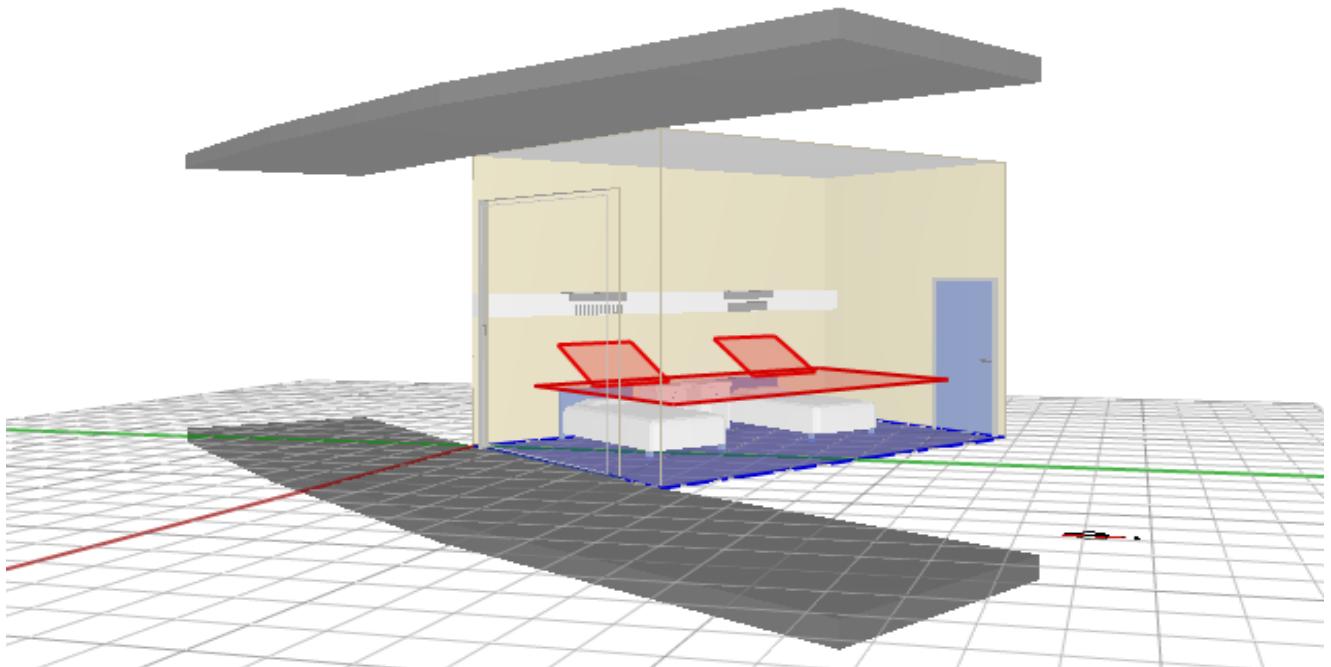




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΡΕΥΝΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΘΑΛΑΜΩΝ ΝΟΣΗΛΕΙΑΣ Κ.Α.Τ.
ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ**



ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ ΛΩΡΕΝΣ-ΚΙΜΩΝ

ΚΡΙΕΜΑΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΖΟΥΒΑΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ
ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΣΚΛΑΒΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, ΥΠΟΨΗΦΙΑ ΔΙΔΑΚΤΩΡ**

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

Στην εικόνα του εξωφύλλου, παρουσιάζεται μοντέλο προσομοίωσης φυσικού και τεχνητού φωτισμού σε εξεταζόμενο θάλαμο νοσηλείας του νοσοκομείου ΚΑΤ, το οποίο δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, με χρήση του προγράμματος προσομοίωσης φωτισμού Relux.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
2.1. ΗΛΙΟΣ	15
2.1.1. Χαρακτηριστικά	15
2.1.2. Ηλιακή γεωμετρία	17
Α) Ηλιακά Διαγράμματα	17
Β) Προσανατολισμός & Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	17
2.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ – ΚΛΙΜΑ	19
2.2.1. Κλιματικές Συνθήκες και Άνεση	20
2.2.1.1. Ανταλλαγή Θερμότητας μεταξύ Ανθρωπίνου Σώματος και Περιβάλλοντος	20
2.2.1.2. Θερμική Άνεση και Κλίμα	21
2.2.1.3. Κλίμακες Θερμικής Άνεσης.....	22
2.2.2. Θερμική Άνεση – Σχεδιασμός Κτιρίων	24
2.2.2.1. Περιοχή – Ζώνη Άνεσης	24
2.2.2.2. Μέθοδοι Αξιολόγησης του Κλίματος	24
2.3. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	29
2.3.1. Η ηλιακή ακτινοβολία - Ηλιασμός – Ηλιοπροστασία	29
2.3.1.1. Η ηλιακή ακτινοβολία	29
2.3.1.2. Η θέση του ήλιου	30
2.3.2. Τοπικοί παράγοντες και πολεοδομικές παράμετροι που επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία	34
2.3.3. Αρχές Σχεδιασμού	36
2.3.4. Αστική Μορφολογία και βιοκλιματικός σχεδιασμός	44
2.3.4.1. Ηλιακή ακτινοβολία	44
2.3.4.2. Σκίαση	44
2.3.4.3. Προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία.....	45
2.3.4.4. Ηλιασμός – Ηλιοπροστασία	46
2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΨΥΧΟΣΩΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54
3. ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	55
3.1. Φωτεινή Ροή (Luminous Flux, Φ)	57
3.2. Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I)	58
3.3. Ένταση Φωτισμού (Illuminance, E)	58
3.4. Λαμπρότητα (Luminance, L)	59
3.5. Απόδοση Φωτεινής Πηγής (Luminous Efficiency)	59
3.6. Ομοιομορφία Λαμπρότητας (U)	59

3.7. Θάμβωση (Glare)	60
3.8. Ανάκλαση (Reflection)	60
3.9. Το χρώμα.....	62
3.9.1. Ορισμός.....	62
3.9.2. Ενεργειακή φασματική κατανομή.....	62
3.9.3. Θερμοκρασία χρώματος	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	64
4. ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ.....	65
4.1. ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71
5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΔΕΙΚΤΕΣ	73
5.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	75
5.1.1. Google SketchUp	75
5.1.2. OpenStudio.....	75
5.1.3. EnergyPlus	76
5.1.4. Radiance	77
5.1.5. Relux.....	78
5.2. ΔΕΙΚΤΕΣ.....	79
5.2.1. Αυτονομία φυσικού φωτισμού (Daylight Autonomy).....	79
5.1.2.1. Συνεχής Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού (Continuous Daylight Autonomy)	80
5.2.1.2. Χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού (Useful Daylight Autonomy)	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82
6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	83
6.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΩΝ	85
6.1.1. Περιγραφή 3 ^{ου} Ορόφου	86
6.1.1.1. Εξεταζόμενοι Θάλαμοι A, B, C, D.	87
6.1.1.2. Εξεταζόμενες Θέσεις A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3.	88
6.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	89
6.2.1. Εξεταζόμενοι Θάλαμοι A, B, C, D.	89
6.2.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των εξεταζομένων θαλάμων	92
6.2.3. Εξεταζόμενες Θέσεις A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3.	93
6.2.3.1. Εξεταζόμενη Θέση A1	94
6.2.3.2. Εξεταζόμενη Θέση A2	96
6.2.3.3. Εξεταζόμενη Θέση A3	98
6.2.3.4. Εξεταζόμενη Θέση B1	100
6.2.3.5. Εξεταζόμενη Θέση B2	102
6.2.3.6. Εξεταζόμενη Θέση C1	104

6.2.3.7. Εξεταζόμενη Θέση C2	106
6.2.3.8. Εξεταζόμενη Θέση D1	108
6.2.3.9. Εξεταζόμενη Θέση D2	110
6.2.3.10. Εξεταζόμενη Θέση D3	112
6.2.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των εξεταζομένων θέσεων	114
6.2.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των προγραμμάτων Radiance και Relux	126
6.2.6. Έλεγχος επάρκειας τεχνητού φωτισμού με το πρόγραμμα Relux	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	134
7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ	135
7.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ.....	137
7.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ	138
7.2.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των προτεινόμενων λύσεων	138
7.2.1.1. Υφιστάμενη κατάσταση	143
7.2.1.2. Εξωτερικές περσίδες 0°.....	143
7.2.1.3. Εξωτερικές περσίδες 45°.....	144
7.2.1.4. Εξωτερικές περσίδες 90°.....	145
7.2.1.5. Εσωτερικό ρολό οπτικής διαπερατότητας 40%.....	146
7.2.1.6. Εξωτερικές περσίδες 45° και Εσωτερικό ρολό οπτικής διαπερατότητας 40%	146
8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	149
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	155

1. Εισαγωγή

Είναι επιστημονικώς αποδεδειγμένο ότι το δομημένο περιβάλλον των νοσοκομείων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάρρωση των ασθενών και την ασφάλεια που νιώθουν, την οικειότητα που αισθάνονται οι επισκέπτες, την αποδοτικότητα του προσωπικού και το κόστος των υπηρεσιών που παρέχονται. Στη σύγχρονη εποχή, η εξοικονόμηση και η ορθολογική χρήση της ενέργειας, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους, αποτελεί πρωταρχικό στόχο.

Ο φωτισμός του νοσοκομειακού περιβάλλοντος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ποιότητάς του και στο ύψος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Κατά συνέπεια, πρέπει κάθε φορά να αναζητείται η βέλτιστη λύση που θα εξασφαλίζει επαρκή φωτισμό, αλλά και δαπάνη ενέργειας κινούμενη σε λογικά πλαίσια.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση των επιπέδων φυσικού και τεχνητού φωτισμού σε θαλάμους του νοσοκομείου ΚΑΤ και οι προτάσεις για τη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης.

Αρχικά, πραγματοποιείται μια εισαγωγή στην ενεργειακή φύση του φωτός και στις επιδράσεις του στην ψυχική υγεία του ασθενούς. Κατόπιν, προσεγγίζονται ορισμένες παράμετροι του φυσικού φωτισμού και αναλύονται ορισμένες στρατηγικές σχεδιασμού για την καλύτερη εκμετάλλευσή του.

Για την αξιολόγηση του φυσικού φωτισμού στους υπό εξέταση θαλάμους, έγινε χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Google SketchUp, του add-on προγράμματος OpenStudio Plug-in και του Radiance, τα οποία λειτουργούν σε πλήρη συνεργασία. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το πρόγραμμα Relux, τα αποτελέσματα του οποίου αξιολογήθηκαν συγκριτικά με των άλλων προγραμμάτων.

Τέλος, έχοντας πλήρη εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης φωτισμού σε κάθε εξεταζόμενο θάλαμο και σε κάθε ημερομηνία ελέγχου, στις δυσμενείς θέσεις εξετάστηκαν σενάρια βελτιστοποίησής τους και παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα ως προς την αρχική κατάσταση.

It is scientifically proven that the built environment of hospitals influences significantly the recovery of the patients and their safety feeling, the intimacy felt by the visitors, the staff efficiency and the cost of services provided. Nowadays, the savings and the rational use of energy, both for economic and environmental reasons, consists a primary objective.

The lighting of the hospital environment plays an important role in its quality and in the amount of total energy consumption. Consequently, the seek of the best solution which will ensure adequate lighting and reasonable energy expenditure is a necessity.

This thesis deals with the evaluation of the natural and artificial lighting levels in KAT hospital wards and proposals for improving the existing situation.

First of all, an introduction to the energetic nature of light and its effects on the patient's mental health is made. Then, some aspects of natural lighting are approached and some design strategies towards the best outputs are analyzed.

For the evaluation of natural lighting in the rooms tested, the design program Google SketchUp, the add-on program OpenStudio Plug-in and Radiance, (programs which operate in full cooperation) were used. Relux program was also used and its results were assessed comparatively to the other programs results.

Finally, taking into account the current lighting levels in each room tested on the days chosen, the unfavorable positions were picked and optimization scenarios were proposed. The results compared to the initial state are presented.

EΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Ιωάννη Τζουβαδάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε αναθέτοντάς μας την παρούσα Διπλωματική Εργασία, καθώς και τις συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της. Επίσης, ευχαριστούμε θερμά τη συνεπιβλέπουσα, Αρχιτέκτονα Μηχανικό και Υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π., κα Ευαγγελία Σκλάβου για την αμέριστη στήριξη και καθοδήγηση που μας παρείχε.

2. Γενικά στοιχεία

2.1. ΗΛΙΟΣ

2.1.1. Χαρακτηριστικά

Η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά, με απόσταση 152 εκατομμύρια χιλιόμετρα στο αφήλιο και 147 εκατομμύρια χιλιόμετρα στο περιήλιο. Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο γίνεται με μια σταθερή κλίση 23,5ο (ακριβώς 23ο,45') του άξονά της ως προς την ιδεατή κάθετο στο επίπεδο περιφοράς, πράγμα το οποίο δημιουργεί τις εποχιακές κλιματικές διαφορές.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτείνεται από μήκος κύματος 0,2 έως 3,0 μικρά (1 μικρόν=0,0001 εκ.) και αποτελείται κατά ένα ποσοστό 40% από ορατό φως, μήκους κύματος από 0,35 (ιώδες) έως 0,75 μικρά (ερυθρό). Η υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία καλύπτει ένα ποσοστό 50% είναι ακτινοβολία που αισθανόμαστε σαν θερμότητα και καλύπτει το μήκος κύματος πάνω από 0,75 μικρά. Το υπόλοιπο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί την υπεριώδη ακτινοβολία που είναι υπεύθυνη για φωτοχημικές αντιδράσεις, αποχρωματισμό, ηλιακά εγκαύματα κ.α.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας καλείται “ηλιακή σταθερά” και η τιμή της σε κάθετο επίπεδο με την διεύθυνσή της είναι 1395 W/m² (S.Szokolay 1980, σελ. 280).

Η κλίση του άξονα της Γης δημιουργεί τις εποχιακές διαφορές, οι οποίες οφείλονται στην γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων επάνω της. Έτσι την 21 Ιουνίου σε περιοχές με βόρειο πλάτος 23,5ο (τροπικός του Καρκίνου) η φαινόμενη τροχιά του Ήλιου περνάει από το ζενίθ και εκεί έχουμε την μεγαλύτερη ημέρα του χρόνου. Την ίδια στιγμή οι περιοχές που έχουν νότιο πλάτος 23,5ο (τροπικός του Αιγάκερου) έχουν την μικρότερη ημέρα του χρόνου και την χαμηλότερη τροχιά του ήλιου στον ορίζοντα. Την 21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου οι περιοχές του Ισημερινού έχουν τροχιές του ήλιου που περνούν από ζενίθ, τις ίδιες δε ημέρες έχουμε παντού ισημερία.

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η Γη δεν είναι σταθερό, αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις, για λόγους που θα εξηγήσουμε στις επόμενες τρεις παραγράφους :

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης, περιορίζεται από την ατμόσφαιρα. Η μείωση είναι ανάλογη με το μήκος της διαδρομής που πρέπει να καλύψει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα έως ότου φθάσει στο έδαφος. Όσο πιο πλάγια είναι η γωνία πρόσπτωσης στην ατμόσφαιρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή και η μείωσή της έντασής της. Όσο πιο κάθετη στην ατμόσφαιρα είναι η κατεύθυνση της ακτινοβολίας, τόσο μικρότερη είναι η διαδρομή της και η μείωση της έντασής της.
- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει σε κάποιο σημείο της Γης ελέγχεται από το νόμο του συνημίτονου. Σύμφωνα με αυτό το νόμο η ένταση της ακτινοβολίας είναι η μέγιστη σε

επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνσή της και μειώνεται ανάλογα με το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης.

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη Γη εξαρτάται από τη διάρκεια ηλιασμού, η οποία σχετίζεται κατ' αρχήν με τη διάρκεια της ημέρας και κατά δεύτερο λόγο με την κατάσταση της ατμόσφαιρας (νεφοκάλυψη, ατμοσφαιρική ρύπανση)

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σε κάποιο σημείο στην επιφάνεια της Γης προέρχεται απ' ευθείας από τον Ήλιο, από ανακλάσεις και διαθλάσεις στην ατμόσφαιρα και από ανακλάσεις στην επιφάνεια της Γης. Μπορούμε λοιπόν να την διακρίνουμε σε άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη.

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία έχει διεύθυνση που καθορίζεται από την θέση του Ήλιου στον ουράνιο θόλο (ηλιακή γεωμετρία) και η έντασή της μεγιστοποιείται σε καθαρή ατμόσφαιρα.

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση, το ποσό που δέχεται μια επιφάνεια εξαρτάται από το ποσό του ουράνιου θόλου που “βλέπει” αυτή η επιφάνεια (με την έννοια αυτή, οριζόντιες επιφάνειες “βλέπουν” μεγαλύτερο ποσοστό του ουράνιου θόλου από κατακόρυφες), η έντασής της δε μεγιστοποιείται σε περιπτώσεις θολής ατμόσφαιρας και ελαχιστοποιείται σε περίπτωση καθαρής, όταν μεγιστοποιείται η άμεση.

Η ανακλώμενη ακτινοβολία προέρχεται από το έδαφος και η έντασή της εξαρτάται από την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ανακλαστικότητα του εδάφους. Επιφάνειες κατακόρυφες δέχονται το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ακτινοβολίας ενώ κεκλιμένες λιγότερο και οριζόντιες καθόλου.

2.1.2. Ηλιακή γεωμετρία

A) Ηλιακά Διαγράμματα

Για τον σχεδιασμό των κτιρίων και για την χρησιμοποίηση ή αποφυγής της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, είναι σημαντική η γνώση της τροχιάς του Ήλιου. Τα αναλυτικά στοιχεία του προσδιορισμού της θέσης του είναι οι γωνίες του ύψους και του αζυμούθιου για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Τα στοιχεία αυτά υπάρχουν σε πίνακες και προσδιορίζουν επακριβώς την γεωμετρία της τροχιάς του ώστε να μπορεί να συσχετισθεί με την γεωμετρία των κτιρίων. Για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι χρήσιμο να έχουμε την καταγραφή αυτής της τροχιάς με τρόπο εύληπτο και παραστατικό σε μορφή διαγραμμάτων. Η “ηλιακή γεωμετρία” είναι ένα στοιχείο σημαντικό για τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, γιατί με την χρήση της “φαινόμενης τροχιάς του Ήλιου” ελέγχουμε τον σχεδιασμό μας.

Η “φαινόμενη τροχιά του Ήλιου” είναι η τροχιά που φαίνεται να ακολουθεί ο ήλιος στο στερέωμα κάθε τόπου. Η τροχιά αυτή για το βόρειο ημισφαίριο φαίνεται το χειμώνα να είναι χαμηλά στον ορίζοντα και ο ήλιος να παραμένει στο στερέωμα λίγες ώρες, ενώ το καλοκαίρι είναι υψηλά και παραμένει στο στερέωμα περισσότερες ώρες. Τα Ηλιακά Διαγράμματα έχουν σαν στόχο την καταγραφή αυτών των τροχιών ώστε κάθε χρονική στιγμή να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης του Ήλιου με εύκολο και γρήγορο τρόπο.

Για την καταγραφή της φαινόμενης κίνησης του Ήλιου χρησιμοποιούμε δύο ειδών ηλιακά διαγράμματα : αυτά που δείχνουν την προβολή της κίνησης του ήλιου σε οριζόντιο επίπεδο και αυτά που καταγράφουν την κίνηση του ήλιου σε κυλινδρική προβολή.

Τα διαγράμματα που δείχνουν την οριζόντια προβολή της τροχιάς του Ήλιου, με διάφορες παραλλαγές ως προς τον τρόπο προβολής (ισοαποστατική, στερεογραφική κ.α.), χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση του φυσικού φωτισμού και τον έλεγχο του ηλιασμού κυρίως, ενώ αυτά που καταγράφουν την κίνηση του ήλιου σε κυλινδρική προβολή, χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της ηλιακής προσέγγισης (solar access) για δεδομένες τοποθεσίες.

B) Προσανατολισμός & Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η σημαντικότερη ενεργειακή πηγή που χρησιμοποιούμε στον βιοκλιματικό σχεδιασμό. Η θερμότητα που λαμβάνεται από αυτή είναι η σημαντικότερη πηγή θέρμανσης των βιοκλιματικών κτιρίων για τον χειμώνα, αλλά μπορεί να είναι η αιτία της υπερθέρμανσής τους το καλοκαίρι. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής γεωμετρίας και των αποτελεσμάτων που μπορεί να έχει η έκθεση των με διαφορετικό τρόπο προσανατολισμένων επιφανειών των κτιρίων στην ηλιακή ακτινοβολία.

Αν μελετήσουμε στα ηλιακά διαγράμματα των τρόπο που “βλέπει” ο Ήλιος τις επιφάνειες

διαφόρων προσανατολισμών που μπορεί να αποτελούν επιφάνειες κτιρίων, ή ανοιγμάτων κτιρίων, θα βγάλουμε ενδιαφέροντα συμπεράσματα που θα είναι πολύ χρήσιμα για τον σχεδιασμό. Θα παρατηρήσουμε λοιπόν ότι οι νότια προσανατολισμένες κατακόρυφες επιφάνειες δέχονται το χειμώνα την ηλιακή ακτινοβολία όλες τις ώρες της ημέρας με γωνίες πρόσπτωσης τις πιο μικρές, ενώ το καλοκαίρι δέχονται λίγες ώρες με γωνίες πρόσπτωσης μεγάλες. Αντίθετα οι οριζόντιες επιφάνειες το χειμώνα δέχονται ακτινοβολία με μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης, ενώ το καλοκαίρι με μικρές. Ο ανατολικός ή δυτικός προσανατολισμός βλέπουμε ότι το χειμώνα δέχεται ηλιακή ακτινοβολία λίγες ώρες και μόνο τις πρωινές ή απογευματινές ώρες, όταν δηλαδή οι ακτίνες έχουν μειωμένη ένταση λόγω της διαδρομής τους στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα το καλοκαίρι ο ανατολικός ή δυτικός προσανατολισμός δέχεται περισσότερες ώρες ακτινοβολία επειδή ο Ήλιος έχει υψηλότερη τροχιά στον ουράνιο θόλο.

Από τη μελέτη αυτών των διαγραμμάτων γίνεται εμφανές ότι ο καταλληλότερος προσανατολισμός για ανοίγματα από τα οποία θέλουμε να έχουμε τα βέλτιστα ενεργειακά αποτελέσματα είναι ο Νότιος, καθώς έχουμε τη μέγιστη ηλιακή ενεργειακή πρόσοδο το χειμώνα και την ελάχιστη το καλοκαίρι. Ο ανατολικός και δυτικός προσανατολισμός δίνουν ελάχιστη ηλιακή πρόσοδο το χειμώνα, ενώ έχουν σημαντική ηλιακή πρόσοδο το καλοκαίρι, πράγμα που δείχνει ότι ανοίγματα σε αυτούς τους προσανατολισμούς θα επιτείνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης. Τέλος ο Βορινός προσανατολισμός δεν έχει ηλιακή πρόσοδο το χειμώνα και έχει ελάχιστη το καλοκαίρι, λόγω της μετατόπισης της θέσης ανατολής και δύσης του Ήλιου προς βορρά το καλοκαίρι. Αυτό που είναι αξιοσημείωτο και θέλει ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό είναι τα οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια ανοίγματα που εμφανίζουν την μέγιστη ηλιακή πρόσοδο τους καλοκαιρινούς μήνες. Πρέπει να θυμίσουμε εδώ ότι η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μεγιστοποιείται σε συνθήκες θολής ατμόσφαιρας που πολλές φορές συμβαίνει το καλοκαίρι. Η διάχυτη ακτινοβολία δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και όπως αναφέραμε πιο πάνω το ποσόν της εξαρτάται από το ποσοστό του ουράνιου θόλου που “βλέπει” μια επιφάνεια.

2.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ – ΚΛΙΜΑ

Η υγεία και η παραγωγική δραστηριότητα του ανθρώπου επηρεάζονται, σε μεγάλο βαθμό, από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο άμεσο περιβάλλον του. Ο άνθρωπος προσπαθεί να προσαρμοστεί σ' αυτό, προκειμένου να εξασφαλίσει την βιολογική και ψυχολογική του ισορροπία.

Είναι γνωστό ότι ορισμένες κλιματικές συνθήκες ερεθίζουν και αναζωογονούν την παραγωγική δραστηριότητα του ανθρώπου, ενώ άλλες καταστέλλουν την σωματική και πνευματική του προσπάθεια. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την ανθρώπινη δραστηριότητα σε σχέση με την επίδραση του κλίματος και διαπίστωσαν ότι αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή και την κλιματική ζώνη.

Για τις Μεσογειακές χώρες η περίοδος του καλοκαιριού θεωρείται η δυσμενέστερη, ο χειμώνας λιγότερο δυσμενής, ενώ η άνοιξη και το φθινόπωρο θεωρούνται περίοδοι ευεξίας και περισσότερο παραγωγικές για την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Η “θερμική άνεση” μπορεί να οριστεί ως η “αίσθηση μιας πλήρους φυσικής και διανοητικής, ευχάριστης κατάστασης για τον άνθρωπο”, μια κατάσταση πλήρους ευεξίας.

Η πρόκληση για τους σχεδιαστές του χώρου συνίσταται στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης μέσα στα κτίρια μέσω της αξιοποίησης των θετικών παραμέτρων του κλίματος. Συνεπώς κρίνεται αναγκαίο:

α) να προσδιοριστούν εκείνες οι παράμετροι του κλίματος που επηρεάζουν και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την θερμική άνεση.

β) να οριοθετηθεί η περιοχή ή ζώνη θερμικής άνεσης, η οποία μπορεί να εκτείνεται από τις άριστες συνθήκες, μέχρι τις ελάχιστα αποδεκτές για την υγεία και την δραστηριότητα του ανθρώπου.

γ) να καθοριστούν οι στρατηγικές σχεδιασμού του κελύφους του κτιρίου, προκειμένου το ίδιο το κέλυφος να λειτουργεί επιλεκτικά ως προς την επίδραση των μεταβολών του κλίματος, με στόχο πάντα την διασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης μέσα στο κτίριο.

2.2.1. Κλιματικές Συνθήκες και Άνεση

Προκειμένου να δημιουργηθούν συνθήκες θερμικής άνεσης πρέπει να προσδιοριστούν εκείνες οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες επιτρέπουν στον άνθρωπο την καλύτερη προσαρμογή του, με τη μικρότερη δαπάνη σωματικής ενέργειας.

2.2.1.1. Ανταλλαγή Θερμότητας μεταξύ Ανθρωπίνου Σώματος και Περιβάλλοντος.

Η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του ανθρωπίνου σώματος αποτελεί βασική προϋπόθεση για την υγεία, την ευεξία και την βιολογική του άνεση. Η θερμοκρασία του πρέπει να παραμένει σταθερή, γύρω στους 37 βαθμούς C, χωρίς να επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Η διαδικασία παραγωγής ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα είναι γνωστή ως “μεταβολισμός”. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, κατά τις οποίες επιτυγχάνεται θερμική ισορροπία, ορίζονται ως “περιοχή άνεσης”, η οποία εξαρτάται από τη συνδυασμένη, ταυτόχρονη επίδραση πολλών παραμέτρων. Ορισμένες είναι ανεξάρτητες από το κλίμα, όπως :

- α) η παραγωγική δραστηριότητα που πραγματοποιεί ο άνθρωπος. Ένα μέρος της παραγόμενης από το ανθρώπινο σώμα ενέργειας καταναλίσκεται στην εργασία του, μετατρεπόμενη εν τέλει σε θερμότητα.
- β) η προσαρμογή του ανθρώπου στις τοπικές κλιματικές συνθήκες.
- γ) το φύλο και η ηλικία του.
- δ) το ντύσιμο.
- ε) η κατάσταση της υγείας του ανθρώπου.

Οι κλιματικές ή περιβαλλοντικές παράμετροι που καθορίζουν το επίπεδο θερμικής άνεσης είναι :

1. η θερμοκρασία του αέρα,
2. η ακτινοβολούμενη θερμότητα: για το εξωτερικό περιβάλλον πηγή θερμότητας είναι ο ήλιος, ενώ για τον εσωτερικό χώρο είναι η θερμότητα του ήλιου, ο τεχνητός φωτισμός, οι διάφορες συσκευές, (κουζίνα, θερμαντικά σώματα, κ.λ.π.),
3. η κίνηση του αέρα, η οποία εκδηλώνεται υπό μορφή ρεύματος στο χώρο,
4. η υγρασία, δηλαδή η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς.

Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον του γίνεται με πολλούς τρόπους.

- με μεταφορά θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον μέσω του αέρα, ο οποίος έρχεται άμεσα σε επαφή με την επιδερμίδα ή μέσω των ρούχων,

- με αγωγή, όταν θερμότητα χάνεται από το ανθρώπινο σώμα μέσω της επαφής με επιφάνειες ψυχρότερες ή το αντίστροφο, όταν οι επιφάνειες είναι θερμότερες.

- με ακτινοβολία θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς τις περιβάλλουσες επιφάνειες: τοίχους, δάπεδα, οροφή, έπιπλα. Ο βαθμός εκπομπής θερμότητας είναι συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας, ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και των γύρω επιφανειών,

- με εξάτμιση, η οποία πραγματοποιείται μέσω της αναπνοής ή από την επιδερμίδα του σώματος μέσω της άδηλης διαπνοής και της εφίδρωσης.

Η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον του εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\text{Μεταβολισμός} - \text{εξάτμιση} + \text{αγωγή} + \text{μεταφορά} + \text{ακτινοβολία} = 0$$

όταν το αλγεβρικό άθροισμα των παραπάνω παραγόντων ισούται με μηδέν (0), τότε υπάρχει θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα και συνεπώς συνθήκες θερμικής άνεσης.

Εάν το άθροισμα προκύπτει διάφορον του μηδενός η θερμική ισορροπία αυτορυθμίζεται. Όταν είναι μικρότερο του μηδενός -αρνητικό- η θερμοκρασία του δέρματος μειώνεται, ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες του σώματος (αίσθημα ανατριχίας) και η ρύθμιση γίνεται μέσω του κυκλοφοριακού. Όταν το άθροισμα είναι θετικό, τότε αρχίζει η διαδικασία αποβολής θερμότητας από το σώμα μέσω της εφίδρωσης.

2.2.1.2. Θερμική Άνεση και Κλίμα

Η θερμική άνεση αποτελεί ποιοτικό στοιχείο του εσωτερικού χώρου. Οι βασικές κλιματικές παράμετροι που επηρεάζουν την διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας του ανθρωπίνου σώματος με το περιβάλλον του είναι :

- α) η θερμοκρασία του αέρα
- β) η ακτινοβολούμενη θερμότητας
- γ) η κίνηση του αέρα
- δ) η υγρασία

α) Η θερμοκρασία και η κίνηση του αέρα επηρεάζουν τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον του.

β) Η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν έναν χώρο, συνήθως χαμηλότερη της θερμοκρασίας του ανθρώπου, καθορίζει την ποσότητα της ακτινοβολούμενης θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς τις ψυχρότερες επιφάνειες των τοίχων, παραθύρων κ.λ.π. Για τον λόγο αυτό τον χειμώνα όταν καθόμαστε κοντά σε παράθυρα νοιώθουμε να κρυώνουμε.

γ, δ) Η σχετική υγρασία και η ταχύτητα κίνησης του αέρα επηρεάζουν την ανταλλαγή λανθάνουσας θερμότητας, γιατί μεταβάλλεται η λειτουργία της διαπνοής.

Η θερμική – βιολογική άνεση του ανθρώπου σε σχέση με το κλιματικό περιβάλλον δεν μπορεί να εκφραστεί ως επίδραση μιας μόνον παραμέτρου, όπως της θερμοκρασίας, της υγρασίας ή της κίνησης του αέρα, γιατί κατά την διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας κάθε μία παράμετρος επηρεάζει και ταυτόχρονα επηρεάζεται από τις υπόλοιπες.

Κατά συνέπεια, πρακτικά δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί το σημείο της άριστης θερμικής άνεσης, αλλά μια σειρά συνθηκών, οι οποίες αποτελούν την “περιοχή άνεσης”, όπου σύμφωνα με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα το 70% των ατόμων νοιώθουν ευχάριστα.

Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι αίσθημα της ζέστης ή του κρύου είναι και ζήτημα υποκειμενικό και εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, φυσιολογικούς και ψυχολογικούς, ορισμένοι εκ των οποίων ήδη αναφέρθηκαν.

2.2.1.3. Κλίμακες Θερμικής Άνεσης

Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να επινοήσουν μεθόδους συνδυασμού όλων των παραμέτρων του κλίματος σε ένα μοναδικό “δείκτη θερμικής άνεσης”. Οι έρευνες των τελευταίων χρόνων οδήγησαν στη δημιουργία κατάλληλων κλιμάκων, οι οποίες ονομάζονται “θερμικοί δείκτες” ή “κλίμακες άνεσης”. Απεικονίζονται, συνήθως, υπό μορφή νομογραφήματος και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του επιπέδου θερμικής άνεσης, υπό δεδομένες κλιματικές συνθήκες.

Η “κλίμακα της διορθωμένης αισθητής θερμοκρασίας” (corrected effective temperature) είναι η πιο γνωστή μέθοδος για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο. Η κλίμακα αυτή ορίζεται ως η θερμοκρασία της ήρεμης, κορεσμένης από υδρατμούς ατμόσφαιρας, η οποία δίνει την ίδια αίσθηση θερμοκρασίας με εκείνη του περιβάλλοντος που εξετάζεται. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται διεθνώς, παρόλο που μεταγενέστερες έρευνες απέδειξαν ότι η κλίμακα της διορθωμένης αισθητής θερμοκρασίας υποτιμά τη σημασία της μέτριας κίνησης του αέρα και υπερεκτιμά τη δυσμενή επίδραση της υψηλής σχετικής υγρασίας.

Σύμφωνα με τους Houghton και Yaglou η βέλτιστη θερμοκρασία είναι αυτή των 19 ο C, με μια ανεκτή διακύμανση από 17ο C – 23ο C, ενώ η αντίστοιχη σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 30-65%.

Για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο, αναγκαίες είναι οι μετρήσεις θερμοκρασίας ξηρού και υγρού θερμομέτρου, καθώς και η ταχύτητα κίνησης του αέρα. Η περιοχή άνεσης ορίζεται στην κλίμακα της αισθητής θερμοκρασίας από 17-23ο C και κίνηση αέρα από 0,1-1,5 m/sec.

Οι παραδοχές που ισχύουν είναι : ντύσιμο ελαφρύ και εργασία καθιστική.

Εάν η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου δεν είναι γνωστή, αλλά μόνον η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου, τότε χρησιμοποιούμε τον “ψυχρομετρικό χάρτη”, για να την προσδιορίσουμε.

Ο B. Givoni για να προσδιορίσει την περιοχή άνεσης χρησιμοποίησε τον “δείκτη θερμικής δυσφορίας” (index of thermal stress), ο οποίος αντιστοιχεί στην αναμενόμενη ποσότητα εφίδρωσης του ανθρωπίνου σώματος, υπό δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος και μεταβολισμού. Ο δείκτης θερμικής δυσφορίας ισούται με τον λόγο της απαιτούμενης ψύξης, μέσω της εφίδρωσης του σώματος, προς τη μέγιστη ικανότητα απορρόφησης των υδρατμών από τον αέρα του χώρου (E/Emax). Η αναμενόμενη ποσότητα εφίδρωσης, σύμφωνα με τον B. Givoni, “φαίνεται να αποτελεί την κατάλληλη βάση για την αξιολόγηση της δυσφορίας που δημιουργεί ένα δεδομένο περιβάλλον ή ο συνδυασμός εργασίας και εξωτερικού φορτίου θερμότητας, για τον καθορισμό του ορίου θερμικής ισορροπίας του ανθρωπίνου σώματος”.

Η γενική σχέση του δείκτη θερμικής δυσφορίας είναι :

$$S = \{ (M - W) + Oc + R \} / (I/Re)$$

όπου: S = δείκτης θερμικής δυσφορίας

M = μεταβολισμός

W = παραγωγή μηχανικής ενέργειας

C = μεταβίβαση θερμότητας προς το περιβάλλοντος

R = ανταλλαγή ακτινοβολούμενης θερμότητας

Re = παραγωγή υδρατμών μέσω εφίδρωσης

2.2.2. Θερμική Άνεση – Σχεδιασμός Κτιρίων

Το κέλυφος των κτιρίων αποτελεί τον ρυθμιστικό παράγοντα για την δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων, κατάσταση που μπορεί να επιτευχθεί με την αξιοποίηση των θετικών επιδράσεων του κλίματος και την αποφυγή των επιζήμιων.

Η αξιολόγηση του τοπικού κλίματος καθορίζει τη στρατηγική σχεδιασμού των κτιρίων και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κελύφους τους, έτσι ώστε να καταναλίσκεται η μικρότερη δυνατή ποσότητα ενέργειας για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης μέσα στα κτίρια.

2.2.2.1. Περιοχή – Ζώνη Άνεσης

Οι δείκτες ή κλίμακες θερμικής άνεσης αξιολογούν και προσδιορίζουν τις συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό περιβάλλον, με βάση τις μετρήσεις ξηρού και υγρού θερμομέτρου και την ταχύτητα κίνησης του αέρα. Για τον καθορισμό των μέγιστων και ελάχιστων ορίων θα πρέπει να παίρνονται υπόψη σχετικές υποδείξεις, η χρήση του κτιρίου και η παραγωγικής δραστηριότητα των ενοίκων.

Η αλληλεξάρτηση ανάμεσα στη θερμοκρασία του χώρου και στην παραγωγική δραστηριότητα του ανθρώπου (εργασία καθιστική ή πολύ βαριά) εκφράζεται με όρους μεταβολισμού, δηλαδή παραγωγής ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα, συνεπώς και παραγόμενης θερμότητας.

2.2.2.2. Μέθοδοι Αξιολόγησης του Κλίματος

Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να προσδιορίσουν τη συνδυασμένη επίδραση των κλιματικών παραμέτρων για τον καθορισμό της περιοχής ή ζώνης άνεσης, έτσι ώστε να καθίσταται εφικτή η αξιολόγηση του κλίματος και να αποσαφηνίζονται οι κατευθυντήριες οδηγίες για τον σχεδιασμό του κελύφους των κτιρίων.

- Μέθοδος Olgay – Βιοκλιματικός Χάρτης**

Οι V. και A. Olgay ήταν οι πρώτοι που πρότειναν μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής του κτιρίου στις τοπικές κλιματικές συνθήκες.

Ανέλυσαν διεξοδικά την επίδραση της κάθε παραμέτρου του κλίματος στην διαμόρφωση της θερμικής άνεσης. Τα τελικά συμπεράσματά τους διατύπωσαν στον “βιοκλιματικό χάρτη”, στον οποίον ορίζεται η ζώνη άνεσης σε σχέση με την θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία, την μέση ακτινοβολούμενη θερμότητα, την ταχύτητα του αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία και την ψύξη λόγω εξάτμισης. Ο βιοκλιματικός χάρτης μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές της εύκρατης ζώνης, κυρίως σε

γεωγραφικά πλάτη γύρω στις 40ο, με τις παραδοχές ότι η δραστηριότητα είναι καθιστική και το ντύσιμο σύνηθες.

Στον βιοκλιματικό χάρτη η θερμοκρασία σημειώνεται στον άξονα των τετμημένων και η σχετική υγρασία στον άξονα των τεταγμένων. Η περιοχή ή ζώνη άνεσης ορίζεται μεταξύ 21 – 28ο C, μετακινούμενη ελαφρά προς τα κάτω για συνθήκες χειμώνα και προς τα πάνω για τις αντίστοιχες του καλοκαιριού. Η σχετική υγρασία ορίζεται μεταξύ 30-65%, με ανεκτά όρια από 20-78%. Το κάτω όριο της ζώνης άνεσης ορίζει την θερμοκρασία των 21ο C, επάνω από την οποία απαιτείται ηλιοπροστασία του κτιρίου, ιδιαίτερα των ανοιγμάτων του.

Τα όρια της ζώνης άνεσης διαχωρίζουν τον βιοκλιματικό χάρτη σε δύο περιοχές, επάνω και κάτω. Η επάνω περιοχή προσδιορίζει την “υπερθερμαινόμενη” περίοδο, δηλαδή το καλοκαίρι, κατά την οποία η σκίαση των ανοιγμάτων είναι απολύτως απαραίτητη, προκειμένου να αποφευχθεί η άνοδος της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Η κάτω περιοχή προσδιορίζει την “υποθερμαινόμενη” περίοδο, δηλαδή το χειμώνα, κατά την οποία η παροχή συμπληρωματικής θερμότητας από τον ήλιο ή άλλη πηγή είναι απαραίτητη, προκειμένου οι συνθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου να προσεγγίσουν την ζώνη άνεσης.

Οποιαδήποτε κλιματικά δεδομένα, σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, τα οποία προσδιορίζονται από την θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία μπορούν να ενταχθούν στον βιοκλιματικό χάρτη.

Αυτό έγινε για το κλίμα της Αθήνας, για όλους τους μήνες του έτους. Εφόσον τα δεδομένα εμπίπτουν στη ζώνη άνεσης, οι συνθήκες είναι θερμικά ευχάριστες. Εάν βρίσκονται εκτός ζώνης, τότε απαιτούνται ρυθμίσεις στο κέλυφος του κτιρίου προκειμένου να προσεγγιστεί η ζώνη άνεσης.

Πιο αναλυτικά :

1. Εάν το σημείο τομής της δεδομένης θερμοκρασίας και της αντίστοιχης σχετικής υγρασίας βρίσκεται εκτός ορίων της ζώνης άνεσης, προς τα επάνω στην δεξιά πλευρά, τότε χρειάζεται να διασφαλίζεται κάποια κίνηση του αέρα, με ταχύτητα που καθορίζεται από τις παράλληλες προς το επάνω όριο γραμμές. Αυτή η κίνηση του αέρα -το ρεύμα- υποβοηθά στην απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου και συνεπώς στη μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας, άρα στην προσέγγιση του επάνω ορίου της ζώνης άνεσης. Πρακτικά η διαδικασία αυτή μπορεί να εξασφαλιστεί με φυσικό αερισμό, μέσω των ανοιγμάτων του κελύφους του κτιρίου. Οι συνθήκες αυτές εμφανίζονται το καλοκαίρι, κατά το οποίο παρατηρούνται υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αντίστοιχης σχετικής υγρασίας.

2. Εάν η θερμοκρασία είναι υψηλή και η σχετική υγρασία παρουσιάζει χαμηλή τιμή, δημιουργείται το αίσθημα του ζεστού και ξηρού περιβάλλοντος. Τότε η ρύθμιση που απαιτείται είναι

η αύξηση του ποσοστού της υγρασίας, δηλαδή η αύξηση των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα. Αυτό συνεπάγεται εξάτμιση, η οποία για να πραγματοποιηθεί απορροφάται μέρος της θερμότητας του χώρου, συνεπώς πτώση της θερμοκρασίας, άρα προσέγγιση του ορίου θερμικής άνεσης. Οι διακοπτόμενες καμπύλες, επάνω αριστερά στον βιοκλιματικό χάρτη, ορίζουν την ποσότητα της απαιτούμενης υγρασίας σε συνάρτηση πάντα με την τιμή της θερμοκρασίας.

Οι συνθήκες αυτές εμφανίζονται το καλοκαίρι σε κλίματα ζεστά και ξηρά. Η παρουσία νερού στον εξωτερικό χώρο, είτε υπό μορφή μικρών δεξαμενών, είτε υπό μορφή εκτοξευόμενων σταγονιδίων, καθώς και η παρουσία βλάστησης ή δέντρων συμβάλλει αποτελεσματικά στην δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης.

3. Εάν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, κάτω από την οριακή γραμμή των 21οC, τότε απαιτείται πρόσθετη θερμότητα, είτε από τον ήλιο είτε από άλλη θερμαντική πηγή, έτσι ώστε η θερμοκρασία να ανέβει και να προσεγγίσει το κάτω όριο της ζώνης άνεσης στον βιοκλιματικό χάρτη. Η ποσότητα της απαιτούμενης θερμότητας καθορίζεται από τις καμπύλες, στο κάτω όριο του βιοκλιματικού χάρτη, και εκφράζεται σε μονάδες W/m². Οι συνθήκες αυτές εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες. Όταν οι τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας βρίσκονται στο κατώτατο όριο, κάτω από τις καμπύλες που προσδιορίζουν την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, τότε η μοναδική λύση για την προσέγγιση της ζώνης άνεσης, στον εσωτερικό χώρο, είναι η συμπληρωματική θέρμανση.

Η διαδικασία για την αξιολόγηση του κλίματος και την διάγνωση των συνθηκών άνεσης σε σχέση με τα τοπικά δεδομένα, περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

α) συγκέντρωση των τοπικών μετεωρολογικών δεδομένων, κυρίως της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για όλους τους μήνες του έτους.

β) ταξινόμηση αυτών των δεδομένων κατά μήνα.

γ) ένταξη στον βιοκλιματικό χάρτη των επεξεργασμένων στοιχείων του κλίματος κατά μήνα - μέσες μέγιστες και μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες και αντίστοιχες τιμές σχετικής υγρασίας-,

δ) αξιολόγηση των κλιματικών στοιχείων, μετά την ένταξή τους στον βιοκλιματικό χάρτη και αποσαφήνιση των ρυθμίσεων που απαιτούνται στο κέλυφος του κτιρίου, προκειμένου να προσεγγίζεται η ζώνη θερμικής άνεσης.

Η χρήση του βιοκλιματικού χάρτη, στον οποίον εντάσσονται τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής ή του συγκεκριμένου τόπου, καθορίζει μετά την αξιολόγησή τους και τις κατευθύνσεις του σχεδιασμού ή/και τις ρυθμίσεις στο κέλυφος του κτιρίου, όπως: η διασφάλιση φυσικού αερισμού μέσω των ανοιγμάτων, η σκίαση των ανοιγμάτων, η δυνατότητα αξιοποίησης της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας, η χρήση νερού ή βλάστησης κ.λ.π.

- Μέθοδος Givoni

Βιοκλιματικός Χάρτης Κτιρίου

Η μέθοδος αξιολόγησης του κλίματος, μέσω του βιοκλιματικού χάρτη των Olgyay, αμφισβήτηθκε από τον B. Givoni, κυρίως ως προς την απαίτηση της ηλιοπροστασίας, διότι ο καθορισμός των ορίων για προστασία από την άμεσης ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η θερμική αδράνεια του κτιρίου, το εύρος και η διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας, συνεπώς “δεν μπορεί να χαράσσεται μια γραμμή σε μια μόνο θερμοκρασία, αυτή των 21ο C, πάνω από την οποία απαιτείται οπωσδήποτε σκίαση”.

Η Μέθοδος του Givoni χρησιμοποιεί τον “δείκτη θερμικής δυσφορίας”, προκειμένου να εκτιμήσει και να προσδιορίσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου, έτσι ώστε να διασφαλίζονται συνθήκες θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο.

Ο “Βιοκλιματικός Χάρτης Κτιρίου” δημιουργήθηκε από τον B. Givoni, ο οποίος χρησιμοποίησε ως βάση τον “ψυχρομετρικό χάρτη” και προσδιόρισε τη ζώνη άνεσης. Σήμερα, με κάποιες μικρές τροποποιήσεις που έγιναν μεταγενέστερα από τους Watson και Labs, χρησιμοποιείται διεθνώς για την διάγνωση του αναμενόμενου εσωκλίματος, με βάση τα τοπικά κλιματικά δεδομένα. Βασική αρχή του βιοκλιματικού χάρτη κτιρίου είναι ο καθορισμός των ποιοτικών κατευθύνσεων για τον σχεδιασμό του κελύφους του κτιρίου.

Η διαδικασία χρήσης του βιοκλιματικού χάρτη κτιρίου έχει ως εξής:

α) ένταξη των δεδομένων της θερμοκρασίας κατά μήνα-ωριαίες ή ημερήσιες τιμές- και των αντίστοιχων τιμών της σχετικής υγρασίας. Το σύνολο των σημείων τομής τους ορίζουν ένα περίγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας και υγρασίας για κάθε μήνα.

β) αξιολόγηση των ενταγμένων στον βιοκλιματικό χάρτη δεδομένων, τα οποία καθορίζουν τις στρατηγικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Οι τιμές των θερμοϋγρομετρικών δεδομένων που εμπίπτουν στην περιοχή (5) του βιοκλιματικού χάρτη ορίζουν συνθήκες πλήρους άνεσης. Τα όρια της ζώνης (5) καθορίζονται από θερμοκρασίες που διακυμαίνονται από 18-27ο C και αντίστοιχες τιμές σχετικής υγρασίας από 20-80%.

Πιο αναλυτικά :

α) Για τον χειμώνα οι τιμές των θερμοϋγρομετρικών δεδομένων που εμπίπτουν στις ζώνες (1) και (2) καθορίζουν τις ακόλουθες απαιτήσεις προκειμένου να προσεγγίζεται τη ζώνη άνεσης.

- περιορισμός των θερμικών απωλειών,
- περιορισμός στην διείσδυση του αέρα από τους αρμούς των κουφωμάτων,
- προστασία από τους ψυχρούς ανέμους,
- αύξηση των ηλιακών απολαβών, των προερχομένων από την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία.

β) Για το καλοκαίρι προκειμένου να εξασφαλίζεται φυσικός δροσισμός του κτιρίου, καθορίζονται οι εξής απαιτήσεις : φυσικός αερισμός, θερμική αδράνεια της κατασκευής, ηλιοπροστασία, αφύγρανση, εξάτμιση ή συνδυασμός όλων. Πιο συγκεκριμένα :

- όταν οι τιμές εμπίπτουν στις ζώνες (6) και (8) απαιτείται φυσικός αερισμός,
- όταν οι τιμές εμπίπτουν στις ζώνες (4) και (15) απαιτείται ηλιοπροστασία,
- όταν οι τιμές εμπίπτουν στις ζώνες (8), (10) και (11) απαιτείται ψύξη μέσω εξάτμισης, συνδυαζόμενη με τη θερμική μάζα της κατασκευής,
- όταν οι τιμές εμπίπτουν στις ζώνες (7) και (10) απαιτείται ψύξη μέσω ακτινοβολίας θερμότητας προς την ατμόσφαιρα (κυρίως το βράδυ το καλοκαίρι) και θερμική μάζα,
- όταν οι τιμές εμπίπτουν στις ζώνες (12) και (13) απαιτείται θερμική προστασία, συνδυασμένη με τεχνητό κλιματισμό.

Κάποιες ανακρίβειες μπορεί να προκύψουν, τόσο λόγω της απόκλισης των τοπικών κλιματικών δεδομένων σε σχέση με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του βιοκλιματικού χάρτη κτιρίου, όσο και λόγω της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα που παρουσιάζει ο βιοκλιματικός χάρτης κτιρίου είναι ότι αντιμετωπίζει ταυτόχρονα τις θερμικές ανάγκες του ανθρώπου για άνεση, το τοπικό κλίμα και την ανταπόκριση του κτιριακού κελύφους, καθορίζοντας έτσι τις ποιοτικές αρχές του σχεδιασμού. Αποτελεί στην ουσία ένα πρακτικό εργαλείο διάγνωσης των απαιτήσεων για την βιοκλιματική προσέγγιση της αρχιτεκτονικής.

2.3. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.3.1. Η ηλιακή ακτινοβολία - Ηλιασμός – Ηλιοπροστασία

Ο ηλιασμός και η ηλιοπροστασία αποτελούν τους δύο βασικότερους στόχους του βιοκλιματικού (αρχιτεκτονικού και πολεοδομικού) σχεδιασμού. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο πριν αναφερθούν οι οδηγίες σχεδιασμού, να προηγηθούν κάποιες πληροφορίες για την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και την Ηλιακή Γεωμετρία, έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο προσδιορισμός της πορείας του ήλιου, που αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τον έλεγχο του ηλιασμού και του σκιασμού.

