



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

**Βελτιστοποιημένη σχεδίαση εγκατάστασης φωτισμού  
εσωτερικών χώρων με πολυκριτηριακές μεθόδους**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Α. Δελαγραμμάτικας

**Επιβλέπων:** Ευάγγελος Μαδιάς  
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

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

Αθήνα, Οκτώβριος 2017





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

## Βελτιστοποιημένη σχεδίαση εγκατάστασης φωτισμού εσωτερικών χώρων με πολυκριτηριακές μεθόδους

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Α. Δελαγραμμάτικας

**Επιβλέπων:** Ευάγγελος Μαδιάς  
Υ.Δ. Ε.Μ.Π

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την <sup>11</sup> Οκτώβριου 2017

..... Φ. Τοπαλής Καθηγητής Ε.Μ.Π	..... Ι. Φ. Γκόνος Επίκουρος Καθηγητής	..... Π. Γεωργιλάκης Επίκουρος Καθηγητής
--	--	--

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

.....  
Ιωάννης Α Δελαγραμμάτικας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννης Α Δελαγραμμάτικας, 2017.  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και βελτιστοποίηση εγκαταστάσεων φωτισμού εσωτερικών χώρων τριτογενούς τομέα, με αξιολόγηση εναλλακτικών συνδυασμών φωτιστικών σωμάτων. Ο χώρος που γίνονται οι μελέτες είναι ένα τυπικά διαμορφωμένο γραφείο 6m x 8m x 2,8m.

Αρχικά, στο εισαγωγικό κεφάλαιο περιγράφεται η κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο. Ακόμα, τονίζεται η σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτηριακό τομέα μέσα από τον σωστό σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού. Επίσης περιγράφονται τα είδη και η αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων, που θα χρησιμοποιηθούν στις μελέτες. Ακόμα αναλύεται η σημασία του βιοκλιματικού σχεδιασμού, που εστιάζεται στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε συνδυασμό με τον τεχνητό.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται καταγραφή των εναλλακτικών φωτιστικών που θα χρησιμοποιηθούν στις μελέτες, καθώς και των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελούνται όπως λαμπτήρες φθορισμού, LED, ballast. Επίσης, γίνεται 2D και 3D παρουσίαση του χώρου που θα μελετηθεί.

Ακολούθως, πραγματοποιούνται μελέτες φωτισμού με τη βοήθεια εμπορικού λογισμικού προσομοιώσεων (Relux) και εξάγονται τα φωτομετρικά αποτελέσματα για κάθε συνδυασμό φωτιστικών.

Ύστερα, αφού παρουσιαστούν τα διάφορα οικονομοτεχνικά κριτήρια με τα οποία θα αξιολογηθεί κάθε φωτιστικό, εφαρμόζεται στα αποτελέσματα η ELECTRE I ώστε να βρεθεί η καταλληλότερη λύση.

## Λέξεις κλειδιά

Εξοικονόμηση ενέργειας, εγκατάσταση φωτισμού, φωτισμός χώρων γραφείων, αξιοποίηση φυσικού φωτισμού, βιοκλιματικός σχεδιασμός, πολυκριτήρια ανάλυση, ELECTRE I, ανάλυση ευαισθησίας.

## Abstract

The purpose of this thesis is to study and optimize tertiary sector indoor lighting facilities by evaluating alternative combinations of luminaires. The studies are taking place in a typical office of 6m x 8m x 2,8m.

First of all, the introductory chapter describes energy consumption in services and households at both European and national level. It also highlights the importance of energy saving in the building sector in Greece.

The second chapter analyzes the savings actions in the building sector through the proper design of a lighting system. Also describes the types and principles of lamps that will be used in the studies. Furthermore, the chapter analyzes the importance of bioclimatic design, which focuses on the use of natural lighting in combination with the artificial.

In the third chapter, a recording of the alternative luminaires to be used in the studies, is made, as well as the components of which consist such as of fluorescent lamps, LEDs, ballasts. Also, a 2D and 3D presentation of the office to be studied, is made.

Thereafter, lighting studies are carried out using commercial simulation software (Relux) and the photometric results are output for each combinations of luminaires.

Then, after the presentation of the various economic and technical criteria that will be used to evaluate each lamp, ELECTRE I will be used for finding the most suitable solution.

## Keywords

Energy saving, lighting installation, lighting in office, daylighting, bioclimatic architecture, multicriteria analysis, ELECTRE I, sensitivity analysis.

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας Φραγκίσκο Β. Τοπαλή, Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Υπήρξε ο καθηγητής που με έφερε σε επαφή και εξήγησε το ενδιαφέρον για την επιστήμη του φωτισμού και μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ επισταμένως με ένα ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορά και συστρατιώτη Ευάγγελο Μαδιά, για την πολύτιμη στήριξη του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι συμβουλές, οι επεξηγήσεις και η «σε βάθος» ανάλυση όλων των πτυχών του θέματος, με βοήθησαν ιδιαίτερα στην κατανόηση και σφαιρικότερη αντίληψη όσων έκανα. Ήταν πρόθυμος να επιλύσει όλα τα προβλήματα που ανέκυπταν στην πορεία και μου παρείχε κάθε δυνατή τεχνική διευκόλυνση.

Σημαντική ήταν η βοήθεια των συγγενών και φίλων μου, οι οποίοι με την ψυχολογική και υλική τους υποστήριξη, συνέλαβαν στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου, που έκαναν ότι ήταν δυνατόν για να με μεγαλώσουν και να με σπουδάσουν, χωρίς ποτέ να πάψουν να πιστεύουν σε εμένα.

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες.....	7
Περιεχόμενα .....	8
Κατάλογος Σχημάτων.....	10
Κατάλογος Πινάκων.....	14
1 Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα.....	15
1.1 Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη.....	15
1.2 Ο τριτογενής τομέας στην ΕΕ.....	18
1.3 Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα.....	20
1.4 Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια της Ελλάδας .....	21
1.5 Εσωτερικό περιβάλλον κτηρίων .....	23
1.5.1 Θερμική άνεση .....	23
1.5.2 Οπτική άνεση.....	23
1.6 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.).....	25
1.7 Μέθοδοι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων .....	27
2 Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό.....	28
2.1 Κατανάλωση φωτισμού στον κτηριακό τομέα .....	28
2.2 Σχεδίαση συστήματος φωτισμού στα κτήρια .....	30
2.3 Απαιτήσεις για τον σχεδιασμό τεχνητού φωτισμού ανά χρήση κτηρίου .....	32
2.4 Είδη λαμπτήρων.....	34
2.4.1 Λαμπτήρες φθορισμού T8 και T5 .....	34
2.4.2 Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL).....	38
2.4.3 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (LED).....	40
2.5 Φωτιστικά σώματα .....	42
2.6 Βιοκλιματικός σχεδιασμός και αξιοποίηση φυσικού φωτισμού στα κτήρια.....	46
2.6.1 Κατανομή φυσικού φωτισμού.....	48
2.6.2 Στρατηγικές και αυτοματισμοί ελέγχου φωτισμού .....	64
2.6.3 Είδη αισθητήρων .....	67
2.6.4 Συντήρηση .....	72
3 Μελέτη φωτισμού σε χώρους γραφείων .....	73
3.1 Περιγραφή του χώρου μελέτης.....	73
3.1.1 Διάταξη 1 .....	75
3.1.2 Διάταξη 2.....	78
3.1.3 Διάταξη 3.....	81
3.1.4 Διάταξη 4.....	84
3.1.5 Διάταξη 5.....	87
3.1.6 Διάταξη 6.....	90
3.1.7 Διάταξη 7.....	93
3.1.8 Διάταξη 8.....	96
3.1.9 Διάταξη 9.....	99
3.1.10 Διάταξη 10.....	102
4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτήρια ανάλυση.....	105
4.1 Εισαγωγή στα συστήματα αποφάσεων.....	105
4.2 Η έννοια της απόφασης και η διαδικασία λήψης της.....	108
4.3 Εισαγωγή στη πολυκριτηριακή ανάλυση .....	109
4.4 Βασικές έννοιες και ορισμός κριτηρίων .....	110
4.5 Οικογένεια των μεθόδων ELECTRE.....	116



4.6	Η μέθοδος ELECTRE I .....	118
4.7	Ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η ELECTRE I .....	121
5	Εφαρμογή ELECTRE I για την αξιολόγηση των φωτομετρικών αποτελεσμάτων ....	123
5.1	Εισαγωγή .....	123
5.2	Κριτήρια και παράμετροι που τέθηκαν για την εφαρμογή της ELECTRE I .....	123
5.3	Φωτομετρικά αποτελέσματα και χαρακτηριστικά φωτιστικών για κάθε διάταξη. 124	
5.3.1	Διάταξη 1 .....	124
5.3.2	Διάταξη 2 .....	125
5.3.3	Διάταξη 3 .....	126
5.3.4	Διάταξη 4 .....	127
5.3.5	Διάταξη 5 .....	128
5.3.6	Διάταξη 6 .....	129
5.3.7	Διάταξη 7 .....	130
5.3.8	Διάταξη 8 .....	131
5.3.9	Διάταξη 9 .....	132
5.3.10	Διάταξη 10 .....	133
5.4	Μήτρα συμφωνίας και κατασκευή πυρήνα .....	134
5.5	Ανάλυση ευαισθησίας .....	136
5.6	Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	141
	Συμπεράσματα .....	142
	Βιβλιογραφία .....	143
	Παράρτημα Α .....	146
	Παράρτημα Α.1 .....	146
	Παράρτημα Α.2 .....	147
	Παράρτημα Α.3 .....	149
	Παράρτημα Α.4 .....	150
	Παράρτημα Α.5 .....	151
	Παράρτημα Α.6 .....	153
	Παράρτημα Α.7 .....	154
	Παράρτημα Α.8 .....	156
	Παράρτημα Α.9 .....	158
	Παράρτημα Α.10 .....	158
	Παράρτημα Β .....	160
	Παράρτημα Β.1 .....	160
	Παράρτημα Β.2 .....	165
	Παράρτημα Β.3 .....	170
	Παράρτημα Β.4 .....	175
	Παράρτημα Β.5 .....	179
	Παράρτημα Β.6 .....	185
	Παράρτημα Β.7 .....	190
	Παράρτημα Β.8 .....	195
	Παράρτημα Β.9 .....	200
	Παράρτημα Β.10 .....	205

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Ποσοστό εξάρτησης ενέργειας της EE-28 [2] .....	16
Σχήμα 1.2 Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας EE-28 [3] .....	17
Σχήμα 1.3 Τελική χρήση ενέργειας [4] .....	18
Σχήμα 1.4 Τελική κατανάλωση ανά καύσιμο και ανά τομέα [5] .....	19
Σχήμα 1.5 Συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα (% ΜΤΠ) [7] .....	20
Σχήμα 1.6 Ενεργειακά ισοζύγια ανά είδος καυσίμου στον κτηριακό τομέα [8] .....	21
Σχήμα 2.1 Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε κατοικίες [12] .....	28
Σχήμα 2.2 Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον τριτογενή τομέα [12] .....	29
Σχήμα 2.3 Σωληνοειδείς λαμπτήρες φθορισμού ανάλογα με την διάμετρο [19] .....	34
Σχήμα 2.4 Ηλεκτρομαγνητικό Ballast [20] .....	36
Σχήμα 2.5 Ηλεκτρονικό Ballast (dimming)[21] .....	37
Σχήμα 2.6 Λαμπτήρες CFL [22] .....	38
Σχήμα 2.7 Εσωτερικό κύκλωμα CFL με ενσωματωμένο ballast [23] .....	39
Σχήμα 2.8 Δίοδος LED μικροσκοπικά, σε ηρεμία και με ορθή πόλωση [24] .....	41
Σχήμα 2.9 Χαρακτηριστικά φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με την κατανομή της φωτεινής ροής τους [25] .....	43
Σχήμα 2.10 Τυπικά φωτιστικά σώματα [26] .....	45
Σχήμα 2.11 Κατανομή Daylight Factor (DF) σε σχέση με την απόσταση από τα ανοίγματα [27] .....	49
Σχήμα 2.12 Ανάκλαση φωτεινής ακτινοβολίας με χρήση περσίδων [30] .....	50
Σχήμα 2.13 Αρχή λειτουργίας σκίαστρου [29] .....	51
Σχήμα 2.14 Ράφια ανάκλασης φωτός (light shelves) [30] .....	52
Σχήμα 2.15 Αρχή λειτουργίας πρισματικών πάνελ [32] .....	53
Σχήμα 2.16 Πρισματικά πάνελ με ανάκλιση [33] .....	53
Σχήμα 2.17 Πάνελ επεξεργασίας με λέιζερ (laser-cut-panel) [32] .....	55
Σχήμα 2.18 Τρόπος λειτουργίας υαλοπίνακα ανακατεύθυνσης, παράδειγμα εφαρμογής σε οροφή [29] .....	57
Σχήμα 2.19 Φωτοσωλήνες (solar tubes) [35] .....	59
Σχήμα 2.20 Ηλιοστάτης με ορθογώνιο κάτροπτο .....	60
Σχήμα 2.21 Σύστημα Sunlight-Direct [36] .....	60
Σχήμα 2.22 Σύστημα Himawari και λειτουργία συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας [37] .....	61
Σχήμα 2.23 HOE Glass System, αποτελεσματικότητα ανεξάρτητα από την απόσταση [29] .....	62
Σχήμα 2.24 Σύστημα HOE σε οροφή [29] .....	63
Σχήμα 2.25 Ποιοτικό διάγραμμα απόσβεσης συναρτήσει της απόστασης από σημεία εισόδου φυσικού φωτισμού για dimming και switching [39] .....	65
Σχήμα 2.26 Έλεγχος με ζώνες [39] .....	66
Σχήμα 2.27 Λειτουργία αισθητήρων παρουσίας [41] .....	69
Σχήμα 2.28 Είδη αισθητήρων παρουσίας [42] .....	70
Σχήμα 3.1 Κάτοψη χώρου στο Relux .....	73
Σχήμα 3.2 Μπροστινή 3D όψη στο Relux .....	74
Σχήμα 3.3 Πλάγια δεξιά 3D όψη στο Relux .....	74
Σχήμα 3.4 Φωτιστικό Philips TBS165 [44] .....	75
<b>Σχήμα 3.5 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 1 [44] .....</b>	<b>75</b>
Σχήμα 3.6 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 1 [44] .....	76
Σχήμα 3.7 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 1 [44] .....	77
Σχήμα 3.8 Φωτιστικό Philips RC127V LED34S/830 PSD W60L60 OC [44] .....	78
Σχήμα 3.9 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 2 [44] .....	78
Σχήμα 3.10 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 2 [44] .....	79

Σχήμα 3.11 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 2 [44] .....	80
Σχήμα 3.12 Φωτιστικό Impala - TBS160HF418C3 [44] .....	81
Σχήμα 3.13 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 3 [44] .....	81
Σχήμα 3.14 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 3 [44] .....	82
Σχήμα 3.15 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 3 [44] .....	83
Σχήμα 3.16 Φωτιστικό ITEM LED [45] .....	84
Σχήμα 3.17 Πολικό διάγραμμα φωτιστικό 4 [45] .....	84
Σχήμα 3.18 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 4 [44] .....	85
Σχήμα 3.19 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 4 [44] .....	86
Σχήμα 3.20 Φωτιστικό EBD 340/26-42 SG (42W) + DVZS [46] .....	87
Σχήμα 3.21 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 5 [46] .....	87
Σχήμα 3.22 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 5 [44] .....	88
Σχήμα 3.23 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 5 [44] .....	89
Σχήμα 3.24 Φωτιστικό Echo 260 LED [45].....	90
Σχήμα 3.25 Πολικό διάγραμμα φωτιστικό 6 [45] .....	90
Σχήμα 3.26 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 6 [44] .....	91
Σχήμα 3.27 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 6 [44] .....	92
Σχήμα 3.28 Φωτιστικό BBS561 AC-MLO-C LED35S/- NO [44] .....	93
Σχήμα 3.29 Πολικό φωτιστικό 7 [44].....	93
Σχήμα 3.30 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 7 [44] .....	94
Σχήμα 3.31 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 7 [44] .....	95
Σχήμα 3.32 Φωτιστικό EBD 340/26-42 SG (42W) + DVRP [46].....	96
Σχήμα 3.33 Πολικό φωτιστικό 8 [46].....	96
Σχήμα 3.34 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 8 [44] .....	97
Σχήμα 3.35 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 8 [44] .....	98
Σχήμα 3.36 Φωτιστικό [45] SOLO SLIM LED .....	99
Σχήμα 3.37 Πολικό φωτιστικού 9 [45].....	99
Σχήμα 3.38 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 9 [44] .....	100
Σχήμα 3.39 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 9 [44] .....	101
Σχήμα 3.40 Φωτιστικό ABDR 410/55 SG-OS [46] .....	102
Σχήμα 3.41 Πολικό φωτιστικό 10 [46].....	102
Σχήμα 3.42 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 10 [44] .....	103
Σχήμα 3.43 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Ανατολική όψη) διάταξης 10 [44] .....	104
<b>Σχήμα 4.1 Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων [47].....</b>	<b>106</b>
Σχήμα 4.2 Προτιμήσεις αυξανόμενες με τις τιμές του κριτηρίου $g$ [53] .....	110
Σχήμα 4.3 Πολυκριτήρια απεικόνιση του συνόλου $A$ στον χώρο $R^n$ [53].....	111
Σχήμα 4.4 Τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις, απόρροια της σχέσης υπεροχής[53].....	113
Σχήμα 4.5 Ζώνες προτίμησης και αδιαφορίας[53].....	114
Σχήμα 4.6 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής.[53].....	119
Σχήμα 4.7 Απαλοιφή μέγιστου κυκλώματος σε γράφημα υπεροχής.[53].....	119
Σχήμα 4.8 Λογικό διάγραμμα μεθόδου ELECTRE I [53] .....	122
Σχήμα 5.1 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής( $s=0,7$ ).....	135
Σχήμα 5.2 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής( $s=0,65$ ).....	138
Σχήμα 5.3 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής( $s=0,75$ ).....	140
Σχήμα Α.1.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 1 [44] .....	146
Σχήμα Α.2.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 2 σελ. 1/2 [44] .....	147
Σχήμα Α.2.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 2 σελ. 2/2 [44] .....	148

Σχήμα A.3.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 3 [44] .....	149
Σχήμα A.4.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 4 [45] .....	150
Σχήμα A.5.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 5 σελ. 1/2 [46] .....	151
Σχήμα A.5.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 5 σελ. 2/2 [46] .....	152
Σχήμα A.6.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 6 [45] .....	153
Σχήμα A.7.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 7 σελ. 1/3[44] .....	154
Σχήμα A.7.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 7 σελ. 2/3[44] .....	155
Σχήμα A.8.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 8 σελ. 1/2 [46] .....	156
Σχήμα A.8.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 8 σελ. 2/2 [46] .....	157
Σχήμα A.9.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 9 [45] .....	158
Σχήμα A.10.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 10 [46] .....	159
Σχήμα B.1. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	160
Σχήμα B.1. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44] .....	161
Σχήμα B.1. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 1 [44].....	162
Σχήμα B.1. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	163
Σχήμα B.1. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	164
Σχήμα B.2. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	165
Σχήμα B.2. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	166
Σχήμα B.2. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 2 [44].....	167
Σχήμα B.2. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	168
Σχήμα B.2. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	169
Σχήμα B.3. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	170
Σχήμα B.3. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	171
Σχήμα B.3. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 3 [44].....	172
Σχήμα B.3. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	173
Σχήμα B.3. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	174
Σχήμα B.4. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	175
Σχήμα B.4. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	176
Σχήμα B.4. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 4 [44].....	177
Σχήμα B.4. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	178
Σχήμα B.4. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	179
Σχήμα B.5. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	180
Σχήμα B.5. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	181
Σχήμα B.5. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 5 [44].....	182
Σχήμα B.5. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	183
Σχήμα B.5. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	184
Σχήμα B.6. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	185

Σχήμα Β.6. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	186
Σχήμα Β.6. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 6 [44].....	187
Σχήμα Β.6. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	188
Σχήμα Β.6. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	189
Σχήμα Β.7. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	190
Σχήμα Β.7. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	191
Σχήμα Β.7. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 7 [44].....	192
Σχήμα Β.7. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	193
Σχήμα Β.7. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	194
Σχήμα Β.8. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	195
Σχήμα Β.8. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	196
Σχήμα Β.8. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 8 [44].....	197
Σχήμα Β.8. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	198
Σχήμα Β.8. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	199
Σχήμα Β.9. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	200
Σχήμα Β.9. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	201
Σχήμα Β.9. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 9 [44].....	202
Σχήμα Β.9. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	203
Σχήμα Β.9. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	204
Σχήμα Β.10. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44].....	205
Σχήμα Β.10. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44].....	206
Σχήμα Β.10. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 10 [44].....	207
Σχήμα Β.10. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44].....	208
Σχήμα Β.10. 5 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Ανατολική όψη) [44].....	209

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ανά κράτος της ΕΕ-28 [1].....	15
Πίνακας 1.2 Daylight Factor (DF) για την οπτική άνεση στο εσωτερικό των κτηρίων [10]	24
Πίνακας 2.1 Ενεργειακή κατανάλωση για φωτισμό ανάλογα με το είδος του κτηρίου [13]	29
Πίνακας 2.2 Στάθμη γενικού φωτισμού και εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου και επιμέρους χώρων [17] .....	32
Πίνακας 4.1 Κατασκευή μοντέλου ολικής προτίμησης (απόφασης ή συμπεριφοράς)[53]	111
Πίνακας 4.2 Τυπολογία μεθόδων ELECTRE [53].....	117
Πίνακας 5.1 Κριτηρίων ,βαρών, καταωφλίου συμφωνίας και βέτο της μεθόδου ELECTRE I .....	123
Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 1 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 1	124
Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 2 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 2	125
Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 3 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 3	126
Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 4 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 4	127
Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 5 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 5	128
Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 6 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 6..	129
Πίνακας 5.8 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 7 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 7..	130
Πίνακας 5.9 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 8 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 8..	131
Πίνακας 5.10 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 9 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 9	132
Πίνακας 5.11 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 10 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 10 .....	133
Πίνακας 5.12 Πίνακας συμφωνίας .....	134
Πίνακας 5.13 Φωτιστικά πυρήνα γραφήματος υπεροχής.....	136

## 1 Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο. Επίσης, δίνεται έμφαση στη σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας στον κτηριακό τομέα στην Ελλάδα.

### 1.1 Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη

Η συνεχόμενη ανάπτυξη των Ευρωπαϊκών χωρών που παρατηρείται τα τελευταία, έχει ως επακόλουθο την αύξηση της ζήτησης στην ηλεκτρική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε γύρω στο 1,1% το 2015, ανακάμπτοντας από την πτώση 2,3% που σημειώθηκε το 2014. Όμως αναμένεται περαιτέρω αύξηση της.

Το 2014 η ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ-28 έφτασε τους 1.606 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) (Πίνακας 1.1). Όπως είναι γνωστό, η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγκάζεται να εισάγει ενέργεια σε ποσοστό της τάξης του 53,8% των συνολικών της αναγκών. Αν δεν ληφθούν μέτρα περιορισμού αναμένεται το ποσοστό να έχει φτάσει το 70% μέχρι το 2030 [1].

Πίνακας 1.1 Ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ανά κράτος της ΕΕ-28 [1]

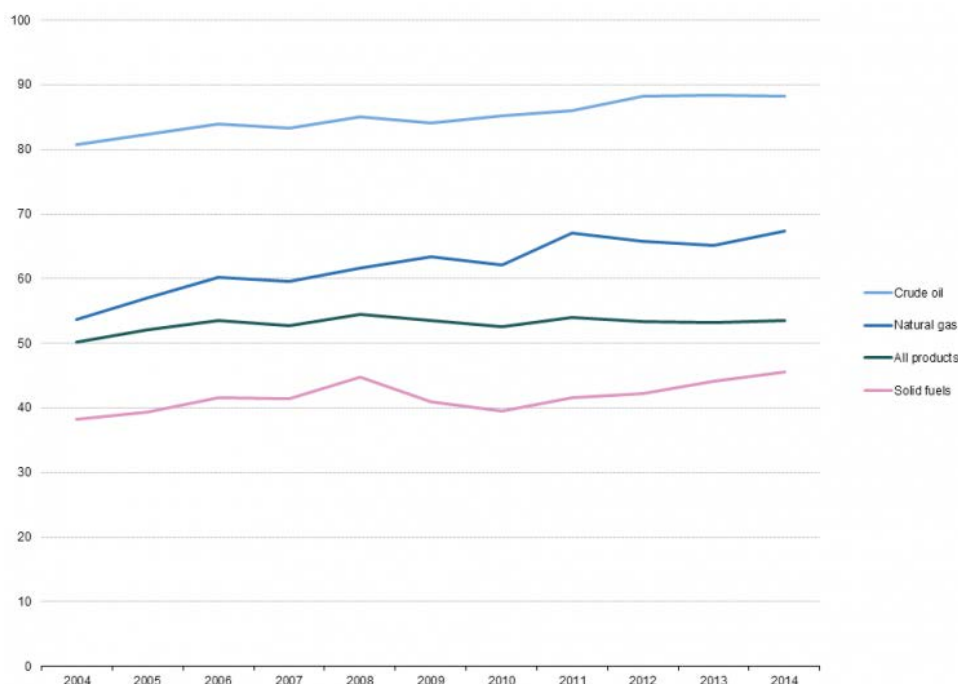
	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	Share in EU-28, 2014 (%)
<b>EU-28</b>	<b>1 667.9</b>	<b>1 674.7</b>	<b>1 730.0</b>	<b>1 831.0</b>	<b>1 763.7</b>	<b>1 698.1</b>	<b>1 684.7</b>	<b>1 666.7</b>	<b>1 605.9</b>	<b>100.0</b>
Belgium	48.6	53.8	59.3	59.1	61.2	57.0	54.6	56.5	53.4	3.3
Bulgaria	27.6	22.7	18.5	19.8	17.8	19.1	18.2	16.8	17.7	1.1
Czech Republic	49.9	41.7	41.1	45.1	44.7	43.0	42.8	42.2	41.5	2.6
Denmark	17.9	20.2	19.7	19.6	20.0	18.6	17.9	18.2	16.9	1.1
Germany	356.3	341.6	342.3	341.9	333.0	316.7	318.6	324.5	313.0	19.5
Estonia	9.9	5.5	5.0	5.6	6.2	6.2	6.1	6.7	6.7	0.4
Ireland	10.3	11.1	14.4	15.3	15.2	13.9	13.8	13.7	13.6	0.8
Greece	22.3	23.9	28.3	31.4	28.8	27.9	27.7	24.3	24.4	1.5
Spain	90.1	102.1	123.6	144.2	130.3	128.5	128.1	119.3	116.7	7.3
France	227.8	241.8	257.5	276.6	267.1	257.5	257.8	258.9	248.5	15.5
Croatia	9.5	7.9	8.4	9.8	9.4	9.3	8.9	8.6	8.2	0.5
Italy	153.5	161.8	174.2	190.1	177.9	172.5	165.7	159.5	151.0	9.4
Cyprus	1.6	2.0	2.4	2.5	2.7	2.7	2.5	2.2	2.2	0.1
Latvia	7.9	4.6	3.9	4.6	4.6	4.4	4.5	4.5	4.5	0.3
Lithuania	15.9	8.6	7.1	8.7	6.8	7.0	7.1	6.7	6.7	0.4
Luxembourg	3.5	3.3	3.7	4.8	4.6	4.6	4.5	4.3	4.2	0.3
Hungary	28.8	26.2	25.3	27.6	25.7	25.0	23.5	22.7	22.8	1.4
Malta	0.6	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.1
Netherlands	66.7	75.4	78.1	84.4	86.1	80.4	80.8	80.4	76.8	4.8
Austria	25.0	27.1	29.0	34.2	34.3	33.3	33.2	33.7	32.7	2.0
Poland	103.3	98.8	88.6	92.2	100.7	100.8	97.6	98.0	94.3	5.9
Portugal	18.2	20.6	25.3	27.5	24.3	23.6	22.2	22.4	22.1	1.4
Romania	58.1	46.3	36.6	39.2	35.8	36.6	35.4	32.4	32.3	2.0
Slovenia	5.7	6.1	6.5	7.3	7.3	7.3	7.1	6.9	6.7	0.4
Slovakia	21.8	17.7	18.3	19.0	17.9	17.4	16.7	17.0	16.2	1.0
Finland	28.8	29.4	32.4	34.5	37.1	35.9	34.7	34.1	34.6	2.2
Sweden	47.4	51.5	48.9	51.0	50.8	49.7	49.8	49.1	48.2	3.0
United Kingdom	210.6	222.3	230.6	234.0	212.5	198.2	204.0	202.2	189.3	11.8
Iceland	2.4	2.3	3.3	3.4	5.9	6.3	5.8	6.1	6.1	—
Norway	21.4	23.8	26.4	27.2	34.3	28.4	30.1	33.7	29.2	—
Montenegro	—	—	—	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	—
FYR of Macedonia	2.4	2.5	2.7	2.8	2.8	3.1	3.0	2.7	2.6	—
Albania	2.6	1.3	1.8	2.2	2.1	2.2	2.1	2.4	2.3	—
Serbia	19.6	13.6	13.7	15.7	15.6	16.2	14.5	14.9	13.3	—
Turkey	52.3	62.1	76.7	85.6	106.9	113.9	119.8	118.5	124.0	—
Bosnia and Herzegovina	5.0	0.9	3.2	3.9	4.7	5.4	5.1	6.0	7.8	—
Kosovo (under UNSCR 1244/99)	—	—	1.5	1.9	2.5	2.5	2.4	2.3	2.1	—

Source: Eurostat (online data code: nrg\_100a)

Αναλυτικότερα, η ενεργειακή εξάρτηση των χωρών της ευρωπαϊκής ένωσης εντοπίζεται σε προϊόντα πετρελαίου, φυσικού αέριο, καθώς και λιθάνθρακα. Συγκεκριμένα, το 90% των εισαγωγών είναι αργό πετρέλαιο, το 66% φυσικό αέριο και το 42% στερεά καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας. Όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1.1, παρατηρείται σταθερή αύξηση της ενεργειακής εξάρτησης κυρίως σε ότι αφορά το φυσικό αέριο. Ο λιθάνθρακας και τα

## Κεφάλαιο 1: Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα

παράγωγα του κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό, αλλά δεν έχουν τόσο μεγάλο μερίδιο στην γενική κατανάλωση.



Source: Eurostat (online data codes: nrg\_100a, nrg\_102a and nrg\_103a)

Σχήμα 1.1 Ποσοστό εξάρτησης ενέργειας της ΕΕ-28 [2]

Το πετρέλαιο αποτελεί σχεδόν εξ ολοκλήρου προϊόν εισαγωγής και έχει φτάσει σε ποσοστό 83,5%, επομένως είναι σαφές ότι οποιαδήποτε μείωση στην κατανάλωση ευνοεί άμεσα την οικονομία της Ε.Ε.

Δυστυχώς οι ρίποι του CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται τόσο από την παραγωγή όσο και από την κατανάλωση ενέργειας έχουν τρομερό αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή και ειδικότερα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τον Ιανουάριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε δεσμευτική νομοθεσία για την υλοποίηση των «στόχων 20-20-20», οι οποίοι συνίστανται στις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990.
- Αύξηση στο 20% της αναλογίας της ενεργειακής κατανάλωσης της ΕΕ που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.
- Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Για να σταθεροποιηθούν οι συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, η συνολική ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη δεν θα πρέπει να υπερβεί τους 2°C σε σύγκριση με τα προ-βιομηχανικής εποχής επίπεδα. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50% έναντι των επιπέδων του 1990.

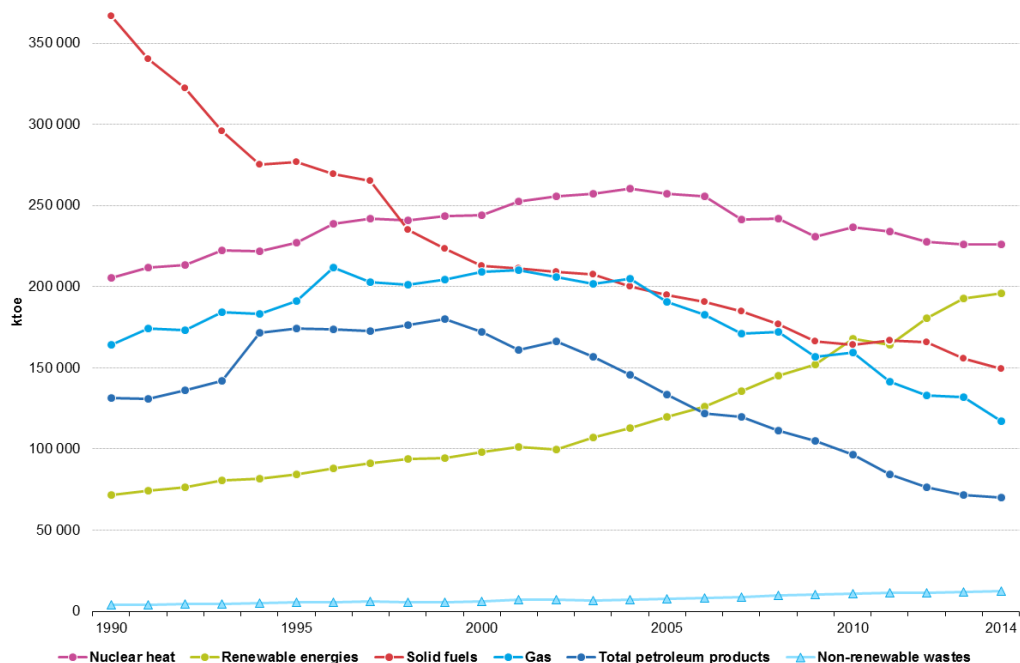
Το Σχήμα 1.2 αποτυπώνει την συγκεκριμένη προσπάθεια μέχρι και το έτος 2014, αν και αποτελεί ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα της γενικότερης προσπάθειας, όμως μπορούν να εξαχθούν ορισμένα ασφαλή συμπεράσματα.



Σε ότι αφορά τα στερεά καύσιμα είναι σαφές ότι οποιαδήποτε μείωση έχει άμεσο αποτέλεσμα στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, αφού θεωρούνται το δυσμενέστερο καύσιμο για το περιβάλλον. Η μείωση κατά περίπου 57% δείχνει σημαντικά βήματα βελτίωσης.

Δυστυχώς η εξάρτηση από το πετρέλαιο και τα προϊόντα του είναι αναπόφευκτη και οφείλεται κυρίως στην δεδομένη τεχνολογία των οχημάτων, αλλά και σε εγκαταστάσεις θέρμανσης, αν και παρατηρείται και εκεί μια μείωση της τάξης του 50%.

Επίσης, στο Φ.Α. παρατηρείται μια λιγότερο έντονη μείωση που αγγίζει το 25%. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαφορά μεταξύ του φυσικού αερίου και των πετρελαϊκών προϊόντων κάνει φανερή μια ισχυρή τάση υποκατάστασης αυτών, αφού το Φ.Α. θεωρείται περισσότερο περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση, επειδή για ίδιο αποτέλεσμα παραγόμενης ενέργειας εκλύονται μικρότερες ποσότητες CO<sub>2</sub>.



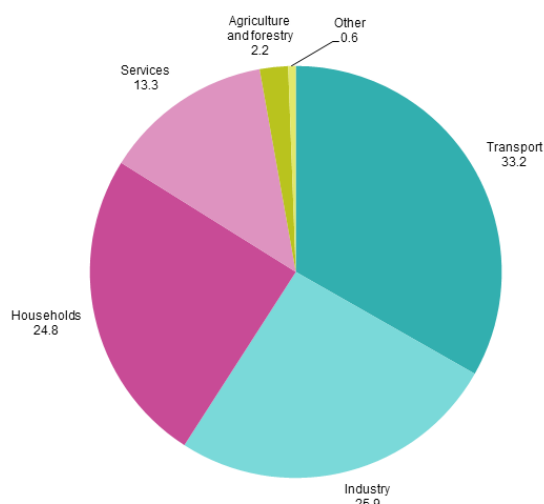
Σχήμα 1.2 Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας ΕΕ-28 [3]

Η εξάρτηση από την πυρηνική ενέργεια παραμένει σταθερή και έχει κάποιες αυξητικές τάσεις κοντά στο 15% την τελευταία δεκαετία όμως είναι μια σταθερή και συμφέρουσα λύση για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος που έχει όμως ως τίμημα την παραγωγή πολλών επιβαρυντικών παραπροϊόντων.

Τέλος παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, αφού αποτελούν μια «καθαρή» λύση, παράλληλα στοιχίζουν ιδιαίτερα σε οικονομικό επίπεδο και έχουν ένα τεχνολογικό όριο πάνω από το οποίο είναι αδύνατον να συνεισφέρουν στο ενεργειακό ισοζύγιο.

## 1.2 Ο τριτογενής τομέας στην ΕΕ

Η ανάλυση της τελικής χρήσης της κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση δείχνει τρεις κυρίαρχες κατηγορίες όπως εμφανίζονται και στο Σχήμα 1.3, δηλαδή, οι μεταφορές (33,2%), τη βιομηχανία (25,9%) και τα νοικοκυριά (24,8%). Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι ο τριτογενής τομέας κατανάλωσης ονομάζεται το σύνολο των υπηρεσιών που παρέχονται από ένα κράτος αλλά και από τους πολίτες του. Επίσης, ο τριτογενής τομέας μαζί με το σύνολο των νοικοκυριών, ονομάζεται κτηριακός τομέας κατανάλωσης.



Source: Eurostat (online data code: nrg\_100a)

Σχήμα 1.3 Τελική χρήση ενέργειας [4]

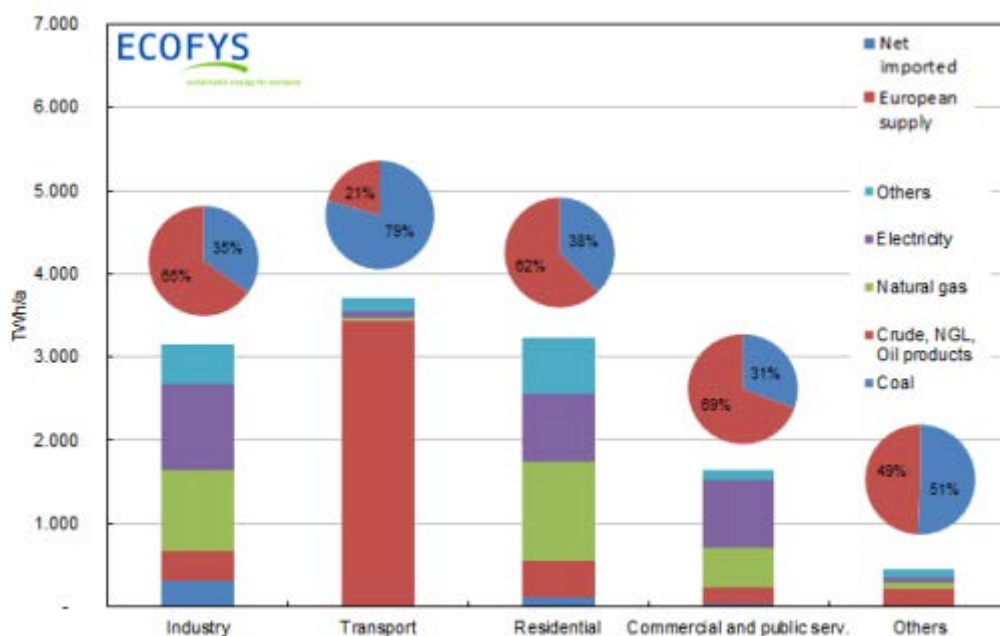
Όπως διαπιστώνεται ο κτηριακός τομέας παίζει τεράστιο ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ-28, αφού φτάνει το ποσοστό του 38,1% και άρα οποιαδήποτε μείωση στην κατανάλωση θα επηρεάσει σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο.

Η ιδιαιτερότητα του τριτογενούς τομέα όμως δεν σχετίζεται τόσο με το αυξημένο ποσοστό στην συνολική ζήτηση ενέργειας αλλά κυρίως με την ενεργειακή του διάρθρωση ανά καύσιμο. Το Σχήμα 1.4 δείχνει ξεκάθαρα ότι σε αντίθεση με τους υπόλοιπους τομείς η κατανάλωση των καυσίμων είναι διαφορετική και στηρίζεται σχεδόν κατά το ήμισυ στον ηλεκτρισμό. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οποιαδήποτε εξοικονόμηση κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος θα έχει μεγάλη επίπτωση στην γενικότερη εξοικονόμηση. Επιπλέον το κόστος του ηλεκτρισμού είναι αρκετά μεγαλύτερο αν συγκριθεί με τις υπόλοιπες μορφές και για ισοδύναμα αποτελέσματα σε ισχύ απαιτούνται μεγαλύτερες δαπάνες σε χρήματα.

Αντίθετα, ο τομέας μεταφορών χρησιμοποιεί κυρίως το πετρέλαιο και τα παράγωγα του. Η χρήση του φυσικού αερίου είναι αρκετά διαδεδομένη με αποτέλεσμα η βιομηχανία και τα νοικοκυριά να βασίζονται σε μεγάλο ποσοστό στην καύση του, ενώ μια μικρότερης μορφής εξάρτηση παρουσιάζεται και στον τομέα των υπηρεσιών.

Καύσιμα όπως ο άνθρακας χρησιμοποιούνται μόνο στην βιομηχανία, ενώ οι ΑΠΕ εμφανίζονται είτε σε μικρά αυτόνομα ή και διασυνδεδεμένα συστήματα στον οικιακό τομέα ή σε μικρότερο βαθμό στην βιομηχανία.

Ειδικότερα, σε ότι αφορά το ηλεκτρικό ρεύμα, η κατανάλωση για υπηρεσίες υπολογίζεται στο 27,4% του συνόλου και βρίσκεται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο με τα νοικοκυριά που καταναλώνουν το 28,8%. Το μεγάλο μερίδιο στην κατανάλωση απαιτείται στην βιομηχανία και κυμαίνεται στο 41,1% ενώ οι μεταφορές καταναλώνουν μόλις το 2,7%.



Σημά 1.4 Τελική κατανάλωση ανά καύσιμο και ανά τομέα [5]

Σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατή η καθοριστική μείωση της κατανάλωσης στην βιομηχανία όμως απαιτείται αντικατάσταση ακριβών μηχανημάτων και εφαρμογή τελευταίας τεχνολογίας, γεγονός που απαιτεί μεγάλα χρηματικά ποσά και ανάλογα πλαίσια συντονισμένης δράσης. Τα πράγματα όμως είναι πολύ διαφορετικά στον κτιριακό τομέα και με σχετικά μικρές παρεμβάσεις μπορούν να επιτευχθούν μεγάλες εξοικονομήσεις.

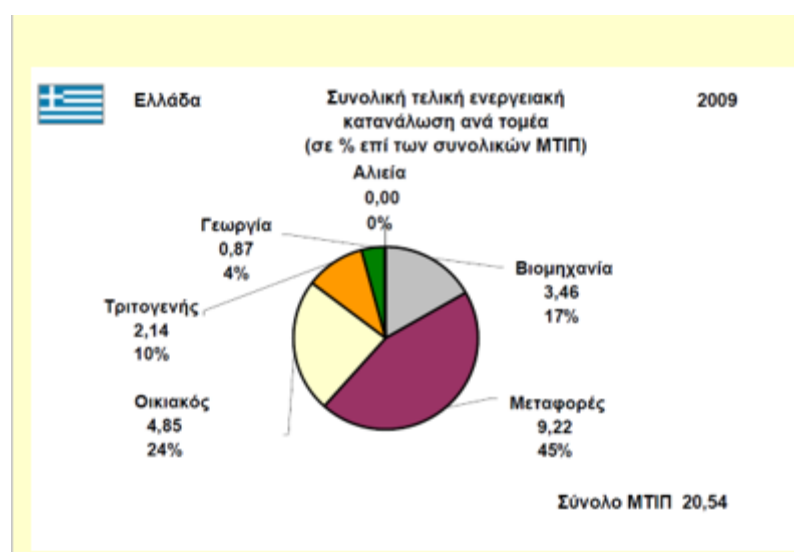
Για αυτόν τον λόγο η Ε.Ε ύστερα από έρευνες που διεξήγαγε, αποφάνθηκε ότι στον κτηριακό τομέα η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να αγγίξει το 22% μέχρι το 2020 αν εφαρμοστούν ορισμένες απλές τεχνικές. Οι εξοικονομήσεις που θα επιτευχθούν είναι :

- 5% στην θέρμανση με την αντικατάσταση 10 εκατομμυρίων οικιακών λεβήτων ηλικίας μεγαλύτερης των 20 ετών.
- 25% στον ηλεκτρισμό με προοπτική διπλασιασμού ως το 2020 αν εγκατασταθούν συστήματα κλιματισμού που εξασφαλίζουν απαιτήσεις ελάχιστης απόδοσης.
- 30-50% μικρότερη κατανάλωση στον φωτισμό και έως 14% στην συνολική κατανάλωση κτηρίων, εάν χρησιμοποιηθούν οικονομικοί λαμπτήρες, συστήματα ελέγχου και τεχνικές ενσωμάτωσης φυσικού φωτισμού.
- Έως και 60% στην κατανάλωση κάθε κτηρίου με την εφαρμογή βιοκλιματικού σχεδιασμού. [6]

### 1.3 Κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα

Αναφορικά με την Ελλάδα ο τομέας της ενέργειας με την πάροδο των ετών χαρακτηρίζεται από συνεχή μείωση της αποδοτικότητας του. Το πρόβλημα εστιάζεται κυρίως στις μεταφορές αλλά και τον τριτογενή τομέα και σε συνδυασμό με την έλλειψη εσωτερικής παραγωγής, οι συνθήκες οδηγούν σε μια αυξανόμενη ενεργειακή εξάρτηση. Η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε περίπου κατά 50% από το 1990 έως και το 2008. Στο Σχήμα 1.5 φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε τομέα επί % της συνολικής ποσότητας ΜΤΠΠ.

Παρατηρείται ότι οι μεταφορές αποτελούν το 45% της συνολικής ζήτησης και αντιστοιχούν σε 9,22 Μτοε. Αν και γενικότερα ο συγκεκριμένος τομέας χαρακτηρίζεται από συνεχή αύξηση της κατανάλωσης σε απόλυτα μεγέθη, ως σχετικό ποσοστό κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα αντίστοιχα του 1990. Γενικότερα, οι μεταφορές τροφοδοτούνται ως επί το πλείστο με υγρά καύσιμα και το μείγμα καυσίμου είναι ποιοτικά όμοιο με αυτό του Σχήματος 1.4.



Σχήμα 1.5 Συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση ανά τομέα (% ΜΤΠΠ) [7]

Παράλληλα, τα νοικοκυριά αύξησαν την κατανάλωση τους από τα 3 στα 4,85 Μτοε στο ίδιο διάστημα καταλαμβάνοντας συνολικά το 24%, ενώ ο αγροτικός τομέας καταλαμβάνει μόλις το 4% με 0,87 Μτοε.

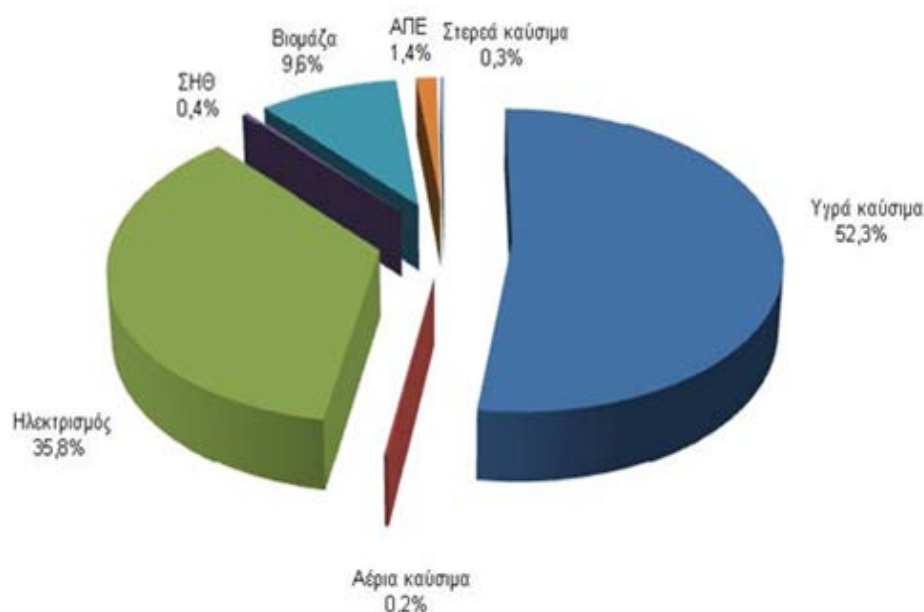
Σε γενικό πλάνο ο τριτογενής τομέας παρουσίασε το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης στην κατανάλωση ενέργειας το 2009 και σε σχέση με το 1990 τριπλασιάστηκαν οι ανάγκες σε ενέργεια. Στο σύνολο έφτασε στο επίπεδο του 10%, δηλαδή στα 2,14 Μτοε., Η ανάπτυξη ενός κράτους σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του τριτογενή τομέα και η συγκεκριμένη τάση για αύξηση δείχνει ανάπτυξη κατά την διάρκεια των παραπάνω ετών.

Όσο αναφορά την βιομηχανία, ανάμεσα στο 1990 και 2009 εκσυγχρονίστηκε σε μεγάλο βαθμό και από άποψη κατανάλωσης έφτασε σε ποσοστό 17% δηλαδή στα 3,46 Μτοε. Στην πραγματικότητα παρουσίασε σχετική μείωση κοντά στο 7% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 το οποίο οφείλεται στην αναβάθμιση του εξοπλισμού.

## 1.4 Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια της Ελλάδας

Ο τομέας των κτηρίων και των μεταφορών αποτελούν τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας στην Ελλάδα, όπως και σε ολόκληρη την Ευρώπη. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ενεργειακή κατανάλωση του κτηριακού τομέα αγγίζει το 38,1% σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Το ελληνικό κτιριακό απόθεμα περιλαμβάνει κατά 76,97% κατοικίες, ενώ ο τριτογενής τομέας ως προς το σύνολο αποτελείται από γραφεία και εμπορικά κτίρια (2,7%), νοσοκομεία (0,06%), σχολεία (0,46%) Ξενοδοχεία (0,82%) και κτήρια άλλων χρήσεων 17,92%.

Τα κτήρια στη χώρα μας ευθύνονται περίπου για το 36% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενώ, κατά την περίοδο 2000 – 2005, η ενεργειακή τους κατανάλωση αυξήθηκε κατά περίπου 24%, μία από τις μεγαλύτερες αυξήσεις στην Ευρώπη.



Σχήμα 1.6 Ενεργειακά ισοζύγια ανά είδος καυσίμου στον κτηριακό τομέα [8]

Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους (Σχήμα 1.6).

Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους τα ελληνικά κτήρια είναι ιδιαίτερος ενεργοβόρα είναι η παλαιότητά τους και η μη ενσωμάτωση σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά. Τα περισσότερα κτήρια αντιμετωπίζουν προβλήματα, όπως:

- Μερική ή παντελή έλλειψη θερμομόνωσης.
- Παλαιάς τεχνολογίας κουφώματα.
- Ελλιπή ηλιοπροστασία των νότιων και δυτικών όψεων τους
- Μη επαρκή αξιοποίηση του υψηλού ηλιακού δυναμικού της χώρας.
- Ανεπαρκή συντήρηση των συστημάτων θέρμανσης / κλιματισμού / φωτισμού με αποτέλεσμα χαμηλή απόδοση.

Σημαντική παράμετρος, επίσης, που καθορίζει την ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου είναι η συμπεριφορά των ενοίκων. Η ελλιπής ενημέρωση σε θέματα ορθολογικής χρήσης και

## Κεφάλαιο 1: Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα

διαχείρισης της ενέργειας, οδηγεί συχνά σε σπάταλες συμπεριφορές, όπως η εγκατάσταση μεμονωμένων κλιματιστικών συστημάτων χωρίς μελέτη, η χρήση συσκευών χαμηλής απόδοσης, η μη συντήρηση του συστήματος θέρμανσης.

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή.

Επιπλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι. Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτήριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτηρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων, η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν.

Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτηρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων. [9]

## 1.5 Εσωτερικό περιβάλλον κτηρίων

Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση να είναι αποκομμένες από τη λειτουργικότητα των κτηρίων και από τον κύριο σκοπό τους, που είναι η εξασφάλιση ενός ποιοτικού εσωτερικού περιβάλλοντος στους χρήστες τους. Θα πρέπει, ακόμη, να εκτελούνται με τη χρήση τεχνικών οι οποίες δεν επιβαρύνουν –άμεσα ή έμμεσα– το περιβάλλον.

Οι εσωτερικοί χώροι ενός κτηρίου θα πρέπει να εξασφαλίζουν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού, φωτισμού, χρωμάτων, ακουστικής και ποιότητας αέρα. Η επίτευξη των επιθυμητών τιμών για όλες αυτές τις παραμέτρους επιτρέπει στο χρήστη του κτηρίου να ζει σε πλήρη θερμική, οπτική και ακουστική άνεση, μέσα σε ένα υγιεινό περιβάλλον.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το εσωκλίμα ενός χώρου είναι:

- Οι εξωτερικές συνθήκες, θέση και μορφή του κτηρίου)
- Το κέλυφος του κτηρίου (δομικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία)
- Το περιεχόμενο και η χρήση του κτηρίου (παρουσία ζώντων οργανισμών, φωτισμός, συσκευές, έπιπλα, χρώματα κ.τ.λ.).

Παρακάτω παρατίθενται σύντομες περιγραφές των δυο σημαντικότερων παραγόντων που επηρεάζουν τις συνθήκες ενός χώρου. [10]

### 1.5.1 Θερμική άνεση

Οι συνθήκες στις οποίες βρίσκεται ένα άτομο και δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή ορίζουν τη θερμική άνεση. Είναι ένα υποκειμενικό συναίσθημα, που καθορίζεται άμεσα από:

- Τέσσερις περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία αέρα, μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία τοίχων, σχετική υγρασία, ταχύτητα αέρα).
- Δύο προσωπικούς (ρυθμός μεταβολισμού, βαθμός ένδυσης) .
- Επηρεάζεται έμμεσα από πολλές παραμέτρους (ηλικία, φύλο, βάρος σώματος, κατάσταση υγείας, ικανότητα προσαρμογής, επίπεδο φωτισμού κ.τ.λ.).

Οι εσωτερικοί χώροι ενός κτηρίου μπορούν να διαιρεθούν σε διακριτές θερμικές ζώνες, με συγκεκριμένες συνθήκες θερμικού περιβάλλοντος. Οι ζώνες προσδιορίζονται από τα όρια επιφανειών δομικών στοιχείων, τα οποία διαχωρίζουν κάθε ζώνη από το εξωτερικό περιβάλλον ή μια άλλη παρακείμενη ζώνη. [10]

### 1.5.2 Οπτική άνεση

Η οπτική άνεση σε έναν εσωτερικό χώρο εξαρτάται από τις ποσοτικές και τις ποιοτικές ανάγκες του χώρου σε φωτισμό, σε συνδυασμό με τη χρήση και τις λειτουργικές απαιτήσεις του. Ανάλογα, λοιπόν, με το είδος των εργασιών ή των δραστηριοτήτων, που εκτελούνται στο εσωτερικό ενός κτηρίου, απαιτείται ο κατάλληλος σχεδιασμός του συστήματος φωτισμού, ώστε να εξασφαλίζονται τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Το πηλίκιο της έντασης φωτισμού στο εσωτερικό ενός κτηρίου, όπως μετράται σε ένα καθορισμένο ύψος εργασίας (συνήθως 0,80m πάνω από το έδαφος), προς την ένταση του

## Κεφάλαιο 1: Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα

φωτισμού στο εξωτερικό του κτηρίου υπό συνθήκες πλήρως νεφοσκεπούς ουρανού, ονομάζεται παράγοντας φυσικού φωτισμού ή daylight factor (DF).

Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό των συνθηκών οπτικής άνεσης στο εσωτερικό ενός κτηρίου και οι τιμές του δίνονται στον Πίνακα 1.2 που ακολουθεί. [10]

**Πίνακας 1.2 Daylight Factor (DF) για την οπτική άνεση στο εσωτερικό των κτηρίων [10]**

ΕΙΔΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	DF (%)
Κτήρια κατοικιών με κατακόρυφα παράθυρα στον ένα τοίχο (τιμή στο μέσον του δωματίου)	> 0,75
Κτήρια γραφείων με κατακόρυφα παράθυρα στον ένα τοίχο (τιμή στο βάθος του δωματίου)	> 1
Κτήρια κατοικιών με κατακόρυφα παράθυρα σε δύο γειτονικούς τοίχους (τιμή στο μέσον του δωματίου)	> 1
Κτήρια γραφείων με κατακόρυφα παράθυρα σε δύο γειτονικούς τοίχους (τιμή στο βάθος του δωματίου)	> 1,75
Κτήρια με φεγγίτες οροφής και για αποφυγή υπερθέρμανσης	< 10



## 1.6 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.)

Η ελληνική κυβέρνηση κάλυψε το νομοθετικό κενό που υπήρχε στον τομέα της κτηριακής ενεργειακής απόδοσης με το Νόμο 3661 του 2008. Με το Νόμο 3661- «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων» εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2002 «Για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων».

Ο Νόμος 3661 ενσωματώνει όλες τις διατάξεις της Κοινοτικής Οδηγίας, προβλέπει την έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτηρίων και διακρίνει πέντε βασικές θεματικές ενότητες, οι οποίες αφορούν στον καθορισμό των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης και στη μέθοδο υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 3) νέων και υφιστάμενων κτηρίων (άρθρα 4 και 5), στην έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (άρθρο 6), στις επιθεωρήσεις των λεβήτων και των εγκαταστάσεων κλιματισμού (άρθρα 7 και 8) και στην πρόβλεψη ειδικευμένων και διαπιστευμένων ενεργειακών επιθεωρητών (άρθρο 9). Πιο συγκεκριμένα:

- Στο άρθρο 3 καθορίζεται κατά κύριο λόγο η μέθοδος υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, η οποία περιλαμβάνει:

- α) τα θερμικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του κτηρίου,
- β) την εγκατάσταση θέρμανσης και τροφοδοσίας θερμού νερού,
- γ) την εγκατάσταση κλιματισμού,
- δ) τον εξαερισμό και το φυσικό αερισμό,
- ε) την ενσωματωμένη εγκατάσταση φωτισμού κτηρίων άλλων χρήσεων,
- στ) τη θέση και τον προσανατολισμό των κτηρίων, περιλαμβανομένων και των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών,
- ζ) τα παθητικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία,
- η) τις εσωτερικές κλιματικές συνθήκες.

Κατά τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων συνεκτιμάται, κατά περίπτωση, η θετική επίδραση:

- α) των ενεργητικών ηλιακών και άλλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ηλεκτροπαραγωγής, που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- β) της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται μέσω ΣΗΘ,
- γ) των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης και
- δ) του φυσικού φωτισμού.

- Το Άρθρο 4 αναφέρεται στις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που πρέπει να πληρούν τα νέα κτήρια.
- Το Άρθρο 5 αναφέρεται σε υφιστάμενα κτήρια, για τα οποία η ενεργειακή απόδοσή τους πρέπει να αναβαθμιστεί, στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά εφικτό, ώστε να πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης.
- Στο Άρθρο 6, περιγράφεται η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ο ιδιοκτήτης μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή νέου κτηρίου ή ανακαινισθεί υφιστάμενο κτήριο. Υποχρεούται να ζητήσει την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, το οποίο οφείλει να διαθέτει κατά την πώληση ή τη μίσθωση στον αγοραστή ή το μισθωτή.
- Η ενεργειακή επιθεώρηση λεβήτων που θερμαίνονται με συμβατικά ορυκτά καύσιμα περιγράφεται στο Άρθρο 7 και πρέπει να εκτελείται σε χρονικά διαστήματα ανάλογα με την ωφέλιμη ονομαστική ισχύ και το είδος καυσίμου του εκάστοτε λέβητα. Επίσης αξιολογείται η αποτελεσματικότητα του λέβητα και των διαστάσεών του σε σχέση με τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου και διατυπώνονται οδηγίες και συστάσεις για τυχόν

## Κεφάλαιο 1: Κατανάλωση ενέργειας στον τριτογενή τομέα

επιβαλλόμενη αντικατάσταση του λέβητα, τροποποιήσεις του συστήματος θέρμανσης και εναλλακτικές λύσεις.

