



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών
και Βιώσιμου Σχεδιασμού

ΠΜΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Διπλωματική Εργασία

Ανθρωποκεντρικός φωτισμός: Ο Σχεδιασμός Φωτισμού που
Υποστηρίζει τον Κιρκάδιο Ρυθμό στην Κατοικία

ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ
Α.Μ.: 165176

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΑΓΚΡΑΣΟΥΛΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Ανθρωποκεντρικός φωτισμός: Ο Σχεδιασμός Φωτισμού που
Υποστηρίζει τον Κιρκάδιο Ρυθμό στην Κατοικία

Ανδρόνη Δέσποινα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Τσαγκρασούλης Αριστείδης

Καθηγητής, Ελληνικό Ανοικτό
Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Ζερεφός Στυλιανός

Υπεύθυνος τμήματος, Ελληνικό Ανοικτό
Πανεπιστήμιο

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2026

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τον τρόπο με τον οποίο οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human-Centric Lighting, HCL) μπορούν να εφαρμοστούν στον σχεδιασμό της κατοικίας, με στόχο τη βελτίωση της εμπειρίας, της ευεξίας και της ποιότητας ζωής των χρηστών. Το θεωρητικό μέρος εξετάζει τη διπλή, οπτική και βιολογική, φύση του φωτός και τον ρόλο του στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού, τις παραμέτρους σχεδιασμού του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (ένταση, συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος, φασματική κατανομή, διάρκεια), τους δείκτες αξιολόγησης της μη οπτικής επίδρασης του φωτισμού (CS, EML, mel-EDI), τα διεθνή πρότυπα και τις οδηγίες, καθώς και την κατοικία ως χώρο εμπειρίας. Το εφαρμοσμένο μέρος αφορά μελέτη περίπτωσης σε υφιστάμενη κατοικία τριών ατόμων στην Αγία Μαρίνα Αττικής, η οποία περιλαμβάνει χώρο τηλεργασίας. Μέσω προσομοιώσεων φυσικού φωτισμού (Rhino, ClimateStudio) και τεχνητού φωτισμού (DIALux Evo) υπολογίστηκαν ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού ανά χώρο, ο μελανοπικός φωτισμός (EML) σε χαρακτηριστικές ημερομηνίες και συνθήκες ουρανού, καθώς και η μέση τιμή και η ομοιομορφία του τεχνητού φωτισμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατοικία υπερκαλύπτει το ελάχιστο ημερήσιο κριτήριο του προτύπου WELL (200 melanopic lx) υπό καθαρό ουρανό, όχι όμως πάντα υπό νεφοσκεπή ουρανό κατά τις πρώτες πρωινές και τις τελευταίες απογευματινές ώρες, ενώ το προτεινόμενο βραδινό σενάριο τεχνητού φωτισμού (308 melanopic lx στις 21:00) υπερβαίνει το ανώτατο νυχτερινό όριο των 50 melanopic lx. Με βάση τα ευρήματα αυτά, προτείνονται ρυθμιζόμενα σκίαστρα στους χώρους διαμονής και ύπνου, τζάμι αμμοβολής στα λουτρά, σύστημα ελέγχου DALI-2 DT8 για συνεχή μεταβολή της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος, καθώς και η αξιοποίηση των κατόψεων μελανοπικής κατανομής για τη διάταξη επίπλων και θέσεων εργασίας. Η εργασία καταλήγει ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός αποτελεί εφαρμόσιμη προσέγγιση για τον σχεδιασμό της σύγχρονης κατοικίας, ικανή να συνδυάσει την οπτική άνεση, τη βιολογική υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού και τη βιωσιμότητα.

Λέξεις – Κλειδιά

ανθρωποκεντρικός φωτισμός, κιρκάδιος ρυθμός, μελανοπικός φωτισμός, φωτισμός κατοικίας, προσομοίωση φωτισμού

Human-Centric Lighting Design Supporting Circadian Rhythms in Residential Architecture

Despoina Androni

Abstract

This master's thesis investigates how the principles of human-centric lighting (HCL) can be applied to residential design in order to improve the experience, well-being and quality of life of the occupants. The theoretical part examines the dual, visual and biological, nature of light and its role in regulating the circadian rhythm, the design parameters of human-centric lighting (intensity, correlated colour temperature, spectral distribution, duration), the metrics for assessing the non-visual effects of lighting (CS, EML, mel-EDI), the relevant international standards and guidelines, and the dwelling as a space of experience. The applied part is a case study of an existing three-person residence in Agia Marina, Attica, which includes a home-office space. Daylight simulations (Rhino, ClimateStudio) and electric lighting simulations (DIALux Evo) were used to calculate the daylight factor per room, the equivalent melanopic lux (EML) on characteristic dates and under different sky conditions, and the average illuminance and uniformity of the electric lighting. The results showed that the residence comfortably exceeds the minimum daytime criterion of the WELL standard (200 melanopic lx) under clear skies, but not always under overcast skies in the early morning and late afternoon hours, while the proposed evening electric lighting scenario (308 melanopic lx at 21:00) exceeds the maximum night-time limit of 50 melanopic lx. Based on these findings, the thesis proposes adjustable shading in living and sleeping areas, sandblasted glass in the bathrooms, a DALI-2 DT8 control system for continuous adjustment of intensity and colour temperature, and the use of melanopic distribution plans to guide the placement of furniture and workstations. It concludes that human-centric lighting is a feasible approach for contemporary residential design, capable of combining visual comfort, biological support of the circadian rhythm and sustainability.

Keywords

human-centric lighting, circadian rhythm, melanopic illuminance, residential lighting, lighting simulation

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract	v
Περιεχόμενα	vi
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	vii
Κατάλογος Πινάκων	ix
Συντομογραφίες, Γλωσσάρι & Ακρωνύμια	x
1. Εισαγωγή	1
2. Το φως και ο άνθρωπος	4
2.1 Το φως ως φυσικό και πολιτισμικό φαινόμενο	4
2.2 Η φυσιολογία της όρασης και οι μη οπτικές επιδράσεις του φωτός	4
2.3 Ο ρόλος του φωτός στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού	8
2.4 Η σχέση φωτός, ευεξίας & ψυχολογίας	11
2.5 Ο ρυθμός του φυσικού φωτός μέσα στην ημέρα και την κατοικία	14
3. Ανθρωποκεντρικός φωτισμός (Human-Centric Lighting).....	17
3.1 Ορισμός και αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού	17
3.2 Εξέλιξη του όρου και θεωρητικό υπόβαθρο (από τον βιολογικό στον βιωματικό φωτισμό) ..	19
3.3 Παράμετροι σχεδιασμού: ένταση, CCT, φασματική κατανομή, διάρκεια	20
3.4 Δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης της μη οπτικής επίδρασης του φωτισμού	24
3.4.1 Κιρκάδιο Ερέθισμα / Circadian Stimulus (CS).....	25
3.4.2 Ισοδύναμη Μελανοπική Φωτεινότητα / Equivalent Melanopic Lux (EML)	25
3.4.3 Μελανοπική Ισοδύναμη Φωτεινότητα Ημερήσιου Φωτός / Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI).....	26
3.4.4 Περιορισμοί και συγκριτική αξιολόγηση των τρόπων αξιολόγησης.....	26
3.5 Διεθνή πρότυπα και οδηγίες: WELL, EN 12464-1, Lighting Research Center.....	28
3.6 Ηθικές και βιωματικές διαστάσεις του φωτισμού για τον άνθρωπο.....	30
4. Η κατοικία ως χώρος εμπειρίας	33
4.1 Η έννοια της κατοικίας και η ψυχολογία του οικιακού χώρου	33
4.2 Φως και καθημερινή εμπειρία: αντιλήψεις, συναισθήματα, ρουτίνα	34
4.3 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός και αρχιτεκτονική ατμόσφαιρα	35
4.4 Ενδεικτικές εφαρμογές και μελέτες περιπτώσεων κατοικιών	37
4.5 Συμπεράσματα θεωρητικής διερεύνησης	38
5. Μελέτη Περίπτωσης: Εφαρμογή Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού σε Κατοικία	40
5.1 Επιλογή και περιγραφή της κατοικίας προς μελέτη.....	40
5.2 Καταγραφή αναγκών και δραστηριοτήτων των χρηστών	42
5.3 Ανάλυση υφιστάμενου φωτισμού (φυσικού και τεχνητού)	43
5.4 Εφαρμογή αρχών ανθρωποκεντρικού φωτισμού στο σχεδιασμό	48
5.5 Προτεινόμενα σενάρια φωτισμού (μεταβολή φωτεινότητας και CCT ανά ώρα)	49
5.6 Αξιολόγηση μέσω προσομοίωσης (Rhino, ClimateStudio) και ενεργειακής αποδοτικότητας.....	51
6. Ανάλυση αποτελεσμάτων	70
6.1 Συνολική αποτίμηση σχεδιαστικών επιλογών	70
6.2 Επίδραση του φωτισμού στην εμπειρία και ευεξία των ενοίκων	73
6.3 Ανθρωποκεντρικές αρχές ως οδηγός βιώσιμου σχεδιασμού	75
6.4 Προτάσεις για μελλοντικές εφαρμογές σε κατοικίες.....	77
7. Συμπεράσματα.....	79
Βιβλιογραφία	82
Παράρτημα Α: Αναλυτικά Αποτελέσματα Προσομοίωσης	85

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 2.1 Σχηματική απεικόνιση των νευροανατομικών μηχανισμών των φυσιολογικών επιδράσεων του φωτός.....	7
Εικόνα 2.2 Σκέλος μεγάλου μήκους κύματος των συναρτήσεων φασματικής ευαισθησίας για ραβδία, κωνία και φωτοχρωστική μελανοψίνης.....	7
Εικόνα 2.3 Καμπύλη απόκρισης φάσης φωτός (phase response curve).....	9
Εικόνα 2.4 Ημερήσια μεταβολή της έντασης φωτισμού (illuminance) στις τέσσερις συνθήκες φωτισμού της μελέτης.....	12
Εικόνα 2.5 Ημερήσια μεταβολή της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος (CCT) στις τέσσερις συνθήκες φωτισμού.....	13
Εικόνα 2.6 Εννοιολογική απεικόνιση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού και των διαστάσεων που επηρεάζει: διάθεση, παραγωγικότητα, αντίληψη, κιρκάδιος ρυθμός, οπτική οξύτητα (visual acuity) και βιωσιμότητα.....	14
Εικόνα 2.7 Σχηματική απεικόνιση της ημερήσιας διακύμανσης του φυσικού φωτός.....	15
Εικόνα 3.1 Τα έξι κριτήρια VITALS.....	21
Εικόνα 3.2 Δύο μεταμερικές φασματικές κατανομές ισχύος (SPD) στους 3500 K.....	23
Εικόνα 3.3 Χωρική κατανομή της μελανοπτικής απόκρισης του αμφιβληστροειδούς.....	24
Εικόνα 3.4 Σύγκριση των βασικών δεικτών μη οπτικής επίδρασης του φωτισμού (CS, EML, mel-EDI).....	27
Εικόνα 4.1 Ανομοιόμορφος φωτισμός: αίσθηση οικειότητας και χαλάρωσης.....	36
Εικόνα 4.2 Ομοιόμορφος φωτισμός: οπτική καθαρότητα.....	36
Εικόνα 5.1 Κάτοψη επιλεγμένης κατοικίας προς μελέτη.....	41
Εικόνα 5.2 Κατηγοριοποίηση της επίδρασης του φυσικού φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού με βάση τη μέση τιμή του Π.Φ.Φ.....	45
Εικόνα 5.4 Ωρα ανατολής και δύσης του ήλιου στην Αγία Μαρίνα Αττικής στις 21 Δεκεμβρίου 2026.....	52
Εικόνα 5.3 Ωρα ανατολής και δύσης του ήλιου στην Αγία Μαρίνα Αττικής στις 21 Ιουνίου 2026.....	52
Εικόνα 5.5 Σύγκριση μελανοπτικού φωτισμού για τις χαρακτηριστικές ημερομηνίες.....	54
Εικόνα 5.6 Κάτοψη της κατοικίας με την κατανομή του μελανοπτικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Ιουνίου, στις 12:00, υπό συνθήκες καθαρού ουρανού.....	56
Εικόνα 5.7 Κάτοψη της κατοικίας με την κατανομή του μελανοπτικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Δεκεμβρίου, στις 12:00, υπό συνθήκες καθαρού ουρανού.....	56
Εικόνα 5.8 Κάτοψη της κατοικίας με την κατανομή του μελανοπτικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Σεπτεμβρίου, στις 12:00, υπό συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού.....	57
Εικόνα 5.9 Άνοψη της κατοικίας με τις θέσεις των φωτιστικών σωμάτων οροφής του προτεινόμενου σχεδιασμού τεχνητού φωτισμού.....	58
Εικόνα 5.10 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Καθιστικό της κατοικίας.....	59
Εικόνα 5.11 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στην Κουζίνα της κατοικίας.....	60
Εικόνα 5.12 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στον Διάδρομο της κατοικίας.....	60
Εικόνα 5.13 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Λουτρό Master της κατοικίας.....	61
Εικόνα 5.14 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Λουτρό Β της κατοικίας.....	61
Εικόνα 5.15 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Υπνοδωμάτιο Α της κατοικίας.....	62
Εικόνα 5.16 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Υπνοδωμάτιο Β της κατοικίας.....	62
Εικόνα 5.17 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Υπνοδωμάτιο Master της κατοικίας.....	63
Εικόνα 5.18 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Καθιστικό.....	63
Εικόνα 5.19 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Καθιστικό.....	64
Εικόνα 5.20 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Κουζίνα.....	64
Εικόνα 5.21 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Λουτρό Master.....	65

Εικόνα 5.22 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Λουτρό Β	65
Εικόνα 5.23 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Υπνοδωμάτιο Α	66
Εικόνα 5.24 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Υπνοδωμάτιο Β	66
Εικόνα 5.25 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Master	67

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5.1 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ. / Daylight Factor) ανά χώρο, βάσει προσομοίωσης ClimateStudio.	46
Πίνακας 5.2 Προτεινόμενα σενάρια φωτισμού ανά χρονική περίοδο της ημέρας: μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος (CCT) με στόχο την υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού.	50
Πίνακας 5.3 Ωριαίες τιμές μελανοπικού φωτισμού (EML, σε melanopic lx) στις 21 Ιουνίου και στις 21 Δεκεμβρίου υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, και στις 21 Σεπτεμβρίου υπό συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού.	53
Πίνακας 5.4 Μέση τιμή φωτισμού (Em, lx) και ομοιομορφία φωτισμού (Uo) ανά χώρο, βάσει της μελέτης προσομοίωσης DIALux Eno, σε σύγκριση με τα πρότυπα αναφοράς TOTE 20701-7 και IES RP-11.	68
Πίνακας 5.5 Μελανοπικός φωτισμός (EML, melanopic lx) μετά τη δύση του ήλιου στις 21 Σεπτεμβρίου με χρήση τεχνητού φωτισμού.	69

Συντομογραφίες, Γλωσσάρι & Ακρωνύμια

Παρακάτω καταγράφονται οι συντομογραφίες και τα ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται στο κείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι συντομογραφίες παρατίθενται συγκεντρωτικά με την πλήρη απόδοσή τους, ώστε να λειτουργούν ως εργαλείο αναφοράς για τον αναγνώστη.

Συντομογραφίες και ακρωνύμια

CCT:	Correlated Colour Temperature.
CS:	Circadian Stimulus / Κιρκάδιο Ερέθισμα
DALI:	Digital Addressable Lighting Interface, πρωτόκολλο ψηφιακού ελέγχου φωτισμού.
DALI-2 DT8:	επέκταση του προτύπου DALI για ρυθμιζόμενη λευκή θερμοκρασία χρώματος (tunable white), μέρος 209 του προτύπου IEC 62386.
DF:	Daylight Factor / Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ.). Λόγος εσωτερικού προς εξωτερικό φωτισμό υπό νεφοσκεπείς συνθήκες.
E:	η ένταση του φωτός, μονάδα: lux (lx).
EH:	horizontal illuminance / οριζόντιος φωτισμός
$\bar{E}_m$:	μέσο επίπεδο φωτισμού
EML:	Equivalent Melanopic Lux / ισοδύναμος μελανοπικός φωτισμός, $EML = E \times R$, όπου E ο φωτοπικός φωτισμός (lx) και R ο μελανοπικός λόγος.
EV:	vertical illuminance at the eye / κατακόρυφος φωτισμός
HCL:	Human-Centric Lighting / ανθρωποκεντρικός φωτισμός.
IES:	Illuminating Engineering Society.
ipRGCs:	intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, εγγενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς.
K:	Kelvin
LEED:	Leadership in Energy and Environmental Design

mel-EDI: Melanopic Equivalent Daylight Illuminance / Μελανοπική Ισοδύναμη Φωτεινότητα Ημερήσιου Φωτός. Η mel-EDI υπολογίζεται ως το γινόμενο του φωτοπικού φωτισμού E_v και του Μελανοπικού Συντελεστή Απόδοσης Ημερήσιου Φωτός (melanopic Daylight Efficacy Ratio, mel-DER), σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_{v, \text{mel}}^{D65} = (E_v)(\gamma_{v, \text{mel}}^{D65}).$$

Η mel-EDI εκφράζεται σε μονάδες lux (lx).

NIF: non-image forming, μη σχηματοποιημένες απεικονιστικές επιδράσεις του φωτός (αναφέρονται επίσης ως οι μη οπτικές αποκρίσεις).

Ra: απόδοση χρώματος

RHT: (retinohypothalamic tract) αμφιβληστροειδο-υποθαλαμική οδός, είναι μια ειδική νευρική οδός που συνδέει τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού απευθείας με τον εγκέφαλο.

SCN: (suprachiasmatic nucleus) υπερχιασματικός πυρήνας, λειτουργεί ως το βιολογικό ρολόι στα θηλαστικά και έχει πολυάριθμες συνδέσεις με άλλες δομές του κεντρικού νευρικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων του νωτιαίου μυελού και του εγκεφάλου (π.χ. διάφραγμα, θάλαμος, μεσεγκέφαλος και άλλες περιοχές του υποθαλάμου).

SPD: Spectral Power Distribution / φασματική κατανομή ισχύος.

UGRL: (ή συνηθέστερα UGR) Ενιαίος Δείκτης Θάμβωσης / Δείκτης Ενοποιημένης Αξιολόγησης Θάμβωσης (Unified Glare Rating)

Uo: ομοιομορφία

WELL: WELL Building Standard, διεθνές πρότυπο αξιολόγησης της επίδρασης του δομημένου περιβάλλοντος στην υγεία και ευεξία των χρηστών.

WFH: Work From Home.

Γλωσσάρι (ελληνικοί όροι)

1. Φασματικό περιεχόμενο: πώς κατανέμεται η ενέργεια του φωτός στα διαφορετικά μήκη κύματος του ορατού φάσματος.

2. Νευροενδοκρινική λειτουργία: μετάφραση από neuroendocrine function (Vetter et al., 2022).
3. Νευρογνωστικές αποκρίσεις: μετάφραση από neurocognitive responses (Vetter et al., 2022).

1. Εισαγωγή

Αντικείμενο της έρευνας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το φως, το οποίο αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη σχέση του ανθρώπου με τον χώρο. Στους εσωτερικούς χώρους, και ιδιαίτερα στην κατοικία, ο φωτισμός δεν καθορίζει μόνο τη λειτουργικότητα των δραστηριοτήτων, αλλά συμβάλλει στη διαμόρφωση της ατμόσφαιρας, της άνεσης και της συνολικής ποιότητας ζωής των χρηστών. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα στον φωτισμό έχει αναδείξει ότι η επίδρασή του επεκτείνεται πέρα από την οπτική αντίληψη και συνδέεται με βιολογικές και ψυχολογικές διεργασίες του ανθρώπου. Το φως επιδρά άμεσα στο βιολογικό ρολόι του ανθρώπινου οργανισμού, επηρεάζοντας τον κιρκάδιο ρυθμό, την εγρήγορση και την αίσθηση ευεξίας.

Στο πλαίσιο αυτό, το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται στη μελέτη του φωτισμού της κατοικίας μέσα από την προσέγγιση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, εξετάζοντας τη συμβολή του φωτός στη συνολική εμπειρία του χρήστη στον χώρο.

Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού μπορούν να εφαρμοστούν στον σχεδιασμό της κατοικίας, με στόχο τη βελτίωση της εμπειρίας, της ευεξίας και της ποιότητας ζωής των χρηστών/κατοίκων.

Συγκεκριμένα, οι στόχοι της έρευνας είναι η κατανόηση της σχέσης φωτός και ανθρώπινης εμπειρίας, η διερεύνηση των βασικών παραμέτρων του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, καθώς και η αξιολόγηση της εφαρμογής τους σε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα κατοικίας.

Μεθοδολογία και στάδια προσέγγισης

Η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας βασίζεται σε συνδυασμό θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας. Αρχικά πραγματοποιείται βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με το φως, τον άνθρωπο και τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό, με αναφορά σε διεθνή πρότυπα και

σύγχρονες επιστημονικές μελέτες. Στη συνέχεια, οι θεωρητικές αρχές μεταφράζονται σε σχεδιαστικές κατευθύνσεις για τον φωτισμό της κατοικίας.

Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την εφαρμογή αυτών των αρχών σε πραγματική μελέτη φωτισμού κατοικίας, μέσω προσομοιώσεων και σεναρίων φωτισμού, καθώς και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με την εμπειρία και την ευεξία των χρηστών.

Στο πλαίσιο της εφαρμοσμένης έρευνας, διερευνάται η χρήση ψηφιακών εργαλείων προσομοίωσης φωτισμού, με στόχο την κατανόηση και την ποσοτική προσέγγιση τόσο των οπτικών όσο και των μη οπτικών επιδράσεων του φωτός.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης του λογισμικού Rhino σε συνδυασμό με εξειδικευμένο plug-in, όπως το ClimateStudio, για τον υπολογισμό του melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI), με στόχο την αποτίμηση της βιολογικής ισχύος του φωτός στο επίπεδο των οφθαλμών.

Επιπλέον, για την οπτικοποίηση του προτεινόμενου τεχνητού σχεδιασμού χρησιμοποιείται το λογισμικό SketchUp, μέσω του οποίου παράγονται φωτορεαλιστικές απεικονίσεις των επιμέρους χώρων της κατοικίας

Τέλος, το λογισμικό Dialux Eno χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του τεχνητού φωτισμού και την αξιολόγηση των οπτικών παραμέτρων του χώρου, όπως τα επίπεδα φωτισμού, η ομοιομορφία και η ενεργειακή απόδοση. Η συνδυαστική χρήση των παραπάνω εργαλείων επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση του σχεδιασμού φωτισμού, συνδέοντας τα ποσοτικά δεδομένα με τις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού.

Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε επτά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την παρούσα εισαγωγή. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται η σχέση του φωτός με τον άνθρωπο, με έμφαση στη φυσιολογία της όρασης και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός. Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό, επεξηγώντας τον ορισμό, τις αρχές, τους δείκτες αξιολόγησης και τα διεθνή πρότυπα. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η κατοικία ως χώρος εμπειρίας και η συμβολή του φωτισμού στη διαμόρφωση της ατμόσφαιρας. Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει τη μελέτη περίπτωσης, δηλαδή την

εφαρμογή των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού στον σχεδιασμό μιας επιλεγμένης κατοικίας. Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα της μελέτης. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της έρευνας.

2. Το φως και ο άνθρωπος

2.1 Το φως ως φυσικό και πολιτισμικό φαινόμενο

Το φως αποτελεί ένα από τα πιο θεμελιώδη φυσικά φαινόμενα που συνοδεύουν την ανθρώπινη ύπαρξη στη Γη διαμορφώνοντας την εμπειρία του χώρου και του χρόνου. Από την εναλλαγή ημέρας και νύχτας έως τις μεταβολές φωτός και σκιάς, το φυσικό φως οργανώνει τον καθημερινό ρυθμό ζωής, επηρεάζοντας την αντίληψη, τη μνήμη και τη συναισθηματική σύνδεση του ανθρώπου με το περιβάλλον του. Η παρουσία του φωτός δεν λειτουργεί μόνο ως μέσο που εξυπηρετεί στην όραση, αλλά ως στοιχείο που προσδίδει νόημα και ποιότητα στον χώρο.

Με την πάροδο των χρόνων, το φως έχει αποκτήσει αρκετούς πολιτισμικούς συμβολισμούς, οι οποίοι αποτυπώνονται στην αρχιτεκτονική, την τέχνη και τον τρόπο κατοίκησης. Η χρήση του φυσικού φωτός στους χώρους κατοικίας εξυπηρετεί λειτουργικές ανάγκες και ταυτόχρονα συμβάλλει στη διαμόρφωση ατμόσφαιρας, στην αίσθηση οικείου και στη σχέση του ανθρώπου με τον κύκλο της ημέρας και νύχτας, με τη μεταβολή της φωτεινότητας μέσα στην ημέρα και με την αλλαγή των εποχών. Στο σύγχρονο δομημένο περιβάλλον, η σταδιακή μείωση της έκθεσης του ανθρώπου στον φυσικό φωτισμό και η αυξανόμενη εξάρτηση από τεχνητές πηγές φωτός, δημιουργούν νέα ερωτήματα γύρω από την ποιότητα και την ποσότητα του φωτός στον χώρο.

Η κατανόηση του φωτός ως φυσικού και πολιτισμικού φαινομένου αποτελεί τη βάση για τη διερεύνηση της επίδρασής του στον άνθρωπο, εισάγοντας την ανθρωποκεντρική προσέγγιση στον σχεδιασμό του φωτισμού, η οποία εξετάζεται στα παρακάτω κεφάλαια.

2.2 Η φυσιολογία της όρασης και οι μη οπτικές επιδράσεις του φωτός

Η ανθρώπινη όραση βασίζεται στη λειτουργία ειδικών φωτοϋποδοχέων του αμφιβληστροειδούς, οι οποίοι επιτρέπουν την αντίληψη της φωτεινότητας, της μορφής και του χρώματος. Για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο φωτισμός μελετήθηκε και σχεδιάστηκε κυρίως με βάση αυτές τις οπτικές λειτουργίες, δίνοντας έμφαση στην όραση και στη διευκόλυνση των διαφορετικών δραστηριοτήτων/χρήσεων του χώρου. Ωστόσο, μελέτες στον τομέα του φωτισμού ανακαλύπτουν ότι συχνά σχεδιάζεται το εσωτερικό περιβάλλον με κριτήριο την οπτική επάρκεια, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις του φωτός

στον ανθρώπινο οργανισμό (Roberts et al., 2023) που δεν σχετίζονται άμεσα με την όραση (μη οπτικές επιδράσεις του φωτός).

Οι κυριότερες μη οπτικές επιδράσεις είναι:

- ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού (ύπνος / εγρήγορση),
- καταστολή ή έκκριση μελατονίνης,
- επίπεδα συγκέντρωσης και προσοχής,
- διάθεση και ψυχολογική κατάσταση,
- σωματική κόπωση και καταπόνηση.

Παράλληλα, παρατηρείται ότι η υποκειμενική αντίληψη των χρηστών για την ποιότητα του φωτισμού δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τα αντικειμενικά δεδομένα της απόδοσης του φωτισμού και τη βιολογική επίδραση του φωτός στον ανθρώπινο οργανισμό (άρθρο: *The Application of Human-Centric Lighting in Response to Working from Home Post-COVID-19*). Έτσι, **χώροι που γίνονται αντιληπτοί ως επαρκώς φωτισμένοι, ενδέχεται να μην υποστηρίζουν αποτελεσματικά τη φυσιολογική ισορροπία και τις μακροχρόνιες ανάγκες του ανθρώπου**. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία τη διερεύνηση του φωτισμού όχι μόνο ως σύνολο τεχνικών και ποσοτικών παραμέτρων, αλλά ως στοιχείο που διαμορφώνει την καθημερινή εμπειρία, τη συμπεριφορά και την ποιότητα ζωής μέσα στον αρχιτεκτονικό χώρο.

Στον αμφιβληστροειδή εντοπίζονται τα **ραβδία** και τα **κωνία**, τα οποία είναι υπεύθυνα για την όραση, καθώς και τα **φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα**, τα οποία δεν συμμετέχουν άμεσα στην όραση, αλλά λειτουργούν ως αισθητήρες φωτός για τη ρύθμιση βιολογικών διεργασιών. **Μέσω αυτών των μηχανισμών, το φως συμβάλλει στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού, της εγρήγορσης και της ορμονικής ισορροπίας, επηρεάζοντας την καθημερινή λειτουργία και την ευεξία του ανθρώπου στους εσωτερικούς χώρους**.

Ιδιαίτερη σημασία έχει ο τρόπος με τον οποίο κατανέμεται η ενέργεια του φωτός στα διαφορετικά μήκη κύματος του ορατού φάσματος, δηλαδή το φασματικό του περιεχόμενο, καθώς και η ένταση του φωτός (E, μονάδα: lux, lx). Οι παράμετροι αυτές σχετίζονται με τη μη οπτική επίδραση του φωτός, διότι διαφορετικά χαρακτηριστικά φωτισμού είναι

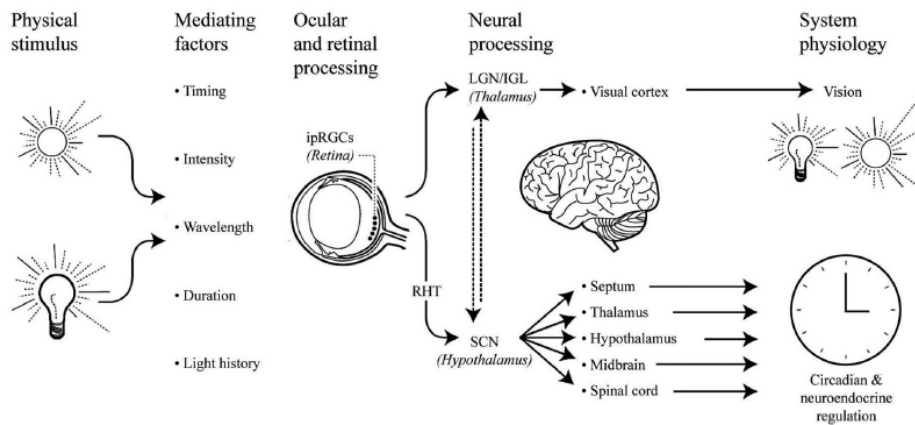
δυνατόν να ενισχύσουν ή να περιορίσουν τις μη οπτικές αποκρίσεις του ανθρώπινου οργανισμού. Δηλαδή, ένας χώρος μπορεί να θεωρείται επαρκώς φωτισμένος από οπτική άποψη, χωρίς ωστόσο να υποστηρίζει αποτελεσματικά τις βιολογικές ανάγκες του χρήστη.

Η διάκριση αυτή μεταξύ οπτικής και μη οπτικής επίδρασης του φωτός αποτελεί κρίσιμο σημείο για την κατανόηση της σχέσης φωτισμού και ανθρώπου και θέτει τη βάση για την προσέγγιση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού που αναπτύσσεται στα επόμενα κεφάλαια.

Η έρευνα μέσα από τη βιβλιογραφία τεκμηριώνει ότι, πέρα από τη λειτουργία της όρασης, **το φως ασκεί σημαντικές μη οπτικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού.** Οι επιδράσεις αυτές επηρεάζουν φυσιολογικές διεργασίες όπως η έκκριση ορμονών, η θερμοκρασία του σώματος, ο κύκλος ύπνου και η λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος.

Η αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού στο φως δεν εξαρτάται μόνο από την οπτική αντίληψη, αλλά επηρεάζεται από παραμέτρους όπως η **ένταση του φωτός, η διάρκεια έκθεσης, το φασματικό περιεχόμενο του φωτός,** καθώς και από ατομικά χαρακτηριστικά όπως είναι η **ηλικία και η συμπεριφορά.** Στο πλαίσιο αυτό, η **μελατονίνη (melatonin) αναδεικνύεται ως ο πλέον αξιόπιστος κιρκάδιος δείκτης,** διότι επηρεάζεται λιγότερο από τους εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. το άγχος και ο ύπνος) σε σύγκριση με άλλους φυσιολογικούς δείκτες (Jalali et al., 2024).

Το φως επηρεάζει τον άνθρωπο μέσω σύνθετων οφθαλμολογικών και εγκεφαλικών μηχανισμών που δεν περιορίζονται αποκλειστικά στη λειτουργία της όρασης. **Οι οπτικές επιδράσεις** προκύπτουν κυρίως από τη λειτουργία των ραβδίων και των κωνίων του αμφιβληστροειδούς και σχετίζονται με την οπτική απόδοση, την οπτική εμπειρία και την οπτική άνεση. Παράλληλα, έχουν αναγνωριστεί **μη οπτικές επιδράσεις του φωτός,** οι οποίες οφείλονται κυρίως στη λειτουργία των **εγγενώς φωτοευαίσθητων γαγγλιακών κυττάρων του αμφιβληστροειδούς, γνωστών ως ipRGCs (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells).** Τα κύτταρα αυτά (ipRGCs) διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στις μη οπτικές αποκρίσεις στο φως, καθώς διαθέτουν εγγενή φωτοευαισθησία μέσω της μελανοψίνης.

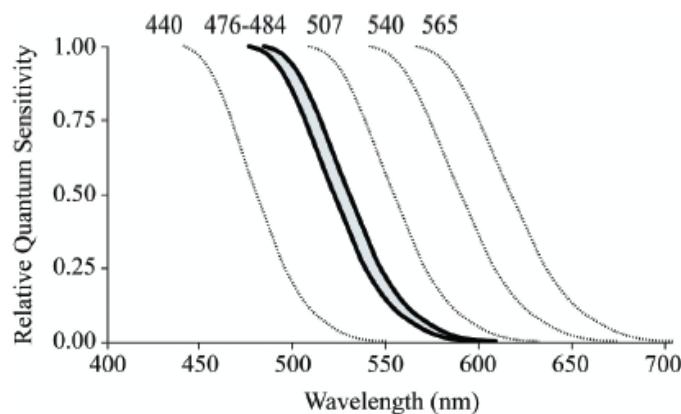


Εικόνα 2.1 Σχηματική απεικόνιση των νευροανατομικών μηχανισμών των φυσιολογικών επιδράσεων του φωτός.

Τα εγγενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα (ipRGCs) μεταδίδουν την πληροφορία του φωτός μέσω της αμφιβληστροειδοϋποθαλαμικής οδού (RHT) προς τον υπερχιασματικό πυρήνα (SCN).

ΠΗΓΗ: VETTER ET AL. (2022), FIG. 1 (ΑΔΕΙΑ CC BY).

Η **μελανοψίνη** είναι η φωτοχρωστική ουσία των ipRGCs, με μέγιστη φασματική ευαισθησία περίπου στα 480 nm στο μπλε-κυανό τμήμα του ορατού φάσματος, σε αντίθεση με τα ραβδία (507 nm) και τα κωνία (Vetter et al., 2022). Μέσω αυτής, τα ipRGCs ανιχνεύουν την ένταση και το φασματικό περιεχόμενο του φωτός και μεταδίδουν σήματα, μέσω της αμφιβληστροειδοϋποθαλαμικής οδού (RHT, retinohypothalamic tract), προς τον υπερχιασματικό πυρήνα (SCN, suprachiasmatic nuclei, το κεντρικό βιολογικό ρολόι) και σε άλλες εγκεφαλικές περιοχές που ρυθμίζουν μη οπτικές λειτουργίες και παράλληλα λαμβάνουν σήματα από τα ραβδία και τα κωνία, μεταδίδοντας πληροφορίες προς εγκεφαλικές περιοχές που ρυθμίζουν βιολογικές και συμπεριφορικές λειτουργίες.



Εικόνα 2.2 Σκέλος μεγάλου μήκους κύματος των συναρτήσεων φασματικής ευαισθησίας για ραβδία, κωνία και φωτοχρωστική μελανοψίνη.

Η απεικόνιση περιλαμβάνει το εύρος των αποτελεσμάτων για τα φάσματα απορρόφησης μελανοψίνης, με βάση τους Bailes και Lucas (2013), Panda et al. (2005) και Torii et al. (2007), όπως παρατίθενται στους Vetter et al. (2022).

ΠΗΓΗ: VETTER ET AL. (2022), FIG. 2 (ΑΔΕΙΑ CC BY).

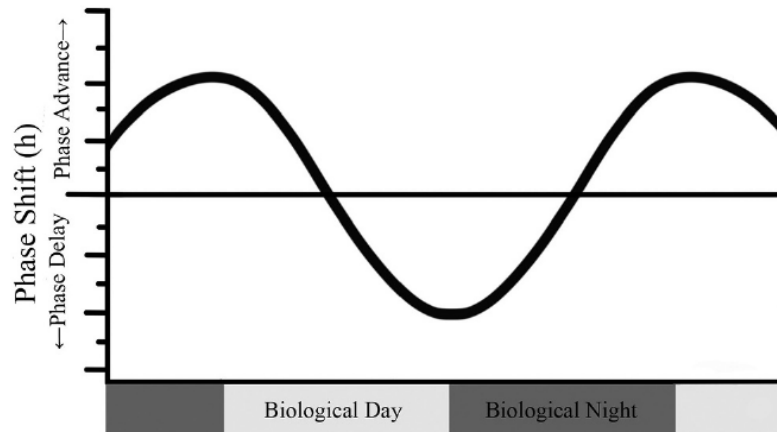
Οι μη οπτικές επιδράσεις (αναφέρονται επίσης ως μη σχηματοποιημένες απεικονιστικές επιδράσεις του φωτός, non-image forming, NIF), περιλαμβάνουν κιρκάδιες, νευροενδοκρινικές και νευροσυμπεριφορικές διεργασίες, όπως η ρύθμιση του κύκλου ύπνου/ εγρήγορσης, η έκκριση της μελατονίνης και η μεταβολή της εγρήγορσης. **Το φως λειτουργεί ως βιολογικό ερέθισμα**, του οποίου η επίδραση εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως η διάρκεια, η ένταση, το φάσμα, τον τρόπο με τον οποίο το φως κατανέμεται στον χώρο και κυρίως στο πώς φτάνει στα μάτια του χρήστη. Η διάκριση μεταξύ οπτικών και μη οπτικών επιδράσεων δεν συνεπάγεται ανεξαρτησία, καθώς όλοι οι φωτοϋποδοχείς συμβάλλουν, σε διαφορετικό βαθμό και στις δύο κατηγορίες αποκρίσεων. Η κατανόηση αυτής της πολυπλοκότητας αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τον σχεδιασμό φωτισμού που επιδιώκει να υποστηρίξει ανθρώπινες αποκρίσεις πέραν της οπτικής λειτουργίας (Houser & Esposito, 2021).

2.3 Ο ρόλος του φωτός στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού

Ο **κιρκάδιος ρυθμός** αποτελεί τον εσωτερικό βιολογικό μηχανισμό του ανθρώπινου οργανισμού που ρυθμίζει τον κύκλο εγρήγορσης και ξεκούρασης σε διάρκεια περίπου είκοσι τεσσάρων ωρών. Η λειτουργία του συνδέεται **άμεσα με την έκθεση του ανθρώπου στο φως** και έχει διαμορφωθεί διαχρονικά σε συνθήκες φυσικού φωτισμού, όπου η εναλλαγή ημέρας και νύχτας παρείχε σαφή χρονικά ερεθίσματα στον ανθρώπινο οργανισμό (Roberts et al., 2023).

Το φυσικό φως, μέσω των μεταβαλλόμενων επιπέδων φωτεινότητας και του φασματικού του χαρακτήρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, λειτουργεί ως βασικός ρυθμιστής του κιρκάδιου ρυθμού.