2.3.1.1. Η ηλιακή ακτινοβολία

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο περιλαμβάνει όλο το εύρος του μήκους κύματος, από τη μεγαλύτερη θερμική ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος) ως τη μικρότερη υπεριώδη ακτινοβολία (μικρού μήκους κύματος). Ένα ποσοστό της τάξεως του 35% ανακλάται από την ατμοσφαιρική σκόνη και τα σύννεφα, ενώ η υπόλοιπη φθάνει στο έδαφος. Το ποσό της ακτινοβολίας αυτό, εξαρτάται από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας αλλά και από το μήκος τροχιάς της ηλιακής δέσμης (Ανδρεαδάκη, 2006, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994).

Τελικά, η ακτινοβολία φθάνει στη γη με τη μορφή της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας. Η πρώτη, δηλαδή η άμεση ηλιακή δέσμη, εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζει η γωνία πρόσπτωσης της (σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια) με τον κατακόρυφο άξονα της επιφάνειας, ενώ η δεύτερη, (η διάχυτη ακτινοβολία), προέρχεται από τον ουρανό αφού ανακλαστεί από τα σύννεφα. Σ' αυτήν ανήκει η ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος και τα κτίρια αλλά και που απορροφάται από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας. Έτσι, το σύνολο των δύο ακτινοβολιών σε μια δεδομένη επιφάνεια ονομάζεται ολική ακτινοβολία (G) ή συνολικά διαθέσιμη ενέργεια. Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σε ένα τετραγωνικό μέτρο μιας επιφάνειας σε μια τυχαία στιγμή, μετριέται σε Watts ανά τετραγωνικό μέτρο.

Επιπλέον, η ακτινοβολία που φθάνει στη γη διαφέρει από στιγμή σε στιγμή και προσδιορίζεται από τη γεωγραφική περιοχή, το γεωγραφικό πλάτος, τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν αλλά και από την ώρα της ημέρας. «Αν η ακτινοβολία σε μια επιφάνεια υπολογιστεί ως ολοκλήρωμα σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο προσδιορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που εξασφαλίζεται σ' αυτό το διάστημα. Η χρονική περίοδος που συνήθως χρησιμοποιείται για την ολοκλήρωση, είναι η ημέρα. Έτσι, τυπικά η ακτινοβολία δίνεται σε κιλοβατώρες (kWh) ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά ημέρα» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994, σ.21).

Στην περιοχή της Μεσογείου, η ετήσια ημερήσια ακτινοβολία μπορεί να φθάσει τις 6 kWh ανά τετραγωνικό μέτρο και έτσι συγκριτικά με άλλες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. στη Σκωτία φθάνει ως

2,25 kWh) μπορούμε να διαπιστώσουμε το πλεονέκτημα των μεσογειακών χωρών στον ηλιασμό αλλά και την ανάγκη για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της ενέργειας αυτής.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι κεκλιμένες επιφάνειες δέχονται διαφορετικά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας απ' ότι οι οριζόντιες.



Πηγή: Προσαρμογή από (Beer & Higgins, 2000)

Εικόνα 2.1.: Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας

Πηγή: Beer & Higgins, 2000

2.3.1.2. Η θέση του ήλιου

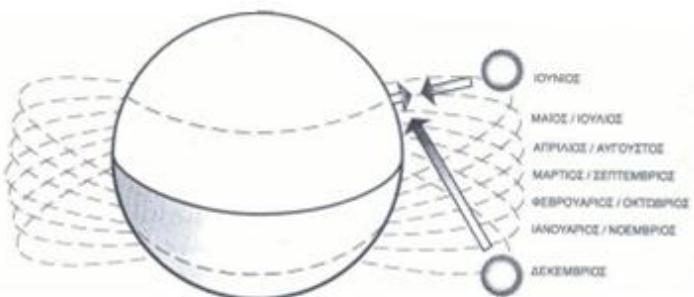
«Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο κατά τη διάρκεια του χρόνου, σχηματίζοντας μία ελαφρώς ελλειπτική τροχιά ενώ ο άξονας της γης δεν είναι κάθετος στο επίπεδο περιστροφής της γύρω από τον ήλιο, αλλά σχηματίζει μία γωνία 23° 27', γεγονός που καθορίζει την διαφορετική πρόσπτωση των ακτινών του ηλίου στα ημισφαίρια της γης» (Ανδρεαδάκη, 2006, σ.58).

Προκειμένου να μελετηθεί και να προσδιοριστεί η κίνηση του ήλιου σε μια γεωγραφική περιοχή, πρέπει να προβούμε στην παραδοχή της φαινόμενης κίνησης του ηλίου. Δηλαδή να θεωρήσουμε ότι η γη παραμένει σταθερή, ενώ ο ήλιος διαγράφει τροχιές γύρω από αυτήν.

Οι φαινόμενες τροχιές του ηλίου ταυτίζονται ανά δύο μήνες (εκτός του Δεκεμβρίου και του Ιουνίου), ενώ κατά τους δύο προαναφερθέντες μήνες παρατηρείται η βραχύτερη μέρα (21 Δεκεμβρίου) αλλά και η μακρότερη μέρα (21 Ιουνίου). Στις 21 Δεκεμβρίου παρατηρείται η βραχύτερη μέρα λόγω της μέγιστης τιμής που λαμβάνει η απόκλιση μεταξύ του κατακόρυφου άξονα της γης με

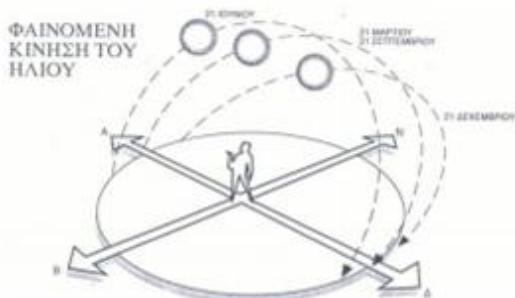
τις ηλιακές ακτίνες και αυτό καλείται «Χειμερινό Ήλιοστάσιο», ενώ στις 21 Ιουνίου η μακρότερη μέρα οφείλεται στην ελάχιστη τιμή της απόκλισης και καλείται «Θερινό Ήλιοστάσιο». Στις 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου η μέρα με τη νύχτα έχουν την ίδια διάρκεια σε όλα τα πλάτη, η απόκλιση είναι 90° και καλούνται «Εαρινή και Φθινοπωρινή Ισημερία».

Ηλιακές τροχιές για δεδομένο τόπο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους



Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995

Η φαινόμενη κίνηση του ήλιου



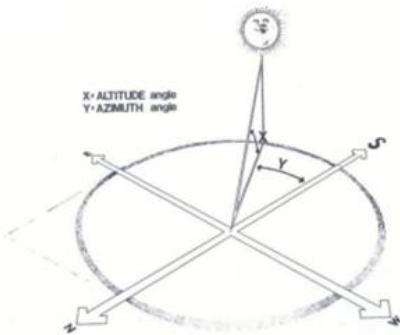
Εικόνες 2.2. & 2.3.: Ηλιακές Τροχιές και φαινόμενη κίνηση του ήλιου.

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή 1995.

Έτσι, εκτός του εύρους της ημέρας που δίνει ο ήλιος, παρατηρούνται και τροχιές διαφορετικού ύψους. Η θέση του ηλίου, αλλά και η διεύθυνση της ηλιακής δέσμης, καθορίζεται τη δεδομένη στιγμή από δύο βασικές γωνίες: το ηλιακό ύψος και το ηλιακό αζιμούθιο. Πιο αναλυτικά (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994, Στασινόπουλος, 2001β).

Το ηλιακό ύψος (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται από τη θέση του ηλίου, τη θέση του παρατηρητή αλλά και του ορίζοντα (δηλαδή από τη γωνία ύψους της θέσης του ηλίου ως προς το οριζόντιο επίπεδο). Έτσι, όταν ο ήλιος είναι στον ορίζοντα, το ηλιακό ύψος είναι 0° , και όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ, δηλαδή στον κατακόρυφο άξονα ακριβώς πάνω από τον παρατηρητή, το ύψος είναι 90° .

Οι γωνίες ύψους και αζιμούθιου που ορίζουν τη θέση του ήλιου



Πηγή: Ανδρεαδάκη, 2006

Εικόνα 2.4.: Οι γωνίες ύψους και αζιμούθιου που ορίζουν τη θέση του ήλιου

Πηγή: Ανδρεαδάκη, 2006

Το αζιμούθιο (α) συνίσταται στη γωνία που σχηματίζεται από την προβολή, στο οριζόντιο επίπεδο, της γραμμής ήλιος – παρατηρητής και της διεύθυνσης που λαμβάνεται ως αφετηρία (ανάλογα με την επιλεγμένη σύμβαση Βορράς ή Νότος) και μετράται δεξιόστροφα. Έτσι, το αζιμούθιο παίρνει αρνητικές ή θετικές τιμές.

Οι δύο γωνίες του ήλιου διαφέρουν από ώρα σε ώρα από εποχή σε εποχή. Έτσι, στο θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου) στο βόρειο γεωγραφικό πλάτος, οι ακτίνες του ήλιου σχηματίζουν γωνία ύψους $23^{\circ}27'$ στο επίπεδο του Ισημερινού, ενώ στον Τροπικό του Καρκίνου ($22^{\circ}30'N$), η ηλιακή δέσμη είναι περίπου κάθετη. Τότε, η διάρκεια της ημέρας φτάνει στη μεγαλύτερη τιμή της, στο βόρειο ημισφαίριο.

Επιπλέον, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μπορούν να προσδιοριστούν είτε αναλυτικά είτε γραφικά. Στην πρώτη περίπτωση, ο προσδιορισμός αυτός επιχειρείται μέσω πινάκων για όλο το έτος ανά ώρα. Ενώ, στη δεύτερη περίπτωση, πραγματοποιείται με τη βοήθεια ηλιακών χαρτών (ή αλλιώς ηλιακών διαγραμμάτων). Οι ηλιακοί χάρτες είναι χάρτες του ουράνιου θόλου οι οποίοι απεικονίζουν – σε επίπεδο ορθής προβολής – τις φαινόμενες τροχιές του ήλιου για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Συνεπώς, υπάρχουν ηλιακοί χάρτες για όλα τα γεωγραφικά πλάτη και διαφέρουν μεταξύ τους κατά 4° . στην Ελλάδα υπάρχουν διαθέσιμοι 3 χάρτες για τα πλάτη $32^{\circ}, 36^{\circ}$ και 40° (από το νοτιότερο τμήμα της Κρήτης ως τα βορειότερα).

Έτσι, η απεικόνιση κάθε ηλιακού χάρτη περιλαμβάνει τις επτά φαινόμενες τροχιές του ήλιου για όλο το χρόνο, ενώ παράλληλα μπορούν να προσδιοριστούν οι ηλιακές γωνίες για την εκάστοτε θέση του ήλιου ανάλογα με την ώρα (διακεκομμένες καμπύλες) και τον μήνα (φαινόμενη τροχιά). Ο οριζόντιος άξονας του χάρτη καταγράφει τις γωνίες αζιμούθιου ως προς τον γεωγραφικό νότο, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο με γωνία 0° . για κάθε δεδομένη στιγμή που θέλουμε να βρούμε τις

γωνίες του ήλιου, πρέπει να προσδιορίσουμε τη φαινόμενη τροχιά που μας ενδιαφέρει αλλά και την ώρα. Αυτό το σημείο μπορεί να αναλυθεί σε δύο συντεταγμένες (τετμημένη, τεταγμένη). Η κάθετη ευθεία από το σημείο προς τον οριζόντιο άξονα προσδιορίζει την τιμή του αζιμούθιου, ενώ η οριζόντια ευθεία από το σημείο προς τον κάθετο άξονα προσδιορίζει τη γωνία ύψους του ήλιου.

Εξετάζοντας το χάρτη, παρατηρούμε ότι σε γεωγραφικό πλάτος 36°B , όπως στη Νότια Ελλάδα, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, η τροχιά του ήλιου έχει εύρος κίνησης 240° και μέγιστο ηλιακό ύψος είναι 77° . Κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, η τροχιά του ήλιου έχει εύρος κίνησης 240° και το μέγιστο ηλιακό ύψος είναι 30° . Η περίπτωση του συγκεκριμένου γεωγραφικού πλάτους αποτελεί μία περίπτωση των ακραίων τιμών της θέσης του ήλιου στην Ευρώπη, ενώ η εκ διαμέτρου αντίθετη, πάντα στα πλαίσια της Ευρώπης, περίπτωση αποτελεί το γεωγραφικό πλάτος 56°B σε χώρες όπως η Σκωτία και η Δανία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994).

Επιπρόσθετα, πρέπει να αναφερθούν και άλλοι τρόποι που μπορούν να υπολογίσουν τις γωνίες του ήλιου, όπως οι τριγωνομετρικοί αλγόριθμοι και τα νομογραφήματα, που όμως δίνουν μια τμηματική εικόνα της κίνησης του ήλιου, οι ηλιοδείκτες και τα ηλιόδα, που βοηθούν στην προσομοίωση της πορείας του ήλιου εφόσον η περιοχή μελέτης αναπτύσσεται σε μακέτα. Ενώ όσον αφορά τα σχεδιαστικά προγράμματα, πολλά από αυτά επιτρέπουν τη σχεδίαση με προσδιορισμό του ηλιακού φωτός σε δεδομένο τόπο και ώρα, αλλά και ειδικά προγράμματα επιτρέπουν μέσα από ειδικούς αλγορίθμους τον προσδιορισμό της ακριβής πορείας του ήλιου αλλά και ελέγχου του ηλιασμού – σκιασμού του μοντέλου.

Τέλος, για τον καθορισμό της ηλιοπροστασίας (σκιασμού), χρησιμοποιούνται μετρητές σκιασμού, που βασίζονται στους ηλιακούς χάρτες και προσδιορίζουν τη σκίαση που προέρχεται από τον περιβάλλοντα χώρο (από αυτόν που εξετάζουμε) και χρησιμοποιείται κυρίως στο σχεδιασμό των κτιρίων, αλλά και από απλά και εξειδικευμένα σχεδιαστικά προγράμματα και άλλες μεθόδους (Στασινόπουλος, 2001γ).

2.3.2. Τοπικοί παράγοντες και πολεοδομικές παράμετροι που επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και προσπίπτει στο έδαφος επηρεάζεται σημαντικά από δύο τοπικούς παράγοντες της τοποθεσίας που εξετάζεται: από τη θολότητα της ατμόσφαιρας, την τοπογραφία του εδάφους αλλά και από διάφορες πολεοδομικές παραμέτρους που αναπτύσσονται στο δομημένο περιβάλλον (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1994, Γιάννας, 2001).

Αναφορικά με τον πρώτο, η θολότητα αποτελείται από σκόνη, υδρατμούς κτλ. Τα οποία διαχέουν την ηλιακή ακτινοβολία όταν διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα. Στις πόλεις, οι παράγοντες μόλυνσης από την αυξημένη κυκλοφορία αλλά και από τις υπόλοιπες ρυπογόνες δραστηριότητες επιδρούν στην ακτινοβολία του ήλιου, εξασθενώντας την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνοντας τη διάχυτη ακτινοβολία τις ανέφελες μέρες.

Από την άλλη μεριά, όσον αφορά την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής, γίνεται σαφές ότι οι φυσικές κλίσεις, το υδατικό δυναμικό, τα στοιχεία του φυσικού τοπίου, τα φυσικά εμπόδια αλλά και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής επηρεάζουν σημαντικά την πορεία και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και τα ζητούμενα του βιοκλιματικού σχεδιασμού, δηλαδή τον ηλιασμό και τη σκίαση. Για παράδειγμα, σε ένα οικισμό ή σε μια περιοχή εντός του οικισμού, εμπόδια στα νότια προκαλούν μεγαλύτερη σκίαση κατά τη χειμερινή περίοδο (European Commission, 2000).

Επίσης, όσον αφορά τα στοιχεία του τοπίου, πρέπει να αναφερθεί ότι, η επίδραση της βλάστησης μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στη σκίαση αλλά και τον ηλιασμό μιας περιοχής (ανάλογα με το αν τα δέντρα είναι φυλλοβόλα ή αειθαλή κτλ.).

Οσον αφορά τις πολεοδομικές παραμέτρους, που παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στον ηλιασμό – ηλιοπροστασία μιας περιοχής είναι (Γιάννας, 2001, Πολυχρονόπουλος, 1999):

- Ο προσανατολισμός των διάφορων επιφανειών (κτίρια, δρόμοι, ελεύθεροι χώροι κτλ.)
- Η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης της αστικής περιοχής
- Η γεωγραφική μορφή του πολεοδομικού ιστού
- Οι κτιριολογικές και κτιριοδομικές παράμετροι

Πρώτον, ο προσανατολισμός των επιφανειών (όπως και η φυσική κλίση του εδάφους) μιας πόλης επηρεάζει έντονα την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και τη δημιουργία αλληλοσκιασμού.

Η πυκνότητα και το σύστημα δόμησης επηρεάζουν καθοριστικά τον ηλιασμό, την ορατότητα του ουράνιου θόλου και κατ' επέκταση την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αλλά και την οπτική άνεση. Έτσι, η αραιότερη δόμηση, που παρατηρείται στα προάστια, με πανταχόθεν ελεύθερο σύστημα

δόμησης, προσφέρει καλύτερες συνθήκες ηλιασμού απ' ότι στο κέντρο της πόλης με μεγάλη πυκνότητα και συνεχές σύστημα δόμησης. Από την άλλη μεριά όμως, η αραιότερη δόμηση αφήνει μεγαλύτερο ποσοστό επιφανειών εκτεθειμένο στον ήλιο με συνέπεια, την ανεπιθύμητη αύξηση του θερμικού φορτίου κατά τη θερινή περίοδο.

Επιπλέον, μια άλλη κύρια πολεοδομική παράμετρο συνιστά η γεωμετρική μορφή του ιστού της πόλης, με κύριο εργαλείο το γεωμετρικό λόγο υ/π αλλά και οι κτιριολογικές και κτιριοδομικές παράμετροι.

Οι τελευταίες αποτελούνται από τα εξής στοιχεία (Γιάννας, 2001):

- Τη γεωμετρική μορφή των κτιρίων (pilotis, ρετιρέ κτλ.)
- Τους μεταβατικούς και ενδιάμεσους χώρους
- Τους ακάλυπτους χώρους των οικοδομικών τετραγώνων
- Τις ιδιότητες των εξωτερικών επιφανειών

2.3.3. Αρχές Σχεδιασμού

Ο ηλιασμός και η ηλιοπροστασία, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν τις πιο βασικές και ουσιαστικές αρχές του βιοκλιματικού πολεοδομικού σχεδιασμού, ειδικά στο μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας. Με τον όρο «ηλιασμό» νοείται η επιλεκτική πρόσβαση του χώρου στον ηλιακό πόρο, ενώ «ηλιοπροστασία» σημαίνει η ηθελημένη αποφυγή χώρων από τον ήλιο, δηλαδή σκίαση.

Στην Ελλάδα, η επιλογή ηλιασμού ή ηλιοπροστασίας συνδέεται συχνά με τους εποχιακούς στόχους, δηλαδή επιδιώκεται ηλιασμός των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων κατά τη χειμερινή περίοδο κι ηλιοπροστασία κατά τη θερινή περίοδο. Σ' αυτό το σημείο μπορεί να παρατηρηθεί ότι το κλίμα παίζει πρωτεύοντα ρόλο σε σχέση με το αν είναι επιθυμητή η πρόσβαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, σε κλίματα ψυχρά και νεφοσκεπή (π.χ. Βόρεια Ευρώπη) όλες οι μέρες με ηλιοφάνεια είναι επιθυμητές ανεξάρτητα με το αν είναι χειμώνας ή καλοκαίρι, ενώ σε κλίματα τροπικά, που επικρατεί υψηλή θερμοκρασία σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, η απρόσκοπτη έκθεση στον ήλιο είναι ανεπιθύμητη (Γιάννας, 2002, ΚΑΠΕ, 2002).

Ο ηλιασμός μιας περιοχής επηρεάζεται από πολλούς τοπικούς και πολεοδομικούς παράγοντες, όπως αναλύθηκαν πιο πάνω. Στη συνέχεια επιχειρείται η καταγραφή γενικών οδηγιών που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό για το βέλτιστο ηλιασμό μιας περιοχής.

1. Ο προσανατολισμός του οδικού δικτύου

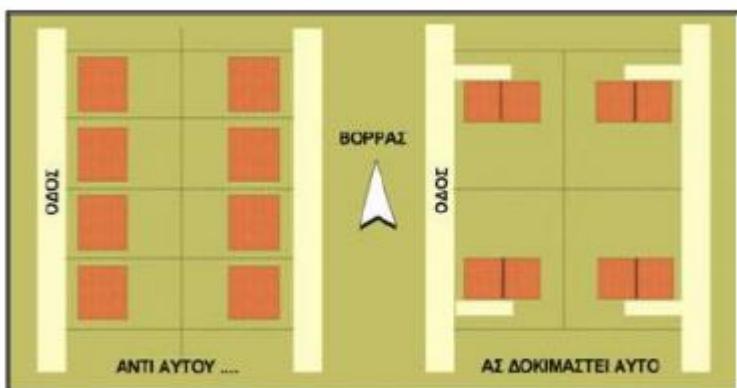
Η χάραξη του οδικού δικτύου αποτελεί βασικό στοιχείο της πολεοδομικής στρατηγικής της πόλης. Έτσι, το σύστημα πρωτευουσών και δευτερευουσών οδικών αξόνων σε έναν οικισμό, αποτελεί ένα από τα κύρια στοιχεία πολεοδομικού σχεδιασμού και συνιστά το πλαίσιο ανάπτυξης των οικοδομικών τετραγώνων και συνεπώς των κτιριακών όγκων αλλά και των ανοικτών χώρων. Έτσι, εκτός από την καλύτερη οργάνωση της κυκλοφορίας ο εκάστοτε μελετητής πρέπει να λαμβάνει υπόψη του και την πρόσβαση του οικισμού στο ηλιακό πόρο.

Ένας από τους τρόπους που εξασφαλίζει το σωστό προσανατολισμό για τον βέλτιστο ηλιασμό των κτιρίων είναι η διάταξη των κύριων οδικών αξόνων κατά τον άξονα Ανατολή – Δύση, ώστε να επιτευχθεί ο προσανατολισμός των περισσότερων κτιρίων προς τον νότο. Παρ' όλα αυτά σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορούμε να έχουμε τον επιδιωκόμενο προσανατολισμό, για παράδειγμα σε περιπτώσεις όπου η τοπογραφία είναι τέτοια ώστε οι δρόμοι να λαμβάνουν υπόψη τις ισοϋψεις καμπύλες, αλλά ακόμα κι αν ο κτιριακός όγκος δεν είναι προσανατολισμένος εντελώς προς τον νότο, τα κτίρια μπορούν να έχουν πολύ καλή πρόσβαση στον ηλιακό πόρο.

Κατά την περίπτωση που οι διάφοροι τοπικοί περιορισμοί επιβάλλουν τον προσανατολισμό του κύριου οδικού άξονα στον άξονα Βορρά – Νότου, απαιτείται η χωροθέτηση των κτιριακών όγκων

που πρόκειται να αναπτυχθούν ή η αξιολόγηση, εκ νέου, της ηλιακής πρόσβασης που απαιτείται. Έτσι, κατά τη συγκεκριμένη διάταξη, ο προσανατολισμός των κτιρίων στο νότο, αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα. Ένας τρόπος για να εφαρμοστεί ο σωστός προσανατολισμός των κτιρίων είναι κατάλληλος συνδυασμός και διαμόρφωση των οικοπέδων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995).

Συνδυασμός των οικοπέδων για σωστό προσανατολισμό



Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995

Εικόνα 2.5.: Συνδυασμός των οικοπέδων για σωστό προσανατολισμό

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995

Για παράδειγμα, δύο όμορα οικόπεδα με κατεύθυνση βορρά-νότου μπορούν να αναδιαταχθούν με αποτέλεσμα τα δύο γειτονικά κτίρια να είναι προσανατολισμένα στο νότο και, χωρίς δημιουργία σκιάσεων, να απολαμβάνουν το μέγιστο ηλιακό όφελος. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι δεν είναι ανάγκη να υπάρξουν διπλοκατοικίες σε όλο τον οικισμό αλλά ακόμα και μονοκατοικίες δομημένες με παντοχόθεν ελεύθερο σύστημα.

«Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται καλύτερα όταν οι οδοί βρίσκονται σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να διαταχθούν τέσσερα οικόπεδα στην κατεύθυνση Ανατολή – Δύση. Αυτή η μη συμβατική τεχνική θα μπορούσε να μην είναι σύμφωνη με τους τοπικούς κανονισμούς. Μπορεί επίσης να συνεπάγεται αυξημένες δαπάνες για τη σύνδεση των εσωτερικών οικοπέδων, αλλά να έχει το πλεονέκτημα ότι επαναφέρει τη συνήθη απόσταση μεταξύ των όψεων των κτιρίων» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995, σ.135).

1. Προσανατολισμός και διάταξη κτιριακού όγκου και οικοπέδων

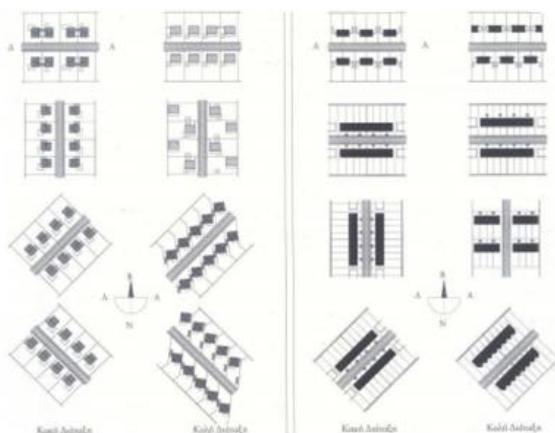
Με τον όρο «προσανατολισμός ενός κτιρίου» εννοείται ο προσανατολισμός της κύριας όψης του κτιρίου, δηλαδή τα κύρια ανοίγματα όπως τα παράθυρα και τα υαλοστάσια, στο εξωτερικό περιβάλλον.

Ο βέλτιστος προσανατολισμός κτιρίων είναι ο μεσημβρινός (δηλαδή ο νότιος προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο), που παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατή πρόσβαση στον ήλιο

τον χειμώνα αλλά, και παράλληλα, το καλοκαίρι μπορεί να προστατευθεί πιο εύκολα από τον ανεπιθύμητο ηλιασμό. Η διάταξη των οικοδομικών τετραγώνων με τη μεγάλη τους διάσταση να είναι παράλληλη με τον άξονα Ανατολή – Δύση, μπορεί να παρέχει απρόσκοπτο ηλιασμό σε αυτή την όψη των κτιρίων. Τονίζεται ότι ο απρόσκοπτος ηλιασμός δεν επηρεάζεται σημαντικά για αποκλίσεις έως 30° από τη μεσημβρία ($+/- 30^{\circ}$) (European Commission, 2000).

Η βορινή όψη ενός κτιρίου, η οποία δεν έχει καλό ηλιασμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρήσεις όπως κλιμακοστάσια και βοηθητικοί χώροι ή γενικότερα για χώρους όπου πρέπει να αποφευχθεί η ηλιακή ακτινοβολία.

Καλή και άστοχη διάταξη των κτιρίων στα οικόπεδα με γνώμονα τον βέλτιστο ηλιασμό



Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996

Εικόνα 2.6.: Παραδείγματα διάταξης κτιρίων για βέλτιστο ηλιασμό.

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996

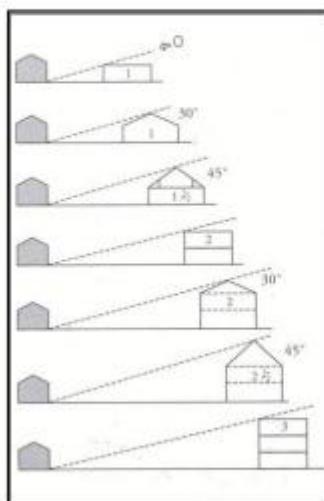
Επιπλέον, η χωροθέτηση των ψηλότερων κτιριακών όγκων στη βόρεια πλευρά μιας οδού και των χαμηλότερων στη νότια, είναι άλλη μια λύση που απαλείφει τους αλληλοσκιασμούς και εξασφαλίζει περισσότερο ηλιασμό.

Μία άλλη στρατηγική για απρόσκοπτο ηλιασμό των κτιρίων είναι ο προσδιορισμός του λεγόμενου «ηλιακού περιβλήματος» (solar envelope), που αναπτύχθηκε από τον R. Knowles και συνδέεται με τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Σύμφωνα με αυτή, το ηλιακό περίβλημα αποτελεί το ιδεατό στερεό μέσα στο οποίο πρέπει να αναπτυχθεί ο κτιριακός όγκος έτσι ώστε να μη δημιουργεί σκίαση στα όμορα κτίρια. Έτσι, η προσέγγιση αυτή, λαμβάνει υπόψη τους ισχύοντες οικοδομικούς κανονισμούς, μετρήσεις που πρέπει να γίνουν αλλά και όλους τους απαραίτητους περιορισμούς. Το «ηλιακό περίβλημα» καθορίζεται και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, συνήθως στα μέσα Δεκεμβρίου, όπου παρατηρείται η μικρότερη γωνία ύψους του ήλιου και συνεπώς οι σημαντικότερες σκιάσεις (Knowles, 1999, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1995).

2. Γεωμετρία του αστικού ιστού και τοπογραφία

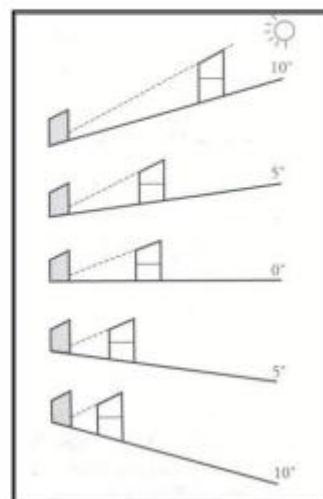
Το πλάτος ενός δρόμου, ο προσανατολισμός του αλλά και η απόσταση και τα ύψη των κτιρίων, μπορούν να παίζουν ένα ιδιαίτερο ρόλο στην αύξηση των ηλιακών προσόδων μιας περιοχής. Όσο πιο ψηλό είναι το απέναντι κτίριο, τόσο μεγαλύτερο πλάτος πρέπει να έχει ο δρόμος, για να εξασφαλίζεται απρόσκοπτος ηλιασμός, κατά τη χειμερινή περίοδο, στο κτίριο. Πιο συγκεκριμένα σε έδαφος χωρίς κλίση, η σχέση που συνδέει το πλάτος ενός δρόμου με το ύψος του απέναντι κτιρίου είναι v/π (δηλ. ύψος απέναντι κτιρίου/πλάτος δρόμου). Ελέγχει την πρόσβαση στον ηλιακό πόρο και καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος της πόλης που εξετάζεται. Για παράδειγμα, στην Αθήνα με γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 58'$ και κριτήριο το χειμερινό ηλιοστάσιο, ο λόγος θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,55, δηλαδή $v/\pi < 0,55$, για να υπάρχει απρόσκοπτος ηλιασμός (Αθανασίου, 2007, Γιάννας, 2002).

Επίδραση των γειτονικών κτιρίων στην ηλιακή πρόσβαση



Πηγή: (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996)

Ηλιακή πρόσβαση για διάφορες κλίσεις και πυκνότητες ανάπτυξης



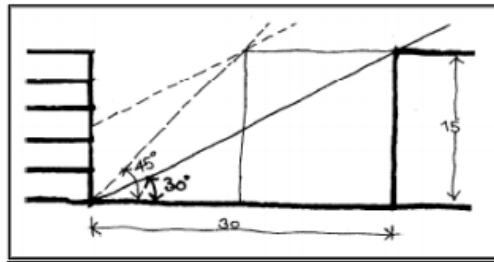
Πηγή: (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996)

Εικόνα 2.7.: Ηλιακή πρόσβαση και παράγοντες που την επηρεάζουν,
Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 1996

Για την κατανόηση του παραπάνω, μπορεί να αναφερθεί ως παράδειγμα: «Σε γεωγραφικό πλάτος 40Β και αστικό ιστό με εν σειρά κτίρια, για τη διασφάλιση του ηλιασμού μιας ολόκληρης νότιας πρόσοψης το μεσημέρι στα μέσα του Δεκεμβρίου πρέπει να ικανοποιείται η σχέση $v/\pi < 0,5$. Αν το απέναντι κτίριο έχει ύψος 15 μέτρων, τότε το πλάτος του δρόμου πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 μέτρα. Μ' αυτή τη σχέση, το Μάρτιο που η γωνία ύψους του ήλιου φθάνει τις 50° κατά το μεσημέρι, θα ηλιάζεται και το 60% της επιφάνειας το εδάφους ανάμεσα στα κτίρια. Αν αντίθετα το πλάτος του

δρόμου ήταν μόνο 15 μέτρα (δηλαδή $v/\pi=1,0$) και η γωνία $\theta=45^\circ$, τότε δεν θα έφτανε ο ήλιος στο ισόγειο της νότιας όψης πριν από τις αρχές Μαρτίου, και το Δεκέμβριο η νότια όψη θα ηλιαζόταν από τα 7,5 μέτρα και πάνω, δηλαδή από τα μέσα του δεύτερου ορόφου».

Επεξηγηματικό διάγραμμα του παραδείγματος με τον λόγο v/π

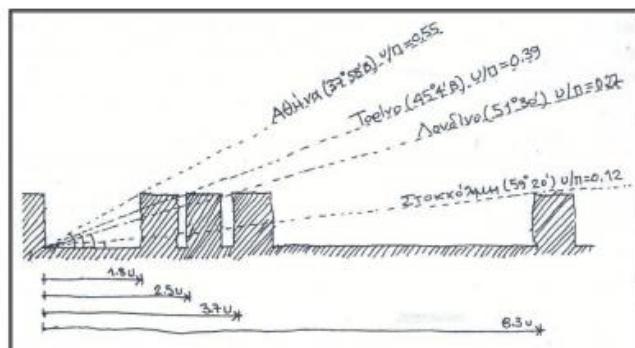


Εικόνα 2.8.: Λόγος v/π .

Πηγή: Γιάννας, 2002

Εξαιρετικά μείζονος σημασίας αποτελεί, όμως, το γεγονός ότι αυτός ο δείκτης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές με διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος, με τα ίδια κριτήρια. Έτσι, σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη από αυτό της Αθήνας (π.χ. μια πόλη στη Σουηδία ή την Αγγλία), ο προσδιορισμός του λόγου v/π με βάση τη γωνία ύψους του ήλιου κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, μπορεί να οδηγήσει σε ένα εξαιρετικό αραιοδομημένο ιστό. Ως αποτέλεσμα ενδέχεται να προκληθεί η κατακόρυφη αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης της πόλης λόγω των μεγάλων αποστάσεων και συνεπώς των αυξημένων μετακινήσεων I.X. αλλά και εκτίθοντας την πόλη στους ισχυρούς χειμερινούς ανέμους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το κριτήριο ηλιασμού θα πρέπει να προσδιοριστεί από άλλη κρίσιμη ημερομηνία ή να τεθεί σε άλλη βάση (Γιάννας, 2001).

Τιμές του λόγου v/π για διασφάλιση ηλιασμού στα μέσα Δεκεμβρίου σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη

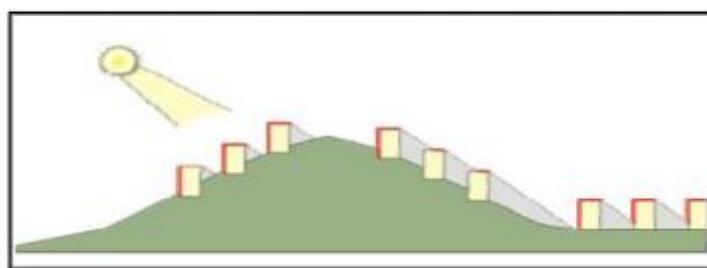


Εικόνα 2.9.: Τιμές του λόγου v/π στα μέσα Δεκεμβρίου για διαφορετικά γεωγραφικά Πλάτη.

Πηγή: Γιάννας, 2001

Αντίθετα, σε έδαφος με κλίση, διαπιστώνεται η αντίστροφη σχέση που συνδέει την κλίση του εδάφους με την απόσταση π . Δηλαδή στην περίπτωση που ένας οικισμός είναι χωροθετημένος στις πλαγιές ενός λόφου ή ενός βουνού, στη βορινή πλευρά του οικισμού μπορεί να παρατηρηθεί πρόβλημα ηλιασμού αφού η σκίαση που προκαλείται από κάποια κτίρια έχει μεγάλη έκταση αποτελώντας έτσι εμπόδιο για τον απρόσκοπτο ηλιασμό άλλων κτιρίων. Στη νότια κλίση του λόφου παρατηρείται περιορισμένη σκίαση. Λύσεις για αυτό το ζήτημα, με στόχο το βέλτιστο ηλιασμό, είναι χωροθέτηση κτιριακών όγκων σε σχήμα σκακιέρας στη βορινή πλευρά και πιο πυκνή δόμηση σε σειρά στο νότιο μέρος (Χρυσομαλλίδου, Θεοδοσίου, & Τσικαλουδάκη, 2002).

Ηλιασμός κτιρίων στις πλαγιές ενός λόφου

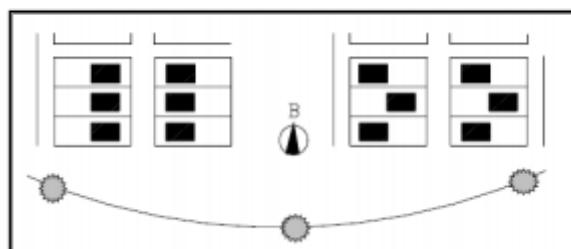


Εικόνα 2.10.: Ηλιασμός κτιρίων στις πλαγιές ενός λόφου

Πηγή: Χρυσομαλλίδου, Θεοδοσίου & Τσικαλουδάκη, 2002

Τέλος, στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, η μορφή του εδάφους έχει ένα ιδιαίτερα ισχυρό αντίκτυπο στην ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή η επιρροή επιτείνεται από τον προσανατολισμό των πλαγιών. Έτσι, οι πιο ζεστές περιοχές είναι οι πλαγιές που βλέπουν στα νότια και νοτιοδυτικά. Αυτές που ακολουθούν είναι νοτιοανατολικές και δυτικές, ενώ οι βορειοδυτικές πλαγιές τείνουν να είναι πιο κρύες περιοχές από τον μέσο όρο. Οι βόρειες, βορειοανατολικές και ανατολικές πλαγιές είναι οι πιο κρύες από όλες (Beer & Higgins, 2000).

Χωροθέτηση κτιρίων σε σχήμα σκακιέρας



Εικόνα 2.11.: Χωροθέτηση Κτιρίων σε σχήμα σκακιέρας

Πηγή: Πολυχρονόπουλος, 1999

Από την άλλη μεριά, στο μεσογειακό κλίμα, η ηλιοπροστασία του αστικού χώρου αποτελεί ένα κυρίαρχο στόχο κατά τη θερινή περίοδο (αλλά και για αρκετούς μήνες του χρόνου), όπου παρατηρούνται μεγάλες θερμοκρασίες εντός του αστικού ιστού. Η ηλιοπροστασία μπορεί να επιτευχθεί σε γενικές γραμμές από: χρήση διάφορων πολεοδομικών στοιχείων, χρήση συστημάτων σκίασης (π.χ. πέργκολες, στέγαστρα) και χρήση κατάλληλης βλάστησης εντός του οικισμού αλλά και στα κτίρια (ΚΑΠΕ, 2004).

Σε πρώτη φάση, η ηλιοπροστασία καθορίζεται, όπως και ο ηλιασμός άλλωστε, από τις προαναφερθείσες πολεοδομικές παραμέτρους (σύστημα δόμησης, πυκνότητα, γεωμετρική μορφή της πόλης, προσανατολισμός στοιχείων, κτιριολογικές και κτιριοδομικές παράμετροι) και τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται και κατά τη χειμερινή περίοδο. Έτσι, οι σχεδιασμένοι αλληλοσκιασμοί επιφανειών παιζουν ένα ιδιαίτερο ρόλο, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για υπαίθριους χώρους, όπως η σκίαση μιας πλατείας από τα παρόδια κτίρια. Επιλέγεται ο βορινός προσανατολισμός για χώρους των κτιρίων που επιδιώκεται η αποφυγή της πρόσβασης του ήλιου, ενώ πρέπει να προστατεύονται οι ανατολικοί και ιδιαίτερα οι δυτικοί προσανατολισμοί των κτιρίων, που είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένοι, μεγάλα διαστήματα των ημερών της θερινής περιόδου.

Σχετικά με την πυκνότητα της πόλης, προτιμάται η προγραμματισμένη πυκνή και συμπαγής δόμηση, η οποία αφήνει εκτεθειμένες λιγότερες επιφάνειες, σε σχέση με τις μικρότερες πυκνότητες σε περιοχές προαστίων. Έτσι, συνεπάγεται η επιβάρυνση των κτιρίων με μικρότερα θερμικά φορτία (Γιάννας, 2001).

Επιπρόσθετα, η χρήση τεχνητών σκιάστρων (π.χ. τέντες, πέργκολες κτλ.) μπορεί να περιορίσει την ανεπιθύμητη ακτινοβολία σε κτίρια αλλά και σε υπαίθριους χώρους καθώς και να συντελέσει στη σκίαση των δρόμων. Η τελευταία μπορεί να επιτευχθεί με τοποθέτηση κατάλληλων σκιάστρων στα υψηλότερα τμήματα των κτιρίων και στις δύο πλευρές του δρόμου. Αυτό βέβαια μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στον απρόσκοπτο αερισμό του δρόμου και την αποσυμφόρηση από την υψηλή θερμότητα και κατ' επέκταση θερμοκρασία. Η χρήση οριζόντιων σκιάστρων παρέχουν σκιά τις περισσότερες ώρες της ημέρας και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη σκίαση μονοπατιών και χώρων με επιμήκη διάταξη (π.χ. πεζόδρομοι), υπολογίζοντας όμως τον παράλληλο αερισμό που πρέπει να υπάρχει, έτσι ώστε να μην εγκλωβίζεται ο θερμός αέρας.

Επιπλέον, η χρήση της βλάστησης εντός του οικισμού μπορεί να αποτελέσει μία σημαντική λύση που συνεισφέρει στον σκιασμό επιφανειών αλλά και βοηθάει στη ρύθμιση ενός καλύτερου μικροκλίματος. Έτσι, τα δέντρα μπορούν να προσφέρουν ηλιοπροστασία σε διάφορα τμήματα της πόλης (κτίρια, δρόμους και υπαίθριους χώρους) αλλά και μέσω αναρριχόμενων φυτών και φυτεμένων δωμάτων επιφέρουν σκίαση στις διάφορες επιφάνειες των κτιρίων και οφέλη, μειώνοντας την

απορρόφηση ακτινοβολίας, ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία και αυξάνοντας τις επιφάνειες του αστικού πρασίνου (ΔΙΠΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ, 2000, ΚΑΠΕ, 2004).

Στα εύκρατα κλίματα, μάλιστα, πρέπει να γίνονται φυτεύσεις φυλλοβόλων δέντρων στο δυτικό μέρος των κτιρίων (για να αποφευχθεί ο δυτικός προσανατολισμός) αλλά και πρέπει να αποφευχθούν φυτεύσεις αειθαλών στη μεσημβρία.

Τέλος, κύριο ρόλο παίζουν τα υλικά δόμησης και τα χρώματα των επιφανειών. Αυτό συμβαίνει λόγω της ανακλαστικότητας, της απορροφητικότητας και διαπερατότητας των υλικών, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τις θερμοκρασίες των επιφανειών, επιφέροντας άνοδο και στην εξωτερική αλλά και εσωτερική θερμοκρασία (Raydan & Steemers, 2006).

2.3.4. Αστική Μορφολογία και βιοκλιματικός σχεδιασμός

2.3.4.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Για τον ηλιασμό (επιλεκτική έκθεση χώρων στην ηλιακή ακτινοβολία) ή σκίαση ενός αστικού χώρου, βασικό παράγοντα αποτελεί το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του. Π.χ. για μια πόλη της Σουηδίας, θα επιλεγεί μια στρατηγική σχεδιασμού έτσι ώστε να υπάρχει μέγιστο ποσοστό ηλιασμού καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στον αντίποδα, για μια πόλη της Ελλάδας, θα επιλεγεί μέγιστο ποσοστό ηλιασμού το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι. Αφού προσδιοριστεί η θέση (πόλη), εξετάζεται η ηλιακή γεωμετρία της περιοχής. Έτσι, προσδιορίζεται η ακριβής κίνηση του ηλίου στον ουράνιο θόλο για όλες τις μέρες του έτους. Επομένως, ο χώρος μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να δέχεται τα κατάλληλα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε εποχή του έτους. Οι ρυθμιστικοί παράγοντες του ηλιασμού είναι ο προσανατολισμός και το πλάτος των δρόμων, το ύψος και η μορφή των οικοδομικών όγκων και η πυκνότητα δόμησης. Πλέον, η εκτίμηση και αξιολόγηση των συνθηκών ακτινοβολίας ενός αστικού χώρου μπορούν να γίνουν με μεγάλη ακρίβεια, λόγω της δημιουργίας τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του χώρου, της ύπαρξης ψηφιακών αρχείων με κλιματολογικά δεδομένα και της προσομοίωσης της κίνησης του ηλίου με τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων.

2.3.4.2. Σκίαση

Ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν αστικό χώρο είναι μια από τις κρισιμότερες παραμέτρους ρύθμισης των μικροκλιματικών συνθηκών και αφορά, κατά κύριο λόγο, στην εξασφάλιση της απαιτούμενης σκίασης, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, συνδυαζόμενη με την εξασφάλιση ηλιασμού κατά τους χειμερινούς μήνες. Ο έλεγχος αυτός έχει ως στόχο τη βελτίωση των συνθηκών θερμικής (και οπτικής) άνεσης στον αστικό χώρο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά και την εξασφάλιση βελτιωμένων συνθηκών στον περιβάλλοντα αστικό ιστό.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας ανοιχτός αστικός χώρος θα πρέπει να περιλαμβάνει σκιασμένα και ασκίαστα τμήματα, σχεδιασμένα ανάλογα με τη χρήση και την εποχή. Π.χ. ένα πέρασμα, στο οποίο κυκλοφορούν πεζοί και ποδήλατα θα μπορούσε να είναι σκιασμένο από φυλλοβόλα δέντρα ή φυτά (τοποθετημένα σε πέργκολα) το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα θα δέχεται το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Με τον τρόπο αυτό, διασφαλίζονται συνθήκες θερμικής άνεσης, γίνεται ευχάριστη η κίνηση διαμέσου του χώρου και ενθαρρύνεται η μειωμένη χρήση IX οχημάτων.

Αντίστοιχα, μια πλατεία με καθιστικά, μια παιδική χαρά κ.ο.κ. πρέπει να παρέχει σημαντική, αν όχι καθολική, σκίαση το καλοκαίρι, αλλά και σκιαζόμενα και ηλιαζόμενα τμήματα για τις υπόλοιπες εποχές.

Ως προς τον ηλιασμό των παρακείμενων κτηρίων, εξετάζεται κατά πόσον και πότε οι όψεις των κτηρίων δέχονται ηλιακή ακτινοβολία και κατά πόσον η παρέμβαση στον αστικό χώρο θα επηρεάσει τον ηλιασμό αυτό. Επί πλέον, μια παρέμβαση που επηρεάζει τη θερμοκρασία στον αστικό χώρο, θα έχει επίδραση στα παρακείμενα κτήρια, γεγονός που έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στη μείωση του ψυκτικού φορτίου και στη λειτουργία των κλιματιστικών συστημάτων.

2.3.4.3. Προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία

Ο σκιασμός τόσο του υπαίθριου χώρου όσο και των κτιρίων με τη φύτευση είναι πολύ αποτελεσματικός. Ακόμη και δέντρα χωρίς φύλλωμα, εμποδίζουν κατά 40-80% τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιλογή της φύτευσης, με υψηλό ή χαμηλό πράσινο, καθορίζεται από την επιθυμητή ηλιοπροστασία των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων.

Το είδος του φυτού, και ιδιαίτερα το σχήμα της κόμης (π.χ. στρογγυλό, πυραμιδοειδές κοκ) ρυθμίζουν το ποσοστό του σκιασμού. Τα φυλλοβόλα φυτά είναι τα πλέον κατάλληλα για ηλιασμό το χειμώνα και σκιασμό το καλοκαίρι. Για παράδειγμα, ένα μεγάλο φυλλοβόλο δέντρο που σκιάζει το νότιο τοίχο τη θερινή περίοδο συνεισφέρει στο δροσισμό του κτιρίου το καλοκαίρι, χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τον ηλιασμό του το χειμώνα (Εικόνα 1.8). Επίσης τα ψηλά δέντρα με ψηλή πυκνή κόμη (αειθαλή ή φυλλοβόλα), φυτεμένα κοντά στη νότια όψη προστατεύουν το κτίριο από το θερινό ήλιο, ενώ δεν εμποδίζουν το χαμηλό χειμερινό ήλιο. Συγχρόνως δεν εμποδίζουν τον καλοκαιρινό αερισμό. Αν τα δέντρα είναι χαμηλά (με κώμη στο ύψος των νότιων ανοιγμάτων) θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι φυλλοβόλα.

Στην ανατολική και δυτική όψη προτείνονται φυλλοβόλα ή αειθαλή δέντρα μικρού ύψους και μικρής πυκνότητας, φυτεμένα κοντά στο κτίριο. Φιλτράρουν τον ήλιο το χειμώνα και συγχρόνως προσφέρουν ολοκληρωμένη ηλιοπροστασία το καλοκαίρι.

Επίσης η απόσταση της φύτευσης από το κτίριο είναι καθοριστικής σημασίας (Εικόνα 1.9). Για τη βέλτιστη τοποθέτηση των δέντρων πρέπει να προηγείται μελέτη ηλιασμού-σκιασμού.

Ο σκιασμός των συμπαγών τμημάτων του κελύφους των κτιρίων επιτυγχάνεται επίσης με την εφαρμογή φυτεμένων δωμάτων και τη χρησιμοποίηση αναρριχώμενων φυτών ή με υδροπονικούς φυτεμένους τοίχους (κατακόρυφοι κήποι). Επιπλέον, οριζόντιες προεξοχές για τη σκίαση νότιων ανοιγμάτων μπορεί να καλυφθούν με φυτά, αποτρέποντας έτσι την αποθήκευση θερμότητας στα δομικά υλικά της προεξοχής.

2.3.4.4. Ηλιασμός – Ηλιοπροστασία

Ο ηλιασμός και αντίστοιχα η ηλιοπροστασία αποτελούν δύο από τους βασικότερους στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, αλλά και γενικότερα σε χώρες με εύκρατο, μεσογειακό κλίμα επιδιώκεται από το σχεδιασμό, ηλιασμός των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων κατά τους χειμερινούς μήνες, και κατάλληλη ηλιοπροστασία τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου. Αντίθετα, σε χώρες της Βόρειας Ευρώπης, για παράδειγμα, που το κλίμα είναι ψυχρό, επιδιώκεται ηλιασμός καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Ηλιασμός είναι η εκούσια, επιλεκτική έκθεση χώρων στην ηλιακή ακτινοβολία. Ηλιοπροστασία ή σκιασμός, αντίθετα, είναι η θέληση για προστασία και αποφυγή από την ηλιακή ακτινοβολία. Και τα δύο φαινόμενα είναι καθοριστικοί παράγοντες ελέγχου της θερμοκρασίας και βασικές παράμετροι θερμικής και οπτικής άνεσης.