- Το Άρθρο 8 περιγράφει αναλυτικά τη διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης εγκαταστάσεων κλιματισμού. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή που περιγράφεται στο Άρθρο 7 για τους λέβητες και πρέπει να εκτελείται ανάλογα με την ισχύ και την παλαιότητα της εγκατάστασης κλιματισμού.
- Το Άρθρο 9 αναφέρεται στους ενεργειακούς επιθεωρητές και προσδιορίζει ρητά τα προσόντα που απαιτούνται για τη διαπίστευση και τη χορήγηση της σχετικής άδειας στους επιθεωρητές κτηρίων και τους επιθεωρητές λεβήτων και εγκαταστάσεων κλιματισμού, ενώ καθορίζονται λεπτομερώς όλες οι παράμετροι που αφορούν το πλαίσιο εργασίας των ενεργειακών επιθεωρητών. [11]

## 1.7 Μέθοδοι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων

Σύμφωνα με το άρθρο 4 του ΚΕΝΑΚ, τα νέα κτήρια πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες και αυστηρές προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης. Όσον αφορά τα υφιστάμενα κτήρια, μπορούν να γίνουν διάφορες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη πάντα το κόστος και το χρόνο απόσβεσης των επεμβάσεων αυτών. Οι κυριότερες από αυτές αφορούν:

- το κτηριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα),
- τον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου (π.χ. χρήση βλάστησης),
- τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές και
- την ορθολογική χρήση του κτηρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας). [9]

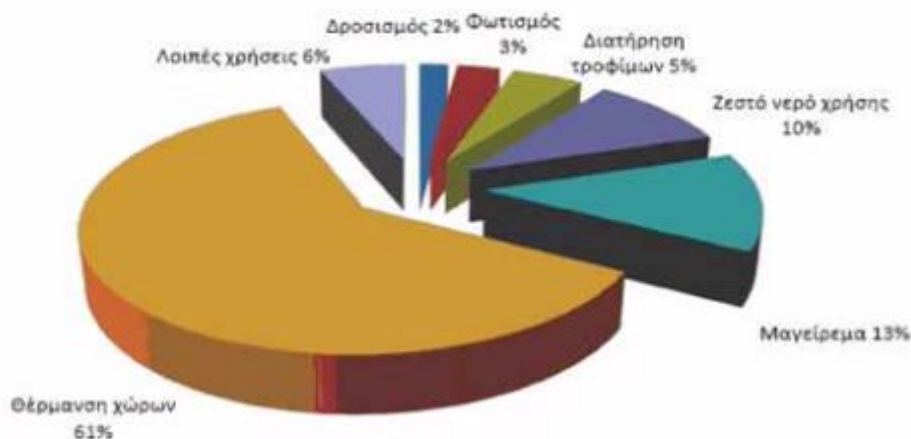
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι δεν θα γίνει εκτενέστερη περιγραφή των παραπάνω επεμβάσεων, αφού δεν αποτελεί μιν θέμα της παρούσας διπλωματικής.

## 2 Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτηριακό τομέα μέσα από τον σωστό σχεδιασμό ενός συστήματος φωτισμού. Επίσης περιγράφονται τα είδη και η αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων, που θα χρησιμοποιηθούν στις μελέτες. Ακόμα αναλύεται η σημασία του βιοκλιματικού σχεδιασμού, που εστιάζεται στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού σε συνδυασμό με τον τεχνητό.

### 2.1 Κατανάλωση φωτισμού στον κτηριακό τομέα

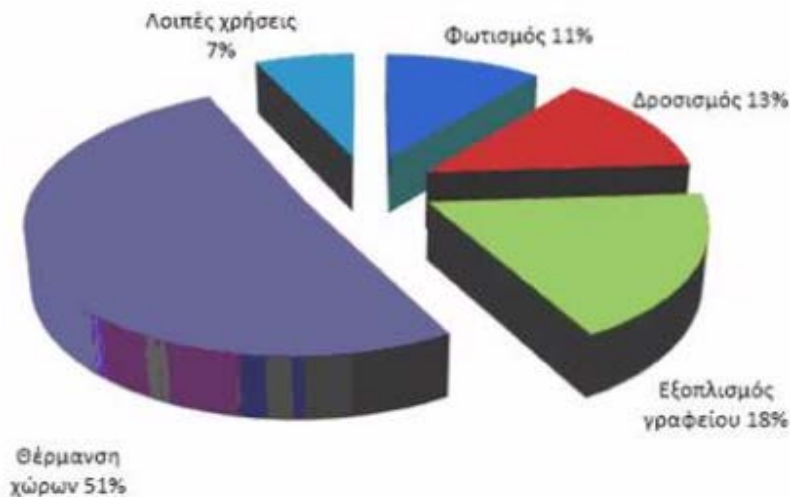
Ο φωτισμός ανέκαθεν ήταν σημαντικός στη ζωή του ανθρώπου όχι μόνο για πρακτικούς λόγους(διάβασμα, εργασία κτλ.) αλλά και για ψυχολογικούς, αφού το σκοτάδι προκαλεί το αίσθημα της ανασφάλειας και του φόβου. Ο ηλεκτρισμός συνέβαλλε καθοριστικά στην εξέλιξη του φωτισμού και από τους πυρσούς και τις λάμπες πετρελαίου έγινε η μετάβαση στους ηλεκτρικούς λαμπτήρες, οι οποίοι από τότε συνεχώς εξελίσσονται τεχνολογικά.



Σχήμα 2.1 Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε κατοικίες [12]

Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα καταναλώνεται το 14% της ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των απαιτήσεων φωτισμού. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί στο 5% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης σε όλους τους τομείς. Στα νοικοκυριά (Σχήμα 2.1) το ποσοστό του φωτισμού είναι μόνο 3% και αυτό γιατί δεν υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ένταση φωτισμού(illuminance).

## Ενότητα 2.1: Κατανάλωση φωτισμού στον κτηριακό τομέα



Σχήμα 2.2 Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση στον τριτογενή τομέα [12]

Όμως στον τριτογενή τομέα που εμπεριέχονται κτήρια(γραφεία, εκπαιδευτήρια, νοσοκομεία κτλ.) με μεγάλες ανάγκες φωτισμού παρατηρείται κατανάλωση της τάξης του 11% (Σχήμα 2.2). Τα κτήρια γραφείων χρησιμοποιούν από 30 έως και 50% της συνολικής ηλεκτρικής τους κατανάλωσης για φωτισμό, ενώ περίπου την ίδια κατανάλωση επί του συνόλου παρουσιάζουν και τα καταστήματα. Καθίστανται, έτσι, οι δύο πιο ενεργοβόρες, όσον αφορά στο φωτισμό, κατηγορίες κτηρίων.

Ενδεικτικός είναι ο πίνακας που ακολουθεί, στον οποίο καταγράφεται το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό επί της συνολικής κατανάλωσης, ανάλογα με το είδος του κτηρίου:

Πίνακας 2.1 Ενεργειακή κατανάλωση για φωτισμό ανάλογα με το είδος του κτηρίου [13]

Κατηγορίες κτηρίων	Ποσοστό φωτισμού επί της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
Ξενοδοχεία	10 – 25%
Εμπορικά καταστήματα	25 – 50%
Βιομηχανίες	10 – 15%
Κτήρια Γραφείων	30 – 50%
Εκπαιδευτήρια	10 – 15%
Νοσοκομεία	15 – 25%

Είναι, επομένως, επιτακτική η ανάγκη για μείωση του ποσοστού αυτού, καθώς με τις νέες τεχνολογίες στα συστήματα φωτισμού και την εφαρμογή των ενεργειακών κανονισμών, μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια και ταυτόχρονα να αναβαθμιστεί το αισθητικό αποτέλεσμα.

Τέλος επισημαίνεται ότι από το Σχήμα 2.1 και Σχήμα 2.2 είναι εμφανές ότι και στις δύο κατηγορίες την μερίδα του λέοντος στην κατανάλωση ενέργειας κατέχουν οι ανάγκες για θέρμανση.

## 2.2 Σχεδίαση συστήματος φωτισμού στα κτήρια

Σε προηγούμενα κεφάλαια έγινε λόγος για την κατανάλωση ενέργειας του φωτισμού στον κτηριακό τομέα καθώς και τις κατάλληλες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στα κτίρια. Οπότε οποιοσδήποτε σχεδιασμός φωτισμού σε αυτά πρέπει να γίνεται με στόχο την επίτευξη βέλτιστου συνδυασμού ενεργειακής απόδοσης και οπτικής άνεσης.

Αρχικά σημαντικό ρόλο στην σχεδίαση ενός συστήματος φωτισμού κατέχει το αρχιτεκτονικό σχέδιο. Πως να μην συμβαίνει αυτό, αφού άλλωστε τα τελευταία χρόνια η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελεί κυρίαρχη τάση. Βασικά χαρακτηριστικά της είναι η εξοικονόμηση ενέργειας η οποία βασίζεται στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού με άμεσο αντίκτυπο την μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι συλλογής και σωστής «διανομής» του ηλιακού φωτός κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, που χρησιμοποιούνται τα περισσότερα κτίρια του τριτογενή τομέα. Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι σημαντικό ρόλο παίζουν τα σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία, όπως τα προγράμματα προσομοίωσης φυσικού και τεχνητού φωτισμού και σε συνδυασμό με τα προϊόντα εξελιγμένης τεχνολογίας και υψηλής απόδοσης, τόσο στον τομέα της δόμησης όσο και στον τομέα του φωτισμού, αποτελούν σημαντικά βοηθήματα για την επίτευξη του βέλτιστου συνδυασμού ενεργειακής απόδοσης – οπτικής άνεσης. [14]

Επόμενος σημαντικός παράγοντας για τον σχεδιασμό του φωτισμού, είναι η ένταση φωτισμού (illuminance) και η ομοιομορφία ( $U_0$ ). Με τα σύγχρονα πρότυπα φωτισμού, η ένταση και η ομοιομορφία του φωτισμού καθορίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις, τη χρήση και τη διάταξη του εκάστοτε χώρου. Συνεπώς, αποφεύγεται ο φωτισμός με ίδιο τρόπο και ένταση γραφείων, αιθουσών διδασκαλίας ή χειρουργείων, (χώροι δηλαδή που απαιτούν υψηλότερα επίπεδα φωτισμού) σε σχέση με βοηθητικούς χώρους, όπως διάδρομοι, κλιμακοστάσια, αποθήκες και τουαλέτες [15].

Σε κάθε περίπτωση, η διανομή του φωτός σε ένα χώρο θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αποφεύγονται υπερβολικές διαφορές στο φως και στη σκιά, στοιχεία που θα μπορούσαν να ενοχλούν τους ενοίκους και να τους εμποδίζουν να βλέπουν επαρκώς. Ωστόσο θα πρέπει να διατηρηθεί αρκετή αντίθεση για να μπορεί να φανεί κάθε αντικείμενο. Τα ανοίγματα των παραθύρων και οι πηγές τεχνητού φωτός θα πρέπει να τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η θάμβωση. Πρέπει, ακόμη, να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα του φωτός που θα παρέχεται. Τόσο η φασματική κατανομή όσο και η επάρκεια του φωτός θα πρέπει να είναι οι κατάλληλες για την εργασία που πρόκειται να εκτελεστεί [16].

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης προκύπτει από τα φωτιστικά, τους λαμπτήρες και τα συστήματα αυτοματισμού, που αναπτύσσονται και βελτιώνονται συνέχεια λόγω των αυξημένων απαιτήσεων.

Όσον αφορά τους λαμπτήρες τα μεγέθη που τους χαρακτηρίζουν είναι η φωτεινή ροή, η φασματική κατανομή, ο χρόνος ζωής και η κατανάλωση ισχύος. Προκειμένου να υπάρχει μια αντικειμενική εικόνα στην αρχή του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στους λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται σήμερα αλλά και διαφορές συνοδευτικές διατάξεις που απαιτούνται για την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης.

Ανάλογη είναι και η σημασία των φωτιστικών που θα χρησιμοποιηθούν. Σε αυτό το σκέλος ενδιαφέρον παρουσιάζουν η κατανομή του φωτός ανάλογα με την χρήση και οι διάφοροι συντελεστές χρησιμοποίησης που σχετίζονται με την ποιότητα των ανακλαστών σε κάθε περίπτωση.

Ανεξάρτητα βέβαια από τις παραπάνω διατάξεις προκειμένου να επιτευχθεί εξοικονόμηση, μεγάλη σημασία έχει η σωστή συντήρηση όπως ο συχνός καθαρισμός φωτιστικών σωμάτων

και αντικατάσταση του πεπαλαιωμένου εξοπλισμού. Ακόμη υπάρχει πλήθος φαινομενικά ανεξαρτήτων παραμέτρων που έχουν όμως μεγάλη επίδραση όπως για παράδειγμα η ανακλαστικότητα των τοίχων ή συντελεστές φθοράς του γενικού εξοπλισμού. Κλασικό παράδειγμα αποτελούν οι λαμπτήρες που ανάλογα με τον χρόνο λειτουργίας τους εξασθενούν και μειώνεται η παραγόμενη φωτεινή ροή τους.

Ως τελευταίο κεφάλαιο θα μπορούσαν να θεωρηθούν τα εκάστοτε συστήματα ελέγχου που επιτρέπουν συνεργασία φυσικού με τεχνητό φωτισμό, ή εκμεταλλεύονται την φυσική παρουσία ανθρώπων, προκειμένου να θέσουν το κύκλωμα φωτισμού σε λειτουργία. Ανάλογα με τα εξωτερικά ερεθίσματα γίνεται προσαρμογή έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή κατανάλωση, ενώ παράλληλα δεν μειώνεται η ποιότητα στο τελικό αποτέλεσμα. Η υλοποίηση τους βασίζεται στην τεχνολογία των αισθητήρων και έχουν εφαρμογή σε αρκετές περιπτώσεις.

Τέλος, οι τεχνικές παρεμβάσεις που προτείνονται για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτηρίου στην εγκατάσταση φωτισμού αποφέρουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση λειτουργικού κόστους. Ωστόσο, για την εφαρμογή τους απαιτείται η εκπόνηση μελέτης φωτισμού για το σωστό σχεδιασμό, ώστε εκτός από τη μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης, να επιτευχθούν συνθήκες οπτικής άνεσης. Τα επίπεδα φωτισμού για κάθε είδος χώρου και για την εκτέλεση διαφόρων τύπων εργασιών καθορίζονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12464-1 και σε εθνικό επίπεδο από τον Κ.Εν.Α.Κ. και την ΤΟΤΕΕ (Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

Κατά το σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η κατανομή λαμπροτήτων στις διάφορες επιφάνειες του χώρου, η ένταση φωτισμού στο επίπεδο εργασίας και η ομοιομορφία της, η θάμβωση, η χρωματική απόδοση, η φωτεινή μαρμαρυγή (flicker), η κατευθυντικότητα του φωτισμού και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

## 2.3 Απαιτήσεις για τον σχεδιασμό τεχνητού φωτισμού ανά χρήση κτηρίου

Για τον ορθό σχεδιασμό και τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση των συστημάτων τεχνητού φωτισμού, δίνεται πίνακας ελαχίστων απαιτήσεων, για κτήρια εκτός κατοικιών, που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή ή την ανακαίνιση ενός κτηρίου. Στον Πίνακα 2.2 δίνονται η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς ( $W/m^2$ ) γενικού φωτισμού και η στάθμη φωτισμού (lux) για διάφορους χώρους του κτηρίου ανάλογα με της λειτουργία τους. Η τιμή της στάθμης φωτισμού, που δίνεται για κάθε χώρο, είναι η μέση απαιτούμενη εργονομική στάθμη. Τα κριτήρια φωτισμού περιγράφονται αναλυτικά στην Τεχνική Οδηγία 20701-1/2012 και στις διευκρινίσεις – προσθήκες της. Ενδεικτικά παρατίθενται οι ακόλουθοι χώροι:

**Πίνακας 2.2 Στάθμη γενικού φωτισμού και εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού κτηρίου αναφοράς ανά χρήση κτηρίου και επιμέρους χώρων [17]**

Χρήση Κτιρίου	Χρήση Χώρου	Στάθμη Φωτισμού (lux)	Εγκατεστημένη Ισχύς για κτήριο Αναφοράς ( $W/m^2$ )	Επίπεδο Μέτρησης
Κτήριο Γραφείων	Γραφείο	500	16	0,80
	Βιβλιοθήκη	500		
	Αίθουσες Συνεδριάσεων	500		
Σχολείο-Εκπαιδευτικό Ίδρυμα	Αίθουσες Διδασκαλίας	300	9,6	0,80
	Αίθουσες Διδασκαλίας Ενηλίκων	500	16	
	Αίθουσες Συνεδριάσεων	500	16	
Νοσοκομείο	Θάλαμος	100	3,2	0,80
	Αίθουσες Αναμονής	300	9,6	
	Χειρουργεία	1000	32	
Ξενοδοχείο	Χειμερινή/Θερινή Λειτουργία	300	9,6	0,80
Αθλητική Εγκατάσταση	Αίθουσα Αθλησης	300	9,6	0,10
Καταστήματα	Εμπορικό κέντρο, αγορά, υπεραγορά	300	9,6	0,80
	Καταστήματα, Φαρμακείο	500	16	
Χώροι Κυκλοφορίας Κοινού	Διάδρομοι	200	6,4	0,50
	Σκάλες	200		



### Ενότητα 2.3: Απαιτήσεις για τον σχεδιασμό τεχνητού φωτισμού ανά κτήριο χρήσης

Σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ πρέπει η ελάχιστη φωτεινή απόδοση των φωτιστικών σωμάτων να είναι 55 lm/W. Η φωτεινή απόδοση είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας επιλογής των φωτιστικών σωμάτων και σε μελέτες φωτισμού θα πρέπει η συνολική φωτεινή απόδοση να υπολογίζεται μεγαλύτερη από το κατώτερο όριο των 55 lm/W.

## 2.4 Είδη λαμπτήρων

Σε αυτό το σημείο και πριν αναλυθούν τις σημαντικότερες μεθόδους εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά των διάφορων τύπων λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα.

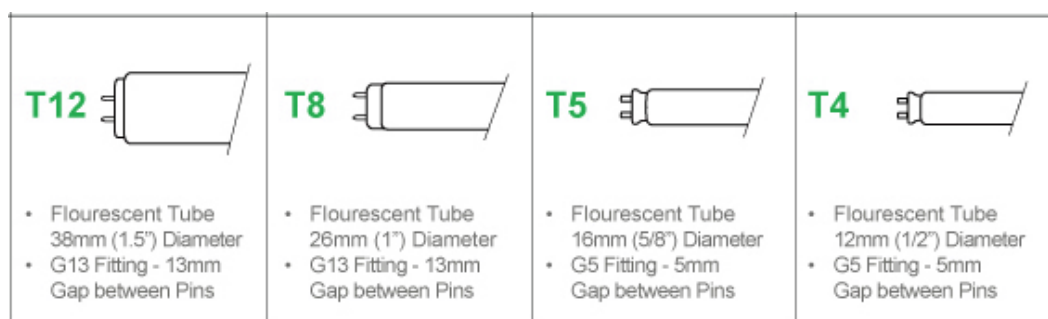
Πιο συγκεκριμένα οι τύποι λαμπτήρων που θα αναλύσουμε είναι:

- Σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού T8 και T5
- Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL)
- Λαμπτήρες LED

### 2.4.1 Λαμπτήρες φθορισμού T8 και T5

Η κυρίαρχη κατηγορία λαμπτήρων για εγκαταστάσεις φωτισμού χώρων διδασκαλίας και γραφείων είναι οι σωληνωτοί λαμπτήρες. Η κυριαρχία τους οφείλεται σε εγκαταστάσεις παλιότερων δεκαετιών όταν οι σωληνωτοί λαμπτήρες συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους πυρακτώσεως θεωρούνταν ισχυροί ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Δεν θεωρούνται όμως ακόμα ξεπερασμένοι, παρόλο που έχουν μικρή απόδοση λόγω του σχήματος τους, επειδή βελτιώνονται συνέχεια. Τα νέα μοντέλα σωληνωτών λαμπτήρων έχουν προσατολιστεί στην ενεργειακή εξοικονόμηση και έχουν βελτιωθεί αρκετά.

Η αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού είναι γνωστή. Ο γυάλινος σωλήνας περιέχει ευγενή αέρια καθώς και μια μικρή ποσότητα υδραργύρου σε χαμηλή πίεση. Όταν εφαρμοστεί ηλεκτρική τάση στα ηλεκτρόδια προκαλείται εκκένωση η οποία με την σειρά της διεγείρει τα άτομα του υδραργύρου. Κατά την στιγμιαία αποδιέγερση (της τάξης του nsec) προκαλείται εκπομπή φωτονίων που ανήκουν στο υπεριώδες φάσμα. Μέσω του φωσφόρου που υπάρχει στο περίβλημα με την μορφή αλάτων πυριτίου βορίου ή βολφραμίου, μετατρέπεται η υπεριώδης ακτινοβολία σε ορατό φως. Αυτό φυσικά σημαίνει ότι η ποιότητα φάσματος εξαρτάται από την ποιότητα της πούδρας φωσφόρου που έχει τοποθετηθεί στην εσωτερική πλευρά του λαμπτήρα. Η μετατροπή της υπεριώδους ακτινοβολίας σε ορατό φως όπως είναι φυσικό προσθέτει αρκετές απώλειες στο ποσό της εκκλύμενης στο περιβάλλον φωτεινής ροής και ένα μέρος της αρχικής ακτινοβολίας δεν αξιοποιείται. [18]



Σχήμα 2.3 Σωληνοειδείς λαμπτήρες φθορισμού ανάλογα με την διάμετρο [19]

Στα γραφεία και στις αίθουσες τοποθετούνται συνήθως T5 ή T8 λαμπτήρες φθορισμού ανάλογα με το μήκος των φωτιστικών.

Οι T8 είναι λαμπτήρες μεγαλύτερης ενεργειακής κατανάλωσης, σε σχέση με τους T5 λαμπτήρες και έχουν δύο είδη μαγνητικά ballasts. Χαμηλής συχνότητας στα 256 mA περίπου και υψηλής συχνότητας σε λίγο μικρότερες τιμές ρεύματος. Στην αρχή οι λαμπτήρες αυτοί κατασκευάστηκαν με σκοπό να αντικαταστήσουν τους συμβατικούς λαμπτήρες T12, αφού είχαν μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση. Οι T8 λαμπτήρες ήταν σχεδιασμένοι να θυσιάζουν

ένα μέρος της φωτεινής ροής (περίπου 12 %), ώστε να έχουν χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση. Ωστόσο, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όσο αφορά τις φωσφορίζουσες ουσίες, δημιούργησε νέες προοπτικές για την επίλυση του προβλήματος και παράλληλα για τη βελτίωση της χρωματικής απόδοσης των λαμπτήρων. Η καινοτομία συνίσταται στην χρησιμοποίηση τριών υψηλής απόδοσης και περιορισμένου φάσματος, φωσφόρων, που ανήκουν στις σπάνιες γαίες. Η μέγιστη εκπομπή των ουσιών αυτών εμπίπτει στις περιοχές μικρού, μέσου και μεγάλου μήκους κύματος του ορατού φάσματος.

Στους συμβατικούς T-8 λαμπτήρες χρησιμοποιούνται φωσφορικά άλατα, που μπορούν να εξασφαλίσουν συνήθως είτε καλή ποιότητα χρώματος είτε υψηλή αποδοτικότητα για τον εκάστοτε λαμπτήρα, αλλά όχι και τα δύο. Αντίθετα, οι τριφωσφορικοί T-8 λαμπτήρες μπορούν, χάρη στους φώσφορους σπάνιας γαίας, να συνδυάσουν την καλή ποιότητα χρώματος με την υψηλή απόδοση του λαμπτήρα. Ακόμα, η μέση διάρκεια ζωής για όλους τους T-8 λαμπτήρες φθορισμού εκτιμάται στις 20.000 ώρες, για λειτουργία με ηλεκτρονικό ballast.

Οι T-5 είναι μια οικογένεια λαμπτήρων φθορισμού ευθύγραμμου σωλήνα, που τείνει σταδιακά να εκτοπίσει όλους τους υπόλοιπους. Το μήκος τους είναι ελαφρώς μικρότερο, σε σχέση με εκείνο των T-8 λαμπτήρων και συνδυάζονται μόνο με μικρές βάσεις διπλής επαφής, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να τους αντικαταστήσουν σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις φωτισμού. Υπάρχουν, ωστόσο, σύγχρονα φωτιστικά που μπορούν να δεχτούν και τα δύο είδη λαμπτήρων, με απλή αλλαγή των βάσεων και των ballasts. Οι T-5 λαμπτήρες διαθέτουν επικάλυψη αποκλειστικά από τριφωσφορικές φωσφορίζουσες ουσίες και λειτουργούν μόνο σε συνδυασμό με ηλεκτρονικά ballasts.

Σήμερα, κυκλοφορούν στο εμπόριο τρεις βασικοί τύποι T-5 λαμπτήρων φθορισμού: T5 υψηλής απόδοσης (High Efficiency) που χρησιμοποιούν τα αρχικά HE μπροστά από κάθε μοντέλο. Πρόκειται για λαμπτήρες που όπως ορίζεται και στο όνομα τους παρέχουν καλή αναλογία μεταξύ κατανάλωσης και φωτεινής ροής. Επίσης για την λειτουργία τους απαιτείται ηλεκτρονικό ballast.

Η δεύτερη κατηγορία που ουσιαστικά αποτελεί εξέλιξη της παραπάνω μορφής, είναι οι λαμπτήρες T5 υψηλής φωτεινής ροής ή ισοδύναμα High Output. Προφανώς οι HO αφορούν εφαρμογές μεγαλύτερης ισχύος και συναντώνται σε μεγέθη ισχύος μεγαλύτερα των 25W.

Τέλος υπάρχουν και οι κυκλικοί λαμπτήρες T5 γνωστοί και ως HC. Οι παραπάνω κατηγορίες έχουν υποστεί κάποιες βελτιώσεις και εμφανίζονται ελαφρά τροποποιημένες ανά εταιρία σε αρκετές περιπτώσεις, όμως η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δεν διαφέρει.

Αναφορικά με τον χρόνο ζωής των λαμπτήρων εκτιμάται ότι οι T5 αντέχουν περίπου 20000 ώρες λειτουργίας όπως και οι αντίστοιχοι T8.

Η διαφορά των δύο λαμπτήρων εστιάζεται κυρίως στην φωτεινή τους ροή. Οι T5 HO λαμπτήρες παράγουν μεγαλύτερη φωτεινή ροή ανά μονάδα μήκους σε σχέση με τους T8 λαμπτήρες. Αντίθετα, για τους T5 HE η φωτεινή ροή που παράγεται ανά μονάδα μήκους είναι σχεδόν ταυτόσημη με αυτή των T8.

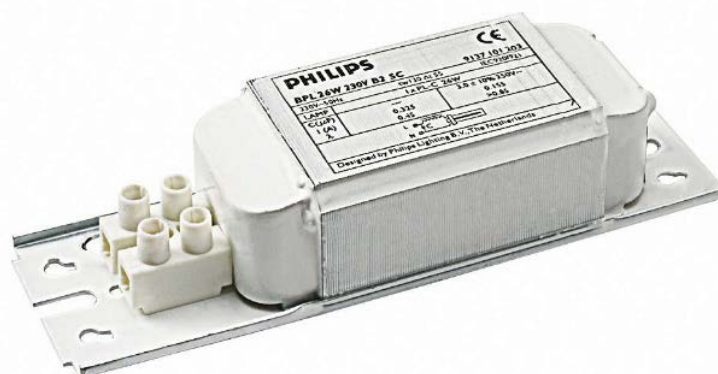
Πρέπει να σημειωθεί ότι η αντοχή και των δύο επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Κυρίως όμως έχει σημασία η ποιότητα εκκίνησης που εξαρτάται από τους starters και τα στραγγαλιστικά πηνία του εκάστοτε κυκλώματος, η συχνότητα που τίθενται σε λειτουργία από τους διακόπτες και η θερμοκρασία λειτουργίας τους.

Τέλος, στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και στην παράταση του χρόνου ζωής των παραπάνω λαμπτήρων, βοηθάει η ιδιότητα dimming. Ουσιαστικά, με κατάλληλη μείωση της ισχύος εισόδου των λαμπτήρων, επιτυγχάνεται μια αντίστοιχη μείωση στην παραγόμενη φωτεινή ροή. Αυτή η ιδιότητα που επιτυγχάνεται με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά (ballasts) και χρησιμοποιείται κυρίως σε εγκαταστάσεις με συνεργασία φυσικού και τεχνητού φωτισμού ή ειδικούς χώρους με απαίτηση ρυθμιζόμενης στάθμης φωτισμού.

### 2.4.1.1 Ballasts λαμπτήρων φθορισμού

Σημαντικό ρόλο στην λειτουργία των λαμπτήρων φθορισμού, πέραν από τους εκκινητές (starters) κατέχουν τα στραγγαλιστικά πηνία ή αλλιώς ballasts. Στο ισοδύναμο κύκλωμα τα ballasts συνδέονται σε σειρά με τον παράλληλο συνδυασμό του starter και του λαμπτήρα. Ο ρόλος του είναι πολύ σημαντικός αφού βρίσκεται εκεί τόσο για την δημιουργία κατάλληλης πτώσης τάσης(υπέρταση) στα ηλεκτρόδια του λαμπτήρα, όσο και για τον περιορισμό της μεγάλης τιμής του ρεύματος που εμφανίζεται. Με λίγα λόγια αφού κλείσει το κύκλωμα του εκκινητή, το ballast δημιουργεί υπέρταση ώστε να γίνει έναυση του λαμπτήρα και ύστερα μειώνει την τάση και περιορίζει το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα ώστε να παράγεται φως με σταθερό ρυθμό. Σε διαφορετική περίπτωση αν ο λαμπτήρας συνδεόταν απευθείας με το δίκτυο μέσα σε λίγα δευτερά από την έναυση του θα καιγόταν αφού θα αυξανόταν ανεξέλεγκτα το ρεύμα του. Ο περιορισμός του ρεύματος από το ballast γίνεται με την εισαγωγή επαγωγικής αντίστασής.

Τα στραγγαλιστικά πηνία κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts και στην δεύτερη τα ηλεκτρονικά υψηλής συχνότητας. Τα ηλεκτρομαγνητικά ballasts τείνουν να καταργηθούν εξαιτίας των μεγάλων ενεργειακών απωλειών. Συναντιούνται σε παλιές εγκαταστάσεις και σταδιακά θα αντικαθίστανται. Αντίθετα, τα ηλεκτρονικά ballast, έχουν ευρεία χρήση και κυριαρχούν στα έργα που απαιτούν χρήση λαμπτήρων φθορισμού. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν ballasts που αξιοποιούν την δυνατότητα dimming. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ικανότητα διαχείρισης του κυκλώματος φωτισμού, καθώς και συνεργασία με άλλα συστήματα ελέγχου. Φυσικά, ballast με αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν ταυτόχρονα μεγάλη τιμή στο εμπόριο.



Σχήμα 2.4 Ηλεκτρομαγνητικό Ballast [20]

Τα ηλεκτρονικά ballasts εκτός από την μεγάλη εξοικονόμηση σε σχέση με τα αντίστοιχα μαγνητικά, παρέχουν ορισμένες επιπλέον βελτιώσεις. Οι κυριότερες αφορούν την αύξηση του χρόνου ζωής κάθε λαμπτήρα, καθώς και την δυνατότητα λειτουργίας σε μεταβαλλόμενες συχνότητες. Παράλληλα εξασφαλίζεται σχετική προστασία διότι επιτρέπουν στο κύκλωμα να απομονώνεται σε περίπτωση υπερτάσεων ενώ επανασυνδέονται αυτόματα όταν επανέρθουν οι ονομαστικές συνθήκες. Επομένως εκτός από ομαλή εκκίνηση, εξασφαλίζουν και σχετική προστασία κατά την λειτουργία των λαμπτήρων. Λειτουργούν αθόρυβα χωρίς να επιβαρύνουν τις συνθήκες στο χώρο, πράγμα που δεν ισχύει στα αντίστοιχα μαγνητικά, ενώ επιπλέον εξομαλύνουν φαινόμενα flickering, αναβαθμίζοντας το φωτιστικό αποτέλεσμα. Ο χρόνος ζωής των ballasts κυμαίνεται μεταξύ 50.000 και 100.000 ωρών. Τέλος, τα ballasts συμβάλλουν και στην ταχύτερη έναυση του λαμπτήρα, τυπικοί χρόνοι είναι από 1 έως 2 δευτερόλεπτα αλλά σε ταχύτερες διατάξεις μπορεί να αγγίξει τα 0,5 s

### Ενότητα 2.4.1.1: Ballasts λαμπτήρων φθορισμού

Στα σχήματα Σχήμα 2.4 και Σχήμα 2.5 φαίνονται ενδεικτικά ηλεκτρομαγνητικό και ηλεκτρονικό ballasts με δυνατότητα dimming αντίστοιχα.

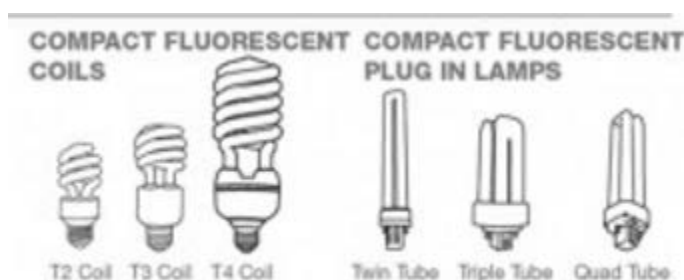


**Σχήμα 2.5 Ηλεκτρονικό Ballast (dimming)[21]**

## 2.4.2 Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL)

Η ανάπτυξη φθορίζουσών επιστρώσεων οδήγησε στην κατασκευή των συμπαγών λαμπτήρων φθορισμού ή ισοδύναμα CFL (Compact fluorescent lamps). Η αρχή λειτουργίας των CFL είναι παρόμοια με των αντιστοιχών σωληνωτών και αναλύθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο. Στο παρελθόν, αντικατέστησαν μαζικά τους πολύ υποδεέστερους ενεργειακά λαμπτήρες πυρακτώσεως.

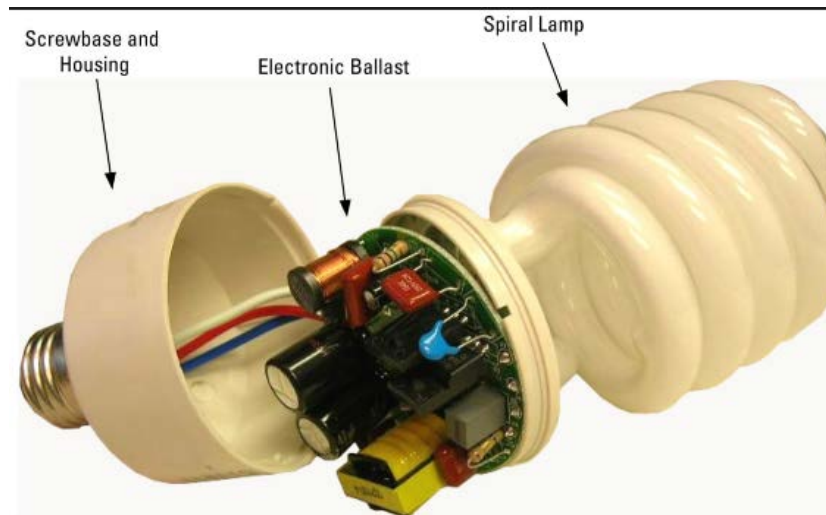
Οι σωλίνες που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στους συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού είναι οι T-4, T-5 που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.3. Με τις κατάλληλες τεχνικές δίνεται κάμψη στους σωλίνες, ώστε να αποκτήσουν το απαιτούμενο μέγεθος. Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζονται τα είδη των CFL που υπάρχουν σήμερα, των οποίων οι σωλίνες των λαμπτήρων περικλείονται από εξωτερικό κυλινδρικό, σφαιρικό κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό. Ως προς το εξωτερικό κύκλωμα έχουν άμεση συμβατότητα και δεν χρειάζονται βοηθητικά κυκλώματα, αφού περιέχουν εσωτερικό ballast που φαίνεται στο Σχήμα 2.7, αν και υπάρχει μια μικρή υποκατηγορία CFL που χρειάζεται εξωτερικό στραγγαλιστικό πηνίο. Η πρώτη κατηγορία είναι γνωστή ως integrated και είναι η επικρατέστερη, ενώ η δεύτερη ως non-integrated.



Σχήμα 2.6 Λαμπτήρες CFL [22]

Αναφορικά με την απόδοση, χαρακτηρίζονται ως ενεργειακά φιλικό λαμπτήρες και προσφέρουν καλό φωτιστικό αποτέλεσμα σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ τροφοδοσίας. Στους λαμπτήρες αυτούς χρησιμοποιούνται λόγω της υψηλής πυκνότητας ισχύος χρησιμοποιούνται φθορίζουσες επιστρώσεις υψηλής απόδοσης προκειμένου να ενισχυθεί η φωτεινότητα, η φωτεινή ροή και η χρωματική απόδοση. Φυσικά η απόδοση τους αυξάνει με την αύξηση της ονομαστικής ισχύος. Έτσι λαμπτήρες μεταξύ 9-55W έχουν απόδοση κοντά στα 250-4800 lumen. Γενικά έχουν καθιερωθεί περισσότερο λαμπτήρες κοντά στα 26W με τυπική φωτεινή ροή κοντά στα 1800 lumen. Η πιο συνηθισμένη χρήση των CFL αφορά την αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων πυράκτωσης, επομένως κυριαρχούν σε απλές εγκαταστάσεις και κυρίως σπίτια.

Στα τεχνικά χαρακτηριστικά των CFL, ο χρόνος ζωής τους βρίσκεται μεταξύ 15000 και 20000 ωρών, αλλά μειώνεται ανάλογα με την χρήση, την θερμοκρασία και τον τρόπο τροφοδοσίας. Επιπλέον, όπως ισχύει και στους σωληνωτούς λαμπτήρες, σε κάποια μοντέλα υπάρχει δυνατότητα dimming και για εύκολη συνεργασία με συστήματα ελέγχου και ρυθμιζόμενης έντασης.



Σχήμα 2.7 Εσωτερικό κύκλωμα CFL με ενσωματωμένο ballast [23]

Ένα σοβαρό θέμα που αφορά γενικότερα τους λαμπτήρες φθορισμού είναι η προσεκτική μεταχείριση κατά όλη την διάρκεια της ζωής τους, αλλά και αφού καταστραφούν. Ο σωλήνας εσωτερικά περιέχει υδράργυρο σε χαμηλή πίεση και αν σπάσει το γυαλί προκαλείται μια μικρή διαρροή προς το άμεσο περιβάλλον. Είναι γνωστό ότι ο υδράργυρος είναι δηλητήριο και επομένως σε περίπτωση που ο λαμπτήρας σπάσει μετά πρέπει ο χώρος να καθαριστεί προσεκτικά. Φυσικά, οι πιθανότητες είναι μικρές γιατί τα μηχανολογικά χαρακτηριστικά είναι σχετικά ενισχυμένα όμως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για αποφυγή ατυχημάτων.

### 2.4.3 Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (LED)

Τα τελευταία χρόνια που η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας έγινε πιο επιτακτική αναπτύχθηκε και συνεχώς βελτιώνεται ένα καινούριο είδος λαμπτήρα. Οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (light-emitting diodes) ή κοινώς LED, συνεχώς κερδίζουν έδαφος ως προς τους υπολοίπους λαμπτήρες.

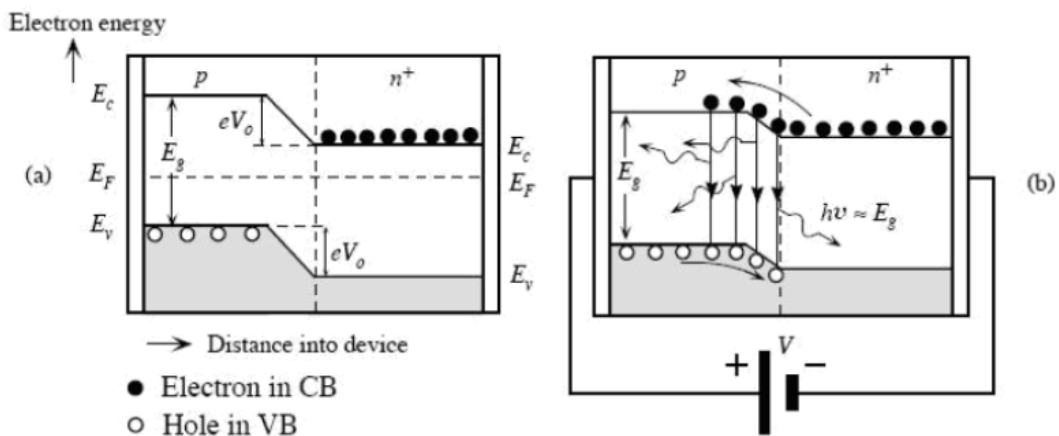
Όπως δηλώνει και το όνομα τους πρόκειται για ημιαγωγούς, που μπορούν να εκπέμψουν φως, ενώ ηλεκτρικά η συμπεριφορά τους ταυτίζεται με μια δίοδο. Η χρήση τους σε συστοιχίες προκειμένου να επιτευχθεί παραγωγή φωτός έγινε τα τελευταία χρόνια και ακριβώς επειδή βρίσκονται ως τεχνολογία σε αρχικά στάδια ανάπτυξης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά εξελίσσονται ραγδαία με το πέρασμα του χρόνου.

Η αρχή λειτουργίας των λαμπτήρων LED είναι σχετικά απλή και μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή αν εξεταστούν τα φαινόμενα που πραγματοποιούνται μικροσκοπικά και από την σκοπιά της επιστήμης των υλικών.

Κάθε δίοδος LED αποτελείται από δυο διαφορετικά υλικά τα, το ένα είναι τύπου p και το άλλο είναι τύπου n. Όπως είναι γνωστό, τα υλικά τύπου p έχουν συγκεντρωμένο έλλειμμα ηλεκτρονίων ή περίσσια οπών και δρουν ως θετικά φορτία ενώ τα τύπου n έχουν περίσσια ηλεκτρονίων στην μάζα τους και δρουν ως αρνητικά. Τα δύο υλικά αυτά διαχωρίζονται μέσα στο ίδιο κομμάτι του ημιαγωγού σχηματίζοντας ανάμεσα τους μια διεπιφάνεια, της τάξεως των  $0,25\text{mm}^2$ , καταστρώντας εύκολη την δημιουργία λαμπτήρων πολύ μικρών και λεπτών. Όταν τα δυο υλικά έρθουν σε μηχανική επαφή δημιουργείται η κατάσταση που φαίνεται στο Σχήμα 2.8 (α). Τα δυο σώματα αποκτούν μια ενιαία και σταθερή στάθμη Fermi ( $E_f$ ) και βρίσκονται σε κατάσταση ισορροπίας. Παράλληλα δημιουργείται ένα φράγμα δυναμικού με ύψους  $e \cdot V_0$  στις διαχωριστικές τους επιφάνειες. Το ύψος του φράγματος πρακτικά ισούται με το έργο που απαιτείται από ένα ηλεκτρόνιο να περάσει από το υλικό  $n^+$  στο υλικό p στην ζώνη αγωγιμότητας ( $E_c$ ) ή ισοδύναμα το έργο που απαιτείται για να περάσει μια οπή από το υλικό p στο  $n^+$  στην ζώνη σθένους ( $E_v$ ). Το μέγεθος  $V_0$  που αντιστοιχεί στην τάση σχετίζεται με την φύση των υλικών που χρησιμοποιούνται καθώς και το ποσοστό της νόθευση που. Το φράγμα σε κάθε περίπτωση αποτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς το υλικό p.

Όταν εφαρμοστεί ορθή πόλωση όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8 (b), το ύψος του φράγματος πέφτει. Πιο συγκεκριμένα για εφαρμοζόμενη τάση V θα είναι το ύψος ίσο με  $e \cdot (V - V_0)$ . Η μείωση αυτή επιτρέπει κίνηση των φορέων όπως φαίνεται στο σχήμα. Μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων κινείται προς το υλικό τύπου p και αριθμός οπών κινείται προς το υλικό τύπου  $n^+$ . Η διαφορετική νόθευση κάθε υλικού προκαλεί επανασύνδεση των φορέων κυρίως πάνω στο φράγμα δυναμικού όσο και στην αρχή του υλικού τύπου p η οποία προκαλεί την εκπομπή φωτονίων με ενέργεια ίση με το απαγορευμένο ενεργειακό διάκενο  $E_g$ . Κάθε επανασύνδεση έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός φωτονίου συγκεκριμένης συχνότητας. Με αυτό τον τρόπο η δίοδος παράγει φως, το φάσμα του οποίου εξαρτάται από το ενεργειακό διάκενο και επομένως την φύση των χρησιμοποιημένων υλικών.[24]





Σχήμα 2.8 Λίοδος LED μικροσκοπικά, σε ηρεμία και με ορθή πόλωση [24]

Όσον αφορά την χρωματική απόδοσή των LED αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το υλικό των ημιαγωγών, το περίβλημα του φωτιστικού σώματος καθώς και τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται. Τα πιο γνωστά υλικά ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται είναι ενώσεις αργιλίου, γαλλίου και φωσφόρου ή ενώσεις φωσφόρου, αργιλίου, γαλλίου και ινδίου.

Το LED παράγει φωτεινή ακτινοβολία “στενού φάσματος”, δηλαδή συμπεριφέρεται περισσότερο σαν γραμμική φωτεινή πηγή (μονοχρωματικό φως), παρά σαν πηγή συνεχούς ακτινοβολίας. Για αυτό τον λόγο η διερεύνηση του φάσματος γίνεται με χρήση φθορίζουσών επικαλύψεων που διεγείρονται από την ακτινοβολία που εκπέμπει το LED. Ειδικότερα η παραγωγή του λευκού φωτός από LED γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος γίνεται με τη χρήση επιστρώσεων που απορροφούν το μπλε φως και το εκπέμπουν ως λευκό. Ενώ στην δεύτερη περίπτωση το λευκό φως επιτυγχάνεται με την χρήση διάταξης από διαφορετικά LED που εκπέμπουν κόκκινο, μπλε, πράσινο, τα οποία αναμιγνύονται σε ένα ενιαίο δίνοντας σαν αποτέλεσμα το λευκό. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος είναι ο πρώτος αφού το κόστος του είναι μικρότερο, οι φθορίζουσες ουσίες έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν διάφορα είδη λευκού φωτός (ψυχρότερα ή θερμότερα) και επίσης ελαχιστοποιείται η αλλοίωση του φωτός λόγω γήρανσης.

Ένα ακόμη ισχυρό προτέρημα είναι το γεγονός ότι οι λαμπτήρες LED εμφανίζονται στα φύλλα προδιαγραφών να έχουν μεγάλους χρόνους ζωής. Η τάξη μεγέθους βρίσκεται κοντά στις 50.000h, ενώ στα LED modules οι χρόνοι φθάνουν και τις 10000h. Οι χρόνοι είναι σαφώς μεγαλύτεροι σε σύγκριση με τους αντιστοίχους σε λαμπτήρες φθορισμού. Συγκεντρωτικά πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι τα LED έχουν μικρό χρόνο απόκρισης και τίθενται ταχύτατα σε λειτουργία, πράγμα που δεν ισχύει με τους λαμπτήρες φθορισμού, διαθέτουν μεγάλη μηχανολογική αντοχή και αντίσταση σε κραδασμούς ενώ παράλληλα παράγουν ακτινοβολία που δεν θερμαίνει σημαντικά το κοντινό περιβάλλον.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι η τεχνολογία κατασκευής των led καθιστούσε το κόστος τους αρκετά υψηλό, όμως τα τελευταία χρόνια η τιμή τους έχει φτάσει να ανταγωνίζεται αυτής των λαμπτήρων φθορισμού

Τέλος, όπως αναφέρεται παραπάνω η κατασκευή των LED έχει βασιστεί περισσότερο στην ηλεκτρονική, πράγμα που τα κάνει πολύ ευαίσθητα στις ακραίες θερμοκρασίες, καθώς και στην αυξομείωση της επιβαλλόμενης τάσης αφού έχει σαν αποτέλεσμα στην εμφάνιση μεγάλων ρευμάτων που είναι επιβλαβή για το κύκλωμα.

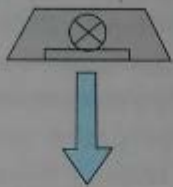

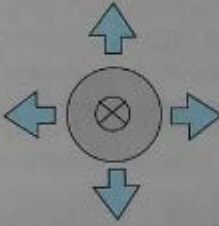

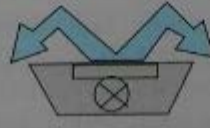
## 2.5 Φωτιστικά σώματα

Φωτιστικό σώμα ονομάζεται η διάταξη εκείνη που έχει τη δυνατότητα να στερεώνει και να τροφοδοτεί με ηλεκτρικό ρεύμα τους λαμπτήρες που περιλαμβάνει. Τα αποδοτικότερα φωτιστικά αξιοποιούν το μεγαλύτερο μέρος της φωτεινής ροής του λαμπτήρα που περιλαμβάνουν με κατάλληλους ανακλαστήρες έτσι ώστε να αξιοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό της,

Η παρακάτω ομαδοποιήσεις των φωτιστικών αφορά μόνο εκείνα που τοποθετούνται, σε εσωτερικούς χώρους.

Η αρχική διάκριση των φωτιστικών γίνεται με βάση τον τύπο λαμπτήρων που υποστηρίζει το κάθε σώμα. Είναι εμφανές ήδη από το κεφάλαιο 2.4.2, ότι οι CFL λαμπτήρες με τα ξεχωριστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, χρησιμοποιούνται από διαφορετικά σώματα, σε σχέση με τους σωληνωτούς T5, T8 λαμπτήρες φθορισμού. Όσον αφορά τους T5, T8 λαμπτήρες μπορεί να είναι συμβατοί με τα ίδια φωτιστικά, αφού διαφέρουν στην διάμετρο του λαμπτήρα, ενώ το μήκος τους μπορεί να παραμείνει σταθερό. Από την άλλη μεριά, οι CFL κατασκευάστηκαν για την αντικατάσταση των λαμπτήρων πυράκτωσης, Επίσης, πρόβλημα δημιουργεί και η χρήση εξωτερικών ballasts που χρειάζονται οι T5, T8 λαμπτήρες φθορισμού για να λειτουργήσουν, σε σχέση με τους CFL. Η σύγκριση των LED με τα υπόλοιπα γίνεται καλύτερα στον επόμενο διαχωρισμό των σωμάτων.

Η δεύτερη ομαδοποίηση σχετίζεται με είδος του φωτισμού που πρέπει να επιτευχθεί. Στο Σχήμα 2.9 φαίνονται οι διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάχυσης της φωτεινής ροής στον χώρο. Για χώρους εργασίας όπως τα γραφεία και γενικά περιπτώσεις χώρων μελέτης ή διδασκαλίας έχει καθιερωθεί ο φωτισμός να είναι άμεσος. Γενικότερα όμως η συντριπτική πλειοψηφία των εγκαταστάσεων αφορά περιπτώσεις άμεσου φωτισμού ενώ οι άλλες επιλογές σχετίζονται με ειδικούς χώρους εκθέσεων, ψυχαγωγίας ή για εφαρμογή βοηθητικού φωτισμού. Σύμφωνα με το Σχήμα 2.9 λοιπόν στην περίπτωση που μελετάμε η ροή πρέπει να έχει κατεύθυνση προς το επίπεδο σε ένα ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 90-100%.

Χαρακτηρισμός φωτιστικού σώματος ως προς την κατανομή της ροής	Παραστατική μορφή φωτιστικού σώματος	Ποσοστό % φωτεινής ροής με κατεύθυνση επάνω	Ποσοστό % φωτεινής ροής με κατεύθυνση κάτω
Άμεσο		0-10 %	90-100 %
Ημιάμεσο		10-40 %	60-90 %
Έμμεσο και άμεσο		40-60 %	40-60 %
Ημιέμμεσο		60-90 %	10-40 %
Έμμεσο		90-100 %	0-10 %

Σχήμα 2.9 Χαρακτηριστικά φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με την κατανομή της φωτεινής ροής τους [25]

Μια ακόμα διαφοροποίηση των φωτιστικών σωμάτων, μπορεί να θεωρηθεί ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται στον χώρο. Δηλαδή σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια εργασίας είναι σε μεγάλη απόσταση από την οροφή και γενικά το κτίριο έχει κατασκευαστεί με μεγάλο ύψος ανά όροφο, συχνά χρησιμοποιούνται αναρτημένα φωτιστικά. Όταν πρέπει η παρουσία της εγκατάστασης φωτισμού χρειάζεται να είναι διακριτική και αποφεύγεται η παραχώρηση όγκου χρησιμοποιούνται χωνευτά σώματα. Σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και φωτιστικά τοίχου.

Η επιλογή των κατάλληλων φωτιστικών θα πρέπει να έχει ως βασικό γνώμονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, το κατά πόσο συμβαδίζουν τόσο με το χώρο, στον οποίο πρόκειται να τοποθετηθούν, όσο και με τις αρχές της ενεργειακής εξοικονόμησης. Βέβαια δεν θα πρέπει να παραβλέπεται και η αισθητική σημασία αυτών. Ο πιο καθοριστικός παράγοντας επιλογής

## Κεφάλαιο 2: Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

φωτιστικών είναι ο συντελεστής απόδοσής τους. Κάθε φωτιστικό έχει δύο συντελεστές, της φωτεινής απόδοσης (LOR) και της ενεργειακής απόδοσης.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός φωτιστικού εγκλωβίζει μέρος της φωτεινής ροής των λαμπτήρων με αποτέλεσμα αυτό να μην εκπέμπεται προς τα έξω. Ο συντελεστής φωτεινής απόδοσης (LOR) εκφράζει το ποσοστό της φωτεινής ροής του φωτιστικού που εκπέμπεται προς τα έξω σε σχέση με τη φωτεινή ροή των λαμπτήρων του.

Για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις έχει καθιερωθεί η χρήση φωτιστικών σωμάτων με ανακλαστήρες, κυρίως για την εκμετάλλευση της φωτεινής ροής που διαχέεται σε ανεπιθύμητες κατευθύνσεις και σε δευτερεύουσα θέση για την προστασία από την σκόνη που επικάθεται στην εγκατάσταση. Στην αγορά υπάρχουν διαφόρων ειδών ανακλαστήρες, όμως ποιοτικά καλύτεροι θεωρούνται όσοι είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο. Η απόδοσή τους εκτιμάται κοντά στο 95% και οι απώλειες περιορίζονται δραστικά. Συχνά για τον έλεγχο της ροής γίνεται η χρήση σωμάτων με περσίδων σε χώρους όπως γραφεία και υπηρεσίες. Τα φωτιστικά με περσίδες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή και αν διαθέτουν καλούς ανακλάστηκες αποτελούν μια αποδοτική λύση. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πρόβλημα με την στεγανότητα ή πρέπει να περιοριστεί η θάμβωση λόγω ανάκλασης σε κάποια λεία επιφάνεια, γίνεται χρήση φωτιστικών με πλαστικό περίβλημα και αυξημένη μηχανολογική αντοχή, όμως το τίμημα είναι η χαμηλότερη απόδοση και η αλλοίωση του φάσματος του εγκατεστημένου λαμπτήρα.

Η επιλογή των φωτιστικών δε θα πρέπει να έχει ως βασικό γνώμονα μόνο την αισθητική, παρότι βέβαια δεν θα πρέπει και να παραβλέπεται. Θα πρέπει όμως να τίθενται ως προτεραιότητα τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και το κατά πόσο συμβαδίζουν τόσο με το χώρο, στον οποίο πρόκειται να τοποθετηθούν, όσο και με τις αρχές της ενεργειακής εξοικονόμησης. Ο πιο καθοριστικός παράγοντας επιλογής φωτιστικών είναι ο συντελεστής απόδοσής τους. Για να είναι ενεργειακά αποδεκτό, ένα φωτιστικό θα πρέπει να ξεπερνά το όριο των 55lm/W που προσδιορίζεται από τον KENAK.

Τέλος, για τη χρήση φωτιστικών σωμάτων απαιτούνται συγκεκριμένες φωτομετρικές και τεχνικές προδιαγραφές βάσει προτύπων, τις οποίες ο κατασκευαστής του φωτιστικού είναι υποχρεωμένος να διαθέτει. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που αυξάνουν την απόδοση των φωτιστικών και πρέπει να λαμβάνονται αυστηρά υπόψη είναι:

- Χρησιμοποίηση λαμπτήρων υψηλής απόδοσης (>65 lm/W) αντί των απλών και όσο μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος.
- Χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ballasts έναντι των συμβατικών ηλεκτρομαγνητικών.
- Η αποδοτική σχεδίαση του φωτιστικού ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή της φωτεινής έντασης στο χώρο. της κατανομής της φωτεινής ροής των λαμπτήρων από τη σχεδίαση του οπτικού συστήματος.
- Επιλογή κατάλληλων ανακλαστήρων κατασκευασμένων από υλικό υψηλής ανακλαστικότητας. Τα πιο αποδοτικά φωτιστικά είναι με ανακλαστήρα από αλουμίνιο αυξημένης καθαρότητας σχεδιασμένο από εξειδικευμένα προγράμματα και προσωπικό.
- Χρησιμοποίηση γραμμικών λαμπτήρων φθορισμού αντί για συμπαγείς και αν είναι δυνατόν T5 αντί για T8 ή T12.
- Επιλογή της απόχρωσης Warmwhite αντί της Daylight όπου είναι αποδεκτή ψυχολογικά και αισθητικά.
- Αποτροπή θάμβωσης χωρίς όμως, να αποκόπτονται σημαντικά ποσά φωτισμού με χρήση περσίδων.

Στο παρακάτω σχήμα Σχήμα 2.10φαινόνται ενδεικτικά μερικά είδη φωτιστικών μαζί με τα πολικά τους διαγράμματα.



Σχήμα 2.10 Τυπικά φωτιστικά σώματα [26]

## 2.6 Βιοκλιματικός σχεδιασμός και αξιοποίηση φυσικού φωτισμού στα κτήρια.

Ο όρος του βιοκλιματικού σχεδιασμού αναφέρεται στην μελέτη εσωτερικών και εξωτερικών χώρων με σκοπό την εκμετάλλευση του τοπικού κλίματος προς όφελος των θερμικών συνθηκών αλλά και της οπτικής άνεσης. Το ζητούμενο στον βιοκλιματικό σχεδιασμό είναι η ανέγερση κτιρίων, π.χ. βιομηχανικών μονάδων, κτιρίων γραφείων, κτιρίων κατοικίας, σχεδιασμένων έτσι ώστε αφενός να καλύπτονται πλήρως οι ενεργειακές τους ανάγκες και αφετέρου να γίνεται με τρόπο όσον το δυνατότερο φιλικότερο προς το περιβάλλον. Προϋπόθεση για την εφαρμογή μια βιοκλιματικής μελέτης είναι η αξιοποίηση καθαρών μορφών ενέργειας όπως η ηλιακή και οι ανανεώσιμες πηγές στο έπακρο

Ορισμένοι από τους στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι:

- Η εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού το χειμώνα για επιπρόσθετη θέρμανσή αλλά και σχετική προστασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό επιτυγχάνεται, με τον σωστό προσανατολισμό του κτηρίου. Ιδανικότερος θεωρείται ο νότιος προσανατολισμός.
- Η μείωση των απωλειών θερμότητας, αλλά και ψύξης, όλο τον χρόνο. Σε αυτό σημαντικό ρόλο, παίζει η επιλογή ενός κατάλληλου εξωτερικού κελύφους με ικανή δυνατότητα μόνωσης και αεροστεγάνωσης.
- Προστασία από τον ήλιο το καλοκαίρι με τεχνικές σκίασης και σωστή κατασκευή του κελύφους. Επίσης, με τον σχεδιασμό παθητικών συστημάτων δροσισμού και απομάκρυνσης της θερμότητας το βράδυ με φυσικό δροσισμό, επιτυγχάνεται περεταίρω μείωση του θερμικού φορτίου.
- Χρήση ανανεώσιμων πηγών και κυρίως φωτοβολταϊκών μικρής ισχύος για μερική κάλυψη εσωτερικών αναγκών. Παράλληλα συνηθίζεται η χρήση συστημάτων συλλογής ηλιακής ενέργειας για λειτουργίες όπως η θέρμανση νερού.
- Χρήση συστημάτων συνεργασίας φυσικού-τεχνικού φωτισμού, ώστε να υπάρχει επάρκεια φωτισμού και κατανομής στον χώρο.
- Μέγιστη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού όλων των χρόνων, άμεσα αλλά και με την χρήση παθητικών συστημάτων και διατάξεων σε όλο το κτήριο.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

Όπως έχει ήδη αναλυθεί στο κεφάλαιο 2.1, μείωση της κατανάλωσης φορτίων φωτισμού συνεπάγεται σημαντική μείωση της γενικής κατανάλωσης ρεύματος. Όταν ο στόχος είναι η εξοικονόμηση, οι δεδομένες τεχνικές μπορούν να αποβούν εξαιρετικά αποδοτικές. Μάλιστα, αν ληφθούν υπόψη τα ιδιαίτερα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας, οι συντελεστές εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού, είναι ιδιαίτερα υψηλοί. Ενδεικτικά η εξοικονόμηση σε κατανάλωση τεχνητού φωτισμού μπορεί να φτάσει το 70% με την προϋπόθεση ότι υπάρχει σωστό σύστημα ελέγχου. Σύμφωνα με τον κανονισμό EN 15193, ως μέτρο επάρκειας φυσικού φωτισμού χρησιμοποιείται ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (Daylight Factor, DF), ο οποίος έχει περιγραφεί και στο κεφάλαιο 1.5. Η επίδραση του φυσικού φωτισμού στην πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας θεωρείται:

- ισχυρή, αν η μέση τιμή του DF σε κάποιο χώρο είναι  $\geq 3\%$
- μέτρια αν  $3\% > DF > 2\%$ ,
- ασθενής, αν  $2\% > DF \geq 1\%$ , ενώ αν
- $DF < 1\%$ , δεν λαμβάνεται υπόψη. [27]

Εκτός από την οικονομική και περιβαλλοντική διάσταση του προβλήματος υπάρχει και μια δεύτερη προσέγγιση πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Έχει αποδειχτεί ότι το φως του ηλίου έχει ιδιαίτερη επίδραση στην ψυχολογία και κατ' επέκταση στην υγεία του ανθρώπου.

