

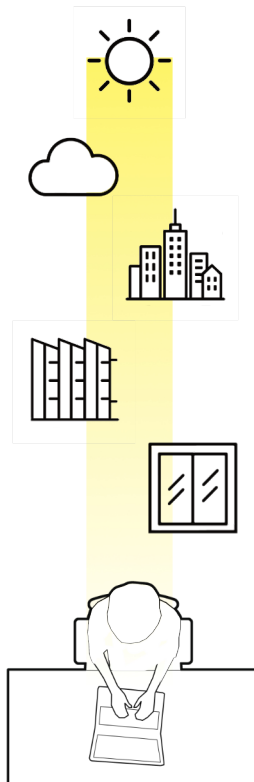


Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

# ΚΙΡΚΑΔΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΚΑΙ DATA-DRIVEN DESIGN:

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΚΩΝ ΧΩΡΩΝ  
ΜΕΣΩ ΑΝΘΡΩΠΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Επ. Καθηγήτρια: Άννα Καραγιάννη  
Θεοδώρου Αντώνιος-Ταξιάρχης



Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε υπό την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη της καθηγήτριας Άννας Καραγιάννη. Υπό την επίβλεψή της, η ερευνητική διαδικασία δομήθηκε με γνώμονα την καινοτομία, η οποία αναδείχθηκε σε θεμελιώδη άξονα για την ανάπτυξη και ολοκλήρωση της μελέτης.

Τα ευχαριστήρια επεκτείνονται σε όλα τα πρόσωπα που βοήθησαν έμπρακτα και πνευματικά, στην ανάπτυξη της εργασίας τον τελευταίο χρόνο.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Θεοδώρου Αντώνιος Ταξίαρχης | 2025  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών | Πολυτεχνείο Κρήτης

Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός και Data-Driven Design:  
Βελτιστοποίηση Εργασιακών Περιβαλλόντων μέσω Κιρκάδιου Φωτισμού

ABSTRACT	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΣΚΟΠΟΣ	6
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	7
ΟΡΙΣΜΟΙ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός Φωτισμού - Human Centric Lighting (Design) (HCL)	14
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΚΙΡΚΑΔΙΟ ΡΥΘΜΟ	18
Κιρκάδιος ρυθμός και ανθρώπινη φυσιολογία	20
Κιρκάδιος ρυθμός και αποδοτικότητα	22
Το Φως ως Ρυθμιστής του Κιρκάδιου Ρυθμού	24
Τεχνητός φωτισμός και κιρκάδιος ρυθμός	25
ΤΟ ΧΩΡΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΟΥ ΚΙΡΚΑΔΙΟΥ ΡΥΘΜΟΥ	28
Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και Κιρκάδιο Δυναμικό	30
Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και Κιρκάδιο Δυναμικό	33
Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά	38
Κιρκάδιος ρυθμός σύμφωνα με συστήματα αξιολόγησης	41
Διεθνές Ινστιτούτο WELL Building - International WELL Building Institute	43
LEED - Leadership in Energy and Environmental Design	46

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΕΔΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑΣ	52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
ΠΗΓΕΣ	58
ΕΝΘΕΤΟ	68

## ABSTRACT

Θεοδώρου Αντώνιος Ταξιάρχης | 2025  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών | Πολυτεχνείο Κρήτης

This paper explores the role of circadian rhythms in creating efficient, healthy, and high-quality working environments, linking architecture, biology, and psychology. The aim is to incorporate circadian knowledge into design so that architects and designers can actively contribute to improving human experience and well-being. Despite the importance of circadian rhythms, their systematic application in architectural design remains limited, making it necessary to develop practical guidelines.

The methodology follows an interdisciplinary approach, studying the circadian rhythm as a biological mechanism regulated mainly by light, while at the same time highlighting the designer as the critical link between the fields of biology and architecture, emphasizing the need for the designer to have a deep understanding of both fields in order to effectively incorporate this knowledge into the design of spaces.

Particular emphasis is placed on data-driven design, using digital simulations to translate measurable parameters into qualitative characteristics of space. The results are summarized in a structured table, providing a practical reference tool for researchers and professionals, supporting the adoption of a more conscious and human-centered design approach.

Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός και Data-Driven Design:  
Βελτιστοποίηση Εργασιακών Περιβαλλόντων μέσω Κιρκάδιου  
Φωτισμού

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά τον ρόλο του κιρκάδιου ρυθμού στη δημιουργία αποδοτικών, υγιών και ποιοτικών εργασιακών χώρων, συνδέοντας αρχιτεκτονική, βιολογία και ψυχολογία. Στόχος είναι η ενσωμάτωση της κιρκάδιας γνώσης στον σχεδιασμό, ώστε ο αρχιτέκτονας να συμβάλλει ενεργά στη βελτίωση της ανθρώπινης εμπειρίας και ευεξίας. Παρά τη σημασία του κιρκάδιου ρυθμού, η συστηματική εφαρμογή του στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό παραμένει περιορισμένη, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη πρακτικών κατευθύνσεων.

Η μεθοδολογία ακολουθεί διεπιστημονική προσέγγιση, μελετώντας τον κιρκάδιο ρυθμό ως βιολογικό μηχανισμό που ρυθμίζεται κυρίως από το φως. Παράλληλα αναδεικνύει τον σχεδιαστή ως τον κρίσιμο σύνδεσμο μεταξύ των πεδίων της βιολογίας και της αρχιτεκτονικής, υπογραμμίζοντας την ανάγκη, να κατανοεί σε βάθος και τα δύο γνωστικά πεδία, με σκοπό την αποτελεσματική ενσωμάτωση της γνώσης στον σχεδιασμό χώρων.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον σχεδιασμό βάσει δεδομένων (Data-Driven Design), με χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων για τη μετάφραση μετρήσιμων παραμέτρων σε ποιοτικά χαρακτηριστικά του χώρου. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται σε δομημένο πίνακα, προσφέροντας ένα πρακτικό εργαλείο αναφοράς για ερευνητές και επαγγελματίες, υποστηρίζοντας την υιοθέτηση ενός πιο συνειδητού και ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού.

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η διερεύνηση και η ανάδειξη του ρόλου του κερκάρδιου ρυθμού στη διαμόρφωση αποδοτικών, υγιών και ποιοτικών εργασιακών περιβάλλοντων. Η θεματική εντάσσεται σε ένα διεπιστημονικό πεδίο που γεφυρώνει την αρχιτεκτονική με την βιολογία και τη συμπεριφορική ψυχολογία, απαιτώντας από τον σύγχρονο αρχιτέκτονα να εμπλουτίσει το γνωστικό του οπλοστάσιο και να διευρύνει τον ρόλο του από διαμορφωτή χώρου σε συνειδητό διαμορφωτή εμπειρίας και ευεξίας. Ο κερκάρδιος ρυθμός, παρότι θεμελιώδης για την ανθρώπινη λειτουργία, δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί συστηματικά στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για περαιτέρω ενημέρωση και πρακτική καθοδήγηση.

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να συμβάλει ουσιαστικά προς αυτή την κατεύθυνση, παρέχοντας ένα συνεκτικό θεωρητικό και εφαρμοσμένο πλαίσιο για την ενσωμάτωση της κερκάρδιας γνώσης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μεθοδολογία του σχεδιασμού βάσει δεδομένων (data-driven design), η οποία μπορεί να προσφέρει στον σχεδιαστή τα απαραίτητα εργαλεία για τεκμηριωμένες και στοχευμένες αποφάσεις. Μέσα από τη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων και επιστημονικά τεκμηριωμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η εργασία αποσκοπεί στο να καταστήσει την πολύπλοκη γνώση προσβάσιμη και αξιοποιήσιμη στην πράξη, ενισχύοντας τη μετάβαση προς έναν πιο συνειδητό, υπεύθυνο και ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό.

Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας βασίζεται σε μια διεπιστημονική, ερευνητικά τεκμηριωμένη προσέγγιση, η οποία συνδυάζει αρχές από τη βιολογία, την ψυχολογία και την αρχιτεκτονική. Κεντρικός άξονας αποτελεί η εις βάθος κατανόηση του κερκάρδιου ρυθμού ως ενός ενδογενούς βιολογικού μηχανισμού που επηρεάζεται από περιβαλλοντικά ερεθίσματα, κυρίως το φως. Προς διευκόλυνση της κατανόησης, παρατίθεται ευρετήριο όρων με αναλυτικές ερμηνείες, ώστε να διασαφηνιστούν οι βασικές έννοιες που διέπουν τη θεματολογία.

Αρχικά, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, εξετάζεται η σχέση μεταξύ αρχιτεκτονικής και κερκάρδιου ρυθμού, με έμφαση στις επιπτώσεις του φωτισμού στην ανθρώπινη υγεία, στη γνωστική λειτουργία και στη συνολική ευεξία. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα σύνολο σχεδιαστικών οδηγιών, τεκμηριωμένων από πρόσφατες έρευνες, οι οποίες αποσκοπούν στην ανάπτυξη συνθηκών φωτισμού που προάγουν τον κερκάρδιο συγχρονισμό. Παράλληλα, γίνεται αναφορά σε υφιστάμενα πρότυπα και κανονισμούς (όπως το WELL Building Standard), τα οποία καθορίζουν τις ελάχιστες αποδεκτές προδιαγραφές φωτισμού.

Η εργασία ενσωματώνει τη μεθοδολογία του σχεδιασμού βάσει δεδομένων (Data-Driven Design), δίνοντας έμφαση στη χρήση ψηφιακών εργαλείων και λογισμικών προσομοίωσης για τη συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων φωτισμού. Η εν λόγω διαδικασία επιτρέπει την ακριβή μετάφραση ποσοτικών πληροφοριών σε ποιοτικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, ενισχύοντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων κατά τη σύνθεση του χώρου. Τέλος, τα σχεδιαστικά συμπεράσματα συγκροτούνται σε έναν ολοκληρωμένο και λειτουργικά διαρθρωμένο πίνακα, με στόχο αφενός την διευκόλυνση της μελλοντικής αξιοποίησης των ευρημάτων, αφετέρου την δημιουργία ενός συστηματοποιημένου τεύχους, χρήσιμου για ερευνητές και επαγγελματίες του κλάδου.

### Κιρκάδιο Ρυθμοί – Circadian Rhythm

Οι Κιρκάδιοι Ρυθμοί είναι οι φυσικές, νοητικές και συμπεριφορικές αλλαγές που βιώνει ένας οργανισμός κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου κύκλου. Το φως και το σκοτάδι έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στους κιρκάδιους ρυθμούς, αλλά η πρόσληψη τροφής, το στρες, η σωματική δραστηριότητα, το κοινωνικό περιβάλλον και η θερμοκρασία, τους επηρεάζουν επίσης. Τα περισσότερα έμβια όντα έχουν κιρκάδιους ρυθμούς, συμπεριλαμβανομένων των ζώων, των φυτών και των μικροοργανισμών. Στον άνθρωπο, σχεδόν κάθε ιστός και όργανο έχει τον δικό του κιρκάδιο ρυθμό και συλλογικά είναι συντονισμένα στον κυκλικό μοτίβο της ημέρας και της νύχτας. (National Institute of General Medical Sciences)

### Φως – Light

Σύμφωνα με τον ορισμό της Διεθνούς Επιτροπής Φωτισμού (CIE) - Πρόκειται για χαρακτηριστικό όλων των αισθήσεων και των αντιλήψεων που αφορούν ειδικά την όραση. Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων και η Κοινότητα Μηχανικών Φωτισμού (ANSI/ IES) ορίζουν το φως ως ενέργεια ακτινοβολίας που είναι ικανή να διεγείρει τον αμφιβληστροειδή χιτώνα και να παράγει οπτική αίσθηση. Το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εκτείνεται από περίπου 380 έως 770 nm. Η έννοια ωστόσο, εναλλάσσεται με αυτή της «οπτικής ακτινοβολίας» (optical radiation), εάν περιορίζεται το πλαίσιο της, στο φυσικό ερέθισμα. Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού, ορίζει την οπτική ακτινοβολία ως, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεταξύ της περιοχής μετάβασης στις ακτίνες X (1 nm) και της περιοχής μετάβασης στα ραδιοκύματα (1 mm). (Houser K, Boyce P, Zeitzer J, Herf M., 2020)

### Φασματική Κατανομή Ισχύος – Spectral Power Distribution (SPD)

Πρόκειται για την ισχύ ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια πηγή φωτός σε κάθε μήκος κύματος ή ζώνη μηκών κύματος στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το SPD υποδεικνύει ποια χρώματα αντιπροσωπεύονται στο εκπεμπόμενο φως - επομένως, επηρεάζει την εμφάνιση και την ποιότητα των χρωμάτων του φωτός. Το SPD του φυσικού φωτός προτιμάται καθώς καλύπτει όλο το φάσμα, συνεπώς, εμφανίζει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων.(Thijs Kruisselbrink, Rajendra Dangol, Alexander Rosemann, 2018)

### ipRGC - Γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς που περιέχουν μελανοψίνη

Τα εγγενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς (ipRGC) ανταποκρίνονται στο φως ανεξάρτητα άλλων φωτοϋποδοχέων. Η ύπαρξη αυτών αν και προβλεπόταν από ποικίλες έρευνες επί πολλές δεκαετίες, δεν είχε τεκμηριωθεί μέχρι που αποδείχθηκε ότι μια νέα φωτοχρωστική ουσία, η μελανοψίνη, παρουσιάζεται στα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς τρωκτικών και πρωτεύοντων. Συνδέονται άμεσα με την ρύθμιση της μελατονίνης στον οργανισμό. (Pickard GE, Sollars PJ.,2012)

### Μονάδα Μέτρησης Lux - Lux Units (lx)

Πρόκειται για μονάδα μέτρησης του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI), που αποδίδει το μέτρο της φωτεινότητας, δηλαδή της ποσότητας του φωτός που φτάνει στους οφθαλμικούς φωτοϋποδοχείς από μία επιφάνεια. Χρησιμοποιείται με σκοπό να αποδώσει το επίπεδο της έντασης του φωτός σε εσωτερικά και εξωτερικά περιβάλλοντα.(Illuminating Engineering Society)

$$lx = \frac{lumen}{m^2}$$

Καθαρός Νυχτερινός Ουρανός	0.01 lx
Χώρος Καθιστικού	~50 lx
Χώρος γραφείου	300-500 lx
Ημερήσιο φως σε σκιασμένη επιφάνεια	10.000-25.000 lx
Ημερήσιο	32.000-100.000 lx

**Μονάδα Μέτρησης Lumen - Lumen Unit (lm)**

Είναι μονάδα μέτρησης του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI), που αποδίδει το μέτρο του ορατού φωτός, που εκπέμπεται ανά δευτερόλεπτο προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο τύπος που αποδίδει την μονάδα του lumen είναι (Illuminating Engineering Society):

$$Lumen = Candela * Steradian$$

- Candela (cd) - Luminous intensity: Η ένταση του φωτισμού σε μία κατεύθυνση.
- Steradian (sr) - Solid Angle: Ορίζει τις κατευθύνσεις εκπομπής ακτινοβολίας στον τρισδιάστατο χώρο.

**Μελανοτοπική Απόδοση (M):**

Παρουσιάζει την επίδραση των μη οπτικών ιδιοτήτων του φωτός στον κιρκάδιο ρυθμό, μέσω της ακτινοβολίας που φτάνει στους φωτοϋποδοχείς ipRGC.

**Φωτοπική Απόδοση (P)**

Παρουσιάζει την επίδραση των οπτικών ιδιοτήτων του φωτός, μέσω της ακτινοβολίας που φτάνει στους κωνικούς φωτοϋποδοχείς. Η μονάδα μέτρησης τους είναι Lux.

**Μελανοτοπική Αναλογία - Melanotopic Ratio (R)**

Μέτρηση που εκφράζει τη μελανοτοπική αποτελεσματικότητα (δηλαδή τη διέγερση των εγγενώς φωτοευαίσθητων γαγγλιακών κυττάρων του αμφιβληστροειδούς που περιέχουν μελανοψίνη ή ipRGCs) σε σχέση με τη φωτοπική απόδοση.

Οι υψηλότερες τιμές M/P (M- Μελανοτοπική αποδοτικότητα φωτισμού / P - Φωτοπική αποδοτικότητα φωτισμού.) υποδηλώνουν μεγαλύτερη δυνατότητα επίδρασης στις κιρκάδιες και νευροφυσιολογικές διεργασίες ανά μονάδα οπτικής φωτεινότητας. Η αναλογία αυτή αντικατοπτρίζει πόσο μη οπτικό δυναμικό έχει μια φωτεινή πηγή σε σχέση με την οπτική της φωτεινότητα. Επιτρέπει στους ερευνητές και τους επαγγελματίες του φωτισμού να συγκρίνουν και να ποσοτικοποιούν την επίδραση του φωτός στα φυσιολογικά συστήματα (όπως ο ύπνος, η καταστολή της μελατονίνης ή η εγρήγορση) ανά μονάδα φωτός που γίνεται αντιληπτή στο μάτι. (Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Foster, R. G. (2014).

**Ισοδύναμο Μελανοτοπικό Lux - Equivalent Melanotopic Lux (EML)**

Η μέτρηση της επίδρασης που έχει το φως στην έκκριση μελατονίνης, γίνεται με την μονάδα Equal Melanotopic Lux (EML) - Ισοδύναμο Μελανοτοπικό Lux. Πρόκειται για το γινόμενο του φωτοπικού φωτισμού σε μονάδες Lux (E) και της μελανοτοπικής αναλογίας - Melanotopic Ratio (R), που αντιπροσωπεύει την αποτελεσματικότητα του φωτισμού στην καταστολή της μελατονίνης. Η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 0,45 και 1,70. (Houser KW and Esposito T (2021), Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Foster, R. G. (2014)).

$$EML = E * R$$

**Μελανοτοπικό Ισοδύναμο Ημερήσιου Φωτισμού - Melanotopic Equivalent Daylight Illuminance (mEDI)**

mEDI είναι η φωτεινότητα του τυπικού ημερήσιου φωτισμού D65 που έχει τόση μελανοπική αποτελεσματικότητα όσο μια πηγή φωτός για δεδομένη φωτεινότητα Ev(lx) που προκαλείται από την ίδια.

**Melanotopic Daylight Efficiency Ratio (MDER) / Λόγος Μελανοτοπικής Απόδοσης Φυσικού Φωτός**

Η τιμή mDER παρέχει μια απλή κλίμακα για να συγκριθεί πόσο αποτελεσματικά είναι τα διάφορα φάσματα φωτισμού στο να οδηγούν σε μη οπτικές (κιρκάδιες) αντιδράσεις σε σχέση με το φυσικό φως της ημέρας. Υπολογίζεται με τον τύπο (Trinh, V.Q.; Bodrogi, P.; Khanh, 2023):

$$mDER = \frac{mEDI}{E_v}$$

- Όταν η τιμή mDER είναι κοντά στην μονάδα, τότε ο φωτισμός παρουσιάζει παρόμοιες μελανοτοπικές επιδράσεις με το φυσικό φως.
- Όταν η τιμή mDER βρίσκεται κάτω από την μονάδα, ο φωτισμός παρουσιάζει μειωμένες μελανοτοπικές επιδράσεις σε σχέση με τον φυσικό φωτισμό.
- Όταν η τιμή mDER είναι μεγαλύτερη της μονάδας, παρουσιάζει αυξημένες μελανοτοπικές επιδράσεις συγκριτικά με τον φυσικό φωτισμό.

**Φωτοπική Κάθετη Φωτεινότητα – Photopic Vertical Illuminance (Ev)**

Ο κερκάδιος φωτισμός συνήθως ποσοτικοποιείται στην πράξη με την τιμή μελανοπικού φωτισμού σε κατακόρυφα επίπεδα, συνήθως σε ύψος 1,2 m πάνω από το δάπεδο του δωματίου. Το ύψος αντιπροσωπεύει το επίπεδο ύψους των ματιών ενός ατόμου σε καθιστική θέση και παραμετροποιείται αναλόγως. (Trinh, V.Q. Bodrogi, P. Khanh, T.Q.,2023, Hraška, J. & Hartman P.,2022).

**Κιρκάδια Δυνατότητα – Circadian Potential (CP)**

Το μέγιστο ποσοστό σε έναν δεδομένο χώρο όπου το φυσικό φως παρέχει ίση ή μεγαλύτερη τιμή από 240 EML.(Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S.,2021)

**Κιρκάδιο Ερέθισμα – Circadian Stimulus (CS)**

Η τιμή του Κιρκάδιου Ερεθίσματος ποσοτικοποιεί την αποδοτικότητα του φωτός στην ενεργοποίηση του κιρκάδιου συστήματος. Η μέτρηση του γίνεται με την έκκριση μελατονίνης μετά από μία ώρα έκθεσης σε φως, με δεδομένη οφθαλμική κόρη διαμέτρου 2,3 χιλιοστών.