Είναι σαφές ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι η κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει τόσο τον ηλιασμό όσο και την ηλιοπροστασία. Οι παράγοντες, λοιπόν, που επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία είναι η θολότητα της ατμόσφαιρας, η τοπογραφία του εδάφους και διάφορες πολεοδομικές παράμετροι.

Η τοπογραφία του εδάφους σχετίζεται με:

- Τις φυσικές κλίσεις
- Το υδατικό δυναμικό
- Τα στοιχεία του φυσικού τοπίου, όπου εξέχουσα θέση κατέχει η βλάστηση
- Τα φυσικά εμπόδια
- Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Οι πολεοδομικές παράμετροι αφορούν:

- Τον προσανατολισμό επιφανειών, όπως οι δρόμοι, τα κτίρια και οι ελεύθεροι χώροι
- Την πυκνότητα και το σύστημα δόμησης της εξεταζόμενης περιοχής
- Τη γεωγραφική μορφή του πολεοδομικού ιστού
- Κτιριολογικές και κτιριοδομικές παραμέτρους
- Τη γεωμετρική μορφή του ύψους κτιρίων προς το πλάτος των δρόμων ($υ/π$)

Η διαδικασία για επιτυχή ηλιασμό δεν είναι εύκολη, διότι η δόμηση του αστικού ιστού είναι δεδομένη, τα κτίρια, οι δρόμοι, η τοπογραφία. Σε ό, τι αφορά, ωστόσο, το βέλτιστο ηλιασμό, αυτός

επιτυγχάνεται για κατεύθυνση οδικών αξόνων Ανατολή – Δύση και προσανατολισμό κτιρίων προς το Νότο. Ο ηλιασμός των υπαίθριων χώρων εξαρτάται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της πόλης, τον προσανατολισμό των δρόμων, τη διατομή των δρόμων και το ύψος των κτιρίων.

Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνεται με φυσικά και τεχνητά μέσα. Στους ανοιχτούς χώρους εστιάζεται σε χώρους εκτεταμένης χρήσης, όπως είναι οι χώροι στάσης, ανάπταυσης, ηρεμίας και πρέπει να επιλέγεται ένας κατάλληλος συνδυασμός σκιασμένων και ασκίαστων τμημάτων, αναλόγως της χρήσης και της εποχής. Η επιτυχημένη ηλιοπροστασία χρησιμοποιεί πολεοδομικά στοιχεία, όπως είναι το σύστημα δόμησης και η γεωμετρική μορφή της πόλης, και αξιοποιεί τους υπάρχοντες κτιριακούς όγκους που βρίσκονται περιμετρικά του εξεταζόμενου χώρου, για να ωφεληθεί από φαινόμενα αλληλοσκιασμού. Οι παράμετροι που επηρεάζουν το θερινό σκιασμό των υπαίθριων χώρων είναι ο προσανατολισμός και η γεωμετρία τους, δηλαδή η αναλογία ύψους των κτηρίων προς τις διαστάσεις των υπαίθριων χώρων. Όταν οι υπαίθριοι χώροι είναι μεγάλοι, ο σκιασμός τους από τα κτήρια είναι περιμετρικός και αναλογικά περιορισμένος, ενώ όταν έχουν μικρή έκταση, ο σκιασμός τους από τα κτήρια είναι αναλογικά εκτεταμένος. Το χειμώνα όταν η νότια πλευρά των υπαίθριων χώρων είναι ανοιχτή, ο σκιασμός τους είναι ελάχιστος. Το καλοκαίρι σκιάζεται το πρωί η ανατολική και το απόγευμα η δυτική τους ζώνη για λίγες ώμως ώρες. Τις περισσότερες ώρες της ημέρας ο χώρος τους είναι εκτεθειμένος σε έντονη, σχεδόν κατακόρυφη ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς ο σκιασμός τους είναι εφικτός μόνο με οριζόντια ηλιοπροστατευτικά στοιχεία.

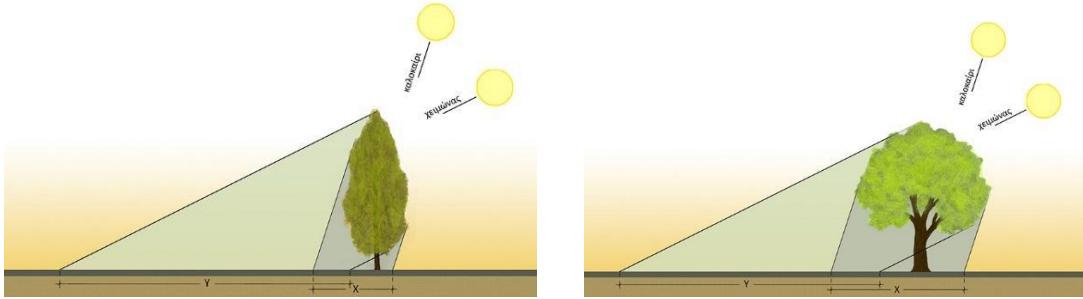
Όταν είναι ανοιχτή η ανατολική ή η δυτική πλευρά των υπαίθριων χώρων απαιτείται το καλοκαίρι πρωινός ή αντίστοιχα απογευματινός σκιασμός, ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί μόνο με κατακόρυφα ηλιοπροστατευτικά στοιχεία.

Στοιχεία που δημιουργούν αποτελεσματικό θερινό σκιασμό και βελτιώνουν το μικροκλίμα είναι:

- **Η βλάστηση.**

Ο πιο σημαντικός, παράγοντας για την ηλιοπροστασία είναι η βλάστηση. Το φύλλωμα των δέντρων απορροφά το 40%-80% της ηλιακής ακτινοβολίας. Η έκταση και το ύψος των δέντρων μπορεί να ρυθμίσει τα ποσοστά σκιασμού, ενώ ακόμα και σε κάθετες επιφάνειες, όπως οι τοιχοποιίες προσφέρει ευεργετικές επιδράσεις. Η επιλογή του είδους του φυτού, σε περίπτωση που πρόκειται για φύτευση, ακόμα και το σχήμα του φυλλώματος, μπορεί να προσφέρει διαφορετικές ωφέλειες κατά περίσταση. Δέντρα με ευρύ φύλλωμα και σφαιρικό σχήμα σκιάζουν μεγαλύτερες επιφάνειες απ' ότι αυτά, που έχουν κατακόρυφο, κωνικό σχήμα. Ακόμη, τα αειθαλή δέντρα προσφέρουν σκιά όλο το

χρόνο, ενώ τα φυλλοβόλα σκιάζουν κυρίως το καλοκαίρι, την εποχή δηλαδή που ο σκιασμός είναι απαραίτητος. Τα φυλλοβόλα δέντρα διευρύνουν τη δυνατότητα της διεποχικής χρήσης των χώρων.



Εικόνα 2.12.: Σκιασμός δέντρου με κωνικό σχήμα

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

Εικόνα 2.13.: Σκιασμός δέντρου με σφαιρικό σχήμα

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

Κατά τους χειμερινούς μήνες ρίχνουν τα φυλλώματά τους. Ο σκιασμός των γυμνών κλαδιών εξακολουθεί να σκιάζει, αλλά μόνο σε μικρό ποσοστό. Η επιλογή του κατάλληλου είδους δέντρων κάθε φορά είναι σημαντική, διότι το ποσοστό σκιασμού των κλαδιών τους μπορεί να ποικίλει από 20 % έως 85 %.

- **Φυτικές και τεχνητές οριζόντιες ή κατακόρυφες κατασκευές (πέργολες),** με δυνατότητα σύμπτυξης ή αναδίπλωσης κατά τους χειμερινούς μήνες, ώστε να μην εμποδίζουν τον ήλιο. Οι πέργολες είναι κατασκευές που προσφέρουν την υποδομή για την αναρρίχηση της βλάστησης. Οι φυτεμένες πέργολες σκιάζουν και διαμορφώνουν ελκυστικούς και θερμικά άνετους υπαίθριους χώρους, διαδρόμους και καθιστικά. Ανάλογα με τις ανάγκες της εποχικής λειτουργίας των χώρων, μπορούν να καλύπτονται είτε από φυλλοβόλα είτε από αειθαλή αναρριχώμενα φυτά.



Εικόνα 2.14.: Πέργολα – Εθνικός Κήπος

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

- **Φυσικές κατασκευές.**

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ένα ρεύμα πειραματισμού με μεγάλης κλίμακας φυτικές κατασκευές. Φυτικά είδη, επιλεγμένα κατάλληλα, καλλιεργούνται και κατευθύνονται τεχνητά, με τρόπο ώστε να διαμορφώνουν φυτικά κελύφη με μορφές που υπακούουν σε ποικίλες λειτουργικές και σχεδιαστικές στοχεύσεις

- **Τεχνητά συστήματα σκιασμού.**

Ο σκιασμός σε υπαίθριους χώρους επιτυγχάνεται, εκτός από την φυτική προστασία, και με διάφορες άλλες κατασκευές, ελαφρές, συμπαγείς ή διάτρητες, όπως στέγαστρα, τέντες, ομπρέλες, καλαμώτες κ.α. Τα υλικά κατασκευής των τεχνητών συστημάτων σκιασμού είναι καλό να επιλέγονται και με το κριτήριο τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες, ώστε να μην θερμοσυσσωρεύουν και να μην εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία προς το χώρο που σκιάζουν. Η υφή, το χρώμα και η ίδια η κατασκευή μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μικροκλίμα και στη θερμική και οπτική άνεση. Προτιμότερα είναι τα θερμικά ουδέτερα υλικά, όπως το ξύλο, τα καλάμια, το ύφασμα κ.α.. Τα συμπαγή συστήματα σκιασμού σκιάζουν καλά τους χώρους, όμως εμποδίζουν την κατακόρυφη κίνηση του αέρα, δηλαδή την απαγωγή του θερμού αέρα, που συγκεντρώνεται στην ανώτερη ζώνη του χώρου που σκιάζουν. Η διάσπαση των μεγάλων συμπαγών σκιάστρων, σε μικρότερα τμήματα με ενδιάμεσους αρμούς ή κενά, ευνοεί τον καλό αερισμό και τον δροσισμό των σκιασμένων χώρων.

2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΨΥΧΟΣΩΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Ο φωτισμός είναι πλέον κάτι το δεδομένο στη ζωή μας. Βρίσκεται μέσα στη καθημερινότητά μας και κάνει τη ζωή μας πιο άνετη. Όταν ο ήλιος αρχίσει να δύει ο φυσικός φωτισμός μειώνεται σταδιακά κάνοντας την οποιαδήποτε εργασία μας πιο δύσκολη. Όμως ανάβουμε τους λαμπτήρες και συνεχίζουμε να εργαζόμαστε. Παράλληλα βρισκόμαστε σε ένα σκοτεινό περιβάλλον και λόγο της μη ικανότητας αναγνώρισης του χώρου αισθανόμαστε ανασφάλεια και φόβο. Ο φόβος αυτός εξαφανίζεται με το πάτημα ενός κουμπιού και την ταυτόχρονη λειτουργία των λαμπτήρων που φωτίζουν το χώρο αυτό.

Όμως ο τεχνητός φωτισμός δεν είναι μόνο μία απλή ανακάλυψη για την άνετη και εύκολη ζωή μας αλλά επηρεάζει τη συναισθηματική, ψυχολογική και σωματική κατάσταση του ανθρώπου. Από διάφορες έρευνες που έχουν διεξαχθεί ανά τον κόσμο παρατηρείται η συσχέτιση του φωτισμού από όλες τις απόψεις (είδη λαμπτήρων φωτισμού, είδη φωτισμού, έμμεσος, άμεσος, τοπικός, ομοιόμορφος, στάθμες φωτισμού, λαμπρότητα, θάμπωση, χρωματική απόδοση, θερμοκρασία χρώματος λαμπτήρα) με την αποδοτικότητα του ανθρώπου στους χώρους εργασίας, την εργατικότητα του, τη κοινωνικότητα του, τη συμπεριφορά του, τη φυσική του κατάσταση και γενικότερα με μια απλή λέξη τη ψυχοσωματική του κατάσταση.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα χρώματα επηρεάζουν τη διάθεση και τα συναισθήματα των ανθρώπων. Αυτό που είναι δύσκολο να αναλυθεί και να ερευνηθεί είναι η ψυχολογία των ανθρώπων σε σχέση με τα χρώματα γιατί τα ανθρώπινα συναισθήματα δεν είναι προκαθορισμένα και σταθερά όπως επίσης και η ψυχική κατάσταση του κάθε ανθρώπου είναι διαφορετική. Ο καθένας μεγαλώνει με διαφορετικές εμπειρίες και κουλτούρα, συνδυάζοντας με το δικό του μοναδικό τρόπο πράγματα, γεγονότα και καταστάσεις ζωής διαμορφώνοντας το χαρακτήρα του και ανάλογα και τις χρωματικές του προτιμήσεις και επιλογές. Παράλληλα παρατηρούνται και κάποιες γενικές αντιδράσεις των ανθρώπων σχετικά με τα χρώματα και το φωτισμό. Διαχωρίζοντας τις αποχρώσεις του κόκκινου σε θερμά χρώματα και τις αποχρώσεις του μπλε και πράσινου σε ψυχρά χρώματα σχετίζουμε το φάσμα χρωμάτων σε δύο διαθέσεις. Τα ζεστά χρώματα χαρακτηρίζονται ως ενεργά και συναρπαστικά ενώ τα ψυχρά χρώματα χαρακτηρίζονται ως παθητικά και ήρεμα. Αντίστοιχα αυτό ισχύει και στα φωτεινά με τα σκούρα χρώματα. Έρευνα στην Ιαπωνία από τον Choku Akashi αποδεικνύει ότι το κόκκινο χρώμα προκαλεί αύξηση της σωματικής έντασης και συναισθηματικής κατάστασης του ανθρώπου, ερεθίζει το νευρικό του σύστημα, προκαλεί ενεργητικότητα που μπορεί να σχετιστεί με επιθετική συμπεριφορά και αυξάνει την επικοινωνία με το περιβάλλον. Τα ψυχρά χρώματα είναι καταπραϋντικά προκαλούν εκτόνωση της έντασης, ηρεμία και εσωστρεφή συμπεριφορά. Αξιοσημείωτη είναι η

έρευνα από το Harry Wohlfarth και τη Gatharine Sam στο πανεπιστήμιο της Alberta όπου σε περιβάλλον με ανάπηρα παιδιά με διαταραγμένη συμπεριφορά ηλικίας 8-11 χρονών αντικαταστάθηκαν τα χρώματα πορτοκαλί, άσπρο, μπεζ και καφέ με τα κίτρινο και μπλε ενώ οι λαμπτήρες φθορισμού αντικαταστήθηκαν από λαμπτήρες που ακτινοβολούν σε όλη τη περιοχή φάσματος. Μετά από την αλλαγή στα χρώματα και το φωτισμό η επιθετική συμπεριφορά των παιδιών μειώθηκε σημαντικά. Αυτό παρατηρήθηκε και σε τυφλά παιδιά με αποτέλεσμα να οδηγηθούν στο συμπέρασμα ότι τα οπτικά νεύρα μεταφέρουν πληροφορίες στον εγκέφαλο σχετικά με το φως ανεξαρτήτως αν τα οπτικά νεύρα δυσλειτουργούν ή όχι προκαλώντας έτσι αλλαγές στη ψυχολογική και σωματική μας κατάσταση.

Επιστήμονες στην πρώην Σοβιετική Ένωση μελέτησαν τις επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας σε παιδιά. Από τα αποτελέσματα συμπέραναν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία βοηθά στο να έχουν τα παιδιά καλύτερη όραση, καλύτερη σωματική κατάσταση (κουράζονται λιγότερο) και γρηγορότερες αντιδράσεις στο φως και στον ήχο. Επίσης μπορεί η υπεριώδης ακτινοβολία να βοηθήσει το σώμα στην απορρόφηση ασβεστίου στον οργανισμό. Το μεγάλο πρόβλημα είναι ότι εκτεταμένη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει από πρόωρη γήρανση του δέρματος μέχρι και καρκίνο του δέρματος.

Μια από τις πρώτες και ανεπιτυχείς προσπάθειες έρευνας για το πως επηρεάζει ο φωτισμός την αποδοτικότητα των εργαζομένων απέδειξε ότι με κάθε αλλαγή στο φωτισμό του χώρου οι εργαζόμενοι απέδιδαν καλύτερα γιατί απλά γνώριζαν ότι παρακολουθούνταν.

Γενικά όμως μετά από σχετικά αξιόπιστες έρευνες βρέθηκε ότι σε λαμπρότερο χώρο εργασίας οι εργαζόμενοι γίνονταν αποδοτικότεροι. Έτσι επικρατεί η αντίληψη ότι στον χώρο εργασίας πρέπει ο φωτισμός να είναι ψηλής φωτεινότητας (λαμπρότητας). Δεν ισχύει όμως σε κάθε περίπτωση χώρου εργασίας, είδος εργασίας και ανθρώπου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο χώρος εργασίας έχει λιγότερη φωτεινότητα για τη σωστή οπτική ικανότητα του εργαζομένου έτσι ώστε να μην προκαλείται κόπωση των ματιών από το φωτισμό λόγω θάμπωσης είτε ανία, εκνευρισμός, πονοκεφάλοι, απλή κόπωση, δυσφορία συμπτώματα που έδειξαν έρευνες

Παράλληλα αποδείκτηκε ότι ο ίδιος φωτισμός χώρου που αρμόζει σε άτομα ηλικίας 25 χρονών έχει μεγάλο ποσό λαμπρότητας για ένα άτομο ηλικίας 45 χρονών με αποτέλεσμα γρήγορη κόπωση και θάμπωση. Έτσι για ένα σωστό φωτισμό πρέπει να υπάρχει τόση φωτεινότητα ώστε να μην φτάσει στο όριο της λαμπρότητας που προκαλεί θάμπωση ή οπουδήποτε άλλου είδους κόπωση. Παράλληλα το πρόβλημα της θάμπωσης εκτός από τη λαμπρότητα εξαρτάται και από τις επιφάνειες στο χώρο καθώς και από τις γωνίες που ακτινοβολείται το ορατό φάσμα φωτός. Μια ακόμα αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι η σημαντική προτίμηση των ανθρώπων για το φυσικό φωτισμό

(ηλιακό φως).

Ψυχολόγοι υποστηρίζουν ότι μπορεί το φως του ήλιου να θεωρείται από τον άνθρωπο ο καλύτερος φωτισμός όμως δε σημαίνει ότι κάνει το χώρο εργασίας πιο ευχάριστο. Έρευνα από το ψυχολόγο Stephen Margulis έδειξε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση του φυσικού φωτισμού αναφορικά με το πόσο οι εργαζόμενοι είναι ευχαριστημένοι με το χώρο εργασίας τους. Όπως επίσης δεύτερη έρευνα από το ψυχολόγο Corwin Bennett έδειξε ότι φοιτητές που εργάζονταν κάτω από το φως των λαμπτήρων φθορισμού απόδωσαν το ίδιο με τους φοιτητές που εργάζονταν με το φως του ήλιου. Έτσι μια απλή εξήγηση γιατί υπάρχει προτίμηση στο φυσικό φωτισμό είναι το γεγονός ότι ο άνθρωπος βρίσκεται κοντά σε παράθυρο και ανοικτό χώρο έτσι δεν νιώθει απομονωμένος και καταπιεσμένος αλλά ότι μπορεί να επικοινωνήσει με το περιβάλλον γύρω του.

Το αυξημένο ενδιαφέρον για σωστό φωτισμό οδήγησε σε νέες έρευνες που αποδεικνύουν ότι ο φωτισμός μπορεί να διαμορφώσει τη συμπεριφορά μας ανάλογα με το είδος του. Ο ψυχολόγος Jeff Hayward απέδειξε ότι όταν ο φωτισμός σε ένα χώρο είναι τοπικός οι άνθρωποι κάθονται πιο κοντά και γενικά είναι πιο επικοινωνιακοί ενώ όταν ο φωτισμός στο χώρο είναι γενικός οι άνθρωποι είναι πιο απόμακροι και εσωστρεφείς. Επίσης όταν η φωτεινότητα στο χώρο είναι πιο χαμηλή τότε οι άνθρωποι νιώθουν πιο χαλαροί και πιο οικείοι με το περιβάλλον. Φυσικά αυτό επηρεάζει και τον τρόπο επικοινωνίας αφού παρατηρήθηκε ότι σε πιο χαμηλό φωτισμό ο τόνος της φωνής των ανθρώπων είναι πιο ήρεμος με χαμηλότερο δείκτη θορύβου (decibel) ενώ όταν ο φωτισμός είναι έντονος τότε και ο τρόπος επικοινωνίας είναι πιο έντονος και θορυβώδης με αποτέλεσμα αύξηση των decibel. Η προτίμηση για τοπικό και έμμεσο φωτισμό είναι δικαιολογημένη αφού σε χώρους με γενικό άμεσο φωτισμό παρατηρείται κόπωση των ματιών θάμπωση και πονοκέφαλοι. Φυσικά σε χώρους με τοπικό φωτισμό οι άνθρωποι ενοχλούνται περισσότερο από τον περιβαλλοντικό θόρυβο γιατί υπάρχει η προδιάθεση για πιο ήσυχο περιβάλλον. Παράλληλα μια σειρά από έρευνες που διεξάχθηκαν από μια ομάδα ψυχολόγων και αρχιτεκτόνων έδειξε ότι οι άνθρωποι ανάλογα με το πόσο φωτεινός είναι ένας χώρος καθορίζουν την ικανότητα τους να διακρίνουν το χώρο ενώ το πόσο ευχάριστος είναι ο χώρος εξαρτάται από το τι είδους φωτισμός υπάρχει στο χώρο, τοπικός, γενικός, ομοιόμορφος, άμεσος, έμμεσος με συμπεριφορά το γεγονός ότι οι άνθρωποι θεωρούν πιο ευχάριστο, φιλικό και ξεκούραστο ένα δωμάτιο με τοπικό έμμεσο φωτισμό. Το πόσο μεγάλο φαίνεται ένα δωμάτιο εξαρτάται από τον ομοιόμορφο και ημιόμορφο φωτισμό. Με ομοιόμορφο φωτισμό το δωμάτιο φαίνεται μεγαλύτερο γιατί ο φωτισμός είναι ο ίδιος σε όλες τις πλευρές του δωματίου, χωρίς να δημιουργούνται σκιές ενώ με ημιόμορφο φωτισμό ο χώρος φαίνεται μικρότερος. Μια ακόμα αιτία για είναι ένα περιβάλλον ευχάριστο είναι όταν ένας χώρος έχει διαφορές στη λαμπρότητα. Έτσι μπορεί το μάτι να διακρίνει το χώρο καλύτερα ξεχωρίζοντας αντικείμενα που διαμορφώνουν το χώρο αυτό. Αναφορικά με το είδος

των λαμπτήρων φωτισμού υπάρχει μια προκατάληψη σχετικά με τους λαμπτήρες φθορισμού ότι ακτινοβολούν περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων του ορατού φάσματος δίνοντας στο χώρο μία δυσάρεστη αίσθηση και προκαλώντας κόπωση στα μάτια λόγω του τρεμοσβήματος που κάνουν κατά τη λειτουργία τους. Εκτός του γεγονότος ότι η τεχνολογία στο χώρο των λαμπτήρων φθορισμού αναπτύχθηκε δημιουργώντας λαμπτήρες φθορισμού που ακτινοβολούν μεγάλο μέρος του ορατού φάσματος, έρευνα που έγινε σε χώρο εργασίας οπού οι λαμπτήρες φθορισμού διαμορφώθηκαν και το εξωτερικό τους έμοιαζε να είναι το ίδιο με των λαμπτήρων πυρακτώσεως, οι εργαζόμενοι έβρισκαν το χώρο εργασίας το ίδιο ευχάριστο με το χώρο εργασίας που φωτίζοταν από λαμπτήρες πυρακτώσεως. Έτσι καταλήγουμε ότι η ύπαρξη προκατάληψης υπάρχει χωρίς να υπάρχει και οποιαδήποτε αιτία.

Η ακτινοβολία ορατού φάσματος χρησιμοποιείται και σαν θεραπευτική μέθοδος. Παιδιά που γεννιούνται με την ασθένεια του ίκτερου θεραπεύονται με ακτινοβολία στις συχνότητες του μπλε φάσματος. Μια ψυχολογική διαταραχή που παρατηρείται σε ανθρώπους που ζουν σε γεωγραφικό πλάτος μακριά από τον ισημερινό σε χώρες που έχουν μικρά χρονικά διαστήματα ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται SAD (Seasonal Affective Disorder). Οι άνθρωποι με αυτή την ασθένεια υποφέρουν από κατάθλιψη. Όσο αλλάζουν οι εποχές και οι μέρες μικραίνουν ο οργανισμός δεν λαμβάνει την απαιτούμενη (απαραίτητη) ηλιακή ακτινοβολία έτσι μειώνεται η μελανίνη στο σώμα η οποία επιδρά στο νευρικό σύστημα δημιουργώντας προβλήματα με αποτέλεσμα άνθρωποι με το σύνδρομο SAD να πέφτουν σε κατάθλιψη. Μια θεραπεία είναι η έκθεση του σώματος αυτών των ανθρώπων σε ακτινοβολία ορατού φάσματος με τεχνικό φωτισμό. Από διάφορες έρευνες όμως αποδείκτηκε ότι οι συχνότητες του μπλε φάσματος βοηθούν περισσότερο αφού το σωματικό βιολογικό ρόλοι είναι πιο ευαίσθητο σε αυτές. Έτσι το σώμα επανέρχεται στο σωστό ρυθμό λειτουργίας του.

Από τις έρευνες που προαναφέραμε αποδεικνύεται ότι ο σωστός φωτισμός είναι σημαντικότατος για τη σωστή και ομαλή λειτουργία του ανθρώπου. Μπορεί να επηρεάσει τόσο τη σωματική όσο και τη ψυχολογική μας κατάσταση. Για το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μια σωστή και επιστημονική μελέτη για το φωτισμό οπουδήποτε χώρου που θέλουμε να φωτίσουμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Athanassakos Ev., and Andreadaki El.*, “*Energy Planning on Regional Level: Investigation on thw Use of Passive and Hybrid Cooling Systems in Hotels in the Cyclades Region*”, *Proceeding of the 3th International Conference 'Energy and Building in Mediterranean Area', Thessaloniki, 1982.*
2. *Colombo R., Landabaso A., Sevilla A.*, “*Passive Solar Architecture for Medeterranean Area*”, *Joint Research Centre, Commission of the European Communities, 1994.*
3. *Fanger P.*, “*Human Requirements for the Indoor Climate in Buildings*”, *Proceedings of the Conference on “International Passive and Low Energy Alternatives’. Bermuda, 1982.*
4. *Givoni B.*, “*Man, Climate and Architecture*”, *Applied Science Publishers Ltd. London, 1976.*

3. Φυσικός φωτισμός

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις έννοιες και βασικά μεγέθη της φωτοτεχνίας. Αναλύονται τα μεγέθη της φωτεινής ροής, της φωτεινής έντασης, της έντασης φωτισμού, της λαμπρότητας, της ομοιομορφίας λαμπρότητας και του συντελεστή απόδοσης μιας φωτεινής πηγής, ενώ γίνεται επίσης αναφορά στις έννοιες της θάμβωσης, της ανάκλασης, του χρώματος, της θερμοκρασίας χρώματος και της ενεργειακής φασματικής κατανομής.

3.1. Φωτεινή Ροή (Luminous Flux, Φ)

Για τον ορισμό της φωτεινής ροής ενός λαμπτήρα, απαιτείται η εισαγωγή της έννοιας του Συντελεστή Φασματικής Ευαισθησίας Ανθρώπινου Ματιού V_λ [1]. Το ανθρώπινο μάτι δε διακρίνει με την ίδια ευκολία όλες τις ακτινοβολίες του ορατού φάσματος ($380\text{nm} \leq \lambda \leq 780\text{nm}$). Η ευαισθητοποίηση του ανθρώπινου ματιού στο ορατό φως γίνεται σταδιακά και φτάνει τη μέγιστη τιμή της στο μήκος κύματος των 555nm κατά την ημέρα (φωτοπική όραση) και των 507nm κατά τη νύχτα (σκοτοπική όραση). Το μέγεθος που καθορίζει την ευαισθητοποίηση του ματιού είναι ο Συντελεστής Ευαισθησίας Ανθρώπινου Ματιού V_λ και είναι καθαρός αριθμός (αδιάστατο μέγεθος) για τον οποίον ισχύει: $0 \leq V_\lambda \leq 1$

Η φωτεινή ροή, λοιπόν, μιας φωτεινής πηγής ορίζεται από το ακόλουθο ολοκλήρωμα:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

όπου: $K_m = 683 \text{ lm/W}$ η μέγιστη φασματική ευαισθησία για τη φωτοπική όραση (555nm) και $P(\lambda)$ η ισχύς της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε Watt.

Η φωτεινή ροή μιας φωτεινής πηγής εκφράζει παράλληλα και το ρυθμό εκπομπής φωτός από την πηγή αυτή. Έρχεται ως μέγεθος σε αντιστοιχία με την ηλεκτρική ισχύ, καθώς συνιστά για τους λαμπτήρες ότι η ηλεκτρική ισχύς για τις ηλεκτρικές συσκευές. Αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος των λαμπτήρων καθώς ταυτοποιούνται με βάση αυτήν και όχι με βάση την ηλεκτρική τους ισχύ, η οποία απλά πληροφορεί για την ενέργεια που αυτοί καταναλώνουν.

Μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής είναι το Lumen (lm) το οποίο ορίζεται ως η φωτεινή ροή που εκπέμπεται από στερεά γωνία ενός (1) sr (steradian) από σημειακή πηγή ομοιόμορφης έντασης μεγέθους 1 cd (candela). Η φωτεινή ένταση ορίζεται αμέσως παρακάτω:

3.2. Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I)

Ως φωτεινή ένταση (ή Ένταση Φωτεινής Πηγής) ορίζεται ο λόγος της στοιχειώδους Φωτεινής Ροής $d\Phi$ που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή μέσα σε μία στοιχειώδη στερεά γωνία $d\omega$, προς τη γωνία αυτή [1]:

$$I = d\Phi/d\omega$$

Είναι προφανές ότι δεδομένης της Φωτεινής Έντασης προς όλες τις κατευθύνσεις και κατόπιν ολοκλήρωσης της παραπάνω σχέσης μπορεί να προκύψει η Φωτεινή Ροή της πηγής:

$$\Phi_{\text{ολ}} = \int_0^{4\pi} I d\omega$$

Μια φωτεινή πηγή δεν κατανέμει απαραίτητα ομοιόμορφα το παραγόμενο φως. Η Φωτεινή Ένταση είναι, λοιπόν, το μέγεθος που καθορίζει προς κάθε κατεύθυνση του στερεού χώρου το ποσό της Φωτεινής Ροής (ισχύος) Φ που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Από την πρώτη σχέση της φωτεινής έντασης προκύπτει ότι μετριέται σε Lm/sr. Ο λόγος Lm/sr δίνει την candela (cd), μονάδα έκφρασης της φωτεινής έντασης. Επειδή όμως το στερεακτίνιο (sr) είναι μονάδα χωρίς διαστάσεις (αποτελεί το λόγο επιφάνειας προς επιφάνεια) συμπεραίνουμε ότι η μονάδα cd έχει τις ίδιες διαστάσεις με τη μονάδα lm. Στην περίπτωση που η πηγή φωτός δεν είναι συμμετρική, η κατανομή της φωτεινής έντασης της πηγής προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση προκύπτει από το πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτεινής έντασης. Τα πολικά διαγράμματα δίνουν τη φωτεινή ένταση I για 1000 lm φωτεινής ροής.

3.3. Ένταση Φωτισμού (Illuminance, E)

Ως ένταση φωτισμού (ή φωτισμός επιφάνειας) ορίζεται ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής $d\Phi$ που προσπίπτει κάθετα σε μία στοιχειώδη επιφάνεια dS προς την επιφάνεια dS :

$$E = d\Phi/dS$$

Μονάδα μέτρησης της έντασης φωτισμού E είναι το lux, το οποίο, όπως προκύπτει από τη σχέση ορισμού της έντασης E, ισούται με lm/m². Σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα μεγέθη, η ένταση φωτισμού δεν αφορά την πηγή (λαμπτήρα), αλλά την επιφάνεια στην οποία προσπίπτει το φως που παράγει η πηγή.

3.4. Λαμπρότητα (Luminance, L)

Η έννοια της λαμπρότητας αφορά τον προσδιορισμό της «φωτεινότητας» μιας αυτόφωτης ή ετερόφωτης φωτοβιολούσας επιφάνειας, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας και ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή της επιφάνειας. Ορίζεται ως το πηλίκο της Φωτεινής Έντασης I της πηγής στην κατεύθυνση του παρατηρητή προς το εμβαδό της επιφάνειας της πηγής που βλέπει ο παρατηρητής.

$$L=I/S$$

Μετριέται σε cd/m². Σημειώνεται ότι υψηλά επίπεδα λαμπρότητας μπορούν να προκαλέσουν θάμβωση (glare), έννοια που αναλύεται στην Παράγραφο 1.7.

3.5. Απόδοση Φωτεινής Πηγής (Luminous Efficiency)

Η έννοια της απόδοσης μιας φωτεινής πηγής χρησιμοποιείται για να συσχετίσει το ποσό της αποδιδόμενης φωτεινής ροής μιας φωτεινής πηγής με την ηλεκτρική ισχύ που αυτή καταναλώνει. Εκφράζεται μέσω του συντελεστή απόδοσης φωτεινής πηγής

3.6. Ομοιομορφία Λαμπρότητας (U)

Η ορατότητα ενός αντικειμένου επί του οδοστρώματος εξαρτάται από την κατανομή της λαμπρότητας πάνω σε αυτό. Εισάγεται, λοιπόν, η έννοια της ομοιομορφίας της κατανομής της λαμπρότητας, την οποία εκφράζουν οι ακόλουθοι συντελεστές: - Ο γενικός συντελεστής ομοιομορφίας (U0) ορίζεται ως ο λόγος L_{min}/L_{med} ή L_{min}/L_{max} , όπου L_{min} η ελάχιστη λαμπρότητα στο σύνολο της υπό μελέτη επιφάνειας του οδοστρώματος, L_{med} η μέση και L_{max} η μέγιστη αντίστοιχη λαμπρότητα. - Ο συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας (U1) ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος L_{min}/L_{max} σε ευθείες παράλληλες προς τον άξονα του δρόμου κι έτσι αντικατοπτρίζει την ομοιομορφία που αντιλαμβάνεται ο οδηγός κινούμενος κατά τον άξονα του οδοστρώματος. Είναι προφανής, λοιπόν, η επίδραση της διαμήκους ομοιομορφίας στην αρτιότητα του συστήματος φωτισμού καθώς ανεπάρκειά της συνεπάγεται προβλήματα άνεσης και ασφάλειας. - Ο συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας (Uv) ο οποίος ορίζεται ως ο μικρότερος λόγος L_{min}/L_{max} σε ευθείες κάθετες προς τον άξονα της οδού. Ικανοποιητική τιμή εγκάρσιας ομοιομορφίας επιτρέπει στον οδηγό να διακρίνει την επιφάνεια του οδοστρώματος καθ' όλο τον το πλάτος.

3.7. Θάμβωση (Glare)

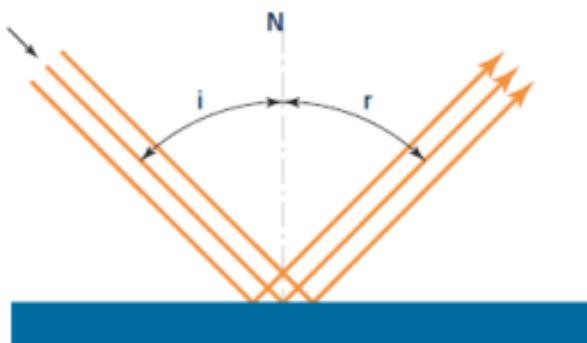
Θάμβωση προκύπτει είτε από υψηλές τιμές λαμπρότητας, είτε από υψηλές αντιθέσεις λαμπρότητας είτε από κακή κατανομή αυτής και συνεπάγεται ενόχληση του παρατηρητή και δυσκολία διάκρισης διαφόρων αντικειμένων από μέρους του. Κάθε άρτια μελέτη φωτισμού οφείλει να λαμβάνει υπόψη το ενδεχόμενο ύπαρξής της και να το αποτρέπει. Η θάμβωση παρουσιάζεται σε τρεις μορφές:

- Τη θάμβωση ενόχλησης, η οποία ταλαιπωρεί τους οφθαλμούς του παρατηρητή χωρίς όμως να εμποδίζει την οπτική απόδοση.
- Τη θάμβωση ανικανότητας η οποία συνδέεται με την ύπαρξη ποσότητας φωτός στο σύνολο του οπτικού πεδίου ικανής να μειώσει την αντίθεση λαμπρότητας μεταξύ αντικειμένων και του περιβάλλοντός τους, ώστε αυτά να είναι δυσδιάκριτα στον παρατηρητή. Ο φωτισμός του περιβάλλοντος λοιπόν πρέπει να αυξηθεί κατά μία τέτοια τιμή ώστε η αντίθεση μεταξύ αυτού και των αντικειμένων να είναι ικανοποιητική. Την τιμή αυτή υποδεικνύει ο δείκτης θάμβωσης Threshold Increment (TI).
- Την απόλυτη θάμβωση, κατά την οποία γίνεται αδύνατη η διάκριση οποιουδήποτε αντικειμένου λόγω υπερβολικού φωτισμού.

3.8. Ανάκλαση (Reflection)

Η ανάκλαση παρουσιάζεται στις εξής μορφές:

- Κανονική Ανάκλαση (Specular reflection)



Πρόκειται για ιδανική περίπτωση ανάκλασης, κατά την οποία η δέσμη του φωτός που προσπίπτει στην απόλυτα στιλπνή επιφάνεια ανακλάται με γωνία ίδια με τη γωνία πρόσπτωσης χωρίς να διασκορπάται.

Εικόνα 3.1.: Αναπαράσταση Κανονικής Ανάκλασης

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

- Ημιδιαχέουσα Ανάκλαση (Composed Reflection)

Στην εν λόγω περίπτωση ανάκλασης η φωτεινή δέσμη διαχέεται όχι προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά εντός περιορισμένης γωνίας η οποία δεν υπερβαίνει τη γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης.



- Διαχέουσα Ανάκλαση (Diffused Reflection)



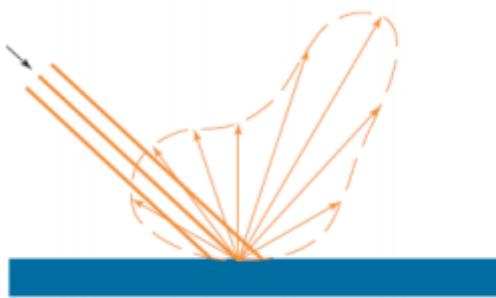
Εικόνα 3.2.: Αναπαράσταση Ημιδιαχέουσας Ανάκλασης

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

Σε αυτή την περίπτωση ανάκλασης η δέσμη φωτός ανακλάται και διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Εικόνα 3.3.: Αναπαράσταση Διαχέουσας Ανάκλασης

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία



Εικόνα 3.4.: Αναπαράσταση Μικτής Ανάκλασης

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

παρουσιάζουν και πρακτικό ενδιαφέρον στις μελέτες φωτισμού δρόμων, δεδομένου ότι με βάση τις ιδιότητες ανάκλασής τους ταξινομούνται σε κατηγορίες τα οδοστρώματα.

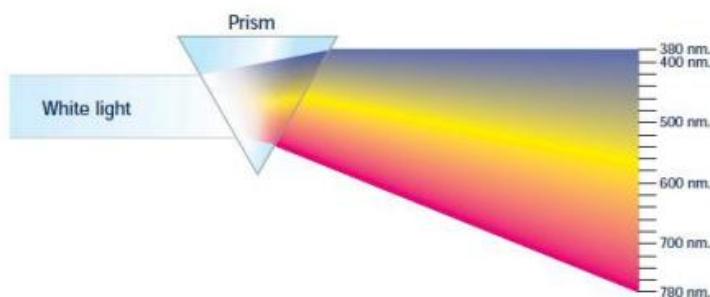
- Μικτή Ανάκλαση (Mixed reflection)

Αποτελεί ένα είδος ανάκλασης που κατατάσσεται ανάμεσα στα δύο προηγούμενα, καθώς ένα τμήμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται ενώ ένα άλλο τμήμα διασκορπίζεται. Ορίζεται ως συντελεστής ανάκλασης το πηλίκο της ροής που ανακλάται από μία επιφάνεια προς τη ροή που προσπίπτει σε αυτή. Η ανάκλαση ως φαινόμενο και ο συντελεστής ανάκλασης ως φωτοτεχνικό μέγεθος

3.9. Το χρώμα

3.9.1. Ορισμός

Το χρώμα ορίζεται ως μια υποκειμενική ψυχοσωματική ερμηνεία του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Κάθε χρώμα συνιστά μια μονοχρωματική ακτινοβολία. Τα μήκη κύματος των ορατών ακτινοβολιών κυμαίνονται μεταξύ 380nm και 780nm. Οι ακτινοβολίες αυτές συνιστούν το φάσμα του ορατού φωτός, ενώ από τη μίξη τους, όπως πρώτος διαπίστωσε ο Isaac Newton, προκύπτει το λευκό φως.



Σχ. I-5: Ανάλυση Λευκού Φωτός στα χρώματα του ορατού φάσματος υπό το πρίσμα

Εικόνα 3.5: Ανάλυση λευκού φωτός στα χρώματα του ορατού φάσματος από το πρίσμα

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

Τα αντικείμενα ούτε έχουν ούτε παράγουν φως. Έχουν όμως τη δυνατότητα να ανακλούν, να διαχέουν και να απορροφούν τμήμα της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτά. Η εικόνα του χρώματος ενός αντικειμένου όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι οφείλεται στην ιδιότητα των αντικειμένων να ανακλούν τμήμα του φωτός που προσπίπτει πάνω σ' αυτά.

3.9.2. Ενεργειακή φασματική κατανομή

Η ενεργειακή φασματική κατανομή ως έννοια, αφορά στο σύνολο των μηκών κύματος ακτινοβολίας που περιλαμβάνει το φως μίας φωτεινής πηγής. Συγκεκριμένα, το ηλιακό φως περιέχει μεταξύ άλλων και όλο το φάσμα των μηκών κύματος ορατών ακτινοβολιών. Δεν ισχύει το ίδιο και για τις τεχνητές πηγές φωτισμού (λαμπτήρες), των οποίων το φως ποικίλει σε χρωματική ακτινοβολία που περιέχει ανάλογα με την ενεργειακή φασματική κατανομή του. Κινούμενοι στα ίδια πλαίσια, αξίζει να τονίσουμε το γεγονός ότι το χρώμα που χαρακτηρίζει ένα αντικείμενο διαφέρει ανάλογα με την πηγή που το φωτίζει.

3.9.3. Θερμοκρασία χρώματος

Για τον ορισμό της θερμοκρασίας σώματος, απαιτείται η παρουσίαση του μέλανος σώματος του Max Planck. Το μέλανα σώμα έχει τη βασική ιδιότητα να απορροφά κάθε εξωτερική ακτινοβολία.

Το γεγονός αυτό προκαλεί την ανύψωση της θερμοκρασίας του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ακολουθείται από εκπομπή ακτινοβολίας μέχρι να επανέλθει σε θερμοκρασιακή ισορροπία (equilibrium). Θερμοκρασία χρώματος, λοιπόν, μιας φωτεινής πηγής είναι αυτή στην οποία όταν βρεθεί το μέλαν σώμα τότε εκπέμπει φως ίδιας απόχρωσης με αυτό της πηγής. Μονάδα μέτρησης του μεγέθους είναι το Kelvin (K). Η θερμοκρασία χρώματος χρησιμοποιείται σαν έννοια και για να αποτυπώσει την εντύπωση που δημιουργεί το φως που παράγει μία φωτεινή πηγή. Εισάγονται, έτσι, οι έννοιες του θερμού, ψυχρού και μέσου (ουδέτερου – λευκού) φωτός, οι θερμοκρασίες των οποίων παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5.:

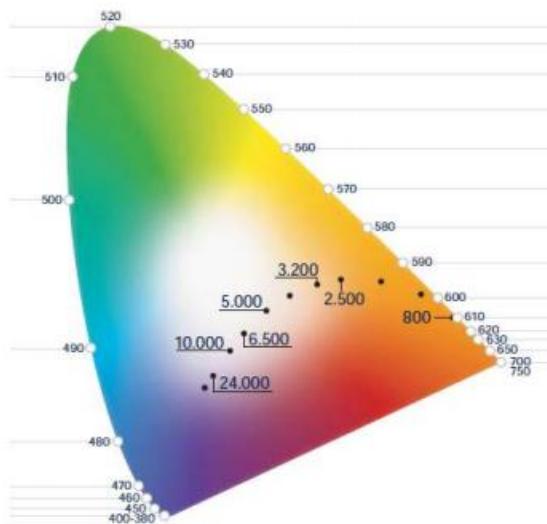
Πίνακας 1-1: Θερμό, ουδέτερο και ψυχρό φως

Χαρακτηρισμός Φωτός	Θερμοκρασία χρώματος (K)
Θερμό (Warm)	<3.300
Μέσο – Ουδέτερο (Intermediate)	Από 3.300 έως 5.300
Ψυχρό (Cold)	>5.300

Εικόνα 3.6.: Θερμό, ουδέτερο και ψυχρό φως

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

Οι ανωτέρω έννοιες γίνονται αντιληπτές και από την καμπύλη θερμοκρασίας χρώματος μέλανος σώματος Τε η οποία υποδεικνύει τα χρώματα που εκπέμπει το μέλαν σώμα ανάλογα με τη θερμοκρασία του και υπάγεται στο χρωματικό χάρτη της C.I.E., ο οποίος εικονίζεται αμέσως παρακάτω:



Σχ. 1-6: Χρωματικός Χάρτης (Chromaticity Diagram) Της C.I.E.

Εικόνα 3.7.: Χρωματικός Χάρτης

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Φ.Β. Τοπαλής, «Φωτοτεχνία», Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα 1994*
2. *Φ. I. Δημόπουλος «Φωτοτεχνία και Τεχνική του Φωτισμού»*
3. *http://enlighten.gr/images/pdf/tsionos.pdf*

4. Τεχνητός φωτισμός

Ο τρόπος που ένα κτίριο φωτίζεται, είτε με φυσικό είτε με τεχνητό φωτισμό ή συνήθως με συνδυασμό των δύο (τουλάχιστον για κάποιο διάστημα της ημέρας), έχει σημαντική επίδραση τόσο στην απόδοση όσο και στη διάθεση όσων ζουν και εργάζονται σε αυτό. Η διαπίστωση αυτή, υπογραμμίζει την πρωταρχική σημασία του ανθρώπινου παράγοντα σε κάθε σχεδιασμό φωτισμού. Καθώς όμως ο τεχνητός φωτισμός καταναλώνει αναπόφευκτα σημαντικά ποσά ενέργειας, η παράμετρος της ενεργειακής αποδοτικότητας μιας εγκατάστασης φωτισμού θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Επομένως, κάθε σχεδιασμός φωτισμού θα πρέπει να αξιολογείται όχι μόνο ως προς τη δημιουργία συνθηκών οπτικής άνεσης αλλά και ως προς τον τρόπο που διαχειρίζεται τη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Ο φυσικός φωτισμός μέσα σε ένα κτίριο έχει σημαντική επίδραση στην εμφάνιση του χώρου και μπορεί να έχει σοβαρή επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Οι χρήστες του κτιρίου προτιμούν γενικά ένα καλά-φυσικά-φωτισμένο χώρο υπό τον όρο ότι αποφεύγονται προβλήματα, όπως η υπερθέρμανση και η θάμβωση.

Οι σημαντικότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν το φυσικό φωτισμό ενός εσωτερικού χώρου είναι το βάθος του χώρου, το μέγεθος και η θέση των παραθύρων και των ανοιγμάτων οροφής, το σύστημα υαλοστασίων / υαλοπινάκων και τα εξωτερικά εμπόδια. Αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται συνήθως από τις αποφάσεις που λαμβάνονται στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού του κτιρίου, π.χ. εάν το κτίριο είναι βαθύ ή ρηχό, εάν είναι μονώροφο ώστε να είναι δυνατή η διάνοιξη ανοιγμάτων οροφής, ή πολυώροφο. Ο κατάλληλος σχεδιασμός σε αυτό το αρχικό στάδιο μπορεί να οδηγήσει σε ένα κτίριο με βελτιωμένη ενεργειακή συμπεριφορά και ευχάριστη εσωτερική εμφάνιση).

Οι αλλαγές στο φυσικό φωτισμό ενός υφιστάμενου κτιρίου είναι πιο πολύπλοκες, αλλά μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου και το σύστημα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού να είναι οικονομικά αποδοτικό. Ο εισερχόμενος φωτισμός σε ένα κτίριο, μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη διατάξεων εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού(ανοίγματα οροφής, ράφια φωτισμού, πρισματικών πάνελ κ.ά.). Η παροχή φυσικού φωτισμού από τα ανοίγματα μπορεί να μειωθεί από επεμβάσεις που γίνονται για τη βελτίωση της θερμικής απόδοσης του κτιρίου, π.χ. κάλυψη των γυάλινων επιφανειών ενός κτιρίου, προσθήκη διατάξεων σκιασμού, αλλαγή τύπου υαλοπινάκων.

Σε ένα κτίριο καλά-φυσικά- φωτισμένο, ο φυσικός φωτισμός παρέχει συχνά επαρκή ποσότητα για την κάλυψη των λειτουργικών αναγκών, για σημαντικό διάστημα του έτους. Οι στρατηγικές φυσικού φωτισμού εξοικονομούν ενέργεια μόνο όταν το φυσικό φως αντικαθιστά προσωρινά τον ηλεκτρικό φωτισμό. Επομένως, για την εξοικονόμηση ενέργειας, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι το σύστημα του τεχνητού φωτισμού απενεργοποιείται, όταν ο φυσικός φωτισμός είναι επαρκής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των κατάλληλων συστημάτων ελέγχου του φωτισμού του κτιρίου, με κάποιο βαθμό αυτοματοποίησης. Κατά συνέπεια, η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται όχι μόνο από τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός σε ένα κτίριο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά και από τον τρόπο και τη συχνότητα που χρησιμοποιούνται το σύστημα σκίασης και το σύστημα ελέγχου του φωτισμού.

Είναι σημαντικό να αποφευχθούν προβλήματα θάμβωσης και υπερθέρμανσης, με την ένταξη κατάλληλων διατάξεων σκίασης. Αυτές μπορούν να είναι σταθερές ή κινητές (εξωτερικά πτερύγια,

βενετικές περσίδες, κ.ά.). Όπως έχει αποδειχθεί, από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, υπάρχει δυνατότητα σημαντικής βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου, με την εφαρμογή βιοκλιματικών αρχών στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, οι οποίες περιλαμβάνουν την εκμετάλλευση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης και τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό, μέσω του περιορισμού του χρόνου λειτουργίας των τεχνητών συστημάτων. Αυτή η δυνατότητα εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και προφανώς οι προτεραιότητες διαφέρουν στις θερμότερες, φωτεινότερες συνθήκες των Μεσογειακών χωρών από τα ψυχρότερα, περισσότερο νεφελώδη κλίματα των χωρών της βόρειας Ευρώπης.