## Ενότητα 2.6: Βιοκλιματικός σχεδιασμός και αξιοποίηση φυσικού φωτισμού στα κτήρια

Δυστυχώς, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός προέκυψε ως μέθοδος τα τελευταία χρόνια και έχει ελάχιστη εφαρμογή προς το παρόν κυρίως λόγω του μεγάλου αρχικού κόστους επένδυσης που εξασφαλίζει όμως απόσβεση σε μικρό χρονικό διάστημα. Γι' αυτό τον λόγο οι περισσότερες εγκαταστάσεις περιορίζονται σε βασικές απλές προδιαγραφές παλιότερων ετών. Υπό αυτές της συνθήκες δεν έχει νόημα η βιοκλιματική ανάλυση σε γραφεία και χώρους διδασκαλίας που έχουν ήδη κατασκευαστεί, εκτός από εφαρμογή κάποιων μικρών προσθηκών. Επομένως τα παρακάτω στοιχεία παρατίθενται για λόγους πληρότητας.

### 2.6.1 Κατανομή φυσικού φωτισμού

Η διείσδυση και η κατανομή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και την τοποθέτηση των ανοιγμάτων, τον τύπο του υαλοστασίου που χρησιμοποιείται, τη διαμόρφωση του χώρου και τις ανακλάσεις που προκαλούνται από τους τοίχους, την οροφή και άλλες επιφάνειες. Η ένταση του εσωτερικού φυσικού φωτισμού και ο παράγοντας του φυσικού φωτισμού μειώνονται με την απόσταση από τα ανοίγματα και επίσης επηρεάζονται από το ύψος του πάνω μέρους του παραθύρου. [28]

Η κατανομή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο, όπως είναι γνωστό και από την πρακτική εμπειρία, δεν είναι ομοιόμορφη. Είναι σαφώς πιο έντονο το ηλιακό φως κοντά στα ανοίγματα σε αντίθεση με τις περιοχές στο βάθος του χώρου, οι οποίες υποφωτίζονται. Αυτή η μη κανονικότητα στην κατανομή του φυσικού φωτισμού είναι το πιο σημαντικό του μειονέκτημα και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε κάθε μελέτη φωτισμού.

Ακόμη, η μείωση των επιπέδων του φυσικού φωτισμού δεν είναι ανάλογη της απόστασης από το άνοιγμα, αλλά φθίνουσα εκθετική, όπως καταγράφεται στο Σχήμα 2.11.

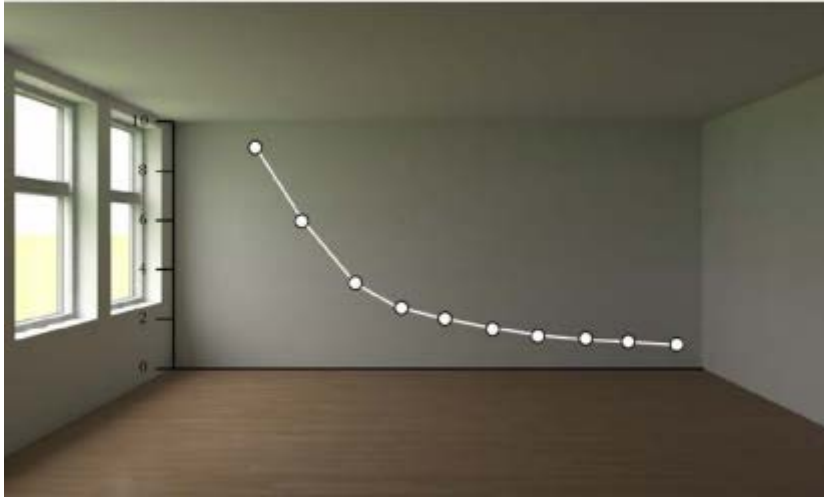
Η κατανομή του φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο παρουσιάζεται συχνά στο σχέδιο του χώρου με τις καμπύλες isolux και του παράγοντα φυσικού φωτισμού.

Η μείωση του βάθους των χώρων συμβάλλει στην ομογενοποίηση των επιπέδων φωτισμού ή στην υιοθέτηση αμφίπλευρου φωτισμού. Η μεγιστοποίηση των περιμετρικών ζωνών, δηλαδή των περιοχών που είναι δυνατή η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, καθορίζεται από την κάτοψη του κτηρίου. Θεωρώντας ένα τυπικό βάθος περιμετρικής ζώνης (4,5m) και κτήριο τετράγωνης κάτοψης (30m x 30m), η περιμετρική ζώνη αντιστοιχεί στο 51% της κάτοψης. Αν η κάτοψη τροποποιηθεί, για παράδειγμα, σε 60m x 15m το ποσοστό της περιμετρικής ζώνης αυξάνεται στο 66%. [27]

Τα υποκεφάλαια που ακολουθούν περιγράφουν τις επικρατέστερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού, καθώς και την ομοιόμορφη κατανομή στον χώρο:

- Συστήματα σκίασης
- Σκίαστρα ανακατεύθυνσης φωτός
- Ράφια ανάκλασης φωτισμού (light shelves)
- Πρισματικά πάνελ
- Πάνελ κοπής με λέιζερ (Laser-cut Panel)
- Ειδικοί υαλοπίνακες ανακατεύθυνσης φωτός
- Φωτοσωλήνες (solar tubes)
- Ηλιοστάτες (solar trackers)
- Ολογραφικά στοιχεία (HOE Glass System)





Σχήμα 2.11 Κατανομή Daylight Factor (DF) σε σχέση με την απόσταση από τα ανοίγματα [27]

### 2.6.1.1 Συστήματα σκίασης

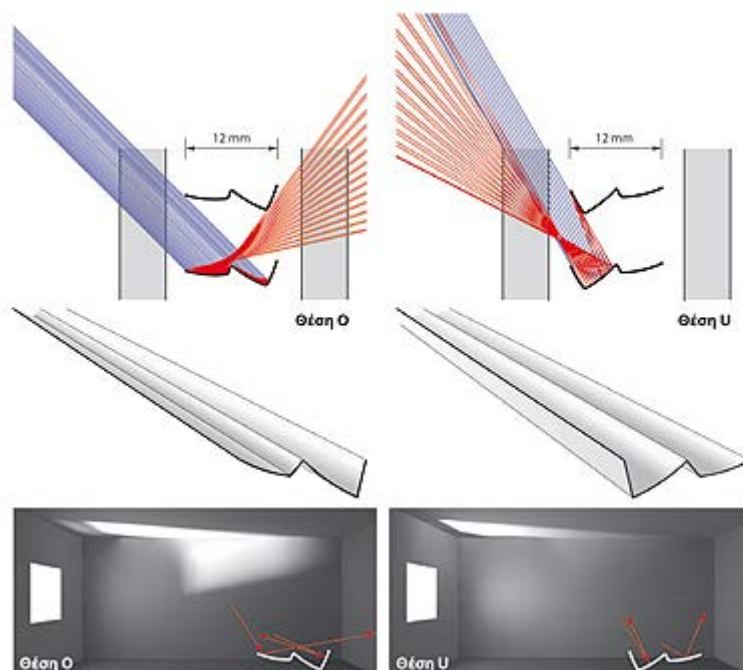
Η πιο συχνή επιλογή συστημάτων σκίασης είναι η χρήση περσίδων που τοποθετούνται συνήθως στα μεγάλα ανοίγματα των παραθύρων. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η ροή του εισερχόμενου φωτός, καθώς και η μείωση των απωλειών τις βραδινές ώρες. Όπως είναι γνωστό η δυσμενέστερη περίπτωση για τον φωτισμό είναι η ύπαρξη παραθύρου χωρίς την επικάλυψη υαλοπίνακα, γιατί ο δείκτης ανάκλασης είναι πολύ χαμηλός και υπάρχουν απώλειες προς το εξωτερικό του κτιρίου. Παράλληλα, ανεξέλεγκτη ροή φυσικού φωτισμού την ημέρα προκαλεί θάμβωση.

Με κατάλληλη προσαρμογή της κλίσης, επιτρέπεται στο φως να εισέλθει τον χειμώνα και περιορίζεται ο ήλιος εκτός δωματίου το καλοκαίρι. Θεωρητικά, η εξωτερική πρόσπτωση του φωτός με γωνία ίση με  $0^\circ$  στον ανακλαστήρα, μεταδίδει την φωτεινή δέσμη εσωτερικά χωρίς απώλειες. Στην πράξη όμως η απόδοση των ανακλαστήρων αγγίζει το 85%. Οι μεγαλύτερες γωνίες ανακλώνονται προς την οροφή σύμφωνα με το Σχήμα 2.12. Κατά την διάρκεια της νύχτας με προσαρμογή των περσίδων σε κλειστή θέση ο κάθε χειριστής δεν επιτρέπει στον τεχνητό φωτισμό να βγει προς τα έξω αφού οι ανακλαστήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφη θέση.

Οι περσίδες από την εξωτερική πλευρά είναι φτιαγμένες είτε από χάλυβα ή από αλουμίνιο που έχει υποστεί βαφή, προκειμένου να εξασφαλίζουν την απαραίτητη αντοχή. Η εσωτερική πλευρά είναι συνήθως φτιαγμένη από συνθετικό PVC. Ο χειρισμός τους μπορεί να γίνεται είτε χειροκίνητα ή αυτόματα μέσω ενός συστήματος ελέγχου που μετρά την θάμβωση. Φυσικά όταν γίνεται χειροκίνητα δεν επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση, αλλά υπάρχει άμεσος έλεγχος του φυσικού φωτισμού.

Επίσης η χρήση των περσίδων βοηθάει και στην μείωση του θερμικού φορτίου το καλοκαίρι βοηθώντας έτσι στο σύστημα του δροσισμού.

Σημαντικό είναι ωστόσο η συχνή και σωστή συντήρησή τους, αφού παγιδεύεται σκόνη ανάμεσα στις ράγες με αποτέλεσμα να πέφτει αισθητά ο δείκτης ανακλαστικότητας. [29]



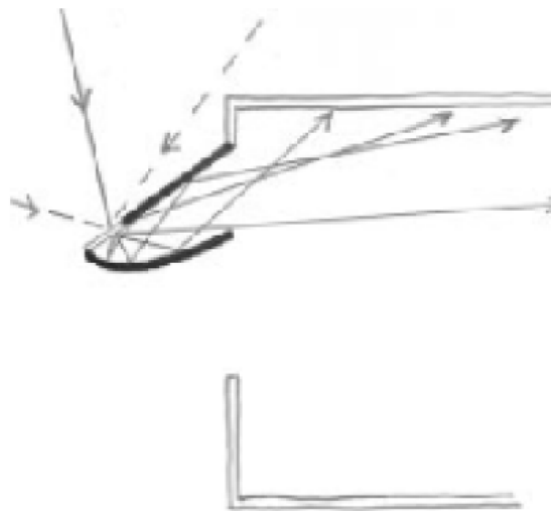
Σχήμα 2.12 Ανάκλαση φωτεινής ακτινοβολίας με χρήση περσίδων [30]

### 2.6.1.2 Σκίαστρα ανακατεύθυνσης φωτός

Τα σκίαστρα ανακατεύθυνσης φωτός εφαρμόζονται εξωτερικά και η τοποθέτησή τους γίνεται είτε στο πάνω μισό είτε στο υψηλότερο 1/3 του παραθύρου. Η προσπίπτουσα δέσμη πρώτα διαχέεται μέσω του υαλοπίνακα και ύστερα ανακλάται στους κατάλληλα τοποθετημένους ανακλαστήρες. Με αυτόν τον τρόπο, το φως ανακατευθύνεται στην οροφή του δωματίου. Το εύρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο σκίαστρο κυμαίνεται μεταξύ οριζόντιας κλίσης και της γωνίας των  $60^\circ$ . Η διάταξη δεν λειτουργεί σωστά σε επίπεδα για διαφορετικές γωνίες προσπτώσεις

Οι προδιαγραφές ορίζουν ανακλαστήρες με υψηλό δείκτη και σε αρκετές περιπτώσεις για καλύτερο αποτέλεσμα, γίνεται χρήση επιπλέον πάνελ στα πλάγια για ενίσχυση του αποτελέσματος. Φυσικά, η διάχυση μπορεί να φτάσει σε αρκετή απόσταση από το παράθυρο και η ομοιομορφία που επιτυγχάνεται είναι ικανοποιητική. Η αρχή λειτουργίας φαίνεται στο Σχήμα 2.13.

Από την άλλη μεριά, θα πρέπει να γίνει σωστή μελέτη πριν τοποθετηθούν, γιατί η θέση τους είναι δεδομένη και δεν μπορεί αλλάξει. Επίσης, μπορεί η απόδοσή τους να είναι ασύγκριτη σε σχέση με τα συμβατικά σκίαστρα, αλλά δυστυχώς το κόστος τους είναι ακριβό.



Σχήμα 2.13 Αρχή λειτουργίας σκίαστρου [29]

Τέλος, εκτός από το υψηλό κόστος, απαιτείται συχνός εξωτερικός καθαρισμός των επιφανειών που προκαλούν την ανάκλαση, ενώ κάποιες φορές εμφανίζονται προβλήματα συγκέντρωσης βρόχινου νερού στην εξωτερική πλευρά της κατασκευής τους. Για την αντιμετώπιση του δεδομένου προβλήματος συνήθως ανοίγεται μια οπή στο χαμηλότερο σημείο της διάταξης[29].

### 2.6.1.3 Ράφια ανάκλασης φωτισμού (light shelves)

Τα ράφια ανάκλασης φυσικού φωτισμού αποτελούν ένα από τα πιο κλασσικά εργαλεία βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στην ανάκλαση, όπως τα παραπάνω συστήματά σκίασης, αλλά τα ράφια έχουν δυνατότητα προσαρμογής της κλίσης τους, ώστε να επιτευχθεί μέγιστο αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα, τα “ράφια ανάκλασης φωτός” είναι γυάλινα ανακλαστικά παράθυρα με δυνατότητα ανάκλισης, ώστε να ρυθμίζεται η γωνιά της εισερχόμενης ακτινοβολίας.

Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 2.14, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας αλλάζει με το πέρας του χρόνου. Οπότε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρή, ο φωτισμός του δωματίου γίνεται με έμμεσο τρόπο. Ουσιαστικά, η εισερχόμενη ακτινοβολία αφού πρώτα ανακλαστεί στο ράφι, ανακατευθύνεται προς την οροφή του δωματίου, όπου διαχέεται σε αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η θάμβωση των ανθρώπων στο δωμάτιο. Κατά την εποχή του χειμώνα η γωνία αλλάζει και ο υαλοπίνακας επιτρέπει την άμεση διέλευση του φωτός στο δωμάτιο. Επομένως με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ένας στοιχειώδης έλεγχος. Επίσης, στην περίπτωση που πρέπει να μεγιστοποιηθεί η ροή του φωτός, τα ράφια έχουν την δυνατότητα να ρυθμιστούν σε θέση κάθετη προς τις εισερχόμενες ακτίνες.



Σχήμα 2.14 Ράφια ανάκλασης φωτός (light shelves) [30]

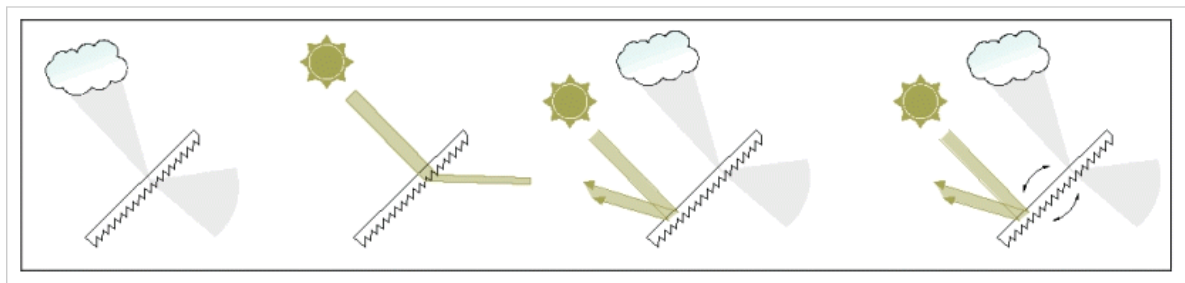
Όμως, για να είναι αποτελεσματική η λειτουργία τους, βασική προϋπόθεση είναι ο προσανατολισμός των παραθύρων προς τον Νότο για κατασκευές που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο. Ενώ σε διαφορετικούς προσανατολισμούς δεν αποδίδουν ικανοποιητικά.. Ενδείκνυται η χρήση σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια κατά την διάρκεια του έτους, ενώ συγχρόνως απαιτείται η ύπαρξη υψηλής οροφής για αποτελεσματικότερη διάχυση. Κατασκευαστικά τα ράφια τοποθετούνται μαζί με τα υπόλοιπα κουφώματα και το τίμημα της χρήσης τους αντιστοιχεί σε μια μικρή μείωση της εισερχόμενης φωτεινής ροής σε σύγκριση με τα συμβατικά παράθυρα[29].

### 2.6.1.4 Πρισματικά πάνελ

Για τη βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού χρησιμοποιούνται με αρκετή επιτυχία, αλλά υψηλό κόστος, ειδικού τύπου υαλοπίνακες, οι οποίοι ανακατευθύνουν την πορεία του φωτός στο βάθος του χώρου, ενώ παράλληλα μειώνουν το ενδεχόμενο θάμβωσης. Οι πρισματικοί υαλοπίνακες είναι λεπτές, επίπεδες, πριονωτές διατάξεις κατασκευασμένες από καθαρό ακρυλικό υλικό, οι οποίες τοποθετούνται μεταξύ δύο απλών υαλοπινάκων για να προστατεύονται από τη σκόνη. Συνήθως είναι σταθερές, αλλά μπορεί να είναι και κινητές υπό μορφή περσίδων (Σχήμα 2.16).

Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες είτε εκτρέπουν ή ανακλούν τις εισερχόμενες ακτίνες. Υπάρχει η δυνατότητα, ανάλογα με την κατασκευή της πριονωτής διάταξης, να επιτρέψουν τη διέλευση ακτινοβολίας με συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης, παρέχοντας ηλιοπροστασία τους καλοκαιρινούς μήνες χωρίς να περιορίζεται η διέλευση της χειμερινής ηλιακής ακτινοβολίας. Η αρχή λειτουργίας τους φαίνεται στο Σχήμα 2.15.

Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ενδείκνυνται για ανοίγματα οροφής και για πλευρικά ανοίγματα σε υψηλή στάθμη, επειδή διαταράσσουν τη θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρόλο που είναι διαφανή. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε ηλιοπροστατευτικές διατάξεις.



Σχήμα 2.15 Αρχή λειτουργίας πρισματικών πάνελ [32]

Η κατασκευή τους γίνεται με την χρήση ακρυλικών που έχουν χαραχθεί σε πριονωτό σχήμα σε γωνίες των  $5^\circ$ ,  $28^\circ$ ,  $36^\circ$  ή  $48^\circ$ . Η όψη με υψηλή ανακλαστικότητα βρίσκεται στην εσωτερική, πριονωτή πλευρά. Ορισμένα πάνελ έχουν επένδυση λεπτής στρώσης αλουμινίου με ιδιαίτερη ανακλαστική ικανότητα. Συνήθως όταν γίνεται εγκατάσταση σε παράθυρα επιτρέπεται η δυνατότητα αλλαγής κλίσης για αποτελεσματικότερη προσαρμογή.



Σχήμα 2.16 Πρισματικά πάνελ με ανάκλιση [33]

## Κεφάλαιο 2: Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

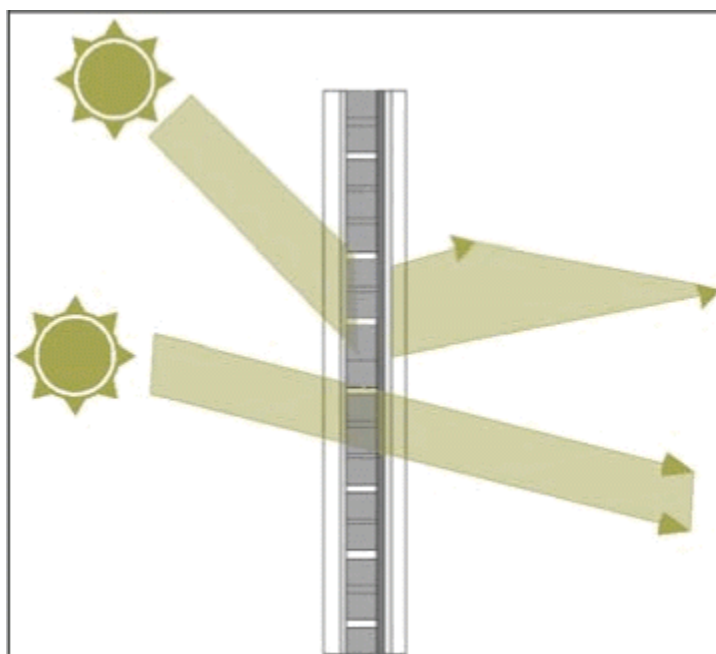
Η χρήση πάνελ συνίσταται σε περιοχές με εύκρατο κλίμα και ο συχνός και σχολαστικός καθαρισμός τους είναι απαραίτητος για να επιτευχθεί σωστή λειτουργία. Λόγω της χαμηλής αντοχής των ακριλικών σε υψηλές θερμοκρασίες, έλεγχοι για πιθανότητα πυρκαγιάς είναι απαραίτητοι πριν αποφασιστεί η χρήση τους και αποφεύγονται σε εύφλεκτα περιβάλλοντα. Επίσης ορισμένες φορές η ανακατεύθυνση του φωτός μετά από μια κρίσιμη γωνία, δεν έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα και δημιουργεί θάμβωση[32].

### 2.6.1.5 Πάνελ επεξεργασίας με λέιζερ (laser-cut-panel)

Οι υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λέιζερ αποτελούνται από λεπτά ακρυλικά φύλλα στα οποία έχουν δημιουργηθεί παράλληλες εγκοπές με τη βοήθεια λέιζερ. Οι εγκοπές λειτουργούν ως μικροί εσωτερικοί καθρέφτες, όταν το φως προσπέσει με μια συγκεκριμένη κρίσιμη γωνία. Για γωνίες μεγαλύτερες των  $120^\circ$  παρατηρείται μεγάλο ποσοστό ανάκλασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας προς την οροφή, για μικρότερες γωνίες το τζάμι συμπεριφέρεται όπως τα συμβατικά μοντέλα. Τα ακρυλικά φύλλα τοποθετούνται στο διάκενο των δίδυμων υαλοπινάκων για προστασία (Σχήμα 2.17). Ο μηχανισμός είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να μην εμποδίζεται σημαντικά η θέα, οπότε η τοποθέτησή τους γίνεται είτε σε παράθυρα είτε σε οροφές.

Τα laser cut panels μπορούν να παραχθούν σε μεγάλες ποσότητες με ευέλικτες κατασκευαστικές μεθόδους ενώ η συντήρησή τους δεν απαιτεί την φροντίδα που αναφέρθηκε στις παραπάνω περιπτώσεις. Η απόδοσή τους χαρακτηρίζεται ως υψηλή, ενώ οι συνολικές ανακλάσεις από κάθε επιφάνεια πετυχαίνουν σχετική ομοιομορφία. Σαφώς, η απόδοσή τους είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με συνεχή ηλιοφάνεια.

Γενικά δεν υπάρχουν σοβαροί περιορισμοί προς την χρήση παρά μόνο η απαίτηση να βρίσκονται πάνω από το ύψος παρατηρητή. Η ανάκλαση συμβαίνει μόνο προς τα πάνω και αν τοποθετηθούν χαμηλά προφανώς υπάρχει πρόβλημα θάμβωσης.



Σχήμα 2.17 Πάνελ επεξεργασίας με λέιζερ (laser-cut-panel) [32]

Κατά την παραγωγή τους ουσιαστικά χρησιμοποιείται ένα φύλλο από καθαρό ακρυλικό (PMMA) και έχουν σχεδιαστεί να περιέχουν μια στερεή περιφέρεια με τα ανάλογα τμηματικά μέρη να στηρίζονται πάνω της. Φυσικά έχουν υψηλό κόστος που αγγίζει τα  $100 \text{ €/m}^2$ , λόγω του υλικού αλλά και της υψηλών προδιαγραφών κοπής που πρέπει να υποστούν. Ο κλασικός τρόπος αξιοποίησης της παραπάνω τεχνολογίας σχετίζεται με εφαρμογή σε παράθυρα όπως προαναφέρθηκε. Σε εξεζητημένες περιπτώσεις όμως ο συνδυασμός των πάνελ μπορεί να οδηγήσει σε εκπληκτικά αποτελέσματα. Όπως για παράδειγμα, στη τριγωνική σκεπή που επιτρέπεται η διέλευση του φωτός σε ορισμένες μόνο γωνίες πρόσπτωσης. Όταν είναι καλοκαίρι οι ακτίνες του ήλιου ανακλώνται από το πρώτο πάνελ

## Κεφάλαιο 2: Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

και στην συνέχεια κατευθύνονται προς το δεύτερο όπου μετά από μια δεύτερη ανάκλαση εξέρχονται. Αν η γωνία αλλάξει, πράγμα που συμβαίνει τον χειμώνα, οι ακτίνες κατευθύνονται με μεγαλύτερη γωνία προς το εσωτερικό, και διαχέονται στον χώρο. Γενικά, η συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται ευρύτατα και πλέον σε αρκετά κτίρια κυρίως αυξημένων προδιαγραφών, στις οροφές υπάρχουν πυραμίδες που εξυπηρετούν αυτό τον σκοπό.[29]

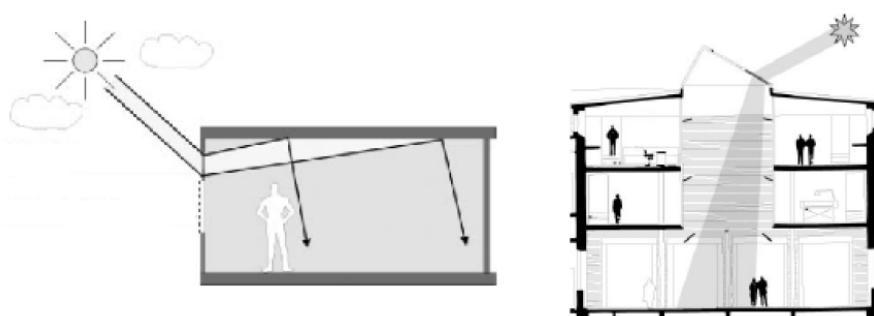


## 2.6.1.6 Ειδικοί υαλοπίνακες ανακατεύθυνσης φωτός

Στην περίπτωση των ειδικών υαλοπινάκων δεν γίνεται χρήση ανακλαστήρων, αλλά οι ακτίνες εκτρέπονται και κατευθύνονται προς την οροφή από το ίδιο το τζάμι. Ο μηχανισμός λειτουργίας τους τοποθετείται στο μέσο του υαλοπίνακα, για αυτό και διαφέρουν από τις προηγούμενες τεχνικές που αναφέρθηκα παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ακριλικό υλικό κατασκευασμένο σε κοίλη μορφή, το οποίο ανακλά τις προσπίπτουσες ακτίνες προς την οροφή, ενώ παράλληλα περιβάλλεται από διπλά τζάμια για λόγους θωράκισης.

Συνήθως, τοποθετούνται σε ειδικά σχεδιασμένες οροφές που επιτρέπουν την ανάκλαση, ώστε να διευκολύνουν την περαιτέρω διάχυση του φυσικού φωτισμού στο χώρο (Σχήμα 2.18). Η τοποθέτηση γίνεται στα παράθυρα σε ύψος ελαφρώς μεγαλύτερο από αυτό του ματιού. Το ύψος της περιοχής που καλύπτεται από τον υαλοπίνακα κατά κύριο λόγο κυμαίνεται στο 10% του αντίστοιχου ύψους του δωματίου. Όταν εφαρμόζονται σε οροφές έχουν κλίση κοντά στις 20°.

Η κατασκευή καθώς και η σύσταση του ακριλικού υλικού, τροποποιείται ανάλογα με το ζητούμενο γεωγραφικό πλάτος τοποθέτησης του. Οι υαλοπίνακες αυτοί ενδείκνυνται για πλάτη μεταξύ 10° και 65°. Όπως πάντα ο προσανατολισμός με την μεγαλύτερη απόδοση είναι ο Νότος, αλλά η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι, λειτουργούν ικανοποιητικά και για ανατολικές και δυτικές διευθύνσεις κατά το πρωί ή το απόγευμα αντίστοιχα. Οι διατάξεις αυτές εκτρέπουν και το διάχυτο φως, αλλά η στάθμη φωτισμού είναι αισθητά χαμηλότερη. Οπότε για τις βορεινές κατευθύνσεις χρειαζόμαστε μεγαλύτερα στοιχεία. Η εκτροπή γίνεται τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κάθετο επίπεδο επομένως η διάχυση μπορεί να φτάσει σε εσωτερικά μέρη ενός κτιρίου. Εναλλακτικά αν εφαρμοστούν στην οροφή, μπορούν να φωτίσουν χώρους που θεωρούνται αποκλεισμένοι από το φως του ήλιου όπως φαίνεται στην δεύτερη εικόνα του Σχήματος 2.18.



Σχήμα 2.18 Τρόπος λειτουργίας υαλοπίνακα ανακατεύθυνσης, παράδειγμα εφαρμογής σε οροφή [29]

Φυσικά, λόγω υψηλών προδιαγραφών κύριο εμπόδιο εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας αποτελεί το αρχικό κόστος που ανέρχεται σε 200 € ανά τετραγωνικό μέτρο για το εσωτερικό ακριλικό. Αν όμως γίνει μαζική παραγωγή το κόστος μειώνεται αισθητά. Επιπρόσθετη προϋπόθεση για την αποτελεσματική λειτουργία είναι ο συχνός τους καθαρισμός.

### 2.6.1.7 Φωτοσωλήνες (solar tubes)

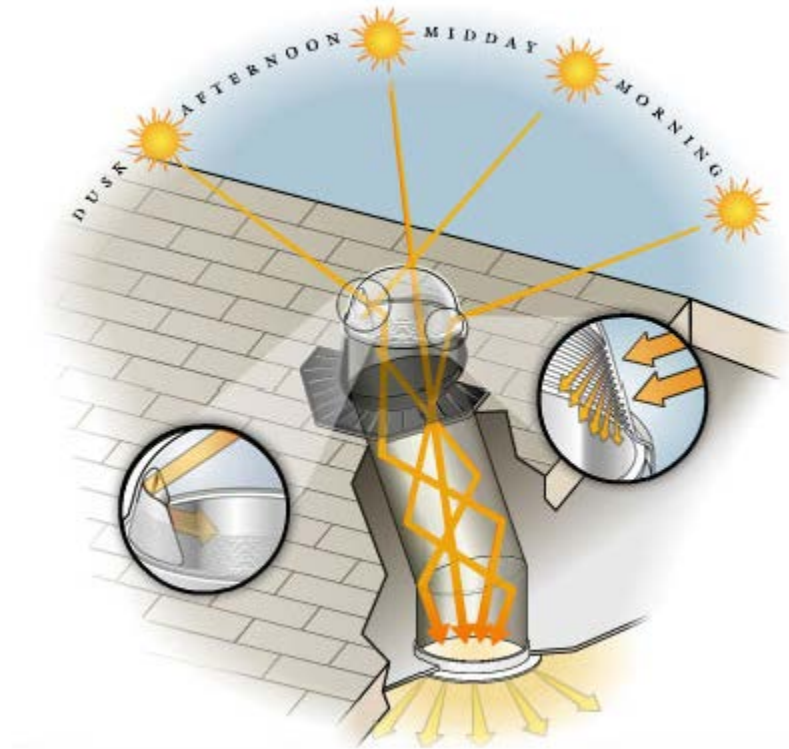
Οι φωτοσωλήνες είναι μια καινοτομία που προσομοιάζει την λειτουργία του φωταγωγού, με την διαφορά ότι κατασκευάζονται στην ψευδοροφή και υλοποιούνται με την βοήθεια ανακλαστήρων. Πιο συγκεκριμένα, οι φωτοσωλήνες αιχμαλωτίζουν το φως της ημέρας και μέσω ενός υπερανακλαστικού σωλήνα μεταφέρει το φυσικό φως στον εσωτερικό χώρο σε όλες τις καιρικές συνθήκες αντικαθιστώντας ουσιαστικά τον ηλεκτρικό φωτισμό. Οι ανακλαστήρες αποτελούνται από ανοδιωμένο αλουμίνιο με δείκτη ανάκλασης κοντά στο 0.9 και συνθέτουν ένα αγωγό μεταφοράς του φωτός.

Εξωτερικά υπάρχει ένα τζάμι διάχυσης που επιτρέπει στο φως να εισέλθει στην ζώνη με σωστή γωνία. Έπειτα με συνεχείς ανακλάσεις το φως φτάνει στην άλλη πλευρά της κοιλότητας και κατευθύνεται στην εσωτερική πλευρά του δωματίου που διαχέεται στον χώρο. Επίσης, προκειμένου να αποφευχθεί η θάμβωση φράσσεται η είσοδος του περάσματος με αδιαφανές υλικό.

Η απόδοσή του εξαρτάται από την ένταση φωτισμού στο επίπεδο του φωτοσωλήνα εξωτερικά, το ύψος του ηλίου, την ύπαρξη ή όχι γωνιών στο φωτοσωλήνα και από το λόγο του μήκους του προς τη διάμετρό του. Για αυξημένη απόδοση το μήκος του δε θα πρέπει να ξεπερνάει τα 10m, δεδομένου ότι όσο αυξάνεται το μήκος του, μειώνεται σημαντικά η ένταση του φωτισμού

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μηχανισμός λειτουργεί για έμμεσο φυσικό φωτισμό και τις ηλιόλουστες ημέρες. Συνήθως οι κοιλότητες εφαρμόζονται σε χώρες με πολύ έντονη ηλιοφάνεια για προστασία από την άμεση έκθεση στο ισχυρό φυσικό φως. Εναλλακτικά, αλλά με τον ίδιο τρόπο λειτουργίας κατασκευάζονται και οι φεγγίτες που τοποθετούνται στην οροφή και με ανακλαστήρες συλλέγουν και διαχέουν μέρος του φωτός του ηλίου σε κάποιο χώρο. Γίνεται προσπάθεια αποφυγής σε άμεση έκθεση στο ηλιακό φως. Η δυνατότητα επιλογής ως προς τις γωνίες πρόσπτωσης είναι πολύ μικρή και αφορά τις κατακόρυφες κλίσεις. Εφαρμογές συναντώνται κυρίως σε μονώροφα κτίρια, αίθρια ή και στον τελευταίο όροφο πολυώροφων κτιρίων.

Με την χρήση των φωτοσωλήνων περιορίζονται τα έξοδα κλιματισμού μέσω της μονωτικής ιδιότητας του φωτοσωλήνα και της αποφυγή χρησιμοποίησης θερμών λαμπτήρων, μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας στο κτήριο, προστατεύεται το περιβάλλον ενώ παράλληλα υπάρχει δυνατότητα επιδότησης από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας και από τον αναπτυξιακό νόμο[34].



Σχήμα 2.19 Φωτοσωλήνες (solar tubes) [35]

### 2.6.1.8 Ηλιοστάτες (solar trackers)

Τα ηλιακά κάτοπτρα ή αλλιώς ηλιοστάτες είναι μια τεχνολογία γνωστή στον άνθρωπο από την αρχαιότητα. Χρησιμοποιήθηκαν ευρέως όπου ήταν εφικτό με την πάροδο του χρόνου κυρίως εκμεταλλευόμενοι τη θερμική ενέργεια του ήλιου. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των αναγκών για εκμετάλλευση όλο και περισσότερου φυσικού φωτισμού τα ηλιακά κάτοπτρα βρήκαν εφαρμογές και στο χώρο του φωτισμού κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, τα solar trackers χρησιμοποιούν καθρέφτες σε διάφορα σχήματα (παραβολικά, επίπεδα) ως ανακλαστήρες για να συγκεντρώσουν, να κατευθύνουν και να εστιάσουν την ηλιακή ενέργεια όπου είναι επιθυμητό. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε την προσπίπτουσα ποσότητα ηλιακής ενέργειας σε ένα δέκτη. Οπότε, μπορούν να συνδυαστούν με φωτοσωλήνες και να ενισχύσουν την απόδοσή τους. Στο Σχήμα 2.20 φαίνεται ένας τυπικός ορθογώνιος ηλιοστάτης, που χρησιμοποιείται για να ενισχύσει τους φωτοσωλήνες.



Σχήμα 2.20 Ηλιοστάτης με ορθογώνιο κάτοπτρο

Οι ηλιοστάτες με παραβολικό κάτοπτρο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα συστήματα Sunlight-Direct και στα συστήματα Himawari.

Το σύστημα Sunlight-Direct αποτελείται από ένα παραβολικό κάτοπτρο σημειακής εστίασης, το οποίο συγκεντρώνει την προσπίπτουσα ηλιακή δέσμη σε ένα σημείο (Σχήμα 2.21 α). Στο σημείο αυτό βρίσκεται η απόληξη αριθμού οπτικών ινών οι οποίες μέσω φωτοσωλήνα μεταφέρουν το ηλιακό φως στο εσωτερικό του κτιρίου. Εκεί ειδικά υβριδικά φωτιστικά σώματα διανέμουν το φως στο χώρο φτάνοντας τα 25000 Lm (Σχήμα 2.21 β).

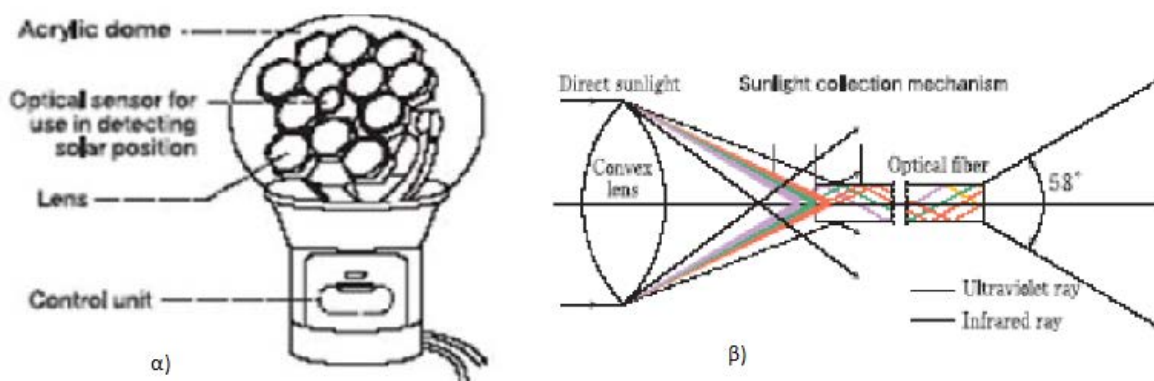


Σχήμα 2.21 Σύστημα Sunlight-Direct [36]

Η λειτουργία του συστήματος Himawari μοιάζει με το παραπάνω σύστημα όσον αφορά το σύστημα διανομής εντός του κτιρίου. Ωστόσο κατά τη συλλογή του ηλιακού φωτός το σύστημα Himawari χρησιμοποιεί πολλαπλούς φακούς συγκέντρωσης οι οποίοι οδηγούν σε

### Ενότητα 2.6.1.8: Ολογραφικά στοιχεία (HOE Glass system)

ένα σύστημα οπτικών ινών το πλήθος των οποίων εξαρτάται από το μέγεθος της κατασκευής. Διαθέτει αυτόματο σύστημα εντοπισμού του ήλιου για μέγιστη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Διαθέτει επίσης φακούς απορρόφησης της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας, και της υπέρυθρης με αποτέλεσμα χαμηλότερη εκπομπή θερμότητας. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι η έξοδος των οπτικών ινών μεταφέρει πραγματικό ηλιακό φως και θερμότητα. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι αρκετά μεγάλη και πρέπει να τηρείται απόσταση ασφαλείας τουλάχιστον 20cm

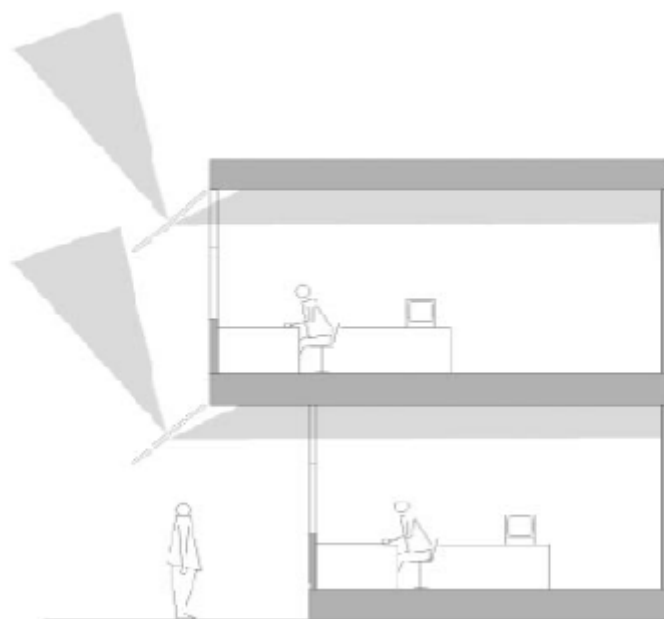


Σχήμα 2.22 Σύστημα Himawari και λειτουργία συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας [37]

### 2.6.1.9 Ολογραφικά στοιχεία (HOE Glass system)

Στην συγκεκριμένη μέθοδο, γίνεται αξιοποίηση του διάχυτου φωτός και όχι της άμεσης ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει, γιατί γίνεται χρήση ολογραφικών στοιχείων με υψηλό δείκτη διαθλαστικότητας. Τα ολογραφικά στοιχεία είναι λεπτά φιλμ φτιαγμένα από πολυμερές υλικό, ικανά να προκαλούν διάθλαση και είναι τοποθετημένα σε διαδοχικές στρώσεις στο εσωτερικό του υαλοπίνακα. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε γωνία  $45^\circ$  και αποσκοπεί την εκμετάλλευση του διάχυτου φωτισμού με κατακόρυφη γωνία πρόσπτωσης.

Όταν εφαρμοστούν σε περιβάλλον που δέχεται άμεσο φωτισμό, προκαλούν σημαντική παραμόρφωση στο οπτικό αποτέλεσμα λόγω ανάλυσης των ακτινών στο φάσμα τους. Επομένως υπάρχει η τάση αλλοίωσης τόσο του φυσικού φωτός όσο και τις θεάς μέσα από τα συγκεκριμένα τζάμια. Η τοποθέτηση γίνεται και σε αυτή την περίπτωση ψηλά και στο εξωτερικό μέρος του κτιρίου σε σημεία που δεν εκτίθενται άμεσα στο φως του ήλιου (Σχήμα 2.23). Η θέση ορίζεται κατά την τοποθέτηση ανάλογα με την μελέτη και δεν υπάρχει σύστημα ελέγχου.[29]



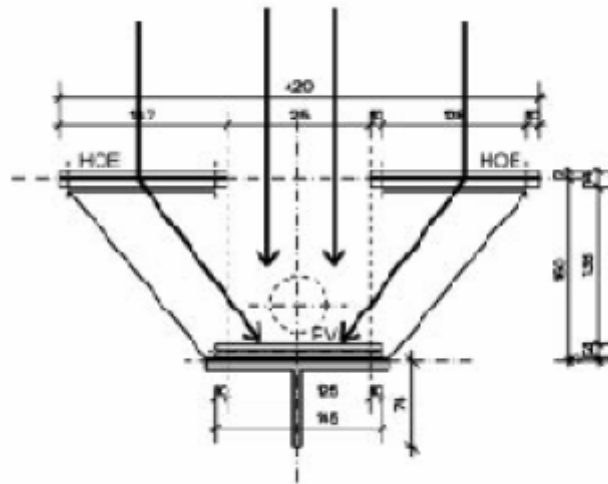
Σχήμα 2.23 HOE Glass System, αποτελεσματικότητα ανεξάρτητα από την απόσταση [29]

Το επίπεδο φωτεινότητας στην κατακόρυφη θέση για μια συνεφιασμένη μέρα είναι αρκετά υψηλότερο από το αντίστοιχο για την οριζόντια. Επομένως ο μηχανισμός λειτουργίας αναμένεται να έχει αποτελεσματική εφαρμογή. Η διάχυση επιτυγχάνεται σε μεγάλο βάθος στην οροφή του δωματίου, καθώς οι πολλαπλές στρώσεις προκαλούν συνεχείς διαθλάσεις. Λόγω ύπαρξης μεικτών γωνιών πρόσπτωσης, οι διαθλάσεις που πραγματοποιούνται επικαλύπτονται και η αναμενόμενη αλλοίωση περιορίζεται σημαντικά κρατώντας την ποιότητα σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η χρήση σε αστικό περιβάλλον ή περιοχές με διαρκή συνεφιά θεωρείται ιδανική. Πηγαίνοντας ένα βήμα παραπέρα, και χρησιμοποιώντας συνδυαστικά τις δυνατότητες των ολογραφικών στοιχείων, κατασκευάστηκαν συστήματα σκίασης που εφαρμόζονται στην οροφή κτιρίων. Όταν στις δεδομένες διατάξεις προσπέσει άμεσα το φως του ήλιου έχουν την δυνατότητα ανάκλασης ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης. Παράλληλα, ανά πάσα στιγμή, επιτρέπουν την διάχυση του εμμέσου φωτός και μπορούν να υποκαταστήσουν τα αντίστοιχα παράθυρα με θεαματικά αποτελέσματα.

### Ενότητα 2.6.1.9: Ολογραφικά στοιχεία (HOE Glass system)

Η επιλεκτική σκίαση αυτής της μορφής οδήγησε σε δυο διαφορετικές κατηγορίες διατάξεων. Στην πρώτη κατηγορία τα διαφανή συστήματα αποτελούνται από ολογραφικά στοιχεία που έχουν σχεδιαστεί για να ανακλούν το φως που εισέρχεται μέσω μιας στενής κατακόρυφης ζώνης γωνιών. Παράλληλα επιτρέπουν την διέλευση ακτινών που προσπίπτουν με διαφορετικές γωνίες. Συνήθως το αρχικό κάτοπτρο έχει ενσωματωμένο ανάλογο έλεγχο για να ακολουθεί την πορεία του ηλίου, αυξάνοντας την απόδοση.

Στην δεύτερη περίπτωση τα συστήματα συγκέντρωσης φυσικού φωτός ανακατευθύνουν τις ακτίνες σε μια δεύτερη σειρά από γυάλινα στοιχεία. Σε αυτά τα στοιχεία το φως του ηλίου αντανακλάται, είτε απορροφάται, είτε μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει την κατασκευή ενός συστήματος σκίασης που μπλοκάρει το άμεσο ηλιακό φως, ενώ είναι διαφανές για διάχυτο φως επιτρέποντας σε έναν παρατηρητή να δει προς τα έξω (Σχήμα 2.24 ).



Σχήμα 2.24 Σύστημα HOE σε οροφή [29]

## 2.6.2 Στρατηγικές και αυτοματισμοί ελέγχου φωτισμού

Οι διατάξεις αξιοποιήσεις φυσικού φωτισμού που αναλύθηκαν παραπάνω, εξασφαλίζουν χαμηλή κατανάλωση, μέγιστες αποδόσεις, εκμετάλλευση του φωτός κατά την διάρκεια της ημέρας και αξιοποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας στο έπακρο για συμβατικές εφαρμογές. Όμως για να υπάρξει ουσιαστική απόδοση, θα πρέπει να συνδυαστούν με ένα σωστό σύστημα συντονισμού και ελέγχου που να επιτρέπει την αποτελεσματική συνεργασία τους.

Ως αναφορά τον έλεγχο υπάρχουν διάφορες στρατηγικές που εφαρμόζονται, ανάλογα με την δομή του κτιρίου και την χρήση του χώρου. Οι στρατηγικές αυτές είναι:

- Αξιοποίηση φυσικού φωτισμού (Daylighting): Η στρατηγική αυτή, βασίζεται στην προσαρμογή του τεχνητού φωτισμού ανάλογα με τα επίπεδα του φυσικού φωτισμού που υπάρχουν στον χώρο, αξιοποιώντας την δυνατότητα dimming των φωτιστικών. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή της έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των καταναλισκόμενων φορτίων ανάλογα με τα επίπεδα του φυσικού φωτός που εισέρχεται στον χώρο. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όσο αυξάνεται η απόσταση από τα ανοίγματα των παραθύρων, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξάρτηση από τον τεχνητό φωτισμό, οπότε κρίνεται απαραίτητη η αυτόματη ρύθμιση σε υψηλότερα επίπεδα. Σε κάποιες περιπτώσεις κοινοχρήστων χώρων, εφαρμόζεται έλεγχος με διακόπτες (switching). Απαραίτητη προϋπόθεση σε αυτή την λειτουργία ωστόσο, είναι η επιβολή μιας χρονικής καθυστέρησης προκειμένου να μην αλλάζει συνεχώς κατάσταση λειτουργίας το κύκλωμα κατά την διάρκεια μεταβατικών συνθηκών.
- Προβλεπόμενος Προγραμματισμός: Η δεδομένη στρατηγική χρησιμοποιείται σε χώρους με επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες, κατά την διάρκεια της μέρας.

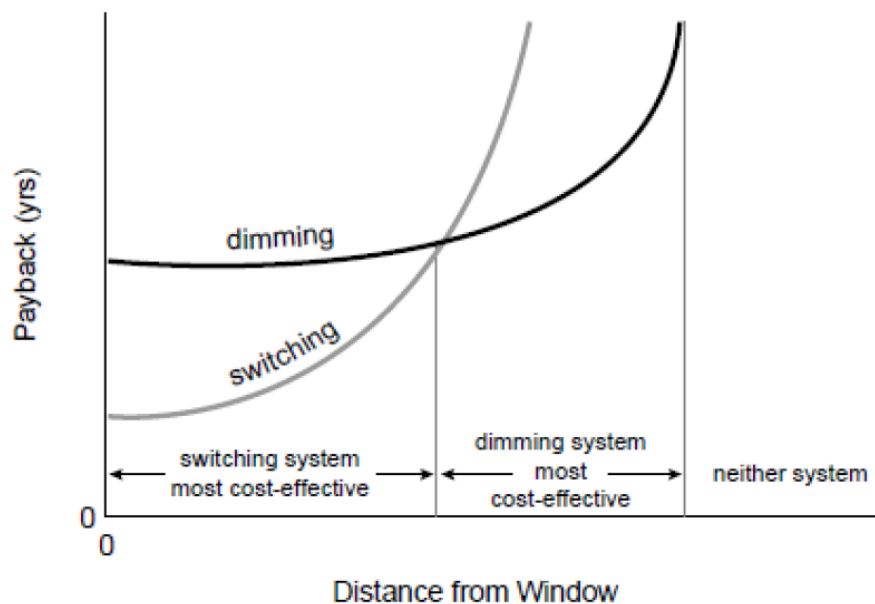
Συνήθως, οι χώροι αυτοί είναι σχολεία, γραφεία υπηρεσιών και εμπορικά κτίρια. Τα φωτιστικά ρυθμίζονται ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας και ακολουθούν το πρόγραμμα ενώ η κατανάλωση περιορίζεται σημαντικά (έως και 40%). Σε περίπτωση που πρέπει να πραγματοποιηθούν έκτακτες εργασίες, παρέχεται η δυνατότητα παράκαμψης των αρχικών ρυθμίσεων, για να συνεχίσει να εργάζεται το προσωπικό υπό φυσιολογικές συνθήκες.

- Μη προβλεπόμενος προγραμματισμός: Η εφαρμογή του μη προβλεπόμενου προγραμματισμού αφορά εγκαταστάσεις που αναμένεται απρόβλεπτη χρήση από το προσωπικό. Συνήθως εφαρμόζεται σε βοηθητικούς χώρους που χρησιμοποιούνται ελάχιστα και δεν υπάρχει τρόπος πρόβλεψης της συχνότητας επισκεψιμότητάς τους. Η υλοποίηση βασίζεται στην τεχνολογία των αισθητήρων παρουσίας κίνησης και είναι δυνατόν να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως και 60% σε κάποιες περιπτώσεις. Όμως, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η έναρξη ή η διακοπή λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων μπορεί να ενοχλεί τους χρήστες παρακειμένων εγκαταστάσεων.
- Διατήρηση επιπέδων φωτισμού: Η συγκεκριμένη στρατηγική περιλαμβάνει την εγκατάσταση συστήματος φωτισμού που υπερβαίνει κατά 20-35% τις αρχικές ανάγκες έντασης. Στην αρχή της λειτουργίας όταν ο εξοπλισμός είναι καινούργιος εφαρμόζονται ανάλογοι συντελεστές μείωσης τις παραγόμενης φωτεινής ροής (20-35%). Με την πάροδο του χρόνου, όσο ο εξοπλισμός υπόκειται σε φθορές και η απόδοση μειώνεται, το σύστημα σταδιακά αναπροσαρμόζεται μέχρι το σημείο που η μέγιστη απόδοση καλύπτει οριακά τις προδιαγραφές του εκάστοτε χώρου.
- Εξισορρόπηση λαμπρότητας: Σε αυτή την περίπτωση έλεγχου γίνεται προσπάθεια εξισορρόπησης των επιπέδων έντασης και φωτισμού μεταξύ των χώρων ενός κτιρίου. Συνήθως οι ρυθμίσεις αφορούν περιορισμό της θάμβωσης. Η ενότητα του βιοκλιματικού σχεδιασμού που παρουσιάστηκε παραπάνω περιέχει ορισμένες διατάξεις εξισορρόπησης όπως τα σκιάστρα και τις περσίδες.



- Task Tuning: Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες εγκαταστάσεις έχουν σχεδιαστεί με στόχο την επίτευξη ομοιομορφίας σε όλο τον χώρο που τοποθετούνται, το σύστημα φωτισμού μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παρέχει τον κατάλληλο τοπικό φωτισμό, όπου απαιτείται. Τα επίπεδα φωτισμού μπορούν να μειωθούν σε χώρους όπως οι διάδρομοι ή οι χώροι υποδοχής και να αυξηθούν σε περιοχές που υπάρχουν υψηλότερες απαιτήσεις [38].

Ανάλογα με την στρατηγική που θα ακολουθηθεί εφαρμόζεται σύστημα με διακόπτες switching ή σύστημα dimming. Συνήθως με εξαίρεση την στρατηγική του προβλεπόμενου προγραμματισμού εφαρμόζεται ο έλεγχος με dimmers. Δυστυχώς, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι λαμπτήρες καθώς και τα ballasts με λειτουργία dimming είναι ιδιαίτερα ακριβά με αποτέλεσμα, οι στρατηγικές αυτές για να εφαρμοστούν να χρειάζονται μεγάλα κεφάλαια επένδυσης. Η σύγκριση μεταξύ switching και dimming ως προς την απόσβεση φαίνεται στο σχήμα Σχήμα 2.25. Ο άξονας των y εκφράζει την απόσταση από ένα σημείο που φωτίζεται από τον ήλιο όπως ένα παράθυρο ενώ ο άξονας των x αφορά τον χρόνο που απαιτείται για να γίνει απόσβεση του εξοπλισμού. Πρέπει να τονιστεί ότι κατά την διάρκεια της ημέρας τα παράθυρα προσφέρουν στο σύστημα όμως κατά την νύχτα επιβαρύνουν σημαντικά το τεχνητό φωτισμό, διότι έχουν μεγάλες απώλειες προς το εξωτερικό του κτιρίου, ακριβώς λόγω της μεγάλης διαπερατότητας τους.



Dimming/Switching payback chart

Σχήμα 2.25 Ποιοτικό διάγραμμα απόσβεσης συναρτήσει της απόστασης από σημεία εισόδου φυσικού φωτισμού για dimming και switching [39]

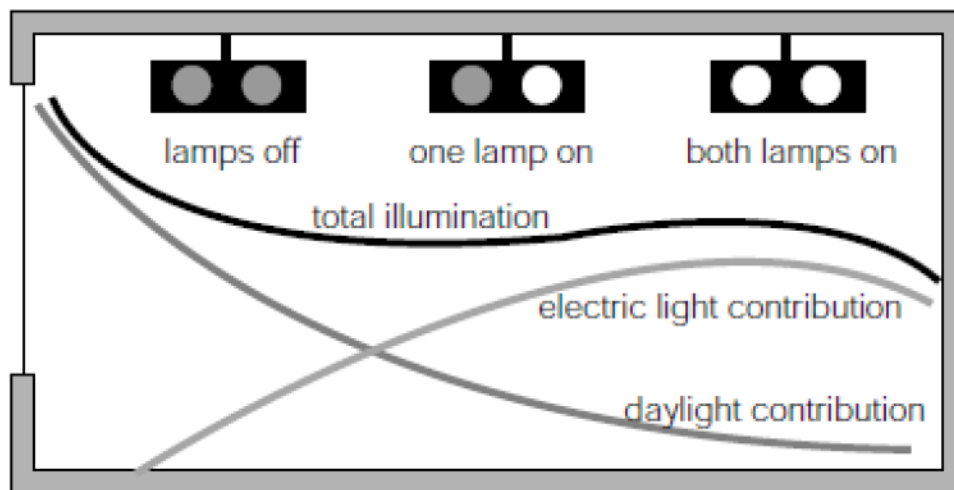
Οπότε το σύστημα switching φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικό κοντά στα παράθυρα ενώ σε μεγαλύτερο βάθος υπερτερεί η τεχνολογία dimming. Φυσικά πέρα από κάποια απόσταση όταν πλέον ο φυσικός φωτισμός δεν επηρεάζει, κανένα από τα δυο συστήματα δεν θεωρείται αποτελεσματικό. Η μέθοδος με dimmers είναι ικανοποιητική και δεν παρατηρούνται μεγάλες αυξομειώσεις στην στάθμη φωτισμού. Επιπλέον η κατανάλωση περιορίζεται σε μέγιστο βαθμό και το σύστημα είναι περισσότερο ευαίσθητο και ακριβές.

Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αν χωριστούν τα εκάστοτε δωμάτια σε ζώνες. Συνήθως οι ζώνες ομαδοποιούνται σε περιοχές με παρόμοια στάθμη φυσικού φωτισμού μέσα στην εγκατάσταση (Σχήμα 2.26). Ακόμη κάθε στοιχείο ελέγχου όπως για παράδειγμα ένα κινούμενο σκιάστρο ή ένα παράθυρο με ανακλαστήρες που αλλάζει

## Κεφάλαιο 2: Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

κλίση, εντάσσει μια καινούρια ζώνη ελέγχου. Ανάλογα με την στάθμη του φυσικού φωτισμού τίθενται σε λειτουργία διαφορετικά φωτιστικά, προκειμένου το άθροισμα να είναι μια σταθερή συνάρτηση.

Στην μέθοδο tuning όπως προαναφέρθηκε με αξιοποίηση της έλλειψης παρουσίας ανθρώπων σε κάποιους χώρους, εξασφαλίζεται εξοικονόμηση. Οι αισθητήρες που εφαρμόζονται σε αυτή την περίπτωση ανιχνεύουν κίνηση και σχεδιάζονται στην τεχνολογία των υπέρυθρων. Είναι γνωστοί και ως PIR. Η συγκεκριμένη μέθοδος φαίνεται να αποδίδει σε μεγάλο βαθμό, διότι συστηματικές στατιστικές μελέτες έχουν δείξει πως οι εργαζόμενοι λείπουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα από τα γραφεία ενώ τα φώτα είναι σε ισχύ. Για διάφορες επιχειρήσεις το ποσοστό εξοικονόμησης μπορεί να φτάσει το 70% αν και με αυστηρούς υπολογισμούς συνήθως φτάνει στο 30% για μια μέση περίπτωση.



