



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών
και Βιώσιμου Σχεδιασμού
ΠΜΣ Σχεδιασμός Φωτισμού

«Δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα ως Εργαλείο
Διαμόρφωσης Συμπεριφοράς.
Η Περίπτωση των Χώρων Γραφείων»

Άννα Κιούρκα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σκάλκου Κατερίνα

Δεκέμβριος, 2025

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («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.



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών
και Βιώσιμου Σχεδιασμού
ΠΜΣ Σχεδιασμός Φωτισμού

«Δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα ως Εργαλείο
Διαμόρφωσης Συμπεριφοράς.
Η Περίπτωση των Χώρων Γραφείων»

Άννα Κιούρκα

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Σκάλκου Κατερίνα
Αρχιτέκτων Μηχανικός, Μέλος ΣΕΠ
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συνεπιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Συμεωνίδου Ιωάννα
Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός, Μέλος ΣΕΠ
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Δεκέμβριος, 2025

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα μου Κατερίνα Σκάλκου,
για την άρτια συνεργασία μας, την υποστήριξη και την προθυμία της. Η συμβολή της υπήρξε
καθοριστική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.*

*Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους για την διακριτική παρουσία,
την κατανόηση και την αμέριστη υποστήριξη τους.*

Περίληψη

Η παρούσα εργασία διερευνά την περίπτωση του δυναμικού φωτισμού ως προς τον τρόπο που επιδρά, οπτικά και μη οπτικά, στον άνθρωπο, του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, τη σχέση μεταξύ τους και εστιάζεται στους σύγχρονους χώρους γραφείων, στους οποίους οι χρήστες αφιερώνουν μεγάλο μέρος της ζωής τους. Συγκεκριμένα, εξετάζονται εφαρμογές του δυναμικού φωτισμού ως προς την συμβολή τους στη διαμόρφωση της εργασιακής συμπεριφοράς που εκφράζεται από τη διάθεση, την απόδοση, την εγρήγορση, την ικανοποίηση από το εργασιακό περιβάλλον, την παραγωγικότητα και την ευεξία τους.

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα που εξετάζονται είναι: Τι είναι ο δυναμικός φωτισμός, πώς εφαρμόζεται και πώς επιδρά στην ανθρώπινη συμπεριφορά; Πώς ορίζεται ένα δυναμικά φωτιζόμενο περιβάλλον και ποιες οι περιπτώσεις εφαρμογής του; Τι είναι ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός και πώς συνδέεται με τον δυναμικό φωτισμό; Πώς εφαρμόζεται στους χώρους γραφείων και πώς επιδρά στον χρήστη; Ποιες είναι οι εφαρμογές δυναμικού φωτισμού στους σύγχρονους γραφειακούς χώρους; Ποια είναι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή δυναμικού φωτισμού στη διαμόρφωση της εργασιακής συμπεριφοράς;

Η μεθοδολογία βασίζεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση διεθνών επιστημονικών δημοσιεύσεων από τα πεδία του αρχιτεκτονικού φωτισμού, της περιβαλλοντικής ψυχολογίας, του δυναμικού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού και του σχεδιασμού σύγχρονων χώρων εργασίας. Η θεωρητική διερεύνηση συμπληρώνεται από την εξέταση περιπτώσεων εφαρμογής δυναμικού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε πραγματικά ή πειραματικά περιβάλλοντα γραφείων.

Από την έρευνα προκύπτει ότι ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία περισσότερο προσαρμοστικών και ανθρωποκεντρικών εργασιακών περιβαλλόντων. Ωστόσο, η εφαρμογή του δεν συνεπάγεται αυτομάτως θετικές επιδράσεις. Η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τον χρονισμό των φωτεινών μεταβολών, τη σχέση του με το φυσικό φως, το είδος της δραστηριότητας, τα χαρακτηριστικά των χρηστών και τη δυνατότητα προσωπικού

ελέγχου. Επομένως, ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να αξιοποιηθεί στον σύγχρονο σχεδιασμό ως ένα σύνθετο εργαλείο η εφαρμογή του οποίου προϋποθέτει τεκμηριωμένη, προσαρμοστική και προσανατολισμένη στον χρήστη εφαρμογή.

Λέξεις- Κλειδιά

Αρχιτεκτονικός φωτισμός, Ανθρωποκεντρικός φωτισμός, Δυναμικός φωτισμός,
Δυναμικά φωτιζόμενο περιβάλλον, Φωτισμός χώρων γραφείων, Ευεξία,
Παραγωγικότητα, Περιβαλλοντική ψυχολογία

Abstract

This study investigates dynamic lighting in terms of its visual and non-visual effects on humans, human-centric lighting, and the relationship between the two, focusing on contemporary office environments, where users spend a significant part of their lives. More specifically, applications of dynamic lighting are examined in terms of their contribution to shaping workplace behaviour, as reflected in users' mood, performance, alertness, satisfaction with the work environment, productivity, and well-being.

The main research questions addressed are: What is dynamic lighting, how is it applied, and how does it affect human behaviour? How is a dynamically lit environment defined, and what are its applications? What is human-centric lighting, and how is it related to dynamic lighting? How is it applied in office environments, and how does it affect users? What are the applications of dynamic lighting in contemporary office environments? What are the effects of dynamic lighting on shaping workplace behaviour?

The methodology is based on a literature review of international scientific publications in the fields of architectural lighting, environmental psychology, dynamic and human-centric lighting, and contemporary workplace design. The theoretical investigation is complemented by an examination of applications of dynamic and human-centric lighting in real-world or experimental office environments.

The research indicates that dynamic lighting can contribute to the creation of more adaptive and human-centric work environments. However, its implementation does not automatically result in positive effects. Its effectiveness depends on the characteristics and timing of changes in lighting conditions, their relationship with daylight, the type of activity, user characteristics, and the availability of personal control. Dynamic lighting can therefore be employed in contemporary design as a complex tool whose successful use requires an evidence-based, adaptive, and user-centred approach.

Keywords:

Architectural Lighting, Human-Centric Lighting, Dynamic Lighting, Dynamically Lit Environment, Office Lighting, Well-Being, Productivity, Environmental Psychology

Περιεχόμενα

	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	3
Περίληψη		5
Λέξεις- Κλειδιά.....		6
Abstract		7
Περιεχόμενα.....		9
Κατάλογος Εικόνων / Πινάκων		11
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια		14
Εισαγωγή		15
1. Το φως ως περιβαλλοντικό ερέθισμα		17
1.1 Βασικές έννοιες της θεωρίας του φωτός.....		17
1.1.1 Βασικές φωτομετρικές και χρωματικές παράμετροι του φωτός.....		17
1.1.2 Ψυχολογία του Χρώματος		20
1.2 Φως και οπτική αντίληψη		23
1.3 Η επίδραση του φωτός στην ανθρώπινη λειτουργία και συμπεριφορά.....		31
1.4 Περιβαλλοντική Ψυχολογία και Φωτισμός		37
2. Δυναμικός φωτισμός και δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα		41
2.1 Δυναμικός φωτισμός.....		41
2.1.1 Ορισμός και Βασικές έννοιες.....		41
2.1.2 Δυνατότητες και περιορισμοί του δυναμικού φωτισμού στη διαμόρφωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς		46
2.2 Δυναμικά φωτιζόμενο περιβάλλον		49
2.2.1 Ορισμός.....		49
2.2.2 Συστήματα ελέγχου φωτισμού.....		50
2.2.3 Μηχανισμοί δημιουργίας δυναμικά φωτιζόμενου περιβάλλοντος και παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και την λειτουργία του.		54
2.2.4 Περιπτώσεις εφαρμογής δυναμικού φωτισμού.....		57
3. Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός φωτισμού γραφειακών χώρων.....		61
3.1 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός: Ορισμός και βασικές έννοιες.....		61
3.2 Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός Φωτισμού		65
3.2.1 Παράμετροι ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, τεκμηρίωση μελέτης και λειτουργία των συστημάτων φωτισμού		65
3.2.2 Παράμετροι επίδρασης του φωτισμού στον Ανθρωποκεντρικό Φωτισμό και η εφαρμογή τους σε χώρους γραφείων.....		68
3.3 Εφαρμογή του Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού στους Χώρους Γραφείων..		73
4. Οι χώροι γραφείων ως δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα		79
4.1 Σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων		79

4.2 Προδιαγραφές φωτισμού στους χώρους γραφείων.....	89
5. Μελέτες Περίπτωσης	94
5.1 Πειραματική εφαρμογή δυναμικού φωτισμού σε χώρο γραφείου του πανεπιστημίου Aalborg στην Κοπεγχάγη	94
5.2 R/GA Offices, Νέα Υόρκη.....	104
5.3 The Spark στο Lund, Σουηδία	112
Συμπεράσματα	120
Βιβλιογραφία	128
Παράρτημα Α: Συμπληρωματικές έννοιες φωτός και χρώματος	138

Κατάλογος Εικόνων / Πινάκων

Εικόνα 1. Ο κύβος του Afrum I, έργο της σειράς Projection Pieces (1967). Πηγή Εικόνας: Guggenheim Museum, n.d.....	27
Εικόνα 2. Night Passage, έργο του Turrell (1987). Πηγή εικόνας: Guggenheim Museum. (n.d.).....	28
Εικόνα 3. Το φως ως εργαλείο διαμόρφωσης της κίνησης των χρηστών. Πηγή Εικόνας: Προσωπικό Αρχείο.	32
Εικόνα 4. Μοντέλο φωτισμού της αίθουσας διδασκαλίας. Πηγή Εικόνας: Chen & Sun, 2013	45
Εικόνα 5. Σχηματική απεικόνιση συστήματος φωτισμού LED για χρήση κατοικίας. 52	
Εικόνα 6. Λειτουργία του αλγορίθμου ελέγχου φωτισμού Πηγή Εικόνας: Kim, Yi & Suk ,2025.	53
Εικόνα 7. Οι τρεις βασικές επιδράσεις του φωτισμού σύμφωνα με την HCL προσέγγιση. Πηγή Εικόνας: licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL), 2018.....	62
Εικόνα 8. Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός (Human Centric Lighting – HCL) συνιστά μια στοχευμένη σχεδιαστική προσέγγιση. Πηγή Εικόνας: licht.wissen 21, (2018).....	65
Εικόνα 9. Φυσική πορεία του ημερήσιου φωτός και τεχνητή προσομοίωση της σύμφωνα με τις αρχές του HCL. Πηγή Εικόνας: licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL), 2018	72
Εικόνα 10. Θέσεις εργασίας με πρόσβαση στον φυσικό φωτισμό και θέα στο εξωτερικό περιβάλλον. Πηγή Εικόνας: DESIGN IMPACTS LIVES, 2017. Ανακτήθηκε από: https://www.asid.org/news/asid-releases-comprehensive-research-study-on-the-impact-of-design-in-the-workplace	76
Εικόνα 11. Διαγράμμα που παρουσιάζει αύξηση της υποκειμενικής ικανοποίησης από τον φωτισμό. Πηγή Εικόνας: DESIGN IMPACTS LIVES, 2017. Ανακτήθηκε από: https://www.asid.org/news/asid-releases-comprehensive-research-study-on-the-impact-of-design-in-the-workplace	77

Εικόνα 12. Αίθριο κτιρίου το οποίο λειτουργεί ως πυρήνας που συνδέει του χώρους κυκλοφορίας, συνάντησης και εργασίας.Πηγή Εικόνας: “The Edge / PLP Architecture,” 2016.....	82
Εικόνα 13. Είσοδος φυσικού φωτός προς το εσωτερικό του κτιρίου που ελέγχεται από αισθητήρες επιτρέποντας την προσαρμογή των επιπέδων τεχνητού φωτισμού.....	82
Εικόνα 14. Κτίριο της Bloomberg στο Λονδίνο. Πηγή Εικόνας: “Bloomberg’s European HQ / Foster + Partners,” 2017.	84
Εικόνα 15. Πάνελ οροφής με ενσωματωμένα φωτιστικά LED στους χώρους γραφείων της Bloomberg. Πηγή Εικόνας: BRE Group, 2022.	85
Εικόνα 16. Μακέτα του χώρου εργασίας. Πηγή Εικόνας: Foster + Partners, n.d.	86
Εικόνα 17. Ο διώροφος χώρος <i>pantry</i> στον έκτο όροφο του Bloomberg European Headquarters, ο οποίος λειτουργεί ως κεντρικός χώρος συνάντησης και κοινωνικής αλληλεπίδρασης των εργαζομένων. Πηγή Εικόνας: Walter Knoll, n.d.....	87
Εικόνα 18. Η ελικοειδής ράμπα του Bloomberg European Headquarters, η οποία λειτουργεί συγχρόνως ως στοιχείο κυκλοφορίας και ως χώρος αυθόρμητης συνάντησης και επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων. Πηγή Εικόνας: Foges, 2017.	88
Εικόνα 19. Στο αριστερό μέρος της εικόνας φαίνονται οι τρεις συνιστώσες φωτισμού: Το φυσικό φως που προέρχεται από τα παράθυρα,διάχυτος γενικός ηλεκτρικός φωτισμός από τα φωτιστικά πάνελ της οροφής και ο άμεσος/ κατευθυντικός φωτισμός εργασίας από spotlights. Πηγή Εικόνας: (Hansen et al., 2022)	98
Εικόνα 20. Κατόψεις χώρου γραφείων της R/GA.	105
Εικόνα 21. Ενσωμάτωση του φωτισμού στον υφιστάμενο δομικό κάναβο της οροφής. Πηγή Εικόνας: Keane, 2017	106
Εικόνα 22. Σύστημα δυναμικού φωτισμού βασισμένο στην υποστήριξη του κερκάρδιου ρυθμού. Πηγή Εικόνας: Keane, 2017.	107
Εικόνα 23. Εφαρμογή έγχρωμων δυναμικών συνθηκών φωτισμού που εφαρμόζεται σε εκδηλώσεις ή ειδικές περιπτώσεις. Πηγή Εικόνας: Keane, 2017.	108
Εικόνα 24. Προκαθορισμένα σενάρια φωτισμού. Πηγή Εικόνας: Yilmaz & Abdulhaq, 2020.....	113

Εικόνα 25. Γραφείο που έλαβε μέρος στη μελέτη και κάτοψη με διάταξη του χώρου, των πηγών τεχνητού φωτισμού και τον παραθύρων από τα οποία εισέρχεται το φυσικό φως. Πηγή Εικόνας: Yilmaz & Abdulhaq, 2020.	115
Εικόνα 26. Χώροι γραφείων που συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη. Πηγή Εικόνας: Yilmaz & Abdulhaq, 2020.	116
Εικόνα 27. Χρωματικός κύκλος στον οποίο απεικονίζονται οι διαφορετικές αποχρώσεις. Πηγή Εικόνας: https://techterms.com/definition/hsb	140
Πίνακας 1 Βασικές απαιτήσεις φωτισμού για επιλεγμένους χώρους και δραστηριότητες γραφείων σύμφωνα με το EN 12464-1.	89
Πίνακας 2: Προτεινόμενες ρυθμίσεις συστήματος δυναμικού φωτισμού.	97
Πίνακας 3: Πίνακας επιδράσεων φωτισμού	120
Πίνακας 4: Συγκριτικός πίνακας από μελέτες περίπτωσης	125

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ALS	Adaptive Lighting Systems
ANNs	Artificial Neural Networks
CCT	Correlated Color Temperature
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CRI	Color Rendering Index
HCL	Human Centric Lighting
HSB	Hue, Saturation, Brightness
ipRGCs	intrinsically photosensitive retinal ganglion cells
IIL	ipRGC-influenced responses to light
mEDI	melanopic Equivalent Daylight Illuminance
LMS	Light Management Systems
LSDP	Lighting System Design Process
SAD	Seasonal Affective Disorder
SSL	Solid State Lighting
VL	Variable Lighting
WPI	Workplace Innovation

Εισαγωγή

Το φως υποστηρίζει την λειτουργία της όρασης. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που συμβάλουν στη διαμόρφωση της ανθρώπινης εμπειρίας και συμπεριφοράς. Ασκεί οπτική, βιολογική, συναισθηματική και ψυχολογική επίδραση στον άνθρωπο και οι επιδράσεις αυτές μπορεί ανά περίπτωση να είναι συνειδητές ή ασυνειδητές, σχεδιασμένες ή τυχαίες. Η συμπεριφορά του ανθρώπου δεν είναι παθητική, αντίθετα εκδηλώνεται ως το σύνολο των ενεργειών και αντιδράσεων του απέναντι σε εσωτερικά ή εξωτερικά ερεθίσματα και διαμορφώνεται μέσα από τη συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ του ατόμου και του φυσικού και κοινωνικού του περιβάλλοντος. Η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και η ένταση φωτισμού, η φασματική σύνθεση και η διεργασία των φωτοϋποδοχέων, η διάρκεια έκθεσης στο φως είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση, την αποδοτικότητα, τη διάθεση και γενικότερα την συμπεριφορά των χρηστών και να επηρεάσουν τη λειτουργία του κερκάρδιου συστήματος.

Οι εξελίξεις που σημειώνονται στην τεχνολογία φωτισμού και στα συστήματα ελέγχου έχουν οδηγήσει στη δημιουργία δυναμικά φωτιζόμενων περιβαλλόντων, στα οποία οι συνθήκες φωτισμού μεταβάλλονται ανάλογα με τον χρόνο, τη χρήση του χώρου, την ανθρώπινη παρουσία και τις ανάγκες των χρηστών. Ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να παρακολουθεί τη φυσική εναλλαγή του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενσωματώνοντας παράλληλα τις αρχές του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού φωτισμού με σκοπό να λειτουργήσει υποστηρικτικά προς τη διασφάλιση της υγείας και της άνεσης του χρήστη, την ικανοποίηση των αναγκών και των προτιμήσεων του. Η προσέγγιση αυτή αντιμετωπίζει το φως ως παράγοντα που επηρεάζει όχι μόνο την οπτική άνεση αλλά και την βιολογική και συναισθηματική λειτουργία ανθρώπου, λαμβάνοντας υπόψη βιολογικούς παράγοντες όπως ο κερκάρδιος ρυθμός, ψυχολογικές παραμέτρους και ατομικές προτιμήσεις.

Σήμερα ο άνθρωπος περνάει ένα μεγάλο μέρος της ημέρας του σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Σε κάποιες περιπτώσεις η θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον ή τα ερεθίσματα που δέχεται από αυτό, όπως είναι το φυσικό φως, μπορεί να είναι

περιορισμένα. Υπό αυτό το πρίσμα, εξετάζεται η προσέγγιση του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού φωτισμού, η σχέση του με τον δυναμικό φωτισμό και ο τρόπος εφαρμογής του σε σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων.

Η εργασία οργανώνεται σε πέντε βασικά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζεται το φως ως περιβαλλοντικό ερέθισμα και αναλύονται βασικές έννοιες της θεωρίας του φωτός, της οπτικής αντίληψης και της περιβαλλοντικής ψυχολογίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι έννοιες του δυναμικού φωτισμού, των προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού και των δυναμικά φωτιζόμενων περιβαλλόντων, οι δυνατότητες και οι περιορισμοί από την εφαρμογή δυναμικού φωτισμού, οι τρόποι εφαρμογής και ελέγχου τους. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, των οπτικών, συναισθηματικών και βιολογικών επιδράσεων του ανθρωποκεντρικού φωτισμού και εξετάζεται η περίπτωση εφαρμογής του σε χώρους γραφείων. Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζονται οι σύγχρονοι χώροι γραφείων ως δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα, η εφαρμογή δυναμικού ή και ανθρωποκεντρικού φωτισμού στους χώρους γραφείων. Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζονται τρεις περιπτώσεις εφαρμογής δυναμικού φωτισμού σε γραφεία, εκ των οποίων η πρώτη ήταν πειραματική ωστόσο υλοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες γραφείου.

1. Το φως ως περιβαλλοντικό ερέθισμα

1.1 Βασικές έννοιες της θεωρίας του φωτός

Η μελέτη του φωτός και του χρώματος εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο το φως αλληλοεπιδρά με τα αντικείμενα και πώς ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το χρώμα. Πρόκειται για δύο βασικές έννοιες στον σχεδιασμό φωτισμού, των οποίων η κατανόηση είναι απαραίτητη καθώς μπορούν να επηρεάσουν τόσο την οπτική λειτουργία και την αντίληψη όσο και την ατμόσφαιρα και τη λειτουργικότητα ενός χώρου (Ozenen, 2024).

Στη συνέχεια αναπτύσσονται συνοπτικά βασικές παράμετροι του φωτός και του χρώματος καθώς και βασικά σημεία της ψυχολογίας των χρωμάτων. Τα στοιχεία αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά, καθώς συμβάλουν στην διαμόρφωση του φωτιζόμενου χώρου που αντιλαμβάνεται ο χρήστης, επιδρώντας τόσο στην ποιότητα της ορατότητας και στην απόδοση των χρωμάτων όσο και στην διάθεση και στα συναισθήματα του.

1.1.1 Βασικές φωτομετρικές και χρωματικές παράμετροι του φωτός

Το ορατό φάσμα φωτός αναφέρεται στον εύρος των μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που εκτείνεται στην περιοχή μεταξύ 380nm και 780nm και μπορεί να ανιχνευθεί από το ανθρώπινο μάτι και περιέχει όλο το φάσμα των χρωμάτων που μπορεί να δει ο άνθρωπος. Στα μικρότερα μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας αντιστοιχεί το ιώδες και το κυανό, ενώ στα μεγαλύτερα το πορτοκαλί και το ερυθρό. Από την ανάμειξη όλων των χρωμάτων προκύπτει το λευκό φως ενώ το μαύρο προκύπτει από την απουσία χρώματος. Πέρα από το ορατό φάσμα βρίσκονται η υπεριώδης και η υπέρυθη ακτινοβολία (Μπουρούσης, 2014).

Κάθε φωτεινή πηγή περιγράφεται μέσω ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών, τα οποία την διακρίνουν από άλλες. Η ένταση φωτισμού E (illuminance) αποτελεί βασικό φωτομετρικό μέγεθος για τον σχεδιασμό του φωτισμού ενός χώρου και είναι ταυτόχρονα ποσοτικό και ποιοτικό χαρακτηριστικό. Είναι το κύριο χαρακτηριστικό μιας φωτεινής πηγής και το πιο εύκολα αντιληπτό ποσοτικό χαρακτηριστικό από τον άνθρωπο. Πρόκειται για την ποσότητα της φωτεινής ροής (lm) που προσπίπτει σε μία

συγκεκριμένη επιφάνεια (m^2). Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι τα lx ή lm/m^2 . Ως ποιοτικό χαρακτηριστικό εξετάζεται συγκρίνοντας την ένταση διαφορετικών φωτεινών πηγών. Η ένταση φωτισμού μεταβάλλεται στο σημείο ή στην επιφάνεια υπολογισμού και εξαρτάται από την απόσταση και τη διεύθυνση πρόσπτωσης. Στην περίπτωση σημειακής πηγής, η ένταση του φωτός που φτάνει σε ένα σημείο ισούται με την ένταση της πηγής, διαιρούμενης από το τετράγωνο της απόστασης της πηγής από το αντικείμενο (Ζερεφός Στέλιος & Τσαγκρασούλης Αριστείδης, 2024).

Η φωτεινή ένταση (luminous intensity) I εκφράζει τη φωτεινή ροή που εκπέμπεται από μια πηγή προς συγκεκριμένη κατεύθυνση και μετριέται σε candela (cd) (Μπουρούσης, 2014). Ο τρόπος με τον οποίο κατανέμει την φωτεινή ροή των λαμπτήρων ένα φωτιστικό, αποδίδεται μέσω της κατανομής της φωτεινής έντασης. Η κατανομή της φωτεινής έντασης αποτελεί σημαντικό κριτήριο επιλογής, καθώς προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο το φως κατευθύνεται και διαχέεται στον χώρο, επηρεάζοντας τον φωτισμό των επιφανειών, τις αντιθέσεις και τη συνολική φωτιστική σύνθεση.

Η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (Correlated Colour Temperature – CCT), περιγράφει τη χρωματική εμφάνιση του φωτός μιας πηγής, συγκρινόμενο με τη θερμοκρασία χρώματος που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα που εκπέμπει φως παρόμοιας απόχρωσης. Η θερμοκρασία χρώματος μετριέται σε Kelvin (K) και συνήθως κυμαίνεται από θερμές αποχρώσεις, που αντιστοιχούν σε τιμές χαμηλότερες των 3300K, έως ψυχρές αποχρώσεις που αντιστοιχούν σε τιμές υψηλότερες των 5300K (Καμπεζίδης, 2014). Ωστόσο, η CCT δεν περιγράφει πλήρως τη φασματική σύνθεση της ακτινοβολίας, πηγές με ίδια ή παρόμοια CCT μπορούν να παρουσιάζουν διαφορετική φασματική κατανομή και, κατά συνέπεια, διαφορετική χρωματική απόδοση των φωτιζόμενων αντικειμένων (Royer, 2019).

Η ικανότητα μιας φωτεινής πηγής να αποδίδει πιστά τα χρώματα σε σχέση με το πώς φαίνονται όταν φωτίζονται από μία πρότυπη πηγή (φυσικός ηλιακός φωτισμός) αξιολογείται από τον δείκτη χρωματικής απόδοσης. Πρόκειται για μία σημαντική παράμετρο κατά την επιλογή της φωτεινής πηγής όταν η πιστότητα των χρωμάτων είναι αναγκαία, όπως για παράδειγμα σε γκαλερί, καταστήματα ένδυσης κ.λπ. Ο

δείκτης συμβολίζεται με το Ra στην Ευρώπη ή με το CRI στις ΗΠΑ. Η τιμή του CRI κυμαίνεται σε μία κλίμακα από 0 έως 100. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του CRI, τόσο λιγότερο ακριβής είναι η απόδοση των χρωμάτων από την συγκεκριμένη φωτεινή πηγή. Όταν η τιμή του CRI ισούται με 100, υπάρχει τέλεια απόδοση των χρωμάτων, όπως θα φαίνονταν υπό το φυσικό φως του ήλιου. Ωστόσο, ο δείκτης CRI δεν αξιολογεί με ακρίβεια την απόδοση των χρωμάτων υπό φωτισμό πηγής LED καθώς τα LED έχουν πολύ διαφορετική φασματική κατανομή σε σύγκριση με το φυσικό φως. Έτσι έχει αναπτυχθεί η μέθοδος TM- 30 παρέχοντας πιο ακριβή αξιολόγηση της απόδοσης των χρωμάτων σε φωτισμό LED (Ozenen, 2024).

Η αντίθεση είναι μία σημαντική παράμετρος της οπτικής αντίληψης και βρίσκει εφαρμογή σε διάφορες εγκαταστάσεις φωτισμού. Η αντίθεση υφίσταται σε επίπεδο τονικότητας, φωτεινότητας, χρώματος, υφής κ.λπ. δημιουργώντας οπτικό ενδιαφέρον. Στον σχεδιασμό φωτισμού η αντίθεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία έμφασης, την ανάδειξη συγκεκριμένων σημείων ή αντικειμένων και την κατεύθυνση της προσοχής σε σημεία ενδιαφέροντος. Ο φωτισμός υψηλής αντίθεσης βρίσκει εφαρμογή σε εμπορικούς χώρους για τη δημιουργία έντονων οπτικών εφέ με στόχο την προσέλκυση της προσοχής στα προϊόντα. Αντίστοιχα, ο φωτισμός χαμηλής αντίθεσης χρησιμοποιείται πολλές φορές σε γκαλερί ή μουσεία ώστε να δημιουργείται ουδέτερο και ομοιόμορφο υπόβαθρο χωρίς να αποσπάται η προσοχή από τα εκθέματα. Η αντίθεση επηρεάζει και τον τρόπο αντίληψης της φωτεινότητας ενός χώρου ή ενός αντικειμένου. Για παράδειγμα, η εφαρμογή φωτισμού υψηλής αντίθεσης μπορεί να κάνει έναν χώρο να φαίνεται πιο φωτεινός και δυναμικός. Αντίθετα, ο φωτισμός χαμηλής αντίθεσης δημιουργεί ένα πιο ήρεμο περιβάλλον.

Οι παραπάνω παράμετροι δεν λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά συνδυάζονται για να διαμορφώσουν τη συνολική εμπειρία ενός χώρου που φωτίζεται, καθώς επηρεάζουν την ορατότητα, την χρωματική εμφάνιση, την αντίληψη των αντικειμένων, των επιφανειών και του χώρου καθώς και την ατμόσφαιρα του περιβάλλοντος.

1.1.2 Ψυχολογία του Χρώματος

Η ψυχολογία των χρωμάτων αφορά στην διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα χρώματα επηρεάζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά, τη διάθεση, τα συναισθήματα αλλά και τις σωματικές αντιδράσεις (Ozenen, 2023). Ο σχεδιαστή φωτισμού είναι απαραίτητο να γνωρίζει την ψυχολογία των χρωμάτων έτσι ώστε να επιλέγει τα κατάλληλα χρώματα για να διαμορφώσει μια συγκεκριμένη συνθήκη ή να συμβολίσει μια ιδέα. Ως μια γενική κατηγοριοποίηση του συμβολισμού των χρωμάτων, σημειώνεται ότι τα θερμά χρώματα (κόκκινο, πορτοκαλί και κίτρινο) συνδέονται με την ενέργεια, τη ζεστασιά, τη δυναμικότητα και τον ενθουσιασμό, τα ψυχρά χρώματα (μπλε, πράσινο και ιώδες) συνδέονται με την ηρεμία, τη χαλάρωση και τη μελαγχολία και συχνά εφαρμόζονται για να δώσουν την αίσθηση σταθερότητας και επαγγελματισμού (Ζερεφός Στέλιος & Τσαγκρασούλης Αριστείδης, 2024) και τέλος τα ουδέτερα χρώματα (λευκό και μαύρο) χρησιμοποιούνται ως υπόβαθρο και όταν συνδυάζονται αυξάνουν την αντίθεση μιας σκηνής (Ζερεφός Στέλιος & Τσαγκρασούλης Αριστείδης, 2024). Ο φωτισμός συμβάλει στην διαμόρφωση της ατμόσφαιρας και της αντίληψης ενός χώρου και στην δημιουργία συναισθημάτων επηρεάζοντας τη συμπεριφορά του χρήστη. Επομένως, ο συνδυασμός φωτισμού συγκεκριμένου χρώματος έχει συγκεκριμένες επιδράσεις και με την εφαρμογή του μπορούν να δημιουργηθούν χώροι που θα είναι λειτουργικοί, οπτικά ελκυστικοί και συναισθηματικά ενεργοποιητικοί. Πιο αναλυτικά, περιγράφονται οι επιδράσεις των χρωμάτων στην ανθρώπινη διάθεση ανά χρώμα (Ozenen, 2023):

Κόκκινο. Το κόκκινο χρώμα συνδέεται με έννοιες όπως ενέργεια, ενθουσιασμός, πάθος, κίνδυνος και αίσθηση επείγοντος, έρωτας, δύναμη παρορμητικότητα, μαρτύριο, θυσία και θυμό. Συνδέεται με συγκεκριμένες πολιτικές πεποιθήσεις και με την αδελφικότητα. Το κόκκινο χρώμα αυξάνει τους καρδιακούς και αναπνευστικούς παλμούς του ανθρώπου και προκαλεί το αίσθημα της πείνας (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024). Όταν το κόκκινο χρώμα χρησιμοποιηθεί σε φωτεινές αποχρώσεις είναι τολμηρό και ενεργητικό, ενώ σε σκούρες αποχρώσεις υποδηλώνει κομπόζη καθώς και επιθετικότητα (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024). Επίσης, ενισχύει την απόδοση σε απαιτητικές ερωτήσεις ((Mehta & Zhu, 2009).

Πορτοκαλί. Το πορτοκαλί χρώμα υποδηλώνει ζεστασιά, ενθουσιασμό, δημιουργικότητα, διέγερση της όρεξης, σθένος, επιθυμία και κίνδυνο. Επίσης, συνδυάζεται με την εξωστρέφεια και την οικονομία. Έρευνες έχουν δείξει ότι ο πορτοκαλί φωτισμός ενισχύει την ενέργεια, την δημιουργικότητα καθώς και την κινητικότητα και βελτιώνει της αθλητικές επιδόσεις (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Κίτρινο. Το κίτρινο χρώμα έχει συνδεθεί με την ευτυχία, την αισιοδοξία, την προσέλκυση προσοχής και την προειδοποίηση. Πρόκειται για το πιο φωτεινό και ενεργητικό χρώμα, σε σχέση με τα άλλα θερμά χρώματα, και δημιουργεί την αίσθηση ζεστασιάς, αναβίωση, λάμψης, δημιουργικότητας, παιχνιδιού και πίστης σε ιδανικά. Ωστόσο, έχει συνδεθεί και με αρνητικές έννοιες όπως η ζήλια, η δειλία και η ασθένεια (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Πράσινο. Το πράσινο είναι ψυχρό χρώμα που παραπέμπει στη φύση, στην ειρήνη και στην περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση και δηλώνει αρμονία, ισορροπία, ηρεμία, φρεσκάδα, αφθονία, γονιμότητα και πρόοδο. Έχει θετική επίδραση στον άνθρωπο καθώς θεωρείται αναζωογονητικό και θεραπευτικό χρώμα αλλά υποδηλώνει και ζήλια και απληστία.

Μπλε. Η έννοια του μπλε χρώματος μεταβάλλεται ανάλογα με την απόχρωση του, καθώς οι ανοιχτές αποχρώσεις είναι χαλαρωτικές ενώ οι σκούρες παραπέμπουν στην μελέτη, την πνευματική σταθερότητα και την πίστη (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024). Συνδέεται με τη σοβαρότητα, την ησυχία και την ευθύνη, την εμπιστοσύνη, γαλήνη, νοημοσύνη και θλίψη. Το μπλε χρώμα περιορίζει το αίσθημα της πείνας. Ενώ, όπως και το κόκκινο αυξάνει την απόδοση.

Ιώδες. Το ιώδες χρώμα σηματοδοτεί πολυτέλεια, δημιουργικότητα, πνευματικότητα, μυστήριο, ευαισθησία, αξιοπρέπεια, δύναμη, ηγεσία, πλούτο και κύρος. Επιδρά στον άνθρωπο προκαλώντας έμπνευση, σκέψης και πόλωση (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Ροζ. Το ροζ χρώμα έχει συνδεθεί με την αγάπη, τη γλυκύτητα, τη θηλυκότητα και τη χαλάρωση.

Καφέ. Το καφέ είναι ουδέτερο χρώμα και δανείζεται τις ιδιότητες των χρωμάτων από τα οποία προέρχεται γι' αυτό μπορεί να είναι θερμό ή ψυχρό. Σημαίνει πρακτικότητα, αξιοπιστία, συντηρητικότητα, στιβαρότητα και λόγω της σχέσης του με το χρώμα της γης παραπέμπει στις ρίζες και τα θεμέλια.

Λευκό. Το λευκό είναι ουδέτερο χρώμα το οποίο έχει συνδεθεί με την αγνότητα, την καθαρότητα, την απλότητα, την αθωότητα, την πίστη και με το φως. Συνδέεται με καταστάσεις ηρεμία αν και έχει αρνητική επίδραση στον άνθρωπο, όταν εκτεθεί για πολύ καιρό σε αυτό προκαλώντας πονοκέφαλο και κούραση στα μάτια. Η έκθεση σε λευκό φως βελτιώνει τη γνωστική απόδοση, προκαλεί εγρήγορση και ρυθμίζει τον ύπνο (Chellappa et al., 2013).

Μαύρο. Το μαύρο χρώμα συνδέεται με τη δύναμη, την τιμή, το χρήμα, την εκλέρπυση, την κομψότητα, την κακή μοίρα, τον μυστικισμό και τον θάνατο. Η απουσία φωτός είναι μαύρη, όπως και η κατάσταση της νύχτας και η τύφλωση. Η απουσία φωτός προκαλεί αίσθημα ηρεμίας και χαλάρωσης καθώς αποσυνδέουν τον άνθρωπο από τα εξωτερικά ερεθίσματα. Ωστόσο, η εκτεταμένη έκθεση σε απουσία φωτός προκαλεί αίσθημα απομόνωσης και αρνητικής διάθεσης (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Τέλος, να αναφερθεί ότι οι παραπάνω συμβολισμοί των χρωμάτων δύναται να παρουσιάζουν διαφορές ανάλογα με το πολιτισμικό υπόβαθρο και τις προσωπικές εμπειρίες. Για παράδειγμα, στους δυτικούς πολιτισμούς το λευκό συνδέεται με την αγνότητα και την αθωότητα ενώ σε κάποιους ανατολικούς πολιτισμούς με το πένθος και τον θάνατο.

1.2 Φως και οπτική αντίληψη

Το μάτι επιτρέπει στον άνθρωπο να οπτικοποιήσει τα διαφορετικά οπτικά ερεθίσματα που τον περιβάλλουν. Σε συνεργασία με τα υπόλοιπα *αισθητηριακά συστήματα*¹ (Σωτηροπούλου, 2014) συμβάλλουν στην συλλογή δεδομένων που αποτελούν την βάση της αντίληψης και τελικά της γνώσης του κόσμου. Η αντίληψη λειτουργεί μέσω των αισθήσεων, μεταφέροντας τα εξωτερικά ερεθίσματα και μετατρέποντας τα σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες. Λειτουργεί όμως η οπτική αντίληψη ως μία πιστή αποτύπωση του κόσμου που περιβάλλει τον άνθρωπο;

Η οπτική αντίληψη είναι ένας πολυσύνθετος μηχανισμός της ανθρώπινης ύπαρξης, που έχει αποτελέσει αντικείμενο τόσο της φιλοσοφίας όσο και της επιστημονικής έρευνας. Για να καταστεί εφικτή η οπτική αντίληψη πραγματοποιούνται διαδικασίες φυσιολογίας και ψυχολογίας της αντίληψης (Ποταμιάνος, 2015). Η φυσιολογία μελετά τον τρόπο που είναι δομημένα τα όργανα του σώματος, πώς λειτουργούν ως μηχανισμοί και πώς συλλέγουν και μεταφέρουν την πληροφορία, με τον χαρακτηρισμό των οργάνων κ.λπ. Μια συνήθης διάκριση που συνηθιζόταν ήταν ότι από άποψη φυσιολογίας τα μάτια λειτουργούσαν ως μηχανισμοί σε πρώτο και βασικό επίπεδο ενώ οι πιο σύνθετες διαδικασίες πρόσληψης πραγματοποιούνταν στο ανώτερο επίπεδο του εγκεφάλου. Πολλές φορές δεν είναι άμεσα κατανοητή η διαφορά ανάμεσα στη φυσιολογία της όρασης και στην ψυχολογία της αντίληψης καθώς υπάρχει η άποψη ότι αυτό που βλέπει κάποιος δεν χρήζει ιδιαίτερης εξήγησης. Όμως τι συμβαίνει όταν εμφανιστούν προβλήματα στις οπτικές λειτουργίες; Εκτός από τα προβλήματα που έχουν τη βάση τους στη φυσιολογία της όρασης π.χ. μυωπία, πρεσβυωπία κ.λπ. υπάρχει η περίπτωση να μην λειτουργεί μερικώς ή στο σύνολό της η οπτική αντίληψη. Αυτή η κατάσταση ονομάζεται *οπτική αγνωσία* και είναι μία απόκλιση στη λειτουργία της οπτικής αντίληψης που μπορεί να προέρχεται είτε από εγκεφαλική βλάβη είτε από άλλους λόγους. Πρόκειται για μία παθολογική ανικανότητα να αντιληφθεί κανείς μια διάταξη ως όλον, δηλαδή ενώ η όραση λειτουργεί, δεν λειτουργεί η αντίληψη. Για

¹ *Αισθητηριακά ή αισθητικά συστήματα (Sensory systems)* είναι: το ακουστικό σύστημα, το γευστικό σύστημα, το οπτικό σύστημα, το οσφρητικό σύστημα και το σωματοαισθητικό σύστημα (Σωτηροπούλου, 2014).

παράδειγμα, ένας άνθρωπος που πάσχει από οπτική αγνωσία μπορεί να μην αναγνωρίζει ακόμα και απλά γεωμετρικά σχήματα (Ποταμιάνος, 2015).

Η επιστημονική διερεύνηση της αντίληψης ξεκίνησε τον 19^ο αι., με επιρροές από το φιλοσοφικό ρεύμα του θετικισμού² (positivism), οπότε και αναπτύχθηκαν δύο προσεγγίσεις της ψυχολογίας, η *ψυχοφυσική*³ και η *αισθητική φυσιολογία*⁴. Σήμερα, αποτελούν ενιαίο κλάδο της νευροφυσιολογίας καθώς πλέον είναι δεδομένο ότι η αντίληψη αποτελεί μία σύνθετη αλλά ενιαία λειτουργία (Σωτηροπούλου, 2014). Στην φιλοσοφική θεώρηση της αντίληψης εμφανίζεται ο φιλοσοφικός διαχωρισμός “νους-εγκεφάλου” ή “νους- σώματος” καθώς υπάρχουν δύο προσεγγίσεις της αντίληψης, είτε ως ψυχοφυσικής λειτουργίας είτε ως ελεγχόμενος και περιγράψιμος μηχανισμός λειτουργίας του εγκεφάλου (Σωτηροπούλου, 2014). Η Σωτηροπούλου (2014) επιχειρώντας να προσδιοριστούν με απλό τρόπο οι διαφορετικές προσεγγίσεις της οπτικής αντίληψης διατυπώνει την άποψη ότι “η ψυχολογία της οπτικής αντίληψης αναφέρεται στο νου και στη συνειδητή εσωτερίκευση της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον, ενώ η φυσιολογία της οπτικής αντίληψης αναφέρεται στον εγκέφαλο”. Ωστόσο, η αντίληψη έχει πολλαπλές πτυχές και είναι ένα ζήτημα που εμπλέκει τον άνθρωπο τόσο ως σώμα όσο και ως εγκέφαλο, τόσο ως φυσιολογία όσο και ως ψυχολογία (Ποταμιάνος, 2015).