Ορισμένοι από τους παράγοντες που κρίνουν εν πολλοίς την ορθολογική και βέλτιστη αξιοποίηση του τεχνητού φωτισμού ενός κτιρίου είναι οι εξής:

Χρήση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης: Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό εξαρτάται από την ισχύ των λαμπτήρων (watt) και το χρόνο λειτουργίας τους. Οι σύγχρονοι οικονομικοί λαμπτήρες, για το ίδιο επίπεδο φωτεινότητας με τους κοινούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, έχουν 10 φορές μεγαλύτερο χρόνο ζωής(10000 ώρες) και απαιτούν το ένα πέμπτο της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Το κόστος αγοράς τους είναι μεν μεγαλύτερο αλλά το συνολικό οικονομικό όφελος κατά τη χρήση τους είναι σημαντικό ως αποτέλεσμα της χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος και της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους.

Επιλογή κατάλληλων φωτιστικών σωμάτων και σωστή συντήρηση τους: Η επιλογή των φωτιστικών σωμάτων δεν μπορεί να γίνεται με τα κριτήρια αισθητικής αντίληψης του διακοσμητή. Απαιτείται εξειδικευμένη "ανάγνωση" των τεχνικών χαρακτηριστικών τους όπως ο τύπος κατανομής της φωτεινής ροής, ο συντελεστής απόδοσης, η κατανομή λαμπρότητας, η κλάση θάμβωσης, η κατανάλωση ενέργειας, η δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming), ο τύπος του ανακλαστήρα ή του διαχύτη κ.λ.π. Η επιλογή των φωτιστικών γίνεται σύμφωνα με τη μορφή των εργασιών που διεξάγονται στο χώρο, την αισθητική του, τις αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες και ιδιαιτερότητες, το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας του φωτισμού αλλά και την ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης φωτισμού με στόχο την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας

Ρύθμιση της φωτεινότητας του λαμπτήρα (dimming): Μέσω αισθητήρων και ρυθμιστών φωτισμού. Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί με τοπικά συστήματα dimming κυμαίνεται από 10% έως 20% ανάλογα με τη χρήση του χώρου.

Ένταξη της εγκατάστασης φωτισμού σε σύστημα κεντρικής διαχείρισης: Η εξοικονόμηση ενέργειας με συστήματα κεντρικής διαχείρισης (BMS) κυμαίνεται από 10% έως 35% ανάλογα με τη χρήση του χώρου

Χρονοπρογραμματισμός: Με αυτό το σύστημα ελέγχου, τα φωτιστικά σώματα σβήνουν από έναν κεντρικό πίνακα, την ίδια ώρα κάθε ημέρα. Τα χρονικά διαστήματα, όπου το σύστημα φωτισμού τίθεται εκτός λειτουργίας, καθορίζονται ανάλογα με το είδος του χώρου και τις ανάγκες των χρηστών (συνήθως την ώρα των διαλειμμάτων εργασίας και στη λήξη του εργασιακού ωραρίου).

Έλεγχος παρουσίας: Επιτυγχάνεται με αισθητήρες παρουσίας οι οποίοι σβήνουν τα φώτα όταν δεν ανιχνεύσουν κίνηση στο χώρο για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν ανιχνεύσουν κίνηση συνήθως επαναφέρουν τα φώτα σε λειτουργία.

Σύζευξη με το φυσικό φωτισμό: Ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου λειτουργεί με φωτοκύτταρο το οποίο τοποθετείται είτε εξωτερικά είτε σε θέση που να βλέπει έξω από το παράθυρο, ώστε να δέχεται μόνο φυσικό φως. Μπορεί να τοποθετηθεί και μέσα στο χώρο ώστε να μετρά το συνολικό φωτισμό (φυσικό και τεχνητό). Σε αυτήν την περίπτωση ένας φωτοηλεκτρικός αισθητήρας μπορεί να ελέγχει ομάδα φωτιστικών ή να είναι τοποθετημένος σε μεμονωμένο φωτιστικό και να ελέγχει μόνο αυτό.

4.1. ΦΩΤΙΣΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

Ο σύγχρονος σχεδιασμός φωτιστικών σωμάτων έχει οδηγήσει σε βελτιώσεις της απόδοσής τους, σε σχέση με παλαιότερα φωτιστικά.

Ενώ οι τυπικοί - βαμμένοι σε λευκό χρώμα - ανακλαστήρες έχουν συντελεστή ανακλαστικότητας της τάξης περίπου του 70%, ο συντελεστής ανακλαστικότητας των ανακλαστήρων αλουμινίου μπορεί να φτάσει έως και 95%.

Η ανακαίνιση παλιών εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας σύγχρονο εξοπλισμό μπορεί συχνά να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, πέραν της βελτίωσης των συνθηκών οπτικής άνεσης (π.χ. εξάλειψη των φωτεινών αντανακλάσεων στις οθόνες υπολογιστών).

Πολλά σύγχρονα φωτιστικά αποτελούνται από προσεκτικά σχεδιασμένα συστήματα ανακλαστήρων για να κατευθύνουν το φως από τους λαμπτήρες προς την απαιτούμενη κατεύθυνση. Αυτοί επιτρέπουν την χρήση λιγότερων λαμπτήρων ή φωτιστικών για την παραγωγή συγκεκριμένης στάθμη φωτισμού.

Σε παλαιά φωτιστικά σώματα χαμηλής απόδοσης, είναι δυνατή η βελτίωση της απόδοσής τους με την αντικατάσταση των συστημάτων διάχυσης ή ανάκλασης με νέα συστήματα ανακλαστήρων.

Εναλλακτικά, μπορούν να προστεθούν ανακλαστήρες στο παλαιό φωτιστικό, διατηρώντας τα υπάρχοντα εξαρτήματα ελέγχου του φωτός.

Σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να οδηγεί σε μείωση του αριθμού λαμπτήρων, διατηρώντας την ίδια παραγόμενη ποσότητα φωτισμού και με την συνεπαγόμενη εξοικονόμηση (υπολογίζεται ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας από 20 έως 50% μέσω βελτιώσεων στους ανακλαστήρες και στο προστατευτικό κάλυμμα των φωτιστικών). Εν τούτοις, απαιτείται προσοχή καθόσον η εμφάνιση του χώρου μπορεί να αλλάξει, οπότε είναι συνήθως χρήσιμο να προηγηθεί μελέτη για μία μικρή περιοχή του χώρου, ώστε να διερευνηθούν πιθανές αλλαγές.

Προσοχή πρέπει επίσης να δίνεται στην ποσότητα εξερχόμενου φωτός των φωτιστικών, καθώς αυτή ποικίλλει αρκετά. Οι μελετητές συχνά υποθέτουν ότι τα φωτιστικά σώματα με ίδιο αριθμό λαμπτήρων, παρέχουν την ίδια ποσότητα εξερχόμενου φωτός, αλλά συνήθως αυτό δεν είναι αληθές. Μικρότερη ποσότητα εξερχόμενου φωτός από ένα φωτιστικό σημαίνει ότι απαιτούνται περισσότερα

φωτιστικά σώματα για να εξασφαλίσουν σε ένα δεδομένο χώρο την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού. Επομένως ο σχεδιασμός θα είναι χαμηλότερης ενεργειακής απόδοσης.

Η αναλογία εξερχόμενου φωτός (Light Output Ratio) για κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο φωτιστικού διαφέρει από τον ένα κατασκευαστή στον άλλο, γι' αυτό συνιστάται να γίνεται έλεγχος των μοντέλων κατά την επιλογή τους.



Εικόνες 4.1. – 4.4.: Φωτιστικά Σώματα

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Dialux Manual*
2. *Indalux: Lighting Engineering Handbook*
3. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_fotistika.htm
4. <http://www.cie.org.cy>
5. <http://www.ercoco.com>
6. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_sxediasmos.htm
7. http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_axiopoissi.htm
8. Μπανάκα Κ. Στεφανία, «Ενεργειακή επιθεώρηση και πρόταση εξοικονόμησης ενέργειας στο σύστημα φωτισμού του κτηρίου Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.– Πτέρυγες Β, Δ.» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Νοέμβριος 2011, Επιβλέπων Καθηγητής : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Επιβλέπων : Λάμπρος Θ. Δούλος, Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.
9. http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_topalis.pdf Φραγκίσκος Β. Τοπαλής. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Εργαστήριο Φωτοτεχνίας . «Εξοικονόμηση ενέργειας σε εγκαταστάσεις φωτισμού εσωτερικών χώρων»
10. <http://www.greekarchitects.gr>, Κοντορήγας Δ.Θεόδωρος BSc MBA MSc, Ειδικός Σύμβουλος - Μελετητής Αρχιτεκτονικού Φωτισμού, Μέλος IALD, PLDA, SLL, « Ενεργειακά υπεύθυνος σχεδιασμός φωτισμού και τεχνολογίες»

5. Προγράμματα και θεμελιώδεις δείκτες

5.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και για την πραγματοποίηση των απαιτούμενων προσομοιώσεων, έγινε χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Google SketchUp το οποίο είναι συνδεδεμένο με το λογισμικό OpenStudio, μέσω αντίστοιχης επέκτασης (plug-in). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Radiance για τη μέτρηση επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας, θάμβωσης και ετήσιας επάρκειας φυσικού φωτισμού.

5.1.1. Google SketchUp

Το SketchUp είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης το οποίο εκτός από την εικονική αποτύπωση κάθε κτιρίου επιτρέπει και τον καθορισμό της λειτουργικότητας αυτού (π.χ. νοσοκομείο, κατοικία κ.α.) με έτοιμες προδιαγραφές. Επίσης, υποστηρίζει πολλές επεκτάσεις προγραμμάτων (plugins), παρέχοντας διάφορες δυνατότητες εύκολα και άμεσα, όπως τη φωτο-ρεαλιστική απόδοση. Το SketchUp, με τη βοήθεια της επέκτασης του OpenStudio είναι το μέσο για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Ο χρήστης σχεδιάζει το κτίριο ή τον εκάστοτε υπό μελέτη χώρο, εισάγοντας τα γεωμετρικά και άλλων ειδών χαρακτηριστικά, όπως τα υλικά κατασκευής. Στη συνέχεια, για την ενεργειακή μελέτη χρησιμοποιείται το OpenStudio.

5.1.2. OpenStudio

Η εφαρμογή Openstudio είναι ένα γραφικό εργαλείο ενεργειακής μοντελοποίησης ολόκληρου του κτιρίου, μέσω του EnergyPlus και της ανάλυσης φυσικού φωτός, μέσω του Radiance. Το Openstudio περιλαμβάνει επιπλέον το Parametric Analysis Tool, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να τροποποιούν ένα μοντέλο Openstudio ώστε να παράγει εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού, το Run Manager, το οποίο επιτρέπει την περιήγηση, τη σχεδίαση και τη σύγκριση δεδομένων από μοντελοποιήσεις και τέλος, το Results Viewer, που είναι και το μέσον εξαγωγής αποτελεσμάτων. Το νέο Openstudio Plug-in καθιστά εύκολη τη δημιουργία και την επεξεργασία της γεωμετρίας του κτιρίου στα αρχεία εισόδου του EnergyPlus και την εκχώρηση χωρικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη λειτουργικότητα του SketchUp, συμπεριλαμβανομένων των υφιστάμενων εργαλείων σχεδίασης, ενοποίηση με το Google Earth, το Building Maker και το Photo 52 Match. Ακόμη, συμβάλει στις προσομοιώσεις στο EnergyPlus για να εξαχθούν τα αποτελέσματα χωρίς την έξοδο από το SketchUp. Το OpenStudio Plug-in δημιουργήθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory) για το Υπουργείο

Ενέργειας των Η.Π.Α., προκειμένου να διευκολύνει τη χρήση του EnergyPlus. Ουσιαστικά, επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί και να επεξεργάζεται θερμικές ζώνες και επιφάνειες μέσω του Google SketchUp, οι οποίες εισάγονται στο EnergyPlus για να γίνει η προσομοίωση. Εισάγεται στην πλατφόρμα του OpenStudio η γεωμετρία και τα χωρικά χαρακτηριστικά, όπως εισήχθησαν στο πρόγραμμα SketchUp και στη συνέχεια γίνεται η επεξεργασία δεδομένων, όπως οι ιδιότητες των υλικών, η διαμόρφωση των δομικών στοιχείων (π.χ. τοίχοι, παράθυρα, δάπεδα, κτλ.), η προσθήκη σκίασης, συστημάτων αερισμού, κλιματισμού, θέρμανσης και άλλες λειτουργίες του κτιρίου, σε σχέση με τους χώρους ή τις θερμικές του ζώνες. Σε όλα τα παραπάνω, συμπεριλαμβάνεται η δυνητική επιλογή αντίστοιχων χρονοδιαγραμμάτων. Τελικώς, προστίθεται η χρήση μιας ετήσιας προσομοίωσης μέσω Radiance για τη μέτρηση φυσικού φωτισμού ή θάμβωσης σε προεπιλεγμένο σημείο του μοντέλου. Οι βασικές λειτουργίες του OpenStudio Plug-in παρέχουν τη δυνατότητα για:

- Δημιουργία και επεξεργασία θερμικών ζωνών και επιφανειών στο EnergyPlus
- . • Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus, εκτέλεση του προγράμματος και παρακολούθηση των αποτελεσμάτων μέσω του SketchUp
 - . • Ενοποίηση των επιφανειών που βρίσκονται σε γειτονικές θερμικές ζώνες.
 - Αναζήτηση επιφανειών πληκτρολογώντας το όνομα τους.
 - Προσθήκη των εσωτερικών θερμικών κερδών και της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου.
 - Προσθήκη του ιδανικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου.
 - Ρύθμιση και αλλαγή λανθασμένων κατασκευών.
 - Προσθήκη στοιχείων ελέγχου του φυσικού φωτισμού και ηλιακών χαρτών.

5.1.3. EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία προσομοίωσης διαθέσιμα σήμερα . Συγκεκριμένα, το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. με στόχο την προσομοίωση και την ενεργειακή ανάλυση των κτιρίων. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει πολλές πρωτοποριακές δυνατότητες προσομοίωσης όπως π.χ. της θερμικής άνεσης, της χρήσης του νερού, του φυσικού αερισμού, τα φωτοβολταϊκά συστήματα κ.ά. Είναι βασισμένο σε δύο προηγούμενα λογισμικά, το BLAST (Building Loads and System Thermodynamics) και το DOE-2 (Department Of Energy-2), που δημιουργήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '80. Τα προγράμματα αυτά είχαν κάποιες αδυναμίες τις οποίες το EnergyPlus έχει καταφέρει και έχει αντιμετωπίσει με την

εφαρμογή καινοτόμων μεθόδων, όπως είναι η προσομοίωση με συστήματα ψύξης-θέρμανσης τελευταίας τεχνολογίας, η εξαγωγή αποτελεσμάτων με χρονικά βήματα κ.ά. Οι ερευνητές το χρησιμοποιούν για να μοντελοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου και τελικά να βελτιστοποιήσουν το σχεδιασμό του έχοντας βασικό στόχο τη λιγότερη δυνατή κατανάλωση σε ενέργεια και νερό. Είναι άμεσα συγχρονισμένο με το εκάστοτε αρχείο του OpenStudio και του SketchUp, και έτσι δίνει τη δυνατότητα απόδοσης των μεταβλητών αυτών των προγραμμάτων. Επιπλέον έχει τη δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας αποτελεσμάτων, όπως η θερμοκρασία και το ποσοστό υγρασίας που επικρατούν στους χώρους του κτιρίου, η ενεργειακή κατανάλωσή του καθώς και συστήματων, όπως ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού, αερισμού, μηχανολογικού εξοπλισμού, χρήσης νερού καθώς και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κ.ά. Όλα όσα χρειάζονται δηλαδή για να γίνει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των ροών ενέργειας του κτιρίου. Και όλα αυτά τα αποτελέσματα έχουν χρονικά βήματα λιγότερο από μία ώρα. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία και με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα ο μελετητής μπορεί πλέον να σχεδιάσει το κτίριο ή να επέμβει στο ήδη υπάρχων έτσι ώστε αυτό να αναβαθμιστεί ενεργειακά μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. [4]

5.1.4. Radiance

To Radiance είναι ένα πρόγραμμα για την ανάλυση του φυσικού και τεχνητού φωτισμού στο σχεδιασμό. Είναι ένα εργαλείο το οποίο υπολογίζει και προβλέπει την ορατή ακτινοβολία στον χώρο. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τη φασματική ακτινοβολία (δηλαδή φωτεινότητα και χρώμα), την ακτινοβολία (φωτισμός και χρώμα) κ.ά. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορεί να εμφανίζονται ως έγχρωμες εικόνες ή αριθμητικές τιμές. Το κύριο πλεονέκτημα του Radiance είναι ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με τη γεωμετρία ή τα υλικά που μπορεί να προσομοιώσει. Το Radiance χρησιμοποιείται από τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς για να προβλέψουν τον φωτισμό, την οπτική ποιότητα και εμφάνιση καινοτόμων χώρων σχεδιασμού, καθώς και από τους ερευνητές για την αξιολόγηση των νέων τεχνολογιών φωτισμού και φυσικού φωτισμού. Το Radiance πλεονεκτεί έναντι άλλων προγραμμάτων φωτισμού για διάφορους λόγους. Πρώτον, χρησιμοποιεί τεχνική προσομοίωσης ray-tracing, που συνεπάγεται τον υπολογισμό των ανακλάσεων σε όλες τις επιφάνειες του χώρου στο τελικό αποτέλεσμα. Επιπλέον, μπορεί να χειρίστει οποιοδήποτε είδος υλικού (κατοπτρικό, ημι-κατοπτρικό και διάχυτο) και δίνει καλά αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις, σε αντίθεση με κάθε άλλο πρόγραμμα προσομοίωσης φωτισμού. Τέλος, έχει κάποιες σημαντικές δυνατότητες που δεν υπάρχουν σε άλλα αντίστοιχα προγράμματα όπως η δυνατότητα για την ακριβή καταγραφή

αλλεπάλληλων ανακλάσεων (diffuse and specular interreflection) σε πολύπλοκους χώρους. Αυτή είναι μια βασική προϋπόθεση για την πρόβλεψη της φωτεινότητας σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές.

5.1.5. Relux

Το Relux είναι ένα πρόγραμμα για την ανάλυση και οπτικοποίηση του φυσικού και τεχνητού φωτισμού στο σχεδιασμό, αντίστοιχο του συνδυασμού των προγραμμάτων OpenStudio και Radiance. Είναι ένα εργαλείο το οποίο υπολογίζει και προβλέπει την ορατή ακτινοβολία στον χώρο. Τα δεδομένα εισόδου είναι η γεωμετρία, τα υλικά, τα φωτιστικά, η ώρα, η ημερομηνία και οι συνθήκες του ουρανού (για τους υπολογισμούς του φυσικού φωτισμού). Η ειδικότητά του ως πρόγραμμα είναι η παροχή τόσο ρεαλιστικών εικόνων όσο και αριθμητικών δεδομένων. Οι σχεδιαστές μπορούν να δουν πώς θα μοιάζει η δουλειά τους και ταυτόχρονα να χρησιμοποιήσουν τα αριθμητικά δεδομένα (τιμές φωτεινότητας ή έντασης φωτισμού) για να ελέγχουν την επιθυμητή ποσότητα του φωτός ή να συγκρίνουν τις τιμές με εκείνες που προκύπτουν από άλλες πηγές φωτός.

Μία βασική διαφορά μεταξύ του Radiance και του Relux, είναι ότι το Radiance υπολογίζει την ένταση του φωτισμού σε ένα εξεταζόμενο σημείο και κατά μια καθορισμένη κατεύθυνση, ενώ το Relux υπολογίζει την ένταση του φωτισμού σε μια εξεταζόμενη επίπεδη επιφάνεια με καθορισμένη κλίση.

Έτσι λοιπόν, ενώ για κάθε χρονική στιγμή το Radiance παρουσιάζει μία μοναδική τιμή έντασης φωτισμού του εξεταζόμενου σημείου και κατά την καθορισμένη κατεύθυνση, το Relux παρουσιάζει 3 τιμές έντασης φωτισμού της εξεταζόμενης επιφάνειας, τη μέση τιμή, την ελάχιστη και τη μέγιστη.

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή δεν έχουν μεγάλη χρησιμότητα, μιας και μπορεί να βρίσκονται σε ακραία τμήματα της επιφάνειας, ή να εμφανίζονται σε μικρό ποσοστό της. Η πιο κατάλληλη τιμή για εξαγωγή συμπερασμάτων είναι η μέση τιμή της έντασης φωτισμού.

Είναι προφανές ότι δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων του Radiance και του Relux, μιας και στη μεγάλη επιφάνεια υπολογισμού του Relux υπάρχει αρκετή διακύμανση, επηρεάζοντας τη μέση τιμή, ενώ επίσης στο μεμονωμένο σημείο υπολογισμού του Radiance μπορεί να υπάρχει τοπική έξαρση.

Παρά ταύτα, μπορεί να γίνει ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων των χαρακτηριστικών του φυσικού φωτισμού, για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

5.2. ΔΕΙΚΤΕΣ

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των δεικτών που χρησιμοποιούνται στα προγράμματα και συναντάμε συνεχώς κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων μετά το πέρας των προσομοιώσεων.

5.2.1. Αυτονομία φυσικού φωτισμού (Daylight Autonomy)

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

Το κύριο πλεονέκτημα της αυτονομίας φυσικού φωτισμού σε σχέση με τον παράγοντα φυσικού φωτισμού είναι ότι λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό των προσόψεων, την παρουσία των χρηστών και εξετάζει όλες τις πιθανές συνθήκες ουρανού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Είναι επομένως μια ολιστική προσέγγιση που περιγράφει την ετήσια διαθεσιμότητα φυσικού φωτός σε ένα χώρο εργασίας. Αφ' ετέρου, μπορεί να υπολογιστεί μόνο με προγράμματα προσομοίωσης. Η αυτονομία φυσικού φωτισμού υπολογίζεται συχνά υποθέτοντας ότι το σύστημα σκίασης είναι στην ίδια θέση όλο το χρόνο. Αυτή η υπόθεση είναι ρεαλιστική για ένα στατικό σύστημα σκίασης, όπως το εξωτερικό ράφι φωτισμού. Όποτε χρησιμοποιείται ένα κινητό σύστημα σκίασης, όπως οι βενετικές περσίδες, πρέπει να εξεταστεί επίσης η ρύθμιση των περσίδων μέσω του χρήστη ή του αυτοματοποιημένου ελέγχου. Αυτό περιπλέκει περαιτέρω την ανάλυση, δεδομένου ότι απαιτεί ένα πρότυπο συμπεριφοράς χρηστών που να προβλέπει πώς περιστρέφονται οι περσίδες σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα στη διάρκεια του έτους.

Η αυτονομία φυσικού φωτισμού χαρακτηρίζει τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού ενός χώρου. Δεδομένου ότι είναι ανεξάρτητη από την εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτρικού φωτισμού και τον ηλεκτρικό έλεγχο του φωτισμού, μια υψηλή αυτονομία φυσικού φωτός είναι μια απαραίτητη απαίτηση αλλά όχι μια εγγύηση για την εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του φυσικού φωτός.

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

5.1.2.1. Συνεχής Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού (*Continuous Daylight Autonomy*)

Η Continuous Daylight Autonomy (conDA), προτεινόμενη από τον Rogers το 2006, είναι ένας άλλος δείκτης που προέκυψε από την έρευνα. Σε αντίθεση με τη συμβατική αυτονομία φυσικού φωτισμού, μερική συμβολή του φυσικού φωτός αποδίδεται στα χρονικά σημεία που η ένταση φυσικού φωτός βρίσκεται κάτω από το κατώτατο απαιτούμενο επίπεδο έντασης φωτισμού. Για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου απαιτούνται 500 lux και παρέχονται 400 lux από το φυσικό φως σε μία δεδομένη στιγμή, μια μερική συμβολή $400\text{lux}/500\text{lux}=0.8$ προσφέρεται για εκείνο το χρονικό διάστημα. Το αποτέλεσμα είναι η κατάργηση ενός αυστηρού κατώτατου ορίου και η εξομάλυνση της μετάβασης μεταξύ της συνεισφοράς και της μη συνεισφοράς. Αυτή η αλλαγή στο δείκτη μπορεί να δικαιολογηθεί από τις έρευνες πεδίων που δείχνουν ότι οι προτιμήσεις φωτισμού ποικίλουν μεταξύ των ατόμων και ότι πολλοί υπάλληλοι γραφείων τείνουν να εργάζονται σε χαμηλότερα επίπεδα φυσικού φωτός από τα συνήθως αναφερόμενα 300 ή 500 lux. Ουσιαστικά, ο δείκτης αναγνωρίζει ότι ακόμη και μια μερική συμβολή του φυσικού φωτός σε ένα χώρο είναι ευεργετική.

Η μέθοδος της συνεχούς αυτονομίας φυσικού φωτισμού είναι χρήσιμη για την εμφάνιση της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας στην περίπτωση που ο τεχνητός φωτισμός έχει δυνατότητα ρύθμισης της έντασης (dimming) ή διακόπτες με δυνατότητα πολύ-επίπεδης επιλογής. Για να εξεταστεί συγχρόνως η πιθανή εμφάνιση του φαινομένου της θάμβωσης, ένας δεύτερος δείκτης, η maximum Daylight Autonomy (maxDA), η οποία ορίστηκε επίσης από τον Rogers, αναφέρεται μαζί με την conDA για να ορίσει το ποσοστό των κατειλημμένων ωρών που εμφανίζεται άμεσο φυσικό φως ή υπερβολικά επίπεδα φυσικού φωτός. Υποθέτοντας ότι το κατώτατο όριο των συνθηκών που ενδεχομένως να προκαλούν θάμβωση εξαρτάται από τον τύπο του χώρου, η maxDA καθορίστηκε να ισούται με δέκα φορές την απαιτούμενη ένταση φωτισμού ενός χώρου. Παραδείγματος χάριν, για ένα εργαστήριο υπολογιστών με απαιτούμενη ένταση φωτισμού 150 lux η maxDA αντιστοιχεί σε 1500 lux. Αυτό το ανώτερο όριο ως κριτήριο είναι ουσιαστικά ένα μέτρο του άμεσου φυσικού φωτός ή άλλων συνθηκών που μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση και ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη και μπορεί να δώσει μια ένδειξη για το πόσο συχνά και πού εμφανίζονται σε ένα χώρο μεγάλες αντιθέσεις έντασης φωτισμού.

5.2.1.2. Χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού (Useful Daylight Autonomy)

Χρήσιμες τιμές φυσικού φωτισμού (Useful Daylight Illuminances - UDI)

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

Η νέα, όμως, μέθοδος των XTΦΦ δεν περιορίζεται στον υπολογισμό του φωτισμού στο επίπεδο εργασίας για όλο το έτος. Επιπρόσθετα, παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τάση των υψηλών τιμών φωτισμού να προκαλούν οπτική δυσφορία στους χρήστες (θάμβωση) καθώς και ανεπιθύμητα ηλιακά κέρδη. Η νέα αυτή μέθοδος υπολογίζει τη συχνότητα κατά την οποία επιτυγχάνονται τιμές φυσικού φωτισμού συγκεκριμένου εύρους (κλίμακας). Ως χρήσιμες τιμές φυσικού φωτισμού ορίζονται αυτές που περιλαμβάνονται στο εύρος 100-2000 lux. Το εύρος αυτό καθορίστηκε βάσει πρόσφατων επιτόπιων έρευνών σχετικά με τη συμπεριφορά χρηστών κάτω από διαφορετικές συνθήκες φυσικού φωτισμού [Nabil & Mardaljevic, 2006:906]. Σύμφωνα με τη μέθοδο των Χρήσιμων Τιμών Φυσικού Φωτισμού, οι τιμές που υπολογίζονται κατηγοριοποιούνται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

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

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

Εικόνα 5.1.: Τα τρία εύρη τιμών φυσικού φωτισμού

Πηγή: Nabil & Mardaljevic, 2006:906

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Στασινόπουλος Ν. Θάνος, *Ηλιακή Γεωμετρία. Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.* Τμήμα Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ. Αθήνα 2001.
2. Χριστοφής Ι. Κορωναίος, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Διδακτικές σημειώσεις, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Σ.Π.Μ.Σ.) «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα, Μάρτιος 2012
3. *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων, T.O.TEE 20702-5/2010*
4. *Daylight in Buildings. International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, July 2000.*
5. *Γούλα Ενγενία, Προσομοίωση χώρου σε λογισμικό με βάση παράγοντες φωτισμού, Διπλωματική Εργασία. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2012.*
6. *Simon Crone, 1992, Radiance User's Manual (Volume 2),* <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/usman2.pdf>
7. http://www.tkmactions.tee.gr/sections/6_Omades_Ergasias/3_Energeias/12.pdf
8. <http://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp>
9. <http://openstudio.nrel.gov/>
10. <http://search.nrel.gov/query.html>
11. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

6. Προσομοίωση υφιστάμενης κατάστασης

6.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΩΝ

Το νοσοκομείο ΚΑΤ βρίσκεται βόρεια της Αθήνας, στην περιοχή της Κηφισιάς, περίπου 13km από το κέντρο της πόλης, με άμεση πρόσβαση από τη λεωφόρο Κηφισιάς. Το οικόπεδο βρίσκεται δίπλα στο κτήμα Συγγρού, με τους θαλάμους νοσηλείας να έχουν θέα αυτό. Η κύρια είσοδος έχει τοποθετηθεί στην ανατολική πλευρά του οικοπέδου, ενώ υπάρχει ακόμη μια είσοδος στα δυτικά, όπου βρίσκεται και ο χώρος στάθμευσης.



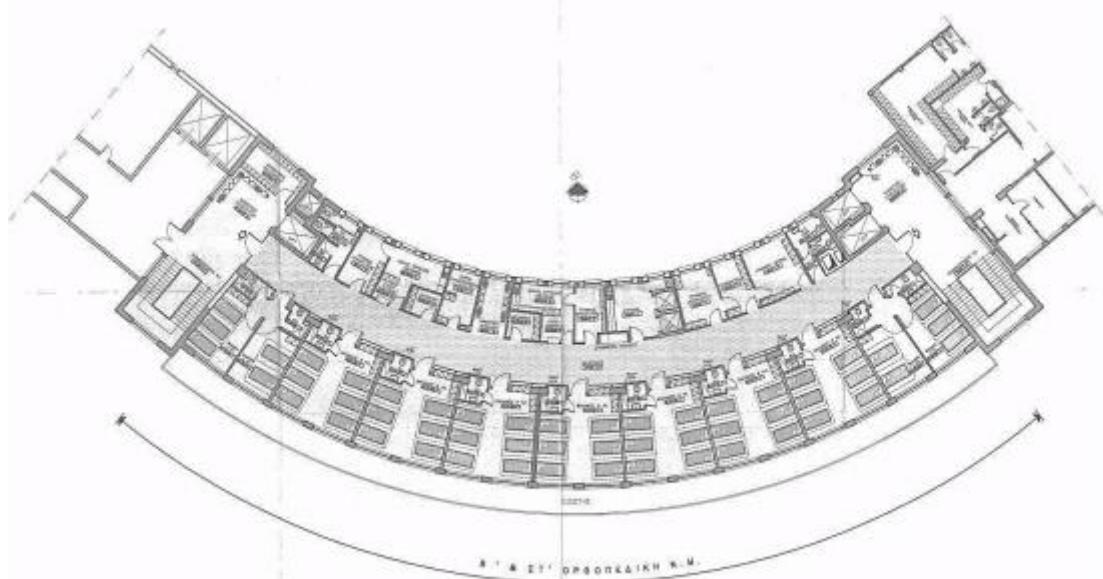
Εικόνα 6.1.1.: Η κύρια είσοδος

Πηγή: Ηλεκτρονική Φωτογραφία

Οι πτέρυγες νοσηλείας βρίσκονται στο κεντρικό κτίριο στα νότια του οικοπέδου, το οποίο έχει τοξωτό σχήμα, με τους θαλάμους νοσηλείας να βρίσκονται από τα νοτιοδυτικά μέχρι τα νοτιοανατολικά, με θέα προς την λεωφόρο Κηφισιάς αλλά και το καταπράσινο άλσος του κτήματος Συγγρού. Στα βορειοανατολικά μέχρι τα βορειοδυτικά βρίσκονται οι χώροι εργασίας του προσωπικού, οι χώροι υγιεινής, αλλά και κάποια ελάχιστα γραφεία τα οποία έχουν μετατραπεί σε θαλάμους νοσηλείας.

6.1.1. Περιγραφή 3^{ου} Ορόφου

Η νότια πρόσοψη της πτέρυγας νοσηλείας του 3^{ου} ορόφου του νοσοκομείου ΚΑΤ, αποτελείται από 7 εξάκλινους, 2 τρίκλινους, και 2 δίκλινους θαλάμους νοσηλείας. Οι τρίκλινοι και δίκλινοι θάλαμοι νοσηλείας, έχουν προκύψει από το διαχωρισμό μεγαλύτερων θαλάμων. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι τρίκλινοι θάλαμοι είχαν σχεδιαστεί αρχικά ως δίκλινοι, οπότε η εγκατεστημένη ηλεκτρομηχανολογική τους υποδομή δεν αντιστοιχεί στην πραγματική χρήση τους. Αυτό το γεγονός δημιουργεί κάποια προβλήματα, ιδίως στην επάρκεια του τεχνητού φωτισμού.



Κάτοψη τυπικού ορόφου (πηγή: Τεχνική Υπηρεσία του νοσοκομείου ΚΑΤ)

Εικόνα 6.1.1.1.: Κάτοψη Τυπικού Ορόφου

Πηγή: Τεχνική Υπηρεσία ΚΑΤ

Στους τοίχους έχει χρησιμοποιηθεί σοβάς, και το χρώμα τους είναι μια απόχρωση του μπεζ. Στο δάπεδο έχει χρησιμοποιηθεί Linoleum στην απόχρωση του γαλάζιου - γκρι, ενώ στην οροφή έχει χρησιμοποιηθεί σοβάς λευκού χρώματος. Τα κουφώματα του παραθύρου είναι από αλουμίνιο και έχουν διπλό υαλοπίνακα με αέρα στο διάκενο, ενώ για την σκίαση υπάρχει προστέγασμα (εξώστης άνω ορόφου) και χρησιμοποιούνται κουρτίνες μπλε χρώματος. Τεχνητός φωτισμός υπάρχει και γενικός και ατομικός. Ο γενικός φωτισμός αποτελείται από τους λαμπτήρες που βρίσκονται στην οροφή του θαλάμου και αυτούς που βρίσκονται στον τοίχο, πάνω από τα κρεβάτια των ασθενών. Στην οροφή, στον προθάλαμο κάθε δωματίου υπάρχει ένας λαμπτήρας με ισχύ 18Watt. Στον τοίχο, υπάρχουν γενικά φωτιστικά φθορισμού πάνω από κάθε κρεβάτι, τα οποία αποτελούνται από 2 επιμήκεις λάμπες τύπου NARVA LT18W/840 COLOURLUX PLUS με ισχύ 18Watt. Τα ατομικά φωτιστικά είναι ένα πάνω από κάθε κρεβάτι, και είναι επίσης φωτιστικά φθορισμού με ισχύ 18Watt.

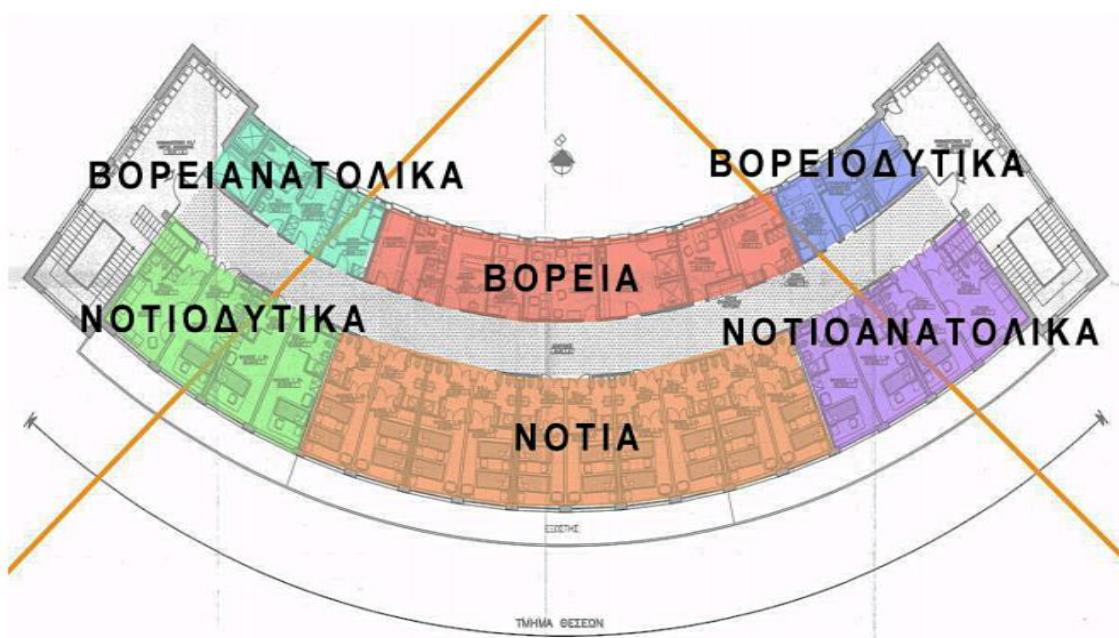
6.1.1.1. Εξεταζόμενοι Θάλαμοι A, B, C, D.

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη της αυτονομίας φυσικού φωτισμού στους ακραίους θαλάμους της νότιας πρόσοψης της πτέρυγας νοσηλείας του 3^{ου} ορόφου του νοσοκομείου KAT.

Στη νότια πρόσοψη της πτέρυγας νοσηλείας του 3^{ου} ορόφου του νοσοκομείου KAT, υπήρχαν αρχικά 9 θάλαμοι, περίπου ίσου μεγέθους. Οι 7 κεντρικοί θάλαμοι χρησιμοποιούνται ως εξάκλινοι θάλαμοι νοσηλείας, ενώ οι ακραίοι θάλαμοι έχουν διαχωριστεί ο καθένας σε 2 μικρότερους θαλάμους, με αρχική πρόβλεψη να χρησιμοποιηθούν ως δίκλινοι θάλαμοι νοσηλείας.

Οι δύο αυτοί μικρότεροι θάλαμοι, που προέκυψαν από το διαχωρισμό ενός μεγαλύτερου θαλάμου, έχουν ελαφρώς διαφορετικό μέγεθος, και στον μεγαλύτερο από αυτούς αποφασίστηκε εκ των υστέρων να τοποθετηθούν 3 κλίνες, παρά το γεγονός ότι, σύμφωνα με την αρχική πρόβλεψη, η εγκατεστημένη ηλεκτρομηχανολογική τους υποδομή αντιστοιχεί στην τοποθέτηση 2 κλινών.

Έτσι λοιπόν, σε κάθε άκρο της νότιας πρόσοψης της πτέρυγας νοσηλείας του 3^{ου} ορόφου του νοσοκομείου KAT, προέκυψαν ένας τρίκλινος και ένας δίκλινος θάλαμος νοσηλείας, οι οποίοι, ως τμήματα ενός πρώην μεγαλύτερου ενιαίου θαλάμου, έχουν κοινό προσανατολισμό.



Εικόνα 6.1.1.1.: Προσανατολισμός κεντρικού κτιρίου

Πηγή: Τεχνική Υπηρεσία KAT

Συνολικά, λοιπόν, στη νότια πρόσοψη της πτέρυγας νοσηλείας του 3^{ου} ορόφου του νοσοκομείου ΚΑΤ, εκτός από τους 7 κεντρικούς εξάκλινους θαλάμους νοσηλείας, υπάρχουν επίσης 2 τρίκλινοι και 2 δίκλινοι θάλαμοι νοσηλείας.

Συγκεκριμένα, υπάρχει ένας τρίκλινος και ένας δίκλινος θάλαμος νοσηλείας στο άκρο της πτέρυγας με Ν-ΝΔ προσανατολισμό, όπως επίσης και οι αντίστοιχοι συμμετρικοί θάλαμοι νοσηλείας στο άκρο της πτέρυγας με Α-ΝΑ προσανατολισμό. Για το σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, οι θάλαμοι αυτοί έχουν ονομαστεί αντίστοιχα Α, Β, Σ, Ζ και Δ.

6.1.1.2. Εξεταζόμενες Θέσεις A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3.

Στον τρίκλινο θάλαμο νοσηλείας Α, υπάρχουν 3 εξεταζόμενες θέσεις κλινών, στην πρόσοψη, στο μέσον, και στο βάθος του θαλάμου, οι οποίες έχουν ονομαστεί αντίστοιχα Α1, Α2 και Α3.

Στον δίκλινο θάλαμο νοσηλείας Β, υπάρχουν 2 εξεταζόμενες θέσεις κλινών, στην πρόσοψη, και στο βάθος του θαλάμου, οι οποίες έχουν ονομαστεί αντίστοιχα Β1 και Β2.

Στον δίκλινο θάλαμο νοσηλείας Σ, υπάρχουν 2 εξεταζόμενες θέσεις κλινών, στην πρόσοψη, και στο βάθος του θαλάμου, οι οποίες έχουν ονομαστεί αντίστοιχα Σ1 και Σ2.

Στον τρίκλινο θάλαμο νοσηλείας Δ, υπάρχουν 3 εξεταζόμενες θέσεις κλινών, στην πρόσοψη, στο μέσον και στο βάθος του θαλάμου, οι οποίες έχουν ονομαστεί αντίστοιχα Δ1, Δ2 και Δ3.

6.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

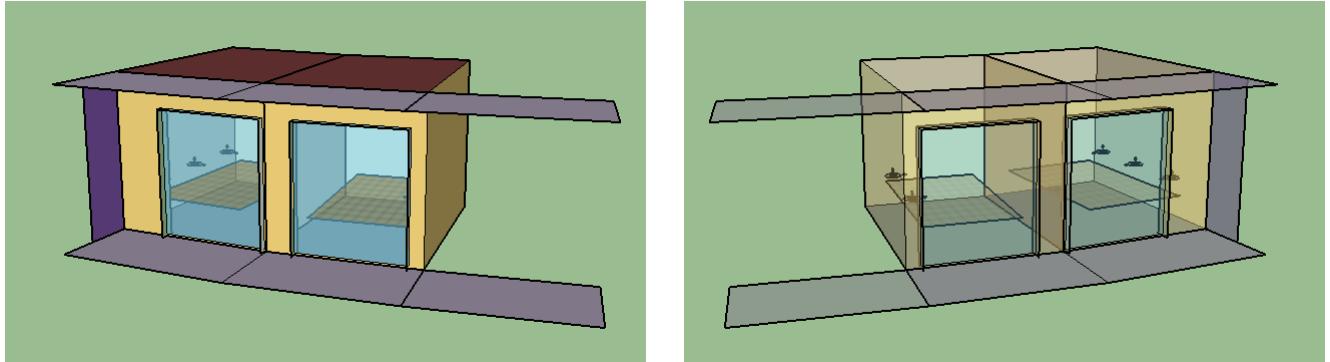
Προκειμένου να προταθούν κατάλληλες λύσεις για τη βελτίωση της αυτονομίας φυσικού φωτισμού στις εξεταζόμενες θέσεις, πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν πλήρως οι υφιστάμενες συνθήκες ώστε να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα θάμβωσης λόγω των οποίων μειώνεται η χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού, στη συνέχεια να ελεγχθούν διαφορετικές περιπτώσεις αντιμετώπισης των ανωτέρω προβλημάτων με χρήση εξωτερικής σκίασης, εσωτερικής σκίασης, ή συνδυασμού αυτών, και τελικά να επιλεχθεί ο βέλτιστος τρόπος αντιμετώπισή τους.

Η προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης και των διαφορετικών περιπτώσεων σκίασης πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Radiance, μέσω του προγράμματος OpenStudio. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης με το πρόγραμμα Relux, ώστε να συγκριθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

6.2.1. Εξεταζόμενοι Θάλαμοι Α, Β, Κ, Δ.

Για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του φυσικού φωτισμού στις εξεταζόμενες θέσεις με χρήση λογισμικού, και συγκεκριμένα του προγράμματος Radiance, δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού με το πρόγραμμα OpenStudio.

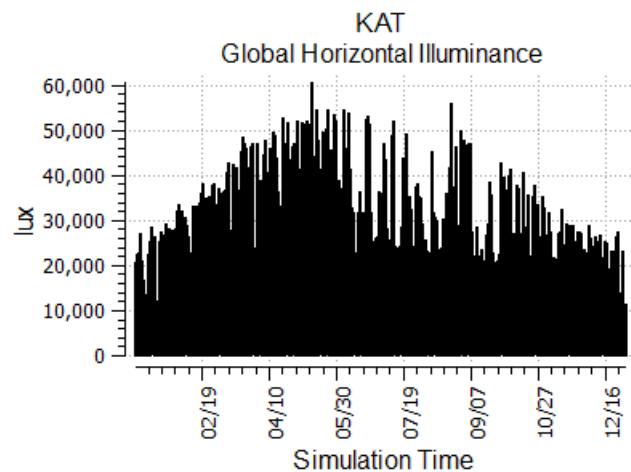
Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή γενικών αποτελεσμάτων που αφορούν τους θαλάμους στο σύνολό τους, αλλά και ειδικότερα για την εξαγωγή αναλυτικότερων αποτελεσμάτων που αφορούν μεμονωμένα τις εξεταζόμενες θέσεις.



Εικόνες 6.2.1.1 & 6.2.1.2.: Μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού στους θαλάμους Α, Β, Κ και Δ με το πρόγραμμα OpenStudio.

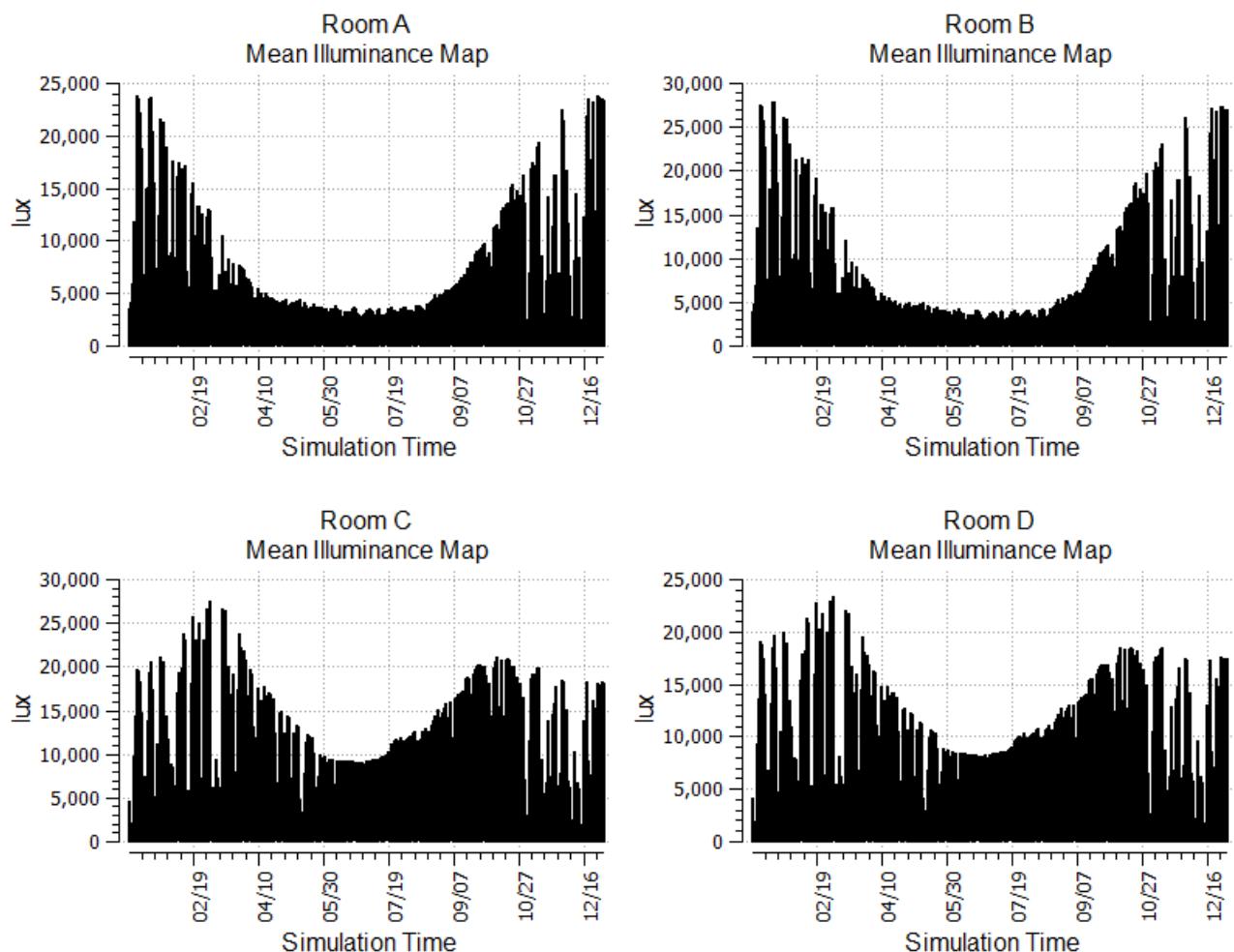
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε επίσια βάση οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού σε εξωτερικούς χώρους στην ευρύτερη περιοχή του ΚΑΤ, όπως επίσης και οι τιμές της μέσης έντασης του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των εξεταζομένων θαλάμων νοσηλείας Α,Β,Κ,Δ.