Σύγχρονες έρευνες δείχνουν ότι το φως επηρεάζει τον κιρκάδιο ρυθμό μέσω μη οπτικών μηχανισμών, οι οποίοι δεν σχετίζονται με την όραση, αλλά με τη βιολογική απόκριση του οργανισμού στο φωτεινό ερέθισμα. **Η έκθεση σε επαρκή επίπεδα φωτός κατά τις πρωινές ώρες συνδέεται με αυξημένη εγρήγορση και καλύτερη ρύθμιση του βιολογικού ρολογιού, ενώ η μειωμένη ή ακατάλληλη έκθεση στο φως μπορεί να οδηγήσει σε διατάραξη του κιρκάδιου κύκλου.** Αποτελέσματα της διατάραξης του κιρκάδιου ρυθμού σχετίζονται με κόπωση, μειωμένη συγκέντρωση και διαταραχές στον κύκλο ύπνου.



Εικόνα 2.3 Καμπύλη απόκρισης φάσης φωτός (phase response curve).

Η κατεύθυνση και το μέγεθος της μετατόπισης της κιρκάδιας φάσης εξαρτώνται από τη χρονική στιγμή της έκθεσης σε σχέση με τη βιολογική ημέρα και νύχτα.

ΠΗΓΗ: VETTER ET AL. (2022), FIG. 3· UC SAN DIEGO BIOCLOCK STUDIO, ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΑΠΟ RUEGER ET AL. (2013) (ΑΔΕΙΑ CC BY).

Στο σύγχρονο εσωτερικό περιβάλλον (κατοικίας και εργασίας), όπου η έκθεση στο φυσικό φως είναι περιορισμένη και η καθημερινή δραστηριότητα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στον τεχνητό φωτισμό, η σχέση φωτός και κιρκάδιου ρυθμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Όπως προκύπτει από μετρήσεις και παρατηρήσεις, **οι συνθήκες τεχνητού φωτισμού συχνά επαρκούν για την οπτική εκτέλεση δραστηριοτήτων, χωρίς όμως να υποστηρίζουν επαρκώς τη βιολογική λειτουργία του οργανισμού** (άρθρο: *The Application of Human-Centric Lighting in Response to Working from Home Post-COVID-19*). Το γεγονός ότι οι οπτικές απαιτήσεις μπορούν να καλύπτονται χωρίς αντίστοιχη βιολογική υποστήριξη αναδεικνύει την ανάγκη κατανόησης του φωτός όχι μόνο ως οπτικό μέσο, αλλά ως παράγοντα ρύθμισης του ανθρώπινου βιολογικού ρυθμού, πράγμα που αποτελεί βασικό άξονα της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης στον φωτισμό.

Οι Jalali et al. (2024) υπογραμμίζουν ότι ο **κιρκάδιος ρυθμός αποτελεί θεμελιώδη μηχανισμό ρύθμισης του ανθρώπινου οργανισμού, συγχρονισμένο με τον κύκλο ημέρας και νύχτας**. Το φυσικό φως της ημέρας **περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα μήκη κύματος** για τη ρύθμιση αυτού του εσωτερικού βιολογικού ρολογιού, ενώ η **επαρκής έκθεση** στο φυσικό φως συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας και της ευεξίας. Αντίθετα, η σύγχρονη καθημερινότητα και η αυξημένη χρήση τεχνητού φωτισμού, ιδιαίτερα του φωτισμού με υψηλό ποσοστό μικρών μηκών κύματος κατά τη νύχτα, ενδέχεται να διαταράξουν τον κιρκάδιο κύκλο. Η επίδραση του φωτός στον κιρκάδιο ρυθμό σχετίζεται

κυρίως με το φασματικό του περιεχόμενο και την ένταση, με τα μικρά μήκη κύματος να παρουσιάζουν εντονότερη βιολογική δράση.

Η σχέση μεταξύ του φωτός και του κιρκάδιου ρυθμού μπορεί να αναλυθεί περισσότερο με βάση τις **θεμελιώδεις παραμέτρους** που καθορίζουν τις **μη οπτικές αποκρίσεις του οργανισμού** στο φωτεινό ερέθισμα. Σύμφωνα με τους Houser και Esposito (2021), ο κιρκάδιος ρυθμός συνιστά εσωτερική βιολογική διεργασία που επαναλαμβάνεται σε κύκλο περίπου εικοσιτεσσάρων ωρών και ρυθμίζει λειτουργίες όπως ο κύκλος ύπνου/εγρήγορσης, η ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος και η έκκριση μελατονίνης. Καθοριστική έννοια για την κατανόηση αυτής της σχέσης αποτελεί ο **κιρκάδιος συγχρονισμός**, δηλαδή η σταθερή χρονική αντιστοίχιση ενός εσωτερικού βιολογικού ρυθμού με ένα εξωτερικό περιβαλλοντικό ερέθισμα.

Στο πλαίσιο αυτό, το φως αναδεικνύεται ως το **σημαντικότερο εξωγενές ερέθισμα** για τον κιρκάδιο συγχρονισμό. Ο εγκέφαλος προσδιορίζει τη χρονική του θέση μέσα στο εικοσιτετράωρο αξιοποιώντας το φυσικό εναλλασσόμενο μοτίβο φωτός και σκότους, ενώ η **διάρκεια της έκθεσης** στο φως αποδεικνύεται ο πλέον κρίσιμος παράγοντας για την ένταση των μη οπτικών αποκρίσεων. Χαρακτηριστικό της πολυπλοκότητας αυτής της σχέσης είναι ότι το ίδιο φωτεινό ερέθισμα μπορεί να επιφέρει είτε **ευεργετικά** είτε **δυσμενή** αποτελέσματα, ανάλογα με τη χρονική στιγμή κατά την οποία λαμβάνει χώρα η έκθεση (Houser & Esposito, 2021).

Για άτομα δραστήρια την ημέρα, η έντονη έκθεση στο φως κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες υποστηρίζει τόσο τη γενική υγεία όσο και τον ίδιο τον κιρκάδιο συγχρονισμό. Αντιθέτως, η έκθεση σε έντονο φως κατά τις βραδινές ώρες ενδέχεται να καθυστερήσει την έναρξη του ύπνου. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι **το κιρκάδιο σύστημα δεν αποκρίνεται με ενιαίο τρόπο σε όλα τα άτομα**, καθώς η ευαισθησία στο βραδινό φως παρουσιάζει αξιοσημείωτη διαφοροποίηση μεταξύ ατόμων (Houser & Esposito, 2021).

Η απόκριση του οργανισμού στο φως δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις τρέχουσες συνθήκες, αλλά διαμορφώνεται και από την προγενέστερη έκθεση. Το κιρκάδιο σύστημα προσαρμόζεται στη προηγούμενη έκθεση του ατόμου στο φως, με αποτέλεσμα η έκθεση κατά τις πρώτες ώρες της ημέρας να επηρεάζει τη βιολογική ισχύ του φωτός που ακολουθεί αργότερα. Επομένως, παρατεταμένες περίοδοι χαμηλού φωτισμού ενδέχεται να

επιδράσουν αρνητικά στον επακόλουθο ύπνο, ενώ η μειωμένη αντίθεση μεταξύ φωτεινής ημέρας και σκοτεινής νύχτας, συνθήκη τυπική των σύγχρονων εσωτερικών χώρων, δύναται να αποδυναμώσει τον κιρκάδιο συγχρονισμό (Houser & Esposito, 2021).

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, η **οξεία καταστολή της μελατονίνης** από το φως μετράται ευκολότερα σε σχέση με τις μεταβολές των ίδιων των κιρκάδιων ρυθμών και έχει χρησιμοποιηθεί ως έμμεσος δείκτης σε μελέτες που εξετάζουν τις επιδράσεις του φωτός στην κιρκάδια υγεία. Ωστόσο, οι Houser και Esposito (2021) επισημαίνουν ότι ο δείκτης αυτός **δεν αποτελεί κατάλληλο υποκατάστατο** για το σύνολο των φυσιολογικών αποκρίσεων. Ειδικότερα, δεν αντικατοπτρίζει επαρκώς τη μετατόπιση της κιρκάδιας φάσης ούτε τα αποτελέσματα στην εγρήγορση.

Το φυσικό φως διασφαλίζει από τη φύση του την επιθυμητή αναλογία φωτεινής ημέρας και σκοτεινής νύχτας, παρέχοντας τις κατάλληλες συνθήκες για την κιρκάδια υγεία. Για τον λόγο αυτόν, το φυσικό φως θεωρείται κεντρικό στοιχείο της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης στον φωτισμό, στον βαθμό που η αξιοποίησή του είναι εφικτή στο εκάστοτε αρχιτεκτονικό περιβάλλον.

Τέλος, η ερμηνεία των βιολογικών αποκρίσεων στο φως απαιτεί προσοχή, καθώς μια βιολογική απόκριση δεν μεταφράζεται απαραίτητα σε μετρήσιμη μεταβολή της απόδοσης ή της συνολικής υγείας. Επιπλέον, τα προαναφερθέντα αποτελέσματα ενδέχεται να επηρεάζονται από πλήθος παραγόντων πέραν του φωτός, όπως **η ηλικία, το κλίμα, η διατροφή, η κατάσταση υγείας, η σωματική άσκηση, η γενετική προδιάθεση, η φαρμακευτική αγωγή, η ψυχική υγεία, η εγκυμοσύνη, οι συνήθειες ύπνου, το άγχος και τα ταξίδια** (Houser & Esposito, 2021). Η αναγνώριση αυτής της πολυπαραγοντικής φύσης ενισχύει την ανάγκη προσέγγισης του φωτισμού όχι ως μεμονωμένου μέσου, αλλά ως συνιστώσας ενός ευρύτερου πλαισίου που ρυθμίζει τον ανθρώπινο βιολογικό ρυθμό.

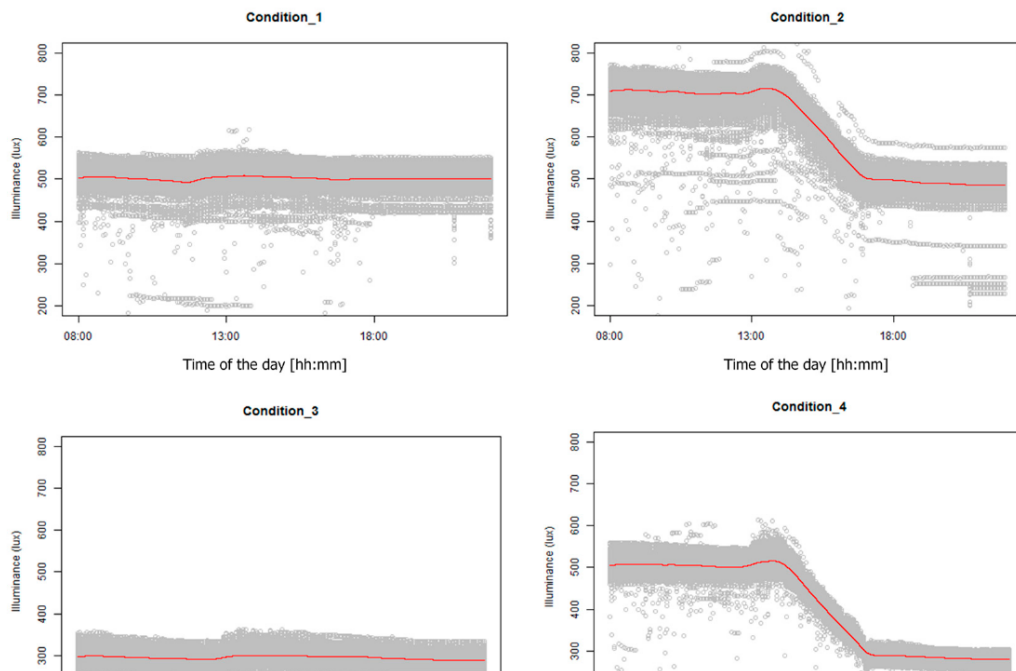
2.4 Η σχέση φωτός, ευεξίας & ψυχολογίας

Πέρα από τη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού, το φως ασκεί άμεση επίδραση σε ένα ευρύ φάσμα ψυχολογικών και νευροσυμπεριφορικών λειτουργιών του ανθρώπου. Όπως επισημαίνουν οι Vetter et al. (2022), ο αρχιτεκτονικός φωτισμός πέραν της όρασης ρυθμίζει **τον ύπνο, την εγρήγορση, την κόπωση, τη νευροενδοκρινική λειτουργία, τις νευρογνωστικές αποκρίσεις και τη διάθεση**. Η αναγνώριση αυτών των μη οπτικών

επιδράσεων μετατοπίζει το ζήτημα του φωτισμού της κατοικίας από ένα καθαρά λειτουργικό και αισθητικό πλαίσιο, σε ένα πλαίσιο που αφορά άμεσα την υγεία και την ευεξία του χρήστη.

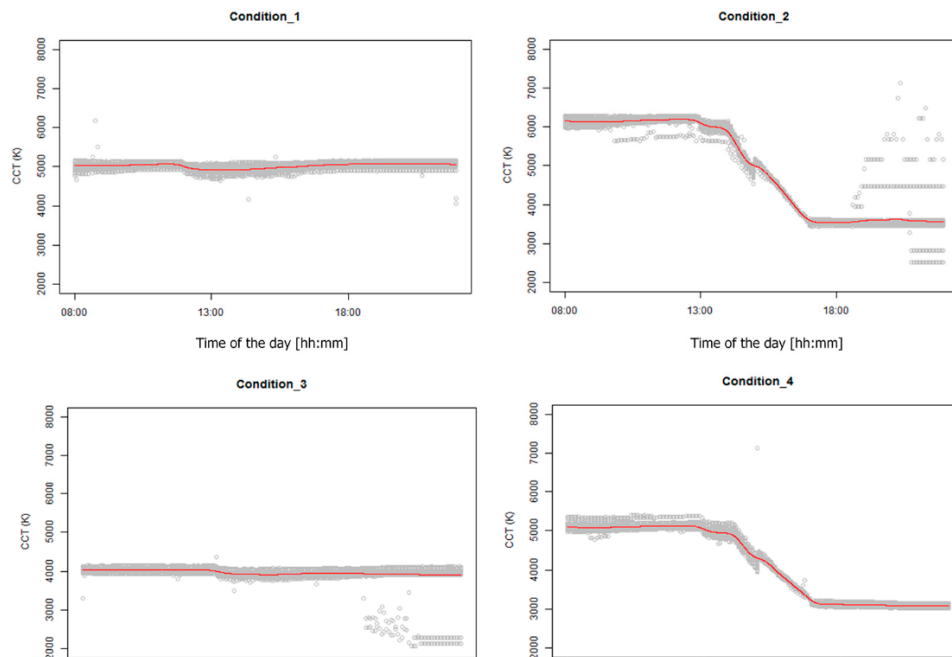
Ως προς την **εγρήγορση**, η έκθεση σε φως υψηλής έντασης και αυξημένου ποσοστού ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος ενισχύει τόσο την υποκειμενική όσο και την αντικειμενική εγρήγορση. Οι Vetter et al. (2022) διαπιστώνουν ότι οι προειδοποιητικές επιδράσεις του φωτός παρουσιάζουν σχέση **ανάλογη με την ποσότητα του φωτός**, ανάλογη με εκείνη της καταστολής της μελατονίνης και ότι το **φως μικρότερου μήκους κύματος προκαλεί ταχύτερους χρόνους αντίδρασης σε σχέση με το φως μεγαλύτερου μήκους κύματος**. Η επίδραση είναι εντονότερη κατά τη νύχτα, ενώ σε άτομα επαρκώς ξεκούραστα κατά την ημέρα μπορεί να είναι περιορισμένη.

Ως προς τη **διάθεση**, μελέτη πεδίου σε εργασιακό περιβάλλον (Zhang et al., 2020) κατέγραψε ότι ο δυναμικός φωτισμός LED με ημερήσια μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος παρείχε **οριακό όφελος στη διάθεση** και ταυτόχρονα **σημαντική αύξηση της εγρήγορσης κατά τις απογευματινές ώρες**, υποδεικνύοντας δυνατότητα μείωσης της φυσικής υπνηλίας κατά τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας.



Εικόνα 2.4 Ημερήσια μεταβολή της έντασης φωτισμού (illuminance) στις τέσσερις συνθήκες φωτισμού της μελέτης.

Οι δυναμικές συνθήκες (condition_2, condition_4) παρουσιάζουν σαφή μείωση κατά τις απογευματινές ώρες.
ΠΗΓΗ: ZHANG ET AL. (2020), FIGURE 8 (AAEI CC BY).



Εικόνα 2.5 Ημερήσια μεταβολή της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος (CCT) στις τέσσερις συνθήκες φωτισμού.

Στις δυναμικές συνθήκες η θερμοκρασία χρώματος μειώνεται προς το βράδυ, προσομοιώνοντας τη μετάβαση του φυσικού φωτός.

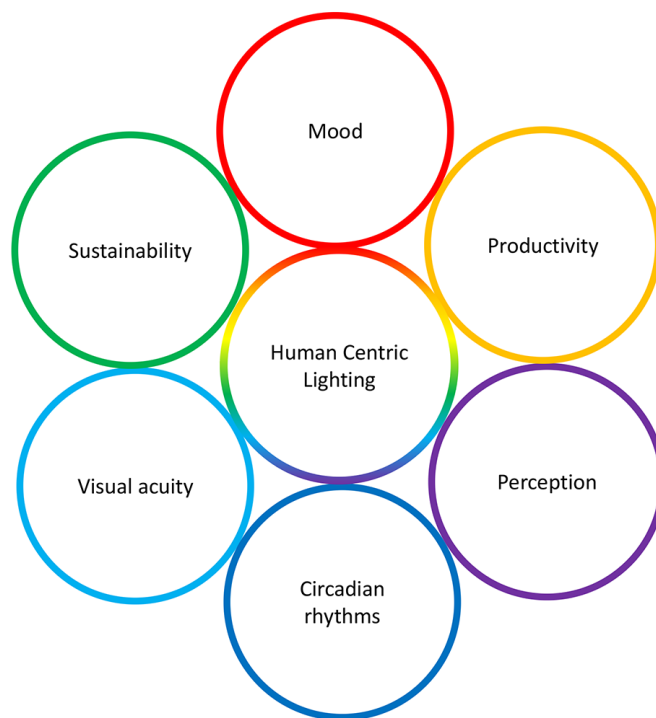
ΠΗΓΗ: ZHANG ET AL. (2020), FIGURE 9 (AAEIA CC BY).

Η σχέση φωτός–ύπνου είναι αμφίδρομη και κρίσιμη για την ευεξία. Οι Vetter et al. (2022) σημειώνουν ότι οι **οξείες διεγερτικές επιδράσεις (alerting effect)** του φωτός, ιδίως κατά τη νύχτα, επηρεάζουν τόσο την απόδοση όσο και τον χρονισμό (πότε ξεκινά και τελειώνει ο ύπνος μέσα στο εικοσιτετράωρο) και την ποιότητα του ύπνου. Πρόκειται όμως για διαφορετικό μηχανισμό από τη μετατόπιση της κιρκάδιας φάσης (βλ. ενότητα 2.3).

Παρότι οι δύο αποκρίσεις έχουν κάποια κοινά στοιχεία, όπως το ότι και οι δύο εξαρτώνται από την ποσότητα του φωτός, τα πρώτα ερευνητικά δεδομένα σε ανθρώπους δείχνουν ότι δεν ταυτίζονται, κάτι που επιβεβαιώνεται και από μελέτες σε ζώα. Για παράδειγμα, σε πειράματα με σύντομη έκθεση σε φως, ο υπερχιασματικός πυρήνας (SCN) αντιδρά με πιο σύνθετο τρόπο απ' ό,τι στην περίπτωση της καταστολής της μελατονίνης, κάτι που δείχνει ότι οι δύο μηχανισμοί δεν λειτουργούν πάντα μαζί, όπως αναφέρονται στους Vetter et al.

Συμπληρωματικά, η μελέτη των Zhang et al. (2020) διαπίστωσε **μείωση της αντιληπτής ποιότητας και διάρκειας ύπνου** μετά από έκθεση των συμμετεχόντων σε δυναμικό φωτισμό χωρίς κατάλληλη βραδινή προσαρμογή, εύρημα που αναδεικνύει ότι ο δυναμικός φωτισμός δεν είναι από μόνος του ευεργετικός, αλλά εξαρτάται από τον ορθό χρονισμό του.

Στο πλαίσιο αυτό, ο **ανθρωποκεντρικός φωτισμός** ορίζεται ως προσέγγιση που βελτιστοποιεί τη **συγκέντρωση, τη διάθεση, την εγρήγορση, την ευεξία και την απόδοση** (Roberts et al., 2023). Η ευφυής, αυτοματοποιημένη ρύθμιση του φωτισμού ανάλογα με τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη αποτελεί ενεργό ερευνητικό πεδίο με στόχο τη βελτίωση της ψυχικής ευεξίας (Cupkova et al., 2019). Ωστόσο, οι ίδιοι οι Vetter et al. (2022) προειδοποιούν ότι τα δεδομένα παραμένουν ανομοιογενή και ότι απαιτείται περαιτέρω επαλήθευση σε συνθήκες πραγματικής χρήσης, προτού διατυπωθούν βεβαιότητες.



Εικόνα 2.6 Εννοιολογική απεικόνιση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού και των διαστάσεων που επηρεάζει: διάθεση, παραγωγικότητα, αντίληψη, κιρκάδιος ρυθμός, οπτική οξύτητα (visual acuity) και βιωσιμότητα.

ΠΗΓΗ: CUPKOVA ET AL. (2019), FIGURE 1, ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟ WALERCZYK (ΑΔΕΙΑ CC BY 4.0).

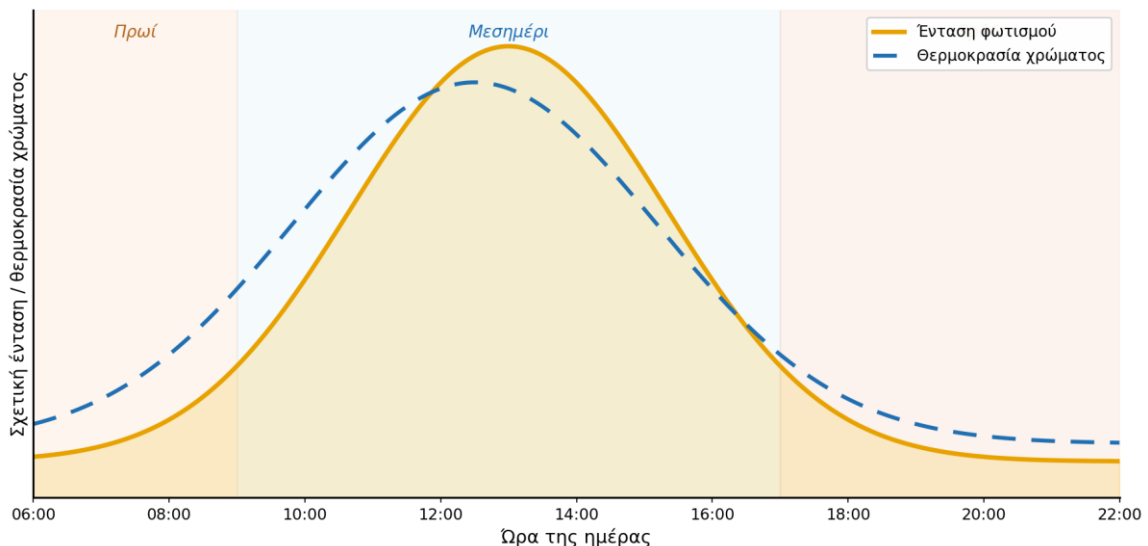
2.5 Ο ρυθμός του φυσικού φωτός μέσα στην ημέρα και την κατοικία

Το φυσικό φως μεταβάλλεται διαρκώς κατά τη διάρκεια της ημέρας ως προς την ένταση, το φασματικό περιεχόμενο και τη διεύθυνσή του. Οι Houser και Esposito (2021) προσδιορίζουν τέσσερις μεταβλητές του φωτεινού ερεθίσματος: **το χρονικό πρότυπο, το επίπεδο φωτισμού, τη φασματική κατανομή και το χωρικό πρότυπο**, τονίζοντας ότι το χρονικό πρότυπο είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τις μη οπτικές αποκρίσεις, καθώς ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται τον χρόνο παρατηρώντας το φυσικό ημερήσιο μοτίβο

φωτός και σκότους. Έτσι, το ίδιο ερέθισμα μπορεί να είναι ευεργετικό σε μια ώρα και επιβλαβές σε μια άλλη.

Ιστορικά, ο άνθρωπος περνούσε περίπου το **90% του χρόνου του εκτεθειμένος στο φυσικό φως**, ενώ στον σύγχρονο τρόπο ζωής το ποσοστό αυτό έχει περιοριστεί σε περίπου 10% (Roberts et al., 2023). Σύμφωνα με την ίδια πηγή, αυτή η μετατόπιση (που συνοδεύεται από παρατεταμένη έκθεση σε τεχνητό φωτισμό σταθερής θερμοκρασίας χρώματος) συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο διαταραχών του μεταβολισμού και της συμπεριφοράς, καθώς και καρκίνου του μαστού.

Στη σύγχρονη κατοικία, η πρόσβαση στο φυσικό φως περιορίζεται από αρχιτεκτονικούς παράγοντες όπως ο προσανατολισμός, το μέγεθος των ανοιγμάτων και η σκίαση. Οι Jalali et al. (2024) υπογραμμίζουν ότι, παρά τη σημασία της πρόσβασης στο φυσικό φως για τους κιρκάδιους ρυθμούς, **οι σύγχρονοι τρόποι ζωής συχνά περιορίζουν τη διαθεσιμότητά του** και ότι η εκτεταμένη χρήση LED ενδέχεται να αυξήσει την έκθεση σε μπλε φως κατά τη νύχτα. Με την εξάπλωση της τηλεργασίας, ο χρήστης συνδέεται για μεγάλα διαστήματα με συγκεκριμένους χώρους της κατοικίας ανεξαρτήτως συνθηκών φωτισμού (Roberts et al., 2023).



Εικόνα 2.7 Σχηματική απεικόνιση της ημερήσιας διακύμανσης του φυσικού φωτός.

Η ένταση και η θερμοκρασία χρώματος αυξάνονται το μεσημέρι και μειώνονται το βράδυ.

ΠΗΓΗ: ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΒΑΣΕΙ HOUSER & ESPOSITO (2021) ΚΑΙ JALALI ET AL. (2024).

Η κατανόηση του ρυθμού του φυσικού φωτός αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού. Για άτομα με ημερήσιο πρόγραμμα δραστηριότητας, οι Houser και Esposito (2021) επισημαίνουν ότι **το έντονο φως το πρωί και κατά την**

ημέρα υποστηρίζει την υγεία, ενώ το έντονο φως το βράδυ μπορεί να καθυστερήσει την έναρξη του ύπνου. Ο τεχνητός φωτισμός της κατοικίας οφείλει συνεπώς να αναπαράγει, κατά το δυνατόν, τα χρονικά και φασματικά χαρακτηριστικά του φυσικού φωτός, ώστε να υποστηρίζει τον κιρκάδιο ρυθμό και τη συνολική ευεξία.

3. Ανθρωποκεντρικός φωτισμός (Human-Centric Lighting)

3.1 Ορισμός και αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού

Ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός (Human-Centric Lighting, HCL) αποτελεί μια σύγχρονη προσέγγιση στον σχεδιασμό φωτισμού, η οποία εστιάζει στις ανάγκες του ανθρώπου πέρα από την κάλυψη των οπτικών αναγκών. Σε αντίθεση με τις συμβατικές πρακτικές φωτισμού, που βασίζονται κυρίως σε σταθερά επίπεδα φωτεινότητας και συγκεκριμένες θερμοκρασίες χρώματος, **ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός λαμβάνει υπόψη τη βιολογική και ψυχολογική απόκριση του ανθρώπου στο φως, καθώς και τη μεταβολή αυτών των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της ημέρας.**

Στη βιβλιογραφία ο HCL (που αναφέρεται και ως ολοκληρωμένος φωτισμός, integrative lighting) περιγράφεται ως μια προσέγγιση φωτισμού που, εκτός από την όραση, επιδιώκει να ενισχύσει τη συγκέντρωση, τη διάθεση, την εγρήγορση, την ευεξία και την απόδοση του χρήστη. Αναγνωρίζει δηλαδή ότι το φως επιδρά στην ανθρώπινη ψυχολογία σε σχέση με την ένταση και τη θερμοκρασία χρώματος, γι' αυτό σχεδιάζεται ώστε να ακολουθεί τον ημερήσιο ηλιακό κύκλο για να εναρμονίζεται με τον κιρκάδιο ρυθμό (Roberts et al., 2023). Επομένως δεν πρόκειται για εμπορικό όρο, αλλά **για σχεδιαστική φιλοσοφία** που στοχεύει στη βελτιστοποίηση της ανθρώπινης εμπειρίας στους εσωτερικούς χώρους, καθώς διαφορετικές συνθήκες φωτισμού μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση, τη διάθεση και την εγρήγορση ακόμη και όταν οι βασικές οπτικές απαιτήσεις έχουν ήδη καλυφθεί.

Κεντρική αρχή του ανθρωποκεντρικού φωτισμού είναι η προσαρμογή του τεχνητού φωτισμού στον φυσικό ημερήσιο κύκλο του φωτός. Η υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού και η εναρμόνιση του εσωτερικού χώρου με τον βιολογικό ρυθμό του ανθρώπου επιδιώκεται μέσω της μεταβολής της έντασης και των φασματικών χαρακτηριστικών του φωτισμού. Με τον τρόπο αυτό ο φωτισμός αντιμετωπίζεται ως δυναμικό στοιχείο του χώρου, το οποίο συμμετέχει στη διαμόρφωση της εμπειρίας του χρήστη και όχι απλώς ως τεχνικό μέσο ορατότητας.

Η πληρέστερη αποτύπωση της έννοιας προέρχεται από τους Houser και Esposito (2021), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι, στην καλύτερη εκδοχή του, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός λαμβάνει ταυτόχρονα υπόψη τόσο τις οπτικές όσο και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, με στόχο την υποστήριξη θετικών ανθρώπινων αποτελεσμάτων, ενώ στη χειρότερη εκδοχή του υποβαθμίζεται σε όρο μάρκετινγκ που παρουσιάζει προϊόντα ως πιο υγιεινά

απ' όσο πραγματικά είναι (healthwashing). Καθοριστικής σημασίας είναι η επισήμανση ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν αποτελεί χαρακτηριστικό προϊόντος, δηλαδή τα φωτιστικά που ισχυρίζονται ότι «βελτιώνουν τον ύπνο» ή «αυξάνουν την απόδοση» οφείλουν να αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό (Houser & Esposito, 2021).

Αντίθετα, ο **ανθρωποκεντρικός φωτισμός ορίζεται ως αποτέλεσμα διαδικασίας σχεδιασμού και όχι ως μεμονωμένη επιλογή εξοπλισμού**. Ξεκινά από τη σύλληψη του έργου και την ιεράρχηση των σχεδιαστικών στόχων και εκτείνεται σε όλη τη διαδικασία, και συγκεκριμένα τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό (συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού φυσικού φωτισμού), την επιλογή φωτιστικού εξοπλισμού, τη θέση σε λειτουργία (commissioning) και τη λειτουργία των συστημάτων. Η επιτυχής εφαρμογή απαιτεί τη συναίνεση όλων των όσων συμμετέχουν στο έργο, με τους χρήστες να αποτελούν τους πλέον κρίσιμους αποδέκτες, καθώς διακυβεύονται η υγεία, η ευεξία και η γνωστική τους λειτουργία (Houser & Esposito, 2021).

Ο σχεδιαστής δεν μπορεί να ελέγξει τη συνολική έκθεση των χρηστών στο φως καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, **μπορεί όμως να ελέγξει το φωτεινό ερέθισμα στους χώρους που σχεδιάζει** με βασική του επιδίωξη να είναι η παροχή του κατάλληλου φωτός, στον κατάλληλο χρόνο, στους κατάλληλους χώρους. Δεδομένου ότι ο σύγχρονος άνθρωπος περνά περίπου το 90% του χρόνου του εντός κτιρίων, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός θεωρείται σχεδόν πάντα αναγκαία παράμετρος στον σχεδιασμό εσωτερικών χώρων (Houser & Esposito, 2021). Στο πλαίσιο αυτό, η σχετική βιβλιογραφία εντάσσει τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό σε δομημένες διαδικασίες λήψης αποφάσεων, όπως η Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη Έργου (Integrated Project Delivery – IPD) που προωθεί το Αμερικανικό Ινστιτούτο Αρχιτεκτόνων (American Institute of Architects – AIA), ώστε ο φωτισμός να αντιμετωπίζεται ως αναπόσπαστο μέρος της αρχιτεκτονικής διαδικασίας, από τα πρώιμα στάδια έως την αξιολόγηση μετά την κατοίκησή του (Jalali et al., 2024).

Η κατανόηση αυτών των βασικών αρχών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάλυση των παραμέτρων σχεδιασμού και των εργαλείων αξιολόγησης που αναλύεται στα επόμενα υποκεφάλαια.

3.2 Εξέλιξη του όρου και θεωρητικό υπόβαθρο (από τον βιολογικό στον βιοματικό φωτισμό)

Ο όρος «ανθρωποκεντρικός φωτισμός» εμφανίστηκε και καθιερώθηκε αρχικά στο πλαίσιο της βιομηχανίας φωτισμού, σε στενή σύνδεση με τη μετάβαση από τις συμβατικές φωτεινές πηγές στην τεχνολογία LED. Χαρακτηριστική είναι η κοινή μελέτη των LightingEurope και ZVEI (2013), η οποία παρουσίασε τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό ως μια αγορά που υπερβαίνει το ζήτημα της ενεργειακής απόδοσης και αποσκοπεί στην προαγωγή της ευεξίας, της διάθεσης και της υγείας, με δυνατότητα να βελτιώσει τη συγκέντρωση, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα σε χώρους εργασίας και εκπαίδευσης. Στη μελέτη αυτή ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός προβλεπόταν να καλύψει περίπου το 7% της ευρωπαϊκής αγοράς φωτισμού, με την ανάπτυξή του να τροφοδοτείται από τις προηγμένες δυνατότητες ελέγχου των συστημάτων LED (LightingEurope & ZVEI, 2013).

Η αρχική αυτή θεώρηση, που ήταν κατά βάση εμπορική και επικεντρωμένη στη βιολογία, συνοδεύτηκε σταδιακά από κριτική και ωρίμανση της έννοιας. Οι Houser, Boyce, Zeitzer και Herf (2021), στη μελέτη τους με τον χαρακτηριστικό τίτλο «Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor?», υποστηρίζουν ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός στηρίζεται σε γερά επιστημονικά θεμέλια, τα οποία όμως έχουν αμαυρωθεί από παραπλανητικούς εμπορικούς ισχυρισμούς. Οι συγγραφείς προτείνουν τον όρο ολοκληρωμένος φωτισμός (integrative lighting) ως ακριβέστερη διατύπωση που αποφεύγει την υπερβολή και αποτυπώνει με μεγαλύτερη σαφήνεια τους στόχους του πεδίου (Houser et al., 2021).

Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, η έννοια συνδυάζει «κάτι παλαιό και κάτι νέο». Το παλαιό αφορά την αναγνώριση ότι η ποιότητα του αποτελέσματος για τον άνθρωπο προκύπτει πρωτίστως από τον καλό σχεδιασμό και ότι το φως εξακολουθεί να υπηρετεί την όραση, την οπτική άνεση και την οπτική απόλαυση. Το νέο στοιχείο αφορά τη συνειδητοποίηση της ευθύνης για τις μη οπτικές αποκρίσεις του ανθρώπου στο φως, δηλαδή τις κιρκάδιες, τις νευροενδοκρινικές και τις νευροσυμπεριφορικές, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπίζονται ισότιμα με τις οπτικές (Houser et al., 2021). Η στροφή αυτή σηματοδοτεί τη μετάβαση από μια καθαρά βιολογική και τεχνοκρατική αντίληψη του φωτισμού προς μια ολοκληρωμένη θεώρηση, η οποία ανοίγει τον δρόμο και για τη βιοματική του διάσταση που εξετάζεται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

3.3 Παράμετροι σχεδιασμού: ένταση, CCT, φασματική κατανομή, διάρκεια

Στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό ο σχεδιασμός δεν περιορίζεται στην επίτευξη επαρκούς ορατότητας, αλλά λαμβάνει υπόψη ένα σύνολο παραμέτρων που σχετίζονται με τη βιολογική απόκριση του ανθρώπου στο φως. Από τη σχετική έρευνα προκύπτει ότι η ποσότητα του φωτός, τα φασματικά του χαρακτηριστικά και η κατεύθυνση από την οποία προσπίπτει στον χρήστη αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού (Roberts et al., 2023).

Η **ένταση του φωτός** (E , lx), όπως εκφράζεται μέσω του επιπέδου φωτισμού, εξακολουθεί να αποτελεί **βασική παράμετρο**, χωρίς ωστόσο να επαρκεί από μόνη της για την αξιολόγηση της βιολογικής επίδρασης: ένας χώρος μπορεί να πληροί τις απαιτήσεις οπτικής άνεσης και λειτουργικότητας, χωρίς να παρέχει το κατάλληλο φωτεινό ερέθισμα για τη ρύθμιση του βιολογικού ρολογιού. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη διάκριση μεταξύ οπτικών και μη οπτικών απαιτήσεων. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά το φασματικό περιεχόμενο του φωτός, καθώς διαφορετικές φασματικές συνιστώσες ενεργοποιούν σε διαφορετικό βαθμό τους μη οπτικούς μηχανισμούς του οργανισμού. Η βιολογική απόκριση δεν εξαρτάται μόνο από το πόσο φως υπάρχει σε έναν χώρο, αλλά και από το είδος του φωτός στο οποίο εκτίθεται ο χρήστης (Roberts et al., 2023).

Επιπλέον, η κατεύθυνση και η θέση του φωτισμού στον χώρο επηρεάζουν καθοριστικά την αποτελεσματικότητα του φωτεινού ερεθίσματος. Η βιολογική επίδραση συνδέεται κυρίως με την έκθεση του ματιού σε φωτισμό που προσπίπτει στο κατακόρυφο επίπεδο, εντός του οπτικού πεδίου του χρήστη. Αντίθετα, φωτιστικά σώματα τοποθετημένα εκτός του άμεσου οπτικού πεδίου, αν και επαρκούν για τον οριζόντιο φωτισμό επιφανειών, συχνά δεν υποστηρίζουν επαρκώς τις μη οπτικές λειτουργίες. Συνεπώς, η συνδυαστική διαχείριση της έντασης, του φασματικού χαρακτήρα, της θέσης και της κατεύθυνσης του φωτός αποτελεί θεμελιώδη αρχή του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Roberts et al., 2023).