Σχήμα 2.26 Έλεγχος με ζώνες [39]

Το μόνο πρόβλημα είναι η παρακολούθηση μεγάλων δωματίων που ελέγχονται από διαφορετικούς αισθητήρες. Αν το προσωπικό συγκεντρωθεί στην μια πλευρά του χώρου, η άλλη θα βυθιστεί στο σκοτάδι δυσχεραίνοντας για λίγο τις συνθήκες εργασίας. Με κατάλληλες συνθήκες ελέγχου, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται.[40]

Στα παρακάτω κεφάλαια αναλύονται περισσότερο τα συστήματα αισθητήρων.

## 2.6.3 Είδη αισθητήρων

Η εξέλιξη της τεχνολογίας δεν θα μπορούσε παρά να μην επηρεάσει καθοριστικά στην ανάπτυξη του τομέα του φωτισμού. Τα συστήματα φωτισμού αυτοματοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση ειδικών αισθητήρων και διακοπών, οι οποίοι εκτός από το ότι διευκόλυναν το χειρισμό των συστημάτων αυτών, συνέβαλαν σημαντικά στην ενεργειακή εξοικονόμηση. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις αυτοματισμού είναι τρεις:

- Αισθητήρες φωτισμού.
- Αισθητήρες παρουσίας ή κίνησης.
- Χρονοδιακόπτες.

### 2.6.3.1 Αισθητήρες φωτισμού

Η βασική λειτουργία ενός αισθητήρα φωτισμού είναι η παραγωγή μιας τάσης ελέγχου η οποία σχετίζεται με την ένταση φωτισμού μέσα στο χώρο. Η λειτουργία ενός αισθητήρα φωτισμού είναι σύνθετη επειδή εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

- Η κατανομή του φωτισμού στο χώρο που βρίσκεται ο αισθητήρας.
- Η φασματική κατανομή του φυσικού και τεχνητού φωτισμού.
- Οι ρυθμίσεις της θέσης σε λειτουργία του αισθητήρα (commissioning) και τα εξωτερικά επίπεδα φωτισμού.

Ο αισθητήρας φωτισμού αποτελεί μια πλήρη μονάδα ελέγχου που εμπεριέχει ειδικούς φακούς για την είσοδο του φωτισμού, φωτοκύτταρο και το απαραίτητο ηλεκτρικό κύκλωμα για την παραγωγή του σήματος ελέγχου. Ο αισθητήρας μετατρέπει τα δεδομένα εισόδου σε ένα σήμα εξόδου, το οποίο ελέγχει τα ηλεκτρονικά συστήματα έναυσης και λειτουργίας των λαμπτήρων φθορισμού (EDB) ή το κεντρικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας ενός κτηρίου. Το σήμα εξόδου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 0 – 10V, εκτός και αν ο αισθητήρας φωτισμού και το EDB είναι ενσωματωμένα σε ένα ενιαίο σύστημα, οπότε το EDB σχεδιάζεται για να λειτουργεί συγκεκριμένα με έναν ιδιαίτερο αισθητήρα φωτισμού. [40]

Η πιο περίπλοκη και ταυτόχρονα χρονοβόρα διαδικασία είναι η σωστή τοποθέτηση ενός αισθητήρα φωτισμού. Η σωστή τοποθέτηση είναι ζωτική για την λειτουργία του συστήματος αφού, σε ένα προβληματικό σύστημα το οποίο έχει τοποθετηθεί εμπειρικά, οι αντιδράσεις των χρηστών είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην αποσύνδεσή του, εκμηδενίζοντας τη δυνατότητα για εξοικονόμηση ενέργειας και απόσβεση της επένδυσης. Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία των αισθητήρων είναι αρκετοί και γι' αυτό πρέπει να τηρούνται τα παρακάτω στάδια για τη θέση σε λειτουργία ενός αισθητήρα φωτισμού.

Αρχικά, πρέπει να χρησιμοποιηθούν πληροφορίες σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές και απαιτήσεις από τον κατασκευαστή του αισθητήρα καθώς επίσης και πληροφορίες σχετικά με τη χρήση του χώρου και το πρόγραμμα των χρηστών του. Πολύ σημαντική παράμετρος για την τοποθέτησή του στη ζώνη εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού είναι το οπτικό πεδίο του αισθητήρα. Στη συνέχεια και αφού καθορισθούν οι ζώνες ελέγχου του κάθε αισθητήρα φωτισμού προτείνονται η θέση τοποθέτησης ανά ομάδα φωτιστικών, εάν χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας ή τα φωτιστικά σώματα στα οποία θα τοποθετηθεί κάθε αισθητήρας ξεχωριστά.

Η θέση σε λειτουργία και η βαθμονόμηση των παραμέτρων του αισθητήρα, διαδικασία που περιλαμβάνει δύο στάδια, την ημερήσια και τη νυχτερινή ρύθμιση, πραγματοποιείται μετά την τοποθέτηση του αισθητήρα στο χώρο, ενώ για τη σωστή ρύθμιση του συστήματος με τους αισθητήρες φωτισμού απαιτείται ένα διακριβωμένο φωτόμετρο.

## Κεφάλαιο 2: Εξοικονόμηση ενέργειας στον φωτισμό

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η νυχτερινή θέση σε λειτουργία, κατά την οποία ρυθμίζεται η τιμή στην οποία το επίπεδο έντασης φωτισμού πρέπει να διατηρείται σταθερό. Πραγματοποιείται με την προσαρμογή του τεχνητού φωτισμού χωρίς την παρουσία φυσικού φωτισμού. Αυτή η ρύθμιση πραγματοποιείται σε όλους τους τύπους αισθητήρων φωτισμού. Σε δεύτερο στάδιο λαμβάνει χώρα η ημερήσια θέση σε λειτουργία και ρυθμίζεται η αναλογία μεταξύ του σήματος του αισθητήρα φωτισμού και του επιθυμητού επιπέδου φωτισμού με την παρουσία φυσικού φωτισμού και τεχνητού φωτισμού. Αυτό πραγματοποιείται με τη μείωση της έντασης του τεχνητού φωτισμού μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο συνολικού φωτισμού με την παρουσία φυσικού φωτισμού. Η ημερήσια θέση σε λειτουργία του αισθητήρα ολοκληρώνεται επιλέγοντας να πραγματοποιηθεί η ρύθμιση μια χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά την οποία οι τιμές του φυσικού φωτισμού στην επιφάνεια εργασίας δεν υπερβαίνουν το επίπεδο αναφοράς φωτισμού και έτσι επιλέγονται συνήθως πρωινές ώρες.

Η ημερήσια θέση σε λειτουργία του αισθητήρα φωτισμού εξαρτάται από την κατανομή του φυσικού φωτισμού τη χρονική στιγμή της θέσης σε λειτουργία του αισθητήρα. Αν αυτές οι συνθήκες δεν επιλεγούν κατάλληλα τότε τα αποτελέσματα και η απόδοση του συστήματος ελέγχου δεν θα είναι η επιθυμητή. Η ρύθμιση πρέπει να γίνει σε μία χρονική στιγμή όπου η κατανομή του φυσικού φωτισμού είναι αντιπροσωπευτική αυτής κατά τη διάρκεια λειτουργίας των αισθητήρων φωτισμού και να αποφεύγονται κάποιες συγκεκριμένες κατανομές φυσικού φωτισμού. Η θέση σε λειτουργία του αισθητήρα πρέπει να αποφεύγεται τόσο όταν υπάρχει είσοδος άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από χαμηλό ηλιακό ύψος (λίγο πριν τη δύση) όσο και όταν υπάρχει έντονη άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Εάν στο χώρο εγκατάστασης υπάρχουν ρυθμιζόμενα σκίαστρα τότε η διαδικασία πρέπει να πραγματοποιείται όταν τα σκίαστρα είναι στη θέση που τα προτιμούν οι χρήστες, με την προϋπόθεση να μην παρεμποδίζουν τη βέλτιστη λειτουργία του αισθητήρα φωτισμού.

Η χρονική απόκριση του αισθητήρα φωτισμού, προς τις μεταβολές της έντασης του φυσικού φωτισμού, πρέπει να ρυθμίζεται ώστε να υπάρχει κάποια χρονική υστέρηση, συνήθως μεγαλύτερη του λεπτού της ώρας, για να μεταβεί το σύστημα φωτισμού στη μέγιστη παραγωγή φωτισμού.

Τέλος, δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση ο αισθητήρας να στοχεύει στο εξωτερικό άνοιγμα εκτός και αν το επιτρέπουν οι προδιαγραφές του κατασκευαστή [27].

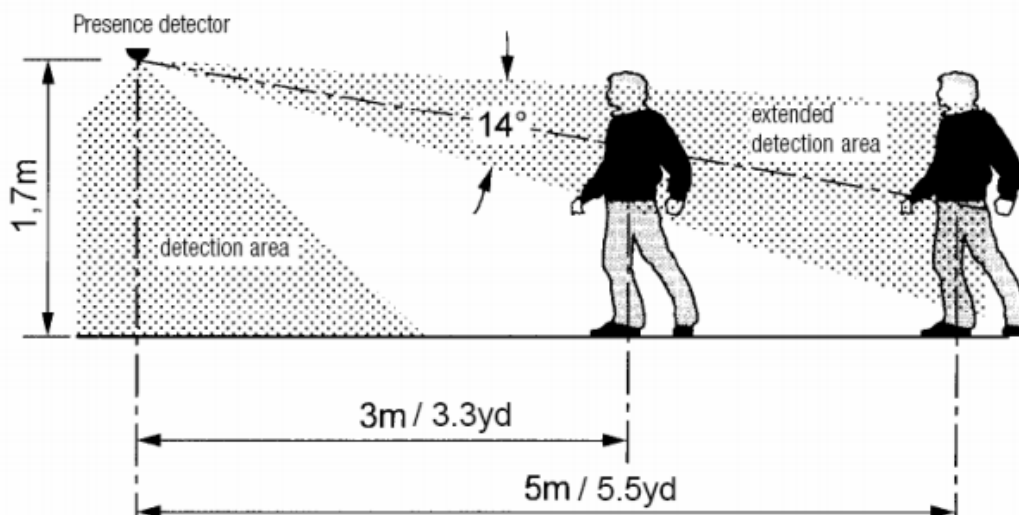
### 2.6.3.2 Αισθητήρες ή ανιχνευτές παρουσίας-κίνησης

Οι αισθητήρες παρουσίας διακόπτουν αυτόματα τη λειτουργία των κυκλωμάτων φωτισμού που ελέγχουν, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να διακόψουν και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού, όταν δεν ανιχνεύουν ανθρώπινη παρουσία στους χώρους στους οποίους είναι τοποθετημένοι. Αυτή είναι και η βασική τους διαφορά με τους αισθητήρες ή ανιχνευτές κίνησης, οι οποίοι συνδέονται μόνο με την εγκατάσταση φωτισμού. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου, καθώς αποτρέπεται το φαινόμενο να λειτουργούν τα συστήματα, με το οποία είναι συνδεδεμένοι οι αισθητήρες, σε χώρους που δεν χρησιμοποιούνται. Στο Σχήμα 2.27 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας των αισθητήρων παρουσίας.

Οι περισσότεροι αισθητήρες διαθέτουν χειροκίνητες και αυτόματες επιλογές για τη ρύθμιση της ευαισθησίας στην ανίχνευση της κίνησης και τη ρύθμιση της χρονικής καθυστέρησης για την απενεργοποίηση του συστήματος φωτισμού από τη στιγμή που ο αισθητήρας δεν αντιλαμβάνεται παρουσία ατόμου στο χώρο που ελέγχει. Ο ανιχνευτής κίνησης συλλέγει τα δεδομένα εισόδου χρησιμοποιώντας συνήθως υπέρηχους, υπέρυθρη ακτινοβολία ή μικροκύματα. Υπάρχουν και αισθητήρες διπλής λειτουργίας οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιούν και υπέρυθρη ακτινοβολία αλλά και υπέρηχους, για μεγαλύτερη ακρίβεια [38].

Οι αισθητήρες παρουσίας και οι ανιχνευτές κίνησης έχουν τις εξής τρεις παραμέτρους ρύθμισης:

- Αυτόματης ή χειροκίνητης έναυσης.
- Αυτόματης ή χειροκίνητης σβέσης.
- Χρόνου αναμονής.



Σχήμα 2.27 Λειτουργία αισθητήρων παρουσίας [41]

Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση επιτυγχάνεται με το συνδυασμό χειροκίνητης έναυσης και αυτόματης σβέσης. Ενδεικτικά, στο φαίνονται διάφορα είδη αισθητήρων που υπάρχουν στο εμπόριο.

Συνοπτικά, σε μελέτες φωτισμού θεωρείται ότι η εξοικονόμηση ενέργειας σε χώρους όπου έχουν εγκατασταθεί αισθητήρες παρουσίας ή ανιχνευτές κίνησης ισούται περίπου με 30%.



**Σχήμα 2.28** Είδη αισθητήρων παρουσίας [42]

### 2.6.3.3 Χρονοδιακόπτες

Οι χρονοδιακόπτες είναι ηλεκτρονικά ή μηχανικά συστήματα, τα οποία ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν τα κυκλώματα φωτισμού για προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα. Τα χρονικά διαστήματα ποικίλλουν ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών του χώρου. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι μπορούν να αντικαταστήσουν τους συμβατικούς διακόπτες χωρίς επιπλέον καλωδίωση, ενώ εξίσου σημαντική είναι η πληθώρα των επιλογών που παρέχουν στους χρήστες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων τους. Επιπλέον αύξηση της λειτουργικότητας του συστήματος φωτισμού επιτυγχάνεται λόγω της συμβατότητας των χρονοδιακοπών με κεντρικά συστήματα ελέγχου και διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας των κτηρίων.

Ανάλογα με την πολυπλοκότητά τους κατηγοριοποιούνται σε απλούς μηχανικούς με ελατήριο έως σύνθετους με μικροεπεξεργαστές που μπορούν να προγραμματίσουν μια ακολουθία γεγονότων για μια ολόκληρη χρονιά. Πρέπει, όμως, να δίνεται η δυνατότητα παράκαμψής τους στους χρήστες, για το ενδεχόμενο μη προβλεπόμενων αποκλίσεων από το προκαθορισμένο πρόγραμμα των χρονοδιακοπών [27].

## 2.6.4 Συντήρηση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σημαντικό παράγοντα που στην απόδοση των φωτιστικών και γενικά της εγκατάστασης φωτισμού διαδραματίζουν η γήρανση και ρύπανση τους. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται λόγος για ρύπανση λαμπτήρων και φωτιστικών καθώς και για γήρανση στραγγαλιστικών πηνίων, λαμπτήρων και υλικών των φωτιστικών που συμμετέχουν στην εκπομπή φωτός. Αυτοί οι παράγοντες συνιστούν το συντελεστή συντήρησης της εγκατάστασης φωτισμού, ο οποίος εκφράζει τη μείωση της απόδοσής της σε σχέση με την αρχική.

Επειδή η σταδιακή πτώση της φωτεινής αποδοτικότητας μιας εγκατάστασης φωτισμού είναι δεδομένη, τα αρχικά επίπεδα φωτισμού υπολογίζονται στον αρχικό σχεδιασμό κατά τι υψηλότερα από τα απαιτούμενα επίπεδα, εκτός εάν προβλέπονται συστήματα ελέγχου μεταβαλλόμενης ή σταθερής ροής. Τα συστήματα αυτά παρατείνουν τη ζωή των λαμπτήρων και αντιμετωπίζουν προβλήματα υπερδιαστασιολόγησης.

Σύμφωνα με μετρήσεις εξειδικευμένων φορέων σε εγκαταστάσεις φωτισμού κτηρίου γραφείων διαπιστώθηκε ότι η πλημμελής συντήρησή τους (ανά 3 χρόνια) είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του φωτισμού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 40%, σε αντίθεση με την τακτική συντήρηση που η μείωση δεν ξεπερνούσε το 25%. Αντίστοιχα, ο καθαρισμός των φωτιστικών και η αντικατάσταση του 1/3 των λαμπτήρων σε ετήσια βάση εξοικονομεί ενέργεια σε ποσοστό έως και 15%.

Ο καθαρισμός των λαμπτήρων και των φωτιστικών από τη σκόνη με τα απαιτούμενα υλικά, βελτιώνει το φωτισμό του χώρου και περιορίζει την κατανάλωση ενέργειας. Συνιστάται η αντικατάσταση πλαστικών ή πρισματικών ανακλαστήρων, επειδή μετά από εύλογο χρονικό διάστημα αποχρωματίζονται και μειώνεται η ανακλαστική ιδιότητά τους. Ακόμη, επιβάλλεται προγραμματισμένος καθαρισμός και αντικατάσταση των λαμπτήρων, λόγω της γήρανσής τους, για να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και να λειτουργεί πιο αποδοτικά η εγκατάσταση φωτισμού. Ο καθαρισμός των φωτιστικών εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο στον οποίο βρίσκονται.

Σημειώνεται ότι πρέπει να συνυπολογίζονται στο πρόγραμμα συντήρησης τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των λαμπτήρων μιας εγκατάστασης φωτισμού, για να αντικαθίστανται έγκαιρα και πριν το τέλος της ζωής τους. Σε πολλούς λαμπτήρες λαμβάνεται υπόψιν, η μέση διάρκεια ζωής, αλλά και η οικονομική διάρκεια ζωής που αφορά στο χρόνο λειτουργίας, πέραν του οποίου η λειτουργία τους δεν είναι συμφέρουσα.

Η συντήρηση συνεπώς είναι αναγκαία για να αποδίδει μια εγκατάσταση φωτισμού το μέγιστο της δυνατότητάς της και να μην γίνεται σπατάλη ενέργειας και χρημάτων. Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων και των φωτιστικών σωμάτων θα πρέπει να μειώνει όσο γίνεται περισσότερο τις απαιτήσεις συντήρησης [41].



### 3 Μελέτη φωτισμού σε χώρους γραφείων

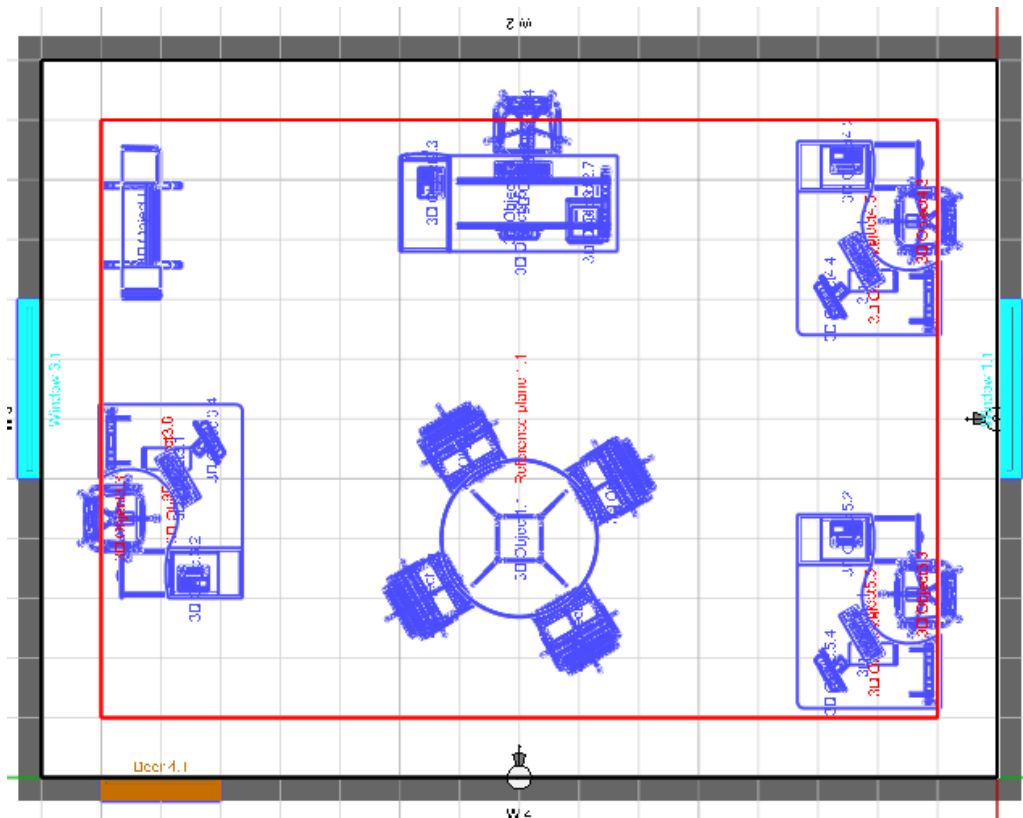
Αντικείμενο του τρίτου κεφαλαίου είναι η περιγραφή του χώρου στον οποίο θα γίνουν οι μελέτες φωτισμού. Επίσης θα περιγράψουν τα φωτιστικά που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και τα αποτελέσματα τους που αποτελούν άλλωστε ένα από τα βασικά αντικείμενα της παρούσας διπλωματικής. Η παρουσίαση τους θα είναι σύντομη, ενώ για περισσότερες πληροφορίες είτε για τα φωτιστικά είτε για τα φωτομετρικά αποτελέσματα των μελετών, ο αναγνώστης θα πρέπει να ανατρέξει στο παράρτημα Α και στο παράρτημα Β αντίστοιχα.

#### 3.1 Περιγραφή του χώρου μελέτης

Στην παρούσα εργασία, η μελέτη φωτισμού γίνεται σε ένα χώρο γραφείων με διαστάσεις 6m x 8m x 2,8m. Τα αντικείμενα που έχουν τοποθετηθεί καθώς και η διάταξη τους είναι καθαρά τυπική και δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μελετών.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί ότι έγιναν 10 μελέτες φωτισμού στο ίδιο χώρο με 10 διαφορετικά φωτιστικά. Ο αριθμός των φωτιστικών καθώς και η τοποθέτησή τους έγινε με γνώμονα την επίτευξη συγκεκριμένων προδιαγραφών στο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, η ένταση φωτισμού πρέπει να είναι 500 lux και η ομοιομορφία  $U_0 \geq 0,6$ . Άλλωστε ο σκοπός της μελέτης είναι η συλλογή των διαφορετικών αποτελεσμάτων και η χρησιμοποίησή τους σε πολυκριτηριακή μέθοδο αποφάσεων, ώστε να επιλεγεί το καλύτερο. Η περιγραφή της μεθόδου, όπως και των αποτελεσμάτων της θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια.

Στο Σχήμα 3.1, Σχήμα 3.2, Σχήμα 3.3 φαίνεται ο χώρος γραφείου σε διάφορες όψεις, όπως απεικονίζεται και στο προγραμματιστικό εργαλείο φωτισμού που χρησιμοποιήθηκε για τις μελέτες (Relux).

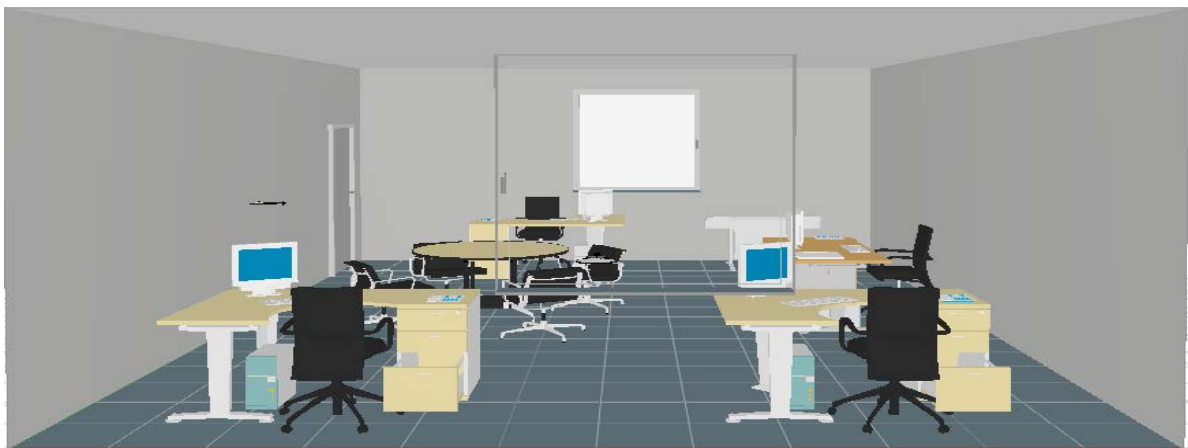


Σχήμα 3.1 Κάτοψη χώρου στο Relux

### Κεφάλαιο 3: Μελέτη φωτισμού σε χώρο γραφείων



**Σχήμα 3.2 Μπροστινή 3D όψη στο Relux**



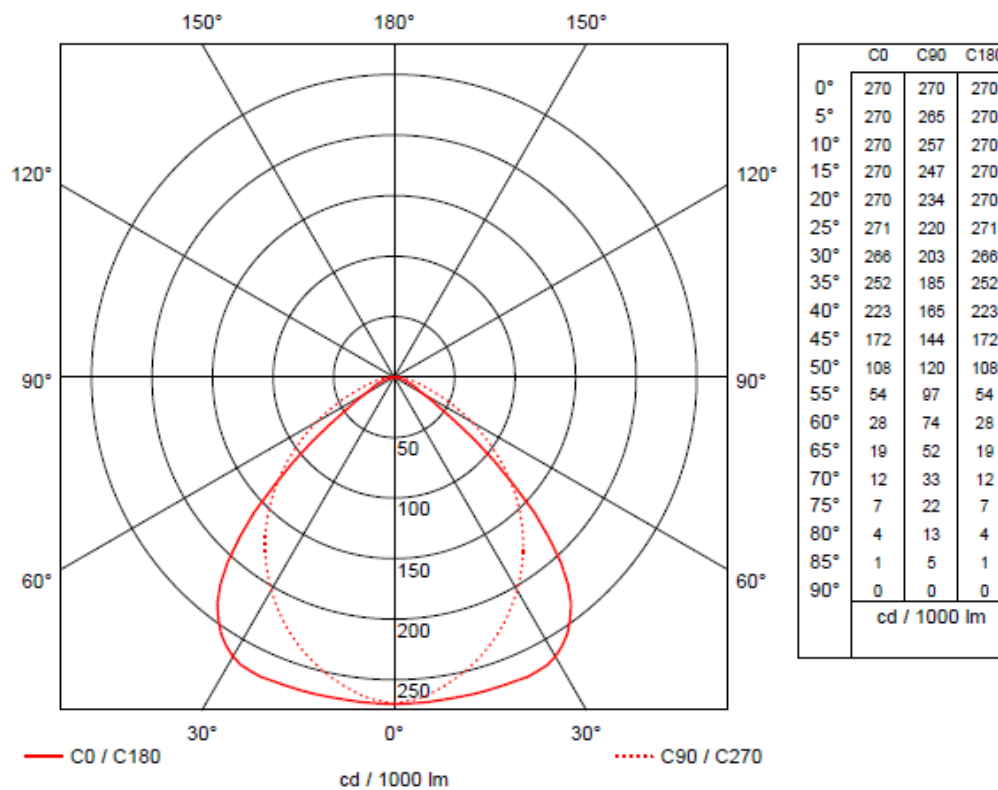
**Σχήμα 3.3 Πλάγια δεξιά 3D όψη στο Relux**

### 3.1.1 Διάταξη 1

Το φωτιστικό 1 είναι της εταιρίας Philips, είναι χωνευτό τετράγωνο οροφής, με λάμπες φθορισμού T8, 4X14W G5 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4. Το πλήρες όνομα του είναι TBS165H414C6/84 και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5. Στο Παράρτημα Α.1 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 1.



Σχήμα 3.4 Φωτιστικό Philips TBS165 [44]



Σχήμα 3.5 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 1 [44]

### Κεφάλαιο 3: Μελέτη φωτισμού σε χώρο γραφείων

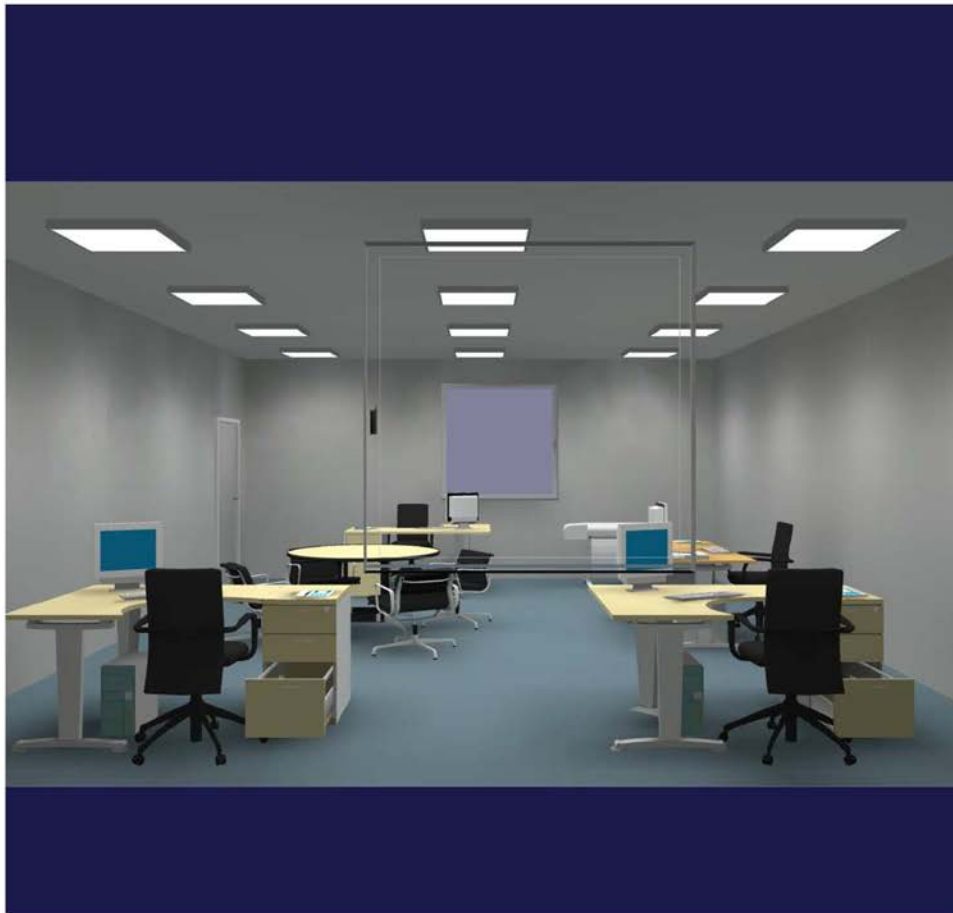
Για τη διάταξη 1 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 12 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.6 και Σχήμα 3.7. Επίσης στο Παράρτημα Β.1. απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 1.

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 01

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>

Maximum: : 165 cd/m<sup>2</sup>

Page 9/12

Σχήμα 3.6 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 1 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 01

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

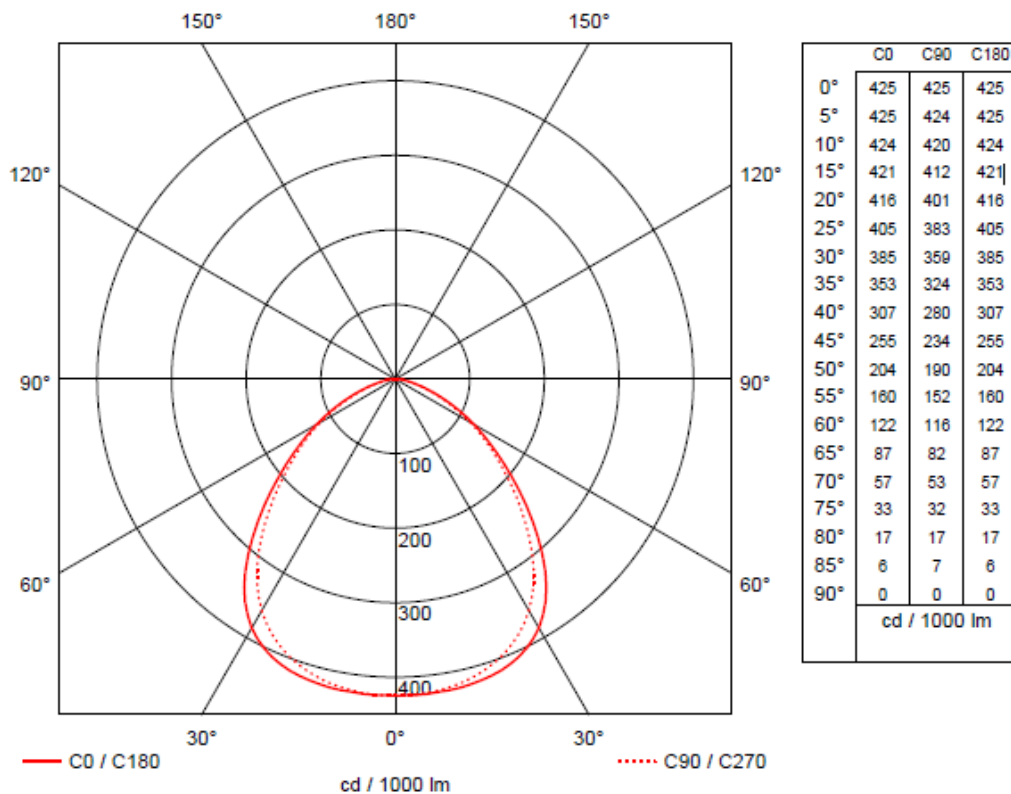
Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 165 cd/m<sup>2</sup>

### 3.1.2 Διάταξη 2

Το φωτιστικό 2 είναι της εταιρίας Philips, είναι χωνευτό τετράγωνο οροφής, με LED34S, 1X41W 127V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.8. Το πλήρες όνομα του είναι RC127V LED34S/830 PSD W60L60 OC και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.9. Στο Παράρτημα Α.2 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 2.



Σχήμα 3.8 Φωτιστικό Philips RC127V LED34S/830 PSD W60L60 OC [44]



Σχήμα 3.9 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 2 [44]

Για τη διάταξη 2 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 10 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.10 και Σχήμα 3.11. Επίσης στο Παράρτημα Β.2. απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 2.

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 02

3D luminance, View from the front



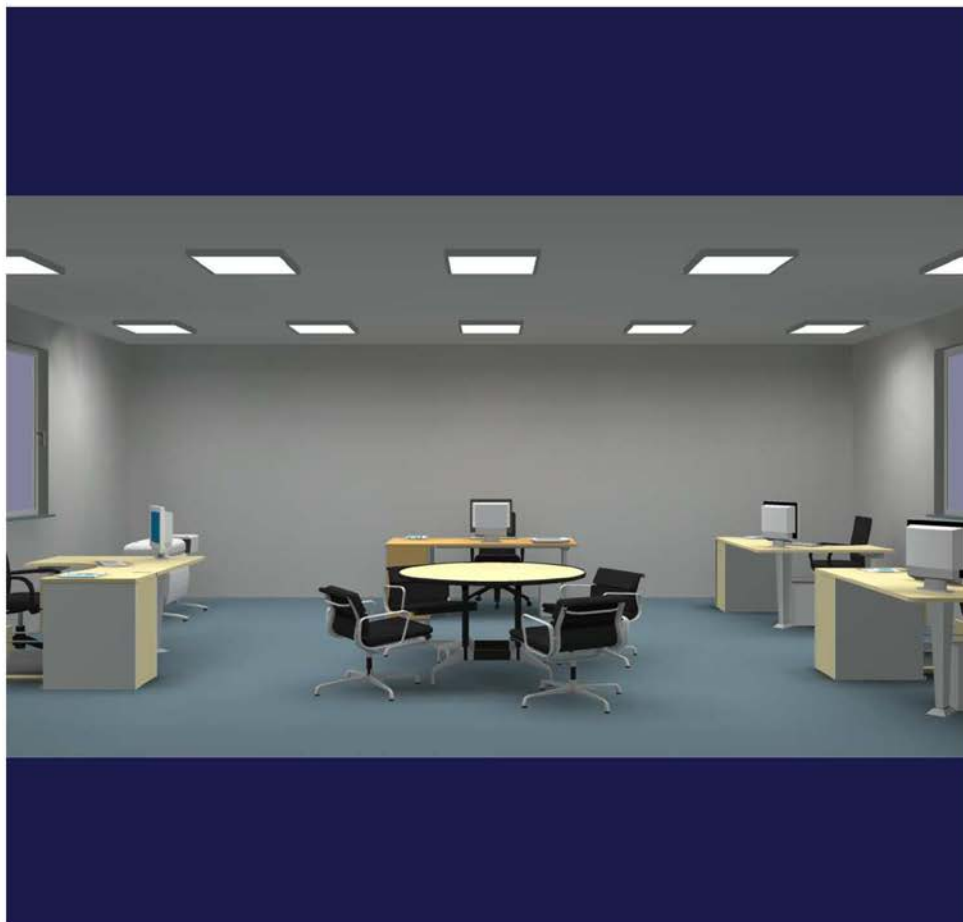
Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 200 cd/m<sup>2</sup>

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 02

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 200 cd/m<sup>2</sup>



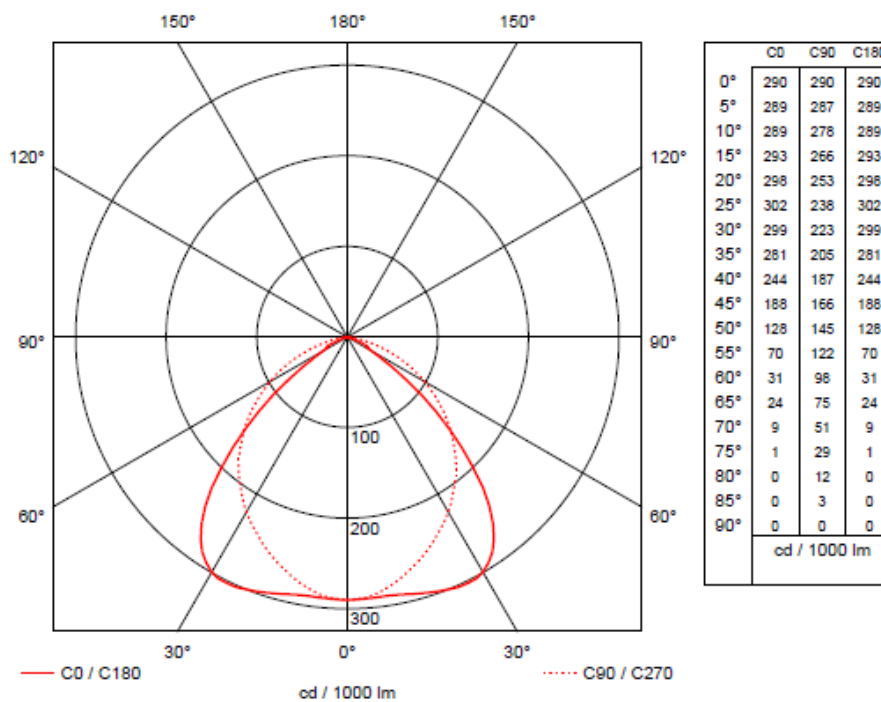
### 3.1.3 Διάταξη 3

Το φωτιστικό 3 είναι της εταιρίας Philips, είναι χωνευτό τετράγωνο οροφής, με σωληνωτούς λαμπτήρες φθορισμού T8, 4X18W G13 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.12. Το πλήρες όνομα του είναι Impala - TBS160HF418C3 και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.13.

Στο Παράρτημα Α.3 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 3.



Σχήμα 3.12 Φωτιστικό Impala - TBS160HF418C3 [44]



Σχήμα 3.13 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 3 [44]

### Κεφάλαιο 3: Μελέτη φωτισμού σε χώρο γραφείων

Για τη διάταξη 3 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 12 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.14 και Σχήμα 3.15. Επίσης στο Παράρτημα Β.3. απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 3.

Project number : Διπλωματική  
Calculation results, Room 03  
3D luminance, View from the front

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools



Luminance in the scene  
Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 178 cd/m<sup>2</sup>

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 03

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>

Maximum: : 178 cd/m<sup>2</sup>

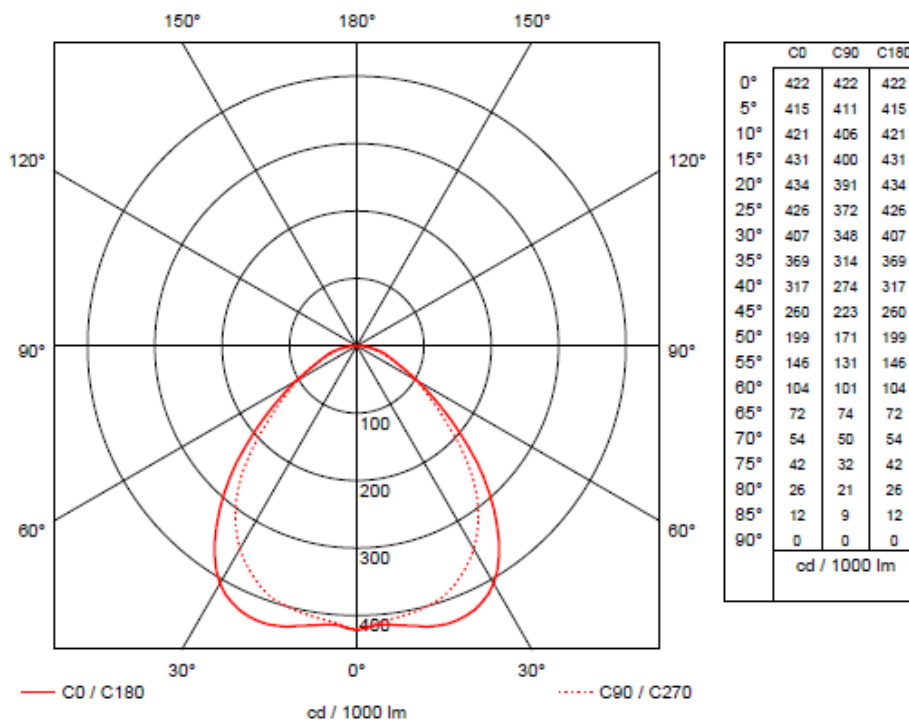
### 3.1.4 Διάταξη 4

Το φωτιστικό 4 είναι της εταιρίας Regent Lighting, είναι χωνευτό πάνελ οροφής, με LED, 1X32W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.16. Το πλήρες όνομα του είναι ITEM LED και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.17.

Στο Παράρτημα Α.4 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 4.



Σχήμα 3.16 Φωτιστικό ITEM LED [45]



Σχήμα 3.17 Πολικό διάγραμμα φωτιστικό 4 [45]

Για τη διάταξη 4 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 9 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.18 και Σχήμα 3.19. Επίσης στο Παράρτημα Β.4 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 4.



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 4

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 187 cd/m<sup>2</sup>

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 4

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>

Maximum: : 187 cd/m<sup>2</sup>

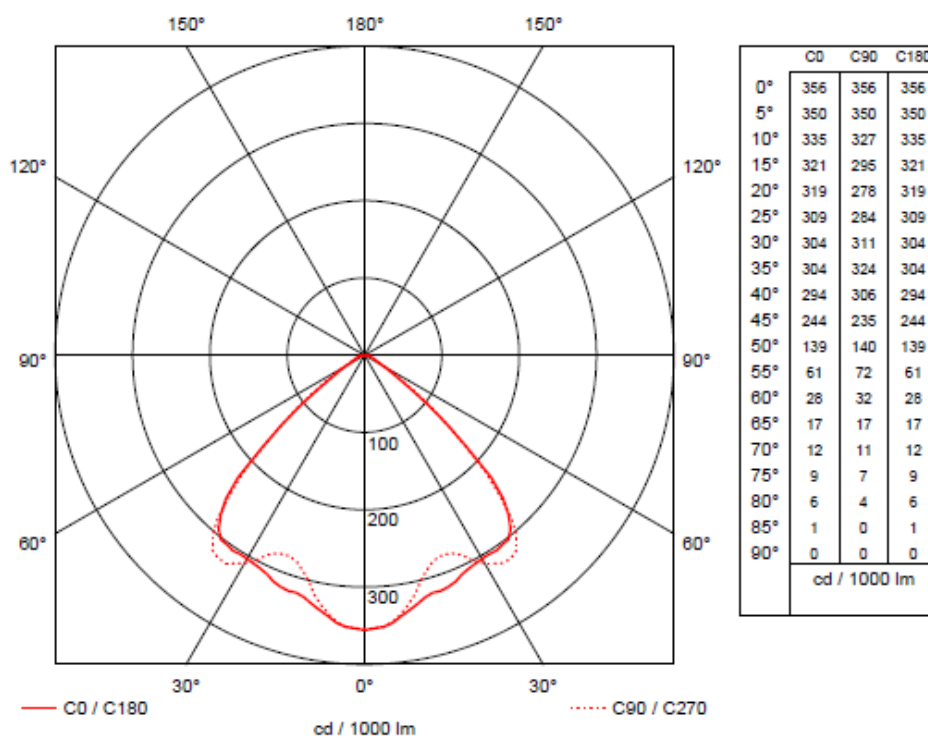
### 3.1.5 Διάταξη 5

Το φωτιστικό 5 είναι της εταιρίας Ridi, είναι χωνευτό downlight, με λάμπα φθορισμού(FSMH 42), 1X46W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.20. Το πλήρες όνομα του είναι EBD 340/26-42 SG (42W) + DVZS και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.21.

Στο Παράρτημα Α.5 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 5.



Σχήμα 3.20 Φωτιστικό EBD 340/26-42 SG (42W) + DVZS [46]



Σχήμα 3.21 Πολικό διάγραμμα φωτιστικού 5 [46]

### Κεφάλαιο 3: Μελέτη φωτισμού σε χώρο γραφείων

Για τη διάταξη 5 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 15 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.22 και Σχήμα 3.23. Επίσης στο Παράρτημα Β.5 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 5.



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 5

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 170 cd/m<sup>2</sup>

Page 9/12

Σχήμα 3.22 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 5 [44]



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 5

3D luminance, View from the left



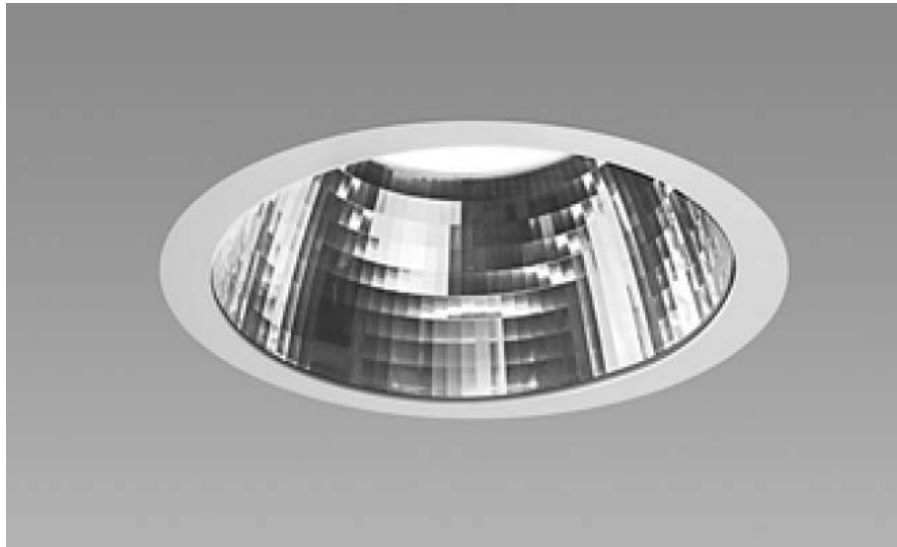
Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 170 cd/m<sup>2</sup>

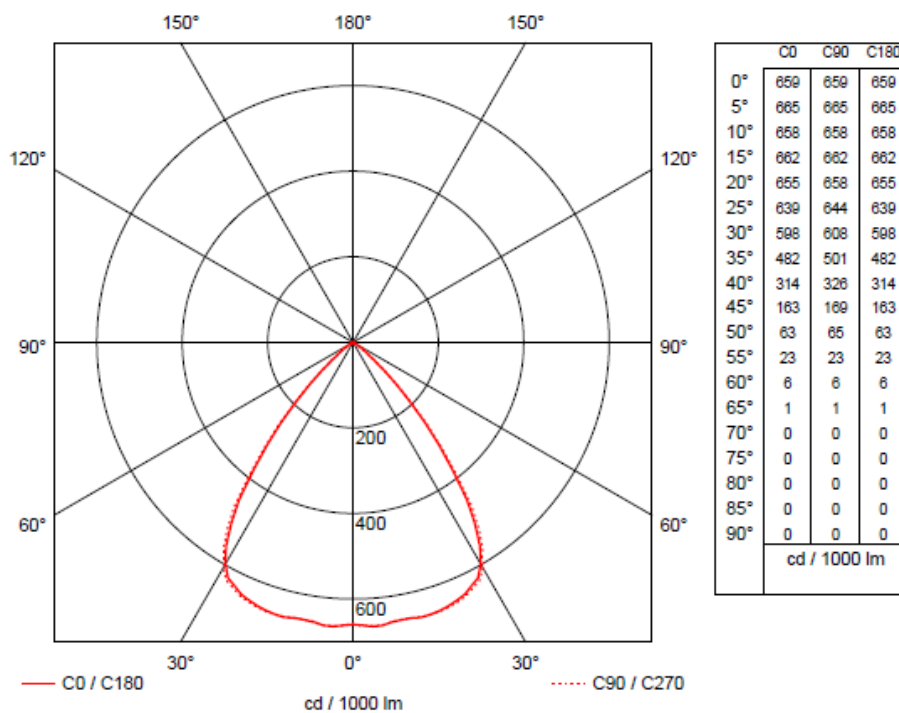
### 3.1.6 Διάταξη 6

Το φωτιστικό 6 είναι της εταιρίας Regent lighting, είναι χωνευτό downlight, με LED, 1X34W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.24. Το πλήρες όνομα του είναι Echo 260 LED και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.25.

Στο Παράρτημα Α.6 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 6.



Σχήμα 3.24 Φωτιστικό Echo 260 LED [45]



Σχήμα 3.25 Πολικό διάγραμμα φωτιστικό 6 [45]

Για τη διάταξη 6 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 8 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.26 και Σχήμα 3.27. Επίσης στο Παράρτημα Β.6 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 6.

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 6

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene  
Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 232 cd/m<sup>2</sup>

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 6

3D luminance, View from the left



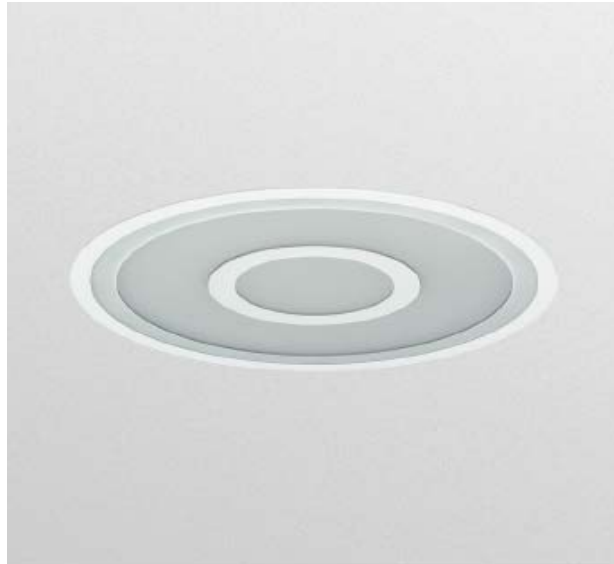
Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 232 cd/m<sup>2</sup>

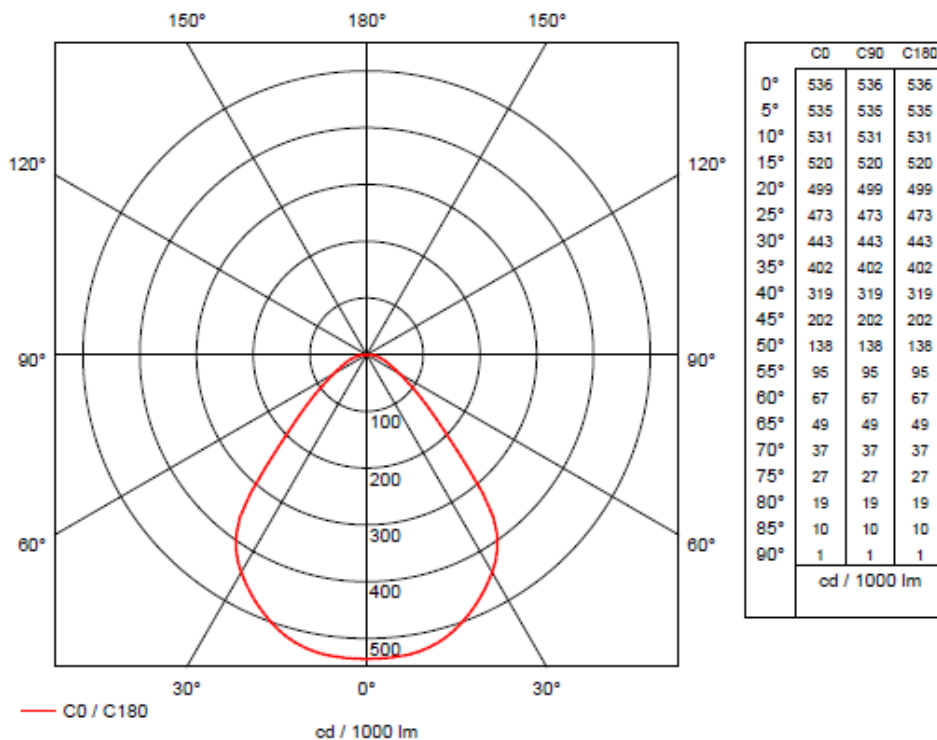
### 3.1.7 Διάταξη 7

Το φωτιστικό 7 είναι της εταιρίας Philips, είναι χωνευτό στρογγυλό οροφής, με LED, 1X34W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.28. Το πλήρες όνομα του είναι BBS561 AC-MLO-C LED35S/- NO και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.29.

Στο Παράρτημα Α.7 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 7.



Σχήμα 3.28 Φωτιστικό BBS561 AC-MLO-C LED35S/- NO [44]



Σχήμα 3.29 Πολικό φωτιστικό 7 [44]

### Κεφάλαιο 3: Μελέτη φωτισμού σε χώρο γραφείων

Για τη διάταξη 7 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 8 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.30 και Σχήμα 3.31. Επίσης στο Παράρτημα Β.7 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 7.

Project number : Διπλωματική

**Calculation results, Room 7**

**3D luminance, View from the front**



Luminance in the scene  
Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 232 cd/m<sup>2</sup>

Σχήμα 3.30 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 7 [44]

Page 15/32

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 7

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 232 cd/m<sup>2</sup>

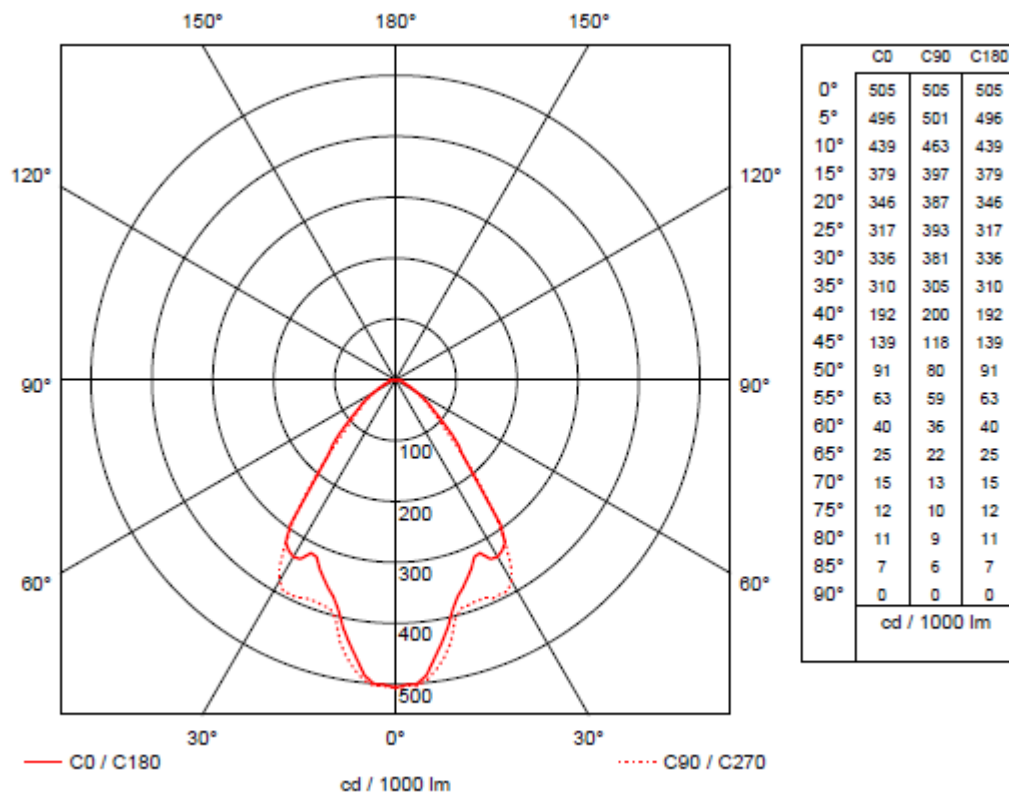
### 3.1.8 Διάταξη 8

Το φωτιστικό 8 είναι της εταιρίας Ridi, είναι χωνευτό downlight, με λάμπα φθορισμού (FSMH 42), 1X46W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.32. Το πλήρες όνομα του είναι EBD 340/26-42 SG (42W) + DVRP και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.33.

Στο Παράρτημα Α.8 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 8.



Σχήμα 3.32 Φωτιστικό EBD 340/26-42 SG (42W) + DVRP [46]



Σχήμα 3.33 Πολικό φωτιστικό 8 [46]



Για τη διάταξη 8 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 16 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.34 και Σχήμα 3.35. Επίσης στο Παράρτημα Β.8 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 8.

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 8

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 177 cd/m<sup>2</sup>

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 8

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 177 cd/m<sup>2</sup>

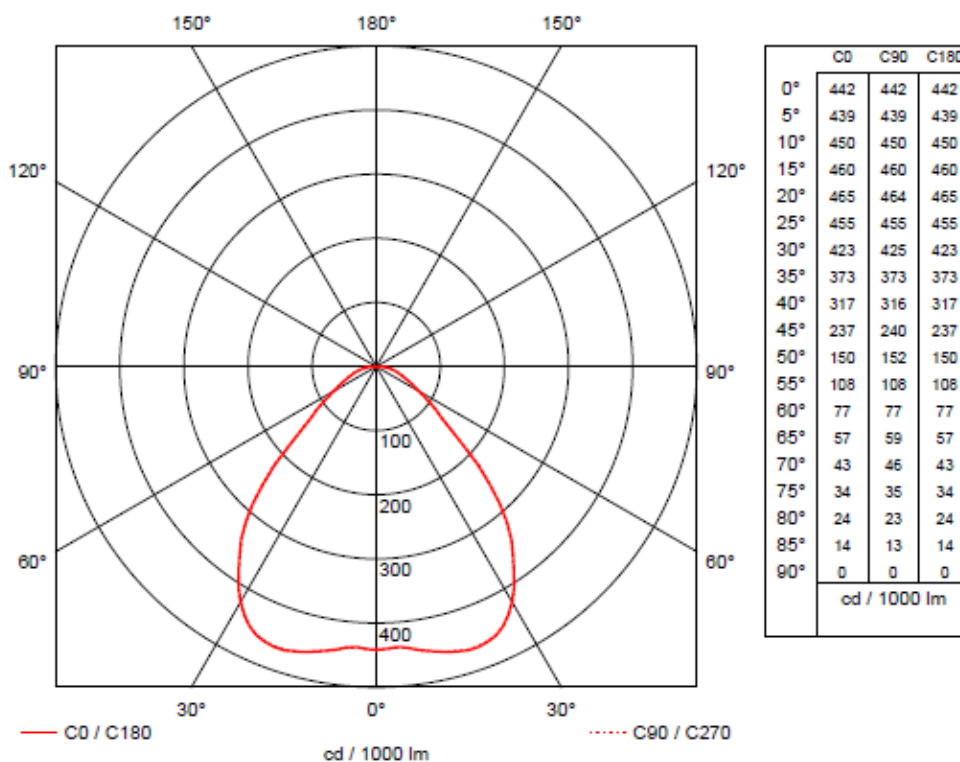
### 3.1.9 Διάταξη 9

Το φωτιστικό 9 είναι της εταιρίας Regent lighting, είναι χωνευτό downlight, με LED, 1X30W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.36. Το πλήρες όνομα του είναι SOLO SLIM LED και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.37.