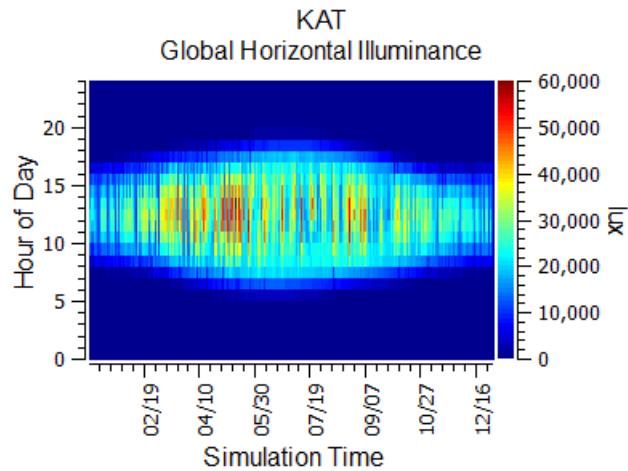
Εικόνα 6.2.1.1.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην περιοχή του KAT, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



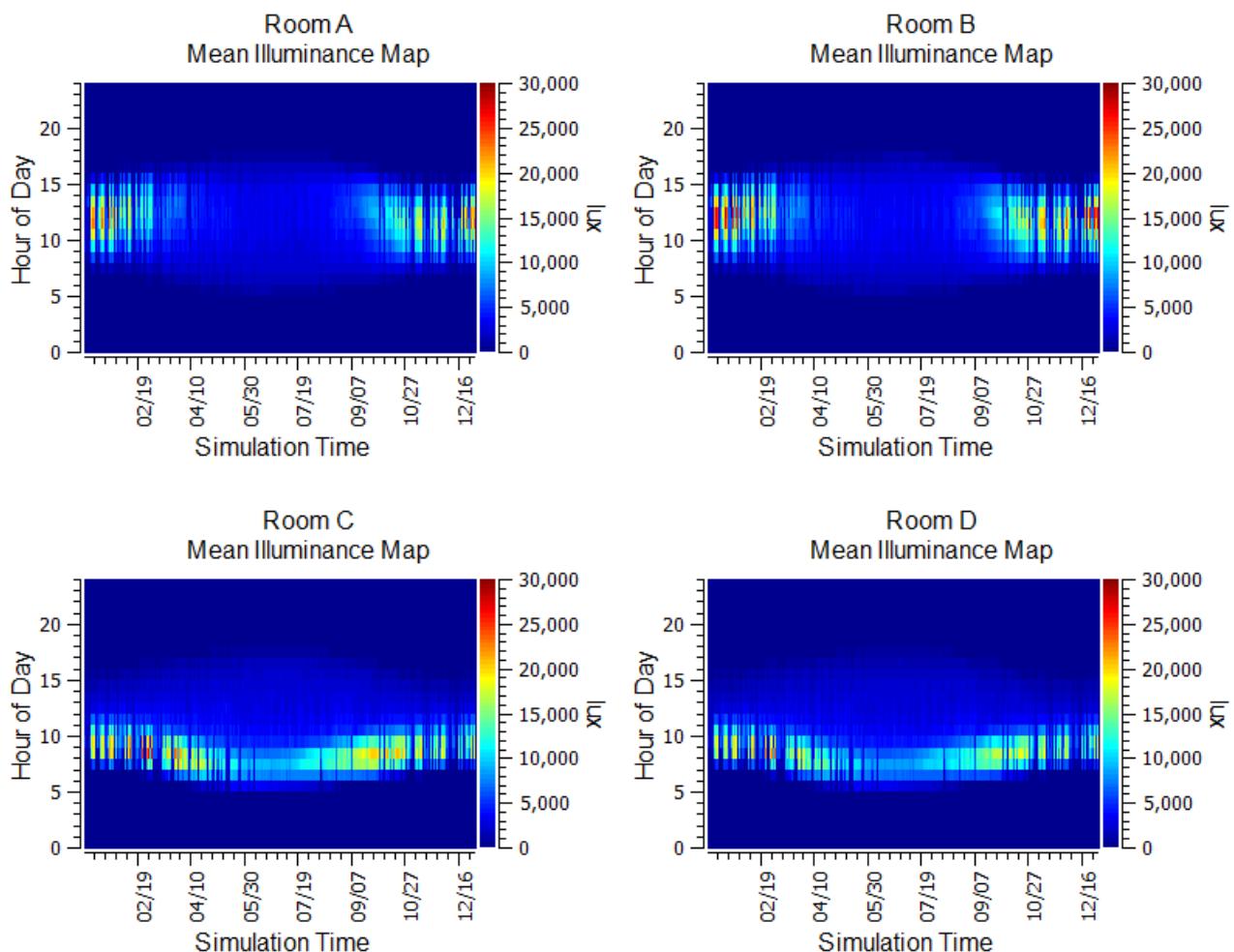
Εικόνες 6.2.1.2. - 6.2.1.5.: Τιμές μέσης έντασης φυσικού φωτισμού στους θαλάμους A,B,C,D, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνα 6.2.1.6.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην περιοχή του KAT, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.1.7. - 6.2.1.10.: Τιμές μέσης έντασης φυσικού φωτισμού στον θαλάμοντς A,B,C,D, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των εξεταζομένων θαλάμων

Όσον αφορά τη μέση φωτεινότητα των θαλάμων, συγκρίνοντας τα αντίστοιχα διαγράμματα, παρατηρούμε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζεται μείωση των τιμών της μέσης έντασης του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό τους, αντίθετα από ότι συμβαίνει στους εξωτερικούς χώρους.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ο ήλιος ακολουθεί υψηλότερη τροχιά, οπότε λόγω της μεγαλύτερης κλίσης των ηλιακών ακτινών και σε συνδυασμό με την ύπαρξη του εξώστη του άνω ορόφου, η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο εσωτερικό των θαλάμων είναι λιγότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη κατά τους χειμερινούς μήνες.

Συγκρίνοντας τις τιμές της μέσης έντασης του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των τεσσάρων εξεταζομένων θαλάμων, παρατηρούμε ότι οι θάλαμοι Α και Β παρουσιάζουν μεταξύ τους αντίστοιχη συμπεριφορά, όπως επίσης και οι θάλαμοι Σ και Δ, υπάρχει όμως σαφής διαφορά μεταξύ των θαλάμων Α,Β και των θαλάμων Σ,Δ, που οφείλεται στο διαφορετικό προσανατολισμό τους.

Σε σχέση λοιπόν με τον προσανατολισμό των θαλάμων, παρατηρούμε ότι οι θάλαμοι με Ν-ΝΔ προσανατολισμό (Α,Β) εμφανίζουν κατά τη διάρκεια του έτους εντονότερη διακύμανση συγκριτικά με τους θαλάμους με Α-ΝΑ προσανατολισμό (Σ,Δ). Δηλαδή, ενώ σε όλους τους θαλάμους οι μέγιστες τιμές της μέσης φωτεινότητας κατά τους χειμερινούς μήνες είναι παραπλήσιες, το καλοκαίρι οι θάλαμοι με Α-ΝΑ προσανατολισμό εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές μέσης φωτεινότητας και ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες, ενώ οι θάλαμοι με Ν-ΝΔ προσανατολισμό εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερες τιμές μέσης φωτεινότητας.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο εσωτερικό των θαλάμων με περίπου ανατολικό προσανατολισμό, προσπίπτει άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά τις πρωινές ώρες όπου ο ήλιος βρίσκεται στην ανατολή και σε χαμηλή θέση, όπως συμβαίνει αντίστοιχα και στο εσωτερικό των θαλάμων με περίπου δυτικό προσανατολισμό, αλλά κατά τις απογευματινές ώρες.

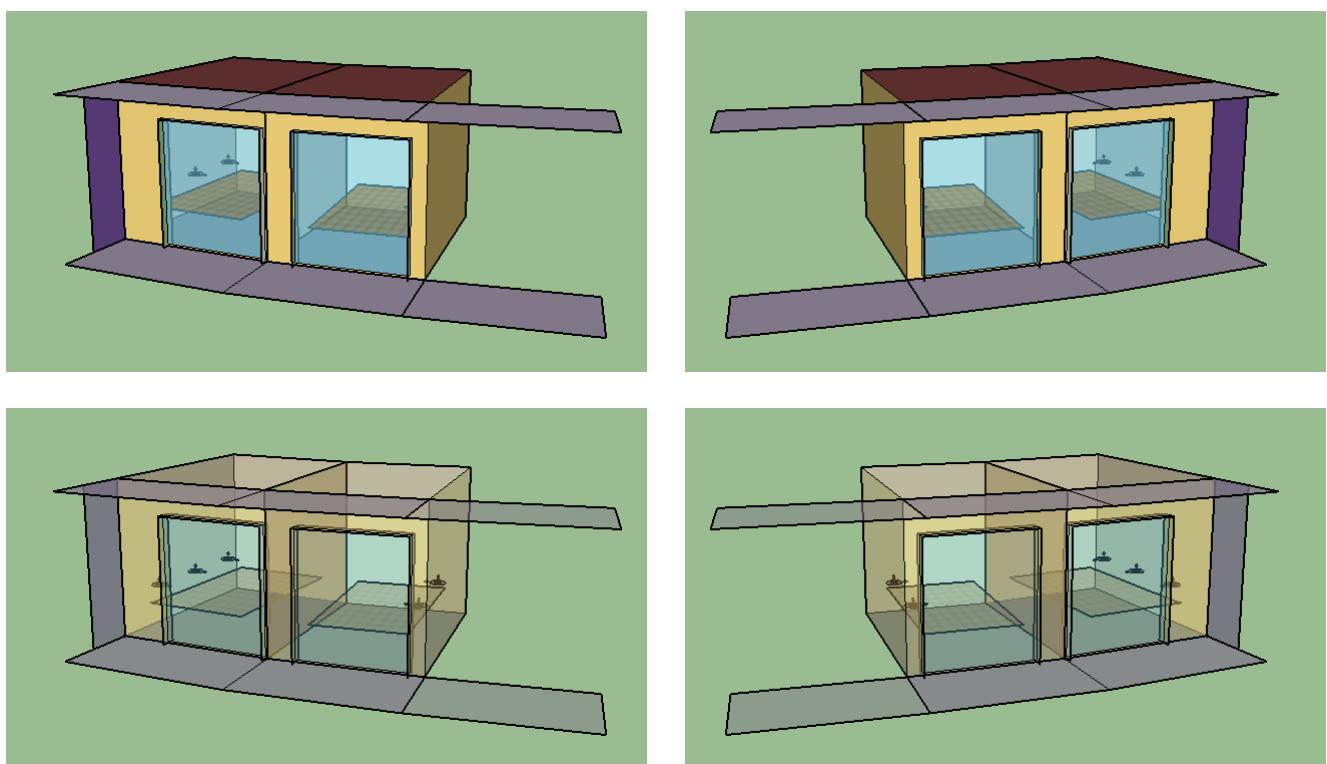
Αντιθέτως, στο εσωτερικό των θαλάμων με περίπου νότιο προσανατολισμό, δεν προσπίπτει αρκετή άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες, λόγω της διαφοράς προσανατολισμού, αλλά και κατά τις μεσημεριανές ώρες, λόγω της υψηλότερης θέσης του ηλίου, ιδίως σε συνδυασμό με την ύπαρξη εξώστη άνω ορόφου.

Αντές οι παρατηρήσεις αφορούν τους θαλάμους στο σύνολό τους. Όσον αφορά τις μεμονωμένες εξεταζόμενες θέσεις μέσα στους θαλάμους, η φωτεινότητά τους επηρεάζεται σημαντικά και από τη γεωμετρική τους θέση μέσα στο θάλαμο, οπότε για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων απαιτείται αναλυτικότερη μελέτη.

6.2.3. Εξεταζόμενες Θέσεις A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3.

Για τον προσδιορισμό των τιμών της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στις εξεταζόμενες θέσεις, όπως και της αντίστοιχης ετήσιας αυτονομίας φυσικού φωτισμού, χρησιμοποιήθηκαν τα προαναφερθέντα μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού με το πρόγραμμα OpenStudio.

Μετά την ολοκλήρωση των αντίστοιχων προσομοιώσεων, πραγματοποιήθηκε αναλυτική επεξεργασία των υπολογισμένων δεδομένων, και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν κατάλληλα συγκριτικά διαγράμματα, με τη βοήθεια των οποίων εκπονήθηκε η ζητούμενη μελέτη των χαρακτηριστικών του φυσικού φωτισμού.



Εικόνες 6.2.3.1. - 6.2.3.4.: Μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού στις εξεταζόμενες θέσεις A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3.
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

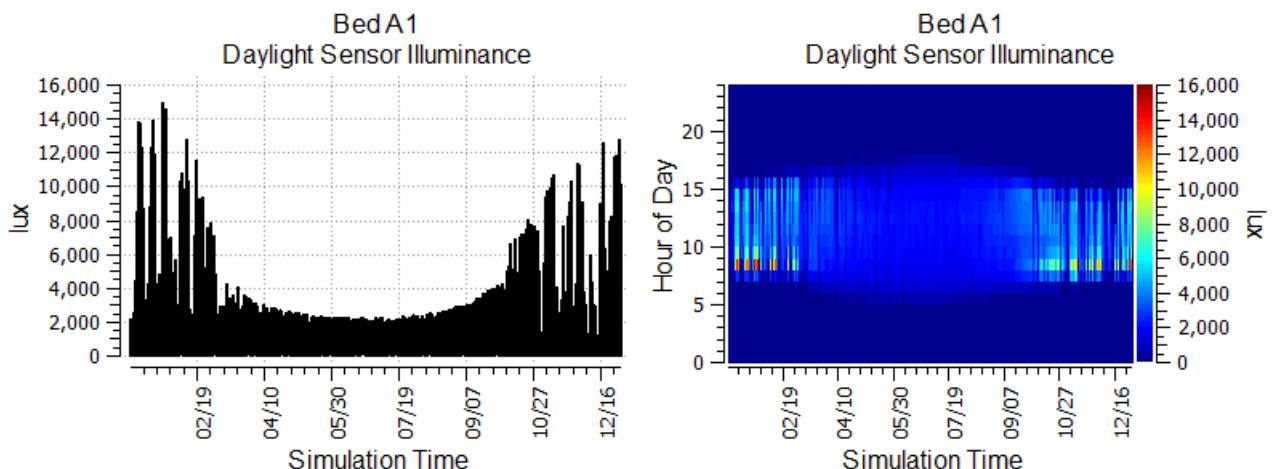
Στις ανωτέρω εικόνες απεικονίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων θαλάμων νοσηλείας, όπως επίσης και η διάταξη των εξεταζόμενων θέσεων μέσα στους θαλάμους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται σε ετήσια βάση αλλά και αναλυτικότερα κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης για κάθε εξεταζόμενη θέση ξεχωριστά.

6.2.3.1. Εξεταζόμενη Θέση A1

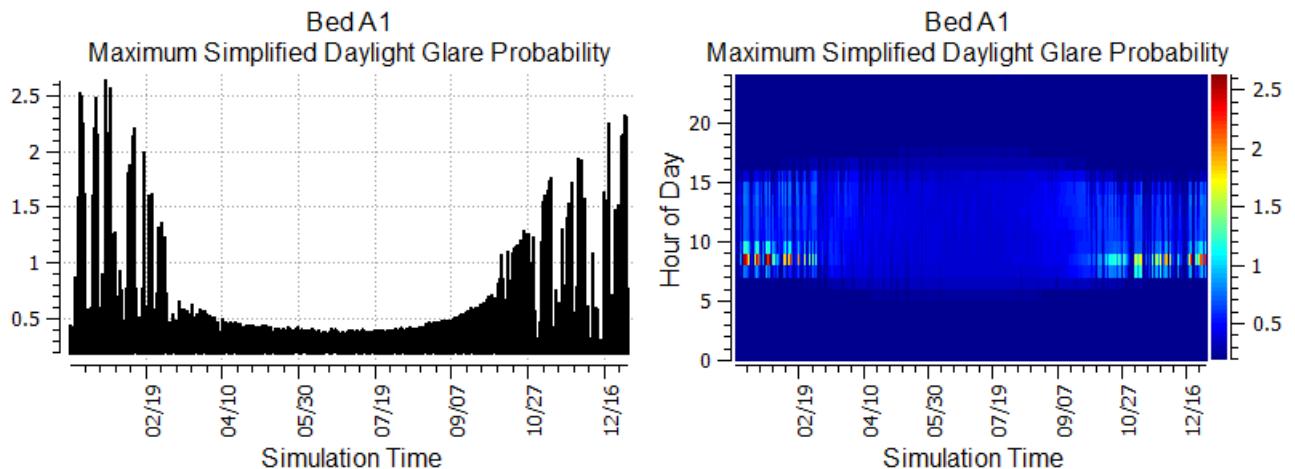
Η εξεταζόμενη θέση A1 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας Α, και ειδικότερα πλησίον του παραθύρου και του ορθογωνικού υποστυλώματος της πρόσοψης του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.1.1. & 6.2.3.1.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

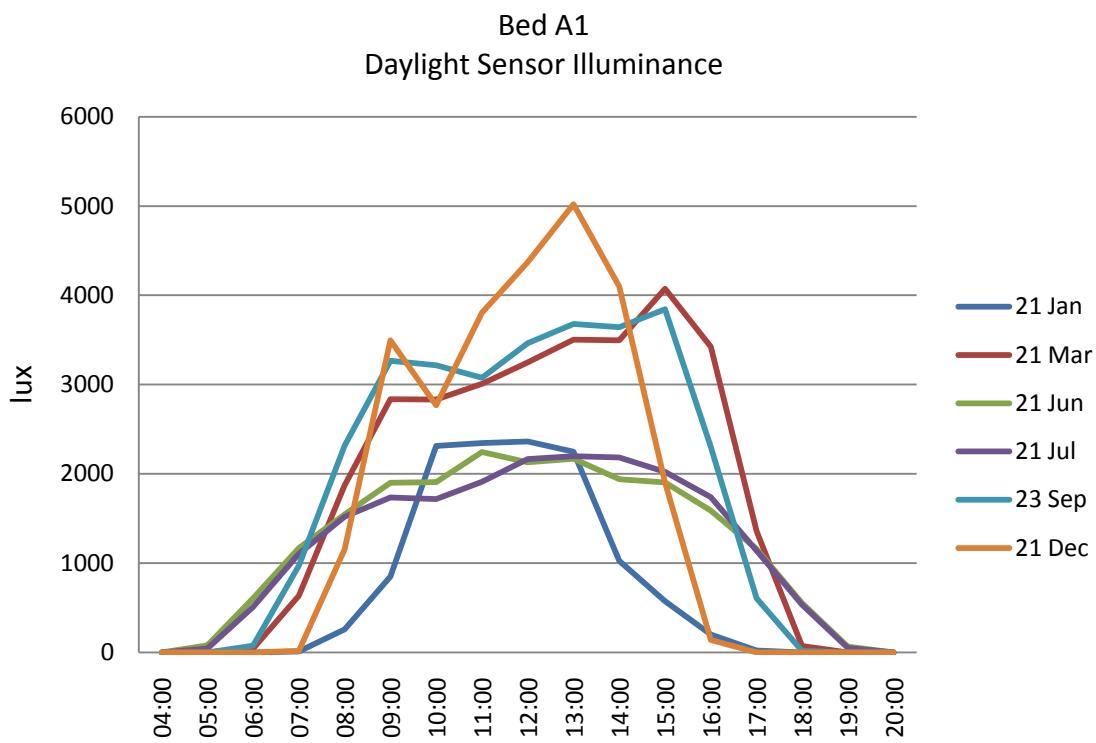
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.1.3. & 6.2.3.1.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

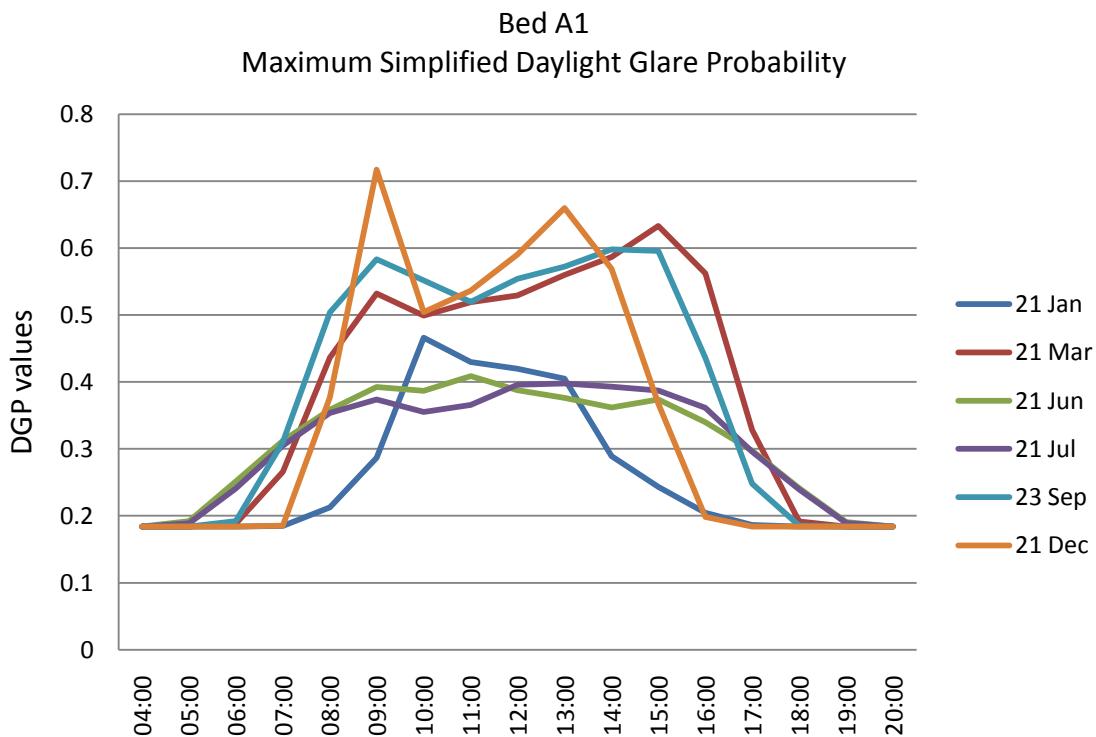
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3951	/	4685	=	0.8433
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4085	/	4685	=	0.8720
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1550	/	4685	=	0.3309



Εικόνα 6.2.3.1.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



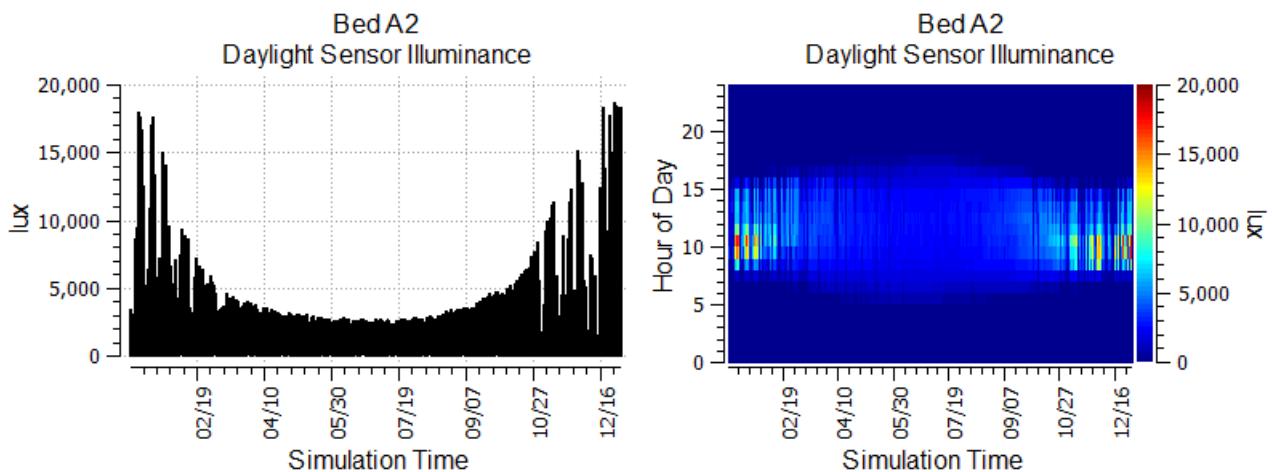
Εικόνα 6.2.3.1.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.2. Εξεταζόμενη Θέση A2

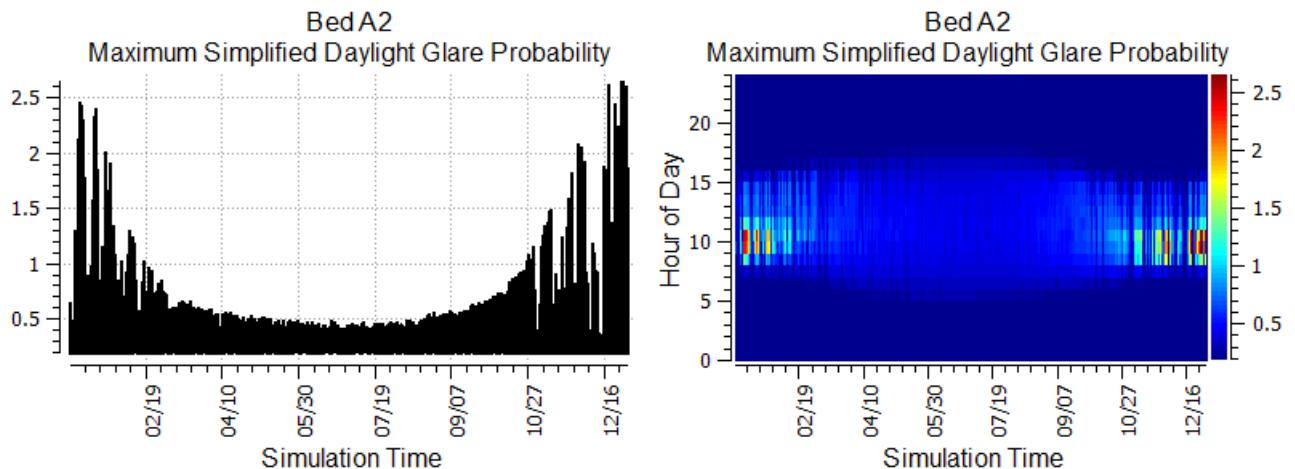
Η εξεταζόμενη θέση A2 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας A, και ειδικότερα στο μέσον του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.2.1. & 6.2.3.2.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

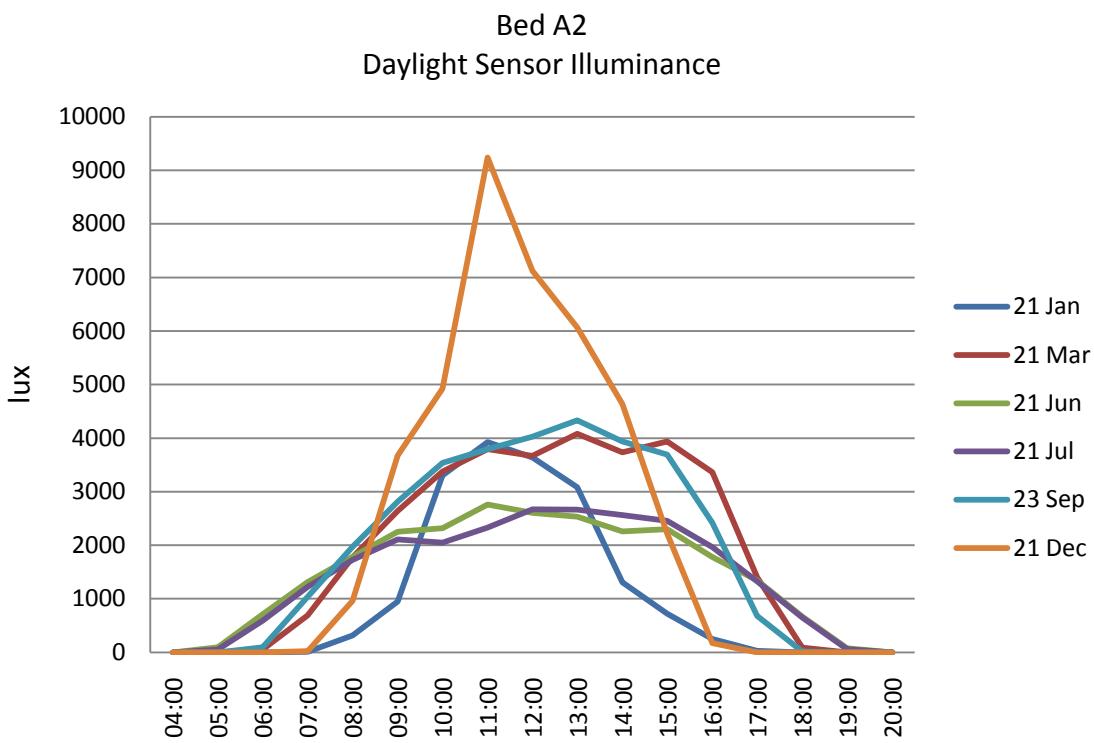
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.2.3. & 6.2.3.2.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

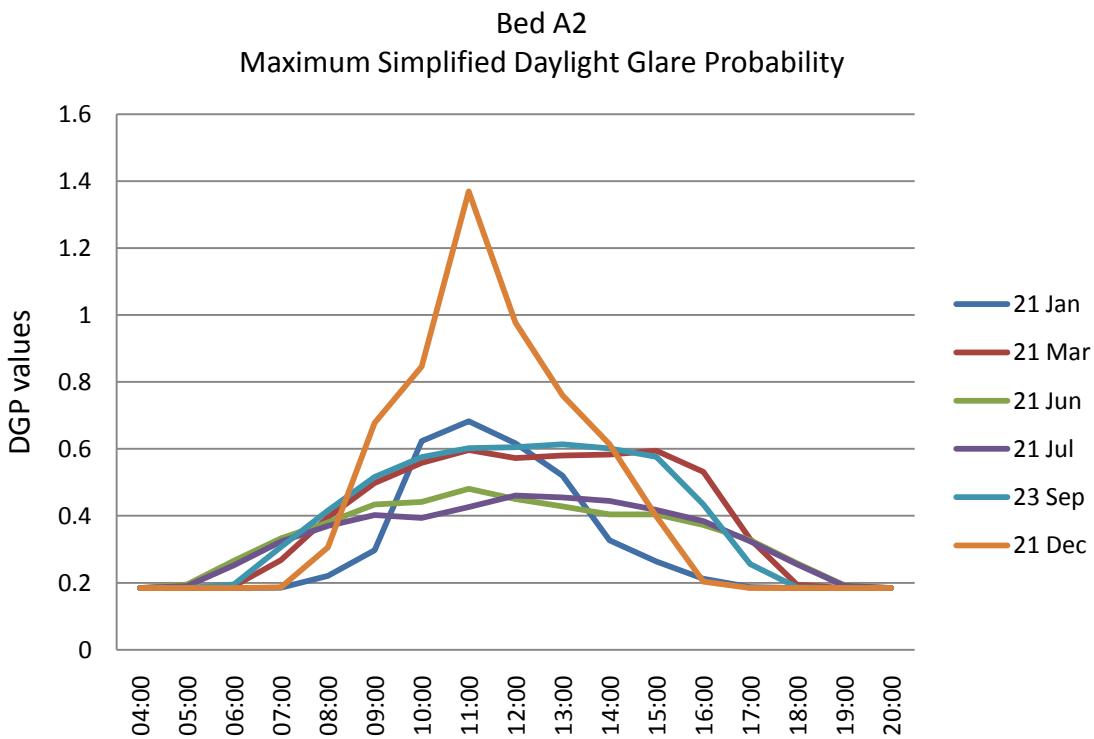
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3951	/	4685	=	0.8433
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4085	/	4685	=	0.8720
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1549	/	4685	=	0.3307



Εικόνα 6.2.3.2.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



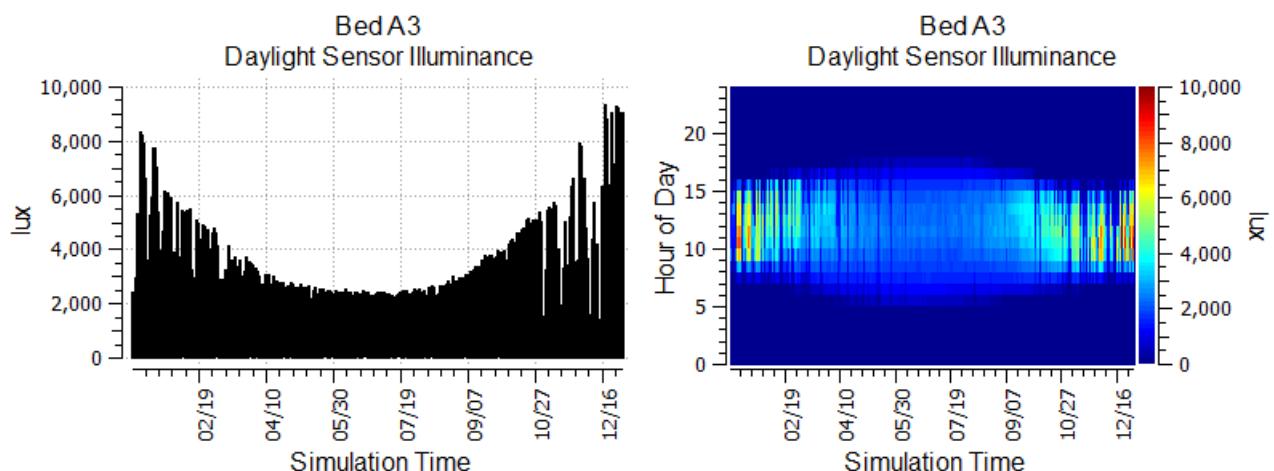
Εικόνα 6.2.3.2.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.3. Εξεταζόμενη Θέση A3

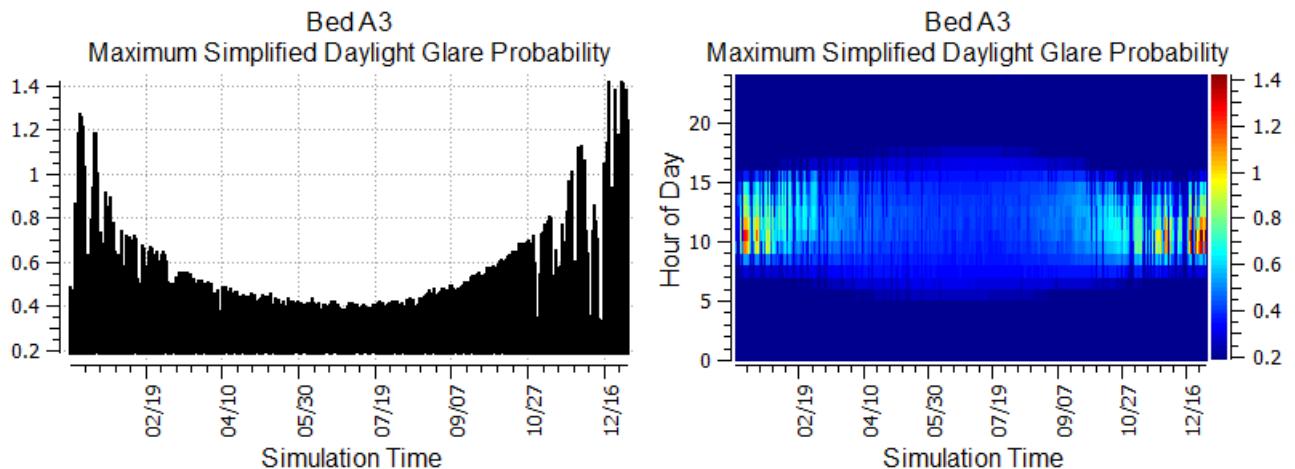
Η εξεταζόμενη θέση A3 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας A, και ειδικότερα στο βάθος του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.3.1. & 6.2.3.3.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A3, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

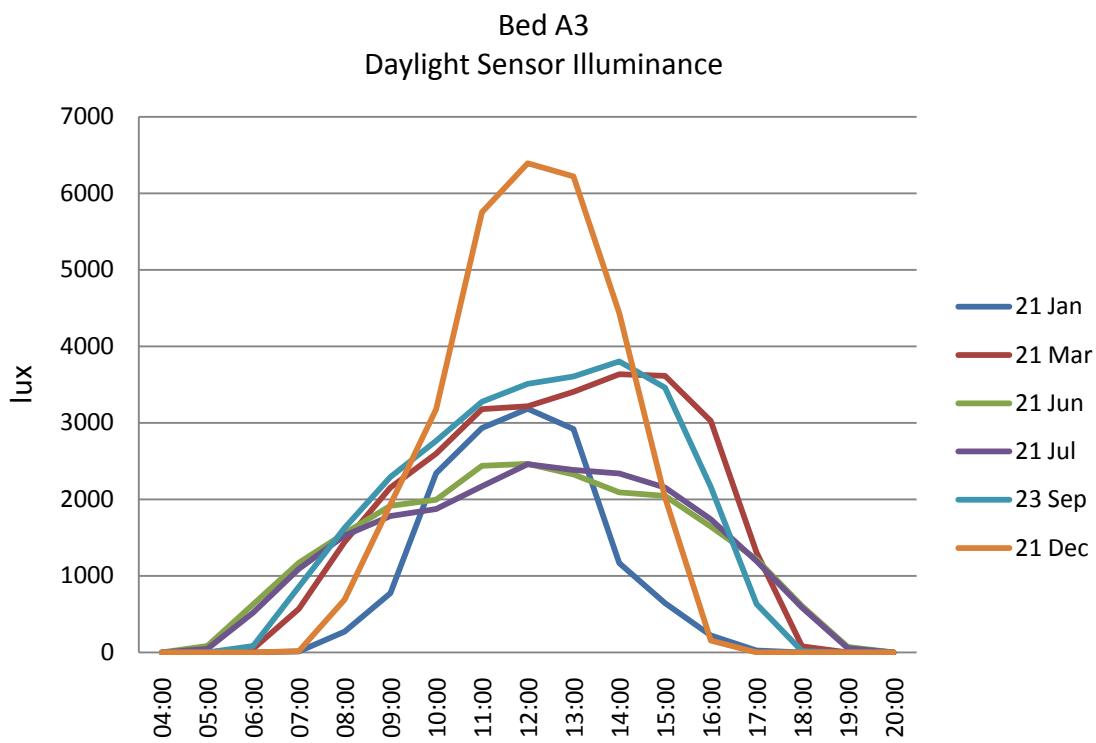
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.3.3. & 6.2.3.3.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A3, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

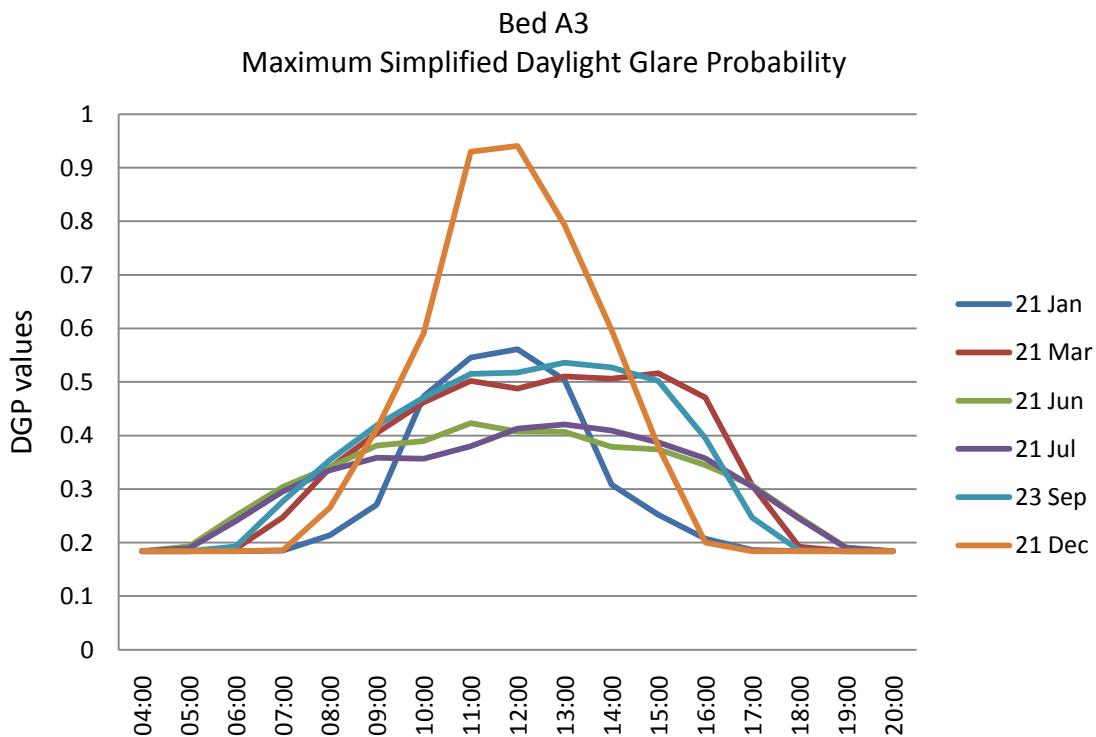
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3951	/	4685	=	0.8433
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4085	/	4685	=	0.8720
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1550	/	4685	=	0.3308



Εικόνα 6.2.3.3.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A3, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



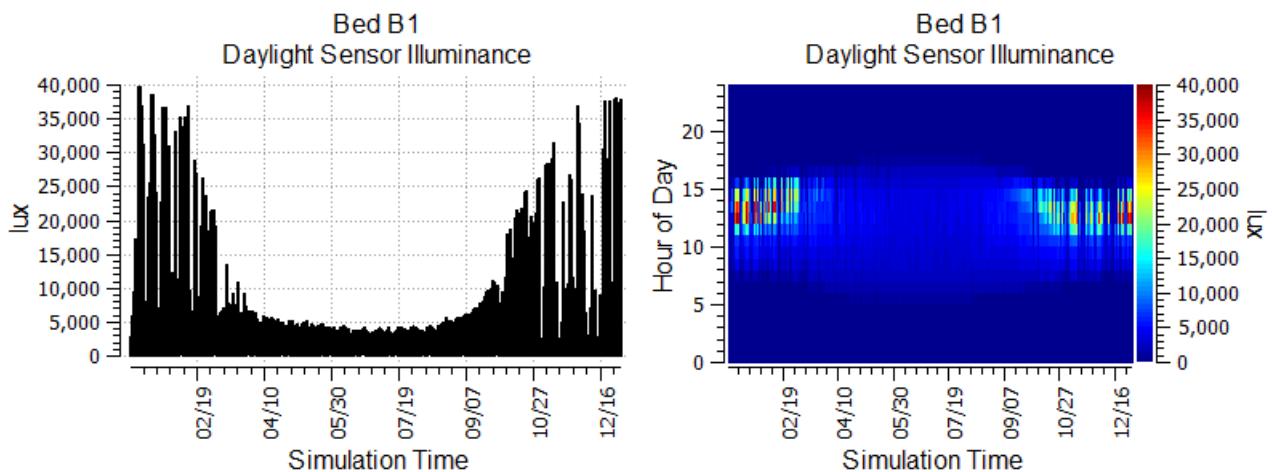
Εικόνα 6.2.3.3.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A3, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.4. Εξεταζόμενη Θέση B1

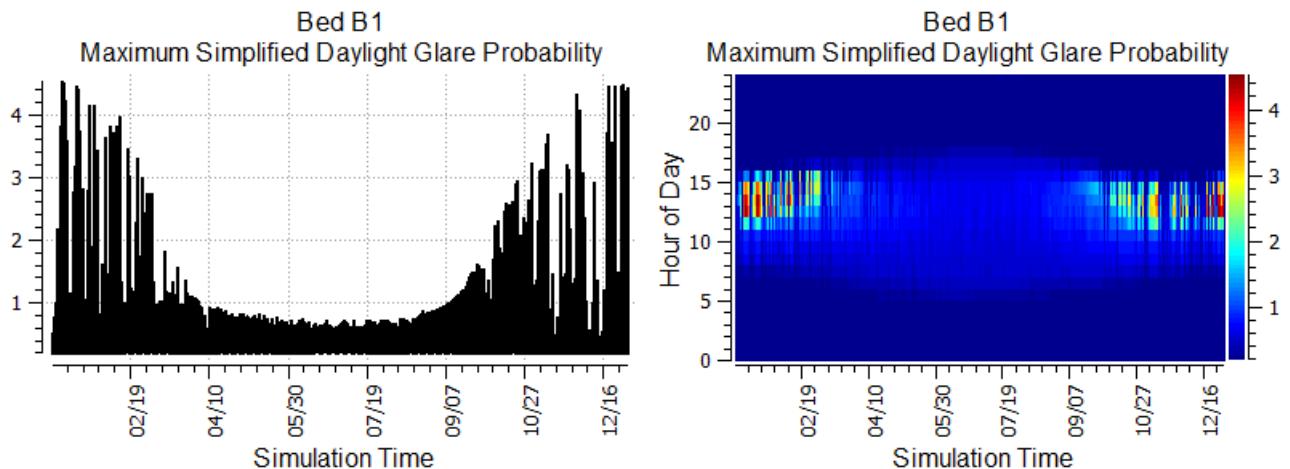
Η εξεταζόμενη θέση B1 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας B, και ειδικότερα πλησίον του παραθύρου της πρόσοψης του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.4.1. & 6.2.3.4.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση B1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

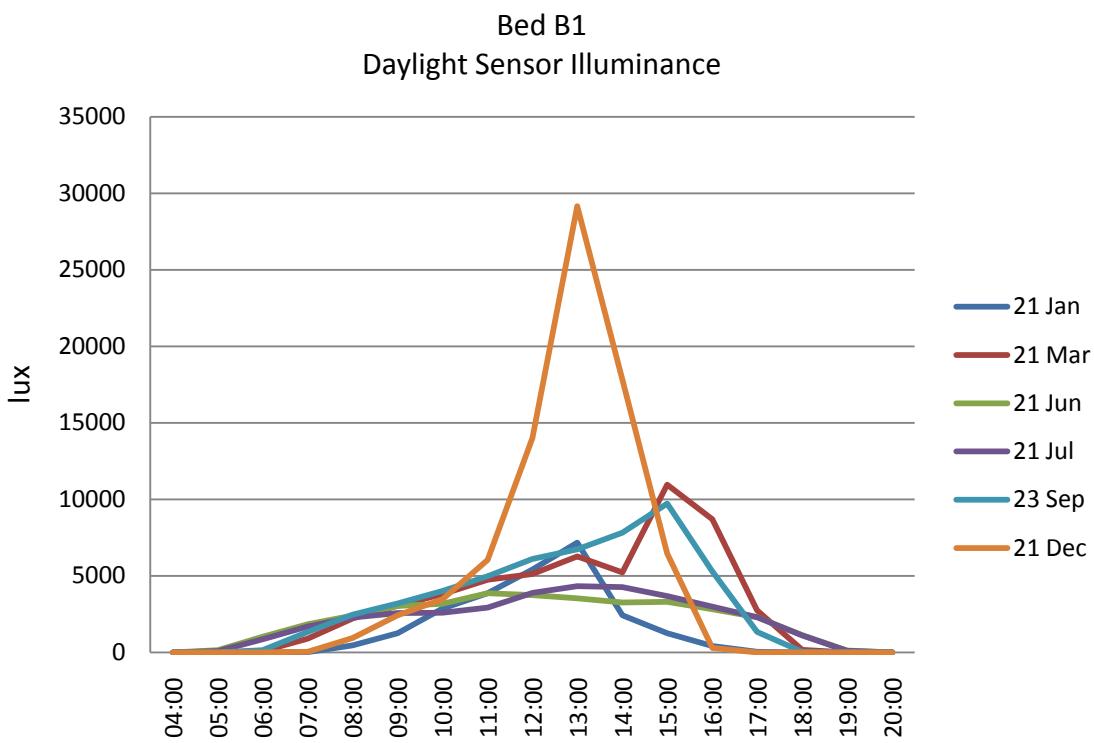
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.4.3. & 6.2.3.4.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση B1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

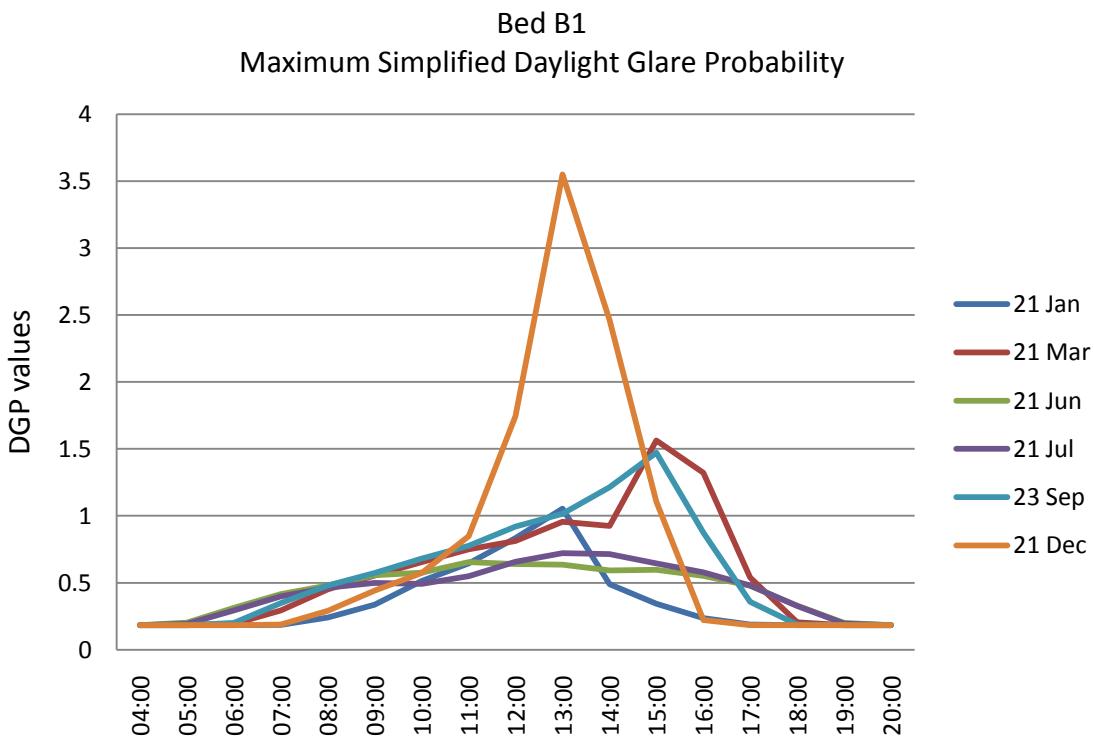
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3970	/	4685	=	0.8473
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4101	/	4685	=	0.8753
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1388	/	4685	=	0.2962



Εικόνα 6.2.3.4.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση B1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



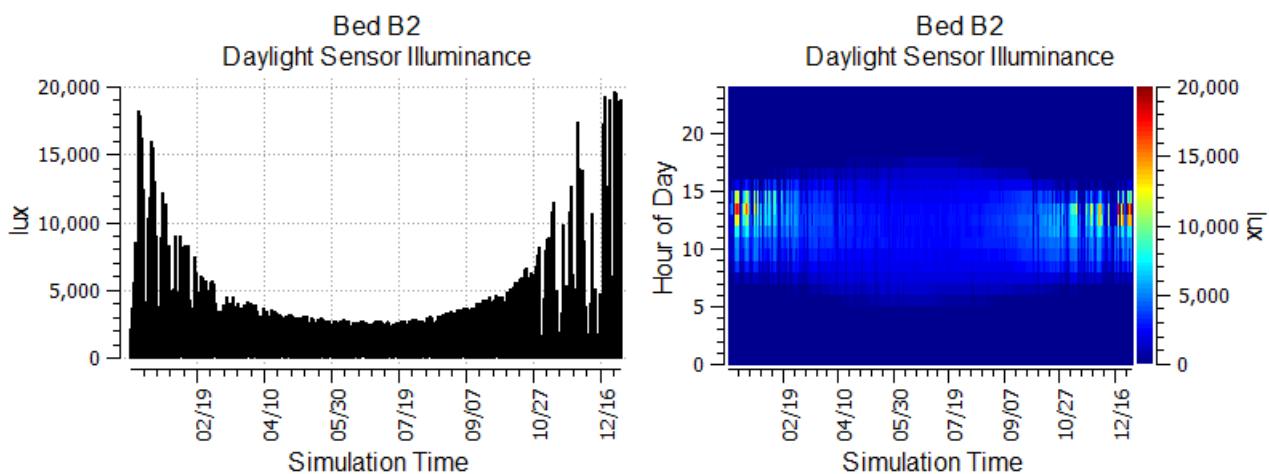
Εικόνα 6.2.3.4.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση B1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.5. Εξεταζόμενη Θέση B2

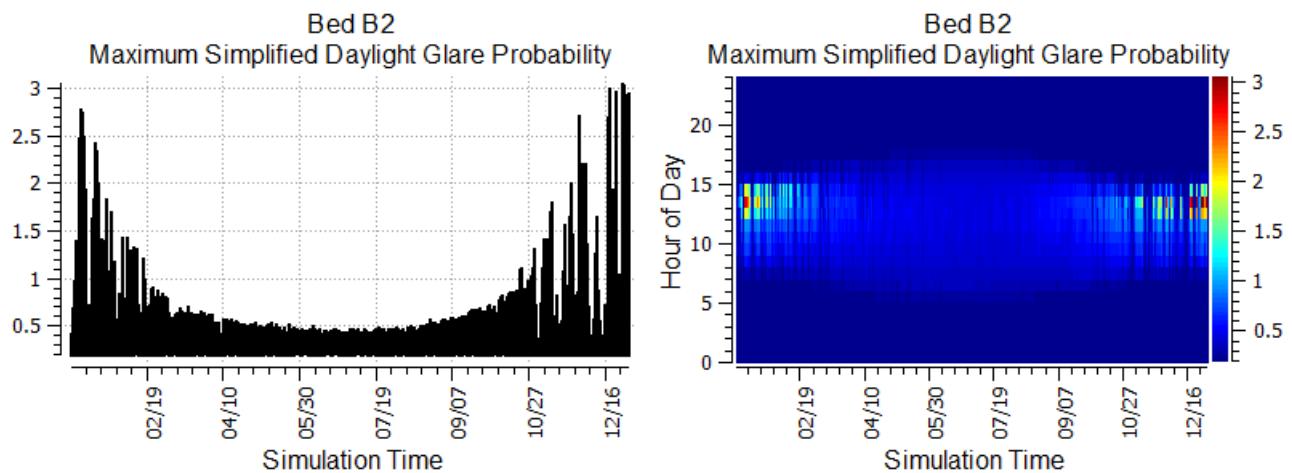
Η εξεταζόμενη θέση B2 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας Β, και ειδικότερα στο βάθος του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.5.1. & 6.2.3.5.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση B2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

