



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Αξιολόγηση συστημάτων αυτόματης ρύθμισης φωτισμού
εσωτερικών χώρων και διαμόρφωση τεχνικών προτάσεων
για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους με στόχο την
οπτική άνεση και την εξοικονόμηση ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Ζάχος

Επιβλέπων καθηγητής : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων : Λάμπρος Δούλος
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2008

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία άπτεται του ζητήματος των συστημάτων αυτόματης ρύθμισης φωτισμού εσωτερικών χώρων. Η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό σε κτήρια γραφείων είναι πολύ μεγάλη, κάτι που σε συνδυασμό με τα κελεύσματα περί οπτικής άνεσης, έχει καταστήσει αυξημένες τις απαιτήσεις μας από τα εν λόγω συστήματα. Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού και οι σχετικές τεχνολογίες αυτόματου ελέγχου, μολονότι ελπιδοφόρες, αντιμετωπίζουν μια σειρά προβλημάτων, είτε εγγενών είτε σχετιζόμενων με την ενημέρωση των χρηστών και τη χρήση των συστημάτων. Αυτό που εν προκειμένω επιδιώκεται είναι η ομαδοποίηση και η στατιστική επεξεργασία δεδομένων που προέκυψαν από τη διάθεση ερωτηματολογίων σε εργαζόμενους σε τρία κτήρια γραφείων. Τα κτήρια αυτά επιλέχθηκαν λόγω των εγκατεστημένων σε αυτά συστημάτων εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού. Τα δεδομένα ερωτηματολόγια διαμορφώθηκαν προκειμένου να καταγράψουν τις προτιμήσεις των ενοίκων καθώς και το πως αντιλαμβάνονταν το οπτικό τους περιβάλλον με γνώμονα την ποιότητα του φυσικού/ τεχνητού φωτισμού και τα συστήματα αυτόματου ελέγχου φωτισμού. Ο σκοπός αυτού είναι το να εντοπιστούν ακριβώς τα όποια προβλήματα, βήμα απαραίτητο για διαμόρφωση προσδοκιών για την επίλυσή τους. Επιχειρείται ακόμη η σύνταξη κάποιων τεχνικών προτάσεων για τη βελτίωση της λειτουργίας των αυτόματων αυτών συστημάτων, με στόχο την μεγιστοποίηση της οπτικής άνεσης ταυτόχρονα με την εξοικονόμηση ενέργειας. Δεν παραλείπεται τέλος, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο, να γίνει αναφορά σε σημεία που ενδεχομένως να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικών ερευνών με παρόμοιες επιδιώξεις.

Λέξεις Κλειδιά

Φυσικός Φωτισμός, Συστήματα Ελέγχου Φωτισμού, Αισθητήρες Φωτισμού, Προτιμήσεις Ενοίκων.

Abstract

This diploma thesis treats the question of automatic lighting control systems for interior spaces. The high energy consumption for lighting in office buildings and the need for visual comfort have led to increased demands from these systems. Although the harvesting of daylight and the related technologies are promising, they deal with a series of problems, either inherent or connected with the users' knowledge on the subject and the use of the systems in mention. This thesis aims at the grouping and statistical processing of data that were gathered from the appropriation of questionnaires in employees of three office buildings. These buildings were chosen because of their installed, daylight responsive system. The questionnaires in mention were formulated in order to reflect the occupants' preferences and the way they perceive their visual environment and focused on the quality of daylighting / artificial lighting and the automatic lighting control systems. The purpose of this is to detect the potential problems, a step necessary to take before being ambitious about solving them. Another objective is the drawing up of a set of technical suggestions, aiming at both the optimizing of visual comfort and the energy savings. Last but not least, wherever it is considered prudent, there is a reference to some points that may be parts of future researches with similar objectives.

Key words

Daylight, Lighting Control Systems, Photosensors, Occupant Preferences.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας αναπληρωτή καθηγητή Ε.Μ.Π. Φραγκίσκο Β. Τοπαλή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεσή της δεδομένης διπλωματικής εργασίας και την υπομονή του μέχρι τη διεκπεραίωσή της. Επίσης, εγκάρδιες ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στον επιβλέποντα, Υποψήφιο διδάκτορα Λάμπρο Δούλο για την πολύτιμη καθοδήγηση του για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας και την απέραντή διάθεσή του να απαντήσει στις όποιες ερωτήσεις και να με εμπυχώσει.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη, Λέξεις κλειδιά.....	2
Abstract, Key words.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Πίνακας περιεχομένων.....	5
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1 : Στρατηγικές, τεχνικές και τεχνολογία ελέγχου φωτισμού.....	11
1.1 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού (Lighting control strategies).....	<u>11</u>
1.2 Τεχνικές ελέγχου φωτισμού (Lighting Control Techniques).....	<u>14</u>
1.3 Τεχνολογία ελέγχου φωτισμού (Lighting Control Technology).....	<u>18</u>
Κεφάλαιο 2 : Φυσικός φωτισμός.....	23
2.1 Εισαγωγικά.....	<u>23</u>
2.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ορατό φως.....	<u>24</u>
2.3 Όραση και οπτική άνεση.....	<u>25</u>
2.3 Όραση και οπτική άνεση.....	<u>25</u>
2.4 Παράγοντες που δυσχεραίνουν την οπτική άνεση.....	<u>27</u>
2.5 Φως ημέρας ή φυσικό φως (Daylight).....	<u>28</u>
2.5.1 Η μεταβλητότητα του φωτός της ημέρας.....	<u>28</u>
2.5.2 Daylight Factor (Παράγοντας φυσικού φωτισμού).....	<u>29</u>
2.5.3 Συνιστώσες του Daylight Factor.....	<u>29</u>
2.5.4 Average Daylight Factor.....	<u>31</u>
2.6 Εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού (Daylighting).....	<u>34</u>
Κεφάλαιο 3 : Αισθητήρες φωτισμού.....	37
3.1 Εισαγωγή.....	<u>37</u>
3.2 Τύποι αισθητήρων φωτισμού με βάση το σήμα ελέγχου.....	<u>39</u>
3.3 Εξοικονόμηση ενέργειας.....	<u>41</u>
3.4 Τα δύο είδη ελέγχου : Ανοιχτού και κλειστού κύκλου.....	<u>42</u>
3.5 Χωρική απόκριση αισθητήρων.....	<u>44</u>
3.6 Φασματική απόκριση αισθητήρων.....	<u>46</u>
3.7 Αλγόριθμοι ελέγχου.....	<u>49</u>
Κεφάλαιο 4 : Βιβλιογραφική αναφορά σε υφιστάμενες έρευνες με συστήματα φυσικού φωτισμού.....	57
4.1 Προτιμώμενες συνθήκες φωτισμού σε περιβάλλον φυσικά φωτιζόμενο.....	<u>57</u>
4.1.1 Πεποιθήσεις σχετικά με το φωτισμό.....	<u>57</u>
4.1.2 Εκτιμήσεις της διαθεσιμότητας φυσικού φωτισμού.....	<u>59</u>
4.1.3 Προτιμώμενα επίπεδα φωτισμού σε φυσικά φωτιζόμενα γραφεία.....	<u>60</u>
4.1.4 Οπτική άνεση και θάμβωση.....	<u>61</u>
4.1.5 Οπτική ενόχληση εξαιτίας της διακύμανσης του φωτισμού.....	<u>70</u>
4.2 Έρευνα σε συστήματα ελέγχου φωτισμού.....	<u>72</u>
Κεφάλαιο 5 : Χρήση ερωτηματολογίου για αποτίμηση του κτηρίου από τους χρήστες του (Post Occupancy Evaluation, POE).....	80
5.1 Τεκμηρίωση της έρευνας με ερωτηματολόγια από τους χρήστες (POE) ως μέσου εκτίμησης της απόδοσης ενός κτηρίου.....	<u>80</u>
5.2 Αντικειμενικά ζητούμενα από το ερωτηματολόγιο μιας POE.....	<u>82</u>
5.3 Απαιτήσεις και περιορισμοί.....	<u>82</u>

5.4 Βήματα για την υλοποίηση μιας έρευνας με χρήση ερωτηματολογίου.....	84
5.5 Το ερωτηματολόγιο της έρευνας εν προκειμένω.....	85
5.6 Εξεταζόμενα κτήρια	94
5.6.1 Κτήριο Α : ROLCO BIANIA AE	95
5.6.2 Κτήριο Β : COSTATERA.....	99
5.6.3 Κτήριο Γ : πρώην TIM.....	103
Κεφάλαιο 6 : Επεξεργασία αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και προτάσεις	
.....	107
6.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων γενικών ερωτήσεων και ερωτήσεων που αφορούν την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού (daylighting) (τμήμα Β).	109
6.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων ερωτήσεων που αφορούν τα επίπεδα φωτισμού (τμήμα Γ).....	118
6.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων ερωτήσεων που αφορούν την ποιότητα φωτισμού (τμήμα Δ)	123
6.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων ερωτήσεων που αφορούν τον έλεγχο φωτισμού (τμήμα Ε)	129
6.5 Συμπεράσματα και προτάσεις.....	136
Βιβλιογραφία	140

Εισαγωγή

Είναι πλέον γεγονός ότι σχεδόν το 40% της κατανάλωσης ενέργειας μιας μέσης επιχείρησης αναλώνεται στο φωτισμό των εγκαταστάσεών της. Μαζί με τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, τα συστήματα φωτισμού ευθύνονται για τη μεγαλύτερης έκτασης ενεργειακή κατανάλωση. Είναι σαφές ότι πολλά οφέλη θα απορρεύσουν από την ενδεχόμενη εφαρμογή συστημάτων αυτομάτου ελέγχου φωτισμού σε μη οικιστικές εγκαταστάσεις. Θα μπορούσαμε να τα συνοψίσουμε στα ακόλουθα:

- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Οπτική άνεση
- Παραγωγικότητα
- Ασφάλεια

Τα δύο όμως βασικά ζητούμενα από τα συστήματα ελέγχου φωτισμού είναι εν δυνάμει συγκρουόμενα μιας και η εξοικονόμηση ενέργειας όχι απλά δεν είναι ταυτόχρονα επιτεύξιμη αλλά ενίοτε αποτρέπει την ικανοποίηση και άνεση των ενοίκων. Στο παρελθόν, οι ανάγκες των ενοίκων για έλεγχο του φωτισμού καλύπτονταν επαρκώς αν είχαν τη δυνατότητα να ενεργοποιούν και να απενεργοποιούν το φωτισμό κατά την άφιξη και την αναχώρηση από το χώρο εργασίας τους. Στο σύγχρονο εργασιακό περιβάλλον, το παραπάνω δεν κρίνεται ως ανεκτό αφού οι μεταβαλλόμενες οπτικές ανάγκες είναι πλέον το σύνθημα και όχι η εξαίρεση, κάτι που συνιστά την παροχή ποικιλίας ελέγχων απαραίτητη για την κάλυψη της πληθώρας των αναγκών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί αυτό της εκτεταμένης χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών στους εργασιακούς χώρους. Εξαιτίας αυτής, οι ανάγκες και προτιμήσεις φωτισμού μπορούν να μεταβάλλονται σημαντικά προϊόντος του χρόνου. Αν οι ένοικοι μπορούν να διαμορφώνουν τις συνθήκες φωτισμού ανάλογα με τη φύση της εκάστοτε εργασίας που καλούνται να φέρουν εις πέρας ή ακόμη κι τη διάθεσή τους, τα συστήματα ελέγχου φωτισμού μπορούν να συμβάλλουν στην αύξηση τόσο της άνεσης όσο και της ικανοποίησής τους. Πέραν αυτού, οι σημερινοί υπάλληλοι γραφείων

μετακινούνται περισσότερο επειδή αφενός δε μένουν σε μια δραστηριότητα τόσο όσο παλιότερα και αφετέρου οι χώροι εργασίας αναδιευθετούνται συχνότερα. Στα παραπάνω θα πρέπει να συνυπολογιστεί ότι πλέον ένας σταθμός εργασίας μπορεί να εξυπηρετεί ένα αυξημένο πλήθος υπαλλήλων κατά τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας. Εμφανώς γεννάται λοιπόν η ανάγκη για μεταβολή των ρυθμίσεων από άτομο σε άτομο και ανά τους διάφορους τύπους εργασίας.

Ενώ οι διαχειριστές των κτηρίων είθισται να ασχολούνται επισταμένα με την άνεση των ενοίκων από θερμοκρασιακής άποψης, είναι κατά το μάλλον ή ήττον καινοφανής η ανάγκη για προσοχή όσον αφορά στο ζήτημα του φωτισμού. Δεδομένης της προσαρμοστικότητας του ανθρώπινου συστήματος όρασης, είναι μάλλον περιορισμένα τα παράπονα από μέρους των ενοίκων σε σχέση με το οπτικό τους περιβάλλον αλλά ο καλός φωτισμός συμβάλλει, το δίχως άλλο, στην αύξηση της ποιότητας του γενικότερου εργασιακού χώρου.

Οι περισσότεροι άνθρωποι δεν σκέφτονται σχετικά με το φωτισμό ή τον έλεγχο του εκτός αν αυτός είναι σε τόσο κακή κατάσταση ώστε να καθίσταται δυσχερής η διεκπεραίωση τη εργασίας τους. Προκειμένου να γίνονται αποδεκτά από τους ενοίκους, τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου δεν πρέπει να διαταράσσουν τις συνήθειες, φυσιολογικές δραστηριότητες. Ο κάθε χρήστης θα πρέπει επίσης να έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει το φωτισμό χωρίς να επηρεάζει τους άλλους χρήστες με οποιονδήποτε τρόπο.

Το αντικείμενο της δεδομένης διπλωματικής εργασίας είναι αυτό της επεξεργασίας υφιστάμενων στατιστικών πορισμάτων για την διαμόρφωση τεχνικών προτάσεων για τη μεγιστοποίηση της οπτικής άνεσης αλλά και την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτήρια γραφείων, χρήσει τεχνολογιών αυτόματου ελέγχου φωτισμού και αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού. Πριν από αυτό όμως θα πρέπει να γίνει μνεία σε διάφορες παραμέτρους του πολύπλοκου αυτού ζητήματος έτσι ώστε ο αναγνώστης να λάβει υπόψη τις περισσότερες εκφάνσεις του και να μην οδεύσει σε μια μονομερή αντίληψη και ανάλυσή του.

Ξεκινάμε λοιπόν στο **Κεφάλαιο 1** αναφερόμενοι αρχικά στις διάφορες στρατηγικές ελέγχου φωτισμού που υιοθετούνται στην πράξη. Οι μεταξύ τους διαφορές έγκεινται όχι μόνο στο προσδοκώμενο από κάθε στρατηγική αποτέλεσμα αλλά και στη φιλοσοφία υλοποίησής του, πράγμα που διαφαίνεται και στο σχετικό κείμενο. Ευθύς αμέσως, γίνεται αναφορά στα των

τεχνικών πραγμάτωσης του ελέγχου του φωτισμού, στο πλαίσιο φυσικά της εκάστοτε στρατηγικής. Δεν παραλείπουμε ακόμη να παραθέσουμε πληροφορίες για την τρέχουσα τεχνολογία που αξιοποιείται προκειμένου να επιτευχθούν τα όσα οι στρατηγικές και οι τεχνικές προστάζουν.

Στο **Κεφάλαιο 2** ασχολούμαστε με το φυσικό φωτισμό. Επιδιώκεται αρχικά μια σύντομη εμβάθυνση στη φυσική του υπόσταση αλλά και μια προσέγγιση του σε τι συνίσταται τελικά η όραση και η οπτική άνεση και δε λείπει η αναφορά σε παράγοντες που δυσχεραίνουν την τελευταία. Εξετάζεται επίσης το φυσικό φως, δίνεται έμφαση στη μεταβλητότητά του και παρατίθενται οι ορισμοί χρήσιμων μεγεθών, όπως είναι ο “Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού”. Πριν ολοκληρωθεί το κεφάλαιο αυτό, απασχολεί το ζήτημα της εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού ως στρατηγικής ελέγχου του φωτισμού.

Στο **Κεφάλαιο 3** απασχολούν αποκλειστικά οι αισθητήρες φωτισμού από το ευρύ σύνολο της τεχνολογίας που αναπτύχθηκε πρωτίτερα. Έπειτα από μια εισαγωγή που έχει ως σκοπό της να εξοικειώσει τον αναγνώστη με τη δομή αυτών των συσκευών, γίνεται μια προσέγγιση που αφορά στον έλεγχο που ασκείται από αυτές στον ηλεκτρικό φωτισμό. Συγκεκριμένα εξηγούνται οι διάφορες τεχνικές για το δεδομένο έλεγχο ενώ τονίζονται τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της κάθε μίας. Επίσης, δυο ιδιαίτερα βασικές έννοιες που απασχολούν στο κεφάλαιο αυτό, είναι αυτές της χωρικής και της φασματικής απόκρισης. Με το πέρας της ολοκλήρωσης αυτής της ανάλυσης, απασχολούν οι διάφοροι αλγόριθμοι που διατίθενται για την υλοποίηση του ελέγχου φωτισμού ενώ επιδιώκεται πάντα η εξασφάλιση συνέπειας ως προς την επισήμανση των μεταξύ τους διαφορών.

Το **Κεφάλαιο 4** αξιολογείται ως πολύ σημαντικό αλλά και ιδιαίτερα ενδιαφέρον τμήμα αυτής της εργασίας. Αυτό που εδώ επιδιώκεται είναι η παρουσίαση πληθώρας ερευνών που έχουν γίνει επί του ζητήματος της αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού για το φωτισμό γραφείων, τη βελτιστοποίηση της οπτικής άνεσης αλλά και την εξοικονόμηση ενέργειας. Γίνεται προς τούτο εκτεταμένη αναφορά σε υποκειμενικής φύσης ζητήματα που συνδέονται με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Αυτό περιλαμβάνει έρευνες για τις προτιμώμενες φωτεινές και εν γένει φυσικές συνθήκες αλλά και

σχετικά με την ικανοποίηση των ενοίκων και το βαθμό κατά τον οποίο αυτοί αποδέχονται τα συστήματα ελέγχου του φωτισμού.

Εν συνεχεία, στο **Κεφάλαιο 5** δίνεται για πρώτη φορά διακριτά και με σαφήνεια το στίγμα της έρευνας της οποίας τα αποτελέσματα κλήθηκε να αναλύσει αυτή η διπλωματική εργασία. Για αυτόν τον σκοπό, γίνεται χρήση ερωτηματολογίου για την αποτίμηση του κτηρίου από τους χρήστες του (Post Occupancy Evaluation, POE). Παρατίθεται εδώ και το ερωτηματολόγιο που δημιουργήθηκε και διανεμήθηκε για τις ανάγκες της δεδομένης έρευνας και αναφέρονται στοιχεία που κρίνονται σημαντικά για τα κτήρια γραφείων στα οποία διεξήχθη η μελέτη μας. Αυτά αφορούν σε αρχιτεκτονικές και σχεδιαστικές πτυχές τους, στην ακριβή τους τοποθεσία αλλά και στο εγκατεστημένο σύστημα φωτισμού και ελέγχου αυτού.

Το **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζει την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν από τη διάθεση των ερωτηματολογίων προκειμένου τελικά να καταλήξει κανείς σε λογικά συμπεράσματα και με απώτερο σκοπό την προαναφερθείσα διαμόρφωση προτάσεων για άρση των όποιων προβλημάτων που ανακύπτουν. Για αυτούς τους σκοπούς χρησιμοποιούνται γραφικές παραστάσεις είτε συγκριτικές είτε για κάθε κτήριο μεμονωμένα - λιγότερο συχνά- με σκοπό να αναδείξουν κατά το εφικτό τις πραγματικές διαθέσεις των ενοίκων των υπό μελέτη κτηρίων. Τελικά, παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία διαμορφώθηκαν και επιχειρείται η παράθεση προτάσεων προς εξασφάλιση του ζητούμενου, της βελτιστοποίησης δηλαδή της οπτικής άνεσης και της εξοικονόμησης ενέργειας.

Κεφάλαιο 1

Στρατηγικές, τεχνικές και τεχνολογία ελέγχου φωτισμού

Αναφέρεται πρώτιστα ότι αν και υπάρχει σαφής διάκριση ανάμεσα στην στρατηγική ελέγχου του φωτισμού και την τεχνολογία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται ο έλεγχος αυτός, τα δυο τους είναι άρρηκτα συνδεδεμένα. Γενικά, μια στρατηγική ελέγχου φωτισμού αφορά στη μέθοδο μέσω της οποίας ελέγχονται τα συστήματα ηλεκτρικού φωτισμού. Η τεχνολογία που σχετίζεται με την υλοποίηση του αυτομάτου ελέγχου φωτισμού από την άλλη, σχετίζεται με την συσκευή η οποία κάθε φορά χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει τους σκοπούς που προστάζει η όποια στρατηγική. Παραδείγματος χάριν, μια στρατηγική ελέγχου, γνωστή ως προγραμματισμός (schedule control), στοχεύει στην προσέγγιση των διαστημάτων κατά τα οποία γίνεται χρήση φωτισμού ώστε να ελέγξει τον τελευταίο. Τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται στην πράξη μπορούν να ποικίλουν από κεντρικά συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούμενα από ένα ολόκληρο κτήριο ως μεμονωμένους χρονοδιακόπτες για κάθε δωμάτιο.

1.1 Στρατηγικές ελέγχου φωτισμού (Lighting Control Strategies)

Οι βασικές στρατηγικές ελέγχου φωτισμού χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, την στρατηγική για διαχείριση ενέργειας και για αισθητικούς λόγους. Ακολουθώς παρατίθενται συνοπτικά πληροφορίες για την κάθε μία :

A) Στρατηγικές διαχείρισης της ενέργειας

- **Στρατηγική ελέγχου με αισθητήρες παρουσίας-κίνησης (Occupancy sensing)**

Αυτή η στρατηγική περιλαμβάνει την έναυση και τη σβέση των φωτιστικών σωμάτων ως άμεσο αποτέλεσμα της παρουσίας ή μη ατόμων σε ένα χώρο. Δεν εξαρτάται κατά οποιονδήποτε τρόπο από

χρονικά διαστήματα ή προγραμματισμένες περιόδους αλλά ανταποκρίνεται αποκλειστικά στην παρουσία ατόμου-χρήστη του ελεγχόμενου χώρου. Η συγκεκριμένη στρατηγική κρίνεται ως ιδιαίτερα κατάλληλη στην περίπτωση εκείνη κατά την οποία παρουσία ατόμων στον ελεγχόμενο χώρο δεν ακολουθεί κάποιο προβλέψιμο μοτίβο.

- **Προγραμματισμός (Scheduling)**

Ο έλεγχος αυτού του είδους περιλαμβάνει τη διαχείριση του φωτισμού ανάλογα με προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Τα δεδομένα διαστήματα μπορούν να είναι σχετικά σύντομα (π.χ. 5 ή 10 λεπτά) ή μεγαλύτερης διάρκειας (π.χ. 10 ή 12 ώρες). Σε κάποιες περιπτώσεις, μια υποπαράμετρος είναι και αυτή των αστρονομικών συμβάντων (όπως η ανατολή και η δύση του ηλίου). Αυτή η στρατηγική ενδείκνυται για περιπτώσεις προβλέψιμου μοτίβου παρουσίας στον ελεγχόμενο χώρο.

- **Έλεγχος ρύθμισης φωτεινής στάθμης (Light level control)**

Η συγκεκριμένη στρατηγική συνίσταται στη ρύθμιση του επιπέδου παροχής φωτισμού, χρήσει διαφόρων τρόπων, ώστε να εκπληρωθούν συγκεκριμένοι αντικειμενικοί στόχοι. Η δεδομένη στρατηγική περιλαμβάνει τους ακόλουθους τύπους :

- i. **Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού (Daylighting)**

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς χώρους με αφθονία φυσικού φωτός. Αξιοποιεί το φυσικό φως ώστε να συμπληρώσει ή και να αντικαταστήσει τον τεχνητό φωτισμό

- ii. **Ρύθμιση των επιπέδων φωτισμού ανά περιοχή και κατηγορία εργασιών στην περιοχή αυτή (Task Tuning)**

Η δεδομένη προσέγγιση κάνει χρήση της ρύθμισης των επιπέδων φωτισμού ώστε να επιτευχθούν τα αναγκαία επίπεδα για τις όποιες δραστηριότητες των ενοίκων. Για παράδειγμα, ένα άτομο απασχολημένο με σχεδίαση ή διάβασμα θα χρειαστεί υψηλότερο επίπεδο φωτισμού σε σχέση με κάποιο άλλο που ασχολείται με την τοποθέτηση εμπορεύματος σε ράφια. Συχνά αναφέρεται αυτή η στρατηγική και ως task tuning ή task lighting.

iii. Διατήρηση των επιπέδων φωτισμού (Lumen maintenance)

Εν προκειμένω, δίνεται έμφαση στη διατήρηση ενός σταθερού επιπέδου φωτισμού από αρχής έως τέλους της διάρκειας ζωής των λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται στα φωτιστικά συστήματα. Ευνόητο είναι ότι βαθμιαία αυξάνεται το επίπεδο φωτισμού καθώς επέρχεται η γήρανση του λαμπτήρα. Αυτή η στρατηγική είναι πλέον ήσσονος σπουδαιότητας αφού η γήρανση των μοντέρνων λαμπτήρων είναι πολύ μικρή για να είναι βιώσιμη μια τέτοια προσέγγιση.

- **Ρύθμιση φωτισμού αναλόγως του φορτίου (Load shedding)**

Αυτός ο μηχανισμός στοχεύει απευθείας στη μείωση του φορτίου φωτισμού μιας εγκατάστασης ώστε να εξασφαλισθεί μια συνολική μείωση στη ζήτηση ηλεκτρισμού (συνήθως σε ώρες αιχμής, όπως το μεσημέρι).

- **Β) Στρατηγικές έλεγχου για αισθητικούς λόγους (Aesthetic control strategies)**

Πολλοί χώροι σε περιπτώσεις εμπορικών, ιδρυματικών και οικιστικών εφαρμογών, χρησιμοποιούνται για περισσότερους από έναν σκοπούς.

Διαφορετικοί τύποι εργασίας απαιτούν εξάλλου μια ποικιλία από συνθήκες φωτισμού. Ο έλεγχος φωτισμού για αισθητικούς λόγους παρέχει τα μέσα για τη ρύθμιση του φωτισμού διαμορφώνοντας συγκεκριμένα σενάρια φωτισμού ώστε ο εκάστοτε χώρος να καθίσταται ο πλέον αρμόζων και έτσι να μεγιστοποιείται η ανθρώπινη οπτική απόδοση. Δε θα έπρεπε επίσης να παραγνωρίζει κανείς τη στενή διασύνδεση ανάμεσα στο φωτισμό και τη διάθεση, κάτι που συνιστά έναν επιπλέον λόγο ύπαρξης του ελέγχου για αισθητικούς λόγους.

1.2 Τεχνικές ελέγχου φωτισμού (Lighting Control Techniques)

Οι παρακάτω τρεις κατηγορίες τεχνικών πραγμάτωσης του ελέγχου του φωτισμού, στην πραγματικότητα συνίστανται στις επιλογές που μπορούν να γίνουν : έλεγχος με διακοπτική λειτουργία ή με ρύθμιση φωτεινής ροής (switching ή dimming control), τοπικός ή κεντρικός έλεγχος (local ή central control) και βαθμός αυτοματοποίησης του ελέγχου (degree of control automation). Μετά την επιλογή της στρατηγικής που θα υιοθετηθεί, είναι απαραίτητη η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού ελέγχου φωτισμού για την υλοποίησή της.

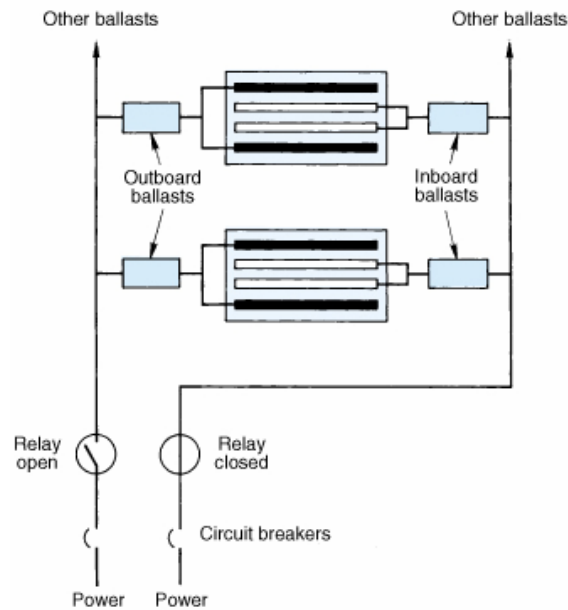
- **έλεγχος με διακόπτη ή με ρύθμιση φωτεινής ροής (switching ή dimming control)**

Με τον έλεγχο διακοπτικής λειτουργίας (switching control) συνδέονται και αποσυνδέονται τα φορτία φωτισμού. Η (απο)ζευκτική αυτή λειτουργία μπορεί να επιτελείται χειροκίνητα με απλούς διακόπτες τοποθετημένους στον τοίχο, απομακρυσμένα μέσω ηλεκτρονόμων (relays) ή με switchable circuit breakers, από ένα σύστημα ελέγχου ή μέσω αισθητήρων παρουσίας. Η μεταγωγή δύο επιπέδων (two-level switching) σε ιδιωτικά γραφεία είναι ένας σχετικά οικονομικός τρόπος παροχής στον ένοικο της δυνατότητας διαμόρφωσης του περιβάλλοντος ανάλογα με τον παρεχόμενο φυσικό φωτισμό ή τον συγκεκριμένο τύπο εργασίας που επιτελεί. Ένας άλλος τρόπος να

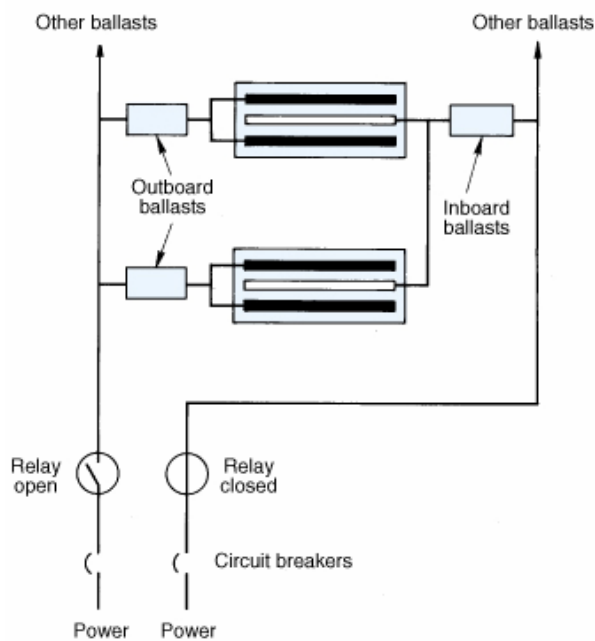
επιτευχθούν διαφορετικά επίπεδα φωτισμού (switched light levels) είναι μέσω ενός light level switchable ballast (σταθεροποιητής έντασης). Σημειώνεται ότι τα κεντρικά συστήματα μεταγωγής (central switching systems) ενδέχεται να είναι φθηνότερα ανά μονάδα χώρου από ότι τα αντίστοιχα συστήματα ρύθμισης φωτεινής ροής (dimming systems) και είναι πιο κατάλληλα για στρατηγικές όπως αυτή του scheduling, όπου η δραστηριότητα της μεταγωγής μπορεί να περιοριστεί σε διαστήματα μη παρουσίας. Οι τεχνικές switching πρέπει να χρησιμοποιούνται προσεκτικά για άλλους σκοπούς, ειδικά για περιπτώσεις όπου μπορεί να απαντάται δραστηριότητα μεταγωγής ενώ ο χώρος είναι κατειλημμένος επειδή ξαφνικές μεταβολές στον ηλεκτρικό φωτισμό μπορούν να ενοχλήσουν τους ένοικους του κτηρίου και έτσι να επηρεαστεί η αποδοτικότητά τους αρνητικά.

Σε συστήματα έναυσης και λειτουργίας λαμπτήρων φθορισμού (multiballasted lighting systems), η μεταγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποδοτικά όταν τα φωτιστικά έχουν διακριτή καλωδίωση (split-wiring).

Μέσω διακριτής καλωδίωσης φωτιστικών τριών και τεσσάρων λαμπτήρων (Σχήματα 1.1 και 1.2) μπορούν να παρασχεθούν πολλαπλές εντάσεις σε μια μόνο ζώνη. Με τη βοήθεια ενός συστήματος ελέγχου, ο φωτισμός στην πληρότητά του μπορεί να παρέχεται μόνο για συγκεκριμένα διαστήματα της ημέρας ενώ υπάρχει η δυνατότητα να διατίθεται ένα μειωμένο επίπεδο φωτισμού για τις λιγότερο απαιτητικές περιπτώσεις εργασιών. Φυσικά, σε ανακαινίσεις η διακριτή καλωδίωση ενδέχεται να αυξάνει το κόστος κατά τρόπο μη αμελητέο.



Σχήμα 1.1 Διακριτή καλωδίωση που επιτρέπει τρία επίπεδα έντασης φωτισμού (0, 50 και 100%) με φωτιστικά τεσσάρων λαμπτήρων (IESNA, [1])



Σχήμα 1.2 Διακριτή καλωδίωση που επιτρέπει τέσσερα επίπεδα έντασης φωτισμού (0, 33 1/3, 66 2/3 και 100%) με φωτιστικά τριών λαμπτήρων (IESNA, [1])

Οι αισθητήρες παρουσίας ή κίνησης επιδέχονται χρησιμοποίησης για τον έλεγχο φωτισμού σε γραφεία, αίθουσες συνεδριάσεων και λοιπές

περιπτώσεις χώρων. Στις δεδομένες περιπτώσεις, προτείνεται η προσθήκη διακοπών αλερετούρ (toggle switches) ή αισθητήρων με διακόπτες παράκαμψης (override switches).

Με τον έλεγχο ρύθμισης της φωτεινής ροής (dimming control), η ένταση φωτισμού σε κάθε ζώνη ελέγχου μπορεί να μεταβάλλεται ομαλά και συνεχώς ώστε κατά τρόπο δυναμικό να προσεγγιστούν οι οπτικές απαιτήσεις. Αυτού του τύπου ο έλεγχος ταιριάζει για εφαρμογές εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού (daylighting). Παρόλα αυτά, το δυναμικό φάσμα του φυσικού φωτός είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό του ηλεκτρικού φωτισμού (5:1) και απαιτείται προσοχή κατά την εκλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων ευαισθησίας. Παρομοίως, το dimming είναι αποτελεσματικό ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας αντισταθμίζοντας τις βαθμιαίες φωτεινές απώλειες που απαντώνται σε όλα τα ηλεκτρικά συστήματα φωτισμού κατά τη διάρκεια του χρόνου.

- **Τοπικός ή κεντρικός έλεγχος (Local ή central)**

Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού μπορούν να τεθούν σε ισχύ στα κτήρια χρησιμοποιώντας μια τοπική προσέγγιση, ένα κεντρικό σύστημα ή κάποιον συνδυασμό των δύο. Οι διαφορετικοί αυτοί τρόποι διαφοροποιούνται τόσο λόγω του μεγέθους των ελεγχόμενων περιοχών όσο και από το πώς αφομοιώνονται οι είσοδοι ελέγχου από το σύστημα.

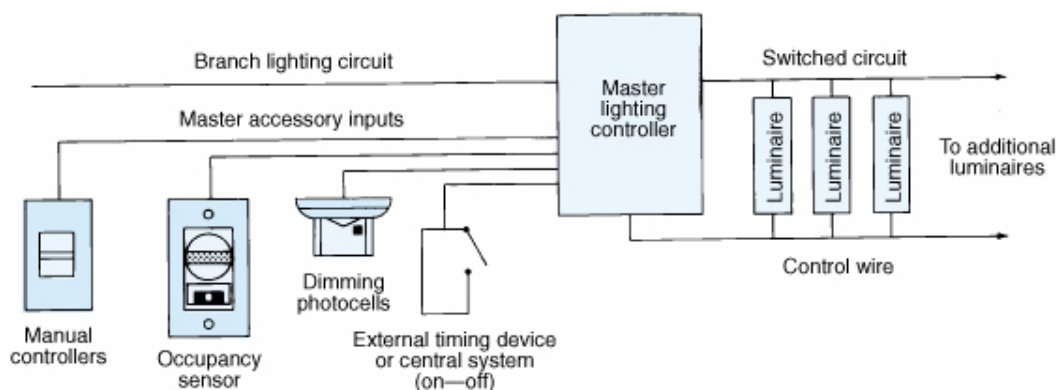
Ένα τοπικό σύστημα φωτισμού διακρίνεται σε επιμέρους ανεξάρτητα ελεγχόμενες ζώνες, με το μέγεθος και το σχήμα τους να καθορίζεται συνήθως από τη γεωμετρία των χώρων του κτηρίου ή βάσει των λειτουργικών αναγκών. Οι είσοδοι των αισθητήρων συνδέονται άμεσα με τον τοπικό έλεγχο του φωτισμού παρά σε μια κεντρική τοποθεσία. Τοιουτοτρόπως, κάθε υποπεριοχή είναι επί της ουσίας ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες. Η χρήση αυτόματων αισθητήρων παρουσίας που μπορούν να ανιχνεύσουν τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός, μπορεί να αποδειχθεί ιδιαζόντως αποτελεσματική σε αυτές τις περιπτώσεις.

Τα κεντρικά συστήματα συνδυάζουν, εν γένει, πολλές τοπικές ζώνες και κάποια κεντρικά συστήματα μικροεπεξεργαστή στοχεύουν στη

διαχείριση των φωτιστικών ή/ και μηχανολογικών συστημάτων. Η συνολική ενεργειακή διαχείριση του κτηρίου είναι προφανώς πιο εύκολη μέσω κεντρικών συστημάτων.

- **Βαθμός αυτόματου ελέγχου (degree of control automation)**

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων ελέγχου, με αυτούς να εκτείνονται από τους χειροκίνητους (διακόπτες τοποθετημένους σε τοίχο) ως εκείνους που διέπονται από υψηλή αυτοματοποίηση. Δεδομένης της μη εξάρτησης των αυτομάτων τύπων ελέγχου από την ανθρώπινη αυτενέργεια, αυτοί είναι πολλά υποσχόμενοι σε όρους εξοικονόμησης ενέργειας. Το να επιτρέπεται βέβαια στους ενοίκους να παρακάμψουν την αυτόματη λειτουργία όταν το κρίνουν απαραίτητο, είναι πολύ σημαντικό, ειδικά όταν προγραμματιζόμενοι έλεγχοι χρησιμοποιούνται για σκοπούς scheduling.



Σχήμα 1.3 Διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου φωτισμού (IESNA, [1])

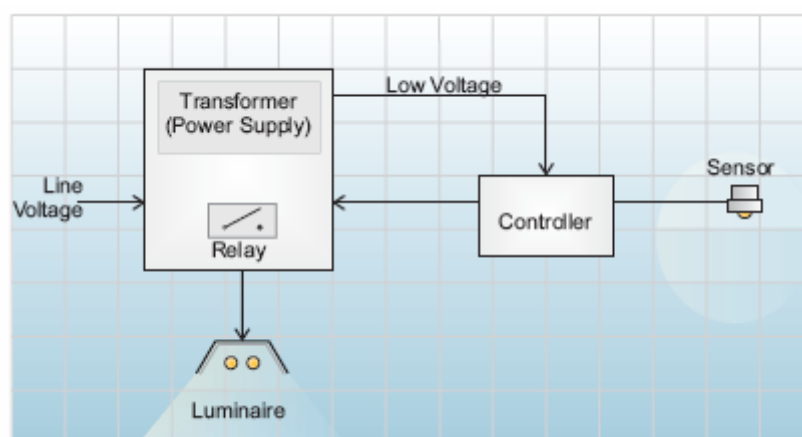
1.3 Τεχνολογία ελέγχου φωτισμού (Lighting Control Technology)

Προς επίτευξη των στρατηγικών, ως αυτές αναπτύχθηκαν παραπάνω, έχει αναπτυχθεί και διατίθεται ένα εκτενές εύρος από συσκευές και τεχνολογικά συστήματα. Ευθύς αμέσως θα παραθέσουμε τα βασικότερα εξ' αυτών, επεξηγώντας φυσικά σε σχέση με τη λειτουργία τους :

- **Αισθητήρες παρουσίας (Occupancy sensors)**

Οι αισθητήρες παρουσίας είναι συσκευές μεταγωγής που ανταποκρίνονται στην παρουσία ή την απουσία ατόμων στο ελεγχόμενο από τον αισθητήρα πεδίο. Συνήθως αποτελούνται από περισσότερα του ενός εξαρτήματα, το σύνολο των οποίων περιλαμβάνει έναν ανιχνευτή κίνησης και μια μονάδα ελέγχου αποτελούμενη από ένα μετασχηματιστή για παροχή ισχύος και έναν ηλεκτρονόμο για μεταγωγή φορτίου (load switching). Ο αισθητήρας αποστέλλει ένα σήμα στη μονάδα ελέγχου που με τη σειρά της ανάβει και σβήνει τα φώτα. Οι περισσότεροι αισθητήρες διαθέτουν χειροκίνητους και αυτόματους ελέγχους για τη ρύθμιση της ευαισθησίας τους σε σχέση με την κίνηση και αλλά και της χρονικής καθυστέρησης για το σβήσιμο των φωτιστικών σε περίπτωση μη παρουσίας ατόμου στον ελεγχόμενο χώρο.

Ο ανιχνευτής κίνησης χρησιμοποιεί είτε ηχητικά κύματα είτε τεχνολογίες υπέρυθρης ακτινοβολίας προκειμένου να λειτουργήσει. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου συλλέγει τις πληροφορίες που απορρέουν από τον αισθητήρα (ή τους αισθητήρες) και καθορίζει το κατά πόσο υπάρχει ή όχι παρουσία ατόμου στο χώρο αξιοποιώντας έναν εγκατεστημένο αλγόριθμο ελέγχου.

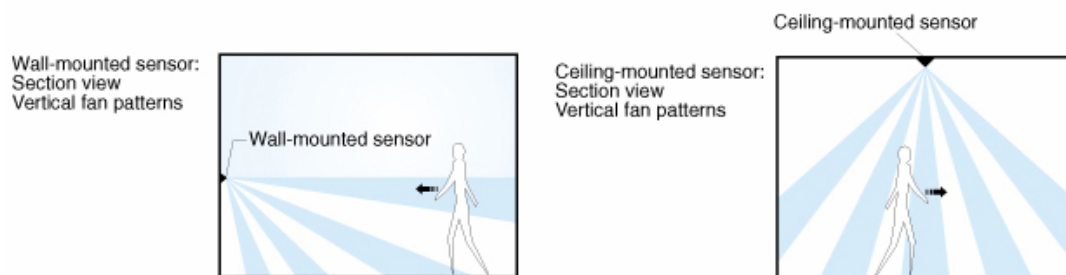


Σχήμα 1.4 Σύστημα ελέγχου αισθητήρα παρουσίας [2].

Όπως ελέχθη, οι αισθητήρες παρουσίας χρησιμοποιούν μια ποικιλία τεχνολογιών προκειμένου να ανιχνεύσουν την παρουσία και στην συνέχεια επιχειρείται να περιγραφούν οι τεχνικές που απαντώνται πιο συχνά στην πράξη

i. Τεχνολογία υπέρυθρης ακτινοβολίας (PIR (passive infrared) technology)

Η συγκεκριμένη τεχνολογία ανιχνεύει την παρουσία αντιδρώντας σε υπέρυθρες ενεργειακές πηγές, όπως το ανθρώπινο κορμί εν κινήσει. Έχοντας τη δυνατότητα διάκρισης ανάμεσα σε τέτοιου είδους πηγές ενέργειας και στο φόντο, ο αισθητήρας είναι σε θέση να εντοπίζει χρήστες του χώρου και να στέλνει το κατάλληλο σήμα για την έναυση των φωτιστικών σωμάτων.

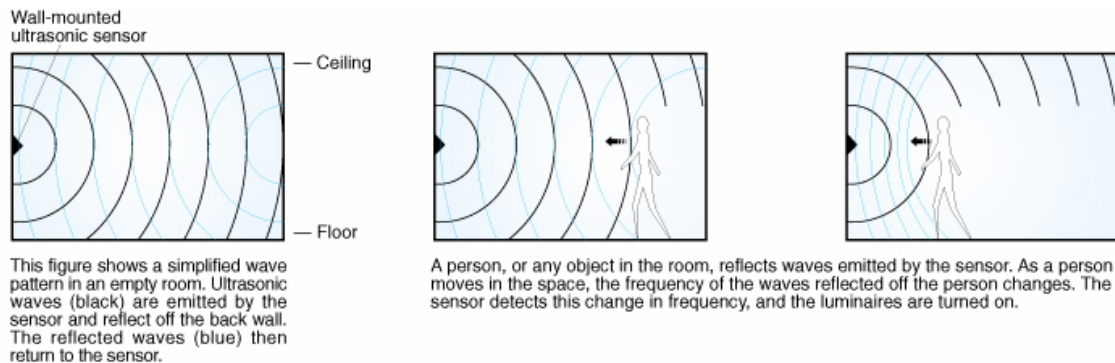


Σχήμα 1.5 Παράδειγμα ανίχνευσης κίνησης μέσω Infrared sensors (IESNA, [1])

ii. Τεχνολογία υπέρηχων (Ultrasonic technology)

Αυτός ο τύπος αισθητήρα παρουσίας, αξιοποιεί το Doppler signaling (αξιοποιώντας το φαινόμενο του Doppler). Ο αισθητήρας εκπέμπει υπερηχητικά κύματα τα οποία και αντανακλώνται στα διάφορα αντικείμενα του χώρου. Εν συνεχεία, μετράται το απαιτούμενο χρονικό διάστημα ώστε τα κύματα να επιστρέψουν. Όταν υπάρχει κίνηση στο χώρο,

αυτά τα κύματα θα επιστρέψουν στο δέκτη σε διαφορετικές συχνότητες, οδηγώντας στην ανίχνευση παρουσίας.



Σχήμα 1.6 Παράδειγμα ανίχνευσης κίνησης από ultrasonic sensors (IESNA, [1])

iii. Διπλής τεχνολογίας (Dual technology)

Οι αισθητήρες παρουσίας που «επιστρατεύουν» πολλαπλές αισθητήριες τεχνικές, αναφέρονται συνήθως κατ' αυτόν τον τρόπο ενώ άλλοτε απαντώνται ως «υβριδικοί». Το πλέον σύνηθες είναι αυτού του τύπου οι αισθητήρες να υιοθετούν τεχνολογίες υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλά και υπέρηχων. Ειδικότερα, το φως ανάβει εφόσον και οι δυο οικειοποιούμενες τεχνικές ανιχνεύουν παρουσία ενώ παραμένει ανοικτό εφόσον τουλάχιστον μία από τις δυο συνεχίζει να την ανιχνεύει.

- **Χρονοδιακόπτες (Time switches)**

Αυτές οι συσκευές, μηχανικής ή ηλεκτρονικής φύσης, ανάβουν και σβήνουν τα φώτα έπειτα από καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Το χρονικό διάστημα μπορεί να ποικίλει ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες του χρήστη του χώρου. Συχνά, αυτοί οι διακόπτες μπορούν να αντικαταστήσουν του συμβατικούς διακόπτες χωρίς ανάγκη επιπλέον καλωδίωσης. Επιπλέον, οι χρήστες επωφελούνται ποικιλίας

δυνατοτήτων που παρέχουν αυξημένη λειτουργικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σε αυτήν την κατεύθυνση αποτελούν η συμβατότητα με κεντρικά συστήματα ελέγχου του κτηρίου αλλά και η ρύθμιση παραμέτρων από το χρήστη.

- **Φωτοευαίσθητος έλεγχος (Photo-sensitive controls)**

Εν προκειμένω, εκτιμάται η ποσότητα φυσικού φωτισμού. Σε αυτήν την περίπτωση, η ρύθμιση των επιπέδων του τεχνητού φωτισμού γίνεται ως συνάρτηση της επάρκειας ή μη παρεχόμενου φυσικού φωτός. Κάποιοι τύποι φωτοευαίσθητου ελέγχου λειτουργούν ανάβοντας ή σβήνοντας τα ελεγχόμενα φώτα ανάλογα με τον φυσικό φωτισμό ενώ άλλοι κάνουν συνεχή ρύθμιση των ελεγχόμενων φωτιστικών.

- **Συστήματα πινάκων ελέγχου του φωτισμού (Lighting control panel systems)**

Οι διαχειριστές εγκαταστάσεων εξασφαλίζουν μακροπρόθεσμο προγραμματισμένο έλεγχο μέσω της χρήσης αυτών των συστημάτων. Αυτά καθιστούν επιτεύξιμη τη διαχείριση του φωτισμού από συγκεκριμένη τοποθεσία στο κτήριο, για ημέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες εκ των προτέρων.

- **Απομακρυσμένοι έλεγχοι/ έλεγχοι ρύθμισης της φωτεινής ροής (Remote/ Dimming controls)**

Για εξασφάλιση προσωπικού ελέγχου σε χώρους εργασίας, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τηλεχειριστήρια που είτε αναβοσβήνουν είτε ρυθμίζουν τα φώτα.

Κεφάλαιο 2

Φυσικός Φωτισμός

2.1 Εισαγωγικά

Η συντριπτική πλειοψηφία των κτηρίων διαθέτει παράθυρα και για το μεγαλύτερο μέρος μιας εργάσιμης ημέρας, η ένταση φωτισμού (Illuminance, μέγεθος που εν συνεχεία θα οριστεί) στο εξωτερικό ενός κτηρίου ξεπερνά κατά πολύ την αντίστοιχη στο εσωτερικό. Κατά τη μελέτη σε σχέση με το σχεδιασμό του φωτισμού ενός εσωτερικού χώρου, φαντάζει ως πρώτηστη ανάγκη η λήψη απόφασης σχετικά με τους σχετικούς ρόλους που θα διαδραματίζουν ο τεχνητός φωτισμός με το φυσικό (electric light με το daylight). Ασφαλώς, στη ζώσα πραγματικότητα, αυτό συμβαίνει εξαιρετικά σπάνια, τουλάχιστον στην Ελλάδα και το σύνηθες είναι να απαντάται παρουσία τεχνητού φωτός σε πλήρη ισχύ ανεξαρτήτως του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού.