Στο Παράρτημα Α.9 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 9.



Σχήμα 3.36 Φωτιστικό [45] SOLO SLIM LED



Σχήμα 3.37 Πολικό φωτιστικού 9 [45]

### Κεφάλαιο 3: Μελέτη φωτισμού σε χώρο γραφείων

Για τη διάταξη 9 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 9 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.38 και Σχήμα 3.39. Επίσης στο Παράρτημα Β.9 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 9.

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 9

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 210 cd/m<sup>2</sup>

Page 15/32

Σχήμα 3.38 3D κατανομή έντασης φωτισμού (Βόρεια όψη) διάταξης 9 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 9

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 210 cd/m<sup>2</sup>

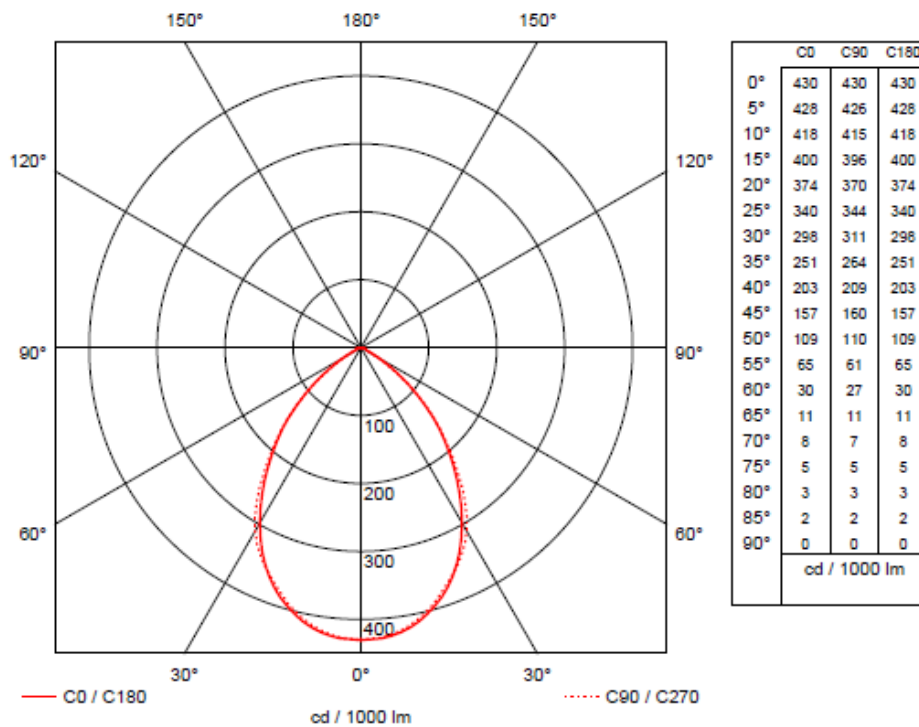
### 3.1.10 Διάταξη 10

Το φωτιστικό 10 είναι της εταιρίας Ridi, είναι downlight , με λάμπα φθορισμού (FCH-O16 55), 1X60W 230V, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.40. Το πλήρες όνομα του είναι ABDR 410/55 SG-OS και το πολικό του διάγραμμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.41.

Στο Παράρτημα Α.10 απεικονίζεται ο πλήρης πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτιστικού 10.



Σχήμα 3.40 Φωτιστικό ABDR 410/55 SG-OS [46]



Σχήμα 3.41 Πολικό φωτιστικό 10 [46]

Για τη διάταξη 10 με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε ότι απαιτούνται 12 φωτιστικά, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.42 και Σχήμα 3.43. Επίσης στο Παράρτημα Β.10 απεικονίζεται το isolux διάγραμμα της διάταξης 10.

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 10

3D luminance, View from the front



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 185 cd/m<sup>2</sup>

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 10

3D luminance, View from the left



Luminance in the scene

Minimum: : 0 cd/m<sup>2</sup>  
Maximum: : 185 cd/m<sup>2</sup>



## 4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτήρια ανάλυση

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα αποφάσεων, καθώς και στην πολυκριτηριακή ανάλυση. Συγκεκριμένα, γίνεται εκτεταμένη περιγραφή και ανάλυση της πολυκριτηριακής μεθόδου που ονομάζεται ELECTRE I, η οποία στην παρούσα εργασία, αποτελεί την κύρια μέθοδο απόφασης για την επιλογή των κατάλληλων φωτιστικών.

### 4.1 Εισαγωγή στα συστήματα αποφάσεων

Η συνειδητή λήψη αποφάσεων αποτελεί μέρος των ανθρώπινων ικανοτήτων από την εποχή που ο άνθρωπος άρχισε να σκέφτεται και να έχει επίγνωση των πράξεων του. Εκείνα τα χρόνια η λήψη αποφάσεων γινόταν από τον εκάστοτε αρχηγό της ομάδας. Η ορθολογική σκέψη και η γνώση των φυσικών διεργασιών ήταν ελλιπής και η διαδικασία λήψης αποφάσεων βασιζόταν πάνω στο υπερφυσικό και το θείο. Με το πέρασμα των αιώνων ο άνθρωπος εξελίχθηκε και απέκτησε πλέον όλη την απαραίτητη γνώση, ώστε να δομήσει μια λογική διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η Αναγέννηση στην Ευρώπη έδωσε το έναυσμα για νέες ανακαλύψεις, οι οποίες αποτέλεσαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη της μαθηματικής προσέγγισης στην λήψη των αποφάσεων, της διαχείρισης της αβεβαιότητας και του ρίσκου. Η αύξηση της πολυπλοκότητας των προβλημάτων αυτής της μορφής οδήγησε στην ανάγκη για μια συστηματικότερη μελέτη και συγκροτήθηκε ένας νέος επιστημονικός κλάδος που ονομάστηκε Επιστήμη των Αποφάσεων ή ισοδύναμα Επιχειρησιακή Έρευνα.

Ακόμη πρέπει να διευκρινιστεί ότι πρόκειται για μια εφαρμοσμένη επιστήμη που αντλεί στοιχεία από άλλες περισσότερο θεμελιώδεις όπως τα μαθηματικά και τα οικονομικά. Τα συστήματα αποφάσεων έχουν υιοθετήσει την συστημική θεώρηση. Έτσι εξετάζουν το αντικείμενο του προβλήματος σαν ενιαίο σύνολο με σαφή όρια από το περιβάλλον του με το οποίο όμως αλληλοεπιδρά. Παράλληλα σε πολλές περιπτώσεις το σύστημα υποδιαιρείται σε υποσυστήματα τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί κάθε πρόβλημα στα συστήματα αποφάσεων εξυπηρετεί αρκετά η κατασκευή και χρήση μοντέλων. Με την μοντελοποίηση, καταστείτε δυνατόν να προσδιοριστεί μια βέλτιστη απόφαση ανάλογα με τα κριτήρια που έχουν τεθεί.

Γενικά ως μοντέλο ορίζεται η αναπαράσταση ενός αντικειμένου από τον πραγματικό κόσμο με σύμβολα, διαμέσου μιας αφαιρετικής διαδικασίας. Στα συστήματα αποφάσεων γίνεται μεγάλη εφαρμογή των συμβολικών μοντέλων. Ως συμβολικό μοντέλο, ορίζεται οποιαδήποτε αναπαράσταση γίνεται με την χρήση μαθηματικών συμβόλων. Ομοίως με μαθηματικό τρόπο ορίζονται και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων και οι διάφοροι περιορισμοί.

Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση μπορεί να χωρίσει τα μοντέλα σε δυο ακόμη ομάδες.

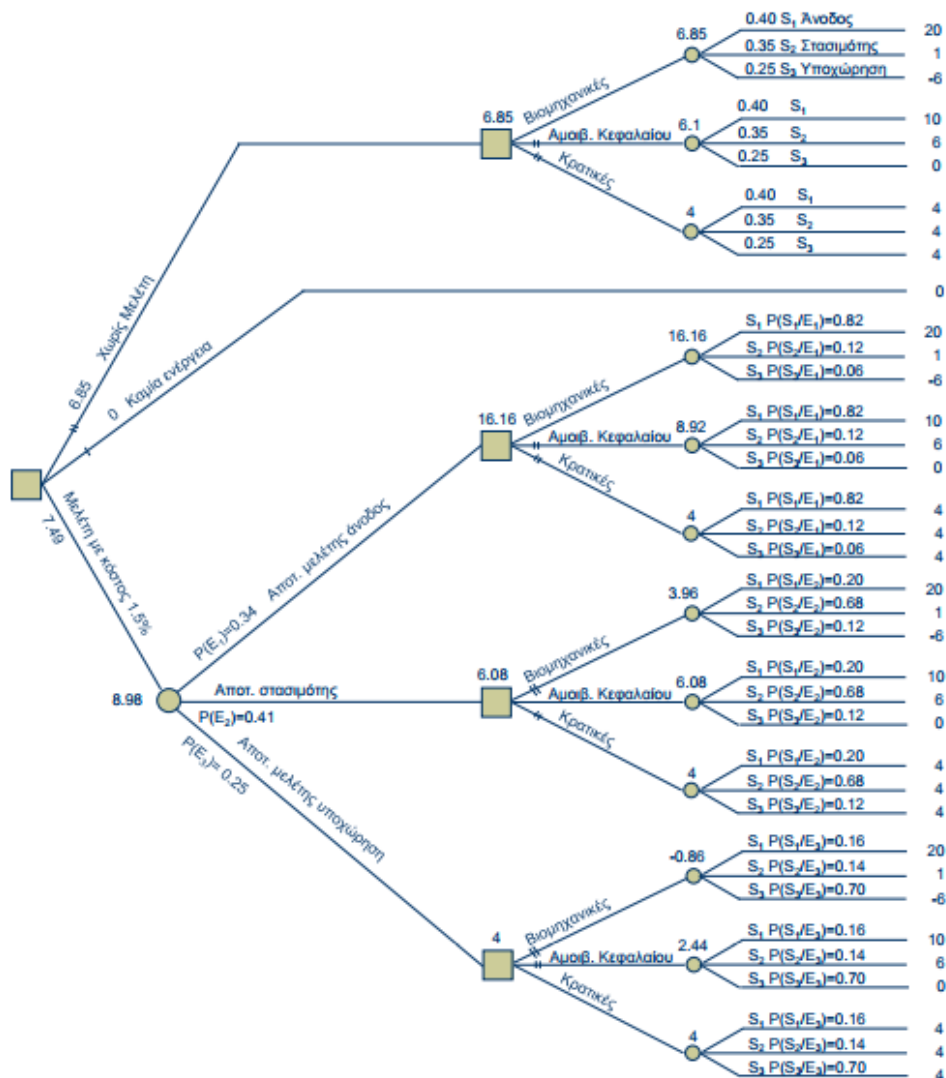
Στην πρώτη βρίσκονται τα μοντέλα προσομοίωσης, που αναπαριστούν τα στοιχεία του συστήματος, τις δραστηριότητες κάθε στοιχείου, τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων και τις εισροές και εκροές του συστήματος. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει μεγάλη πολυπλοκότητα ή δομή και η φύση του συστήματος δεν επιτρέπει την αναλυτική προσέγγιση μέσα από μαθηματικές σχέσεις.

Στην δεύτερη κατηγορία κατατάσσονται τα μοντέλα βελτιστοποίησης, όπου υπάρχει ένα πλήθος από ελεγχόμενες και μη ελεγχόμενες μεταβλητές και προσπαθούν να οριστούν οι τιμές των ελεγχόμενων, έτσι ώστε να επιτευχθεί μέγιστη ή ελάχιστη τιμή στην γενική συνάρτηση.

Αξιοποιώντας τα παραπάνω είδη, η κλασική επιχειρησιακή έρευνα χρησιμοποιεί κάποιες μεθόδους - εργαλεία προκειμένου να προσεγγίσει διάφορες κατηγορίες μοντελοποιημένων προβλημάτων. Τα συνηθέστερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι τα δένδρα αποφάσεων, ο δυναμικός προγραμματισμός, ο γραμμικός προγραμματισμός και η προσομοίωση.

#### 4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτηριακή ανάλυση

Τα δένδρα αποφάσεων έχουν γραφική εφαρμογή και χαρακτηρίζονται από δυο διαφορετικές συνθήκες του προβλήματος, τους κόμβους απόφασης όπου γίνεται επιλογή μεταξύ κάποιων δράσεων και τους κόμβους τυχαίων γεγονότων που δίνουν τα πιθανά αποτελέσματα σε μια απόφαση. Οι κόμβοι γεγονότων αναφέρονται σε καταστάσεις με αβέβαιη κατάληξη όπως για παράδειγμα η άνοδος ή στασιμότητα ή η πτώση μιας μετοχής και αξιοποιούν την στατιστική και την θεωρία πιθανοτήτων. Επομένως κάθε γεγονός έχει μια ανάλογη πιθανότητα πραγματοποίησης ενώ παράλληλα η υλοποίησή του ισοδυναμεί με κάποιο κέρδος ή ζημιά. Με την χρήση διαφορετικών μεμονωμένων κριτηρίων είναι δυνατόν να εξαχθεί συμπέρασμα για την καλύτερη ακολουθία αποφάσεων στο πρόβλημα που έχει τεθεί. Είναι δυνατόν επομένως να παρουσιαστεί μια εποπτική εικόνα και ανάλογα με το κριτήριο που εξετάζεται, προσδιορίζεται η καλύτερη επιλογή. Ορισμένα κριτήρια αποτελούν η προσδόκιμη τιμή κέρδους και τα κριτήρια MAXMIN και HURWICZ. Μια κλασική περίπτωση δένδρου αποφάσεων φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων [47]

Ο δυναμικός προγραμματισμός ουσιαστικά αποτελεί την τυποποιημένη αντιμετώπιση προβλημάτων βέλτιστης διαδρομής. Το πρόβλημα χωρίζεται σε επιμέρους στάδια. Ορίζεται μια μεταβλητή απόφασης που επιτρέπει μετακίνηση από το ένα στάδιο στο άλλο, καθώς και μια μεταβλητή κατάστασης που δηλώνει το στάδιο που βρίσκεται ο μελετητής. Τέλος

ορίζεται μια αναδρομική σχέση που έχει ως στόχο τον υπολογισμό της βέλτιστης πολιτικής. Αρχίζοντας από το τέλος προς την αρχή και κατασκευάζοντας έναν πίνακα τιμών ανιχνεύεται το ευνοϊκότερο μονοπάτι ανάλογα με το κριτήριο που εξετάζεται. Φυσικά η λύση εξαρτάται από την υπολογιστική δύναμη που διατίθεται και από την ταχύτητα που μπορούν να προσπελαστούν και συγκριθούν οι πίνακες τιμών που προκύπτουν. Είναι επομένως μια μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή κυρίως με την χρήση διαφόρων υπολογιστικών πακέτων.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα πράγματα είναι αρκετά απλά δεδομένου ότι κάθε μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι μαθηματικό. Τα προβλήματα αυτής της φύσης αναφέρονται σε ένα σύστημα που περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία και υπάρχει η δυνατότητα δράσης με κατάλληλο συνδυασμό τους. Η δράση του συστήματος μπορεί να διακριθεί σε δραστηριότητες που κατατάσσονται σε στάθμες ενώ παράλληλα υπόκεινται σε κάποιους περιορισμούς, οι στάθμες αυτές αποτελούν τις μεταβλητές απόφασης. Ανάλογα με το κριτήριο που έχει τεθεί όπως για παράδειγμα η ελαχιστοποίηση του κόστους σε μια γραμμή παραγωγής ή η αύξηση στις πωλήσεις ενός προϊόντος, και με την τήρηση των ανάλογων περιορισμών, προκύπτει κάποιο πρόγραμμα δράσεων που αποτελεί την βέλτιστη λύση. Χαρακτηριστικότερη μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού είναι η Simplex. Σε πολλές περιπτώσεις δεν συμφέρει η ανάλυση κάποιου προβλήματος κατευθείαν και πρέπει να κατασκευαστεί το δυικό ισοδύναμο πρόβλημα αντιστρέφοντας συνθήκες βελτιστοποίησης και περιορισμούς.

Η προσομοίωση αποτελεί μια μεθοδολογία που χρησιμοποιεί το μοντέλο ενός συστήματος και το επεξεργάζεται για να μιμηθεί την πραγματική συμπεριφορά του κατά την διάρκεια του χρόνου. Φυσικά, η επεξεργασία του μοντέλου που αποτελεί ουσιαστικά την εκτέλεση ενός πειράματος γίνεται συνήθως με την βοήθεια υπολογιστή. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας γίνεται προσομοίωση με το πρόγραμμα RELUX προκειμένου δημιουργηθούν κάποια συμπεράσματα για το φωτιστικό αποτέλεσμα σε διάφορους χώρους.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η κλασική ανάλυση των συστημάτων αποφάσεων αφορά την εφαρμογή ενός ή περισσότερων κριτηρίων, τα οποία όμως εφαρμόζονται μεμονωμένα προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση σε κάποιο πραγματικό πρόβλημα. Η ανάλυση με τη χρήση αποκλειστικά ενός κριτηρίου καταλήγει σε αποφάσεις μονοδιάστατες και σε πολλές περιπτώσεις ελλιπείς. Επομένως, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία ενός κλάδου που να συμπεριλαμβάνει περισσότερα από ένα κριτήρια, ώστε προκύπτει αποτέλεσμα με σφαιρικότερη και πιο αντικειμενική κρίση. Ο κλάδος που ασχολείται με αυτή την εφαρμογή πολλαπλών κριτηρίων και εφαρμόζεται στο τεχνοοικονομικό σκέλος αυτής της εργασίας ονομάζεται πολυκριτηριακή ανάλυση και αναπτύσσεται στο κεφάλαιο 4.3 [48].

## 4.2 Η έννοια της απόφασης και η διαδικασία λήψης της

Η λήψη αποφάσεων είναι αποτέλεσμα σύνθετων διαδικασιών, που έχουν ως αρχικό στόχο να μελετήσουν και να αναλύσουν διεξοδικά τις επιπτώσεις όλων των εναλλακτικών αποφάσεων. Στην συνέχεια προχωρούν σε προσπάθεια σύνθεσης και σύγκλισης των απαιτήσεων όλων των εμπλεκόμενων, στην διαδικασία της απόφασης, ώστε να καταλήξουν στην εύρεση της πλέον κοινά αποδεκτής λύσης.

Σαν απόφαση θεωρούνται όλες εκείνες οι ενέργειες (σκέψεις, κρίσεις, κ.τ.λ.) που γίνονται από έναν ή περισσότερους ανθρώπους, με στόχο την επιλογή ενός τρόπου δράσης, μέσα από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών.

Σύμφωνα με τους Keen και Scott-Morton(1978) και Keen(1980), οι αποφάσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Στις δομημένες αποφάσεις για τις οποίες:
  - Η διαδικασία που ακολουθείται για την λήψη της απόφασης είναι πάντα η ίδια.
  - Το αντικείμενο της απόφασης είναι σαφώς καθορισμένο.
  - Τα δεδομένα εισόδου καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας είναι συγκεκριμένα.
- Στις αδόμητες αποφάσεις που:
  - Η διαδικασία που ακολουθείται για την λήψη της απόφασης είναι κάθε φορά διαφορετική.
  - Το αντικείμενο της απόφασης, τα δεδομένα εισόδου και τα από της επεξεργασίας δεν είναι καθορισμένα.
- Στις ημιδομημένες αποφάσεις, όπου άλλες είναι καθορισμένες και άλλες ασαφείς.[49]

Η διαδικασία λήψης αποφάσεων από έναν αποφασίζοντα, όπως παρουσιάζεται στο κλασικό μοντέλο του Simon (1960), χωρίζεται σε τέσσερα μέρη:

- Η νοητική φάση (Intelligent Phase), που αρχικά αναζητούνται οι καταστάσεις για τις οποίες μπορούν να ληφθούν αποφάσεις. Επίσης γίνεται διερεύνηση αν το πρόβλημα είναι πραγματικό και δεν αποτελεί μέρος ενός άλλου ευρύτερου προβλήματος. Έτσι ώστε να είναι γνωστή η προτεραιότητα που θέτει ο αποφασίζων για την επίλυση του. Το πρόβλημα ταξινομείται σε μια από τις τρεις κατηγορίες προβλημάτων (που αναφέρθηκαν παραπάνω) και στην συνέχεια διασπάται σε επιμέρους προβλήματα. Ύστερα καταγράφεται το πρόβλημα.
- Στο σχεδιασμό (Design), που γίνεται έρευνα, ανάλυση και ανάπτυξη όλων των δυνατών εναλλακτικών τρόπων δράσης. Η φάση αυτή ξεκινά με την μελέτη του προβλήματος, έτσι ώστε να γίνει κατανοητό από όλους τους εμπλεκόμενους στην διαδικασία λήψης της απόφασης. Στην συνέχεια διερευνώνται όλοι οι πιθανοί τρόποι δράσεις, οι οποίοι εφόσον αναπτυχθούν θα εφαρμοστούν για να βρεθούν οι λύσεις και κατά πόσο είναι υλοποιήσιμες. Σημαντικό κομμάτι αυτής της φάσης είναι η μοντελοποίηση του προβλήματος.
- Στην Επιλογή (Choice), που ουσιαστικά επιλέγεται η καταλληλότερη απόφαση μέσα από το σύνολο των εναλλακτικών τόπων δράσης.
- Η φάση της ολοκλήρωσης, που τελικά εφαρμόζεται ή προτεινόμενη λύση. Αν τα αποτελέσματα της ολοκλήρωσης είναι ικανοποιητικά, τότε συμπεραίνεται ότι οι εργασίες των προηγούμενων φάσεων έγιναν σωστά. Από την άλλη μεριά, αν τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά, τότε υπάρχει η δυνατότητα να επαλειφθούν τμήματα των προηγούμενων εργασιών, ώσπου να είναι ικανοποιητικά[50].

### 4.3 Εισαγωγή στη πολυκριτηριακή ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια συνέβαλλε στην ανάπτυξη της γνώσης αλλά και του όγκου των πληροφοριών που σχετίζονται με τα σύγχρονα προβλήματα. Συνεπώς κατέστησε την διαδικασία λήψης αποφάσεων ένα πολύπλοκο, δυσεπίλυτο και εξαρτώμενο από πολλές παραμέτρους κρίσιμο πρόβλημα. Πολλές φορές τυγχάνει οι άνθρωποι να λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς να έχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για το αποτέλεσμα και έτσι οδηγούνται στην αβεβαιότητα. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί σε επίπεδο επιχειρήσεων, που η λήψη των αποφάσεων, λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού πρέπει να γίνεται με γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο. Έτσι δημιουργήθηκαν τα συστήματα αποφάσεων που στηρίζονται πάνω στις πολυκριτήριες μεθόδους λήψεως αποφάσεων και έγιναν απαραίτητο εργαλείο στα χέρια τόσο των επιχειρήσεων, αλλά και των μεμονωμένων αποφασίζοντων. Οι επιρροές που δέχθηκαν οι πολυκριτήριες μέθοδοι λήψης αποφάσεων από άλλους επιστημονικούς χώρους, βοήθησαν στο να εμπλουτιστούν και να βρουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας του ανθρώπου, επιλύοντας κάθε είδους πρόβλημα απόφασης.

Ο Κ. Ζοπουνίδης ορίζει την πολυκριτήρια ανάλυση ως ένα σύνολο μεθόδων που επιτρέπουν την σύνθεση πολλών κριτηρίων εκτίμησης, έτσι ώστε να γίνει δυνατή η επιλογή, η κατάταξη, η ταξινόμηση και η περιγραφή ενός συνόλου εναλλακτικών ενεργειών. Ο αντικειμενικός σκοπός της ανάλυσης είναι να παρέχει στον αποφασίζοντα τα εργαλεία που θα τον βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων, όπου ένας αριθμός πολλαπλών και μερικές φορές αντικρουόμενων κριτηρίων πρέπει να ληφθεί υπόψη [51].

Οι Ι. Σίσκος και Α. Σπυριδάκος αναφέρουν ότι η πολυκριτήρια ή πολυκριτηριακή ανάλυση (multicriteria analysis) περιλαμβάνει ένα σύνολο μεθόδων, μοντέλων και προσεγγίσεων που έχουν ως στόχο να βοηθήσουν έναν ή περισσότερους αποφασίζοντες, να χειριστούν ημιδομημένα προβλήματα απόφασης με πολλαπλά κριτήρια [52].

Όσον αφορά την δόμηση ο Ι. Σίσκος σημειώνει ότι τα πολυκριτήρια προβλήματα απόφασης ανήκουν στην κατηγορία προβλημάτων χαμηλής δόμησης (ill-structured), είναι δηλαδή προβλήματα στα οποία η ορθολογική λύση δεν υπάρχει, αλλά αποτελεί αντικείμενο προοδευτικής αναζήτησης, συνήθως μέσω μιας αλληλεπιδραστικής διαδικασίας [53].

Ως πολυκριτήρια ανάλυση, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή θεώρηση (Multicriteria Decision Aiding), είναι η δραστηριότητα του ατόμου η οποία βοηθάει στην απόκτηση στοιχείων μέσω των απαντήσεων, που δίνονται σε ερωτήσεις οι οποίες προτείνονται από αυτούς που συμμετέχουν στην διαδικασία λήψης της απόφασης. Η συλλογή αυτών των στοιχείων γίνεται μέσω της χρήσης τυποποιημένων μοντέλων. Τα στοιχεία αυτά δουλεύουν προς κατεύθυνση να διευκρινίσουν την διαδικασία της απόφασης βάσει των προτιμήσεων ή της αποδοχής. Η συμπεριφορά αυτή αυξάνει την συνάφεια μεταξύ της εξέλιξης της διαδικασίας, των στόχων των αποφασίζοντων και του συστήματος αξιών.

Σύμφωνα με τον Roy υπάρχουν τρεις κατηγορίες μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης: Μέθοδοι σύνθεσης κριτηρίων (unique synthesis criterion approach) στις οποίες δεν λαμβάνεται υπόψη η ασυγκρισσιμότητα (incomparability).

Μέθοδοι σύνθεσης υπεροχής (outranking synthesis approach), στις οποίες λαμβάνονται υπόψη η ασυγκρισσιμότητα.

Αλληλεπιδραστικές μέθοδοι εκτίμησης (interactive local judgment approach) με επαναληπτικές διαδικασίες δοκιμής-σφάλματος [54].

Στο επόμενο κεφάλαιο ορίζεται η έννοια των κριτηρίων, καθώς και μερικές βασικές έννοιες, που χρησιμοποιούνται στα πολυκριτήρια συστήματα αποφάσεων.

## 4.4 Βασικές έννοιες και ορισμός κριτηρίων

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας της πολυκριτηριακής ανάλυσης, πρέπει να οριστεί σωστά η έννοια του κριτηρίου. Έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί είτε περιγραφικοί ή αυστηρότεροι που να προσεγγίζουν την δεδομένη έννοια, αλλά στην συγκεκριμένη περίπτωση θα αξιοποιηθεί ο μαθηματικός ορισμός.

Σύμφωνα με τον Roy και Σίσκο, η μοντελοποίηση ενός κριτηρίου αντιπροσωπεύεται από μια πραγματική συνάρτηση:

$$g:A \rightarrow R/a \rightarrow g(a)$$

όπου  $g(a)$  ορίζεται η τιμή ή αξιολόγηση της δράσης  $a \in A$  πάνω στο κριτήριο  $g$ .

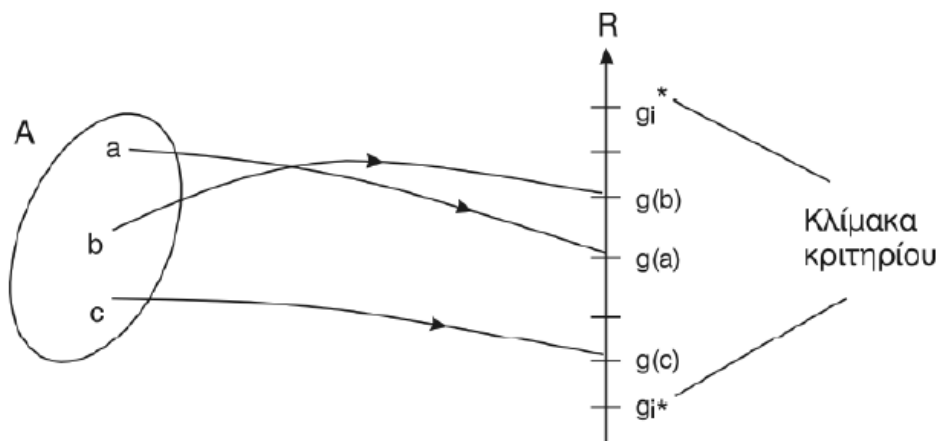
Η συγκεκριμένη συνάρτηση οφείλει να πληρεί το κριτήριο της συνέπειας ή της μονοτονίας.

Αν τα  $a, b$  δυο διαφορετικές δράσεις του συνόλου  $A$  τότε:

Η  $a$  προτιμάται από την  $b \Leftrightarrow g(a) > g(b) \Leftrightarrow a S b$ . Η έννοια  $S$  που αναλύεται παρακάτω σημαίνει ότι η δράση  $a$  προτιμάται έναντι της  $b$ .

Η  $a$  είναι ισοδύναμη με την  $b \Leftrightarrow g(a) = g(b)$

Ο παραπάνω ορισμός δείχνει ότι οι προτιμήσεις ενός αποφασίζοντα αυξάνουν, όσο αυξάνει η τιμή του κριτηρίου. Επομένως, για το Σχήμα 4.2 δείχνει ότι η δράση  $b$  προτιμάται έναντι της  $a$ , και η  $b$  προτιμάται και έναντι της  $c$ . Ενώ παράλληλα η  $a$  προτιμάται έναντι της  $c$ .



Σχήμα 4.2 Προτιμήσεις αυξανόμενες με τις τιμές του κριτηρίου  $g$ [53]

Σε απλά προβλήματα που επαρκεί η χρήση ενός και μόνο κριτηρίου δεν υπάρχει η ανάγκη για κατασκευή συνθετότερων εννοιών. Όταν όμως υπάρχει ένα σύστημα αξιολόγησης δράσεων που απαιτεί την σωστή μοντελοποίηση ενός πολυδιάστατου προβλήματος, τότε μπορεί να οριστεί μια συνεπής οικογένεια κριτηρίων.

Συνεπής οικογένεια κριτηρίων, ονομάζεται το σύνολο των κριτηρίων τα οποία είναι ποιοτικές ή ποσοτικές μεταβλητές και χρησιμοποιούνται στην λήψη μιας απόφασης.

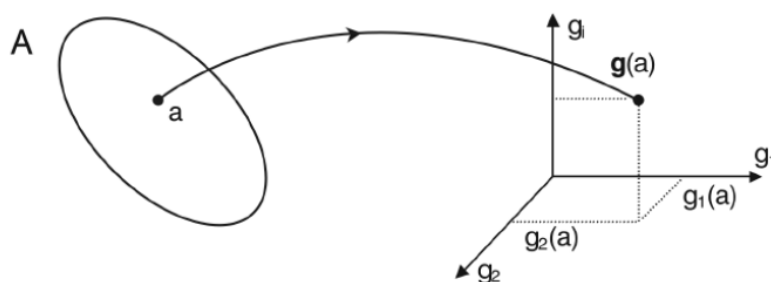
Έστω  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  η οικογένεια, που περιλαμβάνει  $n$  κριτήρια και πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες τρεις ιδιότητες:

- Συνέπεια ή μονοτονία (monotonicity). Αυτό σημαίνει ότι δοθέντων δύο εναλλακτικών ενεργειών  $a$  και  $b$ , η  $a$  προτιμάται της  $b$  όταν ισχύει  $g_i(a) = g_i(b) \forall i=j$  και  $g(a) > g(b)$ . Αυτό σημαίνει ότι για δυο δράσεις που έχουν ίδια τιμή σε όλα τα υπόλοιπα κριτήρια, αλλά σε κάποιο διαφέρουν, θα διακρίνονται μεταξύ τους από το συγκεκριμένο κριτήριο που διαφέρουν.
- Επάρκεια (exhaustive) στα πλαίσια της διαθέσιμης πληροφορίας. Για ένα ζεύγος εναλλακτικών ενεργειών  $a$  και  $b$ , ισχύει  $g_i(a) = g_i(b)$ ,  $\forall i=1,2,\dots,n$ , τότε η εναλλακτική  $a$

είναι ισοδύναμη ή αδιάφορη της  $b$  και επομένως λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια. Εάν παρά το γεγονός ότι ισχύει η παραπάνω σχέση ο αποφασίζων προτιμήσει κάποια από τις δυο, τότε προφανώς δεν έχει οριστεί σωστή συνεπής οικογένεια κριτηρίων και χρειάζεται να ενταχθούν επιπλέον κριτήρια.

- Μη πλεονασμός (non redundancy). Η διαγραφή ενός κριτηρίου από το σύνολο των κριτηρίων απόφασης είναι ικανή να αναιρέσει μια από τις προηγούμενες δύο συνθήκες για κάποιο ζευγάρι εναλλακτικών ενεργειών-επιλογών. Εάν γίνει διαγραφή κριτηρίου, χωρίς να προκληθεί αναιρέση, τότε πρόκειται για πλεοναστικό κριτήριο.

Για κάθε δράση, η συνεπής οικογένεια κριτηρίων απεικονίζεται με ένα διάνυσμα γραμμή  $g(a) = \{g_1(a), g_2(a), \dots, g_m(a)\}$  και συνιστά μια πολυκριτήρια αξιολόγηση της. Η αναπαράσταση της στον χώρο φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 Πολυκριτήρια απεικόνιση του συνόλου  $A$  στον χώρο  $R^n$ [53]

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να οριστεί ο πολυκριτήριος πίνακας Δίνονται  $n$  εναλλακτικές αποφάσεις τις οποίες ο αποφασίζων εκτιμά  $g_j(a)$  με την βοήθεια των  $m$  κριτηρίων, όπως φαίνεται στον πίνακα Πίνακας 4.1 Στο στάδιο αυτό γίνεται η σύνθεση των κριτηρίων με την βοήθεια ενός μοντέλου ολικής προτίμησης. Με βάση το μοντέλο και λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη την επιλεγείσα προβληματική, συγκρίνονται όλες οι εναλλακτικές ενέργειες-πράξεις του συνόλου  $A$ .

Πίνακας 4.1 Κατασκευή μοντέλου ολικής προτίμησης (απόφασης ή συμπεριφοράς)[53]

	Κριτήρια			
Εναλλακτικές	$g_1$	$g_2$	...	$g_m$
$a_1$	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_m(a_1)$
$a_2$	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_m(a_2)$
...	...	...	...	...
$a_n$	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_m(a_n)$

Στην πολυκριτήρια ανάλυση χρησιμοποιούνται τέσσερεις τύποι κριτηρίων, οι οποίοι είναι:

- Το μετρήσιμο κριτήριο (Measurable criterion), το οποίο διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες[55]:
  - Τα πραγματικά κριτήρια (true criterion). Αποτελούν την απλούστερη μορφή κριτηρίων. Τα πραγματικά κριτήρια χρησιμοποιούνται σε αυτό που ονομάζεται «παραδοσιακή» δομή προτιμήσεων και όπου δεν υπάρχουν κατώφλια. Η διαφορά μεταξύ των τιμών των κριτηρίων χρησιμοποιείται για να καθορισθεί μια επιλογή

#### 4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτηριακή ανάλυση

προτιμάται. Από άποψη εφαρμογής, είναι τα πιο εύκολα σε χρήση λόγω της σαφήνειας που ορίζει τα μετρήσιμα μεγέθη

- Τα ημι-κριτήρια (semi-criterion). Χρησιμοποιούνται στα μοντέλα «κατωφλίου» ή δομής προτιμήσεων, όπου η σταθερά της «απλώς αξιοσημείωτης διαφοράς» (just noticeable difference) υπάρχει για κάποιο δεδομένο κριτήριο. Η διαφορά μεταξύ των τιμών των δυο επιλογών, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της τιμής αυτής της σταθεράς, ώστε να θεωρείται ότι η μια είναι καλύτερη της άλλης.
- Ψευδοκριτήρια (pseudo-criteria). Τα ψευδοκριτήρια περιέχουν τη προσέγγιση των κατωφλίων δύο επιπέδων, προτίμησης και αδιαφορίας.
- Κριτήρια διαστημάτων (interval criterion). Αυτά χρησιμοποιούνται στο ονομαζόμενο μοντέλο μεταβλητού κατωφλίου. Στην περίπτωση αυτή τα κατώφλια προτίμησης και αδιαφορίας συμπίπτουν σε όλα τα σημεία της κλίμακας.
- Το κριτήριο της μονοτονίας (ordinal criteria).
- Το κριτήριο αβεβαιότητας (probabilistic criterion), στο οποίο η αξιολόγηση κάθε δράσης είναι κατά πιθανότητα γνωστή στην κλίμακα του κριτηρίου. Για την εφαρμογή της δεδομένης κατηγορίας αξιοποιούνται τα εργαλεία της θεωρίας πιθανοτήτων και κυρίως τις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας.
- Ασαφές κριτήριο (fuzzy criterion), τα οποία δεν ακολουθούν στατιστικούς νόμους. Σε αυτές τις περιπτώσεις κάθε δράση αξιολογείται από μια συνάρτηση δυνατότητας που δείχνει κατά πόσο δυνατή είναι κάθε τιμή του κριτηρίου.

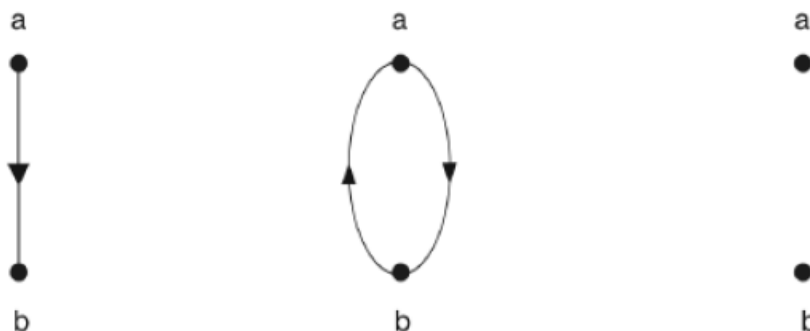
Ο σαφής ορισμός των κριτηρίων είναι σημαντικός. Γενικότερα υπάρχει η ανάγκη για σωστή μοντελοποίηση των προτιμήσεων έτσι ώστε να οδηγείται ο αποφασίζων σε ορθά συμπεράσματα. Η επίτευξη αυτής της μοντελοποίησης γίνεται με την χρήση δυο βασικών εννοιών, της διμερούς σχέσης και της συνάρτησης. Για την δεδομένη ανάλυση θα χρειαστούν τόσο οι διμερείς σχέσεις όσο και τις συναρτήσεις επομένως επιβάλλεται η ανάλυση και των δυο παραπάνω εργαλείων.

Η έννοια της διμερούς σχέσης καλύπτεται σε μεγάλο ποσοστό από την έννοια της σχέσης υπεροχής η οποία υποδηλώνεται με το γράμμα S. Ο συμβολισμός  $aSb$  μεταξύ δυο δράσεων a και b δηλώνει ότι η a είναι τουλάχιστον εξίσου καλή επιλογή όσο η b. Με την χρήση αυτής της σχέσης μπορούν να αναλυθούν τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις που εμφανίζονται και στο Σχήμα 4.4.

- $aSb$  και  $bSa$  (όχι  $bSa$ ) που δηλώνει ότι η a προτιμάται από την b δράση εναλλακτικά η σχέση γράφεται και ως  $aPb$  με το P να δείχνει ισχυρή προτίμηση. Αναλυτικότερα βάση των αρχικών διμερών σχέσεων φαίνεται ότι η δράση a υπερέχει της b, αλλά δεν συμβαίνει το αντίστροφο
- $aSb$  και  $bSa$  που δείχνει ότι υπάρχει αδιαφορία ως προς την επιλογή μεταξύ των δράσεων. Ισοδύναμα μπορεί να αναπαρασταθεί και ως  $aIb$ . Εδώ προφανώς η κάθε δράση υπερέχει έναντι της άλλης και χαρακτηρίζονται ισοδύναμες, αφού γίνεται αυτόματη μετάβαση από την μια στην άλλη.
- $aSb$  και  $bSa$  που αναφέρεται σε δυο ασύγκριτες μεταξύ τους δράσεις.  $aRb$ . Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει σχέση που να συνδέει τις a και b

Ο Bernard Roy εκτός από τις παραπάνω βασικές σχέσεις έθεσε και την έννοια της ασθενούς προτίμησης που συμβόλιζε με το γράμμα Q.





Σχήμα 4.4 Τρεις θεμελιώδεις καταστάσεις, απόρροια της σχέσης υπεροχής[53]

Ομαδοποιώντας τις τέσσερις θεμελιώδεις σχέσεις P,Q,I,R εισήχθησαν όλες οι πιθανές καταστάσεις σύγκυσης ή δισταγμού που είναι οι ακόλουθες.

- $a \sim b$ : Μη προτίμηση:  $aIb$  ή  $aRb$
- $a > b$ : Προτίμηση:  $aPb$  ή  $aQb$
- $aIb$ : Προδιάθεση προτίμησης:  $aQb$  ή  $aIb$
- $aKb$ : K-Προτίμηση:  $aPb$  ή  $aIb$
- $aSb$ : Υπεροχή:  $aPb$  ή  $aQb$  ή  $aIb$

Η διάζευξη δηλώνει την ισχύ οποιασδήποτε εκ των σχέσεων χωρίς διάκριση. Η υπεροχή ισοδυναμεί με ισχυρή προτίμηση, ασθενή προτίμηση ή αδιαφορία μεταξύ των δράσεων  $a$  και  $b$ . Αντίστοιχα η έννοια της συνάρτησης είναι γνωστή τόσο από τα μαθηματικά όσο και από την βασική οικονομική ανάλυση. Γενικά υπάρχουν διάφορες κατηγορίες συναρτήσεων αλλά στα κλασσικά οικονομικά συνήθως χρησιμοποιούνται συναρτήσεις χρησιμότητας, κόστους, δαπάνης και διαφορών άλλων θεμελιωδών μεγεθών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται αναφορά σε συναρτήσεις κριτηρίων, αφού η ανάλυση σχετίζεται με την αξιολόγηση κάθε δράσης. Η δεδομένη προσέγγιση βοηθά γιατί είναι δυνατόν να μελετηθεί αναλυτικότερα η έννοια των κατώφλιων που αποτελεί ιδιαίτερο κομμάτι σε κάθε πρόβλημα.

Οι συναρτήσεις κριτηρίου είναι μέχρι ένα σημείο γνωστές. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2., η συνάρτηση κριτηρίου αποτυπώνει τις προτιμήσεις σε μια ενιαία κλίμακα και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της, θεωρείται η επιλογή της ανάλογης δράσης καλύτερη. Αυτό συμβαίνει σε πρώτη κλίμακα διότι είναι δυνατό να μην υπάρχει ξεκάθαρη ιεραρχία μεταξύ δυο πολύ κοντινών τιμών ή η διαφορά τους να μην αφορά τον μελετητή ιδιαίτερα. Προκειμένου να διασφαλιστεί αυτή η ευαισθησία χρησιμοποιείται ο όρος του ψευδοκριτηρίου. Μια συνάρτηση κριτηρίου  $g$  ονομάζεται ψευδοκριτήριο όταν περιέχει δυο συναρτήσεις κατώφλια. Ένα κατώφλι αδιαφορίας  $q$  και ένα κατώφλι προτίμησης  $p$ . Τα κατώφλια έχουν κάποιες συγκεκριμένες τιμές που καθορίζονται από διάφορες συνθήκες και από άτομο σε άτομο και δείχνουν την πρόθεση αλλαγής διάθεσης προς μια κατάσταση. Οι διμερείς σχέσεις που οριστήκαν παραπάνω μπορούν να οριστούν ακριβέστερα συναρτησιακά με τις σχέσεις που ακολουθούν:

$g(a) > g(b) + p[g(b)] \Leftrightarrow aPb$  Το κριτήριο για την επιλογή  $a$  έχει μεγαλύτερη τιμή από το άθροισμα του κριτηρίου για την επιλογή  $b$  και το αντίστοιχο κατώφλι προτίμησης.

$g(b) + q[g(b)] < g(a) \leq g(b) + p[g(b)] \Leftrightarrow aQb$  Η τιμή του κριτηρίου για την επιλογή  $a$  βρίσκεται μεταξύ των δυο κατωφλίων και επομένως εκφράζεται ασθενής προτίμηση για την  $a$ .

$g(b) \leq g(a) \leq g(b) + q[g(b)] \Leftrightarrow aIb$  Σε αυτή την περίπτωση η διαφορά των τιμών του κριτηρίου για κάθε δράση είναι μικρότερη του κατωφλίου αδιαφορίας και επομένως ο αναλυτής δεν μπορεί να εκφράσει προτίμηση για κάποια από τις δυο.

Το Σχήμα 4.5 αποτυπώνει τις διάφορες ζώνες προτίμησης. Όσο οι τιμές βρίσκονται στην ζώνη αδιαφορίας ο αποφασίζων δεν είναι σε θέση να ξεχωρίσει αν υπάρχει έννοια υπεροχής και βλέπει τις δυο δράσεις σαν ισοδύναμες. Όταν αυξηθεί η τιμή για το ένα κριτήριο πέρα

#### 4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτηριακή ανάλυση

από την συγκεκριμένη τιμή  $q$ , η κατάσταση αλλάζει και το πρόσωπο που καλείται να αποφασίσει εκφράζει μια ασθενή προτίμηση. Επομένως σε αυτό το σημείο ισχύει  $aQb$ . Σε περίπτωση που η τιμή του κριτηρίου αυξηθεί αρκετά ξεπερνώντας και την τιμή  $p$  πλέον εκφράζεται ισχυρή προτίμηση και ισχύει  $aPb$ . Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι συναρτήσεις  $g+q(g)$ ,  $g+p(g)$  πρέπει να είναι συναρτήσεις μονότονες και μη φθίνουσες.

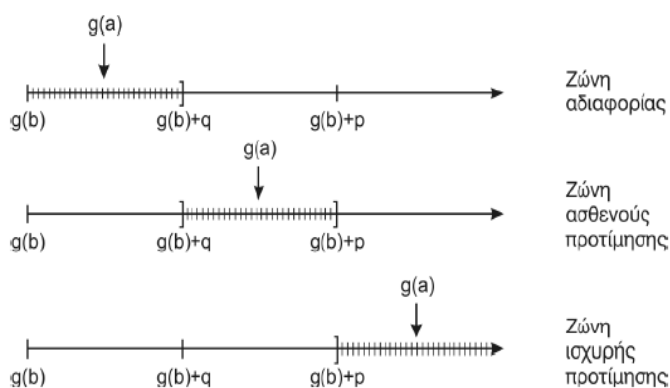
Στην περίπτωση όπου  $p(g)=q(g)>0$  τα δυο κατώφλια ταυτίζονται και πρόκειται για ημικριτήριο, προφανώς δεν υπάρχει ζώνη ασθενούς προτίμησης.

Αν  $q(g)=0$  η περίπτωση αποτελεί ένα προκριτήριο και δεν υπάρχει ζώνη αδιαφορίας.

Ενώ αν  $p(g)=q(g)=0$  υπάρχει μόνο η ζώνη ισχυρής προτίμησης και το κριτήριο σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται πραγματικό.

Το αντικείμενο της εργασίας σχετίζεται με πραγματικά κριτήρια επομένως δεν θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση ζώνη αδιαφορίας ή ασθενούς προτίμησης. Αυτό είναι λογικό γιατί όλα τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται είναι τεχνικά χαρακτηριστικά και οποιαδήποτε διαφορά στην τιμή τους γίνεται αναγκαστικά αντιληπτή χωρίς να υπάρχει υποκειμενικός παράγοντας. Είναι όμως χρήσιμη η έννοια των κατωφλίων διότι αργότερα θα χρησιμοποιηθεί με διαφορετικό τρόπο για την εφαρμογή συνθηκών βέτο.

Τα περισσότερα μοντέλα ορίζονται ως αντισταθμιστικά. Αυτό σημαίνει ότι ο αναλυτής είναι διατεθειμένος να αποζημιώσει την απώλεια μονάδων σε ένα κριτήριο όταν υπάρχουν καλύτερες τιμές για κάποιο άλλο που καλύπτουν την απώλεια. Παράλληλα υπάρχουν και τα μη αντισταθμιστικά μοντέλα στα οποία απώλεια ενός κριτηρίου δεν μπορεί να αποζημιωθεί πέρα από ένα σημείο.



Σχήμα 4.5 Ζώνες προτίμησης και αδιαφορίας[53]

Τέλος, πρέπει να αναφερθούν οι έννοιες της μοναδιαίας παραχώρησης και της χρησιμότητας. Στην προσπάθεια να οριστεί κάποιο ακριβές μοντέλο που να εκφράζει αυτή την πρόθεση του αναλυτή να θυσιάσει κάποιο κριτήριο έναντι κάποιου άλλου ορίστηκε η έννοια της μοναδιαίας παραχώρησης. Για ένα κριτήριο αναφοράς  $g_r$ , ονομάζουμε μοναδιαία παραχώρηση  $s_{ir}^g$  την προσαύξηση μονάδων του κριτηρίου  $g_r$  που πρέπει να επιτευχθεί στο σημείο-διάνυσμα  $g$ , για να αποζημιωθεί ακριβώς η απώλεια μια μονάδας στο κριτήριο  $g_i$  [53]. Η παραπάνω διατύπωση φαίνεται και από τις σχέσεις (1),(2) που ακολουθούν και είναι ισοδύναμες. Η πρώτη αφορά την προσέγγιση με διμερείς σχέσεις και δείχνει ακριβώς ότι το κριτήριο  $g_r$  μαζί με την μοναδιαία παραχώρηση που όταν αντικαταστήσει το αντίστοιχο  $g_i$  οδηγεί σε αδιάφορο σε σχέση με το αρχικό αποτέλεσμα.

Αντίστοιχα η δεύτερη σχέση χρησιμοποιεί την γνωστή από τα οικονομικά συνάρτηση χρησιμότητας  $u(g)$ . Η θεωρία της χρησιμότητας βασίζεται στην υπόθεση ότι σε κάθε πρόβλημα απόφασης υπάρχει μια πραγματική συνάρτηση εκτίμησης  $U$  ορισμένη στο  $A$ , την οποία ο αποφασίζων επιθυμεί να μεγιστοποιήσει. Η σχέση (2) παραπέμπει στην διαδεδομένη

#### 4.4 Βασικές έννοιες και ορισμός κριτηρίων

έννοια της ευαισθησίας που χρησιμοποιείται ευρύτατα στα κλασσικά οικονομικά. Πρόκειται επομένως για μια ευαισθησία μεταξύ δυο κριτηρίων όπως ακριβώς αναμενόταν.[53]

$$(1) (g_1, g_2, \dots, g_{i-1}, \dots, g_i + s_{ir}^g \dots g_n) \sim (g_1, g_2, \dots, g_n) \quad (2) s_{ir}^g = \frac{\frac{\partial u(g)}{\partial g_i}}{\frac{\partial u(g)}{\partial g_r}}$$

## 4.5 Οικογένεια των μεθόδων ELECTRE

Μετά τα απαραίτητα εισαγωγικά στοιχεία δίνονται κάποιες πληροφορίες για την μέθοδο ELECTRE. Γενικά σκοπός της μεθόδου είναι να βοηθήσει τον αναλυτή να φτάσει σε ασφαλή συμπεράσματα με την χρήση πολλαπλών κριτηρίων και σε διαφορετικά είδη προβλημάτων. Ιστορικά οι μέθοδοι αναπτύχθηκαν από τον Γάλλο καθηγητή Bernard Roy στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Το ακρωνύμιο ELECTRE σημαίνει (Elimination Et Choix Traduisant la REalite, Elimination and Choice Expressing the Reality). Αυτή η μέθοδος φάνηκε επαρκής στον χρόνο και βοήθησε, ώστε να προωθηθεί μια νέα μεθοδολογία. Ωστόσο, κατά την διάρκεια των τριών τελευταίων δεκαετιών άρχισαν να αναπτύσσονται νέες μέθοδοι ELECTRE και έτσι εμφανίστηκαν οι μέθοδοι ELECTRE IS, II, III, IV, Tri, οι οποίες στηρίζονται στις ίδιες θεμελιακές αρχές, αλλά έχουν διαφορές στον τρόπο λειτουργίας και στο είδος των προβλημάτων που επιλύουν. Η μέθοδος ELECTRE I σχεδιάστηκε για να επιλύει προβλήματα επιλογής (selection problems, προβληματική Α) Η ELECTRE IS αποτελεί μια γενίκευση της ELECTRE I, χρησιμοποιώντας ψευδοκριτήρια (κριτήρια με κατώφλια προτίμησης, αδιαφορίας και βέτο). Η ELECTRE Tri επιλύει προβλήματα κατηγοριοποίησης (προβληματική Β) και οι ELECTRE II, III και IV βοηθούν σε προβλήματα ιεράρχησης εναλλακτικών (προβληματική Γ) [53].

Για την εφαρμογή οποιουδήποτε αλγορίθμου των συγκεκριμένων μεθόδων, γίνεται εκτενής χρήση των διμερών σχέσεων και κυρίως της σχέσης υπεροχής. Εκτός όμως από την υπεροχή που εκφράζεται μέσω της ισχυρής ή ασθενούς προτίμησης, ή και της αδιαφορίας μοντελοποιείται και η νέα σχέση ασυγκρισιμότητας που έχει οριστεί ως R.

Η νέα σχέση ασυγκρισιμότητας R υλοποιεί την περίπτωση όπου ο αποφασίζων δεν είναι ικανός, δεν θέλει ή δεν ξέρει να συγκρίνει δυο δράσεις. Συνήθως, πραγματοποιείται μεταξύ καταστάσεων, όπου η μεν πρώτη υπερτερεί σε κάποια κριτήρια κατά πολύ της δεύτερης και ανάποδα η δεύτερη υπερτερεί σε κάποια αλλά από την πρώτη. Πρακτικά, οι δυο περιπτώσεις είναι δύσκολο να συγκριθούν, αφού έχουν σκοπό να καλύπτουν τελείως διαφορετικές απαιτήσεις.

Τόσο η σχέση S όσο και η R φαίνονται να αναπτύσσονται στο Σχήμα 4.4. Όταν κατασκευαστεί ένα γράφημα που περιέχει όλες τις σχέσεις aSb πρόκειται για ένα γράφημα υπεροχής. Ο τρόπος επίλυσης στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην γραφική επίλυση ενώ παράλληλα δίνεται μια περισσότερο εποπτική εικόνα για τον αναλυτή για την αντίληψη της γενικής κατάστασης.

Γενικά, θεωρείται ότι μια δράση a κυριαρχεί μιας b, όταν υπερέχει σε κάθε κριτήριο. Δηλαδή  $a \Delta b \Leftrightarrow g(a) \geq g(b) \forall i = 1, 2, \dots, n$ . Στις μεθόδους ELECTRE αλλάζει και η έννοια της κυριαρχίας και γίνεται αρκετά πιο επιεικής. Έτσι στις συγκεκριμένες μεθόδους η a υπερέχει έναντι της b όταν έχει καλύτερες αξιολογήσεις στα περισσότερα κριτήρια ενώ σε όσα (λιγότερα) δεν συμβαίνει αυτό, οι διαφορές είναι πολύ μικρές. Από την δεδομένη σκέψη γίνεται αντιληπτό πόσο θεμελιώδης είναι η μοναδιαία παραχώρηση για την πολυκριτηριακή ανάλυση, αφού ουσιαστικά αποτελεί το εργαλείο που θα ιεραρχήσει τα κριτήρια μας και θα επιτρέψει την ύπαρξη αντισταθμιστικών σχέσεων.

Παράλληλα, όμως οι μέθοδοι λειτουργούν και ως μη αντισταθμιστικές. Αυτό συμβαίνει, διότι ορίζονται κάποιες συνθήκες βέτο που όταν εκπληρωθούν θεωρείται ότι ανατρέπεται η υπεροχή και επομένως αντιμετωπίζονται οι δράσεις ως ασύγκριτες μεταξύ τους. Ανάλογα με το είδος του κριτηρίου και την προβληματική που καλείται να επιλύσει ο μελετητής, έχουν αναπτυχθεί έξι διαφορετικοί αλγόριθμοι υλοποίησης που αποτελούν και διαφορετικές μεθόδους.

Η προβληματική α υλοποιείται με την επιλογή της βαρύτητας των κριτηρίων και είναι σχετικά απλή η εφαρμογή της. Ο αναλυτής αξιοποιεί την εμπειρία του και δίνει βάρη σε κάθε

#### 4.5 Οικογένεια των μεθόδων ELECTRE

κριτήριο ανάλογα με την σημασία του. Σε περιπτώσεις που οι σχέσεις υπεροχής δεν είναι τόσο εμφανείς απαιτείται η αξιοποίηση γνώσεων από την θεωρία ασαφών συνόλων. Οι συγκεκριμένες περιπτώσεις β και γ έχουν αρκετά περίπλοκη αντιμετώπιση. Στην πρώτη περίπτωση (προβληματική β) οι δράσεις χωρίζονται σε κατηγορίες που είναι διατεταγμένες με βάση την προτίμηση και ουσιαστικά εντάσσονται σε κάποια πρότυπα. Στην δεύτερη (προβληματική γ) οι δράσεις κατατάσσονται με βάση την τιμή του δείκτη μη κυριαρχίας.

Τα κριτήρια που χωρίζουν τις μεθόδους είναι είτε πραγματικά ή ψευδοκριτήρια. Επομένως, η ύπαρξη των κατωφλίων μπορεί να αλλάξει σε μεγάλο βαθμό την προσέγγιση του εκάστοτε προβλήματος. Συγκεντρωτικά όλες οι δυνατές περιπτώσεις και η ανάλογη αντιμετώπιση τους από την ELECTRE φαίνονται στον Πίνακα 4.2 [53].

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας υπάρχουν πραγματικά κριτήρια αφού όλα τα στοιχεία έχουν αντληθεί από φύλλα με τεχνικές προδιαγραφές (datasheets) και δεν υπάρχει η έννοια της υποκειμενικότητας ούτε κατώφλια αδιαφορίας και ασθενούς προτίμησης. Επιπλέον, η προσέγγιση μπορεί να πραγματοποιηθεί αν στα κριτήρια που χρησιμοποιηθούν, οριστούν βάρη. Επομένως, οι συνθήκες οδηγούν στην εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I. Η ενότητα που ακολουθεί δείχνει αναλυτικά τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου της ELECTRE I.

Πίνακας 4.2 Τυπολογία μεθόδων ELECTRE [53]

Τύπος Κριτηρίου	Προβληματική		
	α	β	γ
Πραγματικό	ELECTRE I	ELECTRE TRI	ELECTRE II
Ψευδοκριτήριο	ELECTRE IS	ELECTRE TRI	ELECTRE III-IV

## 4.6 Η μέθοδος ELECTRE I

Η μέθοδος είναι απλή και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν τα κριτήρια έχουν κωδικοποιηθεί με την ίδια αριθμητική κλίμακα. Αρχικά, θα πρέπει να θεωρηθεί ότι η ενέργεια  $a$  υπερτερεί (είναι σημαντικότερη) έναντι της ενέργεια  $b$  (αυτό σημαίνει ότι η  $a$  είναι τουλάχιστον καλύτερη από την  $b$ ) και συμβολίζεται ως  $aSb$ , μόνο αν οι δύο καταστάσεις  $a, b$  παραμένουν σταθερές στον χρόνο.

Η σταθερότητα των τιμών συμφωνίας των συνδυασμών αυτών θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή για να υποστηρίξει τον παραπάνω ισχυρισμό. Με τον όρο δύναμη της συμφωνίας των συνδυασμών, ορίζεται το άθροισμα των βαρών που αντιστοιχούν στα κριτήρια που παίρνουν μέρος στον συνδυασμό. Αυτό μπορεί να προσδιοριστεί ακολουθώντας τον δείκτη συμφωνίας (υποθέτοντας χάρης απλοποίησης του τύπου ότι  $\sum_{j \in J} w_j = 1$  όπου  $J$  είναι το σύνολο των δεικτών των κριτηρίων):

$$C(aSb) = \sum_{\{j: g_j(a) \geq g_j(b)\}} w_j$$

Όπου  $\{j: g_j(a) \geq g_j(b)\}$  είναι το σύνολο των δεικτών για όλα τα κριτήρια που ανήκουν στον συνδυασμό συμφωνίας με την σχέση υπεροχής  $aSb$ . Με άλλα λόγια, η τιμή του δείκτη συμφωνίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με το δεδομένο επίπεδο συμφωνίας  $s$ , του οποίου η τιμή συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του εύρους τιμών  $[0,5, 1 - \min_{j \in J} w_j]$  δηλ.  $C(aSb) \geq s$ .