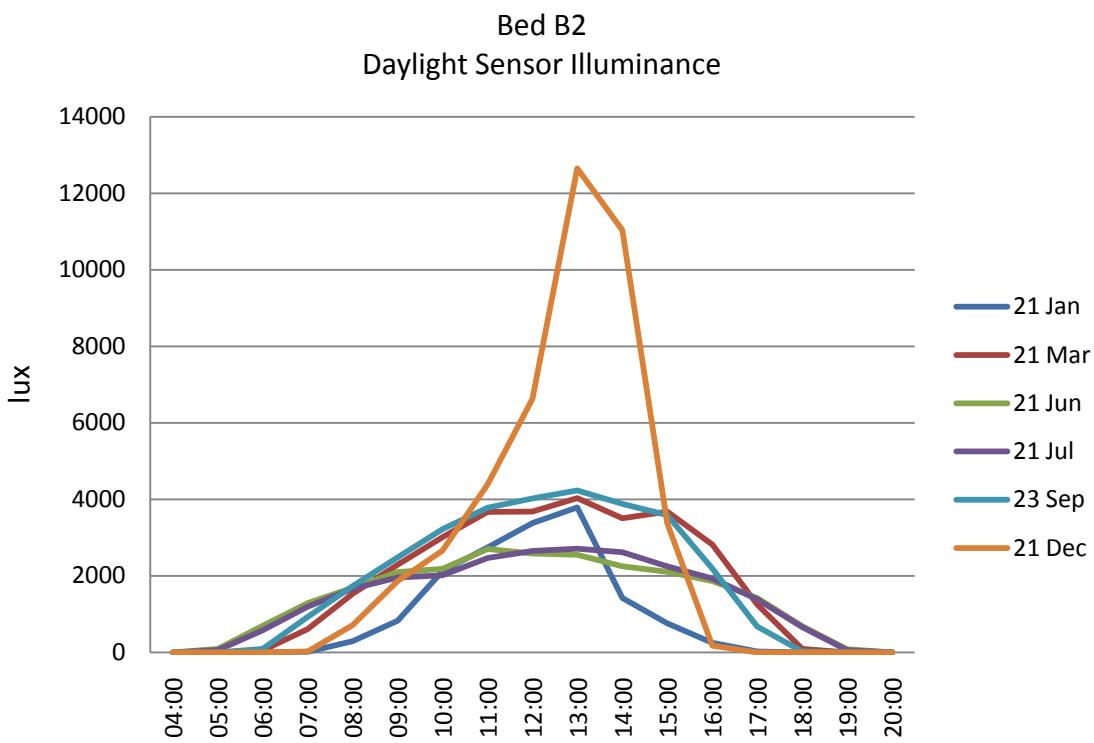
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.5.3. & 6.2.3.5.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση B2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

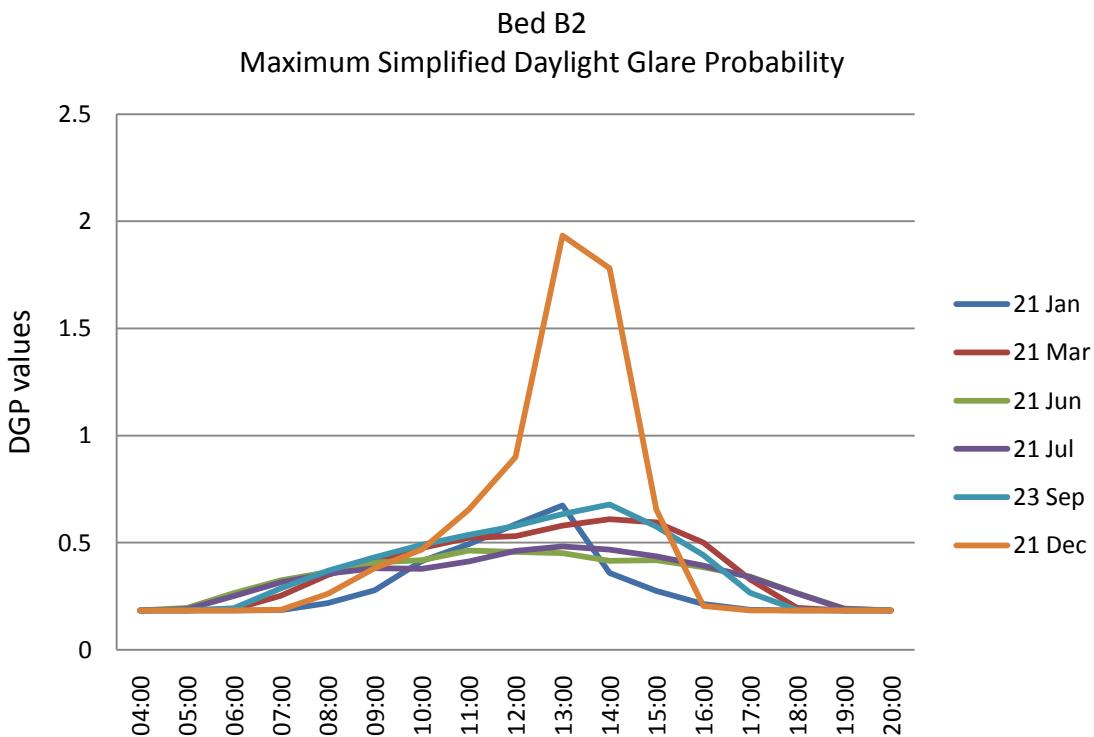
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3970	/	4685	=	0.8473
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4101	/	4685	=	0.8753
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1389	/	4685	=	0.2964



Εικόνα 6.2.3.5.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση B2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



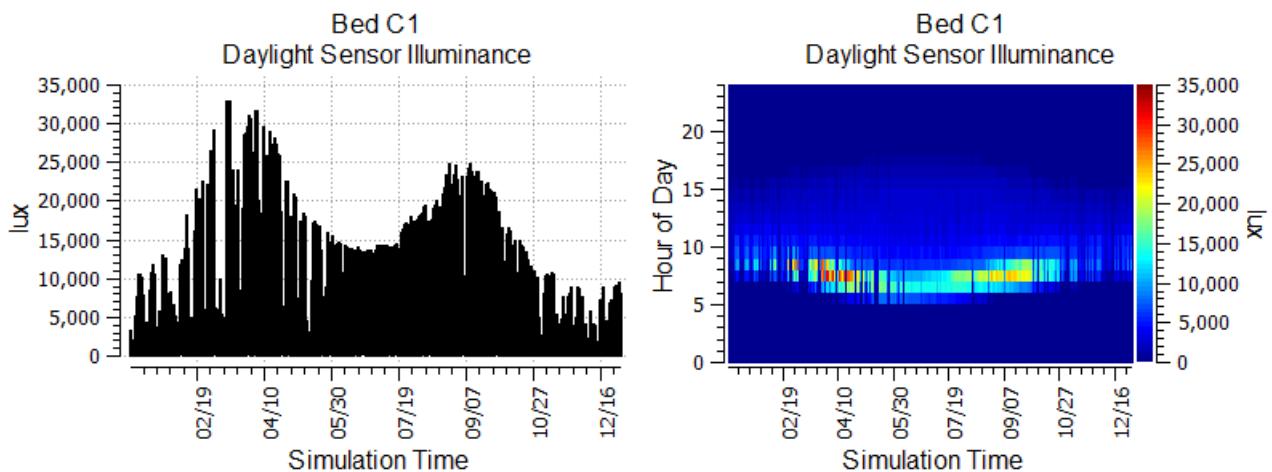
Εικόνα 6.2.3.5.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση B2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.6. Εξεταζόμενη Θέση C1

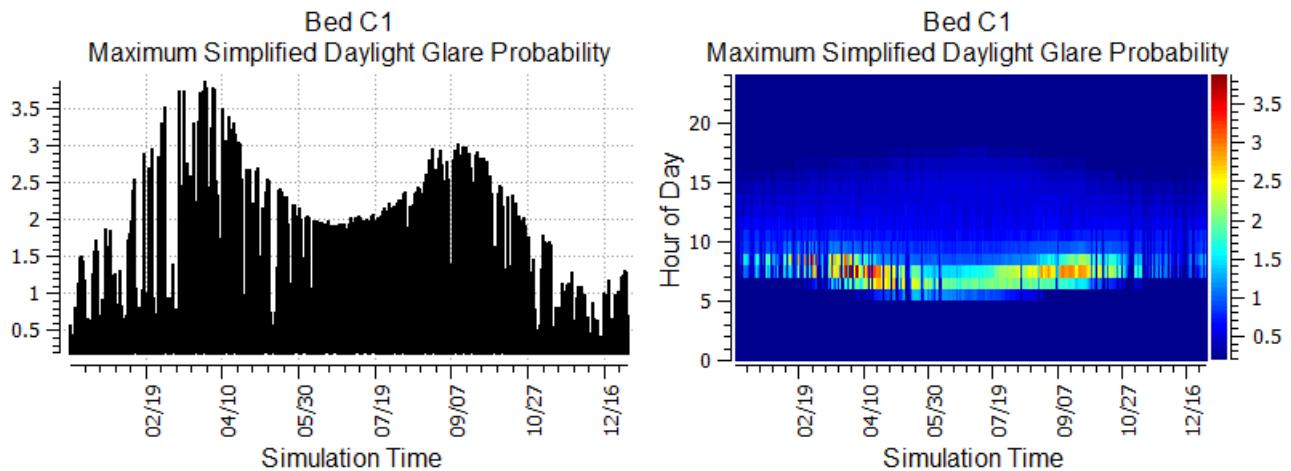
Η εξεταζόμενη θέση C1 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας C, και ειδικότερα πλησίον του παραθύρου της πρόσοψης του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.6.1. & 6.2.3.6.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση C1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

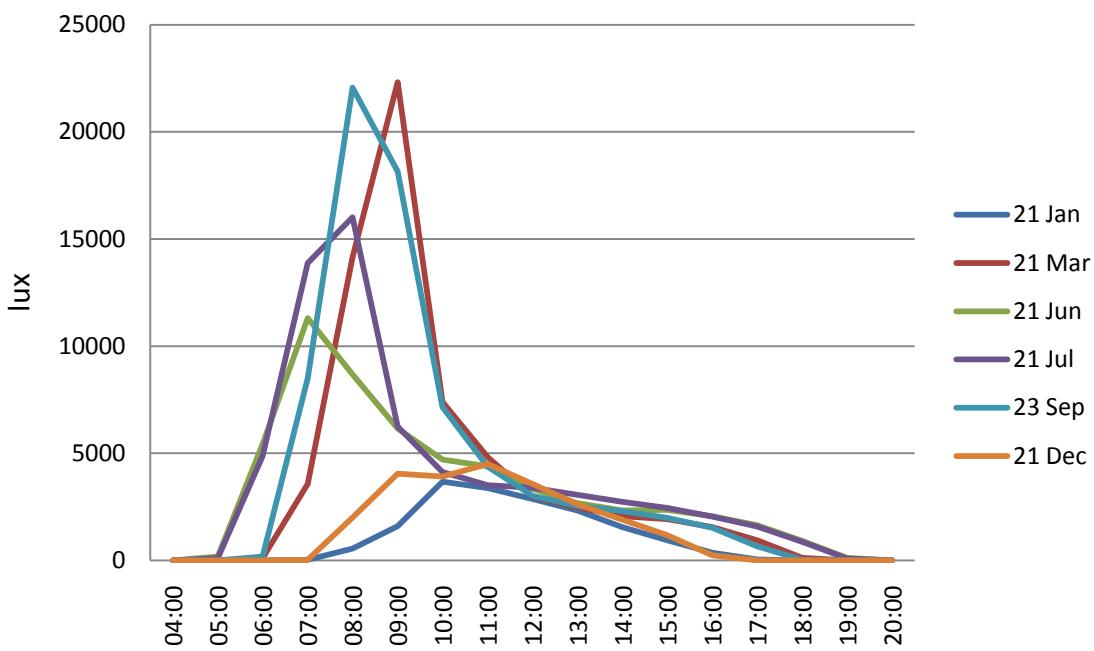


Εικόνες 6.2.3.6.3. & 6.2.3.6.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση C1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3963	/	4685	=	0.8459
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4092	/	4685	=	0.8735
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1508	/	4685	=	0.3219

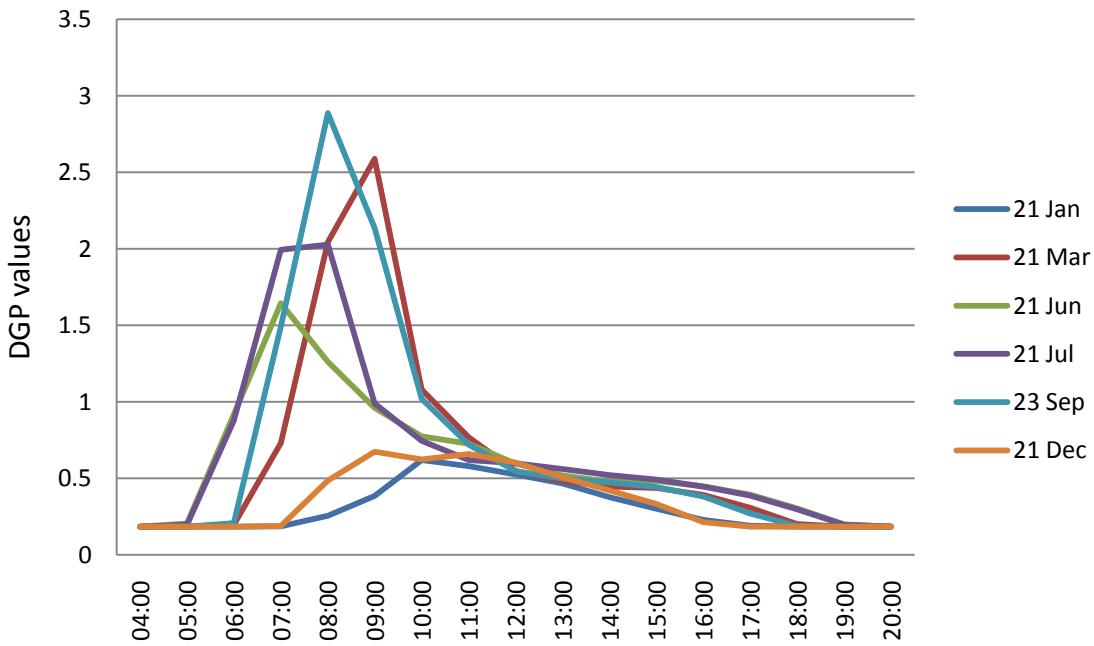
Bed C1 Daylight Sensor Illuminance



Εικόνα 6.2.3.6.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση C1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

Bed C1 Maximum Simplified Daylight Glare Probability



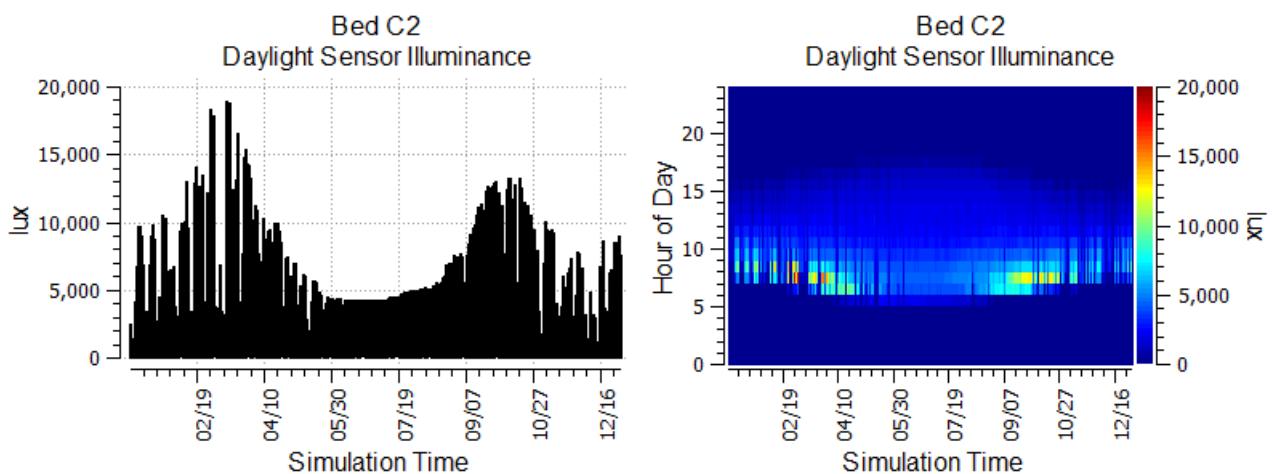
Εικόνα 6.2.3.6.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση C1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.7. Εξεταζόμενη Θέση C2

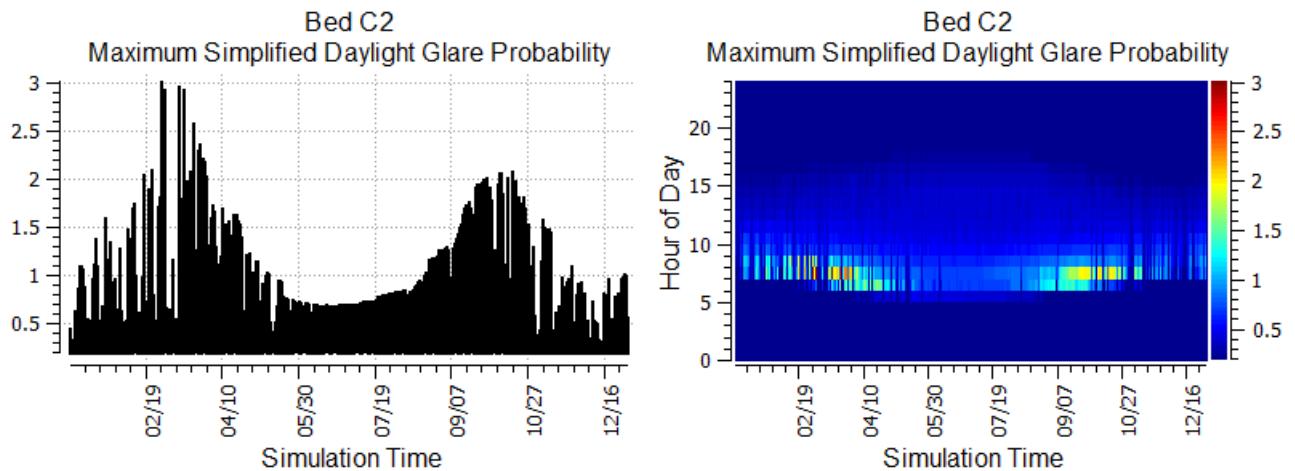
Η εξεταζόμενη θέση C2 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας C, και ειδικότερα στο βάθος του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.7.1. & 6.2.3.7.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση C2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

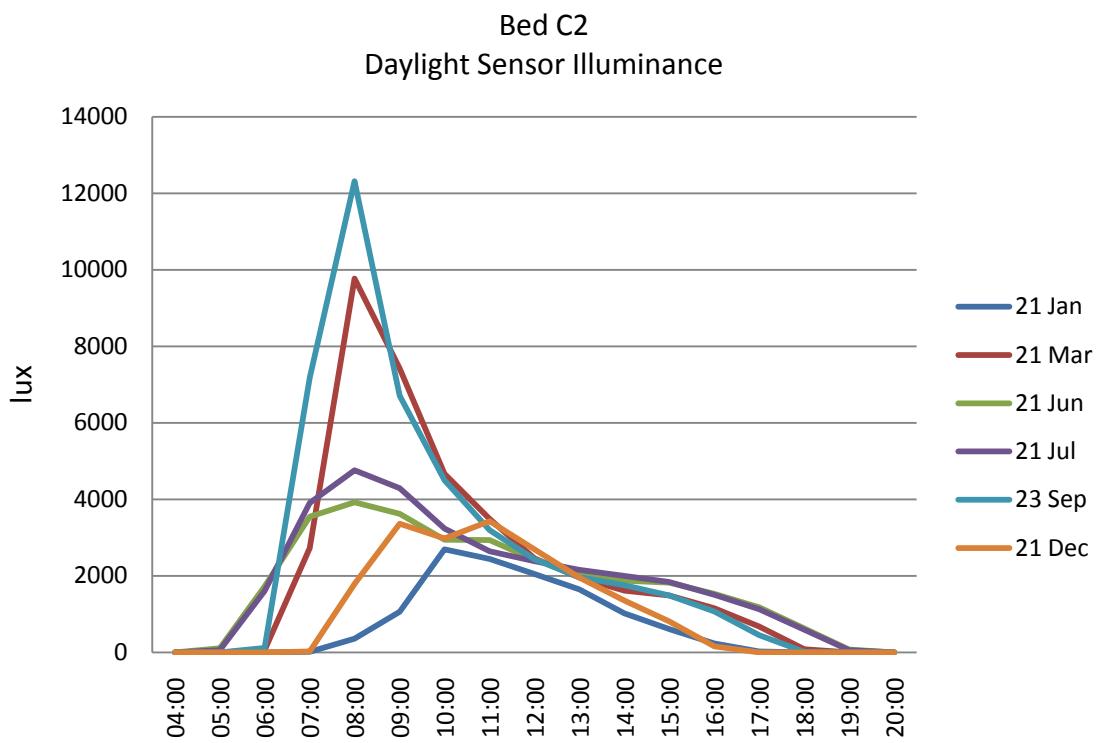
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.7.3. & 6.2.3.7.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση C2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

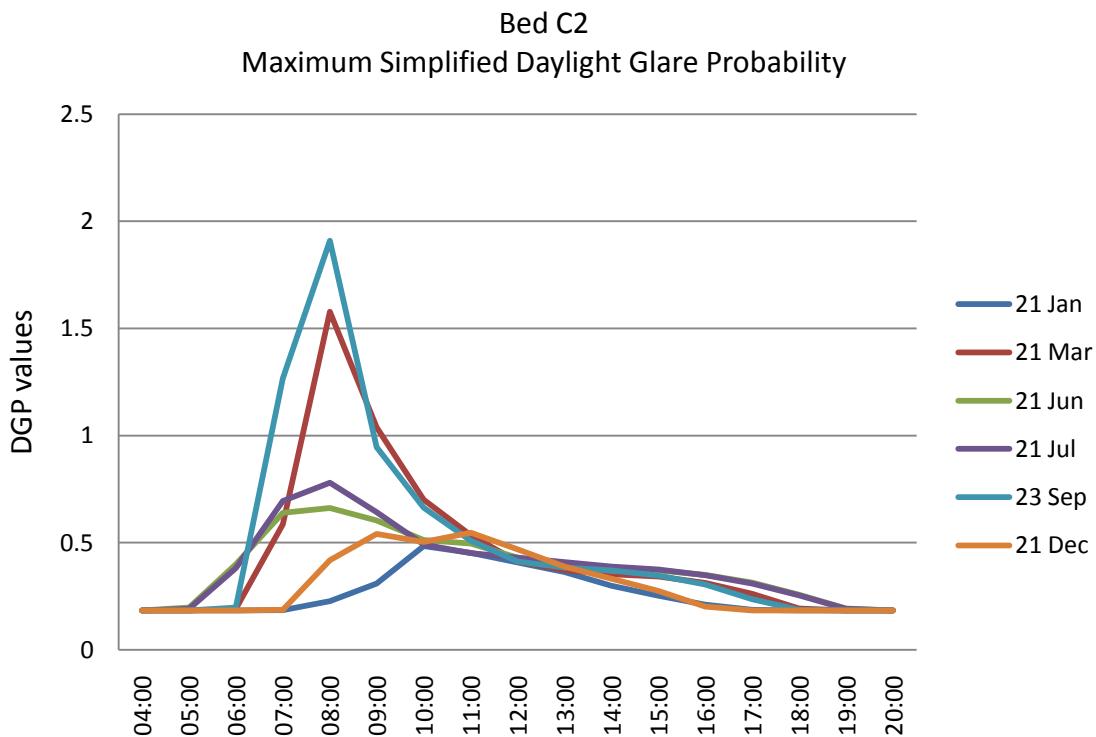
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3962	/	4685	=	0.8458
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4092	/	4685	=	0.8734
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1513	/	4685	=	0.3230



Εικόνα 6.2.3.7.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση C2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



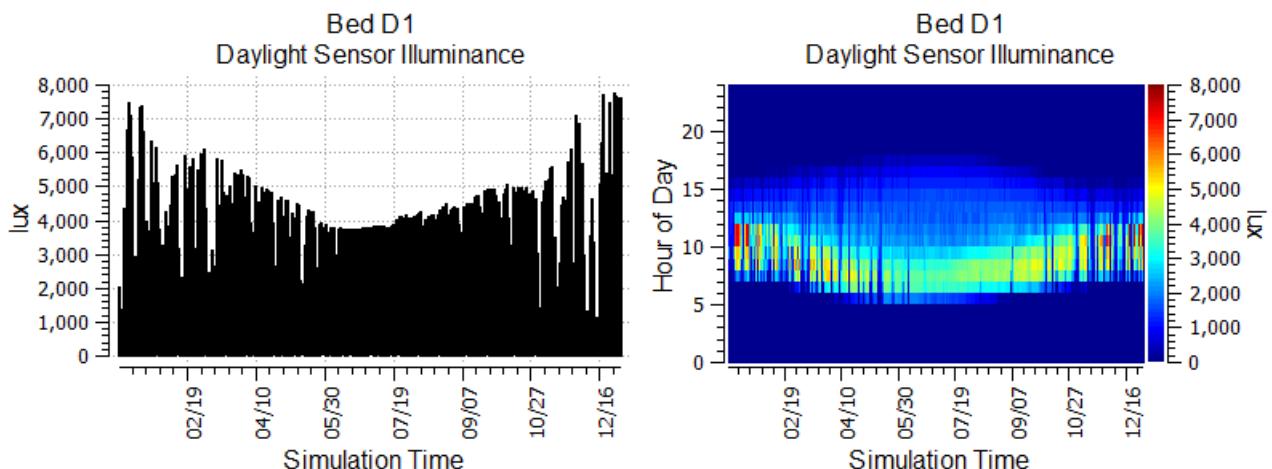
Εικόνα 6.2.3.7.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση C2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.8. Εξεταζόμενη Θέση D1

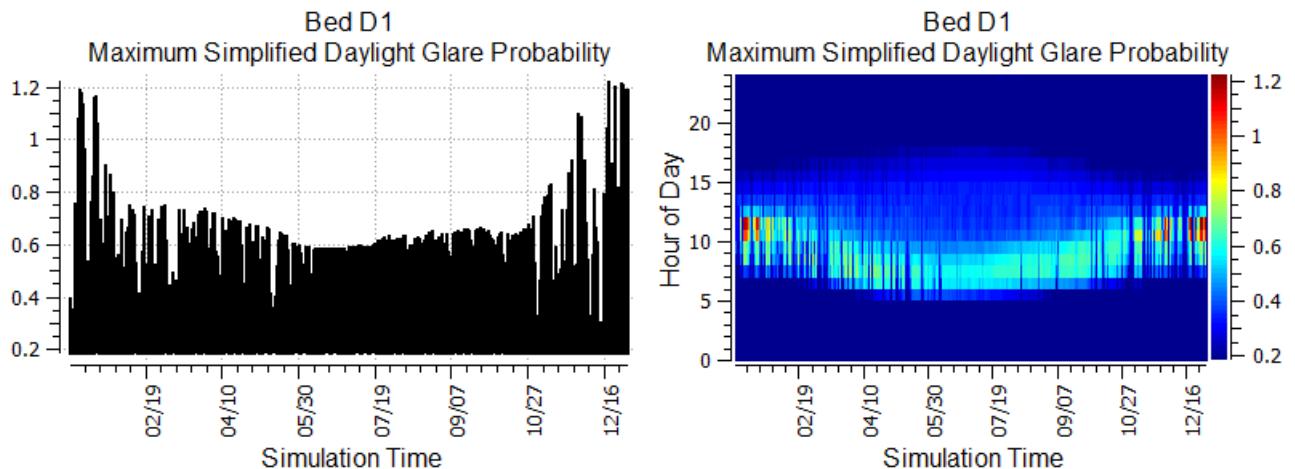
Η εξεταζόμενη θέση D1 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας D, και ειδικότερα πλησίον του παραθύρου και του ορθογωνικού υποστυλώματος της πρόσοψης του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.8.1. & 6.2.3.8.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

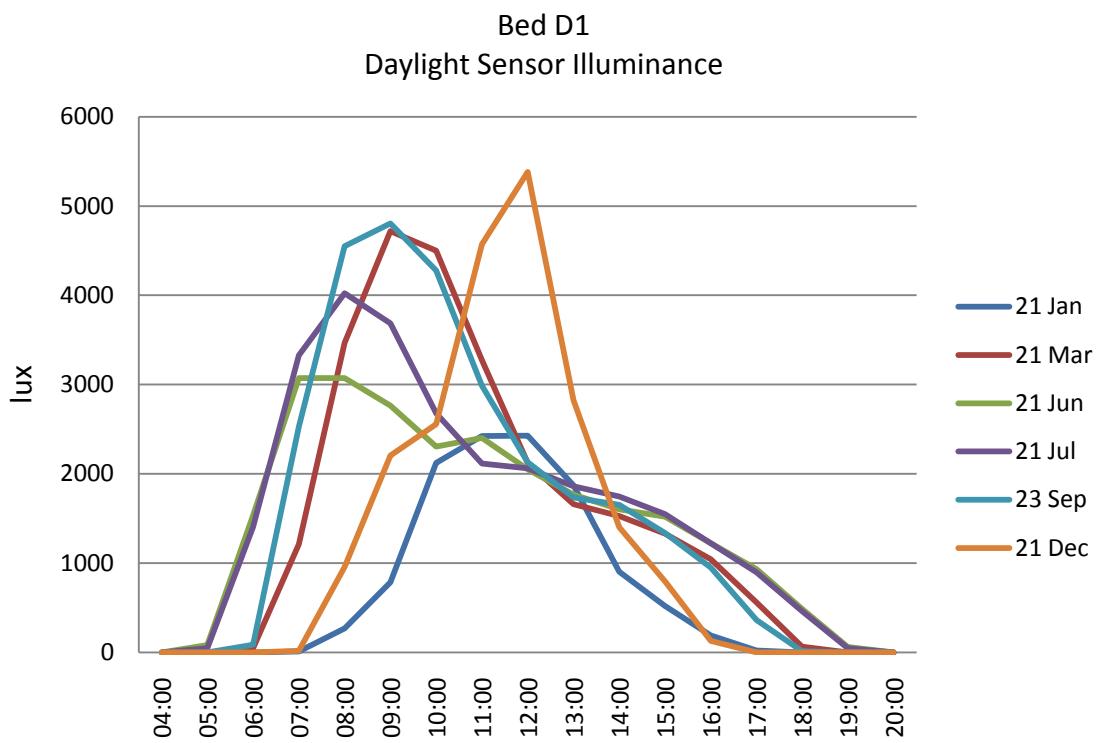
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.8.3. & 6.2.3.8.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

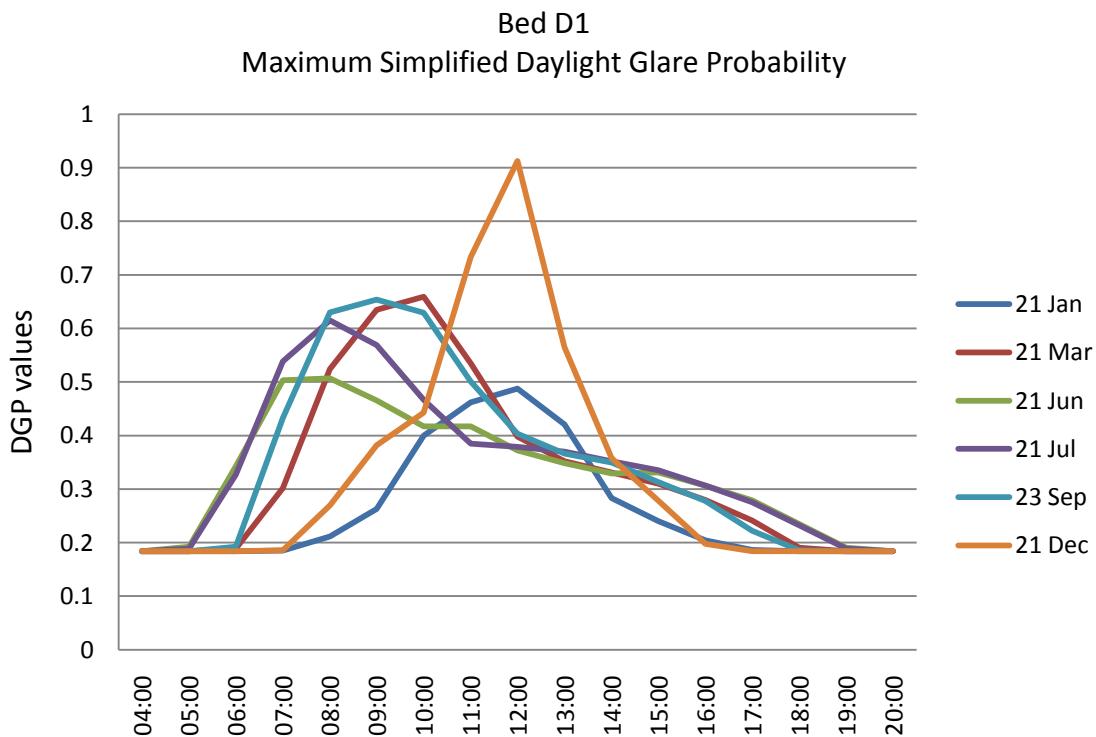
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3941	/	4685	=	0.8413
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4077	/	4685	=	0.8702
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1724	/	4685	=	0.3680



Εικόνα 6.2.3.8.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



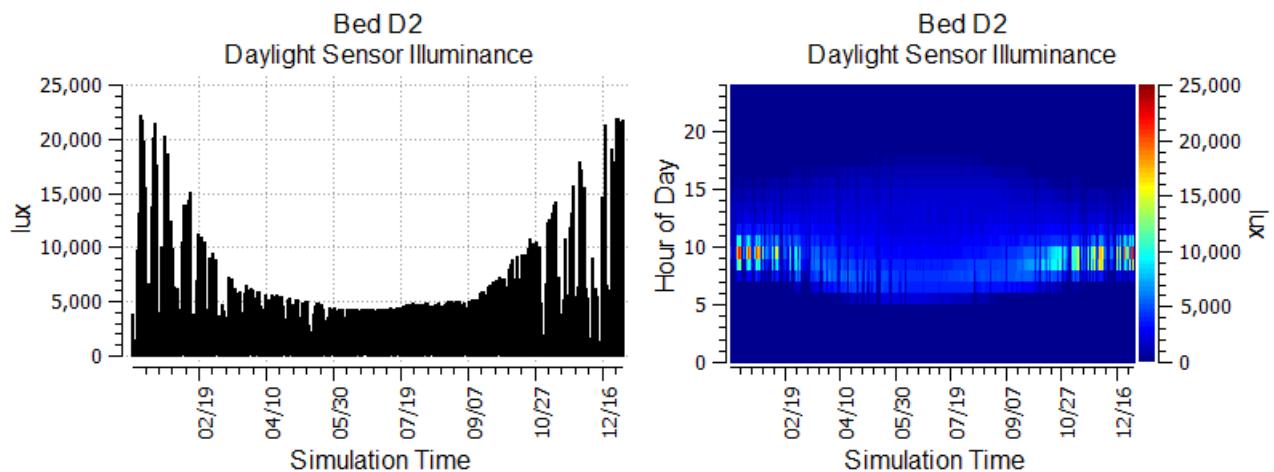
Εικόνα 6.2.3.8.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.9. Εξεταζόμενη Θέση D2

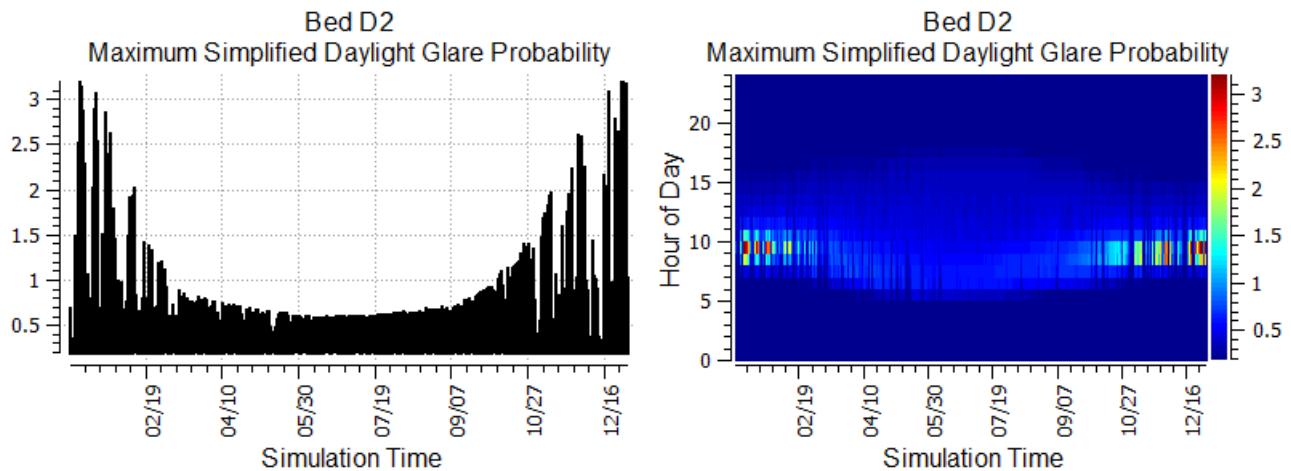
Η εξεταζόμενη θέση D2 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας D, και ειδικότερα στο μέσον του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.9.1. & 6.2.3.9.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

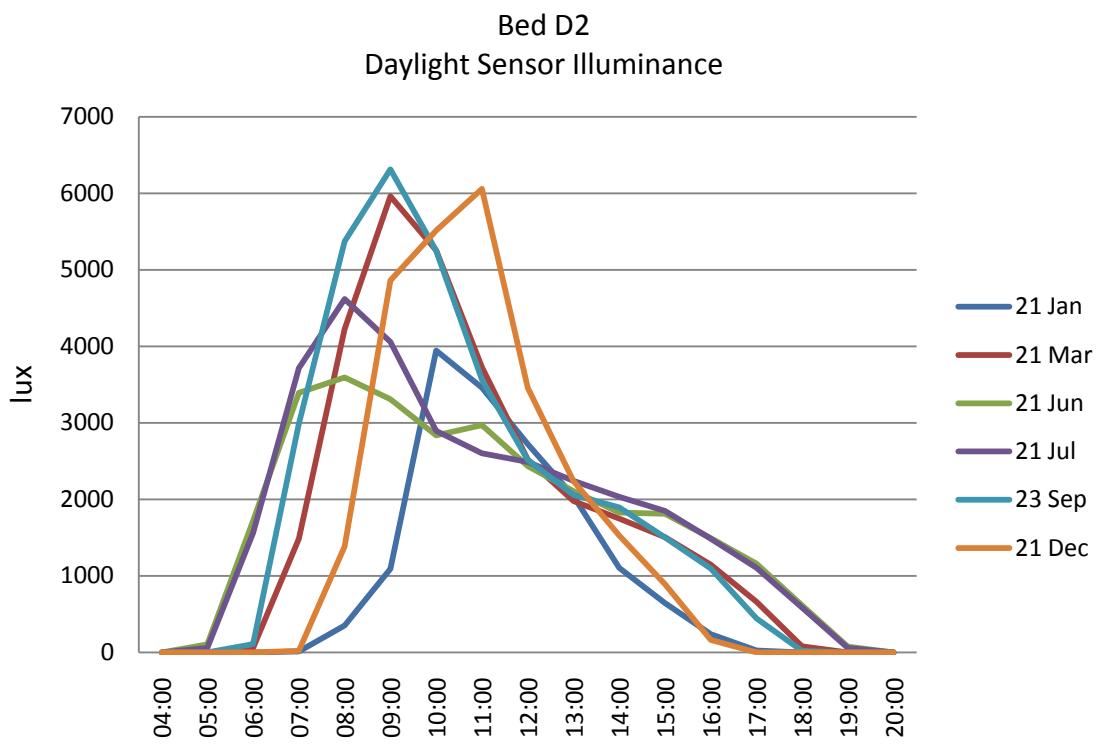
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.9.3. & 6.2.3.9.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

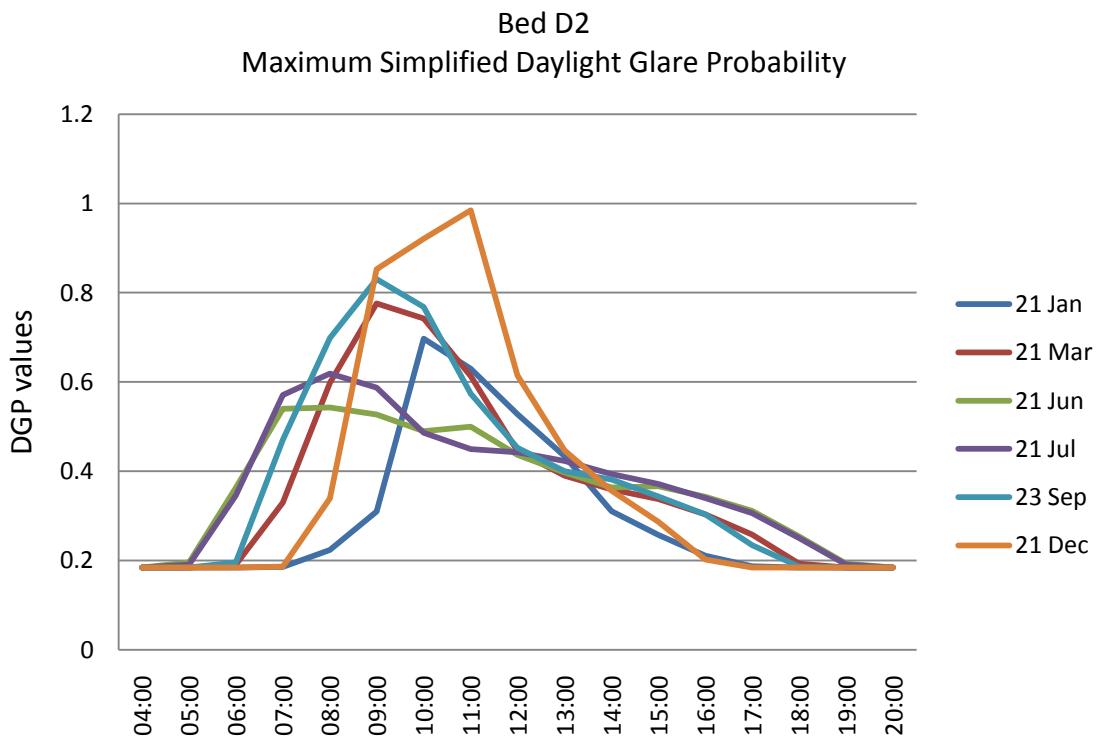
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3941	/	4685	=	0.8412
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4077	/	4685	=	0.8702
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1724	/	4685	=	0.3681



Εικόνα 6.2.3.9.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



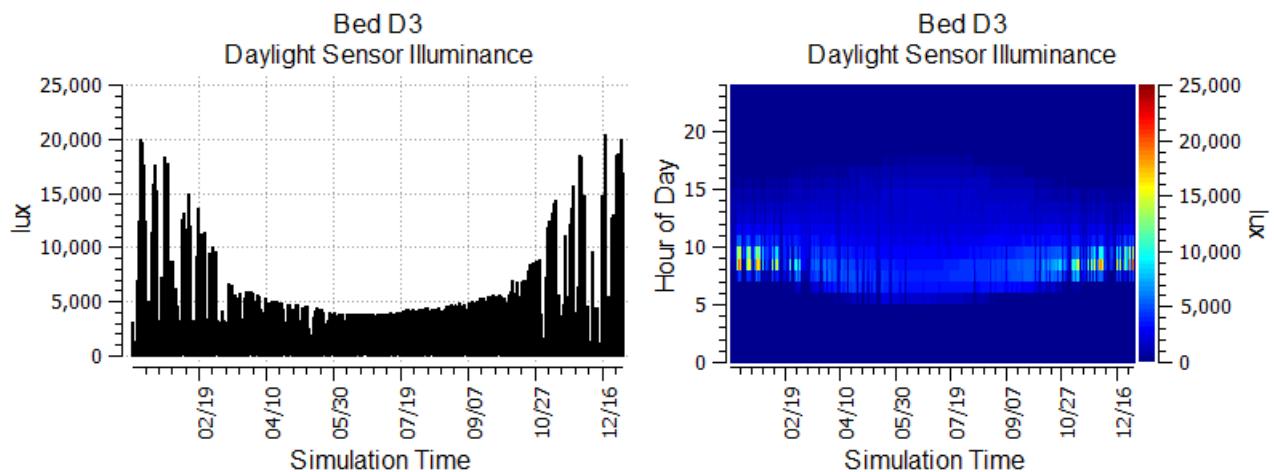
Εικόνα 6.2.3.9.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.3.10. Εξεταζόμενη Θέση D3

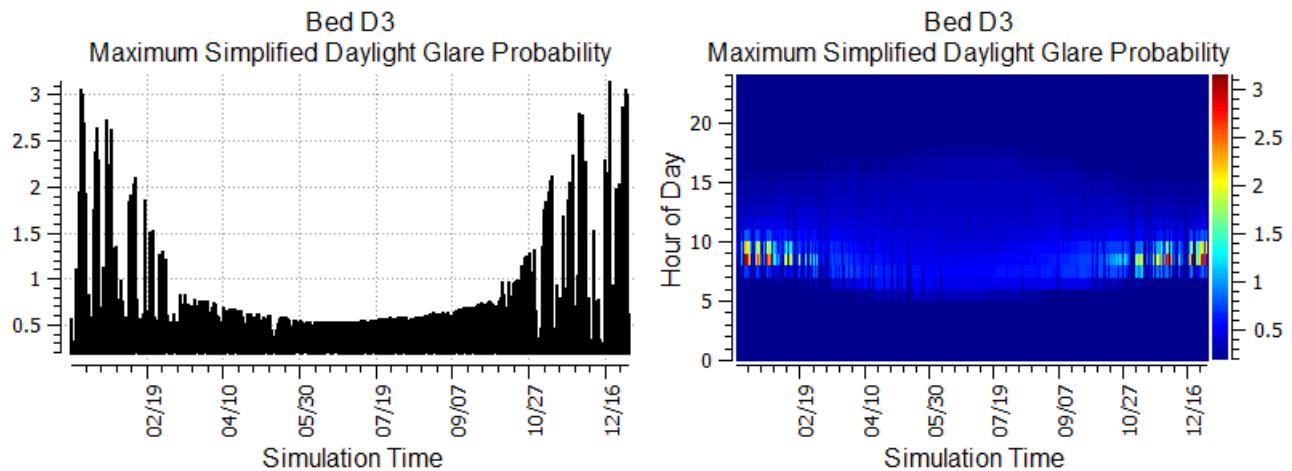
Η εξεταζόμενη θέση D3 βρίσκεται στο θάλαμο νοσηλείας D, και ειδικότερα στο βάθος του θαλάμου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού και του αντίστοιχου δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και οι ετήσιες αυτονομίες φυσικού φωτισμού DA, conDA και UDI.



Εικόνες 6.2.3.10.1. & 6.2.3.10.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

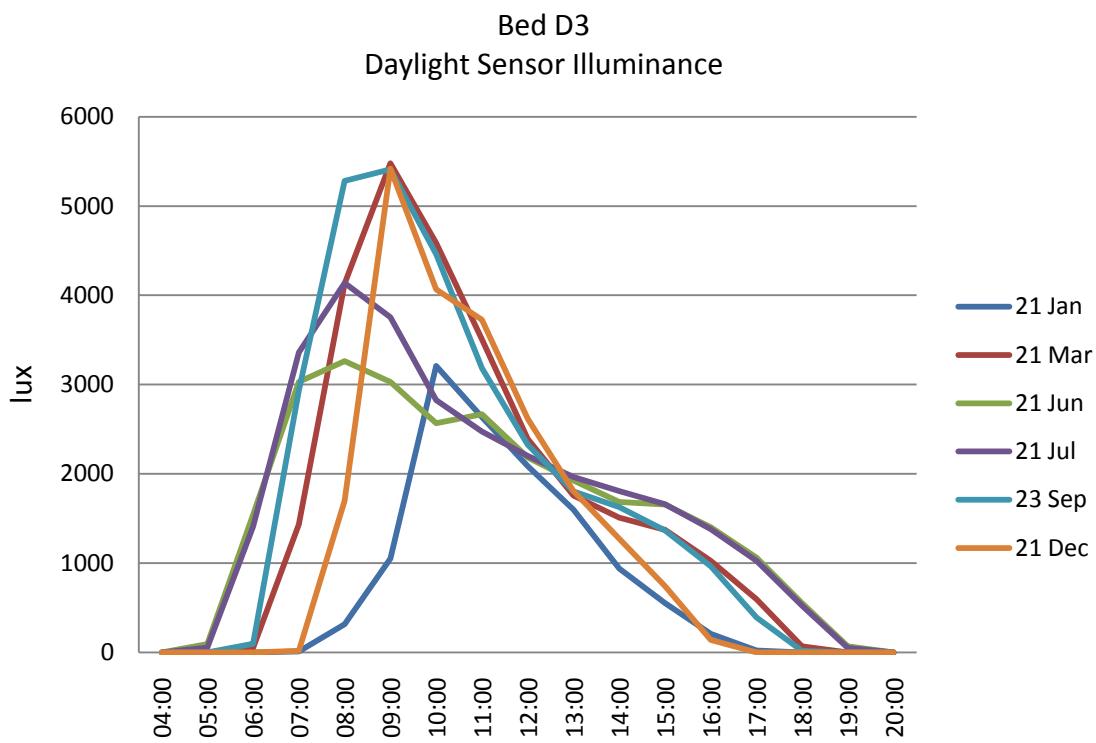
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.3.10.3. & 6.2.3.10.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.