Σε μία προσπάθεια να προσδιοριστούν τα όρια της αντίληψης και κατ’ επέκταση της οπτικής αντίληψης, τίθεται το ερώτημα αν η οπτική αντίληψη τροφοδοτεί τη συνείδηση

² Θεωρητικό ρεύμα που εμφανίστηκε στα τέλη του 19^{ου} αι. Οι θετικιστές θεωρούν ότι η επιστημονική γνώση θα πρέπει να έχει εμπειρικό χαρακτήρα και να αποδεσμευτεί από την μεταφυσική. Η θετικιστική επιστημολογία εδράζεται στην παραδοχή ότι οι φυσικές επιστήμες αποτελούν πρότυπο επιστημονικότητας, το οποίο οφείλουν να αποδεχτούν οι υπόλοιπες επιστήμες. Βασικοί εκπρόσωποι του θετικισμού είναι οι A. Comte (1798-1857), H. Spenser (1820-1903) και J. S. Mill (1806-1873) (Δαφέρμος, 2010,σελ. 2- 3).

³ Η ψυχοφυσική εστιάζει στη σχέση μεταξύ των φυσικών χαρακτηριστικών του ερεθίσματος και των ιδιοτήτων της αντίληψης του, χωρίς να εξετάζονται οι ακριβείς λειτουργίες και οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στη διαδικασία της αντίληψης (Σωτηροπούλου, 2014, σελ. 11).

⁴ Η αισθητική φυσιολογία εξετάζει τις νευρικές συνέπειες ενός φυσικού ερεθίσματος, δηλαδή τη μετατροπή, τη μεταφορά και την επεξεργασία του σήματος από τους αισθητικούς υποδοχείς στον εγκέφαλο, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι νοητικοί και ψυχολογικοί όροι της αντίληψης (Σωτηροπούλου, 2014, σελ. 12).

με εξωτερικά ερεθίσματα ή αν η συνείδηση επηρεάζει την αντίληψη στον τρόπο που αντιλαμβάνεται τον έξω κόσμο. Ωστόσο, ο διαχωρισμός μεταξύ της αισθητηριακής και συνειδησιακής αντίληψης, δηλαδή μεταξύ της *αντίληψης* (*perception*⁵) και της *αίσθησης* (*sensation*⁶) αποφεύγεται στις σύγχρονες προσεγγίσεις, οι οποίες προσπαθούν να διερευνήσουν τα διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας και αξιοποίησης τους σήματος από τον εγκέφαλο χωρίς να έχουν απόλυτα συμπεράσματα για το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται η αντίληψη.

Διαχρονικά έχουν αναπτυχθεί ορισμένες βασικές θεωρίες της οπτικής αντίληψης οι οποίες προσπαθούν να απαντήσουν σε ερωτήματα σχετικά με το τι είναι αυτό που βλέπουμε και τι αντιλαμβανόμαστε, με ποιά κριτήρια κρίνουμε αυτό που αντιλαμβανόμαστε και ποια είναι η σχέση του με την πραγματικότητα. Κάποιες από αυτές τις θεωρίες είναι η *φυσιογνωμική*, η *νοησιαρχική* ή *ιντελλεκτουαλισμός*, ο *συνειρμισμός* ή *συνειρμική ψυχολογία*, η *ενσυναίσθηση*, η *ψυχολογία της μορφής* (*Gestalt*), η *οικολογική αντίληψη*, ο *συμπεριφορισμός* (Ποταμιάνος, 2015).

Η σύγχρονη νευροφυσιολογία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η αντίληψη τελικά είναι μία υποκειμενική εμπειρία του πραγματικού κόσμου που δημιουργεί ο εγκέφαλος εσωτερικά (Σωτηροπούλου, 2014). Η ανασύσταση και η ερμηνεία που δημιουργεί ο εγκέφαλος βασίζεται στην ανάπτυξη του σε ένα πλαίσιο εμπειριών και γνώσης, όπως αυτό καθορίζεται βάσει των ιδιοτεροτήτων της φυσιολογίας του νευρικού συστήματος. Μέχρι και σήμερα, δεν υπάρχει μια ενιαία θεωρία οπτικής αντίληψης. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο ζήτημα που απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση καθώς αφορά στους κλάδους της φυσικής της οπτικής, της φυσιολογίας, της νευρολογίας, της βιολογίας, της ψυχολογίας και της τοπολογίας⁷ (Ποταμιάνος, 2015).

⁵ Στη νευροφυσιολογία ο όρος *perception* αναφέρεται στο συνειδητό αποτέλεσμα της επεξεργασίας του σήματος από τον εγκέφαλο (Σωτηροπούλου, 2014, σελ. 14).

⁶ Στη νευροφυσιολογία ο όρος *sensation* αναφέρεται σε μη συνειδητές διαδικασίες επεξεργασίας του σήματος από τον εγκέφαλο (Σωτηροπούλου, 2014, σελ. 14).

⁷ Κλάδος των μαθηματικών.

Η επίδραση του φωτός στην αντίληψη

Η απουσία φωτός δεν επιτρέπει στα μάτια να δουν και να διακρίνουν τα σχήματα, τα χρώματα, τις μορφές, τον χώρο ή την κίνηση. Εκτός όμως ότι το φως είναι η φυσική αιτία της όρασης, είναι και μια θεμελιώδης αιτία για την δημιουργία της ανθρώπινης εμπειρίας ασκώντας βαθιά ψυχολογική επίδραση στον άνθρωπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζει το φως διαχρονικά, για να προσδώσει μια ιδιαίτερη ατμόσφαιρα στους χώρους λατρείας και στις τελετουργίες πολλών θρησκειών.

Το φως, αν και άυλο, συμβάλει στην διαμόρφωση της ατμόσφαιρας και του τρόπου αντίληψης ενός χώρου. Δεν αλλάζει τα υλικά αντικείμενα και τον χώρο αλλά την αίσθηση αυτών. Σύμφωνα με τον Norberg- Schulz (1980) η γεωμορφολογία και η ποιότητα του φωτός δημιουργούν μια ιδιαίτερη αίσθηση σε κάθε τόπο και είναι βάση για την ανάπτυξη της σκέψης και της ψυχολογίας των ανθρώπων που ζουν σε αυτόν. Αυτήν την ιδιαιτερότητα του τόπου σε συνδυασμό με την ιδιαιτερότητα του φωτός σε αυτόν την ονομάζει “πνεύμα τόπου”.

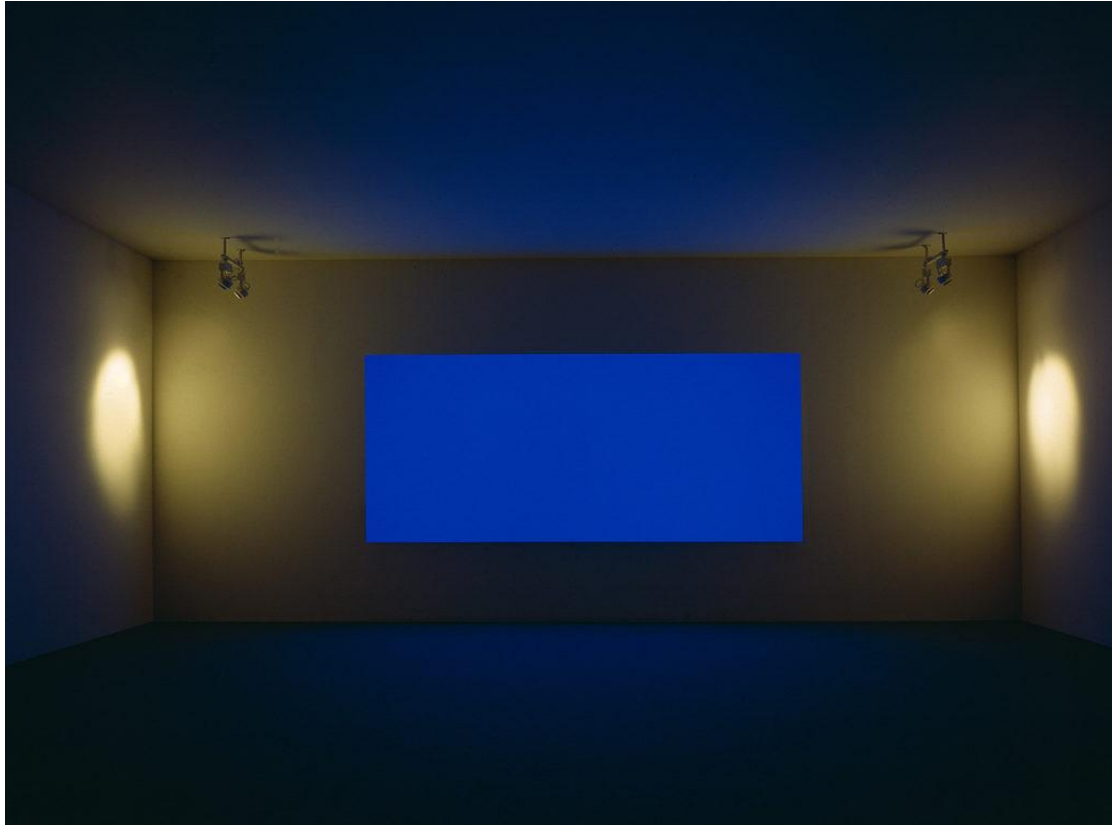
Το φως επιδρά στον μηχανισμό της ανθρώπινης αντίληψης. Ο James Turrell⁸, έχει αφιερώσει το καλλιτεχνικό του έργο σε αυτό που ο ίδιος έχει χαρακτηρίσει ως *τέχνη της αντίληψης (perceptual art)*, διερευνώντας τις ψυχολογικές διαστάσεις της αντίληψης και δημιουργώντας εμβυθιστικές φαινομενολογικές εμπειρίες (*immersive phenomenological experiences*), αξιοποιώντας την υλικότητα του φωτός, τον χώρο και τον χρόνο (Rowe, 2012). Τα πρώτα του έργα επικεντρώθηκαν στην διαλεκτική σχέση ανάμεσα στην κατασκευή μέσω του φωτός κι στην ζωγραφική με το φως, βασιζόμενος στην αισθητηριακή εμπειρία του χώρου, του χρώματος και της αντίληψης.

⁸ Καλλιτέχνης του κινήματος *Light and Space* (Rowe, 2012).



Εικόνα 1. Ο κύβος του Afrum I, έργο της σειράς Projection Pieces (1967). Πηγή Εικόνας: Guggenheim Museum, n.d

Ο Turrell διαχειρίζεται με γλυπτικό τρόπο το φως δημιουργώντας “παλλόμενα φωτεινά συμβάντα” που δεν δημιουργούν απλά αντικείμενα ή εικόνες αλλά δίνουν μορφή στην ίδια την αντίληψη (Guggenheim Museum, n.d.). Ο φωτεινός αιωρούμενος κύβος που απεικονίζεται στην Εικόνα 2, στην πραγματικότητα είναι η συνάντηση δύο επίπεδων επιφανειών στις οποίες προβάλλεται φως από μία εξωτερική φωτεινή πηγή, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση του όγκου.



Εικόνα 2. Night Passage, έργο του Turrell (1987). Πηγή εικόνας: Guggenheim Museum. (n.d.)

Σε άλλα έργα του όπως το Night Passage που φαίνεται στην Εικόνα 3, ο καλλιτέχνης χρησιμοποιεί διαχωριστικά τοιχώματα με ορθογώνια ανοίγματα προς γειτονικούς χώρους που είναι πλημμυρισμένοι με έγχρωμο φως. Ο θεατής που βρίσκεται σε αυτόν τον “χώρο της αίσθησης” όπως τον ονομάζει ο Turrell έρχεται αντιμέτωπος με το φαινόμενο αισθητηριακής αποστέρησης *Ganzfeld*. Ο όγκος του έγχρωμου φωτός από την άλλη πλευρά του διαχωριστικού χάνει αντιληπτικά τη χωρητικότητα του και μετατρέπεται σε ένα αιωρούμενο φωτεινό επίπεδο, χωρίς επιφάνεια ή βάθος. Η δημιουργία αυτής της ψευδαίσθησης είναι μία προσπάθεια του καλλιτέχνη να δημιουργήσει μία μεταμορφωτική εμπειρία άλογης σκέψης.

Το φως έχει χαρακτηριστικά τα οποία είναι μετρήσιμα, ωστόσο από μόνα τους δεν επαρκούν για να γίνουν αντιληπτές οι ιδιότητες του φωτός, η λεπτότητα των εκφράσεων του και η πολυπλοκότητα της οπτικής αντίληψης. Υπάρχουν ορισμένες κατηγορίες φωτός οι οποίες συμβάλουν στην διαμόρφωση της αντιληπτικής εμπειρίας.

Αυτές οι κατηγορίες φωτός δεν είναι αυστηρά καθορισμένες και δεν αποδίδονται με ακριβείς λεκτικούς όρους ή μετρήσιμα μεγέθη, ενώ ο σχεδιαστής φωτισμού μπορεί να τις εμπλουτίσει ή να ανακαλύψει νέες ανάλογα με την εμπειρία φωτιστικών καταστάσεων που ήδη έχει, την ατομική ευαισθησία του και τη δυνατότητα οραματισμού καταστάσεων που δεν έχει ακόμα υλοποιήσει. Σύμφωνα με τον Ποταμιάνο (2015), μια ενδεικτική κατηγοριοποίηση του φωτός με στόχο τη δημιουργία εμπειρίας είναι:

- *Το κατευθυντικό φως.* Το φως γίνεται αντιληπτό όταν προσπίπτει σε κάποιο αντικείμενο και απορροφηθεί ή ανακλαστεί. Η προέλευση του γίνεται αντιληπτή από την φωτεινότητα των επιφανειών πάνω στις οποίες προσπίπτει. Ισχυρό ρόλο στον κατευθυντικό φωτισμό έχουν οι επιρριπτόμενες σκιές που ρίχνουν τα σώματα στο έδαφος. Εκεί δημιουργείτε μια διαχωριστική γραμμή φωτός- σκιάς. Όσο πιο σαφής είναι η διαχωριστική γραμμή φωτός- σκιάς, τόσο πιο ισχυρή είναι η αίσθηση κατευθυντικότητας του φωτός. Το κατευθυντικό φως σε συγκεκριμένες συνθήκες δίνει την αίσθηση μιας ανώτερης μη γήινης δύναμης, σαν να στέλνεται από κάποιον (Ποταμιάνο, 2015).
- *Το περιβαλλοντικό φως.* Το περιβαλλοντικό φως μοιάζει να μην έχει κατεύθυνση, παρόλο που και αυτό προέρχεται από κάποια πηγή, καθώς είναι διάχυτο. Εξαιτίας των πολλαπλών ανακλάσεων του, η αρχική κατεύθυνση του φωτός σχεδόν δεν γίνεται αντιληπτή. Είναι στενά συνδεδεμένο με τον χώρο στον οποίο εμφανίζεται, σαν να ανήκει σε αυτόν και να υπάρχει εξαιτίας του, δεν δημιουργεί έντονες σκιές και παρέχει ομοιόμορφα κατανεμημένη φωτεινότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό του σε συνδυασμό με την απουσία άλλης φωτεινής πηγής κάνει τα αντικείμενα να είναι δυσδιάκριτα. Ενώ το κατευθυντικό φως δημιουργεί σκιές, το περιβαλλοντικό φως φαίνεται να τις εξαφανίζει. Τελικά, το περιβαλλοντικό φως δίνει την αίσθηση ότι αποτελεί ιδιότητα του χώρου στον οποίο εμφανίζεται σαν να δημιουργείται από αυτόν (Ποταμιάνο, 2015).
- *Το αναδύμενο φως.* Η δύναμη του αναδύμενου φωτός οφείλεται στο γεγονός της έντονης αντίθεσης με το περιβάλλον του και την αίσθηση της απόκρυψης

της φωτεινής πηγής. Για παράδειγμα, η εμφάνιση της σελήνης στον σκοτεινό ουρανό προκαλεί συναισθήματα που συνδέονται με κάτι ανεξήγητο, θαυμαστό και μαγικό ως συνέπεια της αντιληπτικά αντιφατικής κατάστασης. Επομένως, κάθε φωτεινό σώμα που αναδύεται σε ένα σκοτεινό περιβάλλον συνδέεται με μία αίσθηση μαγείας. Το αναδύόμενο φως για να δημιουργεί την επιθυμητή αίσθηση πρέπει να είναι αρκετά έντονο, να εξασφαλίζεται η αντίθεση με το περιβάλλον του και να προσπίπτει μετωπικά στην επιφάνεια ώστε να μην αναδεικνύεται έντονα η υφή και η υλικότητα του.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη ενός μικρού μέρους της οπτικής αντίληψης, κυρίως από τη σκοπιά του σχεδιαστή φωτισμού κι εστιάζοντας στην διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο το φως συμβάλει στη διαμόρφωση της αντιληπτικής εμπειρίας θα ακολουθήσει η ανάπτυξη των επιδράσεων του φωτισμού στην ανθρώπινη λειτουργία και συμπεριφορά.

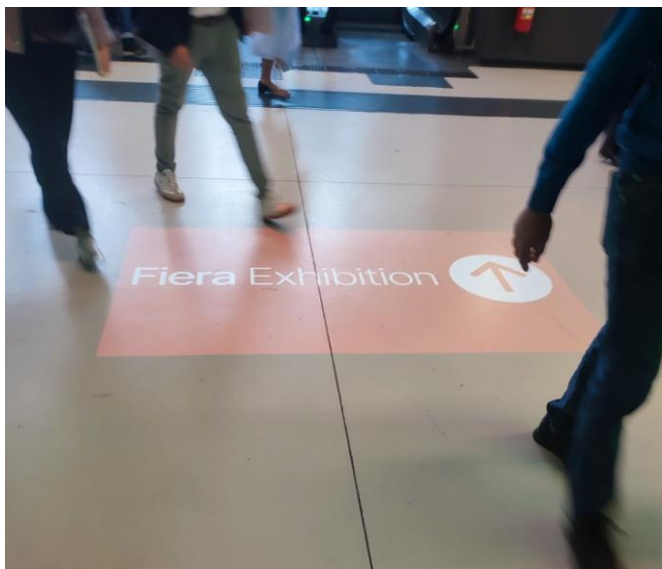
1.3 Η επίδραση του φωτός στην ανθρώπινη λειτουργία και συμπεριφορά

Η παρουσία του φωτός είναι θεμελιώδης για την λειτουργία του ανθρώπινου συστήματος όρασης, καθώς είναι η αιτία που επιτρέπει στον άνθρωπο να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον γύρω του και με αυτό τον τρόπο να προσαρμόζει τις κινήσεις και την συμπεριφορά του. Παρόλα αυτά, σε ακραίες καταστάσεις έκθεσης σε υψηλά επίπεδα φωτός ή πλήρους συσκότισης φαίνεται ότι η ανθρώπινη όραση δυσκολεύεται να λειτουργήσει (Ποταμιανός, 2015).

Πέρα από την επίδραση στην οπτική αντίληψη, φαίνεται πως το φως έχει και ψυχολογικές επιπτώσεις. Σύμφωνα με τους Kuller, Ballal κ.α. (2006, σελ. 1497), *οι επιδράσεις του φωτός, τόσο μέσω των αμφιβληστροειδικών όσο και των εξω-αμφιβληστροειδικών οδών, καταδεικνύουν τη μεγάλη ποικιλία και πολυπλοκότητα της επίδρασής του πέρα από τα φαινόμενα της όρασης. Οι επιδράσεις αυτές περιλαμβάνουν, αφενός, επιδράσεις στη διάθεση και τη συμπεριφορά και, αφετέρου, φυσιολογικές επιδράσεις στη διεγερση του αυτόνομου νευρικού συστήματος και στις ορμόνες. Ο άνθρωπος ασυνείδητα αναζητά το φως καθώς έχει την φυσική τάση να έλκεται από αυτό και να στρέφεται προς αυτό, δηλαδή είναι φωτοτροπικός (Ποταμιανός, 2015), το οποίο του δημιουργεί συναισθήματα χαράς και ασφάλειας, ωστόσο η έκθεση σε υπερβολικό φως μπορεί να δημιουργήσει συναισθήματα δυσφορίας και την ανάγκη προφύλαξης από αυτό.*

Το IERI Project 92 αποτέλεσε ερευνητικό πρόγραμμα του Illuminating Engineering Research Institute, το οποίο επιδίωξε να αναπτύξει τυποποιημένες διαδικασίες για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι συνθήκες φωτισμού επηρεάζουν τις υποκειμενικές εντυπώσεις και τη συμπεριφορά των χρηστών ενός χώρου (Flynn, Hendrick, Spencer & Martyniuk, 1979). Η παραπάνω μελέτη επισήμανε δύο πτυχές της ανθρώπινης συμπεριφοράς οι οποίες επηρεάζονται, σε κάποιο βαθμό, από τον φωτισμό ενός χώρου. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η επίδραση του φωτισμού: α. στην υποκειμενική αντίληψη και συμπεριφορά, δηλαδή σε εσωτερικές ερμηνείες της πραγματικότητας, οι οποίες διαμορφώνονται από τα ατομικά συναισθήματα, τις

συγκινήσεις, τις αναμνήσεις και σε ορισμένες περιπτώσεις από το πολιτισμικό πλαίσιο και όχι από αντικειμενικά μετρήσιμα γεγονότα. Η υποκειμενική αντίληψη περιλαμβάνει την αναγνώριση σημάτων και μοτίβων και β. στην *απόδοση* και στην *έκδηλη συμπεριφορά* (overt behavior⁹), δηλαδή τις εξωτερικές πράξεις και κινήσεις που είναι αντιληπτές και μετρήσιμες, όπως το περπάτημα, η ομιλία, το γέλιο ή οποιαδήποτε σωματική δραστηριότητα, η οποία περιλαμβάνει τις ενέργειες που πραγματοποιούνται ως ανταπόκριση σε σήματα και μοτίβα (Εικόνα 2). Ο σχεδιαστής φωτισμού, μεταβάλλοντας τον τρόπο φωτισμού ενός χώρου, δηλαδή τα μοτίβα του φωτισμού, τη σκιά και το χρώμα του φωτός μεταβάλλει ταυτόχρονα και τα οπτικά σήματα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται με τη σειρά του και ο τρόπος αντίληψης του χώρου από τον χρήστη του. Ορισμένα συστήματα φωτισμού σχεδιάζονται απλά για να επιτρέπουν την χρήση του χώρου χωρίς να γίνεται κάποια προσπάθεια να επηρεαστεί η εντύπωσή ή η συμπεριφορά του χρήστη. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο φωτισμός επιλέγεται να λειτουργήσει ως τρόπος παρέμβασης στην οπτική εμπειρία του χρήστη, κατευθύνοντας την κίνηση στον χώρο, εστιάζοντας την προσοχή και επηρεάζοντας τις εντυπώσεις σχετικά με έναν χώρο ή μία δραστηριότητα (Flynn,Hendrick, Spencer & Martyniuk,1979).



Εικόνα 3. Το φως ως εργαλείο διαμόρφωσης της κίνησης των χρηστών. Πηγή Εικόνας: Προσωπικό Αρχείο.

⁹Συμπεριφορά που είναι έκδηλη, δηλαδή μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, χωρίς τη χρήση ειδικών οργάνων ή τεχνογνωσία. (American Psychological Association, 2018).

Σύμφωνα με τον Knorr (2006), υπάρχουν τρεις επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο, *η οπτική, η συναισθηματική και η μη οπτική- βιολογική*. Οι **οπτική επίδραση** του φωτός εξασφαλίζει την αποτελεσματική εκτέλεση των οπτικών εργασιών. Τα διεθνή πρότυπα και οι κανονισμοί φωτισμού θέτουν κριτήρια για την ορθή εκτέλεση μιας οπτικής εργασίας, ανάλογα με τη χρήση ενός χώρου, λαμβάνοντας υπόψη την ένταση φωτισμού, το χρώμα του φωτός, την απόδοση χρωμάτων, τα επίπεδα κυλινδρικού φωτισμού στον χώρο, την κατεύθυνση του φωτός και τις ανακλάσεις των επιφανειών.

Η **συναισθηματική επίδραση**, του φωτός αναφέρεται κυρίως στον τρόπο που φωτίζεται ένας χώρος, οι επιφάνειες και τα αντικείμενα και όχι απλά στην καλή αισθητική των φωτιστικών σωμάτων, σε συνάρτηση με την αρχιτεκτονική ενός χώρου. Ο κατάλληλος φωτισμός αναδεικνύει πλήρως τις δυνατότητες ενός χώρου. Το χρώμα του φωτός (θερμό, ψυχρό, RGB χρωματικές ατμόσφαιρες), η κατεύθυνση του φωτός (wallwashers/φωτισμός τοίχων, spots/τονισμοί), τα επίπεδα φωτισμού και η φασματική κατανομή συμβάλλουν στην διαμόρφωση της αντιληπτικής και συναισθηματικής εμπειρίας του χώρου. Οι Küller, Balla et al. (2006) διαπίστωσαν ότι η διάθεση των εργαζομένων συνδεόταν με την υποκειμενική αντίληψη του περιβάλλοντος ως υπερβολικά σκοτεινού, κατάλληλα φωτισμένου ή υπερβολικά φωτεινού, ενώ οι αντικειμενικές τιμές φωτισμού δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντική επίδραση. Η συναισθηματική επίδραση του φωτισμού βρίσκει εφαρμογή σε διαφορετικούς τομείς όπως, στον *σκηνικό φωτισμό του θεάτρου* ενισχύοντας την συναισθηματική εμπειρία των θεατών, στον *φωτισμό των καταστημάτων* ο οποίος επηρεάζει τις πωλήσεις και στην δημιουργία *περιβαλλοντικής εμπειρίας (ambientexperience)*, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει συναισθήματα στρες και έντασης, όπως για παράδειγμα σε παιδικά νοσοκομειακά περιβάλλοντα. Ο φυσικός φωτισμός, ο οποίος χαρακτηρίζεται δυναμικός φωτισμός, συμβάλει στην δημιουργία θετικών συναισθημάτων έναντι ενός στατικού φωτισμού. Έρευνες έχουν δείξει ότι η ταχύτητα ανάρρωσης ασθενών που νοσηλεύονται σε νοσοκομεία, συνδέεται άμεσα με τον φωτισμό, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του άγχους, του αποπροσανατολισμού, της ιδιωτικότητας και του επιπέδου ερεθισμού (Ζερεφός Στέλιος & Τσαγκρασούλης Αριστείδης, 2024). Η μελέτη των Benedetti, Colombo,

Barbini, Campori & Smeraldi (2001) σχετικά με τις επιδράσεις του έντονου φωτός στη μη εποχική κατάθλιψη έδειξε ότι ασθενείς με διπολική κατάθλιψη που νοσηλεύονταν σε δωμάτια με ανατολικό προσανατολισμό —και επομένως δέχονταν άμεσο πρωινό ηλιακό φως— είχαν κατά μέσο όρο 3,67 ημέρες μικρότερη διάρκεια νοσηλείας σε σύγκριση με όσους βρίσκονταν σε δωμάτια δυτικού προσανατολισμού. Το κέντρο ψυχικής υγείας Way Station στο Frederick του Maryland σχεδιάστηκε ως θεραπευτικό περιβάλλον με στόχο την προαγωγή της ευεξίας ανθρώπων με σοβαρές ψυχικές διαταραχές (Franta & Anstead, 1994) με το φυσικό φως να εισέρχεται σε διαφορετικά τμήματα της εγκατάστασης ασκώντας θετική επίδραση στην εμπειρία των χρηστών του κτιρίου. Η Tena Meadows O'Rear (Edwards & Torcellini, 2002), Chief Operating Officer του Way Station, κέντρο ψυχικής υγείας στο Frederick του Maryland επισήμανε ότι “οι χρήστες της εγκατάστασης αντιμετωπίζουν πολλούς περιορισμούς, κατάθλιψη και “|νοητικά τείχη” στην καθημερινότητά τους και ότι έχει μεγάλη σημασία να βρίσκονται σε ένα κτίριο που ενσωματώνει τον φυσικό κόσμο και δημιουργεί την αίσθηση ενός ανοιχτού και ηλιόλουστου περιβάλλοντος”.

Τέλος, η **μη οπτική- βιολογική επίδραση** αφορά στον τρόπο που το φως διεγείρει τον κερκάρδιο ρυθμό, ενεργοποιώντας το ανθρώπινο σώμα καθώς συνδέεται με την προσαρμογή του οργανισμού στην κυκλική εναλλαγή ημέρας και νύχτας, χειμώνα και καλοκαιριού. Η έκθεση σε φυσικό κύκλο φωτός— σκότους έχει συσχετιστεί με πρωιμότερο και περισσότερο ευθυγραμμισμένο με την ημέρα κερκάρδιο συγχρονισμό, σε σύγκριση με το σύγχρονο δομημένο περιβάλλον, όπου συνδυάζονται συχνά χαμηλότερη ημερήσια και υψηλότερη βραδινή έκθεση (Wright et al., 2013). Η γνώση των βιολογικών επιδράσεων του φωτισμού δίνει την δυνατότητα να βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα του φωτισμού των εσωτερικών χώρων. Για παράδειγμα σε χώρους γραφείων, ο φωτισμός μπορεί να ενεργοποιεί το ανθρώπινο σώμα κατά την διάρκεια της εργασίας. Επίσης, το φως λόγω της βιολογικής του επίδρασης στον άνθρωπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση των δραστηριοτήτων του. Για παράδειγμα, μέσω βελτιωμένων συστημάτων φωτισμού αυξάνεται η συγκέντρωση των μαθητών στα σχολεία (Magielse & Ross, 2011). Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, δηλαδή από τις αποκρίσεις

στο φως (ipRGC-influenced responses to light – IIL responses) που διαμεσολαβούνται κυρίως από τα ενδογενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells – ipRGCs), τα οποία περιέχουν τη φωτοχρωστική μελανοψίνη (Hattar, Liao, Takao, Berson & Yau, 2002). Τα ipRGCs διαφέρουν από τα κλασικά ραβδία και κωνία ως προς τα εγγενή χαρακτηριστικά της φασματικής τους ευαισθησίας (Hattar κ.ά., 2002). Μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ipRGCs και συγκεκριμένων περιοχών του εγκεφάλου, όπως η αμυγδαλή, ο υποθάλαμος, και ειδικότερα ο υπερχιασματικός πυρήνας και ο κοιλιοπλάγιος προοπτικός πυρήνας, το φως μπορεί να επηρεάσει την εγρήγορση, τις γνωστικές λειτουργίες, τον καρδιακό ρυθμό και τη συναισθηματική δραστηριότητα (Zhang κ.ά., 2020). Σύμφωνα με βιβλιογραφική έρευνα των Duijnhoven, Aarts, Aries, Rosemann, Kort (2017) με αφετηρία της έρευνας τους τη χρονολογία 2002, οπότε και ανακαλύφθηκε ο νέος φωτοϋποδοχέας στον οφθαλμό από τον David Berson και τους συνεργάτες του (2002) και η λειτουργία των ipRGCs, διαπιστώθηκε ότι η CCT και η ένταση φωτισμού φαίνεται να επηρεάζουν την επαγγελματική υγεία. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί (Smolders, De Kort & Cluitmans, 2012) η συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων έντασης φωτισμού και της εγρήγορσης. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι τα άτομα αισθάνονται λιγότερο κουρασμένα, πιο δραστήρια και ευδιάθετα όταν εκτεθούν σε έντονο φωτισμό, ακόμη και υπό συνήθεις συνθήκες, δηλαδή χωρίς να έχει προηγηθεί στέρηση ύπνου ή φωτός.

Σύμφωνα με τους Magielse και Ross (2011), ακόμα μια επίδραση του φωτός, είναι η **κοινωνική**. Το φως ανέκαθεν διαμόρφωνε την κοινωνική συμπεριφορά των ανθρώπων, καθώς η κοινωνική ζωή συγκεντρώνεται γύρω από το φως. Για παράδειγμα, η πανσέληνος, που προσφέρει φως στο σκοτάδι, υπήρξε καταλύτης για την επέκταση της δημόσιας κοινωνικής ζωής μέσα στη νύχτα, ενώ με την εφαρμογή του οδοφωτισμού αυξήθηκε ο χρόνος κατά τον οποίο οι άνθρωποι μπορούσαν να κυκλοφορούν στους δρόμους νιώθοντας ασφάλεια. Έρευνες που εξετάζουν τις επιδράσεις του φωτισμού στην κοινωνική συμπεριφορά υποδεικνύουν ότι το επίπεδο φωτισμού μπορεί να επηρεάσει χαρακτηριστικά της διαπροσωπικής επικοινωνίας. Σε πειραματική μελέτη των Veitch και Kaye (1988), υψηλότερο επίπεδο φωτισμού συνδέθηκε με χαμηλότερη

ένταση της συνομιλίας, ενώ ο Gifford (1988) διαπίστωσε ότι, υπό τις συνθήκες της μελέτης του, ο εντονότερος φωτισμός ενίσχυσε τόσο τη γενική όσο και την περισσότερο προσωπική επικοινωνία. Ωστόσο, άλλες μελέτες έχουν καταγράψει αντίθετα αποτελέσματα, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι επιδράσεις αυτές εξαρτώνται από το κοινωνικό και χωρικό πλαίσιο, τη δραστηριότητα και τα χαρακτηριστικά της φωτεινής συνθήκης. Για να γίνουν τα φωτιζόμενα περιβάλλοντα προσαρμοστικά και προβλεπτικά, η κοινωνική διάσταση του φωτός πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να διερευνάται (Magielse & Ross, 2011).

Κλείνοντας, είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι ο ρόλος του σχεδιαστή φωτισμού δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην σύνταξη μελετών φωτισμού οι οποίες ικανοποιούν ποσοτικά πρότυπα, που έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζονται διάφορες δραστηριότητες σε έναν χώρο όπως το διάβασμα, ο σχεδιασμός και άλλες οπτικές δραστηριότητες. Ο σχεδιαστής φωτισμού, σκοπίμως ή όχι, μπορεί να δημιουργήσει διαφορετικές φωτεινές συνθήκες για να συμβάλλει στην οπτική αντίληψη και εμπειρία και την αίσθηση ευημερίας (well-being). Η υποκειμενική αντίληψη ενός φωτισμένου χώρου μπορεί να είναι μετρήσιμη, εφόσον εφαρμοστούν στην έρευνα του φωτισμού τα εργαλεία και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ψυχολογίας (scaling procedures & mapping procedures) (Flynn, Hendrick, Spencer & Martyniuk, 1979). Έτσι, σε μία ποιοτική αξιολόγηση δύναται να συγκεντρωθούν συγκρίσιμα δεδομένα σχετικά με τις επιδράσεις του φωτός στην ανθρώπινη συμπεριφορά και διάθεση.

1.4 Περιβαλλοντική Ψυχολογία και Φωτισμός

Η έννοια της *περιβαλλοντικής ψυχολογίας* καθιερώθηκε ως αυτοτελές πεδίο έρευνας την δεκαετία του 1960, παρόλο που ως μέρος της ψυχολογίας αναφέρθηκε πρώτη φορά κατά τον 19ο αιώνα. Πρόκειται για μία διεπιστημονική κοινωνική επιστήμη, η οποία αντλεί μεθοδολογικά και θεωρητικά εργαλεία από άλλες επιστήμες όπως η γεωγραφία, η ανθρωπολογία, η κοινωνιολογία, η πολιτική, η αρχιτεκτονική, η αρχιτεκτονική τοπίου, ο πολεοδομικός σχεδιασμός και η ψυχολογία. Άλλοι όροι με τους οποίους συναντάται είναι ως “*περιβαλλοντική κοινωνική επιστήμη*”, “*μελέτη της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς*”, “*οικολογική ψυχολογία*”, “*αρχιτεκτονική ψυχολογία*”, “*συμπεριφορική γεωγραφία*” κ.λπ. (Giesecking, 2014).

Ως *Περιβαλλοντική Ψυχολογία* ορίζεται η μελέτη των αλληλεπιδράσεων των ανθρώπων και του περιβάλλοντος τους, τόσο του δομημένου όσο και του φυσικού. Εξετάζει την αμφίδρομη σχέση ανθρώπου και περιβάλλοντος: αφενός, τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται, χρησιμοποιούν και διαμορφώνουν τον χώρο και, αφετέρου, τον τρόπο με τον οποίο τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος επηρεάζουν την ανθρώπινη αντίληψη, εμπειρία και συμπεριφορά. Στόχος της Περιβαλλοντικής Ψυχολογίας είναι το δομημένο περιβάλλον να γίνει πιο ανθρώπινο, βελτιώνοντας έτσι τις ανθρώπινες σχέσεις με το φυσικό περιβάλλον (Gifford, Steg & Reser, 2011).

Σε μία προσπάθεια κατανόησης του τρόπου με τον οποίο τα διάφορα περιβάλλοντα επηρεάζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά και αντίστροφα, πραγματοποιήθηκαν ποικίλες μελέτες. Σύμφωνα με την έννοια των *περιβαλλοντικών ρυθμίσεων συμπεριφοράς*, την οποία εισήγαγε ο Barker το 1968 (Giesecking, 2014), συγκεκριμένα περιβάλλοντα όχι μόνο υποδεικνύουν αλλά και επιβάλλουν συγκεκριμένους τύπους συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, οι μαθητές με την είσοδό τους σε μία αίθουσα διδασκαλίας τείνουν να καθίσουν στα θρανία. Ωστόσο, μεταγενέστερες έρευνες άσκησαν κριτική στον απόλυτο περιβαλλοντικό ντετερμινισμό¹⁰. Σύμφωνα με τον Wicker (Giesecking, 2014) οι σχέσεις ανθρώπου- περιβάλλοντος δεν είναι απλώς

¹⁰ Η αντίληψη ότι το περιβάλλον καθορίζει τη συμπεριφορά (Giesecking, 2014)

αντιδραστικές, ενώ ιδιαίτερα χρήσιμη είναι και η έννοια των *δυνατοτήτων δράσης* που διατύπωσε το 1979 ο Gibson (Gieseeking, 2014) για την μελέτη της περιβαλλοντικής αντίληψης και συμπεριφοράς. Οι *δυνατότητες δράσης*, αναφέρονται στις ιδιότητες που προσφέρει ένα αντικείμενο ή ένα περιβάλλον, οι οποίες επιτρέπουν σε ένα άτομο ή μία ομάδα να εκτελέσει μία ή περισσότερες ενέργειες. Για παράδειγμα, ένα μπολ φαγητού μπορεί να λειτουργεί ως σκεύος φαγητού για έναν ενήλικα, αλλά για ένα παιδί μπορεί να μετατραπεί σε τύμπανο.

Ένα ακόμα κεντρικό ζήτημα της περιβαλλοντικής ψυχολογίας, είναι η σχέση μεταξύ τόπου και ταυτότητας, δηλαδή η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το άτομο ή οι κοινωνικές ομάδες νοηματοδοτούν και βιώνουν το περιβάλλον τους. Σύμφωνα με την Manzo (2003), οι συναισθηματικές σχέσεις με τους τόπους καλύπτουν ένα φάσμα φυσικών περιβαλλόντων και συναισθηματικών εμπειριών, συνιστούν ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο και δυναμικό φαινόμενο κι έτσι μπορούν να αποτελούν συνειδητή διαδικασία, στο πλαίσιο της οποίας τα άτομα λειτουργούν ως ενεργοί διαμορφωτές της ζωής τους, και τέλος οι συναισθηματικές σχέσεις με τον τόπο εντάσσονται σε ένα ευρύτερο κοινωνικοπολιτικό πλαίσιο.

Η *ταυτότητα τόπου* (*place identity*) είναι η πλέον εδραιωμένη έννοια στην μελέτη του τόπου και της εμπειρίας της παραγωγής τόπου στην περιβαλλοντική ψυχολογία. Αναφέρεται ως *μία υποδομή της προσωπικής ταυτότητας, η οποία συγκροτείται από γνωστικά σχήματα που αναπτύσσονται μέσα από την καθημερινή ζωή και την αλληλεπίδραση με τους φυσικούς χώρους*. (Proshansky, H., A. Fabian, and R. Kaminoff, 1983). Ενώ κατά την Manzo (Gieseeking, 2014) οι ταυτότητες τόπου εκφράζουν τους τρόπους με τους οποίους η ταυτότητα του ατόμου διαμορφώνεται σε συνάρτηση με το περιβάλλον του.

Περιβαλλοντική ψυχολογία στους χώρους εργασίας

Ο άνθρωπος αφιερώνει τουλάχιστον το ένα τρίτο του χρόνου της ημέρας του στην εργασία του. Η εργασία προσφέρει σε αυτόν μερικές από τις καλύτερες αλλά και μερικές από τις χειρότερες εμπειρίες της ζωής του (Gifford, Steg & Reser, 2011). Η

εργασία μπορεί να είναι χειρωνακτική ή πνευματική και αποτελεί, πέρα από μέσο βιοπορισμού και κάλυψης βασικών αναγκών, μέσο επίτευξης των προσωπικών στόχων, κοινωνικής καταξίωσης και κοινωνικοποίησης, τρόπο προσφοράς στην κοινωνία και διατήρησης της ψυχικής υγείας κ.λπ. Ωστόσο, δεν λείπουν και οι αρνητικές επιπτώσεις στην ζωή του ανθρώπου οι οποίες συνδέονται με τα φαινόμενα της υπερεργασίας και της εργασίας σε ανθυγιεινά περιβάλλοντα. Όπως επισημαίνουν οι Gifford et al. (2011) το εργασιακό περιβάλλον επηρεάζει την απόδοση, τα συναισθήματα, την κοινωνική συμπεριφορά, την υγεία και τα επίπεδα άγχους των εργαζομένων.

Η απόδοση και η διάθεση στον χώρο εργασίας διαμορφώνονται από ένα σύνθετο σύνολο ατομικών, οργανωτικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Μεταξύ των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος είναι ο θόρυβος, το εσωτερικό μικροκλίμα, τα συστατικά του αέρα, ο φωτισμός και η χωρική διάταξη. Οι παράγοντες αυτοί δεν επιδρούν ανεξάρτητα ούτε με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους εργαζομένους. Η επίδρασή τους εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το είδος και τη διάρκεια της εργασίας, τα χαρακτηριστικά του χώρου, τον βαθμό έκθεσης και τις ατομικές ανάγκες και προτιμήσεις.

Ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει ενόχληση, να δυσχεράνει τη συγκέντρωση και να περιορίσει το αίσθημα ιδιωτικότητας, ιδιαίτερα στα γραφεία ανοιχτής διάταξης. Η επίδρασή του στην απόδοση δεν είναι ενιαία, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας, τα χαρακτηριστικά του ήχου και το ίδιο το άτομο (Baker & Holding, 1993). Αντίστοιχα, οι συνθήκες θερμικής άνεσης και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα μπορούν να επηρεάσουν την ευεξία, την κόπωση και την ικανότητα συγκέντρωσης. Η χωρική διάταξη επηρεάζει, επίσης, την επικοινωνία, την ιδιωτικότητα και τη δυνατότητα των εργαζομένων να ελέγχουν ή να διαμορφώνουν τον χώρο τους.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον φωτισμό, καθώς αποτελεί βασικό στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος και επηρεάζει τόσο την εκτέλεση των οπτικών εργασιών όσο και τη συνολικότερη εμπειρία του χώρου. Ο

ανεπαρκής ή ακατάλληλα σχεδιασμένος φωτισμός μπορεί να οδηγεί σε χαμηλή παραγωγικότητα, σε αυξημένα ατυχήματα, να προκαλέσει θάμβωση και οπτική κόπωση και άρα να επιβαρύνει την άνεση και την απόδοση των εργαζομένων. Αντίθετα, ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτεινό περιβάλλον μπορεί να υποστηρίξει την απόδοση, την ορατότητα, την ακρίβεια και την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η απλή αύξηση της έντασης του φωτισμού οδηγεί αυτομάτως σε καλύτερη απόδοση. Παράλληλα, η χρωματική απόδοση των φωτεινών πηγών επηρεάζει την αντίληψη των αντικειμένων και του χώρου, ενώ η αλλοίωση των χρωμάτων μπορεί να προκαλέσει δυσαρέσκεια στους εργαζομένους (Megaw & Bellamy, 1983).

Ιδιαίτερη σημασία έχουν ακόμη η αξιοποίηση του φυσικού φωτός, η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και η δυνατότητα ατομικού ελέγχου του φωτισμού. Η ενσωμάτωση τοπικού φωτισμού και ρυθμιζόμενων συστημάτων μπορεί να επιτρέψει την προσαρμογή των φωτιστικών συνθηκών στις απαιτήσεις της δραστηριότητας και στις προσωπικές προτιμήσεις των χρηστών (Gifford, Hine & Veitch, 1997).

Επομένως, ο φωτισμός αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα της περιβαλλοντικής ψυχολογίας στους χώρους εργασίας. Η επίδραση του προκύπτει σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες του περιβάλλοντος, τις απαιτήσεις μιας δραστηριότητας, και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του χρήστη. Η διαπίστωση αυτή είναι η αφετηρία για την περαιτέρω διερεύνηση του φωτισμού, όχι απλά ως μέσο εξασφάλισης της ορατότητας αλλά ως περιβαλλοντικού παράγοντα που μπορεί να συμβάλει στην διαμόρφωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς και εμπειρίας.

2. Δυναμικός φωτισμός και δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα

Η δυναμική προσαρμογή των χαρακτηριστικών του φωτεινού περιβάλλοντος όπως είναι η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος, η ένταση φωτισμού, η λαμπρότητα των επιφανειών κ.λπ. εξετάζεται ως προς τη δυνατότητα να υποστηρίξει διαφορετικές δραστηριότητες όπως είναι η μάθηση, η εργασία, η χαλάρωση και η επικοινωνία μεταξύ ομάδων ατόμων. Οι μεταβολές μπορούν να ακολουθούν προκαθορισμένα χρονικά σενάρια, να ενεργοποιούνται από τον χρήστη ή να πραγματοποιούνται αυτόματα ως απόκριση σε δεδομένα σχετικά με τη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός, την παρουσία, τη δραστηριότητα και τις προτιμήσεις των χρηστών.

2.1 Δυναμικός φωτισμός

2.1.1 Ορισμός και Βασικές έννοιες

Δυναμικός φωτισμός

Ο όρος *δυναμικός φωτισμός* αναφέρεται σε συνθήκες τεχνητού φωτισμού στις οποίες μία ή περισσότερες παράμετροι όπως είναι η στάθμη φωτισμού και η φασματική κατανομή μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Ανάλογα με την εφαρμογή, οι μεταβολές μπορεί να είναι σταδιακές ή απότομες, περιοδικές ή μη περιοδικές και αντιληπτές ή μη άμεσα αντιληπτές από τον χρήστη (Choi & Suk, 2016 & Izsó, 2009).

Ο δυναμικός φωτισμός αποτελεί μια εξελιγμένη τεχνική που επιχειρεί να μεταφέρει τη δυναμική του φυσικού φωτός της ημέρας στους εσωτερικούς χώρους, με στόχο τη δημιουργία ενός “φυσικού” φωτεινού περιβάλλοντος το οποίο να επιδρά θετικά προς τον χρήστη. Η κατάλληλη φωτεινή ατμόσφαιρα μπορεί να διαμορφώνεται μέσω *δυναμικών σεναρίων φωτισμού*, είτε με την προσαρμογή του φωτισμού στον προσωπικό χώρο του χρήστη, ανάλογα με τις ανάγκες, τη διάθεση και την εργασία του είτε με την δυναμική μεταβολή της φωτεινής ατμόσφαιρας ενός χώρου (Patania, Gagliano, Nocera, Galesi & Caserta, 2012).

Σύμφωνα με τον Ozenen (2023) υπάρχουν τέσσερις βασικές προσεγγίσεις εφαρμογής δυναμικού φωτισμού. Αυτές είναι:

- **Φωτισμός προσανατολισμένος στον κερκαδικό ρυθμό.** Ο δυναμικός φωτισμός χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει τη φυσική εξέλιξη του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας, με θερμότερο φως χαμηλότερης έντασης το πρωί και το βράδυ και ψυχρότερο φως υψηλότερης έντασης κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- **Φωτισμός προσαρμοσμένος στην εργασία.** Ο φωτισμός βελτιστοποιείται για συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως η ανάγνωση ή η εργασία σε υπολογιστή, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση της οπτικής καταπόνησης.
- **Εξατομικευμένος φωτισμός.** Χρησιμοποιούνται αισθητήρες και αλγόριθμοι για τη δημιουργία εξατομικευμένων προφίλ φωτισμού για κάθε χρήστη, σύμφωνα με τις προσωπικές προτιμήσεις και ανάγκες του.
- **Αποκρινόμενος φωτισμός.** Αισθητήρες ανιχνεύουν μεταβολές στο περιβάλλον, όπως την παρουσία ανθρώπων ή τις μεταβολές του φυσικού φωτός, και το σύστημα προσαρμόζει αναλόγως τον τεχνητό φωτισμό.

Τεχνολογική υποστήριξη μέσω LED

Η λειτουργία του δυναμικού φωτισμού υποστηρίζεται από τις σύγχρονες πηγές φωτισμού LED που έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης του φάσματος εκπομπής σε πραγματικό χρόνο (Choi & Suk, 2016). Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογία φωτισμού στερεάς κατάστασης (Solid State Lighting – SSL)¹¹. Το LED θεωρείται μια φορητή και προγραμματιζόμενη πηγή φωτός, στην οποία μπορούν να συνδεθούν αισθητήρες. Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των χαρακτηριστικών της (π.χ. άμεσος χρόνος απόκρισης) μέσω ψηφιακών ηλεκτρονικών συστημάτων και υπολογιστικών τεχνολογιών (Magielse, 2014). Αυτά τα πλεονεκτήματα της υπολογιστικής τεχνολογίας δίνουν την δυνατότητα ανάπτυξης ευφυών και προσαρμοζόμενων περιβαλλόντων φωτισμού. Για παράδειγμα οι

¹¹ Οι τεχνολογίες SSL παράγουν φως μέσω του φαινομένου της ηλεκτροφωταύγειας, ενώ ο ευρύτερα γνωστός τύπος τους είναι η δίοδος εκπομπής φωτός (Light Emitting Diode – LED) (Magielse, 2014). Άλλοι τύποι SSL είναι οι οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός (Organic Light Emitting Diodes – OLEDs) και οι πολυμερείς δίοδοι εκπομπής φωτός (Polymer Light Emitting Diodes – PLEDs). Τα LED είναι ημιαγωγοί βελτιστοποιημένοι ώστε να παράγουν μονοχρωματικό φως, όταν ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσα από μια επαφή p-n (Dupuis & Kramer, 2008) και χαρακτηρίζονται για το μικρό τους μέγεθος, την μεγάλη τους ανθεκτικότητα, την χαμηλή κατανάλωση ισχύος, την υψηλή ενεργειακή απόδοση και προσδόκιμο ζωής που υπερβαίνει εκείνο των συμβατικών πηγών φωτός (Magielse, 2014).

αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον τους, οι αλγόριθμοι λογισμικού να τα επεξεργάζονται κι έτσι να προγραμματίζεται η φωτεινή πηγή (Magielse, 2014).

Ωστόσο, η λειτουργία των φωτεινών πηγών τεχνολογίας LED δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην παροχή φωτισμού. Αντίθετα, έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τις διαφορετικές ιδιότητες του φωτός, όπως για παράδειγμα μεταβάλλοντας τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος ή την ένταση του φωτισμού, επιδρώντας τόσο στην οπτική όσο και στη μη οπτική εμπειρία του ανθρώπου. Ο φωτισμός LED έχει εξελιχθεί σε ένα έξυπνο, ολοκληρωμένο σύστημα φωτισμού το οποίο λαμβάνει υπόψη τη συναισθηματική κατάσταση των χρηστών, συμβάλει στην ποιότητα της καθημερινής ζωής και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Η εξέλιξη αυτή βασίζεται στον συνδυασμό των τεχνολογιών πληροφορικής με δεδομένα σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την συμπεριφορά των χρηστών (Kwon, Im & Lim, 2014).

Προσαρμοζόμενα Περιβάλλοντα Φωτισμού ή Προσαρμοστικά Συστήματα Φωτισμού

Τα Προσαρμοζόμενα Περιβάλλοντα Φωτισμού (*Adaptive Lighting Environments-ALEs*) ή Προσαρμοστικά Συστήματα Φωτισμού (*Adaptive Lighting Systems – ALS*) αποτελούν ειδικότερη κατηγορία δυναμικών συστημάτων, τα οποία μέσω των πληροφοριών που συλλέγονται από αισθητήρες και μηχανισμούς ελέγχου που διαθέτουν, προσαρμόζουν δυναμικά των φωτισμό τους στις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες και στις ανάγκες των χρηστών (Magielse, 2014, Laushkina & Roslyakova, 2020).

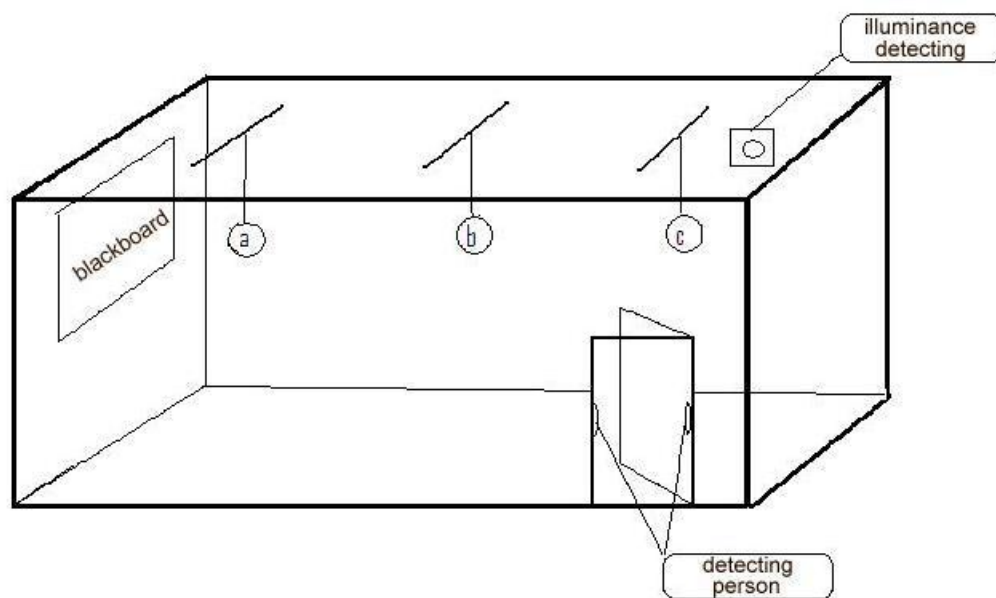
Η δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και φωτισμού αποτελεί τη βάση της έννοιας του *διαδραστικού φωτισμού (interactive lighting)* (Laushkina & Roslyakova, 2020). Σκοπός αυτών των συστημάτων είναι να αναγνωρίσουν τις προθέσεις και τις ανάγκες των χρηστών, μέσω της συλλογής δεδομένων από διάφορες πηγές όπως συστήματα οπτικής αναγνώρισης, ηχητικοί αισθητήρες, καθώς και αισθητήρες φωτισμού, πίεσης και θορύβου. Με τον τρόπο αυτό, ο φωτισμός μπορεί να

προσαρμόζεται είτε αυτόματα, χωρίς άμεση παρέμβαση του χρήστη, είτε κατόπιν συνειδητής παρέμβασής του (Laushkina & Roslyakova, 2020). Για τη διαρκή προσαρμογή του συστήματος μπορεί να εφαρμόζεται μηχανισμός ανατροφοδότησης, μέσω του οποίου το σύστημα παρακολουθεί τις μεταβαλλόμενες συνθήκες, επεξεργάζεται τα δεδομένα και τροποποιεί τις παραμέτρους του φωτισμού βάσει προκαθορισμένων κανόνων ή υπολογιστικών μοντέλων (Laushkina & Roslyakova, 2020).

Η σχέση μεταξύ του χρήστη και προσαρμοστικού φωτισμού είναι αμφίδρομη καθώς το σύστημα μπορεί να ανταποκρίνεται στη δραστηριότητα του χρήστη, ενώ οι μεταβολές του φωτιζόμενου περιβάλλοντος είναι δυνατόν, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να επηρεάζουν την αντίληψη, τις επιλογές ή τη συμπεριφορά του. (Magielse, 2014). Παρόλα αυτά, η επίδραση αυτή δεν είναι αυτόματη ούτε ομοιόμορφη για όλους τους χρήστες.

Η έννοια της *προσαρμοστικότητας του φωτισμού* συνδέεται και με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω λειτουργιών εξασθένησης της φωτεινότητας (dimming). Στην μελέτη των Chen & Sun (2013) για τον έλεγχο του φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας στις αίθουσες διδασκαλίας, προτείνεται μία μέθοδος έξυπνου ελέγχου φωτισμού, η οποία βασίζεται στη χρήση αλγορίθμου τεχνητής νοημοσύνης. Μέσω ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου¹² (Artificial Neural Network – ANN) ο φωτισμός μιας σχολικής αίθουσας ρυθμίζεται λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο φωτισμού του περιβάλλοντος και τον αριθμό των παρόντων μαθητών. Στην Εικόνα 3, φαίνεται το μοντέλο φωτισμού της αίθουσας διδασκαλίας που αποτελείται από τρεις ομάδες φωτιστικών στην οροφή (a, b και c) ανάλογα με την απόστασή τους από τον πίνακα διδασκαλίας, έναν ανιχνευτή φωτεινότητας στην οροφή και έναν αισθητήρα για την καταμέτρηση του αριθμού των ατόμων που εισέρχονται στον χώρο.

¹² Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα διαθέτουν δυνατότητες αυτομάθησης, αυτοοργάνωσης και αυτοπροσαρμογής. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών τους είναι δυνατή η ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου με αυξημένη ανοχή σε σφάλματα (fault tolerance) και υψηλή ευρωστία (robust stability) (Chen & Sun, 2013)



Εικόνα 4. Μοντέλο φωτισμού της αίθουσας διδασκαλίας. Πηγή Εικόνας: Chen & Sun, 2013

Τα περισσότερα ALS συστήματα φωτισμού ανταποκρίνονται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες, στις κλιματικές μεταβολές και στη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός. Ωστόσο, οι παράμετροι που επηρεάζουν άμεσα τον άνθρωπο, όπως η θερμοκρασία χρώματος και το επίπεδο φωτισμού, μεταβάλλονται συνήθως είτε μέσω προκαθορισμένων σεναρίων είτε κατόπιν χειροκίνητης παρέμβασης του χρήστη (Laushkina & Roslyakova, 2020).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα μεταβαλλόμενου φωτισμού “School Vision”, που σχεδιάστηκε από την εταιρεία Philips ειδικά για χρήση σε σχολικά περιβάλλοντα και δίνει την δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να επιλέγει από τα διαθέσιμα προκαθορισμένα προγράμματα φωτισμού εκείνο που είναι καταλληλότερο για ολόκληρη την τάξη (Wessolowski et al., 2014). Έρευνα των Wessolowski, Koenig, Schulte-Markwort & Barkmann (2014) σχετικά με την επίδραση του μεταβαλλόμενου φωτισμού σε σχολικά περιβάλλοντα, έδειξε ότι, στις συνθήκες του συγκεκριμένου πειράματος, ο μεταβαλλόμενος φωτισμός (*Variable Lighting – VL*) μπορεί να συμβάλει άμεσα στη μείωση της ανησυχίας των μαθητών και στη βελτίωση της κοινωνικής τους συμπεριφοράς.

2.1.2 Δυνατότητες και περιορισμοί του δυναμικού φωτισμού στη διαμόρφωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς

Στην ενότητα 1. 3 Η επίδραση του φωτός στην ανθρώπινη λειτουργία και συμπεριφορά, διερευνήθηκαν οι οπτικές και μη οπτικές επιδράσεις του φωτισμού. Σε αυτό το σημείο θα γίνει αναζήτηση των ενδεχόμενων επιδράσεων του δυναμικού φωτισμού ως μέσο διαμόρφωσης της ανθρώπινης συμπεριφοράς, η οποία βασίζεται αφενός στη γενικότερη γνώση για τις επιδράσεις του φωτός και αφετέρου σε έρευνες που εξετάζουν ειδικά μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού.

Ο φυσικός φωτισμός είναι σχεδόν πάντα δυναμικός. Έτσι, πιθανολογείται ότι υπάρχουν βιολογικοί εξελικτικοί μηχανισμοί στον άνθρωπο που τον οδηγούν να προτιμά τον μεταβαλλόμενο φωτισμό έναντι του σταθερού (Izsó, 2009). Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι κάθε μεταβαλλόμενη συνθήκη φωτισμού είναι προτιμητέα ή ωφέλιμη.

Σήμερα, οι καινοτόμες τεχνολογίες φωτισμού LED και τα συστήματα ελέγχου του, επιτρέπουν την εφαρμογή δυναμικού φωτισμού, ο οποίος μιμείται τις ημερήσιες μεταβολές του φυσικού φωτός, ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές συνθήκες ή και στις δραστηριότητες των χρηστών ή ακολουθεί προκαθορισμένα σενάρια. Οι σχεδιαστές φωτισμού σήμερα έχουν τη δυνατότητα μέσω των εξελεγμένων στρατηγικών ελέγχου φωτισμού να δημιουργήσουν δυναμικές συμπεριφορές φωτισμού. Οι στόχοι που εξυπηρετούν αυτές οι νέες εφαρμογές φωτισμού ποικίλουν όπως για παράδειγμα η εξοικονόμηση ενέργειας, η ενίσχυση της αισθητικής εμπειρίας ή η χρήση του φωτός ως φορέα νοήματος (Magielse, 2014).

Μία από τις βασικές ιδέες που βρίσκεται πίσω από την εφαρμογή του δυναμικού φωτισμού είναι ότι ένας δυναμικός φωτισμός, με προσεκτικά σχεδιασμένες χρονικές μεταβολές, θα μπορούσε να επιφέρει ταυτόχρονα βελτίωση της απόδοσης και μείωση της καταπόνησης (Izsó, 2009). Κατάλληλα χρονισμένες μεταβολές της έντασης φωτισμού ή των φασματικών χαρακτηριστικών του φωτός ενδέχεται να λειτουργούν ως περιοδικά ερεθίσματα και να συμβάλουν στη διατήρηση του επιπέδου ενεργοποίησης των χρηστών, το οποίο θα μειωνόταν υπό σταθερές και μονότονες συνθήκες (Izsó, 2009).

Έχει διαπιστωθεί ότι η στάθμη και η φασματική σύνθεση του φωτός μπορούν, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να επηρεάσουν την εγρήγορση, τη διάθεση, την οπτική και γνωστική απόδοση, τον ύπνο και την εμπειρία του φωτιζόμενου περιβάλλοντος. Αυτές οι διαπιστώσεις αιτιολογούν τη διερεύνηση δυναμικών εφαρμογών φωτισμού, αλλά δεν αποδεικνύουν από μόνες τους ότι κάθε δυναμικό σύστημα λειτουργεί θετικά για την απόδοση, τη διάθεση ή την ευεξία. Ειδικότερα, οι Choi και Suk (2016) διερεύνησαν την επίδραση διαφορετικών συσχετισμένων θερμοκρασιών χρώματος στις φυσιολογικές και συμπεριφορικές αποκρίσεις μαθητών. Έτσι, πρότειναν ένα δυναμικό σύστημα προκαθορισμένων ρυθμίσεων με τρεις προκαθορισμένες ρυθμίσεις φωτισμού —3500K, 5000K και 6500K— για την υποστήριξη δραστηριοτήτων διαφορετικής έντασης *Easy mode*: Διάλειμμα/ χαλάρωση/κοινωνική αλληλεπίδραση, *Standard mode*: Συνήθεις μαθησιακές δραστηριότητες χωρίς αυξημένη απαίτηση συγκέντρωσης και *Intensive mode*: για εντατικές μαθησιακές δραστηριότητες που απαιτούν αυξημένη συγκέντρωση και γνωστική απόδοση. Η μελέτη τους δείχνει πώς ευρήματα σχετικά με την επίδραση συγκεκριμένων συνθηκών φωτισμού μπορούν να αξιοποιηθούν για τον σχεδιασμό ενός συστήματος που προσαρμόζει τον φωτισμό στο είδος της δραστηριότητας.

Σε σχολικά περιβάλλοντα έχουν επίσης εξεταστεί διαφορετικές εφαρμογές δυναμικού φωτισμού. Οι έρευνες έχουν αναφέρει μεταβολές στην ταχύτητα ανάγνωσης και στα λάθη, στη συγκέντρωση, στην κινητική ανησυχία και στην κοινωνική συμπεριφορά των μαθητών (Mott et al., 2012, Barkmann et al., 2012, Slegers et al., 2013· Wessolowski et al., 2014).

Η μελέτη των Zhang et al., 2020, έγινε με δεκαπέντε συμμετέχοντες που εργάστηκαν επί τέσσερις μήνες σε τρεις πειραματικούς χώρους γραφείων και εκτέθηκαν σε δύο στατικές και δύο δυναμικές συνθήκες φωτισμού. Τα σενάρια δυναμικού φωτισμού περιλάμβαναν προκαθορισμένες ημερήσιες μεταβολές της στάθμης φωτισμού και της CCT. Υπό τις δυναμικές συνθήκες καταγράφηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της υποκειμενικής εγρήγορσης κατά τις απογευματινές ώρες, καθώς και οριακά θετική επίδραση στη διάθεση. Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές

ως προς το ψυχικό στρες, την παραγωγικότητα, την οπτική άνεση και την αντιλαμβανόμενη φυσικότητα του φωτισμού. Ως προς τις νυχτερινές επιδράσεις μετά την ημερήσια έκθεση, διαπιστώθηκε μείωση της υποκειμενικά αξιολογούμενης ποιότητας και διάρκειας του ύπνου. Τα ευρήματα αναδεικνύουν ότι ένα δυναμικό σενάριο μπορεί να παρουσιάζει θετική επίδραση σε μία μεταβλητή και συγχρόνως αρνητική ή μη σημαντική επίδραση σε άλλες. Οι ίδιοι οι μελετητές επισημαίνουν ότι απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της χρονικής κατανομής της έκθεσης, της στάθμης φωτισμού στο επίπεδο των ματιών και της φασματικής σύνθεσης του φωτός. Εξετάζουν, μεταξύ άλλων, το ενδεχόμενο αύξησης των επιπέδων φωτισμού και της CCT κατά τις πρωινές ώρες ή καθυστέρησης της απογευματινής τους μείωσης.

Σε σειρά πειραματικών ερευνών, ο Izsó και οι συνεργάτες του διερεύνησαν την επίδραση διαφορετικών φωτεινών και δυναμικά μεταβαλλόμενων συνθηκών στην οπτική απόδοση, στις υποκειμενικές αξιολογήσεις και στις ψυχοφυσιολογικές αποκρίσεις ηλικιωμένων χρηστών, με στόχο την ανάπτυξη ενός προσαρμοζόμενου συστήματος φωτισμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόκριση στον δυναμικό φωτισμό δεν ήταν ομοιόμορφη για όλους τους συμμετέχοντες. Επομένως, αναδεικνύεται η σημασία των ατομικών χαρακτηριστικών κατά τον σχεδιασμό προσαρμοζόμενων συστημάτων φωτισμού (Izsó, 2009 και Izsó, Laufer & Suplicz, 2009).

Η αυτόματη προσαρμογή του φωτισμού δεν λειτουργεί πάντα θετικά από όλους τους χρήστες. Όταν οι μεταβολές δεν είναι προβλέψιμες, δεν ανταποκρίνονται στις ανάγκες τους ή δεν υπάρχει η δυνατότητα παρέμβασης, μπορεί να προκληθεί η αίσθηση απώλειας ελέγχου και κατά συνέπεια, ενόχληση ή δυσφορία (Laushkina & Roslyakova, 2020). Επομένως, η δυνατότητα προσωπικού ελέγχου του φωτισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα αποδοχής του συστήματος φωτισμού.

Η δυνατότητα δυναμικής μεταβολής των παραμέτρων του φωτισμού μπορεί να αξιοποιηθεί για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων και των οπτικών, βιολογικών και ψυχολογικών αναγκών των χρηστών. Ωστόσο, η ύπαρξη μεταβαλλόμενων συνθηκών που προσφέρει ένα σύστημα δυναμικού φωτισμού δεν καθιστά από μόνη της ένα

σύστημα ανθρωποκεντρικό. Ο ανθρωποκεντρικός χαρακτήρας του εξαρτάται από τους στόχους του σχεδιασμού, τις ανάγκες που λαμβάνονται υπόψη, τον τρόπο ελέγχου και προσαρμογής, καθώς και από την αξιολόγηση των επιδράσεών του στους χρήστες. Ενδεικτικά, οι Choi και Suk (2016) αναφέρουν ότι το δυναμικό σύστημα φωτισμού που προτείνουν θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για τον σχεδιασμό ενός ανθρωποκεντρικού συστήματος ελέγχου σε ένα έξυπνο μαθησιακό περιβάλλον.

Ολοκληρώνοντας την ενότητα, εξάγεται το σημαντικό συμπέρασμα ότι ο δυναμικός φωτισμός δεν επιδρά αυτομάτως θετικά ούτε ομοιόμορφα σε όλους τους χρήστες. Η επίδραση του μπορεί να εξαρτάται από τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια της έκθεσης, τη στάθμη και τη φασματική σύνθεση του φωτός, την ταχύτητα και το μέγεθος των μεταβάσεων, τα ατομικά χαρακτηριστικά των χρηστών, τη δυνατότητα προσωπικού ελέγχου, καθώς και το είδος της δραστηριότητας και του χώρου. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγησή του δεν πρέπει να βασίζεται μόνο στο γεγονός ότι το φως μεταβάλλεται, αλλά στο αν η συγκεκριμένη μεταβολή είναι κατάλληλη για τον χρήστη, τον επιδιωκόμενο στόχο και το πλαίσιο εφαρμογής.

2.2 Δυναμικά φωτιζόμενο περιβάλλον

2.2.1 Ορισμός

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης ως **δυναμικό φωτιζόμενο περιβάλλον** μπορεί να χαρακτηριστεί ένα περιβάλλον στο οποίο οι παράμετροι φωτισμού μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Οι μεταβολές μπορεί να αφορούν την ένταση φωτισμού, τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και τη φασματική κατανομή του φωτός ή συνδυασμό αυτών (Kompier et al., 2020). Επίσης, σε ορισμένες εφαρμογές μπορούν να μεταβάλλονται η χωρική και η κατευθυντική κατανομή του φωτός, όπως η αναλογία άμεσου και διάχυτου φωτισμού ή ο φωτισμός διαφορετικών περιοχών και επιφανειών του χώρου (Hansen et al., 2022). Ακόμα, οι μεταβολές μπορεί να είναι σταδιακές ή απότομες, περιοδικές ή μη περιοδικές και να προκύπτουν από τις φυσικές μεταβολές του φυσικού φωτός ή την ανταπόκριση στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, από προκαθορισμένα σενάρια φωτισμού, από αυτοματοποιημένα ή προσαρμοστικά συστήματα ελέγχου, καθώς και από την άμεση παρέμβαση των χρηστών.

Οι μεταβολές αυτές μπορούν να εξυπηρετούν διαφορετικούς στόχους, όπως την υποστήριξη της οπτικής απόδοσης και άνεσης, την προσαρμογή του φωτισμού στη δραστηριότητα και στις ανάγκες των χρηστών, την εξοικονόμηση ενέργειας, την υποστήριξη της λειτουργίας του κικκάδιου ρυθμού ή τη διαμόρφωση της ατμόσφαιρας και της εμπειρίας του χώρου. Ωστόσο, η μεταβλητότητα του φωτισμού δεν συνεπάγεται από μόνη της την επίτευξη των παραπάνω στόχων αλλά εξαρτάται από την αντιστοίχιση του εκάστοτε σεναρίου φωτισμού με τον επιδιωκόμενο στόχο, τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια της έκθεσης, τη δραστηριότητα, τα χαρακτηριστικά του χώρου και τις ανάγκες των χρηστών.

Δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα μπορούν να διαμορφωθούν σε κατοικίες, χώρους εργασίας, εκπαίδευσης και υγειονομικής περίθαλψης, καθώς και σε εμπορικούς, πολιτιστικούς και δημόσιους υπαίθριους χώρους ή στο οδικό δίκτυο κ.λπ.

2.2.2 Συστήματα ελέγχου φωτισμού

Προϋπόθεση για τη λειτουργία των συστημάτων δυναμικού φωτισμού είναι η χρήση συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Αυτά επιτρέπουν την προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος ανάλογα με τους στόχους που επιδιώκονται σε κάθε περίπτωση εφαρμογής λύσεων αρχιτεκτονικού φωτισμού. Με τη βοήθεια προηγμένων τεχνολογιών φωτισμού και στρατηγικών ελέγχου, ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να μιμείται τις ημερήσιες μεταβολές του φυσικού φωτός (Zhang κ.ά., 2020), να προσαρμόζεται στις ανάγκες των χρηστών ανάλογα με τις δραστηριότητες τους (εργασία σε υπολογιστή κ.λπ.), στην διαμόρφωση της συμπεριφοράς τους (π.χ. αυξημένες απαιτήσεις απόδοσης κ.λπ.) ή ακόμα και στη δημιουργία διαφορετικής ατμόσφαιρας φωτισμού για την επίδραση στην υποκειμενική αντίληψη του.

Τα συστήματα δυναμικού φωτισμού περιλαμβάνουν *αισθητήρες παρουσίας, αισθητήρες φυσικού φωτισμού, συστήματα προσωπικού ελέγχου*, όπως ρυθμιστές έντασης (dimmers) ή συστήματα ρύθμισης της θερμοκρασίας χρώματος κ.λπ. Τα περισσότερα υφιστάμενα συστήματα φωτισμού επικεντρώνονται κυρίως στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας αυτόματα τον φωτισμό ανάλογα με την παρουσία ή τη θέση του χρήστη ή ρυθμίζοντας την φωτεινή ροή μέσω

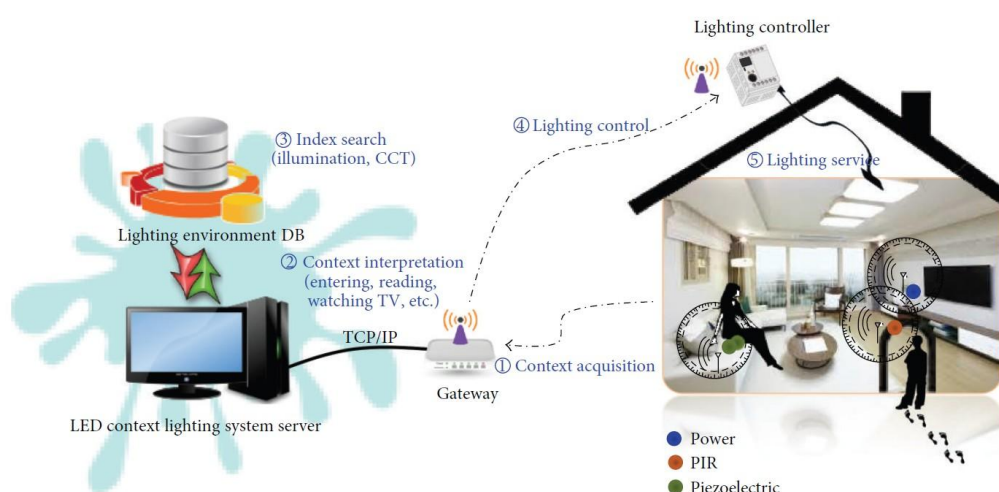
dimming ανάλογα με την ποσότητα φυσικού φωτός που εισρέει στο χώρο. Ωστόσο, όταν απαιτείται προσαρμογή της θερμοκρασίας χρώματος σύμφωνα με τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη, είναι συνήθως αναγκαίος ο άμεσος χειρισμός μέσω συσκευών ελέγχου, όπως τηλεχειριστήριο, εφαρμογή κινητού ή άλλης συσκευής ελέγχου, γεγονός που προκαλεί δυσχέρεια και μειώνει την ευκολία χρήσης (Sung & Lin, 2013). Στόχος των προηγμένων συστημάτων δυναμικού φωτισμού είναι να αναγνωρίζουν τη συναισθηματική κατάσταση, τη θέση και τη δραστηριότητα του χρήστη παρέχοντας το βέλτιστο φωτεινό περιβάλλον εξασφαλίζοντας ευκολία, άνεση και ταυτόχρονα ενεργειακή απόδοση (Kwon, Im & Lim, 2014).

Οι Kwon, Im & Lim (2014) πρότειναν την ανάπτυξη ενός συστήματος δυναμικού φωτισμού LED προσαρμοσμένο στο πλαίσιο χρήσης για κατοικίες το οποίο αναγνωρίζει τη θέση, τις δραστηριότητες και την συμπεριφορά του χρήστη και δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες φωτισμού. Στην Εικόνα 4, φαίνεται η λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος που περιλαμβάνει πέντε στάδια επεξεργασίας:

1. Η **μονάδα συλλογής δεδομένων πλαισίου (context acquisition module)** συγκεντρώνει περιοδικά δεδομένα από αισθητήρες παθητικής υπέρυθρης ακτινοβολίας PIR, πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες και αισθητήρες ηλεκτρικής ισχύος, προκειμένου να αναγνωρίσει τη θέση και τη δραστηριότητα του χρήστη.
2. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μεταφέρονται μέσω της πύλης επικοινωνίας (gateway) στον **διακομιστή του συστήματος φωτισμού LED (LED context lighting system server)**. Εκεί χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το πλαίσιο χρήσης, δηλαδή τη θέση και τη δραστηριότητα του χρήστη.
3. Στη **βάση δεδομένων** βρίσκονται αποθηκευμένοι οι δείκτες φωτεινού περιβάλλοντος στους οποίους ανατρέχει το σύστημα έτσι ώστε να δημιουργηθεί η κατάλληλη φωτεινή συνθήκη. Οι δείκτες περιλαμβάνουν τις επιθυμητές τιμές έντασης φωτισμού και θερμοκρασίας χρώματος, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά ρύθμισης της φωτεινής ροής των LED.

4. Δημιουργία των πακέτων δεδομένων που περιέχουν τις εντολές ελέγχου του φωτισμού και αποστέλλονται μέσω της πύλης επικοινωνίας στον **ελεγκτή φωτισμού (Lighting control)**.

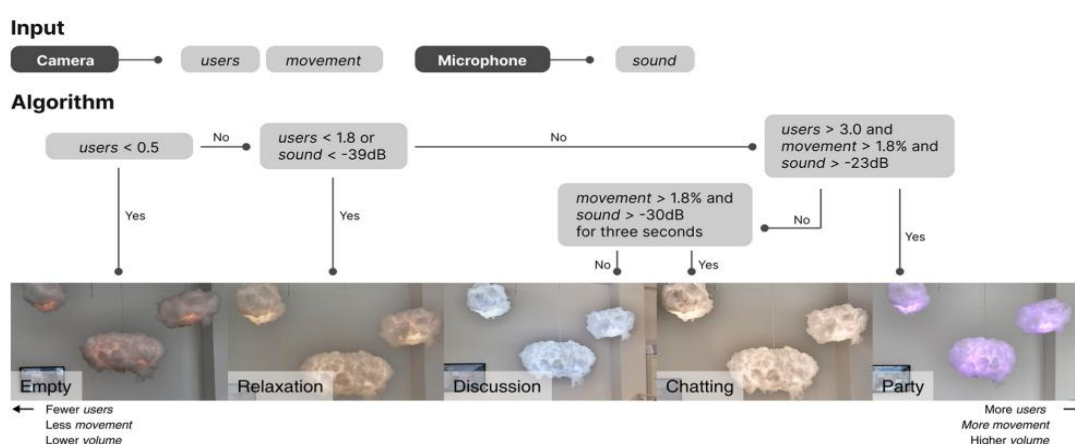
5. Δημιουργία του κατάλληλου φωτιζόμενου περιβάλλοντος, ανάλογα με το εκάστοτε πλαίσιο στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης.



Εικόνα 5. Σχηματική απεικόνιση συστήματος φωτισμού LED για χρήση κατοικίας.
Πηγή Εικόνας: Kwon, Im & Lim (2014)

Τα αποτελέσματα της μελέτης των Laushkina & Roslyakova (2020) έδειξαν ότι είναι εφικτή η ανάπτυξη ευφών προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού, τα οποία συνδυάζουν τεχνικές αυτοματοποίησης, τεχνητής νοημοσύνης και πολυτροπικής επεξεργασίας δεδομένων, ώστε να αξιολογούν αξιόπιστα την ψυχοσυναισθηματική κατάσταση ομάδων χρηστών. Η πλέον κατάλληλη προσέγγιση για τη συλλογή πολυτροπικών δεδομένων προτείνεται να βασίζεται στη χρήση ηχητικών και οπτικών καναλιών, μέσω μικροφώνων και καμερών. Η συνεχής καταγραφή επιτρέπει την ακριβέστερη εκτίμηση της συναισθηματικής κατάστασης των χρηστών, αποφεύγοντας τα σφάλματα που προκύπτουν από τη στατική αποτύπωση μιας στιγμιαίας εικόνας.

Στην μελέτη των Kim, Yi & Suk (2025) προτείνεται ένα σύστημα δυναμικού φωτισμού “context-aware lighting”¹³ για χώρους ανάπαυσης γραφείων. Το σύστημα αποτελείται από πέντε προκαθορισμένα σενάρια φωτισμού τα οποία βασίζονται στη συμπεριφορά των χρηστών: α. Κενός χώρος, β. Χαλάρωση, γ. Συζήτηση, δ. Κοινωνική συνομιλία και ε. Εκδήλωση ή συγκέντρωση ατόμων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, με βάση τις πέντε λύσεις, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος, χρησιμοποιώντας κάμερα και μικρόφωνο, ανιχνεύει τον αριθμό των χρηστών, την κίνησή τους και την ένταση του παραγόμενου ήχου και, βάσει αυτών των δεδομένων, προτείνει τις κατάλληλες ρυθμίσεις φωτισμού.



Εικόνα 6. Λειτουργία του αλγορίθμου ελέγχου φωτισμού Πηγή Εικόνας: Kim, Yi & Suk ,2025.

Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διερευνηθούν οι πιθανές συγκρούσεις που μπορούν να προκύψουν μεταξύ διαφορετικών πλαισίων χρήσης καθώς και η αντιμετώπισή τους, όταν δύο ή περισσότεροι χρήστες βρίσκονται ταυτόχρονα στην ίδια ζώνη φωτισμού και έχουν διαφορετικές ανάγκες ή εκτελούν διαφορετικές οπτικές δραστηριότητες.

¹³Σύστημα φωτισμού που λειτουργεί με βάση ένα πλαίσιο χρήσης του χώρου, συλλέγοντας πληροφορίες από το περιβάλλον και προσαρμόζοντας αυτόματα τη λειτουργία στις επικρατούσες συνθήκες και στη συμπεριφορά των χρηστών.

2.2.3 Μηχανισμοί δημιουργίας δυναμικά φωτιζόμενου περιβάλλοντος και παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και την λειτουργία του.

Τα συστήματα δυναμικού φωτισμού επιτρέπουν την προγραμματισμένη¹⁴ ή προσαρμοζόμενη¹⁵ μεταβολή μιας ή περισσότερων παραμέτρων του φωτιζόμενου περιβάλλοντος, όπως της έντασης φωτισμού στο επίπεδο εργασίας ή στο επίπεδο των ματιών, της φασματικής κατανομής και της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος. Η λειτουργία των συστημάτων δυναμικού φωτισμού μπορεί να ακολουθεί προκαθορισμένα ημερήσια ή εποχικά σενάρια ή να προσαρμόζεται δυναμικά στη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός, στο είδος της δραστηριότητας, στην παρουσία των χρηστών και στις προσωπικές τους προτιμήσεις.

Για να μπορέσει να λειτουργήσει ο δυναμικός φωτισμός σε ένα περιβάλλον, λειτουργούν διαφορετικοί μηχανισμοί ενεργοποίησης του. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια να αναπτυχθούν οι διαφορετικές λειτουργίες των συστημάτων δυναμικού φωτισμού, που μπορεί να λειτουργούν μεμονωμένα ή και συνδυαστικά.