Η μέγιστη καταστολή της μελατονίνης που επιτυγχάνεται μετά από 1 ώρα έκθεσης στο φως είναι 0,7, ενώ μια τιμή 0,3 το πρωί είναι επαρκής για την προώθηση της κιρκάδιας εναρμόνισης. Ο τύπος υπολογισμού του είναι:

$$CS = 0.7 - \frac{0.7}{1 + \left(\frac{CL}{355.7}\right)^{1.1026}}$$

**Αυτονομία Κιρκάδιου Ερεθίσματος – Circadian Stimulus Autonomy (CSA)**

Το ποσοστό των ημερών του έτους κατά τις οποίες το Κιρκάδιο Ερέθισμα (CS) είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 0,35 για τουλάχιστον 1 ώρα το πρωί

**Αναλογία Ανοίγματος/Πλήρωσης – Window to Wall Ratio (WWR)**

Η Αναλογία επιφάνειας παραθύρου (Ao) και επιφάνειας τοίχου (Af). Εκφράζεται σε ποσοστό επί τις 100 (%).

$$WWR = \frac{A_o}{A_f} * 100$$

**Σχετική μελανοπική αποτελεσματικότητα – Relative Melanopic Efficacy (RME)**

Εκφράζει πόσο από το λαμβανόμενο φως είναι αποτελεσματικό για την κερκάδια διέγερση σε σχέση με το συνολικό ορατό φως. Υπολογίζεται με τον τύπο:

$$RME = \frac{E_m}{E_v}$$

- Em: Ισοδύναμο Μελανοτοπικό Lux - Equivalent Melanotopic Lux (EML).
- Ev: Φωτοπική Κάθετη Φωτεινότητα – Photopic Vertical Illuminance (Ev)

**Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός Φωτισμού – Human Centric Lighting Design (HCL)**

Σχεδιαστική προσέγγιση που επικεντρώνεται στη σχέση μεταξύ του φωτός και των επιπέδων ευεξίας, όπου οι επιδράσεις στους κιρκάδιους ρυθμούς μπορούν να συσχετιστούν με συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού.( Massimo Di Nicolantonio, Emilio Rossi, Aldo Deli & Antonio Marano (2020))

**Χωρική Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού – Spatial Daylight Autonomy (SDA)**

Το ποσοστό της επιφάνειας, όπου η ελάχιστη τιμή lux (lx), καλύπτεται για ένα χρονικό διάστημα. Μπορεί να συμβολιστεί και με τον παρακάτω τρόπο: Για παράδειγμα, για 150 lx για το 50% του χρόνου χρήσης του χώρου.

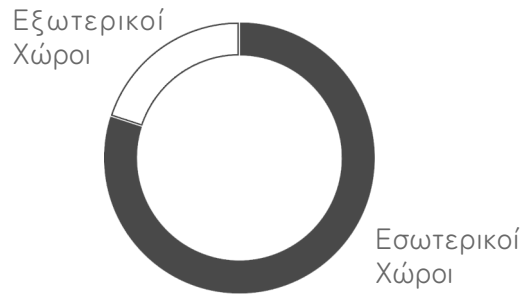
$$SDA_{50\%}^{150}$$

**Ετήσια έκθεση στο ηλιακό φως – Annual Sunlight Exposure (ASE)**

Το ποσοστό της επιφάνειας, όπου η ελάχιστη τιμή lux (lx), καλύπτεται για ένα χρονικό διάστημα. Μπορεί να συμβολιστεί και με τον παρακάτω τρόπο: Για παράδειγμα, για 1000 lx για 250 ώρες ετησίως.

$$ASE_{250}^{1000}$$

Ο έλεγχος και η χρήση του φωτός, είναι ένα θέμα στενά συνδεδεμένο με την αρχιτεκτονική τέχνη και επιστήμη. Ωστόσο, οι Alkhatatbeh B. J. και Asadi S. (2021), αναφέρουν πως ο φωτοκεντρικός σχεδιασμός, δεν υπέκυψε ποτέ σε κάποιους γενικούς κανόνες. Από περιοχή σε περιοχή, η χρήση των ανοιγμάτων ποικίλει ανάλογα με την διαθεσιμότητα υλικών και την ανάγκη για προστασία από τα καιρικά φαινόμενα, ορίζοντας τοπικούς κανόνες σχεδιασμού. Η ανάγκη για ποιοτικό φωτισμό του εσωτερικού χώρου γεννήθηκε με τον σύγχρονο άνθρωπο. Η σχέση της αρχιτεκτονικής φόρμας και της έκθεσης του ανθρώπου με το φως είναι αμφίδρομη. Παράμετροι, όπως είναι η αναλογία ανοίγματος, η χωρική μορφή και άλλες σχεδιαστικές επιλογές, επηρεάζουν την πρόσβαση και την ένταση του φωτός στο κτισμένο περιβάλλον, επηρεάζοντας με την σειρά του και την υγεία του χρήστη. Γίνεται κατανοητό λοιπόν πως η σχέση της μορφής και του κερκάρδιου ρυθμού αποτελεί μείζον θέμα συζήτησης για την αρχιτεκτονική πράξη (Alkhatatbeh, B. J., & Asadi, S., 2021). Πόσω μάλλον όταν μπαίνει στην συνάρτηση το γεγονός ότι ο μέσος σύγχρονος άνθρωπος περνάει το 85% της ζωής του σε εσωτερικούς χώρους (Klepeis, N., Nelson, W., OTT, W. et al, 2001).



Παρουσιάζεται το χρονικό ποσοστό που περνά ο μέσος άνθρωπος κατά την διάρκεια της ζωής του σε εσωτερικούς χώρους, αναλογικά με τον αντίστοιχο χρόνο σε εξωτερικούς χώρους.

## Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός Φωτισμού – Human Centric Lighting Design (HCL)

Σύγχρονες θεωρήσεις θέτουν το σημερινό κτισμένο περιβάλλον, ένα πολύπλοκο οικοσύστημα λειτουργιών, που συνεργάζονται για να διαμορφώσουν την χωρική ανθρώπινη εμπειρία. Συστήματα σκιασμού, θέρμανσης, φωτισμού, εξοικονόμησης ενέργειας και φυσικών πόρων είναι πια μέρος της καθημερινότητας. Ο αρχιτέκτονας, καλείται να ισορροπήσει τον άνθρωπο με την «μηχανή» - την ανθρώπινη εμπειρία με την κτηριακή λειτουργικότητα. Στο έργο «Yes, is more» ο Bjarke Ingels θέτει το ζήτημα της ηδονιστικής βιωσιμότητας και ρωτά: Γιατί ο άνθρωπος πρέπει να στερείται, με

σκοπό το βιώσιμο κτηριακό οικοσύστημα; Η απάντηση που δίνει ερμηνεύει την βιωσιμότητα σαν ευκαιρία στην βελτίωση της ανθρώπινης εμπειρίας. Ο άνθρωπος κατ' αυτή την ερμηνεία ορίζεται το κέντρο του οικοσυστήματος, καθώς όλα τα συστήματα συνεργάζονται για να εμπλουτίσουν την ύπαρξη του στον χώρο. (TEDxEastSalon - Bjarke Ingels - Hedonistic Sustainability)

Το φως αποτελεί κοινό και βασικό συστατικό ενός ανθρώπινου και βιώσιμου οικοσυστήματος. Η συμβολή του φωτός στη 'βιωσιμότητα' δεν περιορίζεται μόνο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή στην παροχή θερμότητας· επεκτείνεται και στην κάλυψη θεμελιωδών βιολογικών αναγκών του ανθρώπου. Η άμεση πρόσβαση στο φυσικό φως συμβάλλει στον κερκάρδιο συγχρονισμό, προάγει την υγεία και ενσωματώνεται λειτουργικά στον κτισμένο χώρο, ο οποίος περιβάλλει τον άνθρωπο κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του. Η ανθρωποκεντρική προσέγγιση στον σχεδιασμό του φωτισμού αποτελεί, άμεση ευθύνη του σχεδιαστή, καθώς αυτός αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον χώρο και στον άνθρωπο. Μόνο ο ίδιος είναι σε θέση να κατανοήσει τις ανάγκες του ανθρώπου σε συσχέτιση με τις απαιτήσεις του χώρου, υπερβαίνοντας την ξεπερασμένη αντίληψη ενός "καλά" φωτισμένου χώρου και προσεγγίζοντας την ουσιαστική απαίτηση για ένα περιβάλλον κατάλληλα σχεδιασμένο ως προς τις πραγματικές του ανάγκες.

Ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός του φωτισμού (Human Centric Lighting Design - HCL), όπως έχει προωθηθεί από την κοινή έρευνα της LightingEurope και της Ένωσης Κατασκευαστών Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Γερμανίας, αποτελεί σχεδιαστική προσέγγιση που έχει ως σκοπό την ζωτική βελτίωση της ανθρώπινης ευημερίας, συγκέντρωσης, ασφάλειας και αποτελεσματικότητας.

Συστήματα λειτουργιών ενός σύγχρονου κτηρίου, όπως παρουσιάστηκαν από τον Bjarke Ingels  
Πηγή:(TEDxEastSalon - Bjarke Ingels)



Ο HCL επικεντρώνεται στην σχέση του φωτός και της ευημερίας, όπου οι επιδράσεις στους κερκάρδιους ρυθμούς μπορούν να συσχετιστούν με συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού. Η επέκταση του προς τους χώρους εργασίας και εκπαίδευσης, αναδεικνύει την ανάγκη για βιολογικά αποδοτικό φωτισμό, καθώς όπως αποδείχθηκε και από μελέτες που θα αναλυθούν παρακάτω, ο κερκάρδιος ρυθμός κατέχει πρωταγωνιστικό ρόλο στα επίπεδα συγκέντρωσης και αποδοτικότητας, βελτιώνοντας με τον συγχρονισμό του τις συνθήκες εργασίας.

Ωστόσο, η χρήση του σήμερα είναι σημείο αντιδράσεων, καθώς γεννούνται αρκετά ερωτήματα, τόσο από την κοινότητα ερευνητών, όσο και από την κοινότητα των σχεδιαστών. Όπως αναφέρουν και οι KW Houser et al. (2020), ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός του φωτισμού, στην ιδανική του κατάσταση, είναι ο φωτισμός που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ένα συγκεκριμένο σύνολο οπτικών, βιολογικών και συμπεριφορικών αντιδράσεων που αναγνωρίζονται ως κατάλληλες για τους χρήστες αυτού του φωτισμού. Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται η εμπορική εκμετάλλευση του όρου, ο οποίος χρησιμοποιείται υπό κερδοσκοπικούς σκοπούς, απογυμνωμένος από το αρχικό του επιστημονικό περιεχόμενο. Στο πλαίσιο αυτό, ο όρος μετατρέπεται σε ένα επιφανειακό σύνθημα, εργαλείο προώθησης προϊόντων φωτισμού, χωρίς ουσιαστική επιστημονική τεκμηρίωση. Οι ίδιοι αναφέρουν πως, η πρακτική αυτή παραπέμπει στον όρο healthwash, (κατά το πρότυπο του greenwash), και περιγράφει την υπερβολική ή παραπλανητική χρήση ισχυρισμών που σχετίζονται με την υγεία, με σκοπό την ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής ενός προϊόντος και την αύξηση της καταναλωτικής του εμπιστοσύνης.

Παράδειγμα είναι προϊόντα φωτισμού που προβάλλονται ως μέσα ενίσχυσης της εγρήγορσης, βελτίωσης του ύπνου ή ενίσχυσης των γνωστικών και ακαδημαϊκών επιδόσεων. Οι επιδράσεις αυτών των προϊόντων, αν και ενδεχομένως υπαρκτές υπό ορισμένες συνθήκες, είναι συνήθως δευτερεύουσες και εξαρτώνται από ένα πλήθος παραγόντων πέραν του φωτισμού. Σε αυτό το σημείο, καθίσταται αναγκαία η ενεργώς συμβολή του σχεδιαστή, ο οποίος λειτουργεί ως ο κρίσιμος μεσολαβητής μεταξύ επιστήμης και εφαρμοσμένης πρακτικής. Ο ρόλος του σχεδιαστή δεν περιορίζεται στη μορφοποίηση του χώρου, αλλά επεκτείνεται στη συνθετική διαχείριση πολύπλοκων πληροφοριών και επιστημονικών δεδομένων, προκειμένου να επιτευχθεί μια λύση που εναρμονίζει τις λειτουργικές, αισθητικές και βιολογικές διαστάσεις του φωτισμού.

Οι αρχιτέκτονες είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για τη λήψη ανάλογων αποφάσεων. Μέσα από την συνειδητή σχεδιαστική διαδικασία, διαμορφώνονται φωτιστικά περιβάλλοντα που είναι όχι μόνο αισθητικά ελκυστικά, αλλά και λειτουργικά προσαρμοσμένα στις ανάγκες των χρηστών. Η επιτυχής σύζευξη μεταξύ σχεδιαστικής ποιότητας και βιολογικής ανταπόκρισης ενισχύει τη συνολική εμπειρία των χρηστών και συμβάλλει στην ευχρηστία και την ευημερία τους εντός του χώρου. Με αυτό τον τρόπο οι KW Houser et al. απαντούν στην κριτική που αντιμετωπίζει το ανθρωποκεντρικός φωτισμός είτε ως ένας ανυπόστατος μύθος είτε, στον αντίποδα, ως μια μορφή «θαυματουργής λύσης» με υπερβολικές προσδοκίες. Αντί για αυτές τις ακραίες ερμηνείες, οι ερευνητές υπογραμμίζουν ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός συνιστά μια στοχευμένη και ρεαλιστική προσέγγιση σχεδιασμού, που βασίζεται στη σταδιακή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ο φωτισμός επιδρά στον άνθρωπο — τόσο σε βιολογικό όσο και σε λειτουργικό επίπεδο. (Houser K, Boyce P, Zeitzer J, Herf M., 2020)

Ο σχεδιαστής καλείται να έχει την απαραίτητη επιστημονική γνώση – ιδίως εκείνη που αφορά τις οπτικές και μη οπτικές επιδράσεις του φωτός στον ανθρώπινο οργανισμό – με σκοπό να συνθέσει χώρο, σύμφωνα με τις βιολογικές ανάγκες του υποκειμένου. Στο πλαίσιο αυτό, ο σχεδιαστής λειτουργεί ως καταλύτης, ενοποιώντας τις τεχνολογικές δυνατότητες με τις



Jean Jacques Dortous de Mairan, 1678 - 1771. Γάλλος Φυσικός. Έργο του Simon Charles Miger  
Πηγή: National Galleries of Scotland Collection



Mimosa Pudica

Η κατανόηση του κιρκάδιου ρυθμού από τους σχεδιαστές συνιστά θεμελιώδη παράγοντα για την αποτελεσματική και ολιστική ενσωμάτωσή του στη σχεδιαστική διαδικασία. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σύνθετο και ευαίσθητο πεδίο, του οποίου η σημερινή επιστημονική κατανόηση έχει διαμορφωθεί μέσα από δεκαετίες συστηματικής παρατήρησης και διεπιστημονικής έρευνας.

Το ερώτημα του βιολογικού ρολογιού, έθεσε για πρώτη φορά ο αστροφυσικός Jean Jaques d'Ortous de Mairan, το έτος 1729, μελετώντας το φυτό *Mimosa Pudica*, στην βασιλική ακαδημία επιστημών. Στο πείραμα του, τοποθέτησε το φυτό σε χώρο χωρίς φωτισμό και έλεγξε την ικανότητα του να συνεχίζει τις ταλαντώσεις στα φύλα του, που φαίνονταν να βασίζονται στον ημερήσιο κύκλο. Το φυτό συνέχιζε τον κύκλο των καθημερινών κινήσεων του φυλλώματος του, ανεξάρτητα της παρουσίας φωτός. Η ιδιότητα αυτή, ανέδειξε πιθανή την ύπαρξη ενός “εσωτερικού” ρολογιού στους ζωντανούς οργανισμούς, που ρυθμίζονταν με την έκθεση στο φως, αλλά λειτουργούσε ανεξάρτητα από αυτό. Λόγω τεχνικών ζητημάτων και τεχνολογικών περιορισμών της εποχής, στο

πείραμα του, δεν μπορούσαν να αποκλειστούν άλλοι παράγοντες, που θα μπορούσαν να μαρτυρούν στο φυτό την ώρα της ημέρας, όπως είναι η θερμοκρασία ή μετεωρολογικά δεδομένα.

Η ορολογία που χρησιμοποιείται σήμερα για να εκφράσει το βιολογικό ρολόι, προέρχεται από την λατινική λέξη *circa-*, που φέρει την έννοια της κυκλικής κίνησης και *-dies* που φέρει αυτή της ημέρας, και ακούει στην ονομασία κιρκάδιος ρυθμός (*Circadian Rhythm*) (Walker, W.H., Walton, J.C., DeVries, A.C. et al., 2020). Ο Seymour Benzer και ο Ronald Konopka, επιδίωξαν να εντοπίσουν τα γονίδια που ρυθμίζουν τον κιρκάδιο ρυθμό,

μελετώντας τη συμπεριφορά της κοινής μύγας των φρούτων (*Drosophila melanogaster*). Μέσα από την έρευνά τους, κατόρθωσαν να αναγνωρίσουν τα γονίδια που επηρεάζουν τον βιολογικό ρυθμό των οργανισμών, θέτοντας τις βάσεις για την κατανόηση των μοριακών μηχανισμών που διέπουν το εσωτερικό ρολόι των ζωντανών όντων. Το εύρημα τους ήταν το γονίδιο *period*. Χρησιμοποιώντας μεταλλαξιγένεση και παρατηρώντας τις διαταραχές στο κιρκάδιο μοτίβο της δραστηριότητας των μυγών, οι ερευνητές εντόπισαν τρεις βασικούς φαινότυπους μεταλλάξεων του γονιδίου *period*: *PERSHORT*, *PERLONG* και *PER0*, οι οποίοι αντίστοιχα επέφεραν επιτάχυνση, επιβράδυνση ή πλήρη απουσία του κιρκάδιου ρυθμού. Η ανακάλυψη αυτή θεωρήθηκε επαναστατική, καθώς απέδειξε για πρώτη φορά ότι η κιρκάδια ρύθμιση έχει γενετική βάση και μπορεί να μελετηθεί μοριακά. (Konopka, R., & Benzer, S. (1971))

Το 2017, η Νομπελική Συνέλευση του Ινστιτούτου Karolinska απένειμε το βραβείο στους Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash και Michael W. Young για την απομόνωση του γονιδίου *period* και την αποκωδικοποίηση της λειτουργίας του. Η έρευνά τους αποκάλυψε ότι η πρωτεΐνη *PER*, που κωδικοποιείται από το συγκεκριμένο γονίδιο, συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια της νύχτας και αποδομείται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτός ο μηχανισμός δημιουργεί έναν ημερήσιο κύκλο που συγχρονίζεται με τον κιρκάδιο ρυθμό του οργανισμού.

Οι ερευνητές Jeffrey Hall και Michael Rosbash υπέθεσαν πως η πρωτεΐνη *PER* εμποδίζει την παραγωγή της, από το γονίδιο *period*, ρυθμίζοντας τα επίπεδά της σε ένα κυκλικό μοτίβο. Ωστόσο, για να μπορέσει η πρωτεΐνη *PER*, που παραγόταν στο κυτταρόπλασμα, να εισέλθει στον πυρήνα του κυττάρου, όπου φυλάσσεται το γενετικό υλικό, έπρεπε να υπάρχει ένας ακόμη μηχανισμός που θα της το επέτρεπε. Σε αυτό το σημείο, ο ερευνητής Michael Young, το 1994, μελέτησε το γονίδιο *timeless* που κωδικοποιούσε την πρωτεΐνη *TIM*. Οι δύο πρωτεΐνες συνδέονταν στο κυτταρόπλασμα και εισέρχονταν στον πυρήνα με σκοπό την παύση παραγωγής από το γονίδιο *period*. Από τον ίδιο ήρθε στο φως ένα ακόμη γονίδιο με το όνομα *doubletime*, που παράγει την πρωτεΐνη *DBT*, η οποία ρυθμίζει τον ρυθμό παραγωγής της πρωτεΐνης *PER*. (Hall, J. C., Rosbash, M., & Young, M. W., 2017)

Ο κιρκάδιος ρυθμός αναπτύσσεται στο ανθρώπινο σώμα μετά τους τέσσερις μήνες ζωής, λόγω της έλλειψης ερεθισμάτων κατά την κύηση. Η

διαφορά στην θερμοκρασία περιβάλλοντος και η αντίληψη του ημερήσιου κύκλου φωτός, μετά την γέννηση σημαίνουν την έναρξη της ανάπτυξης του μηχανισμού. Η μελατονίνη αρχίζει να παράγεται μετά τους πρώτους τρεις μήνες ζωής. Η κορτιζόνη, εμφανίζεται νωρίτερα, κατά τις 8-9 εβδομάδες. (Reddy S, Reddy V, Sharma S.,2025)

Η κατανόηση του κιρκάδιου ρυθμού από τους σχεδιαστές συνιστά θεμελιώδη παράγοντα για την αποτελεσματική και ολιστική ενσωμάτωσή του στη σχεδιαστική διαδικασία. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα σύνθετο και ευαίσθητο πεδίο, του οποίου η σημερινή επιστημονική κατανόηση έχει διαμορφωθεί μέσα από δεκαετίες συστηματικής παρατήρησης και διεπιστημονικής έρευνας.