Παρόλα αυτά, καθώς αυξάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, τίθεται σε οξεία αμφισβήτηση αυτού του είδους η πρακτική και γεννάται το ερώτημα του κατά πόσο θα μπορούσε το σύστημα ηλεκτρικού φωτισμού να συγκροτηθεί σε ένα ενιαίο σύνολο με το φυσικό φωτισμό, στο πλαίσιο της στρατηγικής εκμετάλλευσης του δεύτερου (daylighting). Είναι ευνόητο ότι για να το κατορθώσει κανείς αυτό θα πρέπει να είναι εφικτό να προβλεφθεί, με συγκεκριμένο βαθμό αβεβαιότητας, το επίπεδο φωτισμού που θα παρέχεται φυσικά στο πλαίσιο του χρόνου λειτουργίας.

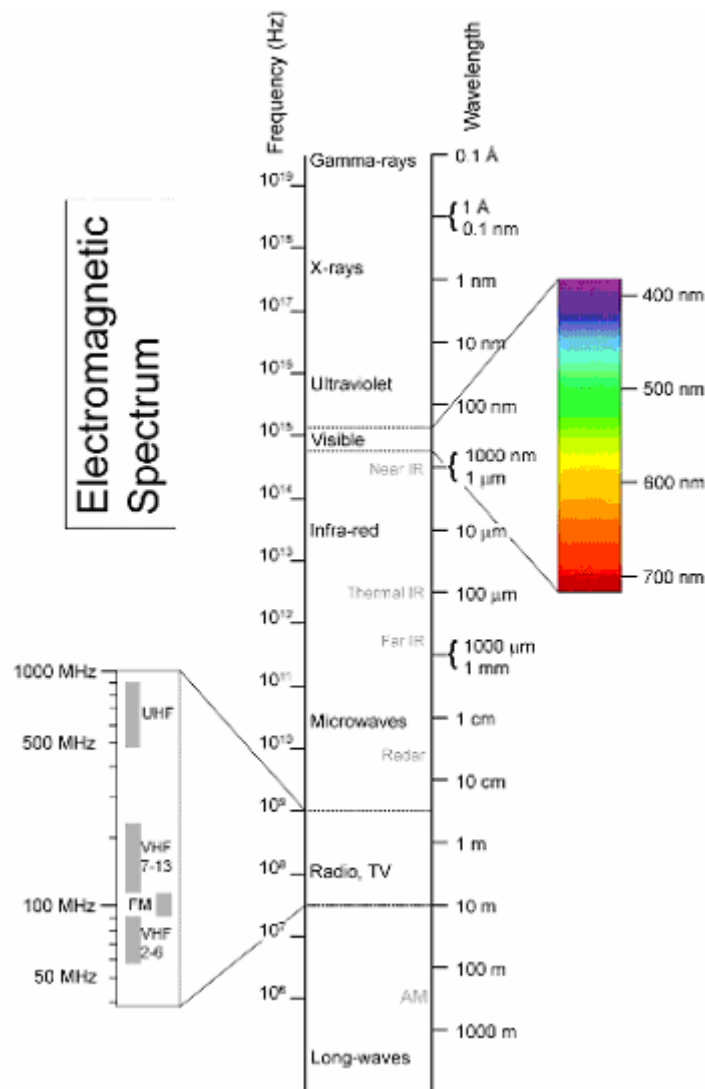
Σε αυτό το μέρος της διπλωματικής αυτής εργασίας γίνεται αναφορά στα ζητήματα του φυσικού φωτισμού ώστε να διερευνήσουμε κατά το εφικτό το ένα από τα δύο σκέλη της διμερούς αυτής σχέσης φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Προς τούτο γίνεται αναφορά σε στοιχεία που αφορούν στη φύση της φωτεινής ακτινοβολίας, ορίζονται φωτομετρικά μεγέθη, εξετάζεται το ζήτημα της οπτικής άνεσης και τελικά ορίζονται μεγέθη που παρέχουν πληροφορία σχετικά με το επίπεδο φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο.

2.2 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ορατό φως

Αυτό που αντιλαμβανόμαστε ως ορατό φως αντιστοιχεί σε μια στενή ζώνη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, με μήκη κύματος από 380 nm έως 760 nm. Μόνο μήκη κύματος εντός αυτής της ζώνης είναι ικανά να ερεθίσουν τους οφθαλμικούς δέκτες προκαλώντας το φαινόμενο της όρασης.

Το ορατό φως βρίσκεται στο κέντρο του συνολικού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το τελευταίο κυμαίνεται από τις κοσμικές ακτίνες (με μήκη κύματος γύρω στο ένα εκατομμυριοστό του νανομέτρου) στο χαμηλότερο άκρο ως τα ραδιοφωνικά κύματα (με μήκη κύματος περί τα 100 χιλιόμετρα) στο απώτερο άκρο. Στο τέλειο κενό, το φως ταξιδεύει με ταχύτητα 299.820 km/sec. Όταν διέρχεται μέσα από νερό, γυαλί ή άλλο διαπερατό μέσο, επιβραδύνεται σε ταχύτητα που εξαρτάται από την πυκνότητα του εκάστοτε μέσου διάδοσης.

Στην συνέχεια παρατίθεται απεικόνιση του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και επισήμανση του φάσματος του ορατού φωτός στο υπερσύνολο της πρώτης.



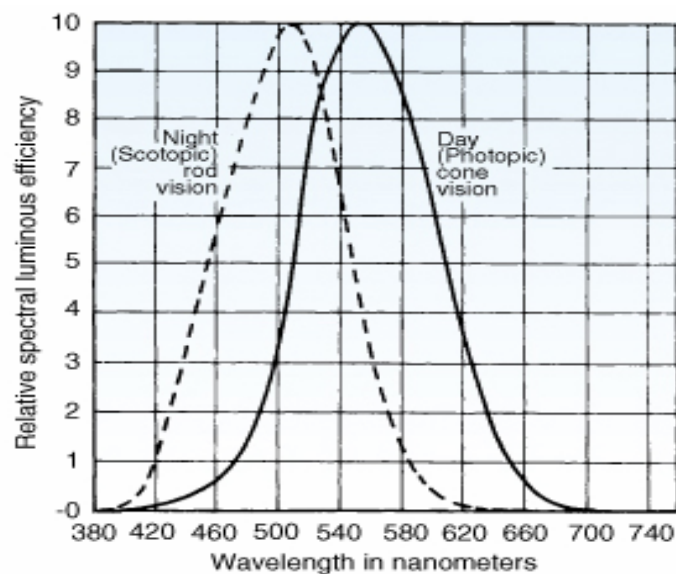
Σχήμα 2. 1 Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και του ορατού φωτός (wikipedia, Lois E. Keiner, Coastal Carolina University)

2.3 Όραση και οπτική άνεση

Ο ανθρώπινος οφθαλμός χρησιμοποιεί διάφορους τύπους όρασης για να εξασφαλίσει την απαραίτητη σαφήνεια υπό διαφορετικά επίπεδα φωτισμού. Αυτή η δυνατότητα του παρέχεται από το γεγονός ότι ο αμφιβληστροειδής χιτώνας περιέχει δύο κύριες ομάδες φωτοευαίσθητων δεκτών, τα ραβδία και τα κωνία. Αυτά διαφοροποιούνται μεταξύ τους τόσο λόγω της μορφολογίας τους όσο και από τη φασματική τους ευαισθησία. Παρόντος επαρκούς φωτισμού, ο οφθαλμός κάνει χρήση της «φωτοπικής»

όρασης, με τα κωνία των οφθαλμών να αποτελούν τους κυριότερους δέκτες. Τη νύχτα ή όταν η στάθμη του φωτισμού είναι χαμηλή, γίνεται χρήση της «σκοτοπικής» όρασης. Εν προκειμένω, κυριότεροι δέκτες είναι τα ραβδία.

Τα χρώματα αναγνωρίζονται με τη φωτοπική όραση και κατά τη διάρκεια της ημέρας ο ανθρώπινος οφθαλμός βλέπει καλύτερα με φως μήκους κύματος 555nm που φαίνεται ως κίτρινο, όμοιο με το χρώμα του ηλιακού φωτός.



Σχήμα 2. 2 Η σχετική φασματική ευαισθησία των κωνίων και ραβδίων (IESNA, [1])

Η φασματική σύνθεση του φωτός επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο τα χρώματα γίνονται αντιληπτά από τον οφθαλμό. Η αναπαραγωγή των χρωμάτων και η ποιότητα του φωτός που δημιουργείται με πηγή τεχνητού φωτός, εξαρτάται από τη φασματική σύνθεση της πηγής. Τοιουτοτρόπως, διαφορετικές πηγές δημιουργούν διαφορετικούς τύπους φωτός. Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι, πλέον, είναι διαθέσιμες τεχνητές φωτιστικές πηγές που παρέχουν φασματική σύνθεση πολύ κοντά σε αυτήν του φυσικού φωτός. Για ένα αριθμό δραστηριοτήτων, η αναπαραγωγή χρωμάτων κατά τρόπο τέτοιο που να προσεγγίζει αυτόν του φωτός της ημέρας, είναι πολύ σημαντική για την οπτική άνεση. Άλλοτε αυτό είναι λιγότερο σημαντικό μα σε κάθε

περίπτωση είθισται να είναι κουραστική η παρουσία ενός ή δυο επικρατέστερων χρωμάτων.

Σημαντικό ωστόσο κριτήριο για την επιλογή πηγών φωτισμού για εγκατάσταση σε ένα κτήριο είναι το κατάλληλο ή μη αυτών για τον τύπο των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται σε κάθε χώρο. Για εργασία γραφείου, η ποιότητα φωτός απαιτεί να πλησιάζει το μέγεθος που παρέχεται από το φυσικό φωτισμό και κατά συνέπεια θα πρέπει να επιλέγονται τεχνητές πηγές που να παρέχουν ουδέτερη αναπαραγωγή χρωμάτων.

Η οπτική άνεση επηρεάζεται επίσης από τη θέση των αντικειμένων στο πεδίο της όρασης επειδή υπάρχουν όρια στις διαφορές της λαμπρότητας (το μέγεθος θα εξηγηθεί στη συνέχεια μα σε αυτό το σημείο μπορεί να γίνει αντιληπτό διαισθητικά και ποιοτικά) που μπορεί να διακρίνεται υπό διαφορετικές γωνίες θέασης.

2.4 Παράγοντες που δυσχεραίνουν την οπτική άνεση

Οφείλουμε αρχικά να ορίσουμε την «αντίθεση» ως τη διαφορά μεταξύ της οπτικής εμφάνισης ενός αντικειμένου και του άμεσου βάθους πίσω από αυτό. Μπορεί να εκφραστεί με βάση τη λαμπρότητα, την ένταση φωτισμού ή την ανακλαστικότητα μεταξύ επιφανειών. Η διανομή του φωτός σε ένα χώρο θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αποφεύγονται οι υπερβολικές διαφορές στο φως και στη σκιά, στοιχεία που θα μπορούσαν να ενοχλούν τους ενοίκους και να αποτρέπουν το επαρκές της όρασής τους. Μολαταύτα, θα πρέπει να διατηρηθεί αρκετή αντίθεση ώστε κάθε αντικείμενο να γίνεται διακριτό από το περιβάλλον του.

Ένα άλλο ζήτημα που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς αναζητά κανείς τις συνιστώσες της οπτικής άνεσης είναι αυτό της ενδεχόμενης θάμβωσης. Η θάμβωση προκαλείται από την εισαγωγή πολύ έντονης πηγής φωτισμού στο οπτικό πεδίο ενώ μπορεί να προκληθεί άμεσα, έμμεσα ή από ανάκλαση. Η άμεση θάμβωση ανακύπτει όταν μια φυσική ή τεχνητή πηγή φωτισμού με υψηλή λαμπρότητα εισέρχεται άμεσα στο πεδίο θέας ενός ατόμου, παρατηρητή. Μπορεί να εμφανισθεί με εσωτερικές πηγές φωτισμού ή όταν ο ήλιος ή ο ουρανός παρατηρείται από τα παράθυρα είτε άμεσα είτε

ύστερα από ανάκλαση από μια εσωτερική επιφάνεια. Η έμμεση θάμβωση απαντάται όταν η στάθμη λαμπρότητας των τοίχων είναι πολύ υψηλή. Η δε θάμβωση από ανάκλαση προκαλείται με την κατοπτρική ανάκλαση από πηγές φωτισμού σε γυαλισμένες εσωτερικές επιφάνειες. Η θάμβωση μπορεί να περισπά ελαφρά ή ακόμη και να τυφλώνει τους ενοίκους και ανεξαρτήτως της στάθμης της, επέρχεται αίσθηση δυσφορίας και κόπωσης. Τα ανοίγματα των παραθύρων και οι πηγές τεχνητού φωτός θα πρέπει να τοποθετούνται λοιπόν κατά τέτοιον τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η θάμβωση.

2.5 Φως ημέρας ή φυσικό φως (Daylight)

Η πηγή του φωτός ημέρας είναι φυσικά ο ήλιος που εκπέμπει ενέργεια σε συνεχές φάσμα όμοιο με αυτό ενός μέλανος σώματος σε προσεγγιστική θερμοκρασία των 6000 K. Όπως είδαμε σε προηγούμενη παράγραφο, αυτή η ενέργεια δε φθάνει στην επιφάνεια της γης χωρίς να μεταβάλλεται μιας και απορροφάται και διαχέεται από τα ποικίλα χημικά στοιχεία, την υγρασία και σωματίδια σκόνης στην ατμόσφαιρα. Η διάχυση αυτή της ηλιακής ενέργειας λόγω της ατμόσφαιρας, δημιουργεί το αποτέλεσμα του «γαλάζιου» ουρανού που μπορεί τελικά να θεωρηθεί μια αποτελεσματική πηγή (εκτός του άμεσου ηλιακού φωτός) παροχής φωτός ημέρας. Φυσικά, το φως που προκύπτει κατ' αυτόν τον τρόπο ανακλάται από το έδαφος και άλλες επιφάνειες ενώ αν κάνουμε λόγο για το εσωτερικό ενός κτηρίου, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το ότι έχουμε ανάκλαση του φωτός σε εσωτερικές επιφάνειες.

2.5.1 Η μεταβλητότητα του φωτός της ημέρας

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του φωτός της ημέρας είναι η μεταβλητότητά του. Το χρώμα του αλλάζει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την καθαρότητα της ατμόσφαιρας και της αλληλοαντανάκλασης ανάμεσα στα όποια περιβάλλοντα αντικείμενα. Η ένταση του ηλιακού φωτός διαφοροποιείται τόσο σε σχέση με τη ώρα όσο και σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος. Η δε λαμπρότητα θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι διαφοροποιείται

ανάλογα με το αν το φως προέρχεται από νεφосκεπή ουρανό, από καθαρό ουρανό μόνο ή από ταυτόχρονη δράση καθαρού ουρανού και άμεσου ηλιακού φωτός.

2.5.2 Daylight factor (παράγοντας φυσικού φωτισμού)

Μια ένδειξη του ποσού του φωτός ημέρας σε σημείο εντός ενός δωματίου είναι ο λόγος της έντασης φωτισμού λόγω του φυσικού φωτός στο δεδομένο σημείο προς την ένταση φωτισμού εκτός του κτηρίου, εκείνη την στιγμή, από ένα πλήρες ημισφαίριο ουρανού (εξαιρώντας το άμεσο ηλιακό φως). Αυτός ο λόγος είναι γνωστός ως Daylight Factor (DF) και συνήθως παρατίθεται υπό μορφή ποσοστού :

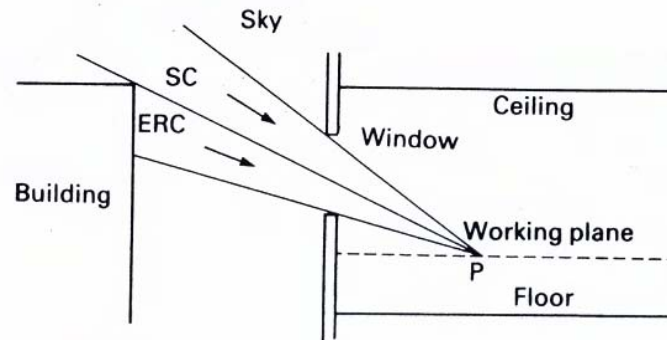
$$\text{Daylight factor} = \frac{\text{Horizontal illuminance at a point in an interior}}{\text{Horizontal illuminance at the same instant due to an unobstructed sky}} \times 100\%$$

Η διανομή του παράγοντα φωτισμού σε ένα χώρο ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους, τον προσανατολισμό και τον τύπο του ουρανού. Υπό συνθήκες ολικά νεφосκεπούς ουρανού, ο παράγοντας φυσικού φωτισμού σε ένα δεδομένο σημείο είναι σταθερός, εξαρτώμενος από τον προσανατολισμό, την ώρα της ημέρας ή την εποχή του έτους.

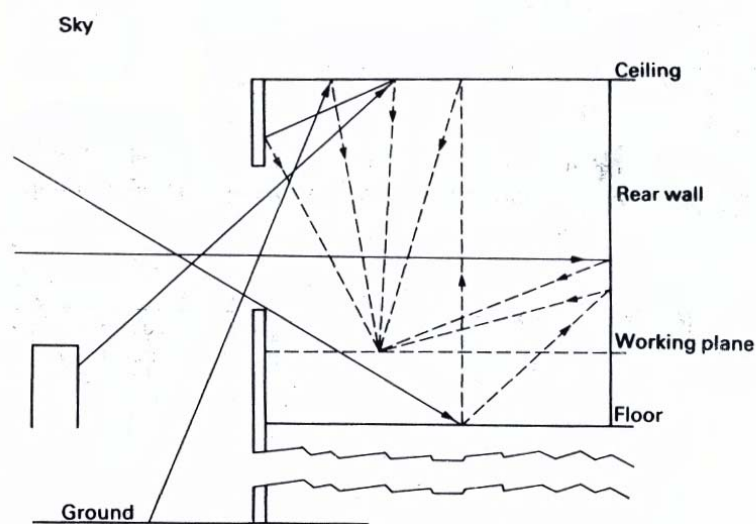
2.5.3 Συνιστώσες του Daylight Factor

Κρίνεται ως επιθυμητό κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός κτηρίου να προβλέπεται το ποσό του φυσικού φωτός που εξασφαλίζεται για συγκεκριμένη διαμόρφωση των παραθύρων. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, είναι εξαιρετικά σημαντικό να ληφθεί υπόψη το ποσό φυσικού ημερήσιου φωτός που προσεγγίζει ένα σημείο εντός του υπό μελέτη δωματίου. Το τελευταίο

είναι εφικτό διακρίνοντας τον προσλαμβανόμενο φωτισμό σε τρεις συνιστώσες, όπως δείχνεται στα σχήματα 2.3 και 2.4.



Σχήμα 2. 3 Οι τρεις συνιστώσες του Daylight (Pritchard [4])



Σχήμα 2. 4 Η IRC συνιστώσα του Daylight (Pritchard [4])

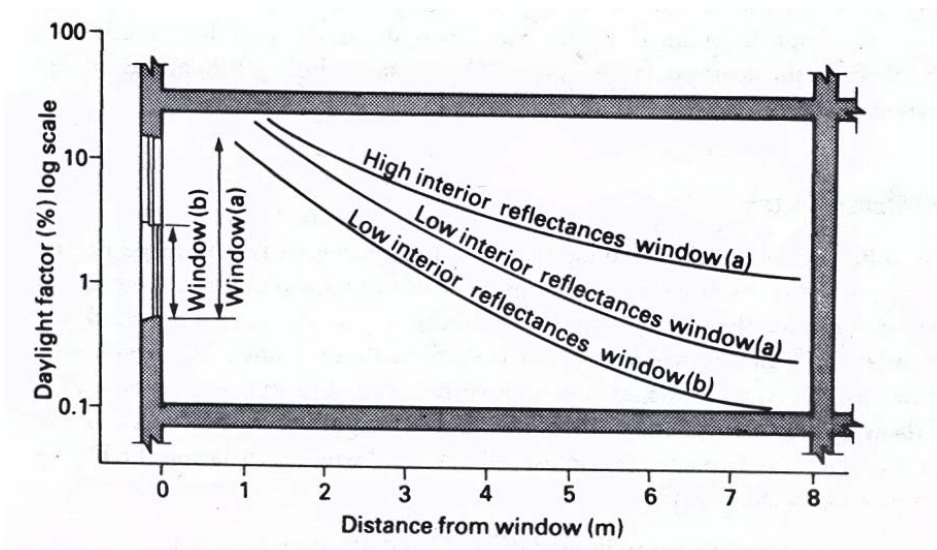
Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Το άμεσο συστατικό που προκύπτει από το φως που έρχεται απευθείας από τον ουρανό (sky component SC)
- Το συστατικό που προκύπτει από το φως που ανακλάται στις εξωτερικές επιφάνειες (externally reflected component ERC)
- Το συστατικό που προκύπτει από ανακλάσεις στο χώρο (internally reflected component IRC)

Όταν αυτές οι τρεις συνιστώσες αποτιμούνται ως ποσοστό της εξωτερικής έντασης φωτισμού που οφείλεται σε ένα ημισφαίριο του ουρανού όταν δεν εμφανίζει εμπόδια, το άθροισμά τους δίνει τον daylight factor. Ως εκ τούτου, ισχύει $DF = SC + ERC + IRC$. Φυσικά, θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη ότι υπάρχουν απώλειες φωτός λόγω εμποδίων και μπορούμε να καταλήξουμε σε του προηγούμενου τύπου που περιλαμβάνει συντελεστές διόρθωσης για κάθε ένα από τα εμπλεκόμενα στον παραπάνω τύπο μεγέθη. Αξίζει να αναφερθεί ακόμη ότι υπάρχει μια πληθώρα μεθόδων για τον υπολογισμό των τριών συνιστωσών του φυσικού φωτός (Pritchard [4]).

2.5.4 Average Daylight Factor

Είναι γεγονός ότι σε δωμάτια όπου τα παράθυρα είναι τοποθετημένα στα πλάγια, ο φυσικός φωτισμός μειώνεται ταχύτατα καθώς αυξάνεται η απόσταση από το παράθυρο. Ενδεικτικά παρατίθεται το κάτωθι σχήμα :



Σχήμα 2. 5 Μεταβολή του DF σε σχέση με την απόσταση από το παράθυρο για διάφορα ύψη παραθύρου και για διάφορες ανακλαστικότητες αυτού (Pritchard [3])

Παρόλη αυτή την συμπεριφορά του μεγέθους του φυσικού φωτισμού, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε μια μέση τιμή. Μάλιστα, αποτελεί ένα ικανοποιητικό

μέσο σχετικά με τη λήψη συμπερασμάτων για την επάρκεια ή μη του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο.

Ο CIBSE 1984 Lighting Code υποδεικνύει ότι όταν ο average DF υπερβαίνει το 5% σε ένα κτήριο το οποίο χρησιμοποιείται κύρια την ημέρα, η ηλεκτρική κατανάλωση για σκοπούς φωτισμού κρίνεται ως πολύ μικρή ώστε να γεννάται ανάγκη εφαρμογής συστημάτων ελέγχου για σκοπούς οικονομίας. Προϋπόθεση φυσικά του τελευταίου αποτελεί η ορθολογική τοποθέτηση των διακοπών. Όταν ο average DF είναι μεταξύ των 2% και 5%, ο ηλεκτρικός φωτισμός θα πρέπει να στοχεύει στην πλήρη εκμετάλλευση του παρεχόμενου φυσικού φωτισμού. Σε αυτήν την περίπτωση ενδέχεται να ενδείκνυται τοπικός ή περιορισμένος σε συγκεκριμένο χώρο τεχνητός φωτισμός, με το φυσικό φως να παρέχει το γενικό φωτισμό. Στην περίπτωση εκείνη κατά την οποία ο average DF είναι μικρότερος του 2%, θα χρειάζεται σχεδόν μόνιμα συμπληρωματικός ηλεκτρικός φωτισμός.

Έχουν προταθεί διάφοροι τύποι για τον υπολογισμό του average DF με τον απλούστερο να είναι γνωστός σαν έκφραση Littlefair/ Plymouth :

$$AverageDF = \bar{DF} = \frac{W}{A} \cdot \frac{\tau\theta}{(1 - R^2)}$$

Στον παραπάνω τύπο :

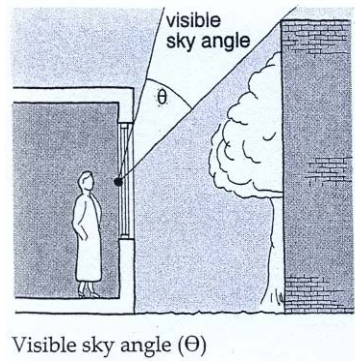
W = εμβαδόν της υάλινης επιφάνειας του παραθύρου (m^2)

A = εμβαδόν όλων των επιφανειών του δωματίου (οροφής, πατώματος και τοίχων συμπεριλαμβανομένων των παραθύρων, m^2)

τ = επιτρεπτότητα γυαλιού (glass transmittance)

θ = ορατή γωνία ουρανού (visible sky angle), (σε μοίρες)

R = μέση αντανάκλαστικότητα (average reflectance) όλων των επιφανειών του δωματίου



Εικόνα 2. 6 Η ορατή γωνία ουρανού ως αυτή εμπλέκεται στον υπολογισμό του AverageDF (Bell, Burt [4])

Το πλήθος των μεταβλητών στους υπολογισμούς του φυσικού φωτός καθιστά γόνιμο το έδαφος για λάθη μεγάλης κλίμακας. Αυτό δεν συνηγορεί για οποιοδήποτε λόγο στην υπεραπλούστευση και σε προσεγγιστική διάθεση. Μία πλευρά του ζητήματος που είναι υπό μελέτη είναι το ενδογενές λάθος στην υπόθεση μιας κατάστασης ουρανού ανεξάρτητης από τον προσανατολισμό του κτηρίου. Είναι μάλλον εύλογη η υπόθεση ότι, ακόμη και από νεφοσκεπείς συνθήκες, τα παράθυρα που αντικρίζουν τον ήλιο λαμβάνουν περισσότερο φως από τα άλλα. Υπάρχει λοιπόν ένα σύνολο από συντελεστές προσανατολισμού (orientation factors) που θα πρέπει να χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό του DF για εκτιμήσεις εξοικονόμησης ενέργειας κτλ. Αυτοί παρατίθενται στην συνέχεια :

Κατεύθυνση παραθύρου	Συντελεστής προσανατολισμού
Νότιο παράθυρο	1,20
Ανατολικό παράθυρο	1,04
Δυτικό παράθυρο	1,00
Βόρειο παράθυρο	0,77

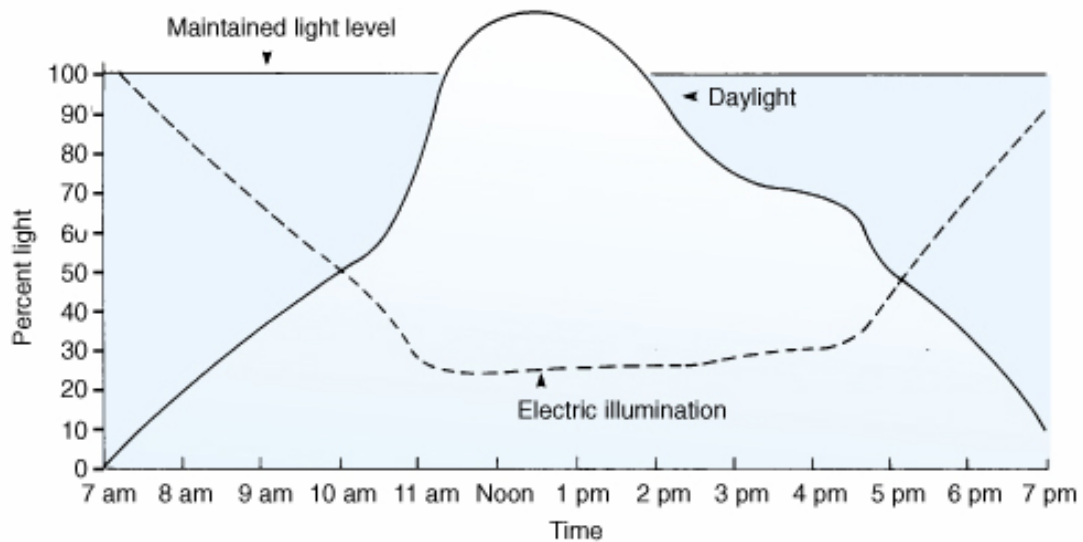
Πίνακας 2.7 Οι συντελεστές προσανατολισμού για χρήση στον υπολογισμό των Daylight factors νεφοσκεπούς ουρανού (Pritchard [3])

2.6 Εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού (Daylighting)

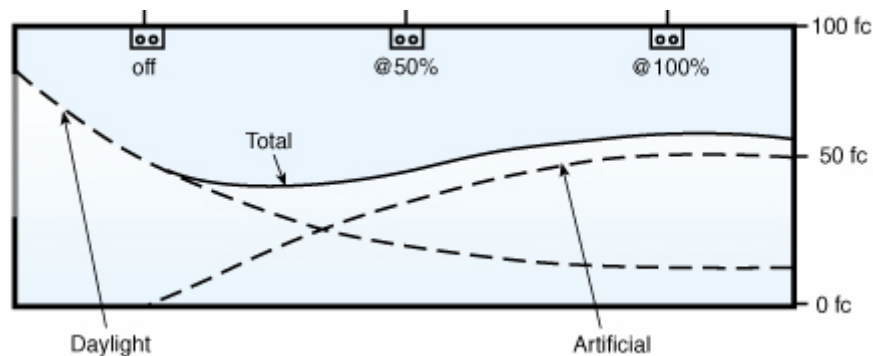
Σε έναν σχεδιασμό που αξιοποιεί το φυσικό φωτισμό βάσει των επιταγών της στρατηγικής του daylighting, το ίδιο το κτήριο γίνεται κατά κάποιον τρόπο το φωτιστικό. Τα παράθυρα και οι φεγγίτες παρέχουν φυσικό φως στους εσωτερικούς χώρους και οι επιφάνειες του κτηρίου δρουν ως μηχανισμοί σκίασης και ανάκλασης, κάτι που οδηγεί στην τελική κατανομή του φυσικού φωτισμού. Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί τον συνδυασμό αυτόν των διάφορων αρχιτεκτονικών στοιχείων σαν ένα «φωτιστικό σώμα φυσικού φωτισμού».

Τα προηγμένα συστήματα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού αφορούν, μεταξύ των άλλων, σε σχεδιασμούς των παραθύρων ώστε να εξασφαλίζεται η θεμιτή κατανομή φυσικού φωτισμού στον εκάστοτε χώρο, ανάλογα πάντα και με τη φύση της εργασίας που επιτελείται σε αυτόν. Παρέχεται λοιπόν καταυτόν τον τρόπο ένας ομοιόμορφος, γενικός και περιβάλλον φωτισμός σε χώρους που αποτελούν ζώνες ελέγχου του ηλεκτρικού φωτισμού ο οποίος καλείται να ανταποκριθεί αυτομάτως είτε μέσω απενεργοποίησής του είτε μέσω ελάττωσης της έντασης του. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί ο φυσικός φωτισμός να εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο τύπο εργασίας ή ακόμη και για δίνεται έμφαση σε συγκεκριμένη περιοχή.

Στις περιμετρικές περιοχές των κτηρίων, σημαντικό μέρος του επιθυμητού φωτισμού ενδέχεται συχνά να παρασχεθεί από το φυσικό φως μέσω των παραθύρων των εν λόγω περιοχών. Σε αυτές τις περιοχές μειώνεται η απαιτούμενη για τεχνητό φωτισμό ισχύς ανάλογα με τη διαθέσιμη ποσότητα φυσικού φωτός. Καταυτόν τον τρόπο μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Προς τούτο μπορούν να αξιοποιηθούν τεχνικές τόσο διακοπτικής λειτουργίας όσο και ρύθμισης φωτεινής ροής. Για την επιτυχή εφαρμογή αυτών των μεθόδων απαιτούνται υψηλά επίπεδα φωτισμού ώστε να διατηρείται σε επαρκές επίπεδο ο συνολικός φωτισμός (συνδυασμός φυσικού και τεχνητού φωτισμού) μετά τη μείωση του τεχνητού λόγω της δράσης των αισθητήρων (σχήματα 2.8 και 2.9).



Σχήμα 2.8 Οι αισθητήρες φωτισμού διατηρούν ένα σταθερό επίπεδο φωτισμού εκμεταλλευόμενοι τον φυσικό φωτισμό και προσαρμόζοντας αντίστοιχα τα επίπεδα του τεχνητού φωτισμού (IESNA, [1])



Σχήμα 2.9 Τομή δωματίου με τα προφίλ του φυσικού, τεχνητού και συνολικού φωτισμού (IESNA, [1])

Η εξοικονόμηση της ενέργειας που σημειώνεται από την στρατηγική αυτή του daylighting, εξαρτάται προφανώς από πλήθος παραγόντων όπως οι κλιματικές συνθήκες, ο σχεδιασμός, τύπος και προσανατολισμός του κτηρίου, ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση του συστήματος ελέγχου και των αισθητήρων αλλά και οι δραστηριότητες εντός του κτηρίου. Φαντάζει πάντως ιδιαίτερα σημαντική η εξοικονόμηση ενέργειας σε ώρες αιχμών ζήτησης ισχύος.

Αναφορικά με τους αισθητήρες φωτισμού, το μέγεθος και το σχήμα των ελεγχόμενων ζωνών περιορίζονται από την απότομη πτώση της οριζόντιας έντασης φωτισμού σε σχέση με την απόσταση από το παράθυρο σε ένα χώρο. Αν και οι ζώνες φωτισμού μπορούν να εκταθούν ώστε να καλύψουν την περιοχή μιας συγκεκριμένης εργασίας ή ένα ολόκληρο κτήριο, στην πράξη αυτές πρέπει να είναι κοντά στα αρχιτεκτονικά αυτά στοιχεία στα οποία συνίσταται η επιτρεπτότητα του φυσικού φωτισμού. Για τυπικούς χώρους, φωτιζόμενους από ένα πλαϊνό παράθυρο, οι ζώνες θα πρέπει να γεινιάζουν με τον τοίχο του παραθύρου και να μην έχουν βάθος μεγαλύτερο των 4m. Η πλησιέστερη στο παράθυρο γραμμή των φωτιστικών θα πρέπει να ελέγχεται μέσω ενός ξεχωριστού κυκλώματος από εκείνο που ελέγχει τα φωτιστικά στις ενδότερες περιοχές. Οι αισθητήρες παρουσίας που κατασκευάζονται σήμερα μπορούν να έχουν ως επιπλέον χαρακτηριστικό την «αίσθηση» του φυσικού φωτισμού. Αν χρησιμοποιούνται χειροκίνητοι μηχανισμοί σκίασης, ενδέχεται να απαιτούνται μικρότερες ζώνες ελέγχου ώστε η daylighting στρατηγική να είναι αποτελεσματική.

Κεφάλαιο 3

Αισθητήρες φωτισμού

3.1 Εισαγωγή

Μπορεί κανείς να θεωρήσει τους αισθητήρες φωτισμού (photosensors) ως ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου, ικανές να προσδιορίσουν το παραγόμενο επίπεδο φωτισμού συναρτήσει του φωτισμού που ανιχνεύουν στο χώρο, με σκοπό τον έλεγχο του φωτισμού για τη διαμόρφωση του οπτικού περιβάλλοντος. Ο βασικός μηχανισμός μέσω του οποίου επιτελείται ο έλεγχος του φωτισμού είναι είτε αυτός της έναυσης ή/και παύσης της λειτουργίας του (switch on/off) είτε ο πολυπλοκότερος της προσαρμογής της φωτεινής στάθμης φωτισμού αναλόγα με τις ανάγκες φωτισμού στο εσωτερικό του χώρου (dimming).

Ο όρος «αισθητήρας φωτισμού», αφορά στην πράξη σε μια συσκευή που περιλαμβάνει τα ακόλουθα επιμέρους στοιχεία :

- Ένα φωτοευαίσθητο φωτοκύτταρο (photocell)
- Φακούς για την εισαγωγή δεδομένων
- Ηλεκτρονικό κύκλωμα μετατροπής του σήματος του φωτοκύτταρου σε σήμα εξόδου, κατάλληλο για τον έλεγχο
- Προστατευτικό κάλυμμα και βάση στήριξης

Σε αυτό το σημείο, φαντάζει απαραίτητη η διάκριση ανάμεσα στο φωτοκύτταρο και στον αισθητήρα φωτισμού. Ως φωτοκύτταρο λοιπόν νοείται το φωτοευαίσθητο εκείνο κύκλωμα που μετατρέπει την ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ο αισθητήρας φωτισμού από την άλλη, καθορίζεται σαν την πλήρη συσκευή που μεταξύ των άλλων περιέχει το φωτοκύτταρο κι επιτελεί τη διαδικασία παραγωγής σήματος ελέγχου προς χρήση για τον έλεγχο του φωτισμού.



Εικόνα 3.1 Αισθητήρες φωτισμού (www.neo.ne.gov/neq_online/march2005.08htm)

Τα δεδομένα εισόδου σε έναν αισθητήρα φωτισμού είναι η οπτική ακτινοβολία (optical radiation). Ο τελευταίος όρος εσωκλείει νοηματικά τόσο το ορατό φάσμα (visible light) όσο και την υπεριώδη (UV) και υπέρυθη (IR) ακτινοβολία. Η σημασία αυτής της διασάφησης έγκειται στο γεγονός ότι η φασματική απόκριση (ο όρος πρόκειται να επεξηγηθεί αργότερα) των διαφόρων αισθητήρων ποικίλει σημαντικά. Ως σήμα εξόδου νοείται το σήμα αυτό ελέγχου που μπορεί να σταλεί είτε σε σύστημα έναυσης είτε σε οποιαδήποτε συσκευή που ελέγχει ενεργά τα επίπεδα του τεχνητού φωτισμού.

Εν ολίγοις, στα αυτοματοποιημένα συστήματα που θα απασχολήσουν εν προκειμένω, ο αισθητήρας αποστέλλει πληροφορίες για τα προσλαμβανόμενα επίπεδα φωτισμού σε μια ηλεκτρονική υπομονάδα ελέγχου. Η τελευταία, αξιοποιώντας τις εν λόγω πληροφορίες, προσαρμόζει το επίπεδο του τεχνητού φωτισμού.

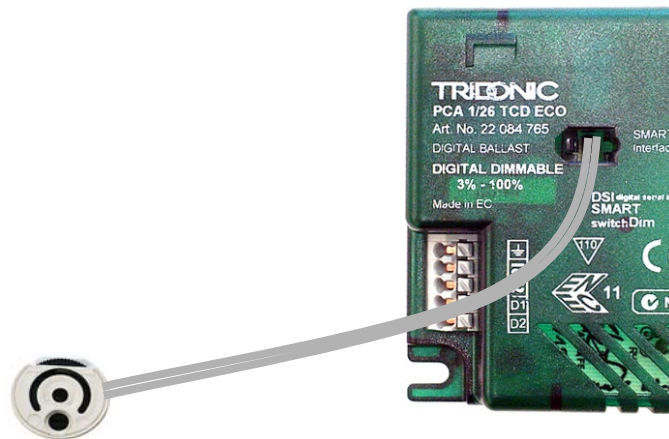
Είναι βασικό χαρακτηριστικό των αισθητήρων φωτισμού το γεγονός ότι αποτελούν χαρακτηριστικά μικρές συσκευές με αποτέλεσμα να μην γίνονται αντιληπτοί αφού τοποθετηθούν στην οροφή. Άλλοτε έχουμε τοποθέτηση του αισθητήρα φωτισμού και των διαφόρων ηλεκτρονικών μονάδων σε μια κατασκευή κι άλλοτε χωριστά. Στη δεύτερη περίπτωση συμφέρει η τοποθέτηση της ηλεκτρικής μονάδας με κριτήριο την προσβασιμότητα από το χρήστη ή το συντηρητή.

3.2 Τύποι αισθητήρων φωτισμού με βάση το σήμα ελέγχου

Είναι γεγονός ότι μέχρι τούδε δεν υπάρχει κάποιο δημοσιευμένο πρότυπο βιομηχανίας σχετικά με τη διαμόρφωση του σήματος ελέγχου που συνδέει τους αισθητήρες φωτισμού με τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης ή εν πάση περιπτώσει με τις όποιες συσκευές ελέγχου φωτισμού. Παρόλα αυτά, στην πράξη ακολουθούνται δύο πλάνα:

- **Έλεγχος με σήμα χαμηλής τάσης 0-10V DC**

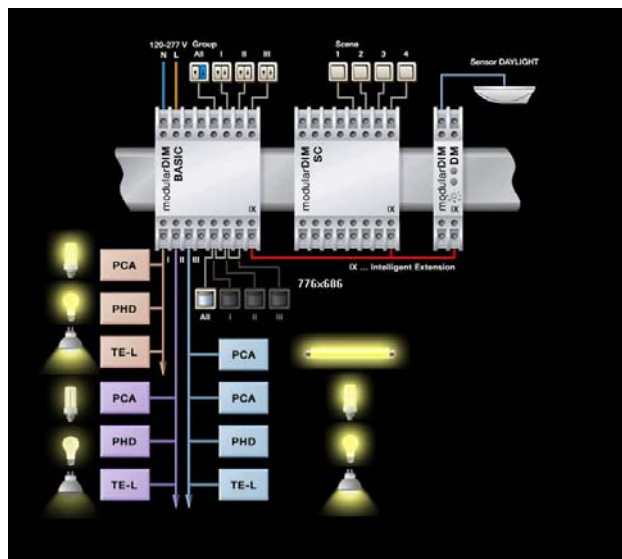
Πολλοί κατασκευαστές ηλεκτρονικών συστημάτων έναυσης, σχεδιάζουν τα προϊόντα τους προκειμένου να λειτουργούν με σήμα ελέγχου (συνεχούς ρεύματος) από 0 Volt έως 10 Volt. Τα συστήματα αυτά έχουν δύο καλώδια ελέγχου που μεταφέρουν ασθενές ρεύμα (<0,5mA) που παρέχεται από τα συστήματα έναυσης. Συνδέοντας δε τα καλώδια ελέγχου με ένα κύκλωμα που ελέγχει την τάση στα συστήματα έναυσης, μπορεί κανείς να ελέγχει την αυξομείωση της έντασης φωτισμού. Η ανταπόκριση της προσαρμογής της έντασης φωτισμού (dimming) σε ένα σύστημα έναυσης, καθορίζεται από το ποσό παραγωγής φωτισμού από τα φωτιστικά σώματα σε σχέση με μια συγκεκριμένη τάση ελέγχου. Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, η τάση στα καλώδια ελέγχου είναι 10 Volt οπότε και έχουμε τη μέγιστη παραγωγή φωτισμού από τα φωτιστικά σώματα ενώ βραχυκυκλώνοντας τα καλώδια ελέγχου, έχουμε 0 Volt και την ελάχιστη παραγωγή φωτισμού από αυτά. Σε πολλές περιπτώσεις προϊόντων, το μικρό αυτό ρεύμα στην καλωδίωση ελέγχου του συστήματος έναυσης, επαρκεί για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων του κυκλώματος του αισθητήρα φωτισμού. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, προφανώς δε χρειάζεται άλλη πηγή τροφοδοσίας και για την τελική ηλεκτρική εγκατάσταση τους απαιτείται μόνο η σύνδεση των καλωδίων χαμηλής τάσης ελέγχου στα συστήματα έναυσης. Έχουν παρατηρηθεί εντούτοις, περιπτώσεις αισθητήρων που οικειοποιούνται αυτόν τον τρόπο τροφοδοσίας, που παρουσιάζουν προβλήματα κατά τη λειτουργία σε χαμηλές τάσεις ελέγχου.



Εικόνα 3. 2 Αισθητήρας φωτισμού με συνδεσμολογία καλωδίων χαμηλής τάσης ελέγχου στο σύστημα έναυσης (Tridonic ATCO, [5])

- **Dimming με έλεγχο της φάσης της τάσης τροφοδοσίας ή με άλλα σήματα**

Σε αυτήν την περίπτωση, οι αισθητήρες έχουν σχεδιασθεί ώστε να λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο σήμα έναυσης χρησιμοποιώντας επίπεδα σημάτων τα οποία είναι ασύμβατα με άλλο σύστημα. Οι κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων παρέχουν συνήθως επιπρόσθετες υπομονάδες για να καταστήσουν τα συστήματά τους συμβατά με τα χαμηλής τάσης ελέγχου συστήματα έναυσης και με τους αισθητήρες φωτισμού. Όταν δε ο αισθητήρας φωτισμού πωλείται σαν σύστημα προσαρμογής της έντασης φωτισμού, τροφοδοτείται συνήθως από υψηλής τάσεως καλώδια ελέγχου ή από το σύστημα έναυσης έτσι ώστε να μην απαιτείται καμία πρόσθετη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.



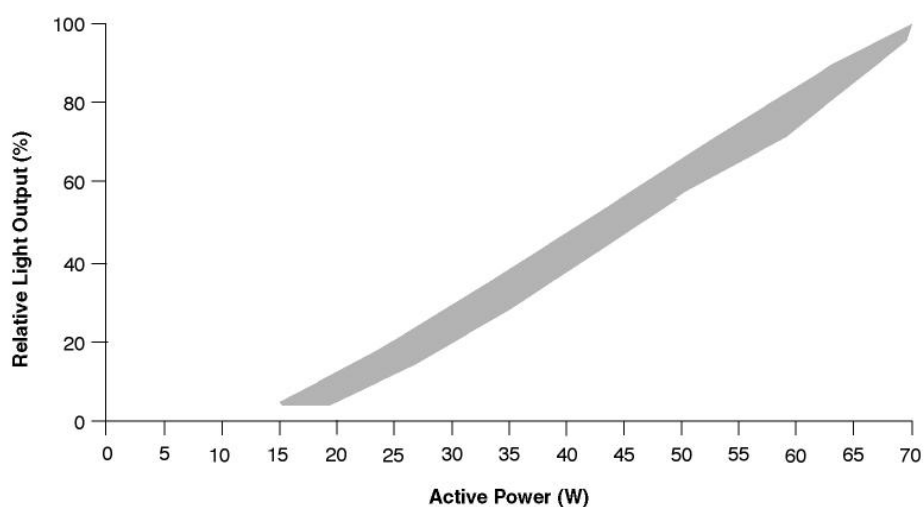
Εικόνα 3.3 Αισθητήρας φωτισμού με έλεγχο τροφοδοσίας και επιπρόσθετες μονάδες ελέγχου (Tridonic ATCO, [5])

3.3 Εξοικονόμηση ενέργειας

Κατά την συντριπτική τους πλειοψηφία οι αισθητήρες φωτισμού χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα φωτισμού. Φυσικά, εκτός από τη δεδομένη μείωση, ελαττώνοντας τα επίπεδα του τεχνητού φωτισμού, μειώνονται επίσης τα θερμικά φορτία που προέρχονται από τα φωτιστικά σώματα αυξάνοντας έτσι και την εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα ψύξης του κτιρίου όταν λειτουργεί ο ψυκτικός μηχανισμός του (Κοναχ [6]). Κατά την εξέταση του σχεδιασμού του κτιρίου, το πρόσθετο θερμικό κέρδος της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω του φυσικού φωτισμού πρέπει να ληφθεί υπόψη για μια ολοκληρωμένη ενεργειακή ανάλυση του κτιρίου.

Δε θα πρέπει να παραγνωρίσει κανείς, κατά την εξέταση της δυναμικής του κτιρίου για εξοικονόμηση ενέργειας από την προσαρμογή των επιπέδων φωτισμού στα φωτιστικά σώματα με λαμπτήρες φθορισμού, ότι τα συστήματα φθορισμού λαμπτήρων έχουν χαμηλότερη αποδοτικότητα (efficacy) όταν μειώνεται το επίπεδο φωτισμού τους. Αυτή η απώλεια της αποδοτικότητας (efficacy) οδηγεί στη μείωση της εξοικονόμησης ενέργειας καθώς η ένταση φωτισμού των λαμπτήρων μειώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Στο παρακάτω

σχήμα παρουσιάζεται η σχετική παραγωγή φωτισμού συναρτήσει της ισχύος κατανάλωσης.



Σχήμα 3.4 Σχετική παραγωγή φωτισμού (επίπεδο μείωσης φωτισμού) σε σχέση με την ισχύ κατανάλωσης (IESNA[1])

Στο επίπεδο μείωσης φωτισμού με τιμή περίπου στο 20%, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι περίπου 60% σε σχέση με την κατανάλωση του λαμπτήρα όταν χρησιμοποιείται με πλήρη ισχύς. Τα συστήματα έναυσης που μειώνουν την ένταση του φωτισμού των λαμπτήρων κάτω από το 5% έχουν μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας περίπου στο 80% σε σχέση με την κατανάλωση του λαμπτήρα όταν χρησιμοποιείται με πλήρη ισχύς (IESNA [1], Tridonic [34]).

3.4 Τα δύο είδη ελέγχου : ανοικτού και κλειστού κύκλου

Ο επιτελούμενος από τους αισθητήρες φωτισμού έλεγχος πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι αυτός του ελέγχου ανοικτού κύκλου (open loop control) και ο δεύτερος αυτός του ελέγχου κλειστού κύκλου (closed loop control). Αντιστοίχως μπορούμε να κάνουμε λόγο για ανοικτού και κλειστού κύκλου συστήματα αντιστοίχως.

Κατά τον έλεγχο ανοικτού κύκλου, ο αισθητήρας δεν έχει εποπτεία του τεχνητού φωτισμού που ελέγχει κι επομένως δεν υπάρχει οποιασδήποτε φύσης ανταπόκριση σε αυτόν. Αντιθέτως, κατά τον έλεγχο κλειστού κύκλου, ο αισθητήρας φωτισμού αντιλαμβάνεται το φωτεινό αποτέλεσμα από την ταυτόχρονη δράση του φυσικού και του τεχνητού φωτισμού και αντιδρά σε αυτό. Εμφανώς στη δεύτερη περίπτωση εντάσσεται η παράμετρος της ανάδρασης οδηγώντας και σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου ως αυτό νοείται τυπικά.