Σύστημα δυναμικού φωτισμού με επιλογή σεναρίου χειροκίνητα ανάλογα με την δραστηριότητα

Η πιο απλή μορφή συστήματος δυναμικού φωτισμού είναι η δημιουργία προκαθορισμένων σεναρίων φωτισμού, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία δραστηριότητα. Η επιλογή του κατάλληλου σεναρίου γίνεται χειροκίνητα από τον χρήστη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Mott, Robinson, Walden, Burnette & Rutherford (2012) στην οποία χρησιμοποιήθηκε ένα δυναμικό σύστημα φωτισμού σχολικής αίθουσας με τέσσερα σενάρια: α. *Normal*, για συνήθεις δραστηριότητες διδασκαλίας, β. *Focus*, για εργασίες που απαιτούν συγκέντρωση, όπως

¹⁴ Η προγραμματισμένη μεταβολή ακολουθεί ένα προκαθορισμένο χρονικό σενάριο. Οι τιμές του φωτισμού ορίζονται εκ των προτέρων και μεταβάλλονται συγκεκριμένες ώρες, ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν κάθε στιγμή στον χώρο. Το σύστημα εκτελεί το ίδιο πρόγραμμα καθημερινά ή ακολουθεί προκαθορισμένα προγράμματα ανάλογα με την ημέρα και την εποχή.

¹⁵ Η προσαρμοζόμενη μεταβολή δεν εξαρτάται αποκλειστικά από ένα προκαθορισμένο χρονικό σενάριο. Το σύστημα μεταβάλλει τον φωτισμό ανταποκρινόμενο σε δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο, όπως: η ποσότητα του διαθέσιμου φυσικού φωτός, η παρουσία ή απουσία χρηστών, το είδος της δραστηριότητας, οι προτιμήσεις ή οι εντολές των χρηστών, δεδομένα από αισθητήρες ή συστήματα διαχείρισης του κτιρίου.

εξετάσεις, γ. *Energy*, για περιόδους μειωμένης ενεργητικότητας, κυρίως το πρωί ή μετά το γεύμα και δ. *Calm*, για ομαδικές δραστηριότητες, συνεργασία ή ηρεμία υπερδραστήριων μαθητών. Σε αυτήν την εφαρμογή η επιλογή του κατάλληλου σεναρίου γίνεται από τον εκπαιδευτικό, χειροκίνητα μέσω πίνακα ελέγχου. Η δραστηριότητα δεν αναγνωρίζεται αυτόματα από το σύστημα, ο χρήστης προσαρμόζει δυναμικά τον φωτισμό στη δραστηριότητα επιλέγοντας ένα προκαθορισμένο σενάριο.

Σύστημα δυναμικού φωτισμού με αυτόματη αναγνώριση της δραστηριότητας

Πιο σύγχρονες εφαρμογές δυναμικού φωτισμού χρησιμοποιούν αισθητήρες και αλγόριθμους για να αναγνωρίσουν τη χρήση του χώρου και να μεταβούν αυτόματα στο κατάλληλο σενάριο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το σύστημα δυναμικού φωτισμού για χώρους ανάπαυσης γραφείων, που αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.2.2. *Συστήματα ελέγχου φωτισμού*. Παρόμοια λογική μπορεί να εφαρμοστεί και σε συστήματα δυναμικού φωτισμού για κατοικίες με αισθητήρες να αναγνωρίζουν την παρουσία, τη θέση και τις δραστηριότητες του χρήστη.

Σύστημα δυναμικού φωτισμού με χρονική προσαρμογή

Το σύστημα δυναμικού φωτισμού με χρονική προσαρμογή μεταβάλλει τις συνθήκες φωτισμού βάσει του χρόνου, ακολουθώντας **χρονικά μεταβαλλόμενα σενάρια**. Οι μεταβολές αφορούν κυρίως τη στάθμη φωτισμού και τη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και επιδιώκουν να προσεγγίσουν ορισμένα χαρακτηριστικά της ημερήσιας πορείας του φυσικού φωτός και να υποστηρίξουν τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών. Ενδεικτικά, μπορούν να εφαρμόζονται υψηλότερες στάθμες και ψυχρότερες αποχρώσεις λευκού φωτός κατά τις πρωινές ώρες και μετά το μεσημέρι, όταν επιδιώκεται η υποστήριξη της εγρήγορσης, και χαμηλότερες στάθμες με θερμότερες αποχρώσεις κατά τις ώρες ανάπαυσης ή προς το τέλος της ημέρας (Patanía et al., 2012).

Σύστημα δυναμικού φωτισμού ανταποκρινόμενο στον φυσικό φωτισμό

Το σύστημα δυναμικού φωτισμού αποκτά περιβαλλοντικά αποκρινόμενο χαρακτήρα, παρακολουθεί τις **πραγματικές μεταβολές του φυσικού φωτισμού** και προσαρμόζει

αναλόγως τον τεχνητό φωτισμό. Δηλαδή οι παράμετροι του τεχνητού φωτισμού μεταβάλλονται σε συνάρτηση με τις πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τη δυναμική του φυσικού φωτός. Η προσαρμογή του δυναμικού φωτισμού που ανταποκρίνεται στις διακυμάνσεις του φυσικού φωτός είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε γεωγραφικές περιοχές με μεγάλες μεταβολές στη διάρκεια της ημέρας, στις ώρες ανατολής και δύσης του ήλιου και στη διαθεσιμότητα του φυσικού φωτός. (Hansen, Bjørner, Xylakis & Pajuste, 2022).

Σύστημα δυναμικού φωτισμού με εποχική προσαρμογή

Η λειτουργία ενός συστήματος δυναμικού φωτισμού μπορεί να λαμβάνει υπόψη την εναλλαγή των εποχών. Η **εποχική προσαρμογή** μπορεί να αποτελέσει παράμετρο ρύθμισης των προτεινόμενων σεναρίων φωτισμού. Συγκεκριμένα, ο αριθμός διαφορετικών ρυθμίσεων δυναμικού φωτισμού μπορεί να καθορίζεται από τις διακυμάνσεις των εξωτερικών συνθηκών ανάλογα με την εποχή κι έτσι, για παράδειγμα να προτείνονται ρυθμίσεις για καλοκαίρι- φθινόπωρο- χειμώνα (Hansen et al., 2022)

Προσωπικός έλεγχος σε συστήματα δυναμικού φωτισμού

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί η ανάγκη **εξατομίκευσης των συνθηκών φωτισμού** σε ένα σύστημα δυναμικού φωτισμού. Στην διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν έρευνες στον τομέα των συστημάτων ελέγχου δυναμικού φωτισμού που επικεντρώνονται κυρίως στην αλληλεπίδραση του φωτισμού είτε με ένα χρήστη ή περισσότερους είτε με την ποσότητα εισροής φυσικού φωτός, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται δυναμικά ο φωτισμός και να προσαρμόζεται στα προκαθορισμένα σενάρια. Ωστόσο, τι συμβαίνει όταν οι χρήστες του ίδιου χώρου έχουν διαφορετικές ανάγκες φωτισμού;

Μέσω της δυνατότητας ατομικού ελέγχου, τα συστήματα δυναμικού φωτισμού μπορούν να δημιουργούν εξατομικευμένα φωτεινά περιβάλλοντα, προσαρμοσμένα στις ανάγκες των επιμέρους χρηστών. Σε έναν χώρο μπορούν να εξυπηρετούνται διαφορετικές οπτικές εργασίες, διαφορετικές εργασιακές δραστηριότητες, ανάγκες για διαφορετικές εντάσεις φωτισμού (π.χ. λόγω ηλικίας), ακόμα και διαφορετικές ανάγκες

κιρκάδιας διέγερσης. Ένας προτεινόμενος τρόπος, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εξατομίκευσης των ρυθμίσεων φωτισμού, είναι ο γενικός φωτισμός (diffuse ambient lighting) να λειτουργεί δυναμικά, όπως έχει προγραμματιστεί και ο ειδικός φωτισμός (task lighting) να επιλέγεται ατομικά από τον κάθε χρήστη (Hansen et al., 2022).

2.2.4 Περιπτώσεις εφαρμογής δυναμικού φωτισμού

Στη συνέχεια, αναφέρονται συνοπτικά διαφορετικές χρήσης κτιρίων στις οποίες μπορεί να εφαρμοστούν δυναμικά συστήματα φωτισμού.

Εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης

Ο σχεδιασμός του φωτισμού χώρων υγειονομικής περίθαλψης είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία καθώς αφενός μεν αποτελείται από χώρους που προορίζονται για την θεραπεία των ασθενών και αφετέρου σε αυτούς τους χώρους καλείται να εργαστεί το προσωπικό και άρα πρέπει να εξασφαλίζονται τα απαραίτητα επίπεδα φωτισμού ώστε να εκτελούνται οι εργασίες (Χούτου, 2021) .

Στις εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, ο δυναμικός φωτισμός εφαρμόζεται κυρίως με στόχο την υποστήριξη του κύκλου ύπνου/ αφύπνισης και τη βελτίωση της εμπειρίας των ασθενών. Η περιορισμένη πρόσβαση στο φυσικό φως, η παρατεταμένη παραμονή σε εσωτερικούς χώρους και η έκθεση σε τεχνητό φωτισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορούν να αποδυναμώσουν τις χρονικές ενδείξεις που συμβάλλουν στον συγχρονισμό του κιρκάδιου συστήματος.

Μέσω της διαφοροποίησης της φωτεινότητας και της φασματικής σύνθεσης κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, ένα δυναμικό σύστημα μπορεί να παρέχει ισχυρότερες φωτεινές ενδείξεις την ημέρα και χαμηλότερη κιρκάδια διέγερση τις βραδινές και νυχτερινές ώρες. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υποστηρίξει τον προσανατολισμό των ασθενών στον χρόνο, τη ρύθμιση του ύπνου και της εγρήγορσης και, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, τη μείωση της έντασης ή του στρες (Ozenen, 2023).

Παράλληλα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες του ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού. Ένα φωτεινό περιβάλλον που είναι κατάλληλο για την ανάπαυση των ασθενών ενδέχεται να μην επαρκεί για την ασφαλή εκτέλεση ιατρικών πράξεων.

Συνεπώς, ενδέχεται να είναι προτιμότερος ο συνδυασμός γενικού δυναμικού φωτισμού με τοπικό φωτισμό εργασίας με δυνατότητα ατομικής ρύθμισης.

Σχολεία και χώροι εκπαίδευσης

Η εφαρμογή συστημάτων δυναμικού φωτισμού στα σχολεία και στους εκπαιδευτικούς χώρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή του φωτεινού περιβάλλοντος στις διαφορετικές δραστηριότητες της σχολικής ημέρας για να υποστηρίξει τη μαθησιακή διαδικασία μέσω της βελτίωσης της εγρήγορσης, της εστίασης της προσοχής, της παρακίνησης, της συγκέντρωσης και της απόδοσης. Για παράδειγμα, για δραστηριότητες που απαιτούν *συγκέντρωση* το αντίστοιχο σενάριο μπορεί να περιλαμβάνει υψηλότερη ένταση φωτισμού και υψηλότερη συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος, ενώ ηπιότερες συνθήκες μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια συζητήσεων, διαλειμμάτων ή δραστηριοτήτων χαλάρωσης.

Σε έρευνα των Mott et al. (2012) διαπιστώθηκε ότι ένα σενάριο φωτισμού “*συγκέντρωσης*” συνδέθηκε με μεγαλύτερη βελτίωση της επίδοσης των μαθητών στην προφορική ανάγνωση σε σύγκριση με τον συνήθη στατικό φωτισμό. Ωστόσο, δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές επιδράσεις στη συγκέντρωση και στην παρακίνηση. Τα αποτελέσματά του φαίνεται να εξαρτώνται από την ηλικία των μαθητών, το είδος και τη διάρκεια της δραστηριότητας, την ώρα της ημέρας, την παρουσία φυσικού φωτισμού κ.λπ.

Χώροι εργασίας

Στους χώρους εργασίας η εφαρμογή συστημάτων δυναμικού φωτισμού έχει διερευνηθεί ως παράγοντας υποστήριξης της εγρήγορσης, της συγκέντρωσης, της εργασιακής δέσμευσης, της μείωση της κόπωσης και του στρες, της βελτίωσης της παραγωγικότητας και της οπτικής άνεσης. Η συγχρονισμένη μεταβολή του φωτιζόμενου περιβάλλοντος με την μεταβολή του φυσικού φωτός προσφέρει μια δυναμική στη ατμόσφαιρα του χώρου με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως περιβαλλοντικό ερέθισμα. Παράλληλα, ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να σηματοδοτεί διαφορετικές δραστηριότητες ή ρυθμούς εργασίας ή χαλάρωσης.

Σε μελέτη των Zhang et al (2020) ο δυναμικός φωτισμός συσχετίστηκε με αύξηση της εγρήγορσης κατά τις απογευματινές ώρες και με οριακή θετική επίδραση στη διάθεση. Ωστόσο, τα αποτελέσματα ως προς τις εξεταζόμενες συμπεριφορικές και φυσιολογικές μεταβλητές ήταν είτε θετικά είτε μικτά και, επομένως, δεν αποδεικνύουν μια γενική θετική επίδραση. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ως προς το ψυχικό στρες, την παραγωγικότητα, την οπτική άνεση ή την αντιλαμβανόμενη φυσικότητα του φωτισμού σε σχέση με συνήθεις εφαρμογές στατικού φωτισμού.

Αντίστοιχα, οι de Kort και Smolders (2009) δεν διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές μεταξύ δυναμικού και στατικού φωτισμού ως προς την ανάγκη αποκατάστασης, την εγρήγορση, τη ζωτικότητα, την ποιότητα του ύπνου ή την υποκειμενικά αξιολογούμενη απόδοση. Οι εργαζόμενοι, ωστόσο, δήλωσαν μεγαλύτερη ικανοποίηση από τον δυναμικό φωτισμό. Αυτό δείχνει ότι η προτίμηση ή η θετική αξιολόγηση ενός φωτεινού περιβάλλοντος δεν συνεπάγεται απαραίτητα αντίστοιχη μεταβολή της απόδοσης ή των φυσιολογικών δεικτών.

Συνολικά, φαίνεται ότι η εφαρμογή δυναμικού φωτισμού στους χώρους εργασίας μπορεί εν δυνάμει να λειτουργήσει ως εργαλείο διαμόρφωσης της συμπεριφοράς, όχι αποκλειστικά μέσω του κερκάρδιου μηχανισμού αλλά και μέσω της αντιλαμβανόμενης ατμόσφαιρας του χώρου, της ικανοποίησης και της εργασιακής δέσμευσης.

Λοιπές περιπτώσεις

Μια ακόμη σημαντική κατηγορία εφαρμογής είναι οι μονάδες φροντίδας ηλικιωμένων και ατόμων με άνοια. Σε αυτές, ο δυναμικός φωτισμός αποσκοπεί στη βελτίωση της ευεξίας και του ημερήσιου- νυχτερινού ρυθμού των ενοίκων και την υποστήριξη των επαγγελματιών φροντίδας κατά την εκτέλεση των καθημερινών τους καθηκόντων (Aarts, Aries, Straathof, & van Hoof, 2015) & Baandrup & Jennum, 2021).

Συστήματα δυναμικού φωτισμού εφαρμόζονται επίσης σε κατοικίες, ξενοδοχεία, χώρους εστίασης, πολιτιστικούς χώρους, καταστήματα όψεις κτιρίων κ.λπ. Στις περιπτώσεις αυτές, η μεταβολή του φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία διαφορετικής ατμόσφαιρας, την ανάδειξη αντικειμένων ή αρχιτεκτονικών

στοιχείων, την κατεύθυνση της προσοχής και την υποστήριξη συγκεκριμένων δραστηριοτήτων. Ένα ζήτημα που μπορεί να προκύψει είναι η ηθική ενός συστήματος δυναμικού φωτισμού, ως προς τον τρόπο και το λόγο που θα χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, σε καταστήματα λιανικού εμπορίου μπορεί να επιδράσει στην ανθρώπινη συμπεριφορά διαμορφώνοντας καταναλωτικές συνήθειες. Οι εφαρμογές αυτές συνδέονται άμεσα με την εξέταση του δυναμικού φωτισμού ως εργαλείου διαμόρφωσης συμπεριφοράς, αλλά εγείρουν παράλληλα ζητήματα διαφάνειας, χειριστικής επιρροής και δυνατότητας ελέγχου από τον χρήστη.

3. Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός φωτισμού γραφειακών χώρων

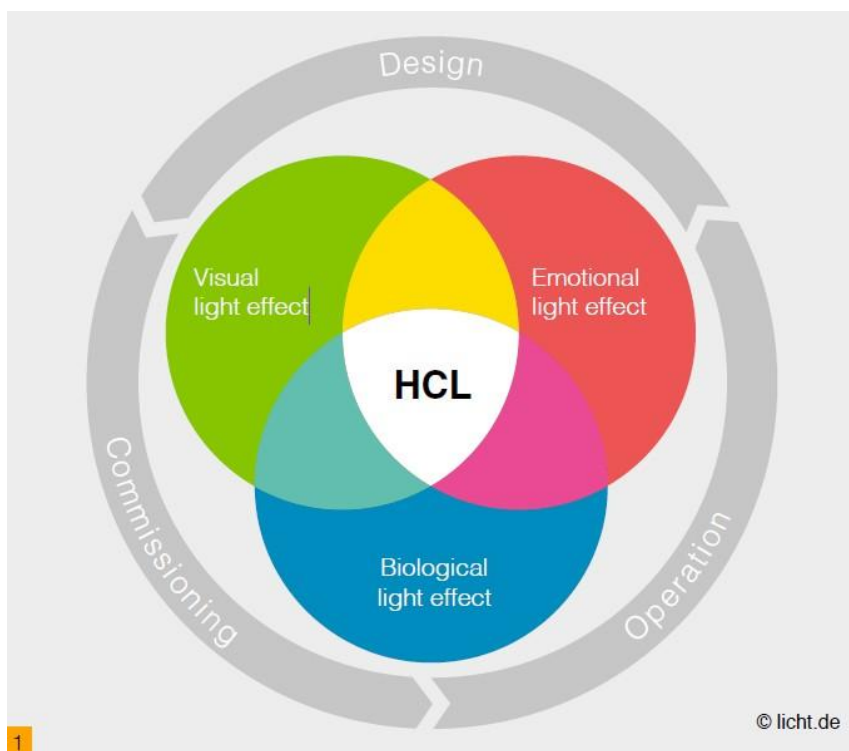
Οι χώροι γραφείων είναι περιβάλλοντα που συχνά εμποδίζουν τους εργαζόμενους να αντιληφθούν την ημερήσια μεταβολή του φυσικού φωτός, καθώς ενδέχεται η πρόσβαση στο φυσικό φως να είναι περιορισμένη. Παράλληλα, ο τεχνητός φωτισμός που χρησιμοποιείται στους χώρους εργασίας έχει λύσει το πρόβλημα της ανεπάρκειας του φυσικού φωτισμού και έχει επεκτείνει τις ώρες εργασίας. Ωστόσο, όταν η ένταση φωτισμού, η φασματική σύνθεση του και ο χρόνος έκθεσης σε αυτόν δεν είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες των χρηστών είναι πιθανόν να διαταράσσεται ο κirkάδιος ρυθμός των εργαζομένων, η οπτική τους άνεση, η εγρήγορσή ακόμα και η διάθεσή τους. Επομένως, οι σύγχρονες προτάσεις φωτισμού των χώρων εργασίας πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις οπτικές και μη οπτικές επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο πέρα από την εξασφάλιση των επιθυμητών επιπέδων φωτισμού. Ως μια τέτοια προσέγγιση δυναμικού φωτισμού μελετάται ο Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός.

3.1 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός: Ορισμός και βασικές έννοιες

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.3 *Η επίδραση του φωτός στην ανθρώπινη λειτουργία και συμπεριφορά*, το φως έχει πολλαπλές επιδράσεις στον άνθρωπο. Οι επιδράσεις μπορεί να είναι οπτικές ή μη οπτικές (μη απεικονιστικές), συνειδητές ή ασυνειδητές, σχεδιασμένες ή τυχαίες. Η επίδραση του φωτισμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να ενσωματώνεται από την αρχή σε μία μελέτη φωτισμού, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες των χρηστών, υποστηρίζοντας τις δραστηριότητές τους και συμβάλλοντας στην διατήρηση της καλής τους υγείας. Στην Εικόνα 7, φαίνονται οι τρεις επιδράσεις του φωτός, η οπτική, η βιολογική και η συναισθηματική, στις οποίες επικεντρώνεται η προσέγγιση του HCL (licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL), 2018).

Ο Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός (*Human Centric Lighting- HCL*) είναι μία προσέγγιση στον σχεδιασμό φωτισμού η οποία εξετάζει συνολικά τις οπτικές και μη οπτικές επιδράσεις του φωτός, με στόχο την υποστήριξη της ανθρώπινης λειτουργίας, της υγείας και της ευεξίας. Δεν αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη τεχνολογία ή σε ένα

προκαθορισμένο σενάριο φωτισμού, αλλά σε μια διαδικασία σχεδιασμού που λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες των χρηστών, το είδος της δραστηριότητας, τον χώρο και τον χρόνο έκθεσης στο φως (Houser & Esposito, 2021, Ozenen, 2023) και σύμφωνα με την οποία παρέχεται το κατάλληλο φως προσαρμοσμένο στις ατομικές συνθήκες διαβίωσης και εργασίας του χρήστη σε κάθε χρονική στιγμή. Δηλαδή, στόχος του Ανθρωποκεντρικού φωτισμού είναι η εξασφάλιση του σωστού φωτισμού για κάθε ώρα της ημέρας και του έτους. Ο HCL είναι δυναμικός φωτισμός, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη πορεία του φυσικού φωτός, μέσω σταδιακής μετάβασης μεταξύ διαφορετικών σεναρίων φωτισμού.



Εικόνα 7. Οι τρεις βασικές επιδράσεις του φωτισμού σύμφωνα με την HCL προσέγγιση.
Πηγή Εικόνας: licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL), 2018.

Ο Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός ορίζεται ως εξής: “Το φως έχει πολλαπλές επιδράσεις και δρα πάντοτε — οπτικά, συναισθηματικά και βιολογικά. Ο Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός υποστηρίζει στοχευμένα και μακροπρόθεσμα την υγεία, την ευεξία και την παραγωγικότητα κάθε ανθρώπου, μέσω ενός ολιστικού σχεδιασμού και της εφαρμογής των οπτικών, συναισθηματικών και κυρίως βιολογικών επιδράσεων του φωτός” (ZVEI:

Die Elektroindustrie, 2016). Επομένως, η έννοια του HCL βασίζεται στην παραδοχή ότι το φως δεν αποτελεί απλώς μία λειτουργική απαίτηση, αλλά έχει σημαντική επίδραση στην ανθρώπινη φυσιολογία, συμπεριφορά και ψυχολογία (Ozenen, 2023).

Επειδή ο όρος HCL χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την βιομηχανία φωτισμού με διαφορετικές σημασίες, μεταξύ άλλων και στην εμπορική προώθηση προϊόντων φωτισμού, η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (CIE) εισήγαγε, τον όρο *integrative lighting* ως τον επίσημο όρο για τον φωτισμό που ενσωματώνει τόσο τις οπτικές όσο και τις μη οπτικές επιδράσεις, προσφέροντας φυσιολογικές και ψυχολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο” (CIE 2020a, term 17-29-028). Σήμερα και οι δύο όροι χρησιμοποιούνται με παρόμοια σημασία.

Κατά τον Ozenen (2023) τα βασικά χαρακτηριστικά του HCL είναι:

Δυναμικός φωτισμός. Τα συστήματα HCL προσαρμόζουν αυτόματα το χρώμα και την ένταση του φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, μιμούμενα τις φυσικές μεταβολές του φωτός ημέρας συμβάλλοντας στη ρύθμιση του κερκάδιου ρυθμού και στη βελτίωση του ύπνου.

Εξατομίκευση. Τα συστήματα μπορούν να προσαρμόζονται στις ατομικές προτιμήσεις και ανάγκες, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέγουν τις επιθυμητές συνθήκες φωτισμού.

Φωτισμός ανάλογα με την εργασία (Task-based lighting). Τα συστήματα σχεδιάζονται ώστε να παρέχουν την κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα φωτός για συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως η ανάγνωση ή η εργασία σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, περιορίζοντας την οπτική καταπόνηση και ενισχύοντας την παραγωγικότητα.

Φωτισμός χωρίς τρεμόπαιγμα. Τα συστήματα HCL θα πρέπει να ελαχιστοποιούν ή να εξαλείφουν το flicker, το οποίο μπορεί να προκαλέσει πονοκεφάλους και οπτική καταπόνηση.

Περιορισμός της θάμβωσης. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να ελαχιστοποιεί τη θάμβωση, η οποία μπορεί να προκαλέσει δυσφορία και να επηρεάσει την οπτική ικανότητα.

Ενσωμάτωση με άλλα συστήματα. Τα συστήματα HCL μπορούν να ενσωματωθούν σε άλλα συστήματα του κτιρίου, όπως HVAC και συστήματα ασφαλείας, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού κτιρίου.

Ενεργειακή αποδοτικότητα. Θα πρέπει να σχεδιάζονται με γνώμονα την ενεργειακή αποδοτικότητα, αξιοποιώντας φωτισμό LED και άλλες αποδοτικές τεχνολογίες για την εξασφάλιση της εξοικονόμησης ενέργειας και τον περιορισμό του λειτουργικού κόστους.

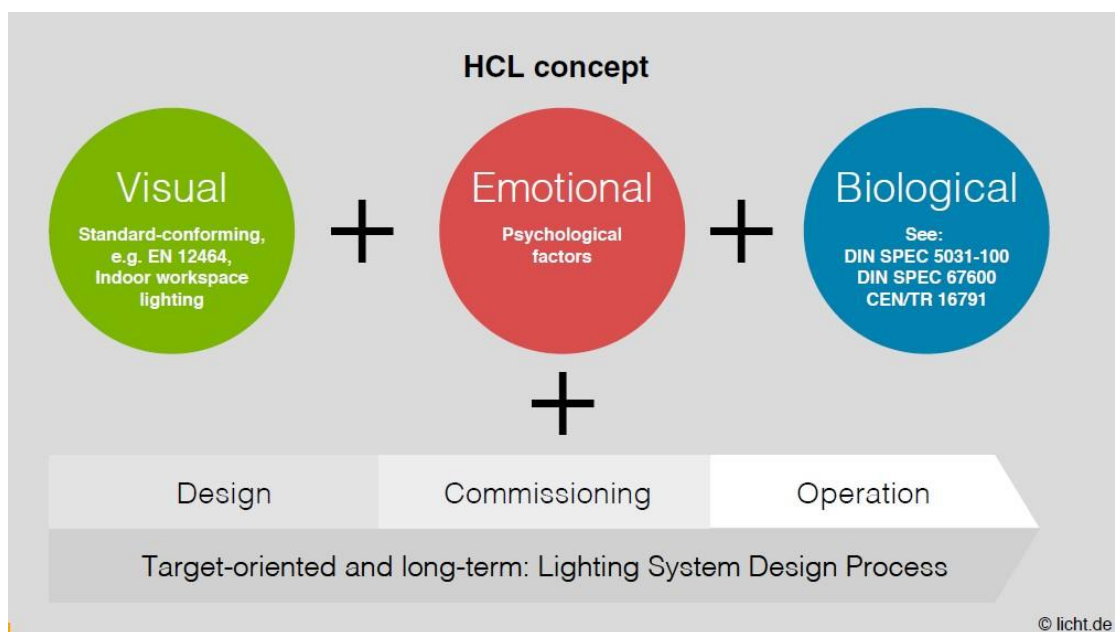
Ανατροφοδότηση από τους χρήστες. Τα συστήματα μπορούν να ενσωματώνουν την ανατροφοδότηση των χρηστών ώστε να βελτιώνουν και να προσαρμόζουν συνεχώς τη φωτεινή εμπειρία, μεγιστοποιώντας τα οφέλη για τους χρήστες.

3.2 Ανθρωποκεντρικός Σχεδιασμός Φωτισμού

Βασικό στοιχείο του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού φωτισμού είναι η ολιστική θεώρηση όλων των πιθανών επιδράσεων του φωτισμού. Ο σύγχρονος σχεδιασμός φωτισμού αποσκοπεί στην εξυπηρέτηση μιας συγκεκριμένης οπτικής εργασίας ωστόσο πέρα από αυτό λαμβάνει υπόψη τις μη οπτικές και συναισθηματικές επιδράσεις του φωτός. Αντίστροφα, ένας σχεδιασμός δεν μπορεί να βασίζεται μόνο σε συναισθηματικά ή βιολογικά κριτήρια, καθώς συνήθως θα πρέπει να διασφαλίζεται και η συμμόρφωση με τις ελάχιστες οπτικές απαιτήσεις που αναφέρονται στα κανονιστικά πλαίσια και τα πρότυπα φωτισμού.

3.2.1 Παράμετροι ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, τεκμηρίωση μελέτης και λειτουργία των συστημάτων φωτισμού

Ο HCL είναι ένας εξειδικευμένος και στοχευμένος σχεδιασμός, που λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικές επιδράσεις του φωτός σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κι έχει ως στόχο την μακροχρόνια λειτουργία ενός συστήματος φωτισμού (Εικόνα 8). Έτσι, η εφαρμογή παρόμοιων συνθηκών φωτισμού επιδρούν διαφορετικά κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τη νύχτα.



Εικόνα 8. Ανθρωποκεντρικός Φωτισμός (Human Centric Lighting – HCL) συνιστά μια στοχευμένη σχεδιαστική προσέγγιση. Πηγή Εικόνας: licht.wissen 21, 2018).

Σε εφαρμογές ανθρωποκεντρικού φωτισμού, οι οποίες ενσωματώνουν την χρονικά εξαρτώμενη επίδραση του φωτός στην σχεδιαστική τους φιλοσοφία, αξιοποιούνται τα Συστήματα Διαχείρισης Φωτισμού (Light Management Systems – LMS). Με τη χρήση αυτών των συστημάτων ελέγχονται παράμετροι όπως η στάθμη φωτισμού, η φασματική κατανομή ή η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την εφαρμογή προκαθορισμένων ή προσαρμοζόμενων σεναρίων βάσει του χρόνου, της διαθεσιμότητας φυσικού φωτός, της παρουσίας, της δραστηριότητας ή των επιλογών των χρηστών. Ο ανθρωποκεντρικός χαρακτήρας του συστήματος εξαρτάται από τους στόχους και τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται οι μεταβολές.

Η βασική μεθοδολογία για τον σχεδιασμό HCL ακολουθεί την *Διαδικασία Σχεδιασμού Συστημάτων Φωτισμού (Lighting System Design Process – LSDP)*, η οποία περιγράφεται στην τεχνική προδιαγραφή CEN/TS 17165:2018. Η τεχνική προδιαγραφή δεν αφορά αποκλειστικά τον HCL, ωστόσο καθορίζει τα στάδια και τις ευθύνες για τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση, τη θέση σε λειτουργία, τη συντήρηση και την τεκμηρίωση ενός συστήματος φωτισμού. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την παρακολούθηση των αρχικών σχεδιαστικών στόχων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του συστήματος.

Στο πλαίσιο εφαρμογής HCL φωτισμού, ο σχεδιαστής λαμβάνει υπόψη τα αρχιτεκτονικά, μορφολογικά- αισθητικά και αντιληπτικά -ψυχολογικά κριτήρια, τις προσδοκίες και τις ιδιαίτερες ανάγκες των χρηστών, το είδος και τις δυνατότητες του συστήματος φωτισμού, τη θερμοκρασία χρώματος και τη φασματική σύνθεση του φωτός, τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια έκθεσης στο φως. Συγκεντρωτικά, οι βασικές παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι σχεδιαστές που ασχολούνται με τον HCL είναι (Ozenen, 2023 και licht.wissen 21, 2018):

- **Χρήστης.** Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι οπτικές και εργασιακές απαιτήσεις καθώς και οι αναλύονται οι ιδιαίτερες ανάγκες των χρηστών ενός χώρου, όπως η ηλικία, το επίπεδο δραστηριότητας, οι πιθανές οπτικές δυσλειτουργίες.
- **Κτίριο και επιμέρους χώροι του κτιρίου.** Ειδικότερα, εξετάζονται ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του χώρου και οι λειτουργικές απαιτήσεις χρήσης

του λαμβάνοντας υπόψη την ώρα της ημέρας, τις επιφάνειες και τις ιδιότητές τους (π.χ. τιμές ανακλαστικότητας κ.λπ.), τα αντικείμενα στον χώρο (ντουλάπια, γραφεία, μηχανήματα κ.λπ.), το μέγεθος και τον προσανατολισμό των παραθύρων ή του φυσικού φωτός, τα συστήματα σκίασης, οι περιοχές με ιδιαίτερες οπτικές απαιτήσεις (π.χ. υψηλές απαιτήσεις για χρωματική απόδοση, κατεύθυνση φωτισμού), τις διαδρομές κίνησης και τον χωρικό προσανατολισμό μέσω του φωτισμού.

- **Φωτοτεχνία και αλληλεπιδράσεις.** Συγκεκριμένα, πρέπει να εξασφαλίζονται οι αναγκαίες συνθήκες οπτικής άνεσης και οπτικής απόδοσης για την αποτελεσματική εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών όπως καθορίζονται από τους κανονισμούς και τις τεχνικές προδιαγραφές (π.χ. σύμφωνα με το DIN EN 12464-1 και σύμφωνα με το DIN/TS 67600:2022-08¹⁶ κ.λπ.), η δυναμική μεταβολή της στάθμης φωτισμού ή/και της θερμοκρασίας χρώματος, η ενσωμάτωση και αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, κ.λπ.
- **Οργάνωση και έλεγχος.** Ειδικότερα, είναι απαραίτητο να αναπτύσσεται ένα σύστημα ελέγχου του συστήματος φωτισμού βασισμένο στον τρόπο χρήσης των χώρων και στο ωράριο λειτουργίας και εργασίας. Έτσι, μπορούν να σχεδιαστούν σενάρια λειτουργίας ανά ημέρα, εβδομάδα, μήνα ή έτος τα οποία μπορούν να επιλέγονται και να ενεργοποιούνται από τους χρήστες, είτε κεντρικά είτε τοπικά. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης και τροποποίησης των σεναρίων λειτουργίας καθώς και έλεγχος βάσει παρουσίας ή κίνησης των χρηστών.

Η **στρατηγική φωτισμού** του Ανθρωποκεντρικού Σχεδιασμού Φωτισμού πρέπει να τεκμηριώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την ορθή υλοποίηση και τη λειτουργία του συστήματος φωτισμού. Η τεκμηρίωση πρέπει να περιλαμβάνει φωτοτεχνικούς υπολογισμούς, τεχνικά φυλλάδια, σενάρια φωτισμού, ρυθμίσεις συστήματος και οδηγίες προς τους χρήστες και τους υπεύθυνους συντήρησης. Ειδικά

¹⁶Τεχνική προδιαγραφή στην οποία προσδιορίζονται τα μελανοτοπικά ισοδύναμα επίπεδα φωτισμού ημέρας στο επίπεδο των οφθαλμών

στα συστήματα δυναμικού φωτισμού η τεκμηρίωση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς τα θετικά αποτελέσματα από την αξιοποίηση τους δεν εξαρτώνται μόνο από την εγκατάσταση του εξοπλισμού αλλά και από τον προγραμματισμό και την ορθή λειτουργία τους. Στον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό φωτισμού παρέχεται δομημένη καθοδήγηση ώστε οι βασικές αρχές οπτικές, συναισθηματικές και βιολογικές να παρακολουθούνται μέχρι και το στάδιο της έναρξης λειτουργίας, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος φωτισμού. Αυτό ισχύει για τα κτίρια όλων των χρήσεων (σχολεία, εγκαταστάσεις υγείας, γραφεία κ.λπ.) ακόμη και των κατοικιών.

Η αποτελεσματικότητα μιας στρατηγικής δυναμικού φωτισμού που υποστηρίζει τον κιρκάδιο ρυθμό, για παράδειγμα στον χώρο εργασίας δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις συνθήκες φωτισμού στο επαγγελματικό περιβάλλον, αλλά από τις συνθήκες φωτισμού στις οποίες εκτίθεται το άτομο συνολικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για παράδειγμα, η έκθεση σε έντονο φως κατά τις βραδινές ώρες στο οικιακό περιβάλλον μπορεί να περιορίσει τα οφέλη μιας προηγούμενης μετάβασης σε θερμότερο και χαμηλότερης έντασης φωτισμό στον χώρο εργασίας, η οποία αποσκοπεί στην υποστήριξη της φυσιολογικής προετοιμασίας του οργανισμού για τον ύπνο.

Ένας ακόμα κρίσιμος παράγοντας για την ικανοποίηση των αναγκών του χρήστη, οι οποίες προσδιορίστηκαν κατά την έναρξη του σχεδιασμού, είναι η σωστή λειτουργία του δυναμικού συστήματος φωτισμού όπως αυτό σχεδιάστηκε κατά την μελέτη. Αρκετές φορές η δυσλειτουργία στο φωτισμό ενδέχεται να μην γίνει άμεσα αντιληπτή από τον χρήστη. Έτσι, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται τακτικοί έλεγχοι, συντήρηση των συστημάτων διαχείρισης του φωτισμού και έλεγχος για τη σωστή λειτουργία των δυναμικών σεναρίων φωτισμού.

3.2.2 Παράμετροι επίδρασης του φωτισμού στον Ανθρωποκεντρικό Φωτισμό και η εφαρμογή τους σε χώρους γραφείων

Για να είναι μία πρόταση φωτισμού αποτελεσματική, σύμφωνα με την προσέγγιση του Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του φωτός εξετάζοντας παράλληλα τις τρεις αλληλένδετες διαστάσεις του φωτισμού.

Αναφορικά με τις *οπτικές επιδράσεις* του φωτός ορισμένα από τα διαθέσιμα εργαλεία των μελετητών φωτισμού στα οποία ορίζονται με σαφήνεια οι απαιτήσεις φωτισμού, για παράδειγμα στους χώρους εργασίας είναι η Τεχνική Οδηγία TOTEE 20701-7 και το πρότυπο EN 12464-1, 2021. Αν και τα πρότυπα φωτισμού, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις φωτισμού ενός χώρου έτσι ώστε να εξασφαλίζονται τα κατάλληλα επίπεδα φωτισμού σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτούνται εξατομικευμένες λύσεις φωτισμού. Καθώς οι οπτικές ανάγκες διαφοροποιούνται, μεταξύ άλλων, ανάλογα με την ηλικία και την οπτική ικανότητα, η εφαρμογή ενιαίων συνθηκών σε έναν κοινόχρηστο χώρο εργασίας ενδέχεται να μην ανταποκρίνεται εξίσου σε όλους τους εργαζομένους. Για τον λόγο αυτό, ο γενικός φωτισμός μπορεί να συμπληρώνεται από δυνατότητες τοπικής ή προσωπικής ρύθμισης.

Οι συναισθηματικές επιδράσεις, οι οποίες αφορούν στην αντίληψη, στην ατμόσφαιρα και στην υποκειμενική εμπειρία του χώρου βασίζονται σε καλές πρακτικές και διεπιστημονικές οδηγίες αλλά δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν και δεν περιλαμβάνονται σε πρότυπα. Ο σχεδιασμός οφείλει να συνδυάζει τις διαστάσεις αυτές με **σαφώς συγκεκριμένους στόχους** που αφορούν στην υγεία, στην ευεξία και στην παραγωγικότητα του χρήστη, σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προσδοκίες του με **μακροπρόθεσμα** θετικά αποτελέσματα χωρίς τα βραχυπρόθεσμα επιδιωκόμενα αποτελέσματα να δημιουργούν αρνητικές συνέπειες σε μεταγενέστερο χρόνο (licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL), 2018).

Σχετικά με τις **μη οπτικές ή βιολογικές επιδράσεις**, οι οποίες συνδέονται μεταξύ άλλων με τον κirkάδιο συγχρονισμό, την εγρήγορση και τον ύπνο, υποστηρίζονται από κατευθυντήριες οδηγίες για τις μελανοπικές (μη οπτικές) επιδράσεις του φωτός (π.χ. DIN SPEC 5031-100, DIN SPEC 67600, CIE S 026:2018). Για την ποσοτική περιγραφή των βιολογικών επιδράσεων του φωτός σε σχέση με τη διέγερση της μελανοψίνης, προτάθηκαν οι ακόλουθες συστάσεις στο “Manchester II” το 2019 για ένα υγιές μοτίβο έκθεσης σε φως κατά τη διάρκεια της ημέρας, του απογεύματος και της νύχτας με σκοπό την υποστήριξη του ύπνου, της εγρήγορσης και της φυσιολογίας (CIE 2024):

- Ελάχιστη έκθεση σε 250lx ισοδύναμου μελανοπικού φωτισμού φυσικού φωτός ημέρας – melanopic EDI ή mEDI (melanopic Equivalent Daylight Illuminance- mEDI)¹⁷ στο επίπεδο του ματιού κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η υψηλή έκθεση στο φως κατά την διάρκεια της ημέρας υποστηρίζει την εγρήγορση, τον κιρκάδιο ρυθμό και τον ποιοτικό νυχτερινό ύπνο. Η παραμονή σε εξωτερικούς χώρους κατά τη διάρκεια της ημέρας συνδέεται με καλύτερη υγεία και ευεξία με καθοριστικό παράγοντα το φυσικό φως. Γι' αυτό προτείνεται να μην εμποδίζεται αναίτια η είσοδος του φυσικού φωτός στους εσωτερικούς χώρους, η οποία παράλληλα συμβάλλει και στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

- Μέγιστη έκθεση σε 10lx mEDI για τρεις ώρες πριν τον ύπνο.

Η χαμηλή έκθεση στο φως το απόγευμα διευκολύνει την έναρξη και τη σταθερότητα του ύπνου.

- Μέγιστη έκθεση 1lx ισοδύναμης mEDI κατά τη διάρκεια της νύχτας κατά τον ύπνο ή έως 10 lx αν απαιτούνται οπτικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Το σκοτάδι κατά τη διάρκεια της νύχτας ενισχύει τον κιρκάδιο ρυθμό και την ποιότητα του ύπνου και έχει θετικές επιπτώσεις στην απόδοση και την ευεξία λόγω των διεργασιών που συμβαίνουν στον ανθρώπινο οργανισμό κατά την διάρκεια του ύπνου.