### **Κιρκάδιος ρυθμός και ανθρώπινη φυσιολογία**

Ο κιρκάδιος ρυθμός συμμετέχει πολύπλευρα στην περίπλοκη φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος. Συνεπώς ένα σωστά ρυθμισμένο βιολογικό ρολόι επηρεάζει την φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος, ανάλογα με την στιγμή της ημέρας. (Hall, J. C., Rosbash, M., & Young, M. W. (2017)

Προ του εικοστού αιώνα κατά τις νυχτερινές ώρες ο μέσος άνθρωπος εκτίθεντο σε 0.1-0.3 Lux σεληνίου φωτός. (Ekirch A. R., 2005, Walker, W.H., Walton, J.C., DeVries, A.C. et al.,2020). Σήμερα, με την ευρεία διάδοση της άμεσης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και του τεχνητού φωτισμού από σταθερές πηγές, αλλά και από κινητές συσκευές (smartphones, tablets, e-readers κ.α), πάνω από το 80% του ανθρώπινου πληθυσμού, επηρεάζεται από νυχτερινή φωτορύπανση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την σχέση που φαίνεται να παρουσιάζει ο κιρκάδιος ρυθμός με παθολογικά και ψυχολογικά ζητήματα, προκαλούν τους ερευνητές για την κατανόηση, των ρυθμιστών και των επιδράσεων του. Πρόκειται για ένα ζήτημα που αναλύεται πιο εντατικά στο πλαίσιο του τεχνητού φωτισμού και της αδιάρρηκτης σχέσης του με την καταστολή της μελατονίνης.(Falchi, F. et al, 2016, Walker, W.H., Walton, J.C., DeVries, A.C. et al.,2020)

Μια σημαντική συζήτηση που βρίσκεται υπό το μικροσκόπιο της ερευνητικής κοινότητας είναι αυτή του κιρκάδιου ρυθμού και των ψυχικών νοσημάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εργαζόμενοι νυχτερινών ωραρίων, που παρουσιάζουν μεγαλύτερες πιθανότητες ανάπτυξης καρκίνου, καρδιαγγειακών και μεταβολικών νοσημάτων. Τα νυχτερινά ωράρια φαίνεται να σχετίζονται και με αυξημένο επιπολασμό των διαταραχών της συμπεριφοράς και των ψυχιατρικών διαταραχών.(Haim, A. & Zubidat, 2015, Bedrosian, T. A. & Nelson, R. J.,2017, Rajaratnam, S. M. & Arendt, 2001)

Η συσχέτιση ψυχικών διαταραχών και κιρκάδιου ρυθμού είναι ευρέως αποδεκτή, από την επιστημονική κοινότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί, η εποχική κατάθλιψη, που προκαλείται από την διατάραξη του κιρκάδιου ρυθμού, κατά τις μέρες πριν και μετά το χειμερινό ηλιοστάσιο, που η διάρκεια του ηλιακού φωτός μειώνεται. (Bedrosian, T. A. & Nelson, R. J., 2017, Walton, J.C., DeVries, A.C. et al.,2020)

Μια μέτα-ανάλυση 11 ερευνών, αποδεικνύει ότι εργαζόμενοι νυχτερινών ωραρίων είναι 40% πιο πιθανό να αναπτύξουν κατάθλιψη αναλογικά με εργαζόμενους πρωινού ωραρίου (Lee, A. et al. , 2017), ενώ ταυτόχρονα δεδομένα κλινικών ερευνών, υποστηρίζουν την σχέση της μείζονας καταθλιπτικής διαταραχής με την διαταραχή του κιρκάδιου ρυθμού. (Rusting, C. L. & Larsen, R. J., 1998) Κλινικές έρευνες παρουσιάζουν ότι η ένταση των συμπτωμάτων κατάθλιψης είναι αναλογική με την απόκλιση του κιρκάδιου ρυθμού, καθώς και ότι ο συγχρονισμός του μπορεί να επιφέρει θετικές συνέπειες προς την αντιμετώπιση τους. (Emens, J., Lewy, A., Kinzie, J. M., Arntz, D. & Rough, J. 2009)

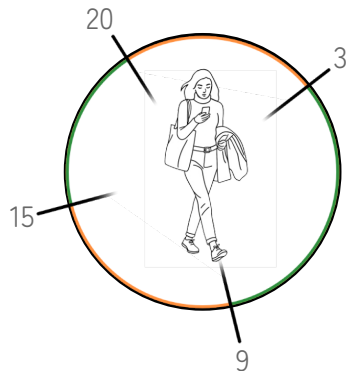
Καθώς ο κιρκάδιος ρυθμός, είναι άμεσα συνδεδεμένος με τα εξωτερικά ερεθίσματα ενός οργανισμού, η διαμόρφωση του ανθρώπινου περιβάλλοντος αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα προς την ρύθμιση του.

## Κιρκάδιος ρυθμός και αποδοτικότητα

Η μελέτη των Porta et al. (2024), συνδέει άμεσα την απόδοση των εργαζομένων με τον κιρκάδιο ρυθμό. Η έρευνα τους βασίστηκε σε ανάλυση περίπου τεσσάρων εκατομμυρίων καταγεγραμμένων αντιδράσεων από 1.437 ελεγκτές ασφάλειας αεροδρομίου, κατά τη διάρκεια ελέγχου αποσκευών με ακτινογραφία. Σε αντίθεση με προηγούμενες εργαστηριακές μελέτες, η παρούσα έρευνα αξιολογεί την απόδοση σε πραγματικά εργασιακά περιβάλλοντα υψηλών απαιτήσεων.

Βασικό στοιχείο της είναι ο κιρκάδιος ρυθμός “του εύρους προσοχής”. Πρόκειται για την διακύμανση του επιπέδου προσοχής σε έναν άνθρωπο, σύμφωνα με τον κιρκάδιο ρυθμό του. Τυπικά ισχύει ότι το επίπεδο προσοχής είναι χαμηλό, για τις τρεις πρώτες ώρες μετά το ξύπνημα, έπειτα κινείται σε μία φάση αιχμής, κατά την οποία παρατηρείται η πρώτη αύξηση των επιπέδων προσοχής του κύκλου. Σε οχτώ με εννέα ώρες από το ξύπνημα παρατηρείται πτώση, η οποία επαναφέρεται μία με έξι ώρες μετά. Η τελική πτώση έρχεται με το τέλος του κύκλου στις δεκαέξι με είκοσι μία ώρες μετά το ξύπνημα. Τα ευρήματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι ο κακώς ρυθμιζόμενος ύπνος μπορεί να οδηγήσει σε ασυγχρόνιστο κιρκάδιο ρυθμό. Μεγάλο ποσοστό των συμμετεχόντων, εκδήλωσε αρνητικά συμπτώματα, που συμπεριλαμβάνουν μειωμένη εργασιακή δραστηριότητα, διακυμάνσεις της διάθεσης, συναισθηματική αστάθεια και άγχος λόγω ανεπαρκούς ή ακανόνιστου ύπνου. Συνολικά, η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της ρύθμισης του ύπνου για τη διατήρηση της εργασιακής απόδοσης και της ψυχολογικής ευεξίας. (Wasfi Dhahir Abid Ali, Semahir S, Hameed and Luay Abdulwahid Shihab, 2023)

Μελέτη του εργαστηρίου Ψυχοφυσιολογίας, του Universidad Aut ónoma de Nuevo Le ón ερευνήσε το κατά πόσον οι διάφορες συνιστώσες της προσοχής - συγκεκριμένα η τονική εγρήγορση, η φασική εγρήγορση, η επιλεκτική προσοχή και η επαγρύπνηση - υπόκεινται σε κιρκάδιο ρυθμό.



Κυκλικό διάγραμμα επιπέδου προσοχής. Παρουσιάζεται ο ημερήσιος κιρκάδιος ρυθμός των επιπέδων προσοχής αναλογικά με τις ώρες μετά το ξύπνημα. Με πράσινο υποδεικνύονται οι ώρες αύξησης και με πορτοκαλί οι ώρες πτώσης.

Προηγούμενες έρευνες είχαν καταδείξει επιδράσεις της ώρας σε ημερήσιο κύκλο πάνω σε διάφορα γνωστικά καθήκοντα, που συχνά συνδέονταν με φυσιολογικούς ρυθμούς όπως η θερμοκρασία του σώματος. Ωστόσο, παρέμενε ασαφές αν αυτές οι επιδράσεις εφαρμόζονταν ομοιόμορφα σε όλες τις πτυχές της προσοχής. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ένα πρωτόκολλο σταθερής ρουτίνας, ελέγχοντας εξωτερικούς παράγοντες όπως το φως, η πρόσληψη τροφής και το επίπεδο δραστηριότητας, για να απομονώσουν τις κιρκάδιες επιδράσεις από τις σχετικές με την κόπωση (ομοιοστατικές) επιδράσεις. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας ο κιρκάδιος ρυθμός επηρεάζει τα ακόλουθα συγκεκριμένα συστατικά της προσοχής:

- 1. Τονική εγρήγορση** - η γενική ετοιμότητα του ατόμου να ανταποκριθεί σε ερεθίσματα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό το βασικό επίπεδο εγρήγορσης βρέθηκε να μεταβάλλεται ανάλογα με τον κιρκάδιο κύκλο, ανεξάρτητα από τις επιδράσεις της κόπωσης.
- 2. Φασική εγρήγορση** - η ενισχυμένη ανταπόκριση σε ένα ερέθισμα μετά από ένα προειδοποιητικό σήμα. Η μελέτη παρατήρησε κιρκάδιες διακυμάνσεις στην απόδοση που σχετίζονται με αυτό το είδος εγρήγορσης, υποδεικνύοντας ότι η ικανότητα να γίνεται κανείς προσωρινά πιο προσεκτικός ως απάντηση σε ενδείξεις διαμορφώνεται ρυθμικά.
- 3. Επιλεκτική προσοχή** - η ικανότητα εστίασης σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα. Αυτή η διαδικασία παρουσίασε επίσης κιρκάδια ρυθμικότητα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ώρα της ημέρας επηρεάζει το πόσο καλά ένα άτομο μπορεί να φιλτράρει και να ανταποκριθεί στις σχετικές πληροφορίες.
- 4. Επαγρύπνηση** - Η συνεχής προσοχή ή συγκέντρωση με την πάροδο του χρόνου. Δεν παρουσίασε κιρκάδια διακύμανση. Αντίθετα, σχετιζόταν περισσότερο με ομοιοστατικές διαδικασίες, όπως η συσσώρευση κόπωσης κατά τη διάρκεια παρατεταμένης εγρήγορσης (Valdez P., 2019).

Έτσι, ο κιρκάδιος ρυθμός επηρεάζει πρωτίστως τις βραχυπρόθεσμες, καθοδηγούμενες από ερεθίσματα διαδικασίες προσοχής (τονική φασική εγρήγορση και επιλεκτική προσοχή), παρά τη μακροπρόθεσμη συγκέντρωση ή επαγρύπνηση (Pablo Valdez, Candelaria Ramírez, Aída García, Javier Talamantes, Pablo Armijo & Jorge Borrani, 2005).

Ωστόσο, η συζήτηση δεν περιορίζεται στις ώρες εργασίας, αλλά σε κάθε στιγμή της καθημερινότητας. Η ένταση του φωτός σε ένα αστικό δρόμο κυμαίνεται από 5-15 Lux, ένας τυπικός χώρος διημέρευσης μπορεί να φτάσει τιμές από 100 έως 300 Lux, ενώ η μέση οθόνη εκπέμπει ~40 Lux ανάλογα με το μέγεθος της. Η έκθεση στο φως, όταν είναι συνεχής και σε ασυγχρόνιστη με τους βιολογικούς και συμπεριφορικούς ρυθμούς, οδηγεί σε αρνητικές συνέπειες για την υγεία. Συγκρίνοντας αυτές τις τιμές, με τα 0.1-0.3 lux έντασης φωτός, κατά τις βραδινές ώρες, που λάμβανε ο άνθρωπος πριν την διάδοση του τεχνητού φωτισμού, γίνεται κατανοητό πως οι φωτιστικές απαιτήσεις της σύγχρονης ζωής αποτελούν σοβαρό ζήτημα δημόσιας υγείας, καθώς συμβάλλουν στην διαταραχή του κιρκάδιου ρυθμού. (Rajaratnam, S. M. & Arendt, J., 2001, Walker, W.H., Walton, J.C., DeVries, A.C. et al., 2020)

### Το Φως ως Ρυθμιστής του Κιρκάδιου Ρυθμού

Ο βασικός παράγοντας που ρυθμίζει τον κιρκάδιο ρυθμό στον ανθρώπινο οργανισμό είναι το φως. Μέχρι προσφάτως η έρευνα περί των ιδιοτήτων του φωτός κινούνταν γύρω από τα οπτικά του χαρακτηριστικά, όπως είναι το μήκος κύματος, που ορίζει τον χρωματισμό του. Με την ανακάλυψη των ipRGC φωτοϋποδοχών, έγινε αντιληπτό ότι η επίδραση του φωτός στην ανθρώπινη φυσιολογία δεν κινείται παράλληλα με τις οπτικές ιδιότητες του. Ο όρος «μελανοπικό» αναφέρεται στην επίδραση του φωτός στα ενδογενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς (ipRGCs) και προέρχεται από τη «μελανοψίνη», τη φωτοχρωστική ουσία που αυτά περιέχουν. Η μελανοψίνη απορροφά το φως όταν ο αμφιβληστροειδής εκτίθεται σε φωτεινά ερεθίσματα, ενεργοποιώντας τα ipRGCs, τα οποία στη συνέχεια στέλνουν νευρικά σήματα στον υπερχιασματικό πυρήνα (SCN) —τον κύριο βιολογικό ρολόι του εγκεφάλου— ώστε να ρυθμιστεί η έκκριση της μελατονίνης. Η μέτρηση της επίδρασης που έχει το φως στην έκκριση μελατονίνης, γίνεται με την μονάδα Equal Melanotopic Lux (EML) - Ισοδύναμο Μελανοτοπικό Lux. Πρόκειται για το γινόμενο του φωτοπικού φωτισμού σε μονάδες Lux (E) και της μελανοτοπικής αναλογίας - Melanotopic Ratio (R), που αντιπροσωπεύει την αποτελεσματικότητα του φωτισμού στην καταστολή της μελατονίνης, όπου κυμαίνεται μεταξύ τιμών 0,45 και 1,70.

$$EML = E * R$$

Πηγές φωτός με υψηλότερη θερμοκρασία χρώματος αποδίδουν υψηλότερη τιμή R και, συνεπώς, υψηλότερη τιμή EML. Η μέτρηση EML βοηθά στην σύγκριση της κιρκάδιας επίδρασης των πηγών φωτός που έχουν το ίδιο οπτικό αποτέλεσμα. Η χρήση τους γίνεται και από το Ινστιτούτο WELL, που θα αναλυθεί περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι Rea et al. (2012) υποστήριξαν ότι όλοι οι γνωστοί φωτοϋποδοχείς, συμπεριλαμβανομένων των ipRGCs, συμμετέχουν στην κιρκάδια φωτομεταγωγή. Συνεπώς, το μοντέλο EML δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται μεμονωμένα για την έκφραση της κιρκάδια επίδρασης του φωτισμού. Ένα ακόμη ζήτημα αποτελεί το γεγονός πως η μέτρηση EML δεν συμμορφώνεται με το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI). Για τους παραπάνω λόγους η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού όρισε την τιμή mel-EDI - ισοδύναμος ημερήσιος φωτισμός, σε μονάδα μέτρησης lx.

$$EML = melEDI * 1.103$$

Η τιμή mel-EDI εκφράζει την ποσότητα φυσικού φωτός που παρέχεται σε ένα σημείο, αναλογικά με μία πηγή ορισμένη σαν σημείο αναφοράς. Για παράδειγμα, τιμή 150lx, ορίζει πως η πηγή φωτός που μετράται, παρέχει την ίδια ποσότητα φωτός, που παράγει μελανοψίνη, όπως 150lx φυσικού φωτός στα 6500 Kelvin. Συγκεκριμένα υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή φωτοπικού φωτισμού με τον Μελανοτοπικό λόγο απόδοσης ημερήσιου φωτός - EDI με τιμές που κυμαίνονται από 0.40 έως 1.60.

### Τεχνητός φωτισμός και κιρκάδιος ρυθμός

Όπως προαναφέρθηκε, ο μέσος άνθρωπος περνάει περίπου το 85% της ζωής του σε εσωτερικούς χώρους και για αυτό τον λόγο ο τεχνητός φωτισμός αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία όχι μόνο για την οπτική άνεση, αλλά και για τη ρύθμιση των βιολογικών λειτουργιών του ανθρώπου. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον ρόλο του φωτός στον συγχρονισμό του κιρκάδιου ρυθμού, ο οποίος επηρεάζει τον ύπνο, τη θερμοκρασία σώματος, την παραγωγή μελατονίνης και άλλες κρίσιμες φυσιολογικές διεργασίες. Η κατανόηση των διαφορών μεταξύ φυσικού και τεχνητού φωτός κρίνεται απαραίτητη για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό φωτισμού σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

Με την χρήση τεχνητού φωτός, δίνεται η ικανότητα επαρκούς φωτισμού σε ολόκληρη την κάλυψη ενός εργασιακού χώρου, φροντίζοντας για τον

συγχρονισμό του κιρκάδιου ρυθμού των εργαζομένων. Ωστόσο μία τυπική πηγή φωτισμού, δεν επαρκεί για την σωστή λειτουργία του κιρκάδιου ρυθμού. Αν θέσουμε μία πηγή 1055 lumen, καθώς πρόκειται για μία αρκετά συνηθής τιμή στην αγορά, η οποία παρέχει 90 μούρες φωτισμού, μπορεί να προσφέρει έως και 144 lux καλύπτοντας μία περιοχή 7.3 τετραγωνικών μέτρων. Πρόκειται για μία αρκετά μεγάλη διαφορά αναλογικά με τα 2000 με 10.000 lux που προσφέρει το φυσικό φως. (Rea, Mark & Figueiro, Mariana & Bullough, John., 2002)

Ένα ακόμη σημείο που παρουσιάζει διαφορά ανάμεσα στο φυσικό και τεχνητό φωτισμό είναι η φασματική σύνθεση. Συγκεκριμένα, αυτή παρατηρείται στην φασματική κατανομή ισχύος (Spectral Power Distribution - SPD). Το φυσικό φως παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές σχετικής ενέργειας σε όλα τα μήκη κύματος που το συνθέτουν, αντίθετα τεχνίτες πηγές φωτός παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες τιμές σε όλα τα μήκη κύματος εκτός από κάποια σημεία τα οποία παρουσιάζουν κορυφώσεις που ξεπερνούν και το φυσικό φως.

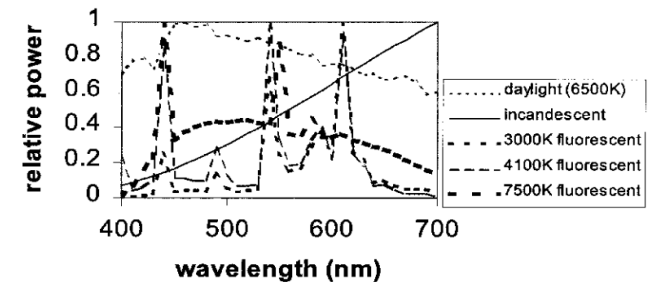
Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι κατασκευαστές πηγών τεχνητού φωτός καταγράφουν τα δεδομένα SPD μέσω της συνάρτησης φωτοπικής απόδοσης - Vλ, η οποία βασίζεται στην φασματική ευαισθησία ενός μικρού μέρους των φωτοϋποδοχών του ματιού. Το γεγονός αυτό, οδηγεί στο συμπέρασμα, πως δεν είναι κατανοητές οι επιδράσεις του τεχνητού φωτισμού στον κιρκάδιο ρυθμό αναλογικά με αυτές του φυσικού φωτός. Κάθε συνδυασμός έντασης και σχετικού χρωματισμού πηγών φωτισμού, προσφέρει διαφορετικά αποτελέσματα.

Ωστόσο είναι ξεκάθαρα αντιληπτή η επίδραση του τεχνητού φωτισμού στη καταστολή της νυχτερινής μελατονίνης. Αρκετές μελέτες, ερευνώντας ποικιλία συνθηκών φωτισμού, συμφωνήσαν στο γεγονός αυτό. Οι Brainard et al. (2001), υποστηρίζουν, πως η μέτρηση της ακτινοβολίας που δέχεται ο ανθρώπινος οφθαλμός, αποτελεί μία πρακτική μέτρηση της επίδρασης του στον κιρκάδιο ρυθμό.