Συγκεκριμενοποιώντας, μπορούμε να αναλογιστούμε ότι σε ένα κτήριο όπου εφαρμόζεται σύστημα ανοικτού κύκλου, τοποθετείται ένας αισθητήρας στο εξωτερικό του και εκτίθεται μόνο στο φυσικό φωτισμό. Καταυτόν τον τρόπο, το επίπεδο του τεχνητού φωτισμού καθορίζεται μόνο από το σήμα που είναι ενδεικτικό του φυσικού φωτισμού. Στην πράξη, τέτοιου είδους συστήματα σχεδιάζονται συχνά μόνο για να θέτουν εκτός λειτουργίας τον τεχνητό φωτισμό όταν ο προκαλούμενος φυσικά φωτισμός ξεπερνά ένα συγκεκριμένο κατώφλι φωτεινότητας. Άλλοτε, έχουμε συστήματα προσαρμογής της έντασης φωτισμού (dimming). Στην τελευταία περίπτωση, ένα σήμα ανάλογο προς τον εξωτερικό φωτισμό καθοδηγεί το σύστημα κατά τρόπο ώστε αν προσαρμόζει τον τεχνητό φωτισμό ανάλογα με το διαθέσιμο ποσό φυσικού- ως αυτό γίνεται αντιληπτό από τον αισθητήρα. Εμφανώς, σε αυτές τις περιπτώσεις, δεν απαντάται οποιοσδήποτε έλεγχος ανατροφοδότησης στοιχείων.

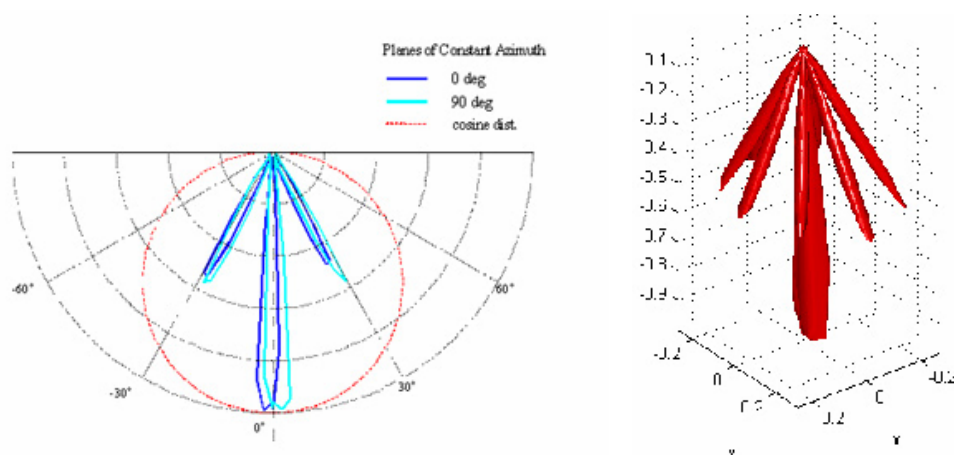
Ευνόητο μειονέκτημα των συστημάτων ανοικτού κύκλου αποτελεί το γεγονός ότι το σύστημα δε δύναται να αντισταθμίσει τις όποιες αλλαγές στην κατανομή φωτισμού στον εσωτερικό χώρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αλλοίωση της σταθεράς αναλογίας μεταξύ των εσωτερικών κι εξωτερικών επιπέδων φυσικού φωτισμού που προκαλείται από τη χρήση σκιάστρων στα παράθυρα. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα δε θα αυξήσει τον τεχνητό φωτισμό ως θα όφειλε προκειμένου να διορθώσει τα μειωμένα επίπεδα φυσικού φωτισμού εντός του δωματίου.

Στον αντίποδα της τακτικής αυτής, τα συστήματα που υιοθετούν έλεγχο κλειστού κύκλου, χρησιμοποιούν αρνητική ανατροφοδότηση (negative feedback) προκειμένου να ανταποκριθούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Μια αύξηση στο σήμα εισόδου προκαλεί, τοιουτοτρόπως, μείωση στην ένταση

του τεχνητού φωτισμού ενώ με μια μείωση του σήματος εισόδου έχουμε αύξηση του τεχνητού φωτισμού.

3.5 Χωρική απόκριση αισθητήρων

Επεξηγείται αρχικά ότι με τον όρο «χωρική απόκριση» νοείται η ευαισθησία του αισθητήρα φωτισμού συναρτήσει των διαφορετικών κατευθύνσεων πρόσπτωσης συγκεκριμένης ακτινοβολίας. Υπάρχει μια κάποια ομοιότητα μεταξύ της χωρητικής απόκρισης και της κατανομής έντασης ενός φωτιστικού σώματος αλλά στην πρώτη περίπτωση έχουμε περιγραφή της ευαισθησίας ενώ στη δεύτερη της παραγωγής φωτισμού. Η γραφική αναπαράσταση της χωρικής απόκρισης του αισθητήρα φωτισμού παρουσιάζεται χρησιμοποιώντας είτε πολικές συντεταγμένες είτε ορθοκανονικές, 3-διάστατες συντεταγμένες (εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5 Χωρική απόκριση αισθητήρα φωτισμού σε πολικές συντεταγμένες (αριστερή φωτογραφία), και σε ορθοκανονικές, 3-διάστατες συντεταγμένες (δεξιά φωτογραφία) (Lighting Research Center [7])

Η χωρική απόκριση ενός αισθητήρα φωτισμού μετρείται με την τοποθέτηση του σε ένα γωνιοφωτόμετρο (μια συσκευή που επιτρέπει ακριβείς γωνιακές μετρήσεις) και γίνεται μέτρηση του μεγέθους του σήματος του φωτοκύτταρου που δημιουργείται από μια μικρή, κατευθυντική πηγή φωτισμού που βρίσκεται τοποθετημένη σταθερά στο άκρο του γωνιοφωτομέτρου σε κάποια απόσταση. Με τη λήψη πολλών μετρήσεων με

μικρές γωνιακές προσαιξήσεις μπορεί να χαρτογραφηθεί η ευαισθησία ολόκληρου του οπτικού πεδίου του αισθητήρα φωτισμού. Η χωρική απόκριση είναι σχετικό μέγεθος που κυμαίνεται από 0 έως 1 για διαφορετικές κατευθύνσεις και υπολογίζεται από τον λόγο του σήματος του φωτοκύτταρου σε κάθε μετρημένη κατεύθυνση προς το σήμα του φωτοκύτταρου στην κατεύθυνση με τη μέγιστη ευαισθησία (IESNA [1], Tridonic [34]).

Οι κατηγορίες χωρικής απόκρισης είναι δύο: στενής και ευρείας δέσμης. Παρακάτω θα επιχειρηθεί μια περιγραφή των δύο αυτών κατηγοριών και η ανάδειξη τόσο των πλεονεκτημάτων όσο και των μειονεκτημάτων αμφοτέρων.

- **Χωρική απόκριση στενής δέσμης**

Είναι αντικειμενικό γεγονός ότι αυξανόμενης της στενότητας της χωρικής απόκρισης του αισθητήρα φωτισμού, αυξάνεται η απόκριση του αισθητήρα στη λαμπρότητα της επιφάνειας την οποία ελέγχει. Δεδομένου όμως του γεγονότος ότι η λαμπρότητα μιας επιφάνειας είναι άμεσα ανάλογη προς τη φωτεινότητα που προσπίπτει στην επιφάνεια και το συντελεστή ανάκλασής της, μπορεί κανείς διόλου εσφαλμένα να κάνει την υπόθεση πως μια στενή χωρική απόκριση μπορεί αποτελεσματικά να παρακολουθήσει τις διακυμάνσεις της φωτεινότητας. Το εμφανές λοιπόν πλεονέκτημα από την υιοθέτηση αυξημένης στενότητας χωρικής απόκρισης απορρέει από την καλύτερη ποιότητα καταγραφής των μεταβολών της φωτεινότητας της υπό μελέτης επιφάνειας.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα που αναπόδραστα έρχεται να απασχολήσει σε σχέση με τα παραπάνω είναι το ότι κατά την αύξηση της στενότητας της χωρικής απόκρισης, επέρχεται μείωση του οπτικού πεδίου του αισθητήρα. Το τελευταίο είναι καταρχήν αρνητικό υπό την έννοια ότι παρουσιάζει το σύστημα μια οπτική αγνωσία, φαινόμενο εκδήλωσης της οποίας αποτελεί το ότι λαμβάνει δεδομένα τα οποία δεν είναι απαραίτητα αντιπροσωπευτικά όλου του επιπέδου εργασίας. Επιπλέον, καθώς εύκολα μπορεί κανείς να φανταστεί, ο αισθητήρας καθίσταται ιδιαίτερα ευαίσθητος στις αλλαγές του συντελεστή ανάκλασης της περιορισμένης περιοχής την οποία και «βλέπει». Ο δε τελευταίος θα πρέπει να σημειώσουμε πως δεν είναι

σταθερός στην πράξη, κάτι προφανές αν αναλογιστούμε την εμπειρία μας από την πραγματοποίηση δραστηριοτήτων σε ένα δωμάτιο. Σημαντικός κα όχι παραλειπόμενος, δομικός θα έλεγε κανείς, περιορισμός της στενής χωρικής απόκρισης, είναι επίσης η υπερευαισθησία σε καθρέφτες και σε επιφάνειες με κατοπτρικές ανακλάσεις από λαμπρές επιφάνειες.

- **Χωρική απόκριση ευρείας δέσμης**

Το βασικό πλεονέκτημα της ευρείας χωρικής απόκρισης είναι ότι το οπτικό σήμα που λαμβάνει ο αισθητήρας είναι ενδεικτικό σε κατά πολύ μεγαλύτερο βαθμό του γενικού επιπέδου εργασίας ή ολόκληρου του δωματίου κι εξαρτάται σημαντικά λιγότερο από την εκάστοτε δραστηριότητα εντός του δωματίου.

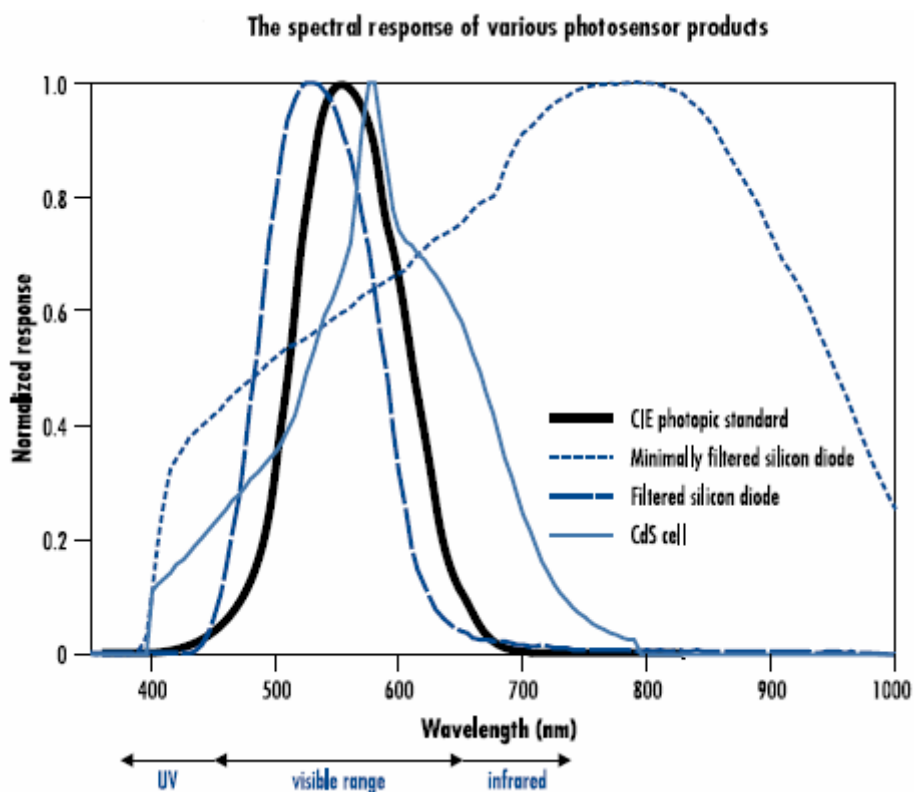
Φυσικά, οι αισθητήρες ευρείας χωρικής απόκρισης δεν είναι ορφανοί μειονεκτημάτων και η πλέον σημαντική σχετίζεται με το ότι η φωτεινότητα στην οροφή διαφοροποιείται σημαντικά από την αντίστοιχη στο επίπεδο εργασίας. Συγκεκριμένα, τα δύο μεγέθη διαφέρουν πολύ καθώς μεταβάλλονται οι ποσότητες του τεχνητού και του φυσικού φωτισμού. Ασφαλώς, ως ένα βαθμό, το δεδομένο πρόβλημα μπορεί να εξομαλυνθεί από εφαρμογή κατάλληλου αλγόριθμου ελέγχου.

3.6 Φασματική απόκριση αισθητήρων

Η φασματική απόκριση είναι ενδεικτική της ευαισθησίας του αισθητήρα φωτισμού στην ακτινοβολία, μεταβαλλόμενου του μήκους κύματος αυτής. Έχουμε ήδη αναφερθεί στα φωτοκύτταρα που αποτελούν μέρος της συνολικής κατασκευής του αισθητήρα φωτισμού. Εμπλουτίζουμε τα σχετικά με τα φωτοκύτταρα στοιχεία κάνοντας αναφορά στο ότι είναι ευαίσθητα σε ένα φάσμα μηκών κύματος κατά πολύ ευρύτερο από το ορατό φάσμα. Συγκεκριμένα, τα φωτοκύτταρα ανταποκρίνονται επιπλέον του ορατού φάσματος, τόσο σε τμήματα του φάσματος της υπεριώδους (UV) όσο και της υπέρυθρης (IR) ακτινοβολίας. Ασφαλώς, υπάρχουν φίλτρα -τα οποία ενσωματώνονται τυπικά στο φωτοκύτταρο αν και το φιλτράρισμα μπορεί να

γίνει σε οποιοδήποτε σημείο της οπτικής πορείας που ακολουθείται στον αισθητήρα φωτισμού- που περιορίζουν την ευαισθησία του αισθητήρα στην υπεριώδη και στην υπέρυθρη ακτινοβολία.

Στην συνέχεια, παρατίθεται διαγραμματική αναπαράσταση της κανονικοποιημένης φασματικής απόκρισης διαφόρων ειδών αισθητήρων φωτισμού (με και χωρίς φίλτρο κτλ.) καθώς επίσης και η φασματική κατανομή του ανθρώπινου ματιού (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3. 6 Κανονικοποιημένη φασματική απόκριση αισθητήρων φωτισμού (NLPPIP [8])

Απαραίτητη διάκριση για περαιτέρω ανάλυση θα πρέπει να γίνει ανάμεσα στην περίπτωση κατά την οποία χρησιμοποιείται ένας μόνο τύπος πηγής φωτισμού, από την περίπτωση εκείνη στην οποία έχουμε περισσότερες των δύο φασματικών πηγών. Στην πρώτη περίπτωση συστήματος ενός τύπου πηγής (π.χ. φωτισμός μόνο από λαμπτήρες φθορισμού), δεν είναι αναγκαία μια ακριβής φασματική αντιστοιχία μεταξύ της φασματικής απόκρισης του αισθητήρα φωτισμού και της απόκρισης του ανθρώπινου ματιού αφού αρκεί ένας απλός πολλαπλασιαστικός παράγοντας

ο οποίος εφαρμοζόμενος να κάνει το σήμα του αισθητήρα να αντιστοιχεί στο επιθυμητό επίπεδο φωτισμού.

Σε ένα σύστημα όμως με δυο διαφορετικές φασματικές πηγές (όπως στην περίπτωση συνύπαρξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού), ο απλός πολλαπλασιαστικός παράγοντας δεν είναι επαρκής αφού το φάσμα που λαμβάνει ο αισθητήρας φωτισμού μεταβάλλεται καθώς αλλάζει η σχετική συμβολή κάθε πηγής. Κι αν κατά την περίπτωση δύο φασματικών πηγών, είναι εφικτή η εκτίμηση του μεταβαλλόμενου παράγοντα στον αλγόριθμο ελέγχου του αισθητήρα, στην περίπτωση με περισσότερες των δύο πηγών, δεν υφίσταται εγνωσμένη μέθοδος διόρθωσης της φασματικής απόκρισης του αισθητήρα.

Χρήζει ιδιαίτερης μνείας η ουσιώδης διαφοροποίηση ανάμεσα στη φασματική σύνθεση του φυσικού φωτός και του τεχνητού. Ενώ το φυσικό φως έχει μια συγκριτικά ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας από τη φασματική περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας κοντά στο ορατό φάσμα έως την περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας κοντά στο ορατό φάσμα, οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν το μεγαλύτερο μέρος εκπομπής ακτινοβολίας συγκεντρωμένο στην περιοχή του φάσματος της ακτινοβολίας όπου απαντάται αυξημένη οπτική ευαισθησία. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας στο προερχόμενο από τον ήλιο φως, συνδυαζόμενη με την πιο πλατιά φασματική απόκριση των περισσότερων αισθητήρων φωτισμού -για την οποία και κάναμε λόγο- καθιστά τους περισσότερους αισθητήρες πιο ευαίσθητους στο φως της ημέρας από αυτό των λαμπτήρων φθορισμού. Ως εκ τούτου, ένας αισθητήρας ενδέχεται να αντιδρά μειώνοντας τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο που ελέγχει να υπήρχε περισσότερος φυσικός φωτισμός από ότι πραγματικά υπάρχει.

Ένα ακόμη ζήτημα που σχετίζεται με τη φασματική απόκριση και αξίζει να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι η φασματική κατανομή του φυσικού φωτός είναι διαφορετική στους εσωτερικούς χώρους σε σχέση με τους εξωτερικούς. Συγκεκριμένα, οι οπτικές ιδιότητες του παραθύρου και των διαφόρων επιφανειών στο εσωτερικό του δωματίου επηρεάζουν το φάσμα του φυσικού φωτός που εισέρχεται στο υπό μελέτη δωμάτιο.

3.7 Αλγόριθμοι ελέγχου

Κατά την προδιαγραφή ενός συστήματος ελέγχου που αξιοποιεί τους αισθητήρες φωτισμού, το σημαντικότερο προς προδιαγραφή στοιχείο είναι ο αλγόριθμος ελέγχου. Δεν προκαλεί εντύπωση λοιπόν το γεγονός ότι είναι το στοιχείο το οποίο εξετάζεται πρώτα. Ο αλγόριθμος ελέγχου περιγράφει την ακριβή φύση του σήματος εξόδου του αισθητήρα φωτισμού ως συνάρτηση των δεδομένων εισόδου. Ως δεδομένα εισόδου νοούνται το οπτικό σήμα που λαμβάνει ο αισθητήρας και οι ρυθμίσεις κατά την εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία του συστήματος. Η δε έξοδος είναι η τάση ελέγχου που αποστέλλεται στο ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης λαμπτήρων φωτισμού.



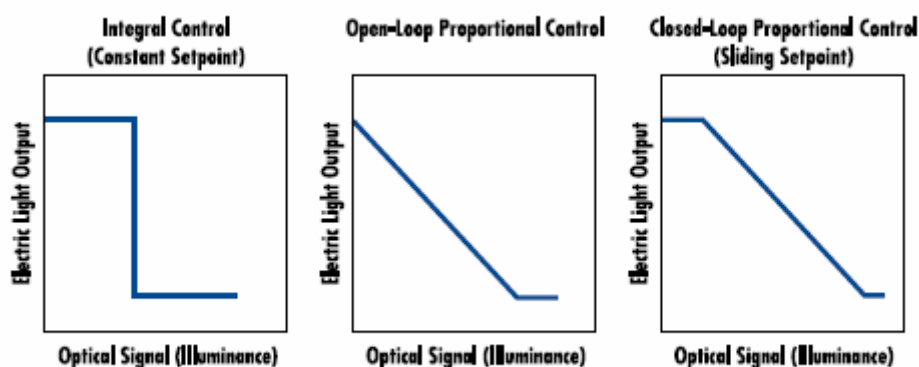
Εικόνα 3. 7 Δεδομένα εισόδου και σήμα εισόδου του αλγόριθμου ελέγχου

Οι υπάρχοντες αισθητήρες υιοθετούν, στην πλειονότητά τους, έναν ή συνδυασμό των τριών ακόλουθων βασικών αλγορίθμων ελέγχου :

- Ολοκληρωτικής λειτουργίας ή επαναφοράς αρχικών συνθηκών (integral or reset)
- Ανοικτού κύκλου (open loop)
- Κλειστού κύκλου με ανάδραση (closed loop)

Καθώς θα ανέμενε κανείς, οι αλγόριθμοι ελέγχου χαρακτηρίζονται μέσω της γραφικής παράστασης του σήματος εξόδου συναρτήσει των δεδομένων εισόδου, όταν συγκεκριμένα δεν υπάρχει καμιά ανατροφοδότηση δεδομένων, σε συνθήκες δηλαδή ανοικτού κύκλου. Ως εκ τούτου,

παρατίθενται ευθύς αμέσως οι εν λόγω γραφικές παραστάσεις, ενδεικτικές των αντίστοιχων αλγορίθμων ελέγχου.



Εικόνα 3. 8 Γραφικές παραστάσεις των βασικών αλγορίθμων ελέγχου (NLPiP [8])

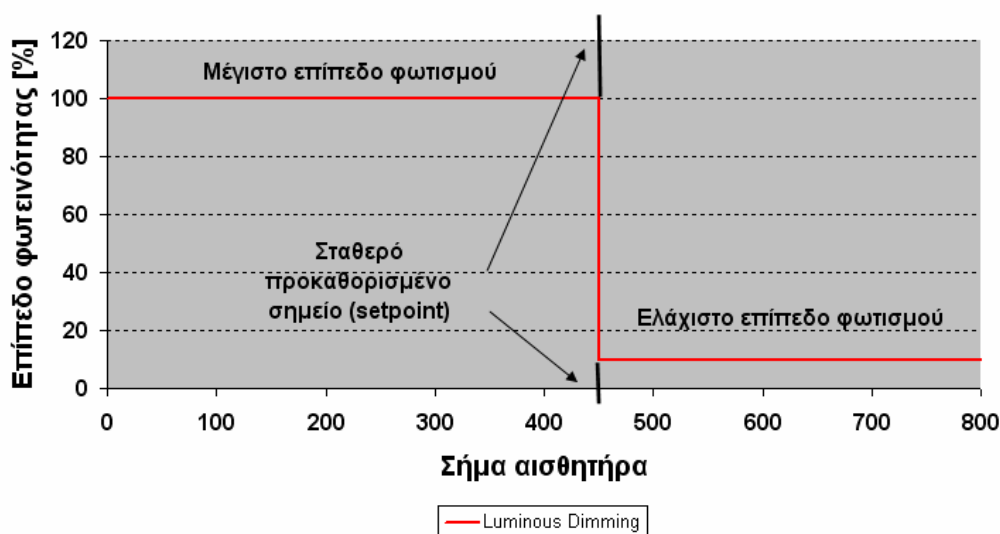
Στην συνέχεια, θα αναφερθούμε εκτενέστερα στους διάφορους αλγορίθμους, περιγράφοντας τα όποια χαρακτηριστικά τους αλλά και τις συνέπειες που απορρέουν από την υιοθέτησή τους σε ένα σύστημα αισθητήρων φωτισμού.

- **Αλγόριθμος ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας (integral or reset)**

Απαραίτητη κρίνεται η επισήμανση του ότι αυτού του είδους ο αλγόριθμος προορίζεται για χρήση από συστήματα κλειστού κύκλου. Καθώς εξηγήσαμε παραπάνω, σε αυτά τα συστήματα, η τάση ελέγχου αυξομειώνεται συνεχώς προκειμένου να διατηρηθεί σταθερό το οπτικό σήμα στον αισθητήρα φωτισμού. Ο αλγόριθμος ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας ή επαναφοράς αρχικών συνθηκών έχει μία μόνο παράμετρο προς ρύθμιση, το λεγόμενο «σημείο προσαρμογής» (set point). Κατά τη θέση λοιπόν σε κατάσταση λειτουργίας (commissioning) ενός συστήματος αυτού του τύπου, αρκεί ο καθορισμός αυτής της μοναδικής παραμέτρου, του σημείου προσαρμογής. Στο τελευταίο αυτό σημείο θα πρέπει κανείς να αναζητήσει τους λόγους για τους οποίους μια εναλλακτική ονομασία του δεδομένου αλγορίθμου ελέγχου

είναι η ακόλουθη: «έλεγχος συνεχούς προσαρμογής σταθερού προκαθορισμένου σημείου (Continuous Dimming, Constant Setpoint Control)». Ο τρόπος λειτουργίας του υπό εξέταση αλγορίθμου, θα μπορούσε να συνοψιστεί στο ότι το σύστημα που αποτελείται από τον αισθητήρα φωτισμού και το ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης έχει μια ορισμένη κλίμακα λειτουργίας εντός της οποίας διατηρείται ένα σταθερό οπτικό σήμα στον αισθητήρα φωτισμού. Επεξηγώντας περαιτέρω, αναφέρουμε ότι το οπτικό σήμα στον αισθητήρα φωτισμού παραμένει σταθερό εφόσον το απαιτούμενο επίπεδο ηλεκτρικού φωτισμού είναι μέσα στο πεδίο προσαρμογής (dimming range) του ηλεκτρονικού συστήματος έναυσης (ballast). Εφόσον το επίπεδο του τεχνητού φωτισμού δε μπορεί να αυξηθεί αρκετά για να διατηρήσει σταθερό το σήμα, η τάση ελέγχου παραμένει στο ανώτατο όριό της (100% λειτουργία των φωτιστικών σωμάτων). Ασφαλώς, το σήμα του αισθητήρα μεταβαίνει υπό του σημείου προσαρμογής. Στην αντίθετη εκείνη περίπτωση κατά την οποία το επίπεδο του τεχνητού φωτισμού δε μπορεί να μειωθεί αρκούντως ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της διατήρησης του σήματος –σε αυτήν την περίπτωση είναι παρών πλεονάζων φυσικός φωτισμός- τότε η τάση ελέγχου μεταπίπτει στο κατώτατο επίπεδο (αναλόγως τα φωτιστικά λειτουργούν στα κατώτερο επίπεδο). Η κλίμακα λειτουργίας για την οποία κάναμε λόγο, καθορίζεται κυρίως από το ηλεκτρονικό σύστημα έναυσης (dimming ballast). Έπεται διαγραμματική αναπαράσταση του αλγορίθμου ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας :

Έλεγχος ολοκληρωτικής λειτουργίας (σταθερού προκαθορισμένου σημείου)



Εικόνα 3. 9 Αλγόριθμος ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας (επαναφοράς αρχικών συνθηκών) (integral ή reset) ή αλλιώς έλεγχος συνεχής προσαρμογής σταθερού προκαθορισμένου σημείου (Continuous Dimming, Constant Setpoint control)

Αναζητώντας τις συνέπειες υιοθέτησης του αλγορίθμου ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας, αναφέρουμε ότι το οπτικό σήμα στον αισθητήρα δεν αντιστοιχεί, στην πληθώρα των περιπτώσεων, στη φωτεινότητα του επιπέδου εργασίας. Συντρέχουν δε περισσότεροι του ενός λόγοι για το τελευταίο.

Πρωτίστως, η θέση του αισθητήρα φωτισμού δεν είναι, κατά το σύνηθες, στην επιφάνεια εργασίας αλλά στην οροφή. Το πρόβλημα απορρέει από το γεγονός ότι οι αλλαγές φωτεινότητας στην οροφή δε σχετίζονται γραμμικά με τις αλλαγές φωτεινότητας στην επιφάνεια εργασίας. Συγκεκριμένα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων δωματίων, η φωτεινότητα στην οροφή αυξάνεται πολύ περισσότερο από εκείνη στην επιφάνεια εργασίας καθώς εισχωρεί φυσικός φωτισμός στο χώρο. Η γένεση δηλαδή της μη γραμμικότητας επιβάλλεται κύρια από τη διαφορά κατά τη φωτεινότητα στην οροφή λόγω φυσικού από τη μια και τεχνητού από την άλλη φωτισμού. Ο αλγόριθμος ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας, με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του, με την εισβολή φυσικού φωτισμού στο δωμάτιο θα αντιλαμβάνεται λανθασμένα λοιπόν, ότι υπάρχει περισσότερος φωτισμός στο χώρο και θα επιβάλλει τη μείωση της φωτεινής ροής του τεχνητού φωτισμού.

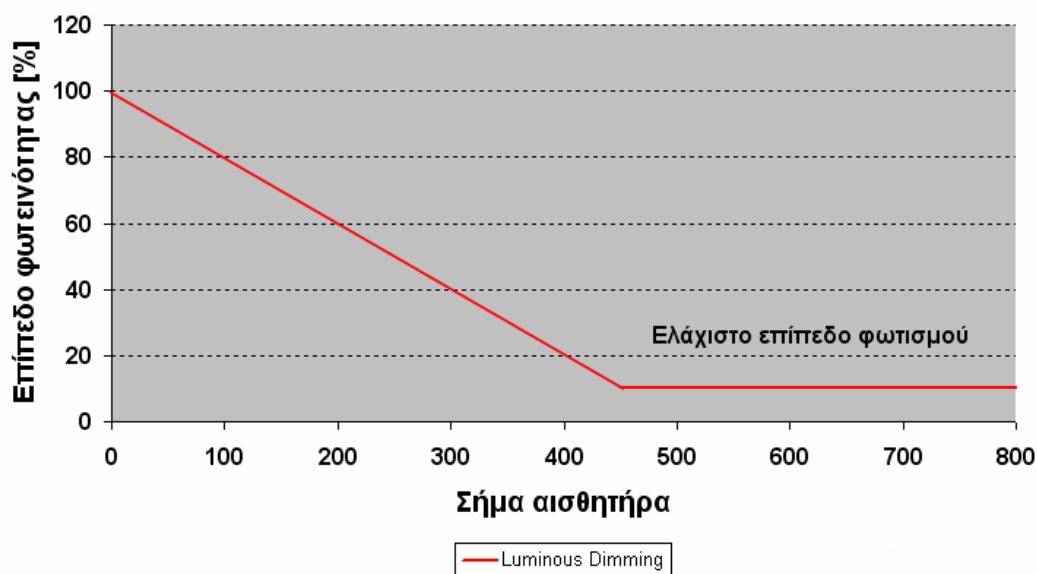
Τοιουτοτρόπως, η φωτεινότητα στην επιφάνεια εργασίας, θα έχει χαμηλότερες -κατά μεγάλο ή μικρό βαθμό- τιμές από την προκαθορισμένη τιμή.

Οι δυο επόμενοι λόγοι, σχετίζονται με τη χωρική και τη φασματική απόκριση του αισθητήρα φωτισμού. Συγκεκριμένα, η χωρική απόκριση του αισθητήρα φωτισμού δεν ταυτίζεται με εκείνη ενός οργάνου μέτρησης φωτεινότητας ένεκα του γεγονότος ότι η απόκριση του αισθητήρα δεν είναι χωρική απόκριση συνημίτονου. Όσον αφορά στη φασματική απόκριση, επισημαίνεται ότι η τελευταία δεν ταιριάζει με αυτή του οργάνου μέτρησης φωτεινότητας. Οι περισσότεροι αισθητήρες φωτισμού είναι κατά 30% με 40% περισσότερο ευαίσθητοι στο φυσικό φωτισμό από ότι στον τεχνητό για το ίδιο ποσό φωτεινότητας. Εξαιτίας αυτού, ο έλεγχος ολοκληρωτικής λειτουργίας αναγκάζει σε μείωση των επιπέδων φωτισμού εντονότερα κατά την παρουσία φυσικού φωτισμού. Ενδέχεται καταυτόν τον τρόπο να παρατηρηθεί υπερβολική μείωση των επιπέδων φωτισμού.

- **Αλγόριθμος ελέγχου αναλογικού ανοικτού κύκλου (open loop proportional)**

Παρατίθεται γραφική παράσταση της απόκρισης του αλγόριθμου ελέγχου ανοικτού κύκλου, από την οποία διαφαίνεται ότι η τάση ελέγχου είναι ανάλογη με αρνητική κλίση προς το οπτικό σήμα του αισθητήρα φωτισμού.

Έλεγχος ανοικτού κύκλου



Εικόνα 3. 10 Αλγόριθμος ελέγχου αναλογικού ανοικτού κύκλου (Open loop Proportional)

Σε αυτήν την κατηγορία ελέγχου, έχουμε επίσης μία ρυθμιζόμενη παράμετρο, την σταθερά αναλογίας μεταξύ της τάσης ελέγχου και του οπτικού σήματος. Κατά τη θέση σε λειτουργία ενός ελέγχου αυτού του είδους, θα πρέπει η σταθερά αναλογίας να καθορίζεται από το σήμα του αισθητήρα φωτισμού που συσχετίζεται με το κατάλληλο επίπεδο φωτισμού. Σύμφωνα με την καμπύλη απόκρισης του ελέγχου αναλογικού ανοικτού κύκλου, όταν το οπτικό σήμα στον αισθητήρα φωτισμού είναι μεγαλύτερο του μηδενός, το σήμα ελέγχου είναι πάντα μικρότερο από το μέγιστο. Συνέπεια αυτού αποτελεί το ότι ο τεχνητός φωτισμός είναι πάντα μειωμένος παρουσία φυσικού φωτισμού. Ουσιαστικά, αδυνατεί να πάρει τη μέγιστη τιμή του.

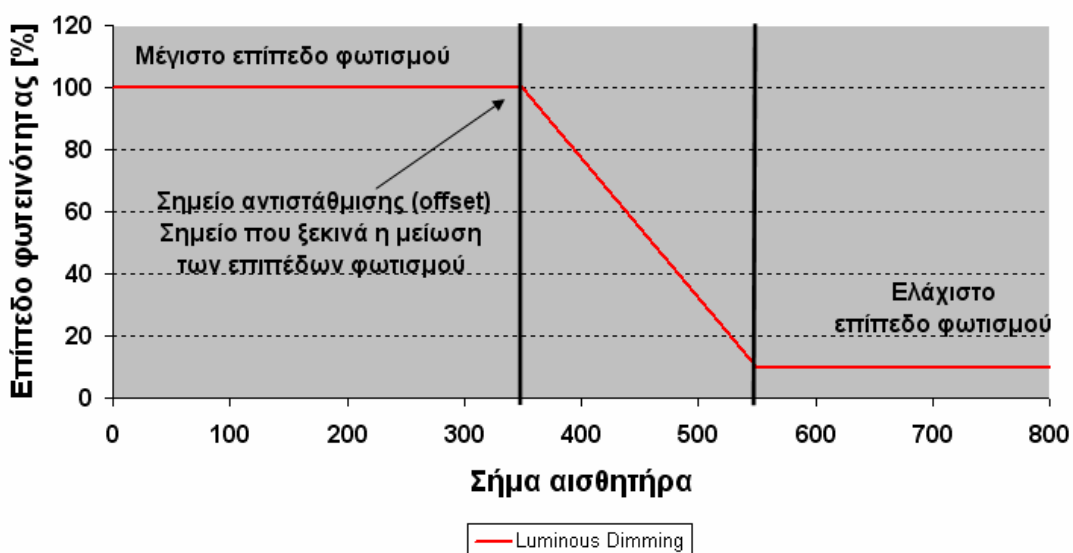
- **Αλγόριθμος ελέγχου αναλογικού κλειστού κύκλου (closed loop proportional)**

Ο αλγόριθμος ελέγχου αναλογικού κλειστού κύκλου, είναι ίδιος με αυτόν του ανοικτού κύκλου με την προσθήκη όμως μιας οριζόντιας αντιστάθμισης (offset) στην αρχή της καμπύλης προσαρμογής της έντασης του φωτισμού. Η αντιστάθμιση αυτή αποτρέπει τη μείωση του φωτισμού έως

όπου το οπτικό σήμα στον αισθητήρα φθάσει την επιθυμητή τιμή που ετέθη ως σημείο προσαρμογής (set point). Αυτή ακριβώς είναι η ιδιότητα του συγκεκριμένου αλγορίθμου που τον καθιστά χρηστικό σε συστήματα κλειστού κύκλου. Σε αυτήν την περίπτωση ασφαλώς, οι ρυθμιζόμενες παράμετροι είναι δύο:

- Η σταθερά αναλογίας μεταξύ της τάσης ελέγχου και των δεδομένων εισόδου (την κλίση δηλαδή της καμπύλης απόκρισης του ελέγχου)
- Το σημείο αντιστάθμισης (offset), την τιμή δηλαδή του οπτικού σήματος για την οποία εκκινεί η διαδικασία μείωσης του φωτισμού

Έλεγχος κλειστού κύκλου (μετακινούμενου προκαθορισμένου σημείου)



Εικόνα 3. 11 Αλγόριθμος ελέγχου αναλογικού κλειστού κύκλου (Closed loop Proportional)

Ο έλεγχος αναλογικού κλειστού κύκλου κάνει χρήση ανατροφοδότησης ώστε να συγκρίνει το σήμα του αισθητήρα φωτισμού με την τιμή που έχει τεθεί ως στόχος, το προκαθορισμένο δηλαδή σημείο (set point). Κατά τη συνήθη τακτική σε συστήματα ανάδρασης, παράγεται εν συνεχεία ένα σήμα ενημέρωσης λάθους (error signal) το οποίο καθορίζει το ποσό και την κατεύθυνση της μεταβολής του σήματος ελέγχου που ελέγχει το επίπεδο του τεχνητού φωτισμού. Η αρνητική ανατροφοδότηση χρησιμοποιείται ώστε ένα θετικό σήμα λάθους να οδηγεί στη μείωση των επιπέδων του τεχνητού φωτισμού ενώ ένα αρνητικό στην αύξηση.

Ο έλεγχος αναλογικού κλειστού κύκλου, εξετάζει τις διαφορές στην κατανομή και στο φάσμα των ακτινοβολιών του τεχνητού και φυσικού φωτισμού, αυξάνοντας την τιμή που έχει τεθεί ως στόχος καθώς το σήμα του αισθητήρα αυξάνεται. Επομένως, με την εισχώρηση του φυσικού φωτός στο δωμάτιο, το σήμα του αισθητήρα αναγκάζεται να αυξηθεί και η τιμή-στόχος γίνεται μεγαλύτερη. Καταυτόν τον τρόπο επιτρέπεται στη φωτεινότητα της οροφής –όπου και είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας- να αυξάνεται αναλογικά περισσότερο από τη φωτεινότητα στο επίπεδο εργασίας. Για αυτόν το λόγο, ο αλγόριθμος ελέγχου κλειστού κύκλου απαντάται και ως έλεγχος μετακινούμενου προκαθορισμένου σημείου (sliding set point control)

Το γεγονός ότι ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί σε ένα σύστημα κλειστού κύκλου χρησιμοποιώντας ανατροφοδότηση, του επιτρέπει να αντιδρά και να αντισταθμίζει τις όποιες αλλαγές στα επίπεδα φωτισμού. Είναι σαφές πως για αυτό το λόγο έχει σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα να διατηρήσει τα επίπεδα φωτισμού σε μια σταθερή τιμή στην επιφάνεια εργασίας.

Ως πλεονέκτημα λογίζεται και το γεγονός ότι υπάρχει ευελιξία στον καθορισμό της σταθεράς αναλογίας μεταξύ της τάσης ελέγχου και του οπτικού σήματος του αισθητήρα. Με τη σειρά της, η εν λόγω ευελιξία επιτρέπει ταυτόχρονα με την αύξηση των επιπέδων φωτισμού στο επίπεδο εργασίας (κατά την εισχώρηση φυσικού φωτός), τη διατήρηση μιας σταθερής φωτεινότητας στο επίπεδο εργασίας.

Επιπλέον, η χρήση αυτού του αλγόριθμου επιλύει το πρόβλημα που ανακύπτει στη διαδικασία του ελέγχου κατά την περίπτωση συνύπαρξης δύο διαφορετικών πηγών φωτισμού με διαφορετικές φασματικές κατανομές (η συντριπτικά συνηθέστερη περίπτωση συνύπαρξης φυσικού και τεχνητού φωτισμού). Υπενθυμίζουμε την αποτυχία σε αυτό το σημείο από πλευράς του αλγόριθμου ελέγχου ολοκληρωτικής λειτουργίας στην αντίστοιχη περίπτωση.

Κεφάλαιο 4

Βιβλιογραφική αναφορά σε υφιστάμενες έρευνες με συστήματα φυσικού φωτισμού

Στο τμήμα αυτό της δεδομένης διπλωματικής εργασίας επιχειρείται η συνοπτική παρουσίαση κάποιων υφιστάμενων ερευνών επί του ζητήματος της αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού για φωτισμό γραφείων, βελτιστοποίηση της οπτικής άνεσης και εξοικονόμηση ενέργειας. Μια τέτοιου είδους παρουσίαση κρίνεται άξια αναφοράς πριν από την παράθεση της δικής μας έρευνας ώστε ο αναγνώστης να μπορεί να αντιληφθεί τόσο το πώς αξιοποιήθηκε η αποκομισθείσα από αυτές τις έρευνες εμπειρία όσο και να επιδοθεί σε συγκρίσεις που δυνητικά μπορούν να αποβούν γόνιμες. Προκειμένου να υλοποιηθεί αυτό έγινε χρήση πληθώρας ερευνών αλλά και μιας προηγούμενης έρευνας με τον ίδιο στόχο, αυτής της Galasiu [9]. Γίνεται στο πλαίσιο αυτής της προσπάθειας εκτεταμένη αναφορά σε υποκειμενικής φύσης ζητήματα που συνδέονται με την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Αυτό περιλαμβάνει έρευνες για τις προτιμώμενες φωτεινές και εν γένει φυσικές συνθήκες αλλά και σχετικά με την ικανοποίηση των ενοίκων και το βαθμό κατά τον οποίο αυτοί αποδέχονται τα συστήματα ελέγχου τόσο του φωτισμού όσο και της σκίασης των παραθύρων. Για την ακρίβεια, αυτοί είναι οι δύο άξονες της ανάλυσης που ακολουθεί.

4.1 Προτιμώμενες συνθήκες φωτισμού σε περιβάλλον φυσικά φωτιζόμενο

4.1.1 Πεποιθήσεις σχετικά με το φωτισμό

Αυτό που εν γένει εισπράττεται από τις υφιστάμενες έρευνες είναι ότι οι περισσότεροι άνθρωποι τείνουν να πιστεύουν ότι το φως ημέρας είναι ανώτερο από τον τεχνητό φωτισμό όσον αφορά στην επίδρασή του στον άνθρωπο. Σε έρευνα που διεξήχθη στην Αγγλία και στη Νέα Ζηλανδία (Cuttle

[10]), διενεμήθησαν ερωτηματολόγια που αφορούσαν στα παράθυρα και στο πως ανταποκρίνονταν οι ένοικοι των υπό μελέτη κτηρίων ως προς αυτά. Το δείγμα συμμετεχόντων στη δεδομένη έρευνα, αποτελούταν από 471 υπάλληλους γραφείου οι οποίοι και ερωτήθηκαν κατά πόσο θεωρούσαν τα παράθυρα μία σημαντική παράμετρο στο χώρο εργασίας τους. Σχεδόν καθ' ολοκληρία (99%), οι ερωτηθέντες εξέφρασαν την πεποίθησή τους ότι τα γραφεία θα έπρεπε να έχουν παράθυρα ενώ το 86% φάνηκε να θεωρεί το φως ημέρας την καλύτερη επιλογή φωτισμού. Η σαφής αυτή προτίμησή τους αποδόθηκε στη γνώμη ότι το να εργάζεται κανείς υπό φως ημέρας προκαλεί λιγότερο στρες από τον ηλεκτρικό φωτισμό και εξασφαλίζει μεγαλύτερη άνεση από τον τελευταίο. Μάλιστα, καταστάθηκε σαφές ότι η σχετική τους προτίμηση δεν πήγαζε τόσο από πεποίθηση για τον ευεργετικό, ως προς την υγεία, χαρακτήρα του φυσικού φωτισμού όσο για το ζημιογόνο χαρακτήρα του τεχνητού.

Σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε δεδομένο κτήριο γραφείων στο Seattle, USA, τόσο κατά το χειμώνα όσο και κατά το καλοκαίρι (Heerwagen [11]), περισσότεροι από τους μισούς ένοικους ανέφεραν ότι το φως ημέρας είναι ανώτερο επειδή εξασφαλίζει ψυχολογική ανάταση, καλύτερη εμφάνιση του γραφείου και απορρέουσα από αυτό ευχαρίστηση, είναι ευνοϊκό γενικά για την υγεία και για το οπτικό σκέλος αυτής ενώ ακόμη αποδίδει καλύτερα τα χρώματα ανθρώπων και επίπλων. Οι ερωτηθέντες των οποίων τα γραφεία είχαν παράθυρα ασπάζονταν τις παραπάνω απόψεις λιγότερο σθεναρά σε σχέση με εκείνους που στερούνταν παραθύρων. Η γενική, θετική για το φως ημέρας, προαίρεση ήταν λιγότερο εμφανής σε ερωτήσεις που αφορούσαν στην αποδοτικότητα μιας και εκεί οι ερωτηθέντες δε διέφεραν ανεξαρτήτως του κατά πόσο τα γραφεία τους διέθεταν ή όχι παράθυρο. Πάντως, μολονότι οι συμμετέχοντες σε αυτήν την έρευνα εξέφρασαν με σαφήνεια την προτίμησή τους στο φως ημέρας, όταν τους ζητήθηκε να το τοποθετήσουν μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών ενός χώρου εργασίας κατά σειρά φθίνουσας σπουδαιότητας, το έβαλαν μόλις δέκατο ένατο από τα είκοσι.

Σε ανάλογη μελέτη στην οποία τα υποκείμενα ήταν φοιτητές πανεπιστημίου στον Καναδά (Veitch et al. [12]), ελήφθησαν ανάλογα αποτελέσματα. Όσοι συμμερίζονταν απόψεις σχετικά με το ρόλο που διαδραματίζει το φως στην υγεία, πίστευαν επίσης στην υπεροχή του φυσικού

φωτός έναντι όλων των άλλων. Σε μια τροποποίηση του ερωτηματολογίου της προηγούμενης έρευνας (Veitch and Gifford [13]) και διάθεσή του σε ένα ανάμικτο δείγμα υπαλλήλων γραφείου και φοιτητών, παρατήρησαν εκ νέου ότι οι άνθρωποι πιστεύουν ότι το ηλιακό φως είναι προτιμότερο από αυτό που απορρέει από οποιαδήποτε άλλη φωτιστική πηγή. Χαρακτηριστικό είναι ότι προέκυψε ένα ποσοστό 52% από άτομα που θεώρησαν ότι εργάζονται με τον πλέον αποδοτικό τρόπο όταν τελούν υπό φυσικό φωτισμό.

4.1.2 Εκτιμήσεις της διαθεσιμότητας φυσικού φωτισμού

Ο Wells [14] διεξήγαγε μελέτη στην οποία συμμετείχαν υπάλληλοι γραφείου στη Μεγάλη Βρετανία με σκοπό να αναγνωρίσει και στην συνέχεια να αναδείξει τη σχέση που υφίσταται ανάμεσα στις πραγματικές φυσικές συνθήκες και στις αντιδράσεις των ατόμων όσον αφορά στα παράθυρα, στο φως ημέρας και στον τεχνητό φωτισμό. Ζητήθηκε από τους εργαζόμενους να εκτιμήσουν τις ποσότητες φυσικού και τεχνητού φωτός που ήταν διαθέσιμες στις επιφάνειες εργασίας τους ενώ είχαν ληφθεί μετρήσεις της συνολικής έντασης φωτισμού. Η οφειλόμενη σε φως ημέρας φωτεινή ένταση υπολογίστηκε εν συνεχεία αφαιρώντας από την συνολική αυτή ποσότητα την ένταση φωτισμού που μετρήθηκε τη νύχτα Σε προηγούμενη μελέτη του ίδιου σε ένα δείγμα 2500 εργαζόμενων, είχε φανεί μια έντονη προτίμηση για το φωτισμό χρήσει του φωτός ημέρας καθώς επίσης και για τη θέα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, το 89% των ερωτηθέντων είχε θεωρήσει ότι η θέα προς τα έξω είναι πολύ σημαντική ενώ το 69% ότι ήταν καλύτερο για την όρασή τους να εργάζονται υπό το φως του ηλίου σε σχέση με ηλεκτρικό φωτισμό. Παρόλα αυτά, η κατοπινή έρευνα που έλαβε χώρα σε δυο παρόμοια αυγουσιάτικα πρωινά με σχετικά συννεφιασμένο ουρανό, κατέστησε σαφές ότι οι εκτιμήσεις των ερωτηθέντων σχετικά με τις προσλαμβανόμενες ποσότητες φυσικού φωτισμού απείχαν πολύ από την πραγματικότητα. Ειδικότερα, φάνηκε ότι τα υποκείμενα έτειναν να υπερεκτιμούν την αναλογία φωτός ημέρας στο περιβάλλον εργασίας τους και μάλιστα αναλογικά ως προς την απόστασή τους από τα παράθυρα. Βάσει της μεθόδου που αναδείχθηκε παραπάνω, προέκυψε ότι τα υποκείμενα

θεωρούσαν ότι είχαν στη διάθεσή τους επαρκή ποσότητα φυσικού φωτισμού ακόμη και όταν υπήρχε ελάχιστη τέτοια και επί της ουσίας όλη η φωτεινή ένταση παρεχόταν μέσω τεχνητού φωτισμού. Ο υπεύθυνος της δεδομένης έρευνας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εκτιμήσεις των ατόμων σχετικά με το τι χρειάζονται από απόψεως τόσο φυσικού φωτός όσο και θέας είναι ανεξάρτητες του πραγματικού φυσικού περιβάλλοντος και της παρουσίας του φυσικού φωτός ως φωτιστικού μέσου. Θεωρήθηκε ακόμη ότι οι εκτιμήσεις συνδέονταν με ψυχολογικής φύσης παράγοντες όπως η κριτική ικανότητα σε σχέση με την κατανομή φωτεινότητας και η προτίμηση για θέα.