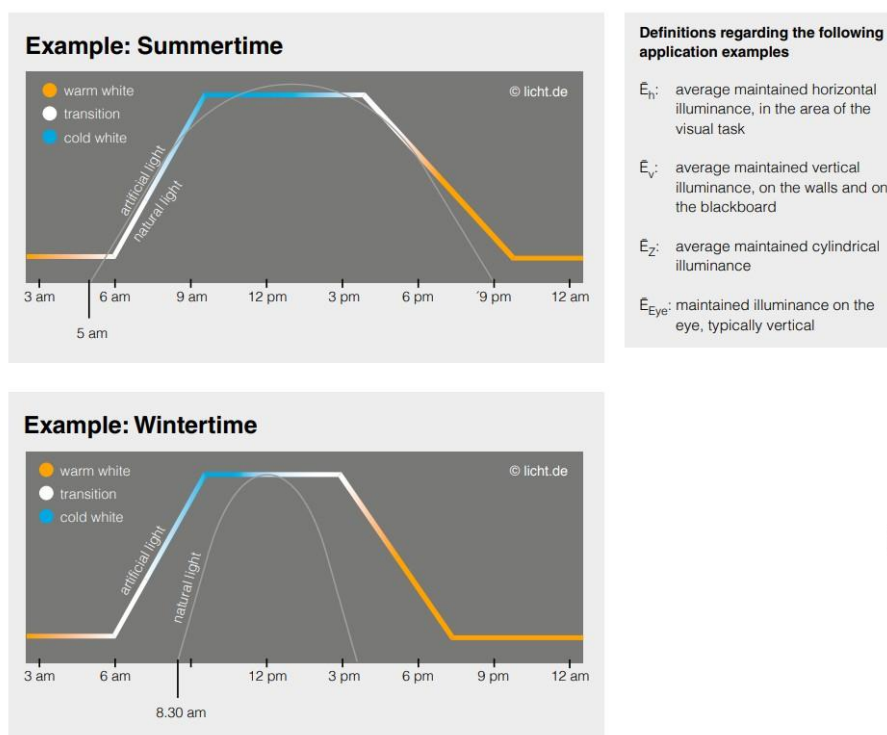
Οι παραπάνω συστάσεις έχουν καταγραφεί στο Technical Note CIE TN 015:2023 (CIE 2023a) και βασίστηκαν σε δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από υγιείς νεαρούς ενήλικες. Αποτελούν σημαντική γνώση για την ενσωμάτωση των επιδράσεων του φωτισμού, που βασίζονται σε αποκρίσεις φωτός επηρεαζόμενες από τις αποκρίσεις στο φως που διαμεσολαβούνται κυρίως από τα ενδογενώς φωτοευαίσθητα γαγγλιακά κύτταρα του αμφιβληστροειδούς, σε γενικές οδηγίες με στόχο την εφαρμογή του

¹⁷ Ο όρος ισοδύναμος μελανοπικός φωτισμός φυσικού φωτός ημέρας – melanopic EDI ή mEDI (Melanopic Equivalent Daylight Illuminance- mEDI) είναι ένας δείκτης για την μέτρηση της επίδρασης του φωτός στον άνθρωπο. Συγκεκριμένα, μετρά πόσο αποτελεσματικά το φως διεγείρει τους μη οπτικούς φωτοϋποδοχείς του ματιού (ipRGCs), οι οποίοι ρυθμίζουν τον κιρκάδιο ρυθμό σε σύγκριση με το φως της ημέρας.

ολοκληρωμένου φωτισμού (*integrative lighting*). Ωστόσο, υπάρχουν ζητήματα που απαιτούν περαιτέρω έρευνα. Για παράδειγμα το δείγμα στο οποίο βασίστηκαν τα παραπάνω αποτελέσματα είναι συγκεκριμένο και δεν είναι σαφές αν ισχύουν τα ίδια για παιδιά, ηλικιωμένους ή άτομα με ειδικές ανάγκες.

Στους χώρους γραφείων, η εφαρμογή των παραπάνω δεδομένων απαιτεί την αξιολόγηση του φωτός στο επίπεδο των ματιών και όχι αποκλειστικά στο οριζόντιο επίπεδο εργασίας. Ωστόσο, η υψηλότερη melanopic EDI δεν αποτελεί από μόνη της δείκτη καλύτερου φωτισμού, καθώς πρέπει να συνεκτιμώνται η οπτική άνεση, η θάμβωση, η ενεργειακή κατανάλωση και η χρονική καταλληλότητα της έκθεσης. Η πρόσβαση στο φυσικό φως, η γεωμετρία του χώρου, η θέση και ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων, οι ανακλαστικές ιδιότητες των επιφανειών και η χωρική κατανομή του τεχνητού φωτισμού επηρεάζουν τη φωτεινή έκθεση που δέχεται πραγματικά ο χρήστης.

Η δυνατότητα χρονικής μεταβολής του τεχνητού φωτισμού επιτρέπει την ενίσχυση της ημερήσιας έκθεσης, όταν το φυσικό φως είναι ανεπαρκές και τη διαφοροποίηση των συνθηκών ανάλογα με την ώρα και τη χρήση του χώρου. Ενδεικτικά, οι Benedetti et al. (2022) διαπίστωσαν ότι σε γραφείο με αυτοματοποιημένο έλεγχο του φυσικού και τεχνητού φωτισμού, οι εργαζόμενοι εκτέθηκαν σε μεγαλύτερο μέρος της ημερήσιας φωτεινής έκθεσης νωρίτερα μέσα στην ημέρα. Η συνθήκη αυτή συσχετίστηκε με πρωιμότερη βραδινή έναρξη της έκκρισης μελατονίνης πριν από τον ύπνο.



Εικόνα 9. Φυσική πορεία του ημερήσιου φωτός και τεχνητή προσομοίωση της σύμφωνα με τις αρχές του HCL. Πηγή Εικόνας: licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL), 2018

Στην Εικόνα 9, παρουσιάζονται δύο παραδείγματα της πορείας του φυσικού ημερήσιου φωτός κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (επάνω) και του χειμώνα (κάτω). Και στις δύο περιπτώσεις απεικονίζεται η καμπύλη τεχνητής προσομοίωσης της πορείας του φωτός σύμφωνα με τις αρχές του HCL. Κατά την θερινή περίοδο, η καμπύλη του τεχνητού φωτισμού ακολουθεί την πορεία του φυσικού φωτός και σχεδόν ταυτίζεται με αυτήν. Αντίστοιχα, την χειμερινή περίοδο ο τεχνητός φωτισμός επεκτείνει την διάρκεια της ημέρας αναπαράγοντας μία διάρκεια φωτεινής ημέρας που θεωρείται ευεργετική για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Ωστόσο, τα παραπάνω έχουν εφαρμογή σε μία τυπική καθημερινή ζωή ανθρώπων των οποίων η βασική δραστηριότητα πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας όπως είναι η εργασία σε ένα γραφείο με τυπική βάρδια και όχι για στις περιπτώσεις νυχτερινής εργασίας ή εργασίας σε βάρδιες.

3.3 Εφαρμογή του Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού στους Χώρους Γραφείων

Στα σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων κυριαρχούν οι τεχνολογίες δικτύωσης και η παγκόσμια διασύνδεση της αγοράς εργασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι χώροι γραφείων να υιοθετούν ευέλικτα ωράρια εργασίας και να υποστηρίζουν ποικίλες δραστηριότητες συνδυάζοντας χώρους εργασίας, κοινωνικοποίησης και χαλάρωσης. Παράλληλα, οι εργαζόμενοι μπορεί να διαφέρουν ως προς την ηλικία, την οπτική ικανότητα, το ωράριο και τις προτιμήσεις. Σε αυτό το νέο πλαίσιο εργασίας δίνεται ολόένα και περισσότερη σημασία στην εργονομία, στις ανάγκες των εργαζομένων και στην ευημερία τους. Υπό αυτό το πρίσμα εκτιμάται ότι η στρατηγική φωτισμού, που βρίσκεται σε ευθυγράμμιση με τις αρχές του Ανθρωποκεντρικού Φωτισμού σε συνήθη περιβάλλοντα γραφείων μπορεί να συμβάλλει θετικά στην συνολική εργασιακή εμπειρία. Ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να υποστηρίξει αυτήν την προσέγγιση, επιτρέποντας τη μεταβολή των φωτιστικών συνθηκών ανάλογα με τον χρόνο, τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός, τη δραστηριότητα και τις ανάγκες των χρηστών. εφόσον συνδυαστεί με σωστό σχεδιασμό, έλεγχο και αξιολόγηση του προτεινόμενου δυναμικού συστήματος.

Χαρακτηριστική εφαρμογή αποτελεί ο σχεδιασμός φωτισμού των κεντρικών γραφείων της American Society of Interior Designers στην Ουάσινγκτον, όπου ο δυναμικός τεχνητός φωτισμός, το φυσικό φως, τα αυτοματοποιημένα συστήματα σκίασης και ο προσωπικός έλεγχος εντάχθηκαν σε μια συνολικότερη στρατηγική υποστήριξης της υγείας και της ευεξίας των εργαζομένων, της ικανοποίησης τους και της εργασιακής τους απόδοσης.

Περίπτωση εφαρμογής ανθρωποκεντρικού φωτισμού σε χώρο γραφείου

Τα νέα κεντρικά γραφεία της American Society of Interior Designers – ASID στεγάζονται σε χώρο περίπου 790Τ.Μ. στην Ουάσινγκτον και σχεδιάστηκαν από το αρχιτεκτονικό γραφείο Perkins&Will. Η ASID εγκαταστάθηκε στον χώρο το 2016, με στόχο τη δημιουργία ενός “ζωντανού εργαστηρίου” στο οποίο θα μπορούσαν να

αξιολογηθούν οι επιδράσεις του σχεδιασμού στην υγεία, στην ευεξία και στην εργασιακή εμπειρία. Ο χώρος αποτέλεσε το πρώτο έργο που απέκτησε συγχρόνως πιστοποίηση LEED ID+C Platinum και WELL Platinum. Οι δύο πιστοποιήσεις εξυπηρετούσαν συμπληρωματικούς στόχους: η WELL επικεντρωνόταν κυρίως στην υγεία και την ευεξία των χρηστών, ενώ η LEED στην περιβαλλοντική και ενεργειακή απόδοση του χώρου (Lutron Electronics, 2018).

Ο σχεδιασμός φωτισμού, ο οποίος αναπτύχθηκε από την Benya Burnett Consultancy, συνδύασε το φυσικό φως με ένα ελεγχόμενο σύστημα τεχνητού φωτισμού, και αυτοματοποιημένης σκίασης. Περίπου το 90% των κατειλημμένων χώρων είχε άμεση πρόσβαση σε φυσικό φως, ενώ τα συστήματα σκίασης μεταβάλλονταν σε σχέση με τη θέση του ήλιου, περιορίζοντας τη θάμβωση και την ανεπιθύμητη ηλιακή επιβάρυνση (ASID). Η εφαρμογή δεν βασίστηκε, επομένως, μόνο στη μεταβολή των χαρακτηριστικών του τεχνητού φωτισμού, αλλά στην ενοποιημένη διαχείριση του τεχνητού και του φυσικού φωτός, της σκίασης και της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα αυτοματοποιημένα σκίαστρα προσαρμόζονταν κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να διατηρείται, στον βαθμό που ήταν δυνατό, η θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, περιορίζοντας συγχρόνως τη θάμβωση και τα θερμικά κέρδη (Lutron Electronics, 2018).

Πιο αναλυτικά, οι σύμβουλοι φωτισμού της μελετητικής ομάδας σχεδίασαν ένα σύστημα φωτισμού για την υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού, με στόχο οι εργαζόμενοι της ASID να παραμένουν συγχρονισμένοι με τον φυσικό ημερήσιο κύκλο φωτός, ακόμη και κατά την παραμονή τους σε εσωτερικούς χώρους. Λαμβάνοντας υπόψη κάποιες από τις παραμέτρους του φωτισμού που μπορούν να μεταβληθούν, όπως η θερμοκρασία χρώματος και η ένταση φωτισμού χρησιμοποίησαν φωτιστικά σώματα είτε LED μεταβλητού χρώματος είτε συνδυασμό λαμπτήρων φθορισμού διαφορετικής θερμοκρασίας χρώματος. Ο σχεδιασμός προέβλεπε την εφαρμογή ετήσιων προγραμμάτων χρονικά μεταβαλλόμενων και διαδοχικών φωτεινών σεναρίων, μέσω των οποίων μεταβάλλονταν το φάσμα, η ένταση και η διάρκεια της φωτεινής έκθεσης στο εσωτερικό περιβάλλον (Lutron Electronics, 2018). Συγκεκριμένα, στις

νέες εγκαταστάσεις τοποθετήθηκαν ψυχροί λαμπτήρες 5.000K για τις απογευματινές και τις βραδινές ώρες και θερμοί λαμπτήρες 2.700K για τις πρωινές ώρες με στόχο να προσεγγίσουν τα μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά του φυσικού φωτός στο εξωτερικό περιβάλλον.

Επιπλέον, όλες οι ατομικές θέσεις εργασίας έχουν πρόσβαση σε παράθυρα βόρειου προσανατολισμού, φυσικό φωτισμό και θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον. Οι θέσεις εργασίας είναι προσανατολισμένες με απόκλιση έως 20° από τη διεύθυνση που είναι κάθετη στο επίπεδο του πλησιέστερου παραθύρου, ώστε να περιορίζεται η θάμβωση.

Σύμφωνα με μέτρηση που πραγματοποιήθηκε βάσει του προτύπου WELL σχετικά με τα επίπεδα έκθεσης σε φως, το 81% των σημείων μέτρησης υπερέβαινε τα 250lx mEDI ακόμη και κατά τη διάρκεια μιας συνεφιασμένης ημέρας. Η τιμή αυτή φαίνεται να συμμορφώνεται με τις συστάσεις της CIE S 026:2018, που ισχύουν σήμερα.

Το σύστημα διαχείρισης φωτισμού επέτρεπε την εφαρμογή ετήσιων προγραμμάτων και διαδοχικών σεναρίων, καθώς και την προσαρμογή του φωτισμού στις εποχικές ηλιακές γωνίες, στις καιρικές συνθήκες, στη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός και στην παρουσία των εργαζομένων. Η λειτουργία του βασίστηκε στο κεντρικό σύστημα διαχείρισης Lutron Quantum, το οποίο λάμβανε δεδομένα από αισθητήρες παρουσίας και φυσικού φωτός, ενώ το σύστημα Hyperion διαχειριζόταν την ηλιοπροσαρμοζόμενη σκίαση. Μέσω του περιβάλλοντος Quantum Vue, η ομάδα διαχείρισης μπορούσε να παρακολουθεί τη λειτουργία της εγκατάστασης, να αναλύει τα δεδομένα και να τροποποιεί τις ρυθμίσεις από υπολογιστή ή φορητή συσκευή. Η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού επέτρεπε στο σύστημα να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις του χώρου και όχι απλώς να εκτελεί ένα αμετάβλητο ημερήσιο σενάριο (Lutron Electronics, 2018).

Παράλληλα, προβλέφθηκαν χειροκίνητες παρακάμψεις των αυτοματισμών και δυνατότητα τοπικής ρύθμισης των φωτιστικών εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, η αυτοματοποιημένη λειτουργία δεν καταργούσε πλήρως τη δυνατότητα παρέμβασης του χρήστη. Η συνύπαρξη αυτοματοποιημένου και προσωπικού ελέγχου αποτελεί

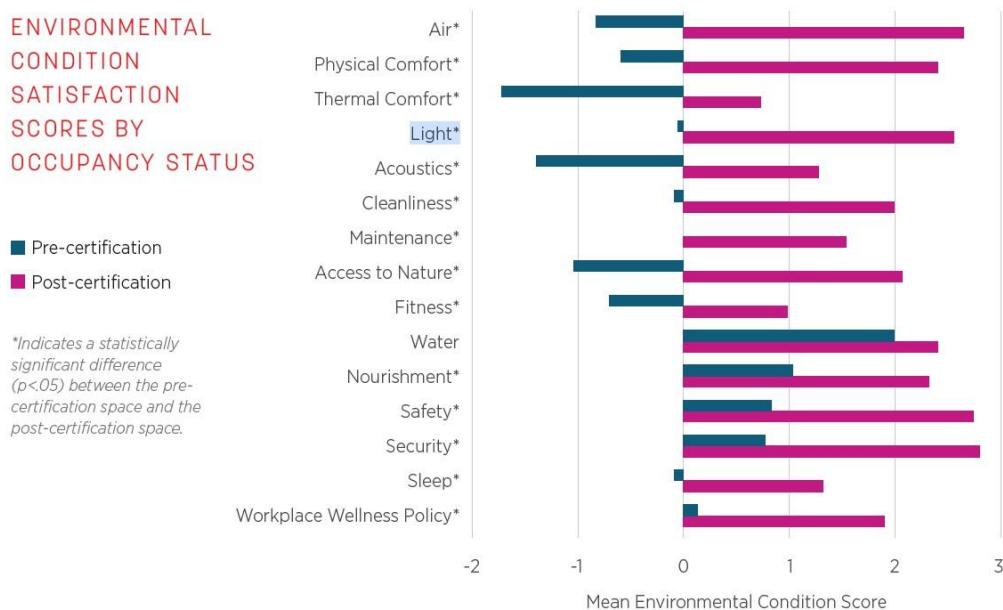
σημαντική ανθρωποκεντρική διάσταση της εφαρμογής, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή του φωτιζόμενου περιβάλλοντος στις ατομικές ανάγκες, χωρίς να αναιρείται η συνολική στρατηγική φωτισμού και ενεργειακής διαχείρισης (Lutron Electronics, 2018).



Εικόνα 10. Θέσεις εργασίας με πρόσβαση στον φυσικό φωτισμό και θέα στο εξωτερικό περιβάλλον. Πηγή Εικόνας: DESIGN IMPACTS LIVES, 2017. Ανακτήθηκε από: <https://www.asid.org/news/asid-releases-comprehensive-research-study-on-the-impact-of-design-in-the-workplace>

Σύμφωνα με την αξιολόγηση μετά την εγκατάσταση, όλοι οι εργαζόμενοι είχαν πρόσβαση σε φυσικό φως κατά τις ώρες εργασίας, ενώ οι επιφάνειες εργασίας ήταν κατά 63% φωτεινότερες σε σύγκριση με τον προηγούμενο χώρο της ASID. Παράλληλα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 11, αναφέρθηκε βελτίωση της ικανοποίησης των εργαζομένων από τον φωτισμό, τη θερμική άνεση και τη συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, το διάγραμμα παρουσιάζει υποκειμενική ικανοποίηση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και όχι αντικειμενικές μετρήσεις κερκάδιων δεικτών. Μετά από περισσότερους από 18 μήνες λειτουργίας καταγράφηκε αύξηση της συνεργασίας κατά 9% και βελτίωση κατά 19% ως προς τις απουσίες των εργαζομένων. Ωστόσο, το ίδιο το case study (Lutron Electronics, 2018) επισημαίνει ότι δεν είναι δυνατόν να απομονωθεί η επίδραση κάθε επιμέρους

σχεδιαστικής παρέμβασης. Επομένως, τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να αποδίδονται στη συνολική διαμόρφωση του νέου χώρου και όχι αποκλειστικά στο σύστημα ανθρωποκεντρικού φωτισμού.



Εικόνα 11. Διαγράμμα που παρουσιάζει αύξηση της υποκειμενικής ικανοποίησης από τον φωτισμό. Πηγή Εικόνας: DESIGN IMPACTS LIVES, 2017. Ανακτήθηκε από: <https://www.asid.org/news/asid-releases-comprehensive-research-study-on-the-impact-of-design-in-the-workplace>.

Εκτός από τα αποτελέσματα που αφορούν την εμπειρία των χρηστών, η ενοποίηση του φυσικού φωτισμού, της ρύθμισης της φωτεινής παροχής, των αισθητήρων παρουσίας και του προσωπικού ελέγχου περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό περισσότερο από 78%, σε σύγκριση με ένα θεωρητικό σενάριο λειτουργίας όλων των φωτιστικών στη μέγιστη ισχύ (Lutron Electronics, 2018). Η περίπτωση των γραφείων της ASID παρουσιάζει ενδιαφέρον ως παράδειγμα εφαρμογής του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Ο ανθρωποκεντρικός χαρακτήρας του συστήματος δεν βασίζεται απλώς στη μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος, αλλά στον συνδυασμό φυσικού και τεχνητού φωτισμού, στη χρονική και εποχική προσαρμογή, στον έλεγχο της σκίασης, στην αξιολόγηση της φωτεινής έκθεσης στο επίπεδο των ματιών και στη δυνατότητα προσωπικού ελέγχου. Η περίπτωση δείχνει επίσης ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα και

η επιδίωξη μη οπτικών αποτελεσμάτων εξετάζονται παράλληλα στο πλαίσιο μιας ενιαίας στρατηγικής διαχείρισης του φωτισμού.

4. Οι χώροι γραφείων ως δυναμικά φωτιζόμενα περιβάλλοντα

Στην σύγχρονη εποχή της ψηφιοποίησης και της παγκοσμιοποίησης της αγοράς, το πρότυπο της εργασίας γραφείου έχει μετασχηματιστεί σημαντικά. Το παραδοσιακό μοντέλο εργασίας γραφείου, με τους εργαζόμενους να απασχολούνται σε μία σταθερή θέση εργασίας κατά τη διάρκεια ενός προκαθορισμένου ωραρίου έχει επαναπροσδιοριστεί. Πλέον, ο σύγχρονος σχεδιασμός χώρων εργασίας προτείνει νέες χωρικές αντιλήψεις και νέα χωρικά πρότυπα τα οποία προάγουν την δημιουργική σκέψη, την συνεργασία και την ανταλλαγή πληροφοριών. Σήμερα, μεγάλο μέρος της εργασίας γίνεται με την χρήση φορητών ηλεκτρονικών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων και tablets εν κινήσει, από το σπίτι, σε εγκαταστάσεις πελατών, σε αεροδρόμια ακόμα και σε καταστήματα εστίασης ενώ ίσως η πλειονοψηφία των συναντήσεων πραγματοποιείται σε ψηφιακά περιβάλλοντα.

Παρά την αναφορά των διαφορετικών τρόπων από τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί η εργασία, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ως χώροι γραφείων εννοούνται οι οργανωμένοι χώροι γραφείων που στεγάζονται σε κτίρια ή εγκαταστάσεις επιχειρήσεων και οργανισμών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον εντοπίζεται στον τρόπο με τον οποίο ο μετασχηματισμός του σύγχρονου περιβάλλοντος γραφείου ανταποκρίνεται στις διαφορετικές δραστηριότητες, ανάγκες και επιθυμίες των χρηστών.

4.1 Σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων

Στις σύγχρονες ανεπτυγμένες οικονομίες, σημαντικό μέρος της απασχόλησης συνδέεται με δραστηριότητες που βασίζονται στη γνώση. Αυτό έχει επηρεάσει τόσο την οργάνωση της εργασίας όσο και τον σχεδιασμό των σύγχρονων χώρων γραφείων. Παράγοντες όπως η χωρική οργάνωση, η εργονομία, η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, η δυνατότητα συγκέντρωσης, η κοινωνική αλληλεπίδραση και η δυνατότητα επιλογής και ελέγχου του περιβάλλοντος συνδέονται με την συνολική εργασιακή εμπειρία. Ο όρος *Workplace Innovation (WPI)*, δηλαδή καινοτομία στον

χώρο εργασίας, αναφέρεται στον εκσυγχρονισμό του περιβάλλοντος εργασίας με σκοπό την βελτίωση της εμπειρίας των εργαζομένων και την δημιουργία αξίας για τον οργανισμό (Pakos et al , 2023). Το 82% των ερωτηθέντων, σε έρευνα της εταιρείας Ipsos (2021), δηλώνει ότι η ευημερία των εργαζομένων αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για την εταιρεία στην οποία εργάζεται. Τα αποτελέσματα έρευνας της American Society of Interior Designers (ASID) (2017) έδειξαν ότι η ποιότητα του σχεδιασμού του εργασιακού περιβάλλοντος επηρεάζει άμεσα τόσο την ευημερία όσο και την παραγωγικότητα των εργαζομένων. Παράλληλα, η βιβλιογραφία για τους *δημιουργικούς χώρους εργασίας (creative workspaces)* αναδεικνύει ότι οι μεταβολές του φυσικού εργασιακού περιβάλλοντος συνδέονται με ένα σύνολο αλληλένδετων παραγόντων σε επίπεδο εργαζομένου, ομάδας και οργανισμού, όπως η δημιουργικότητα, η επικοινωνία και η οργανωτική κουλτούρα (Pakos et al., 2023).

Οι “*δημιουργικοί χώροι εργασίας*” (*creative workspaces*), τα “*γραφεία ανοιχτής διάταξης*” (*open-plan offices*) και τα “*περιβάλλοντα εργασίας βάσει δραστηριότητας*” (*activity-based workplaces*) αποτελούν στόχους ή τυπολογίες/στρατηγικές χωρικής και οργανωτικής διάρθρωσης οι οποίες μπορούν και να συνυπάρχουν (Pakos et al., 2023 & Gerlitz, & Hülsbeck, 2024). Συγκεκριμένα, οι *δημιουργικοί χώροι εργασίας* χαρακτηρίζονται κυρίως από τον στόχο τους, δηλαδή την υποστήριξη δημιουργικών διαδικασιών και μπορεί να περιλαμβάνει ευέλικτες διατάξεις επίπλων, χώρους συνεργασίας και brainstorming, ανεπίσημους χώρους συνάντησης, επιφάνειες για οπτικοποίηση και ανταλλαγή ιδεών, χώρους κοινωνικής αλληλεπίδρασης, αλλά και περιοχές όπου κάποιος μπορεί να απομονωθεί για ατομική δημιουργική εργασία. Τα *γραφεία ανοιχτής διάταξης* συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών ατομικών γραφείων και των χώρων ομαδικής εργασίας, δημιουργώντας ευρύχωρα εργασιακά περιβάλλοντα, ωστόσο δεν εξασφαλίζουν ιδιωτικότητα ή συγκέντρωση. Στα *περιβάλλοντα εργασίας βάσει δραστηριότητας*, ο χώρος δεν οργανώνεται αποκλειστικά γύρω από μία μόνιμη ατομική θέση, αλλά περιλαμβάνει διαφορετικές λειτουργικές ζώνες για συγκέντρωση και ατομική εργασία, συνεργασία, επίσημες ή άτυπες συναντήσεις, κοινωνική αλληλεπίδραση και ανάπαυση. Επομένως, ο εργαζόμενος μπορεί να επιλέγει κάθε φορά το περιβάλλον που ανταποκρίνεται

καλύτερα στη δραστηριότητα που πρόκειται να εκτελέσει. Αυτή η προσέγγιση οργάνωσης των χώρων γραφείων αποτελεί μία από τις περισσότερο διαδεδομένες προσεγγίσεις ιδιαίτερα σε οργανισμούς που εφαρμόζουν υβριδική εργασία, ευέλικτες μορφές εργασίας ή διεπιστημονική συνεργασία και έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος προσαρμοσμένου στα διαφορετικά καθήκοντα, στις ομάδες εργασίας, και στις ανάγκες του κάθε εργαζομένου (HOLMRIS B8, 2026).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της προσέγγισης αποτελεί το κτίριο γραφείων **The Edge** στο Άμστερνταμ, σχεδιασμένο από το αρχιτεκτονικό γραφείο PLP Architecture ως έδρα της Deloitte του οποίου η κατασκευή ολοκληρώθηκε το 2014 και η λειτουργία του ξεκίνησε το 2015. Το έργο πιστοποιήθηκε στην ανώτατη κατηγορία BREEAM New Construction – Outstanding, συγκεντρώνοντας βαθμολογία 98,36%. Η αξιολόγηση αποδίδεται στον συνδυασμό ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων, έξυπνων τεχνολογιών διαχείρισης και ευρύτερων στρατηγικών περιβαλλοντικού σχεδιασμού.

Το κτίριο οργανώνεται γύρω από ένα δεκαπενταώροφο αίθριο, το οποίο λειτουργεί ως νοητό παράθυρο μεταξύ του χώρου εργασίας και του εξωτερικού περιβάλλοντος, ως κοινωνικός πυρήνας που συνδέει χώρους κυκλοφορίας, συνάντησης και εργασίας και ως περιβαλλοντική ζώνη μετάβασης, συμβάλλοντας στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Για τον σχεδιασμό του κτιρίου η PLP Architecture έλαβε υπόψη τα νέα πρότυπα εργασίας των εργαζομένων της οικονομίας της γνώσης, που έχουν την ευελιξία να εργάζονται από οποιοδήποτε μέρος επιθυμούν, οποιαδήποτε χρονική στιγμή και με τον βαθμό κοινωνικής αλληλεπίδρασης που επιλέγουν. Έτσι, σχεδιάστηκαν χώροι που δημιουργούν πολλαπλές διαθέσεις και ατμόσφαιρες μέσα στο εργασιακό περιβάλλον και διαφορετικοί τύποι χώρων όπως χώροι ατομικής και ομαδικής εργασίας, ανοικτές θέσεις εργασίας, χώροι συναντήσεων, χώροι κοινωνικής αλληλεπίδρασης και διαλείμματος ή αποφόρτισης επιτρέποντας στους εργαζομένους να επιλέγουν χώρο ανάλογα με τη δραστηριότητά τους.



Εικόνα 12. Αίθριο κτιρίου το οποίο λειτουργεί ως πυρήνας που συνδέει του χώρους κυκλοφορίας, συνάντησης και εργασίας. Πηγή Εικόνας: “The Edge / PLP Architecture,” 2016.



Εικόνα 13. Είσοδος φυσικού φωτός προς το εσωτερικό του κτιρίου που ελέγχεται από αισθητήρες επιτρέποντας την προσαρμογή των επιπέδων τεχνητού φωτισμού. Πηγή Εικόνας: “The Edge / PLP Architecture,” 2016.

Στο κτίριο εγκαταστάθηκε δίκτυο έξυπνων αισθητήρων που παρακολουθεί την πληρότητα, την κίνηση, την υγρασία, τη συγκέντρωση CO₂, τα επίπεδα φωτισμού και τις συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος, επιτρέποντας την προσαρμογή της λειτουργίας του κτιρίου στα πραγματικά πρότυπα χρήσης χώρων (PLP ARCHITECTURE, n.d.). Η διαμόρφωση του σχήματος και του προσανατολισμού του κτιρίου, καθώς οι όροφοι οργανώνονται γύρω από το αίθριο που έχει βόρειο προσανατολισμό, επιτρέπει στο φυσικό φως να φθάνει στη συντριπτική πλειονότητα των γραφειακών χώρων. Ωστόσο, τα ψηφιακά συστήματα αξιοποιήθηκαν και για την υποστήριξη της λειτουργίας αυτής της μορφής εργασίας σε ατομικό επίπεδο. Οι εργαζόμενοι, μέσω εφαρμογής για κινητές συσκευές μπορούν να εντοπίζουν τους συναδέλφους τους, τις διαθέσιμες θέσεις εργασίας και να προσαρμόζουν τοπικά παραμέτρους όπως το επίπεδο φωτισμού και τη θερμοκρασία σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους.

Παράλληλα με την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα άλλη μία σημαντική παράμετρος στον σχεδιασμό των σύγχρονων χώρων γραφείων αποτελεί η *βιωσιμότητα*. Η έννοια του **“Green Office”** τόσο στην ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση του κτιρίου με την εφαρμογή τεχνικών και αρχιτεκτονικών λύσεων μέσω της χρήσης βιώσιμων δομικών υλικών και ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού όσο και στην μεταμόρφωση της κουλτούρας και της συμπεριφοράς των εργαζομένων. Οι τρεις αλληλένδετοι πυλώνες του *Green Office*, σύμφωνα με τη μελέτη Green Office Study του Fraunhofer IAO (Bockstahler, 2020) είναι το *Βιώσιμο κτίριο (Green Building)*, οι *Βιώσιμες τεχνολογίες πληροφορικής (Green IT)* και η *Βιώσιμη συμπεριφορά των εργαζομένων (Green Behavior)*. Η ενίσχυση της βιώσιμης συμπεριφοράς των εργαζομένων (*nudging*) γίνεται μέσω ήπιων παρεμβάσεων που ενθαρρύνουν συγκεκριμένες συμπεριφορές χωρίς την επιβολή υποχρεώσεων ή περιορισμών. Σκοπός είναι η διευκόλυνση των εργαζομένων να επιλέξουν βιώσιμες συμπεριφορές μέσω κατάλληλου σχεδιασμού του περιβάλλοντος λήψης αποφάσεων.

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά διεθνή παραδείγματα εφαρμογής στρατηγικών βιώσιμου και ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, είναι η ευρωπαϊκή έδρα της Bloomberg

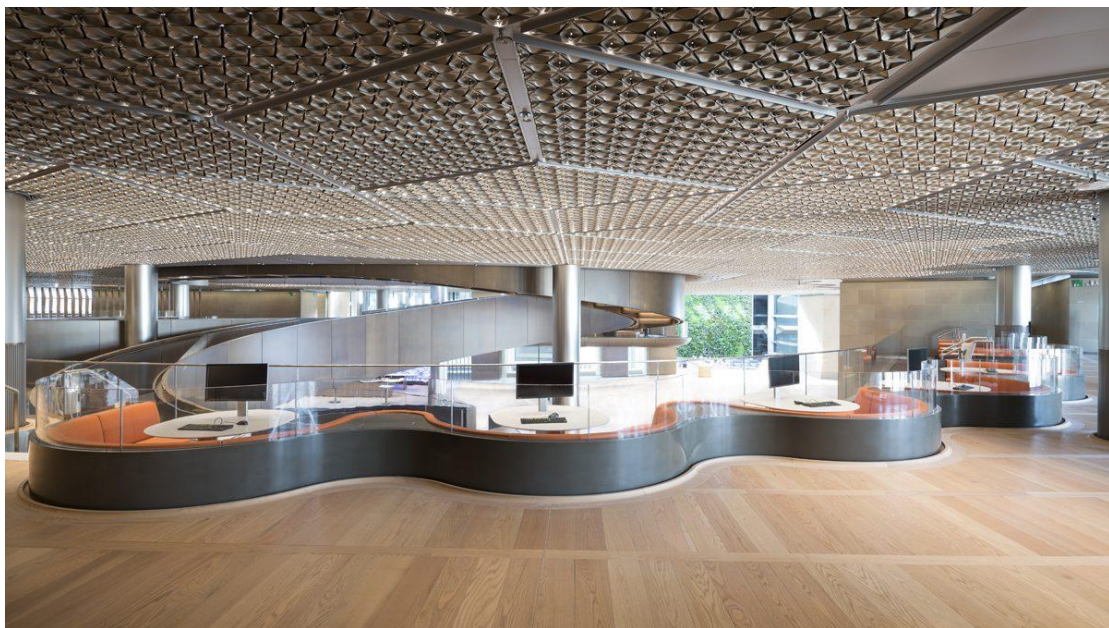
στο Λονδίνο, σχεδιασμένη από το αρχιτεκτονικό γραφείο Foster + Partners. Το συγκρότημα αποτελείται από δύο κτίρια και καταλαμβάνει ένα ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο έκτασης 13.000Τ.Μ. περίπου. Το συγκρότημα ολοκληρώθηκε το 2017 και απέσπασε πιστοποίηση BREEAM Outstanding με βαθμολογία 98,5%, επιτυγχάνοντας τη μεγαλύτερη βαθμολογία που είχε απονεμηθεί μέχρι τότε σε μεγάλο κτίριο γραφείων κατά το στάδιο του σχεδιασμού.

Η σχεδιαστική προσέγγιση των Foster + Partners συνδυάζει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των φυσικών πόρων με την βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος και με μια χωρική οργάνωση που αποσκοπεί στην ενίσχυση της επικοινωνίας και της συνεργασίας μεταξύ των εργαζομένων και με την ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογικών λύσεων.



Εικόνα 14. Κτίριο της Bloomberg στο Λονδίνο. Πηγή Εικόνας: “Bloomberg’s European HQ / Foster + Partners,” 2017.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σύστημα φωτισμού των γραφειακών χώρων, το οποίο σχεδιάστηκε από την **Tillotson Design Associates** σε συνεργασία με τους Foster + Partners. Το ειδικά σχεδιασμένο πάνελ μεταλλικής οροφής (Εικόνα 15) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα στο οποίο συνδυάζονται φωτισμός, ψύξη και ακουστική απορρόφηση. Στο πάνελ ενσωματώνονται περίπου 500.000 φωτιστικά 500.000 μεμονωμένα LEDs, επιτυγχάνοντας 40% μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα φωτισμού γραφείου με λαμπτήρες φθορισμού. Τα μεταλλικά στοιχεία λειτουργούν παράλληλα ως ανακλαστήρες του φωτός ενώ το σύστημα φωτισμού έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει περίπου 300lx στο επίπεδο εργασίας με εγκατεστημένη ισχύ 4,7W/m² ισχύ (ILDA). Το σύστημα παρέχει ομοιόμορφο φωτισμό περίπου 300lx στις θέσεις εργασίας χωρίς έντονη θάμβωση ή ανακλάσεις στις οθόνες, ενώ ο τοπικός φωτισμός των γραφείων λειτουργεί συμπληρωματικά αυξάνοντας το επίπεδο φωτισμού περίπου στα 500lx (Pelsmakers, 2017). Στους κεντρικούς πυρήνες του κτιρίου, στους οποίους συγκεντρώνονται οι κατακόρυφες κυκλοφορίες και οι βοηθητικές λειτουργίες, φωτίζονται με χωνευτά γραμμικά φωτιστικά LED, παρέχοντας συμπληρωματικό κατακόρυφο φωτισμό και δημιουργώντας διαφορετικά επίπεδα φωτισμού μέσα στον χώρο .



Εικόνα 15. Πάνελ οροφής με ενσωματωμένα φωτιστικά LED στους χώρους γραφείων της Bloomberg. Πηγή Εικόνας: BRE Group, 2022.

Κυρίαρχο στοιχείο του κτιρίου γραφείων αποτελεί η βιοκλιματική του όψη, η οποία διαμορφώνεται από φέροντα σκελετό επενδυμένο με ψαμμίτη (sandstone) και μια σειρά μεγάλων κατακόρυφων πτερυγίων από μπρούντζο. Τα στοιχεία αυτά διαφοροποιούνται ως προς το μέγεθος, την πυκνότητα και την κλίση τους ανάλογα με τον προσανατολισμό κάθε όψης και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτό περιορίζουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, τη θάμβωση και τα ανεπιθύμητα θερμικά κέρδη, ενώ παράλληλα επιτρέπουν την είσοδο διάχυτου φυσικού φωτός και συμβάλλουν στον έλεγχο των συνθηκών φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό. Επιπλέον, αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του συστήματος φυσικού αερισμού του κτιρίου (Foster + Partners, n.d.).

Ο ανθρωποκεντρικός χαρακτήρας του έργου πέρα από την περιβαλλοντική του προσέγγιση, εφαρμόστηκε κατά τον σχεδιασμό και την χωρική οργάνωση του κτιρίου δημιουργώντας χώρους συνάντησης, καθημερινής κοινωνικής αλληλεπίδρασης και χαλάρωσης και χώρων εργασίας. Ειδικά για τους χώρους εργασίας δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη χωρική διάταξη των γραφείων, η οποία αναπτύχθηκε σε στενή συνεργασία με τις ομάδες εργασίας της Bloomberg, ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ενός σύγχρονου ανοικτού χώρου εργασίας. Όπως, φαίνεται στην Εικόνα 16, οι θέσεις εργασίας οργανώνονται σε οργανικά διαμορφωμένες συστάδες, γύρω από ένα κεντρικό τραπέζι συνεργασίας.



Εικόνα 16. Μακέτα του χώρου εργασίας. Πηγή Εικόνας: Foster + Partners, n.d.

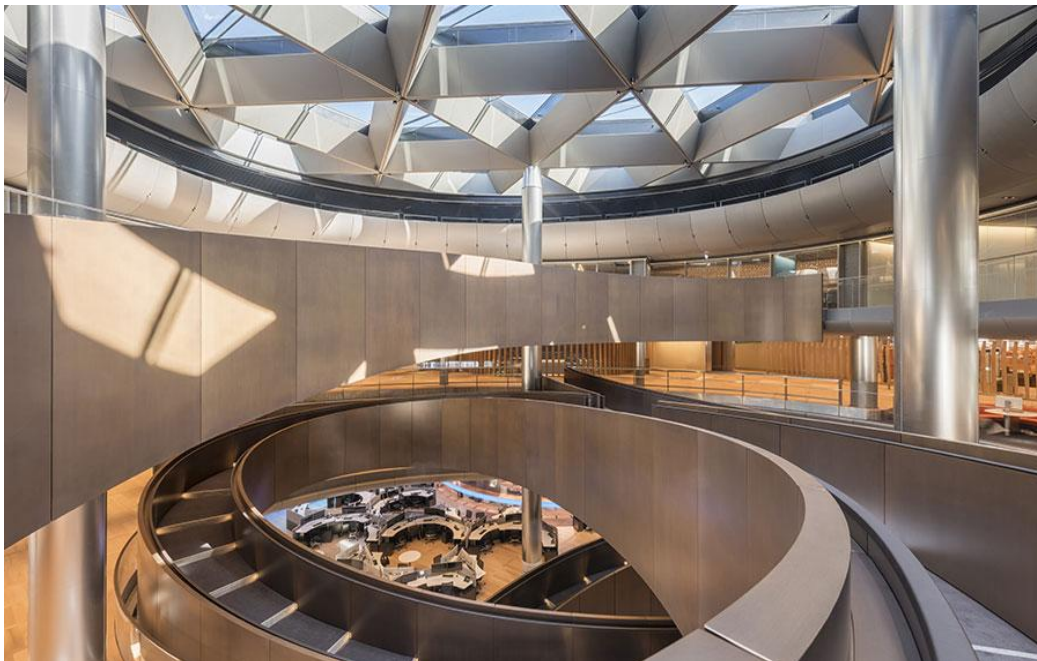
Επιπλέον, ο διώροφος χώρος pantry λειτουργεί ως κεντρικός κοινωνικός πυρήνας, από τον οποίο διέρχονται οι εργαζόμενοι, αυξάνοντας τις ευκαιρίες για τυχαίες συναντήσεις και άτυπες συνομιλίες. Αντίστοιχα, η χαρακτηριστική ελικοειδής ράμπα που διατρέχει το κτίριο έχει σχεδιαστεί όχι μόνο ως στοιχείο κατακόρυφης κυκλοφορίας, αλλά και ως χώρος συνάντησης και σύντομης επικοινωνίας μεταξύ συναδέλφων.



