



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών

Σχεδιασμός Φωτισμού

Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός έξυπνου και διαδραστικού αρχιτεκτονικού φωτισμού
σε επιβατικά πλοία και κρουαζιερόπλοια

Λεωνίδας Μήλιος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Μάρα Σπέντζα

Πάτρα, Ιανουάριος 2026

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.



Σχεδιασμός έξυπνου και διαδραστικού αρχιτεκτονικού φωτισμού σε επιβατικά πλοία και κρουαζιερόπλοια

Λεωνίδας Μήλιος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μάρα Σπέντζα

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Ειρήνη Σκαφιδά

Πάτρα, Ιανουάριος 2026

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει τον σχεδιασμό έξυπνου και διαδραστικού αρχιτεκτονικού φωτισμού σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, έναν τομέα που έχει ιδιαίτερη σημασία λόγω των αυξημένων αναγκών λειτουργικότητας, ασφάλειας και ενεργειακής αποδοτικότητας που διέπουν το θαλάσσιο περιβάλλον. Ο φωτισμός στα σύγχρονα πλοία δεν εξυπηρετεί μόνο τις βασικές ανάγκες ορατότητας, αλλά είναι θεμελιώδες στοιχείο της αρχιτεκτονικής εμπειρίας, της εργονομίας και της συνολικής ποιότητας ζωής επιβατών και πληρώματος.

Σκοπός της μελέτης είναι η ανάλυση των αρχών σχεδίασης φωτισμού σε θαλάσσιες συνθήκες, η εκτίμηση των σύγχρονων τεχνολογιών φωτισμού και αυτοματισμού καθώς και η διατύπωση προτεινόμενων λύσεων που συνδυάζουν τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό, την ενεργειακή αποδοτικότητα και έξυπνα συστήματα ελέγχου. Ταυτόχρονα, αναλύεται η λειτουργία των τεχνολογιών LED, των συστημάτων KNX και DALI, καθώς και των αισθητήρων φωτεινότητας και παρουσίας στη διαμόρφωση ευέλικτων και προσαρμοστικών φωτιστικών χώρων.

Η μελέτη στηρίζεται σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, ανάλυση παγκόσμιων προτύπων και κανονισμών φωτισμού, και στην έρευνα εφαρμογών φωτισμού που χρησιμοποιούνται σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Στο πλαίσιο της εργασίας δημιουργείται μελέτη περίπτωσης σχεδίασης φωτισμού για συγκεκριμένους χώρους πλοίου, όπως η καμπίνα-γραφείο του πλοιάρχου και ένας πολυλειτουργικός χώρος καφέ lounge. Για την εκτίμηση των προτεινόμενων λύσεων υλοποιούνται φωτοτεχνικές προσομοιώσεις μέσω του λογισμικού Relux, εκτελούνται μετρήσεις φωτισμού και αναπτύσσονται πρωτότυπα hardware και software για τη διαχείριση του φωτισμού μέσω αυτοματοποιημένων συστημάτων.

Τα ευρήματα της μελέτης δείχνουν ότι η χρήση ανθρωποκεντρικού φωτισμού και έξυπνων συστημάτων διαχείρισης μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την οπτική άνεση, τη λειτουργικότητα και την εμπειρία των χρηστών, ενώ επίσης βοηθά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι η χρήση τεχνολογιών

αυτοματισμού και προσαρμοσμένων σεναρίων φωτισμού είναι κρίσιμος παράγοντας για τον σχεδιασμό σύγχρονων και βιώσιμων εφαρμογών στη ναυτιλία.

Λέξεις-κλειδιά: Αρχιτεκτονικός φωτισμός, έξυπνος φωτισμός, πλοία επιβατών, κρουαζιερόπλοια, ανθρωποκεντρικός φωτισμός, KNX, DALI, αποδοτικότητα ενέργειας, αυτοματισμοί για φωτισμό.

Design of smart and interactive architectural lighting on passenger ships and cruise ships

Leonidas Milios

Abstract

This diploma thesis analyzes the design of intelligent and interactive architectural lighting systems in passenger ships and cruise liners, an area marked by heightened complexity owing to the stringent operational, safety, and energy efficiency standards of the maritime setting. In contemporary ships, lighting goes beyond merely ensuring visibility; it is also a key element of architectural design, ergonomics, and the overall living experience for both passengers and crew.

This research intends to explore the concepts of lighting design in marine settings, assess contemporary lighting and automation technologies, and formulate suggested solutions that integrate human-centered lighting, energy efficiency, and smart control systems. The research examines the function of LED technologies, KNX and DALI protocols, along with light and presence sensors in developing versatile and responsive lighting settings.

The methodology for the research relies on a comprehensive literature review, an examination of global lighting standards and regulations, and an investigation of current lighting applications in passenger ships and cruise liners. A lighting design case study is created for chosen ship areas, including the captain's office-cabin and a multifunctional café lounge area as part of the study. To assess the suggested solutions, lighting simulations were conducted using the Relux software, alongside lighting measurements and the creation of hardware and software prototypes for automated intelligent lighting management systems.

The findings of the research indicate that adopting human-centric lighting and intelligent control systems can greatly enhance visual comfort, usability, and user satisfaction, while also aiding in lowering energy usage. Additionally, the incorporation of automation technologies and variable lighting scenarios is demonstrated to be a vital resource for creating contemporary, sustainable, and energy-efficient maritime lighting solutions.

Keywords: Architectural lighting, smart lighting, passenger ships, cruise ships, human-centric lighting, KNX, DALI, energy efficiency, lighting automation systems.

Εκτεταμένη περίληψη

Ο φωτισμός αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, καθώς επηρεάζει άμεσα τη λειτουργικότητα, την ασφάλεια, την αισθητική και τη συνολική εμπειρία των χρηστών ενός χώρου. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας LED, των συστημάτων αυτοματισμού και των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού έχει μεταβάλει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται σήμερα τα σύγχρονα φωτιστικά συστήματα. Ιδιαίτερα στον τομέα της ναυτιλίας, όπου οι χώροι χαρακτηρίζονται από περιορισμένες διαστάσεις, συνεχείς μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών και αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας, ο σχεδιασμός του φωτισμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τον σχεδιασμό ενός έξυπνου και διαδραστικού συστήματος αρχιτεκτονικού φωτισμού για επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες LED, τα πρωτόκολλα KNX και DALI, καθώς και τις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος που θα βελτιώνει την οπτική άνεση, την εμπειρία των χρηστών και την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων.

Το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις βασικές έννοιες του αρχιτεκτονικού φωτισμού και αναδεικνύει τον ρόλο του ως βασικού εργαλείου σχεδιασμού του δομημένου περιβάλλοντος. Αναλύονται οι θεμελιώδεις φωτοτεχνικές παράμετροι, όπως η φωτεινή ροή, η ένταση φωτισμού, η λαμπρότητα, η θερμοκρασία χρώματος, ο δείκτης χρωματικής απόδοσης και ο δείκτης θάμβωσης, οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητα του φωτισμού και την οπτική άνεση.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εξέλιξη της τεχνολογίας LED, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματά της έναντι των συμβατικών πηγών φωτισμού. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη μεγάλη διάρκεια ζωής, στην υψηλή ενεργειακή απόδοση, στη δυνατότητα ρύθμισης της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος και στη συμβατότητα με σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού.

Παράλληλα αναλύεται η φιλοσοφία του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human Centric Lighting), η οποία αντιμετωπίζει τον φωτισμό όχι μόνο ως μέσο εξασφάλισης ορατότητας αλλά και ως παράγοντα που επηρεάζει τον κερκάρδιο ρυθμό, την ψυχολογία, την ευεξία και

την παραγωγικότητα του ανθρώπου. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές ενεργειακής αποδοτικότητας και οι τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας μέσω σύγχρονων τεχνολογιών φωτισμού.

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στις ιδιαιτερότητες του φωτισμού στα επιβατηγά πλοία και στα κρουαζιερόπλοια. Αναλύονται οι ιδιαίτερες συνθήκες που δημιουργεί το θαλάσσιο περιβάλλον, όπως η συνεχής μεταβολή του προσανατολισμού του πλοίου, οι διαφορετικές γεωγραφικές θέσεις, οι μεταβολές του φυσικού φωτισμού και οι απαιτήσεις ασφαλείας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι διεθνείς κανονισμοί και πρότυπα που διέπουν τον σχεδιασμό φωτισμού στα πλοία, όπως οι απαιτήσεις της SOLAS, του International Maritime Organization (IMO), των προτύπων ISO και των οδηγιών της Illuminating Engineering Society (IES).

Ακολουθεί ανάλυση των σύγχρονων εφαρμογών φωτισμού στη ναυτιλία, όπου παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνολογικές τάσεις, η χρήση LED, ο έμμεσος φωτισμός, οι πολυεπίπεδες στρατηγικές φωτισμού και οι σύγχρονες πρακτικές ενεργειακής διαχείρισης. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με αξιολόγηση αντιπροσωπευτικών εφαρμογών φωτισμού και εξαγωγή σχεδιαστικών αρχών που αξιοποιούνται στη μελέτη περίπτωσης της εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα έξυπνα συστήματα αυτοματισμού που χρησιμοποιούνται στον σύγχρονο φωτισμό. Αναλύονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των πρωτοκόλλων KNX και DALI, οι δυνατότητές τους και ο τρόπος συνεργασίας τους.

Παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες των συστημάτων αυτοματισμού, όπως ο έλεγχος παρουσίας, ο έλεγχος φυσικού φωτισμού (daylight harvesting), η δημιουργία σεναρίων φωτισμού, η ρύθμιση έντασης (dimming), η διαχείριση σκιάσεων και ο κεντρικός έλεγχος των εγκαταστάσεων.

Επιπλέον αναλύονται τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών σε ναυτιλιακά περιβάλλοντα, τόσο από πλευράς λειτουργικότητας όσο και ενεργειακής διαχείρισης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται διεθνείς εφαρμογές έξυπνου φωτισμού σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Μελετώνται χαρακτηριστικά παραδείγματα από μεγάλες ναυτιλιακές εταιρείες και αναλύονται οι τεχνολογικές λύσεις που εφαρμόζονται.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση τεχνολογιών LED, στον ανθρωποκεντρικό φωτισμό, στη χρήση έξυπνων αισθητήρων και στα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης οδηγούν στη διαμόρφωση των σχεδιαστικών αρχών που εφαρμόζονται στη μελέτη περίπτωσης της εργασίας.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί το βασικό ερευνητικό μέρος της εργασίας. Σχεδιάζεται ολοκληρωμένο σύστημα φωτισμού για δύο χαρακτηριστικούς χώρους επιβατηγού πλοίου: την καμπίνα-γραφείο του πλοιάρχου και έναν χώρο café lounge.

Αναλύονται οι λειτουργικές απαιτήσεις κάθε χώρου και σχεδιάζονται κατάλληλες φωτιστικές λύσεις βασισμένες στις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Όλα τα φωτιστικά ενσωματώνονται σε σύστημα KNX και DALI, επιτρέποντας την υλοποίηση διαφορετικών σεναρίων φωτισμού, τον έλεγχο της έντασης και τη διαχείριση μέσω αισθητήρων παρουσίας και φωτεινότητας.

Η αξιολόγηση πραγματοποιείται με το λογισμικό Relux, μέσω του οποίου υπολογίζονται τα επίπεδα φωτισμού, η ομοιομορφία, η θάμβωση και η ενεργειακή απόδοση των προτεινόμενων λύσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προτεινόμενες εγκαταστάσεις καλύπτουν τις απαιτήσεις των διεθνών προτύπων, προσφέροντας υψηλό επίπεδο οπτικής άνεσης και ενεργειακής αποδοτικότητας.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός πρωτότυπου συστήματος διαχείρισης φωτισμού βασισμένου στις τεχνολογίες KNX και DALI. Το πρωτότυπο περιλαμβάνει λειτουργίες κεντρικού ελέγχου, δυναμικής ρύθμισης φωτισμού, ελέγχου παρουσίας, daylight harvesting, constant light control και δημιουργίας σεναρίων φωτισμού.

Παρουσιάζονται οι φωτοτεχνικές μετρήσεις, η αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας, η λειτουργικότητα του συστήματος καθώς και η αξιολόγηση της εργονομίας και της εμπειρίας χρήστη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός LED, αυτοματισμών και

ανθρωποκεντρικού φωτισμού δημιουργεί ένα ευέλικτο, λειτουργικό και ενεργειακά αποδοτικό σύστημα.

Στα συμπεράσματα συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας. Διαπιστώνεται ότι ο συνδυασμός σύγχρονων τεχνολογιών LED, πρωτοκόλλων KNX και DALI και αρχών ανθρωποκεντρικού φωτισμού μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα του φωτισμού, την οπτική άνεση, την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη συνολική εμπειρία επιβατών και πληρώματος.

Επιπλέον προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα, όπως η αξιοποίηση τεχνητής νοημοσύνης, αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, αισθητήρων βιολογικών δεδομένων και ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας στα πλοία, με στόχο την ανάπτυξη ακόμη πιο έξυπνων και προσαρμοστικών συστημάτων φωτισμού.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	iv
Abstract.....	vi
Εκτεταμένη περίληψη.....	viii
Κατάλογος Εικόνων.....	xiv
Κατάλογος Πινάκων.....	xvi
Συνομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xviii
Εισαγωγή.....	1
1. Αρχιτεκτονικός Φωτισμός.....	4
1.1 Αρχές και παράμετροι αρχιτεκτονικού φωτισμού.....	4
1.2 Τεχνολογίες και χαρακτηριστικά LED.....	6
1.3 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός.....	7
1.4 Πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και φωτισμού.....	9
2. Φωτισμός σε επιβατηγά και κρουαζιερόπλοια.....	12
2.1 Ιδιαιτερότητες φωτισμού σε θαλάσσιο περιβάλλον.....	12
2.2 Πρότυπα και διεθνείς κανονισμοί (IMO, ISO, IES).....	14
2.3 Ανάλυση των υφιστάμενων λύσεων φωτισμού στα πλοία.....	16
2.4 Αξιολόγηση επιτυχημένων εφαρμογών και στρατηγικών σχεδιασμού.....	18
3. Τεχνολογίες Αυτοματισμού και Έλεγχος Φωτισμού.....	22
3.1 Αρχιτεκτονική Ανάπτυξης Συστημάτων Έξυπνου Φωτισμού.....	22
3.2 DALI, Συστήματα KNX και Σύγκριση Χαρακτηριστικών.....	28
3.2.1 Σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface).....	28
3.2.2 Σύστημα KNX.....	29
3.2.3 Συγκριτική Ανάλυση DALI και KNX.....	30
Πίνακας 3.2. Συγκριτική αξιολόγηση των τεχνολογιών KNX και DALI.....	31
3.3 Αισθητήρες φωτός, παρουσίας και περιβάλλοντος.....	31
3.4 Διαδραστικός φωτισμός και τεχνολογίες IoT.....	35
4. Διαδικασία Σχεδιασμού και Προμελέτη Εσωτερικού και Εξωτερικού Φωτισμού Πλοίου.....	40
4.1 Μεθοδολογία Σχεδιασμού Φωτισμού.....	40
4.2 Σχεδιασμός Εσωτερικού Φωτισμού.....	41
4.2.1. Σύνοψη απαιτήσεων φωτισμού εσωτερικών και εξωτερικών χώρων πλοίου...41	
4.2.2 Εσωτερικοί χώροι.....	42
4.2.3 Σχεδιασμός Εξωτερικού Φωτισμού.....	48

4.2.4 Φωτισμός Ασφαλείας.....	51
4.3 Μελέτη περίπτωσης έξυπνων συστημάτων φωτισμού σε επιβατηγά πλοία.....	53
4.3.1 Τεχνολογική εξέλιξη και εφαρμογές.....	53
4.3.2 Στρατηγικές ελέγχου και αυτοματισμού.....	54
4.3.3. Ανθρωποκεντρικός φωτισμός και εμπειρία χρήστη.....	54
4.3.4 Ενεργειακά και λειτουργικά οφέλη.....	54
4.4 Παραδείγματα εφαρμογών έξυπνου φωτισμού στη διεθνή ναυτιλιακή πρακτική	55
4.4.1 Royal Caribbean International.....	56
4.4.2 MSC Cruises.....	57
4.4.3 Hurtigruten Hybrid Cruise Ships.....	58
5. Case Study: Σχεδιασμός Φωτισμού.....	61
5.1 Εισαγωγή και πλαίσιο μελέτης.....	61
5.2 Σχεδιαστικές αρχές και τεχνολογική προσέγγιση.....	62
5.3 Μελέτη χώρου καμπίνας–γραφείου πλοιάρχου.....	63
5.3.1 Σχεδιαστική προσέγγιση.....	63
5.3.2 Φωτοτεχνική προσομοίωση και αξιολόγηση χώρου γραφείου.....	66
5.3.3 Χώρος λουτρού.....	69
5.3.4 Φωτοτεχνική προσομοίωση και αξιολόγηση υπνοδωματίου.....	72
5.4 Μελέτη χώρου café lounge.....	76
5.5 Σύστημα ελέγχου και ενεργειακή διαχείριση.....	78
6. Εικονική προσομοίωση και δημιουργία πρωτοτύπων.....	81
6.1 Μετρήσεις φωτισμού και κατανάλωσης ενέργειας.....	81
6.2 Ανάπτυξη πρωτοτύπων (hardware & software).....	82
6.3 Αξιολόγηση λειτουργικότητας, εργονομίας και εμπειρίας χρήστη.....	87
Συμπεράσματα.....	93
Βιβλιογραφία.....	96
Παράρτημα: Προδιαγραφές φωτιστικών.....	99

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1 Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική συστήματος έξυπνου φωτισμού (επίπεδο πεδίου – ελέγχου – διαχείρισης).....	24
Εικόνα 3.2 Παράδειγμα λογικής ελέγχου και ροής εντολών σε ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού.....	26
Εικόνα 3.3 Αρχιτεκτονική διαύλου και βασική τοπολογία συστήματος DALI.....	29
Εικόνα 3.4 Τοπολογία και αρχιτεκτονική του συστήματος KNX με αποκεντρωμένες συσκευές.....	30
Εικόνα 3.5 Παράδειγμα ενσωμάτωσης αισθητήρα φωτεινότητας σε σύστημα συγκομιδής φωτός ημέρας.....	33
Εικόνα 3.6 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του αισθητήρα παρουσίας (PIR) σε ένα κύκλωμα φωτισμού.....	34
Εικόνα 3.7 Παράδειγμα ενός πολυαισθητήρα (φως-παρουσία-θερμοκρασία) σε ένα σύστημα αυτοματισμού KNX.....	35
Εικόνα 3.8 Γενική αρχιτεκτονική ενός διαδραστικού συστήματος φωτισμού που βασίζεται στο IoT.....	37
Εικόνα 3.9 Ενσωμάτωση ενός συστήματος φωτισμού IoT σε μια κεντρική πλατφόρμα διαχείρισης (BMS/Ship Management System).....	38
Εικόνα 3.10 Παράδειγμα γραφικών χρήστη για διαδραστικό έλεγχο φωτισμού μέσω κινητής συσκευής ή οθόνης αφής.....	38
Εικόνα 4.1 Φωτισμός μηχανοστασίου πλοίου με χρήση προβολέων LED.....	43
Εικόνα 4.2 Χώρος Αίθουσας Ελέγχου Μηχανής (ECR) σε εμπορικό πλοίο.....	44
Εικόνα 4.3 Φωτισμός καμπίνας επιβατών σε κρουαζιερόπλοιο.....	45
Εικόνα 4.4 Φωτισμός κουζίνας (Galley) σε επιβατηγό πλοίο.....	46
Εικόνα 4.5 Φωτισμός γέφυρας ναυσιπλοΐας με χρήση χαμηλού και ερυθρού φωτισμού.....	47
Εικόνα 4.6 Φωτισμός πλώρης σε εμπορικό πλοίο κατά τη νυχτερινή πρόσδεση.....	48
Εικόνα 4.7 Φωτισμός εξωτερικών διαδρόμων και κλιμάκων περιοχής accommodation.....	50
Εικόνα 4.8 Φωτισμός και σήμανση οδών διαφυγής σε επιβατηγό πλοίο.....	51

Εικόνα 4.9 Παράδειγμα εφαρμογής δυναμικού αρχιτεκτονικού φωτισμού σε χώρο κρουαζιερόπλοιου της Royal Caribbean International.....	57
Εικόνα 4.10 Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων φωτισμού και αυτοματισμού σε κοινόχρηστους χώρους πλοίου της MSC Cruises.....	57
Εικόνα 4.11 Παράδειγμα εφαρμογής έξυπνου και ενεργειακά αποδοτικού φωτισμού σε υβριδικό κρουαζιερόπλοιο της Hurtigruten.....	59
Εικόνα 5.1 Κάτοψη επιβατηγού πλοίου με ένδειξη των επιλεγμένων χώρων μελέτης (café lounge) (eibPort v3).....	62
Εικόνα 5.2 Κάτοψη επιβατηγού πλοίου με επισήμανση της καμπίνας–γραφείου πλοιάρχου ως χώρου μελέτης φωτισμού (eibPort v3).....	62
Εικόνα 5.3 Κάτοψη χώρου καμπίνας–γραφείου πλοιάρχου με επισήμανση των επιλεγμένων φωτιστικών σωμάτων (πορτοκαλί) για τον σχεδιασμό φωτισμού (AutoCAD)	65
Εικόνα 5.4 Εσωτερική κάτοψη φωτισμού του χώρου γραφείου της καμπίνας πλοιάρχου από την είσοδο [Relux (Dyn.Planning)].....	66
Εικόνα 5.5 Εναλλακτική οπτική απεικόνιση φωτισμού του χώρου γραφείου της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].....	67
Εικόνα 5.6 Φωτομετρική κάτοψη του χώρου γραφείου και καθιστικού με απεικόνιση της κατανομής φωτισμού (Relux).....	68
Εικόνα 5.7 Φωτομετρικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του χώρου γραφείου και καθιστικού (Relux).....	68
Εικόνα 5.8 Τρισδιάστατη προσομοίωση του λουτρού της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].....	70
Εικόνα 5.9 Εναλλακτική τρισδιάστατη απεικόνιση του λουτρού της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].....	70
Εικόνα 5.10 Φωτομετρική κάτοψη του λουτρού με απεικόνιση της κατανομής φωτισμού (Relux).....	71
Εικόνα 5.11 Φωτομετρικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του λουτρού (Relux).....	72
Εικόνα 5.12 Τρισδιάστατη προσομοίωση του υπνοδωματίου της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].....	73
Εικόνα 5.13 Εναλλακτική τρισδιάστατη απεικόνιση του υπνοδωματίου της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].....	73

Εικόνα 5.14 Φωτομετρική κάτοψη του υπνοδωματίου με απεικόνιση της κατανομής φωτισμού (Relux).....	74
Εικόνα 5.15 Φωτομετρικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του υπνοδωματίου (Relux).....	74
Εικόνα 5.16 Κάτοψη του χώρου café lounge με απεικόνιση των φωτιστικών σωμάτων και των αισθητήρων φωτεινότητας και παρουσίας του συστήματος KNX (AutoCAD).....	78
Εικόνα 6.1 Κεντρική οθόνη του πρωτοτύπου συστήματος διαχείρισης φωτισμού και επιλογής καταστρωμάτων του πλοίου (eibPort v3).....	84
Εικόνα 6.2 Οθόνη διαχείρισης φωτισμού του κύριου καταστρώματος (Ground Deck) (eibPort v3).....	85
Εικόνα 6.3 Γραφικά φωτισμού του χώρου lounge με διαχείριση φωτιστικών ζωνών, αισθητήρων και δυναμικών σεναρίων φωτισμού (eibPort v3).....	86
Εικόνα 6.4 Γραφικά ελέγχου φωτισμού του 1ου καταστρώματος (1st Deck) με δυνατότητα διαχείρισης καμπινών, αισθητήρων διαδρόμου και λειτουργιών ειδοποίησης σφαλμάτων φωτισμού (eibPort v3).....	89
Εικόνα 6.5 Γραφικά ελέγχου φωτισμού του 2ου καταστρώματος (2nd Deck) με διαχείριση καμπινών επιβατών και καμπινών αξιωματικών (eibPort v3).....	90
Εικόνα 6.6 Γραφικά ελέγχου φωτισμού της καμπίνας του πλοιάρχου (Captain's Cabin) με διαχείριση φωτιστικών σωμάτων, σεναρίων φωτισμού, σκιάσεων και αισθητήρων KNX/DALI (eibPort v3).....	91

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών DALI ΚΑΙ KNX.....	25
Πίνακας 3.2 Συγκριτική αξιολόγηση των τεχνολογιών KNX και DALI.....	31
Πίνακας 4.1 Σύνοψη απαιτήσεων φωτισμού εσωτερικών χώρων.....	47
Πίνακας 4.2 Σύνοψη απαιτήσεων φωτισμού εξωτερικών χώρων.....	50
Πίνακας 4.3 Βασικές απαιτήσεις φωτισμού ασφαλείας.....	52
Πίνακας 5.1 Σύνοψη φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων χώρου γραφείου και καθιστικού.....	68
Πίνακας 5.2 Σύνοψη φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων λουτρού.....	72
Πίνακας 5.3 Σύνοψη φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων υπνοδωματίου.....	75

Πίνακας 5.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα φωτοτεχνικής αξιολόγησης των χώρων της καμπίνας πλοιάρχου.....	75
Πίνακας 5.5 Σύνοψη του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου και ενεργειακής διαχείρισης	79
Πίνακας 6.1 Ενδεικτικά επίπεδα φωτισμού και κατανάλωσης ενέργειας στην καμπίνα πλοιάρχου.....	82
Πίνακας 6.2 Βασικές λειτουργίες του πρωτοτύπου.....	83
Πίνακας 6.3 Αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού.....	87
Πίνακας 6.4 Βασικές λειτουργίες του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου φωτισμού.....	92

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Εισαγωγή

Ο αρχιτεκτονικός φωτισμός είναι κρίσιμος παράγοντας στη σχεδίαση του κατασκευασμένου περιβάλλοντος, διότι επηρεάζει τη λειτουργικότητα των χώρων, όπως και την αντίληψη, την άνεση και τη συμπεριφορά των χρηστών. Η ποιότητα του φωτισμού συνδέεται άμεσα με την οπτική απόδοση, την ψυχολογική διάθεση και την ευεξία, ενώ ταυτόχρονα παίζει ρόλο στη διαμόρφωση της ταυτότητας και της αισθητικής ενός χώρου (Rea, 2018). Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, ο φωτισμός αντιμετωπίζεται πλέον όχι απλώς ως ένα τεχνικό μέσο, αλλά ως ένα ολοκληρωμένο εργαλείο σχεδιασμού που ενσωματώνει τεχνολογικές, λειτουργικές και ανθρωποκεντρικές παραμέτρους. (Carlucci et al., 2015).

Η ταχεία πρόοδος της τεχνολογίας φωτισμού, ειδικά των LED συστημάτων, έχει προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στον σχεδιασμό και την εκτέλεση των φωτιστικών εγκαταστάσεων. Τα LED διακρίνονται για την εξαιρετική ενεργειακή τους απόδοση, την εκτενή διάρκεια ζωής και την ικανότητα δυναμικής ρύθμισης της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος, κάνοντάς τα ιδανικά για σύγχρονες φωτιστικές εφαρμογές (Zissis & Buso, 2013). Ταυτόχρονα, η υιοθέτηση έξυπνων συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού επιτρέπει την προσαρμογή του φωτισμού σε πραγματικό χρόνο, σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις απαιτήσεις των χρηστών (Pandharipande & Caicedo, 2015).

Ενδιαφέρον έχει η χρήση των παραπάνω τεχνολογιών σε ναυτιλιακά περιβάλλοντα, ειδικά σε επιβατικά πλοία και κρουαζιερόπλοια, όπου ο φωτισμός πρέπει να καλύψει αυξημένες και συχνά αντίθετες απαιτήσεις. Στους συγκεκριμένους χώρους, ο φωτισμός πρέπει να διασφαλίζει υψηλά επίπεδα ασφάλειας και ορατότητας, να ενισχύει τη λειτουργία ποικιλόμορφων δραστηριοτήτων, καθώς και να συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός ευχάριστου και ελκυστικού περιβάλλοντος για τους επιβάτες (Hansen & Womack, 2016). Επιπλέον, οι ειδικές συνθήκες του θαλάσσιου χώρου, όπως η υγρασία, οι δονήσεις και οι συνεχείς αλλαγές στις φυσικές συνθήκες φωτισμού, έχουν μεγάλη επίδραση στον σχεδιασμό και την επιλογή του εξοπλισμού (Baldi et al., 2018).

Ταυτόχρονα, η έννοια του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (human-centric lighting) γίνεται όλο και πιο σημαντική, καθώς επικεντρώνεται στην προσαρμογή του φωτισμού στις βιολογικές και ψυχικές ανάγκες του ανθρώπου. Η ρύθμιση της έντασης και της φασματικής σύνθεσης του φωτός μπορεί να επηρεάσει τον κιρκάδιο ρυθμό, την εγρήγορση και τη συνολική ευημερία των

χρηστών, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιβάλλοντα με περιορισμένη έκθεση στο φυσικό φως, όπως τα πλοία (Smolders & de Kort, 2014).

Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός των επιβατικών πλοίων δεν είναι μόνο τεχνικό ζήτημα, αλλά μια πολύπλευρη διαδικασία που συνδυάζει λειτουργικές ανάγκες, κανονισμούς, ενεργειακά κριτήρια και ανθρωποκεντρικές αρχές. Η απαίτηση για πλήρεις και προσαρμόσιμες λύσεις φωτισμού καθιστά επιβεβλημένη τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών και σχεδιαστικών μεθόδων, οι οποίες μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες ενός δυναμικού και απαιτητικού περιβάλλοντος.

Η παρούσα εργασία διαιρείται σε επιμέρους κεφάλαια, στα οποία εξετάζονται οι θεωρητικές βάσεις του αρχιτεκτονικού φωτισμού, οι ιδιαιτερότητες της εφαρμογής του σε θαλάσσια περιβάλλοντα, καθώς και η παρουσίαση προτεινόμενων λύσεων φωτισμού σε επιλεγμένες περιοχές επιβατηγού πλοίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζεται το θεωρητικό πλαίσιο του αρχιτεκτονικού φωτισμού και αναλύονται οι κύριες αρχές και παράμετροι του σχεδιασμού φωτισμού. Επίσης, αναλύονται οι τεχνολογίες LED, τα κύρια χαρακτηριστικά τους, οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού και τα πρότυπα ενεργειακής αποδοτικότητας και φωτισμού που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονες εφαρμογές φωτισμού.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται οι μοναδικές πτυχές του φωτισμού σε πλοία επιβατών και κρουαζιερόπλοια, με γνώμονα τις ανάγκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Διεθνή πρότυπα και κανονισμοί, όπως οι κανόνες IMO, ISO και IES, παρουσιάζονται, ενώ γίνεται αξιολόγηση των υφιστάμενων λύσεων φωτισμού και στρατηγικών σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνολογίες αυτοματισμών και τα συστήματα ρύθμισης φωτισμού. Εξετάζεται η αρχιτεκτονική σχεδίασης έξυπνων συστημάτων φωτισμού, τα πρωτόκολλα DALI και KNX, καθώς και οι λειτουργίες αισθητήρων φωτός, παρουσίας και περιβάλλοντος. Επιπλέον, αναδεικνύονται εφαρμογές διαδραστικού φωτισμού και τεχνολογιών Internet of Things (IoT) σε σύγχρονα συστήματα φωτισμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία σχεδίασης και η προμελέτη φωτισμού εσωτερικού και εξωτερικού χώρου πλοίου. Αρχικά εξετάζεται η μεθοδολογία του σχεδιασμού φωτισμού και εν συνεχεία αναλύονται οι ανάγκες φωτισμού για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, καθώς και τα συστήματα ασφαλείας φωτισμού. Ταυτόχρονα, παρατίθεται περίπτωση μελέτης έξυπνων συστημάτων φωτισμού σε πλοία επιβατών, εστιάζοντας στις στρατηγικές αυτοματισμού, τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό και τα ενεργειακά καθώς και λειτουργικά οφέλη των σύγχρονων εφαρμογών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το βασικό case study της εργασίας, το οποίο αφορά τον σχεδιασμό φωτισμού σε επιλεγμένους χώρους επιβατηγού πλοίου. Αναλύονται οι σχεδιαστικές αρχές και η τεχνολογική προσέγγιση που υιοθετήθηκαν, ενώ πραγματοποιείται λεπτομερής μελέτη της καμπίνας-γραφείου του πλοιάρχου και του χώρου café lounge. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα φωτοτεχνικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων στο Relux και εξετάζονται οι δυνατότητες ελέγχου και ενεργειακής διαχείρισης μέσω των συστημάτων KNX και DALI. Στο έκτο κεφάλαιο αναλύεται η εικονική προσομοίωση και η δημιουργία πρωτοτύπων του συστήματος φωτισμού. Αρχικά, γίνεται εφαρμογή των φωτιστικών μοντέλων στο λογισμικό Relux και καταδεικνύονται οι φωτοτεχνικές προσομοιώσεις των χώρων. Ακολουθούν οι αναλύσεις των μετρήσεων φωτισμού και η εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ γίνεται παρουσίαση της δημιουργίας πρωτοτύπων hardware και software για τη διαχείριση του φωτισμού με τη χρήση συστημάτων αυτοματισμού. Τέλος, εκτιμάται η λειτουργικότητα, η εργονομία και η εμπειρία του χρήστη των προτεινόμενων λύσεων.