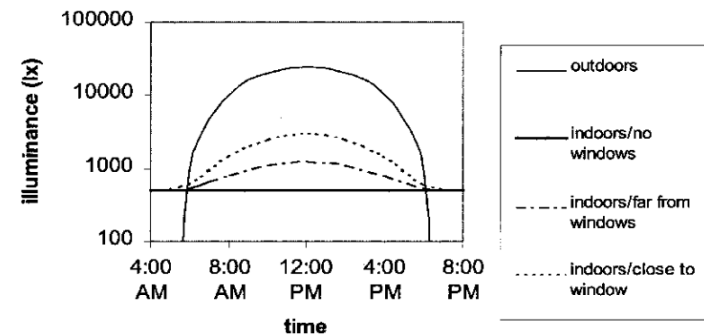
Μέρος της ίδιας μελέτης είναι και ο χρονισμός του κιρκάδιου ρυθμού. Με την ρύθμιση του τεχνητού φωτισμού, δίνεται στους σχεδιαστές η δυνατότητα να μετατοπιστεί η κιρκάδια δραστηριότητα. Παρατηρήθηκε πως αν υπάρξει έκθεση σε έντονο φως πριν την ελάχιστη θερμοκρασία σώματος (η οποία παρουσιάζεται κατά το δεύτερο μισό της νύχτας), παρουσιάζεται και μία φασική καθυστέρηση στο θερμοκρασιακό ανθρώπινο μοτίβο. Αντίθετα αν η έκθεση γίνει μετά την ελάχιστη θερμοκρασία σώματος παρατηρείται φασική

εργήγορη. Για να επιτευχθεί μετατόπιση της φάσης, ωστόσο, απαιτείται προσεκτικός έλεγχος της έκθεσης στο φως καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου κύκλου ημέρας-νύχτας, καθώς οι επαναλαμβανόμενοι παλμοί φωτός ενδέχεται να δρουν είτε ανταγωνιστικά είτε συμπληρωματικά στις μετατοπίσεις του κιρκάδιου ρυθμού.

Η χρήση τεχνητού φωτισμού είναι ένα καίριο θέμα μελέτης, καθώς χωρίς να είναι άμεσα γνωστές οι ιδιότητες κάθε τεχνητής πηγής, απαιτούνται πολλαπλάσιες τιμές έντασης για να καλυφθούν οι κιρκάδιες ανάγκες, γεγονός που επιβαρύνει τον αρχιτεκτονικό και οικονομικό σχεδιασμό ενός έργου.



Διάγραμμα SPD πηγών τεχνητού φωτισμού αναλογικά με φυσικό φως D65



Διάγραμμα έντασης φυσικού φωτισμού

Πηγή: Rea M, Figueiro M, Bullough J. Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research & Technology*. 2002;34(3):177-187

# ΤΟ ΧΩΡΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΟΥ ΚΙΡΚΑΔΙΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

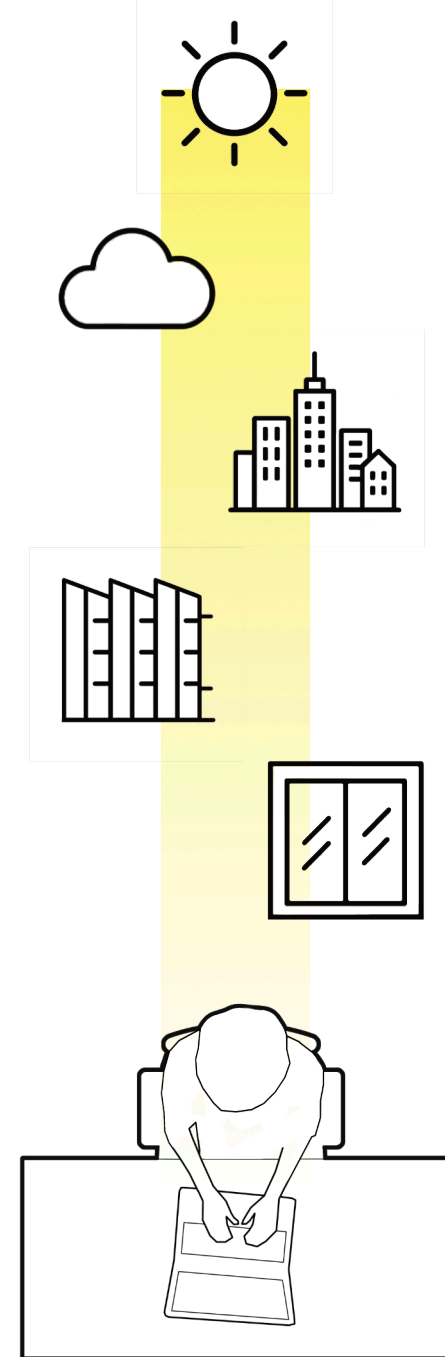
Θεοδώρου Αντώνιος Ταξιάρχης | 2025  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών  
Πολυτεχνείο Κρήτης

Ο φυσικός και τεχνητός φωτισμός αποτελεί κρίσιμο στοιχείο του δομημένου περιβάλλοντος, καθώς επηρεάζει όχι μόνο την οπτική άνεση και τη λειτουργικότητα των εσωτερικών χώρων, αλλά και την ψυχολογία και ευεξία των χρηστών. Η μελέτη και ο σχεδιασμός του φωτισμού δεν περιορίζονται σε τεχνικές παραμέτρους, αλλά εντάσσονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που συνδέει την αρχιτεκτονική, την τεχνολογία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τη μελέτη Hraska (2015), καθίσταται ιδιαίτερης σημασίας η συστηματική κατηγοριοποίηση των χωρικών παραγόντων που επηρεάζουν τον εσωτερικό φωτισμό, καθώς και η διεπιστημονική και συνεργατική προσέγγισή τους. Μόνο μέσω αυτής της ολιστικής θεώρησης μπορεί να επιτευχθεί η εις βάθος κατανόηση της δυναμικής τους και της επίδρασής τους στην ποιότητα του φωτιστικού περιβάλλοντος. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες χαρακτηριστικών, που επιδρούν στον φωτισμό εσωτερικών χώρων: τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Η αλληλεπίδραση αυτών των παραγόντων δεν είναι γραμμική αλλά πολυεπίπεδη, και απαιτεί μια ενιαία, πολυπαραγοντική προσέγγιση, προκειμένου ο φωτισμός να εξυπηρετεί τόσο τις βιολογικές και ψυχολογικές ανάγκες των χρηστών όσο και τις λειτουργικές και αισθητικές απαιτήσεις του χώρου. (Bellia, L., & Fragliasso, F., 2021)

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Αστικές Παράμετροι	Ιδιότητες Ανοιγμάτων	Υλικά & Χρωματισμοί
	Εσωτερική Διαμόρφωση	Συστήματα Σκίασης
Κλιματολογικά Χαρακτηριστικά	Διαμόρφωση Επιφανειών Εργασίας	Τεχνητός Φωτισμός

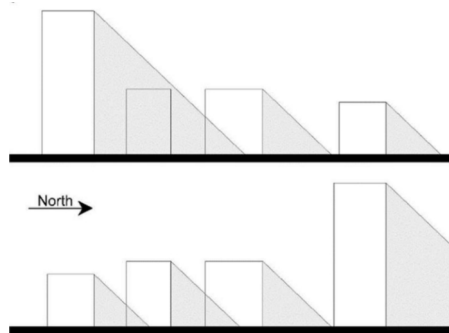
Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός και Data-Driven Design:  
Βελτιστοποίηση Εργασιακών Περιβαλλόντων μέσω Κιρκάδιου Φωτισμού



## Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και Κιρκάδιο Δυναμικό

Τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος χώρου ενός κτηρίου διαμορφώνουν καθοριστικά τη συνολική πρόσβασή του στο φυσικό φως. Αποτελούν το αρχικό στάδιο της μελέτης φωτισμού, καθώς καθορίζουν κρίσιμες παραμέτρους όπως ο προσανατολισμός, τα υπάρχοντα δομημένα εμπόδια που περιορίζουν την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και την ποιότητα και ένταση του φυσικού φωτός που εισέρχεται στον χώρο.

Η αστική κλίμακα, επηρεάζει άμεσα την ένταση, το εύρος και τα χρονικά μοτίβα του φωτός, καθώς ορίζει την θέση, τον προσανατολισμό και την γειτονική γεωμετρία του κτηρίου. Η πρόσβαση στο φως είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ύψος και την απόσταση του αστικού ιστού, ενώ ο προσανατολισμός ορίζει την σύνθεση του φωτός, καθώς οι ποιότητες του διαφέρουν από την ανατολή έως την δύση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι στο βόρειο ημισφαίριο, η τοποθέτηση υψηλών κτηρίων στον νότο, θέτει ζητήματα στην παροχή φυσικού φωτισμού στα βορειότερα κτήρια του αστικού ιστού.

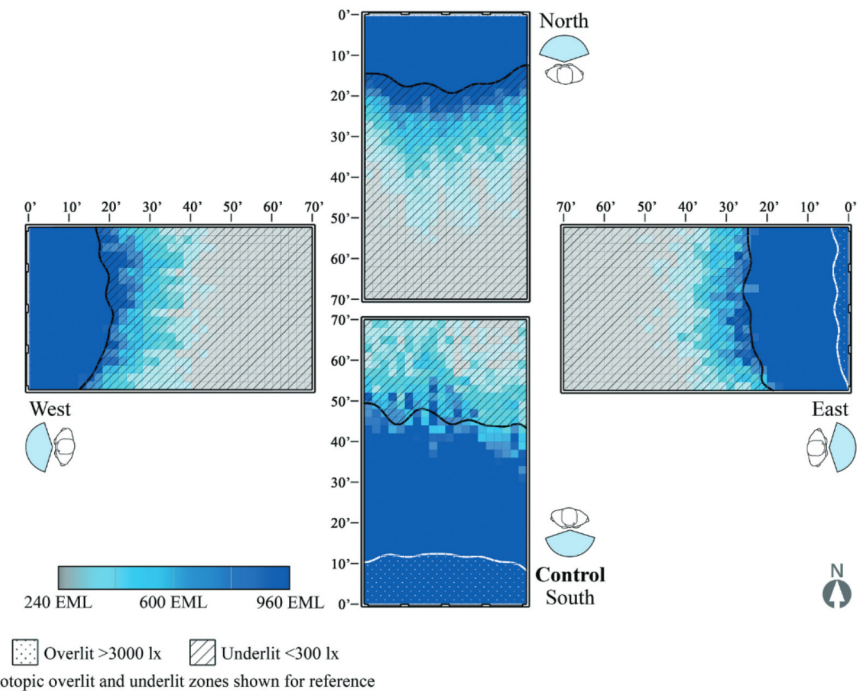


Διάγραμμα που παρουσιάζει το πως η σχέση ύψους και προσανατολισμού επηρεάζει την πρόσβαση του στικού ιστού σε φυσικό φωτισμό

Πηγή: Alkhatatbeh, B. J., & Asadi, S. (2021). Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings.

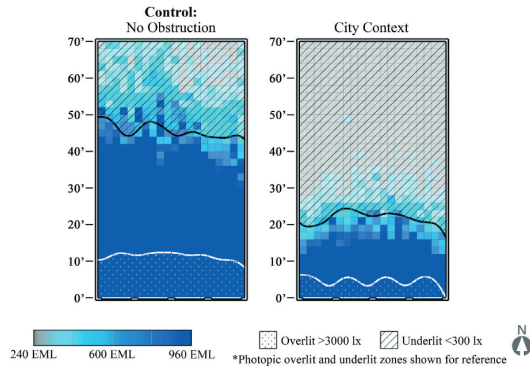
Σε μελέτη τους, οι Vaz και Inanici (2020) εξέτασαν τη συμπεριφορά του φυσικού φωτισμού σε ένα υποθετικό μοντέλο κτιρίου γραφείων, τοποθετημένο στην περιοχή του Seattle, στην πολιτεία της Washington. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε υπό δύο διαφορετικά σενάρια: αφενός χωρίς τη συνυπολογισμένη επίδραση του αστικού περιβάλλοντος (urban context) και αφετέρου με την παρουσία του, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση των γύρω κτισμάτων στη διάχυση του φωτός στο εσωτερικό του κτιρίου.

Στην απουσία του αστικού περιβάλλοντος, το φυσικό φως διεισδύει σε βάθος έως και 15 μέτρα στο εσωτερικό των χώρων. Αντιθέτως, όταν συνυπολογίστηκαν οι σκιές και οι αποκλεισμοί φωτός που προκαλούνται από τα γειτονικά κτίρια, η διάχυση περιορίστηκε σημαντικά, φτάνοντας μόλις τα 6 μέτρα. Παράλληλα, το λειτουργικό βάθος του χώρου μειώθηκε από τα 21,3 μέτρα στα 9,1 μέτρα.



Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Φωτισμού σε μονάδες EML. Παρουσιάζουν την διάχυση λειτουργικού φωτός σε χώρο ανάλογα με τον προσανατολισμό του, όταν ο χρήστης είναι στραμένος προς το άνοιγμα.

Πηγή: Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design

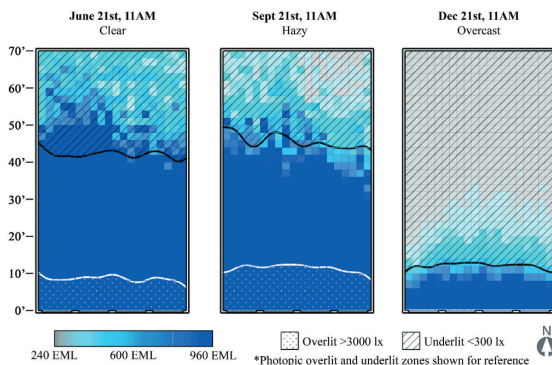


Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Φωτισμού σε μονάδες EML. Παρουσιάζουν την διάχυση λειτουργικού φωτός σε χώρο με και χωρίς το αστικό σκεύεμα.

Πηγή: Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design

Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον εύρημα της μελέτης αφορά τη μεταβολή του λεγόμενου Circadian Potential (CP), δηλαδή του κιρκάδιου δυναμικού. Παρότι η μείωση του φωτισμού λόγω του αστικού περιβάλλοντος αναμενόταν να περιορίσει το CP, η ανάλυση έδειξε το αντίθετο για τους αισθητήρες που δεν βρίσκονταν σε άμεση οπτική επαφή με το άνοιγμα (παράθυρο): παρατηρήθηκε αύξηση της τάξης του 129%. Το φαινόμενο αυτό αποδόθηκε στις ενισχυμένες εσωτερικές ανακλάσεις φωτός, οι οποίες ενίσχυσαν την ένταση και την κατανομή του φωτός σε περιοχές χωρίς άμεση πρόσβαση στη φυσική πηγή.

Τα αποτελέσματα αυτά τονίζουν τη σημασία της ενσωμάτωσης παραμέτρων του αστικού περιβάλλοντος στις προσομοιώσεις φωτισμού, καθώς και την πολυπλοκότητα των χωρικών αλληλεπιδράσεων που επηρεάζουν τις βιολογικές παραμέτρους φωτισμού. (Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici, 2021)



Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Φωτισμού σε μονάδες EML. Παρουσιάζουν την διάχυση λειτουργικού φωτός σε χώρο σε διαφορετικά ποσοστά νέφωσης

Πηγή: Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design

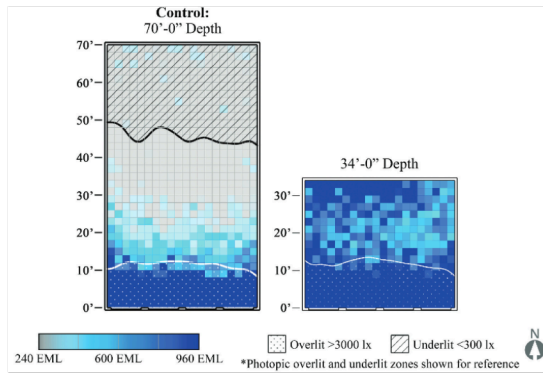
Μία ακόμη παράμετρος που επηρεάζει το ζήτημα του φυσικού φωτισμού είναι ο επικρατέστερος ουράνιος τύπος, που διαιρείται σε τρεις κατηγορίες, βάσει στο ποσοστό νέφους. Για 0%-30% κάλυψη από νέφος, ο ουρανός θεωρείται καθαρός, χωρίς τον ηλιακό παράγοντα που μεταβάλλεται μέσα στον χρόνο, προσφέρει αναλογία στην κατανομή φωτεινότητας 1:3 zenith to horizon. Ο μερικώς νεφώδης ουρανός ορίζεται από 40% έως 70%, ενώ συνεφιασμένος ορίζεται από 80%-100%, όπου η κατανομή της φωτεινότητας έχει την αναλογία 3:1 zenith to horizon.

Η τυποποίηση αυτή, κατέχει σημαντικό ρόλο, στην επιλογή τοποθέτησης του ανοίγματος. Συγκρίνοντας ανοίγματα ίδιου μεγέθους σε διαφορετικές τοποθετήσεις πάνω σε όψη, παρατηρείται και διαφορετική κατανομή φωτός στον εσωτερικό χώρο. Ένα άνοιγμα τοποθετημένο σε χαμηλότερο ύψος θα επιτρέψει καλύτερο φωτισμό σε καθαρό ουρανό, ενώ το αντίστοιχο άνοιγμα σε υψηλότερο ύψος θα επιτρέψει καλύτερο φωτισμό σε συνεφιασμένο ουρανό. (Alkhatatbeh, B. J., & Asadi, S., 2021)

### Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και Κιρκάδιο Δυναμικό

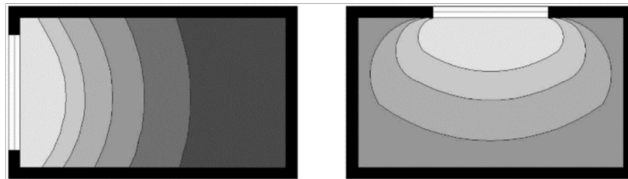
Η αξιοποίηση του φυσικού φωτός αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στον σχεδιασμό κτηριακών κελυφών με στόχο τη βελτίωση της οπτικής άνεσης και την υποστήριξη του ανθρώπινου κιρκάδιου ρυθμού. Παράγοντες όπως η εσωτερική διαμόρφωση χώρων, οι διαστάσεις και η τοποθέτηση των ανοιγμάτων, καθώς και η σχέση τους με τον χρήστη και τον περιβάλλοντα χώρο, επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα, την ένταση και την κατανομή του φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους. Σύγχρονες μελέτες και προσομοιώσεις επιβεβαιώνουν ότι οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν σημαντικά δείκτες όπως το Circadian Stimulus (CS), το Circadian Stimulus Autonomy (CSA) και το Equivalent Melanopic Lux (EML), οδηγώντας στην ανάπτυξη νέων σχεδιαστικών προσεγγίσεων που ενισχύουν την ευεξία και τον κιρκάδιο συγχρονισμό των χρηστών.

Ο φυσικός φωτισμός, ο οποίος εισέρχεται μέσω ανοιγμάτων, παρουσιάζει σημαντική μείωση της έντασής του όταν η απόσταση που διανύει υπερβαίνει το ύψος του ανώτερου σημείου του ανοίγματος. Οι Vaz και Inanici (2020) παρατηρούν πως η μείωση του χωρικού βάθους μπορεί να πολλαπλασιάζει την τιμή του Circadian Stimulus (CS), αντισταθμίζοντας αυτό το φαινόμενο. Με αυτό τον τρόπο, σαν συνέχεια της μελέτης τους με το αστικό σκεύεμα που αναφέρθηκε πιο πάνω, κατάφεραν να αυξήσουν το λειτουργικό βάθος του χώρου.



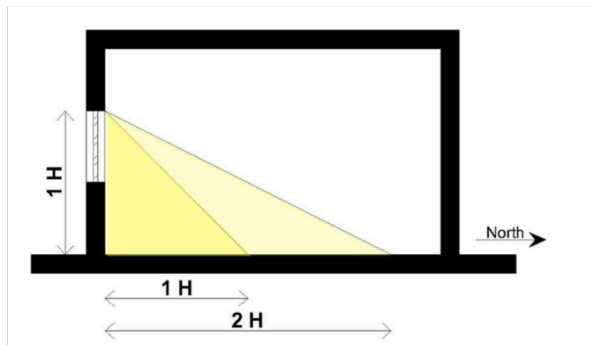
Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Φωτισμού σε μονάδες EML. Παρουσιάζουν την διάχυση λειτουργικού φωτός αναλογικά με το χωρικό βάθος

Πηγή: Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design



Διάγραμμα διάχυσης φωτός σε χώρους μεγάλου και μικρού χωρικού βάθους.  
Πηγή: Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S. Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. Energies 2021, 14, 6731.