Οι παράμετροι αυτές έχουν αποτυπωθεί συστηματικά στο πλαίσιο VITALS (βλ. Εικόνα 3.1), το οποίο εισήγαγε η ομάδα BIOS Lighting (αποτελούμενη από πρώην επιστήμονες της NASA) ως **κατευθυντήριες αρχές για τον σχεδιασμό ανθρωποκεντρικού φωτισμού**. Συγκεκριμένα, το πλαίσιο περιλαμβάνει:

- τον κατακόρυφο φωτισμό (**Vertical**) ο οποίος στο επίπεδο των οφθαλμών θεωρείται σημαντικότερος από τον οριζόντιο φωτισμό στο επίπεδο εργασίας,
- την ένταση (**Intensity**) που καθορίζει το επίπεδο φωτεινής διέγερσης και τα επίπεδα μελανοπικού φωτισμού,
- τον χρονισμό (**Timing**) δηλαδή τη σταθερότητα και τη συνέπεια των ημερήσιων ερεθισμάτων ώστε να αναπαράγονται τα φυσικά μοτίβα εναλλαγής φωτός-σκότους,
- την εμφάνιση (**Appearance**) που αφορά την ποιότητα χρώματος και τη χωροθέτηση των φωτιστικών,
- τη θέση (**Location**) της πηγής σε σχέση με τον ορίζοντα του βλέμματος και
- το φάσμα (**Spectrum**) δηλαδή τη φασματική σύσταση της πηγής (Jalali et al., 2024). Σύμφωνα με το ίδιο πλαίσιο, η αύξηση της έντασης οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα μελανοπικών lux, ενώ οι θερμές πηγές παράγουν χαμηλότερο ισοδύναμο μελανοπικό φωτισμό από τις ψυχρότερες. Ως προς τον χρονισμό, η έκθεση σε τιμή Circadian Stimulus (CS) $\geq 0,3$ για τουλάχιστον μία ώρα νωρίς το πρωί θεωρείται επαρκής για την ενεργοποίηση του κιρκάδιου ρυθμού (Jalali et al., 2024).

Τα έξι κριτήρια VITALS του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού φωτισμού

V Vertical Κατακόρυφος φωτισμός Φωτισμός στο επίπεδο των οφθαλμών και στις κατακόρυφες επιφάνειες	I Intensity Ένταση Επίπεδο φωτεινής διέγερσης / μελανοπικά lux
T Timing Χρονισμός Σταθερά καθημερινά ερεθίσματα· αναπαραγωγή φυσικού κύκλου φωτός-σκότους	A Appearance Εμφάνιση Ποιότητα χρώματος και χωροθέτηση φωτιστικών σωμάτων
L Location Θέση Χωροθέτηση της πηγής σε σχέση με τον ορίζοντα του βλέμματος	S Spectrum Φάσμα Φασματική σύσταση της φωτεινής πηγής

Εικόνα 3.1 Τα έξι κριτήρια VITALS.

Προτείνονται ως κατευθυντήριες αρχές για τον σχεδιασμό ανθρωποκεντρικού φωτισμού: vertical, intensity, timing, appearance, location, spectrum.

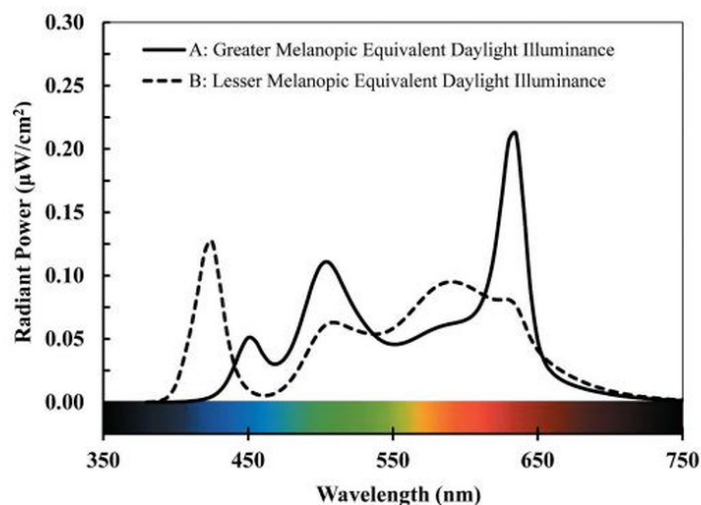
ΠΗΓΗ: ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΒΑΣΕΙ JALALI ET AL. (2024).

Σε θεωρητικό επίπεδο, οι Houser και Esposito (2021) οργανώνουν τις σχεδιαστικές παραμέτρους μέσα από τη σχέση **ερεθίσματος–απόκρισης** και αναγνωρίζουν τέσσερις παραμέτρους που μπορεί να ελέγξει ο μελετητής:

1. **το χρονικό πρότυπο,**
2. **το επίπεδο φωτισμού,**
3. **τη φασματική κατανομή και**
4. **το χωρικό πρότυπο** του φωτός.

Η συμβολή τους στις μη οπτικές επιδράσεις δεν είναι η ίδια για όλες: το χρονικό πρότυπο, δηλαδή η ώρα της ημέρας κατά την οποία λαμβάνει χώρα η έκθεση, αναγνωρίζεται ως ο κυρίαρχος παράγοντας, καθώς το ίδιο φωτεινό ερέθισμα μπορεί να είναι ευεργετικό σε μια χρονική στιγμή και επιβαρυντικό σε άλλη (Houser & Esposito, 2021).

Η βιολογική ισχύς ενός ερεθίσματος τροποποιείται κυρίως μέσω της ρύθμισης του επιπέδου φωτισμού και σε δεύτερο βαθμό μέσω της φασματικής κατανομής, με το πιο έντονο φως που εμπεριέχει μεγαλύτερη αναλογία ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος να είναι βιολογικά ισχυρότερο. Ιδιαίτερη σημασία έχει η επισήμανση ότι η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (CCT) αποτελεί μονοδιάστατη απλοποίηση της φασματικής κατανομής ισχύος και **δεν μπορεί να προβλέψει αξιόπιστα τη βιολογική ισχύ**, περιορισμός που είναι ιδιαίτερα εμφανής σε φωτισμό LED με μίξη χρωμάτων και συνεπώς δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως μοναδικό κριτήριο ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού (Houser & Esposito, 2021). Η αδυναμία αυτή γίνεται ξεκάθαρη από το γεγονός ότι δύο φωτεινές πηγές με πανομοιότυπη χρωματικότητα και CCT μπορούν να εμφανίζουν σαφώς διαφορετική φασματική κατανομή και, επομένως, διαφορετική βιολογική ισχύ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2.

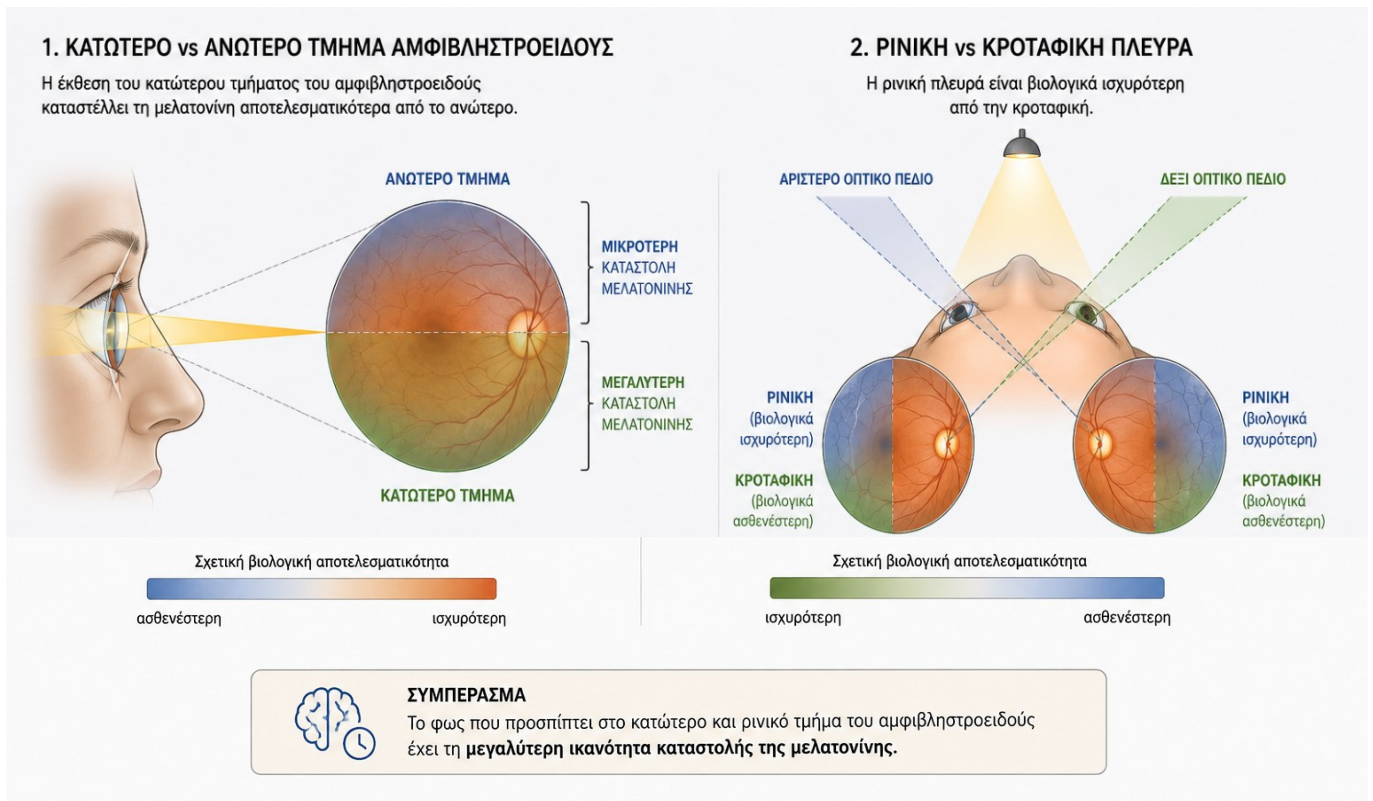


Εικόνα 3.2 Δύο μεταμερικές φασματικές κατανομές ισχύος (SPD) στους 3500 K.

Οι δύο φασματικές κατανομές είναι οπτικά ισοδύναμες ως προς τον πρότυπο παρατηρητή CIE 1931 2°, αλλά διαφέρουν ως προς το μελανοπικό τους περιεχόμενο και, κατά συνέπεια, ως προς τη βιολογική τους επίδραση. ΠΗΓΗ: VETTER ET AL. (2022), LEUKOS, FIG. 4 (AAEIA CC BY).

Ως προς το **χωρικό μοτίβο**, η έκθεση του κατώτερου τμήματος του αμφιβληστροειδούς καταστέλλει τη μελατονίνη αποτελεσματικότερα από το ανώτερο, ενώ η ρινική πλευρά είναι βιολογικά ισχυρότερη από την κροταφική (βλ. Εικόνα 3.3). Ωστόσο, στους εσωτερικούς χώρους τα φαινόμενα αυτά υποσκελίζονται από την κατεύθυνση του βλέμματος, καθώς η θέαση προς ένα φωτεινό παράθυρο παράγει ισχυρότερο ερέθισμα από τη θέαση προς έναν χαμηλά φωτισμένο εσωτερικό τοίχο. Έτσι, ενώ τα κριτήρια φωτισμού για την όραση προσανατολίζονται οριζόντια, στο επίπεδο εργασίας, τα κριτήρια για τον κιρκάδιο φωτισμό αφορούν το επίπεδο των οφθαλμών και προσανατολίζονται κατακόρυφα, γεγονός που αναδεικνύει τη δυνατότητα για καινοτόμες λύσεις που παρέχουν επαρκές φως στο επίπεδο των οφθαλμών χωρίς να προκαλούν οπτική δυσφορία (Houser & Esposito, 2021).

Η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων αυτών δεν στηρίζεται αποκλειστικά σε θεωρητικά μοντέλα, αλλά υποστηρίζεται και από εργαλεία προσομοίωσης ενσωματωμένα σε περιβάλλοντα τρισδιάστατου σχεδιασμού (πρόσθετου plug in, ClimateStudio, του λογισμικού Rhino), τα οποία επιτρέπουν την εκτίμηση της φωτεινής κατανομής στο επίπεδο των οφθαλμών και τη συσχέτισή της με μελανοπικά μεγέθη, τα εργαλεία αυτά εξετάζονται αναλυτικότερα στο σχεδιαστικό μέρος της εργασίας.



Εικόνα 3.3 Χωρική κατανομή της μελανοπικής απόκρισης του αμφιβληστροειδούς.

Η βιολογική αποτελεσματικότητα του φωτός δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο τον αμφιβληστροειδή. Διαφέρει κάθετα (άνω-κάτω) και οριζόντια (ρινική-κροταφική).

ΠΗΓΗ: ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ.

3.4 Δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης της μη οπτικής επίδρασης του φωτισμού

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι βασικότεροι δείκτες και μέθοδοι αξιολόγησης της μη οπτικής επίδρασης του φωτισμού, δηλαδή το Circadian Stimulus (CS), η Equivalent Melanopic Lux (EML) και η Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI), καθώς και οι περιορισμοί και η συγκριτική τους αξιολόγηση.

Η ανάλυση των παραμέτρων σχεδιασμού του ανθρωποκεντρικού φωτισμού αποδεικνύει ότι η ένταση, το φασματικό περιεχόμενο και η κατεύθυνση του φωτός επηρεάζουν τη βιολογική απόκριση του ανθρώπου με τρόπο που δεν αποτυπώνεται επαρκώς μέσω των παραδοσιακών φωτομετρικών μεγεθών. Τα επίπεδα φωτισμού αποτελούν βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση της οπτικής επάρκειας, δεν αρκούν όμως για την περιγραφή των μη οπτικών επιδράσεων και της επίδρασής τους στον κιρκάδιο ρυθμό. Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη εξειδικευμένων δεικτών που επιχειρούν να ποσοτικοποιήσουν τη βιολογική επίδραση του φωτισμού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ποσότητα όσο και τα

φασματικά χαρακτηριστικά του φωτός, καθώς και την έκθεση του ματιού σε αυτό (Roberts et al., 2023). Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι βασικότεροι από τους δείκτες αυτούς.

Σύμφωνα με τους Houser και Esposito (2021), οι μη οπτικές αποκρίσεις συνδέονται κυρίως με τα εγγενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς (ipRGCs), τα οποία διαθέτουν εγγενή φωτοευαισθησία μέσω της μελανοψίνης και ενσωματώνουν σήματα από τα ραβδία και τα κωνία. Ο ακριβής τρόπος συνδυασμού και επεξεργασίας των σημάτων αυτών από τον εγκέφαλο παραμένει ελλιπώς κατανοητός. Για τον λόγο αυτό, η ποσοτικοποίηση της μη οπτικής επίδρασης βασίζεται σε μοντέλα και όχι σε άμεση μέτρηση ανθρώπινων αποκρίσεων, με δύο κύριες προσεγγίσεις: εκείνες που στηρίζονται στη φασματική απόκριση των φωτοχρωστικών και εκείνες που στηρίζονται στην καταστολή της μελατονίνης. Οι πλέον διαδεδομένοι δείκτες είναι η Equivalent Melanopic Lux (EML), η Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI) και το Circadian Stimulus (CS) (Houser & Esposito, 2021).

3.4.1 Κιρκάδιο Ερέθισμα / Circadian Stimulus (CS)

Το Circadian Stimulus (CS) αποτελεί μη γραμμικό μοντέλο της νυχτερινής καταστολής της μελατονίνης στον άνθρωπο, το οποίο βασίζεται στην ποσότητα και στη φασματική κατανομή του φωτός και προϋποθέτει χρόνο έκθεσης μίας ώρας. Προκύπτει από τον υπολογισμό του Κιρκάδιου Φωτός (Circadian Light, CLa) και την προσαρμογή του σε λογιστική συνάρτηση τεσσάρων παραμέτρων και εκφράζεται ως δεκαδικό ποσοστό καταστολής της μελατονίνης με τιμές από 0,00 (0%) έως 0,70 (70%). Παρότι αναμένεται να σχετίζεται με τη ρύθμιση των κιρκάδιων ρυθμών, βασικός του περιορισμός είναι ότι η καταστολή της μελατονίνης και η μετατόπιση της κιρκάδιας φάσης δεν αποτελούν ισοδύναμες αποκρίσεις, ενώ το CS δεν αναπαριστά κατ' ανάγκη άλλες μη οπτικές αποκρίσεις, όπως η εγρήγορση (Houser & Esposito, 2021).

3.4.2 Ισοδύναμη Μελανοπική Φωτεινότητα / Equivalent Melanopic Lux (EML)

Η Ισοδύναμη Μελανοπική Φωτεινότητα (EML), όπως εισήχθη από τους Lucas et al. (2014), βασίζεται στη φασματική ευαισθησία της μελανοψίνης και υπολογίζεται ως το γινόμενο του φωτοπικού φωτισμού E και του μελανοπικού λόγου R ($EML = E \times R$).

Εκφράζεται σε μελανοπικά lux (m-lux), τα οποία δεν αποτελούν μονάδα του Διεθνούς Συστήματος (SI). Ο μελανοπικός λόγος R είναι αδιάστατος, κυμαίνεται περίπου από 0,45 έως 1,70 και εξαρτάται από τη φασματική κατανομή της πηγής. Σημειώνεται ότι η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (CIE) έχει αποσύρει την EML ως προτεινόμενο τρόπο αξιολόγησης (Houser & Esposito, 2021).

3.4.3 Μελανοπική Ισοδύναμη Φωτεινότητα Ημερήσιου Φωτός / Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI)

Η Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI) προτείνεται από τη CIE ως αντικατάσταση της EML. Ορίζεται ως ο φωτισμός πρότυπου ημερήσιου φωτός (D65) σε ένα σημείο, ο οποίος παρέχει την ίδια μελανοπική ακτινοβολία με την εξεταζόμενη πηγή και εκφράζεται σε lux, συμβατά με το SI. Υπολογίζεται ως το γινόμενο του φωτοπικού φωτισμού E_v και του μελανοπικού συντελεστή απόδοσης ημερήσιου φωτός (mel-DER), ενώ συνδέεται με την EML μέσω σταθερού συντελεστή κλιμάκωσης ($EML \approx mel-EDI \times 1,103$). Η mel-EDI αποτελεί το μοναδικό πρότυπο συναίνεσης για την ποσοτικοποίηση της στιγμιαίας βιολογικής ισχύος ενός φωτεινού ερεθίσματος. Ωστόσο, η ίδια η CIE επισημαίνει ότι οι ποσότητες που προκύπτουν ενδέχεται να μην αποτυπώνουν πλήρως τον τρόπο με τον οποίο το φως επηρεάζει τις μη οπτικές αποκρίσεις σε πραγματικά περιβάλλοντα (Houser & Esposito, 2021).

- Υπολογίζεται ως το γινόμενο:
 - ο του φωτοπικού φωτισμού E_v
 - και του melanopic Daylight Efficacy Ratio (mel-DER)
 $E^{D65}_{v,mel} = (E_v)(\gamma^{D65}_{v,mel})$
- Η mel-EDI και η EML σχετίζονται μέσω σταθερού συντελεστή κλιμάκωσης:
 $EML \approx (mel-EDI)(1,103)$

3.4.4 Περιορισμοί και συγκριτική αξιολόγηση των τρόπων αξιολόγησης

Παρά τη χρησιμότητά τους, οι παραπάνω δείκτες υπόκεινται σε ουσιώδεις περιορισμούς. Βασίζονται σε υποκατάστατα βιολογικών αποκρίσεων (φασματική απόκριση φωτοχρωστικών και καταστολή μελατονίνης) και όχι σε άμεσες μετρήσεις υγείας ή ευεξίας, ενώ στηρίζονται σε σήματα του αμφιβληστροειδούς των οποίων η επεξεργασία από τον εγκέφαλο δεν είναι πλήρως κατανοητή. Συνεπώς, η σχέση μεταξύ των

αριθμητικών τιμών (EML, mel-EDI, CS) και των πραγματικών μη οπτικών αποτελεσμάτων στον άνθρωπο παραμένει ελλιπής (Houser & Esposito, 2021).

Επιπλέον, οι στιγμιαίες μετρήσεις φωτισμού ενδέχεται να μην αντιπροσωπεύουν τη μέση ημερήσια έκθεση, η οποία επηρεάζεται από:

1. την κατεύθυνση του βλέμματος,
2. τη στιγμιαία έκθεση στο φυσικό φως,
3. τη γήρανση των λαμπτήρων και
4. τις φασματικές μεταβολές με την πάροδο του χρόνου.

Τα πρότυπα που υιοθετούν κριτήρια επιτυχίας ή αποτυχίας βασισμένα σε συγκεκριμένες τιμές αναφοράς ενδέχεται να δημιουργούν μια ψευδή αίσθηση ακρίβειας, για τον λόγο αυτό, οι δείκτες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως εργαλεία καθοδήγησης του σχεδιασμού και όχι ως απόλυτοι δείκτες υγείας (Houser & Esposito, 2021). Η συγκριτική θεώρηση των τριών δεικτών συνοψίζεται στην Εικόνα 3.4 παρακάτω.

Συγκριτική παρουσίαση δεικτών μη-οπτικής επίδρασης του φωτισμού

	CS Circadian Stimulus	EML Equivalent Melanopic Lux	mel-EDI Melanopic Equivalent Daylight Illuminance
Βάση μοντέλου	Μη-γραμμικό μοντέλο νυχτερινής καταστολής μελατονίνης (1 ώρα)	Φασματική ευαισθησία της μελανοψίνης (EML = E · R)	Ισοδύναμος φωτισμός D65 με ίδια μελανοπική ακτινοβολία
Μονάδα	δεκαδικό ποσοστό (0,00–0,70)	μελανοπικά lux (m-lux· εκτός SI)	lux (συμβατό με SI)
Εύρος τιμών	0,00 – 0,70 (0–70% καταστολή)	$R \approx 0,45 - 1,70$	$EML \approx mel-EDI \cdot 1,103$
Θεσμική κατάσταση	Ανάπτυξη LRC (RPI)· χρήση σε UL 24480	Lucas et al.· έχει αποσυρθεί από τη CIE	Πρότυπο συναίνεσης της CIE

Εικόνα 3.4 Σύγκριση των βασικών δεικτών μη οπτικής επίδρασης του φωτισμού (CS, EML, mel-EDI).

Οι δείκτες συγκρίνονται ως προς τη βάση του μοντέλου τους, τη μονάδα μέτρησης, το εύρος τιμών και τη θεσμική τους κατάσταση.

ΠΗΓΗ: ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΒΑΣΕΙ HOUSER & ESPOSITO (2021)

Η εφαρμογή των δεικτών στον σχεδιασμό υποστηρίζεται από σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία προσομοίωσης, τα οποία επιτρέπουν την εκτίμηση της βιολογικής επίδρασης του φωτός σε αρχιτεκτονικούς χώρους και τη σύνδεση των θεωρητικών δεικτών με τον πραγματικό χώρο.

3.5 Διεθνή πρότυπα και οδηγίες: WELL, EN 12464-1, Lighting Research Center

Η ανάγκη αξιολόγησης του φωτισμού πέρα από τα παραδοσιακά οπτικά κριτήρια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διεθνών προτύπων και εργαλείων που επιχειρούν να ενσωματώσουν τις βιολογικές επιδράσεις του φωτός στον σχεδιασμό των εσωτερικών χώρων.

Τα καθιερωμένα πρότυπα φωτισμού, όπως αυτά της **Society of Light and Lighting** και το **ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12464-1**, εστιάζουν κυρίως σε παραμέτρους που σχετίζονται με την οπτική άνεση και τη λειτουργικότητα, (επίπεδο φωτισμού, η ομοιομορφία και η αποφυγή θάμβωσης) και αποτελούν βασικά σημεία αναφοράς για την ασφάλεια και την ποιότητα του φωτισμού, χωρίς ωστόσο να επαρκούν από μόνα τους για την αξιολόγηση των μη οπτικών επιδράσεων (Roberts et al., 2023).

Στο πλαίσιο της ανθρωποκεντρικής προσέγγισης, το **International WELL Building Institute** εισάγει πρόσθετα κριτήρια που σχετίζονται με τη βιολογική απόκριση του ανθρώπου στο φως. Η προσέγγιση αυτή αναγνωρίζει ότι η αξιολόγηση του φωτισμού πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την ποσότητα του φωτός, αλλά και την επίδρασή του στον κιρκάδιο ρυθμό, με έμφαση στον φωτισμό που προσπίπτει στο κατακόρυφο επίπεδο του οπτικού πεδίου.

Η σύγκριση μεταξύ των παραδοσιακών προτύπων και των νεότερων εργαλείων αξιολόγησης αναδεικνύει μια ουσιαστική στροφή στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται ο φωτισμός των εσωτερικών χώρων. Ενώ τα παραδοσιακά πρότυπα διασφαλίζουν επαρκείς συνθήκες ορατότητας και ασφάλειας, τα εργαλεία που σχετίζονται με τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό επιχειρούν να καλύψουν ένα ευρύτερο φάσμα ανθρωπίνων αναγκών, ενσωματώνοντας την υγεία και την ευεξία στον σχεδιασμό φωτισμού. Υπογραμμίζεται έτσι ότι **ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν αντικαθιστά τα υφιστάμενα πρότυπα, αλλά τα συμπληρώνει** (Roberts et al., 2023).

Το **WELL Building Standard**, που εισήχθη το 2014, δίνει έμφαση σε οκτώ βασικούς τομείς σχεδιασμού (αέρας, διατροφή, νερό, άνεση, φυσική δραστηριότητα, καινοτομία, νους και φως) και από τα εκατό χαρακτηριστικά του, τα έντεκα αφορούν τον φωτισμό, με το Χαρακτηριστικό 54 να επικεντρώνεται στον σχεδιασμό κιρκάδιου φωτισμού. Το πρότυπο καθορίζει συγκεκριμένες απαιτήσεις ανά χρήση χώρου: σε χώρους εργασίας προβλέπεται είτε διατήρηση τουλάχιστον 200 ισοδύναμων μελανοπικών lux στο 75% των

θέσεων είτε ελάχιστος φωτισμός 150 ισοδύναμων μελανοπικών lux σε όλες τις θέσεις, ενώ σε χώρους διαβίωσης (υπνοδωμάτια, λουτρά) απαιτούνται τουλάχιστον 200

ισοδύναμα μελανοπικά lux κατά τη διάρκεια της ημέρας και έως 50 κατά τη νύχτα (Jalali et al., 2024). Παράλληλα, αναφορές όπως το IES Lighting Handbook λειτουργούν ως εργαλεία καθορισμού κατάλληλων επιπέδων φωτισμού για διαφορετικούς χώρους.

Παράλληλα, το σύστημα πιστοποίησης **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)** λαμβάνει υπόψη τον φυσικό φωτισμό ως παράγοντα ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος, αναγνωρίζοντας τη σημασία του φυσικού φωτισμού, αλλά δεν επαρκεί από μόνο του για κιρκάδια υποστήριξη. Συμπληρωματικά, αναφορές όπως το IES Lighting Handbook (εγχειρίδιο της Illuminating Engineering Society) λειτουργούν ως εργαλεία καθορισμού κατάλληλων επιπέδων φωτισμού για διαφορετικούς χώρους.

Σε επίπεδο εξειδικευμένων οδηγιών για τον βιολογικά αποτελεσματικό φωτισμό, η βιβλιογραφία αναλύει **τρία κύρια συστήματα**:

1. **το WELL Building Standard,**
2. **το Underwriters Laboratory UL 24480 και**
3. **το DIN SPEC 67600.**

Τα συστήματα αυτά δεν έχουν αναπτυχθεί όλα μέσω πλήρους διαδικασίας συναίνεσης αντίστοιχης με εκείνη των ANSI ή ISO. Χαρακτηριστικά, το DIN SPEC 67600 φέρει τον χαρακτηρισμό «SPEC» ακριβώς επειδή δεν ολοκλήρωσε πλήρη διαδικασία συναίνεσης ISO, ενώ η IES υποστηρίζει ότι κάθε οδηγία που σχετίζεται με φως και υγεία θα πρέπει να αναπτύσσεται μέσω διαπιστευμένης διαδικασίας συναίνεσης ANSI (Houser & Esposito, 2021).

Ως προς τα κριτήρια, το WELL βασίζεται κυρίως στην EML, επιτρέποντας συμμόρφωση και μέσω mel-EDI ή CS, και ενσωματώνει επιπλέον απαιτήσεις για θάμβωση, οπτική άνεση, πρόσβαση στο φυσικό φως, θέα, ποιότητα χρώματος, flicker και ατομικό έλεγχο του φωτισμού. Το UL 24480 εκφράζει τα κριτήριά του κυρίως μέσω CS (με δυνατότητα συμμόρφωσης και μέσω EML ή φωτοπικού φωτισμού), συνδέοντάς τα με συγκεκριμένες ώρες και διάρκεια έκθεσης και περιοριζόμενο ρητά σε άτομα δραστήρια την ημέρα, σε εμπορικά, εκπαιδευτικά και βιομηχανικά περιβάλλοντα (Houser & Esposito, 2021).

Βάσει των παραπάνω, συμπεραίνεται ότι **το WELL επιδιώκει μια ολιστική προσέγγιση στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό**, καθώς συνδυάζει κιρκάδια κριτήρια με ευρύτερες παραμέτρους οπτικής άνεσης και ποιότητας.

Η σχετική βιβλιογραφία επισημαίνει ωστόσο ότι, αν και τα κριτήρια των WELL και UL διευκολύνουν την εφαρμογή στην πράξη, ενδέχεται να δημιουργούν ψευδή αίσθηση ακρίβειας: οι απαιτούμενες τιμές βασίζονται σε περιορισμένο αριθμό εργαστηριακών μελετών, κυρίως μετρήσεων καταστολής μελατονίνης, ενώ η ανθρώπινη απόκριση στο φως είναι πολυπαραγοντική, καθώς εξαρτάται από την προηγούμενη έκθεση, τη χρονική στιγμή μέσα στο εικοσιτετράωρο και τη σημαντική διατομική μεταβλητότητα, ιδίως στο βραδινό φως. Όπως και στον οπτικό φωτισμό, δεν απαιτείται απόλυτη ακρίβεια, μετρήσεις εντός $\pm 30\%$ θεωρούνται αποδεκτές στην πράξη σύμφωνα με το IES Lighting Handbook και τα πρότυπα ανθρωποκεντρικού φωτισμού οφείλουν να λειτουργούν ως εργαλεία υποστήριξης του σχεδιασμού, με τις αριθμητικές τους απαιτήσεις να μην αντιστοιχούν σε άμεσους ή απόλυτους δείκτες υγείας (Houser & Esposito, 2021).

3.6 Ηθικές και βιωματικές διαστάσεις του φωτισμού για τον άνθρωπο

Πέρα από τα τεχνικά κριτήρια και τους δείκτες αξιολόγησης, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός θέτει και μια σειρά ηθικών ζητημάτων που σχετίζονται με την ευθύνη του σχεδιαστή απέναντι στην υγεία και την ευεξία των χρηστών. Το πρώτο και βασικότερο από αυτά αφορά τη **διάκριση μεταξύ τεκμηριωμένου σχεδιασμού και εμπορικής υπερβολής**: όπως έχει επισημανθεί, ο όρος κινδυνεύει να υποβαθμιστεί σε εργαλείο «υγειοκεντρικού εξωραϊσμού» (healthwashing), με φωτιστικά προϊόντα να διατυπώνουν αβάσιμους ισχυρισμούς περί βελτίωσης του ύπνου ή της απόδοσης. Συνεπώς, η δεοντολογική στάση του μελετητή συνίσταται στην αντιμετώπιση τέτοιων ισχυρισμών με κριτική στάση και στη θεμελίωση των αποφάσεων σε επιστημονικά τεκμηριωμένη γνώση και όχι σε χαρακτηριστικά προϊόντων (Houser & Esposito, 2021 και Houser et al., 2021).

Μια δεύτερη πτυχή αφορά την **ειλικρίνεια ως προς τα όρια της γνώσης και τη διαφάνεια των κριτηρίων**. Η υιοθέτηση αυστηρών αριθμητικών ορίων επιτυχίας ή αποτυχίας, παρότι διευκολύνει την πρακτική εφαρμογή, ενδέχεται να καλλιεργεί μια ψευδή αίσθηση ακρίβειας, ιδίως όταν το σκεπτικό πίσω από τις τιμές αναφοράς δεν έχει δημοσιοποιηθεί και όταν αυτές δεν έχουν προκύψει μέσω πλήρως διαφανών διαδικασιών κοινής αποδοχής. Η αναγνώριση της αβεβαιότητας και της πολυπαραγοντικής φύσης της

ανθρώπινης απόκρισης στο φως αποτελεί, ως εκ τούτου, στοιχείο ηθικής ακεραιότητας του σχεδιασμού (Houser & Esposito, 2021).

Μια τρίτη πτυχή συνδέεται με την αυτονομία και τον σεβασμό της **ατομικής διαφορετικότητας**. Η ενσωμάτωση του ατομικού ελέγχου του φωτισμού ως κριτηρίου στο πρότυπο WELL αναγνωρίζει έμμεσα τη σημασία της δυνατότητας του χρήστη να ρυθμίζει το περιβάλλον του, ζήτημα ιδιαίτερα κρίσιμο στην κατοικία, όπου ο χώρος είναι κατεξοχήν προσωπικός. Παράλληλα, η έρευνα υπογραμμίζει ότι ο σχεδιασμός κιρκάδιου φωτισμού μπορεί να έχει διαφοροποιημένες επιδράσεις ανάλογα με την ηλικία, την ύπαρξη αναπηριών ή καταστάσεων όπως ο αυτισμός, γεγονός που καθιστά αναγκαία την προσεκτική θεώρηση του στοχευόμενου πληθυσμού και θέτει ζήτημα ισότιμης πρόσβασης στα οφέλη του φωτός (Jalali et al., 2024).

Ειδικότερα, στο πλαίσιο της κατοικίας, η ποιότητα του φωτισμού αποτελεί ουσιώδη παράγοντα της ποιότητας της στέγασης και, κατ' επέκταση, της υγείας των ενοίκων. Η συστηματική επισκόπηση των Osibona, Solomon και Fecht (2021) τεκμηριώνει ότι ο οικιακός φωτισμός, φυσικός, τεχνητός και νυχτερινός, συνδέεται με ένα ευρύ φάσμα αποτελεσμάτων στη σωματική και ψυχική υγεία και στον ύπνο, με την ανεπάρκεια φυσικού φωτός αφενός και την υπερβολική έκθεση σε νυχτερινό φως αφετέρου να αναγνωρίζονται ως κρίσιμοι παράγοντες κινδύνου. Η διαπίστωση αυτή προσδίδει στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό της κατοικίας μια σαφή διάσταση δημόσιας υγείας και όχι απλώς αισθητικής ή άνεσης (Osibona et al., 2021).

Η ίδια αυτή πτυχή αναδεικνύει και ένα ζήτημα κοινωνικής δικαιοσύνης. Η μελέτη περιβαλλοντικής δικαιοσύνης των Xiao et al. (2023) διαπίστωσε ότι τα επίπεδα τεχνητού νυχτερινού φωτός (Artificial Light at Night – ALAN) είναι συστηματικά υψηλότερα στις πιο ευάλωτες κοινωνικοοικονομικά γειτονίες, με τις πλέον ευάλωτες κοινότητες να εκτίθενται σε επίπεδα έως και 2,46 φορές υψηλότερα σε σχέση με τις λιγότερο ευάλωτες. Το εύρημα αυτό καταδεικνύει ότι η έκθεση στο ακατάλληλο φως δεν κατανέμεται ισότιμα στον πληθυσμό και ότι η ανθρωποκεντρική προσέγγιση οφείλει να συνεκτιμά διαστάσεις ισότητας και πρόσβασης στο «κατάλληλο φως, στον κατάλληλο χρόνο» (Xiao et al., 2023).

Συνολικά, οι **ηθικές διαστάσεις του ανθρωποκεντρικού φωτισμού**, δηλαδή η τεκμηρίωση έναντι της υπερβολής, η διαφάνεια έναντι της ψευδούς ακρίβειας, ο

σεβασμός της αυτονομίας και της διαφορετικότητας του χρήστη και η ισότιμη πρόσβαση στα οφέλη του φωτός, **συγκροτούν το αναγκαίο υπόβαθρο πάνω στο οποίο αρθρώνεται η βιωματική προσέγγιση του φωτισμού**. Ο τρόπος με τον οποίο το φως διαμορφώνει τη συναισθηματική αντίληψη του χώρου και την εμπειρία του χρήστη στην κατοικία, καθώς και η αξιοποίησή του για ψυχολογική χαλάρωση και αισθητική, εξετάζονται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο, όπου η κατοικία προσεγγίζεται ως χώρος εμπειρίας.

4. Η κατοικία ως χώρος εμπειρίας

Η ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων ανέδειξε τη διπλή φύση του φωτός ως οπτικού και βιολογικού ερεθίσματος, καθώς και τις αρχές, τις παραμέτρους και τα πρότυπα του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Το παρόν κεφάλαιο μεταφέρει αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο στο πεδίο της κατοικίας, προσεγγίζοντάς την ως χώρο καθημερινής εμπειρίας, όπου το φως διαμορφώνει την αντίληψη, τη διάθεση και την καθημερινότητα των ενοίκων.

4.1 Η έννοια της κατοικίας και η ψυχολογία του οικιακού χώρου

Η κατοικία αποτελεί τον πρωταρχικό χώρο καθημερινής διαβίωσης και τον κατεξοχήν προσωπικό χώρο του ανθρώπου. Στις βιομηχανικές κοινωνίες ο σύγχρονος άνθρωπος περνά περίπου το 90% του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους, σημαντικό μέρος του οποίου εντός της κατοικίας (Veitch, 2011 και Roberts et al., 2023). Η παρατεταμένη αυτή παρουσία καθιστά τις συνθήκες του οικιακού περιβάλλοντος καθοριστικές για τη σωματική και ψυχική υγεία των ενοίκων.

Από την οπτική της περιβαλλοντικής ψυχολογίας, η εμπειρία του οικιακού χώρου συνδέεται με έννοιες όπως ο προσωπικός χώρος, η αίσθηση ορίων και οικειοποίησης του χώρου, η ρύθμιση της ιδιωτικότητας και η δυνατότητα ελέγχου του περιβάλλοντος. Όπως επισημαίνει η Veitch (2011), η ιδιωτικότητα συνίσταται κατά βάση στη ρύθμιση της ροής πληροφορίας προς και από το άτομο, ενώ η δυνατότητα ελέγχου των περιβαλλοντικών εισροών λειτουργεί ως κρίσιμος ρυθμιστικός παράγοντας του περιβαλλοντικού στρες, μετριάζοντας τις αρνητικές επιδράσεις των στρεσογόνων ερεθισμάτων (Veitch, 2011). Στην κατοικία, η δυνατότητα του χρήστη να ρυθμίζει το περιβάλλον του αποκτά ιδιαίτερη σημασία διότι ο χώρος είναι κατεξοχήν προσωπικός.

Παράλληλα, η κατοικία εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της **εσωτερικής περιβαλλοντικής ποιότητας** (Indoor Environmental Quality), η οποία προσδιορίζεται από:

1. τη συνδυασμένη επίδραση της θερμικής άνεσης,
2. του φωτισμού,
3. της ακουστικής και
4. της ποιότητας του αέρα στην υγεία, την άνεση και την ευεξία των ενοίκων (Rocca, 2017).

Ο φωτισμός αποτελεί συνεπώς μία από τις βασικές συνιστώσες της ποιότητας του οικιακού χώρου, η οποία με τη σειρά της αναγνωρίζεται ως ουσιώδης παράγοντας της ποιότητας στέγασης και της υγείας (Osibona et al., 2021). Παρότι μεγάλο μέρος της σχετικής έρευνας προέρχεται από εργασιακούς χώρους, οι θεμελιώδεις αρχές της ψυχολογίας του χώρου μεταφέρονται και στο οικιακό περιβάλλον, προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες χρήσεις και ανάγκες του.