Στην ενότητα των Συμπερασμάτων παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα της μελέτης και συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα της έρευνας. Ταυτόχρονα, προτείνονται αλλαγές για την αναβάθμιση του συστήματος και αναλύονται οι πιθανές ευκαιρίες εξέλιξης και εφαρμογής έξυπνων συστημάτων φωτισμού στον τομέα της ναυτιλίας.

1. Αρχιτεκτονικός Φωτισμός

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με τον αρχιτεκτονικό φωτισμό και αποτελεί θεμέλιο για την κατανόηση και τον σχεδιασμό φωτιστικών λύσεων σε περίπλοκα περιβάλλοντα, όπως πλοία επιβατών και κρουαζιερόπλοια. Εξετάζονται οι κύριες αρχές και παράμετροι του φωτισμού, οι τεχνολογικές εξελίξεις στο πεδίο του φωτισμού με έμφαση στις LED τεχνολογίες, καθώς και η έννοια του ανθρώπινου φωτισμού. Ταυτόχρονα, αναλύονται ζητήματα ενεργειακής αποτελεσματικότητας και διεθνείς προδιαγραφές φωτισμού, οι οποίες ορίζουν τις προδιαγραφές ποιότητας, ασφάλειας και βιωσιμότητας των φωτιστικών εγκαταστάσεων. Το κεφάλαιο αυτό παρέχει τη θεωρητική βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η ανάλυση και η εφαρμοσμένη μελέτη που έπεται.

1.1 Αρχές και παράμετροι αρχιτεκτονικού φωτισμού

Ο αρχιτεκτονικός φωτισμός αποτελεί θεμελιώδες εργαλείο σχεδιασμού του δομημένου περιβάλλοντος, καθώς το φως δεν εξυπηρετεί μόνο λειτουργικές ανάγκες ορατότητας, αλλά διαμορφώνει την αντίληψη, την αισθητική και τη συνολική εμπειρία του χώρου. Βασικός στόχος του φωτιστικού σχεδιασμού είναι η δημιουργία συνθηκών οπτικής άνεσης, ασφάλειας και λειτουργικότητας, ενώ παράλληλα αναδεικνύονται η μορφή, τα υλικά και η αρχιτεκτονική σύνθεση του χώρου (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Οι σημαντικότερες φωτοτεχνικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό είναι η φωτεινότητα, η φωτεινή ένταση, η ομοιομορφία φωτισμού, ο δείκτης θάμβωσης (UGR), η θερμοκρασία χρώματος (CCT) και ο δείκτης χρωματικής απόδοσης (CRI). Η σωστή επιλογή και ο συνδυασμός των παραμέτρων αυτών συμβάλλουν καθοριστικά στη διαμόρφωση συνθηκών οπτικής άνεσης και στην αποτελεσματική λειτουργία των χώρων (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Boyce, 2014).

Ιδιαίτερη σημασία στον αρχιτεκτονικό φωτισμό έχει η ανάπτυξη πολυεπίπεδων συστημάτων φωτισμού μέσω του συνδυασμού γενικού, τοπικού και έμμεσου φωτισμού. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ανάδειξη συγκεκριμένων στοιχείων του χώρου, τη δημιουργία διαφορετικών φωτιστικών σεναρίων και την καλύτερη προσαρμογή του φωτισμού στις εκάστοτε λειτουργικές απαιτήσεις (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Frascarolo et al., 2014).

Στα επιβατηγά πλοία και στα κρουαζιερόπλοια οι αρχές αυτές αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη σημασία, καθώς οι περιορισμένες διαστάσεις των χώρων, η συνεχής χρήση τους και οι αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας επιβάλλουν ιδιαίτερα προσεκτικό σχεδιασμό. Ο αρχιτεκτονικός φωτισμός καλείται να συνδυάσει τη λειτουργικότητα με τη δημιουργία ενός άνετου και ευχάριστου περιβάλλοντος για επιβάτες και πλήρωμα (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Χαρόπουλος, 2023).

Η σημασία των παραπάνω παραμέτρων γίνεται ακόμη μεγαλύτερη σε χώρους που εξυπηρετούν πολλαπλές δραστηριότητες. Στις περιπτώσεις αυτές ο σχεδιασμός δεν περιορίζεται στην επίτευξη συγκεκριμένων επιπέδων φωτισμού, αλλά περιλαμβάνει τη δημιουργία ευέλικτων και προσαρμοζόμενων συνθηκών φωτισμού, ώστε να υποστηρίζονται διαφορετικές χρήσεις, όπως εργασία, ξεκούραση και κυκλοφορία, χωρίς να μειώνεται η οπτική άνεση (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Carlucci et al., 2015).

Εξίσου σημαντική είναι η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε συνδυασμό με τον τεχνητό φωτισμό, καθώς η κατάλληλη διαχείρισή τους βελτιώνει τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η εφαρμογή στρατηγικών ελέγχου του φωτισμού επιτρέπει τη διατήρηση σταθερών επιπέδων φωτεινότητας ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φυσικού φωτός (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· de Bakker et al., 2017).

Παράλληλα, η αποφυγή της θάμβωσης αποτελεί βασική προϋπόθεση ενός επιτυχημένου φωτιστικού σχεδιασμού, καθώς η υπερβολική φωτεινότητα ή η ακατάλληλη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την οπτική απόδοση και την άνεση των χρηστών. Για τον λόγο αυτό ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στον έλεγχο του δείκτη θάμβωσης (UGR) και στη σωστή φωτοτεχνική επιλογή των φωτιστικών σωμάτων (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Boyce, 2014).

Τέλος, η σύγχρονη προσέγγιση του αρχιτεκτονικού φωτισμού συνδέεται άμεσα με την αξιοποίηση τεχνολογιών αυτοματισμού και έξυπνου ελέγχου. Μέσω ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης είναι δυνατή η δυναμική προσαρμογή του φωτισμού ανάλογα με την παρουσία χρηστών, το διαθέσιμο φυσικό φως και τις λειτουργικές απαιτήσεις κάθε χώρου, οδηγώντας σε υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και καλύτερη ποιότητα φωτιστικού περιβάλλοντος (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Houser et al., 2021).

1.2 Τεχνολογίες και χαρακτηριστικά LED

Η τεχνολογία LED (Light Emitting Diode – Δίοδος Εκπομπής Φωτός) αποτέλεσε μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον τομέα του τεχνητού φωτισμού, προσφέροντας ουσιαστικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών πηγών φωτός. Τα φωτιστικά LED χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, περιορισμένες ανάγκες συντήρησης και αυξημένη ευελιξία στον φωτιστικό σχεδιασμό, γεγονός που τα καθιστά την κυρίαρχη τεχνολογία στις σύγχρονες εφαρμογές αρχιτεκτονικού φωτισμού (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Zissis & Buso, 2013).

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των LED περιλαμβάνουν τη φωτεινή απόδοση (lm/W), τη δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινής έντασης (dimming), τη μεταβολή της θερμοκρασίας χρώματος (CCT) και τον υψηλό δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI). Οι ιδιότητες αυτές επιτρέπουν την αποτελεσματική προσαρμογή του φωτισμού στις λειτουργικές και αισθητικές απαιτήσεις διαφορετικών χώρων, διευκολύνοντας την ανάπτυξη ευέλικτων και δυναμικών φωτιστικών λύσεων (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2021).

Για εφαρμογές στη ναυτιλία, ιδιαίτερη σημασία έχουν η αυξημένη αντοχή των LED σε κραδασμούς, υγρασία και μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και οι χαμηλές θερμικές εκπομπές τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν την ασφαλή ενσωμάτωσή τους τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους των πλοίων, όπου οι συνθήκες λειτουργίας είναι ιδιαίτερα απαιτητικές (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Χαρόπουλος, 2023).

Επιπλέον, η συμβατότητα των LED με ψηφιακά πρωτόκολλα επικοινωνίας και συστήματα αυτοματισμού, όπως τα KNX και DALI, επιτρέπει την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων φωτισμού με δυνατότητες τηλεχειρισμού, δημιουργίας σεναρίων φωτισμού και αυτοματοποιημένης προσαρμογής της φωτεινότητας μέσω αισθητήρων παρουσίας και φυσικού φωτισμού (Chew et al., 2017· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Η απόδοση των LED επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμική τους συμπεριφορά, γεγονός που καθιστά αναγκαία την αποτελεσματική διαχείριση της θερμότητας μέσω κατάλληλων ψυκτικών διατάξεων. Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της φωτεινής ροής και της διάρκειας ζωής των φωτιστικών, επηρεάζοντας αρνητικά τη συνολική απόδοση του συστήματος (Zissis & Buso, 2013).

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία έχει η ποιότητα του παραγόμενου φωτός, η οποία συνδέεται με τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Η δυνατότητα επιλογής διαφορετικών φασματικών χαρακτηριστικών καθιστά τα LED κατάλληλα για εφαρμογές ανθρωποκεντρικού φωτισμού, όπου το τεχνητό φως προσαρμόζεται στους κirkάδιους ρυθμούς και στις βιολογικές ανάγκες των χρηστών (Smolders & de Kort, 2014· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Τέλος, η χρήση τεχνολογίας LED συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του λειτουργικού κόστους, ιδιαίτερα σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, όπου ο φωτισμός αποτελεί σημαντικό μέρος του συνολικού ενεργειακού φορτίου. Ο συνδυασμός αποδοτικών φωτιστικών LED με έξυπνα συστήματα ελέγχου οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και ενισχύει τη βιωσιμότητα των σύγχρονων ναυτιλιακών εφαρμογών (Chew et al., 2017· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

1.3 Ανθρωποκεντρικός φωτισμός

Ο ανθρωποκεντρικός φωτισμός (Human Centric Lighting – HCL) αποτελεί μία σύγχρονη προσέγγιση σχεδιασμού, σύμφωνα με την οποία ο φωτισμός δεν εξυπηρετεί μόνο τις ανάγκες της όρασης, αλλά λαμβάνει υπόψη και τις βιολογικές, ψυχολογικές και συναισθηματικές επιδράσεις του φωτός στον άνθρωπο. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη διαπίστωση ότι το φως επηρεάζει τον κirkάδιο ρυθμό, την εγρήγορση, τη διάθεση, την απόδοση και τη συνολική ευεξία των χρηστών (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Houser & Esposito, 2021).

Βασικό χαρακτηριστικό του ανθρωποκεντρικού φωτισμού αποτελεί η δυναμική μεταβολή τόσο της έντασης όσο και της θερμοκρασίας χρώματος του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας, με στόχο την προσομοίωση της φυσικής μεταβολής του ηλιακού φωτισμού. Θερμότερες χρωματικές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιόδους χαλάρωσης, ενώ ψυχρότερο και εντονότερο φως εφαρμόζεται κατά τις ώρες αυξημένης δραστηριότητας, συμβάλλοντας στη διατήρηση της εγρήγορσης και της συγκέντρωσης (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Στα επιβατηγά πλοία και στα κρουαζιερόπλοια η εφαρμογή ανθρωποκεντρικού φωτισμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς επιβάτες και πλήρωμα παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε εσωτερικούς χώρους, όπου η πρόσβαση στο φυσικό φως είναι συχνά

περιορισμένη. Για τον λόγο αυτό, ο τεχνητός φωτισμός καλείται να υποστηρίξει όχι μόνο τις λειτουργικές απαιτήσεις των χώρων αλλά και τη διατήρηση της άνεσης, της ευεξίας και της βιολογικής ισορροπίας των χρηστών (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Houser & Esposito, 2021).

Η υλοποίηση ανθρωποκεντρικών συστημάτων φωτισμού βασίζεται κυρίως στη χρήση φωτιστικών LED μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας χρώματος και στη διασύνδεσή τους με συστήματα αυτοματισμού, όπως τα πρωτόκολλα KNX και DALI. Με τον τρόπο αυτό ο φωτισμός προσαρμόζεται δυναμικά στις εκάστοτε συνθήκες χρήσης, μετατρέποντας το φωτιστικό σύστημα σε ενεργό στοιχείο του εσωτερικού περιβάλλοντος (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Η επίδραση του φωτός στον ανθρώπινο οργανισμό συνδέεται με το μη οπτικό σύστημα όρασης και ειδικότερα με τη ρύθμιση του κιρκάδιου ρυθμού μέσω της παραγωγής μελατονίνης. Η έκθεση σε έντονο φως υψηλότερης θερμοκρασίας χρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας ενισχύει την εγρήγορση και την απόδοση, ενώ η σταδιακή μείωση της έντασης και η χρήση θερμότερων χρωματικών αποχρώσεων τις βραδινές ώρες συμβάλλει στη χαλάρωση και στην προετοιμασία του οργανισμού για τον ύπνο (Houser et al., 2021· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Σημαντική έννοια στο πλαίσιο του ανθρωποκεντρικού φωτισμού αποτελεί το βιολογικά ενεργό φως (biologically active light), δηλαδή το τμήμα της φωτεινής ακτινοβολίας που επηρεάζει άμεσα το ανθρώπινο βιολογικό ρολόι. Ο κατάλληλος σχεδιασμός της φασματικής κατανομής του φωτισμού επιτρέπει τη δημιουργία φωτιστικών σεναρίων που υποστηρίζουν τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού και ενισχύουν την ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Houser et al., 2021).

Η εφαρμογή ανθρωποκεντρικού φωτισμού στη ναυτιλία παρουσιάζει ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς οι συνεχείς μεταβολές της γεωγραφικής θέσης, των ωραρίων λειτουργίας και των συνθηκών φυσικού φωτισμού καθιστούν αναγκαία τη χρήση δυναμικών στρατηγικών ελέγχου. Για τον λόγο αυτό, τα σύγχρονα συστήματα φωτισμού βασίζονται στην αξιοποίηση αισθητήρων φωτεινότητας και παρουσίας, ώστε η λειτουργία τους να προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες και όχι αποκλειστικά στην ώρα της ημέρας (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Τέλος, η εξέλιξη του ανθρωποκεντρικού φωτισμού συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογιών και συστημάτων αυτοματισμού. Η αξιοποίηση αισθητήρων, προγραμματιζόμενων σεναρίων και ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης επιτρέπει τη συνεχή προσαρμογή του φωτισμού στις ανάγκες των χρηστών, συμβάλλοντας τόσο στη βελτίωση της ευεξίας όσο και στην αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων (Houser et al., 2021· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

1.4 Πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και φωτισμού

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί βασική παράμετρο του σύγχρονου φωτιστικού σχεδιασμού, ιδιαίτερα σε εγκαταστάσεις με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, όπως τα επιβατηγά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια. Δεδομένου ότι ο φωτισμός αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου, η επιλογή αποδοτικών φωτιστικών τεχνολογιών και η εφαρμογή κατάλληλων στρατηγικών ελέγχου αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του λειτουργικού κόστους (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Zissis & Bertoldi, 2023).

Η αξιοποίηση φωτιστικών LED σε συνδυασμό με συστήματα αυτοματισμού, όπως αισθητήρες παρουσίας και φωτεινότητας, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα του φωτισμού. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η εφαρμογή τέτοιων στρατηγικών μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας ακόμη και περισσότερο από 40% σε σχέση με συμβατικά συστήματα φωτισμού (Frascarolo et al., 2014· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Παράλληλα, ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων φωτισμού πρέπει να συμμορφώνεται με τα ισχύοντα διεθνή πρότυπα και τους κανονισμούς, όπως τα πρότυπα ISO, οι οδηγίες της Illuminating Engineering Society (IES) και οι κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), τα οποία καθορίζουν τις απαιτήσεις για την ασφάλεια, την οπτική άνεση, την ενεργειακή απόδοση και τη λειτουργικότητα των συστημάτων φωτισμού (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Boyce, 2014).

Η ενσωμάτωση ενεργειακών κριτηρίων στον αρχιτεκτονικό φωτισμό συμβάλλει τόσο στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος όσο και στη δημιουργία οικονομικά αποδοτικών και βιώσιμων εγκαταστάσεων. Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί πλέον βασικό άξονα

σχεδιασμού των σύγχρονων συστημάτων έξυπνου φωτισμού και συνδέεται άμεσα με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Σημαντικός δείκτης αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης αποτελεί η πυκνότητα εγκατεστημένης ισχύος (Lighting Power Density – W/m^2), η οποία χρησιμοποιείται διεθνώς για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας ενός φωτιστικού συστήματος. Η μείωση του συγκεκριμένου δείκτη, χωρίς να επηρεάζονται τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού και η οπτική άνεση, αποτελεί βασικό στόχο του σύγχρονου φωτοτεχνικού σχεδιασμού (Carlucci et al., 2015· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι στρατηγικές ελέγχου φωτισμού, όπως ο έλεγχος παρουσίας (occupancy control) και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού (daylight harvesting). Οι τεχνικές αυτές επιτρέπουν τη δυναμική προσαρμογή της λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με την παρουσία χρηστών και τα διαθέσιμα επίπεδα φυσικού φωτισμού, μειώνοντας σημαντικά την περιττή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (de Bakker et al., 2017· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Στη ναυτιλία, η ενεργειακή αποδοτικότητα του φωτισμού αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία, καθώς η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται επί του πλοίου και συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η εφαρμογή αποδοτικών τεχνολογιών φωτισμού συμβάλλει τόσο στη μείωση του λειτουργικού κόστους όσο και στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της σύγχρονης ναυτιλίας (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Zissis & Bertoldi, 2023).

Τα διεθνή πρότυπα φωτισμού δεν περιορίζονται μόνο στον καθορισμό ελάχιστων επιπέδων φωτισμού, αλλά επεκτείνονται και σε ζητήματα ποιότητας φωτισμού, ενεργειακής αποδοτικότητας, εργονομίας και ασφάλειας. Η συμμόρφωση με τις προδιαγραφές των διεθνών οργανισμών διασφαλίζει την αξιόπιστη λειτουργία των φωτιστικών εγκαταστάσεων ακόμη και σε απαιτητικά περιβάλλοντα, όπως τα επιβατηγά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια (Boyce, 2014· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Συνολικά, η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών LED, προηγμένων στρατηγικών αυτοματισμού και διεθνών προτύπων φωτισμού οδηγεί στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων με υψηλή ενεργειακή απόδοση, αυξημένη λειτουργικότητα και βελτιωμένη εμπειρία χρήστη. Η

προσέγγιση αυτή αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη σχεδίαση βιώσιμων και έξυπνων φωτιστικών εγκαταστάσεων στη σύγχρονη ναυτιλία (Zissis & Bertoldi, 2023· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

2. Φωτισμός σε επιβατηγά και κρουαζιερόπλοια

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται ο φωτισμός σε πλοία επιβατών και κρουαζιερόπλοια, εστιάζοντας στις ειδικές συνθήκες και απαιτήσεις που προκύπτουν από το θαλάσσιο περιβάλλον και τη χρήση των πλοίων ως πολυλειτουργικών χώρων διαμονής, μεταφοράς και αναψυχής. Αρχικά, εξετάζονται οι κύριες ιδιαιτερότητες και προκλήσεις του φωτισμού σε θαλάσσιες συνθήκες, όπως οι περιβαλλοντικές πιέσεις, η περιορισμένη πρόσβαση στο φυσικό φως και οι αυξημένες απαιτήσεις σχετικά με την ασφάλεια και τον προσανατολισμό. Επίσης, παρατίθενται τα κύρια διεθνή πρότυπα και κανονισμοί που σχετίζονται με τον φωτισμό των επιβατηγών πλοίων και κρουαζιερόπλοιων, μαζί με τη σημασία της συμμόρφωσης προς αυτά κατά τον σχεδιασμό φωτισμού. Εδώ παρουσιάζεται ανάλυση των υφιστάμενων λύσεων φωτισμού που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη ναυτιλία, με σκοπό την κατανόηση των κυρίαρχων τεχνολογικών και σχεδιαστικών τάσεων, ενώ το κεφάλαιο κλείνει με την εκτίμηση επιτυχημένων εφαρμογών και στρατηγικών φωτισμού, που συνδυάζουν λειτουργικότητα, αισθητική αξία, ενεργειακή αποδοτικότητα και ανθρωποκεντρική προσέγγιση.

2.1 Ιδιαιτερότητες φωτισμού σε θαλάσσιο περιβάλλον

Ο σχεδιασμός φωτισμού σε θαλάσσιο περιβάλλον διαφοροποιείται σημαντικά από τον αντίστοιχο σχεδιασμό σε χερσαίες εγκαταστάσεις, καθώς τα πλοία αποτελούν δυναμικά και συνεχώς μεταβαλλόμενα λειτουργικά συστήματα. Η συνεχής κίνηση του σκάφους, οι εναλλαγές των καιρικών συνθηκών, η μεταβολή του γεωγραφικού πλάτους και η απουσία σταθερού προσανατολισμού ως προς τον ήλιο επηρεάζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα και την κατανομή του φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους. Ως αποτέλεσμα, ο σχεδιασμός του τεχνητού φωτισμού αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς καλείται να εξασφαλίσει σταθερές συνθήκες οπτικής άνεσης και ασφαλούς λειτουργίας ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Σε αντίθεση με τα κτίρια, όπου ο προσανατολισμός και η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να προβλεφθούν με μεγάλη ακρίβεια, στα πλοία η ένταση και η διεύθυνση του φυσικού φωτισμού μεταβάλλονται συνεχώς λόγω της πορείας και της θέσης του πλοίου. Η ιδιαιτερότητα

αυτή καθιστά αναγκαία τη χρήση ευέλικτων συστημάτων τεχνητού φωτισμού, τα οποία μπορούν να προσαρμόζονται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού, εξασφαλίζοντας σταθερά επίπεδα φωτεινότητας και περιορίζοντας την οπτική καταπόνηση των χρηστών (Boyce, 2014).

Παράλληλα, οι ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες της ναυτιλίας επιβάλλουν αυξημένες απαιτήσεις ως προς την ανθεκτικότητα του φωτιστικού εξοπλισμού. Τα φωτιστικά σώματα πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή σε κραδασμούς, δονήσεις και συνεχείς κινήσεις του σκάφους, ενώ παράλληλα να προστατεύονται από την υγρασία, τη διάβρωση λόγω της θαλάσσιας ατμόσφαιρας και τις μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται φωτιστικά με αυξημένους βαθμούς στεγανότητας και αντιδιαβρωτικής προστασίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ναυτιλιακών προτύπων και των διεθνών οργανισμών πιστοποίησης (IMO, 2024).

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά επίσης η εργονομία του φωτισμού, καθώς οι χώροι ενός επιβατηγού πλοίου εξυπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες και χρησιμοποιούνται συνεχώς, τόσο από το πλήρωμα όσο και από τους επιβάτες. Οι απαιτήσεις φωτισμού διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ χώρων εργασίας, χώρων ενδιαίτησης, διαδρόμων, μηχανοστασίων, γεφυρών ναυσιπλοΐας και χώρων αναψυχής. Επομένως, ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού, αλλά και την ομοιομορφία, τον περιορισμό της θάμβωσης, την κατάλληλη θερμοκρασία χρώματος και τον δείκτη χρωματικής απόδοσης, ώστε να εξασφαλίζονται ασφαλείς και άνετες συνθήκες εργασίας και διαβίωσης (Rea, 2018).

Στα σύγχρονα επιβατηγά πλοία ιδιαίτερη έμφαση δίνεται πλέον και στις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human Centric Lighting – HCL). Η μακροχρόνια παραμονή επιβατών και πληρώματος σε τεχνητά φωτιζόμενους χώρους καθιστά αναγκαία τη δημιουργία φωτιστικών συνθηκών που προσομοιάζουν, όσο είναι δυνατόν, τον φυσικό ημερήσιο κύκλο φωτισμού. Η δυναμική προσαρμογή της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος του φωτός συμβάλλει στη διατήρηση του κirkάδιου ρυθμού, στη μείωση της κόπωσης, στη βελτίωση της συγκέντρωσης και στη συνολική ευεξία των χρηστών (Houser & Esposito, 2021).

Παράλληλα, η ενεργειακή διαχείριση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους στόχους του φωτιστικού σχεδιασμού στη ναυτιλία. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται αποκλειστικά από τα ενεργειακά συστήματα του πλοίου, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον

περιορισμό κάθε περιττής κατανάλωσης. Η αξιοποίηση φωτιστικών σωμάτων LED υψηλής απόδοσης, σε συνδυασμό με αισθητήρες παρουσίας, αισθητήρες φωτεινότητας και συστήματα αυτοματισμού όπως τα KNX και DALI, επιτρέπει την προσαρμογή του φωτισμού στις πραγματικές ανάγκες χρήσης κάθε χώρου, συμβάλλοντας τόσο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όσο και στη βελτίωση της λειτουργικής απόδοσης του συστήματος (Pandharipande & Caicedo, 2015).

Τέλος, ο φωτισμός στα επιβατηγά πλοία δεν εξυπηρετεί αποκλειστικά λειτουργικούς σκοπούς αλλά αποτελεί σημαντικό στοιχείο της συνολικής εμπειρίας των επιβατών. Η σωστή αξιοποίηση του φωτός μπορεί να αναδείξει την αρχιτεκτονική των εσωτερικών χώρων, να διευκολύνει τον προσανατολισμό, να ενισχύσει την αίσθηση ασφάλειας και να δημιουργήσει διαφορετικές ατμόσφαιρες ανάλογα με τη χρήση κάθε χώρου. Κατά συνέπεια, ο σύγχρονος φωτιστικός σχεδιασμός στη ναυτιλία αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία που συνδυάζει τεχνικά, εργονομικά, αισθητικά και ενεργειακά κριτήρια, με στόχο τη δημιουργία ασφαλών, αποδοτικών και ανθρωποκεντρικών θαλάσσιων περιβαλλόντων.

2.2 Πρότυπα και διεθνείς κανονισμοί (IMO, ISO, IES)

Ο φωτισμός σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια δεν αποτελεί μόνο ζήτημα αρχιτεκτονικής και αισθητικής σχεδίασης, αλλά διέπεται από διεθνείς κανονισμούς και τεχνικά πρότυπα που αποσκοπούν στη διασφάλιση της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής, της λειτουργικότητας των χώρων και της αξιοπιστίας των εγκαταστάσεων. Σε αντίθεση με τα κτίρια της ξηράς, όπου ο σχεδιασμός του φωτισμού βασίζεται κυρίως σε κριτήρια οπτικής άνεσης και ενεργειακής απόδοσης, στα πλοία η συμμόρφωση με τους διεθνείς κανονισμούς αποτελεί βασική προϋπόθεση για την πιστοποίηση και την ασφαλή λειτουργία τους (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Κεντρικό ρόλο στο κανονιστικό πλαίσιο διαδραματίζει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO), ο οποίος εκδίδει υποχρεωτικούς κανονισμούς που αφορούν την ασφάλεια των πλοίων και των επιβαινόντων. Μέσω διεθνών συμβάσεων, όπως η SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea), καθορίζονται συγκεκριμένες απαιτήσεις για τον φωτισμό κρίσιμων περιοχών, όπως οι οδοί διαφυγής, τα καταστρώματα, οι

κλίμακες, τα μηχανοστάσια και οι χώροι συγκέντρωσης επιβατών. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν τόσο την επάρκεια του φωτισμού όσο και την αξιοπιστία της λειτουργίας του σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως η απώλεια της κύριας ηλεκτρικής τροφοδοσίας (IMO, 2024).

Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στον φωτισμό ασφαλείας και στον φωτισμό διαφυγής, οι οποίοι αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία προστασίας της ανθρώπινης ζωής. Τα συστήματα αυτά πρέπει να λειτουργούν ανεξάρτητα από τον κύριο φωτισμό, να διαθέτουν εφεδρική πηγή τροφοδοσίας και να εξασφαλίζουν επαρκή ορατότητα ώστε να είναι δυνατή η ασφαλής εκκένωση του πλοίου σε περίπτωση κινδύνου. Για τον λόγο αυτό, ο σχεδιασμός τους προβλέπεται ήδη από τα αρχικά στάδια της μελέτης των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων του πλοίου (IMO, 2024).

Παράλληλα με τους ναυτιλιακούς κανονισμούς, τα πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) παρέχουν τεχνικές προδιαγραφές σχετικά με την ποιότητα του φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους. Το πρότυπο ISO 8995-1, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στον φωτοτεχνικό σχεδιασμό, καθορίζει απαιτήσεις για τα επίπεδα φωτισμού, την ομοιομορφία, τον περιορισμό της θάμβωσης και την απόδοση των χρωμάτων. Αν και το πρότυπο αναπτύχθηκε κυρίως για κτιριακές εφαρμογές, αποτελεί σημαντική βάση αναφοράς και για τον σχεδιασμό χώρων σε επιβατηγά πλοία, με τις κατάλληλες προσαρμογές στις ιδιαιτερότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος (ISO, 2021· Boyce, 2014).

Οι απαιτήσεις αυτές συμβάλλουν στη διασφάλιση της οπτικής άνεσης και της εργονομίας, ιδιαίτερα σε χώρους παρατεταμένης παραμονής, όπως οι καμπίνες, οι χώροι αναψυχής και οι χώροι εργασίας του πληρώματος. Η εφαρμογή τους περιορίζει την οπτική κόπωση, βελτιώνει την απόδοση των χρηστών και δημιουργεί ασφαλέστερες συνθήκες διαβίωσης και εργασίας (Boyce, 2014).

Συμπληρωματικά, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι κατευθυντήριες οδηγίες της Illuminating Engineering Society (IES), οι οποίες αποτελούν διεθνές σημείο αναφοράς για τον φωτοτεχνικό σχεδιασμό. Οι οδηγίες αυτές παρέχουν αναλυτικές συστάσεις σχετικά με την ποιότητα του φωτός, την κατανομή της φωτεινότητας, τον έλεγχο της θάμβωσης (UGR), τη θερμοκρασία χρώματος, τον δείκτη χρωματικής απόδοσης (CRI) και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Οι προδιαγραφές της IES χρησιμοποιούνται ευρέως κατά τον σχεδιασμό χώρων υψηλών απαιτήσεων, όπου η ασφάλεια, η άνεση και η αισθητική πρέπει να συνυπάρχουν (IES, 2020).

Στη σύγχρονη ναυτιλία, ο φωτισμός σχεδιάζεται έτσι ώστε να συνδυάζει τις απαιτήσεις ασφαλείας του IMO και της SOLAS με τις φωτοτεχνικές προδιαγραφές των προτύπων ISO και IES. Η συνδυαστική εφαρμογή τους οδηγεί στη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων φωτισμού, τα οποία ανταποκρίνονται τόσο στις λειτουργικές ανάγκες του πλοίου όσο και στις απαιτήσεις άνεσης και ποιότητας των επιβατών και του πληρώματος (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Η εφαρμογή όλων των παραπάνω κανονισμών και προτύπων απαιτεί από τον μελετητή να ακολουθεί μία ολοκληρωμένη προσέγγιση, η οποία συνδυάζει την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα, την εργονομία, την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ποιότητα του φωτισμού. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στα επιβατηγά πλοία και στα κρουαζιερόπλοια, όπου οι απαιτήσεις των χρηστών είναι αυξημένες και οι συνθήκες λειτουργίας μεταβάλλονται συνεχώς (Rea, 2018).