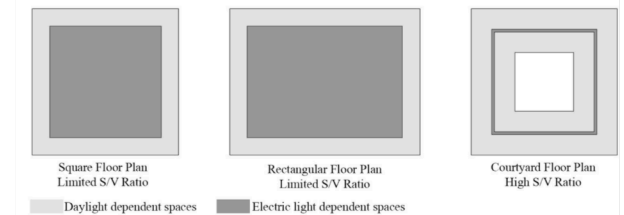
Ταυτόχρονα έχει επικρατήσει ως γενικός κανόνας η διαίρεση του φωτιζόμενου χώρου σε δύο διακριτές ζώνες: μία ζώνη έντονης φωτεινότητας και μία δεύτερη με μειωμένη ένταση φωτεινότητας. Σε σχετική μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την επαλήθευση της εν λόγω υπόθεσης, διαπιστώθηκε ότι η πρώτη ζώνη εκτείνεται έως απόσταση ίση με το ύψος του ανοίγματος, ενώ η δεύτερη εκτείνεται έως και δυόμισι φορές αυτό το ύψος. (Reinhart, C., 2005)



Διάγραμμα ζωνών φωτισμού  
Πηγή: Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S. Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. Energies 2021, 14, 6731.

Όπως αναφέρεται και στην έρευνα των Alkhatatbeh B.J και Asadi S (2021)- Οι χώροι με καλό φυσικό φωτισμό απαιτούν σχέδια με μικρό βάθος, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την ανάγκη μεγιστοποίησης της ωφέλιμης επιφάνειας. Ο διμερής πλευρικός φωτισμός αποτελεί μια κατάλληλη λύση για την επίλυση αυτού του ζητήματος. Ιδανική λύση αποτελούν οι χώροι που αρθρώνονται γύρω από αίθριο, με μικρό χωρικό βάθος με σκοπό την μεγιστοποίηση της επιφάνειας που έχει πρόσβαση σε φυσικό φως

Διάγραμμα εξάρτησης χώρου σε φυσικό και τεχνητό φωτισμό.  
Πηγή: Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S. Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. Energies 2021, 14, 6731.



Προσομοιώσεις δείχνουν, πως η απόσταση και ο προσανατολισμός του χρήστη, σε σχέση με κάθε άνοιγμα, αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την μεγιστοποίηση του Κιρκάδιου Δυναμικού (Circadian Potential). Στην εξίσωση αυτή, φαίνεται πως συμμετέχουν και το ύψος θέασης του χρήστη, καθώς και οι χωρικές αναλογίες του περιβάλλοντος του. Οι Vaz and Inanici, πειραματίστηκαν σε μοντέλα στην περιοχή του Seattle, Washington με διαφοροποίηση προσανατολισμού. Τα ανοίγματα με προσανατολισμό τον βορά παρουσίασαν 23% μείωση στο Κιρκάδιο Δυναμικό, ενώ τα ανατολικά και δυτικά παρουσίασαν μείωση της τάξης του 16%, με μέτρο σύγκρισης αυτό του νότιου προσανατολισμού, που παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές. Τα ανοίγματα, τα συστήματα σκίασης, επηρεάζουν άμεσα την διάχυση του φωτός σε ένα χώρο, άρα και το Κιρκάδιο Δυναμικό του. (Vaz, N.A., Inanici M., 2020)

Βασική αρχή αποτελεί το γεγονός ότι μεγαλύτερα ανοίγματα βοηθούν στην ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού. Σε μελέτη που έγινε σε νοσοκομεία και εκπαιδευτικούς χώρους, αποδείχθηκε πως η αναλογία παραθύρου και ανοίγματος (WWR), επηρεάζει άμεσα την μέτρηση Circadian Stimulus (CS). Συγκεκριμένα, η αναλογία 60% παρουσιάζει αύξηση του CS κατά 15%, ενώ η αναλογία 45% παρουσιάζει αύξηση κατά 14%, σε σύγκριση με την τιμή που αντιστοιχεί σε άνοιγμα με WWR 30%. Ωστόσο η σχέση WWR και CS δεν είναι γραμμική, φαίνεται να μεγιστοποιείται στην αναλογία ανοίγματος τοίχου 60%. Μεγαλύτερα ποσοστά δεν παρουσίασαν σημαντική αύξηση CS. (Acosta, I., Leslie, R., Figueiro M., 2019)

Μία ακόμη μελέτη, προσομοίωσε τα αποτελέσματα που έχουν αναλογίες τοίχου-ανοίγματος (WWR) στην τιμή Circadian Stimulus Autonomy (CSA)/ Αυτονομία κερκάδιου ερεθίσματος, η οποία ορίζεται ως το ποσοστό των ημερών του έτους κατά τις οποίες το Κερκάδιο Ερέθισμα (CS) είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 0,35 για τουλάχιστον 1 ώρα το πρωί. Η μελέτη έγινε σε αναλογίες WWR 10%, 20%, 30%, 40%, 60%, και 80%. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι WWR μεγαλύτερα του 60% δεν εμφανίζουν μεγαλύτερα πλεονεκτήματα, επομένως δεν υπάρχει σημαντικό κέρδος από μεγάλα ανοίγματα στο κέλυφος του κτηρίου. WWR μεγαλύτερα του 40%, επιτρέπουν την ομοιόμορφη κατανομή του CS. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, είναι η μόνη αναλογία που εμφανίζει γραμμική συνάρτηση αναλογικά με την απόσταση του χρήστη από το άνοιγμα. (Acosta, I.; Leslie, R.; Figureiro, M., 2016)

Μελέτη που σύγκρινε την επίδραση που είχαν WWRs 20%, 30% και 40% στο Circadian Stimulus, έδειξε πως το η αναλογία 40% μεγιστοποίησε τα τετραγωνικά που το CS είχε τιμή άνω του 0,35 κατά 50%, σε σχέση με την περιοχή που κάλυπτε η αναλογία του 30%.(Carrasco, M.T.A.; Amarillo, S.D.; Acosta, I.; Sendra, J.J., 2021)

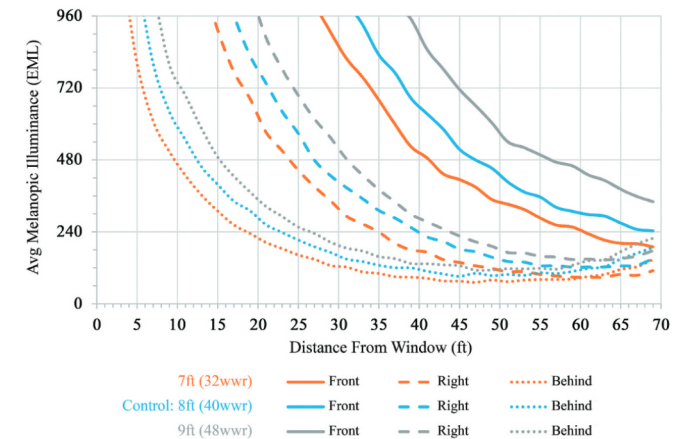
Σημαντικό χαρακτηριστικό των ανοιγμάτων είναι η τοποθέτησή τους, με τρόπο που επιτρέπει την θέαση πάνω από τον ορίζοντα, καθώς επιτρέπει την διοχέτευση περισσότερου φωτός εντός του χώρου. Ιδανική λύση αποτελούν τα ανοίγματα οροφής καθώς βλέπουν αποκλειστικά στο ουράνιο ημισφαίριο. Το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο έντονο σε περιοχές με συχνή ηλιοφάνεια. (Al-Sallal, 2016.)

Καλή πρακτική στον σχεδιασμό χώρων με βάση τον φυσικό φωτισμό αποτελεί η μέτρηση να γίνεται στο επίπεδο εργασίας του χρήστη. Σε ένα κτήριο γραφείων για παράδειγμα, θα ήταν στο ύψος των 60 με 130 εκατοστών, αναλόγως του ύψους των γραφείων, ενώ αντίστοιχα σε ένα σχολείο, θα βρίσκονταν στο ύψος των 40 με 60 εκατοστών. Κοινό κανόνα αποτελεί η πρακτική της αναλογίας του μέγιστου ύψους ανοίγματος με την απόσταση από το άνοιγμα. Επομένως, για την μέτρηση του ιδανικού φωτισμού στο ύψος των 80 εκατοστών, ο χρήστης πρέπει να σε βρίσκεται απόσταση 2H, αν θεωρήσουμε H την απόσταση του μέγιστου ύψους του ανοίγματος από το επίπεδο εργασίας.(Allen E, Iano J., 2017, Wiley., Grondzik WT, Kwok AG, 2019)

Ο προσανατολισμός του χρήστη ως προς το άνοιγμα, είναι μία ακόμη παράμετρος της μελέτης. Σε χώρο τοποθετήθηκαν αισθητήρες προσανατολισμένοι προς(Νότια), αντίθετα(Βόρεια) και παράλληλα(Δυτικά-

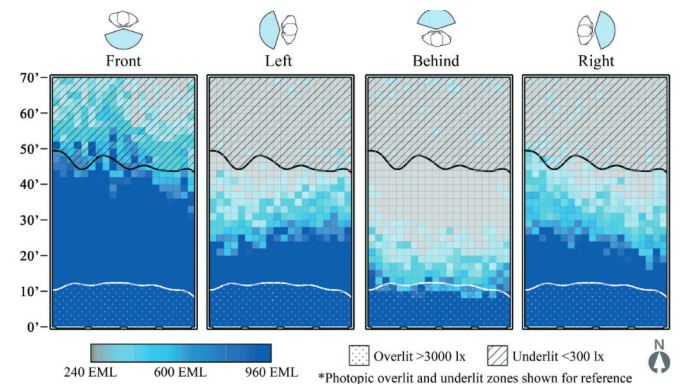
Ανατολικά) αναλογικά με την θέση του ανοίγματος. Το αποτέλεσμα ήταν η δραστική μείωση στο βάθος του χώρου όπου η τιμή EML είναι επαρκής (>240 EML), όταν ο χρήστης είχε πίσω του το άνοιγμα. Αντίθετα όταν βρίσκονταν αντιμέτωπος με αυτό, το βάθος του χώρου που η τιμή ήταν επαρκής άγγιζε τα 15m. Στον δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό του χρήστη το βάθος του χώρου που η τιμή ήταν ιδανική έφτανε τα 12m. (Vaz N.A., Inanici M., 2020)

Διάγραμμα EML προς οριζόντια απόσταση από άνοιγμα σε διάφορες οπτικές κατευθύνσεις  
Πηγή:Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design



Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Φωτισμού σε μονάδες EML. Παρουσιάζουν την διάχυση λειτουργικού φωτός σε χώρο αναλογικά με τις οπτικές κατευθύνσεις του χρήστη.

Πηγή:Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design



## Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

Τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά ενός χώρου, όπως οι τύποι υαλοπινάκων, οι χρωματισμοί των επιφανειών και τα συστήματα σκίασης, επηρεάζουν καθοριστικά την ποιότητα και το κιρκάδιο δυναμικό του φυσικού φωτισμού. Η ορθή επιλογή υλικών με φασματικά ουδέτερα χαρακτηριστικά και κατάλληλους χρωματισμούς μπορεί να ενισχύσει τη μελανοπική φωτεινότητα και να βελτιώσει τη βιολογική συγχρονιστικότητα των χρηστών, ενώ ακατάλληλες επιλογές ενδέχεται να την περιορίσουν.

Η μελέτη των Potočnik and Košir (2020), αποτελεί μία εις βάθος έρευνα για την αξιολόγηση της επιρροής των διαφόρων τύπων υαλοπινάκων και χρωμάτων τοίχων στο μη οπτικό δυναμικό ημερήσιο φως σε ένα τυπικό περιβάλλον γραφείου. Το πείραμα συνδύασε επιτόπιες μετρήσεις με τη χρήση ενός μοντέλου φυσικής κλίμακας (1:5) και πολυφασματικές προσομοιώσεις για να αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο οι διάφορες επιλογές υλικών επηρεάζουν τον κιρκάδιο αποτελεσματικό φωτισμό.

Το μοντέλο γραφείου είχε διαστάσεις 3,0 m επί 4,0 m με ύψος 2,6 m και διέθετε ένα παράθυρο με βόρειο προσανατολισμό (1,4 m επί 0,9 m, WWR 64.29%). Δοκιμάστηκαν επτά τύποι υαλοπινάκων, συμπεριλαμβανομένων φασματικά ουδέτερων διαφανών υαλοπινάκων, επιστρώσεων χαμηλής εκπομπής (low-e), τριπλών υαλοπινάκων low-e και υαλοπινάκων ηλιακού ελέγχου με χάλκινες και μπλε αποχρώσεις. Επιπλέον, αξιολογήθηκαν έξι ομάδες χρωμάτων τοίχου (μπλε, πράσινο, γκρι, πορτοκαλί, μοβ και κόκκινο) σε τρία διαφορετικά επίπεδα οπτικής ανάκλασης.

Η ένταση φωτισμού και η φασματική ακτινοβολία καταγράφηκαν με τη χρήση βαθμονομημένων φασματομέτρων και μετρητών lux στη θέση του χρήστη μέσα στο μοντέλο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν υπό ελεγχόμενες συνθήκες καθαρού ουρανού σε διαστήματα 30 δευτερολέπτων για να διασφαλιστεί η συνέπεια και η ακρίβεια. Οι βασικές παράμετροι που αξιολογήθηκαν περιλάμβαναν τη φωτοπική φωτεινότητα (Ev), τη μελανοπική φωτεινότητα (Em), τη σχετική μελανοπική αποτελεσματικότητα (RME), το κιρκάδιο ερέθισμα (CS) και την ισοδύναμη μελανοπική φωτεινότητα (EML).

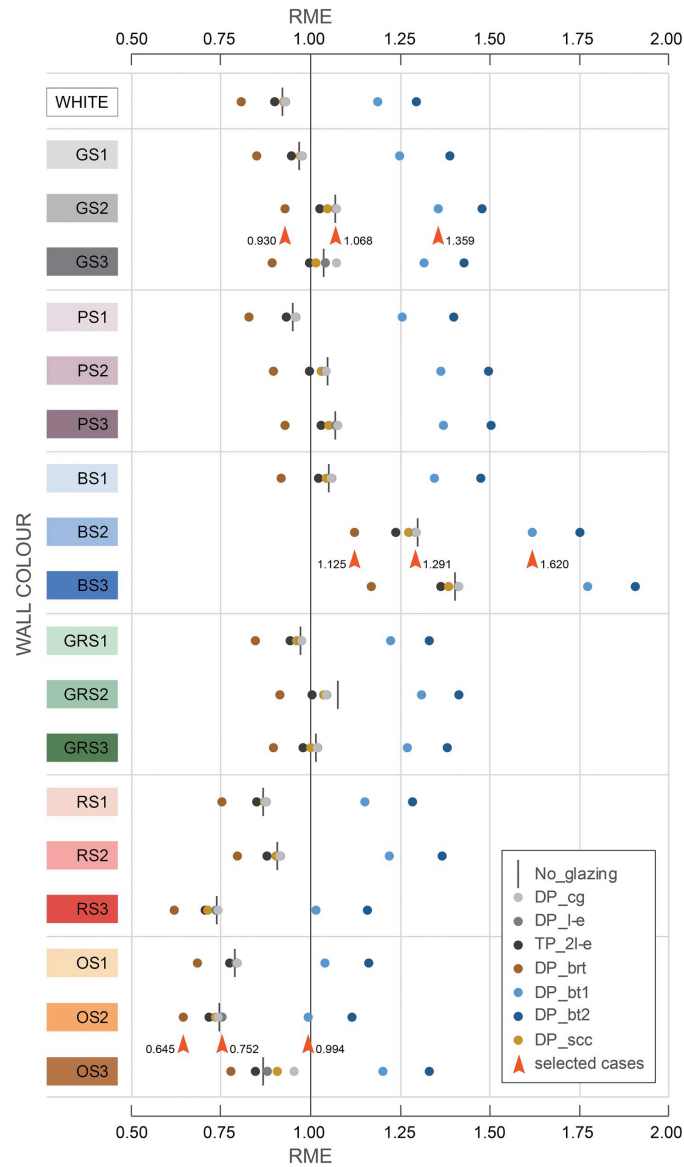
Η μελέτη εφάρμοσε συγκεκριμένα μη οπτικά και οπτικά κριτήρια για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Για τα μη οπτικά κριτήρια, οι ερευνητές θεώρησαν ότι η τιμή Circadian Stimulus (CS) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,3, καθώς το επίπεδο αυτό έχει αναγνωριστεί ότι μειώνει την υπνηλία και αυξάνει την εγρήγορση των εργαζομένων σε γραφεία. Για τα κριτήρια οπτικής

άνεσης, το αποδεκτό εύρος για τον κατακόρυφο κερατοειδικό φωτισμό ορίστηκε σε λιγότερο από 875 lux. Ένα άλλο ανώτερο όριο 2000 lux συμπεριλήφθηκε ως ευρύτερο όριο οπτικής άνεσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι οι υαλοπίνακες μπλε απόχρωσης αύξησαν σημαντικά την RME, ενισχύοντας το κιρκάδιο δυναμικό (CS) του εσωτερικού περιβάλλοντος φωτισμού ημέρας έως και 40,8% σε σύγκριση με την περίπτωση αναφοράς χωρίς υαλοπίνακες. Αντίθετα, οι υαλοπίνακες χάλκινου χρώματος μείωσαν το RME κατά περίπου 12,5%, υποδεικνύοντας μια επιζήμια επίδραση στη μη οπτική έκθεση στο φως της ημέρας.

Τα χρώματα των τοίχων επέδειξαν επίσης σημαντική επίδραση. Οι μπλε αποχρώσεις των τοίχων αύξησαν σταθερά την RME, ιδιαίτερα στους σκούρους τόνους, με βελτιώσεις έως και 35,2% σε σύγκριση με ουδέτερους γκριζούς τοίχους της ίδιας ανακλαστικότητας. Αντίθετα, τα κόκκινα και πορτοκαλί χρώματα τοίχων μείωσαν την RME, με το χαμηλότερο μελανοπικό δυναμικό να παρατηρείται σε σκούρους κόκκινους τοίχους.

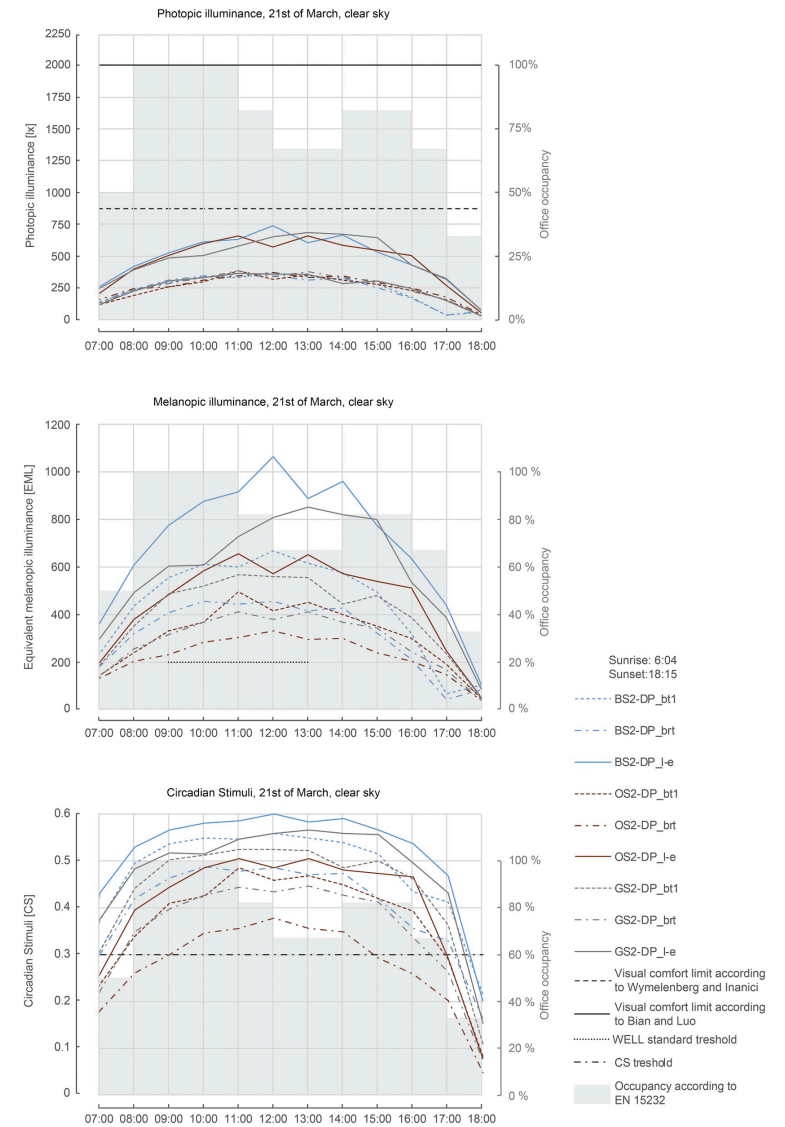
Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι υαλοπίνακες με υψηλή οπτική διαπερατότητα και φασματικά ουδέτερες ιδιότητες είναι βέλτιστοι για την υποστήριξη του κιρκάδιου φωτισμού σε περιβάλλοντα γραφείων. Ενώ οι υαλοπίνακες με αντηλιακή επικάλυψη μπορεί να προσφέρουν θερμικά οφέλη, μπορεί όμως και να επηρεάσουν αρνητικά τον κιρκάδιο φωτισμό, ιδίως όταν συνδυάζονται με χρώματα τοίχων που αντανακλούν λιγότερο μπλε φως. Επιπλέον, η χρωματική επιλογή των εσωτερικών τοίχων μπορεί να ενισχύσει ή να μειώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα του κιρκάδιου φωτισμού, ακόμη και όταν τα επίπεδα οπτικής ανάκλασης παραμένουν σταθερά.

Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν τη σημασία της προσεκτικής εξέτασης τόσο των προδιαγραφών των υαλοπινάκων όσο και των εσωτερικών τελειωμάτων κατά τη φάση του σχεδιασμού για την υποστήριξη της υγείας και της ευημερίας των ενοίκων μέσω της βελτιστοποιημένης έκθεσης στο φως της ημέρας. Η μελέτη υπογράμμισε επίσης ότι τα χρώματα των τοίχων αλλάζουν συχνότερα από τους ενοίκους και τους σχεδιαστές, καθιστώντας την επιλογή των υαλοπινάκων ακόμη πιο κρίσιμη για τη μακροπρόθεσμη απόδοση του κιρκάδιου φωτισμού. (Jaka Potočnik, Mitja Košir, 2020)



Τιμές RME με διαφορετικούς τύπους υαλοπινάκων και χρώματα επιφανειών τοίχων.

Πηγή: Jaka Potočnik, Mitja Košir, Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office, Building and Environment, 2020



Συνθήκες φωτεινότητας στις 21 Μαρτίου υπό συνθήκες καθαρού ουρανού για όλους τους συνδυασμούς επένδυσης τοίχων και υαλοπινάκων που ερευνήθηκαν, όπως προσομοιώθηκαν.

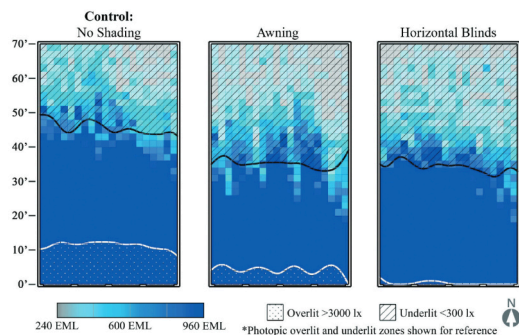
Πηγή: Jaka Potočnik, Mitja Košir, Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office, Building and Environment, 2020

Σε μελέτη, οι Vaz και Inanici, επέλεξαν τέσσερα συστήματα σκίασμού, τα οποία δοκιμάστηκαν σε καλοκαιρινό φως σε δύο ημερομηνίες, 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου στην περιοχή του Seattle της Washington.

Το σύστημα σκίασης δεν φάνηκε να επηρεάζει, σημαντικά την τιμή του Κιρκάδιου Δυναμικού (CP) αναλογικά με τον έλεγχο που έγινε χωρίς σύστημα σκίασης. Η συνεχής προεξοχή παρουσίασε μείωση της τάξης του 6%, ενώ οι οριζόντιες περσίδες της τάξης του 2%. Ωστόσο διαφορετική εικόνα παρουσίασαν οι ιδιότητες του ηλεκτροχρωμικού γυαλιού. Η επιφάνεια με 18% διαπερατότητα φωτός, είχε ως αποτέλεσμα η τιμή του CP να πέσει στο 35%, 58% μείωση αναλογικά με τον έλεγχο χωρίς σύστημα σκίασης, ενώ η επιφάνεια με 6% διαπερατότητα φωτός είχε ως αποτέλεσμα η τιμή του CP να πέσει στο 17%.

Ως εκ τούτου, η προτιμότερη μορφή συστήματος σκίασης είναι αυτή που δεν θα επηρεάσει την ένταση και τον χρωματισμό του φωτός που εισέρχεται στον χώρο.

Μελέτη παρουσιάζει δεδομένα, που υποστηρίζουν πως συστήματα σκίασης μπλε χρωματικών τόνων, έχουν την δυνατότητα να ενισχύσουν την ένταση και την διανομή μελανοπικής φωτεινότητας. Ταυτόχρονα συστήματα σκίασης κόκκινων χρωματικών τόνων, αυξάνουν την φωτοπική ένταση φωτεινότητας, δηλαδή του πόσο έντονα αντανακλάται το φως από μία επιφάνεια. (Altenberg Vaz, N., & Inanici, M., 2020)



Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Φωτισμού σε μονάδες EML. Παρουσιάζουν την διάχυση λειτουργικού φωτός σε χώρο αναλογικά συστήματος σκίασης.

Πηγή: Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design

## Κιρκάδιος ρυθμός σύμφωνα με συστήματα αξιολόγησης

Η αναγνώριση της θετικής επίδρασης του φυσικού φωτός στην ανθρώπινη υγεία και ευεξία έχει οδηγήσει στην ενσωμάτωση σχετικών κριτηρίων στα διεθνή πρότυπα πιστοποίησης αειφόρας βιωσιμότητας.

### Διεθνές Ινστιτούτο WELL Building – International WELL Building Institute

Το International WELL Building Institute™ (IWBI™) είναι μια κοινωφελής εταιρεία (PBC) με έδρα τη Νέα Υόρκη, η οποία δημιουργήθηκε για τη διαχείριση και την προώθηση του προτύπου WELL Building Standard™ σε παγκόσμιο επίπεδο. Ξεκίνησε από την Delos Living LLC και λειτουργεί ανεξάρτητα από τις τυπικές κερδοσκοπικές δομές, δεσμεύοντας την πλειονότητα των κερδών από την πιστοποίησή του σε φιλανθρωπικά ιδρύματα με επίκεντρο την ευεξία και επενδύσεις με αντίκτυπο.



Η πρώτη έκδοση του WELL Building Standard™ εκδόθηκε τον Οκτώβριο του 2014. Πρόκειται για ένα σύστημα βασισμένο στις βιοτικές και κλιματικές επιδόσεις του ανθρωπογενούς χώρου. Αξιολογεί και πιστοποιεί τα δομημένα περιβάλλοντα με βάση τον τρόπο και την ποιότητα με την οποία επηρεάζουν την υγεία των χρηστών, κατηγοριοποιημένα σε έντεκα έννοιες: Αερισμός, Ύδρευση, Έδαφος, Φωτισμός, Κίνηση, Θερμοκρασιακή άνεση, Ηχητική Άνεση, Υλικά, Ψυχική Υγεία, Κοινότητα, Πρωτοπορία. Σκοπός της εργασίας δεν είναι η ανάλυση κάθε κατηγορίας και για αυτό τον λόγο βάση θα δοθεί στην κατηγορία του φωτισμού και συγκεκριμένα στις συνθήκες που αναφέρονται στον Κιρκάδιο Ρυθμό και στις προεκτάσεις του.

Σύμφωνα με την νεότερη έκδοση του WELL Building Standard™, κατά την συγγραφή της ερευνητικής εργασίας, WELL v21, Q2 2025<sup>2</sup>:

<sup>1</sup>Πρόκειται για την δεύτερη ανανεωμένη έκδοση του κανονισμού, η οποία εκδόθηκε το 2020 και όρισε τις νέες κατηγορίες της Ηχητικής Άνεσης, του Υλικού και της Κοινότητας. Ταυτόχρονα έθεσε το σύστημα βαθμολόγησης, με βάση πόντους, που μοιράζονται αν το έργο ακολουθεί τους προτεινόμενους κανονισμούς. Το σύνολο των πόντων κατηγοριοποιεί το έργο σε Χάλκινη, Ασημένια, Χρυσή ή Πλατινένια βαθμίδα.

<sup>2</sup>Q2 Προέρχεται από την λέξη Quarter και αναφέρεται στο δεύτερο τεταρτημόριο του ημερολογιακού έτους, δηλαδή στο διάστημα Απρίλιο με Ιούνιο του έτους 2025

## WELL L01 – Light Exposure – Έκθεση στο Φως

Για την κατηγορία των χώρων εργασίας (και κάθε χώρου εκτός των χώρων ύπνου), δίνονται τέσσερις επιλογές (WELL Building Standard, Q2 2025, International WELL Building Institute):

### 1η Επιλογή

- Spacial Daylight Autonomy στα 150 lx για το 50% του χρόνου χρήσης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 30%

ή

- 200lx (19 fc) για το 30% της επιφάνειας του χώρου, κατά το 50% ωρών φυσικού φωτός για όλο το έτος.

(Footnote: fc: foot-candle, δηλαδή η ένταση του φωτός σε απόσταση ενός ποδιού, αν η πηγή είναι ένα κερί. Χρησιμοποιείται στο Αγγλικό Σύστημα Μέτρησης. 19 fc εκφράζουν σχεδόν την ίδια τιμή με 200 lx)

### 2η Επιλογή

- Τουλάχιστον το 30% των χώρων εργασίας να είναι εντός 6 μέτρων οριζόντιας απόστασης από άνοιγμα. Στους κοινούς χώρους το ποσοστό ανεβαίνει στο 70% εντός 5 μέτρων από άνοιγμα.

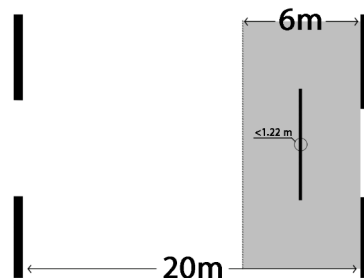
### 3η Επιλογή

- Η αναλογία της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς την επιφάνεια του

$$\frac{S_o}{S_s} * 100 > 7\%$$

### 4η Επιλογή

- Να μην υπάρχουν εμπόδια ψηλότερα από 1.22 μέτρα σε οριζόντια απόσταση εντός 6 μέτρων από άνοιγμα, ενώ η μέγιστη οριζόντια απόσταση ανοιγμάτων είναι τα 20 μέτρα.



## WELL L03 – Circadian Lighting Design – Σχεδιασμός Κιρκάδιου Φωτισμού

Καθώς το φως αποτελεί έναν από τους πιο βασικούς ρυθμιστές του κιρκάδιου ρυθμού, ο κανονισμός λαμβάνει υπ' όψη την ποιότητα και την ποσότητα έκθεσης των οφθαλμών στο φως, μετρώντας στο οριζόντιο επίπεδο τους.

Για τουλάχιστον τέσσερις ώρες σε απόσταση 45 cm πάνω από το επίπεδο εργασίας:

- **1η Βαθμίδα:** Τουλάχιστον 150 EML (136 mel-EDI)

- **2η Βαθμίδα:** Τουλάχιστον 275 EML (250 mel-EDI)

Ωστόσο, δίνεται μία ακόμη επιλογή στην περίπτωση που ο χώρος καλύπτει τις κατηγορίες L05 – Στρατηγικές Φυσικού Φωτισμού και L06 – Προσομοίωση Φυσικού Φωτός:

- **1η Βαθμίδα:** Τουλάχιστον 120 EML (109 mel-EDI)

- **2η Βαθμίδα:** Τουλάχιστον 180 EML (163 mel-EDI)

## LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

Το LEED, αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα αξιολόγησης παγκοσμίως, παρέχοντας ένα πλαίσιο για βιώσιμα, αποδοτικά και υγιή κτίρια σε παγκόσμιο επίπεδο. Αναπτύσσεται από το μη κερδοσκοπικό Συμβούλιο Πράσινων Κτιρίων των ΗΠΑ (USGBC), ενώ η πρώτη εφαρμογή του έγινε το 2000. Έχει εξελιχθεί μέσα από πολλαπλές εκδόσεις. Κατά την συγγραφή της εργασίας σε ισχύς βρίσκεται η έκδοση v4 με την ανανέωση της σε v4.1, ενώ αναμένεται η επερχόμενη LEED v5.



Παρομοίως με το WELL Building Standard<sup>3</sup>, γίνεται χρήση συστήματος αξιολόγησης, με βάση προϋποθέσεις που η εκπλήρωση τους, προσθέτουν πόντους στο σύνολο που ορίζει την βαθμίδα αξιολόγησης. Για τον σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας θα γίνει αναφορά, μόνο στα κεφάλαια του εσωτερικού (LEED v4.1, EQ Credit: Interior Lighting, σελ. 168), και του φυσικού φωτισμού (LEED v4.1, EQ Credit: Daylight, σελ. 168)(U.S. Green Building Council, 2019)

### EQ Credit: Interior Lighting – Εσωτερικός Φωτισμός

Το σύστημα LEED ορίζει ως στρατηγική του, στους κανονισμούς εσωτερικού φωτισμού, την προώθηση της παραγωγικότητας, της άνεσης και της ευεξίας με την παροχή φωτισμού υψηλής ποιότητας. Συγκεκριμένα, όπως έχει ήδη διαπιστωθεί, σημαντικό στοιχείο των εσωτερικών χώρων που επηρεάζει τον κιρκάδιο ρυθμό είναι ο χρωματισμός του φωτισμού. Το σύστημα ορίζει, πως είναι απαραίτητο οι πηγές φωτός, να έχουν συντελεστή CRI<sup>4</sup> τουλάχιστον 90. Ενώ δίνεται η εναλλακτική, ο συντελεστής CFI να είναι μεγαλύτερος από 78 ενώ ο δείκτης gamut να βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 97 και 110, όπως ορίζει και το IES.

Σύμφωνα με το σύστημα κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος της έντασης του φωτισμού από τους χρήστες του χώρου και για αυτό προϋποθέτει την παροχή

της δυνατότητας αυξομείωσης του φωτισμού ή φωτισμό πολλαπλών επιπέδων για το 90% όλων των χώρων που χρησιμοποιούνται τακτικά.

Βάση δίνεται και τις ιδιότητες των επιφανειών του χώρου, καθώς κρίνεται απαραίτητο για το 90% της επιφάνειας των συχνά επισκεπτόμενων χώρων να αποδίδεται, ανακλαστικότητα μεγαλύτερη ή ίση με 80% για τις οροφές και 55% για τους τοίχους. Εάν περιλαμβάνεται στο πεδίο εφαρμογής του έργου, προτείνεται η χρήση φινιρισμάτων επίπλων με ανακλαστικότητα επιφάνειας μεγαλύτερη ή ίση με 45% για τις επιφάνειες εργασίας και 50% για τα κινητά χωρίσματα .

### EQ Credit: Daylight – Φυσικός Φωτισμός

Το σύστημα LEED ορίζει ως στρατηγική του, στους κανονισμούς φυσικού φωτισμού, την σύνδεση του κτιρίου με το εξωτερικό περιβάλλον, την ενίσχυση των κιρκάδιων ρυθμών και την εξοικονόμηση ενέργειας. Για αυτό τον λόγο θέτει σαν βασική προϋπόθεση την παροχή χειροκίνητης ή αυτόματης συσκευής ελέγχου της θάμβωσης για όλους τους χώρους που χρησιμοποιούνται τακτικά. Έπειτα προσφέρει τις παρακάτω επιλογές:

- Επιλογή 1η : Προσομοίωση SDA και ASE

Με την χρήση υπολογιστικών προσομοιώσεων, ζητάται να βρεθεί η μέση τιμή SDA στα 300 lx για το 50% του χρόνου χρήσης, υπό συνθήκη φυσικού φωτισμού άνω των 1000 lx για πάνω από 250 ώρες τον χρόνο (ASE – Annual Sunlight Exposure), σε οριζόντιο επίπεδο 0.8 μέτρων πάνω από το έδαφος. Δίνονται τα παρακάτω τρία επίπεδα:

$$SDA_{50\%}^{300} > 40\% | > 55\% | > 75\%$$

- Επιλογή 2η: Υπολογισμοί φωτισμού μέσω προσομοίωσης

Με την χρήση υπολογιστικών προσομοιώσεων, ζητείται να βρεθεί το ποσοστό της επιφάνειας συχνά επισκέψιμων χώρων, όπου η ένταση του φωτός είναι ανάμεσα σε 300 lx και 3000 lx για τις ώρες 9 π.μ και 3 μ.μ. Πρέπει τουλάχιστον το 55% της επιφάνειας να καλύπτει αυτή την προϋπόθεση, με την ιδανική περίπτωση να είναι το 90%. (Χώροι με αυτόματες συσκευές ελέγχου θάμβωσης που διατηρούν τη θέα των ανοιγμάτων μπορούν να αποδείξουν συμμόρφωση μόνο για το ελάχιστο επίπεδο φωτισμού 300 lux)

<sup>3</sup>Το σύστημα LEED και το WELL Building Standard, μπορούν να λειτουργήσουν συνεργατικά, μεσω των εκδόσεων Crosswalk. Η πιο πρόσφατη έκδοση του, κατά την στιγμή συγγραφής είναι το LEED 5 BD+C and WELL v2 Crosswalk. Σκοπός του είναι, οι παράμετροι που καλύπτονται από το ένα σύστημα να μπορούν να μεταφραστούν σε πόντους αξιολόγησης για το άλλο, προσφέροντας την δυνατότητα διπλής πιστοποίησης.

<sup>4</sup>CRI – Color Rendering Index: Δείκτης Απόδοσης Χρώματος – Ο δείκτης CRI μετράει με πόση ακρίβεια μια πηγή φωτός αποκαλύπτει τα χρώματα των αντικειμένων σε σύγκριση με μια φυσική πηγή φωτός., CFI – Color Fidelity Index: Δείκτης Πιστότητας Χρώματος (Ο δείκτης πιστότητας χρώματος (Rf) αποτελεί μέρος του συστήματος TM-30-15, που αναπτύχθηκε από την Εταιρεία Μηχανικών Φωτισμού (IES), και θεωρείται μια σύγχρονη εναλλακτική λύση του παραδοσιακού δείκτη CRI (Ra).)

- Επιλογή 3η : Μέτρηση Έντασης Φωτισμού

Απαιτείται η μέτρηση της έντασης του φωτός σε κάθε χώρο που δέχεται καθημερινή χρήση. Πρέπει να επιτευχθούν επίπεδα έντασης φωτισμού ανάμεσα σε 300 lx και 3000 lx. Πρέπει τουλάχιστον το 55% της επιφάνειας να καλύπτει αυτή την προϋπόθεση μία φορά στο έτος, με την ιδανική περίπτωση να είναι το 90% για δύο φορές στο έτος. (Χώροι με αυτόματες συσκευές ελέγχου θάμβωσης που διατηρούν τη θέα των ανοιγμάτων μπορούν να αποδείξουν συμμόρφωση μόνο για το ελάχιστο επίπεδο φωτισμού 300 lux)

Τα συστήματα αξιολόγησης απόδοσης, αποτυπώνουν μια ξεκάθαρη ποσοτική αξιολόγηση των αναγκών φωτισμού ενός χώρου εργασίας. Ωστόσο, όπως αποδείχθηκε με τις παραπάνω έρευνες είναι αδύνατο να οριστούν αυτές οι ανάγκες, χωρίς την μελέτη των τριών χωρικών χαρακτηριστικών. Για αυτό τον λόγο προτείνεται, η άμεση συνεργασία τους με τα εργαλεία που παρέχονται στους σχεδιαστές, στοχεύοντας στη πληρέστερη δυνατή κατανόηση των συνθηκών που δημιουργούνται από την χρήση του χώρου.

# ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΙΡΚΑΔΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

Θεοδώρου Αντώνιος Ταξιάρχης | 2025  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών | Πολυτεχνείο Κρήτης

Η προσομοίωση φωτισμού μέσω εξειδικευμένων λογισμικών εργαλείων αποτελεί θεμελιώδες μέσο ανάλυσης και ερμηνείας του κirkάδιου ρυθμού, καθώς και ουσιώδες εργαλείο για τον σχεδιασμό και τη ρύθμιση των χωρικών χαρακτηριστικών, με στόχο την ευθυγράμμιση του δομημένου περιβάλλοντος με τις βιολογικές και λειτουργικές ανάγκες που θέτει ο εκάστοτε σχεδιαστής. Πλήθος πρόσφατων ερευνητικών μελετών, όπως προαναφέρθηκε, βασίστηκαν σε δεδομένα προσομοιώσεων φωτισμού για την εξαγωγή των συμπερασμάτων τους.

Ενδεικτική περίπτωση αποτελεί η έρευνα των Vaz και Inanici (2020), στην οποία το μεγαλύτερο μέρος των ευρημάτων προήλθε από δεδομένα που παρήχθησαν μέσω προσομοιώσεων φωτισμού. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ALFA – Adaptive Lighting For Alertness, που έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία λογισμικού Solemma και λειτουργεί ως πρόσθετο στο λογισμικό Rhino. Το ALFA βασίζεται στη μηχανή φωτισμού Radiance για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών απεικονίσεων του χώρου και για την αξιολόγηση των επιδράσεων του φωτιστικού περιβάλλοντος στον κirkάδιο ρυθμό. Μέσω της προσομοίωσης υπολογίζεται το ισοδύναμο μελανοπικό φως (EML), το οποίο σχετίζεται με τη διέγερση των φωτοϋποδοχέων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού (π.χ. ουράνιος θόλος) όσο και τις ιδιότητες του τεχνητού φωτός.