Επίσης, σημαντική είναι και η χρήση του κατωφλίου βέτο, το οποίο πρακτικά εκφράζει πότε δύο δράσεις είναι ασύγκριτες μεταξύ τους. Πρόκειται για αριθμούς με πλήθος ισάριθμο με αυτό των κριτηρίων. Συμβολίζονται με  $v_1, v_2, \dots, v_n$  και έχουν ως στόχο να ελέγχουν αν ανατρέπεται η υπεροχή μεταξύ δυο δράσεων λόγω μεγάλης διαφοράς στις τιμές μεταξύ κριτηρίων.

Ολοκληρώνοντας το στάδιο συμφωνίας του αλγορίθμου ο αναλυτής προχωρά στον έλεγχο διαφωνίας. Ο σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι να ανιχνευτεί τυχούσα ανατροπή της υπεροχής από μεγάλες διαφορές μεταξύ των κριτηρίων. Όπως είναι φυσικό ο έλεγχος διαφωνίας πραγματοποιείται μόνο στα ζεύγη που έχουν θετικό έλεγχο συμφωνίας και σε αντίθετη περίπτωση δεν έχει κανένα απολύτως νόημα. Για ένα ζεύγος  $(a, b)$  η συνθήκη διαφωνίας είναι η εξής:

$$g_{j^*}(b) - g_{j^*}(a) \leq v_{j^*} \quad \text{με} \quad j^* \in \{j / g(a) < g(b)\}$$

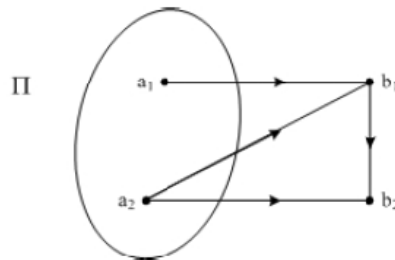
Δηλαδή πρακτικά όταν έχει αποδειχθεί ότι η δράση  $a$  υπερέχει έναντι της  $b$ , ελέγχεται κάθε κριτήριο στο οποίο η δράση  $b$  προτιμάται από την  $a$ . Αν η διαφορά των δυο δράσεων είναι μεγαλύτερη από μια τιμή βέτο σε οποιοδήποτε από τα συγκεκριμένα κριτήρια, τότε ανατρέπεται η υπεροχή και οι δυο δράσεις θεωρούνται ότι είναι μεταξύ τους ασύγκριτες. Η δύναμη της συνθήκης βέτο κάνει ξεκάθαρο το γεγονός ότι μέχρι ένα σημείο η μέθοδος δρα αντισταθμιστικά, όταν όμως προχωρήσει η κατάσταση πέρα από τα πλαίσια συμβιβασμού πλέον λειτουργεί μη αντισταθμιστικά. Επομένως έχει ανατραπεί η έννοια της υπεροχής.

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας περιλαμβάνει την κατασκευή του πυρήνα του γραφήματος υπεροχής. Ο πυρήνας είναι ένα υποσύνολο  $\Pi$  του συνόλου των δράσεων  $A$  για το οποίο ισχύει:

- $\forall b \in A - \Pi, \exists a \in \Pi$  για το οποίο ισχύει  $aSb$
- $\forall \alpha_1 \in \Pi$  και  $\alpha_2 \in \Pi, \alpha_1 \$ \alpha_2$  και  $\alpha_2 \$ \alpha_1$

Η πρώτη από τις δυο συνθήκες εξασφαλίζει ότι κάθε δράση εκτός πυρήνα συνδέεται με τουλάχιστον μια δράση εντός του πυρήνα (Σχήμα 4.6). Η δράση που βρίσκεται μέσα

υπερέχει. Πρόκειται για την εξωτερική συνθήκη. Ο δεύτερος εσωτερικός τύπος δείχνει ότι οι δράσεις μέσα στον πυρήνα συνδέονται με σχέση αδιαφορίας. Επομένως ο πυρήνας περιέχει τις καλύτερες μη συγκρίσιμες δράσεις του συνόλου A. Είναι βασικό ο αναλυτής να πετύχει την ένταξη μιας ή περισσότερων δράσεων στο εσωτερικό του πυρήνα, σε περίπτωση που δεν επιτευχθεί αυτό, πρέπει να αλλάξει διάφορες τιμές των παραμέτρων της μεθόδου.

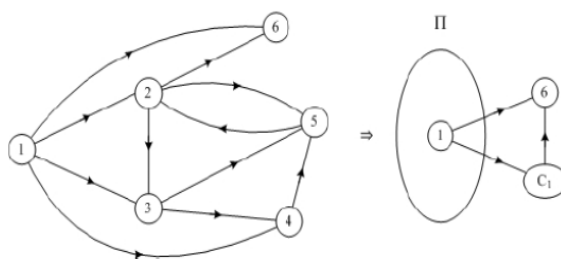


Σχήμα 4.6 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής.[53]

Για την σωστή κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός πυρήνα, χρειάζονται μερικές βασικές γνώσεις από την θεωρία των γράφων. Όταν λοιπόν σε έναν προσανατολισμένο γράφο μια διαδοχή από τόξα καταλήγει στην κορυφή από την οποία ξεκίνησε, τότε ορίζεται ένα κύκλωμα. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν βρόγχο με προσανατολισμό.

Η ύπαρξη κυκλωμάτων απλοποιεί την διαδικασία αφού επιτρέπει την αντικατάσταση τους από μια πλασματική κορυφή. Φυσικά πρέπει να εντοπιστεί το μέγιστο δυνατό κύκλωμα πριν γίνει αντικατάσταση γιατί σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται επιπρόσθετα μικρότεροι προσανατολισμένοι βρόγχοι. Όσες δράσεις περιλαμβάνονται σε ένα κύκλωμα συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις αδιαφορίας.

Η διαδικασία της απαλοιφής μπορεί να φανεί στο ακόλουθο παράδειγμα από την βιβλιογραφία (Σχήμα 4.7). Όπως φαίνεται η πλασματική δράση C1 περιέχει το κύκλωμα {2,3,4,5,2} ενώ συγχρόνως περιέχει τα μικρότερα κυκλώματα {2,5,2} και {2,3,5,2}. Το μέγιστο κύκλωμα συγχωνεύεται στην δράση C1 ενώ διατηρούνται οι σχέσεις με τις υπόλοιπες δράσεις που δεν επηρεάζονται. Η δράση 1 υπερέχει έναντι των υπολοίπων και συγκροτεί τον πυρήνα.



Σχήμα 4.7 Απαλοιφή μέγιστου κυκλώματος σε γράφημα υπεροχής.[53]

Παράλληλα ορίζονται μερικά εργαλεία που βοηθούν τον αναλυτή να αξιολογήσει καλύτερα την κατάσταση από την γραφική προσέγγιση:

Ο δείκτης συνάφειας, ο οποίος αναφέρεται στο λόγο των τόξων μεταξύ των κορυφών του κυκλώματος, προς τον αριθμό των τόξων που θα υπήρχαν αν θεωρούνταν όλες ως αδιάφορες μεταξύ τους (συνδέονται ανά δυο με δυο τόξα αντίθετης κατεύθυνσης). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για το κύκλωμα C1 το αποτέλεσμα είναι 6/12. Με την χρήση του δεδομένου δείκτη βγαίνουν συμπεράσματα σχετικά με την ισχύ της αδιαφορίας μέσα στο κύκλωμα.

Ο δείκτης σύνδεσης του κυκλώματος, ο οποίος αναφέρεται στον αριθμό των τόξων που συνδέουν το κύκλωμα με μια εξωτερική δράση, προς τον αριθμό των εσωτερικών δράσεων

#### 4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτηριακή ανάλυση

του κυκλώματος. Η τιμή του δείχνει την σύνδεση της πλασματικής δράσης με την εξωτερική δράση που επιλέχθηκε. Ο δείκτης σύνδεσης της C1 με την 1 είναι παραπάνω ίσος με 3/4. Με τη ολοκλήρωση του πυρήνα η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει τελειώσει ωστόσο ο αναλυτής πρέπει να κάνει έλεγχο ευαισθησίας για να δει για ποιες τιμές το σύστημα είναι ευσταθές και δίνει αποτελέσματα. Οι κυρίες παράμετροι που τροποποιούνται για τον έλεγχο ευστάθειας είναι οι  $p, s$  και  $v$ .

Τέλος στην ELECTRE I όλες οι ενέργειες οι οποίες δομούνται κυκλικά είναι αδιάφορες και οι οποίες μπορεί μάλιστα να είναι και κρίσιμες.



## 4.7 Ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η ELECTRE I

Η παραπάνω ανάλυση περιγράφει τα απαραίτητα στάδια της υλοποίησης της ELECTRE I όμως για περαιτέρω εμβάθυνση πρέπει να τονιστούν ορισμένες ιδιαιτερότητες που καθορίζουν την σωστή εφαρμογή του αλγορίθμου καθώς και συχνές δυσκολίες στην εφαρμογή. Τα προβλήματα που καλείται να επιλύσει ο αναλυτής που εφαρμόζει την μέθοδο ELECTRE I είναι τέσσερα:

- Ο καθορισμός των βαρών κάθε κριτηρίου. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.6 θεωρήθηκε ότι τα βάρη είναι κάτι δεδομένο όμως στην πράξη κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Η συγκεκριμένη δυσκολία αντιμετωπίζεται μόνο όταν, το πρόβλημα διατυπωθεί σωστά ώστε τα βάρη να ανταποκρίνονται στην πραγματική πρόθεση του αποφασίζοντα και σε μια ρεαλιστική κατάσταση. Επιπλέον η επιλογή συντελεστών βάρους των κριτηρίων περιέχει και μια μορφή υποκειμενικότητας. Ανάλογα με το άτομο που καλείται να αποφασίσει ενδέχεται να αλλάζει ολόκληρη η ιεραρχία μεταξύ των κριτηρίων δημιουργώντας τελείως διαφορετικές συνθήκες.
- Σωστή επιλογή των κατωφλίων  $s$ . Τα κατώφλια συμφωνίας υπολογίζονται μετά από την κατασκευή της μήτρας προκειμένου να υπάρχει σχετική αντίληψη του προβλήματος και μεγάλος αριθμός ζευγών δράσεων. Στόχος είναι να επιτευχθούν νούμερα κοντά στη μονάδα.
- Σωστή επιλογή κατωφλίων βέτο. Σε δεύτερη προσέγγιση ο αναλυτής καλείται να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των βέτο. Γενικά είναι δύσκολο να οριστεί τότε ανατρέπεται η υπεροχή μεταξύ δυο δράσεων και πλέον θεωρούνται ασύγκριτες. Η εμπειρία στην εφαρμογή της μεθόδου αλλά και στην φύση του προβλήματος παίζει καθοριστική σημασία. Δεν αρκεί επομένως ο αναλυτής μόνο να γνωρίζει την μέθοδο αλλά πρέπει να έχει στοιχειώδεις γνώσεις πάνω στο αντικείμενο που μελετά. Όταν τα πράγματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα συνήθως συντάσσεται κάποιο ερωτηματολόγιο προς τον αποφασίζοντα που εμφανίζει συγκρίσεις μεταξύ εικονικών δράσεων με συνεχή αύξηση των τιμών ενός κριτηρίου. Το σημείο όπου αλλάζει γνώμη ο αποφασίζων θεωρείται κατώφλι βέτο.
- Η ανάλυση ευαισθησίας. Η οποία αποτελεί και το τελευταίο βήμα του αλγορίθμου είναι ουσιαστικά η συνεχής επανάληψη του της μεθόδου με μεταβολή των μεγεθών που προαναφέρθηκαν. Όταν έχουν γίνει αρκετοί αριθμοί επαναλήψεων και έχουν βρεθεί σημεία που οδηγούν σε αστάθεια, είναι γνωστές οι τιμές που η μέθοδος κινείται σε σωστά πλαίσια και από τα αποτελέσματα υποστηρίζεται η σωστή απόφαση.

Πρέπει εν τέλη να διευκρινισθεί ότι ενώ η μέθοδος ELECTRE I είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο που βοηθά πολύ στην πολυκριτηριακή ανάλυση της προβληματικής  $\alpha$  με πραγματικά κριτήρια, δεν έχει την απαραίτητη θεωρητική βάση ώστε να αποκτήσει το βάρος απόδειξης με την αυστηρή μαθηματική έννοια. Ο αλγόριθμος του λογικού διαγράμματος φαίνεται εν τέλει στο Σχήμα 4.6 [53].

#### 4 Συστήματα αποφάσεων και πολυκριτηριακή ανάλυση



Σχήμα 4.8 Λογικό διάγραμμα μεθόδου ELECTRE I [53]

## 5 Εφαρμογή ELECTRE I για την αξιολόγηση των φωτομετρικών αποτελεσμάτων.

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα εφαρμοστεί η μέθοδος ELECTRE I στα αποτελέσματα των φωτομετρικών μετρήσεων που έγιναν στο κεφάλαιο 3. Στόχος του κεφαλαίου, είναι να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα Relux για τα διάφορα φωτιστικά σε κάθε δωμάτιο, ώστε να υπολογιστεί πιο φωτιστικό πληρεί τα περισσότερα κριτήρια που τέθηκαν στην παρούσα διπλωματική.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι, για την αποτελεσματική εφαρμογή της μεθόδου με μεγάλη ταχύτητα και ευκολία, έγινε σκόπιμο να αναπτυχθεί αλγόριθμος που υλοποιείται στο πρόγραμμα Excel 2016 με την χρήση μακροεντολών.

Επιπλέον για την σχεδίαση των γραφημάτων που παρουσιάζονται παρακάτω, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Gerhi.0.9.1.

### 5.2 Κριτήρια και παράμετροι που τέθηκαν για την εφαρμογή της ELECTRE I.

Ακολουθεί η εφαρμογή της μεθόδου για κάθε φωτιστικό στα δέκα διαφορετικά σενάρια που μελετιούνται σε αυτήν την διπλωματική.

Για λόγους απλοποίησης η αναφορά σε κάθε δράση δεν γίνεται με το όνομα της αλλά με αριθμό που παραπέμπει σε πιο δωμάτιο εφαρμόζεται.

Η λύση δεν είναι απαραίτητο να αποτελείται από μια και μοναδική δράση και το κάθε αποτέλεσμα δεν είναι δεσμευτικό, αλλά έχει την έννοια της επιλογής με βάση κάποια κριτήρια, που μπορούν όμως να αλλάξουν. Στον Πίνακα 5.1 φαίνονται όλες οι απαραίτητες μεταβλητές και μεγέθη που τέθηκαν ώστε, να εφαρμοστεί η μέθοδος ELECTRE I.

**Πίνακας 5.1 Κριτηρίων ,βαρών, κατωφλίου συμφωνίας και βέτο της μεθόδου ELECTRE I**

Κριτήρια ELECTRE I	Βάρη ELECTRE I	Κατώφλι συμφωνίας S	Βέτο V
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	0,18	0,7	0
Ομοιομορφία Uo	0,16		0
Θάμβωση παρατηρητή 1	0,08		0
Θάμβωση παρατηρητή 2	0,08		0
Κατανάλωση ενέργειας δωματίου(Watt X Φωτιστικά)	0,15		0
CRI	0,1		0
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	0,13		1500
Χρόνος ζωής (h)	0,12		0

Τα κριτήρια καθώς και τα βάρη τους, επιλέχθηκαν σε συμφωνία με τον επιβλέποντα καθηγητή.

Η επιλογή του κατωφλίου συμφωνίας  $s=0,7$ , έγινε σύμφωνα με την συχνότητα χρησιμοποίησης του σε ερευνητικές εργασίες [56].

Επίσης, θεωρήθηκε βέτο  $v=1500€$  για το συνολικό κόστος της εγκατάστασης, όποτε αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από 1500€ θεωρείται ότι ανατρέπεται η υπεροχή ενός φωτιστικού. Για τα υπόλοιπα κριτήρια δεν χρειάζεται να τεθεί κάποιο βέτο, αφού οι διαφορές μεταξύ τους είναι σε λογικά πλαίσια και άρα είναι συγκρίσιμα.

### 5.3 Φωτομετρικά αποτελέσματα και χαρακτηριστικά φωτιστικών για κάθε διάταξη.

Οι τιμές που εμφανίζονται στο Πίνακα 5.2, Πίνακα 5.3, Πίνακα 5.4 και Πίνακα 5.8 για τα φωτιστικά Philips, πάρθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα του Galli[57].

Οι τιμές που εμφανίζονται στο Πίνακα 5.5, Πίνακα 5.7 και στο Πίνακα 5.10 για τα φωτιστικά της εταιρίας Regent, πάρθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα της. Επίσης για να προσαρμοστούν στα επίπεδα τιμών της ελληνικής αγοράς, εφαρμόστηκε μείωση της τιμής τους κατά 30%[45].

Οι τιμές που εμφανίζονται στο Πίνακα 5.6, Πίνακα 5.9 και στο Πίνακα 5.11 για τα φωτιστικά της εταιρίας Ridi, πάρθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα της[46].

#### 5.3.1 Διάταξη 1

Στον Πίνακα 5.2 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 1 σύμφωνα με το Σχήμα 3.6 και Σχήμα 3.7 από το κεφάλαιο 3.1.1.

**Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 1 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 1**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 1	
Ονομασία φωτιστικού	TBS165 G 4x14W M2 TL5/840 HFS
Εταιρία κατασκευής	PHILIPS
Είδος λαμπτήρα	Φθορισμού
Αριθμός λαμπτήρων	4
Φωτεινή ροή (lumen)	4800
Τιμή φωτιστικού (€)	58,75
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	61
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 1	
Αριθμός φωτιστικών	12
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	540
Ομοιομορφία U <sub>0</sub>	0,82
Θάμβωση παρατηρητή 1	16,1
Θάμβωση παρατηρητή 2	17,6
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	732
CRI	82
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	705
Χρόνος ζωής (h)	10000

### 5.3 Φωτομετρικά αποτελέσματα και χαρακτηριστικά φωτιστικών για κάθε διάταξη.

#### 5.3.2 Διάταξη 2

Στον Πίνακα 5.3 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 2 σύμφωνα με το Σχήμα 3.10 και Σχήμα 3.11 από το κεφάλαιο 3.1.2.

**Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 2 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 2**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 2	
Όνομασία φωτιστικού	RC127V W60L60 OC LED34S/- NO
Εταιρία κατασκευής	PHILIPS
Είδος λαμπτήρα	LED
Φωτεινή ροή (lumen)	3400
Τιμή φωτιστικού (€)	104
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	41
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 2	
Αριθμός φωτιστικών	10
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	536
Ομοιομορφία Uo	0,79
Θάμβωση παρατηρητή 1	19,2
Θάμβωση παρατηρητή 2	18,5
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	410
CRI	80
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	1040
Χρόνος ζωής (h)	50000

### 5.3.3 Διάταξη 3

Στον Πίνακα 5.4 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 3 φωτιστικό 2 σύμφωνα με το Σχήμα 3.14 και Σχήμα 3.15 από το κεφάλαιο 3.1.3.

**Πίνακας 5.4 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 3 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 3**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 3	
Όνομασία φωτιστικού	TBS160 Impala
Εταιρία κατασκευής	PHILIPS
Είδος λαμπτήρα	Φθορισμού
Αριθμός λαμπτήρων	4
Φωτεινή ροή (lumen)	4400
Τιμή φωτιστικού (€)	67,41
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	72
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 3	
Αριθμός φωτιστικών	12
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	558
Ομοιομορφία Uo	0,81
Θάμβωση παρατηρητή 1	19,2
Θάμβωση παρατηρητή 2	16,4
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	864
CRI	90
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	808,92
Χρόνος ζωής (h)	10000

### 5.3 Φωτομετρικά αποτελέσματα και χαρακτηριστικά φωτιστικών σε κάθε δωμάτιο.

#### 5.3.4 Διάταξη 4

Στον Πίνακα 5.5 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 4 σύμφωνα με το Σχήμα 3.18 και Σχήμα 3.19 από το κεφάλαιο 3.1.4.

**Πίνακας 5.5 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 4 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 4**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 4	
Ονομασία φωτιστικού	ITEM LED
Εταιρία κατασκευής	REGENT
Είδος λαμπτήρα	LED
Φωτεινή ροή (lumen)	3800
Τιμή φωτιστικού (€)	336
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	32
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 4	
Αριθμός φωτιστικών	9
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	528
Ομοιομορφία Uo	0,83
Θάμβωση παρατηρητή 1	19,2
Θάμβωση παρατηρητή 2	19,5
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	288
CRI	81
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	3024
Χρόνος ζωής (h)	50000

### 5.3.5 Διάταξη 5

Στον Πίνακα 5.6 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 5 σύμφωνα με το Σχήμα 3.22 και Σχήμα 3.23 από το κεφάλαιο 3.1.5.

**Πίνακας 5.6 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 5 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 5**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 5	
Ονομασία φωτιστικού	EBD 340/26-42 SG (42W) + DVZS
Εταιρία κατασκευής	RIDI
Είδος λαμπτήρα	Φθορισμού
Αριθμός λαμπτήρων	1
Φωτεινή ροή (lumen)	3200
Τιμή φωτιστικού (€)	302,6
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	46
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 5	
Αριθμός φωτιστικών	15
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	499
Ομοιομορφία U <sub>0</sub>	0,68
Θάμβωση παρατηρητή 1	20,1
Θάμβωση παρατηρητή 2	15,6
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	690
CRI	81
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	4539
Χρόνος ζωής (h)	10000



### 5.3.6 Διάταξη 6

Στον Πίνακα 5.7 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 6 σύμφωνα με το Σχήμα 3.26 και Σχήμα 3.27 από το κεφάλαιο 3.1.6.

**Πίνακας 5.7 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 6 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 6**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 6	
Όνομασία φωτιστικού	ECHO LED 260
Εταιρία κατασκευής	REGENT
Είδος λαμπτήρα	LED
Φωτεινή ροή (lumen)	3650
Τιμή φωτιστικού (€)	373,8
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	34
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 6	
Αριθμός φωτιστικών	8
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	497
Ομοιομορφία Uo	0,71
Θάμβωση παρατηρητή 1	17,2
Θάμβωση παρατηρητή 2	14
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	272
CRI	83
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	2990,4
Χρόνος ζωής (h)	50000

### 5.3.7 Διάταξη 7

Στον Πίνακα 5.8 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 7 σύμφωνα με το Σχήμα 3.30 και Σχήμα 3.31 από το κεφάλαιο 3.1.7.

**Πίνακας 5.8 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 7 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 7**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 7	
Όνομασία φωτιστικού	BBS561 AC-MLO-C LED35S/- NO
Εταιρία κατασκευής	PHILIPS
Είδος λαμπτήρα	LED
Φωτεινή ροή (lumen)	3500
Τιμή φωτιστικού (€)	102
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	34
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 7	
Αριθμός φωτιστικών	8
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	495
Ομοιομορφία Uo	0,6
Θάμβωση παρατηρητή 1	19,4
Θάμβωση παρατηρητή 2	17,7
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	272
CRI	80
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	816
Χρόνος ζωής (h)	50000

### 5.3.8 Διάταξη 8

Στον Πίνακα 5.9 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 8 σύμφωνα με το Σχήμα 3.34 και Σχήμα 3.35 από το κεφάλαιο 3.1.8.

**Πίνακας 5.9 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 8 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 8**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 8	
Όνομασία φωτιστικού	EBD 340/26-42 SG (42W) + DVRP
Εταιρία κατασκευής	RIDI
Είδος λαμπτήρα	Φθορισμού
Αριθμός λαμπτήρων	1
Φωτεινή ροή (lumen)	3200
Τιμή φωτιστικού (€)	209,4
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	46
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 8	
Αριθμός φωτιστικών	16
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	526
Ομοιομορφία Uo	0,7
Θάμβωση παρατηρητή 1	18,8
Θάμβωση παρατηρητή 2	20
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	736
CRI	81
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	3350,4
Χρόνος ζωής (h)	10000

### 5.3.9 Διάταξη 9

Στον Πίνακα 5.10 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 9 σύμφωνα με το Σχήμα 3.38 και Σχήμα 3.39 από το κεφάλαιο 3.1.9.

**Πίνακας 5.10 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 9 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 9**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 9	
Ονομασία φωτιστικού	SOLO SLIM LED
Εταιρία κατασκευής	REGENT
Είδος λαμπτήρα	LED
Φωτεινή ροή (lumen)	4050
Τιμή φωτιστικού (€)	495
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	30
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 9	
Αριθμός φωτιστικών	9
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	537
Ομοιομορφία U <sub>0</sub>	0,72
Θάμβωση παρατηρητή 1	18,3
Θάμβωση παρατηρητή 2	19,1
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	270
CRI	84
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	4455
Χρόνος ζωής (h)	50000

### 5.3.10 Διάταξη 10

Στον Πίνακα 5.11 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των φωτομετρικών αποτελεσμάτων όπως εξήχθησαν από το πρόγραμμα Relux, εγκαθιστώντας το φωτιστικό 10 σύμφωνα με το Σχήμα 3.42 και Σχήμα 3.43 από το κεφάλαιο 3.1.10.

**Πίνακας 5.11 Χαρακτηριστικά φωτιστικού 10 και φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξη 10**

Χαρακτηριστικά φωτιστικού 10	
Ονομασία φωτιστικού	ABDR
Εταιρία κατασκευής	RIDI
Είδος λαμπτήρα	Φθορισμού
Αριθμός λαμπτήρων	1
Φωτεινή ροή (lumen)	4200
Τιμή φωτιστικού (€)	402,7
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	60
Φωτομετρικά αποτελέσματα διάταξης 10	
Αριθμός φωτιστικών	12
Μέση ένταση φωτισμού (Lux)	517
Ομοιομορφία Uo	0,72
Θάμβωση παρατηρητή 1	18,5
Θάμβωση παρατηρητή 2	19,3
Κατανάλωση ενέργειας διάταξης (Watt X Αριθμός φωτιστικών)	720
CRI	82
Κόστος (Αριθμός φωτιστικών X Τιμή) (€)	4832,4
Χρόνος ζωής (h)	10000

## 5.4 Μήτρα συμφωνίας και κατασκευή πυρήνα

Σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια κατασκευάζεται ο πίνακας συμφωνίας που αφορά στην εφαρμογή της μεθόδου Electre I στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Πίνακας 5.12 Πίνακας συμφωνίας

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0,73	0,52	0,57	0,65	0,55	0,73	0,75	0,63	0,63
2	0,27	1	0,38	0,39	0,82	0,47	0,42	0,69	0,37	0,82
3	0,48	0,62	1	0,49	0,65	0,57	0,73	0,65	0,65	0,65
4	0,43	0,61	0,51	1	0,82	0,34	0,52	0,69	0,29	0,74
5	0,35	0,18	0,35	0,18	1	0,18	0,52	0,23	0,08	0,36
6	0,45	0,53	0,43	0,66	0,82	1	0,6	0,69	0,29	0,56
7	0,27	0,58	0,27	0,48	0,48	0,4	1	0,35	0,21	0,48
8	0,25	0,31	0,35	0,31	0,77	0,31	0,65	1	0,13	0,31
9	0,37	0,63	0,35	0,71	0,92	0,71	0,79	0,87	1	0,74
10	0,37	0,18	0,35	0,26	0,64	0,44	0,52	0,69	0,26	1

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 5.2, το κατώφλι συμφωνίας είναι  $s=0,7$ , οπότε οι εναλλακτικές που η τιμή τους ξεπερνά το κατώφλι συμφωνίας, υπερέχουν έναντι των υπολοίπων. Οι εναλλακτικές αυτές είναι:

- $C(1,2)=0,73 > s$
- $C(1,7)=0,73 > s$
- $C(1,8)=0,75 > s$
- $C(2,5)=0,82 > s$
- $C(2,10)=0,82 > s$
- $C(3,7)=0,73 > s$
- $C(4,5)=0,82 > s$
- $C(4,10)=0,74 > s$
- $C(6,5)=0,82 > s$
- $C(8,5)=0,77 > s$
- $C(9,4)=0,71 > s$
- $C(9,5)=0,92 > s$
- $C(9,6)=0,71 > s$
- $C(9,7)=0,79 > s$
- $C(9,8)=0,87 > s$
- $C(9,10)=0,74 > s$

Ύστερα από το βήμα του ελέγχου συμφωνίας, χρειάζεται να γίνει έλεγχος διαφωνίας για να εντοπιστούν ποιες από τις δράσεις αυτές είναι στην πραγματικότητα ασύγκριτες μεταξύ τους. Σε αυτό το βήμα σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα βέτο που έχουν οριστεί, αφού ορίζουν από ποια τιμή και μετά ανατρέπεται η υπεροχή. Στην προκειμένη περίπτωση έχει οριστεί μια μόνο τιμή βέτο ( $v_{σκ} = 1500€$ ), η οποία αναφέρεται στην τελική τιμή των φωτιστικών σε κάθε δωμάτιο. Όταν η τιμή της διαφοράς δύο δράσεων είναι μεγαλύτερη της τιμής βέτο, τότε ανατρέπεται η σχέση υπεροχής.

Όποτε οι τιμές διαφωνίας είναι:

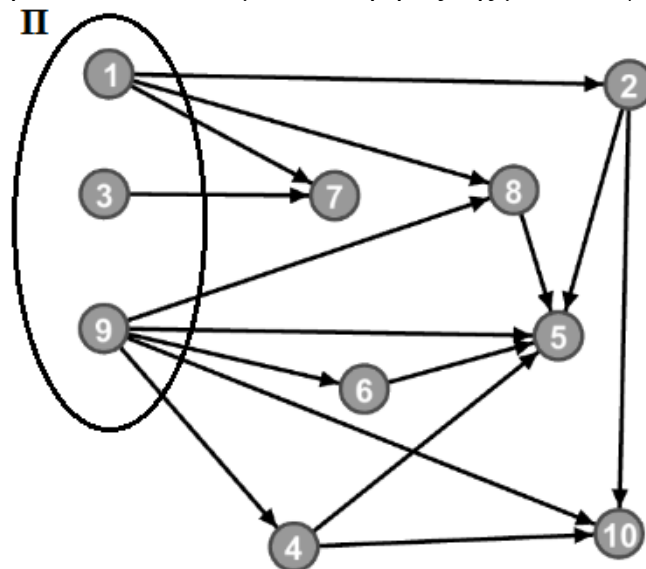
- Διάταξη 1:  
 $g_{σκ}(2) - g_{σκ}(1) = 335 \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(1) = 111 \leq 1500€$  δεκτή

#### 5.4 Μήτρα συμφωνίας και κατασκευή πυρήνα

Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 8 αφού η υπεροχή του φωτιστικού 1 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη του φωτιστικού 8

- Διάταξη 2:  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 5,10, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 2 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών
- Διάταξη 3:  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(3) = 7,08 \leq 1500€$  δεκτή
- Διάταξη 4:  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 5,10, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 4 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών
- Διάταξη 6:  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για το φωτιστικό 5, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 6 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη του φωτιστικού 5. Δωμάτιο 8:  
 $g_{σκ}(5) - g_{σκ}(8) = 1188,6 \leq 1500€$  δεκτή
- Διάταξη 9:  
 $g_{σκ}(4) - g_{σκ}(9) = |-1431| \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(5) - g_{σκ}(9) = 84 \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(6) - g_{σκ}(9) = |-1464,6| \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(9) = |-3669| \geq 1500€$  απορρίπτεται  
 $g_{σκ}(8) - g_{σκ}(9) = |-1104,6| \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(10) - g_{σκ}(9) = 377,4 \leq 1500€$  δεκτή

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής(s=0,7)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, ο πυρήνας του γραφήματος αποτελείται από τα φωτιστικά των δωματίων 1, 3, 9. Επίσης παρατηρείται ότι, οι λύσεις 2, 4, 6 και 8 δεν αποτελούν μέρος του πυρήνα, παρόλο που πληρούσαν τα κριτήρια συμφωνίας. Πιο συγκεκριμένα, τα παραπάνω φωτιστικά τίθενται εκτός πυρήνα αφού η θεωρία αναφέρει ότι οι λύσεις του πυρήνα δεν μπορούν να έχουν σχέσεις υπεροχής μεταξύ τους. Οπότε από τον έλεγχο διαφωνίας προκύπτει ότι, η λύση 1 υπερέχει της 2 και η λύση 9 των 4, 6 και 8.

Όσον αναφορά τα φωτιστικά του πυρήνα το φωτιστικό 9 θεωρείται ως η καλύτερη λύση, αφού υπερέχει έναντι περισσότερων φωτιστικών σε σχέση με τα φωτιστικά 1 και 3.

Βέβαια το φωτιστικό 9 μεμονωμένα είναι το ακριβότερο όμως, όπως αποδείχτηκε τα φωτομετρικά του αποτελέσματα σε συνδυασμό με την χαμηλή του κατανάλωση το καθιστούν ως την πιο συμφέρουσα λύση.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι, το φωτιστικό 1 αν και φθορισμού έχει αξιόλογα φωτομετρικά αποτελέσματα και υπερέχει έναντι του 2, 7, 8. Αποτελώντας μια πιο φθηνή λύση σε σχέση με την 9 αλλά με χαμηλότερα φωτομετρικά αποτελέσματα.

**Πίνακας 5.13 Φωτιστικά πυρήνα γραφήματος υπεροχής**

Όνομασία φωτιστικού	TBS165	TBS160	SOLO SLIM LED
Εταιρία κατασκευής	PHILIPS	PHILIPS	REGENT
Είδος λαμπτήρα	Φθορισμού	Φθορισμού	LED
Αριθμός λαμπτήρων	4	4	
Φωτεινή ροή (lumen)	4800	4400	4050
Κατανάλωση ενέργειας φωτιστικού (Watt)	61	72	30
Αριθμός φωτιστικών	12	12	9
Διάταξη	1	3	9

## 5.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.6, για να εξακριβωθεί εάν τα αποτελέσματα της μεθόδου οδηγούν σε σωστή λήψη απόφασης, πρέπει να γίνει μελέτη ευαισθησίας αλλάζοντας τις κατάλληλες μεταβλητές της μεθόδου. Στην προκειμένη περίπτωση, θα εφαρμοστεί μελέτη ευαισθησίας αλλάζοντας μόνο την τιμή  $s$  (κατώφλι συμφωνίας) από 0,7 σε 0,75 και 0,65.

Έτσι σύμφωνα με τον Πίνακα 5.12 τα φωτιστικά που έχουν τιμή συμφωνίας πάνω από  $s=0,65$  είναι:

- $C(1,2)=0,73 > s$
- $C(1,5)=0,65 > s$
- $C(1,7)=0,73 > s$
- $C(1,8)=0,75 > s$
- $C(2,5)=0,82 > s$
- $C(2,8)=0,65 > s$
- $C(2,10)=0,82 > s$
- $C(3,5)=0,65 > s$
- $C(3,7)=0,73 > s$
- $C(3,8)=0,65 > s$
- $C(3,9)=0,65 > s$
- $C(3,10)=0,65 > s$
- $C(4,5)=0,82 > s$
- $C(4,8)=0,69 > s$
- $C(4,10)=0,74 > s$



- $C(6,4)=0,66 > s$
- $C(6,5)=0,82 > s$
- $C(6,8)=0,69 > s$
- $C(8,5)=0,77 > s$
- $C(8,7)=0,65 > s$
- $C(9,4)=0,71 > s$
- $C(9,5)=0,92 > s$
- $C(9,6)=0,71 > s$
- $C(9,7)=0,79 > s$
- $C(9,8)=0,87 > s$
- $C(9,10)=0,74 > s$
- $C(10,8)=0,69 > s$

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία με πριν, γίνεται έλεγχος διαφωνίας, με βέτο ( $v_{σκ} = 1500€$ ), η οποία αναφέρεται στην τελική τιμή των φωτιστικών σε κάθε δωμάτιο. Οι τιμές διαφωνίας είναι:

- Διάταξη 1  
 $g_{σκ}(2) - g_{σκ}(1) = 335 \leq 1500€$  δεκτή  
 Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για το φωτιστικό 5 και 8, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 1 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών.  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(1) = 111 \leq 1500€$  δεκτή
- Διάταξη 2  
 Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 5,8,10, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 2 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών.
- Διάταξη 3  
 Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 5,8,9,10, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 3 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(3) = 7,08 \leq 1500€$  δεκτή
- Διάταξη 4  
 Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 5,10, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 4 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών  
 $g_{σκ}(8) - g_{σκ}(4) = |-969,6| \leq 1500€$  δεκτή
- Διάταξη 6  
 Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για το φωτιστικό 5, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 6 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη του φωτιστικού 5.  
 $g_{σκ}(4) - g_{σκ}(6) = 33,6 \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(8) - g_{σκ}(6) = |-2174,5| \geq 1500€$  απορρίπτεται
- Διάταξη 8  
 $g_{σκ}(5) - g_{σκ}(8) = 1188,6 \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(8) = |-2534,4| \geq 1500€$  απορρίπτεται
- Διάταξη 9  
 $g_{σκ}(4) - g_{σκ}(9) = |-1431| \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(5) - g_{σκ}(9) = 84 \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(6) - g_{σκ}(9) = |-1464,6| \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(9) = |-3669| \geq 1500€$  απορρίπτεται

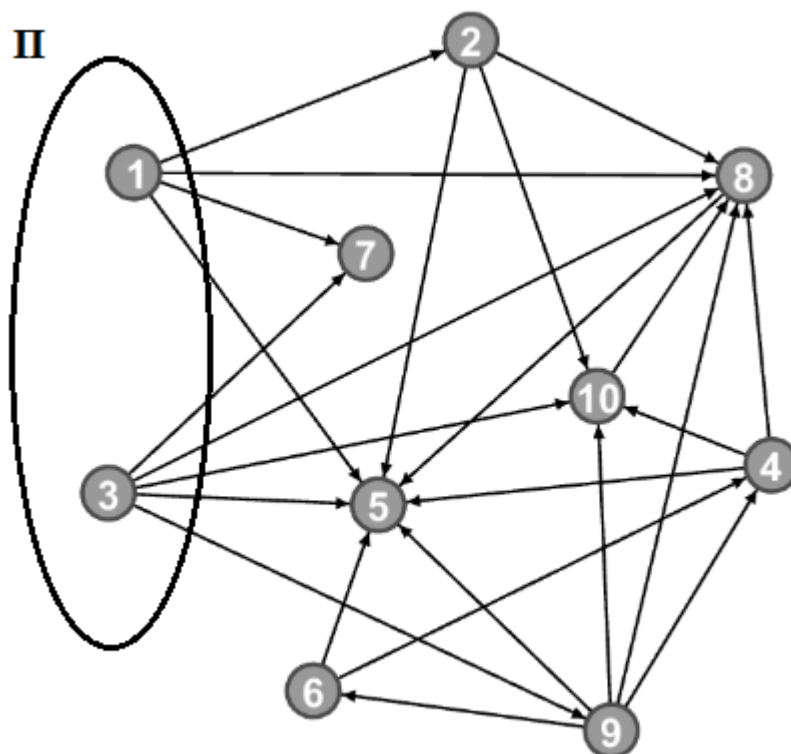
$$g_{\sigma\kappa}(8) - g_{\sigma\kappa}(9) = |-1104,6| \leq 1500\text{€δεκτή}$$

$$g_{\sigma\kappa}(10) - g_{\sigma\kappa}(9) = 377,4 \leq 1500\text{€δεκτή}$$

- Διάταξη 10

$$g_{\sigma\kappa}(8) - g_{\sigma\kappa}(10) = |-1482| \leq 1500\text{€δεκτή}$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ο πυρήνας της μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Πυρήνας γραφήματος υπεροχής( $s=0,65$ )

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2 υπάρχουν μερικές διαφοροποιήσεις τόσο στον πυρήνα αλλά και στο κεντρικό γράφημα, σε σχέση με το αντίστοιχο Σχήμα 5.1.

Πιο συγκεκριμένα, οι διαφορές στον γράφο εμφανίζονται επειδή το κατώφλι συμφωνίας τέθηκε με μικρότερη τιμή. Με αποτέλεσμα η μέθοδος να αναζητά και λύσεις με πιο ασθενή υπεροχή μεταξύ τους.

Όσον αναφορά τον πυρήνα η διαφοροποίηση εστιάζεται στο γεγονός ότι η λύση 3 εμφανίζει ασθενή υπεροχή( $s=0,65$ ) έναντι της λύσης 9, οπότε η λύση 9 τίθεται εκτός πυρήνα και δεν θεωρείται ως η καλύτερη. Στην προκειμένη περίπτωση η λύση 3 θεωρείται ως η καλύτερη της μεθόδου αλλά με μικρή διαφορά έναντι της 1. Η διαφοροποίηση εστιάζεται στο γεγονός ότι η λύση 3 υπερέχει της 9, η οποία με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα θεωρούνταν ως η καλύτερη.

Επίσης εμφανίζονται μερικές ακόμα ασθενείς υπεροχές στο παραπάνω γράφημα όπως της λύσης 1 έναντι της 5 με  $s=0,65$ . Η λύση 3 υπερέχει των 5,8,9,10 με  $s=0,65$ . Η λύση 4 υπερέχει από την 8 με  $s=0,69$  Η λύση 6 υπερέχει της 4 με  $s=0,66$ . Τέλος, η λύση 10 υπερέχει από την 8 με  $s=0,69$ .

Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για  $s=0,75$ . Από τον Πίνακα 5.12 τα ζευγάρια λύσεων που υπερβαίνουν το κατώφλι συμφωνίας είναι:

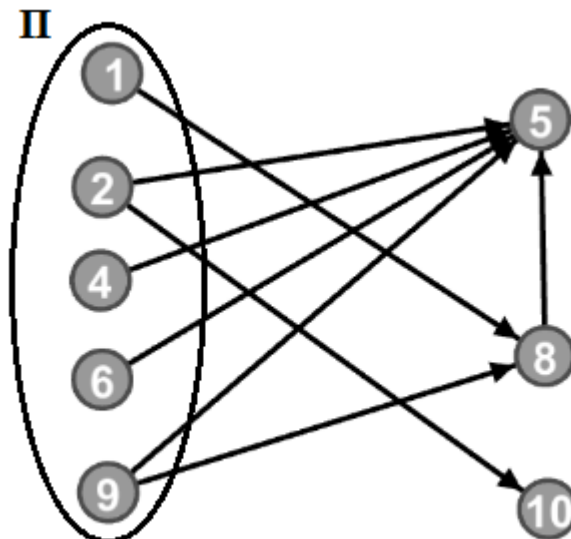
- $C(1,8)=0,75 > s$
- $C(2,5)=0,82 > s$

- $C(2,10)=0,82 > s$
- $C(4,5)=0,82 > s$
- $C(6,5)=0,82 > s$
- $C(8,5)=0,77 > s$
- $C(9,5)=0,79 > s$
- $C(9,7)=0,79 > s$
- $C(9,8)=0,87 > s$

Οπότε για τα παραπάνω ζεύγη επιλογών γίνεται έλεγχος διαφωνίας με τιμή βέτο ( $v_{σκ} = 1500€$ ), η οποία αναφέρεται στην τελική τιμή των φωτιστικών σε κάθε δωμάτιο. Τα αποτελέσματα είναι :

- Διάταξη 1  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για το φωτιστικό 8, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 1 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη του φωτιστικού 8.
- Διάταξη 2  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για τα φωτιστικά 5,10, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 2 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων φωτιστικών
- Διάταξη 4  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για το φωτιστικό 5 αφού η υπεροχή του φωτιστικού 4 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη του φωτιστικού 5.
- Διάταξη 6  
Δεν χρειάζεται να γίνει κανένας έλεγχος με βέτο για το φωτιστικό 5, αφού η υπεροχή του φωτιστικού 6 δεν ανατρέπεται, επειδή η τιμή του είναι κατά πολύ μικρότερη του φωτιστικού 5.
- Διάταξη 8  
 $g_{σκ}(5) - g_{σκ}(8) = 1188,6 \leq 1500€$  δεκτή
- Διάταξη 9  
 $g_{σκ}(5) - g_{σκ}(9) = 84 \leq 1500€$  δεκτή  
 $g_{σκ}(7) - g_{σκ}(9) = |-3639| \geq 1500€$  απορρίπτεται  
 $g_{σκ}(8) - g_{σκ}(9) = |-1104,6| \geq 1500€$  δεκτή

Ο πυρήνας του γραφήματος φαίνεται στο Σχήμα 5.3.



**Σχήμα 5.3** Πυρήνας γραφήματος υπεροχής( $s=0,75$ )

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ο πυρήνας της μεθόδου παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση, αλλά εξακολουθεί και πάλι να περιέχει 2 από τις επικρατέστερες λύσεις που έχουν εμφανιστεί και στις προηγούμενες μελέτες.

Πιο συγκεκριμένα, η λύση 9 εμπεριέχεται και πάλι στον πυρήνα, αφού η ασθενής υπεροχή της λύσης 3 εξαλείφεται με τιμή  $s=0,75$  ως κατώτερο κατώφλι συμφωνίας. Επίσης, λόγω των γενικά ασθενών υπεροχών της, η λύσης 3 δεν εμφανίζεται καθόλου στο γράφο.

Ακόμα η λύση 1 παραμένει και σε αυτόν τον γράφο εντός πυρήνα.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, οι λύσεις 2,4,6 βρίσκονται εντός πυρήνα αφού λόγω της τιμής του  $s=0,75$ , οι υπεροχές των λύσεων 1 και 9 με αυτές απαλείφονται.

## 5.6 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας από την εφαρμογή της μεθόδου και από την ανάλυση ευαισθησίας εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1) Τα φωτιστικά των διατάξεων 5 και 7 αποτελούν τις χειρότερες δυνατές επιλογές, αφού σε όλες τις μελέτες δεν υπερέχουν έναντι καμίας άλλης διάταξης. Πιο συγκεκριμένα, φαίνονται όλα τα φωτιστικά για κάθε  $s$  που τέθηκε, να έχουν σχέσεις υπεροχής με το φωτιστικό 5. Ενώ οι σχέσεις υπεροχής με το φωτιστικό 7 αλλάζουν ανάλογα με τα  $s$  που τέθηκαν. Βέβαια για καμία τιμή του  $s$  το φωτιστικό 7 δεν υπερέχει έναντι κάποιου άλλου, όπως φαίνεται και από τον

2) Η βέλτιστη λύση δεν αποτελείται από την επιλογή ενός και μόνου φωτιστικού. Με βάση τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν τα φωτιστικά των διατάξεων 1,3 και 9 θεωρούνται ως οι βέλτιστες επιλογές που μπορούν να γίνουν. Όμως η επιλογή αυτή εξαρτάτε από μερικούς παράγοντες:

- Όταν επιλέγεται ένα χαμηλό ποσοστό υπεροχής (κατώφλι συμφωνίας  $s$ ) για την αξιολόγηση των φωτιστικών, τότε ως βέλτιστη επιλογή θεωρείται το φωτιστικό 3. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 5.2 εμφανίζει σχέσεις υπεροχής με αρκετά φωτιστικά. Βέβαια όπως αναφέρθηκε οι σχέσεις αυτές είναι πιο αδύναμες λόγω της μικρής τιμής του  $s$ .
- Όταν το κατώφλι συμφωνίας λαμβάνει τιμή ανάλογη με αυτή της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, τότε ως βέλτιστη επιλογή θεωρείται το φωτιστικό 9. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, για την προηγούμενη τιμή του  $s$  το φωτιστικό 3 είχε μια ασθενή υπεροχή έναντι του 9, με αποτέλεσμα το φωτιστικό 9 να τίθεται εκτός πυρήνα σύμφωνα με την θεωρία της μεθόδου ELECTRE I.
- Επίσης, παρατηρείται ότι και για μεγαλύτερες τιμές του  $s$  το φωτιστικό 9 παραμένει να θεωρείται ως η καλύτερη επιλογή, αφού υπερέχει έναντι του φωτιστικού 5 αλλά και του φωτιστικού 8.
- Όσον αφορά το φωτιστικό 1 το οποίο εμφανίζεται μέσα στον πυρήνα για όλα τα  $s$  που τέθηκαν, πρέπει να τονιστεί ότι αποτελεί και αυτή μια αξιολογη εναλλακτική λύση. Το οποίο για φωτιστικό φθορισμού έχει αξιόλογα φωτομετρικά αποτελέσματα αλλά βεβαία με μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με το φωτιστικό 9 που είναι led.

3) Είναι σημαντικό όμως όταν πραγματοποιείται μια ανάλυση ευαισθησίας εκτός από τις εναλλαγές στις τιμές του  $s$ , να γίνονται αλλαγές και στα βάρη των κριτηρίων, ώστε ο πυρήνα να περιέχει μια ή έστω ελάχιστο αριθμό βέλτιστων λύσεων. Η σημασία των βαρών  $w$  στην εφαρμογή της μεθόδου είναι τεράστια, αφού είναι υπεύθυνα για τον υπολογισμό της μήτρας συμφωνίας.

## Συμπεράσματα

Μέσω της παρούσης διπλωματικής εργασίας αναδείχθηκε η χρήση πολυκριτήριων μεθόδων προκειμένου να δοθεί ποσοτική απάντηση σε προβλήματα αποφάσεων που σχετίζονται με το φωτισμό. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν μέσω πολλαπλών κριτηρίων φωτιστικά με διαφορετικών ειδών φωτεινές πηγές, φθορισμού και LED.. Μέσω της προσεκτικής επιλογής κριτηρίων, βαρών, κατωφλίων βέτο καθώς και της εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE I, δύναται ο μηχανικός να έχει ποσοτική λύση για την εύρεση του βέλτιστου φωτιστικού κατά τη σύγκριση πολλαπλών εναλλακτικών.

Οι μελέτες, που έγιναν στην παρούσα διπλωματική αφορούν τυπικούς χώρους γραφείων εργασίας. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, σε όλες τις μελέτες λήφθηκε υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση, όπου δεν υπάρχει παρουσία φυσικού φωτισμού προκειμένου τα εκάστοτε σενάρια να ανταποκρίνονται επαρκώς ανεξάρτητα από εξωτερικές συνθήκες.

Κυρίαρχος στόχος ήταν η επίτευξη της κατάλληλης στάθμης φωτισμού με την μέγιστη δυνατή ομοιομορφία και την αποφυγή θάμβωσης των εργαζόμενων. Παράλληλα, δίνεται έμφαση σε τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά καθώς και στην εξοικονόμηση ενέργειας στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Εν γενεί, παρατηρήθηκε ότι οι τεχνολογίες των φωτιστικών LED ενώ μεμονωμένα έχουν μεγάλη διαφορά στη τιμή έναντι των φωτιστικών φθορισμού, μπορεί σε συνδυασμό την συνολικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης και τα υψηλά φωτομετρικά αποτελέσματα που προσφέρει, να αποτελέσει μια βιώσιμη και αξιόλογη λύση. Παρόλα αυτά πάντα θα υπάρχει και η πιο φθηνή και όχι τόσο αξιόλογη λύση των λαμπτήρων φθορισμού. Αναμφίβολα όμως στο εγγύς μέλλον θα αντικατασταθούν πλήρως από τα φωτιστικά LED, αφού θα γίνονται όλο και πιο φθηνά κατασκευαστικά.

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η παρούσα διπλωματική στοχεύει στο να πληροφορήσει τον εκάστοτε μελετητή φωτισμού σχετικά την χρησιμότητα εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE I, στην βελτιστοποίηση εγκαταστάσεων φωτισμού. Αφού του παρέχει την δυνατότητα εύρεσης της βέλτιστης επιλογής, αξιοποιώντας το μαθηματικό της υπόβαθρο σε σύνθετα προβλήματα απόφασης. Ο αποφασίζων ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα εφαρμόζει την μέθοδο, ώστε να οδηγηθεί στην βέλτιστη επιλογή:

1. Καθορισμός κριτηρίων και επιλογή κατάλληλων βαρών για αυτά.
2. Επιλογή κατάλληλων κατωφλίων συμφωνίας  $s$  και βέτο.
3. Υπολογισμός πίνακα συμφωνίας από τα βάρη που επιλέχθηκαν με χρήση του τύπου  $C(a, b) = \sum_{\{j: g_j(a) \geq g_j(b)\}} w_j$ .
4. Εύρεση ζευγαριών που ικανοποιούν τα κατώφλια συμφωνίας που τέθηκαν για τα οποία ισχύουν  $C(a, b) \geq s$ .
5. Έλεγχος διαφωνίας για τα παραπάνω ζευγάρια, με τις τιμές βέτο που οριστήκαν, σύμφωνα με τον τύπο  $g_{j^*}(a) - g_{j^*}(b) \leq v_{j^*}$ .
6. Σχεδίαση του γράφου της μεθόδου.
7. Ανάλυση ευαισθησίας με διαφορετικά βάρη, βέτο και  $s$ .
8. Υποστηρίξει της απόφασης.

## Βιβλιογραφία

- [1] Eurostat, «Gross inland consumption of energy, 1990–2014».
- [2] Eurostat, «Energy dependency rate, EU-28, 2004–14 (% of net imports in gross inland consumption and bunkers, based on tonnes of oil equivalent)».
- [3] Eurostat, «Primary energy production, EU-28, 1990-2014».
- [4] Eurostat, «Final energy consumption, EU-28, 2014 (% of total, based on tonnes of oil equivalent)».
- [5] ECOFYS, «Final energy consumption per sector and energy carrier with energy import dependency,» 2014.
- [6] Π. Σταμάτης, “Ενεργειακή επιθεώρηση κτιρίων και βιομηχανιών”, εκδόσεις Σέλκα - 4M, 2006.
- [7] Λ. Γιακουμέλος, «"Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας ",» 22 2 2013.  
www.cres.gr/kape/pdf/download/Energy\_Outlook\_2009\_EL%20.pdf.
- [8] «Ελληνική Στατιστική Αρχή,» 2001. <http://www.statistics.gr/>.
- [9] «Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας,» Κέντρο Ανανεωσιμών Πηγών και Εξοικονόμησης(ΚΑΠΕ),[http://www.cres.gr/energy-saving/technologies\\_exikonomisis\\_ener.htm](http://www.cres.gr/energy-saving/technologies_exikonomisis_ener.htm).
- [10] Π. Σταμάτης, Επεμβάσεις Εξοικονόμησης ενέργειας, τόμ. Α, Αθήνα: ΤεκΔΟΤΙΚΗ, 2007.
- [11] «Σχέδιο Κανονισμού για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων - ΚΕΝΑΚ,» σε "Νόμος 3661 - Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων".
- [12] Υ. Α. κ. Υποδομών.
- [13] Ν. Σιδέρης, Συστήματα ελέγχου για εξοικονόμηση ενέργειας στο φωτισμό.
- [14] Ε. Λαμπροπούλου, «Φωτισμός κτιρίων και εξοικονόμηση ενέργειας,» ΚΑΠΕ, Αθήνα, 2007.
- [15] «Τεχνητός φωτισμός-Σχεδιασμός,» Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/texnitos\\_fotismos\\_sxediasmos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/texnitos_fotismos_sxediasmos.htm).
- [16] Ε. Τσίγκας, Ενεργειακός Σχεδιασμός, Θεσσαλονίκη: Μάλλιαρης Α-Παιδεία Α.Ε, 2010.
- [17] Διευκρινίσεις – Προσθήκες Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010].
- [18] Φ.Β.Τοπαλής, “Φωτοτεχνία, βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού”, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π, 1994.
- [19] «Energy Lab,» <http://www.energylab.gr/faq/>.
- [20] «Philips Lighting,» [http://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-electronics/fluorescent/fluorescent-electromagnetic/bpl-em-ballasts-for-cfl-pl-t-pl-s-and-pl-c-lamps/913710120143\\_EU/product](http://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-electronics/fluorescent/fluorescent-electromagnetic/bpl-em-ballasts-for-cfl-pl-t-pl-s-and-pl-c-lamps/913710120143_EU/product).
- [21] «Philips Lighting,» <http://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-electronics/fluorescent/fluorescent-fixed-output-gear/optanium-step-dim>.
- [22] «ergo-tel,» [http://www.ergo-tel.gr/article\\_page\\_info.php?articles\\_pages\\_id=58](http://www.ergo-tel.gr/article_page_info.php?articles_pages_id=58).
- [23] «eetimes,» [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1272528](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1272528).
- [24] Safa Kasap, Electronic materials and devices, McGraw-Hill Education,, 2006.
- [25] Φ.Β.Τοπαλής, σε “Φωτοτεχνία, βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού”, Αθήνα, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, 1994.
- [26] «ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΙ 1ης ΕΠΑΣ ΟΑΕΔ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ,» <https://oaedhlectrologoi.blogspot.gr/2017/05/blog-post.html>.
- [27] Φ. Β. Τοπαλής, Α. Τσαγκρασούλης και Λ. Θ. Δούλος , «Κατάρτιση ενεργειακών επιθεωρητών - εκπαιδευτικό υλικό,» σε Θεματική ενότητα: ΔΕ5, Τεχνολογίες

- εξοικονόμησης & διαχείρισης ενέργειας Η/Μ συστημάτων, Παράγραφος 1.10 "Εξοικονόμηση στο φωτισμό", Αθήνα, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011.
- [28] Ε. Τσίγκας, "Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική - Το ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα παθητικά ηλιακά κτήρια", Θεσσαλονίκη : Μάλλιαρης Α. - Παιδεία Α.Ε., 1996.
- [29] N. Ruck, Daylight in Buildings, a source book on daylighting systems and components, 2000.
- [30] «aluNET.gr,» [Ηλεκτρονικό]. <https://www.alunet.gr/2016/03/2273v>.
- [31] «Pinterest,» <https://gr.pinterest.com/pin/517139969681980846/>.
- [32] «WILDWATERWALL,» [https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/4-periballon-choros-\\_mikroklima-\\_photismos-periballon-choros---mikroklima](https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/4-periballon-choros-_mikroklima-_photismos-periballon-choros---mikroklima).
- [33] «Κεντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας,» [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_fotismos\\_prismatika.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_prismatika.htm).
- [34] «Τεχνική ενεργειακή Ιεράπετρας,» <http://www.techenergy.gr/products/fotismos.html>.
- [35] inhabitat. <http://inhabitat.com/solar-tube/>.
- [36] «FIBRE OPTICS FOR LIGHTING,» <http://modernamazing.blogspot.gr/2010/02/fibre-optics-for-lighting.html>.
- [37] «Reef Central,» [https://www.google.gr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiBh4Gv-9XVAhXC0hoKHZvcA-8QjhwIBQ&url=http%3A%2F%2Fwww.reefcentral.com%2Fforums%2Fshowthread.php%3Ft%3D960151&psig=AFQjCNF\\_AIFG6N2BA37iBswkx4iEsosJYA&ust=1502773857527153](https://www.google.gr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiBh4Gv-9XVAhXC0hoKHZvcA-8QjhwIBQ&url=http%3A%2F%2Fwww.reefcentral.com%2Fforums%2Fshowthread.php%3Ft%3D960151&psig=AFQjCNF_AIFG6N2BA37iBswkx4iEsosJYA&ust=1502773857527153).
- [38] J. O'Connor, E. Lee, F. Rubinstein και S. Selkowitz, Tips for daylighting with windows, 1997: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [39] A.Tsangrassoulis, M. A.Jacobs, J.Solomon, M.Fontoynt, W.Pohl και A.Zimmermann, SynthLight Handbook, European educational infrastructure on energy efficient lighting technologies, 2001.
- [40] Λ. Δούλος, Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης προσαρμογής του τεχνητού φωτισμού με στόχο την βέλτιστη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, Εκδόσεις ΕΜΠ, διδακτορική διατριβή, 2010.
- [41] Φ. Τοπαλής, «Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας,» [http://library.tee.gr/digital/m2413/m2413\\_topalis.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2413/m2413_topalis.pdf).
- [42] «ETA commitment automation,» <http://eta.gr/el/catalog/product/ais8hthria-kai-anixneytes-eswterikoy-xwroy-gia-e3ypno-spiti-kthrio/>.
- [43] Φ. Β. Τοπαλής, Λ. Οικονόμου και Σ. Κουρτέση, Φωτοτεχνία, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2014.
- [44] Relux Simulation Tools, *Relux Suite Manual*.
- [45] «Regent lighting,» <https://www.regent.ch/en/products/product-finder/line/recessed-ceiling-luminaire-item-led/>.
- [46] «Ridi,» <https://www.ridi.de/en/luminaires/ebd-ebda-ebdf-ebdt-ebdr-edlr/ebd-340-ebdf-340-/ebd-340-sg/ebd-340-26-42-sg-evg.html>.
- [47] Μ. Σαμουηλίδης, Κ. Βλάχος και Γ. Ψαράς, «Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης HMMY ΕΜΠ,» <http://academics.epu.ntua.gr/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B9%CE%BA%CE%AE.aspx>.
- [48] Μ. Σαμουηλίδης, Κ. Βλάχος και Γ. Ψαράς, Συστήματα Αποφάσεων, Εκδόσεις ΕΜΠ, 1986.
- [49] Peter G. W. Keen και M. S. S. Morton, Decision support systems: an organizational perspective, Addison-Wesley Pub. Co, 1978.
- [50] H. A. Simon, The New Science of Management Decision, Harper & Row, 1960.