Τέλος, οι διεθνείς κανονισμοί και τα φωτοτεχνικά πρότυπα εξελίσσονται διαρκώς, ακολουθώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα του φωτισμού. Η ευρεία χρήση φωτιστικών LED, η ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου και η εφαρμογή τεχνολογιών όπως το daylight harvesting και το constant light control έχουν οδηγήσει στην αναθεώρηση πολλών προδιαγραφών, δίνοντας πλέον ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα, τη βιωσιμότητα και τον ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό των εγκαταστάσεων φωτισμού (Houser & Esposito, 2021· Pandharipande & Caicedo, 2015).

2.3 Ανάλυση των υφιστάμενων λύσεων φωτισμού στα πλοία

Η εξέλιξη των συστημάτων φωτισμού στα επιβατηγά πλοία και στα κρουαζιερόπλοια αντικατοπτρίζει τη γενικότερη μετάβαση της ναυτιλιακής βιομηχανίας προς πιο αποδοτικές, ευέλικτες και ανθρωποκεντρικές τεχνολογίες. Ο φωτισμός δεν αντιμετωπίζεται πλέον αποκλειστικά ως μέσο εξασφάλισης της ορατότητας, αλλά ως βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης, της εμπειρίας των επιβατών και της συνολικής λειτουργικότητας του πλοίου (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Rea, 2018).

Κυρίαρχη τάση στις σύγχρονες εγκαταστάσεις αποτελεί η σχεδόν καθολική αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων από φωτιστικά σώματα τεχνολογίας LED. Η επιλογή αυτή οφείλεται

στην υψηλή ενεργειακή απόδοση, στη μεγάλη διάρκεια ζωής, στις περιορισμένες απαιτήσεις συντήρησης και στη δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος. Επιπλέον, τα LED ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις απαιτήσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος, παρουσιάζοντας αυξημένη αντοχή σε κραδασμούς, υγρασία και συνεχείς μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας (Zissis & Bertoldi, 2023).

Στους κοινόχρηστους χώρους των σύγχρονων επιβατηγών πλοίων, όπως οι χώροι υποδοχής, τα lounge, τα εστιατόρια και οι χώροι ψυχαγωγίας, εφαρμόζεται πολυεπίπεδος φωτισμός που συνδυάζει γενικό, τοπικό, έμμεσο και διακοσμητικό φωτισμό. Η χρήση κρυφού φωτισμού, γραμμικών φωτιστικών LED και αρχιτεκτονικών φωτιστικών στοιχείων συμβάλλει στην ανάδειξη της γεωμετρίας του χώρου, των υλικών και των επιφανειών, δημιουργώντας ευχάριστο και λειτουργικό περιβάλλον για τους επιβάτες (Boyce, 2014· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Παράλληλα, ολοένα και περισσότερα κρουαζιερόπλοια αξιοποιούν δυναμικά συστήματα φωτισμού, τα οποία επιτρέπουν τη μεταβολή της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος ανάλογα με την ώρα της ημέρας ή τη λειτουργία του χώρου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διαφορετικά φωτιστικά σενάρια για εστιατόρια, χώρους αναψυχής και αίθουσες εκδηλώσεων, βελτιώνοντας την εμπειρία των επιβατών και ενισχύοντας τον ανθρωποκεντρικό χαρακτήρα του φωτισμού (Houser & Esposito, 2021).

Στις καμπίνες επιβατών και στους ιδιωτικούς χώρους του πληρώματος, ο σχεδιασμός επικεντρώνεται κυρίως στην οπτική άνεση, στην εργονομία και στην ευελιξία. Οι σύγχρονες λύσεις συνδυάζουν γενικό φωτισμό, φωτισμό ανάγνωσης, διακοσμητικό φωτισμό και έμμεσο φωτισμό, ενώ παρέχουν στον χρήστη τη δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης της έντασης μέσω συστημάτων dimming. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την προσαρμογή του φωτισμού στις προσωπικές ανάγκες και συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο άνετου περιβάλλοντος διαμονής (Boyce, 2014).

Αντίστοιχα, στους εξωτερικούς χώρους και στα ανοικτά καταστρώματα, ο σχεδιασμός του φωτισμού δίνει προτεραιότητα στην ασφάλεια της κυκλοφορίας, στην αντοχή του εξοπλισμού και στην περιορισμένη εκπομπή θάμβωσης. Τα φωτιστικά σώματα επιλέγονται με βάση υψηλό βαθμό στεγανότητας και ανθεκτικότητας στη διάβρωση, ώστε να ανταποκρίνονται στις

ιδιαίτερα απαιτητικές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος και να εξασφαλίζουν ασφαλή μετακίνηση επιβατών και πληρώματος κατά τη διάρκεια της νύχτας (IMO, 2024).

Σημαντική εξέλιξη αποτελεί επίσης η ενσωμάτωση των συστημάτων φωτισμού σε ολοκληρωμένα δίκτυα αυτοματισμού. Η αξιοποίηση πρωτοκόλλων όπως τα KNX και DALI επιτρέπει τον κεντρικό έλεγχο των εγκαταστάσεων, τη δημιουργία σεναρίων φωτισμού, τη ρύθμιση της έντασης του φωτισμού, καθώς και την αλληλεπίδραση με αισθητήρες παρουσίας και φυσικού φωτισμού. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα και καλύτερη προσαρμογή του φωτισμού στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου (Pandharipande & Caicedo, 2015).

Η ανάλυση των σύγχρονων εφαρμογών καταδεικνύει ότι ο φωτισμός στα επιβατηγά πλοία εξελίσσεται προς ολοκληρωμένα συστήματα που συνδυάζουν υψηλή ενεργειακή απόδοση, προηγμένες τεχνολογίες αυτοματισμού και ανθρωποκεντρικές αρχές σχεδιασμού. Η τάση αυτή ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας για μεγαλύτερη βιωσιμότητα, βελτιωμένη εμπειρία των επιβατών και αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας, αποτελώντας τη βάση πάνω στην οποία αναπτύσσεται και η μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας (Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024· Houser & Esposito, 2021).

2.4 Αξιολόγηση επιτυχημένων εφαρμογών και στρατηγικών σχεδιασμού

Η αξιολόγηση των σύγχρονων εφαρμογών φωτισμού σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια βασίζεται στη διεθνή βιβλιογραφία και στις πρακτικές που εφαρμόζονται στη σύγχρονη αρχιτεκτονική και ναυτιλιακή σχεδίαση φωτισμού. Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι αποτελεσματικότερες λύσεις δεν περιορίζονται στην επιλογή αποδοτικών φωτιστικών σωμάτων, αλλά συνδυάζουν λειτουργικές, αισθητικές, ανθρωποκεντρικές και ενεργειακές παραμέτρους σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα φωτισμού (Rea, 2018· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Βασικό χαρακτηριστικό των επιτυχημένων εφαρμογών αποτελεί η ιεράρχηση του φωτισμού μέσω του συνδυασμού γενικού, τοπικού και φωτισμού ανάδειξης. Ο γενικός φωτισμός εξασφαλίζει τα απαιτούμενα επίπεδα ορατότητας για την ασφαλή χρήση των χώρων, ο τοπικός φωτισμός υποστηρίζει δραστηριότητες όπως η εργασία και η ανάγνωση, ενώ ο φωτισμός

ανάδειξης χρησιμοποιείται για την προβολή αρχιτεκτονικών στοιχείων, υλικών και διακοσμητικών χαρακτηριστικών, συμβάλλοντας στη δημιουργία ευχάριστης ατμόσφαιρας και στη βελτίωση της χωρικής εμπειρίας των χρηστών (Boyce, 2014· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην εφαρμογή των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Η δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος επιτρέπει τη δημιουργία φωτιστικών συνθηκών που υποστηρίζουν τον κιρκάδιο ρυθμό, βελτιώνουν την οπτική άνεση και ενισχύουν τη συγκέντρωση ή τη χαλάρωση, ανάλογα με τη χρήση κάθε χώρου και τη χρονική στιγμή της ημέρας (Houser & Esposito, 2021).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των επιτυχημένων συστημάτων είναι η δυνατότητα ευέλικτου ελέγχου του φωτισμού μέσω έξυπνων συστημάτων αυτοματισμού. Η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως τα πρωτόκολλα KNX και DALI επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας, τη ρύθμιση της έντασης του φωτισμού (dimming), καθώς και την αυτόματη προσαρμογή του φωτισμού με βάση την παρουσία των χρηστών ή τα επίπεδα φυσικού φωτισμού. Με τον τρόπο αυτό ο ίδιος χώρος μπορεί να εξυπηρετεί διαφορετικές λειτουργίες χωρίς να απαιτούνται επεμβάσεις στον εξοπλισμό (Pandharipande & Caicedo, 2015).

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί επίσης βασικό κριτήριο αξιολόγησης των σύγχρονων εφαρμογών φωτισμού. Η συνδυασμένη χρήση φωτιστικών LED, αισθητήρων παρουσίας, αισθητήρων φωτεινότητας και στρατηγικών daylight harvesting συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα υψηλή ποιότητα φωτισμού και οπτική άνεση. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα επιβατηγά πλοία, όπου η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα με τη μείωση του λειτουργικού κόστους και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του πλοίου (de Bakker et al., 2017· Zissis & Bertoldi, 2023).

Εξίσου σημαντική είναι η συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα και τους ναυτιλιακούς κανονισμούς. Οι επιτυχημένες εφαρμογές ενσωματώνουν ήδη από τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού τις απαιτήσεις των συμβάσεων SOLAS, των οδηγιών του IMO και των προτύπων ISO και IES, εξασφαλίζοντας ασφαλή λειτουργία τόσο σε συνθήκες κανονικής χρήσης όσο και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (IMO, 2024· ISO 8995-1, 2002).

Τέλος, η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι ο επιτυχημένος σχεδιασμός φωτισμού προκύπτει μέσα από τη συνεργασία διαφορετικών επιστημονικών ειδικοτήτων, όπως αρχιτεκτόνων, μηχανολόγων, ηλεκτρολόγων μηχανικών και ειδικών αυτοματισμού. Η διεπιστημονική αυτή προσέγγιση επιτρέπει την ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων που συνδυάζουν τεχνική αξιοπιστία, ενεργειακή αποδοτικότητα, εργονομία και υψηλή αισθητική ποιότητα (Boyce, 2014· Ζερεφός & Τσαγκρασούλης, 2024).

Συνολικά, η αξιολόγηση των σύγχρονων εφαρμογών καταδεικνύει ότι οι αποτελεσματικότερες στρατηγικές φωτισμού βασίζονται στην ισορροπία μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας, ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, ενεργειακής αποδοτικότητας και συμμόρφωσης με τα διεθνή πρότυπα. Τα συμπεράσματα αυτά αποτελούν τη θεωρητική βάση για τη μελέτη περίπτωσης και τις προτεινόμενες λύσεις φωτισμού που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

Η ανάλυση που προηγήθηκε ανέδειξε ότι ο φωτιστικός σχεδιασμός στα επιβατηγά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια απαιτεί τον συνδυασμό λειτουργικών, τεχνικών, αισθητικών, ενεργειακών και κανονιστικών παραμέτρων. Με βάση τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, διατυπώνονται οι ακόλουθες βασικές κατευθύνσεις σχεδιασμού:

- Η χρήση πολυδιάστατου φωτισμού (γενικός, τοπικός, έμμεσος και διακοσμητικός) για την ενίσχυση της λειτουργικότητας και της χωρικής αντίληψης.
- Η εφαρμογή ανθρωποκεντρικών αρχών, μέσα από τη ρύθμιση της έντασης και της θερμοκρασίας χρώματος, με σκοπό τη βελτίωση της ευημερίας και της εμπειρίας των χρηστών.
- Η εφαρμογή μεταβαλλόμενων φωτιστικών σεναρίων που διευκολύνουν τη διαφοροποίηση των χώρων ανάλογα με τη χρήση και την ώρα της ημέρας.
- Η χρήση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών, όπως τα LED, σε συνδυασμό με αυτοματοποιημένα συστήματα και αισθητήρες.
- Η ενσωμάτωση των κανονισμών και προτύπων (IMO, ISO) από τις αρχές του σχεδιασμού, προκειμένου να διασφαλίζεται η ασφάλεια χωρίς να περιορίζεται η δημιουργικότητα.
- Η επιλογή φωτιστικών μονάδων με ενισχυμένη αντοχή σε θαλάσσιες συνθήκες.

Οι παραπάνω κατευθύνσεις καταδεικνύουν ότι ο σύγχρονος φωτιστικός σχεδιασμός στη ναυτιλία βασίζεται στην προσαρμοστικότητα, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ασφάλεια και

την ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη. Η εφαρμογή τους προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών αυτοματισμού και συστημάτων ελέγχου, τα οποία αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

3. Τεχνολογίες Αυτοματισμού και Έλεγχος Φωτισμού

Η ταχεία πρόοδος στις τεχνολογίες φωτισμού τα τελευταία χρόνια έχει μεταφέρει την προσοχή από την απλή παραγωγή φωτός στην ολοκληρωμένη διαχείριση και δυναμική ρύθμιση των συστημάτων φωτισμού. Στα σύγχρονα επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, όπου υπάρχουν διάφορες λειτουργίες (διαμονή, εστίαση, ψυχαγωγία, εργασία, τεχνικοί χώροι), ο φωτισμός πρέπει να προσαρμόζεται στις διαφορετικές ανάγκες, τα σενάρια χρήσης και τις κανονιστικές απαιτήσεις. Η εφαρμογή αυτοματισμού επιτρέπει τη ρύθμιση της έντασης του φωτισμού, της θερμοκρασίας χρώματος και του χρώματος, καθώς και την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο (Pandharipande & Caicedo, 2015).

Σε θαλάσσιο περιβάλλον, η αξιοπιστία των συστημάτων ελέγχου αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι εγκαταστάσεις πρέπει να λειτουργούν χωρίς διακοπές υπό συνθήκες κραδασμών, υγρασίας και μεταβολών τάσης. Τα ψηφιακά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως το DALI και το KNX, παρέχουν τη δυνατότητα αποκεντρωμένης ή κεντρικής διαχείρισης των φωτιστικών, τη δημιουργία λογικών ομάδων και σεναρίων, καθώς και την ενσωμάτωση αισθητήρων για παρουσία και φωτεινότητα. Με την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών επιτυγχάνεται η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, μειώνεται το λειτουργικό κόστος και αναβαθμίζεται η εμπειρία του χρήστη (Rea, 2018).

3.1 Αρχιτεκτονική Ανάπτυξης Συστημάτων Έξυπνου Φωτισμού

Η δημιουργία ενός ευφυούς συστήματος φωτισμού σε επιβατηγά πλοία απαιτεί τη σχεδίαση μιας ολοκληρωμένης αρχιτεκτονικής, που συνδυάζει υλικοτεχνική υποδομή, λογισμικό και πρωτόκολλα επικοινωνίας σε ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις φωτισμού, τα έξυπνα συστήματα στηρίζονται σε πολυεπίπεδη δομή, δίνοντας τη δυνατότητα για δυναμική προσαρμογή του φωτισμού και σύνδεση με άλλα συστήματα του πλοίου (Zissis & Bertoldi, 2023).

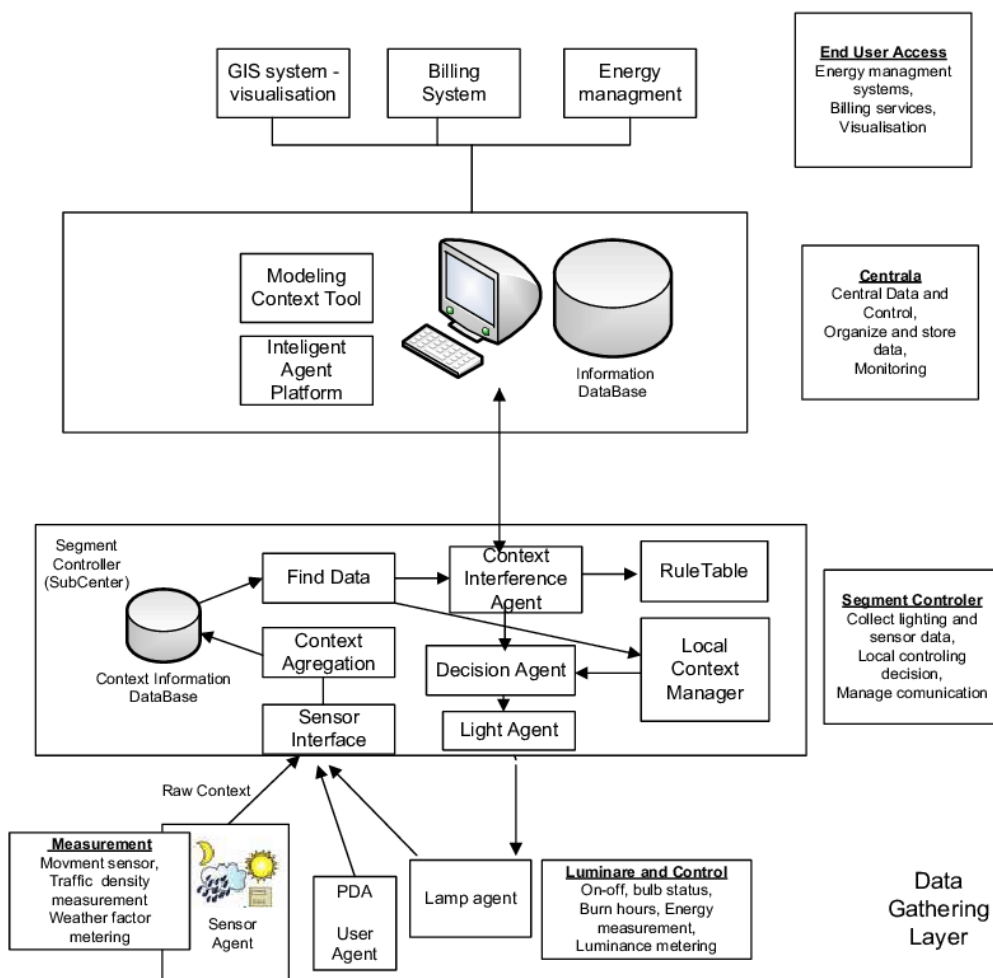
Η δομή των συστημάτων αυτών συνήθως διαρθρώνεται σε τρία κύρια επίπεδα: το επίπεδο πεδίου, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο διαχείρισης. Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει τις λυχνίες LED, τους οδηγούς (drivers) και τους αισθητήρες παρουσίας και φωτεινότητας, οι οποίοι συγκεντρώνουν πληροφορίες από το περιβάλλον. Το επίπεδο ελέγχου χρησιμοποιεί

πρωτόκολλα όπως το DALI και το KNX, τα οποία επεξεργάζονται τις πληροφορίες και εκτελούν εντολές ελέγχου. Στο κορυφαίο επίπεδο, τα συστήματα διαχείρισης (BMS ή Συστήματα Διαχείρισης Πλοίων) διευκολύνουν την παρακολούθηση, το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του φωτισμού (Νικολαΐδης, 2021).

Αυτή η σύνθετη αρχιτεκτονική διευκολύνει την εφαρμογή εξελιγμένων λειτουργιών, όπως η παρακολούθηση βάσει παρουσίας και φυσικού φωτισμού, η ανάπτυξη σεναρίων φωτισμού και η διαχείριση ενέργειας. Έρευνες αποδεικνύουν ότι η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και να βελτιώσει τη λειτουργικότητα των χώρων (de Bakker et al., 2017).

Στον τομέα των επιβατηγών πλοίων, αυτή η αρχιτεκτονική αποκτά σημαντική αξία, καθώς η σύνδεση του φωτισμού με κρίσιμα συστήματα είναι απαραίτητη, όπως ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης και τα συστήματα ενεργειακής διαχείρισης. Η ικανότητα κεντρικής εποπτείας και παρακολούθησης προσφέρει την άμεση προσαρμογή του φωτισμού σε μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας και περιβάλλοντος.

Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τη βάση για την εξέλιξη της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής φωτισμού στο επόμενο κεφάλαιο, όπου αυτές οι τεχνολογίες εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα σχεδιαστικά σενάρια.



Εικόνα 3.1: Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική συστήματος έξυπνου φωτισμού (επίπεδο πεδίου – ελέγχου – διαχείρισης).

Πηγή: (Zissis & Bertoldi, 2023).

Η σύνδεση των επιπέδων του συστήματος πραγματοποιείται μέσω ειδικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, που εξασφαλίζουν την αξιόπιστη ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία. Συγκεκριμένα, το DALI εφαρμόζεται για τον έλεγχο των φωτιστικών σε τοπικό επίπεδο, ενώ το KNX επιτρέπει τη συνολική διαχείριση του φωτισμού σε συνδυασμό με επιπλέον αυτοματοποιημένα συστήματα. Ταυτόχρονα, πρωτόκολλα που στηρίζονται σε IP, όπως το Ethernet και το MQTT, διευκολύνουν την επικοινωνία με ανώτερες πλατφόρμες διαχείρισης και την απομακρυσμένη παρακολούθηση (KNX Association, 2022).

Σε μεγάλα επιβατικά πλοία, η δομή του δικτύου ακολουθεί ιεραρχική οργάνωση, προκειμένου να εξασφαλιστούν η αξιοπιστία και η επεκτασιμότητα του συστήματος. Η διανομή του φορτίου σε διάφορα υποσυστήματα μειώνει την πιθανότητα αποτυχίας, ενώ η προσθήκη μηχανισμών

εφεδρείας (redundancy) επιτρέπει τη διαρκή λειτουργία ακόμη και αν προκύψουν βλάβες (Baldi et al., 2018). Η συγκεκριμένη απαίτηση είναι εξαιρετικά σημαντική σε ναυτιλιακά περιβάλλοντα, καθώς η αξιοπιστία των συστημάτων σχετίζεται άμεσα με την ασφάλεια.

Κεντρικό σημείο της αρχιτεκτονικής είναι η λογική διαχείρισης του συστήματος. Τα σύγχρονα συστήματα φωτισμού στηρίζονται σε αλγορίθμους που χρησιμοποιούν πληροφορίες από αισθητήρες και προκαθορισμένα σενάρια λειτουργίας. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τον αυτοματοποιημένο έλεγχο του φωτισμού σύμφωνα με παραμέτρους όπως η παρουσία χρηστών, τα επίπεδα φυσικού φωτός και τα χρονοδιαγράμματα (Pandharipande & Caicedo, 2015).

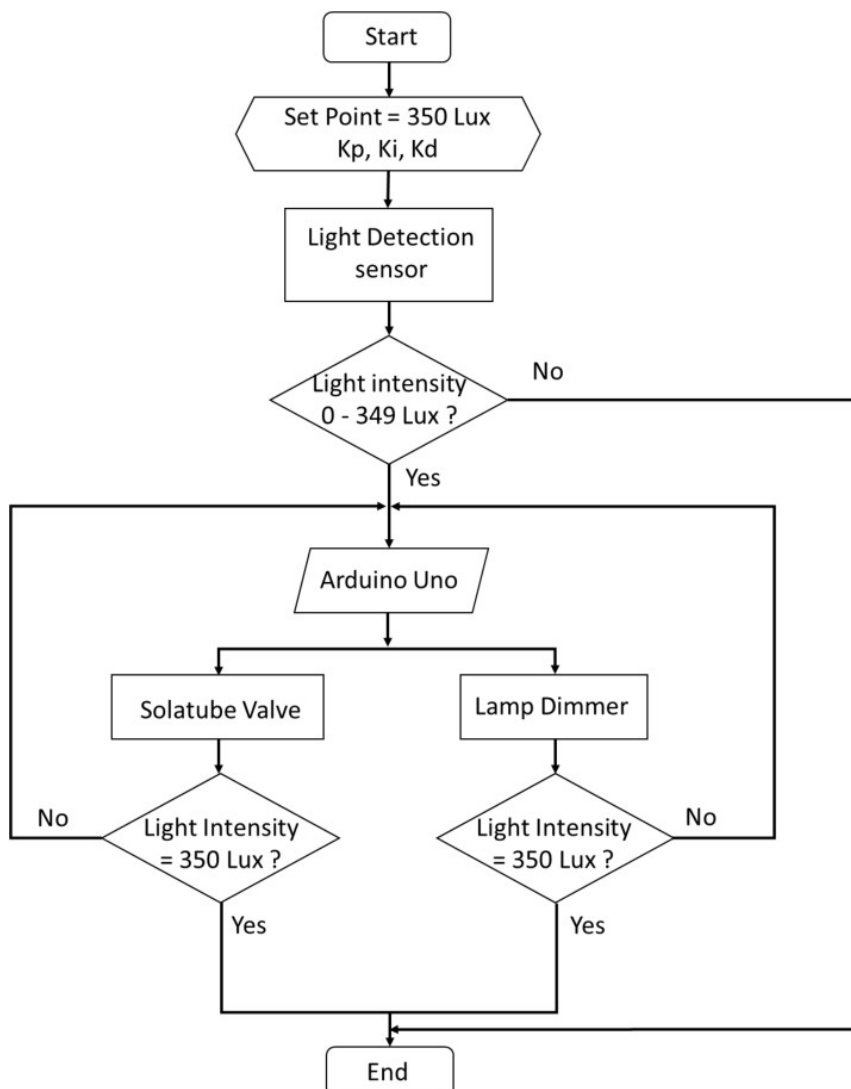
Για παράδειγμα, σε χώρους υποδοχής επιβατικών πλοίων, ο φωτισμός μπορεί να προσαρμόζεται δυναμικά μέσα στην ημέρα, μεταβάλλοντας τη φωτεινότητα και τη θερμοκρασία του χρώματος, ενώ σε εξωτερικούς χώρους και καταστρώματα μπορεί να ανταποκρίνεται στις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η ένταση του φυσικού φωτός ή οι αλλαγές του καιρού. Η χρήση τέτοιων σεναρίων βοηθά στην αναβάθμιση της εμπειρίας των επιβατών και στην ελάφρυνση της ενεργειακής κατανάλωσης (Houser & Esposito, 2021).

Από την προηγούμενη ανάλυση προκύπτει ότι το DALI και το KNX δεν αποτελούν ανταγωνιστικές τεχνολογίες αλλά συμπληρωματικές λύσεις. Το DALI λειτουργεί ως εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον έλεγχο των φωτιστικών σωμάτων, ενώ το KNX αποτελεί ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού που μπορεί να διαχειρίζεται φωτισμό, σκιάσεις, κλιματισμό και άλλες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις. Για τον λόγο αυτό, στις σύγχρονες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συχνά συνδυαστικά μέσω ειδικών πυλών επικοινωνίας (DALI Gateways), αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών.

Πίνακας 3.1: Σύγκριση χαρακτηριστικών DALI ΚΑΙ KNX

Χαρακτηριστικό	DALI	KNX
Τύπος συστήματος	Φωτισμός	Ολοκληρωμένος αυτοματισμός
Έλεγχος	Φωτιστικά	Όλο το κτίριο
Ευελιξία	Μέτρια	Υψηλή
Πολυπλοκότητα	Χαμηλή	Υψηλή
Κόστος	Χαμηλότερο	Υψηλότερο

Εφαρμογή σε πλοία	Τοπικός φωτισμός	Κεντρικά συστήματα



Εικόνα 3.2: Παράδειγμα λογικής ελέγχου και ροής εντολών σε ένα έξυπνο σύστημα φωτισμού.

Πηγή: (Chew et al., 2017)

Η δημιουργία ενός έξυπνου συστήματος φωτισμού περιλαμβάνει επίσης τη σχεδίαση μιας κατάλληλης οπτικοποίησης χρήστη (User Interface – UI), όπου το πλήρωμα ή οι επιβάτες μπορούν να αλληλεπιδρούν με το σύστημα. Οι συγκεκριμένες οπτικοποιήσεις περιλαμβάνουν οθόνες αφής τοίχου, εφαρμογές για κινητά και κεντρικές μονάδες ελέγχου, προσφέροντας άμεσο και φιλικό προς το χρήστη έλεγχο του φωτισμού. Έρευνες σχετικά με τον ανθρωποκεντρικό φωτισμό δείχνουν ότι η απλότητα και η εργονομία της οπτικοποίησης έχουν καθοριστική

επίδραση στην αποδοχή και στη σωστή χρήση των συστημάτων από τους χρήστες, ειδικά σε περίπλοκα περιβάλλοντα όπως τα πλοία (Smolders & de Kort, 2014).

Σε πρακτικό επίπεδο, οι εφαρμογές έξυπνου φωτισμού σε σύγχρονα κτίρια και αυτοματισμούς έχουν αποδείξει ότι η αξιοποίηση φιλικών προς τον χρήστη αυτοματισμών οδηγεί σε βελτιωμένη διαχείριση του φωτισμού και μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αφού οι χρήστες μπορούν να ρυθμίζουν πιο απλά τις συνθήκες φωτισμού σύμφωνα με τις ανάγκες τους (Pandharipande & Caicedo, 2015). Η ίδια προσέγγιση εφαρμόζεται και στον τομέα της ναυτιλίας, όπου η λειτουργικότητα και η ταχύτητα πρόσβασης στις ρυθμίσεις είναι καθοριστικές.

Ταυτόχρονα, η κυβερνοασφάλεια είναι κρίσιμο στοιχείο στη διαμόρφωση των σύγχρονων φωτιστικών συστημάτων. Η αξιοποίηση τεχνολογιών IoT και η εφαρμογή δικτύων IP ενισχύουν τις ικανότητες του συστήματος, ωστόσο ταυτόχρονα προκύπτουν νέοι κίνδυνοι. Γι' αυτό το λόγο, είναι αναγκαία η εφαρμογή μηχανισμών όπως η κρυπτογράφηση πληροφοριών, ο έλεγχος πρόσβασης και ο διαχωρισμός δικτύων. Στον τομέα της ναυτιλίας, η ανάγκη αυτή είναι πιο επιτακτική, διότι τα συστήματα των πλοίων θεωρούνται καθοριστικές υποδομές και υπόκεινται σε διεθνείς κανονισμούς για την κυβερνοασφάλεια (Zissis & Bertoldi, 2023).

Μελέτες στον τομέα των έξυπνων συστημάτων φωτισμού δείχνουν ότι η ενσωμάτωση ασφαλών μηχανισμών ελέγχου και αρχιτεκτονικών ενισχύει την προστασία των δεδομένων και την συνολική αξιοπιστία των συστημάτων. Συγκεκριμένα, οι Pandharipande και Caicedo (2015) τονίζουν ότι η εφαρμογή δικτυωμένων συστημάτων φωτισμού με δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου απαιτεί μια σταθερή υποδομή επικοινωνίας και ασφαλή διαχείριση δεδομένων, ώστε να διασφαλιστεί η αξιόπιστη και ασφαλής λειτουργία του συστήματος. Ταυτόχρονα, οι Chew et al. (2017) επισημαίνουν ότι τα έξυπνα συστήματα φωτισμού που στηρίζονται σε ψηφιακές τεχνολογίες και IoT θα πρέπει να περιλαμβάνουν μηχανισμούς ελέγχου και ασφάλειας, προκειμένου να αποφεύγονται οι δυσλειτουργίες και να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία τους.

Αυτή η μέθοδος είναι πολύ σημαντική στα επιβατηγά πλοία, όπου η σταθερή και ασφαλής λειτουργία των συστημάτων είναι καθοριστικός παράγοντας για την ασφάλεια και την επιχειρησιακή αξιοπιστία.

Συνοπτικά, η ανάπτυξη αρχιτεκτονικής ενός έξυπνου συστήματος φωτισμού σε επιβατηγά πλοία στηρίζεται σε τρεις κύριες πτυχές: την τεχνολογική ενοποίηση, την ευχρηστία και την ασφάλεια. Η ταυτόχρονη εφαρμογή αυτών των παραμέτρων καθιστά εφικτή την κατασκευή συστημάτων που είναι τόσο ενεργειακά αποδοτικά όσο και λειτουργικά αξιόπιστα και φιλικά προς τους χρήστες.