4.2 Φως και καθημερινή εμπειρία: αντιλήψεις, συναισθήματα, ρουτίνα

Πέρα από τη λειτουργική του διάσταση, το φως διαμορφώνει ενεργά τον τρόπο με τον οποίο οι ένοικοι αντιλαμβάνονται και βιώνουν τον οικιακό χώρο. **Η σχέση φωτός και συναισθήματος αποτελεί αντικείμενο της ψυχολογίας του χρώματος, καθώς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του φωτός μπορούν να επηρεάσουν τη διάθεση και την εσωτερική κατάσταση του ατόμου.** Στο πλαίσιο αυτό, οι Cupkova et al. (2019) διερευνούν ευφυή συστήματα φωτισμού που προσαρμόζονται στη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη, αξιοποιώντας τις αρχές της ψυχολογίας του χρώματος και τη μεταβολή του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας, με στόχο τη βελτίωση της ψυχικής ευεξίας (Cupkova et al., 2019).

Η συνολική αισθητική ποιότητα του χώρου, την οποία διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό ο φωτισμός, συνδέεται επίσης με μετρήσιμα αποτελέσματα ευεξίας. Η Veitch (2011) αναφέρει ότι η αισθητική κρίση του περιβάλλοντος επιδρά τόσο στη διάθεση κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και στην ποιότητα του ύπνου, ενώ οι ένοικοι των οποίων ο χώρος και η θέα κρίνονται ως πιο ελκυστικοί αναφέρουν μειωμένη δυσφορία και καλύτερη ποιότητα ύπνου (Veitch, 2011). Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι η εμπειρία του φωτός στην κατοικία δεν περιορίζεται στην οπτική επάρκεια, αλλά επεκτείνεται στη συναισθηματική αποτίμηση του χώρου.

Τέλος, **το φως οργανώνει την καθημερινή ρουτίνα**, λειτουργώντας ως χρονικό σημείο αναφοράς μέσα στην ημέρα. Η μελέτη πεδίου των Zhang et al. (2020) τεκμηρίωσε ότι ο δυναμικός φωτισμός με ημερήσια μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος βελτίωσε την εγρήγορση κατά τις απογευματινές ώρες, ενώ ταυτόχρονα ανέδειξε ότι το όφελος αυτό εξαρτάται από τον ορθό χρονισμό της έκθεσης. Στην κατοικία, ιδιαίτερα με την εξάπλωση της τηλεργασίας, ο φωτισμός συνδέεται στενά με τη δομή/πρόγραμμα της

ημέρας του χρήστη, καθώς ο ένοικος παραμένει για μεγάλα διαστήματα σε συγκεκριμένους χώρους ανεξαρτήτως των συνθηκών φωτισμού (Roberts et al., 2023).

4.3 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός και αρχιτεκτονική ατμόσφαιρα

Η αρχιτεκτονική ατμόσφαιρα ενός χώρου δεν προκύπτει μόνο από υποκειμενικές εντυπώσεις, αλλά μπορεί να προσεγγιστεί ως αποτέλεσμα συγκεκριμένων, μετρήσιμων επιλογών φωτισμού. Παράμετροι όπως, ο κατακόρυφος φωτισμός στο επίπεδο των οφθαλμών, το φασματικό περιεχόμενο του φωτός και η διάρκεια της έκθεσης διαμορφώνουν τις συνθήκες ενός χώρου και κατ' επέκταση, τον τρόπο με τον οποίο αυτός υποστηρίζει ή διαταράσσει τη φυσιολογική λειτουργία του χρήστη (Jalali et al., 2024). Με τον τρόπο αυτό, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός συνδέει την αρχιτεκτονική μορφή και τον εσωτερικό χώρο με τη βιολογική λειτουργία του χρήστη μέσω αντικειμενικών δεδομένων.

Στην ίδια λογική, **στοιχεία του εσωτερικού σχεδιασμού όπως τα χρώματα των επιφανειών, οι συντελεστές ανακλαστικότητας και η διαρρύθμιση του χώρου επηρεάζουν τόσο τον αντιληπτό φωτισμό όσο και τα επίπεδα μελανοπικού φωτισμού**, συμβάλλοντας έμμεσα στη συνολική ποιότητα του φωτιστικού περιβάλλοντος. Η σύνδεση με τα φυσικά μοτίβα εναλλαγής φωτός και σκότους λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για τον σχεδιασμό τεχνητού φωτισμού που λαμβάνει υπόψη τις βιολογικές ανάγκες του ανθρώπου (Jalali et al., 2024).

Η βιολογική αυτή διάσταση της ατμόσφαιρας συμπληρώνεται από μια αντιληπτική και συναισθηματική διάσταση. Ήδη από το 1977 ο Flynn συνέδεσε συστηματικά τις υποκειμενικές αποκρίσεις των χρηστών με συγκεκριμένες σχεδιαστικές επιλογές, δείχνοντας ότι η αίσθηση ευρυχωρίας, οικειότητας, χαλάρωσης ή οπτικής καθαρότητας μεταβάλλεται ανάλογα με την ομοιομορφία ή μη της κατανομής, τα επίπεδα φωτισμού και την έμφαση στον περιφερειακό φωτισμό των τοίχων έναντι του φωτισμού οροφής.

Ειδικότερα, η **ανομοιόμορφη κατανομή με χαμηλά επίπεδα στην περιοχή του χρήστη και έμφαση στον περιφερειακό φωτισμό (βλ. Εικόνα 4.1), ενισχύει την αίσθηση οικειότητας και χαλάρωσης, ενώ η αυξημένη και ομοιόμορφη φωτεινότητα (βλ. Εικόνα 4.2) ενισχύει την οπτική καθαρότητα** (Flynn, 1977).



Εικόνα 4.1 Ανομοιόμορφος φωτισμός: αίσθηση οικειότητας και χαλάρωσης.
ΠΗΓΗ: ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ.

Η ίδια αρχή, ότι δηλαδή η ατμόσφαιρα συγκροτείται από διακριτούς τύπους φωτισμού, αποτυπώνεται και στην κλασική προσέγγιση του Kelly (1952), ο οποίος διέκρινε τρεις θεμελιώδεις τύπους, την εστιασμένη λάμψη (**focal glow**) που κατευθύνει το βλέμμα, την περιβάλλουσα φωταύγεια (**ambient luminescence**) που ορίζει τον ομοιόμορφο διάχυτο φωτισμό και το παιχνίδισμα των μπριγιάν (plays of brilliance) που προσδίδουν ένταση και ζωντάνια. Ο τελικός σχεδιασμός προκύπτει ως συνδυασμός των τύπων αυτών, με διαφορετική βαρύτητα ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου (Kelly, 1952).



Εικόνα 4.2 Ομοιόμορφος φωτισμός: οπτική καθαρότητα.
ΠΗΓΗ: ΙΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ.

Στην κατοικία, οι δύο αυτές διαστάσεις συγκλίνουν: ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός καλείται να υποστηρίξει ταυτόχρονα τον κιρκάδιο ρυθμό μέσω μετρήσιμων παραμέτρων και την επιθυμητή ατμόσφαιρα κάθε χώρου μέσω της κατανομής, της κατεύθυνσης και της ιεράρχησης του φωτός, συνδυάζοντας τη βιολογική αποτελεσματικότητα με την ποιοτική, βιωματική εμπειρία του οικιακού περιβάλλοντος.

4.4 Ενδεικτικές εφαρμογές και μελέτες περιπτώσεων κατοικιών

Αν και η πλειονότητα των πειραματικών μελετών ανθρωποκεντρικού φωτισμού αφορά χώρους εργασίας και υγειονομικής περίθαλψης, ένας αυξανόμενος αριθμός ερευνών πεδίου εξετάζει άμεσα το οικιακό περιβάλλον. Τα ακόλουθα ενδεικτικά παραδείγματα, **καλύπτουν τις τρεις βασικές διαστάσεις του οικιακού φωτισμού, δηλαδή τον φυσικό φωτισμό, τον τεχνητό φωτισμό και τις ειδικές ανάγκες ευάλωτων ομάδων.**

Ως προς τον φυσικό φωτισμό, η μελέτη πεδίου των Nagare et al. (2021) σε διαμερίσματα κατοικίας διαπίστωσε ότι η αύξηση του φωτός με βιολογική δράση στον κιρκάδιο ρυθμό (circadian-effective light) κατά τη διάρκεια της ημέρας, μέσω ηλεκτροχρωμικών υαλοστασίων (electrochromic, "έξυπνο τζάμι", τζάμια με ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενη διαφάνεια, smart/switchable glass), συσχετίστηκε με πιο σταθερή έναρξη έκκρισης μελατονίνης, ελαφρώς πρωιμότερη έναρξη ύπνου και υψηλότερη κανονικότητα ύπνου σε σύγκριση με τα συμβατικά υαλοστάσια με περσίδες, αναδεικνύοντας τη σημασία της πρόσβασης στο φυσικό φως μέσα στην κατοικία.

Ως προς τον τεχνητό φωτισμό, η έρευνα των Terán et al. (2026) χαρακτήρισε τη φωτεινή εκπομπή πενήντα δύο οικιακών λαμπτήρων τριών τεχνολογιών και έδειξε ότι οι ψυχροί λευκοί λαμπτήρες προκαλούν σημαντικά μεγαλύτερη καταστολή μελατονίνης από τους θερμούς, ενώ οι ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας χρώματος λαμπτήρες μπορούν να προγραμματιστούν σε υψηλό CCT κατά τη διάρκεια της ημέρας και χαμηλό CCT το βράδυ, ώστε να παρέχουν κατάλληλα κιρκάδια ερεθίσματα και να περιορίζουν την καταστολή της μελατονίνης το βράδυ. Πρακτικά, ως υψηλή θερμοκρασία χρώματος νοείται το ψυχρό λευκό φως (μικρά μήκη κύματος) το οποίο ενισχύει την εγρήγορση κατά την ημέρα, ενώ ως χαμηλή νοείται το θερμό λευκό φως, με περιορισμένο μπλε φάσμα, που υποστηρίζει τη χαλάρωση και την έκκριση μελατονίνης το βράδυ. Χαρακτηριστικά, στη συγκεκριμένη μελέτη η μετάβαση ενός ρυθμιζόμενου λαμπτήρα από ρύθμιση ψυχρού

λευκού περίπου 5700 K σε θερμό λευκό περίπου 2100 K μείωσε την εκτιμώμενη καταστολή μελατονίνης από περίπου 10% σε περίπου 0,1%.

Τέλος, ως προς τις ευάλωτες ομάδες, η πιλοτική μελέτη των Obeidat et al. (2025) σε μονάδα φροντίδας ηλικιωμένων εφαρμόσε δυναμικό φωτισμό με μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος ώστε να προσομοιώνει τον κύκλο ημέρας και νύχτας, και κατέγραψε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα, τη διάρκεια και την αποδοτικότητα του ύπνου των ενοίκων. Το εύρημα αυτό συνδέεται άμεσα με τις ηθικές διαστάσεις που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, καθώς αναδεικνύει τόσο τη σημασία της προσαρμογής του σχεδιασμού στον στοχευόμενο πληθυσμό όσο και την αξία του ατομικού ελέγχου του φωτισμού στην κατοικία.

Συνολικά, τα παραδείγματα αυτά τεκμηριώνουν ότι οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού είναι εφαρμόσιμες στην κατοικία και ότι η συστηματική διαχείριση του φυσικού και του τεχνητού φωτός, με κατάλληλο χρονισμό, μπορεί να επιφέρει μετρήσιμα οφέλη στην ευεξία και τον ύπνο των ενοίκων, προετοιμάζοντας το έδαφος για τη μελέτη περίπτωσης που ακολουθεί.

4.5 Συμπεράσματα θεωρητικής διερεύνησης

Η θεωρητική διερεύνηση των τριών πρώτων κεφαλαίων ανέδειξε μια σαφή και συνεχή πορεία σκέψης. Το φως αναγνωρίστηκε αρχικά ως οπτικό και ταυτόχρονα βιολογικό ερέθισμα, με καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού. Στη συνέχεια, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός παρουσιάστηκε ως σχεδιαστική προσέγγιση που αντιμετωπίζει ισότιμα τις οπτικές και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, υποστηριζόμενη από συγκεκριμένες παραμέτρους, δείκτες και διεθνή πρότυπα. Τέλος, το παρόν κεφάλαιο μετέφερε το πλαίσιο αυτό στην κατοικία.

Από την ανάλυση προκύπτει ότι η κατοικία αποτελεί χώρο όπου συνυπάρχουν τρεις διαστάσεις/πτυχές του φωτισμού. Η **βιολογική διάσταση** αφορά την υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού μέσω κατάλληλης έντασης, φασματικού περιεχομένου και χρονισμού. Η αντιληπτική και **συναισθηματική διάσταση** αφορά τη διαμόρφωση της ατμόσφαιρας και της εμπειρίας του χώρου. Η **ηθική διάσταση** αφορά τον σεβασμό της αυτονομίας, της διαφορετικότητας και της ισότιμης πρόσβασης στα οφέλη του φωτός. Οι ενδεικτικές

μελέτες περιπτώσεων επιβεβαίωσαν ότι οι αρχές αυτές είναι εφαρμόσιμες και αποδίδουν μετρήσιμα οφέλη σε πραγματικές οικιακές συνθήκες.

Η σύνθεση αυτή θέτει τη βάση για το εφαρμοσμένο μέρος της εργασίας. Στο επόμενο κεφάλαιο, οι θεωρητικές αρχές μεταφράζονται σε συγκεκριμένες σχεδιαστικές κατευθύνσεις για μια υφιστάμενη κατοικία, με αξιοποίηση εργαλείων προσομοίωσης και δεικτών όπως το Circadian Stimulus (CS) και το melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI), ώστε να αποτιμηθεί ποσοτικά η βιολογική και οπτική επίδραση του προτεινόμενου φωτισμού.

5. Μελέτη Περίπτωσης: Εφαρμογή Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού σε Κατοικία

5.1 Επιλογή και περιγραφή της κατοικίας προς μελέτη

Η κατοικία αποτελεί τον βασικότερο χώρο καθημερινής εμπειρίας ενός ατόμου, καθώς συνδέεται άμεσα με τις ανάγκες διαβίωσης, ιδιωτικότητας, εργασίας και ξεκούρασης. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η κατοικία αντιμετωπίζεται όχι μόνο ως κτιριακό αντικείμενο, αλλά ως πεδίο αλληλεπίδρασης μεταξύ χώρου, χρήστη και φωτός. Για τον λόγο αυτό, επιλέγεται προς μελέτη μια υφιστάμενη κατοικία, η οποία προσφέρει τις κατάλληλες χωρικές και λειτουργικές συνθήκες για την ανάλυση του φωτισμού σε επίπεδο καθημερινής χρήσης.

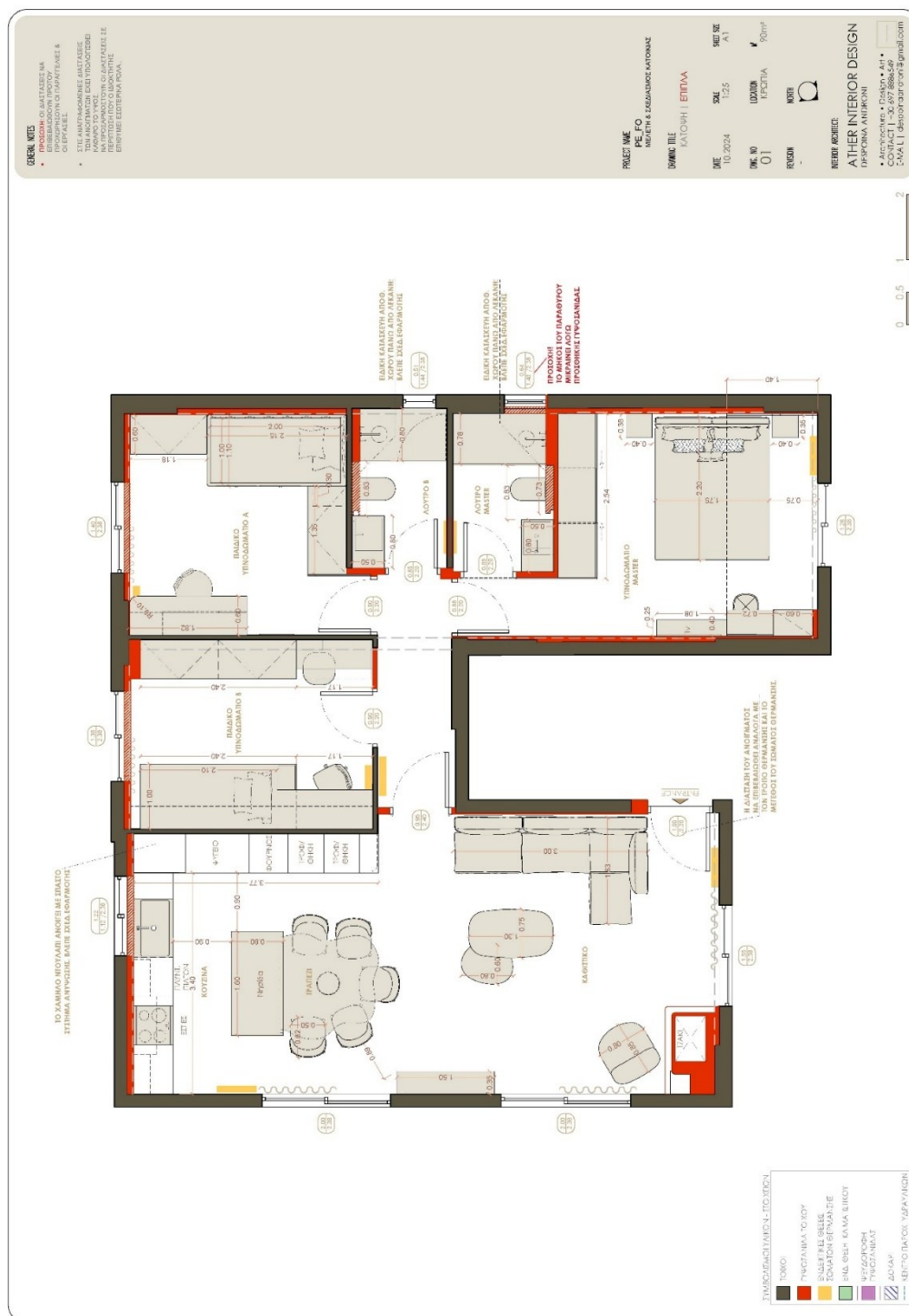
Πρόκειται για κύρια κατοικία σχεδιασμένη για τη μόνιμη διαμονή τριών ατόμων, η οποία βρίσκεται στην Αγία Μαρίνα Αττικής (Ελλάδα). Η επιλογή μιας πραγματικής, υφιστάμενης κατοικίας επιτρέπει τη διερεύνηση του φωτισμού σε συνθήκες ρεαλιστικής χρήσης, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες και τις απαιτήσεις της καθημερινότητας.

Η κατοικία οργανώνεται σε ιδιωτικούς και κοινόχρηστους χώρους, όπως open plan καθιστικό με κουζίνα, τρία υπνοδωμάτια και βοηθητικούς χώρους (δύο λουτρά). Ένας από τους χώρους που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τη μελέτη φωτισμού είναι το ένα υπνοδωμάτιο το οποίο λειτουργεί ως χώρος γραφείου και χρησιμοποιείται σε καθημερινή βάση από ένα μέλος της οικογένειας για τηλεργασία. Η συγκεκριμένη χρήση εισάγει πρόσθετες απαιτήσεις σε επίπεδο φωτισμού, τόσο λειτουργικές όσο και ποιοτικές, καθώς ο χώρος καλείται να υποστηρίξει την εργασία και τη συγκέντρωση.

Η επιλογή της συγκεκριμένης κατοικίας αφορά το βραβευμένο στα Interior Awards 2025 concept *Organic Contours*, το οποίο λειτουργεί ως εννοιολογικό υπόβαθρο και όχι ως μορφολογικό πρότυπο. Η αναφορά στο concept περιορίζεται στη γενικότερη αντίληψη της κατοικίας ως συνεχούς χωρικού οργανισμού, όπου οι μεταβάσεις μεταξύ χώρων δεν αντιμετωπίζονται αποσπασματικά αλλά ως μέρος ενός ενιαίου συνόλου. Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζει τη μελέτη του φωτισμού ως στοιχείου που ενοποιεί τον χώρο και ενισχύει τη χωρική συνοχή.

Στο παρόν κεφάλαιο, η περιγραφή της κατοικίας περιορίζεται στα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν τη χρήση, τη λειτουργική οργάνωση και το γενικό πλαίσιο της κατοικίας. Η ανάλυση του υφιστάμενου φωτισμού αναπτύσσεται σε επόμενο υποκεφάλαιο. Με τον

τρόπο αυτό, η κατοικία λειτουργεί ως σαφές και συγκροτημένο υπόβαθρο για τη μελέτη του αρχιτεκτονικού φωτισμού, που αποτελεί τον βασικό άξονα αυτής της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 5.1 Κάτοψη επιλεγμένης κατοικίας προς μελέτη.
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ AUTOCAD ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ.

5.2 Καταγραφή αναγκών και δραστηριοτήτων των χρηστών

Η καταγραφή των αναγκών και των δραστηριοτήτων των χρηστών αποτελεί βασικό στάδιο για την κατανόηση του τρόπου χρήσης της κατοικίας και τη διαμόρφωση του πλαισίου μέσα στο οποίο θα αναπτυχθεί ο σχεδιασμός του φωτισμού. Ο συγκεκριμένος χώρος κατοικείται από δύο ενήλικες και ένα παιδί (νήπιο), με καθημερινές δραστηριότητες που καλύπτουν τόσο λειτουργικές όσο και ιδιωτικές ανάγκες. Η ανάλυση που ακολουθεί οργανώνεται ανά χώρο, με στόχο τη σαφή αποτύπωση των βασικών χρήσεων και απαιτήσεων.

Κοινόχρηστοι χώροι (open plan καθιστικό – κουζίνα)

- Καθημερινή παραμονή των μελών της οικογένειας.
- Κοινωνικές δραστηριότητες και χαλάρωση.
- Παρακολούθηση τηλεόρασης, κυρίως τις απογευματινές και βραδινές ώρες.
- Προετοιμασία και κατανάλωση γευμάτων.

Χώρος γραφείου (τηλεργασία) χρησιμοποιείται το παιδικό υπνοδωμάτιο Β.

- Καθημερινή χρήση από ένα ενήλικο μέλος της οικογένειας.
- Ωράριο πρωινής εργασίας (09:00–17:00).
- Παρατεταμένη παραμονή και ανάγκη για συγκέντρωση.
- Χρήση ηλεκτρονικού εξοπλισμού (υπολογιστής, οθόνη).

Υπνοδωμάτιο Master

- Χρήση για ξεκούραση και ύπνο.
- Προετοιμασία κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες.
- Δραστηριότητες προσωπικής φροντίδας, όπως μακιγιάζ, στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο (vanity/ beauty furniture).

Παιδικό υπνοδωμάτιο

- Χρήση για ύπνο και ξεκούραση.
- Καθημερινές δραστηριότητες μελέτης και ανάγνωσης.
- Χώρος παιχνιδιού και δημιουργικής απασχόλησης.

Λουτρό

- Καθημερινή χρήση όλες τις ώρες της ημέρας.

- Δραστηριότητες προσωπικής υγιεινής.
- Εναλλαγή μεταξύ λειτουργικής χρήσης και χρήσης χαλάρωσης.

Η παραπάνω καταγραφή αποτυπώνει το εύρος και τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στους επιμέρους χώρους της κατοικίας. Οι ανάγκες αυτές αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των αρχών σχεδιασμού του φωτισμού, οι οποίες αναλύονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

5.3 Ανάλυση υφιστάμενου φωτισμού (φυσικού και τεχνητού)

Η μελέτη της επιλεγμένης κατοικίας βασίζεται σε μια σταδιακή προσέγγιση, η οποία ξεκινά από την ανάλυση των υφιστάμενων συνθηκών φωτισμού και οδηγεί στη διαμόρφωση μιας πρότασης ανθρωποκεντρικού φωτισμού.

Αρχικά, εξετάζεται ο φυσικός φωτισμός του χώρου, λαμβάνοντας υπόψη τον προσανατολισμό, τα ανοίγματα και τη χρονική μεταβολή του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στη συνέχεια, αναλύεται ο υπάρχων τεχνητός φωτισμός ως προς την επάρκεια και τις θέσεις των φωτιστικών σωμάτων.

Σε επόμενο στάδιο, τα παραπάνω δεδομένα αξιολογούνται με βάση τις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, με στόχο τη διαμόρφωση μιας σχεδιαστικής πρότασης που υποστηρίζει τον κιρκάδιο ρυθμό των χρηστών. Η πρόταση αυτή περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση της έντασης του φωτισμού κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

Ως προς τον προσανατολισμό, όπως προκύπτει από την κάτοψη της κατοικίας (Εικόνα 5.1), τα ανοίγματα του υπνοδωματίου master είναι στραμμένα προς τα βορειοανατολικά. Στη βόρεια πλευρά της κατοικίας βρίσκεται και το καθιστικό, με τα ανοίγματά του προς τη βορειοανατολική γωνία, όπου βρίσκεται η τηλεόραση, ενώ η κύρια είσοδος βρίσκεται στη βορειοδυτική πλευρά. Το άνοιγμα/παράθυρο της κουζίνας είναι στραμμένο προς την ανατολή, τα δύο παιδικά υπνοδωμάτια έχουν ανοίγματα προς τα νοτιοανατολικά και τα δύο λουτρά βρίσκονται στη νοτιοδυτική πλευρά της κατοικίας. Σημειώνεται ότι το Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β λειτουργεί ως χώρος γραφείου, χρησιμοποιούμενο σε καθημερινή βάση για τηλεργασία από ένα ενήλικο μέλος της οικογένειας κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες (βλ. ενότητα 5.2).

Ο προσανατολισμός αυτός συνεπάγεται διαφοροποιημένες συνθήκες φυσικού φωτισμού ανά χώρο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το υπνοδωμάτιο master και το καθιστικό, με

ανοίγματα προς τα βόρεια και βορειοανατολικά, δέχονται πιο σταθερό και διάχυτο φυσικό φωτισμό, χωρίς έντονη άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά τις μεσημβρινές ώρες. Η κουζίνα, με ανατολικό προσανατολισμό, δέχεται άμεσο ηλιακό φως κυρίως τις πρωινές ώρες. Τα παιδικά υπνοδωμάτια, με νοτιοανατολικό προσανατολισμό, δέχονται άμεσο φως τόσο τις πρωινές όσο και τις μεσημβρινές ώρες. Στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Α αυτό μπορεί να υποστηρίξει τον πρωινό συγχρονισμό του κιρκάδιου ρυθμού του παιδιού, ενώ στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β, λόγω της χρήσης του ως χώρου γραφείου, η ίδια έκθεση σε πρωινό και μεσημβρινό φυσικό φως συμπίπτει με το ωράριο τηλεργασίας (09:00–17:00) και ενδέχεται να συμβάλλει στην ενίσχυση της εγρήγορσης και της συγκέντρωσης κατά τις ώρες εργασίας, θέτοντας ταυτόχρονα ζήτημα ελέγχου της θάμβωσης στη θέση εργασίας. Τα λουτρά, στη νοτιοδυτική πλευρά, δέχονται άμεσο φως κυρίως τις απογευματινές ώρες.

Πέρα από την ποιοτική περιγραφή της έκθεσης κάθε χώρου στο φυσικό φως ανάλογα με τον προσανατολισμό του, η ανάλυση του υφιστάμενου φωτισμού συμπληρώνεται με την ποσοτική αποτίμηση του **Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ.)**. Ο όρος αυτός αντιστοιχεί στον διεθνώς χρησιμοποιούμενο δείκτη Daylight Factor (DF), όπως τον υπολογίζει το πρόσθετο (plug-in) ClimateStudio του λογισμικού Rhino.

Σύμφωνα με την Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-7, ο Π.Φ.Φ. ορίζεται ως ο λόγος της εσωτερικής προς την εξωτερική ένταση φυσικού φωτισμού μιας επιφάνειας, μια εξ ορισμού υποκειμενική ποσότητα αξιολόγησης της ποιότητας του φυσικού φωτισμού ενός χώρου. Ο δείκτης υπολογίζεται σε συνθήκες πλήρους νεφосκεπούς ουρανού κατά CIE, γεγονός που του επιτρέπει να εκφράζει μια σταθερή, ανεξάρτητη από την ώρα και την εποχή, τιμή για τον έλεγχο της επίδρασης του φυσικού φωτισμού σε έναν εσωτερικό χώρο (TEE, TOTEE 20701-7, σ. 6). Για ανοίγματα σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία, ο Π.Φ.Φ. μπορεί να εκφραστεί απλούστερα ως ο λόγος της έντασης φωτισμού στο εσωτερικό προς την ένταση φωτισμού στο εξωτερικό, επί τοις εκατό, υπό τις ίδιες συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού και χωρίς την παρουσία εμποδίων που θα μείωναν την εξωτερική τιμή αναφοράς (TEE, TOTEE 20701-7, σ. 108).

Ανάλογα με την τιμή του Π.Φ.Φ. η επίδραση του φυσικού φωτισμού στην πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας κατηγοριοποιείται με τον τρόπο που παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 12-6: Κατηγοριοποίηση της επίδρασης του φυσικού φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού με βάση την μέση τιμή του Π.Φ.Φ.

Επίδραση φυσικού φωτισμού	Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ.)
Καμία	Π.Φ.Φ. < 1%
Μικρή	$1\% \leq \text{Π.Φ.Φ.} < 2\%$
Μεσαία	$2\% \leq \text{Π.Φ.Φ.} < 3\%$
Ισχυρή	$3\% \leq \text{Π.Φ.Φ.}$

Εικόνα 5.2 Κατηγοριοποίηση της επίδρασης του φυσικού φωτισμού στην εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού με βάση τη μέση τιμή του Π.Φ.Φ.

Πηγή: TEE, TOTEE 20701-7, σ. 129

Οι τιμές Π.Φ.Φ. της υπό μελέτη κατοικίας εκτιμήθηκαν μέσω του ClimateStudio για κάθε χώρο ξεχωριστά, με βάση το σύνολο των σημείων μέτρησης εντός των κατοικημένων χώρων (occupied spaces), σε οριζόντιο επίπεδο εργασίας ύψους 0,80 m από το δάπεδο. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τη μέση τιμή (Average DF), την ελάχιστη τιμή (Min DF) και τη διάμεση τιμή (Median DF) ανά χώρο, σε ποσοστό επί τοις εκατό, καθώς και την ομοιομορφία (Uniformity) και την αντίστοιχη κατηγορία επίδρασης φυσικού φωτισμού, όπως προκύπτει από την ταξινόμηση του Πίνακα 12-6 της TOTEE 20701-7: Καμία (Π.Φ.Φ. < 1%), Μικρή ($1\% \leq \text{Π.Φ.Φ.} < 2\%$), Μεσαία ($2\% \leq \text{Π.Φ.Φ.} < 3\%$) και Ισχυρή ($\text{Π.Φ.Φ.} \geq 3\%$) (TEE, TOTEE 20701-7, σ. 129, βλ. Εικόνα 5.2).

Χώρος	Avg DF	Min DF	Median DF	Uniformity	Κατηγορία TOTEE
Καθιστικό & Κουζίνα	6,66%	1,49%	5,39%	0,22	Ισχυρή
Υπνοδωμάτιο Β	4,39%	1,52%	3,31%	0,35	Ισχυρή
Υπνοδωμάτιο Α	4,43%	1,40%	3,04%	0,32	Ισχυρή
Λουτρό Β	1,86%	0,98%	2,04%	0,53	Μικρή
Λουτρό Master	2,54%	1,43%	2,42%	0,56	Μεσαία
Υπνοδωμάτιο Master	3,26%	0,39%	2,13%	0,12	Ισχυρή (χαμηλή ομοιομορφία)
Διάδρομος	0,01%	0,00%	0,00%	0,14	Καμία
Σύνολο	4,79% (mean)	0,00%	3,56% (median)	0,26	-

Πίνακας 5.1 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Π.Φ.Φ. / Daylight Factor) ανά χώρο, βάσει προσομοίωσης ClimateStudio.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.1, οι περισσότεροι χώροι της κατοικίας κατατάσσονται στην κατηγορία Ισχυρή, με τη μέση τιμή Π.Φ.Φ. να κυμαίνεται από 3,26% στο Υπνοδωμάτιο Master έως 6,66% στο καθιστικό με την κουζίνα. Η τιμή του καθιστικού με την κουζίνα, για παράδειγμα, υπερβαίνει το κατώτατο όριο της κατηγορίας Ισχυρή (3%) κατά $6,66\% - 3\% = 3,66$ ποσοστιαίες μονάδες, δηλαδή είναι περίπου $6,66\% \div 3\% \approx 2,2$ φορές υψηλότερη από το όριο αυτό. Εξαιρέση αποτελούν το Λουτρό Β, με Μικρή επίδραση (1,86%), το Λουτρό Master, με Μεσαία επίδραση (2,54%), και ο διάδρομος, ο οποίος, ως εσωτερικός χώρος χωρίς άμεσο άνοιγμα προς τον εξωτερικό χώρο, εμφανίζει αμελητέα τιμή (0,01%) και κατατάσσεται στην κατηγορία Καμία.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η στήλη της ομοιομορφίας (Uniformity), η οποία αντιστοιχεί στον λόγο της ελάχιστης προς τη μέση τιμή Π.Φ.Φ. κάθε χώρου ($\text{Min DF} \div \text{Average DF}$), όπως προκύπτει και από τα ίδια τα δεδομένα του πίνακα. Ενδεικτικά, στο Υπνοδωμάτιο Master, $0,39\% \div 3,26\% \approx 0,12$, τιμή που συμπίπτει με την καταγραφόμενη ομοιομορφία 0,12, ενώ στο καθιστικό με την κουζίνα, $1,49\% \div 6,66\% \approx 0,22$, τιμή που συμπίπτει επίσης με την καταγραφόμενη ομοιομορφία 0,22. Η χαμηλή τιμή ομοιομορφίας του Υπνοδωματίου Master (0,12), σε συνδυασμό με την ελάχιστη τιμή του που περιορίζεται

στο 0,39%, υποδηλώνει έντονη ανομοιομορφία στην κατανομή του φυσικού φωτός εντός του χώρου, παρά τη σχετικά υψηλή μέση τιμή του.

Σημειώνεται ότι η μέση τιμή Π.Φ.Φ. για το σύνολο της κατοικίας (4,79%, όπως αποδίδεται από το ClimateStudio) δεν προκύπτει από τον απλό αριθμητικό μέσο όρο των έξι επιμέρους μέσων τιμών ανά χώρο, ο οποίος διαμορφώνεται σε $(6,66\% + 4,39\% + 4,43\% + 1,86\% + 2,54\% + 3,26\%) \div 6 = 23,14\% \div 6 \approx 3,86\%$. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι η συνολική τιμή υπολογίζεται από το λογισμικό δίνοντας μεγαλύτερο βάρος στους χώρους με περισσότερα σημεία μέτρησης, και όχι ως απλός μέσος όρος των κατά χώρο μέσων τιμών, με αποτέλεσμα οι χώροι με μεγαλύτερο πλήθος σημείων μέτρησης (όπως το ευρύχωρο καθιστικό με την κουζίνα) να συνεισφέρουν αναλογικά περισσότερο στη συνολική τιμή.

Οι σχετικά υψηλές τιμές Π.Φ.Φ. που καταγράφονται στο σύνολο σχεδόν των χώρων της κατοικίας συνδέονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου οικοπέδου. Ο τύπος υπολογισμού του Π.Φ.Φ. για ανοίγματα σε κατακόρυφα δομικά στοιχεία (εξ. 12-17 της TOTEE 20701-7) περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τον συντελεστή σκίασης του χώρου από μακρινά εμπόδια και τον ορίζοντα (Ish,hor), ο οποίος λαμβάνει μειωμένες τιμές όσο αυξάνεται η γωνία σκίασης από γειτονικά εμπόδια (TEE, TOTEE 20701-7, σ. 128). Στην περίπτωση της υπό μελέτη κατοικίας, η απουσία περιμετρικών κτιρίων γύρω από το οικόπεδο συνεπάγεται ελάχιστη έως μηδενική σκίαση από μακρινά εμπόδια, με αποτέλεσμα ο συντελεστής αυτός να μην μειώνει την υπολογιζόμενη τιμή του Π.Φ.Φ. Σε ένα πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον ή σε διαμέρισμα με γειτονικά κτίρια, ο ίδιος συντελεστής θα λάμβανε χαμηλότερη τιμή, με αποτέλεσμα οι αντίστοιχες τιμές Π.Φ.Φ. να αναμένεται να είναι μικρότερες από τις καταγραφόμενες στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, χωρίς αυτό να μεταβάλλει τη μεθοδολογία ή την εγκυρότητα των υπολογισμών.

Ο υπάρχων τεχνητός φωτισμός της κατοικίας, όπως παραδόθηκε με την ηλεκτρολογική εγκατάσταση της κατασκευής, περιλαμβάνει μία βασική διάταξη, με ένα φωτιστικό οροφής στο κέντρο κάθε δωματίου/χώρου, σε συνδυασμό, σε ορισμένες περιπτώσεις, με πορτατίφ (υπνοδωμάτια και καθιστικό), ενώ σε κάθε λουτρό υπάρχει ένα μόνο φωτιστικό σώμα (οροφής). Η διάταξη αυτή εξασφαλίζει τη βασική λειτουργική κάλυψη του χώρου, ωστόσο παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς. Η τοποθέτηση ενός μοναδικού φωτιστικού στο κέντρο κάθε χώρου έχει ως αποτέλεσμα έντονη πτώση της έντασης

φωτισμού σε απόσταση από αυτό, με αποτέλεσμα χαμηλή ομοιομορφία κατανομής, ιδίως στις γωνίες και κοντά στους τοίχους. Η ίδια διάταξη δεν καλύπτει τον στοχευμένο φωτισμό επιφανειών εργασίας (κουζίνα, τραπέζι, γραφεία), καθώς η θέση του φωτιστικού δεν έχει σχεδιαστεί με βάση τις συγκεκριμένες εργασίες που εκτελούνται σε κάθε επιφάνεια, ενώ ο χρήστης μπορεί ακόμη και να σκιάζει με το ίδιο του το σώμα το φωτιζόμενο σημείο. Επιπλέον, η απουσία κατάλληλης διάχυσης γύρω από την πηγή φωτός δεν λαμβάνει υπόψη τον έλεγχο της θάμβωσης. Τέλος, πρόκειται για φωτιστικά σταθερής έντασης και θερμοκρασίας χρώματος, τα οποία δεν διαθέτουν δυνατότητα ρύθμισης (dimming) ή προγραμματισμού, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να προσαρμοστούν στη φυσική μεταβολή του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας, ούτε να ληφθεί υπόψη η βιολογική επίδραση του φωτισμού στον χρήστη.

5.4 Εφαρμογή αρχών ανθρωποκεντρικού φωτισμού στο σχεδιασμό

Η πρόταση φωτισμού δεν βασίζεται μόνο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φωτισμού, αλλά και στη βιολογική του επίδραση, η οποία μπορεί να εκτιμηθεί με σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία. Τα εργαλεία αυτά συνδέουν τις σχεδιαστικές επιλογές με δείκτες όπως το CS και η mel-EDI.

Η εφαρμογή των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού στη συγκεκριμένη κατοικία βασίζεται στον συνδυασμό των αναγκών και δραστηριοτήτων των χρηστών, όπως καταγράφηκαν στην ενότητα 5.2, με τα δεδομένα προσανατολισμού και φυσικού φωτισμού της ενότητας 5.3. Ο σχεδιασμός δεν αντιμετωπίζει την κατοικία ως ενιαίο χώρο με ομοιόμορφες απαιτήσεις φωτισμού, αλλά προσεγγίζει κάθε δωμάτιο ξεχωριστά, ανάλογα με τη χρήση του, τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων του και τις ώρες της ημέρας κατά τις οποίες κατοικείται περισσότερο.

