεικτών έχουν γίνει πολυάριθμες μελέτες, βασισμένες σε κοινά δεδομένα μελέτης και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που αποδίδει ο κάθε δείκτης. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε την έρευνα των Mardaljevic και Nabil¹⁸.

Κατασκευάστηκε στο λογισμικό Radiance ένα μοντέλο ενός τετραώροφου κτιρίου με έναν κεντρικό φεγγίτη. Το κτίριο είχε τις διαστάσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Οι κλιματολογικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές του Λονδίνου του Ηνωμένου Βασιλείου. Η ανακλαστικότητα των τοίχων, της οροφής, των πατωμάτων και των εξωστών οριστήκαν ως 0.5, 0.7, 0.3 και 0.7 αντίστοιχα. Τα ανοίγματα αναπτύσσονται από το 1μ. ως το 1.7μ.

Στο σχήμα φαίνονται ακόμα η βασική υπόθεση και 2 εναλλακτικές που ερευνηθήκαν. Σκοπός τη συγκεκριμένης μελέτης ήταν η σύγκριση των πιο διαδεδομένων δεικτών, του στατικού Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού και των δυναμικών, δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DA) και δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού (UDI). Οι εναλλακτικές προστέθηκαν για να καταδειχθεί η ευαισθησία των δεικτών στις διάφορες διαφοροποιήσεις και κατά συνέπεια πόσο ρεαλιστικά είναι τα αποτελέσματα που μπορεί να δώσουν. Από τη σκοπιά του μελετητή, η επιβεβαίωση της «ευαισθησίας» αυτής μπορεί να καταστήσει ένα δείκτη, ικανό εργαλείο για τη σύγκριση διαφορετικών σχεδιαστικών προσεγγίσεων.

Συνοπτικά αναφέρονται τα εξής:

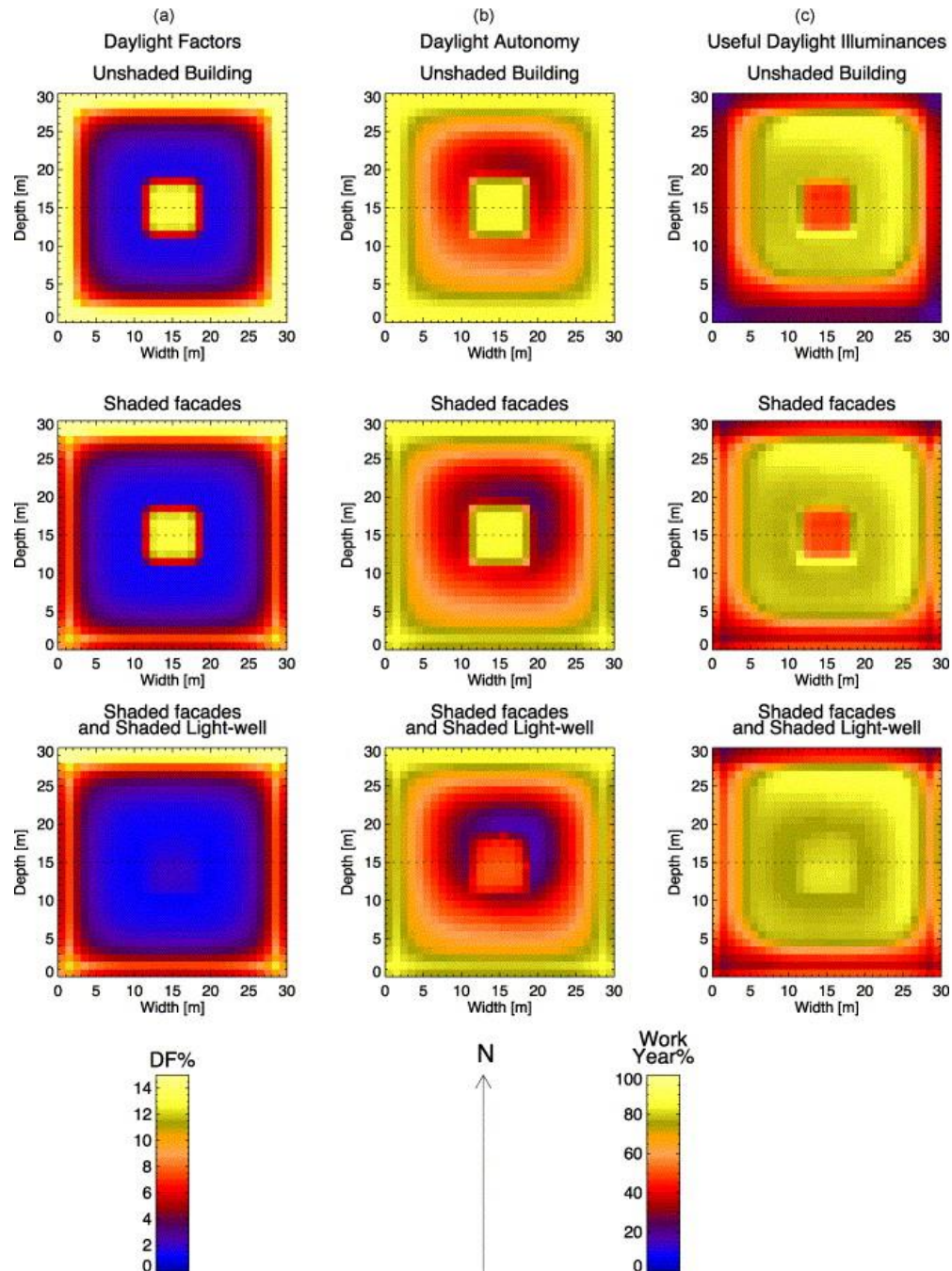
- Στη βασική υπόθεση: δεν υπάρχουν σκίαστρα σε καμία πρόσοψη ούτε στο φεγγίτη
- Στην 1^η εναλλακτική: Σκίαστρα πλάτους 1μ. τοποθετήθηκαν στη Νότια, την Ανατολική και τη Δυτική όψη του κτιρίου
- Στην 2^η εναλλακτική: Επιπρόσθετα στα σκίαστρα των όψεων προστέθηκε και ένα «φανάρι» πάνω από το φεγγίτη με σκίαστρα πλάτους 2μ. στη Νότια, Ανατολική και Δυτική Πλευρά.



Εικόνα 2.13 – Βασική υπόθεση και εναλλακτικές.

Τα αποτελέσματα για τους τρεις δείκτες για κάθε μία από τις εναλλακτικές σε «πλέγματα» 9 εικόνων όπου οι δείκτες κατατάσσονται κατά στήλη και οι

εναλλακτικές κατά σειρά. Στο πρώτο σχήμα εμφανίζονται οι τιμές των δεικτών σε όλο το εύρος το εύρος της ελεγχόμενης επιφάνειας ενώ στο δεύτερο η εμφανίζεται σε καμπύλη η τιμή του κάθε δείκτη κατά μήκος του κεντρικού άξονα του κτιρίου στη διεύθυνση ανατολή-δύση.



Εικόνα 2.14a – Αποτελέσματα ανά δείκτη και ανά εναλλακτική πρόταση κτιρίου στο πείραμα Mardaljevic-Nabil. Πηγή : www.sciencedirect.com

Αξίζει να γίνει σύγκριση τόσο των εναλλακτικών για κάθε δείκτη μεμονωμένα όσο και συνολική σύγκριση μεταξύ των δεικτών.

Για τον Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού (Daylight Factor):

Η ομοιομορφία που φαίνεται στη βασική υπόθεση είναι αναμενόμενη αφού είναι γνωστή μη-συσχέτιση του Π.Φ.Φ. με τον προσανατολισμό λόγω της υιοθέτησης του πρότυπου ουρανού. Φαίνεται ακόμα ότι η τιμή του κοντά στα ανοίγματα είναι σημαντικά υψηλότερη από ότι στο εσωτερικό. Με την προσθήκη των σκιάστρων της 1^{ης} εναλλακτικής η τιμή του Π.Φ.Φ. μειώνεται στο 5-6% από τη ζώνη των 2 μέτρων μέσα από τα ανοίγματα και εσωτερικά, στους προσανατολισμούς που σκιάζονται. Προχωρώντας στην 3^η εναλλακτική και την προσθήκη του «φαναριού» ο Π.Φ.Φ. ξεπερνάει την τιμή 2% σε όλο το εσωτερικό τμήμα.

Για το δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (Daylight Autonomy):

Το ελάχιστο όριο των 500 lux επιτυγχάνεται για πάνω από 80% των ωρών εργασίας γύρω από τις κατόψεις. Ακόμα υψηλότερες τιμές δίνονται για τις γωνίες αλλά και το χώρο κάτω από το φεγγίτη. Ομοίως με τον Π.Φ.Φ. οι τιμές μειώνονται όσο προχωρά κάποιος προς το εσωτερικό. Αντίθετα με πριν όμως οι τιμές που προκύπτουν δεν είναι συμμετρικές γύρω από τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα του κτιρίου με το βορειοανατολικό τμήμα να παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές. Οι προσθήκες των σκιάστρων και του «φαναριού» οδηγούν σε διαδοχικές μειώσεις των τιμών του (DA).

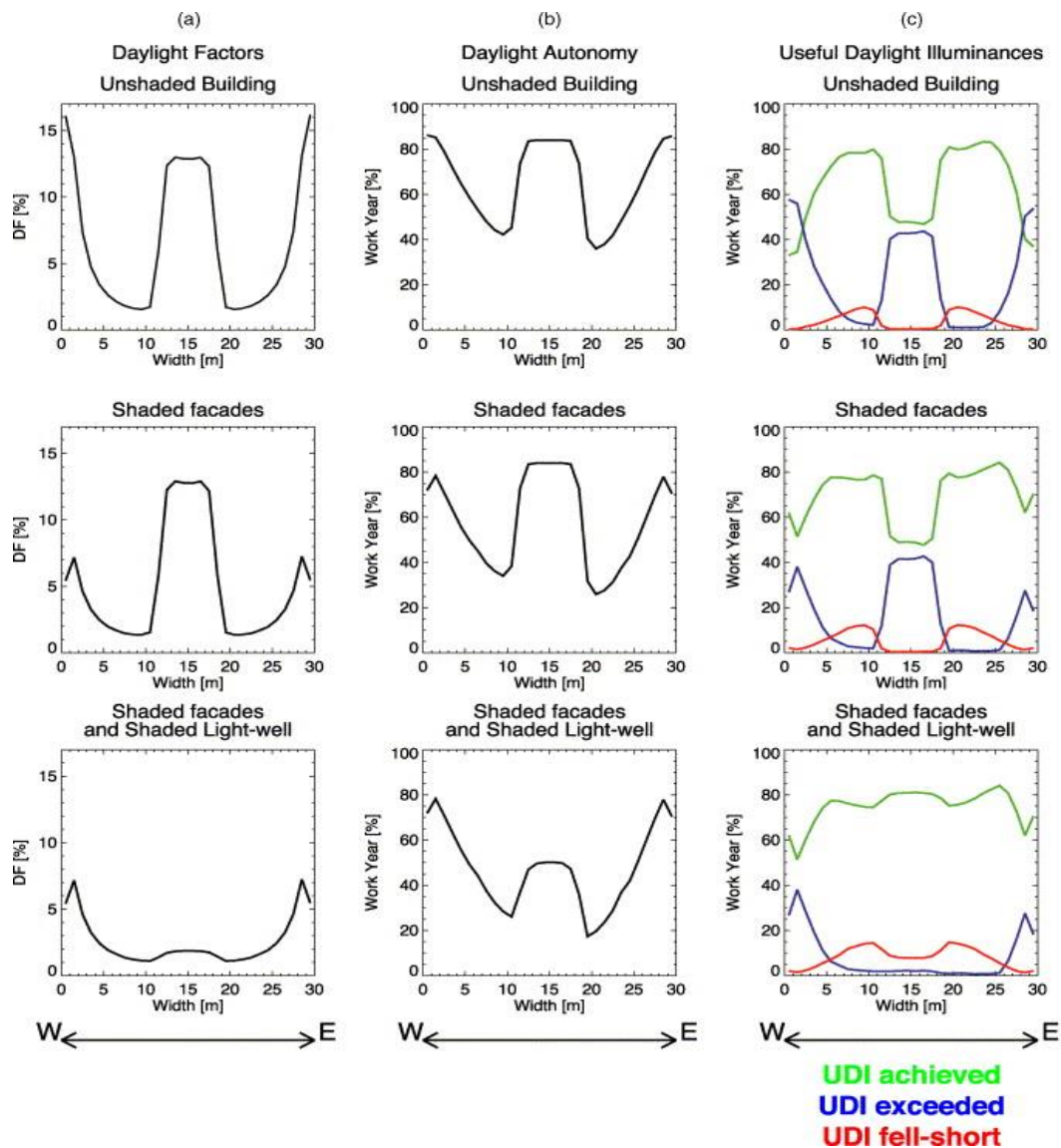
Για το δείκτη Ωφέλιμου φυσικού Φωτισμού (Useful Daylight Illuminance):

Εδώ παρατηρούνται ελάχιστες τιμές στη ζώνη κοντά στα ανοίγματα και κάτω από το φεγγίτη για τη βασική υπόθεση. Είναι προφανές ότι αυτό οφείλεται στο άνω όριο που θέτει αυτός ο δείκτης και συμβαίνει για πάνω από το 60% των εργάσιμων ωρών ετησίως. Το ίδιο ισχύει σε ελαφρώς μικρότερο βαθμό για την κεντρική περιοχή κάτω από το φεγγίτη. Στη 1^η εναλλακτική τα σκίαστρα μειώνουν την υπέρβαση των ορίων και ειδικά στον άξονα ανατολής-δύσης, ώστε αυτή να συμβαίνει για λιγότερο από 50% του έτους. Μικρή είναι η βελτίωση στη γωνίες και στη νότια όψη. Με την προσθήκη του «φαναριού» με τα επιπλέον σκίαστρα βελτιώνει σημαντικά τις συνθήκες στο κεντρικό σημείο κάτω από το φεγγίτη όπου πλέον Ωφέλιμος Φυσικός Φωτισμός υπάρχει για πάνω 75% των εργάσιμων ωρών.

Συνολική Εκτίμηση:

Η πιο χαρακτηριστική διαφοροποίηση στα αποτελέσματα ξεκινώντας από τη βασική περίπτωση, είναι η συμμετρία των τιμών του Π.Φ.Φ. στη βασική περίπτωση σε σχέση με την ασυμμετρία που παρουσιάζουν οι (DA) και (UDI). Ωστόσο οι Π.Φ.Φ. και (DA) έχουν μέγιστες τιμές κοντά στα ανοίγματα και κάτω από το φεγγίτη σε αντίθεση με τον UDI που έχει ουσιαστικά αντίστροφη κατανομή.

Προχωρώντας στην 1^η εναλλακτική με την προσθήκη των σκιάστρων έχουμε μείωση των τιμών του Π.Φ.Φ. και (DA) γύρω από τα ανοίγματα σε αντίθεση με τον (UDI) του οποίου οι τιμές αυξάνονται, γεγονός που προφανώς οφείλεται στη μείωση της υπέρβασης του άνω ορίου. Το ίδιο συμβαίνει και για το κεντρικό τμήμα της κάτοψης με την προσθήκη του «φαναριού» στην 3^η εναλλακτική.



Εικόνα 2.14b – Αποτελέσματα ανά δείκτη και ανά εναλλακτική πρόταση κτιρίου στο πείραμα

Mardaljevic-Nabil. Πηγή : www.sciencedirect.com

Είναι προφανές ότι ο δείκτης που θα επιλέξει ο μελετητής θα οδηγήσει σε διαφορετικές επιλογές κατά το σχεδιασμό. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης ως απόλυτες τιμές, δε μπορούν να βοηθήσουν στην αξιολόγηση των δεικτών καθώς διαφορετική γεωμετρία ή άλλα υλικά, μπορεί να τις διαφοροποιήσουν σε μεγάλο βαθμό.

Αυτό που μπορεί να γίνει σαφές όμως είναι τα παραπλανητικά αποτελέσματα που μπορεί να έχουμε λόγω των εν γένει ελλείψεων του κάθε δείκτη. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε:

- Την αδυναμία του Π.Φ.Φ να προβλέψει τη μη συμμετρική μορφή της φωτεινότητας λόγω της συμμετρικής θεώρησης του πρότυπου ουρανού.
- Την αδυναμία τόσο του Π.Φ.Φ. όσο και του (DA) να προβλέψουν τα προβλήματα υπερβολικά υψηλών τιμών στην περίμετρο και στο κέντρο της κάτοψης, λόγω έλλειψης άνω ορίου, που μπορεί να οδηγήσουν σε θάμβωση ή ανεπιθύμητα θερμικά φορτία.
- Την εντελώς λανθασμένη εκτίμηση του Π.Φ.Φ. όσο αφορά στη 2^η εναλλακτική προφανώς λόγω του μη ρεαλιστικού μοντέλου του ουρανού που χρησιμοποιεί, παρά τη θεώρηση του Λονδίνου ως τοποθεσία ώστε να πλησιάζονται οι συνθήκες του πρότυπου νεφοσκεπούς ουρανού.

Πρέπει ακόμα να γίνει κατανοητό ότι η επιρροή της κάθε αδυναμίας ενός δείκτη στην παραπληροφόρηση, ελαχιστοποιείται ή μεγιστοποιείται κατά περίπτωση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη χώρου. Συγκρίνοντας με το παράδειγμα που παρουσιάζεται κάποιος μπορεί εύλογα να υποθέσει ότι:

- Αν το σχήμα του κτιρίου και η τοποθέτηση των ανοιγμάτων δεν ήταν συμμετρικά, η ανικανότητα του Π.Φ.Φ. να προβλέψει τη μη-συμμετρική μορφή του ουρανού θα οδηγούσε σε σαφώς χειρότερα αποτελέσματα.
- Αν η τοποθεσία ήταν διαφορετική, ώστε το κλίμα να αλλάζει άρα και οι μέση κατάσταση του ουρανού, να αποκλίνει περισσότερο από τον πρότυπο νεφοσκεπή, τα αποτελέσματα του Π.Φ.Φ. θα ήταν επίσης λιγότερο αξιόπιστα.

Παρατηρείται ότι ο Π.Φ.Φ. είναι πιο «επικίνδυνος» όσο αφορά πιθανές αστοχίες στην πρόβλεψη. Δεν είναι υπάρχει αμφιβολία ότι αυτό οφείλεται στο στατικό μονοδιάστατο χαρακτήρα του ο οποίος του επιβάλει σημαντικές απλουστεύσεις. Στον αντίποδα, είναι πλέον προφανές ότι οι προβλέψεις που λαμβάνουν υπόψη τους δυναμικά δεδομένα δίνουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα των πραγματικών συνθηκών φυσικού φωτισμού.

Ωστόσο, ανεξάρτητα από το ποιος από τους δείκτες κρίνεται ως πιο αποτελεσματικός, ανακύπτει ένας προβληματισμός. Μπορεί ένας μόνο δείκτης να περιγράψει με ικανοποιητική επάρκεια την ποιότητα του φυσικού φωτισμού; Σ' αυτή την ερώτηση δε μπορεί να υπάρξει σαφής απάντηση αφού όπως αναφέρθηκε καινωρίτερα, υπάρχει μια σχετική ασάφεια τόσο σχετικά με το τι θεωρείται ικανοποιητικά φυσικώς φωτισμένο όσο και σχετικά με ποια θα μπορούσε να θεωρηθεί ικανοποιητική περιγραφή του φυσικού φωτισμού. Αν και σχετικά ασαφής, η γενικότερη αντίληψη για τον ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό είναι αυτή ενός χώρου που ελαχιστοποιεί την οπτική δυσφορία και παρέχει υψηλού επιπέδου οπτική άνεση χρησιμοποιώντας είτε αποκλειστικά είτε κατά κύριο λόγο το φυσικό φως με μεγάλη συχνότητα στη διάρκεια ενός έτους. Έτσι ο «ικανοποιητικός φυσικός φωτισμός» μπορεί να ερμηνευθεί ως ένας ετήσιος αθροιστικός μετρητής του βαθμού και της συχνότητας εμφάνισης στιγμιαίων συνθηκών που θεωρείται ότι προσφέρουν «ικανοποιητική» οπτική άνεση και ποιότητα. Είναι πιθανό κάποια στιγμή τα διάφορα δεδομένα να συνδυαστούν σε ένα καθολικό δείκτη που θα αποδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ωστόσο με την σημερινή γνώση, προτείνεται η μελέτη διαφόρων διαστάσεων του φωτιζόμενου περιβάλλοντος ξεχωριστά για μια πιο ρεαλιστική κατανόηση της πραγματικότητας²⁰.

2.5 Σύγκριση Ποσοτικών Δεικτών Φυσικού Φωτισμού Με Ανθρώπινες Εκτιμήσεις

Είναι προφανές ότι η κινητήρια δύναμη πίσω από την έρευνα για την εξέλιξη των δεικτών είναι η επιθυμία για παροχή όσο το δυνατόν καλύτερου φυσικού φωτισμού στους χρήστες ενός χώρου. Όμως πέρα από τις συγκρίσεις μεταξύ των δεικτών και τον εντοπισμό των αδυναμιών του καθενός ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με αυτό που θεωρείται επαρκώς φωτισμένος χώρος από τους ίδιους τους χρήστες.

Μία τέτοια μελέτη πραγματοποιήθηκε το 2011 από τον Christoph Reinhart στο Πανεπιστήμιο του Harvard²¹. Η μελέτη συνέκρινε τις εκτιμήσεις μιας ομάδας φοιτητών αρχιτεκτονικής με τα αποτελέσματα των πιο διαδεδομένων δεικτών δηλαδή του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού (DF), του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DA) και δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού (UDI). Ακόμα έκανε την ίδια σύγκριση και για τον εμπειρικό κανόνα που αναφέρει ότι ο χώρος που φωτίζεται

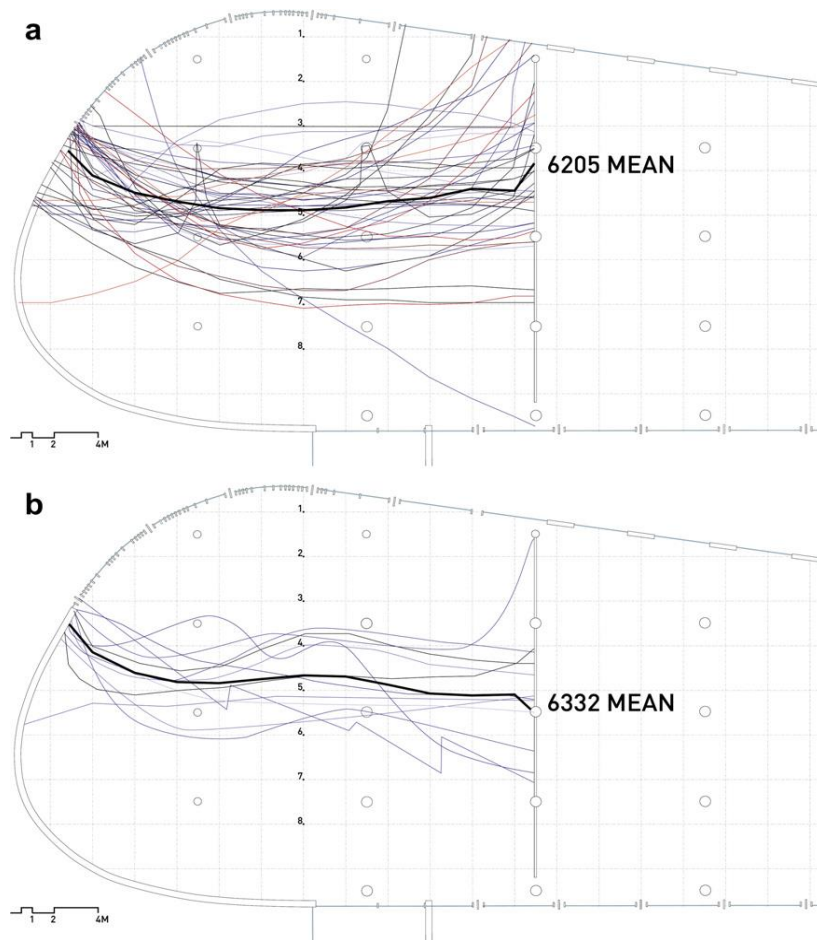
επαρκώς από ένα παράθυρο εκτείνεται σε μήκος ίσο με, από μίας ως δύο φορές (για μεγάλους ενιαίους χώρους ως και 2,5 φορές), το ύψος του πρεκτιού του παραθύρου.

Εξ' αρχής υπάρχουν αρκετά επιχειρήματα σχετικά με τη αναμενόμενη ασυμφωνία μεταξύ των δεικτών και των ανθρώπινων εκτιμήσεων:

- Οι φωτεινότητες των επιφανειών μελέτης , δηλαδή η ποσότητα φωτός που φτάνει στις επιφάνειες, μπορεί να είναι διαφορετική από την ποσότητα που βλέπει ένας παρατηρητής, δηλαδή την ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται από την επιφάνεια προς τα μάτια του.
- Το ανθρώπινο μάτι δεν έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει ακριβείς τιμές φωτεινότητας. Έτσι αν ένα πείραμα ήθελε να καθορίσει τη γραμμή ίσης φωτεινότητας, έστω 300 lux, ο παρατηρητής δε θα μπορούσε να κάνει το ίδιο χωρίς ειδικό μετρητή.
- Δεδομένου ότι οι συνθήκες του ουρανού, και ως εκ τούτου τα εσωτερικά επίπεδα φωτισμού, αλλάζουν συνεχώς, είναι απίθανο οι παρατηρητές να μπορούν να διαχωρίζουν διανοητικά τη θέση του ορίου των 300 lux σε βάθος χρόνου, και ειδικά για ένα χώρο με τον οποίο δεν έχουν οικειότητα.
- Η εκτίμηση της έκτασης της επαρκώς φωτισμένης περιοχής και αντίστοιχα της ανεπαρκώς φωτισμένης, είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν μεταξύ διαφορετικών παρατηρητών λόγω του υποκειμενικού χαρακτήρα της έννοιας της επάρκειας.

Για να συγκεντρώσει τα απαραίτητα στοιχεία ο Reinhart χρησιμοποίησε δύο ομάδες φοιτητών από δύο μεταπτυχιακά μαθήματα διαδοχικών εξαμήνων. Στο πρώτο μάθημα με τίτλο «Περιβαλλοντική Τεχνολογία Κτιρίων» (με κωδικό αναφοράς [6205]) συμμετείχαν 45 φοιτητές και στο δεύτερο με τίτλο «Φυσικό Φωτισμός» (με κωδικό αναφοράς [6332]) 15 φοιτητές. Έχει σημασία να αναφερθεί ότι Στην αρχή και των δύο εξαμήνων τους ανατέθηκε να επισκεφθούν ένα ορισμένο χώρο του Carpenter Center του Harvard και να εκτιμήσουν τα όρια μεταξύ επαρκώς και ανεπαρκώς φωτισμένων περιοχών του χώρου. Ο χώρος που επιλέχθηκε είχε βάθος 19,5 μέτρων ώστε να είναι εμφανής η διακύμανση της φωτεινότητας Τα ανοίγματα του χώρου έχουν βόρειο προσανατολισμό. Στους φοιτητές δόθηκαν αντίγραφα της κάτοψης του χώρου και τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν το προαναφερθέν όριο. Στη συνέχεια ο ίδιος χώρος σχεδιάστηκε σε λογισμικό προσομοίωσης και πραγματοποιήθηκε προσομοίωση φυσικού φωτισμού.

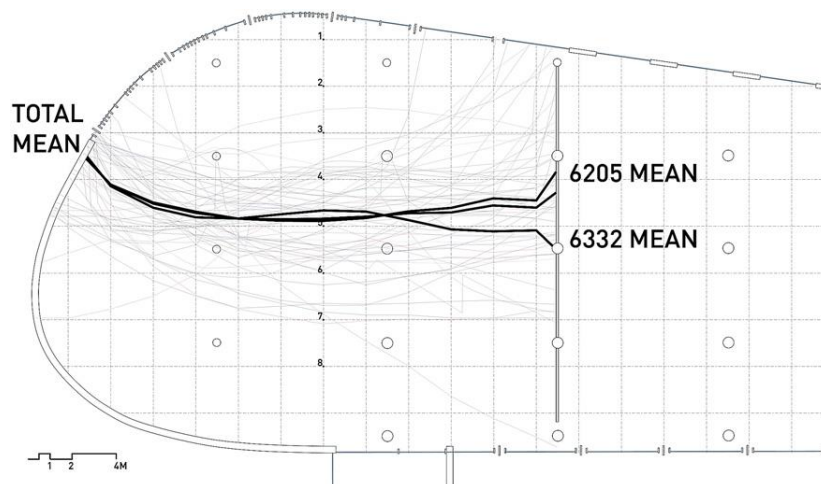
Αρχικά εξάχθηκε το «μέσο σύνορο» κάθε ομάδας φοιτητών:



Εικόνα 2.15 – «Μέσο σύνορο» φωτισμένης περιοχής όπως προέκυψε για κάθε ομάδα φοιτητών. Πηγή: www.sciencedirect.com

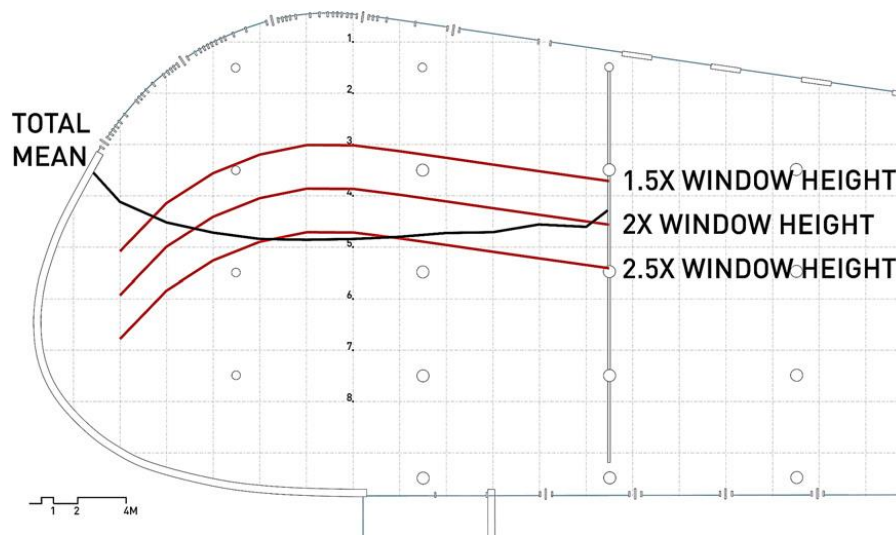
Είναι σαφές ότι οι φοιτητές που ακολούθησαν και το δεύτερο και πιο εξειδικευμένο μάθημα είχαν μικρότερες αποκλίσεις ανάμεσα στις εκτιμήσεις τους.

Στη συνέχεια εξάχθηκε το συνολικά «μέσο σύνορο»:



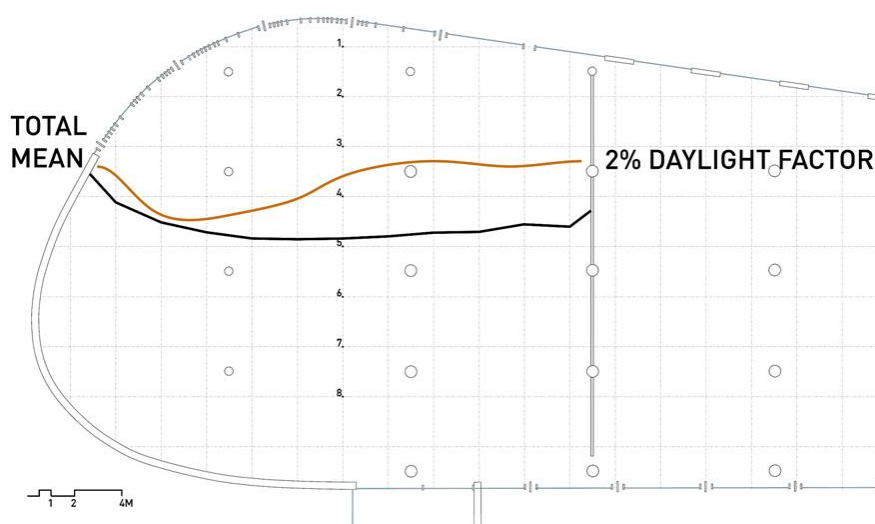
Εικόνα 2.16 – Συνολικό «μέσο σύνορο» φωτισμένης περιοχής όπως προέκυψε από τις δύο ομάδες φοιτητών. Πηγή : www.sciencedirect.com

Αρχικά έγινε μία σύγκριση των δεδομένων των φυσικών παρατηρητών με αυτά που προκύπτουν από τον εμπειρικό κανόνα του ύψους πρεκτιού του παραθύρου.



Εικόνα 2.17 – Σύγκριση παρατηρήσεων με αποτελέσματα εμπειρικού κανόνα ύψους πρεκτιού. Πηγή : www.sciencedirect.com

Φαίνεται από το σχήμα ότι ο εμπειρικός κανόνας (2,5 φορές το ύψος πρεκτιού για μεγάλους ενιαίους χώρους) συγκλίνει με τα αποτελέσματα των παρατηρητών. Απόκλιση παρουσιάζεται με στη περιοχή με κέλυφος του κτιρίου, συνεπώς και τα ανοίγματα, έχουν καμπύλη μορφή. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ο εμπειρικός κανόνας δε μπορεί να εφαρμοστεί σε χώρο με καμπυλότητες,



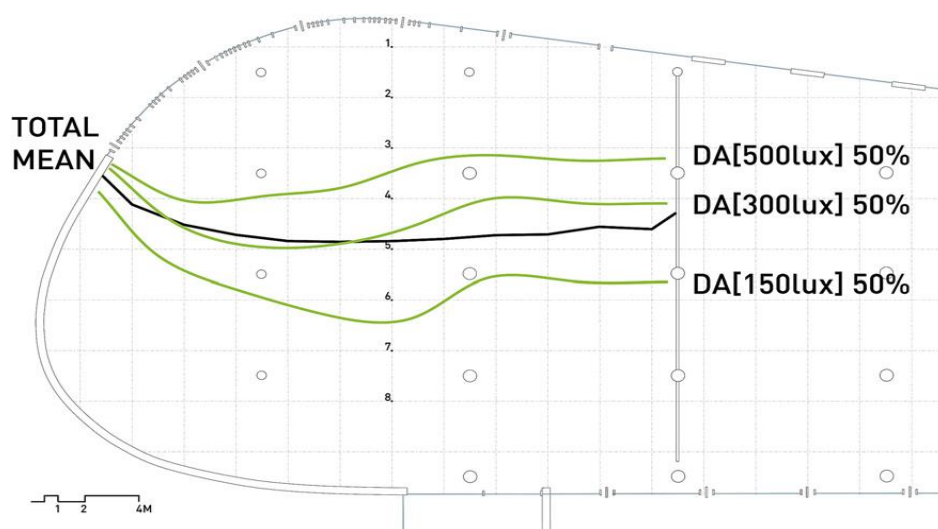
Εικόνα 2.18 – Σύγκριση παρατηρήσεων με αποτελέσματα παράγοντα φυσικού φωτισμού. Πηγή : www.sciencedirect.com

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε η αξιολόγηση των δεικτών έγινε συγκρίνοντας τα όρια, και κατ' επέκταση το εμβαδό, των περιοχών επαρκούς ή ανεπαρκούς φυσικού φωτισμού. Ο κάθε δείκτης χώριζε τις περιοχές με κριτήριο την τιμή του και αν αυτή είναι πάνω ή κάτω από καθορισμένο όριο.

Όσο αφορά στον Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού ως όριο χαρακτηρισμού της επαρκώς φωτισμένης περιοχής χρησιμοποιήθηκε η από καιρού ορισμένη τιμή του 2%.

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σαφή υποεκτίμηση του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού για την επαρκώς φωτισμένη περιοχή σε σχέση με αυτή που ορίστηκε από τους παρατηρητές, καθώς η περιοχή αυτή ήταν κατά 27% μικρότερη (122m² έναντι 163 m²). Ακόμα, αν ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων δεν ήταν βόρειος η παρουσία του άμεσου ηλιακού φωτός (που δεν προβλέπει ο Π.Φ.Φ.) θα ήταν πιο έντονη. Αυτό θα οδηγούσε λογικά σε μεγέθυνση της επαρκώς φωτισμένης περιοχής όπως καθορίστηκε από τους παρατηρητές και συνεπώς σε μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με την πρόβλεψη του Π.Φ.Φ.

Όσο αφορά στο δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού θεωρήθηκαν τρεις κατώτατες οριακές τιμές φωτεινότητας (150 lux, 300 lux και 500 lux) ενώ ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκε η επίτευξη των φωτεινοτήτων αυτών για το 50% των εργασιμών ωρών ετησίως.

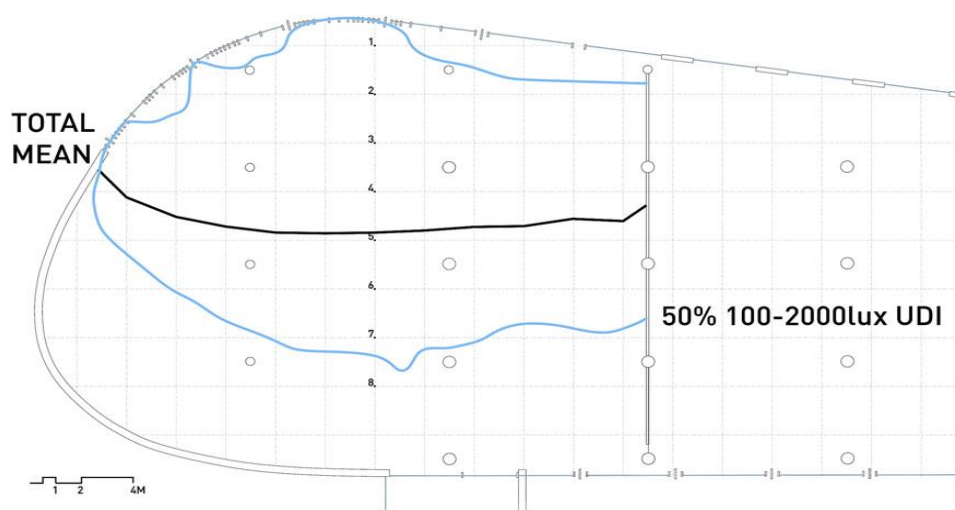


Εικόνα 2.19 – Σύγκριση παρατηρήσεων με αποτελέσματα δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού.

Πηγή : www.sciencedirect.com

Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση δείχνουν μία ικανοποιητική σύγκλιση με τις εκτιμήσεις των παρατηρητών. Ειδικά αν επιλεχθεί η κατώτερη τιμή των 300 luxγια το 50% των εργάσιμων ωρών ετησίως, η προβλεπόμενη επαρκώς φωτισμένη περιοχή ανέρχεται σε 152m²και είναι μόνο 7% μικρότερη σε σχέση με αυτή που εκτίμησαν οι παρατηρητές.

Τελευταίος εξετάστηκε ο δείκτης Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού. Και σε αυτή τιμή ορίστηκε ως οριακή συνθήκη, η τιμή της φωτεινότητας να κυμαίνεται μεταξύ 100 luxκαι 2000 luxγια το 50% των εργάσιμων ωρών ετησίως.



Εικόνα 2.20 – Σύγκριση παρατηρήσεων με αποτελέσματα δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού.

Πηγή: www.sciencedirect.com

Η περιοχή που προέκυψε ως επαρκώς φωτισμένη, εκτείνεται σε 239 m²και είναι 46% μεγαλύτερη από την εκτίμηση των παρατηρητών. Εκτός από το ότι εκτείνεται πιο βαθιά στο εσωτερικό του χώρου, αποκλείει και περιοχές κοντά στα ανοίγματα. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί πως αυτή η απόκλιση οφείλεται στο ότι αφενός απορρίπτει πολύ υψηλές τιμές προειδοποιώντας το μελετητή για πιθανή θάμβωση ή υπερβολικά κέρδη στις περιοχές αυτές, και αφετέρου ενσωματώνει τις περιοχές με χαμηλή φωτεινότητα «πριμοδοτώντας» τη συμβολή της στη μείωση της χρήσης τεχνητού φωτισμού. Με αυτό τον τρόπο ξεφεύγει από τα στενά όρια του φωτισμού και αγγίζει και αλληλεπιδρά και με άλλες πτυχές του σχεδιασμού.

Συμπερασματικά, πέρα από την όποια εξέλιξη στα λογισμικά προσομοίωσης, τα ψηφιακά μοντέλα και οι δείκτες που υπολογίζουν υπάρχουν για να προβλέπουν πραγματικές συνθήκες και να βοηθούν στη λήψη αποφάσεων κατά το σχεδιασμό.

Ωστόσο η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών και του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται την πραγματικότητα είναι ακόμα ασαφής.

2.6 ΠΟΙΟΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

2.6.1 Δείκτες Ομοιομορφίας

2.6.1.1 Λόγος Ομοιομορφίας

Η διακύμανση του φυσικού φωτός μέσα σε ένα χώρο μπορεί να φθάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα. Το μέγεθος της διακύμανσης αυτής μπορεί να εκφραστεί μέσω του λόγου ομοιομορφίας. Είναι ένα σημαντικό μέγεθος αν αναλογιστεί κανείς ότι η ανθρώπινη όραση είναι πιο ευαίσθητη στην αντίθεση διαφορετικών τιμών φωτεινότητας από ότι σε μεγάλες απόλυτες τιμές φωτεινότητας.

Ο λόγος ομοιομορφίας μπορεί να οριστεί με πολλούς τρόπους και για κάθε εμβαδό. Για το λόγο αυτό, κάθε ορισμός που δεν προσδιορίζει ξεκάθαρα ποιες τιμές συγκρίνονται στο λόγο ομοιομορφίας είναι τεχνικά ανεπαρκής και πρακτικά άχρηστη. Ο ορισμός για τον λόγο ομοιομορφίας μπορεί να ορίζεται για συγκρίσεις μέσων-ελάχιστων τιμών, μέγιστων ελάχιστων τιμών ή και άλλων συνδυασμών. Επίσης μπορεί να αναφέρεται σε τιμές κατακόρυφης ή οριζόντιας (ή και στις δύο), είτε έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance) είτε λαμπρότητας (luminance). Ακόμα συνολικά σε ένα χώρο ή τμηματικά. Συνολικά όλες οι παραλλαγές του λόγου ομοιομορφίας είναι ένας συνδυασμός των παρακάτω παραμέτρων:

- Μέγεθος: ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance) / λαμπρότητα (luminance)
- Σημείο μέτρησης: στο επίπεδο μέτρησης/ σε κάποιο ύψος / προς κάποια κατεύθυνση
- Περιοχή: συνολικά / τμηματικά
- Αριθμητής: μέγιστη τιμή / μέση τιμή
- Παρονομαστής: ελάχιστη τιμή

Η πιο συνηθισμένη μορφή του λόγου ομοιομορφίας στους κανονισμούς είναι ο λόγος μέγιστης προς ελάχιστης τιμής έντασης φωτισμού επιφάνειας στο επίπεδο μέτρηση και συνολικά για την περιοχή μέτρησης.

<i>UNIFORMITY RATIOS</i>	
AVERAGE FC	4.86
MAX FC	13.4
MIN FC	0.4
MIN TO MAX FC	0.03
MAX TO MIN FC	32.51
AVERAGE TO MIN FC	11.82

Εικόνα 2.21 – Τιμές διαφορετικών εκφράσεων του δείκτη ομοιομορφίας. Πηγή: www.scopus.com

Η βιβλιογραφία για την ομοιομορφία του τεχνητού φωτισμού είναι πιο πλούσια από την αντίστοιχη για το φυσικό φωτισμό με τις διάφορες επιθυμητές να αναδιαμορφώνονται συνεχώς. Για παράδειγμα, ο CIBSE το 1987 πρότεινε λόγο μέγιστης / ελάχιστης συνολικής φωτεινότητας μικρότερο ή ίσο του 3:1 με τη χρήση συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού ώστε να αυξάνονται οι ελάχιστες τιμές και να τηρείται η αναλογία. Το 2006 εισήγαγε νέους ορισμούς για την ομοιομορφία και την ποικιλομορφία. Η ποικιλομορφία, που ταυτίζεται με την προηγούμενη έκφραση της ομοιομορφίας, προτείνεται να μην ξεπερνά το λόγο 5:1 για φυσικό φωτισμό και 3:1 για τεχνητό φωτισμό. Το IESNA επίσης προτείνει τιμή 3:1 για τεχνητό φωτισμό.

Οι τιμές του λόγου ομοιομορφίας μπορούν να εκφραστούν με διαφορετικούς τρόπους, δημιουργώντας συχνά σύγχυση. Η έκφραση ως λόγος π.χ. 3:1 μπορεί να είναι αποπροσανατολιστική όμως και η εμφάνιση ενός μόνο αριθμού μπορεί να μπερδέψει. Το IESNA έχει υιοθετήσει πρόσφατα την πρακτική της εμφάνισης ενός μεμονωμένου αριθμού π.χ. 6,0 , ορίζοντας τον ως τη μέγιστη αποδεκτή τιμή. Αυτό σημαίνει ότι αντίθετα με τα περισσότερα κριτήρια φωτισμού, ορίζεται ανώτατο όριο για την τιμή ενός δείκτη και όχι κατώτατο.

Επιπλέον οι διαφορετικές εκφράσεις που μπορεί να έχει ένας λόγος ομοιομορφίας μπορεί να προκαλέσουν σύγχυση σε μια απόπειρα σύγκρισης. Ένας λόγος μέσης προς ελάχιστης φωτεινότητας, έστω 3:1, δε μπορεί να συσχετισθεί ή να συγκριθεί εύκολα με ένα λόγο μέγιστης προς ελάχιστης φωτεινότητας 10:1.

Ακόμα, διαφοροποιήσεις για το λόγο ομοιομορφίας του ίδιου χώρου υπό τις ίδιες συνθήκες μπορούν να προκύψουν αν αλλάξει ο κάρναβος τοποθέτησης των σημείων μέτρησης. Έτσι αν τα σημεία μέτρησης έχουν αρχικά τοποθετηθεί σε μία διαρρύθμιση 5 x 5 αλλά στη συνέχεια στο ίδιο εμβαδό τοποθετηθούν περισσότεροι

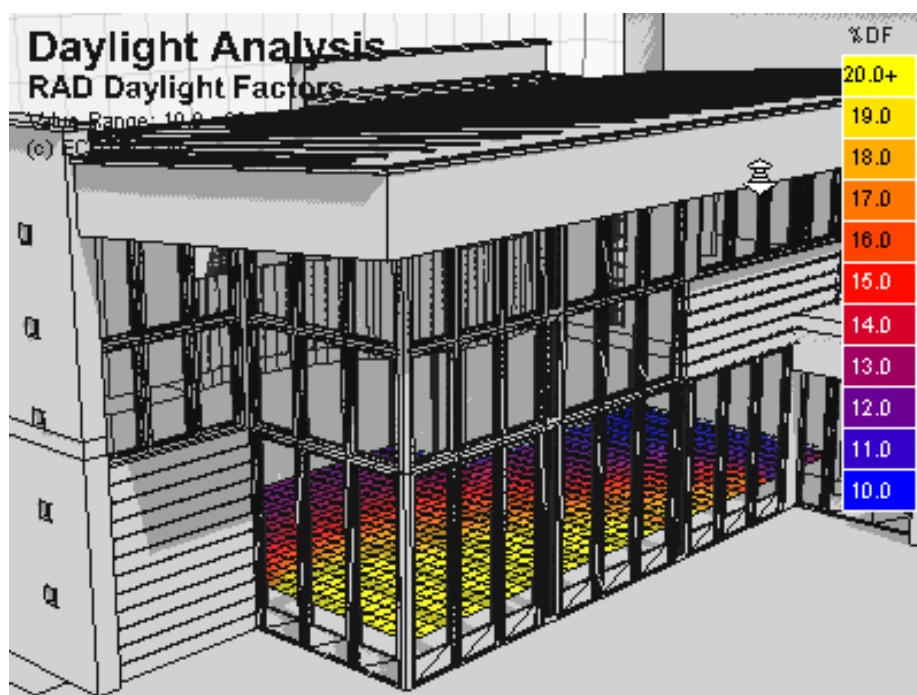
μετρητές σε διαρρύθμιση 6 x 6, η μέγιστη και η ελάχιστη φωτεινότητα είναι πιθανό να πάρουν πιο ακραίες τιμές και συνεπώς να εμφανίζουν μικρότερη ομοιομορφία. Γενικά όσο πιο πυκνή είναι η διάταξη μέτρησης, τόσο πιο μεγάλος (ή αντίστοιχα μικρός) μπορεί να προκύψει ο λόγος ομοιομορφίας. Έτσι η αλλαγή της διάταξης μπορεί να διαφοροποιήσει τα αποτελέσματα του ελέγχου ικανοποίησης των κριτηρίων ομοιομορφίας κάποιου κανονισμού. Για το λόγο αυτό θα έπρεπε να ορίζονται και πιο αναλυτικά στους κανονισμούς οι συνθήκες μέτρησης υπό τις οποίες θα προκύψει η τιμή του λόγου ομοιομορφίας που θα ελεγχθεί.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η απαίτηση για υψηλές τιμές ομοιομορφίας πρέπει να είναι πάντα σε ισορροπία με τις ανάλογες ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την τοποθέτηση και χρήση επιπρόσθετων συστημάτων φωτισμού για την εξισορρόπηση μέγιστων και ελάχιστων και τιμών φωτεινότητας.