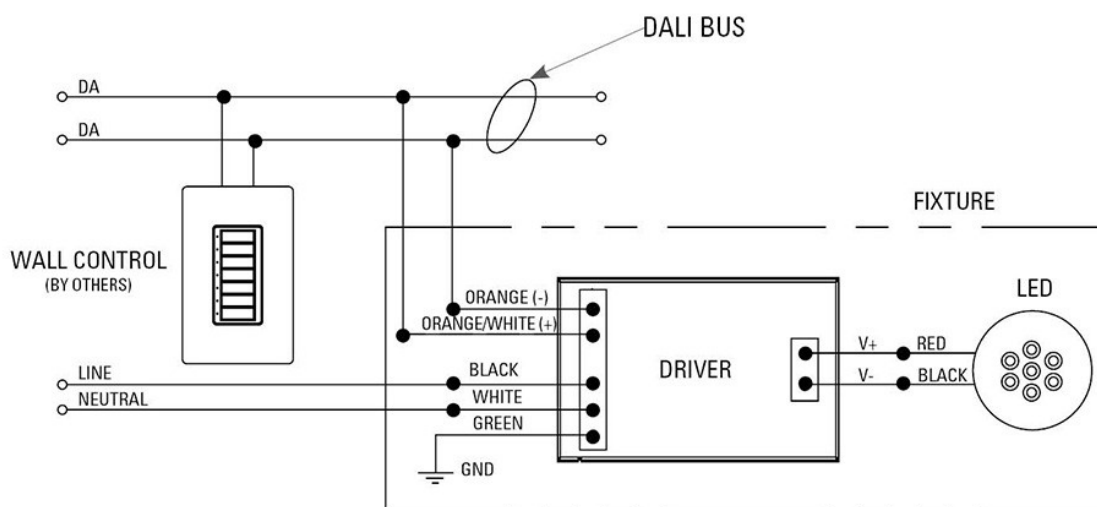
Τα προαναφερθέντα δεδομένα συνιστούν τον θεμέλιο λίθο της μεθοδολογίας σχεδίου που ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο, όπου οι αρχές αυτές εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα σενάρια φωτισμού στα πλοία επιβατών.

3.2 DALI, Συστήματα KNX και Σύγκριση Χαρακτηριστικών

3.2.1 Σύστημα DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

Το DALI είναι ένα διεθνώς καταξιωμένο πρωτόκολλο ψηφιακής επικοινωνίας για τον έλεγχο του φωτισμού, που στηρίζεται στο πρότυπο IEC 62386. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι η ικανότητα να διαχειρίζεται ανεξάρτητα έως και 64 φωτιστικά ανά γραμμή (Bus), προσφέροντας ακριβή έλεγχο σε κάθε μονάδα. Η επικοινωνία γίνεται μέσω ενός διπλού καλωδίου χαμηλής τάσης, το οποίο μεταφέρει εντολές και πληροφορίες κατάστασης (ανάδραση) από τα φωτιστικά την κεντρική μονάδα ελέγχου (Pandharipande & Caicedo, 2015).

Η δομή του DALI διευκολύνει τη δημιουργία ομάδων φωτιστικών και προγραμματιζόμενων σκηνών, γεγονός που προάγει την υλοποίηση δυναμικών σεναρίων φωτισμού σε χώρους όπως καθιστικά, εστιατόρια και χώρους εκδηλώσεων πλοίων. Επιπλέον, η ικανότητα ενσωμάτωσης αισθητήρων φωτισμού και παρουσίας βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση, ρυθμίζοντας τον φωτισμό σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες χρήσης (Frascarolo et al., 2014).



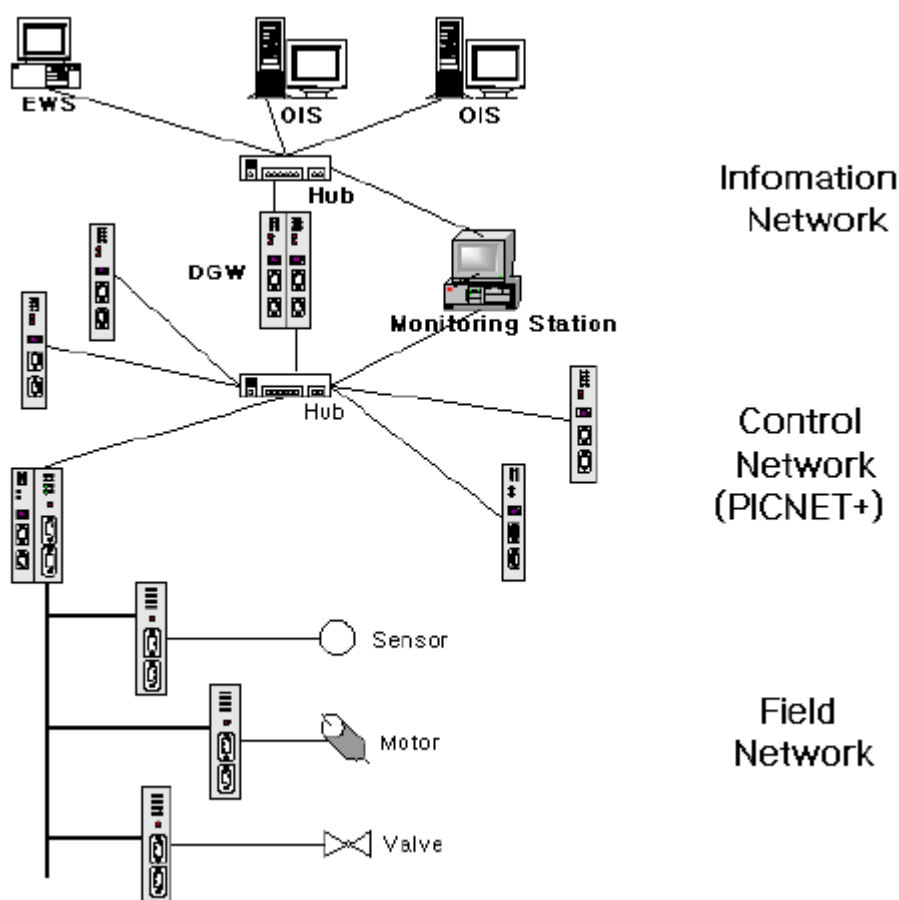
Εικόνα 3.3: Αρχιτεκτονική διαύλου και βασική τοπολογία συστήματος DALI.

Πηγή: (Pandharipande & Caicedo, 2015)

3.2.2 Σύστημα KNX

Το KNX αποτελεί ένα παγκόσμιο πρότυπο αυτοματισμού κτιρίων (ISO/IEC 14543) και διευκολύνει τη συνολική διαχείριση αρκετών ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού. Αντίθετα με το DALI, το KNX δεν περιορίζεται μόνο στον έλεγχο φωτισμού, αλλά παρέχει μια πιο εκτενή πλατφόρμα αυτοματισμού που περιλαμβάνει αισθητήρες, ενεργοποιητές, θερμοστάτες και συστήματα σκίασης (KNX Association, 2022).

Η αρχιτεκτονική του KNX στηρίζεται σε αποκεντρωμένη λογική, με κάθε συσκευή να διαθέτει «ευφυΐα» και να επικοινωνεί μέσω ενός κοινού διαύλου (bus). Αυτό παρέχει καλύτερη αξιοπιστία και ευελιξία, διότι η αποτυχία μιας μονάδας δεν επηρεάζει τη συνολική απόδοση του συστήματος. Σε πλοία μεγάλης χωρητικότητας, το KNX μπορεί να μπορεί να αποτελέσει το βασικό δίκτυο αυτοματισμού, συγκεντρώνοντας πληροφορίες κατανάλωσης και διευκολύνοντας τον απομακρυσμένο έλεγχο (Chew et al., 2017).



Εικόνα 3.4: Τοπολογία και αρχιτεκτονική του συστήματος KNX με αποκεντρωμένες συσκευές.

Πηγή: (KNX Association 2022).

3.2.3 Συγκριτική Ανάλυση DALI και KNX

Η αξιολόγηση των δύο συστημάτων αποδεικνύει ξεχωριστές σχεδιαστικές προσεγγίσεις. Το DALI έχει σχεδιαστεί ειδικά και είναι βελτιστοποιημένο για τη διαχείριση φωτισμού, προσφέροντας ακρίβεια, ευκολία στην εγκατάσταση και χαμηλό κόστος καλωδίωσης. Από την άλλη μεριά, το KNX λειτουργεί ως ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης κτιρίων και παρέχει ομαλή συνεργασία ανάμεσα σε διάφορα τεχνολογικά υποσυστήματα (KNX Association, 2022).

Σε μεγάλης κλίμακας ναυτιλιακά έργα, συχνά εφαρμόζεται μια υβριδική προσέγγιση: Το DALI χρησιμοποιείται για την ξεχωριστή ρύθμιση των γραμμών φωτισμού, ενώ το KNX διαχειρίζεται τον κεντρικό συντονισμό και τη συνολική ενεργειακή διαχείριση. Αυτή η στρατηγική παρέχει προσαρμοστικότητα, δυνατότητα επέκτασης και αξιοπιστία, καθοριστικά στοιχεία για τα σύνθετα επιχειρησιακά περιβάλλοντα των κρουαζιερόπλοιων (Zissis & Bertoldi, 2023).

Πίνακας 3.2: Συγκριτική αξιολόγηση των τεχνολογιών KNX και DALI

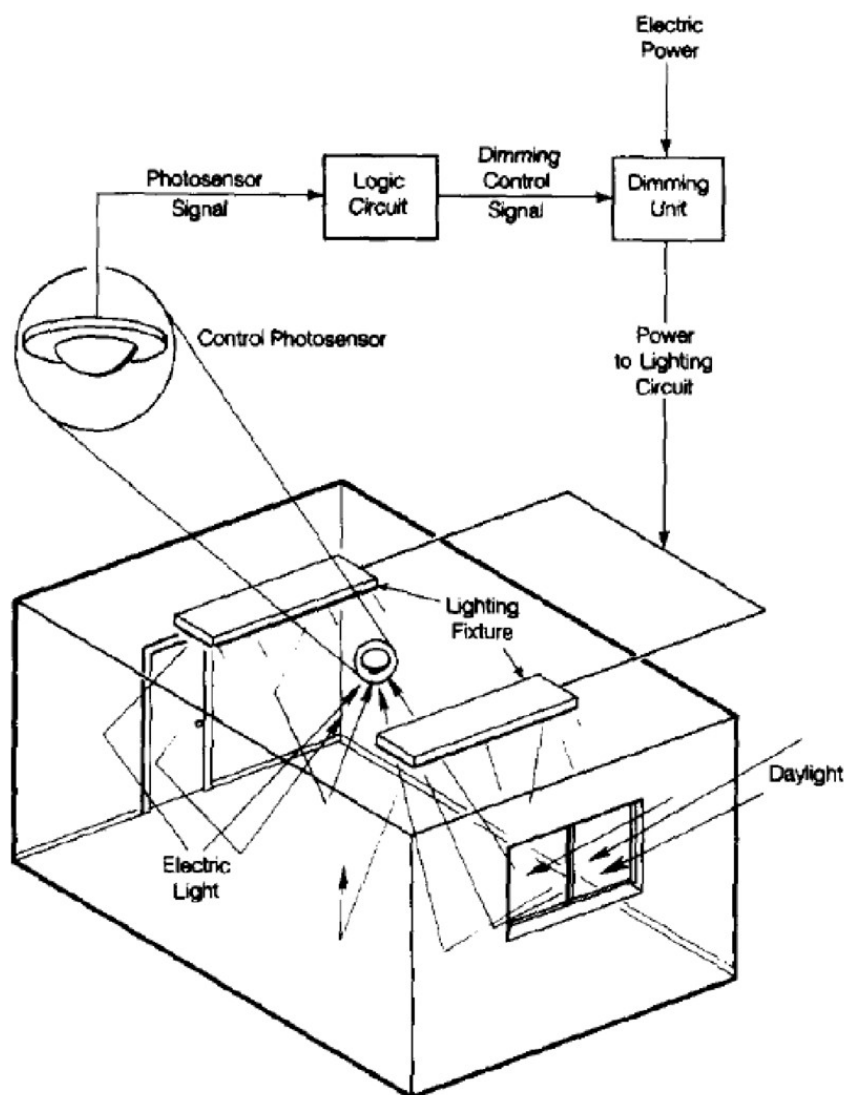
Χαρακτηριστικό	KNX	DALI
Τύπος τεχνολογίας	Σύστημα/πρότυπο αυτοματισμού κτιρίων και εγκαταστάσεων	Πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον έλεγχο φωτισμού
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλότερο όταν χρησιμοποιείται αποκλειστικά για έλεγχο φωτισμού	Υψηλότερο όταν απαιτείται διασύνδεση μέσω DALI Gateway
Αξιοπιστία λειτουργίας	Κάθε συσκευή λειτουργεί αυτόνομα· πιθανή βλάβη δεν επηρεάζει το σύνολο του συστήματος	Ενδεχόμενη αστοχία του Gateway μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία του δικτύου φωτισμού
Συμβατότητα	Υψηλή συμβατότητα μεταξύ πιστοποιημένων συσκευών KNX	Η συμβατότητα εξαρτάται από τον κατασκευαστή του Gateway και των συσκευών DALI
Μέγιστος αριθμός συσκευών	Έως 256 συσκευές ανά γραμμή (TP1)	Έως 64 συσκευές ανά γραμμή DALI
Μέγιστη απόσταση επικοινωνίας	Έως 700 m	Έως 300 m
Ταχύτητα επικοινωνίας	9.600 bps	1.200 bps
Παραμετροποίηση	Μέσω του λογισμικού ETS	Μέσω ETS σε συνδυασμό με παραμετροποίηση DALI
Ασφάλεια επικοινωνίας	Υποστηρίζει KNX Secure	Δεν διαθέτει ενσωματωμένο μηχανισμό ασφαλούς επικοινωνίας
Τυπική εφαρμογή	Ολοκληρωμένος έλεγχος φωτισμού, σκιάσεων, HVAC, ενεργειακής διαχείρισης και λοιπών συστημάτων	Έλεγχος φωτιστικών σωμάτων, ομάδων φωτισμού και λειτουργιών dimming

Από τη σύγκριση προκύπτει ότι οι τεχνολογίες KNX και DALI δεν λειτουργούν ανταγωνιστικά αλλά συμπληρωματικά. Το KNX αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού που διαχειρίζεται πολλαπλές λειτουργίες ενός κτιρίου ή ενός πλοίου, ενώ το DALI είναι εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας για τον έλεγχο του φωτισμού. Στη σύγχρονη ναυτιλιακή πρακτική οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούνται συνδυαστικά, με το KNX να αναλαμβάνει τον κεντρικό έλεγχο και το DALI την ακριβή διαχείριση των φωτιστικών σωμάτων.

3.3 Αισθητήρες φωτός, παρουσίας και περιβάλλοντος

Η προσθήκη αισθητήρων σε συστήματα αυτοματισμού φωτισμού είναι κρίσιμη για τη δημιουργία έξυπνων και ενεργειακά αποδοτικών εφαρμογών σε πλοία και κρουαζιερόπλοια. Οι αισθητήρες παρέχουν τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη φωτεινότητα, την παρουσία του χρήστη και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, επιτρέποντας την προσαρμογή του φωτισμού στις πραγματικές απαιτήσεις των χώρων. Μέσω αυτής της προσαρμογής, επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας, η βελτίωση της οπτικής άνεσης και η αναβάθμιση της εμπειρίας των επιβατών (Pandharipande & Caicedo, 2015).

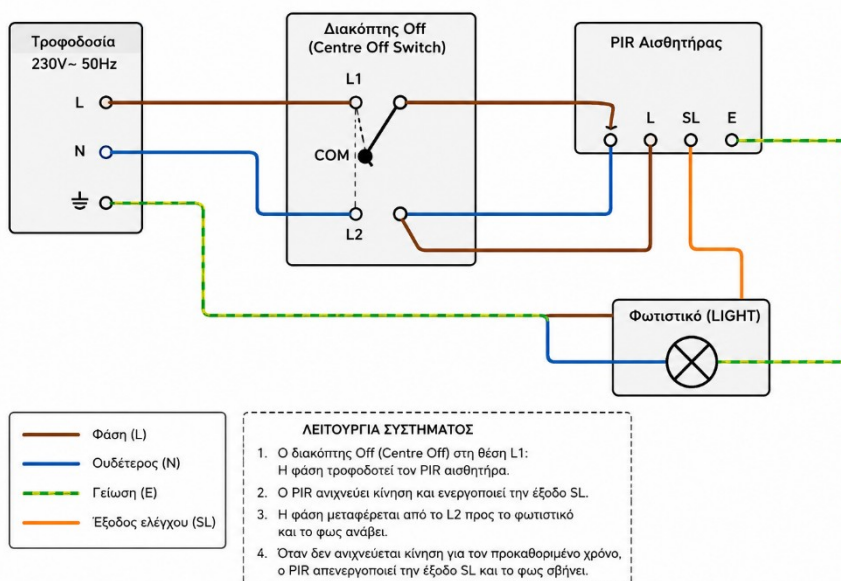
Οι αισθητήρες φωτεινότητας (lux sensors) ή αισθητήρες έντασης φωτισμού χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν τις εντάσεις φυσικού ή τεχνητού φωτισμού σε έναν χώρο. Στα πλοία, η χρήση τους είναι πολύ σημαντική σε περιοχές με φυσικό φως, όπως σαλόνια, τραπεζαρίες και γυάλινα καταστρώματα. Αυτοί οι αισθητήρες επιτρέπουν τη ρύθμιση της ισχύος των φωτιστικών μέσω μεθόδων μέτρησης φυσικού φωτός της ημέρας, έτσι ώστε να διατηρείται ένα σταθερό επίπεδο φωτισμού παρά τις μεταβολές στην εξωτερική φωτεινότητα. Αυτή η μέθοδος συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και στη διασφάλιση της οπτικής ισορροπίας (de Bakker et al., 2017).



Εικόνα 3.5: Παράδειγμα ενσωμάτωσης αισθητήρα φωτεινότητας σε σύστημα συγκομιδής φωτός ημέρας.

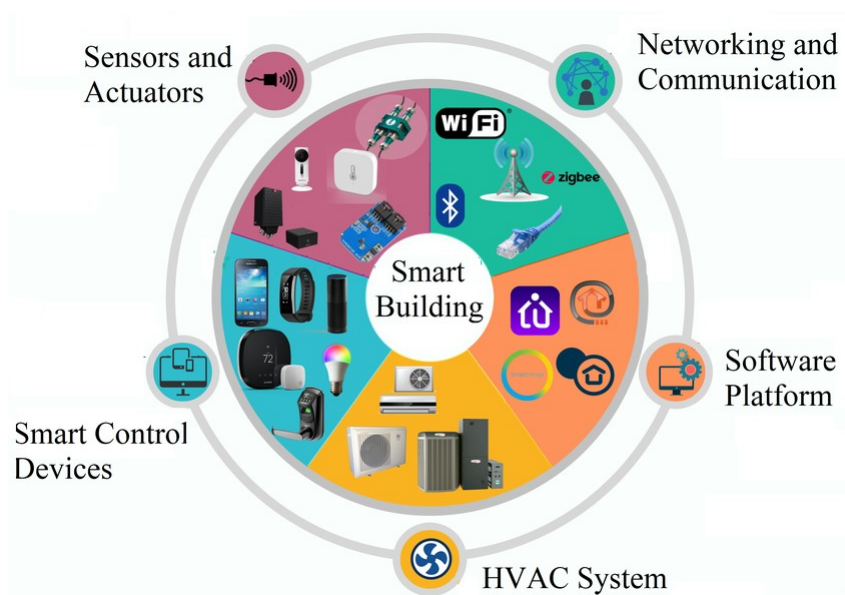
Πηγή: (de Bakker et al. 2017).

Οι αισθητήρες κίνησης (PIR – Παθητικός Υπέρυθρος, υπερηχητικός ή διπλής τεχνολογίας) ανιχνεύουν την κίνηση ή την παρουσία ανθρώπων σε έναν χώρο και ρυθμίζουν τον φωτισμό ανάλογα με την ανάγκη. Στα επιβατηγά πλοία, η εφαρμογή τους είναι πολύ συνηθισμένη σε διαδρόμους, αποθήκες, χώρους υγιεινής και τεχνικά τμήματα, όπου δεν απαιτείται η αδιάκοπη λειτουργία του φωτός. Η αυτοματοποιημένη ενεργοποίηση περιορίζει την άσκοπη κατανάλωση ενέργειας και επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των φωτιστικών (Chew et al., 2017).



Εικόνα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του αισθητήρα παρουσίας (PIR) σε ένα κύκλωμα φωτισμού.

Πέρα από τους κύριους αισθητήρες φωτός και παρουσίας, τα σύγχρονα έξυπνα συστήματα φωτισμού περιλαμβάνουν επίσης περιβαλλοντικούς αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, υγρασίας και ποιότητας αέρα. Παρόλο που δεν επηρεάζουν άμεσα τη φωτεινότητα, οι πληροφορίες που συγκεντρώνουν μπορούν να ενσωματωθούν με συστήματα KNX ή άλλες πλατφόρμες αυτοματισμού για να ρυθμίσουν τη γενική ατμόσφαιρα του χώρου. Στα κρουαζιερόπλοια, όπου οι συνθήκες μεταβάλλονται συνεχώς, η συμπερίληψη περιβαλλοντικών δεδομένων διευκολύνει τη δημιουργία ολοκληρωμένων σεναρίων άνεσης (Νικολαΐδης, 2021).



Εικόνα 3.7: Παράδειγμα ενός πολυαισθητήρα (φως-παρουσία-θερμοκρασία) σε ένα σύστημα αυτοματισμού KNX.

Πηγή: (KNX Association 2022).

Η ταυτόχρονη χρήση αισθητήρων διευκολύνει την υλοποίηση «έξυπνων» λειτουργιών, όπου ο φωτισμός ενεργοποιείται μόνο όταν είναι απαραίτητος, προσαρμόζεται σύμφωνα με τα επίπεδα φυσικού φωτός και προσαρμόζεται στις συνθήκες χρήσης του χώρου. Αυτή η τεχνολογία προάγει την αρχή της βιωσιμότητας και της ενεργειακής αποδοτικότητας, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την εργονομία και την ασφάλεια, ειδικότερα σε περιβάλλοντα με υψηλή πολυπλοκότητα όπως τα επιβατηγά πλοία (de Bakker et al., 2017).

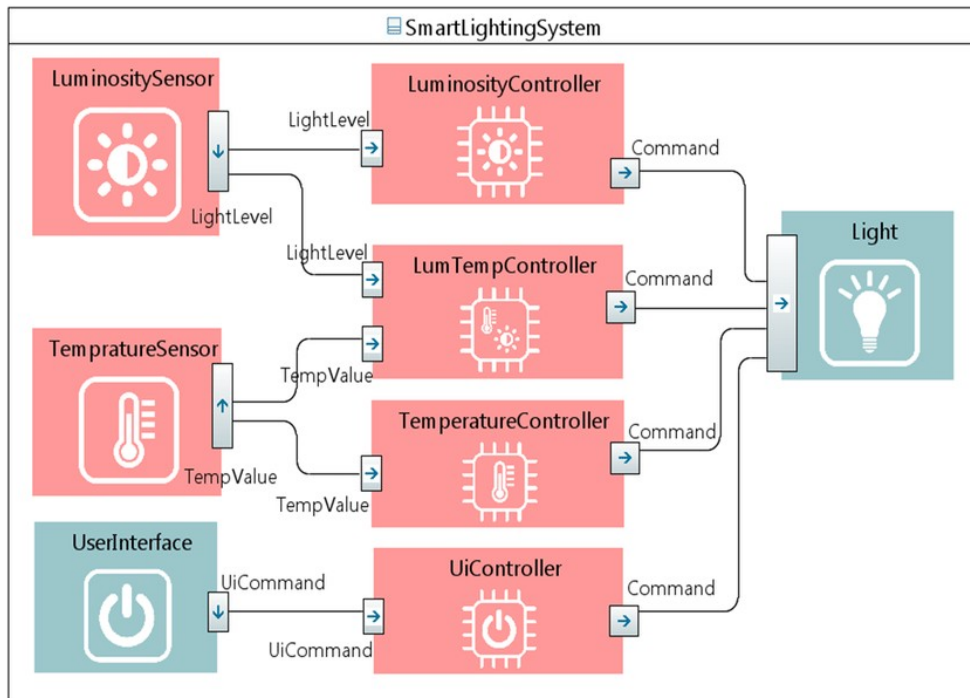
Συνολικά, οι αισθητήρες φωτός, παρουσίας και περιβάλλοντος αποτελούν βασικά συστατικά ενός έξυπνου συστήματος φωτισμού, επειδή μετατρέπουν τον φωτισμό από ένα σύστημα παροχής στατικού φωτισμού σε ένα δυναμικό και προσαρμοστικό περιβάλλον. Η συμπερίληψή τους σε θαλάσσια έργα εξασφαλίζει τη δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, βελτίωσης της εμπειρίας των επιβατών και προώθησης στρατηγικών βιώσιμου σχεδιασμού.

3.4 Διαδραστικός φωτισμός και τεχνολογίες IoT

Η έννοια του διαδραστικού φωτισμού σχετίζεται με την ικανότητα του συστήματος να αντιδρά δυναμικά στη συμπεριφορά, την παρουσία και τις επιθυμίες του χρήστη, διαμορφώνοντας ένα προσαρμοστικό και «έξυπνο» περιβάλλον. Σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, όπου η

εμπειρία των επιβατών είναι θεμελιώδης για την ποιότητα των υπηρεσιών, ο διαδραστικός φωτισμός μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά την ατμόσφαιρα, να βελτιώσει την άνεση και να διαφοροποιήσει τους χώρους. Η αλλαγή από τα συστήματα στατικού ελέγχου σε διασυνδεδεμένες, δικτυωμένες πλατφόρμες στηρίζεται στη χρήση τεχνολογιών Internet of Things (IoT), που διευκολύνουν τη συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Zissis & Bertoldi, 2023).

Το IoT στον φωτισμό αφορά τη σύνδεση φωτιστικών, αισθητήρων και ελεγκτών μέσω δικτύων επικοινωνίας (όπως ενσύρματα ή ασύρματα), διευκολύνοντας την αμφίδρομη ανταλλαγή πληροφοριών. Κάθε φωτιστικό μπορεί να δράσει ως «κόμβος» ενός μεγαλύτερου δικτύου, προσφέροντας δεδομένα για την κατανάλωση ρεύματος, τη θερμοκρασία λειτουργίας ή την κατάσταση λειτουργίας του. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει την απομακρυσμένη εποπτεία, την προβλεπτική συντήρηση και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης ενέργειας σε επίπεδο σκάφους (Pandharipande & Caicedo, 2015).

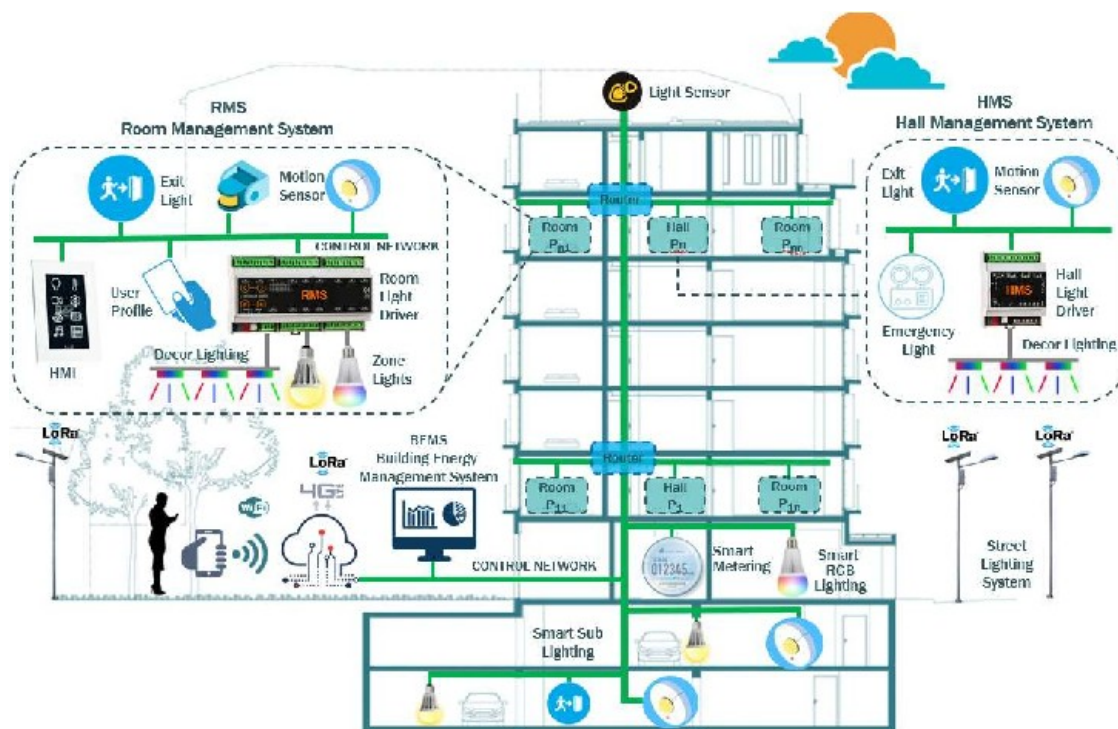


Εικόνα 3.8: Γενική αρχιτεκτονική ενός διαδραστικού συστήματος φωτισμού που βασίζεται στο IoT.

Πηγή: (Chew et al. 2017).

Σε ένα θαλάσσιο οικοσύστημα, οι τεχνολογίες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων σεναρίων φωτισμού. Για παράδειγμα, στους χώρους επιβατών, το σύστημα έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει τις προτιμήσεις φωτισμού (ένταση, χρωματική θερμοκρασία, χαλάρωση ή σκηνές ανάγνωσης) και να τις ενεργοποιεί αυτόματα κατά την είσοδο του επιβάτη στο δωμάτιο. Στους κοινούς χώρους, ο φωτισμός μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με την πληρότητα, την ώρα της ημέρας ή το είδος της εκδήλωσης, ενισχύοντας τη συνολική εμπειρία φιλοξενίας (Houser & Esposito, 2021).

Η ενσωμάτωση του IoT επιτρέπει επίσης την κεντρική παρακολούθηση και ανάλυση στοιχείων μέσω συστημάτων Διαχείρισης Κτιρίων (BMS) ή ισοδύναμων ναυτιλιακών συστημάτων. Αναλύοντας τα δεδομένα κατανάλωσης και χρήσης, οι διαχειριστές πλοίων έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν ενεργειακές ανωμαλίες, να βελτιώσουν τα προγράμματα λειτουργίας και να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα. Η εν λόγω ικανότητα έχει μεγάλη σημασία σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια, καθώς ο φωτισμός συνιστά σημαντικό ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται (Νικολαΐδης, 2021).



Εικόνα 3.9: Ενσωμάτωση ενός συστήματος φωτισμού IoT σε μια κεντρική πλατφόρμα διαχείρισης (BMS/Ship Management System).

Πηγή: (Baldi et al. 2018).

Ένα ακόμα γνώρισμα του διαδραστικού φωτισμού είναι η ικανότητα άμεσης αλληλεπίδρασης με τον χρήστη μέσω εφαρμογών κινητών, οθονών αφής ή φωνητικών εντολών. Αυτές οι διεπαφές δίνουν τη δυνατότητα στον επιβάτη να επιλέγει σκηνές φωτισμού, να ρυθμίζει την ένταση και να προσαρμόζει το περιβάλλον σύμφωνα με τις ατομικές του ανάγκες. Η ανθρώπινη διάσταση του φωτισμού ενισχύεται, όταν το σύστημα μετατρέπεται από παθητική υποδομή σε ενεργό μέσο αλληλεπίδρασης (Chew et al., 2017).



Εικόνα 3.10: Παράδειγμα γραφικών χρήστη για διαδραστικό έλεγχο φωτισμού μέσω κινητής συσκευής ή οθόνης αφής.

Πηγή: (Houser & Esposito, 2021).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση IoT τεχνολογιών στα πλοία συνοδεύεται από προκλήσεις, όπως προβλήματα ασφάλειας στον κυβερνοχώρο, αξιοπιστία δικτύου και συμβατότητα ανάμεσα σε διάφορα πρωτόκολλα. Η προστασία των δεδομένων αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα, κυρίως σε μεγάλα επιβατικά πλοία με εκτενή δίκτυα επικοινωνίας. Συνεπώς, ο σχεδιασμός ενός διαδραστικού συστήματος φωτισμού θα πρέπει να εξετάσει τόσο τις τεχνολογικές δυνατότητες όσο και τις προϋποθέσεις ασφάλειας και ανθεκτικότητας (Zissis & Bertoldi, 2023).