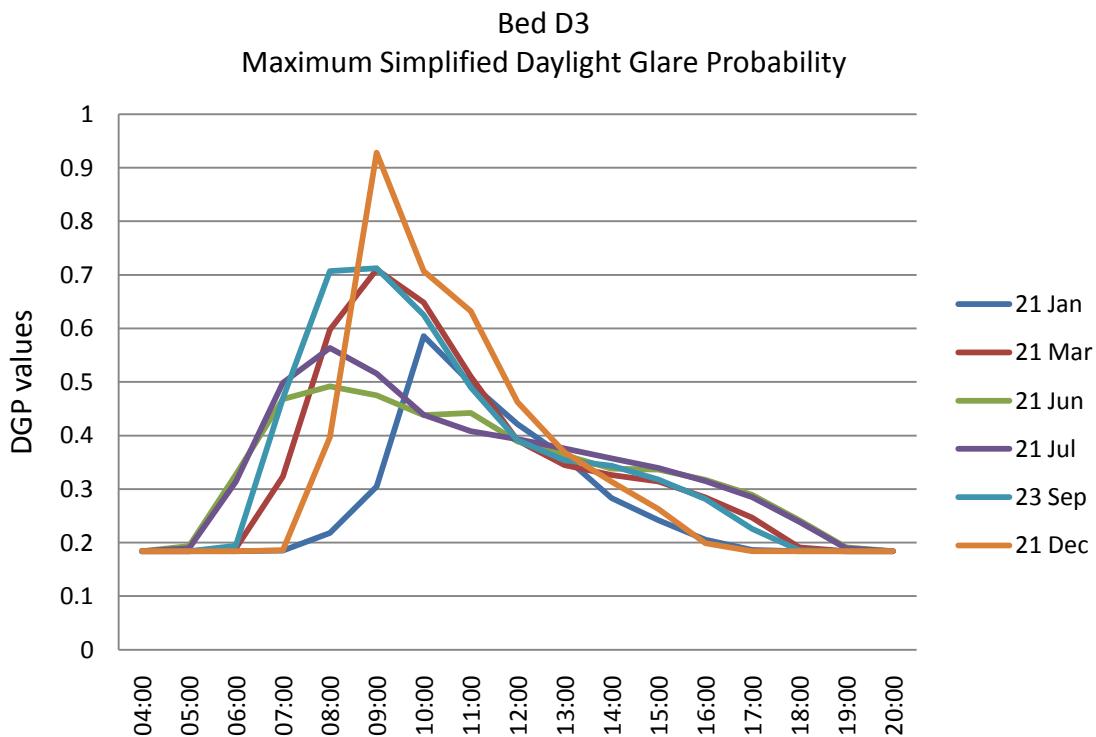
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

DA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	3942	/	4685	=	0.8413
conDA	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	4077	/	4685	=	0.8702
UDI	(300lux)	Daylit and Occupied Hours	1723	/	4685	=	0.3678



Εικόνα 6.2.3.10.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνα 6.2.3.10.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των εξεταζομένων θέσεων

Για να εκτιμήσουμε την υφιστάμενη κατάσταση, πραγματοποιούμε συγκρίσεις μεταξύ των εξεταζομένων θέσεων, με γνώμονα το βάθος, την πλευρά και τον προσανατολισμό τους, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα δεδομένα που έχουν προκύψει από την προσομοίωση.

Στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου, παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ των 10 εξεταζομένων θέσεων και κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και συγκριτικά ραβδογράμματα των ετησίων δεικτών αυτονομίας μεταξύ των 10 εξεταζομένων θέσεων.

Αρχικά, συγκρίνουμε τις θέσεις κάθε θαλάμου κατά βάθος. Για τους δίκλινους θαλάμους λαμβάνουμε υπόψη τη μπροστινή και την πίσω θέση, ενώ για τους τρίκλινους θαλάμους λαμβάνουμε υπόψη επιπροσθέτως και τη μεσαία θέση.

- Μεταξύ της μπροστινής θέσης A1 του πρώτου θαλάμου, της μεσαίας A2, και της πίσω θέσης A3, παρατηρούμε ότι στη θέση A2 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά τους χειμερινούς μήνες. Στη θέση A1 παρουσιάζονται μικρότερες τιμές σε σχέση με τη θέση A2, και οριακά ακόμα και σε σχέση με τη θέση A3, επειδή, παρά το γεγονός ότι είναι πιο κοντά στο παράθυρο, βρίσκεται πίσω από το ορθογωνικό υποστύλωμα της πρόσοψης, το οποίο εμποδίζει το φυσικό φωτισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές.
- Μεταξύ της μπροστινής θέσης B1 του δεύτερου θαλάμου και της πίσω θέσης B2, παρατηρούμε ότι στη θέση B1 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές.
- Μεταξύ της μπροστινής θέσης C1 του τρίτου θαλάμου και της πίσω θέσης C2, παρατηρούμε ότι στη θέση C1 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τους εαρινούς και φθινοπωρινούς μήνες. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές.
- Μεταξύ της μπροστινής θέσης D1 του τέταρτου θαλάμου, της μεσαίας D2, και της πίσω θέσης D3, παρατηρούμε ότι στη θέση D2 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά τους χειμερινούς μήνες. Στη θέση D1 παρουσιάζονται μικρότερες τιμές σε σχέση με τη θέση D2, και οριακά ακόμα και σε σχέση με τη θέση D3, επειδή, παρά το γεγονός ότι είναι πιο κοντά στο παράθυρο, βρίσκεται πίσω από

το ορθογωνικό υποστύλωμα της πρόσοψης, το οποίο εμποδίζει το φυσικό φωτισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές.

Στη συνέχεια, συγκρίνουμε τις μπροστινές θέσεις των θαλάμων με ίδιο προσανατολισμό αλλά σε διαφορετική πλευρά, καθώς και τις αντίστοιχες πίσω θέσεις.

- Μεταξύ της μπροστινής θέσης A1 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης B1 του δεύτερου, παρατηρούμε ότι στη θέση B1 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά τους χειμερινούς μήνες και τις απογευματινές ώρες. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση A1, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση B1.
- Μεταξύ της πίσω θέσης A3 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης B2 του δεύτερου, παρατηρούμε ότι στη θέση B2 παρουσιάζονται ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με σημαντική όμως έξαρση κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση A3, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση B2.
- Μεταξύ της μπροστινής θέσης C1 του τρίτου θαλάμου και της αντίστοιχης D1 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι στη θέση C1 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με έξαρση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τους εαρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D1, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση C1.
- Μεταξύ της πίσω θέσης C2 του τρίτου θαλάμου και της αντίστοιχης D3 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τους εαρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες, παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης στη θέση C2, ενώ αντιθέτως κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση D3. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D3, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση C2.

Στη συνέχεια, συγκρίνουμε τις μπροστινές θέσεις των θαλάμων με διαφορετικό προσανατολισμό αλλά στην ίδια πλευρά, καθώς και τις αντίστοιχες πίσω θέσεις.

- Μεταξύ της μπροστινής θέσης A1 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης C1 του τρίτου, παρατηρούμε ότι στη θέση C1 παρουσιάζονται αρκετά μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες οι αντίστοιχες τιμές είναι παραπλήσιες. Η σημαντική αυτή διαφορά στις τιμές ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες είναι αναμενόμενη, αφού ο τρίτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό, ενώ ο πρώτος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό και η θέση A1 βρίσκεται πίσω από το ορθογωνικό υποστύλωμα της πρόσοψης. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές.
- Μεταξύ της πίσω θέσης A3 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης C2 του τρίτου, παρατηρούμε ότι στη θέση C2 παρουσιάζονται αρκετά μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και ιδιαίτερα κατά τις πρωινές ώρες, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση A3 και ιδιαίτερα κατά τις απογευματινές ώρες. Η διαφορά αυτή στις τιμές είναι αναμενόμενη, αφού ο τρίτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό, ενώ ο πρώτος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές.
- Μεταξύ της μπροστινής θέσης B1 του δεύτερου θαλάμου και της αντίστοιχης D1 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι στη θέση B1 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα κατά τις απογευματινές ώρες. Το φαινόμενο εμφανίζεται ηπιότερο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η σημαντική αυτή διαφορά στις τιμές ιδιαίτερα κατά τις απογευματινές ώρες είναι αναμενόμενη, αφού ο δεύτερος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό, ενώ ο τέταρτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό και η θέση D1 βρίσκεται πίσω από το ορθογωνικό υποστύλωμα της πρόσοψης. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D1, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση B1.
- Μεταξύ της πίσω θέσης B2 του δεύτερου θαλάμου και της αντίστοιχης D3 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά τις απογευματινές ώρες παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης στη θέση B2, ενώ κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση D3. Η διαφορά αυτή στις τιμές είναι αναμενόμενη, αφού ο δεύτερος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό, ενώ ο τέταρτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D3, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση B2.

Τέλος, συγκρίνουμε τις μπροστινές, μεσαίες και πίσω θέσεις των ακραίων (τρίκλινων) θαλάμων, όπως επίσης και τις μπροστινές και πίσω θέσεις των ενδιάμεσων (δίκλινων) θαλάμων.

- Μεταξύ της μπροστινής θέσης A1 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης D1 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι στη θέση D1 παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το φαινόμενο εμφανίζεται εντονότερο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και εξαλείφεται κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D1, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση A1.
- Μεταξύ της μεσαίας θέσης A2 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης D2 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά τις απογευματινές ώρες παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης στη θέση A2, ενώ κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση D2. Η διαφορά αυτή στις τιμές είναι αναμενόμενη, αφού ο πρώτος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό, ενώ ο τέταρτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D2, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση A2.
- Μεταξύ της πίσω θέσης A3 του πρώτου θαλάμου και της αντίστοιχης D3 του τέταρτου, παρατηρούμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά τις απογευματινές ώρες παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης στη θέση A3, ενώ κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση D3. Η διαφορά αυτή στις τιμές είναι αναμενόμενη, αφού ο πρώτος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό, ενώ ο τέταρτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση D3, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση A3.
- Μεταξύ της μπροστινής θέσης B1 του δεύτερου θαλάμου και της αντίστοιχης C1 του τρίτου, παρατηρούμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά τις απογευματινές ώρες παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης στη θέση B1, ενώ κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση C1. Η διαφορά αυτή στις τιμές είναι αναμενόμενη, αφού ο δεύτερος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό, ενώ ο τρίτος θάλαμος

έχει A-NA προσανατολισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση C1, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση B1.

- Μεταξύ της πίσω θέσης B2 του δεύτερου θαλάμου και της αντίστοιχης C2 του τρίτου, παρατηρούμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες και κατά τις απογευματινές ώρες παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές έντασης φωτισμού και θάμβωσης στη θέση B2, ενώ κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και κατά τις πρωινές ώρες οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στη θέση C2. Η διαφορά αυτή στις τιμές είναι αναμενόμενη, αφού ο δεύτερος θάλαμος έχει N-NΔ προσανατολισμό, ενώ ο τρίτος θάλαμος έχει A-NA προσανατολισμό. Οι ετήσιοι δείκτες αυτονομίας DA, conDA λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές, όμως ο δείκτης UDI είναι μεγαλύτερος στη θέση C2, λόγω της μεγαλύτερης θάμβωσης στη θέση B2.

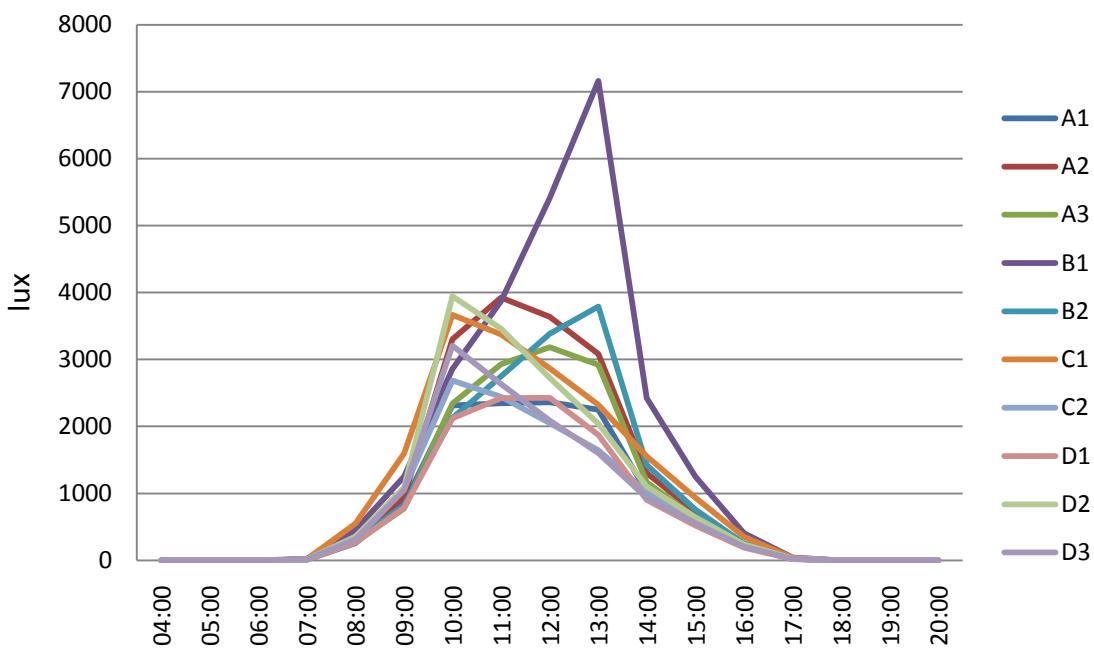
Όσον αφορά τη θάμβωση, παρατηρείται ότι σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ο δείκτης θάμβωσης υπερβαίνει το ανώτατο αποδεκτό όριο (0,35) τις περισσότερες ώρες της ημέρας.

Λόγω του έντονου φαινομένου της θάμβωσης, η χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού είναι πολύ χαμηλή σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, και κυμαίνεται στις θέσεις του θαλάμου A περίπου στο 33%, στις θέσεις του θαλάμου B περίπου στο 30%, στις θέσεις του θαλάμου C περίπου στο 32%, και στις θέσεις του θαλάμου D περίπου στο 37%.

Συνεπώς, κρίνεται επιτακτική η αντιμετώπιση του δυσμενούς φαινομένου της θάμβωσης. Για να προταθούν επαρκείς λύσεις, στη συνέχεια εξετάζονται διάφορες περιπτώσεις σκίασης, με την προσθήκη κατάλληλων εξωτερικών συστημάτων, εσωτερικών συστημάτων, ή συνδυασμού αυτών.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ των 10 εξεταζομένων θέσεων και κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες, όπως επίσης και συγκριτικά ραβδογράμματα των ετησίων δεικτών αυτονομίας μεταξύ των 10 εξεταζομένων θέσεων.

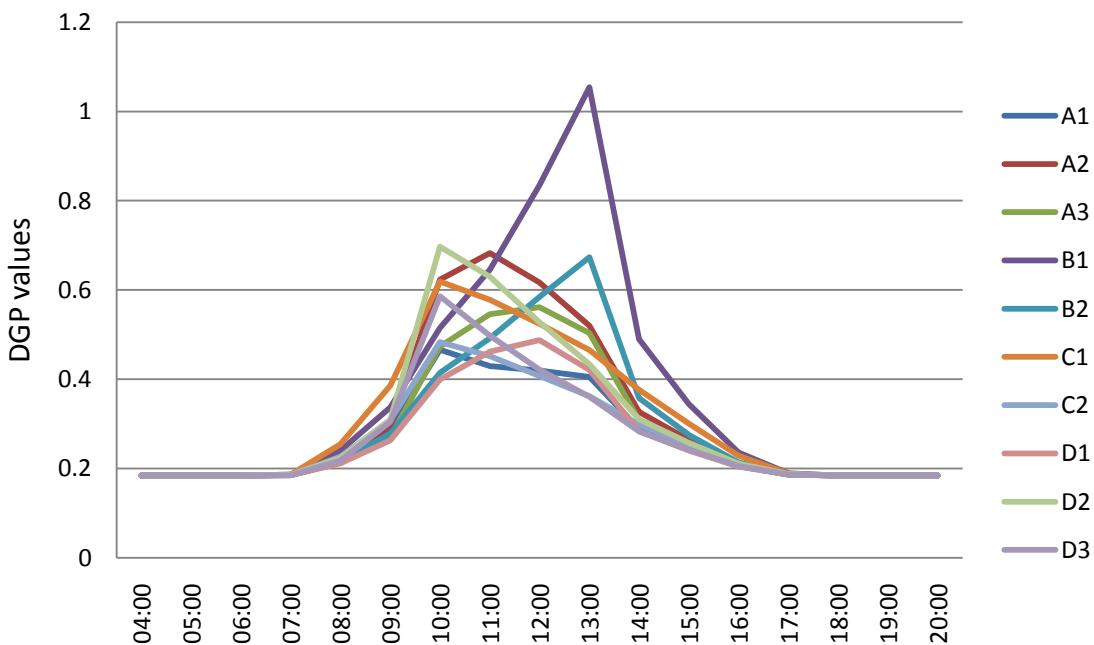
21 January
Daylight Sensor Illuminance



Εικόνα 6.2.4.1.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Ιανουαρίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

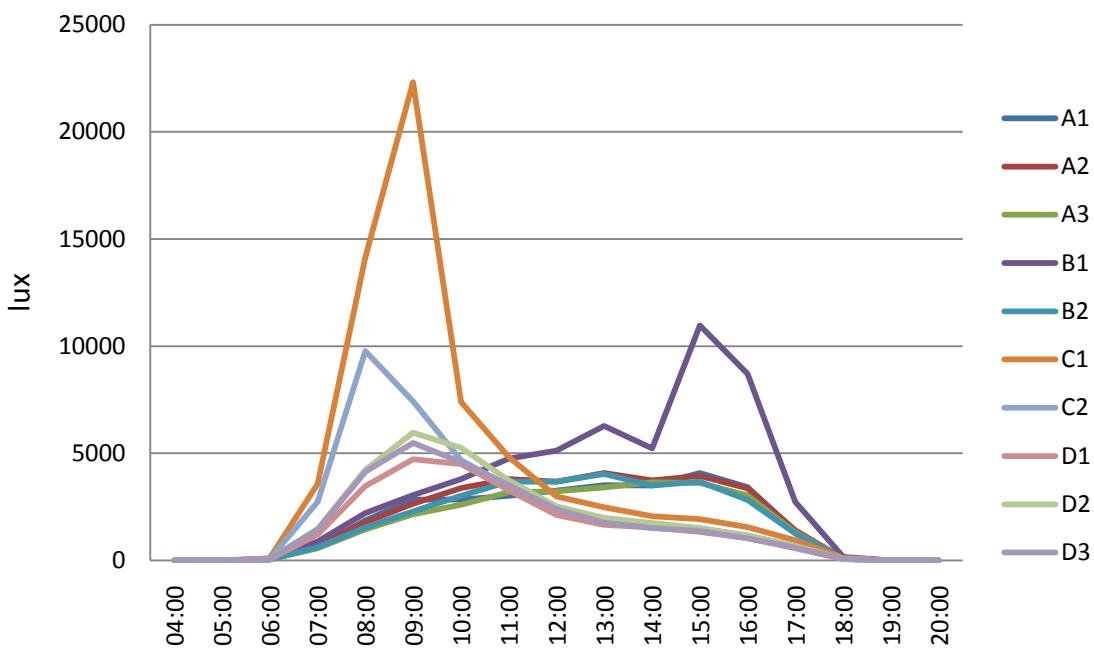
21 January
Maximum Simplified Daylight Glare Probability



Εικόνα 6.2.4.2.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Ιανουαρίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

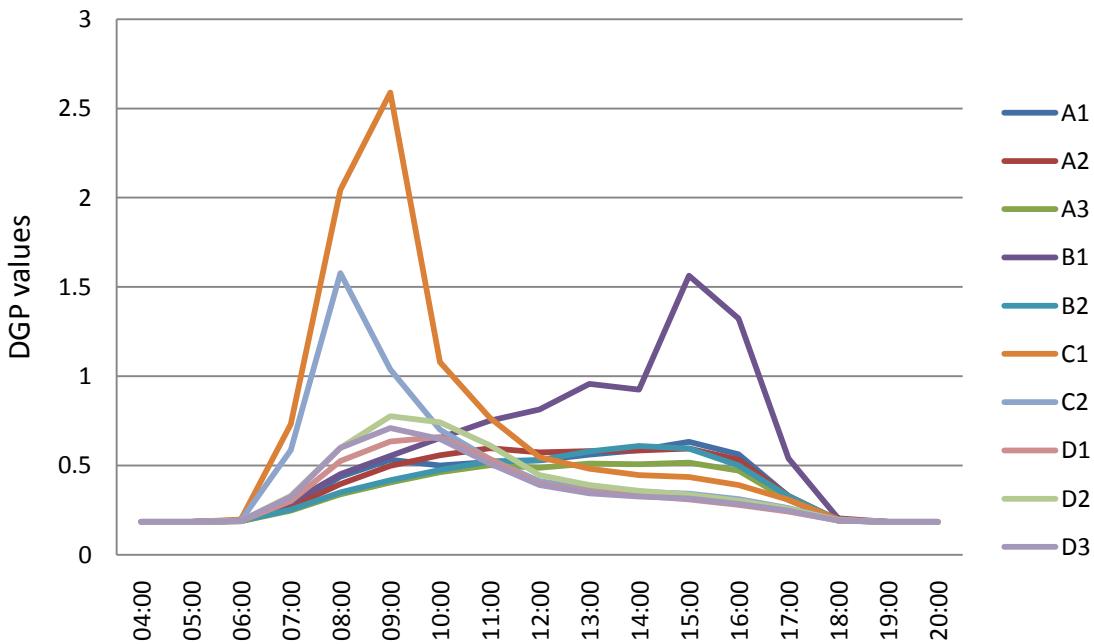
21 March
Daylight Sensor Illuminance



Εικόνα 6.2.4.3.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Μαρτίου.

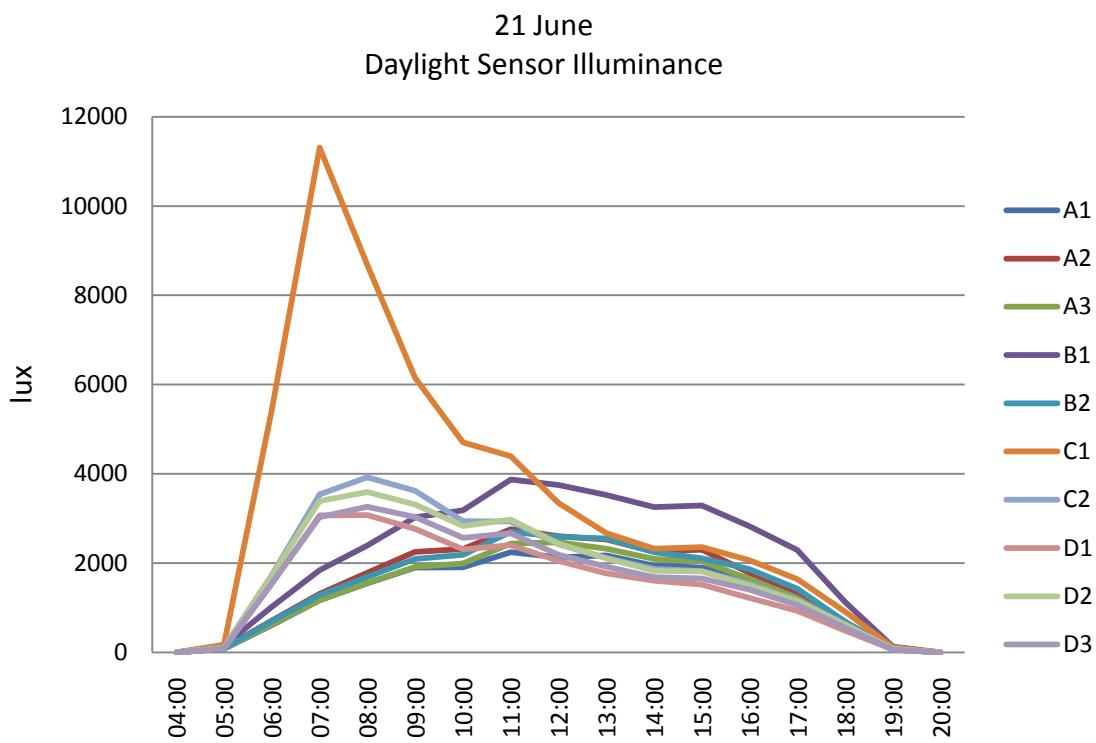
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

21 March
Maximum Simplified Daylight Glare Probability



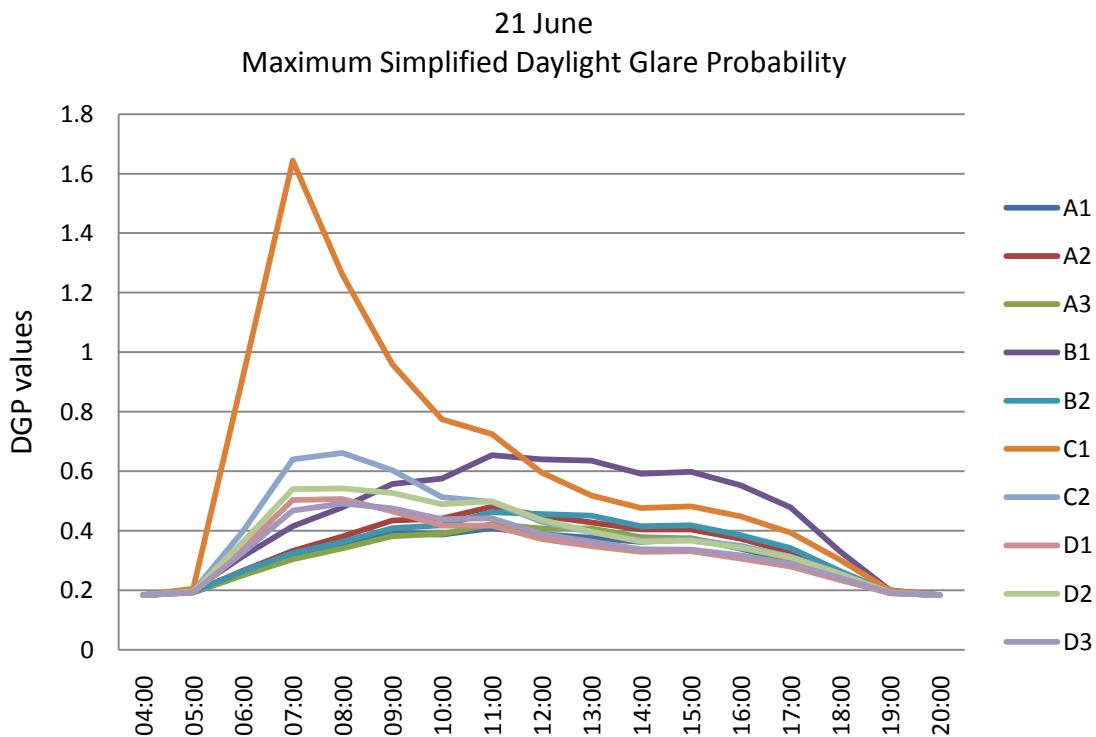
Εικόνα 6.2.4.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Μαρτίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



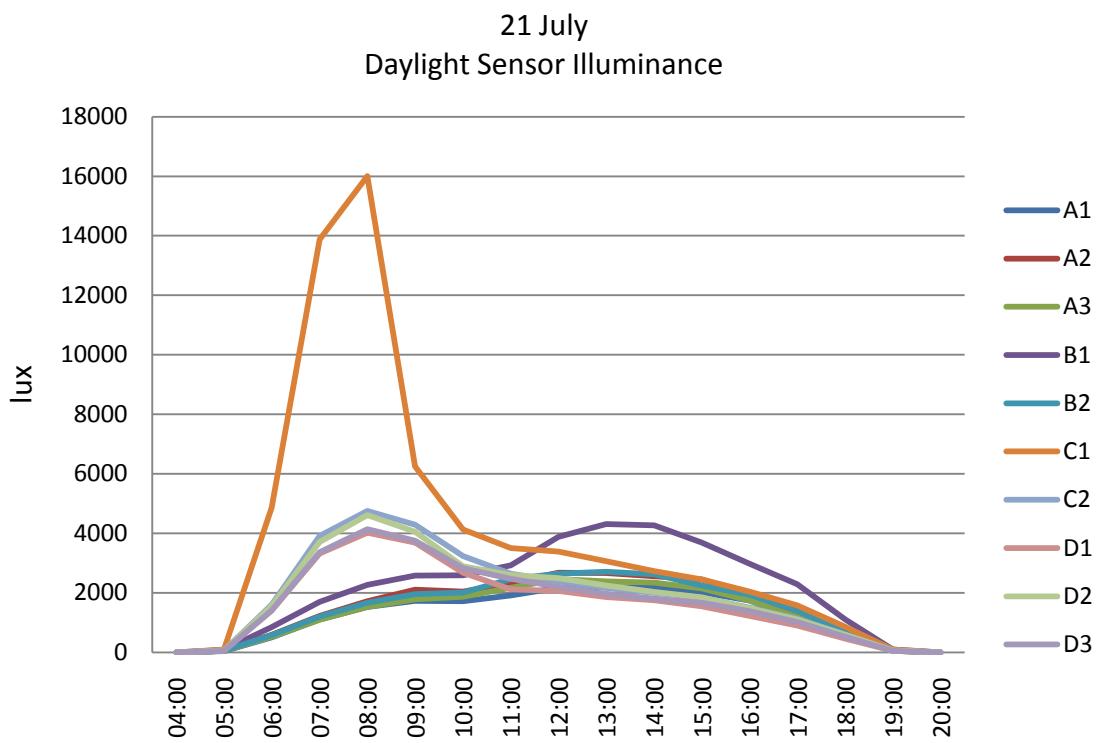
Εικόνα 6.2.4.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Ιουνίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



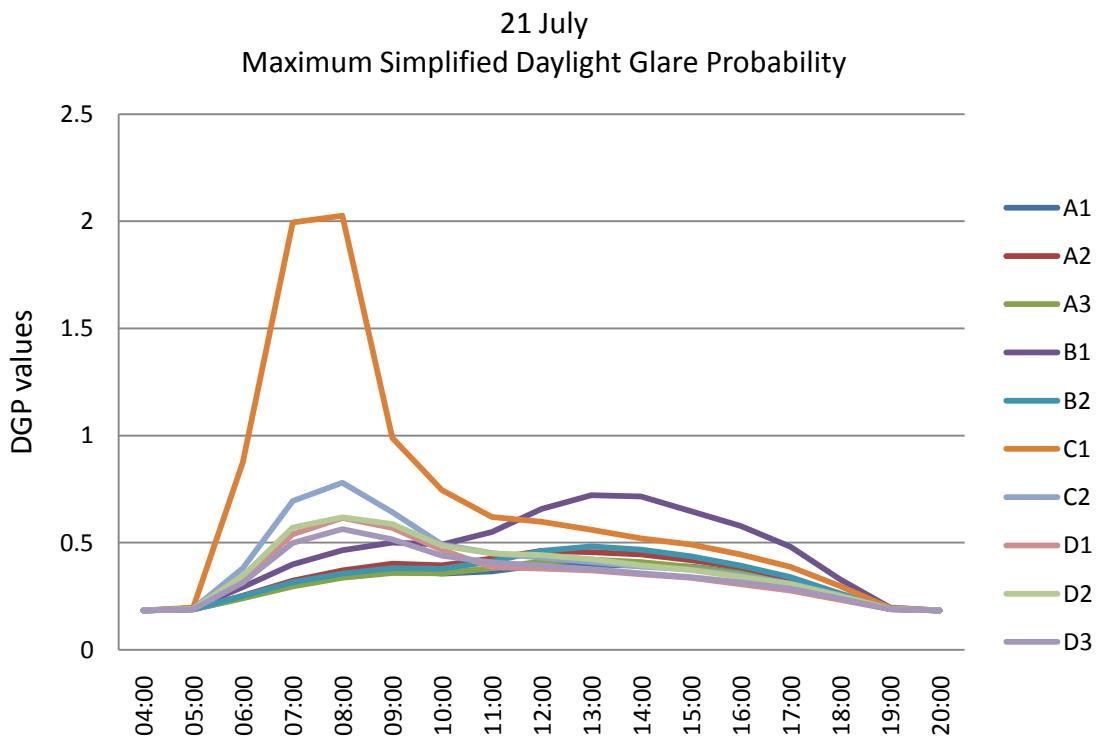
Εικόνα 6.2.4.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Ιουνίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνα 6.2.4.7.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Ιουλίου.

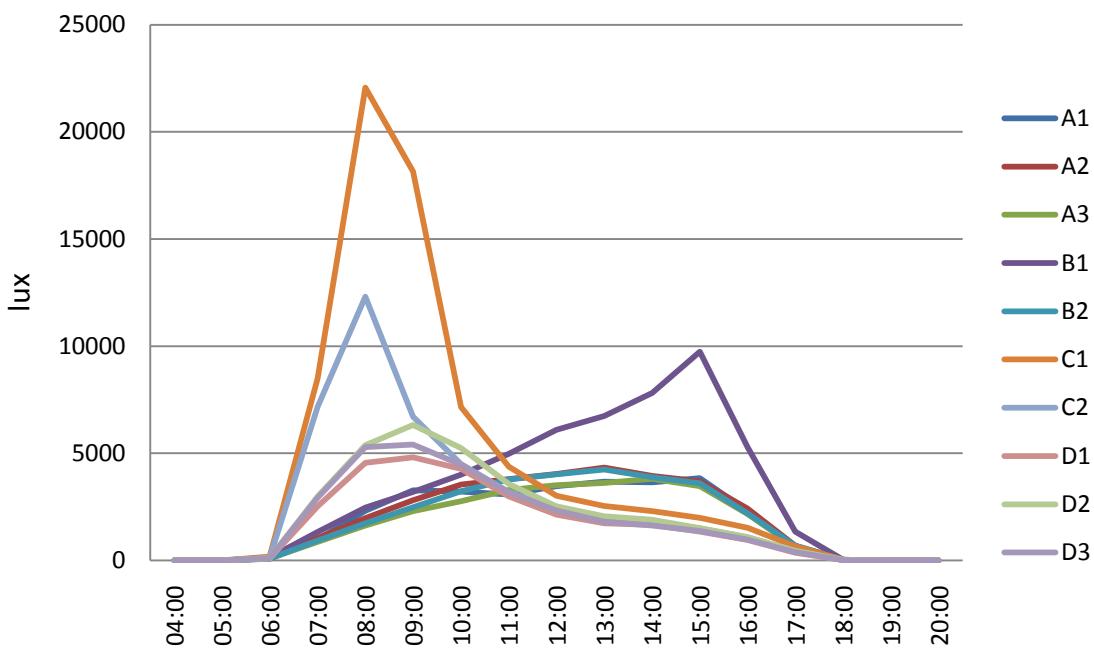
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνα 6.2.4.8.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Ιουλίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

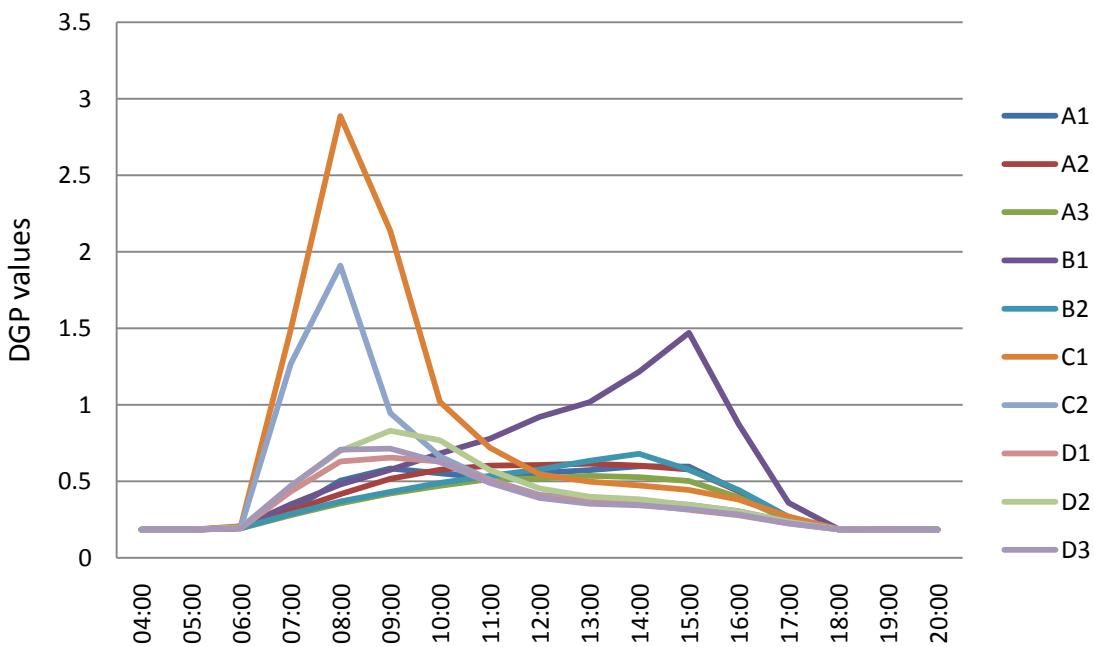
23 September
Daylight Sensor Illuminance



Εικόνα 6.2.4.9.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 23^η Σεπτεμβρίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

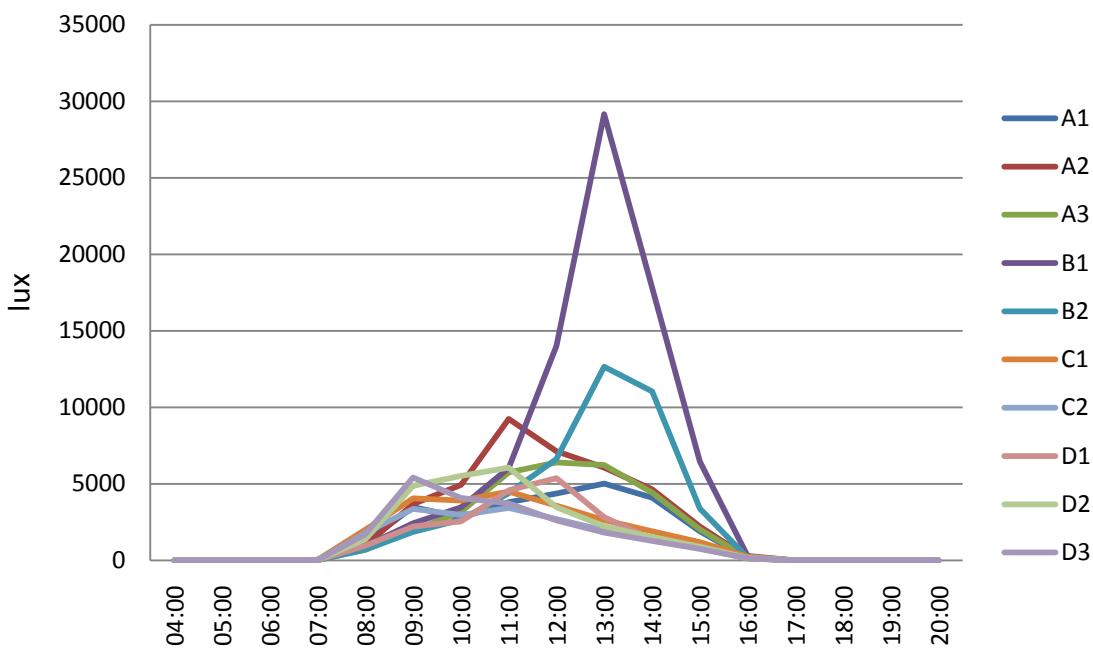
23 September
Maximum Simplified Daylight Glare Probability



Εικόνα 6.2.4.10.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 23^η Σεπτεμβρίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

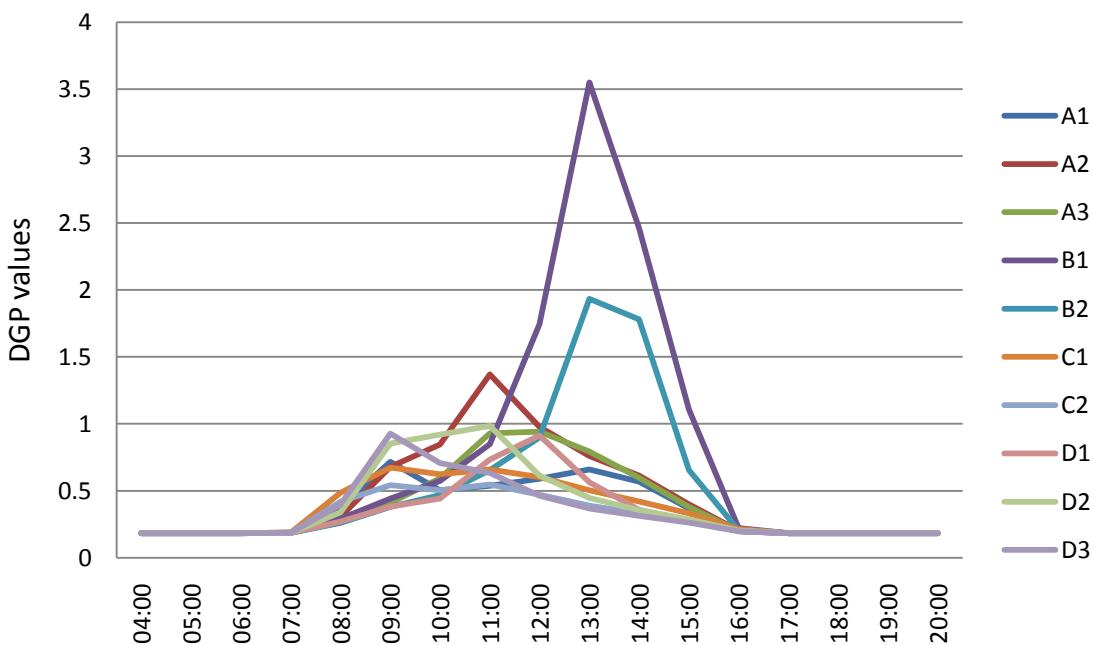
21 December
Daylight Sensor Illuminance



Εικόνα 6.2.4.11.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Δεκεμβρίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

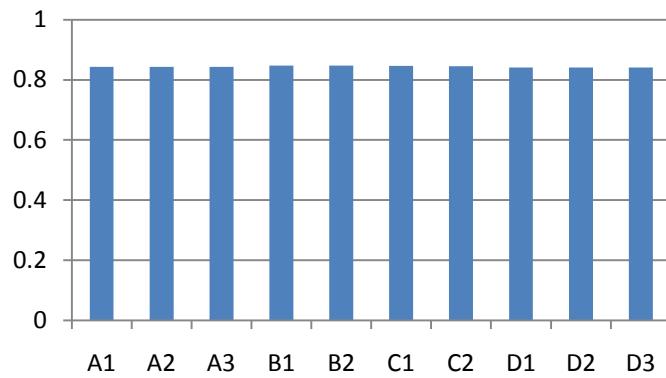
21 December
Maximum Simplified Daylight Glare Probability



Εικόνα 6.2.4.12.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21^η Δεκεμβρίου.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

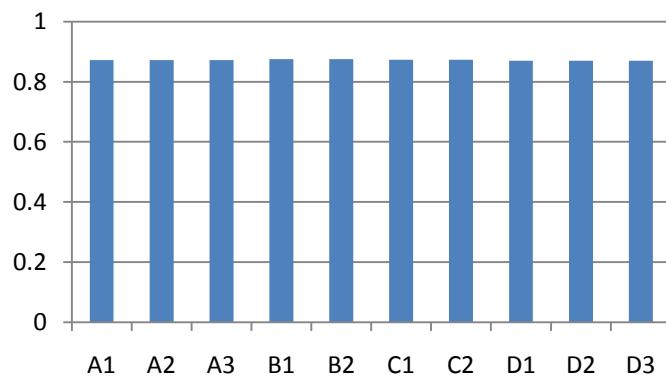
DA (300lux) Daylit and Occupied Hours



Εικόνα 6.2.4.13.: Ετήσια αυτονομία φυσικού φωτισμού DA (300lux) σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

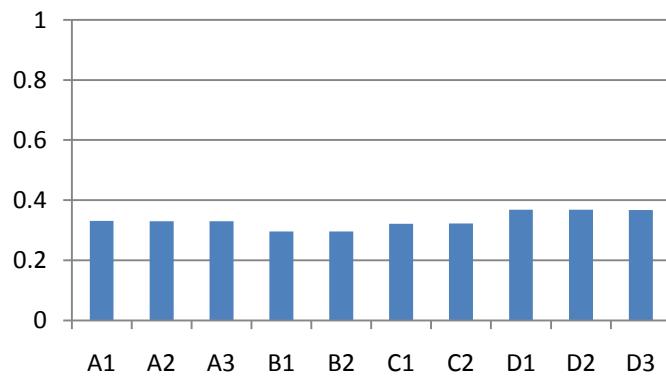
conDA (300lux) Daylit and Occupied Hours



Εικόνα 6.2.4.14.: Ετήσια αυτονομία φυσικού φωτισμού conDA (300lux) σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

UDI (300lux) Daylit and Occupied Hours



Εικόνα 6.2.4.15.: Ετήσια αυτονομία φυσικού φωτισμού UDI (300lux) σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

6.2.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των προγραμμάτων Radiance και Relux

Για τον υπολογισμό της έντασης του φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, χρησιμοποιήθηκε ως εναλλακτική πρόταση το πρόγραμμα Relux, τα αποτελέσματα όμως του οποίου παρουσιάζουν αρκετές αποκλίσεις από τα αντίστοιχα του προγράμματος Radiance.

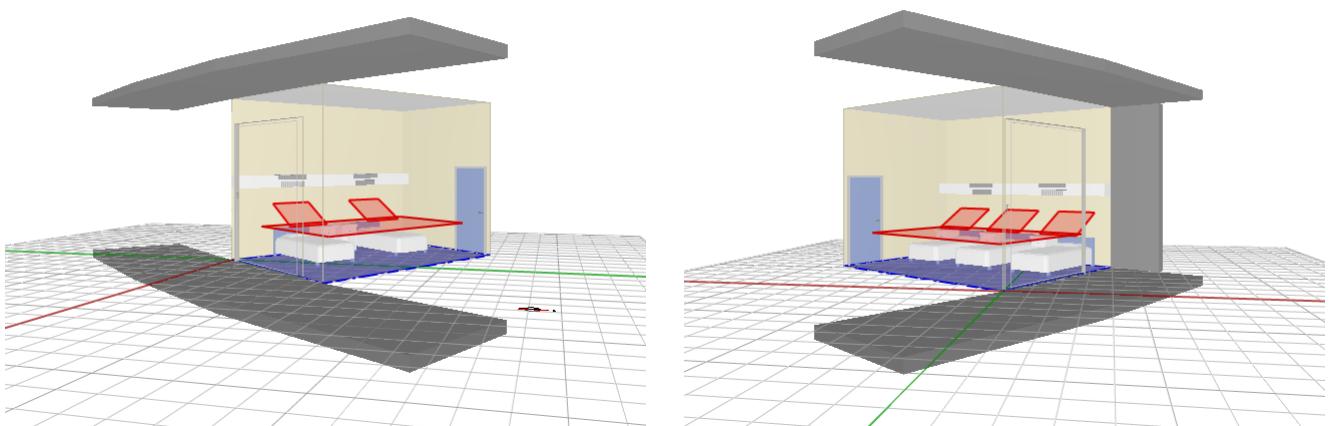
Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στη διαφορετική μέθοδο υπολογισμού της έντασης του φωτισμού από το κάθε πρόγραμμα. Ειδικότερα, το Radiance υπολογίζει την ένταση του φωτισμού σε ένα εξεταζόμενο σημείο και κατά μια καθορισμένη κατεύθυνση, ενώ το Relux υπολογίζει την ένταση του φωτισμού σε μια εξεταζόμενη επίπεδη επιφάνεια με καθορισμένη κλίση.

Έτσι λοιπόν, ενώ για κάθε χρονική στιγμή το Radiance παρουσιάζει μία μοναδική τιμή έντασης φωτισμού του εξεταζόμενου σημείου και κατά την καθορισμένη κατεύθυνση, το Relux παρουσιάζει 3 τιμές έντασης φωτισμού της εξεταζόμενης επιφάνειας, τη μέση τιμή, την ελάχιστη και τη μέγιστη.

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή δεν έχουν μεγάλη χρησιμότητα, μιας και μπορεί να βρίσκονται σε ακραία τμήματα της επιφάνειας, ή να εμφανίζονται σε μικρό ποσοστό της. Η πιο κατάλληλη τιμή για εξαγωγή συμπερασμάτων είναι η μέση τιμή της έντασης φωτισμού.

Είναι προφανές ότι δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων του Radiance και του Relux, μιας και στη μεγάλη επιφάνεια υπολογισμού του Relux υπάρχει αρκετή διακύμανση, επηρεάζοντας τη μέση τιμή, ενώ επίσης στο μεμονωμένο σημείο υπολογισμού του Radiance μπορεί να υπάρχει τοπική έξαρση.

Παρά ταύτα, μπορεί να πραγματοποιηθεί ποιοτική σύγκριση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων των χαρακτηριστικών του φυσικού φωτισμού, για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.



Εικόνες 6.2.5.1. & 6.2.5.2.: Μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού στον θαλάμον C και D με το πρόγραμμα Relux.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

Σύγκριση αντίστοιχων τιμών έντασης φωτισμού, μεταξύ των προγραμμάτων Radiance και Relux.

			Bed A1		Bed A2		Bed A3	
			Radiance	Relux	Radiance	Relux	Radiance	Relux
21	Jan	09:00	848	18400	949	1220	773	602
21	Jan	12:00	2362	7550	3639	5050	3182	1770
21	Jan	15:00	572	2850	723	2840	642	2200
21	Mar	09:00	2835	1390	2638	852	2154	484
21	Mar	12:00	3249	1460	3669	1300	3218	846
21	Mar	15:00	4072	1630	3939	1360	3614	900
21	Jun	09:00	1899	817	2253	567	1914	356
21	Jun	12:00	2128	1040	2605	850	2462	550
21	Jun	15:00	1902	973	2302	862	2045	595
21	Jul	09:00	1733	827	2110	569	1780	357
21	Jul	12:00	2165	1080	2672	869	2457	558
21	Jul	15:00	2023	1010	2454	890	2153	613
23	Sep	09:00	3266	1060	2812	618	2291	352
23	Sep	12:00	3462	1530	4027	1280	3508	796
23	Sep	15:00	3842	1550	3691	1320	3459	895
21	Dec	09:00	3497	17000	3676	1570	1931	732
21	Dec	12:00	4371	4820	7125	15200	6392	1930
21	Dec	15:00	1904	3110	2218	3260	2024	2690

			Bed B1		Bed B2	
			Radiance	Relux	Radiance	Relux
21	Jan	09:00	1250	2210	828	1050
21	Jan	12:00	5409	5880	3383	1570
21	Jan	15:00	1250	27800	757	7630
21	Mar	09:00	3051	974	2288	449
21	Mar	12:00	5120	1860	3676	836
21	Mar	15:00	10961	2590	3677	930
21	Jun	09:00	3025	753	2095	346
21	Jun	12:00	3749	1130	2584	517
21	Jun	15:00	3294	1480	2107	604
21	Jul	09:00	2576	746	1959	343
21	Jul	12:00	3881	1170	2648	540
21	Jul	15:00	3685	1540	2247	627
23	Sep	09:00	3198	882	2482	376
23	Sep	12:00	6093	1630	4019	754
23	Sep	15:00	9732	2500	3591	977
21	Dec	09:00	2415	2460	1864	1260
21	Dec	12:00	14014	7550	6627	1870
21	Dec	15:00	6460	23400	3377	15900

Σύγκριση αντίστοιχων τιμών έντασης φωτισμού, μεταξύ των προγραμμάτων Radiance και Relux.