- [51] Μ. Δούμπος και Κ. Ζοπουνίδης, Πολυκριτήριες Τεχνικές Ταξινόμησης: Θεωρία και Εφαρμογές, Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2001.
- [52] Ι. Σίσκος και Α. Σπυριδάκος, «Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives,» *European journal of Operational Research* , 1999, pp. 236-246.
- [53] Ι. Σίσκος, Μοντέλα Αποφάσεων, Αθήνα : Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2008.
- [54] B. Roy, *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Paris: Economica, 1985, pp. 324-331.
- [55] P. Vincke, *Multicriteria decision-aid*, New York: Wiley, 1992.
- [56] K. Govindan και M. B. Jepsen, *ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications*, *European Journal of Operational Research*, 2015.
- [57] «Galis Lighting,» <http://www.galis.gr/el/store/recessed-surface-mounted-fluorescent/category/216-recessed-flouorescent>.

## Παράρτημα Α


Το παράρτημα αυτό περιέχει προδιαγραφές των φωτιστικών σωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες φωτισμού των γραφείων.

### Παράρτημα Α.1

Infosheet



**Φωτιστικό χωνευτό 4X14W G5 230V IP20**



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ: PHILIPS

ΤΥΠΟΣ: TBS165H414C8/84

ΚΑΥΚΑΣ ID: 123628185

SKU: 888023

EAN CODE: 871794388023

Κατηγορία προστασίας	I	Ντουί	G5
Χρώμα υλικού κατασκευής	Λευκό	Τύπος τάσης	AC
Τύπος περσιδών	Έντονο γυαλιστερό	Σύστημα έναυσης	Ηλεκτρονικό τυπικό ballast
Υλικό κατασκευής	Αλουμίνιο	Λαμπτήρας	Φθορισμού T5
Τύπος φωτιστικού	Φωτιστικό με περσίδες	Νήμα πυράκτωσης IEC E95-2-1	850 °C - 5 s
Εξοδος φωτισμού	Άμεσο	Διαμορφασμός φωτισμού	Συμμετρικό
Υλικό περσίδας	Αλουμίνιο	Αντοχή σε κρούση	IK02
Βαθμός προστασίας (IP)	IP20	Τύπος επιφάνειας	Ματ
Πλάτος	596mm	Ισχύς λαμπτήρα	14W
Πέρασμα καλωδίωσης	ΟΧΙ	Ρυθμιζόμενη ένταση	ΟΧΙ
Βάθος ενσωμάτωσης	52mm	Μήκος	596mm
Σύστημα ηλεκτρική σύνδεσης	ΝΑΙ	Συνεχής φωτεινή γραμμή	ΟΧΙ
Για φωτισμό έκτακτης ανάγκης	ΟΧΙ	Κατάλληλο για εντοπισμό	ΝΑΙ
Ονομαστική τάση	230V	Με λάμπα	ΝΑΙ
Αντοχή στη φωτιά "F με στέγη"	ΝΑΙ	Για αριθμό λαμπτήρων	4
Περιλαμβάνεται μονάδα ελέγχου	ΝΑΙ	Για χώρο εργασίας	ΝΑΙ
Περιοτρεφόμενο μοντέλο	ΟΧΙ	Περσίδα διάτρητη	ΟΧΙ

#### Αναλυτική Περιγραφή

[www.kafkas.gr](http://www.kafkas.gr)

Τμήμα Εξυπηρέτησης Πελατών T 216 300 3333 E [customercare@kafkas.gr](mailto:customercare@kafkas.gr)

Σχήμα Α.1.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 1 [44]

## Παράρτημα Α.2



### CoreLine Panel

#### RC127V LED34S/830 PSD W60L60 OC

CORELINE PANEL OC - LED Module, system flux 3400 lm - 830 warm white - Power supply unit with DALI interface - Width 0.60 m, length 0.60 m - Office compliant version

Whether for a new building or renovation of an existing space, customers want lighting solutions that provide quality of light and substantial energy and maintenance savings. The new CoreLine Panel range of LED products can be used to replace functional luminaires in general lighting applications. Both Non-Office Compliant (NOC) version and Office Compliant version (OC) are now available. The process of selecting, installing and maintaining is so easy – it's a simple switch.

#### Product data

General Information		Safety device	
Lamp family code	LED34S [ LED Module, system flux 3400 lm]	Safety device	SC [ Safety cable]
Light source color	830 warm white	Type description	Office compliant version
Light source replaceable	No	CE mark	CE mark
Number of gear units	1 unit	ENEC mark	ENEC mark
Driver/power unit/transformer	Power supply unit with DALI interface	UL mark	-
Driver included	Yes	Warranty period	3 years + 2 years upon registration
Optic type	-	Constant light output	No
Luminaire light beam spread	100°	Number of products on MCB of 16 A type B 24	
Control interface	DALI	RoHS mark	RoHS mark
Connection	Push-in connector and pull relief	Product family code	RC127V [ CORELINE PANEL OC]
Cable	-	<b>Operating and Electrical</b>	
Protection class IEC	Safety class II	Input Voltage	220 to 240 V
Glow-wire test	Temperature 650 °C, duration 30 s	Input Frequency	50 to 60 Hz
Flammability mark	For mounting on normally flammable surfaces	Inrush current	20.4 A

Datasheet, 2017, May 11

data subject to change

Σχήμα Α.2.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 2 σελ. 1/2 [44]



## CoreLine Panel

### RC127V LED34S/830 PSD W60L60 OC

CORELINE PANEL OC - LED Module, system flux 3400 lm - 830 warm white - Power supply unit with DALI interface - Width 0.60 m, length 0.60 m - Office compliant version

Whether for a new building or renovation of an existing space, customers want lighting solutions that provide quality of light and substantial energy and maintenance savings. The new CoreLine Panel range of LED products can be used to replace functional luminaires in general lighting applications. Both Non-Office Compliant (NOC) version and Office Compliant version (OC) are now available. The process of selecting, installing and maintaining is so easy – it's a simple switch.

#### Product data

General Information		Safety device	
Lamp family code	LED34S [ LED Module, system flux 3400 lm]	Safety device	SC [ Safety cable]
Light source color	830 warm white	Type description	Office compliant version
Light source replaceable	No	CE mark	CE mark
Number of gear units	1 unit	ENEC mark	ENEC mark
Driver/power unit/transformer	Power supply unit with DALI interface	UL mark	-
Driver included	Yes	Warranty period	3 years + 2 years upon registration
Optic type	-	Constant light output	No
Luminaire light beam spread	100°	Number of products on MCB of 16 A type B 24	
Control interface	DALI	RoHS mark	RoHS mark
Connection	Push-in connector and pull relief	Product family code	RC127V [ CORELINE PANEL OC]
Cable	-	<b>Operating and Electrical</b>	
Protection class IEC	Safety class II	Input Voltage	220 to 240 V
Glow-wire test	Temperature 650 °C, duration 30 s	Input Frequency	50 to 60 Hz
Flammability mark	For mounting on normally flammable surfaces	Inrush current	20.4 A

Datasheet, 2017, May 11

data subject to change

### Σχήμα Α.2.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 2 σελ. 2/2 [44]

Παράρτημα Α.3



Φωτιστικό χωνευτό 4X18W G13 230V IP20



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ: PHILIPS

ΤΥΠΟΣ: Impra - TBS160HF418C3

ΚΑΥΚΑΣ ID: 123554057

SKU: 590081

EAN CODE: 8727900590081

Infosheet

Κατηγορία προστασίας	I	Ανακλαστήρας	Έντονο γυαλιστερό
Ντουί	G13	Χρώμα υλικού κατασκευής	Λευκό
Τύπος τάσης	AC	Τύπος περιόδων	Ματ
Σύστημα έναυσης	Ηλεκτρονικό τυλικό ballast	Υλικό κατασκευής	Αλουμίνιο
Λαμπτήρας	Φθορισμού T8	Τύπος φωτιστικού	Φωτιστικό με περιόδους
Νήμα πυράκτωσης IEC 695-2-1	960 °C - 5 s	Εξοδος φωτισμού	Άμεσο
Διαμοιρασμός φωτισμού	Συμμετρικό	Υλικό περιόδου	Αλουμίνιο
Αντοχή σε κρούση	IK02	Εναυστήρας	Δεν απαιτείται
Βαθμός προστασίας (IP)	IP20	Τύπος επιφάνειας	Ματ
Πλάτος	597mm	Ισχύς λαμπτήρα	18W
Πέρασμα καλωδίωσης	ΟΧΙ	Ρυθμιζόμενη ένταση	ΟΧΙ
Βάθος ενσωμάτωσης	80mm	Μήκος	597mm
Σύστημα ηλεκτρική σύνδεσης	NAI	Συνεχής φωτεινή γραμμή	ΟΧΙ
Για φωτισμό έκτακτης ανάγκης	ΟΧΙ	Κατάλληλο για εντοιχισμό	NAI
Ονομαστική τάση	230V	Με λάμπα	ΟΧΙ
Αντίσταση σε φωτιά "F"	NAI	Για αριθμό λαμπτήρων	4
Περιλαμβάνεται μονάδα ελέγχου	NAI	Για χώρο εργασίας	NAI
Περίοδα διάρτησης	ΟΧΙ	Ανακλαστήρας διάρτησης	ΟΧΙ

www.kafkas.gr

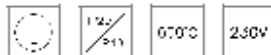
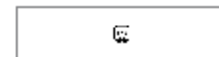
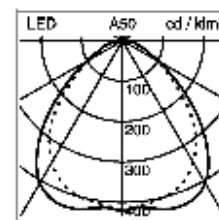
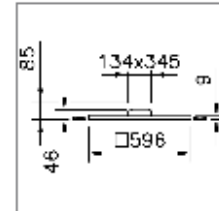
Τμήμα Εξυπηρέτησης Πελατών T 216 300 3333 E customercare@kafkas.gr

Σχήμα Α.3.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 3 [44]

**Datasheet**

**Recessed ceiling luminaire Item LED**

78W74L60L2JA



<b>System power</b>	32 W
<b>Light sources</b>	LED (Light Emitting Diode)
<b>ILCOS (ZVEI)</b>	neutral white
<b>Colour temperature</b>	4000 K
<b>Luminous flux of luminaire</b>	3800
<b>Colour Rendering Index</b>	CRI >80
<b>Life time</b>	L80 50'000h
<b>Control gear</b>	LEDKV
<b>Light control</b>	ON/OFF
<b>Finish</b>	white
<b>UGR</b>	<19
<b>Weight</b>	5.229

Recessed ceiling luminaire Item LED with LED (Light Emitting Diode) system power: 32W, luminous flux of luminaire 3800lm, 4000K, neutral white, CRI >80, UGR <19, MacAdam 3, 230V, direct light emission, single-part frame in aluminium, thermo painted white, micro-prismatic CLD (Controlled Luminance Diffuser), halogen-free internal wiring, integral electronic control gear, ON/OFF, suitable for emergency lighting (DC-compatible)

Protection class I, IP20 / IP40

module 800, L = 596 mm B = 596 mm ET = 85 mm

Σχήμα Α.4.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 4 [45]

# Παράρτημα Α.5

**EBD 340/26-42 SG (EVG)**

**0320741** **RIDI**

Ballast class EEI: A2		Voltage: ~230-240V, 50-60Hz
Protection class: IP20		Protection class: IP 20
acc. to DIN EN 60598/VDE 0711		

### Product description

Parabolic reflector in specular anodised super-purity aluminium.

**Design:** Round recessed downlighter, two-part, comprising reflector housing and the gear tray

**Reflector housing:** Rigid mounting ring in die-cast metal with toolless clamping mechanism, and fixing for the lampholder. Mounting ring with integrated fixture for decorative rings and trim attachments. Includes white decor ring.

**Gear tray:** Gear tray plate made of galvanised steel, accommodates all electrical components, mains terminal block, cable strain relief and connecting cable with lampholder assembly. Lampholder block clips toollessly into the bracket. Gear tray cover in heat-resistant plastic.

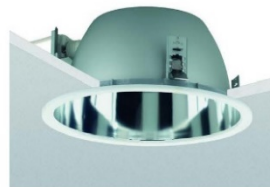
**Electrical versions:**

- Electronic VG: With electronic ballast (EVG), warm start lamps, 220-240 Volt, 0/50-60 Hz and internal connector block 5x2.5mm<sup>2</sup>.

**Mounting:** Toolless mounting using spring steel fixing clips. In addition to the prefitted standard luminaire fixing, special accessory fixing kits such as panel mounting kits, reinforcement plates for metal tile ceilings, cast concrete housings, plaster ring can be ordered.

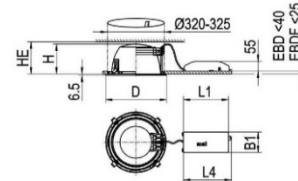
**Note:** Emergency light E14, factory mounting possible for 1 and 2-lamp luminaires EBD/EBDF. In the 2-lamp EBDF, no closed trims can be used in combination with emergency luminaire E14.

### Product image



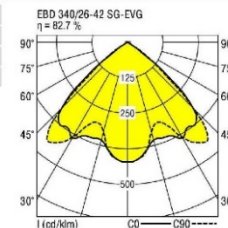
### Technical data / dimensions

Dimens. [mm]	
L1	245
L4	265
B1	90
H	173
HE	175
D	340
Lamps	1xTC-TEL 26/32/42 W
Socket	GX24q-3/4
Weight [kg]	1,2



### Photometric data

Phi_u [%]	100.0
Phi_o [%]	0.0
LITG/DIN	A 50
UTE	0.83C



EBD 340/26-42 SG-EVG		Glare evaluation according to UGR															
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
p-Ceiling		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
p-Walls		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
p-Floor		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Room dimensions		View in C0 direction						View in C90 direction									
X Y		2H	3H	4H	6H	8H	2H	3H	4H	6H	8H	2H	3H	4H	6H	8H	
2H	2H	22.0	23.1	22.3	23.3	23.5	22.1	23.2	22.4	23.4	23.6	22.1	23.2	22.4	23.4	23.6	
	3H	21.9	22.8	22.2	23.1	23.3	22.0	23.0	22.3	23.2	23.4	22.0	23.0	22.3	23.2	23.4	
	4H	21.8	22.7	22.1	22.9	23.2	21.9	22.8	22.2	23.0	23.3	21.9	22.8	22.2	23.0	23.3	
	6H	21.7	22.5	22.0	22.8	23.1	21.8	22.6	22.2	22.9	23.2	21.8	22.6	22.2	22.9	23.2	
	8H	21.7	22.4	22.0	22.7	23.0	21.8	22.6	22.1	22.8	23.1	21.8	22.6	22.1	22.8	23.1	
	12H	21.6	22.4	22.0	22.7	23.0	21.8	22.5	22.1	22.8	23.1	21.8	22.5	22.1	22.8	23.1	
4H	2H	21.8	22.7	22.1	22.9	23.2	21.9	22.8	22.2	23.1	23.3	21.9	22.8	22.2	23.1	23.3	
	3H	21.6	22.4	22.0	22.7	23.0	21.8	22.5	22.1	22.8	23.1	21.8	22.5	22.1	22.8	23.1	
	4H	21.6	22.2	21.9	22.6	22.9	21.7	22.3	22.0	22.7	23.0	21.7	22.3	22.0	22.7	23.0	
	6H	21.5	22.1	21.9	22.4	22.8	21.6	22.2	22.0	22.5	22.9	21.6	22.2	22.0	22.5	22.9	
	8H	21.4	22.0	21.9	22.3	22.7	21.6	22.1	22.0	22.5	22.8	21.6	22.1	22.0	22.5	22.8	
	12H	21.4	21.9	21.8	22.3	22.7	21.5	22.0	21.9	22.4	22.8	21.5	22.0	21.9	22.4	22.8	
8H	4H	21.4	22.0	21.9	22.3	22.7	21.6	22.1	22.0	22.5	22.8	21.6	22.1	22.0	22.5	22.8	
	6H	21.4	21.8	21.8	22.2	22.6	21.5	21.9	21.9	22.3	22.7	21.5	21.9	21.9	22.3	22.7	
	8H	21.3	21.7	21.8	22.1	22.6	21.4	21.8	21.9	22.2	22.7	21.4	21.8	21.9	22.2	22.7	
	12H	21.3	21.6	21.7	22.0	22.5	21.4	21.7	21.9	22.2	22.6	21.4	21.7	21.9	22.2	22.6	
	12H	4H	21.4	21.9	21.8	22.3	22.7	21.5	22.0	21.9	22.4	22.8	21.5	22.0	21.9	22.4	22.8
		6H	21.3	21.7	21.8	22.1	22.6	21.4	21.8	21.9	22.2	22.7	21.4	21.8	21.9	22.2	22.7
8H		21.3	21.6	21.7	22.0	22.5	21.4	21.7	21.9	22.2	22.6	21.4	21.7	21.9	22.2	22.6	
Corrected glare indices for a total luminous flux of 3200 lm																	

The details provided in this data sheet were prepared with due care but are still subject to error. We retain the right to make formal, technical and pricing changes. 03/2017

Σχήμα Α.5.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 5 σελ. 1/2 [46]

Zubehör			Type	(Beschreibung)	Art Nr.	Preis [€]
			BET EBD 340	Beton-Einbautopf für EBD 340 -nur für Ortbeton-	0202829	152,60
			BET EBD 340	Beton-Einbautopf für EBD 340 -nur für Ortbeton-	0202833	152,60
			DG 340 W	Dekorglas aus ESG, innen mattiert, Dekorning weiß	0202886	67,80
			DGB 340 W	Dekorglas aus ESG, bedruckt, Dekorning weiß	0202722	79,90
			DGD 340 W	Dekorscheibe aus Floatglas, außen mattiert, Dekorning weiß	0202737	68,00
			DGRB 340 W	Dekorglas aus ESG, blau, innen offen mit Ring weiß	0202713	101,90
			DGKD 340 W	Floatglasscheibe klar mit Dekorning weiß	0202866	34,20
			DGMPSD 340 W	Dekorglasscheibe Floatglas, Mikroprismen mit Dekorning weiß	0204887	38,00
			DGOD 340 W	Floatglasscheibe opal mit Dekorning weiß	0202742	69,90
			DGS 340 W	Dekorning aus ESG, mattiert, innen offen mit Ring weiß	0202695	77,80
			DKV5 340 W	Kunstglas gewölbt opal mit Dekorning weiß	0202751	53,30
			DR 340 AL	Dekorning Aluminium gebürstet	0202678/634	30,90
			DR 340 B RAL	Dekorning PC mit Blending Stahlblech, RAL-Farbtone nach Wahl	0202678/RAL633	auf Anfrage
			DR 340 ES	Dekorning Edelstahl gebürstet	0202678/636	43,50
			DR 340 RAL	Dekorning RAL-Farbtone nach Wahl	0202678/RAL	auf Anfrage
			DR 340 SG	Dekorning Aluminium silber glänzend	0202678/609	29,30
			DR 340 SM	Dekorning Aluminium silber matt	0202678/607	29,30
			DR 340 W	Dekorning Kunststoff weiß	0202678	8,40
			DSG 340 W	Dekorglas aus ESG, aussen mattiert, Dekorning weiß	0202704	79,90
			DVHW 340 W NR 1	Hinweisschild Nr.1 mit Dekorning weiß	0202805/701	144,80
			DVHW 340 W NR 11	Hinweisschild Nr.11 mit Dekorning weiß	0202805/711	144,80
			DVHW 340 W NR 12	Hinweisschild Nr.12 mit Dekorning weiß	0202805/712	144,80
			DVHW 340 W NR 13	Hinweisschild Nr.13 mit Dekorning weiß	0202805/713	144,80
			DVHW 340 W NR 17	Hinweisschild Nr.17 mit Dekorning weiß	0202805/717	144,80
			DVHW 340 W NR 21	Hinweisschild Nr.21 mit Dekorning weiß	0202805/721	144,80
			DVHW 340 W NR 22	Hinweisschild Nr.22 mit Dekorning weiß	0202805/722	144,80
			DVHW 340 W NR 23	Hinweisschild Nr.23 mit Dekorning weiß	0202805/723	144,80
			DVHW 340 W NR 24	Hinweisschild Nr.24 mit Dekorning weiß	0202805/724	144,80
			DVHW 340 W NR 4	Hinweisschild Nr.4 mit Dekorning weiß	0202805/704	144,80
			DVHW 340 W NR 5	Hinweisschild Nr.5 mit Dekorning weiß	0202805/705	144,80
			DVHW 340 W NR 8	Hinweisschild Nr.8 mit Dekorning weiß	0202805/708	144,80
			DVHW 340 W NR 9	Hinweisschild Nr.9 mit Dekorning weiß	0202805/709	144,80
			DVRP 340 W	Ringrismenscheibe mit Dekorning weiß	0202747	83,00
			DVZS 340 W	Dekorvorsatz, zurückversetzte Kunstglasscheibe, Ring weiß	0202781	126,40
			EPR EBD 340	Einputzring für vorstehenden oder deckenbündigen Einbau	0202841	27,20
			PES EBD 340-100/200	Paneleinbausatz Modul 100 und 200	0202790	35,80
			PES EBD 340-150	Paneleinbausatz Modul 150	0202791	35,80
			REBDK 340 S	Parabolraster Kreuzform, Aluminium silber glänzend	0202665	41,90
			REBDR 340 S	Ringraster Kunststoff silber glänzend	0202669	48,60
			REBDR 340 W	Ringraster Kunststoff weiß	0202673	27,30
			REBDT 340 S	Parabolraster mit Innerring, Aluminium silber glänzend	0202661	66,10
			SLA-EBD 340	Streichlichtabdeckung für EBD 340, reduziert Streulicht in Decke	0202991	9,30
			SLA-EBDF 340	Streichlichtabdeckung für EBD 340, reduziert Streulicht in Decke	0202995	9,30
			UGEBO-UR	Umschaltrelais für EBD... (nicht HIT-Bestückung)	0201069	106,80
			UGEBO-UR-DIM	Umschaltrelais für EBD: dimmbar 1-10V (nicht HIT-Bestückung)	0201076	357,10
			VP EBD 340-600	Verstärkungsplatte für nicht biegesteife Decken Modul 600	0202796	35,30
			VP EBD 340-625	Verstärkungsplatte für nicht biegesteife Decken Modul 625	0202923	35,30
			ZES EBD 340-410/80	Befestigungssatz EBD 340 - 410, für Deckenstärken bis 80 mm	0202930	41,60

<sup>1</sup> Mit diesem Zubehör Schutzart IP44 bei Montage in geschlossenen Decken.  
<sup>2</sup> Die zur Auswahl stehenden Hinweisschilder werden auf der letzten Seite dieses Kapitels aufgeführt.

Kombinationsmöglichkeiten Leuchte/Zubehör:

LEUCHTE	DEKORATIVES ZUBEHÖR														MECHANISCHES ZUBEHÖR											
	DG...W	DGB...W	DGD...W	DGRB...W	DGKD...W	DGMPSD...W	DGOD...W	DGS...W	DKV5...W	DR...W	DR...W	DVHW...W	DVHW...W	DVHW...W	DVZS...W	REBDK...S	REBDR...S	REBDR...W	REBDT...S	BET EBD	BET EBD	EPR EBD	PES EBD...100/200	PES EBD...150	VP EBD	ZES EBD
EBD 340	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EBDF 340 (max. 2x32W)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EBDF 340/2x42	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

• = optional  
 Alle anderen Kombinationen sind nicht zulässig, nicht möglich oder nicht empfehlenswert.

Deckenstärke S <sub>max</sub>	10	15	20	30
Index	1	2	3	4

Σχήμα Α.5.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 5 σελ. 2/2 [46]

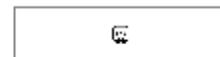
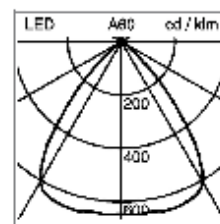
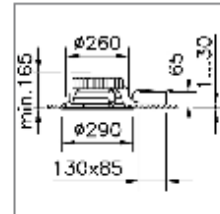


Παράρτημα Α.6



Datasheet

Recessed downlight Echo 260 LED  
24.3F45DC.00



<b>System power</b>	34 W
<b>Light sources</b>	LED (Light Emitting Diode)
<b>ILCOS (ZVEI)</b>	warm white
<b>Colour temperature</b>	3000 K
<b>Luminous flux of luminaire</b>	3800
<b>Colour Rendering IndexRa</b>	>83
<b>Life time</b>	L70 50'000h
<b>Control gear</b>	LEDBG
<b>Light control</b>	dimnable digital DALI
<b>Material</b>	aluminium
<b>Finish</b>	white
<b>Weight</b>	2.065

Recessed downlight Echo 260 LED with LED (Light Emitting Diode) system power: 34W, luminous flux of luminaire 3800lm, 3000K, warm white, CRI >83, 230V, direct light emission, housing in aluminium, facet brilliant polished reflector in polycarbonate, wide beam, (F) Flood, with ceiling trim white, passive cooling, with separate electronic control gear, dimmable digital DALI

Protection class I, IP20 / IP44

ø = 290 mm DAø = 260 mm ET = min. 165 mm

10.08.2016 © Regent Beleuchtungskörper AG  
Technical specifications can be changed without previous notification. www.regent.ch  
1/3

Σχήμα Α.6.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 6 [45]

## Παράρτημα Α.7



### DayZone

#### BBS561 LED35S/830 PSD AC-MLO-C PI

DayZone recessed round - LED Module, system flux 3500 lm - 830 warm white - Power supply unit with DALI interface - Acrylate micro-lens optic with circle - Push-in connector 3-pole

For general office lighting, customers want to capture the benefits LED technology has to offer – sustainability and fresh, high-impact design, without compromising visual comfort. Our DayZone recessed LED luminaire delivers high-quality functional lighting with an energy efficiency that matches or even outperforms traditional fluorescent systems. But what makes DayZone really shine is its impressive visual comfort. Our innovative use of LED technology has created a luminaire that breaks away from fluorescent lighting designs of the past to offer a striking appearance and light effect. Glare control and color consistency are compliant with future office norms. DayZone is available in square versions and, to ensure a better fit in plaster ceiling applications, in a round housing.

#### Product data

General Information			
Number of light sources	1 pc	Luminaire light beam spread	130°
Lamp family code	LED35S [ LED Module, system flux 3500 lm]	Emergency lighting	-
Light source color	830 warm white	Embedded control	-
Cap-Base	- [-]	Control interface	DALI
Light source replaceable	No	Separate switching	-
Number of gear units	1 unit	Electrical circuit protection	-
Gear	-	Connection	Push-in connector 3-pole
Driver/power unit/transformer	Power supply unit with DALI interface	Cable	-
Driver included	Yes	Protection class IEC	Safety class I
Optic type	-	Protection foil	Protection foil included
Optical cover/lens type	Acrylate micro-lens optic with circle	Glow-wire test	Temperature 650 °C, duration 5 s
		Flammability mark	For mounting on normally flammable surfaces

Datasheet, 2017, June 9

data subject to change

#### Σχήμα Α.7.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 7 σελ.1/3[44]

DayZone

Safety device	No [ - ]
CE mark	CE mark
ENEC mark	ENEC mark
UL mark	-
Warranty period	5 years
Constant light output	No
Number of products on MCB of 16 A type B	24
RoHS mark	RoHS mark
Product family code	BBS561 [ DayZone recessed round ]

Operating and Electrical

Input Voltage	220 to 240 V
Input Frequency	50 to 60 Hz
Control signal voltage	0-16 V DC DALI
Inrush current	48 A
Inrush time	1 ms
Power Factor (Min)	0.97

Controls and Dimming

Dimmable	Yes
----------	-----

Mechanical and Housing

Housing Material	Steel
Reflector material	Aluminum
Optic material	-
Optical cover/lens material	Acrylate
Fixation material	-
Optical cover/lens finish	Textured
Overall height	105 mm
Overall diameter	602 mm

Approval and Application

Ingress protection code	IP40 [ Wire-protected ]
Mech. impact protection code	IK02 [ 0.2 J standard ]

Initial Performance (IEC Compliant)

Initial luminous flux (system flux)	3500 lm
Luminous flux tolerance	+/-10%
Initial LED luminaire efficacy	95 lm/W
Init. Corr. Color Temperature	3000 K
Init. Color Rendering Index	≥80
Initial chromaticity	(0.43, 0.40) SDCM <3
Initial input power	37 W
Power consumption tolerance	+/-10%

Over Time Performance (IEC Compliant)

Driver failure rate at 5000 h	1 %
Median useful life L70B50	70000 h
Median useful life L80B50	50000 h
Median useful life L90B50	25000 h

Application Conditions

Ambient temperature range	+10 to +40 °C
Average ambient temperature	25 °C
Maximum dim level	1%
Suitable for random switching	No

Product Data

Full product code	871829127310300
Order product name	BBS561 LED36S/630 PSD AC-MLO-C PI
EAN/UPC - Product	8718291273103
Order code	910502004803
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	1
Material Nr. (12NC)	910502004803
Net Weight (Piece)	6.600 kg



Dimensional drawing



DayZone BBS560-BBS567

Σχήμα Α.7.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 7 σελ.2/3[44]

## Παράρτημα Α.8

### Luminaire data

Ridi, EBD (EBD 340/26-42 SG (42W) + DVRP)

### Data sheet

Manufacturer: Ridi

EBD 340/26-42 SG (42W) + DVRP

EBD

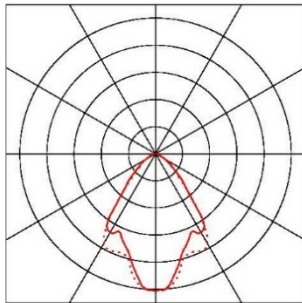
#### Luminaire data

Luminaire efficiency : 69.2%  
Luminaire efficacy : 48.14 lm/W  
Classification : A50 □ 100.0% ↑ 0.0%  
CIE Flux Codes : 74 94 98 100 69  
UGR 4H 8H : 18.5 / 18.2  
Power : 46 W  
Luminous flux : 2214.4 lm

#### Equipped with

Quantity : 1  
Designation : FSMH 42  
Colour : nw/4000K  
Luminous flux : 3200 lm  
Colour reproduction : 1B

Dimensions : Ø340 mm x 175 mm



Σχήμα Α.8.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 8 σελ. 1/2 [46]

Zubehör			Type	Beschreibung	Art Nr.	Preis [€]
			BET EBD 340	Beton-Einbautopf für EBD 340 -nur für Ortbeton-	0202829	152,60
			BET EBD 340	Beton-Einbautopf für EBD 340 -nur für Ortbeton-	0202833	152,60
			DG 340 W	Dekorglas aus ESG, innen mattiert, Dekorrng weiß	0202686	67,80
			DGB 340 W	Dekorglas aus ESG, bedruckt, Dekorrng weiß	0202722	79,90
			DGD 340 W	Dekorscheibe aus Floatglas, außen mattiert, Dekorrng weiß	0202737	68,00
			DGFB 340 W	Dekorglas aus ESG, blau, innen offen mit Ring weiß	0202713	101,90
			DGKD 340 W	Floatglasscheibe klar mit Dekorrng weiß	0202866	34,20
			DGMPSD 340 W	Dekorglasscheibe Floatglas, Mikrop Prismen mit Dekorrng weiß	0204887	38,00
			DGOD 340 W	Floatglasscheibe opal mit Dekorrng weiß	0202742	69,90
			DGS 340 W	Dekorrng aus ESG, mattiert, innen offen mit Ring weiß	0202695	77,80
			DKV5 340 W	Kunstglas gewölbt opal mit Dekorrng weiß	0202751	53,30
			DR 340 AL	Dekorrng Aluminium gebürstet	0202678/634	30,90
			DR 340 B RAL	Dekorrng PC mit Blending Stahlblech, RAL-Farbtone nach Wahl	0202678RAL633	auf Anfrage
			DR 340 ES	Dekorrng Edelstahl gebürstet	0202678/636	43,50
			DR 340 RAL	Dekorrng RAL-Farbtone nach Wahl	0202678RAL	auf Anfrage
			DR 340 SG	Dekorrng Aluminium silber glänzend	0202678/609	29,30
			DR 340 SM	Dekorrng Aluminium silber matt	0202678/607	29,30
			DR 340 W	Dekorrng Kunststoff weiß	0202678	8,40
			DSG 340 W	Dekorglas aus ESG, aussen mattiert, Dekorrng weiß	0202704	79,90
			DVHW 340 W NR 1	Hinweisschild Nr.1 mit Dekorrng weiß	0202805/701	144,80
			DVHW 340 W NR 11	Hinweisschild Nr.11 mit Dekorrng weiß	0202805/711	144,80
			DVHW 340 W NR 12	Hinweisschild Nr.12 mit Dekorrng weiß	0202805/712	144,80
			DVHW 340 W NR 13	Hinweisschild Nr.13 mit Dekorrng weiß	0202805/713	144,80
			DVHW 340 W NR 17	Hinweisschild Nr.17 mit Dekorrng weiß	0202805/717	144,80
			DVHW 340 W NR 21	Hinweisschild Nr.21 mit Dekorrng weiß	0202805/721	144,80
			DVHW 340 W NR 22	Hinweisschild Nr.22 mit Dekorrng weiß	0202805/722	144,80
			DVHW 340 W NR 23	Hinweisschild Nr.23 mit Dekorrng weiß	0202805/723	144,80
			DVHW 340 W NR 24	Hinweisschild Nr.24 mit Dekorrng weiß	0202805/724	144,80
			DVHW 340 W NR 4	Hinweisschild Nr.4 mit Dekorrng weiß	0202805/704	144,80
			DVHW 340 W NR 5	Hinweisschild Nr.5 mit Dekorrng weiß	0202805/705	144,80
			DVHW 340 W NR 8	Hinweisschild Nr.8 mit Dekorrng weiß	0202805/708	144,80
			DVHW 340 W NR 9	Hinweisschild Nr.9 mit Dekorrng weiß	0202805/709	144,80
			DVRP 340 W	Ringrismenscheibe mit Dekorrng weiß	0202747	83,00
			DVZS 340 W	Dekorvorsatz, zurückversetzte Kunstglasscheibe, Ring weiß	0202781	126,40
			EPR EBD 340	Einputzring für vorstehenden oder deckenbündigen Einbau	0202841	27,20
			PES EBD 340-100/200	Paneeleinbausatz Modul 100 und 200	0202790	35,80
			PES EBD 340-150	Paneeleinbausatz Modul 150	0202791	35,80
			REBK 340 S	Parabolrastrer Kreuzform, Aluminium silber glänzend	0202665	41,90
			REBR 340 S	Ringrastrer Kunststoff silber glänzend	0202669	48,60
			REBR 340 W	Ringrastrer Kunststoff weiß	0202673	27,30
			REBT 340 S	Parabolrastrer mit Innenring, Aluminium silber glänzend	0202661	66,10
			SLA-EBD 340	Streulichtabdeckung für EBD 340, reduziert Streulicht in Decke	0202991	9,30
			SLA-EBDF 340	Streulichtabdeckung für EBD 340, reduziert Streulicht in Decke	0202995	9,30
			UGERD-UR	Umschaltrelais für EBD... (nicht HIT-Bestückung)	0201069	106,80
			UGERD-UR-DIM	Umschaltrelais für EBD, dimmbar 1-10V (nicht HIT-Bestückung)	0201076	357,10
			VP EBD 340-600	Verstärkungsplatte für nicht biegesteife Decken Modul 600	0202796	35,30
			VP EBD 340-625	Verstärkungsplatte für nicht biegesteife Decken Modul 625	0202923	35,30
			ZES EBD 340-410/80	Befestigungssatz EBD 340 - 410, für Deckenstärken bis 80 mm	0202930	41,60

<sup>1</sup> Mit diesem Zubehör Schutzart IP44 bei Montage in geschlossenen Decken.  
<sup>2</sup> Die zur Auswahl stehenden Hinweisschilder werden auf der letzten Seite dieses Kapitels aufgeführt.

**Kombinationsmöglichkeiten Leuchte/Zubehör:**

LEUCHTE	DEKORATIVES ZUBEHÖR														MECHANISCHES ZUBEHÖR										
	DG ... W	DGB ... W	DGD ... W	DGFB ... W	DGKD ... W	DGMPSD ... W	DGOD ... W	DGS ... W	DKV5 ... W	DR ... W/MS/SG/AL/ES/RAL	DSG ... W	DVHW ... WNR...	DVRP ... W	DVZS ... W	REBK ... S	REBR ... S	REBR ... W	REBT ... S	BET EBD	BET EBD F	EPR EBD	PES EBD ... 100/200	PES EBD ... 150	VP EBD	ZES-EBD
EBD 340	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EBDF 340 (max. 2x32W)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
EBDF 340/2x42	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Deckenstärke S <sub>max</sub>	10	15	20	30
Index	1	2	3	4

Σχήμα Α.8.2 Προδιαγραφές φωτιστικού 8 σελ. 2/2 [46]

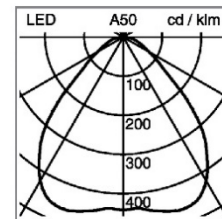
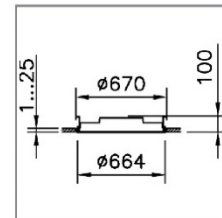
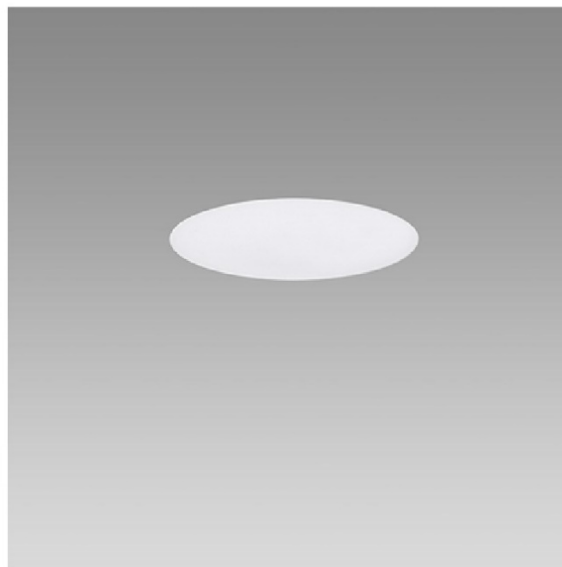
## Παράρτημα Α.9



### Recessed ceiling luminaire Solo Slim Office C-LED

114W216L1JC

available as of 02.01.2017



IP40

650°C

230V

<b>System power</b>	30 W
<b>Light sources</b>	LED (Light Emitting Diode)
<b>ILCOS (ZVEI)</b>	neutral white
<b>Colour temperature</b>	4000 K
<b>Luminous flux of luminaire</b>	4050
<b>Colour Rendering Index</b> CRI >80	
<b>Life time</b>	L80 (B10) 50'000h
<b>Control gear</b>	LEDBG
<b>Light control</b>	dimmable digital DALI
<b>Finish</b>	white
<b>Weight</b>	0

Recessed ceiling luminaire Solo Slim Office C-LED with LED (Light Emitting Diode) system power: 30 W, luminous flux of luminaire 4050 lm, CRI >80, 4000 K, neutral white, MacAdam 3, 230 V, direct light emission, Linect compatible, housing without ceiling trim, for false ceilings, housing in metal, powder coated white, micro-prismatic CLD (Controlled Luminance Diffuser) flat, integral electronic control gear, dimmable digital DALI, dimming range: 1-100%

Protection class I, IP40

ø = 664 mm DAø = 670 mm ET = 100 mm

### Σχήμα Α.9.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 9 [45]

## Παράρτημα Α.10

*Βελτιστοποιημένη σχεδίαση εγκατάστασης φωτισμού εσωτερικών χώρων με πολυκριτηριακές μεθόδους*

**ABDR 410/55 SG-OS (DALI)**

**0330336** **RIDI**

Ballast class EEI: A1 Voltage: ~230-240V, 50-60Hz  
 Protection class: IP 20  
 acc. to DIN EN 60598/VDE 0711

EEC A CE IP20 T16-R HR

**Product description**

Parabolic circular louvre in specular anodised aluminium. Louvre vanes in high-reflectance specular super-purity aluminium with silver coating. With central back-lit opal disc.  
**Design:** Surface mounted downlighter with a clear cylindrical shape for T16-R 40 or 55W lamps, for pendant or ceiling mounting. Housing cylinder and gear tray plate in steel. Die cast lower housing ring with integrated bayonet facility for various decorative trim attachments. The housing is white powder coated. (similar to RAL 9016). White polycarbonate (PC) cover ring. Protection rating IP 40 with closed trim attachments.

**Electrical versions:**

- Dimmable VG (DALI): With dimmable electronic DALI ballast (EVG-DALI), warm start lamps, 220-240 Volt, 0/50-60 Hz and internal connector block 5x2.5mm<sup>2</sup>.

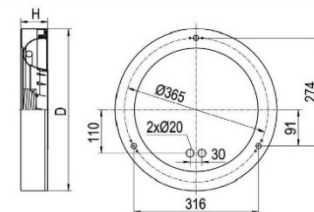
**Mounting:** Direct ceiling mounting or with accessories for pendant wire mounting.

**Product image**



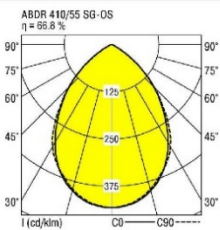
**Technical data / dimensions**

Dimens. [mm]	
H	68
D	410
Lamps	1xT16-R 55 W
Socket	2GX13
Weight [kg]	3,82



**Photometric data**

Phi_u [%]	100.0
Phi_o [%]	0.0
LITG/DIN	A 60
UTE	0.67B



ABDR 410/55 SG-OS		Glare evaluation according to UGR										
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
p-Ceiling		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
p-Walls		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
p-Floor		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Room dimensions		View in C0 direction					View in C90 direction					
X	Y											
2H	2H	19.3	20.3	19.5	20.5	20.7	19.4	20.5	19.6	20.6	20.8	
	3H	19.2	20.1	19.5	20.4	20.6	19.3	20.2	19.6	20.5	20.7	
	4H	19.2	20.0	19.4	20.3	20.5	19.3	20.1	19.5	20.4	20.6	
	6H	19.1	19.9	19.4	20.2	20.4	19.2	20.0	19.5	20.3	20.5	
	8H	19.1	19.9	19.4	20.1	20.4	19.2	20.0	19.5	20.2	20.5	
	12H	19.1	19.8	19.4	20.1	20.4	19.2	19.9	19.5	20.2	20.5	
4H	2H	19.2	20.0	19.5	20.3	20.5	19.3	20.2	19.6	20.4	20.6	
	3H	19.1	19.8	19.5	20.1	20.4	19.2	19.9	19.6	20.2	20.5	
	4H	19.1	19.8	19.5	20.1	20.4	19.2	19.8	19.6	20.2	20.5	
	6H	19.1	19.6	19.5	20.0	20.4	19.2	19.7	19.6	20.1	20.4	
	8H	19.1	19.6	19.5	20.0	20.3	19.2	19.7	19.6	20.0	20.4	
	12H	19.1	19.5	19.5	19.9	20.3	19.1	19.6	19.6	20.0	20.4	
8H	4H	19.0	19.5	19.4	19.9	20.3	19.1	19.6	19.5	20.0	20.4	
	6H	19.0	19.4	19.5	19.8	20.2	19.1	19.5	19.5	19.9	20.3	
	8H	19.0	19.4	19.5	19.8	20.3	19.1	19.5	19.6	19.9	20.3	
	12H	19.0	19.3	19.5	19.8	20.3	19.1	19.4	19.6	19.9	20.3	
	12H	4H	19.0	19.4	19.4	19.8	20.2	19.1	19.5	19.5	19.9	20.3
		6H	19.0	19.3	19.4	19.8	20.2	19.1	19.4	19.5	19.9	20.3
8H		19.0	19.3	19.5	19.7	20.2	19.1	19.4	19.5	19.8	20.3	

Corrected glare indices for a total luminous flux of 4200 lm

The details provided in this data sheet were prepared with due care but are still subject to error. We retain the right to make formal, technical and pricing changes. 03/2017

Σχήμα Α.10.1 Προδιαγραφές φωτιστικού 10 [46]

## Παράρτημα Β

### Παράρτημα Β

Το παράρτημα Β περιέχει όλα τα φωτομετρικά αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν.

#### Παράρτημα Β.1

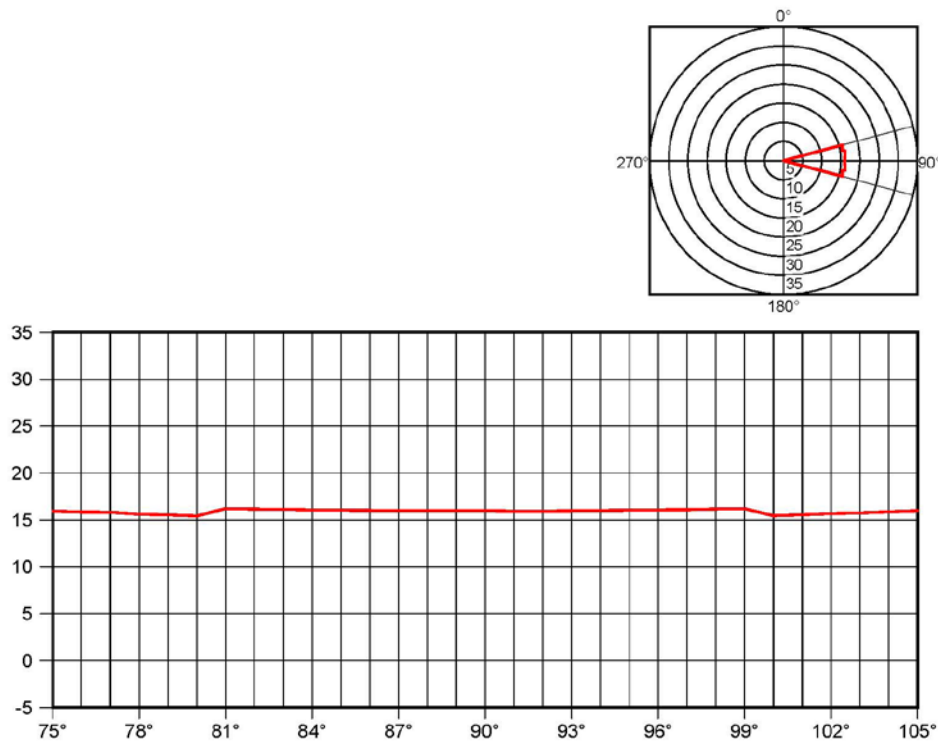
Project number : Διπλωματική

**Room 01**

Calculation results, Room 01

Glare Rating (UGR): 1

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools



Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
: 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 16.2

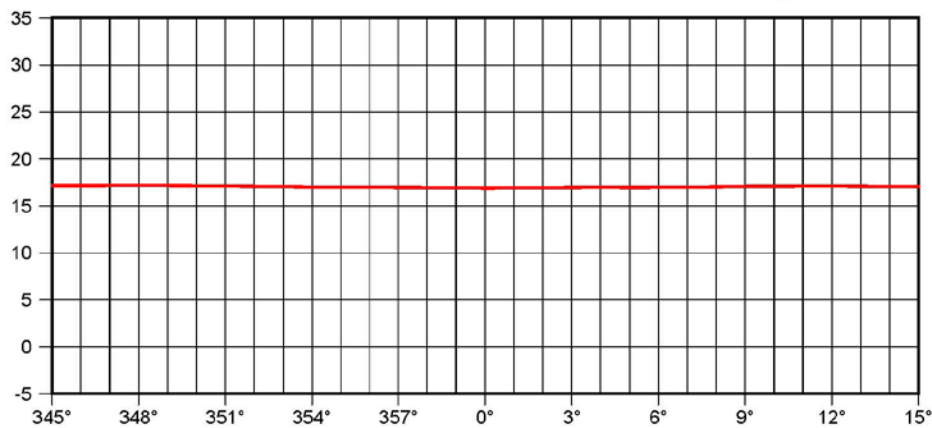
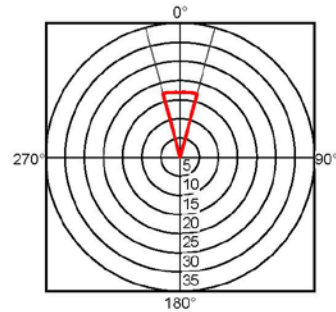
Page 7/12

Σχήμα Β.1. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]





Project number : Διπλωματική  
**Calculation results, Room 01**  
**Glare Rating (UGR): 2**



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
 : 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 17.2

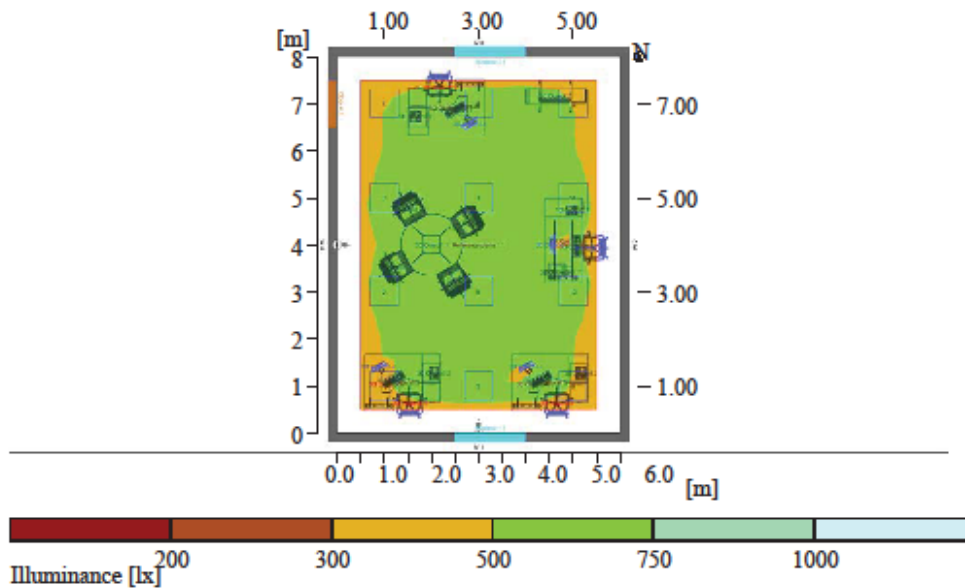
Σχήμα Β.1. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44

Project number: Διπλωματική  
Room 01

**RELUX®**  
light simulation tools

Summary, Room 01

Result overview, Evaluation area 1



**General**

Calculation algorithm used  
Height of luminaire plane  
Maintenance factor

Average indirect fraction  
2.80 m  
0.80

Total luminous flux of all lamps  
Total power  
Total power per area (48.00 m<sup>2</sup>)

57600 lm  
732.0 W  
15.25 W/m<sup>2</sup> (2.82 W/  
m<sup>2</sup>/100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

Horizontal  
Em  
Emin  
Emin/Eav (Uo)  
Emin/Emax (Ud)  
UGR (3.8H 5.1H)  
Position

540 lx  
446 lx  
0.82  
0.72  
<=17.2  
0.75 m

**Major surfaces**

m 1.5 (Ceiling)  
m 1.1 (Wall)  
m 1.2 (Wall)  
m 1.3 (Wall)  
m 1.4 (Wall)

Em  
115 lx  
261 lx  
253 lx  
261 lx  
253 lx

Uo  
0.90  
0.56  
0.62  
0.65  
0.62

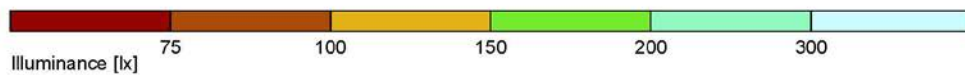
Σχήμα Β.1. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 1 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 01

3D pseudo colours, View from the front (E)

---



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 01

3D pseudo colours, View from the left (E)



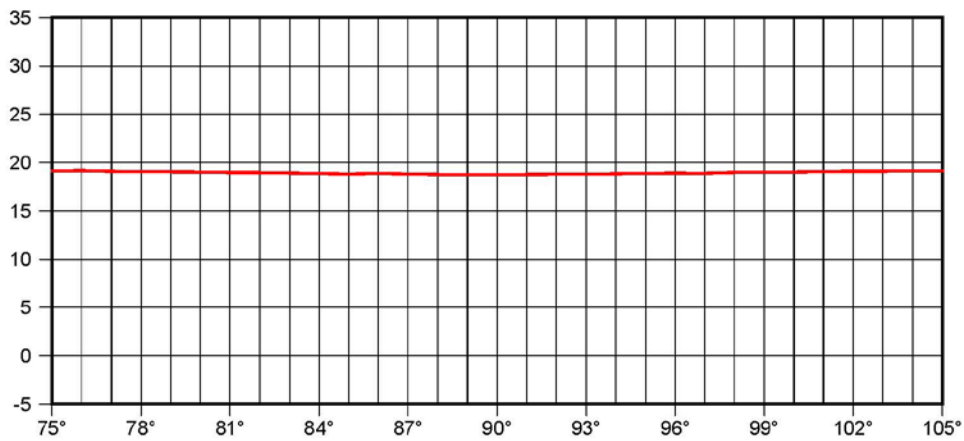
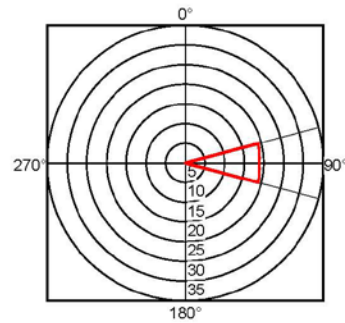
# Παράρτημα Β.2

Project number : Διπλωματική

**Room 02**

Calculation results, Room 02

Glare Rating (UGR): 1



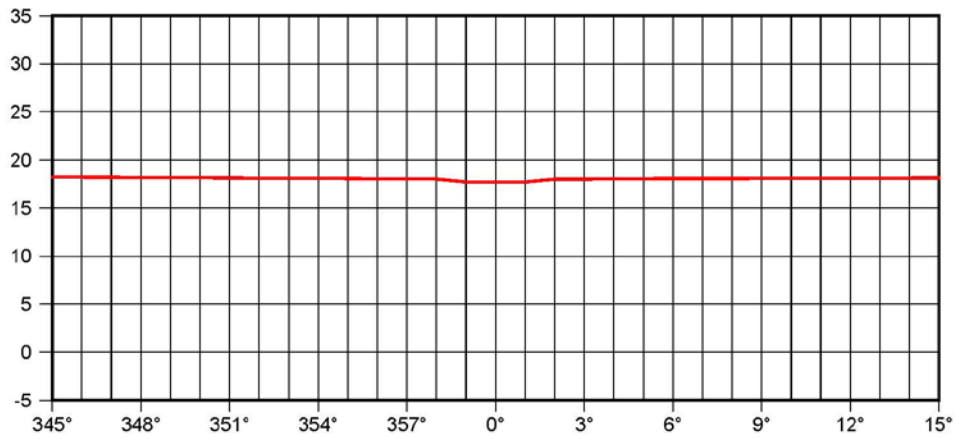
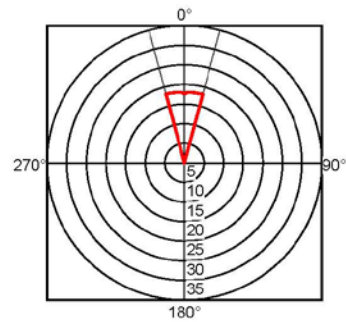
Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
 : 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 19.2

Σχήμα Β.2. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 02

Glare Rating (UGR): 2



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
: 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 18.2

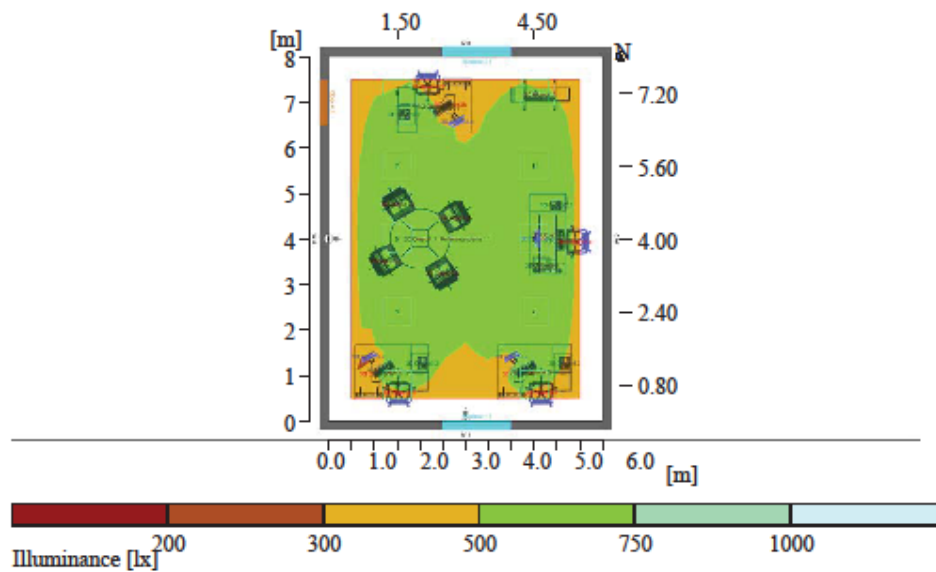
Σχήμα Β.2. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44]

Project number: Διπλωματική  
Room 02

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Summary, Room 02

Result overview, Evaluation area 1



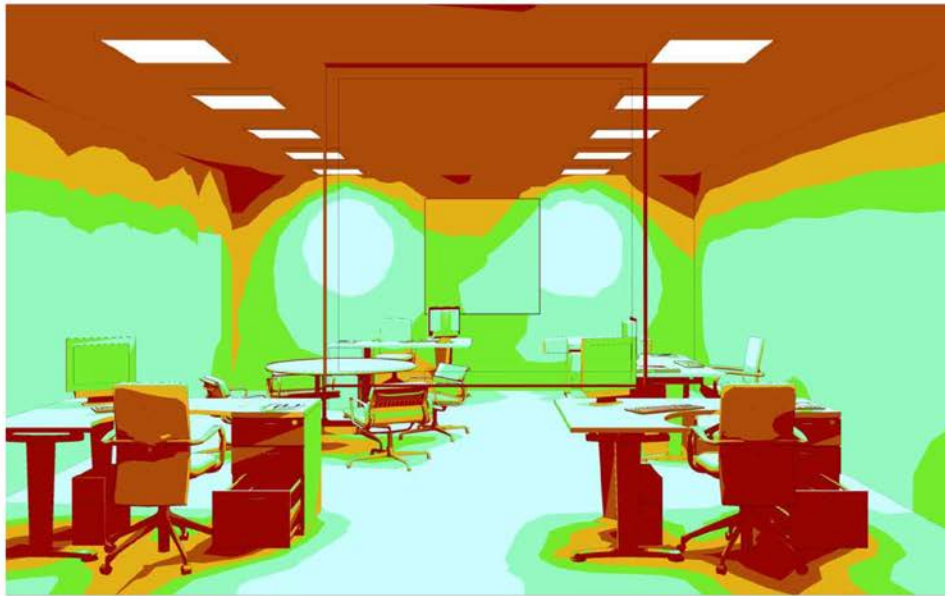
<b>General</b>		
Calculation algorithm used		Average indirect fraction
Height of luminaire plane		2.80 m
Maintenance factor		0.80
Total luminous flux of all lamps		34000 lm
Total power		410.0 W
Total power per area (48.00 m <sup>2</sup> )		8.54 W/m <sup>2</sup> (1.59 W/m <sup>2</sup> /100lx)
<b>Evaluation area 1</b>	<b>Reference plane 1.1</b>	
	Horizontal	
Em	536 lx	
Emin	422 lx	
Emin/Eav (Uo)	0.79	
Emin/Emax (Ud)	0.66	
UGR (3.8H 5.1H)	<=18.0	
Position	0.75 m	
<b>Maior surfaces</b>	Em	Uo
m 1.5 (Ceiling)	116 lx	0.90
m 1.1 (Wall)	277 lx	0.54
m 1.2 (Wall)	242 lx	0.70
m 1.3 (Wall)	276 lx	0.54
m 1.4 (Wall)	240 lx	0.69

Σχήμα Β.2. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 2 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 02

3D pseudo colours, View from the front (E)



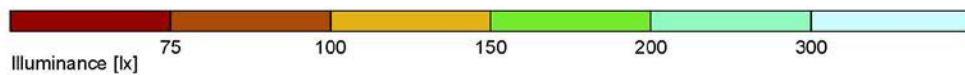


Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 02

3D pseudo colours, View from the left (E)