Ο διαδραστικός φωτισμός και οι τεχνολογίες IoT αλλάζουν την προσέγγιση σχεδίασης και λειτουργίας των συστημάτων φωτισμού σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Η αλλαγή σε συνδεδεμένα, έξυπνα και προσαρμοσμένα συστήματα προσφέρει νέες ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας, βελτιωμένη εμπειρία χρήστη και βιώσιμη ανάπτυξη του θαλάσσιου τομέα.

4. Διαδικασία Σχεδιασμού και Προμελέτη Εσωτερικού και Εξωτερικού Φωτισμού Πλοίου

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η αναλυτική και μεθοδική παρουσίαση της αρχικής διαδικασίας σχεδιασμού φωτισμού σε πλοίο, αρχίζοντας από την εκτίμηση των λειτουργικών και τεχνικών αναγκών κάθε επιμέρους χώρου και ολοκληρώνοντας με την τεκμηριωμένη επιλογή των κατάλληλων φωτιστικών μονάδων και της βέλτιστης θέσης τους. Η παρούσα μελέτη αναγνωρίζει τις ιδιαιτερότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, περιλαμβάνοντας παράγοντες όπως η υγρασία, η αλατότητα, οι δονήσεις και οι υψηλές θερμοκρασίες, συμμορφώνεται με τις διεθνείς κανονιστικές απαιτήσεις οργανισμών όπως ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS) και έγκυρους νηογνώμονες, αναλύει την ταξινόμηση των επικίνδυνων ζωνών όπου απαιτείται ειδικός ανθεκτικός εξοπλισμός, συνδυάζει την ενεργειακή στρατηγική του πλοίου με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης και της παραγωγής ενέργειας και, τέλος, δίνει ιδιαίτερη προσοχή στην εργονομία, την οπτική άνεση και την συνολική εμπειρία των επιβατών καθώς και του πληρώματος.

4.1 Μεθοδολογία Σχεδιασμού Φωτισμού

Η διαδικασία σχεδίασης φωτισμού σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια είναι μια περίπλοκη διαδικασία που συνδυάζει φωτοτεχνικά, τεχνικά και κανονιστικά κριτήρια. Ο φωτισμός δεν αφορά μόνο την επιλογή φωτιστικών, αλλά ενσωματώνεται στον συνολικό σχεδιασμό του πλοίου, εξετάζοντας τη λειτουργία του χώρου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την ασφάλεια και την ενεργειακή αποδοτικότητα (Paranikolaou, 2019).

Η διαδικασία εδράζεται σε διεθνή πρότυπα και κανονισμούς, όπως οι κατευθυντήριες γραμμές του IMO, η σύμβαση SOLAS, όπως και οι απαιτήσεις των νηογνώμωνων (ABS, DNV). Ταυτόχρονα, εφαρμόζονται πρότυπα φωτισμού όπως το ISO 8995 και οι οδηγίες της IES, τα οποία προσδιορίζουν τα επίπεδα φωτισμού, την ομοιομορφία και την ποιότητα του φωτός.

Η διαδικασία περιλαμβάνει στάδια που διαδέχονται το ένα το άλλο. Αρχικά, διεξάγεται λειτουργική ανάλυση του χώρου, εξετάζοντας τον τύπο της δραστηριότητας, τη διάρκεια χρήσης και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους. Καθορίζονται τα αναγκαία επίπεδα φωτισμού (lx) σύμφωνα με τα παγκόσμια πρότυπα, δίνοντας προσοχή τόσο στη μέση ένταση φωτισμού όσο και στην ομοιομορφία του φωτισμού.

Ακολουθεί η επιλογή του σωστού τύπου φωτισμού (γενικός, τοπικός, έμμεσος, διακοσμητικός και ασφαλείας), καθώς και η επιλογή τεχνολογίας LED, που παρέχει πολύ καλή ενεργειακή απόδοση, μακρά διάρκεια ζωής και αντοχή σε θαλάσσιες συνθήκες (Zissis & Bertoldi, 2023). Ο σχεδιασμός ενισχύεται από φωτοτεχνικούς υπολογισμούς μέσω προγραμμάτων όπως το DIALux και το Relux, με έμφαση στον έλεγχο της θάμβωσης (UGR), για να εξασφαλίζεται η οπτική άνεση. Παράλληλα, σχεδιάζεται εφεδρική τροφοδοσία για τον φωτισμό ασφαλείας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της SOLAS.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων συστημάτων, όπως το DALI και το KNX, επιτρέπει τη δυναμική ρύθμιση του φωτισμού μέσω σεναρίων και dimming, ενισχύοντας την ενεργειακή απόδοση (Chew et al., 2017). Η μέθοδος διαφέρει ανάμεσα σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, λόγω των ειδικών περιβαλλοντικών συνθηκών στη θάλασσα.

Σε γενικές γραμμές, η μεθοδολογία σχεδιασμού φωτισμού είναι μια συνθετική και πολύπλευρη διαδικασία που διασφαλίζει ασφαλή, λειτουργικά και ενεργειακά αποδοτικά φωτιστικά συστήματα.

4.2 Σχεδιασμός Εσωτερικού Φωτισμού

4.2.1. Σύνοψη απαιτήσεων φωτισμού εσωτερικών και εξωτερικών χώρων πλοίου

Ο φωτισμός σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια σχεδιάζεται μέσω μιας πολύπλοκης διαδικασίας, η οποία επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους που αφορούν τη λειτουργία των χώρων και τις ειδικές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Σε αντίθεση με τα κτίρια στη στεριά, το πλοίο λειτουργεί ως ένα δυναμικό και αυτοδύναμο σύστημα, όπου συνυπάρχουν χώροι τεχνικών λειτουργιών, διαμονής, ψυχαγωγίας και κυκλοφορίας, με ποικίλες απαιτήσεις φωτισμού και διαφορετικά επίπεδα κινδύνου (DNV, 2020).

Στο πλαίσιο αυτό, ο φωτισμός δεν μπορεί να εξεταστεί ομοιόμορφα, αλλά απαιτεί διαφοροποίηση ανά τύπο χώρου. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις απαιτήσεις φωτισμού περιλαμβάνουν τη χρήση του χώρου, τα επιθυμητά επίπεδα φωτισμού, την ανάγκη για οπτική άνεση, την ανθεκτικότητα του εξοπλισμού σε περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και την τήρηση διεθνών κανονισμών όπως η SOLAS, τα πρότυπα ISO και οι κατευθυντήριες γραμμές των νηογνομόνων (ABS, DNV).

Πριν από τη δημιουργία της προτεινόμενης μεθόδου σχεδιασμού, είναι αναγκαία η συνοπτική καταγραφή των κύριων απαιτήσεων φωτισμού ανά τύπο χώρου (Chew et al., 2017). Η παρούσα αποτύπωση δεν συνιστά λεπτομερή φωτοτεχνική μελέτη, αλλά λειτουργεί ως σημείο αναφοράς που ενισχύει τη σχεδιαστική διαδικασία

Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στον φωτισμό μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Rea, 2018):

- χρήση και λειτουργία του χώρου
- επίπεδα φωτισμού (lx)
- ομοιομορφία και περιορισμός θάμβωσης
- χρωματική θερμοκρασία και CRI
- αντοχή σε υγρασία, αλατότητα και κραδασμούς
- τήρηση κανονισμών ασφαλείας
- απαίτηση για φωτισμό ασφαλείας
- δυνατότητα εφαρμογής αυτοματισμών

4.2.2 Εσωτερικοί χώροι

Οι εσωτερικοί χώροι των πλοίων έχουν μεγάλη ποικιλία σε λειτουργίες και απαιτήσεις. Από περιοχές με υψηλό κίνδυνο έως χώρους διαβίωσης και αναψυχής, ο φωτισμός έχει να αντιμετωπίσει τόσο πρακτικές όσο και ανθρωποκεντρικές απαιτήσεις.

Στους τεχνικούς χώρους, όπως το μηχανοστάσιο, απαιτούνται υψηλά επίπεδα φωτισμού και ακριβής οπτική αντίληψη. Οι χώροι αυτοί διακρίνονται από την απουσία φυσικού φωτισμού, τις

αυξημένες θερμοκρασίες και τους ισχυρούς κραδασμούς, κάτι που επιτάσσει φωτιστικά σώματα με μεγάλη αντοχή και αξιόπιστη λειτουργία.



Εικόνα 4.1: Φωτισμός μηχανοστασίου πλοίου με χρήση προβολέων LED

Πηγή: <https://www.dreamstime.com/two-lamps-dark-inside-engine-room-two-lamps-dark-inside-engine-room-ice-breaker-image137860424>

Ανάλογα, στους χώρους ελέγχου, όπως το Engine Control Room, η προσοχή επικεντρώνεται στη μείωση των ανακλάσεων στις οθόνες και στη βελτίωση της αναγνωσιμότητας των οθονών.



Εικόνα 4.2: Χώρος Αίθουσας Ελέγχου Μηχανής (ECR) σε εμπορικό πλοίο

Πηγή: <https://www.isalos.net/2019/08/e-syragakis-eimaste-mia-chora-gennimeni-gia-ti-naftilia/>

Στους χώρους διαμονής, όπως οι καμπίνες, ο φωτισμός αποκτά πιο ανθρωποκεντρική διάσταση. Η χρωματική θερμοκρασία, η ρύθμιση της φωτεινότητας και η δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών σεναρίων φωτισμού συμβάλλουν στην ενίσχυση της άνεσης και της εμπειρίας των χρηστών. Στους χώρους εστίασης, ο φωτισμός συνδυάζει λειτουργία και αισθητική, με αυστηρές απαιτήσεις σε χρωματική απόδοση.



Εικόνα 4.3: Φωτισμός καμπίνας επιβατών σε κρουαζιερόπλοιο

Πηγή: <https://akasimatis.gr/eksoplismos/exoplismos-skafon-yacht/ependisi-skafon-yacht-xilina-panel-toixou>

Ο φωτισμός της κουζίνας ενός πλοίου είναι καθοριστικής σημασίας για την ασφαλή και αποτελεσματική εκτέλεση των εργασιών παρασκευής τροφίμων. Η παροχή επαρκούς και ομοιόμορφου φωτισμού στις επιφάνειες εργασίας συμβάλλει στη μείωση των ατυχημάτων, στη βελτίωση της παραγωγικότητας και στη διασφάλιση υψηλών προτύπων υγιεινής. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται συνήθως φωτιστικά LED υψηλής απόδοσης, τα οποία προσφέρουν αξιοπιστία, ενεργειακή οικονομία και αντοχή στις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος.



Εικόνα 4.4: Φωτισμός κουζίνας (Galley) σε επιβατηγό πλοίο

Πηγή: <https://www.glamox.com/global-marine/application-guide/commercial-marine/indoor-applications/galley--pantry/>

Μια ξεχωριστή κατηγορία θεωρούνται οι χώροι πλοήγησης, όπως η γέφυρα, όπου ο φωτισμός σχεδιάζεται με σκοπό τη διατήρηση της νυχτερινής όρασης. Σε αυτούς τους χώρους χρησιμοποιούνται ειδικές μέθοδοι, όπως περιορισμένος φωτισμός και χρήση κόκκινου φωτός, προκειμένου να μην διαταραχθεί η νυχτερινή όραση.



Εικόνα 4.5: Φωτισμός γέφυρας ναυσιπλοΐας με χρήση χαμηλού και ερυθρού φωτισμού

Πηγή: <https://www.glamox.com/global-marine/application-guide/commercial-marine/indoor-applications/bridge--wheel-house/>

Πίνακας 4.1: Σύνοψη απαιτήσεων φωτισμού εσωτερικών χώρων

Χώρος	Ενδεικτικά lx	Χαρακτηριστικά
Μηχανοστάσιο	300–1000 lx	υψηλή αντοχή, ψυχρό φως, περιορισμός σκιών
ECR	500 lx	χαμηλή θάμβωση, CRI ≥80, UGR ≤19
Καμπίνες	200–300 lx	θερμό φως, dimming, άνεση
Κουζίνα	500 lx	CRI ≥85, αντοχή σε υγρασία
Γέφυρα	χαμηλός/ρυθμιζόμενος	ερυθρός φωτισμός, night mode

4.2.3 Σχεδιασμός Εξωτερικού Φωτισμού

Ο εξωτερικός φωτισμός διαχωρίζεται σε:

- Πλώρη (Forward mooring)
- Πρύμνη (Aft mooring)
- Κατάστρωμα
- Περιοχή ενδιαίτησης (accommodation area)
- Φωτισμό ασφαλείας

Οι εξωτερικοί χώροι του πλοίου παρουσιάζουν διαφορετικές προκλήσεις σε σχέση με τους εσωτερικούς, καθώς εκτίθενται άμεσα στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αλατότητα, η υγρασία, οι άνεμοι και οι θερμοκρασιακές μεταβολές επηρεάζουν τόσο τη λειτουργία όσο και τη διάρκεια ζωής των φωτιστικών σωμάτων.



Εικόνα 4.6: Φωτισμός πλώρης σε εμπορικό πλοίο κατά τη νυχτερινή πρόσδεση

Πηγή: <https://www.nootica.com/webzine/switch-on-navigation-lights.html>

Στους χώρους εργασίας, όπως η πρύμνη και το κύριο κατάστρωμα, ο φωτισμός οφείλει να παρέχει αρκετή ορατότητα και ασφάλεια κατά τις διαδικασίες πρόσδεσης και συντήρησης. Ο ορθός σχεδιασμός/καταμερισμός του φωτισμού είναι ουσιώδης για την πρόληψη σκιών και ατυχημάτων. Ταυτόχρονα, είναι απαραίτητος ο προσεκτικός σχεδιασμός για την αποφυγή της θάμβωσης προς τη γέφυρα ναυσιπλοΐας.

Ο φωτισμός του κύριου καταστρώματος (Main Deck) είναι καίριας σημασίας στη μελέτη εξωτερικής φωτοτεχνίας, καθώς σχετίζεται με τον χώρο εργασίας, την κυκλοφορία και τις επιχειρησιακές διαδικασίες. Στο κατάστρωμα εκτελούνται εργασίες φόρτωσης-εκφόρτωσης, έλεγχοι εξοπλισμού, χειρισμοί σωληνώσεων και κινήσεις του πληρώματος, συχνά υπό δύσκολες καιρικές συνθήκες και τις νυχτερινές ώρες. Κατά συνέπεια, ο φωτισμός θα πρέπει να παρέχει ικανοποιητική ορατότητα, ομοιογένεια και ανθεκτικότητα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο σχεδιασμός στηρίζεται στις κατευθύνσεις του American Bureau of Shipping (ABS – Κριτήρια Φωτισμού για Εξωτερικούς Χώρους Εργασίας), στις απαιτήσεις της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα και στις γενικές οδηγίες του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) που αφορούν την ασφάλεια εργασιών σε ανοικτές επιφάνειες.

Οι χώροι ενδιάθεσης (accommodation areas), που λειτουργούν ως μεταβατικές ζώνες, χρειάζονται φωτισμό με χαμηλή ένταση αλλά υψηλή ομοιομορφία, κυρίως σε σκάλες και διαδρόμους. Η ασφάλεια στη μετακίνηση είναι ένα θεμελιώδες κριτήριο για τον σχεδιασμό.

Φωτισμός Διαμονής (AL)

Ο φωτισμός της περιοχής διαμονής αναφέρεται στους εξωτερικούς διαδρόμους, σκάλες, εξώστες και εσωτερικούς διαδρόμους που περικυκλώνουν τους χώρους κατοικίας του πλοίου. Οι χώροι αυτοί δρουν ως ενδιάμεσες ζώνες μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος και είναι σημαντικοί για την καθημερινή κυκλοφορία του πληρώματος και των επιβατών, καθώς και για την ασφαλή εκκένωση σε περιπτώσεις ανάγκης. Ο σχεδιασμός τους χρειάζεται να τηρεί τις προδιαγραφές της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη

Θάλασσα (SOLAS – Έκτακτος Φωτισμός και Διαφυγές), καθώς και τα κριτήρια φωτισμού εξωτερικών χώρων του American Bureau of Shipping και του DNV.



Εικόνα 4.7: Φωτισμός εξωτερικών διαδρόμων και κλιμάκων περιοχής accommodation

Πηγή: <https://www.ourboathouse.com/products/ship-passageway-lights-90-degrees-in-brass-finish>

Η σημασία του φωτισμού στα σκαλοπάτια είναι μεγάλη, διότι οι διαφορές στα επίπεδα μπορεί να προκαλέσουν ατυχήματα. Συχνά χρησιμοποιείται γραμμικός φωτισμός LED κάτω από χειρολισθήρες ή τοποθετημένος πλάγια στη σκάλα για να αναδεικνύει καλύτερα τις βαθμίδες.

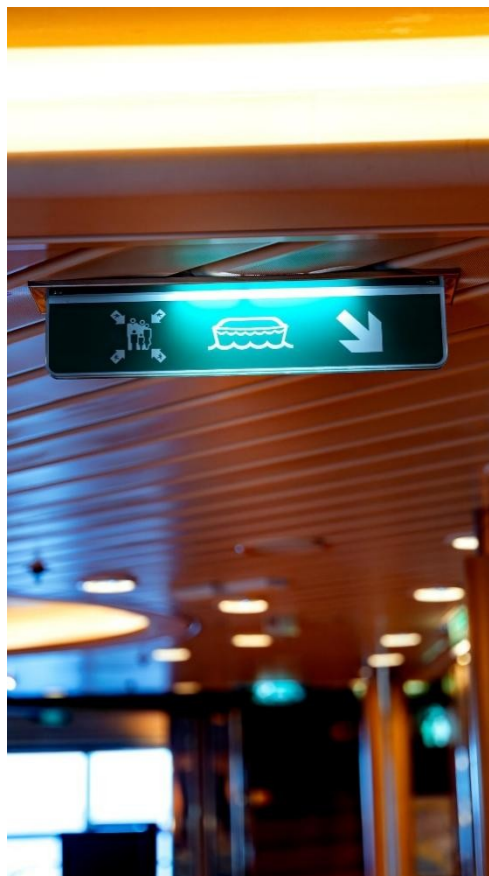
Πίνακας 4.2: Σύνοψη απαιτήσεων φωτισμού εξωτερικών χώρων

Χώρος	Ενδεικτικά lx	Χαρακτηριστικά
Πλώρη	50–100 lx	προβολείς LED, αποφυγή θάμβωσης
Κατάστρωμα	50–200 lx	ανθεκτικότητα, ομοιομορφία
Accommodation	50–100 lx	χαμηλή θάμβωση, ασφάλεια
Σκάλες	100 lx	ανάδειξη βαθμίδων

4.2.4 Φωτισμός Ασφαλείας

Ο φωτισμός ασφαλείας είναι σημαντικό υποσύστημα του συνολικού φωτιστικού σχεδιασμού. Η λειτουργία του ενεργοποιείται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως διακοπή ηλεκτροδότησης ή πυρκαγιά, και αποσκοπεί στην εξασφάλιση της ασφαλούς απομάκρυνσης του πλοίου.

Οι απαιτήσεις για φωτισμό ασφαλείας προσδιορίζονται κυρίως από τη SOLAS και περιλαμβάνουν ελάχιστα επίπεδα φωτισμού σε διαφυγές, σαφή σήμανση εξόδων και εφεδρική τροφοδοσία. Η αυτονομία του συστήματος συνήθως φτάνει τουλάχιστον τα 90 λεπτά, ενώ τα φωτιστικά τοποθετούνται σε στρατηγικές θέσεις, όπως οι διασταυρώσεις διαδρόμων και οι σκάλες.



Εικόνα 4.8: Φωτισμός και σήμανση οδών διαφυγής σε επιβατηγό πλοίο

Πηγή: <https://t-iss.com/product-overview/>

Ο φωτισμός ασφαλείας καλύπτει τις ακόλουθες περιοχές:

- Οδοί διαφυγής και διάδρομοι
- Κλίμακες και σημεία αλλαγής επιπέδου
- Σημεία συγκέντρωσης (muster stations)
- Σταθμοί σωστικών μέσων
- Μηχανοστάσιο και χώροι ελέγχου
- Γέφυρα ναυσιπλοΐας

Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο αποτελεί η χρήση φωσφορίζουσών (photoluminescent) πινακίδων διαφυγής, οι οποίες παραμένουν ορατές ακόμη και σε περίπτωση πλήρους απώλειας φωτισμού. Οι πινακίδες αυτές συμμορφώνονται με το IMO Resolution A.1116(30) και το ISO 15370 για Low Location Lighting (LLL) systems.

Η σωστή χωροθέτηση των φωτιστικών ασφαλείας είναι κρίσιμη. Τοποθετούνται:

- Πάνω από εξόδους
- Σε διασταυρώσεις διαδρόμων
- Σε σκάλες
- Κοντά σε εξοπλισμό πυρασφάλειας
- Σε σημεία συγκέντρωσης

Η σχεδίαση γίνεται μέσω υπολογισμών φωτοτεχνικής σε λογισμικά όπως το relux, για να επιβεβαιώνεται η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ελάχιστης έντασης και ομοιομορφίας. Στα σύγχρονα πλοία, ο φωτισμός ασφαλείας ενσωματώνεται σε ένα σύστημα παρακολούθησης, δίνοντας τη δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης των μπαταριών και αυτόματης προειδοποίησης σε περίπτωση βλάβης.

Πίνακας 4.3: Βασικές απαιτήσεις φωτισμού ασφαλείας

Παράμετρος	Απαίτηση
Ένταση φωτισμού	$\geq 10 \text{ lx}$
Αυτονομία	≥ 90 λεπτά
Σήμανση	ορατή σε συνθήκες καπνού
Τροφοδοσία	ανεξάρτητη (emergency)

Από την προαναφερθείσα ανάλυση προκύπτει ότι ο φωτισμός στα επιβατηγά πλοία δεν είναι ένα ενιαίο τεχνικό σύστημα, αλλά μια συλλογή εξειδικευμένων εφαρμογών που ικανοποιούν τις απαιτήσεις κάθε χώρου. Οι απαιτήσεις ποικίλλουν σημαντικά ανάμεσα σε τεχνικές, λειτουργίες και χώρους διαμονής, ενώ οι περιβαλλοντικές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος επιβάλλουν υψηλότερες προδιαγραφές αντοχής και αξιοπιστίας.

Ταυτόχρονα, η συμμόρφωση με διεθνείς κανονισμούς είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό φωτισμού, κυρίως όσον αφορά την ασφάλεια και τον φωτισμό διαφυγής. Ωστόσο, οι σύγχρονες μέθοδοι δεν περιορίζονται μόνο στην εκπλήρωση των ελάχιστων απαιτήσεων, αλλά ενσωματώνουν και ανθρωποκεντρικά στοιχεία, όπως η προσαρμοστικότητα και η ενίσχυση της εμπειρίας των χρηστών.

4.3 Μελέτη περίπτωσης έξυπνων συστημάτων φωτισμού σε επιβατηγά πλοία

4.3.1 Τεχνολογική εξέλιξη και εφαρμογές

Η κυρίαρχη τεχνολογική κατεύθυνση είναι η αντικατάσταση των συμβατικών λαμπτήρων με υψηλής απόδοσης φωτιστικά LED, που προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη διάρκεια ζωής, την κατανάλωση ενέργειας και την ικανότητα ελέγχου. Κατά τους Pandharipande & Caicedo (2015), τα έξυπνα συστήματα φωτισμού στηρίζονται σε δίκτυα επικοινωνίας που διευκολύνουν τον ξεχωριστό έλεγχο των φωτιστικών και την άμεση προσαρμογή τους.

Στα σύγχρονα επιβατηγά πλοία, η διαχείριση των φωτιστικών σωμάτων γίνεται μέσω πρωτοκόλλων όπως το DALI (Digital Addressable Lighting Interface), που επιτρέπει την αυτόνομη διευθυνσιοδότηση και ρύθμιση κάθε φωτιστικού. Ταυτόχρονα, το KNX εφαρμόζεται για τη συνολική διαχείριση των αυτοματισμών, διευκολύνοντας τη σύνδεση του φωτισμού με άλλες λειτουργίες του σκάφους, όπως ο κλιματισμός και τα συστήματα ασφαλείας (KNX Association, 2022).

Η ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων σε πλατφόρμες διαχείρισης (Building Management Systems – BMS ή Ship Management Systems) διευκολύνει την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης, την ανίχνευση βλαβών και απομακρυσμένη διαχείριση των φωτιστικών εγκαταστάσεων (Baldi et al., 2018).

4.3.2 Στρατηγικές ελέγχου και αυτοματισμού

Ένας από τους κύριους παράγοντες των έξυπνων φωτιστικών συστημάτων είναι η εφαρμογή αισθητήρων και αυτοματισμών. Οι αισθητήρες παρουσίας ενεργοποιούν το φωτισμό μόνο όταν ο χώρος είναι κατειλημμένος, ενώ οι αισθητήρες φωτεινότητας προσαρμόζουν την ένταση του τεχνητού φωτός σύμφωνα με τα επίπεδα φυσικού φωτός.

Σύμφωνα με τους de Bakker et al. (2017), η εκτέλεση τέτοιων στρατηγικών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, ειδικά σε περιοχές με μεταβαλλόμενη χρήση. Ταυτόχρονα, η μέθοδος του constant light control διευκολύνει τη διατήρηση σταθερών επιπέδων φωτισμού, ενισχύοντας την οπτική άνεση και περιορίζοντας την κατανάλωση ενέργειας.

Επιπλέον, οι σύγχρονοι μηχανισμοί δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων φωτισμού, που τροποποιούν τα επίπεδα φωτισμού σύμφωνα με τη χρήση του χώρου και την ώρα της ημέρας. Διαφορετικά σενάρια για πρωινή, απογευματινή ή νυχτερινή χρήση μπορούν να εφαρμοστούν σε χώρους φιλοξενίας, βελτιώνοντας τη λειτουργικότητα και την εμπειρία των χρηστών (Rea, 2018).

4.3.3. Ανθρωποκεντρικός φωτισμός και εμπειρία χρήστη

Κρίσιμο στοιχείο των σύγχρονων εφαρμογών είναι η υιοθέτηση αρχών ανθρωποκεντρικού φωτισμού (human-centric lighting). Σύμφωνα με τους Carlucci et al. (2015), η ρύθμιση της έντασης και της θερμοκρασίας του φωτός μπορεί να έχει θετική επίδραση στη διάθεση, την προσοχή και τον κirkάδιο ρυθμό των χρηστών.

Στα πλοία, όπου η επαφή με το φυσικό φως είναι περιορισμένη, η εφαρμογή δυναμικού φωτισμού μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της ευημερίας των επιβατών και του πληρώματος. Η ικανότητα αλλαγής της θερμοκρασίας χρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την προσομοίωση του φυσικού κύκλου φωτός και σκιάς (Houser & Esposito, 2021).

4.3.4 Ενεργειακά και λειτουργικά οφέλη

Τα δεδομένα από την εφαρμογή έξυπνου φωτισμού στη ναυτιλία αποδεικνύουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε επίπεδο ενεργειακής απόδοσης και λειτουργικότητας. Κατά τους Baldi et al.

(2018), η αντικατάσταση των παραδοσιακών συστημάτων με LED και αυτοματισμούς μπορεί να επιφέρει μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 40–60%, ενώ ταυτόχρονα οι απαιτήσεις συντήρησης μειώνονται λόγω της αυξημένης διάρκειας ζωής των φωτιστικών.

Επιπλέον, η κεντρική διαχείριση των συστημάτων επιτρέπει την άμεση αναγνώριση δυσλειτουργιών και τη βελτίωση της απόδοσης, ενισχύοντας την αξιοπιστία του συστήματος. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική στα πλοία, όπου η πρόσβαση σε εξοπλισμό μπορεί να είναι δύσκολη και το κόστος συντήρησης υψηλό.

Η εξέταση αυτής της μελέτης περίπτωσης δείχνει ότι τα σύγχρονα συστήματα φωτισμού σε επιβατηγά πλοία στηρίζονται σε μια συνολική προσέγγιση που συνενώνει τεχνολογία, αυτοματισμούς και σχεδίαση που επικεντρώνεται στον άνθρωπο. Οι κύριοι τομείς που αναδεικνύονται είναι:

- η ευρεία εφαρμογή τεχνολογίας LED
- η ενσωμάτωση ελέγχων συστημάτων (DALI, KNX)
- η χρήση αισθητήρων και ευέλικτων σεναρίων φωτισμού
- η προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση και την εμπειρία του χρήστη.

Η εξέταση των σύγχρονων εφαρμογών φωτισμού σε επιβατηγά πλοία αποδεικνύει ότι η αξιοποίηση της τεχνολογίας LED σε συνδυασμό με αυτοματοποιημένα συστήματα (DALI, KNX) φέρνει σημαντική πρόοδο στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Παράλληλα, η δυνατότητα άμεσου ελέγχου του φωτισμού ενισχύει την οπτική άνεση και την εμπειρία των χρηστών.

4.4 Παραδείγματα εφαρμογών έξυπνου φωτισμού στη διεθνή ναυτιλιακή πρακτική

Η χρήση έξυπνων συστημάτων φωτισμού στα σύγχρονα επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια είναι πλέον καθοριστικός παράγοντας στον αρχιτεκτονικό και ενεργειακό σχεδιασμό. Οι κορυφαίες ναυτιλιακές εταιρείες επενδύουν ολοένα περισσότερα σε τεχνολογίες LED, αυτοματισμούς KNX/DALI και δυναμικά σενάρια φωτισμού, με σκοπό τη βελτίωση της εμπειρίας των επιβατών, την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και τη διαμόρφωση πιο

ευέλικτων και βιωματικών χώρων. Στη συνέχεια παρατίθενται παραδείγματα από τη διεθνή ναυτιλιακή πρακτική σχετικά με εφαρμογές έξυπνου φωτισμού.

4.4.1 Royal Caribbean International

Η Royal Caribbean International είναι ηγέτιδα εταιρεία στον τομέα της κρουαζιέρας σχετικά με την εφαρμογή καινοτόμων συστημάτων αρχιτεκτονικού φωτισμού και έξυπνου αυτοματισμού. Στους δημόσιους χώρους, όπως τα σαλόνια, τα εστιατόρια και οι ζώνες αναψυχής, τοποθετούνται φωτιστικά LED υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Αυτά συνδέονται μέσω του πρωτοκόλλου ψηφιακής διαχείρισης DALI (Digital Addressable Lighting Interface), διασφαλίζοντας τον ανεξάρτητο έλεγχο ομάδων φωτισμού και την ακριβή ρύθμιση της έντασης (dimming).

Επικεντρώνεται ιδιαίτερα στον σχεδιασμό δυναμικών σεναρίων φωτισμού (mood lighting), τα οποία αλλάζουν προσχεδιασμένα ανάλογα με την ώρα της ημέρας, τη λειτουργία του χώρου και την επιθυμητή ψυχολογική επίδραση στους χρήστες. Μέσω αυτής της πολυδιάστατης στρατηγικής -που συνδυάζει αρμονικά τον γενικό, τον διακοσμητικό και τον έμμεσο/κρυφό φωτισμό - ο αρχιτεκτονικός χώρος μετασχηματίζεται, προσφέροντας μια αναβαθμισμένη, πολυαισθητηριακή και βιωματική εμπειρία φιλοξενίας.



Εικόνα 4.9: Παράδειγμα εφαρμογής δυναμικού αρχιτεκτονικού φωτισμού σε χώρο κρουαζιερόπλοιου της Royal Caribbean International.

Πηγή: <https://www.designboom.com/art/worlds-largest-kinetic-sculpture-breakfast-sets-sail-icon-of-the-seas-cruise-ship-01-20-2024/>

4.4.2 MSC Cruises

Η MSC Cruises χρησιμοποιεί καινοτόμες τεχνολογίες φωτισμού για να ενισχύσει την εμπειρία των επιβατών και να μειώσει την ενεργειακή κατανάλωση των σκαφών. Στα σύγχρονα σκάφη της εταιρείας εφαρμόζονται συστήματα κεντρικής διαχείρισης φωτισμού KNX σε συνεργασία με αισθητήρες παρουσίας και αισθητήρες φωτεινότητας (lux sensors).

Η λειτουργία των συστημάτων στηρίζεται στην ευέλικτη ρύθμιση του φωτισμού σύμφωνα με τη χρήση των χώρων και τα επίπεδα φυσικού φωτισμού. Η τεχνολογία daylight harvesting εφαρμόζεται σε περιοχές με εκτενή ανοίγματα και φυσικό φωτισμό, επιτρέποντας την αυτόματη μείωση της φωτεινότητας των LED φωτιστικών όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν.