Υπάρχουν και περιπτώσεις που επιδιώκεται με σχετική ανομοιομορφία στο φωτισμό ενός χώρου όπως σε εκθέσεις, μουσεία η ακόμα και ανάμεσα σε επιφάνειες εργασίας και τον υπόλοιπο των αντίστοιχων χώρων. Αυτό γίνεται είτε για να τονιστεί ένα αντικείμενο, είτε για να αναδειχθούν ορισμένες πληροφορίες εντός του οπτικού πεδίου είτε ακόμα για να βοηθήσει στη συγκέντρωση του εργαζομένου στη δραστηριότητα που πραγματοποιεί και συνεπώς στην αύξηση της παραγωγικότητας. Ωστόσο ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις ο δείκτης ομοιομορφίας δε μπορεί να ξεπερνάει κάποιες τιμές καθώς αυτό που προέχει είναι η οπτική άνεση και η οφθαλμολογική υγεία των χρηστών του χώρου.

2.6.1.2 Χωρική έκφραση δεικτών φυσικού φωτισμού

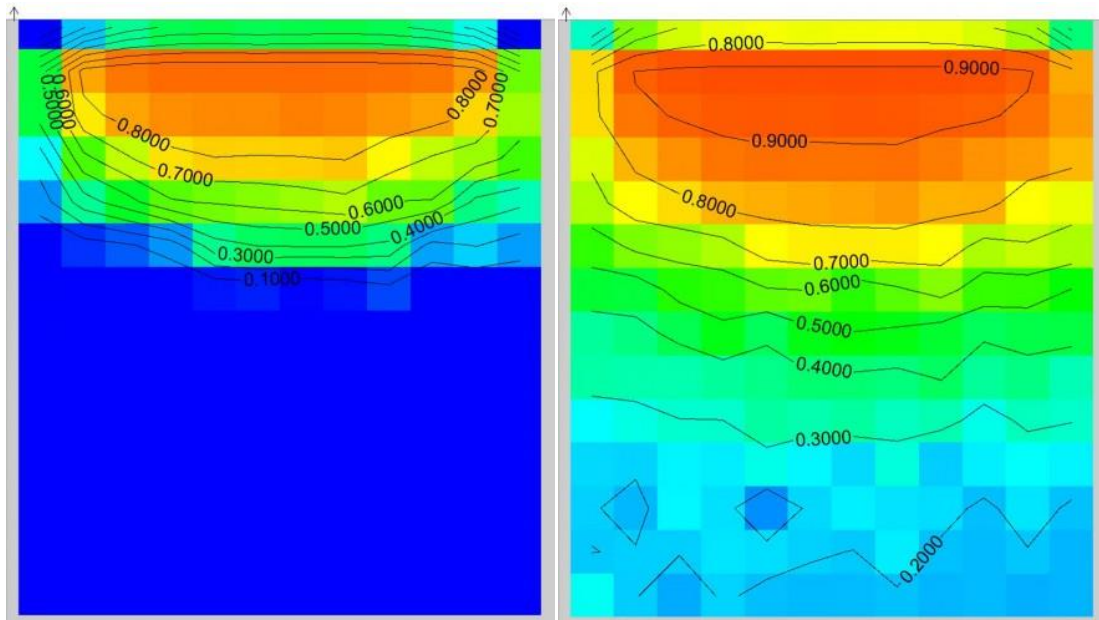
Σε προηγούμενη παράγραφο με θέμα τους ποσοτικούς δείκτες φυσικού φωτισμού έγινε αναφορά στους τρόπους έκφρασης του. Ένας κοινός τρόπος έκφρασης των δεικτών είναι η σχηματοποιημένη παρουσία των τιμών που λαμβάνουν οι δείκτες στα διάφορα σημεία του χώρου.



Εικόνα 2.22 – Χωρική έκφραση παράγοντα φυσικού φωτισμού

Είναι προφανές και άμεσα κατανοητό ότι εφόσον η τιμή των ποσοτικών δεικτών φυσικού φωτισμού εκφράζει την ποσότητα του φυσικού φωτισμού σε κάθε σημείο, η διαφορά στις τιμές των δεικτών εκφράζει τη διαφορά στην ποσότητα του φωτός άρα κατά μία έννοια και την ομοιομορφία του φωτισμού στο χώρο.

Τα χαρακτηριστικά του κάθε δείκτη επηρεάζουν, όπως είναι αναμενόμενο και την έκφραση της ομοιομορφίας που παρέχουν. Έτσι ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού, που είναι ένας στατικός δείκτης, όταν εκφράζεται χωρικά, μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ομοιομορφία του φυσικού φωτισμού, κατά τη στιγμή υπολογισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.22 . Από την άλλη, οι δυναμικοί δείκτες φυσικού φωτισμού, όπως ο δείκτης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού ή ο δείκτης Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού, όταν εκφράζονται χωρικά, μπορούν να περιγράψουν την διακύμανση της συνολικής ετήσιας παρουσίας του φυσικού φωτός στο χώρο, ξεφεύγοντας από την έννοια τη σύγκρισης ελάχιστων με μέσες ή μέγιστες τιμές.

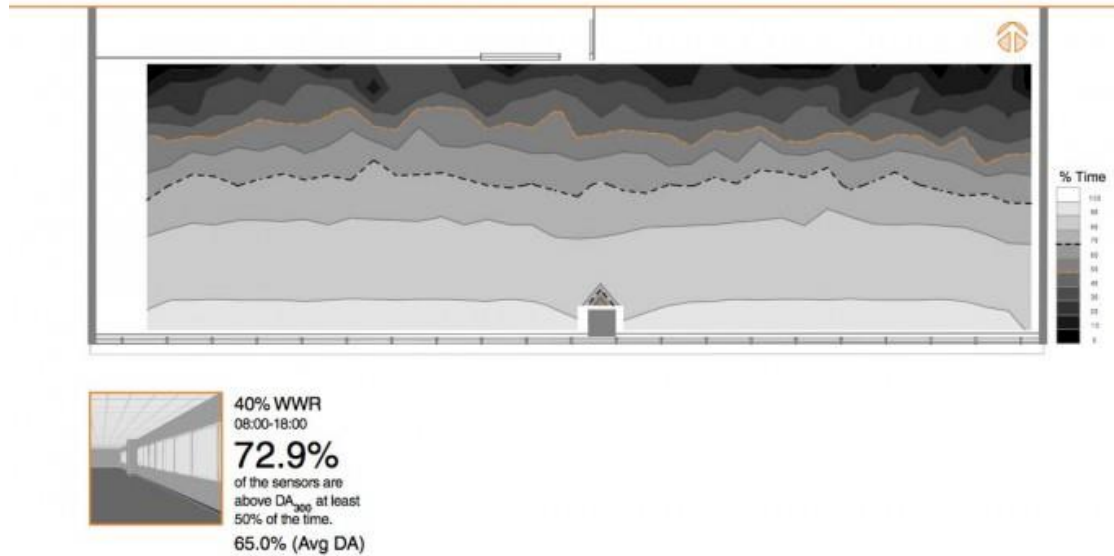


Εικόνα 2.23 – Χωρική έκφραση δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού και δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού. Πηγή : www.scorpus.com

Ωστόσο μπορούν να δώσουν μια δυναμική εικόνα της ομοιομορφίας που ενώ αδυνατεί να δώσει στοιχεία για στιγμιαίες καταστάσεις, ανισορροπίες και διαταράξεις στην οπτική άνεση, μπορεί να πληροφορήσει το μελετητή για τη παρουσία του φωτός σε βάθος χρόνου και πόσο αυτή διαφοροποιείται στις διάφορες θέσεις του χώρου.

Προς αυτή την κατεύθυνση είναι και η ανάπτυξη ενός νέου δείκτη, της Χωρικής Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού. Αυτός ο δείκτης εισήχθη το 2012 στην έκδοση LM-83 του IES και δεν ταυτίζεται με τη χωρική απεικόνιση του κλασσικού δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα ο δείκτης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού εκφράζει το ποσοστό των ωρών στη διάρκεια του χρόνου κατά τις οποίες η τιμή της έντασης φωτισμού επιφάνειας είναι μεγαλύτερη ή ίση με την απαιτούμενη. Θεωρώντας ως πιο συνηθισμένη απαιτούμενη τιμή έντασης φωτισμού τα 300 lux και ως πιο συνηθισμένο απαιτούμενο ποσοστό το 50% των ετήσιων ωρών εργασίας, ο νέος δείκτης, που έχει ενιαία τιμή για κάθε χώρο, εκφράζει το ποσοστό της επιφάνειας του κάθε χώρου για το οποίο πληρούνται οι απαιτήσεις των 300 lux για το 50% των ετήσιων ωρών εργασίας. Δηλαδή αν η τιμή του νέου δείκτη για ένα χώρο είναι 73%, αυτό σημαίνει ότι για τον συγκεκριμένο χώρο, το 73% της επιφάνειας του επιτυγχάνει τιμές φωτισμού 300 lux τουλάχιστον για το 50% των ωρών εργασίας, όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα.

Daylight Autonomy - Banner Bank, pattern 2.1
Boise, ID - South orientation - No blinds operation
40% window to wall ratio



Mahic, A., Djurkovic, E., Van Den Wyngaert, K., 2012. Daylight Pattern Guide + Annual Energy Plus Scope. Technical Report 20111028-01, Integrated Design Lab, University of Idaho, Boise, ID. (2012.02.29) | 25

Εικόνα 2.24 –Εκφραση δείκτηΧωρικής Αυτονομίας Φυσικού. Πηγή : Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)

2.6.2 Επιρροή εξωτερικής Θέας

Η εξασφάλιση εξωτερικής θέας κατά το σχεδιασμό κτιρίων επισημαίνεται από το σύστημα αξιολόγησης L.E.E.D. Με αυτό τον τρόπο επιχειρείται να ενσωματωθεί στο σύστημα η αναμφισβήτητη εκτίμηση των χρηστών στην εξωτερική θέα.

Το L.E.E.D. ορίζει ότι το 90% των συχνά χρησιμοποιούμενων χώρων ενός κτιρίου θα πρέπει να έχουν επαρκή απευθείας θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω ενός κατακόρυφου παραθύρου που τοποθετείται ανάμεσα στα 76 cm και τα 228 cm πάνω από το πάτωμα. Για να θεωρηθεί επαρκής η εξωτερική θέα για ένα χώρο ώστε να συμβάλει στο ποσοστό του 90% που απαιτείται θα πρέπει να ικανοποιεί τα εξής κριτήρια:

- Σε κάτοψη, ο χώρος είναι εντός των γραμμών άμεσης θέας που σχεδιάζονται από τα παράθυρα.
- Σε τομή, μια συνεχής ευθεία γραμμή μπορεί να σχεδιαστεί από το χώρο ως το παράθυρο.

- Οι γραμμές αυτές επιτρέπεται να διέρχονται από εσωτερικούς υαλοπίνακες.

Όπως έχει σήμερα, αυτό το κριτήριο έχει σημαντικά μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι η επιρροή του εν λόγω δείκτη ελαττώνεται σημαντικά όταν οι συσκευές σκίασης που τοποθετούνται στα παράθυρα είναι συχνά σε χρήση για την αποφυγή θάμβωσης. Βασικότερο όμως είναι το γεγονός ότι πέρα από την εξασφάλιση της εξωτερικής θέας, σημαντικό ρόλο παίζουν η έκταση και το περιεχόμενο αυτής. Έχει παρατηρηθεί διαφοροποίηση στην αξιολόγηση του οπτικού περιβάλλοντος όταν η θεά περικλείει μεγάλες ή μικρότερες περιοχές και όταν περιέχει φυσικά τοπία ή αστικό περιβάλλον.

Η συμβολή της εξωτερικής θέας στην ποιότητα του οπτικού περιβάλλοντος ενός χώρου είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί και να θεσπιστούν απαιτούμενες τιμές. Ωστόσο έχει συνδεθεί με τα αποτελέσματα άλλων δεικτών όπως αυτών της θάμβωσης. Από το 1972 ο Hopkinson έχει παρατηρήσει ότι η παροχή θέας με ενδιαφέρουσες πληροφορίες από ένα πολύ φωτεινό παράθυρο, αύξανε σημαντικά την ανοχή των ανθρώπων σε θάμβωση²⁸. Το 2005 πραγματοποιήθηκε ένα διπλό πείραμα από τους N. Tuaycharoen και P. Trezenga σε μία απόπειρα να αξιολογηθεί αλλά και να ποσοτικοποιηθεί η επιρροή της θέας στην ένταση του φαινομένου της θάμβωσης. Μία επιπλέον παράμετρος, το εύρος διακύμανσης της έντασης του φωτός, λήφθηκε υπόψη ωστόσο η ποσοτικοποίηση της θέας ήταν ανεξάρτητη παράμετρος και έτσι αξίζει να αναλυθεί περαιτέρω.

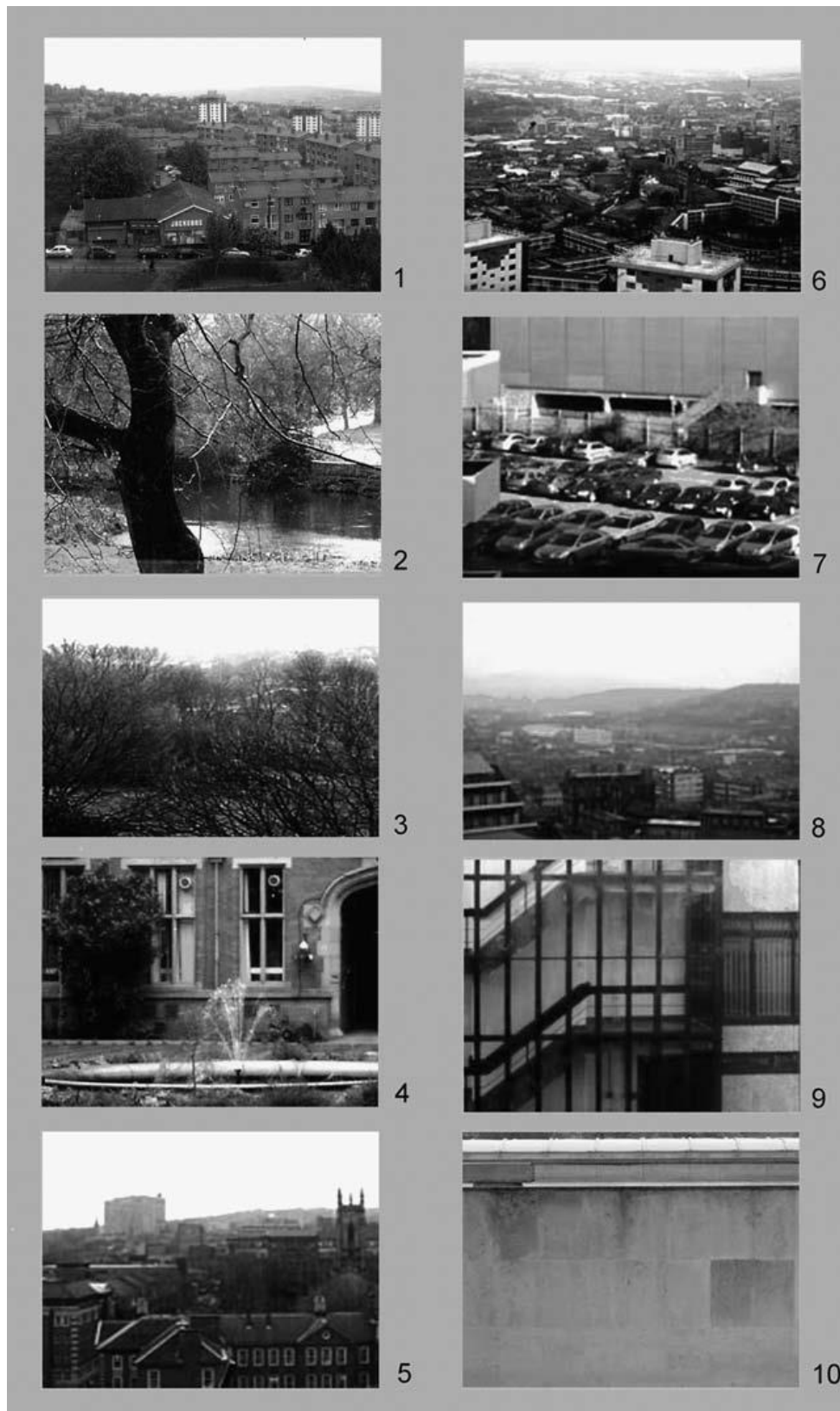
Στο κτίριο Arts Tower του πανεπιστημίου του Sheffield, 20 ορόφων, η παρεχόμενη θεά ποικίλει από τετριμμένο αστικό περιβάλλον ως πάρκα με δενδρώδεις εκτάσεις. Ακόμα το οπτικό πεδίο κυμαίνεται από πολύ κοντινό για τους χαμηλότερους ορόφους ως πολύ μακρινό για τους υψηλότερους. Έτσι επιλέχθηκαν πανομοιότυπα δωμάτια, με κοινή διαμόρφωση σε διάφορα σημεία του κτιρίου ανάλογα με την παρεχόμενη θεά.



Εικόνα 2.25 - Το κτίριο ArtsTower. Πηγή : Tuaycharonen N. & Trezenga P.R., View and comfort glare from windows, *Lighting Research and Technology* (2007) 39: 185

Αρχικά για να αξιολογηθεί η θέα ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες στο πείραμα να αξιολογήσουν στη κλίμακα 10 μονάδων τα διάφορα τοπία που παρουσιάζονταν ως εξωτερική θέα. Υπολογίστηκε η μέση βαθμολογία κάθε θέας με τη μικρότερη (μέση τιμή - 1.83) να παρουσιάζεται για έναν τοίχο με ελάχιστη χρωματική διακύμανση και τη μεγαλύτερη για (μέση τιμή - 5.56) για μια μεγάλης έκτασης θέα με μεγάλη ποικιλία χρωμάτων και υλικών, σύνθετη, τόσο με φυσικό όσο και με ανθρωπογενές περιβάλλον. Αυτές οι δύο χρησιμοποιήθηκαν για το πρώτο σκέλος του πειράματος.

Σκοπός ήταν να ερευνηθεί αν το ενδιαφέρον της θέας σχετίζεται με την οπτική όχληση λόγω θάμβωσης.



Εικόνα 2.26 - Οι 10 διαφορετικές σκηνές που παρουσιάζονται από τα παράθυρα με φθίνουσα σειρά όσο αφορά στην αξιολόγηση της παρεχόμενης θέας.. Πηγή : Tuaycharonen N. & Trezenga P.R., View and comfort glare from windows, *Lighting Research and Technology* (2007) 39: 185

Οι συμμετέχοντες διαμοιράστηκαν σε 3 δωμάτια με τις εξής συνθήκες θέας:

- Μηδενική θέα, από ένα παράθυρο καλυμμένο με ημιδιαφανές χαρτί.
- Τη χειρότερα βαθμολογημένη θέα.
- Την καλύτερα βαθμολογημένη θέα.

Στη συνέχεια, για το δεύτερο κομμάτι του πειράματος, σκοπός ήταν να συγκριθεί η επιρροή: α) μεταξύ θέας φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος και β) μεταξύ θέας που συνδυάζει τρεις διαφορετικές αποστάσεις (προσκήνιο, μέση απόσταση, μακρινή απόσταση και ουρανός) και θέας με σταθερή μέση απόσταση.

Έτσι χρησιμοποιήθηκαν εικόνες που συνδυάζουν ανά δύο τα 4 αυτά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.27 - Οι σκηνές που χρησιμοποιήθηκαν στο δεύτερο κομμάτι του πειράματος. Πηγή : Tuaycharonen N. & Trezenga P.R., View and comfort glare from windows, Lighting Research and Technology (2007) 39: 185

Στην αξιολόγηση, υπερείχαν σαφώς οι σκηνές φυσικού περιβάλλοντος με αυτή με το συνδυασμό αποστάσεων να υπερέχει ελάχιστα αυτής με μόνο απόσταση θέασης (5.49 και 5.36 αντίστοιχα). Ανάλογα αξιολογήθηκαν και οι σκηνές ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (2.79 και 2.64 αντίστοιχα) αλλά με σαφώς χαμηλότερες τιμές.

Και στα δύο κομμάτια του πειράματος ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να κοιτάζουν για 30 δευτερόλεπτα στο κέντρο του παραθύρου και μετά να αξιολογήσουν την θάμβωση που αντιλαμβάνονταν, σε μία κλίμακα από ανεπαίσθητη ως ανυπόφορη με αρκετούς ενδιάμεσους χαρακτηρισμούς.

Τα αποτελέσματα του πρώτου πειράματος έδειξαν ότι η θάμβωση γινόταν λιγότερο αισθητή όσο αυξανόταν το ενδιαφέρον της θέας με σαφείς διαφοροποιήσεις μεταξύ των τριών σκηνών που παρουσιάστηκαν και της αναφερόμενης θάμβωσης. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα του δεύτερου κομματιού του πειράματος. Σύμφωνα με αυτά: τα φυσικά τοπία συνδέονται με σαφώς πιο ανεκτή θάμβωση σε σχέση με τα ανθρωπογενή όπως και οι διάφορες αποστάσεις θέασης σε σχέση με τη σταθερή απόσταση.

Μια συνολική εικόνα της επιρροής της θέας παρουσιάζεται από τα συνδυαστικά αποτελέσματα:

- Το φυσικό τοπίο με διαφορετικές αποστάσεις θέασης προκαλούσε λιγότερη θάμβωση σε σχέση με το φυσικό τοπίο σταθερής απόστασης θέασης.
- Το ανθρωπογενές τοπίο με διαφορετικές αποστάσεις θέασης προκαλούσε λιγότερη θάμβωση σε σχέση με το ανθρωπογενές τοπίο σταθερής απόστασης θέασης.
- Το φυσικό τοπίο με διαφορετικές αποστάσεις θέασης προκαλούσε λιγότερη θάμβωση σε σχέση με το ανθρωπογενές τοπίο με διαφορετικές αποστάσεις θέασης.
- Το φυσικό τοπίο σταθερής απόστασης θέασης προκαλούσε λιγότερη θάμβωση σε σχέση με το ανθρωπογενές τοπίο σταθερής απόστασης θέασης.
- Όπως αναμένεται το φυσικό τοπίο με διαφορετικές αποστάσεις θέασης προκαλούσε σημαντικά λιγότερη θάμβωση σε σχέση με το ανθρωπογενές τοπίο σταθερής απόστασης θέασης.
- Το ανθρωπογενές τοπίο με διαφορετικές αποστάσεις θέασης και το φυσικό τοπίο σταθερής απόστασης θέασης δεν παρουσίαζαν μεγάλες διαφορές όσο αφορά στην προκαλούμενη θάμβωση.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια αυτά τα αποτελέσματα να ποσοτικοποιηθούν. Μέσα από μια στατιστική διαδικασία που υπερβαίνει τα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, κατέληξαν σε μια εμπειρική εξίσωση με την εφαρμογή ενός πρακτικού κανόνα. Αν θεωρήσουμε ότι ως IVορίζεται η τιμή του ενδιαφέροντος της θέας, με μια

κλίμακα από 0 ως 6 όπου το 0 θεωρείται η έλλειψη θέας, το 1 πολύ μικρό ενδιαφέρον και 6 πολύ μεγάλο ενδιαφέρον, η εξίσωση ορίστηκε ως εξής:

$$\text{DGI}' = \text{DGI} - \text{IV}$$

Όπου:

- DGI' ο τροποποιημένος για την επιρροή της θέας παράγοντας θάμβωσης και
- DGIο αρχικά υπολογισμένος παράγοντας θάμβωσης.

Η αξιοπιστία της εξίσωσης αυτής δεν έχει επαληθευτεί σε περαιτέρω πειράματα. Δεν χρησιμοποιείται στην κοινή πρακτική και δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό. Ωστόσο είναι από τις πρώτες προσπάθειες ποσοτικοποίησης της θέας και παρουσιάζει μία προσέγγιση για τον τρόπο που θα μπορούσε να γίνει, αναγνωρίζοντας την υποκειμενικότητα των παρατηρήσεων και την πολύ σημαντική αλλά πολύ δύσκολα μετρήσιμη επιρροή της.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αν και δεν έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στην μαθηματική έκφραση της εξωτερικής θέας είναι πολυάριθμες οι αναφορές στα ευεργετικά αποτελέσματα σε διάφορους τομείς της ζωής και της δραστηριότητας των ανθρώπων όπως στην ψυχολογική υγεία, την ανάρρωση από τραύματα, την παραγωγικότητα της εργασίας κ.λπ.

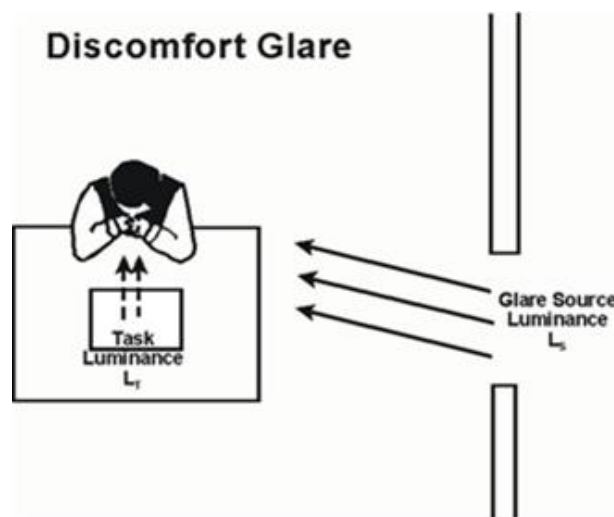
2.6.3 Δείκτες Θάμβωσης

2.6.3.1 Θάμβωση – Γενικά Στοιχεία

Ως θάμβωση χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά οποίο η παρουσία μεγάλης έντασης φωτισμού ή η μεγάλη ανομοιομορφία του φωτισμού στο οπτικό πεδίο ενός παρατηρητή, διαταράσσουν την οπτική άνεση. Ως εκ τούτου, εξαρτάται κυρίως από την κατανομή της φωτεινότητας στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Η κατανομή αυτή δεν εκφράζεται από τους ποσοτικούς δείκτες φυσικού φωτισμού³³. Ωστόσο δεν εκφράζεται ούτε από τους δείκτες ομοιομορφίας φωτισμού μιας και αυτοί εκφράζουν την ομοιομορφία του φωτισμού που καταφθάνει σε μία επιφάνεια αναφοράς. Η θάμβωση όμως προκαλείται από την ανομοιομορφία και την ένταση του φωτός που

φθάνει στα μάτια του παρατηρητή, συνεπώς είναι δύσκολο να συσχετισθεί με ικανοποιητικό τρόπο με αυτούς τους δείκτες.

Η θάμβωση συνήθως χωρίζεται σε άμεση και έμμεση³⁴. Η άμεση θάμβωση διαχωρίζεται σε θάμβωση δυσφορίας όρασης και θάμβωση αδυναμίας όρασης. Η θάμβωση αδυναμίας όρασης αλλοιώνει αισθητά την όραση, μειώνοντας την αντίθεση της εικόνας που σχηματίζει ο αμφιβληστροειδής λόγω της παρουσίας μιας πολύ δυνατής φωτεινής πηγής στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Αντίθετα, η θάμβωση δυσφορίας είναι απλά ενοχλητική, αν και οφείλεται στον ίδιο λόγο. Όταν αυξάνεται η ένταση και το μέγεθος της φωτεινής πηγής η θάμβωση δυσφορίας μετατρέπεται σε θάμβωση αδυναμίας όρασης.



Εικόνα 2.28 - Θάμβωση Δυσφορίας Όρασης Πηγή :

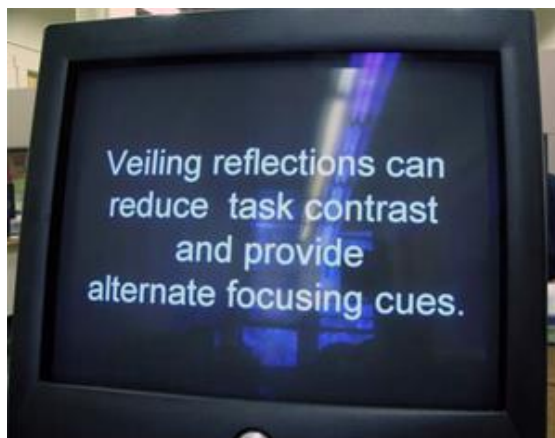
<http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/buildings/basics/windows/how/images>



Εικόνα 2.29 - Θάμβωση Αδυναμίας Όρασης. Πηγή :

<http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/buildings/basics/windows/how/images>

Η έμμεση θάμβωση προκαλείται από την ανάκλαση μιας έντονης φωτεινής πηγής πάνω σε μία επιφάνεια. Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα είναι όταν το φως που πέφτει σε μία οθόνη δυσχεραίνει την παρατήρηση της εικόνας που μεταδίδει η οθόνη.



Εικόνα 2.30 Έμμεση θάμβωση. Πηγή:<http://www.ies.org/lighting/images/office-screen-glare.jpg>

Λόγω της προσπάθειας αντιμετώπισης του φαινομένου της θάμβωσης στους υπάρχοντες και στους σχεδιαζόμενους χώρους, το ενδιαφέρον για την εισαγωγή ενός δείκτη για την ποσοτικοποίηση της θάμβωσης είναι μεγάλο εδώ και αρκετά χρόνια. Είναι προφανές ότι ανάγκη για ποσοτικοποίηση σχετίζεται με τη θάμβωση δυσφορίας και όχι με τη θάμβωση αδυναμίας όρασης. Αφενός η αδυναμία όρασης είναι απόλυτη και δεν υπάρχει λόγος να μετρηθεί και αφετέρου η πρόβλεψη για την αποφυγή της δυσφορίας προφανώς επαρκεί για την αποφυγή της αδυναμίας όρασης.

Μαζί με την αύξηση της χρήσης υαλοπινάκων στα κελύφη των κτιρίων, που παρατηρείται στη σύγχρονη αρχιτεκτονική, αυξάνεται και το ενδιαφέρον για πρόβλεψη και ποσοτικοποίηση της θάμβωσης. Στην πάροδο των ετών, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες ώστε να γίνουν εφικτές ποσοτικές προβλέψεις της θάμβωσης, κάθε μία από αυτές υπό διαφορετικές συνθήκες για διαφορετικό σκοπό. Ωστόσο δεν έχει γίνει σημαντική πρόοδος όσο αφορά στη σύγκριση μεταξύ όλων αυτών και τον καθορισμό του πεδίου εφαρμογής του καθενός με αποτέλεσμα να επικρατεί σύγχυση όσο αφορά στην επιλογή του κατάλληλου δείκτη θάμβωσης που μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στη αποφυγή χρήσης κάποιου από αυτούς. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του συστήματος αξιολόγησης LEED που αποφεύγει εντελώς τη χρήση κάποιου δείκτη³⁵. Η μόνη κοινά αποδεκτή και διαδεδομένη στρατηγική για την

αποφυγή της θάμβωσης είναι προστασία από άμεσο ηλιακό φως, κατακόρυφων επιφανειών εργασίας όπως η οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και οριζόντιων επιφανειών εργασίας όπως ένα γραφείο. Έτσι αποφεύγεται η έμμεση θάμβωση και η άμεση θάμβωση αδυναμίας όρασης αντίστοιχα. Όσο αφορά τη θάμβωση δυσφορίας μία κοινή πρακτική είναι να προβλέπεται λόγος ομοιομορφίας φωτισμού μικρότερος από 3:1 μεταξύ της επιφάνειας εργασίας και του κοντινού οπτικού πεδίου και μικρότερος από 10:1 μεταξύ της επιφάνειας εργασίας και του πιο μακρινού οπτικού πεδίου³⁴. Ωστόσο δεν είναι εύκολη η εφαρμογή τέτοιων κανόνων στην προσπάθεια για παράλληλη εκμετάλλευση του φυσικού φωτός.

Από την άλλη, η τεχνολογικές εξελίξεις βοηθάνε στον υπολογισμό δεικτών. Στο σύγχρονο σχεδιασμό κτιρίων γίνεται εκτενής χρήση τρισδιάστατων μοντέλων. Αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη πολλών και αξιόπιστων μηχανών προσομοίωσης φυσικού φωτός δίνει στους μελετητές την ικανότητα να προβλέψουν με αρκετά μεγάλη ακρίβεια τις συνθήκες φωτισμού σε ένα χώρο, υπάρχων ή όχι.

Παρόλα αυτά, σε πρακτικό επίπεδο, οι πολλοί αστάθμητοι παράγοντες που δε μπορούν να προβλεφθούν, όπως η θέση και η οπτική γωνία του χρήστη μέσα στο χώρο, αποτελούν αποτρεπτικό παράγοντα για την διάδοση της χρήσης τους. Για να γίνουν πιο αποδοτικοί οι δείκτες θα πρέπει με κάποιον τρόπο να μπορούν να συνοψίσουν στην μαθηματική τους έκφραση την συνολική αίσθηση θάμβωσης κατανεμημένη τόσο χωρικά όσο και χρονικά, στη διάρκεια του έτους. Λόγω όλων αυτών των προβλημάτων στην έκφραση της θάμβωσης υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις που οδηγούν σε διαφορετικούς δείκτες.

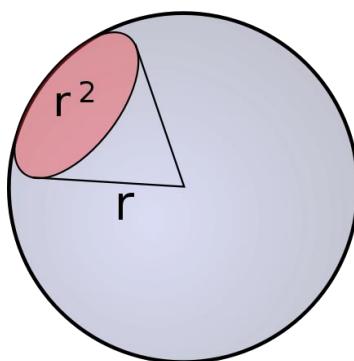
2.6.3.2 Βασική Αρχή Υπολογισμού Θάμβωσης

Γενικά η θάμβωση εκφράζεται ως ένας λόγος που συνδυάζει το μέγεθος, τη θέση και τη λαμπρότητα της φωτεινής πηγής που προκαλεί τη θάμβωση σε ένα οπτικό πεδίο, με τη μέση υπόλοιπη λαμπρότητα από που δεν προέρχεται από τη φωτεινή πηγή. Σε μια απλοποιημένη εξίσωση αυτό εκφράζεται ως εξής³⁴:

$$Glare = \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^{exp} \omega_{s,i}}{L_b^{exp} P_i^{exp}}$$

Όπου:

- $L_{s,i}$: η λαμπρότητα της πηγής της θάμβωσης ($Luminance_{source}$)
- L_b : η μέση λαμπρότητα του οπτικού πεδίου με εξαίρεση την πηγή της θάμβωσης ($Luminance_{background}$)
- P : ο χωρικός παράγοντας, μεγαλώνει όσο πλησιάζει η πηγή της θάμβωσης στο οπτικό πεδίο και παίρνει ελάχιστη τιμή (που αποδίδει το μέγιστο κλάσμα) $P_{min}=1$ όταν η πηγή βρεθεί στο κέντρο του οπτικού πεδίου
- $\omega_{s,i}$: η στερεά γωνία της πηγής της θάμβωσης, που καθορίζει ουσιαστικά το μέγεθος της πηγής
- \exp : συντελεστές βαρύτητας για κάθε μεταβλητή



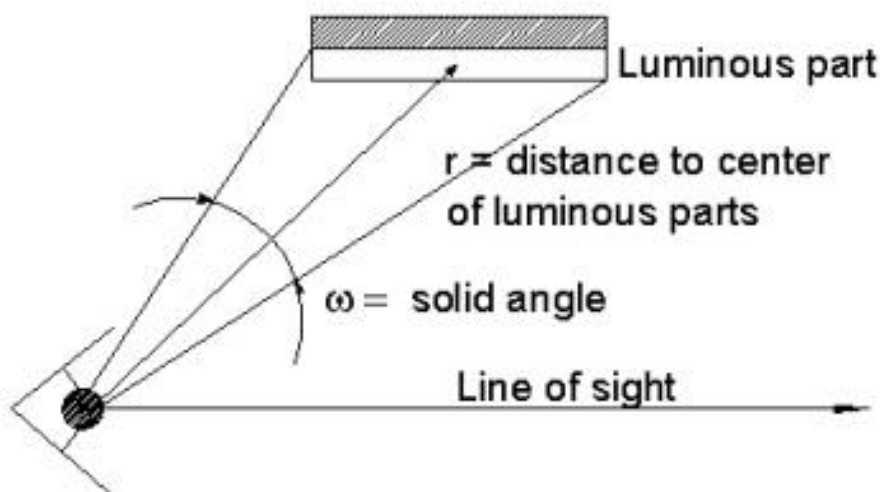
Εικόνα 2.31 - Σχηματική αναπαράσταση ενός στερακτινίου. Πηγή: Wikipedia.org

Στερεά γωνία είναι το τρισδιάστατο γεωμετρικό ανάλογο της επίπεδης γωνίας, μετρά κατευθύνσεις στο τρισδιάστατο χώρο. Η στερεά γωνία A κορυφής O είναι το εμβαδόν τμήματος σφαίρας ακτίνας R με κέντρο το O , το οποίο ισούται με AR^{34} . Ως στερακτίνο μπορεί να οριστεί η στερεά γωνία που προκύπτει στο κέντρο μοναδιαίας σφαίρας από ένα μοναδιαίο εμβαδό στην επιφάνειά της. Για μια τυχαία σφαίρα ακτίνας ρ , κάθε τμήμα της επιφάνειάς της με εμβαδό $E=\rho^2$ ορίζει ένα στερακτίνο όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Η συνολική στερεά γωνία της σφαίρας είναι 4π ή 12.56637 στερακτίνα⁴⁴.

Όπως φαίνεται και από την έκφραση της εξίσωσης:

- μεγαλύτερες και πιο δυνατές πηγές αυξάνουν την πιθανότητα για αίσθηση θάμβωσης στον παρατηρητή,

- αύξηση της λαμπρότητας του υπόλοιπου οπτικού πεδίου μειώνει την πιθανότητα για αίσθηση θάμβωσης στον παρατηρητή,
- Ο χωρικός παράγοντας P που εισήχθηκε από τον Guth το 1949³⁶, είναι ένας εύχρηστος τρόπος συμπεριληφθεί στον υπολογισμό η επιρροή της θέσης της πηγής θάμβωσης. Μεγαλώνει όσο απομακρύνεται η πηγή της θάμβωσης από το κέντρο του οπτικού πεδίου και παίρνει ελάχιστη τιμή (που αποδίδει το μέγιστο κλάσμα άρα τη μέγιστη τιμή του δείκτη) $P_{\min}=1$ όταν η πηγή βρεθεί στο κέντρο του οπτικού πεδίου.



Εικόνα 2.32 - Στερεά γωνία φωτεινής πηγής

Πηγή:http://docs.agi32.com/AGi32/Content/adding_calculation_points/Calculations_UGR_Concepts

Αυτή τη βασική αρχή υπολογισμού προσπάθησαν αρκετοί ερευνητές να βελτιώσουν ώστε να ανταποκρίνεται στις αξιολογήσεις της θάμβωσης που έδιναν πραγματικοί παρατηρητές. Οι υποκειμενικές κρίσεις των παρατηρητών όπως και η υποκειμενική ερμηνεία του κάθε ερευνητή οδήγησαν και σε διαφορετικές μεθοδολογίες υπολογισμού. Οι πειραματικές διατάξεις της έρευνας από την οποία προέκυψε ο κάθε δείκτης και συνεπώς οι συνθήκες φωτισμού κάτω από τις οποίες προέκυψαν οι παρατηρήσεις των ανθρώπων, είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος ώστε να αξιολογηθεί η δυνατότητα εφαρμογής του κάθε δείκτη στην εκάστοτε περίπτωση.

2.6.3.3 Δείκτης Θάμβωσης Φυσικού Φωτός – Daylight Glare Index (DGI)

Ο δείκτης θάμβωσης φυσικού φωτός (DGI) ή αλλιώς «εξίσωση Cornell» σχηματίστηκε αρχικά από τον Hopkins το 1972³⁹. Ο δείκτης DGI ορίζεται ως εξής:

$$DGI = 10 \times \log_{10} 0.48 \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^{1.6} \omega_{pos s,i}^{0.8}}{L_b + (0.07 \omega_{s,i}^{0.5} L_{s,i})}$$

Εστιάζει στην πιθανότητα θάμβωσης από μεγάλο μεγέθους φωτεινές πηγές όπως ένα παράθυρο μέσω του οποίου εισέρχεται η διαχεόμενη ουράνια φωτεινότητα. Στη διαδικασία της εξέλιξής του, λήφθηκαν υπόψη μελέτες αξιολόγησης από πραγματικούς παρατηρητές σε εσωτερικούς χώρους με φυσικό φωτισμό στους οποίους μετρήθηκε η λαμπρότητα του ουρανού. Καθορίστηκαν παράγοντες που εισάγουν το μέγεθος και τη θέση της θέσης της θεωρούμενης φωτεινής πηγής, (ως τέτοια θεωρείται το τμήμα του ουράνιου θόλου που είναι ορατό μέσω του παραθύρου). Ωστόσο ο δείκτης δε θεωρείται αξιόπιστος όταν στο οπτικό πεδίο για το οποίο υπολογίζεται, υπάρχει άμεσο φυσικό φως ή κατοπτρικές αντανακλάσεις αφού ο Hopkins δεν τα εισήγαγε στον ορισμό και θεώρησε ως μοναδική φωτεινή πηγή την προαναφερθείσα.

Στην εξίσωση εισάγονται η λαμπρότητα της πηγής ($L_{s,i}$) και η θέση της στο οπτικό πεδίο αναφοράς ($\omega_{s,i}$) στον αριθμητή του συνόλου και συσχετίζονται με την λαμπρότητα του υπόλοιπου οπτικού πεδίου (L_b) καθώς και ένα μικρό ποσοστό της λαμπρότητας στον παρονομαστή. Το μικρό αυτό ποσοστό εισάγεται για να αντισταθμίσει την σταδιακή προσαρμογή του ματιού του παρατηρητή στις συνθήκες φωτισμού που επικρατούν. Κλίμακα αξιολόγησης της θάμβωσης με βάση τις τιμές του δείκτη DGI διαμορφώνεται ως εξής³⁸:

- DGI < 18 : Ανεπαίσθητη θάμβωση
- DGI > 18 και DGI < 24 : Αισθητή θάμβωση
- DGI > 24 και DGI < 31 : Ενοχλητική θάμβωση
- DGI > 31 : Ανυπόφορη θάμβωση

Ο Hopkins αναγνώρισε ακόμα την ανάγκη να εισάγει επιπλέον παραμέτρους στην εξίσωση αξιολογώντας τις υποκειμενικές παρατηρήσεις των συμμετεχόντων

στην έρευνα του³⁹. Κατέγραψε λίστες αξιολόγησης της εξωτερικής θέας και της εσωτερικά ανακλώμενης φωτεινότητας αναγνωρίζοντας αυτά τα δύο στοιχεία ως τις πιο σημαντικές ελλείψεις στον δείκτη που δημιούργησε.

2.6.3.4 Νέος Δείκτης Θάμβωσης Φυσικού Φωτός – New Daylight Glare Index (DGI_N)

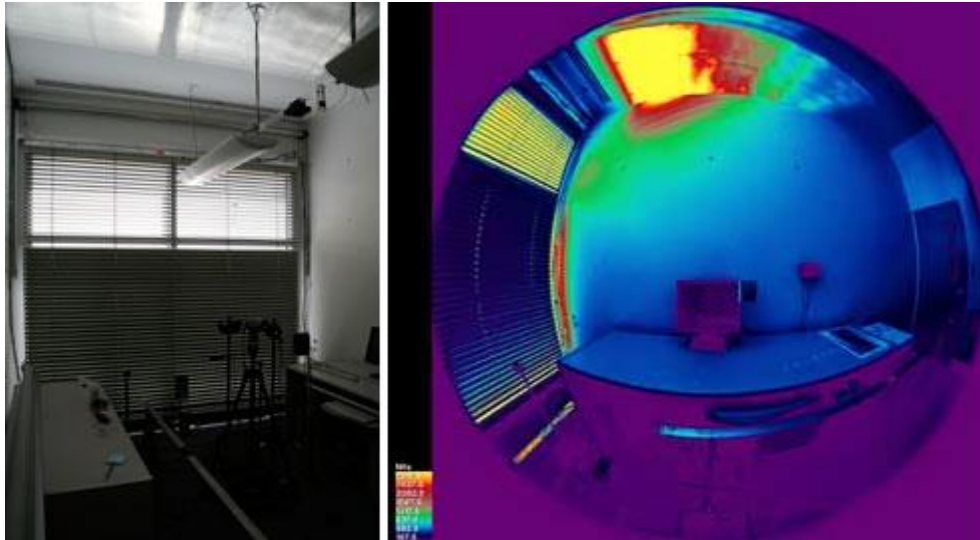
Ο νέος δείκτης θάμβωσης φυσικού φωτός (DGI_N) εισήχθη από τον Nazzari⁴⁰ το 2001, ως μία τροποποίηση του αρχικού δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού του Hopkins. Ορίστηκε ως εξής:

$$DGI_n = 8 \times \log_{10} 0,25 \sum_{i=1}^n \frac{L_{exterior,i}^2 \Omega_{z,i}}{L_{adapt} + 0.07 (\sum_{i=1}^n \omega_{s,i} L_{window,i}^2)^{0,5}}$$

Ο νέος δείκτης εισάγει αρκετές νέες μεταβλητές στον υπολογισμό του:

- L_{adapt} : Η λαμπρότητα προσαρμογής, η μέση λαμπρότητα του περιβάλλοντος
- $L_{exterior}$: Η μέση εξωτερική λαμπρότητα
- L_{window} : Η μέση λαμπρότητα του παραθύρου, με παράλληλη θεώρηση του παραθύρου ως ομοιόμορφης φωτεινής πηγής.

Τα γεωμετρικά στοιχεία του παραθύρου, η απόστασή του από τη θέση του παρατηρητή καθώς και η μέση εξωτερική λαμπρότητα είναι τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της L_{window} . Παρόλο που αυτές οι πληροφορίες είναι συνήθως διαθέσιμες, είναι πιθανό να δημιουργήσουν προβλήματα στον υπολογισμό του δείκτη αφού δεν παρέχονται άμεσα από τον εικόνες αποτύπωσης της λαμπρότητας που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι υπολογισμοί δεικτών θάμβωσης.



Εικόνα 2.33 Δημιουργία εικόνας αποτύπωσης λαμπρότητας φωτιζόμενου χώρου.