			Bed C1		Bed C1	
			Radiance	Relux	Radiance	Relux
21	Jan	09:00	1598	5700	1065	6300
21	Jan	12:00	2866	2040	2051	981
21	Jan	15:00	934	746	608	329
21	Mar	09:00	22323	26000	7418	2290
21	Mar	12:00	2992	1450	2459	664
21	Mar	15:00	1917	818	1488	368
21	Jun	09:00	6155	9040	3620	1230
21	Jun	12:00	3346	1630	2419	693
21	Jun	15:00	2356	923	1823	415
21	Jul	09:00	6243	21800	4288	1300
21	Jul	12:00	3392	1700	2383	731
21	Jul	15:00	2445	935	1837	420
23	Sep	09:00	18154	21300	6711	19800
23	Sep	12:00	3011	1810	2435	809
23	Sep	15:00	1983	877	1489	393
21	Dec	09:00	4045	4120	3362	3770
21	Dec	12:00	3570	2060	2691	998
21	Dec	15:00	1183	652	812	281

			Bed D1		Bed D2		Bed D3	
			Radiance	Relux	Radiance	Relux	Radiance	Relux
21	Jan	09:00	785	2020	1089	4550	1050	9340
21	Jan	12:00	2428	9920	2724	1830	2086	1020
21	Jan	15:00	521	863	643	564	552	344
21	Mar	09:00	4720	2390	5963	2470	5480	1960
21	Mar	12:00	2123	1430	2523	1200	2389	764
21	Mar	15:00	1331	778	1505	573	1372	368
21	Jun	09:00	2766	2210	3309	1910	3031	1270
21	Jun	12:00	2051	1070	2434	988	2183	681
21	Jun	15:00	1520	734	1810	614	1655	411
21	Jul	09:00	3686	2500	4057	2210	3755	1490
21	Jul	12:00	2063	1140	2488	1060	2202	735
21	Jul	15:00	1547	768	1848	640	1661	427
23	Sep	09:00	4806	2660	6313	2950	5412	2570
23	Sep	12:00	2130	1580	2515	1390	2327	898
23	Sep	15:00	1336	918	1501	680	1365	429
21	Dec	09:00	2203	2000	4859	6530	5419	12500
21	Dec	12:00	5381	12400	3460	1720	2618	941
21	Dec	15:00	795	755	891	484	740	293

Στους προηγούμενους πίνακες, παρατίθενται συγκριτικά τα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού με τα προγράμματα Radiance και Relux, σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, στις 6 εξεταζόμενες ημέρες, και για τις ώρες 09:00, 12:00 και 15:00.

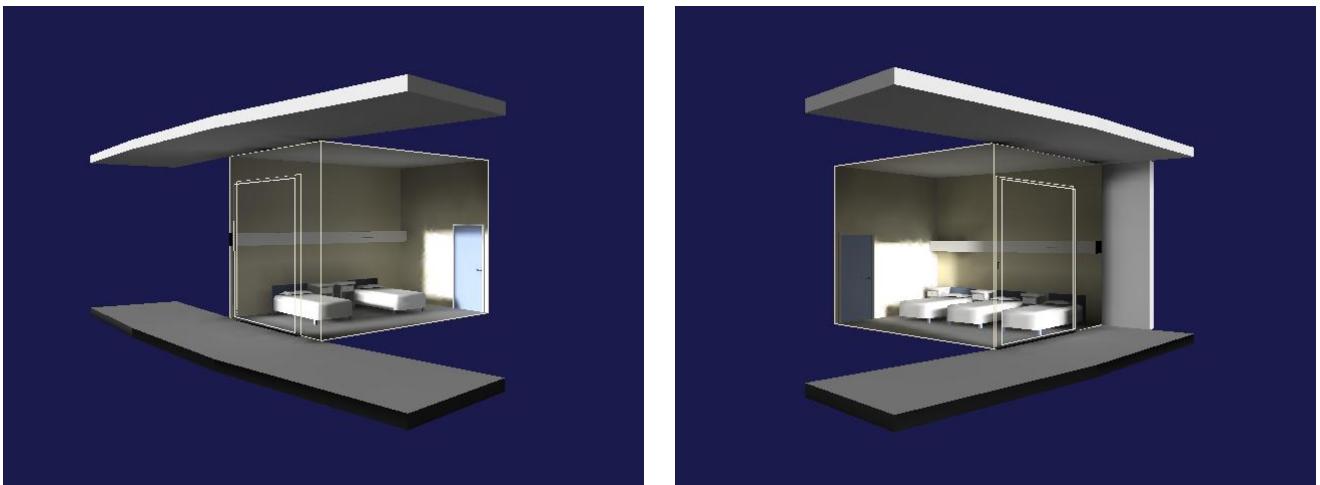
Υπενθυμίζεται ότι το Radiance υπολογίζει την ένταση του φωτισμού σε ένα εξεταζόμενο σημείο και κατά μια καθορισμένη κατεύθυνση, ενώ το Relux υπολογίζει την ένταση του φωτισμού σε μια εξεταζόμενη επίπεδη επιφάνεια με καθορισμένη κλίση, γεγονός που δίνει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα στην περίπτωση που στην επιφάνεια μέτρησης προσπίπτει άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ή η επιφάνεια μέτρησης βρίσκεται κοντά σε υψηλά ανακλαστική επιφάνεια στην οποία προσπίπτει άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, συγκρίνοντας για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή τα αντίστοιχα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού μεταξύ των δύο προγραμμάτων, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

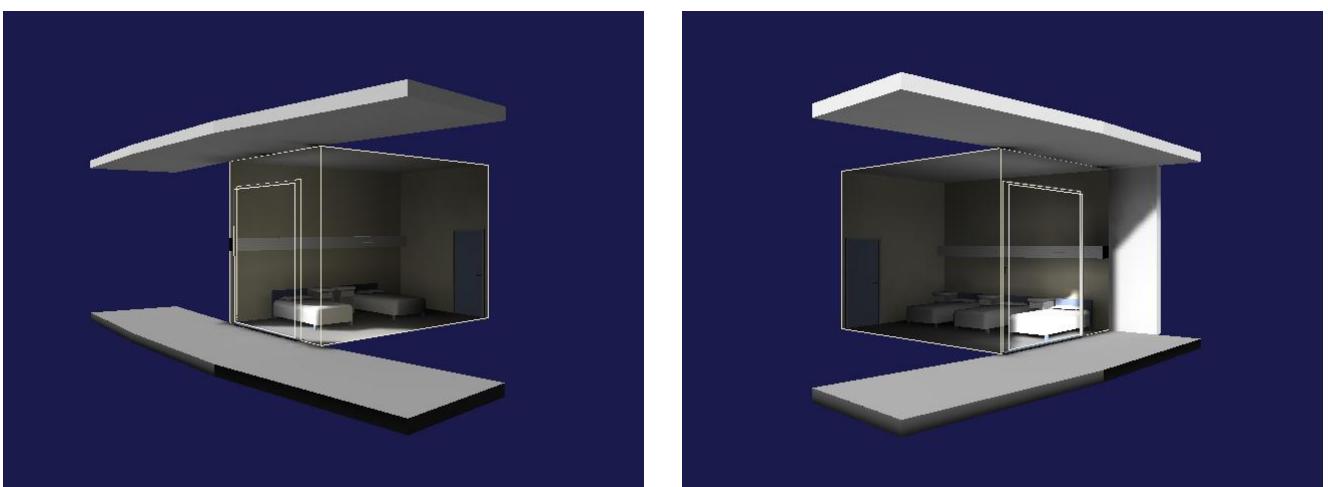
- A1: Κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 45%. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, το Relux παρουσιάζει αρκετά υψηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance. Συγκεκριμένα, την 21 Ιανουαρίου στις 09:00, το Relux παρουσιάζει ένταση φυσικού φωτισμού 22 φορές μεγαλύτερη από το Radiance, λόγω της πρόσπτωσης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στη θεωρούμενη επιφάνεια μέτρησης.
- A2: Κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 35%. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, το Relux παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, έως και 4 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το Radiance.
- A3: Κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 25%. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, κατά τις απογευματινές ώρες, το Relux παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, έως και 3.5 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το Radiance.
- B1: Κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 30%. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, κατά τις απογευματινές ώρες, το Relux παρουσιάζει αρκετά υψηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance. Συγκεκριμένα, την 21 Ιανουαρίου στις 15:00, το Relux παρουσιάζει ένταση φυσικού φωτισμού 22 φορές μεγαλύτερη από το

Radiance, λόγω της πρόσπτωσης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στη θεωρούμενη επιφάνεια μέτρησης.

- B2: Κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 20%. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, κατά τις απογευματινές ώρες, το Relux παρουσιάζει αρκετά υψηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance. Συγκεκριμένα, την 21 Ιανουαρίου στις 15:00, το Relux παρουσιάζει ένταση φυσικού φωτισμού 10 φορές μεγαλύτερη από το Radiance, λόγω της πρόσπτωσης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στη θεωρούμενη επιφάνεια μέτρησης.
- C1: Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, κατά τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 50%, ενώ κατά τις πρωινές ώρες, παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, έως και 3.5 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το Radiance.
- C2: Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 30%, με εξαίρεση τις πρωινές ώρες των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών, όπου παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, έως και 6 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το Radiance.
- D1: Κατά τους εαρινούς, καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 60%. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, κατά τις μεσημεριανές ώρες, το Relux παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, έως και 4 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το Radiance.
- D2: Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 45%, με εξαίρεση τις πρωινές ώρες των χειμερινών μηνών, όπου παρουσιάζει υψηλότερες τιμές, έως και 4 φορές μεγαλύτερες σε σχέση με το Radiance.
- D3: Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το Relux παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance, της τάξης του 35%, με εξαίρεση τις πρωινές ώρες των χειμερινών μηνών, όπου παρουσιάζει αρκετά υψηλότερες τιμές σε σχέση με το Radiance. Συγκεκριμένα, την 21 Ιανουαρίου στις 09:00, το Relux παρουσιάζει ένταση φυσικού φωτισμού 9 φορές μεγαλύτερη από το Radiance, λόγω της πρόσπτωσης στη θεωρούμενη επιφάνεια μέτρησης μεγάλης ποσότητας αντανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας, από το γειτονικό τοίχο που δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνες 6.2.5.3. & 6.2.5.4.: Προσομοίωση φυσικού φωτισμού στους θαλάμους C και D, την 21 Δεκεμβρίου στις 09:00.
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.



Εικόνες 6.2.5.5. & 6.2.5.6.: Προσομοίωση φυσικού φωτισμού στους θαλάμους C και D, την 21 Δεκεμβρίου στις 12:00.
Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων Radiance και Relux, επειδή χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού της έντασης του φυσικού φωτισμού.

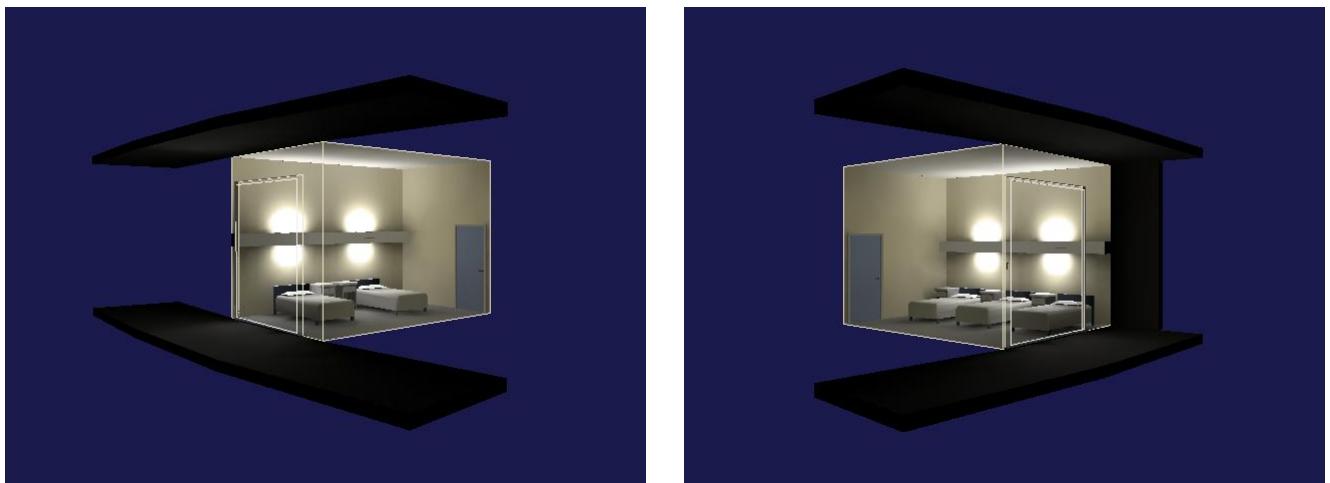
Γενικά, το Relux υπολογίζει χαμηλότερες τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε σχέση με το Radiance, όμως τα αποτελέσματά του επηρεάζονται υπερβολικά από την πρόσπτωση άμεσης και έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στις θεωρούμενες επιφάνειες μέτρησης, όπως παρουσιάζεται στις ανωτέρω εικόνες.

Παρατηρείται, λοιπόν, μεγάλη διαφοροποίηση αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, και οι ηλιακές ακτίνες διεισδύουν εντονότερα στους θαλάμους.

6.2.6. Έλεγχος επάρκειας τεχνητού φωτισμού με το πρόγραμμα Relux

Η ένταση του φυσικού φωτισμού μεταβάλλεται διαρκώς ανάλογα με τη θέση του ηλίου, οπότε για τον υπολογισμό της αυτονομίας φυσικού φωτισμού απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός καθ' όλη την εξεταζόμενη περίοδο. Αντιθέτως, η ένταση του τεχνητού φωτισμού παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας, οπότε ο έλεγχος της επάρκειάς της είναι σχετικά απλός.

Παράλληλα, λοιπόν, με τον υπολογισμό της έντασης του φυσικού φωτισμού με το πρόγραμμα Relux, πραγματοποιήθηκε και υπολογισμός της έντασης του υφιστάμενου τεχνητού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, χρησιμοποιώντας ακριβώς τα ίδια μοντέλα προσομοίωσης, στα οποία ορίστηκαν επίσης αναλυτικά οι θέσεις και οι τύποι των υφιστάμενων φωτιστικών σωμάτων.



Εικόνες 6.2.6.1. & 6.2.6.2.: Προσομοίωση τεχνητού φωτισμού στον θαλάμο C και D.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

Οι θάλαμοι νοσηλείας Α και Β, όπως αντίστοιχα και οι συμμετρικοί τους Σ και Δ, έχουν προκύψει από το διαχωρισμό ενός μεγαλύτερου θαλάμου, αντίστοιχου μεγέθους με τους εξάκλινους θαλάμους νοσηλείας, με αρχική πρόβλεψη να χρησιμοποιηθούν ως δίκλινοι θάλαμοι νοσηλείας.

Λόγω των αυξημένων αναγκών νοσηλείας, στους ελαφρώς μεγαλύτερους σε μέγεθος θαλάμους Α και Δ αποφασίστηκε εκ των υστέρων να τοποθετηθούν 3 κλίνες, παρά το γεγονός ότι, σύμφωνα με την αρχική πρόβλεψη, η εγκατεστημένη ηλεκτρομηχανολογική τους υποδομή αντιστοιχεί στην τοποθέτηση 2 κλινών.

Έτσι, τα φωτιστικά σώματα των τρίκλινων θαλάμων τα οποία είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αντιστοιχούν χωροθετικά σε τοποθέτηση 2 κλινών στο θάλαμο, μετά την τοποθέτηση 3 κλινών στο θάλαμο, αντιστοιχούν χωροθετικά στους διαδρόμους ανάμεσα στις κλίνες, με συνέπεια να μην παρέχουν τον προβλεπόμενο φωτισμό σε καμία θέση.

Όσον αφορά τον υπολογισμό της επάρκειας του υφιστάμενου τεχνητού φωτισμού, είναι προφανές ότι λόγω απόλυτης συμμετρίας, οι τρίκλινοι θάλαμοι Α και Δ, όπως επίσης και οι δίκλινοι θάλαμοι Β και Σ, έχουν μεταξύ τους όμοια αποτελέσματα.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι όλες οι εξεταζόμενες θέσεις στους δίκλινους θαλάμους παρουσιάζουν επάρκεια τεχνητού φωτισμού (Average illuminance > 300 lux), ενώ αντιθέτως όλες οι εξεταζόμενες θέσεις στους τρίκλινους θαλάμους δεν παρουσιάζουν επάρκεια τεχνητού φωτισμού (Average illuminance < 300 lux).

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι ενώ η υπάρχουσα ηλεκτρομηχανολογική υποδομή σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σωστά, η απόκλιση της πραγματικής χρήσης των θαλάμων από τον αρχικό σχεδιασμό, την καθιστά ανεπαρκή στους τρίκλινους θαλάμους, ενώ προφανώς παραμένει επαρκής στους δίκλινους θαλάμους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Παναγοπούλου Γεωργία, Φυσικός Φωτισμός θαλάμων νοσηλείας, Διπλωματική Εργασία. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2013*

7. Προσομοίωση προτεινόμενων λύσεων

7.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

Μετά τον υπολογισμό, μέσω προσομοίωσης, των τιμών της έντασης του φυσικού φωτισμού, του δείκτη θάμβωσης, και της ετήσιας αυτονομίας του φυσικού φωτισμού, για όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, και μετά τη μελέτη, τη σύγκριση, και το σχολιασμό των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, εντοπίστηκε ότι σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις παρουσιάζεται έντονο πρόβλημα θάμβωσης, λόγω του οποίου η χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού λαμβάνει πολύ χαμηλές τιμές, της τάξης του 30%, ενώ η συνεχής αυτονομία λαμβάνει πολύ υψηλές τιμές, της τάξης του 85%.

Για να αυξηθεί η χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού, πρέπει να μειωθεί το φαινόμενο της θάμβωσης, συνεπώς απαιτείται η τοποθέτηση κατάλληλου συστήματος σκίασης. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι εσωτερικό, εξωτερικό ή συνδυασμός των ανωτέρω.

Οι προτεινόμενες λύσεις που επιλέχθηκε να προσομοιωθούν, είναι η τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων αλουμινίου στο μέτωπο του εξώστη του άνω ορόφου, η τοποθέτηση οπτικά διαπερατού υλικού σκίασης στο εσωτερικό των παραθύρων, και ο συνδυασμός των ανωτέρω περιπτώσεων.

Στην περίπτωση της εξωτερικής σκίασης, επιλέχθηκε η τοποθέτηση 7 εξωτερικών περσίδων αλουμινίου, πλάτους 30cm, και ρυθμιζόμενης κλίσης. Ο εξεταζόμενος όροφος έχει ύψος 400cm, η κατασκευή των 7 περσίδων έχει συνολική κρέμαση 210cm, οπότε παραμένει ελεύθερο ύψος 190cm, που παρέχει ανεμπόδιστη θέα στους χρήστες των θαλάμων.

Η ανωτέρω εξωτερική κατασκευή προσομοιώθηκε για 3 διαφορετικές θέσεις κλίσης των περσίδων, τις 00° , τις 45° και τις 90° , οπότε προέκυψαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις σκίασης.

Στην περίπτωση της εσωτερικής σκίασης, επιλέχθηκε η τοποθέτηση εσωτερικού ρολού διαφανούς υλικού, οπτικής διαπερατότητας 40%, με δυνατότητα κατακόρυφης κίνησης, που αναπτύσσεται ώστε να καλύπτει πλήρως την επιφάνεια των παραθύρων.

Στην περίπτωση του συνδυασμού εξωτερικής και εσωτερικής σκίασης, επιλέχθηκε η περίπτωση κατά την οποία οι 7 εξωτερικές περσίδες είναι ρυθμισμένες σε κλίση 45° , σε συνδυασμό με το εσωτερικό ρολό διαφανούς υλικού, οπτικής διαπερατότητας 40%.

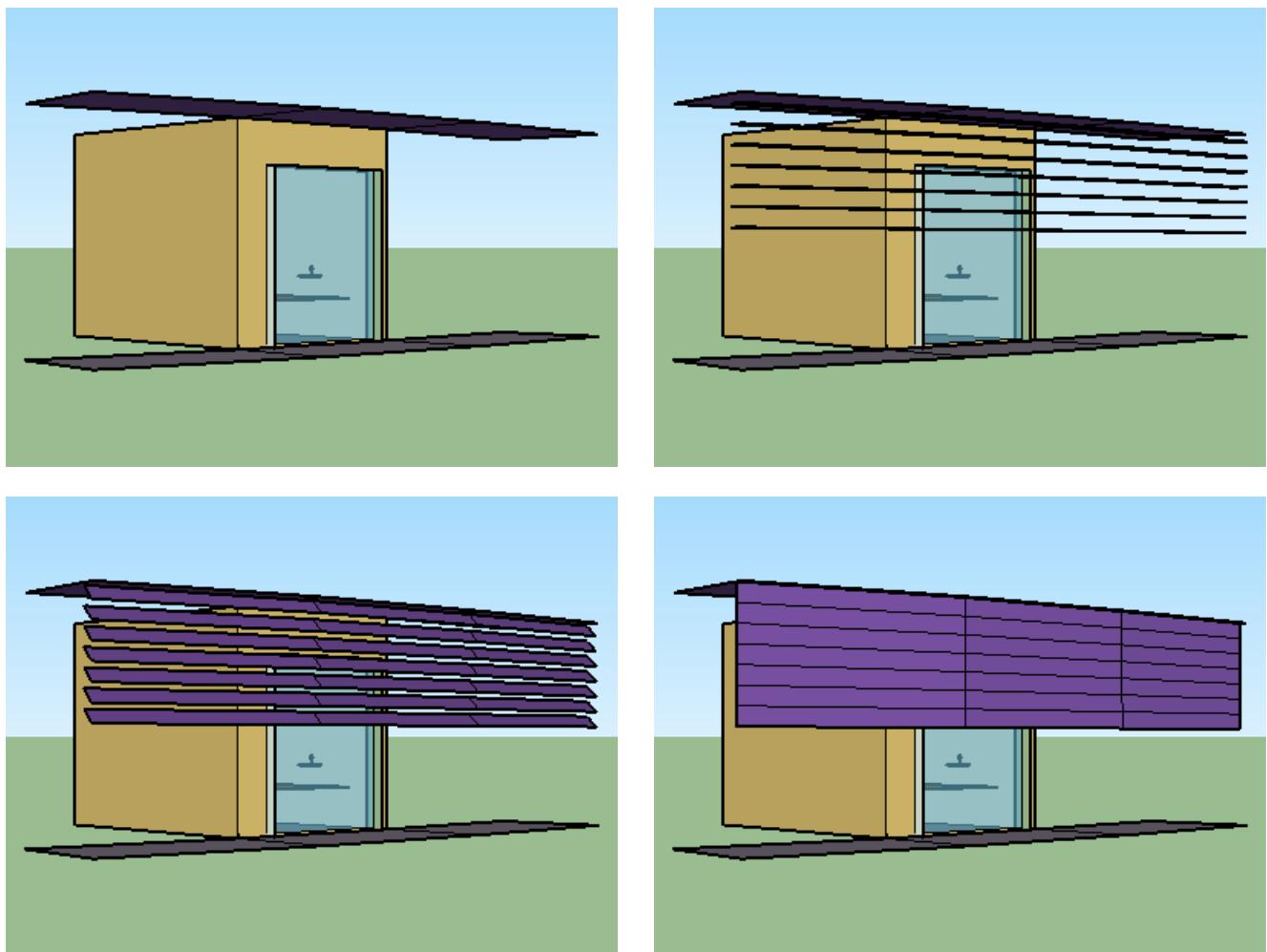
Έτσι, λοιπόν, προέκυψαν συνολικά 5 διαφορετικές περιπτώσεις σκίασης, οι οποίες προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας αντίστοιχα μοντέλα. Από την ανάλυση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, προσδιορίστηκε η επάρκεια κάθε περίπτωσης για την αντιμετώπιση του προβλήματος της θάμβωσης.

Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσαν μόνο οι ενδιάμεσοι θάλαμοι B και C, καθώς οι θάλαμοι A και D έχουν μετατραπεί εκ των υστέρων από δίκλινοι σε τρίκλινοι, άρα στην παρούσα φάση λειτουργούν εκτός προδιαγραφών σχεδίασης. Εξετάστηκαν οι ώρες 09:00, 12:00, και 15:00, κατά τις ημερομηνίες 21/1, 21/3, 21/6, 21/7, 23/9 και 21/12.

7.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

Για τη μελέτη της επίδρασης της χρήσης των επιλεγμένων συστημάτων σκίασης, όσον αφορά τις τιμές της έντασης του φυσικού φωτισμού, του δείκτη θάμβωσης, και της ετήσιας αυτονομίας του φυσικού φωτισμού, για όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού με το πρόγραμμα OpenStudio.

Συνεπώς, για κάθε μια από τις εξεταζόμενες θέσεις, δημιουργήθηκαν, πέραν του αρχικού μοντέλου προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης, 5 διαφοροποιημένα μοντέλα προσομοίωσης, που αντικατοπτρίζουν κάθε μια από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις σκίασης.



Εικόνες 7.2.1. - 7.2.4.: Μοντέλα προσομοίωσης υφιστάμενης κατάστασης και διαφόρων περιπτώσεων σκίασης.

Πηγή: Διπλωματική Εργασία.

7.2.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των προτεινόμενων λύσεων

Στους παρακάτω πίνακες, παρατίθενται συγκριτικά τα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης, σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, ημέρες, και ώρες.

Τιμές έντασης φωτισμού στη θέση B1, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	B1	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT
21	Jan	09:00	1250	713	365	320	387
21	Jan	12:00	5409	2863	1186	998	1721
21	Jan	15:00	1250	702	333	288	388
21	Mar	09:00	3051	1823	1201	998	948
21	Mar	12:00	5120	2558	2001	1478	1561
21	Mar	15:00	10961	4477	1508	1384	3300
21	Jun	09:00	3025	1845	1120	990	934
21	Jun	12:00	3749	2341	1563	1383	1141
21	Jun	15:00	3294	2085	1288	1183	1014
21	Jul	09:00	2576	1718	1218	1066	802
21	Jul	12:00	3881	2339	1503	1313	1192
21	Jul	15:00	3685	2251	1320	1196	1121
23	Sep	09:00	3198	1902	1286	1050	988
23	Sep	12:00	6093	2819	2019	1520	1831
23	Sep	15:00	9732	4407	1442	1318	2951
21	Dec	09:00	2415	1428	744	633	750
21	Dec	12:00	14014	6590	2022	1644	4615
21	Dec	15:00	6460	3694	1289	1006	2015

Τιμές δείκτη θάμβωσης στη θέση B1, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	B1	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT
21	Jan	09:00	0.34	0.28	0.24	0.24	0.23
21	Jan	12:00	0.83	0.56	0.39	0.38	0.39
21	Jan	15:00	0.34	0.28	0.24	0.24	0.23
21	Mar	09:00	0.55	0.41	0.35	0.34	0.30
21	Mar	12:00	0.81	0.51	0.44	0.43	0.38
21	Mar	15:00	1.56	0.74	0.45	0.43	0.58
21	Jun	09:00	0.56	0.42	0.35	0.35	0.30
21	Jun	12:00	0.64	0.48	0.40	0.39	0.32
21	Jun	15:00	0.60	0.46	0.39	0.38	0.31
21	Jul	09:00	0.50	0.40	0.36	0.35	0.28
21	Jul	12:00	0.66	0.48	0.40	0.39	0.33
21	Jul	15:00	0.65	0.48	0.39	0.38	0.33
23	Sep	09:00	0.57	0.42	0.36	0.36	0.30
23	Sep	12:00	0.92	0.55	0.45	0.44	0.41
23	Sep	15:00	1.47	0.76	0.46	0.44	0.56
21	Dec	09:00	0.44	0.35	0.29	0.28	0.26
21	Dec	12:00	1.74	0.99	0.50	0.49	0.70
21	Dec	15:00	1.11	0.76	0.48	0.45	0.47

Τιμές έντασης φωτισμού στη θέση B2, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	B2	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT
21	Jan	09:00	828	550	304	255	269
21	Jan	12:00	3383	2137	1001	797	1106
21	Jan	15:00	757	502	268	221	245
21	Mar	09:00	2288	1484	930	789	724
21	Mar	12:00	3676	2066	1396	1272	1056
21	Mar	15:00	3677	1895	1230	977	1062
21	Jun	09:00	2095	1445	932	799	670
21	Jun	12:00	2584	1816	1313	1165	817
21	Jun	15:00	2107	1511	1059	915	678
21	Jul	09:00	1959	1395	1009	881	611
21	Jul	12:00	2648	1805	1252	1136	851
21	Jul	15:00	2247	1576	1071	938	713
23	Sep	09:00	2482	1573	1043	855	800
23	Sep	12:00	4019	2248	1441	1286	1210
23	Sep	15:00	3591	1880	1152	929	1018
21	Dec	09:00	1864	1257	639	547	618
21	Dec	12:00	6627	3752	1636	1307	2090
21	Dec	15:00	3377	2222	893	662	1076

Τιμές δείκτη θάμβωσης στη θέση B2, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	B2	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT
21	Jan	09:00	0.28	0.24	0.22	0.22	0.21
21	Jan	12:00	0.58	0.44	0.32	0.30	0.31
21	Jan	15:00	0.28	0.24	0.22	0.21	0.20
21	Mar	09:00	0.42	0.33	0.28	0.28	0.26
21	Mar	12:00	0.53	0.39	0.34	0.33	0.30
21	Mar	15:00	0.59	0.39	0.33	0.30	0.23
21	Jun	09:00	0.41	0.34	0.29	0.28	0.26
21	Jun	12:00	0.46	0.37	0.32	0.31	0.27
21	Jun	15:00	0.42	0.35	0.30	0.29	0.26
21	Jul	09:00	0.38	0.33	0.29	0.28	0.25
21	Jul	12:00	0.46	0.37	0.31	0.30	0.27
21	Jul	15:00	0.44	0.36	0.31	0.29	0.26
23	Sep	09:00	0.43	0.34	0.29	0.28	0.26
23	Sep	12:00	0.58	0.41	0.35	0.33	0.31
23	Sep	15:00	0.57	0.40	0.32	0.30	0.30
21	Dec	09:00	0.38	0.31	0.26	0.25	0.25
21	Dec	12:00	0.90	0.59	0.38	0.36	0.41
21	Dec	15:00	0.65	0.49	0.34	0.31	0.33

Τιμές έντασης φωτισμού στη θέση C1, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	C1	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT	
21	Jan	09:00	1598	911	419	359	497	157
21	Jan	12:00	2866	1670	866	747	872	322
21	Jan	15:00	934	540	283	251	287	104
21	Mar	09:00	22323	9190	2004	1694	7150	742
21	Mar	12:00	2992	1938	1476	1361	835	586
21	Mar	15:00	1917	1432	1021	995	641	323
21	Jun	09:00	6155	3150	1474	1277	1903	529
21	Jun	12:00	3346	2092	1457	1244	1015	519
21	Jun	15:00	2356	1617	1161	1049	715	416
21	Jul	09:00	6243	3048	1712	1484	1900	621
21	Jul	12:00	3392	2061	1388	1205	1033	496
21	Jul	15:00	2445	1645	1140	1039	742	410
23	Sep	09:00	18154	7434	1998	1726	5854	737
23	Sep	12:00	3011	1946	1437	1292	869	555
23	Sep	15:00	1983	1400	934	906	662	310
21	Dec	09:00	4045	2533	1113	953	1264	433
21	Dec	12:00	3570	2033	1176	984	1053	444
21	Dec	15:00	1183	727	411	382	362	156

Τιμές δείκτη θάμβωσης στη θέση C1, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	C1	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT	
21	Jan	09:00	0.39	0.31	0.26	0.25	0.21	
21	Jan	12:00	0.52	0.39	0.32	0.31	0.23	
21	Jan	15:00	0.30	0.26	0.23	0.23	0.20	
21	Mar	09:00	2.59	1.30	0.53	0.51	0.96	0.31
21	Mar	12:00	0.55	0.43	0.39	0.38	0.31	0.26
21	Mar	15:00	0.44	0.37	0.35	0.34	0.26	0.24
21	Jun	09:00	0.96	0.61	0.43	0.42	0.42	0.28
21	Jun	12:00	0.60	0.46	0.40	0.39	0.31	0.26
21	Jun	15:00	0.48	0.40	0.37	0.36	0.28	0.25
21	Jul	09:00	0.99	0.59	0.46	0.45	0.44	0.29
21	Jul	12:00	0.60	0.45	0.39	0.37	0.31	0.26
21	Jul	15:00	0.49	0.40	0.36	0.36	0.28	0.25
23	Sep	09:00	2.13	1.08	0.52	0.50	0.81	0.30
23	Sep	12:00	0.54	0.43	0.39	0.38	0.30	0.26
23	Sep	15:00	0.44	0.37	0.33	0.33	0.26	0.24
21	Dec	09:00	0.67	0.50	0.37	0.35	0.34	0.25
21	Dec	12:00	0.60	0.43	0.36	0.34	0.32	0.25
21	Dec	15:00	0.33	0.28	0.25	0.25	0.23	0.21

Τιμές έντασης φωτισμού στη θέση C2, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	C2	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT
21	Jan	09:00	1065	681	351	279	337
21	Jan	12:00	2051	1290	731	613	645
21	Jan	15:00	608	395	232	195	192
21	Mar	09:00	7418	3483	1582	1442	2433
21	Mar	12:00	2459	1504	1204	1090	680
21	Mar	15:00	1488	1094	860	729	485
21	Jun	09:00	3620	2200	1185	980	1116
21	Jun	12:00	2419	1709	1254	1057	738
21	Jun	15:00	1823	1344	991	861	587
21	Jul	09:00	4288	2389	1406	1146	1246
21	Jul	12:00	2383	1669	1182	1006	728
21	Jul	15:00	1837	1348	976	849	592
23	Sep	09:00	6711	3251	1626	1467	2168
23	Sep	12:00	2435	1525	1187	1041	712
23	Sep	15:00	1489	1059	799	681	492
21	Dec	09:00	3362	2209	1043	754	1078
21	Dec	12:00	2691	1595	992	936	827
21	Dec	15:00	812	545	336	293	258

Τιμές δείκτη θάμβωσης στη θέση C2, στην υφιστάμενη κατάσταση και σε διάφορες περιπτώσεις σκίασης.

ΘΕΣΗ	C2	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ	EXT 00°	EXT 45°	EXT 90°	INT 0.40	EXT & INT
21	Jan	09:00	0.31	0.27	0.23	0.22	0.20
21	Jan	12:00	0.41	0.33	0.27	0.26	0.25
21	Jan	15:00	0.25	0.23	0.21	0.21	0.19
21	Mar	09:00	1.04	0.61	0.39	0.36	0.45
21	Mar	12:00	0.41	0.34	0.31	0.30	0.26
21	Mar	15:00	0.34	0.30	0.27	0.27	0.24
21	Jun	09:00	0.60	0.44	0.33	0.31	0.32
21	Jun	12:00	0.43	0.36	0.31	0.30	0.26
21	Jun	15:00	0.37	0.32	0.29	0.28	0.24
21	Jul	09:00	0.64	0.44	0.35	0.33	0.33
21	Jul	12:00	0.43	0.35	0.30	0.29	0.26
21	Jul	15:00	0.37	0.32	0.29	0.28	0.25
23	Sep	09:00	0.94	0.57	0.38	0.36	0.42
23	Sep	12:00	0.41	0.34	0.31	0.30	0.26
23	Sep	15:00	0.35	0.30	0.27	0.27	0.24
21	Dec	09:00	0.54	0.42	0.31	0.29	0.30
21	Dec	12:00	0.47	0.35	0.29	0.28	0.27
21	Dec	15:00	0.27	0.25	0.22	0.22	0.21

7.2.1.1. Υφιστάμενη κατάσταση

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, από τα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης της υφιστάμενης κατάστασης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- B1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 4950lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 0.79.
- B2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 2790lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 0.49.
- C1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 4920lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 0.76.
- C2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 2720lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, η μέση τιμή του προκύπτει περίπου ίση με 0.48.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει ότι στην υφιστάμενη κατάσταση υπάρχει σοβαρό πρόβλημα θάμβωσης.

7.2.1.2. Εξωτερικές περσίδες 00°

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, συγκρίνοντας για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή τα αντίστοιχα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και της εξεταζόμενης περίπτωσης σκίασης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- B1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 52% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 2590lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 65% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.52.
- B2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 62% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1730lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 76% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.37.

- C1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 51% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 2520lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 66% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.50.
- C2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 60% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1630lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 76% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.36.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη περίπτωση σκίασης δεν αντιμετωπίζει επαρκώς το φαινόμενο της θάμβωσης.

7.2.1.3. Εξωτερικές περσίδες 45°

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, συγκρίνοντας για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή τα αντίστοιχα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και της εξεταζόμενης περίπτωσης σκίασης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- B1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 26% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1300lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 49% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.39.
- B2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 37% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1030lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 62% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.30.
- C1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 24% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1190lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 49% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.37.
- C2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 37% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1000lux. Όσον αφορά το

δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 62% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.30.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη περίπτωση σκίασης αντιμετωπίζει σε ικανοποιητικό βαθμό το φαινόμενο της θάμβωσης, χωρίς όμως να το εξαλείψει.

7.2.1.4. Εξωτερικές περσίδες 90°

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, συγκρίνοντας για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή τα αντίστοιχα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και της εξεταζόμενης περίπτωσης σκίασης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- B1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 22% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1100lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 47% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.37.
- B2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 31% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 870lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 59% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.29.
- C1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 21% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1050lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 48% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.36.
- C2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 32% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 860lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 60% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.28.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη περίπτωση σκίασης είναι παραπλήσια της προηγούμενης, εμφανίζοντας ελαφρώς μικρότερες τιμές, και αντιμετωπίζει σε ικανοποιητικό βαθμό το φαινόμενο της θάμβωσης, χωρίς όμως να το εξαλείψει.

7.2.1.5. Εσωτερικό ρολό οπτικής διαπερατότητας 40%

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, συγκρίνοντας για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή τα αντίστοιχα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και της εξεταζόμενης περίπτωσης σκίασης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- B1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 31% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1540lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 47% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.37.
- B2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 31% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 870lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 58% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.28.
- C1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 31% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 1540lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 48% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.37.
- C2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 31% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 850lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 58% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.28.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη περίπτωση σκίασης είναι παραπλήσια των δυο προηγούμενων, και αντιμετωπίζει σε ικανοποιητικό βαθμό το φαινόμενο της θάμβωσης, χωρίς όμως να το εξαλείψει.

7.2.1.6. Εξωτερικές περσίδες 45° και Εσωτερικό ρολό οπτικής διαπερατότητας 40%

Για κάθε εξεταζόμενη θέση, συγκρίνοντας για κάθε εξεταζόμενη χρονική στιγμή τα αντίστοιχα αποτελέσματα του υπολογισμού των τιμών της έντασης φυσικού φωτισμού και του δείκτη θάμβωσης μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και της εξεταζόμενης περίπτωσης σκίασης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- B1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 9% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 460lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 33% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.26.
- B2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 14% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 390lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 47% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.23.
- C1: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 9% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 440lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 33% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.25.
- C2: Όσον αφορά την ένταση φυσικού φωτισμού, οι τιμές της μειώνονται περίπου στο 14% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 380lux. Όσον αφορά το δείκτη θάμβωσης, οι τιμές του μειώνονται περίπου στο 48% των αρχικών τιμών, και η μέση τιμή τους προκύπτει περίπου ίση με 0.23.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη περίπτωση σκίασης αντιμετωπίζει πλήρως το φαινόμενο της θάμβωσης, όμως μειώνει σημαντικά την ένταση φυσικού φωτισμού, οπότε είναι ακατάλληλη για μόνιμη εφαρμογή.

Η συγκεκριμένη περίπτωση σκίασης, μπορεί να εφαρμοστεί αποδοτικότερα σε συνδυασμό με διαφορετικές ρυθμίσεις της κλίσης των εξωτερικών περσίδων, και χρησιμοποίησης του εσωτερικού οπτικά διαπερατού ρολού μόνο όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Εναλλακτικά, κατόπιν σχετικής μελέτης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο συνδυασμό ρολό οπτικής διαπερατότητας μεγαλύτερης από 40%, ώστε να προκύψει ο βέλτιστος συνδυασμός για την αντιμετώπιση της θάμβωσης.

8. Επίλογος

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη της αυτονομίας φυσικού φωτισμού στους ακραίους θαλάμους της νότιας πρόσοψης της πτέρυγας νοσηλείας του 3^{ου} ορόφου του νοσοκομείου ΚΑΤ, όπως επίσης και η μελέτη της επάρκειας του υφιστάμενου τεχνητού φωτισμού.

Για τον υπολογισμό της αυτονομίας φυσικού φωτισμού της υφιστάμενης κατάστασης, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό και διενεργήθηκαν οι αντίστοιχες προσομοιώσεις. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, προέκυψε ότι η χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού, σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, είναι ιδιαίτερα χαμηλή, λόγω της ύπαρξης υψηλής θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η ηλιακή τροχιά είναι χαμηλότερη, και οι ηλιακές ακτίνες διεισδύουν εντονότερα στους θαλάμους.

Για να αυξηθεί η χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού, πρέπει να μειωθεί το φαινόμενο της θάμβωσης, συνεπώς απαιτείται η τοποθέτηση κατάλληλου συστήματος σκίασης. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι εσωτερικό, εξωτερικό ή συνδυασμός των ανωτέρω.

Οι προτεινόμενες λύσεις που επιλέχθηκε να προσομοιωθούν, είναι η τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων αλουμινίου στο μέτωπο του εξώστη του άνω ορόφου, η τοποθέτηση οπτικά διαπερατού υλικού σκίασης στο εσωτερικό των παραθύρων, και ο συνδυασμός των ανωτέρω περιπτώσεων.

Στην περίπτωση της εξωτερικής σκίασης, επιλέχθηκε η τοποθέτηση 7 εξωτερικών περσίδων αλουμινίου, πλάτους 30cm, και ρυθμιζόμενης κλίσης. Ο εξεταζόμενος όροφος έχει ύψος 400cm, η κατασκευή των 7 περσίδων έχει συνολική κρέμαση 210cm, οπότε παραμένει ελεύθερο ύψος 190cm, που παρέχει ανεμπόδιστη θέα στους χρήστες των θαλάμων.

Στην περίπτωση της εσωτερικής σκίασης, επιλέχθηκε η τοποθέτηση εσωτερικού ρολού διαφανούς υλικού, οπτικής διαπερατότητας 40%, με δυνατότητα κατακόρυφης κίνησης, που αναπτύσσεται ώστε να καλύπτει πλήρως την επιφάνεια των παραθύρων.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, επιλέχθηκε να προσομοιωθούν οι εξής περιπτώσεις σκίασης:

- Τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων αλουμινίου υπό γωνία 00° (οριζοντίως)
- Τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων αλουμινίου υπό γωνία 45°
- Τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων αλουμινίου υπό γωνία 90° (κατακορύφως)
- Τοποθέτηση εσωτερικού ρολού διαφανούς υλικού, οπτικής διαπερατότητας 40%
- Τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων αλουμινίου υπό γωνία 45° σε συνδυασμό με τοποθέτηση εσωτερικού ρολού διαφανούς υλικού, οπτικής διαπερατότητας 40%

Έπειτα από μοντελοποίηση και προσομοίωση των ανωτέρω περιπτώσεων σκίασης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση και σύγκριση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων, και εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Η περίπτωση σκίασης με τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων υπό γωνία 00° κρίνεται ανεπαρκής, καθώς δεν αντιμετωπίζει επαρκώς το πρόβλημα της θάμβωσης.

Οι δυο περιπτώσεις σκίασης με τοποθέτηση εξωτερικών περσίδων υπό γωνία 45° και 90° , εμφανίζουν παρεμφερή αποτελέσματα, βελτιώνοντας αισθητά τη χρήσιμη αυτονομία φυσικού φωτισμού, χωρίς όμως να αντιμετωπίζουν πλήρως το πρόβλημα της θάμβωσης.

Η περίπτωση σκίασης με τοποθέτηση διαφανούς υλικού οπτικής διαπερατότητας 40% στο εσωτερικό του παραθύρου, παρουσιάζει αποτελέσματα της ίδιας τάξης μεγέθους με τις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις.

Τέλος, η περίπτωση σκίασης με συνδυασμό τοποθέτησης εξωτερικών περσίδων υπό γωνία 45° και διαφανούς υλικού οπτικής διαπερατότητας 40% στο εσωτερικό του παραθύρου, αντιμετωπίζει πλήρως το πρόβλημα της θάμβωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, όμως μειώνει σημαντικά την ένταση του φυσικού φωτισμού, οπότε είναι ακατάλληλη για μόνιμη εφαρμογή.

Η τελευταία περίπτωση σκίασης, μπορεί να εφαρμοστεί αποδοτικότερα σε συνδυασμό με διαφορετικές ρυθμίσεις της κλίσης των εξωτερικών περσίδων, και χρησιμοποίησης του εσωτερικού οπτικά διαπερατού ρολού μόνο όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Εναλλακτικά, κατόπιν σχετικής μελέτης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο συνδυασμό ρολό οπτικής διαπερατότητας μεγαλύτερης από 40%, ώστε να προκύψει η βέλτιστη λύση για την αντιμετώπιση της θάμβωσης.

Τέλος, όσον αφορά τη μελέτη της επάρκειας του υφιστάμενου τεχνητού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, προέκυψαν τα εξής αναμενόμενα συμπεράσματα.

Οι εξεταζόμενοι θάλαμοι νοσηλείας είχαν αρχικά σχεδιαστεί ως δίκλινοι, αλλά λόγω των αυξημένων αναγκών νοσηλείας, στους ελαφρώς μεγαλύτερους σε μέγεθος θαλάμους αποφασίστηκε εκ των υστέρων να τοποθετηθούν 3 κλίνες, παρά το γεγονός ότι, σύμφωνα με την αρχική πρόβλεψη, η εγκατεστημένη ηλεκτρομηχανολογική τους υποδομή αντιστοιχεί στην τοποθέτηση 2 κλινών.

Έτσι, τα δύο φωτιστικά σώματα των τρίκλινων θαλάμων, δεν αντιστοιχούν στις τοποθετημένες κλίνες, αλλά στους διαδρόμους ανάμεσα στις κλίνες, με συνέπεια να μην παρέχουν τον προβλεπόμενο φωτισμό σε καμία θέση.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι ενώ η υπάρχουσα ηλεκτρομηχανολογική υποδομή σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε σωστά, η απόκλιση της πραγματικής χρήσης των θαλάμων από τον αρχικό σχεδιασμό, την καθιστά ανεπαρκή στους τρίκλινους θαλάμους, ενώ προφανώς παραμένει επαρκής στους δίκλινους θαλάμους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1.: Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας	30
Εικόνες 2.2. & 2.3.: Ηλιακές Τροχιές και φαινόμενη κίνηση του ήλιου.....	31
Εικόνα 2.5.: Συνδυασμός των οικοπέδων για σωστό προσανατολισμό	37
Εικόνα 2.6.: Παραδείγματα διάταξης κτιρίων για βέλτιστο ηλιασμό.	38
Εικόνα 2.7.: Ηλιακή πρόσβαση και παράγοντες που την επηρεάζουν,	39
Εικόνα 2.8.: Λόγος υ/π.....	40
Εικόνα 2.12.: Σκιασμός δέντρου με κωνικό σχήμα Εικόνα 2.13.: Σκιασμός δέντρου με σφαιρικό σχήμα	48
Εικόνα 2.14.: Πέργολα – Εθνικός Κήπος	48
Εικόνα 3.5: Ανάλυση λευκού φωτός στα χρώματα του ορατού φάσματος από το πρίσμα	62
Εικόνα 3.6.: Θερμό, ουδέτερο και ψυχρό φως.....	63
Εικόνα 3.7.: Χρωματικός Χάρτης	63
Εικόνες 4.1. – 4.4.: Φωτιστικά Σώματα	70
Εικόνα 5.1.: Τα τρία εύρη τιμών φυσικού φωτισμού.....	81
Εικόνα 6.1.1.: Η κύρια είσοδος	85
Εικόνα 6.1.1.1.: Κάτοψη Τυπικού Ορόφου.....	86
Εικόνα 6.1.1.1.1.: Προσανατολισμός κεντρικού κτιρίου	87
Εικόνες 6.2.1.1 & 6.2.1.2.: Μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού στους θαλάμους A, B, C και D με το πρόγραμμα OpenStudio.....	89
Εικόνα 6.2.1.1.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην περιοχή του ΚΑΤ, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	90
Εικόνες 6.2.1.2. - 6.2.1.5.: Τιμές μέσης έντασης φυσικού φωτισμού στους θαλάμους A,B,C,D, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	90
Εικόνα 6.2.1.6.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην περιοχή του ΚΑΤ, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	91
Εικόνες 6.2.1.7. - 6.2.1.10.: Τιμές μέσης έντασης φυσικού φωτισμού στους θαλάμους A,B,C,D, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	91
Εικόνες 6.2.3.1. - 6.2.3.4.: Μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού στις εξεταζόμενες θέσεις A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, D3.....	93
Εικόνες 6.2.3.1.1. & 6.2.3.1.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	94
Εικόνες 6.2.3.1.3. & 6.2.3.1.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	94
Εικόνα 6.2.3.1.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.	95
Εικόνα 6.2.3.1.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A1, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.	95
Εικόνες 6.2.3.2.1. & 6.2.3.2.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	96
Εικόνες 6.2.3.2.3. & 6.2.3.2.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	96
Εικόνα 6.2.3.2.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.	97
Εικόνα 6.2.3.2.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση A2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.	97

Εικόνες 6.2.3.9.3. & 6.2.3.9.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	110
Εικόνα 6.2.3.9.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.....	111
Εικόνα 6.2.3.9.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D2, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.....	111
Εικόνες 6.2.3.10.1. & 6.2.3.10.2.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	112
Εικόνες 6.2.3.10.3. & 6.2.3.10.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τη συνολική διάρκεια του έτους.....	112
Εικόνα 6.2.3.10.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.....	113
Εικόνα 6.2.3.10.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης στην εξεταζόμενη θέση D3, κατά τις 6 εξεταζόμενες ημέρες.....	113
Εικόνα 6.2.4.1.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Ιανουαρίου.	119
Εικόνα 6.2.4.2.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Ιανουαρίου.	119
Εικόνα 6.2.4.3.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Μαρτίου.	120
Εικόνα 6.2.4.4.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Μαρτίου.....	120
Εικόνα 6.2.4.5.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Ιουνίου...	121
Εικόνα 6.2.4.6.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Ιουνίου.	121
Εικόνα 6.2.4.7.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Ιουλίου...	122
Εικόνα 6.2.4.8.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Ιουλίου.	122
Εικόνα 6.2.4.9.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 23 ^η Σεπτεμβρίου.	123
Εικόνα 6.2.4.10.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 23 ^η Σεπτεμβρίου.	123
Εικόνα 6.2.4.11.: Τιμές έντασης φυσικού φωτισμού σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Δεκεμβρίου.....	124
Εικόνα 6.2.4.12.: Τιμές δείκτη θάμβωσης σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις, κατά την 21 ^η Δεκεμβρίου.	124
Εικόνα 6.2.4.13.: Ετήσια αυτονομία φυσικού φωτισμού DA (300lux) σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις.	125
Εικόνα 6.2.4.14.: Ετήσια αυτονομία φυσικού φωτισμού conDA (300lux) σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις.	125
Εικόνα 6.2.4.15.: Ετήσια αυτονομία φυσικού φωτισμού UDI (300lux) σε όλες τις εξεταζόμενες θέσεις.	125
Εικόνες 6.2.5.1. & 6.2.5.2.: Μοντέλα προσομοίωσης φυσικού φωτισμού στους θαλάμους C και D με το πρόγραμμα Relux.	126
Εικόνες 6.2.5.3. & 6.2.5.4.: Προσομοίωση φυσικού φωτισμού στους θαλάμους C και D, την 21 Δεκεμβρίου στις 09:00.....	131
Εικόνες 6.2.5.5. & 6.2.5.6.: Προσομοίωση φυσικού φωτισμού στους θαλάμους C και D, την 21 Δεκεμβρίου στις 12:00.....	131
Εικόνες 6.2.6.1. & 6.2.6.2.: Προσομοίωση τεχνητού φωτισμού στους θαλάμους C και D.....	132
Εικόνες 7.2.1. - 7.2.4.: Μοντέλα προσομοίωσης υφιστάμενης κατάστασης και διαφόρων περιπτώσεων σκίασης.....	138