Ταυτόχρονα, στους χώρους εστίασης και lounge εφαρμόζεται ποικιλία σεναρίων φωτισμού, προσαρμοσμένων στις δραστηριότητες και στην επιθυμητή ατμόσφαιρα κάθε χώρου.



Εικόνα 4.10: Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων φωτισμού και αυτοματισμού σε κοινόχρηστους χώρους πλοίου της MSC Cruises.

Πηγή: <https://www.independent.co.uk/travel/covid-msc-cruises-portland-southampton-france-b1858088.html>

4.4.3 Hurtigruten Hybrid Cruise Ships

Η Hurtigruten είναι ένα τυπικό παράδειγμα χρήσης βιώσιμων τεχνολογιών στη ναυτιλία, εστιάζοντας στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στα υβριδικά συστήματα των πλοίων της. Σε αυτό το πλαίσιο, τα υβριδικά κρουαζιερόπλοια της εταιρείας εφαρμόζουν καινοτόμα συστήματα φωτισμού LED με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενσωματωμένα σε κεντρικές μονάδες διαχείρισης ενέργειας του πλοίου.

Ο φωτισμός ρυθμίζεται αυτόματα σύμφωνα με τις λειτουργικές απαιτήσεις και τις προτιμήσεις των χρηστών, ενώ ταυτόχρονα υλοποιούνται στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας μέσω αυτοματισμού και αισθητήρων κίνησης. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση συνδυάζει ενεργειακή αποδοτικότητα, ανθρωποκεντρικό φωτισμό και βιώσιμο σχεδιασμό, αποτελώντας χαρακτηριστικό παράδειγμα της σύγχρονης ναυτιλιακής εφαρμογής.



Εικόνα 4.11: Παράδειγμα εφαρμογής έξυπνου και ενεργειακά αποδοτικού φωτισμού σε υβριδικό κρουαζιερόπλοιο της Hurtigruten.

Πηγή: <https://expromo.com/cases/hurtigruten/>

Η εικόνα παρουσιάζει έναν μεγάλο κοινόχρηστο χώρο υβριδικού κρουαζιερόπλοιου της Hurtigruten, όπου ο αρχιτεκτονικός φωτισμός ενσωματώνεται στον συνολικό σχεδιασμό του εσωτερικού χώρου. Κεντρικό στοιχείο αποτελεί η γιγαντοσθόνη LED που εκτείνεται σε όλο το ύψος του αίθριου, λειτουργώντας τόσο ως μέσο προβολής ψηφιακού περιεχομένου όσο και ως δυναμική πηγή φωτισμού. Η μεταβαλλόμενη φωτεινότητα και οι χρωματικές αποχρώσεις της

οθόνης συμβάλλουν στη δημιουργία διαφορετικών φωτιστικών σεναρίων, τα οποία προσαρμόζονται στις ανάγκες του χώρου και στη συνολική εμπειρία των επιβατών.

Παράλληλα, ο φυσικός φωτισμός που εισέρχεται από τις μεγάλες υαλοστάσεις συνδυάζεται με τον τεχνητό φωτισμό, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω στρατηγικών διαχείρισης του φωτισμού. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγχρονου έξυπνου φωτισμού στη ναυτιλία, όπου η αισθητική, η ενεργειακή αποδοτικότητα και η εμπειρία του χρήστη συνδυάζονται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα φωτισμού.

Από την ανάλυση του κεφαλαίου προέκυψαν τα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα:

- Ο σχεδιασμός φωτισμού στα επιβατηγά πλοία πρέπει να συνδυάζει λειτουργικότητα, ασφάλεια, εργονομία και αισθητική.
- Οι απαιτήσεις φωτισμού διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ εσωτερικών, εξωτερικών και χώρων ασφαλείας.
- Η τεχνολογία LED αποτελεί την κυρίαρχη επιλογή λόγω της υψηλής ενεργειακής απόδοσης και της μεγάλης διάρκειας ζωής.
- Τα συστήματα KNX και DALI επιτρέπουν ευέλικτο έλεγχο, δημιουργία σεναρίων φωτισμού και αποτελεσματική ενεργειακή διαχείριση.
- Οι αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού συμβάλλουν στη βελτίωση της οπτικής άνεσης και της εμπειρίας επιβατών και πληρώματος.
- Η διεθνής πρακτική επιβεβαιώνει ότι η ενσωμάτωση έξυπνων συστημάτων φωτισμού αποτελεί βασική τάση στον σύγχρονο σχεδιασμό επιβατηγών πλοίων.

5. Case Study: Σχεδιασμός Φωτισμού

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η εκπόνηση μελέτης περίπτωσης (case study) για τον σχεδιασμό φωτισμού σε επιλεγμένους χώρους επιβατηγού πλοίου, με σκοπό τη σύνδεση της θεωρητικής ανάλυσης με την πρακτική εφαρμογή. Η έρευνα επικεντρώνεται σε δύο χαρακτηριστικούς χώρους, την καμπίνα του πλοιάρχου και έναν πολυλειτουργικό χώρο café lounge, προκειμένου να εξεταστούν διάφορες λειτουργικές και εμπειρικές ανάγκες φωτισμού. Παρουσιάζονται οι κύριες αρχές σχεδίασης, η επιλογή τεχνολογιών LED και αυτοματισμού (KNX, DALI), καθώς και η ρύθμιση του φωτισμού σε βαθμίδες (γενικός, τοπικός, έμμεσος). Επιπλέον, εξετάζεται η ένταξη του φυσικού φωτισμού και η εφαρμογή δυναμικών σεναρίων ελέγχου, με σκοπό τη βελτίωση της οπτικής άνεσης, της ενεργειακής αποδοτικότητας και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

5.1 Εισαγωγή και πλαίσιο μελέτης

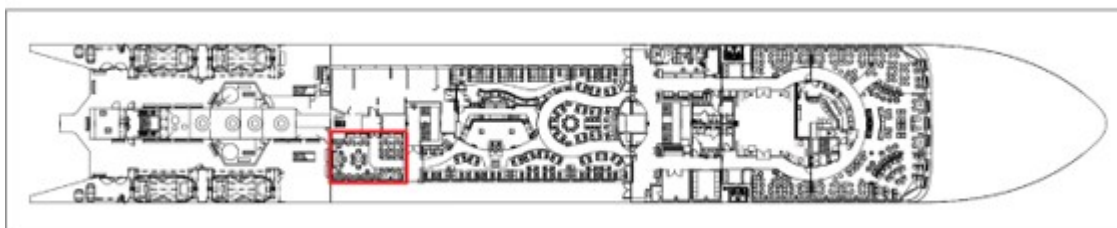
Ο σχεδιασμός φωτισμού στα επιβατηγά πλοία παρουσιάζει αυξημένο βαθμό πολυπλοκότητας σε σύγκριση με τις αντίστοιχες εφαρμογές σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Σε αντίθεση με τα κτίρια, τα οποία διαθέτουν σταθερό προσανατολισμό ως προς τον ήλιο, τα πλοία βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, μεταβάλλοντας διαρκώς τη θέση, την πορεία και τον προσανατολισμό τους. Ως αποτέλεσμα, η ένταση και η κατανομή του φυσικού φωτισμού μεταβάλλονται συνεχώς, γεγονός που καθιστά δυσκολότερη την εκτίμηση της συμβολής του ημερήσιου φωτισμού στον συνολικό φωτοτεχνικό σχεδιασμό.

Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη ο φυσικός φωτισμός αντιμετωπίζεται ως βασική παράμετρος του σχεδιασμού και λαμβάνεται υπόψη στις φωτοτεχνικές προσομοιώσεις, ώστε να αξιολογηθεί η επίδρασή του στην απόδοση των προτεινόμενων λύσεων φωτισμού.

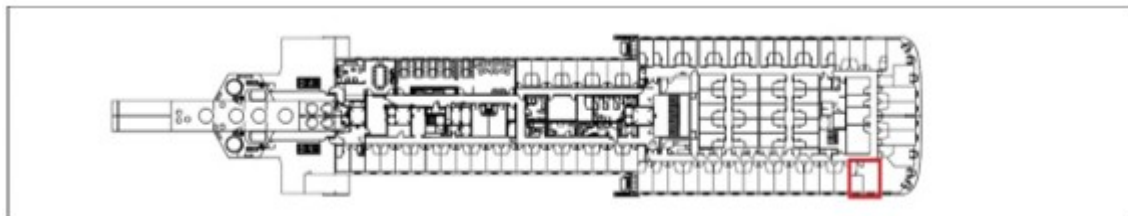
Στο πλαίσιο της μελέτης επιλέχθηκαν δύο αντιπροσωπευτικοί χώροι ενός επιβατηγού πλοίου, οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις: η καμπίνα–γραφείο του πλοιάρχου και ο χώρος café lounge. Η επιλογή τους επιτρέπει την αξιολόγηση διαφορετικών στρατηγικών

φωτισμού, τόσο σε χώρους εργασίας και ανάπαυσης όσο και σε κοινόχρηστους χώρους φιλοξενίας επιβατών.

Οι θέσεις των δύο χώρων στο γενικό σχέδιο του πλοίου παρουσιάζονται στις Εικόνες 5.1 και 5.2, οι οποίες αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη των φωτοτεχνικών προσομοιώσεων και της μελέτης που ακολουθεί.



Εικόνα 5.1: Κάτοψη επιβατηγού πλοίου με ένδειξη των επιλεγμένων χώρων μελέτης (café lounge) (eibPort v3)



Εικόνα 5.2: Κάτοψη επιβατηγού πλοίου με επισήμανση της καμπίνας-γραφείου πλοιάρχου ως χώρου μελέτης φωτισμού (eibPort v3)

5.2 Σχεδιαστικές αρχές και τεχνολογική προσέγγιση

Ο σχεδιασμός του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού βασίστηκε στις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού (Human-Centric Lighting), δίνοντας έμφαση στις ανάγκες των χρηστών, στην οπτική άνεση, στην υποστήριξη του κιρκάδιου ρυθμού και στη δημιουργία ενός ευχάριστου και λειτουργικού εσωτερικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, ιδιαίτερη βαρύτητα

δόθηκε στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στη δυνατότητα έξυπνου ελέγχου του φωτισμού μέσω των συστημάτων KNX και DALI.

Λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών λειτουργίας των πλοίων, δεν επιλέχθηκαν κρεμαστά φωτιστικά σώματα στους εξεταζόμενους χώρους. Η συνεχής κίνηση του πλοίου, οι κραδασμοί και οι ταλαντώσεις που προκαλούνται από τον κυματισμό μπορούν να επηρεάσουν τόσο τη σταθερότητα όσο και την ασφαλή λειτουργία τους. Για τον λόγο αυτό προτιμήθηκαν χωνευτά, επιφανειακά και επιτοίχια φωτιστικά LED, τα οποία εξασφαλίζουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή, αυξημένη αξιοπιστία και ευκολότερη συντήρηση.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται αποκλειστικά στον λειτουργικό και αρχιτεκτονικό φωτισμό των επιλεγμένων χώρων και δεν περιλαμβάνει φωτοτεχνική ανάλυση του φωτισμού ασφαλείας (emergency lighting). Τα φωτιστικά ασφαλείας ενεργοποιούνται μόνο σε περίπτωση διακοπής της κύριας ηλεκτρικής τροφοδοσίας και αποτελούν ανεξάρτητο σύστημα ασφαλείας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των διεθνών ναυτιλιακών κανονισμών. Η λειτουργία τους αποσκοπεί στην ασφαλή καθοδήγηση επιβατών και πληρώματος προς τις οδούς διαφυγής και τις εξόδους κινδύνου.

5.3 Μελέτη χώρου καμπίνας–γραφείου πλοιάρχου

5.3.1 Σχεδιαστική προσέγγιση

Η καμπίνα–γραφείο του πλοιάρχου αποτελεί έναν χώρο πολλαπλών λειτουργιών, καθώς συνδυάζει δραστηριότητες εργασίας, ανάπαυσης και προσωπικής υγιεινής. Για τον λόγο αυτό, ο φωτιστικός σχεδιασμός βασίστηκε στην εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών φωτισμού ανά λειτουργική ζώνη, με στόχο την εξασφάλιση οπτικής άνεσης, εργονομίας και ενεργειακής αποδοτικότητας.

Το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου βασίζεται στην τεχνολογία **KNX**, η οποία αναλαμβάνει τον κεντρικό έλεγχο και τους αυτοματισμούς του συστήματος, ενώ ο έλεγχος των φωτιστικών σωμάτων πραγματοποιείται μέσω πρωτοκόλλου **DALI**, παρέχοντας δυνατότητα ανεξάρτητης ενεργοποίησης, απενεργοποίησης και ρύθμισης της έντασης φωτισμού (dimming).

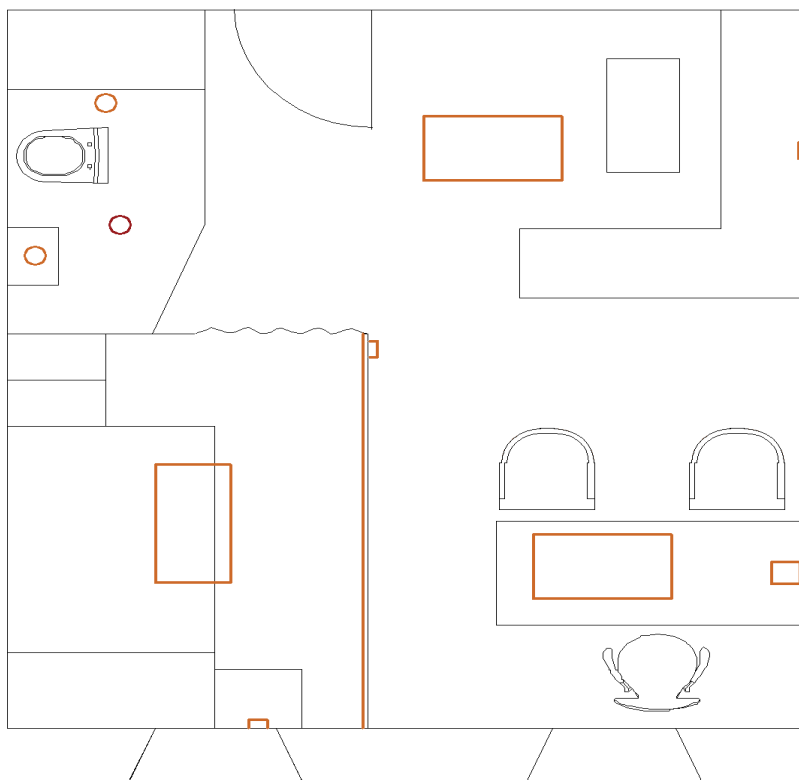
Για το **υπονοδωμάτιο** επιλέχθηκε θερμός φωτισμός **3000 K**, καθώς δημιουργεί ένα ήρεμο και ξεκούραστο περιβάλλον κατάλληλο για ανάπαυση. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει τρία επίπεδα φωτισμού: γενικό φωτισμό οροφής, φωτισμό ανάγνωσης μέσω επιτοίχιας απλίκας και κρυφό φωτισμό καθοδήγησης με ταινία LED κατά μήκος της διαδρομής προς την έξοδο. Ο συνδυασμός άμεσου και έμμεσου φωτισμού μειώνει τις έντονες αντιθέσεις και συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο άνετου φωτιστικού περιβάλλοντος.

Στον χώρο του **λουτρού** χρησιμοποιείται φωτισμός θερμοκρασίας χρώματος **4000 K**, ώστε να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη οπτική ευκρίνεια και ακριβέστερη απόδοση των χρωμάτων στις καθημερινές δραστηριότητες προσωπικής φροντίδας. Ο φωτισμός παρέχεται από δύο χωνευτά φωτιστικά LED, ενώ η λειτουργία τους ελέγχεται μέσω αισθητήρα κίνησης KNX, περιορίζοντας την άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

Ο χώρος **γραφείου και καθιστικού** σχεδιάστηκε ώστε να υποστηρίζει τόσο εργασιακές δραστηριότητες όσο και στιγμές χαλάρωσης ή συναντήσεων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται συνδυασμός γενικού φωτισμού οροφής, επιτραπέζιου φωτιστικού εργασίας και επιτοίχιων απλικών, όλα θερμοκρασίας χρώματος **3000 K**. Μέσω του συστήματος KNX υλοποιούνται διαφορετικά σενάρια φωτισμού (εργασία, συνάντηση, χαλάρωση), ενώ το σύστημα DALI επιτρέπει τη συνεχή προσαρμογή της έντασης κάθε φωτιστικού σώματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

Επιπλέον, αξιοποιείται ο φυσικός φωτισμός μέσω του ανοίγματος της καμπίνας, σε συνδυασμό με σύστημα σκίασης, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ισορροπία μεταξύ φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Η δυνατότητα αυτή ενισχύει την ενεργειακή απόδοση και συμβάλλει στην εφαρμογή των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού.

Οι επιλεγμένες θέσεις των φωτιστικών σωμάτων και του αισθητήρα κίνησης παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.3, η οποία αποτελεί τη βάση για τις φωτοτεχνικές προσομοιώσεις που ακολουθούν.



Εικόνα 5.3: Κάτοψη χώρου καμπίνας–γραφείου πλοιάρχου με επισήμανση των επιλεγμένων φωτιστικών σωμάτων (πορτοκαλί) για τον σχεδιασμό φωτισμού (AutoCAD)

5.3.2 Φωτοτεχνική προσομοίωση και αξιολόγηση χώρου γραφείου

Η φωτοτεχνική αξιολόγηση του χώρου γραφείου πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Relux, προκειμένου να εξεταστεί η κατανομή του φωτισμού, η επάρκεια των επιπέδων φωτεινότητας και η συνολική ποιότητα του φωτιστικού περιβάλλοντος. Η προσομοίωση βασίστηκε στη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα και αξιολόγησε την απόδοση του προτεινόμενου σχεδιασμού υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.



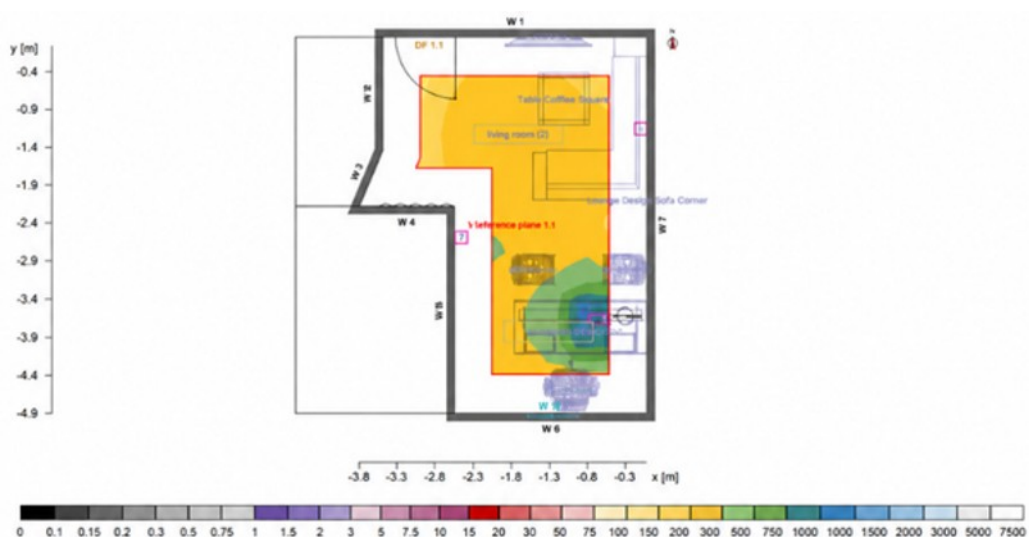
Εικόνα 5.4: Εσωτερική κάτοψη φωτισμού του χώρου γραφείου της καμπίνας πλοιάρχου από την είσοδο [Relux (Dyn.Planning)]



Εικόνα 5.5: Εναλλακτική οπτική απεικόνιση φωτισμού του χώρου γραφείου της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)]



Οι τρισδιάστατες προσομοιώσεις αναδεικνύουν τη συνεργασία του γενικού φωτισμού οροφής, του επιτραπέζιου φωτιστικού και των επιτοιχίων απλικών, δημιουργώντας ένα ισορροπημένο φωτιστικό περιβάλλον. Ο συνδυασμός άμεσου και έμμεσου φωτισμού περιορίζει τις έντονες αντιθέσεις φωτεινότητας και συμβάλλει στη βελτίωση της οπτικής άνεσης κατά την εργασία αλλά και κατά τη χρήση του χώρου ως καθιστικού.



Εικόνα 5.6: Φωτομετρική κάτοψη του χώρου γραφείου και καθιστικού με απεικόνιση της κατανομής φωτισμού (Relux).

Η φωτομετρική απεικόνιση επιβεβαιώνει την ομοιόμορφη κατανομή της φωτεινότητας στον χώρο εργασίας, χωρίς την εμφάνιση εκτεταμένων περιοχών χαμηλού φωτισμού ή έντονων σκιών. Παράλληλα, η κατανομή του φωτός παρουσιάζει σταδιακή μετάβαση μεταξύ των διαφορετικών λειτουργικών ζωνών, γεγονός που βελτιώνει την αντίληψη του χώρου και περιορίζει την οπτική κόπωση.

Evaluation area 1	Reference plane 1.1	
E_m	Horizontal	cylindrical
E_{min}	302 lx	76 lx
E_{max}	163 lx	59 lx
$E_{min}/E_m (U_0)$	0.54	0.78
$E_{max}/E_m (U_2)$	0.16	
E_p/E_h		0.26
Position	0.75 m	0.75 m
RUG (-48.6H -62.3H)	10.0	
Luminaire: (TASK table table-clamp 930 O, SMD 930 6LRP, 059-28110780 059-2892118, 11.0 W)		
Hints: - Encountered room dimensions less than 2H, RUG value has been set to 10 as lower limit.		
Major surfaces	E_m	U_0
M 1.14 (Ceiling)	33.8 lx	0.81
M 1.1 (Wall)	80 lx	0.52
M 1.11 (Wall)	113 lx	0.57
M 1.12 (Wall)	110 lx	0.05
M 1.13 (Wall)	92 lx	0.04

Εικόνα 5.7: Φωτομετρικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του χώρου γραφείου και καθιστικού (Relux).

Πίνακας 5.1: Σύνοψη φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων χώρου γραφείου και καθιστικού

Παράμετρος	Τιμή	Αξιολόγηση
Μέση ένταση φωτισμού (Em)	302 lx	Επαρκής φωτισμός για τον χώρο εργασίας
Ελάχιστη ένταση φωτισμού (Emin)	163 lx	Δεν παρατηρούνται σκοτεινές περιοχές
Ομοιομορφία φωτισμού (Uo)	0,54	Ικανοποιητική ομοιομορφία
Κυλινδρικός φωτισμός (E _{cyl})	76 lx	Επαρκής για άνετη οπτική αντίληψη
Ελάχιστος κυλινδρικός φωτισμός	59 lx	Ικανοποιητική κατανομή φωτός
Δείκτης θάμβωσης (RUG)	10	Πολύ χαμηλή πιθανότητα θάμβωσης
Ύψος επιπέδου αξιολόγησης	0,75 m	Επιφάνεια εργασίας

Τα αποτελέσματα της φωτοτεχνικής προσομοίωσης δείχνουν ότι ο σχεδιασμός επιτυγχάνει ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας, ενώ παράλληλα διατηρεί καλή ομοιομορφία φωτισμού στον υπόλοιπο χώρο. Η χρήση φωτιστικών LED υψηλής απόδοσης σε συνδυασμό με το σύστημα ελέγχου DALI επιτρέπει τη ρύθμιση της έντασης του φωτισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη, συμβάλλοντας τόσο στην οπτική άνεση όσο και στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι τιμές που προέκυψαν από την προσομοίωση βρίσκονται εντός των απαιτήσεων για χώρους γραφείου, ενώ η επιλογή θερμού φωτισμού (3000 K) δημιουργεί ένα περισσότερο ευχάριστο και ξεκούραστο περιβάλλον, κατάλληλο τόσο για εργασία όσο και για στιγμές ανάπαυσης ή συνεργασίας.

Η φωτοτεχνική προσομοίωση επιβεβαιώνει ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός καλύπτει τις λειτουργικές απαιτήσεις του χώρου γραφείου, εξασφαλίζοντας επαρκή επίπεδα φωτισμού, καλή ομοιομορφία και αυξημένη οπτική άνεση. Παράλληλα, η αξιοποίηση των συστημάτων KNX και DALI επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή του φωτισμού στις διαφορετικές ανάγκες του χρήστη, βελτιώνοντας τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και τη συνολική εμπειρία χρήσης του χώρου.

5.3.3 Χώρος λουτρού

Η φωτοτεχνική αξιολόγηση του λουτρού πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Relux, με στόχο την εκτίμηση της ποιότητας του φωτισμού, της ομοιομορφίας κατανομής του φωτός και της οπτικής άνεσης σε έναν περιορισμένο λειτουργικό χώρο. Η προσομοίωση βασίστηκε στη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα και αξιολόγησε την απόδοση του προτεινόμενου σχεδιασμού.

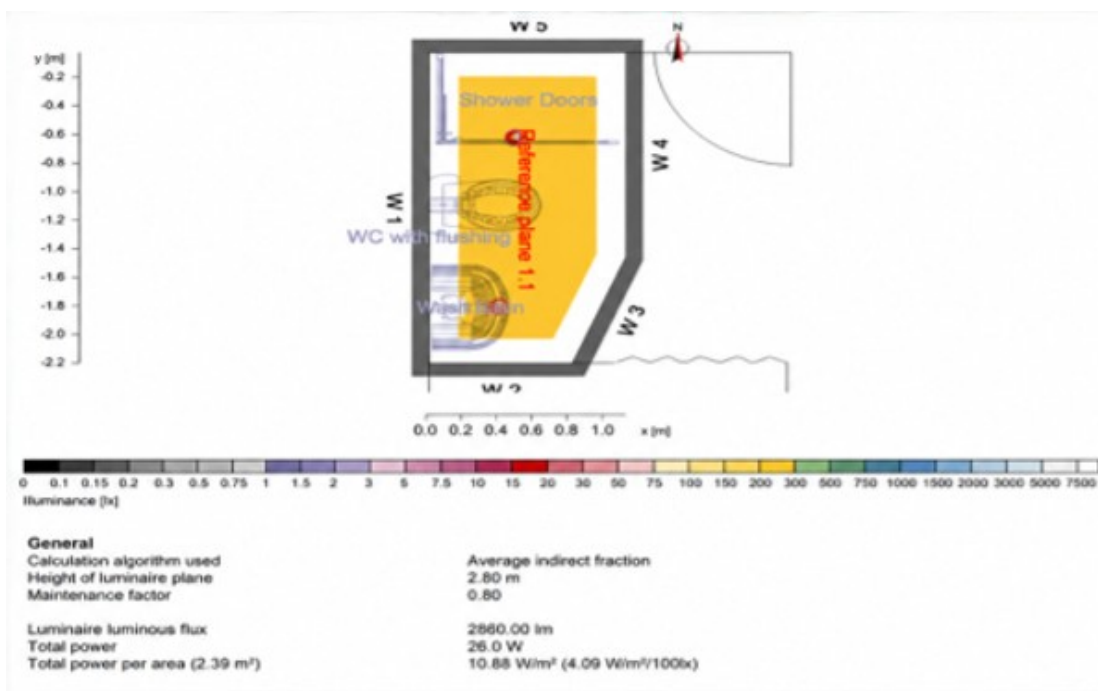


Εικόνα 5.8: Τρισδιάστατη προσομοίωση του λουτρού της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].



Εικόνα 5.9: Εναλλακτική τρισδιάστατη απεικόνιση του λουτρού της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].

Οι τρισδιάστατες προσομοιώσεις παρουσιάζουν την κατανομή του φωτισμού στο εσωτερικό του λουτρού και αναδεικνύουν τη συμβολή των δύο χωνευτών φωτιστικών LED στη δημιουργία ενός ομοιόμορφα φωτισμένου χώρου. Η διάταξη των φωτιστικών εξασφαλίζει επαρκή φωτισμό στην περιοχή του νιπτήρα και της ντουζιέρας, περιορίζοντας τις σκιές και βελτιώνοντας την οπτική άνεση κατά τη χρήση του χώρου.



Εικόνα 5.10: Φωτομετρική κάτοψη του λουτρού με απεικόνιση της κατανομής φωτισμού (Relux).

Η φωτοτεχνική προσομοίωση έδειξε ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός παρέχει μέση ένταση φωτισμού 266 lx, τιμή κατάλληλη για τις απαιτήσεις ενός χώρου υγιεινής. Η υψηλή ομοιομορφία φωτισμού ($U_0 = 0,83$) αποδεικνύει ότι το φως κατανέμεται ομοιόμορφα στον χώρο, χωρίς έντονες μεταβολές φωτεινότητας.

Παράλληλα, ο δείκτης θάμβωσης ($UGR = 10$) υποδηλώνει ιδιαίτερα άνετες οπτικές συνθήκες, μειώνοντας την πιθανότητα ενόχλησης του χρήστη κατά την καθημερινή χρήση του λουτρού. Επιπλέον, ο κυλινδρικός φωτισμός (107 lx) συμβάλλει στη βελτιωμένη αντίληψη του προσώπου κατά τη χρήση του καθρέφτη και στις δραστηριότητες προσωπικής φροντίδας.

Η εγκατεστημένη πυκνότητα ισχύος (10,88 W/m²) καταδεικνύει ότι η προτεινόμενη λύση συνδυάζει ικανοποιητική φωτοτεχνική απόδοση με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση, αξιοποιώντας την τεχνολογία LED.

Evaluation area 1	Reference plane 1.1	
E_m	Horizontal	cylindrical
E_{min}	266 lx	107 lx
$E_{min}/E_m (U_0)$	220 lx	97 lx
$E_{min}/E_{max} (U_d)$	0.83	0.90
E_p/E_m	0.76	
Position	0.75 m	0.29
RUG (0.7H 1.4H)	10.0	0.75 m
Major surfaces	E_m	U_0
M 1.2 (Ceiling)	131 lx	0.79
M 1.1 (Wall)	225 lx	0.08

Εικόνα 5.11: Φωτομετρικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του λουτρού (Relux).

Πίνακας 5.2: Σύνοψη φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων λουτρού

Παράμετρος	Τιμή	Αξιολόγηση
Μέση ένταση φωτισμού (E_m)	266 lx	Επαρκής φωτισμός για χώρο υγιεινής
Ομοιομορφία φωτισμού (U_0)	0,83	Πολύ καλή ομοιομορφία
Δείκτης θάμβωσης (UGR)	10	Πολύ χαμηλή θάμβωση
Κυλινδρικός φωτισμός	107 lx	Ικανοποιητική οπτική αντίληψη
Πυκνότητα ισχύος	10,88 W/m ²	Ενεργειακά αποδοτική εγκατάσταση

Η φωτοτεχνική αξιολόγηση επιβεβαιώνει ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός του λουτρού εξασφαλίζει επαρκή επίπεδα φωτισμού, υψηλή ομοιομορφία και πολύ χαμηλή θάμβωση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός φωτιστικών LED και του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου ανταποκρίνεται στις λειτουργικές απαιτήσεις του χώρου, προσφέροντας άνεση, ασφάλεια και ενεργειακή αποδοτικότητα.

5.3.4 Φωτοτεχνική προσομοίωση και αξιολόγηση υπνοδωματίου

Η φωτοτεχνική αξιολόγηση του υπνοδωματίου πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Relux, με στόχο την εκτίμηση της ποιότητας του φωτισμού, της ομοιομορφίας κατανομής της φωτεινότητας και της οπτικής άνεσης στον χώρο ανάπαυσης του πλοίαρχου. Η προσομοίωση

βασίστηκε στον προτεινόμενο φωτιστικό σχεδιασμό και αξιολόγησε την απόδοσή του υπό συνθήκες πραγματικής λειτουργίας.