Επιπλέον, μία ακόμη σημαντική επιλογή στην αγορά αποτελεί το λογισμικό LARK5 – Spectral Lighting, το οποίο επίσης λειτουργεί ως προσθήκη στο περιβάλλον του Grasshopper, που με τη σειρά του αποτελεί επέκταση του Rhino. Το λογισμικό αυτό εξειδικεύεται στην ανάλυση του φάσματος φωτισμού και παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης του φωτισμού σε συνάρτηση με το φάσμα, προσφέροντας περαιτέρω εργαλεία για την αξιολόγηση των επιδράσεων του φωτός στο ανθρώπινο βιολογικό σύστημα. (Jalali, M.S.; Jones, J.R.; Tural, E.; Gibbons, R.B., 2024)

5.Footnote: Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με το ALFA, το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ανοιχτού κώδικα και διατίθεται δωρεάν. Αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το ZGF Architects και το Πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον | [https://github.com/larkspectral/Lark\\_Spectral\\_Lighting](https://github.com/larkspectral/Lark_Spectral_Lighting).

Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός και Data-Driven Design:  
Βελτιστοποίηση Εργασιακών Περιβαλλόντων μέσω Κirkάδιου Φωτισμού

	ALFA	LARK
ΤΥΠΟΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	Μέσω Καταχώρησης Τοποθεσίας και Ώρας	Μέσω αρχείου .erw, για την εισαγωγή κλιματικών δεδομένων
ΦΥΣΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ	Λαμβάνει υπόψη το φάσμα του φυσικού φωτός	Δεν λαμβάνει υπόψη το φάσμα του φυσικού φωτός
ΤΥΠΟΣ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ	81-channel	9-channel
ΥΛΙΚΑ	Παρέχεται βιβλιοθήκη υλικών	Απαιτείται αρχείο κειμένου με τις ιδιότητες του υλικού
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	Σημειακά Αποτελέσματα	Μέσος Όρος Σημειακών Αποτελεσμάτων



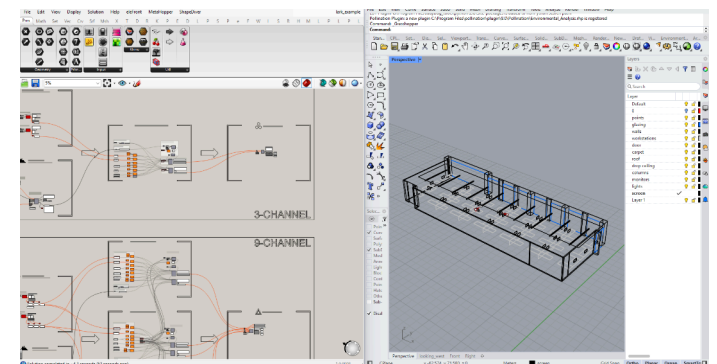
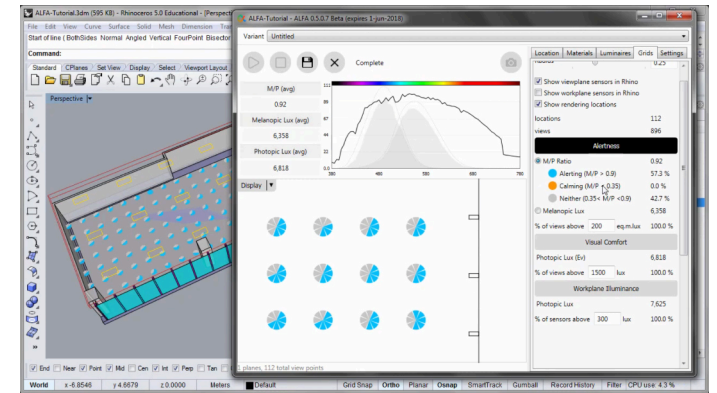
Στιγμιότυπο από το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού ALFA

Πηγή: Βίντεο εκπαίδευσης | <https://www.youtube.com/watch?>



Στιγμιότυπο από το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού ALFA

Πηγή: Υλικό εκπαίδευσης | [https://faculty.washington.edu/inanici/Lark\\_tutorials/Lark\\_tutorials/Lark\\_tutorials.html](https://faculty.washington.edu/inanici/Lark_tutorials/Lark_tutorials/Lark_tutorials.html)



Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναγνωρισθεί, το γεγονός πως, ο κιρκάδιος ρυθμός αποτελεί ακόμη θέμα εξέτασης, τόσο στο επιστημονικό πεδίο της βιολογίας όσο και της αρχιτεκτονικής. Η ρευστότητα του δεν επιτρέπει στους ερευνητές να εκφραστούν με απόλυτη ακεραιότητα και για αυτό κρίνεται απαραίτητη η αναζήτηση νέων δεδομένων από κάθε μέλος της ακαδημαϊκής κοινότητας που απασχολείται με το ζήτημα. Για να γίνει ευκολότερη η ένταξη νέων ερευνητών στην διαδικασία αυτή, κρίνεται απαραίτητη η απλοποίηση των ορολογιών και η σύνθεση ενός κοινού λεξιλογίου, με ακριβείς ορισμούς, που δεν προαπαιτούν, στον βαθμό που είναι δυνατό, τόσους διεπιστημονικούς όρους. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό θα ήταν η σύνθεση μίας δημόσιας βάσης δεδομένων, που θα δίνει την δυνατότητα στους σχεδιαστές να αντλήσουν άμεσα τα απαραίτητα δεδομένα, για τον εύκολο έλεγχο των έργων τους, μέσω προσομοιώσεων, χωρίς να περιορίζεται η συνθετική διαδικασία. Τα συστήματα WELL και LEAD αποτελούν ένα σημαντικό βήμα προς αυτό το στόχο, από την στιγμή που συνεργάζονται με σκοπό την απλοποίηση των κτηριακών απαιτήσεων ώστε να καλυφθούν οι προϋποθέσεις πιστοποίησης.

Ο αρχιτέκτονας κατέχει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση περιβάλλοντων φωτισμού που προάγουν την ανθρώπινη ευεξία και τον κερκάρδιο συγχρονισμό. Μέσα από την ανθρωποκεντρική προσέγγιση, δεν περιορίζεται μόνο σε αισθητικές επιλογές, αλλά καλείται να λειτουργήσει ως μεσολαβητής μεταξύ επιστημονικής γνώσης και εφαρμοσμένης πρακτικής.

Ο κερκάρδιος ρυθμός επηρεάζει καθοριστικά την ανθρώπινη φυσιολογία, διάθεση και γνωστική λειτουργία, ενώ ταυτόχρονα επηρεάζεται από περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όπως η ένταση και η χρονική στιγμή της έκθεσης στο φως. Η διαταραχή του κερκάρδιου ρυθμού –π.χ. λόγω τεχνητού φωτισμού ή ακανόνιστου ύπνου– συνδέεται με προβλήματα υγείας, όπως κατάθλιψη, μειωμένη συγκέντρωση και μεταβολικά ή καρδιαγγειακά νοσήματα. Συνεπώς, η ρύθμιση του, μέσω κατάλληλων συνθηκών φωτισμού, καθίσταται ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη ευεξία.

Οι σχεδιαστικές αποφάσεις, όπως η τοποθέτηση ανοιγμάτων ή η επιλογή τεχνητών πηγών φωτός, επηρεάζουν καθοριστικά αυτές τις βιολογικές και ψυχολογικές επιδράσεις του φωτισμού στον χρήστη. Ως εκ τούτου, η διεπιστημονική κατανόηση καθίσταται απαραίτητη, καθιστώντας ταυτόχρονα τον αρχιτέκτονα υπεύθυνο για τη δημιουργία λειτουργικών και ευεργετικών συνθηκών φωτισμού.

Όταν ο σχεδιαστής καλείται να σχεδιάσει έναν εργασιακό χώρο, κρίνεται απαραίτητη η πολυδιάστατη μελέτη των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την έκθεση του ανθρώπου στο φυσικό και τεχνητό φως. Μέσω τοπικών μετρήσεων – αν πρόκειται για υφιστάμενο χώρο – και ψηφιακών προσομοιώσεων, πρέπει να εξετάσει και να εξάγει δεδομένα, που μπορούν να μεταφραστούν σε χωρικές συνθήκες.

Για την συγκρότηση και διαχείριση των πληροφοριών οι παράγοντες διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες βάσει των ιδιοτήτων τους. Τα Περιβαλλοντικά Χαρακτηριστικά ορίζουν την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που διαχέεται στους εσωτερικούς του χώρους, μελετώντας τα αστικά εμπόδια, τον προσανατολισμό του κτηρίου και τον ουράνιο τύπο. Τα Αρχιτεκτονικά Χαρακτηριστικά ορίζουν τις εσωτερικές συνθήκες φωτισμού και το τρόπο με τον οποίο το φως διαρρέει στους χώρους, αναλογικά με τα στοιχεία χρήσης του. Τα Τεχνολογικά χαρακτηριστικά, ορίζουν την ποιότητα και ποσότητα του φωτός. Λειτουργούν ως μέσο επεξεργασίας του, με σκοπό την

αποτελεσματικότερη επίδραση του στην άνεση χρήσης του χώρου, αλλά και στην επιδραστικότερη ρύθμιση του κερκάρδιου ρυθμού.

Τα Περιβαλλοντικά Χαρακτηριστικά ορίζονται από τον αστικό ιστό, καθώς η μεγάλη δόμηση καθ' ύψος και πυκνότητα περιορίζει σημαντικά την πρόσβαση του κτηρίου σε φυσικό φως, θέτοντας στην εξάρτηση του από τεχνίτες πηγές φωτισμού βαρύτερη, γεγονός που επιβαρύνει τον ανθρώπινο κερκάρδιο ρυθμό, αν δεν έχει προηγηθεί η ανάλογη μελέτη. Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητη και η μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών και ο ορισμός του ουράνιου τύπου, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τον προσανατολισμό της σύνθεσης.

Βασικό στοιχείο των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών είναι η κατάλληλη τοποθέτηση των ανοιγμάτων στο κέλυφος του έργου, καθώς πρόκειται για μία παράμετρο άμεσα συνδεδεμένη με την πρόσβαση του φυσικού φωτός στον χρήστη. Σκοπός είναι, μέσω προσομοιώσεων, να επιτευχθούν οι υψηλότερες δυνατές τιμές EML στους χώρους εργασίας, στοχεύοντας τουλάχιστον σε τιμή μεγαλύτερη των 200 EML, σύμφωνα με το WELL Building Standard. Ιδανική αναλογία επιφάνειας ανοίγματος προς επιφάνεια τοίχου είναι το 40%, καθώς η μείωση του ποσοστού, μειώνει και το δυναμικό του φωτισμού, αλλά ταυτόχρονα η αύξηση του ποσοστού δεν το αυξάνει σημαντικά. Το ύψος του ανοίγματος θα πρέπει να επιτρέπει στον χρήστη από το επίπεδο εργασίας του να βλέπει πάνω από τον ορίζοντα. Για αυτό τον λόγο προτιμώνται ανοίγματα οροφής, όπου είναι δυνατό. Οι χώροι εργασίας που βρίσκονται σε απόσταση έως και δυο φορές το ύψος του άνω άκρου του ανοίγματος, έχουν την δυνατότητα να προσανατολίζονται ελεύθερα, ενώ οι χώροι εργασίας που βρίσκονται άνω των 12 μέτρων από το άνοιγμα θα πρέπει να προσανατολιστούν προς το άνοιγμα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως αυτή η απόφαση πρέπει να ληφθεί σε συνδυασμό με την φωτιστική άνεση κάθε χώρου εργασίας, με σκοπό να απευχθεί η θάμπωση, από το έντονο φυσικό φως κοντά στα ανοίγματα, ειδικά σε απόσταση ίση με το ύψος του άνω άκρου του ανοίγματος. Ένας ακόμη έλεγχος που μπορεί να εφαρμοστεί είναι η τιμή του ποσοστού της επιφάνειας του ανοίγματος, προς την επιφάνεια του φωτισμένου χώρου, όπου σύμφωνα ξανά με το WELL Building Standard, πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 7%.

Η αξία των τεχνολογικών χαρακτηριστικών. Η χρήση υαλοπινάκων με χαμηλή οπτική διαπερατότητα, δεν είναι θεμιτή, καθώς μειώνει σημαντικά το κερκάρδιο δυναμικό. Είναι σημαντική η διατήρηση της Φασματικής Κατανομής Ισχύος (SPD) του φυσικού φωτός, για την ρύθμιση του κερκάρδιου ρυθμού αλλά

και για την οπτική άνεση των εργαζομένων. Προτείνεται η χρήση μπλε χρωματικών τόνων στους τοίχους των εργασιακών χώρων, καθώς με τη αντανάκλαση του φυσικού φωτός, σημειώνεται αύξηση του κερκάρδιου δυναμικού, ιδιαίτερα όταν η ανακλαστικότητα είναι μέτρια προς χαμηλή. Αντίστοιχα οι θερμοί χρωματικοί τόνοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χώρους ανάπαυσης και ψυχαγωγίας.

Σύμφωνα με τον κερκάρδιο κύκλο, προτιμάται μεγαλύτερη ένταση φωτός προς τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες, ενώ το έντονο φως στις πρωινές ώρες εργασίας μπορεί να προκαλέσει κόπωση. Τα συστήματα σκίασης είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για την κατάλληλη ρύθμιση του φωτός, που διαρρέει στους εσωτερικούς χώρους. Συστήματα που δεν επηρεάζουν την ποιότητα του φωτός είναι προτιμότερα, ενώ σε καταστάσεις που το κερκάρδιο δυναμικό είναι αισθητά χαμηλότερο του ιδανικού, ο ψυχρός χρωματισμός τους έχει την δυνατότητα να το αυξήσει. Όπως σημειώθηκε, είναι σημαντικό να μην εμποδίζεται η θέαση προς την επιφάνεια του ουρανού.

Ακολουθώντας αυτές τις οδηγίες δίνεται η δυνατότητα σε κάθε αρχιτέκτονα, να κατανοήσει τις παραμέτρους αλλά και τις προκλήσεις, που θέτει ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός του φωτισμού μέσω της ρύθμισης του κερκάρδιου ρυθμού. Η ολιστική προσέγγιση που απαιτείται, δεν περιορίζεται απλώς στην τοποθέτηση των ανοιγμάτων ή την επιλογή σωμάτων φωτισμού, αλλά επεκτείνεται στην αξιολόγηση του φυσικού και τεχνητού φωτός με εργαλεία προσομοίωσης και μετρήσεις, λαμβάνοντας υπόψη την αστική και αρχιτεκτονική κλίμακα, καθώς και τις ανάγκες των χρηστών. Έτσι, ο αρχιτέκτονας μετατρέπεται σε έναν επιστημονικά ενημερωμένο διαχειριστή του φωτός, που είναι σε θέση να διαμορφώσει συνθήκες ευνοϊκές για την υγεία, την απόδοση και την ευεξία των ανθρώπων.

Η ενσωμάτωση αυτής της γνώσης στην αρχιτεκτονική πράξη δημιουργεί χώρους που ανταποκρίνονται ουσιαστικά στις βιολογικές και ψυχολογικές ανάγκες των χρηστών, διαμορφώνοντας ένα περιβάλλον που ενισχύει τον φυσικό κερκάρδιο ρυθμό και μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις της σύγχρονης ζωής. Ειδικά σε εργασιακά περιβάλλοντα, όπου η έκθεση στο φως είναι κρίσιμος παράγοντας για τη συγκέντρωση, την απόδοση και την υγεία, η ευφυής διαχείριση του φωτισμού αποτελεί βασικό εργαλείο αρχιτεκτονικής παρέμβασης. Συνεπώς, ο φωτισμός παύει να είναι απλώς τεχνική λεπτομέρεια και αναδεικνύεται σε πρωταρχικό συντελεστή σχεδιασμού, που συμβάλλει καθοριστικά στη διαμόρφωση ποιοτικών και βιώσιμων χώρων, βάσει δεδομένων, αντλούμενων ενεργά από την σχεδιαστική διαδικασία.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, ο αρχιτέκτονας καλείται να υιοθετήσει μια προσέγγιση σχεδιασμού βάσει δεδομένων (data-driven design), όπου κάθε απόφαση στηρίζεται σε μετρήσιμα και τεκμηριωμένα στοιχεία. Η ανάλυση τοπικών παραμέτρων φωτισμού, οι ψηφιακές προσομοιώσεις και οι δείκτες κερκάρδιου δυναμικού δεν αποτελούν απλώς υποστηρικτικά εργαλεία, αλλά θεμελιώδεις συνιστώσες της σχεδιαστικής διαδικασίας. Ο φωτισμός μετατρέπεται σε μετρήσιμο πεδίο, όπου η ποιοτική εμπειρία του χρήστη προκύπτει μέσα από την αξιολόγηση μεγεθών όπως η φωτεινότητα, η κατεύθυνση, η χρονική μεταβολή και η φασματική κατανομή. Αυτή η μετατόπιση προς ένα πιο αναλυτικό και τεκμηριωμένο μοντέλο επιτρέπει τη δημιουργία χώρων που δεν βασίζονται μόνο στη διαίσθηση ή την αισθητική, αλλά σε αποδείξιμες χωρικές επιδόσεις που συνδέονται άμεσα με την ανθρώπινη ευεξία και παραγωγικότητα.

**Έρευνες και επιστημονικά άρθρα**

National Institute of General Medical Sciences. (n.d.). Circadian rhythms. U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health. <https://www.nigms.nih.gov/education/fact-sheets/Pages/circadian-rhythms>

Houser K, Boyce P, Zeitzer J, Herf M. Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? *Lighting Research & Technology*. 2020;53(2):97-118. doi:10.1177/1477153520958448

Pickard GE, Sollars PJ. Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*. 2012;162:59-90. doi: 10.1007/112\_2011\_4. PMID: 22160822.

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Foster, R. G. (2014).

Lucas, Robert J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>

Houser KW and Esposito T (2021) Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process. *Front. Neurol*. 12:630553. doi: 10.3389/fneur.2021.630553

Lucas, Robert J. et al., Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>

Trinh, V.Q.; Bodrogi, P.; Khanh, T.Q. Determination and Measurement of Melanopic Equivalent Daylight (D65) Illuminance (mEDI) in the Context of Smart and Integrative Lighting. *Sensors* 2023, 23, 5000. [https:// dx.doi.org/10.3390/s23115000](https://dx.doi.org/10.3390/s23115000)

Hraška, J. & Hartman, P. Assessing Photopic and Melanopic Daylighting Performance of Special Glazing System: A Full-scale Experiments. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 2022, Sciendo, vol. 17 no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.2478/sspjce-2022-0006>

Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S. Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. *Energies* 2021, 14, 6731. <https://doi.org/10.3390/en14206731>

Massimo Di Nicolantonio, Emilio Rossi, Aldo Deli & Antonio Marano (2020) The human centric lighting approach for the design of Age-Friendly products, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 21:6, 753-772, DOI: 10.1080/1463922X.2020.1742400

Thijs Kruisselbrink, Rajendra Dangol, Alexander Rosemann, Photometric measurements of lighting quality: An overview, *Building and Environment*, Volume 138, 2018, Pages 42-52, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.028>

Alkhatatbeh, B. J., & Asadi, S. (2021). Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. *Energies*, 14(20), 6731. <https://doi.org/10.3390/en14206731>

KLEPEIS, N., NELSON, W., OTT, W. et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 11, 231-252 (2001). <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>

Walker, W.H., Walton, J.C., DeVries, A.C. et al. Circadian rhythm disruption and mental health. *Transl Psychiatry* 10, 28 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41398-020-0694-0>

Konopka, R., & Benzer, S. (1971). Clock mutants of *Drosophila melanogaster*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 68(9), 2112-2116. <https://doi.org/10.1073/pnas.68.9.2112>

Reddy S, Reddy V, Sharma S. Physiology, Circadian Rhythm. [Updated 2023 May 1]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519507/>

Hall, J. C., Rosbash, M., & Young, M. W. (2017). The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. The Nobel Assembly at Karolinska Institutet.