4.1.3 Προτιμώμενα επίπεδα φωτισμού σε φυσικά φωτιζόμενα γραφεία

Οι Escuyer και Fontoyonont [15] υιοθέτησαν μια ημι-άμεση (semidirected) μέθοδο συνέντευξης προκειμένου να ερευνήσουν τις προτιμήσεις Γάλλων συμμετεχόντων σχετικά με το περιβάλλον εργασίας τους, το σύστημα ελέγχου φωτισμού του γραφείου τους, τον τηλεχειρισμό του φωτισμού και τα σκίαστρα των γραφείων τους. Μετά την συνέντευξη λήφθηκαν φωτογραφίες και μετρήσεις της έντασης φωτισμού στις επιφάνειες εργασίας. Το 44% των συμμετεχόντων είπαν ότι “το να έχει κανείς πολύ φως ημέρας” ήταν ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για ένα γραφείο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, για ανθρώπους που δούλευαν σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα προτιμώμενα επίπεδα φωτός ήταν ανάμεσα στα 100 και στα 300 lux. Η προηγούμενη τιμή για ανθρώπους που εργάζονταν λιγότερο σε υπολογιστές, αυξανόταν και εντοπιζόταν ανάμεσα στα 300 και 600 lux. Τα άτομα επέλεγαν να χαμηλώσουν το φωτισμό επειδή επιθυμούσαν να εκμεταλλευτούν το φως ημέρας, επειδή ήθελαν να εξοικονομήσουν ενέργεια είτε επειδή τα υψηλά επίπεδα έντασης φωτισμού προκαλούσαν πόνο στα μάτια τους. Πολλοί ένοικοι επέλεγαν χαμηλά επίπεδα ηλεκτρικού φωτισμού όταν υπήρχε επάρκεια φυσικού φωτός ώστε να ωφεληθούν από αυτό. Δεδομένης αυτής της επιλογής, προσέθεταν κατά μέσο όρο 150-400 lux ηλεκτρικού φωτισμού στο διαθέσιμο στο γραφείο τους φυσικό φωτισμό και

πολλοί από αυτούς δεν προσέθεταν πάνω από 280 lux ακόμη και όταν τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού ήταν κάτω από τα 100 lux.

Για 12 συμμετέχοντες των οποίων τα βορειοανατολικά, ιδιωτικά γραφεία συμπεριλάμβαναν συστήματα εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού και ανίχνευσης παρουσίας διακοπτικής λειτουργίας (daylight –και occupancy-linked on/off lighting), καθώς και χειροκίνητα ελεγχόμενο φωτισμό ανά περιοχή και κατηγορία εργασιών (task lighting) (τα υποκείμενα μπορούσαν να ρυθμίσουν το επίπεδο φωτός και τη χρονική καθυστέρηση βάσει της επιλογής τους), οι Escuyer και Fontoyonont εξέτασαν την επιλεγμένη αναλογία μεταξύ στο φως ημέρας και στον ηλεκτρικό φωτισμό κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το 60% των συμμετεχόντων ήταν ικανοποιημένο με το γενικό on/off φωτισμό που παρείχε 270 lux και την τοποθετημένη στο γραφείο τους λάμπα που παρείχε από 230 έως 730 lux. Τρία επίπεδα έντασης φωτισμού από το γενικό φωτισμό προτιμούνταν : λιγότερα από 250 lux, γύρω στα 300 lux και πάνω από 500 lux. Το 42% των ατόμων θεωρούσαν ότι το συνδυαστικό σύστημα on/off και task lighting ήταν πιο άνετο συγκρινόμενο με μόνο το γενικό φωτισμό κυρίως επειδή καταυτόν τον τρόπο αισθάνονταν ότι είχαν μερικό έλεγχο επί του φωτισμού. Το 33% διαφωνούσε με την παραπάνω θέση, θεωρώντας ότι είναι προτιμότερος από άποψης άνεσης ο γενικός φωτισμός, κυρίως επειδή ο τύπος του ειδικού για την εκάστοτε δραστηριότητα φωτισμού (φωτισμός δραστηριότητας, task light) που παρεχόταν δεν ήταν της αρεσκείας τους (οι ερευνητές σημείωσαν ότι ενδεχόμενος έλεγχος επί της θερμοκρασίας χρώματος του φωτισμού δραστηριότητας μπορεί να βελτίωνε τη συνολική εντύπωση για το συνδυαστικό σύστημα).

Τα επίπεδα έντασης φωτισμού που αναφέρθηκαν κατά την προηγούμενη έρευνα ήταν σημαντικά χαμηλότερα από αυτά που προέκυψαν σε μια προγενέστερη μελέτη από τον Begemann και άλλους [16] που βρήκαν ότι σε 4 βόρεια προσανατολισμένα γραφεία στην Ολλανδία, τα άτομα προσέθεταν 300-1200 lux τεχνητού φωτός ανεξαρτήτως των διαθέσιμων επιπέδων φυσικού φωτός κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ένα σύνολο 170 εργαζομένων είχε τη δυνατότητα να ρυθμίσει την ένταση φωτισμού του επιπέδου εργασίας τους, την ένταση φωτισμού των τοίχων και τη θερμοκρασία χρώματος εντός ενός εκτεταμένου εύρους (200-2000 lux και 2800-5000 K), οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της πλήρους ημέρας

ανάλογα με τις ανάγκες και προτιμήσεις τους. Παρόλα αυτά έπρεπε να ρυθμίζουν εκ νέου βάσει της προτίμησής τους όταν ο τεχνητός φωτισμός απενεργοποιούταν αυτόματα, Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ρυθμίσεις των ατόμων διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, κάτι που οι ερευνητές απέδωσαν στην ευαισθησία του καθενός στο φως, στην ποιότητα του ύπνου τους, στο βιολογικό τους ρολόι και στο βαθμό ευεξίας και άνεσης. Τα προτιμώμενα επίπεδα τεχνητού φωτισμού εξαρτιόνταν στα επίπεδα φωτός ημέρας και στον τύπο του καιρού ενώ ήταν ανεξάρτητα από την ηλικία και το φύλλο. Υπό συνθήκες νεφροσκεπούς ουρανού, οι συμμετέχοντες προσέθεταν κατά μέσο όρο 1000 lux ηλεκτρικού φωτισμού ενώ σε στην περίπτωση φωτεινού ουρανού, η αύξηση ήταν 500-1200 lux με φθίνοντα επίπεδα φωτός ημέρας από 2000 ως 0 lux. Η αυξημένη πρόσθεση τεχνητού φωτισμού στην έρευνα του Begemann έδειξε μια πρωινή, μεσημεριανή και απογευματινή επίδραση που αποδόθηκε στην ανάγκη των ατόμων για βιολογικό ερεθισμό από τον τεχνητό φωτισμό τέτοιο ώστε να κανονικοποιήσουν το βιολογικό τους ρολόι βάσει του ημερήσιου κύκλου του φυσικού φωτός.

Βρέθηκε επίσης μια σχέση ανάμεσα στην ένταση φυσικού φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας και στην προτιμώμενη θερμοκρασία χρώματος, κάτι που υποδεικνύει ότι σε χαμηλά επίπεδα φυσικού φωτός (500 lux) , η κατά μέσο όρο προτιμώμενη θερμοκρασία χρώματος ήταν γύρω στα 3300 K και σε υψηλότερα επίπεδα (1500 lux) η παραπάνω τιμή αυξανόταν στα 4300 K. Ένα άλλο πόρισμα ήταν ότι τα κάθετα επίπεδα και οι λόγοι έντασης φωτισμού ήταν σημαντικοί παράγοντες ως προς το να δημιουργηθεί το βέλτιστο οπτικό περιβάλλον και ότι το να διατηρείται μια συνεχής ένταση φωτισμού της επιφάνειας εργασίας δε θα ικανοποιούσε τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των ενοίκων.

Οι Halonen και Lehtonaara [17] κατέληξαν σε παρόμοια συμπεράσματα αφού μελέτησαν το πώς 20 εργαζόμενοι σε ένα ανατολικά προσανατολισμένο γραφείο στην Φιλανδία, προσαρμοζαν το ρυθμιζόμενης έντασης σύστημα φωτισμού ανά 15λεπτα διαστήματα κατά τη διάρκεια μιας 3ωρης περιόδου. Βρήκαν ότι η διαφορά στα επίπεδα φωτός, προς επίτευξη των οποίων έκαναν τις σχετικές ρυθμίσεις οι χρήστες, ήταν ιδιαίτερα έντονη ανά χρήστη, μεταβαλλόμενη από τα 230 ως τα 1000 lux και ότι οι περισσότεροι δεν προσπάθησαν να διατηρήσουν ένα σταθερό επίπεδο έντασης φωτισμού στα

γραφεία τους. Κάποιοι ένοικοι αύξαναν το επίπεδο του ηλεκτρικού φωτισμού παρόλα τα αυξανόμενα επίπεδα φωτός ημέρας, συμπεριφορά που αποδόθηκε στη υψηλό λόγο ανάμεσα στην κάθετη, διαθέσιμη στο πίσω μέρος του δωματίου, ένταση φωτισμού και στην αντίστοιχη τιμή κοντά στα παράθυρα. Αποδόθηκε ακόμη σε έναν υψηλό λόγο κάθετης προς οριζόντιας έντασης φωτισμού.

Ο Laurentin και άλλοι [18] παρατήρησαν, κατά τη διάρκεια δύο εαρινών μηνών (Μάρτιος και Απρίλιος) το πώς ελέγχεται από μέρους των ανθρώπων ο τεχνητός φωτισμός και ο φωτισμός χρήσει του φωτός ημέρας ως ανταπόκριση σε διάφορες ποσότητες φυσικού φωτισμού. Στην έρευνα συμμετείχαν 30 Γάλλοι που ελέγχθηκαν σε δοκιμές σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για τρεις 30λεπτες περιόδους και ο καθένας επέλεξε διαφορετικά επίπεδα έντασης φωτισμού αναλόγως της απόστασής του από το παράθυρο. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, που έλαβαν χώρα σε δύο ανατολικά, διπλανά γραφεία από τις 3 έως τις 5 μμ ώστε να αποφευχθεί άμεση ηλιακή δεισδυση, μια ομάδα δύο συμμετεχόντων καθόταν -διαδοχικά- σε τρεις σταθμούς εργασίας, τοποθετημένους σε διάφορες αποστάσεις από το παράθυρο. Στο τέλος κάθε δοκιμής, τα υποκείμενα έπρεπε να απαντήσουν σε μια σειρά από ερωτήσεις αποτιμώντας το οπτικό περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, όταν καθόταν κοντά στο παράθυρο, το 57% των συμμετεχόντων δεν προσέθετε ηλεκτρικό φως ενώ το υπόλοιπο ποσοστό προσέθετε από 20 έως 450 lux. Στο κέντρο του δωματίου, το 40% των συμμετεχόντων σε προσέθετε ηλεκτρικό φωτισμό ενώ οι υπόλοιποι προσέθεταν από 30 έως 580 lux. Μακριά από το παράθυρο, όπου τα επίπεδα φωτός ημέρας ήταν αρκετά χαμηλά (120 lux), δε σημειώθηκε πρόσθεση τεχνητού φωτός από το 30% ενώ οι υπόλοιποι επέλεξαν να προσθέσουν από 20 έως 350 lux. Αυτό έδειξε ότι τα επίπεδα έντασης φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας εξαρτιόνταν σημαντικά από τη θέση του ενοίκου ως προς το παράθυρο, κάτι που υποδεικνύει ότι οι άνθρωποι αποδέχονται να εργάζονται υπό πολύ διαφορετικές συνθήκες φωτισμού αναλόγως της θέσης τους. Το τοποθετημένο κοντά στο παράθυρο γραφείο, έχαιρε της μεγαλύτερης προτίμησης από τους ενοίκους παρότι το μέγιστο επίπεδο φωτός σε αυτό το σημείο ήταν πολύ υψηλό (1200 lux) σε σχέση με τα 500 lux που καταγράφηκαν ως μέγιστη τιμή στη θέση μακριά από το παράθυρο. Γενικά, οι

συμμετέχοντες προσέθεταν ένα μέγιστο των 500 lux στο διαθέσιμο φως ημέρας ακόμη και όταν το τελευταίο ήταν κάτω από τα 100 lux μολονότι μπορούσαν να προσθέσουν ως 1200 lux ηλεκτρικού φωτός.

Ο τύπος της φωτεινής πηγής μοιάζει επίσης να επηρεάζει την κρίση περί οπτικής άνεσης και ελκυστικότητας του οπτικού περιβάλλοντος. 20 Γάλλοι, υπάλληλοι γραφείου αποτίμησαν (Laurentin et al. [19]) την οπτική άνεση που προσλάμβαναν ενώ διάβαζαν το ίδιο κείμενο υπό τρεις διαφορετικές φωτεινές πηγές : φως ημέρας, ηλεκτρικό φως και συνδυασμός των δύο. Κατά τη διάρκεια του πειράματος διατηρούταν μια σταθερή ένταση φωτισμού 300 lux. Τα παραπάνω διενεργήθηκαν κατά τη διάρκεια τόσο του θέρους όσο και του χειμώνα και συμπεριλάμβαναν μια περίοδο μιας ώρας προσαρμογής στις φωτεινές και θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος του γραφείου, που ακολουθούταν από 45 λεπτά ανάγνωσης κειμένου κατά τα οποία κάθε φωτεινή πηγή φώτιζε το κείμενο για 15 λεπτά. Στο τέλος κάθε 45λέπτου ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να επιλέξουν τις προτιμώμενες συνθήκες φωτισμού προσαρμόζοντας τα σκίαστρα, τον ηλεκτρικό φωτισμό ή και τα δύο. Οι συμμετέχοντες εξέλαβαν τα 300 lux έντασης φωτισμού ως ευχάριστα υπό φως ημέρας και δυσάρεστα υπό ηλεκτρικό φωτισμό αλλά εν γένει, οι αποτιμήσεις προτίμησης έδειξαν ότι προτιμούσαν ένα χαμηλότερο επίπεδο έντασης φωτισμού στην περίπτωση φωτισμού μόνο από ηλεκτρικό φωτισμό από ότι υπό συνθήκες φυσικού φωτισμού ή συνδυασμού. Οι ερευνητές είκασαν ότι αυτή η επιλογή συνδεόταν πιθανότατα με τον τρόπο κατά τον οποίο το φως διανεμόταν στο χώρο στις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, με μια υψηλή διαφοροποίηση στην αντίθεση ανάμεσα στην περιοχή κοντά στο παράθυρο και στο πίσω μέρος του δωματίου κατά το φυσικό φωτισμό και την αντίληψη χαμηλότερων επιπέδων φωτός στο γραφείο των υποκειμένων όταν αυτό φωτιζόταν σε μια μικρότερη γωνία από την αριστερή τους πλευρά μόνο από φυσικό φως από ότι όταν φωτιζόταν μόνο από τεχνητό φως. Μολαταύτα, όταν επιτράπηκε στους συμμετέχοντες να αποφασίσουν το οπτικό τους περιβάλλον, υπό φυσικό φως μόνο, το μέσο επίπεδο έντασης φωτισμού στο γραφείο ήταν 300 lux. Για ηλεκτρικό φωτισμό μόνο η αντίστοιχη τιμή ανερχόταν στα 500 lux και για συνθήκες συνδυασμένου φωτισμού, 560 lux.

Οι ερευνητές σημείωσαν ακόμη ότι όταν οι συνθήκες θέρμανσης/ψύξης δεν ήταν ευχάριστες και αποδεκτές, οι συνθήκες φωτισμού δεν συγκέντρωναν μεγάλη πιθανότητα να θεωρηθούν ευχάριστες. Επιπρόσθετα, η κατάσταση του ουρανού και η συσχετισμένη με αυτή θερμοκρασία χρώματος του φωτός ημέρας επηρέαζε την αντίληψη περί συνθηκών φωτισμού και θέρμανσης και βρέθηκε επιπλέον διαφοροποίηση ανά φύλο. Γενικά, οι γυναίκες ήταν πιο ευαίσθητες στις συνθήκες θέρμανσης ενώ οι άντρες στην κατάσταση του ουρανού.

Ο Roche και άλλοι [20] έκαναν μια έρευνα στη Μεγάλη Βρετανία, σε 16 κτήρια που αξιοποιούσαν το φυσικό φως, με τη συμμετοχή 270 υπαλλήλων γραφείου. Οι έρευνες συμπεριλάμβαναν ερωτηματολόγια απευθυνόμενα στους διαχειριστές των εγκαταστάσεων και σε 20 περίπου ενοίκους σε κάθε κτήριο, το χειμώνα και το καλοκαίρι. Για κάθε κτήριο υπολογίστηκε ο “μέσος παράγοντας φυσικού φωτός” (Average Daylight Factor, ADF). Υπενθυμίζεται σε αυτό το σημείο ότι ο ADF χρησιμοποιείται ώστε να προσδιοριστεί η συνολική ποσότητα φωτός ημέρας σε ένα χώρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο δείκτης ADF είναι ένα χρήσιμο μέσο πρόβλεψης του γενικού επιπέδου φωτός ημέρας σε ένα χώρο όπως επίσης και του γενικού επιπέδου συνδυασμένου φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Τα άτομα ήταν πιο πιθανό να είναι δυσαρεστημένα από το φως ημέρας όταν ο ADF ήταν πάνω από 5%. Υψηλά επίπεδα φωτός ημέρας με ADF πάνω από 5%, δημιουργούσαν παράπονα για “ήλιο” και θάμβωση. Όταν ο εν λόγω δείκτης ήταν 2%-5%, επιτυγχάνονταν τα υψηλότερα μέσα επίπεδα ικανοποίησης. Οι συμμετέχοντες επέδειξαν μια περισσότερο σθεναρή προτίμηση για συνδυασμένο φωτισμό το χειμώνα παρά το καλοκαίρι. Η εν λόγω προτίμηση έτεινε να μειώνεται προϊούσης της απόστασης από το παράθυρο. Υψηλά επίπεδα φυσικού φωτισμού θεωρούνταν πιο δυσάρεστα από ότι χαμηλότερα, πράγμα που υποδεικνύει μια έντονη ψυχολογική σχέση με τη θάμβωση και την υπερθέρμανση.

4.1.4 Οπτική άνεση και θάμβωση

Παρ' όλες τις αρκετές προσπάθειες, δεν έχει επιτευχθεί ακόμη επιτυχής πρόβλεψη της δυσφορίας που προκαλείται από τη θάμβωση του φυσικού φωτισμού. Τουλάχιστον όχι με τρόπο τέτοιο που να ευνοείται η εκτεταμένη πρακτική εφαρμογή της. Δύο λόγοι για αυτό είναι η έλλειψη προσοχής στην ευρεία μεταβλητότητα ανά άτομο ως προς την ανταπόκριση στη δυσφορία της θάμβωσης [21,22] και η σημασία της προσβασιμότητας σε θέα έξω από το παράθυρο [23].

Ο Hopkins [24] ανέπτυξε ένα δείκτη "Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού" (Daylighting Glare Index), τροποποιώντας τον τύπο για το "δείκτη θάμβωσης" (Glare Index) για μικρές πηγές θάμβωσης ώστε αυτός να μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλες πηγές όπως είναι τα παράθυρα. Προκειμένου να αξιολογήσει αυτήν την υπολογιστική μέθοδο, ζήτησε από ομάδες ατόμων να εκφέρουν τις κρίσεις τους σχετικά με το επίπεδο παρούσης σε ένα χώρο δυσφορίας λόγω της θάμβωσης. Βρήκε ότι οι άνθρωποι ανέχονταν την προερχόμενη από το φυσικό φωτισμό θάμβωση καλύτερα από εκείνη που προέκυπτε από άλλες φωτεινές πηγές. Γενικά, οι συμμετέχοντες δεν παραπονέθηκαν για θάμβωση από τα παράθυρα, πράγμα που υποδεικνύει ότι είχαν μια αυξημένη ανοχή στην ήπια θάμβωση των καταστάσεων φυσικού φωτισμού. Ο Hopkins θεώρησε ότι αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε επειδή οι άνθρωποι έχουν συνηθίσει σε αυτό το είδος θάμβωσης είτε επειδή αξιολογούν την εξωτερική θέα περισσότερο από ότι είναι πιθανό να παραπονεθούν για θάμβωση. Ένα από τα πιο συχνά σχόλια συμμετεχόντων αφορούσε στην εξωτερική θέα και ήταν ότι αυτή είχε επηρεάσει την κρίση τους σχετικά με το βαθμό θάμβωσης στο χώρο. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι όταν υπάρχει πρόσβαση σε μια ευχάριστη θέα, αυξάνει η ανοχή σε υψηλότερα επίπεδα θάμβωσης.

Ο Iwata και άλλοι [25] ερεύνησαν, μέσω υποκειμενικών αποτιμήσεων της θάμβωσης σε πραγματικά δωμάτια, την εφαρμοσιμότητα του "Δείκτη Θάμβωσης Φυσικού Φωτισμού" (Daylighting Glare Index, DGI) και της "ενοποιημένης εκτίμησης θάμβωσης" (Unified Glare Rating, UGR) σε πραγματικά παράθυρα. Τα πειράματα έλαβαν χώρα το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο σε δύο πανομοιότυπα δωμάτια, στον 11^ο όροφο ενός κτηρίου στο Τόκιο της Ιαπωνίας. Το ένα από αυτά ήταν νότιο και το άλλο βόρειο ενώ η

έρευνα εξασφάλισε την συμμετοχή 46 μαθητών που αποτίμησαν την αντιλαμβανόμενη από αυτούς θάμβωση από τρεις διαφορετικές ως προς το παράθυρο θέσεις. Οι συμμετέχοντες εκτίμησαν τη θάμβωση ενώ διάβαζαν σε ένα γραφείο φωτισμένο από φωτισμό φθορίου, στα 500 και 1000 lux, κοιτώντας προς το παράθυρο και απαντώντας ένα ερωτηματολόγιο που παρείχε μια κλίμακα αποδοχής της θάμβωσης. Οποτεδήποτε άμεσο ηλιακό φως προσέγγιζε τη θέση όπου καθόταν ο κάθε ένοικος, τα δεδομένα εξαιρούνταν από την ανάλυση.

Τόσο ο DGI όσο και η UGR βρέθηκαν ανεπαρκείς ως προς την πρόβλεψη της θάμβωσης υπό όλες τις πιθανές συνθήκες. Η βαρύτητα της παραμέτρου της λαμπρότητας φόντου που υπεισήλθε και στις δύο υπολογιστικές μεθόδους, βρέθηκε να είναι πολύ αυξημένη και η “επίδραση της συνολικής ποσότητας φωτός που φθάνει στα μάτια” αποτέλεσε μια σημαντική μεταβλητή στην περίπτωση μεγάλων φωτεινών πηγών, όπως είναι τα παράθυρα. Η κατανομή της λαμπρότητας στην επιφάνεια του παραθύρου, όπως και η κατεύθυνση της όρασης όταν κανείς κοιτά προς το παράθυρο, θεωρήθηκαν επίσης ως παράγοντες με σημαντική επίδραση για την άποψη των ενοίκων περί της θάμβωσης.

Ο εντοπισμός των συσχετισμένων με το κτήριο και την επιφάνεια εργασίας παραγόντων που σχετίζονται με την αποτίμηση της οπτικής άνεσης ήταν το αντικείμενο μιας έρευνας σε 9 φυσικά φωτισμένα κτήρια γραφείων στις ΗΠΑ και στη Γερμανία [22]. Σε αυτήν συμμετείχαν 83 άτομα και διενεργήθηκε εντός δύο περιόδων τριών εβδομάδων κατά τη διάρκεια του θέρους και του φθινοπώρου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 75% των υπαλλήλων φάνηκε να προτιμά το φωτισμό χρήσει του φωτός ημέρας συγκριτικά με τον ηλεκτρικό φωτισμό και το 94% θεωρούσε πολύ σημαντικά τα παράθυρα. Η θάμβωση δεν προβλημάτιζε ιδιαίτερα ή ακόμη και αγνοούταν στα δυτικά και ανατολικά γραφεία όταν υπήρχε διαθεσιμότητα ευχάριστης θέας. Έδειξαν ακόμη ότι το επίπεδο ή η παρουσία της θάμβωσης ως την αντιλαμβάνονταν τα άτομα δεν σχετιζόταν με τον προσανατολισμό του παραθύρου και τα ανατολικά και δυτικά παράθυρα δεν είχαν μεγαλύτερα προσλαμβανόμενα επίπεδα θάμβωσης από τα νότια προσανατολισμένα. Η παρουσία μηχανισμών σκίασης, η αντίθεση της οθόνης του υπολογιστή και η θέση της ως προς το παράθυρο, καθώς και η ηλικία των ατόμων επίσης δεν

σχετίζονταν με τις εκτιμήσεις περί θάμβωσης. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν οι ερευνητές ήταν ότι το να έχει κανείς πρόσβαση σε παράθυρα που παρέχουν ελκυστική θέα μπορεί να είναι μακράν πιο σημαντικό από ότι οποιαδήποτε δυσφορία που οφείλεται σε θάμβωση από τα δεδομένα παράθυρα.

Ο Nazzal [26] πρότεινε μια νέα μέθοδο για τον υπολογισμό ενός “Δείκτη Θάμβωσης Φυσικού Φωτός” (daylight glare index, DGI_n), εφαρμόσιμη σε μη ομοιόμορφες φωτεινές πηγές, η οποία δε λαμβάνει υπόψη την συνιστώσα του άμεσου ηλιακού φωτός. Αυτός ο δείκτης συστήθηκε ως μια βελτίωση των προηγούμενων μεθόδων αποτίμησης που αναπτύχθηκαν από τους Chauvel [27,28] και Hopkinson [24]. Οι τελευταίοι ανέπτυξαν τις μεθόδους τους βασιζόμενοι είτε σε πειράματα με ομοιόμορφες φωτεινές πηγές είτε υποθέτοντας τη μη ύπαρξη άμεσου ηλιακού φωτός στο χώρο. Προκειμένου να ελέγξει την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου του, ο Nazzal [29] έλαβε μετρήσεις σε ένα νότια προσανατολισμένο δωμάτιο δοκιμής, εντοπισμένο στο Ελσίνκι της Φινλανδίας, τον Απρίλιο και τον Ιούνιο, κάθε ώρα από τις 11πμ ως τη 1μμ όταν εμφανίζονταν οι μέγιστες τιμές κάθετης έντασης φωτισμού. Έπειτα χρησιμοποίησε τον προσομοιωτή Radiance ώστε να μοντελοποιήσει τις πειραματικές συνθήκες και να παράσχει τις τιμές λαμπρότητας υπό συνθήκες φωτεινού ουρανού συμπεριλαμβάνοντας το απαιτούμενο άμεσο ηλιακό φως για τον υπολογισμό του DGI_n, συγκρίνοντας εν τέλει το νεόκοπο δείκτη με το δείκτη θάμβωσης του Chauvel, όπως αυτός παρέχεται από το πρόγραμμα Radiance . Οι τιμές του DGI_n δεν αυξάνονταν συναρτήσει του μεγέθους του παραθύρου κατά τον προβλεπόμενο βαθμό εξαιτίας της προσαρμογής της λαμπρότητας που αντιστάθμιζε την επίδραση του μεγέθους του παραθύρου. Παρόλα αυτά, ως αναμενόταν, η DGI_n – προβλεπόμενη αίσθηση θάμβωσης αυξανόταν συναρτήσει της κάθετης έντασης φωτισμού στο παράθυρο και προϊούσης της στερεάς γωνίας, αντίθετα από τις προβλέψεις του GDI του Chauvel. Ο Nazzal εξήγησε ότι, εν αντιθέσει με τη μέθοδο αποτίμησης του Chauvel που εξαρτάται κυρίως από την “παρουσία του ήλιου κοντά στον ορίζοντα και καταυτόν τον τρόπο από την διείσδυση ηλιακών ακτινών στο δωμάτιο”, η νέα μέθοδος εξαρτάται περισσότερο από την κάθετη ένταση φωτισμού της ίδιας της πηγής φυσικού

φωτός, δηλαδή του παραθύρου. Μολαταύτα, αυτή η μέθοδος δεν εξέτασε την σχέση του DGI_n με τις εκτιμήσεις των ενοίκων για δυσφορία.

Στη μελέτη της επί της ποιότητας φωτισμού σε δωμάτια γραφείου που ενσωμάτωναν daylighting systems, η Velds [30] ανέπτυξε διαδικασίες για την συνολική αξιολόγηση του φωτισμού και την εκτίμηση για οπτική απόδοση και άνεση. Τρεις μελέτες επί ενός συνόλου 84 ατόμων έγιναν στην Ολλανδία και στην Γερμανία, σε μοντέλα υπαρκτών δωματίων κλίμακας 1:5, υπό τεχνητό ουρανό και σε δωμάτια πλήρους κλίμακας υπό αληθινό νεφοσκεπή και μέσης νεφώσεως ουρανό, προκειμένου αξιολογηθούν αυτές οι διαδικασίες. Ζητήθηκε από 21 άτομα να αποτιμήσουν τον προσλαμβανόμενο βαθμό δυσφορίας λόγω θάμβωσης και την αποδοχή της θάμβωσης υπό διάφορες συνθήκες φωτισμού, προκύπτουσες από διάφορους σχεδιασμούς προς αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού. Οι τελευταίοι συμπεριλάμβαναν κανονικά ανοίγματα παραθύρων αλλά και παράθυρα που ενσωμάτωναν ποικίλα συστήματα φωτισμού χρήσει του φωτός ημέρας (daylighting systems), εγκατεστημένα στο πάνω μέρος του παραθύρου (π.χ. ολογραφικά οπτικά στοιχεία, laser-cut panels) ενώ το κάτω μέρος του παραθύρου καλυπτόταν από σκιάστρο. Μια σημαντική διαφορά ανάμεσα σε αυτήν την περίπτωση και τις παραπάνω μελέτες είναι ότι ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αποτιμήσουν τη δυσφορία λόγω θάμβωσης ενώ η θέα διατηρούταν αμετάβλητη. Αυτό επέτρεψε την εξέταση της εν λόγω δυσφορίας ανεξάρτητα από την όποια θέα. 23 άτομα συμμετείχαν σε ένα πείραμα προς ανάδειξη των προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση αυτομάτων συστημάτων ελέγχου φωτισμού και εξωτερικών σκιάστρων και 40 άτομα έλαβαν μέρος σε ένα πείραμα εκτίμησης της θάμβωσης που διενεργήθηκε υπό συνθήκες πραγματικού ουρανού ώστε να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα εκτίμησης της θάμβωσης που λήφθηκαν υπό τεχνητό ουρανό.

Από την έρευνα προέκυψαν τα ακόλουθα :

- Η δυσφορία λόγω θάμβωσης ήταν λιγότερο αποδεκτή σε περιπτώσεις εργασίας στον υπολογιστή από ότι σε περιπτώσεις εργασίας γραφής και ανάγνωσης στο οριζόντιο επίπεδο

- Ο προσλαμβανόμενος βαθμός δυσφορίας λόγω θάμβωσης κοντά στην πρόσοψη του κτηρίου ήταν υψηλότερη συγκριτικά με το πίσω μέρος του δωματίου
- Οι δείκτες θάμβωσης (glare indexes) που αναπτύχθηκαν από προγενέστερη έρευνα προς πρόβλεψη της δυσφορίας λόγω θάμβωσης σε περιπτώσεις μεγάλων, ομοιόμορφων πηγών θάμβωσης ήταν εφαρμόσιμοι σε παράθυρα με συστήματα daylighting (όπως γρίλιες, ελεγχόμενα σκίαστρα) γιατί αυτές οι φωτεινές πηγές προκαλούν περισσότερη θάμβωση από τις ομοιόμορφες πηγές εξαιτίας της μη ομοιόμορφης κατανομής λαμπρότητάς τους
- Τα συστήματα ελέγχου φωτισμού και σκίασης ήταν πιο αποδεκτά αν συμπεριλάμβαναν ένα λογισμικής ζεύξης περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη (user interface)
- Το κύριο παράπονο των συμμετεχόντων ήταν η μη δυνατότητα υπερκέρρασης των συστημάτων
- Απλά συστήματα σκίασης πετύχαιναν ίση ή μεγαλύτερη ποιότητα φωτισμού από τα πρωτοποριακά συστήματα φυσικού φωτισμού (daylighting systems) στην περίπτωση αυτή της μελέτης ενός κλίματος κυρίως συννεφώδους και είχαν το πλεονέκτημα της εύκολης εγκατάστασης και χρήσης.

Πρότεινε επίσης ότι τα συστήματα daylighting πρέπει να εφαρμόζονται για λόγους οπτικής άνεσης παρά οπτικής απόδοσης και υπέδειξε ότι θα έπρεπε να τοποθετούνται στο πάνω μέρος του παραθύρου ώστε να ελαττώσουν το βαθμό προσλαμβανόμενης θάμβωσης στο πίσω μέρος του δωματίου.

4.1.5 Οπτική ενόχληση εξαιτίας της διακύμανσης του φωτισμού

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού ως μιας επιπλέον φωτιστικής πηγής σε εσωτερικούς χώρους και ο βασικός λόγος για αυτήν την εξέλιξη είναι το εξαιρετικό δυναμικό για εξοικονόμηση ενέργειας. Στην πράξη όμως, μια βασική αιτία που

αποτρέπει τη χρήση αυτών των συστημάτων είναι η διακύμανση των επιπέδων φωτισμού και η επακόλουθη οπτική ενόχληση. Όταν «επιστρατεύεται» ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου, η διακύμανση για την οποία κάνουμε λόγο προκύπτει ως πρόβλημα κυρίως σε μερικώς νεφοσκεπείς ημέρες μιας και τότε υπάρχει συχνή αλλαγή των επιπέδων φυσικού φωτισμού. Η αυξομείωση μπορεί να προκαλέσει οπτική ενόχληση και δυσφορία επειδή το ανθρώπινο οπτικό σύστημα προσπαθεί συνεχώς και υποσυνείδητα να προσαρμοστεί στις μεταβλητές συνθήκες φωτισμού.

Σε μια μελέτη των Soo-Young Kim και Jong-Jin Kim [31] επιχειρήθηκε να εξετασθούν οι αντιδράσεις των ενοίκων στις επιρροές που δέχεται το οπτικό περιβάλλον λόγω των διακυμάνσεων των επιπέδων φωτισμού και να καθοριστούν τα όρια εκείνα στα οποία οι αυξομειώσεις είναι ανεκτές. Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας κλήθηκαν να συμμετάσχουν 19 γυναίκες και 17 άνδρες ηλικιών από 20 ως 45 και έγινε χρήση ερωτηματολογίων. Η σειρά αυτή των ερευνών διενεργήθηκε σε ένα πλήρους κλίμακας εικονικό γραφείο, εντοπισμένου στον πρώτο όροφο του Art and Architecture Building στο πανεπιστήμιο του Michigan Ann Arbor (USA). Αυτό σχεδιάστηκε ειδικά για την αποτίμηση της απόδοσης των θερμικών και φωτιστικών συστημάτων. Τα ερωτηματολόγια απαρτίζονταν από 3 είδη ερωτήσεων : 1) γενικές ερωτήσεις, 2) για τις οπτικές αντιδράσεις υπό αμετάβλητες συνθήκες έντασης φωτισμού και 3) για την ενόχληση λόγω διακυμαινόμενων συνθηκών έντασης φωτισμού. Μια περίληψη των βασικών συμπερασμάτων που αντλήθηκαν από τη δεδομένη έρευνα θα μπορούσε να εστιάζει στα ακόλουθα σημεία :

- Το απόλυτο ποσό μεταβολής της έντασης φωτισμού δεν επηρέαζε εξ' ολοκλήρου τον προσλαμβανόμενο από τους ενοίκους βαθμό οπτικής ενόχλησης. Αυτός διέφερε ανάλογα με την αρχικά επικρατούσα ένταση φωτισμού στο πλαίσιο της ειδικής εργασίας του καθ' ενός από τους ενοίκους. Η μικρότερη δυνατή ενόχληση σημειωνόταν όταν τα υποκείμενα είχαν αρχικά ψηλότερη ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας τους.
- Κατέληξαν στο ότι θα έπρεπε να προτείνεται η ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας για ένα χώρο γραφείου να μην είναι κάτω από τα 650 lux όταν ένα σύστημα φωτισμού είναι σχεδιασμένο να

χρησιμοποιεί αυτόματα ελεγχόμενα ρεοστατικά συστήματα (dimmer systems) που προκαλούν συχνή διακύμανση φωτός (όπως συμβαίνει με τα daylight dimming systems).

- Όταν τα αυτόματα ελεγχόμενα ρεοστατικά συστήματα χρησιμοποιούνται, η μέγιστη διακύμανση έντασης φωτισμού που θα πρέπει να περιορίζεται εντός του 40% της έντασης φωτισμού που απαιτείται για τον κάθε τύπο εργασίας.
- Μέσω υιοθέτησης μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης έγινε σαφές ότι η αίσθηση οφθαλμικής κούρασης, διάσπασης της προσοχής και εν γένει οπτικής ενόχλησης αποτελούσαν τους πλέον σημαντικούς συντελεστές στη διαμόρφωση της οπτικής άνεσης υπό συνθήκες διακύμανσης του φωτισμού.

4.2 Έρευνα σε συστήματα ελέγχου φωτισμού

Βασιζόμενος σε έρευνες πεδίου της συμπεριφοράς των ενοίκων ως προς τη χρήση των διακοπών ηλεκτρικού φωτισμού, ο Hunt [32] ανέπτυξε μια εξίσωση για την πιθανότητα ανοιχτού διακόπτη (switch-on probability) για κοινόχρηστους χώρους και βρήκε ότι, κατά την άφιξη στο χώρο, αυτή η πιθανότητα σχετίζεται έντονα με την ελάχιστη ένταση φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας και τα επίπεδα φυσικού φωτός τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό. Στους περισσότερους, συνεχώς χρησιμοποιούμενους, χώρους που ερευνήθηκαν, τα φώτα ήταν είτε ανοιχτά είτε κλειστά για ολόκληρη την ημέρα και αυτό τον οδήγησε στο να θεωρήσει πως, γενικά, εφόσον ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρικός φωτισμός, θα μείνει ενεργός μέχρι εκκένωσης του χώρου. Τα δεδομένα που οδήγησαν στο συγκεκριμένο συμπέρασμα προήλθαν από 6μηνη εξέταση 3 κοινόχρηστων γραφείων, 2 σχολικών αιθουσών και δύο ανοιχτών χώρων διδασκαλίας. Δε βρέθηκε να υπάρχει κάποια εποχιακή εξάρτηση και η θέση των φωτιστικών εξαρτημάτων εντός του δωματίου δε φάνηκε να αποτελεί παράγοντα. Εν γένει, τα φωτιστικά ενεργοποιούνταν ή απενεργοποιούνταν όλα ταυτόχρονα.

Ο Love [33], ακολουθώντας τα βήματα του Hunt, ερεύνησε τα πρότυπα ελέγχου των διακοπών φωτισμού (lighting switching patterns) σε νότια και βόρεια προσανατολισμένα γραφεία και βρήκε ότι αυτά τα πρότυπα εξαρτιόνταν τόσο από το χρήστη όσο και από τη διαθεσιμότητα φυσικού φωτός στο εσωτερικό του υπό μελέτη χώρου. Σημείωσε ακόμη ότι ενώ κάποια άτομα χρησιμοποιούσαν τον ηλεκτρικό φωτισμό μόνο όταν η ένταση φωτισμού του φωτός ημέρας στο εσωτερικό μειωνόταν κάτω από ένα κατώφλι, άλλα διατηρούσαν αναμμένα τα φώτα κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας ανεξάρτητα από τα επίπεδα φυσικού φωτός και έσβηναν τα φώτα μόνο όταν έφευγαν από το γραφείο για πιο μακρά χρονική περίοδο (κυρίως όταν έφευγαν από τη δουλειά στο πέρας της εργάσιμης ημέρας). Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, που διενεργήθηκε σε 6 νότια και 2 βόρεια γραφεία στο Calgary του Καναδά τον Απρίλιο, το Μάιο, τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο, έδειξαν επίσης ότι οι ένοικοι γραφείων ενδέχεται να είναι ικανοποιημένοι με χαμηλότερα επίπεδα φυσικού φωτός σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα που απαιτούνται από τον ηλεκτρικό φωτισμό. Στην έρευνα αυτή, στο 80% των περιπτώσεων, η ένταση φωτισμού φωτός ημέρας πριν από ένα γεγονός ενεργοποίησης των φωτιστικών, ήταν ανάμεσα στα 210 και στα 380 lux. Στο δε 50%, γίνονταν αποδεκτά ακόμη και χαμηλότερα επίπεδα φωτός που κυμαίνονταν ανάμεσα στα 150-269 lux.

Οι Reinhart και Voss [35] ανέφεραν επίσης ότι στην έρευνα τους, το 86% των περιστατικών ενεργοποίησης του φωτισμού συνέβησαν κατά την άφιξη στην εργασία μα η ένταση φυσικού φωτισμού που «πυροδοτούσε» αυτήν την ενεργοποίηση ποίκιλε σημαντικά ανάμεσα στα άτομα, κυμαινόμενη από τα 38 ως τα 410 lux. Σημείωσαν επιπλέον ότι, ενίοτε, οι ένοικοι δεν έσβηναν τα φώτα ακόμη και όταν η ένταση φυσικού φωτισμού ήταν αρκετά υψηλή γιατί “δεν αντιλαμβάνονταν ότι τα φώτα ήταν αναμμένα”. Η μέση συνάρτηση πιθανότητας ενεργοποίησης από 10 ιδιωτικά γραφεία που παρατηρήθηκαν στη δεδομένη έρευνα, ήταν συνεπής με την συνάρτηση του Hunt αλλά η συμπεριφορά ανά τα άτομα απέδειξε μια εκτεταμένη διασπορά ανάμεσα στις ατομικές προτιμήσεις.

Μια έρευνα πεδίου που διεξήχθη από το Δεκέμβριο ως το Μάρτιο από τον Maniccia και άλλους [36] σε 43 γραφεία στις ΗΠΑ με διάφορους προσανατολισμούς εξέτασε επίσης τα ελεγχόμενα από το χρήστη συστήματα

φωτισμού (user-controlled lighting systems). Στην συγκεκριμένη περίπτωση όμως, οι ερευνητές, ερεύνησαν την επίδραση της χειροκίνητης μεταστροφής των διακοπών και ελάττωσης του φωτισμού στην συμπεριφορά και στάση των ενοίκων, καθώς και στη χρήση των σκιάστρων και στην κατανάλωση ενέργειας. Ο ηλεκτρικός φωτισμός σε κάθε γραφείο ελεγχόταν μέσω ενός κεντρικού συστήματος που έσβηνε αυτόματα τα φώτα μετά από 30λεπτη απουσία από ένα χώρο. Κατά την εκ νέου είσοδό τους στο χώρο οι ένοικοι μπορούσαν να ανάψουν τα φώτα μέσω ενός μηχανισμού ρύθμισης της φωτιστικής έντασης, τοποθετημένου στον τοίχο, δίπλα στην πόρτα ή μέσω ενός φορητού αντίστοιχου μηχανισμού.

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι συνολικά το 74% των ενοίκων χρησιμοποιούσε τους εν λόγω μηχανισμούς για να προσαρμόσει το φωτισμό. Παρόλα αυτά, στα γραφεία με βόρειο ή ανατολικό προσανατολισμό, τα φώτα ήταν πιο συχνά σβηστά από ότι στα νότια ή δυτικά γραφεία. Οι ένοικοι φάνηκε να εκτιμούν το γεγονός του να υπάρχει διαθέσιμος ροοστάτης πάνω στο γραφείο τους και η αφαίρεση των φορητών αυτών μηχανισμών μείωσε τις ρυθμίσεις του φωτισμού. Ένα ερωτηματολόγιο έδειξε ότι τα άτομα δε χρησιμοποιούσαν τους ροοστάτες για να εξοικονομήσουν ενέργεια (παρότι εργάζονταν για έναν οργανισμό με ανησυχίες περί των περιβαλλοντικών ζητημάτων) αλλά για να προσαρμόσουν το φωτισμό ανάλογα με την εργασία που εκτελούσαν. Εν τούτοις, τα δεδομένα έδειξαν ότι τα επίπεδα φωτισμού δεν ποίκιλαν συναρτήσει του τύπου της εργασίας. Λίγοι συμμετέχοντες δήλωσαν το φως ημέρας σαν δευτερεύον παραγωγικό αίτιο για την σχετική με τη μείωση της έντασης του φωτισμού δραστηριότητά τους. Γενικά, το 18% των συμμετεχόντων δεν περιέγραψε με ακρίβεια τη δράση του (κάποιοι ισχυρίστηκαν ότι είχαν προσαρμόσει το φωτισμό ενώ στην πραγματικότητα δεν είχαν και κάποιοι άλλοι το αντίστροφο). Γενικά επέλεξαν κάθετη ρύθμιση για τα σκιάστρα που απέτρεπε το άμεσο ηλιακό φως αλλά επέτρεπε το φως ημέρας. Τα σκιάστρα προσαρμόζονταν πιο συχνά στη δυτική πρόσοψη και αμέσως μετά στη νότια και οι λωρίδες των περσίδων έχρηζαν ρύθμισης συχνότερα από τη θέση των σκιάστρων αυτή καθ' αυτή. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, όταν τα σκιάστρα ήταν κλειστά, τα φώτα ήταν αναμμένα στην πλήρη τους ένταση. Παρατηρήθηκε γενικά ότι τα άτομα προσάρμοζαν τη θέση των περσίδων 3 φορές πιο συχνά από τον ηλεκτρικό φωτισμό.

Οι συνεντεύξεις των Escuyer και Fontoyront [37] συμπεριλάμβαναν ερωτήσεις σχετικά με το βαθμό αποδοχής των συστημάτων φωτισμού σε γραφεία. Κάθε κτήριο ενσωμάτωνε ένα διαφορετικό σύστημα ελέγχου φωτισμού ως ακολούθως :

- Χειροκίνητος έλεγχος, τοποθετημένος στον τοίχο, που επέτρεπε αποθήκευση επιπέδων και σεναρίων φωτισμού προς μελλοντική ανάκλησή τους
- Ημιαυτόματος έλεγχος, συνδυασμένος με αυτόματο μηχανισμό ρύθμισης της φωτιστικής έντασης συνδεδεμένου με το φως ημέρας (automatic daylight-linked dimming) με χειροκίνητη επιλογή του σημείου προσαρμογής (set point) και αισθητήρες παρουσίας
- Αυτόματος μηχανισμός ρύθμισης (photocell controlled continuous dimming με 15% light base load και target illuminance 550 lux)

Οι περισσότεροι από τους ενοίκους, φάνηκε να προτιμούν τα αυτοματοποιημένα συστήματα εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού αλλά με δυνατότητα παράκαμψής τους. Παρόλα αυτά, όταν είχαν στη διάθεσή τους τηλεχειριστήρια, κανείς δεν αποθήκευσε προσωπικά σενάρια φωτισμού ή γνώριζε ότι υπήρχε αυτή η δυνατότητα. Χρησιμοποιούσαν μόνο προεγκατεστημένα σενάρια φωτισμού, η επιλογή των οποίων ήταν εύκολη στο χειριστήριο. Το 29% θεώρησαν τον χειροκίνητο έλεγχο ως αυτόν της επιλογής τους και το 22% προτιμούσε τον αυτόματο έλεγχο με χειροκίνητη επιλογή του σημείου προσαρμογής έντασης φωτισμού και λίγα άτομα προτιμούσαν ένα πλήρως αυτόματο σύστημα. Στο κτήριο με έλεγχο μέσω αισθητήρων φωτισμού, το 69% των ατόμων δεν είχε παρατηρήσει κάποια διαφοροποίηση στα επίπεδα φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ανάμεσά τους, οι μισοί δεν ήξεραν καν ότι ήταν εγκατεστημένο κάποιο αυτόματο σύστημα. Στα άλλα δύο κτήρια, το 48% των ατόμων ρύθμιζαν τον ηλεκτρικό φωτισμό ανάλογα με τα επίπεδα φυσικού φωτός και το 12% ανάλογα με τη φύση της δραστηριότητάς τους. Λιγότεροι ανέφεραν ότι άλλαζαν το φωτισμό ανάλογα με τη διάθεσή τους ή την κόπωση των οφθαλμών τους.

Η ευκολία χρήσης των συστημάτων ελέγχου φωτισμού και η πληροφόρηση και εκπαίδευση των ενοίκων σχετικά με αυτά είναι παράγοντες

κεφαλαιώδους σημασίας ως προς την εξασφάλιση του βέλτιστου οπτικού περιβάλλοντος από άποψης άνεσης ταυτόχρονα με τη μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση. Ο Slater [38,39] βασιζόμενος σε μια μελέτη που συμπεριέλαβε επισκέψεις μισής ημέρας σε 25 κτήρια γραφείων ανοιχτού χώρου, εξοπλισμένων με τοπικό έλεγχο (local control), time control, ανίχνευση παρουσίας (occupancy detection), έλεγχο μέσω αισθητήρων φωτισμού ή συστήματα διαχείρισης ενέργειας φωτισμού (lighting energy management systems), ανέφερε ότι όπου ο έλεγχος ήταν δύσχρηστος, οι ένοικοι επέλεγαν επίπεδα φωτισμού τέτοια που μείωναν την ανάγκη για χρήση του ελέγχου και αύξαναν την κατανάλωση ενέργειας. Όταν οι ένοικοι θεωρούσαν ότι ένα συγκεκριμένο σύνολο περιβαλλοντικών συνθηκών τους επιβάλλεται, απενεργοποιούσαν τα συστήματα ελέγχου. Σε κοινόχρηστους χώρους, που δε θεωρούνταν ιδιοκτησία κάποιου, η συνδεδεμένη με το φως ημέρας προσαρμογή του φωτισμού (daylight-linked switching) γινόταν αποδεκτή. Γενικά, τα κτήρια με πολύπλοκα συστήματα ελέγχου φωτισμού δεν ήταν επιτυχημένα ως προς την ενεργειακή εξοικονόμηση και την ικανοποίηση των ενοίκων ενώ αυτά που είχαν απλούστερο έλεγχο υπερείχαν και ως προς τις δύο απόψεις.