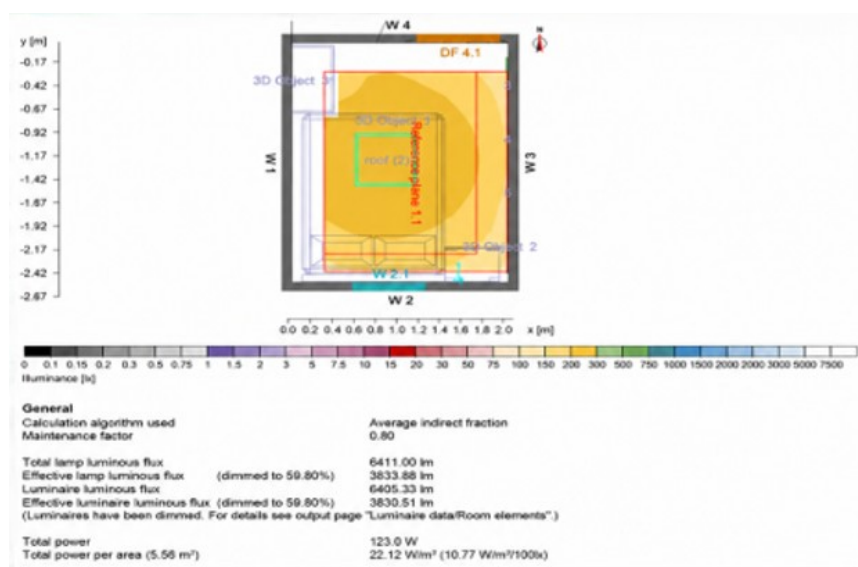


Εικόνα 5.12: Τρισδιάστατη προσομοίωση του υπνοδωματίου της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].



Εικόνα 5.13: Εναλλακτική τρισδιάστατη απεικόνιση του υπνοδωματίου της καμπίνας πλοιάρχου [Relux (Dyn.Planning)].

Οι τρισδιάστατες προσομοιώσεις παρουσιάζουν τη συνολική λειτουργία του προτεινόμενου φωτισμού στον χώρο του υπνοδωματίου. Ο συνδυασμός γενικού, τοπικού και έμμεσου φωτισμού δημιουργεί ένα ισορροπημένο φωτιστικό περιβάλλον, κατάλληλο τόσο για δραστηριότητες όπως η ανάγνωση και η προετοιμασία όσο και για την ξεκούραση. Παράλληλα, ο κρυφός γραμμικός φωτισμός συμβάλλει στη διακριτική καθοδήγηση του χρήστη κατά τις νυχτερινές ώρες, χωρίς να προκαλεί έντονη οπτική όχληση.



Εικόνα 5.14: Φωτομετρική κάτοψη του υπνοδωματίου με απεικόνιση της κατανομής φωτισμού (Relux).

Evaluation area 1	Reference plane 1.1	
	Horizontal	cylindrical
E_{ref}	205 lx	103 lx
E_{ref}	120 lx	84 lx
$E_{\text{ref}}/E_{\text{ref}} (U_{\text{d}})$	0.58	0.82
$E_{\text{ref}}/E_{\text{ref}} (U_{\text{d}})$	0.46	
$E_{\text{ref}}/E_{\text{ref}}$		0.40
Position	0.75 m	0.75 m
RUG (-4.6H -5.9H)	10.0	
Luminaire: (A70-WG, LED 830, A70-WG 300 830, 7.0 W)		
Note: - Encountered room dimensions less than 2H. RUG value has been set to 10 as lower limit.		
Major surfaces	E_{ref}	U_{d}
M 1.5 (Ceiling)	85 lx	0.83
M 1.1 (Wall)	149 lx	0.50
M 1.2 (Wall)	117 lx	---
M 1.3 (Wall)	119 lx	0.70
M 1.4 (Wall)	133 lx	0.64

Εικόνα 5.15: Φωτομετρικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του υπνοδωματίου (Relux).

Η φωτοτεχνική προσομοίωση έδειξε ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός παρέχει μέση ένταση φωτισμού 205 lx, τιμή κατάλληλη για έναν χώρο ανάπαυσης, καθώς εξασφαλίζει επαρκή

φωτισμό χωρίς να δημιουργεί υπερβολική φωτεινότητα. Η ομοιομορφία φωτισμού ($U_o = 0,58$) κρίνεται ικανοποιητική, εξασφαλίζοντας ομαλή κατανομή του φωτός και περιορίζοντας τις έντονες αντιθέσεις φωτεινότητας.

Ο δείκτης θάμβωσης ($UGR = 10$) υποδηλώνει πολύ υψηλό επίπεδο οπτικής άνεσης, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό για έναν χώρο που προορίζεται για ξεκούραση. Παράλληλα, ο κυλινδρικός φωτισμός (103 lx) συμβάλλει στη βελτίωση της οπτικής αντίληψης και της άνεσης του χρήστη κατά την παραμονή στον χώρο.

Η εγκατεστημένη πυκνότητα ισχύος ($22,12 \text{ W/m}^2$) είναι αυξημένη συγκριτικά με τους υπόλοιπους χώρους της καμπίνας, γεγονός που οφείλεται στη χρήση περισσότερων φωτιστικών σωμάτων και στην ενσωμάτωση κρυφού γραμμικού φωτισμού LED. Ωστόσο, η αξιοποίηση φωτιστικών LED υψηλής απόδοσης, σε συνδυασμό με τα συστήματα ελέγχου KNX και DALI, επιτρέπει τη ρύθμιση της έντασης φωτισμού και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Πίνακας 5.3: Σύνοψη φωτοτεχνικών αποτελεσμάτων υπνοδωματίου

Παράμετρος	Τιμή	Αξιολόγηση
Μέση ένταση φωτισμού (E_m)	205 lx	Κατάλληλος φωτισμός για χώρο ανάπαυσης
Ομοιομορφία φωτισμού (U_o)	$0,58$	Ικανοποιητική ομοιομορφία
Δείκτης θάμβωσης (UGR)	10	Πολύ χαμηλή θάμβωση
Κυλινδρικός φωτισμός	103 lx	Ικανοποιητική οπτική αντίληψη
Πυκνότητα ισχύος	$22,12 \text{ W/m}^2$	Αυξημένη λόγω πολυεπίπεδου φωτισμού

Πίνακας 5.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα φωτοτεχνικής αξιολόγησης των χώρων της καμπίνας πλοιάρχου

Χώρος	Μέσος φωτισμός (Em)	Ομοιομορφία (Uo)	UGR	Κυλινδρικός φωτισμός	Πυκνότητα ισχύος
Υπνοδωμάτιο	205 lx	0,58	10	103 lx	22,12 W/m ²
Λουτρό	266 lx	0,83	10	107 lx	10,88 W/m ²
Γραφείο Καθιστικό	/ 302 lx	0,54	18	76 lx	5,99 W/m ²

Η συνολική φωτοτεχνική αξιολόγηση επιβεβαιώνει ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός ανταποκρίνεται στις διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις των χώρων της καμπίνας του πλοιάρχου. Οι τιμές φωτισμού, ομοιομορφίας και θάμβωσης βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα, ενώ η χρήση φωτιστικών LED και των συστημάτων ελέγχου KNX και DALI συμβάλλει τόσο στη βελτίωση της οπτικής άνεσης όσο και στην αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης.

5.4 Μελέτη χώρου café lounge

Ο δεύτερος χώρος που εξετάζεται είναι το café lounge, ένας πολυλειτουργικός χώρος που περιλαμβάνει περιοχές εστίασης, κυκλοφορίας και αναψυχής. Λόγω της διαφορετικής χρήσης κάθε περιοχής, ο φωτιστικός σχεδιασμός βασίστηκε στις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού, με στόχο την εξασφάλιση οπτικής άνεσης, λειτουργικότητας και ευχάριστης εμπειρίας για τους χρήστες.

Ο χώρος οργανώνεται σε τρεις βασικές λειτουργικές ζώνες:

Ζώνη εστιατορίου

Στην περιοχή του εστιατορίου εφαρμόζεται συνδυασμός έμμεσου περιμετρικού φωτισμού LED και χωνευτών φωτιστικών οροφής θερμοκρασίας χρώματος 3000 K. Η επιλογή θερμού φωτισμού συμβάλλει στη δημιουργία ενός φιλόξενου περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα αναδεικνύει τα χρώματα των γευμάτων και ενισχύει την εμπειρία των επισκεπτών. Επιπλέον, σε επιλεγμένα σημεία εγκαθίστανται φωτιστικά σποτ με κατευθυνόμενη δέσμη για την ανάδειξη έργων τέχνης και διακοσμητικών στοιχείων.

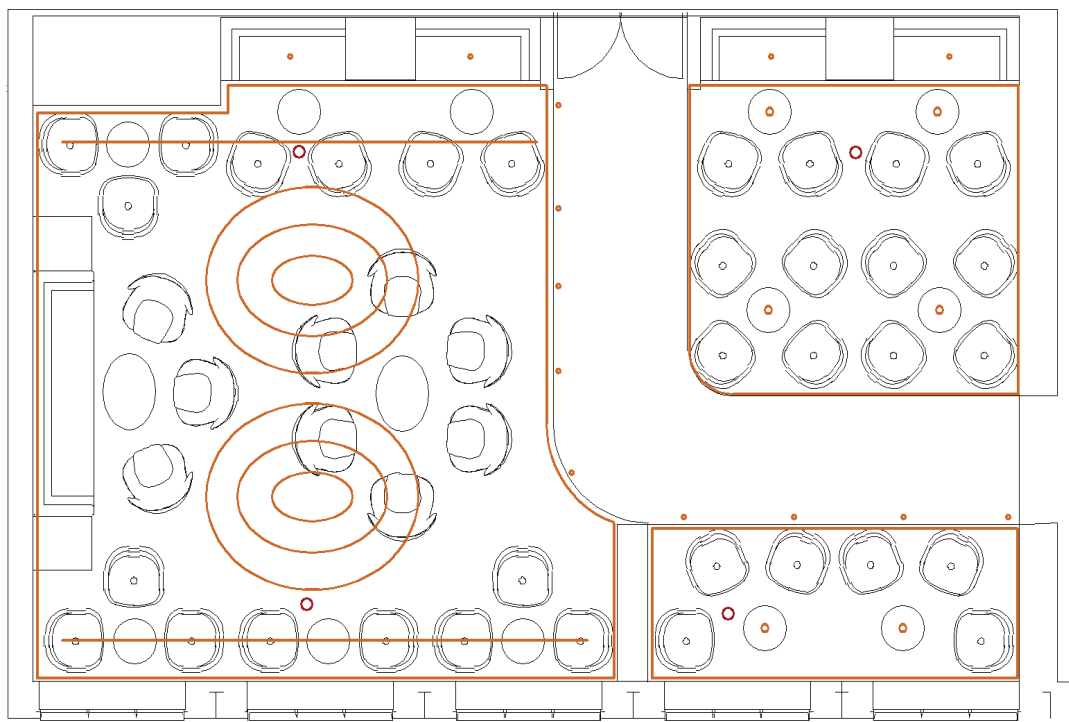
Ζώνη κυκλοφορίας

Ο κεντρικός διάδρομος φωτίζεται με χωνευτά επιδαπέδια φωτιστικά LED τοποθετημένα σε γραμμική διάταξη. Η συγκεκριμένη επιλογή ενισχύει την οπτική καθοδήγηση των χρηστών και διευκολύνει την αναγνώριση της διαδρομής, συμβάλλοντας τόσο στη λειτουργικότητα όσο και στην ασφάλεια του χώρου.

Ζώνη café

Στον χώρο του café εφαρμόζεται δυναμικός φωτισμός μέσω περιμετρικών γραμμικών LED και κυκλικών φωτιστικών οροφής. Η δυνατότητα μεταβολής της έντασης και του χρώματος του φωτισμού επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών φωτιστικών σεναρίων, ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου και την επιθυμητή ατμόσφαιρα. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ακολουθεί τις αρχές του Richard Kelly και ειδικότερα την κατηγορία Play of Brilliants, όπου ο φωτισμός χρησιμοποιείται ως μέσο δημιουργίας βιωματικών εμπειριών και ενίσχυσης της αισθητικής του χώρου.

Στην περιοχή προβλέπεται επίσης φωτισμός ανάδειξης για τα έργα τέχνης, ενώ αποφεύγεται η εγκατάσταση φωτιστικών απέναντι από την τηλεοπτική οθόνη, ώστε να περιορίζονται οι αντανακλάσεις και η θάμβωση.



Εικόνα 5.16: Κάτοψη του χώρου café lounge με απεικόνιση των φωτιστικών σωμάτων και των αισθητήρων φωτεινότητας και παρουσίας του συστήματος KNX (AutoCAD).

Η προτεινόμενη διάταξη των φωτιστικών σωμάτων και των αισθητήρων επιτρέπει την ανεξάρτητη διαχείριση κάθε λειτουργικής ζώνης του χώρου μέσω του συστήματος KNX. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η δημιουργία διαφορετικών σεναρίων φωτισμού ανάλογα με τη χρήση του χώρου, τη χρονική στιγμή και τις ανάγκες των χρηστών, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα υψηλή οπτική άνεση και ενεργειακή αποδοτικότητα.

5.5 Σύστημα ελέγχου και ενεργειακή διαχείριση

Το προτεινόμενο σύστημα φωτισμού βασίζεται στην ολοκληρωμένη συνεργασία των πρωτοκόλλων KNX και DALI, παρέχοντας δυνατότητα κεντρικού ελέγχου, αυτοματισμών και δυναμικής προσαρμογής του φωτισμού στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου. Μέσω του συστήματος είναι δυνατή η ανεξάρτητη ενεργοποίηση, απενεργοποίηση και ρύθμιση της έντασης κάθε φωτιστικού σώματος (dimming), καθώς και η δημιουργία προκαθορισμένων σεναρίων φωτισμού.

Για τη συνεχή παρακολούθηση των συνθηκών φωτισμού εγκαθίστανται τέσσερις αισθητήρες KNX μέτρησης φωτεινότητας, οι οποίοι τοποθετούνται σε στρατηγικά σημεία του χώρου ώστε να καταγράφουν αντιπροσωπευτικά τα επίπεδα φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Με βάση τις μετρήσεις αυτές εφαρμόζεται λειτουργία Constant Light Control, κατά την οποία η ένταση των φωτιστικών προσαρμόζεται αυτόματα ώστε να διατηρείται σταθερό το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού.

Παράλληλα, αισθητήρες παρουσίας επιτρέπουν την αυτόματη ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του φωτισμού ανάλογα με την παρουσία χρηστών, περιορίζοντας την άσκοπη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη λειτουργία αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε ναυτιλιακά περιβάλλοντα, όπου οι συνθήκες φυσικού φωτισμού μεταβάλλονται συνεχώς λόγω της γεωγραφικής θέσης, της πορείας του πλοίου και των διαφορετικών χρονικών ζωνών.

Επιπλέον, το σύστημα παρέχει δυνατότητα χειροκίνητης παρέμβασης μέσω του γραφικού περιβάλλοντος του KNX, επιτρέποντας στον χρήστη να επιλέγει φωτιστικά σενάρια, να τροποποιεί τα επίπεδα φωτισμού ή να απενεργοποιεί προσωρινά συγκεκριμένους αυτοματισμούς όταν απαιτείται.

Πίνακας 5.5: Σύνοψη του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου και ενεργειακής διαχείρισης

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Σύστημα αυτοματισμού	KNX
Πρωτόκολλο φωτισμού	DALI
Ρύθμιση έντασης φωτισμού	Dimming ανά φωτιστικό
Αισθητήρες φωτεινότητας	4 αισθητήρες KNX
Αισθητήρες παρουσίας	Ναι
Αυτόματη προσαρμογή φωτισμού	Constant Light Control
Δημιουργία σεναρίων φωτισμού	Ναι
Χειροκίνητη παρέμβαση χρήστη	Μέσω γραφικού περιβάλλοντος KNX
Στόχος λειτουργίας	Οπτική άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας

Το κεφάλαιο αυτό ανέδειξε ότι ο σχεδιασμός φωτισμού σε επιβατηγό πλοίο απαιτεί ολοκληρωμένη προσέγγιση, η οποία συνδυάζει φωτοτεχνικά κριτήρια, εργονομία και ενεργειακή αποδοτικότητα. Η εφαρμογή φωτοτεχνικών προσομοιώσεων στο λογισμικό Relux επέτρεψε την αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων πριν από την υλοποίησή τους, επιβεβαιώνοντας ότι οι επιλεγμένες διατάξεις φωτισμού καλύπτουν τις λειτουργικές απαιτήσεις των επιμέρους χώρων.

Η ενσωμάτωση των συστημάτων KNX και DALI κατέστησε δυνατή την ανάπτυξη ενός ευέλικτου συστήματος διαχείρισης φωτισμού, το οποίο προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου μέσω αισθητήρων φωτεινότητας και παρουσίας. Παράλληλα, η αξιοποίηση των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού συνέβαλε στη δημιουργία χώρων που υποστηρίζουν τόσο την εργασία όσο και την ανάπαυση και την ψυχαγωγία των χρηστών.

Συνολικά, η μελέτη περίπτωσης δείχνει ότι ο συνδυασμός φωτοτεχνικής προσομοίωσης, τεχνολογίας LED και έξυπνων συστημάτων αυτοματισμού μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτικότερα, περισσότερο ευέλικτα και ενεργειακά βιώσιμα συστήματα φωτισμού για σύγχρονα επιβατηγά πλοία.

6. Εικονική προσομοίωση και δημιουργία πρωτοτύπων

Μετά την ολοκλήρωση του φωτοτεχνικού σχεδιασμού και την αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων μέσω του λογισμικού Relux, ακολούθησε η ανάπτυξη ενός πρωτοτύπου συστήματος διαχείρισης φωτισμού με στόχο την προσομοίωση της λειτουργίας του σε πραγματικές συνθήκες. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι ενδεικτικές μετρήσεις φωτισμού και κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η ανάπτυξη του πρωτοτύπου ελέγχου μέσω του συστήματος KNX και του λογισμικού eibPort v3.

Η ανάπτυξη του πρωτοτύπου επέτρεψε την προσομοίωση βασικών λειτουργιών ενός έξυπνου συστήματος φωτισμού, όπως η δημιουργία σεναρίων φωτισμού, η διαχείριση φωτιστικών ζωνών, η ενσωμάτωση αισθητήρων παρουσίας και φωτεινότητας, καθώς και η παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος μέσω γραφικού περιβάλλοντος χρήστη. Με τον τρόπο αυτό αξιολογήθηκε η λειτουργικότητα της προτεινόμενης λύσης και η δυνατότητα εφαρμογής της σε σύγχρονα επιβατηγά πλοία.

6.1 Μετρήσεις φωτισμού και κατανάλωσης ενέργειας

Μετά την ολοκλήρωση της φωτοτεχνικής προσομοίωσης στο λογισμικό Relux, πραγματοποιήθηκε συγκεντρωτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για τους βασικούς χώρους της καμπίνας του πλοιάρχου. Η αξιολόγηση επικεντρώθηκε στα επίπεδα φωτισμού, στην ομοιομορφία κατανομής του φωτός και στην εκτιμώμενη ενεργειακή απόδοση του προτεινόμενου συστήματος.

Η ανάλυση έδειξε ότι οι προτεινόμενες λύσεις καλύπτουν τις διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις κάθε χώρου. Το υπνοδωμάτιο προσφέρει συνθήκες κατάλληλες για ανάπαυση, ο χώρος γραφείου εξασφαλίζει επαρκή φωτισμό για εργασίες γραφείου, ενώ το λουτρό παρέχει υψηλή οπτική άνεση και καλή χρωματική απόδοση για δραστηριότητες προσωπικής φροντίδας.

Παράλληλα, η χρήση φωτιστικών LED σε συνδυασμό με τα συστήματα αυτοματισμού KNX και DALI επιτρέπει την εφαρμογή λειτουργιών όπως η ρύθμιση της έντασης φωτισμού (dimming), ο

έλεγχος σταθερού φωτισμού (constant light control) και η αξιοποίηση αισθητήρων παρουσίας και φωτεινότητας, συμβάλλοντας στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Πίνακας 6.1: Ενδεικτικά επίπεδα φωτισμού και κατανάλωσης ενέργειας στην καμπίνα πλοιάρχου

Χώρος	Μέση φωτεινότητα (lux)	Θερμοκρασία χρώματος	Τύπος φωτισμού	Σύστημα ελέγχου
Υπνοδωμάτιο	200–300 lx	3000K	Γενικός έμμεσος +	KNX / DALI
Γραφείο	~300 lx	3000K	Γενικός τοπικός +	KNX / DALI
Λουτρό	300–400 lx	4000K	Spot φωτισμός	KNX detector

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η προτεινόμενη φωτοτεχνική λύση ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις λειτουργικότητας, οπτικής άνεσης και ενεργειακής αποδοτικότητας, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα του συνδυασμού τεχνολογίας LED και έξυπνων συστημάτων ελέγχου φωτισμού.

6.2 Ανάπτυξη πρωτοτύπων (hardware & software)

Με στόχο την πρακτική απεικόνιση της προτεινόμενης λύσης αναπτύχθηκε ένα ενδεικτικό πρωτότυπο σύστημα διαχείρισης φωτισμού για επιβατηγό πλοίο. Το πρωτότυπο βασίστηκε στα πρωτόκολλα **KNX** και **DALI** και υλοποιήθηκε μέσω του λογισμικού **eibPort v3**, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος εποπτείας και ελέγχου (HMI).

Το πρωτότυπο επιτρέπει την κεντρική διαχείριση του φωτισμού των επιμέρους καταστρωμάτων και των χώρων του πλοίου, παρέχοντας δυνατότητα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης φωτιστικών σωμάτων, ρύθμισης της έντασης φωτισμού, δημιουργίας φωτιστικών σεναρίων και παρακολούθησης της λειτουργίας αισθητήρων παρουσίας και φωτεινότητας.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού βασίζεται στη ζωνοποίηση (zoning), σύμφωνα με την οποία κάθε χώρος αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητη φωτιστική ζώνη με διαφορετικές απαιτήσεις λειτουργίας και ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η προσαρμογή του φωτισμού στις ανάγκες

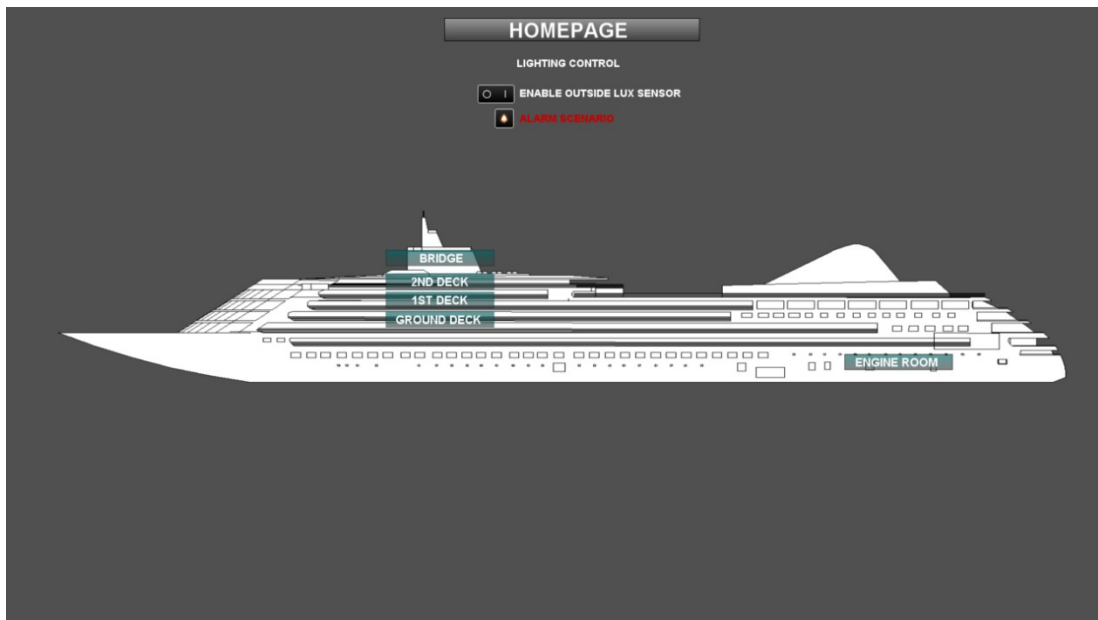
κάθε χώρου, βελτιώνοντας τόσο την ενεργειακή αποδοτικότητα όσο και την εμπειρία των χρηστών.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα βασικά γραφικά του πρωτοτύπου και οι κύριες λειτουργίες που αναπτύχθηκαν για τον έλεγχο του φωτισμού του πλοίου.

Πίνακας 6.2: Βασικές λειτουργίες του πρωτοτύπου

Λειτουργία	Περιγραφή
ON/OFF	Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση φωτιστικών
Dimming	Ρύθμιση έντασης φωτισμού
Scenes	Δημιουργία φωτιστικών σεναρίων
Presence sensors	Αυτόματος έλεγχος μέσω αισθητήρων παρουσίας
Lux sensors	Constant Light Control
Shading control	Διαχείριση σκιάσεων
Alarm indication	Ειδοποίηση βλαβών
Floor selection	Επιλογή καταστρώματος
Zone control	Ανεξάρτητος έλεγχος κάθε χώρου

- **Homepage πρωτοτύπου**

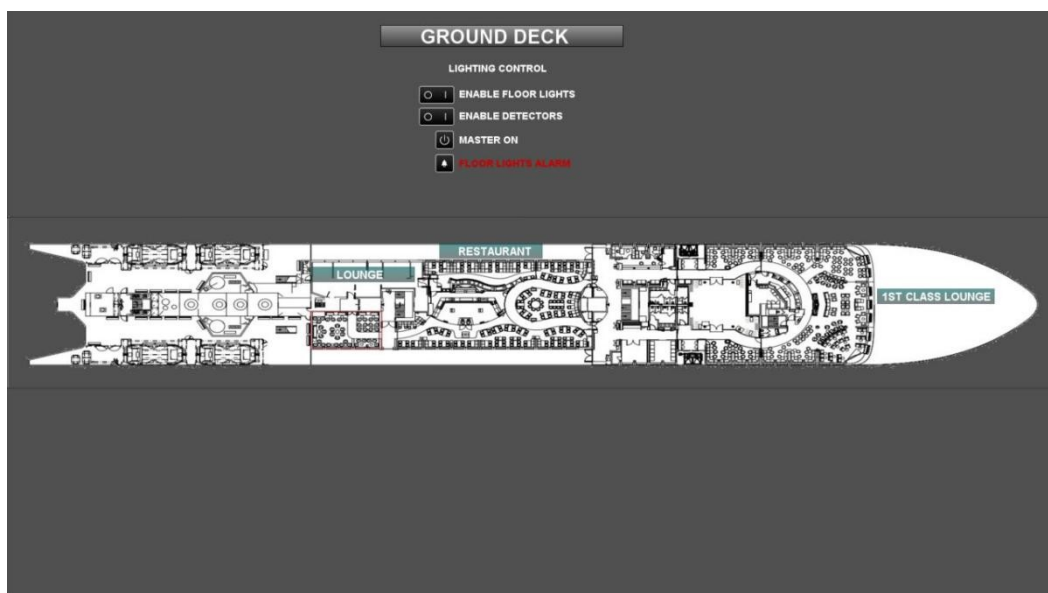


Εικόνα 6.1: Κεντρική οθόνη του πρωτοτύπου συστήματος διαχείρισης φωτισμού και επιλογής καταστρωμάτων του πλοίου (eibPort v3)

Στην εικόνα 6.1 εμφανίζεται η κύρια οθόνη (Homepage) του λογισμικού Eibport που έχει αναπτυχθεί, μέσω της οποίας παρέχεται συνολική εποπτεία των διαφορετικών ζωνών φωτισμού του πλοίου, όπως η γέφυρα (Bridge), τα καταστρώματα (Decks) και το μηχανοστάσιο (Engine Room). Η διάταξη του γραφικού περιβάλλοντος βασίζεται σε λογική κεντρικής διαχείρισης, διευκολύνοντας τον έλεγχο διάφορων σεναρίων φωτισμού και αυτοματισμών.

Στην κορυφή της οθόνης περιλαμβάνεται η επιλογή «ENABLE OUTSIDE LUX SENSOR», η οποία επιτρέπει στο σύστημα να λαμβάνει δεδομένα φωτεινότητας από το εξωτερικό περιβάλλον. Μέσω αυτής της δυνατότητας, το σύστημα KNX μπορεί να υλοποιεί δυναμική προσαρμογή φωτισμού (daylight harvesting), ρυθμίζοντας αυτόματα την ένταση των φωτιστικών ανάλογα με τις πραγματικές συνθήκες φυσικού φωτισμού καθώς και την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των εξωτερικών φωτιστικών σωμάτων. Αυτή η μέθοδος βοηθά στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στην βελτίωση της απόδοσης του συστήματος φωτισμού.

- **Κύριο Κατάστρωμα (Ground Deck)**



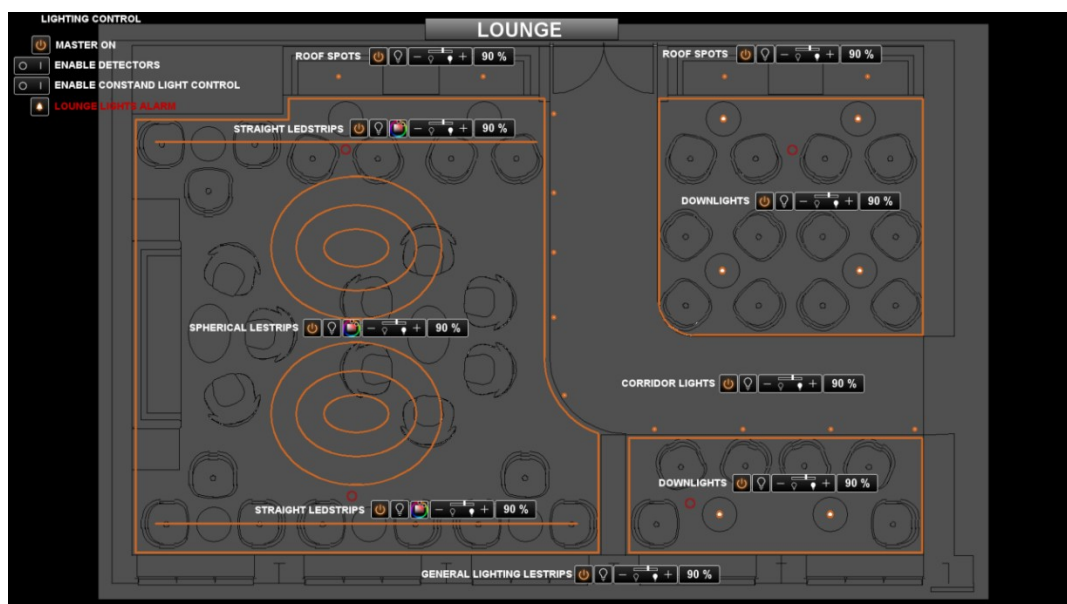
Εικόνα 6.2: Οθόνη διαχείρισης φωτισμού του κύριου καταστρώματος (Ground Deck) (eibPort v3)

Στην παραπάνω εικόνα 6.2 παρουσιάζονται τα γραφικά ελέγχου του κύριου καταστρώματος (Ground Floor), όπου αποτυπώνεται η διαχείριση του αρχιτεκτονικού φωτισμού σε βασικούς κοινόχρηστους χώρους του πλοίου, όπως το Restaurant, το Lounge και το 1st Class Lounge. Το γραφικό περιβάλλον οργανώνει τους χώρους σε επιμέρους φωτιστικές ζώνες, επιτρέποντας την κεντρική εποπτεία και τον ανεξάρτητο έλεγχο των συστημάτων φωτισμού.

Στο επίπεδο του λογισμικού περιλαμβάνονται λειτουργίες αυτοματισμού, όπως η ενεργοποίηση φωτισμού ορόφων (Enable Floor Lights), η ενεργοποίηση ανιχνευτών παρουσίας (Enable Detectors) και ο γενικός έλεγχος του φωτισμού (Master On). Οι δυνατότητες αυτές διευκολύνουν την προσαρμογή του φωτισμού σύμφωνα με τις ανάγκες των χώρων και συμβάλλουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέσω αυτοματοποιημένων λειτουργικών σεναρίων.

Ταυτόχρονα, η ένδειξη «Floor Lights Alarm» επισημαίνει την ικανότητα του πρωτοτύπου να εκτελεί διαγνωστικό έλεγχο του υλικού των φωτιστικών DALI σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας άμεσες πληροφορίες για ενδεχόμενες τεχνικές βλάβες στους χώρους εστίασης και αναψυχής. Αυτή η μέθοδος ενισχύει την ασφάλεια και τη λειτουργία του συστήματος, καθώς και τη συνολική αξιοπιστία της διαχείρισης φωτισμού στο πλοίο.