Εικόνα 17. Ο διώροφος χώρος *pantry* στον έκτο όροφο του Bloomberg European Headquarters, ο οποίος λειτουργεί ως κεντρικός χώρος συνάντησης και κοινωνικής αλληλεπίδρασης των εργαζομένων. Πηγή Εικόνας: Walter Knoll, n.d.

Το παράδειγμα του The Edge και της Bloomberg καθιστά εμφανές ότι ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός ενός σύγχρονου γραφείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να υποστηρίζει

διαφορετικές δραστηριότητες, ανάγκες και να ενθαρρύνει συγκεκριμένα πρότυπα συμπεριφοράς, όπως η συνάντηση, η επικοινωνία, η συνεργασία ή, αντίθετα, η συγκέντρωση και η ιδιωτικότητα. Όλα τα παραπάνω εξασφαλίζονται μέσω της ευελιξίας του εργασιακού περιβάλλοντος, του εργονομικού σχεδιασμού των θέσεων εργασίας, της εφαρμογής κατάλληλων συνθηκών του περιβάλλοντος εργασίας και των συστημάτων ελέγχου. Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς η δυνατότητα χρονικής και χωρικής μεταβολής των χαρακτηριστικών του επιτρέπει τη διαφοροποίηση του φωτεινού περιβάλλοντος ανάλογα με τη δραστηριότητα, τον χρόνο και τις ανάγκες των χρηστών. Επομένως, ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να εξεταστεί ως ένα ακόμη στοιχείο του εργασιακού περιβάλλοντος που δυνητικά συμβάλλει στη διαμόρφωση της εμπειρίας και της συμπεριφοράς των εργαζομένων.



Εικόνα 18. Η ελικοειδής ράμπα του Bloomberg European Headquarters, η οποία λειτουργεί συγχρόνως ως στοιχείο κυκλοφορίας και ως χώρος αυθόρμητης συνάντησης και επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων. Πηγή Εικόνας: Foges, 2017.

4.2 Προδιαγραφές φωτισμού στους χώρους γραφείων

Στα σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων στα οποία εφαρμόζεται μία προσέγγιση ανθρωποκεντρικού και βιώσιμου σχεδιασμού, ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται ως ένα ανεξάρτητο σύστημα αλλά ως αναπόσπαστο στοιχείο ενός ολιστικού σχεδιασμού του εργασιακού περιβάλλοντος. Ο φωτισμός διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον σχεδιασμό του “γραφείου ως χώρου ζωής” (licht.wissen 4, 2012), καθώς η ποιότητα του συνδέεται τόσο με την εξασφάλιση κατάλληλων οπτικών συνθηκών όσο και με την αντίληψη και την εμπειρία του χώρου. Επιπλέον, είναι μεταξύ άλλων, ένα από τα εργαλεία του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και σε συνδυασμό με τη χωρική οργάνωση, την επίπλωση, την ακουστική και τις τεχνολογίες επικοινωνίας μπορεί να δημιουργήσει διαφορετικές ατμόσφαιρες και να συμβάλει στην διαμόρφωση της εμπειρία του χώρου.

Ευρωπαϊκές προδιαγραφές φωτισμού

Βασική προϋπόθεση του σχεδιασμού αποτελεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων για την εκτέλεση των οπτικών εργασιών και την οπτική άνεση των χρηστών, όπως αυτές καθορίζονται από τις ισχύουσες οδηγίες και τα σχετικά πρότυπα. Στην Ευρώπη, οι απαιτήσεις φωτισμού των εσωτερικών χώρων εργασίας καθορίζονται από το πρότυπο **EN 12464-1:2021, Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places**. Το πρότυπο καθορίζει απαιτήσεις για διαφορετικούς χώρους, εργασίες και δραστηριότητες, ενώ η αξιολόγηση του φωτεινού περιβάλλοντος δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην ένταση φωτισμού στο επίπεδο της οπτικής εργασίας. Περιλαμβάνει παραμέτρους όπως η διατηρούμενη ένταση φωτισμού, η ομοιομορφία, ο περιορισμός της θάμβωσης και η χρωματική απόδοση, καθώς και απαιτήσεις που αφορούν το ευρύτερο φωτεινό περιβάλλον.

Οι βασικές απαιτήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με τον χώρο και το είδος της δραστηριότητας, όπως φαίνεται ενδεικτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Βασικές απαιτήσεις φωτισμού για επιλεγμένους χώρους και δραστηριότητες γραφείων σύμφωνα με το EN 12464-1.

Χώρος / δραστηριότητα γραφείου	$\bar{E}_m^{18}$ (lx)	UGRL ¹⁹	Uo ²⁰	Ra ²¹
Αρχειοθέτηση, αντιγραφή κ.λπ.	300	19	0,40	80
Γραφή, πληκτρολόγηση, ανάγνωση, επεξεργασία δεδομένων	500	19	0,60	80
Τεχνικό σχέδιο	750	16	0,70	80
Σταθμοί εργασίας CAD	500	19	0,60	80
Αίθουσες συσκέψεων και συνεδριάσεων	500	19	0,60	80
Χώρος υποδοχής	300	22	0,60	80
Αρχεία	200	25	0,40	80

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω απαιτήσεις, σε έναν χώρο γραφείων δεν αντιστοιχεί μία ενιαία φωτεινή συνθήκη. Οι απαιτήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του χώρου και της οπτικής εργασίας, γεγονός που αποκτά ιδιαίτερη σημασία στα σύγχρονα ευέλικτα περιβάλλοντα εργασίας, όπου διαφορετικές δραστηριότητες μπορεί να πραγματοποιούνται στον ίδιο χώρο ή να εναλλάσσονται κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Παράλληλα, βασική παράμετρο του σχεδιασμού των χώρων γραφείων αποτελεί η αποτελεσματική αξιοποίηση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού και ο συντονισμός του με τον τεχνητό φωτισμό. Το ευρωπαϊκό πρότυπο **EN 17037+A1, Daylight in buildings** καθορίζει αρχές και μεθόδους για την αξιολόγηση των συνθηκών φυσικού φωτισμού στα κτίρια. Οι απαιτήσεις για τις οπτικές εργασίες στους εσωτερικούς χώρους εργασίας

¹⁸Διατηρούμενη ένταση φωτισμού (*maintained illuminance*)

¹⁹Οριακή τιμή ενοποιημένου δείκτη θάμβωσης (*Unified Glare Rating limit*)

²⁰Ομοιομορφία φωτισμού

²¹Δείκτης χρωματικής απόδοσης

εξακολουθούν να καθορίζονται από το EN 12464-1 και, επομένως, τα δύο πρότυπα λειτουργούν συμπληρωματικά κατά τον σχεδιασμό του φωτεινού περιβάλλοντος.

Η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού αποτελεί παράλληλα βασική στρατηγική του βιώσιμου σχεδιασμού φωτισμού. Δεν αποσκοπεί απλώς στη μεγιστοποίηση της ποσότητας φωτός που εισέρχεται στο κτίριο, αλλά στην αποτελεσματική αξιοποίησή του σε συνδυασμό με τον έλεγχο της θάμβωσης, της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και των έντονων αντιθέσεων λαμπρότητας. Παράλληλα, η αξιοποίηση του διαθέσιμου φυσικού φωτός μπορεί να περιορίσει την ανάγκη χρήσης τεχνητού φωτισμού και, κατά συνέπεια, τη σχετική ενεργειακή κατανάλωση.

Η σημασία του φυσικού φωτισμού και της ποιότητας του φωτεινού περιβάλλοντος αποτυπώνεται και σε διεθνή συστήματα αξιολόγησης της βιωσιμότητας των κτιρίων, όπως τα LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) και BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Τα συστήματα αυτά δεν αποτελούν πρότυπα φωτισμού, αλλά εντάσσουν τον φωτισμό στο ευρύτερο πλαίσιο της περιβαλλοντικής απόδοσης και της ποιότητας του εσωτερικού περιβάλλοντος. Στο LEED, η κατηγορία Indoor Environmental Quality περιλαμβάνει κριτήρια που αφορούν, μεταξύ άλλων, τον εσωτερικό φωτισμό, το φυσικό φως και τη θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον ενώ στο BREEAM η κατηγορία Hea 01 Visual Comfort εξετάζει συνδυαστικά τον φυσικό φωτισμό, τον τεχνητό φωτισμό και τη δυνατότητα ελέγχου του φωτισμού από τους χρήστες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παρούσα εργασία παρουσιάζει η μεταβλητότητα του φυσικού φωτός. Η ποσότητα, τα φασματικά και χωρικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, με αποτέλεσμα το συνολικό φωτεινό περιβάλλον ενός γραφείου που δέχεται φυσικό φως να αποτελεί μία χρονικά μεταβαλλόμενη συνθήκη. Ο συντονισμός φυσικού και τεχνητού φωτισμού μπορεί, επομένως, να απαιτεί αντίστοιχη προσαρμογή του τεχνητού φωτισμού στις μεταβολές του διαθέσιμου φυσικού φωτός.

Η αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών φωτισμού, ενεργειακά αποδοτικών πηγών φωτός και προηγμένων συστημάτων διαχείρισης φωτισμού βελτιώνει σημαντικά την οπτική άνεση στον χώρο εργασίας, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους συντήρησης. Τα συμβατικά, στατικά και τυποποιημένα συστήματα φωτισμού αντικαθίστανται από ευέλικτες λύσεις που προσφέρουν δυναμικό φωτισμό υψηλής ποιότητας, ο οποίος μπορεί να προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες των χρηστών και των δραστηριοτήτων. Λύσεις φωτισμού ενσωματώνουν τις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε γραφείου λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες των χρηστών των χώρων.

Πέρα από τις μεταβολές του φυσικού φωτός, ο σχεδιασμός του φωτισμού στους σύγχρονους χώρους γραφείων καλείται να ανταποκριθεί και στην ποικιλία των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στο εργασιακό περιβάλλον. Εργασία σε οθόνη, ανάγνωση και γραφή, σχεδιασμός, συνεργασία, συναντήσεις, παρουσιάσεις, τηλεδιασκέψεις και άτυπη επικοινωνία μπορούν να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο ή να εναλλάσσονται κατά τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας. Όπως προκύπτει και από τις διαφορετικές απαιτήσεις του EN 12464-1, οι δραστηριότητες αυτές δεν αντιστοιχούν κατ' ανάγκη στις ίδιες απαιτήσεις φωτισμού. Παράλληλα, οι ανάγκες και οι προτιμήσεις ως προς το φωτεινό περιβάλλον μπορεί να διαφοροποιούνται μεταξύ των χρηστών. Προκύπτει, επομένως, η ανάγκη για έναν βαθμό ευελιξίας και δυνατότητας ελέγχου του φωτισμού ανάλογα με τη δραστηριότητα, τις συνθήκες του χώρου και τον χρήστη.

Οι παραπάνω παράμετροι αναδεικνύουν ότι ο σχεδιασμός του φωτισμού στους σύγχρονους χώρους γραφείων δεν μπορεί να περιορίζεται στην εξασφάλιση μιας σταθερής τιμής έντασης φωτισμού. Το συνολικό φωτεινό περιβάλλον διαμορφώνεται από τη συνύπαρξη φυσικού και τεχνητού φωτισμού, τις διαφορετικές οπτικές εργασίες και δραστηριότητες, καθώς και τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των χρηστών. Η δυνατότητα ελέγχου και μεταβολής των χαρακτηριστικών του τεχνητού φωτισμού επιτρέπει την προσαρμογή του στις μεταβαλλόμενες αυτές συνθήκες. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση του δυναμικού φωτισμού ως

ενός συστήματος που μπορεί να μεταβάλλει το φωτεινό περιβάλλον σε συνάρτηση με τον χρόνο, τη δραστηριότητα, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τον χρήστη, δημιουργώντας τη βάση για τη διερεύνηση του ρόλου του στην εμπειρία και τη συμπεριφορά των εργαζομένων.

5. Μελέτες Περίπτωσης

5.1 Πειραματική εφαρμογή δυναμικού φωτισμού σε χώρο γραφείου του πανεπιστημίου Aalborg στην Κοπεγχάγη

Αντικείμενο και λόγοι επιλογής της μελέτης

Η πειραματική εφαρμογή δυναμικού φωτισμού σε χώρο γραφείου του Πανεπιστημίου Aalborg στην Κοπεγχάγη (Hansen, Bjørner, Xylakis & Pajuste, 2022) επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης αρχιτεκτονικού φωτισμού στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς αποτελεί ένα τεκμηριωμένο παράδειγμα εφαρμογής δυναμικού φωτισμού σε συνθήκες πραγματικού εργασιακού περιβάλλοντος και όχι σε ελεγχόμενο εργαστηριακό θάλαμο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με πραγματικούς χρήστες του χώρου και υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες φυσικού φωτισμού κατά τη διάρκεια τεσσάρων μηνών, από τον Σεπτέμβριο έως τον Δεκέμβριο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ο τεχνητός φωτισμός δεν ακολουθούσε αποκλειστικά σενάρια φωτισμού με χρονικό προγραμματισμό, αλλά προσαρμοζόταν στις εκάστοτε συνθήκες φυσικού φωτισμού, με βάση τη στάθμη του φυσικού φωτός και την κατάσταση του ουρανού. Επιπλέον, η μελέτη επικεντρώνεται κυρίως στην υποκειμενική εμπειρία των εργαζομένων και ειδικότερα στην οπτική άνεση, στην αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα και την εργασιακή δέσμευση, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα συναφή με τη διερεύνηση της επίδρασης του δυναμικά φωτιζόμενου περιβάλλοντος στην εμπειρία και τη συμπεριφορά των χρηστών.

Σχεδιασμός και λειτουργία του συστήματος δυναμικού φωτισμού

Οι μελετητές προτείνουν ένα καινοτόμο σύστημα που προκύπτει από την αλληλεπίδραση δύο δυναμικών συστημάτων, τον φυσικό και τον τεχνητό φωτισμό, ως ένα ενιαίο σύστημα φωτισμού, το οποίο ονομάζουν διπλό δυναμικό φωτισμό. Ο τεχνητός φωτισμός δεν ακολουθεί ένα προκαθορισμένο ημερήσιο πρόγραμμα αλλά μεταβάλλει τρεις παραμέτρους: *α. Την αναλογία διάχυτου/ άμεσου φωτισμού, β. Την θερμοκρασία χρώματος και γ. Την κατεύθυνση του φωτός*, ώστε να συμπληρώνει τις

πραγματικές μεταβολές των συνθηκών του ουρανού και της ποσότητας του φυσικού φωτός.

Αρχικά, προηγήθηκαν δύο πιλοτικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στον ίδιο χώρο, προκειμένου να αξιολογηθούν οι αντιλαμβανόμενες ποιότητες του δυναμικού φωτισμού, μέσω μεταβολών στην αναλογία άμεσου/ διάχυτου φωτισμού και στη θερμοκρασία χρώματος αντίστοιχα, διατηρώντας παράλληλα τις απαιτήσεις των προτύπων φωτισμού, δηλαδή τουλάχιστον 500 lx στην περιοχή εργασίας και 300 lx στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι, διαμορφώθηκαν πέντε κριτήρια που εφαρμόστηκαν στη συνέχεια στο κύριο πείραμα:

1. Κατευθυντικός φωτισμός προς την περιοχή εργασίας. Χρήση spotlights οροφής με περίπου 36° γωνία δέσμης και 32° κλίση, σε συνδυασμό με τον διάχυτο φωτισμό από τα υφιστάμενα πάνελ οροφής. Η κατεύθυνση του τεχνητού φωτισμού συμπληρώνει την κατεύθυνση εισόδου του φυσικού φωτός από τα πλευρικά παράθυρα του χώρου.
2. Αναλογία άμεσου/διάχυτου φωτισμού 20/80 έως 40/60. Το εύρος αυτό επιλέχθηκε ώστε να είναι αντιληπτή η ανάδειξη της μορφής και της τρισδιάστατης υπόστασης των αντικειμένων και του χώρου (light modelling), χωρίς να δημιουργούνται δυσάρεστες αντιθέσεις.
3. Η CCT του διάχυτου φωτισμού μεταβάλλεται ανάλογα με τον ουρανό. Με νεφосκεπή ουρανό εφαρμόζεται ουδέτερος γενικός φωτισμός < 5000K, ώστε να αντισταθμίζεται η ψυχρή ατμόσφαιρα της συννεφιάς. Με καθαρό ουρανό εφαρμόζεται ψυχρότερος γενικός φωτισμός > 5000K, ώστε να συμπληρώνει την ψυχρότερη φυσική φωτεινή ατμόσφαιρα.
4. Θερμό άμεσο και ψυχρό ή ουδέτερο διάχυτο φως. Ο συνδυασμός επιλέγεται επειδή δημιουργεί μια φωτεινή κατάσταση που οι συμμετέχοντες αντιλήφθηκαν ως περισσότερο φυσική.
5. Τήρηση των απαιτούμενων επιπέδων φωτισμού. Τουλάχιστον 500lx στην περιοχή εργασίας και 300lx στην άμεση περιβάλλουσα περιοχή.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε υφιστάμενο χώρο γραφείου στην πανεπιστημιούπολη της Κοπεγχάγης του Aalborg University, στη Δανία. Ο χώρος είχε διαστάσεις 4,40μ. × 5,00μ. και ύψος 2,60μ., ενώ οι τοίχοι ήταν βαμμένοι λευκοί. Το γραφείο βρίσκεται στον τρίτο όροφο και δεν υπάρχουν απέναντι εμπόδια που να εμποδίζουν την είσοδο του φυσικού φωτός, έχει νοτιοδυτικό προσανατολισμό, διαθέτει δύο παράθυρα τα οποία είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρικά σκίαστρα που μπορούν να ελέγχονται χειροκίνητα. Οι υαλοπίνακες κάθε παραθύρου είναι 0,80μ. × 1,07μ. ενώ συνολικά η επιφάνεια των παραθύρων αντιστοιχεί στο 7,7% της επιφάνειας του δαπέδου.

Ο εξοπλισμός του γραφείου αποτελείται από τέσσερα τραπέζια, καθίσματα και ορισμένα ερμάρια. Ο χώρος οργανώθηκε από τους συμμετέχοντες σύμφωνα με τις δικές τους προτιμήσεις και τοποθετήθηκε ο προσωπικός τους εξοπλισμός (υπολογιστές κ.λπ.). Σε αντίθεση με ένα αυστηρά ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον, επιχειρήθηκε να δημιουργηθεί ένας χώρος που να προσεγγίζει περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες καθημερινής εργασίας.

Η ανακλαστικότητα των επιφανειών ήταν 77% για τους τοίχους και 18% για τις επιφάνειες των τραπεζιών. Οι μετρήσεις να έγιναν με Hagner EC1 Luxmeter.

Ο τεχνητός φωτισμός του χώρου, που τοποθετήθηκε, αποτελείται από δύο διαφορετικές ομάδες φωτιστικών LED ρυθμιζόμενα μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας χρώματος (dimnable, tunable-white) με δυνατότητα μεταβολής της CCT από 2700K έως 6500K. Συγκεκριμένα, οι ομάδες φωτιστικών περιλάμβαναν:

α. 4 φωτιστικά πάνελ οροφής **Fagerhult Multilume Flat Delta**, για τον διάχυτο φωτισμό που παρείχαν ένταση φωτισμού έως 300lx,

β. 4 spotlights **Zumtobel Arcos 3**, για τον άμεσο/ κατευθυντικό φωτισμό εργασίας (direct task lighting) με γωνία δέσμης 36° και κλίση 32°. Η κλίση των 32° επιλέχθηκε ώστε η κατεύθυνση του τεχνητού άμεσου φωτισμού να προσεγγίζει την κατεύθυνση εισόδου του φυσικού φωτός από τα πλευρικά παράθυρα. Έτσι, τα spotlights λειτουργούσαν ως συνέχεια ή συμπλήρωση του φυσικού φωτός προσθέτοντας περίπου

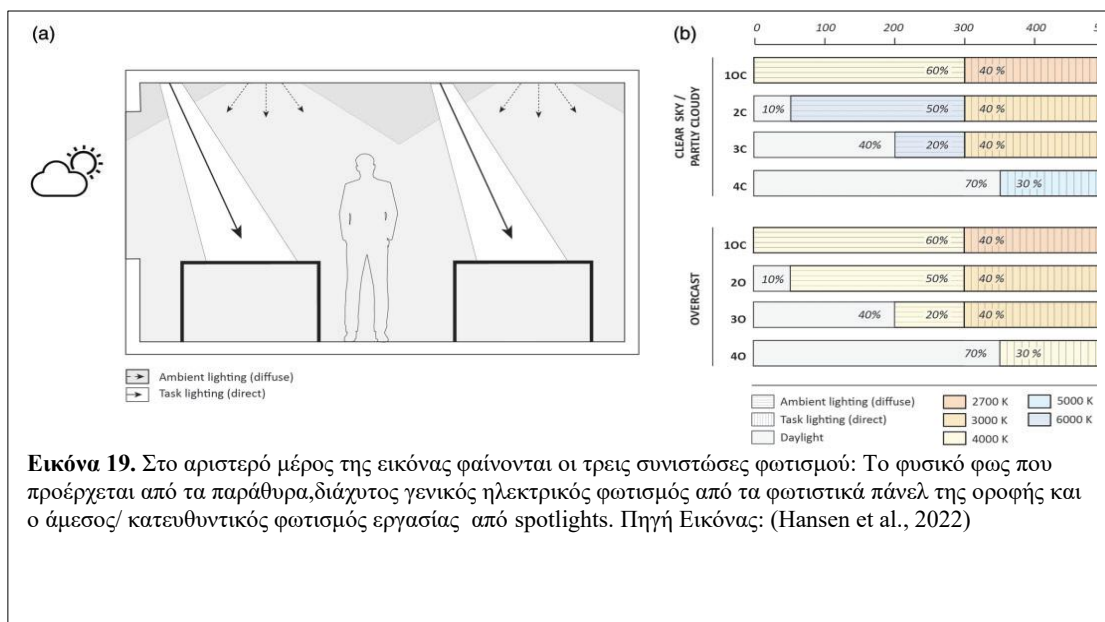
200lx φωτισμού εργασίας στο επίπεδο εργασίας, ώστε να επιτυγχάνεται συνολικός φωτισμός 500lx.

Για την καταγραφή των εξωτερικών και εσωτερικών φωτεινών συνθηκών χρησιμοποιήθηκε σύστημα αισθητήρων, ενώ η διαχείριση των φωτιστικών πραγματοποιούνταν μέσω συστήματος ελέγχου DALI. Τα δεδομένα της κατάστασης του ουρανού και της διαθέσιμης ποσότητας φυσικού φωτός χρησιμοποιούνταν για την αυτόματη ενεργοποίηση της αντίστοιχης φωτεινής ρύθμισης.

Συνολικά, προγραμματίστηκαν επτά ρυθμίσεις φωτισμού οι οποίες καθορίζονταν από δύο βασικές παραμέτρους:

1. *Την είσοδο φυσικού φωτός*, η οποία μετρούνταν μέσω αισθητήρα ως ένταση φυσικού φωτισμού στο επίπεδο εργασίας.
2. *Την κατάσταση του ουρανού*, η οποία χαρακτηριζόταν είτε ως νεφοσκεπής είτε ως καθαρός/μερικώς νεφελώδης, βάσει δεδομένων που συλλέγονταν από sky scanner.

Οι επτά ρυθμίσεις, που φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 2, διαμορφώθηκαν με βάση τέσσερα επίπεδα εισροής φυσικού φωτός στα 50lx, 200lx, 350lx και 500lx. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 19, όταν ο διαθέσιμος τεχνητός και φυσικός φωτισμός έφθανε στα 750lx, θεωρήθηκε ότι ο τεχνητός φωτισμός δεν ήταν πλέον απαραίτητος και απενεργοποιούνταν αυτόματα. Επομένως, η συνολική ένταση φωτισμού στην περιοχή εργασίας δεν παρέμενε σταθερή στα 500 lx, αλλά μεταβαλλόταν μεταξύ 500lx και 750lx, ανάλογα με τη συνεισφορά του φυσικού φωτός. Όταν ο τεχνητός φωτισμός ήταν σε λειτουργία τα spotlights που ήταν υπεύθυνα για το άμεσο φωτισμό, αποτελούσαν το 20% έως 40% της συνολικής συνθήκης φωτισμού.



Πίνακας 2: Προτεινόμενες ρυθμίσεις συτήματος δυναμικού φωτισμού.

Ρύθμιση	Κατάσταση ουρανού	Φυσικός φωτισμός	Διάχυτος φωτισμός	Άμεσος/Κατευθυντικός φωτισμός εργασίας
10C	κοινή ρύθμιση	0% (≤50 lx)	60%- 4000 K	40%- 2700 K
2C	καθαρός/μερικώς νεφελώδης	10% (>50 έως 200 lx)	50%-6000 K	40%- 3000 K
3C	καθαρός/μερικώς νεφελώδης	40% >200 έως 350 lx	20%-6000 K	40%- 3000 K
4C	καθαρός/μερικώς νεφελώδης	70% >350 έως 500 lx	—	30%- 5000 K
2O	νεφοσκεπής	10% (>50 έως 200 lx)	50%-4000 K	40%- 3000 K
3O	νεφοσκεπής	40% >200 έως 350 lx	20%-4000 K	40%- 3000 K
4O	νεφοσκεπής	70% >350 έως 500 lx	—	30%- 4000 K

Η **πειραματική ομάδα** αποτελούνταν από τέσσερις συμμετέχοντες, άνδρες, μέσης ηλικίας 25,5 ετών, εκ των οποίων τρεις ήταν εργαζόμενοι μιας νεοφυούς επιχείρησης (start-up) και ένας μεταπτυχιακό φοιτητή. Όλοι δραστηριοποιούνταν στον ευρύτερο τομέα της παραγωγής ψηφιακών μέσων και περνούσαν περισσότερο από το 70% του χρόνου εργασίας τους μπροστά σε υπολογιστή. Κανένας από τους συμμετέχοντες δεν είχε προβλήματα όρασης πέρα από μυωπία ή υπερμετρωπία. Παράλληλα, δημιουργήθηκε **ομάδα ελέγχου** επίσης τεσσάρων ατόμων, η οποία αποτελούνταν από φοιτητές του μεταπτυχιακού προγράμματος Service System Design του Aalborg University, τρεις γυναίκες και ενός άνδρα μέσης ηλικίας 21,5 ετών. Η ομάδα εργαζόταν σε παρόμοιο γραφείο αλλά με σταθερό φωτισμό. Η συνθήκη φωτισμού της ομάδας ελέγχου ήταν ίδια με τη στατική συνθήκη της πειραματικής ομάδας ως προς τα φωτιστικά πάνελ, τη στάθμη φωτισμού και την CCT.

Η μελέτη είχε διάρκεια τεσσάρων μηνών, από τον Σεπτέμβριο έως και τον Δεκέμβριο 2019, καλύπτοντας την εποχική μετάβαση από το φθινόπωρο στο χειμώνα. Συνολικά, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν 8 εβδομάδες στατικού φωτισμού και 8 εβδομάδες δυναμικού φωτισμού και σε κάθε μήνα υπήρχε περίοδος εφαρμογής τόσο στατικού όσο και δυναμικού φωτισμού. Η επιλογή έγινε σκόπιμα λόγω των σημαντικών μεταβολών του φυσικού φωτός, που εξαρτώνται από τη θέση της Κοπεγχάγης που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος περίπου 56° N, με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται σημαντικά τόσο η διάρκεια της ημέρας όσο και οι ώρες της ηλιοφάνειας.

Μεθοδολογία αξιολόγησης και εμπειρία των χρηστών

Η αξιολόγηση της επίδρασης του συστήματος δυναμικού φωτισμού επικεντρώθηκε στην υποκειμενική εμπειρία των χρηστών και οργανώθηκε γύρω από τρεις βασικούς άξονες: την οπτική άνεση, την αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα του χώρου και την εργασιακή δέσμευση. Η επιλογή των συγκεκριμένων παραμέτρων επέτρεψε στους ερευνητές να εξετάσουν όχι μόνο την άμεση οπτική απόκριση των χρηστών στις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, αλλά και πιθανές επιδράσεις στη διάθεση και στη σχέση τους με την εκτελούμενη εργασία.

Για την αξιολόγηση εφαρμόστηκε συνδυαστική ποιοτική και ποσοτική μεθοδολογία, με τη χρήση ερωτηματολογίων και ατομικών συνεντεύξεων. Τα ερωτηματολόγια περιλάμβαναν ερωτήσεις σχετικά με την καταλληλότητα του φωτισμού για την εκτέλεση των εργασιών, την εμφάνιση οπτικής δυσφορίας από τον φυσικό ή τον τεχνητό φωτισμό, τη φυσικότητα και την άνεση της φωτεινής ατμόσφαιρας, καθώς και τον βαθμό στον οποίο ο φωτισμός γινόταν αντιληπτός ως διεγερτικός για την εργασία. Παράλληλα, για τη διερεύνηση της εργασιακής δέσμευσης αξιολογήθηκαν παράμετροι όπως η αντιλαμβανόμενη εργασιακή απόδοση, η παρακίνηση, η συγκέντρωση, η ροή εργασίας, η παραγωγή καινοτόμων ιδεών και η προθυμία ανάληψης ρίσκου κατά την εκτέλεση εργασιακών καθηκόντων.

Συμπληρωματικά, πραγματοποιήθηκαν ατομικές συνεντεύξεις μετά από συνεχόμενες περιόδους έκθεσης στις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Στις συνεντεύξεις διερευνήθηκαν η γενικότερη εμπειρία του φωτισμού, η οπτική άνεση, η αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα και η εργασιακή δέσμευση. Για την περιγραφή της εμπειρίας χρησιμοποιήθηκαν επίσης *reaction cards* με χαρακτηρισμούς όπως *άνετος*, *φυσικός*, *διεγερτικός*, *ενθαρρυντικός*, *χαλαρωτικός*, *κλινικός*, *άβολος* και *αποθαρρυντικός*. Η ποιοτική αυτή προσέγγιση επέτρεψε την καταγραφή αντιδράσεων των χρηστών που δεν μπορούσαν να αποτυπωθούν αποκλειστικά μέσω των αριθμητικών δεδομένων των ερωτηματολογίων.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τη διερεύνηση του δυναμικού φωτισμού ως εργαλείου διαμόρφωσης της συμπεριφοράς, καθώς η αξιολόγηση δεν περιορίζεται στην αποδοχή ή την οπτική άνεση του συστήματος, αλλά επεκτείνεται σε παραμέτρους που συνδέονται άμεσα με την εργασιακή συμπεριφορά, όπως η συγκέντρωση, η παρακίνηση, η εργασιακή ροή και η παραγωγή νέων ιδεών.

Αποτελέσματα και συμπεράσματα της εφαρμογής

Το εξεταζόμενο σύστημα φωτισμού λειτουργεί ως ένα **προσαρμοζόμενο σύστημα δυναμικού φωτισμού**, όπου οι μεταβολές στον τεχνητό φωτισμό προκαλούνται από τις

πραγματικές μεταβαλλόμενες συνθήκες του εξωτερικού φωτεινού περιβάλλοντος και όχι αποκλειστικά βάσει ενός χρονικού προγραμματισμού. Ουσιαστικά, από τα δεδομένα που συλλέγονται σχετικά με τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός και την κατάσταση του ουρανού, ενεργοποιείται το κατάλληλο σενάριο φωτισμού κι έτσι μεταβάλλονται η φωτεινή ένταση, η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και η αναλογία άμεσου και διάχυτου φωτισμού.

Παράλληλα, το εφαρμοζόμενο σύστημα φωτισμού δεν επιχειρεί να εξαλείψει πλήρως τη μεταβλητότητα του φυσικού φωτός διατηρώντας σταθερή ένταση φωτισμού 500lx στο επίπεδο εργασίας. Αντίθετα, επιτρέπει στη συνολική της έντασης φωτισμού να μεταβάλλεται μεταξύ 500 και 750lx, ανάλογα με τη συνεισφορά του φυσικού φωτός. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα δυναμικά φωτιζόμενο περιβάλλον γραφείου που διατηρεί αντιληπτική σχέση με τις πραγματικές συνθήκες φωτός του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Ως προς την **οπτική άνεση**, τα αποτελέσματα έδειξαν γενικότερη προτίμηση των συμμετεχόντων προς τον δυναμικό φωτισμό. Κατά τις περιόδους στατικού φωτισμού καταγράφηκαν περισσότερες αρνητικές αναφορές, ιδιαίτερα κατά τις βραδινές ώρες, όταν η σταθερή στάθμη φωτισμού γινόταν αντιληπτή ως υπερβολικά έντονη σε σχέση με το σκοτεινό εξωτερικό περιβάλλον. Αντίθετα, ο συνδυασμός άμεσου φωτισμού εργασίας και διάχυτου γενικού φωτισμού του διπλού δυναμικού συστήματος αξιολογήθηκε θετικότερα ως προς την οπτική άνεση. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι μεταβάσεις μεταξύ των φωτεινών ρυθμίσεων γίνονταν συνήθως αντιληπτές ελάχιστα ή καθόλου, ενώ παρέμεναν εντός ενός εύρους που οι συμμετέχοντες περιέγραφαν ως άνετο και φυσικό.

Αντίστοιχα, θετικές επιδράσεις καταγράφηκαν ως προς την **αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα**. Οι συμμετέχοντες περιέγραψαν το δυναμικό φωτισμό ως περισσότερο φυσικό, άνετο και διεγερτικό, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ανέφεραν ότι ο φυσικός και ο τεχνητός φωτισμός έμοιαζαν να συνδυάζονται σε μία ενιαία φωτεινή κατάσταση. Αντίθετα, κατά τις περιόδους στατικού φωτισμού και ιδιαίτερα μετά τη δύση του ήλιου

εμφανίστηκαν χαρακτηρισμοί όπως “κλινικό” και “άβολο”. Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς υποδηλώνει ότι η εμπειρία του φωτισμού δεν εξαρτάται μόνο από την επίτευξη μιας συγκεκριμένης τιμής έντασης φωτισμού στο επίπεδο εργασίας, αλλά και από τη σχέση της εσωτερικής φωτεινής συνθήκης με το χρονικά μεταβαλλόμενο εξωτερικό περιβάλλον.

Ως προς την **εργασιακή δέσμευση**, τα αποτελέσματα είναι θετικά αλλά περισσότερο σύνθετα. Κατά τον Οκτώβριο, περίοδο κατά την οποία καταγράφηκε και η μεγαλύτερη ποικιλία ενεργοποίησης διαφορετικών φωτεινών ρυθμίσεων, ο δυναμικός φωτισμός συνδέθηκε με θετικότερες αξιολογήσεις ως προς την παρακίνηση, τη συγκέντρωση και τη ροή εργασίας. Ωστόσο, κατά τη σύγκριση της πειραματικής ομάδας με την ομάδα ελέγχου, στατιστικά σημαντική διαφορά εντοπίστηκε μόνο στην παράμετρο που αφορούσε την παραγωγή νέων και καινοτόμων ιδεών. Επομένως, τα αποτελέσματα δεν τεκμηριώνουν ότι ο δυναμικός φωτισμός προκαλεί συνολική ή άμεση βελτίωση της εργασιακής απόδοσης.

Από τις ποιοτικές συνεντεύξεις, ωστόσο, προέκυψαν ενδιαφέρουσες ενδείξεις σχετικά με τη σχέση φωτισμού και εργασιακής συμπεριφοράς. Συμμετέχοντες ανέφεραν ότι ο δυναμικός φωτισμός υποστήριζε την εγρήγορση και την παρακίνηση τους, ενώ κατά τη στατική συνθήκη ο έντονος φωτισμός μετά τη δύση του ήλιου περιεγράφηκε σε μία περίπτωση ως παράγοντας που συνέβαλε στην απόφαση του εργαζομένου να διακόψει την εργασία του και να αποχωρήσει από τον χώρο. Παρότι μία τέτοια μεμονωμένη αναφορά δεν μπορεί να γενικευθεί, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παρούσα εργασία, καθώς αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο η φωτεινή συνθήκη μπορεί να συμμετέχει στη διαμόρφωση μιας πραγματικής εργασιακής συμπεριφοράς.

Παράλληλα, από τις δηλώσεις των συμμετεχόντων προέκυψε η επιθυμία για **προσωπικό έλεγχο του φωτισμού**, ιδιαίτερα όσον αφορά τον φωτισμό εργασίας. Οι ίδιοι οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι οι υποκειμενικές εμπειρίες και οι προσωπικές προτιμήσεις διαφοροποιούνται μεταξύ των χρηστών και προτείνουν τη μελλοντική

ενσωμάτωση εξατομικευμένων ρυθμίσεων έντασης και θερμοκρασίας χρώματος. Το στοιχείο αυτό αναδεικνύει ένα σημαντικό όριο ενός πλήρως αυτοματοποιημένου δυναμικού συστήματος, δηλαδή η προσαρμογή στις περιβαλλοντικές συνθήκες δεν συνεπάγεται απαραίτητα προσαρμογή στις ανάγκες κάθε εργαζομένου.

Υπό το πρίσμα της παρούσας εργασίας, η συγκεκριμένη εφαρμογή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή δείχνει ότι ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να λειτουργήσει ως έμμεσο εργαλείο διαμόρφωσης της εργασιακής συμπεριφοράς, όχι μέσω μιας απλής αιτιώδους σχέσης “μεταβολή φωτισμού – μεταβολή απόδοσης”, αλλά μέσω της διαμόρφωσης των συνθηκών μέσα στις οποίες εκδηλώνεται η συμπεριφορά. Η μεταβολή της οπτικής άνεσης, της αντιλαμβανόμενης ατμόσφαιρας, της εγρήγορσης και της παρακίνησης μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης βιώνει τον χώρο, παραμένει σε αυτόν και εμπλέκεται στην εργασία του. Ωστόσο, λόγω του πολύ μικρού αριθμού συμμετεχόντων, των διαφορών μεταξύ πειραματικής ομάδας και ομάδας ελέγχου και της εξάρτησης των αποτελεσμάτων από τις συγκεκριμένες εποχικές, χωρικές και εργασιακές συνθήκες, τα ευρήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν ως ενδείξεις και όχι ως απόδειξη μιας γενικευμένης αιτιώδους επίδρασης του δυναμικού φωτισμού στην ανθρώπινη συμπεριφορά.

5.2 R/GA Offices, Νέα Υόρκη

Αντικείμενο και λόγοι επιλογής της μελέτης

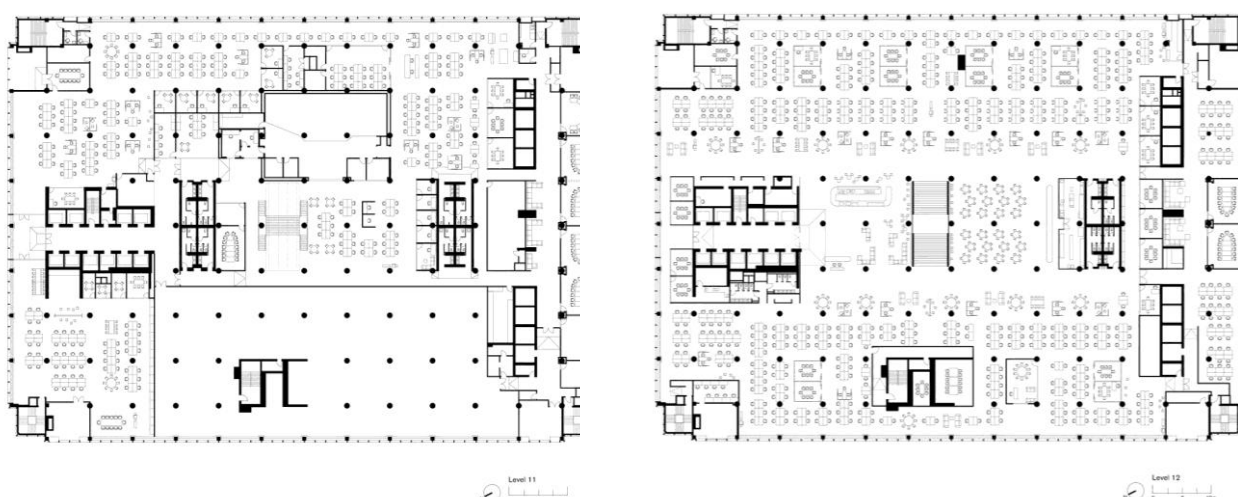
Η περίπτωση των γραφείων της διαφημιστικής εταιρείας R/GA, στο συγκρότημα Manhattan West στη Νέα Υόρκη, επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης επειδή αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής χρονικά προγραμματισμένου δυναμικού συστήματος φωτισμού σε μεγάλο και ευέλικτο περιβάλλον γραφείων. Σε αντίθεση με την πειραματική εφαρμογή του Πανεπιστημίου Aalborg, στην οποία ο τεχνητός φωτισμός προσαρμοζόταν στις πραγματικές μεταβολές του φυσικού φωτός και στην κατάσταση του ουρανού, το σύστημα της R/GA βασίζεται κυρίως σε ένα προκαθορισμένο ημερήσιο πρόγραμμα μεταβολής της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παρούσα εργασία, καθώς η χρονική μεταβολή του φωτισμού συνδυάζεται με έμμεσο φωτισμό, ασύρματο έλεγχο, δυνατότητα τοπικής παρέμβασης και εφαρμογή διαφορετικών φωτεινών σκηνών. Με αυτόν τον τρόπο, ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως μέσο εξασφάλισης των απαιτούμενων συνθηκών ορατότητας, αλλά ως ενεργό στοιχείο της χωρικής και εργασιακής εμπειρίας, με την πρόθεση να υποστηρίξει την ευεξία των εργαζομένων και τις διαφορετικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στον χώρο.