Ακολουθώντας την παραπάνω μελέτη, οι Slater et al [40,41] και Carter et al [42] διεξήγαγαν έρευνα μονοήμερων επισκέψεων κατά τον Απρίλιο, Μάιο και μιας επίσκεψης το χειμώνα σε 11 κτήρια γραφείων με και χωρίς βάθος χώρου (deep- και shallow-plan), ώστε να ερευνηθεί η χρήση των αυτομάτων ελέγχων φωτισμού. Στα 10 από τα 11 κτήρια, ο ηλεκτρικός φωτισμός διαχειριζόταν μέσω κεντρικού υπολογιστή που λειτουργούσε για σύνολα από 2 έως 9 φωτιστικά τα οποία ελέγχονταν είτε από τον κάθε χρήστη μέσω τηλεχειριστηρίου είτε με διακόπτες τοποθετημένους στους τοίχους. Υπήρχε επιλογή τόσο για (απ)ενεργοποίηση (on/off switching) όσο και για μείωση της φωτεινής έντασης (dimming). Στο ένα κτήριο που δεν ενέπιπτε στην παραπάνω κατηγορία, ήταν εγκατεστημένοι μηχανισμοί ελέγχου σε κάθε σταθμό εργασίας. Οι μονοήμερες έρευνες συμπεριέλαβαν μετρήσεις σχετικά με το οπτικό περιβάλλον που διαμορφωνόταν μέχρι και σε 30 σταθμούς εργασίας σε κάθε κτήριο. Συμπεριέλαβαν ακόμη συνεντεύξεις με τους διαχειριστές των εγκαταστάσεων καθώς και με λίγους εργαζόμενους ώστε να

εκτιμηθεί η συναίσθηση, γνώση και ικανοποίηση αναφορικά με το σύστημα ελέγχου φωτισμού.

Οι μετρήσεις έδειξαν μια καταφανή προτίμηση για το φωτισμό που αξιοποιεί το φως ημέρας και για επίπεδα ηλεκτρικού φωτός χαμηλότερα των τρεχόντων προτύπων (standards) [42]. Ενώ ο Βρετανικός Οδηγός Φωτισμού Γραφείων (British Office Lighting Guide) προτείνει 500 lux για γενικό φωτισμό γραφείου, ανάμεσα σε 300 και 500 lux για σταθμούς εργασίας ηλεκτρονικών υπολογιστών και 750 lux για γραφεία με βαθύ ή ανοιχτό σχεδιασμό (deerp- και open-plan), σε κάτι παραπάνω από το μισό των γραφείων χωρίς βάθος (shallow-plan), οι ένοικοι επέλεξαν μέσα επίπεδα έντασης φωτισμού επιφάνειας εργασίας χαμηλότερα των 300 lux ενώ η αντίστοιχη τιμή για γραφεία με βάθος (deerp-plan) ήταν κάτω από τα 750 lux. Τα επίπεδα φωτός κατά μήκος του χώρου μεταβάλλονταν συναρτήσει της απόστασης από τα παράθυρα αλλά σε όλα τα κτήρια, το φορτίο φωτισμού ήταν κάτω από το 100%. Το μέσο ηλεκτρικό φορτίο ήταν 53% τον Ιανουάριο και 43% τον Απρίλιο και Μάιο και εν πολλοίς, ο ηλεκτρικός φωτισμός ήταν κλειστός κατά τη διάρκεια των εργάσιμων ωρών. Παρόλα αυτά, οι μισές από τις εγκαταστάσεις φωτισμού είχαν προβλήματα υλικού (hardware problems) όπως βλάβη σε ballast, λάμπα ή στην μονάδα ελέγχου (control unit). Επιπλέον, οι περσίδες δεν είχαν ρυθμιστεί ώστε να μεγιστοποιούνται οι απολαβές φυσικού φωτός, παρά μόνο για να αποτρέπουν τη θάμβωση ενώ υπήρχε μια διάχυτη δυσαρέσκεια ανάμεσα στους ενοίκους αναφορικά με τα επίπεδα φωτός σε περιοχές που φωτιζόνταν από ένα πολυμελές σύνολο φωτιστικών. Δεν απαντήθηκαν σχετικά παράπονα στο κτήριο που παρείχε την ικανότητα ατομικού ελέγχου. Κάποιοι διαχειριστές θεωρούσαν τα αυτόματα συστήματα ελέγχου δύσχρηστα, κάτι που συχνά οδηγούσε σε απενεργοποίηση των συστημάτων.

Η παραπάνω μελέτη ακολουθήθηκε από μια τρίτη έρευνα, 2 χρόνια μετά, στη Μεγάλη Βρετανία, από τον Ιανουάριο ως το Μάρτιο, που συμπεριλάμβανε ένα ερωτηματολόγιο που απευθυνόταν στους ενοίκους προκειμένου να εξακριβωθούν οι φωτεινές συνθήκες και οι συμπεριφορά των χρηστών απέναντι στα συστήματα ελέγχου φωτισμού [43-45]. Τα 7 από τα 14 γραφεία ενσωμάτωναν φωτισμό ελεγχόμενο από το χρήστη (user controlled lighting, 191 συμμετέχοντες) και τα άλλα 7 δεν παρείχαν στο χρήστη

δυνατότητα ελέγχου (161 συμμετέχοντες). Συνολικά, λαμβάνοντας υπόψη και την προ 2 χρόνων επίσκεψη, ο συνολικός αριθμός ερωτηματολογίων που απαντήθηκαν από ενοίκους-συμμετέχοντες ήταν 410. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εγκαταστάσεις που δεν παρείχαν δυνατότητα ελέγχου επιτύγχαναν καλύτερη ένταση φωτισμού της επιφάνειας εργασίας και λόγους λαμπρότητας (luminance ratios) βάσει των τρεχουσών υποδείξεων. Εν τούτοις, οι ένοικοι έβλεπαν πιο θετικά τις εγκαταστάσεις επί των οποίων μπορούσαν να έχουν έλεγχο, ακόμη και όταν οι φωτεινές συνθήκες δεν ανταποκρίνονταν στις τρέχουσες εισηγήσεις φωτιστικής πρακτικής. Αυτό καθιστά σαφές ότι οι ένοικοι προτιμούσαν να έχουν τη δυνατότητα να διαμορφώνουν μόνοι τους το φωτιστικό περιβάλλον παρά να πρέπει να αποδεχθούν επίπεδα φωτισμού που έχουν επιλεγεί για αυτούς, ακόμη και στην περίπτωση που τα δεύτερα υπερτερούν.

Οι εγκαταστάσεις που επέτρεπαν έλεγχο από το χρήστη, λειτουργούσαν στο 50% της μέγιστης εξόδου φωτισμού, κάτι που υποδεικνύει την ύπαρξη δυνατοτήτων για εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς την ταυτόχρονη αρνητική επιρροή της προσλαμβανόμενης από τους χρήστες ποιότητας του οπτικού περιβάλλοντος. Μολαταύτα, οι ερευνητές σημείωσαν ακόμη ότι υπάρχει λόγος να πιστεύει κανείς ότι η παρουσία ελέγχων και η ανικανότητα των χρηστών να τους αξιοποιήσουν λόγω κακής εκτίμησης του διατιθέμενου φωτός είναι πιο πιθανό να τους κάνει να αντιδρούν αρνητικά σε περίπτωση μη επιθυμητών συνθηκών από ότι αν δεν υπάρχουν ελεγκτικοί μηχανισμοί. Η ικανοποίηση σχετικά με την ποσότητα φωτός ημέρας που προσέγγιζε την επιφάνεια εργασίας ήταν ισχυρά συνδεδεμένη με το αντιληπτό επίπεδο φωτισμού πάνω από αυτήν.

Παρόμοια, ο Bordass και άλλοι [46] έδωσαν έμφαση στη σημασία του να παρέχεται στους χρήστες ο έλεγχος του φωτισμού (σε περιπτώσεις που αξιοποιείται ο φυσικός φωτισμός) και των συστημάτων σκίασης εξασφαλίζοντας εύκολη πρόσβαση και σχεδιάζοντας απλή και εύχρηστη πρόσβαση στο σύστημα (interfaces). Έχουν βρει ακόμη ότι οι εγκαταστάσεις αυτόματου φωτισμού που δεν επέτρεπαν ατομικό έλεγχο για κάθε επιφάνεια εργασίας, προκαλούσαν διαμάχες ανάμεσα στους ενοίκους, κάτι που οδηγούσε στην απενεργοποίηση των συστημάτων. Επιπλέον, ενώ σε ατομικά γραφεία οι ένοικοι είχαν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τις περσίδες βάσει

της προτίμησής τους, στα γραφεία ανοιχτού χώρου (open-plan offices), αυτό δεν ήταν σύνηθες. Για αυτό το λόγο, απαντούσε κανείς πολύ συχνά το «σενάριο» «κλειστών περσίδων και αναμμένου φωτός» (“blinds-closed/ lights-on scenario”). Ειδικά στα γραφεία με ψηλά παράθυρα, αυτός γινόταν εκούσια ώστε να διατηρηθούν ενεργοποιημένα τα φωτοελεγχόμενα φωτιστικά μιας και υπήρχαν παράπονα για θάμβωση από άτομα που κάθονταν πιο μακριά από τα παράθυρα και δεν είχαν άμεσο έλεγχο των περσίδων. Θα έλεγε κανείς ότι η συγκεκριμένη πρακτική, αν και ενεργειακά μη αποδοτική, ήταν ο πλέον εύκολος και συχνός τρόπος να εξασφαλιστεί αρμονία.

Αν και το να έχει ο εργαζόμενος έλεγχο επί του εργασιακού του περιβάλλοντος συχνά επισημαίνεται ως σημαντικό (Becker [47]), ο έλεγχος του φωτισμού δεν είναι πάντα πρώτης προτεραιότητας. Οι Ne’eman et al [48], σε έρευνά τους στις ΗΠΑ επί συνόλου 162 υπαλλήλων γραφείου, ερεύνησαν σχετικά με την ικανοποίηση των ενοίκων ως προς τον έλεγχο του φωτισμού και της σκίασης, καθώς και άλλων συνθηκών όπως η θερμοκρασία, ο εξερισμός, η ιδιωτικότητα, η δυνατότητα ελέγχου θορύβου από το εξωτερικό περιβάλλον και η πρόσβαση σε θέα από το παράθυρο. Αυτοί οι ένοικοι συγκατέλεξαν τη θέα από τα παράθυρα και τον μηχανισμό ελέγχου των σκιάστρων και του φωτισμού ανάμεσα στις λιγότερο σημαντικές παραμέτρους του εργασιακού περιβάλλοντος. Ο έλεγχος επί αυτών των συστημάτων, κατά το 20% τουλάχιστον των συμμετεχόντων, ήταν εξαιρετικά μικρής σημασίας. Η δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας, αντιθέτως, αξιολογήθηκε ως μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους από τα περισσότερα των ατόμων. Οι ερευνητές σημείωσαν επίσης ότι τα άτομα έτειναν να προσάπτουν αυξημένη σπουδαιότητα στις παραμέτρους εκείνες με τις οποίες ήταν περισσότερο δυσαρεστημένα. Η αντλούμενη ικανοποίηση από το περιβάλλον εργασίας έμοιαζε επίσης να εξαρτάται από την θέση του ενοίκου στο κτήριο, τον προσανατολισμό του παραθύρου, τη χρονική διάρκεια παραμονής του στην θέση εργασίας, το φύλλο και την ηλικία.

Κεφάλαιο 5

Χρήση ερωτηματολογίου για αποτίμηση του κτηρίου από τους χρήστες του (Post Occupancy Evaluation, POE)

5.1 Τεκμηρίωση της έρευνας με ερωτηματολόγια από τους χρήστες (POE) ως μέσου εκτίμησης της απόδοσης ενός κτηρίου

Η ανάγκη για συμπλήρωση των φυσικών μετρήσεων του φυσικού φωτός σε ένα κτήριο, της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό και των λοιπών παραμέτρων, με μια έρευνα της στάσης των ενοίκων δε γίνεται πάντα πλήρως κατανοητή. Ακόμη και στην περίπτωση ενός τεχνικά τέλειου και ενεργειακά αποδοτικού κτηρίου, μπορεί να σημειωθεί μείωση της απόδοσής του αν τα συστήματα ελέγχου ενέργειας δε γίνονται αποδεκτά από τους χρήστες. Τα συστήματα ελέγχου πρέπει να είναι εύχρηστα και κατανοητά ενώ δε θα πρέπει να απαντάται η όποια δυσφορία όπως θαμβωση, ενοχλητικές αντανakλάσεις, δυσάρεστες θερμοκρασιακές συνθήκες.

Αν οι χρήστες διάκεινται δυσμενώς σε σχέση με το περιβάλλον και το σύστημα ελέγχου του, πιθανότατα θα βρουν τρόπους να παρακάμψουν τους ελεγκτικούς μηχανισμούς και θα προσθέσουν αντικείμενα προς βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος, όπως επιπλέον λάμπες, σκίαστρα κτλ. Μια συστηματική μελέτη της συμπεριφοράς των χρηστών ως προς το εσωτερικό περιβάλλον είναι σε θέση να συνεισφέρει στην κατανόηση των οφελών και των προβλημάτων που ανακύπτουν από συστήματα φυσικού φωτισμού και τους ελέγχους, όπως αυτά έχουν ρυθμιστεί για το εκάστοτε κτήριο. Η όποια δυσφορία θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τον ουσιαστικό εντοπισμό των προβλημάτων ώστε να αυξηθεί το δυναμικό για βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Οικειοποιούμενος κανείς μια κανονικοποιημένη διαδικασία για την έρευνα των αντιδράσεων των χρηστών/ ενοίκων, μπορεί να αποκομίσει μια καλύτερη κατανόηση σχετικά με τη σημαντικότητα της κάθε συνιστώσας παραμέτρου σε έναν εργασιακό χώρο. Παρέχεται επιπλέον καταυτόν τον τρόπο μια βάση για σύγκριση τόσο διαφορετικών κτηρίων όσο και

διαφορετικών συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Φυσικά, μια τέτοιου είδους διαδικασία έρευνας μπορεί να επεκταθεί διερευνώντας και άλλες παραμέτρους. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, στη δεδομένη εργασία επικεντρωνόμαστε στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου φωτισμού και εν τέλει στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε εργασιακό περιβάλλον.

Δεδομένης της ανθρώπινης φύσης, πρέπει να έχει κανείς κατά νου - τόσο κατά το σχεδιασμό όσο και κατά τη διεξαγωγή της εν λόγω διερευνητικής διαδικασίας - ότι δεν είναι δυνατή η εύρεση ενός συστήματος που θα γίνεται αποδεκτό από όλους και σε όλες τις χρονικές στιγμές. Πέραν αυτού, λόγω της μεταβλητότητας του φυσικού φωτός συναρτήσει της συννεφιάς αλλά και της ακριβούς χρονικής στιγμής της μέτρησης, είναι σαφές ότι μια στιγμιαία δοκιμή δε μπορεί να θεωρείται αντικατοπτριστική της ποιότητας του κτηρίου και των συστημάτων του. Η αντίδραση των χρηστών σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες θα πρέπει να μελετηθεί για ευρύτερες χρονικές περιόδους, κάτι που συνεπάγεται ότι η έρευνα πρέπει να επαναληφθεί ή τουλάχιστον να σχεδιασθεί ώστε να λαμβάνει ανταπόκριση για μια εκτεταμένη περίοδο χρήσης.

Το πλήθος των ερευνών με ερωτηματολόγια που διατίθενται στους χρήστες (POE) που διεξάγονται σε διάφορες χώρες είναι εν γένει περιορισμένο ενώ, πολύ συχνά, οι ερωτήσεις και τα ερωτηματολόγια σχεδιάζονται για ένα συγκεκριμένο κτήριο και χρησιμοποιούνται μόνο για μια φορά. Η συγκεκριμένη πρακτική, προφανώς, καθιστά δύσκολο έως αδύνατο να αποφανθεί κανείς για το ποιο σύνολο ερωτήσεων είναι πραγματικά το καλύτερο και ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος να λάβει κανείς τις απαντήσεις. Συχνά δε γίνονται κατανοητά τα προβλήματα στην ανάλυση και λήψη συμπερασμάτων από ένα ερωτηματολόγιο. Προκειμένου να παρέχεται η δυνατότητα στατιστικής ανάλυσης και επακόλουθης απόληξης σε αμετάκλητα συμπεράσματα για το εργασιακό περιβάλλον, θα πρέπει να ικανοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια (IEA [52]).

5.2 Αντικειμενικά ζητούμενα από το ερωτηματολόγιο μιας ΡΟΕ

Το ερωτηματολόγιο της ΡΟΕ θα δώσει ενδείξεις αυτού που οι χρήστες αντιλαμβάνονται ως κτήριο στο σύνολό του, του εσωτερικού εργασιακού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων του θορύβου και των θερμοκρασιακών συνθηκών και κυρίως του πως υφίστανται το φωτεινό περιβάλλον και πόσο καλά πιστεύουν ότι λειτουργούν τα συστήματα ελέγχου φωτισμού. Καθώς το περιβάλλον - ειδικά η παράμετρος του φυσικού φωτός- μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου, ενδέχεται να ανακύψουν προβλήματα μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες και περιστάσεις και για αυτόν το λόγο το ερωτηματολόγιο οφείλει να σχεδιάζεται ώστε να «σφυγμομετρεί» σε ένα βάθος χρόνου.

Είναι αναπόφευκτη η παρουσία μιας διακύμανσης στις αποκρίσεις των διαφόρων ατόμων από την στιγμή που διαφοροποιούνται σε επίπεδο συμπεριφορών και απαιτήσεων. Για αυτόν ακριβώς το λόγο θα πρέπει το ερωτηματολόγιο να διανέμεται σε κατάλληλο πλήθος ενοίκων. Υπάρχουν μάλιστα απαιτήσεις σχετικές με το πλήθος των συμμετεχόντων αλλά και με άλλους παράγοντες που θα πρέπει να γίνουν σεβαστές για να θεωρείται η έρευνα στατιστικά έγκυρη. Τα αποτελέσματα μιας ΡΟΕ μπορούν να αποτυπώσουν όχι μόνο την ποιότητα του κτηρίου ως όλον αλλά και να παράσχουν ενδείξεις για συγκεκριμένες ικανοποιητικές ή μη περιβαλλοντικές συνθήκες. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να συνεκτιμηθούν με τα τεχνικά αποτελέσματα που αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας, στο κόστος κτλ.

5.3 Απαιτήσεις και περιορισμοί

Προκειμένου να φέρει κανείς εις πέρας μία «επίσημη» ΡΟΕ που να επιδέχεται στατιστική ανάλυση, θα πρέπει να λάβει υπόψη και τελικά να ικανοποιήσει συγκεκριμένα κριτήρια. Στην περίπτωση της μη ικανοποίησης αυτών, μπορεί να διεξαχθεί μια ανεπίσημη ΡΟΕ της οποίας τα αποτελέσματα θα είναι ενδεικτικά της στάσης των ενοίκων αλλά θα πρέπει να αποτιμούνται με σχετική προσοχή. Τα άτομα που εκτελούν τις φυσικές μετρήσεις, κατά

πάσα πιθανότητα, θα σχηματίσουν εντυπώσεις αναφορικά με την ποιότητα του κτηρίου και τις αντιδράσεις των ενοίκων. Αυτό προσθέτει πληροφορία στην αποτίμηση του κτηρίου που όμως δε μπορεί να είναι στατιστικά διαχειρίσιμη. Στην συνέχεια θα κάνουμε αναφορά στο τι συνιστά μια επίσημη και τι μια ανεπίσημη POE.

- **Επίσημη χρήση ερωτηματολογίου**

Λόγω της διαφοροποίησης ανά τα άτομα, χρειάζεται ένα πλήθος αντιδράσεων χρηστών ώστε να μειωθούν τα διαστήματα αβεβαιότητας στην αποτίμηση και καταυτόν τον τρόπο να αυξηθεί η πιθανότητα ανίχνευσης των διαφοροποιήσεων. Αν υποθέσουμε ότι κάθε χρήστης βιώνει, υφίσταται και αντιλαμβάνεται μόνο μία κατάσταση χρειάζονται περισσότερα άτομα από ότι θα χρειάζονταν αν υποθέταμε ότι τα άτομα μπορούν να αντιλαμβάνονται 2 ή περισσότερες καταστάσεις. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μια έρευνα ανάμεσα σε άτομα (between persons study) ενώ στη δεύτερη μια έρευνα στο πλαίσιο του ατόμου (within persons study).

Το σύνολο των ατόμων πρέπει να είναι όσο δυνατόν περισσότερο ομογενές από απόψεως ηλικίας, μόρφωσης, φύλλου κτλ. ώστε να μειωθεί η διασπορά στις αποτιμήσεις. Για ένα αρκετά ομογενές δείγμα χρηστών, χρειάζονται περίπου 30 άτομα σε μια έρευνα between persons και 15-20 σε μια έρευνα within persons. Σε περίπτωση αυξημένης ανομοιογένειας, απαιτούνται και πολυπληθέστερα σύνολα ώστε να μειωθεί η διακύμανση και να ανιχνευθούν οι πραγματικές διαφοροποιήσεις. Η ιδανική κατάσταση είναι εκείνη κατά την οποία οι χρήστες ενός κτηρίου καλούνται να αξιολογήσουν περισσότερα από ένα συστήματα (ελέγχου φωτισμού ή εγκατάστασης φωτισμού). Αφού υφίστανται ένα σύστημα για εύλογο χρονικό διάστημα συμπληρώνουν το ερωτηματολόγιο. Είναι συνετό να τεθούν ως υποθέματα ενός δεύτερου συστήματος κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου στο πλαίσιο του έτους. Το χρονικό διάστημα χρήσης θα πρέπει να είναι αρκετά εκτεταμένο ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι διάφορες κλιματικές περιστάσεις (είθισται να επιλέγεται διάστημα μεγαλύτερο ή ίσο του ενός μήνα).

- **Ανεπίσημη χρήση ερωτηματολογίου**

Στην περίπτωση εκείνη που ο αριθμός των χρηστών είναι μικρότερος από ότι παραπάνω αναφέρεται, ενδέχεται να είναι δύσκολη η εξασφάλιση στατιστικά αξιόλογων αποτελεσμάτων. Φυσικά, αυτό δεν ανατρέπει τη δυναμική του ερωτηματολογίου να παράσχει ενδιαφέρουσες πληροφορίες.

5.4 Βήματα για την υλοποίηση μιας έρευνας με χρήση ερωτηματολογίου

Τα πιο ουσιώδη βήματα για την πραγματοποίηση μιας έρευνας αυτού του είδους είναι τα ακόλουθα:

- Το κτήριο πρέπει να επιλέγεται λόγω της ύπαρξης κάποιου ενδιαφέροντος χαρακτηριστικού όσον αφορά στο φως ημέρας και προτιμότερα, όταν οι ένοικοι δεν έχουν όλοι και την ίδια στιγμή επίγνωση του δεδομένου χαρακτηριστικού.
- Το πλήθος των ενοίκων θα πρέπει να προσδιορίζεται εκ των προτέρων ώστε να αποφασίζεται ποιος ερευνητικός σχεδιασμός θα υιοθετηθεί και κατά πόσο είναι πιθανή η διεξαγωγή μιας επίσημης ΡΟΕ. Ήδη στο δεδομένο στάδιο, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι πιθανότητες για αλλαγή του συστήματος έπειτα από κάποιο διάστημα και για μία within persons έρευνα.
- Είναι σημαντικό να εξασφαλισθεί η διάθεση συνεργασίας από μέρους των ενοίκων. Προκειμένου να ληφθούν ευρήματα που αντανακλούν την πραγματικότητα, θα πρέπει να υπάρχει ένας υψηλός βαθμός απαντημένων ερωτηματολογίων ώστε να αποτρέπεται η πώλωση λόγω των πολύ θετικά ή πολύ αρνητικά διακεείμενων ατόμων. Μπορούμε να πούμε ότι, εν γένει, οι ένοικοι είναι ιδιαίτερα εξυπηρετικοί, ιδιαίτερα όταν τρέφουν κάποια εμπιστοσύνη για την ακεραιότητα του ερευνητή.
- Η εμπειρία δείχνει ότι είναι κεφαλαιώδους σημασίας να κατοχυρωθεί όχι μόνο η συναίνεση αλλά και η ενεργητική συνεργασία των

ιδιοκτητών/ διαχειριστών των κτηρίων. Με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, τόσο η ιδιοκτησία όσο και η διαχείριση πρέπει να πειστούν για την αντικειμενική αξία ακόμη και αρνητικών ανταποκρίσεων από μέρους των ενοίκων μιας και οι τελευταίες αποτελούν ασφαλές μέσο για την προώθηση των όποιων βελτιωτικών αλλαγών.

- Αναλόγως με το χαρακτηριστικό εκείνο του κτηρίου ή του φυσικού φωτισμού του που είναι κυρίου ενδιαφέροντος, μπορεί να απασχολήσει η προσθήκη ζητουμένων και πεδίων προς απάντηση στο ερωτηματολόγιο. Κατά κανόνα, προκειμένου να εξασφαλίζεται η δυνατότητα σύγκρισης ανάμεσα σε κτήρια και χαρακτηριστικά δε θα πρέπει να αφαιρούνται πεδία από το ερωτηματολόγιο.
- Δεδομένης της σημασίας ύπαρξης εμπιστοσύνης της ερευνητικής ομάδας, ένα μέλος της ομάδας θα πρέπει να οριστεί ως εκείνο που θα διανέμει και μοιράζει τα ερωτηματολόγια και που θα διαχειρίζεται όλες τις επαφές με τους ενοίκους, διαβεβαιώνοντάς τους ότι δε θα είναι εφικτό για οποιονδήποτε να γνωρίζει ποιος απάντησε τι στο ερωτηματολόγιο.
- Οι αναλύσεις των ανταποκρίσεων θα πρέπει να διεξάγονται από κάποιον ο οποίος διαθέτει αρτιότητα γνώσεων σε πολυπαραμετρικές στατιστικές τεχνικές και μεθόδους έρευνας συμπεριφορών.

5.5 Το ερωτηματολόγιο της έρευνας εν προκειμένω

Η δεδομένη διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την επεξεργασία αποτελεσμάτων που λήφθηκαν χρήσει μιας συγκεκριμένης μεθόδου καταγραφής των αντιδράσεων των ενοίκων, με τελικό σκοπό την αποτίμηση της αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού και των συστημάτων ελέγχου φωτισμού σε κτήρια γραφείων. Η εν λόγω μέθοδος βασίζεται σε ένα ερωτηματολόγιο που διερευνά τις αντιδράσεις των ενοίκων όχι μόνο ως προς το φως ημέρας, τα παράθυρα και το σύστημα ελέγχου φωτισμού αλλά ως προς το εργασιακό φυσικό περιβάλλον εν γένει.

Μέχρι στιγμής, για την αποτίμηση μεγάλου πλήθους κτηρίων έχουν χρησιμοποιηθεί περίπου ισάριθμα ερωτηματολόγια . Τοιουτοτρόπως είναι πολύ δύσκολος ο προσδιορισμός της βέλτιστης μεθόδου αλλά και δυσχερής η σύγκριση διαφορετικών κτηρίων στην ίδια κλίμακα. Από την εμπειρία που απέρρευσε από προηγούμενες μελέτες [53-55] σχεδιάστηκε ένα ερωτηματολόγιο για την αποτίμηση του φυσικού φωτισμού και των άλλων παραμέτρων του φυσικού περιβάλλοντος εντός γραφείου. Ο σχεδιασμός του εν λόγω ερωτηματολογίου ξεκίνησε στο Joule II project Daylight Europe [56] και βασίστηκε σε ερωτήσεις που είχαν χρησιμοποιηθεί σε προγενέστερες έρευνες. Το δεδομένο ερωτηματολόγιο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε κάποιες περιπτώσεις μελετών κτηρίων γραφείων (IEA [52]).

Εν τούτοις, το ερωτηματολόγιο αυτό δε θεωρήθηκε ως το μόνο και πλήρες σύνολο ερωτήσεων προς χρήση στην περίπτωση της μελέτης της οποίας τα αποτελέσματα φιλοδοξεί να αναλύσει η δεδομένη εργασία. Στην εν λόγω περίπτωση, διαγράφηκαν κάποιες ερωτήσεις που δε θεωρήθηκαν σχετικές και προστέθηκαν κάποιες σχετικές με το φωτισμό [43]. Τροποποιήθηκε λοιπόν έτσι ώστε να εστιάζει ιδιαίτερα στην εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού και στα συστήματα ελέγχου φωτισμού ενός κτηρίου. Δόθηκε λοιπόν το ερωτηματολόγιο που διαμορφώθηκε στους ενοίκους τριών διαφορετικών κτηρίων γραφείων και διεξήχθη μια έρευνα αναφορικά με τις προτιμήσεις αυτών. Το σύνολο των ερωτήσεων διατηρήθηκε ακέραιο από το ένα κτήριο στο επόμενο με σκοπό η συλλεχθείσα γνώση για διαφορετικά κτήρια να μπορεί να επεκταθεί και να αποτελέσει αντικείμενο σύγκρισης. Τα αποτελέσματα μπορούν να παράσχουν ένα προφίλ της ποιότητας του κάθε κτηρίου, χρήσιμο στην περίπτωση της αποτίμησης των συνολικών οφελών που αντλούνται από αυτό. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύγκριση διαφορών που μπορούν να αποτελέσουν τη βάση διαφορετικών γνωμών των ενοίκων.

Προκειμένου να μειωθεί η διασπορά στις αποτιμήσεις, επελέγη για κάθε κτήριο ένα κατά το εφικτό ομοιογενές σύνολο ατόμων από απόψεως ηλικίας. Για ένα αρκετά ομοιογενές σύνολο ενοίκων/ συμμετεχόντων, χρειάζονται περίπου 30 άτομα για κάθε περίπτωση μελέτης (IEA [52]). Το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε από ένα σύνολο 122 ατόμων και στον

παρακάτω πίνακα παρατίθεται το πλήθος των συμμετεχόντων για κάθε ένα από τα τρία κτήρια.

Κτήριο	Συμμετέχοντες
A	29
B	65
Γ	28
Σύνολο	122

Ακολουθεί ευθύς αμέσως το ερωτηματολόγιο ως αυτό χρησιμοποιήθηκε :

Έρευνα φωτισμού γραφείων

A. Προσωπικά στοιχεία

A.1 Ηλικία

- 16-24 45-55
 25-34 55 +
 35-44

A.2 Φύλο

- Γυναίκα Άνδρας

A.3 Τύπος εργασίας

- Γραφείου Ελεύθερος επαγγελματίας
 Διευθυντικός Άλλος τύπος

Εάν είναι άλλος ο τύπος εργασίας παρακαλώ δηλώστε _____

A.4 Πόσο καιρό εργάζεστε στο συγκεκριμένο χώρο; Μήνες _____ Χρόνια _____

A.5 Γενικά, για πόσο χρονικό διάστημα χρησιμοποιείτε την οθόνη του υπολογιστή σας;

Ποσοστό της εργάσιμης ημέρας _____ %

A.6 Γενικά πόσο χρονικό διάστημα παραμένετε στο γραφείο ή στον άμεσο χώρο εργασίας σας; Ποσοστό της εργάσιμης ημέρας ____ %

B. Γενικές ερωτήσεις

B.1 Πόσα πρόσωπα μοιράζονται το δωμάτιο ή το χώρο εργασίας σας;

- Έχω το δικό μου δωμάτιο
- Δύο άτομα
- 3 με 4 άτομα
- 5 με 10 άτομα
- Περισσότερα από 10 άτομα

B.2 Σημειώστε 3 από τα παρακάτω χαρακτηριστικά που είναι τα σημαντικότερα κατά τη γνώμη σας έτσι ώστε ο χώρος εργασίας σας να είναι ευχάριστος.

(Σημειώστε από το 1 έως το 3, με το 1 να είναι το πιο σημαντικό.)

- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> Κατάλληλη θερμοκρασία | <input type="radio"/> Ησυχία |
| <input type="radio"/> Σωστός φωτισμός | <input type="radio"/> Απομόνωση |
| <input type="radio"/> Σωστός αερισμός | <input type="radio"/> Άνεση χώρου |
| <input type="radio"/> Παράθυρα | <input type="radio"/> Εξωτερική θέα |
| <input type="radio"/> Γενικό περιβάλλον
(χρώματα, διακόσμηση κτλ) | <input type="radio"/> Άλλο (παρακαλώ διευκρινίστε)
..... |

B.3 Προτιμάτε να εργάζεστε σε περιβάλλον με φυσικό φωτισμό, τεχνητό φωτισμό ή σε συνδυασμό φυσικού και τεχνητού φωτισμού;

- Προτιμώ φυσικό φωτισμό
- Προτιμώ τεχνητό φωτισμό
- Προτιμώ συνδυασμό

B.4 Πόσο ικανοποιημένοι είστε με τα ακόλουθα θέματα στο χώρο εργασίας σας;

	Πολύ ικανοποιημένος /ικανοποιημένη	Κάπως ικανοποιημένος /ικανοποιημένη	Αδιάφορος /αδιάφορη	Κάπως Δυσανεστημένος /δυσανεστημένη	Πολύ Δυσανεστημένος /δυσανεστημένη
A. Φωτισμός	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
B. Επίπεδο θορύβων	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Γ. Οσμές	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Δ. Εξαερισμός	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
E. Θερμοκρασία	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ΣΤ. Μέγεθος παραθύρων	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Z. Απομόνωση	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
H. Άνεση χώρου	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Θ. Εξωτερική θέα	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
I. Γενικό περιβάλλον (χρώματα, διακόσμηση κτλ)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B.5 Πόσο σημαντικό είναι για σας να υπάρχει παράθυρο στο δωμάτιο ή στον άμεσο χώρο εργασίας σας;

- Πολύ σημαντικό
- Όχι πολύ σημαντικό
- Καθόλου σημαντικό

B.6 Εργάζεστε χρησιμοποιώντας μόνο φυσικό φωτισμό από τα παράθυρα;

- Συχνά
- Μερικές φορές
- Μόνο περιστασιακά
- Ποτέ

B.7 Για το μέγεθος του παραθύρου σας, αυτό είναι:

- Πάρα πολύ μεγάλο
- Σχεδόν το σωστό
- Πάρα πολύ μικρό

B.8 Γίνεται ποτέ ο χώρος σας πάρα πολύ καυτός λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που μπαίνει μέσω των παραθύρων;

- Συχνά
- Μερικές φορές
- Μόνο περιστασιακά
- Ποτέ

Γ. Επίπεδα φωτισμού

Γ.1 Θα λέγατε ότι το ποσό φωτισμού στον γενικό χώρο του γραφείου σας είναι:
(Συνδυασμός τεχνητού και φυσικού φωτισμού)

Πάρα πολύ

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Αρκετά μικρό

Γ.2 Θα λέγατε ότι το ποσό φωτισμού στο επίπεδο εργασίας σας είναι:
(Συνδυασμός τεχνητού και φυσικού φωτισμού)

Πάρα πολύ

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Αρκετά μικρό

Γ.3 Θα λέγατε ότι το ποσό φωτισμού στην οθόνη του υπολογιστή σας είναι:
(Συνδυασμός τεχνητού και φυσικού φωτισμού)

Πάρα πολύ

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Αρκετά μικρό

Γ.4 Σκεφτείτε το ποσό του φυσικού φωτισμού που φθάνει στο γραφείο σας, αυτό είναι:

Πάρα πολύ

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Αρκετά μικρό

Δ Ποιότητα φωτισμού

Δ.1 Σας αρέσει το οπτικό περιβάλλον σας

Ναι Όχι

Δ.2 Όταν σηκώνετε τα μάτια σας από το επίπεδο εργασίας σας και κοιτάζετε μπροστά σας, το περιβάλλον που θα δείτε, σας φαίνεται:

Πάρα πολύ φωτεινό

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Πάρα πολύ σκοτεινό

Δ.3 Όταν σηκώνετε τα μάτια σας από το επίπεδο εργασίας σας και κοιτάζετε αριστερά σας, το περιβάλλον που θα δείτε, σας φαίνεται:

Πάρα πολύ φωτεινό

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Πάρα πολύ σκοτεινό

Δ.4 Όταν σηκώνετε τα μάτια σας από το επίπεδο εργασίας σας και κοιτάζετε δεξιά σας, το περιβάλλον που θα δείτε, σας φαίνεται:

Πάρα πολύ φωτεινό

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Πάρα πολύ σκοτεινό

Δ.5 Όταν κοιτάζετε το ταβάνι αυτό σας φαίνεται:

Πάρα πολύ φωτεινό

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Πάρα πολύ σκοτεινό

Δ.6 Έχετε ενοχληθεί ποτέ από θάμβωση ή έντονο φωτισμό;

(Θάμβωση είναι η ανεπιθύμητη φωτεινότητα που αντιλαμβάνεται κάποιος είτε άμεσα είτε μέσω αντανάκλασης π.χ. αντανάκλαση στην οθόνη του υπολογιστή.)

Συχνά

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Ποτέ

Ποια είναι η πηγή της θάμβωσης/ έντονου φωτισμού (εάν υπάρχει);

I. Προέρχεται άμεσα από οποιαδήποτε από τα παρακάτω:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| <input type="radio"/> Φώτα οροφής | <input type="radio"/> Φώτα γραφείου επιτραπέζια |
| <input type="radio"/> Ήλιος | <input type="radio"/> Ουρανός |
| <input type="radio"/> Σκίαστρα | <input type="radio"/> Άλλη πηγή |

Εάν υπάρχει άλλη πηγή θάμβωσης παρακαλώ δηλώστε _____

II Υπάρχει οποιαδήποτε από τις ανωτέρω αναφερόμενες πηγές θάμβωσης/ έντονου φωτισμού που να αντανakλώνται στις παρακάτω επιφάνειες:

- | | |
|--|--|
| <input type="radio"/> Παράθυρο | <input type="radio"/> Οθόνη υπολογιστή |
| <input type="radio"/> Επιφάνεια γραφείου | <input type="radio"/> Χαρτιά, περιοδικά, βιβλία κ.τ.λ. |
| <input type="radio"/> Σκίαστρα | <input type="radio"/> Άλλη πηγή |

Εάν υπάρχει άλλη επιφάνεια αντανάκλασης παρακαλώ δηλώστε

Δ.7 Θεωρείτε τον εαυτό σας πολύ ευαίσθητος/ευαίσθητη στο έντονο φως ή την θάμβωση;

- Ναι Όχι

E Έλεγχος φωτισμού

E.1 Υπάρχει σύστημα αυτόματου ελέγχου φωτισμού στο γραφείο σας ή στο γενικό χώρο εργασίας σας;

- Ναι Όχι

Εάν ναι, είναι ενοχλητικός;

- Ναι Όχι

Εάν ναι: Για ποιόν λόγο είναι ενοχλητικός;

- Τα επίπεδα φωτισμού είναι υπερβολικά χαμηλά
- Τα επίπεδα φωτισμού είναι υπερβολικά ψηλά
- Υπάρχει έντονο τρεμόπτεσμα της έντασης του φωτισμού
- Τα επίπεδα φωτισμού μεταβάλλονται πολύ γρήγορα
- Κάνουν θόρυβο τα φωτιστικά σώματα
- Άλλος λόγος (παρακαλώ διευκρινίστε) :

E.2 Πόσο σημαντικό είναι σε σας το να είστε σε θέση να ελέγχετε το επίπεδο ηλεκτρικού φωτισμού στο γραφείο σας;

Σημαντικό

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Ασήμαντο

E.3 Τι βαθμό ελέγχου έχετε εσείς στον ηλεκτρικό φωτισμό πάνω από την περιοχή εργασίας σας;

Πλήρης έλεγχος

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Κανένας έλεγχος

E.4 Πόσο ικανοποιημένοι είστε εσείς με αυτό το επίπεδο ελέγχου;

Ικανοποιημένος

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Ανικανοποίητος

E.5 Πιστεύετε ότι είναι σημαντικό να είστε σε θέση να ελέγχετε το φωτισμό του γραφείου σας ξεχωριστά από αυτόν των παρακείμενων γραφείων;

Σημαντικό

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Ασήμαντο

E.6 Έχετε οποιοδήποτε έλεγχο στο ποσό του φυσικού φωτισμού που προσπίπτει στο επίπεδο εργασίας σας (π.χ., έλεγχος στα εξωτερικά σκίαστρα):

Πλήρης έλεγχος

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

 Κανένας έλεγχος

ΣΤ. Πληροφορίες για τον χώρο έρευνας

Όνομα κτιρίου: _____

Αύξων αριθμός ερωτηματολογίου _____

Αριθμός φωτιστικών στο χώρο _____

Κατανάλωση φωτιστικών _____ W

Μέση φωτεινότητα χώρου (illuminance) _____ lux

Luminance cd/m² _____ Αναλογία Luminance οθόνη περιμετρικός χώρος

Προσανατολισμός γραφείου _____

Βάθος γραφείου (απόσταση από το κοντινότερο παράθυρο) _____

Η διαμόρφωση του ερωτηματολογίου, εμφανώς, βασίστηκε σε κλίμακες αξιολόγησης (rating scales). Αυτές αρμόζουν στο πεδίο της έρευνας σε σχέση με το φωτισμό εξαιτίας της αξιοπιστίας τους, την ευκολία διάθεσής τους αλλά και το ότι προσφέρονται για στατιστική ανάλυση. Στις ερωτήσεις που κρίθηκε σκόπιμο, χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση του κουτιού επιλογής (tick box). Οι αποκρίσεις στις ερωτήσεις ήταν σε μια κλίμακα 5 σημείων (5-point scale), από “πάρα πολύ φωτεινό” έως “πάρα πολύ σκοτεινό” για το τμήμα των επιπέδων φωτισμού και από “σημαντικό” ή “πλήρης έλεγχος” ή “ικανοποιημένος” ως “ασήμαντο” ή “κανένας έλεγχος” ή “ανικανοποίητος” για το τμήμα του ελέγχου φωτισμού.

Αναφέρουμε δε, ότι τα ερωτηματολόγια διατέθηκαν και συμπληρώθηκαν κατά τη διάρκεια επισκέψεων την ίδια ώρα της ημέρας κατά τη διάρκεια των εργάσιμων ωρών για κάθε κτήριο, την περίοδο Μάρτιος-Απρίλιος 2005.

5.6 Εξεταζόμενα κτίρια

Για τις ανάγκες της μελέτης τα αποτελέσματα της οποίας καλείται να αξιοποιήσει αυτή η διπλωματική εργασία, το ερωτηματολόγιο, όπως αυτό παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, διανεμήθηκε σε τρία κτίρια γραφείων στην Αθήνα. Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκαν τα δεδομένα κτίρια ήταν το ότι είχαν εγκατεστημένο σύστημα ελέγχου φωτισμού, ανταποκρινόμενο στο φυσικό φωτισμό. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται στοιχεία για το σύστημα φωτισμού και ελέγχου αυτού σε κάθε κτήριο.

Κτίριο	Τύπος φωτιστικού	Συσκευή ελέγχου
A	600mm X 600mm χωνευτά φωτιστικά με 4X18W T8, λαμπτήρες φθορισμού	Αισθητήρες φωτισμού για ένα σύνολο φωτιστικών
B	Χωνευτά φωτιστικά με 2X18W G24q-2, λαμπτήρες φθορισμού	Εξωτερικός αισθητήρας φωτισμού για εσωτερικές ζώνες ενός τμήματος του κτιρίου και αισθητήρες φωτισμού για ένα σύνολο φωτιστικών στο υπόλοιπο του κτηρίου
Γ	600mm X 600mm χωνευτά φωτιστικά με 4X18W T8 λαμπτήρες φθορισμού	Αισθητήρες φωτισμού για κάθε ένα φωτιστικό στην περιμετρική ζώνη του κτηρίου

Πίνακας 5.1 Το σύστημα φωτισμού και ελέγχου φωτισμού κάθε κτηρίου

Στην συνέχεια θα κάνουμε σύντομη περιγραφική αναφορά των τριών αυτών κτηρίων και των ποικίλων ιδιομορφιών τους.

5.6.1 Κτήριο A : ROLCO BIANIA AE

Το κτήριο των γραφείων της ROLCO BIANIA AE (Εικόνα 5.2) βρίσκεται σε μια από τις βιομηχανικές ζώνες του λεκανοπεδίου της Αθήνας, στην περιοχή του Ρέντη. Το κτήριο των γραφείων εφάπτεται με το εργοστάσιο παραγωγής και βρίσκεται σε περιοχή ανοικτού σχεδίου. Αναφερόμενοι στη γενικότερη περιοχή, μπορούμε να σημειώσουμε πως σχετικά είναι επίπεδη και τα γειτονικά κτήρια είναι χαμηλά, σε μεσαίες αποστάσεις μεταξύ τους. Η θέα είναι ανεμπόδιστη από τα περισσότερα γραφεία.



Εικόνα 5.2 Το κτήριο γραφείων της εταιρίας ROLCO BIANIA AE

Συγκεκριμένα, το κτήριο γραφείων είναι στενού παραλληλόγραμμου σχήματος και αποτελείται από δυο ορόφους (ένα υπερυψωμένο ισόγειο και τον 1^ο όροφο), κάλυψης 750 m² ο καθένας. Η κύρια πρόσοψη του κτηρίου έχει ανατολικό προσανατολισμό (είσοδος του κτιρίου, Εικόνα 5.3), ενώ οι πλαϊνές προσόψεις με βόρειο και νότιο προσανατολισμό έχουν μικρότερη επιφάνεια (Εικόνες 5.3 και 5.4). Στην ανατολική και νότια πρόσοψη του κτηρίου είχαν προβλεφθεί και τοποθετηθεί από την αρχική κατασκευή του κτιρίου εξωτερικά σκίαστρα για να αποκόπτουν την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 5.3 Ανατολική και νότια (αντιστοίχως) πρόσοψη του κτηρίου

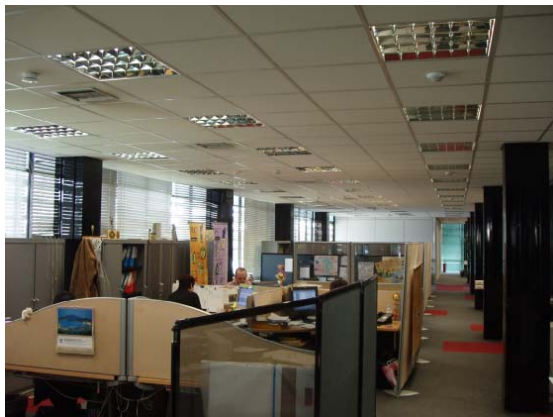


Εικόνα 5.4 Βόρεια πρόσοψη του κτιρίου

Η δυτική πρόσοψη εφάπτεται με το κτήριο του εργοστασίου ενώ μόνο ένα τμήμα του 1^{ου} ορόφου έχει παράθυρα σε αίθριο κατά μήκος της διαχωριστικής γραμμής των κτηρίων. Το δε κτήριο του εργοστασίου είναι ψηλότερο από το αυτό των γραφείων.

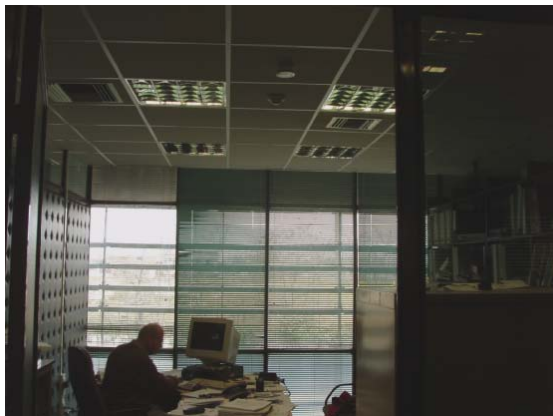
Το παραλληλόγραμμο σχήμα του κτηρίου στο οποίο και αναφερθήκαμε παρέχει φυσικό φωτισμό στο μεγαλύτερο αριθμό των γραφείων. Τα γραφεία του ισογείου είναι ανοικτά με χωρίσματα και χρησιμοποιούνται από 4 ή περισσότερα άτομα. Ο φυσικός φωτισμός εισέρχεται κυρίως από τα παράθυρα της ανατολικής πρόσοψης, τα οποία έχουν επιφάνεια ολόκληρη

την πρόσοψη μιας και δεν υπάρχουν κατώφλια και ανώφλια. Τα γραφεία χωρίζονται με έναν διάδρομο κατά μήκος της ανατολικής πρόσοψης έτσι ώστε να υπάρχουν δυο ομάδες γραφείων, μια κοντά στα παράθυρα και μια στο βάθος του χώρου με μέγιστη απόσταση από το κοντινότερο παράθυρο τα 10 μέτρα (Εικόνα 5.5). Στα παράθυρα της ανατολικής πρόσοψης υπάρχουν εσωτερικές περσίδες όπου ο χρήστης μπορεί να τις χρησιμοποιήσει χειροκίνητα. Λόγω του ανατολικού προσανατολισμού (χαμηλό ηλιακό ύψος) αρκετές από αυτές ήταν κατεβασμένες για να μην υπάρχει θάμβωση στους υπολογιστές.



Εικόνα 5.5 Ανοικτό γραφείο με χωρίσματα, κοντά στα παράθυρα (αριστερά) και στο βάθος του χώρου (δεξιά) (ισόγειο, ανατολικός προσανατολισμός)

Στον 1^ο όροφο υπάρχουν απομονωμένα γραφεία ενός ή δυο ατόμων (16 m² περίπου το καθένα) στην ανατολική πρόσοψη αλλά και ανοικτά γραφεία έως τεσσάρων ατόμων στην απέναντι πλευρά (δυτικός προσανατολισμός) που βρίσκονται στο αίθριο (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6 Ανοικτό γραφείο με χωρίσματα, 1^{ος} όροφος, δυτικός προσανατολισμός

Τα διαχωριστικά στα απομονωμένα γραφεία της ανατολικής πρόσοψης είναι από τζάμι, με αποτέλεσμα ο φυσικός φωτισμός να διαχέεται προς το εσωτερικό του ορόφου. Αναφέρουμε δε ότι οι εσωτερικές περσίδες στα γραφεία που έχουν δυτικό προσανατολισμό είναι μονίμως κατεβασμένες λόγω κυρίως της μη θελκτικής αισθητικής του εξωτερικού χώρου αφού έχουν προσανατολισμό σε αίθριο που εφάπτεται με τοίχο του εργοστασίου. Φυσικά, το γεγονός αυτό οδηγεί στην αποκοπή μεγάλης ποσότητας φυσικού φωτισμού.