Ekirch A. R. *At Day's Close: Night in Times Past* (Norton, New York, NY, 2005)

Haim, A. & Zubidat, A. E. Artificial light at night: Melatonin as a mediator between the environment and epigenome. *Philos. Trans. R. Soc. B* 370, 20140121 (2015)

Bedrosian, T. A. & Nelson, R. J. Timing of light exposure affects mood and brain circuits. *Transl. Psychiatry* 7, e1017 (2017)

Rajaratnam, S. M. & Arendt, J. Health in a 24-h society. *Lancet* 358, 999–1005 (2001)

Lee, A. et al. Night shift work and risk of depression: meta-analysis of observational studies. *J. Korean Med. Sci.* 32, 1091–1096 (2017)

Rusting, C. L. & Larsen, R. J. Diurnal patterns of unpleasant mood: associations with neuroticism, depression, and anxiety. *J. Pers.* 66, 85–103 (1998)

Emens, J., Lewy, A., Kinzie, J. M., Arntz, D. & Rough, J. Circadian misalignment in major depressive disorder. *Psychiatry Res.* 168, 259–261 (2009)

Wasfi Dhahir Abid Ali, Semahir S, Hameed and Luay Abdulwahid Shihab (2023). THE EFFECT OF CIRCADIAN RHYTHM ON JOB PERFORMANCE, *International Journal of Education and Social Science Research (IJESSR)* 6 (4): 302-307 Article No. 822, Sub Id 1282

Valdez P. Circadian Rhythms in Attention. *Yale J Biol Med.* 2019 Mar 25;92(1):81-92. PMID: 30923475; PMCID: PMC6430172

Pablo Valdez, Candelaria Ramírez, Aída García, Javier Talamantes, Pablo Armijo & Jorge Borrani (2005) Circadian rhythms in components of attention, *Biological Rhythm Research*, 36:1-2, 57-65, DOI: 10.1080/09291010400028633

Rea, Mark & Figueiro, Mariana & Bullough, John. (2002). Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research and Technology.* 34. 177-187. 10.1191/1365782802lt0570a

Bellia, L., & Fragiasso, F. (2021). Good Places to Live and Sleep Well: A Literature Review about the Role of Architecture in Determining Non-Visual Effects of Light. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1002. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031002>,

Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design, *LEUKOS*, 17:3, 291-309, DOI: 10.1080/15502724.2020.1785310

Reinhart, C. A Simulation-Based Review of The Ubiquitous Window-Head-Height To Daylit Zone Depth Rule-Of-Thumb. In *Proceedings of the International Building Simulations Conference*, Montréal, Canada, 15–18 August 2005; pp. 1011–1018

Vaz, N.A.; Inanici, M. Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design. *LEUKOS* 2020, 17, 29–309

Acosta, I.; Campano, M.; Leslie, R.; Radetsky, L. Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. *Sol. Energy* 2019, 193, 584–596.

Acosta, I.; Leslie, R.; Figueiro, M. Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms. *Light. Res. Technol.* 2016, 49, 49–61.

Carrasco, M.T.A.; Amarillo, S.D.; Acosta, I.; Sendra, J.J. Indoor lighting design for healthier workplaces: Natural and electric light assessment for suitable circadian stimulus. *Opt. Express* 2021, 29, 29899.

Al-Sallal, K.A. *Daylighting. Low Energy Low Carbon Architecture: Recent Advances & Future Directions*; CRC Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2016.

Allen E, Iano J. 2017. *The architect's studio companion: rules of thumb for preliminary design*. New York, NY: Wiley., Grondzik WT, Kwok AG. 2019. *Mechanical and electrical equipment for buildings*. New York, NY: Wiley; p. 352

Jaka Potočnik, Mitja Košir, Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office, *Building and Environment*, Volume 171, 2020, 106627, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106627>

Altenberg Vaz, N., & Inanici, M. (2020). Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design. *LEUKOS*, 17(3), 291–309. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1785310>

U.S. Green Building Council. (2019). *LEED v4.1 Building Design and Construction Guide*. U.S. Green Building Council. [build.usgbc.org/ID+C\\_Guide](http://build.usgbc.org/ID+C_Guide)

Jalali, M.S.; Jones, J.R.; Tural, E.; Gibbons, R.B. Human-Centric Lighting Design: A Framework for Supporting Healthy Circadian Rhythm Grounded in Established Knowledge in Interior Spaces. *Buildings* 2024, 14, 1125. <https://doi.org/10.3390/buildings14041125>

National Institute of General Medical Sciences. (n.d.). Circadian rhythms. U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health. <https://www.nigms.nih.gov/education/fact-sheets/Pages/circadian-rhythms>

Houser K, Boyce P, Zeitzer J, Herf M. Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? *Lighting Research & Technology*. 2020;53(2):97-118. doi:10.1177/1477153520958448

Pickard GE, Sollars PJ. Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*. 2012;162:59-90. doi: 10.1007/112\_2011\_4. PMID: 22160822.

Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T. M., Cooper, H. M., Czeisler, C. A., ... & Foster, R. G. (2014).

Lucas, Robert J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>

Houser KW and Esposito T (2021) Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process. *Front. Neurol*. 12:630553. doi: 10.3389/fneur.2021.630553

Lucas, Robert J. et al., Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>

Trinh, V.Q.; Bodrogi, P.; Khanh, T.Q. Determination and Measurement of Melanopic Equivalent Daylight (D65) Illuminance (mEDI) in the Context of Smart and Integrative Lighting. *Sensors* 2023, 23, 5000. <https://dx.doi.org/10.3390/s23115000>

Hraška, J. & Hartman, P. Assessing Photopic and Melanopic Daylighting Performance of Special Glazing System: A Full-scale Experiments. *Selected Scientific Papers - Journal of Civil Engineering*, 2022, Sciendo, vol. 17 no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.2478/sspjce-2022-0006>

Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S. Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. *Energies* 2021, 14, 6731. <https://doi.org/10.3390/en14206731>

Massimo Di Nicolantonio, Emilio Rossi, Aldo Deli & Antonio Marano (2020) The human centric lighting approach for the design of Age-Friendly products, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 21:6, 753-772, DOI: 10.1080/1463922X.2020.1742400

Thijs Kruisselbrink, Rajendra Dangol, Alexander Rosemann, Photometric measurements of lighting quality: An overview, *Building and Environment*, Volume 138, 2018, Pages 42-52, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.028>

Alkhatatbeh, B. J., & Asadi, S. (2021). Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. *Energies*, 14(20), 6731. <https://doi.org/10.3390/en14206731>

KLEPEIS, N., NELSON, W., OTT, W. et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 11, 231-252 (2001). <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>

Walker, W.H., Walton, J.C., DeVries, A.C. et al. Circadian rhythm disruption and mental health. *Transl Psychiatry* 10, 28 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41398-020-0694-0>

Konopka, R., & Benzer, S. (1971). Clock mutants of *Drosophila melanogaster*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 68(9), 2112-2116. <https://doi.org/10.1073/pnas.68.9.2112>

Reddy S, Reddy V, Sharma S. Physiology, Circadian Rhythm. [Updated 2023 May 1]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519507/>

Hall, J. C., Rosbash, M., & Young, M. W. (2017). The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. The Nobel Assembly at Karolinska Institutet.

Ekirch A. R. *At Day's Close: Night in Times Past* (Norton, New York, NY, 2005)

Haim, A. & Zubidat, A. E. Artificial light at night: Melatonin as a mediator between the environment and epigenome. *Philos. Trans. R. Soc. B* 370, 20140121 (2015)

Bedrosian, T. A. & Nelson, R. J. Timing of light exposure affects mood and brain circuits. *Transl. Psychiatry* 7, e1017 (2017)

Rajaratnam, S. M. & Arendt, J. Health in a 24-h society. *Lancet* 358, 999–1005 (2001)

Lee, A. et al. Night shift work and risk of depression: meta-analysis of observational studies. *J. Korean Med. Sci.* 32, 1091–1096 (2017)

Rusting, C. L. & Larsen, R. J. Diurnal patterns of unpleasant mood: associations with neuroticism, depression, and anxiety. *J. Pers.* 66, 85–103 (1998)

Emens, J., Lewy, A., Kinzie, J. M., Arntz, D. & Rough, J. Circadian misalignment in major depressive disorder. *Psychiatry Res.* 168, 259–261 (2009)

Wasfi Dhahir Abid Ali, Semahir S, Hameed and Luay Abdulwahid Shihab (2023). THE EFFECT OF CIRCADIAN RHYTHM ON JOB PERFORMANCE, *International Journal of Education and Social Science Research (IJESSR)* 6 (4): 302-307 Article No. 822, Sub Id 1282

Valdez P. Circadian Rhythms in Attention. *Yale J Biol Med.* 2019 Mar 25;92(1):81-92. PMID: 30923475; PMCID: PMC6430172

Pablo Valdez, Candelaria Ramírez, Aída García, Javier Talamantes, Pablo Armijo & Jorge Borrani (2005) Circadian rhythms in components of attention, *Biological Rhythm Research*, 36:1-2, 57-65, DOI: 10.1080/09291010400028633

Rea, Mark & Figueiro, Mariana & Bullough, John. (2002). Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research and Technology*. 34. 177-187. 10.1191/1365782802lt057oa

Bellia, L., & Fragliasso, F. (2021). Good Places to Live and Sleep Well: A Literature Review about the Role of Architecture in Determining Non-Visual Effects of Light. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1002. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031002>,

Nathan Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design, *LEUKOS*, 17:3, 291–309, DOI: 10.1080/15502724.2020.1785310

Reinhart, C. A Simulation-Based Review of The Ubiquitous Window-Head-Height To Daylit Zone Depth Rule-Of-Thumb. In *Proceedings of the International Building Simulations Conference*, Montréal, Canada, 15–18 August 2005; pp. 1011–1018

Vaz, N.A.; Inanici, M. Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design. *LEUKOS* 2020, 17, 29–309

Acosta, I.; Campano, M.; Leslie, R.; Radetsky, L. Daylighting design for healthy environments: Analysis of educational spaces for optimal circadian stimulus. *Sol. Energy* 2019, 193, 584–596.

Acosta, I.; Leslie, R.; Figueiro, M. Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms. *Light. Res. Technol.* 2016, 49, 49–61.

Carrasco, M.T.A.; Amarillo, S.D.; Acosta, I.; Sendra, J.J. Indoor lighting design for healthier workplaces: Natural and electric light assessment for suitable circadian stimulus. *Opt. Express* 2021, 29, 29899.

Al-Sallal, K.A. *Daylighting. Low Energy Low Carbon Architecture: Recent Advances & Future Directions*; CRC Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2016.

Allen E, Iano J. 2017. The architect's studio companion: rules of thumb for preliminary design. New York, NY: Wiley., Grondzik WT, Kwok AG. 2019. Mechanical and electrical equipment for buildings. New York, NY: Wiley; p. 352

Jaka Potočnik, Mitja Košir, Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office, *Building and Environment*, Volume 171, 2020, 106627, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106627>

Altenberg Vaz, N., & Inanici, M. (2020). Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design. *LEUKOS*, 17(3), 291–309. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1785310>

U.S. Green Building Council. (2019). LEED v4.1 Building Design and Construction Guide. U.S. Green Building Council. [build.usgbc.org/ID+C\\_Guide](http://build.usgbc.org/ID+C_Guide)

Jalali, M.S.; Jones, J.R.; Tural, E.; Gibbons, R.B. Human-Centric Lighting Design: A Framework for Supporting Healthy Circadian Rhythm Grounded in Established Knowledge in Interior Spaces. *Buildings* 2024, 14, 1125. <https://doi.org/10.3390/buildings14041125>

## Ηλεκτρονικές Πηγές

TEDxEastSalon - Bjarke Ingels - Hedonistic Sustainability - [https://www.youtube.com/watch?v=ogXT\\_C17KRU](https://www.youtube.com/watch?v=ogXT_C17KRU), Accessed on Jul 2025)

WELL Building Standard, Q2 2025, International WELL Building Institute (IWBI), <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview> (Accessed in Jul 2025)

[https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark\\_home\\_page.html](https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark_home_page.html) (Accessed in Jul 2025)

<https://www.solemma.com/alfa> (Accessed in Jul 2025)

Illuminating Engineering Society. (n.d.), <https://www.ies.org/definitions/lux/>, Accessed on 27-6-25

## Πηγές Φωτογραφιών και γραφισμάτων

TEDxEastSalon - Bjarke Ingels - Hedonistic Sustainability - [https://www.youtube.com/watch?v=ogXT\\_C17KRU](https://www.youtube.com/watch?v=ogXT_C17KRU), Accessed on Jul 2025)

WELL Building Standard, Q2 2025, International WELL Building Institute (IWBI), <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview> (Accessed in Jul 2025)

[https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark\\_home\\_page.html](https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark_home_page.html) (Accessed in Jul 2025)

<https://www.solemma.com/alfa> (Accessed in Jul 2025)

Illuminating Engineering Society. (n.d.), <https://www.ies.org/definitions/lux/>, Accessed on 27-6-25

Πηγές Φωτογραφιών και γραφισμάτων

TEDxEastSalon - Bjarke Ingels - Hedonistic Sustainability - [https://www.youtube.com/watch?v=ogXT\\_C17KRU](https://www.youtube.com/watch?v=ogXT_C17KRU), Accessed on 28 of July

National Galleries of Scotland Collection, <https://www.nationalgalleries.org/art-and-artists/34865>

Rea M, Figueiro M, Bullough J. Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research & Technology*. 2002;34(3):177-187

Altenberg Vaz & Mehlika Inanici (2021) Syncing with the Sky: Daylight-Driven Circadian Lighting Design

Alkhatatbeh, B.J.; Asadi, S. Role of Architectural Design in Creating Circadian-Effective Interior Settings. *Energies* 2021, 14, 6731.

Jaka Potočnik, Mitja Košir, Influence of commercial glazing and wall colours on the resulting non-visual daylight conditions of an office, *Building and Environment*, 2020

[https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark\\_home\\_page.html](https://faculty.washington.edu/inanici/Lark/Lark_home_page.html) (Accessed in Jul 2025)

<https://www.solemma.com/alfa> (Accessed in Jul 2025)

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Αστικά Χαρακτηριστικά	Ιδιότητες Ανοιγμάτων Εσωτερική Διαμόρφωση	Υλικά & Χρωματισμοί Συστήματα Σκίασης
Κλιματολογικά Χαρακτηριστικά	Διαμόρφωση Επιφανειών Εργασίας	Τεχνητός Φωτισμός

WELL Building Standard™ L01 – Light Exposure – Έκθεση στο Φως	
Spacial Daylight Autonomy ( <sup>150</sup> SDA <sub>50%</sub> ) στα 150 lx για το 50% του χρόνου χρήσης > 30%	200lx (19 fc) για το 30% της επιφάνειας του χώρου, κατά το 50% ωρών φυσικού φωτός για όλο το έτος.
30% των χώρων εργασίας να είναι εντός 6 μέτρων οριζόντια απόσταση από <i>Επιφάνεια Ανοιγμάτων</i> <i>Επιφάνεια Χώρου</i> * 100 > 7%	
Να μην υπάρχουν εμπόδια ψηλότερα από 1.22 μέτρα σε οριζόντια απόσταση εντός 6 μέτρων από άνοιγμα, ενώ η μέγιστη οριζόντια απόσταση ανοιγμάτων είναι τα 20 μέτρα.	
L03 – Circadian Lighting Design – Σχεδιασμός Κιρκάδιου Φωτισμού	
Για 4 ώρες   Επίπεδο μέτρησης 45cm πάνω από το έδαφος: 1 <sup>η</sup> Βαθμίδα: Τουλάχιστον 150 EML (136 mel-EDI) 2 <sup>η</sup> Βαθμίδα: Τουλάχιστον 275 EML (250 mel-EDI)	
Leadership in Energy and Environmental Design - LEED V4.1 EQ Credit: Interior Lighting – Εσωτερικός Φωτισμός	
CRI – Color Rendering Index: Δείκτης Απόδοσης Χρώματος > 90	CFI – Color Fidelity Index: Δείκτης Πιστότητας Χρώματος > 97   97 < gamut index < 110
Δυνατότητα αυξομείωσης του φωτισμού ή φωτισμό πολλαπλών επιπέδων για το 90% όλων των χώρων που χρησιμοποιούνται τακτικά. Για το 90% της επιφάνειας των χώρων αποδίδεται, ανακλαστικότητα μεγαλύτερη ή ίση με 80% για τις οροφές και 55% για τους τοίχους.	
EQ Credit: Daylight – Φυσικός Φωτισμός	
SDA στα 300 lx για το 50% του χρόνου χρήσης σε συνθήκες ASE > 55%	
Τουλάχιστον στο 55% της επιφάνειας η ένταση του φωτός είναι ανάμεσα σε 300 lx και 3000 lx για τις ώρες 9 π.μ και 3 μ.μ	
Επίπεδα έντασης φωτισμού ανάμεσα σε 300 lx και 3000 lx για το 55% της επιφάνειας, τουλάχιστον μία φορά ανά έτος	

Προτεινόμενες Οδηγίες	
Αστικά Χαρακτηριστικά	
Μελέτη του αστικού συγκειμένου με σκοπό την αποφυγή οπτικών εμποδίων.	Πιθανή λύση σε περίπτωση που ο αστικός ιστός δεν επιτρέπει τον επαρκή φυσικό φωτισμό είναι η μείωση του χωρικού βάθους.
Κλιματολογικές Συνθήκες	
Καταγραφή Ουράνιου Τύπου - Ποσοστό Κάλυψης Νέφους 0%-30% 40%-70% 80%-100%,	Αναλογία στην κατανομή φωτεινότητας 1:3 zenith to horizon ~ 3:1 zenith to horizon.
Ιδιότητες Ανοιγμάτων	
Η τοποθέτηση του ανοίγματος θα πρέπει να μεγιστοποιεί την τιμή EML στο ύψος της επιφάνειας εργασίας.	Η ιδανική αναλογία επιφάνειας τοίχου και ανοίγματος (WWR) είναι οτιδήποτε μεγαλύτερο από 40%, με σκοπό την μεγιστοποίηση του κιρκάδιου δυναμικού.
Με σκοπό τον καλύτερο φωτισμό το άνοιγμα θα πρέπει να επιτρέπει στον χρήστη, από το ύψος της επιφάνειας εργασίας, του να βλέπει πάνω από τον ορίζοντα και να μην εμποδίζεται η θέαση από τον αστικό ιστό.	
Εσωτερική Διαμόρφωση	
Οι χώροι εργασίας να τοποθετούνται με προσανατολισμό που επιτρέπει έντονο φωτισμό κατά τις μεσημεριανές ώρες, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας.	Ελαχιστοποίηση του χωρικού βάθους με σκοπό την αύξηση της διάχυσης του φωτός άρα και την αύξηση της τιμής του κιρκάδιου δυναμικού.
Διαμόρφωση Επιφανειών Εργασίας	
Εργασιακοί χώροι που απέχουν 12 μέτρα και άνω, από το κοντινότερο άνοιγμα, θα ήταν ιδανικό να στραφούν προς αυτό για να μεγιστοποιήσουν το κιρκάδιο δυναμικό.	Να μην υπάρχει εμπόδιο άνω των 1.20 μέτρων σε απόσταση δύο φορές το ύψος του ανώτερου σημείου των ανοιγμάτων, ώστε να μην εμποδίζεται η διείσδυση του φωτός στον χώρο.
Ιδιότητες Συστημάτων Σκίασης	
Τα συστήματα σκίασης δεν πρέπει να εμποδίζουν την θέαση του ουρανού.	Τα συστήματα σκίασης μπλε χρωματικών τόνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μεγιστοποίηση του κιρκάδιου δυναμικού.
Προτιμούνται συστήματα σκίασης που δεν επηρεάζουν την ένταση και τον χρωματισμό του φωτός.	
Ιδιότητες Υλικών και Χρωματισμοί	
Χρήση υαλοπινάκων με υψηλή οπτική διαπερατότητα και ουδέτερο φάσμα, με σκοπό την μεγιστοποίηση της οπτικής άνεσης και του κιρκάδιου δυναμικού.	Αποφυγή υαλοπινάκων με χάλκινο χρωματισμό καθώς μειώνουν σημαντικά τον αποτελεσματικό φωτισμό
Χρήση μπλε χρωματικών τόνων στους τοίχους, καθώς αυξάνουν την τιμή του κιρκάδιου δυναμικού, ιδίως όταν η ανακλαστικότητα των τοίχων είναι μέτρια έως χαμηλή.	Ελαχιστοποίηση τοίχων με θερμούς χρωματικούς τόνους, καθώς μειώνουν την τιμή του κιρκάδιου δυναμικού

Ο κirkάδιος ρυθμός λειτουργεί σαν ένα «αόρατο ρολόι» που ορίζει την ενέργεια, τη συγκέντρωση και την διάθεση κατά την διάρκεια της ημέρας. Κι όμως, στον σχεδιασμό των χώρων εργασίας η παρουσία του συχνά παραβλέπεται, οδηγώντας σε περιβάλλοντα που δεν ευθυγραμμίζονται με τις ανθρώπινες φυσικές ανάγκες. Η εργασία αυτή επιχειρεί να αναδείξει πώς η κατανόηση του κirkάδιου ρυθμού μπορεί να εμπλουτίσει την αρχιτεκτονική σκέψη και να ανοίξει νέους δρόμους στη δημιουργία εργασιακών χώρων που ενισχύουν την ανθρώπινη εμπειρία και απόδοση.

Μέσα από μια διεπιστημονική προσέγγιση, συνδυάζοντας αρχιτεκτονική, βιολογία και ψυχολογία, η μελέτη εστιάζει στην εκμετάλλευση του φυσικού φωτός, βάσει δεδομένων για τον σχεδιασμό πιο υγιών και ποιοτικών χώρων. Θέτει ερωτήματα για το πώς η αρχιτεκτονική μπορεί να μετατραπεί σε εργαλείο που «συνεργάζεται» με το σώμα μας, και προτείνει κατευθύνσεις που μπορούν να συμβάλλουν σε έναν πιο συνειδητό, ανθρωποκεντρικό και αποδοτικό σχεδιασμό.

Human-centric lighting is neither a myth nor magic,  
but a metaphor for what good lighting has always  
done: support human outcomes.

-KW Houser et al.

antonisth@outlook.com

Θεοδώρου Αντώνιος-Ταξιαρχης

Σεπτέμβριος 2025 | Θερινό Ακαδημαϊκό Εξάμηνο