Σχεδιασμός και λειτουργία του συστήματος δυναμικού φωτισμού

Τα γραφεία αναπτύσσονται σε δύο επίπεδα, στον 11ο και στον 12ο όροφο του συγκροτήματος και καταλαμβάνουν συνολική επιφάνεια περίπου 15.330Τ.Μ. Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των γραφείων ανατέθηκε στους Foster + Partners και ολοκληρώθηκε το 2016. Ως προτεραιότητες του σχεδιασμού ήταν η δημιουργία ενός περιβάλλοντος εργασίας που να προσφέρει άνεση στους εργαζομένους, ενθάρρυνση για συνεργασία και συναναστροφή με ενσωμάτωση των τεχνολογικών καινοτομιών.

Η χωρική οργάνωση ακολουθεί μια ευέλικτη λογική. Οι εργονομικά σχεδιασμένες ατομικές θέσεις εργασίας είναι τοποθετημένες στην περίμετρο της κάτοψης, οι κοινωνικοί και συνεργατικοί χώροι οργανώθηκαν στο κέντρο και οι μικρές αίθουσες συναντήσεων και οι χώροι ομαδικής εργασίας κατανεμήθηκαν σε ολόκληρο τον χώρο. Παράλληλα, η κλίμακα που συνδέει τους δύο ορόφους λειτουργεί και ως χώρος τυχαίων συναντήσεων και συγκεντρώσεων. Η χρήση αρθρωτών κατασκευαστικών στοιχείων επιτρέπει την αναδιάταξη των επιμέρους χώρων καθώς μεταβάλλονται οι ανάγκες της εταιρείας. Στους κοινωνικούς χώρους ενσωματώνονται ενσωματώθηκαν επίσης εξειδικευμένα συστήματα φωτισμού και προβολής, με σκοπό τη δημιουργία ψηφιακών εμπειριών για τους εργαζομένους και τους επισκέπτες (Foster + Partners).



Εικόνα 20. Κατόψεις χώρου γραφείων της R/GA.
Πηγή Εικόνας: Foster + Partners. (n.d.). R/GA.

Πριν από τη διαμόρφωση των νέων γραφείων, η εταιρεία συγκέντρωσε τις απόψεις περισσότερων από 1.000 εργαζομένων σχετικά με τα χαρακτηριστικά που επιθυμούσαν να διαθέτει το νέο εργασιακό περιβάλλον. Μία από τις βασικές επιθυμίες ήταν η μεγαλύτερη πρόσβαση στο φυσικό φως. Ωστόσο, εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας της κάτοψης, σημαντικό ποσοστό των εργαζομένων θα βρισκόταν σε μεγάλη απόσταση από τα παράθυρα (Arsenault, 2017).

Για την αντιμετώπιση αυτής της συνθήκης κρίθηκε κατάλληλος ο σχεδιασμός ενός συστήματος δυναμικού φωτισμού με στόχο τη δημιουργία μιας μεταβαλλόμενης φωτεινής ατμόσφαιρας που να παραπέμπει στον ημερήσιο κύκλο του φυσικού φωτός, ιδιαίτερα στις βαθύτερες ζώνες της κάτοψης. Ο σχεδιασμός του φωτισμού ανατέθηκε στην Tillotson Design Associates και βασίστηκε σε μία στρατηγική έμμεσου φωτισμού, η αξιοποίησε τον υφιστάμενο δομικό κάναβο και τη φατνωματική πλάκας οροφής (waffle slab). Κάθε εσοχή της λευκής πλάκας, διαστάσεων περίπου 0,91Μ.Χ0,91Μ., φωτίστηκε προς τα επάνω με ρυθμιζόμενες φωτεινές πηγές LED τύπου PAR38. Το λευκό χρώμα των επιφανειών ενίσχυε την ανάκλαση και τη διάχυση του φωτός, μετατρέποντας κάθε φάτνωμα σε στοιχείο έμμεσου γενικού φωτισμού.

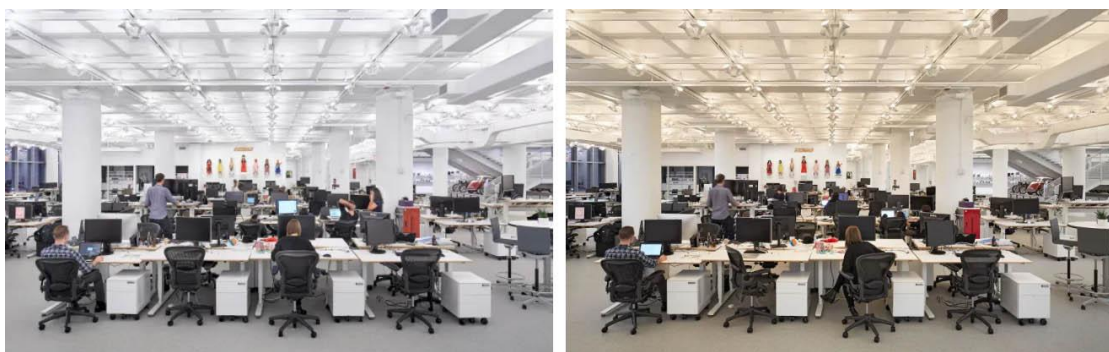


Εικόνα 21. Ενσωμάτωση του φωτισμού στον υφιστάμενο δομικό κάναβο της οροφής. Πηγή Εικόνας: Keane, 2017

Συνολικά τοποθετήθηκαν περίπου 10.000 ρυθμιζόμενοι λαμπτήρες LED, οργανωμένοι σε ομάδες των τεσσάρων. Οι φωτεινές πηγές βασίζονταν σε τεχνολογία RGBW και μπορούσαν να μεταβάλλουν τόσο το επίπεδο φωτισμού όσο και το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός. Η επιλογή αυτή επέτρεψε τη δημιουργία λευκού φωτός διαφορετικής συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος, καθώς και έγχρωμων φωτεινών

σκηνών για εκδηλώσεις και ειδικές χρήσεις. Η τοποθέτηση των φωτεινών πηγών μέσα στα φαντώματα της οροφής διατήρησε τον εμφανή βιομηχανικό χαρακτήρα του κτιρίου και δημιούργησε μια ενιαία στρατηγική φωτισμού σε όλη την έκταση των γραφείων (Lighting Controls Association, 2017).

Το σύστημα φωτισμού προγραμματίστηκε να ακολουθεί έναν ημερήσιο κύκλο, τον οποίο οι συντελεστές του έργου περιγράφουν ως πρόγραμμα υποστήριξης του κιρκάδιου ρυθμού. Η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος των φωτεινών πηγών μεταβαλλόταν σταδιακά από 2.700K, τις πρωινές ώρες έως 4.000K το μεσημέρι και μειωνόταν περίπου στους 3.000K κατά τις βραδινές ώρες. Οι μεταβάσεις πραγματοποιούνταν σταδιακά, ώστε να μην προκαλούν απότομες και ενοχλητικές αλλαγές στη φωτεινή ατμόσφαιρα. Ο καθορισμός του ημερήσιου προγράμματος πραγματοποιήθηκε αρχικά μέσω υπολογιστικής ανάλυσης, με την επιλογή των κατάλληλων τιμών ελέγχου DMX και της χρονικής διάρκειας των μεταβάσεων, και στη συνέχεια επαληθεύτηκε με επιτόπια παρατήρηση. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου της Crestron συνεργαζόταν με σύστημα Pharos για τη διαχείριση του πρωτοκόλλου DMX και με την ασύρματη τεχνολογία ελέγχου της Ketra για τη ρύθμιση των φωτεινών πηγών.

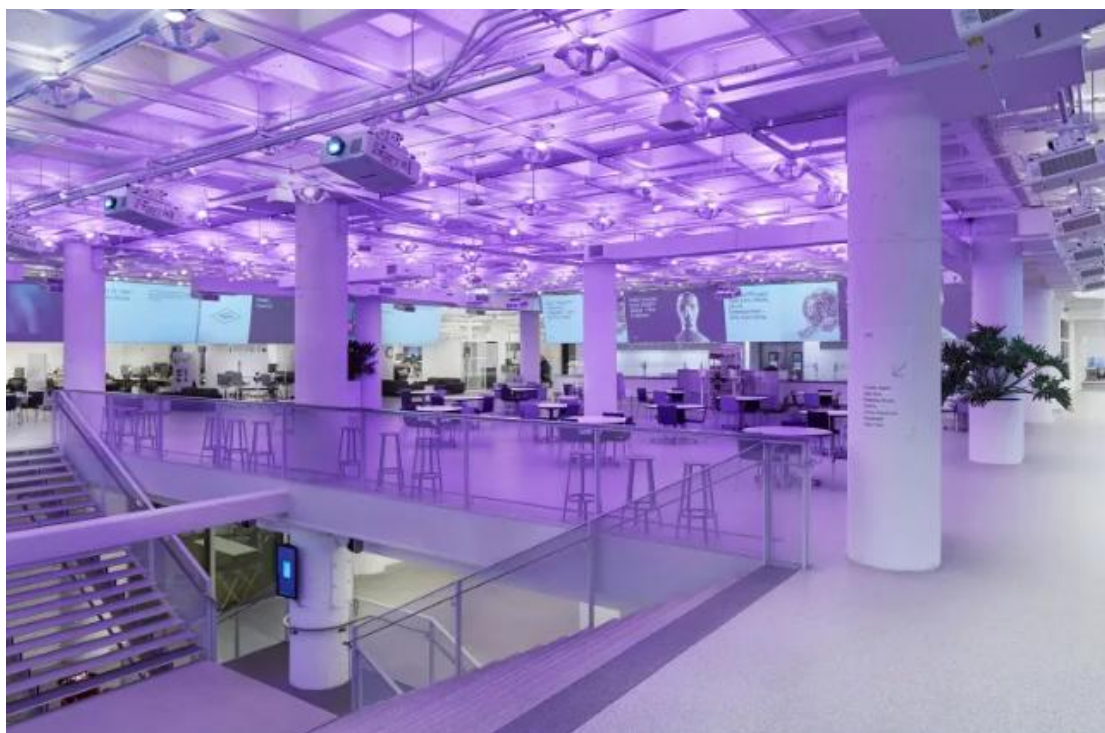


Εικόνα 22. Σύστημα δυναμικού φωτισμού βασισμένο στην υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού. Πηγή Εικόνας: Keane, 2017.

Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα χειροκίνητης παράκαμψης του κεντρικού προγράμματος και την τοπική προσαρμογή του φωτισμού στις ατομικές θέσεις εργασίας ή στους μικρούς χώρους συνεργασίας. Στις μικρές αίθουσες συναντήσεων

τοποθετήθηκαν γραμμικά φωτιστικά LED άμεσου φωτισμού για τον γενικό φωτισμό τα οποία συνδέονταν με το κεντρικό σύστημα, ώστε να ακολουθούν τις μεταβολές της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος του υπόλοιπου χώρου. Παράλληλα, οι φωτεινές ρυθμίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οπτικές ενδείξεις της κατάστασης χρήσης ή της πληρότητας μικρών αιθουσών συναντήσεων (Lighting Controls Association, 2017).

Η δυνατότητα δημιουργίας έγχρωμων δυναμικών σκηνών αποτελεί ξεχωριστή λειτουργία του συστήματος και χρησιμοποιείται κυρίως για εκδηλώσεις και ειδικές δραστηριότητες. Οι σκηνές αυτές δεν αποτελούν μέρος του ημερήσιου προγράμματος λευκού φωτισμού, αλλά αξιοποιούν το πλήρες χρωματικό εύρος της τεχνολογίας RGBW για τη μεταβολή της ατμόσφαιρας και της ταυτότητας του χώρου (Lighting Controls Association, 2017).



Εικόνα 23. Εφαρμογή έγχρωμων δυναμικών συνθηκών φωτισμού που εφαρμόζεται σε εκδηλώσεις ή ειδικές περιπτώσεις. Πηγή Εικόνας: Keane, 2017.

Στο ίδιο κεντρικό σύστημα ελέγχου ενσωματώνονται επίσης τα σκίαστρα των παραθύρων και ο οπτικοακουστικός εξοπλισμός, επιτρέποντας τη συνδυασμένη διαχείριση του φωτισμού, του φυσικού φωτός και των ψηφιακών μέσων. Το έργο απέσπασε διάκριση στην κατηγορία εσωτερικού φωτισμού στα 2017 Architectural Lighting Light & Architecture Design Awards, καθώς και βραβείο καινοτομίας για το σύστημα ελέγχου φωτισμού

Τεκμηρίωση και αναφορές για την εμπειρία των χρηστών

Για την εφαρμογή της R/GA δεν εντοπίστηκε δημοσιευμένη επιστημονική αξιολόγηση των οπτικών, μη οπτικών ή συμπεριφορικών επιδράσεων του συστήματος φωτισμού. Δεν πραγματοποιήθηκε οργανωμένη έρευνα με ερωτηματολόγια, φωτομετρικές μετρήσεις στο επίπεδο των ματιών ή σύγκριση των συνθηκών πριν και μετά την εγκατάσταση. Επομένως, δεν μπορεί να αξιολογηθεί επιστημονικά η αποτελεσματικότητα της σχεδιαστικής πρότασης ως προς την υποστήριξη του κirkάδιου ρυθμού, την ευεξία, την παραγωγικότητα ή την εργασιακή συμπεριφορά.

Η τεκμηρίωση προέρχεται κυρίως από τους αρχιτέκτονες, τους μελετητές φωτισμού, παρουσιάσεις βραβείων και δημοσιογραφικές αναφορές. Οι πηγές αυτές παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τη σχεδιαστική πρόθεση, την τεχνική λειτουργία και την αποδοχή του συστήματος, αλλά δεν ισοδυναμούν με επιστημονική αξιολόγηση.

Ο διευθύνων σύμβουλος της R/GA, Bob Greenberg ανέφερε ότι μετά τη μεταφορά στα νέα γραφεία καταγράφηκε βελτίωση της διατήρησης του προσωπικού κατά περίπου πέντε ποσοστιαίες μονάδες. Ωστόσο, ο ίδιος συνέδεσε αυτή τη μεταβολή με το σύνολο του νέου εργασιακού περιβάλλοντος και της εταιρικής εμπειρίας, συμπεριλαμβανομένων της χωρικής οργάνωσης, της άνεσης, της επίπλωσης, των παροχών και της εταιρικής κουλτούρας. Επομένως, η μεταβολή δεν μπορεί να αποδοθεί ειδικά στο σύστημα φωτισμού (Carr, 2016).

Αντίστοιχα, ο David Boehm, εκτελεστικός αντιπρόεδρος παγκόσμιων εγκαταστάσεων της R/GA, αναφέρθηκε σε μια παρατηρημένη αλλαγή στη συμπεριφορά των

εργαζομένων. Στα προηγούμενα γραφεία, ορισμένοι εργαζόμενοι συνήθιζαν να ξεβιδώνουν λαμπτήρες από τα φωτιστικά της οροφής ή να προσθέτουν επιτραπέζια φωτιστικά, προκειμένου να διαμορφώσουν πιο ανεκτές ή περισσότερο προσωπικές συνθήκες φωτισμού. Σύμφωνα με την αναφορά του, τέτοιες παρεμβάσεις δεν παρατηρήθηκαν στον ίδιο βαθμό στα νέα γραφεία (Carr, 2016).

Η παρατήρηση αυτή δεν αποδεικνύει βελτίωση του κικκάδιου συγχρονισμού ή αύξηση της παραγωγικότητας. Μπορεί, όμως, να αντιμετωπιστεί ως ανεπίσημη συμπεριφορική ένδειξη μεγαλύτερης αποδοχής των νέων συνθηκών φωτισμού ή μειωμένης ανάγκης των εργαζομένων να τις τροποποιούν με αυτοσχέδιες παρεμβάσεις. Παράλληλα, η δυνατότητα τοπικού ελέγχου ενδέχεται να ενίσχυσε την αίσθηση αυτονομίας των χρηστών, χωρίς όμως η συγκεκριμένη επίδραση να έχει αξιολογηθεί συστηματικά.

Αποτελέσματα και συμπεράσματα της εφαρμογής

Η εφαρμογή της R/GA δείχνει ότι ένα δυναμικό σύστημα φωτισμού μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα μεγάλο και ευέλικτο περιβάλλον γραφείων και να λειτουργήσει ταυτόχρονα ως γενικός φωτισμός, ως μέσο χρονικής μεταβολής της ατμόσφαιρας, ως εργαλείο υποστήριξης διαφορετικών δραστηριοτήτων και ως στοιχείο της ψηφιακής ταυτότητας του χώρου. Η ημερήσια μεταβολή της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος, η δυνατότητα τοπικής παρέμβασης και η δημιουργία ειδικών φωτεινών σκηνών επιτρέπουν στο φωτιζόμενο περιβάλλον να ανταποκρίνεται στον χρόνο, στη χρήση και στις λειτουργικές ανάγκες του χώρου.

Ωστόσο, η αναφερόμενη μείωση της αποχώρησης των εργαζομένων δεν μπορεί να αποδοθεί στο σύστημα φωτισμού, καθώς ο φωτισμός αποτελεί μόνο μία από τις παραμέτρους του συνολικού σχεδιασμού. Αντίστοιχα, η παρατήρηση ότι οι εργαζόμενοι δεν αφαιρούσαν πλέον λαμπτήρες ούτε προσέθεταν δικά τους φωτιστικά παρέχει μόνο μια ένδειξη αποδοχής των νέων συνθηκών και όχι απόδειξη επίδρασης στην ευεξία, στην απόδοση ή στον κικκάδιο ρυθμό.

Επιπλέον, η περιγραφή του ημερήσιου προγράμματος φωτισμού βασίζεται κυρίως στη μεταβολή της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος. Η CCT αποτελεί μία από τις παραμέτρους που μπορεί να μεταβάλλεται δημιουργώντας διαφορετικές ατμόσφαιρες φωτισμού. Ωστόσο, Η CCT περιγράφει τη χρωματική εμφάνιση του φωτός, αλλά δεν αποτελεί επαρκή δείκτη της φασματικής του σύστασης ή της βιολογικής του δραστηριότητας. Φωτεινές πηγές με την ίδια CCT μπορούν να παρουσιάζουν διαφορετικές φασματικές κατανομές και, ακόμη και υπό την ίδια φωτοπική ένταση φωτισμού στο επίπεδο των ματιών, σημαντικά διαφορετικές τιμές melanopic EDI (Esposito & Houser, 2022). Για την αξιολόγηση των πιθανών μη οπτικών επιδράσεων του συστήματος θα απαιτούνταν επιπλέον στοιχεία σχετικά με τη φασματική κατανομή ισχύος, το melanopic EDI στο επίπεδο των ματιών, τη ένταση, τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια της έκθεσης, καθώς και τη συνεισφορά του φυσικού φωτός.

Επιπρόσθετα, είναι γεγονός ότι το σύστημα φωτισμού προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής μιας δυναμικής ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και παρέχει δυνατότητες τοπικής παρέμβασης και προσαρμογής σε διαφορετικές δραστηριότητες. Με αυτόν τον τρόπο, ο φωτισμός συμμετέχει στη διαμόρφωση των συνθηκών μέσα στις οποίες εκδηλώνεται η εργασιακή συμπεριφορά και μπορεί να επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιλαμβάνονται, οικειοποιούνται και χρησιμοποιούν τον χώρο.

Παρά τα παραπάνω, η περίπτωση δεν αποδεικνύει ότι το δυναμικό σύστημα φωτισμού προκάλεσε συγκεκριμένη μεταβολή στη συμπεριφορά, στην ευεξία ή στην απόδοση των εργαζομένων. Κυρίως παρουσιάζει τις δυνατότητες του δυναμικού φωτισμού ως εργαλείου. Οι διαθέσιμες αναφορές στην συμπεριφορά μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο ως ενδείξεις, οι οποίες θα απαιτούσαν συστηματική μελέτη και επιστημονική αξιολόγηση προκειμένου να υποστηριχθεί ότι είναι αποτέλεσμα του φωτισμού.

5.3 The Spark στο Lund, Σουηδία

Αντικείμενο και λόγοι επιλογής της μελέτης

Το κτίριο γραφείων **The Spark** βρίσκεται στο επιστημονικό πάρκο Medicon Village, στο Lund της Σουηδίας. Σχεδιάστηκε από το αρχιτεκτονικό γραφείο Reflex Architects και ολοκληρώθηκε το 2019. Αποτελείται από επτά ορόφους, οι οποίοι στεγάζουν στο ισόγειο τον χώρο υποδοχής, το εστιατόριο και τους χώρους συνεδριάσεων, στους χαμηλότερους ορόφους μικρές επιχειρήσεις, γραφεία ενός χώρου και κοινόχρηστες λειτουργίες και στους ανώτερους ορόφους μεγαλύτερες εταιρείες με έως 100 εργαζόμενους. Το φυσικό φως εισέρχεται μέσω των περιμετρικών ανοιγμάτων και δύο εσωτερικών αιθρίων με γυάλινη οροφή, τα οποία συμβάλλουν στον φωτισμό των χώρων που βρίσκονται στον πυρήνα του κτιρίου.

Η συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε επειδή αποτελεί εφαρμογή ολοκληρωμένου φωτισμού, στην οποία συνδυάζονται το φυσικό και το τεχνητό φως, τα αυτοματοποιημένα συστήματα σκίασης, η χρονική μεταβολή της έντασης και της συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος και η δυνατότητα προσωπικής παρέμβασης των χρηστών. Παρουσιάζει, επομένως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στον δυναμικό φωτισμό, στην εμπειρία του χώρου και στην εργασιακή συμπεριφορά.

Επιπλέον, σε αντίθεση με αρκετές εφαρμογές δυναμικού φωτισμού που παρουσιάζονται κυρίως ως σχεδιαστικά έργα, στο σύστημα φωτισμού έχει πραγματοποιηθεί έρευνα πεδίου, από το Lund University στο πλαίσιο του IEA SHC Task 61. Η έρευνα συνδύασε φωτομετρικές μετρήσεις, υπολογιστικές προσομοιώσεις, καταγραφές της έκθεσης των συμμετεχόντων στο φως, ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις. Η συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση επιτρέπει την παράλληλη εξέταση των χαρακτηριστικών του φωτεινού περιβάλλοντος και της υποκειμενικής εμπειρίας των εργαζομένων (Yilmaz & Abdulhaq, 2020).

Σχεδιασμός και λειτουργία του συστήματος δυναμικού φωτισμού

Το σύστημα τεχνητού φωτισμού του κτιρίου είναι ένα σύστημα δυναμικού φωτισμού, το οποίο μεταβάλλει δυναμικά την ένταση και την συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η λειτουργία του βασίζεται σε τέσσερα προκαθορισμένα σενάρια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24. Κατά τις πρωινές ώρες παρέχεται ψυχρός και υψηλότερης έντασης φωτισμό, με συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος 6.200K., ενώ τις απογευματινές ώρες μεταβάλλεται σε θερμότερο, με θερμοκρασία χρώματος 2.300K, και παράλληλα μειώνεται η έντασή του μέσω ρύθμισης φωτεινής ροής. Ωστόσο, οι επιτόπιες μετρήσεις των ερευνητών κατέγραψαν τιμές περίπου 6.000K κατά τις πρωινές ώρες και περίπου 3.000K κατά τις απογευματινές. Η διάκριση μεταξύ των προγραμματισμένων και των πραγματικά μετρούμενων τιμών είναι σημαντική, καθώς η τελική φωτεινή συνθήκη επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των φωτιστικών, τις ανακλάσεις των επιφανειών και από τη συνεισφορά του φυσικού φωτός.

Τα φωτιστικά σώματα των γραφείων περιλαμβάνουν πάνελ LED οροφής και προβολείς σημειακού φωτισμού. Κάθε γραφείο διαθέτει δικό του πίνακα ελέγχου. Έτσι, οι χρήστες μπορούν να είτε να επιλέξουν την αυτόματη λειτουργία, οπότε τα σενάρια εναλλάσσονται με το προκαθορισμένο ημερήσιο πρόγραμμα ή να παρακάμψουν τον αυτοματισμό και να επιλέξουν χειροκίνητα ένα από τα σενάρια.



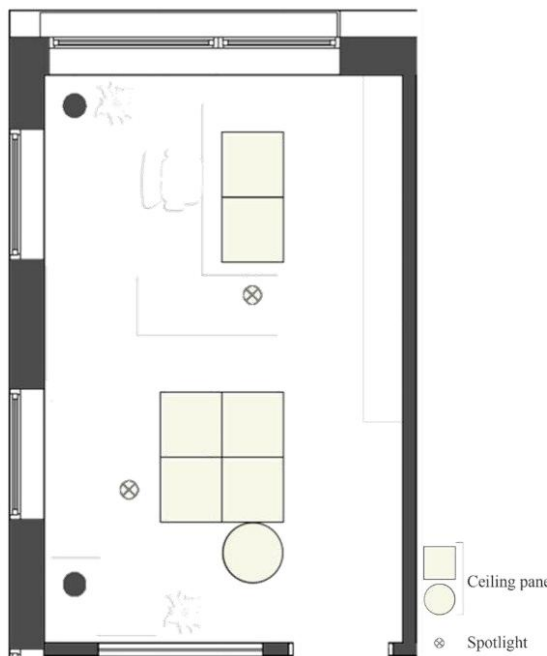
Εικόνα 24. Προκαθορισμένα σενάρια φωτισμού. Πηγή Εικόνας: Yilmaz & Abdulhaq, 2020.

Επιπλέον, όλοι οι χώροι γραφείων, εκτός από αυτούς της βόρειας όψης, είναι εξοπλισμένοι με αυτοματοποιημένα συστήματα σκίασης, τα οποία ενεργοποιούνται και προσαρμόζονται ανάλογα με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο, οι χρήστες μπορούν και σε αυτήν την περίπτωση να παρακάμψουν χειροκίνητα το σύστημα αυτόματης σκίασης. Κατά συνέπεια, ο τελικός φωτισμός προκύπτει από τη συνδυασμένη λειτουργία του φυσικού φωτός, του δυναμικού τεχνητού φωτισμού, της σκίασης και των επιλογών του χρήστη.

Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παρούσα εργασία, καθώς η συμπεριφορά δεν εξετάζεται μόνο ως πιθανό αποτέλεσμα του φωτισμού. Εμφανίζεται και ως ενεργή παράμετρος διαμόρφωσης του φωτιζόμενου περιβάλλοντος, μέσω της αποδοχής, της παράκαμψης ή της χειροκίνητης προσαρμογής των αυτοματισμών.

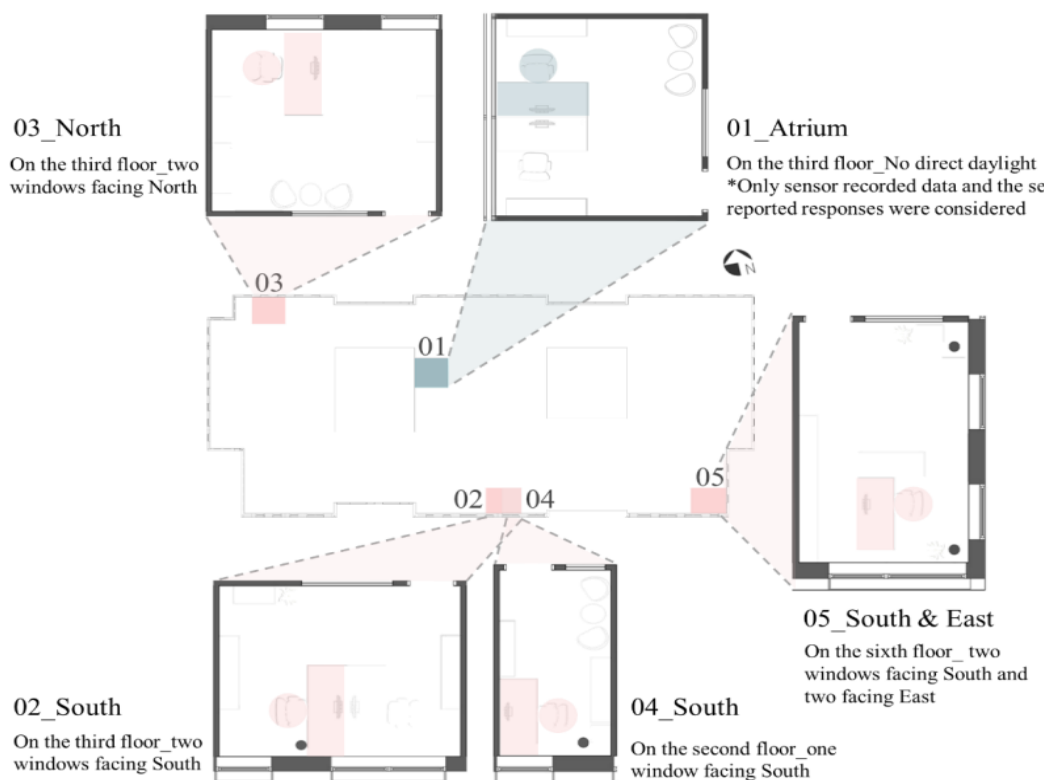
Μεθοδολογία αξιολόγησης και εμπειρία των χρηστών

Στην μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την αξιολόγηση του φωτισμού των χώρων, συμπεριλήφθηκαν γραφεία με βάση τον διαφορετικό προσανατολισμό τους, τον αριθμό των εργαζομένων και τις διαστάσεις των χώρων. Όλοι οι επιλεγμένοι χώροι ήταν ατομικά γραφεία ή γραφεία δύο ατόμων. Αυτό θεωρήθηκε βασικό για τους μελετητές καθώς οι χρήστες αυτών των χώρων διαθέτουν μεγαλύτερο βαθμό προσωπικού ελέγχου στα συστήματα φωτισμού και σκίασης σε σύγκριση με τους εργαζομένους σε γραφεία ανοιχτής διάταξης.



Εικόνα 25. Γραφείο που έλαβε μέρος στη μελέτη και κάτοψη με διάταξη του χώρου, των πηγών τεχνητού φωτισμού και τον παραθύρων από τα οποία εισέρχεται το φυσικό φως. Πηγή Εικόνας: Yilmaz & Abdulhaq, 2020.

Στην έρευνα συμμετείχαν εθελοντικά πέντε εργαζόμενοι, ηλικίας 40–59 ετών, οι οποίοι εργάζονταν σε διαφορετικά γραφεία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 26. Ο συμμετέχοντας, του οποίου το γραφείο ήταν στραμμένο προς εσωτερικό αίθριο και δεν διέθετε θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον δεν συμπεριλήφθηκε στις υπολογιστικές προσομοιώσεις. Ωστόσο, η εμπειρία συγκεκριμένου συμμετέχοντα συμπεριλήφθηκε στην ποιοτική αξιολόγηση.



Εικόνα 26. Χώροι γραφείων που συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη. Πηγή Εικόνας: Yilmaz & Abdulhaq, 2020.

Η αξιολόγηση του ολοκληρωμένου συστήματος φωτισμού περιλαμβάνει δύο μεθόδους, *Τεχνικές Αξιολογήσεις Περιβάλλοντος (Technical Environment Assessments – TEAs)* και *Αξιολογήσεις Περιβάλλοντος βάσει Παρατήρησης (Observed-based Environmental Assessments – OBEAs)* (Yilmaz & Abdulhaq, 2020).

Οι **τεχνικές αξιολογήσεις** περιλάμβαναν:

- Καταγραφές της έκθεσης στο φως και δραστηριότητας μέσω συσκευών που φορούσαν οι συμμετέχοντες στον καρπό,
- Επιτόπιες μετρήσεις της έντασης φωτισμού και της φασματικής κατανομής ισχύος,
- Μετρήσεις της εξωτερικής οριζόντιας έντασης φωτισμού,
- Καταγραφή των οπτικών χαρακτηριστικών των εσωτερικών επιφανειών,
- Προσομοιώσεις φυσικού φωτισμού και

- Υπολογιστική εκτίμηση του δυναμικού διέγερσης των μελανοψινικών φωτοϋποδοχέων.

Η κατακόρυφη ένταση φωτισμού και η φασματική κατανομή ισχύος μετρήθηκαν στη θέση εργασίας και περίπου στο επίπεδο των ματιών. Η επιλογή του κατακόρυφου επιπέδου είναι κατάλληλη για τη διερεύνηση των μη οπτικών επιδράσεων, επειδή προσεγγίζει καλύτερα το φως που φθάνει στον αμφιβληστροειδή σε σχέση με τη συνήθη μέτρηση της οριζόντιας έντασης φωτισμού στο επίπεδο εργασίας.

Για την ποσοτικοποίηση του μελανοψινικού ερεθίσματος οι ερευνητές χρησιμοποίησαν το *Equivalent Melanopic Lux – EML* και τον λόγο M/P (melanopic/photopic ratio), δηλαδή τον λόγο μεταξύ της EML και της φωτοπικής έντασης φωτισμού. Υψηλότερες τιμές του λόγου M/P υποδηλώνουν φως με μεγαλύτερη διεγερτική επίδραση και υψηλότερη αναλογία ακτινοβολίας στο κυανό τμήμα του φάσματος. Ο λόγος M/P είναι συνήθως μικρότερος από τη μονάδα, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να την υπερβαίνει.

Για τις προσομοιώσεις φυσικού φωτισμού χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό εργαλείο Radiance, ενώ για την αξιολόγηση του δυναμικού κινκάρδιου φωτισμού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Adaptive Lighting for Alertness – ALFA.

Όσο αφορά τις **αξιολογήσεις βάσει παρατήρησης** έγινε μέσω της αποτίμησης της εμπειρίας των χρηστών μέσω ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων. Τα ερωτηματολόγια αποστέλλονταν, στα κινητά τους μέσω εφαρμογής, τρεις φορές την ημέρα για τρεις συνεχόμενες εβδομάδες. Εξετάστηκαν η αντιλαμβανόμενη εγρήγορση, η υπνηλία, η διάθεση, η ικανοποίηση από τον φωτισμό και ο τρόπος χρήσης των συστημάτων ελέγχου.

Η μεθοδολογία που ακολούθησαν οι μελετητές, θα μπορούσε να εξεταστεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση ενός συστήματος δυναμικού και ανθρωποκεντρικού φωτισμού, καθώς συνδυάζουν ποσοτική και ποιοτική μεθοδολογία. Η αξιολόγηση ενός συστήματος από τους χρήστες είναι απαραίτητη για την κατανόηση

του φωτιζόμενο περιβάλλοντος και της ενδεχόμενης επίδρασης τους τους ασκεί και συμπληρώνει τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις.

Αποτελέσματα και συμπεράσματα της εφαρμογής

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι το EML μειωνόταν γενικά από το πρώτο προς το τέταρτο σενάριο, ακολουθώντας τη μετάβαση από φωτισμό υψηλότερης CCT και φωτεινής εξόδου σε θερμότερο και χαμηλότερης έντασης φωτισμό. Η ικανότητα του συστήματος να μεταβάλλει το μελανοπικό ερέθισμα ήταν περισσότερο εμφανής στους χώρους με περιορισμένη πρόσβαση στο φυσικό φως.

Αντίθετα, στα γραφεία όπου υπήρχε επαρκής εισροή φυσικού φωτός, η επίδραση του τεχνητού φωτισμού στις συνολικές τιμές EML ήταν περιορισμένη. Στις περιπτώσεις αυτές, το φυσικό φως αποτελούσε τον κυρίαρχο παράγοντα και οι διαφορές μεταξύ των τεσσάρων τεχνητών σεναρίων δεν μετέβαλλαν ουσιαστικά το συνολικό μελανοπικό ερέθισμα. Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αποτελεσματικότητα ενός δυναμικού συστήματος δεν μπορεί να αξιολογηθεί ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό, τη θέση του χρήστη, την εποχή, την ώρα και τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός.

Μεταξύ των επιτόπιων μετρήσεων και των υπολογιστικών προσομοιώσεων παρουσιάστηκαν αποκλίσεις, οι οποίες αυξάνονταν όταν στο φωτεινό περιβάλλον συμμετείχε το φυσικό φως. Η συμφωνία ήταν καλύτερη στις συνθήκες αποκλειστικά τεχνητού φωτισμού. Οι συγγραφείς απέδωσαν τις διαφορές, μεταξύ άλλων, στους περιορισμούς της αναπαράστασης του ουρανού, τις περιορισμένες διαθέσιμες φασματικές κατανομές των φωτιστικών στο ALFA και την ευαισθησία και τις διακυμάνσεις του λογισμικού.

Στα ερωτηματολόγια, τέσσερις από τους πέντε συμμετέχοντες παρουσίασαν θετική σχέση μεταξύ της αυτοαναφερόμενης εγρήγορσης και μιας σύνθετης μεταβλητής φωτισμού που δημιουργήσαν οι ερευνητές από τον συνδυασμό CCT και έντασης φωτισμού ($CCT \times lux$). Ο πέμπτος συμμετέχων παρουσίασε αντίθετη τάση.

Οι περισσότεροι συμμετέχοντες δήλωσαν ικανοποιημένοι από το φωτεινό περιβάλλον και ορισμένοι συνέδεσαν τον δυναμικό φωτισμό με αυξημένη εγρήγορση, καλύτερη συγκέντρωση ή μειωμένη απογευματινή κόπωση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμπειρία του εργαζομένου στο γραφείο προς το εσωτερικό αίθριο, ο οποίος θεώρησε ότι το σύστημα αντιστάθμιζε εν μέρει την περιορισμένη πρόσβαση στο φυσικό φως. Παράλληλα, όμως, περιέγραψε τον χώρο ως περισσότερο αποκομμένο από τις εξωτερικές καιρικές και χρονικές μεταβολές. Η παρατήρηση αυτή δείχνει ότι η προσομοίωση των ημερήσιων μεταβολών μέσω τεχνητού φωτισμού δεν υποκαθιστά πλήρως τη θέα και τη βιωματική σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Ως προς τη χρήση των συστημάτων ελέγχου, οι περισσότεροι συμμετέχοντες διατήρησαν το αυτόματο ημερήσιο πρόγραμμα χωρίς να παρεμβαίνουν συστηματικά σε αυτό. Ένας συμμετέχων προτιμούσε σταθερά το θερμότερο τέταρτο σενάριο και παρέκαμπε τον αυτοματισμό, γεγονός που καταδεικνύει ότι ένα ενιαίο χρονικό πρόγραμμα δεν ανταποκρίνεται υποχρεωτικά στις προτιμήσεις όλων των χρηστών. Η ρύθμιση της φωτεινής εξόδου χρησιμοποιήθηκε ελάχιστα, καθώς οι συμμετέχοντες προτιμούσαν γενικά υψηλές στάθμες φωτισμού. Περιορισμένη ήταν και η χειροκίνητη παρέμβαση στα σκίαστρα, αν και η έρευνα πραγματοποιήθηκε κατά το τέλος του χειμώνα και την αρχή της άνοιξης και επομένως δεν αποτυπώνει τις συνθήκες αυξημένης θερινής ηλιοφάνειας.

Η μελέτη περιλάμβανε επίσης εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με το EN 15193. Το σύστημα παρουσίασε καλύτερη επίδοση από την τιμή αναφοράς του EN 15193-2 για υφιστάμενα γραφεία με άμεσο φωτισμό, αλλά δεν ανταποκρίθηκε στα αυστηρότερα επίπεδα αναφοράς για αποδοτικά συστήματα γραφείων. Οι υπολογισμοί βασίστηκαν σε παραδοχές, επειδή δεν υπήρχε ανεξάρτητη καταγραφή της πραγματικής κατανάλωσης του συστήματος. Συνεπώς, δεν μπορεί να εξαχθεί οριστικό συμπέρασμα για την ενεργειακή του συμπεριφορά.

Συμπεράσματα

Η οπτική αντίληψη είναι μία σύνθετη αλλά ενιαία διαδικασία, που εμπλέκει τον άνθρωπο ως όλον, δηλαδή ως σώμα και ως εγκέφαλο. Στις σύγχρονες θεωρήσεις της οπτικής αντίληψης υποστηρίζεται η αμφίδρομη σχέση της με την συνείδηση. Δηλαδή, τόσο η οπτική αντίληψη τροφοδοτεί με εξωτερικά ερεθίσματα την συνείδηση, όσο και η συνείδηση επηρεάζει τον τρόπο θεώρησης του έξω κόσμου. Στα ερωτήματα σχετικά με το αν όλοι βλέπουμε τον ίδιο κόσμο, τί είναι αυτό που βλέπουμε και τί αντιλαμβανόμαστε, με ποια κριτήρια κρίνουμε αυτό που αντιλαμβανόμαστε και ποια είναι τελικά η πραγματικότητα η απάντηση είναι ότι η οπτική αντίληψη είναι μια υποκειμενική θεώρηση του κόσμου. Η ερμηνεία δημιουργείται στον εγκέφαλο και βασίζεται σε ένα πλαίσιο προηγούμενων εμπειριών και γνώσεων.

Το φως, αν και άυλο, συμβάλει στη διαμόρφωση της ατμόσφαιρας ενός χώρου και κατ' επέκταση της ανθρώπινης εμπειρίας καθώς επιδρά στην ψυχολογία του ανθρώπου. Η υλικότητα του φωτός σε συνάρτηση με το χρόνο και το χώρο έχουν αξιοποιηθεί από καλλιτέχνες όπως ο James Turrell, με σκοπό να διερευνήσουν τις ψυχολογικές διαστάσεις του φωτός. Έτσι, το προβαλλόμενο φως από μία πηγή, μπορεί αντιληπτικά να αποκτήσει την ψευδαίσθηση του όγκου ενώ σε άλλη περίπτωση μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο της αισθητηριακής αποστέρησης.

Οι επιδράσεις του φωτισμού δηλαδή η οπτική, η ψυχολογική ή συναισθηματική, η μη οπτική ή βιολογική και κοινωνική παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο Πίνακα 3. Το φως φαίνεται να επιδρά με ποικίλους τρόπους στον άνθρωπο, άλλες φορές θετικά άλλες αρνητικά ή και ουδέτερα. Οι επιδράσεις καθορίζονται από την ένταση του φωτός, την συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος και την φασματική κατανομή του και επηρεάζουν περισσότερο ή λιγότερο τη διάθεση, την υποκειμενική αντίληψη και την έκδηλη συμπεριφορά, την εγρήγορση, την υγεία, τον κερκάρδιο ρυθμό, την κοινωνική ζωή. Οι επιδράσεις που συνδέονται με την υποκειμενική αντίληψη και όχι με μετρήσιμα στοιχεία, που βασίζονται σε συγκεκριμένα πρότυπα φωτισμού είναι απαραίτητο να λαμβάνονται και αυτές υπόψη κατά τον σχεδιασμό. Έτσι, στις μελέτες φωτισμού μπορούν να αξιοποιηθούν τα εργαλεία και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται

στον τομέα της ψυχολογίας (scaling procedures & mapping procedures). Έτσι, από μία ποιοτική αξιολόγηση μπορούν να συγκεντρωθούν συγκρίσιμα δεδομένα που αφορούν στις επιδράσεις του φωτισμού στην ανθρώπινη συμπεριφορά και διάθεση.