Στο υπνοδωμάτιο master (βλ. Εικόνα 5.17) και στο καθιστικό (βλ. Εικόνα 5.10), όπου τα ανοίγματα είναι στραμμένα προς τα βόρεια και βορειοανατολικά, η απουσία έντονης άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ευνοεί τη χρήση σταθερότερου φυσικού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ η ανάγκη προετοιμασίας και ξεκούρασης στο υπνοδωμάτιο master καθοδηγεί τον σχεδιασμό προς χαμηλότερη ένταση και θερμότερο φως τις βραδινές ώρες. Στην κουζίνα (βλ. Εικόνα 5.11), με ανατολικό προσανατολισμό, αξιοποιείται το πρωινό φυσικό φως για την υποστήριξη των πρωινών δραστηριοτήτων.

Στα δύο παιδικά υπνοδωμάτια, με νοτιοανατολικό προσανατολισμό, ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη την αυξημένη έκθεση σε φυσικό φως τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες. Στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Α (βλ. Εικόνα 5.15), στόχος είναι η υποστήριξη ενός σταθερού πρωινού κιρκάδιου ερεθίσματος για το παιδί. Στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β (βλ. Εικόνα 5.16), το οποίο λειτουργεί ως χώρος γραφείου για τηλεργασία κατά το ωράριο 09:00–17:00, ο σχεδιασμός λαμβάνει επιπλέον υπόψη την ανάγκη για έντονο, ψυχρό φως κατά τις πρωινές ώρες που να υποστηρίζει την εγρήγορση και τη συγκέντρωση του χρήστη, σε συμφωνία με το προτεινόμενο σενάριο των πρωινών ωρών της ενότητας 5.5, καθώς και τον έλεγχο ενδεχόμενης θάμβωσης στη θέση εργασίας λόγω της άμεσης ηλιακής έκθεσης. Στα λουτρά (βλ. Εικόνες 5.13, 5.14), με νοτιοδυτικό προσανατολισμό, η αυξημένη ηλιακή έκθεση τις απογευματινές ώρες θέτει ζήτημα ελέγχου της θάμβωσης και της οπτικής άνεσης, το οποίο χρειάζεται ιδιαίτερη αντιμετώπιση δεδομένου ότι δεν είναι πρακτική η χρήση συμβατικών κουρτινών σε χώρους υγιεινής. Το ζήτημα αυτό επανεξετάζεται στην ενότητα 6.1, όπου προτείνονται σχεδιαστικά μέτρα ελέγχου του φυσικού φωτισμού.

Με βάση τα παραπάνω, διαμορφώνεται ένα προτεινόμενο σενάριο φωτισμού που μεταβάλλει την ένταση και τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (CCT) ανά χρονική περίοδο της ημέρας, το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα 5.5.

5.5 Προτεινόμενα σενάρια φωτισμού (μεταβολή φωτεινότητας και CCT ανά ώρα)

Η διαμόρφωση του προτεινόμενου σεναρίου φωτισμού βασίζεται στην αρχή ότι το χρονικό πρότυπο της έκθεσης αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα για τις μη οπτικές αποκρίσεις του οργανισμού, καθώς το ίδιο φωτεινό ερέθισμα μπορεί να είναι ευεργετικό σε μια χρονική στιγμή και επιβαρυντικό σε άλλη (Houser & Esposito, 2021). Στο πλαίσιο αυτό, το προτεινόμενο σενάριο οργανώνεται σε τέσσερις χαρακτηριστικές χρονικές περιόδους της ημέρας, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικές δραστηριότητες και ανάγκες των χρηστών της κατοικίας, όπως αυτές καταγράφηκαν στην ενότητα 5.2 (τηλεργασία και συγκέντρωση, οικογενειακή διαβίωση και χαλάρωση, προετοιμασία γευμάτων, ύπνος και προσωπική φροντίδα, μελέτη και παιχνίδι του παιδιού).

Η μεταβολή της έντασης και της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος (CCT) ανά περίοδο ακολουθεί τις κατευθυντήριες αρχές του πλαισίου VITALS (Jalali et al., 2024), σύμφωνα με το οποίο η αύξηση της έντασης οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα μελανοπικών

lux, ενώ οι ψυχρότερες πηγές παράγουν υψηλότερο ισοδύναμο μελανοπικό φωτισμό από τις θερμές, ανεξάρτητα από την οπτική τους ένταση. Αντίστοιχη λογική ακολούθησε και η μελέτη πεδίου των Zhang et al. (2020), όπου ο δυναμικός φωτισμός LED με ημερήσια μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος (βλ. Εικόνα 2.4 και Εικόνα 2.5) συνδέθηκε με ενισχυμένη εγρήγορση κατά τις απογευματινές ώρες, υπό την προϋπόθεση ορθού χρονισμού της έκθεσης. Το προτεινόμενο σενάριο του Πίνακα 5.2 μεταφέρει την ίδια λογική στο πλαίσιο της κατοικίας, στοχεύοντας στην ενίσχυση της εγρήγορσης και του κιρκάδιου συγχρονισμού κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες και στη σταδιακή μείωση της βιολογικής διέγερσης προς το βράδυ, ώστε να υποστηρίζεται η φυσιολογική έκκριση μελατονίνης και η προετοιμασία του οργανισμού για τον ύπνο.

Χρονική περίοδος	Χαρακτηριστικά φωτισμού	Στόχος χρήσης	Κιρκάδιο αποτέλεσμα
Πρωινές ώρες	Υψηλή ένταση, ψυχρό φως (cool white), αυξημένος κατακόρυφος φωτισμός	Ενεργοποίηση, εργασία	Ενίσχυση εγρήγορσης και συγχρονισμός κιρκάδιου ρυθμού
Μεσημεριανές ώρες	Μέτρια προς υψηλή ένταση, ουδέτερο φως	Καθημερινές δραστηριότητες	Σταθεροποίηση βιολογικού ρυθμού
Απογευματινές ώρες	Μείωση έντασης, θερμότερο φως	Μετάβαση σε χαλάρωση	Σταδιακή αποφόρτιση
Βραδινές ώρες	Χαμηλή ένταση, θερμό φως (warm white), περιορισμός μπλε φάσματος	Χαλάρωση, προετοιμασία ύπνου	Μείωση διέγερσης και υποστήριξη παραγωγής μελατονίνης

Πίνακας 5.2 Προτεινόμενα σενάρια φωτισμού ανά χρονική περίοδο της ημέρας: μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος (CCT) με στόχο την υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού.

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.2, **οι πρωινές ώρες χαρακτηρίζονται από υψηλή ένταση και ψυχρό φως**, με στόχο την ενεργοποίηση του οργανισμού και την υποστήριξη της εργασίας, καθώς η έκθεση σε φως υψηλής έντασης και αυξημένου ποσοστού μικρού μήκους κύματος νωρίς το πρωί συμβάλλει στον συγχρονισμό του κιρκάδιου ρυθμού (Houser & Esposito, 2021). **Κατά τις μεσημεριανές ώρες, η ένταση παραμένει μέτρια προς υψηλή με ουδέτερο φως**, ώστε να υποστηρίζονται οι καθημερινές δραστηριότητες της κατοικίας χωρίς υπερβολική βιολογική διέγερση.

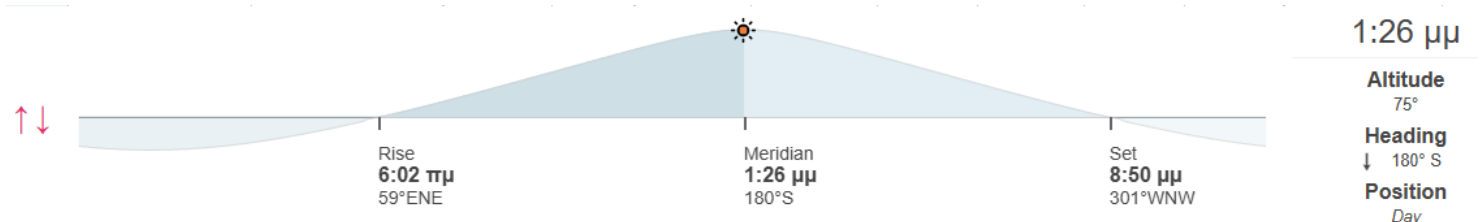
Προς τις απογευματινές ώρες, η μείωση της έντασης και η μετάβαση σε θερμότερο φως αποσκοπούν στη σταδιακή μετάβαση των χρηστών από την ενεργοποίηση στη χαλάρωση, ενώ **κατά τις βραδινές ώρες προτείνεται χαμηλή ένταση, θερμό φως και περιορισμός του μπλε φάσματος**, με στόχο τη μείωση της διεγερτικής επίδρασης του φωτός και την υποστήριξη της παραγωγής μελατονίνης. Η προοδευτική αυτή μετάβαση αναπαράγει, στο μέτρο του δυνατού, το φυσικό μοτίβο μεταβολής του φυσικού φωτός μέσα στην ημέρα (βλ. ενότητα 2.5), το οποίο αποτελεί και το θεωρητικό υπόβαθρο του προτεινόμενου σεναρίου.

Η αποτελεσματικότητα του σεναρίου αυτού, τόσο για τον φυσικό όσο και για τον τεχνητό φωτισμό, ελέγχεται ποσοτικά στην ενότητα 5.6 μέσω προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας τη μελανοπική φωτεινότητα ως δείκτη της βιολογικής επίδρασης του προτεινόμενου φωτισμού.

5.6 Αξιολόγηση μέσω προσομοίωσης (Rhino, ClimateStudio) και ενεργειακής αποδοτικότητας

Η αξιολόγηση του προτεινόμενου σχεδιασμού πραγματοποιείται μέσω προσομοιώσεων φωτισμού, με στόχο τη διερεύνηση τόσο των οπτικών όσο και των μη οπτικών επιδράσεων. Πέρα από τα συμβατικά φωτομετρικά δεδομένα, εξετάζεται σε διερευνητικό επίπεδο η δυνατότητα εκτίμησης δεικτών που σχετίζονται με τον κιρκάδιο ρυθμό, όπως το Circadian Stimulus (CS) και το melanopic Equivalent Daylight Illuminance (mel-EDI), μέσω εξειδικευμένων εργαλείων προσομοίωσης.

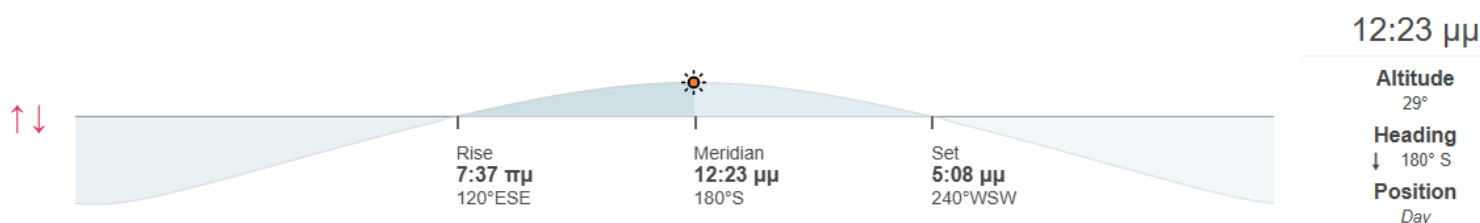
Για την αποτίμηση της μελανοπικής επίδρασης του φωτισμού πραγματοποιήθηκαν ωριαίες μετρήσεις υπό συνθήκες καθαρού ουρανού στις 21 Ιουνίου και στις 21 Δεκεμβρίου, καθώς και υπό συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού στις 21 Σεπτεμβρίου. Η επιλογή των ημερομηνιών 21 Ιουνίου και 21 Δεκεμβρίου δεν έγινε τυχαία, καθώς αντιστοιχούν στο θερινό και στο χειμερινό ηλιοστάσιο αντίστοιχα, δηλαδή στις ημέρες με τη μέγιστη και την ελάχιστη διάρκεια ημέρας του έτους (βλ. Εικόνα 5.3 και Εικόνα 5.4).



Εικόνα 5.4 Ώρα ανατολής και δύσης του ήλιου στην Αγία Μαρίνα Αττικής στις 21 Ιουνίου 2026.

Οι ώρες ανατολής και δύσης στην Αγία Μαρίνα Αττικής (Κορωπί) παρουσιάζουν ελάχιστη απόκλιση, μικρότερη των 1–2 λεπτών, από τις αντίστοιχες ώρες για το κέντρο της Αθήνας.

ΠΗΓΗ: ΑΠΟ TIMEANDDATE.COM, 2026 ([HTTPS://WWW.TIMEANDDATE.COM/SUN/GREECE/ATHENS?MONTH=6&YEAR=2026](https://www.timeanddate.com/sun/greece/athens?month=6&year=2026)).



Εικόνα 5.3 Ώρα ανατολής και δύσης του ήλιου στην Αγία Μαρίνα Αττικής στις 21 Δεκεμβρίου 2026.

Οι ώρες ανατολής και δύσης στην Αγία Μαρίνα Αττικής (Κορωπί) παρουσιάζουν ελάχιστη απόκλιση, μικρότερη των 1–2 λεπτών, από τις αντίστοιχες ώρες για το κέντρο της Αθήνας.

ΠΗΓΗ: ΑΠΟ TIMEANDDATE.COM, 2026 ([HTTPS://WWW.TIMEANDDATE.COM/SUN/GREECE/ATHENS?MONTH=12&YEAR=2026](https://www.timeanddate.com/sun/greece/athens?month=12&year=2026)).

Αντιθέτως, η ημέρα νεφοσκεπούς ουρανού (21 Σεπτεμβρίου) επιλέχθηκε τυχαία, καθώς η συγκεκριμένη ημερομηνία δεν επηρεάζει την ανάλυση.

Στον Πίνακα 5.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι ωριαίες τιμές του μελανοπικού φωτισμού (σε melanopic lx) που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, για κάθε χαρακτηριστική ημερομηνία και συνθήκη ουρανού, από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου, καθώς οι αντίστοιχες ώρες διαφέρουν ανάλογα με την εποχή του έτους. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του πρόσθετου (plug in) ClimateStudio του λογισμικού Rhino, το οποίο αποδίδει τις τιμές του μελανοπικού φωτισμού σε μελανοπικά lux (melanopic lx).

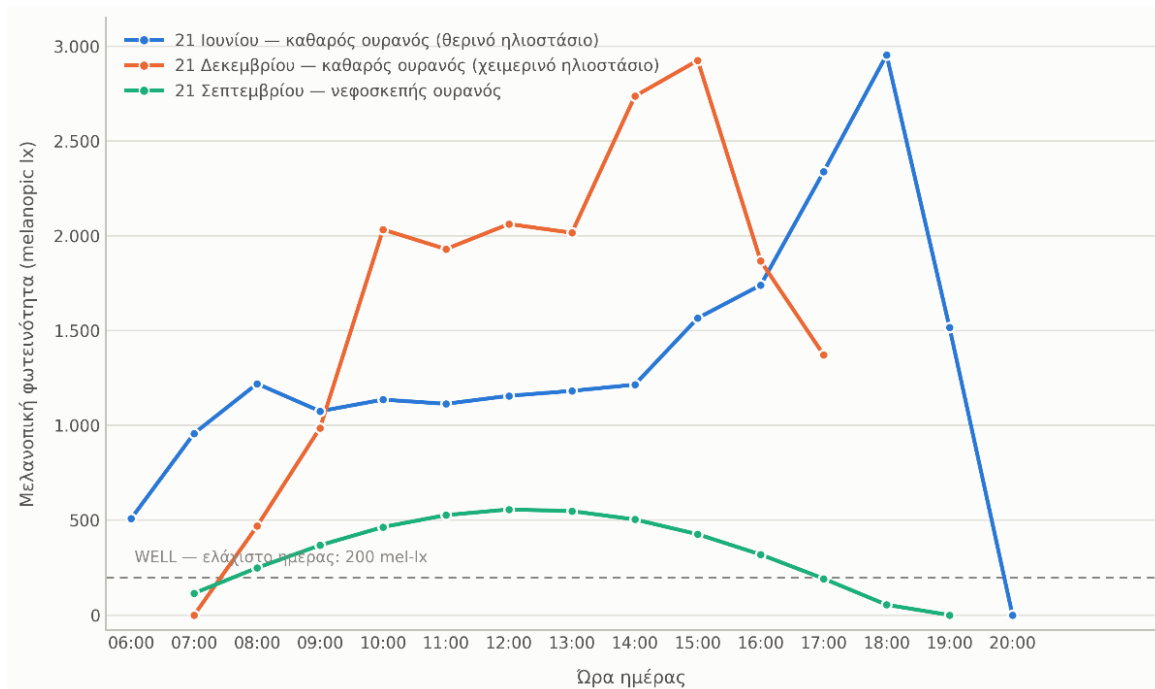
Οι αναγραφόμενες τιμές αντιστοιχούν στη μέση τιμή του συνόλου των σημείων μέτρησης της κατοικίας (Building Mean), όπως υπολογίζεται αυτόματα από το ClimateStudio, και όχι σε μεμονωμένο σημείο μέτρησης. Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε μέσω της ανάλυσης Spectral Point-in-Time Illuminance του ClimateStudio, σε πλέγμα σημείων στο ύψος των οφθαλμών καθιστού χρήστη (1,20 m) και όχι στο επίπεδο εργασίας των 0,80 m που χρησιμοποιήθηκε για τον Π.Φ.Φ. (βλ. ενότητα 5.3), καθώς τα κιρκάδια κριτήρια αναφέρονται στο φως που δέχεται το μάτι (βλ. ενότητα 3.3). Σε κάθε σημείο μέτρησης ο μελανοπικός φωτισμός υπολογίζεται για οκτώ διαφορετικές κατευθύνσεις θέασης, ανά 45°, καθώς η ποσότητα φωτός που φτάνει στο μάτι εξαρτάται από το πού κοιτάζει ο

χρήστης, για παράδειγμα προς ένα άνοιγμα ή προς έναν εσωτερικό τοίχο (βλ. ενότητα 3.3). Η τιμή που αποδίδεται σε κάθε χώρο αποτελεί επομένως ενδεικτική εκτίμηση της συνολικής έκθεσης και όχι της έκθεσης ενός συγκεκριμένου χρήστη σε συγκεκριμένη θέση (βλ. ενότητα 3.4). Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε είναι η Equivalent Melanopic Lux (EML) και όχι η mel-EDI, επιλογή που δικαιολογείται από το γεγονός ότι το πρότυπο WELL βασίζεται κατά κύριο λόγο στην EML για την αξιολόγηση της κιρκάδιας επίδρασης του φωτισμού (βλ. ενότητα 3.5).

ΩΡΑ	ΚΑΘΑΡΟΣ ΟΥΡΑΝΟΣ		ΝΕΦΟΣΚΕΠΗΣ ΟΥΡΑΝΟΣ
	21 ΙΟΥΝΙΟΥ	21 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	21 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ
	EML (melanopic lx)	EML (melanopic lx)	EML (melanopic lx)
06:00	509 (Ανατολή)	-	-
07:00	958	0	115 (Ανατολή)
08:00	1220	469 (Ανατολή)	249
09:00	1075	987	368
10:00	1136	2033	464
11:00	1114	1930	527
12:00	1156	2062	557 (Μέγιστο)
13:00	1182	2016	548
14:00	1215	2736	504
15:00	1566	2925 (Μέγιστο)	426
16:00	1740	1867	319
17:00	2338	1372 (Δύση)	192
18:00	2954 (Μέγιστο)	-	54 (Δύση)
19:00	1516 (Δύση)	-	0
20:00	0	-	-

Πίνακας 5.3 Ωριαίες τιμές μελανοπικού φωτισμού (EML, σε melanopic lx) στις 21 Ιουνίου και στις 21 Δεκεμβρίου υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, και στις 21 Σεπτεμβρίου υπό συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.3 και στην Εικόνα 5.5, ο μελανοπικός φωτισμός διαφοροποιείται σημαντικά τόσο μεταξύ των τριών χαρακτηριστικών ημερομηνιών όσο και σε σχέση με τις συνθήκες ουρανού.



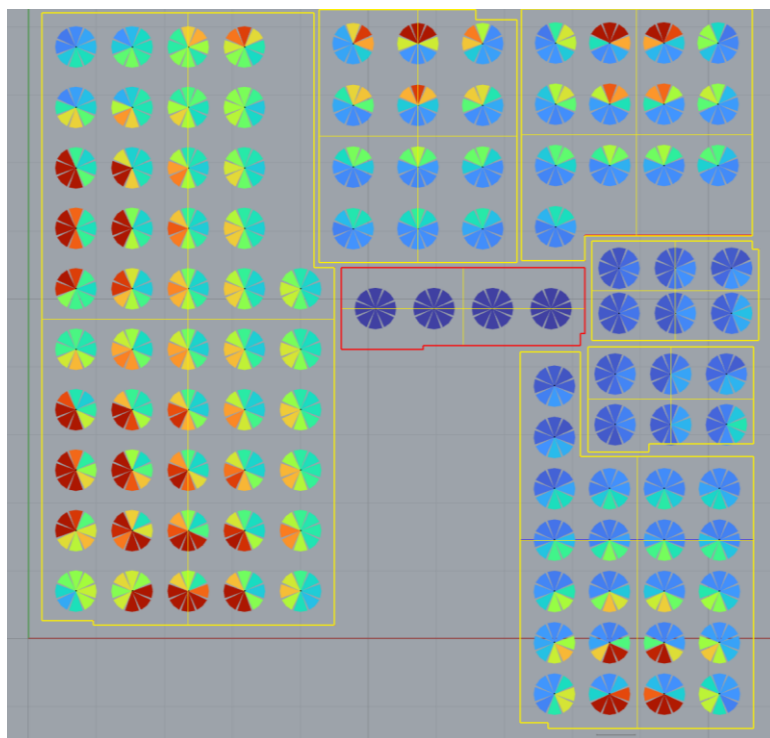
Εικόνα 5.5 Σύγκριση μελανοπικού φωτισμού για τις χαρακτηριστικές ημερομηνίες
Σύγκριση ωριαίων τιμών μελανοπικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Ιουνίου και 21 Δεκεμβρίου και στις 21 Σεπτεμβρίου, σε σχέση με το ελάχιστο ημερήσιο κριτήριο του προτύπου WELL.
ΠΗΓΗ: ΙΑΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (CLIMATESTUDIO) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ.

Υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, η καμπύλη της 21ης Δεκεμβρίου εμφανίζει υψηλότερες τιμές νωρίτερα μέσα στο ημερήσιο εύρος σε σχέση με την καμπύλη της 21ης Ιουνίου, γεγονός που συνδέεται με τη μικρότερη διάρκεια της ημέρας κατά τον χειμώνα (βλ. Εικόνα 5.3 και Εικόνα 5.4). Στις 12:00, ώρα κοινή και για τις τρεις χαρακτηριστικές ημερομηνίες, ο μελανοπικός φωτισμός φτάνει τα 2062 melanopic lx τον Δεκέμβριο, έναντι 1156 melanopic lx τον Ιούνιο και μόλις 557 melanopic lx τον Σεπτέμβριο υπό νεφοσκεπή ουρανό. Η χωρική κατανομή της μέτρησης στην κάτοψη της κατοικίας για την ίδια ώρα και τις τρεις ημερομηνίες αποτυπώνεται στις Εικόνες 5.6, 5.7 και 5.8 αντίστοιχα. Κάθε κυκλικό σύμβολο των κατόψεων αντιστοιχεί σε ένα σημείο μέτρησης και χωρίζεται σε οκτώ τομείς, καθένας από τους οποίους αποδίδει τον μελανοπικό φωτισμό που δέχεται το μάτι του χρήστη όταν κοιτάζει προς την αντίστοιχη κατεύθυνση. Το πράσινο χρώμα υποδηλώνει προτιμητέες τιμές μελανοπικού φωτισμού και το κόκκινο μη προτιμητέες, ώστε σε ένα σημείο κοντά σε άνοιγμα να εμφανίζονται ταυτόχρονα διαφορετικές τιμές

ανάλογα με την κατεύθυνση του βλέμματος. Η καμπύλη του Ιουνίου παραμένει συγκριτικά χαμηλότερη κατά τις μεσημβρινές ώρες και ανεβαίνει απότομα προς το τέλος της ημέρας, με μέγιστο 2954 melanopic lx στις 18:00, ενώ η καμπύλη του Δεκεμβρίου διατηρεί υψηλές τιμές σε ένα ευρύτερο τμήμα της ημέρας, από τις 10:00 έως τις 16:00, με μέγιστο 2925 melanopic lx στις 15:00.

Υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, οι τιμές της 21ης Σεπτεμβρίου είναι σταθερά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές καθαρού ουρανού, με μέγιστο 557 melanopic lx στις 12:00, δηλαδή περίπου το ένα τέταρτο του μεγίστου που καταγράφεται τον Ιούνιο. Η καμπύλη ακολουθεί ήπια και συμμετρική πορεία γύρω από το μεσημέρι, χωρίς τις έντονες αυξομειώσεις που παρατηρούνται υπό καθαρό ουρανό, αντανακλώντας την απουσία άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και τη διάχυτη φύση του φωτισμού υπό νέφωση.

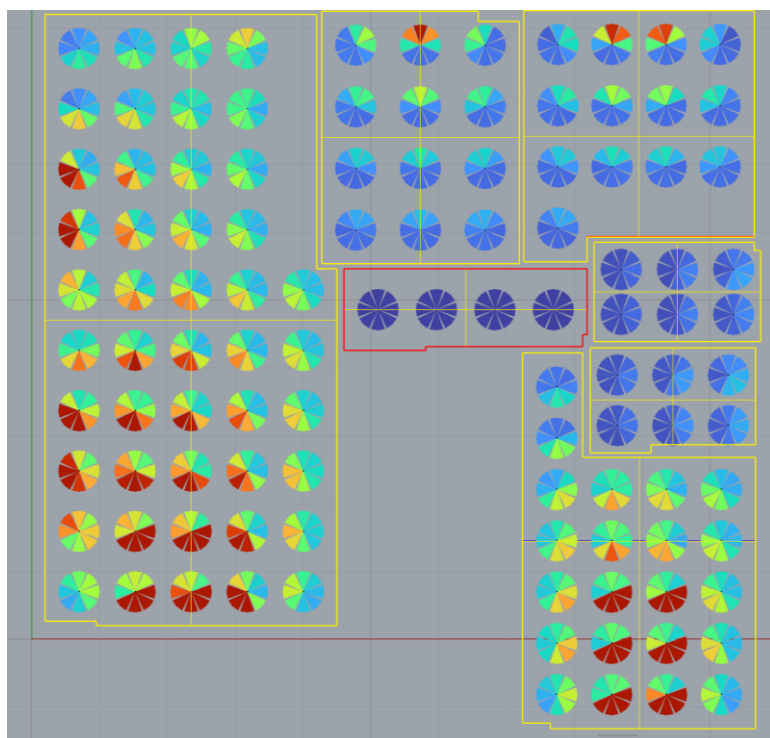
Σε σύγκριση με το κριτήριο του προτύπου WELL για χώρους διαβίωσης, το οποίο προβλέπει τουλάχιστον 200 ισοδύναμα μελανοπικά lux κατά τη διάρκεια της ημέρας (βλ. ενότητα 3.5, Jalali et al., 2024), το κριτήριο αυτό υπερκαλύπτεται με μεγάλη άνεση καθ' όλη τη διάρκεια της ηλιοφάνειας υπό καθαρό ουρανό, τόσο τον Ιούνιο όσο και τον Δεκέμβριο. Αντίθετα, υπό νεφοσκεπή ουρανό, το κατώφλι αυτό πληρείται μόνο κατά το διάστημα 08:00–16:00, ενώ νωρίς το πρωί, στις 07:00 (115 melanopic lx), και αργά το απόγευμα, στις 17:00 (192 melanopic lx) και στις 18:00 (54 melanopic lx), οι καταγραφόμενες τιμές υπολείπονται του ορίου. Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι σε συνθήκες παρατεταμένης νέφωσης, ιδίως κατά τις πρώτες πρωινές και τις τελευταίες απογευματινές ώρες, ο φυσικός φωτισμός της κατοικίας ενδέχεται να μην επαρκεί για την κάλυψη του κιρκάδιου κριτηρίου του WELL, γεγονός που ενισχύει την αναγκαιότητα συμπληρωματικού τεχνητού φωτισμού με ανθρωποκεντρικά χαρακτηριστικά, όπως αυτός που περιγράφεται στα προτεινόμενα σενάρια της ενότητας 5.5.



Εικόνα 5.6 Κάτοψη της κατοικίας με την κατανομή του μελανοπικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Ιουνίου, στις 12:00, υπό συνθήκες καθαρού ουρανού.

Κάθε κομμάτι των κυκλικών συμβόλων αντιστοιχεί σε κατεύθυνση θέασης του χρήστη (πράσινο: προτιμητέες τιμές, κόκκινο: μη προτιμητέες).

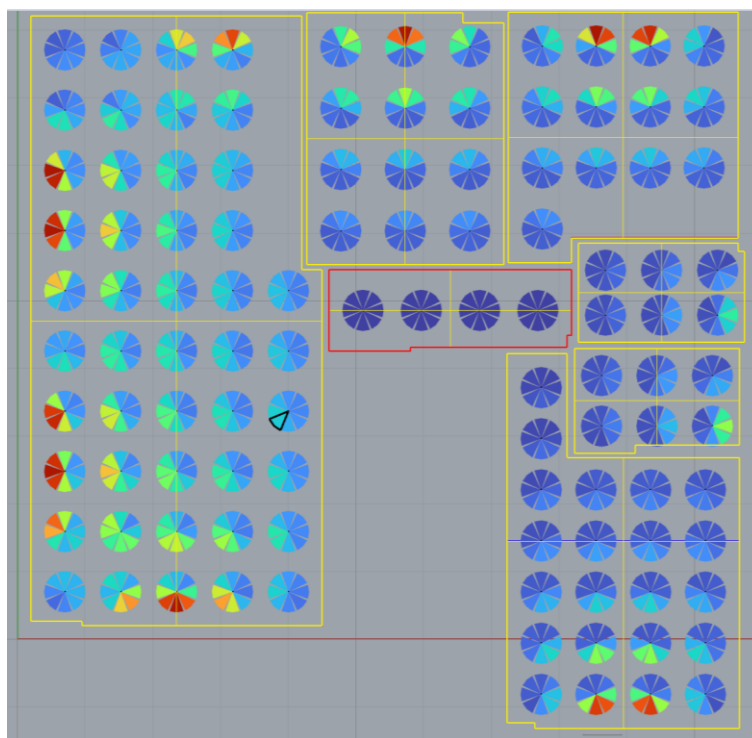
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RHINO / CLIMATESTUDIO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ.



Εικόνα 5.7 Κάτοψη της κατοικίας με την κατανομή του μελανοπικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Δεκεμβρίου, στις 12:00, υπό συνθήκες καθαρού ουρανού.

Κάθε κομμάτι των κυκλικών συμβόλων αντιστοιχεί σε κατεύθυνση θέασης του χρήστη (πράσινο: προτιμητέες τιμές, κόκκινο: μη προτιμητέες).

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RHINO / CLIMATESTUDIO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.8 Κάτοψη της κατοικίας με την κατανομή του μελανοπικού φωτισμού (melanopic lx) στις 21 Σεπτεμβρίου, στις 12:00, υπό συνθήκες νεφосκεπούς ουρανού.

Κάθε κομμάτι των κυκλικών συμβόλων αντιστοιχεί σε κατεύθυνση θέασης του χρήστη (πράσινο: προτιμητέες τιμές, κόκκινο: μη προτιμητέες).

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ RHINO / CLIMATESTUDIO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.9 Άνοψη της κατοικίας με τις θέσεις των φωτιστικών σωμάτων οροφής του προτεινόμενου σχεδιασμού τεχνητού φωτισμού.
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ AUTOCAD ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΡΩΝΗ ΛΕΣΠΟΙΝΑ (AETHER DESIGN).

Η υλοποίηση του προτεινόμενου σεναρίου τεχνητού φωτισμού στηρίζεται στην επιλογή και στην τοποθέτηση συγκεκριμένων φωτιστικών σωμάτων ανά χώρο, όπως προσομοιώθηκαν στο λογισμικό DIALux Evo. Η θέση κάθε φωτιστικού σώματος δεν επιλέχθηκε τυχαία, αλλά με βάση την **επιδιωκόμενη κατανομή λαμπρότητας εντός του κάθε χώρου**, ώστε να αποφεύγονται έντονες φωτεινές αντιθέσεις και να διασφαλίζεται ομοιόμορφη κάλυψη των επιφανειών εργασίας και κυκλοφορίας. Η Εικόνα 5.9 παρουσιάζει την κάτοψη της κατοικίας με τις θέσεις των φωτιστικών σωμάτων που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή του σχεδιασμού, στοιχείο που συμπληρώνει τα δεδομένα μελανοπικού φωτισμού του Πίνακα 5.3 με μια πρακτική αποτύπωση της διάταξης του τεχνητού φωτισμού στον χώρο.

Για την πληρέστερη αποτύπωση του προτεινόμενου σχεδιασμού, παρουσιάζονται στη συνέχεια φωτορεαλιστικές απεικονίσεις (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού για κάθε χώρο της κατοικίας, όπως προέκυψαν από το φωτομετρικό λογισμικό DIALux Evo.



Εικόνα 5.10 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Καθιστικό της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX EVO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



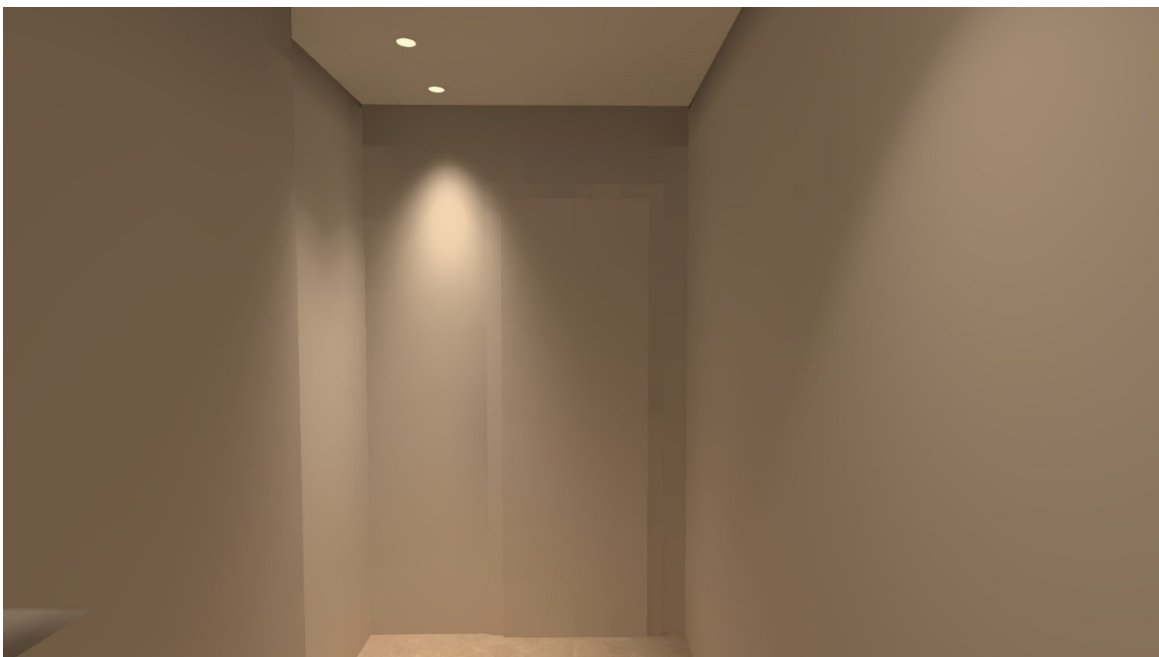
Εικόνα 5.11 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στην Κουζίνα της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX ΕΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



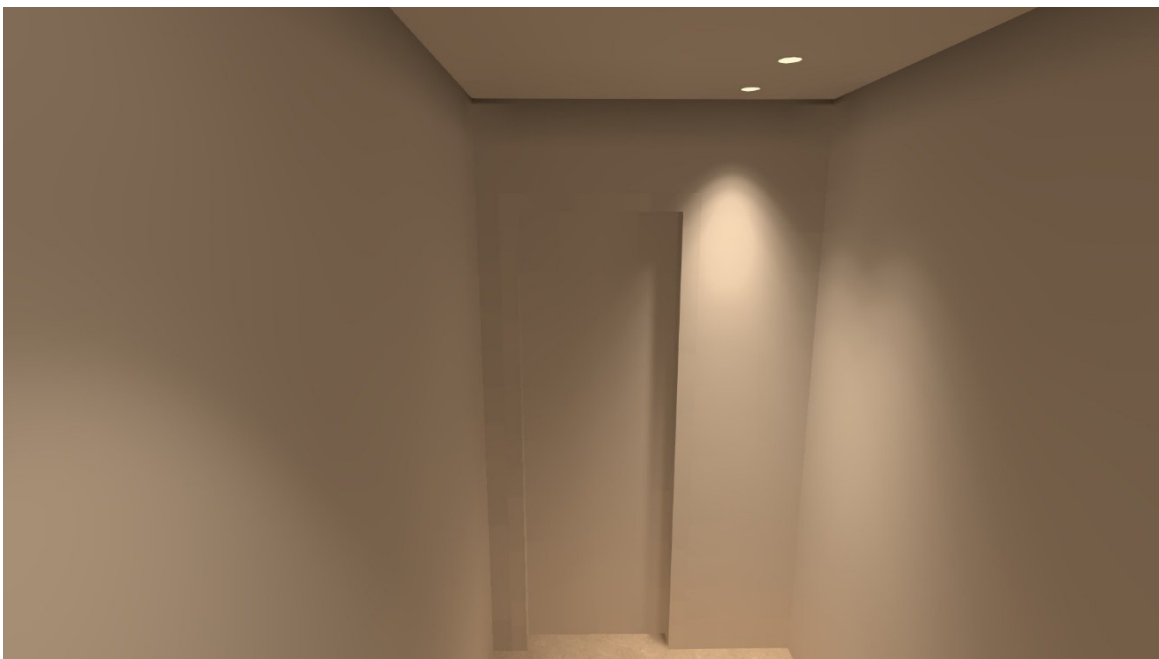
Εικόνα 5.12 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στον Διάδρομο της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX ΕΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



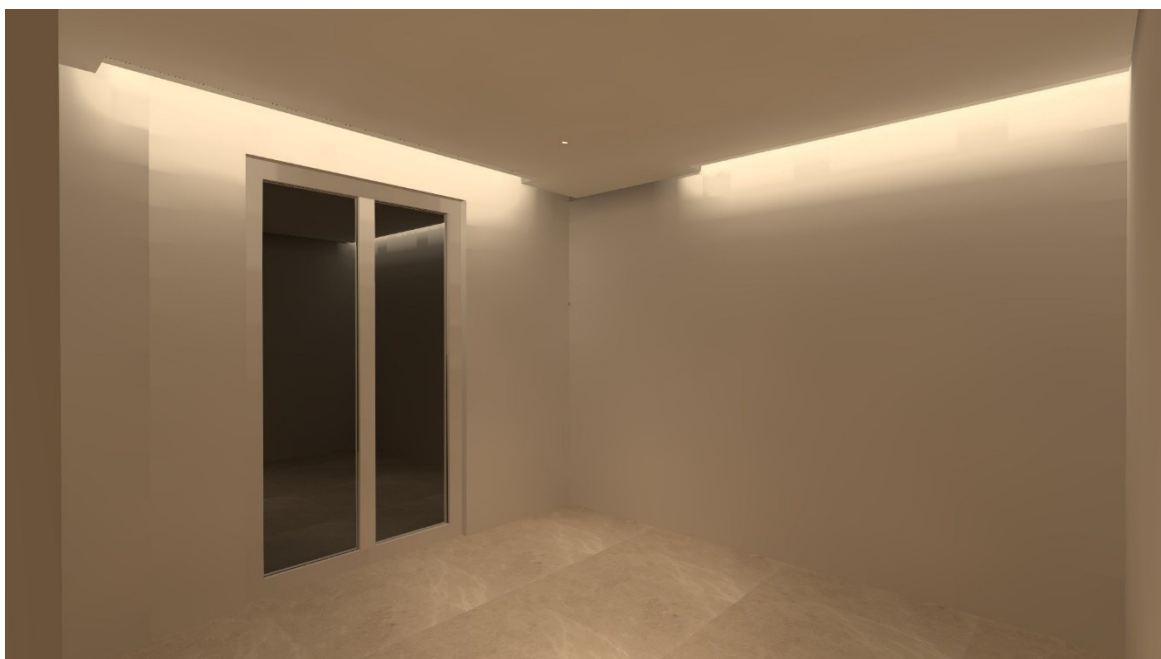
Εικόνα 5.13 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Λουτρό Master της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX EVO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.14 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Λουτρό Β της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX EVO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



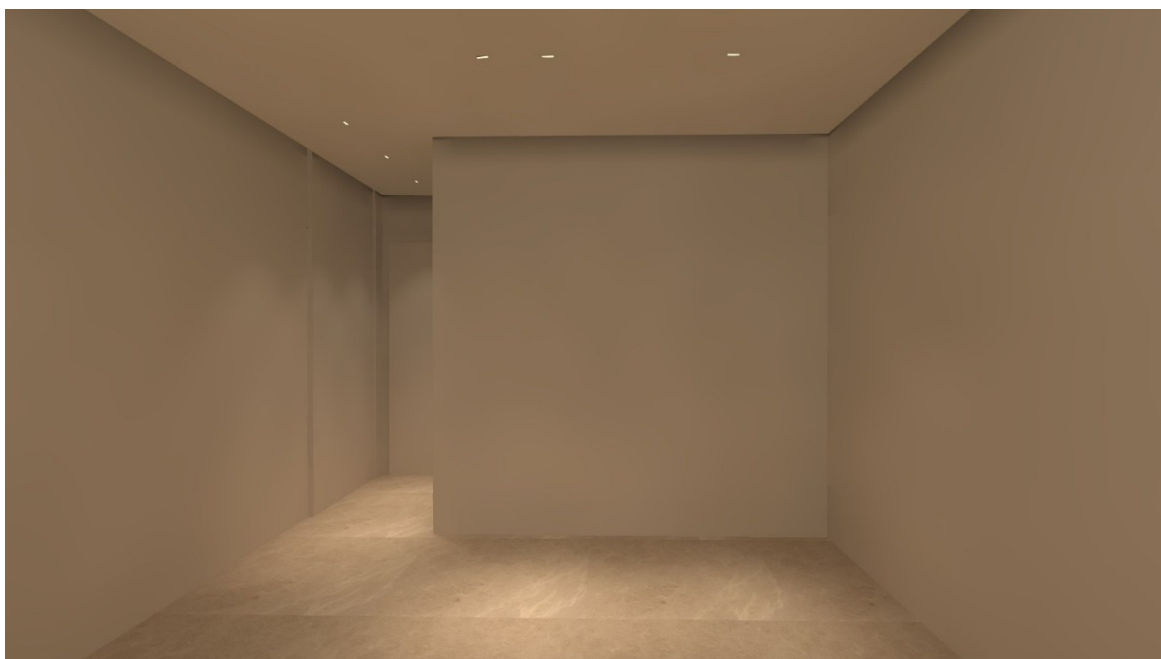
Εικόνα 5.15 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Υπνοδωμάτιο Α της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX EVO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.16 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Υπνοδωμάτιο Β της κατοικίας.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX EVO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.17 Απεικόνιση (raytracing) της προτεινόμενης διάταξης τεχνητού φωτισμού στο Υπνοδωμάτιο Master της κατοικίας.
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ DIALUX EVO ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Παρουσιάζονται τέλος φωτορεαλιστικές απεικονίσεις του συνολικού προτεινόμενου εσωτερικού σχεδιασμού για κάθε χώρο της κατοικίας, όπως προέκυψαν από τρισδιάστατη μοντελοποίηση στο λογισμικό SketchUp.