Πηγή: <http://lowenergyfacades.lbl.gov/concepts.html>

Ο ίδιος ο Nazzal αναγνωρίζει σε μεταγενέστερη δημοσίευσή του⁴¹ ότι τα αποτελέσματα αυτού του δείκτη έχουν συσχετισθεί και επαληθευθεί μόνο με αυτά του αρχικού δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού του Horkinson. Δεν έχει γίνει σημαντική έρευνα στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του δείκτη και την επαλήθευσή τους με μελέτες πραγματικών παρατηρητών και για το λόγο αυτό ενδέχεται να περιέχει σημαντικά σφάλματα τα οποία δεν έχουν αναδειχθεί ακόμα.

Η τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για τον υπολογισμό του δείκτη, είναι καθορισμένες. Χρησιμοποιούνται τρεις αισθητήρες που μετράνε τρεις διαφορετικές εντάσεις φωτισμού επιφάνειας, αυτή αντιστοιχεί στην επιφάνεια του κλειστού παραθύρου, την ολική κατακόρυφη εσωτερική και την ολική κατακόρυφη εξωτερική. Με την ολική κατακόρυφη εξωτερική ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance), εισάγεται, κατά κάποιο τρόπο, στον υπολογισμό και η θεώρηση του άμεσου ηλιακού φωτός. Ωστόσο δεν, όπως και στον αρχικό δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού, η θεώρηση γενικότερα λαμπρότητας από άμεση φωτεινή πηγή και από εσωτερικές αντανακλάσεις δεν θεωρείται επαρκής³⁴. Η κλίμακα αξιολόγησης της θάμβωσης με βάση τις τιμές του νέου δείκτη DGI_N διαμορφώνεται όπως και για τον προγενέστερο.

2.6.3.5 Δείκτης Θάμβωσης κατά CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)-CGI

Ο δείκτης θάμβωσης κατά την Διεθνή Επιτροπή για το Φωτισμό (CIE) ή αλλιώς CGI δημοσιεύτηκε το 1979 από τον Einhorn³⁷ και ήταν μια προσπάθεια να συγκεντρώσει όλη την μέχρι τότε έρευνα για τη θάμβωση σε ένα δείκτη ώστε αυτός να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπος δείκτης θάμβωσης και να υιοθετηθεί από την CIE. Ο Einhorn κατέληξε στην εξής εξίσωση:

$$CGI = C_1 \times \log_{10} C_2 \frac{1 + \frac{E_d}{500}}{E_d + E_i} \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{P_i^2}$$

Δόθηκε έμφαση ώστε στους όρους εντός του αθροίσματος, να μην χρησιμοποιούνται συντελεστές βαρύτητας ως εκθέτες για μαθηματική διευκόλυνση. Η μέση λαμπρότητα του οπτικού πεδίου με εξαίρεση την πηγή της θάμβωσης της βασικής αρχής υπολογισμού αντικαταστάθηκε από το κλάσμα που βρίσκεται πριν από το άθροισμα στην εξίσωση και περιέχει την ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance) από διάχυση (E_d) και την άμεση κατακόρυφη ένταση φωτισμού επιφάνειας στον παρατηρητή (E_i). Ο δείκτης CGI έχει δύο συντελεστές βαρύτητας, τους C_1 και C_2 . Καθορίζοντας αυτούς του συντελεστές σε $C_1=10$ και $C_2=2$ ο Einhorn έδωσε μια κλίμακα αξιολόγησης των τιμών του δείκτη. Έτσι για τις τιμές του δείκτη ισχύει³⁸:

- CGI < 13 : Ανεπαίσθητη θάμβωση
- CGI > 13 και CGI < 22 : Αισθητή θάμβωση
- CGI > 22 και CGI < 28 : Ενοχλητική θάμβωση
- CGI > 28 : Ανυπόφορη θάμβωση

Τα αποτελέσματα αυτού του δείκτη σε συγκριτική μελέτη³⁸ έχουν αξιολογηθεί ως πολύ αυστηρά σε σχέση με τους άλλους δείκτες. Αυτό ίσως και να εξηγεί τις ελαφρώς χαμηλότερες οριακές τιμές που έχει όσο αφορά στην κλίμακα αξιολόγησης, σε σχέση με τον δείκτη θάμβωσης φυσικού φωτισμού (DGI) που αναφέρθηκε παραπάνω. Σύμφωνα με τους Jakubiec και Reinhart³⁴ ο δείκτης δίνει αποτελέσματα που ανταποκρίνονται σε αυτά του μεταγενέστερου Unified Glare Rating System (UGR), δηλαδή του ενοποιημένου συστήματος αξιολόγησης της θάμβωσης που επίσης

υιοθετήθηκε από την CIE και θα αναφερθεί παρακάτω ενώ κατά την διαδικασία ορισμού του δείκτη δεν χρησιμοποιήθηκαν αξιολογήσεις πραγματικών παρατηρητών³⁴.

2.6.3.6 Ενοποιημένο Σύστημα Αξιολόγησης Θάμβωσης –Unified Glare Rating System (UGR)

Ο δείκτης UGR αναπτύχθηκε το 1995 την επιτροπή την «Technical Committee 3-13» της CIE⁴², ώστε να μπορέσει να βελτιώσει τις αδυναμίες του CGI, που αναφέρθηκε προηγουμένως, όσο αφορά στην ενσωμάτωση της έντασης φωτισμού επιφάνειας από άμεσες φωτεινές πηγές. Ο δείκτης ορίστηκε ως εξής:

$$UGR = 8 \times \log_{10} \frac{0.25}{L_b} \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{P_i^2}$$

Στο δείκτη UGR παρά το γεγονός ότι είναι σχετικά σύγχρονος δεν λαμβάνεται υπόψη με κάποιο συντελεστή η σταδιακή προσαρμογή του παρατηρητή σε ακραίες τιμές φωτεινότητας. Ωστόσο όπως αναφέρει η δημοσίευση 117 της CIE⁴² με την οποία εισάγεται ο δείκτης, «η αφαίρεση αυτού του παράγοντα έχει πολύ μικρή επιρροή στην τιμή του δείκτη όταν αυτός εφαρμόζεται σε χώρους με εντάσεις φωτισμού επιφάνειας εντός του συνηθισμένου εύρους που προτείνεται για χώρους εργασίας», κάνοντας την υπόθεση ότι η λαμπρότητα του «φόντου» του οπτικού πεδίου δεν θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλέσει δυσφορία. Ουσιαστικά, ο δείκτης UGR είναι μια απλοποιημένη μορφή του δείκτη CGI ώστε να διευκολύνονται οι υπολογισμοί. Όμως, με τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα είναι πολύ εύκολο να μετρηθούν ξεχωριστά η άμεση και η ανακλώμενη φωτεινότητα (E_d και E_i στον CGI) συνεπώς η απλοποίηση αυτή δεν αποδίδει κάποια επωφελή διευκόλυνση. Η κλίμακα των τιμών που αποδίδει ο δείκτης UGR και η αίσθηση θάμβωσης με την οποία αντιστοιχίζονται είναι ίδια με αυτή του προγενέστερου δείκτη που αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα ακριβή στοιχεία των ερευνών που οδήγησαν στην συγκεκριμένη έκφραση του δείκτη δεν αναφέρονται στην τεχνική έκθεση της CIE και έτσι δεν έγινε γνωστό αν συμπεριλαμβάνεται και συναλήθευση των αποτελεσμάτων τού, με εκτιμήσεις πραγματικών παρατηρητών.

2.6.3.7 Πιθανότητα Οπτικής Άνεσης – Visual Comfort Probability (VCP)

Ο δείκτης VCP εκφράζει «την πιθανότητα ένας κανονικός παρατηρητής να μην νιώσει δυσφορία όταν κοιτάζει σε ένα σύστημα φωτισμού υπό καθορισμένες συνθήκες»⁴³. Ορίζεται από την IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) ως ένα σύνολο χωριστών εξισώσεων οι οποίες συνδυάζονται μέσω αριθμητικής προσέγγισης στην εξής τελική εξίσωση:

$$VCP = 279 - 110 \log_{10} \sum_{i=1}^n \left[\frac{0.5 L_{s,i} (20.4 \omega_{s,i} + 1.52 \omega_{s,i}^{0.2} - 0.075)}{P_i \times E_{avg}^{0.44}} \right]^{n^{-0.092}}$$

Η γενικευμένη τελική εξίσωση επαληθεύεται³⁴ για τιμές του VCP από 20 ως 85. Στην ουσία ο δείκτης αξιολογεί τη λαμπρότητα και το μέγεθος της φωτεινής πηγής ενάντια στη θέση της στο οπτικό πεδίο και την μέση ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance) για στερεά γωνία της πηγής ως προς τον παρατηρητή, 5 στερακτίνα. Είναι έγκυρος μόνο για καταστάσεις τεχνητού φωτισμού με κανονικού μεγέθους φωτιστικά τοποθετημένα στην οροφή που αποδίδουν ομοιόμορφη λαμπρότητα αφού ορίστηκε υπό αυτές τις συνθήκες⁴³. Δεν αποδίδει έγκυρα αποτελέσματα για πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές φωτεινές πηγές και για αυτό το λόγο δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θάμβωσης από πηγές φυσικού φωτός ή από φωτιστικά με πολύ μικρό μέγεθος αλλά μεγάλη λαμπρότητα όπως τα φωτιστικά αλογόνων.

Ο δείκτης VCP αποδίδει τιμές από 0 ως 100 (η γενικευμένη εξίσωση ορίζεται για το πεδίο 20-85), που μεταφράζονται ως το ποσοστό των ανθρώπων που θα ένιωθε οπτική άνεση υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού. Για τις τιμές του δείκτη, αντίστοιχα με τους άλλους δείκτες, ισχύει³⁸:

- VCP > 80 : Ανεπαίσθητη θάμβωση
- VCP > 60 και VCP < 80: Αισθητή θάμβωση
- VCP > 40 και VCP < 60: Ενοχλητική θάμβωση
- VCP < 40 : Ανυπόφορη θάμβωση

2.6.3.8 Πιθανότητα Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού – Daylight Glare Probability (DGP)

Ο δείκτης DGP ορίστηκε το 2006 από τους Wienold και Christoffersen⁴⁵. Διαφέρει σημαντικά από τους υπόλοιπους δείκτες που αναφέρθηκαν όσο αφορά στην περιγραφή της φωτεινής πηγής. Η φωτεινή πηγή ορίζεται μέσω της σύγκρισης περιοχών υψηλής λαμπρότητας (L_s) με την συνολική κατακόρυφη ένταση φωτισμού επιφάνειας (E_v) που φθάνει στο μάτι ενός παρατηρητή με ημισφαιρικό οπτικό πεδίο (ή οπτικό πεδίο στερεάς γωνίας 2π στερακτινίων). Η πλήρης έκφραση του DGP είναι η εξής:

$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} E_v + 9.18 \times 10^{-5} \log_{10} 2 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} P_i^2} \right)$$

ενώ στην απλοποιημένη της μορφή γίνεται:

$$DGP_{(s)} = 6.22 \times 10^{-5} E_v + 0.184$$

Μια ακόμα σημαντική διαφορά είναι η προσθήκη του πρώτου όρου έξω από το λογαριθμικό παράγοντα, στην πλήρη έκφραση του δείκτη, όπου η μόνη μεταβλητή που χρησιμοποιείται είναι η E_v . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ακόμα και σε οπτικά πεδία με μεγάλη κατακόρυφη ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance) και χωρίς μεγάλη λαμπρότητα φωτεινής πηγής, όταν δηλαδή ελαχιστοποιείται το κλάσμα του λογαριθμικού παράγοντα, η οπτική δυσφορία μπορεί να προβλεφθεί από το πρώτο μέλος. Στο δεύτερο μέλος ακολουθεί την ίδια ιδέα με τους άλλους δείκτες αξιολογώντας τη λαμπρότητα και το μέγεθος της φωτεινής πηγής έναντι της θέσης της στο οπτικό πεδίο και της μέσης έντασης φωτισμού επιφάνειας του πεδίου, το οποίο ουσιαστικά είναι μια εκτίμηση της οπτικής αντίθεσης. Υπό αυτή την έννοια, ο δείκτης DGP είναι αυτός που ενσωματώνει τους περισσότερους παράγοντες στον υπολογισμό της θάμβωσης συγκριτικά με τους προγενέστερους. Ακόμα ξεπερνάει και το κοινό πρόβλημα όλων των προηγούμενων δεικτών σχετικά με την εισαγωγή στον υπολογισμό τους, της επιρροής του άμεσου φωτός στον παρατηρητή.

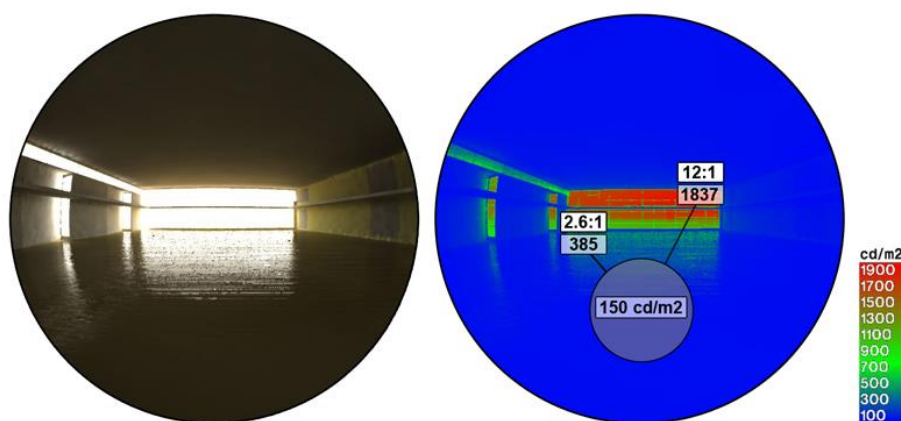
Ακριβώς όπως και με το δείκτη VCP, η έκφραση των τιμών που αποδίδει είναι πιθανοτική. Αντίθετα, η αξιολόγηση σε αυτή την περίπτωση είναι αρνητική και όχι

θετική. Δηλαδή αν τιμή του δείκτη για μια συγκεκριμένη μέτρηση σε ένα δεδομένο οπτικό πεδίο είναι $DGI=0.37$, αυτό σημαίνει ότι το 37% των ανθρώπων που θα βρίσκονταν στο ίδιο σημείο υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού, θα ένιωθαν θάμβωση.

Η κλίμακα της αξιολόγησης της θάμβωσης με βάση τις τιμές του δείκτη είναι η εξής:

- $DGP < 0,35$: Ανεπαίσθητη θάμβωση
- $DGP > 0,35$ και $DGP < 0,40$: Αισθητή θάμβωση
- $DGP > 0,40$ και $DGP < 0,45$: Ενοχλητική θάμβωση
- $DGP > 0,45$: Ανυπόφορη θάμβωση

Η εξίσωση που προέκυψε για τον δείκτη Πιθανότητας Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού (DGP) έχει επαληθευτεί με σημαντικό αριθμό αξιολογήσεων από χρήστες τόσο στη Γερμανία όσο και στη Δανία, υπό ελεγχόμενες συνθήκες δοκιμών. Μέσω αυτών έχει αναπτυχθεί και το αντίστοιχο λογισμικό στο Ινστιτούτο Fraunhofer στο Freiburg⁴⁶, το οποίο υπολογίζει τον DGP και άλλους δείκτες θάμβωσης χρησιμοποιώντας ημισφαιρικές εικόνες καταγραφής της λαμπρότητας του οπτικού πεδίου, όπως η Εικόνα 7.



Εικόνα 2.34 Εικόνα καταγραφής λαμπρότητας και λόγων ομοιομορφίας.

Πηγή: <http://danieloverbey.blogspot.gr/2012/12/methodologies-for-glare-analysis.html>

2.7 Αξιολόγηση Δεικτών Θάμβωσης

Η συγκριτική αξιολόγηση των δεικτών θάμβωσης έχει μεγάλη αξία αν αναλογιστεί κανείς τις διαφορετικές προσεγγίσεις από τις οποίες προέκυψαν. Αναγνωρίζοντας αυτή την ανάγκη, οι Jakubiec και Reinhart πραγματοποίησαν μια συγκριτική μελέτη τα αποτελέσματα της οποίας δημοσίευσαν το 2012³⁴. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα πειραμάτων σε χώρους διαφορετικής μορφής και υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, αξιολόγησαν τα αποτελέσματα του κάθε δείκτη για κάθε υπόθεση εργασίας αξιολογώντας την σύγκλιση και την αξιοπιστία τους υπό τις διάφορες παραμέτρους.

Σύμφωνα με αυτή την έρευνα, για τον ίδιο χώρο, με τις ίδιες συνθήκες φωτισμού, οι δείκτες DGI, CGI και UGR αποδίδουν παρόμοια αποτελέσματα. Ωστόσο αυτά μπορούν να θεωρηθούν έγκυρα και χρηστικά υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρξει παρουσία άμεσου ηλιακού φωτός και ότι το παράθυρο μπορεί να θεωρηθεί ως φωτεινή πηγή μεσαίου μεγέθους. Από τους τρεις αυτούς δείκτες ο δείκτης CGI μπορεί να θεωρηθεί ο πιο αυστηρός αφού προβλέπει σταθερά υψηλότερες πιθανότητες θάμβωσης. Ο δείκτης DGI_N απαιτεί γεωμετρικά σύνθετες πληροφορίες και δεν έχει πιστοποιηθεί μέχρι στιγμής με έρευνες πραγματικών παρατηρητών. Έτσι δεν μπορεί να συσταθεί ως αξιόπιστος. Ο δείκτης VCP είναι αυτός που έχει τη μεγαλύτερη απόκλιση στα αποτελέσματά του σε σχέση με τους άλλους. Ακόμα το γεγονός ότι αναπτύχθηκε για πολύ συγκεκριμένες συνθήκες υπό τεχνητό φωτισμό τον καθιστά ακατάλληλο για μελέτες που ασχολούνται με το φυσικό φως.

Συνολικά οι προαναφερθέντες μπορεί κατά περίπτωση να αποδίδουν έγκυρα αποτελέσματα ωστόσο κανείς δε μπορεί να εφαρμοστεί γενικά και υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Αντίθετα με αυτούς, ο δείκτης DGP έδωσε αναμενόμενα και ακριβή αποτελέσματα στις περισσότερες από τις συνθήκες φωτισμού που εξετάστηκαν. Συνεπώς είναι σαφής η παρότρυνση των ερευνητών στη του δείκτη DGP που με το συνδυασμό αξιόπιστου λογισμικού αποδίδει αποτελέσματα τα οποία έχουν πολύ μικρότερη πιθανότητα να είναι αναξιόπιστα ή απροσδόκητα.

2.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Reinhart CF & Galasiu A. (2006), Results of an Online Survey of the Role of Daylighting in Sustainable Design, NRC-IRC Report
2. Reinhart CF, Mardaljevic J & Rogers Z. , Dynamic Daylight Performance for Sustainable Building Design (2006), LEUKOS vol.3 : 7-31
3. J Mardaljevic, L Heschong and E Lee, Daylight Metrics and Energy Saving (2009), Lighting Research and Technology 2009 41: 261-283
4. The Useful Daylight Illuminance: A Replacement for Daylight Factors, Mardaljevic J & Nabil A, Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University
5. Mardaljevic J & Nabil A, Useful Daylight Illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings, Lighting Research and Technology (2005) 37 : 41-57
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Daylight_factor
7. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings - A Nabil and J Mardaljevic - Lighting Research and Technology 2005 37: 41
8. Littlefair PJ. Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls. Building Research & Information 1998; 26(4): 208–222.
9. HeschongMahone Group. Sidelighting photocontrols field study. Final Report to Southern California Edison Co, Pacific Gas & Electric Company and Northwest Energy Efficiency Alliance. (2006)
10. Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. Energy and Buildings, 33(7), 683-697.
11. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. Leukos, 3(1), 7-31.
12. <http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/daylight-autonomy>
13. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. Leukos, 3(1), 7-31.
14. Reinhart, C. F. & Voss K. (2003). Monitoring manual control of electric lighting and blinds. Lighting Res. Technol. 35,3 (2003) pp. 243–260

15. Lindelof D, Morel N. 2006. A field investigation of the intermediate light switching by users. *Energy and Buildings*, 38(7):790–801.
16. Jennings J, Rubinstein F, DiBartolomeo D, Blanc S. 1999. Comparison of Control Options in Private Offices in an Advanced Lighting Control Testbed. *Proceedings of the IESNA 1999 Annual Conference*, New Orleans, LA. August 10–12.
17. Rogers Z. 2006. *Daylighting Metric Development Using Daylight Autonomy Calculations In the Sensor Placement Optimization Tool*. Boulder, Colorado, USA: Architectural Energy
18. A Nabil & J Mardaljevic, Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings, *Lighting Research and Technology* 2005 37: 41
19. <http://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/daylight-saturation-percentage>
20. Collaborative for High Performance Schools (2006), *Design for High Performance Schools Volume 2*
21. C. Reinhart & D. Weissman, The daylight area – Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics, *Building and Environment* 50 (2012) 155-164
22. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort, Carlos E. Ochoa , Myriam B.C. Aries, Evert J. van Loenen, Jan L.M. Hensen, *Applied Energy* 95 (2012) 238–245
23. Research and development on aspects of daylighting fundamentals, M.S. Alrubaih, M.F.M.Zain, M.A.Alghoul, N.L.N.Ibrahim, M.A.Shameri, OmkalthumElayeb, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2013) 494–505
24. Uniformity Ratios, David M. Keith, <http://resodance.com/ali/uniratio.html>
25. <http://www.maxwellrosspierson.com/2012/05/19/an-overview-of-daylighting-metrics-with-examples/>
26. LEED 2009 ForHealthcare
27. Tuaycharonen N. & Trezenga P.R., View and comfort glare from windows, *Lighting Research and Technology* (2007) 39: 185
28. Hopkinson RG, Glare from windows, *Applied Ergonomics* (1972), 3: 206-15

29. B.L. Collins, Windows and people: a literature survey, in: Psychological Reaction to Environments with and Without Windows, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1975.
30. P. Leather, M. Pygras, D. Beale, C. Lawrence, Windows in the workplace: sunlight, view and occupational stress, *Environment and Behavior* 30 (6) (1998) 739–762.
31. Ulrich RS. View through a window may influence recovery from surgery. *Science* 1984;224: 421.
32. Tuaycharoen N. PhD Thesis. The reduction of discomfort glare from windows by interesting views. Sheffield: The University of Sheffield; 2006.
33. Reinhart CF, Mardaljevic J, Rogers Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos* 2006; 3: 1–25.
34. The adaptive zone – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces, Jakubiec & Reinhart, *Lighting Research and Technology*, (2012) 44: 149-170
35. USGBC. LEED 2009 for new construction and major renovations rating system. US Green Building Council. Retrieved 2 November 2010, from <http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID7244>
36. Luckiesh M, Guth SK. Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort (BCD). *Illuminating Engineering* 1949; 44: 650–670.
37. Einhorn H. Discomfort glare: A formula to bridge differences. *Lighting Research and Technology* 1979; 11: 90–94.
38. Jae-Yong Suk, Marc Schiler & Karen Kensek, Development of new daylight glare analysis methodology using absolute glare factor and relative glare factor, *Energy and Buildings* (2013)
39. Hopkinson R. Glare from daylighting in buildings. *Applied Ergonomics* 1972; 3: 206–215
40. Nazzal A. A new daylight glare evaluation method: Introduction of the monitoring protocol and calculation method. *Energy and Buildings* 2001; 33: 257–265.
41. Nazzal A, Onaygil S, Guler O. Subjective experience of discomfort glare in a daylight computerized office in Istanbul and its mathematical prediction with the DGIN method. *The Bulletin of the Istanbul Technical University*,

- Interdisciplinary Journal of Physical and Engineering Science 2005; 54: 96–107.
42. Commission Internationale de l’Eclairage, CIE Technical Committee 3-13. Discomfort Glare in Interior Lighting. CIE Publication 117. Vienna : CIE (1995)
 43. Harrold R. IESNA Lighting Ready Reference: A Compendium of Materials from the IESNA, Illuminating Engineering Society of North America. New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2003.
 44. "Steradian", McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, fifth edition, Sybil P. Parker, editor in chief. McGraw-Hill, 1997. ISBN 0-07-052433-5.
 45. Wienold J, Christoffersen J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. Energy and Buildings (2006), 38:743–757.
 46. Wienold J. Evalglare version 0.9f. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Freiburg, Germany. Retrieved 2 March 2010, from www.ise.fraunhofer.de/radiance.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

3.1 Διεθνείς Κανονισμοί Και Δείκτες Φυσικού Φωτισμού

Οι διεθνείς κανονισμοί σχεδιασμού ή αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της αντίληψης των μελετητών περί ικανοποιητικού φυσικού φωτισμού και κατ' επέκταση στην μεθοδολογία και την επιλογή των βασικών στόχων κατά την εκπόνηση των μελετών. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού που αναφέρθηκε νωρίτερα, οποίος παρά τις αποδεδειγμένες ελλείψεις του, συνεχίζει να δεσπόζει ως ο κυρίαρχος δείκτης φυσικού φωτισμού λόγω της πολύχρονης παρουσίας του στους κανονισμούς και τις απαιτήσεις του σχεδιασμού.

Με την πάροδο των ετών και την εξέλιξη της έρευνας, η αντίληψη για το φυσικό φωτισμό και την πολυδιάστατη επίδραση που μπορεί να έχει σε ένα κτίριο διευρύνεται. Πλέον οι οδηγίες περί φυσικού φωτισμού ενσωματώνονται όλο και περισσότερο, σε πιο συνολικές προσεγγίσεις σχετικά με την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αντικατάσταση του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού που εκφράζεται ως ποσοστό, με εκφράσεις απόλυτων τιμών φωτισμού (illuminance, luminance κ.ά.) που μπορούν να συνδυαστούν και με άλλους τομείς του σχεδιασμού με μεγαλύτερη ευκολία.

Παρά την όποια εξέλιξη στους κανονισμούς δεν έχει καταστεί ακόμα δυνατό να εκφραστούν οι κανονισμοί σε συνάρτηση των νέων δεικτών που έχουν προκύψει. Κατά τους Reinhart, Mardaljevic και Rogers, υπολείπεται ακόμα ένα βήμα στην εξέλιξη πριν να συμβεί αυτό. Όπως φάνηκε στο παράδειγμα σύγκρισης των δεικτών, οι δυναμικοί δείκτες μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία σε συγκριτικές μελέτες μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών επιλογών σχεδιασμού. Αυτό που χρειάζεται είναι απόλυτες τιμές αναφοράς που θα μπορούν να καθιερωθούν ως απαιτήσεις στους κανονισμούς. Επιπλέον, προτείνεται από τους ίδιους ερευνητές η υιοθέτηση των νέων δεικτών να μη γίνει με τρόπο ανάλογα της χονδροειδούς απαίτηση του κανονισμού LEED για Π.Φ.Φ. μεγαλύτερο ή ίσο του 2% αλλά με μια πιο επιστημονικά ορθή προσέγγιση όπου για παράδειγμα οι όποιες τιμές που θα επιλεγθούν ως όρια, να έχουν προκύψει από μελέτες περιπτώσεων πολυάριθμων και ποικίλων χώρων και αφού έχουν επιβεβαιωθεί από έρευνες σχετικά με την αξιολόγησή τους τόσο από

ειδικούς στο φυσικό φωτισμό όσο και από τους ίδιους τους χρήστες των χώρων αυτών.

3.2 Σημαντικότεροι Διεθνείς Κανονισμοί

3.2.1 CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers)

Το CIBSE είναι ένα διεθνές ινστιτούτο με σκοπό την έρευνα και τη βελτίωση του σχεδιασμού των κτιρίων για κάθε πτυχή του σχεδιασμού. Όσο αφορά στο φωτισμό αρμόδια είναι η Society of Light & Lighting (SLL)¹.

Οι γενικές συστάσεις της SLL για το φωτισμό των χώρων δίνουν έμφαση στη παρουσία του φυσικού φωτισμού ακόμα και αν οι ανάγκες καλύπτονται από τον τεχνητό. Έτσι ορίζει:

- Για χώρους στους οποίους δε χρησιμοποιείται ο τεχνητός φωτισμός, ο μέσος Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού δεν πρέπει να είναι κάτω από 5%.
- Για χώρους στους οποίους χρησιμοποιείται ο τεχνητός φωτισμός, ο μέσος Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού δεν πρέπει να είναι κάτω από 2%.

Ορίζονται και πιο συγκεκριμένες απαιτήσεις ανάλογα με τη χρήση του κάθε χώρου. Οι συστάσεις του CIBSE για τις μονάδες υγείας παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες².

Healthcare – delivery rooms

	Maintained illuminance (lux)	Limiting glare rating	Minimum colour rendering (R _a)	Note
General lighting	300	19	80	
Examination and treatment	1000	19	80	1

Note:

1. Examination luminaire may be required.

Healthcare – examination rooms

	Maintained illuminance (lux)	Limiting glare rating	Minimum colour rendering (R _a)	Note
General lighting	500	19	90	
Examination and treatment	1000	19	90	1

Note:

1. Examination luminaire may be required.

Εικόνα 3.1 - Προτεινόμενες τιμές για χώρους υγειονομικής περίθαλψης, κατά CIBSE Πηγή:

www.cibse.org

Healthcare – operating areas

	Maintained illuminance (lux)	Limiting glare rating	Minimum colour rendering (R _a)	Note
Pre-op and recovery rooms	500	19	90	
Operating theatre	1000	19	90	
Operating cavity	–	–	–	1

Note:

1. Operating luminaire required; illuminance 10 000–100 000 lux.

Healthcare – treatment rooms

	Maintained illuminance (lux)	Limiting glare rating	Minimum colour rendering (R _a)	Note
Dialysis	500	19	80	1
Dermatology	500	19	90	
Endoscope rooms	300	19	80	
Plaster rooms	500	19	80	
Medical baths	300	19	80	
Massage and radiotherapy	300	19	80	

Note:

1. The lighting should be controllable.

Εικόνα 3.2 - Προτεινόμες τιμές για χώρους υγειονομικής περίθαλψης, κατά CIBSEΠηγή:

www.cibse.org

Healthcare premises – general rooms

	Maintained illuminance (lux)	Limiting glare rating	Minimum colour rendering (R _a)	Note
Waiting rooms	200	22	80	1
Corridors: during the day	200	22	80	1
Corridors: at night	50	22	80	1
Day rooms	200	22	80	1
Staff office	500	19	80	
Staff rooms	300	19	80	

Note:

1. Illuminance at floor level.

Εικόνα 3.3 - Προτεινόμες τιμές για χώρους υγειονομικής περίθαλψης, κατά CIBSEΠηγή:

www.cibse.org

Σε μια προσπάθεια να συμβάλει στη μείωση της ενέργειας που καταναλώνει ο τομέας υγείας στη Βρετανία, το (CIBSE) σε συνεργασία με το υπουργείο υγείας της χώρας εισήγαγε στο εγχειρίδιο CIBSE LG2 του 2007 ένα σύστημα ενεργειακής πιστοποίησης [Design Efficiency Rating system (DEER)] που προτείνει τις τιμές αυτές.

3.2.2 IESNA (Illuminating Engineering Society of North America)

Η IESNA είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ιδρύθηκε στη Νέα Υόρκη το 1906. Σκοπός της είναι να βελτιώσει το περιβάλλον του φωτισμού επιτρέποντας τη συνεργασία ανθρώπων με γνώσεις πάνω στο φωτισμό και μεταφράζοντας τις γνώσεις αυτές σε πράξεις που ευνοούν το κοινό συμφέρον. Τα μέλη της IESNA θεωρούνται επαγγελματίες στο χώρο τους και χαίρουν διεθνούς αποδοχής.

Όσο αφορά στους θαλάμους νοσηλείας, η IESNA προτείνει³, ανάλογα με τη δραστηριότητα, τα εξής:

- Για τις επισκέψεις των νοσοκόμων στους θαλάμους των ασθενών που απαιτούν δραστηριότητα, φωτισμό με κατάλληλη τοποθέτηση ώστε να διευκολύνονται, και λαμπρότητα (luminance) της τάξης των 310 cd/m².
- Για τις απλές επισκέψεις ελέγχου των νοσοκόμων, φωτισμό λαμπρότητας 70 cd/m².
- Για την εξέταση των ασθενών, φωτισμό κατάλληλο ώστε να εμφανίζεται σωστά το χρώμα του δέρματος ή άλλων ιστών, να διευκολύνεται η παρατήρηση επιφανειών και κοιλοτήτων και να μην δημιουργεί σκιάσεις.
- Προσωπικός φωτισμό ασθενών για δραστηριότητες όπως ανάγνωση, με λαμπρότητα της τάξης των 310 cd/m².



Εικόνα 3.4 - Διαφορετικές δραστηριότητες εντός θαλάμου νοσηλείας Πηγή: IESNA, The Lighting Handbook, Ninth Edition

Επιπλέον στην 9^η έκδοση του IESNA Lighting Handbook αναφέρονται και κάποιες γενικές απαιτήσεις έντασης φωτισμού επιφάνειας για τα νοσοκομεία οι οποίες είναι οι εξής⁴:

- Γενικός φωτισμός των περυγών : 300 lux , σε ύψος 0.8m από το δάπεδο.
- Φωτισμός απλής εξέτασης : 500 lux , σε ύψος 0.8m από το δάπεδο.
- Φωτισμός εξέτασης και θεραπείας : 1000 lux , σε ύψος 0.8m από το δάπεδο.

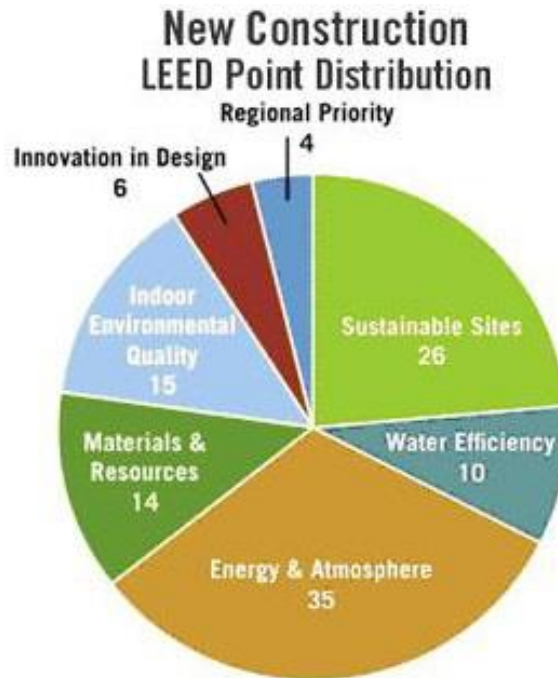
3.2.3 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

Το LEED είναι ένα σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων του Συμβουλίου Πράσινων Κτιρίων των Η.Π.Α.⁵

Στο ειδικό εγχειρήδιο για τις μονάδες υγείας, το LEED 2009 ForHealthcare, το οποίο ενημερώθηκε και επανεκδόθηκε τον Απρίλιο του 2013, δίδονται τέσσερις εναλλακτικές (προσομοίωση, επιτόπιες μετρήσεις, περιγραφή και συνδυασμός), ώστε να εξασφαλιστεί ότι ο σχεδιασμός όσο αφορά στο φυσικό φωτισμό είναι κατάλληλος⁶. Η πρώτη είναι αυτή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια μελέτη φωτισμού και αναφέρει τα εξής:

➤ **Εναλλακτική Πρώτη: Προσομοίωση**

Μέσω προσομοίωση σε Η/Υ να αποδειχθεί ότι τουλάχιστον το 75% του χώρου επιτυγχάνει μέσω του φυσικού φωτός, τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας μεταξύ των 110 lux και 5400 lux σε συνθήκες καθαρού ουρανού την 21^η Σεπτεμβρίου και μεταξύ 9:00 π.μ. και 3:00 μ.μ. Επίσης να προβλέπονται συσκευές σκίασης για την αποφυγή θάμβωσης με την προϋπόθεση ότι τηρείται το κατώτατο όριο των 110 lux.



Εικόνα 3.5 - Κατανομή πόντων αξιολόγησης στο σύστημα LEED. Στο φυσικό φωτισμό αναλογούν 2 βαθμοί αξιολόγησης από τους 35 ενέργειας και ατμόσφαιρας. Πηγή: <http://www.street-sense.org/storage/leed3.jpg>

3.2.4 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

Η ASHRAE που ιδρύθηκε το 1894 είναι ένας τεχνολογικός οργανισμός που ασχολείται με τα συστήματα δόμησης, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ποιότητα του αέρα, την ψύξη και την βιωσιμότητα του κλάδου⁷. Σκοπός της είναι να βοηθήσει στην επιστημονική έρευνα και εξέλιξη στους τομείς αυτούς, να υπηρετεί το κοινό καλό και να προάγει την αειφόρο ανάπτυξη. Στα πλαίσια της δράσης της, δημοσιεύει τεχνικά εγχειρίδια προτείνοντας αντίστοιχες κατευθύνσεις σχεδιασμού.

Σχετικά με τις μονάδες υγείας έχει εκδόσει ένα εγχειρίδιο προχωρημένου ενεργειακού σχεδιασμού για νοσοκομεία και μονάδες υγείας⁸. Στην δημιουργία του συμμετείχαν επίσης το Αμερικανικό Ινστιτούτο Αρχιτεκτόνων, η IESNA, καθώς και το Συμβούλιο Πράσινων Κτιρίων και το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. Στο εγχειρίδιο δίνονται κατευθυντήριες οδηγίες σχεδόν για κάθε χώρο του νοσοκομείου.

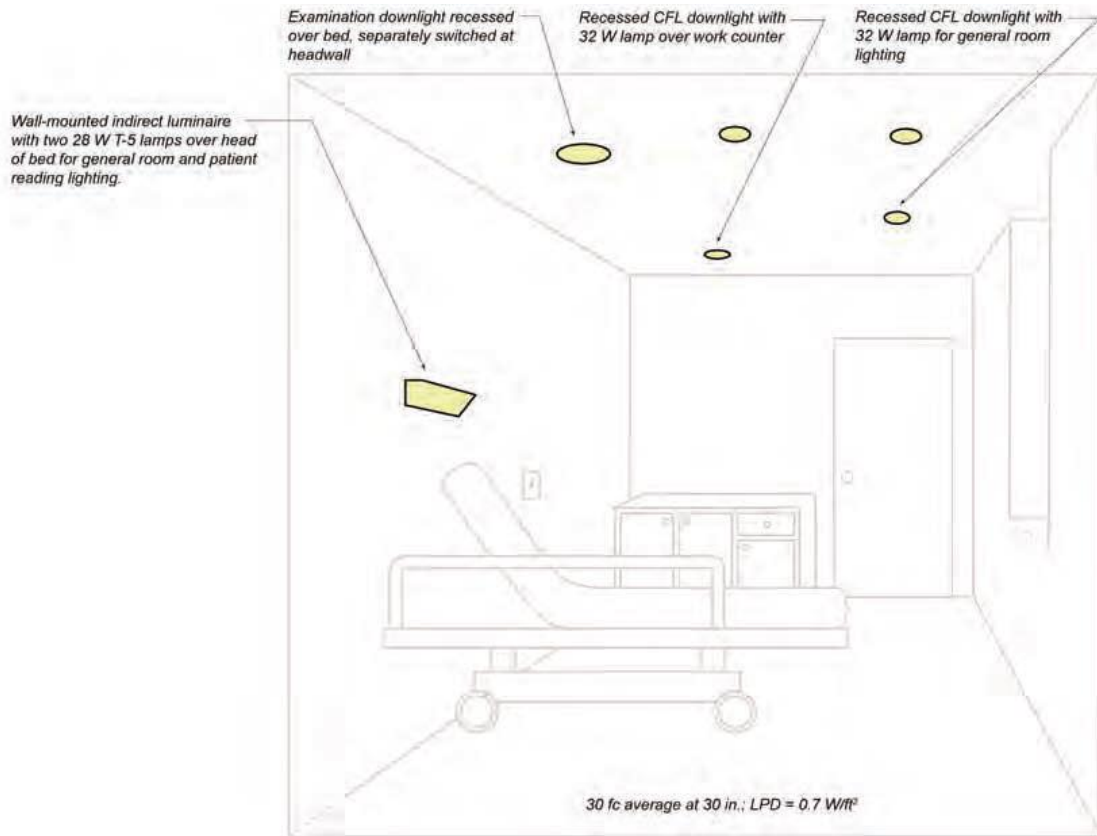
Table 5-9. Space-by-Space Lighting Power Density Recommendations

Space	How-to Tips	Recommended LPD W/ft ²	Control Scheme*
Patient room	EL14–EL15	0.7	ML/DL
Nurse station	EL16–EL17	1.0	ML/DL
Surgery/operating room	EL18–EL19	2.0	ML
PACU/recovery/non-invasive treatment	EL20–EL21	0.8	ML
Treatment/procedure room	EL22–EL23	2.0	ML/ DL
Exam room	EL24	1.2	ML/OC/DL
LDR/obstetrics	EL25–EL26	0.6	ML
Radiology	EL27–EL28	0.8	ML
Lab/pharmacy	EL29	1.2	SW/OC
Work room/supply room	EL16–EL17	1.2	ML/OC
Individual office	EL30–EL31	0.9	ML/OC/DL
Conference room	EL30–EL31	1.2	ML/OC/DL
Corridor (24-hour care)	EL16–EL17	0.7	ML/DL/LS
Corridor (non-care)	EL16–EL17	0.7	TC/OC/DL/LS
Lobby	EL31	0.9	TC/OC/DL/LS
Physical therapy		0.9	ML/TC/OC/DL
Laundry		0.6	TC/OC
Lounge/waiting	EL31	0.8	TC/OC/DL/LS
Food prep		1.2	TC/OC

* ML – Multi-level or dimming; SW – Manual switch; TC – Astronomic time schedule; OC – Occupancy/vacancy sensor; DL – Daylight harvesting; LS – Light level setback.

Εικόνα 3.6 - Λίστα με όλους τους χώρους για τους οποίους δίνονται οδηγίες στο εγχειρίδιο της ASHRAE. Πηγή : www.ashrae.org

Όσο αφορά τους θαλάμους νοσηλείας, οι παράγραφοι EL14 και EL15 δίνουν πολλές οδηγίες ώστε να εξασφαλίζεται η διευκόλυνση όλων των δραστηριοτήτων που αναμένεται να συμβούν από τον ασθενή και την οικογένεια του, τους γιατρούς, τις νοσοκόμες ακόμα και το προσωπικό καθαρισμού, προτείνοντας και κατάλληλα φωτιστικά όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Προτείνεται ως αποδεκτή μέση τιμή λαμπρότητας φωτισμού τα 30ft (όπου ft=footcandles =cd/ft²) σε ύψος 30 ιντσών από το δάπεδο ή αλλιώς περίπου 320 cd/m² σε ύψος περίπου 75cm από το δάπεδο.



Εικόνα 3.7 Προτεινόμενη διάταξη φωτισμού θαλάμου νοσηλείας από ASHREA

Πηγή : www.ashrae.org

3.2.5 Ευρωπαϊκή Οδηγία - CSN EN 12464-1 Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδόσει επίσης έναν οδηγό πρότυπου φωτισμού για χώρους εργασίας. Ο EN12464⁹ εκδόθηκε το 2011 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση (CEN) με στόχο να καθορίσει τις απαιτήσεις φωτισμού για εσωτερικούς χώρους εργασίας ώστε να εξασφαλίζεται η οπτική άνεση και η αποδοτικότητα. Περιλαμβάνει όλες τις συνήθεις δραστηριότητες που απαιτούν οπτική επάρκεια. Έχει δομηθεί στη λογική της ελάχιστης απαίτησης για κάθε περίπτωση. Έτσι ορίζει ελάχιστη ένταση φωτισμού επιφάνειας για κάθε επιφάνεια εργασίας (illuminance) , ελάχιστη τιμή του δείκτη χρωματικής απόδοσης (colourrendering) και μέγιστη τιμή του ενοποιημένου βαθμού θάμβωσης (UnifiedGlareRating – UGR). Σε ένα εγχειρίδιο¹⁰ της εταιρίας ThornLightingLimited σχετικά με το φωτισμό των νοσοκομοκείων, δίνεται ο παρακάτω πίνακας στον οποίο έχει γίνει μια συγκέντρωση των απαιτούμενων τιμών του EN12464-1.

Table 5.7: Health care premises adapted from EN12464-1

Ref. no.	Type of interior, task or activity	Em	UGRL	Uo	Ra	Remarks
7.1 Rooms for general use						
All illuminances at floor level.						
7.1.1	Waiting rooms	200	22	0,4	80	
7.1.2	Corridors: during the day	200	22	0,6	80	
7.1.3	Corridors: during the night	50	22	0,4	80	
7.1.4	Day rooms	200	22	0,6	80	
7.1.5	Elevators, lifts	100				
7.1 Rooms for general use						
7.1.1	Waiting rooms	200	22	0,4	80	
7.1.2	Corridors: during the day, cleaning	100	22	0,4	80	
7.1.3	Corridors: during the night	50	22	0,4	80	Illuminance at floor level
	Multi-purpose corridors	200	22	0,6	80	Illuminance at task/activity level
7.1.4	Day rooms	200	22	0,6	80	
7.1.5	Elevators, lifts	100				
7.2 Staff rooms						
7.2.1	Staff office	500	19	0,6	80	
7.2.2	Staff rooms	300	19	0,6	80	
7.3 Wards, maternity wards						
Prevent too high luminance's in the patients' field of vision.						
7.3.1	General lighting	100	19	0,4	80	Illuminance at floor level.
7.3.2	Reading lighting	300	19	0,7	80	
7.3.3	Simple examinations	300	19	0,6	80	
7.3.4	Examination and treatment	1000	19	0,7	90	
7.3.5	Night lighting, observation lighting	5	-	-	80	
7.3.6	Bathrooms and toilets for patients	200	22	0,4	80	
7.4 Examination rooms (general)						
7.4.1	General lighting	500	19	0,6	90	
7.4.2	Examination and treatment	1000	19	0,7	90	
7.5 Eye examination rooms						
7.5.1	General lighting	300	19	0,6	80	
7.5.2	Examination of the outer eye	1000	-	-	90	
7.5.3	Reading and colour vision tests with vision charts	500	16	0,7	90	
7.6 Ear examination rooms						
7.6.1	General lighting	300	19	0,6	80	
7.6.2	Ear examination	1000	-	-	90	
7.7 Scanner rooms						
7.7.1	General lighting	300	19	0,6	80	
7.7.2	Scanners with image enhancers and television systems	50	19	-	80	
7.8 Delivery rooms						
7.8.1	General lighting	300	19	0,6	80	
7.8.2	Examination and treatment	1000	19	0,7	80	
7.9 Treatment rooms (general)						
7.9.1	Dialysis	500	19	0,6	80	Lighting should be controllable.
7.9.2	Dermatology	500	19	0,6	90	
7.9.3	Endoscopy rooms	300	19	0,6	80	
7.9.4	Plaster rooms	500	19	0,6	80	
7.9.5	Medical baths	300	19	0,6	80	
7.9.6	Massage and radiotherapy	300	19	0,6	80	
7.10 Operating areas						
7.10.1	Pre-op and recovery rooms	500	19	0,6	90	
7.10.2	Operating theatre	1000	19	0,6	90	
7.10.3	Operating cavity	-				Em: 10 000 to 100 000 lx.
7.11 Intensive care unit						
7.11.1	General lighting	100	19	0,6	90	At floor level.
7.11.2	Simple examinations	300	19	0,6	90	At bed level.
7.11.3	Examination and treatment	1000	19	0,7	90	At bed level.
7.11.4	Night watch	20	19	-	90	
7.12 Dentists						
7.12.1	General lighting	500	19	0,6	90	Lighting should be glare free for the patient.
7.12.2	At the patient	1000	-	0,7	90	
7.12.3	Operating cavity	5000	-	-	90	Values higher than 5000 lx may be required.
7.12.4	White teeth matching	5000	-	0,7	90	CCT ≥6000 K.
7.13 Laboratories and pharmacies						
7.13.1	General lighting	500	19	0,6	80	
7.13.2	Colour inspection	1000	19	0,7	90	CCT ≥6000 K.
7.14 Decontamination rooms						
7.14.1	Sterilisation rooms	300	22	0,6	80	
7.14.2	Disinfection rooms	300	22	0,6	80	
7.15 Autopsy rooms and mortuaries						
7.15.1	General lighting	500	19	0,6	90	
7.15.2	Autopsy table and dissecting table	5000	-	-	90	Values higher than 5000 lx may be required.