Πίνακας 3: Πίνακας επιδράσεων φωτισμού

Οπτική	Ψυχολογική/ συναισθηματική	Μη οπτική- βιολογική	Κοινωνική
Ορατότητα Εκτέλεση εργασιών Οπτική άνεση	Σκηνικός φωτισμός: Συναισθηματική εμπειρία Φωτισμός καταστημάτων: Καταναλωτικές συνήθειες Διαμόρφωση περιβαλλοντικής εμπειρίας: περιορισμός συναισθημάτων στρες & έντασης (παιδικά νοσοκομειακά περιβάλλοντα) Ταχύτητα ανάρρωσης: π.χ. μη εποχική κατάθλιψη) Διάθεση: χαρά, ασφάλεια, δυσφορία Συμπεριφορά: α. Υποκειμενική αντίληψη & συμπεριφορά δηλ. εσωτερικές ερμηνείες, της πραγματικότητας (ατομικά συναισθήματα, συγκινήσεις, πολιτισμικό πλαίσιο, όχι αντικειμενικά μετρήσιμα γεγονότα). Περιλαμβάνει αναγνώριση μοτίβων & σημάτων β. Απόδοση και έκδηλη συμπεριφορά δηλ. Εξωτερικές πράξεις & κινήσεις (περπάτημα, ομιλία, γέλιο ή σωματική δραστηριότητα δηλ. Ενέργειες που πραγματοποιούνται ως ανταπόκριση σε σήματα & μοτίβα) Οπτική εμπειρία: κατεύθυνση στον χώρο, εστίαση προσοχής διαμόρφωση εντύπωσης σε σχέση με τον χώρο ή μία δραστηριότητα Φωτοτροπισμός	Κιρκάδιος ρυθμός: ipRGC-influenced responses to light – ILL1 responses (φασματική ευαισθησία) Ενίσχυση δραστηριοτήτων: συγκέντρωση μαθητών, εγρήγορση, γνωστικές λειτουργίες, συναισθηματική δραστηριότητα CCT+ένταση φωτισμού→ επαγγελματική υγεία Ένταση φωτισμού→ εγρήγορση Δηλ. Υπό κανονικές συνθήκες αυξημένη ένταση φωτισμού → περιορισμός αισθήματος κόπωσης, αυξημένη δραστηριότητα & διάθεση	Κοινωνική ζωή: Οδοφωτισμός→ αύξηση χρόνου κυκλοφορίας σε εξωτερικούς χώρους Κοινωνική συμπεριφορά: Επίπεδο έντασης→ διαπροσωπική επικοινωνία. Εξαρτάται από: κοινωνικό & χωρικό πλαίσιο, δραστηριότητα & χαρακτηριστικά φωτεινής συνθήκης π.χ. σε συγκεκριμένες συνθήκες: φωτισμός υψηλότερης έντασης → χαμηλότερης έντασης συνομιλίας → αύξηση γενικής & προσωπικής επικοινωνίας

Από την σκοπιά της περιβαλλοντικής ψυχολογίας στους χώρους εργασίας, ο φωτισμός, τεχνητός και φυσικός, είναι ένας **κρίσιμος περιβαλλοντικός παράγοντας**, που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μεταξύ άλλων και σε συνδυασμό με τους οργανωτικούς παράγοντες και τα ατομικά χαρακτηριστικά των χρηστών κατά το **σχεδιασμό των χώρων εργασίας**. Ο φωτισμός, εξετάζεται ως προς την επίδραση που ασκεί το εργασιακό περιβάλλον επηρεάζοντας την **απόδοση**, την **συμπεριφορά**, την **υγεία**, τα **επίπεδα άγχους των εργαζομένων** και την **συνολική εμπειρία του χώρου**. Ένας κατάλληλα σχεδιασμένος χώρος μπορεί να υποστηρίξει τις οπτικές εργασίες, την ορατότητα και την ασφάλεια δημιουργώντας συνθήκες οπτικής άνεσης, να εξασφαλίσει την χρωματική αντίληψη των αντικειμένων του χώρου με την χρήση φωτεινών πηγών κατάλληλης χρωματικής απόδοσης και υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να ενισχύσει την απόδοση των εργαζομένων περιορίζοντας φαινόμενα όπως η θάμβωση και η οπτική κόπωση. Θετικά ως προς τη διαμόρφωση εργασιακής εμπειρίας λειτουργεί ο φυσικός φωτισμός, η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και η δυνατότητα ατομικού ελέγχου του φωτισμού.

Σε ένα δυναμικό σύστημα φωτισμού πέρα από παραμέτρους που αφορούν **την χειροκίνητη επιλογή σεναρίων** και **την χρονική προσαρμογή**, που είναι ίσως οι πιο απλές μορφές τέτοιων συστημάτων, μπορούν να ενσωματώνονται πρόσθετες παράμετροι. Αυτές μπορεί να είναι **οι εποχικές μεταβολές, η κατάσταση του ουρανού, τα συστήματα ηλιοπροστασίας, η αναγνώριση της συμπεριφοράς του χρήστη** καθώς και **η δυνατότητα επιλογής εξατομικευμένων ρυθμίσεων**. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται **ολοκληρωμένα προσαρμοζόμενα περιβάλλοντα φωτισμού**, με στόχο την καλύτερη ανταπόκριση τόσο στις συνολικές δραστηριότητες όσο και στις ατομικές ανάγκες των χρηστών και κατ' επέκταση στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Από την εξέταση διαφορετικών περιπτώσεων εφαρμογής δυναμικού φωτισμού π.χ. σε σχολικά περιβάλλοντα, σε χώρους εργασίας κ.λπ. διαπιστώνεται ότι ο δυναμικός φωτισμός **δεν επιδρά αυτομάτως θετικά ούτε ομοιόμορφα σε όλους τους χρήστες**. Επίσης, οι στόχοι κάθε συστήματος δυναμικού φωτισμού είναι διαφορετικοί ανάλογα με τη χρήση ή τους επιθυμητούς στόχους που μπορεί να είναι για παράδειγμα η

υποστήριξη του κερκάδιου ρυθμού, η αύξηση της συγκέντρωσης, η υψηλή απόδοση, η ενίσχυση της συνεργασίας κ.λπ. Η επίδραση του δυναμικού φωτισμού είναι πολυπαραγοντική και μπορεί να εξαρτάται από τη χρονική στιγμή και τη διάρκεια της έκθεσης στο φως, τη στάθμη φωτισμού στο επίπεδο εργασίας ή στο επίπεδο των ματιών, τη φασματική σύνθεση του φωτός, την ταχύτητα και το μέγεθος των μεταβάσεων, τα ατομικά χαρακτηριστικά των χρηστών, τη δυνατότητα προσωπικού ελέγχου, καθώς και το είδος της δραστηριότητας και του χώρου.

Από την έρευνα των συστημάτων δυναμικού φωτισμού στους χώρους εργασίας, φάνηκε ότι **συγκεκριμένες μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού** μπορεί να **επιδράσουν στη διάθεση ή στη συμπεριφορά** και να οδηγήσουν για παράδειγμα σε αύξηση της εγρήγορσης και θετική επίδραση στη διάθεση. Ωστόσο, οι ίδιες συνθήκες φωτισμού δεν συνδέονται απαραίτητα με θετική επίδραση ως προς το ψυχικό στρες, την παραγωγικότητα, την οπτική άνεση ή την αντιλαμβανόμενη φυσικότητα του φωτισμού σε σχέση με συνήθειες εφαρμογές στατικού φωτισμού.

Σε άλλες περιπτώσεις, οι εργαζόμενοι δήλωσαν μεγαλύτερη ικανοποίηση από τον δυναμικό φωτισμό έναντι συνθηκών στατικού φωτισμού, χωρίς αυτό να προκύπτει από μετρήσεις ως προς την εγρήγορση, τη ζωτικότητα, την ποιότητα του ύπνου ή την υποκειμενικά αξιολογούμενη απόδοση. Αυτό δείχνει ότι η προτίμηση ή η θετική αξιολόγηση ενός φωτεινού περιβάλλοντος δεν συνεπάγεται απαραίτητα αντίστοιχη μεταβολή της απόδοσης ή των φυσιολογικών δεικτών. Επιπλέον, φάνηκε ότι ένα δυναμικό σενάριο μπορεί να παρουσιάζει θετική επίδραση σε μία μεταβλητή και συγχρόνως αρνητική ή μη σημαντική επίδραση σε άλλες.

Συνολικά, φαίνεται ότι η εφαρμογή δυναμικού φωτισμού στους χώρους εργασίας μπορεί εν δυνάμει να λειτουργήσει ως εργαλείο διαμόρφωσης της συμπεριφοράς με διαφορετικούς τρόπους π.χ. μέσω του κερκάδιου μηχανισμού, της αντιλαμβανόμενης ατμόσφαιρας του χώρου, της ικανοποίησης και της εργασιακής δέσμευσης.

Επίσης, αν και η δυναμική μεταβολή των παραμέτρων του φωτισμού μπορεί να αξιοποιηθεί για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων και των οπτικών, βιολογικών και ψυχολογικών αναγκών των χρηστών, αυτό **δεν συνεπάγεται ότι ένα σύστημα δυναμικού φωτισμού είναι και ανθρωποκεντρικό.**

Ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός είναι μία σχεδιαστική προσέγγιση, που αξιοποιεί τις δυνατότητες του δυναμικού φωτισμού, ωστόσο εξετάζει **ταυτόχρονα** τις οπτικές και τις μη οπτικές επιδράσεις του φωτός με στόχο την **υποστήριξη της ανθρώπινης λειτουργίας, υγείας και ευεξίας**. Πρόκειται για μία συγκεκριμένη διαδικασία σχεδιασμού, σύμφωνα με την οποία παρέχεται το κατάλληλο φως προσαρμοσμένο στις ατομικές συνθήκες διαβίωσης και εργασίας του χρήστη σε κάθε χρονική στιγμή, επομένως λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες των χρηστών, το είδος της δραστηριότητας, τον χώρο και τον χρόνο έκθεσης στο φως.

Από την μελέτη της περίπτωσης εφαρμογής ανθρωποκεντρικού φωτισμού στο χώρο γραφείων της ASID, προκύπτει ότι ένα σύστημα δυναμικού φωτισμού με ενοποιημένη διαχείριση του τεχνητού και του φυσικού φωτός, της σκίασης και τη δυνατότητα προσωπικού ελέγχου του φωτισμού είναι δυνατόν να έχει θετικές επιδράσεις στη συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων και τον περιορισμό των απουσιών από την εργασία. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι ο φωτισμός δεν μπορεί να αξιολογηθεί ως ο μοναδικός περιβαλλοντικός παράγοντας ενός εσωτερικού περιβάλλοντός που συμβάλει στη βελτίωση των συμπεριφορικών χαρακτηριστικών των χρηστών και θα πρέπει να εξετάζεται σε συνδυασμό και με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό ενός χώρου. Παράλληλα, όταν ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός φωτισμού συνδυαστεί με στρατηγικές ενεργειακής απόδοσης σημειώνεται σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Από την μελέτη αυτή δεν προκύπτουν μετρήσεις που να συνδέονται με την βελτίωση στον κirkάδιο ρυθμό των εργαζομένων.

Οι προσεγγίσεις σχεδιασμού και οργάνωσης των σύγχρονων περιβαλλόντων γραφείων, όπως είναι οι “*δημιουργικοί χώροι εργασίας*”, “*τα γραφεία ανοιχτής διάταξης*” και τα “*περιβάλλοντα εργασίας βάσει δραστηριότητας*” χαρακτηρίζονται από ευελιξία,

προσαρμοστικότητα και βιωσιμότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά εκφράζονται από υψηλής ποιότητας αρχιτεκτονικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό και συγκεκριμένη στρατηγική διαχείρισης φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός τους φαίνεται να ενθαρρύνει συγκεκριμένα πρότυπα συμπεριφοράς, όπως η συνάντηση, η επικοινωνία, η συνεργασία ή, αντίθετα, η συγκέντρωση και η ιδιωτικότητα. Παράλληλα, η δυνατότητα χρονικής και χωρικής μεταβολής των χαρακτηριστικών του φωτισμού επιτρέπει τη διαφοροποίηση του φωτεινού περιβάλλοντος ανάλογα με τη δραστηριότητα, τον χρόνο και τις ανάγκες των χρηστών. Έτσι, ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να λειτουργήσει και αυτός ως ένα στοιχείο του εργασιακού περιβάλλοντος που δυνητικά συμβάλλει στη διαμόρφωση της εμπειρίας και της συμπεριφοράς των εργαζομένων.

Στον Πίνακα 4 συγκεντρώνονται τα συγκριτικά αποτελέσματα της εφαρμογής των τριών διαφορετικών συστημάτων δυναμικού φωτισμού που μελετήθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας. Διαπιστώνεται ότι ο δυναμικός φωτισμός μπορεί να λειτουργήσει ως έμμεσο εργαλείο διαμόρφωσης της εργασιακής συμπεριφοράς, όχι αποκλειστικά λόγω της αιτιώδους σχέσης “μεταβολή φωτισμού – μεταβολή συμπεριφοράς”, αλλά καθώς διαμορφώνει τις συνθήκες μέσα στις οποίες εκδηλώνεται η συμπεριφορά. Η μεταβολή της οπτικής άνεσης, της αντιλαμβανόμενης ατμόσφαιρας, της εγρήγορσης, της απόδοσης και της παρακίνησης μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης βιώνει τον χώρο, παραμένει σε αυτόν και εμπλέκεται στην εργασία του. Ο σχεδιασμός του φωτισμού στην περίπτωση των χώρων γραφείων είναι μία απαιτητική διαδικασία καθώς πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένοι μετρήσιμοι δείκτες, ενώ συχνά εμπλέκονται περιοχές φωτισμού με διαφορετικές απαιτήσεις ανάλογα την εκτελούμενη εργασία και σε συνάρτηση με τις ατομικές προτιμήσεις. Συμπεραίνεται λοιπόν, πως δεν υπάρχει η δυνατότητα μίας πρότασης δυναμικού φωτισμού που να χρησιμοποιείται ως πρότυπο για τους χώρους γραφείων. Κάθε περίπτωση προτείνεται να σχεδιάζεται με βάση τις προσδοκώμενες επιδράσεις στην διαμόρφωση της εργασιακής εμπειρίας και με σεβασμό προς τον χρήστη.

Πίνακας 4: Συγκριτικός πίνακας από μελέτες περίπτωσης

	Χώρος γραφείου Aalborg	R/GA Νέα Υόρκη	The Spark Σουηδία
Πειραματική εφαρμογή/ Υλοποιημένο έργο	Πειραματική εφαρμογή	Υλοποιημένο έργο	Υλοποιημένο έργο
Τεχνητός φωτισμός	Προσαρμογή στις πραγματικές μεταβολές του φυσικού φωτός (στάθμη του φυσικού φωτός και κατάσταση ουρανού)	Χρονική μεταβολή συστήματος + έμμεσος φωτισμός, ασύρματος έλεγχος, δυνατότητα τοπικής παρέμβασης, εφαρμογή διαφορετικών φωτεινών σκηνών	Ολοκληρωμένο σύστημα: Φυσικός + τεχνητός φωτισμός+σύστημα σκίασης+ μεταβολή έντασης & CCT+ προσωπικός έλεγχος Προκαθορισμένα σενάρια
Στόχοι συστήματος φωτισμού	Υποκειμενική εμπειρία των εργαζομένων και ειδικότερα στην οπτική άνεση, στην αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα και την εργασιακή δέσμευση	Ενεργό στοιχείο χωρικής και εργασιακής εμπειρίας, υποστήριξη ευεξία εργαζομένων και διαφορετικών δραστηριοτήτων Πρόσβαση φυσικού φωτός	Διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα σε: δυναμικό φωτισμό, εμπειρία χώρου και εργασιακή συμπεριφορά
Σχεδιασμός συστήματος	Μεταβολή τριών παραμέτρων: α. Αναλογία διάχυτου/ άμεσου φωτισμού β. Θερμοκρασία χρώματος γ. Κατεύθυνση του φωτός, ώστε να συμπληρώνει τις πραγματικές μεταβολές των συνθηκών του ουρανού και της ποσότητας του φυσικού φωτός.	Σύστημα δυναμικού φωτισμού με στόχο τη δημιουργία μεταβαλλόμενης φωτεινής ατμόσφαιρας που παραπέμπει στον ημερήσιο κύκλο του φυσικού φωτός Μεταβολή επιπέδου φωτισμού και CCT Χειροκίνητη παράκαμψη+τοπική προσαρμογή+Οπτικές ενδείξεις	4 σενάρια μεταβαλλόμενης έντασης και CCT Πρωινές ώρες ψυχρός και υψηλότερης έντασης φωτισμός, CCT 6.200K., Απογευματινές ώρες μεταβάλλεται σε θερμότερο, με θερμοκρασία χρώματος 2.300K, και μείωση έντασης
Μεθοδολογία αξιολόγησης και εμπειρία των χρηστών ή Τεκμηρίωση/ αναφορές εμπειρίας χρηστών	Ποιοτική+ποσοτική+συνεντεύξεις 1. Οπτική άνεση 2. Αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα του χώρου 3. Εργασιακή δέσμευση	Δεν υπάρχει δημοσιευμένη επιστημονική αξιολόγηση Τεκμηρίωση προέρχεται από αρχιτέκτονες μελετητές φωτισμού παρουσιάσεις βραβείων, δημοσιογραφικές αναφορές	Έρευνα πεδίου: φωτομετρικές μετρήσεις, υπολογιστικές προσομοιώσεις, καταγραφές έκθεσης συμμετεχόντων στο φως, ερωτηματολόγια, συνεντεύξεις

Αποτελέσματα	Προσαρμοζόμενο σύστημα δυναμικού φωτισμού→ ενεργοποίηση σεναρίων Δεν επιχειρείται η πλήρης εξάλειψη της μεταβλητότητας του φυσικού φωτισμού→ Διατήρηση αντιληπτικής σχέσης με τις πραγματικές συνθήκες φωτός του εξωτερικού περιβάλλοντος Οπτική άνεση: Θετική επίδραση Αντιλαμβανόμενη ατμόσφαιρα του χώρου: Θετική επίδραση Εργασιακή δέσμευση: Θετική αξιολόγηση ως προς παρακίνηση, συγκέντρωση και ροή εργασίας. Δεν τεκμηριώθηκε συνολική ή άμεση βελτίωση της εργασιακή απόδοση Συνεντεύξεις→ εγρήγορση & παρακίνηση Περίπτωση αποχώρησης εργαζομένου στη συνθήκη στατικού φωτισμού μετά τη δύση Επιθυμία προσωπικού ελέγχου	Περιορισμός ανάγκης για αυτοσχέδιες παρεμβάσεις και αποχώρησης των εργαζομένων Πιθανή αίσθηση αυτονομίας λόγω ατομικού ελέγχου Δυνατότητα εφαρμογής μεγάλο χώρο γραφείων Η μεταβολή της CCT δεν είναι επαρκής δείκτης βιολογικής επίδρασης Δεν αποδεικνύεται μεταβολή στη συμπεριφορά, στην ευεξία ή στην απόδοση των εργαζομένων	Μεταβολή δείκτη EML με μείωση από το πρώτο προς το τέταρτο σενάριο ειδικά σε χώρους με περιορισμένο φυσικό φως Αποτελεσματικότητα συστήματος συνδυαστικά με προσανατολισμό, τη θέση του χρήστη, την εποχή, την ώρα και τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός. Θετική σχέση μεταξύ εγρήγορσης και δυναμικού φωτισμού ($CCT \times lux$) Καλύτερη συγκέντρωση ή μειωμένη απογευματινή κόπωση Περιορισμένη παρέμβαση στα σενάρια φωτισμού και στα παρεμβάση στο σύστημα σκίασης Καλύτερη ενεργειακή επίδοση αλλά εκτός ορίων για αποδοτικά συστήματα γραφείων
---------------------	--	--	--

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Aarts, M. P. J., Aries, M. B. C., Straathof, J., & van Hoof, J. (2015). Dynamic lighting systems in psychogeriatric care facilities in the Netherlands : a quantitative and qualitative analysis of stakeholders' responses and applied technology. *Indoor and Built Environment*, 24(5), 617-630. <https://doi.org/10.1177/1420326X14532387>

Ahmed, O. M., & Sheyadi, A. A. (2025). The role of lighting design on human psychology in interior spaces (fashion retail store case study). *International Journal of Engineering Technologies and Management Research* , 4, 47-75.

American Psychological Association. (2018). Overt behavior. In *APA dictionary of psychology*. Retrieved July 17 from <https://dictionary.apa.org/overt-behavior>.

American Society of Interior Designers. (2017). ASID demonstrates the impact of design in their new corporate headquarters. Retrieved from:
<https://www.asid.org/news/asid-demonstrates-the-impact-of-design-in-their-new-corporate-headquarters>.

Arnheim, R. (2005). *Τέχνη και οπτική αντίληψη. Η ψυχολογία της δημιουργικής όρασης*. Αθήνα: Εκδόσεις Θεμέλιο.

Arsalan, H., Evangelos, P., Alan, W., David, G., & Burcin, B.-G. (2017). *Towards User Centered Building Design: Identifying 1 End-User Lighting*. Retrieved from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517304235>.

Arsenault, P. J. (2017). *Circadian lighting in the built environment*. Continuing Education Center, BNP Media. Retrieved from:
<https://continuingeducation.bnpmmedia.com/architect/courses/ketra/circadian-lighting-in-the-built-environment/3/>.

Baandrup, L., Jennum, P.J. Effect of a dynamic lighting intervention on circadian rest-activity disturbances in cognitively impaired, older adults living in a nursing home: A proof-of-concept study, *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms*, Vol. 11, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.nbscr.2021.100067>

Benedetti, M., Maierová, L., Cajochen, C., Scartezzini, J. L., & Münch, M. (2022). Optimized office lighting advances melatonin phase and peripheral heat loss prior bedtime. *Scientific reports*, 12(1), 4267. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07522-8>

Benedetti, F.; Colombo, C.; Barbini, B.; Campori, E.; Smeraldi, E. (February 2001). "Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression." *J Affect Disord.* Vol. 62, No. 3; pp. 221–223.

Berson, D.M., Dunn, F.A., Takao, M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, **295**, pp. 10, 2002. doi: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1067262>.

Bloomberg's European HQ / Foster + Partners. (2017, October 25). ArchDaily. Retrieved from <https://www.archdaily.com/882263/bloombergs-european-hq-foster-plus-partners>.

Bockstahler, M. (October, 2020). Green Office: Using "nudges" to create the work culture of the future. *Fraunhofer IAO*. <https://blog.iao.fraunhofer.de/>

Boyce P.R. (2010). *The impact of light in buildings on human health*. *Indoor Built Environ*, 19(8), 8-20.

BRE Group. (2022, April 14). *Bloomberg gets one of the highest BREEAM ratings in the world*. Retrieved from <https://bregroup.com/case-studies/bloomberg-highest-breeam-rating>.

Bullinger, H.-J., Bauer, W., Wenzel, G., & Blach, R. (2010). Towards user centred design (UCD) in architecture based on immersive virtual environments. *Computers in industry*, 372-379.

- Carr, A., *How R/GA's New Office Helped Reduce Attrition*. Retrieved August 25, 2026 from <https://www.fastcompany.com/3065064/how-r-gas-new-office-helped-reduce-attrition>
- Cellai, G., & Secchi, S. (2019). Lighting Design for Psychophysical Wellbeing: Tools and Investigation Methods. *Building Simulation 2019*. Rome.
- Chellappa, S. L., Steiner, R., Oelhafen, P., Lang, D., Götz, T., Krebs, J., & Cajochen, C. (2013). *Acute exposure to evening blue-enriched light impacts on human sleep*. Journal of Sleep Research, 22(5), 573-580. <https://doi.org/10.1111/jsr.12050>
- Chen, Y. & Sun, Q. Artificial intelligent control for indoor lighting basing on person number in classroom. *2013 9th Asian Control Conference (ASCC)*, 23-26 June 2013, 2013(pp. 1-4). Istanbul, Turkey. doi: 10.1109/ASCC.2013.6606030.
- CIE 2020a. CIE S 017:2020. *ILV: International Lighting Vocabulary*, 2nd Edition. Vienna: CIE. <https://doi.org/10.25039/S017.2020>
- Choi, K.; Suk, H.-J. *Dynamic lighting system for the learning environment: Performance of elementary students*. Opt. Express 2016, 24, A907. <https://doi.org/10.1364/OE.24.00A907>
- Collins, B. (1993). *Evaluation of Subjective Response to Lighting distributions: A Literature Review*. NISTIR 519.
- Dupuis, R. D., & Krames, M. R. (2008). History, development, and applications of highbrightness visible light-emitting diodes. *Journal of Lightwave Technology*, 26(9), 1154–1171.
- Edwards, L., & Torcellini, P. (2002). Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants. <https://doi.org/10.2172/15000841>
- Flynn, J., Hendrick, C., Spencer, T., & Martyniuk, O. (1979). *A Guide to Methodology Procedures for Measuring Subjective Impressions in Lighting*. Journal of The Illuminating Engineering Society, 8, σσ. 95-110.

Franta, G.; Anstead, K. (1994). "Daylighting Offers Great Opportunities." *Window & Door Specifier-Design Lab*, Spring; pp. 40-43.

Gerlitz, A., Hülsbeck, M. The productivity tax of new office concepts: a comparative review of open-plan offices, activity-based working, and single-office concepts. *Manag Rev Q* 74, 745–775 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11301-022-00316-2>

Gieseeking, J. J. (2014). Environmental Psychology. Στο T. Teo, M. Barnes, M. Gao, M. Kaiser, R. Sheivari, & B. Zabinski, *International Encyclopedia of Critical Psychology* (σσ. 587-593). New York: Springer.

Gifford, R., Steg, L., & Reser, J. P. (2011). Environmental psychology. In P. R. Martin, F. M. Cheung, M. C. Knowles, M. Kyrios, L. Littlefield, J. B. Overmier, & J. M. Prieto (Eds.), *IAAP handbook of applied psychology* (pp. 440–470). Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444395150.ch18>

Gifford, R. (1988). Light, decor, arousal, comfort and communication. *Journal of Environmental Psychology*, 8(3), 177–189. DOI: 10.1016/S0272-4944(88)80008-2

Guggenheim Museum. (n.d.). *James Turrell: Afrum I (white)* Retrieved August 18, 2026 from <https://www.guggenheim.org/artwork/4084>

Guggenheim Museum. (n.d.). *James Turrell: Night passage*. Retrieved August 18, 2026 from <https://www.guggenheim.org/artwork/4096>

HOLMRIS B8. (2026, February 12). What is activity-based workplace design all about? Retrieved August 10 2026 from <https://www.holmriskb8.com/activity-based-workplace-design/>.

International Association of Lighting Designers. (2019). *36th annual IALD international lighting design awards*. Retrieved from: <https://iald.org/common/Uploaded%20files/Documents/Awards/2019-Awards-Book-%28Low-Resolution%29.pdf>

Esposito, T., & Houser, K. W. (2022). Correlated color temperature is not a suitable proxy for the biological potency of light. *Scientific Reports*, 12, Article 20223. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21755-7>

Foges, C. (2017, October 26). First look at Bloomberg's new HQ by Foster + Partners. *Architectural Record*. Retrieved from: <https://www.architecturalrecord.com/articles/13074-first-look-at-bloombergs-new-hq-by-foster-partners>.

Foster + Partners. (n.d.). R/GA. <https://www.fosterandpartners.com/projects/rga>

Hansen, E. K., Bjørner, T., Xylakis, E., & Pajuste, M. (2022). An experiment of double dynamic lighting in an office responding to sky and daylight: Perceived effects on comfort, atmosphere and work engagement. *Indoor and Built Environment*, 31(2), 355–374. <https://doi.org/10.1177/1420326X21991198>

Hattar, S., Liao, H.W., Takao, M., Berson, D.M. & Yau, K.W. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: Architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* (295 2002), 1065–1070. doi: 10.1126/science.10696

Izsó, L. (2009). Appropriate Dynamic Lighting as a Possible Basis for a Smart Ambient Lighting, in *Universal Access in Human-Computer Interaction*, C. Stephanidis, ed. (Springer, 2009), pp. 67–74.

Jackson, C., & Berg, J. (2021, June 14). *A healthy and happy workforce is a more productive workforce*. Ipsos. Retrieved from: <https://www.ipsos.com/en/healthy-and-happy-workforce-more-productive-workforce>.

Kim, B., Yi, G., & Suk, H. J. (2025). Context-aware lighting for office lounge with simple algorithm. *Lighting Research & Technology*. <https://doi.org/10.1177/14771535241306969>

Keane, K. (2017, August 8). *2017 AL Design Awards: R/GA Office*. ARCHITECT.
https://www.architectmagazine.com/awards/al-design-awards/2017-al-design-awards-r-ga-office_o/

Knoop, M. (2006). Dynamic lighting for well-being in work places: Addressing the visual, emotional and biological aspects of lighting design. *Proceedings of the 15th international Symposium Lighting Engineering 2006*, 63—74. Retrieved from <http://www.sdr.si/arhiv/pdf/zbornik%202006-web.pdf#page=69>

Küller, R. (2011). “*Non-visual Effects of Light and Color*”, *Annotated bibliography*. Document D15:81. Stockholm: Swedish Council for Building Research.

Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., & Tonello, G. (2006). The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics* , 1496-1507.

KULLER, R., 2002, *The influence of light on circarhythms in humans*. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 21, 87–91.

Kwon, Sook-Youn, Im, Kyoung-Mi, Lim, Jae-Hyun, LED Context Lighting System in Residential Areas, *The Scientific World Journal*, 2014, 851930, 16 pages, 2014.
<https://doi.org/10.1155/2014/851930>

Laushkina, A. A., Roslyakova, S., & Smirnov, V. A. (2020). *Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces*. Research Result Information Technologies.

licht.wissen 04 Office Lighting: Motivating and Efficient. (2012). Frankfurt am Main: licht.de.

licht.wissen 21 Guide to Human Centric Lighting (HCL). (2018). Frankfurt am Main: licht.de.

Lighting Controls Association. (2017, November 20). *R/GA headquarters wins 2017 IES Lighting Control Innovation Award*. Retrieved August 21 from: <https://lightingcontrolsacademy.org/rga-headquarters-wins-2017-ies-lighting-control-innovation-award/>.

Magielse, R. (2014). *Designing for adaptive lighting environments: embracing complexity in designing for systems*. [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), *Industrial Design*]. Technische Universiteit Eindhoven.

Magielse, R., & Ross, P. (2011). *A Design Approach to Socially Adaptive Lighting Environments*.

Mott, M. S., Robinson, D. H., Walden, A., Burnette, J., & Rutherford, A. S. (2012). Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning. *Sage Open*, 2(2).

Norberg-Schulz, C. (1980). *Genius loci: Towards a phenomenology of architecture*. Academy Editions.

Ozenen, G. (2023). *In Architectural Interior Lighting*. Switzerland: Springer.

Rowe, A. (2012). Within an Ocean of Light: Creating Volumetric Lightscapes. *Leonardo*, 358-365.

Pakos, Oscar & Eismann, Tobias & Meinel, Martin & Voigt, Kai-Ingo. (2023). “More than meets the eye”: Unveiling the full potential of creative workspaces in modern organizations. *European Journal of Workplace Innovation*. 7. 49-77. 10.46364/ejwi.v7i2.1033.

Patania, F., Gagliano, A., Nocera, F., Galesi, A., Caserta, J. (2012). The dynamic lighting into the working environment. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, Vol. 7, No. 4, pp. 394-408. <https://doi.org/10.2495/DNE-V7-N4-394-408>

Pelsmakers, S. (2017). City Pioneer (Foster & Partners’ headquarters for Bloomberg). *Architecture Today*. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/321713506_City_Pioneer_Foster_Partners'_headquarters_for_Bloomberg

Royer, M. P. (2019). *Spectral power distributions and their use in applied lighting*. Pacific Northwest National Laboratory.

PLP ARCHITECTURE. (n.d.). Retrieved August 20, 2026 from <https://www.plparchitecture.com/projects/the-edge?utm>

Smart Lighting Market. (2025). *Smart Lighting Market Size, Share, Growth & Trends by Lights and Luminaire, Lighting Controls, LED Drivers and Ballasts, Sensors, Switches, Gateways, Dimmers, Relay Units, DALI, Power over Ethernet (PoE), Power Line Communications (PLC) and Zigbee - Global Forecast to 2030*. Retrieved from: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-lighting-market-985.html?gclid=CjwKCAjwztL2BRATEiwAvnALcqOgHtzS5AmqLO3NDuyXJP5ZVjIH_4yMCZDuFa2Rd6IWwBV2Gj6QkBoC-KcQAvD_BwE

Smolders, K.C.H.J., De Kort, Y.A.W., Cluitmans, P.J.M. A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology & Behavior* (107, 2012), 7-16. doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.04.028.

Sung, W.-T., & Lin, J.-S. (2013). Design and Implementation of a Smart LED Lighting System Using a Self Adaptive Weighted Data Fusion Algorithm. *Sensors*, 13(12), 16915-16939. <https://doi.org/10.3390/s131216915>.

The Edge / PLP Architecture. (2016, April 22). ArchDaily. Retrieved from <https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture>.

Van Duijnhoven, J., Aarts, M.P.J., Aries, M.B.C., Rosemann, A. L. P. & Kort, H. S. M. Systematic review on the interaction between office light conditions and occupational health: Elucidating gaps and methodological issues. *Indoor Built Environ* (28,2019), 152–174. doi: 10.1177/1420326X17735162

Veitch, J. A., & Kaye, S. M. (1988). Illumination effects on conversational sound levels and job candidate evaluation. *Journal of Environmental Psychology*, 8(3), 223–233. doi:10.1016/S0272-4944(88)80011-2.

Walter Knoll. (n.d.). *Bloomberg, London, United Kingdom*. Retrieved from: <https://www.walterknoll.de/en/professionals/projects/bloomberg-london-united-kingdom>.

Wessolowski, N., Koenig, H., Schulte-Markwort, M., Barkmann, C. (2014). The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school. *Journal of Environmental Psychology*, Volume 39, Pages 101-108. doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.05.001

Zhang, R., Campanella, C., Aristizabal, S., Jamrozik, A., Zhao, J., Porter, P., και συν. (2020). Impacts of Dynamic LED Lighting on the Well-Being. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Zupko, J., & Seif El-Nasr, M. (2008). A Tool for Adaptive Lighting Design. *Sandbox Siggraph*.

ZVEI: Die Elektroindustrie. (2016). Der Einsatz von Human Centric Lighting (HCL) ermöglicht das richtige Licht für Jede Tageszeit. Frankfurt am Main: ZVEI-Zentralverband Elektrotechnik-und Elektronikindustrie e V. Fachverband Licht.

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>

Ελληνική βιβλιογραφία

Μ. Δαφέρμος (2010). Θετικισμός και ψυχολογική έρευνα: μια απόπειρα κριτικής θεώρησης, στο Μ. Πουρκός & Δαφέρμος (επιμ.), Ποιοτική έρευνα στην Ψυχολογία

και στην Εκπαίδευση: επιστημολογικά, μεθοδολογικά και ηθικά ζητήματα (σελ.225-250). Αθήνα: Τόπος.

Ζερεφός, Σ., & Τσαγκρασούλης, Α. (2024). *Σχεδιασμός φωτισμού. Θεωρία και πρακτική*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Καμπεζίδης, Χ. (2014). Γενικές Αρχές Φωτισμού. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ.

Παπαστεργίου, Έ. (2019). Περιβαλλοντική- Αστική Ψυχολογία, Ποιότητα Ζωής & Αστικός Σχεδιασμός. Θεωρητικές Έννοιες και η συσχέτιση με την Κοινωνική Ανθεκτικότητα (Μεταπτυχιακή εργασία). Θεσσαλονίκη: Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας & Ανάπτυξης, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.

Ποταμιανός, Ι. (2015). ΑΝΤΙΛΗΨΗ, ΜΟΡΦΗ ΚΑΙ ΦΩΣ. ΑΝΤΙΥΛΗ.

Τοπάλης, Φ, Οικονόμου Λ., Κουρτέση Σ. (2010). *ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ* (Β' εκδ.). Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

Τσαγκρασούλης, Α. (2015). Φυσικός Φωτισμός. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Χασιάκος, Αθ., Τσίκας, Π. (Επιμ.). (2026). *Εξελικτικοί Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα. (Artificial Neural Networks - ANNs)*. Ανακτήθηκε 24 Ιουλίου, 2026 από <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1756/8-Artificial%20Neural%20Networks%20%28ANN%29.pdf>

Παράρτημα Α: Συμπληρωματικές έννοιες φωτός και χρώματος

Χρωματικές περιοχές του ορατού φάσματος

Το ορατό φάσμα εκτείνεται περίπου από 380 έως 780 nm. Μια προσεγγιστική αντιστοίχιση των μηκών κύματος με συγκεκριμένα χρώματα περιλαμβάνει:

- 380–450 nm: ιώδες,
- 450–490 nm: κυανό,
- 490–560 nm: πράσινο,
- 560–590 nm: κίτρινο,
- 590–630 nm: πορτοκαλί,
- 630–780 nm: ερυθρό.

Κατά την προσθετική ανάμειξη φωτεινών ακτινοβολιών, ο συνδυασμός των μηκών κύματος από 380 nm έως και 780 nm προκαλεί την αντίληψη λευκού φωτός (Τοπάλης, Οικονόμου & Κουρτέση, 2010). Αντίστοιχα, η απουσία φωτός οδηγεί στην αντίληψη του μαύρου.

Διαγράμματα κατανομής φωτεινής έντασης

Η κατανομή της φωτεινής έντασης ενός φωτιστικού μπορεί να αποδοθεί με διαφορετικά είδη φωτομετρικών διαγραμμάτων. Τα πολικά διαγράμματα παρουσιάζουν τη φωτεινή ένταση σε διαφορετικές κατευθύνσεις και σε χαρακτηριστικά επίπεδα γύρω από το φωτιστικό. Τα διαγράμματα *isocandela* απεικονίζουν καμπύλες ίσης φωτεινής έντασης, ενώ τα διαγράμματα κώνου μπορούν να παρουσιάζουν τη διάμετρο της φωτιζόμενης περιοχής και την αναμενόμενη ένταση φωτισμού σε διαφορετικές αποστάσεις.

Τα φωτομετρικά διαγράμματα λειτουργούν ως ένα είδος «φωτομετρικής ταυτότητας» του φωτιστικού και επιτρέπουν την αξιολόγηση της γεωμετρίας και της κατεύθυνσης της εκπομπής του φωτός. Η ερμηνεία τους είναι σημαντική για την επιλογή των φωτιστικών, τη χωροθέτησή τους και την πρόβλεψη του φωτεινού αποτελέσματος.

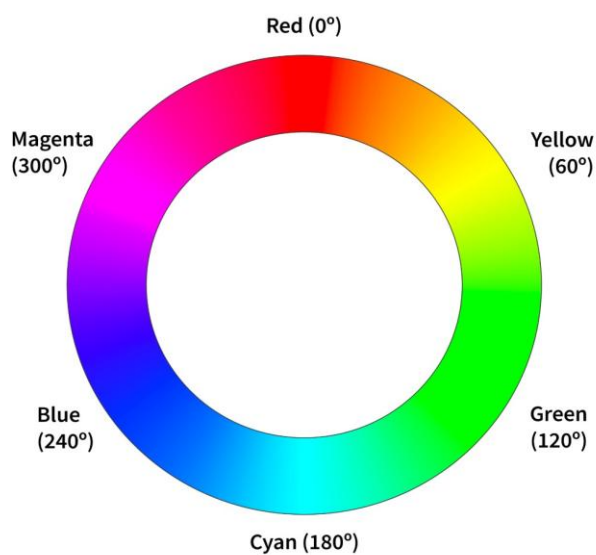
Το μοντέλο HSB/ HSV

Το HSB, γνωστό και ως HSV, είναι μοντέλο ψηφιακής περιγραφής του χρώματος. Ένα χρώμα ορίζεται μέσω τριών παραμέτρων: της απόχρωσης (*Hue*), του κορεσμού (*Saturation*) και της φωτεινότητας ή τιμής (*Brightness/Value*) (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Η απόχρωση αναφέρεται στη χρωματική κατηγορία, όπως κόκκινο, κίτρινο, πράσινο ή μπλε. Εκφράζεται ως γωνία στον χρωματικό κύκλο, συνήθως από 0° έως 359°. Ενδεικτικά, το κόκκινο τοποθετείται στις 0°, το κίτρινο στις 60°, το πράσινο στις 120°, το κυανό στις 180°, το μπλε στις 240° και το ματζέντα στις 300°.

Ο κορεσμός εκφράζει τον βαθμό καθαρότητας ή έντασης της απόχρωσης και αποδίδεται σε ποσοστιαία κλίμακα από 0% έως 100%. Σε υψηλό κορεσμό το χρώμα εμφανίζεται περισσότερο ζωντανό και έντονο, ενώ κορεσμός 0% δεν εμφανίζει χρωματική απόχρωση και οδηγεί σε λευκό, μαύρο ή απόχρωση του γκρι ανάλογα με την φωτεινότητα.

Τέλος, η παράμετρος φωτεινότητα σχετίζεται με την ποσότητα φωτός που εκπέμπεται, με τα πιο φωτεινά χρώματα να παράγουν περισσότερο φως από τα σκουρότερα. Εκφράζεται ως ποσοστό από 0% έως 100%, όπου φωτεινότητα 0% αντιστοιχεί στο μαύρο, ενώ φωτεινότητα 100% αποδίδει ένα καθαρό χρώμα ή λευκό, εφόσον ο κορεσμός είναι 0%. Η φωτεινότητα του μοντέλου HSB αποτελεί υπολογιστική παράμετρο αναπαράστασης χρώματος.



Εικόνα 27. Χρωματικός κύκλος στον οποίο απεικονίζονται οι διαφορετικές αποχρώσεις.

Πηγή Εικόνας: <https://techterms.com/definition/hsb>