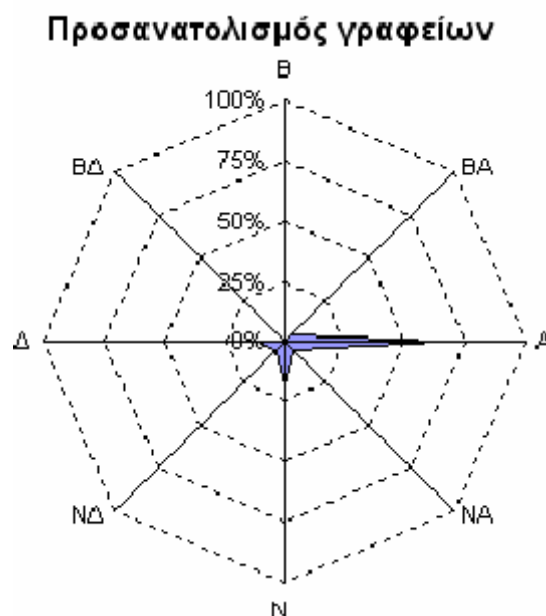
Λόγω της παλιάς κατασκευής του κτηρίου το σύστημα του τεχνητού φωτισμού επανασχεδιάστηκε. Τοποθετήθηκαν λοιπόν καινούρια φωτιστικά σώματα και συστήματα ελέγχου φωτισμού με σκοπό την βέλτιστη χρήση του τεχνητού συστήματος φωτισμού για την μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση ποσών ηλεκτρικής ενέργειας (Εικόνα 5.7)



Εικόνα 5.7 Τυπικό γραφείο με αισθητήρες φωτισμού

Τα φωτιστικά σώματα είναι χωρισμένα σε μικρές ομάδες και κάθε ομάδα ελέγχεται από έναν αισθητήρα φωτισμού μέσω του BMS του κτηρίου. Ερωτηματολόγια δόθηκαν στους χρήστες και των δυο ορόφων. Οι χρήστες στους οποίους δόθηκαν τα ερωτηματολόγια εργάζονται σε γραφεία με εγκατεστημένους αισθητήρες φωτισμού και ελεύθερη πρόσβαση φυσικού φωτισμού στο επίπεδο εργασίας τους. Συνολικά συλλέχθηκαν 29

συμπληρωμένα ερωτηματολόγια των οποίων η κατανομή τους σε σχέση με τον προσανατολισμό των γραφείων των χρηστών που τα έλαβαν, παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8 Κατανομή των ερωτηματολογίων βάσει του προσανατολισμού των γραφείων των ενοίκων που ανταποκρίθηκαν σε αυτά

5.6.2 Κτήριο Β : COSTATERA

Το κτήριο γραφείων της COSTATERA είναι οκτώ ορόφων (Εικόνα 5.9). Βρίσκεται σε περιοχή ανοικτού σχεδίου και συνορεύει με περιοχή κατοικιών. Η περιοχή στα νοτιοδυτικά του κτηρίου είναι επίπεδη με ψηλή δεντροφύτευση, ενώ η περιοχή κατοικιών στα ανατολικά έχει κτήρια μεσαίου ύψους, σε μεσαίες αποστάσεις μεταξύ τους. Βόρεια υπάρχει γειτονικό κτήριο σε μικρή απόσταση που φτάνει μέχρι και τον δεύτερο όροφο του κτηρίου της COSTATERA. Η θέα από τα περισσότερα γραφεία του κτηρίου είναι ανεμπόδιστη. Εξαιρέση στο τελευταίο αποτελούν τα γραφεία μέχρι τον δεύτερο όροφο που βρίσκονται στη βόρεια πρόσοψη. Τα ανοίγματα του κτηρίου αποτελούνται από συνεχή παράθυρα 0.8m από το πάτωμα έως 2.4m περιμετρικά του κτιρίου και δεν υπάρχει οποιασδήποτε μορφής εξωτερικό σκίαστρο.

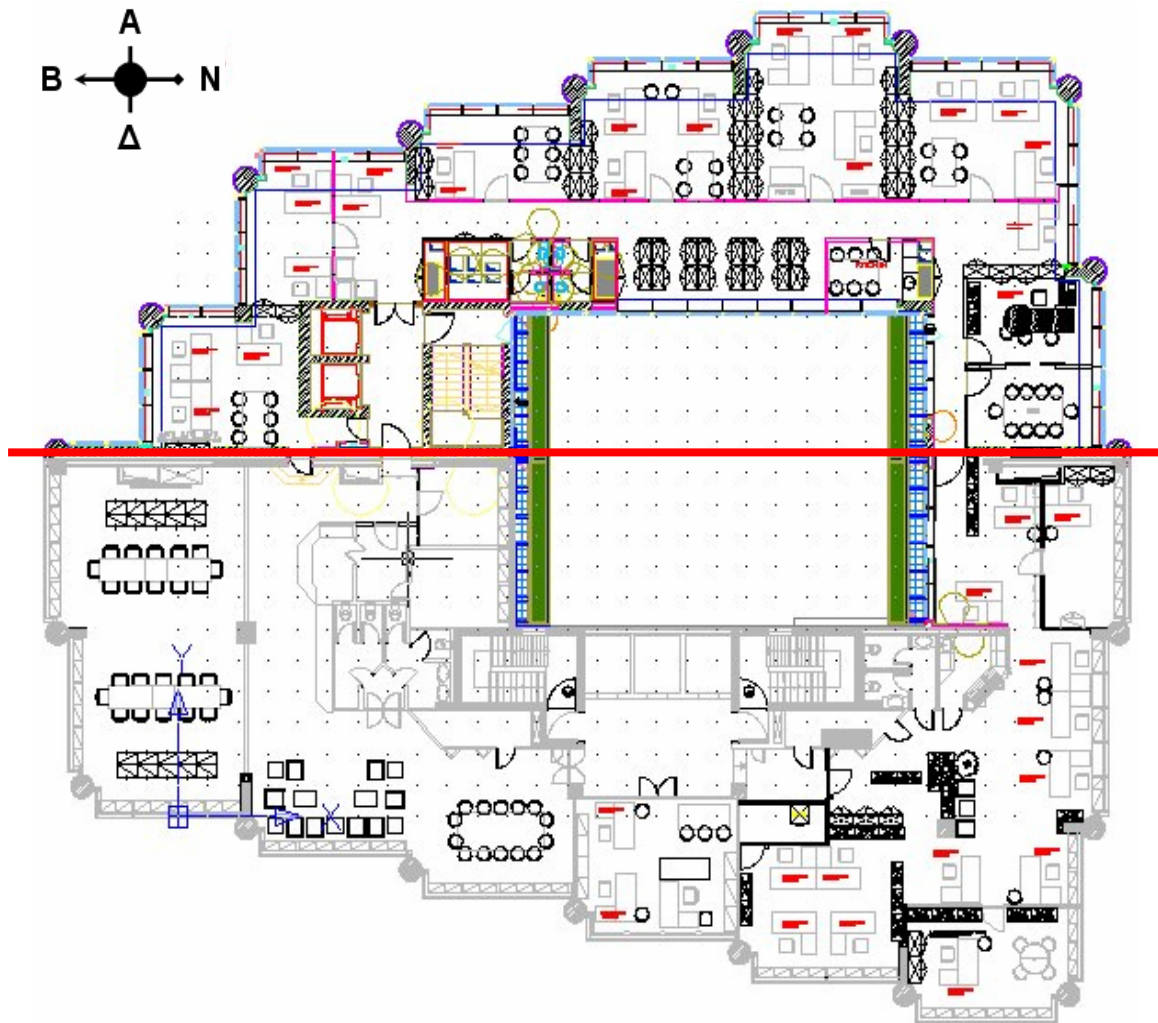


Εικόνα 5.9 Το κτήριο γραφείων της εταιρίας COSTATERA

Τα γραφεία είναι σε ανοιχτό χώρο και βρίσκονται στην περίμετρο του κτιρίου (Εικόνα 5.10) ενώ στον πυρήνα του κτηρίου βρίσκεται ένα αίθριο (Εικόνα 5.11). Τα φωτιστικά σώματα στο νοτιοδυτικό μέρος του κτιρίου είναι χωρισμένα σε μικρές ομάδες και κάθε ομάδα ελέγχεται από έναν αισθητήρα φωτισμού μέσω του BMS του κτηρίου (Εικόνα 5.12) ενώ τα φωτιστικά σώματα στο βορειοανατολικό μέρος του κτιρίου ελέγχονται από έναν εξωτερικό αισθητήρα φωτισμού (Εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.10 Ανοιχτός χώρος γραφείων



Εικόνα 5.11 Κάτοψη του 2^{ου} ορόφου του κτηρίου που να αναδεικνύει τόσο το αίθριο όσο και τα περιμετρικά γραφεία



Εικόνα 5.12 Τυπικό γραφείο με αισθητήρα φωτισμού στο εσωτερικό

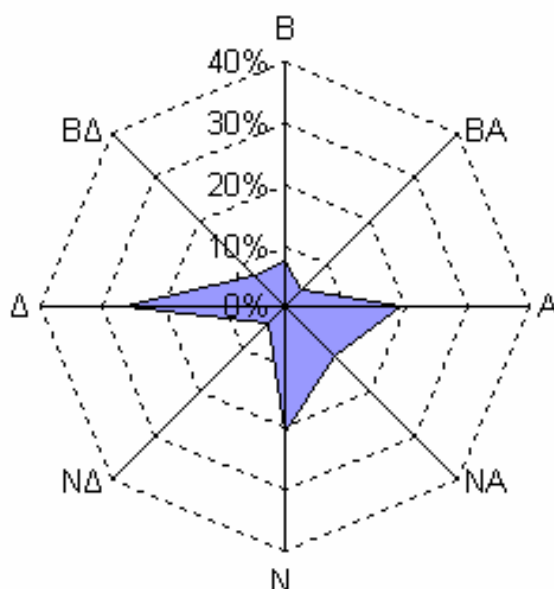


Εικόνα 5.13 Εξωτερικός αισθητήρας φωτισμού στη νότια πρόσοψη του κτηρίου

Τα ερωτηματολόγια διανεμήθηκαν στους χρήστες του 3^{ου} και του 4^{ου} ορόφου και αξίζει να αναφερθεί ότι οι δεδομένοι χρήστες εργάζονται σε γραφεία με εγκατεστημένους αισθητήρες φωτισμού και ελεύθερη πρόσβαση φυσικού φωτισμού στο επίπεδο εργασίας τους. Συνολικά συλλέχθηκαν 64

συμπληρωμένα ερωτηματολόγια των οποίων η κατανομή τους με βάση των προσανατολισμό παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.14.

Προσανατολισμός γραφείων



Εικόνα 5.14 Κατανομή των ερωτηματολογίων βάσει του προσανατολισμού των γραφείων των ενοίκων που ανταποκρίθηκαν σε αυτά

5.6.3 Κτήριο Γ : πρώην TIM

Πρόκειται για ένα κτήριο γραφείων τεσσάρων ορόφων (Εικόνα 5.15) που ανήκει σε ευρύτερο συγκρότημα κτηρίων και βρίσκεται σε περιοχή ανοικτού σχεδίου. Η περιοχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως επίπεδη με τα γειτονικά κτήρια του συγκροτήματος να είναι στο ίδιο ύψος, σε μεσαίες αποστάσεις μεταξύ τους. Η θέα από τα περισσότερα γραφεία είναι ανεμπόδιστη αν εξαιρέσει κανείς τα γραφεία της νότιας πρόσοψης όπου απαντάται ένας σχετικός περιορισμός.



Εικόνα 5.15 Το κτήριο γραφείων της εταιρίας (πρώην) TIM

Τα ανοίγματα του κτηρίου συνίστανται σε συνεχή παράθυρα 0.8m από το πάτωμα έως 2.3m περιμετρικά του κτηρίου και δεν υπάρχει εξωτερικός μηχανισμός σκίασης. Τα γραφεία εντοπίζονται στην περιμετρική ζώνη του κτηρίου και είναι τριών ή τεσσάρων ατόμων (Εικόνα 5.16). Κάθε φωτιστικό σώμα ελέγχεται από έναν αισθητήρα φωτισμού (Εικόνα 5.17). Τα ερωτηματολόγια διανεμήθηκαν στους χρήστες του 2^{ου} και του 3^{ου} ορόφου, οι οποίοι εργάζονταν σε γραφεία με εγκατεστημένους αισθητήρες φωτισμού και ελεύθερη πρόσβαση φυσικού φωτισμού στο επίπεδο εργασίας τους.



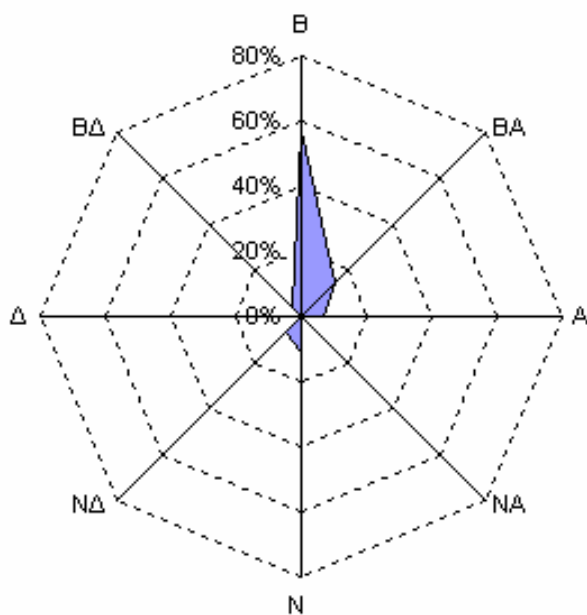
Εικόνα 5.16 Χώρος γραφείων



Εικόνα 5.17 Φωτιστικό σώμα της περιμετρικής ζώνης με τον αισθητήρα φωτισμού του

Συνολικά συλλέχθηκαν 28 συμπληρωμένα ερωτηματολόγια. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις παρουσιάζεται στην συνέχεια διάγραμμα της κατανομής τους βάσει του προσανατολισμού των γραφείων των χρηστών.

Προσανατολισμός γραφείων



Εικόνα 5.18 Κατανομή των ερωτηματολογίων βάσει του προσανατολισμού των γραφείων των ενοίκων που ανταποκρίθηκαν σε αυτά

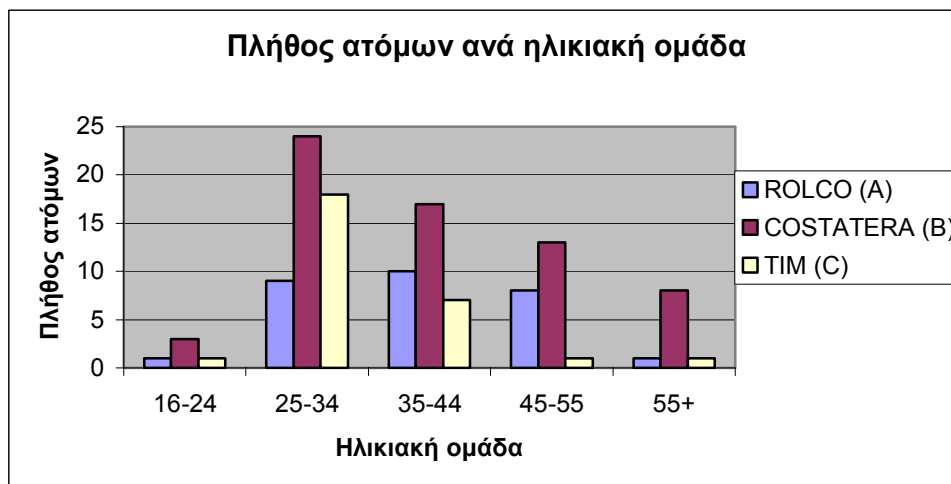
Κεφάλαιο 6

Επεξεργασία αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και προτάσεις

Στο δεδομένο τμήμα της διπλωματικής αυτής εργασίας θα επιχειρηθεί η ανάλυση και επεξεργασία των στατιστικών δεδομένων που αποτέλεσαν απότοκο της διάθεσης του ερωτηματολογίου που προηγουμένως παρατέθηκε. Απώτερος σκοπός είναι η σύνταξη προτάσεων για τη βελτιστοποίηση του οπτικού περιβάλλοντος και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Το πρώτο μέρος των ερωτήσεων που κλήθηκαν να απαντήσουν οι εργαζόμενοι στα κτήρια γραφείων που επιλέχθηκαν, σχετιζόταν, όπως μπορεί κανείς να δει στο ερωτηματολόγιο, με προσωπικά στοιχεία του κάθε ατόμου. Σε αυτό το πλαίσιο έπρεπε να δηλωθεί η ηλικία, το φύλο του κάθε υπαλλήλου, ο τύπος της εργασίας που διεκπεραιώνει κτλ.

Στην πρώτη ερώτηση λοιπόν, την Α.1, το κάθε άτομο μπορούσε να επιλέξει ανάμεσα σε 5 ηλικιακές κατηγορίες. Έτσι καταστήθηκε εγνωσμένη η ποσόστωση ατόμων συγκεκριμένων ηλικιών σε κάθε περίπτωση κτηρίου. Τα δεδομένα παρίστανται γραφικά στο παρακάτω σχήμα :



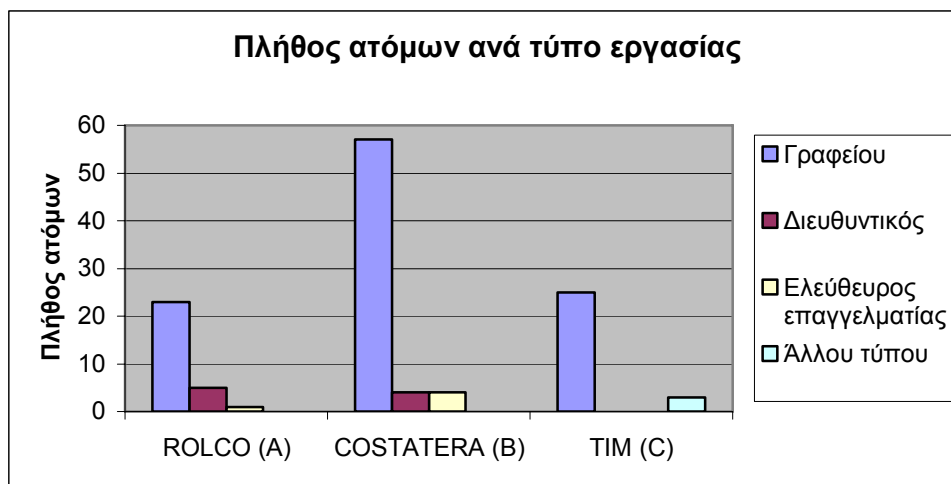
Σχήμα 6. 1 Ερώτηση Α.1 : πλήθος ατόμων ανά ηλικιακή ομάδα

Παρατηρείται ότι οι ηλικιακές ομάδες που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο πλήθος ατόμων - και για τα τρία κτήρια - είναι αυτές των 25-34 ετών και 35-

44 ετών. Στην περίπτωση της COSTATERA και της TIM, οι περισσότεροι συμμετέχοντες εμπίπτουν στην κατηγορία 25-34 ετών ενώ στη ROLCO σημειώνεται κατά τι μεγαλύτερο πλήθος στην κατηγορία 35-44 ετών. Αναφοράς χρήζει ενδεχομένως και το ότι στην περίπτωση τόσο της COSTATERA όσο και της ROLCO, έχουμε σχετικά αυξημένο πλήθος ατόμων και στην κατηγορία 45-55 ετών. Στη δε περίπτωση της COSTATERA, υπάρχει υπολογίσιμο πλήθος ατόμων ακόμη και για τις ηλικίες άνω των 55 ετών.

Όσον αφορά στο φύλο των υποκειμένων της έρευνας (ερώτηση A.2), στην ROLCO έχουμε, στο δείγμα των 29 ατόμων, 14 (48%) γυναίκες και 15 (52%) άνδρες. Για την COSTATERA έχουμε 28 (43%) γυναίκες και 37 (57%) άνδρες ενώ οι αντίστοιχες τιμές για την TIM είναι 11 (39%) γυναίκες και 17 (61%) άνδρες. Εν γένει, θα λέγαμε ότι και στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει μια πλειοψηφία ανδρών εργαζομένων η οποία μπορεί όμως να θεωρηθεί ισχνή.

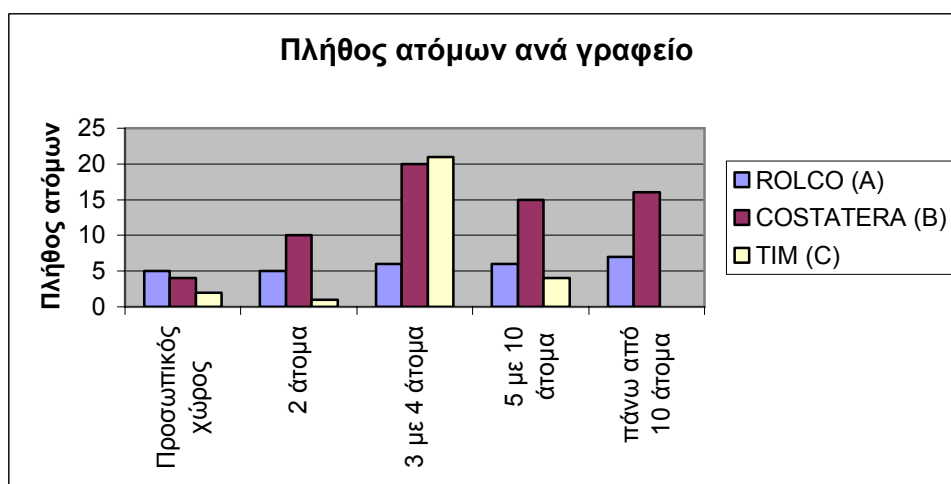
Με την ερώτηση A.3 επιχειρείται να κατανεμηθούν οι εργαζόμενοι στις τρεις περιπτώσεις με κριτήριο τον τύπο της εργασίας τους και οι πιθανές ομάδες είναι “γραφείου”, “διευθυντικός”, “ελεύθερος επαγγελματίας” και “άλλος τύπος”. Από το διάγραμμα που έπεται διαπιστώνουμε ότι και στις τρεις περιπτώσεις έχουμε πληθυσμιακή κυριαρχία των θέσεων εργασίας γραφείου. Στη ROLCO και στην COSTATERA έχουμε ένα, εύλογα, μικρό πλήθος διευθυντικών θέσεων και ένα ισχνό και μικρό αντίστοιχα πλήθος ατόμων που επέλεξαν να σημάνουν τον τύπο της εργασίας τους ως “ελεύθερος επαγγελματίας”. Και στις δύο αυτές εταιρίες, στο δείγμα ατόμων που συμμετείχαν στη μελέτη, δεν υπήρξαν άτομα που να ενέταξαν εαυτόν στην κατηγορία “άλλου τύπου εργασίας”, σε αντίθεση με την TIM όπου απαντήθηκαν κάποια άτομα που χαρακτήρισαν τον τύπο της εργασίας τους καταυτόν τον τρόπο. Από την άλλη, στην TIM υπάρχει πλήρης απουσία ατόμων διευθυντικών τύπων εργασίας και ελεύθερων επαγγελματιών.



Σχήμα 6. 2 Ερώτηση Α.3 : πλήθος ατόμων ανά τύπο εργασίας

6.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων γενικών ερωτήσεων και ερωτήσεων που αφορούν την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού (daylighting) (Τμήμα Β)

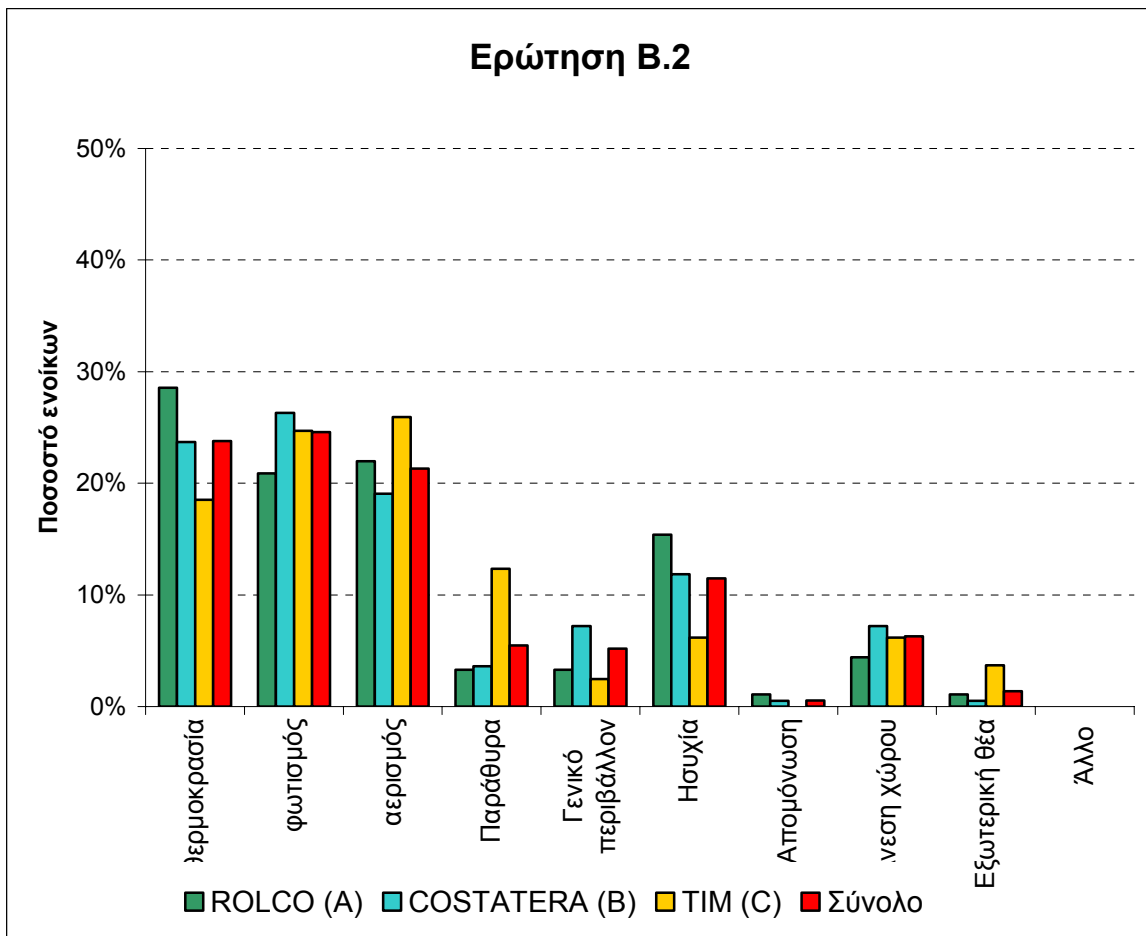
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που λήφθηκαν στο κομμάτι του ερωτηματολογίου με τις γενικές ερωτήσεις και τις ερωτήσεις σχετικά με το φυσικό φωτισμό. Στην ερώτηση Β.1 ρωτάται το πόσα άτομα μοιράζονται το δωμάτιο ή το χώρο εργασίας του κάθε συμμετέχοντος. Ευθύς αμέσως παρατίθενται γραφικά τα αποτελέσματα :



Σχήμα 6. 3 Ερώτηση Β.1 : πλήθος ατόμων ανά γραφείο

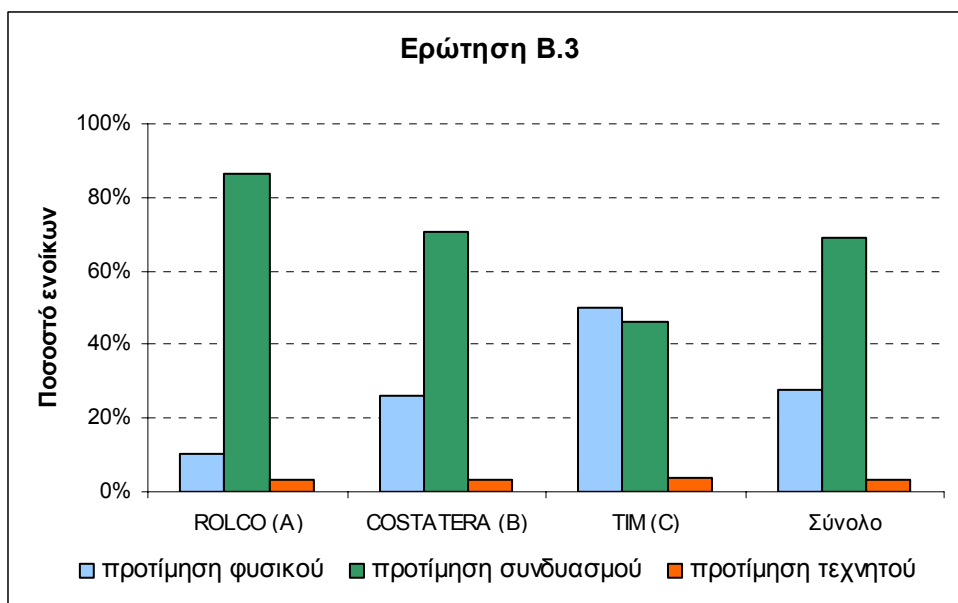
Παρατηρείται ότι προσωπικό χώρο διαθέτουν 5 ή λιγότερα άτομα, επομένως ένα σχετικά μικρό πλήθος εργαζομένων. Για την ROLCO, τα άτομα παραμένουν 5 ακόμη και για δωμάτια ή χώρους εργασίας 2 ατόμων. Στην COSTATERA υπάρχουν 10 άτομα σε αυτήν την κατηγορία ενώ στην TIM σημειώνεται μείωση και υπάρχει μόλις ένα άτομο. Αν και για τη ROLCO σημειώνεται αύξηση μόνο ενός ατόμου για γραφεία 3-4 ατόμων, για τις άλλες 2 εταιρείες απαντάται σημαντική αύξηση στα 20 και 21 άτομα. Θα έλεγε κανείς ότι συνολικά, αυτή είναι η συνηθέστερη περίπτωση χώρου εργασίας. Αρκετά άτομα υπάρχουν για την COSTATERA και στην κατηγορία χώρων εργασίας 5-10 ατόμων αλλά και περισσότερων των 10 ατόμων (15 και 16 άτομα αντίστοιχα). Στην κατηγορία των 5-10 ατόμων υπάρχουν 6 και 4 άτομα για τις ROLCO και TIM και για χώρους άνω των 10 ατόμων, υπάρχουν 7 άτομα στη ROLCO και κανέναν στην TIM.

Στην ερώτηση B.2 του ερωτηματολογίου καλούνται οι ένοικοι να ιεραρχήσουν βάσει της σημαντικότητάς τους τα χαρακτηριστικά του χώρου εργασίας τους. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε να σημειώσουν τα τρία σημαντικότερα κατά τη γνώμη τους φυσικά χαρακτηριστικά ώστε να είναι πιο ευχάριστος ο χώρος. Μάλιστα, με το “1” θα σημειώνονταν το πλέον σημαντικό, με “3” το λιγότερο σημαντικό και με “2” το χαρακτηριστικό ενδιάμεσης σημασίας. Οι ανταποκρίσεις στην ερώτηση αυτή λήφθηκαν σαν δείκτες του τι οι ένοικοι επιθυμούν και όχι απαραίτητα του τι έχουν στη διάθεσή τους. Ο “σωστός φωτισμός”, η “κατάλληλη θερμοκρασία” και ο “σωστός αερισμός” φέρονται ως τα πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός εργασιακού χώρου με αντίστοιχα ποσοστά προτίμησης 24,6%, 23,8% και 21,3% αντιστοίχως. Τα εν λόγω αποτελέσματα παρίστανται γραφικά στο επόμενο σχήμα :



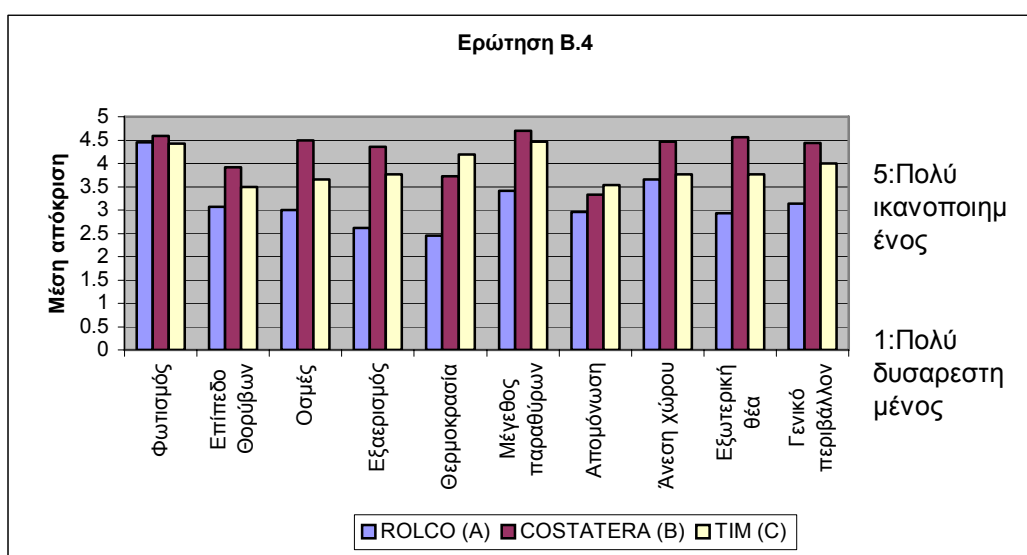
Σχήμα 6. 4 Ερώτηση Β.2 : Οι θέσεις των ενοίκων σχετικά με την σημαντικότητα διαφόρων πτυχών του εργασιακού τους περιβάλλοντος

Μέσω της ερώτησης Β.3 επιχειρείται να διερευνηθούν οι προτιμήσεις των ατόμων σε σχέση με φυσικό φωτισμό, τεχνητό ή συνδυασμό των δύο. Όπως παρατηρεί κανείς από το διάγραμμα που ακολουθεί, οι περισσότεροι προτιμούν να εργάζονται υπό τις συνθήκες που συνεπάγεται ο συνδυασμός φυσικού και τεχνητού φωτισμού. Ως άμεσο επακόλουθο αυτού, ένα σύστημα αυξομείωσης των επιπέδων φωτισμού (dimming lighting control) προτιμάται από ένα απλό χειροκίνητο διακόπτη ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του φωτισμού (on-off control).



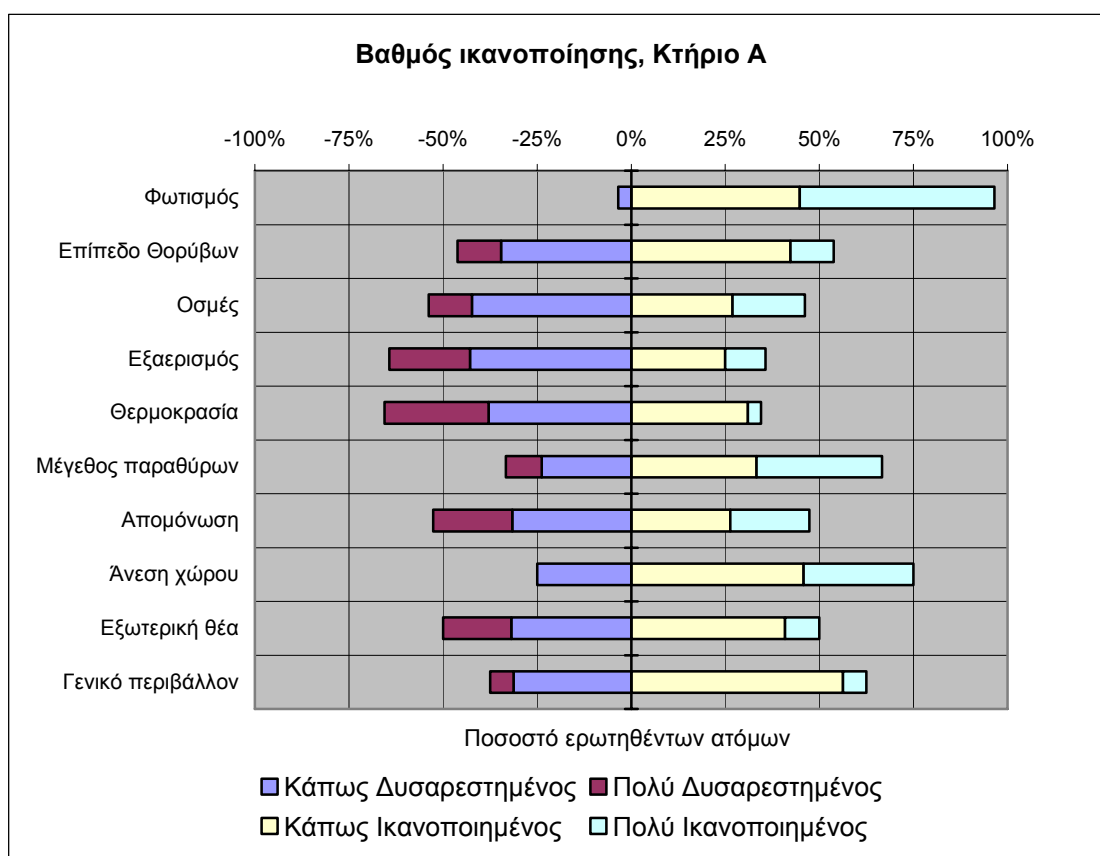
Σχήμα 6.5 Ερώτηση B.3 : Προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με το φυσικό και τον τεχνητό φωτισμό

Στην ερώτηση B.4, ζητείται να δηλώσουν το πόσο ικανοποιημένοι είναι σε σχέση με τα διάφορα χαρακτηριστικά του εργασιακού τους περιβάλλοντος. Μάλιστα, τα χαρακτηριστικά τα οποία καλούνται οι ένοικοι να αξιολογήσουν εν προκειμένω είναι εκείνα που τους ζητήθηκε να ιεραρχήσουν κατά φθίνουσα σημαντικότητα στην ερώτηση B.2. Οι απαντήσεις στη δεδομένη ερώτηση παρίστανται στο κάτωθι σχήμα.

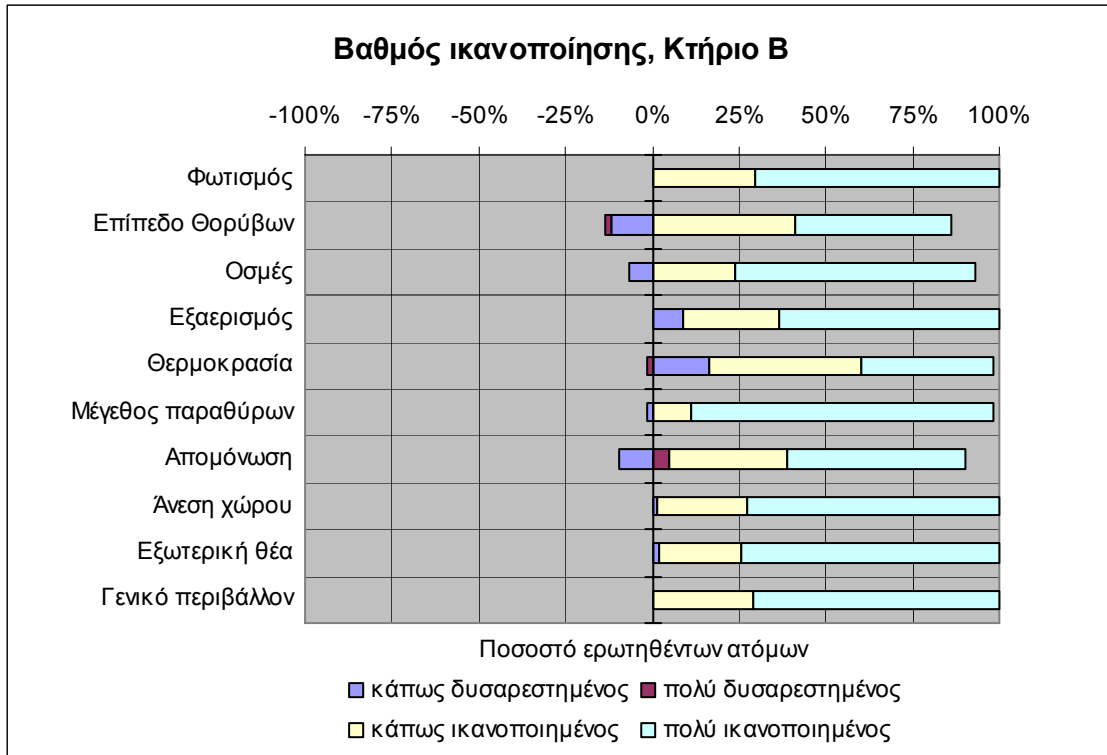


Σχήμα 6.6 Ερώτηση B.4 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με το πόσο ικανοποιημένοι είναι με επιμέρους στοιχεία του εργασιακού τους περιβάλλοντος

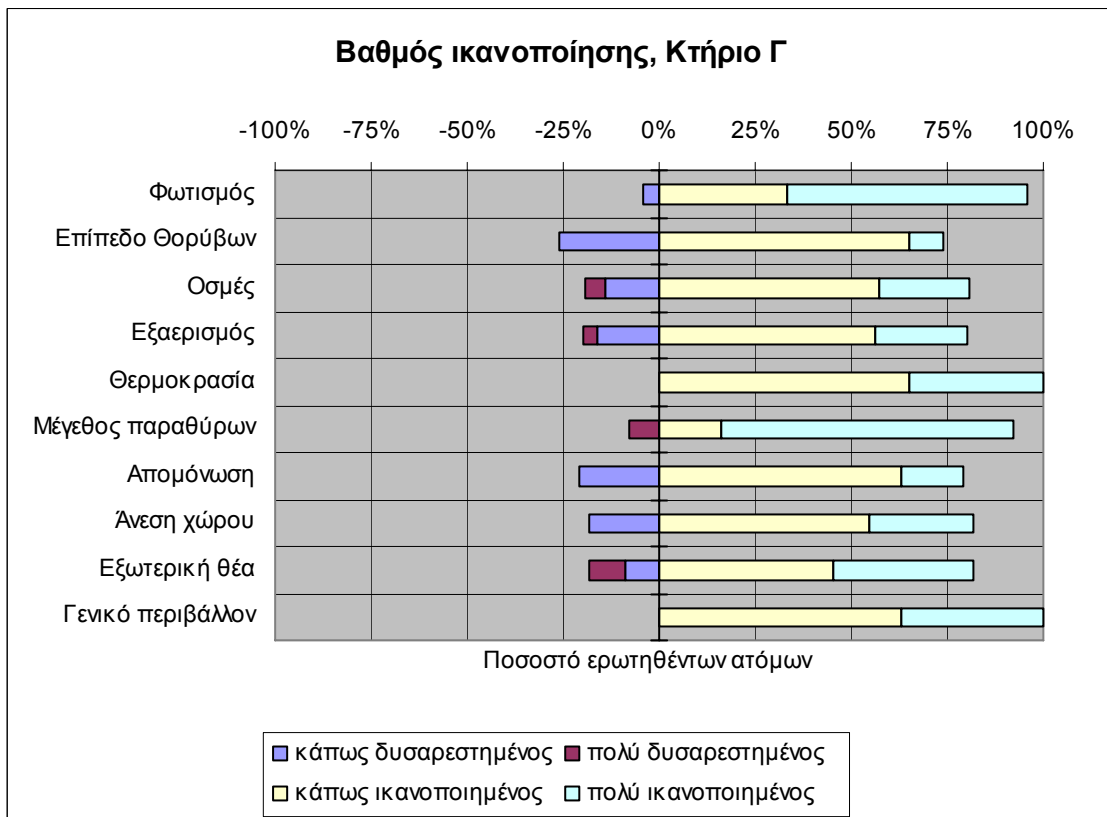
Τα δε σχήματα 8.7, 8.8 και 8.9 δείχνουν συγκριτικές τιμές για το κάθε κτήριο μεμονωμένα. Παρατηρούμε ότι στα κτήρια Β και Γ σημειώνεται ικανοποίηση των ενοίκων όσον αφορά στις περισσότερες των πτυχών που συνιστούν το χώρο εργασίας. Από την άλλη, στην περίπτωση του κτηρίου Α, υπάρχει ικανοποίηση μόνο ως προς το φωτισμό, ίσως επειδή είχε εγκατασταθεί ένα νέο σύστημα ελέγχου του φωτισμού πρόσφατα σε σχέση με το χρονικό σημείο διεξαγωγής της έρευνας.



Σχήμα 6.7 Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με επιμέρους συνιστώσες του εργασιακού περιβάλλοντος στο κτήριο Α

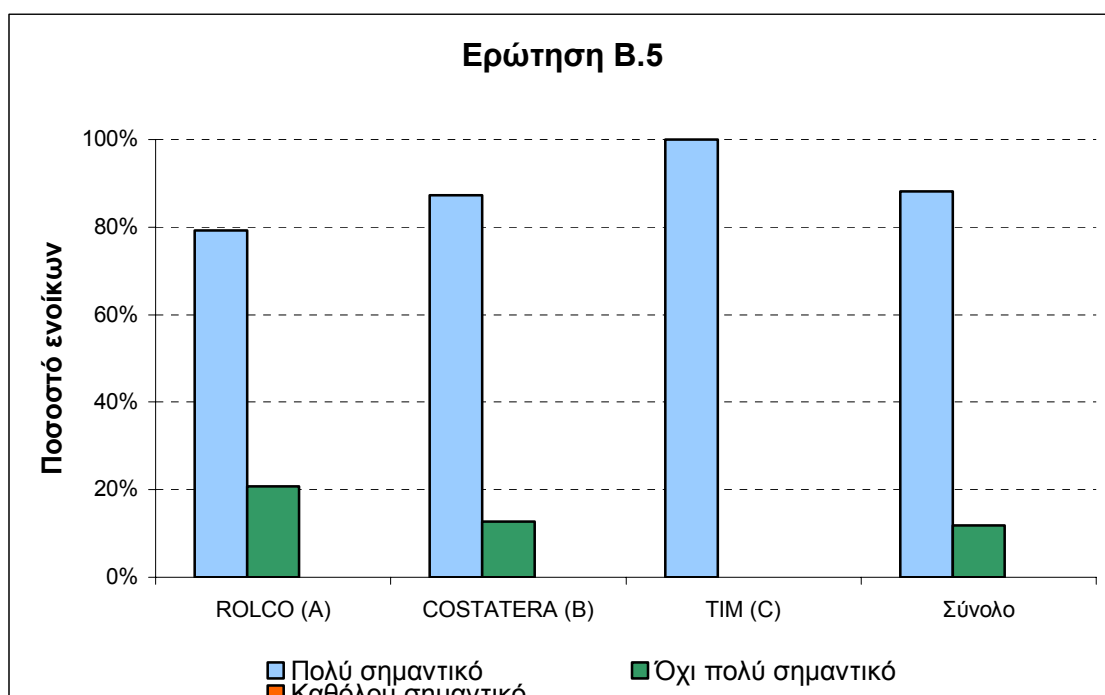


Σχήμα 6. 8 Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με επιμέρους συνιστώσες του εργασιακού περιβάλλοντος στο κτήριο Β



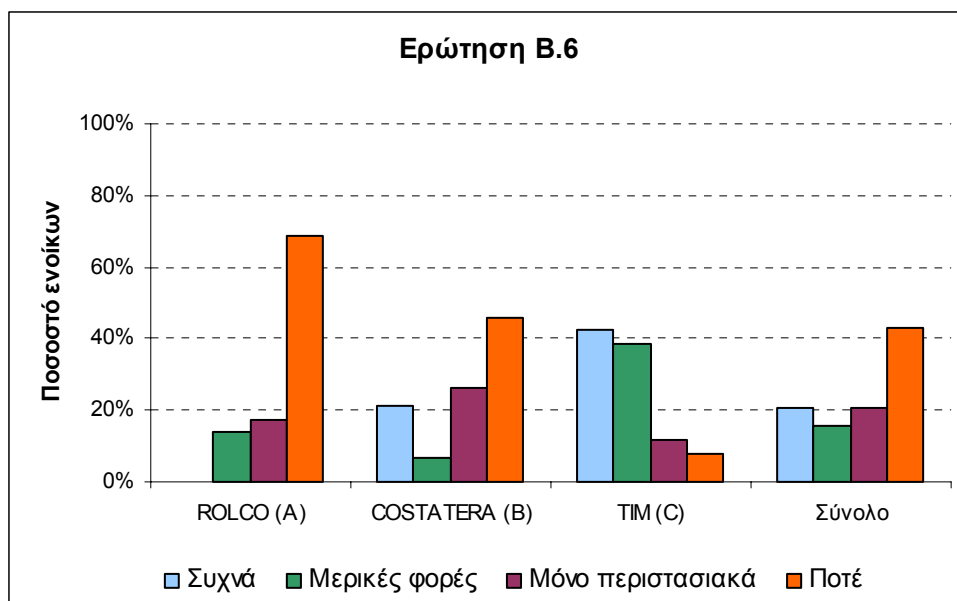
Σχήμα 6. 9 Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με επιμέρους συνιστώσες του εργασιακού περιβάλλοντος στο κτήριο Γ

Επιπλέον, για τους περισσότερους των χρηστών, είναι πολύ σημαντικό το να διαθέτει ένα παράθυρο το δωμάτιό τους ή εν πάση περιπτώσει η άμεση περιοχή στην οποία εργάζονται. Το τελευταίο είναι προφανές από το παρακάτω γράφημα.



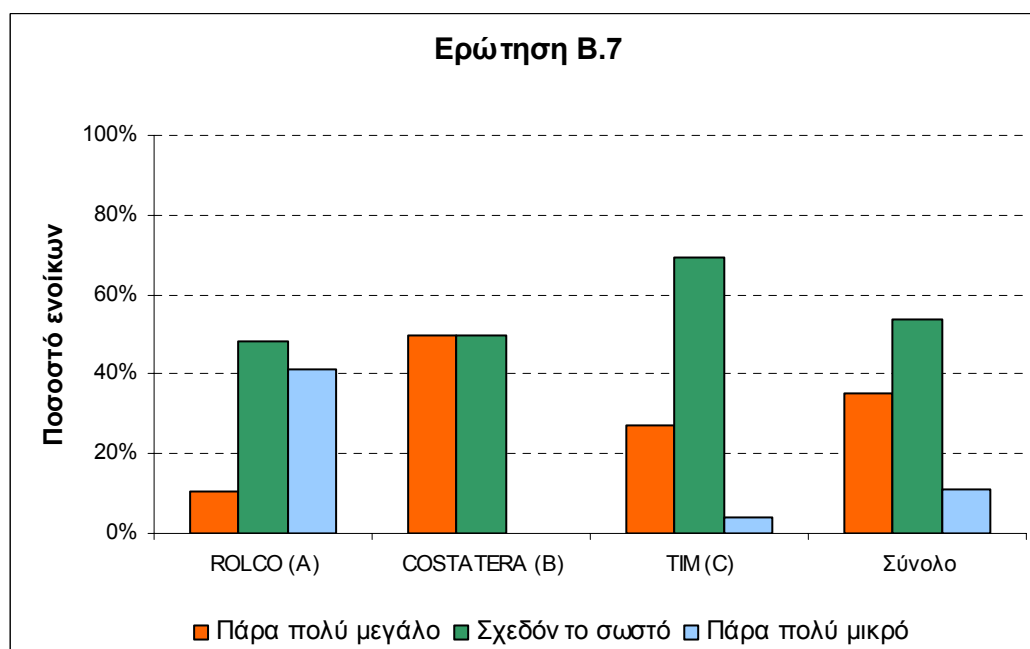
Σχήμα 6. 10 Ερώτηση B.5 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την παρουσία παραθύρου στο χώρο που εργάζονται

Εν συνεχεία, μέσω των απαντήσεων στην ερώτηση B.6 του ερωτηματολογίου, μελετάμε την ανταπόκριση των ενοίκων του κάθε κτηρίου στην ερώτηση του κατά πόσο προτιμούν να εργάζονται αξιοποιώντας μόνο το φυσικό φωτισμό από τα παράθυρα. Τα αποτελέσματα στη δεδομένη ερώτηση παρίστανται γραφικά στο σχήμα που ακολουθεί και από απλή παρατήρηση αυτού διαπιστώνει κανείς ότι μόνο οι ένοικοι του κτηρίου Γ εκδηλώνουν προτίμηση για εργασία μόνο με φυσικό φωτισμό ενώ οι περισσότεροι χρήστες του κτηρίου Α δεν κάνουν χρήση του ποτέ.