Εικόνα 5.18 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Καθιστικό.
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.19 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Καθιστικό.
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.20 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Κουζίνα.
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.21 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Λουτρό Master
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.22 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Λουτρό Β
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.23 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Υπνοδωμάτιο Α
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.24 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Υπνοδωμάτιο Β
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ



Εικόνα 5.25 Φωτορεαλιστική απεικόνιση: Master
ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SKETCHUP ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΔΡΩΝΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Πέρα από την τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων της Εικόνας 5.9, η προσομοίωση στο λογισμικό DIALux Eno παρέιχε και τα φωτομετρικά αποτελέσματα του προτεινόμενου σχεδιασμού τεχνητού φωτισμού, εκφρασμένα ως μέση τιμή φωτισμού (E_m , σε lx) και ομοιομορφία φωτισμού (U_o) ανά χώρο. Για την αξιολόγηση των τιμών αυτών επιλέχθηκε ο συνδυασμός δύο προτύπων αναφοράς. Για τον Διάδρομο χρησιμοποιείται η Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-7, Πίνακας 3-3 (σ. 16), η οποία ορίζει για τους κοινόχρηστους και βοηθητικούς θερμαινόμενους χώρους κατοικίας τιμή E_m 100 lx και ομοιομορφία U_o 0,40 (TEE, TOTEE 20701-7, σ. 16). Για τους υπόλοιπους χώρους της κατοικίας χρησιμοποιούνται ενδεικτικές τιμές του αμερικανικού προτύπου IES RP-11, καθώς η TOTEE 20701-7 δίνει για τους «κύριους χώρους» κατοικίας μόνο ενιαία τιμή 200 lx, χωρίς διάκριση ανά δωμάτιο και χωρίς ορισμό ομοιομορφίας. Σύμφωνα με το IES RP-11, οι ενδεικτικές τιμές γενικού φωτισμού είναι 100–150 lx για καθιστικό, κουζίνα και υπνοδωμάτια, 100 lx για διαδρόμους και κλιμακοστάσια και 150 lx για λουτρά, με υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν στις ζώνες εργασίας εντός των χώρων αυτών, όπως 500 lx στον πάγκο της κουζίνας και στον νιπτήρα του λουτρού (ANSI/IES/ALA RP-11-26, 2026).

Ο Πίνακας 5.4 παρουσιάζει τις τιμές E_m και U_o της μελέτης προσομοίωσης ανά χώρο της κατοικίας που πραγματοποιήθηκε στο φωτομετρικό πρόγραμμα DIALux Eno, καθώς και το πρότυπο αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε για κάθε χώρο. Ο Διάδρομος, ως εσωτερικός χώρος χωρίς παράθυρο (βλ. Πίνακας 5.1), εξαρτάται αποκλειστικά από τον τεχνητό φωτισμό για την κάλυψη των αναγκών του.

Χώρος	E_m (lx)	U_o	Πρότυπο αναφοράς
Διάδρομος	398	0,51	TOTEE 20701-7, Πίνακας 3-3
Καθιστικό & Κουζίνα	627	0,59	IES RP-11
Λουτρό Β	444	0,35	IES RP-11
Λουτρό Master	444	0,34	IES RP-11
Παιδικό Υπνοδωμάτιο Α	684	0,33	IES RP-11
Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β (γραφείο)	896	0,16	IES RP-11
Υπνοδωμάτιο Master	393	0,38	IES RP-11

Πίνακας 5.4 Μέση τιμή φωτισμού (E_m , lx) και ομοιομορφία φωτισμού (U_o) ανά χώρο, βάσει της μελέτης προσομοίωσης DIALux Eno, σε σύγκριση με τα πρότυπα αναφοράς TOTEE 20701-7 και IES RP-11

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5.4, η τιμή E_m του Διαδρόμου (398 lx) (βλ. Εικόνα 5.12) και η ομοιομορφία του (U_o 0,51) υπερβαίνουν τα αντίστοιχα ελάχιστα όρια της TOTEE 20701-7 (100 lx, U_o 0,40). Στους υπόλοιπους χώρους, οι τιμές E_m κυμαίνονται από 393 lx στο Υπνοδωμάτιο Master (βλ. Εικόνα 5.17) έως 896 lx στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β (βλ. Εικόνα 5.16), υπερβαίνοντας τα ενδεικτικά όρια γενικού φωτισμού του IES RP-11 (100–150 lx). Η υπέρβαση αυτή είναι αναμενόμενη, καθώς η μέση τιμή E_m που υπολογίζει το DIALux Eno αντιστοιχεί στο σύνολο της επιφάνειας κάθε χώρου, συμπεριλαμβανομένων και των ζωνών πιο έντονου φωτισμού (πάγκος κουζίνας, νιπτήρες λουτρών, επιφάνεια γραφείου), οι οποίες, σύμφωνα με το IES RP-11, απαιτούν έως και 500 lx. Η χαμηλότερη τιμή ομοιομορφίας καταγράφεται στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β (U_o 0,16), εύρημα που υποδηλώνει έντονη ανομοιομορφία στην κατανομή του τεχνητού φωτισμού εντός του χώρου, όπου λειτουργεί και η θέση τηλεργασίας (βλ. ενότητα 5.2).

Ο παρακάτω Πίνακας 5.5 παρουσιάζει τον μελανοπικό φωτισμό στις 21:00, δηλαδή μετά τη δύση του ηλίου της 21ης Σεπτεμβρίου, υπό το προτεινόμενο σενάριο τεχνητού φωτισμού της κατοικίας. Σε αντίθεση με τις τιμές του Πίνακα 5.3, οι οποίες προκύπτουν αποκλειστικά από τον φυσικό φωτισμό, η τιμή αυτή αντικατοπτρίζει τη βιολογική επίδραση του τεχνητού φωτισμού που προτείνεται για τις βραδινές ώρες.

ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΥΣΗ (ΝΥΧΤΑ)	
ΩΡΑ	21 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ EML (melanopic lx)
21:00	308

Πίνακας 5.5 Μελανοπικός φωτισμός (EML, melanopic lx) μετά τη δύση του ήλιου στις 21 Σεπτεμβρίου με χρήση τεχνητού φωτισμού

Η καταγραφόμενη τιμή των 308 melanopic lx υπερβαίνει σημαντικά, κατά περίπου έξι φορές, το ανώτατο όριο των 50 ισοδύναμων μελανοπικών lux που προβλέπει το πρότυπο WELL για τη νυχτερινή έκθεση σε χώρους διαβίωσης (βλ. ενότητα 3.5, Jalali et al., 2024). Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι το εξεταζόμενο σενάριο τεχνητού φωτισμού, όπως έχει διαμορφωθεί, ενδέχεται να υπερδιεγείρει τον κιρκάδιο μηχανισμό κατά τις βραδινές ώρες, αντίθετα με τη λογική μείωσης της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος που περιγράφεται στο προτεινόμενο σενάριο των βραδινών ωρών του Πίνακα 5.2. Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω προσαρμογής της έντασης ή της φασματικής σύστασης του τεχνητού φωτισμού κατά τις βραδινές ώρες, ώστε ο μελανοπικός φωτισμός να προσεγγίζει το όριο των 50 melanopic lx και να υποστηρίζεται αποτελεσματικότερα η έκκριση μελατονίνης και η προετοιμασία του οργανισμού για τον ύπνο.

6. Ανάλυση αποτελεσμάτων

6.1 Συνολική αποτίμηση σχεδιαστικών επιλογών

Η συνολική αποτίμηση των σχεδιαστικών επιλογών για την υπό μελέτη κατοικία βασίζεται στα ποσοτικά αποτελέσματα της ενότητας 5.6, τα οποία ανέδειξαν δύο βασικά ζητήματα προς αντιμετώπιση.

Το πρώτο αφορά τις τιμές του μελανοπικού φωτισμού υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, οι οποίες υπερβαίνουν κατά πολύ το ελάχιστο κριτήριο του WELL για τους χώρους διαβίωσης (200 melanopic lx, βλ. ενότητα 3.5, Jalali et al., 2024), φτάνοντας έως 2954 melanopic lx τον Ιούνιο και 2925 melanopic lx τον Δεκέμβριο (βλ. Πίνακα 5.3, Εικόνα 5.5). Παρότι η υπέρβαση αυτή δεν αντιμετωπίζεται από το πρότυπο ως πρόβλημα καθαυτή, καθώς το κριτήριο ορίζει ελάχιστο και όχι μέγιστο όριο, η παρατεταμένη έκθεση σε τόσο υψηλά επίπεδα μελανοπικής διέγερσης κατά τη διάρκεια της ημέρας ενδέχεται να συνοδεύεται από ανεπιθύμητες συνέπειες σε επίπεδο υπερθέρμανσης του χώρου, θάμβωσης και οπτικής άνεσης, ιδίως σε δωμάτια με άμεση έκθεση στον χαμηλό χειμερινό ήλιο ή στον απογευματινό θερινό ήλιο. **Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η χρήση ρυθμιζόμενων σκιάστρων στα ανοίγματα των χώρων διαμονής και ύπνου της κατοικίας**, όπως κουρτίνες ή περσίδες διαφορετικής διαπερατότητας, τα οποία θα επιτρέπουν στους χρήστες να ελέγχουν την ποσότητα του εισερχόμενου φυσικού φωτός ανάλογα με την ώρα και την εποχή, χωρίς να αποκλείουν πλήρως την πρόσβαση στο φυσικό φως που είναι απαραίτητη για τον κιρκάδιο συγχρονισμό. **Στα λουτρά, όπου η χρήση συμβατικής κουρτίνας δεν είναι πρακτική, προτείνεται η χρήση τζαμιού αμμοβολής**, το οποίο διαχέει το εισερχόμενο φως και περιορίζει τη θάμβωση, διατηρώντας παράλληλα την απαιτούμενη ιδιωτικότητα των χώρων αυτών. Η επιλογή αυτή περιορίζεται αποκλειστικά στα λουτρά, καθώς η γενικευμένη χρήση θαμπού τζαμιού (αμμοβολής) σε άλλους χώρους της κατοικίας θα προκαλούσε έντονη θάμβωση. Μια πιο εξελιγμένη εναλλακτική πρόταση για όσους το επιθυμούν και μπορούν να το υποστηρίξουν οικονομικά είναι η χρήση ηλεκτροχρωμικού τζαμιού (electrochromic, «έξυπνο γυαλί», βλ. ενότητα 4.4), το οποίο μεταβαίνει από διαφανές σε αδιαφανές με ηλεκτρονικό έλεγχο, προσφέροντας αντίστοιχο έλεγχο της ιδιωτικότητας και της θάμβωσης με μεγαλύτερη ευελιξία χρήσης.

Πέρα από τη μέση τιμή του μελανοπικού φωτισμού ανά χώρο, οι κατόψεις των Εικόνων 5.6, 5.7 και 5.8 προσφέρουν και μια πρακτική εφαρμογή σε επίπεδο εσωτερικού

σχεδιασμού, καθώς η χρωματική κλίμακα (πράσινο για προτιμητέες τιμές, κόκκινο για μη προτιμητέες) αποτυπώνει πώς κατανέμεται ο μελανοπικός φωτισμός στο εσωτερικό κάθε χώρου και όχι μόνο τη μέση τιμή του. Η κατανομή αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλείο για τον προσανατολισμό επίπλων και θέσεων εργασίας εντός του χώρου. Ενδεικτικά, στο Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β, όπου λειτουργεί η θέση τηλεργασίας (βλ. ενότητα 5.2), η τοποθέτηση του γραφείου σε ζώνη με υψηλότερη τιμή μελανοπικού φωτισμού κατά τις πρωινές ώρες, καθώς και ο προσανατολισμός του ώστε ο χρήστης να κοιτάζει προς κατεύθυνση με ευνοϊκές τιμές, όπως αποτυπώνεται στους τομείς των συμβόλων της κάτοψης (Εικόνες 5.6, 5.7 και 5.8), ευνοεί την εγρήγορση και τη συγκέντρωση, σύμφωνα και με τη λογική του προτεινόμενου πρωινού σεναρίου (βλ. ενότητα 5.5, Πίνακας 5.2). Αντίστροφα, σε χώρους ξεκούρασης, η τοποθέτηση της κλίνης ή καθιστικών επίπλων σε ζώνες με χαμηλότερη μελανοπική επίδραση μπορεί να περιορίσει την ανεπιθύμητη βιολογική διέγερση. Η παρατήρηση αυτή αφορά κατόψεις σε συγκεκριμένη ώρα (12:00) και ημερομηνία, επομένως λειτουργεί ως ενδεικτικό εργαλείο σχεδιασμού και όχι ως απόλυτος κανόνας για όλες τις ώρες χρήσης του κάθε χώρου.

Το δεύτερο ζήτημα αφορά το προτεινόμενο σενάριο τεχνητού φωτισμού για τις βραδινές ώρες (βλ. Πίνακα 5.5), όπου η καταγραφόμενη τιμή των 308 melanopic lx στις 21:00 υπερβαίνει κατά περίπου έξι φορές το ανώτατο όριο των 50 melanopic lx που προβλέπει το WELL για τη νυχτερινή έκθεση σε χώρους διαβίωσης (βλ. ενότητα 3.5, Jalali et al., 2024). Η ορθή διαχείριση του βραδινού φωτισμού αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα στο πλαίσιο της κατοικίας, καθώς οι ενήλικοι χρήστες απουσιάζουν συνήθως από το σπίτι κατά τις πρωινές και μεσημβρινές ώρες λόγω εργασίας, με αποτέλεσμα η πραγματική τους έκθεση στον οικιακό φωτισμό να συγκεντρώνεται κυρίως στις απογευματινές και βραδινές ώρες. Σε αντίθεση με την ημερήσια υπέρβαση, η βραδινή αυτή υπέρβαση είναι άμεσα προβληματική, καθώς έρχεται σε αντίθεση με τον στόχο της χαλάρωσης και της προετοιμασίας του οργανισμού για τον ύπνο. Προτείνεται συνεπώς η χρήση φωτιστικών σωμάτων με δυνατότητα ρύθμισης έντασης (dimmable), σε συνδυασμό με χαμηλότερη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος κατά τις βραδινές ώρες, ώστε η ένταση του τεχνητού φωτισμού να μειώνεται σταδιακά και να προσεγγίζει τα επιθυμητά επίπεδα, σύμφωνα και με τη λογική του προτεινόμενου σεναρίου φωτισμού της ενότητας 5.5 (βλ. Πίνακα 5.2).

Η υλοποίηση της προτεινόμενης ρύθμισης έντασης και θερμοκρασίας χρώματος κατά τις βραδινές ώρες προϋποθέτει την επιλογή κατάλληλου συστήματος ελέγχου του τεχνητού φωτισμού. Τρεις βασικές τεχνικές λύσεις εξετάζονται: ο απλός χρονοδιακόπτης (timer), ο αστρονομικός χρονοδιακόπτης και το πρωτόκολλο ψηφιακού ελέγχου DALI (Digital Addressable Lighting Interface).

Ο απλός χρονοδιακόπτης λειτουργεί με προκαθορισμένες, σταθερές ώρες ενεργοποίησης και απενεργοποίησης, οι οποίες παραμένουν αμετάβλητες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και δεν προσαρμόζονται στην εποχική μεταβολή της διάρκειας της ημέρας (Geya, 2023).

Ο αστρονομικός χρονοδιακόπτης (astronomical timer / astro time switch) αποτελεί πιο εξελιγμένη λύση, καθώς υπολογίζει τις ώρες ανατολής και δύσης του ηλίου βάσει γεωγραφικής θέσης και ημερομηνίας, χωρίς να απαιτείται εξωτερικός αισθητήρας (Geya, 2023). Ωστόσο, και οι δύο αυτές λύσεις περιορίζονται συνήθως σε λίγες προκαθορισμένες σκηνές ή σε λειτουργία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης, χωρίς να προσφέρουν τη συνεχή, βαθμιαία μεταβολή έντασης και θερμοκρασίας χρώματος που προβλέπει το προτεινόμενο σενάριο του Πίνακα 5.2.

Αντίθετα, το **πρωτόκολλο DALI** επιτρέπει τον ανεξάρτητο ψηφιακό διευθυνσιοδοτημένο έλεγχο κάθε φωτιστικού σώματος (κάθε φωτιστικό έχει τη δική του ψηφιακή διεύθυνση). Μέσω της επέκτασής του DALI-2 DT8 για ρυθμιζόμενη λευκή θερμοκρασία χρώματος (tunable white, μέρος 209 του προτύπου IEC 62386), υποστηρίζεται ο προγραμματισμός συνεχών μεταβολών τόσο της έντασης όσο και της θερμοκρασίας χρώματος στη διάρκεια της ημέρας, με στόχο να προσομοιωθεί η φυσική μεταβολή του φωτός, από τον θερμό τόνο ενός λαμπτήρα πυράκτωσης έως τον ψυχρότερο τόνο του μεσημβρινού ηλιακού φωτός (Digital Illumination Interface Alliance [DiiA], 2020). Στην πράξη, ο προγραμματισμός αυτός μπορεί να υλοποιηθεί μέσω ειδικών ελεγκτών που ρυθμίζουν αυτόματα τη θερμοκρασία χρώματος και την ένταση φωτιστικών DALI DT8 κατά τη διάρκεια της ημέρας, προσομοιώνοντας τη μεταβολή του φυσικού φωτός, όπως η μονάδα DALI CDC της Lunatone (Lunatone, χ.χ.), ή εναλλακτικά μέσω ασύρματων συστημάτων ελέγχου τεχνολογίας Bluetooth, όπως η πλατφόρμα Casambi, η οποία επιτρέπει τον ορισμό κιρκάδιων προφίλ (circadian profiles) για τη θερμοκρασία χρώματος και την ένταση ρυθμιζόμενων λευκών φωτιστικών (Casambi, χ.χ.). Με τον τρόπο αυτό, το σενάριο του Πίνακα 5.2 μπορεί να προγραμματιστεί μία φορά και να εφαρμόζεται

αυτόματα, χωρίς καθημερινή παρέμβαση του χρήστη. Η πιστοποίηση DALI-2 διασφαλίζει επιπλέον τη συμβατότητα μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών (DiiA, 2020).

Το χαρακτηριστικό της συνεχούς, προγραμματιζόμενης μεταβολής καθιστά το DALI καταλληλότερο για την υλοποίηση ενός σεναρίου ανθρωποκεντρικού φωτισμού όπως αυτό του Πίνακα 5.2, το οποίο προϋποθέτει ομαλή μετάβαση και όχι απότομες αλλαγές σε συγκεκριμένες ώρες. Επιπλέον, επιτρέπει την αλλαγή διευθύνσεων και νέα ρύθμιση ζωνών φωτισμού μέσω λογισμικού, χωρίς ανάγκη ξανασύνδεσης καλωδίων χειροκίνητα, προσφέροντας ευελιξία σε μελλοντικές τροποποιήσεις. Το κόστος εγκατάστασης DALI εκτιμάται ωστόσο υψηλότερο κατά 50–100% σε σχέση με μια συμβατική εγκατάσταση ρύθμισης φωτεινότητας (phase dimming), ανάλογα με τον αριθμό των κυκλωμάτων και των φωτιστικών, ενώ απαιτεί πρόσθετο χρόνο διευθυνσιοδότησης και προγραμματισμού κατά την παράδοση (commissioning) (Ivory Egg, χ.χ.). Η εκτίμηση αυτή, πάντως, διαφοροποιείται ανά έργο, καθώς άλλες πηγές επισημαίνουν ότι η απλούστερη καλωδίωση του DALI μπορεί να περιορίσει το συνολικό κόστος, ακόμη και κάτω από εκείνο μιας συμβατικής εγκατάστασης ρύθμισης φωτεινότητας (Owl Lighting, 2019).

Με βάση τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία προτείνεται η υλοποίηση της ρύθμισης έντασης και θερμοκρασίας χρώματος μέσω συστήματος DALI (και συγκεκριμένα DALI-2 DT8), καθώς αποτελεί τη λύση που ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις συνεχούς και συγχρονισμένης μεταβολής του προτεινόμενου σεναρίου φωτισμού, παρά το αυξημένο αρχικό κόστος και την πρόσθετη πολυπλοκότητα ρύθμισης σε σχέση με τους χρονοδιακόπτες.

Οι δύο αυτές παρεμβάσεις, τα σκίαστρα και οι κατάλληλες λύσεις ελέγχου του φυσικού φωτισμού ανά χώρο, καθώς και ο dimmable τεχνητός φωτισμός για τις βραδινές ώρες, συνιστούν συμπληρωματικά μέτρα που ενισχύουν τη δυνατότητα προσαρμογής του φωτιστικού περιβάλλοντος της κατοικίας στις πραγματικές ανάγκες των χρηστών κατά τη διάρκεια της ημέρας, ευθυγραμμιζόμενα με τις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

6.2 Επίδραση του φωτισμού στην εμπειρία και ευεξία των ενοίκων

Η ανάλυση της ενότητας 5.6 ανέδειξε ζητήματα που δεν αφορούν μόνο τη συμμόρφωση με ποσοτικά κριτήρια φωτισμού, αλλά συνδέονται άμεσα με την εμπειρία και την ευεξία

των ενοίκων της κατοικίας, όπως αυτές τεκμηριώθηκαν στα θεωρητικά κεφάλαια της εργασίας.

Ο επαρκής φωτισμός του Διαδρόμου (βλ. Πίνακα 5.4), ο οποίος ως εσωτερικός χώρος χωρίς παράθυρο εξαρτάται αποκλειστικά από τον τεχνητό φωτισμό, δεν αποτελεί απλώς τεχνική συμμόρφωση με το ελάχιστο όριο της TOTEE 20701-7, αλλά εξυπηρετεί και την αίσθηση ασφάλειας και άνεσης κατά την καθημερινή κυκλοφορία στην κατοικία, στοιχείο που συνδέεται με τη γενικότερη διαπίστωση ότι η ποιότητα του οικιακού φωτισμού επηρεάζει ευρύτερα αποτελέσματα σωματικής και ψυχικής υγείας των ενοίκων (Osibona et al., 2021, βλ. ενότητα 3.6). Αντίστοιχα, η σχετικά χαμηλότερη τιμή E_m στο Υποδομάτιο Master (393 lx, βλ. Πίνακα 5.4) υποστηρίζει μια πιο ήπια κατανομή φωτισμού που, σύμφωνα με τον Flynn (1977, βλ. ενότητα 4.3), ενισχύει την αίσθηση οικειότητας και χαλάρωσης σε χώρους ανάπαυσης, σε αντίθεση με την ομοιόμορφη, υψηλής έντασης κατανομή που ενδείκνυται για χώρους απαιτητικών οπτικών εργασιών.

Ιδιαίτερη σημασία για την εμπειρία των χρηστών έχει το εύρημα της χαμηλής ομοιομορφίας (U_0 0,16) στο Παιδικό Υποδομάτιο Β, όπου λειτουργεί η θέση τηλεργασίας (βλ. ενότητα 5.2). Παρότι η μέση τιμή E_m του χώρου (896 lx) υπερκαλύπτει τις ενδεικτικές απαιτήσεις γενικού φωτισμού, η έντονη ανομοιομορφία στην κατανομή του φωτός ενδέχεται να προκαλεί υποκειμενική οπτική δυσφορία στη θέση εργασίας, ανεξάρτητα από την επάρκεια της μέσης τιμής, εύρημα που επιβεβαιώνει τη διαπίστωση ότι η υποκειμενική αντίληψη της ποιότητας φωτισμού δεν ταυτίζεται πάντα με τα αντικειμενικά φωτομετρικά δεδομένα (βλ. ενότητα 2.2). Η παρατήρηση αυτή ανταποκρίνεται και στην ιδιαίτερη απαίτηση ανθρωποκεντρικού φωτισμού που θέτει η τηλεργασία, καθώς ο χρήστης παραμένει στον χώρο αυτό για παρατεταμένα διαστήματα και χρειάζεται σταθερή υποστήριξη της εγρήγορσης και της συγκέντρωσης (Roberts et al., 2023, βλ. ενότητα 2.5), χωρίς όμως να εκτίθεται σε ανομοιόμορφο φωτισμό που θα υπονόμει την οπτική άνεση κατά τις ώρες εργασίας.

Ως προς τις βραδινές ώρες, η υπέρβαση του ανώτατου ορίου του WELL από την καταγραφόμενη τιμή των 308 melanopic lx (βλ. Πίνακα 5.5) έχει άμεσες επιπτώσεις στην ευεξία των ενοίκων, καθώς η παρατεταμένη έκθεση σε έντονο φως πριν τον ύπνο μπορεί να καθυστερήσει την έναρξή του και να μειώσει την ποιότητά του (Houser & Esposito, 2021, βλ. ενότητα 2.3), εύρημα που επιβεβαιώνεται και από τη μελέτη πεδίου των Zhang et al. (2020, βλ. ενότητα 2.4), όπου η έκθεση σε δυναμικό φωτισμό χωρίς κατάλληλη

βραδινή προσαρμογή συνδέθηκε με μειωμένη αντιληπτή ποιότητα και διάρκεια ύπνου. Η προτεινόμενη λύση μείωσης έντασης και θερμοκρασίας χρώματος μέσω DALI (βλ. ενότητα 6.1) αποσκοπεί συνεπώς όχι μόνο στη συμμόρφωση με το κριτήριο του WELL, αλλά στην ενεργό υποστήριξη της ξεκούρασης και της ποιότητας ύπνου των ενοίκων.

Συνολικά, **τα ευρήματα και οι προτάσεις** που προέκυψαν από την ποσοτική αξιολόγηση της ενότητας 5.6 συνδέονται στενά με τη βιοματική και ψυχολογική διάσταση του φωτισμού, όπως αυτή αναλύθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, επιβεβαιώνοντας ότι ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός της κατοικίας δεν εξαντλείται στην τήρηση αριθμητικών ορίων, αλλά αποσκοπεί στη συνολική υποστήριξη της καθημερινής εμπειρίας, της υγείας και της ευεξίας των χρηστών.

6.3 Ανθρωποκεντρικές αρχές ως οδηγός βιώσιμου σχεδιασμού

Η μελέτη που αναπτύχθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο αναδεικνύει ότι οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού δεν αφορούν αποκλειστικά τη βιολογική και ψυχολογική ευεξία των χρηστών, αλλά συνδέονται και με τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων της κατοικίας. Η σύνδεση αυτή εντοπίζεται τόσο στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού όσο και στον σχεδιασμό ευέλικτων συστημάτων τεχνητού φωτισμού.

Ως προς τον φυσικό φωτισμό, η ανάλυση του Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού στην ενότητα 5.3 κατέταξε την πλειονότητα των χώρων της κατοικίας στην κατηγορία: Ισχυρή επίδραση, σύμφωνα με την ταξινόμηση της TOTEE 20701-7 (βλ. Πίνακας 5.1, Εικόνα 5.2). Η κατάταξη αυτή δεν έχει μόνο ποιοτική σημασία για την εμπειρία των χρηστών, αλλά συνδέεται άμεσα και με την εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού, όπως προκύπτει από την κατηγοριοποίηση της TOTEE 20701-7 (βλ. Εικόνα 5.2). Η επαρκής αξιοποίηση του φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας περιορίζει επομένως την ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού, συνδυάζοντας τη βιολογική υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού με ενεργειακό όφελος, χωρίς αυτό να αναιρεί την ανάγκη ελέγχου της θάμβωσης και της υπερβολικής ηλιακής έκθεσης που εξετάστηκε στην ενότητα 6.1.

Ως προς τον τεχνητό φωτισμό, η επιλογή συστήματος DALI που αναλύθηκε στην ενότητα 6.1 συνδέεται και αυτή με τη λογική του βιώσιμου σχεδιασμού, καθώς η δυνατότητα συνεχούς ρύθμισης της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος επιτρέπει την

προσαρμογή του φωτισμού στις πραγματικές ανάγκες κάθε χρονικής περιόδου, αποφεύγοντας τη σταθερή υπερφωτισμένη λειτουργία που θα οδηγούσε σε αδικαιολόγητη ενεργειακή κατανάλωση. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., στα κτήρια κατοικίας η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό δεν συνυπολογίζεται στην τελική ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, αλλά λαμβάνεται υπόψη μόνο ως εσωτερικό κέρδος στον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, ενώ ο φωτισμός δεν εξετάζεται ως προς τις ελάχιστες απαιτήσεις, οπότε δεν ισχύουν τα όρια εγκατεστημένης ισχύος (W/m^2) που ορίζονται για τα κτήρια του τριτογενούς τομέα (TEE, TOTEE 20701-1, σ. 150). Η ενεργειακή αποδοτικότητα του οικιακού φωτισμού αποτελεί επομένως ζήτημα σχεδιαστικής επιλογής και όχι κανονιστικής υποχρέωσης, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία ενός συστήματος ελέγχου που περιορίζει την κατανάλωση μέσω της ρύθμισης της έντασης. Η επιλογή αυτή εντάσσεται στη λογική που περιγράφουν οι Houser και Esposito (2021, βλ. ενότητα 3.1), σύμφωνα με τους οποίους ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός δεν αποτελεί μεμονωμένη επιλογή εξοπλισμού, αλλά προϋποθέτει τη συνολική ένταξη του στη διαδικασία του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, από τα πρώιμα στάδια έως τη λειτουργία των συστημάτων.

Η διάσταση της βιωσιμότητας αποκτά ευρύτερη σημασία αν συνδεθεί με τη δημόσια υγεία. Όπως τεκμηριώνουν οι Osibona et al. (2021, βλ. ενότητα 3.6), η ποιότητα του οικιακού φωτισμού συνδέεται με ένα ευρύ φάσμα αποτελεσμάτων σωματικής και ψυχικής υγείας, ενώ οι Roberts et al. (2023, βλ. ενότητα 2.5) επισημαίνουν ότι ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει περιορίσει δραστικά την έκθεση του ανθρώπου στο φυσικό φως σε σχέση με το παρελθόν. Ένας σχεδιασμός που αποκαθιστά, στο μέτρο του δυνατού, την πρόσβαση στο φυσικό φως και συμπληρώνει τις ανάγκες αυτές με ευέλικτο τεχνητό φωτισμό συμβάλλει επομένως όχι μόνο στην ευεξία των συγκεκριμένων ενοίκων, αλλά και σε μια ευρύτερη λογική υγιεινού και ενεργειακά υπεύθυνου σχεδιασμού κατοικιών.

Συνολικά, ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός, όπως εφαρμόστηκε στη μελέτη περίπτωσης (βλ. Κεφάλαιο 5), αναδεικνύεται ως προσέγγιση συμβατή με τις αρχές του βιώσιμου σχεδιασμού, καθώς η κάλυψη των βιολογικών και ψυχολογικών αναγκών των χρηστών δεν επιτυγχάνεται μέσω αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά μέσω της έξυπνης διαχείρισης του διαθέσιμου φυσικού και τεχνητού φωτός.

6.4 Προτάσεις για μελλοντικές εφαρμογές σε κατοικίες

Τα ευρήματα της παραπάνω μελέτης και η σύνδεσή τους με τις αρχές του βιώσιμου σχεδιασμού που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη ενότητα, επιτρέπουν τη διατύπωση ορισμένων προτάσεων για την ευρύτερη εφαρμογή του ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε κατοικίες πέρα από τη συγκεκριμένη περίπτωση που εξετάστηκε.

Μια **πρώτη κατεύθυνση αφορά την επέκταση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος DALI-2 DT8**, που προτάθηκε για τις βραδινές ώρες στην ενότητα 6.1, σε περισσότερους ή και σε όλους τους χώρους της κατοικίας. Η ενιαία διαχείριση του φωτισμού με ξεχωριστό ψηφιακό έλεγχο κάθε φωτιστικού, θα επέτρεπε τη συστηματική εφαρμογή διαφοροποιημένων σεναρίων ανά χρονική περίοδο, όπως αυτά του Πίνακα 5.2, σε όλη την κατοικία και όχι μόνο σε επιμέρους χώρους, ζήτημα που ωστόσο συνδέεται και με το αυξημένο κόστος εγκατάστασης που αναφέρθηκε στην ενότητα 6.1 και χρειάζεται περαιτέρω εξέταση.

Μια **δεύτερη κατεύθυνση αφορά την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε κατοικίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτή της μελέτης** που πραγματοποιήθηκε παραπάνω, ιδίως σε διαμερίσματα ή σε πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον. Όπως επισημάνθηκε στην ενότητα 5.3, η απουσία περιμετρικών κτιρίων στο υπό μελέτη οικόπεδο συνέβαλε σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού, οι οποίες δεν αναμένεται να επαναληφθούν σε πιο πυκνοδομημένα περιβάλλοντα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού θα χρειαζόταν να αναλάβει μεγαλύτερο μερίδιο της κιρκάδιας υποστήριξης, ώστε να αντισταθμίσει τη μειωμένη πρόσβαση στο φυσικό φως. Ο ρόλος αυτός αποκτά ιδιαίτερη σημασία για χρήστες που περνούν μεγάλο μέρος της ημέρας στην κατοικία τους, όπως συχνά συμβαίνει με ηλικιωμένα άτομα, για τους οποίους ο τεχνητός φωτισμός μπορεί να λειτουργήσει καταλυτικά στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού. Οι Vetter et al. (2022) επισημαίνουν ότι άτομα τα οποία περνούν μεγάλο μέρος του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους ωφελούνται ιδιαίτερα από διατάξεις τεχνητού φωτισμού που παρέχουν επαρκή ένταση φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας και χαμηλότερη, θερμότερη ένταση προς το βράδυ, καθώς αυτό ενισχύει την κιρκάδια σταθεροποίηση. Επιπλέον, η φυσιολογία του ανθρώπινου ματιού μεταβάλλεται σταδιακά με την ηλικία, κυρίως μετά τα 45 έτη, με αποτέλεσμα μειωμένη ευαισθησία στις χωρικές αντιθέσεις και πιο αργή προσαρμογή στο σκοτάδι, γεγονός που καθιστά τον προσεκτικό σχεδιασμό του φωτισμού ακόμη πιο

σημαντικό για τους ηλικιωμένους χρήστες (TEE, TOTEE 20701-7, σ. 87). Σε αντίθεση με μια βασική διάταξη τεχνητού φωτισμού όπως αυτή που περιγράφηκε στην ενότητα 5.3, η οποία δεν προσαρμόζεται στη διάρκεια της ημέρας ούτε στις ανάγκες συγκεκριμένων χρηστών, η προτεινόμενη προσέγγιση, μέσω της διαφοροποίησης της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος του φωτισμού, προσφέρει ένα πρόσθετο επίπεδο λειτουργικότητας και βιολογικής υποστήριξης, ιδίως για ευάλωτες ή ευαίσθητες στο φως πληθυσμιακές ομάδες.

Μια τρίτη κατεύθυνση αφορά τον ατομικό έλεγχο του φωτισμού από τον χρήστη, ζήτημα που αναδείχθηκε ήδη ως ηθική διάσταση του ανθρωποκεντρικού φωτισμού στην ενότητα 3.6, σε συνδυασμό με τη σχετική απαίτηση του προτύπου WELL. Η δυνατότητα του χρήστη να προσαρμόζει ο ίδιος την ένταση και τη θερμοκρασία χρώματος του φωτισμού, πέρα από τα προκαθορισμένα σενάρια, θα ενίσχυε την αυτονομία του και θα επέτρεπε την προσαρμογή σε ατομικές διαφοροποιήσεις, όπως αυτές που σχετίζονται με την ηλικία ή με ειδικές ανάγκες (Jalali et al., 2024, βλ. ενότητα 3.6).