Εικόνα 3.8 - Προτεινόμενες τιμές φωτισμού για χώρους υγειονομικής περίθαλψης κατά EN 12464-1. Πηγή: <http://www.en-standard.eu>

3.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.cibse.org
2. Lighting Guide 2: Lighting for Hospital and Healthcare Buildings, CIBSE, (1989, added-on 1999)
3. IESNA, The Lighting Handbook, Ninth Edition
4. Requirements for Lighting Levels, Eric E. Richman Pacific, Northwest National Laboratory
5. <http://www.usgbc.org/leed>
6. LEED 2009 For Healthcare
7. <https://www.ashrae.org>
8. Advanced Energy Design Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities, © (2007), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (www.ashrae.org).
9. <http://www.en-standard.eu>
10. THORN Hospitals and Healthcare, THORN Lighting Ltd.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ Η/Υ

4.1 Εισαγωγή

Η σημερινή πρόοδος στην επιστήμη του προγραμματισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει καταστήσει εφικτή τόσο την ακριβέστερη πρόβλεψη των συνθηκών φωτισμού μέσω των φωτορεαλιστικών προγραμμάτων προσομοίωσης, όσο και την συνεργασία των προγραμμάτων αυτών με λογισμικά γραμμικής σχεδίασης (CAD-Computer-Aided-Design) τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό στη σύγχρονη πρακτική κατά τον σχεδιασμό των κτιρίων.

Με την συνεργασία αυτή απαλλάσσεται ο μελετητής από τη διαδικασία εισαγωγής των γεωμετρικών στοιχείων του μοντέλου που πρόκειται να εξετασθεί, μια διαδικασία που ήταν περίπλοκη και χρονοβόρα. Επιπλέον, ακόμα και όταν απαιτείται η δημιουργία του μοντέλου εντός του προγράμματος προσομοίωσης, το περιβάλλον εργασίας έχει γίνει πλέον πολύ πιο κατανοητό και φιλικό προς τους χρήστες, ακόμα και αυτούς που δεν έχουν μεγάλη εξοικείωση με αυτή τη διαδικασία.

Από την άλλη, 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.

Με τον όρο “φωτορεαλισμός” εννοούμε τη ρεαλιστική απεικόνιση των αντικειμένων και χώρων που έχουν σχεδιαστεί στον υπολογιστή. Αυτό επιτυγχάνεται ‘ντύνοντας’ τις επιφάνειες των αντικειμένων με υλικά, τοποθετώντας φωτεινές πηγές και δημιουργώντας συγκεκριμένες οπτικές γωνίες θέασης. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ένα τρισδιάστατο σχέδιο στο οποίο τα αντικείμενα έχουν αληθοφανείς επιφάνειες και σκιές, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των υλικών και το φωτισμό που ορίζουμε. Για την επίτευξη του στόχου αυτού χρησιμοποιούνται ειδικά προγράμματα απόδοσης χρωμοσκίασης (rendering), τα οποία υπολογίζουν την απεικόνιση βάση των ιδιοτήτων των επιφανειών – όπως το χρώμα, η σκίαση, η στιλπνότητα και η υφή- και τις συμπεριφοράς τους υπό συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού¹.

Είναι σαφές ότι κανένα φωτορεαλιστικό πρόγραμμα υπολογιστή δεν μπορεί να αναπαράγει με ακρίβεια την οπτική εμπειρία του να βρίσκεται κάποιος μέσα σε ένα χώρο. Όμως ο ακριβής υπολογισμός των επιπέδων φωτισμού σε ένα χώρο βοηθάει σημαντικά στον προσδιορισμό λεπτομερών ποσοτικών απαιτήσεων και στην τοποθέτηση φωτιστικών με τρόπο ακριβή και στοχευμένο ώστε να επιτυγχάνονται συγκεκριμένοι στόχοι με τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για το φωτισμό και κατά συνέπεια την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων¹.



Εικόνα 4.1 – Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού χώρου. Πηγή : http://farm5.static.flickr.com/4095/4902409533_758e3c9a72.jpg

4.2 Προγράμματα Προσομοίωσης 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/m²] 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 εξελίχθηκαν 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 χώρο¹.

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 αλληπάλληλες ανακλάσεις (diffuse and specular interreflection) σε περίπλοκους χώρους². Η δημιουργία και λειτουργία άλλωστε πολλών προγραμμάτων προσομοίωσης φωτισμού έχουν την απαρχή τους στο Radiance.

Με λεπτομερή λίστα με όλα τα διαθέσιμα προγράμματα που αφορούν στο σχεδιασμό πιο αποδοτικών, ενεργειακά, και πιο ποιοτικών, περιβαλλοντικά, κτιρίων παρέχεται στην ιστοσελίδα του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α.³ Υπάρχει ειδικός διαχωρισμός όσο αφορά τα προγράμματα φωτισμού όπου γίνεται μια σχεδόν πλήρης

καταγραφή των προγραμμάτων αυτού του είδους καθώς και μια σχετικά σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων κάθε ενός από αυτά

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 φωτισμού¹. 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.

4.3 Το Χρησιμοποιούμενο Λογισμικό

Στην παρούσα εργασία, για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης όσο αφορά την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού στους θαλάμους νοσηλείας του Γενικού Νοσοκομείου Αττικής ΚΑΤ έγιναν προσομοιώσεις με χρήση του λογισμικού ReluxPRO, που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Relux InformatikAG με έδρα την Ελβετία.

Η απόδοση της πραγματικότητας και η απεικόνιση του αποτελέσματος της προσομοίωσης στο εν λόγω λογισμικό βασίζεται στην τεχνική Radiocity⁴, ενώ μπορεί να δώσει και περιορισμένα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας την τεχνική Ray-Tracing. Οι δύο αυτές τεχνικές είναι και οι πιο διαδομένες στα προγράμματα προσομοίωσης φωτισμού. Πίσω από κάθε όνομα υπάρχει και ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος σκίασης που με κάποιο μαθηματικό μοντέλο κάνει τους απαραίτητους μαθηματικούς υπολογισμούς και προσδίδει στο κάθε εικονοστοιχείο (pixel) της οθόνης το κατάλληλο χρώμα. Σύμφωνα με την μέθοδο Radiocity, που είναι η βασική τεχνική που χρησιμοποιεί το Relux, κάθε επιφάνεια αναλύεται αυτομάτως σε μικρότερα μέρη τα οποία επανακατευθύνουν το φως ομοιόμορφα στο χώρο σαν φωτεινές πηγές έμμεσου φωτισμού. Με το τρόπο αυτό προκύπτουν ‘μαλακότερες’ σκιάσεις που δίνουν ένα πιο ρεαλιστικό οπτικό αποτέλεσμα συγκριτικά με την μέθοδο Ray-Tracing. Από την άλλη η μέθοδος Ray-Tracing (ιχνηλάτηση ακτίνας) είναι η διαδικασία εκείνη που κυριολεκτικά ξανά-ιχνηλατεί τις ακτίνες του φωτός που υπάρχουν στο χώρο (όπως απεικονίζονται στην οθόνη του υπολογιστή από εικονοστοιχεία) όπως γίνονται ορατές από τον παρατηρητή καθώς και την πορεία των ακτινών από τις διάφορες επιφάνειες πίσω στις φωτεινές πηγές (ακτίνες σκίασης). Τα χρώματα και η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων στην οθόνη προέρχονται από το χρώμα της επιφάνειας όταν οι ακτίνες του φωτός προσπέσουν πάνω της από κάποια απόσταση. Ο τρόπος απεικόνισης αυτός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν απεικονίζονται επιφάνειες με καθρέπτη ή διαφανείς επιφάνειες, αλλά οι σκιάσεις είναι συχνά αφύσικα σκληρές όταν η ακτίνα σκίασης διακόπτεται στην ευθεία πορεία της προς τη φωτεινή πηγή αφού δεν λαμβάνει υπόψη τις ανακλάσεις σε κοντινές επιφάνειες. Αυτές οι ανακλάσεις λαμβάνονται υπόψη στη μέθοδο Radiocity. Έτσι μπορεί η τελευταία να απαιτεί μεγάλο χρόνο υπολογισμού και ένα εξαιρετικά ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο αλλά όταν ο υπολογισμός πραγματοποιηθεί, η φωτορεαλιστική απεικόνιση δίνει μια πολύ ρεαλιστική και

πειστική αίσθηση κίνησης στο φωτισμένο χώρο χωρίς την ανάγκη αλλαγής κάθε φορά του σημείου παρατήρησης. Το γεγονός ότι η μέθοδος Ray-Tracing εξαρτάται από τη θέση του παρατηρητή ενώ η μέθοδος Radiosity όχι, αποτελεί και τη μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο μεθόδων.

Στο Relux μπορούν να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις τόσο τεχνητού όσο και φυσικού φωτισμού είτε για εσωτερικούς είτε για υπαίθριους χώρους. Τα φωτομετρικά στοιχεία των φωτιστικών μπορούν να εισαχθούν κατευθείαν από τις βάσεις δεδομένων που παρέχουν οι κατασκευαστές φωτιστικών και είτε είναι ενσωματωμένες στο πρόγραμμα είτε μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο. Όσο αφορά το φυσικό φωτισμό παρέχεται η δυνατότητα προσομοίωσης τόσο για συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού (του πρότυπου νεφοσκεπούς κατά CIE) όσο και για καθαρό ουρανό όπου η θέση του ήλιου για την χρονική στιγμή της προσομοίωσης προκύπτει από τη γεωγραφική θέση, την ημερομηνία και την ώρα της προσομοίωσης που ορίζονται από το χρήστη.



RELUX[®]
light simulation tools

Εικόνα 4.2 – Λογότυπο λογισμικού Relux.

4.4 Τυπική Διαδικασία Προσομοίωσης

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης πρέπει να εισαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα. Αρχικά πρέπει να καθοριστεί η γεωμετρία του υπό μελέτη χώρου. Ο χώρος αυτός μπορεί να είναι εσωτερικός, υπαίθριος ή οδικός άξονας. Αυτό μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους ή ακόμα και με το συνδυασμό αυτών.

Ο πρώτος είναι η δημιουργία του χώρου αποκλειστικά εντός του προγράμματος με τις δυνατότητες που αυτό παρέχει. Ο δεύτερος είναι η εισαγωγή σχεδίων CAD και η περιγραφή του χώρου πάνω σε αυτά. Ο τρίτος είναι η εισαγωγή ολόκληρου του χώρου ως ένα τρισδιάστατο αρχείο που έχει δημιουργηθεί σε άλλο λογισμικό σχεδίασης. Στη γεωμετρία του χώρου συμπεριλαμβάνονται τα δομικά στοιχεία και τα ανοίγματα.

Αφού καθοριστεί η γεωμετρία του χώρου πρέπει να καθοριστούν οι ιδιότητες των επιφανειών του χώρου. Το υλικό και το χρώμα κάθε επιφάνειας αποδίδουν μια συγκεκριμένη ανακλαστικότητα για κάθε υλικό η οποία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διάχυση του φωτός και στον υπολογισμό της έμμεσης φωτεινότητας.

Στη συνέχεια τοποθετούνται τα αντικείμενα εντός του χώρου. Αν πρόκειται να συμπεριληφθεί ο τεχνητός φωτισμός στην προσομοίωση είναι πολύ σημαντικό να εισαχθούν τα κατάλληλα φωτιστικά με σωστό τρόπο. Όμως ακόμα και για τις προσομοιώσεις που περιορίζονται στο φυσικό φωτισμό, πρέπει να τοποθετηθούν αντικείμενα στο χώρο, με όσο πιο ρεαλιστικό τρόπο γίνεται. Παρόλο που δεν αποτελούν πρωτογενείς φωτεινές πηγές, συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην διαμόρφωση των συνθηκών φωτισμού. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2010 αποδείχτηκε ότι η ποιότητα του φυσικού φωτισμού σε θαλάμους νοσηλείας, που μελετήθηκαν αρχικά κενά και στη συνέχεια με τα πραγματικά τους αντικείμενα, παρουσίασε μεγάλες διαφοροποιήσεις.

Τα απαιτούμενα δεδομένα δεν περιορίζονται όμως στα μορφολογικά χαρακτηριστικά του χώρου. Ο προσανατολισμός του μοντέλου, όπως αυτό έχει σχεδιαστεί, πρέπει να εισαχθεί. Αυτό γίνεται καθορίζοντας την «Γωνία του Βορρά» ή North Angle. Ως North Angle ορίζεται η γωνία που σχηματίζει ένας από τους 2 κύριους άξονες του οριζόντιου επιπέδου με την διεύθυνση του βορρά. Αφού γίνει αυτό θα πρέπει να καθοριστεί ο γεωγραφικός χώρος που τοποθετείται το μοντέλο καθώς η ηλιακή γεωμετρία μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά σε διαφορετικά σημεία της Γης. Αυτό μπορεί να γίνει είτε επιλέγοντας μία από τις προκαθορισμένες

πόλεις είτε εισάγοντας μια καινούργια πόλη μαζί με τα απαραίτητα στοιχεία.

Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί η αναπαραγωγή της πραγματικότητας μέσα στο πρόγραμμα. Πρέπει στη συνέχεια να καθοριστούν οι πληροφορίες που ενδιαφέρουν το χρήστη και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για συλλογή των πληροφοριών αυτών.

Πρώτο βήμα σε αυτή τη διαδικασία είναι ο καθορισμός των επιφανειών μέτρησης. Ακόμα και αν δεν οριστεί καμία επιφάνεια μέτρησης από το χρήστη, το πρόγραμμα ορίζει αυτόματα μια για κάθε επιφάνεια δομικού στοιχείου (τοίχοι, πάτωμα, οροφή) καθώς και μια γενική επιφάνεια αναφοράς που ακολουθεί το περίγραμμα της κάτοψης αλλά ορίζεται σε ψηλότερα σημείο (συνήθως 0,75m) ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικό. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει όσες επιφάνειες μέτρησης χρειάζεται, να καθορίσει τη θέση και τη γεωμετρία της κάθε μιας καθώς και να επιλέξει τις λεπτομέρειες μέτρησης.

Στη συνέχεια επιλέγεται ποια στοιχεία θα προσομοιωθούν. Δίνεται η δυνατότητα επιλογής τεχνητού φωτισμού, φυσικού φωτισμού ή συνδυασμού και των δύο. Ακόμα το πρόγραμμα μπορεί να αποδώσει ηλιακά διαγράμματα που εμφανίζουν παράλληλα και την παρουσία ή όχι άμεσου ηλιακού φωτός σε προκαθορισμένο σημείο εντός του χώρου. Τέλος δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού της εξοικονομούμενης ενέργειας από τη χρήση του φυσικού φωτισμού. Αφού οριστούν Με την ακριβή περιγραφή του συστήματος τεχνητού φωτισμού η ποσοτικοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να αποδώσει και το αντίστοιχο οικονομικό όφελος.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτουν ανάλογα με τον τύπο προσομοίωσης που θα οριστεί και αποδίδονται με διάφορους τρόπους. Η επιλογή προσομοίωσης φυσικού ή τεχνητού φωτισμού με την βασική μέθοδο Radiocity αποδίδει αποτελέσματα στιγμιαία για την χρονική που έχει οριστεί εξ'αρχής. Έτσι για τις επιφάνειες μέτρησης που έχουν επιλεγεί από το χρήστη, εμφανίζει τα εξής:

1. Σε μορφή πινάκων (για κάθε σημείο μέτρησης κάθε επιφάνειας) :
 - Την ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance) και από τα στοιχεία του πίνακα υπολογίζει την μέση, την ελάχιστη και τη μέγιστη ένταση φωτισμού επιφάνειας και τον λόγο ομοιομορφίας.
 - Την λαμπρότητα (luminance) και από τα στοιχεία του πίνακα υπολογίζει την μέση, την ελάχιστη και τη μέγιστη λαμπρότητα,
 - Την τιμή του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού
2. Σε μορφή καμπύλων ίσων τιμών (isolines) τις τιμές της έντασης φωτισμού

επιφάνειας.

3. Σε μορφή ψευδοχρωμάτων (αντίστοιχη με αυτή των καμπύλων ίσων τιμών) τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance) και του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού.
4. Σε μορφή τρισδιάστατης γραφικής απεικόνισης (3D mountain plot) τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance) και του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού.
5. Σε τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου με τη χρήση ψευδοχρωμάτων, τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας και της λαμπρότητας, σε όλες τις επιφάνειες του χώρου.

Η επιλογή προσομοίωσης φυσικού ή τεχνητού φωτισμού με την μέθοδο Ray-Tracing αποδίδει επίσης στιγμιαία αποτελέσματα για την χρονική που έχει οριστεί εξ' αρχής. Ωστόσο λόγω του μοντέλου που χρησιμοποιεί δίνει λιγότερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα:

1. Φωτορεαλιστική απεικόνιση του μοντέλου.
2. Σε μορφή πινάκων : την ένταση φωτισμού επιφάνειας (illuminance) και από τα στοιχεία του πίνακα υπολογίζει την μέση, την ελάχιστη και τη μέγιστη ένταση φωτισμού επιφάνειας και τον λόγο ομοιομορφίας.
3. Σε μορφή καμπύλων ίσων τιμών (isolines) τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας.
4. Σε μορφή ψευδοχρωμάτων (αντίστοιχη με αυτή των καμπύλων ίσων τιμών) τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance).
5. Σε τρισδιάστατη αναπαράσταση του χώρου με τη χρήση ψευδοχρωμάτων, τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας και της λαμπρότητας, σε όλες τις επιφάνειες του χώρου.
6. Σε μορφή τρισδιάστατης γραφικής απεικόνισης (3D mountain plot) τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance).

Η επιλογή της παραγωγής του ηλιακού διαγράμματος λαμβάνει υπόψη της τη γεωγραφική θέση που έχει οριστεί και μπορεί να αποτυπώσει την παρουσία ή μη φυσικού φωτός σε ένα προκαθορισμένο σημείο του χώρου. Επίσης από το διάγραμμα μπορεί να καθοριστεί η θέση του ήλιου (οριζόντια και κατακόρυφη) για κάθε στιγμή.

Η τελευταία επιλογή και η δεύτερη με «δυναμικά» χαρακτηριστικά μετά το ηλιακό διάγραμμα, είναι η επιλογή οικονομικών υπολογισμών. Αυτή η επιλογή δίνει κάποιες δυνατότητες υπολογισμού οικονομικού οφέλους. Όταν πρόκειται για την

εξοικονόμηση λόγω αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού, κάνει διάφορες παραδοχές για τη διακύμανση της κατάστασης του ουρανού στη διάρκεια του έτους που προέρχονται από στατιστικές παρατηρήσεις. Καθορίζει το μηνιαίο ή το ετήσιο ποσοστό ωρών για τις οποίες το φυσικό φως, που ποσοτικοποιείται μέσω μιας προκαθορισμένης τιμής του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού, είναι ικανό για να καλύψει της ανάγκες μίας επιφάνειας ελέγχου ώστε να επιτυγχάνεται η τιμή της έντασης φωτισμού επιφάνειας που έχει επίσης προκαθοριστεί ως απαίτηση. Όταν πρόκειται για τεχνητό φωτισμό μπορεί να δώσει ταυτόχρονα συγκριτικά στοιχεία για τρεις διαφορετικές διατάξεις φωτιστικών. Επιπλέον, είναι το μόνο πρόγραμμα ευρείας χρήσης που εισάγει τη χρήση αισθητήρων φωτός στην λειτουργία του προγράμματος (Relux sensor), σύστημα που επιτρέπει στο χρήστη την άμεση εκτύπωση οικονομικής προσφοράς (Relux offer)

4.5 Αξιοπιστία αποτελεσμάτων Relux

Είναι γενικά αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα και από όσους ασχολούνται με τις προσομοιώσεις φωτισμού, ότι τα αποτελέσματα των ευρέως διαδεδομένων προγραμμάτων προσομοίωσης είναι αξιόπιστα. Παρόλα αυτά για την υποστήριξη αυτής της άποψης κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν συγκεκριμένα παραδείγματα εξακρίβωσης της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων.

Η Διεθνής Επιτροπή για το Φωτισμό (CIE) έχει εκδώσει ένα εγχειρίδιο με παραδείγματα χώρων και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν σε αυτούς⁶. Το εγχειρίδιο αυτό δημιουργήθηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν για τους ίδιους χώρους από το κάθε πρόγραμμα προσομοίωσης σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις. Την έρευνα αυτή όσο αφορά στο Relux (και το Lightscape) πραγματοποίησε η International Energy Agency (IEA)⁴. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν ακριβή σε ικανοποιητικό βαθμό επιβεβαιώνοντας τη γενική παραδοχή.

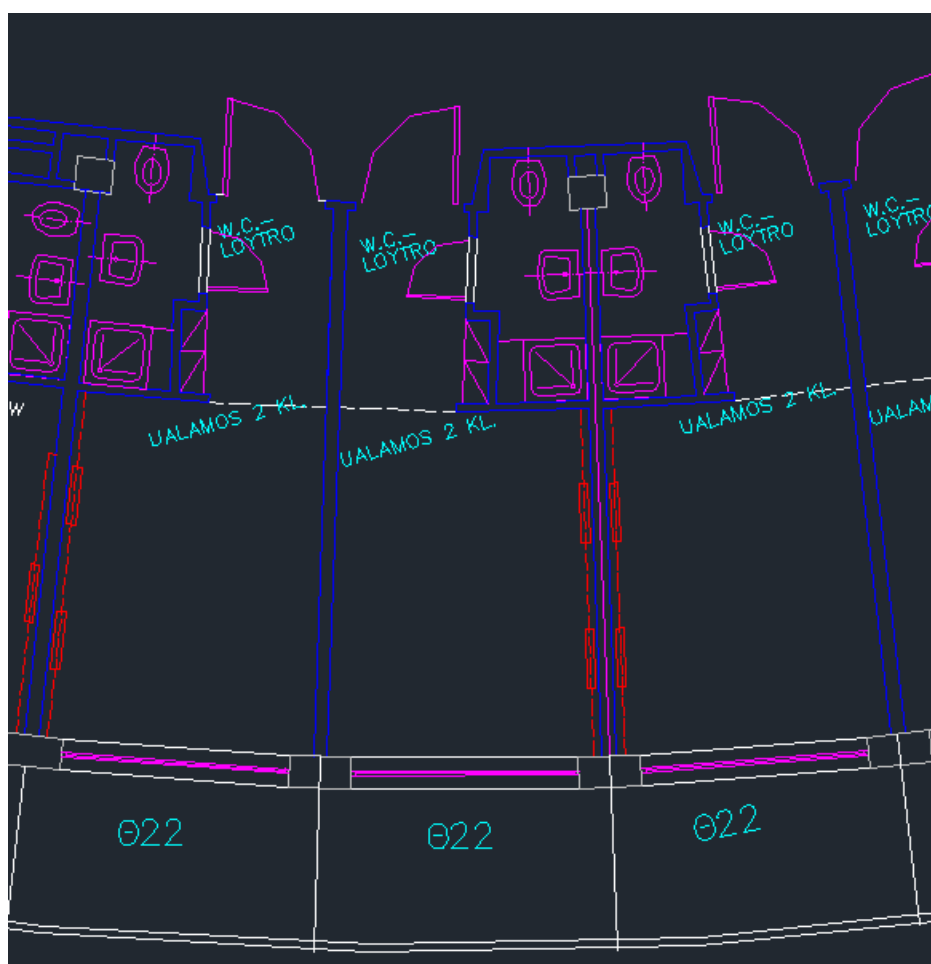
Ακόμα μία αξιολόγηση αποτελεσμάτων έγινε από ομάδα μελετητών φωτισμού στο εργαστήριο φωτοτεχνίας του ΕΜΠ⁷. Δημιουργήθηκε ένας χώρος με συγκεκριμένη γεωμετρία, υλικά, αντικείμενα και φωτιστικά στην καμπίνα του εργαστηρίου της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Ο ίδιος χώρος αναπαράχθηκε ψηφιακά στο περιβάλλον του προγράμματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί κάποιος

ανεπιθύλακτα να χρησιμοποιεί το Relux αφού η απόκλιση μεταξύ πραγματικών μετρήσεων και προσομοιωμένων αποτελεσμάτων δεν ξεπέρασε το 3%.

Είναι προφανές ότι πέρα από τις δυνατότητες του Relux και κάθε προγράμματος προσομοίωσης, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εξαρτάται και από την ικανότητα του χρήστη να περιγράψει όσο πιο πιστά γίνεται την πραγματικότητα και να τη «μεταφράσει» όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται σε ψηφιακά δεδομένα που αναγνωρίζει το πρόγραμμα.

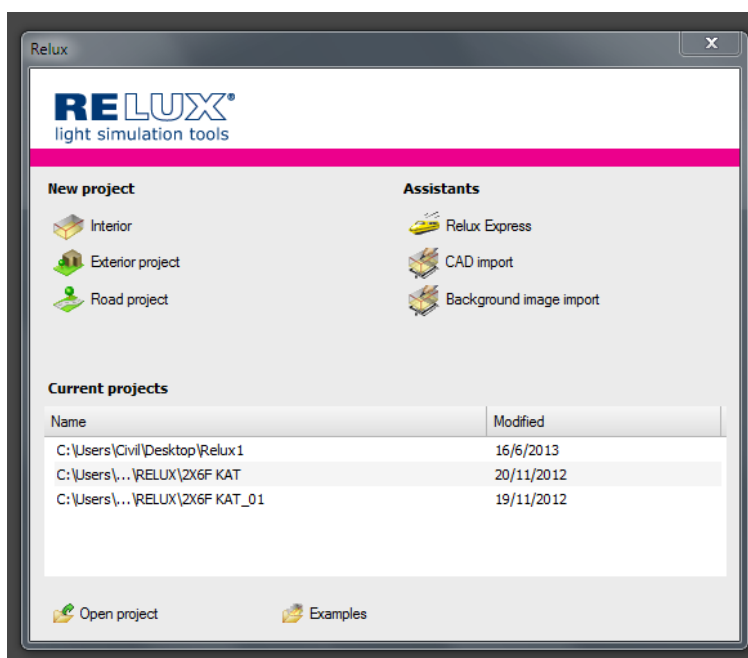
4.6 Παράδειγμα βήμα προς βήμα

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την προσομοίωση εντός του περιβάλλοντος εργασίας του Relux ήταν παρόμοια για κάθε θάλαμο που εξετάστηκε. Ως παράδειγμα χρησιμοποιείται ο δίκλινος θάλαμος του 6^{ου} ορόφου με νότιο προσανατολισμό.



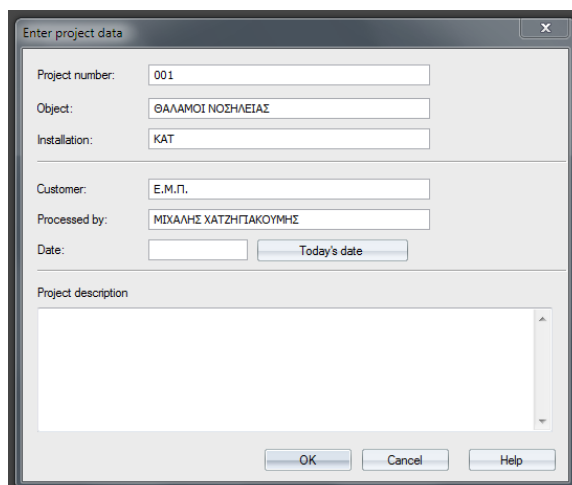
Εικόνα 4.3 – Κάτοψη δίκλινου θαλάμου 6^{ου} ορόφου.

Κατά την εκκίνηση του προγράμματος ζητείται από το περιβάλλον του να επιλεγεί ο τύπος του χώρου που θα μελετηθεί ώστε να γίνουν αυτόματα συγκεκριμένες ρυθμίσεις που διευκολύνουν την διαδικασία.



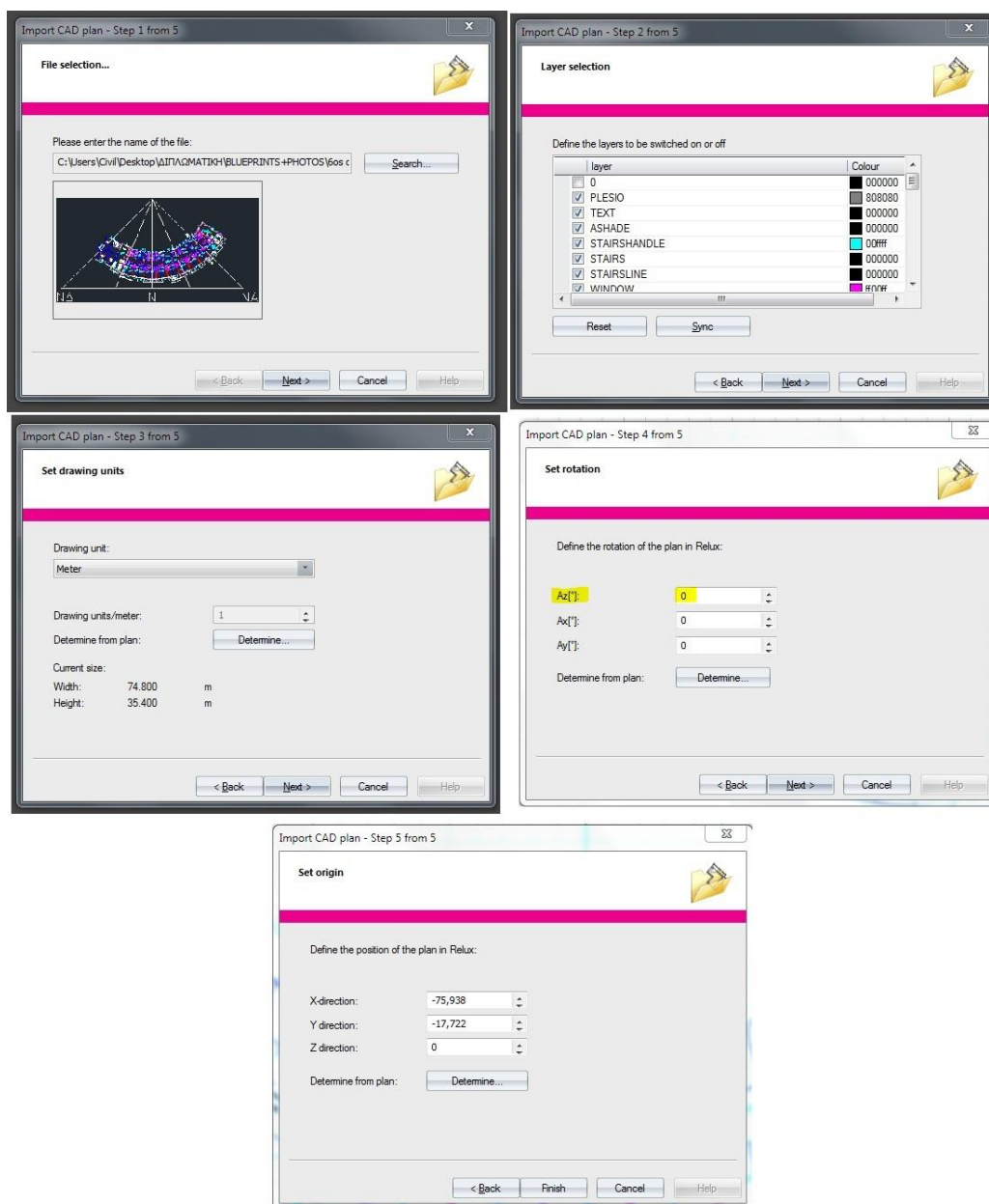
Εικόνα 4.4–Αρχικές ρυθμίσεις.

Στην παρούσα διπλωματική, λόγω της ύπαρξης σχεδίων του νοσοκομείου ΚΑΤ σε ψηφιακή μορφή (CAD), χρησιμοποιήθηκε η επιλογή “CAD import” ώστε να κατασκευαστεί το μοντέλο επί των κατόψεων που υπάρχουν. Αφού γίνει αυτό και πριν εισαχθεί το σχέδιο ζητούνται γενικές πληροφορίες της μελέτης.



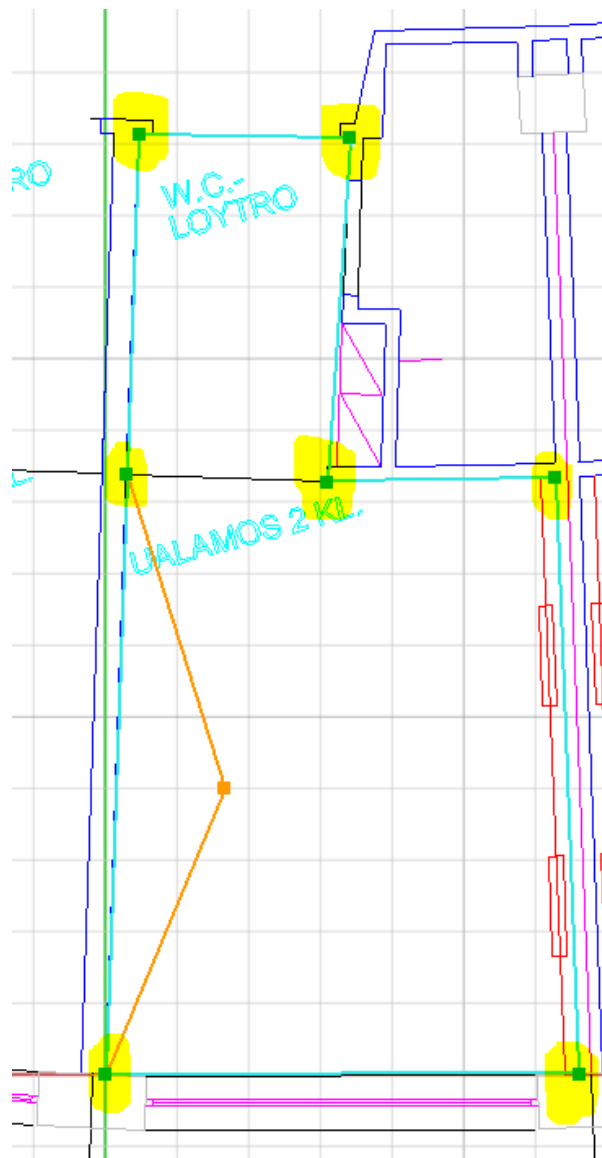
Εικόνα 4.5 – Projectdata.

Στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή του σχεδίου. Κατά τη διαδικασία εισαγωγής δίνεται η δυνατότητα ρυθμίσεων και κατάλληλης τοποθέτησης του σχεδίου στο περιβάλλον του προγράμματος ώστε να διευκολύνεται η εργασία. Έτσι επιλέγονται τα στοιχεία (layers) του σχεδίου που θα χρησιμοποιηθούν, η αναλογία μεγεθών ανάμεσα στο σχεδιαστικό περιβάλλον του αρχείου του σχεδίου και του προγράμματος προσομοίωσης, η τοποθέτηση του σχεδίου στο περιβάλλον του Relux με δυνατότητα μετακίνησης και περιστροφής και τελικά γίνεται καθορισμός του σημείου αρχής του συστήματος αξόνων του Relux ώστε να διευκολύνεται ο ορισμός συντεταγμένων για κάθε σημείο.



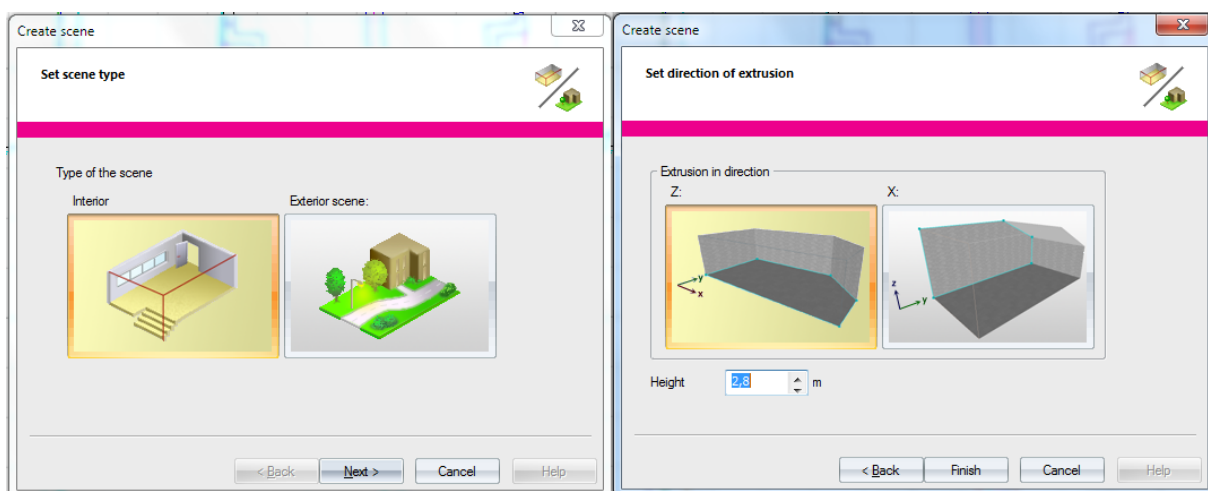
Εικόνα 4.6 – Βήματα εισαγωγής σχεδίου CAD.

Έχοντας εισάγει το σχέδιο στο περιβάλλον του Relux γίνεται επ' αυτού η κατασκευή του περιγράμματος του υπό μελέτη χώρου. Το λογισμικό Relux υπερέχει σε αυτό τον τομέα έναντι άλλων προγραμμάτων προσομοίωσης φωτισμού αφού δίνει τη δυνατότητα χρήσης σημείων με τη μέθοδο “object snap” όπως τα προγράμματα σχεδίασης. Έτσι η περιγραφή του χώρου γίνεται με την επιλογή των σημείων επί του σχεδίου, που ορίζουν το περίγραμμά του, χωρίς να απαιτείται η εισαγωγή συντεταγμένων ενώ εξασφαλίζεται και η ακρίβεια της περιγραφής.



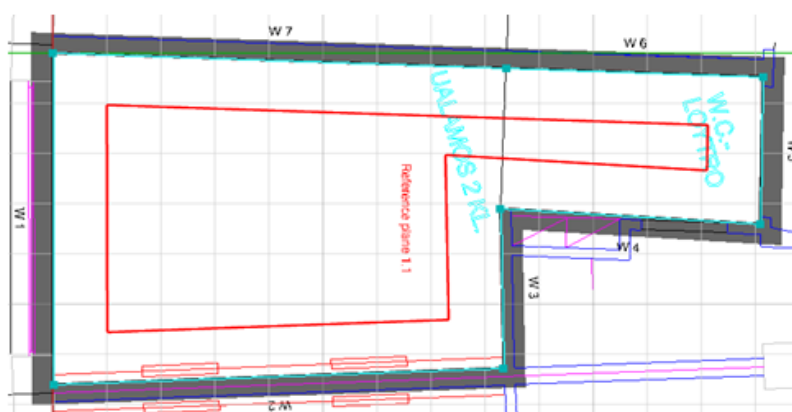
Εικόνα 4.7 – Περίγραμμα θαλάμου με χρωματισμένα τα σημεία που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του χώρου.

Αφού γίνει η περιγραφή του περιγράμματος ζητείται από το Relux να προσδιορισθεί αν πρόκειται για εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο. Με την επιλογή του εσωτερικού ζητείται να προσδιορισθεί η τρίτη διάσταση του θαλάμου ώστε να κατασκευαστεί αυτόματα ο βασικός όγκος. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται εσωτερικός χώρος ενώ το ύψος του θαλάμου ορίζεται στα 3.6m.



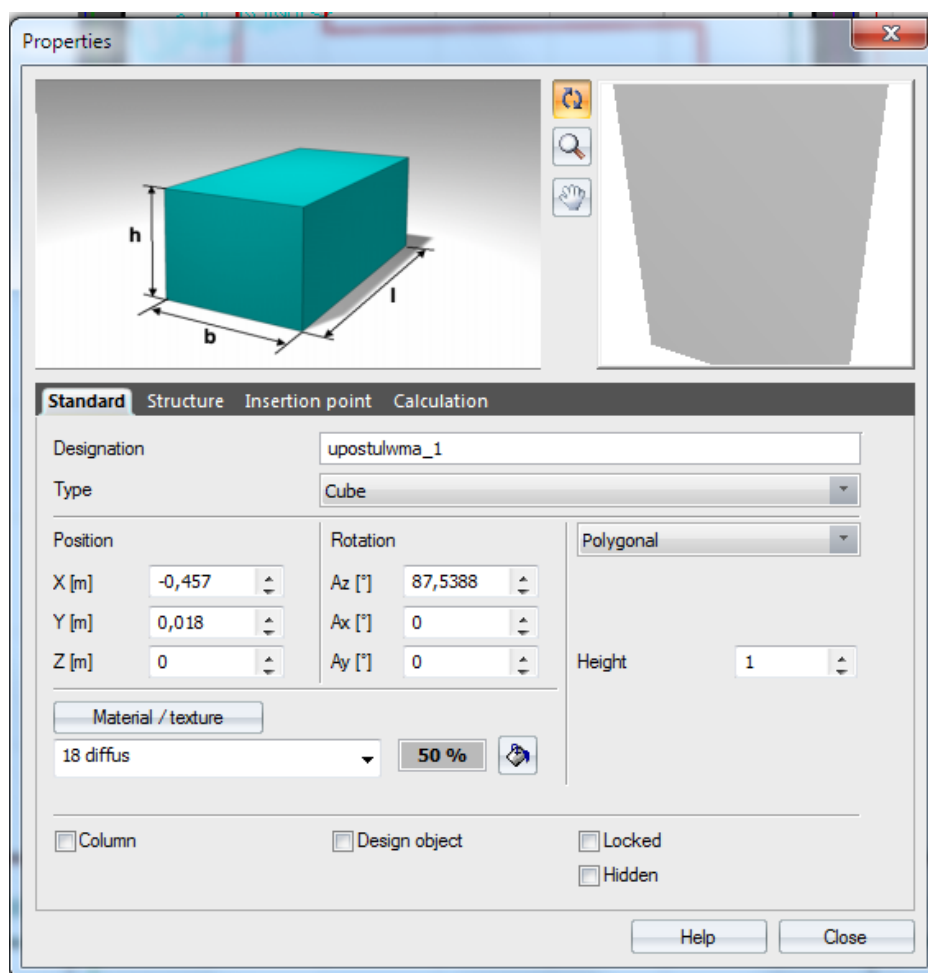
Εικόνα 4.8 – Εσωτερικός χώρος και ύψος χώρου

Μετά από αυτή τη διαδικασία το Relux παράγει αυτόματα τον βασικό όγκο του θαλάμου ο οποίος αποτελείται από τους τοίχους, το πάτωμα και την οροφή. Επιπλέον δομικά στοιχεία της γεωμετρίας του χώρου όπως οι εξώστες, άνω και κάτω, η ψευδοροφή πάνω από το χώρο της εισόδου και τα υποστυλώματα της πρόσοψης πρέπει να περιγραφούν ξεχωριστά.



Εικόνα 4.9 – Κάτοψη βασικού όγκου.

Αυτό γίνεται εισάγοντας στοιχεία που ονομάζονται “qubes” τα οποία μορφοποιούνται ώστε να έχουν την επιθυμητή γεωμετρία. Με την εντολή “Tools – Construct – Qube” δίνεται η δυνατότητα να καθοριστεί η κάτοψη του κάθε στοιχείου. Αφού καθοριστεί η κάτοψη, διαμορφώνοντας τις ιδιότητες κάθε τέτοιου στοιχείου καθορίζονται τόσο τα ίδια ύψη καθενός όσο και το ύψος τοποθέτησης τους.

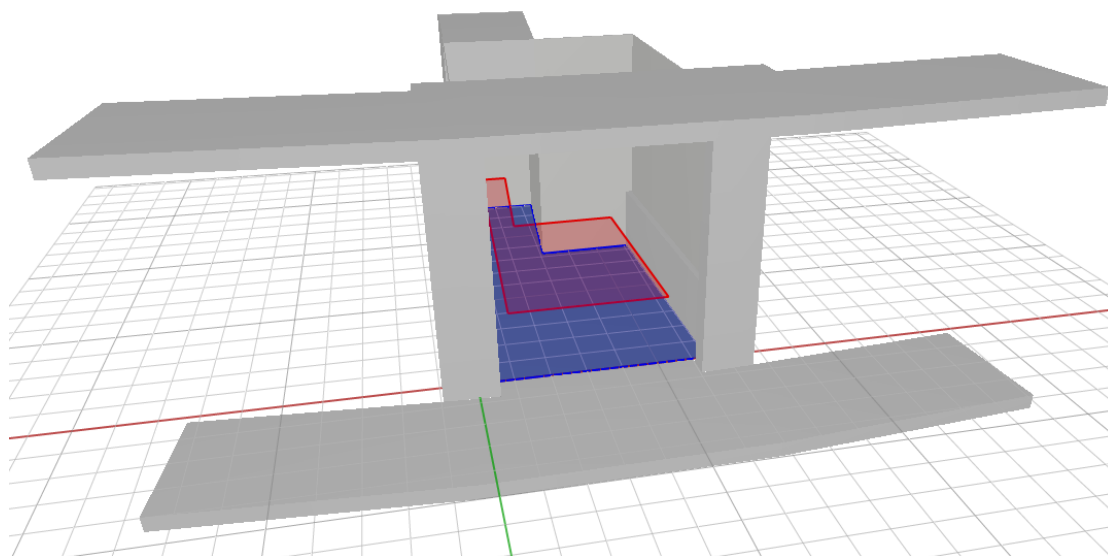


Εικόνα 4.10 – Ιδιότητες στοιχείων “Qube”

Στο θάλαμο, αφού τα απαραίτητα στοιχεία περιγραφούν σε κάτοψη επί του σχεδίου, ορίζονται οι ιδιότητες τους ως εξής:

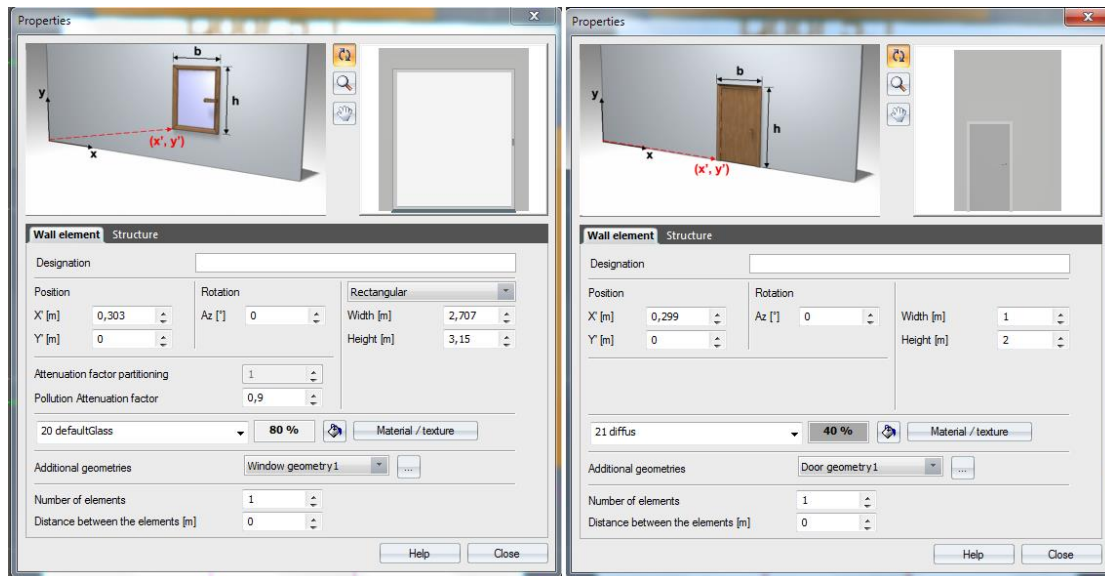
- Τα υποστυλώματα τοποθετούνται στη στάθμη 0m με ύψος 3.80 m.
- Ο κάτω εξώστης τοποθετείται στη στάθμη -0.20m με ύψος 0.20 m.
- Ο άνω εξώστης τοποθετείται στη στάθμη +3.80m με ύψος 0.20 m.
- Η ψευδοροφή του χώρου εισόδου τοποθετείται στη στάθμη +3.60 m με ύψος 1.10m.