Σχήμα 6. 11 Ερώτηση Β.6 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με το να εργάζονται υπό τις συνθήκες μόνο του διαθέσιμου από τα παράθυρα φυσικού φωτισμού

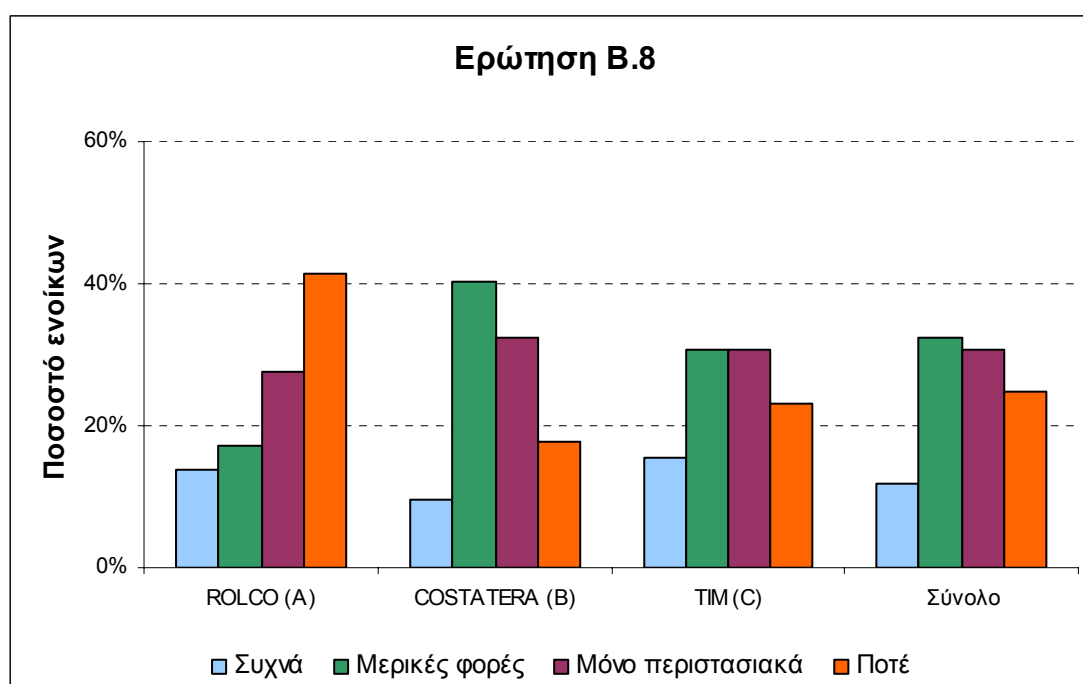
Παρόλα αυτά, όπως αναδεικνύεται από το σχήμα 8.12, οι περισσότεροι από τους ενοίκους πιστεύουν ότι το μέγεθος του παραθύρου τους είναι σχεδόν το σωστό.



Σχήμα 6. 12 Ερώτηση Β.7 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με το μέγεθος του παραθύρου

Κρίνεται φρόνιμο να αναφερθεί εν προκειμένω ότι στην περίπτωση του κτηρίου A, το μέγεθος των παραθύρων μπορεί να είχε αξιολογηθεί ως επαρκές αν δεν υπήρχαν τα σκίαστρα.

Το σχήμα 8.13 δείχνει ότι υπάρχει μια κάποια δυσφορία λόγω του ότι εισέρχεται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία μέσω των παραθύρων από αυτή που χρειάζεται. Φυσικά, στο κτήριο A με τα εξωτερικά σκίαστρα σημειώνεται η μικρότερη δυσφορία.

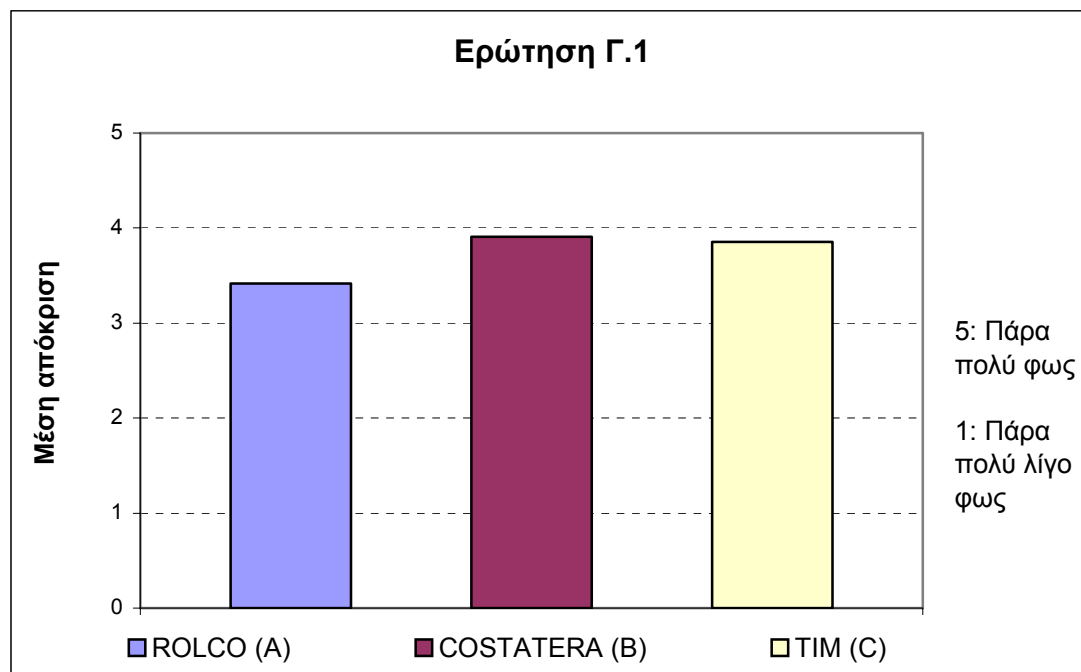


Σχήμα 6. 13 Ερώτηση B.8 : Αποτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με τις θερμικές απολαβές του χώρου εργασίας τους

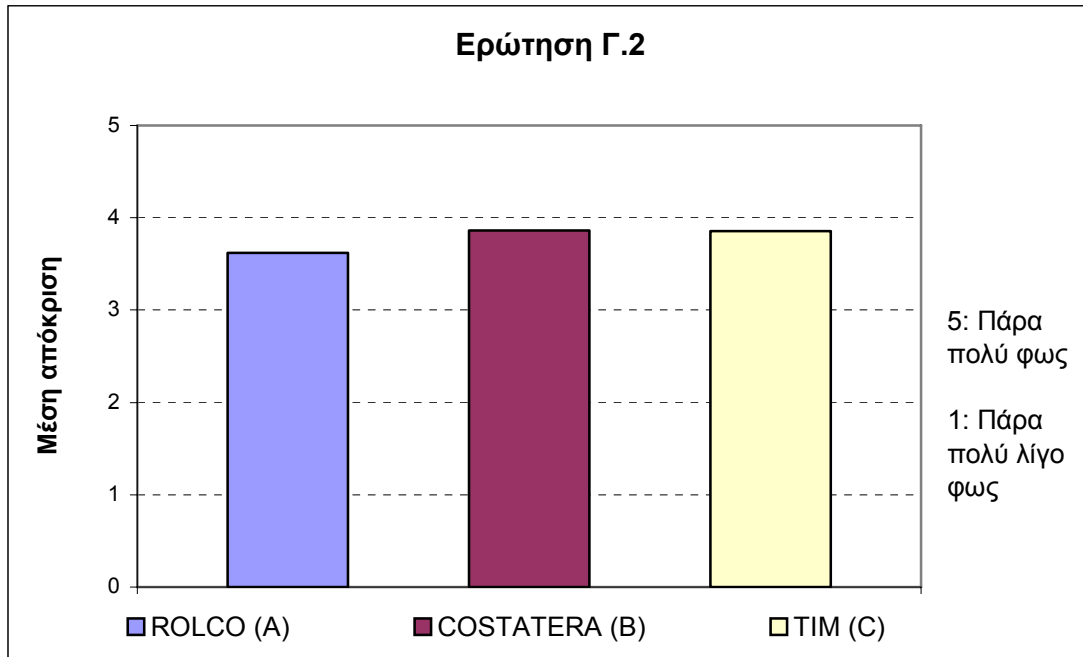
Λογικός απότοκος της επεξεργασίας αυτών των δεδομένων είναι ότι θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απολαβών.

6.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων ερωτήσεων που αφορούν τα επίπεδα φωτισμού (Τμήμα Γ)

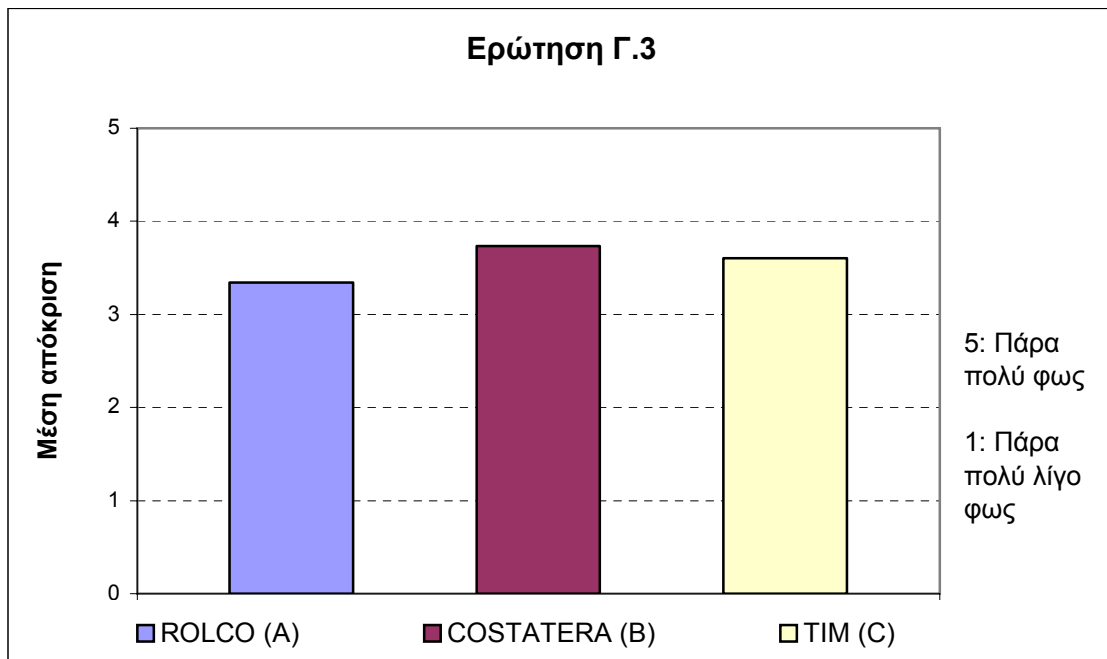
Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων που κομίζονται από τις ερωτήσεις εκείνες του ερωτηματολογίου που αφορούν τα επίπεδα φωτισμού. Στα σχήματα 6.14 έως 6.17 αντανακλώνται οι μέσες αντιδράσεις στις σχετικές ερωτήσεις, για κάθε κτήριο ενώ τα σχήματα 6.18 έως 6.21 δείχνουν αναλυτικά τις προτιμήσεις των ενοίκων. Σημειώνονται λοιπόν παρόμοιες αντιδράσεις ανάμεσα στους χρήστες των κτηρίων Β και Γ ενώ απαντώνται διαφορετικές αντιδράσεις από μέρους των ενοίκων του Α, ειδικά σε σχέση με την ποσότητα του φωτός που φθάνει στο γραφείο των ενοίκων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στα εξωτερικά σκίαστρα στη νότια και ανατολική πρόσοψη του κτηρίου Α.



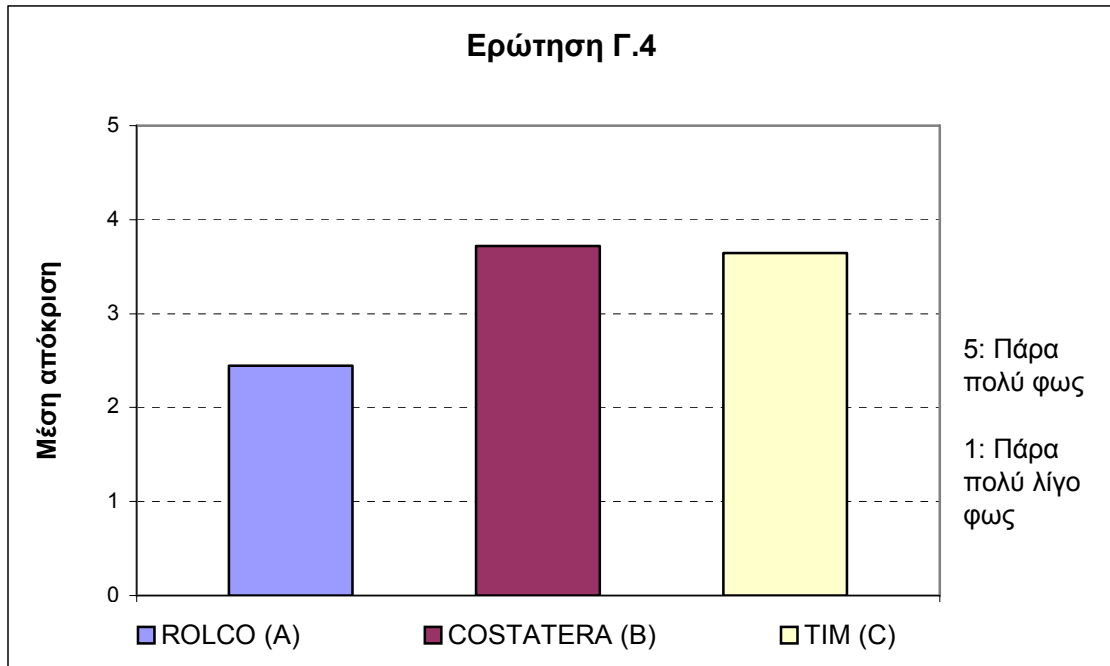
Σχήμα 6. 14 Ερώτηση Γ.1 : Μέση απόκριση των ενοίκων για την ποσότητα φωτισμού στο γενικό χώρο των γραφείων τους



Σχήμα 6. 15 Ερώτηση Γ.2 : Μέση απόκριση των ενοίκων για την ποσότητα φωτισμού στα επίπεδα εργασίας τους

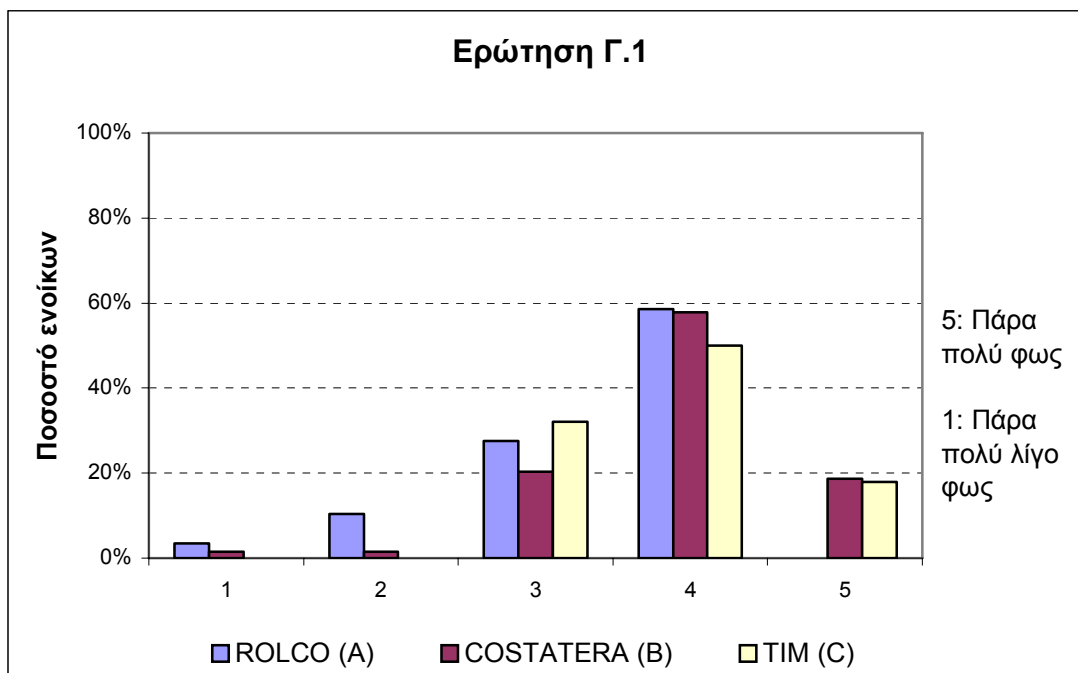


Σχήμα 6. 16 Ερώτηση Γ.3 : Μέση απόκριση των ενοίκων για την ποσότητα φωτισμού στις οθόνες των υπολογιστών τους

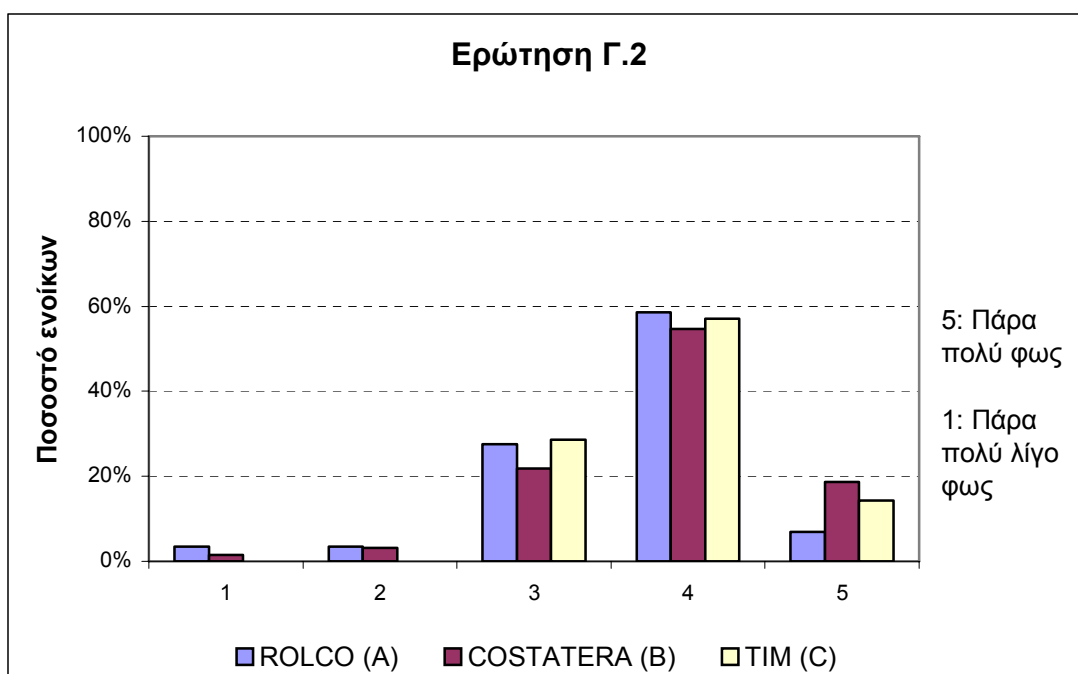


Σχήμα 6. 17 Ερώτηση Γ.4 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με την ποσότητα φυσικού φωτισμού που φθάνει στα γραφεία τους

Τα σχήματα 6.18 και 6.19 δείχνουν ότι στα υπό εξέταση κτήρια υπάρχει μια τάση για αναφορά λήψης υπερβολικού φωτός στα επίπεδα εργασίας των ενοίκων, καθώς και στους γενικούς χώρους των γραφείων τους. Η κατάλληλη θέση σε λειτουργία (commissioning) των αισθητήρων φωτισμού στους δεδομένους χώρους θα μπορούσε να οδηγήσει σε μειωμένα επίπεδα έντασης του τεχνητού φωτισμού και επομένως σε αυξημένη εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς ταυτόχρονη επιδείνωση της αυτάρκειας φωτισμού και οπτική δυσφορία.

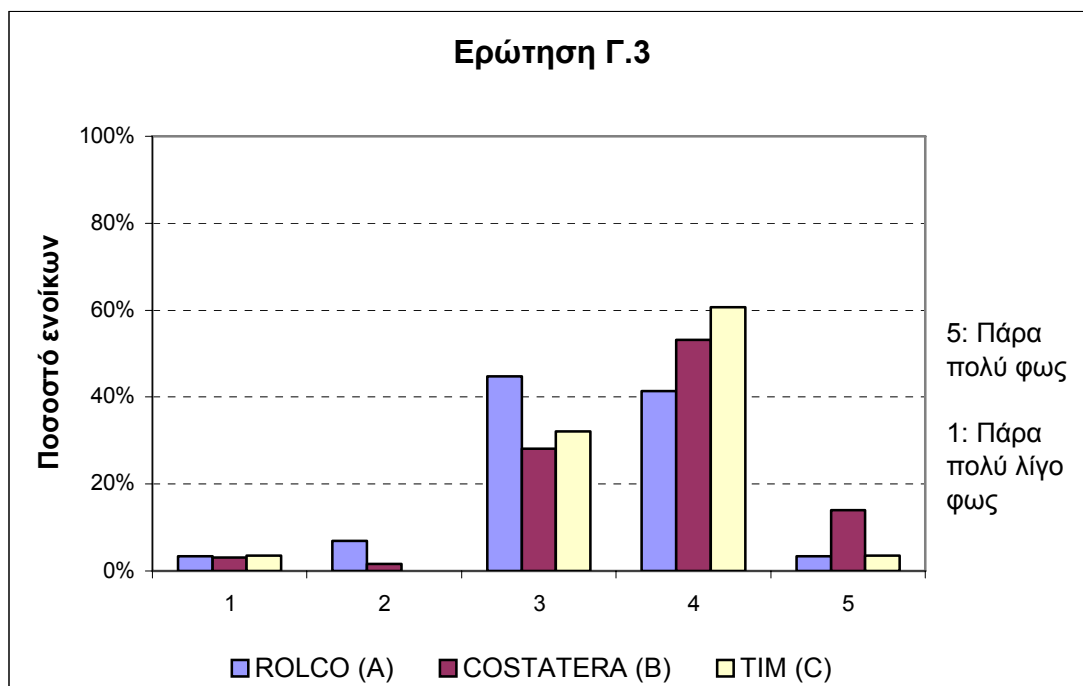


Σχήμα 6. 18 Ερώτηση Γ.1 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την ποσότητα φωτισμού στο γενικό χώρο των γραφείων τους



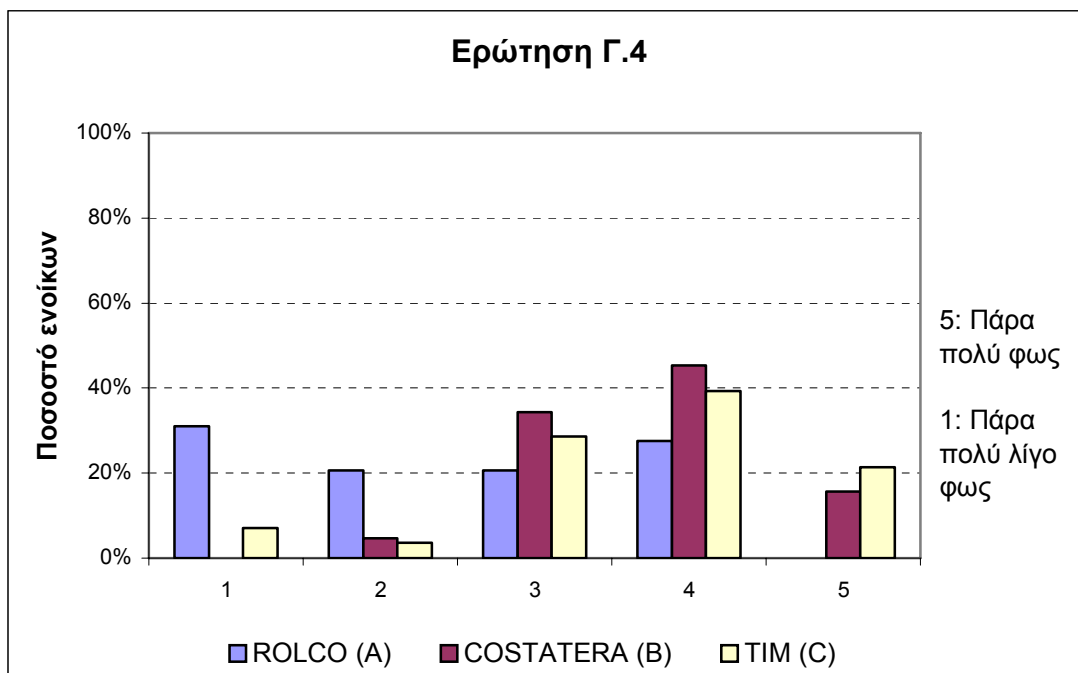
Σχήμα 6. 19 Ερώτηση Γ.2 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την ποσότητα φωτισμού στις επιφάνειες εργασίας τους

Από την Ερώτηση Γ.3 (Σχήμα 6.20) προκύπτει ότι υπάρχει δυσφορία επειδή η ποσότητα φωτισμού στις οθόνες των υπολογιστών είναι περισσότερη από την αρμόζουσα. Αυτή η δυσφορία δημιουργείται από τη θάμβωση λόγω του φυσικού φωτός. Ευνόητα, το εφοδιασμένο με σκίαστρα κτήριο A, συγκεντρώνει τη μικρότερη δυσφορία. Εμφανώς, η θάμβωση είναι ένα ζήτημα που χρήζει μέριμνας κατά το σχεδιασμό αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού ή τη τοποθέτηση των επίπλων και των υπολογιστών.



Σχήμα 6. 20 Ερώτηση Γ.3 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την ποσότητα φωτισμού στις οθόνες των υπολογιστών τους

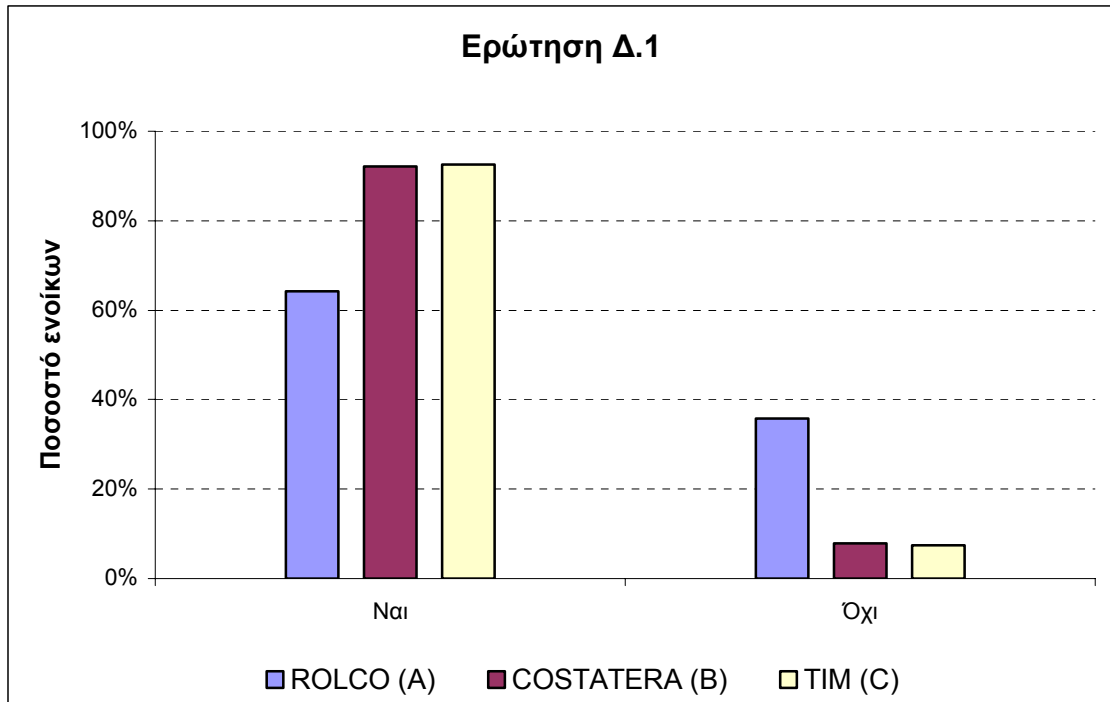
Το Σχήμα 6.21 δείχνει ότι οι χρήστες του κτηρίου A “αισθάνονταν” λιγότερο φυσικό φως και όπως σημειώθηκε παραπάνω, αυτό οφείλεται στη χρήση εξωτερικών σκιάστρων. Η χρήση “ραφιών” στα παράθυρα για ανακατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας (light selves) σε συνδυασμό με τα σκίαστρα είναι πιθανό να μειώσει αυτή την προκύπτουσα δυσφορία.



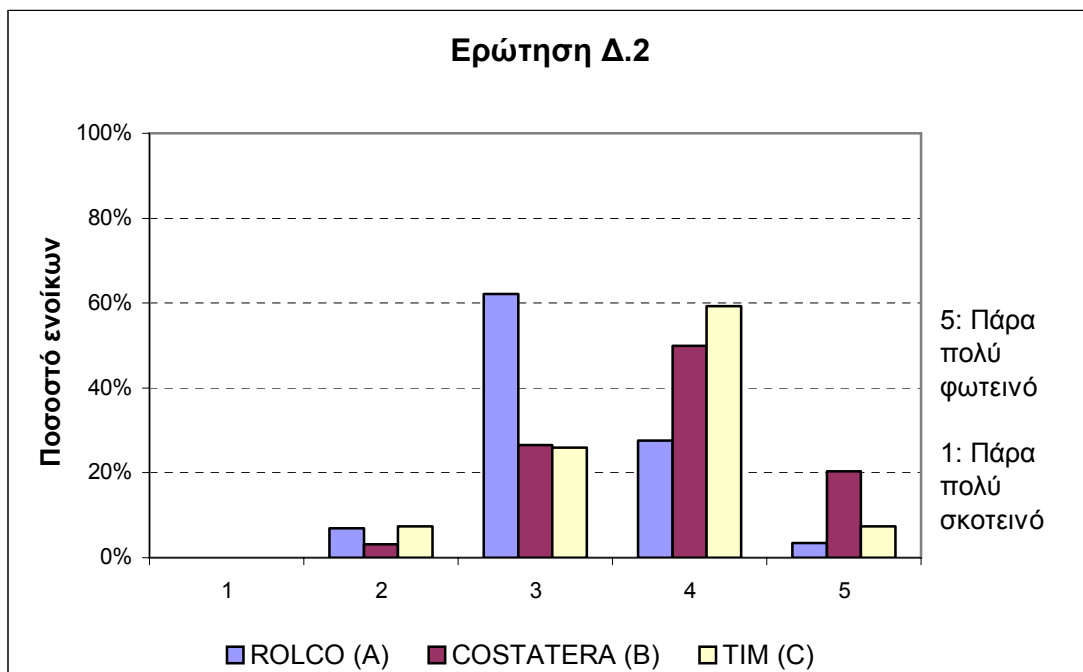
Σχήμα 6. 21 Ερώτηση Γ.4 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την ποσότητα φυσικού φωτισμού που φθάνει στα γραφεία τους

6.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων ερωτήσεων που αφορούν την ποιότητα φωτισμού (Τμήμα Δ)

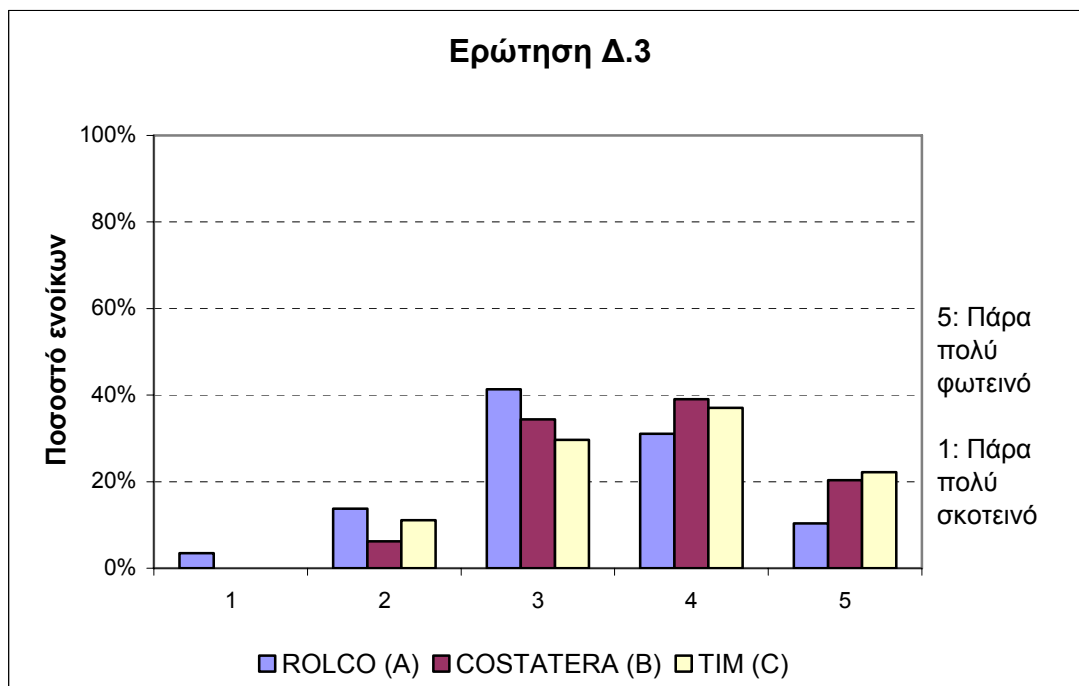
Οι περισσότεροι από τους συμμετέχοντες στην έρευνα φαίνεται να αρέσκονται στο οπτικό τους περιβάλλον με τη μικρή εξαίρεση του κτηρίου Α (Σχήμα 6.22). Η χρήση των εξωτερικών σκιάστρων στο κτήριο μπορεί να προκαλεί δυσανασχέτηση μερικών ενοίκων επειδή αποκόπτεται η θέα. Στα σχήματα 6.23 ως 6.26 παρίστανται οι αποκρίσεις στις ερωτήσεις που αφορούν στη φωτεινότητα και διαφαίνεται μια τάση για το χαρακτηρισμό των επιφανειών περισσότερο ως φωτεινές παρά ως σκοτεινές.



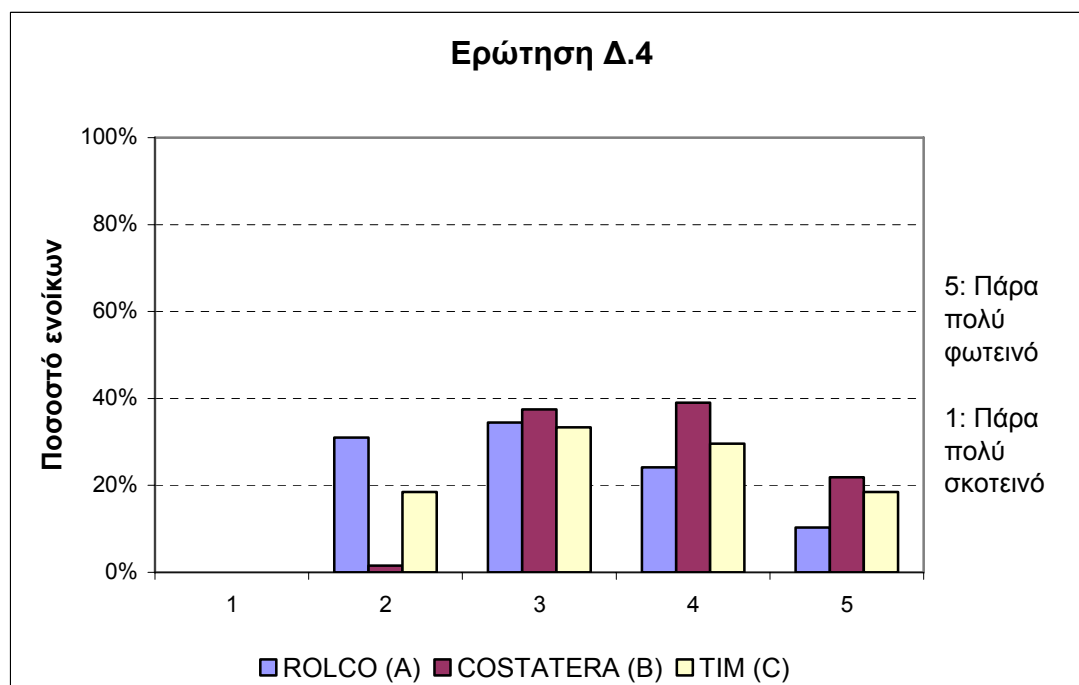
Σχήμα 6. 22 Ερώτηση Δ.1 : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με αν τους αρέσει ή όχι το οπτικό τους περιβάλλον



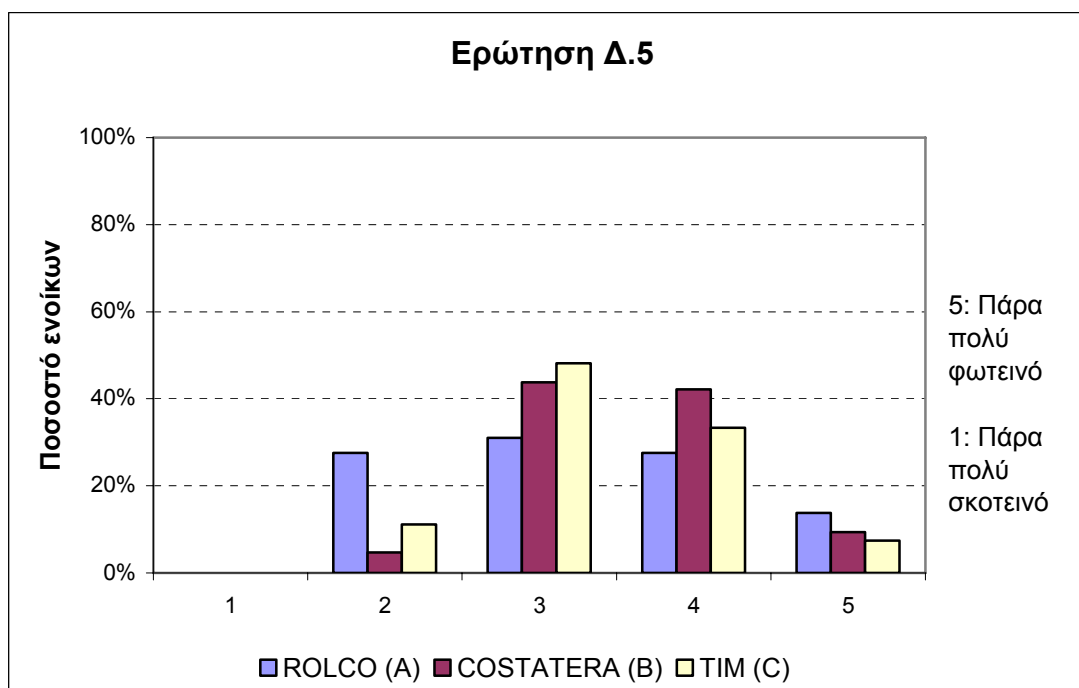
Σχήμα 6. 23 Ερώτηση Δ.2 : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με το πόσο φωτεινό ή σκοτεινό είναι το περιβάλλον που βλέπουν αν σηκώσουν τα μάτια τους από το επίπεδο εργασίας και κοιτάξουν μπροστά



Σχήμα 6. 24 Ερώτηση Δ.3 : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με το πόσο φωτεινό ή σκοτεινό είναι το περιβάλλον που βλέπουν αν σηκώσουν τα μάτια τους από το επίπεδο εργασίας και κοιτάξουν αριστερά

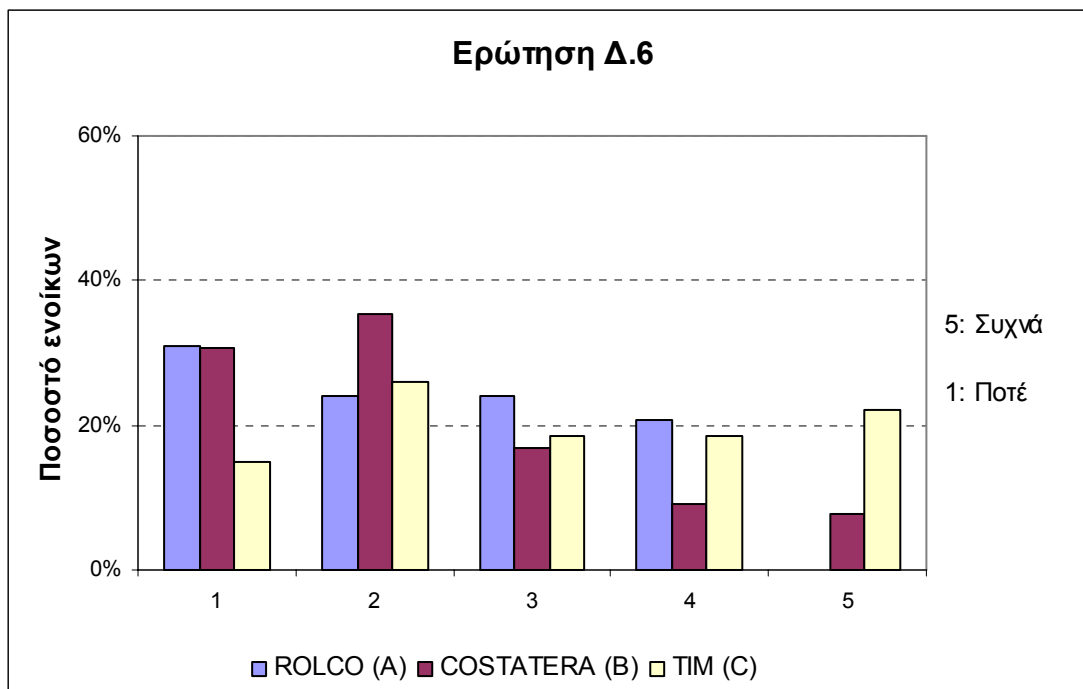


Σχήμα 6. 25 Ερώτηση Δ.4 : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με το πόσο φωτεινό ή σκοτεινό είναι το περιβάλλον που βλέπουν αν σηκώσουν τα μάτια τους από το επίπεδο εργασίας και κοιτάξουν δεξιά

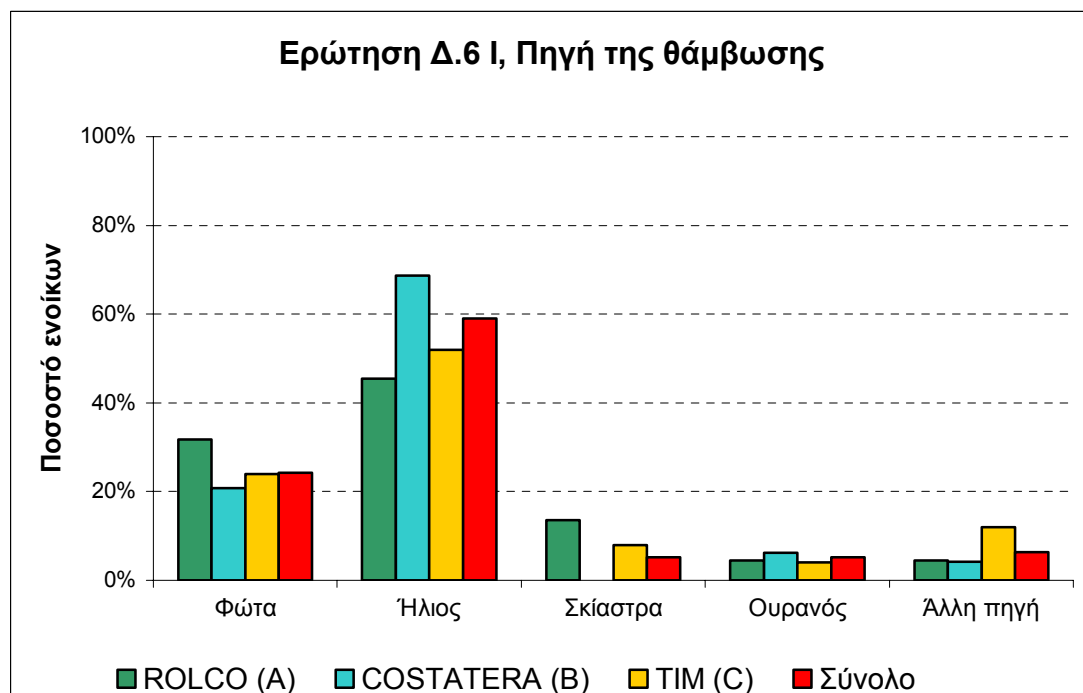


Σχήμα 6. 26 Ερώτηση Δ.5 : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με το πόσο φωτεινό ή σκοτεινό είναι το ταβάνι

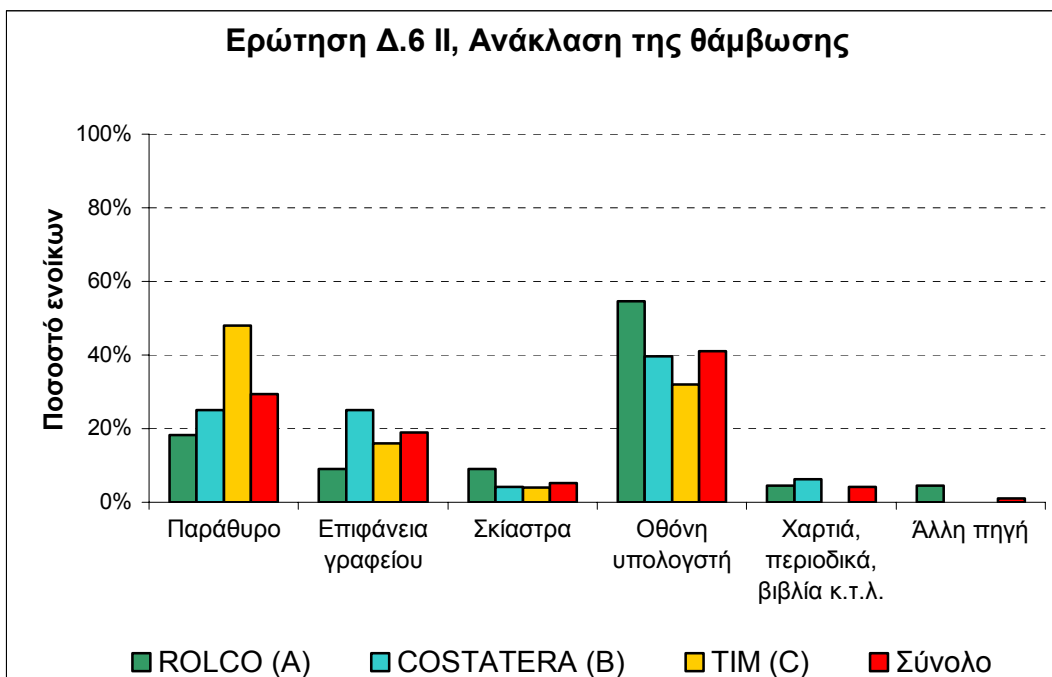
Στην ερώτηση Δ.6.1 ζητείται από τους συμμετέχοντες να εντοπίσουν την πηγή της θάμβωσης εφόσον αυτή υφίσταται. Από το σχήμα 6.28 καθίσταται σαφές ότι οι δυο κύριες πηγές θάμβωσης είναι ο τεχνητός και ο φυσικός φωτισμός (ήλιος). Στην ερώτηση “Έχετε ενοχληθεί ποτέ από θάμβωση ή έντονο φωτισμό;”, οι περισσότερες τιμές που λαμβάνονται είναι στην περιοχή από “3” (περιστασιακά) έως “1” (ποτέ). Καμία από τις αξιολογήσεις στο κτήριο Α δεν προσέγγισε το “5” (συχνά) (Σχήμα 6.27). Στην περίπτωση εκείνη που υπάρχουν ενοχλητικές αντανάκλασεις, σύμφωνα με το σχήμα 6.29 που απεικονίζει τα αποτελέσματα της ερώτησης Δ.6.11, αυτές απαντώνται κυρίως στις οθόνες των υπολογιστών. Σύμφωνα με το Σχήμα 6.30 περισσότεροι από τους μισούς ενοίκους δε θεωρούν εαυτούς ευαίσθητους στη θάμβωση.