Τέλος, όπως επισημαίνουν οι Houser και Esposito (2021, βλ. ενότητα 3.6), η αξιοπιστία του ανθρωποκεντρικού φωτισμού εξαρτάται από την τεκμηρίωσή του και όχι από εμπορικούς ισχυρισμούς. Για τον λόγο αυτό, μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα της παρούσας προσομοίωσης μέσω πραγματικών μετρήσεων μετά την υλοποίηση του σχεδιασμού, συνδέοντας τις υπολογισμένες τιμές μελανοπικού φωτισμού με πραγματικά δεδομένα ύπνου και εγρήγορσης των ενοίκων.

Οι προτάσεις αυτές δεν αναιρούν τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης, αλλά επιχειρούν να τα εντάξουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο εφαρμογής, ώστε οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού να μπορούν να αξιοποιηθούν σε διαφορετικούς τύπους κατοικιών και χρηστών.

7. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήσε τον τρόπο με τον οποίο οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού μπορούν να εφαρμοστούν στον σχεδιασμό της κατοικίας, με στόχο τη βελτίωση της εμπειρίας, της ευεξίας και της ποιότητας ζωής των χρηστών, όπως τέθηκε ο σκοπός της έρευνας στην Εισαγωγή. Η θεωρητική διερεύνηση των πρώτων κεφαλαίων ανέδειξε τη διπλή, οπτική και βιολογική, φύση του φωτός και τον κεντρικό ρόλο του στη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού, ενώ η μελέτη φωτισμού του πέμπτου και έκτου κεφαλαίου μετέφερε αυτό το πλαίσιο σε μια πραγματική κατοικία, μέσω προσομοιώσεων φυσικού και τεχνητού φωτισμού.

Από τη μελέτη φωτισμού της κατοικίας προέκυψε, πρώτον, ότι η συγκεκριμένη κατοικία, λόγω του προσανατολισμού της και της απουσίας περιμετρικών κτιρίων, υπερκαλύπτει άνετα το ελάχιστο κριτήριο του προτύπου WELL για τους χώρους διαβίωσης (200 melanopic lx) στο μεγαλύτερο μέρος της ημέρας υπό συνθήκες καθαρού ουρανού, όπως αναφέρεται στις τιμές του Πίνακα 5.3. Το κριτήριο αυτό δεν πληρείται ωστόσο πάντα υπό συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού, ιδίως κατά τις πρώτες πρωινές και τις τελευταίες απογευματινές ώρες (βλ. ενότητα 5.6). Παράλληλα, η προσομοίωση του προτεινόμενου σεναρίου τεχνητού φωτισμού για τις βραδινές ώρες ανέδειξε ότι η καταγραφόμενη τιμή μελανοπικού φωτισμού υπερβαίνει σημαντικά το ανώτατο όριο των 50 melanopic lx που προβλέπει το WELL για τη νυχτερινή έκθεση (βλ. Πίνακας 5.5, ενότητα 5.6), αποτέλεσμα που έδειξε την ανάγκη περαιτέρω ρύθμισης του τεχνητού φωτισμού κατά τις βραδινές ώρες.

Με βάση τα ευρήματα αυτά, η εργασία διατύπωσε συγκεκριμένες προτάσεις σχεδιασμού. Προτάθηκε η χρήση ρυθμιζόμενων σκιάστρων στους χώρους διαμονής και ύπνου, καθώς και θαμπού τζαμιού (αμμοβολής) στα λουτρά, για τον έλεγχο της ημερήσιας έκθεσης στο φυσικό φως χωρίς να μηδενίζεται η πρόσβαση σε αυτό (βλ. ενότητα 6.1). Για τη ρύθμιση του βραδινού σεναρίου προτάθηκε η υλοποίηση συστήματος DALI, και συγκεκριμένα του πρωτοκόλλου DALI-2 DT8 για ρυθμιζόμενη λευκή θερμοκρασία χρώματος, ως η λύση που ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις συνεχούς και συγχρονισμένης μεταβολής έντασης και θερμοκρασίας χρώματος (βλ. ενότητα 6.1). Προτάθηκε επίσης η αξιοποίηση των κατόψεων μελανοπικής κατανομής (Εικόνες 5.6 έως 5.8) ως εργαλείο για τον προσανατολισμό επίπλων και θέσεων εργασίας εντός των χώρων. Σε ευρύτερο επίπεδο, η εργασία πρότεινε την ένταξη της λογικής του ανθρωποκεντρικού φωτισμού στις αρχές του

βιώσιμου σχεδιασμού, μέσω της αξιοποίησης του φυσικού φωτός και της ενεργειακά αποδοτικής διαχείρισης του τεχνητού φωτισμού, καθώς και την επέκταση των προτεινόμενων λύσεων σε άλλους τύπους κατοικιών, όπως διαμερίσματα σε πυκνοδομημένο αστικό περιβάλλον, και στον ατομικό έλεγχο του φωτισμού από τον χρήστη (βλ. ενότητες 6.3 και 6.4).

Τα ευρήματα και οι προτάσεις αυτές συγκλίνουν με το ελάχιστο κριτήριο που περιγράφηκε στην ενότητα 3.5. Όπως προέκυψε από τη σχετική βιβλιογραφία, ο σχεδιασμός δεν στοχεύει απλώς στην κάλυψη ενός στατικού ελάχιστου ορίου, αλλά επιδιώκει μια δυναμική, ωριαία διαφοροποιημένη προσέγγιση, πιστή στην αρχή του ανθρωποκεντρικού φωτισμού ότι «το κατάλληλο φως, στον κατάλληλο χρόνο, στους κατάλληλους χώρους» είναι πιο σημαντικό από μία στατική ελάχιστη τιμή (Houser & Esposito, 2021, βλ. ενότητα 3.1). Η υπέρβαση του ημερήσιου ελάχιστου ορίου και η ταυτόχρονη υπέρβαση του βραδινού ανώτατου ορίου που καταγράφηκαν στη μελέτη περίπτωσης επιβεβαιώνουν ακριβώς αυτή τη λογική, καθώς αναδεικνύουν ότι η αξιολόγηση του φωτισμού δεν μπορεί να εξαντλείται σε μία μόνο αριθμητική τιμή, αλλά οφείλει να λαμβάνει υπόψη τη χρονική διαφοροποίηση των αναγκών του οργανισμού μέσα στο εικοσιτετράωρο.

Η εργασία παρουσιάζει ωστόσο ορισμένους περιορισμούς. Τα αποτελέσματα αφορούν μία συγκεκριμένη κατοικία, χωρίς περιμετρικά εμπόδια, στοιχείο που συνέβαλε στις ιδιαίτερα υψηλές τιμές Παράγοντα Φυσικού Φωτισμού που καταγράφηκαν στην ενότητα 5.3, και δεν γενικεύονται συνεπώς άμεσα σε πυκνοδομημένο αστικό ή διαμερισματικό περιβάλλον. Επιπλέον, όπως επισημαίνουν οι Houser και Esposito (2021, βλ. ενότητα 3.6), η αξιοπιστία του ανθρωποκεντρικού φωτισμού εξαρτάται από την επιστημονική τεκμηρίωσή του και όχι από εμπορικούς ισχυρισμούς, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη μελλοντική επαλήθευση των αποτελεσμάτων της παρούσας προσομοίωσης μέσω πραγματικών μετρήσεων μετά την υλοποίηση του σχεδιασμού, όπως προτάθηκε και στην ενότητα 6.4.

Σε σχέση με μια τυπική εγκατάσταση τεχνητού φωτισμού, όπως αυτή που περιγράφηκε στην ενότητα 5.3, η βασική διαφορά της προτεινόμενης πρότασης δεν έγκειται μόνο στην αισθητική ή στη λειτουργική κάλυψη του χώρου, αλλά στη συστηματική προσαρμογή της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος του φωτισμού στις ανάγκες του οργανισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, μέσω κατάλληλου συστήματος ελέγχου (DALI-2 DT8, βλ.

ενότητα 6.1). Ενώ μια απλή στατική εγκατάσταση παρέχει την ίδια αμετάβλητη ένταση και θερμοκρασία χρώματος ανεξάρτητα από την ώρα ή τη δραστηριότητα του χρήστη, η προτεινόμενη πρόταση αποσκοπεί στη βιολογική υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού, πέρα από την απλή οπτική επάρκεια του χώρου.

Συνολικά, η παρούσα εργασία τεκμηρίωσε ότι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός αποτελεί μια εφαρμόσιμη και ουσιαστική προσέγγιση για τον σχεδιασμό της σύγχρονης κατοικίας, ικανή να συνδυάσει την οπτική άνεση, τη βιολογική υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού και τη βιωσιμότητα, συμβάλλοντας στην ευρύτερη κατεύθυνση ενός σχεδιασμού που τοποθετεί τον άνθρωπο, και όχι μόνο την τεχνική επάρκεια, στο κέντρο των αποφάσεων φωτισμού.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσσες πηγές

- Cupkova, D., Kajati, E., Mocnej, J., Papcun, P., Koziorek, J. & Zolotova, I. (2019). *Intelligent human-centric lighting for mental wellbeing improvement*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 15(9).
<https://doi.org/10.1177/1550147719875878> [CC BY]
- Flynn, J.E. (1977). *A study of subjective responses to low energy and nonuniform lighting systems*. Lighting Design and Applications, 7(2), 6–15.
- Houser, K.W., Boyce, P.R., Zeitzer, J.M. & Herf, M. (2021). *Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor?* Lighting Research & Technology, 53(2), 97–118.
<https://doi.org/10.1177/1477153520958448>
- Houser, K.W. & Esposito, T. (2021). *Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process*. Frontiers in Neurology, 12, 630553. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.630553>
- Jalali, M.S., Jones, J.R., Tural, E. & Gibbons, R.B. (2024). *Human-Centric Lighting Design: A Framework for Supporting Healthy Circadian Rhythm Grounded in Established Knowledge in Interior Spaces*. Buildings, 14(4), 1125.
<https://doi.org/10.3390/buildings14041125> [CC BY]
- Kelly, R. (1952). *Lighting as an integral part of architecture*. College Art Journal, 12(1), 24–30. <https://doi.org/10.2307/773361>
- LightingEurope & ZVEI (2013). *Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency. Market Study*. LightingEurope / ZVEI (A.T. Kearney).
- Lucas, R.J., Peirson, S.N., Berson, D.M., Brown, T.M., Cooper, H.M., Czeisler, C.A., Figueiro, M.G., Gamlin, P.D., Lockley, S.W., O'Hagan, J.B., Price, L.L.A., Provencio, I., Skene, D.J. & Brainard, G.C. (2014). *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>
- Nagare, R., Woo, M., MacNaughton, P., Plitnick, B., Tinianov, B. & Figueiro, M. (2021). *Access to Daylight at Home Improves Circadian Alignment, Sleep, and Mental Health in Healthy Adults: A Crossover Study*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(19), 9980.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18199980> [CC BY]
- Obeidat, B., Abu Hamdan, R.M. & Hayajneh, A.A. (2025). *Pilot study of dynamic lighting and sleep consolidation among older adults in a Jordanian senior care facility*. Scientific Reports, 15, 31920. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17351-0> [CC BY-NC-ND]

- Osibona, O., Solomon, B.D. & Fecht, D. (2021). *Lighting in the Home and Health: A Systematic Review*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(2), 609. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020609> [CC BY]
- Roberts, F., White, M., Memon, S., He, B.J. & Yang, S. (2023). *The Application of Human-Centric Lighting in Response to Working from Home Post-COVID-19*. Buildings, 13(10), 2532. <https://doi.org/10.3390/buildings13102532> [CC BY]
- Rocca, M. (2017). *Health and Well-being in indoor work environments: A review of literature*. 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 1–6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977542>
- Terán, E., Yee-Rendon, C.M., Sosa-Arámbula, H.J., De La Herrán-Arita, A.K. & Woods, R.L. (2026). *Home lighting, blue-light filtering, and their effects on melatonin suppression*. Scientific Reports, 16(1), 2850. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-29882-7> [CC BY-NC-ND]
- Veitch, J.A. (2011). *Workplace Design Contributions to Mental Health and Well-being*. HealthcarePapers, 11(Special Issue), 38–46. <https://doi.org/10.12927/hcpap.2011.22410>
- Vetter, C., Pattison, P.M., Houser, K., Herf, M., Phillips, A.J.K., Wright, K.P., Skene, D.J., Brainard, G.C., Boivin, D.B. & Glickman, G. (2022). *A Review of Human Physiological Responses to Light: Implications for the Development of Integrative Lighting Solutions*. LEUKOS, 18(3), 387–414. <https://doi.org/10.1080/15502724.2021.1872383>
- Xiao, Q., Lyu, Y., Zhou, M., Lu, J., Zhang, K., Wang, J. & Bauer, C. (2023). *Artificial light at night and social vulnerability: An environmental justice analysis in the U.S. 2012–2019*. Environment International, 178, 108096. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108096> [CC BY-NC-ND]
- Zhang, R., Campanella, C., Aristizabal, S., Jamrozik, A., Zhao, J., Porter, P., Ly, S. & Bauer, B.A. (2020). *Impacts of Dynamic LED Lighting on the Well-Being and Experience of Office Occupants*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(19), 7217. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197217> [CC BY]

Όπου η πηγή είναι ανοικτής πρόσβασης, σημειώνεται η άδεια Creative Commons.

Ελληνόγλωσσες πηγές

- TEE (χ.χ.). Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-7: Τεχνητός και φυσικός φωτισμός κτιρίων (σχέδιο προς διαβούλευση). Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
- TEE (2017). Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-1/2017: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση

του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (Α΄ έκδοση). Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.

Τεχνικές / Online πηγές

ANSI/IES/ALA RP-11-26 (2026). *Lighting for Interior and Exterior Residential Environments*. Illuminating Engineering Society.

Casambi (χ.χ.). *Circadian profiles*.

<https://support.casambi.com/support/solutions/articles/12000106233-circadian-profiles>

Digital Illumination Interface Alliance [DiiA] (2020). *Tunable white: How DALI is making it easier to create lighting that feels natural*. <https://www.dali-alliance.org/news/232/tunable-white-how-dali-is-making-it-easier-to-create-lighting-that-feels-natural>

Geya (2023). *Astronomic Timer Switch: An Application Guide*. <https://www.geya.net/astronomic-timer-switch-guide/>

Ivory Egg (χ.χ.). *The pros and cons of DALI for homes*.

https://ivoryegg.co.nz/essential_guides/the-pros-and-cons-of-dali-for-homes

Lunatone (χ.χ.). *DALI CDC*. <https://www.lunatone.com/en/product/dali-cdc/>

Owl Lighting (2019). *Why use DALI control in residential lighting?* <https://owl-lighting.co.uk/why-use-dali-control-in-residential-lighting/>

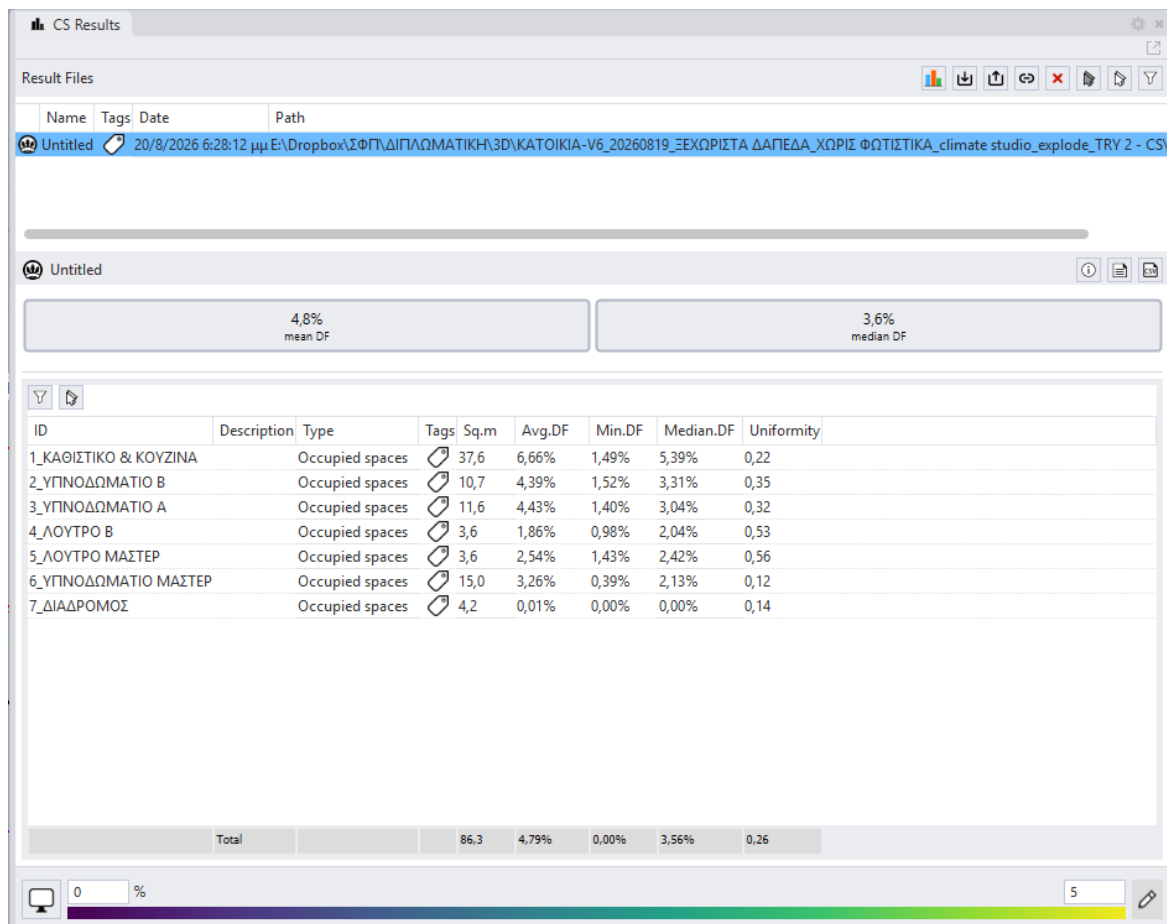
Παράρτημα Α: Αναλυτικά Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Στο παρόν παράρτημα παρατίθενται τα αναλυτικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης φωτισμού της κατοικίας, στα λογισμικά ClimateStudio και DIALux Evo. Οι ενότητες Α.1 και Α.2 αφορούν τα αποτελέσματα του ClimateStudio (Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού και μελανοπικός φωτισμός αντίστοιχα), ενώ η ενότητα Α.3 αφορά τα αποτελέσματα του DIALux Evo για τον τεχνητό φωτισμό. Τα στοιχεία αυτά συμπληρώνουν και τεκμηριώνουν τους συνοπτικούς πίνακες και τις εικόνες που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

Α.1 Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Daylight Factor), ClimateStudio

Ο πίνακας περιλαμβάνει τη μέση, την ελάχιστη και τη διάμεση τιμή Π.Φ.Φ., καθώς και τον δείκτη ομοιομορφίας ανά χώρο, στοιχεία για τον Πίνακα 5.1 (ενότητα 5.3).

- Πίνακας αποτελεσμάτων DF ανά χώρο (Avg./Min./Median DF, Uniformity)



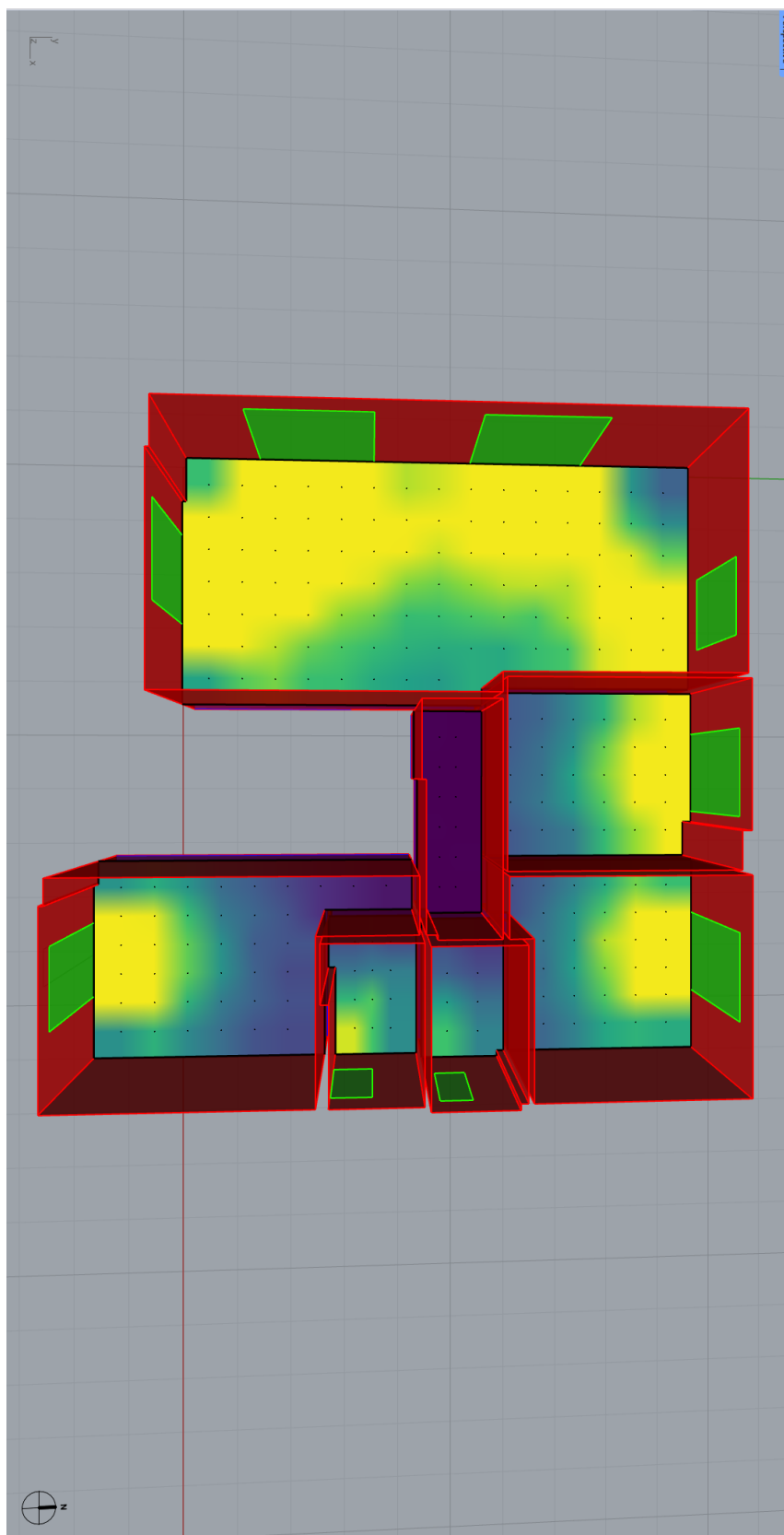
The screenshot shows the 'CS Results' window in ClimateStudio. It displays a table of results for a project named 'Untitled'. The table has columns for ID, Description, Type, Tags, Sq.m, Avg.DF, Min.DF, Median.DF, and Uniformity. The data is as follows:

ID	Description	Type	Tags	Sq.m	Avg.DF	Min.DF	Median.DF	Uniformity
1_ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ & ΚΟΥΖΙΝΑ	Occupied spaces			37,6	6,66%	1,49%	5,39%	0,22
2_ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ Β	Occupied spaces			10,7	4,39%	1,52%	3,31%	0,35
3_ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ Α	Occupied spaces			11,6	4,43%	1,40%	3,04%	0,32
4_ΛΟΥΤΡΟ Β	Occupied spaces			3,6	1,86%	0,98%	2,04%	0,53
5_ΛΟΥΤΡΟ ΜΑΣΤΕΡ	Occupied spaces			3,6	2,54%	1,43%	2,42%	0,56
6_ΥΠΝΟΔΩΜΑΤΙΟ ΜΑΣΤΕΡ	Occupied spaces			15,0	3,26%	0,39%	2,13%	0,12
7_ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	Occupied spaces			4,2	0,01%	0,00%	0,00%	0,14
Total				86,3	4,79%	0,00%	3,56%	0,26

Summary statistics shown in the interface:

- 4,8% mean DF
- 3,6% median DF

- Κάτοψη κατανομής DF (top view)

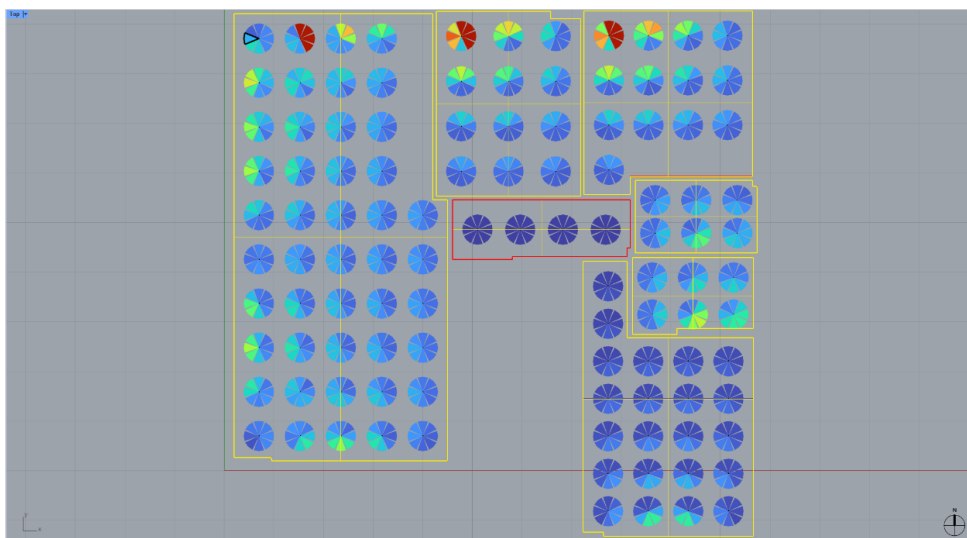
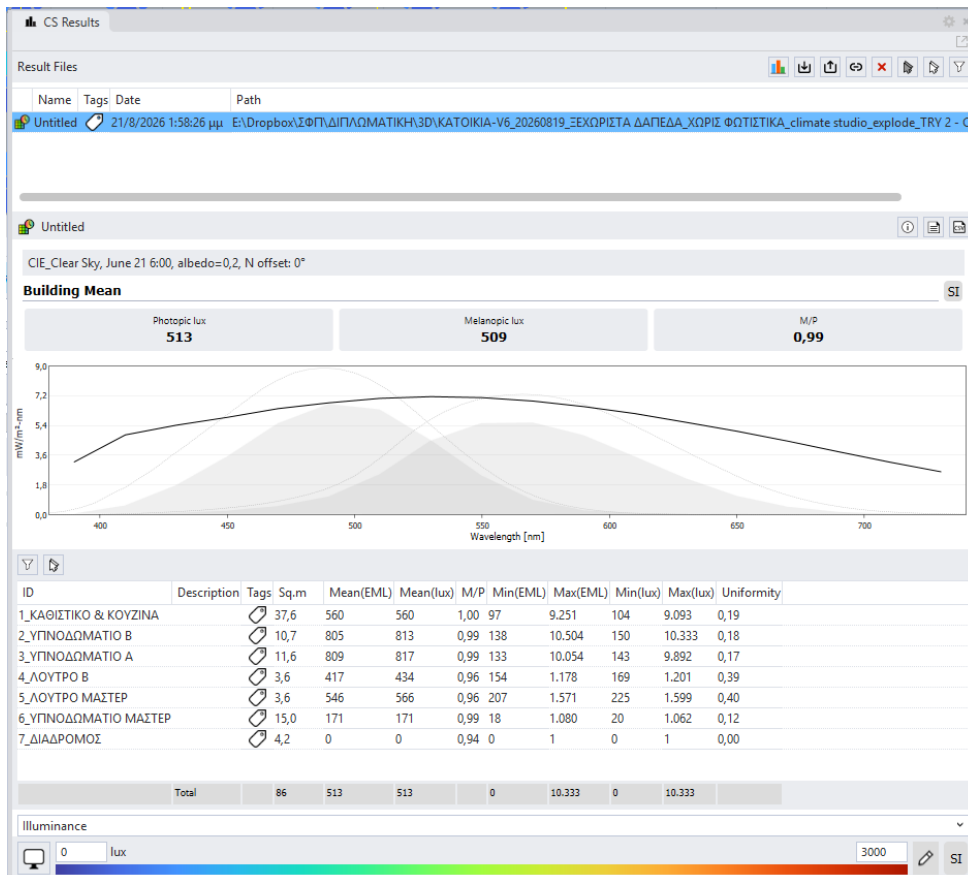


Α.2 Μελανοπικός Φωτισμός ανά ώρα, ClimateStudio

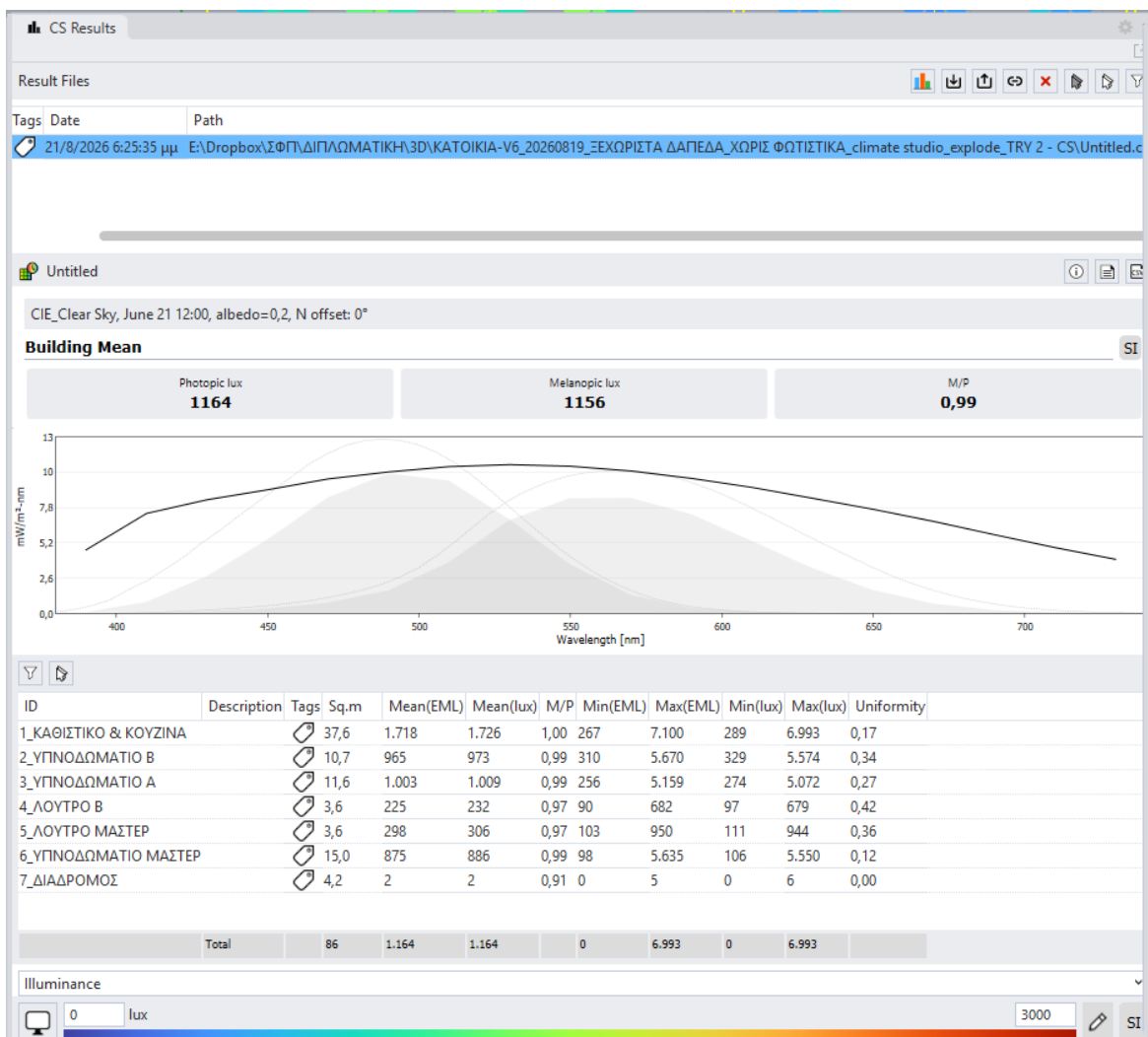
Ακολουθούν τα αναλυτικά αποτελέσματα μελανοπικού φωτισμού ανά χώρο για τις τρεις χαρακτηριστικές ημερομηνίες και ώρες (ενότητα 5.6), συμπληρώνοντας τον Πίνακα 5.3.

Α.2.1 21 Ιουνίου (καθαρός ουρανός)

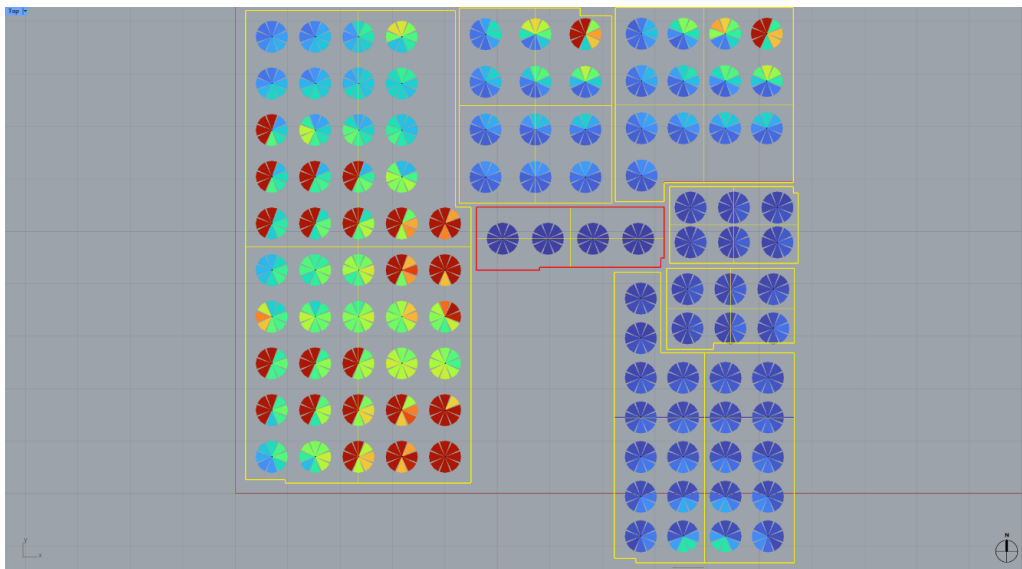
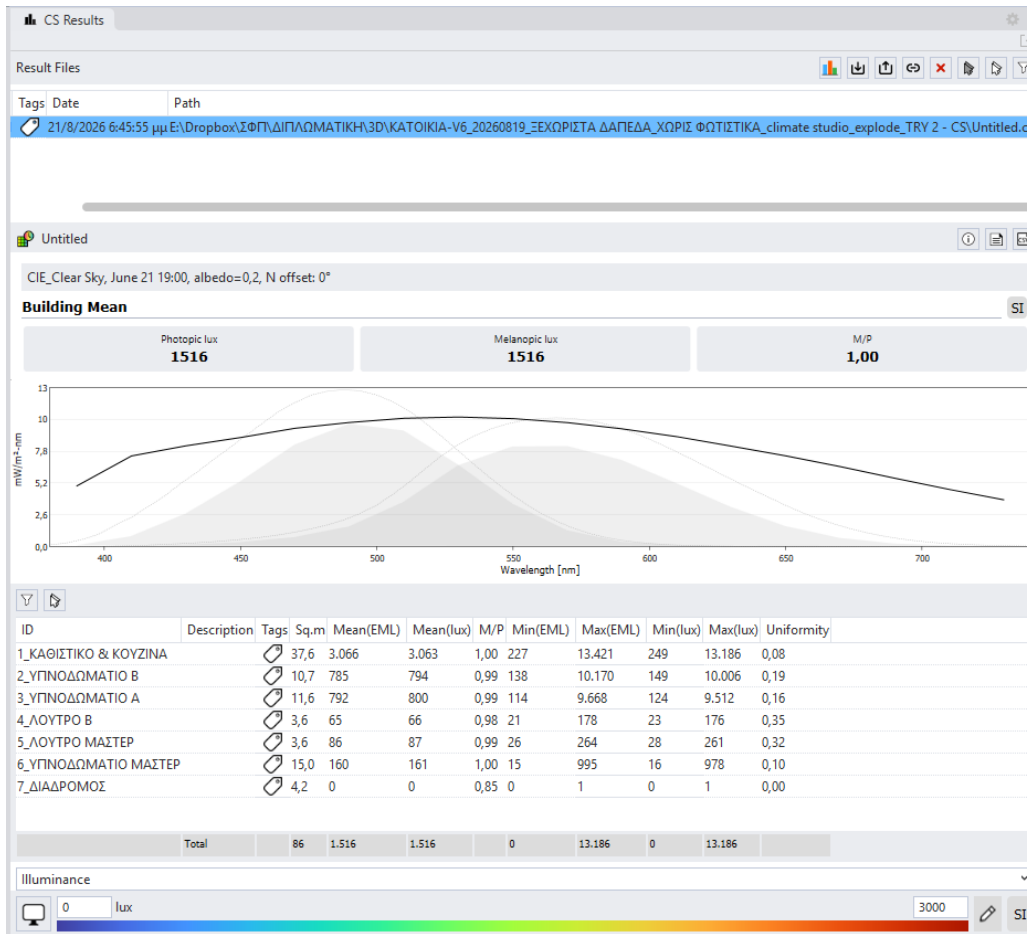
- Ανατολή (~06:00): κάτοψη & πίνακας ανά χώρο



- 12:00: πίνακας ανά χώρο (η κάτοψη υπάρχει ήδη: Εικόνα 5.6)