Ολοκληρώνοντας αυτά τα βήματα έχει γίνει πλήρης περιγραφή των δομικών στοιχείων του θαλάμου.



Εικόνα 4.11 – Τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου σε αυτό το σημείο.

Τελευταίο βήμα για την περιγραφή της γεωμετρίας του χώρου είναι η εισαγωγή των ανοιγμάτων. Στην προκειμένη περίπτωση υπάρχει ένας μεγάλος υαλοπίνακας σε όλο το πλάτος της πρόσοψης, μια πόρτα που επικοινωνεί με τον διάδρομο και μία πόρτα που επικοινωνεί με το μπάνιο. Με την επιλογή “Insert-Room Elements” γίνεται η εισαγωγή παραθύρου και πόρτας. Στην προκειμένη περίπτωση, λόγω της ύπαρξης της κάτοψης δεν χρησιμοποιούνται συντεταγμένες για την εισαγωγή τους. Ορίζεται το σημείο εισαγωγής επί της κάτοψης και στη συνέχεια μέσω της επεξεργασίας των ιδιοτήτων τους καθορίζεται το άνοιγμα, η στάθμη τοποθέτησης και το συνολικό τους ύψος.



Εικόνα 4.12 – Επεξεργασία ιδιοτήτων παραθύρου και πόρτας.

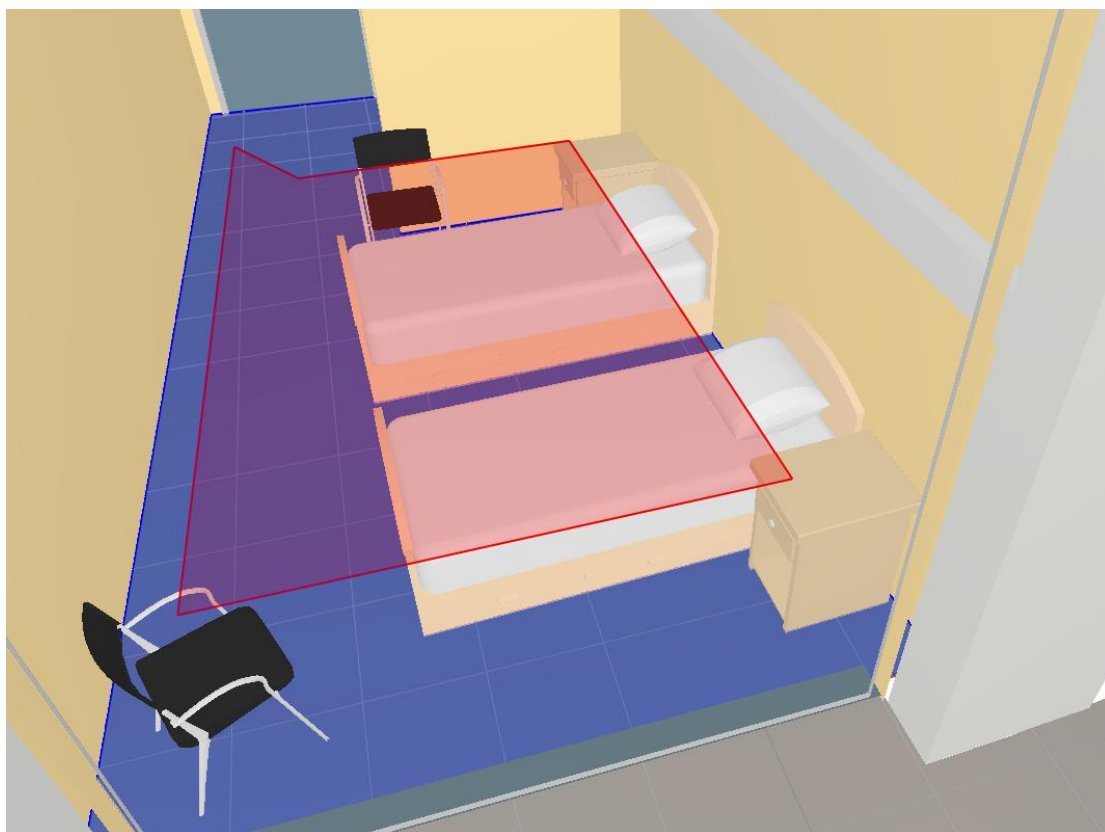
Η πόρτες ορίζονται με ανοίγματα 1,30m και 0,80 m και ύψος 2,10m. Ο υαλοπίνακας της πρόσοψης εκτείνεται σε όλο το διαθέσιμο άνοιγμα ανάμεσα στα υποστυλώματα και έχει ύψος 3,15 m. Όλα τα ανοίγματα τοποθετούνται στην στάθμη 0 m.

Το επόμενο βήμα για την περιγραφή του χώρου είναι ο καθορισμός των ιδιοτήτων των επιφανειών του χώρου καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διάχυση του φωτός που εισέρχεται στο χώρο και συνεπώς το τελικό οπτικό περιβάλλον. Στο Relux δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής έτοιμων υλικών ή δημιουργία νέων και ο καθορισμός του χρώματος και της ανακλαστικότητας κάθε επιφάνειας. Αυτό ρυθμίζεται από την καρτέλα ιδιοτήτων του κάθε στοιχείου. Για τους τοίχους χρησιμοποιείται προκαθορισμένο στη βιβλιοθήκη του Relux λείο επίχρισμα το οποίο ρυθμίζεται στην απόχρωση της ώχρας με ανακλαστικότητα 80,9% και στην οροφή ίδιο επίχρισμα με άσπρο χρώμα και ανακλαστικότητα 80%. Για το δάπεδο δημιουργείται νέο υλικό με χρώμα μπλε-γκρι και ανακλαστικότητα 25% ώστε να αναπαρασταθεί η επιφάνεια από Linoleum που υπάρχει στην πραγματικότητα. Η ανακλαστικότητα του υλικού προκύπτει από εργοστασιακά χαρακτηριστικά του υλικού⁸. Στο στοιχείο που χρησιμοποιείται ως ψευδοροφή δίνονται τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών τοίχων. Στα υποστυλώματα και στον άνω εξώστη χρησιμοποιείται προκαθορισμένο επίχρισμα άσπρης-γκρι απόχρωσης με ανακλαστικότητα 79,8%. Στον κάτω εξώστη χρησιμοποιούνται προκαθορισμένα πλακάκια από γρανίτη (37,2%) με παρόμοιες ιδιότητες με το μωσαϊκό που υπάρχει σε όλα τα μπαλκόνια του νοσοκομείου ΚΑΤ. Για τις πόρτες δημιουργείται νέο υλικό

μπλε απόχρωσης και ανακλαστικότητας 42,5% ώστε να προσομοιωθεί το πλαστικό μπλε χρώμα με το οποίο έχουν χρωματιστεί. Τέλος για τον υαλοπίνακα χρησιμοποιείται διπλό τζάμι όπως αυτό που υπάρχει σε όλους τους υπό μελέτη ορόφους πλην του πέμπτου που δεν έχει υποστεί ανακαίνιση.

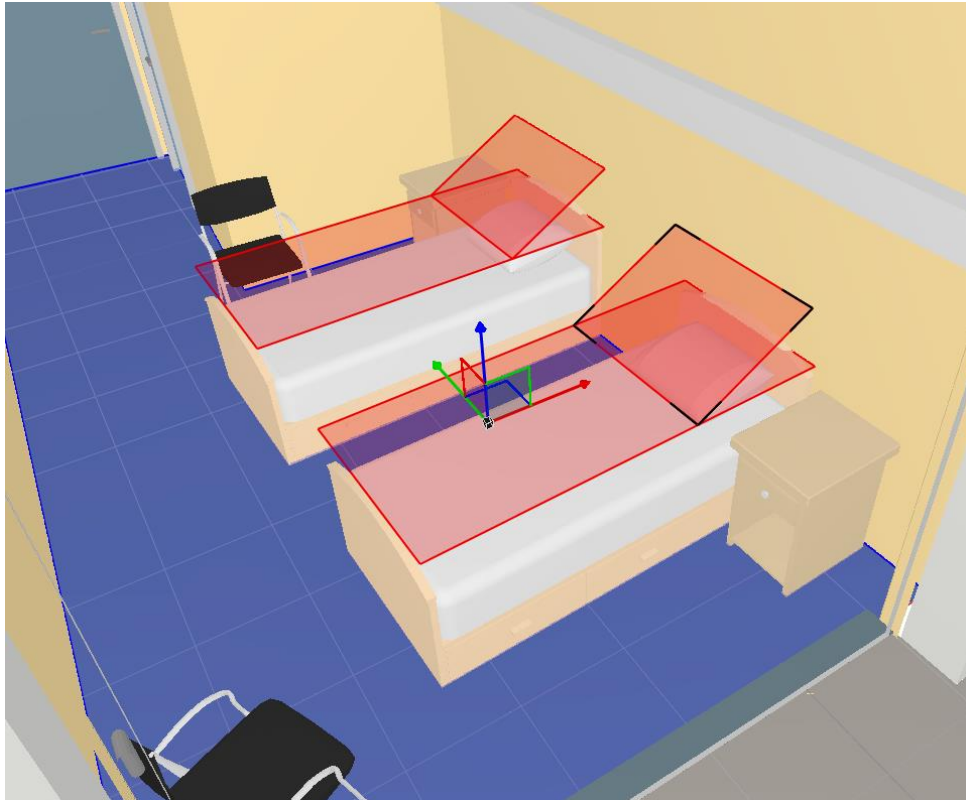
Στη συνέχεια εισάγονται κατά προσέγγιση τα αντικείμενα που υπάρχουν στο χώρο. Από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος εισάγονται 2 κρεβάτια, 2 κομοδίνα και 2 καρέκλες που τοποθετούνται κατάλληλα στο χώρο.

Το επόμενο πράγμα που πρέπει να καθοριστεί είναι οι επιφάνειες μέτρησης για τις οποίες η προσομοίωση θα αποδώσει αποτελέσματα. Αρχικά το Relux εισάγει αυτόματα επιφάνειες μέτρησης για κάθε τοίχο, για την οροφή και το δάπεδο. Αυτά όταν δεν ενδιαφέρουν, όπως στην προκειμένη περίπτωση, αφαιρούνται. Η βασική επιφάνεια μέτρησης εισάγεται επίσης αυτόματα και ακολουθεί το περίγραμμα του δωματίου σε απόσταση 0,50 m από τον τοίχο και σε ύψος 0.75 m. Σε αυτή γίνεται διόρθωση καθώς ο μικρός διάδρομος στην είσοδο δεν ενδιαφέρει και λόγω του βάθους στο οποίο βρίσκεται, δέχεται συγκριτικά πολύ μικρές ποσότητες φωτισμού και επηρεάζει αρνητικά με αυτό τον τρόπο την ομοιομορφία που αποδίδεται στην επιφάνεια μέτρησης.



Εικόνα 4.13 – Βασική επιφάνεια μέτρησης.

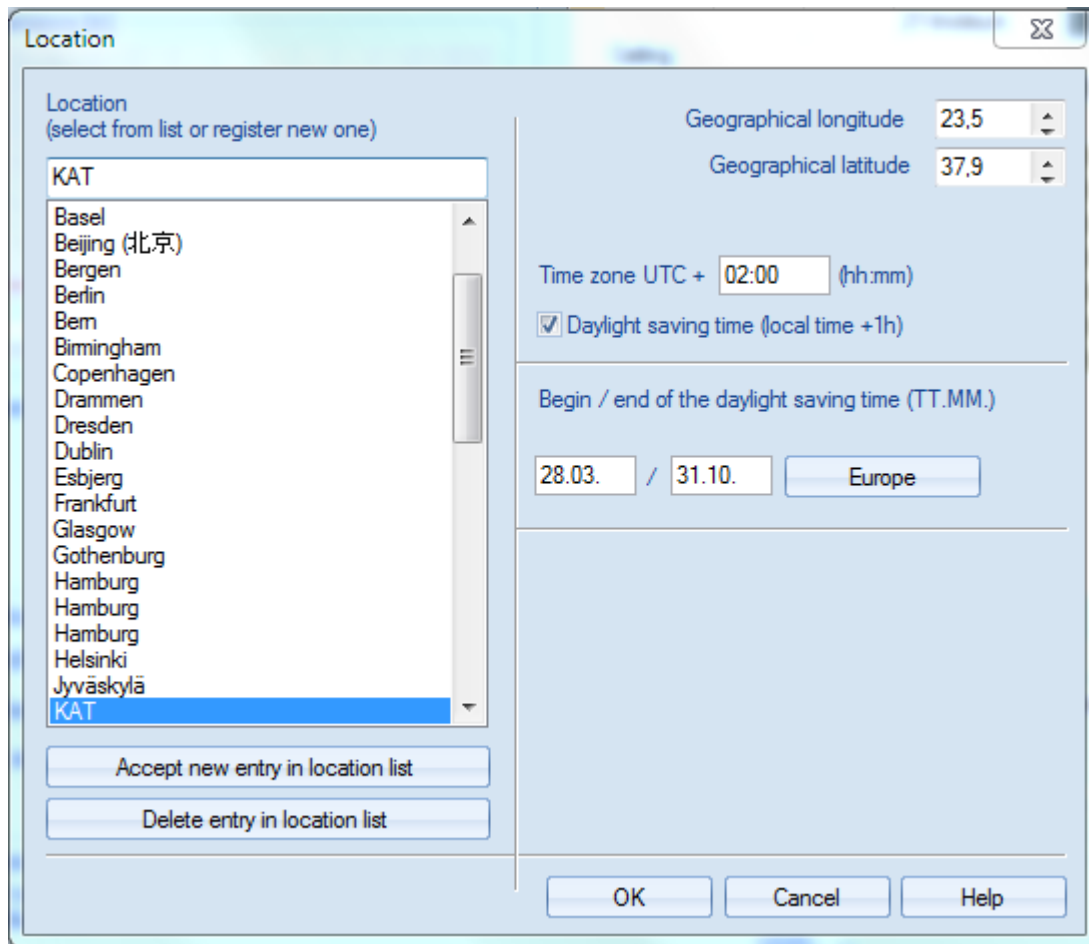
Πέρα από τη βασική επιφάνεια μέτρησης εισάγονται και επιπλέον επιφάνειες ώστε να αξιολογηθεί η ποιότητα του φυσικού φωτισμού για τις συνηθέστερες δραστηριότητες στους θαλάμους. Αυτές είναι επίπεδες επιφάνειες διαστάσεων 0,9 με 2 m σε ύψος 0,75 που αναπαριστούν την επιφάνεια του κρεβατιού και κεκλιμένες επιφάνειες 0,9 με $0,7\text{ m}$ που τοποθετούνται στο ύψος των 0,75 m με κλίση 30° , που αναπαριστούν και πάλι την επιφάνεια του κρεβατιού σε στάση ανάκλισης. Για κάθε επιφάνεια μέτρησης που εισάγεται, υπάρχει προεπιλεγμένη η ρύθμιση να μη γίνεται μέτρηση στις περιοχές που αυτή τέμνεται από αντικείμενα του χώρου. Ωστόσο στη συγκεκριμένη προσομοίωση απενεργοποιείται αυτή επιλογή αφού το βασικό ενδιαφέρον έγκειται στην ένταση φωτισμού επιφάνειας των επιφανειών που ορίστηκαν για κάθε κρεβάτι.



Εικόνα 4.14 – Επιφάνειες μέτρησης.

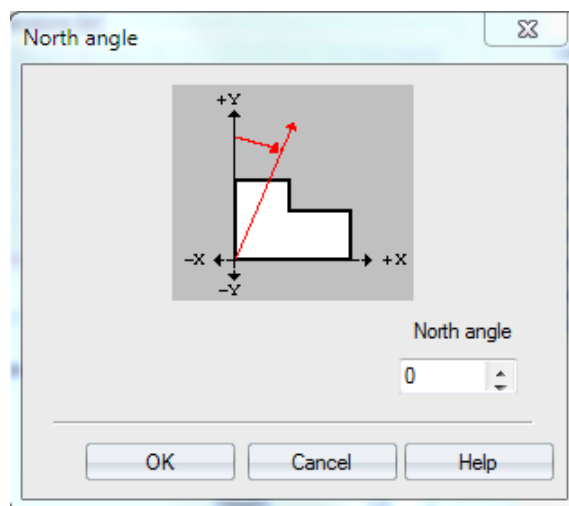
Στη συνέχεια ορίζονται όλα τα στοιχεία που απαιτούνται ώστε το Reluxνα προσομοιώσει την θέση του ήλιου για τον κάθε συγκεκριμένο χρόνο προσομοίωσης. Αυτά είναι η τοποθεσία του χώρου και ο προσανατολισμός του.

Όσο αφορά στη γεωγραφική θέση του χώρου, καθορίζεται από την επιλογή “Project – Edit Scene–Location”. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής από μια λίστα συγκεκριμένων πόλεων ή εισαγωγή νέου σημείου. Για την παρούσα μελέτη δημιουργήθηκε νέο σημείο εισάγοντας τη γεωγραφική θέση του νοσοκομείου με τη χρήση του γεωγραφικού πλάτους και του γεωγραφικού μήκους όπως αυτά προκύπτουν από την εφαρμογή GoogleEarth (Latitude=37.90°και Longitude=23.50°). Επιπλέον εισάγεται η ζώνη ώρα της περιοχής (UTC + 2) ενώ η προσαρμογή ανάμεσα στη θερινή και τη χειμερινή ώρα γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Οι ρυθμίσεις αυτές αποθηκεύτηκαν με την ονομασία “KAT” και χρησιμοποιήθηκαν για όλους τους θαλάμους.



Εικόνα 4.15 – Ρυθμίσεις τοποθεσίας.

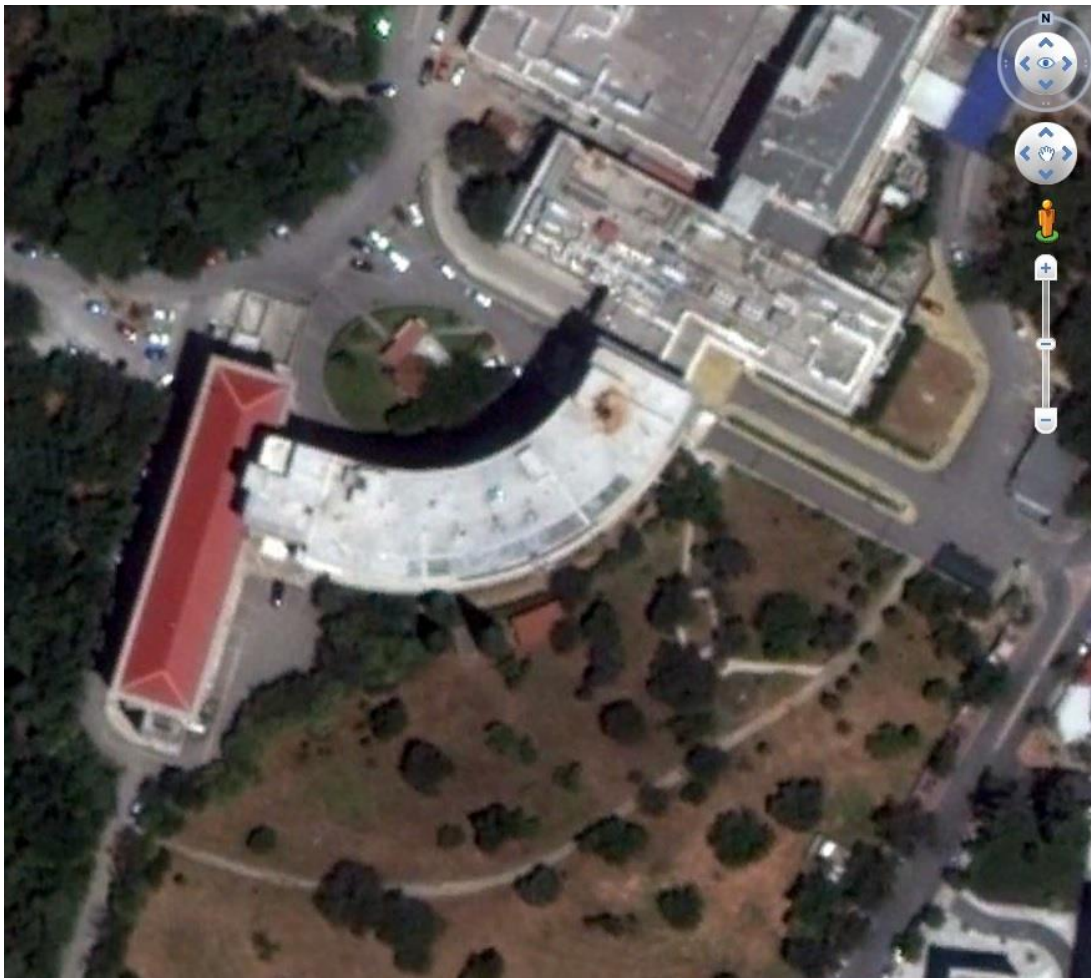
Ο προσανατολισμός προσαρμόζεται στον εκάστοτε εξεταζόμενο θάλαμο. Για να οριστεί ο προσανατολισμός χρησιμοποιείται η εισαγωγή μίας γωνίας που ονομάζεται North Angle.



Εικόνα 4.16 – NorthAngle.

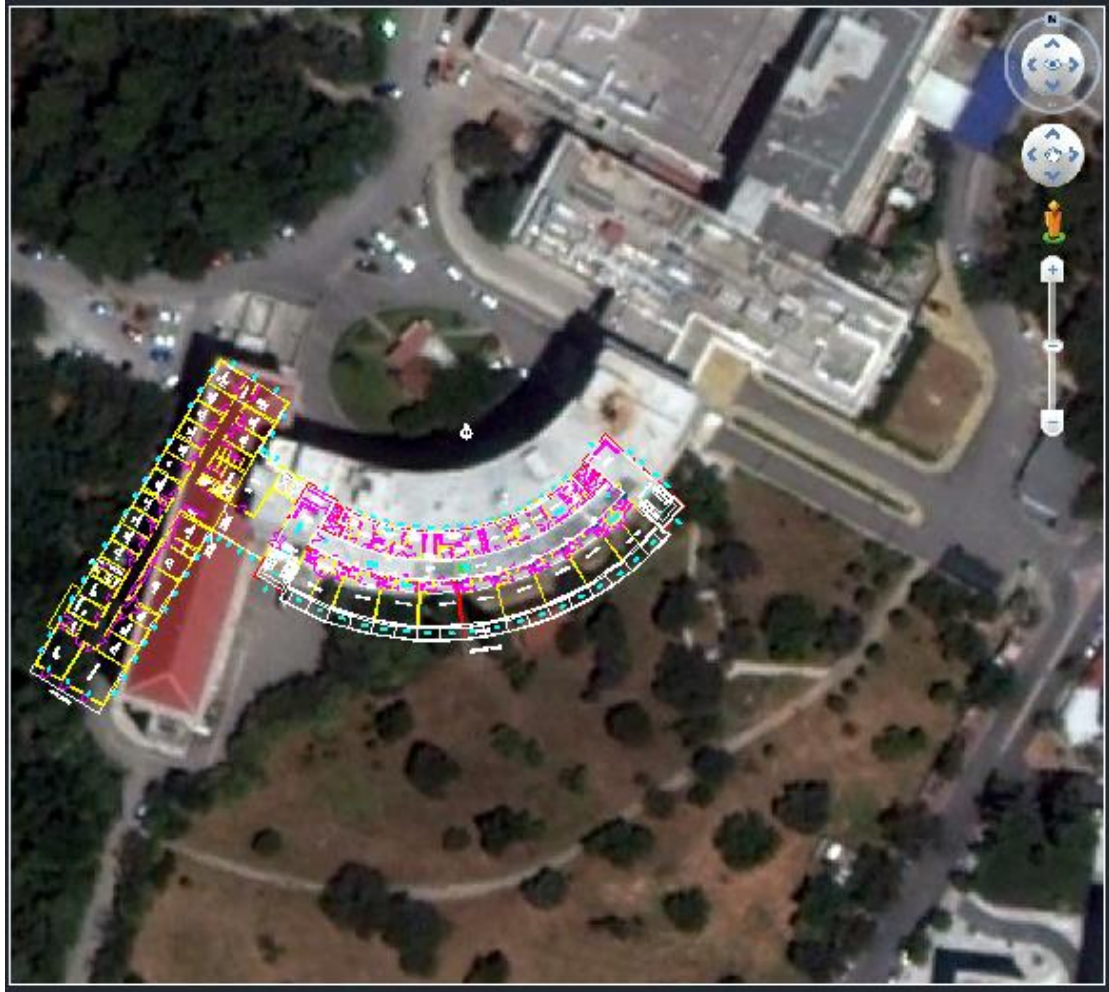
Η NorthAngle ορίζεται ως η γωνία που διαγράφει ο άξονας Y του επιπέδου της κάτοψης του Relux (πράσινος άξονας στις Εικόνες 4.7 και 4.9) μέχρι να συναντήσει τον κατεύθυνση του Βορρά, με θετική φορά την ωρολογιακή. Στην περίπτωση ο προσανατολισμός του χώρου είναι στην πραγματικότητα 182° δεξιόστροφα του βορρά. Για να οριστεί αυτό στο Relux πρέπει να εισάγουμε την γωνία που προαναφέρθηκε η οποία είναι 358° .

Συνολικά, σε όλη την διαδικασία των προσομοιώσεων, η τοποθεσία παραμένει σταθερή. Ο προσανατολισμός των δωματίων καθορίζεται με την εξής διαδικασία. Αρχικά καθορίστηκε η ακριβής θέση και ο προσανατολισμός συνολικά του κτιρίου. Αυτό έγινε με την τοποθέτηση της κάτοψης του κτιρίου επί της αεροφωτογραφίας που παρέχει το GoogleEarth αφού αυτή έχει προκαθοριστεί να είναι προσανατολισμένη στη διεύθυνση Βορρά-Νότου.



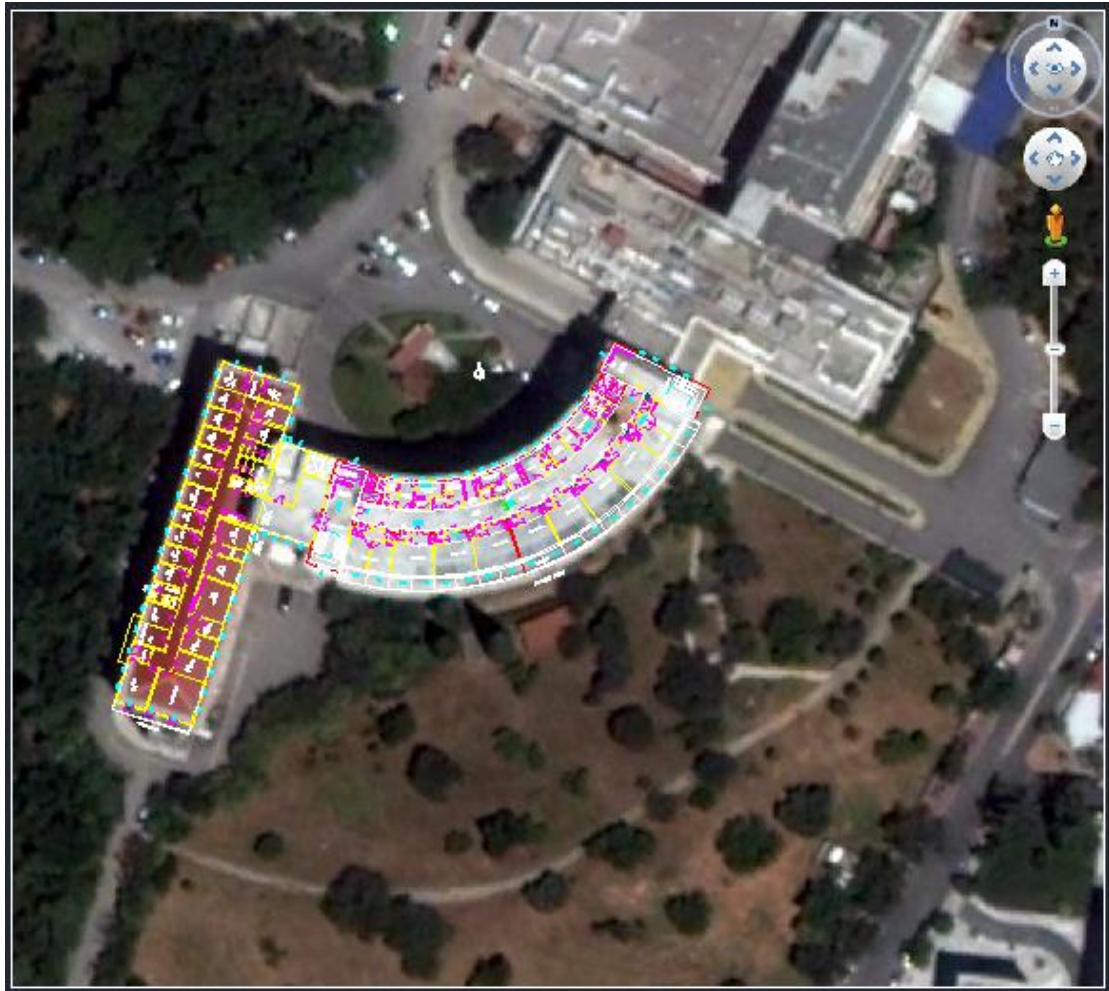
Εικόνα 4.17 – Αεροφωτογραφία κτιρίου προσανατολισμένη στη διεύθυνση Βορρά-Νότου. Πηγή :
GoogleEarth

Η αεροφωτογραφία εισήχθη στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD. Προσαρμόστηκε η κλίμακα της κάτοψης ώστε να συμπίπτει με αυτή της αεροφωτογραφίας.



Εικόνα 4.17 – Προσαρμογή κλίμακας κάτοψης.

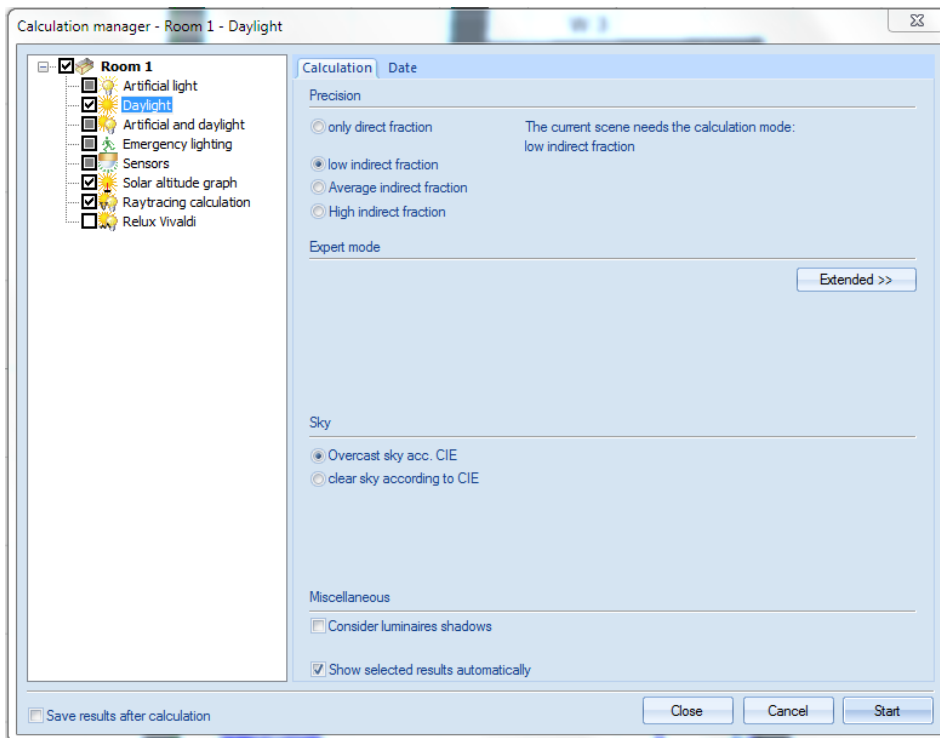
Στη συνέχεια περιστράφηκε κατάλληλα ώστε να ανταποκρίνεται στον προσανατολισμό της φωτογραφίας. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντική αφού καθορίζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η παρουσία του φυσικού φωτός επηρεάζεται άμεσα από τη θέση του ήλιου όπως αυτή καθορίζεται από τα ηλιακά διαγράμματα και κατά συνέπεια από τον ακριβή προσδιορισμό του προσανατολισμού του κάθε χώρου.



Εικόνα 4.18 – Περιστροφή της κάτοψης προσαρμοσμένη στη διεύθυνση Βορράς-Νότος.

Για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού του κάθε θαλάμου μετρήθηκε η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην διεύθυνση του βορρά και την μεσοκάθετο της ευθείας που αναπαριστά τον εξωτερικό τοίχο κάθε θαλάμου. Κατά την κατασκευή των μοντέλων στο Relux γραμμή του εξωτερικού τοίχου ταυτίστηκε με τον άξονα X και κατά συνέπεια η διεύθυνση της μεσοκαθέτου ταυτίζεται με τον άξονα Y. Με αυτό τον τρόπο κατέστη εφικτό να υπολογιστεί η North Angle που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα μέσω της γωνίας που υπολογίστηκε και αναφέρθηκε πριν.

Σε αυτό το στάδιο έχει ολοκληρωθεί η περιγραφή της πραγματικότητας στο περιβάλλον του Relux. Το επόμενο στάδιο είναι η ρύθμιση των παραμέτρων της προσομοίωσης ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα. Από την επιλογή “Calculation – Calculation Manager” εμφανίζεται το παράθυρο των αντίστοιχων ρυθμίσεων.



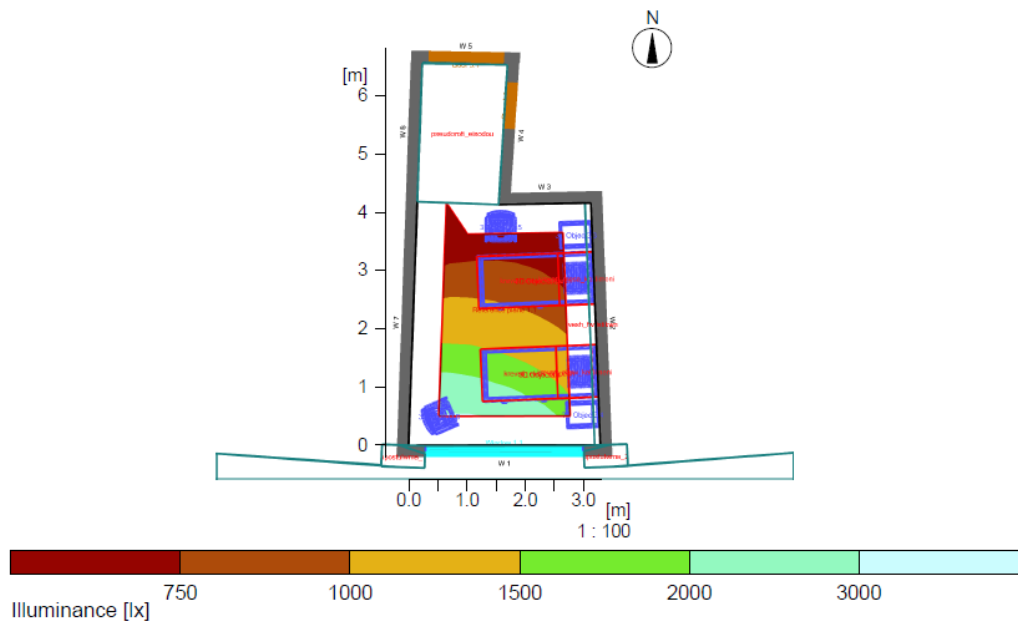
Εικόνα 4.19 – Calculation Manager

Από τις δυνατότητες που παρέχει το πρόγραμμα χρησιμοποιείται ο υπολογισμός του φυσικού φωτός. Για τον υπολογισμό αυτό απαιτείται να οριστεί αν ο ουρανός είναι νεφοσκεπής ή καθαρός. Επίσης πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος αλγόριθμος υπολογισμού της ανάκλασης του φωτός στις διάφορες επιφάνειες. Μπορεί να επιλεγεί από μηδενική ανάκλαση μέχρι πολύ υψηλή. Για το χώρο που μελετάται το πρόγραμμα προτείνει αυτόματα χαμηλό ποσοστό ανάκλασης και αυτός χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια πρέπει να οριστεί η ημερομηνία και η ώρα της προσομοίωσης. Είναι προφανές ότι αυτό σημαίνει ότι η προσομοίωση έχει στατικό και όχι δυναμικό χαρακτήρα. Η αναγωγή σε δυναμικά αποτελέσματα γίνεται με τρόπο που περιγράφεται παρακάτω. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα ορίζεται ως ημερομηνία η 21^η Μαρτίου, δηλαδή η χειμερινή ισημερία και ως ώρα η 9:00π.μ. Δεν γίνονται αναλύσεις Raytracing και ηλιακών διαγραμμάτων ενώ η ανάλυση τεχνητού φωτισμού δεν εξετάζεται.

Για κάθε επιφάνεια υπολογισμού που ορίστηκε το πρόγραμμα εξάγει τιμές έντασης φωτισμού επιφάνειας (illuminance). Συγκεκριμένα υπολογίζει τις τιμές για κάθε σημείο του καννάβου των σημείων υπολογισμού που έχουν οριστεί. Στη συνέχεια απεικονίζει τα αποτελέσματα αυτά, με τρεις διαφορετικούς τρόπους και επιπλέον εμφανίζει την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή, υπολογίζει τη μέση τιμή

1.3 Calculation results, Room 1

1.3.11 Pseudo colours, Reference plane 1.1, (E)



Εικόνα 4.21 – Απεικόνιση αποτελεσμάτων με τη μορφή χρωματικής διαβάθμισης.

Τα αποτελέσματα που αφορούν σε τιμές λαμπρότητας (luminance) δεν προκύπτουν για τις επιφάνειες μέτρησης αλλά μόνο για τις επιφάνειες των δομικών τοίχων, της οροφής και το δαπέδου και έτσι δεν χρησιμοποιούνται.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα αυτή η προσομοίωση έχει στατικό μονοδιάστατο χαρακτήρα αφού στην ουσία αποτελεί μια «φωτογραφία» της πραγματικότητας τη δεδομένη χρονική στιγμή. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων πρέπει να αποτυπωθεί μια συνολική εικόνα των επιπέδου φωτισμού για κάθε χώρο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικές ημερομηνίες και ώρες κατά τη διεθνώς αποδεκτά πρακτική. Οι χαρακτηριστικές ημερομηνίες είναι: η εαρινή και η φθινοπωρινή ισημερία (21/3 και 21/9 αντίστοιχα) καθώς και το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο (21/6 και 21/12 αντίστοιχα). Για κάθε μία από αυτές της ημερομηνίες χρησιμοποιούνται τρεις χαρακτηριστικές ώρες όσο αφορά στη θέση του ήλιου στον ουρανό. Αυτές είναι 9:00π.μ., 12μ.μ. και 3μ.μ. Τέλος αυτή η διαδικασία

επαναλαμβάνεται για καθαρό και νεφοσκεπή ουρανό. Το αποτέλεσμα είναι 24 διαφορετικές και χαρακτηριστικές συνθήκες ουρανού άρα και 24 προσομοιώσεις για κάθε θάλαμο με συγκεκριμένο προσανατολισμό.

Για να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα απαιτείται και η ακριβής εκτίμηση της επιρροής του κάθε είδους ουρανού στο συνολικό αποτέλεσμα. Για να συμβεί αυτό χρησιμοποιήθηκε το στατιστικά καταμετρημένο ποσοστό καθαρού ουρανού για την Αθήνα⁹. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 58%. Έτσι οι τιμές των δεικτών που προέκυψαν από προσομοιώσεις καθαρού ουρανού χρησιμοποιήθηκαν με συντελεστή 0,58 και αυτές που προέκυψαν από νεφοσκεπή ουρανό με συντελεστή 0,42, ώστε να προκύψει μια συνολική τιμή για κάθε δείκτη.

Η στατιστική επεξεργασία έγινε σε αρχεία του Excel. Δημιουργήθηκε για κάθε είδος ουρανού και κάθε επιφάνεια μέτρησης ένας πίνακας με τις τιμές μέσης, ελάχιστης και μέγιστης έντασης φωτισμού επιφάνειας. Σε κάθε τέτοιο πίνακα κάθε μεταβλητή έχει 12 τιμές, που προκύπτουν για κάθε χαρακτηριστική ημερομηνία και ώρα.

		Βασική Επιφάνεια			
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	1270	458	2880	6,29
	12:00	2080	745	4070	5,46
	15:00	1690	521	3690	7,08
21-Ιουν	9:00	887	329	1720	5,23
	12:00	1340	492	2620	5,33
	15:00	1320	452	2590	5,73
21-Σεπ	9:00	968	335	2410	7,19
	12:00	1970	724	3940	5,44
	15:00	1900	602	3900	6,48
21-Δεκ	9:00	3600	782	11300	14,45
	12:00	22000	1200	25800	21,50
	15:00	6840	943	18600	19,72
					9,16 Μέσος Uo

Πίνακας 4.1 – Τυπικός πίνακας επιφάνειας μέτρησης.

Από τις τιμές της μέσης έντασης φωτισμού επιφάνειας (Eav) γίνεται ο υπολογισμός των δεικτών Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DA), Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (cDA), Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού (UDI) και

Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού (DSP). Η τιμή του λόγου ομοιομορφίας για κάθε προσομοίωση προκύπτει από την λόγο E_{max}/E_{min} .

Υπολογίζονται όλοι οι δείκτες που προαναφέρθηκαν, για κάθε επιφάνεια και για κάθε είδος ουρανού. Για να προκύψει η τελική τιμή του κάθε δείκτη για κάθε επιφάνεια προστίθενται η τιμή του δείκτη για καθαρό ουρανό με συντελεστή 0,58 και η τιμή του δείκτη για νεφοσκεπή ουρανό με συντελεστή 0,42, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα. Επιπλέον παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού όπου αυτά προκύπτουν. Δεν γίνεται να υπολογιστεί τιμή του για οποιαδήποτε κεκλιμένη επιφάνεια αφού ορίζεται μόνο για οριζόντιες επιφάνειες. Ακόμα δε γίνεται να υπολογιστεί η τιμή του για την περίπτωση του καθαρού ουρανού αφού ορίζεται μόνο για πρότυπο κατά CIEνεφοσκεπή ουρανό. Έτσι στα αποτελέσματα θα προκύψουν τιμές μόνο για τις επιφάνειες που βρίσκονται στο οριζόντιο επίπεδο και για τις προσομοιώσεις που έγιναν υπό νεφοσκεπή ουρανό.

Για τον υπολογισμό του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Ορίστηκε μια λογική συνάρτηση για τον έλεγχο της τιμής E_{av} για κάθε μία από τις 12 προσομοιώσεις κάθε είδους ουρανού. Η απαιτούμενη τιμή έντασης φωτισμού επιφάνειας που χρησιμοποιεί ο δείκτης ορίστηκε στα 300 lux για τη βασική επιφάνεια του θαλάμου όπως ορίζουν οι περισσότεροι κανονισμοί. Η ίδια τιμή για τις επιφάνειες μέτρησης που εισήχθηκαν για κάθε κρεβάτι, ορίστηκε στα 500 lux. Όταν η τιμή E_{av} που ελέγχεται είναι μεγαλύτερη από 300 ή 500 lux, κατά περίπτωση, η λογική συνάρτηση αποδίδει την τιμή 1. Αν είναι μικρότερη αποδίδει την τιμή 0. Για να προκύψει η τελική τιμή του δείκτη για την επιφάνεια και για τις 12 προσομοιώσεις ορίζεται άλλη μία συνάρτηση που είναι το άθροισμα των τιμών προς το πλήθος των τιμών. Έτσι προκύπτει κατά προσέγγιση, το ποσοστό των ωρών ετησίως κατά τις οποίες επιτυγχάνεται η ελάχιστη επιθυμητή ένταση φωτισμού επιφάνειας. Αυτός είναι και ο ορισμός του δείκτη Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού.

Για τον υπολογισμό του δείκτη Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά ορίστηκε μια λογική συνάρτηση για τον έλεγχο της τιμής E_{av} για κάθε μία από τις 12 προσομοιώσεις κάθε είδους ουρανού. Οι απαιτούμενες τιμές έντασης φωτισμού επιφάνειας ορίζονται ίδιες με αυτές του προηγούμενου δείκτη. Όταν η τιμή E_{av} που ελέγχεται είναι μεγαλύτερη από 300 ή 500 lux, κατά περίπτωση, η λογική συνάρτηση αποδίδει την τιμή 1. Αν είναι μικρότερη αποδίδει ως τιμή τον λόγο της E_{av} προς την απαιτούμενη. Αν για

παράδειγμα η τιμή της Eανείναι 200 lux και η απαιτούμενη έχει οριστεί 300 lux, η συνάρτηση αποδίδει την τιμή $200/300=0,67$. Για να προκύψει η τελική τιμή του δείκτη για την επιφάνεια και για τις 12 προσομοιώσεις ορίζεται άλλη μία συνάρτηση που είναι το άθροισμα των τιμών προς το πλήθος των τιμών. Έτσι προκύπτει κατά προσέγγιση, το ποσοστό των ωρών ετησίως κατά τις οποίες επιτυγχάνεται η ελάχιστη επιθυμητή έντασης φωτισμού επιφάνειας συνυπολογίζοντας και τη συμβολή του φυσικού φωτισμού τις ώρες κατά τις οποίες δεν επαρκεί από μόνος του. Αυτός είναι και ο ορισμός του δείκτη Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού.

Για τον υπολογισμό του δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά ορίστηκε μια λογική συνάρτηση για τον έλεγχο της τιμής Eαν για κάθε μία από τις 12 προσομοιώσεις κάθε είδους ουρανού. Ο δείκτης ορίζει ως ωφέλιμες τιμές έντασης φωτισμού επιφάνειας αυτές που κυμαίνονται μεταξύ 100 lux και 2000 lux. Όταν η τιμή Eαν που ελέγχεται είναι μεγαλύτερη από 100 lux και μικρότερη από 2000 lux η λογική συνάρτηση αποδίδει την τιμή 1. Αν είναι εκτός αυτού του εύρους αποδίδει την τιμή 0. Για να προκύψει η τελική τιμή του δείκτη για την επιφάνεια και για τις 12 προσομοιώσεις ορίζεται άλλη μία συνάρτηση που είναι το άθροισμα των τιμών προς το πλήθος των τιμών. Έτσι προκύπτει κατά προσέγγιση, το ποσοστό των ωρών ετησίως κατά τις οποίες η τιμή της έντασης φωτισμού επιφάνειας είναι εντός του ωφέλιμου εύρους. Αυτός είναι και ο ορισμός του δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού.

Παρόμοια διαδικασία με αυτή του δείκτη Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού χρησιμοποιείται για το δείκτη Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού, με δύο διαφοροποιήσεις. Η βασική διαφοροποίηση είναι ότι ο δείκτης Κορεσμού ορίζει αρνητικό συντελεστή για τις ώρες κατά τις οποίες η τιμή της Eαν δεν είναι εντός του ωφέλιμου εύρους. Έτσι για αυτές τις περιπτώσεις η λογική συνάρτηση αποδίδει την τιμή -1 και όχι την τιμή 0, όπως πριν. Η δεύτερη διαφοροποίηση είναι ότι το ωφέλιμο εύρος ορίζεται για τη συγκεκριμένη μεταξύ 300 lux και 4000 lux.