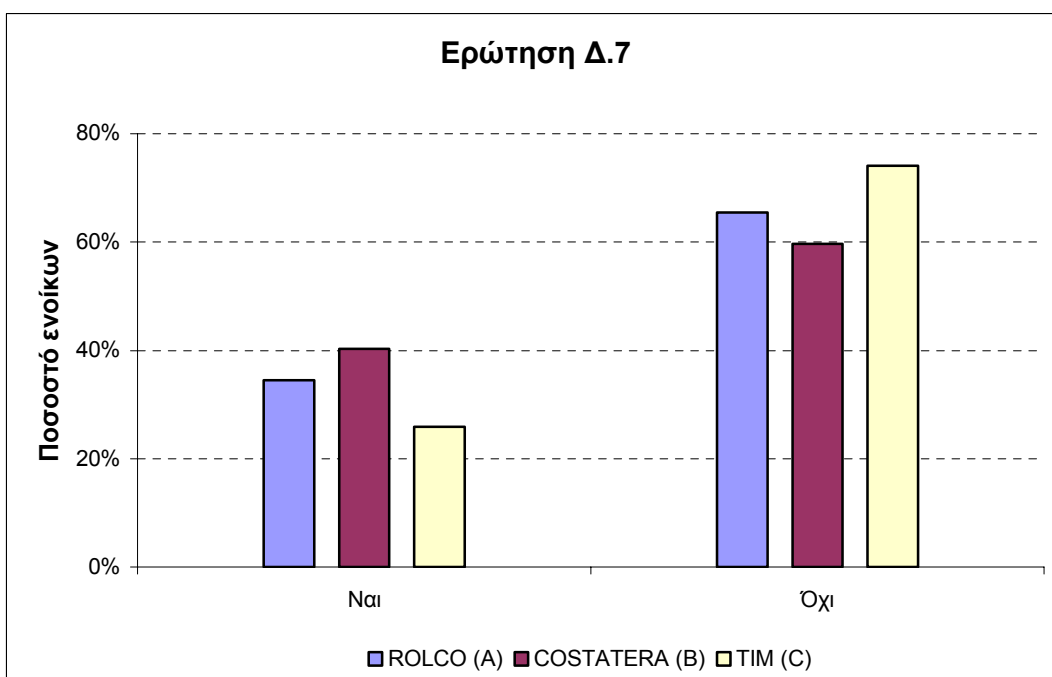
Σχήμα 6. 27 Ερώτηση Δ.6 : Απόκριση των ενοίκων για ενόχληση λόγω θάμβωσης



Σχήμα 6. 28 Ερώτηση Δ.6 I : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με την πηγή της θάμβωσης



Σχήμα 6. 29 Ερώτηση Δ.6 II : Απόκριση των ενοίκων σχετικά με επιφάνειες αντανάκλασης των πιθανών πηγών θάμβωσης

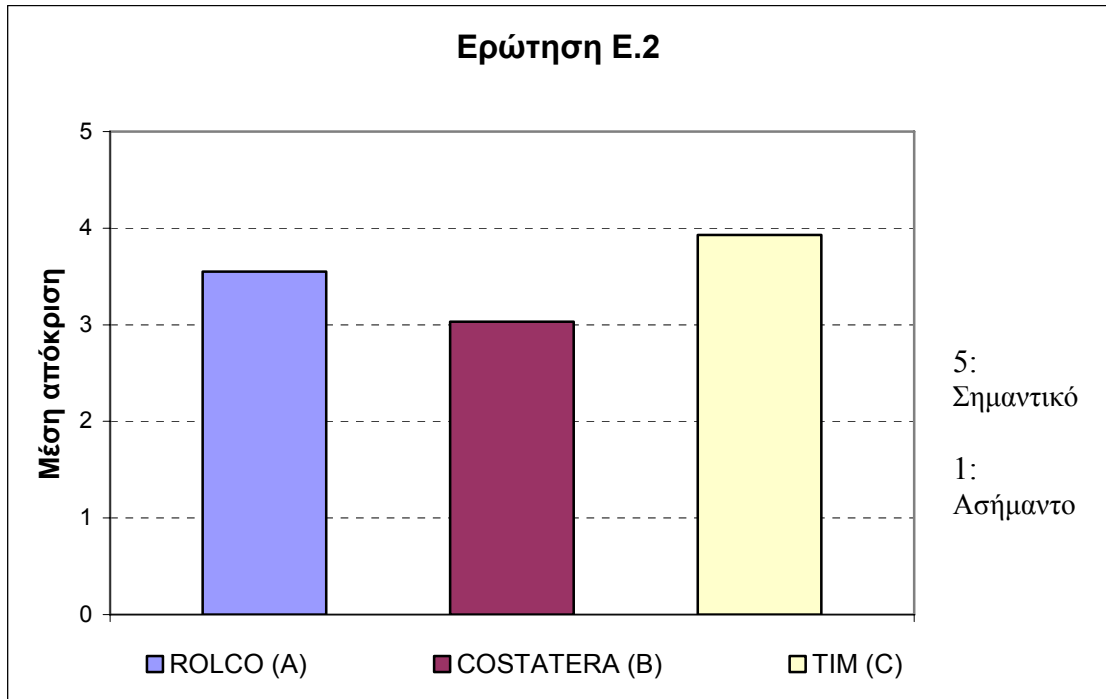


Σχήμα 6. 30 Ερώτηση Δ.7 : Εκτίμηση των ενοίκων σχετικά με την ευαισθησία τους ή μη στο έντονο φως ή τη θάμβωση

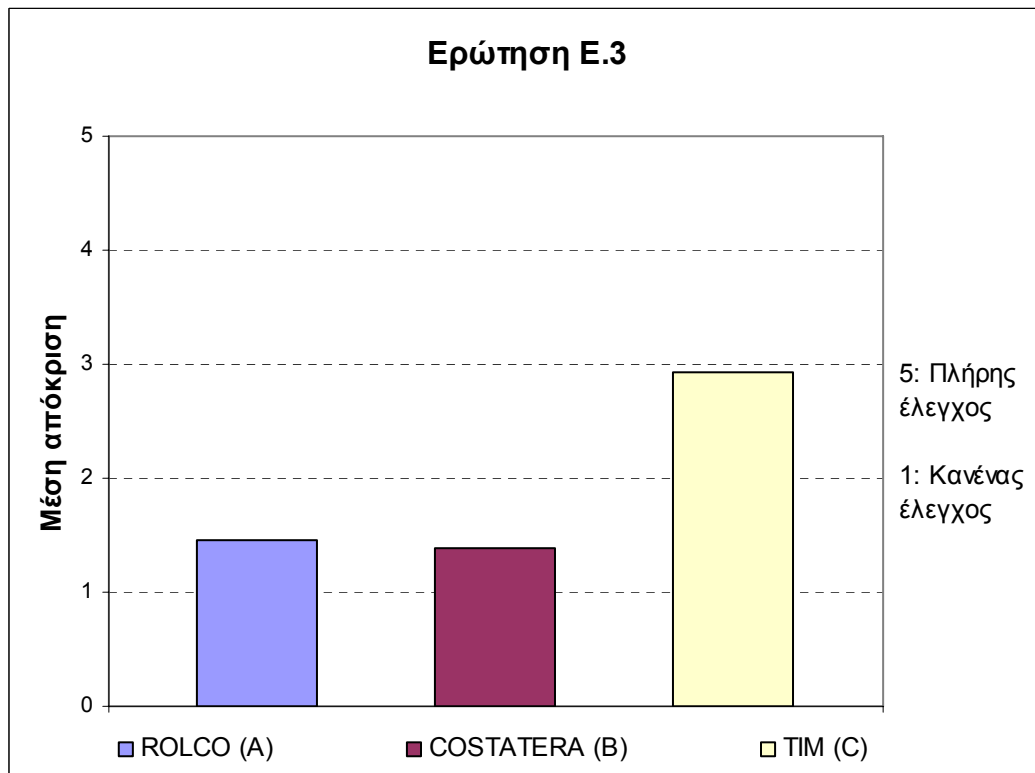
6.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων των ερωτήσεων που αφορούν τον έλεγχο φωτισμού (Τμήμα Ε)

Περίπου το 21% των χρηστών δεν ήξεραν ότι ήταν εγκατεστημένο στο γραφείο τους το οποιοδήποτε σύστημα ελέγχου. Συγκεκριμένα, οι ένοικοι που αγνοούσαν το δεδομένο στοιχείο ήταν ποσοστιαία 10% στο κτήριο Α, 16% στο Β και ανέρχονταν στο 43% στο κτήριο Γ. Επιπλέον, μόνο το 11,5% του συνολικού πλήθους των χρηστών δεν ήταν δυσαρεστημένοι με το σύστημα ελέγχου του φωτισμού (17% για το Α, 12,5% για το Β και 8% για το κτήριο Γ). Η γρήγορη αυξομείωση των επιπέδων dimming ήταν ο πιο σημαντικός λόγος γένεσης δυσαρέσκειας με το σύστημα φωτισμού. Μια κατάλληλη ρύθμιση της ευαισθησίας της απόκρισης χρόνου του εγκατεστημένου αισθητήρα φωτισμού θα μπορούσε να επιλύσει το πρόβλημα.

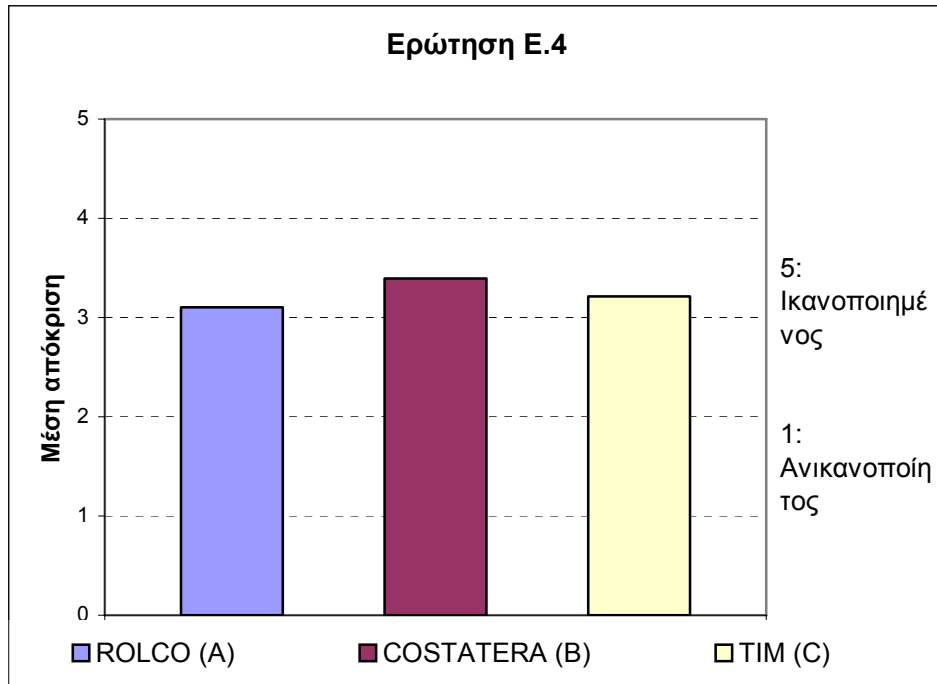
Τα σχήματα 6.31 έως 6.35 καταδεικνύουν τις μέσες αντιδράσεις των ενοίκων κάθε κτηρίου στις ερωτήσεις που αφορούν στον έλεγχο φωτισμού ενώ τα σχήματα 6.36 έως 6.40 δείχνουν αναλυτικά τις προτιμήσεις τους. Βλέπουμε λοιπόν διαφορετικές αντιδράσεις για τους χρήστες του κάθε κτηρίου. Όμοιες ανταποκρίσεις σημειώνονται μόνο ανάμεσα στα κτήρια Α και Β, σε σχέση με το βαθμό ελέγχου που οι ένοικοι έχουν επί του ηλεκτρικού φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας τους (Σχήμα 6.32). Οι μέσες αποκρίσεις στις ερωτήσεις που σχετίζονται με τον έλεγχο (Σχήματα 6.31 και 6.34) αποτελούν ένδειξη της πίστης των ενοίκων ότι είναι σημαντικό το να έχει κανείς τη δυνατότητα ελέγχου του φωτισμού. Εν τούτοις, φαίνονται να είναι ικανοποιημένοι με το βαθμό του ελέγχου που τους παρέχεται (Σχήμα 6.33).



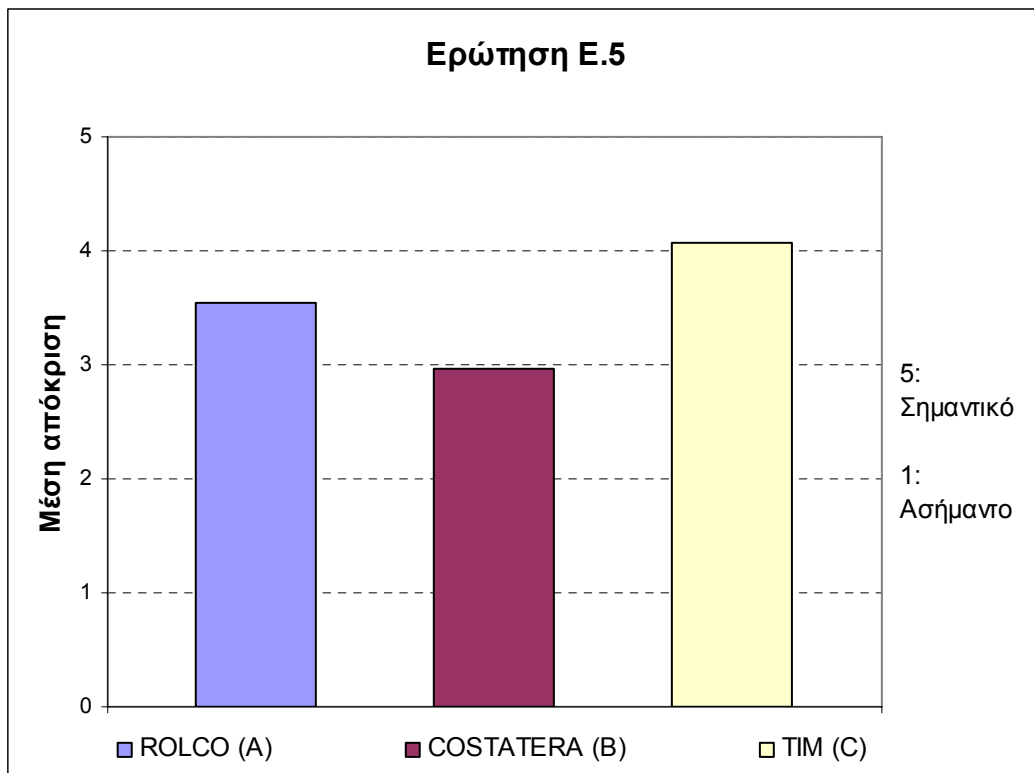
Σχήμα 6. 31 Ερώτηση E.2 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με την σημαντικότητα του να μπορούν να ελέγχουν το επίπεδο του ηλεκτρικού φωτισμού στο γραφείο τους



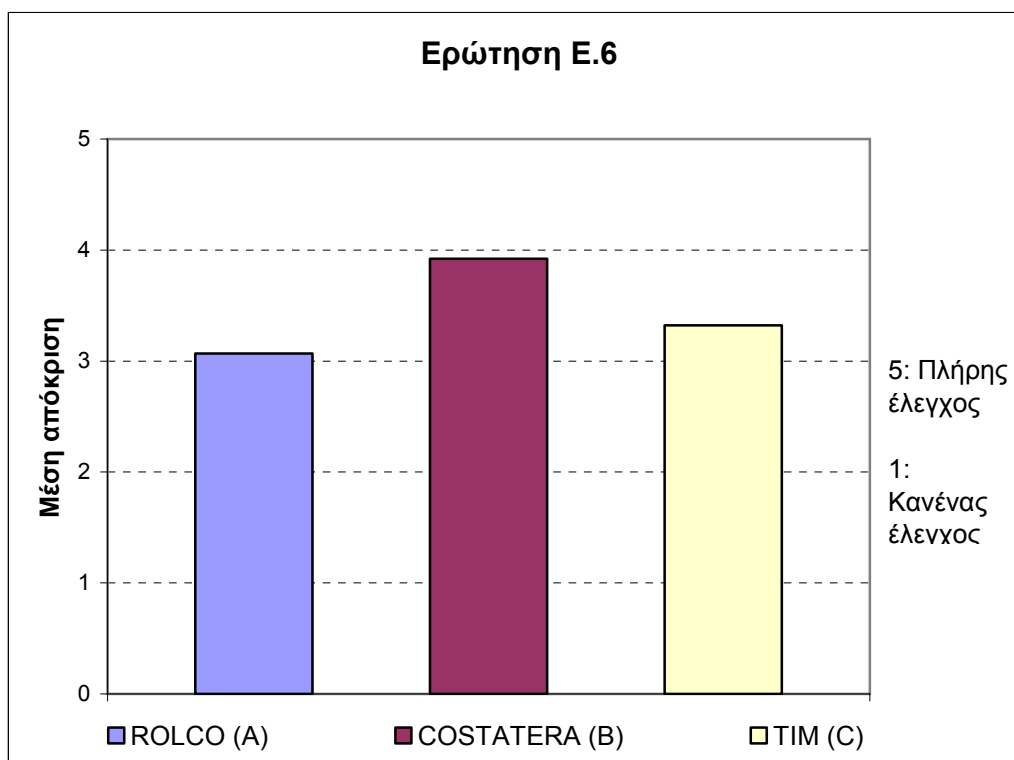
Σχήμα 6. 32 Ερώτηση E.3 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με τον έλεγχο που θεωρούν ότι έχουν επί του ηλεκτρικού φωτισμού πάνω από την περιοχή εργασίας τους



Σχήμα 6. 33 Ερώτηση E.4 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με την ικανοποίησή τους με το επίπεδο ελέγχου που τους παρέχεται

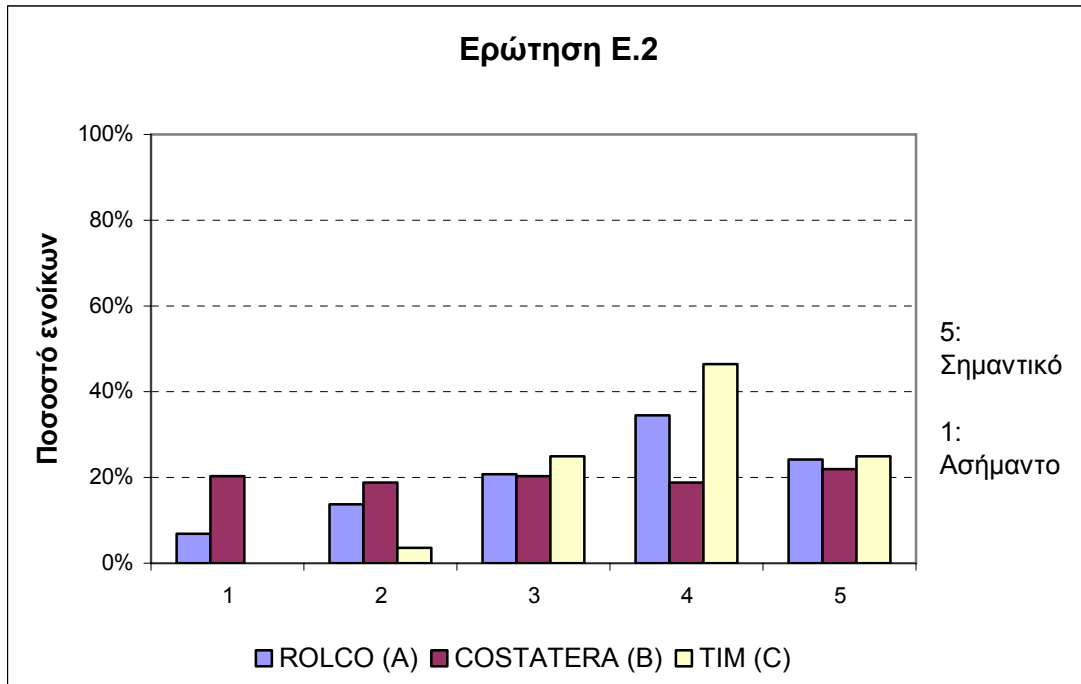


Σχήμα 6. 34 Ερώτηση E.5 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με την σημαντικότητα του να ελέγχουν το φωτισμό του γραφείου τους χωριστά από αυτόν των παρακείμενων γραφείων

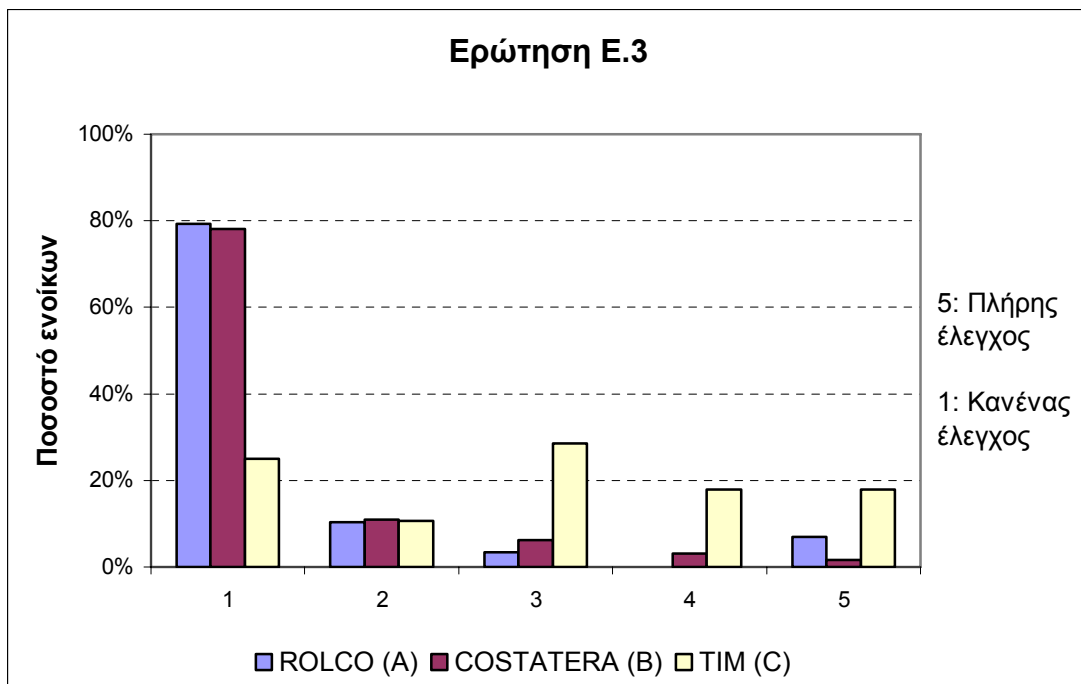


Σχήμα 6. 35 Ερώτηση E.6 : Μέση απόκριση των ενοίκων σχετικά με το κατά πόσο έχουν οποιοδήποτε έλεγχο στο ποσό του φυσικού φωτισμού που προσπίπτει στο επίπεδο εργασίας τους

Το Σχήμα 6.37 δείχνει ότι αμφότερα τα κτήρια A και B δεν έχουν ούτε παράκαμψη του ελέγχου φωτισμού αλλά ούτε και επιλογή χειροκίνητου ελέγχου από τους χρήστες (περίπου το 80% των χρηστών). Αυτό αναπόφευκτα οδηγεί στη δυσανασκέτηση των ενοίκων που αναφέρουν κατά μεγάλο ποσοστό ότι επιθυμούν να ασκούν έλεγχο στα επίπεδα φωτισμού πάνω από την επιφάνεια εργασίας τους (Σχήμα 6.36)



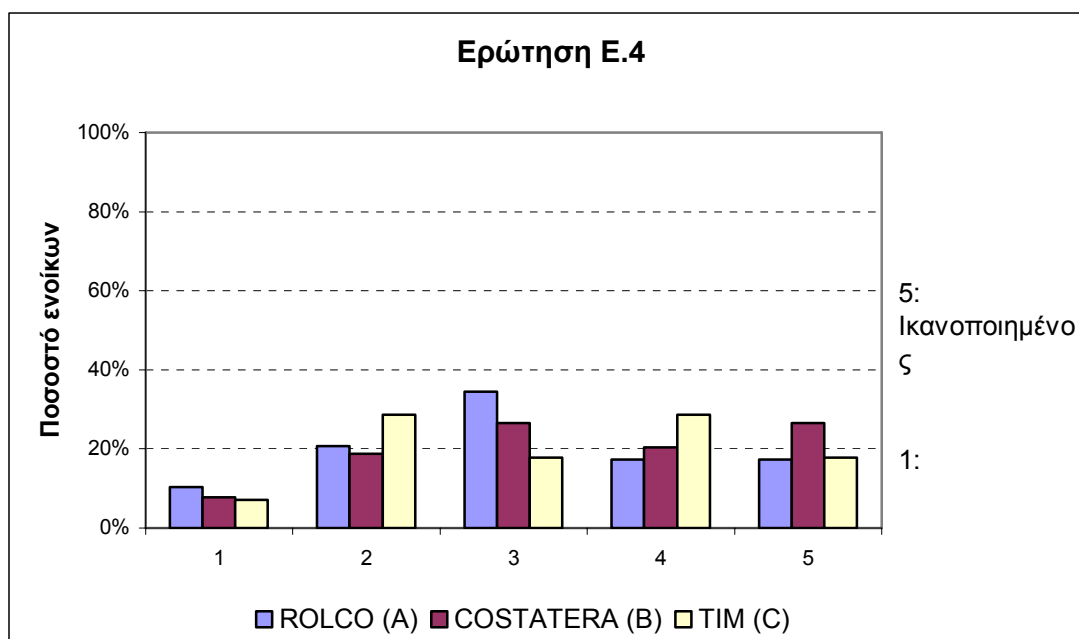
Σχήμα 6. 36 Ερώτηση E.2 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την σημαντικότητα του να μπορούν να ελέγχουν το επίπεδο του ηλεκτρικού φωτισμού στο γραφείο τους



Σχήμα 6. 37 Ερώτηση E.3 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με τον έλεγχο που θεωρούν ότι έχουν επί του ηλεκτρικού φωτισμού πάνω από την περιοχή εργασίας τους

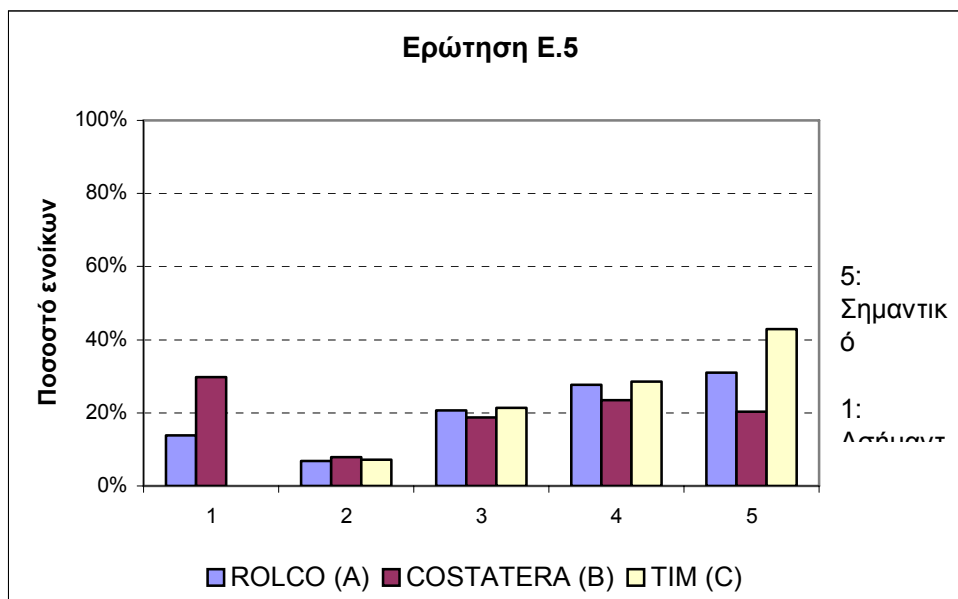
Η ευρεία διακύμανση ανάμεσα στα άτομα αναφορικά με την ικανοποίησή τους με το επίπεδο του ελέγχου που αντιλαμβάνονται ότι τους

παρέχεται (Σχήμα 6.38), έρχεται να τονίσει το ότι ένα οπτικό περιβάλλον που χαρακτηρίζεται ως υψηλής ποιότητας ενδέχεται να μη βελτιωθεί μέσω της προσθήκης ελέγχων.



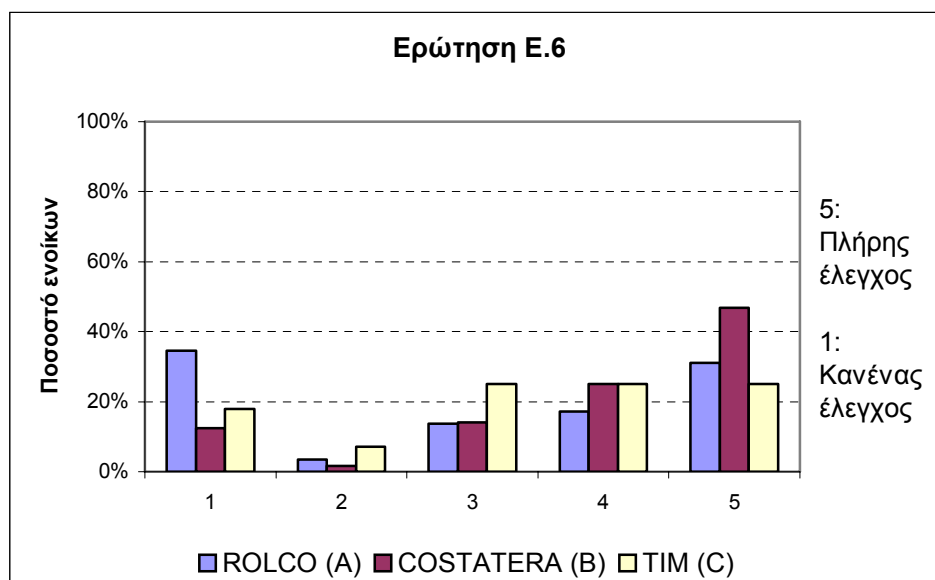
Σχήμα 6. 38 Ερώτηση Ε.4 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την ικανοποίησή τους με το επίπεδο ελέγχου που τους παρέχεται

Το Σχήμα 6.39 παρουσιάζει την υψηλή επιθυμία για έλεγχο του φωτισμού από κάθε γραφείο ξεχωριστά από των παρακείμενων γραφείων. Η δε εμπειρία του ελέγχου -ιδιαίτερα σε χώρους με κοινόχρηστα σύνολα ελέγχου- ενδυναμώνει αυτήν την εκτίμηση.



Σχήμα 6. 39 Ερώτηση E.5 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με την σημαντικότητα του να ελέγχουν το φωτισμό του γραφείου τους χωριστά από αυτόν των παρακείμενων γραφείων

Οι περισσότεροι χρήστες -πάνω από το 60%- είχαν έλεγχο επί της ποσότητας φυσικού φωτός που προσέπιπτε στο σταθμό εργασίας τους (Σχήματα 6.35 και 6.40) μέσω της χρήσης εσωτερικών περσίδων ώστε να αποτρέπεται η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 6. 40 Ερώτηση E.6 : Οι προτιμήσεις των ενοίκων σχετικά με το κατά πόσο έχουν οποιοδήποτε έλεγχο στο ποσό του φυσικού φωτισμού που προσπίπτει στο επίπεδο εργασίας τους

6.5 Συμπεράσματα και προτάσεις

Όπως παρουσιάστηκε στο νωρίτερα, ο σκοπός μιας μελέτης με ερωτηματολόγια τύπου POE (Post Occupancy Evaluation) είναι το να διεξαχθεί μια συστηματικής φύσης εκτίμηση της απόδοσης μιας εγκατάστασης κατόπιν της χρήσης αυτής. Αυτό που επιτυγχάνεται καταυτόν τον τρόπο είναι το να εξεταστεί το κατά πόσο η εν λόγω εγκατάσταση ανταποκρίθηκε στις προσδοκίες που διαμορφώθηκαν κατά το σχεδιασμό της. Στην περίπτωση μας, το ερωτηματολόγιο που διανεμήθηκε επικεντρωνόταν στο φωτισμό και τον έλεγχο του από αισθητήρες φωτισμού των εξεταζόμενων τριών κτηρίων γραφείων και τα όποια συμπεράσματα δε θα μπορούσαν παρά να επικεντρώνονται επίσης σε αυτά. Μάλιστα, αυτό που απασχόλησε δεν ήταν ο φωτισμός στη γενικότητά του αλλά το σύστημα ελέγχου -χρήσει αισθητήρων- του φωτισμού και η παράμετρος του φυσικού φωτισμού.

Από τη συστηματική διαδικασία της διάθεσης και συλλογής των ερωτηματολογίων αλλά και ανάλυσης των πληροφοριών που απέρρεαν από αυτά, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι διαμορφώθηκε μια πρωτόλεια εμπειρία σε σχέση με σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των συστημάτων φωτισμού που θα έπρεπε να αποφεύγονται αλλά και με άλλα, δυνητικά αυξημένης χρησιμότητας για το μέλλον. Καταστήθηκαν ακόμη σαφείς οι περιορισμοί της τρέχουσας γνώσης και εμπειρίας σε σχέση με το πώς τα άτομα ανταποκρίνονται στο φυσικό φως και στα συστήματα ελέγχου του φωτισμού. Αυτή η εμπειρία αντανακλάται στα ακόλουθα σημεία :

- Η σημαντική προτίμηση για φυσικό φωτισμό που αναμφισβήτητα παρατηρείται, μπορεί να αποδοθεί στην πίστη ότι το να εργάζεται κανείς υπό συνθήκες φυσικού φωτισμού έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο άγχος και δυσφορία σε σχέση με αυτά που ανακύπτουν υπό συνθήκες τεχνητού φωτισμού. Επιπλέον υπάρχει η άποψη ότι η εργασία υπό φυσικό φωτισμό συνηγορεί στη βελτίωση της υγείας. Τα χαρακτηριστικά του εσωτερικού χώρου ενός γραφείου που κρίνονται ως αυτά με τη μείζονα σπουδαιότητα είναι ο σωστός φωτισμός και οι σωστές συνθήκες θερμοκρασίας και εξαερισμού. Η δυσφορία σε σχέση με το φυσικό φωτισμό προκαλείται κυρίως λόγω της θάμβωσης και ιδιαίτερα αυτής στις οθόνες των υπολογιστών. Όπως υποδείχτηκε και

στο σχετικό σημείο της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, η θάμβωση θα πρέπει να αποτελεί σημείο ειδικού ενδιαφέροντος κατά το σχεδιασμό για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

- Η δυσφορία λόγω θάμβωσης από τα παράθυρα –ένα επίσης μεταβαλλόμενο μέγεθος ανά άτομο- είναι λιγότερο προβληματική από ότι θα ανέμενε κανείς από τα μοντέλα του daylighting glare index (DGI). Ο βαθμός της δυσφορίας εξαρτάται εν μέρει από την ποιότητα της εξωτερικής θέας, από την απόσταση από το παράθυρο αλλά και από τη φύση της εργασίας.
- Αξίζει να αναφερθεί ότι όταν υπάρχει τόσο τεχνητός φωτισμός όσο και φυσικός φωτισμός, τα άτομα τείνουν να υπερεκτιμούν την συνεισφορά του φυσικού φωτός στην συνολική ένταση φωτισμού και ο βαθμός αυτής της υπερεκτίμησης αυξάνεται με την απόσταση από τα παράθυρα.
- Τα προτιμώμενα επίπεδα έντασης φωτισμού σε γραφεία με φυσικό φως μεταβάλλονται έντονα από άτομο σε άτομο. Επιπρόσθετα, οι επιθυμητές ποσότητες προστιθέμενου ηλεκτρικού φωτός μεταβάλλονται σε σχέση με τον τύπο της εκάστοτε εργασίας και την απόσταση από το παράθυρο.
- Η απόκριση των χρηστών σε σχέση με τη φωτεινότητα στα γραφεία αλλά και στους χώρους εργασίας εν γένει, θα λέγαμε ότι δείχνει μια τάση για αναφορά περισσότερο φωτεινών παρά σκοτεινών επιφανειών. Η κατάλληλη θέση σε λειτουργία των εγκατεστημένων αισθητήρων φωτισμού θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγαλύτερα ποσά εξοικονομούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα επίπεδα φωτισμού στα γραφεία και στους χώρους εργασίας ήταν επαρκή στις περισσότερες των περιπτώσεων και, όπως και στην περίπτωση της φωτεινότητας, θα μπορούσε να ωφελήσει η κατάλληλη

θέση σε λειτουργία ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια δίχως να μειωθεί η οπτική άνεση.

- Τα αυτόματα συστήματα ελέγχου φωτισμού έχρηζαν της αποδοχής των περισσότερων χρηστών, αν και εξέφρασαν μια προτίμηση ως προς το να έχουν έλεγχο επί του συστήματος και δυνατότητα παράκαμψής του ή έστω τη δυνατότητα του να ενεργοποιούν ή να απενεργοποιούν τα φώτα ανάλογα με το αν το επιθυμούν. Αυτό υποδεικνύει ότι οι ένοικοι προτιμούσαν να έχουν τον πρώτο λόγο στη διαμόρφωση του φωτιστικού τους περιβάλλοντος παρά να αποδέχονται επίπεδα φωτισμού επιλεγμένα για αυτούς, ακόμη και στην περίπτωση εκείνη κατά την οποία τα τελευταία ήταν καλύτερα βάσει των γενικών υποδείξεων φωτισμού. Εξάλλου, τα πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα φαίνεται να έχουν μικρή αποδοχή από μέρους των ενοίκων και μερικές φορές δυσχεραίνουν, λόγω της πολυπλοκότητάς τους, τις διαδικασίες συντήρησης από τους διαχειριστές των εγκαταστάσεων.
- Παρόλα αυτά, στα κτήρια που εξετάστηκαν, μόνο το 21% των συνολικών ενοίκων δεν είχαν επίγνωση του ότι ήταν εγκατεστημένο αυτόματο σύστημα ελέγχου του φωτισμού.
- Προκειμένου να εξασφαλιστούν βέλτιστα επίπεδα απορρέουσας άνεσης από τις συνθήκες φωτισμού, σε συνδυασμό πάντα με ελαχιστοποίηση της δαπανούμενης ενέργειας, κρίνονται ως κεφαλαιώδους σημασίας συγκεκριμένες παράμετροι του όλου ζητήματος. Πρώτιστα, είναι βασικό το να εξασφαλιστεί το εύκολο της χρήσης των συστημάτων ελέγχου φωτισμού. Επιπλέον, αποτελεί ζητούμενο τόσο η γνώση των ενοίκων σχετικά με την εγκατάσταση συστήματος ελέγχου του φωτισμού όσο και η εκπαίδευσή τους για την ορθή χρήση του.

Φυσικά, στην πραγματικότητα, τα αυτόματα συστήματα ελέγχου του φωτισμού αξιοποίησης του φυσικού φωτός, δεν πρόκειται να αξιοποιηθούν

πλήρως όσο οι ένοικοι/ χρήστες δεν είναι πλήρως ικανοποιημένοι με την όλη εγκατάσταση. Αξίζει ακόμη αναφοράς το ότι αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την αποδοχή της νέας τεχνολογίας το γεγονός ότι δύσκολα αντιλαμβάνονται το πώς και το βαθμό κατά τον οποίο αυτή τους ωφελεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Mark S. Rea, PhD., FIES, Editor-in-chief. The IESNA LIGHTING HANDBOOK, REFERENCE & APPLICATION, Ninth Edition. The Illuminating Engineering Society of North America, 2000.
- [2] Advanced Lighting Guidelines Project, Project Manager: David E. Weigand. New Buildings Institute, Inc., 2003.
- [3] D.C. Pritchard (BSc, Ceng, FCI BSE). LIGHTING, Fifth Edition. Longman Group Limited, England, 1995.
- [4] James Bell, William Burt. "Designing Buildings For Daylight". Building Research Establishment, 1995
- [5] Tridonic Atco, 2Kappa Ltd, Sofokli Venizelou 13, 546 28 Thessaloniki, Greece. <http://www.tridonicatco.com> , <http://www.2kappa.gr/>
- [6] Kovach-Hebling, Anne, Manuel Goller, Sebastian Herkel, and Jan Wienold, 1997. "Assessing The Energy Saving Potential Of Daylighting Technologies For Non-Residential Buildings In Germany." In Right Light 4: Proceedings Of The 4th European Conference On Energy-Efficient Lighting. [Stockholm: International Association For Energy-Efficient Lighting.]
- [7] Lighting Research Center (LRC), Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12180 USA, <http://www.lrc.rpi.edu>
- [8] NLPIP Specifier Reports. PHOTOSENSORS, Dimming and Switching Systems for Daylight Harvesting. Volume 11 Number 1, October 2007.
- [9] Anca D. Galasiu, Jennifer A. Veitch. "Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review". Indoor Environment Research Program, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, 2006.
- [10] C. Cuttle, "People and Windows in Workplaces". Proceedings of the People and Physical Environment Research Conference, Wellington, New Zealand, 1983.
- [11] J. H. Heerwagen, D.R. Heerwagen, "Lighting and Psychological Comfort", Lighting Design and Application 16 (4), 1986.

- [12] J. A. Veitch, D.W. Hine, R. Gifford (Veitch et al.), "End users' knowledge, beliefs and preferences for lighting". *Journal of Interior Design* 19 (2), 1993.
- [13] J. A. Veitch, R. Gifford, "Assessing beliefs about lighting effects on health, performance, mood and social behaviour". *Environment and Behaviour* 28 (4), 1996.
- [14] B. W. P. Wells, "Subjective Responses to the Lighting Installations in a Modern Office Building and their Design Implications". *Building and Environment* 1, 1965.
- [15] S. Escuyer, M. Fontoyonnt, "Testing in situ of Automatic Ambient Lighting Plus Manually Controlled Task Lighting: Office Occupants Reactions". *Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa)*, Reykjavik, Iceland, 2001.
- [16] S.H.A. Begemann, G. van den Beld, J.A.D. Tenner, "Daylight, Artificial Light and People in an Office Environment, Overview of Visual and Biological Response". *Industrial Ergonomics* 20, 1997.
- [17] L. Halonen, J. Lehtovaara, "Need of Individual Control to Improve Daylight Utilization and User Satisfaction in Integrated Lighting Systems". *Proceedings of the 23rd Session of the CIE*, New Delhi, India, Vienna, Austria, 1995.
- [18] C. Laurentin, V. Berrutto, M. Fontoyont, P. Girault, "Manual Control of Artificial Lighting in a Daylit Space". *3rd International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Lyon, France, 1998.
- [19] C. Laurentin, V. Berrutto, M. Fontoyont, "Effect of Thermal Conditions and Light Source Type on Visual Comfort Appraisal". *Lighting Research and Technology* 32 (4), 2000.
- [20] L. Roche, E. Dewey, P. Littlefair, A. Slatter, "Daylight in Offices – Occupant Assesments". *Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa)*, Reykjavik, Iceland, 2001.
- [21] W.K. Osterhaus, I.L. Bailey, "Large Area Glare Sources and their Effect on Discomfort and Visual Performance at Computer Workstation". *Proceedings of the IEEE Industry Applications Society – Annual Meeting*, vol. 2, Houston, Texas, Piscataway, NT, 1992.

- [22] W.K. Osterhaus, "Discomfort Glare from Daylight in Computer Offices: What do we Really Know ?". Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa), Reykjavik, Iceland, 2001.
- [23] R.G. Hopkinson, "Glare From Daylight in Buildings". Applied Ergonomics 3, 1972.
- [24] R.G. Hopkinson, "Glare From Windows". Construction Research and Development Journal (CONRAD) 1, 1970
 R.G. Hopkinson, "Glare From Windows". Construction Research and Development Journal (CONRAD) 2, 1970
 R.G. Hopkinson, "Glare From Windows". Construction Research and Development Journal (CONRAD) 3, 1971.
- [25] T. Iwata, M. Tokura, M. Shukuya, K. Kimura, "Experimental Study of Discomfort Glare Caused by Windows, Part 2: Subjective Response to Glare from Actual Windows". Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering 24 (2), 2000.
- [26] A.A. Nazzal, "A New Daylighting Glare Evaluation Method". Journal of Light and Visual Environment 24 (2), 2000.
- [27] P. Chauvel, J.B. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore, "Glare from Windows: Current View of the Problem". Proceedings of the CIE Symposium on Daylighting, CIE, Berlin, Germany, Paris, France, 1980.
- [28] P. Chauvel, M. Perraudeau, "Daylight as a Source of Visual Discomfort". Daylighting Atlas, Joule 2, Lyon, France, 1995.
- [29] A.A. Nazzal, A. Chutarat, "A New Glare Evaluation Method; a Comparison of the Existing Glare Index and the Proposed Method, an Exploration of Daylighting Control Strategies". Architectural Science Review 44 (1), 2001.
- [30] M. Velds, "Assessment of Lighting Quality in Office Rooms with Daylighting Systems" (Ph.D. Thesis), Delft University of Technology, Netherlands, 1999.
- [31] Soo-Young Kim, Jong-Jin Kim, "Influence of Light Fluctuation on Occupant Visual Perception". Building and Environment, 2006.
- [32] D.G.R. Hunt, "The Use of Artificial Lighting in Relation to Daylight Levels and Occupancy". Building and Environment 14, 1979.

- [33] J.A. Love, "Manual Switching Patterns in Private Offices". Lighting Research and Technology 30 (1), 1998.
- [34] Tridonic Atco, 2Kappa Ltd, Sofokli Venizelou 13, 546 28 Thessaloniki, Greece. <http://www.tridonicatco.com> , <http://www.2kappa.gr/>
- [35] C.F. Reinhart, K. Voss, "Monitoring Manual Control of Electric Lighting and Blinds", Lighting Research and Technology 35 (3), 2003.
- [36] D. Maniccia, B. Rutledge, M.S. Rea, W. Morrow, "Occupant Use of Manual Lighting Controls in Private Offices". Journal of the Illuminating Engineering Society 28 (2), 1999.
- [37] S. Escuyer, M. Fontoynt, "Lighting Controls: a Field Study of Office Workers' Reactions", Lighting Research and Technology 33 (2), 2001.
- [38] A. Slater, "Occupant Use of Lighting Controls: a Review of Current Practice, Problems and How to Avoid Them". CIBSE National Conference, Eastbourne, London, UK, 1995.
- [39] A. Slater, "Lighting Controls in Offices: How to Improve Occupant Comfort and Energy Efficiency". Proceedings of the CIBSE National Lighting Conference ,Bath, London, UK, 1996.
- [40] A. Slater, D. Carter, A.I. Slater, "A Field Study of Lighting Levels in Offices". Proceedings of the CIBSE National Lighting Conference, London, UK, 1998.
- [41] A. Slater, D. Carter, T. Moore, "A Study of Lighting in Offices Equipped with Occupant Controlled Systems". Proceedings of the First CIE Symposium on Lighting Quality, Ottawa, Canada, Vienna, Austria: CIE Pub No. X015-1998.
- [42] D. Carter, A. Slater, T. Moore, "A Study of Occupier Controlled Lighting Systems". Proceedings of the 24th Session of the CIE, Warsaw, Poland, Vienna, Austria, 1999.
- [43] T. Moore, D.J. Carter, A.I. Slater, "A Comparative Study of User Opinion in Offices with and without Individually Controlled Lighting". Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa), Reykjavik, Iceland, 2001.
- [44] T. Moore, D.J. Carter, A.I. Slater, "A Field Study of Occupant Controlled Lighting in Offices". Lighting Research and Technology 34 (3), 2002.

- [45] T. Moore, D.J. Carter, A.I. Slater, "User Attitudes toward Occupant Controlled Office Lighting". *Lighting Research and Technology* 34 (3), 2002.
- [46] W. Bordass, T. Heasman, A. Leaman, M.J. Perry, "Daylight Use in Open Plan Offices: the Opportunities and the Fantasies". *Proceedings of National Lighting Conference and Daylighting Colloquium*, Cambridge, Robison College, London, UK: CIBSE, 1994.
- [47] F.D. Becker, "Quality of Work Environment: Effects on Office Workers". *Prevention in Human Services* 4 (1-2), 1986.
- [48] E. Ne'eman, G. Sweitzer, E. Vine, "Office Worker Response to Lighting and Daylighting Issues in Workplace Environments; a Pilot Study". *Energy and Buildings* 6, 1984.
- [49] Daylighting and Window Design. *Lighting Guide LG10: 1999*, CIBSE.
- [50] Gary London, FIES, FIALD, LC, "Interior Lighting for Designers", 4th Edition, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [51] Ενεργειακός Σχεδιασμός – Εισαγωγή για Αρχιτέκτονες (Energy Conscious Design – a Primer for Architects). Εκδόσεις Μαλλιάρης Α – ΠΑΙΔΕΙΑ Α.Ε. Θεσσαλονίκη, 1994.
- [52] International Energy Agency (IEA), "Post Occupancy Evaluation of Daylight in Buildings". IEA SHC TASK 21 / ECBCS ANNEX 29, December 1999.
- [53] B. Collins et al., "Post-occupancy Evaluation of Several U.S. Government Buildings, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, NISTIR 89-4175, Gaithersburg, USA, 1989.
- [54] J. Elder, G. E. Turner, A.I. Rubin, "Post-occupancy Evaluation: A Case Study of the Evaluation Process". Center for Building Technology, National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards, NISTIR 79-1780, Gaithersburg, USA, 1979.
- [55] Energy Edge, "Energy Edge – Post-occupancy Evaluation Project, Final Report". University of Washington, Seattle, USA, 1991.
- [56] M. Fontoynt, "Daylight Performance of Buildings". European Commission Directorate General XII for Science, Research and Development, Hong Kong: James & James, 1999.

- [57] F. Rubinstein. "Photoelectric Control of Equi-illumination Lighting Systems", Energy and Buildings 6, 1984.
- [58] Doulos, L., Tsangrassoulis, A., and Topalis, F.V.2005. "A critical review of simulation techniques for daylight responsive systems". DYNASTEE 2005: Proceedings Of The Scientific Conference On Dynamic Analysis, Simulation and Testing applied to the Energy and Environmental Performance of Buildings.
- [59] NLPIP Specifier Reports: Occupancy Sensors, Motion-sensing devices for lighting control. Volume 5 Number 1, May 1997 (Revised October 1998)
- [60] Φ. Β. Τοπαλής, Επίκουρος Καθηγητής. "ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΑ, Βασικές Αρχές Φωτομετρίας και Μελέτες Φωτισμού". Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών. Αθήνα, 1994.
- [61] Sensor Placement and Orientation Tool (SPOT), 2005, Technical Manual.
- [62] Florida Power & Light, 1997. "Commissioning for Better Buildings". Prepared by Portland Energy Conservation, Inc.
- [63] Francis Rubinstein, Douglas Avery, Judith Jennings, Steven Blanc (RUBINSTEIN et al.). "On the Calibration and Commissioning of Lighting Controls". Right Light 4, 1997 Volume 2.