---



## Παράρτημα Β.3

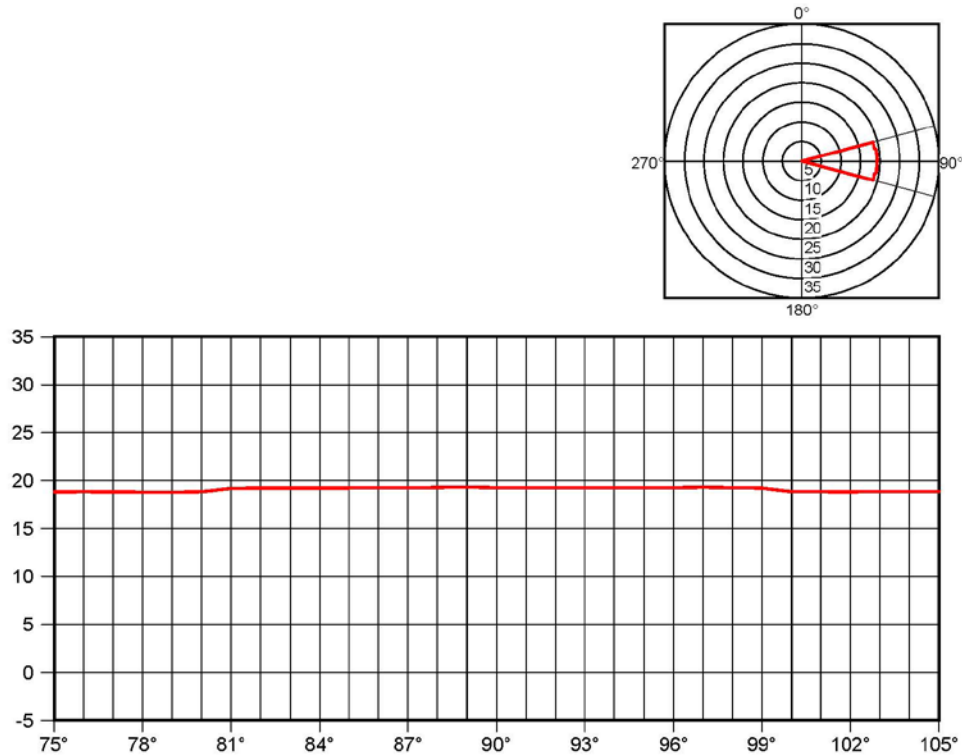
Project number : Διπλωματική

**Room 03**

Calculation results, Room 03

Glare Rating (UGR): 1

**RELUX®**  
light simulation tools

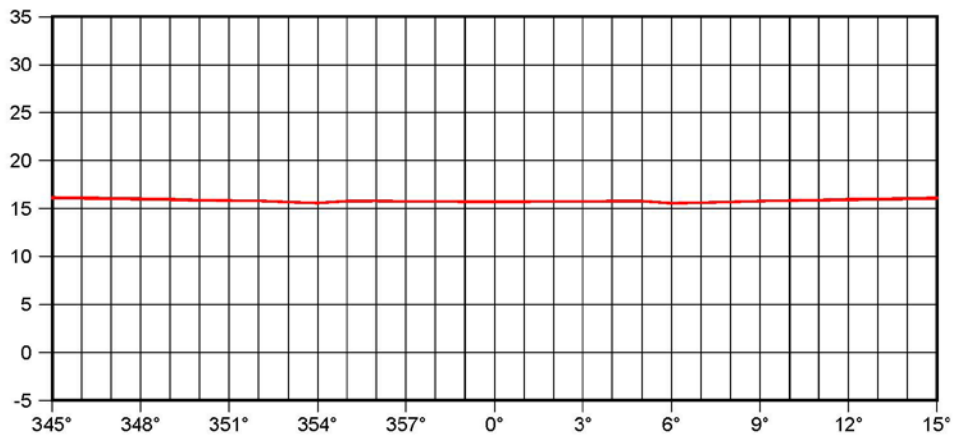
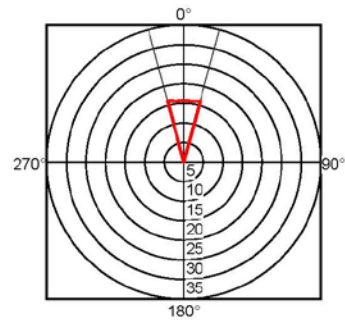


Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
: 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 19.3

Page 7/12

Σχήμα Β.3. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική  
**Calculation results, Room 03**  
**Glare Rating (UGR): 2**



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
 : 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 16.2

Σχήμα Β.3. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44]

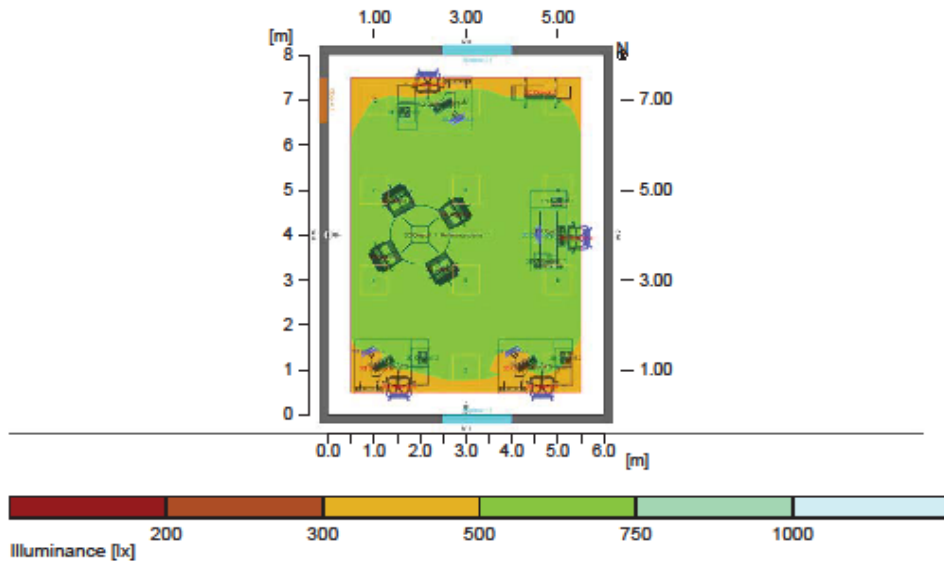
Project number : Διπλωματική

Room 03 :

Summary, Room 03

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

Result overview, Evaluation area 1



**General**

Calculation algorithm used

Height of luminaire plane

Maintenance factor

Average indirect fraction

2.80 m

0.80

Total luminous flux of all lamps

Total power

Total power per area (48.00 m<sup>2</sup>)

52800 lm

864.0 W

18.00 W/m<sup>2</sup> (3.23 W/m<sup>2</sup>/100lx)

**Evaluation area 1**

Em

Emin

Emin/Eav (Uo)

Emin/Emax (Ud)

UGR (3.8H 5.1H)

Position

**Reference plane 1.1**

Horizontal

558 lx

454 lx

0.81

0.71

<=18.2

0.75 m

**Major surfaces**

m 1.5 (Ceiling)

m 1.1 (Wall)

m 1.2 (Wall)

m 1.3 (Wall)

m 1.4 (Wall)

Em

120 lx

258 lx

281 lx

258 lx

280 lx

Uo

0.89

0.61

0.60

0.61

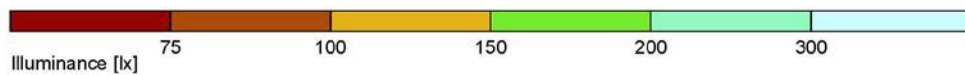
0.58

Σχήμα Β.3. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 3 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 03

3D pseudo colours, View from the front (E)



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 03

3D pseudo colours, View from the left (E)

---



## Παράρτημα Β.4

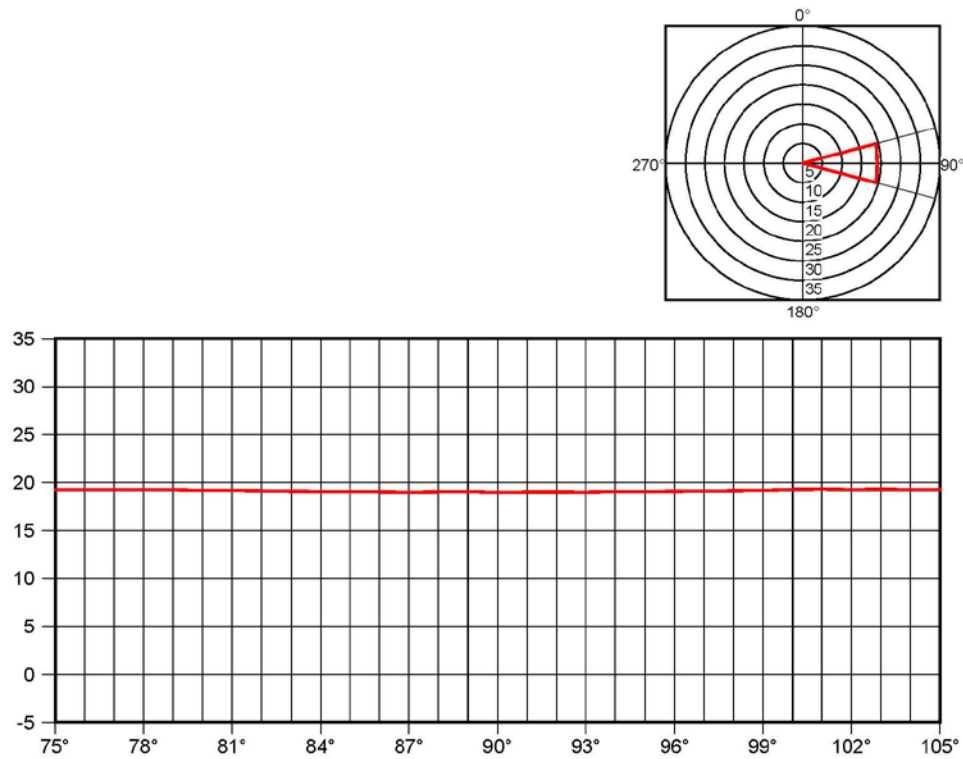
Project number : Διπλωματική

### Room 4

Calculation results, Room 4

Glare Rating (UGR): 1

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools



Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
: 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 19.3

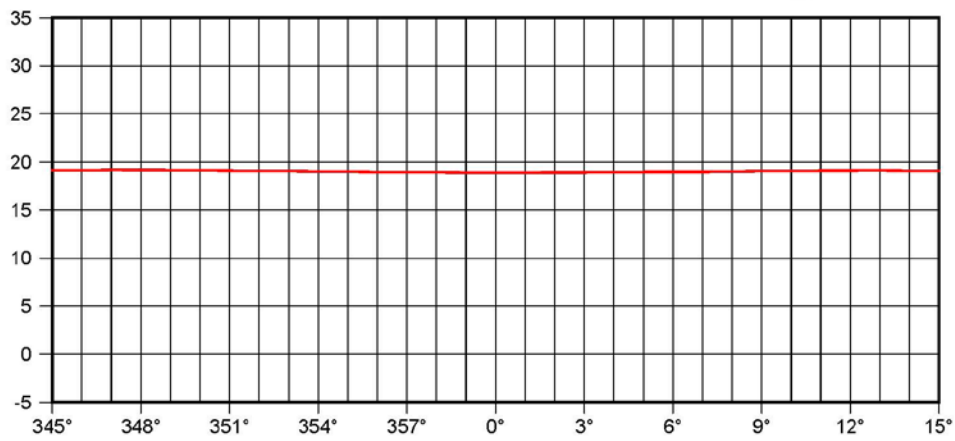
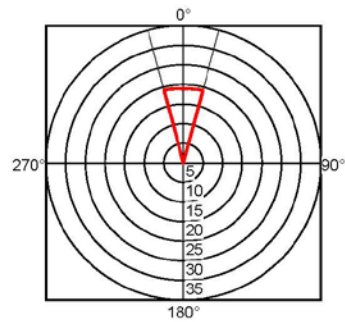
Page 1/12

Σχήμα Β.4. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 4

Glare Rating (UGR): 2



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
: 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 19.2

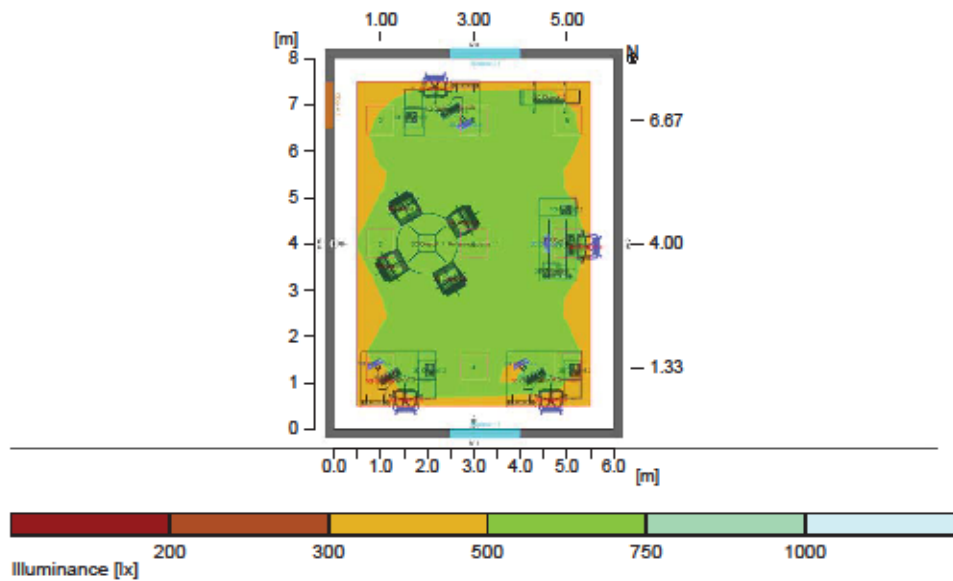


Project number : Δίπλωματική

**Room 4**

**Summary, Room 4**

**Result overview, Evaluation area 1**



**General**

Calculation algorithm used  
Height of luminaire plane  
Maintenance factor

Average indirect fraction  
2.80 m  
0.80

Total luminous flux of all lamps  
Total power  
Total power per area (48.00 m<sup>2</sup>)

34200 lm  
288.0 W  
6.00 W/m<sup>2</sup> (1.14 W/m<sup>2</sup>/100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

Horizontal  
Em  
Emin  
Emin/Eav (Uo)  
Emin/Emax (Ud)  
UGR (3.8H 5.1H)  
Position

528 lx  
438 lx  
0.83  
0.89  
<=18.6  
0.75 m

**Major surfaces**

m 1.5 (Ceiling)  
m 1.1 (Wall)  
m 1.2 (Wall)  
m 1.3 (Wall)  
m 1.4 (Wall)

Em	Uo
117 lx	0.90
245 lx	0.73
275 lx	0.62
245 lx	0.75
275 lx	0.62

Σχήμα Β.4. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 4 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 4

3D pseudo colours, View from the front (E)

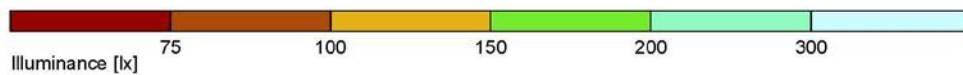


Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 4

3D pseudo colours, View from the left (E)

---



## Παράρτημα Β.5

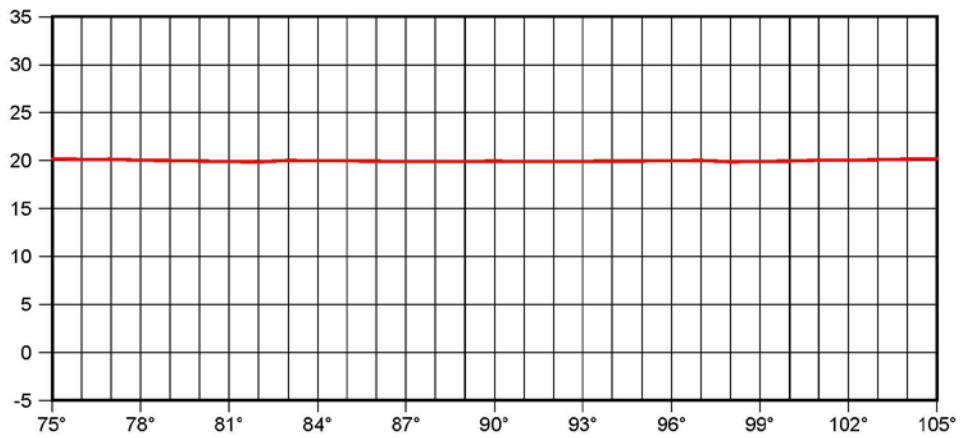
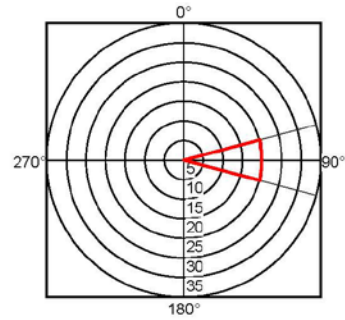
*Βελτιστοποιημένη σχεδίαση εγκατάστασης φωτισμού εσωτερικών χώρων με πολυκριτηριακές μεθόδους*

Project number : Διπλωματική

**Room 5**

Calculation results, Room 5

Glare Rating (UGR): 1



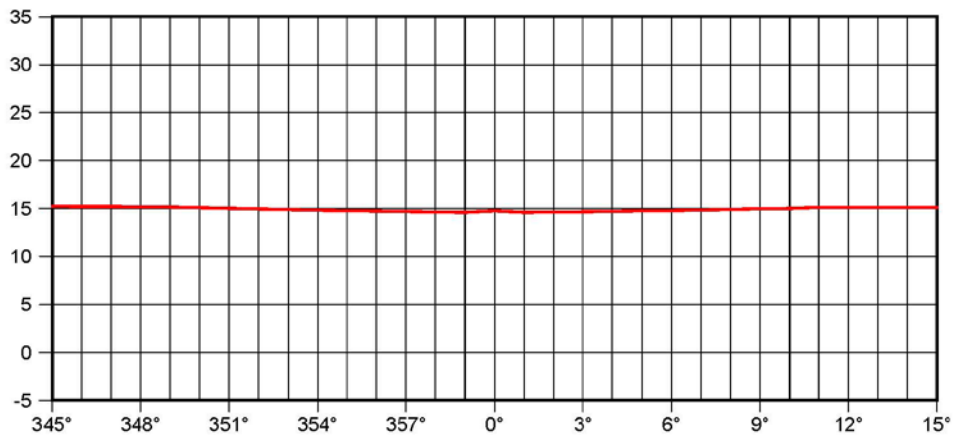
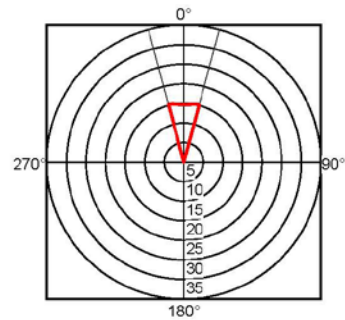
Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
: 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 20.2

Σχήμα Β.5. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 5

Glare Rating (UGR): 2



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
 : 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 15.2

Σχήμα Β.5. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44]

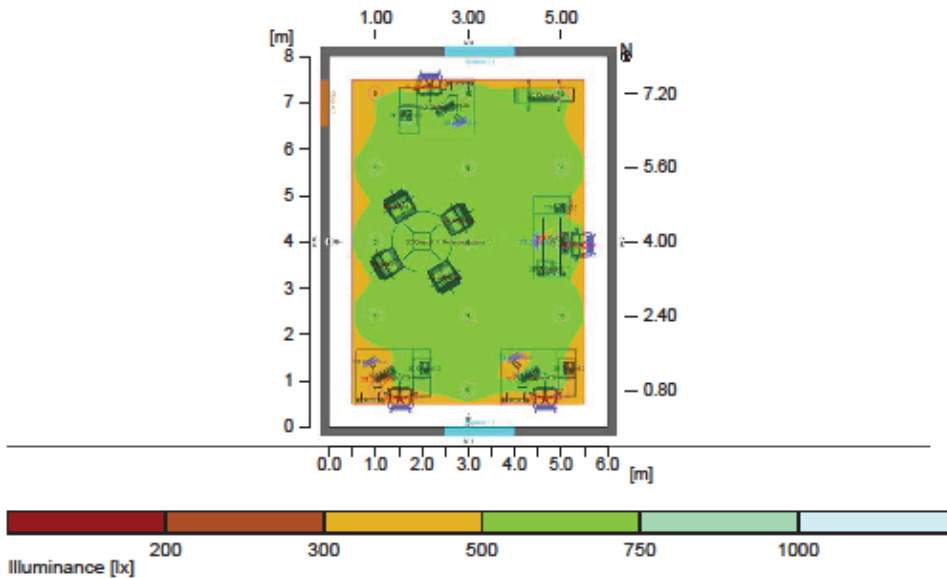
Project number : Διπλωματική

**Room 5:**

**Summary, Room 5**

**Result overview, Evaluation area 1**

**RELUX®**  
light simulation tools



**General**

Calculation algorithm used  
Height of luminaire plane  
Maintenance factor

Average indirect fraction  
2.80 m  
0.80

Total luminous flux of all lamps  
Total power  
Total power per area (48.00 m<sup>2</sup>)

48000 lm  
690.0 W  
14.38 W/m<sup>2</sup> (2.88 W/m<sup>2</sup>/100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

Horizontal  
Em  
Emin  
Emin/Eav (Uo)  
Emin/Emax (Ud)  
UGR (4.0H 5.3H)  
Position

499 lx  
338 lx  
0.68  
0.53  
<=19.0  
0.75 m

**Major surfaces**

	Em	Uo
m 1.5 (Ceiling)	106 lx	0.75
m 1.1 (Wall)	219 lx	0.47
m 1.2 (Wall)	215 lx	0.48
m 1.3 (Wall)	218 lx	0.44
m 1.4 (Wall)	215 lx	0.47

Type No. Make

-please put your own address here-

diploamatiki rooms(5-6) new

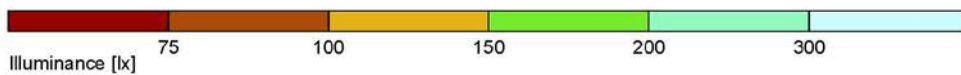
Page 14/21

Σχήμα Β.5. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 5 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 5

3D pseudo colours, View from the front (E)



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 5

3D pseudo colours, View from the left (E)





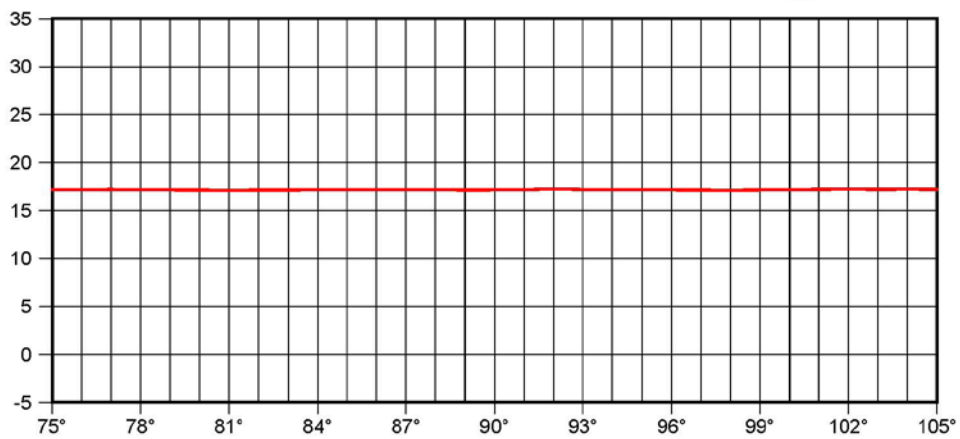
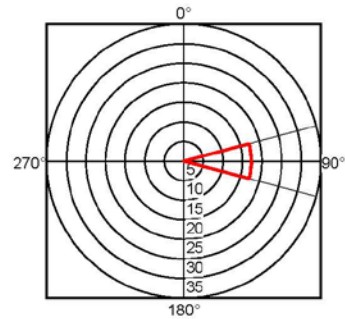
# Παράρτημα Β.6

Project number : Διπλωματική

## Room 6

Calculation results, Room 6

Glare Rating (UGR): 1



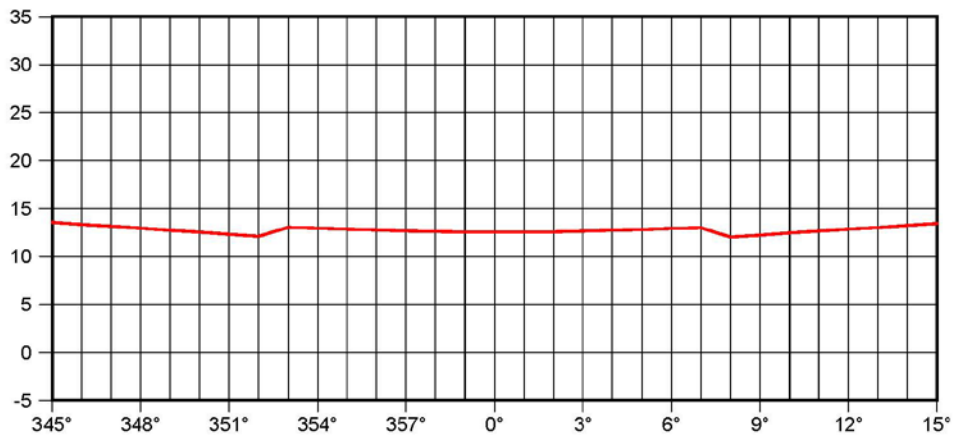
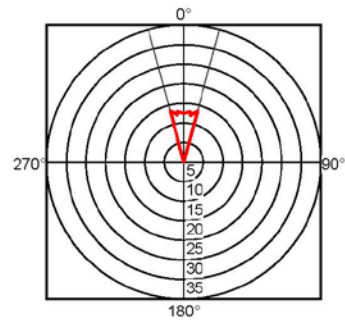
Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
 : 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 17.3

Σχήμα Β.6. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 6

Glare Rating (UGR): 2



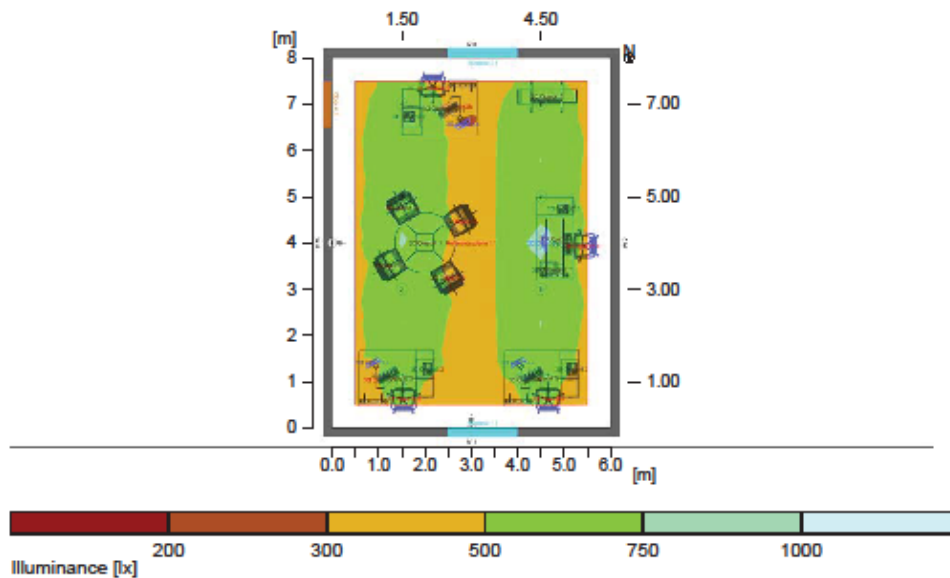
Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
: 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 13.6

Project number : Διπλώματική

**Room 6**

**Summary, Room 6**

**Result overview, Evaluation area 1**



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	29200 lm
Total power	272.0 W
Total power per area (48.00 m <sup>2</sup> )	5.67 W/m <sup>2</sup> (1.14 W/m <sup>2</sup> /100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

	Horizontal
Em	497 lx
Emin	351 lx
Emin/Eav (Uo)	0.71
Emin/Emax (Ud)	0.46
UGR (5.3H 4.0H)	<=18.8
Position	0.75 m

**Major surfaces**

	Em	Uo
m 1.5 (Ceiling)	90 lx	0.63
m 1.1 (Wall)	157 lx	0.37
m 1.2 (Wall)	123 lx	0.46
m 1.3 (Wall)	154 lx	0.33
m 1.4 (Wall)	121 lx	0.44

Type No. Make

-please put your own address here-

diploamatiki rooms(5-6) new

Page 5/21

Σχήμα Β.6. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 6 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 6

3D pseudo colours, View from the front (E)

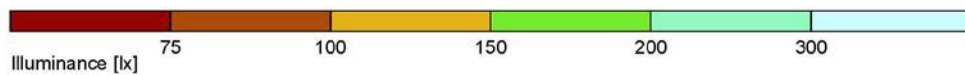


Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 6

3D pseudo colours, View from the left (E)

---



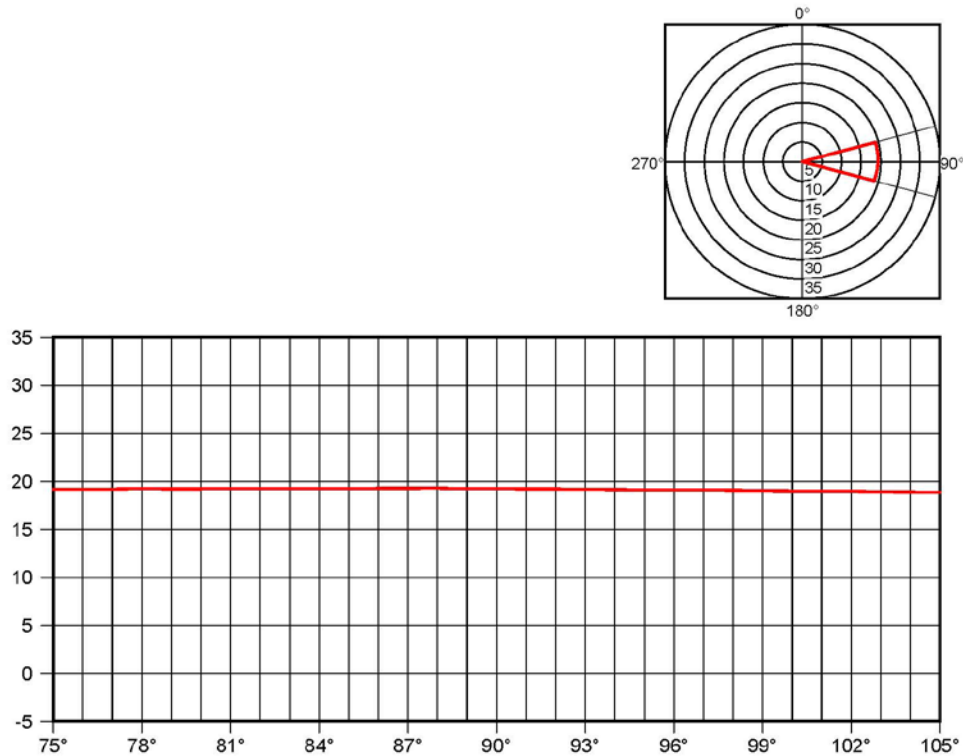
Παράρτημα Β.7



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 7

Glare Rating (UGR): 1



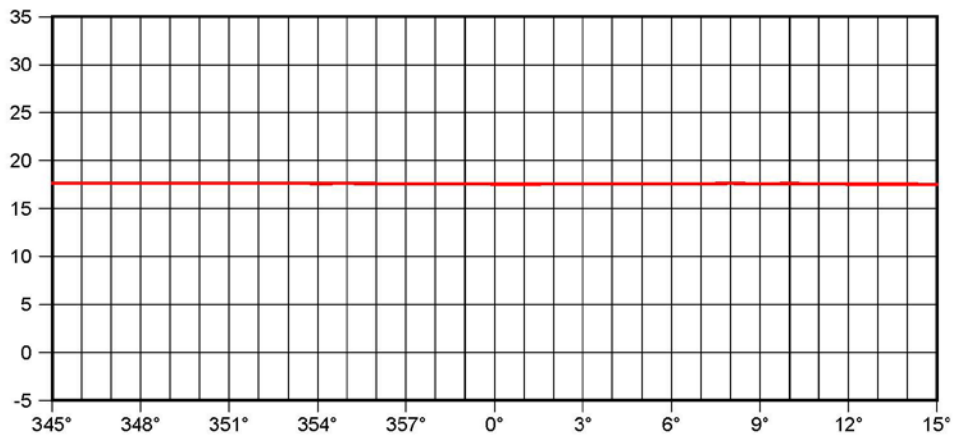
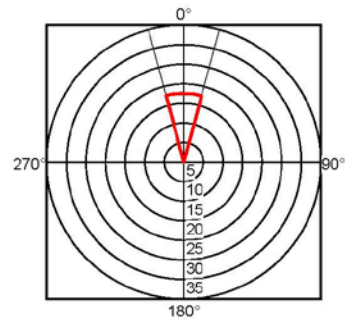
Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
: 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 19.3

Σχήμα Β.7. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 7

Glare Rating (UGR): 2



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
 : 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 17.6

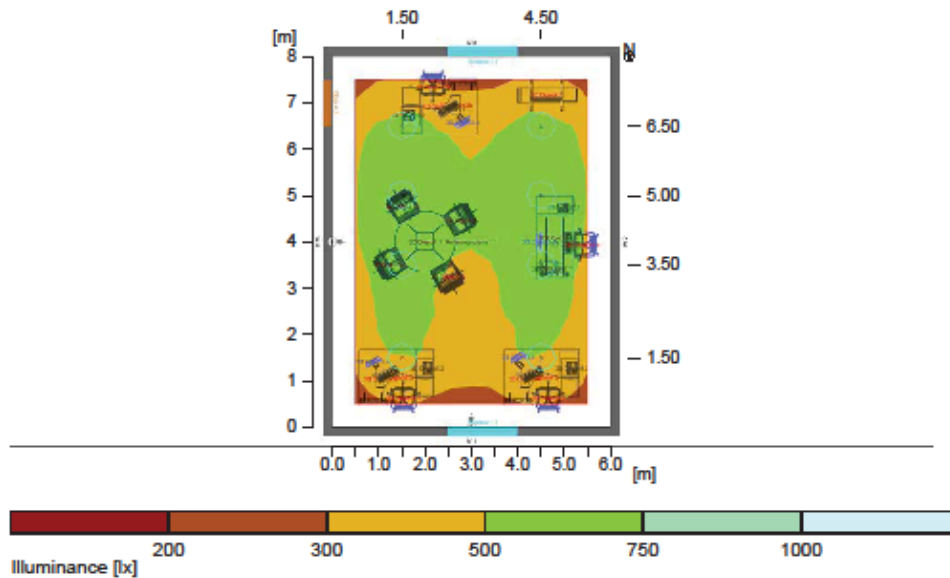
Project number : Διπλωματική

**RELUX**<sup>®</sup>  
light simulation tools

**Room 7**

**Summary, Room 7**

**Result overview, Evaluation area 1**



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	28000 lm
Total power	272.0 W
Total power per area (48.00 m <sup>2</sup> )	5.67 W/m <sup>2</sup> (1.14 W/m <sup>2</sup> /100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

	Horizontal
Em	495 lx
Emin	295 lx
Emin/Eav (Uo)	0.60
Emin/Emax (Ud)	0.42
UGR (3.9H 5.1H)	<=18.7
Position	0.75 m

**Major surfaces**

	Em	Uo
m 1.5 (Ceiling)	89 lx	0.76
m 1.1 (Wall)	132 lx	0.63
m 1.2 (Wall)	169 lx	0.48
m 1.3 (Wall)	141 lx	0.59
m 1.4 (Wall)	168 lx	0.49

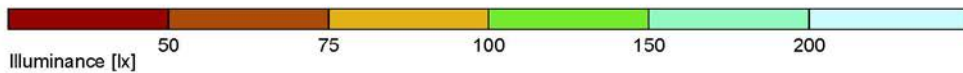
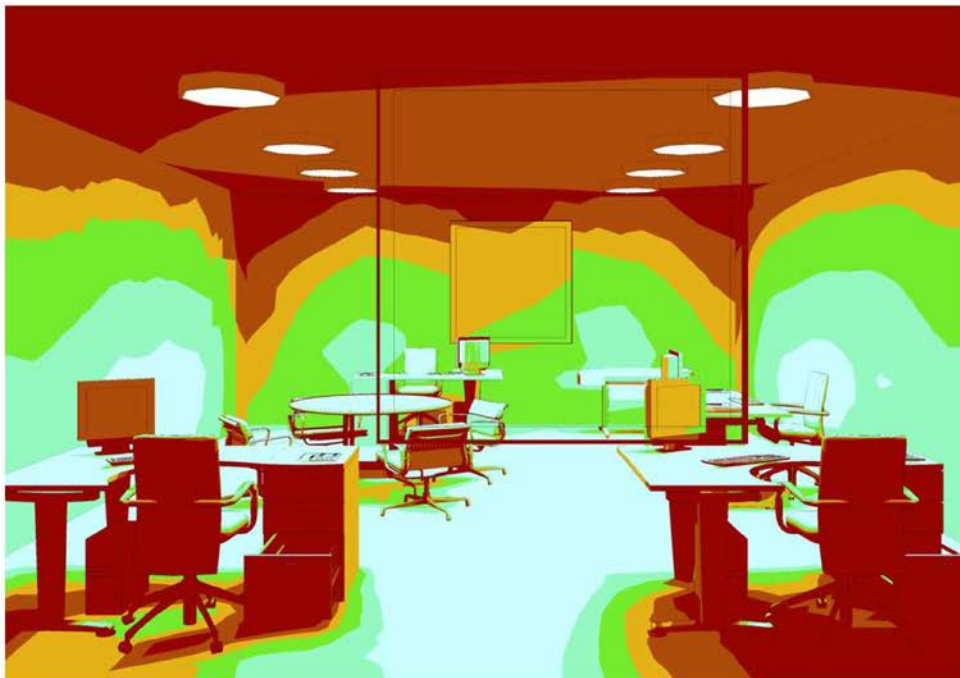
Σχήμα Β.7. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 7 [44]



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 7

3D pseudo colours, View from the front (E)

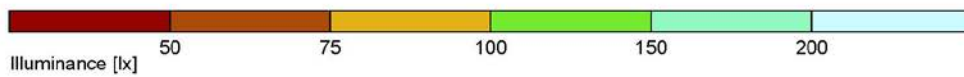
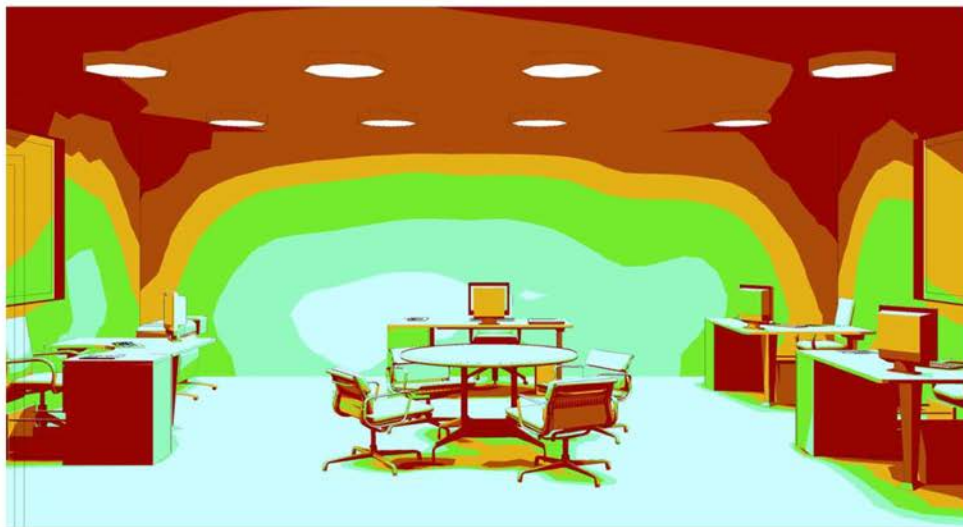


Σχήμα Β.7. 4 Κατανομή έντασης φωτισμού με ψευδοχρώματα (Βόρεια όψη) [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 7

3D pseudo colours, View from the left (E)



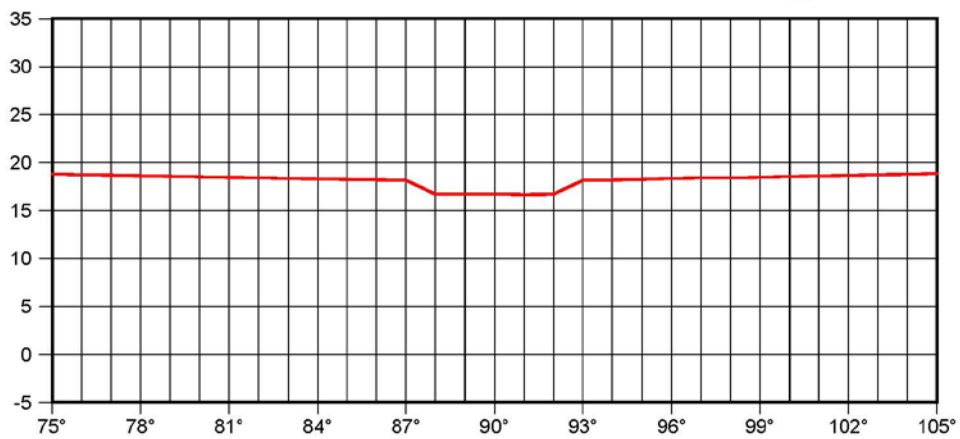
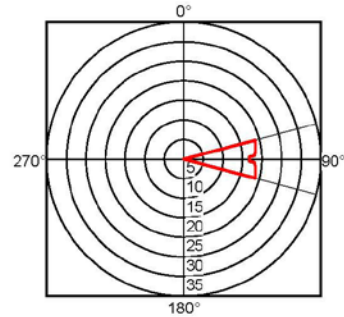
Παράρτημα Β.8



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 8

Glare Rating (UGR): 1



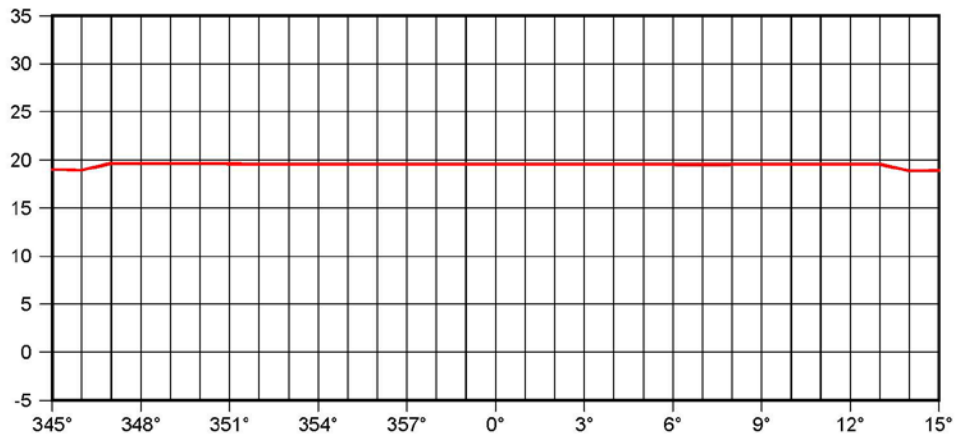
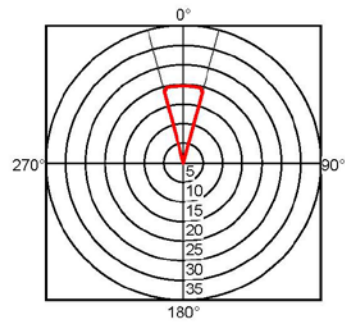
Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
 : 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 18.9

Σχήμα Β.8. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 8

Glare Rating (UGR): 2



Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
: 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 19.7

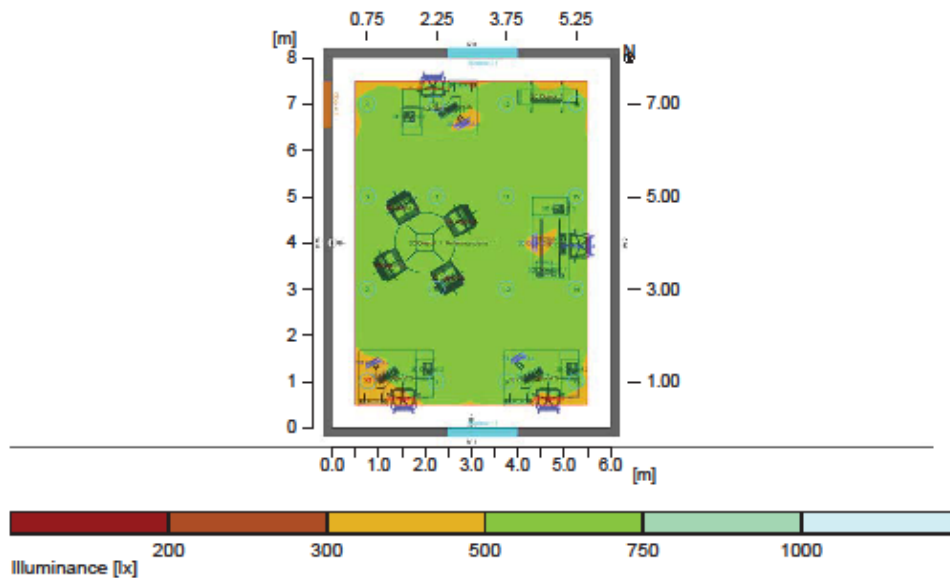
Σχήμα Β.8. 2 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Ανατολικού παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

**Room 8**

**Summary, Room 8**

**Result overview, Evaluation area 1**



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	51200 lm
Total power	736.0 W
Total power per area (48.00 m <sup>2</sup> )	15.33 W/m <sup>2</sup> (2.91 W/m <sup>2</sup> /100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

	Horizontal
Em	526 lx
Emin	366 lx
Emin/Eav (Uo)	0.70
Emin/Emax (Ud)	0.55
UGR (4.0H 5.3H)	<=18.2
Position	0.75 m

**Major surfaces**

	Em	Uo
m 1.5 (Ceiling)	111 lx	0.75
m 1.1 (Wall)	213 lx	0.57
m 1.2 (Wall)	223 lx	0.55
m 1.3 (Wall)	211 lx	0.55
m 1.4 (Wall)	223 lx	0.54

Σχήμα Β.8. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 8 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 8

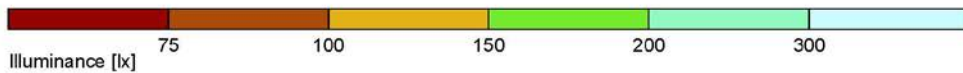
3D pseudo colours, View from the front (E)



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 8

3D pseudo colours, View from the left (E)



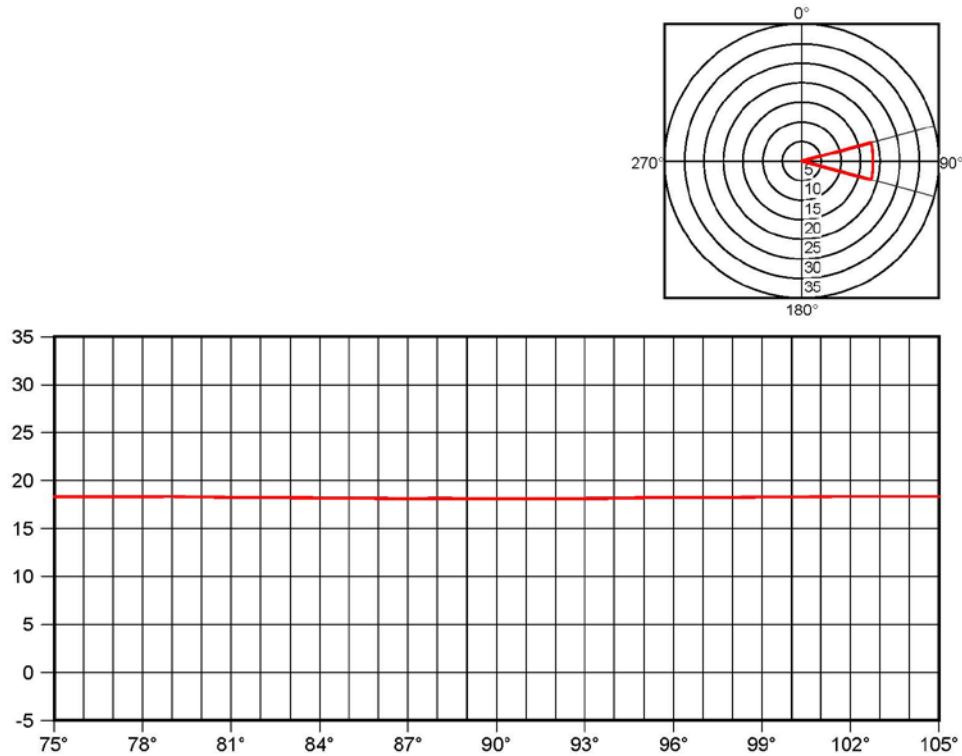
## Παράρτημα Β.9



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 9

Glare Rating (UGR): 1



Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
: 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 18.3

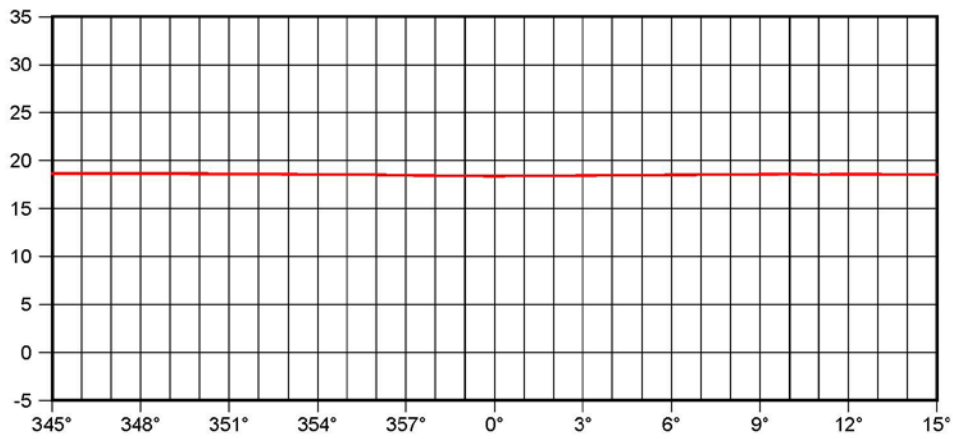
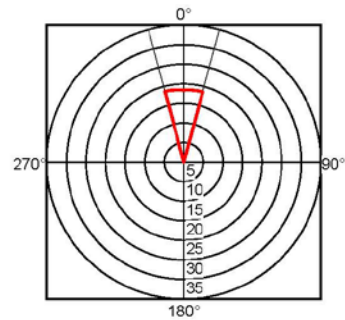
Σχήμα Β.9. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 9

Glare Rating (UGR): 2



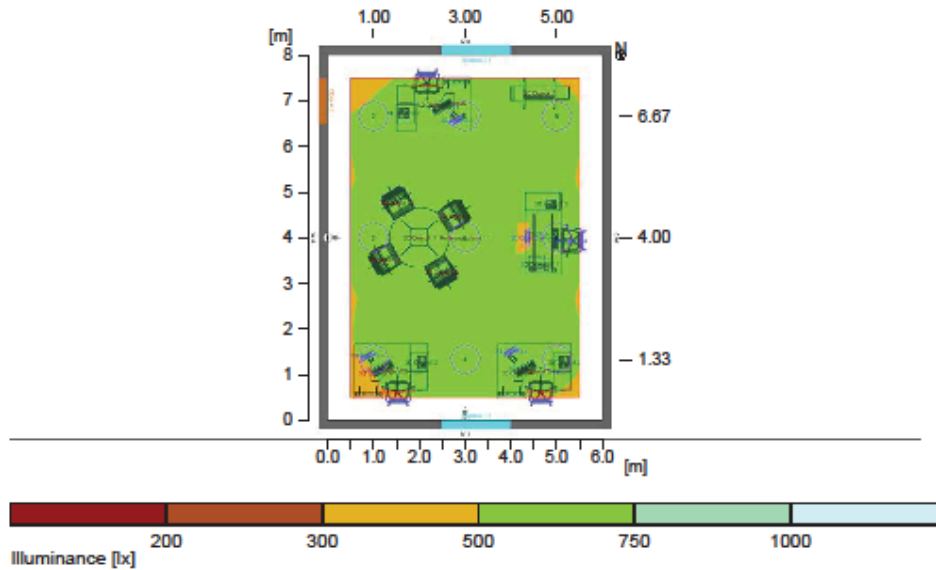
Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
 : 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 18.7

Project number : Διπλωματική

**Room 9**

**Summary, Room 9**

**Result overview, Evaluation area 1**



**General**

Calculation algorithm used  
Height of luminaire plane  
Maintenance factor

Average indirect fraction  
2.80 m  
0.80

Total luminous flux of all lamps  
Total power  
Total power per area (48.00 m<sup>2</sup>)

36450 lm  
270.0 W  
5.63 W/m<sup>2</sup> (1.05 W/m<sup>2</sup>/100lx)

**Evaluation area 1**

Em  
Emin  
Emin/Eav (Uo)  
Emin/Emax (Ud)  
UGR (3.9H 5.2H)  
Position

**Reference plane 1.1**

Horizontal  
537 lx  
388 lx  
0.72  
0.58  
<=16.9  
0.75 m

**Major surfaces**

m 1.5 (Ceiling)  
m 1.1 (Wall)  
m 1.2 (Wall)  
m 1.3 (Wall)  
m 1.4 (Wall)

Em  
119 lx  
236 lx  
256 lx  
235 lx  
255 lx

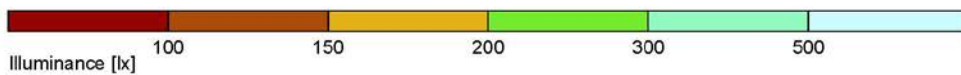
Uo  
0.76  
0.63  
0.58  
0.60  
0.57

Σχήμα Β.9. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 9 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 9

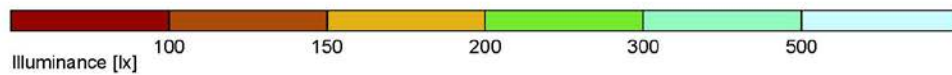
3D pseudo colours, View from the front (E)



Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 9

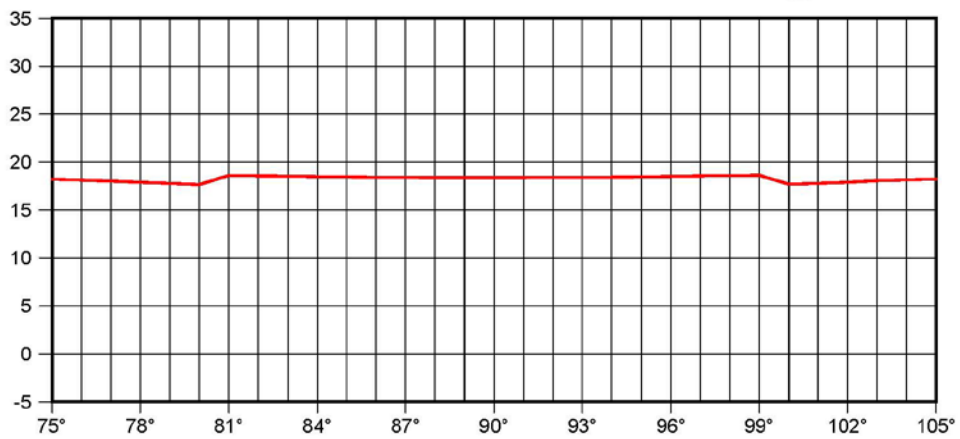
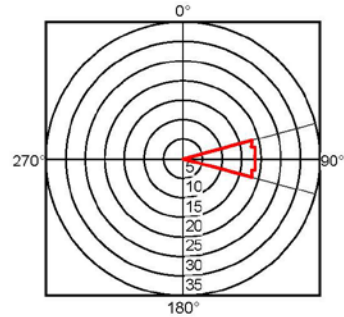
3D pseudo colours, View from the left (E)



Παράρτημα Β.10



Project number : Διπλωματική  
 Calculation results, Room 10  
 Glare Rating (UGR): 1



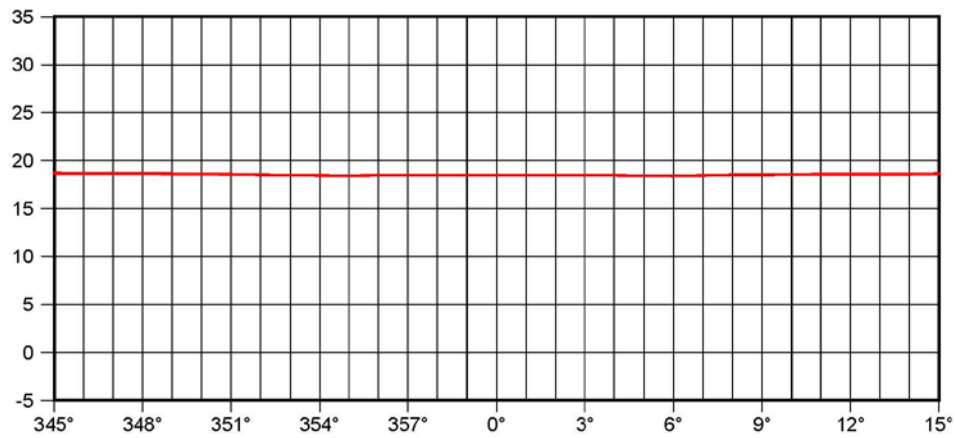
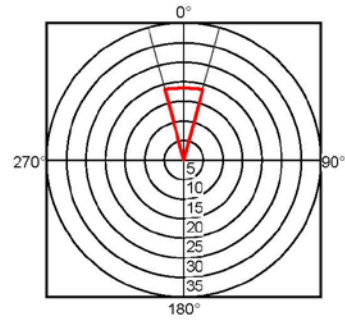
Observer location : x = 0.00 m, y = 4.00 m, z = 1.20 m  
 : 90.00° (1.00, 0.00, 0.00)  
 Maximum degree of glare : 18.6

Σχήμα Β.10. 1 Κρίσιμη γωνία θάμβωσης Βόρειου παρατηρητή [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 10

Glare Rating (UGR): 2



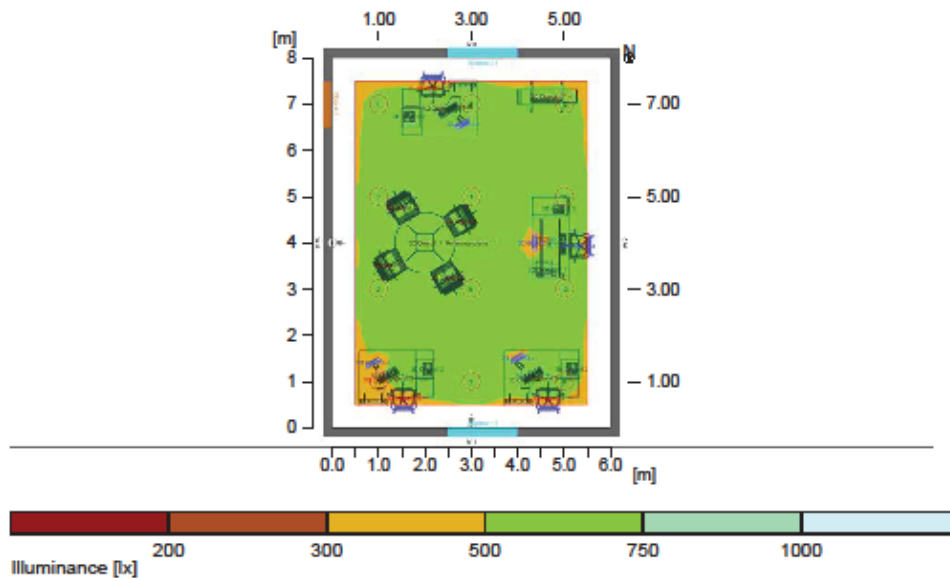
Observer location : x = 3.00 m, y = 0.00 m, z = 1.20 m  
: 0.00° (0.00, 1.00, 0.00)  
Maximum degree of glare : 18.7

Project number : Διπλωματική

**Room 10**

**Summary, Room 10**

**Result overview, Evaluation area 1**



**General**

Calculation algorithm used	Average indirect fraction
Height of luminaire plane	2.80 m
Maintenance factor	0.80
Total luminous flux of all lamps	50400 lm
Total power	720.0 W
Total power per area (48.00 m <sup>2</sup> )	15.00 W/m <sup>2</sup> (2.90 W/m <sup>2</sup> /100lx)

**Evaluation area 1**

**Reference plane 1.1**

	Horizontal
Em	517 lx
Emin	373 lx
Emin/Eav (Uo)	0.72
Emin/Emax (Ud)	0.80
UGR (5.1H 3.8H)	<=17.1
Position	0.75 m

**Major surfaces**

	Em	Uo
m 1.5 (Ceiling)	104 lx	0.72
m 1.1 (Wall)	200 lx	0.45
m 1.2 (Wall)	200 lx	0.45
m 1.3 (Wall)	199 lx	0.41
m 1.4 (Wall)	199 lx	0.43

Σχήμα Β.10. 3 Isolux διάγραμμα διάταξης 10 [44]

Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 10

3D pseudo colours, View from the front (E)





Project number : Διπλωματική

Calculation results, Room 10

3D pseudo colours, View from the left (E)