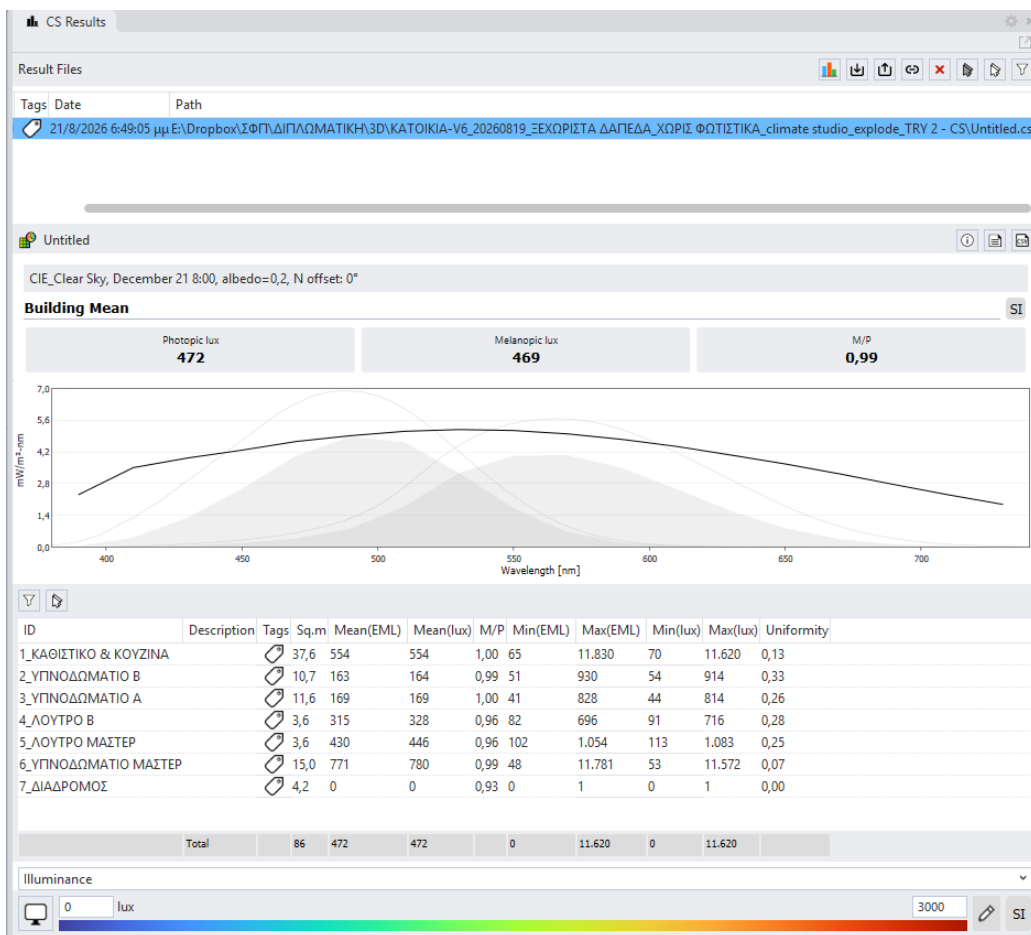


- Δύση (~19:00): κάτοψη & πίνακας ανά χώρο

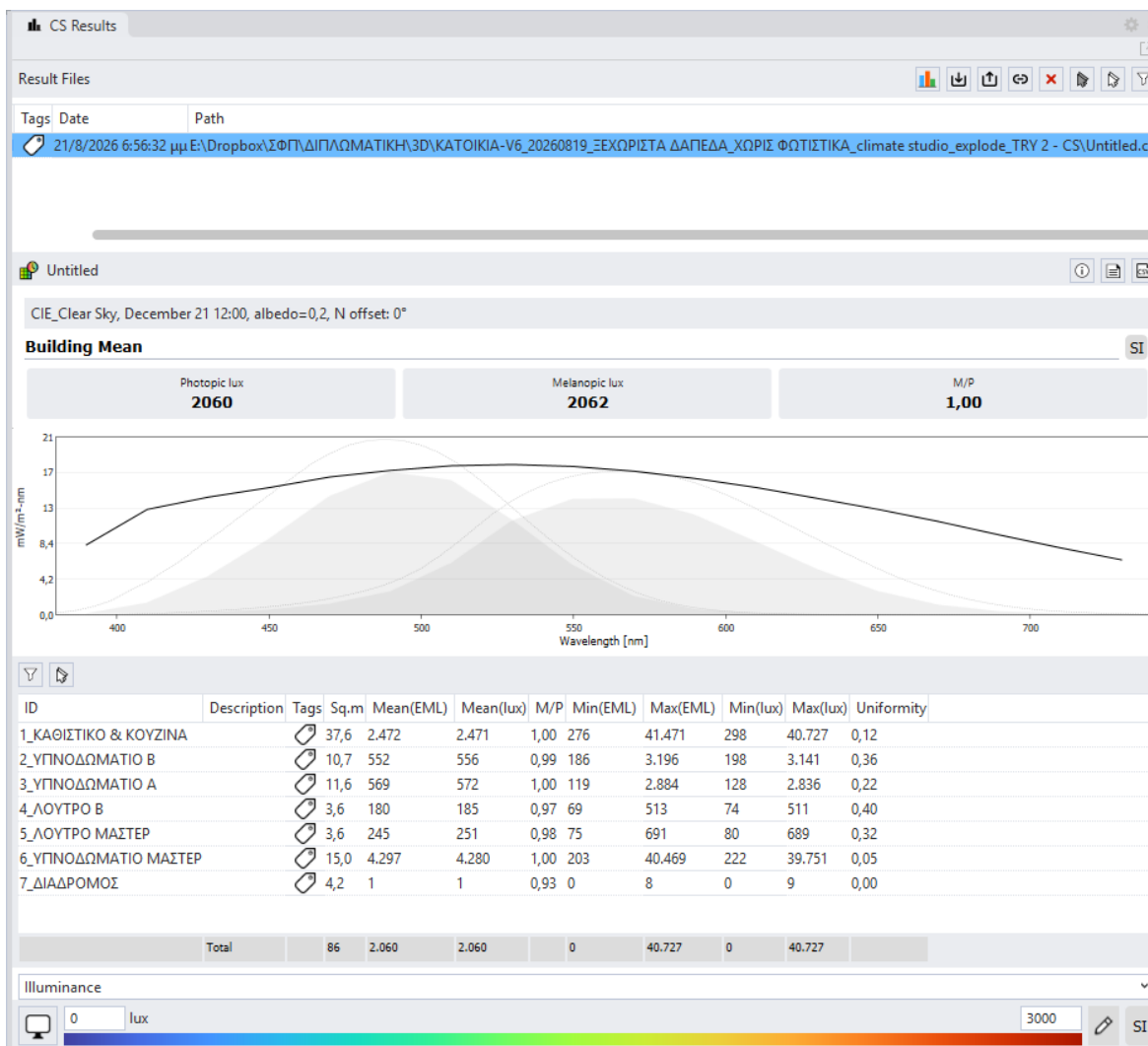


Α.2.2 21 Δεκεμβρίου (καθαρός ουρανός)

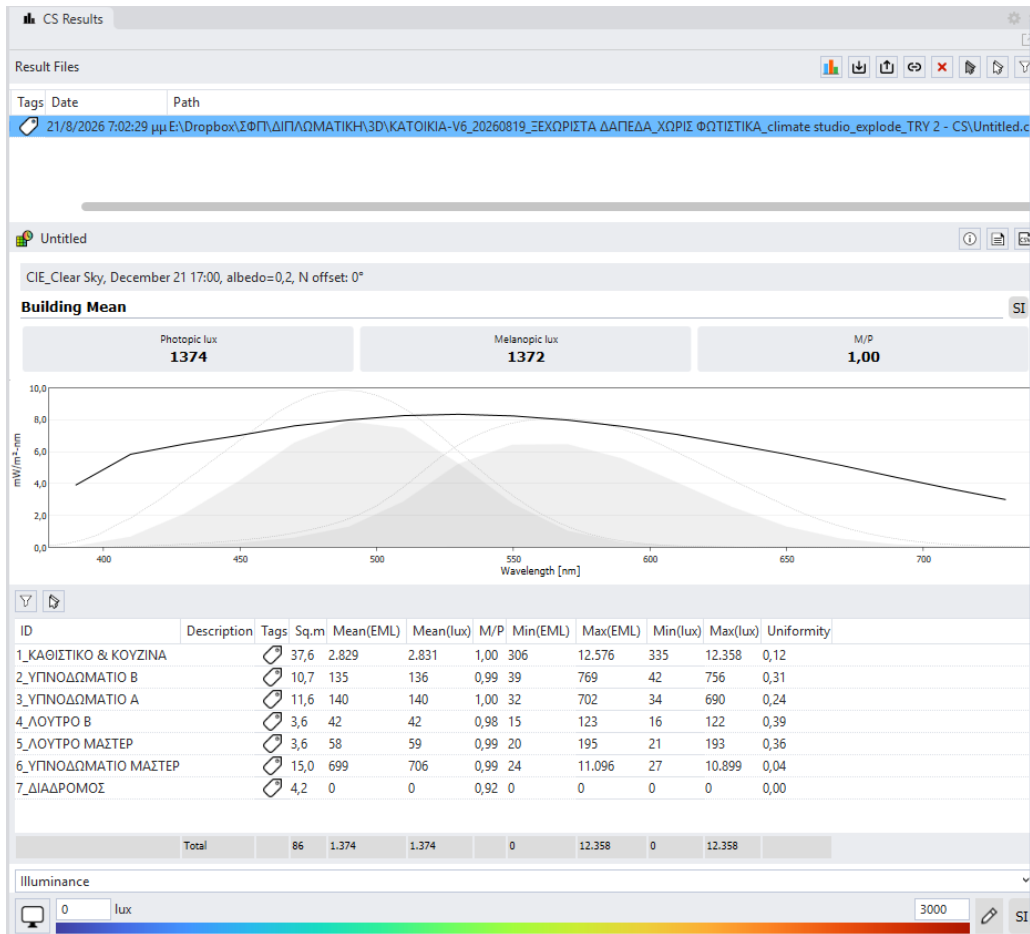
- Ανατολή (~08:00): κάτοψη & πίνακας ανά χώρο



- 12:00: πίνακας ανά χώρο (η κάτοψη υπάρχει ήδη: Εικόνα 5.7)

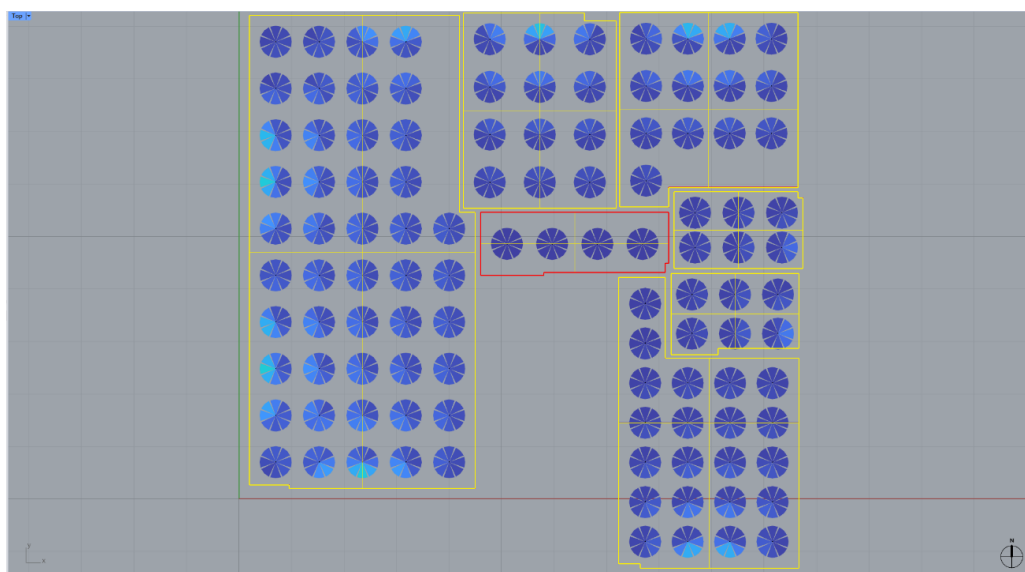
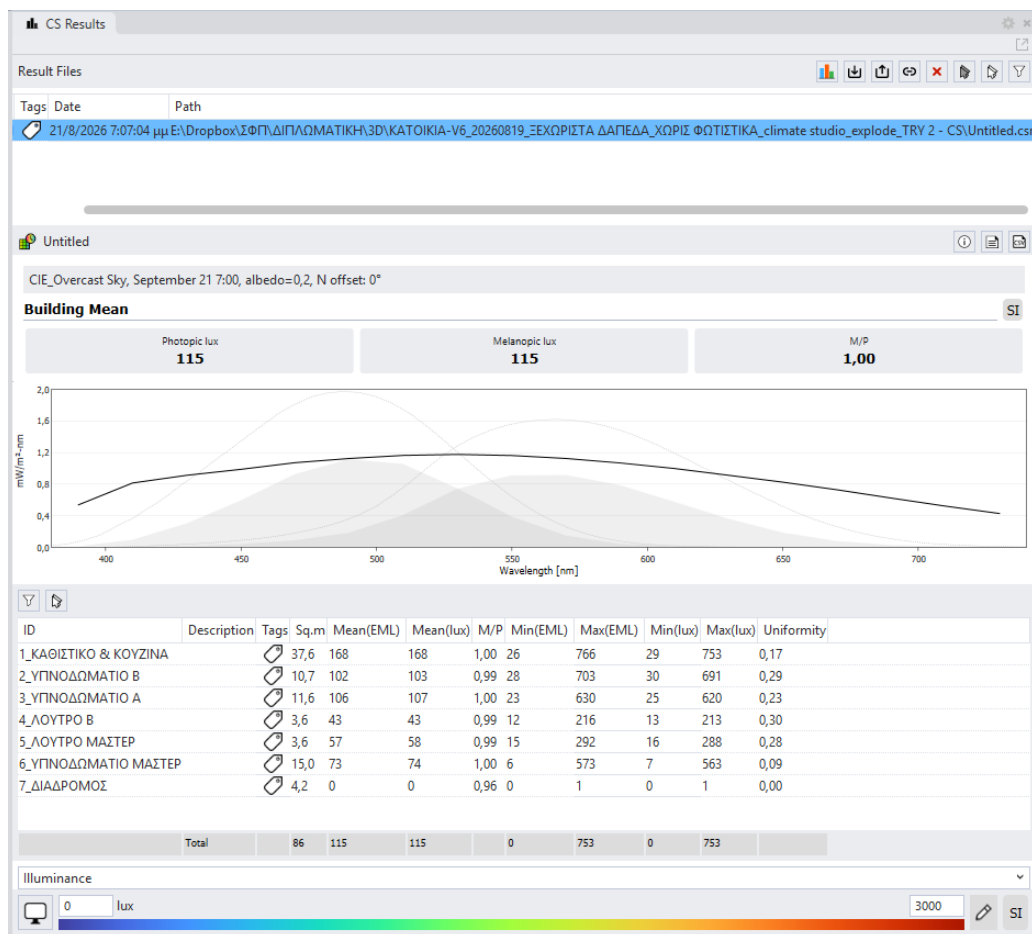


- Δύση (~17:00): κάτοψη & πίνακας ανά χώρο

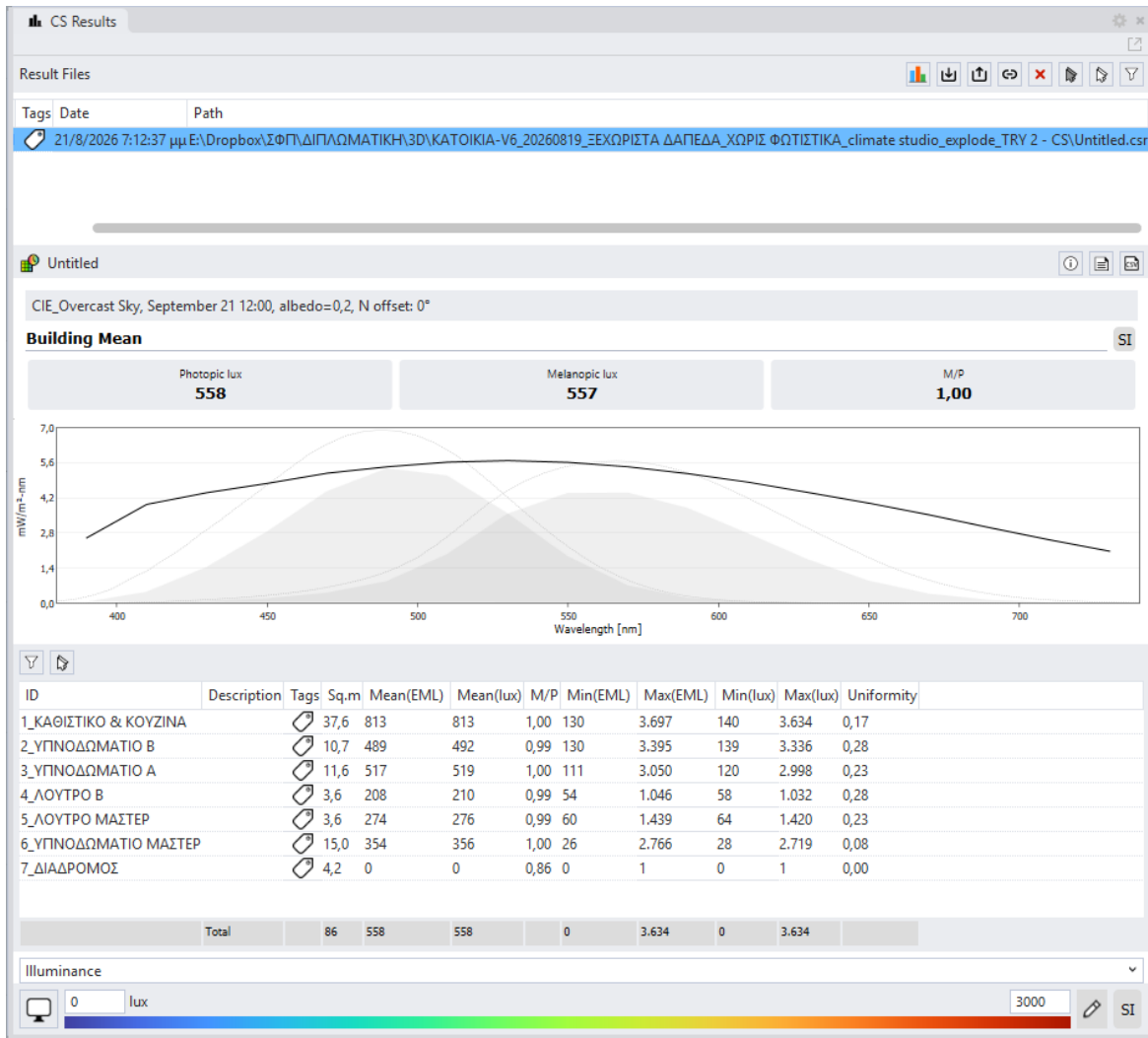


Α.2.3 21 Σεπτεμβρίου (νεφοσκεπής ουρανός)

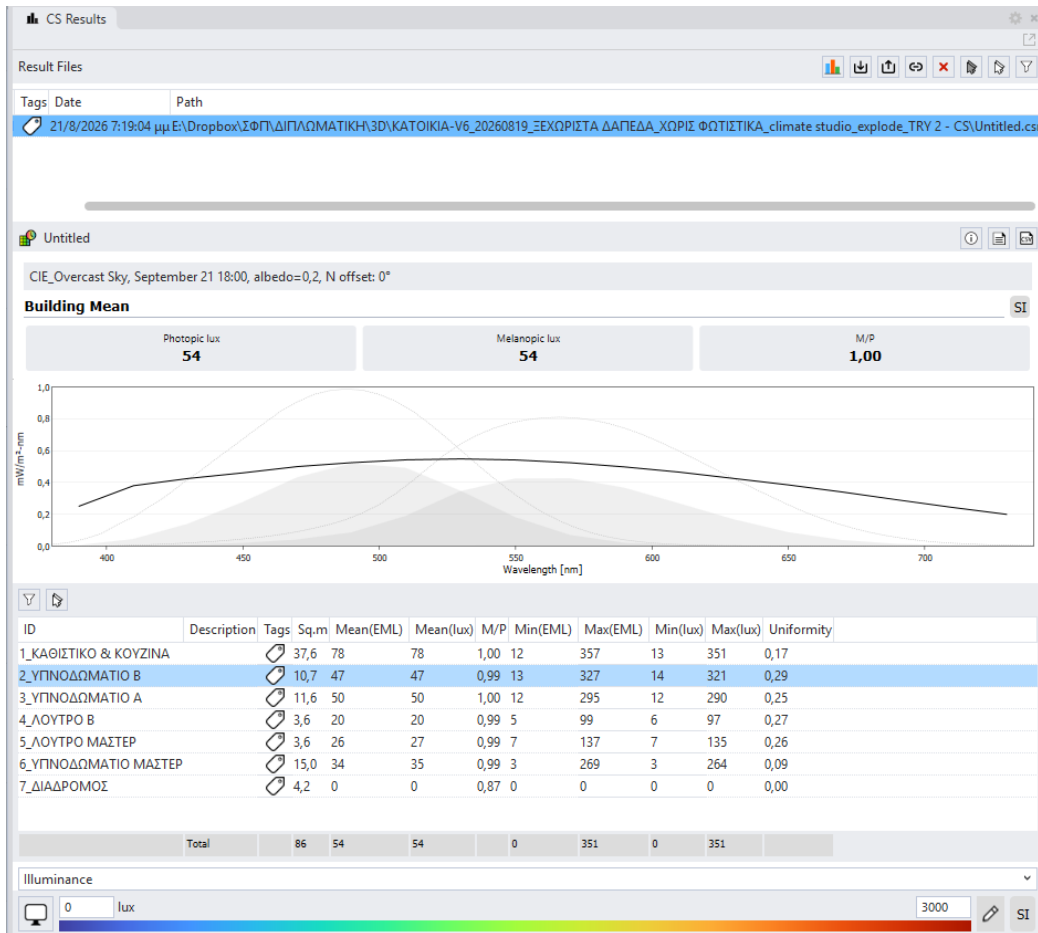
- Ανατολή (~07:00): κάτοψη & πίνακας ανά χώρο



- 12:00: πίνακας ανά χώρο (η κάτοψη υπάρχει ήδη: Εικόνα 5.8)



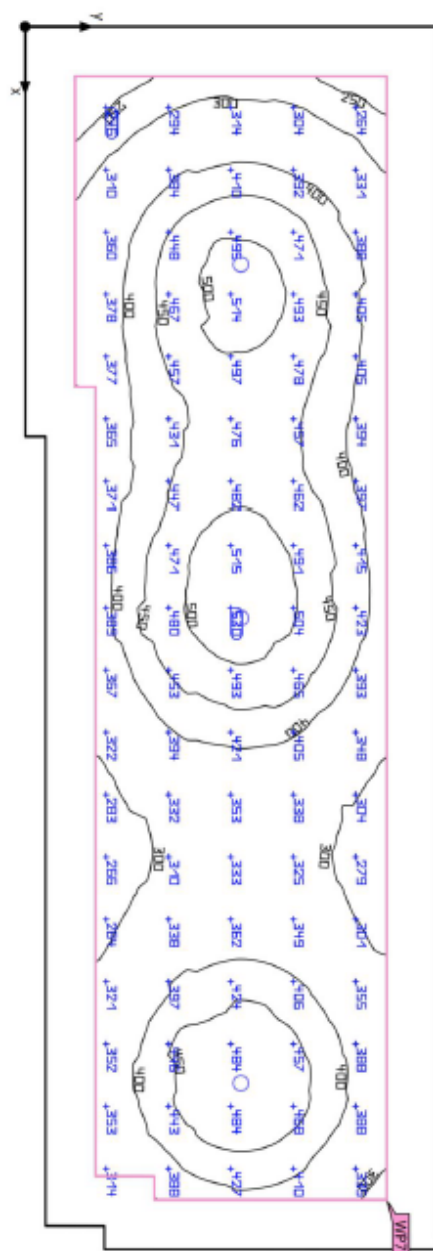
- Δύση (~18:00): κάτοψη & πίνακας ανά χώρο



Α.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης DIALux Eno (τεχνητός φωτισμός)

Ακολουθεί η κάτοψη με την κατανομή της έντασης φωτισμού (lx) στο επίπεδο εργασίας κάθε χώρου της κατοικίας, όπως προέκυψε από την προσομοίωση στο DIALux Eno, συμπληρώνοντας τις απεικονίσεις raytracing (ενότητα 5.6).

- Α.3.1 Διάδρομος:

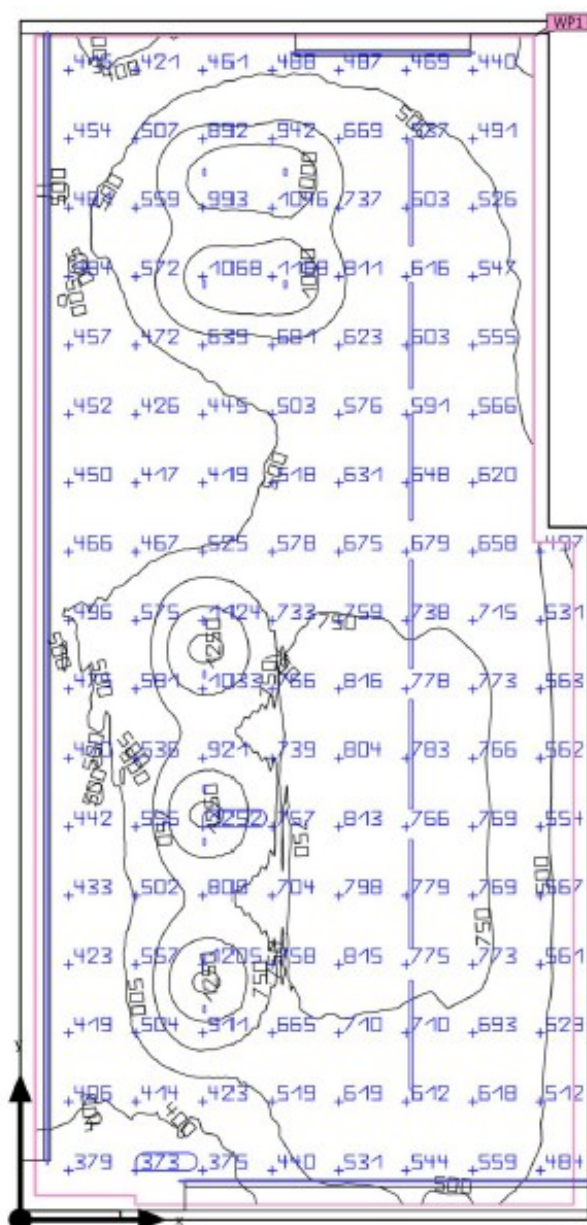


Κτίριο 1 · Όροφος 1 · ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ (Φωτεινή σκηνή 1)
Περίληψη

- **A.3.2 Καθιστικό-Κουζίνα:**

Κτίριο 1 · Όροφος 1 · ΚΑΘΙΣΤΙΚΟ-ΚΟΥΖΙΝΑ (Φωτεινή σκηνή 1)

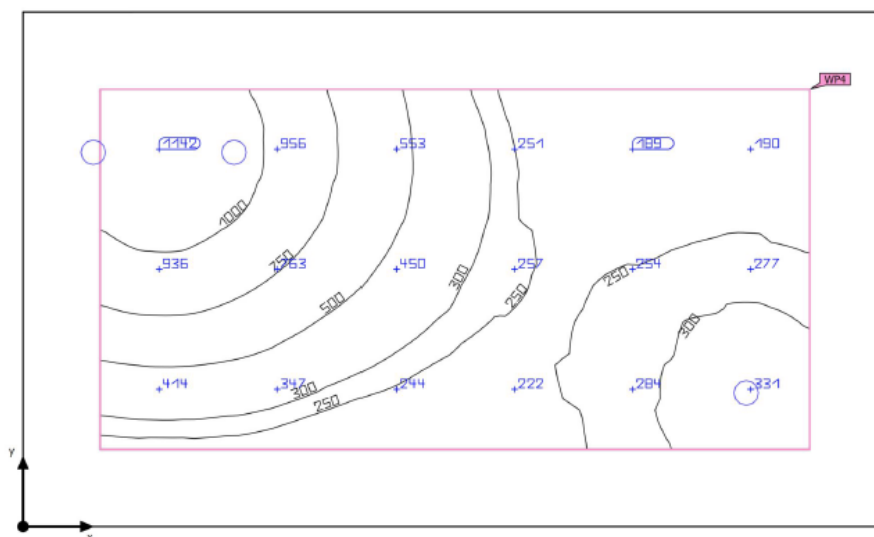
Περίληψη



• Α.3.3 Λουτρό Β:

Κτίριο 1 · Όροφος 1 · ΛΟΥΤΡΟ Β (Φωτεινή σκηνή 1)

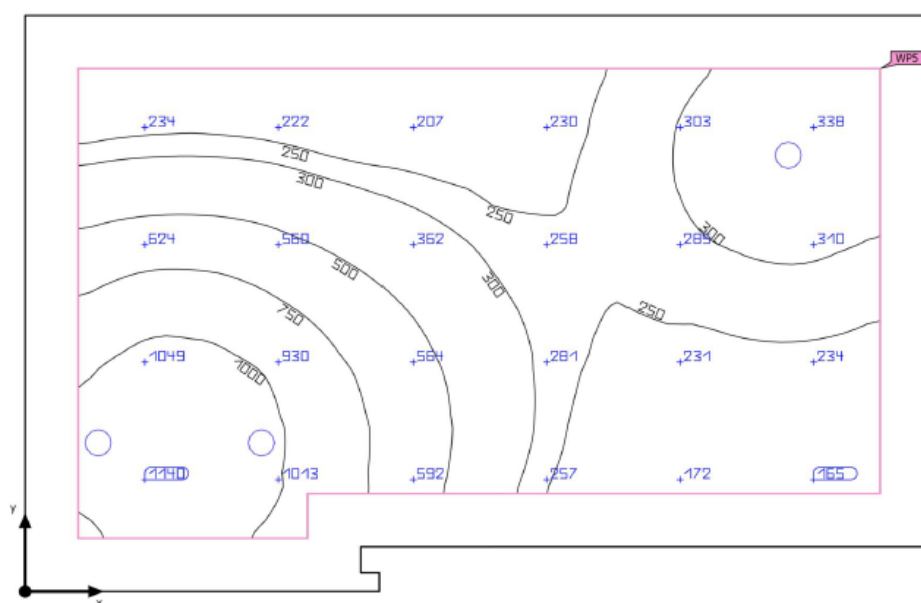
Περίληψη



• Α.3.4 Λουτρό Master:

Κτίριο 1 · Όροφος 1 · ΛΟΥΤΡΟ ΜΑΣΤΕΡ (Φωτεινή σκηνή 1)

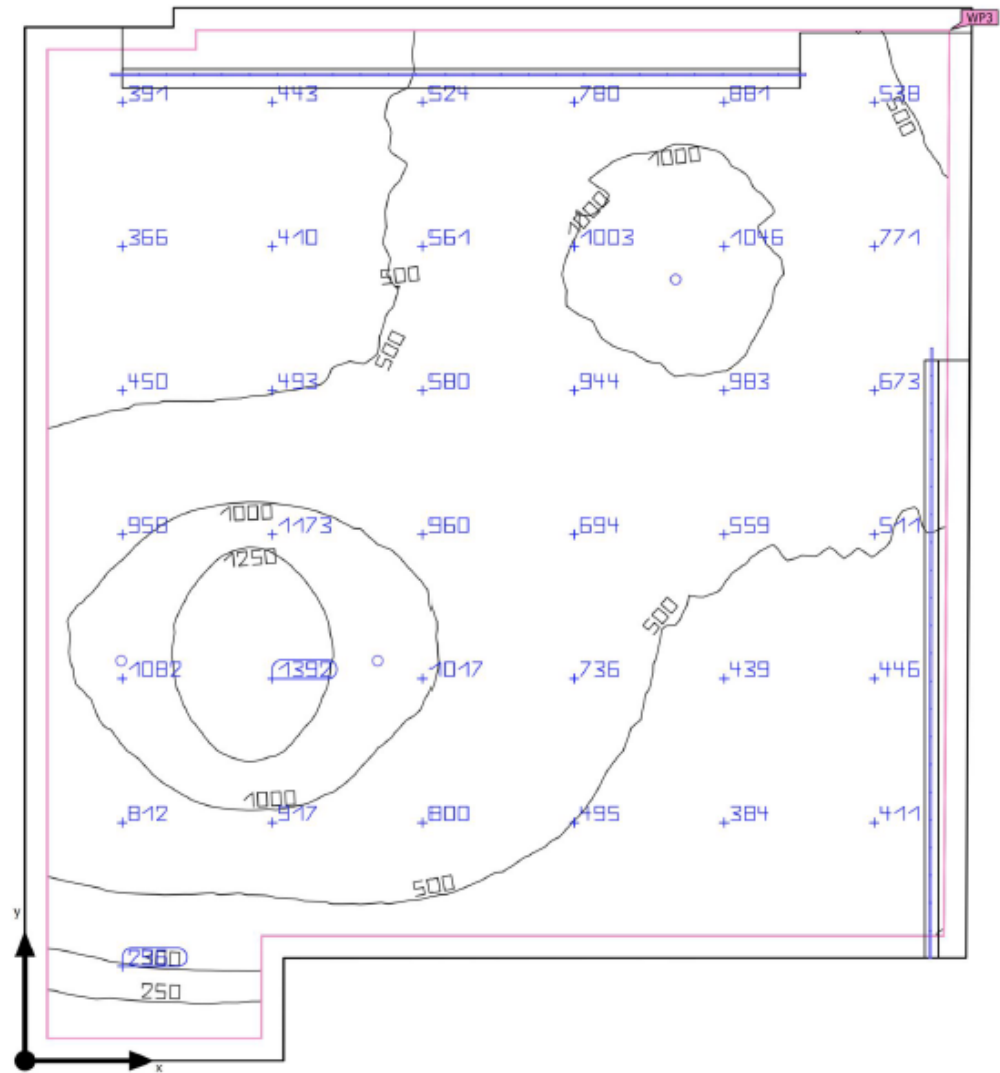
Περίληψη



- **Α.3.5 Παιδικό Υπνοδωμάτιο Α:**

Κτίριο 1 · Όροφος 1 · ΠΑΙΔΙΚΟ ΥΠΝΟΔ. Α (Φωτεινή σκηνή 1)

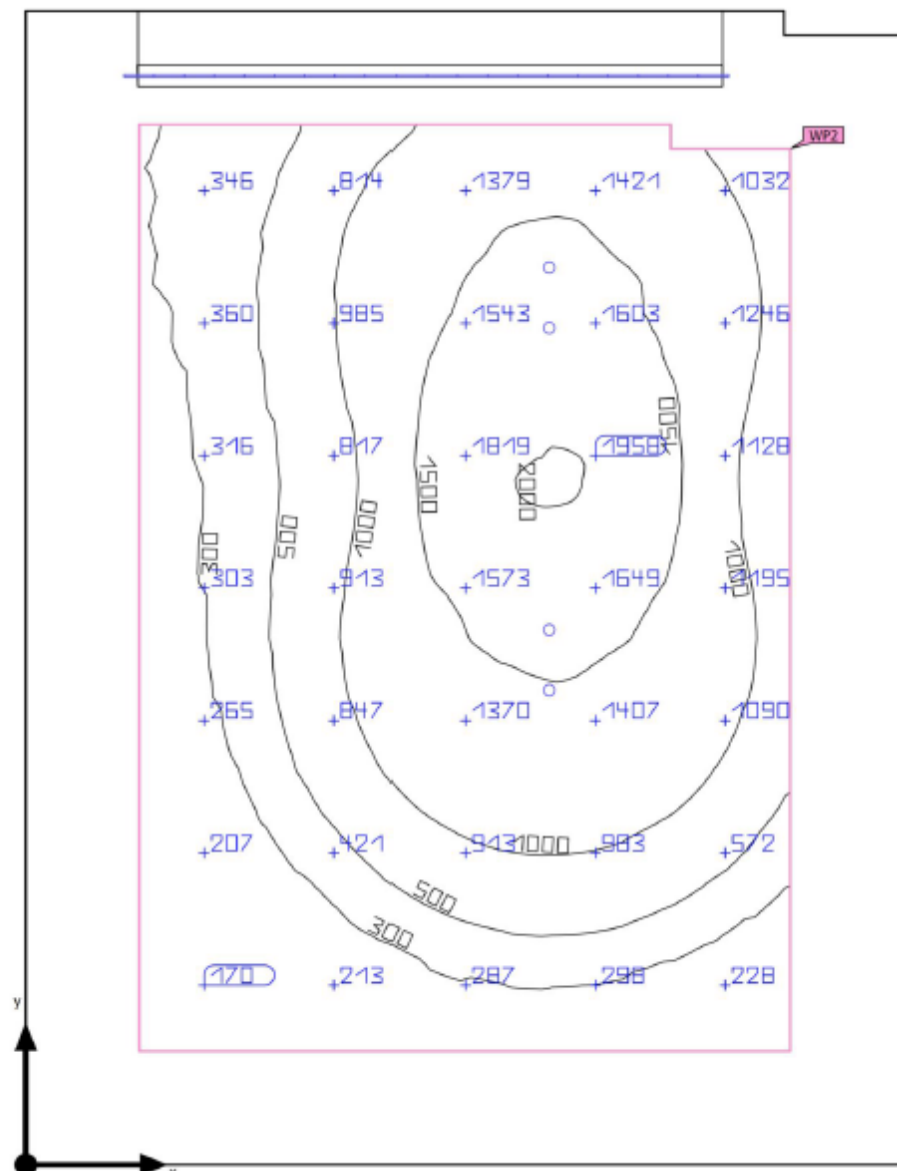
Περίληψη



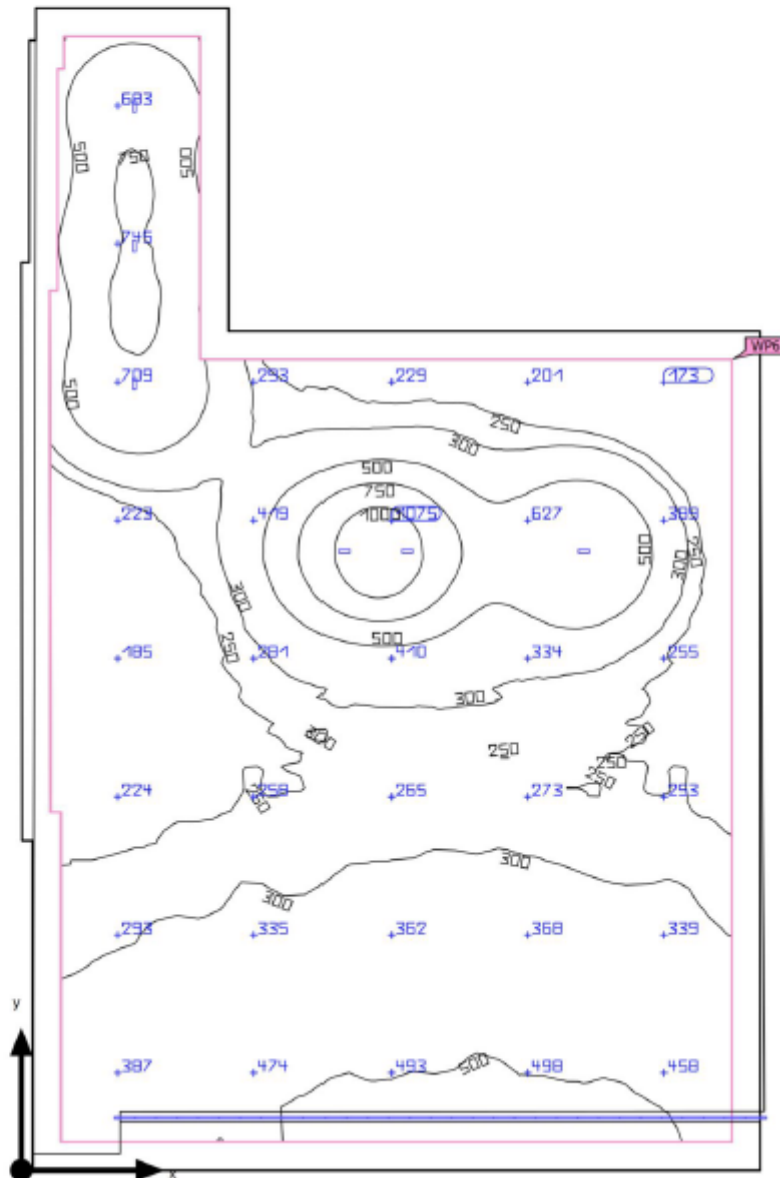
- Α.3.6 Παιδικό Υπνοδωμάτιο Β:

Κτίριο 1 · Όροφος 1 · ΠΑΙΔΙΚΟ ΥΠΝΟΔ. Β (Φωτεινή σκηνή 1)

Περίληψη



Περίληψη



Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.