Τέλος, όσο αφορά στο λόγο ομοιομορφίας προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών των 12 προσομοιώσεων. Με τους συντελεστές 0,58 και 0,42 από καθαρό και νεφοσκεπή ουρανό αντίστοιχα, προκύπτει η τελική του τιμή του δείκτη για την συγκεκριμένη επιφάνεια του συγκεκριμένου θαλάμου με τον δεδομένο προσανατολισμό. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται για κάθε επιφάνεια κάθε θαλάμου και κάθε προσανατολισμού.

	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	96,50	98,97	80,67	59,67	8,65	4,50
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	85,89	90,33	17,67	2,34	2,66
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	65,00	87,39	85,50	31,67	2,41	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	97,73	66,17	66,67	3,42	6,15
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	89,50	97,83	66,17	73,67	1,93	-

Πίνακας 4.2 – Πίνακας τιμών δεικτών φυσικού επιφανειών ενός θαλάμου.

Αφού προκύψουν οι τιμές των δεικτών για κάθε επιφάνεια, πρέπει να γίνει η αξιολόγηση των τιμών αυτών. Η αξιολόγηση των τιμών αυτών είναι μια υποκειμενική διαδικασία και εξαρτάται από τους στόχους που τίθενται κατά τη μελέτη φωτισμού. Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιούνται οι συνηθέστερες τιμές που χρησιμοποιούνται ως κριτήρια στη διεθνή βιβλιογραφία. Έτσι για τους δείκτες Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DA), Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (cDA), Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού (UDI) και Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού (DSP) ως κριτήριο καθορίζεται η τιμή 50%. Οι παραπάνω δείκτες θέτουν κάποια κριτήρια, διαφορετικά για τον καθένα, οι τιμές τους μεταφράζονται ως το ποσοστό των εργάσιμων ωρών ετησίως κατά τις οποίες πληρούνται τα κριτήρια αυτά. Άρα με το κριτήριο του 50% κρίνεται ως επαρκής ο φυσικός φωτισμός ο οποίος πληροί τα κριτήρια του κάθε δείκτη για τις μισές τουλάχιστον εργάσιμες ώρες ετησίως. Για το λόγο ομοιομορφίας ως κριτήριο χρησιμοποιείται η τιμή¹⁰ 5.0, που σημαίνει ότι ικανοποιητικά ομοιόμορφος είναι ο φυσικός φωτισμός όταν η μέγιστη τιμή έντασης φωτισμού επιφάνειας στην επιφάνεια αναφοράς είναι μικρότερη από το πενταπλάσιο της ελάχιστης τιμής. Όσο αφορά τον Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού, η τιμή που χρησιμοποιείται ως κριτήριο σε όλους τους κανονισμούς στους οποίους αναφέρεται είναι το 2%. Επαρκής θεωρείται ο φυσικός φωτισμός όταν η τιμή του δείκτη είναι μεγαλύτερη από το 2%. Για την καλύτερη και αμεσότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε ένας νέος πίνακας σε αντιστοιχία με τον προηγούμενο, στον οποίο αντί για την τιμή του κάθε δείκτη για κάθε επιφάνεια, εμφανίζεται η επάρκεια ή μη της τιμής αυτής με τη χρήση πράσινου και κόκκινου χρώματος αντίστοιχα.

6ος Όροφος - Δίκλιнос Θάλαμος - Νότιος	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
Βασική Επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.3 – Πίνακας αξιολόγησης επιφανειών θαλάμου με τη χρήση των δεικτών φυσικού φωτισμού.

Οι περισσότεροι δείκτες χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποσότητας του φυσικού φωτισμού στην κάθε επιφάνεια. Ωστόσο, οι διαφορές ως προς τον τρόπο ορισμού του κάθε δείκτη επιτρέπουν την εξαγωγή επιπρόσθετων συμπερασμάτων από τον κάθε δείκτη.

Όσο αφορά στον Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού, όπως έχει αναλυθεί και νωρίτερα, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι πολύ περιορισμένα. Όταν λοιπόν η τιμή του Π.Φ.Φ. κρίνεται επαρκής για κάποια επιφάνεια, σημαίνει ότι η δεδομένη επιφάνεια έχει ένταση φωτισμού επιφάνειας μεγαλύτερη ή ίση του 2% της έντασης φωτισμού επιφάνειας μιας εξωτερικής οριζόντιας επιφάνειας υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού. Όπως είναι προφανές, αυτό δεν είναι μία επαρκής αξιολόγηση της ποσότητας του φυσικού φωτισμού αφού αφορά ένα τμήμα μόνο των συνθηκών του ουρανού που απαντώνται κατά τη διάρκεια του έτους. Πέρα από τις εγγενείς αδυναμίες του δείκτη που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, το γεγονός ότι δεν μπορεί να τεθεί μια επιθυμητή τιμή της έντασης φυσικού φωτισμού και να ελεγχθεί η επίτευξη ή μη αυτού του στόχου, είναι ένας ακόμα λόγος για τον οποίο τα αποτελέσματα αυτού του δείκτη δεν μπορούν να δώσουν μια συνολική εικόνα της κατάστασης.

Ο δείκτης Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (DA) προσφέρει μία συνολική εικόνα για όλη τη διάρκεια του έτους, όσο αφορά στην επίτευξη μίας επιθυμητής τιμής έντασης φωτισμού για κάθε επιφάνεια. Όταν η τιμή του δείκτη DA κρίνεται επαρκής, σημαίνει ότι για τουλάχιστον για το 50% των εργάσιμων ωρών ετησίως, επιτυγχάνεται η ένταση φωτισμού που έχει τεθεί ως στόχος για κάθε επιφάνεια.

Ο δείκτης Συνεχούς Αυτονομίας Φυσικού Φωτισμού (cDA) συνυπολογίζει τη συμβολή του φυσικού φωτισμού ακόμα και αν αυτός δεν επαρκεί ως μοναδική πηγή φωτισμού. Έτσι αν για κάποια επιφάνεια η τιμή του δείκτη DA κρίνεται ανεπαρκής ενώ η τιμή του δείκτη του cDA κρίνεται επαρκής σημαίνει ότι η επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός είναι αρκετά σημαντική και συνεπώς η απαίτηση για ταυτόχρονο τεχνητό φωτισμό είναι περιορισμένη.

Ο δείκτης Ωφέλιμου Φυσικού Φωτισμού (UDI) προσεγγίζει το φυσικό φωτισμό με μια πιο διευρυμένη ματιά. Συνυπολογίζει την επιμέρους συμβολή ακόμα και πολύ μικρών ποσοτήτων (από 100 lux) και επιπλέον αποκλείει τις πολύ υψηλές τιμές οι οποίες μπορούν να συνδέονται με προβλήματα τόσο σχετικά με το οπτικό περιβάλλον όσο και με το συνολικό περιβάλλον του χώρου. Έτσι όταν η τιμή του δείκτη κρίνεται επαρκής, σημαίνει ότι ο φυσικός φωτισμός είναι ικανοποιητικός στην συγκεκριμένη επιφάνεια. Όταν όμως η τιμή του κρίνεται ανεπαρκής πρέπει να εξεταστούν μέτρα για την αποφυγή πολύ υψηλών τιμών οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν είτε σε πολύ υψηλά και ίσως ανεπιθύμητα θερμικά φορτία είτε στην εκτεταμένη χρήση των συστημάτων σκίασης που ακυρώνουν τη συμβολή του φυσικού φωτισμού.

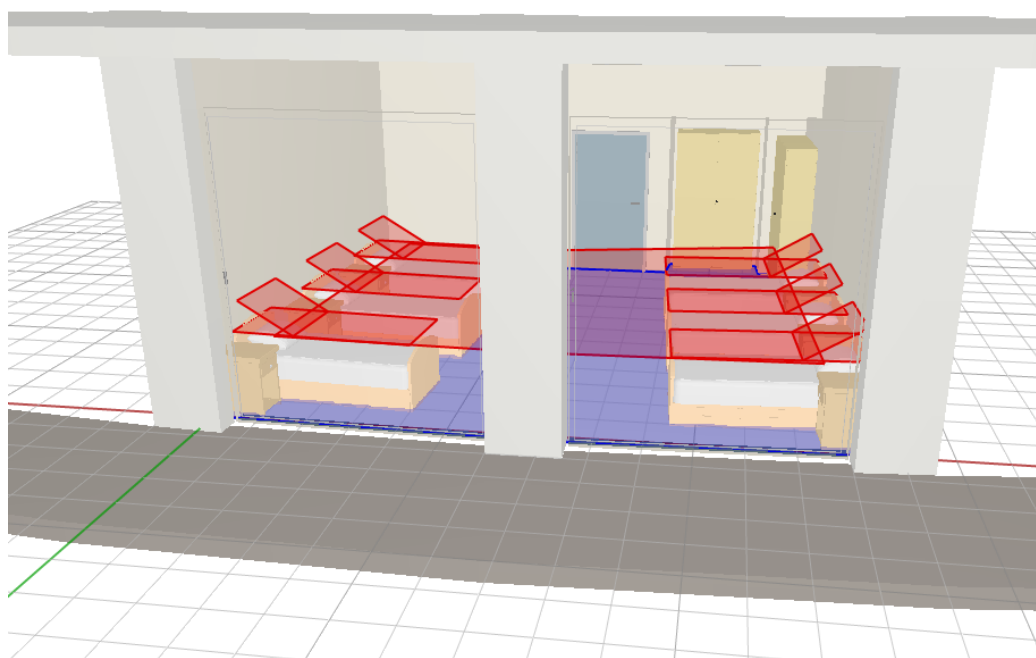
Ο δείκτης Κορεσμού Φυσικού Φωτισμού (DSP) αποτελεί στην ουσία έναν παρόμοιο με τον προηγούμενο αλλά αυστηρότερο δείκτη. Δίνει περιθώριο για υψηλότερες τιμές έντασης φυσικού φωτισμού όμως συνυπολογίζει ως αρνητικές τις ώρες κατά τις οποίες δεν πραγματοποιούνται επιτυχάνονται οι επιθυμητές τιμές. Έτσι όταν για μία επιφάνεια οι τιμές τόσο του δείκτη UDI όσο και του δείκτη DSP κρίνονται επαρκείς, η επιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικά φωτισμένη με σχετικά μεγάλη ασφάλεια. Ουσιαστικά λειτουργεί ως ένας επιπλέον, αυστηρότερος έλεγχος σε συνέχεια του ελέγχου του δείκτη UDI.

Τέλος τα συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν από τον λόγο ομοιομορφίας Υοείναι τα προφανή και αφορούν στην μέγιστη αντίθεση που παρουσιάζεται σε κάθε επιφάνεια και το αν αυτή η αντίθεση δεν υπερβαίνει το όριο που έχει οριστεί.

Μοντέλα προσομοίωσης

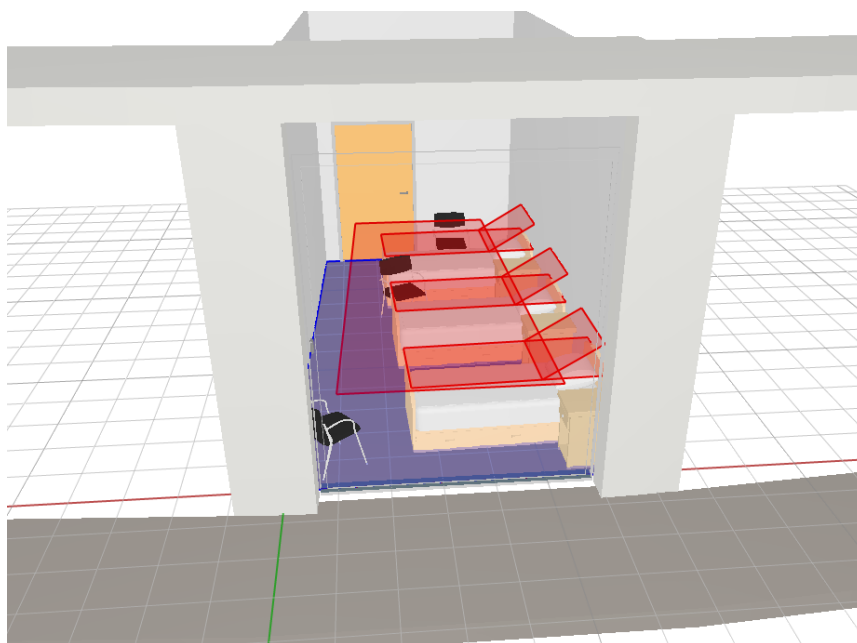
Για την συνολική αξιολόγηση των θαλάμων του νοσοκομείου μελετήθηκαν όλα τα είδη θαλάμων όσο αφορά τη δυναμικότητά τους καθώς και χαρακτηριστικοί προσανατολισμοί στους οποίους εμφανίζεται το κάθε είδος θαλάμου. Έτσι δημιουργήθηκαν συνολικά έξι μοντέλα. Η έννοια «προσανατολισμός θαλάμου» αναφέρεται προφανώς στον προσανατολισμό προς τον οποίο «κοιτάει» το άνοιγμα κάθε θαλάμου από όπου εισέρχεται το φυσικό φως.

Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο για τον τυπικό εξάκλινο θάλαμο που εμφανίζεται από τον 2^ο ως τον 4^ο όροφο του νοσοκομείου. Ο προσανατολισμός αυτών των θαλάμων κυμαίνεται από Νότιο-ανατολικός (139^ο από το Βορρά) ως Νότιος (189^ο από το Βορρά). Εξετάστηκαν έτσι ένας Νότιος και ένας Νότιο-Ανατολικός θάλαμος.



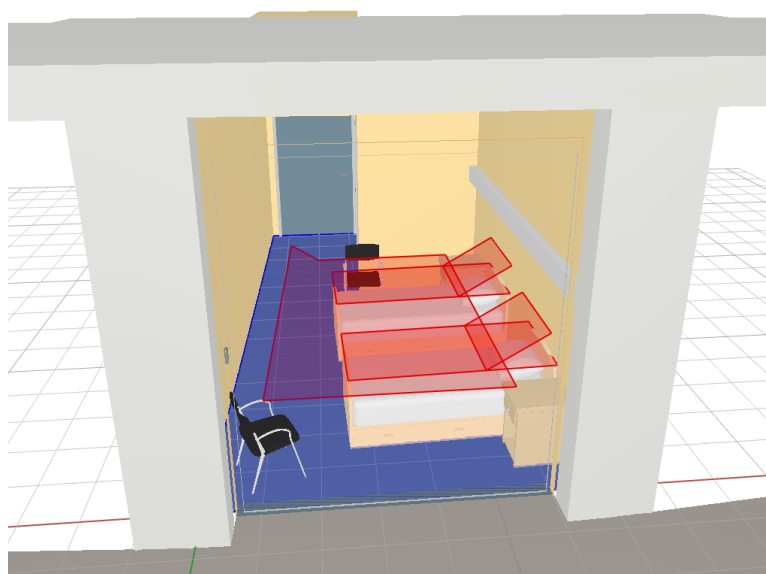
Εικόνα 4.22 – Μοντέλο τυπικού εξάκλινου θαλάμου.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα μοντέλο για τον τυπικό τρίκλινο θάλαμο που εμφανίζεται στον 5^ο όροφο. Ο προσανατολισμός αυτών των θαλάμων κυμαίνεται από Νότιο-ανατολικός (139^ο από το Βορρά) ως Νότιος-Νότιο-Δυτικός (200^ο από το Βορρά). Εξετάστηκαν έτσι ένας Νότιο-Ανατολικός, ένας Νότιος και ένας Νότιος-Νότιο-Δυτικός θάλαμος.



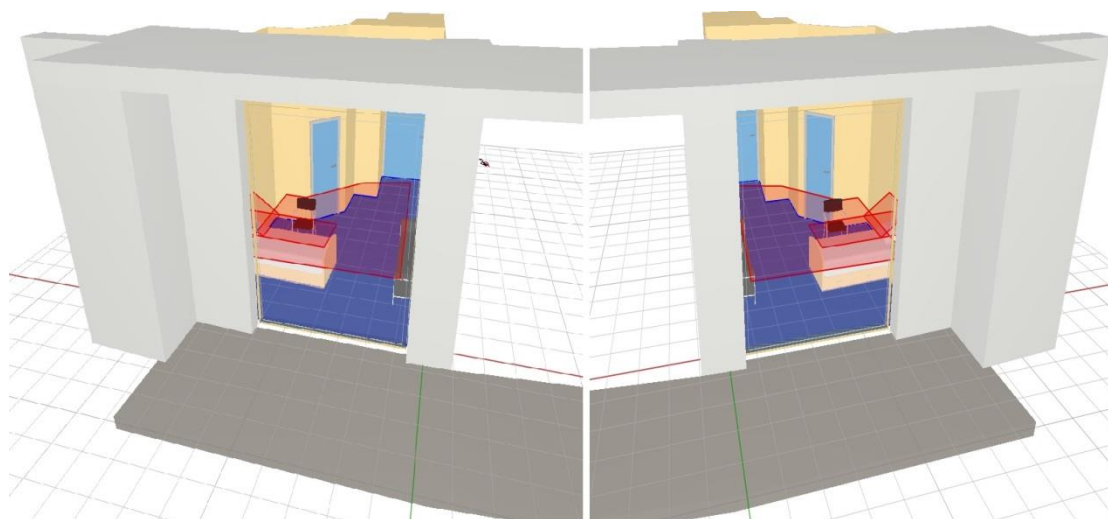
Εικόνα 4.23 – Μοντέλο τυπικού τρίκλινου θαλάμου.

Όσο αφορά στον 6^ο όροφο δημιουργήθηκαν 4 μοντέλα. Το πρώτο αφορά στον τυπικό δίκλινο θάλαμο που εμφανίζεται κατά κύριο λόγο στον 6^ο όροφο. Ο προσανατολισμός των δίκλινων θαλάμων κυμαίνεται από Νότιο-Ανατολικός (133° από το Βορρά) ως Νότιος-Νότιο-δυτικός (197° από το Βορρά). Εξετάστηκαν έτσι ένας Νότιο-Ανατολικός, ένας Νότιος και ένας Νότιος-Νότιο-Δυτικός θάλαμος.



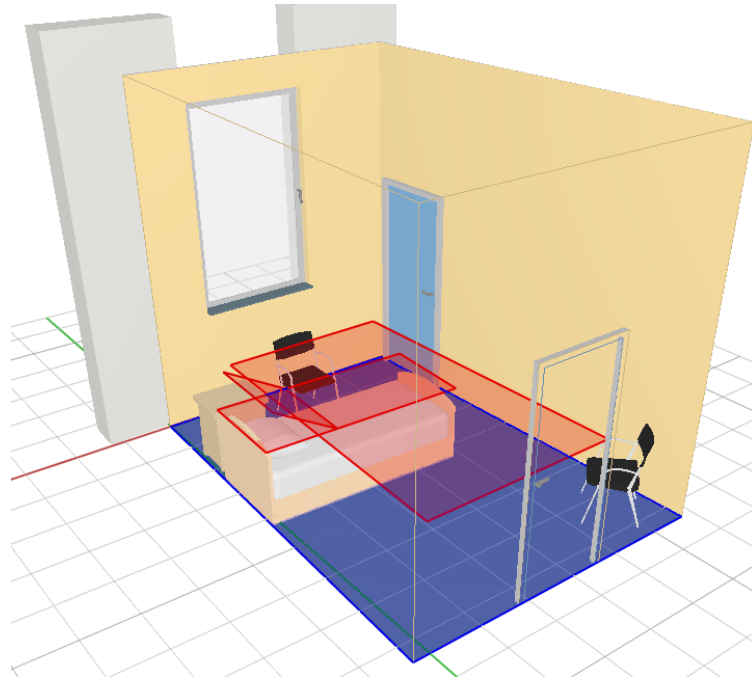
Εικόνα 4.24 – Μοντέλο τυπικού δίκλινου θαλάμου.

Το δεύτερο είδος θαλάμου που εμφανίζεται στον 6^ο όροφο είναι ο μονόκλινος θάλαμος-σουίτα. Υπάρχουν δύο τέτοιοι θάλαμοι τοποθετημένοι στα 2 άκρα του κτιρίου. Το γεγονός ότι η γεωμετρία τους δεν είναι πανομοιότυπη αλλά συμμετρική ως προς άξονα, οδήγησε στη δημιουργία δύο μοντέλων. Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους θαλάμους, η πρόσοψη δεν εκτείνεται ανάμεσα σε δύο διαδοχικά υποστυλώματα αλλά εφάπτεται στον εξωτερικό τοίχο του κλιμακοστασίου που εξέχει από την πρόσοψη του θαλάμου και συνεπώς επηρεάζει την σκίαση του χώρου. Είναι προφανές ότι όταν η προεξοχή αυτή βρίσκεται σε διαφορετική θέση σε σχέση με το άνοιγμα του θαλάμου, έχει διαφορετική επιρροή στη σκίαση. Αυτός είναι και ο λόγος που δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα. Εξετάστηκαν ένας Νότιο-Ανατολικός (129° από το Βορρά) και ένας Νότιος-Νότιο-Δυτικός (201° από το Βορρά).



Εικόνα 4.25 – Μοντέλα μονόκλινου θαλάμου - σουίτα.

Τέλος δημιουργήθηκε και ένα μοντέλο μικρού μονόκλινου θαλάμου που διαμορφώθηκε αργότερα λόγω των αυξημένων αναγκών. Ο θάλαμος αυτός βρίσκεται στην πίσω πλευρά του κτιρίου, όπου γενικά υπάρχουν μόνο χώροι γραφείων, προσωπικού ή αποθηκευτικοί. Υπάρχουν δύο τέτοιοι θάλαμοι. Έχουν μικρότερα ανοίγματα σε σχέση με όλους τους άλλους, δεν υπάρχουν εξώστες που να λειτουργούν ως σκίαστρα ενώ έχουν και εντελώς διαφορετικό προσανατολισμό αφού ο ένας έχει Βόρειο προσανατολισμό (351° από το Βορρά) και ο άλλος Βόρειο-Δυτικό (317° από το Βορρά).



Εικόνα 4.26 – Μοντέλο μονόκλινου μικρού θαλάμου.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 288 προσομοιώσεις ώστε να εκτιμηθεί η συνολική συμπεριφορά κάθε επιφάνειας μέτρησης κατά τη διάρκεια του έτους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε είδος και κάθε προσανατολισμό θαλάμου και αφορούν στις τιμές των δεικτών αξιολόγησης του φυσικού φωτισμού για κάθε επιφάνεια. Οι αναλυτικοί πίνακες με τις τιμές της έντασης φωτισμού επιφάνειας κάθε επιφάνειας για κάθε μία από τις προσομοιώσεις, παρατίθενται σε παράρτημα στο τέλος του τεύχους.

4.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αποτελέσματα τυπικού εξάκλινου θαλάμου Νότιου προσανατολισμού

4ος όροφος-βκλινος θάλαμος-νότιος	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	U _o	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	89,50	97,95	80,67	59,67	8,00	3,78
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	48,33	76,30	91,67	20,33	1,85	1,79
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	58,00	81,75	95,17	48,33	1,60	-
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	88,17	90,33	52,67	2,12	2,94
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	75,50	90,84	85,50	59,67	2,25	-
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	98,45	61,33	71,00	3,44	6,68
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	93,00	98,71	46,83	80,67	1,52	-
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	98,36	66,17	80,67	3,52	6,60
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	93,00	98,60	61,33	80,67	1,79	-
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	68,50	89,16	90,33	59,67	3,12	3,08
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	75,50	91,47	80,67	59,67	2,20	-
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	48,33	73,85	91,67	20,33	2,25	1,70
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	53,17	80,17	95,17	41,33	1,96	-

Πίνακας 4.4 – Τιμές δεικτών επιφανειών εξάκλινου Νότιου θαλάμου.

4ος όροφος-γκλιнос θάλαμος-νότιος	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
Βασική Επιφάνεια						
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.5 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών εξάκλινου Νότιου θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA σχεδόν όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργάσιμων ημερήσιων ωρών ετησίως. Αυτό δε συμβαίνει μόνο στα εσωτερικά κρεβάτια γεγονός που είναι αναμενόμενο λόγω του βάθους του χώρου.
- Από το δείκτη cDA φαίνεται ότι ακόμα και στις επιφάνειες που δεν καλύπτονται αμιγώς από το φυσικό φως, η επιμέρους συμβολή του είναι σημαντική και μπορεί να ελαττώσει την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους. Αυτό δε συμβαίνει μόνο για την κεκλιμένη επιφάνεια του εξωτερικού κρεβατιού που προσανατολίζεται προς την ανατολή. Αυτό οφείλεται στις πολύ υψηλές τιμές που παρατηρούνται σε αυτή την επιφάνεια λόγω της θέσης της.
- Στο δείκτη DSP που αποτελεί το αυστηρότερο κριτήριο, αντικατοπτρίζεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στα βάθος του χώρου και στις επιφάνειες των εσωτερικών κρεβατιών που όμως, όπως φάνηκε από το δείκτη cDA, δεν παύει να έχει σημαντική επιμέρους συμβολή στο φωτισμό των επιφανειών αυτών.
- Από το λόγο ομοιομορφίας μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μόνη επιφάνεια που δεν είναι ομοιόμορφα φωτισμένη σε ικανοποιητικό βαθμό είναι η βασική επιφάνεια του δωματίου η οποία ωστόσο είναι αρκετά μεγάλη και εκτείνεται σε όλο το βάθος του χώρου συνεπώς είναι πολύ δύσκολο να φωτισθεί ομοιόμορφα ειδικά όταν υπάρχει παρουσία άμεσου ηλιακού φωτός από καθαρό ουρανό όπως συμβαίνει κατά το 58% των ημερών του έτους για την πόλη της Αθήνας.

Αποτελέσματα τυπικού εξάκλινου θαλάμου Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

4ος όροφος-γκλιнос θάλαμος-NA	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	89,50	97,92	75,83	40,33	8,91	3,77
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	48,33	75,55	86,83	10,67	2,16	1,80
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	53,17	81,71	90,33	38,67	1,84	-
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	88,16	85,50	43,00	2,96	2,94
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	75,50	90,84	80,67	50,00	2,47	-
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	98,45	61,33	61,33	3,55	6,68
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	93,00	98,69	61,33	71,00	1,67	-
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	98,32	61,33	61,33	5,98	6,58
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	93,00	98,57	56,50	80,67	1,64	-
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	68,50	89,08	90,33	59,67	4,33	3,07
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	75,50	91,38	75,83	79,00	1,55	-
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	43,50	74,88	91,67	20,33	2,00	1,70
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	58,00	80,23	91,67	51,00	1,42	-

Πίνακας 4.6 – Τιμές δεικτών επιφανειών εξάκλινου Νότιου-Ανατολικού θαλάμου.

4ος όροφος-6κλινος θάλαμος-NA	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
Βασική Επιφάνεια						
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.7 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών εξάκλινου Νότιου-Ανατολικού θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA σχεδόν όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργάσιμων ημερήσιων ωρών ετησίως. Αυτό δε συμβαίνει μόνο στα εσωτερικά κρεβάτια γεγονός που είναι αναμενόμενο λόγω του βάθους του χώρου.
- Από το δείκτη cDA φαίνεται ότι ακόμα και στις επιφάνειες που δεν καλύπτονται αμιγώς από το φυσικό φως, η επιμέρους συμβολή του είναι σημαντική και μπορεί να ελαττώσει την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Στο δείκτη DSP αντικατοπτρίζεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στα βάθος του χώρου και στις επιφάνειες των εσωτερικών κρεβατιών που όμως, όπως φάνηκε από το δείκτη cDA, δεν παύει να έχει σημαντική επιμέρους συμβολή στο φωτισμό των επιφανειών αυτών. Επιπλέον η μη ικανοποιητική του δείκτη για τη βασική επιφάνεια οφείλεται στις πολύ υψηλές τιμές που παρατηρούνται σε αρκετές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια του έτους.
- Από το λόγο ομοιομορφίας μπορούμε να συμπεράνουμε ότι εκτός από την βασική επιφάνεια που δεν είναι ομοιόμορφα φωτισμένη σε ικανοποιητικό βαθμό, η επίπεδη επιφάνεια ενός από τα δύο εξωτερικά κρεβάτια δέχεται αρκετά συχνά άμεσο ηλιακό φως σε ένα μικρό τμήμα της, προκαλώντας την μη αποδεκτή τιμή του λόγου ομοιομορφίας.

Αποτελέσματα τυπικού τρίκλινου θαλάμου Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος-N-NΔ	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
	Βασική Επιφάνεια	89,50	98,04	80,67	40,33	22,37
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	33,83	60,99	84,67	-22,67	2,47	1,21
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	33,83	64,22	84,67	-13,00	1,33	-
Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	55,33	86,72	90,33	55,33	3,56	2,83
Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	63,67	88,64	95,17	69,33	1,52	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	96,50	99,32	66,17	61,33	4,34	8,40
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	96,50	99,29	61,33	71,00	2,88	-

Πίνακας 4.9 – Τιμές δεικτών επιφανειών τρίκλινου Νότιου-Νότιο-Δυτικού θαλάμου.

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος-N-NΔ	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
	Βασική Επιφάνεια					
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.10 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών τρίκλινου Νότιου-Νότιο-Δυτικού θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Από το δείκτη DA φαίνεται ότι το εσωτερικό κρεβάτι δεν καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες φωτισμού μέσω του φυσικού φωτός.
- Ωστόσο ο δείκτης cDA ότι για το εσωτερικό κρεβάτι, η επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός είναι σημαντική και μπορεί να ελαττώσει την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Από το δείκτη DSP φαίνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στα βάθος του χώρου και στις επιφάνειες του εσωτερικού κρεβατιού που όμως, όπως φάνηκε από το δείκτη cDA, δεν παύει να έχει σημαντική επιμέρους συμβολή στο φωτισμό των επιφανειών αυτών. Συνυπολογίζοντας και τα αποτελέσματα του λιγότερο «αυστηρού» δείκτη UDI για τις επιφάνειες αυτές, μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει σημαντικό πρόβλημα.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που είναι αναμενόμενο και δεν προκαλεί προβληματισμό.

Αποτελέσματα τυπικού τρίκλινου θαλάμου Νότιου προσανατολισμού

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος- Νότιος	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	89,50	98,18	85,50	59,67	16,67	3,90
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	38,67	65,00	89,50	-3,33	1,51	1,20
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	43,50	67,68	89,50	16,00	1,35	-
Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	87,17	90,33	45,67	3,48	2,82
Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	65,00	88,69	95,17	69,33	2,13	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	96,50	99,31	56,50	80,67	3,94	8,40
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	96,50	99,30	51,67	80,67	2,00	-

Πίνακας 4.11 – Τιμές δεικτών επιφανειών τρίκλινου Νότιου θαλάμου.

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος- Νότιος	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
Βασική Επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.12 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών τρίκλινου Νότιου θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Από το δείκτη DA φαίνεται ότι μόνο το εσωτερικό κρεβάτι δεν καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες φωτισμού μέσω του φυσικού φωτός.
- Από το δείκτη cDA φαίνεται ότι για το εσωτερικό κρεβάτι, η επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός είναι σημαντική και μπορεί να ελαττώσει την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Από το δείκτη DSP φαίνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στα βάθος του χώρου και συγκεκριμένα στις επιφάνειες του εσωτερικού κρεβατιού και στην επίπεδη επιφάνεια του μεσαίου κρεβατιού. Σε συνδυασμό με τις επαρκείς τιμές των δεικτών UDI και cDA δεν προκύπτει λόγος προβληματισμού. Όσο αφορά στη μη επάρκεια του δείκτη για τη βασική επιφάνεια, παρατηρώντας τις τιμές της μέσης έντασης φωτισμού στους αναλυτικούς πίνακες της επιφάνειας υπάρχουν στο Παράρτημα στο τέλος του τεύχους, προκύπτει ότι αυτή οφείλεται πέρα από τις χαμηλές τιμές κατά τις ημέρες με νεφοσκεπή ουρανό, και στις υψηλές τιμές για τις ημέρες με καθαρό ουρανό.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που είναι αναμενόμενο και δεν προκαλεί προβληματισμό.

Αποτελέσματα τυπικού τρίκλινου θαλάμου Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος - NA	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	U _o	DF(%)
	Βασική Επιφάνεια	89,50	98,18	75,83	30,67	25,05
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	33,83	63,49	84,67	-3,33	1,92	1,20
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	38,67	66,39	89,50	6,33	1,38	-
Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	87,17	85,50	45,67	4,60	2,82
Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	65,00	88,69	90,33	79,00	2,86	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	96,50	99,31	56,50	51,67	5,77	8,40
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	96,50	99,30	51,67	71,00	1,78	-

Πίνακας 4.13 – Τιμές δεικτών επιφανειών τρίκλινου Νότιου-Ανατολικού θαλάμου.

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος - NA	DA	cDA	UDI	DSP	U _o	DF
	Βασική Επιφάνεια					
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.14 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών τρίκλινου Νότιου-Ανατολικού θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Από το δείκτη DA φαίνεται ότι μόνο το εσωτερικό κρεβάτι δεν καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες φωτισμού μέσω του φυσικού φωτός.
- Από το δείκτη cDA φαίνεται ότι για το εσωτερικό κρεβάτι, η επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός είναι σημαντική και μπορεί να ελαττώσει την απαίτηση για τεχνητό φωτισμό.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Από το δείκτη DSP φαίνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στα βάθος του χώρου και συγκεκριμένα στις επιφάνειες του εσωτερικού κρεβατιού και στην επίπεδη επιφάνεια του μεσαίου κρεβατιού. Σε συνδυασμό με τις επαρκείς τιμές των δεικτών UDI και cDA δεν προκύπτει λόγος προβληματισμού.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που είναι αναμενόμενο και δεν προκαλεί προβληματισμό, και της επίπεδης επιφάνειας του εξωτερικού κρεβατιού που οφείλεται στην συχνή παρουσία άμεσου ηλιακού φωτός σε ένα τμήμα της.

Αποτελέσματα τυπικού δίκλινου θαλάμου Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού

6ος όροφος - Δίκλινος θάλαμος - N/ΝΔ	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	U _o	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	96,50	98,97	80,67	64,00	11,50	4,50
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	60,17	85,55	90,33	45,67	3,19	2,66
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	65,00	87,39	90,33	55,33	1,49	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	97,73	66,17	64,00	3,80	6,15
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	89,50	96,91	66,17	83,33	1,60	-

Πίνακας 4.15 – Τιμές δεικτών επιφανειών δίκλινου Νότιου-Νότιο-Δυτικού θαλάμου.

6ος όροφος - Δίκλινος θάλαμος - N/ΝΔ	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	U _o	DF(%)
Βασική Επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.16 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών δίκλινου Νότιου-Νότιο-Δυτικού θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA, όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργάσιμων ημερήσιων ωρών ετησίως.
- Είναι προφανές ότι αφού ο δείκτης DA ικανοποιείται για όλες τις επιφάνειες, το ίδιο θα ισχύει και για τον δείκτη cDA.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Από το δείκτη DSP φαίνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στην επίπεδη επιφάνεια του εσωτερικού κρεβατιού. Σε συνδυασμό με τις επαρκείς τιμές των δεικτών UDI και DA δεν προκύπτει λόγος προβληματισμού.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που είναι αναμενόμενο και δεν προκαλεί προβληματισμό.

Αποτελέσματα τυπικού δίκλινου θαλάμου Νότιου προσανατολισμού

6ος Όροφος - Δίκλινος Θάλαμος - Νότιος	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	U _o	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	96,50	98,97	80,67	73,67	8,65	4,50
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	85,89	90,33	45,67	2,34	2,66
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	65,00	87,39	85,50	45,67	2,41	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	97,73	66,17	73,67	3,42	6,15
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	89,50	97,83	66,17	73,67	1,93	-

Πίνακας 4.17 – Τιμές δεικτών επιφανειών δίκλινου Νότιου θαλάμου.

6ος Όροφος - Δίκλινος Θάλαμος - Νότιος	DA	cDA	UDI	DSP	U _o	DF
Βασική Επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.18 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών δίκλινου Νότιου θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA, όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργάσιμων ημερήσιων ωρών ετησίως.
- Είναι προφανές ότι αφού ο δείκτης DA ικανοποιείται για όλες τις επιφάνειες, το ίδιο θα ισχύει και για τον δείκτη cDA.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Από το δείκτη DSP φαίνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στην επίπεδη και την κεκλιμένη επιφάνεια του εσωτερικού κρεβατιού. Σε συνδυασμό με τις επαρκείς τιμές των δεικτών UD I και DA δεν προκύπτει λόγος προβληματισμού.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που είναι αναμενόμενο και δεν προκαλεί προβληματισμό.

Αποτελέσματα τυπικού δίκλινου θαλάμου Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

6ος όροφος - Δίκλιнос θάλαμος - Νοτιοανατολικός	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
	Βασική Επιφάνεια	96,50	98,97	71,00	44,67	11,57
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	65,00	85,89	85,50	45,67	3,55	2,66
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	65,00	87,39	85,50	55,33	1,63	-
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	89,50	97,73	61,33	54,33	5,34	6,15
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	89,50	96,91	61,33	73,67	2,24	-

Πίνακας 4.19 – Τιμές δεικτών επιφανειών δίκλινου Νότιου-Ανατολικού θαλάμου.

6ος όροφος - Δίκλιнос θάλαμος - Νοτιοανατολικός	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
	Βασική Επιφάνεια					
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.20 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών δίκλινου Νότιου-Ανατολικού θαλάμου.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA, όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργασιμων ημερήσιων ωρών ετησίως.
- Είναι προφανές ότι αφού ο δείκτης DA ικανοποιείται για όλες τις επιφάνειες, το ίδιο θα ισχύει και για τον δείκτη cDA.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Από το δείκτη DSP φαίνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στην επίπεδη επιφάνεια του εσωτερικού κρεβατιού. Σε συνδυασμό με τις επαρκείς τιμές των δεικτών UDI και DA δεν προκύπτει λόγος προβληματισμού.. Όσο αφορά στη μη επάρκεια του δείκτη για τη βασική επιφάνεια, παρατηρώντας τις τιμές της μέσης έντασης φωτισμού στους αναλυτικούς πίνακες της επιφάνειας υπάρχουν στο Παράρτημα στο τέλος του τεύχους, προκύπτει ότι αυτή οφείλεται στις υψηλές τιμές της μέσης έντασης φωτισμού επιφάνειας για τις ημέρες με καθαρό ουρανό.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που είναι αναμενόμενο και δεν προκαλεί προβληματισμό, και της επίπεδης επιφάνειας του εξωτερικού κρεβατιού που οφείλεται στην συχνή παρουσία άμεσου ηλιακού φωτός σε ένα τμήμα της.

Αποτελέσματα μονόκλινης-σουίτας Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα- ΝΝΔ	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
	Βασική Επιφάνεια	89,50	97,97	85,50	50,00	10,55
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	75,50	91,36	90,33	69,33	4,68	3,51
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	79,00	92,24	85,50	69,33	2,12	-

Πίνακας 4.19 – Τιμές δεικτών επιφανειών μονόκλινου θαλάμου-σουίτας Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού.

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα- ΝΝΔ	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
	Βασική Επιφάνεια					
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.20 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών μονόκλινου θαλάμου-σουίτας Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA, όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργάσιμων ημερήσιων ωρών ετησίως.
- Είναι προφανές ότι αφού ο δείκτης DA ικανοποιείται για όλες τις επιφάνειες, το ίδιο θα ισχύει και για τον δείκτη cDA.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Ο δείκτης DSP επιβεβαιώνει με ακόμα πιο αυστηρά κριτήρια τα αποτελέσματα του δείκτη UDI.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που δεν προκαλεί προβληματισμό.

Αποτελέσματα μονόκλινης σουίτας Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα - NA	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	89,50	98,09	75,83	30,67	11,18	3,84
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	75,50	90,97	80,67	50,00	6,79	3,43
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	75,50	91,94	85,50	69,33	2,35	-

Πίνακας 4.21 – Τιμές δεικτών επιφανειών μονόκλινου θαλάμου-σουίτας Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού.

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα - NA	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
Βασική Επιφάνεια						
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.22 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών μονόκλινου θαλάμου-σουίτας Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA, όλες οι επιφάνειες καλύπτουν τις απαιτήσεις τους σε φωτισμό μέσω του φυσικού φωτισμού τουλάχιστον για το 50% εργάσιμων ημερήσιων ωρών ετησίως.
- Είναι προφανές ότι αφού ο δείκτης DA ικανοποιείται για όλες τις επιφάνειες, το ίδιο θα ισχύει και για τον δείκτη cDA.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Η μη επάρκεια του δείκτη DSP για τη βασική επιφάνεια που οφείλεται στις πολύ υψηλές τιμές της έντασης φωτισμού δεν αποτελεί πρόβλημα λόγω της επαρκούς τιμής του δείκτη UDI.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που δεν προκαλεί προβληματισμό, και της επίπεδης επιφάνειας του εξωτερικού κρεβατιού που οφείλεται στην συχνή παρουσία άμεσου ηλιακού φωτός σε ένα τμήμα της.

Αποτελέσματα μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειου προσανατολισμού

6ος όροφος - Μονόκλινος μικρός θάλαμος - Βόρειος	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
Βασική Επιφάνεια	46,00	87,57	100,00	-8,00	6,34	3,26
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	22,33	68,89	100,00	1,67	2,26	3,51
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	22,33	71,83	100,00	40,33	1,79	-

Πίνακας 4.23 – Τιμές δεικτών επιφανειών μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειου προσανατολισμού.

6ος όροφος - Μονόκλινος μικρός θάλαμος - Βόρειος	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
Βασική Επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.24 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειου προσανατολισμού.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως φαίνεται από το δείκτη DA, καμία από τις επιφάνειες δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες φωτισμού αποκλειστικά με τη χρήση φυσικού φωτός για τουλάχιστον 50% των ετήσιων εργάσιμων ωρών.
- Από το δείκτη cDA φαίνεται ότι για όλες τις επιφάνειες η επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός κρίνεται ικανοποιητική.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Η μη επάρκεια του δείκτη DSP για όλες τις επιφάνειες επιβεβαιώνει τον δείκτη DA σχετικά με την ανεπάρκεια του φυσικού φωτός ως αποκλειστική πηγή φωτισμού.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που δεν προκαλεί προβληματισμό.

Αποτελέσματα μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειο-Δυτικού προσανατολισμού

6ος Όροφος - Μονόκλινος μικρός θάλαμος - ΒΔ	DA(%)	cDA(%)	UDI(%)	DSP(%)	Uo	DF(%)
	Βασική Επιφάνεια	50,83	85,13	96,50	1,67	6,30
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια	22,33	67,75	100,00	1,67	2,32	3,49
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια	22,33	71,46	100,00	30,67	1,80	-

Πίνακας 4.23 – Τιμές δεικτών επιφανειών μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειο-Δυτικού προσανατολισμού.

6ος Όροφος - Μονόκλινος μικρός θάλαμος - ΒΔ	DA	cDA	UDI	DSP	Uo	DF
	Βασική Επιφάνεια					
Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						

Πίνακας 4.24 – Αξιολόγηση τιμών δεικτών επιφανειών μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειο-Δυτικού προσανατολισμού.

Από τα αποτελέσματα των δεικτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Η τιμή του δείκτη DA είναι ανεπαρκής για τις επιφάνειες του κρεβατιού και οριακά επαρκής για τη βασική επιφάνεια φανερώοντας μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός.
- Από το δείκτη cDA φαίνεται ότι για όλες τις επιφάνειες η επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός κρίνεται ικανοποιητική.
- Από το δείκτη UDI προκύπτει ότι το φυσικό φως κυμαίνεται σε ωφέλιμες τιμές για τις περισσότερες ώρες του έτους και για όλες τις επιφάνειες.
- Η μη επάρκεια του δείκτη DSP για όλες τις επιφάνειες επιβεβαιώνει τον δείκτη DA σχετικά με την ανεπάρκεια του φυσικού φωτός ως αποκλειστική πηγή φωτισμού.
- Ο λόγος ομοιομορφίας είναι ικανοποιητικός για όλες τις επιφάνειες πλην της βασικής, γεγονός που δεν προκαλεί προβληματισμό.

4.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

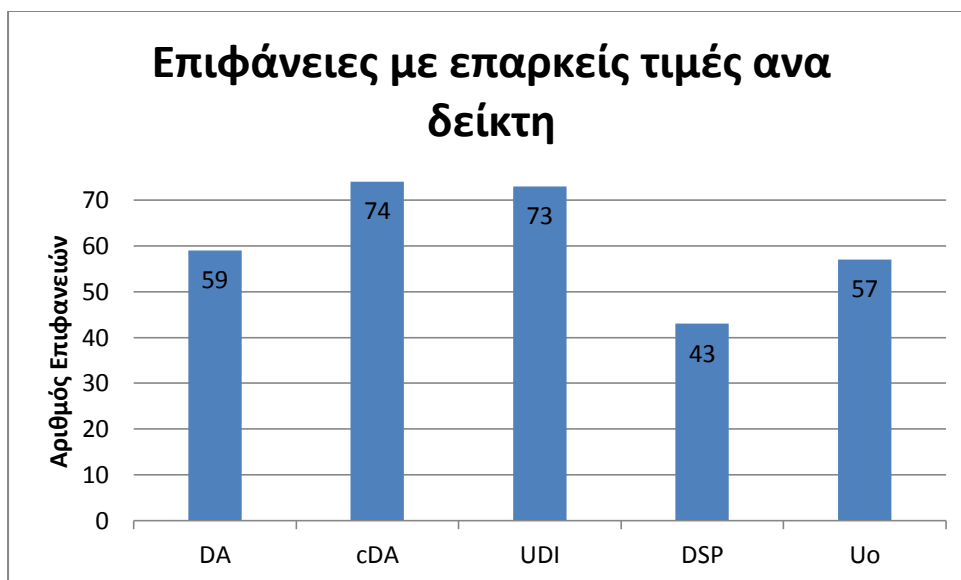
Από την ανάγνωση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων προκύπτει ότι ο φυσικός φωτισμός στους περισσότερους θαλάμους είναι ικανοποιητικός. Ο συνολικός προσανατολισμός του κτιρίου αλλά και η γεωμετρία των ανοιγμάτων αποτελούν τους βασικούς λόγους. Είναι προφανές ότι έχει υπάρξει σχετική μέριμνα κατά το σχεδιασμό του κτιρίου αφού η τοποθέτηση των θαλάμων έγινε στην όψη εκείνη που έχει θέα στην Ανατολή και στο Νότο και τα ανοίγματα σχεδιάστηκαν με σχετικά μεγάλο ύψος πρεκιού και καταλαμβάνουν όλο το μήκος ανάμεσα στα διαδοχικά υποστυλώματα. Ο στόχος το σχεδιασμού ήταν η εξασφάλιση όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτός. Ωστόσο το κίνητρο για αυτό το στόχο δεν ήταν η μείωση της απαιτούμενης για το φωτισμό ενέργειας ούτε η εξασφάλιση ελάχιστων ενδεικνυόμενων τιμών φωτεινότητας για τις επιφάνειες. Άλλωστε κατά την εποχή σχεδιασμού του Γ.Ν.Α. ΚΑΤ, τόσο η γνώση όσο και η ευαισθητοποίηση για αυτά τα θέματα ήταν περιορισμένες. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην επίπτωση που έχει το φυσικό φως στην δημιουργία βιταμίνης D από τον ανθρώπινο οργανισμό. Η έκθεση στο φως φυσικό ευνοεί την δημιουργία της βιταμίνης αυτής, η οποία με τη σειρά της βοηθά στην ταχύτερη επούλωση μυοσκελετικών τραυμάτων. Είναι προφανείς λοιπόν οι ευεργετικές επιπτώσεις που θα είχε το φυσικό φως σε μια νοσηλευτική μονάδα που ειδικεύεται στην ορθοπεδική.