- Lounge



Εικόνα 6.3: Γραφικά φωτισμού του χώρου lounge με διαχείριση φωτιστικών ζωνών, αισθητήρων και δυναμικών σεναρίων φωτισμού (eibPort v3)

Στην εικόνα 6.3 εμφανίζονται τα γραφικά διαχείρισης φωτισμού του lounge, όπου απεικονίζεται ο έλεγχος των διαφορετικών φωτιστικών ζωνών του χώρου μέσω του πρωτοτύπου συστήματος KNX/DALI. Η οθόνη παρέχει τη δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης των φωτιστικών, όπως τα roof spots, τα downlights, οι γραμμικές ταινίες LED (straight ledstrips), οι σφαιρικές φωτιστικές διατάξεις (spherical ledstrips) και ο φωτισμός στους διαδρόμους.

Σε επίπεδο λογισμικού περιλαμβάνονται δυνατότητες ρύθμισης της έντασης φωτισμού (dimming) και δυναμικού ελέγχου χρωματισμού RGB για τις ταινίες LED, διευκολύνοντας τη διαμόρφωση ποικιλόμορφων ατμοσφαιρικών σεναρίων φωτισμού στο lounge. Ταυτόχρονα, με την επιλογή «Enable Constant Light Control» ενεργοποιείται η λειτουργία αυτόματης ρύθμισης του φωτισμού σύμφωνα με τις ενδείξεις φωτεινότητας που προέρχονται από τους ανιχνευτές κίνησης με αισθητήρες lx, υποστηρίζοντας τη διατήρηση σταθερών επιπέδων φωτισμού και μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση.

Ακόμη, η ρύθμιση «Enable Detectors» επιτρέπει την προσθήκη αισθητήρων κίνησης για αυτοματοποιημένο έλεγχο του φωτισμού, ενώ η επιλογή «Lounge Lights Alarm» προσφέρει

δυνατότητα διαγνωστικής παρακολούθησης των φωτιστικών σε πραγματικό χρόνο. Συνολικά, το πρωτότυπο αναδεικνύει τη δυνατότητα να συνδυάζει λειτουργικότητα, ενεργειακή διαχείριση και διαδραστικό αρχιτεκτονικό φωτισμό σε έναν πολυδιάστατο χώρο πλοίου.

6.3 Αξιολόγηση λειτουργικότητας, εργονομίας και εμπειρίας χρήστη

Η αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος πραγματοποιήθηκε με βάση τα αποτελέσματα της φωτοτεχνικής προσομοίωσης, τις δυνατότητες του συστήματος αυτοματισμού και τις αρχές του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Στόχος ήταν να διερευνηθεί κατά πόσο η προτεινόμενη λύση ανταποκρίνεται στις λειτουργικές απαιτήσεις των επιμέρους χώρων, βελτιώνει την οπτική άνεση και συμβάλλει στη συνολική εμπειρία των χρηστών.

Η ανάλυση έδειξε ότι ο συνδυασμός τεχνολογίας LED, αυτοματισμών KNX/DALI και δυναμικών σεναρίων φωτισμού επιτρέπει την προσαρμογή του φωτιστικού περιβάλλοντος στις διαφορετικές ανάγκες χρήσης των χώρων. Η δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης της έντασης του φωτισμού, σε συνδυασμό με αισθητήρες παρουσίας και φωτεινότητας, ενισχύει τόσο την ενεργειακή αποδοτικότητα όσο και τη λειτουργικότητα του συστήματος.

Παράλληλα, η εφαρμογή των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο άνετου και ευχάριστου εσωτερικού περιβάλλοντος, υποστηρίζοντας τόσο τις δραστηριότητες εργασίας όσο και τις ανάγκες ξεκούρασης και αναψυχής των χρηστών.

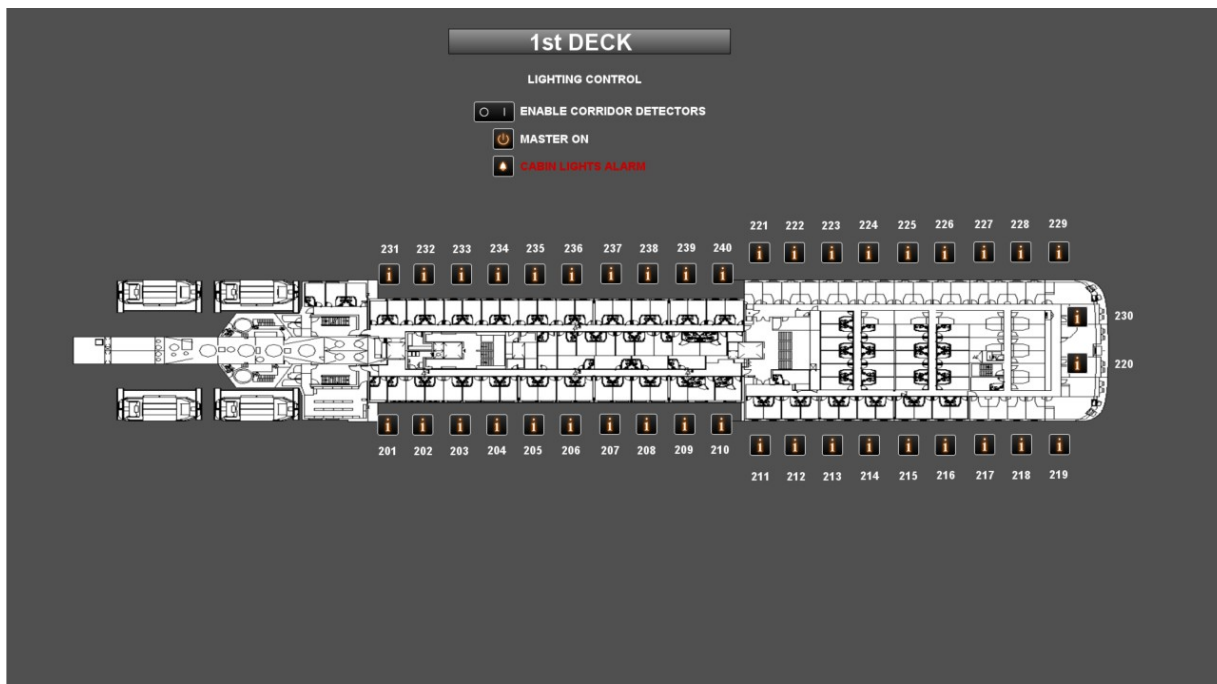
Πίνακας 6.3: Αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού

Παράμετρος αξιολόγησης	Αποτέλεσμα
Οπτική άνεση	Υψηλή
Εργονομία φωτισμού	Πολύ καλή
Ευελιξία σεναρίων φωτισμού	Υψηλή
Δυνατότητα αυτοματισμού	Υψηλή
Ενεργειακή αποδοτικότητα	Υψηλή
Δυνατότητα προσαρμογής φωτισμού	Πολύ υψηλή
Λειτουργικότητα συστήματος ελέγχου	Αποτελεσματική
Εμπειρία χρήστη	Βελτιωμένη

Η ποιοτική αξιολόγηση δείχνει ότι το προτεινόμενο σύστημα παρουσιάζει υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας, εργονομίας και προσαρμοστικότητας. Η αξιοποίηση των τεχνολογιών KNX και DALI επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση του φωτισμού, ενώ οι λειτουργίες αυτοματισμού συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και στη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης υποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη λύση μπορεί να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον σχεδιασμό έξυπνων συστημάτων φωτισμού σε σύγχρονα επιβατηγά πλοία, συνδυάζοντας λειτουργικότητα, εργονομία, ενεργειακή αποδοτικότητα και ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό.

- **Πρώτο Κατάστρωμα (1st Deck)**



Εικόνα 6.4: Γραφικά ελέγχου φωτισμού του 1ου καταστρώματος (1st Deck) με δυνατότητα διαχείρισης καμπινών, αισθητήρων διαδρόμου και λειτουργιών ειδοποίησης σφαλμάτων φωτισμού (eibPort v3)

Στην εικόνα 6.4 εμφανίζεται η ειδική οθόνη ελέγχου του 1ου καταστρώματος (1st Deck), η οποία σχετίζεται με τη ρύθμιση του φωτισμού των καμπινών επιβατών (μονάδες 201–240). Τα γραφικά έχουν δημιουργηθεί για να προσφέρουν λεπτομερή παρακολούθηση των επιμέρους καμπινών και των φωτιστικών τους συστημάτων μέσω ενός κεντρικού ελέγχου.

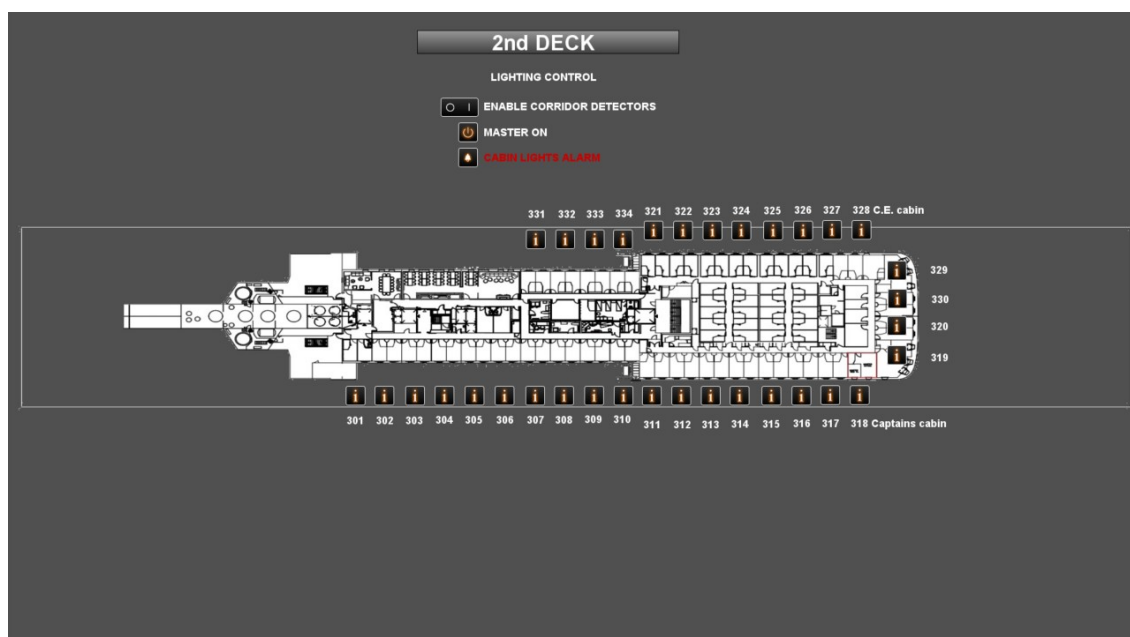
Στο στάδιο της ανάπτυξης λογισμικού, έχουν ενσωματωθεί ανεξάρτητα εικονίδια πληροφοριών («i») για κάθε καμπίνα, δίνοντας τη δυνατότητα στο σύστημα να εμφανίζει την αντίστοιχη οθόνη ελέγχου της καμπίνας για έλεγχο φωτισμού όπως και προβάλλει διαγνωστικά δεδομένα που ανακτώνται μέσω του πρωτοκόλλου DALI. Έτσι, παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα ανεξάρτητου ελέγχου κάθε καμπίνας, επιτρέποντας την άμεση αναγνώριση ενδεχόμενων τεχνικών δυσλειτουργιών ή προβλημάτων σε συγκεκριμένες περιοχές του καταστρώματος.

Επιπλέον, η ρύθμιση «Enable Corridor Detectors» ενεργοποιεί τους αισθητήρες κίνησης στους διαδρόμους, διευκολύνοντας την αυτοματοποιημένη λειτουργία του φωτισμού και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας. Η ένδειξη «Cabin Lights Alarm» αποτελεί ως κεντρικό σύστημα

ειδοποίησης βλαβών, επιτρέποντας τον γρήγορο εντοπισμό της γεωγραφικής θέσης μιας αστοχίας στο συγκεκριμένο κατάστρωμα. Αυτή η μέθοδος ενισχύει την αξιοπιστία, τη χρησιμότητα και την εργονομία του κατασκευασμένου συστήματος φωτισμού.

Η λειτουργία του πρωτοτύπου εξαρτάται από τη μοναδική διεύθυνση των hardware συσκευών. Κάθε συσκευή KNX των καμπινών έχει φυσική διεύθυνση KNX (Physical Address), μέσω της οποίας γίνεται ο τοπικός έλεγχος και η μεταφορά δεδομένων κατάστασης. Τα φωτιστικά σώματα έχουν ψηφιακές διευθύνσεις DALI (Short Addresses), που ελέγχονται μέσω της κεντρικής πύλης επικοινωνίας (KNX Gateway). Το λογισμικό που έχει αναπτυχθεί συσχετίζει αυτές τις διευθύνσεις με τις καμπίνες 201–240 της κάτοψης, διευκολύνοντας τον ακριβή έλεγχο του φωτισμού και την άμεση οπτικοποίηση ενδεχόμενων σφαλμάτων ή τεχνικών αποτυχιών στην οθόνη διαχείρισης.

- **Δεύτερο Κατάστρωμα (2nd Deck)**



Εικόνα 6.5: Γραφικά ελέγχου φωτισμού του 2ου καταστρώματος (2nd Deck) με διαχείριση καμπινών επιβατών και καμπινών αξιωματικών (eibPort v3)

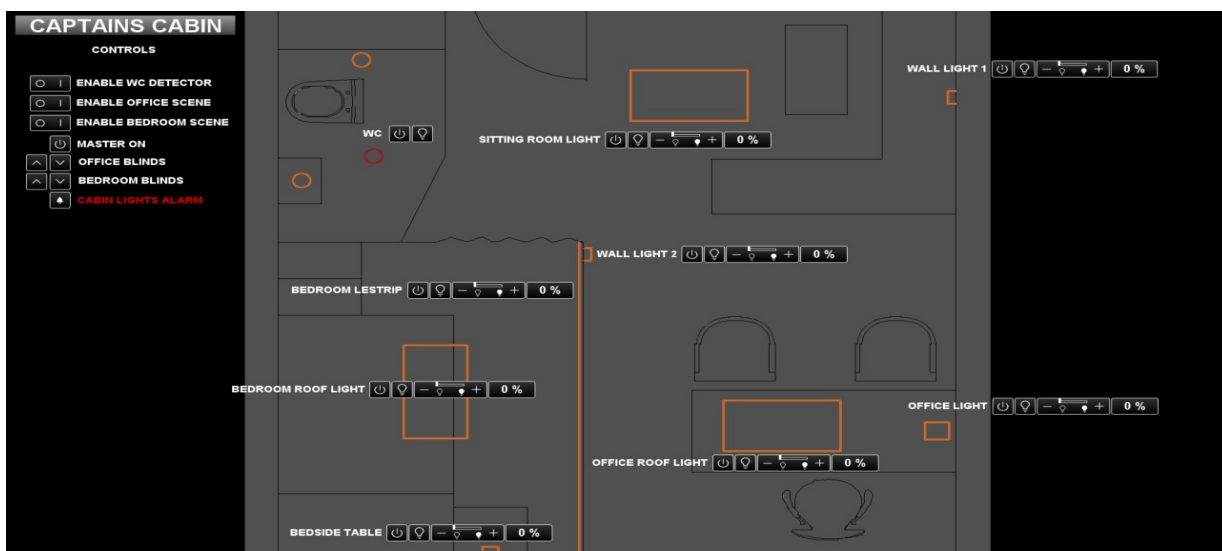
Στην εικόνα 6.5 απεικονίζονται τα γραφικά ελέγχου του δεύτερου καταστρώματος (2nd Deck), που περιλαμβάνει τις καμπίνες επιβατών (301–334) αλλά και τις καμπίνες των αξιωματικών, όπως η καμπίνα του πλοιάρχου (Captains Cabin) και η καμπίνα του Α' μηχανικού (C.E. Cabin).

Το προηγμένο γραφικό περιβάλλον διευκολύνει την παρακολούθηση και τη διαχείριση των ξεχωριστών φωτιστικών περιοχών μέσω ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης.

Σε επίπεδο λογισμικού, το πρωτότυπο έχει κατασκευαστεί για να υποστηρίξει σενάρια φωτισμού προτεραιότητας (override control) για σημαντικούς χώρους αξιωματικών, διευκολύνοντας την αυτόνομη λειτουργία τους ακόμη και σε περιπτώσεις γενικού συναγερμού («Cabin Lights Alarm»). Ταυτόχρονα, μέσω της επιλογής «Ενεργοποίηση Αισθητήρων Διαδρόμου» δίνεται η δυνατότητα να ενεργοποιηθούν αισθητήρες κίνησης στους διαδρόμους, συμβάλλοντας στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στην αυτοματοποιημένη λειτουργία του φωτισμού.

Η σύνδεση του υλικού KNX/DALI με το λογισμικό διευκολύνει την άμεση λήψη διαγνωστικών στοιχείων από τις ξεχωριστές καμπίνες μέσω του συστήματος διεύθυνσης. Έτσι διασφαλίζεται ακριβής επιτήρηση, άμεση αναγνώριση ενδεχόμενων τεχνικών αποτυχιών και αποδοτική διαχείριση των ζωτικών περιοχών του πλοίου.

- **Καμπίνα πλοιάρχου (Captain's Cabin)**



Εικόνα 6.6: Γραφικά ελέγχου φωτισμού της καμπίνας του πλοιάρχου (Captain's Cabin) με διαχείριση φωτιστικών σωμάτων, σεναρίων φωτισμού, σκιάσεων και αισθητήρων KNX/DALI (eibPort v3)

Στην εικόνα 6.6 απεικονίζονται τα γραφικά διαχείρισης φωτισμού της καμπίνας του πλοιάρχου (Captain's Cabin) που περιλαμβάνουν τους τρεις διακριτούς λειτουργικούς χώρους

(υπνοδωμάτιο, γραφείο και λουτρό). Απεικονίζεται ο έλεγχος των διαφορετικών φωτιστικών ζωνών του χώρου μέσω του πρωτοτύπου συστήματος KNX/DALI.

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης όλων των φωτιστικών και των σκιάστρων «Bedroom blinds και Office blinds». Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα ενεργοποίησης του ανιχνευτή κίνησης του Wc «Enable WC Detector», καθώς και συνόλου των φωτιστικών με μία εντολή «Master On». Παράλληλα ο χειριστής μπορεί να επιλέξει την ενεργοποίηση ενός προ ρυθμισμένου σεναρίου για το γραφείο «Enable Office Scene» και ενός για το υπνοδωμάτιο «Enable Bedroom Scene». Τέλος η επιλογή «Cabin Lights Alarm» παρέχει την δυνατότητα παρακολούθησης και ειδοποίησης βλαβών σε πραγματικό χρόνο.

Η διασύνδεση του εξοπλισμού KNX/DALI με το λογισμικό διευκολύνει την άμεση λήψη διαγνωστικών στοιχείων από τις ξεχωριστές καμπίνες μέσω του συστήματος διεύθυνσης. Έτσι διασφαλίζεται ακριβής επιτήρηση, άμεση αναγνώριση ενδεχόμενων τεχνικών αποτυχιών και αποδοτική διαχείριση των ζωτικών περιοχών του πλοίου.

Πίνακας 6.4: Βασικές λειτουργίες του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου φωτισμού

Λειτουργία	Τεχνολογία	Περιγραφή λειτουργίας
Κεντρικός έλεγχος φωτισμού	KNX	Κεντρική διαχείριση φωτισμού ανά κατάστρωμα και ζώνη χώρου
Ρύθμιση έντασης φωτισμού (Dimming)	DALI	Ανεξάρτητη ρύθμιση έντασης φωτιστικών σωμάτων LED
Ανίχνευση παρουσίας	Motion Detector Sensors	Αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση φωτισμού βάσει παρουσίας χρηστών
Daylight harvesting	Lux Sensors	Αυτόματη προσαρμογή φωτισμού ανάλογα με τα επίπεδα φυσικού φωτισμού
Σενάρια φωτισμού	KNX/DALI	Δημιουργία δυναμικών σεναρίων λειτουργίας (relax, meeting, night mode)
Παρακολούθηση	SCADA/HMI	Εποπτεία και εντοπισμός βλαβών φωτισμού

συναγερμών		σε πραγματικό χρόνο
Διαχείριση σκιάσεων	KNX	Έλεγχος σκιαδίων και προσαρμογή φυσικού φωτισμού
Constant light control	KNX/DALI	Διατήρηση σταθερών επιπέδων φωτισμού με δυναμική ρύθμιση έντασης

Ο Πίνακας 6.4 αναδεικνύει συνοπτικά τις κύριες λειτουργίες του προτεινόμενου συστήματος φωτισμού και τις σχετικές τεχνολογίες που έχουν εφαρμοστεί. Η ταυτόχρονη εφαρμογή συστημάτων KNX και DALI διευκολύνει τη δημιουργία ενός προσαρμόσιμου και ενεργειακά αποδοτικού συστήματος ελέγχου, το οποίο μπορεί να προσαρμόζεται συνεχώς στις λειτουργικές ανάγκες των διαφόρων χώρων του πλοίου.

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση του σχεδιασμού έξυπνων και διαδραστικών συστημάτων αρχιτεκτονικού φωτισμού σε επιβατηγά πλοία και κρουαζιερόπλοια, με έμφαση στην αξιοποίηση της τεχνολογίας LED, των πρωτοκόλλων αυτοματισμού KNX και DALI και των αρχών του ανθρωποκεντρικού φωτισμού. Μέσα από τη συνδυαστική αξιοποίηση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, της μελέτης περίπτωσης, της φωτοτεχνικής προσομοίωσης και της ανάπτυξης ενός ενδεικτικού πρωτοτύπου συστήματος ελέγχου, διερευνήθηκαν οι δυνατότητες εφαρμογής σύγχρονων τεχνολογιών φωτισμού στο ιδιαίτερα απαιτητικό περιβάλλον της ναυτιλίας.

Η βιβλιογραφική διερεύνηση ανέδειξε ότι ο φωτισμός δεν αποτελεί πλέον μόνο μέσο εξασφάλισης ορατότητας, αλλά βασικό στοιχείο του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών. Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας LED και η ανάπτυξη ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων έχουν μεταβάλει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται οι σύγχρονες εγκαταστάσεις φωτισμού, προσφέροντας υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα προσαρμογής στις ανάγκες κάθε χώρου.

Η μελέτη των διεθνών κανονισμών και των σύγχρονων εφαρμογών φωτισμού στη ναυτιλία έδειξε ότι ο σχεδιασμός φωτισμού στα επιβατηγά πλοία απαιτεί συνδυασμό τεχνικών,

λειτουργικών και εργονομικών παραμέτρων. Η συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα, η κατάλληλη ζωνοποίηση των χώρων και η εφαρμογή πολυεπίπεδου φωτισμού αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη δημιουργία ασφαλών, λειτουργικών και ποιοτικών ναυτιλιακών περιβαλλόντων.

Ιδιαίτερα σημαντικό μέρος της εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη της μελέτης περίπτωσης, στην οποία σχεδιάστηκαν οι χώροι της καμπίνας του πλοιάρχου και του café lounge. Μέσω των φωτοτεχνικών προσομοιώσεων στο λογισμικό Relux αξιολογήθηκαν τα επίπεδα φωτισμού, η ομοιομορφία, η θάμβωση και η ενεργειακή απόδοση των προτεινόμενων λύσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο προτεινόμενος σχεδιασμός μπορεί να εξασφαλίσει κατάλληλες συνθήκες οπτικής άνεσης, υψηλή λειτουργικότητα και αποτελεσματική αξιοποίηση της τεχνολογίας LED, διατηρώντας παράλληλα χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση μέσω της εφαρμογής λειτουργιών dimming και έξυπνου ελέγχου.

Η ανάπτυξη του πρωτοτύπου συστήματος διαχείρισης φωτισμού επιβεβαίωσε ότι ο συνδυασμός των τεχνολογιών KNX και DALI μπορεί να υποστηρίξει την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος έξυπνου φωτισμού για επιβατηγά πλοία. Η ενσωμάτωση αισθητήρων παρουσίας και φωτεινότητας, η δημιουργία δυναμικών σεναρίων φωτισμού, η λειτουργία Constant Light Control και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού μέσω Daylight Harvesting επιτρέπουν την προσαρμογή του φωτισμού στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου, βελτιώνοντας τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την εμπειρία των χρηστών.

Συνολικά, η εργασία καταδεικνύει ότι η αξιοποίηση έξυπνων συστημάτων φωτισμού μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα αναβάθμισης της ποιότητας των εσωτερικών χώρων των επιβατηγών πλοίων. Ο συνδυασμός σύγχρονων τεχνολογιών φωτισμού, αυτοματισμών και ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού συμβάλλει στη δημιουργία ασφαλέστερων, περισσότερο εργονομικών και ενεργειακά αποδοτικών ναυτιλιακών περιβαλλόντων, τα οποία ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις της βιώσιμης ναυτιλίας.

Παράλληλα, η παρούσα εργασία αναδεικνύει σημαντικές δυνατότητες περαιτέρω εξέλιξης του προτεινόμενου συστήματος. Η ενσωμάτωση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης θα μπορούσε να επιτρέψει την αυτόματη αναγνώριση προτύπων χρήσης και τη δυναμική βελτιστοποίηση των σεναρίων φωτισμού. Αντίστοιχα, η αξιοποίηση προηγμένων αισθητήρων περιβάλλοντος και βιομετρικών δεδομένων θα μπορούσε να οδηγήσει σε ακόμη πιο

εξατομικευμένες συνθήκες φωτισμού, προσαρμοσμένες στις ανάγκες των επιβατών και του πληρώματος.

Επιπλέον, η πλήρης διασύνδεση του συστήματος φωτισμού με τα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης του πλοίου (Integrated Ship Management Systems) αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική προοπτική για τη μελλοντική ανάπτυξη των έξυπνων πλοίων. Η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των επιμέρους συστημάτων αυτοματισμού, διαχείρισης ενέργειας, κλιματισμού και φωτισμού μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αποτελεσματικότερη λειτουργία και συνολική αναβάθμιση της εμπειρίας των χρηστών.

Καταληκτικά, οι τεχνολογίες έξυπνου φωτισμού αναμένεται να διαδραματίσουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η μετάβαση προς περισσότερο ψηφιοποιημένα, ενεργειακά αποδοτικά και ανθρωποκεντρικά πλοία δημιουργεί νέες προοπτικές για την αξιοποίηση προηγμένων συστημάτων φωτισμού, τα οποία δεν θα εξυπηρετούν μόνο λειτουργικές ανάγκες, αλλά θα αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της συνολικής εμπειρίας επιβατών και πληρώματος, συμβάλλοντας παράλληλα στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας και ενεργειακής μετάβασης της σύγχρονης ναυτιλίας.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Ζαχαράκης, Γ. (2018). *Σχεδιασμός φωτισμού – Πολυμέσα* [Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. Αποθετήριο ΕΑΠ.

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

Καραγιάννης, Ν. (2022). *Αρχιτεκτονικός φωτισμός σε χώρους φιλοξενίας και αναψυχής* [Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. Αποθετήριο ΕΑΠ.

Μαργαρίτη, Κ. (2023). *Σχεδιασμός φωτισμού μεγάλων σκαφών αναψυχής σε συνδυασμό με σύστημα ελέγχου φωτισμού KNX* [Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. Αποθετήριο ΕΑΠ.

Παπαδόπουλος, Θ. (2017). *Μελέτη φωτισμού κεντρικής αίθουσας με σύγχρονες τεχνολογίες LED* [Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης]. ΙΚΕΕ.

Σπάνδου, Γ. (2019). *Φωτισμός χώρων υποδοχής ξενοδοχείων και η σημασία του στην εμπειρία του πελάτη* [Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. Αποθετήριο ΕΑΠ.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2021). *Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-7/2021: Τεχνητός και φυσικός φωτισμός κτιρίων*. ΤΕΕ.

Ξένη

Baldi, F., Ahlgren, F., Nguyen, T. V., Gabrielli, C., & Andersson, K. (2018). *Energy and exergy analysis of a cruise ship*. *Energy*, 141, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.019>

Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16763>

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated

design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016–1033.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.062>

Chew, I., Karunatilaka, D., Tan, C. P., & Kalavally, V. (2017). Smart lighting: The way forward? Reviewing the past to shape the future. *Energy and Buildings*, 149, 180–191.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.083>

de Bakker, C., Aries, M. B. C., Kort, H. S. M., & Rosemann, A. L. P. (2017). Occupancy-based lighting control in open-plan offices: A state-of-the-art review. *Building and Environment*, 112, 308–321. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.042>

Frascarolo, M., et al. (2014). An innovative lighting system for residential application that improves visual comfort and energy saving. *Energy and Buildings*, 74, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.037>

Hansen, R., & Womack, J. (2016). *Marine electrical systems* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.

Houser, K. W., & Esposito, T. (2021). Human-centric lighting: Foundational considerations and a five-step design process. *Frontiers in Neurology*, 12, Article 630553.
<https://doi.org/10.3389/fneur.2021.630553>

Houser, K. W., Boyce, P. R., Zeitzer, J. M., & Herf, M. (2021). Human-centric lighting: Myth, magic, or metaphor? *Lighting Research & Technology*, 53(1), 97–118.
<https://doi.org/10.1177/1477153520948610>

International Electrotechnical Commission. (2014). *IEC 62386: Digital addressable lighting interface (DALI)*. IEC.

International Maritime Organization. (2016). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. <https://www.imo.org>

KNX Association. (2022). *KNX System Specifications and Technical Documentation*. <https://www.knx.org>

Pandharipande, A., & Caicedo, D. (2015). Smart indoor lighting systems with luminaire-based sensing: A review. *Energy and Buildings*, 104, 369–377.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.039>

Rasmussen, B., & Jensen, K. (2017). Lighting design in passenger ships: Balancing safety, comfort and experience. *Journal of Marine Design*, 12(2), 45–59.

Rea, M. S. (2018). *The IES handbook: Lighting application and reference* (10th ed.). Illuminating Engineering Society.

Shen, S. C., Huang, H. J., Chao, C. C., & Huang, M. C. (2013). Design and analysis of a high-intensity LED lighting module for underwater illumination. *Applied Ocean Research*, 39, 89–96.
<https://doi.org/10.1016/j.apor.2012.10.006>

Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2014). Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 77–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.010>

Zissis, G., & Bertoldi, P. (2023). A review of advances in lighting systems' technology: The way toward Lighting 4.0 era. *IEEE Open Journal of Industry Applications*, 4, 111–120.
<https://doi.org/10.1109/OJIA.2023.3263182>

Zissis, G., & Buso, D. (2013). Solid-state lighting: A review of the state of the art and future trends. *Comptes Rendus Physique*, 14(3–4), 302–314.
<https://doi.org/10.1016/j.crhy.2013.02.003>

Παράρτημα: Προδιαγραφές φωτιστικών

Type	No./Make	
1	2 x	LEDVANCE Order No. : 4099854735929 Luminaire name : PL COMP 1200 DA V 30W 83040 U19 Equipment : 1 x LED 3000K / CRI > 80 30 W / 4200 lm
2	1 x	XAL Order No. : 059-28110780 059-2892118 Luminaire name : TASK table table-clamp 930 O Equipment : 1 x SMD 930 6LBRP 11 W / 950 lm
4	2 x	A.L.S. Order No. : K3-1WW1WB Luminaire name : K3 Writer Equipment : 1 x LED 8 W / 168 lm
Type	No./Make	
5	2 x	LEDVANCE Order No. : 4099854490842/ Luminaire name : DOWNLIGHT COMFORT OPAL D100 P 13W ML 93040 OP WT Equipment : 1 x 13 W / 1430 lm
Type	No./Make	
7	1 x	LEDVANCE Order No. : 40998540147037 Luminaire name : PANEL COMFORT 600 UGR<19 DALI 28W 830 U19 DALVR Equipment : 1 x 28 W / 3640 lm
6	1 x	Glamox Order No. : A70-WG 300 830 Luminaire name : A70-WG Equipment : 1 x LED 830 7 W / 311 lm
8	4 x	Integral LED Order No. : ILSTRGBA342E/CCT RGB - CRI 80 Luminaire name : COB HIGH UNIFORMITY PRO STRIP IP20 5M PACK RGB DIGITAL 24V 22W/ M 720LED/M 12MM WIDTH BUILT-IN STEEL LINING Equipment : 1 x LED 22 W / 615 lm

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

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