Η επιλογή του προσανατολισμού, ακόμα και αν δεν έγινε με βιοκλιματικά κριτήρια, ακολουθεί το γενικό κανόνα του βιοκλιματικού σχεδιασμού για μεγάλα ανοίγματα στον Νότιο και Ανατολικό προσανατολισμό. Αυτό εξασφαλίζει στην παρουσία περισσότερου φυσικού φωτός τις πρωινές ώρες από ότι τις απογευματινές. Επιπλέον συμβάλλει στην παρουσία περισσότερου άμεσου ηλιακού κατά τους χειμερινούς μήνες που είναι επιθυμητά θερμικά κέρδη και λιγότερου άμεσου ηλιακού φωτός τους θερινούς μήνες όπου τα θερμικά κέρδη είναι ανεπιθύμητα. Αυτό συμβαίνει γιατί η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο, για περιοχές με γεωγραφικό πλάτος αντίστοιχο με αυτό της Αθήνας, είναι ψηλότερη κατά τους θερινούς μήνες συνεπώς η διεύθυνση πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός στην όψη του κτιρίου προσεγγίζει περισσότερο την κατακόρυφο και το άμεσο ηλιακό φως μπορεί να αποκλείεται από το χώρο μέσω των εξωστών που λειτουργούν ως οριζόντια σκίαστρα.

Αριθμός επιφανειών με επαρκείς τιμές ανά δείκτη						
Θάλαμος	Επιφάνειες	DA	cDA	UDI	DSP	U _o
6κλ -N	13	11	13	12	9	12
6κλ - NA	13	11	13	13	8	11
3κλ - N/ΝΔ	7	5	7	7	4	6
3κλ - N	7	5	7	7	4	6
3κλ - NA	7	5	7	7	3	5
2κλ - N/ΝΔ	5	5	5	5	4	4
2κλ - N	5	5	5	5	3	4
2κλ - NA	5	5	5	5	3	3
1κλ/σουίτα - N/ΝΔ	3	3	3	3	3	2
1κλ/σουίτα - NA	3	3	3	3	2	1
1κλ/μικρός - Β	3	0	3	3	0	2
1κλ/μικρός - ΒΔ	3	1	3	3	0	1
ΣΥΝΟΛΟ	74	59	74	73	43	57
ΠΟΣΟΣΤΟ		79,73%	100,00%	98,65%	58,11%	77,03%

Πίνακας 4.25 – Αριθμός επιφανειών με επαρκείς τιμές ανά θάλαμο και ανά δείκτη.

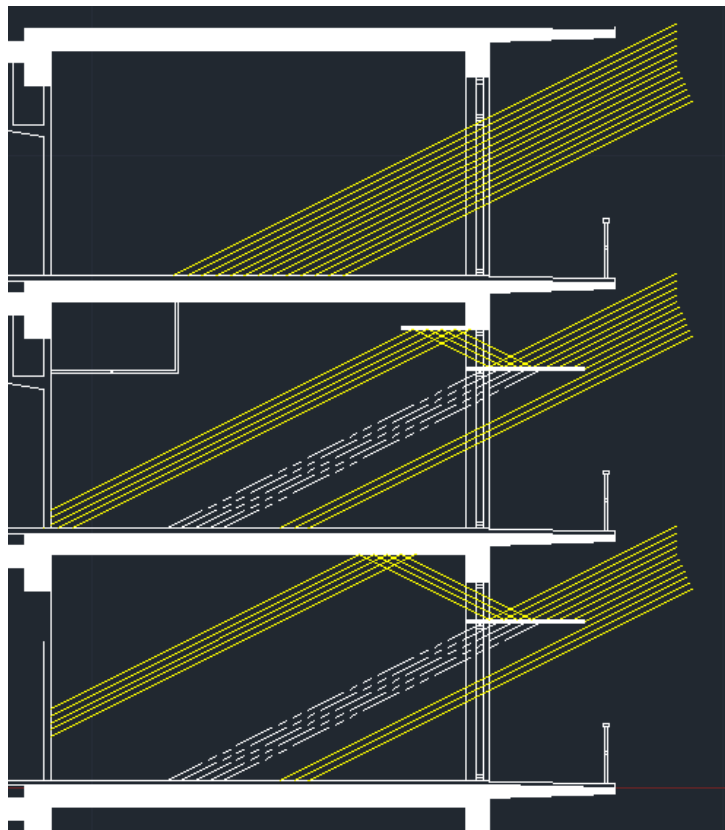
Έχει ενδιαφέρον να αναφερθεί ότι τα λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα προκύπτουν για τους δύο μικρούς θαλάμους που βρίσκονται στη πίσω όψη του κτιρίου και διαμορφώθηκαν κατά παρέκκλιση του αρχικού σχεδιασμού λόγω των αυξημένων αναγκών. Σε αυτούς τους θαλάμους εντοπίζεται η μικρότερη παρουσία του φυσικού φωτός. Χαρακτηριστικό είναι ότι, μελετώντας κανείς τις τιμές στους αναλυτικούς πίνακες για τις επιφάνειες των θαλάμων αυτών, παρατηρεί ότι η μεγαλύτερη έλλειψη φυσικού φωτός παρατηρείται υπό συνθήκες καθαρού και όχι νεφοσκεπούς ουρανού. Ο λανθασμένος προσανατολισμός αποκλείει την παρουσία φυσικού φωτός υπό καθαρό ουρανό. Υπό νεφοσκεπή ουρανό, η διάχυση του φωτός στον ουράνιο θόλο είναι πιο έντονη με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει σε τόσο μεγάλο βαθμό. Ωστόσο σε μια πόλη όπως η Αθήνα που το 58% των ημερών του έτους ο ουρανός είναι καθαρός, ο προσανατολισμός είναι προφανές ότι παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.



Πίνακας 4.26 – Αριθμός επιφανειών με επαρκείς τιμές ανά δείκτη.

Από τους πίνακες 4.25 και 4.26 φαίνεται ότι οι δείκτες cDA και UDI ικανοποιούνται για το 100% και 98,5% των επιφανειών αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί καθώς στους συγκεκριμένους δείκτες συμβάλουν τιμές φωτισμού που ξεκινούν από πολύ χαμηλά συνυπολογίζοντας την επιμέρους συμβολή του φυσικού φωτός στην κάλυψη των συνολικών αναγκών. Οι δείκτες που έχουν μικρότερο ποσοστό είναι οι δείκτες DA, DSP και Uo. Μελετώντας τα αποτελέσματα των δεικτών DA και DSP ανά θάλαμο και ανά επιφάνεια παρατηρείται ότι για την συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων μη ικανοποίησης των δεικτών αυτών ευθύνεται η μειωμένη παρουσία φυσικού φωτός στο βάθος των δωματίων. Με ανάλογο τρόπο διαπιστώνεται για το λόγο ομοιομορφίας Uo ότι η μη ικανοποίηση του αφορά στην πλειοψηφία των βασικών επιφανειών και σε μερικές επιφάνειες εξωτερικών κρεβατιών. Αυτό οφείλεται στην συχνή παρουσία άμεσου ηλιακού φωτός στις περιοχές κοντά στα ανοίγματα των θαλάμων.

Από την ίδια την αντίθεση που δημιουργεί τα δύο ξεχωριστά προβλήματα μπορεί να προκύψει και η λύση των προβλημάτων αυτών. Με μία κατάλληλη διάταξη που θα αναδιανέμει το υπερβολικό φυσικό φως της περιοχής κοντά στα ανοίγματα προς το βάθος των θαλάμων, επιτυγχάνεται τόσο η ανακούφιση της εξωτερικής περιοχής όσο και η ενίσχυση της παρουσία του φωτός στο βάθος. Θα μπορούσε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο τοποθέτησης ηλιακών ραφιών για να επιτευχθεί αυτή η ανακατανομή.



Εικόνα 4.27 – Ηλιακό ράφι για ανακατανομή φυσικού φωτός σε τομή.

Στην εικόνα 4.27 αποδίδεται σχηματικά σε τομή του τυπικού θαλάμου η ανακατανομή που θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση αυτής της διάταξης. Το παράδειγμα αναφέρεται στους χειμερινούς μήνες κατά τους οποίους η γωνία πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός προσεγγίζει τις 30° .

Τα ακριβή χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να εξετασθούν καθώς αποτελεί πρόκληση ο σχεδιασμός της κατάλληλης διάταξης που θα προσαρμόζεται στη διαφοροποίηση της θέσης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον οι επιπτώσεις που θα είχε μια τέτοια λύση στην συνολική παθητική ηλιακή συμπεριφορά και κατά συνέπεια στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου θα πρέπει να διερευνηθούν. Τέλος θα πρέπει να αναλυθεί και η οικονομική απόδοση μιας τέτοιας παρέμβασης συγκρίνοντας τα πιθανά οικονομικά κέρδη με το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος ηλιακών ραφιών.

Ωστόσο σε γενικές γραμμές αποτελεί μια πρόταση που θα μπορούσε να δώσει λύση χρησιμοποιώντας ουσιαστικά το ένα πρόβλημα για να λύσει το άλλο. Θα ήταν σαφώς προτιμότερη από τον συνδυασμό επιπρόσθετων σκιάστρων για τις εξωτερικές,

υπερβολικά φωτιζόμενες περιοχές και τεχνητού φωτισμού για τις εσωτερικές ελλιπώς φωτιζόμενες περιοχές του θαλάμου.

4.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.greekarchitects.gr> –Σύγχρονα προγράμματα μελέτης φωτισμού με υπολογιστή – Κοντορήγας Δ. Θεόδωρος.
2. 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
3. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory
4. Application of the CIE test cases to assess the accuracy of lighting computer programs, IEA SHC TASK 31 / IEA ECBCS ANNEX 29 : DaylightingBuildings in the 21st Century, April 2005
5. Pre-versus post-occupancy evaluation of daylight quality in hospitals, HussainAzoubi, Sana'a Al-Rqaibat&Rula F. Bataineh, Building and Environment 45 (2010) : 2652-2665
6. CIE-TC-3-33, Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs. First draft. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienne, 2044, 107 p.
7. <http://flashlight.gr/%CE%86%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-m12/%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF-%CE%B3%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%AF%CE%B1-s37/RELUX-vs-DIALUX-id752>
8. <http://www.floorexpert.com/armstrong/fpoxpert.nsf/e65e17af3c811a5485256eba00710746/05256aa9005707be85256d74006c77ae?OpenDocument>
9. <http://www.currentresults.com/Weather/Greece/annual-average-sunshine.php>
10. Hannaford B. The Society of Light andLighting2002CodeforLighting, Lighting Research and Technology 2002; 34:348–9.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

Αποτελέσματα τυπικού εξάκλινου θαλάμου Νότιου προσανατολισμού

4ος όροφος-6κλινος θάλαμος-νότιος
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	1160	434	2420	5,58	
	12:00	2010	808	3710	4,59	
	15:00	1670	763	3310	4,34	
21-Ιουν	9:00	716	309	1370	4,43	
	12:00	1320	547	2390	4,37	
	15:00	1310	579	2380	4,11	
21-Σεπ	9:00	828	321	1850	5,76	
	12:00	1870	715	3520	4,92	
	15:00	1820	809	3480	4,30	
21-Δεκ	9:00	3610	504	10500	20,83	
	12:00	14000	1070	25300	23,64	
	15:00	8720	770	17700	22,99	
					9,16	Μέσος U _o

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	717	547	785	1,44	
	12:00	1110	790	1290	1,63	
	15:00	817	547	995	1,82	
21-Ιουν	9:00	431	321	474	1,48	
	12:00	755	536	866	1,62	
	15:00	711	489	838	1,71	
21-Σεπ	9:00	495	382	537	1,41	
	12:00	1070	775	1210	1,56	
	15:00	907	610	1100	1,80	
21-Δεκ	9:00	5040	1300	10300	7,92	
	12:00	1480	1090	1650	1,51	
	15:00	816	550	1000	1,82	
					2,14	Μέσος U _o

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	973	881	1060	1,20	
	12:00	1320	1210	1430	1,18	
	15:00	963	872	1040	1,19	
21-Ιουν	9:00	570	525	609	1,16	
	12:00	912	837	981	1,17	
	15:00	833	764	895	1,17	
21-Σεπ	9:00	695	629	755	1,20	
	12:00	1310	1190	1410	1,18	
	15:00	1050	958	1140	1,19	
21-Δεκ	9:00	15100	1820	17300	9,51	
	12:00	1820	1680	1990	1,18	
	15:00	1320	1180	1450	1,23	
					1,88	Μέσος U _o

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1080	776	1270	1,64	
	12:00	1720	1120	2140	1,91	
	15:00	1260	751	1710	2,28	
21-Ιουν	9:00	616	422	746	1,77	
	12:00	1130	738	1410	1,91	
	15:00	1080	668	1400	2,10	
21-Σεπ	9:00	748	536	881	1,64	
	12:00	1630	1100	1990	1,81	
	15:00	1400	837	1900	2,27	
21-Δεκ	9:00	6720	1540	9120	5,92	
	12:00	23600	22800	24500	1,07	
	15:00	1140	680	1650	2,43	
					2,23	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1510	1300	1760	1,35	
	12:00	2000	1660	2400	1,45	
	15:00	1430	1190	1710	1,44	
21-Ιουν	9:00	835	716	980	1,37	
	12:00	1350	1130	1600	1,42	
	15:00	1220	1020	1450	1,42	
21-Σεπ	9:00	1090	937	1280	1,37	
	12:00	1980	1650	2360	1,43	
	15:00	1570	1300	1890	1,45	
21-Δεκ	9:00	9490	2220	17000	7,66	
	12:00	18600	2220	25900	11,67	
	15:00	1740	1500	2030	1,35	
					2,78	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1970	1410	2520	1,79	
	12:00	3220	2020	4100	2,03	
	15:00	2410	1310	3620	2,76	
21-Ιουν	9:00	1100	751	1350	1,80	
	12:00	2040	1350	2580	1,91	
	15:00	1970	1200	2640	2,20	
21-Σεπ	9:00	1400	986	1800	1,83	
	12:00	3050	2020	3820	1,89	
	15:00	2700	1470	3800	2,59	
21-Δεκ	9:00	8120	2670	11900	4,46	
	12:00	24100	2300	25600	11,13	
	15:00	7120	1030	14800	14,37	
					4,06	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	2720	2260	3310		1,46
	12:00	3630	3000	4410		1,47
	15:00	2560	2130	3140		1,47
21-Ιουν	9:00	1480	1250	1770		1,42
	12:00	2420	2050	2870		1,40
	15:00	2150	1830	2560		1,40
21-Σεπ	9:00	2000	1670	2430		1,46
	12:00	3620	3020	4370		1,45
	15:00	2820	2340	3480		1,49
21-Δεκ	9:00	18700	17700	19400		1,10
	12:00	26800	26300	27600		1,05
	15:00	2610	2180	3150		1,44
					1,38	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επιπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1620	908	2660		2,93
	12:00	2990	1710	4060		2,37
	15:00	2720	1890	3400		1,80
21-Ιουν	9:00	1060	662	1550		2,34
	12:00	1910	1170	2670		2,28
	15:00	1990	1320	2520		1,91
21-Σεπ	9:00	1240	709	2040		2,88
	12:00	2730	1510	3910		2,59
	15:00	2940	1970	3630		1,84
21-Δεκ	9:00	2380	754	7630		10,12
	12:00	20700	1860	25500		13,71
	15:00	16500	3210	19500		6,07
					4,24	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1840	1540	2220		1,44
	12:00	3130	2600	3800		1,46
	15:00	3430	2890	4070		1,41
21-Ιουν	9:00	1230	1060	1430		1,35
	12:00	2080	1780	2410		1,35
	15:00	2340	2000	2720		1,36
21-Σεπ	9:00	1530	1270	1860		1,46
	12:00	2830	2350	3430		1,46
	15:00	3500	2930	4170		1,42
21-Δεκ	9:00	1910	1630	2250		1,38
	12:00	12200	3050	21600		7,08
	15:00	26700	25800	27400		1,06
					1,85	Μέσος Uo

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	900	526	1190	2,26	
	12:00	1700	1000	2190	2,19	
	15:00	1570	1070	1810	1,69	
21-Ιουν	9:00	619	384	771	2,01	
	12:00	1130	666	1430	2,15	
	15:00	1180	740	1420	1,92	
21-Σεπ	9:00	666	403	850	2,11	
	12:00	1530	878	2030	2,31	
	15:00	1680	1110	1970	1,77	
21-Δεκ	9:00	873	533	1200	2,25	
	12:00	17500	1230	23800	19,35	
	15:00	9320	2580	18700	7,25	
					3,94	Μέσος Uo

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1080	932	1250	1,34	
	12:00	1900	1620	2200	1,36	
	15:00	2010	1760	2280	1,30	
21-Ιουν	9:00	753	653	862	1,32	
	12:00	1270	1100	1460	1,33	
	15:00	1400	1230	1600	1,30	
21-Σεπ	9:00	860	737	996	1,35	
	12:00	1700	1450	1970	1,36	
	15:00	2050	1780	2360	1,33	
21-Δεκ	9:00	1370	1210	1540	1,27	
	12:00	7680	2120	20100	9,48	
	15:00	18600	2780	26300	9,46	
					2,68	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	538	378	675	1,79	
	12:00	1010	712	1270	1,78	
	15:00	956	743	1100	1,48	
21-Ιουν	9:00	378	287	449	1,56	
	12:00	680	482	838	1,74	
	15:00	719	529	856	1,62	
21-Σεπ	9:00	396	288	477	1,66	
	12:00	906	629	1160	1,84	
	15:00	1010	768	1180	1,54	
21-Δεκ	9:00	604	429	769	1,79	
	12:00	1290	912	1600	1,75	
	15:00	10400	953	13400	14,06	
					2,72	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	675	605	750	1,24	
	12:00	1180	1060	1320	1,25	
	15:00	1250	1140	1390	1,22	
21-Ιουν	9:00	486	444	534	1,20	
	12:00	807	726	899	1,24	
	15:00	884	800	986	1,23	
21-Σεπ	9:00	527	475	583	1,23	
	12:00	1060	947	1180	1,25	
	15:00	1270	1150	1410	1,23	
21-Δεκ	9:00	1020	913	1150	1,26	
	12:00	1600	1410	1860	1,32	
	15:00	10100	1480	23000	15,54	
					2,43	Μέσος Uo

4ος όροφος-δκλινος θάλαμος-νότιος
Νεφροσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	E _{max}	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	382	133	853	6,41
	12:00	627	219	1400	6,39
	15:00	510	178	1140	6,40
21-Ιουν	9:00	431	151	963	6,38
	12:00	738	258	1650	6,40
	15:00	733	256	1640	6,41
21-Σεπ	9:00	281	98	628	6,41
	12:00	604	211	1350	6,40
	15:00	581	203	1300	6,40
21-Δεκ	9:00	180	63	403	6,40
	12:00	389	136	869	6,39
	15:00	263	92	587	6,38
Μέσος Uo					6,40

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	181	139	201	1,45	
	12:00	298	230	331	1,44	
	15:00	242	187	269	1,44	
21-Ιουν	9:00	205	157	227	1,45	
	12:00	351	270	390	1,44	
	15:00	349	269	387	1,44	
21-Σεπ	9:00	133	101	148	1,47	
	12:00	287	221	319	1,44	
	15:00	276	213	307	1,44	
21-Δεκ	9:00	85	64	95	1,48	
	12:00	185	141	205	1,45	
	15:00	125	95	139	1,46	
					1,45	Μέσος Uo

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	226	210	252	1,20	
	12:00	372	345	415	1,20	
	15:00	303	281	337	1,20	
21-Ιουν	9:00	256	237	285	1,20	
	12:00	438	406	488	1,20	
	15:00	435	404	485	1,20	
21-Σεπ	9:00	167	155	186	1,20	
	12:00	358	332	399	1,20	
	15:00	345	320	384	1,20	
21-Δεκ	9:00	106	97	119	1,23	
	12:00	231	214	257	1,20	
	15:00	156	144	174	1,21	
					1,20	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	297	194	384	1,98	
	12:00	489	321	631	1,97	
	15:00	398	260	513	1,97	
21-Ιουν	9:00	336	220	433	1,97	
	12:00	575	377	742	1,97	
	15:00	571	375	737	1,97	
21-Σεπ	9:00	219	143	283	1,98	
	12:00	470	308	607	1,97	
	15:00	453	297	584	1,97	
21-Δεκ	9:00	140	92	181	1,97	
	12:00	303	198	391	1,97	
	15:00	205	134	264	1,97	
					1,97	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	343	280	427	1,53	
	12:00	564	461	702	1,52	
	15:00	459	375	571	1,52	
21-Ιουν	9:00	388	317	483	1,52	
	12:00	664	542	826	1,52	
	15:00	660	539	821	1,52	
21-Σεπ	9:00	253	206	315	1,53	
	12:00	543	443	676	1,53	
	15:00	523	427	651	1,52	
21-Δεκ	9:00	162	132	202	1,53	
	12:00	350	286	435	1,52	
	15:00	236	193	294	1,52	
					1,52	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	675	372	960	2,58	
	12:00	1110	614	1580	2,57	
	15:00	903	499	1280	2,57	
21-Ιουν	9:00	763	421	1080	2,57	
	12:00	1310	723	1850	2,56	
	15:00	1300	718	1840	2,56	
21-Σεπ	9:00	497	274	707	2,58	
	12:00	1070	590	1520	2,58	
	15:00	1030	569	1460	2,57	
21-Δεκ	9:00	318	174	453	2,60	
	12:00	688	379	978	2,58	
	15:00	464	256	660	2,58	
					2,57	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	701	544	935	1,72	
	12:00	1150	894	1540	1,72	
	15:00	938	728	1250	1,72	
21-Ιουν	9:00	792	615	1060	1,72	
	12:00	1360	1050	1810	1,72	
	15:00	1350	1050	1800	1,71	
21-Σεπ	9:00	517	401	689	1,72	
	12:00	1110	861	1480	1,72	
	15:00	1070	829	1420	1,71	
21-Δεκ	9:00	332	256	442	1,73	
	12:00	715	555	953	1,72	
	15:00	483	374	644	1,72	
					1,72	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	667	374	950	2,54	
	12:00	1100	617	1560	2,53	
	15:00	892	501	1270	2,53	
21-Ιουν	9:00	753	423	1070	2,53	
	12:00	1290	727	1840	2,53	
	15:00	1280	722	1820	2,52	
21-Σεπ	9:00	491	276	700	2,54	
	12:00	1060	593	1500	2,53	
	15:00	1020	571	1450	2,54	
21-Δεκ	9:00	315	176	449	2,55	
	12:00	680	382	968	2,53	
	15:00	459	258	654	2,53	
					2,53	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	689	531	907	1,71	
	12:00	1130	872	1490	1,71	
	15:00	921	709	1210	1,71	
21-Ιουν	9:00	778	599	1020	1,70	
	12:00	1330	1030	1750	1,70	
	15:00	1320	1020	1740	1,71	
21-Σεπ	9:00	508	391	668	1,71	
	12:00	1090	839	1430	1,70	
	15:00	1050	808	1380	1,71	
21-Δεκ	9:00	326	250	429	1,72	
	12:00	702	541	924	1,71	
	15:00	474	365	624	1,71	
					1,71	Μέσος Uo

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	311	198	391	1,97	
	12:00	512	326	643	1,97	
	15:00	416	265	523	1,97	
21-Ιουν	9:00	352	224	442	1,97	
	12:00	602	383	757	1,98	
	15:00	598	381	752	1,97	
21-Σεπ	9:00	229	145	288	1,99	
	12:00	492	313	619	1,98	
	15:00	474	302	596	1,97	
21-Δεκ	9:00	147	93	185	1,99	
	12:00	317	201	399	1,99	
	15:00	214	136	269	1,98	
					1,98	Μέσος Uo

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	358	288	439	1,52	
	12:00	588	473	721	1,52	
	15:00	478	385	586	1,52	
21-Ιουν	9:00	404	325	496	1,53	
	12:00	692	558	849	1,52	
	15:00	687	554	843	1,52	
21-Σεπ	9:00	263	212	323	1,52	
	12:00	565	456	694	1,52	
	15:00	544	439	668	1,52	
21-Δεκ	9:00	169	136	207	1,52	
	12:00	364	294	447	1,52	
	15:00	246	198	302	1,53	
					1,52	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	172	130	209	1,61	
	12:00	283	217	344	1,59	
	15:00	230	176	279	1,59	
21-Ιουν	9:00	194	148	236	1,59	
	12:00	333	255	405	1,59	
	15:00	331	253	402	1,59	
21-Σεπ	9:00	126	95	154	1,62	
	12:00	272	209	331	1,58	
	15:00	262	201	319	1,59	
21-Δεκ	9:00	81	61	99	1,62	
	12:00	175	133	213	1,60	
	15:00	118	89	144	1,62	
					1,60	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	213	188	244	1,30	
	12:00	349	308	400	1,30	
	15:00	284	251	326	1,30	
21-Ιουν	9:00	240	212	275	1,30	
	12:00	411	363	471	1,30	
	15:00	408	360	468	1,30	
21-Σεπ	9:00	157	139	180	1,29	
	12:00	336	296	385	1,30	
	15:00	324	285	371	1,30	
21-Δεκ	9:00	101	89	116	1,30	
	12:00	217	191	248	1,30	
	15:00	147	129	168	1,30	
					1,30	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού εξάκλινου θαλάμου Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

4ος όροφος-6κλινος θάλαμος-NA
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	10800	836	25900	30,98	
	12:00	1960	856	3630	4,24	
	15:00	838	383	1560	4,07	
21-Ιουν	9:00	1490	531	3100	5,84	
	12:00	1690	709	3020	4,26	
	15:00	892	401	1600	3,99	
21-Σεπ	9:00	8520	660	19000	28,79	
	12:00	2230	942	4100	4,35	
	15:00	1090	496	2010	4,05	
21-Δεκ	9:00	6270	1330	9240	6,95	
	12:00	8690	891	26700	29,97	
	15:00	746	319	1760	5,52	
					11,08	Μέσος Uo

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1390	1070	1520	1,42	
	12:00	1010	682	1230	1,80	
	15:00	465	334	528	1,58	
21-Ιουν	9:00	909	696	997	1,43	
	12:00	947	660	1110	1,68	
	15:00	511	365	581	1,59	
21-Σεπ	9:00	10700	1040	14700	14,13	
	12:00	1170	799	1400	1,75	
	15:00	580	404	678	1,68	
21-Δεκ	9:00	9300	7570	11500	1,52	
	12:00	936	625	1140	1,82	
	15:00	381	272	432	1,59	
					2,67	Μέσος Uo

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1800	1660	1960	1,18	
	12:00	1160	1060	1260	1,19	
	15:00	575	535	610	1,14	
21-Ιουν	9:00	1220	1110	1320	1,19	
	12:00	1110	1020	1200	1,18	
	15:00	624	586	660	1,13	
21-Σεπ	9:00	4040	1640	24000	14,63	
	12:00	1360	1240	1470	1,19	
	15:00	695	645	743	1,15	
21-Δεκ	9:00	11200	9840	13100	1,33	
	12:00	1240	1110	1380	1,24	
	15:00	492	451	531	1,18	
					2,31	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	11700	1480	24100	16,28	
	12:00	1570	952	2090	2,20	
	15:00	678	437	869	1,99	
21-Ιουν	9:00	1370	979	1620	1,65	
	12:00	1450	922	1820	1,97	
	15:00	743	479	942	1,97	
21-Σεπ	9:00	10200	2350	19800	8,43	
	12:00	1820	1120	2380	2,13	
	15:00	864	540	1130	2,09	
21-Δεκ	9:00	7280	6900	7760	1,12	
	12:00	1400	823	1960	2,38	
	15:00	586	370	748	2,02	
					3,69	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	10800	2210	30500	13,80	
	12:00	1740	1450	2100	1,45	
	15:00	814	696	961	1,38	
21-Ιουν	9:00	1860	1590	2190	1,38	
	12:00	1650	1390	1980	1,42	
	15:00	882	754	1050	1,39	
21-Σεπ	9:00	22300	2610	27000	10,34	
	12:00	2050	1700	2480	1,46	
	15:00	997	845	1190	1,41	
21-Δεκ	9:00	8980	8910	9090	1,02	
	12:00	1750	1480	2110	1,43	
	15:00	749	631	895	1,42	
					3,16	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	25600	24000	27600	1,15	
	12:00	2940	1660	3990	2,40	
	15:00	1240	750	1730	2,31	
21-Ιουν	9:00	2590	1810	3400	1,88	
	12:00	2620	1670	3340	2,00	
	15:00	1340	831	1790	2,15	
21-Σεπ	9:00	18000	3320	20800	6,27	
	12:00	3420	1960	4520	2,31	
	15:00	1580	947	2210	2,33	
21-Δεκ	9:00	6860	1090	7580	6,95	
	12:00	12000	1370	25400	18,54	
	15:00	1210	683	1980	2,90	
					4,27	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	32600	31800	33200	1,04	
	12:00	3090	2580	3770	1,46	
	15:00	1400	1190	1650	1,39	
21-Ιουν	9:00	3420	2860	4190	1,47	
	12:00	2950	2490	3520	1,41	
	15:00	1520	1300	1800	1,38	
21-Σεπ	9:00	27800	26900	28500	1,06	
	12:00	3630	2990	4470	1,49	
	15:00	1730	1480	2060	1,39	
21-Δεκ	9:00	8580	2080	9290	4,47	
	12:00	3040	2510	3710	1,48	
	15:00	1480	1220	1840	1,51	
					1,63	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επιπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	15400	1540	25000	16,23	
	12:00	3090	2010	3850	1,92	
	15:00	1280	885	1570	1,77	
21-Ιουν	9:00	2970	1110	27800	25,05	
	12:00	2500	1540	3340	2,17	
	15:00	1340	876	1740	1,99	
21-Σεπ	9:00	8300	1070	16400	15,33	
	12:00	3470	2120	4430	2,09	
	15:00	1690	1170	2040	1,74	
21-Δεκ	9:00	5910	887	7400	8,34	
	12:00	25000	2870	28900	10,07	
	15:00	1410	859	12900	15,02	
					8,48	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	3240	2670	3930	1,47	
	12:00	3530	2960	4180	1,41	
	15:00	1690	1440	1980	1,38	
21-Ιουν	9:00	2250	1870	2720	1,45	
	12:00	2680	2270	3140	1,38	
	15:00	1620	1380	1880	1,36	
21-Σεπ	9:00	2630	2210	3140	1,42	
	12:00	3780	3130	4550	1,45	
	15:00	2140	1820	2510	1,38	
21-Δεκ	9:00	4110	1700	6580	3,87	
	12:00	35900	35000	36900	1,05	
	15:00	1740	1470	2070	1,41	
					1,59	Μέσος Uo

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	8080	934	23000	24,63	
	12:00	1780	1140	2140	1,88	
	15:00	764	507	896	1,77	
21-Ιουν	9:00	1120	641	1530	2,39	
	12:00	1470	869	1850	2,13	
	15:00	791	499	955	1,91	
21-Σεπ	9:00	1720	699	14700	21,03	
	12:00	1970	1230	2440	1,98	
	15:00	1010	661	1180	1,79	
21-Δεκ	9:00	5390	698	6600	9,46	
	12:00	1960	1330	2470	1,86	
	15:00	689	483	797	1,65	
					6,04	Μέσος Uo

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	2130	1780	2510	1,41	
	12:00	2090	1800	2410	1,34	
	15:00	1010	890	1140	1,28	
21-Ιουν	9:00	1340	1140	1560	1,37	
	12:00	1640	1410	1880	1,33	
	15:00	973	851	1110	1,30	
21-Σεπ	9:00	1840	1600	2100	1,31	
	12:00	2270	1930	2640	1,37	
	15:00	1270	1120	1440	1,29	
21-Δεκ	9:00	3680	1390	5990	4,31	
	12:00	2460	2130	2860	1,34	
	15:00	997	874	1130	1,29	
					1,58	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1030	712	1360	1,91	
	12:00	1070	787	1280	1,63	
	15:00	476	368	544	1,48	
21-Ιουν	9:00	665	462	851	1,84	
	12:00	887	624	1100	1,76	
	15:00	492	370	577	1,56	
21-Σεπ	9:00	800	559	1060	1,90	
	12:00	1170	851	1430	1,68	
	15:00	618	469	716	1,53	
21-Δεκ	9:00	5220	673	6350	9,44	
	12:00	1160	933	1320	1,41	
	15:00	414	334	479	1,43	
					2,30	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	1350	1190	1550	1,30
	12:00	1300	1170	1440	1,23
	15:00	634	579	704	1,22
21-Ιουν	9:00	826	737	924	1,25
	12:00	1040	928	1160	1,25
	15:00	624	568	691	1,22
21-Σεπ	9:00	1340	1200	1480	1,23
	12:00	1400	1250	1560	1,25
	15:00	798	724	889	1,23
21-Δεκ	9:00	3550	1310	5820	4,44
	12:00	1570	1430	1750	1,22
	15:00	601	541	667	1,23
					Μέσος Uo
					1,51

4ος όροφος-θκλινος θάλαμος-NA
Νεφροσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	381	133	850	6,39
	12:00	626	219	1400	6,39
	15:00	509	178	1140	6,40
21-Ιουν	9:00	430	150	960	6,40
	12:00	737	258	1640	6,36
	15:00	732	256	1630	6,37
21-Σεπ	9:00	280	98	626	6,39
	12:00	602	211	1340	6,35
	15:00	580	203	1290	6,35
21-Δεκ	9:00	180	631	402	0,64
	12:00	388	136	866	6,37
	15:00	262	92	585	6,36
					Μέσος Uo
					5,90

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	181	139	201	1,45
	12:00	299	230	331	1,44
	15:00	243	187	269	1,44
21-Ιουν	9:00	205	158	227	1,44
	12:00	351	271	390	1,44
	15:00	349	269	387	1,44
21-Σεπ	9:00	133	101	148	1,47
	12:00	287	221	319	1,44
	15:00	277	213	307	1,44
21-Δεκ	9:00	86	64	95	1,48
	12:00	185	142	205	1,44
	15:00	124	95	139	1,46
					Μέσος Uo
					1,45

Αριστερά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	227	210	252	1,20	
	12:00	373	346	414	1,20	
	15:00	303	281	337	1,20	
21-Ιουν	9:00	256	238	285	1,20	
	12:00	439	407	488	1,20	
	15:00	436	405	485	1,20	
21-Σεπ	9:00	167	155	186	1,20	
	12:00	359	333	399	1,20	
	15:00	345	321	384	1,20	
21-Δεκ	9:00	106	98	119	1,21	
	12:00	231	214	257	1,20	
	15:00	156	145	174	1,20	
					1,20	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	297	195	383	1,96	
	12:00	489	321	629	1,96	
	15:00	397	261	512	1,96	
21-Ιουν	9:00	336	220	432	1,96	
	12:00	575	378	740	1,96	
	15:00	571	376	735	1,95	
21-Σεπ	9:00	219	143	282	1,97	
	12:00	470	309	606	1,96	
	15:00	453	297	583	1,96	
21-Δεκ	9:00	140	92	181	1,97	
	12:00	303	199	390	1,96	
	15:00	204	134	263	1,96	
					1,96	Μέσος Uo

Αριστερά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	343	281	428	1,52	
	12:00	564	462	703	1,52	
	15:00	459	376	572	1,52	
21-Ιουν	9:00	388	317	483	1,52	
	12:00	664	544	828	1,52	
	15:00	660	540	822	1,52	
21-Σεπ	9:00	253	207	315	1,52	
	12:00	543	445	677	1,52	
	15:00	523	428	652	1,52	
21-Δεκ	9:00	162	133	202	1,52	
	12:00	350	286	436	1,52	
	15:00	236	193	295	1,53	
					1,52	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	674	372	959	2,58	
	12:00	1110	614	1570	2,56	
	15:00	901	498	1280	2,57	
21-Ιουν	9:00	762	421	1080	2,57	
	12:00	1310	723	1850	2,56	
	15:00	1300	718	1840	2,56	
21-Σεπ	9:00	497	274	706	2,58	
	12:00	1070	590	1520	2,58	
	15:00	1030	568	1460	2,57	
21-Δεκ	9:00	318	174	453	2,60	
	12:00	687	379	977	2,58	
	15:00	464	256	660	2,58	
					2,57	Μέσος Uo

Αριστερά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	700	543	933	1,72	
	12:00	1150	893	1530	1,71	
	15:00	935	726	1250	1,72	
21-Ιουν	9:00	790	613	1050	1,71	
	12:00	1350	1050	1800	1,71	
	15:00	1340	1040	1790	1,72	
21-Σεπ	9:00	516	400	687	1,72	
	12:00	1110	859	1470	1,71	
	15:00	1070	827	1420	1,72	
21-Δεκ	9:00	331	255	441	1,73	
	12:00	713	553	951	1,72	
	15:00	482	374	642	1,72	
					1,72	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	665	373	947	2,54	
	12:00	1090	614	1560	2,54	
	15:00	888	499	1270	2,55	
21-Ιουν	9:00	751	421	1070	2,54	
	12:00	1290	723	1830	2,53	
	15:00	1280	718	1820	2,53	
21-Σεπ	9:00	489	274	698	2,55	
	12:00	1050	591	1500	2,54	
	15:00	1010	569	1440	2,53	
21-Δεκ	9:00	314	175	448	2,56	
	12:00	677	380	966	2,54	
	15:00	457	256	652	2,55	
					2,54	Μέσος Uo

Δεξιά εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U ₀ (max/min)	
21-Μαρ	9:00	685	527	900	1,71	
	12:00	1130	867	1480	1,71	
	15:00	915	705	1200	1,70	
21-Ιουν	9:00	773	595	1020	1,71	
	12:00	1320	1020	1740	1,71	
	15:00	1320	1010	1730	1,71	
21-Σεπ	9:00	504	388	663	1,71	
	12:00	1080	834	1420	1,70	
	15:00	1040	803	1370	1,71	
21-Δεκ	9:00	324	248	426	1,72	
	12:00	698	537	917	1,71	
	15:00	471	363	620	1,71	
					1,71	Μέσος U ₀

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U ₀ (max/min)	
21-Μαρ	9:00	310	197	390	1,98	
	12:00	510	324	641	1,98	
	15:00	414	264	521	1,97	
21-Ιουν	9:00	350	223	440	1,97	
	12:00	600	382	754	1,97	
	15:00	596	379	749	1,98	
21-Σεπ	9:00	228	145	287	1,98	
	12:00	491	312	617	1,98	
	15:00	472	301	594	1,97	
21-Δεκ	9:00	146	92	184	2,00	
	12:00	316	201	397	1,98	
	15:00	213	135	268	1,99	
					1,98	Μέσος U ₀

Δεξιά μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U ₀ (max/min)	
21-Μαρ	9:00	355	286	436	1,52	
	12:00	584	471	716	1,52	
	15:00	475	383	583	1,52	
21-Ιουν	9:00	401	324	492	1,52	
	12:00	688	555	843	1,52	
	15:00	683	551	837	1,52	
21-Σεπ	9:00	262	211	321	1,52	
	12:00	562	453	689	1,52	
	15:00	541	436	664	1,52	
21-Δεκ	9:00	168	135	206	1,53	
	12:00	362	292	444	1,52	
	15:00	245	197	300	1,52	
					1,52	Μέσος U ₀

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	171	130	209	1,61	
	12:00	283	216	343	1,59	
	15:00	229	175	279	1,59	
21-Ιουν	9:00	194	147	236	1,61	
	12:00	333	254	404	1,59	
	15:00	330	253	401	1,58	
21-Σεπ	9:00	126	95	154	1,62	
	12:00	272	208	330	1,59	
	15:00	262	200	318	1,59	
21-Δεκ	9:00	81	61	99	1,62	
	12:00	175	133	213	1,60	
	15:00	118	89	144	1,62	
					1,60	Μέσος Uo

Δεξιά εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	212	187	243	1,30	
	12:00	348	307	399	1,30	
	15:00	283	249	325	1,31	
21-Ιουν	9:00	239	211	274	1,30	
	12:00	410	361	470	1,30	
	15:00	407	359	467	1,30	
21-Σεπ	9:00	156	138	179	1,30	
	12:00	335	295	384	1,30	
	15:00	323	284	370	1,30	
21-Δεκ	9:00	100	88	115	1,31	
	12:00	216	190	248	1,31	
	15:00	146	129	167	1,29	
					1,30	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού τρίκλινου θαλάμου Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού

5ος Όροφος - 3κλινος θάλαμος-N-ΝΔ
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	809	257	2140	8,33	
	12:00	1690	500	4450	8,90	
	15:00	5010	462	38600	83,55	
21-Ιουν	9:00	584	208	1450	6,97	
	12:00	1000	329	2520	7,66	
	15:00	1650	522	3980	7,62	
21-Σεπ	9:00	559	188	1460	7,77	
	12:00	1490	441	3980	9,02	
	15:00	4330	512	44100	86,13	
21-Δεκ	9:00	1000	227	5090	22,42	
	12:00	9550	507	29300	57,79	
	15:00	9440	540	17600	32,59	
					28,23	Μέσος U _o

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	319	245	380	1,55	
	12:00	638	475	777	1,64	
	15:00	635	541	735	1,36	
21-Ιουν	9:00	251	208	288	1,38	
	12:00	402	311	474	1,52	
	15:00	680	530	802	1,51	
21-Σεπ	9:00	226	180	265	1,47	
	12:00	565	418	689	1,65	
	15:00	669	558	775	1,39	
21-Δεκ	9:00	287	232	340	1,47	
	12:00	636	462	798	1,73	
	15:00	8470	818	17900	21,88	
					3,21	Μέσος U _o

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	347	302	394	1,30	
	12:00	670	576	770	1,34	
	15:00	721	631	827	1,31	
21-Ιουν	9:00	281	249	314	1,26	
	12:00	428	375	482	1,29	
	15:00	714	614	816	1,33	
21-Σεπ	9:00	250	219	282	1,29	
	12:00	596	513	683	1,33	
	15:00	731	637	832	1,31	
21-Δεκ	9:00	367	311	433	1,39	
	12:00	878	732	1080	1,48	
	15:00	19400	18700	20500	1,10	
					1,31	Μέσος U _o

Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	649	470	825	1,76	
	12:00	1320	925	1720	1,86	
	15:00	1380	1090	1700	1,56	
21-Ιουν	9:00	492	389	588	1,51	
	12:00	809	603	999	1,66	
	15:00	1420	1090	1700	1,56	
21-Σεπ	9:00	453	341	565	1,66	
	12:00	1170	812	1520	1,87	
	15:00	1420	1120	1710	1,53	
21-Δεκ	9:00	675	483	926	1,92	
	12:00	3950	845	25700	30,41	
	15:00	14500	1640	18800	11,46	
					4,90	Μέσος Uo

Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	681	556	809	1,46	
	12:00	1340	1070	1610	1,50	
	15:00	1650	1350	1980	1,47	
21-Ιουν	9:00	544	448	641	1,43	
	12:00	832	682	987	1,45	
	15:00	1480	1180	1750	1,48	
21-Σεπ	9:00	489	400	582	1,46	
	12:00	1170	953	1400	1,47	
	15:00	1580	1280	1880	1,47	
21-Δεκ	9:00	858	658	1090	1,66	
	12:00	1830	1380	2290	1,66	
	15:00	21000	20200	21700	1,07	
					1,46	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1490	1020	2110	2,07	
	12:00	3190	1990	4480	2,25	
	15:00	31000	2870	42700	14,88	
21-Ιουν	9:00	1080	781	1450	1,86	
	12:00	1890	1300	2550	1,96	
	15:00	3240	2410	3950	1,64	
21-Σεπ	9:00	1040	731	1450	1,98	
	12:00	2790	1790	3980	2,22	
	15:00	14300	2480	44100	17,78	
21-Δεκ	9:00	1850	1040	3490	3,36	
	12:00	15500	1570	28400	18,09	
	15:00	16800	15200	19100	1,26	
					5,78	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	1560	1250	1930	1,54
	12:00	3130	2510	3920	1,56
	15:00	26700	3380	46000	13,61
21-Ιουν	9:00	1200	977	1460	1,49
	12:00	1930	1540	2410	1,56
	15:00	3500	2880	4240	1,47
21-Σεπ	9:00	1120	900	1390	1,54
	12:00	2680	2130	3380	1,59
	15:00	8060	3060	46200	15,10
21-Δεκ	9:00	2060	1600	2600	1,63
	12:00	3520	2800	4330	1,55
	15:00	21900	21400	22200	1,04
					Μέσος Uo
					3,64

5ος Όροφος - 3κλιος θάλαμος-N-ΝΔ
Νεφροσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	386	85	1210	14,24
	12:00	633	139	1980	14,24
	15:00	515	113	1610	14,25
21-Ιουν	9:00	435	96	1360	14,17
	12:00	745	164	2330	14,21
	15:00	740	162	2320	14,32
21-Σεπ	9:00	284	62	891	14,37
	12:00	609	134	1910	14,25
	15:00	587	129	1840	14,26
21-Δεκ	9:00	182	40	571	14,28
	12:00	393	86	1230	14,30
	15:00	266	58	832	14,34
Μέσος Uo					14,27

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	122	99	143	1,44
	12:00	201	162	235	1,45
	15:00	163	132	191	1,45
21-Ιουν	9:00	138	112	161	1,44
	12:00	236	190	276	1,45
	15:00	234	189	275	1,46
21-Σεπ	9:00	90	73	105	1,44
	12:00	193	156	226	1,45
	15:00	186	150	218	1,45
21-Δεκ	9:00	58	47	68	1,45
	12:00	124	101	146	1,45
	15:00	84	68	99	1,46
Μέσος Uo					1,45

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U ₀ (max/min)	
21-Μαρ	9:00	134	114	159	1,39	
	12:00	224	198	262	1,32	
	15:00	182	161	213	1,32	
21-Ιουν	9:00	152	129	179	1,39	
	12:00	264	233	308	1,32	
	15:00	262	232	306	1,32	
21-Σεπ	9:00	99	84	117	1,39	
	12:00	215	191	252	1,32	
	15:00	207	184	242	1,32	
21-Δεκ	9:00	62	54	74	1,37	
	12:00	137	116	162	1,40	
	15:00	92	78	109	1,40	
					1,36	Μέσος U ₀

Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U ₀ (max/min)	
21-Μαρ	9:00	286	209	358	1,71	
	12:00	469	338	588	1,74	
	15:00	381	279	478	1,71	
21-Ιουν	9:00	322	236	404	1,71	
	12:00	551	397	691	1,74	
	15:00	548	394	687	1,74	
21-Σεπ	9:00	211	154	264	1,71	
	12:00	451	326	565	1,73	
	15:00	434	314	544	1,73	
21-Δεκ	9:00	136	99	169	1,71	
	12:00	292	213	365	1,71	
	15:00	197	144	247	1,72	
					1,72	Μέσος U ₀

Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U ₀ (max/min)	
21-Μαρ	9:00	305	239	382	1,60	
	12:00	501	392	627	1,60	
	15:00	408	319	510	1,60	
21-Ιουν	9:00	344	270	431	1,60	
	12:00	590	461	737	1,60	
	15:00	586	458	732	1,60	
21-Σεπ	9:00	225	176	281	1,60	
	12:00	482	378	603	1,60	
	15:00	464	363	581	1,60	
21-Δεκ	9:00	144	112	181	1,62	
	12:00	311	243	389	1,60	
	15:00	210	164	263	1,60	
					1,60	Μέσος U ₀

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	848	519	1230	2,37	
	12:00	1390	857	2020	2,36	
	15:00	1130	697	1640	2,35	
21-Ιουν	9:00	958	588	1390	2,36	
	12:00	1640	1010	2370	2,35	
	15:00	1630	1000	2360	2,36	
21-Σεπ	9:00	626	383	906	2,37	
	12:00	1340	825	1940	2,35	
	15:00	1290	794	1870	2,36	
21-Δεκ	9:00	403	248	581	2,34	
	12:00	864	529	1250	2,36	
	15:00	585	357	847	2,37	
					2,36	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	844	626	1150	1,84	
	12:00	1380	1030	1890	1,83	
	15:00	1130	839	1530	1,82	
21-Ιουν	9:00	953	706	1300	1,84	
	12:00	1630	1210	2220	1,83	
	15:00	1620	1210	2200	1,82	
21-Σεπ	9:00	623	461	848	1,84	
	12:00	1330	993	1810	1,82	
	15:00	1280	956	1750	1,83	
21-Δεκ	9:00	399	296	544	1,84	
	12:00	860	637	1170	1,84	
	15:00	582	431	792	1,84	
					1,83	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού τρίκλινου θαλάμου Νότιου προσανατολισμού

5ος Όροφος - Ξκλιος θάλαμος - Ν
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	1040	315	3340	10,60	
	12:00	1860	584	4730	8,10	
	15:00	1430	420	4330	10,31	
21-Ιουν	9:00	710	250	1780	7,12	
	12:00	1260	416	3080	7,40	
	15:00	1280	412	3200	7,77	
21-Σεπ	9:00	760	231	2620	11,34	
	12:00	1710	527	4530	8,60	
	15:00	1640	494	4550	9,21	
21-Δεκ	9:00	2270	414	12200	29,47	
	12:00	15100	523	27600	52,77	
	15:00	4850	349	20000	57,31	
					18,33	Μέσος U _o

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	368	284	443	1,56	
	12:00	686	520	831	1,60	
	15:00	541	465	626	1,35	
21-Ιουν	9:00	289	230	339	1,47	
	12:00	489	374	581	1,55	
	15:00	504	400	589	1,47	
21-Σεπ	9:00	266	211	318	1,51	
	12:00	625	466	762	1,64	
	15:00	628	526	730	1,39	
21-Δεκ	9:00	551	436	665	1,53	
	12:00	771	586	937	1,60	
	15:00	726	521	1010	1,94	
					1,55	Μέσος U _o

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	416	361	477	1,32	
	12:00	721	623	830	1,33	
	15:00	607	532	699	1,31	
21-Ιουν	9:00	317	280	356	1,27	
	12:00	512	447	581	1,30	
	15:00	539	472	610	1,29	
21-Σεπ	9:00	310	270	356	1,32	
	12:00	657	568	755	1,33	
	15:00	692	605	787	1,30	
21-Δεκ	9:00	678	559	813	1,45	
	12:00	887	759	1070	1,41	
	15:00	685	555	851	1,53	
					1,35	Μέσος U _o

Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	763	531	1010	1,90	
	12:00	1440	1020	1840	1,80	
	15:00	1180	944	1450	1,54	
21-Ιουν	9:00	578	435	714	1,64	
	12:00	1010	740	1250	1,69	
	15:00	1050	818	1260	1,54	
21-Σεπ	9:00	556	396	723	1,83	
	12:00	1300	902	1710	1,90	
	15:00	1360	1100	1640	1,49	
21-Δεκ	9:00	1400	1020	2160	2,12	
	12:00	16800	1000	25400	25,40	
	15:00	6800	1550	22000	14,19	
					4,75	Μέσος Uo

Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	831	663	1010	1,52	
	12:00	1470	1160	1770	1,53	
	15:00	1400	1150	1680	1,46	
21-Ιουν	9:00	619	508	733	1,44	
	12:00	1010	824	1210	1,47	
	15:00	1130	896	1340	1,50	
21-Σεπ	9:00	633	503	773	1,54	
	12:00	1320	1050	1590	1,51	
	15:00	1550	1260	1840	1,46	
21-Δεκ	9:00	1690	1270	2180	1,72	
	12:00	1770	1370	2170	1,58	
	15:00	19500	2110	28100	13,32	
					2,50	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1900	1190	3140	2,64	
	12:00	3520	2180	4800	2,20	
	15:00	3840	2420	37400	15,45	
21-Ιουν	9:00	1290	913	1770	1,94	
	12:00	2350	1630	3110	1,91	
	15:00	2550	1890	3170	1,68	
21-Σεπ	9:00	1420	896	2380	2,66	
	12:00	3180	1940	4560	2,35	
	15:00	3510	2610	4520	1,73	
21-Δεκ	9:00	3480	1800	10500	5,83	
	12:00	20500	1760	27600	15,68	
	15:00	18000	3270	22700	6,94	
					5,08	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	2030	1580	2620	1,66
	12:00	3480	2750	4410	1,60
	15:00	3850	3040	4920	1,62
21-Ιουν	9:00	1370	1110	1670	1,50
	12:00	2340	1870	2910	1,56
	15:00	2850	2300	3500	1,52
21-Σεπ	9:00	1600	1240	2070	1,67
	12:00	3100	2470	3900	1,58
	15:00	3940	3130	4960	1,58
21-Δεκ	9:00	3100	2560	3630	1,42
	12:00	9560	2520	22100	8,77
	15:00	28300	27400	29000	1,06
					Μέσος Uo
					2,13

5ος Όροφος - 3κλιнос θάλαμος - N
Νεφροσκηπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	391	83	1210	14,58
	12:00	642	137	1980	14,45
	15:00	522	111	1610	14,50
21-Ιουν	9:00	442	94	1360	14,47
	12:00	756	161	2330	14,47
	15:00	751	160	2320	14,50
21-Σεπ	9:00	289	61	891	14,61
	12:00	618	132	1910	14,47
	15:00	585	127	1840	14,49
21-Δεκ	9:00	185	40	571	14,28
	12:00	399	95	1230	12,95
	15:00	270	57	832	14,60
					Μέσος Uo
					14,36

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	121	99	142	1,43
	12:00	199	160	233	1,46
	15:00	162	131	190	1,45
21-Ιουν	9:00	137	111	160	1,44
	12:00	234	188	274	1,46
	15:00	232	187	272	1,45
21-Σεπ	9:00	89	73	105	1,44
	12:00	191	154	224	1,45
	15:00	184	149	216	1,45
21-Δεκ	9:00	57	47	67	1,43
	12:00	123	101	145	1,44
	15:00	83	68	98	1,44
					Μέσος Uo
					1,44

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	133	113	157	1,39
	12:00	222	197	259	1,31
	15:00	180	160	211	1,32
21-Ιουν	9:00	150	128	178	1,39
	12:00	261	232	305	1,31
	15:00	260	230	303	1,32
21-Σεπ	9:00	98	83	116	1,40
	12:00	214	190	250	1,32
	15:00	206	183	240	1,31
21-Δεκ	9:00	62	53	74	1,40
	12:00	136	115	160	1,39
	15:00	92	78	108	1,38
					Μέσος Uo 1,35

Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	285	207	357	1,72
	12:00	467	336	586	1,74
	15:00	380	277	477	1,72
21-Ιουν	9:00	321	234	403	1,72
	12:00	549	395	689	1,74
	15:00	545	392	685	1,75
21-Σεπ	9:00	210	153	263	1,72
	12:00	449	324	564	1,74
	15:00	432	312	543	1,74
21-Δεκ	9:00	135	99	169	1,71
	12:00	291	211	364	1,73
	15:00	197	143	246	1,72
					Μέσος Uo 1,73

Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	304	237	381	1,61
	12:00	499	389	625	1,61
	15:00	406	317	509	1,61
21-Ιουν	9:00	343	268	430	1,60
	12:00	588	458	736	1,61
	15:00	584	455	731	1,61
21-Σεπ	9:00	224	175	281	1,61
	12:00	481	375	602	1,61
	15:00	463	361	579	1,60
21-Δεκ	9:00	144	111	180	1,62
	12:00	310	242	388	1,60
	15:00	210	163	262	1,61
					Μέσος Uo 1,61

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	847	518	1230	2,37	
	12:00	1390	855	2020	2,36	
	15:00	1130	695	1640	2,36	
21-Ιουν	9:00	957	586	1390	2,37	
	12:00	1640	1010	2370	2,35	
	15:00	1630	999	2360	2,36	
21-Σεπ	9:00	625	382	906	2,37	
	12:00	1340	822	1940	2,36	
	15:00	1290	792	1870	2,36	
21-Δεκ	9:00	402	247	581	2,35	
	12:00	863	528	1250	2,37	
	15:00	584	356	847	2,38	
					2,36	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	844	624	1150	1,84	
	12:00	1380	1030	1880	1,83	
	15:00	1130	945	1530	1,62	
21-Ιουν	9:00	953	705	1300	1,84	
	12:00	1630	1210	2220	1,83	
	15:00	1620	1200	2200	1,83	
21-Σεπ	9:00	623	461	848	1,84	
	12:00	1330	992	1810	1,82	
	15:00	1280	955	1750	1,83	
21-Δεκ	9:00	400	295	544	1,84	
	12:00	860	636	1170	1,84	
	15:00	582	430	792	1,84	
					1,82	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού τρίκλινου θαλάμου Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

5ος Όροφος - 3κλινος θάλαμος - ΝΑ
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	9850	536	28600	53,36	
	12:00	1750	531	4610	8,68	
	15:00	805	269	2140	7,96	
21-Ιουν	9:00	1960	399	31700	79,45	
	12:00	1860	611	4320	7,07	
	15:00	794	275	2040	7,42	
21-Σεπ	9:00	5820	520	21500	41,35	
	12:00	4790	613	46500	75,86	
	15:00	1010	321	2690	8,38	
21-Δεκ	9:00	7120	1040	9780	9,40	
	12:00	6720	374	30300	81,02	
	15:00	710	202	2490	12,33	
					32,69	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	645	468	811	1,73	
	12:00	666	541	780	1,44	
	15:00	322	263	371	1,41	
21-Ιουν	9:00	468	357	564	1,58	
	12:00	739	560	882	1,58	
	15:00	321	262	369	1,41	
21-Σεπ	9:00	693	455	1080	2,37	
	12:00	753	601	888	1,48	
	15:00	394	322	455	1,41	
21-Δεκ	9:00	5260	863	8500	9,85	
	12:00	609	497	719	1,45	
	15:00	251	212	289	1,36	
					2,26	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	911	750	1130	1,51	
	12:00	724	630	825	1,31	
	15:00	350	309	394	1,28	
21-Ιουν	9:00	527	460	610	1,33	
	12:00	762	655	877	1,34	
	15:00	347	309	387	1,25	
21-Σεπ	9:00	1190	947	1550	1,64	
	12:00	804	697	921	1,32	
	15:00	430	379	486	1,28	
21-Δεκ	9:00	1900	1440	2580	1,79	
	12:00	714	617	846	1,37	
	15:00	282	249	322	1,29	
					1,39	Μέσος Uo

Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	5160	853	25200	29,54	
	12:00	1440	1110	1740	1,57	
	15:00	665	530	792	1,49	
21-Ιουν	9:00	977	706	1300	1,84	
	12:00	1540	1140	1890	1,66	
	15:00	647	514	769	1,50	
21-Σεπ	9:00	1820	902	3620	4,01	
	12:00	1600	1200	1950	1,63	
	15:00	830	664	991	1,49	
21-Δεκ	9:00	5390	867	7250	8,36	
	12:00	3330	1070	27300	25,51	
	15:00	546	439	661	1,51	
					6,68	Μέσος Uo

Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1920	1440	2400	1,67	
	12:00	1590	1290	1880	1,46	
	15:00	735	583	882	1,51	
21-Ιουν	9:00	1110	875	1380	1,58	
	12:00	1560	1230	1850	1,50	
	15:00	704	561	838	1,49	
21-Σεπ	9:00	2470	1900	3040	1,60	
	12:00	1710	1390	2040	1,47	
	15:00	920	730	1100	1,51	
21-Δεκ	9:00	1910	1330	5760	4,33	
	12:00	3390	1380	35300	25,58	
	15:00	622	490	766	1,56	
					3,77	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	15600	1580	27800	17,59	
	12:00	3610	2580	4570	1,77	
	15:00	1680	1310	2130	1,63	
21-Ιουν	9:00	2910	1480	31000	20,95	
	12:00	3450	2420	4370	1,81	
	15:00	1590	1190	2020	1,70	
21-Σεπ	9:00	8870	1530	19600	12,81	
	12:00	11400	2670	46400	17,38	
	15:00	2120	1640	2670	1,63	
21-Δεκ	9:00	6500	1050	8120	7,73	
	12:00	28100	2980	34600	11,61	
	15:00	1660	1140	2480	2,18	
					8,23	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	3570	2840	4380	1,54
	12:00	3920	3120	4910	1,57
	15:00	2050	1620	2550	1,57
21-Ιουν	9:00	2530	1960	3250	1,66
	12:00	3520	2910	4250	1,46
	15:00	1840	1470	2290	1,56
21-Σεπ	9:00	3820	3170	4480	1,41
	12:00	4120	3230	5250	1,63
	15:00	2540	2020	3150	1,56
21-Δεκ	9:00	4020	1610	6520	4,05
	12:00	38800	37600	39900	1,06
	15:00	1930	1450	2600	1,79
					Μέσος Uo
					1,74

5ος Όροφος - 3κλιος θάλαμος - ΝΑ
Νεφροσκηπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	391	83	1210	14,58
	12:00	642	137	1980	14,45
	15:00	522	111	1610	14,50
21-Ιουν	9:00	442	94	1360	14,47
	12:00	756	161	2330	14,47
	15:00	751	160	2320	14,50
21-Σεπ	9:00	289	61	891	14,61
	12:00	618	132	1910	14,47
	15:00	595	127	1840	14,49
21-Δεκ	9:00	185	40	571	14,28
	12:00	399	85	1230	14,47
	15:00	270	57	832	14,60
					Μέσος Uo
					14,49

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	121	99	142	1,43
	12:00	199	160	233	1,46
	15:00	162	131	190	1,45
21-Ιουν	9:00	137	111	160	1,44
	12:00	234	188	274	1,46
	15:00	232	187	272	1,45
21-Σεπ	9:00	89	73	105	1,44
	12:00	191	154	224	1,45
	15:00	184	149	216	1,45
21-Δεκ	9:00	57	47	67	1,43
	12:00	123	101	145	1,44
	15:00	83	68	98	1,44
					Μέσος Uo
					1,44

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	133	113	157	1,39
	12:00	222	197	259	1,31
	15:00	180	160	211	1,32
21-Ιουν	9:00	150	128	178	1,39
	12:00	261	232	305	1,31
	15:00	260	230	303	1,32
21-Σεπ	9:00	98	83	116	1,40
	12:00	214	190	250	1,32
	15:00	206	183	240	1,31
21-Δεκ	9:00	62	53	74	1,40
	12:00	136	115	160	1,39
	15:00	92	78	108	1,38
					Μέσος Uo 1,35

Μεσαίο κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	285	207	357	1,72
	12:00	467	336	586	1,74
	15:00	380	277	477	1,72
21-Ιουν	9:00	321	234	403	1,72
	12:00	549	395	689	1,74
	15:00	545	392	685	1,75
21-Σεπ	9:00	210	153	263	1,72
	12:00	449	324	564	1,74
	15:00	432	312	543	1,74
21-Δεκ	9:00	135	99	169	1,71
	12:00	291	211	364	1,73
	15:00	197	143	246	1,72
					Μέσος Uo 1,73

Μεσαίο κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	304	237	381	1,61
	12:00	499	389	625	1,61
	15:00	406	317	509	1,61
21-Ιουν	9:00	343	268	430	1,60
	12:00	588	458	736	1,61
	15:00	584	455	731	1,61
21-Σεπ	9:00	224	175	281	1,61
	12:00	481	375	602	1,61
	15:00	463	361	579	1,60
21-Δεκ	9:00	144	111	180	1,62
	12:00	310	242	388	1,60
	15:00	210	163	262	1,61
					Μέσος Uo 1,61

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	847	518	1230	2,37	
	12:00	1390	854	2020	2,37	
	15:00	1130	694	1640	2,36	
21-Ιουν	9:00	957	587	1390	2,37	
	12:00	1640	1010	2370	2,35	
	15:00	1630	999	2360	2,36	
21-Σεπ	9:00	625	382	906	2,37	
	12:00	1340	822	1940	2,36	
	15:00	1290	792	1870	2,36	
21-Δεκ	9:00	402	247	581	2,35	
	12:00	863	528	1250	2,37	
	15:00	584	356	847	2,38	
					2,36	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	844	624	1150	1,84	
	12:00	1380	1030	1880	1,83	
	15:00	1130	845	1530	1,81	
21-Ιουν	9:00	953	705	1300	1,84	
	12:00	1630	1210	2220	1,83	
	15:00	1620	1200	2200	1,83	
21-Σεπ	9:00	623	461	848	1,84	
	12:00	1330	992	1810	1,82	
	15:00	1280	955	1750	1,83	
21-Δεκ	9:00	400	295	544	1,84	
	12:00	860	636	1170	1,84	
	15:00	582	430	792	1,84	
					1,83	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού δίκλινου θαλάμου Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού

6ος όροφος - Δίκλινος θάλαμος - Ν/ΝΔ
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1010	375	2050	5,47	
	12:00	1950	715	3850	5,38	
	15:00	5620	625	35100	56,16	
21-Ιουν	9:00	788	291	1500	5,15	
	12:00	1120	406	2210	5,44	
	15:00	1520	522	2950	5,65	
21-Σεπ	9:00	708	260	1410	5,42	
	12:00	1760	653	3500	5,36	
	15:00	2130	688	4260	6,19	
21-Δεκ	9:00	1560	390	10200	26,15	
	12:00	14200	1080	26700	24,72	
	15:00	11600	1150	20500	17,83	
					14,08	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	659	428	844	1,97	
	12:00	1260	798	1620	2,03	
	15:00	1430	1040	1740	1,67	
21-Ιουν	9:00	537	364	654	1,80	
	12:00	738	485	920	1,90	
	15:00	1040	714	1250	1,75	
21-Σεπ	9:00	465	308	584	1,90	
	12:00	1130	717	1470	2,05	
	15:00	1470	1020	1760	1,73	
21-Δεκ	9:00	815	492	1100	2,24	
	12:00	5220	1010	23800	23,56	
	15:00	14500	2530	19500	7,71	
					4,19	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	728	603	849	1,41	
	12:00	1310	1080	1550	1,44	
	15:00	1690	1380	2000	1,45	
21-Ιουν	9:00	615	515	711	1,38	
	12:00	811	673	946	1,41	
	15:00	1160	959	1360	1,42	
21-Σεπ	9:00	529	440	615	1,40	
	12:00	1190	977	1390	1,42	
	15:00	1640	1330	1950	1,47	
21-Δεκ	9:00	1010	785	1230	1,57	
	12:00	2130	1700	2620	1,54	
	15:00	21300	20600	22400	1,09	
					1,41	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1230	695	1760	2,53	
	12:00	2410	1290	3380	2,62	
	15:00	9120	2070	34400	16,62	
21-Ιουν	9:00	988	586	1310	2,24	
	12:00	1400	787	1920	2,44	
	15:00	2010	1230	2580	2,10	
21-Σεπ	9:00	874	502	1220	2,43	
	12:00	2150	1160	3060	2,64	
	15:00	2920	1910	3730	1,95	
21-Δεκ	9:00	1720	825	3010	3,65	
	12:00	14700	1500	25800	17,20	
	15:00	16200	14800	17900	1,21	
					4,80	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1320	1080	1590	1,47	
	12:00	2390	1910	2970	1,55	
	15:00	3500	2770	4400	1,59	
21-Ιουν	9:00	1110	910	1340	1,47	
	12:00	1490	1190	1820	1,53	
	15:00	2230	1790	2740	1,53	
21-Σεπ	9:00	970	789	1170	1,48	
	12:00	2140	1730	2610	1,51	
	15:00	3160	2940	3960	1,35	
21-Δεκ	9:00	1910	1530	2340	1,53	
	12:00	3370	2670	4140	1,55	
	15:00	21300	21000	21500	1,02	
					1,47	Μέσος Uo

6ος όροφος - Δίκλιнос θάλαμος - Ν/ΝΔ
Νεφοσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	451	129	1030	7,98
	12:00	742	213	1690	7,93
	15:00	603	173	1380	7,98
21-Ιουν	9:00	510	146	1160	7,95
	12:00	874	253	1990	7,87
	15:00	868	251	1980	7,89
21-Σεπ	9:00	331	95	757	7,97
	12:00	714	205	1630	7,95
	15:00	688	197	1570	7,97
21-Δεκ	9:00	212	61	485	7,95
	12:00	460	131	1050	8,02
	15:00	310	89	708	7,96
Μέσος Uo					7,95

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	268	187	334	1,79	
	12:00	441	309	549	1,78	
	15:00	359	251	446	1,78	
21-Ιουν	9:00	303	212	377	1,78	
	12:00	519	364	646	1,77	
	15:00	516	362	642	1,77	
21-Σεπ	9:00	197	137	245	1,79	
	12:00	424	298	528	1,77	
	15:00	409	287	509	1,77	
21-Δεκ	9:00	126	82	157	1,91	
	12:00	273	191	340	1,78	
	15:00	184	120	229	1,91	
					1,80	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	287	223	358	1,61	
	12:00	472	373	588	1,58	
	15:00	384	303	478	1,58	
21-Ιουν	9:00	325	256	404	1,58	
	12:00	556	439	693	1,58	
	15:00	551	436	688	1,58	
21-Σεπ	9:00	212	164	264	1,61	
	12:00	455	359	566	1,58	
	15:00	438	345	545	1,58	
21-Δεκ	9:00	135	105	170	1,62	
	12:00	293	227	365	1,61	
	15:00	197	153	247	1,61	
					1,59	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	621	363	879	2,42	
	12:00	1020	598	1450	2,42	
	15:00	830	486	1180	2,43	
21-Ιουν	9:00	702	410	993	2,42	
	12:00	1200	707	1700	2,40	
	15:00	1190	702	1690	2,41	
21-Σεπ	9:00	457	267	647	2,42	
	12:00	983	576	1390	2,41	
	15:00	946	554	1340	2,42	
21-Δεκ	9:00	292	171	414	2,42	
	12:00	633	370	896	2,42	
	15:00	427	250	605	2,42	
					2,42	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	627	469	837	1,78	
	12:00	1030	770	1380	1,79	
	15:00	839	626	1120	1,79	
21-Ιουν	9:00	709	529	945	1,79	
	12:00	1210	906	1620	1,79	
	15:00	1210	900	1610	1,79	
21-Σεπ	9:00	462	345	616	1,79	
	12:00	993	741	1320	1,78	
	15:00	956	713	1280	1,80	
21-Δεκ	9:00	296	221	396	1,79	
	12:00	639	478	853	1,78	
	15:00	432	323	576	1,78	
					1,79	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού δίκλινου θαλάμου Νότιουπροσανατολισμού

6ος Όροφος - Δίκλινος Θάλαμος - Νότιος
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	1270	458	2880	6,29	
	12:00	2080	745	4070	5,46	
	15:00	1690	521	3690	7,08	
21-Ιουν	9:00	887	329	1720	5,23	
	12:00	1340	492	2620	5,33	
	15:00	1320	452	2590	5,73	
21-Σεπ	9:00	968	335	2410	7,19	
	12:00	1970	724	3940	5,44	
	15:00	1900	602	3900	6,48	
21-Δεκ	9:00	3600	782	11300	14,45	
	12:00	22000	1200	25800	21,50	
	15:00	6840	943	18600	19,72	
					9,16	Μέσος U _o

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	774	487	1030	2,11	
	12:00	1360	879	1720	1,96	
	15:00	1170	840	1410	1,68	
21-Ιουν	9:00	591	392	740	1,89	
	12:00	894	585	1120	1,91	
	15:00	904	622	1080	1,74	
21-Σεπ	9:00	591	377	769	2,04	
	12:00	1250	791	1640	2,07	
	15:00	1310	930	1580	1,70	
21-Δεκ	9:00	1680	933	2650	2,84	
	12:00	17400	1270	2370	1,87	
	15:00	6000	1810	19800	10,94	
					2,73	Μέσος U _o

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	E _{max}	U _o (max/min)	
21-Μαρ	9:00	860	707	1010	1,43	
	12:00	1430	1170	1690	1,44	
	15:00	1390	1140	1660	1,46	
21-Ιουν	9:00	664	554	771	1,39	
	12:00	965	800	1130	1,41	
	15:00	1020	843	1190	1,41	
21-Σεπ	9:00	678	553	805	1,46	
	12:00	1310	1080	1550	1,44	
	15:00	1510	1240	1780	1,44	
21-Δεκ	9:00	2030	1570	2520	1,61	
	12:00	5640	1800	19700	10,94	
	15:00	18400	2460	26000	10,57	
					3,00	Μέσος U _o

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1510	793	2340	2,95	
	12:00	2630	1430	3590	2,51	
	15:00	2450	1760	3130	1,78	
21-Ιουν	9:00	1090	634	1500	2,37	
	12:00	1680	951	2290	2,41	
	15:00	1750	1080	2250	2,08	
21-Σεπ	9:00	1170	620	1810	2,92	
	12:00	2430	1280	3450	2,70	
	15:00	2660	1840	3370	1,83	
21-Δεκ	9:00	3030	1350	9540	7,07	
	12:00	20600	1750	25400	14,51	
	15:00	15800	3220	21200	6,58	
					4,14	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1610	1300	1980	1,52	
	12:00	2630	2070	3300	1,59	
	15:00	2960	2380	3640	1,53	
21-Ιουν	9:00	1200	928	1440	1,55	
	12:00	1760	1410	2140	1,52	
	15:00	1990	1580	2440	1,54	
21-Σεπ	9:00	1310	1070	1610	1,50	
	12:00	2390	1900	2990	1,57	
	15:00	3030	2410	3750	1,56	
21-Δεκ	9:00	3030	2550	3480	1,36	
	12:00	11900	2650	21200	8,00	
	15:00	26600	25700	27200	1,06	
					2,03	Μέσος Uo

6ος Όροφος - Δίκλιος Θάλαμος - Νότιος
Νεφοσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	451	129	1030	7,98
	12:00	742	213	1690	7,93
	15:00	603	173	1380	7,98
21-Ιουν	9:00	510	146	1160	7,95
	12:00	874	253	1990	7,87
	15:00	868	251	1980	7,89
21-Σεπ	9:00	331	95	757	7,97
	12:00	714	205	1630	7,95
	15:00	688	197	1570	7,97
21-Δεκ	9:00	212	61	485	7,95
	12:00	460	131	1050	8,02
	15:00	310	89	708	7,96
Μέσος Uo					7,95

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	268	187	334	1,79	
	12:00	441	309	549	1,78	
	15:00	359	251	446	1,78	
21-Ιουν	9:00	303	212	377	1,78	
	12:00	519	364	646	1,77	
	15:00	516	362	642	1,77	
21-Σεπ	9:00	197	137	245	1,79	
	12:00	424	298	528	1,77	
	15:00	409	287	509	1,77	
21-Δεκ	9:00	126	82	157	1,91	
	12:00	273	191	340	1,78	
	15:00	184	120	229	1,91	
					1,80	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	287	223	358	1,61	
	12:00	472	373	588	1,58	
	15:00	384	303	478	1,58	
21-Ιουν	9:00	325	256	404	1,58	
	12:00	556	439	693	1,58	
	15:00	552	436	688	1,58	
21-Σεπ	9:00	212	164	264	1,61	
	12:00	455	359	566	1,58	
	15:00	438	345	545	1,58	
21-Δεκ	9:00	135	105	170	1,62	
	12:00	293	227	365	1,61	
	15:00	197	153	247	1,61	
					1,59	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	621	363	879	2,42	
	12:00	1020	598	1450	2,42	
	15:00	830	486	1180	2,43	
21-Ιουν	9:00	702	410	993	2,42	
	12:00	1200	707	1700	2,40	
	15:00	1190	702	1690	2,41	
21-Σεπ	9:00	457	267	647	2,42	
	12:00	983	576	1390	2,41	
	15:00	946	554	1340	2,42	
21-Δεκ	9:00	292	171	414	2,42	
	12:00	633	370	896	2,42	
	15:00	427	250	605	2,42	
					2,42	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	627	469	837	1,78	
	12:00	1030	770	1380	1,79	
	15:00	839	626	1120	1,79	
21-Ιουν	9:00	709	529	945	1,79	
	12:00	1210	906	1620	1,79	
	15:00	1210	900	1610	1,79	
21-Σεπ	9:00	462	345	616	1,79	
	12:00	993	741	1320	1,78	
	15:00	956	713	1280	1,80	
21-Δεκ	9:00	296	221	396	1,79	
	12:00	639	478	853	1,78	
	15:00	432	323	576	1,78	
					1,79	Μέσος Uo

Αποτελέσματα τυπικού δίκλινου θαλάμου Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

6ος όροφος - Δίκλιнос θάλαμος - Νοτιοανατολικός
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	16500	1070	25500	23,83	
	12:00	1920	628	3800	6,05	
	15:00	841	287	1690	5,89	
21-Ιουν	9:00	4010	629	28700	45,63	
	12:00	1810	649	3460	5,33	
	15:00	795	274	1610	5,88	
21-Σεπ	9:00	10800	1930	19400	10,05	
	12:00	2100	693	4180	6,03	
	15:00	977	327	1990	6,09	
21-Δεκ	9:00	7840	6260	11400	1,82	
	12:00	6910	592	27700	46,79	
	15:00	771	251	1720	6,85	
					14,19	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	9960	957	23200	24,24	
	12:00	1320	923	1590	1,72	
	15:00	577	403	690	1,71	
21-Ιουν	9:00	1040	643	1410	2,19	
	12:00	1230	810	1510	1,86	
	15:00	536	370	639	1,73	
21-Σεπ	9:00	3890	1360	16800	12,35	
	12:00	1430	984	1720	1,75	
	15:00	669	470	802	1,71	
21-Δεκ	9:00	7690	1870	9460	5,06	
	12:00	1420	1080	1810	1,68	
	15:00	509	354	613	1,73	
					4,81	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	2090	1650	2600	1,58	
	12:00	1490	1230	1760	1,43	
	15:00	680	565	795	1,41	
21-Ιουν	9:00	1210	977	1450	1,48	
	12:00	1310	1080	1530	1,42	
	15:00	628	522	733	1,40	
21-Σεπ	9:00	3070	2440	3630	1,49	
	12:00	1580	1290	1870	1,45	
	15:00	791	655	928	1,42	
21-Δεκ	9:00	7060	2380	9400	3,95	
	12:00	1700	1390	2060	1,48	
	15:00	612	507	720	1,42	
					1,66	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	15800	1450	25000	17,24
	12:00	2630	1790	3320	1,85
	15:00	1150	716	1460	2,04
21-Ιουν	9:00	3360	1020	27700	27,16
	12:00	2310	1340	3060	2,28
	15:00	1060	636	1390	2,19
21-Σεπ	9:00	9540	1700	18000	10,59
	12:00	2840	1830	3650	1,99
	15:00	1350	850	1710	2,01
21-Δεκ	9:00	6970	1360	7840	5,76
	12:00	21700	2280	32100	14,08
	15:00	1080	656	1420	2,16
					Μέσος Uo
					7,45

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	3260	2570	4040	1,57
	12:00	2920	2330	3600	1,55
	15:00	1400	1110	1730	1,56
21-Ιουν	9:00	2140	1710	2660	1,56
	12:00	2410	1940	2930	1,51
	15:00	1250	981	1550	1,58
21-Σεπ	9:00	3830	3210	4430	1,38
	12:00	3020	2380	3780	1,59
	15:00	1650	1300	2040	1,57
21-Δεκ	9:00	6180	2120	7770	3,67
	12:00	34600	3270	38100	11,65
	15:00	1340	1050	1690	1,61
					Μέσος Uo
					2,57

6ος όροφος - Δίκλινο θάλαμο - Νοτιοανατολικός
Νεφοσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	451	129	1030	7,98
	12:00	742	213	1690	7,93
	15:00	603	173	1380	7,98
21-Ιουν	9:00	510	146	1160	7,95
	12:00	874	253	1990	7,87
	15:00	868	251	1980	7,89
21-Σεπ	9:00	331	95	757	7,97
	12:00	714	205	1630	7,95
	15:00	688	197	1570	7,97
21-Δεκ	9:00	212	61	485	7,95
	12:00	460	131	1050	8,02
	15:00	310	89	708	7,96
					Μέσος Uo
					7,95

Εσωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	268	187	334	1,79	
	12:00	441	309	549	1,78	
	15:00	359	251	446	1,78	
21-Ιουν	9:00	303	212	377	1,78	
	12:00	519	364	646	1,77	
	15:00	516	362	642	1,77	
21-Σεπ	9:00	197	137	245	1,79	
	12:00	424	298	528	1,77	
	15:00	409	287	509	1,77	
21-Δεκ	9:00	126	82	157	1,91	
	12:00	273	191	340	1,78	
	15:00	184	120	229	1,91	
					1,80	Μέσος Uo

Εσωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	287	223	358	1,61	
	12:00	472	373	588	1,58	
	15:00	384	303	478	1,58	
21-Ιουν	9:00	325	256	404	1,58	
	12:00	556	439	693	1,58	
	15:00	552	436	688	1,58	
21-Σεπ	9:00	212	164	264	1,61	
	12:00	455	359	566	1,58	
	15:00	438	345	545	1,58	
21-Δεκ	9:00	135	105	170	1,62	
	12:00	293	227	365	1,61	
	15:00	197	153	247	1,61	
					1,59	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	621	363	879	2,42	
	12:00	1020	598	1450	2,42	
	15:00	830	486	1180	2,43	
21-Ιουν	9:00	702	410	993	2,42	
	12:00	1200	707	1700	2,40	
	15:00	1190	702	1690	2,41	
21-Σεπ	9:00	457	267	647	2,42	
	12:00	983	576	1390	2,41	
	15:00	946	554	1340	2,42	
21-Δεκ	9:00	292	171	414	2,42	
	12:00	633	370	896	2,42	
	15:00	427	250	605	2,42	
					2,42	Μέσος Uo

Εξωτερικό κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	628	469	837	1,78	
	12:00	1030	770	1380	1,79	
	15:00	839	626	1120	1,79	
21-Ιουν	9:00	709	529	945	1,79	
	12:00	1210	906	1620	1,79	
	15:00	1210	900	1610	1,79	
21-Σεπ	9:00	462	345	616	1,79	
	12:00	993	741	1320	1,78	
	15:00	956	713	1280	1,80	
21-Δεκ	9:00	296	221	396	1,79	
	12:00	639	478	853	1,78	
	15:00	432	323	576	1,78	
					1,79	Μέσος Uo

Αποτελέσματα μονόκλινης-σουίτας Νότιου-Νότιο-Δυτικού προσανατολισμού

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα- ΝΝΔ
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	965	386	1750	4,53	
	12:00	1830	718	3340	4,65	
	15:00	5160	815	34200	41,96	
21-Ιουν	9:00	707	300	1260	4,20	
	12:00	999	404	1850	4,58	
	15:00	1490	651	2760	4,24	
21-Σεπ	9:00	680	276	1230	4,46	
	12:00	1670	651	3040	4,67	
	15:00	1880	836	3690	4,41	
21-Δεκ	9:00	1180	298	8060	27,05	
	12:00	12400	635	24700	38,90	
	15:00	9530	792	15500	19,57	
					13,60	Μέσος Uo

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1050	721	1380	1,91	
	12:00	1890	1200	2710	2,26	
	15:00	1480	840	2520	3,00	
21-Ιουν	9:00	731	487	998	2,05	
	12:00	1020	663	1460	2,20	
	15:00	1400	863	2120	2,46	
21-Σεπ	9:00	720	489	966	1,98	
	12:00	1780	1170	2450	2,09	
	15:00	1680	963	2750	2,86	
21-Δεκ	9:00	1400	689	2510	3,64	
	12:00	21300	1090	24100	22,11	
	15:00	3630	619	14000	22,62	
					5,76	Μέσος Uo

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1400	1200	1650	1,38	
	12:00	2230	1930	2620	1,36	
	15:00	1670	1440	1990	1,38	
21-Ιουν	9:00	939	817	1100	1,35	
	12:00	1260	1090	1480	1,36	
	15:00	1590	1400	1830	1,31	
21-Σεπ	9:00	969	829	1150	1,39	
	12:00	2180	1890	2570	1,36	
	15:00	1840	1600	2150	1,34	
21-Δεκ	9:00	1600	1150	2220	1,93	
	12:00	25100	2090	31300	14,98	
	15:00	1720	1490	1970	1,32	
					2,54	Μέσος Uo

6ος Όροφος - Μονόκλινος Θάλαμος Σουίτα- ΝΝΔ
Νεφροσκηπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	382	136	858	6,31
	12:00	628	223	1410	6,32
	15:00	511	181	1150	6,35
21-Ιουν	9:00	432	153	969	6,33
	12:00	739	262	1660	6,34
	15:00	734	260	1650	6,35
21-Σεπ	9:00	282	100	632	6,32
	12:00	604	214	1360	6,36
	15:00	582	206	1310	6,36
21-Δεκ	9:00	181	64	405	6,33
	12:00	389	138	874	6,33
	15:00	263	94	591	6,29
Μέσος Uo					6,33

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	355	190	604	3,18
	12:00	583	313	992	3,17
	15:00	475	255	807	3,16
21-Ιουν	9:00	401	215	682	3,17
	12:00	687	369	1170	3,17
	15:00	682	367	1160	3,16
21-Σεπ	9:00	261	139	445	3,20
	12:00	561	301	955	3,17
	15:00	541	290	919	3,17
21-Δεκ	9:00	167	89	285	3,20
	12:00	362	194	616	3,18
	15:00	244	130	416	3,20
Μέσος Uo					3,18

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	375	310	476	1,54
	12:00	616	511	782	1,53
	15:00	501	415	637	1,53
21-Ιουν	9:00	423	351	538	1,53
	12:00	725	601	921	1,53
	15:00	720	597	915	1,53
21-Σεπ	9:00	276	228	352	1,54
	12:00	593	492	753	1,53
	15:00	570	473	725	1,53
21-Δεκ	9:00	177	146	225	1,54
	12:00	382	316	485	1,53
	15:00	258	213	329	1,54
Μέσος Uo					1,54

Αποτελέσματα μονόκλινης σούιτας Νότιου-Ανατολικού προσανατολισμού

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα - ΝΑ
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	12900	972	24500	25,21	
	12:00	1850	709	3340	4,71	
	15:00	829	322	1490	4,63	
21-Ιουν	9:00	4250	676	28200	41,72	
	12:00	1730	723	3120	4,32	
	15:00	794	312	1460	4,68	
21-Σεπ	9:00	8840	907	17900	19,74	
	12:00	1960	764	3620	4,74	
	15:00	895	334	1660	4,97	
21-Δεκ	9:00	6210	710	8450	11,90	
	12:00	5770	531	24600	46,33	
	15:00	705	268	1290	4,81	
					14,81	Μέσος Uo

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	6400	682	23400	34,31	
	12:00	1860	1090	2580	2,37	
	15:00	858	537	1130	2,10	
21-Ιουν	9:00	1200	637	1990	3,12	
	12:00	1620	908	2360	2,60	
	15:00	786	465	1090	2,34	
21-Σεπ	9:00	2090	629	15500	24,64	
	12:00	1910	1060	2780	2,62	
	15:00	931	576	1240	2,15	
21-Δεκ	9:00	4110	484	7030	14,52	
	12:00	9210	1190	23700	19,92	
	15:00	733	463	962	2,08	
					9,40	Μέσος Uo

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	1740	1450	2170	1,50	
	12:00	2170	1820	2740	1,51	
	15:00	1100	893	1370	1,53	
21-Ιουν	9:00	1500	1300	1980	1,52	
	12:00	1780	1490	2240	1,50	
	15:00	961	781	1220	1,56	
21-Σεπ	9:00	1940	1650	2330	1,41	
	12:00	2130	1800	2710	1,51	
	15:00	1190	959	1510	1,57	
21-Δεκ	9:00	1300	957	1660	1,73	
	12:00	4150	2070	36200	17,49	
	15:00	982	802	1230	1,53	
					2,86	Μέσος Uo

6ος Όροφος - Μονόκλιнос Θάλαμος Σουίτα - ΝΑ
Νεφροσκηπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	388	139	859	6,18
	12:00	637	229	1410	6,16
	15:00	518	186	1150	6,18
21-Ιουν	9:00	438	157	970	6,18
	12:00	750	269	1660	6,17
	15:00	745	267	1650	6,18
21-Σεπ	9:00	286	103	633	6,15
	12:00	613	220	1360	6,18
	15:00	590	212	1310	6,18
21-Δεκ	9:00	183	66	405	6,14
	12:00	395	142	875	6,16
	15:00	267	96	591	6,16
Μέσος Uo					6,17

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	346	181	578	3,19
	12:00	570	299	950	3,18
	15:00	464	243	773	3,18
21-Ιουν	9:00	391	205	653	3,19
	12:00	671	354	1120	3,16
	15:00	667	352	1110	3,15
21-Σεπ	9:00	255	132	426	3,23
	12:00	548	288	914	3,17
	15:00	528	277	880	3,18
21-Δεκ	9:00	163	84	273	3,25
	12:00	353	185	589	3,18
	15:00	238	124	398	3,21
Μέσος Uo					3,19

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	368	295	481	1,63
	12:00	605	485	790	1,63
	15:00	492	394	643	1,63
21-Ιουν	9:00	416	333	543	1,63
	12:00	712	571	930	1,63
	15:00	707	567	923	1,63
21-Σεπ	9:00	271	217	355	1,64
	12:00	582	467	760	1,63
	15:00	561	450	732	1,63
21-Δεκ	9:00	174	139	227	1,63
	12:00	375	300	490	1,63
	15:00	253	203	331	1,63
Μέσος Uo					1,63

Αποτελέσματα μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειου προσανατολισμού

6ος όροφος - Μονόκλινος μικρός θάλαμος - Βόρειος
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	264	133	527	3,96	
	12:00	272	146	531	3,64	
	15:00	261	136	504	3,71	
21-Ιουν	9:00	517	200	1340	6,70	
	12:00	398	186	850	4,57	
	15:00	369	179	749	4,18	
21-Σεπ	9:00	231	113	467	4,13	
	12:00	278	148	548	3,70	
	15:00	266	139	517	3,72	
21-Δεκ	9:00	157	86	301	3,50	
	12:00	219	126	409	3,25	
	15:00	179	98	343	3,50	
					4,05	Μέσος Uo

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	297	200	387	1,94	
	12:00	296	190	385	2,03	
	15:00	285	182	367	2,02	
21-Ιουν	9:00	548	336	772	2,30	
	12:00	443	294	587	2,00	
	15:00	393	245	518	2,11	
21-Σεπ	9:00	262	179	345	1,93	
	12:00	305	198	396	2,00	
	15:00	289	183	374	2,04	
21-Δεκ	9:00	170	105	220	2,10	
	12:00	239	148	309	2,09	
	15:00	200	130	260	2,00	
					2,05	Μέσος Uo

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	352	263	455	1,73	
	12:00	337	266	412	1,55	
	15:00	332	259	404	1,56	
21-Ιουν	9:00	581	400	816	2,04	
	12:00	500	386	626	1,62	
	15:00	425	342	510	1,49	
21-Σεπ	9:00	319	232	426	1,84	
	12:00	334	262	406	1,55	
	15:00	194	151	240	1,59	
21-Δεκ	9:00	194	151	240	1,59	
	12:00	275	517	332	0,64	
	15:00	245	187	303	1,62	
					1,57	Μέσος Uo

6ος όροφος - Μονόκλιнос μικρός θάλαμος - Βόρειος
Νεφοσκεπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	330	97	924	9,53
	12:00	542	160	1520	9,50
	15:00	441	130	1240	9,54
21-Ιουν	9:00	372	110	1040	9,45
	12:00	638	188	1790	9,52
	15:00	634	186	1780	9,57
21-Σεπ	9:00	243	71	681	9,59
	12:00	522	154	1460	9,48
	15:00	502	148	1410	9,53
21-Δεκ	9:00	156	46	437	9,50
	12:00	336	99	942	9,52
	15:00	227	67	636	9,49
Μέσος Uo					9,52

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	354	203	520	2,56
	12:00	583	336	855	2,54
	15:00	474	273	695	2,55
21-Ιουν	9:00	400	231	587	2,54
	12:00	686	396	1010	2,55
	15:00	682	394	999	2,54
21-Σεπ	9:00	261	148	383	2,59
	12:00	561	323	822	2,54
	15:00	540	311	792	2,55
21-Δεκ	9:00	167	94	245	2,61
	12:00	361	207	529	2,56
	15:00	244	138	358	2,59
Μέσος Uo					2,56

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια					
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)
21-Μαρ	9:00	349	239	502	2,10
	12:00	574	392	826	2,11
	15:00	467	319	672	2,11
21-Ιουν	9:00	394	270	567	2,10
	12:00	675	462	972	2,10
	15:00	671	459	966	2,10
21-Σεπ	9:00	257	176	370	2,10
	12:00	552	378	795	2,10
	15:00	532	364	765	2,10
21-Δεκ	9:00	165	113	238	2,11
	12:00	356	243	512	2,11
	15:00	240	165	346	2,10
Μέσος Uo					2,10

Αποτελέσματα μονόκλινου μικρού θαλάμου Βόρειο-Δυτικού προσανατολισμού

6ος Όροφος - Μονόκλινος μικρός θάλαμος - ΒΔ
Καθαρός Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	216	123	407	3,31	
	12:00	270	143	528	3,69	
	15:00	400	177	852	4,81	
21-Ιουν	9:00	245	131	480	3,66	
	12:00	323	162	666	4,11	
	15:00	540	218	1340	6,15	
21-Σεπ	9:00	190	108	357	3,31	
	12:00	258	140	497	3,55	
	15:00	362	169	722	4,27	
21-Δεκ	9:00	160	93	294	3,16	
	12:00	222	120	421	3,51	
	15:00	218	108	422	3,91	
					3,95	Μέσος Uo

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	234	143	305	2,13	
	12:00	290	179	377	2,11	
	15:00	416	253	559	2,21	
21-Ιουν	9:00	268	169	348	2,06	
	12:00	351	218	463	2,12	
	15:00	566	345	797	2,31	
21-Σεπ	9:00	205	123	267	2,17	
	12:00	279	174	362	2,08	
	15:00	378	225	503	2,24	
21-Δεκ	9:00	176	108	228	2,11	
	12:00	243	156	313	2,01	
	15:00	230	141	299	2,12	
					2,14	Μέσος Uo

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	267	211	325	1,54	
	12:00	330	261	400	1,53	
	15:00	470	366	580	1,58	
21-Ιουν	9:00	307	237	383	1,62	
	12:00	390	307	479	1,56	
	15:00	644	493	821	1,67	
21-Σεπ	9:00	232	184	282	1,53	
	12:00	320	253	389	1,54	
	15:00	407	325	492	1,51	
21-Δεκ	9:00	205	162	247	1,52	
	12:00	291	225	359	1,60	
	15:00	262	204	323	1,58	
					1,57	Μέσος Uo

6ος Όροφος - Μονόκλιнос μικρός θάλαμος - ΒΔ
Νεφροσκηπής Ουρανός

Βασική Επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	328	96	922		9,60
	12:00	540	159	1520		9,56
	15:00	439	129	1230		9,53
21-Ιουν	9:00	371	109	1040		9,54
	12:00	636	187	1780		9,52
	15:00	631	186	1770		9,52
21-Σεπ	9:00	242	71	680		9,58
	12:00	520	153	1460		9,54
	15:00	500	147	1400		9,52
21-Δεκ	9:00	15	46	436		9,48
	12:00	335	98	940		9,59
	15:00	226	66	635		9,62
					9,55	Μέσος Uo

Κρεβάτι - επίπεδη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	352	201	518		2,58
	12:00	580	333	851		2,56
	15:00	472	270	692		2,56
21-Ιουν	9:00	398	228	585		2,57
	12:00	683	392	1000		2,55
	15:00	678	390	995		2,55
21-Σεπ	9:00	259	147	381		2,59
	12:00	558	320	819		2,56
	15:00	537	308	789		2,56
21-Δεκ	9:00	166	93	245		2,63
	12:00	359	205	528		2,58
	15:00	242	137	357		2,61
					2,57	Μέσος Uo

Κρεβάτι - κεκλιμένη επιφάνεια						
		Eav	Emin	Emax	Uo(max/min)	
21-Μαρ	9:00	346	236	500		2,12
	12:00	569	388	821		2,12
	15:00	463	315	668		2,12
21-Ιουν	9:00	391	267	564		2,11
	12:00	670	456	967		2,12
	15:00	666	453	960		2,12
21-Σεπ	9:00	255	174	368		2,11
	12:00	548	373	790		2,12
	15:00	528	359	761		2,12
21-Δεκ	9:00	164	112	236		2,11
	12:00	353	240	509		2,12
	15:00	239	163	344		2,11
					2,12	Μέσος Uo

